

中文建筑科学类核心期刊
中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

建筑科学®

BUILDING SCIENCE

增I上
2023
第39卷 增刊
VOL.39 Sup.

◆ 中华人民共和国住房和城乡建设部主管 ◆ 中国建筑科学研究院有限公司主办

中国土木工程学会工程数字化分会《2022工程数字化年刊》
暨(第十九届全国工程数字化大会论文集)

BIMBase

助力工程建设行业数字化转型

关键核心技术攻关成果

我国建设行业工程软件的支撑平台

ISSN 1002-8528



中国建筑科学研究院有限公司 | 北京构力科技有限公司

北京市朝阳区北三环东路30号 中国建筑科学研究院C座17层 100013
联系电话 010-64518235 | 技术咨询 400-8000-900 | 传真 010-84276106
邮箱 pub@pkpm.cn | 官网 www.pkpm.cn



PKPM构力科技

序

建筑业是我国国民经济的重要支柱产业，近年来，我国建筑业持续快速发展，产业规模不断扩大，建造能力不断增强，但建筑工业化、数字化、智能化水平仍亟需提高。习近平总书记在二十大报告中明确指出，要着力推动高质量发展，必须坚持科技是第一生产力。2020年，住房和城乡建设部等十三个部门联合发布《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》，明确指出要加快推动新一代信息技术与建筑工业化技术协同发展，在建造全过程加大建筑信息模型(BIM)、互联网、物联网、大数据、云计算、移动通信、人工智能、区块链等新技术的集成与创新应用，要加快推进建筑业转型升级、实现绿色低碳发展，进而促进建筑业高质量发展。

中国土木工程学会自成立以来，一直致力于团结带领广大土木工程的专家和科技工作者，围绕土木工程领域重点、难点问题，积极开展学术活动，为发展我国土木工程事业和提高土木工程领域科技水平做出积极贡献。近年来，土木工程学会顺应建筑业转型升级、实现绿色低碳发展的趋势，积极举办以“新基建与土木工程科学发展”、“城市更新与土木工程高质量发展”、“双碳目标下土木工程科技创新”为主题的学术年会，邀请土木工程领域院士以及知名专家学者，分享最新研究成果、探讨技术创新、展望未来发展趋势，促进我国土木工程领域高质量发展。

中国土木工程学会设有21个分会，其中，中国土木工程学会工程数字化分会，在响应国家以数字化转型驱动工程建设行业发展的背景下，于2021年正式更名成立。工程数字化分会致力于推进工程建设领域数字化进程、探索工程数字化实施路径和解决方案，积极组织国内国际数字化学术交流活动，邀请行业专家分享建设行业数字化新理论与新实践、数字化转型的解决方案、数字化实践的核心关键技术和案例经验，促进工程建设领域实现数字化转型目标。

本次特刊的出版依托于由中国土木工程学会工程数字化分会即将主办的第十九届全国工程建设行业数字化大会，以“双碳目标下的工程数字化技术创新应用”为主题，诚邀土木工程学会会员、业内企事业单位专家学者及高校师生投稿，最终由大会学术委员会遴选出优秀学术论文58篇。这些学术论文包括“智能建造与建筑工业化协同发展”、“双碳目标与绿色建造”、“自主BIM技术研发与应用”、“数字化转型的路径与措施”等选题。这些论文分析了工程建设数字化转型中面临的组织及技术挑战与机遇，提炼了创新成果与实施经验，顺应了智能建造的发展趋势，响应了国家数字化发展的要求。

我们要把握数字化、网络化、智能化融合发展的契机，将BIM等智能技术与建筑业快速发展融合，使建筑业呈现出新的发展与活力。本次特刊希望为业界广大读者提供建筑业转型升级和持续健康发展方面的参考，共同推动建筑业的提质增效，实现国家高质量发展的总体目标。



中国土木工程学会 副理事长



建筑科学

BU1LD1NGsC1ENCE

2023年3月31日出版

(增刊 I)

主办 3 中国建筑科学研究院有限公司

编辑 3 《建筑科学》编辑部

地址 3 北京北三环东路 30 号

邮编 3100013

电话 3010.64517786

010.84272776

E. mai1:busc@263.net

主编 3 黄世敏

印刷 3 北京时捷印刷有限公司

国内发行 3 全国各地邮局订阅

邮发代号 32-381

零售 3 中国建筑科学研究院有限公司

《建筑科学》编辑部发行室

国外发行 3 中国国际图书贸易总公司

(北京 399 信箱)

增刊刊号 3 (2023) 京新出刊增准字

第(40)号

批准文号 3 京新出期刊(2023)Z40 号

广告经营许可证 3 京朝工商广登字
20170117

目 录

第一部分 自主 BIM 技术研发与应用

面向精细化设计的数字基坑工程案例库建设	蔡国栋,徐良义,许杰(1)
基于 B1M 的电气照明房间灯具自动布置设计方法	戴龙,张辛平,涂帆,齐维丽,李闵佳(6)
Dynamo for Revit 在园林项目小品中的应用	邓勇,刘明英,杜明君,李丹洋(10)
B1M 技术在雄安北部绿化带项目中的应用	杜明君,邓勇,刘明英,彭云飞,李志鑫,洪文杰(16)
异地协同下 PKPM.B1M 模型增量转换至 PDMs 研究	耿轶,石成,王建斌,廖金鹏,刘旭杭,刘俊(22)
基于 BimBase 的管廊复杂井室三维钢筋排布设计及施工图生成	龚秀峰,杨双舟,孙明倩,杨之仪(26)
加强核心技术,拓展国产 B1M 应用生态——重庆水利 B1M 技术管理平台应用	王良平,雷娟,杨国威,龚校勇,邹天歌,林健,赵俊丽(31)
基于 B1M 的基坑阳角锚杆钻孔优化方法	李丹洋,焦子寒,陈可欣,李志鑫,洪文杰(34)
基于国产 B1M 的阶段差异化辅助设计决策方法研究	李佳琪,王新颖,周轶泽(39)
基于 3DExPER1ENCE 平台 CAA 架构的三维场地建模程序研发	孟仲永,张慎(45)
基于 B1M 的装配式构件支撑与吊装施工设计的软件应用研究	倪嵩陟,何沪凯,齐明珠,李思琪(50)
基于国产 B1M 平台的公建项目机电管线综合应用	牛莎莎,杨伟(55)
基于 Revit 视图和过滤器的 B1M 正向设计出图	齐维丽,张辛平,戴龙(59)
B1M 施工管理平台在污水厂数字化转型中的应用	邱峰,戴龙,吴迪,高宏民,齐维丽(64)
基于自主平台的 B1M 机电设计软件研发	邱相武,张磊,孙明倩,朱佳迪,张德宝,王童,张华伟(69)
基于 3DE 平台的建筑结构混凝土构件钢筋建模软件研发及应用	王杰,张慎(74)

基于 PKPM.PC的装配式预制构件钢筋深化编辑模块	舒文俊, 吴瑞瑞, 赵冬(79)
基于 CAD图纸的三维钢结构模型重建技术实现	杨双舟, 龚秀峰, 童大云(83)
基于 B1M技术的核电施工管理平台研发与应用	杨远松, 贾磊, 刘海洋, 朱宇波, 温颖帅(87)
基于异构数据的 B1M模型整合过程问题实例研究	杨之仪, 陈超(93)
变电构架设计软件的 Python 扩展和应用	张磊, 张艳如(97)
基于 B1M平台的隧道衬砌病害信息可视化应用研究	李丹洋, 王竣, 陈可欣, 李志鑫, 洪文杰(102)
PKPM结构软件数据 API接口应用	张艳如, 李璐, 郑晓彬, 高杨梅(106)
自主 B1M平台软件研发与应用	张韵怡, 周盼, 王瑶, 姜立(110)
基于国产 B1M 的构件属性定义与挂载方法的研究与应用	周轶泽, 南茜, 李佳琪(115)

第二部分 数字化转型的路径与措施

建筑行业企业数字化转型中的私有云建设实践	黄琢华, 刘昊, 董玮(120)
工程设计企业数字化转型中数据治理的探索与实践	王晋(124)
基于数字技术的不同建筑运行方案产生的减碳力度差异研究	王瑶, 刘平平, 姜立, 朱峰磊, 杨伟(128)
基于模型自动评价技术的 B1M培训考核平台研究	付亚静, 杨华, 赵卫, 赵骞, 白文娟(134)

第三部分 智能建造与建筑工业化协同发展

基于 B1M 的装配式智能审查方法研究	陆丹妮, 马恩成, 胡培宁, 赵冬, 赖宗睿(139)
智能建造背景下装配式混凝土建筑的应用与发展	马煜琦, 朱磊, 赵俊丽, 容婷(144)
智能建筑物联网网络安全策略	年云浩, 李海波, 张学智, 杨柳, 张源琪(148)
基于 B1MBase的预制板配筋局部重设计方案研究与应用	王莹, 曹龙, 刘金梅(153)
基于国产 B1MBase平台的智能建造数字设计实践	赵瑞阳, 刘苗苗, 李书阳, 杨华(159)
基于降维和三要素内切圆算法的地基基础位置优化计算方法	朱贵娜, 杨悠子(164)

第四部分 双碳目标与绿色建造

双碳目标下输变电工程绿色建造数字化应用研究	陈哲, 陈聪, 刘提, 陶耀东, 吴震(172)
外窗传热系数对不同气候区居住建筑负荷和能耗的影响研究	李彤, 刘剑涛, 厉盼盼, 陈金亚(177)
移动式实验室在空间排放计量试验中的应用性研究	罗宇辰, 王卓, 张明宇, 王帆(182)
碱-激发胶囊和片剂的缓凝及自愈合效果研究	叶小斌, 黄金光, 冯坚, 卢伟超, 薛二伟, 肖勇, 陈发权(186)

夏热冬冷地区建筑运行阶段碳排放计算及减碳效益分析 张春芳 ,孙志勇(192)

基于国产 B1MBase平台的三维钢筋创建和参数化编辑方法的研究与应用
..... 张盟 , 吴瑞瑞 , 陆丹妮 ,胡培宁 ,王晓倩(198)

基于国产 B1M平台的不同结构形式建筑全生命周期碳排放研究— 以长沙市某幼儿园为例
..... 龙毅湘 , 欧鹏飞 , 易子涵 ,王佳员 , 刘平平(203)

第五部分 数字技术在工程建设全生命周期的应用

基于点云数据的 B1M模型快速复核方法研究 陈卫国 ,王利军 , 宋华国(215)

一般钢结构二阶效应系数计算及屈曲分析研究 刘孝国 ,李建燎 ,褚风根(221)

基于 B1M+G1s 的宁淮城际铁路工程项目全生命期数字化管理研究 付海清 ,黄武 , 刘友松(229)

基于 PKPM.PC的装配式建筑装配率(国标) 计算的方法研究 胡培宁 , 张盟 ,赖宗睿(234)

基于 Modelica与 x.Flow的实验室通风系统协同仿真研究 雷雪莲 , 张慎 , 陈茵 ,王义凡 , 吴燕(240)

基于实际工况的 sATwe剪跨比计算应用分析 李健 , 史建鑫 ,孙雪 ,赵昱璐(244)

基于 3DExPERENCE平台的管道支吊架建模 李井义 ,王杰(249)

PKPM与 Robotstructure软件模型复建的实现 童大云 ,臧丽 , 杨双舟(254)

数字建筑为建筑行业全生命周期注入新活力 王鹏 ,胡红国(259)

结构楼层位移比计算及控制相关问题研究 刘孝国 ,赵平安(265)

三维激光扫描技术在工程监测领域中的运用 张箭 , 章胜平 , 林武东(272)

文本数据驱动的施工安全隐患分析流程框架研究 张芸菡 , 刘塘敏 ,段未珀 , 陈珂(276)

web3.0 时代下建筑软件工具的应用及探索现状分析 张春芳(281)

第六部分 CIM 与智慧城市建设 、管理及运维

既有建筑安全监测预警与智能诊断系统研究 焦柯 ,胡成恩 , 叶文许(286)

关于建筑物联网智能运维的研究 张学智 , 赵袖先 , 年云浩 ,李海波(292)

数字孪生在电力配网系统应用的关键技术研究 朱鹤云 ,董松 , 吴尚高 ,徐元节(297)

BUILDING SCIENCE

(Monthly Journal)

sup1., Vo1.39, Mar., 2023

(1 initial issue in 1985)

Director: China Academy of Building
Research

Edited & Published:
Editorial Committee of
BUILDING SCIENCE

Address: 30 Beisan Huan Dong Lu,
Beijing 100013, China

Tel: 86.10.64517786

Fax: 86.10.84272776

E-mail: busc@263.net

Managing Editor: Huangshi. min

Distributed in China:

Post Office Code Name 2.381

Distributed Abroad:

China International Book Trading
Corporation

(GUO JI SHU DI AN)

P.O. Box 399, Beijing, China

CONTENTS

Construction of Digital Foundation Pit Engineering Case Based on Fine Design	Cai Cuo-dong, Xu Liang-yi, Xu Jie (1)
BIM Based Design Method for Automatic Arrangement of Lamps in Electric Lighting	Dai Long, Zhang Xin-ping, ru Fan, Oiwei-li, Li Ming-jia (6)
Application of Dynamo for Revit in Garden Project Sketch	Deng yong, Liu Ming-ying, Du Ming-jun, Li Dan-yang (10)
Application of BIM Technology in the Xiongan Northern Green Belt Project	Du Ming-jun, Deng yong, Liu Ming-ying, Peng yun-fei, Li Zhi-xin, Hong wen-jie (16)
Realization of Incremental Conversion of PKPM BIM Model to PDMs under Remote Collaboration	Ceng yi, Shi Cheng, wang Jian-bin, Liao Jin-peng, Liu Jun, Liu Xu-hang (22)
Three Dimensional Reinforcement Layout Design and Construction Drawing Generation of Complex Well Chamber of Pipe Gallery Based on Bimbase	Cong Xiu-feng, yang shuang-hou, sun Ming-gian, yang Zhi-yi (26)
Strengthen Core Technology and Expand Domestic BIM Application Ecology—Application of Chongqing Water Conservancy BIM Technology Management Platform	wang Liang-ping, Lei Juan, yang Cuo-wei, Cong Xiao-yong, Zou rian-ge, Lin Jian, Zhao Jun-li (31)
Drilling Optimization Method of External Corner Rock Bolt in Foundation Pit Based on BIM	Li Dan-yang, Jiao Zi-han, Chen Ke-xin, Li Zhi-xin, Hong wen-jie (34)
Research on Differentiated Software Aided Architectural Design Method Based on BIM System in China According to Design stage	Li Jia-gi, wang Xin-ying, Zhou yi-e (39)
Research and Development of 3D Site Modeling Program Based on 3DEXPERIENCE Platform CAA Framework	Meng Zhong-yong, Zhang shen (45)
R&D of BIM Based Design Software for Construction Design of Support and Hoisting of Prefabricated Components	Ni Song-hi, He Hu-kai, Oi Ming-hu, Lisi-gi (50)
Comprehensive Application of Electromechanical Pipeline in Public Construction Project Based on Domestic BIM Platform	Niusha-sha, yang wei (55)
BIM Positive Design Plotting Based on Revit Views and Filters	Oiwei-li, Zhang Xin-ping, Dai Long (59)
Application of BIM Construction Management Platform in Digital Transformation of Sewage Plant	Oiu Feng, Dai Long, wu Di, Cao Hong-ming, Oiwei-li (64)
Development of MEP Software for Design Based on Independent BIM Platform	Oiu Xiang-wu, Zhang Lei, sun Ming-gian, Zhu Jia-di, Zhang De-bao, wang rong, Zhang Hua-wei (69)

Research and Application of Reinforcement Modeling software for Concrete Members of Building Structures Based on 3DEPlatform	wang Jie,Zhang shen(74)
Detailed Design Module of Prefabricated Components Based on PKPM.PC	shu wen-jun , wu Rui-rui, ZhaoDong(79)
Realization of 3 D stelstructure Model Reconstruction Technology Based on CADDrawings	yang shuang-:hou , Cong Xiu-feng, rong Da-yun(83)
Research and Development and Application of Nuclear Power Construction Management Platform Based on B1M Technology	yang yuan-song, JiaLei, LiuHai-yang , Zhu yu-bo, wen ying-shuai(87)
Case study Investigation of B1M Model Integration Process Based on Heterogeneous Data	yang Zhi-yi, Chen Chao(93)
Extension and Application of Python in substation Frame Design software	Zhang Lei, Zhang yan-ru(97)
Application Research of Tunnel Lining Defect Information Visualization Based on B1M Platform	LiDan-yang , wang Jun , Chen Ke-xin, LiZhi-xin, Hong wen-jie(102)
PKPM structures software Data Application Programming Interface	Zhang yan-ru, LiLu , Zheng Xiao-bin, Caoyang-mei(106)
Independent B1M Platform software Development and Application	Zhang yun-yi, Zhou Pan , wang yao, Jiang Li(110)
Research and Application of Component Attribute Definition and Mounting Method Based on Domestic B1M software	Zhou yi-:e, Nan Xi, LiJia-gi(115)
Private Cloud Construction Practice in Enterprise Digital Transformation	Huang Zhuo-hua , Liu Hao, Dong wei(120)
Exploration and Practice of Data Governance in Digital Transformation of Engineering Design Enterprises	wang Jin(124)
Digital Transformation Contributes to The Construction Industry Vs strategic Goal of Dual Carbon Computing and Research of Implementations	wang yao, Liu Ping-ping , Jang Li, Zhu Feng-lei, yang wei(128)
Research on B1M Training Assessment Platform Based on Automatic Model Evaluation Technology	Fu ya-jing, yang Hua , Zhao wei, ZhaoDian , Bai wen-juan(134)
B1M Based Prefabricated Intelligent Review system and Its Application	Lu Dan-ni, Ma En-cheng , Hu Pei-ning , ZhaoDong , Lai Zong-rui(139)
Application and Development of Prefabricated Concrete Buildings under The Background of Intelligent Construction	Ma yu-gi, Zhu Lei, ZhaoJun-li, Rong ring(144)
Network security strategy of Intelligent Building Networking	Mu yun-hao, Li Hai-bo, Zhang Xue-:hi, yang Liu, Zhang yuan-gi(148)
Research and Application of the Rebar Partial Redesign Program of The Precast slab Based on B1M	wang ying , CaoLong , Liu Jin-mei(153)
Digital Design Practice of Intelligent Construction Based on B1M Base Platform	Zhao Rui-yang , Liu Miao-miao, Lishu-yang , yang Hua(159)
Optimisation Algorithm of Foundation Position Based on Dimension Reduction and The Algorithm for Three factor Inscribed Circles	Zhu Cui-na , yang you-i(164)
Research on Digital Application of Green Construction of Power Transmission and Transformation Projects under The Dual Carbon Goal	Chen Zhen , Chen Cong , Liu ri, raoyaodong , wu Zhen(172)
Influence of External window Heat Transfer Coefficient on Load and Energy Consumption of Residential Buildings in Different Climate Zones	Lirong , Liu Jian-1ao, LiPan-pan , Chen Jin-ya(177)
Application of Modular Mobile shelter Laboratory in space Emission Metrology Experiments	Luoyu-chen , wang Zhuo, Zhang Ming-yu , wang Fan(182)

studyon ThesetingRetardantand self-HealingPropertiesofCapsuleand PilAlkali-Activator.....	
..... yeXiao-bin, Huang Jin-guang , Feng Jian , Lu wei-chao, XueEr-wei, Xiaoyong , Chen Fa-guan(186)	
Carbon Emission Calculation and Carbon Reduction AnalysisinThewholeLifeCycleofBuildings	
..... Zhang Chun-fang ,sun Zhi-yong(192)	
Research and Application ofThre.DimensionalReinforcementCreation and ParametricEditingMethod Based on Domestic	
B1MBasePlatform	Zhang Ⅲeng , wu Rui-rui, Lu Dan-ni, Hu Pei-ning , wang Xiao-gian(198)
studyon theLife.CycleCarbon Emission ofBuildingswithDiferentstructuralFormsBased on DomesticB1 M Platform	
— ACasestudyofaKindergarteninChangsha	Long yi-xiang , Ou Peng-fei, yiZi-han , wang Jia-yuan , Liuping-ping(203)
Research on Method ofQuick ModelCheckingBased on B1M and PointCloud Data	
..... Chen wei-guo, wang Li-jun , song Hua-guo(215)	
Research on second. 0 rderEffectCoeficientand BucklingAnalysisofGeneralstelstructures	
..... LiuXiao-guo, LiJian-liao, Chu Feng-gen(221)	
Research on TheDigitalManagementofRailwayEngineeringProjectsBased on B1M+G1s	
..... Fu Hai-ging , Huang wu , Liu you-song(229)	
Research on Calculation Method ofPrefabrication Rate(GB) ofPrefabricated BuildingBased on PKPM.PC	
..... Hu Pei-ning , Zhang Ⅲeng , LaiZong-rui(234)	
Co.simulation ofLaboratoryV entilation systemBased on Modelicaand x.Flow	
..... LeiXue-lian , Zhang shen , Chen Han , wang yi-fan , wu yan(240)	
Application AnalysisofsATwEshearspan RatioCalculation Based on ActualEngineeringConditions	
..... LiJian ,shiJian-xin,sun Xue,Zhaoyu-lu(244)	
ModelingofPipeHangerBased on 3 DExPERENCEPlatform	LiJing-yi, wang Jie(249)
studyon softwareModelTransformation between PKPM and RobotstructureAnalysis.....	
..... rong Da-yun , Zang Li, yang shuang-Zhou(254)	
DigitalArchitecture1 njectsNewV italityintoThewholeLifeCycleofTheConstruction 1 ndustry	
..... wang Peng , Hu Hong-guo(259)	
Research on Calculation and ControlofstructuralFlorDisplacementRatio.....	LiuXiao-guo, ZhaoPing-an(265)
Application of3 D LaserscanningTechnologyinEngineeringMonitoring	Zhang Jian , Zhang sheng-ping , Lin wu-dong (272)
TextDataDriven Construction safetyHazard AnalysisProcesFramework study	
..... Zhang yun-han , LiuJun-min, Duan wei-xun , Chen Ke(276)	
AnalysisofTheApplication and Exploration ofArchitecturalsoftwareTolsinTheEraofweb 3.0	Zhang Chun-fang(281)
Research on ThesystemofsafetyMonitoring, Earlywarningand 1 ntelligentDiagnosisforExistingBuildings	
..... JiaoKe,Hu Cheng-en ,yewen-xu(286)	
Thinkingon A10Ps ofBuilding1 nternetofThingssystem	Zhang Xue-hi,ZhaoXiuxian , Ⅲou yun-hao,LiHai-bo(292)
Research on KeyTechnologiesofDigitalTwinApplied inThesystemofPowerDistribution	
Zhu He-yun , Dong song , wu shang-gao, Xu yuan-jie(297)	

面向精细化设计的数字基坑工程案例库建设

蔡国栋,徐良义,许杰(上海勘察设计院(集团)有限公司,上海 200093)

[摘 要] 随着我国城市建设的快速发展,城市各类基础设施及地下空间得以迅速开发,基坑工程向着更深、更大、更复杂、信息化要求更高的方向发展,而基坑围护工程作为基坑工程的重要组成部分,其设计的要求也越来越高。与此同时,数字化技术和 BIM 技术在建筑行业都有着不错的应用,国家和地方政府也相继出台了一系列的政策支持。数字模型是重要的数字资产,本文提出了基于图纸及多源数据的数字基坑快速建模技术,将基坑三维数字成果集成至数字基坑案例库,梳理案例库建设所需信息清单,构建数字基坑数据库,基于多层次对项目进行分类与整合。同时,搭建了面向工程人员的数字基坑案例平台,为工程人员提供信息全面、展示效果丰富的数字化基坑档案。对于经验不足的工程人员具有很好的教育意义,让工程师具备丰富的基坑风险处置经验。

[关键词] 基坑工程; 数字化; 案例库

Construction of Digital Foundation Pit Engineering Case Base on Fine Design

Cai Guo-dong, Xu Liang-yi, Xu Jie(Shanghai Geotechnical Investigation & Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200093, China)

Abstract: With the rapid development of urban construction in our country, all kinds of urban infrastructure and underground space have been rapidly developed. The foundation pit project is developing in the direction of deeper, larger, more complex and higher information requirements. As an important part of the foundation pit project, the design requirements of the foundation pit support project are also getting higher and higher. At the same time, digital technology and BIM Technology have been widely applied in the construction industry, and the national and local governments have also issued a series of policy support. The digital model is an important digital asset. This paper presents a rapid modeling technology based on drawings and multi-sourced data, integrates the three-dimensional digital achievements of the foundation pit into the digital foundation pit case base, combines the information list required for the construction of the case base, builds the digital foundation pit database, classifies and integrates the projects based on multiple levels, builds a digital foundation pit case platform for engineering personnel, and provides comprehensive information. Display the digital foundation pit archives with rich effects. It is of great educational significance to the inexperienced engineering personnel, and enables the engineers to have rich experience in foundation pit risk disposal.

Keywords: foundation pit; digitization; case base

0 引言

随着我国城市建设的快速发展,城市各类基础设施及地下空间得以迅速开发,基坑工程向着更深、更大、更复杂、信息化要求更高的方向发展,而基坑围护工程作为基坑工程的重要组成部分,其设计的要求也越来越高。与此同时,数字化技术和

BIM 技术在建筑行业都有着不错的应用,国家和地方政府也相继出台了一系列的政策支持。国家“十四五”规划中明确提出建设智慧城市,以数字化助推城乡发展和治理模式创新,全面提高运行效率和宜居度,分级分类推进新型智慧城市建设,探索建设数字孪生城市。《2021 年上海市城市数字化转型重点工作安排》中明确指出,加快提升城市基础设施数字化水平,建设数字孪生城市 CIM 试点示范工程。2020 年 4 月湖南省发布的《BIM 审查系统将于 6 月试运行》中指出,将分阶段开展 BIM 审查,建设单位在申报施工图审查时,应同步提交二维施工图和 BIM 模型。基坑工程属于临时结构,在 BIM 咨询

[收稿日期] 2022-11-15

[基金项目] 上海科学技术委员会社会发展科技攻关项目(21DZ1204100)

[作者简介] 蔡国栋(1991-),男,硕士,研发工程师

[联系方式] E-mail: caiguodong@sgdi.com

的环节中,仍不受重视。对于部分重大工程项目的基坑工程,才会采用基本的梁、板、柱等系统族文件来模拟基坑结构,因此,基坑围护工程仍是数字化程度比较低的环节之一。

现阶段,我国的 BIM应用水平还处于初期发展阶段,相关的制度和标准还不够完善,且 BIM 软件的开发还处在初步阶段。政府也做出了相应的积极响应,大力出台相关政策激励企业实施 BIM 的应用,从 2016 年起陆续出台了《建筑信息模型应用统一标准》(CB/T51212-2016)^[1]、《建筑信息模型施工应用标准》(CB/T51235-2017)^[2]、《建筑信息模型分类和编码标准》(CB/T51269-2017)^[3]、《建筑信息模型设计交付标准》(CB/T51301-2018)^[4]和《建筑信息模型存储标准》(CB/T51447-2021)^[5]共计五部国家标准,针对岩土工程信息模型,继上海之后,北京、天津也出台了相应的岩土工程信息模型标准,填补了建设工程全生命期中岩土工程领域 BIM技术标准的空白^[6-7]。

国内 BIM软件如北京理正、互联立方以及广联达等多家知名软件同样也发展迅速,但是这些软件都没有非常成熟。在实际工程中,欧特克公司系列软件 Autodesk Revit以其能够提供具有详细的模型和准确无误的施工模型的优势,在中国已经占据了一定的市场,但是这些软件在国内本土化的应用中存在较多的缺陷,并且软件定位于建筑、结构、水电、设备等专业,不能满足相应的岩土工程的设计需求。在设计成果展示方面 BIM 具有独特的优势。BIM技术可以运用到基坑支护设计方案中,利用其强大的建模能力,对基坑支护平台进行详细的三维建模。在基坑支护设计方案展示和评审中,运用三维模型可以让专家和业主更加直观地了解设计的整体意图和最终建成的效果。目前 BIM 技术在基坑围护设计中的应用主要包括基坑三维可视化、基坑开挖模拟、基坑围护结构碰撞检查、基坑安全监测等方向。

本文基于重大基坑工程项目的的需求,梳理案例库建设所需信息清单,构建数字基坑数据库,搭建面向工程人员的数字基坑案例平台,为工程人员提供信息全面、展示效果丰富的数字化基坑档案。同时本项目继承了基坑快速建模技术,并对此技术进行了改进。同时,采用并基于 Revit的二次开发技术、参数化快速建模技术以及数据标准与模板技

术,实现了基于多源数据一键生成基坑围护模型。

1 数字化标准和构件库建设

岩土工程信息模型创建离不开标准化的构件族,种类齐全、管理有序、查找便捷的参数化构件族会极大地提升建模效率。针对基坑围护设计专业开展 BIM研发工作,优化基坑围护设计构件库,细化构件分类,实现统一人库管理。基于调研成果,形成案例库收集的信息清单与模板(详见表 1),清单中包含基坑围护设计中常用的信息,主要包括工程编号、工程名称、项目地址以及开挖面积等,这些信息用于后续的分析与应用。

表 1 基坑围护案例库属性信息清单

Table1 Attributeinformationlistoffoun4 ation pitsupportcasebase					
序号	类型	说明	序号	类型	说明
1	工程编号	必填	14	风险等级	选填
2	工程名称	必填	15	剖面位置	选填
3	项目地址	必填	16	历史保护建筑	选填
4	开挖面积	必填	17	周边建筑物类型	选填
5	基坑周长	必填	18	周边建筑物距离	选填
6	基坑安全等级	必填	19	局部深坑的深度	选填
7	环境保护等级	必填	20	风险信息	选填
8	围护形式	必填	21	围护最大变形量	选填
9	围护深度(m)	必填	22	地表最大沉降量	选填
10	围护宽度(mm)	必填	23	局部处理工法	选填
11	止水帷幕形式	必填	24	止水帷幕型号	选填
12	基坑挖深	必填	25	止水帷幕深度	选填
13	重要性等级	选填			

构件是 BIM模型的基本组成图元和数据单元,是模型参数化过程中的信息载体,具有独立、可参数化驱动和可复用等特点。同时,构件也是基于 BIM 的城市地下空间岩土工程数字化协同应用中重要数据组成单元,提供构件级细度的工程信息采集数据。一般地,BIM模型构件的积累和应用会使项目建模效率和标准化程度大大提高。岩土工程信息模型标准体系的建立为标准化构件资源的积累提供了契机,标准化构件的共享与使用也将提高项目建模效率、质量和规范性,更快地建立起项目应用模型及开展协同应用。

BIM模型在创建过程中,建模人员会根据应用

目标和信息交换需求将所需信息封装进模型当中,信息录入的方式即通过赋予构件所需的各类参数来实现。(详见图1)在构件中可以控制其尺寸、形状、表观材质等参数变量,通过此方式可批量建立标准图集集中的构件来提高建模效率。

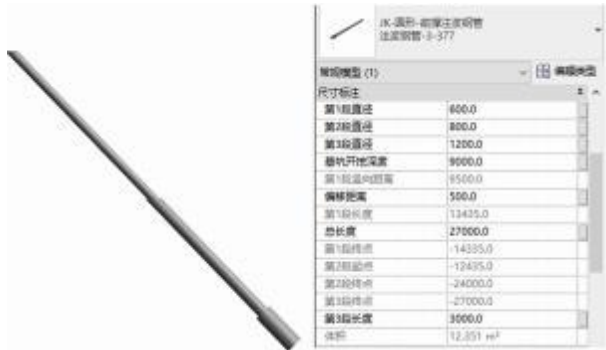


图 1 参数化构件模型
Fig. 1 Parametriccomponentmodel

2 基坑建模工具库软件研发

基坑围护建模前应明确该模型的建模深度,按需适度建模,使模型达到合理的使用性能,同时合理控制建模的成本。基坑围护模型应包含且不限于以下内容:场地(含红线)、环境、地层、挡土结构、止水体系、支撑体系、加固体、栈桥板、监测点、降水结构、地下主体结构等内容。

基坑围护模型应按照符合工程要求的有序规则进行,成为后续应用的有效的数据资源,供设计、施工、监测等各个环节发挥应有的价值。基坑围护信息模型创建分为几何信息模型创建和非几何信息集成。

基坑 BIM模型建模宜采用本企业提供的项目样板进行创建,宜先建立竖向标高体系,包括且不限于:场地标高、基坑底标高、支撑标高等关键竖向标高,标高命名宜安装场地标高、基坑底标高、支撑轴线标高等形式进行命名。场地标高及坑底标高宜分别建立地形,基坑外地形按照地表标高、坑底地形按照基坑开挖后标高分别建立,并宜赋予材质

表现,具体软件界面见图2。

基坑挡土及止水体系宜在地表标高视图上,采用断面模块化进行创建,按照分段线,定义选择的围护体系,然后按照分段线进行线性布置。基坑支撑可选择梁系统布置。基坑包含锚杆或者锚索体系的宜安装模块化线性布置,或者创建包含锚杆或者锚索的模块化断面进行快速建模。

基于 Revit平台,通过读取 Excel数据实现族类型的快速创建,主要包括围护结构、支撑结构、立柱结构、斜抛撑、注浆钢管桩以及型钢等族类型,提高了族类型创建的效率,而族类型是后续建模的基础。详细建模流程见图3^[8]。

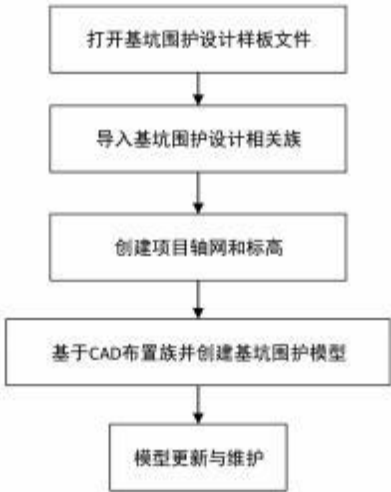


图 3 基坑围护模型创建过程
Fig. 3 Theprocessoffoundation pitmodeling

基于 Revit平台实现了 CAD图层和族类型信息的获取,通过曲线之间的关系运算获取族实例的位置,一键创建基坑围护模型,主要包括水平支撑、搅拌桩、灌注桩、倒角以及斜抛撑等模型。具体界面见图4。

3 数字基坑案例库平台

数字基坑案例库平台是一套基于三维基坑数字模型的案例知识分享与管理系统,旨在通过三维



图 2 基坑建模软件界面
Fig. 2 Foundation pitmodelingsoftwareinterface



图 4 基坑模型参数化建模界面

Fig. 4 Parametric modeling interface of foundation pit model

数字载体提供设计案例分享与经验传递。软件主要功能包括: 案例信息、工法展示、风险回溯、案例文档、统计分析、方案等。

该平台是一个企业级项目管理平台,以数字基坑模型为载体,关联相关勘察、设计、施工等资料信息,包含了报告、图纸、数据等数字文档格式。部分能与数字模型强关联的信息,能够通过模型动态演变进行展示,对于无法强关联信息,则通过资料清单,按照专业类型进行分类管理。具体平台创建框架见图 5。



图 5 案例库建设流程

Fig. 5 Construction process of case base

界面包含了案例库项目清单列表,通过点选可以快速定位并进入该项目(见图 6)。

项目清单还可以通过卡片形式进行展示与切换,卡片上带有项目的基本信息及展示图片(见图 7)。



图 6 案例库项目列表

Fig. 6 Project list of case base



图 7 项目列表卡片模式

Fig. 7 Card mode of project list

项目属性通过项目信息表获取,信息包含项目名称、围护类型、工程状态、项目等级、项目简介、项目相关照片等信息(见图 8)。



图 8 项目信息表

Fig. 8 Information card of project

与项目强关联的施工工况与进度信息,已经写

人模型属性,可通过前端开发,实现施工工况动态播放功能,可以在网页轻松展示项目的施工流程(见图9)。

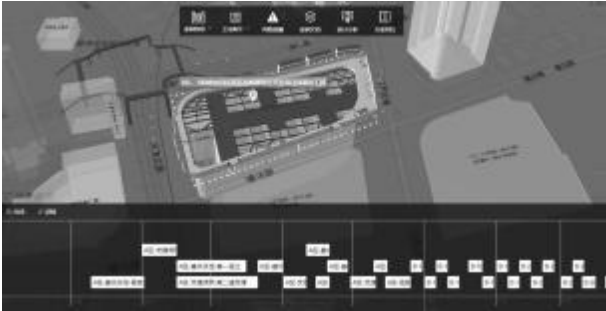


图9 项目工程进展情况
Fig. 9 Project progress

本平台是一个企业级平台,当项目数量上升至一定规模之后,即可进行项目的统计分析,例如,项目分布区域统计、项目围护类型统计、项目风险源信息统计,便于企业从宏观层面了解基坑产品线的总体情况(见图10)。



图10 基坑案例库统计分析看板
Fig. 10 statistical analysis of case base

对于项目前期的方案阶段,平台还可以通过模拟不同方案的进度对比展示,这对于项目在前期方案选型阶段具有辅助决策的作用(见图11)。

6 结论

本文首先提出案例库收集的信息清单与模板,

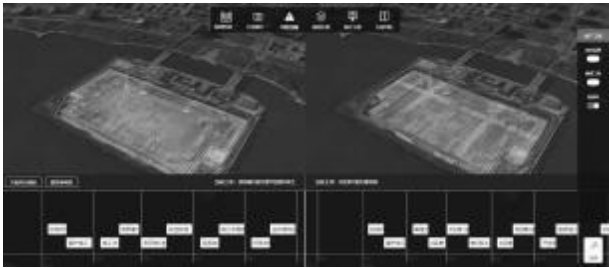


图11 基坑方案比对分析
Fig. 11 scheme comparison function

形成案例收集标准化的流程,收集基坑项目的资料,并按照一定的规则对资料进行整理。面向岩土工程设计专业,基于Revit二次开发对既有的基坑建模软件进行深化研究,实现了一键创建BIM模型,创建模型的效率得以提高,对比与手动建模。自动化建模时间缩短为原来的1/5。通过面向设计BIM应用的数字基坑案例库的搭建,实现基于BIM模型的数字基坑案例库建设,满足基坑围护方案展示及技术推广等需求,借助于BIM技术,研究出相应的数字基坑案例平台,推动BIM在行业领域的深度应用,提升基坑围护设计服务的质量。从应用角度来讲,推动了BIM在基坑围护设计领域的融合应用,符合政策期许和要求,促进了BIM技术的真正落地。

参考文献

[1] CB/T51212 -2016 ,建筑信息模型应用统一标准[s] .
[2] CB/T51235 -2017 ,建筑信息模型施工应用标准[s] .
[3] CB/T51269 -2017 ,建筑信息模型分类和编码标准[s] .
[4] CB/T51301 -2018 ,建筑信息模型设计交付标准[s] .
[5] CB/T51447 -2021 ,建筑信息模型存储标准[s] .
[6] DC/TJ08 -2278 -2018 ,岩土工程信息模型技术标准[s] .
[7] DB11/T1982 -2022 ,岩土工程信息模型设计标准[s] .
[8] 许杰,蔡国栋,徐良义,黄永进,杨石飞,鹿存亮,彭艾鑫,尚颖霞,邵俊 .一种基于BIM的基坑围护工程剖面出图方法[P] .上海市 :CN110782522 A,2020 -02 -11 .

基于 BIM 的电气照明房间灯具自动布置设计方法

戴龙, 张辛平, 涂帆, 齐维丽, 李闵佳(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

[摘 要] 传统的电气灯具布置以 AutoCAD 通过插入块的方式或者基于 AutoCAD 开发插件的方式进行, 这种半自动化的设计方式, 仍存在无意义的重复性机械操作, 设计效率低^[1], 本文提出一种基于房间空间分割及照度计算的灯具自动布置算法, 结合 Revit 二次开发技术, 实现了 BIM 空间中灯具位置精确定位和灯具布置方案比选, 实时查看灯具布置效果。该方法经过实际工程项目应用和检验, 能有效提高电气工程师灯具布置时的设计效率。

[关键词] 照度计算; BIM; 灯具自动布置

BIM Based Design Method for Automatic Arrangement of Lamps in Electric Lighting

Dai Long, Zhang Xin-pin, Tu Fan, Qi Wei-li, Li Min-jia (China Municipal Engineering Central Research and Design Institute Co., Ltd, Wuhan 430010, China)

Abstract: The traditional electrical lighting layout is carried out by inserting blocks in AutoCAD or developing plug-ins based on AutoCAD. This semi-automatic design method still has meaningless repetitive mechanical operations and low design efficiency^[1]. This paper proposes an automatic lighting layout algorithm based on room space division and illuminance calculation. Combined with Revit secondary development technology, it realizes the accurate positioning of lighting and the comparison and selection of lighting layout schemes in BIM space. View the layout effect of lamps in real time. This method has been applied and tested in practical projects, and can effectively improve the design efficiency of electrical engineers when arranging lamps.

Keywords: Illuminance calculation; BIM; Automatic arrangement of lamps and lanterns

0 引言

BIM 技术是利用计算机图形设备帮助设计人员进行三维设计的一种技术, 通过三维可视化的表达能增强设计人员对设计的体验感, 减少设计失误, 提高设计灵活性^[2]。近些年来, BIM 技术在设计行业中得到普及和推广, 通过 BIM 技术的应用, 提前暴露设计问题^[3], 从而进一步优化设计及施工方案, 为后期施工提供技术支持, 达到加快施工进度, 提高工程质量, 降低施工成本的效果, 为今后的安装工程施工提供借鉴^[4]。

"市政工程 BIM 设计和施工应用技术" 作为我院申请的住房和城乡建设部研究与开发重大课题

项目, 课题涉及推广基于 BIM 的协同设计, 研究开发基于 BIM 的集成设计系统及协同工作系统, 实现建筑、结构、水暖电等专业的信息集成与共享, 优化设计流程, 提高设计质量和效率。其中电气照明灯具自动布置是电气设计模块中的重要组成部分。本文通过介绍基于 BIM 的电气照明房间灯具自动布置设计方法, 为电气设计提供高效的设计工具。根据本院数字化转型和 BIM 正向设计业务需求, 由各专业根据设计需求的现实需要提出具体的设计想法, 进行需求汇总和需求分析后形成需求文档, 最终根据功能点设计整合成不同专业的功能模块。其中针对电气专业需求, 主要包括电气族库、电气防雷计算、防雷网自动布置、负荷计算、电缆统计、电气设备自动连接、电气照度计算及灯具自动布置等, 本文主要以电气照度计算及灯具自动布置需求进行设计思路的阐述。

[收稿日期] 2022-11-10

[基金项目] 住建部研究开发类项目市政工程 BIM 设计和施工应用技术(K20210574)

[作者简介] 戴龙(1989-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事市政工程 BIM 正向设计方面的研究

[联系方式] E-mail: 522787489@qq.com

1 设计思路

本文的主要目的是基于 BIM 电气设计场景下实现三维灯具模型自动布置·为工程电气照明模型的布置提供更加直观的表达方式。本文中的 BIM 建模软件为 Autodesk Revit2016·总体设计思路如图 1 所示。

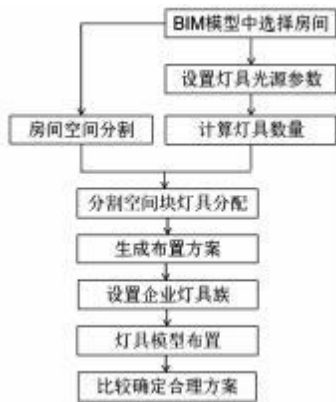


图 1 总体设计思路

2 设计方法

2.1 房间选择

将 RevitBIM 模型切换至楼层平面视图·利用建筑面板下的房间功能对墙体包围而成的封闭空间可以用房间进行标记·然后通过 RevitAPI接口实现 IselectionFilter 接口构造房间过滤器 RomselectionFilter 类·然后通过 selection 类的 PickObject(ObjectType selectionFilter) 接口完成房间选择的交互操作·进而获取房间 Room 对象几何信息^[5]。

2.2 设置灯具参数

通过 C# winform 开发窗体设置灯具光源的种类、功率、光通量、整流器功率、利用系数、维护系数、规范要求的照度值和功率密度规范值参数。

2.3 房间灯具数量计算

根据建筑照明设计标准和照明设计手册采用利用系数平均照度发计算房间布置灯具数·并进行反算验证照度值和功率密度。

$$E = N \cdot \Phi \cdot U / A \quad (1)$$

式中: N 为灯具数量; E 为照度; Φ 为光通量; U 为利用系数; K 为灯具维护系数; A 为工作面面积^[6]。

根据式 1 转换可以通过其他参数计算 N 的值·

可通过程序交互操作得到的 Room 对象提取有效面积属性·照度 E 、光通量 Φ 、利用系数 U 、通过步骤 3.2 设置参数获取·根据公式计算值向下取整得到房间灯具数量 N ·对照度 $E = N \cdot \Phi \cdot U / A$ 进行反算·并与照度要求值进行比较。实际安装功率 = 灯具数 \times (总光源功率 + 镇流器功率)·实际功率密度 = 实际安装功率 / 面积·将实际功率密度与功率密度规范值进行比较·判断是否满足规范要求^[7]。

2.4 房间边界提取

利用 RevitAPI 获取房间 Boundary 边界数组集合·程序遍历 Boundary·获取每条 BoundarySegment 对应的 Curve·构造房间的 Curve 集合 (Curve 为非连续状态)·边界提取流程如图 2 所示。



图 2 房间边界提取流程

2.5 构造连续的房间边界线集合

根据多边形裁剪需要按照交点连续排序的要求^[8]·利用前一条线的终点与下一条线的起点重合的原理·从 Curve 集合中利用循环方式和 stack 结构构造出有序的多边形 Curve 集合。

2.6 获取房间多边形的连续有向的点集合

根据有序多边形集合·遍历取出集合中的每条 Curve·通过 Curve 类如下方法

```
public XYZ GetEndPoint( int index ) ;
```

获取起点 (index=0) 或终点 (index=1)·进而构造出房间多边形的有向顶点集合。

2.7 房间多边形空间划分

根据房间连续有向点集合表示多边形 Polygon·由于空间分割需要借助第三方 ClipperLib 库·其基准数据类型为 Int64·后续按照如下步骤进行: (1) 需要将 Revit 点中为值类型为 double 尺寸单位类型为 feet 的坐标 (X·y·Z) 分量转成毫米单位·然后转成 Int64·考虑到转换精度误差·将坐标 X、y、Z 均放大 10^2 倍; (2) 获取多边形外包矩形; (3) 从多边形中随机找出一条边 L·当满足边的中点在外包矩形中·则利用该边延伸至超出外包矩形边界长度 d; (4) 利用 L 和外包矩形的最大 minPoint 最小点 maxPoint 分别构造矩形 P_1 和 P_2 ·把房间对象和构造矩形分别构造 Path·利用 ClipperLib 进行计算几何布尔相交运算·构造过程如图 3 所示:

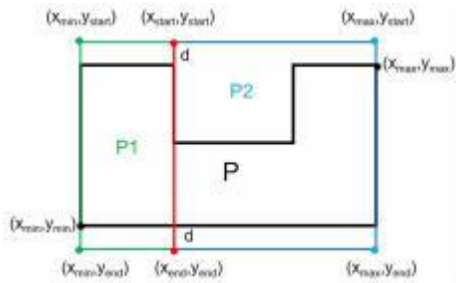


图 3 空间分割示意图

空间划分的核心代码如下所示：

```
Clipperclipper= newClipper() ;
//添加构造的矩形路径
clipper. AddPath ( constructClipPolygon ,
PolyType.ptClip, true) ;
//添加被裁减的房间路径
clipper.AddPath ( targetPolygon , PolyType.
ptsubject, true) ;

PolyTrepolyTre= newPolyTree() ;
clipper.Execute( ClipType.ctIntersection ,
polyTre,
PolyFilType. pftNonZero,
PolyFilType. pftNonZero) ;
```

将计算结果进行遍历，如果计算成功，利用相交多边形相连两边的夹角是否接近 0 或 π 对杂点进行清除；(6) 根据过滤后的相交多边形点数判断执行逻辑：

- 若 $p < 3$,分割过程中断；
- 若 $p = 3$,则同样利用外包矩形构造矩形添加至结果集；
- 若 $p = 4$,则直接添加至结果集；
- 若 $p \geq 4$,则递归第(3) ~ (7) 步。

2.8 按分割出的多边形面积分配灯具数量

通过分割出矩形块按照面积分摊整个房间的灯具个数，若分摊个数为小数，则向下取整，取整后为 0 的分摊为 1，将分摊后总数的差额继续分摊到面积最大的矩形块上。

2.9 创建灯具布置方案

根据每个分割块和分摊的灯具数量生成灯具自动布置方案，考虑到矩形长度 w 和宽度 h 对灯具布置美观性的影响，对分割块的分摊灯具数 m 从 1 至 m 递归，划分横向能布置灯具数 Row 和纵向能布置数 $Column$ ，若 $w \geq h$ ，以纵向布置为主，否则以

横向布置为主，按照均匀布置的规则，生成布灯方案，若房间可以划分为子区域 (R_1, R_2, \dots, R_m) ，每个子区域对应生成的布置方案为分别为 (n_1, n_2, \dots, n_m) ，根据排列组合，则整个房间的布置方案总共为 $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_m$ 种，方案结果如图 4 所示。



图 4 布灯方案

2.10 根据方案计算布置点的坐标集

根据方案的每个分割块 Row 和 $Column$ 计算灯具在平面位置的点集合。

```
List< XYZ3 planPoints= newList< XYZ3
();

double rowH= height/ lampPlan. Row;
double columnw = width/ lampPlan. Column;
for( intr= 1 ; r< = lampPlan. Row; r+ + )
|
for( intc= 1 ; c < = lampPlan. Column; c+ + )
|
double px= minPoint. X + ( c-0.5 ) *
columnw;
double py= minPoint. Y + ( r-0.5 ) *
```

rowH;

```
planPoints.Add( newXYZ(px, py, 0)) ;
```

!

!

2.11 根据坐标集创建灯具 BIM 模型实例

计算的灯具布置点坐标解决了平面位置的问题,灯具的空间位置根据当前平面视图标高和安装高度确定,获取 Revit模型平面视图的标高 level,结合 winform 窗体输入人的灯具安装高度 h,利用 RevitAPI的如下方法

```
double hlet = h * 1000 / 304.8 ;
```

```
Level.Create( doc, level.Elevation + hlet) ;
```

创建灯具安装位置处的标高 level,并根据每个分割块的 planPoints的平面位置坐标及窗体选择的灯具族文件,获取灯具族类型 FamilySymbol,最后在 RevitAPI中创建事务,利用 Document类中的

FamilyInstance NewFamilyInstance (XYZ location, FamilySymbol symbol, Level level, structuralType structuralType)方法批量创建灯具族实例,从而完成灯具在 BIM模型中的自动布置,不同方案布置效果如图 5 所示。

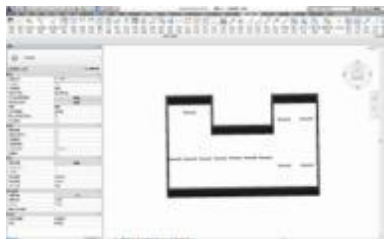


图 5 灯具布置方案效果 1

如图 5 所示,照度计算结果为 12 盏灯具,分割算法将房间划分为 3 块空间,分别对应 1 x 1、2 x 2、1 x 7。

如图 6 所示,照度计算结果为 12 盏灯具,分割算法将房间划分为 3 块空间,分别对应 1 x 1、4 x 1、1 x 7。

3 结论

通过对实际设计过程中实际使用情况分析总结,该算法能在设计过程中提升建模人员 50%的效率。此外,算法根据房间的空间位置计算得到多种布灯方案供实际使用选择,也在一定程度规避了因对 Revit软件不熟悉导致建模效率低下问题,使之



图 6 灯具布置方案效果 2

能高效且准确地完成专业灯具布局工作。有了准确灯具布置方案,能更有效地推动后续建模工作开展,体现出 BIM 技术在自动化建模方面所具备无可比拟的优势。本文对提出的实施方案从计算几何的角度做出了理论上的阐述,同时对实施的效果进行了对比展示,可以看出,本方案在灯具自动布置上有较好的实践效果。该方案既可以在 BIM 软件设计平台基础上以族的方式代替 AutoCAD中图块的方式进行,保留传统电气设计的习惯,又可以直接以房间直接作为切入点,利用 BIM二次开发插件集成照度计算和房间灯具自动布置功能,节省设计时间,提高设计效。下一步将进一步研究带有弧形等异形结构墙组成的房间的灯具自动布置解决方案,实现模型空间布置更好的兼容性,提高软件功能的可靠性和适配性。

参考文献

- [1] 熊向前,陈汉卿.浅谈 BIM技术在建筑机电工程安装过程中的应用[J].四川建筑,2022,v.42;No.205(03):66-68.
- [2] 周莹,陈泽毅.基于 Autodesk RevitMEP的电气设计[J].电气应用,2014,v.33;No.384(06):68-72.
- [3] 李新元,景海涛.基于 BIM 的室内空间信息表达与管理方法[J].测绘与空间地理信息,2021,v.44;No.272(12):40-42+45.
- [4] 杨娜.基于建筑信息模型的电气照明自动设计研究[D].华东交通大学,2021.
- [5] 高磊.RevitMEP软件在电气设计环节中的应用[J].智能建筑电气技术,2013,v.7(01):123-125.
- [6] 李栋,王宇杰.基于 RevitAPI的 BIM数据提取方法研究[J].现代信息科技,2020,v.4(19):21-23.
- [7] 北京照明学会照明设计专业委员会.照明设计手册[M].中国电力出版社,2016.
- [8] 彭杰,刘南,唐远彬,杜震洪等.一种基于交点排序的高效多边形裁剪算法[J].浙江大学学报(理学版),2012,v.39(01):107-111+122.

Dynamo for Revit 在园林项目小品中的应用

邓勇¹, 刘明英¹, 杜明君¹, 李丹洋² (1.北京城建集团有限责任公司, 北京 100088; 2.北京华筑建筑科学研究院有限公司, 北京 100176)

[摘 要] 园林项目中都会有功能简明、体量小巧、造型别致、点缀环境的小品,可以为游人在园林公共区域提供活动便利,同时又能在烘托美好的园林氛围。园林小品数量繁多,分布在园林整个开放的绿色空间内, BIM工程师手动摆放小品模型效率极低,同时容易出现漏放、少放等缺失小品情况。本文基于 DynamoForRevit低代码可视化编程软件,利用程序脚本生成小品模型,从而实现园林小品模型批量布置和智能旋转小品角度的效果。保证定位准确、模型齐备、放置高效,同时可将这种方法推广到类似应用中。

[关键词] 园林项目; BIM; Dynamo; 园林小品

Application of Dynamo for Revit in Garden Projects sketch

Deng yong¹, Liu Ming-ying¹, Du Ming-jun¹, Li Dan-yang² (1. Beijing Urban Construction Group Co., Ltd, Beijing 100088, China; 2. Beijing Hua-hu Building Research Institute Co. LTD, Beijing 100176, China)

Abstract: Garden projects will have a simple function, small size, unique shape, embellishment of the environment of the sketch, can provide convenient activities for visitors in the garden public area, but also in setting of the beautiful garden atmosphere. There are a large number of garden sketches, which are distributed in the whole open green space of the garden. It is extremely inefficient for BIM engineers to manually place the sketch model, and it is easy to miss the sketch and put it. Based on Dynamo For Revit low-code visual programming software, this paper uses program scripts to generate garden sketches to ensure accurate positioning, complete models and efficient placement. Meanwhile, this method can be extended to similar applications.

Keywords: garden project; BIM; Dynamo; garden sketch

0 引言

西方园林与东方园林、伊斯兰园林共同构成世界园林的三大体系。园林建筑小品的发展历程生动地记录和反映了人类探索自然、认识自身与世界关系、生产与生活方式的变迁^[1]。现代园林项目中功能简明、体量小巧、造型别致、点缀环境的小品,可以为游人在园林公共区域提供活动便利的同时,又能在烘托美好的园林氛围。

国外 BIM 发展早于国内,最早的 BIM 建模技术可以追溯到 1962 年,研究人工智能的美国专家道格拉斯·英格尔伯特(Douglas C. Englebart,即鼠标的发明者)在其《增强人工智能》(Augmenting Human

Intellect)一文中,就已经提出了建筑师在计算机中创建三维建筑模型的思想,提出了基于对象的设计、实体建模、参数化建模和关系型数据库等现代 BIM 技术的关键理论^[2]。在英国,以 BIM 为典型代表的数字化建造,也被认为是解决建筑业难以实现批量化和标准化的重要途径^[3]。欧特克推出 Dynamo 可视化编程软件是加快数字化建造步伐,更加智能的优化现有 BIM 软件工作流,强化建模技术和信息互导。

近些年国内一直大力推行 BIM 技术,以信息化和数字化集成的技术在国内都得到了快速发展和认可。目前 BIM 技术已经在园林项目中广泛应用。如:金湖公园的设施小品包含室内外的栏杆扶手、灯具、指示牌和垃圾桶等。这些设施小品的造型各异,但都是由标准体块组合而成,均由 Revit 进行建模,运用其参数化引擎控制空间几何参数与类型参数。完成各类设施小品族模型的创建后,通过

Dynamo插件实现批量放置^[4]。同时项目级 BIM 实施过程也不再是靠工程实务认知和软件熟练度支撑,而是将工程实务知识、BIM软件和项目管理经验相互为依托,优化整体项目实施 workflow。BIM 技术发展正在潜移默化的改变着我们现有的工作模式。

当前国内外 BIM 技术在各个工程行业应用广泛,数字化进程正一步步向前推进,而园林项目由于多处于开阔地带,体量庞大,小品数量、种类繁多的特殊性,BIM 技术在该领域的研究十分受限,缺少项目经验的同时,其批量化、标准化程度不高。即使通过程序批量放置小品族模型,但无法控制调整其角度,导致后期 BIM 工程师需要大量返工调整,同时漏放、少放小品等情况层出不穷。在紧张的工期中,带给了 BIM 工程师很大的建模实施挑战。

DynamoforRevit 可为 BIM 工程师解决园林小品高效创建模型、精准定位、信息交互等问题^[5]。使用 Dynamo 为实现园林小品信息化提供有力保障。园林小品在 BIM 技术应用领域依旧蕴藏巨大价值。

1 项目概况

园林小品是一种传统文化艺术形式的表达,广泛渗入于园林景观设计中如图 1 所示。但是小品种类、数量众多,分布在整个园林范围内。在搭建模型时小品图元生成,为整体的模型制作提升了难度。

在之前项目中,都是根据地图定位,挨个放置小品构件,容易造成模型漏放,定位出现偏差,小品角度旋转不到位等问题。同时这种重复性工作,在 BIM 工程师加班加点的情况下,依旧拖慢整体的实施进度。针对此特点,决定利用 Dynamo 软件工具,



图 1 园林小品

批量、高效、精准定位小品构件。

2 整体技术路线

利用 DynamoForRevit 小品实现批量创建,具体技术路线如图 2 所示。

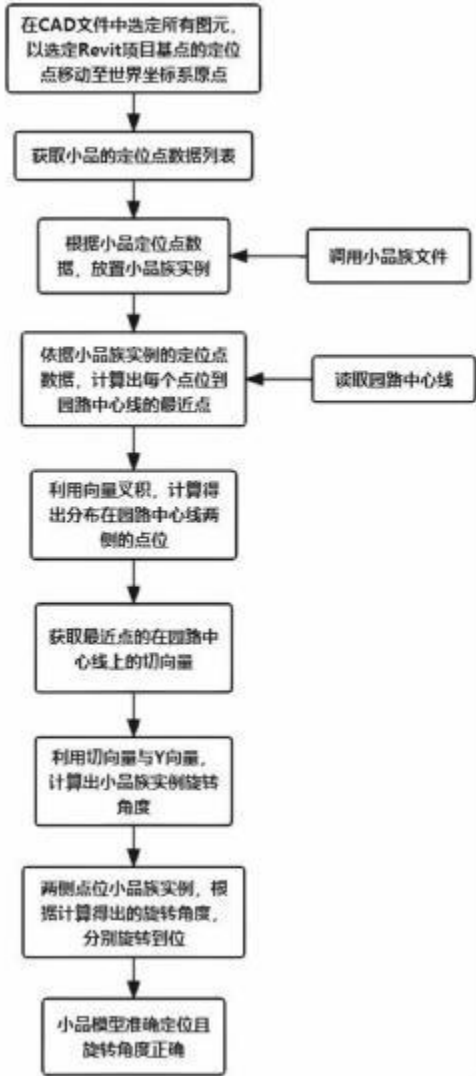


图 2 整体技术路线

首先根据项目概况所具备的基本条件,整理为可视化编程可利用的数据源。结合 CAD 小品点位数据和准备好的族文件,先批量放置到正确点位上。因为小品基本都分布在园路两侧,如标识牌、公共座椅、垃圾箱、路灯等都是面朝园路,所以再导入园路中心线,计算得出小品到园路的最近点,根据最近点获取法向量,最后计算得出每个小品族的旋转角度。要注意的是园路两侧的小品相差角度为 180 度。

3 Dynamo 批量生成小品研究方法

3.1 获取小品点位数据

1) CAD坐标位置调整

软件应用的都是笛卡尔坐标系,为保证 CAD 点位导入 Dynamo 的数据与 Revit 一致,首先确定一下 Revit 中项目基点位置。在 CAD 中找到此对应位置,然后以此点位为基点放置到坐标系的原点,如图 3 所示。



图 3 CAD移动完成后

2) 小品点位数据导入 Dynamo

利用 CAD 软件中 ActiveX 技术直接将选中的小品图块点位数据导入 Dynamo,此步骤需要加载外部资源包 LinkDwC,利用 CetC0M0bjects 节点和 CetBoundingBox 节点,获取小品图块中心点位,如图 4 所示。



图 4 LinkDwC外部资源包的程序节点

3.2 小品族实例放置与项目文件

利用 FamilyType.ByName 节点,根据正确族类型名称调用至 Dynamo 中,然后通过 FamilyInstance.ByPointAndLevel 节点,依据族文件、点位数据和放置标高,将小品族实例创建于项目文件中。如图 5 所示。

4 Dynamo 智能旋转小品角度研究方法

4.1 计算小品到园路中心线最近点

1) 计算小品到园路中心线最近点算法选用
根据 Dynamo 软件使用经验,计算小品到园路

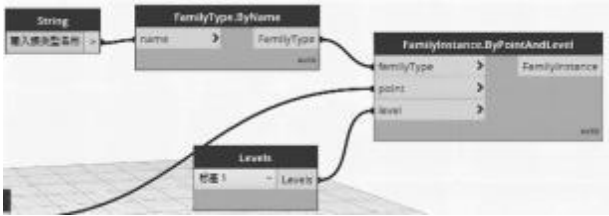


图 5 小品族实例创建的程序节点

中心线最近点可能存在计算错误问题,设定了三种算法。

第一种算法是直接应用 Dynamo 中封装好内置算法,使用 Ceometry.ClosestPointTo 节点^[6],如图 6 所示。试验后发现,计算出的最近点为园路中心线起点或终点,故排除。

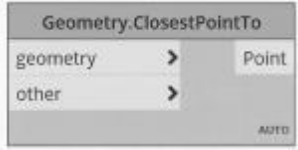


图 6 最近点第一种算法

第二种算法是以小品点位为圆心,设置一个增量不断增大半径,使圆边界逼近中心线,迭代计算出相交的最近点。如图 7 所示。试验后发现,计算出错率降低,但是部分缓和曲线段依旧存在问题,计算出的最近点为园路中心线缓和曲线段的起点或终点,故排除。

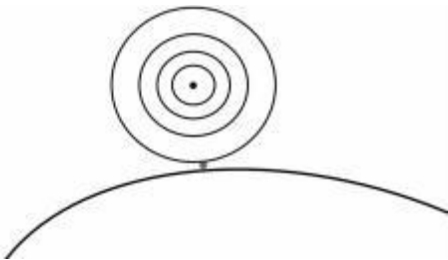


图 7 最近点第二种算法示意图

第三种算法是以小品族点位为起点,通过设定向量找到第二个点,向量必须保证两点距离大于点到园路中心线垂直距离。将两点连成线,以起点为旋转基点,再进行旋转,可将旋转角度设置为增量,获取与中心线的交点,计算出起点到交点最短距离的交点,为最近点。如图 8 所示。试验后发现,计算正确,完全适用,故选定此算法计算小品到园路中心线最近点。

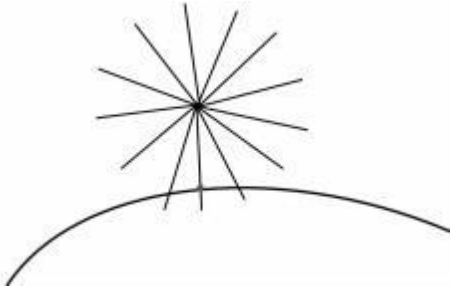


图 8 最近点第三种算法示意图

2) 计算小品到园路中心线最近点技术路线
选定方法三具体技术路线如图 9 所示。

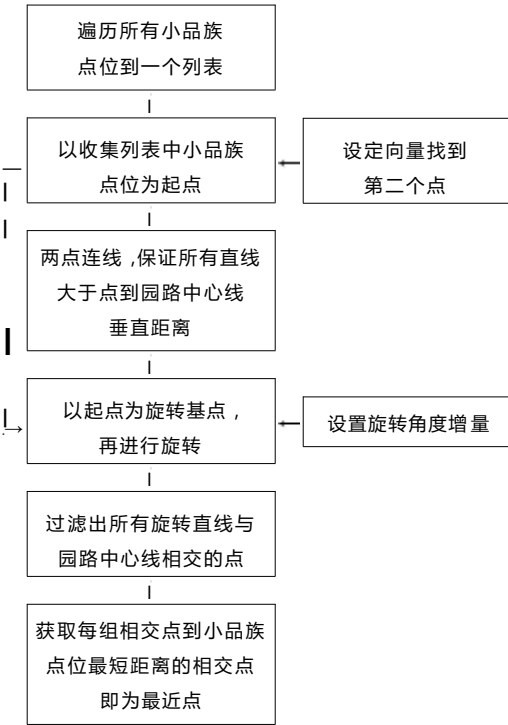


图 9 最近点第三种算法技术路线

①计算相交点

通过 Pythonscript节点直接编写代码，如图 10 所示。遍历小品族点位，根据设定向量，绘制出直线，以小品族基点为旋转基点，利用设置旋转角度增量进行旋转，从而求得相交点。具体代码如下：

```
cur= IN[ 0 ]
pts= IN[ 1]
lins= [ ]
Intersectpt= [ ]

vec= Vector.ByCordinates(0,-9000,0)
forjinrange( len( pts ) ) :
    forlin range( 0 , 360 , 10 ) :        vec1 =Vector.
```

```
Rotate( vec, Vector.ByCordinates( 0,0,1) ,i)
    pts1= Point. Add( pts[ j] , vec1)
    lin =Line. BystartPointEndPoint( pts[ j] ,pts1)
    lins. append( lin)
    Intersectpt. append ( Ceometry. Intersect( cur,
lin) )
0 UT= Intersectpt
```

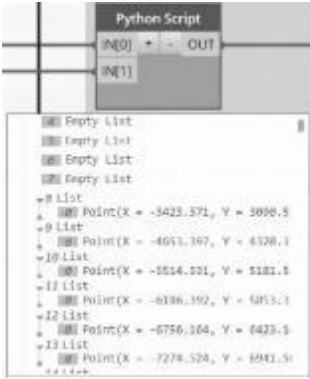


图 10 相交点计算 Pythonscript程序节点

②以小品族为依据 ,相交点列表层级划分

将相交点以小品族为依据，归纳至列表中，可通过 List.Count、List.Chop、List.Flatten 等节点实现。如图 11 所示。

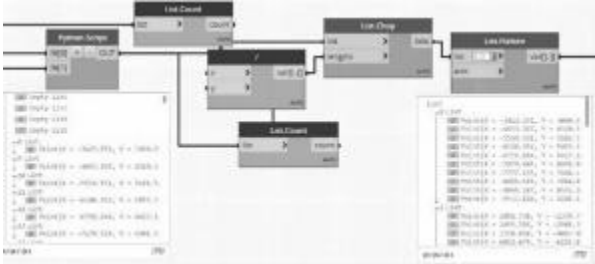


图 11 相交点列表层级划分的程序节点

③计算相交点至小品族点位的最近距离，获取最近点

通过 Ceometry.DistanceTo计算相交点至小 品族 点 位 距 离，再 利 用 List.MinimumItem、List.AllIndicesOf、List.Flatten、List.CeilItemAtIndex, 获 取 最短距离的相交点即定义为最近点。如图 12 所示。

4.2 计算小品分布在园路两侧点位

1) 计算小品分布在园路两侧点位核心算法

由于园路两侧的小品旋转角度整体相差 180 度，须区分出两侧点位。可以通过向量叉积来解决小品族点位是在中心线的哪侧。

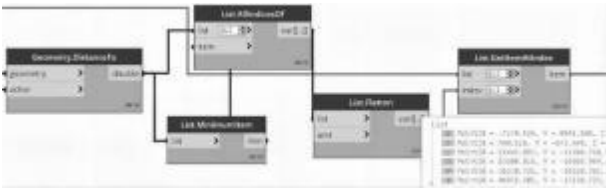


图 12 计算最短距离相交点即为最近点的程序节点

利用向量叉积原理判断小品族点位 P 是在园路中心线的哪一侧,如图 13 所示。通过最近点找到该点的切向量和反切向量的 A、B 两点, P 作为起点,随后建立向量 PA 和向量 PB。如图 14 所示。则二者向量叉积 Z 值作为主要判断依据:

- Z=0:P 点在线上
- Z>0:P 点在直线左侧
- Z<0:P 点在直线右侧

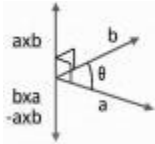


图 13 向量叉积原理图

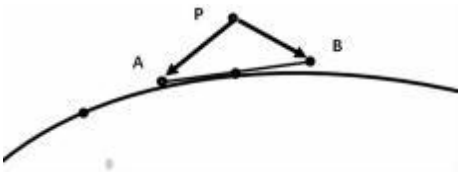


图 14 向量叉积算法示意图

2) 计算小品分布在园路两侧点位技术路线

计算小品分布在园路两侧点位技术路线,如图 15 所示。

① 获取最近点切向量及切向量比例调整

根据计算得出最近点点位求得位置参数,利用 Curve.TangentAtParameter 直接获取切向量。利用 Vector.scale 对切向量比例调整,缩放因素给定 2000。如图 16 所示。

② 确定 A、B 两点和 PA 向量、PB 向量

利用 Vector.Reverse 得出反切向量,根据 Point.Add、Vector.ByTwoPoints 确定 A、B 两点和 PA 向量、PB 向量。如图 16 所示。

③ 叉积向量计算,判断出分布园路两侧点位

利用 Vector.Cros 计算叉积向量,然后根据叉积向量 Z 值判断出小品点位分布在园路哪一侧。



图 15 小品分布在园路两侧点位算法技术路线

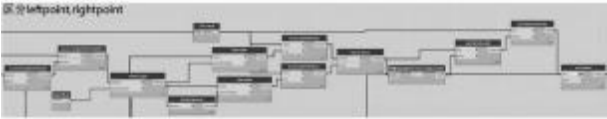


图 16 向量叉积算法示意图

如图 16 所示。

4.3 计算小品旋转角度与赋值

计算小品旋转角度与赋值技术路线。如图 17 所示。

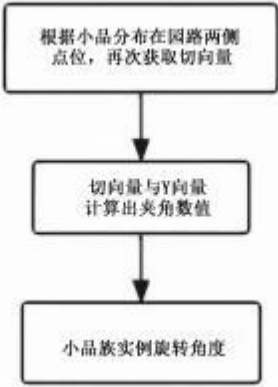


图 17 计算小品旋转角度与赋值技术路线

利用 Curve.TangentAtParameter 分别获取小品分布在园路两侧小品点位的最近点的切向量,通过 Vector.AngleWithVector 计算切向量与 Y 向量夹角数值,最后利用 FamilyInstance.setRotation 对小品族实例角度赋值,旋转完成。尤为重要的一点是园路左侧与右侧点位相差旋转角度为 180 度。园路左侧

点位旋转程序节点如图 I8 所示。园路右侧点位旋转程序节点如图 I9 所示。



图 I8 园路左侧点位旋转程序节点



图 I9 园路右侧点位旋转程序节点

5 研究方法项目应用

将上述方法应用于雄安起步区北部绿化带(三至五组团)项目施工总承包三标段项目。针对此项目园林小品应用,对手动建模与 Dynamo可视化编程做出工期数据对比分析。如表 I、2 所示。

表 1 北部林带三标段项目园林小品工期安排

任务项		计划工期/天	实际工期/天
手动放置小品	小品族放置	4	3
	小品角度旋转	6	5
合计		10	8

表 2 北部林带三标段项目园林小品工期安排

任务项		计划工期/天	实际工期/天
DY放置小品	程序编写	1	1
	数据收集	0.5	0.5
	设置输入端	1	0.5
合计		2.5	2

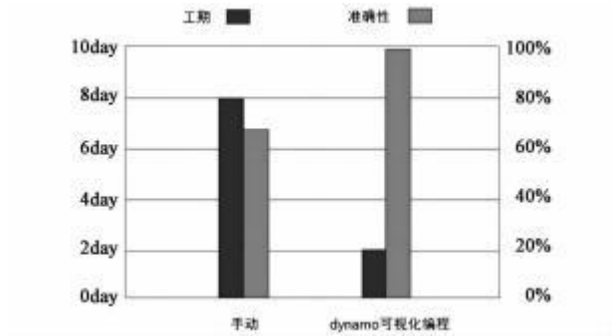


图 20 手动与 Dynamo可视化编程批量创建园林小品的效率对比分析图

项目中小品数量为 845 个,本项目面积较大,放置小品要在庞大地形上拖拽、放置、旋转。从模型

创建工期和准确性上远低于 Dynamo可视化编程。再通过实际工期数据对比分析后,可以体现可视化编程带给实际工程项目的优势,如图 20 所示。Dynamo可视化编程有效节省手动建模四分之三工期,同时解决少放、漏放、旋转不到位等问题,提高了模型质量和效率。

6 结论

利用 Dynamo可视化编程,将复杂的工作简单化,重复的工作自动化,繁琐的工作智能化^[7]。解决了很多参数化建模问题和信息数据交互问题。针对园林小品应用总结为以下有点:

(I) 快速提高建模效率。缩短手动建模预计工期,根据实际项目实施共节省总工期三分之二时间,可直接将模型应用于后续实施应用中。

(2) 提升模型精准度。以往手动建模完成后总是存在工程量统计数据缺失问题,与图纸信息不一致,然后返回模型查错。错误基本都是建模问题导致。Dynamo是直接读取图纸信息,做到信息数据直接传递,大大提升模型精准度。

Dynamo内置节点使用不仅可以优化 workflow,同时 Dynamo原生节点不足以满足使用时,还可以利用 Python 语言调用 RevitAPI和第三方外部库解决问题。如快速出施工图、植物智能创建、模型构件编码赋予等^[8]。将重复机械性工作自动化完成,有效节约工期,降低了成本,也调动了工程人员运用软件积极性,推进了 BIM技术发展。最后希望本篇论文中的技术路线和研究方法对其他工程项目具有较强的借鉴意义。

参考文献

[1] 柴斐.西方古典园林建筑小品[D].东北林业大学,2020.

[2] 周志,赵雪锋,吴怀玉.BIM原理总论[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.

[3] 章学军,金泓帆.BIM在我国的发展现状概论[J].广东土木与建筑,2022.04(3):14-17.

[4] 刘润之,刘明英,王建伟.BIM技术在雄安新区金湖公园项目的应用[J].土木建筑工程信息技术,2022.14(1):112-118.

[5] 瞿树昊,肖湘东.基于 Revit软件的园林工程应用研究[J].城市建设,2020,17(26):127-128.

[6] 李德全.DynamoforRevit在施工图设计中的应用-门窗表、门窗详图[J].土木建筑工程信息技术,2021.13(6):51-58.

[7] 韩继宗.基于 Dynamo的参数化设计研究[J].居业,2019,(12):36-38.

[8] 吴樊,闫智,孔祥平.DynamoforRevit在基坑围护结构建模中的应用[J].土木建筑工程信息技术,2020.12(2):62-67.

B1M 技术在雄安北部绿化带项目中的应用

杜明君¹, 邓勇¹, 刘明英¹, 彭云飞², 李志鑫³, 洪文太³ (1.北京城建集团有限责任公司, 北京 100088; 2.北京工业大学, 北京 100124; 3.北京华筑建筑科学研究院有限公司, 北京 100176)

[摘 要] 为改善园林工程数字化程度落后于建筑行业整体水平的现状,本文以绿化带项目为例,借助 BIM技术希望拓展园林工程数字化技术的应用程度与范围。项目采用 BIM技术进行模型创建、碰撞检查、可视化技术交底与进度模拟等以解决项目实施难题,并结合大数据、物联网等数字技术辅助项目生命周期全流程管理。通过使用数字化技术项目实现了施工全过程管理的可视化、标准化和数字化,保证了建设有序进行,并为 BIM技术在园林工程的应用提供借鉴参考。

[关键词] BIM技术; 雄安; 北部绿化带项目; 园林景观

Application ofBIM TechnologyintheXiongan Northern Green BeltProject

Du Ming-jun¹, Deng yong¹, LiuMing-ying¹, Peng yun-fei², LiZhi-xin³, Hong wen-jie³ (1.Beijing Urban Construcion GroupCo.LTD, Beijing 100088, China; 2.Beijing Uni"ersityOfTechnology, Beijing 100124, China; 3.Beijing Hua Zhu Construcion scienceResearch InsitituleCo.LTD, Beijing 100176, China)

Abstract: In ordertoimprovethecurrentsituation thatthedigitalization degreeofgarden engineeringlagsbehind theoveralllevelof theconstruction industry, thispapertakesthegreen beltprojectasan exampleand hopestoexpand theapplication degreeand scopeof thedigitalization technologyofgarden engineeringwiththehelp ofBIM technology. BIM technologyisused bytheprojectformodel creation, colision check, visualization technologydisclosureand progresssimulation tosolveprojectimplementation problems, and combinesbigdata, Internetofthingsand otherdigitaltechnologiestoassistthewholeprocesmanagementoftheprojectlifecycle. The projectrealizesthevisualization, standardization and digitalization ofthewholeprocesmanagementoftheprojectconstruction, ensures theorderlyprogresoftheprojectconstruction, and providesareferencefortheapplication ofBIM technologyingarden engineering.

Keywor4 s: BIM technology; Xiongan; northern green beltproject; landscape

0 引言

雄安起步区北部绿化带(三至五组团)项目施工总承包三标段项目(简称为北部绿化带三标段项目)作为雄安"千年秀林"工程的重要组成部分,不仅需要起到改善新区生态环境的作用,也需要满足雄安工程建造数字化的要求。针对项目工程量大、时间紧凑、场地广阔、建模难的特点,通过使用 BIM技术,在碰撞检查、4D进度模拟等方面都进行了充分的应用。同时,利用 Dynamo、Crasshopper插件的创新应用,实现了园林植物的多种种植布置,加强了施工过程管理、合理规划进度,助力雄安新区打造园林工程与数字信息技术结合的建造施工样板

工程。本文总结了 BIM 技术在该项目实施过程中配合施工流程的常规与创新应用,能为后续 BIM技术应用在园林景观工程项目提供借鉴和参考。

1 B1M 在园林工程中的应用现状

随着我国对于生态治理与环境保护越发重视,园林景观工程也得到了极大的发展。BIM在园林工程中的应用程度正在逐渐加深。

在国内,2015年,梁道指出园林工程中使用 BIM技术能够在设计过程中起到很大的辅助协同作用^[1]。2017年,黄志超根据广州白云机场噪音治理安置区园林工程项目,总结出 BIM在园林项目上能够实现设计三维可视化、管线与植物碰撞检测等功能^[2]。2018年,何晓颖根据上海迪斯尼 I.5 期项目提出应该进行 BIM 的 5D应用,为园林工程项目提供全生命周期服务^[3]。2019年,董则奉同样以上海

[收稿日期] 2022 -11 -10

[作者简介] 杜明君(1989 -),男,本科,中级工程师

[联系方式] E-mail:17623518486 @163.com

迪斯尼 1.5 期园林工程为例,展示了 BIM技术在大型园林工程项目的详细应用流程^[4]。2022 年,刘润之、侯笑等人在雄安金湖公园项目中针对项目园林要素,设计批量放置流程^[5]。而在国外,BIM 技术同样在园林工程上有所发展。2012 年,挪威 statsbyg支持并发起"景观 BIM倡议"项目,收集并开发了一套分级分类的"景观对象信息模型"清单:4 年后,挪威测绘局发布《挪威景观地理空间对象标准》。2016 年,英国景观学会(LandscapeInstitute,LI)出版《BIMforLandscape》一书,首次详细介绍在 BIM2 级标准下,园林 BIM应用工作流程、信息管理及技术运用等方面的内容^[6]。

早期 BIM 技术在园林工程中应用有限,2019 年,才有针对大型园林工程使用 BIM技术进行全面详细应用的记录,如今雄安新区正在打造 BIM技术和园林项目结合的样板工程。随着 BIM 技术在园林工程中应用越发频繁,园林工程行业正在逐步跟上建筑行业整体数字化的脚步。目前,BIM技术在雄安新区相关园林工程都存在广泛的使用,如雄安金湖公园、郊野公园等。

2 BIM 在北部林带三标段项目的应用

2.1 总体概况

北部绿化带三标段项目位于津雄高速与 EAI 路之间,西起 NAI 路,东至白沟引河,长约 4.5 公里,总占地面积约 300 公顷,项目图如图 1 所示。项目属于雄安新区"一带、三带、九片、多廊"生态格局中的"三带"的组成部分,重点打造静谧典雅的密林湿地生态景观。建成后能够发挥大型林地的生态屏障、水源涵养的作用,为雄安宜居生活打下了生态基础,更是为高标准建设的雄安新区奠定生态底色,是"千年大计"雄安新区建设的重要组成。

2.2 BIM 应用目标

1) 深化设计

整合多专业 BIM模型,根据模型对管线、园林植物等进行碰撞检测并优化设计方案,同时统计项目工程量。

2) 施工模拟

在原有 BIM模型基础上增加时间轴,模拟施工进度,并依托二维码辅助现场技术交底。

3) 进度优化

基于 BIM技术对项目整体进行进度模拟,验证

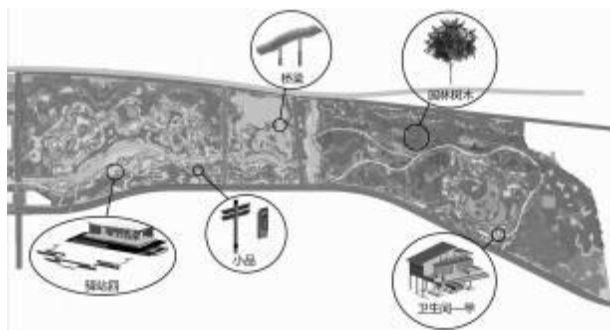


图 1 北部林带三标段项目图

项目计划可行性,为优化进度流程,指导组织施工提供依据。

4) 全生命周期管理

通过 BIM技术在设计阶段辅助报建、完成深化设计;施工阶段依托建管平台,完成信息汇总与施工全过程管理;运维阶段基于 BIM模型实时更新如管网、园林植物等项目要素的相关数据,建立做到数据收集、问题汇总。

5) 解决施工重难点

针对施工中不同的重难点,依靠 BIM 与其他施工技术方案结合,统筹规划,具体问题具体解决。

2.3 BIM 实施标准

BIM标准是建筑行业建立标准的语义以及数据信息交流的规则^[7],可以让各参建方在建筑周期内共享信息资源,提高业务协作的能力,同时 BIM 标准也是行业实现数据集成利用的重要依据^[8]。项目整体依据《雄安新区规划建设 BIM管理平台数据交付标准》、《雄安新区市政工程 BIM模型成果技术导则》、《雄安新区规划建设 BIM管理平台信息挂载手册》、《中国雄安集团建设项目 BIM 技术标准》(五册)等进行园林工程项目的数字化建模以及各专业信息模型交付,加强项目使用 BIM 程度,助力数字雄安建设。

2.4 工程重难点及解决措施

1) 工期紧张、多专业协同困难

为统筹工期,利用 Navisworks等施工模拟软件,验证施工进度的可行性,同时优化施工工序,避免专业间施工碰撞。

2) 园林植物数量繁多

基于 BIM 技术,进行苗木快速统一编号,辅助运维阶段精确化定位管理,植物管理图如图 2 所示。对苗木的起苗、运输、验收、种植、维护整个流程实

现线上追踪审批、线下核验收，双重闭环管理，确保苗木质量。



图 2 园林植物统一 编码管理

2.5 BIM 实施重难点和解决措施

1) 地形面积大、模型衔接困难

项目总面积约 300 公顷，场地地形整体较为平坦，高程约为 10.5m。但由于测绘地形数据存在误差，导致地形与模型间存在明显错位。通过 Civil3D 软件，将地形高程数据赋予到相应地形等高线或地形点位上，利用“地形曲面”等命令，生成地形实体，再通过与 Revit 软件交互，完成地形园路等模型的创建，地形实体如图 3 所示，解决了模型衔接困难的问题。



图 3 项目地形实体

2) 桥梁栏杆嵌板设计复杂、建模难

项目为契合密林湿地的园林主题，在景观桥梁的栏杆形式设计上充分表现生态自然主题，栏杆嵌板设计复杂，其中包括了：密林、花草、树干、动物等。通过将栏杆扶手 CAD 图纸导入到 Revit 中，利用“公制栏杆-嵌板”创建各式栏杆族，对各式图案参照图纸进行精细化“雕刻”，效果如图 4 所示，确保对设计方案的高度还原。

3) 园林植物种类多、数量大、种植方式不一

项目涉及苗木种类共 210 余种，其中乔灌木近 11 万株，灌木地被种植面积约 29 万平方米，而传统建模方式难以实现乔灌木的点位种植、区域范围均匀分布种植两种方式。通过对不同种植方式的乔

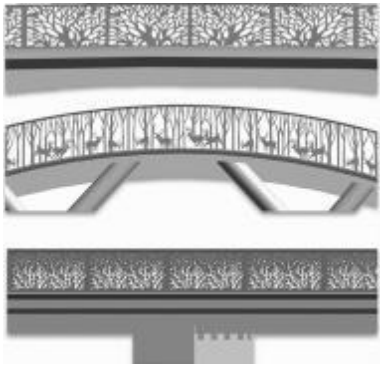


图 4 栏杆精细化建模

灌木、地被模型进行分开建模。利用低代码编程插件，达到完整建模与准确种植的目的，种植模拟效果如图 5 所示。

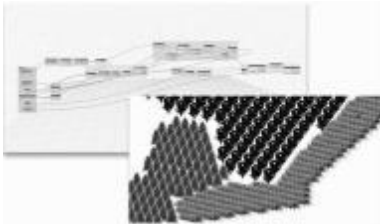


图 5 种植模拟效果图

2.6 BIM 常规应用

1) 工程量统计

由于项目单体建筑数量众多，为避免施工现场材料的浪费、积压，通过 BIM 技术实施材料的精细化管理，对每个单体的工程量进行统计，工程量统计如图 6 所示，从多维模拟施工计算，快速、准确地拆分并输出任一细部工作的标准消耗量，做到物尽其用，最低限度降低材料消耗。

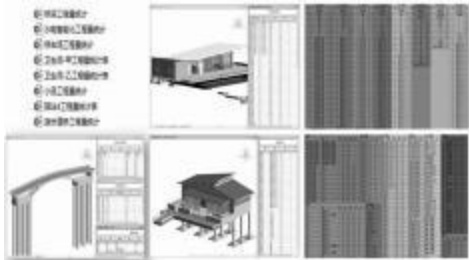


图 6 工程量统计

2) 4D 进度模拟

项目计划工期约 270 余天，疫情贯穿、横跨冬施，除此之外，还包括了场地工程、园路工程、给排水工程、照明工程、电气工程、建筑工程等八类工

程,导致项目整体工期尤为紧张。通过 4D 进度模拟,验证项目进度计划。针对不同气候、专业间协调难的问题,合理安排工期进程,进度模拟如图 7 所示。



图 7 4D进度模拟

3) 模型轻量化二维码辅助技术交底

在项目施工中,常存在多专业、多单体同时施工的现象,通过应用 BIM 技术,实现模型轻量化,并以二维码的形式进行展示,辅助施工如图 8 所示,方便分包、劳务人员快速理解交底内容,减少人员聚集,从而辅助技术交底。



图 8 二维码辅助施工

4) 碰撞检查

除在驿站、卫生间等土建工程中应用管线碰撞检查外,考虑到项目乔灌木数量众多,部分高大植物根茎土球影响范围较大,还利用 BIM 软件着重对室外管线与园区绿植球茎进行碰撞检查,检查如图 9 所示,有效避免植物根茎与地埋管线的碰撞问题,减少误工返工。

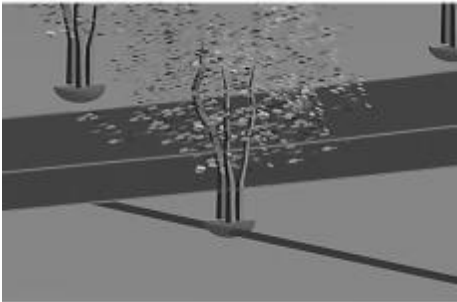


图 9 碰撞检查

5) 数字雄安建设管理平台

"数字雄安建设管理平台"分为集团级、区域级、项目级三级管理架构,包含现场办公、规划统筹、前期管理、设计管理、招采管理、成本管理、进度管理、安全质量管理、现场管理等九大模块,管理平台如图 10 所示。通过平台可详细了解项目的整体概况、工程进度等信息,并且通过轻量化的 BIM 模型,可清楚直观了解项目整体面貌。

6) 族库管理

示,确保植物存活率,同时保证各专业间施工互不影响。并且随着项目实际工期不断推进,及时调整计划工期,实现项目施工进度的动态跟踪。



图 10 数字雄安建设管理平台

由于项目植物种类多达 210 余种,根据植物信息,参照实体植物外观,制作植物族模型,创建项目专有植物族库,族库如图 11 所示,并根据植物族信息完成分类。浏览时可通过缩略图查看族样式,方便使用时快捷查找调用。

7) 园林大数据系统

为协助新区园林建设工作有序化进行,统筹管控园林建设进度、质量、安全等方面,通过信息化、数字化技术将雄安园林大数据系统分成移动端(雄安园林 AP)与网页端(园林大数据建设管理平台),实现景区环境、社会和经济的全面、协调可持



图 11 植物族库

续发展,助力构建雄安新区"智慧园林",系统网页端如图 12 所示。

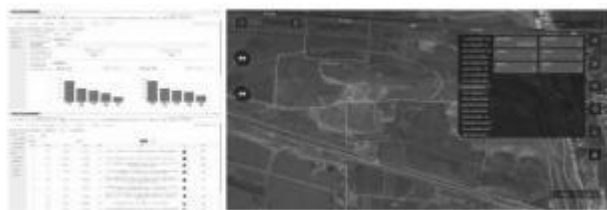


图 12 园林大数据系统网页端

8) 秀林管网系统

通过秀林管网系统可进行管线的采集、管理、维护、查询、统计工作。管网系统如图 13 所示。系统由 App 端和 web 端组成,App 端主要负责灌溉管网的现场采集工作,web 端负责管网数据的管理、维护和使用。系统利用高精度定位仪实现高精度、高效、便捷的管网数据采集,并提供苗木导航、轨迹采集等辅助功能。



图 13 秀林管网系统

2.7 BIM 创新应用

1) 园林植物多种模式智能创建

针对本项目设计文件中指出的三种植物种植模式,应用 Dynamo 与 Crasshopper 可视化编程插件分别编制出三套程序脚本,在软件中实现快速、精确的植物"种植"。

① 乔灌木根据 CAD 图纸点位精确布置

根据 CAD 图纸得到乔灌木点位数据,结合三维

地形文件,同时载入对应植物族文件,通过 Crasshopper 可视化编程工具编写相应程序脚本,将乔灌木植物快速、高效且准确地"种植"于复杂地形上,实现了大批量植物空间坐标精准定位、一键式快速布置,点位布置与效果如图 14 所示。相较于传统手动放置方式,大幅缩短了操作时间。



图 14 乔灌木点位精确布置

② 乔灌木根据边界及间距数量区域布置

区域布置与效果如图 15 所示,通过给定区域边界线信息、植株间距、种植数量与地形,借助 Dynamo 可视化编程工具,根据间距、数量等条件信息调用内置算法,快速计算区域内植物点位,并结合地形数据实现区域范围植物一键式快速排列生成,节约了设计时间与人工操作成本。

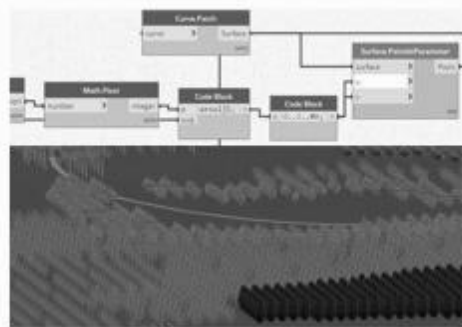


图 15 乔灌木边界数量区域布置

③ 灌木地被根据边界贴地形布置

灌木地被由于其种植区域广、范围内分布不规则等特性,在软件中难以借助传统植物族来表示。本项目创新应用"楼板"功能命令实现了地被灌木植物模型三维显示。借助 Dynamo 可视化编程,引入外部节点包并结合相应算法,通过给定种植区域与地形,快速生成与地形完美贴合的灌木地被模型,从而实现一键式灌木地被根据边界贴地形布置,布置效果如图 16 所示。解决了灌木地被在软件中表现难、布置调整耗时等问题,为未来灌木地被模型通过软件可视化表达提供了新思路。

2) BIM+ MR

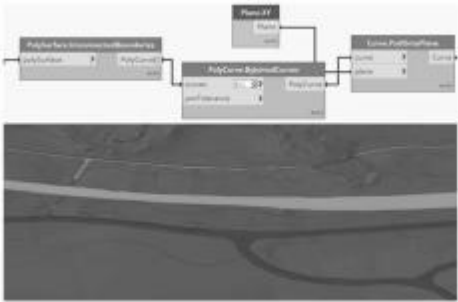


图 16 灌木地被贴地形布置

使用 BIM+MR技术 ,将植物模型导入 HoloLens 2 ,使用 MR设备 ,使用户真实置身于真实物理场景中 ,通过实物情景触发 ,可直观了解植物介绍 、参数化信息等各类三维实物信息 ,展示如图 17 所示 。 同时 ,通过添加类型参数信息与空间几何参数信息 ,模拟植物在不同季节时的变化形态及不同阶段的生长状态 ,给用户带来了 良好的视觉与交互体验 ,效果如图 18 所示 ,也为运维阶段的植物养护提供有力依据 。



图 17 MR植物三维信息交互

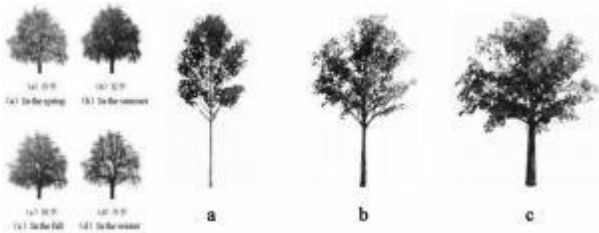


图 18 植物四季、生长变化

3) BIM+ CIs+ IoT

轻量化模型通过 IoT技术实现大批量植物模型快速压缩并同步上传至云端服务器 ,同时结合 CIs技术将植物坐标点位信息加入其中 ,将云端数据以二维码的形式体现于每棵植物 ,实际效果展示如图 19 所示 。各施工现场管理人员 、作业人员可通过现场扫描二维码 ,快速直观地查看当前树木的迁移情况 、养护详情及植物空间位置信息 ,为后期运维管理提供技术支持 。 园区开放时 ,观光游客可通过扫

描二维码了解植物身份信息 。



图 19 植物二维码及地图定位

3 结论

该工程体量巨大 ,涉及建设工程项目众多 ,通过应用 BIM技术 ,保证了项目施工全过程管理的可视化 、标准化与数字化 ,保障了施工进度 、提高了施工质量与管理水平 。在 BIM技术应用中 ,首先通过 Civil3 D与 Revit结合 ,创建了满足设计条件的虚拟地形 ;其次通过使用 Revit进行参数化建模 ,对项目建筑 、园林植物 、设施小品等进行精细化表达 ,提升设计效率 ;之后通过使用 BIM 技术进行了深化设计 、施工模拟与智慧工地动态管理 ;除此之外 ,还通过结合 Dynamo与 Crasshopper可视化编程插件实现不同方式的园林植物 自动布置 ,并将 BIM 与 CIs、IoT技术结合 ,有助于工程项目建造的信息化管理与项目交付后的数字化运维 ;项目不仅验证了园林工程一样适合借助 BIM技术进行常规建筑数字化应用 ,也缓解了 目前园林工程行业相关模型与插件缺少 的情况 。最后 ,该项目全面实行与验证了雄安建设标准 ,为后续园林景观工程在数字化技术应用上提供经验参考 ,助力雄安打造园林景观工程数字化建造样板 。

参考文献

[1] 梁道 .浅谈 BIM在风景园林设计中的应用 [J] .江西建筑 , 2015 , (6) : 188 .
[2] 黄志超 .BIM技术在风景园林工程项目 中的应用研究 [D] .华南理工大学 , 2017 .
[3] 何晓颖 .BIM 技术在风景园林行业的发展和运用 [J] .上海建设科技 , 2018 , (4) : 66 -69 .
[4] 董则奉 .BIM 技术在园林工程中的运用 — 以上海迪士尼 1.5 期为例 [J] .中国园林 , 2019 , 35 (3) : 116 -119 .
[5] 刘润之 ,刘明英 ,王健伟 ,等 .BIM技术在雄安新区金湖公园项目 的应用 [J] .土木建筑工程信息技术 , 2022 , 14 (1) : 112 -118 .
[6] 曹翕伦 .浅析欧洲部分国家园林 BIM标准化现状及对我国的启示[J] .智能建筑与智慧城市 , 2020 , (9) : 20 -24 .
[7] 冯兴强 .BIM技术在建筑工程施工标准质量控制中的应用研究[J] .大众标准化 , 2022 (12) : 1-3 .
[8] 方长建 ,赖逸峰 ,康永君 ,赵 一 静 .建筑工程结构设计 BIM数据交换 sIM 标准 [J] .土木工程与管理学报 , 2022 , 39 (03) : 27 .

异地协同下 PKPM-BIM 模型 增量转换至 PDMs 研究

耿轶, 石成, 王建斌, 廖金鹏, 刘旭杭, 刘俊(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] PDMs 是一款工厂三维布置设计管理系统, 在石油、化工、海洋平台、电站、核能装置等工程项目中均有较为广泛的应用, 但其在土建建模使用中存在出图以及异型构件构造等不便, 而 PKPM-BIM 作为基于 BIMBase 平台开发的国产三维设计软件, 支持建筑、结构等多专业协同设计, 可较好地替代 PDMs 中的土建建模工作, 因此本文将 PDMs 与 PKPM-BIM 两款设计软件结合, 提出在多人异地协同工作场景下, PKPM-BIM 土建模型以增量方式转换至 PDMs 的实现方案, 为三维数字化协同设计提供技术支持。

[关键词] PKPM-BIM 软件; BIMBase 平台; PDMs; 异地协同; 增量转换

Realization of Incremental Conversion of PKPM-BIM Model to PDMs under Remote Collaboration

Geng yi, shi Cheng, wang Jian-bin, Liao Jin-peng, Liu Jun, Liu Xu-hang(Beijing Glory PKPM Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: PDMs is a plant three-dimensional layout design management system, which is widely used in petroleum, chemical, offshore platforms, power plants, nuclear energy installations and other engineering projects, but it has many inconveniences in the use of civil modeling. As a domestic 3D design software developed based on the BIMBase platform, BIM supports multi-disciplinary collaborative design such as architecture and structure, and can better replace the civil engineering modeling work in PDMs. Therefore, this paper combines PDMs and PKPM-BIM two design software, This paper proposes an implementation scheme of incrementally converting PKPM-BIM civil engineering model to PDMs under the multi-person collaborative work scenario, providing technical support for 3D digital collaborative design.

Keywords: PKPM-BIM software; BIMBase platform; PDMs; remote collaboration; incremental conversion

0 引言

PDMs 是英国 AVEVA 公司(原 CADCentre 公司)的旗舰产品。自从 1977 年第一个 PDMs 商业版本发布以来, PDMs 就成为大型、复杂工厂设计项目的首选设计软件系统^[1-3]。PDMs 在国内网多个行业领域都有着广泛的应用, 同时 PDMs 配套的 Global 系统支持多人异地实时协同设计, 极大地提升设计效率^[4]。但在 PDMs 的土建模型建模中存在较多不便, 包括对异型构件的支持不完善^[5]、土建出图不方便^[6]等。

北京构力科技有限公司 2021 年正式推出了完全自主知识产权的国产 BIM 基础平台—BIMBase

平台。BIMBase 平台重点实现图形几何计算、显示渲染、数据管理、数据转换以及协同工作等基础功能, 基于 BIMBase 平台开发的 PKPM-BIM 设计软件集成了建筑、结构、机电等多专业模块, 可实现多专业的协同设计, 同时有着灵活方便的出图功能^[7]。

基于 PDMs 存在的不足以及 PKPM-BIM 的特点, 本文提出在 PKPM-BIM 中进行土建模型建模并传递至 PDMs 中接力设计的工作模式, 该工作模式集成的 PKPM-BIM 土建模块的长处, 并保留了 PDMs 与 PKPM-BIM 各自的协同工作特点, 使得全专业设计师可以在 PDMs 与 PKPM-BIM 的协同工作环境下实现土建模型共享, 同时该工作模式也充分考虑了 PDMs 与 PKPM-BIM 协同工作系统的不同之处并进行适配与对接, 而且考虑模型转换效率等因素采用了增量转换以及静默转换等实现方式。

[收稿日期] 2022-10-18

[作者简介] 耿轶(1994-)男, 硕士, 工程师

[联系方式] E-mail: gengyi@cabrtech.com

1 两款软件的协同工作系统

1.1 PDMs协同工作系统

1) 网络拓扑关系

在 PDMs 配套的 Clobal异地协同设计系统中, PDMs 项目数据库依据物理位置的不同分为 Hub 节点和 satellite节点^[8]。位于不同物理位置的设计师可以基于对应的节点开展建模工作,同一节点支持多名设计师同时进行编辑,并且由 ClobalDaemon 后台服务来实现以 Hub 节点为中心的节点间数据同步,如图 1 所示。



图 1 PDMs 协同工作系统网络拓扑关系
Fig.1 Network topologyofPDMs collaboration system

2) 权限管理

PDMs 在实际项目应用中支持用户分区访问权限控制,除了超级用户始终具有所有权限外,其他用户可以通过对其添加访问控制权限(ACR)的方式来实现权限的合理分配。

ACR主要作用包括:

- ①限制用户操作命名的元素或者某一个类型的元素;
- ②限制用户的操作,如生成、修改和删除;
- ③限制用户能操作具体的属性。

PDMs 也可以通过权限的自动管理,较好地处理同一元素在不同用户间的编辑冲突问题。用户可以通过 Claim声明对元素的占有,PDMs 提供两种声明方式,一为外部声明,即在使用前主动声明;二为内部声明,即用到的实体会自动加入到声明列表中。相反,用户可以通过 Unclaim解开声明的任何元素,允许其他用户编辑对应元素。

1.2 PKPM.B1M 协同工作系统

1) 网络拓扑关系

PKPM-BIM协同工作系统基于 C/s 架构,以服

务端数据库为中心进行模型数据的结构化存储,设计师通过客户端开展建模工作,通过数据上传、下载来实现设计师间的数据同步,如图 2 所示。

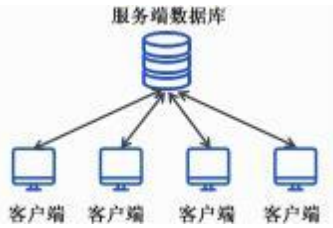


图 2 PKPM-BIM协同工作系统网络拓扑关系
Fig.2 Network topologyofPKPM-BIM collaboration system

2) 权限管理

PKPM-BIM协同工作系统与 PDMs 相似,对于权限管理也可分为两类。首先是针对设计师可编辑范围的权限管理,通常以专业类别进行划分,例如对于结构设计师,可仅赋予其结构专业的权限来控制其在 PKPM-BIM 客户端中仅能编辑结构专业的构件,但可以参照其它专业的模型。PKPM-BIM 协同工作系统也支持同时赋予设计师多个专业的权限。另一方面,PKPM-BIM 协同工作系统也较好地解决了多名设计师间模型编辑的冲突问题,通过锁定机制可保证任一构件同一时刻至多被一名设计师所编辑,设计师可以通过解锁来释放原本锁定的构件,允许其他具备专业权限的设计师进行编辑。

3) 构件级协同

PKPM-BIM协同工作系统可实现构件级协同,即 PKPM-BIM协同工作系统以单构件为基本对象对模型进行管理,同时以单构件为基本对象实现数据同步。基于此,多名设计师可同时编辑同一模型中的不同构件,有效提升协同工作效率。同时 PKPM-BIM协同工作系统基于对构件级数据的管理以及版本管理,当数据由客户端上传至服务端时仅上传客户端编辑产生的增量数据,当数据由服务端下载至客户端时也仅返回目标版本与客户端已有版本间的数据差集部分,通过增量、差集的数据传递,可明显提高数据同步的效率。

2 PKPM.B1M 模型转换至 PDMs的实现

本研究基于北京构力科技有限公司公开数据转换标准实现 PKPM-BIM 模型转换至 PDMs,该标准可保证模型转换准确性及信息完整性,并基于

PDMs 进行二次开发以实现数据解析、模型生成,同时通过 standalone二次开发方式可实现转换过程自动化、静默化。

2.1 数据转换标准

本文中数据协议的承载格式为 JsON文本,具有轻量化、易扩展等特点,同时更方便于网络传输。在数据结构上,预留了增删改相关的数据节点,可表明构件变更状态。在数据内容中,包含构件数据和楼层数据两类。其中,构件数据包含了构件的几何数据和业务数据,以楼板为例,包含板形状、角点坐标、厚度等几何数据以及板材料等业务数据。楼层数据中包含了楼层名称,楼层编号等,并在构件数据中存储了所属楼层信息以记录构件与楼层间的关联关系。同时,该数据格式可根据不同项目要求按组添加所需专业业务数据以实现数据扩展。

2.2 数据解析与 PDMs模型生成

PDMs 有着较为丰富的二次开发模式,本文中为实现模型由 PKPM-BIM准确转换至 PDMs,采用 .Net二次开发与 PML二次开发相结合的方式,同时通过设置用户自定义属性(UDA)的方式解决 PDMs 自带属性类型不足的问题,并且根据 PKPM-BIM构件库的情况,预先准备对应的 PDMs 元件库,如型钢库、门窗库、埋件库等来辅助模型转换。

本文针对 PKPM-BIM 中各构件类型准备对应的 PML脚本用于生成 PDMs 对应元素。在转换过程中,通过 .Net二次开发基于前文中的数据转换标准解析构件的 JsON数据,提取 PDMs 元素生成所需的属性值,通过命令接口调用各构件类型对应的 PML脚本并传入属性值完成模型转换。

2.3 静默转换

本文充分考虑人为操作失误或忘记操作等可能会造成模型转换失败的种种风险,同时也为了避免给设计师增添负担,采取了自动化、静默化的转换实现方式,即无需设计师进行额外的交互操作便可实现 PKPM-BIM 模型自动转换至 PDMs。其中,关键点是要可以不通过 PDMs 客户端软件实现对 PDMs 数据库的读写,本文采取 PDMs 提供的 standalone开发方式,可通过不依赖 PDMs 客户端的独立进程访问并修改 PDMs 数据库,基于此,通过开发无需交互的应用程序或服务来完成模型转换并通过外部事件触发调用及相关参数传入便可实现设计流程中的静默转换。

3 增量转换的实现

基于前文 PKPM-BIM 模型转换至 PDMs 的实现,结合 PKPM-BIM 协同系统便可控制并实现 PKPM-BIM模型以增量方式转换至 PDMs,即仅将 PKPM-BIM模型中增加、修改和删除的部分转换至 PDMs,其余模型不做转换处理,从而串联起 PKPM-BIM与 PDMs 的协同设计流程。

3.1 数据传递与服务部署

如前文所述,PDMs 协同工作系统的项目数据同时存储于多个节点中,而 PKPM-BIM协同工作系统的项目数据则集中存储于服务端数据库中心,在异地协同工作场景下,设计师首先在 PKPM-BIM 客户端进行建模工作,之后将模型增量上传至 PKPM-BIM 的服务端数据库,此后的模型转换应自动将上传数据对应的模型转换至设计师所属物理位置对应的 PDMs 项目数据库节点中,并通过 PDMs 协同工作系统的后台服务实现各节点间的模型更新。

基于上述的工作流及数据传递,同时考虑基于 standalone二次开发的 PDMs 项目数据库读写安全性问题,本文采用以 PKPM-BIM协同工作系统服务端为中心,结合多点 PDMs 模型转换服务的部署方式,如图 3 所示。各节点 PDMs 模型转换服务启动后自动注册至 PKPM-BIM协同工作系统服务端,当 PKPM-BIM协同工作系统服务端接收到客户端的数据上传后会根据客户端附带的物理位置信息定位对应的 PDMs 模型转换服务并进行回调、传参,再由 PDMs 模型转换服务完成获取数据、数据解析、模型转换的工作。

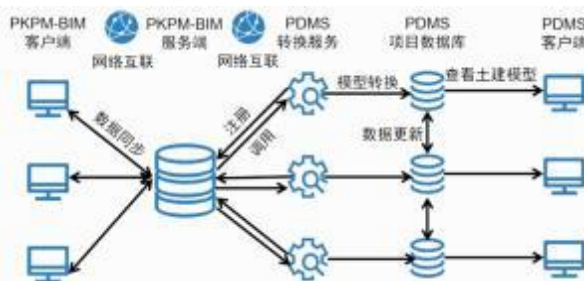


图 3 PKPM-BIM模型转换至 PDMs 部署方式

Fig. 3 Deployment of model conversion from PKPM-BIM to PDMs

3.2 数据映射

PKPM-BIM模型增量转换至 PDMs 除了要保证

模型几何表达准确以及属性信息完整外,还需要建立物理构件在 PKPM-BIM 以及 PDMs 两软件间的映射关系。本文通过在 PKPM-BIM 协同工作系统服务端集中记录构件在两软件中的唯一标识并形成数据条目存储到数据表中实现数据映射,基于此,在增量转换过程中,当 PKPM-BIM 中既有构件发生更新时,可通过数据映射关系定位到 PDMs 中相应构件,并将几何或属性信息更新应用到指定构件。

4 结论

本文提出了以 PKPM-BIM替代 PDMs 进行土建模型建模,两软件协同工作的工作模式及实现方法。在该工作模式中,设计师可在 PKPM-BIM 中高效地进行土建模型协同建模,并且能够在 PDMs 异地协同工作的场景下以静默方式安全地增量转换至 PDMs 对应节点,实现高效协同工作。该模式也为相关行业领域数字化协同设计的实现提供技术

支持。

参考文献

[1] 卜繁志,李景宝.PDMs 软件结构和功能综述(一)[J].国外油田工程,1993(04):48-51.

[2] 卜繁志,黄群.PDMs 软件结构和功能综述(二)[J].国外油田工程,1993(05):55-57.

[3] 卜繁志,李景宝.PDMs 软件结构和功能综述(三)[J].国外油田工程,1993(06):42-44.

[4] 王艳艳.PDMs CLOBAL异地协同设计在长岭项目中的应用[J].企业技术开发,2012(6):3.

[5] 刘力耘.PDMs 用于土建结构建模中异型构件的解决方法[J].吉林电力,2006,34(6):2.

[6] 胡商建.数字化在发电工程设计中的应用和展望[J].电子测试,2017(12):2.

[7] 黄立新,马恩成,张晓龙等.PKPM 的"BIM数据中心及协同设计平台"[J].建筑科学,2018,34(09):42-49+129.

[8] 宋光红,刘家洪,彭磊,董君.PDMs 三维软件在天然气处理厂设计中的应用[J].天然气与石油,2014,32(06):68-71+13.

基于 BimBase的管廊复杂井室三维钢筋排布设计及施工图生成

龚秀峰, 杨双舟, 孙明倩, 杨之仪(北京构力科技有限公司,北京 100013)

[摘 要] 在管廊井室结构设计中,设计钢筋排布一直是困扰设计人员的难点,传统二维设计中存在着钢筋设计不精确,施工图修改工作量大等问题。本文基于 BIMBase国产自主平台,利用自主几何引擎,高效实现了大量三维钢筋的绘制,针对管廊井室结构设计实现了以三维钢筋数据为核心,根据计算内力完成配筋,再根据井室几何形状划分区域,通过参数控制及算法合理排布外圈环形钢筋或相互锚固 U形钢筋,最后根据三维钢筋完成智能化剖切出图,大幅提高设计人员工作效率。结合工程应用实例,验证了系统的可行性与正确性,具有一定的推广价值。

[关键词] 三维钢筋;配筋图;BIMBase

ThreeDimensionalReinforcementLayoutDesign and Construction Drawing Generation ofComplexwelChamberofPipeCaleryBased on Bimbase

Gong Xiu-feng , yang shuang-hou , sun Ming-gian , yang Zhi-yi(Beijing GloryTechnologyCo., Ltd, BeiJing 100013 , China)

Abstract: Inthestructuraldesign ofthepipegalerywelchamber, thedesign ofreinforcementarrangementhasalwaysbeen adifcult problemfordesigners. In thetraditionaltwo- dimensionaldesign , thereareproblemssuch asinaccuratereinforcementdesign and heavy workload ofconstruction drawingmodification. Based on theBIMBasedomesticindependentplatform, thispaperusetheindependent geometryengineetoeficientlyrealizethedrawingofalargenumberofthree- dimensionalreinforcement. with thethree- dimensional reinforcementdataasthecore, thereinforcementiscompleted accordingtothecalculated internalforce, and then theareaaisdivided accordingtothegeometricshapeofthewelchamber. Theouterringreinforcementormutualanchored U- shaped reinforcementis reasonablyaranged through parametercontroland algorithm. Finally, theintelligentsection drawingiscompleted accordingtothe three- dimensionalreinforcement, Creatlyimprovetheworkingefficiencyofdesigners. Thefeasibilityand corectnesofthesystemare verified withan engineeringapplication example, which hascertainpromotion value.

Keywor4 s: thredimensionalreinforcement; reinforcementdrawing; bimbase

0 引言

BIM技术的应用是数字化浪潮带来的数字革命,BIM 的本质是建筑信息模型的数字化表达,因此不仅可以运用这些数据进行三维可视化展示,还可将这些信息用于模拟、优化、出图。运用 BIM 技术能够在规划、设计、施工和运维各建设阶段降低成本、提高质量和效率,以至最终实现提高投资回报率,这一点已经被全行业所一致认同。BIM 技术将引发建筑工程项目生命周期内各个阶段中各参与方内部及外部之间的工作方式和方法的深刻变

革^[1]。在全生命周期中,设计阶段是提高工程质量的主要阶段,在此过程加强对 BIM 的应用,可通过三维建模的方式完善其机制,让设计过程更加明晰^[2]。在施工阶段,运用 BIM技术的碰撞检查及布局设计、成本控制及数据处理、施工设计规划、施工重点管控,能够提升施工实效性,缩短施工工期,带来显著的经济效益^[3]。

通过与设计院交流发现,在市政管廊设计中,BIM技术渗透率较低,依然采用传统方式设计^[4],造成这种现象的原因较多,其中很大的因素是由于采用 BIM技术并没有减轻设计人员的工作量,反而由于三维模型的建立更加复杂,增加了设计人员的工作量。针对这一情况,通过深入调研发现,在传统管廊结构设计中,复杂井室的结构配筋设计工作

[收稿日期] 2022 -11 -09

[作者简介] 龚秀峰(1989 -),男,硕士研究生

[联系方式] E-mail: gongxiufeng@cabrtech.com

量较大,一是施工图需要表达井室中钢筋的真实弯曲形状^[5],并且不能用平法表达简化,二是由于方案变动引起井室结构及配筋方式改变,从而需要更新大量图纸,但是三维空间中钢筋弯折方向的复杂性,不同图纸表达同一位置的钢筋可能不正确,带来大量工作量^[6]。本文将 BIM 技术运用到管廊复杂井室结构设计中,实现了以三维钢筋数据为核心,根据整个工程中三维模型的唯一性,根据用户指定创建智能化剖切出图,同时在修改模型后批量更新图纸,大幅提高设计人员工作效率^[7-8]。

1 背景知识

在 BIM 以及 BIM 相关软件按照使用功能的不同,被美国的总承包商协会 (Asociation General ContactorsofAmerican 简称 ACC) 分成 8 个类型。

表 1 BIM 软件分类

类型	名称
第(1)类	概念设计和可行性研究软件
第(2)类	BIM 核心建模软件
第(3)类	BIM 分析软件
第(4)类	加工图和预制加工软件
第(5)类	施工管理软件
第(6)类	算量和预算软件
第(7)类	计划软件
第(8)类	文件共享和协同软件

其中 BIM核心建模软件是贯穿整个 BIM 活动载体,国内应用的 Autodesk Revit系列软件、Benetly Building系列软件、

Craphsoft的 ArchiCAD等软件均为国外公司开发,BIM核心建模软件的缺失是我国 BIM软件行业最大痛点。

本文研发的应用基于 BIMBase平台,通过平台将 BIM技术运用到市政管廊井室结构设计中,属于 BIM核心建模软件。BIMBase平台是北京构力科技有限公司研发的完全自主知识产权的国产 BIM 基础平台,基于自主三维图形内核 P3D,实现核心技术自主可控。

2 结构计算分析介绍

进行结构计算前,需要建立正确的三维模型,在软件中针对每个井室可以单独建立模型。三维

模型建立充分运用了 BIMBase平台的建模能力,建立的实例模型如图 1 所示

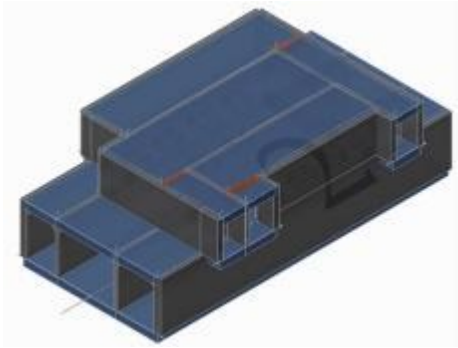


图 1 井室模型

根据建立的三维模型,按照结构计算要求生成对应的节点网格模型。将模型数据传人到结构分析软件得到对应结构分析结果。读取有限元计算返回的内力结果,软件会自动整理计算配筋。根据常用管廊结构分析标准,可以设置实配钢筋规则。根据设置参数,软件会跟计算配筋生成实配钢筋,并将实配钢筋数量放置在三维模型上,方便查看及交互修改。得到的实配钢筋结果如图 2。实配钢筋数据记录在每一个需要配筋的对象上,包括了内外侧 X方向与 Y方向通长钢筋和每边的附加钢筋。

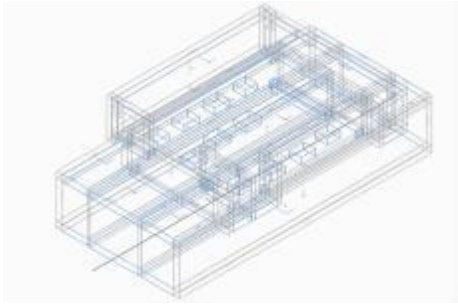


图 2 实配显示

2 钢筋建模准备工作

在根据实配钢筋生成三维钢筋前,需要在程序中设计钢筋类,方便后面调取钢筋及钢筋调整。钢筋类的设计既要方便程序中使用,又要与其余构件解耦,还要使钢筋参数符合物理世界中的描述方便用户交互,是程序设计中非常重要的环节。

2.1 钢筋建模基础类

这里设计了三个类,用于描述钢筋。一个基类 RebarBase用于单独描述钢筋通用数据,分别派生两

个子类,一个是 singleRebar用于描述单根钢筋及其位置,另一个为 RebarCroup 用于描述钢筋延某一方向的排布情况。在 RebarBase类中有如下关键属性:

RebarType:钢筋规格结构体,用于记录钢筋直径及钢筋型号。

Linestring:用于描述钢筋形状的多段线,线段上的点为钢筋实际经过的点,并且不包括钢筋端部弯钩的点。

HookType:用于描述钢筋端部形式结构体,一般有无弯钩,直锚型,有弯钩等等。单根钢筋需要记录两端钢筋型式。

singleRebar属性继承至基类。
RebarCroup 中增加位置关键属性:

spacings:钢筋组中各钢筋的间距布置规则。该属性值可用 $d_1 + n_1 \times s_1 + d_2$ 表示,如果钢筋并非均匀布置,可用 $d_1 + n_1 \times s_1 + n_2 \times s_2 + \dots + d_2$ 表示。 d_1 与 d_2 分别表示距离起始端的间距。

2.2 钢筋关系处理

在管廊结构设计中,管廊井室钢筋设计有两种特殊的设计,不同于建筑结构中钢筋布置。一种是环形钢筋,例如一个矩形井室的,底板、侧墙和顶板的外侧通长钢筋联通形成一个环形钢筋,角落处的附件钢筋也相互连接。另一种是 U型钢筋,即底板通长钢筋与侧墙附加钢筋相连接或者外墙通长钢筋与底板顶板附加钢筋连接,整个矩形外侧形成四个 U型钢筋环绕。因此需要在实配数据结构中增加属性 RebarRelaton:描述与外围钢筋的连接关系,一般有环形连接、U型连接或者无连接。在此基础上可以写出单钢筋连接算法,即两根钢筋合并形成一根钢筋,同时两根钢筋未连接端弯钩型式保持不变。这两类钢筋造型如图 3 所示。

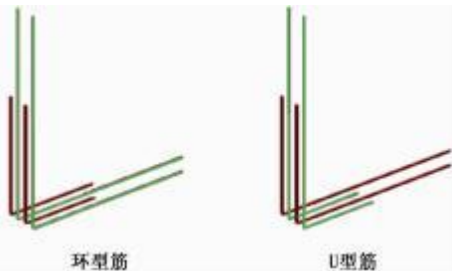


图 3 钢筋型式

3 钢筋深化算法及实例

在已经通过内力计算得到实配钢筋后,程序根据构件间空间关系,自动将墙分为内墙与外墙,同时板也划分为顶底板与中间板,方便处理钢筋弯钩方向。已经完成钢筋类设计及实配钢筋基础上,可以采用设计的钢筋深化算法自动生成井室钢筋,算法主要流程如图 4 所示。

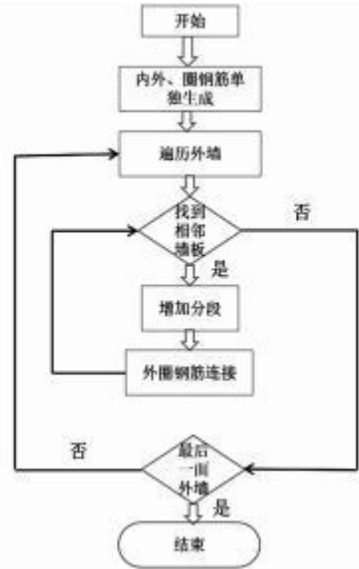


图 4 算法流程

3.1 内层钢筋生成

首先将所有墙板内侧钢筋按照实配钢筋生成钢筋组,需要注意的是内侧钢筋弯钩情况,墙的弯钩指向外侧,板的弯钩指向内侧。

3.2 外层钢筋及附加钢筋生成

其次将所有墙板外侧钢筋按照实配钢筋生成钢筋组,需要注意的是钢筋弯钩情况,外墙,顶底板外侧钢筋均指向内侧。墙板外侧附加钢筋按照通长钢筋间距,在每两根钢筋间生成一根附加钢筋。

3.3 模型分段

考虑到井室结构上下层影响,取下层外墙钢筋进行分段处理。沿着外墙起始方向,根据与外墙相关联的墙板长度将钢筋组分为多个钢筋组。

3.4 外圈钢筋重新处理

遍历外墙每组钢筋,按照几何位置分别查找相邻构件钢筋组,如果实配数据中记录了连接关系,则通过已有的单钢筋连接算法将整个钢筋组与相邻钢筋组连接起来。算法找到已经处理过连接

关系的钢筋则停止运算。

通过三维钢筋自动排布算法生成的钢筋如图 5 所示。整个井室外圈形成多个区域,每个局域根据实配钢筋设置不同可以形成环形钢筋及 U 型钢筋。

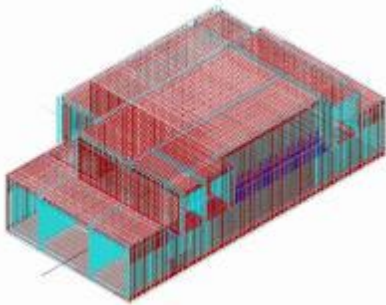


图 5 三维钢筋模型

3.5 三维钢筋简化显示

通过三维钢筋生成算法,可以得到整个模型上所有的钢筋排布,在此基础上可以进一步研究配筋图的生成。由于钢筋数量太多,对应观察和调整钢筋都很不方便,程序中设计了钢筋的简化显示。每一组钢筋可以只显示中间区域的一根钢筋,减少钢筋数量,方便观察及调整。而针对管廊井室的特殊钢筋连接,可以在此基础上,进一步减少钢筋显示,将墙板内未经过连接的钢筋隐藏,只显示经过连接处理的环形钢筋及 U 型钢筋。如图 6 所示,此时可以方便观察钢筋连接情况是否合乎设计并且能够方便修改。

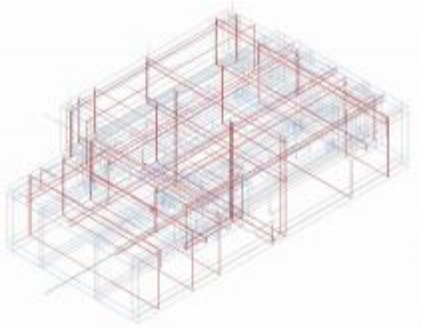


图 6 特殊钢筋显示

4 配筋图生成

传统设计流程中,井室配筋均是在二维平面中绘制出来,由于井室过于复杂并且不同区域钢筋的连接形式不一样,很容易造成绘制配筋不正确。在复杂井室中进行三维钢筋的建模主要是为了正确

绘制配筋图,修改模型的时候更新图纸保证了图纸与模型一致,减少用户工作量。

程序设计了剖图工具,用户可以选择需要的区域进行剖切出图。剖切时需要明确指出剖切平面及剖切范围,剖切范围内的几何对象会投影到剖切平面上。针对配筋图出图,可以分为两步。一是确定剖切平面及剖切范围,只将墙板等混凝土构件参与剖切,生成混凝土几何二维图形。二是根据剖切范围,找到对应的钢筋组,遍历所有钢筋组,取钢筋组中任意一根钢筋,将钢筋位置投影到剖切平面,与已经生成的混凝土几何二维图形组成完整的图纸内容。通过记录图纸中几何体与三维模型的关联关系,可以在二维图纸中找到对应的三维模型信息,因此程序可以更进一步进行自动标注,减少用户标注工作量。程序根据预设的规则可以生成尺寸标注和钢筋信息标注,初步完成配筋图。如图 8 所示。

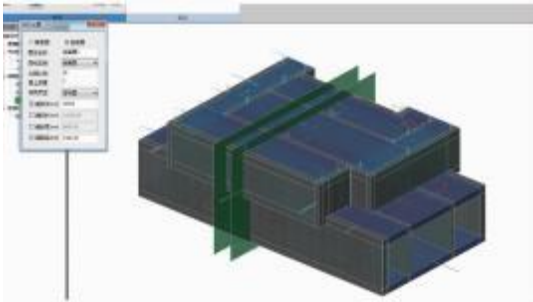


图 7 剖图位置选择

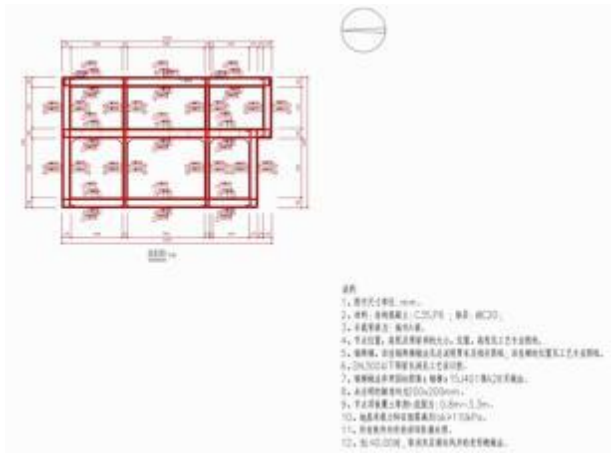


图 8 配筋图结果

一个管廊井室需要生成多张断面图纸,用于清楚地表达内部钢筋。当用户对三维模型中钢筋信

息进行了修改，由于二维图纸上的钢筋信息均与三维钢筋存在关联关系，程序可以判断哪些图纸受到影响，从而可以更新对应图纸。程序可以自动在多张图纸上修改对应的钢筋信息，确保了图纸与模型的一致性，减少了配筋图可能会产生的错误，同时也减少了用户的工作量。

5 结论

将 BIM技术运用到设计阶段能够充分利用模型信息，从而提高工作效率。本文尝试在管廊结构设计中运用 BIM技术，阐述了管廊结构设计中三维钢筋核心数据表达，提供了由实配钢筋生成三维钢筋的详细算法，并将三维钢筋应用于二维图纸。通过验证可以发现，通过 BIM模型 自动生成的三维钢筋及根据设定生成的配筋图纸能够满足设计的需要，并且具有与三维模型联动的效果，提高了工程设计人员的效率和设计准确性，具有很高的推广价值。

参考文献

[1] 张勇 .基于 BIM 的造价软件开发思维与架构[J] .土木工程信息技术 ,2019 ,11 (03) :55 -64 .

[2] 杨进忠 .BIM技术在施工图设计及工地服务阶段中的应用[J] .住宅与房地产 ,2021 (06) :105 -106 .

[3] 姜旭 .基于 BIM技术在机电施工中的应用研究[J] .建筑技术开发 ,2019 ,46 (20) :121 -122 .

[4] 刘辉 .综合管廊设计软件的研究和开发[J] .城市道桥与防洪 ,2017 ,04 (04) :247 -250 .

[5] 齐成龙 .基于 Teklastructures二次开发的框构桥横桥向钢筋 BIM设计[J] .结构工程师 ,2019 ,35 (03) :36 -43 .

[6] 叶勇 ,陈斐 ,肖映灼 ,等 .BIM技术在先进核电工程钢筋深化设计中的应用[J] .施工技术 ,2016 (s2) :3 .

[7] 邵艳丽 ,汪德江 ,杨骁 .建筑信息模型的钢筋建模及用量统计方法[J] .工业建筑 ,2017 ,47 (4) :5 .

[8] 蒋济同 ,程文昱 ,史甜甜 .基于平法施工图和 Revit二次开发的梁配筋三维可视化研究[J] .四川建筑科学研究 ,2022 ,48 (5) :9 .

加强核心技术,拓展国产 BIM 应用生态

— 重庆水利 BIM 技术管理平台应用

王良平, 雷娟, 杨国成, 龚校勇, 邹天歌, 林健, 赵俊丽(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] BIM技术管理平台以国产 BIMBase平台为依托,通过深化交流合作,不断拓展 BIM应用生态,提升建设行业数字化、网络化、智能化水平,推动行业数字化转型。平台结合重庆市水利工程建设项目特点,以 BIM 技术为核心,充分利用 CIs、电子签章、大数据、人工智能等技术,通过开发质量管理、安全管理、进度管理、投资管理等应用系统,辅助各级水利行政主管部门全面、动态、实时对建设项目的质量、进度、安全、投资等进行可视化、集成化、协同化管理,实现工程建设的降本增效,全面提升水利工程项目安全生产监管能力及施工现场精细化管理水平。

[关键词] 水工程管理; BIM应用; 数字化转型

strengthen Core Technology and Expand Domestic Bim Application Ecology

— Application of Chongqing water conservancy BIM Technology Management Platform

wang Liang-ping, Lei Juan, yang Guo-wei, Gong Xiao-yong, Zou Tian-ge, Lin Jian, Zhao Jun-li (Beijing Glory PKPM Technology Co., Ltd, Beijing 100013)

Abstract: The construction of BIM technology management platform is based on the domestic BIM Base platform and through deepening exchanges and cooperation, the BIM technology management platform continues to expand the BIM application ecology, improve the digital, networked and intelligent level of the construction industry, and promote the digital transformation of the industry. The platform combines the characteristics of Chongqing water conservancy construction projects, takes BIM technology as the core, makes full use of CIs, electronic signature, big data, artificial intelligence and other technologies, and assists water conservancy administrative departments at all levels to comprehensively, dynamically and real-time carry out visual, integrated and collaborative management on the quality, progress, safety and investment of construction projects through the development of quality management, safety management, progress management, investment management and other application systems. It achieves cost reduction and efficiency increase in project construction, comprehensively improves the safety production supervision capacity of water conservancy project construction projects and the level of refined management on the construction site.

Keywords: water engineering management; BIM Application; Digital transformation

0 引言

为深入贯彻习近平总书记重要治水思想,保障落实国家“十四五”规划纲要国家水网工程建设及水利部智慧水利建设新要求,依据重庆市委市政府关于“数字经济”的发展战略,结合市“一核两网·百库千川”水利行动,市水利局组织开展了重点水源工程建设 BIM 技术应用试点工作及“重庆市三峡库

区重点水利项目 BIM 技术管理平台”的建设,积极推进建筑信息模型(BIM)等技术在水利建设项目管理和市场监管全过程的集成应用,促进重庆市水利建设由传统的基础设施建设、粗放的工程项目管理逐步向新型基础设施融合发展,向工程信息化、数字化、智慧化方向稳步迈进。

BIM 技术管理平台以国产 BIMBase 平台为依托,通过深化交流合作,不断拓展 BIM 应用生态,提升建设行业数字化、网络化、智能化水平,推动行业数字化转型,助推智慧水利建设,具有重要的现实意义。

作为我国水利行业首个以 BIM 技术为核心构

[收稿日期] 2022-11-02

[作者简介] 王良平(1972-),男,硕士,主要研究方向: BIM 技术在数字建造中的应用与研究

[联系方式] E-mail: wangliangping@cabrtech.com

建的省厅级水利工程建设管理平台,项目实施没有范例可循,业务需求是创新最好的孵化器,我们以客户需求为第一着眼点,通过深入业务调研,编写调研分析,从分析中整理出平台框架,再通过多次讨论验证,最终确定平台方案设计。

1 BIM 技术管理平台概况

BIM技术管理平台结合重庆市水利工程建设项目特点,以 BIM 技术为核心,充分利用 CIs、电子签章、大数据、人工智能等技术,通过开发质量管理、安全管理、进度管理、投资管理等应用系统,辅助各级水利行政主管部门全面、动态、实时对建设项目的质量、进度、安全、投资等进行可视化、集成化、协同化管理,实现工程建设的降本增效,全面提升水利工程建设项目安全生产监管能力及施工现场精细化管理水平。平台业务框架见图 1。



图 1 BIM技术管理平台业务框架

重庆市三峡库区重点水利项目 BIM 技术管理平台项目的总体建设目标是基于 BIM等技术措施,建立"12(个应用系统)+N(N个创新示范应用)+1(个数字基底)"的全市水利建设项目建管平台及创新示范体系,见图 2,加强我市水利工程建设管理与市场监管能力现代化建设,推进水源工程建管模式创新,助推水利建设全面转型升级。

2 平台数字化转型应用

2.1 构建自主可控数字基底

基于国产自主可控 BIMBase引擎搭建重庆市水利工程全生命周期数字化管理平台,避免"卡脖子"现象,确保工程项目信息及模型数据的安全^[1]。与此同时,研究水利工程建设数字化模型移交、施工应用及成果审查机制,并建立相关标准规范。实



图 2 BIM技术管理平台 12 应用系统

现 BIM试点接入支撑及动态评价,全面提升水利工程全过程数字化管理水平,构建水利行业大数据及工程数字基底,助推水利建设数字化转型升级^[2],图 3 为 BIM技术管理平台进度管理。



图 3 BIM技术管理平台 -进度管理

2.2 推进业务协同数据共享应用

平台对内与水利局现有的业务系统实现数据集成、业务流程集成;对外与 BIM试点项目所建设实施的水利工程智慧工地及水利工程智慧建造系统之间实现互联互通,信息共享。通过内部和外部集成最终使重庆市三峡库区重点水利项目 BIM 技术管理平台既能独立运行,又能满足与 BIM试点项目之间的信息共享和流程协同要求^[3],图 4 为 BIM技术管理平台质量管理。



图 4 BIM技术管理平台 -质量管理

2.3 打造多级联动智慧监管格局

结合重庆市水利工程建设项目特点,以 BIM技

术为核心,通过研发质量管理、安全管理、进度管理、投资管理等 12 个应用系统,打造数据自动汇集、管理决策高效、横向到边、纵向到底的核心业务全过程覆盖的多层级管理体系。推进政府监管智能化及工程数字化建设,基本形成市、区县水行政主管部门(市水投集团)和项目法人多级联动的水利工程"智慧建管"格局,见图 5。



图 5 BIM技术管理平台 -市级大屏展示

3 平台应用价值

3.1 政策引领创新示范体系

早在 2020 年全国水利工作会上,水利部部长强调"充分运用云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能、5G、BIM、电子签章、区块链等技术,推动信息技术与水利业务深度融合"。次年,《水利部办公厅关于印发 2021 年水利工程建设工作要点的通知》中要求:积极推进建筑信息模型(BIM)等技术在水利建设项目管理和市场监管全过程的集成应用^[4],不断提高水利建设信息化水平。鼓励绿色建筑方式、建造工业化等领域的科技创新,助推水利建设全面转型升级。

3.2 协同化管理、降本增效

水利工程覆盖范围广、参建单位及人员众多,具有管理机构地域分布广、多层级、管理内容复杂的特点。传统的建设管理方式因信息交互、存储和分析手段等的落后,导致建设管理效率较低,各级水行政主管部门及项目建设单位管理协同难。搭建统一的标准化管理平台,通过协同化的信息交互方式进行业务交互,消除信息孤岛,满足工程建设实施阶段不同层级管理者的信息需求和功能需求^[5],保障整个建设管理的高效有序。

3.3 推进创新示范、赋能水利建

本项目基于 BIM、大数据、人工智能等技术打造

了水利工程施工质量 BIM审查系统、水利工程施工安全风险预警系统两项创新应用示范,更多的水利建设领域创新应用示范今后将分步展开。

4 结论

项目建成后将在库区重点水源工程建设提质增效方面发挥效益,当前工程建设管理的流程将得以优化,可实现异地办公和无纸化办公,减少具体工作中的通讯、交通和纸张等费用,从而降低管理成本,提高工作效率。

通过 BIM技术和信息化手段对项目建设进行数字化监管,构建多级联动的"智慧建管"格局^[6],可促进库区相关区县水行政主管部门"属地责任"及项目参建各方主体责任的落实,从而有效控制投资、减少变更、降低质量安全事故发生的概率,提升投资效益^[7]。

通过本项目建设,能获取、挖掘和开发各种相关的重点水源工程建设基础数据和资料,基于水利工程智慧工地、水利工程智慧建造系统上报的工程建设信息和实时监测信息,以及系统运行所形成的数据,能辅助水行政主管部门对库区重点水源工程项目建设实施阶段的工程概算、合同履行、设计变更、投资执行、质量安全等进行可控管理^[8],确保重点水源工程建设顺利推进,助推三峡库区经济社会发展,切实保障民生。

参考文献

- [1] 刘爽.建筑信息模型(BIM)技术的应用[J].建筑学报,2008,(02):100-101.
- [2] 牛博生.BIM技术在工程项目进度管理中的应用研究[D].重庆大学,2012.
- [3] 马奔.基于 Bentley软件的 BIM技术在水利工程数字化的应用研究[J].水利科技与经济,2022,28(07):130-134.
- [4] 张文彬,韦文国.建筑信息模型在工程项目管理中的研究和应用[J].山西建筑,2008,(28):223-224.
- [5] 赵楠,李万渠,陈燕萍.基于 BIM技术的水利工程全生命周期管理研究[J].四川水利,2022,43(04):116-121.
- [6] 郑浩,姚振伟.BIM+GIS组合技术在水利工程项目全生命周期的应用[J],2022(第十届)中国水利信息化技术论坛论文集,2022,963-968.
- [7] 徐勋柏.BIM在水利工程设计施工中的应用[J].江西建材,2022,(05):233-235.
- [8] 宋承平,BIM技术在水利水电工程可视化仿真中的应用[J],广西城镇建设,2022,(05):76-83.

基于 BIM 的基坑阳角锚杆 钻孔优化方法

李丹洋¹, 焦子寒², 陈可欣¹, 李志鑫¹, 洪文杰¹ (1.北京华筑建筑科学研究院有限公司, 北京 100176; 2.北京工业大学, 北京 100124)

[摘 要] 近年来, 基坑的安全问题引起了行业广泛的关注。基坑的阳角由于自身结构问题, 所承受荷载更大, 更容易发生基坑倒塌。其中基坑阳角支护的桩锚结构, 从设计初始阶段就存在锚杆交叉碰撞的问题。本论文基于 BIM 技术在施工阶段对基坑阳角锚杆钻孔进行优化, 通过 Dynamo 软件直观展现锚杆碰撞情况, 依据国家标准优化钻孔倾角和孔位。以此方法减少因锚杆碰撞造成的锚杆锚固力水平分力的损失, 从而保证基坑支护体系的安全稳定。

[关键词] 锚杆钻孔; 基坑阳角; BIM; Dynamo

Drilling Optimization Method of External Corner Rock Bolt in Foundation Pit Based on BIM

Li Dan-yang¹, Jiao Zi-han², Chen Ke-xin¹, Li Zhi-xin¹, Hong Wen-jie¹ (1. Beijing Huazhu Building Research Institute Co., LTD., Beijing 100176, China; 2. Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In recent years, the safety problem of foundation pits has attracted extensive attention in the industry. Due to its own structural problems, the Yang Angle of foundation pits bears more load and is more prone to collapse of foundation pits. The pile-anchor structures supported by Yang Angle of foundation pits have the problem of bolt collision from the initial design stage. Based on BIM technology, this paper optimizes the borehole of Yang Angle bolt in the foundation pit during the construction stage, visually displays the impact situation of bolt through Dynamo software, and optimizes the borehole inclination angle and hole location according to the national standards. Thus, the loss of horizontal component of bolt anchorage force caused by bolt collision is reduced. It can effectively ensure that the passive earth pressure formed by retaining pile embedment depth and the anchorage force generated by anchor rod jointly resist the active earth pressure generated by earth pressure, water pressure and ground excess load around the foundation pit, so as to ensure the safety and stability of the foundation pit supporting system.

Keywords: Rock bolt hole; External corner of foundation pit; BIM; Dynamo

0 引言

近年来, 随着我国现代化建设的飞速发展, 基础设施建设方面取得了较大成就。城市建筑逐步由地上二维向地下三维的趋势发展。许多大型建筑都有配套的地下室或地下车库, 相应的基坑开挖深度都很大。高层建筑地下结构建设时, 其上部结构重量较大, 对地下结构要求较高^[1]。随着综合地下管廊的建设, 城市管道更加密集^[2]。因此基坑的安全问题引起了行业广泛的关注。特别对基坑的阳角来说, 由于自身结构问题, 所承受荷载更大, 更

容易发生基坑倒塌, 从而引起周边环境破坏, 造成一系列社会不良后果。锚杆支护技术是房建工程施工中应用十分广泛的支护技术之一^[3]。该技术需要的人力、物力较少, 不需要进行振捣作业和模板作业, 能有效减少工时、工序^[4]; 应用在基坑巷道围岩中, 可以起到加固作用, 以此提升基坑结构的稳定性^[5]。目前用于基坑阳角支护的桩锚结构, 从设计初始阶段就存在锚杆交叉碰撞的问题。因此, 如何更好地保证基坑阳角处的土体安全, 已经变得越来越重要, 越来越迫切。

与传统方法相比, BIM 技术可以节约大量的时间成本^[6]。将其应用在隐蔽性工程中, 可很好地解决施工中不可预见的施工风险^[7]。本优化方法采用 BIM 技术优化锚杆设计角度, 能从理论上大幅度

[收稿日期] 2022-11-

[作者简介] 李丹洋(1993-), 男, 本科, 助理工程师

[联系方式] E-mail: 2212517409@qq.com

减少阳角处锚杆碰撞点数,再对不可避免的碰撞问题进行技术攻关,减少因锚杆碰撞造成的锚杆锚固力水平分力的损失。有效保证支护桩嵌固深度形成的被动土压力及锚杆产生的锚固力共同抵抗基坑周围土压力、水压力、地面超荷载等产生的主动土压力,从而保证基坑支护体系的安全稳定。

1 模型创建

1.1 嵌套参数化锚杆族文件

在 Revit 软件选用常规模型族样板,根据锚杆所给设计图纸,选定控制几何形体的主控几何参数,制作参照平面,运用拉伸、融合、放样、放样融合模型生成命令进行锚杆模型制作,通过软件内部参数化逻辑,尺寸标注参照平面,设置“自由端长度”、“锚固端长度”、“钢绞线锚头长度”、“钢绞线直径”、“锚固体直径”、“锚头据壁距离”几何尺寸类型参数,同时设置“钢绞线材质”、“锚固体材质”、“锚头材质”三项材质类型参数,保存锚杆未添加倾角参数族文件。

再次选用常规模型族样板,载入锚杆未添加倾角参数族文件,绘制参照线,添加角度尺寸标注,设置“倾角角度”实例参数,把载人族文件放置到参照线正确的拾取面上并锁定,最后把锚杆未添加倾角参数族里的类型参数关联为嵌套族的实例参数,完成锚杆嵌套族文件制作。制作好的锚杆模型如图 1 所示。



图 1 参数化锚杆模型图

1.2 制作基坑阳角支护模型

在 Revit 项目文件中,载入锚杆嵌套族文件,根据设计图纸制作基坑阳角支护模型,依据设计信息布置钻孔灌注桩、止水帷幕、冠梁、桩间土、腰梁、锚杆,将二维设计图信息 1:1 反应到三维模型中。

2 优化过程

2.1 Dynamo 数据检测

在 Dynamo 中运行程序脚本一,其程序技术路

线如图 2 所示。选择阳角第一侧和第二侧锚杆模型、阳角锚杆模型并选择碰撞报告优化表单路径,通过运用内部节点 selectModelElement 选择锚杆模型,利用 List.Join 将选择锚杆从上到下依次整合图元列表。同时,通过 FilePath 节点读取表 1 所示《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》路径。

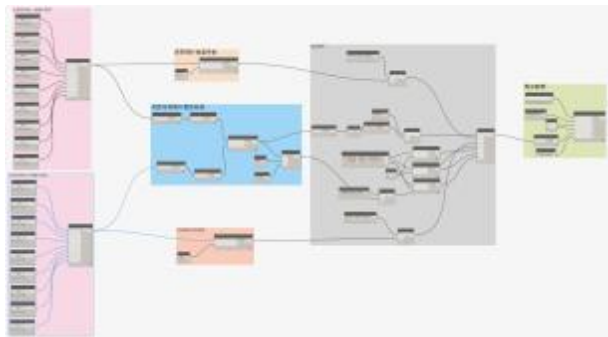


图 2 脚本一 碰撞数据导出 Dynamo 程序技术路线图

利用 Element.Geometry 节点将 Revit 模型转化到 Dynamo 软件中,由于锚杆是由多个模型制作命令生成,需要用 solid.ByUnion 节点将每个锚杆模型组合,通过 Geometry.DoesIntersect 节点判断横向每排锚杆是否发生碰撞,从而输出布尔值,再用 If 节点将布尔值转化为碰撞字符串。

利用 Element.CetParameterValueByName 节点读取现有锚杆倾角角度。

将碰撞字符串、倾角角度和各项数据表头字符串利用 List.Create、List.Transpose 节点做好数据列表排序、行列互换,汇总好导入表格数据。

利用 Data.ExportExcel 节点将汇总数据导入得到表 1《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 数据检测。

2.2 钻空倾角角度优化

根据 2.1 中存在的碰撞问题,在 Dynamo 自动模式下运行程序脚本二,其程序技术路线如图 3 所示。选择阳角第一侧锚杆模型、阳角第二侧锚杆模型、碰撞报告优化表单路径,输入倾角调整角度,输入 Excel 表格数据录入行数,通过运用 selectModelElement 节点选择锚杆模型,利用 FilePath 节点读取表 1《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 数据检测路径,利用 Numberslider 节点设置好倾角角度国家标准允许最大值 3°,最小值 0°,滑块步数 1:(可根据需求调整小数精度)并导入表 1《基坑阳角锚杆

表 1 《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 数据检测

锚杆序号	阳角第一侧锚杆倾角角度	阳角第二侧锚杆倾角角度	两侧锚杆是否发生碰撞	优化后阳角第一侧锚杆允许倾角具体区间	优化后阳角第二侧锚杆允许倾角具体区间	优化后阳角第一侧锚杆允许孔位移动区间
第 1 排锚杆	15	15	碰撞			
第 2 排锚杆	15	15	碰撞			
第 3 排锚杆	15	15	碰撞			
第 4 排锚杆	15	15	碰撞			
第 5 排锚杆	15	25	无碰撞			
第 6 排锚杆	25	25	碰撞			
第 7 排锚杆	25	25	碰撞			
第 8 排锚杆	25	25	碰撞			
第 9 排锚杆	25	25	碰撞			

碰撞报告优化表单》— 数据检测中行数定义整数。

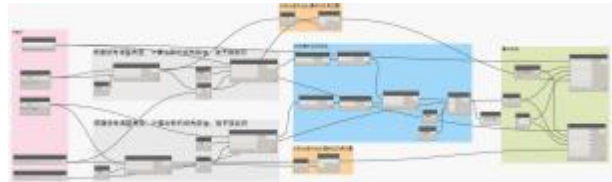


图 3 脚本二钻孔倾角优化及碰撞数据导出
Dynamo程序技术路线图

利用 Element.CetParameterValueByName节点获取最初倾角数值,利用 CodeBlock 节点设置公式,结合倾角调整数值计算出新的倾角数值,通过 Element.setParameterByName节点将新的倾角数值赋予到族实例中。

利用 Element.Ceometry节点将 Revit模型转化到 Dynamo软件中,由于锚杆是由多个模型制作命令生成,需要用 solid.ByUnion 节点将每个锚杆模型组合,通过 Ceometry.DoesIntersect节点判断横向锚杆是否发生碰撞,从而输出布尔值,再用 If节点将布尔值转化为碰撞字符串,通过 watch 节点可以在自动模式下实时查看锚杆碰撞结果。

利用 CodeBlock 节点设置公式,计算出倾角调整优化的区间范围,在通过 Python script节点编写程序:OUT=str([。+str(int(IN[0])))+。+str(int(IN[1]))+。])。将其转换为字符串。

利用 Data.ExportExcel节点将汇总数据导入得到表 2《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 倾角

优化。

表 2 《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 倾角优化

锚杆序号	阳角第一侧锚杆倾角角度	阳角第二侧锚杆倾角角度	两侧锚杆是否发生碰撞	优化后阳角第一侧锚杆允许倾角具体区间	优化后阳角第二侧锚杆允许倾角具体区间	优化后阳角第一侧锚杆允许孔位移动区间
第 1 排锚杆	15	15	碰撞	[17 ,18]	[13 ,12]	
第 2 排锚杆	15	15	碰撞	[17 ,18]	[13 ,12]	
第 3 排锚杆	15	15	碰撞	[18 ,18]	[12 ,12]	
第 4 排锚杆	15	15	碰撞	[16 ,18]	[14 ,12]	
第 5 排锚杆	15	25	无碰撞			
第 6 排锚杆	25	25	碰撞	[26 ,28]	[24 ,22]	
第 7 排锚杆	25	25	碰撞	[26 ,28]	[24 ,22]	
第 8 排锚杆	25	25	碰撞	[26 ,28]	[24 ,22]	
第 9 排锚杆	25	25	碰撞	[26 ,28]	[24 ,22]	

2.3 钻空空位优化

根据 2.2 中存在的碰撞问题,在 Dynamo自动模式下运行程序脚本三,其程序技术路线如图 4 所示。选择阳角第一侧锚杆模型、阳角第二侧锚杆模型、碰撞报告优化表单路径,输入孔位调整数值,输入 Excel表格数据录入行数,通过运用 selectModel Element节点选择锚杆模型,利用 FilePath节点读取表 2《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 倾角优化路径,利用 Numberslider节点设置好孔位调整国家标准允许最大值 100mm,最小值 0,滑块步数 1mm(可根据需求调整小数精度)并导入表 2《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 倾角优化的行数定义整数。

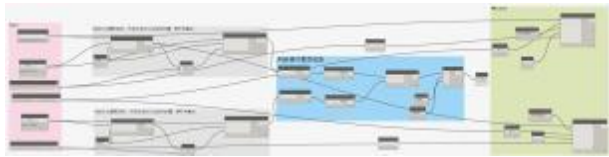


图 4 脚本二钻孔倾角优化及碰撞数据导出
Dynamo程序技术路线图

利用 Element.CetParameterValueByName节点获取最初孔位偏移数值,利用 CodeBlock 节点设置公式,结合倾角调整数值计算出新的孔位偏移数值,通过 Element.setParameterByName节点将新的孔位偏移数值赋予到族实例中。

利用 Element.Ceometry节点将 Revit模型转化

到 Dynamo 软件中,由于锚杆是由多个模型制作命令生成,需要用 solid.ByUnion 节点将每个锚杆模型组合,通过 Ceometry.DoesIntersect 节点判断横向锚杆是否发生碰撞,从而输出布尔值,再用 If 节点将布尔值转化为碰撞字符串,通过 watch 节点可以在自动模式下实时查看锚杆碰撞结果。

利用 CodeBlock 节点设置公式,计算出倾角调整优化的区间范围,在通过 Python script 节点编写程序:

```
if IN[0] == 0 :
    OUT=str(。.)
elif IN[0] > 30 :
    OUT=str(。[。+str( int( IN[0] )) ) +。.,。+str(100) +。]。.)
else:
    OUT=str(。[。+str( "100 ) +。.,。+str( int(IN[0] )) +。]。.) ,
```

通过条件语句判断,将其转换为正确倾角调整优化区间字符串。

利用 Data.ExportExcel 节点将汇总数据导入得到表 3《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 钻孔优化。

表 3 《基坑阳角锚杆碰撞报告优化表单》— 钻孔优化						
锚杆序号	阳角第一侧锚杆倾角角度	阳角第二侧锚杆倾角角度	两侧锚杆是否发生碰撞	优化后阳角第一侧锚杆允许倾角具体区间	优化后阳角第二侧锚杆允许倾角具体区间	优化后阳角第一侧锚杆允许孔位移动区间
第 1 排锚杆	15	15	碰撞	[17 ,18]	[13 ,12]	[35 ,100]
第 2 排锚杆	15	15	碰撞	[17 ,18]	[13 ,12]	
第 3 排锚杆	15	15	碰撞	[18 ,18]	[12 ,12]	
第 4 排锚杆	15	15	碰撞	[16 ,18]	[14 ,12]	
第 5 排锚杆	15	25	无碰撞			
第 6 排锚杆	25	25	碰撞	[26 ,28]	[24 ,22]	
第 7 排锚杆	25	25	碰撞	[26 ,28]	[24 ,22]	
第 8 排锚杆	25	25	碰撞	[26 ,28]	[24 ,22]	
第 9 排锚杆	25	25	碰撞	[26 ,28]	[24 ,22]	

3 优缺点

3.1 优点

(I) 程序脚本二、三须在 Dynamo 自动模式下运

行,运用数字滑块驱动倾角和孔位,实时更新模型数据,可直观展现锚杆碰撞情况;

(2) 倾角优化程序脚本二依据《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(CB50202 -2018)中锚杆质量检验标准钻孔倾角 $\leq 3^{\circ}$,符合施工质量验收标准;

(3) 孔位优化程序脚本三依据《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(CB50202 -2018)中锚杆质量检验标准钻孔孔位 $\leq 100\text{mm}$,符合施工质量验收标准;

(4) 在设计信息和国家标准误差允许范围内,提前进行基坑阳角锚杆钻孔倾角和孔位优化,获取精确范围数值区间,如图 5 优化后碰撞情况消失,有效减少了阳角处锚杆碰撞点数,保证基坑支护体系的安全稳定。

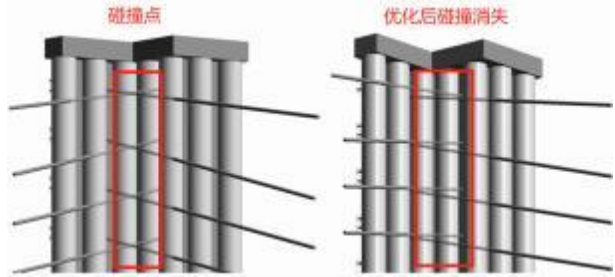


图 5 锚杆碰撞优化前后对比示意图

3.2 缺点

(I) 程序未考虑地下管线影响因素^[8]。方法研究初期没有完备的地下管线项目文件,实际施工时需要按照实际情况,在对地下既有管线和新建管线建模后优化锚杆钻孔;

(2) 优化程序脚本分为优化钻孔孔位和优化钻孔倾角两段,优化过程耗时长,后期应继续优化算法,保证程序的智能和高效;

(3) 本程序目前不支持基坑阳角两侧多列锚杆碰撞检查及优化,后期应继续优化算法,增强程序脚本的适用性。

4 结论

随着基坑的安全问题越来越受到行业广泛的关注。基坑的阳角由于自身结构问题,所承受荷载更大,更容易发生基坑倒塌,成为了基坑安全问题的一大重点。其中基坑阳角支护的桩锚结构,从设计初始阶段就存在锚杆交叉碰撞的问题。本方法

正是针对这一问题而提出,完全适用于基坑阳角锚杆在邻近阳角的两列锚杆发生碰撞的情况,同时还适用任意两列锚杆碰撞检查和优化。本方法运用 BIM 技术优化锚杆设计角度,能减少大量时间成本;运用 Revit 制作出参数化锚杆嵌套族文件,可以用于任何锚杆建模,方便快捷;运用 Dynamo 软件,可以在自动模式下运行程序脚本二和三,运用数字滑块驱动倾角和孔位,实时更新模型数据,直观展现锚杆碰撞情况且优化结果符合《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(CB50202-2018)的要求,在设计图纸的基础上获得阳角锚杆倾角和孔位调整的最优解区间,在国家标准允许的范围内减少碰撞,从而减少因锚杆碰撞造成的锚杆锚固力水平分力的损失。有效保证支护桩嵌固深度形成的被动土压力及锚杆产生的锚固力共同抵抗基坑周围土压力、水压力、地面超荷载等产生的主动土压力,从而保证基坑支护体系的安全稳定。通过本方法所得结果可以直接用于指导施工,保证基坑支护体系的

安全稳定,为解决阳角锚杆碰撞问题提供借鉴。

参考文献

[1] 陈友彬.预应力抗浮锚杆施工技术要点[J].建筑技术开发,2022,49(18):33-35.

[2] 葛世超,董军,丁克良,等.三维可视化控制技术在基坑支护中的应用[J].施工技术(中英文),2022,51(10):78-81+86.

[3] 田子能.房建工程中深基坑开挖与支护施工技术的应用[J].安徽建筑,2022,29(08):94-96.

[4] 王刚.基坑支护工程设计施工技术探析[J].大众标准化,2022,(18):155-156+159.

[5] 林春平,姜月菊,任耀辉,等.BIM技术在海口北塔基坑工程中的应用[J].施工技术,2018,47(s1):1579-1581.

[6] 胡华露.土木工程中边坡支护技术的应用探究[J].房地产世界,2022,(17):140-142.

[7] 薛飞.基坑支护系统控制及三维可视化研究[D].上海:同济大学,2006.

[8] 江宁,夏长华,唐君,等.大角度锚杆在某深基坑工程中的应用[J].施工技术(中英文),2022,51(13):43-46.

基于国产 BIM 的阶段差异化 辅助设计决策方法研究

李佳琪,王新颖,周轶泽(北京构力科技有限公司,北京 100013)

[摘要] 在 BIM模型审查的相关研究和应用方面,现阶段国内外的成果以模型整体的完整性检查和在此基础上的审查分析为主,缺少针对不同设计阶段的差异化辅助审查解决方案。为研究信息模型数据在方案设计阶段的应用价值,解决设计过程中的模型辅助决策工具缺失问题,研究提出基于 PKPM-BIM 的差异化辅助设计决策方法,可以基于不同设计阶段模型的 LOD 提供设计师差异化的辅助分析工具,协助判断或优化设计的合理合规性。本研究成果应用于 BIM正向设计场景,以软件内信息模型的数据分析、联动机制内置为主要方法,经实际工程验证具备一定的可实施性和应用意义。

[关键词] BIM; 智能审查; 计算机辅助分析

Research on Differentiated softwareAided ArchitecturalDesign Method Based on BIM systeminChinaAccordingtoDesign stage

LiJia-gi,wang Xin-ying,Zhou yi-e(Beijing GloryPKPM TechnologyCo.,Ltd.,Beijing 100013,China)

Abstract: In termsoftherelevantresearch and application ofBIM modelreview, theachievementsatthisstagemainlyfocuson the overallintegrityinspection ofthemodeland thereviewanalysisbased on this, and thereisalack ofdifferentiated auxiliaryreview solutionsfordifferentdesign stages. In ordertostudytheapplication valueofinformation modeldataintheschemedesign stageand solvetheproblemoflack ofmodelaided decision- makingtolsin thedesign proces, adifferentiated aided design decision- making method based on PKPM- BIM isproposed. Thismethod can providedesignerswithdifferentiated auxiliaryanalysisistolsbased on LOD ofmodelsatdifferentdesign stagesto helpjudgeoroptimizethereasonablecomplianceofdesign. Thereseach resultsareapplied to theBIM forward design scenario, withthedataanalysisoftheinformation modelinthesoftwareand thebuilt- inlinkagemechanismas themain methodstoassistthedesign decision. Itascertain feasibilityand application significance through actualengineering verification.

Keywor4 s: BIM; inteligentspecification review: computeraided analysis

0 引言

建筑信息模型(BIM) 是以 3D技术的基础之上集成建筑工程项目各种相关信息形成综合的工程数据模型^[1], BIM模型中大量的数据信息,为建筑的分析计算提供了新的方法,通过合理的应用,有助于建筑方案设计团队借助数字工具更快捷、精确的进行各项指标的自动计算和分析,有依据地进行方案决策,助力建筑行业的数字化、智能化升级。

将 BIM模型应用于数据分析和辅助建筑设计的研究已有相关的成果:

BIM 模型的正确性与协调一致性是 BIM 技术

应用的基础,对此,国外在三维模型质量检查方面的软件工具应用以 solibrimodelchecker为主,该软件可以对建筑信息模型的完整性、建模质量协同化进行验证,除此之外还可以支持物理安全分析等各方面的检查和分析。^[2]。而国内针对建筑物三维模型数据的质量控制也有一定的研究成果:朱紫阳等提出了建筑物三维景观模型检查方案与质量评定标准,并将其应用于生产实践^[3];张军提出了三维模型质量控制方法,为数字城市大规模三维建模工作的开展提供了参考^[4]。应用方面,针对 BIM模型的质量检查,深圳于 2022 年上线 BIM报建系统,并发布 sZ-IFC转换插件和 sZ-IFC报建自检工具,针对模型的完整性给出了政策性的检查方案。

基于完整和正确的 BIM模型,提取数据,辅助数字化设计决策的研究以模型整体分析为主:王妍

[收稿日期] 2022 -11 -15

[作者简介] 李佳琪(1995 -),女,硕士

[联系方式] E-mail: lijiaqi@ cabrtech. com

提出通过对 BIM模型数据中对象的检索、参数的查询和统计,实现建筑面积的自动计算^[5]。郭鑫等提出了结合规则定义实现精细碰撞检测的思路,将 BIM技术用于规划面积指标审查^[6]。同时将部分规范进行转译,并通过 solibri工具进行最终实现^[7-8]。发达国家在信息模型智能审查模块启动较早,主要有 solibriModelChecker^[2]、sMARTcodes、CorenetE-plan Checker等电子审图平台。

现阶段国内外的研究成果以模型整体的完整性检查和在此基础上的审查分析为主,而当模型单专业、全专业不完整时,即在设计的不同阶段,同样有对于设计方案辅助决策工具的需求,本文针对此方面的缺失,提出在迭代设计阶段中,通过差异化的辅助分析方法,提供设计师决策参考,协助判断或优化设计的合理合规性。

1 基于 PKPM-BIM 的差异化辅助决策方法

由于辅助分析需要建模作为基础,不同软件的差异性较大,因此本文仅以 PKPM-BIM建筑全专业协同设计系统为例进行研究。PKPM-BIM基于国产自主的 BIMBase平台研发,涵盖建筑、结构、给排水、暖通、电气五个专业模块,提供全专业的 BIM建模和数字化应用工具。以 PKPM-BIM 为研究对象,原因如下:一,PKPM-BIM作为国产 BIM 系统,应用范围以国内设计场景居多,可对通用设计流程、设计规范进行范围限定,以求有针对性的提出解决方案;二,审查作为方案设计决策时的要考虑的重要场景,PKPM-BIM现已有一定的数字化审查基础,在此基础上的方案更具备可实施性;三,PKPM-BIM支持构件创建的专业、类别较广,满足方案决策中对于构件的计算和分析要求,同时 PKPM-BIM 的协同基于同一平台,有相关的协同检查条件,满足跨专业的数据信息提取要求。

差异化辅助决策方法对模型进行分析的基础是 BIM模型中的构件数据信息,因此首先对模型信息进行提取,而后根据不同设计阶段需要辅助分析的内容,将提取到的信息进行组合利用,执行后台的分析计算,计算结果根据需求进行不同形式的呈现。

1.1 模型信息提取

PKPM-BIM 的功能框架体系结构,主要包括五个层级:sDK层、公共工具层、数据层、应用层、表示层,

而基于此,体现在模型数据信息的分析应用层面,支持提取且可以应用于辅助分析的模型信息包括:

1) 项目全局(基本)信息:包括建筑类型、分类、耐火等级、高度、工程性质等参数。

2) 单一构件信息:包括构件的类型、几何信息、非几何属性、位置等参数。

3) 多构件的关联性信息:包括构件之间的关联逻辑、相对位置、交接关系等参数。

4) 空间与构件的关联性信息:PKPM-BIM 中的空间信息获取,以楼层设置、房间和区域的建模为基础。在此基础上,楼层与构件的关联关系以链接楼层属性或高度范围比对为依据。而空间作为一种特殊的包围盒"构件",其与其他构件的关联关系同上述多构件的关联性信息一致。

5) 跨专业协同构件的组合信息:除通用的单一构件信息、关联性信息外,还包括构件的所属专业等参数。

1.2 基于不同设计阶段的差异化辅助方案

基于设计流程,不同建筑设计阶段的方案完成度、待决策的内容不一致,而在软件应用层面,不同建模阶段的 LOD(模型精度等级)有所差异,因此基于模型数据直接进行分析并辅助决策的内容应与当前阶段的设计数据信息匹配,软件开发时应根据设计应用的阶段,提供一定的差异化解决方案,避免出现由于模型精度需求大于当前阶段设计要求,导致的过度建模、数据缺失引发的判定错误等问题。综上,本研究以建筑设计的阶段作为分类依据,提供差异化的辅助决策方式。

1) 局部空间的设计阶段

在建筑方案设计过程中,局部空间、构件细节的设计决策穿插于整个流程之中,此阶段的建模及应用特点如下:一,模型信息的完整性参差不齐,从建模初期到方案最后的细节补充阶段,均有相应决策的场景;二,判断逻辑简单,但需要判断的场景情况繁杂、类型多样;三,决策的依据主要为国家标准规范,具有一定的非主观特征。

据上述此阶段的模型信息和设计应用特征,总结需求如下:一,支持提取和比对的模型信息数据需支持不同的 LOD(模型精度等级),且对模型信息的完整性需求应仅涉及相关构件和信息的最小化集合,其他无关信息的缺失不应影响执行分析;二,辅助分析的功能调用需简洁快速,响应时间不宜过

长,同时,考虑的场景和构件类型需全面;三,需充分参考国家规范标准。据此,在 PKPM-BIM 的基础上开发相关功能,以栏杆至完成面高度的自动计算、赋值为例:

栏杆至完成面的高度属性与多个国内的规范和标准相关,其设计的结果将对建筑的安全性产生影响。在常见的 BIM 软件中,模型信息的显示仅包含了栏杆的几何三维高度信息,将至完成面高度这一自动计算的数值,加入信息显示作为参照,将辅助设计师做出正确的决策判断,保障建筑安全。

根据《民用建筑统一设计标准》(20J813)中对于栏杆高度这一数值的计算要求:栏杆高度应从所在楼地面或屋面至栏杆扶手顶面垂直高度计算,当底面有宽度 $\geq 0.22\text{m}$,且高度 $\leq 0.45\text{m}$ 的可踏部位时,应从可踏部位顶面起算。据此标准,软件开发自动计算的功能,首先判断栏杆的一定范围内是否有反沿或楼地面,在此基础上进行规范限值的比对以判定具体的可踏面构件,而后根据内置的计算规则进行自动计算,结果实时显示于属性栏相应位置,可以在设计过程中作为参照辅助设计。在后期的规范审查应用中,可以将计算结果与规范限值进行比对,判断建筑方案的合规性。软件的判断和计算逻辑见图 1。

除计算规则外,基于局部设计的应用场景及需求,对此功能进行便捷性和合理性的优化,首先,简化模型完整度要求,仅将栏杆、板、墙体纳入分析的构件类型,未创建其他件的情况下不影响分析的执行;其次,优化辅助分析结果的显示,在属性栏进行实时的查看和数据刷新(见图 2);最后,将规范和标准植入,持续更新。

2) 方案整体把控阶段

这个阶段,单专业 BIM 模型已基本创建完整,设计决策的内容逐渐从前期的设计概念主导转变为合规性检查为主,因此在这个阶段的辅助决策模式由前期的局部为主、最小化构件集合,转变为对完整信息模型整体进行审查的策略,设计师尽量多的提供必要的设计信息,而在此基础上,软件尽量多的利用数据来进行比对和计算,为方案的合规性提供参考建议。通过 PKPM-BIM 软件内的智能审查功能,满足此阶段的应用需求,本文在此予以总结和梳理。

完整的 PKPM 审查系统面向设计单位和政府部

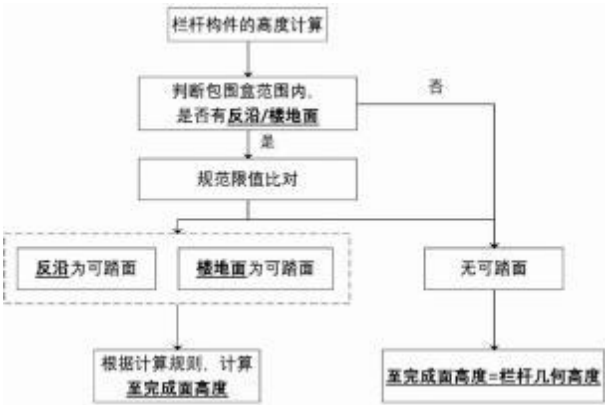


图 1 栏杆至完成面高度的判定和计算逻辑
Fig. 1 Calculation logic of height from railing to finished surface

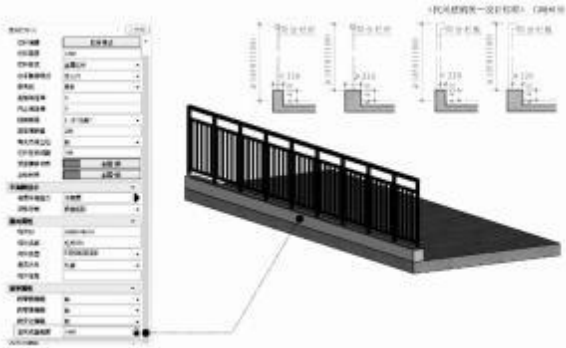


图 2 栏杆至完成面高度的判定结果显示示例
Fig. 2 Example of result display of height from railing to finished surface

门,有不同的审查端口。本文的讨论以正向设计场景下,对设计师决策的辅助分析应用为主,范围限定于面向设计单位的“智能审查”。该方式提供设计、审查、调整闭环 workflow,应用流程如下图 3:首先,对模型中必要信息的完整性进行自检,而后选择需要审查的条文并执行智能审查,在后台审查完成后软件会将结果返回,通过选择不合规的问题可以直接定位到相关构件并高亮显示(见图 4),此时构件处于选择状态,可直接进行编辑修改。

3) 多专业协同设计阶段

这个阶段,全专业 BIM 模型已基本创建完整,现有的模型数据可以支撑专业间的匹配度检查、项目最终成果的实际空间效果检查等,以模型分析辅助问题检测与设计决策,减少人工核查的成本,同时减少由于人为纰漏导致的错判、误判,造成经济损失和人工浪费。



图 3 智能审查辅助设计流程

Fig. 3 Flowchart of intelligent specification review

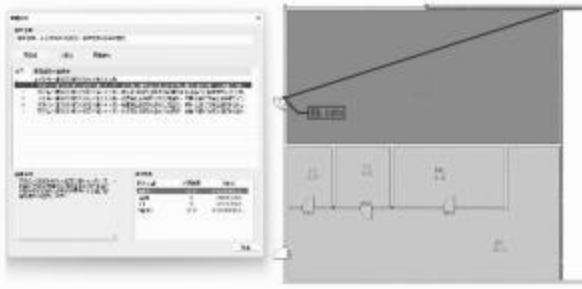


图 4 智能审查的计算结果标记示例

Fig. 4 Example of calculation result mark of intelligent specification review

以碰撞检查为例，合模后，可以平台内直接开展全专业间的碰撞检查，除按楼层选择专业、构件类型进行针对性的碰撞筛选外，还可以根据系统参数设定管径间安全距离和过滤的管径尺寸，对“间隙碰撞”进行检测(见图 5)。碰撞结果会在模型中生成标记，据此通过构件对齐、空间搭接、构件裁剪、局部调整等编辑工具直接进行优化调整。



图 5 碰撞检查软件界面

Fig. 5 Collision inspection interface in PKPM-BIM

2 项目案例的应用过程

2.1 项目概况

为了验证阶段差异化辅助设计方法在实践中

的应用效果，研究以某科研试验大楼为案例进行应用分析。

项目属一类高层，西、北方向临城市道路，南侧为某 7 层办公建筑，东临某 18 层居住建筑。总建筑面积 6.4 万余平方米，地上 20 层，地下 4 层。

2.2 阶段差异化的模型分析应用

1) 局部设计阶段：

在局部空间设计阶段，可以通过不同构件的属性栏自动计算结果参照，在设计过程中对构件的规范属性进行核对。对于此公建项目，设计过程中主要参考的自动计算属性包括栏杆扶手的至完成面高度、房间的面积与人数(见图 6)、区域的面积与人数、墙梁板柱的燃烧性能等(计算依据参照表 1)，设计师通过将实时显示在属性栏中的参考数值与设计要求、规范限值的比对，决策局部设计的空间布局与细部构件尺寸。

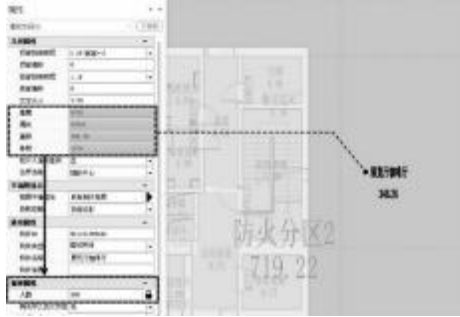


图 6 房间面积与人数的自动计算结果参照

Fig. 6 Automatic calculation result of room area and number of users

除此之外，BIM建模过程中需要对构件信息进行详细输入以支持后期的应用，自动赋值功能大量减少了信息属性挂载的工作量，在此项目中明显辅助 BIM模型信息完整性的自动赋值类型包括：根据房间名称自动判断疏散门与安全出口、根据门样式自动判断类型、根据窗样式及开启情况自动计算采光与通风面积(见图 7)、根据尺寸和设计压力值等参数自动赋人防门编号等。

全过程估算减少规范查阅、人工计算赋值、属性挂载的工作量 30%。

2) 方案整体把控阶段：

首先应用自检工具检查必要模型信息的完整性，经过软件自动查验，统一选择后补充构件缺失属性共计 314 条，包括了门、窗燃烧性能等数据信息

表 1 示例属性参数进行自动计算与判定的依据

属性参数	内置规则中计算与判定依据
栏杆扶手的至完成面高度	《民用建筑设计统一标准 CB50352 -2019》6.11.7 《办公建筑设计标准 JCJ/T67 -2019》4.2.3、
房间的面积与人数	《建筑设计防火规范 CB50016 -2014 (2018 年版)》5.5.2 I 《旅馆建筑设计规范 JCJ62 -2014 》4.3.2、4.3.3 等
区域的面积与人数	根据范围内房间人数
墙梁板柱的燃烧性能	根据厚度参数
... ..	

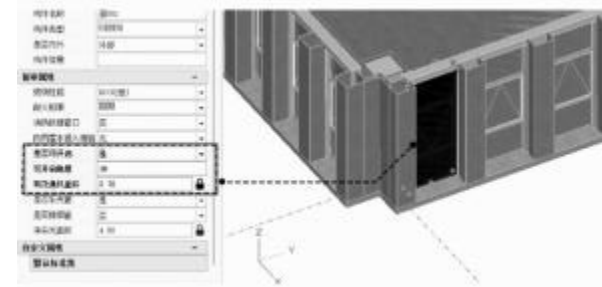


图 7 窗有效通风面积的 自动计算结果参照
Fig.7 Automatic calculation resultsofwindow
efectiveventilation area

(见图 8)。

然后对全局属性进行设置，手动输入包括建筑分类、耐火等级等项目基本信息，对于楼层的人数、面积，建筑的高度、层数等参数软件自动进行计算，减少了人为统计带来的时间成本和误差。方案变更时自动赋值的优势则更加明显，相关参数联动更新，减少了重新计算的工作量。

最后执行智能审查，本次审查结果中，不符合的条文共 20 条(见图 9)，主要涉及 CB50016 —2014 《建筑设计防火规范》，问题构件总计 512 个，主要问题类型如下：一，方案合规性问题，共计 3 处；二，建模不规范导致的模型信息错误，涉及规范 11 条；三，信息缺失，涉及规范 9 条。通过软件自动定位快速找到问题的构件后，按照条文描述批量进行修改，共涉及构件 439 个，以满足方案的合规性要求。

3) 多专业协同设计阶段:

设计后期应用碰撞检查功能对机电与建筑、结构



图 8 模型自检与信息补充
Fig.8 Modelinformation integritycheck and
information supplement



图 9 智能审查结果查看
Fig.9 Resultsofintelligentspecification review

专业的碰撞进行检查，经过人工复核，通过管综调整相关功能调整碰撞点位共计 65 个(见图 10)。除此之外，还在此阶段执行了净高分析功能，发现问题位置 2 处，同样通过管综调整相关功能予以修改。通过软件自动检查问题位置，估算减少人工查错的工作量 80%，将本增效的同时减少了人工的纰漏。

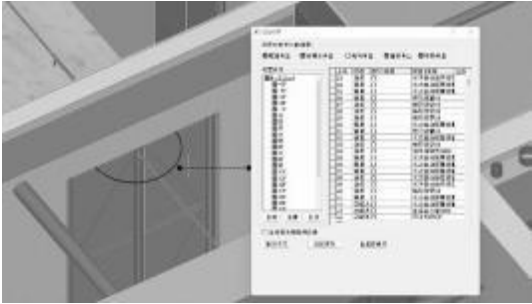


图 10 碰撞检查结果标记显示
Fig.10 Colision check resultmark display

3 总结

为解决设计过程中的模型辅助决策工具缺失

的问题,研究提出基于 PKPM-BIM 的差异化辅助设计决策方法,可以基于不同设计阶段模型的 LOD 提供设计师差异化的辅助分析工具,提供参考并辅助设计决策,总结方法的应用优势如下:

1) 分析与设计决策,均在同 一 平台内完成,减少了跨平台的文件转换次数,降低了人工定位的时间成本,提升了设计决策的流畅性与响应速度。

2) 将国内的规范、标准内置到设计建模软件中,提供设计方案的合规性参考,提供了设计师更符合本土化要求的设计辅助工具。

3) 根据设计阶段,提供差异化的辅助方式,给出设计决策参考。由于辅助决策的内容与当前阶段的设计数据信息高度匹配,减少了由于模型精度需求大于当前阶段设计要求,导致的过度建模、数据缺失引发的判定错误等问题。

4) 软件自动对信息进行计算与分析审核,提供设计参考,减少了人工核查的成本,同时减少由于人为纰漏导致的错判、误判,造成经济损失和人工浪费。

参考文献

- [1] 何关培 .BIM和 BIM相关软件[J] .土木工程信息技术, 2010 ,2 (4) :110 -117 .
- [2] 吉久茂, 童华伟, 张家立 .基于 solibriModelChecker的 BIM 模型质量检查方法探究[J] .土木工程信息技术, 2014 , 6 (1) :14 -19 .
- [3] 朱紫阳, 许耿然, 王炎城等 .建筑物三维景观模型的质量检查及评价方法探讨[J] .城市勘测, 2010 (2) :29 -32 .
- [4] 张军 .三维信息模型质量检查方法的探讨[J] .办公自动化杂志, 2013 (2) :.
- [5] 王妍 .基于 BIM 的建筑面积分摊计算方法研究[J] .电脑知识与技术:学术版, 2020 ,16 (11) :257 -259 .
- [6] 郭鑫, 曾旭东, 石佳 .基于 BIM 技术的建筑面积规划审查方法研究[J] .城市地理.城乡规划, 2018 (5) :30 -35 .
- [7] 郭鑫, 曾旭东, 李璨 .基于 BIM技术的规则检查在规划建筑方案自动审查应用中的探索研究[J] .城市地理 +城乡规划, 2018 (4) : 29 -36 .
- [8] 曾旭东, 王诗旭 .基于规则设定的全方位碰撞检查技术[J] .建筑与文化, 2014 (8) :124 -125 .

基于 3DEXPERIENCE 平台 CAA 架构的三维场地建模程序研发

孟仲永, 张慎(中南建筑设计院股份有限公司, 湖北武汉 430071)

[摘 要] 建筑行业尚无成熟的全生命周期管理(PLM) 数字化解决方案,现有建筑 BIM平台在大规模、多专业、产业链协作上的局限性阻碍了其进一步发展。达索 3DEXPERIENCE平台在航空和船舶等制造业已取得了巨大成功,其基于单一数据源和数据库的管理模式在 PLM领域具有显著优势。为将 3DE平台其应用于建筑行业 PLM,基于其 CAA架构开发了三维场地建模程序,实现了点云、地形曲面、房屋建筑、道路、景观树木和基坑开挖的快速建模,有助于 PLM平台的本土化和推广应用。

[关键词] PLM; 3DEXPERIENCE; CAA; 场地建模; 研发

Research and Development of 3D site Modeling Program Based on 3DEXPERIENCE Platform CAA Framework

Meng Zhong-yong, Zhang shen(Central-south Architectural Design Institute Co. Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: There is no mature digital solution of Product Lifecycle Management (PLM) in the construction industry. The limitations of the existing BIM platform in large-scale, multi-professional and industrial chain collaboration hinder its further development. Dassault 3DEXPERIENCE platform has achieved great success in aviation, shipbuilding and other manufacturing industries, and its management mode based on a single data source and database has significant advantages in the PLM field. In order to apply the 3DE platform to the construction industry PLM, a 3D site modeling program is developed based on CAA framework, which realizes the rapid modeling of point cloud, terrain surface, building construction, roads, landscape trees and foundation pit excavation, which is helpful for the localization and popularization of the PLM platform.

Keywords: PLM; 3DEXPERIENCE; CAA; site modeling; R-D

0 引言

全生命周期管理(PLM, Product Lifecycle Management)系统集成 3D CAD/CAE/CAM等关于产品全生命周期各阶段的数据信息,形成单一集成数据源,覆盖三维设计、仿真、数字制造、运维管理全过程^[1]。目前,已广泛应用于航天、国防、汽车和高科技与电子等行业^[2-3],但建筑行业国内外均尚无成熟的 PLM 系统。全球在设计阶段应用的平台型 BIM 软件主要有美国 Autodesk 公司的 Revit、美国 Bentley 公司 Microstation 和法国达索系统的 3DEXPERIENCE(简称 3DE)系列软件,前两家系统在一体化协作上虽有解决方案^[4],但在大规模、多专业、产业链协作上尚有不足。达索系统 3DE 平台

基于单一数据源和数据库的管理模式具有显著优势,并且是三者中 BIM 仿真能力最强的一家,缺点是本土化不足。

3DE 平台在建筑工程领域的应用,国外已有较多应用。国内,3DE 平台也已广泛应用于水利、铁路、桥梁、市政等土木工程领域^[5-6],项目应用中为满足本土化的需求大多对 3DE 平台进行了二次开发;建筑工程 3DE 平台的应用处于起步阶段,有必要研发一套三维建模工具集,以满足 PLM 平台模型的需要。

建筑工程三维数字场地模型,即可用于直观地查看场地三维效果,也是场地设计、道路设计、土方计算、边坡支护设计等工作基础。现有场地建模方法主要依据 dwg 图纸手动建模生成三维模型,建模工作量巨大,且容易出错。在建筑行业数字化变革的大背景下,基于达索 3DE 平台,利用其 CAA 架构研发了一套三维场地建模程序,提高了建模效率,

[收稿日期] 2022-11-30

[作者简介] 孟仲永(1990-),男,硕士,工程师

[联系方式] E-mail:451530485@qq.com

有助于 PLM平台的本土化和推广应用。

1 达索 CAA开发技术

达索提供的开发工具主要有宏、Automation API 和 CAA三种。前两种开发方式入门简单,但接口开放程度较低,功能存在局限性;相比较而言,CAA入门难度高,具有强大的交互和集成功能,可以实现深层次和复杂系统的开发,且可调用C++本身丰富的各种库^[7-8]。

CAA(ComponentApplication Architecture)即组件应用架构,其实现是通过其配套的快速应用开发环境 RADE(RapidApplication DevelopmentEnvironment)和不同的 API接口程序来完成的,如图 1 所示。每个 Component组件可以像积木块一样随心所欲地拆装,当需要开发某项功能时,可通过获取软件提供的函数接口,配合各种算法,加以定制组合,形成新的组件模块。开发的组件与软件通过接口来传递信号,这样开发的程序模块独立性高,也更易于拓展。当需要实现新的功能时,可以开发一个新的组件进行组装,而不会影响已有的无关组件。此外,组件开发采用了黑盒重用(Black-boxreuse)方法,它可以让开发者在对组件内部全然不知情况下使用组件公开的接口,而不需要了解软件内部复杂的类继承结构。

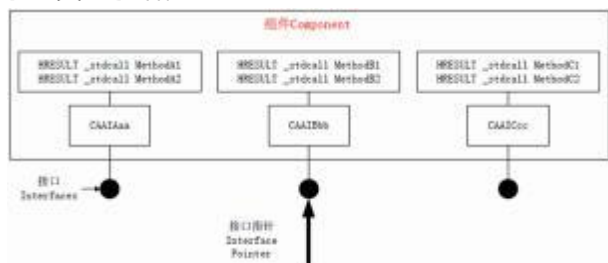


图 1 CAA组件与接口

2 三维场地模型构建流程和关键技术

三维场地模型内容较多且杂,包括基础地形曲面、房屋建筑、道路、景观绿化等信息。三维模型创建的数据源主要为建筑专业提供的场地规划设计图,建模流程和研发路线如图 2 所示。其中部分关键技术介绍如下。

(1) 点云曲面重建技术

曲面重建技术在逆向工程、数据可视化、机器



图 2 研发流程图

视觉、虚拟现实、医疗技术等领域中均有广泛的应用。根据重建曲面和数据点云之间的关系,可将曲面重建分为两大类:插值法和逼近法。前者得到的重建曲面完全通过原始数据点,而后者则是用分片线性曲面或其他形式的曲面来逼近原始数据点,从而使得得到的重建曲面是原始点集的一个逼近曲面。曲面重建算法复杂,CAA中目前开放的算法接口为逼近法,用自由曲面去逼近原始点集,如图 3 所示。本文得到场地点云和边界后,可用该接口重建地形曲面。

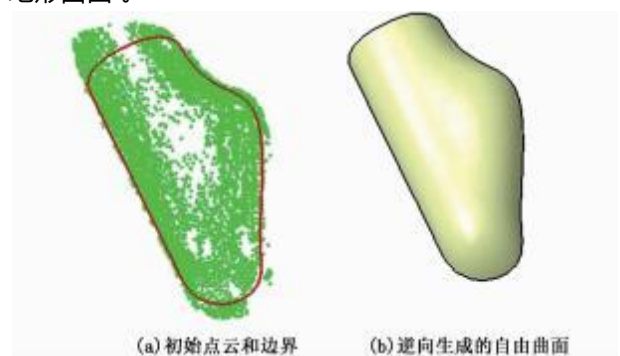


图 3 点云曲面重建

(2) 知识工程技术

知识工程(knowledgeengineering, KE)是一种组织、重用和分享设计或企业的方法,可有效帮助工程师提高设计效率、减少错误。3DE平台中知识工程模块可将一些诸如经验公式、分析算法、条件控制、行业或企业设计标准等智能知识打包到一个盒子中,只留出几个条件输入参数接口。设计人员在复用时,不需要关心盒子中到底有哪些内容,而只需要知道目标模型所属的类型及确定模型细节的输入参数即可。

知识工程中的工程模板(EngineeringTemplate)可将一个产品或零件的建模过程或产品结构封装

起来,结合 CBD(Component-Based Development,基于部件设计) 技术调用,可方便地实现参数化模板复用,十分适用于桥梁、道路、隧道和装配式建筑等。如图 4 为创建的树木工程模板,复用时设计者只需要输入树根中心处的一个定位点信息,而不需要去了解内部树叶、树枝、树干复杂的建模过程。

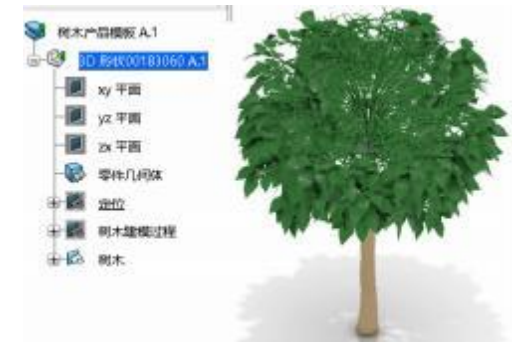


图 4 树木产品

3 基于 3DE平台的二次开发和应用

为了实现三维场地模型快速建模,基于 3DE平台 CAA架构二次开发了一套三维场地建模程序,按功能可拆分为多个工具,工具栏图 5 所示。结合在某实际工程项目(图 6 为其规划图)中的应用,介绍部分工具开发和应用细节。



图 5 3DE三维场地建模工具栏

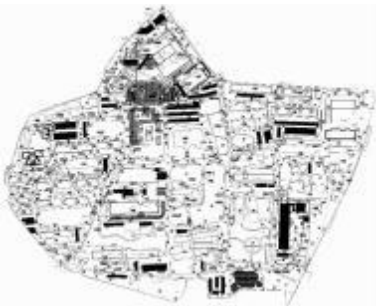


图 6 某项目 dwg规划图

3.1 点云创建

点云是生成地形曲面数据集,每个点都包含一组 X、Y、Z几何坐标。场地高程点多由全站仪获取得到,点的数量较少,点与点的间距较大,称为稀疏

点云。二维 dwg图纸中,高程点 X、Y坐标由标高标注符号位置表达,Z坐标由标注中文字表达。将 dwg导出为 dxf文本文件,开发了读取 dxf工具,可根据图层将高程点标高标注 X、Y、Z坐标批量识别获取,并转换为三维点云。

3.2 点云逆向生成地形曲面

CAA开放的曲面快速重建(&sR)算法为 PowerFit,其调用封装在 CATI&srCAAFactory内,部分关键代码如下,对话框如图 7 所示,重建得到的地形曲面如图 8 所示。

```
CATI&srCAAPowerFit * pCAAPowerFit =  
p&srCAAFactory-3CreatePowerFit(pCeoFactory);  
  
pCAAPowerFit-3 setCloudOfPoints ( pPoints,  
NbPoints, status); /点云输入  
  
pCAAPowerFit-3 setCurves ( ListOfEdge,  
ListOfFace, ListOfContact, CapOfCurves, status);  
/边界输入  
  
pCAAPowerFit-3 setC0Points( 0.1, status); /  
容差  
  
pCAAPowerFit-3 MakeFace ( pBy, pFace,  
status);
```



图 7 创建地形对话框

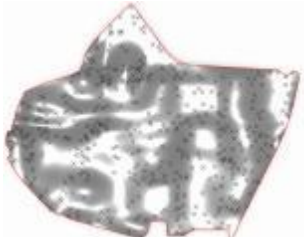


图 8 点云重建得到地形曲面

3.3 房屋建筑生成

建筑工程用地范围内往往有大量既有建筑,其形状、高度各异,创建方法为识别 dwg图纸中房屋轮廓线生成 3DE中多段线 CATICsMUsePolyline,再

拉伸为包络体 CATICsMUseExtrude。如图 9 为房屋创建结果。



图 9 房屋建筑创建

3.4 道路生成

道路是在三维空间中是 一条带状曲面，在 dwg 图纸中由多段线和圆弧组成的边线表达轮廓，由带标高点的道路中心线表达标高信息。道路创建的流程为先导人生成二维的边线，由二维边线映射到地形曲面上得到最终道路，生成的道路和局部投影示意如图 10 所示。



图 10 道路创建

3.5 景观树木创建

景观绿化主要包括树木和草坪，其中树木创建采用 3DE基于部件的设计方法(CBD) 实现，其实现可分为以下几步。

- (1) 生成树木产品模板:在 3DE中进行树木建模，记录树根处定位点为输入参数，如前文图 4。
- (2) 定义工程模板:将树木产品模板封装为可复用的工程模板，如图 11，输入参数为定位点。
- (3) 定义知识工程:需在" 关系" 中定义资源表和 Action(如图 12)，资源表中指定了调用该资源的逻辑名称、资源类型和资源，如图 13;Action 中则用 EKL语言指定了资源实例化具体方式，部分代码如下。



图 11 树木工程模板



图 12 知识工程定义



图 13 资源表定义

```
fori= 1 whilei<  = inputPt. size()
|
    MyTemp = InstantiateTemplate( 。 树木。 ,
Destination)
    ifMyTemp < 3 NUL
    |
        MyTemp-3 setAttributeObject( 。 点 .I。 ,
inputPtI)
        EndModifyTemplate(MyTemp)
    |
|
(4)CAA开发对话框参数化调用 CBD模板

为了实现 CBD模板的批量自动调用，开发了景观
树木创建工具，其实现方法是通过接口访问知识
工程，并找到下属的 Action，将对话框输入的参数
传递给 Aciton 并执行，其关键代码如下，生成的局
部场地树木如图 14 所示。
//I-获得关系
CATIParmPublisher    var spRelationset =
CATCkeGlobalFunctions:: CetModelservices( ) -3
CetCurentset( CATIKweModelservices:: Relation ,
spPart, CATCke::True) ;
```

```
//2-获得 Action 列表
CATCkeClobalFunctions::CetModelservices() -
3 VisibleRelations ( spRelationset, listRelation ,
CATCke::True) ;
//3-输入参数
CATICkeParm var spilInputParm 0bj =
spiVolCkeParmFactory-3 CreateLiteral( spiCkeType
0bj, . . ) ;
spilInputParm 0bj-3 Valuate0bject
(isp0ccurrence) ;
//4-执行 Action
spCkeFunction-3 Run ( plstParm,
spiReturnParm);
```



图 14 树木批量插入到场地中

3.6 场地平整、基坑开挖设计

项目施工初期场地平整工作是整个项目得以实施的前提和基础条件之一，三维场地可以实现场地平整填方量、挖土量、基坑开挖总量的精确计算，以评估场地平整方案。

基坑开挖主要为体与面的布尔运算，CAA接口可实现各种复杂的添加、移除、相交运算，开发了基坑开挖参数化设计功能，输入基坑开挖参数后可直接生成基坑开挖体、场平挖土体、场平填方体和体积结果如图 15 所示。

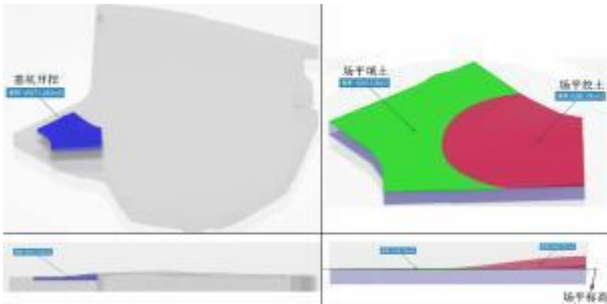


图 15 基坑开挖、场平挖土、场平填土体的运算

4 结论

本文基于达索 3DE平台 CAA架构研发了一套三维场地建模程序，该程序通过简单人机交互可高效地实现场地模型中点云、房屋建筑、道路、地形曲面、景观树木和基坑开挖的生成，平台符合国内工程师的建模习惯，可促进 PLM平台的本地化及推广应用。研发和应用可总结如下：

(1)3DE平台可基于统一的数据源，建立了跨专业、跨企业、全流程的统一管理和协同平台，支持全专业三维协同工作，场地、地质、建筑各专业模型均可实时沟通协作。

(2)CAA组件技术开发的优势在于人机交互和界面功能强大，接口全面可实现深层次的开发，拓展性和运行效率高。

(3) 武汉市新一代天气雷达项目是 3DE平台在国内建筑行业领域的首次应用，场地手动建模工作量约为 15 人天，而应用所研发的三维场地建模程序仅需要 2 人天，建模效率显著提高。

参考文献

[1] 吴建文.新基建下 CZ建筑公司全生命周期智慧建造模式探索与实践[D].成都:电子科技大学, 2021.

[2] 张静嫒, 包腾飞.基于 3 DE平台的水利工程 BIM应用[J]. 人民长江, 2020 ,v.51 (s2) :I08 -III +I69 .

[3] 冯山群.达索 3 DE平台基于隧道 BIM模型的数值分析研究 [J].铁道标准设计, 2018 ,v.62 (09) :II4 -II8 .

[4] 张健, 黄浩, 苏涛永.BIM 在大型公建项目设计中的应用价值分析[J].建筑科学, 2019 ,I (35) : 45 -50 .

[5] 崔小建, 曹炳勇, 陈莎莎, 施新欣.基于 3 DE平台的下部结构 BIM模型快速创建系统 [J].中国市政工程, 2021, I2 (6) : 22 -25 .

[6] 邱雨, 杜文磊, 杨中源.基于 CATIAV6 的船体结构二维出图关键技术[J].船舶工程, 2020 , 42 (7) : 55 -59 .

[7] 齐成龙.基于达索平台 CAA架构的桥梁基础 BIM建模及审核工具开发[J].结构工程师, 2020 , 36 (6) : 214 -220 .

[8] 梁岱春, 张为民, 隋立江.浅析基于 CAA的 CATIA二次开发[J].航空制造技术, 2012 , I0 (I4) : 65 -68

基于 BIM 的装配式构件支撑与吊装施工设计的软件应用研究

倪嵩陟, 何沪凯, 齐明珠, 李思琪(中国建筑科学研究院北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘要] 为解决装配式建筑项目在设计环节缺乏针对施工阶段的设计工具、装配式构件深化与现场施工工况结合不紧密、传统的施工平面布置图出图效率低等问题,本文基于装配式建筑分析设计软件 PKPM-PC 二次开发环境,研发了针对装配式构件的施工设计软件功能模块,实现了支撑布置、支撑碰撞检查、支撑平面布置图快速出图、吊装方案设计等功能,可以直观、高效地降低装配式构件的施工问题、优化施工方案、优化构件深化结果;在 BIM 技术下,为实现装配式项目的施工设计,提供基础的技术支持。

[关键词] 装配式构件; 施工设计; 支撑布置; 吊装方案; BIM 技术; 二次开发

R- DofBIM- Based Design softwareforConstruction Design of supportand HoistingofPrefabricated Components

Nisong- : hi, HeHu- kai, o iMing- : hu , Lisi- gi(Beijing GloryPKPM TechnologyCo. Ltd, Beijing 10 0 0 13 , China)

Abstract: In ordertosolvethetheproblemsofthelack ofsoftwaretoolsfortheconstruction stageinthedesign ofprefabricated building projects, dealwiththesituationsofdeepeningdesign isnotcloselyintegrated withtheon- siteconstruction conditions, toimprovethe efficiencyofconstruction layoutdrawings, thispaperbased on PKPM- PC, developed thefunctionalmodulesaboutsupports arrangement, supportscolision checking, automaticgeneration ofsupprotlayoutdrawings, hoistingsolutionsdesigning. Itcan intuitively and efficientlyreducetheconstruction problemsofprefabricated components, optimizetheconstruction scheme, and optimizethe resultsofcomponentdeepening. Themain purposeistoprovidebasicttechnicalsupportfortheconstruction design ofprefabricated projectsundertheBIM technology.

Keywords: prefabricated components; construction design; support arrangement; hoisting solutions; BIM technology; secondarydevelopment

0 引言

近年来,为促进建筑行业的环保、节能、高效,推动建筑工业化进程,国家大力倡导发展装配式建筑。与此同时,建筑信息模型(buildinginformation modeling,BIM) 技术凭借其信息化的强大优势,在国内得到了迅速的发展与广泛的应用。装配式建筑强调标准化设计、工业化生产、装配化施工、信息化管理的全流程应用,结合 BIM 技术精细化的信息管理能力,使得 BIM 技术在装配式建筑中的应用越来越广泛^[1-2]。

基于 BIM 技术进行装配式建筑施工设计,可以通过建立建筑三维信息模型,将施工所有环节在模型中进行全过程三维可视化模拟和精准控制^[3],实现信息交互及协同发展,逐步提升建筑工程项目的施工质量,使工程项目的施工作业更加科学、合理、优化、绿色、节能^[4-5]。

装配式建筑对于设计施工一体化的要求比较高,传统施工设计方式很难满足精细化的新型建筑生产方式要求。装配式建筑在设计前期需要充分考虑竖向预制构件在安装过程中所需布置的临时支撑,尽量避免施工现场的预制构件钻凿^[6-7]。在施工现场吊装环节中,应合理统筹吊运机械选用,吊装运行路线布置,构件现场摆放等活动,才能保证现场立体交叉、均衡有序的安装作业顺利进行^[1,8]。

目前,BIM 技术在装配式项目中缺乏针对施工

[收稿日期] 2022 -11 -15

[基金项目] 中国建筑科学研究院有限公司青年基金科研项目(20220122331030005)

[作者简介] 倪嵩陟(1991 -),男,硕士,工程师

[联系方式] E-mail: nisongzhi@cabrttech.com

设计的功能应用,导致施工环节的支撑与吊装设计依赖传统的绘图、验算等设计方式,没有发挥装配式的工业化、标准化、信息化的特性。为实现施工问题向设计阶段前置、规避碰撞问题、提升平面布置图出图效率、施工方案可视化等目标,本文在 BIMBase 的二次开发环境下,基于 PKPM-PC 装配式设计软件,针对装配式构件施工阶段的支撑与吊装设计进行功能研发,以期为装配式项目的施工设计提供解决方案与软件工具。

1 基于 BIMBase 的施工设计软件概况

1.1 BIMBase 及 PKPM-PC 简介

BIMBase 系统是国内首款实现 BIM 关键核心技术自主研发和安全可控的 BIM 平台和软件。基于 BIM 的装配式建筑设计软件 PKPM-PC 是在 BIMBase 平台上,面向设计、生产、科研单位和高等院校,结合 PKPM 多年积累的先进的分析与设计软件研发成果开发的一款优秀的装配式建筑设计软件^[9]。PKPM-PC 重点解决基于 BIM 技术的装配式建筑方案设计和深化设计问题,内置国标预制部品部件库,提供智能化构件拆分、全专业协同设计、结构计算分析、构件深化与详图生成、碰撞检查、设备开洞与管线预埋、装配率统计与材料统计、设计数据接力生产设备等模块。具有相对完整的装配式二次开发环境。

1.2 施工设计模块内容与特性

1.2.1 施工设计软件模块划分

本文包含支撑设计和吊装设计两个模块:

(1) 支撑模块负责建立支撑相关 BIM 模型,提供支撑构件与附件的布置和深化功能。

(2) 吊装模块负责建立塔吊模型,提供设置吊装方案的功能;吊装数据可作用于相关构件的深化设计;

1.2.2 设计内容与成果

(1) 支撑模块输出:支撑构件深化模型数据、单构件出图(施工部分修改)、支撑平面布置图、附件物料统计(支撑部分)、支撑碰撞检查结果。

(2) 吊装模块输出:塔吊模型数据、塔吊验算结果、吊装方案数据。

1.3 施工阶段设计流程

本文软件的施工设计可基于装配式深化设计模型,在深化模型中直接进行支撑和吊装的设计,

在布置斜支撑和支撑埋件后,根据支撑构件的定位情况,自动与既有预制构件产生关联关系,并在指定位置生成预留预埋件,其结果最终反馈到构件出图与物料统计;支撑件的定位和几何表达可直接用于生成当前楼层的支撑平面布置图,并按照一定要求进行标注与注释;吊装设备布置后,可针对既有构件进行吊装顺序的指定,通过颜色、编号等展示方式表达不同的工作面与施工顺序,形成可视化的施工方案。

本程序也可以在简单的翻模模型基础上,直接进行施工构件的布置,完成施工环节支撑布置的初步方案设计。

2 施工模块功能设计

2.1 支撑模块概述

支撑设计模块支持生成多种斜支撑形式,满足施工现场不同临时支撑体系需求;自动定位碰撞位置,提前规避施工安装问题;直接生成斜支撑平面布置图、构件详图和 BOM 清单,提高设计人员绘图、统计效率;内置多种常用规格支撑,支持型号拓展,以满足实际工程项目使用。

2.2 装配式剪力墙支撑设计方法

参考国家建筑标准设计图集 16C906 《装配式混凝土剪力墙结构住宅施工工艺图解》、混凝土结构施工过程的国家标准《混凝土结构工程施工规范》(CB50666-2011)等资料设计支撑体系构件,其中主要涉及墙预埋件、墙支撑、板预埋件。模型几何参考预制墙板支撑图示,参数可预设和自定义设计,并使用附件库进行管理。

《混凝土结构工程施工质量验收规范》(CB50204-2015)、《建筑施工脚手架安全技术统一标准》(CB51210-2016)等适用于装配式建筑混凝土结构施工,结合《建筑结构荷载规范》(CB50009-2012)、《钢结构设计规范》(CB50017-2017)进行通用支撑结构体系的设计和支撑验算设计。

2.3 吊装模块概述

吊装模块支持将塔吊的吊装范围划分成若干个施工区域,按照施工区域优先级,依次对预制构件进行排序,指导现场施工;自动定位超重的预制构件,提前优化塔吊选型;一键验算塔吊位置,提前规避布置位置不合理;内置多种常用型号起重设备,支持型号扩展,以满足实际工程项目使用。



图 6 吊装设备布置
Fig. 6 Layouting of Hoisting Equipment



图 7 吊装分区模型示意
Fig. 7 0 peration Area Assignment

支持对预制构件进行吊装排序,形成吊装方案,提前规避吊装问题。吊装顺序可指导叠合梁深化设计,影响钢筋避让结果。

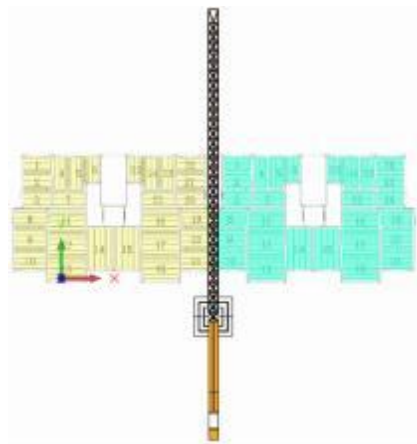


图 8 吊装顺序指定模型示意
Fig. 8 Hoisting sequence Assignment

3.2.4 吊重验算

根据吊装方案,对预制构件进行吊重验算,自

动定位超重构件。

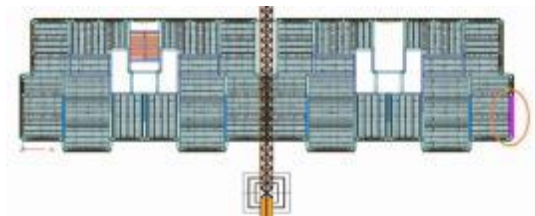


图 9 检查结果定位
Fig. 9 Positioning of Checking Results

4 结论

本文基于 BIMBase二次开发环境进行了针对 PKPM-PC装配式构件的施工设计软件功能的研发,实现了预制构件支撑设计模块与施工吊装设计模块的基本设计流程和功能,得到以下结论:

(1) 装配式构件 BIM模型可以为装配式施工设计提供良好的数据支持,在施工构件定位、构件匹配选型、装配式构件深化设计等方面具有优势,提高了施工构件的布置设计效率和准确度,提高了预制构件深化设计在施工方面的实用性能;但同时,本软件模块的部分功能对于装配式构件信息存在一定依赖关系,需要基于相对完整的装配式深化设计模型才能进行设计操作;

(2) 斜支撑设计后进行的碰撞检查功能可以直观、准确的发现斜支撑、附件的碰撞状态,在设计方案阶段可以有效的避免现场安装问题;在发现碰撞后的编辑功能方面还需要进行优化设计,提高碰撞检查整个流程的工作效率;

(3) 以斜支撑布置设计和支撑平面图出图为主的功能为施工方参与装配式项目设计提供一定的能力,加强了 BIM设计覆盖全流程的应用,使深化设计工作与施工结合的更加紧密;

(4) 吊装设计功能可以实现吊装分区、吊装顺序的相关数据的应用,可以优化预制构件钢筋避让等深化设计;

(5) 支撑设计模块与吊装设计模块的功能可以满足独立进行施工方案的初设或基于 BIM 装配式模型的深化设计,为装配式项目施工设计的软件实现提供了流程基础;

(6) 当前的支撑与吊装设计功能不足以反映整体的施工方案情况,还需要对施工方案相关的其他

设计项目进行研发，相互作用，形成体系更加完整的施工方案管理系统。

参考文献

[1] 吴长清，张娜，潘灵艳 .BIM技术在装配式建筑设计和施工方面的应用[J].新课程教学(电子版) ,2021 (08) :179 -181 .

[2] 张超 .基于 BIM 的装配式结构设计与建造关键技术研究 [D] .南京:东南大学 ,2016 .

[3] 徐林 .BIM技术在装配式建筑施工过程中的应用研究[J] .智能建筑与智慧城市，2021 (12) : 99 -100.D01: 10.13655/j.cnki. ibci.2021.12.037 .

[4] 于海滨 ,尹海松 ,李泽兰 ,刘伯江 ,安伟东 .装配式建筑设计施工中 BIM技术的整合运用研究[J] .工程建设与设计，2021

(18) :128 -130.D01:10.13616/j.cnki. gcjsysj.2021.09.242 .

[5] 胡冰 .基于 BIM技术的装配式建筑精细化施工管理应用研究[J].中国建筑金属结构，2021 (06) : 19 -21 .

[6] 陈麒羽，黄莉萍，谷昊，张尔出 .BIM技术在某全装配式建筑中的应用 [J] .城市建筑，2019，16 (33) : 110 -112.D01: 10.19892/j.cnki. csjz.2019.33 .042 .

[7] 刘正勇，顾洪潮 .装配式建筑混凝土结构支撑体系设计及施工研究[J].建筑安全，2020，35 (4) : 10 -15 .

[8] 肖 同亮，王晓觅，唐立秋，等 .预制装配式结构发展现状及施工关键技术研究[J].江苏建筑，2018 (01) : 73 -76 .

[9] 夏绪勇，张晓龙，鲍玲玲，等 .基于 BIM 的装配式建筑设计软件的研发[J] .土木工程 信息 技术，2018，10 (2) : 40 -45 .

基于国产 BIM 平台的公建项目 机电管线综合应用

牛莎莎, 杨伟(北京构力科技股份有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 公共建筑机电管线系统众多且路由复杂,使得管线综合成为设计施工中的重难点问题, BIM技术作为工程建设领域智能建造的重要支撑,对该复杂性问题提供了较好的解决方案。PKPM-BIM协同设计系统作为国产 BIM平台,在保障国家信息数据安全的基础上,更符合国内设计师应用规则及习惯,可更高效实现 BIM模型创建和机电深化应用,从而有效解决机电管线综合难题。本文以某公建项目应用为例,基于 BIM模型,直接在平台开展碰撞检查及净高分析,完成管线排布优化过程,实时解决管线碰撞冲突问题,优化净高,探索国产 BIM平台在机电管线综合深化设计中的应用价值及优势。

[关键词] 国产 BIM平台;碰撞检查;管线综合;净高分析;深化设计

Comprehensive Application of Electromechanical Pipeline in Public Construction Project Based on Domestic BIM Platform

Niusha-sha, yang wei(Beijing GloryPKPM Technology Co., Ltd., Beijing 100013)

Abstract: There are many electrical and mechanical pipeline systems and complex routing in public buildings, which makes pipeline synthesis become a key and difficult problem in the design and construction. BIM technology, as an important support for intelligent construction in the field of engineering construction, provides a better solution to this complex problem. As a domestic BIM platform, PKPM-BIM collaborative design system is more consistent with the application rules and habits of domestic designers on the basis of ensuring the security of national information and data, and can achieve BIM model creation and electromechanical deepening application more efficiently, so as to effectively solve the comprehensive problem of electromechanical pipeline. Taking the application of a public construction project as an example, based on the BIM model, this paper directly carried out collision inspection and clear height analysis on the platform, completed the pipeline layout optimization process, solved the pipeline collision and conflict problem in real time, optimized the clear height, and explored the application value and advantages of the domestic BIM platform in the comprehensive and deepened design of mechanical and electrical pipelines.

Keywords: Domestic BIM platform; collision check; pipeline integrated; net height analysis; detailed design

0 机电管线综合难点

机电管线综合一直是实际设计施工应用中的重点难题,并且公共建筑中机电部分会涵盖给排水、消防、暖通、空调、电气等多个系统,设备管线众多且路由复杂,公共走道区域会出现各专业管线相互交叉,机房设备排布也较复杂,管线排布满足净高难度较大;另外施工时需考虑机电各专业管线走向、施工空间及管线间距等,需进行大量协调工作,合理安排各专业的安装顺序、预留安装空间等。

管线综合是由多专业协作完成,传统二维管综

设计与深化有很大的局限性。由于二维平面图纸,只能够表达单一截面或局部信息,构件间的位置表达很模糊,使得藏在空间上的碰撞矛盾与问题难以彻底的暴露;另外通过多张平面图纸及详图叠加来呈现完整管道路由系统,导致很难对管线综合进行全面整体的分析;且调整管线标高解决碰撞是会出现“连锁反应”,工作量和操作难度都比较大,使得管综效率和效果都较差。管线综合表达不够准确合理,为施工现场留下了不可控的弊端因素,直接或者间接造成经济损失。

1 BIM 技术管线综合解决方案

针对上述机电管综合难题, BIM技术提供了较好的解决方案。BIM 全称为建筑信息模型,以建筑

[收稿日期] 2022-10-18

[作者简介] 牛莎莎(1988-),女,硕士研究生、工程师

[联系方式] E-mail: niushasha@cabrttech.com

工程项目的各项相关信息数据作为模型的基础,进行建筑模型的建立,通过数字信息仿真模拟建筑物真实信息。具有可视化、协调性、模拟性、优化性和可出图性五大特点。

通过 BIM技术将以往的传统二维施工图纸的线条式的构件表达,模拟成一种三维的立体实物图形进行展示,可清晰表达各种构件的空间位置关系。如 BIM机电模型可将各专业系统管线、设备及附件等外观尺寸及空间位置关系进行可视化的表达,轻松判断是否满足规范要求等。

另外 BIM技术支持项目各专业间协同应用,实现建筑信息高效传递及交互。可对整个建筑水系统三维路由进行水力计算,校核并调整管径参数等。利用模块化的方式,支持各专业人员同时对模型进行调整优化,优化净高;

通过 BIM技术集成各专业机电模型,对机电管线综合进行优化,可以有效解决了施工图纸中的碰撞问题,减少了施工过程中的设计变更,节省工期,进而也控制造价,节约了经济成本。

2 国产平台 BIM 技术优势

目前国内民用建筑领域常用的 BIM 工具是为美国 AUTODESK公司所有的 Revit软件,其前身为机械 3DCAD技术,后引入应用于建筑数字化建模,所以其自动创建的 IFC编码不完全适用于国内,且操作界面及应用规则也不符合国内设计师习惯;对于大体量模型操作容易出现卡顿,影响应用效率;另外该软件协同功能功能较为薄弱;且对于二维图纸的编辑及处理能力也不足。在进行 BIM 机电管线综合应用时,创立三维模型后需要对接 Naviswork进行碰撞检查,然后进行定位返回到 Revit平台进行模型调整,可能出现数据丢失,综上,对于 BIM建模及管综应用效率都有较大影响。

国产 BIM 平台相对具有明显优势,如 PKPM-BIM建筑全专业协同设计系统(简称 PKPM-BIM),基于核心技术完全国产化的自主平台 BIMBase,为国家、企业的信息数据安全提供了保障。该系统支持中心数据库的构件级协同设计模式,操作界面及应用规则符合国内设计师习惯,对于大体量模型也可以流畅进行操作应用,有效节省建模时间。对于 BIM机电管线综合应用,可直接在同一个平台完成模型创建、碰撞检查、净高分析及模型优化和管线

排布的应用流程,最大程度保证数据完整性及管综应用效率。

3 基于国产 BIM 平台的应用实例

3.1 BIM 机电管综应用实施流程

本工程为某地区商贸中心项目,建筑性质为多层公建,主要用途为酒店和商用办公。结构体系为钢筋混凝土框架结构;总建筑面积为 26735.16 平方米,其中地下一层,面积 7978.78 平方米;地上五层面积为 18756.38 平方米。

该项目机电管线复杂,暖通专业包括机械通风和消防排烟系统;给排水专业包括生活给水系统、生活污水废水系统、雨水系统、消火栓给水系统、自动喷水灭火系统;电气专业包括供配电系统、照明配电系统、防雷接地系统、弱电系统、火灾自动报警系统。

本项目采用的 BIM 工具为 PKPM-BIM 协同设计系统。各专业成员基于该平台协同设计建模并完成后续管线综合整个应用流程。具体实施流程为:

机电各专业基于二维施工图在协同机制下开展三维建模,形成全专业可视化模型后开展碰撞检查,然后根据碰撞结果对模型进行优化调整;开展净高分析,结合管线优化排布规则,对设备管线进行综合排布,从而优化净高。流程图如下:

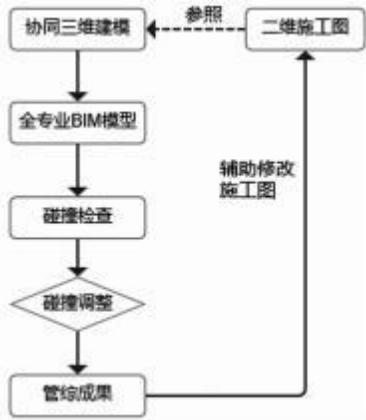


图 1 机电管综应用流程图

3.2 BIM 模型协同创建

本项目应用 PKPM-BIM 平台持基于中心数据库的构件级协同模式,然后各专业设计师分布式并行工作,首先基于局域网服务端创建协同项目,并

设置各专业权限,然后建筑专业发布楼层信息,暖通、给排水和电气专业直接读取建筑楼层高与标高信息,应用软件底图参照工具,导入二维施工图作为参照,同步开展模型创建。

建模初期结合图纸说明与系统图,梳理机电专业各系统管线竖向空间,分析管线净空高度、以及以及模型精细度的要求,并结合主体结构形式建筑布局,掌握管线分布区域公共走廊的宽度、梁底高度、管线的水平和垂向安装空间等确定管线位置标高等基本建模规则。

建模过程中可实时上传机电当前专业建模成果,其他专业可下载进行参照,专业建模人员通过构件锁定机制、消息机制确保工作成果唯一性和关联性,对于变更或更新部分,数据同步增量上传服务器,实现建模应用过程的高效性以及专业间协同应用。

其中对于给排水专业喷淋系统应用软件识图建模工具,直接识别 CAD喷淋平面图,快速生成与图纸一致的完整喷淋路由,结合实际情况进行略微调整,节省较多建模时间。

各专业建模完成并上传至服务器后,可由任意专业下载终版全专业模型,为后续碰撞检查和管线综合流程做准备。如下为三维模型机电部分示意效果:

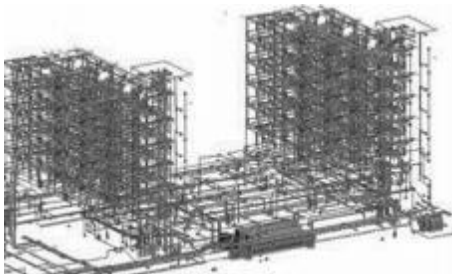


图2 机电管线三维模型

3.3 BIM 模型管综分析

3.3.1 碰撞检查

应用 PKPM-BIM协同设计系统基于创建的 BIM模型直接在平台内开展碰撞检查,结合项目情况,选择进行检测的碰撞构件类型,如机电管线设备构件以及建筑、结构墙梁构件等,确定复杂管线区域,通过选择范围功能优先进行区域性局部碰撞检测,碰撞点位会生成红圈标记;

应用碰撞列表功能定位并高亮显示碰撞点位

位置及碰撞构件信息,包括管线系统类型、管径等;借助该功能快速确定碰撞构件点位及调整规则。生成碰撞检查报告中显示构件 ID以及碰撞点位轴网位置,反应定位模型中问题构件位置对应二维图纸中位置,后续结合管综成果指导二维施工图调整。

本次碰撞检测共检测出 223 个碰撞点位;消防水泵房东侧水电管线较为复杂密集,该处风管与水管、电气管线多处碰撞;部分风管支管与结构梁发生碰撞等。



图3 水管避让

3.3.2 净高分析

基于 BIM三维可视化模型,应用 PKPM-BIM平台净高分析工具对建筑内部空间及公共区域进行净空高度分析,按专业选择进行净高分析的构件类型,本次选择项目涉及机电专业所有系统管线,通过绘制闭合区域方式对公共空间重点区域开展净高分析,并生成对楼层净高分析平面图,以不同色块来表达不同高度区域。

通过净高分析平面图可以直观看出该项目净高不合理区域,如该项目公共区域走廊,最大梁高为 0.8 m,最低净高要求为 2.3 m,但该处高度 500mm 风管底标高为 2.2m,不满足净高要求。

3.4 机电管线综合排布

3.4.1 管线排布原则

管线总体排布原则:机电管线安装尽量贴梁底布置,交叉时用梁内空间翻越,并预留风管与水管的保温空间;同平面布置时,桥架、风管和水管尽力均水平排布,且桥架和水管分居两侧,管线间距一般为 120 ~150mm;垂直方向考虑桥架排布在上层,水管排布在桥架下方尽量与风管齐平,并预留出吊架空间满足水管安装;如果桥架跟热水管上下平行布置,则热水管需放在桥架上方(考虑水蒸气影响)等。

管线避让基本原则:管径大的管线优先;临时

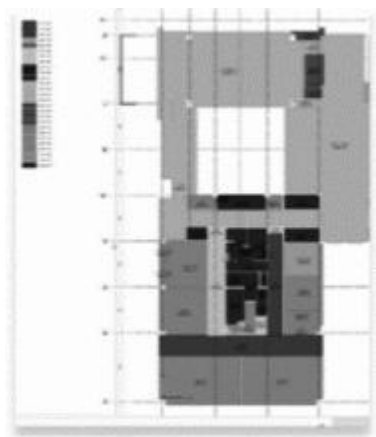


图 4 净高分析平面图

管线避让长久管线;新建管线避让原有管线;有压管道避让无压管线;电气管线避让热水管线;无保温管避让保温管,同管径时,消防水管避让冷冻水管;低压管避让高压管;附件少的管线避让附件多的管线;金属管避让非金属管线;

3.4.2 管线综合排布

首先进行总体控制净高:根据本工程实际情况,结合梁高、板厚等土建条件,结合净高分析结果,发现整体标高不利的地方,按照上述原则进行管线重新排布,对净高实行控制,管线尽量排高,如本项目地下室层高为 3.8 m,最大梁高为 0.9 m,梁下最大净高为 2.8 m,则高度为 500mm 风管,设置风管底标高为 2.4m,贴梁底布置;高度为 100mm 桥架,设置底标高为 2.5m 等;桥架经过楼梯间休息平台下方,净高过低,进行整体标高上移等。

局部不利点优化:整体高度控制达标后,对于局部管线交叉较多的区域,利用 BIM 模型可视化优势,借助剖面视图,对管线进行重点优化调整,平面无法排开的管线进行分层布置,水管布置于桥架下方;轴 D2~D5 交轴 DC~DD 空调机房东侧为水电管线密集处,风管与水电管线多处碰撞,直接在平台内部,采用分支编辑方式对风管支管整体标高降低 0.15m,避让水电管线;对标高调整后仍有管道交叉碰撞点位,结合管线避让规则,评估避让空间,借助软件局部调整工具,对管线进行翻弯避让处理。如 -1F 轴 D2I 交轴 DH~DK 处,强电桥架与水专业喷淋管碰撞,对消火栓高部分标高降低,下翻避让处理等。对于调整部分碰撞点位后的模型,可直接在 BIM 平台再次进行碰撞检查,应用如上相同操作

流程,进一步完成模型优化。

综上借助 PKPM-BIM 平台协同创建三维可视化模型,以及碰撞检查结果,提前发现项目中的“错、漏、碰、缺”共 200 多处;基于净高分析结果,借助剖面视图及编辑工具,通过对管线重新排布优化,部分区域的净空高度提高了 200mm~300mm;对管线不合理及碰撞位置采取了合理的避让和优化措施;且通过碰撞报告书碰撞点位轴网位置,定位二维施工图位置进行调整,辅助完成施工图机电管线深化设计。

4 结语

该项目应用 PKPM-BIM 协同设计系统,在保证数据信息安全的基础上,充分发挥国产软件高效协同设计模式及建模工具的优势,各专业设计师效率较高的完成模型创建;并直接基于同一平台开展碰撞检查及净高分析,应用平台提供模型编辑工具对管线重新排布优化,提前发现并解决管线碰撞冲突问题;并将管综成果落实到施工图纸,避免了后期施工中出现错误及返工问题,实现设计质量管控,减少后续施工错误风险,从而提升工程项目的效益和效率。

参考文献

- [1] 张建平.BIM技术的应用与研究[J].施工技术,2011(1):120-112.
- [2] 侯鹏飞,张皓天,李直,等.BIM技术在中建三局北京总部基地项目机电工程的综合应用[J].土木建筑工程信息技术,2021,13(6):104-112.
- [3] 侯丹雪.BIM技术在某健康中心管线排布工程中的应用研究[D].北京:北京建筑大学,2020.
- [4] 徐兴,杨亚松,刘志强,明壮.BIM技术在机电安装中的应用[J].山西建筑,2022(1):113.
- [5] 武永峰,张宇婷,年立辉,等.BIM技术在某项目地下车库机电管线综合设计中的应用[J].智能建筑与工程机械,2021,3(9):39-41.
- [6] 崔蓉.BIM技术在地下车库管线综合中的应用及效果分析[J].技术应用,2018,83-85.
- [7] 胡威.基于BIM的机电管线综合优化在复杂项目中的应用实践[A].第七届全国BIM学术会议论文集[C].重庆:中国建筑工业出版社出版,2021.
- [8] 武永峰,张宇婷,年立辉,等.BIM技术在某项目地下车库机电管线综合设计中的应用[J].智能建筑与工程机械,2021,3(9):39-41.

基于 Revit视图和过滤器的 BIM 正向设计出图

齐维丽, 张辛平, 戴龙(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430010)

[摘 要] 本文从实际工程设计出图需求出发,实现了基于 Revit视图和过滤器的 BIM正向设计出图插件。可实现用户对所选择视图模型到二维图纸的个性化导出,有效解决在信息传递过程中,图层信息传递一致性和完整性的问题。相比于直接通过 Revit原生的导出功能导出的图纸,需要在导出后进行人工查找和修改等工作,使用此插件导出的设计图纸,极大地保证了设计信息的完整性和准确性,实现图面的简洁性、美观性,能为其他过程提供参考。

[关键词] BIM正向出图;图层;Revit;视图;过滤器

BIM PositiveDesign PlotingBased on RevitViewsand Filters

Qiwei-li, Zhang Xin-ping, DaiLong (China MunicipalEngineering Centralsouth design and Research InstituteCo., Ltd, wuhan 430010, China)

Abstract: In thispaper, theBIM(BuildingInformation Modeling) positivedesign plottingplug-inbased on Revitviewsand filtersis implemented accordingtotheactualengineeringdrawingrequirements. Itcan realizethepersonalized exportoftheselected viewmodel to2 Ddrawings, and effectivelysolvetheproblemofconsistencyand integrityoflayerinformation transferintheprocessofinformation transfer. Compared withthedrawingsdirectlyexported through theRevitnativeexportfunction, manualsearch and modification are required afterexport. Thedesign drawingsexported withthisplug-ingreatlyensuretheintegrityand accuracyofthedesign information, achievethe simplicityand beautyofthedrawings, and can providereferenceforotherprocesses.

Keywords: BIM positiveploting; Layer; Revit; View; Filter

0 引言

作为信息管理的重要工具, BIM技术的应用非常显著提升了项目管理的效率,对全过程的进度控制、成本管控、建筑质量管理、生产安全性都有着巨大的提升,因此 BIM技术被视为建筑行业的一次产业革命。对此,《2016 -2020 年建筑业信息化发展纲要》加快 BIM 的普及应用提出明确要求^[1]。

虽然 BIM技术相比传统的设计技术有了很大的进步,但是随着技术使用的不断深入,在给排水工程设计的过程中还是存在一些问题^[2]:一、BIM系统自带的数据库与我国的给排水体系有所不同,本地化程度不高,会在一定程度上影响到设计工作的效率。二、国产 BIM软件开发大多以工程通用功

能为主,没有针对给排水工程的定制解决方案,影响给排水工程 BIM设计的普及推广。如:鸿业软件公司的给排水设计模块包含:消防系统、水系统等内容,适用于民用建筑给排水的给水、污水、消防的设计需求,但是不满足给排水工程工艺管道的管径、管材、系统的设计使用需求。三、出图是 BIM设计过程中的重要环节,但是目前主流的 BIM对出图并未有过多的设计,信息表达不准确,不能满足实际的设计需求。虽然 AutoDesk Revit提供导出 DwC文件功能,但是导出的图纸难以实现接近 AutoCAD绘图的效果,字体、图层、标注样式等方面的设定自由度低,往往造成 DwC的后期处理工作量巨大,影响交付效果,在实际的工程中往往不会被采用,所以 BIM技术仅停留在概念阶段,尚未实现真正的三维协同设计^[3]。

对于现阶段的 BIM设计、出图新模式,既不能要求 BIM模型生成二维图纸完全符合现有二维制图质量标准,也不能否认 BIM模型可直接生成二维

[收稿日期] 2022 -11 -02

[基金项目] 住建部研究开发类项目市政工程 BIM设计和施工应用技术(K20210574)

[作者简介] 齐维丽(1990 -),女,硕士

[联系方式] E-mail:zichu080425 @163.com

视图的价值^[4]。应该根据 BIM技术的优势和特点,积极探索切实有效的 BIM 出图实施方案,实现 BIM 的阶段价值^[5]。

本文实现了一种基于 AutoDesk Revit视图和过滤器的 BIM正向设计出图插件。可以对用户选择的图纸进行导出,并根据用户的实际出图需求编辑规则实现图层、字体或尺寸标注等信息的个性化编辑,并可以将该导出设置保存,实现出图规则的复用和协同设计。相比于通过 Revit原生的导出功能导出图纸,后期再进行修改的方法,其无需耗费人力进行查找和修改,在针对大型的设计项目进行 BIM设计出图时,可以有效地提高项目的设计效率,节省大量的人力资源和时间。通过此插件,使得导出的 DwC文件保持与 Revit中设置的图层在颜色和名称上保持一致性,解决各专业之间的协同工作的同步性,极大的提高了数据和信息在模型之间的传递过程中的完整性和一致性。

1 现状

1.1 出图技术的比较

根据实现原理不同,可将目前主流的出图技术分为 2D出图和 3D出图两大类^[4]。2D 出图针对某特定类型的构件,输入尺寸等参数,经过几何代数运算生成预先设定部位的视图图形;而 3D 出图先建立构件的 3D模型,通过剖切、投影等方式的几何运算,得到施工平、立、剖面图^[5,6]。这两类技术的主要差别有二。一是数据来源:2D出图的数据来自既定构件的参数,而 3D 出图的数据来自 3D模型;二是运算方式:2D出图使用线性代数运算,而 3D 出图使用几何运算。由此可见,3D模型传递的信息更为准确,通过其来实现模型的信息表达和传递的方式,更加符合 BIM 正向设计的理念,实现高效出图。不过 3D出图技术的缺点在于生成的初始图纸效果不如 2D出图,不能满足相应的设计需求,如钢筋符号的表达形式未能满足中国标准,虽然现行有一些本土化的处理方法,但是方法相对复杂且有局限性,在工程实际应用中往往不会被采用,使得我们的 BIM技术仅停留在概念阶段,尚未实现真正的三维协同设计,实现 3D出图方法完全替代 2D出图技术,需要有更好的解决方案^[7]。

1.2 出图的解决方案

BIM 正向设计以 BIM 模型为信息载体,依靠不

同专业、不同阶段的多个软件协同,实现信息流在不同过程中的完整传递和重构^[8]。根据 BIM 信息流从 3D至 2D 的形态变化,可使用 3D建模软件,并使用 AutoCAD软件进行后续出图工作,以此传递 BIM 模型信息流,实现正向设计。

本文所实现的 BIM 出图技术路线为:从 Revit 中获取当前选中视图的所有构件数据,对视图所包含的所有构件(包含各类文字注释),结合设计出图时的特点和需求,实现导出 DwC文档和 Revit中图层的颜色和名称的相对应的方法,编写出图时所需的导出的 DwC格式文档的插件。支持用户可根据实际设计图纸出图需求进行编辑。针对每种构筑物,获取其所有构件属性,根据属性设置不同过滤器,对族名称、族类型名称、墙类型名称、楼板类型名称、尺寸标注类型名称进行关键词过滤,关键词可以是包含或者等于,再设置好图层和颜色,就会优先按照这个设置规则来导出图层。比如希望通过墙体的结构属性区分墙体的建筑墙、结构墙;通过族名称关键字或者类型标记等属性,将门窗进行细分为防火门窗和普通门窗;以及把载人的所有调节阀都单独导出一个图层,而不是在它所属系统的图层,那就可以设置规则:族名称包含调节阀,图层为调节阀,并可设置相应的图层颜色和图层名称的编辑。

2 解决方案

整体出图实现流程示意图见图 1。

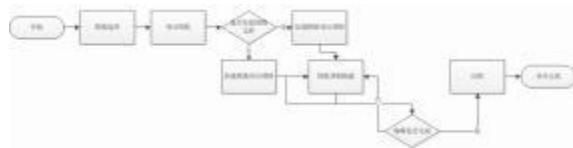


图 1 整体出图流程

虽然 Revit提供原生导出 DwC图纸功能,但是图层颜色的控制是最大的一个问题^[9]。Revit原生可以使用基于模型类别,来控制导出的图层。但因为不是基于类型控制,很多地方没办法按国内的对图纸的设计要求来精细控制图层和颜色。图纸导出后,后期为满足设计需求,还需要在 CAD中进行操作完成相应的修改工作。Revit自带的导出设置如图 2 所示。

比如建筑墙和结构墙同属于墙图层;也无法区

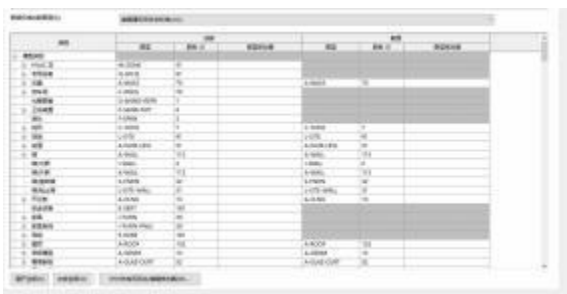


图 2 Revit中导出图层设置界面截图

分普通门窗和防火门窗。再比如,所有的文字标注因为属于相同类别,无法按照不同专业来区分不同的文字标注图层,导致不能实现图层的具体区分。实际上,大部分自己建的可载人族,都可能因为类别问题,导致它们的图层混到一起,没办法分开。因此,需要提供较为准确和方便的图纸导出方式。

针对图层导出设置这个大问题,在这里一共提供了三种精确控制图层的方式。

2.1 按不同构件设置图层

获取当前选中视图中的所有构件,将其按照专业种类进行分类,并对不同构件进行导出的图层颜色和图层名进行设置,设置完成后,就可以实现图层的相应导出。具体设置如图 3 所示,设置完成后导出的图纸在 CAD 中对应的图层特性如图 4 所示:



图 3 构件类型图层设置界面



图 4 导出图纸 CAD 中图层特性

2.2 按属性设置图层

对于选中视图中的所有构件,将按照种类进行

展示,分别获取不同种类的构建属性,通过设置不同的过滤条件,即可根据属性设置不同过滤器,对族名称、族类型名称、墙类型名称、楼板类型名称、尺寸标注类型名称进行关键词过滤,关键词可以是包含或者等于,可以是开始部分是或者结尾部分是,赋予相应的属性值,再设置好图层和颜色,就会优先按照这个设置来设置构件属性过滤器,并结合界面中图层的导出规则完成图层的导出。比如你希望通过区分墙体的结构属性区分墙体的建筑墙、结构墙。例如:建筑墙、结构墙的区分标记是看 Revit 墙体构件属性中,结构参数是否有勾选。勾选结构者为结构墙;不勾选则为建筑墙。在 Revit 中具体的属性设置如图 5 和图 6 所示:



图 5 建筑墙



图 6 结构墙

墙体属性设置完成后,导出示例如图 7 所示。

2.3 文字规则设置

Revit 原生导出图纸,尺寸标注的字体和样式,按照不同分类都导出到同一图层中,对于一些具体的需求:例如,将管道、风管、桥架等中的文字标注根据具体需求导出到不同的图层中不能满足。因此,在这里,将文字标注的图层导出进行单独设置。可分别对不同种类的文字标注进行图层的文字和颜色设置,具体的文字图层名和颜色设置界面如图 8 所示。

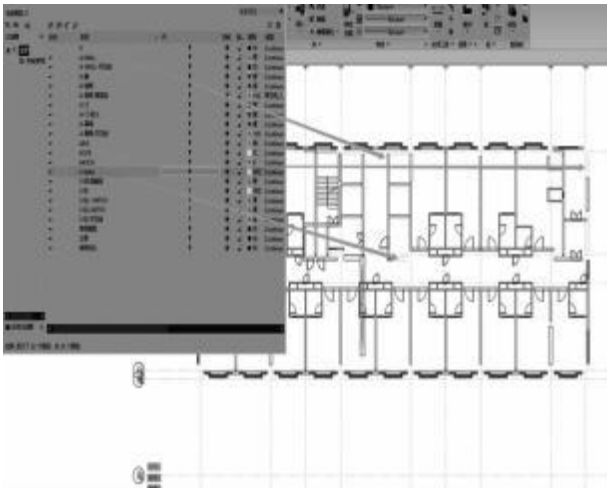


图 7 墙体导出后图纸所示

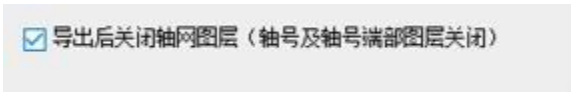


图 10 轴网关闭操作选项



图 11 轴网图层关闭显示

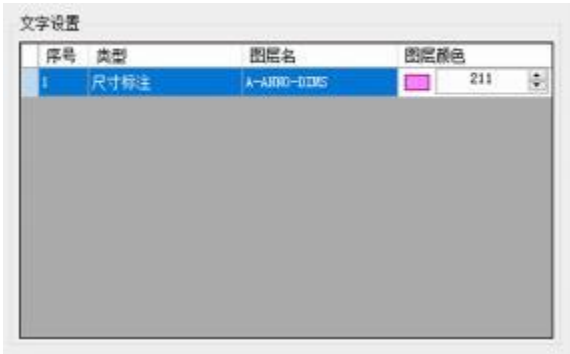


图 8 文字图层设置 UI

文字导出如图 9 所示：

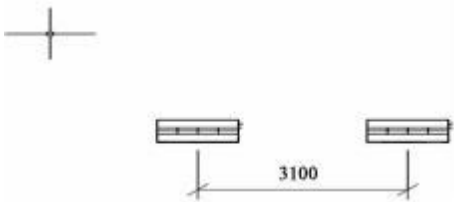


图 9 文字标注导出图示

2.4 其他设置

考虑有些专业图纸设置的习惯，在导出图纸时如果关闭轴网和轴网标记图层，使得图纸表达简洁的需求。如图 10 所示可设置是否导出后关闭轴网图层选项，勾选后则导出后轴网图层被设为关闭，那么在导出的 DwC 文件中，该图层为关闭状态。图纸导出后的效果如图 11 所示。

设置后导出的图纸在 CAD 中图层显示如图 11。

2.5 出图配置

操作下来，你可能会觉得，虽然比起导出后在 CAD 里修改已经简单很多了，但要完整且合规的导出一份高质量设计图纸，需要设置的众多条目和各项属性赋值。实际上，这些设置工作只需要在第一次使用软件的时候进行，可以将当前设置保存下来。如图 12 所示，同时可以保存多种配置项，以适应不同专业或不同用途的需要。下次只要导入相应的配置 XML 文件，就不需要重头开始设置了。设置好的配置项还可以导出，实现重复使用和协同设计。

配置文件格式如图 13 所示，在文件中，以当前配置的命名作为文件的分类标识符。针对当前选中的视图，将界面上所有的导图配置进行保存，以便后续进行复用。此外，也根据构件的分类，将该类型的所有属性以及属性值内容进行保存。



图 12 配置加载和保存界面


```

<Config>
  <Name>默认配置</Name>
  <Node>
    <CategoryName>结构</CategoryName>
    <CategoryID>200320</CategoryID>
    <LayerName>8-00D</LayerName>
    <ColorIndex>1</ColorIndex>
    <FilterCondition>
      <Condition FilterKeyWords=族名称 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=族与类型 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=类型名称 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=类别 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=设计选项 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=类型 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=类型 ID FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=范围数 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=族 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=名称 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
    </FilterCondition>
  </Node>
  <Node>
    <CategoryName>墙</CategoryName>
    <CategoryID>200901</CategoryID>
    <LayerName>A-WALL</LayerName>
    <ColorIndex>10</ColorIndex>
    <FilterCondition>
      <Condition FilterKeyWords=类型 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=墙体的交 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=交 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=底部是裙房底 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=名称 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=体积 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=结构用途 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=应用分析属性 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=底部限制条件 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=底部约束属性 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=图像 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=已有底图 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=设计选项 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=面积 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=长度 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=顶部偏移 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=类型 ID FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=与墙体相关 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=拆墙的阶段 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=窗台线 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=连接高度 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=已有窗洞面 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=备注 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=结构 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=底部偏移 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=房间边界 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
      <Condition FilterKeyWords=族与类型 FilterSymbol=1 FilterValue="" />
    </FilterCondition>
  </Node>

```

图 13 配置文件截图

3 总结

BIM正向出图首先需要解决的就是“最后一公里”导图难题，真正实现从3D模型到2D设计图的转化。解决这一问题需要企业、软件开发商、政府三方共同携手。企业要勇于探索，提高BIM设计效率，充分发挥其行业背景和产业优势，不断挖掘BIM

在其产业推广的可能性和实际使用需求,以及不断的提高和巩固,促进以 BIM技术为核心的设计行业信息化。软件开发商则需要不断完善软件功能需求,以满足不断提高的设计需求和场景。政府需要不断推陈出新,在满足既有行业标准的深度、准确度、简洁度的前提的同时,适应 BIM技术发展,制定出新的制图标准以及 BIM咨询、实施标准。

参考文献

- [1] 陈洋博.BIM技术及其在高层建筑给排水管理中的应用研究.《大学生联合比对库》[J]2017.11.13.
- [2] 张建新.建筑信息模型在我国工程设计行业中应用障碍研究.《工程管理学报》[J],2010(4):387-392.
- [3] 李亚克.《基于 Revit平台的 BIM 应用系统二次开发研究》.河北科技大学硕士论文[D].2018-12-13.
- [4] 王建宇,王听妍.二次开发实现从 AUTOCAD到 REVIT快速翻模技术研究.《土木建筑工程信息技术》[J],2015,(03):111-115.
- [5] 袁俊.BIM技术助力绿色建筑发展.《商品与质量》[J],2019.12.11.
- [6] 马德、赵宁宁、刘颖等.BIM 机电设计、出图、交付新模式研究.《中国 BIM 门户》.
- [7] 赵清清,刘岩,王宇.基于 BIM 的平法施工图表达探讨[J].《土木建筑工程信息技术》,2012.6:2:64-70.
- [8] 王宏莹.BIM和 GIS技术在智慧城市建设中的应用研究.《安徽建筑》[J],2021,12.1.
- [9] 庞志显,黄宇辰.基于正向设计思路的 BIM 技术在市政道路工程设计中的应用[J].《建设科技》,2019(18):80-83.

BIM 施工管理平台在污水厂数字化转型中的应用

邱峰,戴龙,吴迪,高宏民,齐维丽(中国市政工程中南设计研究总院有限公司,湖北武汉 430000)

[摘要] 在污水厂工程项目建设中,施工现场管理工作混乱,各参与方信息协同性差等问题,制约了污水厂建设的智能建造的水平。本文以江夏污水厂二期工程项目为例,具体阐述了 BIM 应用需求与组织框架,明确了 BIM 施工管理平台在建造过程中的应用优势;其后详细分析了平台的基本功能,从管理驾驶舱、进度、质量、安全、协同办公、智慧工地等方面探讨了具体的应用,探索出污水厂数字化和信息化的解决方案,达到减少设计变更、缩短工期、提高施工效率的成效。

[关键词] BIM 技术;BIM 施工管理平台;数字化转型;工程管理

Application of BIM Construction Management Platform in Digital Transformation of Sewage Plant

Qiu Feng, Dai Long, Wu Di, Gao Hong-ming, Qi Wei-li (China Municipal Engineering South China Design Research Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000, China)

Abstract: In the construction of the sewage plant project, the management of the construction site is chaotic, and the information coordination of participants is poor, which restricts the level of intelligent construction of the sewage plant construction. This paper takes the second stage of Jiangxia Sewage Treatment Plant as an example, specifically elaborates the BIM application requirements and organizational framework, has been clear about the BIM construction management platform application in the building process advantages; Then, the basic function of the platform are analyzed in detail from the cockpit, schedule management, quality, safety, collaborative office, wisdom site specific application is discussed, and explore the construction of digital and information technology solutions, to reduce the design change, shorten the construction period, improve the efficiency of the construction results.

Keywords: BIM technology; BIM construction management platform; digital transformation; engineering management

0 引言

近年来,随着中国工业和制造业的转型升级,"中国制造 2025"的发展战略正推动着我国新基建的大力发展,BIM 技术的出现为整个建筑业提供了新鲜的血液,为整个行业的建造模式赋能。建筑业由粗放式管理向精细化管理转型的过程中,BIM 技术通过对建筑的数据化、信息化模型整合,在项目的全生命周期中进行信息互通互享,以"智慧管理模式"实现"智慧工程"建设,为各个建设单位参与提供协同工作的基础,从而提高生产效率、提高工

程质量,提高项目管理决策等方面发挥重要作用。

目前 BIM 技术已广泛应用于工程建设领域,在水务项目建设全生命周期中也有一定的应用^[1]。在经济持续增长以及人民对生态环境需要日益增长的背景下,水处理和水环境治理与修复工程站上一个新的高度,这也加快了污水厂智能化和数字化转型的步伐。基于 BIM 技术的施工管理平台可以在项目设计、采购、施工及运维等各阶段实现全产业链一体化管控,以"数据精细化、管控智能化、施工可视化、协同线上化"的理念,提升一线作业人员和整个企业的管理水平,实现降耗增效,带动行业科技创新与转型升级。

本文以江夏污水厂二期工程项目为例,基于自主研发的 BIM 施工管理平台的深度应用,达到项目数字化转型和精细化管理的目的,探索数字化解决方案,逐步形成数字资产,为在类似项目的应用和

[收稿日期] 2022-11-15

[基金项目] 住建部科技计划项目(K20210574);市政工程 BIM 设计和施工应用技术-智能建造和新型建筑工业化

[作者简介] 邱峰(1991-),男,本科,工程师,注册监理工程师。主要从事 BIM 技术、工程项目管理等方面的研究

[联系方式] E-mail: qiu feng 8858 @ 163. com

平台功能的完善提供借鉴和参考^[2]。

1 项目概况

武汉市江夏区“清水入江”投融资、策划(含规划、设计)、建设、运营一体化项目,是为保护水环境、推动地区经济社会永续发展而实施的一项重大环保工程、民生工程的P项目。清水入江项目三期工程中的江夏污水处理厂(二期)子项选址位于江夏区郑店街同兴村,规划用地总面积为8.8公顷,总建筑面积为7913m²,估算总投资5.37亿元(含征地拆迁费用),建设工期2年,主要建设内容为在已投产的江夏污水处理厂一期工程(处理规模为15万m³/d)基础上进行扩建,扩建规模15万m³/d,包含常规二级处理、深度处理、污泥脱水、除臭工程及工程管理用房等。

2 BIM施工管理平台组织架构

2.1 工程挑战及BIM应用需求分析

高标准严要求的管理目标:将江夏污水处理厂(二期)建设工程总承包(EPC)项目打造成湖北地区“廉洁工程”、“标杆工程”和“精品工程”,打造新时代节能环保、绿色集约的生态智慧型水处理工程。确保湖北省建筑工程安全文明施工现场,争创湖北省市政示范工程金奖。

项目总投资大,集约化布局设计要求高,施工管理协调问题多,施工工艺繁琐,施工工期紧张,质量安全文明施工要求严格,且工程总承包内容包含BIM全生命周期应用,对整个工程提出了挑战。

智慧化水厂要求高,为打造科学化、精细化的智慧污水厂^[3],实现后期智慧水务的智能化应用,打通设计-施工-运维一体化协同应用,将施工过程信息传递到运维管理中,深入贯彻“一模到底”的全方位BIM技术应用。

基于以上困难点及挑战,本工程对江夏二期污水厂开展了深入的调研和需求分析,平台以基于BIM数据库为基础,结合EPC管理流程需要^[4],使各参建方在平台上可进行规划、设计、采购、施工、试运行、维护等工作,同时进行进度、质量、安全、投资、会议管理、协同办公、智慧工地等要素管理,从而实现各部门各专业之间的协同工作。

2.2 BIM施工管理平台应用框架

BIM施工管理平台以施工总承包单位的现场管

理为主,以PC端和手机端辅助,通过BIM平台的便捷操作和及时沟通,全面掌控实时、动态的项目进度、质量、安全等全生产过程,确保工程按时按质完成。平台主页面包括【项目概况】、【三维沙盘】、【协同办公】、【设计管理】、【采购管理】、【投资控制】、【进度管理】、【质量管理】、【安全管理】、【智慧工地】、【文档管理】、【流程管理】、【系统管理】等模块,每个版块可以权限及任务划分,做到分工合作和信息共享。架构的底层为打通全生命周期数据接口,形成三维数字化应用标准体系^[5],采用5个层级的体系,基于 workflow引擎,解决管理过程中“信息孤岛”的难题,对工程项目分层级、分用户、分权限的管理,平台总体架构如图1所示:



图1 总体架构

3 BIM施工管理平台应用

3.1 项目指挥中心

查看工程项目的概况、效果图、施工倒计时、投资情况、进度情况、现场环境监测,更快、更直观、更高效的展示项目宏观信息,管理驾驶舱根据功能模块划分角色职责,为领导提供可视化的顶层决策分析数据。项目指挥中心如图2所示:



图2 指挥中心

3.2 设计成果管理

基于BIM模型开展碰撞检查,通过Navisworks软件提供的空间冲突检查功能查找构件间的空间

冲突可疑点,进行工艺、结构、建筑、电气各专业的碰撞检查、分析模拟,形成碰撞检查报告^[6],并提出合理的优化解决方案,如图 3 所示。碰撞检查不仅能够彻底消除硬碰撞和软碰撞,还能优化工程设计,减少在项目施工阶段可能出现的损失和返工,降低项目成本。

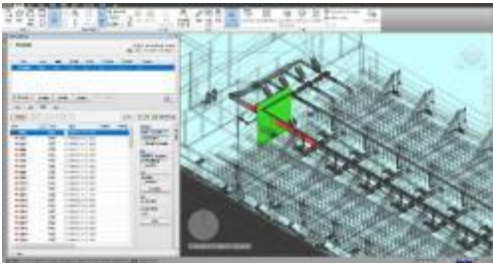


图 3 碰撞检查

BIM施工管理平台设计成果管理由设计图纸、设计模型等部分组成,实现对工程项目的设计图纸统一管理,可以在线浏览、审核图纸,也可以实现对模型的批注、浏览、漫游、剖切、查看构件属性等。模型管理如图 4 所示:

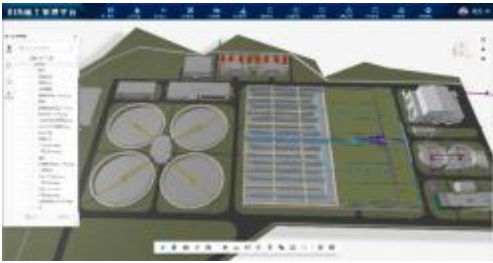


图 4 模型管理

3.3 投资控制

投资控制由投资估算、投资概算、年度预算、不同单位的投资控制功能板块组成,可实现对投资资金的穿透式管理。

3.4 进度管理

进度管理由进度看板、总体进度、月进度、周进度、单体进度、形象进度、项目进度等部分组成。实现对项目进度的查询、审批、查看以及模型单体构件的未建、在建、已完未验、已完已验、延期等状态。通过 Project计划表与 BIM模型关联,将计划进度与模型构件关联,可实现计划进度模拟^[7],如图 5 所示;通过实际录入开始和结束时间,通过标识模型不同显示颜色与计划进度进行对比,直观可视化掌握施工进度,分析项目进度滞后情况,如图 6 所示。

BIM技术通过采取虚拟建造、施工进度模拟等技术,优化专项施工方案、资源配置、场地协调,增强管理人员与施工人员的协作,缩短项目的工期,提高经济效益^[8]。



图 5 进度关联模型

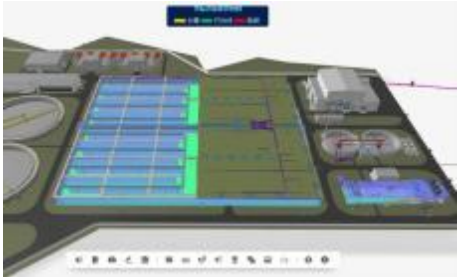


图 6 实际进度管理

3.5 协同办公管理

由个人工作台、项目动态、通知公告、会议通知、政策法规、项目简报、项目圈等部分组成。主要用于个人对项目信息的实施了解。协同办公管理如图 7 所示:



图 7 协同办公-会议管理

3.6 质量安全管理

质量管理模块由质量看板、开工申请、施工方案、停工管理、复工管理、材料报审、材料报审台账、质量培训、巡检计划、巡检任务等部分组成,如图 8 所示。可对现场质量问题起到事前-事中-事后控制,做到 PDCA全面质量管理的方法。

安全管理模块由安全看板、安全许可证、应急



图 8 质量管理看板

预案、应急演练、施工交底、安全培训、安全巡检列表、安全巡检任务等部分组成,如图 9 所示。对施工现场的安全问题起到可追溯、可解决、可反馈的机制。



图 9 安全管理看板

3.7 智慧工地

通过与智慧工地系统对接,可以对现场的人员、环境监测、视频监控、大型机械设备安全运行数据进行查看。同时,由于新冠肺炎疫情的影响,为了做好疫情防控工作,增加智慧防疫的功能,通过现场扫描的二维码可实时直观查询项目进场人员身份工种、体温、进场时间、进场总人数等基本信息,做到科学化的防疫解决方法。智慧防疫功能如图 10 所示:



图 10 智慧防疫

3.8 手机 AP 端

手机端 AP 可以便于现场管理人员快速、高效

的对项目信息协同和共享,包括项目信息、设计管理、资讯动态、形象进度、项目简报、会议通知、发起审批流程等功能板块,如图 11 所示。



图 11 AP 首页

同时也开发了手机微信小程序,解决现场一线人员硬件与网络的问题,大大提高了使用效率。微信小程序里项目圈管理可以做到项目实时动态信息更新,也可以发布一些良好的样板工程照片,让项目单位人员参考学习,如图 12 所示:



图 12 项目圈管理

4 结语

通过 BIM施工管理平台在江夏污水厂二期工程中的应用，有效改进了传统建造管理的方式，为项目提供了精准、高效、可视化的决策数据，助力污水厂数字化转型，充分将施工和管理结合，形成一个统一的管理体系，达到项目工程精益建造的目的。

随着平台的深入完善应用，下一步将打通施工数据传递到项目运维阶段中，将 BIM技术与物联感知、CIs、大数据等有效结合，形成一套独特的智慧水务系统，从而全面提升江夏污水厂二期工程生产运维管理水平，助力开始企业数字化转型新实践。

参考文献

[1] 黄时锋，白海梅，李梦甜.水务项目建设管理 BIM 应用研究[J].项目管理技术，2020，18（5）：117-122.

[2] 宁宏翔，杨光元，朱若愚等.基于 BIM 技术的施工总承包管理平台的研究和应用[J].施工技术，2017，v.46（s2）：756-758.

[3] 李子梦.水厂智慧化建设与发展研究[J].中国新通信，2021，23（08）：59-61.

[4] 贺彩峰，闫天伟，周朕等.EPC总承包工程全过程管理中 BIM 技术的应用研究[J].建筑技术，2022，53（10）：1380-1382.

[5] 李翊君，黄静菲.BIM技术在上海泰和污水处理厂工程中的应用[J].土木建筑工程信息技术，2021，v.13；No.67（05）：127-133.

[6] 章敏，龙虹池，俞小胖等.基于 BIM 的碰撞检查在市政水务项目协同设计中的应用[J].科技与创新，2022，（18）：50-53+59.

[7] 朱佳佳，谈飞.BIM技术在项目进度管理系统中的应用[J].项目管理技术，2014，12（05）：38-42.

[8] 刘博宇，李小红.BIM技术在施工管理中的应用分析[J].价值工程，2022，v.41；No.642（22）：109-111.

基于自主平台的 B1M 机电设计软件开发

邱相武, 张磊, 孙明倩, 朱佳迪, 张德宝, 王童, 张华伟(北京构力科技有限公司,北京 100013)

[摘 要] 针对当前国内机电 BIM 设计软件以国外软件和基于国外软件二次开发的插件为主的现状和 BIM 审查应用特点,提出了在完全自主知识产权平台上开发的机电 BIM设计软件的软件架构,机电建模、碰撞检查、专业计算、施工图出图、BIM 审查功能实现的关键技术,供同行参考指正。

[关键词] 机电 BIM 设计;水力计算;碰撞检查;BIM审查

Development of MEP software for Design Based on Independent BIM Platform

Qiu Xiang-wu, Zhang Lei, sun Ming-gian, Zhu Jia-di, Zhang De-bao, wang Tong, Zhang Hua-wei(Beijing Glory PKPM Technology Co. Ltd, Beijing 100013, China)

Abstract: Aiming at the current situation that the software for MEP design is mainly foreign software, considering the characteristic of BIM review of MEP at the same time, the key technologies of architecture, data organization, 3D modeling, clash detection, hydraulic calculation, construction drawing, and BIM review of MEP developed on the BIM Base@ platform are put forward for reference and correction by others.

Keywords: design of BIM; hydraulic calculation; clash detection; BIM review of MEP

0 引言

随着国家 BIM 应用推广力度的加大和建筑企业进行数字化转型内驱力的推动,越来越多的建设项目应用了 BIM 技术。据《中国建筑业 BIM 应用分析报告(2021)》数据,有 85.15%的企业在公共建筑中应用 BIM 技术,68.37%的企业在居住建筑中应用 BIM 技术^[1]。暖通、建筑给排水和建筑电气(以下简称机电)专业设计过程中计算内容多,管线复杂,应用 BIM 的需求更迫切。文献[2-3]分别介绍了利用 Revit 软件在建筑电气和建筑给排水建模、碰撞检查、空间排布优化方面的应用。文献[4]介绍了在暖通负荷计算、风系统计算、水系统计算中 Revit 计算内核与国内标准的差异,并介绍了使用 Dynamo 语言在 Revit 上二次开发上述功能的方法。

在国内 BIM 建模工具类软件中, Autodesk

Revit Civil 3D、InRoads 等国际 BIM 软件占比仍是主流(87.08%),其他软件有 Graphisoft ArchiCad、Bentley、Catia 以及在 Revit 上二次开发的广联达、鸿业软件等^[1]。机电 BIM 设计软件更是几乎被国外软件垄断,Revit 市场占有率最高。近年中美贸易摩擦加剧,开始限制部分国企升级或使用。

《“十四五”建筑行业发展规划》在十四五期间发展目标中提出:推进自主可控 BIM 软件开发,积极引导培育一批 BIM 软件开发骨干企业 and 专业人才,保障信息安全。建立 BIM 辅助审查审批信息系统,推进 BIM 与城市信息模型(CIM)平台融通联动,提高信息化监管能力^[5]。这些目标的实现不仅对软件自主可控提出了要求,也对软件审查的适应性提出了要求。

综上所述,一方面从信息安全和解决软件“卡脖子”问题的角度,有必要研发基于自主平台的 BIM 机电设计软件。另一方面软件需结合我国建筑发展目标和设计企业流程,提高设计效率,适应 BIM 审查要求。

中国建筑科学研究院北京构力科技有限公司历时 7 年开发完成了拥有完全自主知识产权的

[收稿日期] 2022-11-01

[基金项目] “科技助力经济 2020”重点专项(编号:2020 ZLSH0)

[作者简介] 邱相武(1972-),男,硕士,副研究员,注册公用设备工程师

[联系方式] E-mail: qiu xiangwu@cabrttech.com

BimBase@ 平台,具有数据存储引擎、P3D 渲染引擎、几何引擎,已在多个项目中进行了开发应用,可以满足 BIM 软件的二次开发需求^[6]。在此基础上开发的 PKPM-BIM 机电设计软件,通过对机电 BIM 软件系统数据架构、数据存储机制、碰撞检查机制及机电专业设计流程研究,在 BimBase@ 上建立了合理的 BIM 机电软件架构体系,实现机电专业数据高效存储、三维几何创建、碰撞检查、专业计算和出图。解决 BIM 软件将水力计算和建模割裂,需要外部插件计算,将计算结果导入或手工输入修改模型的设计方式,直接利用模型进行水力计算,根据计算结果自动刷新模型。通过对 BIM 审查流程研究,

实现机电 BIM 模型自审和云审。

2 软件系统架构

PKPM-BIM 机电设计软件系统架构如图 1 所示,包含平台层、数据层、应用层。平台层包括图形引擎、协同平台和消息中心。数据层是 BIM 全专业数据定义。应用层包含机电设计工具模块及与平台层和展示层数据交互接口。考虑到当前设计流程中、机电各专业间设计是相对独立完成的,在用户交互界面中将建筑给排水、暖通和建筑电气分为三个独立专业。

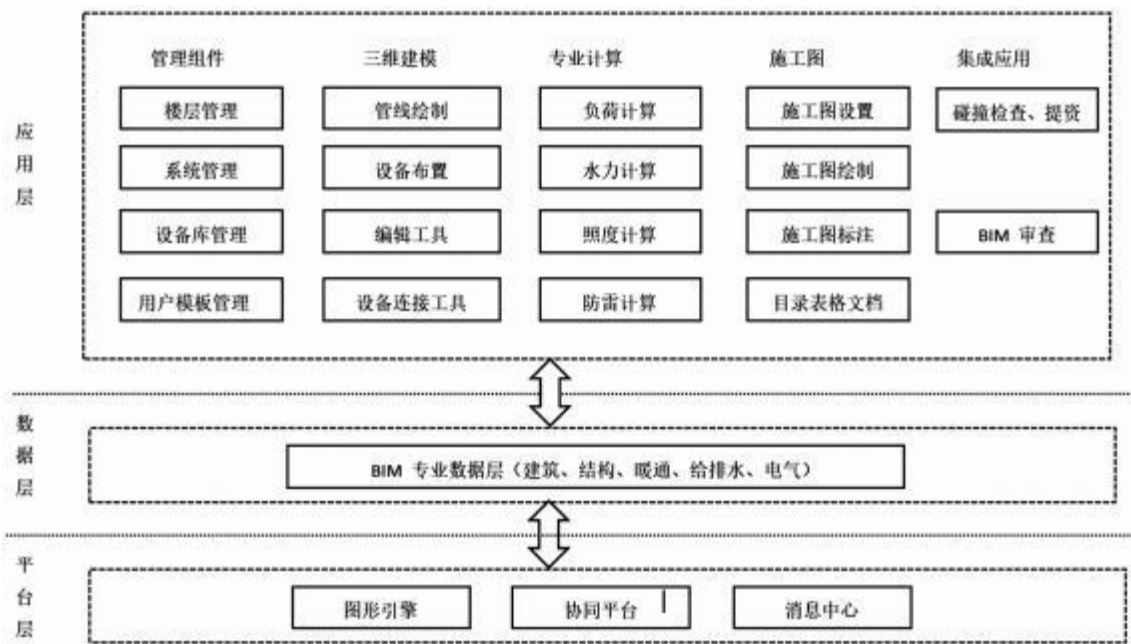


图 1 PKPM-BIM 机电设计软件系统架构

1.1 平台层

平台使用中国建筑科学研究院北京构力科技有限公司开发的自主平台,图形引擎提供基本几何创建和几何渲染功能。基本几何创建包括点、线(直线、多段线、弧线和样条曲线)、面(平面、曲面、复杂曲面)、基本体(球体、圆环体、圆柱、台体、拉伸体、旋转体)等几何构造能力。

协同平台提供专业内或专业间 BIM 数据上传、下载机制,版本管理机制,模型链接、模型参照机制。

消息中心提供多人联机创建模型时消息发送机制,可发送文字信息和选定的构件信息。

1.2 BIM 专业数据层

BIM 专业数据层包括建筑设计中建筑、结构、给排水、暖通、电气各专业数据,为保证数据集中管理、数据的一致性和关联性,BIM 专业数据层采用核心共享数据、模块间共享数据和专业私有数据三层架构^[6]。核心数据是各专业都用到的唯一数据(如项目信息、轴网、楼层表、人员权限等),模块间共享数据专业间可见,可互相参照。专业私有数据专业内使用,专业间不可见。

1.3 应用层

应用层是机电专业设计工具层,应用层是在平

台层和 BIM专业数据层基础上,根据国家标准和设计流程,开发的机电建模、专业计算、管综提资和出图工具。包括管理组件、三维建模工具、计算工具和施工图出图工具,如图 1 所示。

2 PKPM-BIM 机电设计软件关键技术及实现

2.1 三维建模

三维建模模块完成机电构件(风管、水管、线管、桥架、电缆、设备)三维几何创建和属性信息描述,模型包含的信息应该是完整的,不仅可满足设计阶段应用,还应支持建筑施工、运维阶段应用。

2.1.1 构件属性数据

以施工图为中心的 CAD设计方式,强调的是二维图纸符号表达,其物理属性多以设计说明、计算书、设备符号表等文字或图表信息进行描述。应用 BIM 技术的机电设计软件,其模型不仅应包含三维几何描述,还应包含物理属性信息。以风管为例,其信息包括:起点、终点、截面类型(圆形、椭圆形、矩形)、风管材料、保温材料类型、保温材料厚度、是否有内衬、风管流量、风管比摩阻、风管流速、风管连接方式、构件所处阶段、编码信息。机电设计工作包括方案设计、模型创建、性能分析、施工图出图等不同阶段,在 BIM 全流程应用中,设计阶段创建的模型还可能应用到施工模拟、运维等工作阶段。这一复杂应用过程,不可能由一款软件完成所有任务,为了保证与其他软件数据交换过程中构件可以互相识别,还需要有构件编码信息,以保证数据能够正确传递。PKPM-BIM 机电设计软件中每一类构件均有国标编码、omniclas编码信息。

2.1.2 构件三维几何创建

机电构件三维几何创建应满足以下要求:

- 1) 在现有计算机软硬件配置条件下,满足几何生成效率要求;
- 2) 机电标准构件应满足国家相关标准;
- 3) 可创建自定义构件,满足工程应用中特殊构件创建要求;
- 4) 满足工程应用建模效率要求,降低人工成本。

PKPM-BIM机电设计软件针对不同机电构件特点分别采用边界表示法 Brep 和构造表示法 CsC。Brep 表示法是用一系列曲面(例如面片,三角形,样

条曲线)粘合起来形成封闭的空间区域,来表达构件几何。CsC表示法是用一个或一系列简单基本体(如立方体、圆柱体、圆锥体)表示被创建构件,需要时可记录布尔操作结果。Brep 表示法需记录几何形体的点、线、面及其相互关系信息,比 CsC表示法记录数据复杂但有利于生成和绘制线框图、投影图,有利于计算几何特性,易于同二维绘图软件衔接和同曲面建模软件相关联。CsC表示法在不需记录布尔结果时记录数据量小,几何生成速度快。

机电线性构件如风管、水管、桥架及其连接件,几何形体表示简单,采用 Brep 表示法表达增加数据量不多,但在碰撞检查和施工图表达中需要信息较多,宜采用 Brep 表示法来表达和创建。对大量使用,几何造型复杂的机电设备如阀门、插座、开关、风机、水泵、冷水机组、变压器等设备,在施工图表达时可以使用符号化表达或直接用剖切结果表达,为减少记录数据量和提高几何生成速度,采用 CsC 表示法创建。

BIM建模增加的人力成本是制约 BIM 推广应用的主要因素之一。BIM模型包含各专业构件的几何和物理信息,并能够表达构件之间连接关系,这为开发能够提高效率的智能连接和智能建模工具提供了基础。

图 2 所示为楼梯间布置灯具工具,从模型中可以获取建筑楼梯间位置、楼板信息,选择灯具、开关

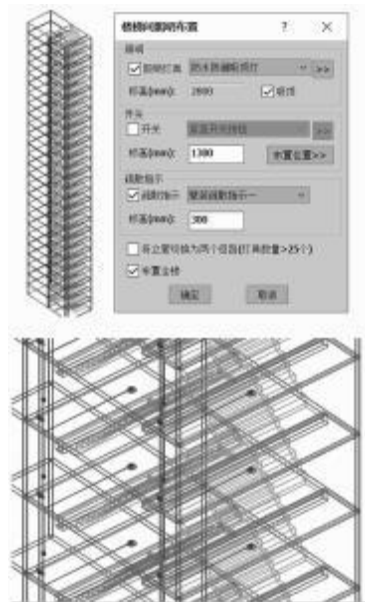


图 2 楼梯间布置灯具

类型和布置位置后,即可一键完成全楼楼梯间灯具布置,大幅提高灯具布置效率。同样,模型可以清楚表达管道与管道之间、管道与末端设备之间连接关系,对管道设备的标高调整可通过选择某一分支进行统一调整,提高编辑效率。

2.2 专业计算

机电设计过程中涉及计算内容较多,暖通专业计算有负荷计算、风(水)系统水力计算、散热器等暖通设备选型计算,给排水专业有给排水、消防、自喷系统水力计算,电气专业有照度计算、防雷计算、负荷计算等。现有设计过程多是手工或用插件进行计算,将计算结果标注到施工图中。当设计修改后,需要重新计算,再次标注,步骤繁琐,效率比较低。

机电专业可获取建筑、结构 BIM 模型数据,建筑数据包含墙、门、窗、楼板等构件几何和做法等物理属性信息,同时可获取房间类型、房间围合信息。通过这些数据,可利用建筑模型进行采暖和空调负荷计算,并将计算结果记录到房间数据中。根据用户负荷数据和暖通专业系统冷热媒源数据,进行散热器、风口、盘管等采暖空调末端选型计算,计算结果保存在模型中,可用于后续标注等工作。

水力计算流程如图 3 所示。在建模完成后,即可进行系统水力计算,计算过程是首先进行模型规范性检查,检查系统连接是否正确,满足计算条件后,根据系统连接关系,自动统计系统末端流量,按相关专业标准、规范要求进行流量、节点压力、管径计算,计算完成后检查系统内各分支是否满足水力平衡要求,结果符合要求后自动刷新水管管径或风管尺寸。

2.3 碰撞检查和提资

随着建筑功能向智能化和科技化方向发展,建筑中机电系统越来越多,建筑内部管线和设备越来越复杂,为避免管线、设备、建筑构件之间出现碰撞,需要花很大精力进行管线综合工作。在传统二维设计模式下,需要将各专业图纸参照到一起,依靠绘制剖面图和当面沟通的方式进行管线综合,复杂工程在管综上花费的时间可占到设计时间 10%。

BIM 信息模型包含全专业的数据信息,可以利用模型数据进行自动碰撞检查计算,在模型中标记碰撞点,在协同工作模式下实时解决错漏碰缺。

PKPM-BIM 机电设计软件用实体空间相容性分析方法实现碰撞检查计算。进行碰撞检查计算之

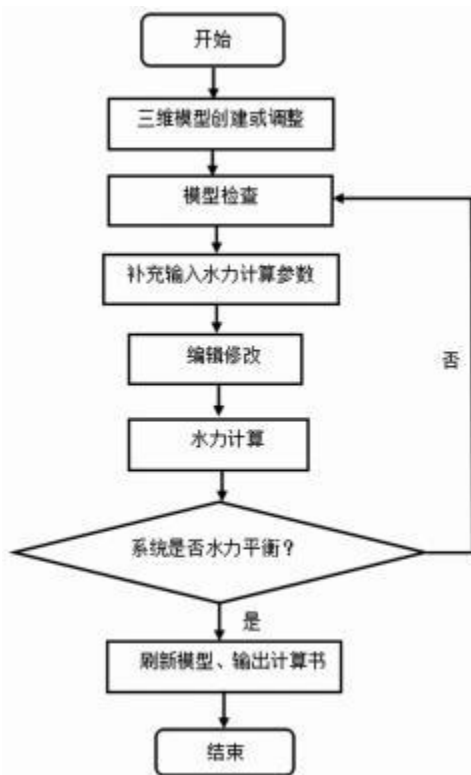


图 3 水力计算流程

前,先将参与碰撞检查计算的管道、管件、设备、建筑(结构)构件根据其几何特征抽象成长方体、圆柱、圆锥、球、多面体等基本体或网格面(Mesh)。对基本体或面构造包围盒进行高层级碰撞检查,高层级碰撞检查的原理是两个构件如果包围盒不相交,则两个构件不碰撞,剔除分离物体。高层级碰撞检查完成后,过滤碰撞的构件,进行详细碰撞计算。在详细计算中,对于凸体,可采用凸包相交检测方法进行处理。对穿越孔洞等涉及凹体的碰撞检查,采用三角化方式进行细部相交计算,判断构件是否是穿越带孔洞构件。

一个工程中构件数量庞大,如果每一构件均遍历工程中所有其他构件,则效率是不可忍受的。这两个提高效率的方法,一是对整个工程进行网格划分,对在网格范围内的构件进行碰撞,二是按构件包围盒范围查找周边构件,遍历构件包围盒范围内及与构件包围盒相交的构件作为碰撞范围。根据建筑工程特点,本软件按第二种方法进行计算。

在计算出机电构件与建筑(结构)墙、柱、梁的位置关系后,可按机电构件开洞规则给出建筑(结构)专业开洞或开孔条件,建筑(结构)专业确认后,

可直接为建筑(结构)构件开洞。

2.4 施工图

鉴于当前建筑设计提交的具有法律效力的成果是二维施工图,作为一款机电设计软件必须具有施工图功能。完成三维模型创建、专业计算后,按出图要求设置需要出图的系统、剖切范围、标注文字尺寸、设备二维符号表达方式、立管圆圈尺寸和表达方式。设置完成后,根据所选出图构件和出图剖切范围进行消隐计算。根据施工图设置和消隐结果绘制管道和遮挡管线。阀门等需要符号化表达的设备按用户设置替换为符号化表达。

BIM信息模型中包含管道、设备系统类型、风量、管道尺寸等信息,可通过自动标注功能完成管道设备属性批量标注。标注对象记录了被标注对象ID,当模型调整时,可通过图纸刷新自动更新对象标注信息。同时模型中构件都记录了构件更新状态,根据模型构件更新状态实现增量更新,提高图纸更新效率。

2.5 BIM 审查应用

针对国内 BIM 审查特点,实现云审和自审功能。软件系统推出至今在多个项目中得到应用。

机电 BIM 审查流程如图 4 所示:

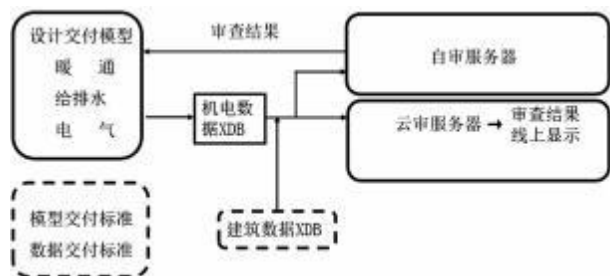


图 4 BIM 审查应用流程

1) 根据省市 BIM 审查数据交付标准要求导出 XDB 格式机电审查数据,因机电审查条文依赖建筑数据,需同时判断是否有建筑专业数据,如没有建筑专业数据,同时导出建筑专业 XDB 数据;

2) 将 XDB 数据上传至自审服务器(自审时)或政府云审服务器(云审时);

3) 在服务器端根据选择的规范范围,使用自研审查引擎进行条文审查;

4) 自审时审查完成后审查结果返回到客户端,设计人员查看不满足规范条文,选中条文定位到不满足规范要求的模型位置进行修改。在政府云服务器审

查时,服务器不返回审查结果,审查专家在线上查看审查结果和 BIM 模型,对审查结果进行审核。

XDB 格式文件包含 BIM 审查需要的项目信息、构件几何信息、构件间的拓扑关系和物理属性。针对不同地区 BIM 审查模型交付数据差异,不同地区使用不同数据模板,对模型对象需要审查的特殊属性,采用属性挂载的方式,统一赋值。

作为推进 BIM 数字化应用的措施之一,BIM 模型辅助审查系统在湖南省和广州、南京、苏州、厦门四个城市已经上线运行或试运行,天津、青岛、成都等城市正在推进,随着 BIM 审查技术成熟,越来越多的省市会将 BIM 辅助审查纳入日程。

3 结论

在完全自主知识产权的国产 BIM 平台 BimBase@ 上开发的国产 BIM 机电设计软件 PKPM-BIM 机电设计软件实现了从建模、管综、专业间提资、专业计算到施工图出图整个设计流程需要的功能,同时可进行报审,开发内容符合国内标准和规范,更易于满足国内设计应用,可保障信息安全。PKPM-BIM 机电设计软件系统构件数据包含设计、施工、运维全过程数据,支持二次开发,可通过持续开发满足工程建设全过程交付和应用。

参考文献

- [1] 中国建筑业 BIM 应用分析报告(2021)编委会,中国建筑业 BIM 应用分析报告(2021)[M].北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [2] 彭松龙.BIM 在电气设计中的应用研究[J].智慧建筑与智慧城市,2021(11):39-41.
- [3] 张曾强等.BIM 在给排水设计中的应用[J].中国建筑装饰装修,2022(1):64-66.
- [4] 张新记.基于 Revit 的暖通 BIM 设计流程探讨[J].建筑热能与通风空调,2021 40(11):90-93.
- [5] 住房和城乡建设部网站.“十四五”建筑业发展规划[EB/OL].(2022-01-19)[2022-3-24] <https://w.mohurd.gov.cn/>.
- [6] 黄立新,马恩成等.PKPM 的“BIM 数据中心及协同设计平台”[J].建筑科学,2018 34(9):42-49.
- [7] 刘天慧.实时碰撞检测算法技术[M].北京:清华大学出版社,2010.
- [8] GB/T51212-2016,建筑信息模型应用统一标准[s].北京:中国计划出版社,2017.
- [9] GB/T51269-2017,建筑信息模型分类和编码标准[s].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [10] GB51348-2019,民用建筑电气设计标准[s].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [11] GB50084-2017,自动喷水灭火系统设计规范[s].北京:中国计划出版社,2017.
- [12] GB50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[s].北京:中国建筑工业出版社,2012.

基于 3DE 平台的建筑结构混凝土构件钢筋建模软件研发及应用

王杰, 张慎(中南建筑设计院股份有限公司, 湖北武汉 430071)

[摘 要] 达索 3DE 平台作为一款国际主流的 3D 协同设计平台,能够基于同一数据源实现产品从设计到运维的全生命周期管理,非常切合目前建筑工程领域 BIM 正向设计的需求。但作为一款源自于机械工程设计平台,其原生建模功能不能满足建筑工程设计的需求。为此针对 3DE 平台在混凝土构件钢筋建模方面的不足,通过研究不同构件钢筋布置特点及建模方法,结合我国规范图集,利用 3DE 平台提供的 CAA 二次开发接口,编写了混凝土构件钢筋自动布置程序,实现了不同构件钢筋一键生成、自动布置,极大提高了钢筋的建模效率。

[关键词] CAA 二次开发; 钢筋建模; 达索 3DE 平台; 软件开发

Research and Application of Reinforcement Modeling software for Concrete Members of Building structures Based on 3 DE Platform

wang Jie,Zhang shen(Central-south China Archilectural Design Insititule Co., Ltd., wuhan 430071 , China)

Abstract: As an international mainstream 3D collaborative design platform, Dassault 3 DE platform can realize the PLM management of products from design to operation based on the same data source, which is very suitable for current BIM forward design requirements in the field of architectural engineering. However, as a design platform derived from mechanical engineering, its original modeling functions cannot meet the needs of architectural engineering design. Therefore, in view of the deficiency of 3 DE platform in the modeling of reinforcement of concrete members, the reinforcement layout of different members are studied according to China 03G101-1 standard drawings, and the automatic layout program of reinforcement for concrete members is developed by the CAA secondary development interface, which realizes automatic layout of reinforcement of different members and greatly improves the modeling efficiency of reinforcement.

Keywords: CAA secondary development; reinforcement modeling; Dassault 3 DE platform; software development

0 引言

达索 3DExperience 平台(简称 3D 平台)作为一款国际主流的 3D 协同设计平台之一,以体验为导向开展 CAD(计算机辅助设计)+PLM(产品生命周期管理)服务^[1],能够实现产品从设计到运维的全生命周期的管理。同时,该平台具有强大的三维协同设计功能,能够实现不同专业人员在同一平台基于同一数据源进行协同设计,非常切合建筑工程领域关于 BIM 正向设计的需求。目前,3DE 平台已经广泛应用于土木工程领域,包括市政工程、水利

工程、隧道工程、桥梁工程等^[2-5]。但作为一款源自于机械设计的设计平台,其原生的建模功能不能满足土木工程设计的需求。在实际项目应用中,为提高平台的建模效率、满足平台本地化的需求,大部分工程都对 3DE 平台进行了二次开发。

1 研究现状

齐鸣、张辛平等^[6]利用 3DE 平台二次开发工具,研发了城市地下管线三维 BIM 快速建模程序,成功解决了 3DE 平台在城市地下管线建模时知识工程模板实例化慢、管线位置数据批量处理困难等问题;徐威、王美哉等人^[7]针对项目模型的轻量化处理以及文件的管理等问题,利用二次开发技术研究了基于 3DE 平台的设计信息管理系统;袁胜强^[8]为解决市政交通领域 BIM 三维正向设计手段缺乏、效率低下的问题,以 3DE 平台为基础,利用二次开发技术在平台上研

[收稿日期] 2022-11-10

[基金项目] 湖北省科技厅 2022 年重点研发计划项目

[作者简介] 王杰(1988-),男,硕士,高级工程师,一级注册结构工程师

[联系方式] E-mail:779777137@qq.com

发了地形建模、设计建模、BIM模型应用、方案评估四大功能模块,建立了三维正向设计平台。

对于 3DE平台在建筑工程领域的应用,目前尚处于起步阶段。与其他工程领域面临的问题类似,3DE平台在建筑工程中具有建模效率不高、工作量大、不支持中国规范等问题。尤其是混凝土构件钢筋建模,3DE平台提供的通用钢筋建模工具操作步骤繁琐、工作量大,且未考虑国内相关规范及标准图集的构造要求,严重影响了整个模型的建模效率。为此,本文针对 3DE平台在混凝土构件钢筋建模方面的不足,通过研究不同结构构件钢筋布置特点及建模方法,并结合我国标准图集规范,利用二次开发接口,编写了常见混凝土构件钢筋自动布置程序,以实现不同构件钢筋的一键生成、自动布置,从而提高工作效率,为 3DE平台本地化奠定基础。

2 3DE平台二次开发

2.1 CAA二次开发技术

3DE作为一款大型商业软件平台,具有丰富的二次开发接口,包括基于 3D模板或工程模板的接口、基于 EKL和 VB的脚本语言开发接口以及基于 C++语言的 CAA二次开发接口。其中,前两个开发接口门槛较低,适用于简单模型编辑及处理,在开发功能上具有一定的局限性;CAA二次开发接口基于 COM技术和 OLE技术,采用面向对象的程序设计(Object-oriented-programming)思想^[9],具有良好的可复用性、抽象性、封装性、可扩展性,是第三方产品集成和一般客户进行客户化、个性化设计强有力的工具,不但可以实现对 3DE平台的深层次开发,而且有利于设计标准化程序。3DE平台 CAA架构如图 1 所示。

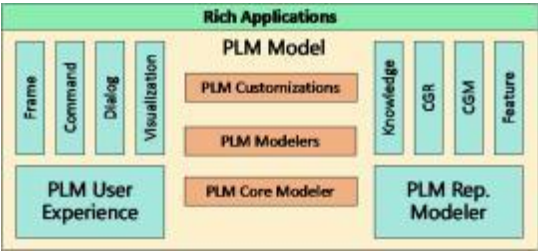


图 1 3DE平台 CAA架构

Fig.1 CAAarchitectureof 3DEplatform

2.2 程序研发技术路线

基于 3DE平台的混凝土构件钢筋建模程序研

究思路及研发技术路线如图 2 所示。首先,通过研究不同构件钢筋共同特点,利用 3DE平台提供的特征接口,采用 0sM语言编写单根钢筋特征文件

.CATfct;在此基础上,根据不同构件钢筋布置特点,结合规范国内规范图集相关要求,梳理实际施工过程中钢筋布置要求,如箍筋形式、加密区范围、起始布置位置、弯钩长度等;最后,根据构件钢筋布置要求,在 3DE平台上利用 CAA二次开发接口及 Visualstudio2017/C++,分别开发混凝土梁、柱、墙以及楼板等构件的钢筋建模工具,从而实现钢筋的一键生成、自动布置。

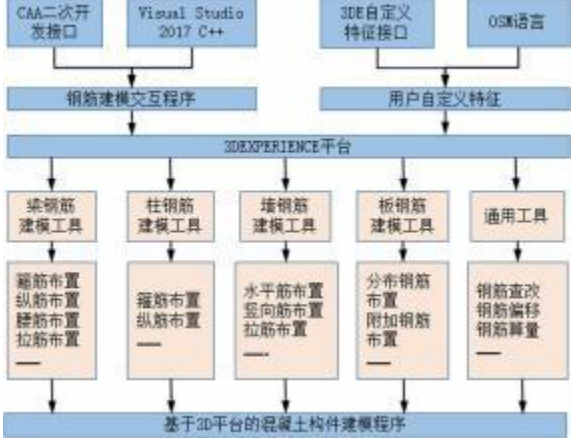


图 2 基于 3DE平台钢筋建模程序研发技术路线

Fig.2 Developmenttechnologyrouteofreinforcement modelingprogrambased on 3DEplatform

3 钢筋建模程序研发关键技术

3.1 钢筋自定义特征

根据国内规范图集,梳理不同构件钢筋的构造要求,归纳出钢筋共有特征主要包括三个部分,即钢筋直径、钢筋轮廓线、钢筋端头锚固特征,如图 3 所示。

在编写钢筋定义程序时,为提高钢筋建模效率、提升模型轻量化程度,采用 3DE提供的用户自定义特征接口编写 .osm文件定义钢筋特征,自定义特征 .osm文件一般格式如下所示:

```
document特征文件名 |
check revision( 程序自动生成)
history( 程序自动生成)
container、 RotCont、 |
feature特征名 CeometricalElement3D@Mech
Mod.feaut#startup
```




图 3 钢筋特征示意图

Fig. 3 Reinforcement characteristics

表 1 3DE自定义特征接口类

Table1 3 DEcustom featureinterfaceclasses		
序号	接口类名称	备注
1	CATIFmFeatureBehaviorCustomization	特征绘制
2	CATIEdit	特征编辑
3	CATIIcon	特征图片
4	CATINavigate0 bject	特征导航
5	CATIMf3 DBehavior	特征 3 D特性
6	CATIInputDescription	特征描述

的关键技术进行说明。

根据梁钢筋类型，可以将梁钢筋分为纵筋、箍筋、腰筋以及拉筋四大类。其中，纵向箍筋又分为底部纵筋、顶部通长纵筋、顶部附加纵筋以及架立钢筋；箍筋又分为加密区箍筋和非加密区箍筋。程序在布置梁钢筋时，首先根据构件截面信息及保护层厚度绘制箍筋轮廓线，计算箍筋加密区和非加密区范围，并根据箍筋间距布置箍筋；然后在箍筋轮廓范围内，沿梁轴线方向布置纵向钢筋，其中对于非通长负筋，程序自动根据梁净跨长度，在 1/3 或 1/4 梁跨处进行截断；若梁配有腰筋，程序根据梁高信息自动计算腰筋布置位置，并延梁高方向布置，同时记录腰筋与箍筋交点位置；最后，根据腰筋与箍筋的交点信息，布置拉筋。结构混凝土梁钢筋布置流程图如图 4 所示。

研发的楼层梁钢筋布置交互界面如图 5 所示。在创建楼层梁钢筋时，用户首先需要选择三维实体梁段信息，并根据选择的梁段定义梁跨；然后按梁跨分别定义各跨梁的箍筋、纵筋、附加纵筋、架立钢筋、腰筋以及梁端锚固类型等信息；最后程序根据输入信息按上述方法自动布置梁钢筋。

图 6 为采用研发的程序创建的不同构件钢筋布置结果。

3.3 通用钢筋自动布置程序研发

对于一些非标准构件，其截面形状各异，钢筋轮廓形状也往往随截面的形式各不相同。针对这种情况，研发了通用钢筋自动布置程序，程序交互界面如图 7 所示。在定义通用钢筋时，用户首先选择钢筋参考面，然后选择钢筋轮廓点，并指定钢筋的分布范围和间距等信息，最后点击“确定”实现钢筋的自动布置。以 L 形截面为例，用户可以通过选择钢筋轮廓点，定义钢筋是 L 形的分布钢筋或 L 形的箍筋，如图 8 所示。

1 /自定义特征变量定义

```
doublediameter # in
doubleptX # list# in
| / insertthereyourstartups
||
```

在完成自定义特征 .osm 文件编写后，通过 CATfctEditorAsistant命令，将 .osm文件编译为 3DE 程序可识别的 .CATfct文件。自定义特征文件创建一般步骤及相应实现命令如下：

步骤一：创建新的空 .CATfct文件

CATfctEditorAsistant-create-new-catalog-catalog-nameCATfct文件名-with-client-id 客户 ID-into-directory保存路径

步骤二：翻译 .CATfct文件为可编辑的 .osm 文件

CATfctEditorAsistant-describe-as-osm-catalog-nameCATfct文件名称-with-client-id 客户 ID-asosm 文件名-into-directory保存路径

步骤三：根据需求编辑 .osm文件，添加特征及特征变量信息

步骤四：根据编辑后的 .osm文件，更新 .CATfct 文件

CATfctEditorAsistant-update-catalog-catalog-nameCATfct文件名-with-client-id 客户 ID-with-osm osm文件路径-into-directory保存路径

另外，在创建用户特征时，需要用到的 3DE 自定义特征关键接口类如表 1 所示。

3.2 构件钢筋自动布置程序研发

根据不同构件钢筋布置特性，开发了梁、柱、剪力墙以及楼板钢筋自动布置程序。本节将以楼层梁钢筋自动布置为例，对构件钢筋布置程序开发中

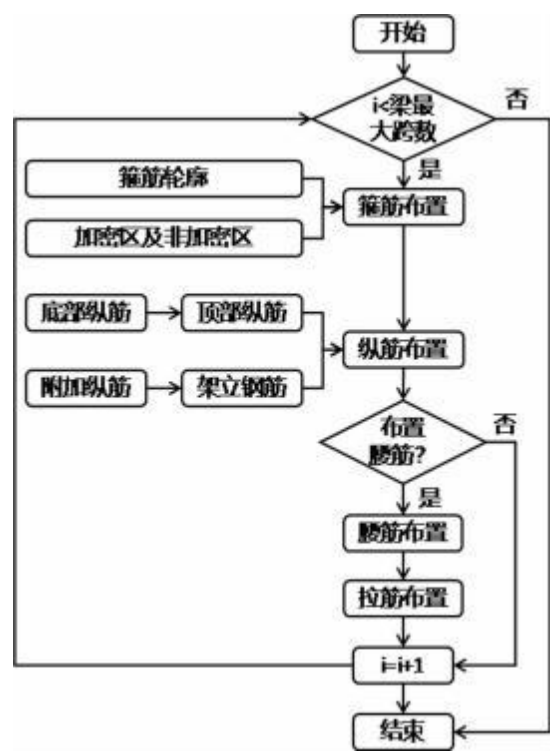


图 4 混凝土梁钢筋布置流程图

Fig. 4 Flowchart of concrete beam reinforcement creation

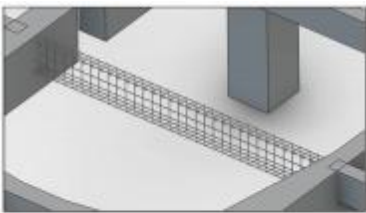


图 5 混凝土梁钢筋布置交互界面

Fig. 5 Concrete beam reinforcement creation UI

4 工程应用

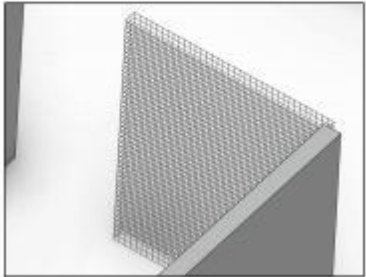
选取一 实际工程项 目对研发的钢筋建模程序的适用性进行检验 。该 项 目位于武汉市江夏区八分山 ,为新一 代气象塔 ,塔身为两个半月形塔体共心旋转而成 ,犹如旋转的" 华尔兹" ,建筑效果如图 9 所示 。项 目地下一 层 ,地上 15 层 ,底部 一 层裙房与塔身连为 一 体 ,塔身平面尺寸 15.8m x16m ,总建筑 面积 4046m² ,采用钢筋混凝土框架 -剪力墙结构体 系 ,结构高度 79.3m。



(a) 梁钢筋



(b) 柱钢筋



(c) 墙钢筋

图 6 研发程序构件钢筋布置结果

Fig. 6 Reinforcement creation results of the developed program

利用研发的钢筋建模工具对地下一 层的混凝土构件进行钢筋布置 ,钢筋布置结果如图 10 所示 。研发的钢筋建模软件能够快速建立不同构件钢筋 ,且具有良好的适用性 ,能够满足混凝土构件钢筋建模的需求 。另外 ,在项 目应用过程中也发现了研发程序存在部分不足 ,主要包括两个方面 :一 是在梁柱节点区 ,当钢筋数量较多时 ,梁柱钢筋干涉较为严重 ,且手动调整工作量较大 ,因此有必要补充梁柱节点区钢筋自动避让算法 ;二是当结构模型较大时 ,模型钢筋数量巨大 ,占用较大的内存及显示资源 ,钢筋三维模型轻量化有待进一步 优化 。

5 结论

1) 针对 3DE平台在混凝土构件钢筋建模方面的不足 ,通过研究不同构件钢筋布置特点 ,编写了常见混凝土构件钢筋 自动布置程序 ,实现了不同构件钢筋的一 键生成 、自动布置 ,极大提高了钢筋的建模效率 。

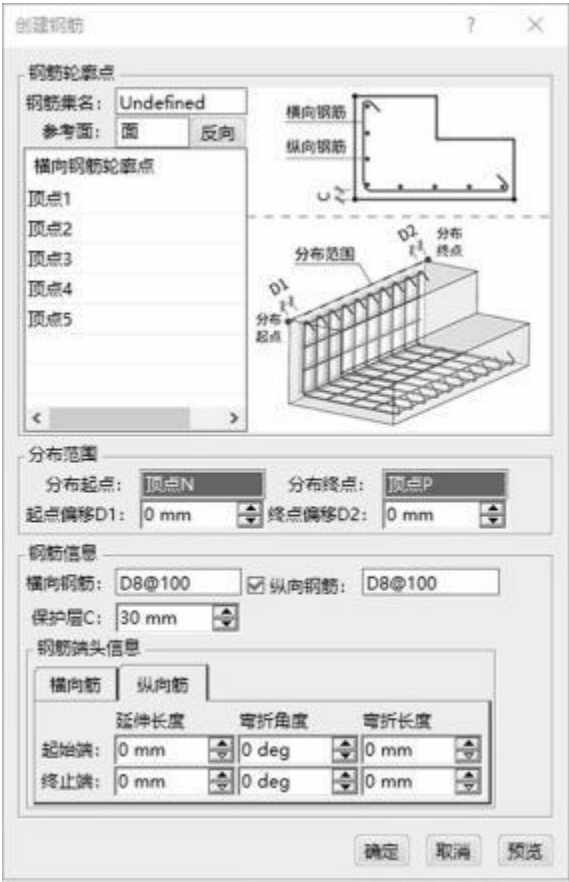


图 7 通用钢筋布置交互界面

Fig. 7 General reinforcement creation interactive interface

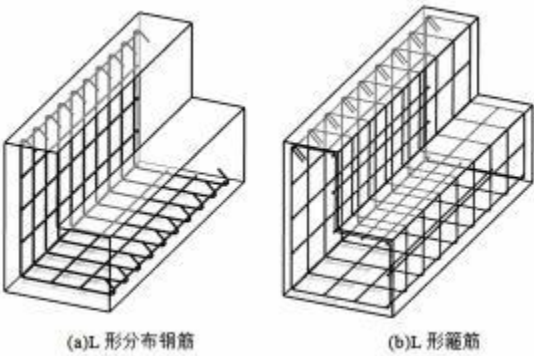


图 8 通用钢筋创建

Fig. 8 Create generic reinforcement

2) 详细介绍了 3DE 平台 CAA 二次开发接口、用户自定义特征实现以及钢筋建模工具详细研发过程等关键技术,并通过实际工程项目验证了研发程序的可行性、适用性,为同类软件的开发提供了借鉴。



图 9 建筑效果图

Fig. 9 Architectural rendering

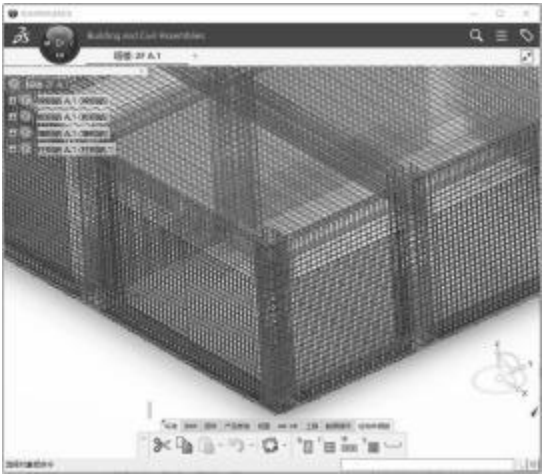


图 10 工程项目钢筋建模效果

Fig. 10 structural reinforcement modeling

参考文献

[1] 崔小建,曹炳勇,陈莎莎,等.基于 3 DE 平台的下部结构 BIM 模型快速创建系统[J].中国市政工程,2021(6):22-25.

[2] 罗通,练章华,牟易升,等.基于 CATIA 二次开发的渠道三维设计研究[J].水资源与水工程学报,2020,31(1):146-153.

[3] 王新,田鸿程,陈泰中.基于 3 DE 协同平台的路桥隧道工程 BIM 设计关键技术研究[J].水电站设计,2022,38(2):1-4,18.

[4] 刘海强.基于 3 DExperience 的市政路桥 BIM 正向设计解决方法思考[J].市政技术,2021,39(3):150-152.

[5] 张静嫫,包腾飞.基于 3 DE 平台的水利工程 BIM 应用[J].人民长江,2020,v.51(s2):108-111+169.

[6] 齐鸣,张辛平,谭国华,吴迪,等.基于 3 DE 平台的城市地下管线快速 BIM 建模方法[P].湖北省:CN110543670 A,2019-12-06.

[7] 徐威,王美哉,简志刚.苏阿皮蒂水电站设计 BIM 技术研究与应用[J].土木建筑工程信息技术,2018,v.10;No.48(04):1-6.

[8] 袁胜强.基于 3 DExperience 平台的市政交通 BIM 系统的研发及应用[A].中国图学学会建筑信息模型(BIM)专业委员会.第三届全国 BIM 学术会议论文集[C].中国图学学会建筑信息模型(BIM)专业委员会:中国建筑工业出版社数字出版中心,2017:6.

[9] 齐成龙.基于达索平台 CAA 架构的混凝土连续梁桥主体结构 BIM 建模工具开发[J].图学学报,2018,39(2):346-351.

基于 PKPM-PC 的装配式预制构件钢筋深化编辑模块

舒文俊, 吴瑞瑞, 赵冬(北京构力科技有限公司, 北京十沣科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 装配式建筑中的预制构件内部的钢筋往往比较复杂, 目前常用的设计软件均缺少自由灵活的编辑手段。PKPM-PC 作为市场上一款比较普及的装配式设计软件, 为预制构件提供了比较完善的构件建模、编辑、出图、统计的全流程设计。本文以 PKPM-PC 软件为平台, 对钢筋数据进行整理、抽象、归并、扩展、优化, 形成了一套统一的专业钢筋数据定义, 为 PKPM-PC 软件后续的钢筋开发提供了较为完善数据标准, 并基于上述专业钢筋数据结构, 结合该软件已有的预制构件的数据结构, 研究和开发了一套针对 PKPM-PC 现有预制构件钢筋的三维联动深化编辑模块。

[关键词] BIMBase; 装配式建筑; 预制构件; 三维联动; 深化编辑

Detailed Design Module of Prefabricated Components Based on PKPM-PC

shu wen-jun, wu Rui-rui, Zhao Dong (Beijing Gouli Technology Co., Ltd, Beijing shifeng Technology Co., Ltd, Beijing 100013, China)

Abstract: The steel bars inside prefabricated components in prefabricated buildings are often complex, and the currently commonly used design software lacks free and flexible editing means. As a popular assembly design software in the market, PKPM-PC provides a relatively complete whole process design of component modeling, editing, drawing and statistics for prefabricated components. Taking PKPM-PC software as the platform, this paper sorts out, abstracts, merges, expands and optimizes the reinforcement data, forms a set of unified professional reinforcement data definitions, and provides a relatively complete data standard for the subsequent reinforcement development of PKPM-PC software. Based on the above professional reinforcement data structure, combined with the existing prefabricated component data structure of the software, a set of two-dimensional and three-dimensional linkage deepening editing module for existing prefabricated component reinforcement of PKPM-PC is researched and developed.

Keywords: BIMBase; prefabricated building; prefabricated component; 2D-3D interactive system; detailed design

0 引言

随着 BIM 技术在建筑行业的普及和应用, 三维可视化的虚拟模型成为了 BIM 模型设计中的重要成果。而装配式建筑作为一种新兴的现代工业化生产方式^[1-2], 对于模型设计的标准化和准确性有着更高的要求。尤其是装配式建筑构件中的钢筋, 几何造型复杂多变, 数量较多, 在混凝土中的分布比较密集, 传统的二维平面设计方法难以直观地反应钢筋的位置和造型, 尤其是涉及钢筋碰撞和避让的情况, 因此亟须为钢筋提供一种直观、自由的设

计方法。PKPM-PC 基于完全自主知识产权的 BIMBase 平台, 结合 PKPM 多年积累的先进的分析与设计软件研发成果, 为装配式建筑构件提供了一整套的设计手段^[3]。本文将以 PKPM-PC 软件为基础, 基于软件内现有的拆分设计流程, 对钢筋的三维联动编辑展开研究。

1 钢筋深化编辑模块设计

钢筋深化编辑模块首先借助 BIMBase 的多视图功能, 为构件搭建了一个二三维联动的编辑环境。随后以此基础, 将 PKPM-PC 环境内的构件载入该环境中, 同时将构件的钢筋转化为新的钢筋, 方便进行编辑; 环境内目前主要提供属性栏和标注两类编辑方法, 在退出该环境后, 再将环境内的编辑成果保存到构件中。

1.1 钢筋数据结构设计

[收稿日期] 2022-11-02

[基金项目] 住房和城乡建设部研究开发项目“面向智能建造全过程数据应用装配式建筑 BIM 设计软件研发与应用”(2022-K-066)

[作者简介] 舒文俊(1991), 男, 硕士。主要从事装配式建筑软件的研发

[联系方式] E-mail: shuwenjun@cabrttech.com

目前,PKPM-PC软件可以支持拆分设计的常规装配式构件包括墙、梁、板、柱等,支持的钢筋几何造型主要包括纵筋、箍筋、桁架筋三大类。本文针对上述现有的钢筋类型,以及构件中常见的钢筋组合形式,将钢筋数据结构分为基础类和组合类两大部分。前者负责钢筋的几何造型,后者负责按照业务逻辑,对基础的钢筋在空间上进行组合。根据实际工程的业务情景^[4],参考 PKPM-PC已有的构件模型体系,本文基础钢筋划分为三大类:直线类、箍筋类和桁架筋类;将组合钢筋分为五大类^[5]:复合封闭箍筋、钢筋对、钢筋排、钢筋网片、钢筋笼。钢筋类统一继承自抽象钢筋基类。

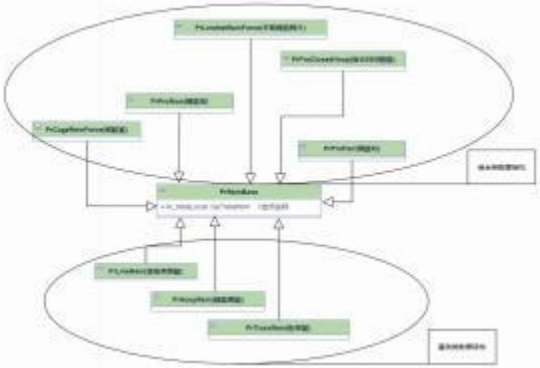


图 1 专业钢筋数据结构

1.2 编辑方法

针对上述钢筋类数据结构,本文设计了配套的属性栏和标注流程,用来展示钢筋的材质几何属性、钢筋组合之间的控制关系、以及钢筋与混凝土之间相对的空间位置关系。同时,开放了属性栏和标注^[6]两种编辑手段,用户可以便捷地对查看的属性进行修改。同时开放各类钢筋标注和属性的配置权限,用户可根据不同构件的业务逻辑和命名偏好,通过 xml 自由配置属性栏显示条目以及标注。

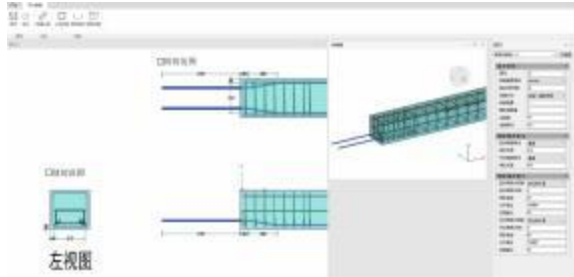


图 2 专业钢筋标注和属性栏

2 深化编辑环境成果展示

本文基于 BIMBase 平台的多视口功能,为预制构件搭建了一套 2D/3D 的展示和编辑环境。以此界面为基础,将 PKPM-PC 构件的混凝土几何模型载入 2D/3D 环境,从而实现预制构件的 2D/3D 联动编辑。同时将现有构件中的钢筋数据转化到深化编辑环境中。目前 PKPM-PC 环境内主要的构件如墙、梁、柱等均已支持载入和编辑。主要构件载入深化编辑环境的成果如图 3~5 所示。

2.1 主要构件载入深化编辑环境

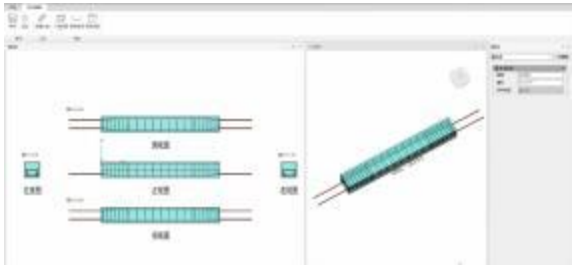


图 3 梁类构件载入深化编辑



图 4 柱类构件载入深化编辑

2.2 梁底筋编辑

本文以 PKPM-PC 软件中常见的构件梁为例,在深化编辑环境中调整底筋的几何形状和位置,最后通过软件已有的出图功能得到目标设计图纸。如图 6 所示,在 PKPM-PC 环境内通过拆分设计得到初步设计的预制梁。

在深化编辑环境中,通过属性栏调整左侧底筋直径为 16,端头修改为 90°弯钩,效果图见图 7;通过标注调整底筋的保护层厚度为 50,效果图见图 8;单构件出图^[7]结果见图 9。

2.3 属性配置

针对不同构件中钢筋的使用方法和习惯属性命名的差异,深化编辑系统开放了钢筋的属性条

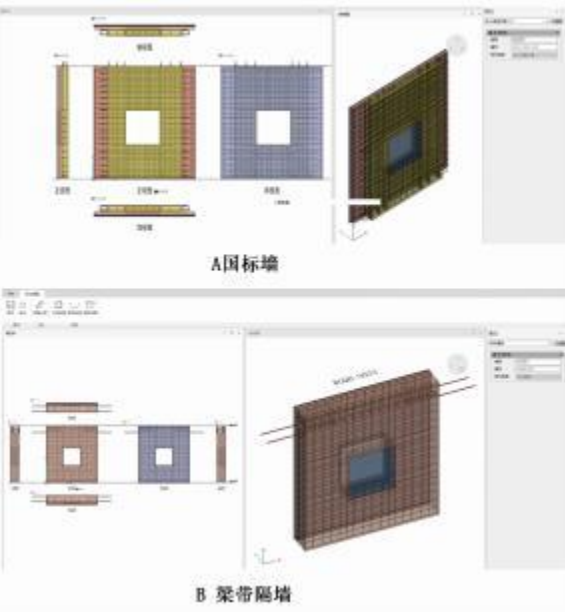


图 5 柱类构件载人深化编辑

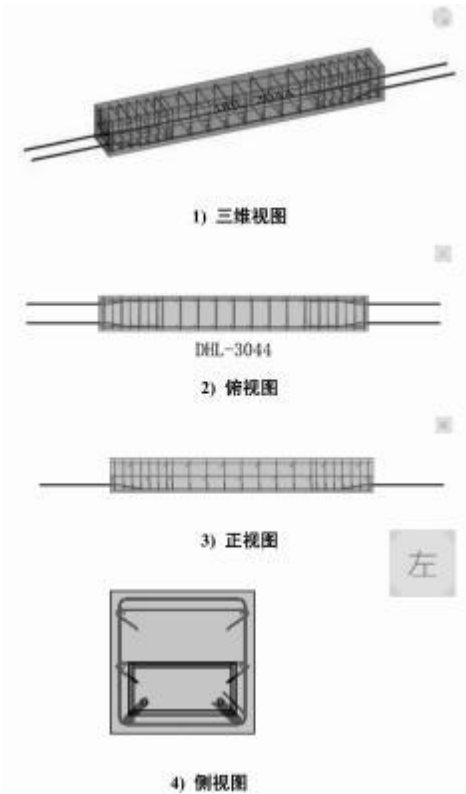


图 6 初步拆分设计的预制梁

和标注配置 ,用户可使用 xml自 由配置属性名称和标注位置 。例如梁的底筋和柱的角筋同为纵筋类钢筋 ,但前者需要支持弯折造型 ,但后者的下段不支持 ,而且两者的属性在工程上的习惯命名有差异 。本文根据上述业务场景 ,使用了不同的配置文

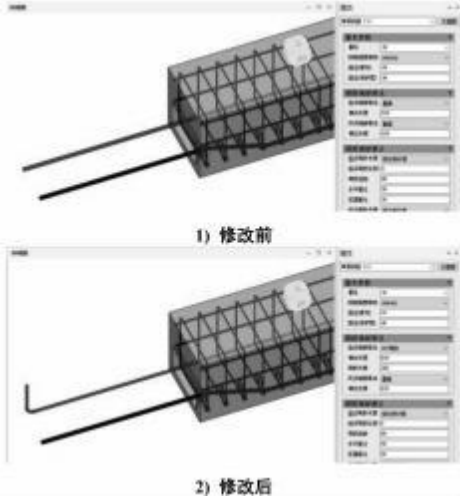


图 7 初步拆分设计的预制梁

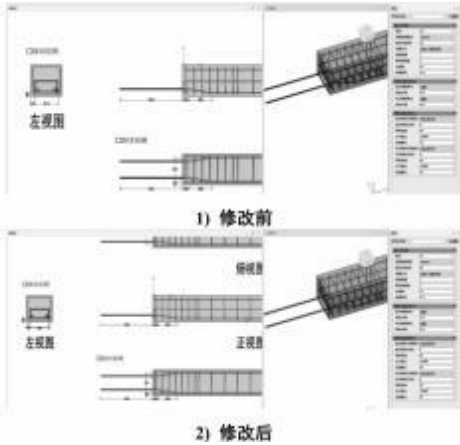


图 8 调整底筋保护层厚度标注

件 ,属性显示效果如图 10 所示 :

2.4 剖切显示

预制构件中的钢筋往往造型复杂 、分布密集 ,在二维视图下观察和操作存在较大的难度 。针对这一问题 ,本系统提供了二维视图下的剖切显示功能 。用户可以在指定视图上剖切出 目标区域进行操作 ,可以有效提高操作的准确性 。本文以 PKPM-PC中较为复杂的国标墙为例 ,演示仰视图下剖切显示的效果 。

根据剖切前后的对比图可明显看出 ,剖切显示后的界面在显示的美观性和简洁程度上有了明显提升 ,同时有效地提升了操作准确率 ,修改效果更加明确直观 。

3 结语

本文通过对 PKPM-PC设计软件中钢筋数据进

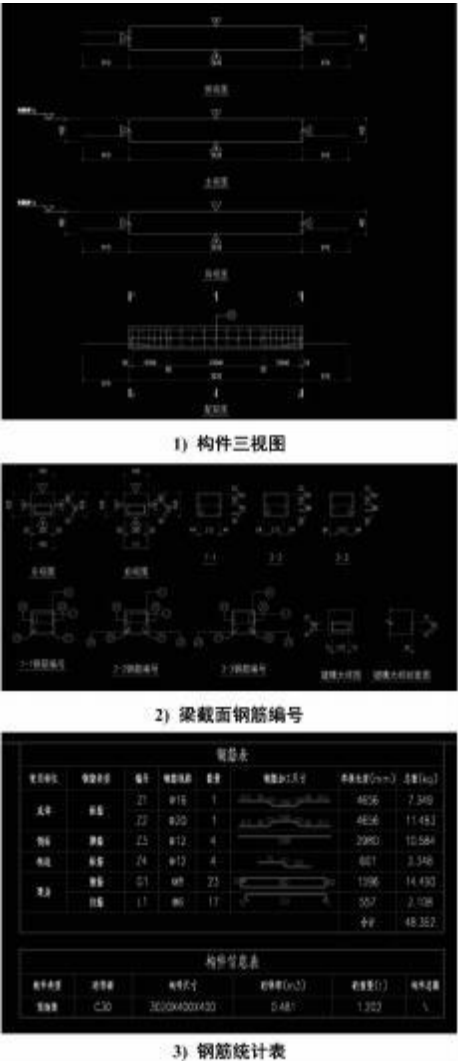


图 9 单构件出图

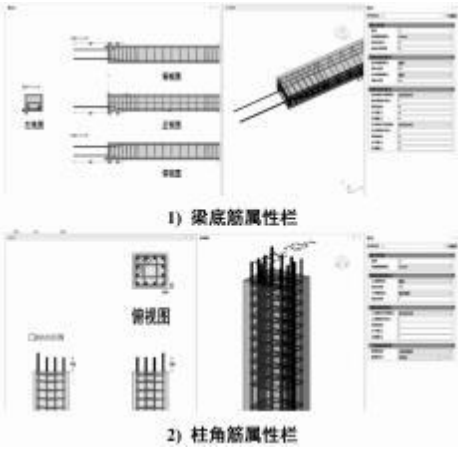


图 10 钢筋属性配置

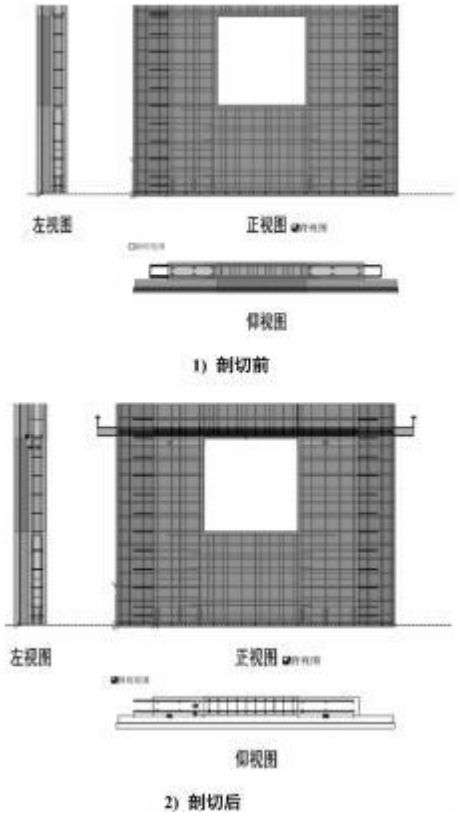


图 11 剖切显示效果图

发提供一套统一的数据标准^[8]；同时借助 BIMBase 平台的多视口多视图能力,为专业钢筋搭建一套 2D/3D 深化编辑环境,实现专业钢筋方便快捷的可视化编辑能力。最后,将该深化模块应用于 PKPM-PC 装配式设计软件的预制构件,形成预制构件钢筋的深化编辑功能,达到了扩展预制构件钢筋的深化编辑能力的目的。

参考文献

[1] 许杰峰,鲍玲玲,马恩成,等.基于 BIM 的预制装配建筑体系应用技术[J].土木工程信息,2016,8(04):17-20.

[2] 黄雷,丰才师,刘萍.BIM技术在装配式建筑 PC 预制构件标准化和参数化设计中的应用[J].中国高科技,2021(03):39-40.

[3] 黄志明,孙博,俞心甜,等.PKPM-PC在装配式混凝土结构设计中的应用分析[J].城市建筑,2020,17(29):99-100.

[4] CB/T51231-2016 装配式混凝土建筑技术标准[s].北京:中国建筑工业出版社,2017.

[5] 李强.基于 BIM 技术的房建工程结构构件参数化钢筋建模研究[C].第六届全国 BIM 学术会议论文集,2020:227-230.

[6] 杨新军,朱爱林.基于三维设计的钢筋图自动标注[J].水利水电科技进展,2005(06):82-84+94.

[7] 郑岗,戴玮,谢玉萌.三维钢筋建模统计及自动出样方法研究[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2015,28(04):34-38.

[8] 周洪波,施平望,邓雪原.基于 IFC 标准的 BIM 构件库研究[J].图学学报,2017(04).

行整理、抽象、归并、扩展、优化,形成了一套统一的专业钢筋数据定义,为 PKPM-PC 软件后续的钢筋开

基于 CAD 图纸的三维钢结构模型重建技术实现

杨双舟, 龚秀峰, 童大云(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘要] 针对 BIM 模型重建大多还处于手工阶段, 存在着大量重复性工作的问题, 研究了基于 CAD 图纸的三维钢结构模型重建技术的实现。本文根据实际钢结构三维模型重建的需求设计了一套识图建模流程, 包含了轴网识别, 楼层划分, 型钢截面识别, 钢梁识别, 钢柱识别。该流程经过多个实际工程的测试验证, 能识别图纸中的钢结构要素, 准确性高, 能够减轻设计师人员的人工翻模的工作量, 并快速的重新建立钢结构的三维模型。

[关键词] 钢结构; 三维模型; 识图翻模

Realization of 3 D steel structure Model Reconstruction Technology Based on CAD Drawings

yang shuang-zhou, Gong Xiu-feng, Tong Da-yun(Beijing GloryPKPM Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: Aiming at the problem that BIM model reconstruction is still in the manual stage and there is a lot of repetitive work, the realization of 3 D steel structure model reconstruction technology based on CAD drawings is studied. In this paper, according to the requirements of 3 D model reconstruction of a actual steel structure, a set of drawing identification modeling process is designed, including axis network identification, floor division, section identification, steel beam identification, and steel column identification. This process has been tested and verified by many practical projects, and can identify the steel structure elements in the drawings with high accuracy. It can reduce the workload of designers in manual mold turnover, and quickly re-establish the three-dimensional model of the steel structure.

Keywords: steel structure; 3 D model; drawing identification

0 引言

CAD 技术让工程师借助计算机辅助绘图, 摆脱手工绘图, 实现了工程设计领域的第一次信息革命^[1]。CAD 的设计成果一般都是通过图纸来表达, 但是近些年来建筑各专业的紧密关系使得图纸已经无法满足日益复杂的需求, 其根本原因在于二维图纸其实是反三维的, 将复杂的三维建筑通过二维图纸来表达本身就是不完美和不真实的^[2]。为了解决传统 CAD 技术存在的瓶颈与问题, BIM 技术应运而生, BIM 技术的诞生和使用被誉为建筑行业的第二次技术革命^[1]。然而国内大多中小企业并没有使用 BIM 正向建模的能力和需要, 而且现阶段多

数设计人员进行 BIM 翻模还处于手工阶段, 存在大量的繁重的重复性工作。因此, 能够识别二维图纸, 快速高效的生成三维模型成为建筑工程专家研究的重点之一。Zhi 等^[3]提出一种自动化单元生成器, 采用拓扑约束的方式重建图形拓扑关系。Lu 等^[4]把结构实体划分为 T、X 和 L 三类形体, 通过平行线进行判别, 对于常规图纸有较好的识别效果, 但是无法处理曲面结构造型。杨若瑜等^[5]基于约束网络的方式, 以层次化约束判断为核心的过滤方式对工程图符进行识别。

目前 CAD 图纸的三维重建技术虽然在市场上有一定范围的使用^[6-8], 相关专家对于怎样识别图纸中的图素也有一定的研究, 但是基于钢结构模型的重建还很少, 同时他们还有一些不足的地方。

1) 基于 AutoCAD 或者 Revit 的二次开发, 不是国内自主的平台, 无法满足复杂的建筑。

2) 翻模的成功率, 准确性, 效率都不高。

[收稿日期] 2022-11-30

[作者简介] 杨双舟(1991-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事 BIM 软件的研发工作

[联系方式] E-mail: 1205250316@qq.com

针对目前现状，基于国产 BIM 平台，结合实际工程，分析了钢结构三维模型的特征，设计出一套基于 CAD 图纸的三维钢结构模型重建技术方案，能够成功的、准确的、高效率的用来解决钢结构三维模型重建问题。

1 钢结构 CAD 图纸分析

二维 CAD 图纸提供了图层的功能，设计师在设计二维图纸时对不同的构件，不同的对象分别画在了不同的图层，以便于区分和修改，我们可以通过这一特点来创建三维模型。

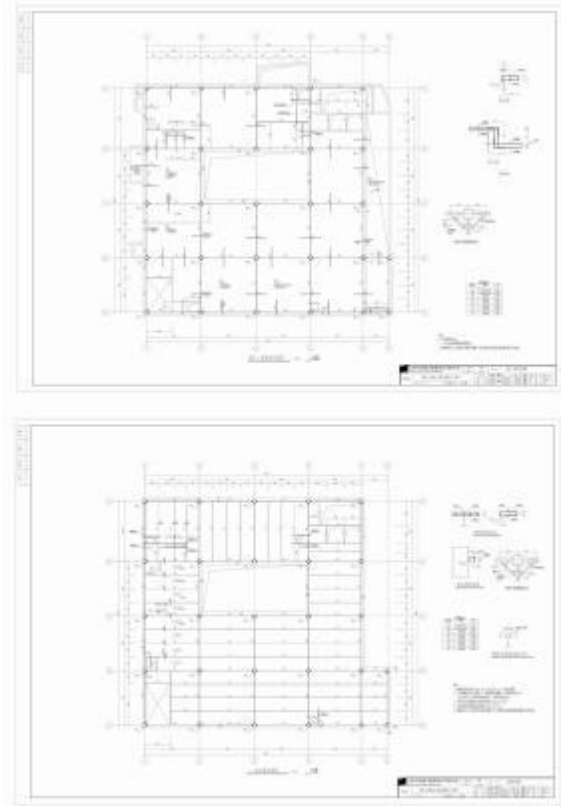


图 1 工程图纸
Fig. 1 The engineering drawings

尽管图纸有这一特点，二维翻模还不是一件容易的事，我们经常可以看到制图的原则不规范，图纸的精确度不高，图纸在人工阅读的时候存在着歧义。于是针对于这一点，全自动的识别其实意义不大，我们可以采用人机交互的形式来进行识图建模。识别一批元素，就建一批模型。同时在本文所示钢结构深化设计软件中，可以支持多视图功能，即图纸作为一个视图区域，三维模型作为另一个视

图区域，当次识别的图素能够实时在三维模型视口中看到，并实时修改，充分利用人机交互的特点，模型的正确性得到了极大的保障。

2 识图建模

2.1 轴网识别

钢结构图纸中，一般都有多层楼层，同时每个楼层都有对应的标高和轴网以及轴标签。在每个楼层中，轴网、标签、标高都分别在不同的图层。据此有以下轴网识别流程。

首先需要选取轴网的识别范围，只需框选一层轴网的范围即可，此时会将选取范围内所有的图素存下来；第二步，选取平面轴网，此时轴网所在图层的所选取范围内的轴线被选中，此步就得到了所有的轴线图素；第三步，选取轴网标签，此时轴网标签所在图层的所选取范围内的标签被选中，然后结束一次识别即得到一组平面轴网；第四步，拾取标高，则标高数据被识别出来，并结合一组平面轴网数据，即可得到空间三维轴网。

如下图所示，图纸可以有普通选择，按图层选择，按颜色选择三种模式。普通选择即常规的点选；图层选择即选择单一图素后，当前图层的所有图素都会被选择；按颜色选择，即按照图素不同的颜色进行选择。另外识别的结果还可以进行编辑和修改，如想增加一根轴线则只需在编辑框中输入就可以了。



图 2 轴网识别
Fig. 2 The axis identification

编辑完毕点击“转换模型”即可得到如图 3

所示。

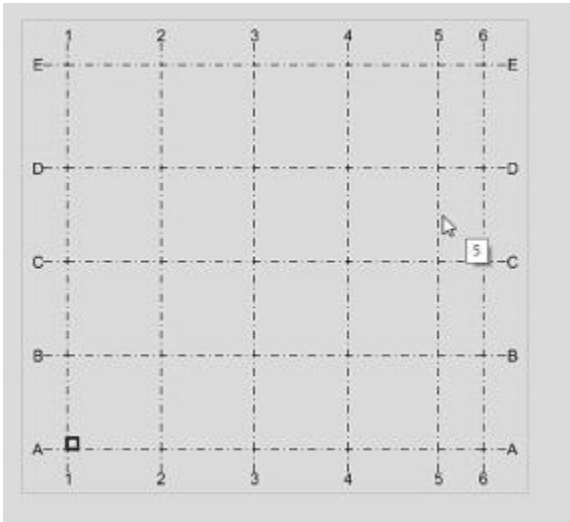


图 3 轴网识别结果

Fig. 3 Theaxisidentification results

2.2 划分楼层

钢结构图纸中 一般 是多楼层，每个楼层都是单独画的，这就涉及到划分楼层的概念。通过对楼层的划分，可以缓存每个楼层的楼层信息，包括楼层原点，楼层所包含的图素，这样后期在识别梁柱的时候就可以按照楼层以及楼层标高 一次性生成全楼的构件。

此操作流程是:第 一 步，增加 一 个楼层用来缓存楼层信息;第二步，向楼层中添加图素信息;第三步，每个楼层都需要定位一个原点，即选择 X轴和 Y 轴，通过计算交点算得楼层的原点;第四步，设置好楼层所在的纵向位置即楼层 的底 标高和顶 标高。最后保存楼层信息。

2.3 截面表识别

钢结构图纸中 一般 都会有钢结构梁柱的截面信息表，该截面信息表对应着梁柱的构件编号，截面型材，截面代号等信息。因为每个人设计的截面表都不一致，所以识别出来的结果还需要进行 一些编辑如增加行，删除行，增加列，删除列等，经过这些操作让截面信息更加符合程序要求。以实际图纸为例进行识别，结果如图 5 所示:

将编辑后的表格进行保存，如此，截面的信息就存在了软件之中。

2.4 柱识别

钢结构图纸中，柱是以封闭轮廓标识的，此封



图 4 楼层识别结果

Fig. 4 Thestoreyidentification results



图 5 截面识别结果

Fig. 5 Thesection identification results

闭的几何多边形是我们最为关注的点。以实际图纸为例，进行下图 6 所示流程的操作:



图 6 柱识别

Fig. 6 Thecolumn identification results

此操作流程分两步:第 一 步是选择钢柱图形，此时就识别出了柱子;第二步，选择钢柱标签，此时就识别出了钢柱的截面代号，根据之前缓存的截面信息就可以知道钢柱的截面，利用钢柱的边线、钢柱的楼层信息、钢柱的截面信息就可以计算出钢柱的位置以及钢柱的造型。点击"转换模型"即可将模型转换至软件之中。

2.5 梁识别

在钢结构图纸中,梁边线一般都是一根一根的线来表示的梁,可能是一根边线表示梁,也可能是两根相聚很近的平行的边线表示梁,也可能是三根或者是四根。根据梁的边线特点对梁进行了识别,此操作流程跟柱类似。

3 实际工程应用

为了确保该三维重建方案能应用在实际工程中,我们拿到了多张钢结构 CAD 图纸,利用我们自主研发的钢结构深化软件,进行了多次的反复的实验。从 CAD 图纸的导入,到轴线的识别,到楼层的划分,到截面的识别,到梁柱的识别,到最后仅仅十多秒的时间生成整个楼层的钢梁以及钢柱。通过对自动生成的模型进行检查和检验,模型的生成位置、模型的截面以及模型的大小准确性非常高。取其中一张 CAD 图纸为例,生成的模型的结果如图 7 所示。

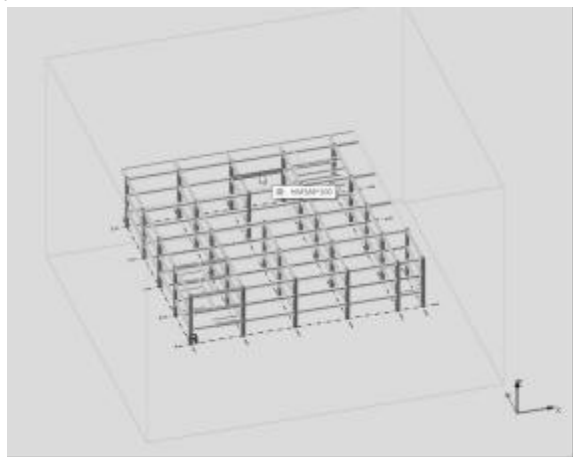


图 7 梁柱识别结果

Fig.7 The column and beam identification results

4 结论

本文采用人机交互的半自动化识图建模方式,能够实时看到每一类图素的识别结果,同时还能够人为的干预识别结果,实现了识别二维工程图纸,快速转换三维 BIM 模型的功能。这种借助计算机快速准确处理海量数据的优势,并结合实际工程业务逻辑设计的人工交互方式重建三维模型,相比传统依靠人工的方式,很大程度是提升了翻模准确性和效率,利用此技术经过多次实际工程验证,完成

了二维模型到三维模型的重建,验证了此方式的准确性和效率,从实际上,能够帮助设计师完成三维模型的重建任务,减少工作时间,减少劳动的强度。

参考文献

- [1] 任爱珠.从“甩图板”到 BIM—设计院的重要作用[J].土木建筑工程信息技术,2014,6(01):1-8. Aizhu Ren. From drawing throwing board to the important role of BIM Design Institute[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2014, 6(01): 1-8.
- [2] 王俊博,张宇,漆丽英.基于 CAD 图纸快速创建 BIM 模型的应用研究[J].土木建筑工程信息技术,2021,13(01):103-107. Junbowang, Yu Zhang, Liying & i. Research on the application of BIM model based on CAD drawings[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2021, 13(01): 103-107.
- [3] C.s. Zhi, s. M. Lo, Z. Fang. A graph-based algorithm for extracting units and loops from architectural floor plans for a building evacuation model[J]. Computer-Aided Design, 2003, 35(1).
- [4] Tong Lu, Huafei Yang, Ruoyu Yang, shijie Cai. Automatic analysis and integration of architectural drawings[J]. International Journal of Document Analysis and Recognition (IJ DAR), 2007, 9(1).
- [5] 杨若瑜,胡饰,曹阳,等.一种高效的基于约束网络的工程图符号识别方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2002,(09):829-834. Ruoyu Yang, JiaHu, YangCao, et al. An efficient method of engineering drawings symbol recognition based on constraint network[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2002, (09): 829-834.
- [6] 刘媛,王茹,夏绪勇,等. PKPM 钢结构节点设计程序的重建与改进[J].土木建筑工程信息技术,2011,3(01):48-51. Yuan Liu, Ru wang, Xuyong Xia, et al. Reconstruction and Improvement of PKPM steel structure Joint Design Program[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2011, 3(01): 48-51.
- [7] 覃川.基于 PKPM-BIM 平台的工程图纸三维重建设计与实现.中国天津:2019:4. Chuan Tan. Design and Implementation of 3D Reconstruction of Engineering Drawings Based on PKPM-BIM Platform. 中国天津:2019:4.
- [8] 王建宇,王妍妍.二次开发实现从 AUTOCAD 到 REVIT 快速翻模技术研究[J].土木建筑工程信息技术,2015,7(03):111-115. Jianyu wang, Xinyan wang. secondary development to realize the research of rapid mold turnover technology from AUTOCAD to REVIT[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2015, 7(03): 111-115.

基于 BIM 技术的核电施工管理平台研发与应用

杨远松^{1,2}, 贾磊^{1,2}, 刘海洋^{1,2}, 朱宇波^{1,2}, 温颖帅^{1,2} (1.核工业工程研究设计有限公司, 北京顺义 101300; 2.中核绿色建造技术与装备重点实验室, 北京顺义 101300)

[摘 要] 随着物联网、移动互联、大数据等技术的飞速发展和规模化应用,智能建造引领了新一轮的建造业革命。然而在工程施工领域,存在着协同效率低、工程资料查找难、信息同步慢、各方数据信息共享难等诸多问题,而 BIM技术是在三维几何模型的基础上,以数字化的形式实现工程数据的时间和空间的可视化管理,是解决目前工程项目管理的重要手段之一。本文探索了 BIM+数字化的施工管控模式,分析了业务痛点,提出新的施工管理应用思路和功能设计方案。通过研发 BIM协同管理平台,实现了三维模型与进度管理、成本管理、图档管理、质量安全管理的关联,完成了 BIM可视化管理,有效提升了项目管理水平。

[关键词] BIM技术;施工管理;数字化;BIM协同管理平台

Research and Development and Application of Nuclear Power Construction Management Platform Based on BIM Technology

yang yuan-song^{1,2}, Jia Lei^{1,2}, Liu Hai-yang^{1,2}, Zhu Yu-bo^{1,2}, Wen Ying-shuai^{1,2} (1. Nuclear Industry Engineering Research & Design Co., Ltd, shunyi 101300 China; CNNC Key Laboratory of Green Construction Technology and Equipment, shunyi 101300, China)

Abstract: With the rapid development and large-scale application of technologies such as the Internet of Things, mobile Internet and big data, intelligent construction has led a new round of revolution in the construction industry. However, in the field of engineering construction, there are many problems such as slow collaboration efficiency, difficulty in finding engineering data, slow synchronization of information and difficulty in sharing data and information of all parties, while BIM technology is one of the important means to solve the current engineering project management by realizing the visual management of engineering data in time and space in digital form on the basis of 3D geometric model. This paper explores the construction control mode of BIM+ digitalization, analyzes the business pain points, and proposes new construction management application ideas and functional design solutions. By developing a BIM collaborative management platform, the association of 3D models with schedule management, cost management, drawing file management and quality and safety management is realized, and BIM visualization management is completed, which effectively improves project management.

Keywords: BIM technology; construction management; digital; BIM collaborative management platform

0 研发与应用背景

核电建设一般具备筹备期、建设期长,工程建设难度大、投资高、技术要求高、管理复杂、信息集成度不高等特点。随着物联网、移动互联、大数据等技术的飞速发展和规模化应用,智能建造引领了新一轮的建造业革命^[1]。为解决上述问题,核电行业大力推动物联网、大数据、人工智能等技术同电

力基础设施建设的深度融合,以建筑信息模型为核心,开展核电三维数字化施工管理。

BIM技术是一种基于信息可视化的建模方法,是一个持续扩张的领域,作为建筑行业的一次重大变革,BIM技术有着巨大的探索价值和增值潜力。将现代四维施工管理理论引入到核电施工期间信息化管理的过程中,以核电BIM为载体,融合进度、质量、安全、建造和监测等管理信息,研发了智合BIM协同管理平台及移动终端,构建核电项目BIM项目管理信息平台,实现核电建设期的远程、动态、可视化管理。

1 研发与应用思路

1.1 管理目标

将 BIM技术融入施工管理研究中,对于施工的进度管理、成本管理、图档管理、质量安全管理水平有提高的作用,它不仅带来了施工管理的新方法,拓宽了施工管理的新思路,而且丰富了建设项目管理理论。

1.2 业务痛点

工程施工现场管理主要围绕成本、质量、工期、安全等指标,特别是在一些高空作业,这是事故多发的环节。通过有效的施工现场管理,可以避免或减少安全事故。在工程施工现场,存在着材料浪费、协同效率低、工程资料查找难,信息同步慢、关键工程二维图、BIM图更新滞后等诸多问题,不仅会影响施工质量、成本和安全,还会延误工期,导致合同工期无法正常履行^[2]。无法从实际完成部位快速提取对甲方计价工程量也直接导致工作效率、质量不高,对成本管控造成影响。

对于企业,由于不同的管理组织层级和不同的管理模式和流程的差异,最终在统计数据、多维度分析数据、数据的时效性等方面给管理者带来一定的困扰和挑战。而经营数据的缺失,也需要企业自身承担损失。

1.3 解决方案

通过加强对工程施工现场的有效管理,以上那些不利因素是可以控制的,合理有效的管理对于提高工程质量、预防安全措施、监督施工合同的履行都有一定的意义。根据以上业务痛点,综合考虑施工成本、劳动消耗、工程实物、资源供应等多个方面的问题,制定以下 BIM+数字化施工管理方案:

(1) 企业层级建立"一个中心,一个平台,多个监测系统"的综合性一体化工程建设智慧工地管理解决方案,助力实现工地的信息化、数字化、智能化,从而形成项目现场"数据一个库、监管一张网、管理一条线";

(2) 开发智合 BIM协同管理平台,集成进度管理、质量安全管理、材料统计等模块,贯穿工程全生命周期,提供可视化工作模式,集成及关联工程项目各类模型、文件及数据资料,使用户能够对多维复杂结构信息综合管理,形成可视化智能数字资产,为工业设施的设计、施工和运维等各阶段提供

可视化、数字化工程信息服务技术支撑。

2 平台设计

2.1 平台整体架构

智合 BIM协同管理平台整体架构如图 1 所示,分为数据层、服务层、应用层和访问层,其中数据层负责本平台的数据采集,作为统计分析的原始数据人口;服务层是对业务逻辑独立化的封装,每个服务都是独立的模块,从逻辑层面为系统功能的实现提供技术支撑,提供模型、图档、数据等各类工程数据的解析接口,同时为应用层提供各类数据访问服务和相关业务接口;应用层则根据用户业务需求,提供项目可视化展示的多种业务应用。同时通过平台开放的 API接口,可由用户二次开发更多应用,适应不同场景的业务需求。访问层为终端用户提供通过不同终端和网络的访问方式。



图 1 平台架构图

Fig. 1 Platform architecture diagram

系统主要由 ssM 框架集成。分别是 spring MVC, spring和 mybatis框架的整合,是标准的 MVC 模式,将整个系统划分为表现层,controler层,service层,DAO层四层。使用 springMVC负责请求的转发和视图管理, spring实现业务对象管理, mybatis作为数据对象的持久化引擎。

2.2 逻辑架构设计

(1) 逻辑架构分区

为实现上述系统功能,本文利用 springCloud 技术框架,开发具备微服务架构特性的分布式系统^[3],将业务功能分解到离散的服务中,从而降低系统耦合性,提高平台运行的稳定性。本文采用的微服务架构与常规的单体式应用开发模式相比,具

有以下优势:

- ① 通过将巨大单体式应用分解为多个服务的方法解决复杂性问题;
- ② 使得分解后每个服务的开发手段、开发环境相对独立,提高了开发自由度;
- ③ 允许每个微服务独立部署,提高部署效率;
- ④ 使得每个服务独立扩展,增强了系统开发的弹性。

采用微服务架构^[4]的平台逻辑架构如图 2 所示,可划分为 6 个区域:客户端区、转发区、后台系统区、渠道区、文件区、数据区,图 2 中给出了各逻辑分区之间的数据交互流程。

(2) 逻辑工作流程

本文分别从业务请求、文件管理、第三方服务的角度,介绍平台的逻辑工作流程。

1) 业务请求用户发起对本平台的网络访问请求后,前置代理服务器 Nginx将请求转发至前端服务器;用户登录客户端进行具体的施工管理业务操作,发起后台业务请求,请求发送至网关服务器;由网关服务器将不同业务请求转发至服务集群的不同业务服务器处理;网关具备检测请求来源、均衡分发请求的功能,保证系统安全和高效率。该业务请求流程实现了核电施工过程中的进度、质量、安全管理等功能。

2) 文件管理客户端向 Oss (Open storage service) 系统传输所需存储的文件,从 Oss 系统获取文件访问地址,并返回客户端,实现平台的文件管理业务流程。

3) 第三方服务平台逻辑架构的渠道模块利用第三方厂商开放的 API和 sDK开发对应功能接口,接入第三方设备,进行通信管理,实现远程模型轻量化管理、模型数据收集与统计分析等功能。

2.3 核心技术

(I) 三维引擎技术

三维引擎具有完全的自主知识产权,是三维数字化工厂可视化的核心基础技术。采用分布式计算图形引擎 webCL路线,支持多种主流工厂设计软件三维模型格式。通过引擎的强大性能,支持超大三维模型的浏览与展示,是数字化移交、数字化智慧工厂的三维可视化优秀的载体。

(2) 搜索引擎技术

核电数字档案信息数量巨大,用户要在海量信

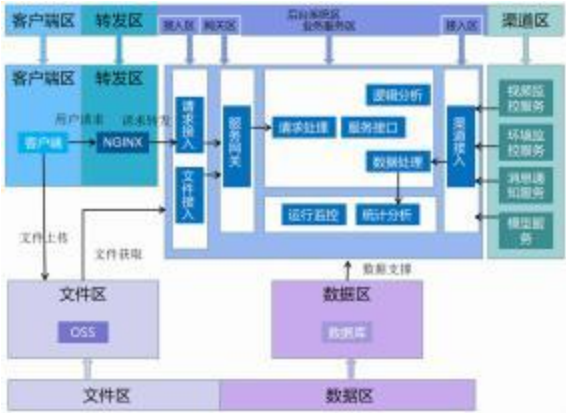


图 2 平台逻辑架构

Fig. 2 Platformlogicarchitecture

息里查找自己所需的信息,就像大海捞针一样,搜索引擎技术恰好解决了这一难题。通过该技术将平台内采集的数字化档案,经过加工处理建立信息数据库和索引数据库,从而对用户提出的各种检索作出响应,其基于档案内容的搜索服务,为用户提供所需的信息或相关指针,极大的提高信息资源检索的效率。

3 平台应用

3.1 进度管理

(I) wBs 分解

目前,wBs 被认为是控制和管理工程项目作业内容的最重要工具之一,在基于 BIM 的进度计划管理工作中同样适用^[5]。为解决现场施工生产与生产统计之间的差异,形成形象进度项标准,通过 wBs 与形象进度项的关联,实现进度计划和进度管理按工期、产值和形象进度项三个维度联动管理。

(2) 计划编制

创建总进度计划—年度计划—月度计划—三级进度管理,通过明确工程总工期及各主要施工阶段的开始与结束时间,确定了各单项工程和分项工程的施工顺序及相互衔接关系。年度计划根据总进度计划结合计划期的实际情况,确定计划期内应完成的施工内容、工程数量、施工产值及工程,质量和文明施工应达到的指标,对施工所需的劳动力、设备、材料及主要施工机具的进退场时间作出安排,确定为完成施工进度计划而采取的措施。月度计划将年度计划具体分析,将施工指标层层分解到项目经理部,使最终施工任务落实到实处。

(3) 模型关联

进度管理模块显示导入的模型及显示模型层级结构,通过选取不同层级结构的模型,与平台内同步的总进度计划中的选定的进度计划条目关联,使模型附带时间属性,成为 4D模型^[6]。BIM 协同管理平台根据进度计划中的计划时间、实际时间进行仿真模拟推演,实现进度三维可视化展示,见图 3。通过 BIM平台实时展现项目计划进度与实际进度的模型对比,对施工进度提前或延误的工作项用不同颜色进行区分和显示,使管理者可以通过平台随时随地监控项目进展情况,提前发现问题,保证项目顺利开展。

(4) 进度管理

现场以手机端采集抓取生产数据、时间信息、质检验收数据。实时反馈现场实际进度,现场问题及时追踪,理清责任。通过手机 AP抓取的信息数据反馈至 BIM协同管理平台,通过进行自动分析,形成统计分析报表,在进度周例会可提供丰富的数据参考,作为管理决策的依据,对当前生产进度做总结,为接下来的任务派分做进一步安排,通过调配人、材、机资源,保证后续施工进度。重要的数据信息可同步至数据看板,供管理层随时了解进度、监测数据、管理业务目标、促进部门协作,最终实现管理留痕和数据统计分析,提高进度精细化管理。

开展进度管理工作的过程中,以科学、有效、先进的进度管理方式可以提升施工效率,节省工期,保证工程项目按时顺利完工。通过提前进行施工进度管理,对资源进行优化配置,可以有效地控制工程施工成本,提升资金的利用效率^[7]。另一方面,对于工程项目的施工质量,通过细化各个环节的进度管理重点,优化各个环节之间的衔接,可以有效提升项目的施工质量,问题显著减少。

3.2 质量安全管理

质量安全管理是一项复杂的系统工程,但它对整个企业的影响必须引起企业管理者的高度重视,管理者应该把提高工程质量和安全作为首要考虑的核心问题。在质量安全管理和控制过程中,影响质量的因素很多,如施工场地的地质特征和气候变化、施工材料的供应、设计和勘察水平、设备和机械的完善程度、施工所需的方法和技术、技术管理和控制措施、投资限制和工期等。BIM协同管理平台具备以下功能:



图 3 施工进度展示

Fig.3 Construction progress display

(1) 日常巡查时签到拍照,全程留痕迹,领导可以实时掌握巡查进度,轻松解决不易核实的问题。

(2) 在质量安全检查过程中,可将质检现场照片上传至附件,详细记录质检情况,为日后审核提供完整资料。

(3) 发现质量安全问题时,通过手机发起整改内容和整改时间,同时提出整改措施,及时指派整改人员,确保检查和整改工作相结合,并及时提醒系统按时反馈整改情况和照片。

(4) 填写质量安全日志时落实到具体个人,在安全日志信息中会记录每次填报的负责人,如果以后出现相关问题,可在此快速找到责任人。

(5) 情况会自动备案作为数据依据,避免出现有要求无反馈带来的风险。

(6) 平台的质量安全日志具备:当日施工质量安全情况、质量安全教育情况、质量安全检查情况等内容,可全面反应出项目在施工过程中出现的问题;

(7) 在质量安全检查记录及整改模块中的"质量安全检查记录列表"功能中记录所有质量安全信息,包括现场检查情况和处理要求及措施。

以上功能能够实现对施工过程中产生的质量安全问题进行闭环管控,以此提高现场质量安全问题的处理效率,并通过数字化管控的方式提高质量安全管理人员的工作意识,以减少质量安全问题的发生次数。

3.3 图档管理

传统的图档管理,大量的纸质版、电子版设计图纸、工艺卡片、明细表等技术文件分散在各个科室及设计人员各自的电脑中,技术人员只能通过局域网共享的方式协同工作,工作效率低下。对图文

档缺乏有效的统一管理,导致了图文档版本杂乱无章、技术资料丢失等诸多问题。

在智合 BIM协同管理平台中,所有图纸、工艺、明细等技术文件统一存储平台在数据库中,工程技术人员通过智合 BIM协同管理平台来访问这些文件。

通过在平台内批量上传文件、文件夹,将原本分散的技术文件按项目或按产品分类归档,用户通过树型结构导航或各种高级检索功能可以快速找到所需的文件。

版本控制功能使用户对图文档的每一次修订都存储一份全新的文件,便于日后根据需要恢复修订或追溯历史。每次检入已修订的文件时,系统为其分配一个自动递增的新版本号,并将其指定为活动版本,且自动重命名此文件确保数据仓库中的原文件不会被覆盖^[8]。

将上传的图档单独或批量的关联至模型,图档在前台查看,已关联模型的图档在模型的物项信息中一同查看。模型上挂接图纸、图片、视频、文档等相关文件,点击模型可查看与该模型相挂接的图档并可在在线预览,见图 4,方便施工人员快速定位相关文件或对模型和图档之间进行比对。

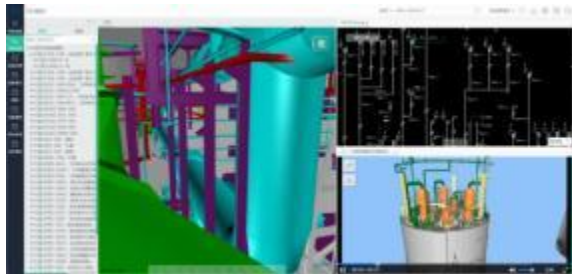


图 4 模型与图纸挂接并查看

Fig. 4 Attach and view the model to the drawing

3.4 材料统计

为控制消耗,降低成本,在管道系统、通风系统、电气系统安装工程中必须要合理计算施工用料。系统部件在制造时,除必须遵守他们自身的技术标准外,还必须符合国家通用技术级别,如公称直径、公称压力等。在统计各系统管材、管件及附件时,应根据工程中所用的材料类别、公称直径、压力等进行分类统计。

相较于土建材料一般按立方米计算不同,系统材料量更多的按照长度、重量、平方米、以及个数来

计算,这些属性一般不太容易由模型计算而来,所以需要借助 PDMs 软件特有的属性信息来进行材料的统计。PDMs 软件内除了拥有自带的属性之外,还可以人为的定义增加属性,基于这些属性,可以设计 BIM协同管理平台读取属性进行材料统计。

当模型与属性文件相匹配,且同时存在于平台内,材料统计模块可以根据所选的系统,将相关属性映射为统计类型,如材料类别、公称直径、压力等,然后将长度、重量、平方米、个数等数据属性映射为统计结果,最后界定数据统计的范围,通过汇总计算,得出材料量。见图 5。

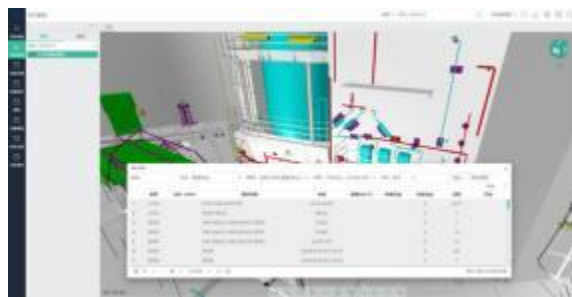


图 5 材料统计

Fig. 5 Material Statistics

对当前模型分系统、分区域进行材料统计后,生成各物项材料量并导出表格,根据材料量及当前库存量制定材料使用计划,可以减少前期投入。同时有效减少现场工程批量投入,解决工程量统计投入大、效率低的问题。

4 总结

在核电工程项目施工管理中,通过智合 BIM协同管理平台的研发与应用,实现了工程项目三维模型与进度管理、成本管理、图档管理、质量安全管理关联,建立了工程项目基于 BIM可视化管理模式,有效提升了项目管理水平。通过建立统一的模型数据平台,实现各部门施工数据的有效联通,项目相关信息得到有效处理,并且将平台内的建造过程数据进行相应处理形成数据库,为后期运维管理提供数据支持,可有效降低后期运维成本。同时,平台研发团队积累了核电 BIM技术研发经验,为后续核电领域数字化发展打下了坚实基础。

虽然现阶段在工程项目施工管理中应用 BIM技术能够降低数据信息在传递中的损耗、提升施工的工作效率、有效减少传统二维图纸的错漏碰缺问

题,减少由于后期返工造成的成本增加,节约工期从而实现更多的经济效益,但目前数字化施工管理仍有不足:

(1) 模型和进度计划之间没有统一的数据标准,目前只能手动将进度计划与模型关联,还没有实现自动关联;

(2) 软件界面设计不成熟,针对目标工程的特点没有进行全面却不冗余累赘的描述;

(3) 施工人员缺少数字化思维,同时缺乏工程实践和数字化技术经验,建筑行业数字文化低迷,无法撑起大规模数字化应用;

(4) 企业缺少数字化进度管理数据样本,短期内无法构建大数据分析系统,延缓了智能分析管理的进程。

伴随计算机软件的智能化、互联网技术的迅速提高、社会信息化水平的逐渐发展,建设工程的施工计划管理也必然趋于数据化、自动化。希望未来基于 BIM 的进度计划能够智能自动编排模型,进入普遍的实际应用阶段,使工程项目的施工管理变的

更加轻松高效,加快项目进度,提高项目效率,增强项目管理的应变能力。

参考文献

- [1] 丁烈云.数字建造导论[M].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [2] 龚剑,房震宸.数字化施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [3] 陈晓江.分布式系统软件体系结构建模与开发方法研究[D].西安:西北大学,2010.
- [4] 蔡亚楠.基于微服务的软件体系结构设计方法研究与应用[D].北京:北京邮电大学,2019.
- [5] 郭奕婷.基于 BIM 的进度计划自动编排研究[D].广州:华南理工大学,2017.
- [6] 陈谦,齐健,张伟.4D信息模型对施工过程的影响分析[J].山西建筑,2010.
- [7] 李建平,王书平,宋娟.现代项目进度管理[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [8] 余芳强.面向建筑全生命周期的 BIM集成应与应用技术研究[D].北京:清华大学,2014.

基于异构数据的 BIM 模型整合过程问题实例研究

杨之仪¹, 陈超² (1.北京构力科技有限公司,北京 100013;2.北京华科软科技有限公司,北京 100048)

[摘 要] 运用三维软件工具进行建筑设计已然成为建筑工程行业的常态。然而在设计过程中难免需要整合通过不同专业及阶段的建模工具所创建的模型几何与非几何属性信息,以获得最终涵盖全专业、全过程的 BIM 三维设计模型。但是由于不同建模工具所创建的三维模型信息均互为异构数据,而基于这些异构数据实现建筑三维设计模型的数据整合目前依然存在着各类几何与非几何数据转换、呈现等方面的问题。本文通过实例研究,主要阐述汇总了目前基于异构数据的 BIM 三维设计模型整合过程中所普遍存在的构件材质缺失及复杂截面构件呈现问题,提出了基于 C++ 代码编程与接口二次开发,采用材质信息与二进制数据转换映射的方式,实现对于建筑建模工具中构件材质贴图信息的解析,并将该信息与全专业 BIM 三维模型关联以解决材质缺失的问题;另外采用多线段数据离散法将建筑建模工具生成的复杂截面构件轮廓分解,并在全专业 BIM 三维模型中进行重组绘制以实现复杂截面构件的准确呈现。因此,通过上述二进制解析法与截面轮廓离散法从理论到实践的转化应用,解决了部分在基于异构数据的 BIM 模型整合过程中会遇到的常见问题,从而提升了整合过程的准确性与效率。

[关键词] 异构数据;BIM(建筑信息模型);三维设计模型;二进制解析;截面轮廓离散

CasestudyInvestigation ofBIM ModelIntegration Proces Based on HeterogeneousData

yang Zhi-yi¹, Chen Chao² (1.Beijing GloryPKPM TechnologyCo., Ltd, Beijing 100013 , China; 2.Beijing HKRsoftTechnology Co., Ltd, Beijing 100048 , China)

Abstract: Using 3 D modeling software for architectural design has been prevalent in AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry. However, due to multiple regions and software vendors, geometric and property data from different design models generated by various BIM software need to be integrated, in order to produce a multi-disciplinary and multi-phased BIM design model eventually. Nevertheless, the model data generated by different software are heterogeneous. This can result in conversion, presentation and other problems of geometric and non-geometric model data during the BIM 3 D design model integration process. Through case study investigation, this paper elaborates and summarizes the problems of component material missing and complex sectional component presentation, which were found during the BIM design model integration process. Then based on C++ programming and SDK, this paper introduces Binary Parsing method for addressing the component material missing issue and sectional Contour Dispersion method for complex sectional component presentation respectively. The outcome from this paper realizes the theory-to-ground application of the above methods in order to help improve the accuracy and efficiency of BIM design model integration process.

Keywords: heterogeneous data; BIM (building information modeling); 3 D design model; binary parsing method; sectional contour dispersion

0 引言

当前用于建筑工程行业三维设计阶段的软件工具产品种类繁多。按项目专业性设计分类,市面

上主流的软件产品有以 Rhino、ArchiCAD 为代表的建筑专业设计工具,以 PKPM、Tekla 为代表的结构与钢结构专业设计工具以及鸿业、Revit 为代表的机电与给排水专业设计工具等。由于这些工具所针对的专业与设计阶段各有不同,需要在设计过程中整合通过这些工具所创建的三维模型,以获得最终涵盖项目设计全专业、全阶段的 BIM 三维模型^[1]。

然而因为这些软件工具源于不同地区厂商,其

[收稿日期] 2022 -11 -10

[基金项目] 住房与城乡建设部 2020 年研究开发课题项目 (2020 -K-062)

[作者简介] 杨之仪 (1991 -),女,硕士,工程师。

[联系方式] E-mail: yangzhiyi@cabrtch.com

所支持的模型数据结构也大不相同,主要可体现在数据格式与业务逻辑上的异构^[2]。因此,基于这些异构数据所创建的三维模型的整合便成为了一个难题。目前在基于异构数据的 BIM 模型整合过程中普遍存在的问题包括材质缺失、信息丢失、几何表达错误等。本研究以 ArchiCAD 与 PKPM-BIM 两大主流设计软件工具间的模型整合为实例,在将 ArchiCAD 模型转换导入 PKPM-BIM 进行整合的过程中,发现存在构件材质转换缺失以及复杂截面构件无法呈现的问题^[3]。这些问题严重影响了 BIM 三维设计模型信息整合的完整性与准确性。针对上述常见问题,秦领提出了基于两种分别服务于建筑与结构模型数据标准间的转换,采用建筑与结构模型数据间的相互映射以实现两个专业之间的信息转化与共享,尽可能减少信息丢失,从而确保 BIM 模型跨专业集成后的数据一致性^[4];曾莎洁提出了采用几何清理与网格划分的方法,实现 BIM 模型转换整合过程中对于建筑结构构件的几何表达与信息展示^[5];曾旭东等人则结合内置于多方软件中的工具集,通过二次开发设立从设计到反馈的流程以实现对于多种异构建模设计软件的数据整合,从而解决数据丢失、材质缺失等问题^[6]。然而上述方法在解决当前 ArchiCAD 与 PKPM 软件间的模型整合问题时也存在着一定的局限性。首先基于各专业数据标准进行映射并无法保证双边标准的数据能够一一对应,因此依然存在某些数据无法得到有效对应从而导致数据丢失的情况;其次采用几何清理与网格划分的方法仅实现了对于结构构件大体几何信息的展示,并未涉及其中复杂截面的展示,因此仍有待考证;而内置多方工具集设立反馈机制的方式更是增加了异构数据集成的复杂难度,并不适用于两款软件之间的数据整合。

因此,针对上述文献回顾提到的解决方案并不适用于本研究中异构数据模型整合过程的问题情况,结合 ArchiCAD 与 PKPM-BIM 软件特点,基于 C++ 代码编程与接口二次开发,提出采用二进制解析法与截面拉伸绘制法分别解决材质在转换过程中缺失以及复杂截面构件无法呈现的问题。二进制解析法在 ArchiCAD 模型导入 PKPM-BIM 的过程中通过采用二进制流编码记录建筑结构的各类型材质贴图,然后在 PKPM-BIM 中通过解析以及映射关联的方式还原模型的外观材质。截面轮廓离散

法则通过提取与离散 ArchiCAD 建筑模型中复杂截面构件的数据,并通过拉伸截面轮廓线在 PKPM-BIM 中绘制出构件的三维模型,从而实现 ArchiCAD 复杂截面构件在 PKPM-BIM 模型中的准确呈现。

1 基于异构数据的 BIM 模型整合过程

以 ArchiCAD 与 PKPM-BIM 间基于异构数据的全专业 BIM 模型整合为实际案例进行研究。选择上述两款主流设计软件有以下三个原因。第一,从软件数据结构、业务逻辑等层面分析,两款软件是完全不同的符合异构性质的研究对象,更能凸显整合过程中的实际问题^[1]。第二,ArchiCAD 在建筑三维设计方面为国际主流知名软件,PKPM-BIM 则牢牢占据国产 BIM 软件市场的核心地位,两者在专业性上受到行业的广泛认可,因而相关研究的问题更加被行业所关注^{[7][8]}。第三,ArchiCAD 与 PKPM-BIM 已经在异构数据的交互与整合上进行了技术探索与实践,因此研究得出的结果更加可以有效应用到实际生产中,从而达成实际效益,同时进一步促进行业整体技术的发展^[9]。

1.1 BIM 模型整合过程

当前,基于 ArchiCAD 与 PKPM-BIM 的全专业 BIM 三维设计模型整合过程可分为七个步骤(如图 1 所示)。第一步先从 ArchiCAD 软件中提取项目建筑专业模型的相关信息,包括建筑构件如墙、梁、柱、门窗、楼梯等几何与非几何属性信息。第二步则是将已提取的建筑专业模型信息缓存至数据管理类(可以理解为用于缓存数据的内存空间)。第三步则是创建项目的中转数据文档,该文档采用的是 PKPM 自主研发的特殊数据格式。随后第四步将建筑专业模型信息从数据管理类转存至中转数据文档。接下来第五步则是在 PKPM-BIM 端读取并解析该中转数据文档。然后第六步则是将解析文档中的建筑专业模型信息提取出来并存入至 PKPM-BIM 的数据管理库,以完成全专业模型信息的整合。最后一步在全专业 BIM 三维设计模型整合完成后,进行模型校验,检测出模型信息缺失、设计错误等问题并予以修正。至此,基于 ArchiCAD 与 PKPM-BIM 的全专业 BIM 三维设计模型整合过程完成。

1.2 整合过程中的问题

在 BIM 模型整合过程的研究当中,发现了两个



图1 基于 ArchiCAD与 PKPM-BIM 的全专业 BIM模型整合过程

Fig.1 All-disciplinaryBIM modelintegration proces based on ArchiCADand PKPM- BIM

较为严重的问题。首先，在从 ArchiCAD将建筑专业模型转换导入 PKPM-BIM 的过程当中，建筑构件表面的材质贴图信息发生了缺失，导致最后在全专业 BIM三维设计模型中呈现的建筑构件外观无材质感，因此只能在完成模型整合后，重新手动为建筑构件添加材质贴图。然而有些 ArchiCAD中的材质亦无法在 PKPM-BIM 材质库中找到相对应的内容，所以最终呈现的模型建筑构件依然存在材质描述缺乏准确性的问题。

其次，ArchiCAD的建筑专业模型往往涉及到一些非常规的、有着复杂截面的建筑构件。然而在转换导入 PKPM-BIM 的过程当中，后者无法识别这些复杂截面构件，导致读取解析中转数据文档失败，并最终致使建筑专业模型导入失败。这严重影响了 BIM三维设计模型的整合效率及准确性。

2 模型整合过程中的问题解决方法

针对上述所发现的在 BIM 模型整合过程中的问题，本研究基于C++代码编程与接口二次开发，提出了对应的解决方法如下：

2.1 二进制解析法

该方法首先将ArchiCAD中建筑构件的材质贴图文件转换为二进制流数据，然后将构件对应的材质属性信息从 ArchiCAD中取出，并与贴图文件共同存入材质库，从而建立两者间的映射关系。随后在 PKPM-BIM 中导入该建筑构件的过程中同时解析二进制流数据，将解析得到的该构件材质贴图信息创建为新增的 PKPM-BIM 材质类型，并与含有材质属性信息的构件三维模型实现关联，从而在 PKPM-BIM模型上准确呈现建筑构件的材质信息。

2.2 截面轮廓离散法

该方法先将 ArchiCAD中的复杂截面构件的截面轮廓信息提取并离散为多段线数据，然后将多段线数据存入至中转数据文档。通过读取与解析中转数据文档，在 PKPM-BIM 中将多段线数据重组为符合 PKPM-BIM截面绘制规则的轮廓信息，并生成新的截面类型存入至截面库。随后根据构件其他几何信息如高度、长度等，实现从截面至构件，二维至三维的拉伸转换，从而完成 ArchiCAD复杂截面构件在 PKPM-BIM 中的准确呈现。

3 方法实例验证

为了验证上述提出的解决方法在实际 BIM 模型整合过程中能否有效，本研究以一新建建筑项目为实例进行检验。该新建建筑为一栋六层商业用楼，单层面积约为 300m²。

3.1 材质贴图的呈现

以该建筑的楼梯为例，在从 ArchiCAD的建筑专业模型转换导入 PKPM-BIM 的过程中，采用二进制解析法后，成功实现了前者的建筑构件材质贴图（如图 2 所示）在后者 BIM 三维设计模型中的准确呈现（如图 3 所示），并且关于材质信息的描述也都保持一致。因此，二进制解析法在实例模型整合过程中的有效性得到了验证。

3.2 复杂截面构件

以建筑的家具如桌椅、沙发等复杂截面构件为例，在从 ArchiCAD转换导入 PKPM-BIM 的整合过程中，采用界面轮廓离散法成功实现了建筑复杂截面构件的几何及非几何信息的读取与转换，并在 PKPM-BIM三维设计模型中得到准确呈现（如图 4 与图 5 所示），从而验证了截面轮廓离散法在实践中的有效性。

4 结论

本研究针对三维设计阶段基于异构数据的 BIM 模型整合过程中普遍存在的材质转换缺失以及复杂截面构件无法呈现问题，以 ArchiCAD与 PKPM-BIM两大国际与国内主流 BIM 设计工具为实例进行具体分析，基于C++编程与接口二次开发提出了问题的相应解决方法，并且通过实际案例对方法的有效性进行了验证，实现了从理论到实践的转化应用，从而得出了本研究所提出的方法能够有效解决

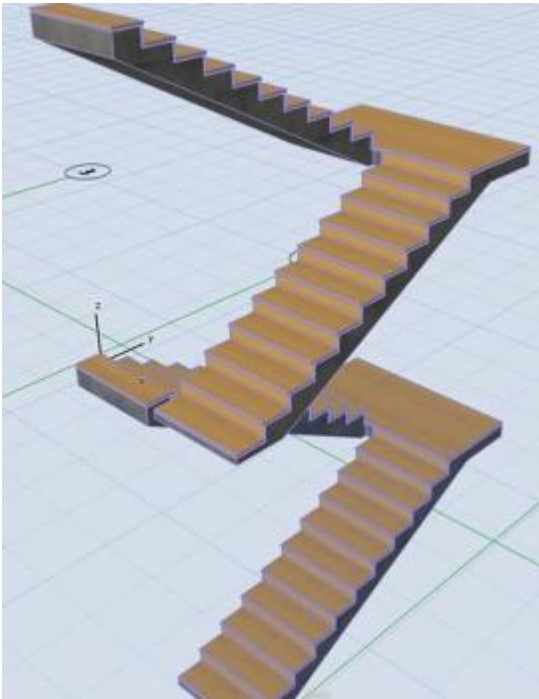


图 2 楼梯材质在 PKPM-BIM整合模型中的呈现
Fig.2 stairpresentation in PKPM-BIM integrated model

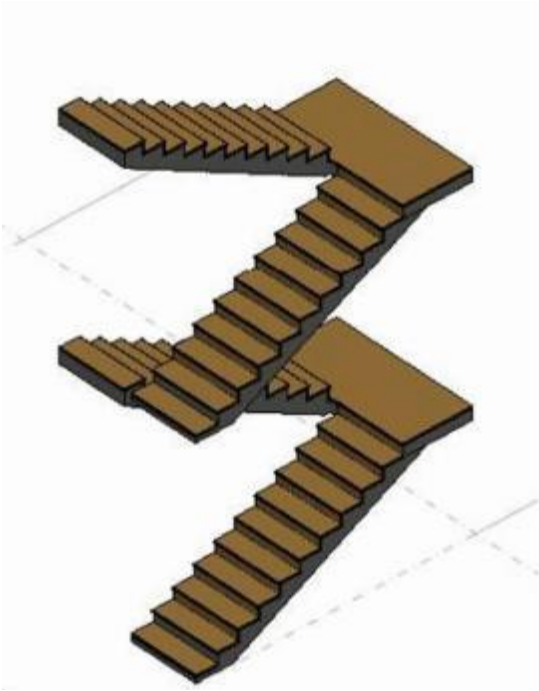


图 3 楼梯材质在 ArchiCAD中的呈现
Fig.3 stairpresentation inArchiCAD



图 4 复杂截面构件在 ArchiCAD中的呈现
Fig.4 Complexsectionalcomponentpresentation inArchiCAD



图 5 复杂截面构件在 PKPM-BIM模型中的呈现
Fig.5 Complexsectionalcomponentpresentation in PKPM-BIM

准确性与效率的结论。

参考文献

[1] 邵虎, 方毅, 卢禹 .多元异构的 BIM大数据集成技术在合纵高速公路工程中的应用研究[J] .土木工程信息技术, 2021(3) :132 -136 .

[2] 乔保娟, 邓正贤, 张洪磊 .PKPM与 Revit接口软件中若干问题探讨[J] .土木工程信息技术, 2014(1) :113 -117 .

[3] 丁勇, 姜立, 张雷, 等 .BIM数据交换的 一 种实现方式与模型检查的必要性[A] .中国土木工程学会, 中国建筑学会, 中国图学学会 .第五届工程建设计算机应用创新论坛论文集[C] .上海 :2015 .

[4] 秦领 .基于 BIM 的建筑设计 与 结构分析集成方法研究[D] .上海:上海交通大学, 2010 .

[5] 曾莎洁 .基于 BIM模型的结构分析方法研究[J] .土木工程信息技术, 2017(1) :82 -85 .

[6] 曾旭东, 杨韵仪, 陈诗逸 .基于 BIM+Crasshopper的性能分析方法在节能建筑方案设计中的探索[A] .黄艳雁, 肖衡林, 邹贻权 .智筑未来 — 2021 年全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集[C] .武汉:华中科技大学出版社, 2021 .

[7] 王景阳, 俞策皓, 曾旭东 .BIM软件在建筑数字技术教学中的应用 -Revit与 ArchiCAD横向应用研究比较[A] .全国高等学校建筑学学科专业指导委员会, 建筑数字技术工作委员会, 同济大学建筑与城市规划学院 .2010 年全国高等学校建筑院系建筑数字技术教学研讨会论文集[C] .上海: 同济大学出版社, 2010 .

[8] 姜立, 张志远, 张雷, 等 .BIM技术在 PKPM建筑工程软件系统中的应用[J] .土木工程信息技术, 2012(2) :78 -87 .

[9] 赵艳辉 .ArchiCAD给国产 BIM 软件的启示[A] .中国土木工程学会, 中国建筑学会, 中国图学学会 .第五届工程建设计算机应用创新论坛论文集[C] .上海:2015 .

构件材质转换缺失以及复杂截面构件无法呈现的常见问题,帮助提升 BIM三维设计模型整合过程中

变电构架设计软件的 Pyt上on 扩展和应用

张磊, 张艳如(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 对电力系统设施的设计建设来说,变电站和其相关的变电构架设计是构建全生命周期的信息化模型,规范建设流程,形成智能电网的重要步骤。各电力设计单位正在将现有数据迁移到三维可视 BIM模型平台上,采用的交互建模迁移方式效率低、重复工作多,PKPM-DLss 变电构架设计软件使用 Python 的模块将现有的功能和接口进行封装,并提供给设计人员,可以加快数据迁移到新的设计平台上。
[关键词] 变电构架; Python; PKPM-DLss 变电构架设计软件

Extension and Application of Python in substation Frame Design software

Zhang Lei, Zhang yan-ru(Beijing Glory PKM Technology Co., Ltd. Beijing 100013, China)

Abstract: For the design and construction of power system facilities, the design of substation and its related transformation framework is an important step to build a life-cycle information model, standardize the construction process and form a smart grid. Electric power design institutes are migrating the existing data to the 3D visual BIM model platform. The interactive modeling and migration method adopted is inefficient and repetitive. PKPM-DLss uses Python modules to encapsulate the existing functions and interfaces and provide them to designers, which can speed up the data migration to the new design software.
Keywords: substation frame; python; PKPM-DLss

0 引言

电力是现代生产和生活必不可少的动力,也是当代最方便、最易控制、适用范围最广泛的现代化能源^[1]。对电力系统设施的设计建设来说,变电站和其相关的变电构架设计都是构建全生命周期的信息化模型,规范建设流程,形成智能电网的重要步骤。

PKPM-DLss(即,PKPM-DLss 变电构件设计软件,以下简称 DLss)是基于 BimBase 图形平台开发(Bimbase,是北京构力科技有限公司自主研发的国产 BIM 图形引擎平台,支持复杂空间几何形体渲染,具有国产自主、安全可控的特点^[2])的变电构架设计软件,它实现了二维施工图和三维模型同时作为交付成果的正向设计软件。

作为一款较新的设计软件,用户可以直接使用交互输入方式输入数据,也需要使用脚本等批处理

方式进行数据迁移。使用交互输入方式的优点是数据完整准确,建模过程清晰。交互输入方式是用户人工录入数据的方式,将现有模型手工录入的方式迁移数据,重复工作多,耗时长。基于此本文着重研究一种通过 Python 脚本的方式来迁移现有数据到新平台上的方法。交互输入方式和脚本方式的优劣对比见表 1。

表 1 两种迁移数据方式对比

迁移方式	优势	劣势
交互输入	学习成本低	手动输入,效率低
脚本方式	效率高,数据准确	需要新学脚本语言

1 PKPM.DLs的 Pyt上on接口

1.1 Pyt上on语言

Python 是具有广泛的用户群、广泛的标准和大量的第三方应用程序模块的语言^[3]。借用这些标准和开源的模块,越来越多的设计人员开始使用 Python 进行简单的开发,以满足日常的设计工作减少重复工作提高工作效率。Python 语言也是一种生

[收稿日期] 2022-11-01
[作者简介] 张磊(1984-),男,硕士,工程师
[联系方式] E-mail: zhlei@cabrtech.com

态语言,能够将其他编程语言的优秀成果封装起来,降低使用复杂度^[4]。通过使用 Python 的模块将现有的 PKPM-DLss 功能和接口进行封装,提供给设计人员二次开发,可以加快设计平台的转换。

1.2 PKPM.DLs变电构架设计软件设计过程

使用 DLss 变电架设计软件的设计过程分为以下几个步骤:(见图 1)

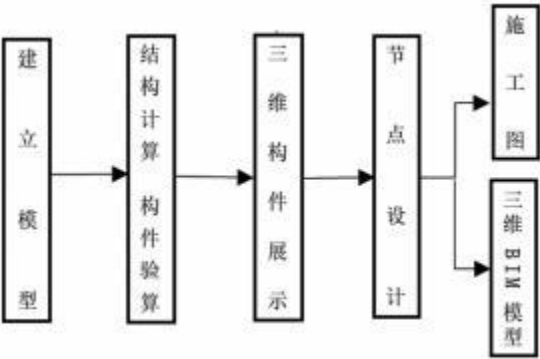


图 1 变电构架设计过程

- 1) 交互建立模型:输入构架梁柱几何、截面、荷载、约束信息
- 2) 结构计算和构件验算
- 3) 三维展示构件
- 4) 节点设计
- 5) 产出成果:施工图和三维 BIM模型

整个设计过程中的结构计算、三维展示、节点设计和施工图过程基本都是程序的自动化的工作,而建立模型是需要用户大量输入数据的过程,特别是从用户现有平台数据迁人到新平台时,工作量大、数据多、过程枯燥。在许多应用软件当中都需要高层的编程接口,使得用户可以完成重复性的工作或者是进行个性化的定制,其中一种有效的方案就是为功能强大的脚本语言提供一套接口并将其整合到系统当中^[5]。

1.3 使用 Pyt上on脚本迁移数据到 PKPM.DLs 平台 如图 2 所示。

使用 Python 脚本导人的方法是,脚本读取现有数据,嵌入的 Python 解释器将脚本转换为梁柱数据,再根据导人的数据建立模型,见图 3。

1.4 PKPM.DLs加载运行 Py上on代码

开发人员需要实现以下接口(见表 2),产生对应类型数据,解释器再将既有数据导入到程序。运行脚本的接口:

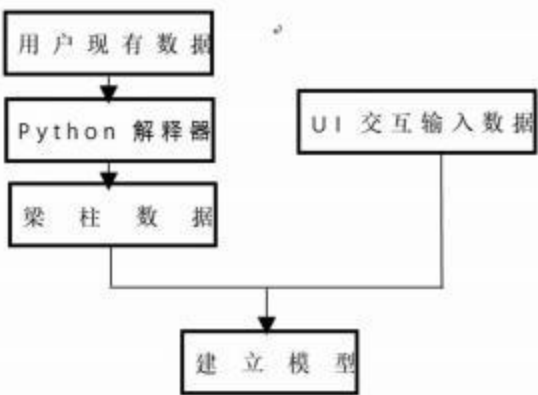


图 2 Python 脚本建模与交互建模



图 3 选取脚本列表

表 2 Pyt上on脚本接口

序号	接口名	说明
1	genColumns	生成构架柱数据
2	genBeams	生成构架梁数据
3	genLightingAresters	生成避雷针数据

导入过程操作界面和导入流程见图 3、图 4。

1.5 subframe.py 模块

Python 语言中,功能相近的模块可以组成包^[6]。PKPM-DLss 包中的 subframe.py模块是为加快开发减少调试难度而提供的变电构架梁柱扩展模块。其功能包括以下几个方面:

- 1) 生成构架梁柱和初始化数据
- 2) 设置构架梁柱几何尺寸
- 3) 设置构架梁柱截面



图 4 调用脚本生成模型流程图

4) 设置构架梁柱荷载(含挂线荷载和风荷载)

subframe.py模块代码如下(部分)

```
# subframe.py
```

```
class ColumnR:
```

```
... 人字柱 ...
```

```
def init ( self ) -3 None:
```

```
self.name=...
```

```
self.height=0
```

```
self.btmwidth =0
```

```
self.topwidth =0
```

```
self.br = 0
```

```
self.btmwidthBrace=0
```

```
self.topwidthBrace=0
```

```
pass
```

```
def setColumCeo( self, height, btmwidth,
topwidth) -3 None:
```

```
self.height= height
```

```
self.btmwidth = btmwidth
```

```
self.topwidth= topwidth
```

```
pass
```

```
def setColumBrCeo( self, br, btmwidthBrace,
topwidthBrace) -3 None:
```

```
self.br= br
```

```
self.btmwidthBrace=btmwidthBrace
```

```
self.topwidthBrace=topwidthBrace
```

```
def toJson(self):
```

```
return |
```

```
。 name。 :self.name,
```

```
。 height。 :self.height,
```

```
。 btmwidth。 :self.btmwidth,
```

```
。 topwidth。 :self.topwidth,
```

```
。 br。 :self.br,
```

```
。 btmwidthBrace。 : self.
```

```
btmwidthBrace,
```

```
。 topwidthBrace。 :self.topwidthBrace
```

```
|
```

以上为 subframe模块的部分实现,其中 setColumCeo是设置 A 字柱的几何尺寸, setColumBrCeo是设置端撑的几何尺寸。

1.6 使用 Python脚本生成构架梁和构架柱

调用 subframe模块中的 ColumnR人字柱,并实现 genColumns函数即可导入数据到 DLSS 中。生成步骤为:

1) 新建 columns字典

2) 遍历既有文件列表,读取既有数据

3) 设置 ColumnR对象数据

(4) 将 ColumnR对象结果输入到 columns字典

(5) 将字典数据处理后返回给程序

```
import json
```

```
import subframe
```

```
#读取既有数据
```

```
def setColumRFromExistData(flname,colR) :
```

```
fl=open(flname, mode='r')
```

```
# 读取数据 例如 height,btmwidth,topwidth等
变量
```

```
colR.setColumCeo(height,btmwidth,topwidth)
```

```
# 设置其他变量
```

```
fl.close()
```

```
return True
```

```
# 生成 DLSS 柱数据
```

```
def genColumns() :
```

```
columns=| |
```

```
lfile=[ 0col.data0,0col2.data0]
```

```
id =0
```

```
for flname in lfile:
```

```
colR= ColumnR( )
setColumnRFromExistData(flname,colR)
columns[ str(id)] =colR.toJson( )
columnDatas= json. dumps( columns, sortkeys=
False, indent=4 , separators=( 0,0,0:0))
retstate=0 ok0
return columnDatas, retstate
```

以上代码演示了,读取用户现有数据(使 setColumnRFromExistData函数实现),之后赋值给 colR对象,并将数据传回给 DLss 程序,并在 DLss 建立梁柱模型。

2 使用 Pyt上on接口导入模型实例

2.1 某变电站模型

图 5 为某变电站的变电构架模型。模型主要的梁柱结构形式为带有避雷针的人字柱和三角形截面的格构梁。

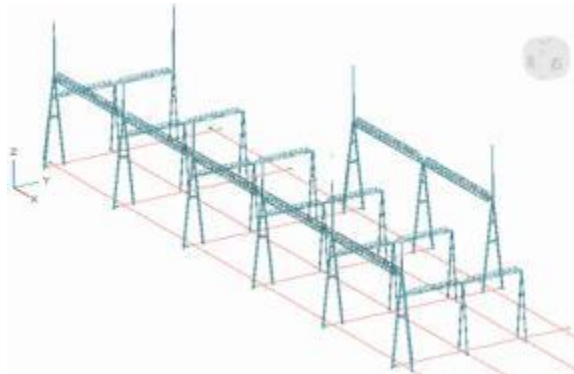


图 5 某变电站的变电构架模型

该变电构架模型共计 10 种类型,40 个构件,具体类型名称详见表 3。

根据统计人字柱需要至少指定 23 个参数(见图 6),格构梁需要至少指定 39 个参数。若将该模型交互输入到 PKPM-DLss,要为 10 种梁柱新建 10 种构件类型,并根据构件的名称逐个参数校对输入。此种方式重复工作多,生产效率低。

2.2 使用 Pyt上on脚本迁移模型

采用脚本方式迁移时,针对图 5 中的模型,脚本需要完成 genColumns和 genBeams两个函数(详见表 2)。实现代码时不需为每个构件单独实现代码,仅需按照梁柱两个大类实现(详见本文 1.6 节中的代码)。而经过调试后的脚本代码导入模型的速度很快,几乎可以忽略不计。并且对于一个设计院相

表 3 某变电站梁柱类型和数量

序号	名称	类型	布置数量
1	Z- 1	人字柱(端撑)	1
2	Z- 2	人字柱	5
3	Z- 3	人字柱	11
4	Z- 4	人字柱(端撑)	1
5	Z- 5	人字柱	2
6	Z- 6	人字柱	1
7	L- 1	三角格构梁	5
8	L- 2	三角格构梁	6
9	L- 3	三角格构梁	6
10	L- 4	三角格构梁	2

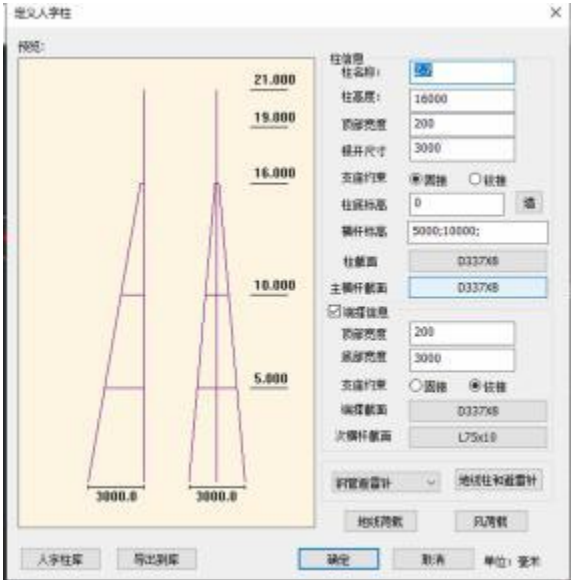


图 6

同格式的既有模型。只需要实现一次脚本代码,就可以迁移所有模型到 PKPM-DLss 中。因此效率不仅体现在一个模型当中,而是可以加快整个设计部门的相同格式模型的迁移过程。

3 结论

PKPM-DLss 建模过程利用了 Python 语言易于扩展和嵌入的优势^[7],采用了嵌入式 Python 解释器,并配合 subsframe模块解析 Python 脚本,再借助 Python 简洁清晰的语法功能强大的内置类库^[8],加快迁移到 DLss 的过程,此种方式效率大大提高迁移效率。可以尽快为设计单位提供三维 BIM模型和二维施工图两种交付成果,促进变电站和变电构

架从二维成果交付转变为三维交付的进程。

参考文献

[1] 林金洪 .110 kV数字化变电站继电保护配置方案[J] .南方电网技术 ,2009 ,3 (2) :71 -73 .

[2] 周轶泽 ,马云飞 ,刘纪超 ,等 .基于 Python 的 BIM参数化装配式建筑构件的研究与应用[J] .四川建筑 .2021.10 (41) :161 -164 .

[3] 约翰·策勒 .Python 程序设计(第 3 版) [M] .北京 .人民邮电出版社 ,2018 .John Zele.Python ProgrammingAn Introduction toComputerscience, Thrid Edition [M] . Beijing. P0 sTs-TELECOM PRÉss ,2018 (inChinese)

[4] 高天 ,礼欣 ,黄天羽 .Python 语言程序设计基础[M] .北京:高等教育出版社 ,2017 .songTian , LiXin, HuangTianyu. FundamentalsofPython Programming[M] . Beijing: Higher Education Press,2017 (inChinese)

[5] 王国强 ,张贝克 .基于 Python 的嵌入式脚本研究[J] .计算机应用与软件 ,2010 , 27 (3) :107 -109 .wangCuoqiang, Zhang Beike. REsEARCH ON EMBEDDED sCRIPT BAsED ON PYTHON[J] . ComputerApplicationsand software, 2010 , 27 (3) :107 -109 (in Chinese)

[6] 江红 ,余青松 .Python 程序设计教程[M] .北京:北京交通大学出版社 ,2014 .JiangHong, Yu &ingsong.Python Programming [M] . Beijing: BeijingJiaotongUniversityPresLimited Liability Company,2014 (inChinese)

[7] 罗霄 ,任勇 ,山秀明 .基于 Python 的混合语言编程及其实现 [J] .计算机应用与软件 ,2004 ,21 (12) :17 -18 .LuoXiao, Ren Yong, shan Xiuming, Python based mixed-languageprogramming and itsimplementation[J] . ComputerApplication and software, 2004 ,21 (12) :17 -18 (in Chinese)

[8] 张茗芳 .动态语言 Python 探讨与比较[J] .企业科技与发展 ,2012 ,13: 57 -60 .ZhangMingfang, studyAnd Comparison Of Python Program[J] . EnterprisescienceAnd Technology-Development,2012 ,13 :57 -60 (inChinese)

基于 BIM 平台的隧道衬砌病害信息可视化应用研究

李丹洋¹, 王竣², 陈可欣¹, 李志鑫¹, 洪文杰¹ (1.北京华筑建筑科学研究院有限公司, 北京 100176; 2.北京工业大学, 北京 100124)

[摘 要] 隧道病害检测是地下隧道建设项目实施中不可缺少的重要环节。为防止围岩变形或坍塌, 隧道施工过程中会沿隧道洞身周边用钢筋混凝土等材料修建永久性支护结构, 即隧道的衬砌。然而, 现阶段检测的数据结果并不直观, 对病害处理的效率产生了很大影响。为了能够直观地确定衬砌病害具体信息数据, 提高病害整治效率, 本文基于 BIM 平台对隧道衬砌病害信息进行三维可视化数据处理, 使繁多杂乱的数据更加清晰直观地展示在管理人员面前, 方便管理人员及时且全面地掌握隧道衬砌的病害情况和安全状态, 进而对病害进行分析和处理, 提升了对衬砌病害的检测效率, 提高了衬砌病害整治精度, 有效避免了隧道遗漏病害, 降低了施工风险, 增加了隧道工程安全性。

[关键词] BIM; 隧道病害检测; 三维可视化

Application Research of Tunnel Lining Defect Information Visualization Based on BIM Platform

Li Dan-yang¹, Wang Jun², Chen Ke-xin¹, Li Zhi-xin¹, Hong Wen-jie¹ (1. Beijing Hua: hu Building Research Institute Co. LTD, Beijing 100176, China; 2. Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Tunnel defect detection is an indispensable link in the implementation of underground tunnel construction. In order to prevent the surrounding rock deformation or collapse, a permanent support structure, namely the lining of the tunnel, will be built along the perimeter of the tunnel with reinforced concrete and other materials during the tunnel construction. However, the current detection data results are not intuitive, which has a great impact on the efficiency of defect processing. In order to be able to visually determine the concrete lining of defect information data, improve the efficiency of defect control, this article is based on BIM platform for 3D visualization of tunnel lining defect information data processing, make a variety of data more clearly and intuitively show in front of the management staff, convenient management timely and fully grasp the defect situation of the tunnel lining and safe state. Then the defect analysis and treatment, improve the detection efficiency of lining defect, improve the accuracy of lining defect regulation, effectively avoid missing tunnel defect, reduce the construction risk, increase the safety of tunnel engineering.

Keywords: BIM; tunnel defects detection; 3D visualization

0 引言

近年来, 随着经济的持续发展、综合国力的不断提升及高新技术的不断应用, 我国隧道及地下工程得到了前所未有的迅速发展, 我国已经成为世界上隧道工程数量最多、规模最大的国家^[1]。目前, 由于设计、施工、地质条件复杂等因素, 国内在建或已建成的铁路隧道都不同程度的存在衬砌与围岩结合不密实、局部脱空、裂缝, 钢筋、钢架间距不符

合设计要求和混凝土衬砌厚度不足等质量问题, 严重影响了铁路隧道的安全使用^[2]。

因此, 在隧道施工过程中, 其必须开展隧道质量检测工作, 结合检测结果对后期的施工流程和工艺进行适当的调整, 这样才能提高隧道工程建筑的质量。一般而言, 技术人员在检测隧道过程中都会使用地质雷达技术, 同时, 该技术存在高效、无损的优势, 能够准确检测隧道混凝土结构的缺陷^[3]。

当前我国多数铁路隧道处于养护阶段, 同时大部分隧道逐步投入运营, 隧道的病害检查、维修养护等工作也面临着巨大的压力。由于外部环境和地质条件的不断变化, 以及设计、施工、管理和周边

[收稿日期] 2022-11-10

[作者简介] 李丹洋(1993-), 男, 本科, 助理工程师

[联系方式] E-mail: z1260820894@163.com

建筑施工等其他方面的影响,隧道结构在使用后会暴露出不同程度的病害问题^[4]。病害的持续发展,最终会导致衬砌结构的失稳破坏。为了延长隧道正常使用寿命,应及时对隧道进行定期检查,并根据病害数据进行安全评定,对隧道提出维修养护建议,以确保运营安全。

目前国内隧道工程信息化尚未全面普及,隧道定期检查结果通常为纸质材料提交至管养部门归档或录入管养系统^[5]。因此,让检测数据更加便捷地展示在管理人员面前具有重要的现实意义。

BIM(BuildingInformation Modeling), 建筑信息模型) 技术是一种应用于工程设计、建造、管理的数据化工具,它具有可视化、参数化、协同性和模拟性等特点^[6]。利用 BIM技术将隧道病害的数据信息集成^[7],可实现隧道病害信息的可视化和病害数据的轻量化,以及在移动端的充分展示,为衬砌结构变形监测提供参考数据,便于管理人员及时且全面掌握隧道衬砌结构的安全状态,使隧道运营期的修复工作能够更顺利开展。

目前隧道及地下工程中对 BIM 技术的利用主要面向设计和施工阶段,养护管理阶段的应用较少,对隧道病害的三维可视化工作也还未系统性的开展^[8]。

本文基于 BIM 平台对隧道衬砌病害信息进行三维可视化处理,使繁多杂乱的数据更加清晰直观地展示在管理人员面前,方便管理人员及时且全面地掌握隧道衬砌的病害情况和安全状态,进而对病害进行分析和处理,为 BIM技术在隧道病害检测和后期养护奠定了基础。

1 整体技术路线

基于 BIM 平台的隧道衬砌病害信息可视化方法,具体包括以下七个步骤:隧道检测评估范围、内容及数量,进行测线布置;地质雷达检测,并进行缺陷判定;将检测结果在表格中进行整理;在 Revit中建立空间坐标系模型;利用 Dynamo程序进行数据处理并运行;利用 BIMFACE平台做网页化处理;制作移动端可扫描查看的二维码图片。整体技术路线见图 1。

2 隧道衬砌病害可视化研究方法

2.1 病害信息采集

1) 测线布置



图 1 整体技术路线

结合隧道项目病害整治实际情况,配合管理单位开展隧道隐患排查及整治工作对隧道进行衬砌质量检测,确定每条测线的编号、数量、里程和位置等。测线布置如图 2 所示。

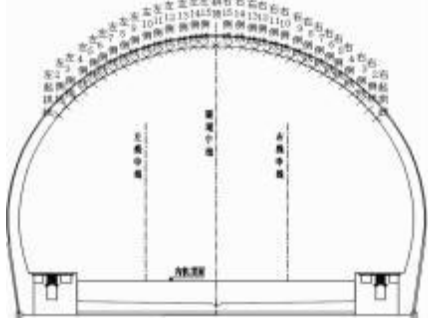


图 2 测线布置

2) 雷达检测

采用地质雷达,配备屏蔽天线,测距轮控制触发信号用沿初衬砌表面进行连续测量,确定其厚度和是否有空洞。地质雷达检测方法见图 3。



图 3 地质雷达检测

3) 数据整理

将衬砌情况分为密实、不密实、空洞和脱空四

种情况,并根据病害对隧道的结构影响程度,将病害划分为一般、较严重、严重三个等级。在表格文件中整理出每条测线的病害检测明细表,并将病害的中心道号、起止位置、起止深度、病害尺寸、经度、纬度等检测结果和病害类型、严重程度、可信程度等分析结果在表格中根据病害序号有序列出,为后续病害信息可视化的完整性和便捷性做准备。数据整理如图 4 所示。

序号	病害类型	病害位置	病害深度	病害尺寸	病害经度	病害纬度	病害可信度	病害严重程度
20-01	衬砌剥落	140000	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-02	衬砌剥落	140010	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-03	衬砌剥落	140020	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-04	衬砌剥落	140030	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-05	衬砌剥落	140040	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-06	衬砌剥落	140050	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-07	衬砌剥落	140060	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-08	衬砌剥落	140070	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-09	衬砌剥落	140080	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-10	衬砌剥落	140090	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-11	衬砌剥落	140100	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-12	衬砌剥落	140110	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-13	衬砌剥落	140120	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-14	衬砌剥落	140130	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-15	衬砌剥落	140140	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-16	衬砌剥落	140150	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-17	衬砌剥落	140160	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-18	衬砌剥落	140170	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-19	衬砌剥落	140180	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-20	衬砌剥落	140190	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-21	衬砌剥落	140200	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-22	衬砌剥落	140210	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-23	衬砌剥落	140220	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-24	衬砌剥落	140230	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-25	衬砌剥落	140240	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-26	衬砌剥落	140250	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-27	衬砌剥落	140260	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-28	衬砌剥落	140270	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-29	衬砌剥落	140280	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重
20-30	衬砌剥落	140290	0.15	0.15	120.00	39.00	0.95	严重

图 4 数据整理

2.2 病害信息可视化

1) 基于 Revit建立空间坐标系

首先确定项目文件中空间坐标系原点位置,创建坐标箭头族文件,并将坐标箭头族文件载入至坐标系族文件中,在坐标系族文件中使用坐标箭头族以原点为中心绘制坐标轴,创建"测线编号"、"里程"、"病害深度"模型文字并分别放置在轴端;将坐标系族文件载入至项目文件中,按病害类型新建"绿色"、"蓝色"和"橙色"三种材质,修改其对应属性,并制作图例,为模型关联材质奠定基础。坐标系如图 5 所示。



图 5 基于 Revit建立空间坐标系

2) 基于 Dynamo程序进行数据处理

首先对 UI 进行处理,读取病害检测明细表中整理的表格数据源,根据测线编号筛选每条测线的具

体数据,进行里程字符转换、病害深度计算和病害类型信息筛选,在 Dynamo 中生成实体模型,将 Dynamo 实体模型转换为 Revit 实体模型,并关联材质,将隧道检测数据信息挂载至 Revit 模型构件。基于 Dynamo 程序进行数据处理结果如图 6 所示。

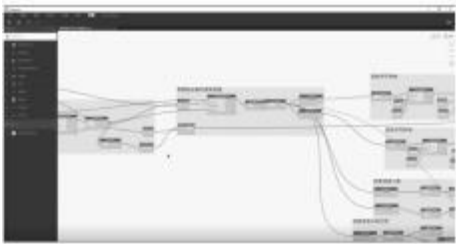


图 6 基于 Dynamo 程序进行数据处理

3) 基于 BIMFACE 平台做网页化处理

在 BIMFACE 控制台中上传源文件,再选择并添加所建模型文件,完成上传工作。文件上传成功后发起转换,实现解析其中数据的同时压缩源文件大小,以便于用户调取及使用,最后分享网址即可。网页化处理如图 7 所示。



图 7 基于 BIMFACE 平台做网页化处理

4) 轻量化交付

利用二维码生成器工具,输入网址后下载保存二维码图片,在移动端扫描生成的二维码图片,即可自动显示所建模型。在构件详情中可查看到该测线病害检测明细表中每个病害序号的所有信息,极大加快了病害信息的查询速度,使病害信息一览无余。轻量化结果展示如图 8 所示。

3 研究方法项目应用

此方法应用于吉林至挥春客专 JHsV 标铁路工程东兴隧道二衬检测,本次检测共布置测线数量为



图 8 轻量化交付

31 条,共完成探测 260 延米。传统检测结果(如图 9 所示)通过雷达图像的形式呈现,通过对每一条测线雷达图像进行病害分析,在直观程度、精准度、便捷度上远低于本文介绍的数据处理方法,本方法建立 BIM 数据图(如图 10 所示)有效地解决了传统检测数据处理的缺点,提升了对衬砌病害的检测效率和精度。

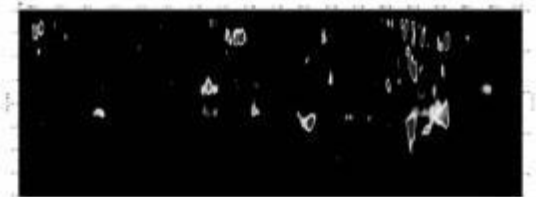


图 9 传统数据图

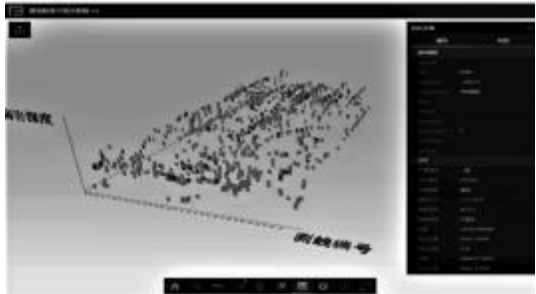


图 10 BIM数据图

4 结论

本文在 BIM技术和隧道检测技术的研究基础

上进一步发展,将传统隧道雷达探测和参数化建模技术相结合,针对传统的雷达数据图存在的缺点进行改进,研究出基于 BIM平台的隧道衬砌病害信息可视化方法。

本文技术利用地质雷达进行病害检测,并进行病害的情况分类和等级划分,实现了隧道衬砌的定量检测和快速判定,提升了对衬砌病害的检测效率和精度;利用 BIM技术,将隧道衬砌结构病害繁多杂乱的数据信息进行集成和处理,实现了隧道病害数据的轻量化、病害信息的可视化,以及在移动端的充分展示,使衬砌病害的位置、深度、尺寸等数据信息清晰直观地展示在管理人员面前;通过病害可视化数据辅助衬砌结构变形检测,及时准确掌握衬砌病害的情况和安全状态,进而为监测衬砌的结构变形提供参考数据,方便后期结构运维养护,提升了对衬砌病害的检测效率,提高了衬砌病害整治精度,有效避免了隧道遗漏病害,降低了施工风险,增加了隧道工程安全性。

受限于当前研究进度,本文研究成果尚存在遗留问题,首先是检测信息需要在多个平台间相互传递,需要进一步开发针对隧道衬砌病害检测的平台。其次,还需要进一步研究隧道全生命周期的检测方法,实现实时的数据反馈。

参考文献

[1] 蒋宇静,张学朋.隧道衬砌自动化检测及健康评价技术研究[J].隧道建设(中英文),2021,41(03):341-348.

[2] 储建军,朱文会,殷宇,等.地质雷达法在铁路隧道衬砌检测中的应用研究[J].中国新通信,2020,22(10):105-106.

[3] 王刚.地质雷达在隧道衬砌无损检测中的应用[J].四川建材,2021,47(06):17-18.

[4] 《中国公路学报》编辑部.中国交通隧道工程学术综述.2022[J].中国公路学报,2022,35(04):1-40.

[5] 朱玉琴,李秀芳,金敏华.公路隧道定期检查与安全评估方法技术探讨[J].公路交通科技(应用技术版),2013,9(04):261-264.

[6] 周志,赵雪锋,吴怀玉.BIM原理总论[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.

[7] 刘星宏,林达明,俞绍,等.BIM技术在国内隧道工程中的应用[J].现代隧道技术,2020,57(06).

[8] 蒋雅君,李明博,陶双江,等.BIM技术在隧道衬砌病害信息可视化中的应用[J].地下空间与工程学报,2018,14(04):114-1121.

PKPM 结构软件数据 API 接口应用

张艳如, 李璐, 郑晓彬, 高杨梅(北京构力科技有限公司,北京 100000)

[摘 要] 随着建筑的结构日渐复杂,结构设计周期也日趋紧张,为了更便捷的进行模型调整、结构成本优化,积极响应国家建筑行业数字化的要求,本文提出了 PKPM 结构软件数据 API 二次开发工具包可实现建模模型参数化调整的方法,该方法以面向对象的组织方式研发一套 API 二次开发工具包,API 接口预先把复杂的操作写在一个函数里面,编译成动态链接库,提供 C#、Python 和 C++ 版本,满足客户更高效、快速、精准的建模和结构分析要求。从而推动结构设计实现参数化建模与计算分析一体化。

[关键词] 软件数据;API 接口;二次开发

PKPM structuresoftwareDataApplication ProgrammingInterface

Zhang yan-ru, Li Lu, Zheng Xiao-bin, Gaoyang-mei(Beijing GloryPKPM Technology Co., Ltd, BeiJing 100000)

Abstract: As the structure of the building became more and more complex, structural design cycles are also becoming increasingly tight. In order to make model adjustment and structural cost optimization more convenient, actively respond to the requirements of the digitization of the national construction industry, This article focuses on the PKPM structuresoftwareDataAPIsecondaryDevelopment Kitenablesparametricadjustmentofmodelingmodels. This method developsasetofAPIsecondarydevelopmentkitin an object-oriented organizational way, and theAPIinterfacepre-writescomplexoperationsin afunction, compiles them intodynamiclink libraries, and providesC#, Python and C++ versionstometcustomerrequirementsformoreefficient, fastand accuratemodelingand structuralanalysis. soastopromotethestructuraldesign toachieve theintegration ofparametricmodelingand calculation analysis.

Keywor4 s: softwaredata; Application ProgrammingInterface; secondarydevelopment

0 引言

API(Application ProgrammingInterface)是软件库提供的一组可访问的接口,软件库通过 API 向外提供服务,开发人员通过使用 API 实现代码复用,提高生产效率^[1-2]。API 已成为企业内外部系统集成的重要手段,通过 API 快速构建产品和服务,迅速响应客户需求成为优秀企业的必备技能,API 经济应运而生。

随着人工智能的发展和普及,AI(Artificial Intelligence)与传统行业的邂逅已无处不在,API 在产业链的快速拆分重组、行业分层细化、加速融合创新过程中发挥了极大作用,技术领先企业通过 AI 开放平台将自身能力和资源开放出去,打造产业生态,形成规模经济和长尾经济^[3]。

PKPM2021 新规范 VI 版本发布了模型、计算结果两个 s&Lite(*.JwD)数据库明文格和 PKPM CYCLE 循环迭代引擎,可以通过修改 JwD 数据再导入的方式进行结构模型的创建、自动迭代调整和优化,但在调整模型后实时显示可视性差,需要重新导入 JwD 再次打开才能看到,JwD 数据会覆盖上一版本所有数据,对于部分不相关数据也需要管理,后期手工调整的数据也有可能被覆盖。为解决上述问题,PKPM 参考 Revit^[4-6]、ObjectARX 和 sAP2000^[7-8],以面向对象的组织方式研发一套 API 二次开发工具包,PKPM 结构软件数据 API 二次开发工具包可实现建模模型参数化调整,可以实时增量更新数据并进行图面展示,最大化保留后期手工调整的工作成果,还可与计算设计结果建立前后关联关系,依据计算结果对模型进行精准的参数调整、自动迭代优化,用户还可利用 API 接口,自由开发实现定制功能,集成到 PKPM 软件系统中,打造属于自己的特性工具。如图 1 所示。

[收稿日期] 2022-11-02

[作者简介] 张艳如(1986-),女,硕士,工程师

[联系方式] E-mail:zhangyanru76@126.com



图 1 PKPM二次开发平台关系图

Fig. 1 PKPMbasicsecondarydevelopmentplatformdiagram

目前 , 已有多家设计单位基于 API进行二次开发 , 完成了如截面优化、参数化建模、自定义计算书等高效个性工具 。 如图 2 所示 。

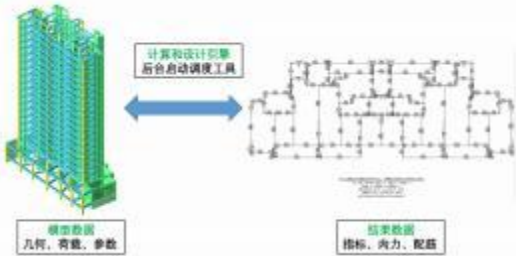


图 2 PKPM二次开发平台内容价值图

Fig.2 PKPM secondarydevelopmentplatformcontentvaluemap

I PKPM 数据 AP1接口的基本架构

PKPM数据 API接口划分为 PMCAD模型接口和计算设计模型接口两个模块,建模模型和计算设计模型的构件之间通过 ID编号建立了关联关系,结果中的构件后,通过该关系可找到对应模型中的构件。

PKPM数据 API提供了导人已有模型的接口 , 通过 API修改模型后 , 可利用 API启动 PMCAD + sATwE自动计算 , 满足结构优化和迭代的主要需求。

PKPM数据 API的特点和优势为直接对接编辑 PMCAD模型的映射数据 , 修改和同步效率高 , 结合绘图 API,可实现在 PMCAD中的命令注册、修改后模型图形即时高效更新等 。

2 PKPM 数据 AP1接口 AP1接口创建的理论和技术方法

2.1 PKPM 数据 AP1接口创建的理论 and 特点
PKPM数据 API接口是 一 系列复杂的函数 , 结

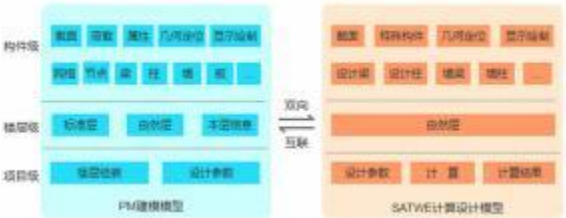


图 3 API基本架构关系图

Fig. 3 APIbasicarchitecture diagram

构 , 包含在 一 个附加名为 DL的动态连接库文件中 。 首先 , 开发者能够编辑 PM模型 , 能够在构件、节点、网格这样的元素粒度上进行增、删、改、查;其次 , 二次开发者能够通过封装好的 API调用到底层动态库 , 进行对模型实时的、增量的修改 。 它使编程人员可以用不同类型的编程语言可以用完成复杂的建模、调度结构分析迭代计算、依据结果精准调整模型的工作 。

PKPM数据 API接口特点是:

- 1) 数据 API直接对接 PKPM 底层模型和计算结果数据 , 无需通过接口转换 , 直接高效;
- 2) 利用数据 API修改模型和 自 动调用 PKPM 计算并根据返回结果调整模型进行迭代;
- 3) 绘图 API可与 PKPM结构软件集成 , 利用绘图 API在 PKPM环境中注册自己的命令 , 开发自己的功能 , 实现模型变更后即时高效的图形刷新 。

二次开发 sDK(softwareDevelopmentKit) 有两个部分 , 分为是数据 API和绘图 API, 各自用途和支持的语言见表 1 。

表 1 PKPM 数据 AP1接口模块划分及功能表

Table1	PKPM 4 ata AP1 mo4 ule4 ivisionan4 functions	
	数据 API	绘图 API
名称	PMDDataAPI	PMDDrawAPI
用途	编辑 PMCAD模型; 发起自动计算;	集成到 PKPM结构软件; 菜单和功能定制
sDK版本	C+ + , C# , Python	C+ +

2.2 PKPM 数据 AP1接口类和类方法的结构

C+ + , C# 以及 Python 语言接 口 函数名称及含义完全相同 , 且各类功能相似函数及形参命名规则统一 。

以 Python 为例的 API类和类函数方法如表 2 所示 。

表 2 PKPM 数据 AP1接 口 Pyt上on类函数表
Table2 PKPM 4 ata AP1 interfacePyt上 onclas
functionnametable

类名	API接口 函数名
模型类	APIPyInterface. Model
标准层类	APIPyInterface. standFlor
节点类	APIPyInterface. Node
网格类	APIPyInterface. Net
梁类	APIPyInterface. Beam
柱类	APIPyInterface. Column
墙类	APIPyInterface. wal
支撑类	APIPyInterface. Brace
墙洞类	APIPyInterface. walHole
板洞类	APIPyInterface. slabHole
悬挑板类	APIPyInterface. Plao
板类	APIPyInterface. slab
梁截面类	APIPyInterface. Beamsection
柱截面类	APIPyInterface. Columnsection
支撑截面类	APIPyInterface. Bracesection
墙截面类	APIPyInterface. wallsection
墙洞截面类	APIPyInterface. windwsection
板洞截面类	APIPyInterface. slabHolesection
悬挑板截面类	APIPyInterface. Plaosection
截面类型枚举	APIPyInterface. sectionKind
构件截面尺寸对象	APIPyInterface. sectionsshape
荷载定义类	APIPyInterface. LoadDefineData
自定义工况类	APIPyInterface. LoadCaseData
自然层类	APIPyInterface. RealFlor
计算结果类	APIPyInterface. ResultData
梁设计类	APIPyInterface. BeamDesignData
墙梁设计类	APIPyInterface. walBeamDesignData
柱设计类	APIPyInterface. ColumnDesignData
墙柱设计类	APIPyInterface. walColumnDesignData
支撑设计类	APIPyInterface. BraceDesignData
位移指标类	APIPyInterface. NormalDispstatData
地震作用指标类	APIPyInterface. EarthquakeNormstatData
刚重比指标类	APIPyInterface. stifweightRatioData
层质量分布	APIPyInterface. storeyUnitMasData
周期阵型分布	APIPyInterface. ModePeriodData

3 PKPM 数据 AP1接口的应用实例

3.1 AP1对结构模型参数化创建、跨平台联动的支持

对大型、复杂结构模型参数化创建是结构设计行业时下的热点：当结构模型复杂但有一定规律性,或者某一领域内经常设计类似结构形式时,创建参数化、数字化可调的模型对于设计效率的提升显著。参数化模型创建后,简单调整个别参数即可应对常规的方案变更或结构试算调整需求,会极大减少设计师手工调整的时间;联动结构上下游软件,实现数据跨软件自动联动调整、同步,设计方案变更一键同步到结构分析阶段,实现软件间结果比对分析,对设计效率的提升同样具有实际意义。

下图是调用API实现造型设计软件 RHINO CRAssH0PER与 PKPM 建模、模型修改实时联动的实现效果：

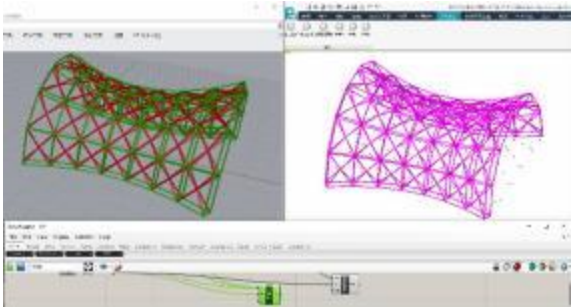


图 4 Crassshopper联动 PKPM实现参数化建模
Fig.4 Parameterized modelingofgrassshopper
synchronizewith PKPM

API支持在 PKPM 注册插件，二次开发用户可以将响应特定按钮注册命令的功能集成到 PKPM环境之中,RHINO与 PKPM进程之间在参数化调整模型过程中保持通信状态,进而将每次调整后的 CRAssH0PER模型数据信息通过 API底层对 PMCAD模型的修改实现联动。

3.2 AP1对结构辅助设计工具开发的支持

建筑行业软件具备结构优化拓展能力是时下CAE建筑软件行业发展的新需求:在结构方案初设试算阶段,在满足规范整体指标要求的前提下,自动对比分析不同方案单位工程量、核心构件受力情况、结构抗震性能,有助于快速优选结构方案。在结构方案确定后,分析构件受力和规范指标要求,自动迭代进

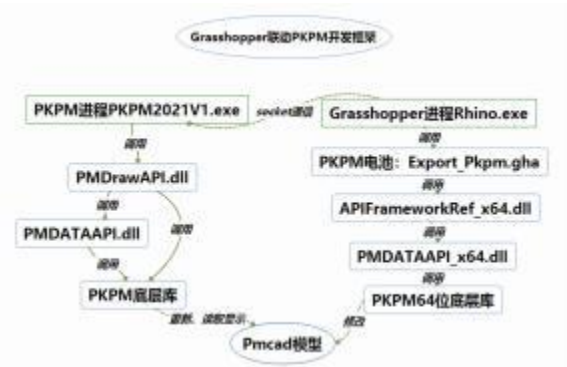


图 5 程序开发框架

Fig. 5 Programdevelopmentframework

行构件级优化,可以降低建造的经济成本。

目前,由合作用户开发的模型优化工具已经随 PKPM软件包发布试用版。API对模型修改、调用启动有限元分析、对分析结果提取的 sDK功能包,为用户开发这类软件提供了全面支持,开发者用户只需要关心优化算法的实现,找到构件截面、材料参数、结构拓扑方案的最优解。



图 6 结构优化工具软件界面

Fig. 6 Interfaceofstructuraloptimization software

4 结论

本文主要研究了 PKPM数据接口 API二次开发

的应用方法。PKPM基于开放的模型数据、sATwE结果数据,形成了 API开发工具包形式的二次开发平台,接口语言丰富,扩展性强;直接访问底层数据,效率高,开发者基于此平台可实现:

- (1) 在标准层上创建、删除、获取节点、网格、构件对象和对象集合;在各类构件上布置荷载、修改构件的截面、混凝土等级、钢号等;获取设计构件的计算配筋信息以及整体指标信息;
- (2) 复杂结构参数化建模、上下游软件间联动修改,比如联动外部造型软件 RHINO CRAssH0 PER;

- (3) 对模型数据的创建、编辑,控制分析计算流程,获取结果数据,依据结果对模型调整再次计算,实现方案和构件截面的优选;
- (4) 针对一批工程共性订制个性化的功能并集成到 PKPM软件中。

参考文献

[1] 李正,吴敬征,李明树.API使用的关键问题研究[J].软件学报 IssNI000 -9825.2018 ,29 (6) :1716 -1738 .

[2] RoverCD, LammelR, Pek E. Multi- Dimensionalexploration of APlusage. In: Proc. oftheIE Int, IConf. on Program Comprehension. IE, 2013. 152 -161. [doi: 10.1109/ICPC. 2013.6613843] .

[3] 刁毅刚.API经济与媒体的未来[J]; 中国传媒科技;2018 年 06 期 .

[4] 陈庆军,王永琦,汪 洋等.基于 Revit及 RevitAPI的应县木塔建模研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版) 2017,49 (3) :369 -374 .

[5] 薛忠华.RevitAPI在空间网格结构参数化建模中的应用[J].计算机辅助工程,2013,22 (1) :58 -63 .

[6] 张慎.基于 RevitAPI建筑消防喷头辅助建模软件开发[J].土木建筑工程信息技术,2015,7 (6) :43 -47 .

[7] 中国建筑标准设计研究院.sAP2000 中文版使用指南[M].第 2 版.北京:人民交通出版社,2011 .

[8] 陈庆军,谢小东,郭金龙等.利用 .NET平台及 sAP2000 API实现间杆系结构的蒙板功能[J].空间结构.2012,18 (2) :65 -69 .

自主 BIM 平台软件研发与应用

张韵怡, 周盼, 王璃, 姜立(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 当前, BIM 技术已成为工程建设行业数字化转型的关键核心技术, 但由于对国外 BIM 软件的长期严重依赖, 使我国面临的信息安全风险不断加大, 亟需研发自主可控 BIM 软件支撑工程建设行业发展, 保障国家数据信息安全; 本文提出了 BIMBase 平台软件技术攻关成果, 以基于 BIMBase 平台的湖南省施工图 BIM 审查管理系统为例, 探讨了自主智能化审查技术应用方法, 推进了设计阶段 BIM 技术应用, 支撑了智慧城市建设和管理, 保障了工程数据信息安全, 为推进行业数字化转型和 BIM 软件自主可控路径提供了参考;

[关键词] 数字化转型(自主可控(BIM 软件

Independent BIM Platform Software Development and Application

Zhang Yun-yi, Zhou Pan, Wang Yao, Jiang Li) Beijing Glory PKPM Technology Co., Ltd. Beijing 100013)

Abstract: BIM has become the key core technology in the digital transformation of the engineering construction industry. However, due to the long-term highly dependence of foreign BIM software, the information security risks of our country are constantly increasing. It is urgent to adopt independent and controllable BIM technology to ensure the development of the engineering construction industry and the national data and information security. In this paper, the research achievements of BIMBase platform software are put forward. Based on BIM review and management system of construction drawings in Hunan Province, the application methods of independent intelligent examination technology are analyzed, which promotes the application of BIM in the design stage, supports the construction of smart cities, ensures the safety of engineering data information, and provides a reference for promoting the digital transformation of engineering and the independent controllable path of BIM software.

Keywords: digital transformation(autonomous(BIM software

0 引言

当前,新一轮科技革命和产业变革加速演进,信息技术创新日新月异,数字技术,和数字经济,已成为新一轮经济社会生产的核心要素,在推动经济社会发展。促进国家治理体系和治理能力现代化方面发挥着越来越重要的作用;

为贯彻落实习近平总书记关于推动数字经济和实体经济融合发展的重要指示精神,2021 年 12 月国务院印发的《十四五,数字经济发展规划》^[1]强调,以数字技术与实体经济深度融合为主线,加强数字基础设施建设,完善数字经济治理体系,协同推进数字产业化和产业数字化,赋能传统产业转型升级,培育新产业。新业态。新模式,不断做强。做

优。做大我国数字经济,为构建数字中国提供有力支撑;2022 年 1 月住建部印发《十四五,建筑业发展规划》^[2]强调,坚持创新驱动,绿色发展,推动新一代信息技术与建筑业深度融合,积极培育新产品。新业态。新模式,明确建筑业改革发展方向和目标任务,坚持整体推进与重点突破相结合,着力构建行业发展新格局,落实碳达峰。碳中和目标任务;

建筑行业作为国民经济支柱产业,在推动经济社会发展过程中持续发挥重要作用,但作为传统行业,建筑行业在数字化应用方面还存在着一些影响发展的重大问题亟待解决^[3],突出表现在:

1) 工程建设行业整体工业化和信息化水平亟待提升;建筑业的生产过程连续性差,设计。采购。施工。运维等各环节相对脱节,各阶段的信息数据并没有得到有效传递;

2) BIM 软件缺乏系统性,未打通工程建设全生命周期;建设行业 BIM 集成化应用少,没有发挥出 BIM 的全生命周期数据共享和协同工作的优势;

3) 未掌握 BIM 软件核心技术,基础平台受制于

[收稿日期] 2022 -11 -08

[基金项目] 本研究受自主知识产权的 BIM 三维图形平台开发及生态建设(2021 "K"093)。湖北省重大专项(2020 ACA006)资助;

[作者简介] 张韵怡(1995 -),女,硕士,北京构力科技有限公司

[联系方式] E-mail: zhangyunyi@cabrtech.com

人。现有的 BIM平台和软件主要由国外企业研发,大量核心技术还掌握在国外软件公司手中,国内自主研发的软件相对薄弱。

4)国家大型项目和涉密项目数据安全问题。如果大量采用国外 BIM平台和软件完成国家军事设施、网络安全、重大科技专项等重大工程项目,特别是高保密需求项目的建造,将无法保证信息数据的安全可控,对国家安全造成很大影响。

在此形势下,攻关自主可控的 BIM核心技术,加强在技术、软件、应用模式等方面的自主创新,研发具有完全自主知识产权的三维图形引擎、BIM平台和应用软件,形成系统性方案,实现 BIM软件的国产化替代和升级已是非常紧迫的任务。

1 BIMBase平台

中国建筑科学研究院有限公司下属单位北京构力科技有限公司承担了国家自主 BIM技术系列攻坚项目,经过十年集中攻关,于 2020 年推出了完全自主知识产权的 BIMBase图形引擎,并于 2021 年推出国内首款完全自主知识产权的 BIM平台软件 - BIMBase系统,解决了中国工程建设长期以来缺失自主 BIM三维图形系统的“卡脖子”关键技术问题,经权威机构评测源代码自有率达 98.8%,国产化率认证达到 5 星 s 级,实现了关键核心技术自主可控。

2021 年 4 月 25 日,国务院国资委首次对外发布“国有企业科技创新十大成果”,中国建研院构力科技研发的自主可控 BIMBase系统,作为建筑行业唯一成果人选。2021 年 5 月 30 日,国资委向全社会发布《中央企业科技创新成果推荐目录(2020 年版)》,BIMBase建模软件列入“基础软件类”成果,与“九天”人工智能平台、麒麟操作系统并列。BIMBase为工程建设行业提供了数字化基础平台,目前已在建筑、电力、交通等行业推广应用,将为行业数字化转型和数据安全提供有力保障。

在自主 BIM生态建设方面,目前 BIMBase平台已在建筑、公路、铁路、电力、石化等行业推广应用^[4-5],基于完全自主 BIM技术的建筑全专业协同设计系统 PKPM-BIM 和装配式建筑 BIM设计软件 PKPM-PC已正式推向市场,截至到 2022 年 6 月,国产 BIM软件已推广到国内 1000 多家建筑企业,已在近 1 亿平方米的实际工程中应用。

在成果应用推广方面,中国建研院采用自主

BIM技术结合绿色低碳技术、结构检测技术全面助力 2022 年北京冬奥会场馆和基础设施建设,积极承担雄安新区规划建设 BIM管理平台和培训考核平台建设,在湖南省搭建了装配式建筑全产业链智能建造平台,并承担了厦门、湖南、广州、南京等多个省市的政府 BIM报审系统建设,全国通过 BIM报审的项目已过千个,全面推动了自主 BIM技术的应用和新型城市基础设施建设。

2 自主 BIM 平台研发成果

BIMBase平台软件面向工程项目全生命周期应用需求,具备数据版本管理效率、多端即时访问、数据存储安全性、高负荷几何运算和专业分析的计算性能等关键技术,解决了大体量工程项目的数据承载、基于构件的协同工作与按需加载、BIM子模型提取和合并、存储压缩率和数据扩展机制等问题。平台将 BIM 三维图形平台对图形引擎、BIM 数据服务、协同工作等公共功能进行封装,提供 BIM 基础数据定义、BIM数据服务、参数化建模、协同工作、数据交换、轻量化服务及二次开发服务。本章以下小节将对 BIMBase主要研发成果进行介绍。

2.1 可实现大体量图形处理的 BIM 三维图形引擎

BIMBase具有完全自主知识产权的 BIM三维图形引擎,如图 1 所示,重点突破了大体量几何图形的优化存储与显示、几何造型复杂度与扩展性、BIM几何信息与非几何信息的关联等核心技术,支持二次开发应用。采用包围盒以及显示层次定义、配合场景的模型显示剔除与精细度控制、转换矩阵和视图剪切与特定视图的显示列表关联、定义缓存-元素-视图唯一 ID以加速索引等方式提升显示效率,采用异步加载技术和分部分加载技术解决 BIM模型的 web 显示和加载时间效率问题。

2.2 基于 BIM 三维图形平台的参数化建模组件库

BIMBase提供参数化建模方法,面向建筑行业内置的参数化构件,同时提供用户自定义参数化构件方法。BIM参数化建模与机械制造领域的参数化设计具有较大的区别,BIM构件之间的约束关系具有较强的专业性,且模型体量通常庞大,求解效率对满足实际应用需求至关重要。因此 BIMBase对通用标准构件(如常规墙体、标准结构柱、机电管道等)进行系统内置,称为标准参数化建模;如图 2 所示,对特殊造型构件(如门窗、异形柱、机电设备等)

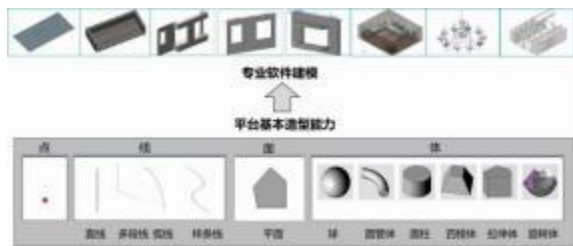


图 1 BIMBase通用造型、专业建模能力

Fig.1 BIMBase0 suniversalmodelingand professionalmodelingcapabilities

提供开放自定义参数化构件功能,称为 自定义参数化建模,内容主要包括:基本对象及关联关系、基本功能、参数化构件对象及管理、参数化构件实例及布置等。



图 2 开放的参数化组件库

Fig.2 0 pen libraryofparameterized components

2.3 轻量化展示浏览引擎

可针对 B/s端的应用情景,基于轻量化图形引擎,提供对图形显示、图形操作的良好支持,如图 3 所示。基于图形轻量化、web 图形显示等技术,实现对图形数据的轻量化处理以及模型承载量的提升,实现高效传输和高效加载。支持多版本图形对比和多视角图形查看,在 web 浏览器和移动设备上实现灵活、高效、丰富的三维模型显示,具有良好的兼容性,支持主流浏览器。支持对模型的缩放、旋转等基本操作,同时提供图形筛选、模型三维批注及状态更新、图形测量、3D剖切、视点记录等功能,支持多模型集成操作,并支持与数据信息和业务信息的关联及业务模块划分。

2.4 面向工程项目全生命周期应用的 BIM 基础平台

BIMBase平台是完全自主知识产权的国产 BIM 基础平台,基于自主三维图形内核 P3D,结合数据管理和协同管理引擎,由三维图形平台、BIM专业数据库、共性模块库、BIM资源库、多专业协同管理、多源



图 3 轻量化展示浏览引擎

Fig.3 Lightweightpresentation engine

数据转换、二次开发包等组成,如图 4 所示。平台可满足建筑工程大体量建模需求,实现多专业数据的分类存储与管理,及多参与方的协同工作,支持建立参数化构件库,具备三维建模和二维工程图绘制功能。通过集成人工智能、云计算、物联网、CIs等新型信息技术 [6 - 7],可为各行业提供广泛的专业应用服务。平台提供桌面端、移动端、web端二次开发接口,支持公有云、私有云、混合云架构云端部署。



图 4 BIMBase基础平台框架

Fig.4 BIMBasefoundation platformframework

2.5 多专业模型关联构件级数字化协同平台

如图 5 所示,基于 BIMBase平台的建模软件和设计软件,通过平台的一体化数据库存储,支持多专业构件级协同设计。基于统一的平台,建立构件级的关联关系,实现以 BIM数据交换为核心的协作方式,建立多专业、多参与方的协同工作机制。通过 BIMBase平台集成各专业建模和设计成果,提供模型参照、互提资料、碰撞检查、差异比对等多专业协同模式,消除各专业设计中的冲突;通过基于云服务的多端(桌面端、web端、移动端)协同平台,集成云存储、图档管理、模型共享与批注等功能,可提供跨企业和跨地域的协同应用模式,满足不同场景下的多类型协同工作需要。



图 5 设计企业数字化一体化解决方案

Fig. 5 Design adigitalintegration solution fortheenterprise

3 自主 BIM 平台应用案例。湖南省施工图 BIM 审查管理系统

为进一步加快推进湖南省建筑信息模型(BIM)技术应用发展,根据《湖南省人民政府办公厅关于开展建筑信息模型应用工作的指导意见》^[8]等文件要求,湖南省基于中国建研院构力科技研发的具有完全自主知识产权的 BIMBase平台,如图 6 所示,搭建了国内首个基于自主 BIM平台的施工图 BIM 审查管理系统(以下简称.BIM审查系统"),并于 2020 年 8 月 1 日率先在全省开展施工图 BIM 审查试点工作。



图 6 湖南省施工图 BIM审查管理系统

Fig.6 Construction drawingBIM reviewmanagement systemofHunan Province

3.1 施工图 BIM 审查系统应用情况

湖南省施工图 BIM 审查系统可实现房屋建筑工程建筑、结构、给排水、暖通、电气、消防、人防、节能、装配式等专业和专项规范条文的智能化审查,以及市政基础设施工程道路、桥梁、管线、隧道等专

业的三维辅助审查。其特点及创新点如下:

1) 采用 AI拆解人工复核方式,将量化的书面语言规范条文拆解为计算机可进行自动判断的计算机语言规范条文。通过建立统一的模型交付标准、数据格式标准、审查技术标准,对送审 BIM模型格式、数据、内容等作出统一规定,并利用 BIM审查计算分析引擎,将 BIM模型信息提取、计算形成计算机语言模型。利用 BIM 审查条文审查引擎,将计算机语言模型与计算机语言规范条文自动进行数据比对,并利用可视化的书面语言表达方式将比对结果呈现出来,供系统操作人员进行判断,从而完成 BIM模型智能审查工作。

2) 引入 AI知识图谱方式,对不可量化的书面语言规范条文进行统一管理,通过程序自动搜索关键字及自动链接有关内容的方式,将所有相关规范条文及注解展示在 BIM审查系统中,辅助系统操作人员快速对模型合规性进行判断。

3) 针对 B/s端的云服务架构,采用轻量化浏览技术、细节级别控制技术、渐进式流式加载和分片渲染技术、模型数据压缩技术,实现客户端多专业模型文件动态组装,以及大文件的智能分片存储和秒传,提升大模型的加载和渲染效率。

3.2 BIM 审查系统应用效果

截止到 2022 年 9 月初,湖南省施工图 BIM 审查管理系统已累计应用于近百家设计院申报的 349 个房建工程项目及 4 个市政工程项目。上述项目中,系统智能化审查意见近总意见的半数。总结下来,施工图 BIM审查系统的应用效果包括:

1) 提高了施工图审查的质量与效率。BIM 审查系统将审图效率提升了 50%以上,审查条文漏审率降低了 30%以上,审查规范条文能力提升了 3 倍以上。智能审查在结构、消防等涉及人民生命财产安全的规范强条中凸显优势,减少了审查人员的工作量,降低了条文漏审率,提升了审查效率。

2) 推进了设计阶段 BIM 技术的发展与应用。施工图 BIM审查倒逼设计企业创新业务模式,促进其运用 BIM技术进行项目协同设计,完善内部自审自校机制,从而推进设计阶段 BIM技术应用能力和质量的提升。

3) 为智慧城市的建设提供了安全可靠数据来源。系统目前已存储自主可控的 BIM 模型 17000 余个,为下一步我省推进 BIM 技术在多领域、全专

业和全流程的应用，CIM平台及智慧城市建设奠定了坚实基础。

4 结语

本文基于自主 BIMBase平台软件，以湖南省施工图 BIM审查管理系统为例，从基于 AI技术的规范拆解、轻量化浏览等方面提出了自主智能化审查技术的应用方法，为国家、行业和社会都带来多种效益和价值。一方面，全面提升报建审批效率，减少人员投入，间接减少资源投入，节省资金；一方面，通过建立统一格式的 BIM 审查模型，为实现数字孪生城市搭建了平台，推动 CIM+智慧应用，提高城市综合运行管理能力，为行业数字化转型提供助力；另一方面，通过自主可控 BIM平台软件，实现了项目信息全过程溯源，从数据的采集、传到、存储、使用、共享到销毁，对每个环节进行相关数据安全的保障措施，充分保证数据安全，为国家工程数据安全提供了技术保障。

参考文献

[1] 《“十四五”数字经济发展规划》(国发〔2021〕29号)[J], 中华人民共和国国务院, 2022 年 01 月 12 日。

[2] 《“十四五”建筑业发展规划》(建市〔2022〕11号)[J], 住房和城乡建设部, 2022 年 01 月 19 日。

[3] 何清华, 钱丽丽, 段运峰等. BIM在国内外应用的现状及障碍研究[J]. 工程管理学报, 2012, 26 (01): 12 -16。

[4] 孟鹤, 杨绪坤, 王长进. 铁路自主 BIM 技术研究与应用进展[J/OL]. 铁道标准设计: 1-10 [2022 -10 -19]。

[5] 王彤东, 张琪英, 郑素群. BIM技术在电力工程中的应用研究[J]. 电气时代, 2021 (04): 66 -70。

[6] 王旭, 段喆, 钟炜. 基于 CIs+BIM 的公共建筑资产数字化管理平台建设与应用[J]. 项目管理技术, 2022, 20 (09): 73 -76。

[7] 蒋雯雯, 马国峰. 浅谈 5 C技术在智能建筑中的应用[J]. 数字技术与应用, 2022, 40 (09): 48 -50。

[8] 《湖南省人民政府办公厅关于开展建筑信息模型应用工作的指导意见》(湘政办发〔2016〕7号)[J], 湖南省人民政府办公厅, 2016 年 01 月 14 日。

基于国产 B1M 的构件属性定义与挂载方法的研究与应用

周轶泽, 南茜, 李佳琪(北京构力科技有限公司,北京 100013)

[摘 要] BIM模型在各阶段被附加的信息是模型的关键部分。当前,我国工程实践中所使用的 BIM软件多为外国引进,在部分满足现阶段建筑数字化需求的同时仍存在问题。一方面,国外 BIM软件一般面向本国或全球多个地区设计,无法较好地适应我国现行规范与行业流程,因此难以有效地提升 BIM模型在全流程应用的价值。另一方面,国外 BIM软件的设计行为并不透明,广泛依赖其将对我国城市和建筑信息安全造成威胁。本文参考《建筑信息模型设计交付标准》要求,提出创建 BIM构件类型与挂载属性的基本要求,并以 BIMBase平台提供的类型属性管理器功能为例,阐述了以国产软件实现 BIM模型属性创建-管理-挂载-传递的全流程应用的思路和优势,展示了基于前述方案的一项工程实例。实践证明,该功能提供灵活的属性创建、挂载方法和便捷的交互体验,并在与外部软件的数据交换具备良好的数据完整性和可扩展性。

[关键词] BIM;属性定义;属性挂载;自定义属性;数据交换

Research and Application of Component Attribute Definition and Mounting Method Based on Domestic BIM software

Zhou yi- e, Nan Xi, LiJia- gi(Beijing GloryPKPM TechnologyCo.,Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: The additional information attached to the BIM model at different stages is a key part of the model. Nowadays, most of the BIM software used in engineering practice within China is imported from foreign countries. While it partially meets the current needs of building digitalization, there are still some problems. On the one hand, imported BIM software is generally designed for the regions in the country or around the world, which cannot well adapt to the requirements of standards and engineering practice in China. Therefore, it is difficult to effectively enhance the value of BIM models in the life-cycle application. On the other hand, the behavior of foreign BIM software is not transparent and fully understood. Extensive reliance is likely to pose a threat to urban and building information security in China. Basic requirements for creating BIM component types and attribute mounting are proposed in this paper, referring to the standard for Design Delivery of Building Information Modeling. Taking the type- attribute- manager function provided by the BIMBase platform as an example, it expounds the ideas and advantages of using domestic software to realize the whole process of BIM application, which includes creation- management- mounting- transfer of attribute. Besides, an engineering example is presented based on the scheme mentioned above. Practice has proved that flexible attribute- creation and attribute- mounting are provided this function with good user interaction experience. In addition, this function also has good data integrity and scalability in data exchange with external software.

Keywords: BIM; property definition; property mounting; custom properties; data exchange

0 引言

随着 BIM 理念在我国的推广,其承载的任务正在由起初的模型展示和可视化应用向整体模型数据交付转型。BIM 模型不仅是多样化几何与材质的表达,更是多专业、不同阶段场景下被赋予数据的载体,其关键部分是其被附加的信息^[1]。戴宇晨等

基于围堰方案的 BIM 模型属性确定了库内深水围堰方案^[2]。邢雪娇等阐述了利用 BIM 模型属性进行建筑专业设计合规性自动审查的方法^[3]。BIM 模型附带的信息在工程应用领域起着重要作用^[4]。然而,这些信息是无法孤立存在的,需要被挂载在相应的项目或模型单元上。模型单元由建筑构件几何实体与其属性组成,是组成 BIM 模型的基本体,以及数据录入、管理和传递的基本对象。换言之,模型单元由实体和属性组成^[5]。

不同于 CAD 软件,使用 BIM 软件创建模型时,

[收稿日期] 2022-11-15

[作者简介] 周轶泽(1995-),男,硕士,工程师

[联系方式] E-mail: zhouyize@cabrtch.com

模型构件已自动具备几何和部分工程信息,但大量设计信息需要用户自行定义与挂载^[6]。这些信息包括了多专业 BIM模型所带来的,以及模型在设计-施工-运维等不同阶段融入的海量数据,其形式与特征往往具有较大差别,为 BIM模型的信息全流程管理带来巨大挑战。过往对于 BIM模型信息挂载与传递研究以国外软件和平台为主,缺乏针对国产软件的系统研究,而国外同类产品常对我国的本土需求支持有限,或因信息安全原因不能大规模推广。因此,寻找一种以国产平台为支撑,同时具备多专业与多阶段的 BIM模型属性创建、管理、挂载和传递方法,成为 BIM在建筑信息化领域发展过程中亟待解决的问题之一。

本文以模型单元的属性定义和挂载环节为切入点,阐述了基于国产 BIM平台的信息创建-管理-挂载-传递的技术方案和预期优势,并以工程示例展示了前述方案的可行性和应用结果。

1 BIM 构件属性定义与挂载的基本要求

相比于更为通用的 CAD软件,BIM设计软件可以在模型构件被创建时自动赋予其类型、几何、位置、材料等参数,使得构件具备了一系列基本信息。然而,随着 BIM模型应用范围的扩大与应用阶段的增加,现有 BIM软件默认具有的构件类型和默认属性信息将不能满足实际工程需求。对此,BIM软件应具备以下四点能力:

(1) 创建并管理自定义类型和属性,为已有类型和属性建立关联关系。基于不同应用场景和专业类型,模型可能需要使用多种软件中尚不具备的构件类型以及属性。首先,软件应支持以统一的方式定义构件类型和属性。所有属性应具备默认值,但允许其为空值。其次,软件应提供快捷灵活建立构件类型与属性之间关联的方法,支撑两者交叉对应。

(2) 将类型赋予至模型中的构件,与类型相关的属性被跟随挂载。当自定义类型与属性及其关联关系被建立完成后,需将信息赋予至 BIM模型中的一个或多个构件。根据构件类型与属性的关联关系,当为模型构件指定类型时,其相关的所有属性同时被挂载在该模型构件上。如果修改构件类型,则原有构件属性将被调整后的类型所关联的属性代替。

(3) 允许修改构件属性的默认值,支持属性的批量调整。虽然构件属性在创建时均被赋予默认值,但默认值往往不能覆盖模型中同类型构件的所有情况。软件应支持修改部分构件的一个或多个属性值,且不应对其他同类构件的属性值产生影响。若此后再次修改前述属性的默认值,则模型中相应已被修改的构件属性值不跟随变化,而未被修改的构件属性值应跟随新默认值改变。

(4) 以标准形式导入导出类型和属性,并与外部软件进行数据交换。BIM模型属性对于全流程应用具有重要意义。一方面,软件应支持外部标准格式模型信息的导入。另一方面,在类型与属性被创建并挂载至构件后,软件应支持信息以特定的形式导出。为保持数据对接与交换过程中信息完整与正确,BIM模型信息传递需遵循相应标准,以 IFC、XDB格式为代表的可扩展架构能够支撑前述需求。

2 基于国产 BIMBase平台的属性定义与挂载方案的实现方法与优势

本章将以国产 BIM平台(BIMBase)所提供的"类型属性管理器"功能为基础,详细说明为 BIM模型创建-挂载-修改-导出自定义构件类型与属性的实现方法,并阐述该功能的优势。基于 BIMBase平台的 BIM模型属性定义与挂载的流程如图 1 所示。

2.1 类型与属性定义

BIMBase平台提供的"类型属性管理器"分为标准集和属性标签页。图 2 展示了标准集的基本架构。在创建构件类型和属性前,需指定其所属的标准集。任意标准集包含所有专业及其类型和属性,为 BIM模型适应不同场景,如不同应用阶段或应用地区等,提供了快捷切换的基础。标准集被设计为可扩展结构,其包含的专业可无限增加。模型初始标准集为"默认",通过下拉栏切换其他标准集。软件提供新建、删除、导入和导出标准集的能力。基于标准集文件的导入和导出能力,构件类型与属性可在多个基于 BIMBase平台的工程项目中快速传递。

完成指定标准集后即可创建构件类型和属性,并指定两者的关联关系。BIM模型常由多个专业组成,如建筑、结构、给排水等。在各个专业中,软件原生具备的构件类型称为"系统类型",而由用户创建的构件类型称为"自定义类型"。不同专业间的

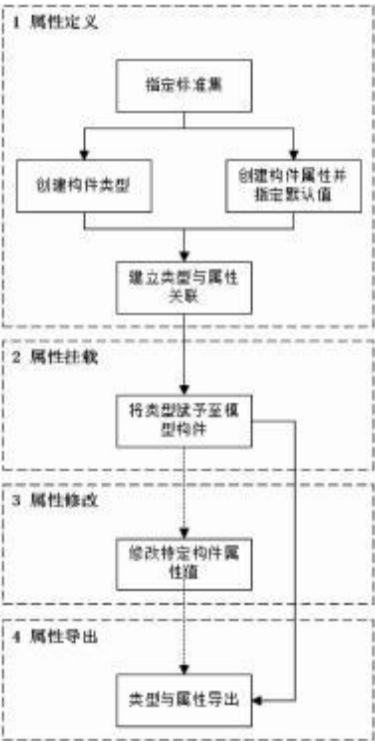


图 1 基于 BIMBase平台的 BIM模型属性定义与挂载的流程
Fig. 1 Thedefinition and atatchingprocesofatributesin BIM modelbased on BIMBaseplatform

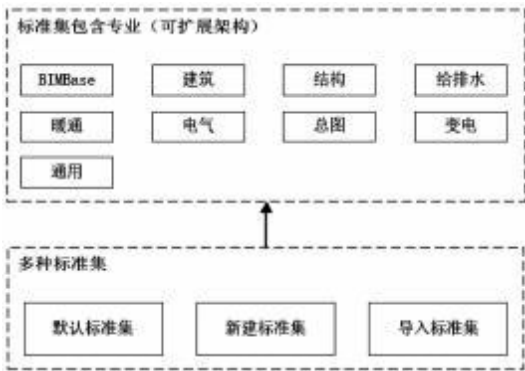


图 2 标准集架构
Fig. 2 Thearchitectureofstandard set

构件类型相互独立,因此在创建类型或属性前,需确定专业分类:接着,用户可新建自定义类型和属性,并定义属性默认值:考虑到功能的灵活与适应性,在新建属性时,软件提供了多种属性数据类型,包括文本、整数、数值、是否、枚举和附件:在建立构件类型与属性之间的关联时,可以“多对多”的交互方式指定,提升了关联交互的便利性:“多对多”指同时为多个构件类型关联多个属性的交互操作

方式:图 3 展示了在属性标签页创建自定义构件类型和属性后,接着建立两者间关联关系的效果:

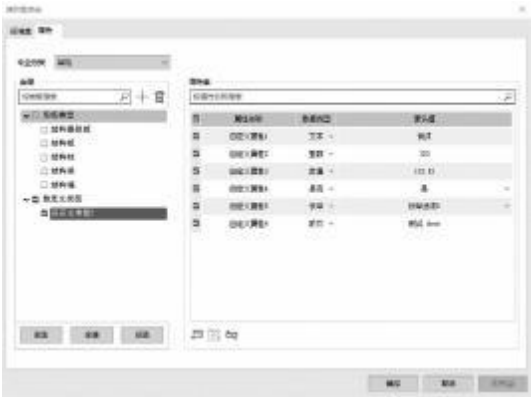


图 3 创建自定义构件类型和属性并建立两者之间的关联
Fig. 3 Createcustomcomponenttypesand properties-Establish connectionsbetween component typesand properties

基于国产 BIMBase平台的类型属性管理器功能可以灵活的方式,支持在“横向”、“纵向”两个维度为 BIM模型创建构件类型和属性:“横向”维度指 BIM模型在全流程的任意阶段,支持模型所包含多个专业的情形:“纵向”维度指在全流程中的不同阶段,对同一 BIM 模型提出不同描述要求的场景:该功能支持自由切换标准集,在不同专业分类下创建自定义构件类型和多种不同数据类型的属性,并以“多对多”的交互方式关联类型和属性,满足 BIM模型中构件类型和属性定义的灵活要求:

2.2 类型与属性挂载

完成构件类型和属性的定义后,需要将信息挂载至 BIM模型中的构件,以实现模型构件与附加信息的绑定: BIMBase平台支持便捷的类型与属性挂载操作:图 4 展示了将“自定义类型 I”和对应的属性赋予至立方体的过程:通过选中目标构件,在属性栏中选择构件类型,即可同时挂载构件类型和属性:软件支持批量属性挂载操作:当同时选中多个构件时,可使用与选中单构件类似的方法,为其赋予相同的构件与属性信息:

2.3 类型与属性修改

模型构件被赋予类型和属性信息后,其属性值将默认跟随该属性的默认值变化,便于属性批量管理,确保同一属性在多个构件中的数值一致性:然

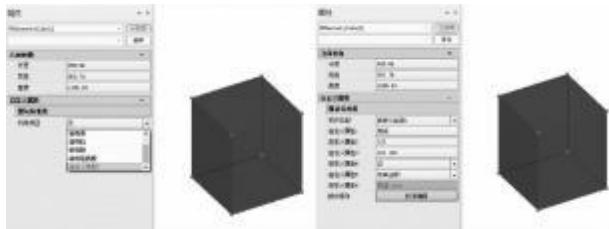


图 4 将类型和属性赋予模型中的构件
Fig.4 Assign types and properties to components in the model

而，当选中一个或多个模型构件并人为指定某个属性的数值后，被选中构件的该属性值将与默认值间断开联动关联，即修改属性默认值将不会影响前述构件的对应属性数值。该逻辑使得模型中被人为输入数值的特例构件属性得以保留，而其他属性数值仍跟随默认值联动，有效支撑了 BIM 模型的属性批量管理和特例数值的场景，增加了该功能对于不同项目类型的适应性。

2.4 类型与属性导出

BIM 全流程应用涉及多款软件，因此模型将不可避免地多次导入与导出。为保证模型构件以及所附带信息的完整与正确性，减少不同软件之间的信息壁垒，以标准、通用的数据格式进行数据交换成为 BIM 软件发展过程中必经之路。当前，国际主流的方案是采用 IFC 标准。IFC 标准基于 STEP 标准，作为在建筑行业的特例，其整体架构分为资源层、核心层、共享层、领域层^[7]，各层均含有数个对应模块。在这种架构下，上层的信息改动将不会对下层的数据造成影响，并具备良好的可扩展能力^[8]。作为国产平台，BIMBase 除了支持 IFC 格式导入和导出外，同时研发了自主的数据交换格式。参考 IFC 的方案和架构，其推出了公开、可扩展的 XDB 数据结构。基于 XDB 数据结构，BIM 模型构件附带的自定义类型和属性可自由扩展。并对于国内其他主流 BIM 软件，获得了良好的数据交换效果。

3 基于国产 BIMBase 平台的属性定义与挂载应用

本章将以一工程实例说明基于 BIMBase 平台的构件类型与属性定义、挂载、修改、导出的流程。某房建项目根据该地区规范要求，需在其提交

的 BIM 模型中包含特定的构件属性，以满足项目报审条件。项目使用基于 BIMBase 平台开发的 PKPM-BIM 建筑全专业协同设计系统软件建模，该软件可以满足以楼层为基础的常规房建项目的建模、属性挂载等需求。

以地区规范中建筑专业部分包含的“建筑内墙，构件为例。目前软件中没有提供与该名称完全一致构件，因此考虑使用与其相近的“建筑墙，构件建模，再使用属性挂载方式增加信息。针对规范要求“建筑内墙，具有的构件与属性名称，本项目采用的处理方法如表 1 所示。

表 1 规范要求与软件默认提供的构件属性对比和处理方法
Table 1 Comparison between specification requirements and software default component properties and solutions

规范信息分类	规范信息名称	软件对应信息	处理方法
构件分类	建筑内墙	建筑墙	调整构件属性“是否内外，为“内部”，软件识别为“建筑内墙，
属性名称	墙厚	墙体厚度	创建“墙厚，属性，使数值等于“墙体厚度，
属性名称	材质	建筑材料	创建“材质，属性，使数值等于“建筑材料，
属性名称	主要材料导热系数	导热性	创建“主要材料导热系数，属性，使数值等于“导热性，
属性名称	主要材料密度	密度	创建“主要材料密度，属性，使数值等于“密度，
属性名称	K 值	“	创建“K 值，属性，根据计算结果填入默认值
属性名称	耐火极限	耐火极限	“

注：①软件对应信息中“导热性，和“密度，属性来源于建筑材料功能。

通过表 1 的处理方法可知，在本实例中无需新建的构件类型，但应创建新的属性以满足规范要求。使用 BIMBase 平台提供的“类型属性管理器，创建所需属性，并建立该属性与“建筑墙，间的关联关系，如图 5 所示。根据建筑内墙的构造区别，其“主要导热系数，等属性均有差异，因此属性默认值为空，后期在模型中直接指定。属性创建与关联完成后，相应属性自动被挂载至构件。图 6 展示了模型某一“建筑墙，构件的属性栏，可见“K 值，等自定

义属性。在属性栏中输入被选中构件的属性数值，即可实现对该构件的属性定义，满足规范要求。



图 5 创建"建筑内墙"所需属性并建立关联

Fig. 5 Createpropertiesrequired by"interiorwall" and buildconnectionsbetween thecomponent typeand properties

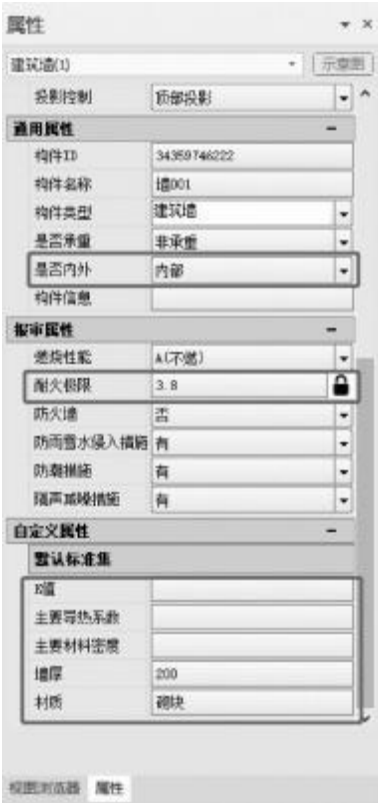


图 6 挂载自定义属性后的"建筑墙"属性栏

Fig. 6 Propertyshotof" wall" withcustom propertiesassigned

以上述方法创建构件类型和属性并挂载至模型构件，可满足该地区规范对于模型属性的所有要求。当模型属性修改完成后，可使用"数据导出"功

能将 BIM模型和属性信息以 XDB格式导出，以符合规范的交付格式要求。

4 结论

除几何与材质数据外,在不同阶段被附加在 BIM模型构件上的信息对于模型的应用具有重要价值。为保证前述信息的可用性，BIM 软件应能支持自定义并管理构件类型和属性、建立两者之间的关联关系、为构件属性设置默认值并支持批量调整、以标准且可扩展的数据格式导出模型并与外部软件数据交换。针对系列需求，国产 BIMBase平台提供"类型属性管理器"功能和 XDB数据格式标准，以便捷的操作、灵活的形式、可扩展的数据架构满足 BIM类型与属性创建、管理挂载和传递的要求。工程实例证明了该平台提供的功能具有良好的应用效果。目前平台提供的属性定义构件仍较为初级，例如缺乏对于 BIM 构件国标编码的支持、属性默认值不支持以公式表达实现自动化等，逐步完善后可以为该流程提供更好的支撑和体验。BIM模型信息的完整和传递畅通将提高模型的价值，对于建筑行业数字化专业具有积极意义。自主研发 BIM 平台和类型属性挂载手段符合国家及民族行业发展的内在需求和长远利益。

参考文献

[1] 宿霄男,杨晓.市政道路 BIM模型信息挂载与传递的方法探究[J].市政技术,2021,39(03):21-23.D01:10.19922/j.1009-7767.2021.03.021.

[2] 戴宇辰,拓瑜,刘全等.基于 BIM 的库内深水围堰方案多属性决策方法[J].水电能源科学,2022,40(05):96-100.

[3] 邢雪娇,钟波涛,骆汉宾等.基于 BIM 的建筑专业设计合规性自动审查系统及其关键技术[J].土木工程与管理学报,2019,36(05):129-136.D01:10.13579/j.cnki.2095-0985.2019.05.019.

[4] 于津苹,杨超然,周永杰等.BIM技术建筑外墙装饰工程量提取与应用[J].工程管理学报,2016,30(02):39-44.D01:10.13991/j.cnki.jem.2016.02.008.

[5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑信息模型设计交付标准:CB/T51301-2018[s].北京:中国建筑工业出版社,2018.

[6] 谢晓晨.论我国建筑业 BIM应用现状和发展[J].土木建筑工程信息技术,2014,6(06):90-101.D01:10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2014.06.017.

[7] 陈立春.IFC数据一致性研究[D].上海:上海交通大学,2016.

[8] 杨杰,周良.BIM信息流传递与重构在结构正向设计中的应用[J].中国市政工程,2019(03):24-27+133-134.

建筑行业企业数字化转型中的私有云建设实践

黄琢华, 刘昊, 董玮(北京构力科技有限公司,北京 100013)

[摘要] 建筑行业企业为了降本增效,逐步推进数字化成为了不可或缺的路径之一。建设符合企业业务需求的私有云,以及配套的数字化体系,安全体系,不仅可以解决企业的实际业务问题,也有助于推进企业数字化转型。本文阐述了企业建设私有云,推进数字化转型的典型实践案例,并给出了通过基础设施体系建设方案推动数字化建设的参考方案。

[关键词] 数字化;BIM;云计算;云存储;网络安全

Private Cloud Construction Practice in Enterprise Digital Transformation

Huang Zhuo" hua , Liu Hao, Dong wei(Beijing Glory PKPM Technology Co., Ltd., BeiJing 100013 , China)

Abstract: In order to reduce costs and increase efficiency, enterprises in the construction industry gradually promoted digitization as one of the indispensable paths. Building a private cloud that meets the business needs of enterprises, as well as supporting digital systems and security systems, can not only solve the actual business problems of enterprises, but also help promote the digital transformation of enterprises. This paper expounds the typical practical cases of enterprises building private clouds and promoting digital transformation.

Keywords: BIM; digitization; cloud computing; cloud storage; network security

0 引言

我国每年建筑业的工程规模都在全球处于领先地位,但建筑业的数字化建设水平不高,有研究表明^[1],我国建筑业数字化水平常年排在国内各行业末尾。建筑数字化水平不足导致项目结束以后数据的生命周期也同步结束,不能形成有效的数据资产,更难支撑高价值的数据应用。建筑业虽然占 GDP 的 1/4 左右,但企业利润低,成本高。据麦肯锡全球研究院统计,数字化可使建筑业成本节约 4%~6%。

建筑行业企业为了降本增效,逐步推进数字化成为了不可或缺的路径之一,如何做好数字化转型,如何在项目上建立起 BIM 模型,形成建筑领域数据资源,为数字化转型打好底座,就是一个亟待回答的问题。

同时,建筑行业数据的安全问题也成为了亟待解决的问题,行业内一般软件企业很难提供完善的

安全保障。

以云计算,云存储能力底座为基础,推动企业私有云平台建设,满足建筑行业企业个性化上云需求,将为建筑行业带来新的机遇。

1 建筑行业企业数字化要解决的实际问题

对于建筑企业数字化转型而言,一些领军企业已经开启了数字化转型的步伐,并取得了一定的成效。但是仍有很多企业,对数字化转型存在着困惑或在转型中遇到困难。这其中普遍存在三方面困境:一是转型能力不够、“不会转”,二是转型成本偏高、“不能转”,三是转型阵痛期比较长,“不敢转”^[2]。

建筑行业企业数字化目前面临的问题主要包括缺乏可靠的基础设施,缺乏数据互通与存储的方案,缺乏整体安全方案,缺乏企业人员数字化协同的环境等。

建筑行业企业目前的工作模式,大量使用分散的个人电脑与服务器,在大型企业中,不同楼层,不同工区的电脑少则几十台,多则几百台;这些设备涉及维护,管理的问题成为了企业的负担。中毒,数据丢失,应用软件报错,系统故障,硬件故障等问

[收稿日期] 2022-11-05

[作者简介] 黄琢华(1979-),男,硕士,高级工程师,系统架构设计师

[联系方式] E-mail: huangzhuohua@cabrtech.com

题时长出现,严重的影响了企业运转的效率。

要解决以上问题,首先需要建立一套健全的基础设施体系,在此之上,逐级解决数据互通,数据安全,协同工作等问题,最终推动企业全面数字化转型。本文参照行业内不同企业建设私有云,推进数字化转型的实践,给出了通过私有云和相关系统建设的过程实例。

2 私有云建设实践

2.1 整体架构

在 20 世纪 80 年代网格计算、90 年代公用计算,21 世纪初虚拟化技术、SaaS 应用的支撑下,云计算作为一种新兴的资源使用和交付模式逐渐为学界和产业界所认知。

通过使计算分布在集中式服务器中的资源,而非本地计算机或远程服务器中,使得企业能够将资源切换到需要的应用上,根据需求访问计算和存储资源。

其中,私有云的应用涵盖各行各业,任何一个单位都可以架设自己的私有云平台,涵盖桌面级应用,和数据中心的应用。

私有云平台可以实现硬件资源虚拟化和自动化;服务器、桌面,存储和网络等统一管理;根据业务要求具备弹性的伸缩能力;为应用程序屏蔽底层硬件架构的复杂性;降低了运维难度和管理的成本。

对于建筑行业企业,建立企业级 BIM 私有云平台首先需要建立私有云平台,企业可以将 BIM 应用所需要的图形工作站,高性能计算资源,高性能存储以及 BIM 软件部署在云端,以满足 BIM 相关工作。^[3]

下面,本文从不同层面描述典型建筑企业私有云的整体架构。

1) 私有云服务底座:该系统组成部分主要包括了虚拟化平台、云终端管理软件、云桌面管理软件、安全防护软件和服务器等内容。

服务器中按照建筑企业的需求,提前部署好相关的业务系统和 BIM 软件等,并制作好可以批量发放的模板,该系统部署完成后,发放云桌面即可提供服务,做到开箱即用。

服务器本身同时可以部署各种 BIM 私有云服务,支持协同工作,仿真服务,分析服务等,为企业

提供数字化赋能工具。

建筑行业软件对于计算能力的需求高,底座可提供高性能 CPU 和 CPU 算力资源,以及可动态分配的内存资源,可满足大体量建筑模型的编辑与展示。

2) 桌面与网络区:桌面资源区由一台或多台服务器组成,提供桌面服务,通过集成桌面安全管理,终端行为审计,终端数据保护等系统提供安全保障。

接入层和网络层利用企业的网络资源,局域网即可提供企业内的服务,需要公网访问可以通过公网 IP 访问或者通过企业自建的 VPN 提供服务。

目前建筑企业内经常需要配备高性能电脑,在使用云桌面后,企业的终端/外设可以采用云终端或普通 PC、笔记本等替代云终端设备,终端所需的计算能力,显卡 CPU 处理能力,操作系统,应用程序,数据等全由服务器提供,并在服务器上面直接运算操作,系统对于终端的配置要求很低,4 核心 2.0 GHz 主频,内存 2GB 以上即可满足使用要求。

3) 机房与部署环境:一般规模的建筑行业企业均具备独立机房,可按照实际的数量需要,容纳多台云计算和云存储服务器。一台云计算服务器,按照不同的云桌面规格,一般可以支持 10-20 个云桌面同时进行使用。服务器环境接入局域网网络,即可为网内的终端提供服务。

对于建筑行业企业,大规模 IT 设备运维经常成为企业中的短板。私有云系统可以实现 IT 资源的集中管理和按需分配,提高对系统的响应速度,还可以简化 IT 部署,提高数据保护能力和 IT 资源的利用率,降低能耗。同时,通过虚拟化技术,包括服务器,存储以及网络虚拟化;WAN 的优化,借助重复数据删除,压缩, TCP 加速以及应用加速等措施,该系统对云平台最脆弱的环节进行了有效巩固。^[4]

借助于虚拟桌面基础设施,企业管理员可以通过统一的管理界面来管理和调度所有虚拟桌面。虚拟桌面基础设施完全可以解决台式机面临的种种挑战,同时还可实现适用性、可管理性、总拥有成本以及灵活性的最优化。

通过集中管理平台,统一管理界面,建筑行业企业 IT 运维能力得到了极大提升,企业可以更加专注于核心业务。

2.2 数据的集成与流转

企业数字化转型中数据的集成与流转,是核心

问题,大多数建筑行业企业尚未建立起数据集中管理的体系,文档和模型散落于各个终端,硬盘或者光盘中,在需要使用时需要耗费大量的精力查找。

在建立企业私有云后,首先解决的问题在于数据集中存储和管理。超融合架构是一种新兴的数据中心基础设施解决方案,从根本上将核心计算、存储和网络功能集成到单一软件解决方案或设备中^[5]。使用超融合架构存储方案,可将企业数据集中存储在云存储介质中,实现高速存取,以及多副本备份,解决数据丢失的问题。同时,对于建筑行业数据模型容量大,从而产生的海量数据,可以利用磁带机等机制,实现低成本存储。

在集中存储的基础上,可以通过 BIM 数据标准的定义,数据存储格式与交换格式的制定解决数据检索和流转的问题。对于定义和含义明确的数据,如建筑构件数据等,可以采用关系型数据进行记录。通过梳理建筑数据的应用场景,不同场景中业务数据的共性需求、定义和管理方式,定义数据存储于交换格式,最终存储于数据库中,并通过支持 sqlite 等嵌入式数据库的数据库文件格式进行交换。对于建筑施工运维过程中产生的无法通过关系型数据库进行表达的大量运行数据以及低价值密度数据,通过非关系型数据库诸如 MongoDB, Hadoop 等进行存储,以满足数据扩展,海量数据存储,数据快速检索的需求。

在建立了存储体系,拥有大量内部数据的基础之上,建筑行业企业可以基于这些信息进行数据分析。对建筑行业进行统计分析能够直观反映生产运作的真实情况,从而帮助决策者根据实际情况的不断发展对企业的生产规划作出改进^[6]。建立一站式的分析平台,从而为建筑生命周期中的设计过程,施工过程,维护过程的优化提供数字化支撑,支撑企业精细化运营,发现业务的关键增长点,提升企业效益。

2.3 建立网络安全体系

建筑行业企业内大量数据整理上云之后,安全性将成为一个重点需要解决的问题。建筑行业大量核心数据资产都以电子图档形式存在,这些核心知识产权在原有数据管理体系下容易被盗取或泄露。

为解决安全问题,需要建设完整的网络安全体系,保障网络中的硬件、软件与信息资源的安全性;

保障图档等数据在网络中的保密性、完整性与不可否认性,防止图档等数据的泄露、破坏与伪造;保障合法企业员工能够正常使用网络资源,避免计算机病毒、拒绝服务、远程控制与非授权访问等安全威胁,提供及时发现安全漏洞与制止攻击行为等安全手段,为企业的数据资产提供有力的保障。

1) 网络安全管理制度

建立企业网络安全管理制度,是保障安全的基础。安全管理制度包括安全技术和设备的管理、企业部门与人员的组织规则等。管理的制度化极大地影响着整个网络的安全,严格的网络安全管理制度、明确的安全职责划分、合理的员工角色配置都可以在很大程度上降低其它层次的安全漏洞。

结合建筑行业企业的特点,对于图档等核心资产设立单独的管理制度,制定符合企业实际情况的网络安全管理制度,将为其它安全措施提供保障。

2) 数据分类分级

《数据安全法》的第二十一条明确规定了由国家建立数据分类分级保护制度,根据数据在经济社会发展中的重要程度,对国家安全、公共利益或者个人、组织合法权益造成的危害程度,对数据实行分类分级。

对于建筑行业企业来讲,除了《数据安全法》的规定,对于图档,供应商信息,建筑材料信息等重要数据,进行分类分级定义,使用不同措施管理不同重要级别的数据,可以兼顾安全性和使用的便利性。

3) 云安全体系

私有云具备按需服务、宽带接入、虚拟化资源池、快速弹性架构、可测量的服务、多用户等特征,在提供便利的同时,也带来了新的安全威胁。传统安全体系包括访问控制、数据传输和存储加密、身份认证、系统安全加固、漏洞扫描、安全配置管理等,由于云计算的新特点和面临的新威胁,需要在云计算环境下进一步发展。

建筑行业企业搭建私有云的同时,需要建立一套基于云的新安全体系,在企业办公场所及施工现场建立不同员工认证与授权体系,云资源申请流程管理,对不同职责的设计师或施工人员等建立分级权限控制,进行数据隔离和保护,服务器隔离,存储隔离,网络 VLAN 隔离,系统容灾与备份。最终以该体系保障基础设施层面的网络安全。

其中,云上数据安全存储是安全体系的基础,

可以使用基于代理的重加密方法来保障核心数据安全,这种加密形式由于使用了对称内容与公共密钥,在一定程度上可以保障云数据的安全存储。^[7]

2.4 建设协同工作环境

私有云平台建立之后,建筑行业企业员工可以通过各种终端设备接入,包括手机,平板,移动电脑等,而网络访问的方式为员工提供了灵活的工作处理能力,在接入互联网的区域,都可以通过网络进入工作环境,无论是在企业内,施工现场,异地出差等场景,都可以同时访问一套系统,便于现场与设计端的实时协同。

在安全体系搭建的基础上,员工在提高工作效率,实现异地协同,也保障了协同工作中的数据安全。

基于 BIM 技术,在协同工作平台中,各个专业的设计人员可以数据库中的建筑信息模型进行编辑,转换、共享等操作。^[8]

在数据集成与流转体系的支持下,协同工作的过程与成果,都可以通过数字化的方式沉淀,同时也可以通过数据分析技术,建立协同过程基线并不断优化,以提升工作效率。

3 结论

从建设建筑行业企业私有云与相关数字化体系的实践中,本文从整体架构,云基础设施,数据流转体系,安全防护体系,协同办公体系等方面,阐述了为行业建设数字化基础底座建设的一种方案。参考本方案思路,建筑行业企业结合实际业务情况和基础设施能力,可以设计更加贴合企业的数字化转型方案,为建筑行业数字化转型提供有力的推动作用。

参考文献

- [1] 刘燕,金珊珊.建筑行业数字化转型面临的机遇与挑战[J].山西建筑,2020.Liu Yan, Jin shanshan Opportunities and challenges faced by digital transformation of the construction industry[J].shanxi Architecture, 2020 (In Chinese)
- [2] 刘刚.数字化转型构筑建筑企业数字竞争力[J].中国建设信息化,2020(14):6.Liu Cang.Digital transformation builds digital competitiveness of construction enterprises[J].China Construction Informatization, 2020(14):6(In Chinese)
- [3] 徐迅,李万乐,骆汉宾,等.建筑企业 BIM 私有云平台中心建设与实施[J].土木工程与管理学报,2014,31(2):7.Xu Xun, Li wanle, Luo Hanbin, etc. Construction and Implementation of BIM Private Cloud Platform Center for Construction Enterprises[J].Journal of Civil Engineering and Management, 2014, 31(2):7(In Chinese)
- [4] STEPHENR.sM00T.私有云计算:整合、虚拟化和面向服务的基础设施[M].机械工业出版社,2013.STEPHENR.sM00T.Private Cloud Computing: Consolidation, Virtualization and service oriented Infrastructure[M].China Machine Press, 2013(In Chinese)
- [5] 冷迪.企业数据中心超融合架构的特点和发展趋势研究[J].科技创新与应用,2015(35):2.Lengdi.Research on characteristics and development trend of enterprise data center superfusion architecture[J].science and Technology Innovation and Application, 2015(35):2(In Chinese)
- [6] 夏冰.建筑业统计分析如何利用大数据[J].决策与信息,2015(30):1.Xia Bing. How to use big data for statistical analysis of the construction industry[J].Decision making and information, 2015(30):1(In Chinese)
- [7] 贾晓敏.云数据安全存储技术[J].电子技术与软件工程,2016(19):1.Jia Xiaomin. Cloud Data secure storage Technology [J].Electronic Technology and software Engineering, 2016(19):1(In Chinese)
- [8] 曹子昂,汪芹.基于 BIM 技术建筑协同平台的初步研究[J].山东工业技术,2017(22):1.Cao Zi ang, wang & in. Preliminary research on building collaboration platform based on BIM technology [J].shandong Industrial Technology, 2017(22):1(In Chinese)

工程设计企业数字化转型中 数据治理的探索与实践

王晋(中 国核电工程有限公司, 北京 100840)

[摘 要] 数字化已成为当下各企业谋求转型发展的必然选择,而数据治理则是企业实现数字化转型的必由之路。本文结合工程设计企业的数字化转型工作,就数据治理的责任分工、质保体系、数据分类和 目标导向等方面进行了有益的探索和实践,提出数据治理要坚持“ 以我为主,IT实施商为辅” 的原则;建立数据管理质保体系框架,保障数据高效运行;分类、分方法治理数据,避免数据孤岛;围绕业务需求和增长点治理数据,形成良性循环。本文为工程设计企业的数字化转型实践及数据治理提供了有价值的建议,具有借鉴意义。

[关键词] 数据治理; 数字化转型; 工程设计企业

Exploration and Practice of Data Governance in Digital Transformation of Engineering Design Enterprises

wang Jin(China Nuclear Power Engineering Co., LTD, Beijing 100840, China)

Abstract: Digitalization has become the inevitable choice for enterprises seeking transformation and development, and data governance is the only way for enterprises to realize digital transformation. Combined with the digital transformation of engineering design enterprises, this paper makes useful exploration and practice on the division of responsibility, quality assurance system, data classification and goal orientation of data governance. This paper proposes that data governance should adhere to the principle of "I am the main, IT implementation business as a supplement."; Establish a data management quality assurance system framework to ensure the efficient operation of data; Classification and classification methods to control data, to avoid data islands; Data is governed around business needs and growth points to form a virtuous circle. This paper provides valuable suggestions for the practice of digital transformation and data governance in engineering design enterprises, and has reference significance.

Keywords: data governance; digital transformation; engineering design company

0 引言

在企业数字化转型的道路上,不是简单地通过引进新技术、新设备就能够实现的,而数据挖掘、数据治理是企业实现数字化转型的必由之路。数据,成了数字化时代重要的能源,新的生产要素。工程设计一直离不开数据,当前越来越多的设计企业开始数据利用,谋求数字化转型,围绕着提升生产效率、数据应用效果等,探索开展了部分数据治理工作,但由于没有对设计全寿命周期的数据采集实现全量、全元素,且实现相互连接,形成了若干个数据孤岛,使得数字化转型效果不明显。难的不是没有

数据,难的是不知道如何采集数据、治理数据。企业在进行全量全要素梳理的时候容易陷入两个误区:

(1) 眉毛胡子一把抓,不管数据有用没用全部梳理了再说,导致数据笼统、臃肿;

(2) 坐在数据的金山喊穷,不能甄别出有效的数据。

数据找不到、看不懂、不准确、不及时,都会成为工程设计企业数字化转型路上的重大阻碍^[1-3]。因此,企业在进行数字化转型时,首先需要考虑的以及面临的第一个困难是,如何做好数据采集和治理工作。通过笔者所在核电设计企业数字化转型进程中,在数据治理方面进行的一系列有益探索和实践,为工程设计企业的数字化转型实践及数据治理提供思路。

[收稿日期] 2022-11-01

[作者简介] 王晋(1986-),男,硕士,高级工程师,注册电气工程师(发输变电专业)

[联系方式] E-mail:wangjin_cnpe@163.com

1 数据治理的定义

随着计算机技术的进步,越来越多的数据逐渐以规范的二进制形式存储在各种各样的信息化系统中,海量的各种类型的数据以结构化、半结构化和非结构化的形式存在的计算机系统之中,大数据时代随之而来,对大数据环境下的数据如何更好的使用和控制,逐渐成为一个相对比较新的一个研究领域。

伴随着数据的产生,企业对数据的使用和控制的研究,先后产生数据管理和数据治理两个概念。刘桂锋教授认为,数据管理主要是对数据本身内部的有效管理,是各行业传统的数据治理的方式。现代意义的数字治理不但包括对数据本身、而且也包括了对数据产生者、使用者和拥有者等相关利益关系人的主动管理,数据治理的范围更广,数据体系更完善,整体的效果较以往更明显^[4-6]。

数据治理工作是以治理专项的形式组织开展,通过统筹管理并协调人力资源、流程以及技术等要素,实现企业对数据的有效利用,企业通过对数据治理,主要实现的核心目标包括:1) 开发共用的、标准的数据定义;2) 定义持续开展数据治理所需的业务过程与规则;3) 建立可持续的数据治理架构、技术与组织;4) 基于统一的过程识别并消除数据质量问题;5) 监控、管理与报告数据质量^[7]。

2 数据治理不是 IT 问题 ■ 而是业务问题

数据治理工作,在大多数企业中,可能会被容易当成是一个 IT 问题,所以就交给 IT 部门去做。但事实上,数据治理不是 IT 问题,而是业务问题。比如,欧洲市场上售卖的鸡蛋,每一个鸡蛋上面都有一串编码,相当于这枚鸡蛋的身份证号。这串数字的每一位分别代表了不同的含义,第一位数字代表母鸡饲养的方式,后面的数字分别代表生产国编码、出产地区和农场代码等,每一位数字都有非常严格的指标和标准定义。此套欧洲通用的鸡蛋身份证号的数据规则,就算 IT 部门的技术再先进,也没有办法准确确定此业务,必须是那些走访农场的一线业务人员,了解母鸡饲养环境,了解农场经营状况之后,才能制定出这样的数据标准,才能完成给鸡蛋打上身份证号这项数据管理工作。因此,数据梳理工作必须应交由部门一线业务骨干来完成。工程设计企业在进行数字化转型过程中,尤其是在

对业务数据和业务流程梳理时,应始终坚持“以我为主,IT 实施商为辅”原则,确保梳理出的数据能够充分满足部门业务需求^[8]。

3 建立数据治理体系

数据是一种新的生产要素,是企业的重要资产,那就应该像实物资产一样,有成体系的管理办法,才能为数据治理的高效运行提供保障^[9]。企业的每一条数据,必须由对应的业务部门承担管理责任,而且必须有唯一的数据 Owner,该经验对于数据治理来说,至关重要。Owner 最基本的职责,就是要确保关键数据、元数据和主数据被识别、分类、定义以及标准化,确保数据的定义在企业范围内是唯一的,这是确保数字化数据唯一性的关键一招。除此之外,数据 Owner 还要保证自己管理的数据的质量,要关注自己的数据服务,去满足企业其他部门对自己业务领域数据的需求。如果数据问题出现争议,任何需要对数据进行修改的,均需要由负责进行裁决或认可。尤其是在企业数字化设计平台用户测试环节,由于大量的测试人员加入其中,对平台功能的操作需求不同、认识不同,导致提出的测试问题庞杂,甚至测试人员彼此意见相悖,此时就需要 Owner 对每条测试意见进行解释澄清或修改确认,避免平台功能开发的反复。

确立了数据 Owner 机制后,还有一个问题值得关注。数据 Owner 可能由于存在业务短板和缺乏数据思维等问题,导致在数据管理上水平参差不齐。针对此问题,笔者所在企业在业务部门内部构建了数字化管控体系,不仅仅是在数据管理方面,还在业务需求分析、业务流程梳理、功能模块开发等多个方面,采取模块负责人(数据 Owner)、数字化开发核心组和技术专家组构成的数字化技术管理和决策团队,该团队旨在帮助数据 Owner 从专业的视角,按规范去定义和治理数据。与此同时,还设有企业级的管控组织,由各个专业领域的专家组成的委员会和数字化工作组,专门针对单个业务部门确定不了的问题进行研究讨论。这样就建立起了套较为完备的数据管理质保体系框架。

4 避免数据不分类的陷阱

企业数据可以分成结构化数据、非结构化数据、内部数据、外部数据等。对于不同种类的数据,

企业不能想着用"一招鲜"的方式去做数据治理,不同的数据,对数据精度的要求不同,治理的成本、方法也就不一样。比如,主数据是最为重要的一个数据类别,如表 1 所示,对它的精度要求就很高。一旦主数据出错,治理的成本就会高出很多倍。在当企业内各业务领域主数据一旦确定下来后,各业务领域数字化平台在开发过程中,应严格按照确定下来的主数据执行,否则,工程设计企业数字化设计平台将无法实现协同设计,如同一盘散沙,形成若干个数据孤岛^[9]。

表 1 电气设计主数据示例

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
电流	I	安培	A
电压	U	伏特	V
有功功率	P	瓦特	w
无功功率	Q	乏	Var
视在功率	s	伏安	VA
频率	f	赫兹	Hz
电量	g	库伦	C

表 2 用电负荷数据示例

序号	设备位号	部件号	设备名称 (中文)	设备名称 (英文)	物项功能分级	电源系列	电源类型	负荷类型	柴油加备用	负荷允许最大断电时间
是否可为空	N	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N
数据格式	CHAR (X) ①	CNAR (X)	VARCHAR (X) ②	VARCHAR (X)	ENUM③ (' ? , , , ? , , ? ,)	ENUM (' ? , , , ? ,)	ENUM (' AC , , DC , , UPS ,)	ENUM (' ? , , , ? , , ? ,)	ENUM (' 1 , , , 2 , , , 3 , , , 4 , , , 5 , , , 6 ,)	INT④
数据源	全专业	全专业	全专业	全专业	全专业	全专业	全专业	全专业	全专业	全专业
应用模块	MV/ LV/ DC	MV/ LV/ DC	MV/ LV/ DC	MV/ LV/ DC	MV/ LV/ DC	MV/ LV/ DC	MV/ LV/ DC	MV/ LV/ DC	MV/ LV	MV/ LV

注:①定长字符串型数据;②可变长字符串型数据;③枚举型数据;④整数型数据。

作的同事得到正反馈,也会让部门内部其他同事看到数据治理带来的收益,对整个部门的数据治理而言,就会形成良性循环。

6 结语

数据的挖掘和治理,是每个企业实现数字化转型的必由之路。本文结合工程设计企业在数字化转型过程中的有益探索和实践,总结提出了以下几点可供借鉴的经验:

- (1) 数据治理工作必须由一线业务人员来完成,坚持"以我为主,IT实施商为辅"原则;
- (2) 应建立一套包括数据 Owner、数字化技术决

5 避免"埋头苦干"的陷阱

数据治理,意味着海量的数据需要梳理和管理,但不能简单地把它当成是脏活、累活,而是要盯着价值干,紧盯业务痛点,哪里问题最大,就从哪里开始。比如,低压用电负荷的管理一直是笔者所在业务部门的痛点,几十份用电资料单,几千个用电负荷,几万个用电参数,都由设计人员通过手动一一录入 Excel 表,费时费力。与此同时,设计过程中用电负荷资料会发生多次的修改,导致设计人员需要根据修改后的用电资料同步修改负荷清单、馈线表和系统图等多份文件,更新不及时就会造成设计错误,导致大量的现场改单产生^[7]。因此,通过对用电负荷资料单中的每个主数据进行规范定义,如表 2 所示,使得数字化设计平台能够对工艺用电负荷资料实现数据自动录入、更新和管理,解决了低压电气专业长久以来的业务痛点,大幅地解放了人力,提高了生产效率,降低了设计错误率。这些看得见的价值的形成,不只是能够让从事数据治理工

策团队在内的数据管理质保体系框架,为数据治理的高效运行提供保障;

(3) 企业数据应进行合理分类,不同的数据有不同的治理方法,且应严格执行,避免出现数据孤岛;

(4) 应紧紧围绕业务需求、业务增长点开展数据梳理和管理工作,形成数据治理的良性循环。

参考文献

- [1] 王东宁.A 电力公司数据治理问题研究[D].济南:山东大学,2020.
- [2] 闫卉,罗欣伟,赵天翔.大型企业数字化转型问题思考及建

议 — 基于 CE 数 字 化 转 型 案 例 [J]. 数 字 经 济 , 2021 , 2 : 183 -185 .

[3] 朱永胜 . 国网重庆电力公司 PMS2.0 数据治理体系研究与实施 [D]. 重庆: 重庆理工大学 , 2017 .

[4] 张宁 , 袁勤俭 . 数据治理研究述评 [J]. 情报杂志 (5) : 133 -138 + 167 .

[5] 张明英 , 潘蓉 . 《 数据治理白皮书 》 国际标准研究报告要点解读 [J]. 信息技术与标准化 , 2015 (06) : 54 -57 .

[6] 刘桂锋 , 钱锦琳 , 卢章平 . 国内外数据治理研究进展:内涵 、 要素 、 模型与框架 [J]. 图书情报工作 , 2017 , 61 (21) : 137 -144 .

[7] 姜礼瑞 , 王印辉 , 刘峰 . 田湾核电站信息化建设中的数据管理 [J]. 中国核电 , 2014 , 1 (4) : 337 -338 .

[8] 李宠一 . 数字化助力勘察设计企业转型发展 [J]. 工程建设与设计 , 2021 , 1 (1) : 225 -229 .

[9] 申屠军 . 核电数字化设计的数据管理系统研究 [D]. 上海: 上海交通大学 , 2020 .

基于数字技术的不同建筑运行方案产生的减碳力度差异研究

王瑶, 刘平平, 姜立, 朱峰磊, 杨伟(中国建筑科学研究院北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 在“2030 碳达峰”“2060 碳中和”的双碳目标下,作为碳排放大户,建筑行业的减碳步伐正在加速。数字技术在应对气候变化、推动碳减排的进程中扮演着重要角色,其中 BIM技术对建筑碳控制意义重大。本文通过分析建筑业碳排放与数字化技术的发展背景,阐述其研究的必要性及前瞻性;通过数字化管控建筑全生命周期尤其是运维阶段,节能增效成果明显;最后运用 BIM三维模型进行了建筑实际案例核算,通过与 80 年代居住建筑对比,结果显示在建筑运维阶段降低了 38.50% 碳排放量,整体降低了 27.70%的碳排放量,为建筑业碳排放提供实践经验与理论基础。

[关键词] 数字技术; 建筑碳排放; 全生命周期

Digital Transformation Contributes to The Construction Industry's Strategic Goal of Dual Carbon Computing and Research of Implementations

wang yao, Liu Ping-ping, Jang Li, Zhu Feng-lei, yang wei(Beijing GloryPKPM Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: Under the double carbon targets of 2030 carbon peak and 2060 carbon neutral, as a major carbon emitter, the pace of carbon reduction in the construction industry is accelerating. Digital technology plays an important role in addressing climate change and promoting carbon emission reduction, and BIM technology is of great significance to building carbon control. This paper explains the necessity and forward-looking of its research by analyzing the development background of carbon emissions and digital technologies in the construction industry; Through the digital control of the whole life cycle of the building, especially the operation and maintenance stage, the results of energy conservation and efficiency are obvious. Finally, the BIM3D model is used to calculate the actual building case, and through the comparison with the residential buildings in the 1980s, the results showed that the carbon emissions were reduced by 38.50% in the operation and maintenance stage of the building, and the overall carbon emissions were reduced by 27.70%, providing practical experience and theoretical basis for the carbon emissions of the construction industry.

Keywords: digital technology; building carbon emissions; product life cycle management

0 引言

在全球变暖的大背景下,相较于部分行业发展停滞,开启数字化转型的行业却游刃有余,云监工、云办公、云运营等数字化模式快速发展,让各行各业都意识到信息畅通和供应链畅通的重要性。建筑业同样需要把握契机,迫切需要加快推进数字化转型与智能建造,以信息化、低碳化为基点,不断挖掘数字化转型新局面,刺激新技术研发与企业新

服务。

1 数字化助力建筑业节能减排

1.1 建筑业碳排放情况

随着全球经济的发展,随之带来的环境问题对人们的影响也越来越严重,全球气候变暖已是一个不争的事实。为应对过度碳排放所引发的全球气候变化,我国提出的“2030 碳达峰、2060 碳中和”的目标,如表 1 所示,2020 年后我国出台的相关政策。根据国家发改委能源所的研究,相比其他领域,建筑领域减碳潜力巨大,建筑业造成的温室气体排放占全球总量的三分之一,低碳建筑的发展已成为必然的趋势,对建筑碳排放的研究势在必行。

[收稿日期] 2022-11-08

[作者简介] 王瑶,1987,女,博士,清华大学,工程师,主要从事建筑行业数字化转型方面的研究

[联系方式] E-mail:147138617@qq.com

表 I "30.60" 双碳目标后出台的相关政策

TableI Relevantpoliciesintro4 uce4 aftert上 e" 3 0 . 6 0 " 4 oublecarbontarç et

序号	时间	会议/发表	内容
1	2020.09	总书记在《联合国大会》提出"2030 年碳达峰、2060 年碳中和" 目标。	中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施, 二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和。
2	2020.10	《 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》	到 2035 年,碳排放达峰后稳中有降:" 十四五" 期间, 支持有条件的地方率先达到碳排放峰值,制定二〇三〇年前碳排放达峰行动方案:推进碳排放权市场化交易。
3	2020.12	《 中央经济工作会议》	将做好碳达峰、碳中和工作作为 2021 年八大重点任务之 一,要求抓紧制定 2030 年前碳排放达峰行动方案,支持有条件的地方率先达峰:加快建设全国用能权、碳排放权交易市场,完善能源消费双控制度。
4	2021.07	中办国办《 关于推动城乡建设绿色低碳发展的意见》(中办国办 2021【37】号)	落实碳达峰、碳中和目标任务,推进城市更新行动、乡村建设行动,加快转变城乡建设方式,促进经济社会发展全面绿色转型, 为全面建设社会主义现代化国家奠定坚实基础。
5	2021.08	《 城乡建设领域碳达峰实施方案》(征求意见稿)	优化城市布局结构,全面推进绿色建筑,建设绿色低碳住宅优化城市建设用能结构。
6	2021.09	《 关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》(中发 2021【36】号)	坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路,确保如期实现碳达峰、碳中和。

建筑业的碳排放量占比较大。随着中国城镇化建设进程的推进,中国的建材消耗量、新建建筑面积已经位居世界各国之首。2018 年我国民用建筑建造相关碳排放量总量达 18 亿吨二氧化碳,运行阶段化石能源消耗相关的碳排放量达 21 亿吨二氧化碳,建筑业用能约占全国能源消费总量的 22%,是我国碳排放和能耗大户,要想实现"双碳"目标,建筑减碳是重要的技术手段^[1]。

建筑业的碳排放发展途径尚不明确。对于未来的建筑碳排放趋势,行业是否能够如期达峰,如何制定降碳减排的技术路线,尚没有明确的路径与技术路线。这就需要先对排放发展形势做出合理和较为准确的预估和评判之后,才能够将减排任务做到位。因此,找到预测建筑业在不同控制形势下碳排放量的计算方法,明确出减碳技术路径是当下研究的重点。

我国建筑领域实现碳中和面临很大的挑战和压力:第一,增长动力强,减排压力大。与发达国家相比,到 2060 年我国城市化率还将再提升 20%左右,与此同时我国人均建筑面积建筑也存在较大的提升空间,推动建筑总量还将持续增加。通过预测模型分析,在不采取任何干预措施的前提下,我国建筑运行碳排放还将持续上升,并在 2040 年以后基本会停留在 28 ~29 亿 tCO₂/年的平台上。第二,既

有建筑总量大,碳排放强度高,改造技术难度大,且成本高。我国建筑节能标准经过三次系统性的提升,已经完成"30% ~50% ~65%" 三步走战略,严寒和寒冷地区居住建筑已经率先实施节能率 75% 标准,新建建筑能效基本与发达国家持平,并开展了国际最高节能水平的近零能耗建筑的推广工作和零碳建筑的研究工作。但是大量既有建筑建造早于 2000 年,建筑能效依然较低,受制于当时技术、经济等因素的限制,建筑的功能、环境、设施以及工程质量等都不能满足碳中和的需求,部分还存在权责不清、维护不到位等问题,这些既有建筑还将使用相当长的时间,但改造和能效提升在技术上存在一定难度,难以通过改造的手段满足碳中和的要求,同时缺乏市场化的改造手段,现有的政府主导的改造模式难以持续。

1.2 数字技术助力建筑业节能减排

"十四五" 既是我国"双碳"发展的关键时期,也是我国新型基础设施建设的重要窗口期,我们既要积极推动新型基础设施的节能降耗,更要充分发挥信息基础设施绿色赋能作用,推动数字化和绿色化深度融合,助力经济社会发展开启绿色低碳之路。

1.2.1 数字化双碳目标管理,实现节能减排精确规划

首先,数字化转型已经成为促进可持续发展的

最佳工具。中国"十四五"规划和 2035 年远景目标纲要中,碳中和路线图非常明确,并将数字经济、新能源、创新等要素作为实现碳中和目标的关键支柱。

政府和相关行业都已经意识到,数字化是促进可持续发展的最佳工具,数字化转型加速。其次,通过数字化技术提升能源使用效率,对于大多数企业来说仍是实现可持续发展的最佳途径。

1.2.2 数字技术在工程项目建设全过程的集成和创新应用

推进覆盖建筑工程全过程的数字化体系建设,促进数字技术在工程项目中的深度应用,打造涵盖科研、设计、生产、施工、运维等全产业链融合一体的绿色建造产业体系,实现建造活动绿色化、建造方式工业化、建造手段信息化、建造管理集约化,建造体系产业化,提高建造效率与质量。

2 碳排放研究现状

2.1 数据来源

为了得到建筑领域碳排放和数字化相关的国内研究进展与最新研究趋势,在 CNKI限定检索词为"碳排放 * 数字化"。年限设定为 2012 年~2022 年进行检索,限定期刊来源为 CscI,得到检索结果为 539 篇文献,限定其领域为建筑科学与工程、环境科学与资源利用、经济体制改革;将检索所得文献导出为 Refworks格式文本文件作为数据分析样本。

2.2 国内研究现状

CNKI核心期刊与 CscI发文量统计如图 1 所示,涉及"数字化碳排放"的相关近年来呈发文趋势,可以看到 2012~2020 年之间,发文量趋于每年发文量趋于平稳阶段,在 2020 年呈现了发文趋势的拐点,在 2020 年之后开始呈倍数增长。这一现象表面碳排放与数字化在近年来将会成为研究"热点"。

2.2.1 高频关键词

最终生成的关键词共现图谱如图 2 所示,其中"碳排放"关键词中心度最高,围绕其展开的研究有数字经济、碳中和、数字技术、人工智能、物联网、碳排放管理等多个角度。

2.2.2 关键词实现

2012~2022 年样本文献的关键词实现结果如图 3 所示。观察可得,截至 2012 年~2016 年,关键词主要集中在能源行业。2021 年起,出现了碳中



图 1 2012~2022 年发文统计

Fig.1 statistics issued from 2012 to 2022



图 2 关键词共现图谱

Fig. 2 Keywords are represented in the map

和、数字金融、数据中心、碳管理等研究热点词汇。随着研究的不断深入,学界开始关注碳排放与数字技术的融合。自 2016 年以来,碳中和、数字金融、碳减排、数据中心、绿色低碳发展、碳管理等逐渐成为研究新的聚焦点。

通过以上数据及分析可以看出,目前国内关于"碳排放"和"数字化"的研究呈增长趋势,且关于"数据中心"和"碳管理"的研究较多。

3 全过程智慧低碳管控

3.1 数字化规范

在传统建筑项目建设全过程过程中,数据信息难以流畅衔接交互,为保证工程项目上下游数据信息有效传递,BIM平台、CIM平台逐渐应用与推广,促使建筑设计、生产、施工及运营阶段数据互认互通、精准抓取,需要建立统一格式的数字化规范,有效提高建筑设计精度与建筑质量。

3.2 数字技术与建设全过程低碳化统筹发展

3.2.1 绿色低碳管理体系

创建符合住建系统管理需求的绿色低碳管理

Top 18 Keywords with the Strongest Citation Bursts



图 3 关键词突现

Fig.3 Keywordsemerge

体系离不开对绿色低碳数据的管理和监控。

首先需要对建筑全生命周期碳排放进行量化，合理的参数及模型对于建筑能耗影响较大，因此需要选择合适的碳排放量计算工具。尤其是在建筑行业数字化转型的发展趋势下，推行 BIM平台碳排放数字化非常必要。然后创建绿色低碳量化数据的监测平台，有利于监管碳排放数据，为双碳目标的实现提供研究数据研究基础。例如各地在推行 BIM审查和设计以及 CIM基础平台的建筑，将 BIM审查后的真实有效的设计数据对接至 CIM平台上，完成数据的生产到数据的过程监测。

3.2.2 行业碳排放计算技术体系

完成符合住建系统管理需求的绿色低碳管理体系，离不开准确有效的碳排放计算工具。目前 PKPM 的 BIMBase平台已经搭建了碳排放计算环境，基于完全自主的国产化 BIM 平台，完成碳排放的计算。BIMBase平台的碳排放计算工具主要依据《建筑碳排放计算标准》CB/T51366 -2019 [2]，调用业界公认的 DOE-2 内核，匹配完整的逐时气象数据库，完成从建材生产运输、建筑建造、建筑运行和建筑拆除的全寿命碳排放量的计算。

3.2.3 项目全过程绿色低碳目标

建筑运行阶段碳排放量主要包含空调采暖、照明、电梯、生活热水等系统产生的二氧化碳量，其中可再生能源、绿化碳汇系统在建筑运行期间的减碳

部分应从建筑运行碳排放量中扣除。建材生产阶段应考虑到各建材的用量及生产因子，建材运输在考虑各建材用量的同时，应当按照实际运输距离和运输方式来确定运输碳排放量。建筑建造和拆除的碳排放量则是要考虑施工时使用的各类台班的能源用量，与对应的能源因子。

4 居住建筑碳排放数字化管理案例

重庆某居住建筑项目，总建筑面积 17 593.97 m²。本住宅共 238 户，地上共 30 层，一层层高 5.9m，标准层高 3 m。本项目地处夏热冬冷地区，建筑外墙采用 35mm聚苯颗粒保温，屋顶采用 45mmXPs 板，加强保温效果。对于外窗部分，窗框采用塑钢型材，玻璃采用中空玻璃 6 + 12A+6。

4.1 建材生产和运输阶段碳排放量

结合工程主要材料用量表和工程预算表统计建材用量，建材生产阶段碳排放量达到 12 914 071.11 kgCO₂ e，各阶段占比如图 4 所示，其中生产混凝土、钢材钢筋和水泥的碳排放量占比较大，分别为 41.70%、21.17%和 15.11%。

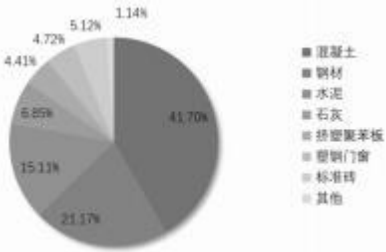


图 4 生产阶段碳排放量占比

Fig.4 Carbon emissionsatthe production stage

建材运输方式按重型柴油货车运输(30t)。建材运输阶段碳排放量达到402 958.66 kgCO₂ e，各阶段占比如图 5 所示，其中混凝土、中砂运输的碳排放量占比较大，分别为 68.98%和 17.54%。

4.2 建筑运行阶段碳排放量

本项目运行阶段碳排量包含空调采暖系统、照明系统、插座设备、生活热水、通风机和电梯。建筑寿命为 50 a，电网碳排放因子取 2014 年公布华中区域电网因子0.972 4，燃气因子取 2.16kgCO₂ e/m³。

按照重庆市《居住建筑节能 65%(绿色建筑)设计标准》DBJ50 -071 -2007 [3]，当年 12 月 1 日至次年 2 月 28 日为供暖期，6 月 1 日至 9 月 30 日为空调期；

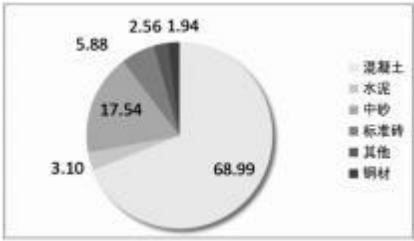


图 5 运输阶段碳排放量占比饼图

Fig. 5 Piechart of carbon emissions in the transportation phase

住宅均设置热泵型房间空调器，冬夏季性能系数取 3。根据 PKPM 的 BIMBase 平台碳排放软件，计算出该住宅项目全年采暖空调能耗，全年采暖空调系统的碳排放量(表 2)，全年采暖空调系统碳排放总量达到 401 881.53 kgCO₂ e。

表 2 全年采暖空调能耗和碳排放量

Table2 II eatinç an4aircon4itioninç enerçy consumptionan4 carbonemisionstş rouç ş outtş eyear			
分项	能耗 / kwh	碳排放因子 / (kgCO ₂ e/ kwh)	年碳排放量 / kgCO ₂ e
采暖	208 768.67	0.972 4	203 006.655
制冷	204 519.62	0.972 4	198 874.878
合计	413 288.29	"	401 881.53

本案例中同时计算了照明系统、插座设备、生活热水、通风机和电梯的碳排放量，具体结果如表 3 所示，部分参数按照对应标准中计算^[2,4~6]。全年建筑运行阶段碳排放量达到 813 207.29 kgCO₂ e，其中空调采暖系统、插座设备碳排放量占比最大，分别为 49.02%和 35.20%。

表 3 建筑运行阶段碳排放量汇总

Table3 summary ofcarbonemisions4 urinç tş e constructionş operationalş ases			
项目	年碳排放量 / (kgCO ₂ e/a)	单位面积碳排放量 / (kgCO ₂ e/m ²)	占比 / %
空调采暖	401 881.53	1 142.10	49.42
照明	31 470.82	89.44	3.87
插座设备	286 208.49	813.37	35.20
生活热水	69 741.62	198.20	8.58
通风机	2 571.41	7.31	0.32
电梯	21 333.42	60.63	2.62
合计	813 207.29	2 311.04	100

4.3 建筑建造及拆除阶段碳排放量

建造和拆除阶段台班消耗量分别根据李岳岩等^[4]著作和欧阳磊^[7]提供的数值进行估算。建造阶段碳排放量达到 113 418.68kgCO₂ e，拆除阶段碳排放量达到 98 895.28kgCO₂ e。

4.4 全生命周期碳排放量汇总

该住宅 50 年碳排放量达到 54 189 708.23kg CO₂ e，单位面积碳排放量为 3 080.02kgCO₂ e/m²，年均碳排放指标达到 61.60kgCO₂ e/m²，见表 4。运行阶段占比最大，75.03%，其次为建材生产阶段 23.83%。

表 4 建筑全生命周期碳排放量汇总

Table4 summary ofcarbonemisionstş rouç ş outtş elifecyleofbuil inç s			
阶段	50 a碳排放总量 / kgCO ₂ e	单位面积碳排放量 / (kgCO ₂ e/m ²)	占比 / %
建材生产阶段	12 914 071.11	734.01	23.83
建材运输阶段	402 958.66	22.90	0.74
建筑建造阶段	113 418.68	6.45	0.21
建筑运行阶段	40 660 364.50	2 311.04	75.03
建筑拆除阶段	98 895.28	5.62	0.18
合计	54 189 708.23	3 080.02	100.00

4.5 减碳比例核算

本计算案例同时研究了依据重庆市《居住建筑节能 65%(绿色建筑)设计标准》DBJ50 -071 -2020^[8]优化设备性能和围护结构热工参数之后的碳排放量。

计算依据执行《居住建筑节能 65% 设计标准》DBJ50 -071 -2007 时，如图 6 所示，与 80 年代居住建筑碳排放量相比，空调采暖系统碳排放量节约 41.61%，运行阶段及全生命周期减碳量分别达到 26.04%和 17.24%，建材生产阶段的碳排放量增加 30.61%。执行 20 重庆标准时，与 80 年代碳排放量相比，空调采暖系统碳排放量节约 61.51%，运行阶段及全生命周期减碳量分别达到 38.50%和 27.70%。

5 总结与展望

综上所述，目前国内学界关于碳排放与数字化的研究趋势呈现递增状态，主要体现在碳中和、数字金融、碳减排、数据中心、绿色低碳发展、碳管理



图 6 减碳比例

Fig.6 Carbon reduction ratio

等方面。

在此基础上 ,未来相关研究将从以下三方面展开:第一 ,持续利用数字化技术对建筑全生命周期进行碳排放管理;第二 ,建筑全生命周期数字化管理可实现大量建筑业减碳 目标; 第三 ,运维期间进行用能管控可大量减少建筑能耗消耗 。

参考文献

[1] 胡一鸣.京津冀地区建筑行业碳排放强度影响因素研究 [D].北京:北京交通大学,2019 .
[2] CB/T51366 -2019 ,建筑碳排放计算标准 .

[3] DBJ50 -071 -2007 ,居住建筑节能 65 %(绿色建筑)设计标准 .
[4] 李岳岩 ,陈静 .建筑全生命周期的碳足迹[M] ,中国建筑工业出版社 ,2020 :1-290 .
[5] CB50015 -2019 ,建筑给排水设计标准 .
[6] CB50555 -2010 ,民用建筑节能节水设计标准 .
[7] 欧阳磊 .基于碳排放视角的拆除建筑废弃物管理过程研究 [D] .深圳:深圳大学 ,2016 .
[8] DBJ50 -071 -2020 ,居住建筑节能 65 %(绿色建筑)设计标准 .

基于模型自动评价技术的 B1M 培训考核平台研究

付亚静, 杨华, 赵卫, 赵骞, 白文娟(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] BIM技术发展对建筑行业应用和高校教学提出新的挑战, BIM模型审查与评价始终是一项耗时耗力的工作, 当前 BIM三维模型的评分主要还是通过人工查阅对照答案来进行判分。本文研究建立基于 BIM 的培训考核平台, 实现培训与考核、建模与评分、软件与资源共享、平台数据的综合管理, 通过对三维模型计算技术的研究实现对 BIM模型机器智能自动化计算和评价, 大大减少 BIM模型考核人工评分工作。该平台的建立为城市的数字化建设、BIM技术人才的培养、工程建设行业 BIM应用能力的提升带来助力。

[关键词] BIM; 标准数据格式; 评分引擎; 培训考核

Research on BIM Training Assessment Platform Based on Automatic Model Evaluation Technology

Fu ya-jing, yang Hua, Zhaowei, Zhao0ian, Baiwen-juan(Beijing GloryPKPM TechnologyCo., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: ThedevelopmentofBIM technologyposesnewchallengestotheapplication oftheconstruction industryand theteachingin collegesand universities. Thereviewand evaluation ofBIM modelsisalwayasalargeworkload. ThescoringofBIM three-dimensional modelscan onlybedetermined bymanuallylookingup theanswers. ThispaperestablisheaBIM-based trainingand asesment platform, achievethecomprehensivemanagementoftrainingand asesment, modelingand scoring, softwareand resourcesharing, platformdata. Through theresearch ofthree-dimensionalmodelcalculation technology, theintelligentautomation resultcalculation and evaluation ofBIM modelmachineisrealized, which greatlyreducetheworkload ofartificialscoringin BIM modelasesment. The establishmentofthisplatformwilhelpthedigitalconstruction ofthecity, thetrainingofBIMtechnicaltalents, and theimprovementof BIM application abilityintheengineeringconstruction industry.

Keywor4 s: BIM; XDB; scoringengine; trainingasesment

0 引言

BIM技术的应用对建筑工程及教学行业有重要影响, 在工程报申报建方面, 人工 BIM模型审查面临效率、全面性、客观性、一致性等一系列问题^[1-2], BIM教学及 BIM 技术的考核方式也发生着新的变化, 虚拟仿真技术^[3-4]、人工智能技术^[5]在工程项目及 BIM教学实训中皆已应用, 但 BIM模型在考核或大赛评分过程中始终是一项较大的工作量, 现阶段在线考试系统已经广泛应用, 目前大多数的题目类

型都可以通过系统自动判分, 既能保证准确性又能减少人工判卷工作量, 但对于 BIM三维模型的评分还是只能通过人工查阅对照答案进行判分。

目前市场上培训考核管理系统百花齐放, 均已 有相应成熟和系统的应用体系, 如工业和信息化部教育与考试中心、人力资源和社会保障部人事考试中心等。但是针对 BIM技术培训与考核, 涉及软件建模、专业属性挂载、应用流程与规范审查等内容, 目前已有的培训考核系统均不能满足 BIM 培训与课程实践及考试需求, 存在缺少 BIM实训实验室和教学平台、教育教学效果不佳等问题^[6], 并且建模实训的评分若全部采用人工评分将耗费大量的人力成本。研究机器智能模型评价技术, 实现 BIM模型自动评分, 目前此项工作国内尚未有类似系统出现过, 结合国内 BIM报申报建经验, 对 BIM模型的

[收稿日期] 2022 -11 -15

[基金项目] 住房和城乡建设部研究开发项目 "面向智能建造全过程数据应用的装配式建筑 BIM设计软件开发与应用"(2022 -K-066)

[作者简介] 付亚静(1990 -), 女, 硕士, 工程师, 从事建筑信息化, 建筑结构, 建筑工业化方面研究

[联系方式] E-mail: fuyajing@cabrtech.com

自动审查已有相关城市建设,如湖南、南京、雄安新区、厦门等,BIM 审查平台的建设经验可为 BIM 模型在教学领域的应用提供建设思路^[7-8]。

1 BIM 培训考核平台介绍

1.1 平台功能架构

基于 BIM 的培训考核平台(以下简称"训考平台")主要内容可概括为:一个平台、四个保障、五大系统和管理办法。

结合培训考核需求及 BIM技术应用特点,将各项系统功能集成在 一个大的训考平台上,平台配套建设建模系统、在线培训系统、智能题库系统、在线考核系统和建模评分系统五大系统,满足在线培训功能、智能题库及试卷 自动生成功能、在线考核功能、建模及评分能力的需求,BIM培训考核平台架构如图 1 所示。



图 1 BIM培训考核平台架构
Fig. 1 BIM trainingand AsesmentPlatformArchitecture

五大系统以建模系统为核心,实现培训考试的

建模操作练习实训和建模考试,围绕建模技术展开 BIM技术的学习和考核。

权限管理、考核监管、职业能力证书颁发以及统计分析四个保障模块是集成在训考平台上的公平性保障技术及平台支撑模块,其中,统计分析模块包含大数据分析、信用评价等训考过程数据相关的支撑功能内容。

配套建立培训考核组织机制,形成《培养计划》、《课程体系指导》、《考核管理办法》、《建模评分标准》、《证书颁发管理办法》等文件指导实施,形成健全的 BIM培训考核机制和统一管理平台。

1.2 平台功能设计

训考平台包括网页端前端、管理后台、移动端小程序、数据大屏及评分系统。训考平台主要功能见图 2。

网页端前端实现在线培训、在线考试与练习、软件资源下载、个人中心信息管理等功能;移动端小程序同步网页端功能满足随时随地随手训考需求,网页端与小程序页面总览如图 3 所示。

管理后台管理可配置平台权限与课程考试软件等资源,管理后台示意图见图 4。

数据大屏对训考数据分析与可视化展示见图 5。

评分系统通过建立 BIM 模型评价机制,实现 BIM模型智能评分引擎,模型可视化展示,机器智能评分与人工辅助评分双审核模式实现 BM模型综合评分,页面详情如图 6 所示。

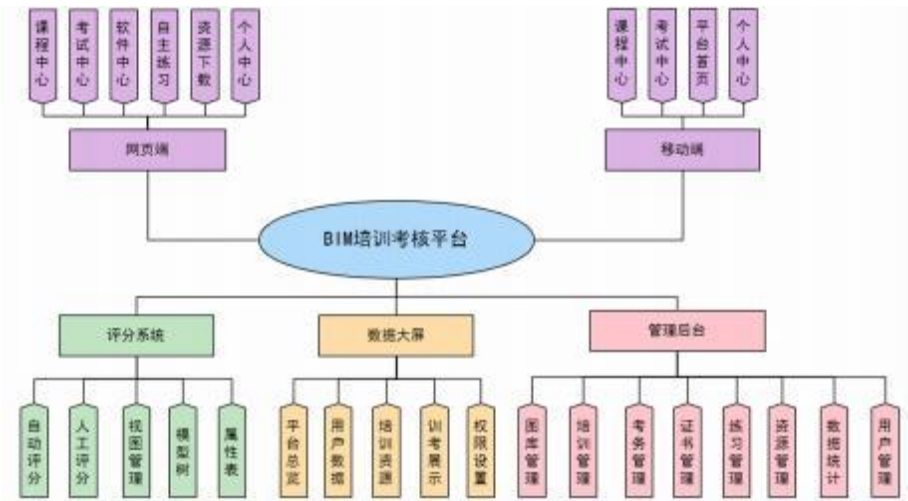


图 2 训考平台功能
Fig. 2 BIM trainingand AsesmentPlatformFunction



图 3 网页端与小程序
Fig.3 web and applet



图 4 管理后台
Fig.4 Thebackground page



图 5 数据大屏
Fig.5 Datascreen



图 6 建模评分系统
Fig.6 systemofModelingscoring

2 BIM 模型评价技术研究

2.1 BIM 模型自动评价技术

通过研究专用于规范审查的结构化自然语言 sNL, 研发智能评分引擎。结合模型评价规则及评分规则, 转换为根据结构化自然语言 sNL 的属性值规则、属性值存在规则、空间有构件规则、正则表达

式规则、几何和距离计算规则等^[1], 将规范及评分指标进行量化, 转换为计算机可以处理的内容, 规则判断示例如图 7。



图 7 基于 sNL 语言的预制板属性条款规则判断示例
Fig.7 Example of prefabricated slab attribute clause rules based on sNL language

智能评分引擎进行信息正确和信息完整两个维度的检查, 支持包含语义查询、复杂计算嵌套融合的复杂规则检查, 支持硬碰撞、软碰撞及精确条件过滤等, 进而实现模型的智能识别与评价。根据标准数据格式 XDB(XDB 指用公开、标准的数据格式记录各行业交付的 BIM 数据, 以保证后续应用中 BIM 数据的无损读取的数据库格式) 进行文件校验与分类计算评分, 计算要点主要有:

- (1) 内容完整性
- (2) 文件标准性
- (3) 图模一致性
- (4) 模型规范性

2.2 评价标准

评分标准依据《建筑信息模型应用统一标准》CB/T51212-2016、《建筑信息模型设计交付标准》CB/T51301-2018 及各专业国家级地方标准条文等建立, 从 BIM 模型格式及信息、图纸等方面分模块分内容进行细化, 确定每一项评分标准, 指导评分系统评分, 从而最终得到评分结果。

模型文件包含文件校验及规则校验, 模型文件校验内容示例如表 1。模型规则校验根据具体考点进行拆分, 考点来源各类国家标准、审查标准、建模标准等, 以建筑为例, 拆分建筑专业指标如表 2。

3 模型自动评价技术应用

智能评分引擎结合 BIM 培训考核平台, 建立建模评分系统, 以训考平台为核心, 实现培训与考核、建模与评分的综合管理。

3.1 建模评分与管理

建模评分系统实现建模题的机器智能评分和人工评分, 机器智能评分根据模型评价指标进行考

表 1 模型文件校验示例

编号	校验条目	规则说明
1	坐标范围校验	构件的坐标是否在指定范围内
2	空表校验	表中是否有数据
3	空值校验	字段是否有值
4	枚举校验	字段所填内容是否在给定的取值范围内
5	唯一性校验	表中的某个字段, 是否在当前表内唯一
6	数据有效性校验	数据字段是否有效, 包括格式校验、长度校验等
7	外部链接路径校验	链接文件的路径是否正常
8	几何校验	几何记录的字段数据是否满足要求
9	版本校验	版本号是否与当前平台可接受的版本一致
10	表结构校验	表以及表内字段是否完整
11	构件与几何关系校验	每个构件是否能找到对应的几何记录
12	组构件与子构件关系	每个组构件的子构件是否能找到
13	构件与楼层关系校验	单体的每个构件是否能找到所属楼层
14	室外构件是否存在	单体中是否有外部构件

表 2 专业指标拆分示例

编号	考点指标	规则
1	项目编号	读取字段值,与标准值对比
2	耐火等级	读取字段值,与标准值对比
3	抗震等级	读取字段值,与标准值对比
4	场地标高	读取字段值,与相标准值对比
5	地上建筑总面积	读取字段值并计算,与标准值对比
6	地下建筑面积	读取字段值并计算,与标准值对比
7

点拆分,并与 BIM模型评价的计算规则和逻辑保持一致,通过智能评分引擎对模型进行自动解析、属性提取、几何运算等多种处理计算自动评分考点的实现结果,最终计算完成后给出自动评分考点的分数;同时,在评分系统中配备 BIM模型的轻量化格式转换、轻量化模型在线展示(见图 8)和属性查询等模型查询方式,配合人工评分考点的内容,辅助机器评分。

建模考试考点的设立可以结合 BIM 实践与应用常见问题,诸如模型完整性、规范性、建模流程等问题,同时将培训过程中学员提问较多、错误较多的普遍问题融入进来,设计具有针对性的考题,在

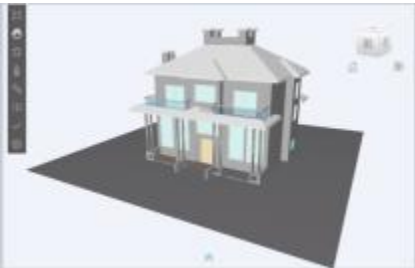


图 8 模型轻量化浏览
Fig. 8 0 BVModeldisplay

智能自动评分引擎上进行评分,并将评价结果反馈至训考平台中。

以一栋包含建筑、结构、机电多专业别墅模型为例,分别进行人工评分和机器智能评分辅助人工评分。将评分标准中诸如建模规范、模型属性检查内置到评分系统后,实现自动评分,同时辅以人工评分,各过程评分时间对比如图 9。



图 9 评分时间对比
Fig. 9 Comparison ofscoringtime

若模型自动评价应用于 BIM 大赛中,大批量模型实现自动评分,将大大减少人工评分工作量,同时保证模型评分的快速与准确性。

3.2 应用流程

学生根据建模考试题目要求,在规定的时间内,按考题要求建立 BIM模型并导出标准数据格式文件 XDB提交至自动评分系统。

评分引擎提取考生答题上传的 XDB文件中的模型数据,自动计算模型属性及相关几何实现,比对预设题目考点进行自动评定和评分,建模评分系统同时人工审核模式,提供专业的模型在线浏览与手动截图标记等相关功能辅助人工评分,综合评分结果并回传至考核系统,存档记录。

模型评分结果可在系统中生成评分报告,评分

报告中详细记录模型问题与得分，学员可根据报告中的提示信息，见图 10，对照 XDB 和原始模型文件，排查解决问题，进而提高 BIM 建模能力。

专题培训-2 建模题评分详情



图 10 评分报告示例
Fig. 10 Example of scoring report

3.3 应用效果

训考平台可面向企业、高校及政府等机构，根据实际需要进行定制化解决方案，如面向高校建立 BIM 教学考核管理平台、面向企业进行 BIM 团队及技术人员应用能力培养及考核、面向政府实现行业 BIM 能力认证等。

雄安新区报建单位 BIM 应用能力与 BIM 交付模型的质量是雄安数字孪生的重要支撑，当前实践中还存在较大差距，建设 BIM 培训考核平台，积极传递 BIM 理念与相关规章制度，提高报建效率，提升交付模型质量，进一步实现满足新区大规模建设的报建需求。雄安新区规划建设培训考核平台(以下简称“雄安训考”，平台首页见图 11)基于训考平台搭建，由培训学习、建模实操、考核评测等系统构成，配合相应的管理机制，形成完整的训考支撑体系。

雄安训考提供雄安新区规划报建相关公共文件资源查询与下载、提供政策流程讲解及专业课程，包括交付标准、挂载手册、插件使用、自检工具等专业标准讲解，围绕上述内容与规划报建实际，建立智能题库系统，实现建模考试与理论考核相结合，模型自动评价，理论考试自动判分，大大减少人工工作量，实现随时随地学习，提升专业技能。

雄安新区规划建设培训考核平台的建设及后



图 11 雄安新区规划建设培训考核平台

Fig. 11 Training and assessment platform for planning and construction of Xiongan

续的持续应用对行业 BIM 设计能力及工程项目 BIM 交付质量的提升起到重要的促进作用。

4 结语

BIM 应用能力与 BIM 交付模型的质量是城市数字化建设的重要支撑，当前实践中还存在较大差距；在当前错综复杂的国际环境下，保证数字城市信息安全与解决建筑行业“卡脖子”问题迫在眉睫。通过训考平台的建设，建立培训、考核及证书颁发机制，形成完整的训考支撑体系，结合机器智能评分+人工双审核模型的 BIM 模型评分系统，高效模型评分，进而涵养良好 BIM 环境，积极传递 BIM 理念与相关规章制度，培养行业 BIM 设计能力，提高工程项目的 BIM 成果质量。

参考文献

[1] 张荷花,顾明.BIM模型智能检查工具研究与应用[J].土木工程信息技术,2018,10(02).

[2] 余剑,许小虎,雷婷等.BIM智能审查助力“新城建”建设[C].《第九届BIM技术国际交流会—BIM助力新城建》论文集,2022:323-328.

[3] 付亚静,杨华,李书阳.基于BIM的虚拟仿真技术在教学领域的应用与实践[J].土木工程信息技术,2019,11(06):70-75.

[4] 任利剑,闻艺,李国宁,班利峰,杜聪.BIM技术视角下的虚拟仿真实验中心建设策略[J].建筑科学,2021,37(11):179.

[5] 盖彤彤,于德湖,孙宝娣,杨淑娟.BIM与人工智能融合应用研究进展[J].建筑科学,2020,36(06):119-126.

[6] 滕佳颖,王婉.BIM信息技术教育创新行为诱导机理研究[J].高等建筑教育,2017,26(06):123-128.

[7] 王金祺,谢宇欣.基于云审查平台的智能审查在建筑设计中的应用[J].土木工程信息技术:1-7.

[8] 李文俊,梁楠,周畅等.基于三维BIM模型的规划报建审查原型研究[J].物联网技术,2022,12(04):71-73+78.

基于 B1M 的装配式智能审查方法研究

陆丹妮,马恩成,胡培宁,赵冬,赖宗睿(北京构力科技有限公司,北京 100013)

[摘 要] 为了系统解决装配式施工图人工审查中遇到的审查标准不统一、审查效率低下等问题,本文提出了一种基于自主可控 BIMBase平台的装配式智能审查系统,其包含标准数据格式文件、核心审查引擎、审查平台三个子系统,通过审查引擎及其核心数据中心对领域规则库及语义模型进行校验,最终实现各地装配率及其他结构安全性条文的智能化审查。最后,本文以湖北省某装配式 BIM审查项目为例,介绍了装配式智能审查在项目实例中的高效应用,说明了装配式智能审查对提升建设工程质量水平和效率、加快信息化进程、促进智慧城市建设具有的重要意义。

[关键词] BIM审查;装配式建筑;智能建造;BIM

BIM-Based Prefabricated Intelligent Reviewsystemand ItsApplication

Lu Dan-ni, Ma En-cheng, Hu Pei-ning, ZhaoDong, LaiZong-rui(Beijing GloryPKPM TechnologyCo.,Ltd, China)

Abstract: In ordertosystematicallysolvetheproblemsofinconsistentreviewstandardsand lowrevieweficiencyencountered inthe manualreviewofprefabricated construction drawings,thispaperproposesaprefabricated intelligentreviewsystem based on the autonomousscontrolableBIMBaseplatform, which includesstandard dataformatfiles, coreThethresubsystemsofthereviewengine and thereviewplatformareused toverifythedomainrulebaseand semanticmodelthrough thereviewengineand itscoredatacenter, and finallyrealizetheintelligentreviewoftheassemblyrateand othergeneralprovisionsinvariousplaces. Finally, thispapertakesa prefabricated BIM auditprojectin HubeiProvinceasan example, introducestheefficientapplication ofprefabricated intelligent auditingintheprojectinstance, and explainsthatprefabricated intelligentauditingcan improvethethequalityleveland efficiencyof construction projects, speed up theprocesofinformatization, and promotewisdom.Urban construction isofgreatsignificance.

Keywor4s: BIM review; prefabricated building; intelligentconstruction; BIM

0 引言

在高质量发展及双碳目标的推动下,近年来我国建筑业已进入转型关键期。为了解决劳动生产率不高、建造方式粗放、建筑工人短缺等当下突出问题,迫切需要加快智能建造与新型建筑工业化协同发展,从数字设计、智能生产、智能施工和智慧运维多个方面促进建筑业向高质量发展迈进^[1]。

建筑信息模型(BIM)技术是在计算机辅助设计等技术基础上发展起来的多维建筑模型信息集成

管理技术,对提升建设工程质量水平和效率、加快信息化进程、促进智慧城市建设具有重要意义。

工程施工图审查作为工程设计的关键环节,承担着减少设计错漏、保证设计质量的重要作用。当前主要的审查工作主要由建设主管部门认定的审图机构依赖人工完成,仍然存在诸多弊端,如:审查工作量大、审图尺度不一致等。尤其对于新型建筑工业化而言,目前涉及到的规范包括《装配式建筑评价标准》^[2]、《装配式混凝土结构技术规程》、《装配式混凝土建筑技术标准》,相关条文更存在着装配率报告内容不统一、构件详图量大、规范细节核对难度大的困难^[3]。

1 装配式 B1M 审查系统框架

本文提出一种基于自主可控 BIMBase平台的装配式智能审查系统及其应用,即为了系统解决上述人工审查中遇到的重难点问题,利用 BIM导出装

[收稿日期] 2022 -11 -08

[基金项目] 本研究受住房和城乡建设部研究开发项目。面向智能建造全过程数据应用的装配式建筑BIM设计软件研发与应用。(2022 "K"066),湖北省重大专项(2020 ACA006)资助。

[作者简介] 陆丹妮(1997 -),女,硕士研究生,主要从事 BIM技术应用与装配式结构设计方面的研究

[通讯作者] 马恩成(1973 -),男,硕士研究生,研究员

[联系方式] E-mail: dannymil@ 126.com

装配式审查所需要的的项目信息、模型信息、属性信息及计算信息,形成统一的数据标准格式,对接内置的 BIM 审查引擎,通过建立领域、语义规则库实现模型智能化审查、问题定位和审查报告导出。该系统包含以下特点。

1) 基于自主可控的 BIMBase 平台,该系统结束了半个世纪以来国外 BIM 软件商对 BIM 建模及 BIM 信息数据格式的垄断局面^[4],对后续逐步将各类建筑和基础设施全生命周期的三维信息纳入 CIM 平台,推动建设领域全流程一体化数据互联互通,打下了坚实的基础。

2) 助力数字化审查转型,提升设计效率^[5]。该系统有效地提升设计人员、审图人员的工作效率,辅助审查机构在原有施工图审查的基础上进一步高质量完成数字化 BIM 审查并为装配式建筑审查的智能化、数字化、标准化提供保证。

3) 简化 BIM 装配式审查流程,扩展自审能力。本文所述的装配式审查系统,包含导出标准数据格式文件、核心审查引擎、审查平台展示三个子系统,即可以基于 BIMBase 平台直接对接轻量化 web 端审查系统完成装配式建筑审查,并支持云端自审,在提交审图前能够校核模型设计问题,减少错漏,提升设计质量。



图 1 装配式智能审查系统整体框架

目前该系统支持的装配式审查条文分为两类:各地区装配率及通用条文。以湖南省装配式 BIM 审查为例,目前支持的条文如下图所示:

2 装配式 BIM 审查路径及方法

2.1 装配率审查

装配率审查,即对工程项目以 BIM 数字孪生模型的形式,按照各地《装配式建筑评价标准》中的有关规定进行装配率的核查,主要目的在于以合规统

序号	条文名称
1	湖南省装配式建筑评价标准
2	湖南省装配式建筑评价标准
3	湖南省装配式建筑评价标准
4	湖南省装配式建筑评价标准
5	湖南省装配式建筑评价标准
6	湖南省装配式建筑评价标准
7	湖南省装配式建筑评价标准
8	湖南省装配式建筑评价标准
9	湖南省装配式建筑评价标准
10	湖南省装配式建筑评价标准
11	湖南省装配式建筑评价标准
12	湖南省装配式建筑评价标准
13	湖南省装配式建筑评价标准
14	湖南省装配式建筑评价标准
15	湖南省装配式建筑评价标准
16	湖南省装配式建筑评价标准
17	湖南省装配式建筑评价标准
18	湖南省装配式建筑评价标准
19	湖南省装配式建筑评价标准
20	湖南省装配式建筑评价标准

图 2 湖南省 BIM 装配式审查支持的规范列表

一的方式对设计师的装配式建筑方案进行智能化审查,相对于原有的上传装配率报告书,其效果以三维轻量化模型结合问题列表提示的模式展示,更为直观有效,凸显智能审查价值。

在装配率计算方面,各地区虽然评分项目相近,但水平、竖向构件计算规则、相应创新点均不尽相同;在审查要求方面,各地区执行力度、得分比例、最低指标也由各地建设工程主管部门具体确定。自 2015 年以来,各地住建厅和住建委已发布省级(地市)装配式建筑评价标准 30 余种,由国标衍生而来,根据各地的实际情况呈现创新性、本土化的特点。

由于装配式建筑发展以省会城市为核心,逐步辐射至各地试点城市,考虑当下装配式建筑的发展趋势,本文创新性的以“通用”为理念,在装配率审查中将各地装配式建筑评价标准进行分类细化,构造了条文组合体系,即“主体结构计算规则”支持配置,“创新点”“设备管线”支持设计指定。应工程实际和项目应用需要,目前装配率及相应审查支持的地区包括国标、深圳、上海、江苏、湖南、湖北等近 30 种,得到了各地实际项目的广泛使用,仅湖南省 BIM 审查平台上就已有近五十个项目完成装配式 BIM 审查,正式审查通过。



图 3 通用装配率计算配置

以湖北省为例,自今年 5 月份起,湖北省正式发



图 4 审查平台结果展示

文开展 BIM审查试点工作,武汉市、宜昌市、襄阳市成为首批试点城市,装配式项目正式纳入审查范围,各项 BIM审查保障工作也陆续展开。而湖南省早在 2020 年就已上线湖南省 BIM 审查平台^[6],截至 2022 年 9 月,现已完成 34 个项目的正式审查,涉及 1460 个单体建筑,省内外设计院数量 78 家。

2.2 通用条文审查

通用条文审查指的是装配式建筑的集成设计、结构设计、机电设计、内装设计、外围护设计、预制构件和部品生产及施工应执行《装规》《装标》中的规定,遵循建筑全寿命期的可持续性原则,并应标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修、信息化管理和智能化应用。

由于相关条文数量较多,在本系统中,通用条文重点关注影响结构系统安全的条款,并聚焦当下审查中的重难点问题,对相关条款实行分级审查,包含:屋面板厚审查、接缝验算审查、强度等级审查等。

1) 接缝验算审查

和现浇混凝土梁构件相比,混凝土叠合梁的设计需要进行额外的计算,主要参照 JCJI-2014 7.2.2 条公式进行,按照持久设计工况和地震设计工况分别进行验算,需要考虑结构重要性系数和承载力抗震调整系数。规范中偏于安全的不考虑新旧结合面的粘结力,认为结合面的抗剪主要由键槽的抗剪能力、后浇混凝土叠合层的抗剪能力、梁纵向钢筋的销栓抗剪作用来提供,因此主要对这三部分进行验算,并在引擎中进行核算。具体审查方法如下:

2) 屋面层板厚审查

主要参考 JCJI-2014 6.6.2/5.5.2 的有关要求,对预制板厚度、叠合层厚度、高层结构的屋面层的后浇混凝土叠合层进行审查,并在引擎中进行核验。具体审查方法如下:

3) 混凝土强度等级审查



图 5 通用条文审查方法-梁端接缝验算审查方法

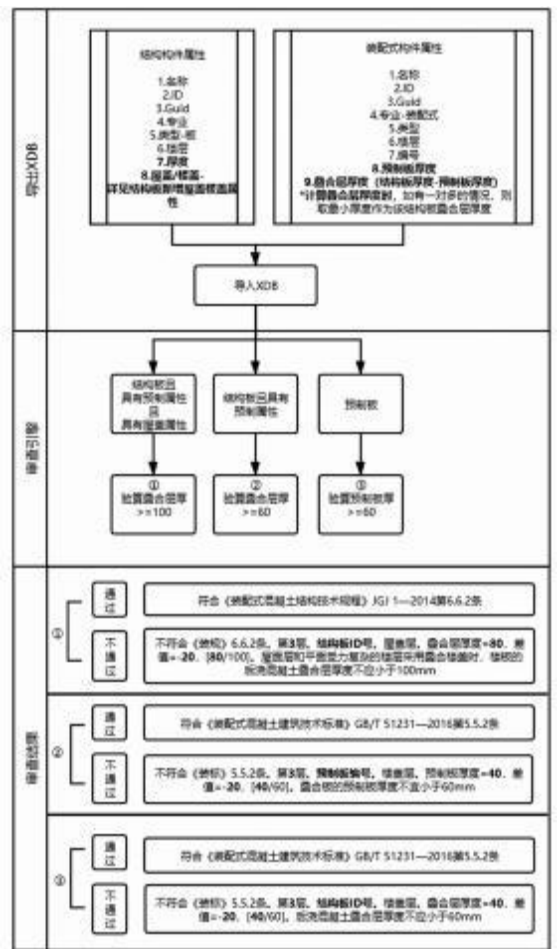


图 6 通用条文审查方法-屋面层板厚审查方法

主要参考 JCJI-2014 4.1.2 的有关要求对预制构件和现浇混凝土的强度等级进行核验。具体审查方法如下:

目前各地审查力度不一,对通用条文的审查关注度仍显不足^[7],在装配式设计过程中对结构设

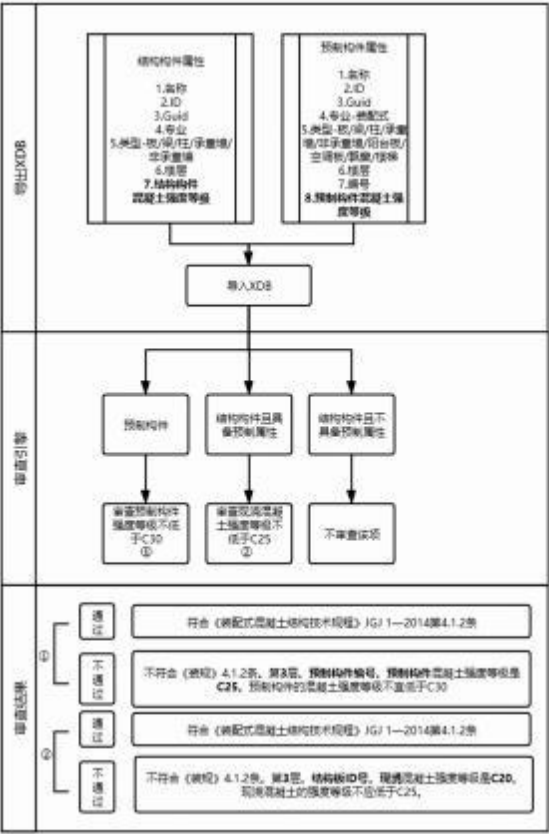


图 7 通用条文审查方法 -混凝土强度等级审查方法

计、接缝验算、单构件验算等各结构安全性计算的指标重视程度较低,原有的图审尚不能实现对大规模预制构件验算的人工复核。通过通用条文智能审查,能够有效加深全产业链对装配式设计验算计算的认识,提升装配式设计生产质量,促进装配式建筑整体高质量发展。

3 创新点及主要成果

3.1 建立自主可控的装配式建筑 BIM 审查数据标准

本系统形成了以 BIM 审查技术标准、模型交付标准、数据标准为基础的标准体系,并导出标准数据格式的审查数据。在实际应用中,PKPM-PC支持一键导出符合上述标准体系的 XDB文件,包含审查必要的项目信息、属性信息、模型信息和计算信息并可直接载入系统进行装配式 BIM审查,完成后续的数据管理业务,全过程权限分级、批注留痕、不可篡改。

3.2 建立完善的对接审查流程

该装配式审查系统将装配式规范条文转换为计算机语言,实现机审系统对规范条文进行拆解形



图 8 数据标准体系

成领域规则库,对 BIM模型 自动提取数据形成语义模型,通过审查引擎对领域规则库及语义模型进行审查,最终得到各地装配率、预制构件标准化、安全性审查等多类审查结果。基本流程如下。



图 9 对接审查基本流程

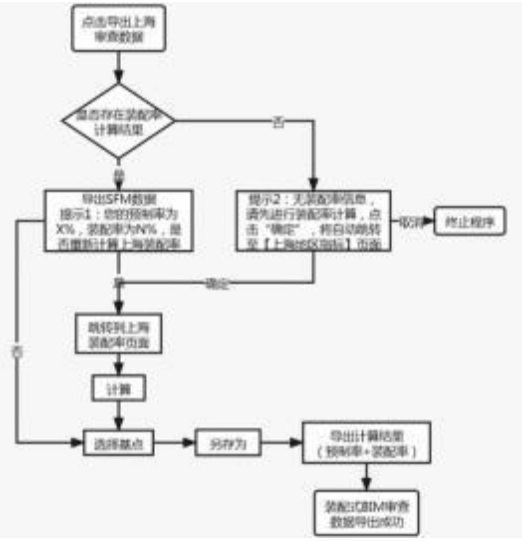


图 10 导出统一数据格式文件具体流程

3.3 设置数据中心统一管理计算数据流

审查引擎可基于装配式建筑全专业精细化模型,根据不同地区要求,统计装配式建筑的装配率,并判断是否满足当地装配式设计需求。数据中心是审查引擎中的重要子模块,能够实现独立合规、标准化装配率运算并能满足湖南、湖北、山东等多地装配率审查要求。

3.4 采用通用装配率计算方法进行装配率审查

通用装配率计算方法基于多年积累的各地装

配率计算经验总结而成,将核心算法提炼拆解,形成条文组合体系,将"主体结构计算规则"按照不同地区要求开放配置,"创新点""设备管线"支持设计指定。从而涵盖各地装配率的基本计算方法。

4 项目案例

以湖北某住宅项目为例,介绍装配式 BIM 审查的应用情况。

项目情况:项目由 H1、H2、H3 和 H4 四个地块组成,总用地面积 20.2 万 m²,总建筑面积为 87.68 万 m²,容积率为 3.26,总户数约为 6 476 户。其中 H2、H3 地块高层住宅为剪力墙结构,采用装配式建筑建造,装配率均为 51%。



图 11 住宅项目实例 BIM 模型

单体装配式实施方案如下:

装配式建筑评分表结合武汉市装标要求,主体结构 &1 部分得分不低于 20 分,预制构件选择水平构件,主要考虑常用的预制楼板和预制楼梯,共计 20 分;围护墙和内隔墙 &2 装标要求不低于 10 分,考虑非承重围护墙非砌筑和内隔墙非砌筑,由于此项目装配率要求为 50%,主体结构承重墙尚未预制,所以需要增加围护墙的得分,与业主沟通后采用围护墙一体化设计,得分 3.5,共计 13.5 分;同时整体实行了管线分离,实现造型与户型的完美统一,提升家居舒适度,满足绿色建筑的基本要求,&3 共计得分 11.5 分。该项目为 EPC 总承包模型,在设计阶段采用了 PKPM-PC,同时也通过 PC 的外部数据对接,实现了工厂加工的对接和流水化生产,在创新项 &4 中得分 6 分;项目总计得分 51 分。

审图专家通过湖北省 BIM 审查平台,对各专业模型进行了相关规范(范围自定义,从严要求)的审查,结合平台给出的修改意见进行调整,同时考虑

到平台的局限性,所以设置了人工内部审查线,两者结合,大大提高了设计和内审效率。

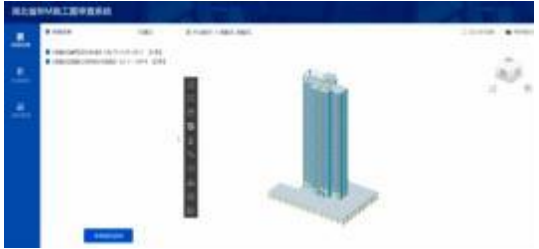


图 12 湖北省 BIM 审查平台项目实例

5 结论

为了系统解决人工审查中遇到的审查标准不统一、审查效率低下^[8]等问题,本文提出了一种基于自主可控 BIMBase 平台的装配式智能审查系统,其主要框架包含导出标准数据格式文件、核心审查引擎、审查平台展示三个子系统。

1. 可基于完全自主可控的 BIMBase 平台导出装配式审查所需要的的项目信息、模型信息、属性信息及计算信息,形成统一的数据标准格式,

2. 通过 BIM 审查引擎,创新性的进行通用装配率的计算及核查、结构安全性验算。

3. 通过建立领域、语义规则库实现模型智能化审查、问题定位和审查报告导出。

4. 通过在湖南、湖北、山东等地的项目实际应用,验证了 BIM 模型的合规性智能审查提升审查效率的有效性和重要意义。

参考文献

[1] MARTINS JP, MONTENEGRO A. LicA: A BIM based automated code-checking application for water distribution systems[J]. Automation in Construction, 2013, 29: 12-23.

[2] CB/T51129-2017 装配式建筑评价标准[s]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

[3] 张建平. BIM 助力工程建设全面信息化[J]. 建筑设计管理, 2011, 28(03): 16-34.

[4] 林佳瑞, 郭建峰. 基于 BIM 的合规性自动审查[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2020, 60(10): 873-879.

[5] 冯川, 陈胜男, 陈元错. 基于 BIM/CIM 的工程项目审查审批平台建设方案——以深圳为例[J]. 中国建设信息化, 2022(5): 64-67.

[6] DBJ43/T332-2018《湖南省 BIM 审查数字化交付数据标准》. 湖南省住房和城乡建设厅, 2020.

[7] 黄卫. 基于 BIM 的建筑专业设计合规性自动审查系统及其关键技术[J]. 2019.

[8] 刘凌云. 基于 BIM 的装配式建筑质量精细化管理研究[D]. 东南大学.

智能建造背景下装配式混凝土建筑的应用与发展

马煜琦¹, 朱磊¹, 赵俊丽², 容婷¹ (1. 中国建筑科学研究院有限公司北京构力科技有限公司, 广东 深圳 518040; 2. 中国建筑科学研究院有限公司北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 高科技时代推动着建筑业的转型, 装配式建筑作为建筑业转型的重要手段在国内蓬勃发展。但目前装配式混凝土建筑在设计、生产、施工、运维的各个阶段中, 并未跟上时代的步伐, 各阶段存在工作效率低、信息化水平低、建设成本高、智能化水平较低等问题。本文主要分析了在设计、生产、施工、运维全生命周期中, 装配式混凝土建筑目前在各个阶段的应用现状及问题, 同时提出了应用 BIM 技术, 搭建全产业链智能建造平台的解决方案。

[关键词] 装配式混凝土建筑; 全生命周期; BIM 技术; 智能建造

Application and Development of Prefabricated Concrete Buildings under The Background of Intelligent Construction

Ma yu-gi¹, Zhu Lei¹, Zhao Jun-li², Rong Ting¹ (1. China academy of Building sciences Beijing structural Technology Co., Ltd, shen: hen 518040, China; 2. China academy of Building sciences Beijing structural Technology Co., Ltd, Beijing 100013, China)

Abstract: The high "tech" era promotes the transformation of the construction industry. As an important means of the transformation of the construction industry, the prefabricated building develops vigorously in China. But at present, prefabricated concrete buildings in the design, production, construction, operation and maintenance of each stage, did not keep up with the pace of The Times, each stage there are low efficiency, low information level, high construction cost, low intelligence level problems. This paper mainly analyzes the application status and problems of prefabricated concrete buildings at various stages in the whole life cycle of design, production, construction and operation and maintenance. At the same time, it puts forward the solution of applying BIM technology to build the intelligent construction platform of the whole industrial chain.

Keywords: prefabricated concrete building; full life cycle; BIM technology; intelligent construction

0 引言

18 世纪 60 年代第一次工业革命实现了工厂机械化, 20 世纪初第二次工业革命进入了电气化与自动化时代, 20 世纪 70 年代工业化第三次革命进入到信息化时代, 逐步实现解放人类劳动力。但建筑业并未真正实现变革, 传统的建造方式不仅需耗费大量的劳动力, 而且生产力较低。因此, 2016 年在《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》中, 表明要大力发展装配式建筑, 像“搭积木”一样建房子的装配式建筑方式在国内逐步得到了推广和应用。2020 年全国新开装配式建筑面积

占新建建筑面积的 20.5%, 完成了《“十三五”装配式建筑行动方案》15%的工作目标。但建筑业并未跟上信息化时代的潮流, 随着电子信息化时代的建设与不断进步, 实体物理世界与虚拟网络世界融合的第四次工业化革命应运而生, 这也为建筑业的改革升级提供的新的机遇。在 2022 年 1 月, 住房和城乡建设部又发布了《“十四五”建筑业发展规划》, 规划指出装配式建筑将占新建建筑的比例达到 30% 以上的工作目标, 并要求要以推动智能建造与新型建筑工业化协同发展为动力, 加快建筑业转型生产体系, 推动生产和施工智能化升级。因此将装配式建筑与智能建造相结合, 实现建筑业新的改革和创新刻不容缓^[1-2]。为推动装配式混凝土建筑的大力发展, 本文主要探索了基于智能建造背景下, 装配式混凝土建筑在设计、生产、施工、运维全生命周期的应用现状与问题, 同时提出了应用 BIM 技术, 搭

[收稿日期] 2022-10-16

[作者简介] 马煜琦(1993-), 女, 硕士

[联系方式] E-mail: mayuqi@cabrtch.com

建全产业链智能建造平台的解决方案。

1 设计阶段

1.1 应用现状与问题

装配式混凝土结构主要包括两种:全装配式混凝土结构和装配式整体式混凝土结构,两种结构主要是在节点的连接上采用了不同的方式,而现在国内大多运用的是节点位置采用现浇连接的装配式整体式混凝土结构,本文主要基于装配式整体式混凝土结构进行分析和介绍。

装配式混凝土项目相较于传统现浇混凝土项目,需要设计师对于施工方面的认知有更高要求,往往需要设计师在设计阶段就要考虑到施工阶段的问题。装配式混凝土建筑设计,主要包括三个步骤:装配式方案设计、施工图设计、装配式深化设计。第一,方案设计阶段,首先需配合建筑专业,提高户型标准化,然后预制构件的拆分需尽量采用相同规格,以提高模具的重复利用率,从而节省成本。第二,结构设计是建筑安全性的最基本保障,即为施工图设计阶段。第三,装配式深化设计,一方面需按照结构设计部分内容完成预制构件的配筋,另一方面所有预制构件生产期间均已将洞口线盒等提前进行预留预埋,因此需与机电专业紧密配合。2022年6月《住房和城乡建设部 国家发展改革委关于印发城乡建设领域碳达峰实施方案的通知》建标〔2022〕53号文,指出要大力推动绿色低碳发展,相比传统现浇方式,装配式建造不仅速度快,还能有效降低施工过程中的建筑垃圾排放,并且能减少扬尘和噪声等环境污染,完全匹配未来节能减排的发展路线。不难看出,装配式设计涉及建筑、结构、机电、绿建等多专业配合。但目前装配式设计,大多为结构专业为主导,首先按照传统现浇混凝土设计流程进行设计,在结构设计基本完成后,便进行装配式的方案设计以及深化设计。这个过程中,各个专业间的配合,均仍采用的是二维CAD图纸的方式进行相互提资。全专业BIM模型,则是在各专业完成施工图后,再根据图纸翻模实现。因此,目前设计阶段,主要存在三个方面的问题:①二维图纸提资,配合效率低;②中间数据较多且混乱,难以保留且容易出错;③重复建模,未实现解放劳动力;

1.2 BIM技术及协同设计平台的应用

装配式建筑设计专业集成度要求高,因此利用

BIM技术,实现"正向设计",是打破当前"翻模设计"最有效的解决方案。多专业协同设计,一模多用可解放劳动力,专业间通过协同平台,在线上通过模型数据的相互提资,各个专业均可及时获取最新设计数据,配合更高效,同时也可较少错误,还可保留历史提资数据。

2 生产运输阶段

2.1 应用现状与问题

预制构件一般均是在构件厂生产好后,通过车辆运输到施工现场的。预制构件的生产主要分为三大步骤:材料进厂的准备工作、预制构件生产、预制构件的储存及运输。预制构件生产前,大多只能通过对二维图纸的审查,实现数据的提取,从而进行预制构件的物资采购和排产,但随着项目量的增加,生产任务加重,基于装配式本身高周转的要求,无疑生产数据的统计及排产等工作量陡增的问题则亟需解决。预制构件的生产工艺主要包括以下流程:组模、预埋件定位、钢筋绑扎、混凝土浇筑、养护、脱模^[3]。而目前,大部分构件厂的组模、预埋件定位、钢筋绑扎等步骤均是工人手动完成的,然后再通过机器进行混凝土浇筑振荡、养护及脱模,基本采用了人工与机械相结合的方式,但人工作业部分在整个生产周期中仍占比较大。为保证工期及节省成本,预制构件运输到施工现场需保质保量,但除保证严谨的生产以外,在运输过程中也存在诸多因素^[4]会对其产生影响,比如司机的驾驶技术是否可减少运输过程中对预制构件的颠簸损坏、构件装卸期间的损坏、运输当天天气、运输道路路况等,那么构件运输到施工现场前,是否做好充分的运输方案则尤为重要。一个项目有多种预制构件,为避免构件的损坏,对于相同尺寸相同类型的预制构件,采用一辆车运输,但若构件厂同时需为多个项目供应构件,则在有限的车辆中和不同的工期下,合理的调度运输也可较少成本,提高效益^[5]。因此,在预制构件生产运输阶段,主要存在以下四方面的问题:①提取二维图纸生产数据,工作量较大;②生产阶段,人工作业较多,机械化生产不足;③运输阶段诸多因素,容易导致构件受损,增加成本;④运输阶段,如何进行车辆的合理调度,从而提高效益。

2.2 智能建造生产管理系统的應用

预制构件保质保量的供应,是装配式建筑工期顺利一大前提,那么解决以上问题是重中之重。第一,可利用设计阶段的 BIM模型,快速的提取生产数据明细,以减少人工统计的工作量,不但效率高而且准确性也高。第二、可将数据对接至智能建造生产管理平台,工人仅需要在平台进行材料请购,同时材料的请购、入库和出库均在系统有据可查,材料库存情况也可实时查询。并可直接在生产管理系统中,下发生产任务线,对所有的预制构件赋予身份二维码,实现对预制构件的生产运输等情况实时追踪。第三,将生产管理系统与生产机械设备对接,实现预制构件的自动化生产。第四,利用结合大数据、物联网等高新技术的智能运输平台,同步读取装配式 BIM模型数据及生产数据,综合考虑预制构件运输过程中的天气、道路、工人等多种因素,提前规划运输方案。即使临时偶遇运输故障,也可根据实时情况给出最优解决方案。

3 施工阶段

3.1 应用现状与问题

装配式建筑的施工相较传统结构来说受天气影响较小、施工垃圾较少等优点,且与预制构件的设计生产密切相关。但装配式建筑施工,目前并未充分考虑装配式建筑的特点,仍采用的是传统的施工及管理方式。装配式建筑的施工主要是通过塔吊将预制构件吊到对应的位置进行安装施工,目前主要是通过工人和塔吊机械配合的方式实现预制构件的精确定位安装。因此在预制构件的吊装过程中,要充分考虑预制构件本身的受力情况,这不仅关乎施工质量,同时也关乎工人的人身安全。当前用于砌墙、瓷砖铺设、钻孔、线材编织、清拆等用途的机器人相继问世,但对于 PC构件的机器人施工目前应用较少^[6-7],部分利用机器人进行预制构件的安装定位放样^[8]。施工现场的进度与构件厂预制构件的运输也密切相关,如果预制构件不能及时的运送到施工现场,或者运达的预制构件收到破坏等,都会较大程度的影响施工工期。因此对于装配式建筑的施工,主要存在以下两大问题:①管理方式较传统,信息化水平较低;②施工作业方式较传统,存在延误工期、危及人身安全等问题。

3.2 智能建造施工管理系统的应用

结合装配式建筑的特点,以提高装配式建筑的

施工工期、作业安全性以及信息化水平为基本要求,利用高新科技信息技术,建立完善的智能建造施工管理平台。该平台可对接设计阶段的 BIM模型以及智能建造生产管理平台,形成设计、生产、施工一整套装配式建筑解决方案。第一,可对接设计数据,实现高效定位责任人及设计变更等设计问题。第二,可对接生产管理平台,实现直接对接厂家沟通预制构件的发货,并实时跟踪预制构件的生产及运输情况,以降低延误工期的风险。第三,可利用在物联网技术,通过预制构件的二维码或者 RFID标签随时查看预制构件的"身份"信息,通过应变传感器和定位传感器,对预制构件在整个施工过程中的应力等进行监测,通过嵌入式终端,可实时将数据传输至平台管理中心,若存在任何不利因素,及时报警,可避免施工过程的人员受伤^[9-10]。第四,可在施工现场安装监控录像等设备,与施工管理系统连接,可实现实时监控现场施工进度。第五,将施工作业机器人与施工平台连接,通过平台直接控制机器人,实现智能化施工。

4 运维阶段

4.1 应用现状与问题

随着装配式的不断发展与进步,从只着眼于设计、生产、施工三个阶段的跟踪管理,再到对运维阶段的布局是必然的趋势。运维阶段的管理,具有数据量大,工作繁琐等特点^[11],目前仍较多采用的是人工的方式,存在较大的工作量且容易遗漏或者出错。

4.2 智能建造运维管理系统的应用

运维阶段,可建立智能建造运维管理平台。第一,该平台可收集设计、生产、施工三个阶段的项目数据,为运维阶段的 BIM模型提供信息数据基础;第二,利用该平台数据,可利用预制构件内的预埋芯片实现对预制构件的安全性能利用平台进行实时监控,特别是重要部位的结构构件,确保结构安全性;第三,利用平台前期记录的各专业设备等数据,通过平台进行实时监测,可较少人工的巡检等工作量;第四,根据平台信息的汇总,可做到问题高效定位和高效解决,比如:设计出现问题,可直接定位到对应责任人;设备出现故障,可快速查到设备型号及维护电话等信息。第五,平台还可以根据数据收集和比对,做出智能化决策,比如在保证室内

温度计空气流通性的前提下,降低能耗等^[12];

5 全生命周期智能制造管理平台搭建

我们不难发现,装配式混凝土建筑作为推动智能建造与建筑工业化协同发展的路径之一,在设计。生产。施工。运维各个阶段还存在较多问题亟需解决;第一,设计阶段各专业较独立,导致设计效率低及增加工作量等问题,可应用协同设计平台,利用BIM技术实现专业内高效协同设计;第二,生产运输阶段与设计阶段数据不互通。生产智能化较低。管理技术较老旧,导致生产效率低。成本高等问题,可应用智能建造生产管理系统,对接设计数据的同时通过现代高新技术管理构件厂的生产及运输;第三,施工阶段与设计数据。构件生产运输割裂,同时只能建造水平较低,施工管理工作量大且建造效率低,可应用智能建造施工管理平台,打通设计。生产。施工数据,做到实时监控和管理;第四,运维阶段仍较多采用人力劳动,效率低且更易出错,可应用智能建造运维管理系统,打通全生命周期数据,实现数字化。智能化管理;

在此背景下,中国建筑科学研究院北京构力科技有限公司,搭建了.装配式建筑全产业链智能建造平台,^[13]该平台利用BIM技术与信息化技术,打通了装配式建筑设计。生产。施工。运维及监管全过程应用;设计阶段应用,基于完全自主国产BIMBase平台下的PKPM-PC装配式设计系统;生产阶段应用,基于装配式智慧工厂管理平台,设计数据直接对接生产;施工阶段应用,基于智慧施工管理系统,实时监控施工进度等;同时对于政府端可实时对于全过程进行监督管理;

6 思考

在智能建造与新型建筑工业化协同发展背景下,装配式建筑在设计。生产。施工。运维全生命周期过程中,应用BIM技术。信息化技术实现协同设计与数字化管理,是我们当前及未来很长一段时间,实现建筑业转型的重要方向;未来道阻且长,以下问题仍需我们不断努力解决及实现:

①设计阶段,各专业可能依托于不同的平台进行设计,各平台数据的相互打通,是当前全专业BIM设计的难点;目前采用较多为翻模设计,正向设计

是未来的发展方向(

②生产运输阶段,目前已可实现设计数据的对接,但实现高效的自动化。智能化生产,以及如何更优的节省成本是当前生产阶段需要综合考虑和解决的问题(

③施工阶段,更多方向实现机器人作业代替人工作业,以及对于施工阶段的数据化管理,是实现智能化。数字化的重要任务(

④运维阶段,真正实现全生命周期数据的收集,以及运维阶段数字化管理的落地,目前来看还有很长的一段路要走(

⑤全产业链智能建造平台的落地应用,将尤为重要;

参考文献

- [1] 刘刚.推动智能建造与建筑工业化协同发展打造产业转型升级新动能[J].中国建设信息化,2021(24):32-35.
- [2] 王广明.推动智能建造与新型建筑工业化协同发展的实施路径研究[J].住宅产业,2020(09):12-15.
- [3] 张天,刘德建,景东亚,等.装配式混凝土构件生产工艺研究[J].建筑技术开发,2020,47(06):98-99.
- [4] 芦钰,薛伟.装配式构件智能运输问题分析及解决措施[J].陶瓷,2021(02):34-35.D01:10.19397/j.cnki.ceramics.2021.02.009.
- [5] 尹静,孙浩,张恒熙,等.装配式混凝土结构生产运输协同调度[J].科学技术与工程,2021,21(21):9029-9034.
- [6] 佛山市:智能建造与建筑工业化协同发展[J].中国建设信息化,2022(01):8-12.
- [7] 白宇,徐铭原.浅谈建筑机器人与装配式建筑融合在未来建筑行业的发展[J].居舍,2020(27):189-190.
- [8] 陈志平,张健.BIM放样机器人在装配式构件安装定位中的应用[J].广州建筑,2020,48(01):44-48.
- [9] 张洋.基于智能建造技术的装配式建筑施工管理研究[J].中国建筑金属结构,2022(07):131-133.
- [10] 刘占省,邢泽众,黄春,等.装配式建筑施工过程数字孪生建模方法[J].建筑结构学报,2021,42(07):213-222.D01:10.14006/j.jzjgxb.2020.0475.
- [11] 瞿妍,谢强,钟炜.BIM技术在建筑运维管理中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2022(6):12-14.D01:10.13655/j.cnki.ibci.2022.06.003.
- [12] 王信信,金坚强,周慧.BIM技术在装配式建筑运维阶段的应用[J].建筑与文化,2020(1):2.
- [13] 刘苗苗,杨国威,刘晓颖,等.装配式智能建造平台构建与应用[J].中国建设信息化,2021(07):59-63.

智能建筑物联网网络安全策略

牟云浩, 李海波, 张学智, 杨柳, 张源琪(中国五冶集团有限公司)

[摘 要] 本文针对智能建筑物联网网络安全防护技术门槛高、场景问题复杂、网络安全防护高投入的现状,从国家安全要求出发,结合本企业自研并已投入商业使用的智能建筑网络系统,从软件系统架构到网络架构、结合物防策略、管理策略,综合提出智能建筑物联网网络安全策略。为企业高效地构建智能建筑物联网网络安全体系提供了实践路线,对智能建筑物联网网络安全发展具有一定指导作用。

[关键词] 智能建筑;物联网;网络安全;网络分层;安全策略

Network security strategy of Intelligent Building Networking

Mu yun-hao · Li Hai-bo · Zhang Xue-zhi · Yang Liu · Zhang yuan-gi (MC Group Co., Ltd)

Abstract: In view of the current situation of high technical threshold, complex scenario problems, and high investment in network security protection of the Internet of smart buildings, this paper starts from the national security requirements and combines the intelligent building network system developed by the company and put into commercial use, from system architecture to network architecture, combined with the physical defense strategy and management strategy, comprehensively proposes the network security strategy of the intelligent building network. It provides a practical route for enterprises to efficiently build a network security system for the Internet of Buildings.

Keywords: intelligent building; internet of things; cybersecurity; network layering; security strategy

1 绪论

1.1 本论文研究背景

智能建筑管理系统 (Intelligent Building Managementsystem) 行业简称 IBMs,是在传统 BAs 系统基础上进一步集成的智能化管理系统。其主要包含 web 端集成监控平台、业务服务器、PLC 设备通信协议转换网关模块。智能建筑管理系统基于现代智能建筑弱电传感器、信息通信技术和计算机服务器组成平台,从而实现建筑自动检查、设备线路监测、设备自动化控制、环境监测、自动报警、数据共享、数据自动记录等多种功能。系统以一体化集成设计思想,结合建筑综合布线技术、计算机网络技术将各个分离的设备、信息等有机地集成到一起,打通各个子系统的信息孤岛。

智能建筑管理系统定位于智能建筑基础感应器与信息管理层之间,承上启下实现感应器硬件信息与资源交互共享。智能建筑管理系统对众多不

同厂家的 PLC 设备、使用不同的通信协议进行集成和自动适配。通过计算机网络连接集成各种楼宇子业务系统(如楼宇监控系统、办公自动化系统等)。形成高度开放、兼容、便利的综合智能建筑。

智能化建筑管理系统物联网,各子系统间通讯信息量大、对信息安全要求度高、网络拓扑结构复杂。导致在实际工程设计、施工乃至移交过程中问题不断。

1.2 本论文研究意义

鉴于以上研究背景,针对智能建筑物联网网络复杂的使用环境与较高的安全要求。本文从智能建筑物联网网络安全角度出发,结合对比国内外、行业内外不同解决方案,给出符合国内智能建筑物联网实际情况的网络安全策略。目的在于更为高效地构建起健壮的智慧建筑物联网。

2 智能建筑物联网网络安全标准

2.1 智能建筑无线网安全及分类

2.1.1 智能建筑物联网网络国家标准

2018 年 12 月 28 日,全国信息安全标准化技术委员会归口的 27 项国家标准正式发布,其中涉及物

[收稿日期] 2022-11-20

[作者简介] 牟云浩(1988-):男,本科。主要从事软件工程信息系统方面研究

联网安全的有:CB/T37044 -2018《信息安全技术物联网安全参考模型及通用要求》、CB/T36951 -2018《信息安全技术物联网感知终端应用安全技术要求》、CB/T37024 -2018《信息安全技术 物联网感知层网关安全技术要求》、CB/T37025 -2018《信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求》、CB/T37093 -2018《信息安全技术 物联网感知层接入通信网的安全要求》。

涉及智能建筑设计《智能建筑设计标准(CB50314 -2015)》,信息接入系统应符合下列规定:

- 1、应满足建筑物内各类用户对信息通信的需求,并应将各类公共信息网和专用信息网引入建筑物内。
- 2、应支持建筑物内各类用户所需的信息通信业务。
- 3、宜建立以该建筑为基础的物理单元载体,并具有对接智慧城市的技术条件。
- 4、信息接入机房应统筹规划配置,并应具有多种类信息业务经营者平等的接入条件。
- 5、系统设计应符合现行行业标准《有限接入网设备安装工程设计规范》YD/T5139 等的有关规定。移动通信室内信号覆盖系统应符合下列规定:

- 1、应确保建筑物内部与外界的通信连续。
- 2、应适应移动通信业务的综合发展。
- 3、对于室内需要屏蔽移动通信信号的局部区域,应配置室内区域屏蔽系统。
- 4、系统设计应符合现行国家标准《电磁环境控制限值》CB8702 的有关规定。

2.1.2 智能建筑物联网安全标准的应用

智能建筑物联网安全标准建立,不仅要基于物联网的国家标准,也需要结合相关领域标准,包括传统通信安全标准、网络安全标准、4C/5C标准等。其中部分标准内容可以直接采用,需要修订的部分应尽可能保持兼容。这样才能达到安全标准的同时,支持新业务、新技术的加入,提高系统扩展性。智能建筑应用与安全标准关系,如图1所示

2.2 智能建筑物联网安全标准体系架构

2.2.1 物联网安全标准总体架构

物联网安全标准体系,如图2所示。

2.2.2 基础通用类安全标准

基础通用类安全标准主要用于规范智能建筑

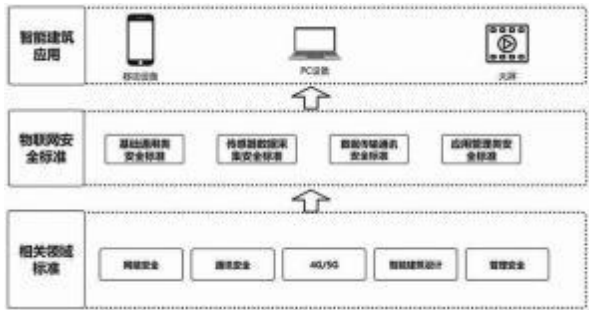


图1 智能建筑应用与安全标准关系

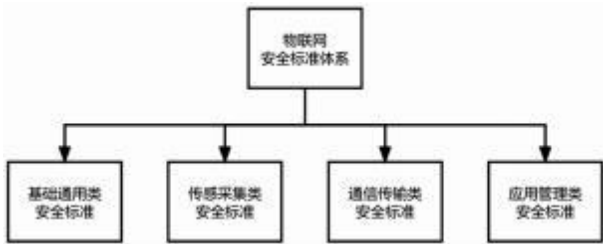


图2 物联网安全标准总体架构

物联网安全领域概念,使智能建筑物联网干系人对物联网相关概念、术语、问题达成统一的认知,如AM&P(高级消息队列协议),并了解系统基本要求。

2.2.3 传感器数据采集安全标准

传感器数据采集安全标准主要为各类智能建筑传感器、控制器、网关、相关嵌入式设备提供安全标准。

传感器数据采集安全标准主要用于满足①传感器在各种严苛使用条件下的部署安全②传感器感知节点信任鉴权安全③传感器信号干扰安全、电磁攻击安全、传输信息防篡改等。

2.2.4 数据传输通讯安全标准

数据传输标准基于有线、无线网络通信相关标准。例如针对建筑视频监控、电梯管理等应用场景下保障数据安全传输制定的数据加密、传输、交换等相关标准。

智能建筑物联网的数据传输通常需要跨越不同网络类型、通信协议的转化、多通道传输信号情况更加复杂,相较单一类型网络,面临更大的网络安全威胁。

2.2.5 应用管理类安全标准

应用管理类安全标准是为智能建筑物联网产品使用者、智能建筑物联网开发、运维人员制定。为智能建筑物联网业务应用、产品全生命周期,研

发、运维、迭代升级提供安全标准参考。

应用管理类安全标准,包括但不限于物联网安全管理、物联网安全响应、程序研发测试发布流程规范等。

3 智能建筑网络安全建设方案

3.1 智能建筑物联网网络架构

3.1.1 智能建筑系统架构

本文研究的智能建筑管理系统主要基于本公司自研项目,该智能建筑管理系统设计时充分考虑了信息系统的目的性、整体性、层次性、稳定性、突变型、相关性、环境适应性、系统开放性。

本智能建筑管理系统采用分层架构设计如图 3 所示:每一层都依托在下层之上,上层使用下层定义的各种服务,不用关心下层实现,从而降低了系统耦合度,增加了系统稳定性与开放性。系统架构主要分为八层,如图 3 所示:①接人层②协议层③网关层④业务层⑤数据层⑥基础层⑦技术层⑧展示层。

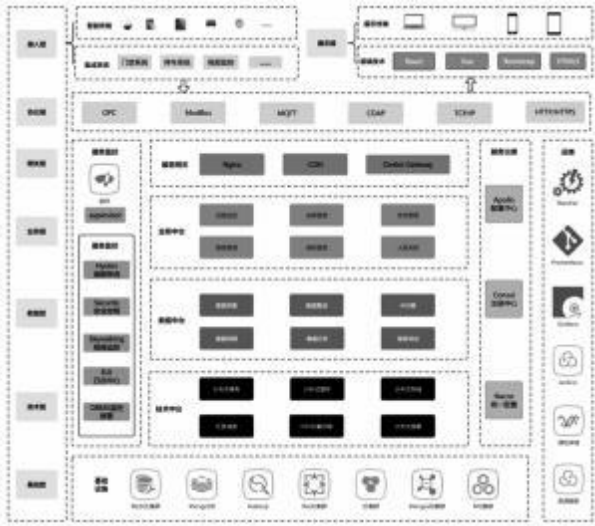


图 3 智能建筑管理系统架构图

- (1) 基础层:为系统提供基础数据存储、算力支持,服务的调用,其包含 Mysql 集群、Redis 集群、Hadoop、MongoDB 等。
- (2) 技术层:也称平台技术中台,为支持上层数据应用提供技术以及解决方案的支持如分布式事务、分布式部署等。
- (3) 数据层:智能建筑管理系统的数据中台,基于基础层与技术层。主要负责数据采集、数据处理、

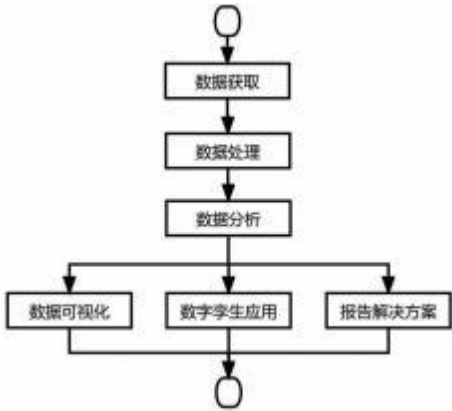


图 4 数据层业务流程图

数据分析。为上层业务应用提供支持,如图 4 所示。

- (4) 业务层:专注于用户业务逻辑处理,包含系统所需所有功能的算法以及计算过程。并与数据层和表现层交互。为客户提供诸如【设备监控】【能耗管理】等服务支持。
- (5) 网关层:提供各种网关设计,以及网络安全架构。诸如反向代理。
- (6) 协议层:提供底层设备通信协议支持,常用智能建筑协议架构如 OPC 等。
- (7) 接入层:集成了智能建筑物联网相关的通信协议,支持各种智能建筑终端设备、各类子系统接入平台。
- (8) 展示层:采用动态网页生成,提供用户与平台的交互,向用户展示信息、给出操作反馈,接受用户的输入。

3.1.2 智能建筑网络分层设计

智能建筑网络设计服务于系统架构,同时参照 OSI 网络分层设计理念:各层之间相互独立,结构上分立以支持技术的分立。每一层可单独维护,降低维护成本。本系统网络设计从下至上分为三块:感知层、传输层、应用层。

- (1) 感知层:
感知层主要服务于系统架构中的接入层,负责智能建筑中各种终端设备的接入,MAC 地址过滤、宽带交换等。
- (2) 传输层:
传输层服务于系统架构中的协议层和网关层。主要负责主机间数据传输与数据处理,包括协议的转换、地址找寻、流量控制、分段、重组差错控制等。
- (3) 应用层:

作为整个平台的核心。直接支撑用户使用系统,其汇集感知层采集的原始数据,分析转化为可利用的分析信息。完成业务决策以及信息发布,并对底层设备发出控制指令。

网络结构层次如图 5 所示:

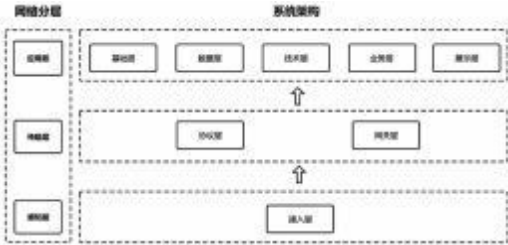


图 5 系统架构网络架构对应图

3.2 智能建筑网络分层风险分析

3.2.1 感知层风险分析

感知层接入设备工作环境复杂多样,面临各种各样的威胁。既有设备部署环境的威胁,如火灾、梅雨季等自然灾害,漏水、虫害等恶劣环境。也有人为破坏的威胁,众所周知感知层设备节点众多,有些甚至是隐蔽工程,运维检查往往不足。攻击人员可以直接拆除或破坏设备,造成系统不可用。其次感知层硬件设备本身的质量,老化问题也会导致系统不可用。感知层其他主要风险还包括攻击者对感知设备节点信号的屏蔽、干扰、篡改等攻击。感知设备层类型主要有光电传感器、接近传感器、光纤传感器、位移传感器、霍尔效应传感器等。比如光电传感器,如果攻击者对光线进行了屏蔽,会直接导致传感器采样失败。

3.2.2 传输层风险分析

智能建筑物联网设备众多,布线困难,导致传输层网络结构复杂。许多设备直接采用无线连接方式,传输时仅采用简单加密方式,甚至明文加密传输。传输时很容易被监听、破坏。其他面临的风险主要来自自身安全漏洞遭受的网络攻击,比如向主机发起大量请求但不对其响应,占用主机资源而造成主机瘫痪。

3.2.3 应用层风险分析

(1) 攻击者利用系统安全漏洞、服务漏洞或恶意代码对系统主机发起攻击。从而非法获取系统权限,肆意窃取系统商业秘密。攻击者甚至完全远程控制系

统,让平台成为肉鸡,对物联网设备发出

错误指令,直接威胁人们安全生产使用。

(2) 应用层子系统、模块服务使用了大量的中间件技术进行数据调用。这种暴露的接口易被攻击者攻击,从而造成系统正常调用中间件的行为无法进行,发生请求延时、请求被拒绝等情况。如门禁系统无法严重进入人员是否合法等。

(3)应用层数据丢失、泄露、被篡改。导致数据完整性、可用性遭到破坏。数据库缺乏有效的备份和还原手段,导致数据受到影响时没法有效恢复生产。

3.3 智能建筑网络分层安全防护设计

3.3.1 感知层安全防护设计方案

技术安全防护策略,重点在感知层各设备的安全设计。如基础数据采集后采取数据加密设计,保障即使被窃听,窃听者也无法解析真实数据。加强感知层容灾冗余建设,保障感知层的高可用。防止单一节点设备故障,导致整个感知层失效。感知层控制节点的接入,在信息系统设计层面采用认证鉴权机制,防止非授权设备冒充授权设备接入系统。

物理防护策略方面,按照相关标准要求结合使用工况,从选址、供电、温度等综合考虑物理环境安全,做好防水防潮、电力供应保障、防盗防破坏。接入感知设备,必须有唯一的网络身份辨识,接入网络时必须验证。对于验证不通过的设备,设置验证间隔与验证次数。如有必要,设备应使用抗干扰措施保障终端设备使用正常。

管理防护策略方面由于感知层设备节点常常在开放环境中使用,应采用人工介入方式对感知层设备及感知控制网络进行定期巡检维护、制定应急响应计划、进行应急保障演练,确保感知设备及传输网络的可靠性。除此以外,定期采取风险评估及安全性能测试手段对感知控制节点进行安全审核,检查网络结构、安全措施是否有效执行。

3.3.2 传输层安全防护设计方案

传输层处于连接感知层和应用层的关键位置,是整个智能建筑平台实际的内部网络。该层通过业务上分离不同区域,以实现业务区间上互相隔离与安全互访。本层应对无线接入安全系统实施抗干扰、反欺骗措施。网络使用容灾冗余建设,确保网络传输的高可用,防止单一网络故障导致网络整体拥堵或瘫痪。

物理设备建设方面,借助各种安全审计措施,实时监控并记录传输层的工作状态,辨识预警可能

或者正在发生的安全攻击。使用网络漏洞扫描软件,定期扫描系统安全缺陷,结合业务实际需求,对发现的漏洞进行修复。

3.3.3 应用层安全防护设计

用户通过 app、微信小程序、机房大屏、PC端在应用层和系统平台进行交互操作,如图 6 所示。交互数据首先通过互联网进行传输,该阶段会通过状态感知、堡垒机、防火墙对数据进行第一层安全防护。第二层防护,通过 Nginx实现高并发连接,降低内存消耗,降低服务器负载、节省带宽。结合使用 CDN分发,源服务器的 IP被隐藏,受到攻击的概率大幅下降。同时当某个服务器故障时,CDN会调用邻近的健康服务器进行服务,保障业务不受到影响。

应用层安全设计不仅要安全防护,还要重视客户使用体验,权衡两者的平衡。用户设备接入必须做安全验证,合法登录后才能使用相关功能。用户对页面的访问、跳转、表单提交,在软件层面都要校验用户有效信息(如权限、角色)防止信息的泄露与篡改。

应用层用户使用方面,需要给用户提供详尽的使用手册,告知系统的合法入口,以及操作流程。必要时,组织产品使用培训会,对操作、安全防范意识方面进行宣讲(如非必要,用户账号不外借)。系统每次升级更新,和相关方确认后,需要挂维护页面进行告知。系统每次进行升级更新后,相应的更新内容需要及时通知客户。

4 结论

近年来物联网产业飞速发展、从智能家居、智能汽车到各大品牌厂商打造的物联网生态链,业务场景越来越复杂。另一方面随着高精度定位、大数据存储、AI算法、5C等技术不断发展与使用,让物联网技术门槛越来越高。为了解决这些问题,本文通过对物联网网络安全组合策略研究,得出以下结论:

- (1) 智能建筑物联网网络安全策略,需以国家、行业标准为基本要求,结合企业建筑施工水平、企业使用成本综合考虑制定,降低企业研发、安装、部署成本,好钢花在刀刃上。
- (2) 智能建筑物联网网络需采用分层架构设计,以应对越发复杂的建筑物联网使用场景,实现系统易扩展、高可用。降低用户后续维护升级成本,为客户创造价值。
- (3) 物联网网络安全策略,不仅是技术实现手

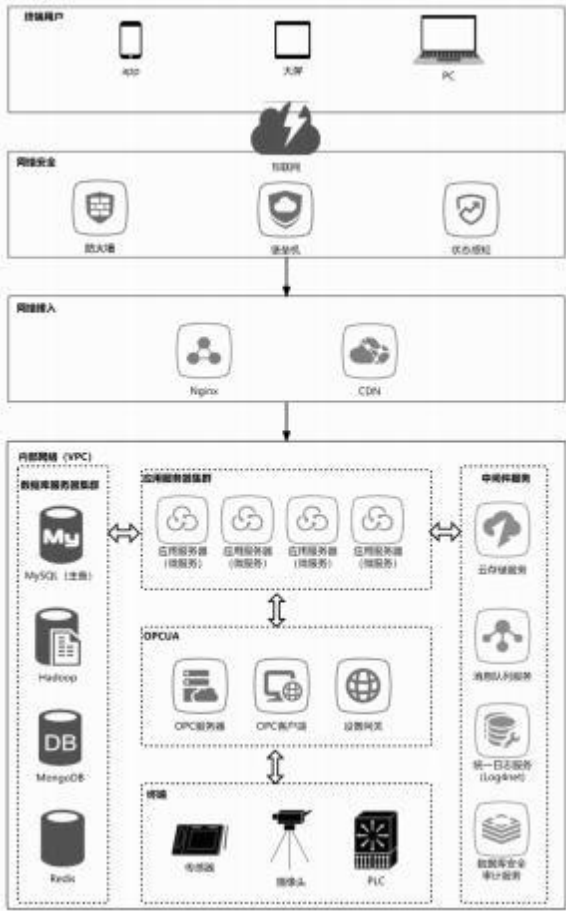


图 6 应用层架构图

段,更要结合物防、管理策略,实现全方位策略组合。从而高效协同企业不同领域组织资源,提升工作效率,为企业赋能。

参考文献

[1] 李峰,陈亮,李凯,王亚玲.物联网安全标准体系框架研究[J].电子技术应用,2022,48(07):8-12.D01:10.16157/j.issn.0258-7998.212270.

[2] 李冰,李陆,张瑞,张丛旭,胡星,蒯亮.物联网平台安全体系设计[J].工业信息安全,2022(05):17-23.

[3] 黄谋江,李昱希,张启浩.智能建筑网络安全问题初探[J].智能建筑,2016(08):36-41.

[4] 朱林.智能建筑中智能化系统的信息安全分析[J].大众标准化,2022(03):76-78.

[5] 刘欢.智能建筑的计算机网络设计分析[J].现代物业(中旬刊),2018(11):36.D01:10.16141/j.cnki.1671-8089.2018.11.028.

[6] 民用建筑电气设计规范 JCJ16-2008;中华人民共和国建设部,2008-01-31.

[7] 张泽新.面向群智能建筑的网关开发与应用[D].大连理工大学,2021.D01:10.26991/d.cnki.gdlu.2021.002528.

[8] 席攀锋.新型智能建筑中的网络安全策略研究[J].现代工业经济和信 息化,2021,11(07):111-115.D01:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2021.07.42.

基于 BIMBase 的预制板配筋局部重设计方案研究与应用

王莹, 曹龙, 刘金梅(北京构力科技有限公司, 北京 100010)

[摘 要] 国产 BIMBase 提供了稳定强大的三维可视化图形引擎平台, 依托其开发的装配式设计软件 PKPM-PC 为设计师们提供了智能化且操作便捷的预制构件配筋设计功能。然而, 以往的配筋设计方法存在灵活度不高、二次修改操作繁琐且工作量大, 成为该类软件的一大痛点和难点。针对上述问题, 基于国产化 BIMBase 平台, 研究出一种高效、适应性强的预制板配筋重设计方案, 并在 PKPM-PC 软件上进行了开发应用。通过多项工程应用表明, 该方法帮助用户的大大降低了钢筋设计二次修改的时间和成本。

[关键词] 预制板; BIM; 钢筋局部重设计; 工程应用

Research and Application of the Rebar Partial ReDesign Program of The Precast Slab Based on BIM

wang ying, Cao Long, Liu Jin-mei (Beijing Glory PKPM Technology Co., Ltd.)

Abstract) Domestic BIMBase provides a stable and powerful 3D visualization graphics engine platform. Relying on the assembled design software PKPM-PC developed by BIMBase, it provides designers with intelligent and convenient prefabricated component reinforcement design functions. However, the previous reinforcement design method has low flexibility, cumbersome secondary modification and heavy workload, which become a big pain point and difficulty of this kind of software. In order to solve the above problems, an efficient and adaptable rebar redesign program of precast slab is developed and applied in PKPM-PC software based on the domestic BIMBase platform. several engineering applications show that this method can greatly reduce the time and cost of rebar design modification.

Key words) precast slab; BIM; rebar partial redesign; engineering application

0 引言

现代化工业发展带动了装配式建筑的兴起, 由于其建造速率高、生产成本低, 且工程质量更有保障性, 2015 年开始国家开始在全国范围大力推广装配式建筑。2015 年《建筑产业现代化发展纲要》出台, 计划到 2025 年装配式建筑占新建筑 50% 以上^[1]。2016 年国务院印发《关于大力发展装配式建筑的指导意见》中提出: 创新装配式建筑设计, 推广通用化、模数化、标准化设计方式, 积极应用建筑信息模型技术, 提高建筑领域各专业协同设计能

力^[2]。国内外许多研究和工程实例表明, 建筑信息模型技术 (Building Information Modeling, 以下简称 BIM) 给工程建设行业带来的益处正逐渐凸显^[3], 尤其在预制构件深化设计方面, 可利用 BIM 的三维可视化解决钢筋碰撞等问题, 通过导出设计图纸和构件清单直接对接构件生产厂, 有助于装配式结构优化设计、提高施工效率和质量。BIMBase 作为一款完全自主知识产权的国产化基础平台, 核心三维图形绘制技术自主可控, 可满足大体量工程项目的多专业数据管理和协同工作, 是助力 BIM 应用于装配式建筑设计的坚实基础。

装配式建筑结构设计一般包括方案设计、计算分析、深化设计、施工图设计等^[4]。随着工程生产管理系统 PMs (Power Production management system) 和企业资源计划系统 ERP (Enterprise Resource Planning) 在预制构件建造工厂的扩大投入

[收稿日期] 2022 -11 -02

[基金项目] 住房和城乡建设部研究开发项目: 面向智能建造全过程数据应用的装配式建筑 BIM 设计软件研发与应用 (2022 -K-066)

[作者简介] 王莹 (1996.01-), 女, 硕士, 助理工程师

[联系方式] E-mail: yingwcatherine@163.com

应用,材料清单和施工图纸等设计成果逐渐成为从装配式建筑设计阶段过渡到施工阶段的关键媒介。然而在输出图纸和清单前,预制构件通常需要大量设计和反复调整修改,尤其当出现多专业协助时出现修改变更,设计人员就需要投入大量精力和时间成本。预制板构件的 BIM设计 目前是行业中应用较为广泛的模块,而预制板的钢筋设计部分却是建筑结构设计较为复杂、二次修改工作量较大的关键步骤,包括:(1)沿板长度方向和沿板宽度方向底部钢筋等级、直径和排布设计;(2)析架钢筋规格、排列设计;(3)板上洞口和附件处附近钢筋调整;(4)柱子切角处钢筋截断缩进处理;(5)板薄弱部分加强筋设计等^[5]。目前市面上常见的装配式建筑结构设计软件(如 Tekla、YJK-AMCs、CissAP等)大部分都是全自动、一键式地进行钢筋设计,操作方便但设计灵活度小,二次修改代价大。

本文基于这一现状,结合实际工程设计中的实施经验,探索出一种高自由度、低耦合度的钢筋局部重设计方案,能精准满足设计师们局部调整的需要,解决了深化设计后二次修改成本过大、操作过于繁琐的问题,提升了软件的可使用度和设计效率,大大降低了设计修改成本。

1 方案概况

基于解耦思想,将预制板常用的钢筋设计关键步骤进行了拆分,并进行了功能设计,目的是使重设计模块尽量细化、修改局部化、调整精准化,在满足设计师对板钢筋设计便捷性的需求下最大限度的提升修改方案的灵活度。钢筋局部重设计主要包括板底筋排列修改、配筋基本参数修改、支座边端部做法修改、接缝边端部做法修改、柱切角底筋处理修改、短钢筋处理修改,软件界面设计如图 1。

软件界面分为两部分,即设计项选择区和参数展示区。通过在选择区勾选设计项前方框,确定程序进行的局部重设计流程。通过高亮选择区设计项,参数展示区会实时更新对应设计项的详细设计参数,以供用户输入调整。除板底筋配列选项外(因排列修改可能涉及新增钢筋,需要钢筋规格和钢筋端头信息),其余选项均可独立单选,这就使得用户能精准控制修改范围,减小修改影响和重设计的时间成本。

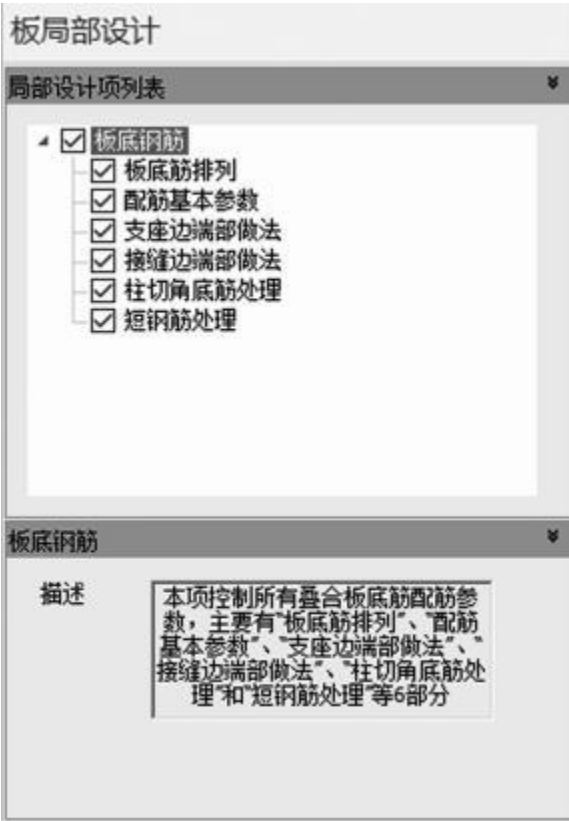


图 1 板钢筋局部重设计软件界面

2 设计流程

通过勾选或者取消勾选相应选择项,确定输入局部重设计流程的排列参数、钢筋等级和直径、钢筋端部参数、切角处理参数、短钢筋处理参数采用界面输入或者构件钢筋中的已有数据。具体步骤如下:1)由排列参数和钢筋等级和直径、端部参数形成钢筋组;2)根据支座情况和切角情况修正钢筋外伸长度;3)根据板上洞口或者附件处理情况进行钢筋弯折和截断;4)删除满足条件的短钢筋。详细流程图见图 2。

3 设计项详解

3.1 板底筋排列

板底筋排列设计提供五种钢筋排列方式,分别为对称排列、顺序排列、边距/间距固定两端余数、加强筋单独排列、自定义排列,各种排列的具体算法逻辑详见参考文献[6],该模块界面设计如图 3。

3.2 配筋基本参数

配筋基本参数是对钢筋规格进行设计,包括:

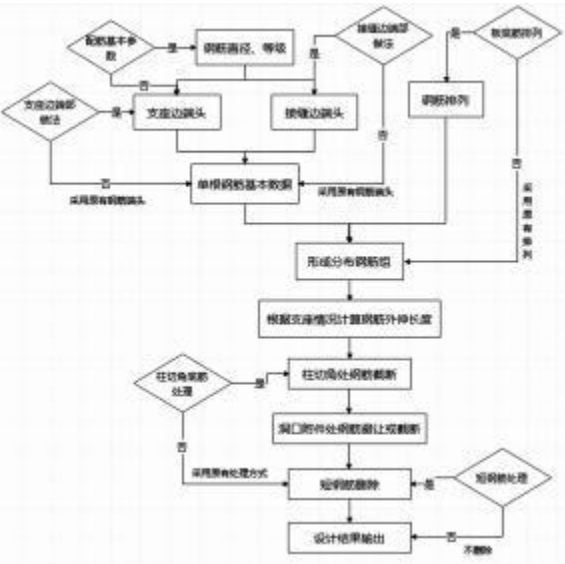


图 2 板底筋设计流程图

图 3 板底筋排列参数界面图

图 4 配筋基本参数界面图

钢筋上下层关系提供了六种形式: 结构板短边方向在下、结构板短边方向在上、预制板长边方向在下、预制板长边方向在上、桁架方向在下、桁架方向在上。配筋值可对接结构结算结果进行设计, 强度和直径即能满足装配式构件受力需求和设计规范^[7]。

3.3 支座边端部做法

支座边端部设计支持四边做法相同和四边做法不同。当取消勾选四边做法相同时, 可分别对 X 向钢筋始端、X 向钢筋末端、Y 向钢筋始端、Y 向钢筋末端分别设计(如图 5)。考虑了实际工程应用和规范要求, 端部做法提供了直线搭接做法、90 度弯钩做法、135 度弯钩做法、弯折搭接、180 度圆弧做法、180 度弯折做法六种。钢筋超出混凝土长度的设计有两种控制方式: 按支座中心控制和按预制板边控制, 若计算所得外伸长度过长不方便构件运输时, 提供超出阈值截断处理。同时, 在建筑结构设计, 盥洗室、厨房、阳台等容易积水处常采用降板来满足排水需求, 此类预制板的钢筋端头通常采用向外(或同时向下弯折)搭接在梁或其他预制板上形成端头锚固。本文方案考虑到这类特殊设计, 对于部分端头形式可通过勾选界面上“向下弯”、“向外弯”控件进行钢筋支座端或者接缝端修改。此外, 每种钢筋端头形式均可输入正整数或者 nd (d 为钢筋直径) 对弯折半径、平直段长度、弯折高度进行修改, 输入值给予了设计者足够的修改自由度。

3.4 接缝边端部做法

接缝边端部可针对不同接缝宽度处的钢筋进

1) 沿板长边方向和沿板短边方向钢筋的相对高度位置关系; 2) 下层钢筋保护层厚度; 3) 钢筋直径和钢筋强度。该模块界面设计如图 4 所示。



图 5 支座边端部做法界面图

行设计。根据规范提供的常用钢筋端头形式，软件开放了直线搭接做法、90 度弯钩做法、135 度弯钩做法、弯折搭接、180 度圆弧做法、180 度弯折做法六种，每种端头做法均开放了弯折半径、平直段长度等参数以供用户修改，界面如图 6 所示。同样地，针对进行降板设计的预制板，软件提供将钢筋端头向下、向外弯折。接缝处钢筋外伸长度控制方式有按接缝宽度控制、按搭接尺寸控制、按板边控制三种，可满足大部分设计场景。同样的，每种钢筋端头形式也均开放了弯折半径、平直段长度、弯折高度可

供用户修改。



图 6 接缝边端部做法界面图

3.5 柱切角底筋处理

图 7 给出了柱切角处理参数界面，该模块是针对板柱衔接处钢筋进行处理。本文方案提供了三种处理方式，即不处理、伸出长度同普通钢筋和自定义处理，以满足不同实际工程场景。同时，将沿预制板长边方向钢筋（X 向）和沿短边方向钢筋（Y 向）柱切角处理解耦，使得方案修改更为灵活。

3.6 短钢筋处理

因为洞口、水电附件存在，预制板深化设计中通常需要将通长钢筋进行截断。当洞口或附件间距较短时，会因截断产生小短钢筋。该类钢筋在实际生产中不会被放置在构件，而通常在洞口或附件处布置附加加强钢筋。对于这种情况，方案提供对短钢筋进行删除，通过在图 8 界面中输入长度阈值，

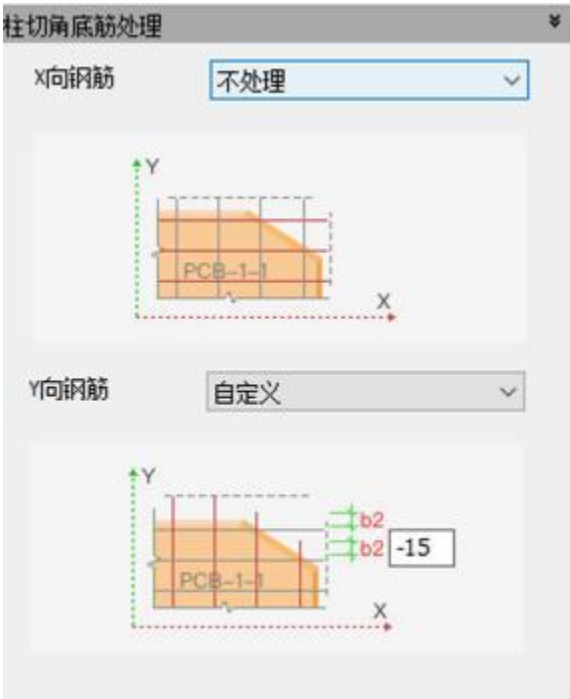


图 7 柱切角底筋处理界面图

然后一键点选或框选要处理的预制板，即可删除钢筋长度小于阈值或者混凝土内钢筋净长度小于阈值的钢筋。



图 8 短钢筋处理界面图

4 软件开发逻辑框架

本文基于 BIMBase 三维图形绘制平台和 PKPM-PC 已有预制构件钢筋设计，进行流程解耦、代码封装重构，此外，为方便设计师操作简便的需求，基于 MFC 框架和第三方库 BC 研发出功能交互界面（详见第一节和第二节）。

考虑到该程序是对已有钢筋设计流程的封装和重构，因此在代码框架设计时充分考虑了设计模式^[8]和重构原则^[9]，并基于面向对象编程思想，充分利用了类的三大特性封装、继承、多态，实现了该程序能够满足快速开发、稳定运行和易于扩展。具体代码框架设计(UML类图)见图 9。

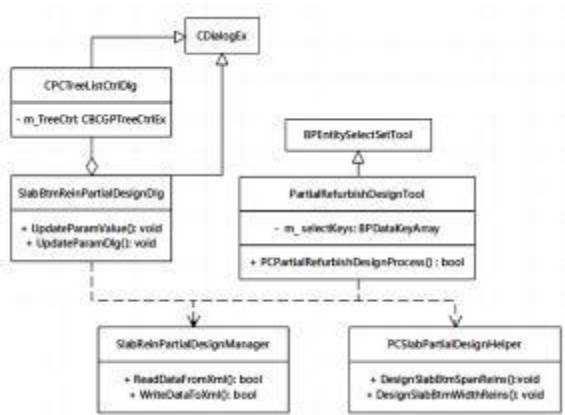


图 9 代码设计类图

5 工程应用

本文提出的钢筋局部重设计方案已应用于多个装配式项目中。某项目住宅楼共 26 层，屋面板和楼面板均采用预制钢筋桁架叠合板，建筑平面总面积 14 859m²，预制楼板总面积 12 137m²，使用该软件进行三维结构建模、拆分设计和深化设计，标准层共 5 个。以下以屋面标准层为例，该标准层共 97 块叠合板，见图 10。

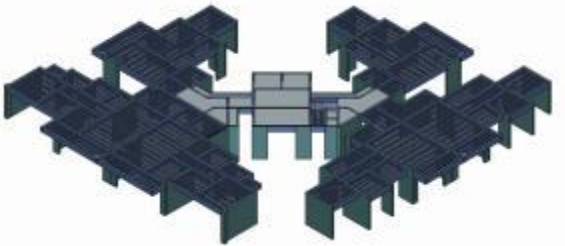


图 10 某项目 8#住宅楼屋面标准层 BIM 模型

相同人员基于本层所有叠合板分别采用 Revit 和本程序进行钢筋设计，在相同初始条件下（拆分方案和楼层组装等准备步骤完成，设计人员对 Revit 和本程序有相同的熟练度），使用本文提出的钢筋局部重设计方案的设计可以实现 5min/块的调整速度，修改效率明显较高，设计精细化程度更好，设计结果更贴合实际施工效果，标准化程度更高。图 11 给出了该层某块叠合板局部重设计后三维效果，可以看到本文方案能较好地满足复杂钢筋设计需求。

6 结论

综上所述，本文基于 BIMBase 三维图形绘制平

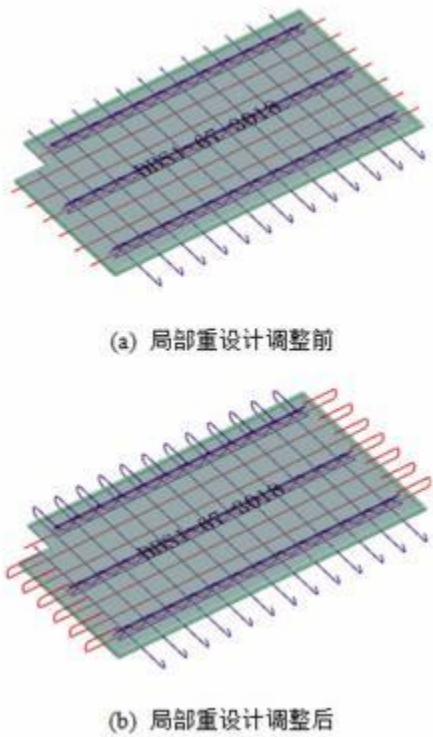


图 11 单块钢筋桁架叠合板局部重设计前后三维效果

台,开发了一种配筋局部重设计方案,在保证高效便捷的基础上,使预制板的钢筋深化编辑更具灵活性和高精度,降低了设计师二次修改的时间成本。该方法已应用于多项实际工程中,拓展了 BIM 技术在装配式建筑设计中的应用。本文主要成果有:

1) 通过结合建筑设计规范将板钢筋标准化,将工程中通用钢筋的规格、端头尺寸参数、柱切角处理方式引入程序设计中,使设计方案更具有工

程适应度。

2) 对 PKPM-PC 现有钢筋设计流程进行拆分解耦,包括了板底筋排列修改、配筋基本参数修改、支座边端部做法修改、接缝边端部做法修改、柱切角底筋处理修改、短钢筋处理修改,实现了通过单独勾选设计项,局部精准地对钢筋进行二次修改设计,提高了修改灵活度。

3) 本文方案已应用于多项实际工程中,验证了该方法在钢筋设计二次修改方面具有很好的实用性和灵活度,可大大降低工程的设计时间,且设计结果精细化程度更好。

参考文献

[1] 住房和城乡建设部.2016 -2020 年建筑业信息化发展纲要[N].Is043052I0003/2017 -000I2 .

[2] 国务院办公厅.国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见[N].2016.9.27 .

[3] 李伟,程琳,何晓宇.BIM技术在装配式混凝土结构深化设计中的应用[J].土木工程信息技术,2020 ,I2 (04) : 85 -91.D0I:10.16670/j.cnki.cn11 -5823/tu.2020.04.11 .

[4] 许胜才,邓礼娇,蔡军等.基于 BIM 的装配式混凝土结构深化设计课程建设[J].高等工程教育研究,2022 (01) :68 -74 .

[5] 王艺霖,赵洪凯,刘巧玲等.单向桁架混凝土叠合板楼盖设计方法及实例[J].工程建设,2020 ,52 (I2) : 23 -29 +52.D0I:10.13402/j.gcjs.2020.12.005 .

[6] 王莹.一种基于 BIM 的装配式预制构件中钢筋通用排布算法[J].北京构力科技有限公司,2021 .

[7] 装配式混凝土结构技术规程: JCJI —2014 [s].北京: 中国建筑工业出版社,2014 .

[8] 程杰.大话设计模式[M].北京:清华大学出版社,2007 .

[9] (美)马丁·福勒.重构:改善既有代码的设计[M].熊节,林从羽译.北京:人民邮电出版社,2020 .

基于国产 BIMBase 平台的智能建造数字设计实践

赵瑞阳, 刘苗苗, 李书阳, 杨华(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 智能建造是建筑业转型发展的必然选择,是追求高质量发展的重要举措。加快智能建造与新型建筑工业化协同发展是《“十四五”建筑业发展规划》中提出的主要任务之一,而智能建造离不开数字设计。基于国产 BIMBase 平台开发的装配式建筑设计软件 PKPM-PC 是“十三五”国家重点研发计划项目“基于 BIM 的预制装配建筑体系应用技术”成果,也是智能建造过程中数字设计的重要工具。本文将从软件国产化、智能设计、数字审查等方面阐述 PKPM-PC 在智能建造数字设计方面的重要实践,为推动智能建造与建筑工业化协同发展提供参考。

[关键词] BIMBase; PKPM-PC; 智能建造; 数字设计

Digital Design Practice of Intelligent Construction Based on BIM Base Platform

Zhao Rui-yang, Liu Miao-miao, Lishu-yang, Yang Hua (Glory PKPM Technology Co., Ltd., Beijing 100013)

Abstract: Intelligent construction is an inevitable choice for the transformation and development of the construction industry and an important measure for the pursuit of high-quality development. Accelerating the coordinated development of intelligent construction and new building industrialization is one of the main tasks proposed in the 14th Five-Year Construction Industry Development Plan, and intelligent construction is inseparable from digital design. The prefabricated building design software PKPM-PC developed based on the domestic BIMBase platform is the achievement of BIM-based Prefabricated Buildings system Application Technology in the 13th Five-Year Plan, national key Research and development program. It is also an important tool for digital design in the process of intelligent construction. This paper will describe the important practice of PKPM-PC in the digital design of intelligent construction from the aspects of software localization, intelligent design, design standardization, design expansion, design data relay production, etc., so as to provide a reference for promoting the coordinated development of intelligent construction and building industrialization.

Keywords: BIMBase; PKPM-PC; intelligent construction; digital design

0 引言

建筑业在我国国民经济中占有重要的地位,2021 年我国建筑业总产值 29.3 万亿元,同比增长 11%,有力支撑了国民经济的持续健康发展。但是长期以来,我国建筑业始终存在生产方式粗放,劳动生产率低、能源消耗较大、环境污染严重等问题^[1]。“十四五”建筑业发展规划提出建筑业需要树立新的发展思路,将扩大内需与转变发展方式有机结合起来,同步推进,从追求高速增长转向追求高质量发展。

智能建造是新一代信息技术与工程建造相融合形成的工程建造创新模式^[2],发展智能建造,是稳增长扩内需的重要抓手,不仅可以带动物联网、人工智能、高端装备制造等新兴产业的发展,还能培育建筑产业互联网、建筑机器人、数字设计等新业态新模式^[3]。同时,发展智能建造也是助力实现碳达峰碳中和目标的重要举措,例如装配式建筑在节材、节能、节地和高效率等方面具有明显优势。

智能建造是一项复杂的系统工程,黄光球等^[4]提出一体化的智能建造新发展模式,包含设计、生产、施工、运维阶段,简称 DC0 模式。毛超等^[5]提出智能建造需要利用新技术实现决策、设计、生产、施工、运维阶段的智能升级。陈珂等^[6]则提出智能建造需要发展面向全产业链一体化的工程软件、面向智能工地的工程物联网、面向人机共融的智能化工程机械、面向智能决策的工程大数据等领域技

[收稿日期] 2022-11-07

[基金项目] 住房和城乡建设部研究开发项目“面向智能建造全过程数据应用的装配式建筑 BIM 设计软件研发与应用”(2022-K-066)

[作者简介] 赵瑞阳(1986-),男,硕士,高级工程师。

[联系方式] E-mail: 81724255@qq.com

术。可见数字设计是智能建造必不可少的一环，“十四五”建筑业发展规划中业明确提出加快智能建造与新型建筑工业化协同发展，推广数字设计、智能生产和智能施工。

相对全球发达国家，我国智能建造数字化设计方面仍面临着诸多困境。建筑企业对国外软件产品形成了使用习惯上的依赖，国产化替代难度大；数据应用不连贯，未形成上下游的深度串联；缺乏完善的智能建造应用生态，数字设计成果难以向生产端传递；设计人员仍以传统思维进行设计，缺少智能建造复合型人才。

本文以基于 BIMBase的装配式智能设计软件 PKPM-PC为例，针对数字设计的诸多困境，从软件层面阐述数字设计的探索及实践，以期为推动我国智能建造的健康发展提供参考。

1 软件国产化

BIM技术是推动数字设计的重要支撑，目前国内建筑行业使用的 BIM建模软件既有国产软件也有国外软件。但是国产软件整体市场占有率很低，直接导致我国建筑业面临着技术“卡脖子”的问题。工程建设项目本身具有生命周期长、数据存储量大的特点，对国外软件的依赖性使得关键数据的安全性面临着较大的风险。发展国产软件，攻关核心技术难题，具有重要的现实意义。

在设计建模软件方面，目前国产 BIM类软件主要采用 Revit、tekla等国外软件，相关研发也是对国外软件的二次开发为主，面临着严重的“缺魂少擎”问题。数据库、图形引擎等基础性技术是制约国内 BIM技术发展的核心技术要素，只有实现核心引擎、基础数据库的完全自主可控，才能从根本上提高国产 BIM软件的竞争力^[7]。

BIMBase是北京构力科技有限公司开发的完全自主知识产权的国产 BIM基础平台，实现核心技术自主可控。BIMBase提供了几何造型、显示渲染、数据管理三大引擎，以及参数化组件、通用建模、协同设计、碰撞检查、工程制图等功能。PKPM-PC软件基于自主 BIMBase平台，实现了核心引擎、专业平台和专业模块的完全国产化，所有软件代码完全自主可控，是国内完全自主知识产权的 BIM装配式建筑设计软件，实现了核心软件国产化替代。自主 BIMBase平台突破了大体量几何图形的优化存储与

显示等关键核心技术，为装配式建筑精细化设计提供了重要基础。

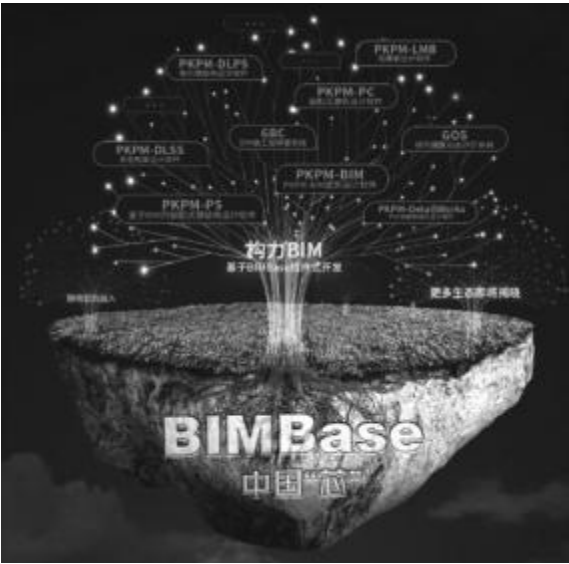


图 1 BIMBase生态建设

2 智能设计

装配式设计相对于传统现浇结构设计增加更多的设计内容，需要考虑预制构件的深化设计，设计精度要求高，设计绘图工作量大幅度增加。传统的二维 CAD辅助设计很难达到设计精度的要求，同时效率低下^[8]。目前设计师普遍采用 BIM 技术来进行装配式相关的设计，但是存在软件智能化程度不足，需要手动设计翻模的问题。智能设计是通过新技术对建筑设计阶段进行升级，包括设计工具的升级和设计逻辑的升级^[5]。

2.1 设计工具升级

装配式建筑对设计工具的升级需要考虑精细化、一体化、多专业集成的特点，针对装配式建筑全流程设计，包括方案、拆分、计算、统计、深化、施工图和加工详图的各个阶段提供合适的工具，以提高工作效率。具体来说，像快速的拆分工具、统计工具、智能查找钢筋碰撞点、智能生成设备洞口和预埋管线、构件智能归并，即时统计预制率和装配率，自动生成各类施工图和构件详图，自动生成构件材料清单等功能可以极大减少重复设计工作量。而这些是一般 BIM软件所不具备的，需要专业程度的开发。

PKPM-PC提供了大量的智能设计工具，例如框

架结构装配式项目中,预制梁的底筋避让是深化设计工作量最大的部分,常规三维模型软件虽然可以比较直观的观察到钢筋碰撞的点,但是仍然需要人工手动调整钢筋位置和弯折,来实现钢筋的避让。PKPM-PC通过设计工具的升级,不仅自动检查碰撞位置,还可以通过内置算法来实现自动的钢筋避让,从而达到智能设计的目的,提高设计效率。

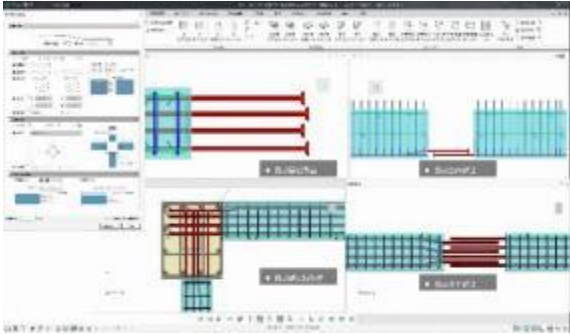


图2 智能设计工具

设计工具的升级还体现在融合国家标准,将设计规则内置处理为软件的自动设计逻辑,以此实现智能设计。三一筑工研发的 sPCs 装配式体系是一种装配整体式钢筋焊接网叠合混凝土结构技术体系,主要结构采用空腔构件,设计内容更加复杂^[9]。在软件中内置 sPCs 技术的设计规则,快速完成从建模到深化设计的各个过程,能够有效提高设计效率。

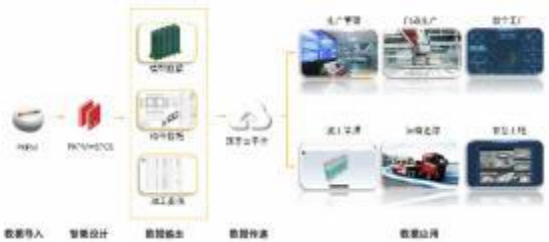


图3 sPCs 智能设计流程示意图

2.2 设计逻辑升级

BIM技术的发展使得建筑业的设计逻辑向制造业逻辑进行转变成为可能^[10]。建筑业思维逻辑转变的重要一点体现在标准化设计。标准化设计是建筑工业化的核心,是提高建筑品质、提升效率、节省工期和成本的重要方法和措施^[11]。标准化设计对装配式建筑的影响更加明显,装配式建筑与传统现场浇筑或安装的工程项目不同,装配式建筑是采

用搭积木的方式进行建造,目前装配式建筑标准化、数字化程度不高,成本居高不下,如何提高装配式建筑标准化、智能化程度,是装配式建筑必须解决的关键问题。

标准构件库是实现标准化设计的重要方法之一。PKPM-PC根据地方特色、体系特点、工艺作法等要求,利用实践数据累积形成基于公有云的标准部品部件库平台。装配式建筑预制部品部件应用贯穿设计、生产、施工各个流程。在应用推广的过程中,各个领域、各个专业间的数据孤立会造成装配式建筑效益的降低,直接影响装配式建筑的发展。通过云部品库解决部品共享问题,设计企业、构件厂等按权限创建与使用数据,形成数据开放平台,为设计阶段、生产阶段、施工阶段提供数据取用服务,同时也有利于减少生产建造成本,推动装配式建筑建造过程的标准化。



图4 标准部品部件库平台

3 数字审查

施工图审查是工程设计过程中的关键环节,对工程设计质量起到重要的保障作用,有效控制设计错误、疏漏,避免出现重大工程事故的发生。目前的施工图审查主要由人工审查为主,容易出现审查工作量大,审查深度不足,审查尺度差别较大等问题。特别是装配式项目持续增长的环境下,图纸数量大幅增加,图纸审查很难做到全覆盖。在此情况下,数字审查成为一种必然选择。

PKPM-PC基于 BIMBase平台研发了装配式 BIM 审查系统,实现了针对装配式建筑的审查数据输出及与 BIM 审查平台的自动对接。通过建立自

主可控的装配式建筑 BIM 审查数据标准和技术标准体系,形成以 BIM审查技术标准、模型交付标准、数据标准为基础的标准体系。支持导出符合标准体系的 XDB文件,包含审查必要的项目信息、属性信息、模型信息和计算信息并可直接载人系统进行审查,完成后续的数据管理业务。

数字审查将装配式规范条文转换为计算机语言,实现机审系统对规范条文进行拆解形成领域规则库,对 BIM模型自动提取数据形成语义模型,通过审查引擎对领域规则库及语义模型进行审查,最终得到各地装配率、预制构件标准化、安全性审查等多类审查结果。

审查系统利用数据中心统一管理装配式模型数据、审查结果及中间计算数据流。审查引擎可基于装配式建筑全专业精细化模型,根据不同地区要求对装配式建筑模型成果进行审查评价,并判断是否满足当地装配式设计要求。

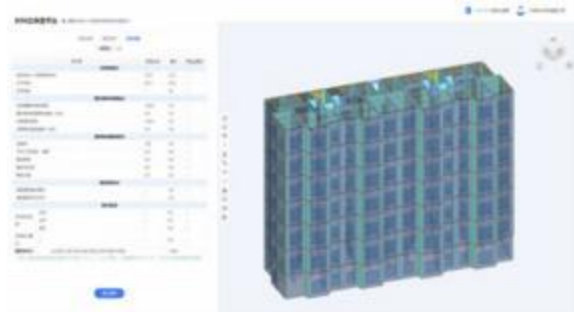


图 5 装配式云审平台

4 总结

"十四五"建筑业发展规划中提出主要任务的第一项既是加快智能建造与新型建筑工业化协同发展。数字设计是其中的重要内容,充分利用 BIM 技术集成应用,提高智能设计水平,可以有力提高设计效率和质量。文件中提出"夯实标准化和数字化基础,完善模数协调、构件选型等标准,建立标准化部品部件库",标准化将成为建筑工业化发展的重要基础。BIM数字审查有效推动数字化成果的交付和应用。

基于完全国产 BIMBase平台的装配式设计软件 PKPM-PC,在装配式设计软件领域实现自主可控,避免成为"卡脖子"问题。在智能设计、标准化设计、数字审查等方面均进行了诸多实践,经过实

际工程项目的验证,带来可观的经济和社会效益。

参考文献

[1] 丁烈云.智能建造创新型工程科技人才培养的思考 [J].高等工程教育研究, 2019 (5) : 1 -4, 29.(Ding L Y.system thinkingon cultivation modeforinnovativeintelligentconstruction talents[J]. Research inHigherEducation ofEngineering, 2019 (5) : 1 -4, 29.)

[2] 廖玉平.加快建筑业转型 推动高质量发展——解读《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》[J].中国勘察设计, 2020 (9) : 20 -21.(LiaoY P. Aceleratethe transformation oftheconstruction industryand promotehigh-qualitydevelopment- interpretation oftheCuidingopinionson promotingthecoordinated developmentofsmartconstruction and construction industrialization [J]. China Engineering - Consulting, 2020 (9) : 20 -21.)

[3] 丁怡婷.以智能建造助力"中国建造" [N].人民日报, 2022 - 08 -19 (005)2022 -08 -19 (005).DOI:10.28655/n.cnki.nrmrb.2022.008979.(DingY THelp . Bultin China. withintelligent construction [N].PeopleOsDaily2022 -08 -19 (005)2022 -08 -19 (005). DOI:10.28655/n.cnki.nrmrb.2022.008979.)

[4] 黄光球,郭韵钰,陆秋琴.基于智能建造的建筑工业化发展模式研究[J].建筑经济, 2022, 43 (03) : 28 -34.DOI:10.14181/j.cnki.l002 -851x.202203028.(HuangC & Research on the DevelopmentMode of Building Industrialization Based on InteligentConstruction [J]construction ecnomy2022, 43 (03) : 28 -34.DOI:10.14181/j.cnki.l002 -851x.202203028.)

[5] 毛超,彭容胭.智能建造的理论框架与核心逻辑构建 [J].工程管理学报, 2020, 34 (5) : 1 -6.(MaoC, PengY Y.The Theoreticalframework and corelogicofintelligentconstruction [J]. JournalofEngineeringManagement, 2020, 34 (5) : 1 -6.)

[6] [陈珂,丁烈云.我国智能建造关键领域技术发展的战略思考 [J].中国工程科学, 2021, 23 (04) : 64 -70.(Chen K. DevelopmentofKeyDomain- RelevantTechnologiesforsmart Construction in China[J]. JournalofEngineeringsciencein China, 2021, 23 (04) : 64 -70.)

[7] 陈珂,陈强健,杜鹏.国产 BIM建模软件发展的思考:基于 PCA的影响因素研究 [J/OL].土木工程信息技术, 2021: 1 -9 [2021 -03 -22]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210201.1417.034.html.(Chen K, Chen & J, Du P.Reflection on thedevelopmentofdomesticBIM modeling software: A studyon theinfluencefactorsbased on PCA [J/ 0 L]. JournalofInformation TechnologyinCivilEngineeringand Architecture, 2021: 1 -9 [2021 -03 -22]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210201.1417.034.html.)

[8] 陈光,马云飞,刘纪超等.装配式建筑数字化设计、智能化制造的思考与应用[J/OL].土木工程信息技术:1 -9[2022 -09 -04]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210510.1011.004.html.(Chen C, Thinkingand Application

of Digital Design and Intelligent Manufacturing of Prefabricated Buildings, [J/ O L] . Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture: I -9 [2022 -09 -04])

[9] 陈光 ,刘纪超 ,马云飞 .数字化技术在装配式建筑设计、生产、施工全过程中的应用 — 以国家合成生物技术创新中心项目为例 [J/ O L] . 土木工程信息技术: I -10 [2022 -09 -12] . <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210527.0904.010.html> (Chen C, Application of Digital Technology in the whole Process of Prefabricated Building Design, Production and Construction—Take the National synthetic Biotechnology Innovation Center Project as an Example [J/ O L] . Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture: I -10 [2022 -09 -12] . <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210527.0904.010.html>)

[10] NBs . National BIM Report 2018 [EB/ O L] . <https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018> . (2018 -05 -10) .

[11] 叶浩文 ,樊则森 ,周冲等 .装配式建筑标准化设计方法工程应用研究 [J] . 山东建筑大学学报 , 2018 , 33 (06) : 69 -74 +84 . (Ye H Research on engineering application of standardized design method for prefabricated building [J/ O L] . Journal of Shandong Jianzhu University, 2018 , 33 (06) : 69 -74 +84 .)

基于降维和三要素内切圆算法的地基基础位置优化计算方法

朱贵娜, 杨悠子(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 合理确定地基基础位置是进行地基基础设计的前提, 由于地基基础几何形状的多样性和原有地基基础分布的复杂性, 地基基础位置优化十分复杂, 以距离判断新增地基基础对原有地基基础和边界的影响时, 地基基础位置优化问题实际上是多边形与复杂多边形组之间的距离计算和位置优化问题。本文通过引入“进入块体”基本概念提出了基于降维和三要素内切圆算法的地基基础位置优化计算方法, 主要内容包括:(1) 采用降低维度的思想, 将复杂的多边形(二维)对多边形组合(二维组合)的距离求解问题, 转化为参考点(零维)对“进入边界”(一维组合)的距离求解问题, 极大简化求解难度;(2) 通过上述转化后, 位置优化问题转化为求解由“进入边界”组成的复杂几何形状的最大内切圆求解问题;(3) 提出了以节点、有向线段为基础的三元素最大内切圆求解方法, 精确计算参考点到进入边界的最大距离及对应的位置, 即地基基础最优位置的精确解。工程实例结果表明, 本文方法能精确计算得到新增地基基础的最有位置, 验证了本文方法的可行性。

[关键词] 地基基础; 位置优化; 降维; 最小距离; 最大内切圆; 进入块体

Optimisation Algorithm of Foundation Position Based on Dimension Reduction and The Algorithm for Three-factor Inscribed Circles

Zhu Gui-na, yang you-zi(Beijing GloryPKPM Technology Co., Ltd, China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

Abstract: Rational determination of foundation position is the premise of foundation design. Because of the diversity of foundation geometry and the complexity of original foundation distribution, the optimization of foundation position is very complex. When judging the impact of new foundations on the original foundation and boundary by distance, the optimization of the foundation position involves distance calculation and position optimisation between the polygon and complex polygon combination. (1) By introducing the concept of entry block, and the idea of dimensionality reduction, this study considerably simplifies the above calculations by transforming the complex solution of the distance between the polygon (two-dimensional; 2D) and polygon combination (2D combination) into a solution of the distance between the reference point within the polygon (zero-dimensional; 0D) and the entry block, (2D combination); this solution is further transformed to a solution of the distance between the reference point (0D) and entry boundary, (one-dimensional combination; 1D). (2) Thus, position optimisation is transformed into a solution of the maximum inscribed circle of the complex geometry enclosed by the entry boundary. (3) Accordingly, an algorithm for determining the maximum three-factor inscribed circle based on nodes and directed line segments is proposed, which calculates the maximum distance from the reference point to the entry boundary and the corresponding position (i.e., the exact solution of the optimal foundation position). The result of engineering examples shows that the method in this paper can accurately calculate the most location of the new foundation, which verifies the feasibility of the method in this paper.

Keywords: building foundation; location optimization; dimensionality reduction; minimum distance; maximum inscribed circle; entry block

0 引言

随着基础建设的飞速发展, 在已有大量地基基

础的区域内布置新的构筑物基础, 是岩土工程设计中经常遇到的问题。由于地基基础几何形态的复杂性、已有基础分布的不确定性, 如何高效、快速确定最优位置一直是地基基础位置设计关注的难题之一^[1-9]。

在新增地基基础过程中, 当以距离判断其对已有地基基础和边界的影响时, 地基基础位置优化问

[收稿日期] 2022-11-18

[作者简介] 朱贵娜(1983-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事结构软件研发方面的工作

[联系方式] E-mail: zhuguina@cabrtech.com

题转化为复杂多边形与复杂多边形组合之间的距离判断和位置优化问题,是一个经典的图形几何问题。由于地基基础形状的复杂性,任意形状多边形,特别是凹多边形之间的距离计算十分困难,许多学者对相关问题开展了研究工作,上述研究工作通过算法对两个复杂多边形的距离直接求解^[10-14],但无法实现任意多个多边形间距离的精确求解,无法适用与复杂地基基础位置优化设计。

2015 年石根华提出了"进入块体"的概念^[15],即将任意形状的多边形 A 绕着任意形状的多边形 B 运动一周,多边形 A 内参考点 a_0 形成的运动轨迹为"进入边界" $aE(A,B)$, $aE(A,B)$ 包含的区域为"进入块体" $E(A,B)$ 。同时给出了 $aE(A,B)$ 的计算公式,并通过严格数学公式推导证明了 a_0 与 $E(A,B)$ 的距离等于多边形 A 与多边形 B 之间的距离。通过上述定义可将复杂几何问题降低维度求解,从二维对二维问题简化为零位对一维问题,极大降低了求解的难度。通过上述简化后,地基基础位置优化问题进一步转化为求解由 $aE(A,B)$ 组成的几何形状的最大内切圆求解问题^[16-19],内切圆圆心即参考点 a_0 的最优位置,对应新增地基基础的最优位置。本文提出了一种基于降维和三要素内切圆算法的地基基础位置优化方法。

1 优化计算方法简介

本文提出一种优化计算方法,在已有大量地基基础(B_1, B_2, B_3, \dots)的区域(B_0)内找到最合适的位置布置新的地基基础(A),位置的合理性通过 A 与 $B = \{B_0, B_1, B_2, B_3, \dots\}$ 的距离进行判断,距离越大, A 对 B 的影响越小,位置越优。

以图 1 所示的实际工程案例结合本文方法,在某个封闭小区围墙为 B_0 ,其中已有 3 栋楼房,基础分别为 B_1, B_2, B_3 ,将这一问题概化为几何问题,在边界范围内 B_0 任意移动 A,找到 A 与 B 之间距离最大的位置即所求最合适位置,显然这是一个复杂的图形几何问题,如图 1 所示,图中 a_0 为 A 内部的任意一个点参考点。

该优化方法主要包括以下四个步骤,流程图如图 2 所示。

(1) 输入新增地基基础、原有地基基础及基础布置范围的几何信息,并将这些信息转化为有向线段,通过有向线段规划出可布置新地基基础的范围。

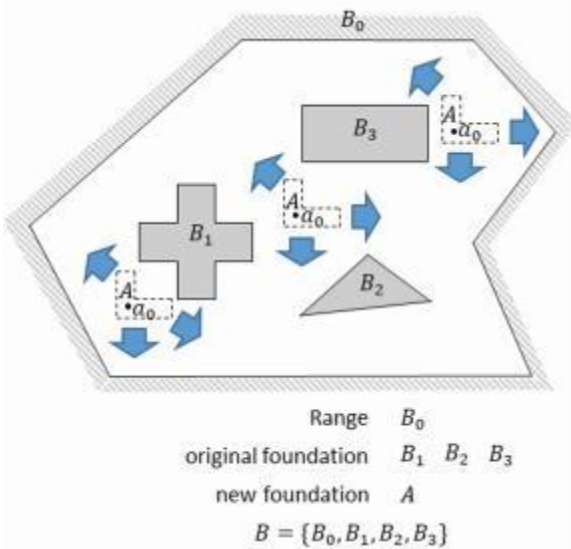


图 1 新增地基基础问题的几何概化

Fig. 1 GeometricGeneralization ofthe NewlyAdded Foundation



图 2 地基基础位置优化计算流程图

Fig. 2 Flowchartof0 ptimisation Calculation for theFoundation Position

(2) 根据进入块体计算公式求出各有向线段的进入边界,进入边界线段求交,删除进入块体内部的进入边界,将复杂的多边形(二维)对多边形组合(二维组合)的距离求解问题转化为参考点(零维)对"进入边界"(一维组合)的距离求解问题。

(3) 以节点、有向线段为基础元素,通过三要素内切圆求解算法计算所有可能内切圆并根据半径进行排序。

(4) 按半径最大原则确定参考点 a_0 最优位置,并根据参考点 a_0 最优位置布置新增地基基础 A_0 。

2 算法核心步骤

2.1 有向线段的边界描述方法

对于多边形和边界的描述方法有很多,本文采用了有向线段的边界描述方法,通过这样的方法可以将原有地基基础、新增地基基础和地基基础布置范围通过相同方式描述,为地基基础位置优化计算提供了极大的便利。

将已有地基基础边界按顺时针方向离散,则沿着线段前进方向左侧为可布置新的地基基础位置,如图 3 所示;地基基础多边形 B_i 由一系列按顺序排列的顶点 $(a_1^i, a_2^i, \dots, a_{h_i}^i, a_{h_i+1}^i, a_{h_i+1}^i)$ 来描述,可用下式表示为:

$$B_i = a_1^i a_2^i \dots a_{h_i}^i a_{h_i+1}^i a_{h_i+1}^i \quad (1)$$

式中 j 为地基基础索引编号, i 为顶点在地基基础多边形界 B_i 中的局部索引编号, h_i 为多边形 B_i 的顶点总数;为表示方便,将多边形界面 B_i 最后一个点与第一点设为重合以形成闭合环路,即 $a_{h_i+1}^i = a_1^i$ 。节点按顺时针排序,则沿着线段前进方向左侧为可布置新的地基基础位置。则地基基础多边形界 B_i 的边界可表示为:

$$aB_i = a_1^i a_2^i \cup a_2^i a_3^i \cup \dots \cup a_{h_i}^i a_{h_i+1}^i a_{h_i+1}^i \quad (2)$$

式中 $a_1^i a_{i+1}^i (i=1, 2, \dots, h_i)$ 为地基基础多边形界 B_i 的边界线段,通过该描述可将地基基础离散为一系列有向线段,在线段前进方向的左侧为多边形外部,可布置新增地基基础。显然新增地基基础同样可以采用式(2)的方式描述。

类似的,将基础布置范围边界按逆时针方向离散,则同样沿着线段前进方向左侧为可布置新的地基基础位置,如图 3 所示。在改变边界节点存储顺序后,边界范围和地基基础具有相同的描述方式,离散后的有向线段具有相同的意义。

2.2 新增地基基础与原有地基基础和范围的进入边界求解算法

1) $aE(A, B)$ 和 $E(A, B)$ 的定义

2015 年石根华提出了 $E(A, B)$ 的概念,具体表达式:

$$E(A, B) \cup_{a \in A, b \in B} (b - a + a_n) = B - A + a_n \quad (3)$$

式中 A, B 为任意形式点的集合, a_n 为点集 A 的参考点, a, b 分别为点集 A, B 内的一个点。



图 3 有向线段的边界描述方法
Fig. 3 BoundaryDescription oftheDirected Linesegments

上述表达式来源于数学中点集的运算,比较抽象。对于与本文相关多边形间距离计算问题,可以将上述概念描述为:多边形 B 不动,包含参考点 a_n 的多边形 A 沿着 B 的边界平行移动,形成的轨迹即为 $aE(A, B)$, $aE(A, B)$ 包含的区域即为 $E(A, B)$,则多边形 A 与 B 的距离和 a_n 与 $E(A, B)$ 的距离相等,图 4 为新增地基基础 A 与原有地基基础 B_2 的 $aE(A, B)$ 和 $E(A, B)$ 。需要指出的是改变参考点 a_n ,不会改变 $E(A, B)$ 的形状和大小,只是对 a_n 和 $E(A, B)$ 同时进行了平移,不会影响距离计算结果。显然通过上述转换,复杂的多边形(二维)对多边形组合(二维组合)的距离求解问题简化为参考点(零维)对"进入块体.(二维组合)的距离求解问题。

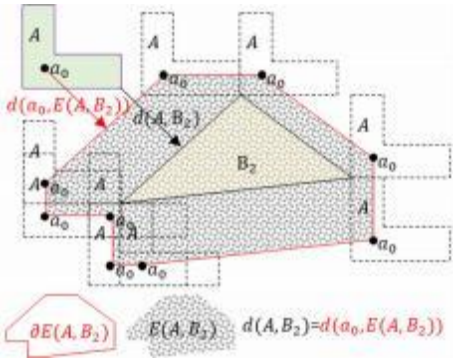


图 4 $E(A, B)$ 及 $aE(A, B)$
Fig. 4 $E(A, B)$ and $aE(A, B)$

2) $3E(A, B)$ 求解方法

在求解时 $3E(A, B)$ 时,可不直接求解,通过局部边界求解进一步简化计算难度。二维问题中,可通过多边形节点和边界求解可能进入边界,如式(4)所示。

$$\begin{aligned} aE(A,B) &= e C(A(0) , \\ &B(1)) \cup C(A(1) , \\ &B(0)) = C(0,1) \cup C(1,0) \end{aligned} \quad (4)$$

式中 $A(0)$ 、 $B(0)$ 分别表示多边形节点的集合,与式(1)中 a_i 对应;式中 $A(1)$ 、 $B(1)$ 分别表示多边形的有向线段的集合,与式(2)中 $a_i^1 a_{i+1}^1$ 对应。 $C(0,1) = B(1) \cap A(0) + a_n$ 为点线进入边界的集合,是节点与有向线段的混合运算,其意义如图 5 (a) 所示, A 的顶点 a_4^1 沿着 B_2 的边界 $a_2^1 a_2^2$ 移动, a_n 的轨迹 $E(a_4^1, a_2^1, a_2^2)$ 为有向线段 $a_2^1 a_2^2$ 平移 $a_n = a_4^1$; $C(1,0) = B(0) \cap A(1) + a_n$ 为线点进入边界的集合,同样为节点与有向线段的混合运算,其意义如图 5 (b) 所示, A 的边界 $a_4^5 a_4^6$ 沿着 B_2 的节点 a_2^3 移动, a_n 的轨迹为 $E(a_4^5 a_4^6, a_2^3)$ 有向线段 $a_4^5 a_4^6$ 绕着 a_n 旋转 180° 后平移 $a_2^3 \cap a_n$ 。

显然图 5 (b) 所示的结果中, A 进入了 B_2 的内部, $E(a_4^5 a_4^6, a_2^3)$ 并非 $aE(A,B)$ 的组成部分,可通过式(5) 进行初步判断。

$$\begin{cases} e_1 \cdot m \leq 0 \\ e_2 \cdot m \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

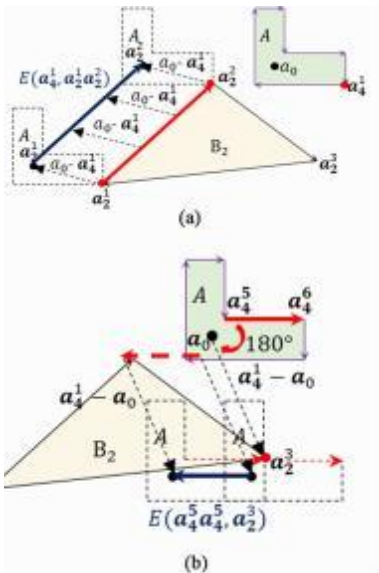


图 5 可能进入边界计算示意图
Fig. 5 schematic of the Calculation of the Possible Entry Boundary

式中 e_1 为节点指向下一个节点的方向向量, e_2 为节点指向前一个节点的方向向量, m 为有向线段指向右侧的法向量, 图 5 两种情况对应的判断结果如图 6 所示。

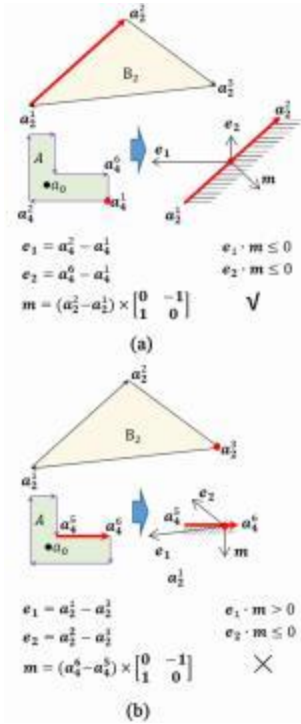


图 6 图 5 中两种情况对应的判断结果
Fig. 6 Judgement Results of the Two scenarios shown in Fig. 5

需要指出的是, 当与中存在相互平行且方向相反的边界时, 计算得到的进入边界存在相互重叠部分, 为便于后续计算, 将上述进入边界合并为一条有向线段, 如图 7 所示。

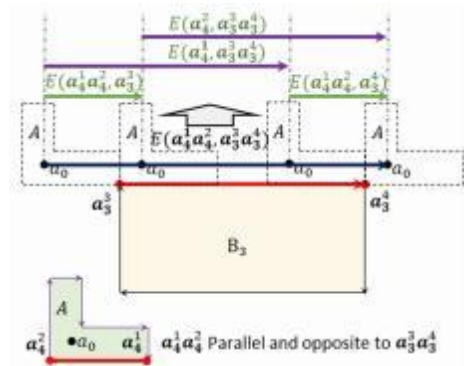


图 7 与中存在相互平行且方向相反的边界
Fig. 7 Parallel and opposite boundaries in and

通过上述处理后可极大减小计算量, 当 A 和 B 均为凸体时, 计算得到的进入边界首尾相连形成闭合区域, 求得的进入边界组合即为 $aE(A,B)$; 当 A 和 B 中存在凹体时, 计算得到边界需要进一步处理才能得到最终的 $aE(A,B)$ 。

首先对所有可能进行求交运算，根据有向线段交点分布情况对有向线段进行离散形成新的有向线段，两线段相交时保留有向线段左侧的线段，判断依据为：

$$\begin{cases} e_j^i \cdot m_1 \leq 0 \\ e_j^i \cdot m_2 \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中 e 为交点指向端点的方向向量， m_1 、 m_2 为指向有向线段内测的法向量，如图 8 (a) 所示，流程图如图 8(b) 所示，通过上述处理后有向线段首尾连接形成闭合区域，即为 $aE(A,B)$ 。

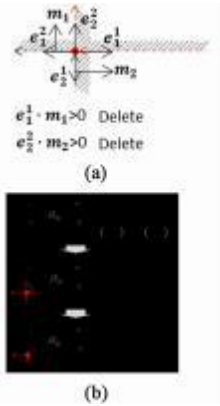


图 8 A 与 B 中存在凹体的 $aE(A,B)$ 计算方法
Fig. 8 Calculation of $aE(A,B)$ when either A or B is concave

图 1 算例根据式 (4) 和式 (5) 计算得到结果如图 9(a) 所示，最终得到的 $aE(A,B)$ 如图 9(b)，组成 $aE(A,B)$ 的有向线段自动形成几个封闭区域，通过有向线段方向可以确定参考点 a_0 的可在图 9 (b) 中空白区域内布置，此时新增地基基础不会进入已有地基基础 B_1 、 B_2 、 B_3 内部，也不会超出地基基础布置范围 B_0 。通过上述转化后，以距离判断位置优劣时，地基基础位置优化问题转化为经典的复杂几何图形的最大内切圆求解问题。

2.3 三要素最大内切圆求解算法

复杂几何图形的最大内切圆是图形几何中的经典问题，本文以有向线段为基础，提出了三要素内切圆求解算法，求的所有符合条件的三要素内切圆，根据内切圆半径进行排序，半径最大的内切圆即为所求最大内切圆。

$aE(A,B)$ 通过一组有向线段描述，取其中三个要素（有向线段或端点）分别进行内切圆计算，包括三个要素不平行不共线和存在两条相互平行且反

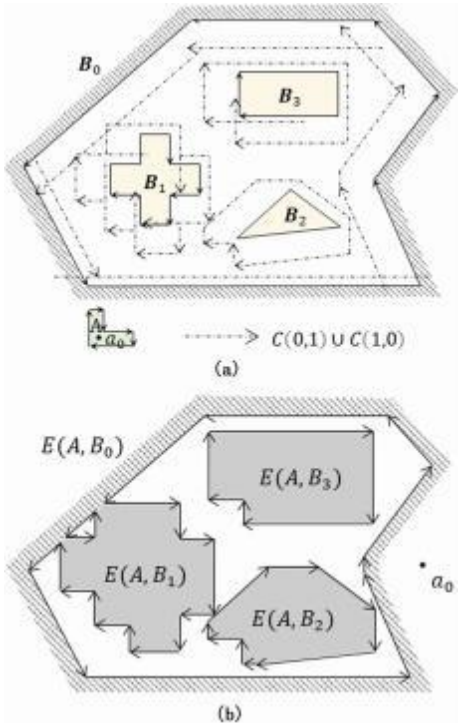


图 9 由有向线段组成的 $aE(A,B)$
Fig. 9 $aE(A,B)$ Containing Directed Line Segments

向边界的两种情况。

对于三个要素不平行不共线的情况下，根据内切圆的定义，只要求得与三个要素距离相等的点即为内切圆圆心，相应的距离即为内切圆半径，可以用相同的计算公式得到：

$$d_1 = d_2 = d_3 = R \quad (6)$$

式中 d_i 为所求圆心点 r 分别到三个元素的距离， R 为内切圆半径。当有向线段用 b 表示，指向右侧法向量用 m 表示时， $d_i = (b^r r) \cdot m / |m|$ ；当端点用 b 表示时，则 $d_i = |b^r r|$ ，如图 10 (a) 所示。 r 、 R 和均为未知量。

对于三要素中包含有向线段时，仍需要满足以下附加约束条件：

1) 为保证圆心 r 在有向线段左侧，需满足：

$$(b^r - r) \cdot m_1 + 0 \quad (7)$$

2) 为保证切点在有向线段内，需满足：

$$0 < [(r - b) \cdot (b^2 - b)] / [(b^2 - b) \cdot (b^2 - b)] < 1 \quad (8)$$

式中 $[(r^r b) \cdot (b^r b)] / [(b^r b) \cdot (b^r b)]$ 表示圆心 r 在有向线段 b 上投影点（即切点）位置的比例系数，当比例系数小于 0 时，切点在有向线段

反向延长线上;当比例系数大于 1 时,切点在有向线段延长线上。

不满足上述约束条件的示例如图 10 (b) 所示。图中红色内切圆位于有向线段的 bb_1^2 右侧;蓝色内切圆位于有向线段 bb_1^2 的右侧切点落在线段延长线上,均不形成计算所需的内切圆。

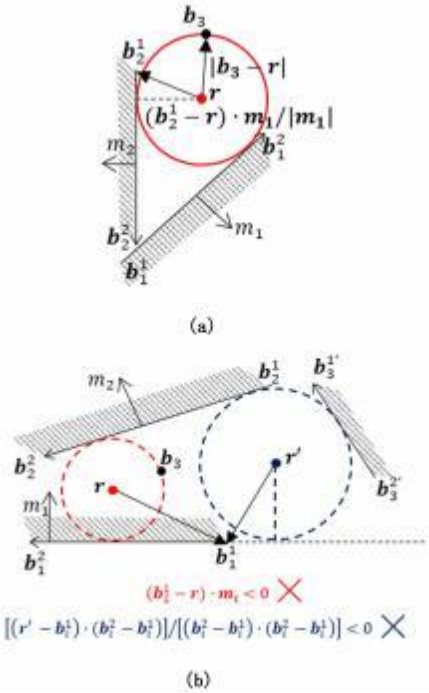


图 10 内切圆成立的附加约束条件

Fig. 10 AdditionalConstraintson theEstablishmentof an Inscribed Circle(directed linesegment)

对于存在平行且方向的多边形时,最大内切圆并不唯一,其圆心可以在一条或多条线段上,需要对其进行特殊处理,具体步骤如下)

1) 计算圆心 r 的初始范围,两条有向线段的端点分别向另一条线段做垂线,垂足落在线段内部的两个点对应的垂线中点的连线即为圆心初始范围,如图 11(a) 所示,内切圆半径为 R 均为两条线段间就离的一半。垂足落在线段内部的判断依据如式 (8) 所示。

2) 根据式 (6) ~ (8), 计算所有包含这两条有向线段的内切圆并记录圆心坐标,显然这些圆心均位于 (1) 计算得到的初始范围内,如图 11(b) 所示。

3) 将所有圆心进行排序,根据排序结果将初始范围离散为一系列线段,取线段中点为圆心,删除

所有不满足式 (8) 要求的线段,剩下的线段即为内切圆圆心位置,如图 11(c) 所示。

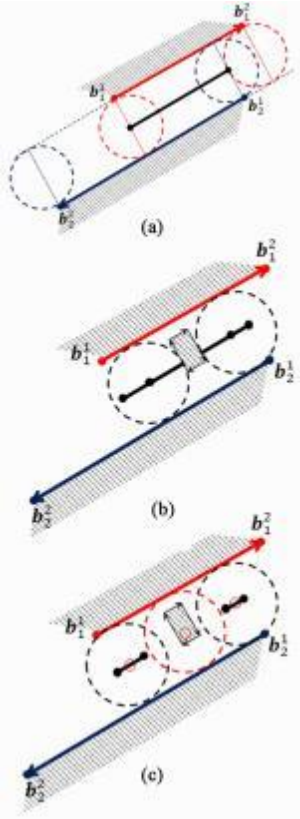


图 11 内切圆成立的附加约束条件

Fig. 11 AdditionalConstraintson theEstablishmentofan Inscribed Circle(paraleland inoppositedirections)

对于图 8 所示的进入边界,通过本文方法可以准确计算得到其最大内接圆,图 12 (a) 中给了 5 组半径最大的内切圆,这 5 组内切圆的半径非常接近,最大值半径只比第二大半径大了 6cm,不通过计算很难判断位置的优劣。以最大内切圆圆心为 a_n 的位置布置新的地基基础,则新增地基基础 A 与原有地基基础和布置范围 $B = : B_n, B_1 / , B_2 / , B_3 |$ 的距离最大,如图 12(b) 所示。

3 实际工程应用案例

某实际工程已有地基基础分布如图 13 (a) 所示,在红色可布置范围内已有地基基础 25 个,需在该范围内增加一个地基基础并通过位置优化设计尽量减小对已有地基基础的影响。通过本文方法计算得到最优位置位于右下角,离已有地基基础最大距离为 6.61m;同时还计算得到其他可布置地基

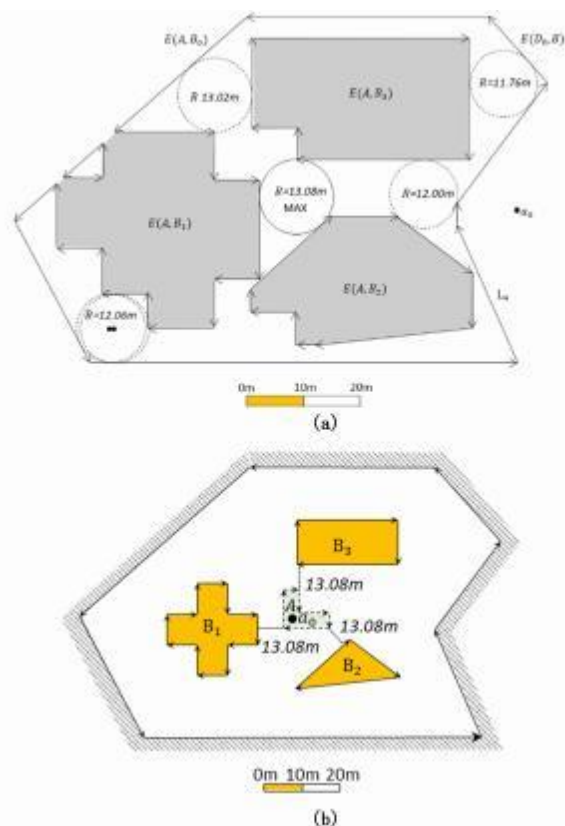


图 12 内切圆成立的附加约束条件

Fig. 12 An example of optimization of building foundation location



图 13 工程实例验证

Fig. 13 Project case verification

基础离已有地基基础最大距离分别为 6.56m、6.52m、6.50m和 6.49m,这种微小的误差很难通过已有方法进行判断。上述工程实例验证了本文方法的计算精度和合理性。

4 结论

引入"进入块体"和地基基础和范围有向线段离散的概念,以有向线段为基础提出了地基基础位置优化的求解算法,将复杂二维对二维问题简化为一系列零位对一维问题,实现了地基基础优化问题的降维求解,极大降低了求解难度。以有向线段和节点为研究对象,提出了三因素内切圆求解算法,以此为核心提出了复杂几何体最大内切圆精确求解方法,实现了地基基础位置的优化计算,并通过实际工程应用案例验证了本文方法的计算精度和合理性。

参考文献

[1] Taylor, P. w. and R. L. Williams, FOUNDATIONS FOR CAPACITY DESIGNED STRUCTURES. Bulletin of the New Zealand society for Earthquake Engineering, 1979. 12 (2) .

[2] Chin, et al., Optimal Algorithms for the Intersection and the Minimum Distance Problems Between Planar Polygons. Computers & Transactions on, 1983. C-32 (12) : p. 1203 -1207 .

[3] Tousaint, C. T., An optimal algorithm for computing the minimum vertex distance between two crossing convex polygons. Computing, 1984 .

[4] Orłowski, M. and M. Pachter, Linear programming in R³ and the skeleton and largest inscribed circle of a convex polygon. Computers - Mathematics with Applications, 1987. 13 (4) : p. 401 -405 .

[5] Peuquet, D. J., An algorithm for calculating minimum Euclidean distance between two geographic features. Computers - Geosciences, 1992. 18 (8) : p. 989 -1001 .

[6] Robbins, D. P., Areas of Polygons Inscribed in a Circle. Discrete - Computational Geometry, 1995. 102 (6) : p. 523 -530 .

[7] Sridhar, R., K. Han, and N. Chandrasekharan, Efficient algorithms for shortest distance queries on special classes of polygons. Theoretical Computer Science, 1995. 140 (2) : p. 291 -300 .

[8] Kostochka, A. V. and J. Kratochvil, Covering and coloring polygon-circle graphs. Discrete Mathematics, 1997. 163 (1 -3) : p. 299 -305 .

[9] Karavelas, M. I., P. D. Kaklis, and K. V. Kostas, Bounding the distance between 2 D parametric Bézier curves and their control polygon. Computing, 2004. 72 (1 -2) : p. 117 -128 .

[10] Delfiner, P., A generalization of the concept of size. Journal of Microscopy, 2011.95 (2) : p .203 -216 .

[11] Pety, C. M., Isoperimetric problems. Annals of the New York Academy of sciences, 2011.440 (1) : p .113 -127 .

[12] Liu, R., et al., A fast convex hull algorithm with maximum inscribed circle after transformation. Neurocomputing, 2012.77 (1) : p .212 -221 .

[13] sanayei, M., P. Maurya, and J.A. More, Measurement of building foundation and ground-borne vibrations due to surface trains and subways. Engineering structures, 2013.53 (aug.) : p .102 -111 .

[14] Nikonenko, A. C., Y. M. Bozhok, and C. K. Rohde, simple computational technique to quantify nuclear shape asymmetry. Cytometry Part A the Journal of the International Society for Analytical Cytology, 2015.87 (4) : p .309 -314 .

[15] shi, C. H., Contact theory. science China Technological sciences, 2015.58 (9) : p .1450 -1496 .

[16] Tomon, I., On the number of occurrences of the kth smallest distance between points in convex position. Discrete Mathematics, 2015.338 (6) : p .990 -993 .

[17] Xiuming, L. and Z. Jingcai, A joint method for the maximum inscribed circle and minimum circumscribed circle. Measurement, 2016 : p .189 -193 .

[18] B., et al., Development of Algorithms and Programs for Construction of Reference Circles for the Analysis of Deviations from Roundness. Measurement Techniques, 2019.62 (2) : p .134 -138 .

[19] Milen, M. D. L., S. Pampanin, and M. Cubrinovski, An integrated performance-based design framework for building-foundation systems. Earthquake Engineering - structural Dynamics, 2020 .

双碳目标下输变电工程绿色建造数字化应用研究

陈哲¹, 陈聪², 刘提², 陶耀东², 吴震² (1. 国网浙江省电力有限公司, 浙江杭州 310000; 2. 国网浙江省电力有限公司建设分公司, 浙江杭州 310000)

[摘 要] 在中国积极作出“双碳”承诺的背景下, 电网作为能源产业链中的重要环节, 其建设需要与生态环境相协调以实现绿色发展。但现阶段的输变电工程缺少统一、定量的碳排放核算标准, 无法有效跟踪工程全流程的碳排足迹, 因此本文针对电网建设过程中碳排放难以实现核算和控制的问题, 提出一种定量核算与分层评价相结合的绿色建造数字化应用方法。该方法基于 IPC 法和投入产出法核算工程碳排放, 经分层评价后建立覆盖工程建设的大数据“绿建码”, 并首次在丽西输变电工程中应用。实践证明, 绿色建造数字化应用精准助力输变电工程“两型”提质增效, 实现绿色效益最大化。

[关键词] 双碳; 输变电工程; 绿色建造; 碳核算体系; 数字化应用

Research on Digital Application of Green Construction of Power Transmission and Transformation Projects under The Dual Carbon Goal

Chen Zhen¹, Chen Cong², Liu Ti², Taoyaodong², Wu Zhen² (1. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310000, China; 2. Construction Branch, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: In the context of China's active commitment to double carbon, as an important link in the energy industry chain, the construction of the power grid needs to be coordinated with the ecological environment to achieve green development. However, the current power transmission and transformation projects lack a unified and quantitative carbon emission accounting standard, and cannot effectively track the carbon footprint of the whole process of the project. Therefore, this paper proposes a quantitative method to solve the problem that carbon emissions are difficult to achieve in the process of power grid construction. A green construction digital application method combining accounting and hierarchical evaluation. This method is based on the IPC method and the input-output method to calculate the carbon emissions of the project. After a hierarchical evaluation, a big data green construction code covering the project construction is established, and it is applied in the Lixi power transmission and transformation project for the first time. Practice has proved that the digital application of green construction accurately helps the two types of power transmission and transformation projects to improve quality and efficiency, and maximize green benefits.

Keywords: double carbon; power transmission and transformation project; green construction; carbon accounting system; digital application

0 引言

自工业革命以来, 大量的煤炭、石油、天然气等化石能源被用于社会生产, 由此产生的二氧化碳等温室气体导致全球气温逐年上升^[1]。各国高度重视全球变暖问题, 我国作为温室气体排放大国, 积极作出“将努力使二氧化碳排放在 2030 年前达到峰值, 努力争取在 2060 年前实现碳中和”的“双碳”

承诺, 旨在实现绿色低碳转型发展^[2]。

在此背景下, 能源行业作为我国实现碳中和、碳达峰目标的关键行业, 发展清洁能源是重要路径^[3], 而电力作为清洁、高效、便利的终端能源载体, 是实现清洁能源转型的重中之重。电网作为能源产业链中的重要环节, 以电力为核心来实现电能的输送、转换、配置和互动^[4], 是连接电力生产和消费的重要平台, 是能源转型的中心环节, 是电力系统碳减排的核心枢纽。因此, 电网建设既要保证新能源大规模开发和利用以满足经济社会的用电需求, 又要确保与生态环境的协调发展和绿色发展^[5]。

[收稿日期] 2022-10-18

[作者简介] 陈哲(1975-), 男, 硕士, 高级工程师。主要从事输变电工程绿色建造方面的研究

[联系方式] E-mail: 762531256@qq.com

电网建设绿色发展,从广义上讲包括电网建设全生命周期,从电网规划、电网设计、电网建设、电网运行维护及电网改造等全过程,建设一种资源节约、生态环保、标准规范、技术先进、经济高效的新型智能绿色电网模式。从狭义上讲,是指在电网建设过程中,通过采取“四节一环保”(节能、节地、节水、节材、环保)等措施建设绿色变电站和绿色输电线路^[6]。

针对电网建设的节能减耗要求,现有工程通过推广节水型产品、采用低损耗高性能新材料等举措实现输变电工程绿色建造,但没有定量计算新技术采用后的节能减排量^[7]。为对输变电工程绿色建造的程度进行量化,有工程提出输变电工程绿色施工评价指标,但评价指标仅限于施工阶段^[8]。针对碳排放核算问题,有建筑工程从低碳建筑生命周期着手,研究了适用不同设计阶段的碳排放核算方法,也有工程分析了交通隧道工程碳排放的影响因素,总结了交通隧道工程碳排放计算方法^[9,10]。然而在输变电工程建设领域,目前尚没有一种方法和标准能够将电网建设全过程中的碳排放水平进行核算和控制。因此,本文基于建设全周期提出输变电工程建设碳排放核算评价体系,并建立数字化监测应用平台,推动电网设计、施工、交付全过程绿色低碳、安全高效,全面助力“碳达峰、碳中和”行动实施。

1 输变电工程建设碳排放核算评价体系

输变电工程建设碳排放核算评价体系以工程建设人、机、料、法、环等关键要素为核算方向,研究输变电工程建设的碳排放影响因素和碳源体系构成,明确输变电工程设计、施工阶段碳排放核算系统边界和核算清单,实现工程碳核算。在此基础上,根据针对性、典型性、可量化、层次性、有效性等指标体系构建原则,选定各层级评价指标加以定性评价。评价体系嵌入数字化应用平台内核,通过实时收集基础数据,实现实时核算输变电工程碳排放量,实时评价工程绿色建造程度。

1.1 碳排放核算方法

利用IPC方法以及投入产出法计算碳排放因子^[11],分析计算碳排放因子在钢材、混凝土、石材、铁件等原材料生产中、主要设备生产过程中、设备运输过程中、机械台班工作中、施工人员活动中所

产生的强度。

(1) IPC法

参考IPC指南以及ISO14064-1和wRI-wBCsD的温室气体核算体系,《工业企业温室气体排放核算和报告通则(CB/T32150-2015)》(以下简称为《通则》)第7.2.2部分提供了碳排放因子法的一般公式,如公式(1)所示。

$$E_{\text{GHG}} = \text{AD} \cdot \text{EF} \cdot \text{GWP}$$

式中, E_{GHG} :温室气体排放量(tCO_2e);AD:温室气体活动水平数据;EF:温室气体碳排放因子(单位需要与活动水平数据统一);GWP:全球变暖潜势,数值可参考IPC提供的数据, CO_2 的CwP值为1。

《通则》规定,应优先采用工业企业内的直接测量、能量平衡或物料平衡等获得的碳排放因子及相关参数,当缺失数据时可采用相关指南或文件中的碳排放因子。根据住建部标准,碳排放因子应该以第三方核查数据为准,缺省值可参考标准附录的碳排放因子缺省值。

(2) 投入产出法(I0法)

对于输变电工程设备,其生产过程碳排放可能存在计算困难,对于这一部分可基于其设备购置费以及投入产出表进行碳排放核算。

投入产出法(Input-Output Analysis, I0A)是由Leontief所提出的一种计算模型,在碳排放领域,I0法常被用来计算不同部门之间的交易往来引起的间接碳排放,即一个国民经济行业部门生产某种产品或提供某种服务所引起的其他部门的碳排放。

建立碳排放基础数据库以实时获取工程不同阶段和不同内容的碳排放数据。在工程建设阶段,按照不同时期分为前期规划设计阶段和工程施工建设阶段,其中设计期主要考虑现场选址的环保要求,原材料的选材、选型等所产生的碳排放量,设备运输碳排放以及设备生产的间接碳排放,施工期主要考虑原材料用量变化引起的碳排放和增核减量,机械能耗碳排放以及现场施工人员的生活能耗等。在工程内容上,按照不同专业分为变电工程和线路工程,根据不同工程特点和现场环保具体要求,考虑装配式临建、现场余土外运、设备运输等方面产生的碳排放量。

1.2 定量、定性相结合的绿色建造评价体系

在碳排放定量核算的基础上,采用层次分析法

构建输变电工程建设绿色建造评价体系,从工程的设计、施工、交付等全生命周期,形成绿色建造总体评价,该评价体系将为输变电工程行业提供新的核算、评价模式,输变电建设工程作为建设项目,其碳排放核算可参考住建部于 2019 年发布的《建筑碳排放计算标准(CB/T51366 -2019)》。住建部标准对

新建项目的碳排放核算主要从建筑的运营、建造及拆除、建材生产及运输 3 个部分进行碳排放的核算。根据核算边界要求,梳理输变电工程,原材料生产、设备生产、设备运输、机械能耗、施工人员能耗以及其他排放碳排放量纳入输变电工程建设碳排放总量核算体系,具体的核算清单如表 1 所示。

表 1 输变电工程碳排放核算表

核算阶段	核算内容	核算边界	数据需求	
			活动水平数据	碳排放因子
设计期	原材料生产	建材生产涉及原材料的开采、生产过程的碳排放; 建材生产涉及能源的开采、生产过程的碳排放; 建材生产涉及原材料、能源的运输过程的碳排放; 建材生产过程的直接碳排放。	建材耗量	建材碳排放因子
	设备生产	生产对应部门产品产生的隐含碳排放	设备购置费	产品所属部门碳排放因子
	设备运输	运输工具耗能产生的碳排放	运输量	运输交通工具碳排放因子
施工期	机械(台班)能耗	施工期的施工机械设计用量	(运输重量 * 运输距离)	
	原材料核增核减	由于节约或增加建材使用引起的碳排放核增核减	机械台班数	单位机械台班碳排放因子
	施工能耗	不同工序的能耗引起的碳排放量	建材核增核减量	建材碳排放因子
	施工人员生活能耗	施工人员在施工场地生活的产生的碳排放,假设了施工人员的每日耗能水平,并假设全部由电力供能。	能耗数据	能源碳排放因子

输变电工程的碳排放总量可通过 5 个单项碳排放量(原材料生产、设备运输、原材料核增核减、施工能耗以及施工人员生活能耗)进行加和得到。对于变电站,以其变电容量为规模,将计算得到的碳排放总量除以其变电容量,即可得到单位变电容量碳排放(单位为 tCO₂/MVA)。线路工程的规模由其线路总长度(双回路、多回路需要展开计算)以及输送容量决定,最终得到线路工程的碳排放强度单位为 tCO₂/(km.Mw)。

2 输变电工程绿色建造数字化应用

依托电网基建全过程综合数字化平台,应用绿色建造评价体系,建立覆盖工程建设各领域的大数据"绿建码",如图 1 所示。用以量化评估各工程建设全过程节能控碳效力,通过业务数据收集分析,实现绿色建造问题可提升措施的结构化深度融合,加快探索基建全过程数字化管理平台在物联感知、数据信用建设等维度的开发应用,为绿色建造可视化决策支持赋予最优路径和参考依据。梳理输变电工程各环节业务流程,提取关键信息以及绿色建造指标数据分布规律,通过信息化手段,对工程的

资源利用、环境保护、技术创新、施工管理等特征值进行多维度精准画像,再对输变电工程绿色技术、绿色工法、智能装备、新能源材料等相关绿色环保策略进行统一汇聚、加工、整理及标记,建立辅助决策措施库,结合信息化应用,以实现对输变电工程绿色建造的全过程监管,从优化设计、科学管理和技术进步等方面共同支撑输变电工程绿色建造辅助决策。

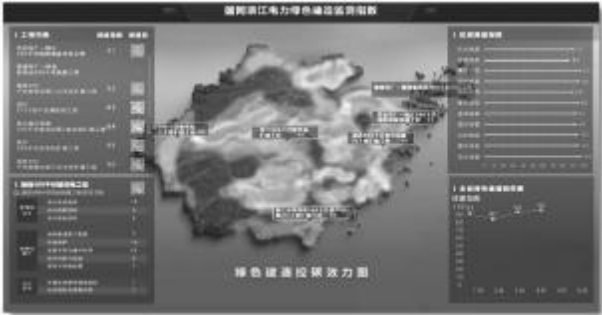


图 1 绿色建造数字化平台

2.1 数字化平台模块

结合输变电工程建设碳排放核算评价体系的定量属性,综合分析多个维度要素,基于各要素权

重影响,探索建设全过程污染物排放、植被砍伐、生态修复等关键维度绿色数据监测分析模块,实现实时、自动评价工程绿色建造水平,通过数据分析手段辅助建设管理单位有效掌握省内全部在建工程碳排放情况、工程绿色建造平均水平、阶段性绿色建造水平、地区性绿色建造水平差异,为省内工程建设绿色低碳管理提供参考价值及帮助。

绿建模块主要包含以下几部分)

(1) 碳排放绿色建造监测指数看板

通过可视化数据展示分析全省输变电工程不同电压等级、区域、工程类型的碳排放总量及碳排放强度。根据不同绿建指数展示绿建码内容。

(2) 碳排放绿色建造评分系统

结合基建电力工程建设全过程周期,完成各环节节点碳排放综合计算规则及系数梳理,建立线上碳排放体系规则库,通过线上的规则维护及得分系数配置实现碳排放量的定量和定性核算。

(3) 绿建指标技术库及措施

搭建国网绿建指标技术库指引及单场景技术库体系,充分结合工程建设全景感知数据以及现有业务平台数据挖掘数据,构建了量化的绿色建造评价体系,监测工程建设绿色环保水平,以引导输变电工程建设绿色低碳、安全高效。

(4) 国网绿建指标评分系统

依托于国网绿建指标评分体系模板,分为设计、施工、移交三个阶段对国网绿建指标体系进行打分,通过线上的规则维护及得分系数配置实现国网绿建指标评分。

(5) 典型场景碳排放核算

依托于单场景技术库措施,梳理各场景计算规则,对单个场景的节能量进行信息化处理,通过线上的计算算法以及技术库体系得出各个单一场景在不同阶段对工程的节能量。

(6) 单工程展示大屏

单工程展示子界面,对单工程单场景使用情况进行可视化以及数据化分析,为下阶段实现工程多维度智能评价和绿色建造技术辅助决策功能应用奠定基础。

2.2 数字化平台应用案例

如图2所示,浙江500kV丽西输变电工程首次应用“绿建码”实践场景。由于在工程中积极运用节能减排措施,基于输变电工程建设碳排放核算评

价体系,可以核算出7项绿色建造措施的减碳量分别为)变电站优化总平面布置减碳123.196kg;变电站路面采用沥青材料代替混凝土硬化地面减碳302 536.0kg;水工成品化粪池应用减碳2 520kg;场地绿化节碳80.30kg;预制舱临建减碳27 172.8 kg;采用节能型变压器减碳158 135.04kg;变电站电缆沟采用复合材料支架代替钢支架减碳2 365kg。依据全过程监测评价结果,核算评价体系评分97.73,赋“绿色建造码”,说明在本文所提出的核算评价体系下该输变电工程的绿色建造程度高,节能减碳措施丰富,工程基础数据及相关减排措施可以通过扫码读取。



图2 丽西输变电工程工程绿建码应用

基于输变电工程绿色建造数字化平台,施工图设计阶段能够优化设计方案及设备材料选型,积极应用节能降耗新技术,新工艺、新材料、新设备,因地制宜采取降噪及防尘措施;绿色施工策划阶段能够监测并分析施工现场扬尘、噪声、光、污水废水、有害气体、固体废弃物等各类污染物,针对性制定环境管理计划及应急预案;主体建设阶段能够持续推广岩石锚杆、螺栓锚等原状环保基础,深化应用预制装配技术,合理应用“预制舱”式临建,建立可回收再利用物资清单,推广使用预拌混凝土和商品砂浆、高强钢筋和高性能混凝土等材料,实现建筑材料源头减量、循环利用,做到节材与材料资源利用,最大限度的减少施工对自然植被和对生态环境的影响。

3 结语

在电力行业低碳化、清洁化发展的背景下,电网建设将持续深化绿色建造技术与应用推广,助力“双碳”目标的实现。本文基于IPC法和投入产出

法 ,利用层次分析法构建输变电工程建设碳排放核算评价体系 ,首创绿色建造数字化应用平台 ,并在浙江 500kV丽西输变电工程中应用 。数字化平台在工程应用中通过实时监测建设全过程 ,实现输变电工程建设有效降碳 、节碳 ,推动电网建设全过程绿色 。

但本文所提出的绿色建造数字化应用当前只能用于工程碳排放核算评价 ,后续将基于不同建造措施的碳排放核算结果生成单场景技术库 ,辅助输变电工程绿色建设决策 。

参考文献

[1] 刘仁厚 ,丁明磊 ,王书华 .格拉斯哥峰会及对中国应对气候变化的思考[J] .中 外 能 源 ,2022 , 27 (05) : 10 -16 .Liu Renhou , DingMinglei, wangshuhua. Thoughtson Clagowsummitand China's Responseto Climate Change[J] . sINO - CL0 BAL ENERGY, 2022 ,27 (05) :10 -16 .

[2] 李俊峰 ." 双碳 , 目标为能源电力发展指明方向 [J] .国家电网 ,2021(03) :46 -47 .

[3] 赵勇强 ,钟财富 .碳达峰碳中和 目标下的新能源产业发展与升级[J] .中国能源 ,2021,43 (09) :44 -49 +88 .

[4] 刘晓明 ,牛新生 ,王佰淮 ,等 .能源互联网综述研究[J] .中 国

电力 ,2016 ,49 (03) :24 -33 .LiuXiaoming, NiuXinsheng,wang Baihuai, etal. AReviewon theEnergyInternet[J] . ELECTRIC POWER, 2016 ,49 (03) :24 -33 .

[5] 徐进 .新发展格局下我国" 十四五 , 电力发展的哲学思考[J] .能源 ,2021(07) :13 -19 .

[6] 张强 .节能环保施工打造绿色工程[J] .云南电业 ,2015 (07) : 14 -15 .

[7] 安益 .绿色施工在输变电工程中的运用[J] .中华建设 ,2012 (09) :288 -289 .

[8] 王海龙 ,王蓓 .绿色输变电工程施工环境评价指标量化探讨 [J] .光源与照明 ,2021(04) :51 -52 .

[9] 仓玉洁 ,罗智星 .工程设计中不同阶段建筑建材物化碳排放核算方法研究 [J] .城 市 建 筑 , 2019 , 16 (26) : 33 -35 .Cang Yujie, LuoZhixing. studyon AcountingMethodsofEmbodied Carbon EmissionsofBuildingMaterialsin Diferentstagesof EngineeringDesign [J] . Urbanism and Architecture, 2019 , 16 (26) :33 -35 .

[10] 郭春 ,郭亚林 ,陈政 .交通隧道工程碳排放核算及研究进展分析 [J/OL] .现代隧道技术: 1 -10 .CuoChun , CuoYalin, Chen Zheng. Carbon Emission Acounting and Research Progres Analysis ofTrafic TunnelEngineering [J/ O L] . Modern TunnelingTechnology:1 -10 .

[11] 张春霞 ,章蓓蓓 ,黄有亮 ,等 .建筑物能源碳排放因子选择方法研究[J] .建筑经济 ,2010 (10) :106 -109 .

外窗传热系数对不同气候区居住建筑负荷和能耗的影响研究

李彤, 刘剑涛, 厉盼盼, 陈金亚(北京构力科技有限公司, 北京 100000)

[摘 要] 在建筑围护结构中, 由外窗造成的建筑负荷较大, 因此采用能耗模拟软件 PKPM-Energy,研究了居住建筑在不同外窗传热系数下、不同气候区的建筑负荷、建筑综合能耗量和围护结构节能率的变化规律。结果表明,外窗传热系数对建筑全年冷负荷影响较小,通过减小外窗传热系数,对降低建筑全年热负荷和建筑全年供暖综合能耗量有明显效果。在建筑围护结构热工参数相同的情况下,相较于夏热冬冷地区,严寒和寒冷地区的围护结构节能率较高,外窗传热系数由 $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 减小至 $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,分别在严寒、寒冷和夏热冬冷地区的三个典型城市气象参数下,建筑围护节能率分别提升了 6%、4.2% 和 3.8%,即建筑所在地区气候越寒冷,通过改善外窗的传热系数,建筑围护结构节能率提升效果越明显。

[关键词] 外窗传热系数;能耗模拟;建筑负荷;节能率

Influence of External Window Heat Transfer Coefficient on Load and Energy Consumption of Residential Buildings in Different Climate Zones

Li Tong, Liu Jian-lao, Li Pan-pan, Chen Jin-ya (Beijing Glory PKPM Technology Co., Ltd, Beijing 100000)

Abstract: In the building envelope, the building load caused by the exterior window is relatively large. Therefore, the energy consumption simulation software PKPM-Energy is used to study the building load of residential buildings under different heat transfer coefficients of exterior windows, different climate zones, and building comprehensive energy. Change law of consumption and energy saving rate of building envelope. The results show that the heat transfer coefficient of the exterior window has little effect on the annual cold load of the building. By reducing the heat transfer coefficient of the exterior window, it has a significant effect on reducing the annual heat load of the building and the overall heating energy consumption of the building. When the thermal parameters of the building envelope are the same, compared with the hot summer and winter cold regions, the energy saving rate of the envelope structure in these severe cold and cold regions is higher, and the heat transfer coefficient of the external window is reduced by $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. As small as $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, under the typical urban meteorological parameters in severe cold, cold and hot summer and cold winter regions, the building envelope energy saving rate increased by 6%, 4.2% and 3.8%, respectively, that is, the building envelope The colder the climate in the region, the more obvious the effect of improving the energy-saving rate of the building envelope by improving the heat transfer coefficient of the exterior windows.

Keywords: external window heat transfer coefficient; energy simulation; building load; energy saving rate

0 引言

在建筑围护结构中,外窗与外墙和屋面相比热工性能较差,有研究表明,通过外窗的玻璃、窗框等传热

引起的耗热量,造成的建筑负荷较大^[1-3]。闫成文^[4]等对宁波地区某典型居住建筑各朝向外窗传热系数对建筑能耗的影响进行了模拟分析,降低各朝向外窗传热系数均可降低供热量,但供冷量有小幅提高。李晓虹^[5]研究了成都地区某居住建筑室外窗热工性能对冷热负荷的影响,降低外窗传热系数后,冬季热负荷降低;而对夏季冷负荷的影响还与通风效果直接相关,通风不好的情况下冷负荷有可能增加。高晓珊^[6]

[收稿日期] 2022-11-12

[作者简介] 李彤(1993-),男,硕士,主要从事绿色低碳、建筑节能和超低能耗建筑方面的技术研究和产品研发

[联系方式] E-mail: litong@pkpm.com.cn, 15502987895

等研究了成都地区某 10 层居住建筑东、西、南、北 4 个方向外窗传热系数对建筑能耗的影响,结果表明随着外窗保温性能的改善,冬季采暖能耗逐渐降低,但是夏季空调能耗随之增加,外窗取 9mm 空气层厚的单框中空玻璃节能效果最佳。

为了解不同气候区外窗传热系数对建筑负荷及能耗的影响,本研究采用建筑能耗模拟软件 PKPM-Energy,建立居住建筑模型,选取分别属于夏热冬冷地区、寒冷地区和严寒地区的三个典型城市上海、北京和哈尔滨,研究了不同外窗传热系数下,三个典型城市气象参数下的全年建筑负荷和围护结构节能率的变化情况。

1 研究对象及模拟工况

建立了一栋只有地上部分共 25 层的居住建筑模型,建筑高度 87.20m,建筑总面积 18 743.93 m², 体形系数为 0.21, 房间类型包括卧室、起居室、厨房、卫生间等,建筑模型如下图 1。

设计建筑围护结构设计参数满足文献 [7] 的要求,屋面传热系数为 0.3w/(m²·K),外墙传热系数为 0.4w/(m²·K),外窗综合太阳得热系数为 0.12, 架空楼板传热系数 0.36w/(m²·K)。参照建筑的围护结构设计参数按照文献 [7] 规定限值选取,其中屋面传热系数为 0.4w/(m²·K),外墙传热系数为 1w/(m²·K),外窗传热系数为 2w/(m²·K),外窗综合太阳得热系数为 0.26。



图 1 建筑模型图
Fig. 1 Building model drawing

工况设置按照外窗传热系数分别为 1、1.5、2、2.5w/(m²·K),采用 PKPM-Energy 能耗模拟软件分

别模拟计算了上海、北京和哈尔滨三地的结果,气象参数选取当地典型气象年的数据。结果分析了外窗热工性能变化下的全年供暖空调负荷、全年供暖供冷综合能耗和围护结构节能率,计算结果为满足建筑全年室内设计温度要求产生的负荷,其中全年供暖空调负荷为外墙、外窗、屋面、地面等建筑围护结构负荷值之和,以分析围护结构热工性能对建筑负荷的影响。全年供暖供冷综合能耗按照文献 [8],根据不同气候区供暖供冷系统综合效率折算权重进行计算,其中严寒、寒冷地区的供暖系统综合效率折算权重取 1.6,夏热冬冷地区取 1.8,供冷系统综合效率折算权重均取 2.8。围护结构节能率计算如下:

$$\eta_{ENV} = \left(1 - \frac{E_{bld,des}}{E_{bld,ref}} \right) \times 100\% \tag{1}$$

式中: η_{ENV} 为围护结构节能率; $E_{bld,des}$ 为设计建筑全年供暖供冷综合能耗量(kwh); $E_{bld,ref}$ 为参照建筑全年供暖供冷综合能耗量(kwh)。

2 模拟结果分析

2.1 外窗负荷

不同外窗传热系数下的外窗全年热负荷见图 2,可以发现随着外窗传热系数增大,三个典型城市外窗全年热负荷均呈上升趋势,其中哈尔滨外窗全年热负荷上升最显著,北京和上海外窗全年热负荷升高相对平缓,因此冬季室外温度越低的地区,外窗传热系数对全年热负荷的影响越明显。不同外窗传热系数下的外窗全年热负荷见图 3,随外窗传热系数增大,外窗全年冷负荷并未呈现明显的波动,说明外窗传热系数对其全年冷负荷影响不明显,是因为在夏季白天室外温度较高时,外窗传热系数较小能够阻止热量传递到室内,但在夜间等室外温度较低时,使得室内热量不易向室外散失,造成冷负荷增加 [4],因此随传热系数增加,建筑外窗全年冷负荷并没有呈现显著增加的趋势。

2.2 建筑全年负荷

不同外窗传热系数下的建筑全年热负荷变化如图 4 所示,三个典型城市中,随外窗传热系数增加,建筑全年热负荷均呈现明显的上升趋势,同时哈尔滨上升趋势最显著,外窗传热系数对其影响最明显。不同外窗传热系数下的建筑全年冷负荷变化如图 5 所示,随外窗传热系数增加,建筑全年冷负荷有

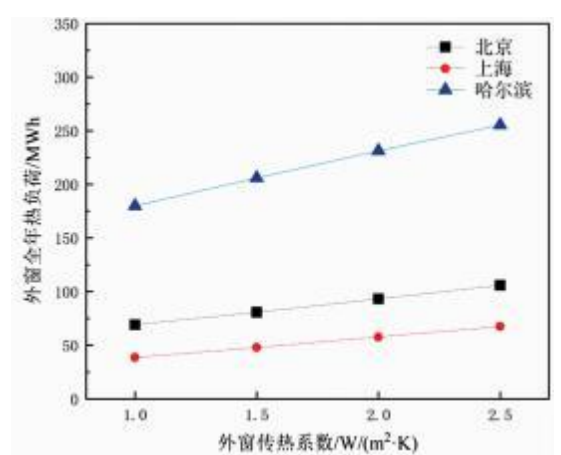


图 2 外窗全年热负荷的变化

Fig. 2 Annualheatload changeofexternalwindows

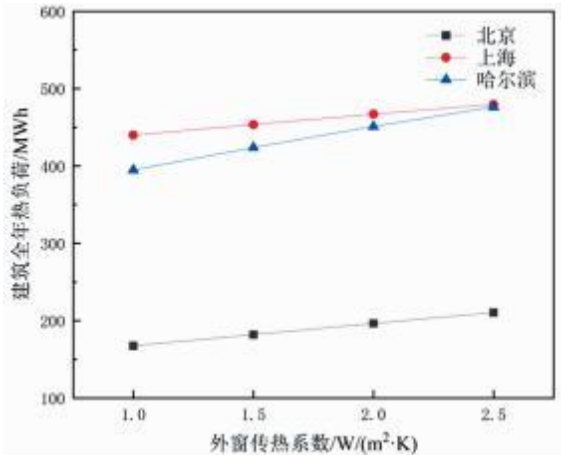


图 4 建筑全年热负荷的变化

Fig. 4 Changeofannualheatload ofbuildings

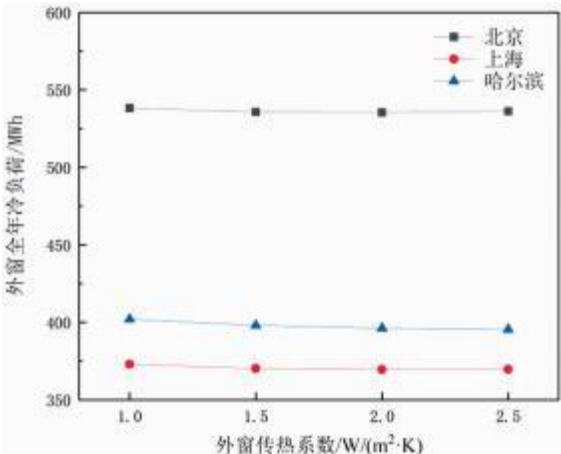


图 3 外窗全年冷负荷的变化

Fig. 3 Annualcoolingload changeofexternalwindows

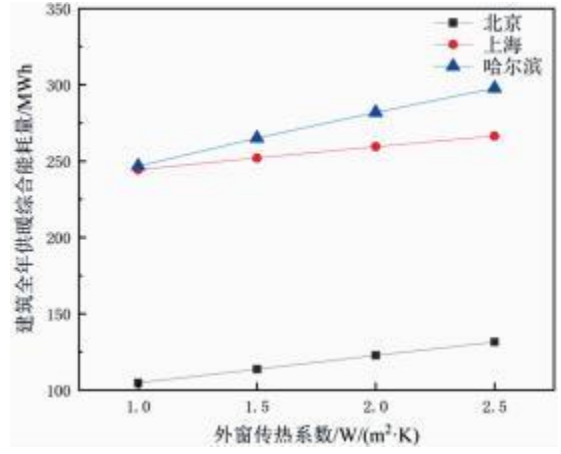


图 5 建筑全年冷负荷的变化

Fig. 5 Changeofannualcoolingload ofbuildings

小幅降低,这与文献^[2]的研究结果吻合,随导热系数增加,建筑全年冷负荷并没有呈现显著增加的趋势。基于以上分析,发现外窗传热系数增加,对建筑全年热负荷影响较大,呈上升趋势,同时三个气候区中,严寒地区建筑全年热负荷上升趋势最显著,夏热冬冷地区上升趋势最平缓,寒冷地区居中。

2.3 建筑全年供暖、供冷综合能耗量

由于三个气候区供暖供冷系统综合效率折算权重有异,同时加上建筑全年冷热负荷变化情况的影响,建筑全年供暖综合能耗量的变化情况如图 6 所示,可以发现随外窗传热系数增加,哈尔滨地区的建筑全年供暖综合能耗量上升趋势最明显,因此在严寒地区增强外窗热工性能,对减小建筑全年供暖综合能耗量有较明显的效果。建筑全年供暖综

合能耗量的变化情况如图 7 所示,可以发现随外窗传热系数增加,三个典型城市的建筑全年供冷综合能耗量的变化趋势均较为平缓,外窗传热系数对建筑全年供冷综合能耗量影响较小。

2.4 建筑围护结构节能率

在设计建筑围护结构参数相同的情况下,由于参照建筑的围护结构参数值均取文献^[7]中的限值,同时夏热冬冷地区、寒冷地区和严寒地区的围护结构热工性能要求依次增高,再加上三个典型城市下建筑全年冷热负荷的变化影响,不同外窗传热系数下建筑围护结构节能率的变化如图 8 所示。可以发现,属于严寒和寒冷地区哈尔滨和北京的建筑围护结构节能率较大,在 45%~50%左右,属于夏热冬冷地区的上海建筑围护结构节能率最小,在 30%~

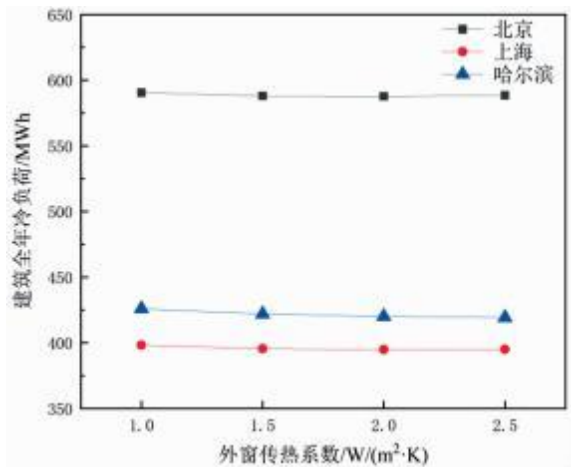


图 6 建筑全年供暖综合能耗量的变化
Fig. 6 Change of comprehensive energy consumption of building heating throughout the year

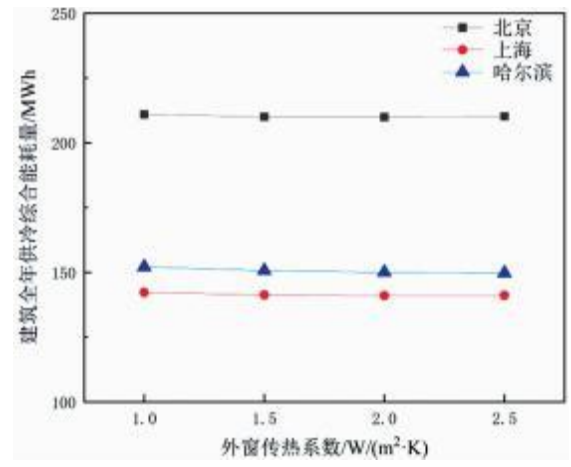


图 7 建筑全年供冷综合能耗量的变化
Fig. 7 Change of comprehensive energy consumption for building cooling throughout the year

33%左右，因此在设计建筑围护结构参数相同的情况下，严寒和寒冷地区的围护结构节能率较高。随外窗传热系数增加，三个气候区典型城市的建筑围护结构节能率均呈现明显的降低趋势，这说明通过减小外窗的传热系数，对提升建筑围护结构节能率有明显的效果。另外对比发现属于严寒地区的哈尔滨建筑围护节能率趋势降低最为明显，属于寒冷和夏热冬冷地区的北京和上海的围护结构降低趋势较为平缓，这与建筑所在地区气候越寒冷，增加外窗传热系数，建筑热负荷上升越显著有关。外窗传热系数由 $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 减小至 $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，分别属于严寒、寒冷和夏热冬冷地区的三个典

型城市，建筑围护节能率分别提升了6%、4.2%和3.8%。

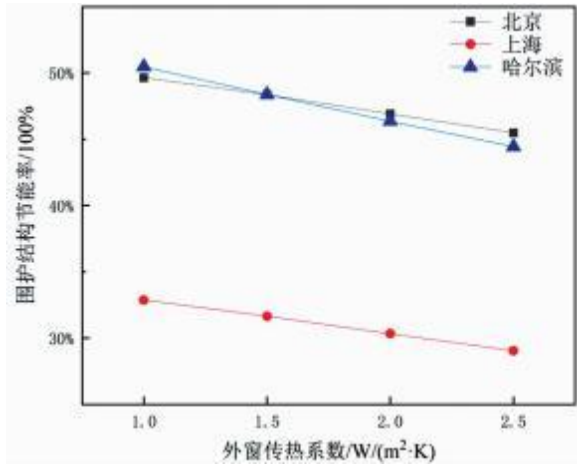


图 8 建筑围护结构节能率的变化
Fig. 8 Change of energy saving rate of building envelope

3 结论

为了解不同气候区外窗传热系数对建筑负荷及能耗的影响，利用 PKPM-Energy 能耗模拟软件，对一居住建筑模型在三个气候区典型城市气候条件下进行模拟计算。得出结论为以下结论：

1) 随外窗传热系数增加，建筑全年热负荷呈现上升趋势，同时气候越寒冷的地区建筑全年热负荷上升趋势越明显，由于外窗传热系数减小有时会导致阻碍室内热量向室外散失，外窗传热系数对建筑全年冷负荷影响不明显；

2) 随外窗传热系数增加，建筑全年供暖综合能耗量呈现上升趋势，三个气候区中，严寒地区上升趋势更明显，改善外窗热工性能，对减小建筑全年供暖综合能耗量有较明显的效果；

3) 通过减小外窗的传热系数，对增加建筑围护结构节能率有明显的效果，在设计建筑围护结构参数相同的情况下，严寒和寒冷地区的围护结构节能率更高；

4) 外窗传热系数由 $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 减小至 $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，分别属于严寒、寒冷和夏热冬冷地区的三个典型城市，建筑围护节能率数值分别提升了 6%、4.2% 和 3.8%，这说明建筑所在地区气候越寒冷，通过改善外窗的传热系数，建筑围护节能率提升效果越明显。

参考文献

[1]李玉航,张旭,程飞.夏热冬冷地区某住宅围护结构参数组合优化研究[J].建筑节能,2017,45(2):3.

[2]余晓平,付祥钊,黄光德,等.夏热冬冷地区外窗性能对居住建筑能耗限值的影响[J].住宅科技,2007,27(4):5.

[3]闫成文,姚健,林云,等.夏热冬冷地区基础住宅围护结构能耗比例研究[J].建筑技术,2006,37(10):2.

[4]闫成文,姚健,周燕,等.夏热冬冷地区外窗传热系数对建筑能耗的影响[J].重庆建筑大学学报,2008,30(6):120-123.

[5]李晓虹,苏华.成都地区外窗传热系数及通风模式对建筑节能的影响[J].新型建筑材料,2010(9):4.

[6]高晓珊,李晓虹,封海辉.成都地区外窗传热系数与遮阳系数对建筑能耗的影响[J].西华大学学报(自然科学版),2014(33):6.

[7]CB55015-2021,建筑节能与可再生能源利用通用规范[s].

[8]JCJT449-2018,民用建筑绿色性能计算标准[s].

移动式实验室在空间排放计量试验中的应用性研究

罗宇辰, 王卓, 张明宇, 王帆(中国计量科学研究院, 北京 102200)

[摘要] 本文结合移动实验室在我国的发展现状,以模块化可移动式方舱实验室为研究主线,阐述方舱实验室的特点及优势,并将其充分应用在空间排放计量实验的建设当中。该实验场可通过分析温室气体痕量成分、烟气排放量和 PM2.5 的计量研究以及 CC/MC 联用测量 VOCs 等方法进行城市区域排放空间监测及反演,从而实验国内激光雷达开放空间溯源校准体系达到“可测量、可报告、可核查”的国际标准。可移动式实验室在空间排放计量试验中的应用不仅符合绿色建筑和可持续发展的时代背景,进而可为我国面向国家“碳达峰、碳中和”及大气环境治理等国家低碳发展战略贡献助推力量。

[关键词] 移动实验室; 绿色建筑; 空间排放; 计量试验

Application of Modular Mobile Shelter Laboratory in Space Emission Metrology Experiments

Luoyu-chen, wang Zhuo, Zhang Ming-yu, wang Fan(National Institute of Metrology, Beijing 102200, China)

Abstract: Based on the development status of mobile laboratory in China, this paper takes modular mobile shelter laboratory as the main line of research, expounds the characteristics and advantages of shelter laboratory, and fully applies it to the construction of space emission measurement experiment. The experimental site can monitor and retrieve the urban area emission space through the analysis of greenhouse gas trace components, smoke emissions and PM2.5 measurement research, as well as CC/MC combined measurement of VOCs and other methods, so that the domestic lidar open space traceability calibration system reaches the international standard of measurable, reportable and verifiable. The application of mobile laboratory in space emission measurement test not only conforms to the background of green buildings and sustainable development, but also contributes to China's national low-carbon development strategy of carbon peak, carbon neutral, and atmospheric environment governance.

Keywords: Mobile laboratory; Green building; space emissions; Metrology experiment

0 引言

长久以来,传统建筑都少不了利用砖瓦、混凝土堆砌浇筑而建成,但是传统的建筑无论是从其建筑设计还是建筑施工的角度都已经大面积的限制了某些特定领域建筑行业的发展,例如在近年来的环境监测、核酸采样、食品安全等事关人类安全健康的重大问题上,传统的建筑已经不能够满足此类实验室在及时、便捷上的要求。相比而言可移动的方舱实验室不但能够做到“随需随用”,而且相比传统建筑其更具备成本低廉、整体结构稳固、绿色环保、便于施工运输等优点。

本文以模块化的可移动式实验室建设为主线,

结合差分吸收激光雷达标准实验室项目的实验特点,简单阐述了移动式实验室的基本概念、发展历程及本文中所建设的可移动式实验室的主要功能,详细介绍了主要房舱实验室的平面布局、围护结构设计以及配套设施,归纳分析了模块化可移动式方舱实验室在空间排放计量试验领域中的优势,为今后可移动式方舱实验室在类似领域里的发展提供可参考性。

1 可移动式实验室的基本概念及发展

1.1 移动实验室的分类

可移动式实验室的定义为“满足特定的目的和要求,由成套装置组成的,在可移动的设施和环境进行检测、校准或进行科学实验等活动的实验室”^[1]。移动实验室不仅仅限于其建筑本身,还包含仪器设备、人员、定制化配套等一系列集成度高、

稳定性强的、便捷性好的相关配套集成设施。

其按功能分类可分为物理移动实验室、化学移动实验室、生物移动实验室和综合移动实验室;按运载方式划分则可分为自行式移动实验室、拖挂式移动实验室和方舱式移动实验室^[2]。

1.2 移动实验室的发展

国外可移动式实验室的已经经过了长达 30 年的发展,相应的模块化建筑也得到了人们的普遍认可,在欧美等国家的市场中,其市场规模和行业集中度已达到了较为领先的水平。移动实验室、移动办公楼等一系列可移动式的建筑随着其建筑材料和工艺的不断优化完善,在有的国家甚至已经形成了较为成熟的可移动式集装箱建筑设计市场。随着实验要求的不断提高,移动实验室相关保障配套设施也在相应提升,例如供配电系统、温湿度控制系统、通风系统、给排水系统、信息网络系统等。目前欧美等少数西方发达国家拥有移动实验室最先进的核心技术,但每个国家的侧重点有所不同,例如美国 FDA 拥有世界上最先进的两个移动实验室,分别为微生物移动实验室、化学实验室;德国的西门子公司早在 21 世纪初九已经开发出用于快速检测水污染的便捷式生物芯片实验室系统;英国的 sCL 实验室研在当时研制出了唯一可提供直接到达客户现场进行珠宝鉴定服务的移动实验;以色列的莱舍夫公司开发出了 一种农用移动实验室用于土壤综合调查研究、分析水源和农作物生长,以及具备农药、化肥检测等功能^[3]。

与国外相比而言,移动实验室虽然近年来在使用过程中不断改进完善,应用领域也在逐步扩展,但我国移动实验室的发展仍是相对滞后的,与之相应的标准及标准化体系建设也刚刚起步不久,在部分科研领域里仍缺少科学规范的理论 and 配套的方法支撑^[4]。

在国内可移动式实验室让人们最早熟知的便是在 2003 年本土突然爆发的“非典”疫情中出现的小汤山医院。同时在 2020 年爆发的“新冠肺炎”疫情中发挥巨大作用的雷神山、火神山医院也都是可移动式的房舱实验室^[5]。不仅在疾病领域,可移动式实验室近年来在国内食品安全、环境监测等事关人类安全健康的重大领域上都发挥着不可替代的作用^[6]。在 2008 年北京奥运会期间,中国食品药品检定研究院就派出科研团队及移动实验室进驻奥

委会主赛场,对供奥食品进行快速检测和实时跟踪,确保供奥食品安全;此外辽宁省的水质水污染应急监测移动实验室、甘肃省司法鉴定等移动实验室也都在现场应急检测及科学试验中发挥了重要作用^[7]。

本文内容所涉及的可移动式实验室正是服务于环境监测这一科研领域,早在 2015 年欧盟环保署发布的《石油和天然气精炼行业最佳可用技术参考文件》(BAT)中就将差分吸收激光雷达(DIAL)列为场地 VOCs 无组织排放监测最佳可用技术之一,标准号为 CEN/TC264/wC38,而该差分吸收激光雷达标准实验场的建设正是面向国家“碳达峰、碳中和”及大气环境治理等国家绿色低碳发展战略的需求^[8],以及中国计量科学研究院“十四五”科研创新规划重点方向、重点任务的规划布局。这不仅弥补了我国对于建立标准实验场地进行空间排放计量的研究和标准技术验证的短板,更重要的是实现了实现国内激光雷达开放空间溯源校准体系

2 功能介绍及预期效益

差分吸收激光雷达现场校准标准试验场是存放可移动差分吸收激光雷达车以及对可移动差分吸收激光雷达进行现场校准的实验方舱。可移动式的实验方舱分为 3 个部分。第一部分是激光雷达车方舱。激光雷达方舱用来停放激光雷达车,在此方舱内有专门的电力设施为激光雷达车供电,有相应的给排水系统,车内包含一系列的试验设备及工具,在此方舱内完成对差分吸收激光雷达车的维护、保养、修缮以及校准等工序,此方舱的顶部可以打开,从而使差分吸收激光雷达车的扫描结构伸出方舱。

激光雷达系统其工作原理基本上是由激光发射、信号接收和数据采集及控制组成。发射激光束打到目标物体上并反射回来,接收器准确地测量出光脉冲从发射到被反射回的信号及传播时间,光速已知,就可得到从激光雷达到目标点的距离。激光发射部分主要由激光器和发射镜片组构成;信号接收部分其主要功能是接收回波信号,并根据不同波长分别导入相应的探测通道;数据采集及控制部分主要是确保激光发射、回波信号接收、数据采集、传送和存储步调一致工作。

第二部分是可移动光学实验室。可以开展对

差分吸收激光雷达的光学调控关键技术研究、性能对比以及性能扩展等工作,包括但不限于激光器波长的扩展、反演算法的推导以及优化、国产化前期的实验研究,以及光谱数据库的建立。

第三部分是可控气体释放方舱存储可控气体释放装置以及气象设备,此方舱的顶部可以打开,可以实现多种典型混合气体可控释放。通过此方舱释放标准气体进而完成对差分吸收激光雷达的校准工作。

该项目依托激光雷达标准实验场,建立现场校准研究能力,完成差分吸收激光雷达现场校准规范,建立自主的排放模型和不确定度分析方法,形成关键技术国产化的技术基础。同时和环监总站等部门深度合作,共同推动差分吸收激光雷达技术指南的编制,适时启动行业规范、国家规范的起草。最后形成技术成果转化,服务地方政府大气污染治理和城市碳排放快速核查。目前该 DIAL车的空间分辨了已达到 7.5 m,通常测量距离为红外区域 300~800m、紫外区域大于 3km;对甲烷和 VOC的测量不确定度可以达到 15%,同时空间分辨率高、探测周期短,还具备可探测二氧化碳羽流功能。该套实验设备已为 2022 北京冬奥会进行现场测试服务,现场图如图 1 所示:



图 1 DIAL检测车

3 主要方舱实验室建设

差分吸收激光雷达标准实验场由三个主要方舱实验室组成:分别为激光雷达实验方舱;可移动光学实验方舱;可控气体释放方舱。各方舱的相对位置关系如图 2 所示。

3.1 激光雷达实验方舱

激光雷达实验方舱的整体材质选用钢结构及篷布组合搭建,尺寸大小长 18 米、宽 11 米、高 5 米,该方舱的实物示意图如图 3 所示:立柱采用大型方

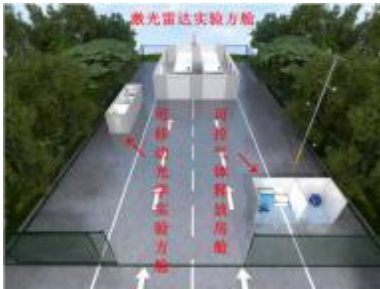


图 2 方舱布局示意图

钢 160.160.4mm的厚方管,顶杞采用 5 .10 .2.5 的厚方管;顶部铺设钢网、搭设三防篷布(阻燃、防水、防老化),遇极端天气时可防止顶部塌陷,顶部前端定制化两个电动断桥铝升降窗,以满足光学扫描探头探出采集数据。



图 3 激光雷达实验方舱

3.2 可移动光学实验方舱

如图 4 所示,该实验方舱结构尺寸长 12 米、宽 2.8 米、高 2.5 米,内置主要为办公室及暗室两大分区,其中包含各类光学平台、元器件柜以及独立配电通风设施。该实验方舱主要功能是开展对差分吸收激光雷达的基础实验、反演算法优化、国产化前期的实验研究,以及光谱数据库的建立。



图 4 可移动光学实验方舱半剖图

3.3 可控气体释放方舱

如图 5 所示,该方舱采用尺寸为长 6 米、宽 2.8

米、高 2.6 米的压型钢板、洁净板定制而成,用于存放气体释放装置以及部分气象设备,内置包含一个电动升降平台、以及新风、供电系统,夹层配有岩棉板进行保温处理,外窗构造为 12A 钢铝单框双玻窗(平均)传热系数 $3.15\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$,自身遮阳系数 0.448。整体可将实验室内温度控制在 $26\pm 2^\circ\text{C}$ 。



图 5 可控气体释放方舱半剖图

4 结论

移动实验室在空间排放计量试验中存在着诸多优势,相比传统建筑而言,其机动灵活、反应迅速、应急能力强。其可以在较短时间内利用拖挂车牵引应急赶往指定位置,利用 DIAL 车现场进行样品采集,最大限度的保证实验数据真是地反映现场的完整真实性。另外试验速度快、结果判定迅速。

同时相比传统建筑而言,可移动实验室具有模块工具的优势,以集装箱作为模块化的工具,具有绿色低碳环保、低成本经济实惠、建造周期短、易拆装运输等特性,在某一个阶段后还可对其内部进行改造,使其满足其他科研领域的科研实验活动。

由于其根据标准化的制造工艺,严格对该类可移动集装箱式实验室进行检测,使其具有良好的密封性,另外其材质是由高强度钢组成,其成品模块具有坚固耐用、抗压、抗变形、抗震能力强等优势。

参考文献

- [1] 张瀚闻,苏锡辉,那宏坤.移动实验室及其发展[J].品牌与标准化.2016(07)
- [2] 王娜,洪爱珠,李绍连等.移动实验室关键技术和技术标准研究[J].中国检验检测.2021(01).
- [3] 洪爱珠,郭云峰,李绍连等.移动实验室认可和资质认定的初步研究[J].中国检验检测.2020(05)
- [4] 张永臣,周彤.移动实验室的发展现状及对策分析[J].中国检验检测.2022(01).
- [5] 陈弘,苏锡辉.我国移动实验室标准化现状分析及对策研究[J].标准科学.2013(12).
- [6] 董颖,栾玉静,王瑞花.移动实验室在公共活动食品安保工作中的应用[J].刑事技术.2018(03).
- [7] 吴振安,臧栋,张亮.方舱实验室应对重大突发公共卫生事件的运行管理标准化研究[J].中国医疗设备.2020(11).
- [8] 李耀飞.应用于 VOCs 探测的中红外差分吸收激光雷达系统设计及探测性能仿真[D].西安理工大学 2021.

碱-激发胶囊和片剂的缓凝及自愈合效果研究

叶小斌¹, 黄金光^{1,2}, 冯坚¹, 卢伟超¹, 薛二伟¹, 肖勇¹, 陈发权¹ (1. 中国五冶集团, 四川 成都 610000; 2. 哈尔滨工业大学土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150000)

[摘 要] 碱-矿渣混凝土是一种具备绿色、环保属性的新型建筑材料,是建筑材料层面早日实现碳中和的重要手段。但碱-矿渣混凝土的凝结时间过快导致了其难以应用于施工现场。本文针对碱-矿渣混凝土凝结时间过快的问题,提出了借鉴制药业的缓释技术达到碱-矿渣混凝土缓凝效果的方法。该方法将碱激发剂加工为胶囊和片剂形态,以此降低碱激发剂的释放率,从而延长碱-矿渣混凝土的凝结时间。同时,研究结果发现使用胶囊和片剂型碱激发剂起到了混凝土材料的自愈合作用,可有效减小混凝土中的裂缝宽度。

[关键词] 碱-矿渣混凝土; 绿色环保材料; 胶囊; 片剂; 缓释

study on The setting Retardant and self-Healing Properties of Capsule and Pill Alkali-Activator

Ye Xiao-bin¹, Huang Jin-guang^{1,2}, Feng Jian¹, Lu wei-chao¹, Xue Er-wei¹, Xiaoyong¹, Chen Fa-guan¹ (1. CHINA MC5 GR0 UPC0 RP. LTD, sichuan Chengdu 610000; 2. Harbin Institute of Technology, Heilongjiang Harbin 150000)

Abstract: Alkali-activated slag concrete is a new type of construction material with environmental-friendly performance. Compared with 0 PC-based concrete, alkali-activated slag concrete shows superior properties on mechanical and corrosion resistance. The application of alkali-activated slag concrete provides a solution to achieve carbon neutralization. However, the rapid setting property of alkali-activated slag concrete limits the utilization in-situ. In this study, a slow-setting method according to the pharmaceutical industry is proposed. The alkali-activator is processed into capsules and pills to retard the setting time of alkali-activated slag concrete. Test results also show how by using alkali-activated capsules and pills, concrete shows self-healing ability. The width of cracks is obviously reduced.

Keywords: alkali-activated slag concrete; environmental-friendly material; capsule; pill; sustained release

0 引言

水泥的制造为二氧化碳排放的三大源头之一,已成为“温室效应”的第三大构成源。每制造一吨水泥,会排放约 0.6~1 吨二氧化碳。如何降低水泥的使用量从而减轻温室效应的影响已成为困扰各国的重要难题之一^[1-3]。如何在满足城市更新换代的同时降低水泥制造业的二氧化碳排放量、延缓温室效应已成为当今刻不容缓的使命。同时,石灰石作为水泥生产的主要原材料,其开采过程会破坏开采地区的生态环境,占用宝贵的土地资源,导致植被破坏和水土流失等重要环境问题^[4]。

面对日益严峻的环境压力,一种以高炉矿粉为

基底的碱-矿渣混凝土也逐渐受到世界各国学者的重视。碱-矿渣混凝土,通常也被称为地质聚合物混凝土或碱-激发混凝土,是一种主要以高炉矿粉或粉煤灰等物质作为基底,并加入强碱类物质作为激发材料的环保型混凝土。对比使用普通硅酸盐水泥的混凝土,即便使用的碱激发剂也为高耗能产品,但碱-矿渣混凝土仍可降低二氧化碳排放量的 70%^[5-6],是一种新型节能环保型建筑材料。推广碱-矿渣的使用是降低水泥用量、降低石灰石开采的有效方法。

尽管碱-矿渣混凝土具备环保及诸多耐久性能上的优势,但其自身的一些缺陷限制了其推广及使用。碱-矿渣混凝土早期硬化与凝结时间过快,导致了其较难应用于商品混凝土中^[7]。这一难题极大程度的限制了碱-矿渣混凝土的应用场景。

针对碱-矿渣混凝土凝结时间过快的问题,现阶段

[收稿日期] 2022-11-13

[作者简介] 叶小斌(1984-),男,本科,高级工程师,一级建造师

[联系方式] E-mail: xiaobin028@qq.com

段大部分采取的缓凝措施与水泥基混凝土相同，即加入缓凝剂^[8-10]。在加入缓凝剂后，碱-矿渣混凝土的凝结时间明显延长。但是与此同时，使用缓凝剂会带来其他性能方面的问题，例如使用羟基丁二酸基的缓凝剂会大幅度降低混凝土的力学性能。且缓凝剂的价格偏高也是限制其广泛应用的问题之一。其他的缓凝方法包括矿渣热处理、二次搅拌、延长搅拌时间等^[11]，这些方法虽然可以延长碱-矿渣混凝土的凝结时间，但因工艺复杂，实用性相对较低。Brough 及其他研究者发现利用羟基丁二酸及高浓度 NaCl可延长碱-矿渣混凝土的凝结时间，但是对混凝土强度影响较大^[9]。我国学者蒲心诚对碱-矿渣混凝土的缓凝进行了较为深入的研究，并对比了各类缓凝剂的效果^[12]，发现沸石相比酒石酸有更好的缓凝效果。华南理工大学黄佳琪等对不同形态的缓凝剂进行了相关的研究，发现使用溶液状缓凝剂的试件早期强度高于使用粉末状缓凝剂^[13]。我国学者 Yao^[14]使用蜂窝陶瓷作为碱激发剂的载体，进而达到缓凝效果，研究结果显示该方法可有效延长凝结时间。针对碱-矿渣混凝土的缓凝研究成果相对较少，需进一步挖掘更为经济、实用有效的缓凝方法。

尽管碱-矿渣混凝土包含诸如高力学性能、高耐久性能、绿色环保等诸多优点，但因凝结时间过快导致了其塑性状态持续时间过短，限制了碱-矿渣混凝土的应用。目前，通常利用缓凝剂来解决碱-矿渣混凝土凝结快等问题^[8-10]。在加入缓凝剂后，碱-矿渣混凝土的凝结时间明显延长。但使用缓凝剂会带来其他性能方面的问题，例如使用羟基丁二酸基的缓凝剂会大幅度降低混凝土的力学性能。且缓凝剂的价格偏高也是限制其广泛应用的问题之一。

缓释技术是一种在制药行业中广泛使用的传统技术，其主要原理为通过包裹等方式，减小某种活性制剂的释放速度，从而在某段时间内，控制体系中的活性制剂有效浓度。本章将借鉴制药业的缓凝技术，对碱-矿渣混凝土的速凝问题提出解决方案，将常用的固体碱激发剂，即固态硅酸钠制备为胶囊和片剂型碱激发剂，在反应初期降低碱激发剂的有效浓度，以此减缓碱-矿渣净浆初期的反应速度，从而达成碱-矿渣净浆的缓凝效果。同时，本文对缓释效果导致的裂缝自愈合效果进行了研究和分析。

I 试验概况

本文针对碱-矿渣混凝土凝结时间过快的的问题，拟将一种常用的碱激发剂加工为胶囊和片剂，以此控制早期反应浓度，达到缓凝的效果，并通过微观结构说明机理。

1.1 试件设计

本文中选定的各组水胶比为 0.4，其中碱激发剂中 Na元素质量占矿粉质量的 3%。以胶囊型碱激发剂及片剂型碱激发剂取代粉末状固体硅酸钠的比例做为试验参数，取代率设定为 20%及 40%。此次试验各组净浆的具体配比在表 I 中列出。本部分试验保证各组使用的固体硅酸钠含量相同，其中胶囊空壳的质量不计入配比。各组编号中，C代表胶囊(Capsule)，P代表片剂(Pill)，之后的数字代表其取代的百分率。胶囊型碱激发剂填充后质量约为 1.5g,使用的片剂型碱激发剂型碱激发剂直径为 12mm,单个质量约为 1.8 g。强度试件测量 1、3、7、14 和 28 天强度，3 个取平均值。

表 I 各组试验配比 (kg/m³)
Table I Mi 叠 tureproportionofeac上 mi 叠 ture (kg/m³)

	矿粉	水	未加工的碱激发剂	胶囊型碱激发剂	胶囊壳	片剂型碱激发剂
标准组	1353	541.2	107.65	"	"	"
C-20	1353	541.2	86.12	21.53	1.96	"
C-40	1353	541.2	64.59	43.06	3.92	"
P-20	1353	541.2	86.12	"	"	21.53
P-40	1353	541.2	64.59	"	"	43.06

1.2 材料特性

使用的固体硅酸钠产自山东省优索化工科技有限公司，纯度为 99%，化学式为 Na₂siO₃，模数 1.0，呈白色粉末状，溶于水具有中强碱性。需要注明市面上存在多种含有不同结晶水的固态硅酸钠，为保证材料的性能，本次选用的材料为无水硅酸钠。

所使用的高炉矿粉，产自河北省石家庄市。其物理参数在表 2 中详细列出，根据《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(CB/T18046-2017)^[15]的各项标准衡量，各项指标均满足使用标准。其化学成分经 X射线荧光光谱分析(XRF)后，如表 2。其粒度分布如图 1。

表 2 高炉矿粉的各项物理参数

Table2 P上 yysicalpropertiesofGGBFs		
检测内容	试验用 s95 矿粉	s95 标准指标
密度 (g/cm ³)	2.94	≥2.80
比表面积 (m ² /kg)	410	≥400
烧失量 (%)	0.76	≤ 1.0
含水量 (%)	0.01	≤ 1.0
三氧化硫含量 (%)	1.83	≤ 4.0
活性指数 (%)	7 d	90
	28 d	98

表 3 三种型号胶囊尺寸参数

Table3 Parametersof3 typesofcapsules			
单粒胶囊型号	s 型	M 型	L型
胶囊壳质量 (g)	0.09	0.10	0.11
填充后质量 (g)	0.5 g	1.0 g	1.5 g

胶囊壳,及封装后的胶囊型碱激发剂如图 2。



图 2 不同尺寸胶囊

Fig. 2 Capsuleswithdiferentsizes

片剂通常指药物通过制剂技术制成的片状或异形片状的固体制剂。片剂的优点通常包含溶出度好、剂量准确、质量稳定、便于携带运输、因机械化生产而产量大、成本低等。缓释制剂一般指按要求缓慢地非恒速释放药物的制剂,与相应普通制剂相比尺寸较大,一般片剂尺寸不宜小于 6mm。

片剂型碱激发剂的加工成型借鉴制药业的成型压片技术,其制备及成品如图 3 和图 4 所示。其具体制备过程如下:

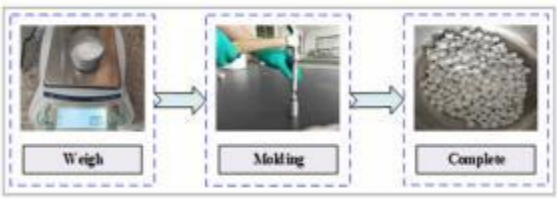


图 3 片剂型碱激发剂的称量、制备及成品

Fig. 3 weighing, moldingand prepared samplesof alkali- activated pills



图 4 不同尺寸的片剂型碱激发剂

Fig. 4 Alkali- activated pillswithdiferentsizes

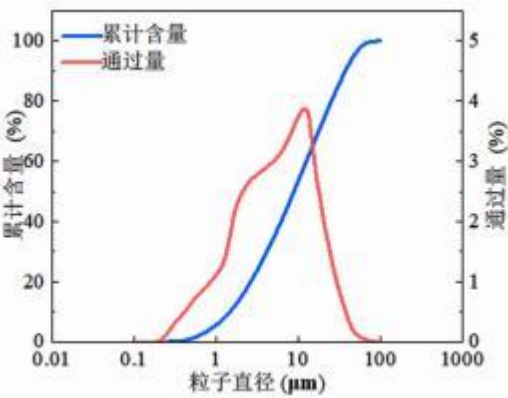


图 1 高炉矿粉的粒度区间分布图

Fig. 1 Particlesizedistribution ofCCBFs

1.3 胶囊和片剂型碱激发剂制备方法

市面所售的胶囊壳按使用材料划分,主要包含明胶类胶囊和植物纤维类胶囊两种。相比明胶类胶囊壳,植物胶囊壳具有性质稳定、低湿条件不脆碎,高湿条件仍可保持胶囊壳的稳定,且长时间放置不会分解变质的特性。且在试配中发现,明胶类胶囊壳在水中溶解过程中会发生膨胀,因此本次所使用的胶囊壳选定为植物纤维类胶囊壳。按胶囊剂型分类,胶囊分为软胶囊和硬胶囊,本次选用软胶囊进行试验。

本次使用的植物纤维型胶囊壳主要成分为羟丙基甲基纤维素。本次试验中共选用 3 种尺寸的胶囊壳,具体尺寸、空壳质量、封装后质量及编号见表 3。

胶囊型碱激发剂的制备流程如下:

- (1) 使用电子天平称量胶囊壳质量并记录;
- (2) 将固态硅酸钠粉末填充进胶囊壳中,制成胶囊型碱激发剂;
- (3) 称量胶囊质量并封装保存。本次所使用的

(1) 将 9% 的纯净水按质量比加入无水硅酸钠粉末;

(2) 人工搅拌至混合物颗粒大小均匀,直至粉末未出现颗粒状晶体后,使得无水硅酸钠产生粘性后,将其加入钢制压片模具;

(3) 使用电子秤称量,根据所制备片剂单个质量和尺寸的不同,称量单个片剂质量;

(4) 用药匙将固体粉末装入机械模具凹槽处,手动加满后,插入撞针,保持其与桌面垂直,用锤子敲击 5 次;

(5) 拨开底座,将已成型的片剂推出,置于干燥密封袋中保存;

(6) 清理模具,并重复步骤(3) (4) (5)。

由于使用的无水硅酸钠加入少量水后,具备较高的粘性,因此不需在片剂制备的过程中加入其他物质作为辅料或粘合剂等。s、M、L型单个直径分别为 6、8、12mm。

1.4 试验方法

净浆的初、终凝时间依据 ASTM C191^[16]。仪器同净浆流动度试验,在完成净浆流动度试验后,将截锥模具用净浆装满,将维卡针固定于净浆表面。通过接触固定,使得维卡针扎入净浆中,每 5 分钟移动位置,当维卡针扎入净浆表面下 3~5 mm 时,其时间结果记录为初凝。之后每 15 分钟测试一次,继续固定维卡针后解除固定扎入净浆中。当陷入深度小于 1 mm 时,其结果为终凝时间。

裂缝愈合试验使用 12mm 片剂,取代率为 20% 的碱-矿渣净浆进行自愈合能力的研究。将试件置于抗折试验机下缓慢加载,直至表面出现裂缝时停止加载,经测量,经过预破坏处理的试件表面裂缝大多数在 0.05~0.30mm 之间。利用两类参数对试件的自愈合能力进行衡量。第一个参数为养护前与养护后裂缝宽度的关系,对比标准组与片剂使用组以衡量片剂的作用。第二个参数为裂缝愈合率。裂缝愈合率的计算公式如下:

$$H\% = \frac{w_{pre} - w}{w_{pre}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:H%代表愈合率,通常用 w 表示裂缝宽度, w_{pre} 代表试件裂缝的初始宽度, w_t 代表再次养护 t 天后,裂缝的宽度。

通过对照标准组与片剂组试件的裂缝愈合率来衡量片剂型碱激发剂的自愈合能力。

裂缝宽度测定法使用 KON-FK(B) 自动型裂缝宽度测定仪进行测定,装置如图 5 所示。首先,将含有片剂和未含有片剂的试件进行抗折破坏以产生裂缝。具体步骤如下:

(1) 将养护后的 40mmx40mmx160mm 试件用干净的抹布擦干,在试件中部位置距顶端 10mm、20mm、30mm 处使用油性笔画线标记;

(2) 将试件置于抗折试验机下缓慢加载,直至表面出现裂缝时停止加载,经测量,经过预破坏处理的试件表面裂缝大多数在 0.05~0.30mm 之间;

(3) 将试件两侧用树脂密封,起到固定试件形状作用;

(4) 使用 KON-FK(B) 自动型裂缝宽度测定仪,测量试件裂缝与标记线交点处裂缝宽度作为初始裂缝宽度,使用的裂缝宽度测定仪将试件放置于 20±3℃ 以及相对湿度 95% 的养护室重新养护 7 天,再次测量裂缝宽度。



图 5 KON-FK(B) 自动型裂缝宽度测定仪

Fig.5 TypeKON-FK(B) crack width monitor

2 试验结果

不同取代率胶囊型碱激发剂和片剂型碱激发剂对初、终凝时间的影响结果如图 6 所示。试验结果可见标准组净浆的初、终凝时间分别为 60 分钟、113 分钟。当使用胶囊和片剂型碱激发剂取代粉末状碱激发剂时,碱-矿渣净浆的初、终凝时间均明显延长。当胶囊型碱激发剂取代率为 20% 时,相比标准组净浆,初、终凝时间分别延长 62.67%、38.94%。胶囊型碱激发剂取代率上升为 40% 时,其净浆的凝结时间分别为 145 分钟及 230 分钟。使用 20% 片剂型碱激发剂取代粉末状碱激发剂时,碱-矿渣净浆的初、终凝时间分别延长 55% 及 36.28%。片剂型碱激

发剂取代率上升为 40%时,其净浆的凝结时间分别为 136 分钟及 225 分钟。当取代率相同时,使用胶囊的凝结时间略长于使用片剂。

考虑到现场施工、运输、浇筑等因素,混凝土的初凝时间不宜短于 1 小时,如混凝土塑性状态维持时间较短,则难于进行现场施工。而考虑到经济效益、施工效率等因素,混凝土的终凝时间则不宜高于 6 小时。使用胶囊型碱激发剂和片剂型碱激发剂可大幅度延长碱-矿渣混凝土的初凝时间,并将终凝时间控制在合理范围之内。在片剂及胶囊取代率为 20%时对 Δt 的影响较小,在保证混凝土塑性状态延长(浇筑至初凝)的同时,终凝时间相对延长的幅度较小,因此,使用加工后的胶囊型碱激发剂和片剂缓凝效率较高,且不会导致终凝时间过分延长,为碱-矿渣混凝土在施工现场的应用提供了一种新的解决方案。

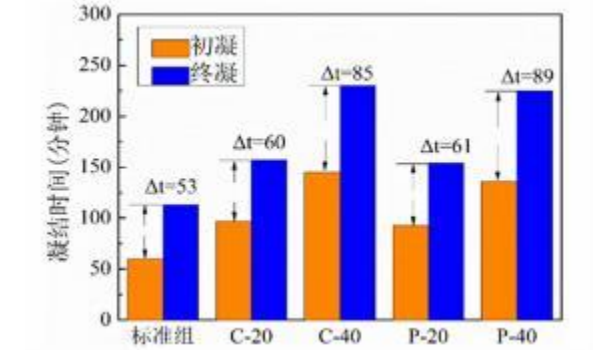


图 6 胶囊型碱激发剂及片剂对凝结时间的影响
Fig.6 Influence of alkali-activated capsules and pilson on the setting time

图 7 中列出了 10 个(标准 5、片剂 5)裂缝共计 30 个测量点的再养护前后的裂缝宽度对比曲线。通过观察发现,裂缝的宽度在再养护后整体呈下降趋势。使用片剂后,碱激发试件的裂缝修补能力明显提升,其中片剂组中部分裂缝在再养护 7 天后裂缝填充率高于 60%。试验结果可知使用片剂型碱激发剂具备较好的裂缝修补能力。其原因为养护条件下水分透过裂缝进入混凝土中与未水化的片剂进行了反应,填充了裂缝,从而降低了裂缝的宽度。

图 8 中显示了标准组与片剂组的裂缝愈合率。标准组裂缝的愈合率整体而言大幅度小于片剂组,且个别裂缝宽度呈增加趋势。片剂组裂缝愈合率为 44%,个别组愈合率高于 60%。片剂组试件裂缝

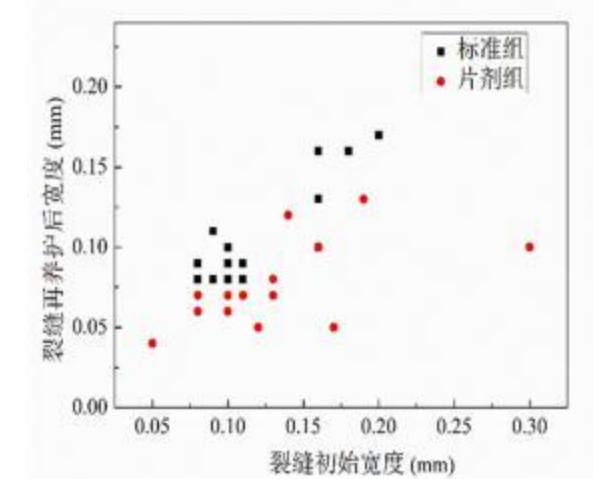


图 7 试件裂缝宽度对比
Fig.7 Comparison of crack widths before and after curing

愈合率高的原因在于片剂缓释作用引发的后期裂缝的填充修补作用。无水硅酸钠片剂在高湿度环境下,与透过裂缝的水融合形成凝胶状物质,填补裂缝,起到修复作用。

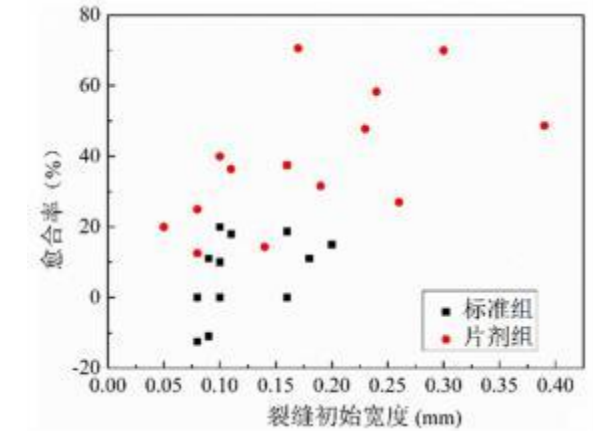


图 8 试件裂缝愈合率
Fig.8 Healing ratio of the cracks

标准组试件的超景深图像如图 9 所示。相比 3 天时,28 天龄期试件的裂缝宽度明显增加。造成裂缝增加的原因主要在于碱-矿渣混凝土本身的高收缩特性所引发的净浆失水,使得收缩裂缝大幅度加宽。高收缩开裂也是除凝结时间过快之外,另一大限制碱-矿渣混凝土使用的不利因素之一。

3 微观结构分析

含有碱激发片剂组试件的超景深图像如图 10。图中可见,试件中存在的裂缝被溢出的白色硅酸钠结晶所填充,从此现象中可以解释使用片剂对收

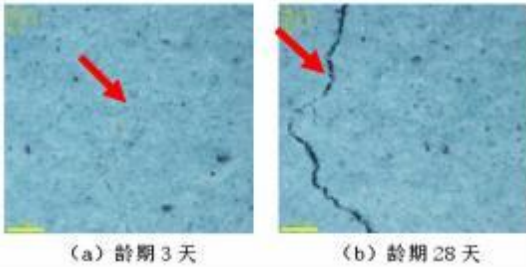


图 9 标准组裂缝区域超景深图像

Fig. 9 Images of control specimens by super deep scene 3 D microscope

缩、碳化以及长期强度方面的有益影响。

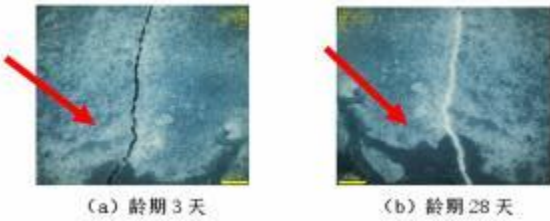


图 10 片剂组裂缝区域超景深图像

Fig. 10 Images of P-20 specimens by super deep scene 3 D microscope

在早期，片剂储存了部分硅酸钠粉末，降低了混凝土中碱激发剂的有效浓度，因此早期强度有一定幅度的降低。但随着龄期的增长，混凝土中的硅酸钠浓度降低，储存的部分硅酸钠溢出，且与水结合后硬化，并填充了试件的裂缝、孔洞等缺陷。混凝土因开裂程度的降低提升了密实程度，进而降低了内外部水分的交换，从而降低了收缩。因裂缝及孔洞的减少，二氧化碳侵入路径减少，进而降低了其长期碳化程度、增强了其抗碳化能力。就长期强度而言，因片剂已逐渐完全反应，因此早期对水化进程的削弱程度逐步降低，而因其裂缝和缺陷的修补能力使得试件更加密实，从而小幅度增加了混凝土的长期强度。

4 结论

本文借鉴制药行业的缓释技术，将粉末状碱激发剂硅酸钠加工为胶囊型碱激发剂或片剂，并对胶囊和片剂对碱-矿渣净浆的性能影响进行了相应研究，并得出了如下结论：

(1) 使用胶囊型碱激发剂和片剂型碱激发剂可有效延长碱-矿渣混凝土的凝结时间，相对终凝时间，初凝时间的延迟程度更为明显。随着胶囊型碱

激发剂和片剂型碱激发剂取代率增大，凝结时间延长。

(2) 使用片剂型碱激发剂具备一定的裂缝修补能力，经再养护后，使用 20% 的片剂型碱激发剂可使得裂缝宽度愈合超过 40%。通过裂缝宽度测量以及超景深显微观察验证了片剂型碱激发剂的缓释作用，可有效填充混凝土中的裂缝。

参考文献

[1] Barker, D., Turner, S., Napier-More, M. Clark, Davison, J. E. CO₂ Capture in the Cement Industry [J]. Energy Procedia, 2009, 1 (1) : 87 -94 .

[2] Andres R J., Boden T A., F.-M. Br6 on, et al. A synthesis of carbon dioxide emissions from fossil-fuel combustion [J]. Biogeosciences, 2012, 9 (5) : 1845 -1871 .

[3] 岳清瑞.岳清瑞院士谈碳达峰、碳中和[R].北京市,2022:1.

[4] 章梁琪.分析石灰石矿露天开采对生态环境的影响及其应对措施[J].地球,2014,000(010):276-276,345.

[5] 固废观察.建筑垃圾处理行业 2018 年度发展报告 [EB/OL]. 2019 [2019 02 19]. https://huanbao.bjx.com.cn/news/20190209/961476.shtml.

[6] wang, shao-dong. Review of recent research on alkali-activated concrete in China [J]. Magazine of Concrete Research, 1991, 43 (154) : 29 -35 .

[7] sakulich A R, Bentz D P. Mitigation of autogenous shrinkage in alkali activated slag mortars by internal curing [J]. Materials and structures, 2013, 46 (8) : 1355 -1367 .

[8] Cong C, Yang N. Effect of P HOSPHATE on the hydration of alkali-activated red mud-slag cementitious material [J]. Cement-Concrete Research, 2000, 30 (7) : 1013 -1016 .

[9] Brough A R, Holoway M, sykes J, et al. sodium silicate-based, alkali-activated slag mortars [J]. Cement-Concrete Research, 2002, 32 (9) : 865 -879 .

[10] Chang J J. A study on the setting characteristics of sodium silicate-activated slag pastes [J]. Cement-Concrete Research, 2003, 33 (7) : 1005 -1011 .

[11] 杨长辉,蒲心诚.论碱矿渣水泥及混凝土的缓凝问题及缓凝方法[J].土木建筑与环境工程,1996,18(003):67-72.

[12] 徐彬,蒲心诚.固态碱组分碱矿渣水泥缓凝剂 [J]. 绿色建筑, 1997, 013 (5) : 224 -225 .

[13] 黄家琪,余其俊,赵三银,等.缓凝剂掺入方式对碱碳酸盐矿渣灌浆材料性能的影响 [C] / 全国水泥和混凝土化学及应用技术会议. 2005 .

[14] Liu C, Yao X, Zhang W. Controlling the setting times of one-part alkali-activated slag by using honeycomb ceramics as carrier of sodium silicate activator [J]. Construction and Building Materials, 2020, 235 : 117091 .

[15] 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉 [S] (GB/T 18046 -2017). [16] standard Test Methods for Time of setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle [S]. ASTM C191 .

夏热冬冷地区建筑运行阶段碳排放计算及减碳效益分析

张春芳¹,孙志勇² (1.中 国建筑科学研究院有限公司 ,北京 100013;2 .中 国土木工程学会 ,北京 100835)

[摘 要] 本文在国家标准《建筑节能与可再生能源利用通用规范》背景下,选取夏热冬冷热工分区分区为代表,根据运行阶段能耗占比构成,分析设计过程中,影响运行阶段节能的主要制约因素。并结合实际工程测算的基础数据,采用已建立的内核计算方法和模型,对比验证优化设计前后的建筑碳排放计算值,得出不同设计措施下的减碳效率,进而总结出该气候分区下控制碳排放的设计措施。
[关键词] 碳排放计算;夏热冬冷热工分区分区;运行阶段;减碳效益;设计措施

Carbon Emission Calculation and Carbon Reduction Analysis in The whole Life Cycle of Buildings

Zhang Chun-fang¹, sun Zhi-yong² (1.China Academy of Building sciences, Beijing 100013; 2.China Civil Engineering society, Beijing 100835)

Abstract: Under the background of the national standard General Code for Building Energy Conservation and Renewable Energy Utilization, this paper selects hot summer and winter cold and thermal zoning as the representative, and analyzes the main constraints affecting energy conservation in the operation phase during the design process according to the proportion of energy consumption in the operation phase. Combined with the basic data of actual engineering calculation, the established core calculation method and model are used to compare and verify the calculated values of building carbon emissions before and after the optimization design, to obtain the carbon reduction efficiency under different design measures, and then summarize the design measures to control carbon emissions under the climate zone.

Keywords: Carbon emission calculation; hot summer and cold winter thermal zoning; operation stage; carbon reduction benefits; design measures

0 引言

联合国环境规划署与国际能源署合编的《2018 年全球现状报告 -塑造零排放、高效和有弹性的建筑建造行业》指出建筑行业占据与能源相关的二氧化碳排放总量的 38% 以及最终能源消耗量的 35%。建筑领域的能源消耗及其碳排放是全国碳排放的重要构成部分。中国建筑节能协会编写的《中国建筑能耗研究报告(2020)》指出,2018 年全国建筑全过程能耗总量占全国能源消费总量的 46.5%,碳排放总量占全国碳排放的 51.3%。因此,建筑行业被

列入了“碳达峰碳中和”工作的重要抓手之一,建立建筑工程二氧化碳排放总量控制制度是落实双碳目标的核心。^[1]

1 研究背景

1.1 标准支撑

住建部于 2019 年发布《建筑碳排放计算标准》(CB/T51366-2019),规定了建筑物碳排放计算并提供了计算方法和碳排放数据并明确了建筑碳排放、计算边界、碳排放因子、建筑碳汇等相关术语定义。2022 年 4 月 1 日起,住建部发布《建筑节能与可再生能源利用通用规范》(CB55015-2021),指出“对于新建、改建和扩建建筑而言,可研、建设、设计方案应包含建筑碳排放分析报告,碳排放强度要达到一定水平,对建筑碳排放进行计算”。以 2016 执行的节能设计标准为基准,新建居住和公共建筑碳排

[收稿日期] 2022-11-20
[作者简介] 张春芳(1995-),女,硕士。主要从事绿色建筑节能、超低能耗建筑方面的研究
[通讯作者] 孙志勇(1983-),男,本科。主要从事道桥建设、工程管理、绿色土木、低碳土木等方面的研究。

放强度应平均降低 40%，碳排放强度平均降低 7 kg/CO₂ (m²·a)。此外，规范还对可再生能源的利用，如太阳能、空气源热泵、地源热泵做出更为细致的要求，该部分数值将影响到运行阶段的碳减排量。

1.2 建筑碳排放计算模型

建筑碳排放为建筑物在与其有关的建材生产及运输、建造及拆除、运行阶段产生的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。建筑物碳排放量 = sUM(建筑系统在计算边界范围内不同能量消耗换算后的建筑物碳排放量)；建筑物运行阶段碳排放量 = 系统耗能碳排放量(生活热水/暖通空调/照明设备等) - 减碳量(可再生能源/建筑红线内建筑碳汇减碳量/其他减碳中和控制措施减碳量)，主要由不同类型的能源消耗量和不同能源类型的碳排放因子决定。 [2]

实际工程应用中主要采用 PKPM-CEs 建筑碳排放设计分析软件来出具建筑碳排放计算报告书。软件支持对项目的全生命周期进行碳排放分析，为采用不同措施下降低建筑碳排放强度提供计算值参考依据。实际计算方法主要有两种：1) "PKPM 权衡计算法"，调用节能内核，根据《建筑节能设计标准》中的权衡计算方法计算空调采暖能耗；2) 内核计算法：自动划分设计建筑和参照建筑的空调形式和参数，然后进行负荷计算，再配置冷热源进行供暖空调的详细能耗计算，得出空调系统能耗及各设备能耗，乘以区域电网碳排放因子，得到最终的运行碳排放量。该研究使用内核计算法，进行工程优化设计前后的对比分析。 [3]

1.3 建筑碳排放占比分析

据行业数据统计显示，2018 年建筑全寿命周期碳排放 37.58 亿 tCO₂，其中建筑运行阶段碳排放 21.12 亿 tCO₂，占比最高，约 56%。 [4] (图 1)

运行阶段主要包含运行能耗及围护能耗。其中，运行能耗占比为 98%，是此阶段碳排放产生的主要来源。

运行能耗主要由采暖、照明、空调制冷、动力系统构成，其中采暖引起的碳排放为 60%，照明为 25%，空调制冷为 12%，动力系统为 3% [5] (图 2)。

从以上两组数据可以看出：运行阶段的减碳分析可有效地减少碳排放量。从运行阶段空调能耗计算原理来看，决定能耗的因素主要有建筑空调系统的冷热负荷和系统本身的 COP。室内冷热负荷



图 1 2018 年建筑行业全生命周期碳排放占比



图 2 建筑运行阶段碳排放量占比饼图

是计算一栋建筑运行能耗的先决条件。实际工程中总结出影响空调负荷主要有几个方面，即建筑围护热工参数的优劣、房间参数条件的设置、空调设备的类型。

因此设计阶段可从以下四方面进行优化，降低运行阶段的能耗：

- (1) 减低建筑围护结构的传热系数，如外墙、外窗、地面、幕墙等；
- (2) 南方地区增加遮阳来降低空调能耗；
- (3) 降低房间设计温度，减小人员、照明、设备、渗透风等参数；
- (4) 采用合适的空调系统类型。

2 设计阶段减碳措施

2.1 设计思想

建筑碳排放整体上应遵循被动节能措施优先,主动式技术优化,可再生能源调节的设计原则。(图3)充分利用天然采光、自然通风,提高围护结构保温隔热性能;降低建筑的用能需求,提高能源利用率;充分利用可再生能源,降低建筑化石能源消耗量。



图 3 建筑设计阶段减碳措施

2.2 被动式设计优先

被动式设计主要从总平面布局、建筑朝向、体形系数、窗墙比、自然调节、综合节能设计等角度综合考虑设计方案对运行阶段能耗的影响。

1) 建筑朝向设计

研究选取夏热冬冷热工分区不同城市的典型建筑模型,计算不同朝向时的能耗,以及不同朝向、不同楼层房间的室内温度进行了模拟计算,计算结果见图4:

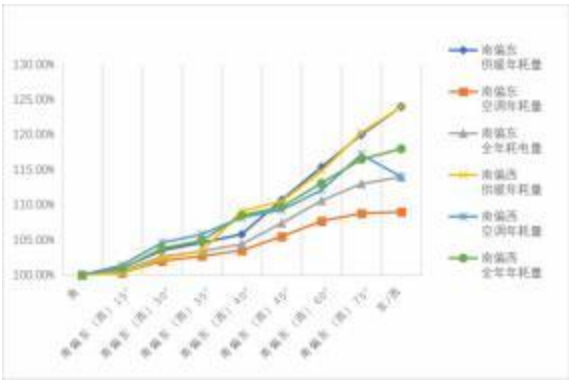


图 4 不同朝向建筑能耗模拟计算分析

建筑朝向在南偏东 15°至南偏西 15°范围内,供暖、空调耗电量基本一致;当建筑的朝向在南偏东 40°及南偏西 30°度时,供暖、空调耗电量分别增加 4.4 %、3.8 %;超过上述范围建筑物供暖、空调耗电量急剧增加。

2) 建筑体形系数

研究对比分析了实际工程案例中,不同体形系

数单体住宅建筑的围护结构采暖能耗分析数据,得出:当体形系数超过规定时,则要求提高建筑围护结构的保温隔热性能,确保实现节能目标。随之带来的是室内空间利用效率下降,造成材料和土地的浪费,所以应综合考虑,在设计中采用适宜的面宽与进深比例,增加建筑进深、减小面宽;增加建筑层数以减小平面展开;合理控制建筑体形及立面变化。

3) 建筑窗地比

影响建筑能耗的另外一个重要因素就是窗墙面积比,窗越大,温差传热量也越大,可开启的窗缝越长,缝隙的热量散失也越严重。夏天透过玻璃的太阳辐射热是造成房间过热的一个重要原因。从节能和室内环境舒适的双重角度考虑,建筑都应适当控制窗墙比,不应过度追求建筑通透。夏热冬冷地区经验值一般控制在 1/7 左右。

4) 自然调节

一般建筑设计中,通过自然方式调节室内气候,可减少空调、采暖的使用时间。一般而言,外遮阳效果比较好,考虑到建筑冬夏不同的需求,设置可调节的活动遮阳能够最大限度地冬季利用太阳辐射,在夏季避免太阳辐射的影响,建筑应考虑活动外遮阳。

5) 综合建筑节能

在建筑的全生命周期中,建筑节能设计的核心目的是减少建筑空调能耗,主要措施有加强保温;处理好冷热桥;加强建筑的气密性。如图5所示:在一定区间内增加保温层厚度,提高建筑围护结构的热工性能,可以降低空调的能耗,但当保温层达到一定厚度后,即使增加保温层厚度,围护结构的热工性能也难有明显的提升。以挤塑聚苯板为例,当厚度从 30mm 增加到 50mm 时,围护结构的传热系数与挤塑聚苯板的厚度呈明显的负相关,当挤塑聚苯板厚度在 70mm 时,板厚每增加 15mm,围护结构的传热系数就能降低 0.1w/(m²·K)。而当挤塑聚苯板厚度增加到 150mm 以后,围护结构每降低 0.1w/(m²·K) 的传热系数指标,板的厚度需增加 110mm。

在夏热冬冷地区,汇总工程实际案例经验值,屋面保温层最佳厚度范围为 60mm~90mm;墙体保温层最佳厚度范围为 30mm~50mm。当采用最佳保温层厚度时,运行阶段二氧化碳排放量距不设保温层时屋面减少 45.8 %~48.6 %,墙体减少 56.5 %

~59.7 %。^[6]

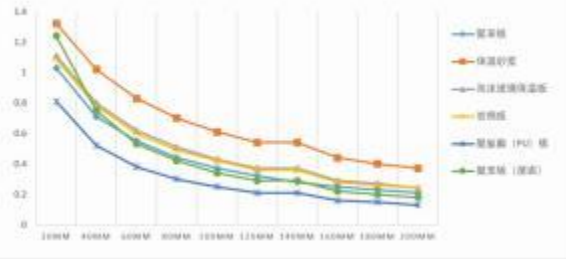


图 5 建筑保温材料与热工性能的关系

6) 工程案例解析

该项目选自夏热冬冷热工分区,原设计朝向为西偏北 27.91 度,节能满足省标要求。将朝向调整至正南,供冷累计负荷原设计降幅 5.39%,供暖累计负荷较原设计降低降幅 5.07%;将建筑综合优化,调整朝向及窗墙比,节能满足最新通用规范要求时,供冷累计负荷较原设计降幅 13.36%,供暖累计负荷较原设计增幅 1.93%(图 6)。



图 6 建筑累计负荷计算结果对比原设计

经过计算,原设计单位面积年运行碳排放量:供暖 3.79;空调 1.97;优化比例 33.98%;单位面积年运行碳排放降低值 8.67;建筑调整至南向:单位面积年运行碳排放量对比原设计:供暖降低 5.80%,空调降低 6.09%,单位面积年运行碳排放降低值减少 4.61%;建筑综合优化,调整朝向,窗墙比,节能满足最新通用规范要求:单位面积年运行碳排放量:供暖增加 1.85%;空调降低 13.20%;单位面积年运行碳排放降低值增加 5.07%(图 7)。

2.3 主动式设计优化

主动节能是指优化建筑机电系统和自动检测控制系统,采用更加高效节能的设备,可以实现室



图 7 建筑运行阶段碳排放对比原设计

内环境舒适参数的精确、稳定和可控,从而进一步降低建筑总能耗。在设计过程中主要涉及照明、空调、动力系统的设计:

1) 空调系统

建筑运行阶段占比最大的就是空调能耗。对于夏热冬冷地区而言,由于夏季空调使用较多,空调能耗所占比列更大,因此降低空调能耗的减碳效果更为明显。相同工况下,选用 COP 值更大的空调主机,整个空调系统的能耗更少。所以,减少空调使用时间,提高空调主机的 COP,可以有效降低空调能耗,从而减少运行阶段建筑的碳排放。^[7] 具体如下几种方式:

- ① 选取合适的空调系统;
- ② 加强建筑的保温隔热措施;
- ③ 合理布置空调主机,提高主机运行效率;
- ④ 自然方式调节室内气候。

2) 照明系统

在建筑运行阶段的能耗中,照明能耗排第二,占比 25%,也是建筑运行阶段碳排放的主要影响因素之一。合理增加自然采光,减少人工照明,是减少照明能耗的有效途径,具体的方法有:

- ① 选择合适的窗地比;
- ② 合理的设计采光口位置和形式;
- ③ 运用采光辅助构建;
- ④ 使用高效光源,合理选择灯具以及采用智能照明系统等;

另外一种减少照明能耗的措施就是选择合理的照明控制策略,与不使用自然光相比,调光控制可以节约 68% 的白天办公时间照明用电,开关控制可以节约 57%。建筑进深比较大的话,外区可以充分采光,内区无法充分接触阳光,需要一直开启灯

具 , 外区则可以关闭部分灯具来节能 , 关闭 1/3、1/2 还是 2/3 可以根据窗墙比大小或者窗户的透射比大小来大致定关闭多少比例的灯具 。 自然采光的因素 , 也是根据采光效果或者窗墙比的大小 自己判定自然光因素 , 窗墙比为 30% 时 , DF 取值范围为 0.6 ~0.8 , 如果窗墙比比 0.3 大或者窗户透射比大 , 可以按大着选 0.8 , 如果窗墙比小于 0.3 或者窗户透射比小 , 可以选 0.6 。

3) 动力系统

动力系统主要包含电梯 , 生活热水和通风机 , 住宅除电梯以外 , 其他设备在使用阶段中产生的碳排放量相对较少 , 基本可以忽略不计 。

4) 工程案例解析

计算项目采用的空调形式为:多联机独立新风系统(带热回收);动力设备系统为:电梯、排风机;可再生能源形式为:太阳能光伏发电,光伏组件安装面积:134 平方米,总辐射量 1110,综合效率 0.18。(表 1)

表 1 建筑设备选型对比原设计

工程选择数据				通用规范数据			
名称	设备材料表	单位	数量	名称	设备材料表	单位	数量
室外机	制冷量:33.5 kw 制热量:37.5 kw 制冷功率:8.6 kw 制热功率:8.5 kw	台	2	室外机	制冷量:22.4 kw 制热量:25 kw 制冷功率:4.78 kw 制热功率:5.27 kw	台	1
室外机	制冷量:56 kw 制热量:63 kw 制冷功率:15.7 kw 制热功率:15.4 kw	台	6	室外机	制冷量:40 kw 制热量:45 kw 制冷功率:10.25 kw 制热功率:10.7 kw	台	6

表 2 建筑全年累计负荷计算结果

工程选择数据				通用规范数据			
系统名称	面积	累计热负荷	累计冷负荷	系统名称	面积	累计热负荷	累计冷负荷
空调系统 1	548.68	6 417.42	54 952.40	空调系统 1	2 157.05	43 719.89	170 348.3
空调系统 2	543.12	7 013.34	58 203.92	汇总	2 157.05	43 719.89	170 348.3
空调系统 3	532.63	7 060.55	57 633.04	设计建筑考虑热回收后的负荷计算结果汇总			
空调系统 4	532.62	8 733.63	59 718.08	系统名称	面积	热回收热量	热回收冷量
汇总	2 157.05	29 224.94	230 507.44	空调系统 1	2 157.05	1 843.59	1 379.23

根据计算结果 , 本项 目建筑各系统负荷计算结果如表 2 所示;建筑碳排放强度在 2016 年执行的节能设计标准的基础上降低了 51.85% , 碳排放强度降低了 19.94 kgC0² /(m² .a) 。建筑运行碳排放指标满足《建筑节能与可再生能源利用通用规范》CB55015 - 2021 第 2.0.3 条的要求 。（表 3 , 图 8)

2.4 可再生能源调节

太阳能、地源热泵系统、空气源热泵系统的应用与项目所在地的资源条件密切相关 , 应根据资源禀赋、以可再生能源的高效利用为目标 , 选择经济适用的技术方式和系统形式;应对实施项目进行负荷分析、系统能效比较 , 明确其具有技术可行、经济

合理的应用前景时 , 才能确保实现节能环保的运行效果 。

3 总结

从建筑的全生命周期来看 , 建筑设计阶段是决定建筑全寿命期能耗和碳排放表现的重要阶段 , 其合理性主导了后续建筑活动对环境的影响和资源消耗 。设计阶段计算和分析建筑能耗和碳排放量可以评估节能措施的合理性;在规划和单体方案设计阶段进行可再生能源系统策划 , 提高可再生能源系统的能源利用效率;而设计达到节能要求并不能保证真正的节能 , 实际的节能效益 , 必须依靠合理

表 3 建筑运行阶段碳排放达标判定表					
类别	设计建筑 单位面积 年运行 碳排放量 (kgCO ₂ / (m ² ·a))	参照建筑 单位面积 年运行 碳排放量 (kgCO ₂ / (m ² ·a))	优化比例	单位面积 年运行碳 排放降低值 (kgCO ₂ / (m ² ·a))	判断
供暖	2.13	3.65	41.76	1.53	"
空调	13.39	15.66	14.54	2.28	"
风机	3.29	3.98	17.39	0.69	"
照明	3.42	11.47	70.22	8.05	"
电梯	3.30	3.47	4.77	0.17	"
通风机	0.20	0.21	4.77	0.01	"
太阳能	7.21	0.00	"	"	"
合计	18.51	38.45	51.85	19.94	达标

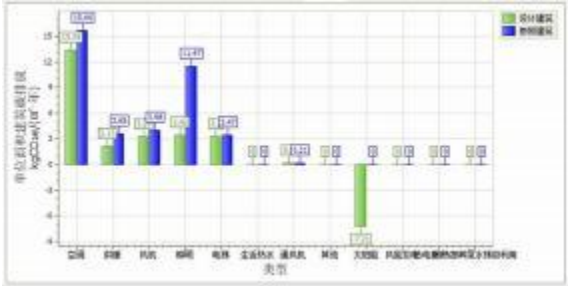


图 8 单位面积建筑碳排放

的运行才可实现节能降碳。设计文件应为工程运行管理方提供一个合理的、符合设计思想的节能措施使用要求,这既是各专业的设计师在建筑节能方面应尽的义务,也是保证工程按照设计思想来取得最优节能效果的必要措施之一。 [8]

参考文献

[1] 郁泽君, 聂影, 王瑶, 等. 双碳目标下绿色建筑减碳路径研究[J]. 住宅产业, 2021(10): 6.

[2] 潘毅群, 梁育民, 朱明亚. 碳中和目标背景下的建筑碳排放计算模型研究综述[J]. 暖通空调, 2021, 051(007): 37-48.

[3] 李静, 刘燕. 基于全生命周期的建筑工程碳排放计算模型[J]. 工程管理学报, 2015(4): 12.

[4] 郑艳丹, 赖筱宇, 吴淑艺, 等. 基于工程量清单的建筑碳排放实证与减排策略研究[J]. 工程管理学报, 2018, 32(6): 5.

[5] 魏秀萍. 住宅工程施工阶段机电设备耗能碳排放计算与实证[D]. 福建: 福建农林大学, 2014.

[6] 刘向伟, 郭兴国, 陈国杰, 等. 建筑外墙最佳保温厚度及环境影响研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2017, 44(9): 182-187.

[7] 丁正红, 张研, 李琳琛. 低碳建筑的施工质量控制研究 - 以深圳国际低碳城会展中心项目为例 [J]. 建筑经济, 2014(2): 43-45.

[8] 罗智星, 杨柳, 刘加平, 韩冰. 建筑材料 CO₂ 排放计算方法及其减排策略研究[J]. 2011, 27(4): 1-8.

基于国产 B1MBase平台的三维 钢筋创建和参数化编辑 方法的研究与应用

张盟，吴瑞瑞，陆丹妮，胡培宁，王晓倩(北京构力科技有限公司，北京 100013)

[摘 要] 与二维平面设计相比，三维可视化的钢筋创建具有直观高效的特点，传统 BIM建模技术更注重展示构件的几何外形，而构件内部所需钢筋并未完全体现。目前市场上主流的国外软件 Revit、Tekla已支持三维钢筋的自 由创建，并应用于大量项目，而国内缺少通用的三维钢筋建模软件。基于国产 BIMBase平台研究一种三维钢筋的建模和编辑方法，对于三维钢筋在国产 BIM模型中的应用具有重大意义。因此，本文提出一种通用的三维钢筋建模技术，以沉箱和预制飘窗的创建为例，介绍其使用方法，并实现混凝土与钢筋的联动，有效降低模型修改量，为三维钢筋的 BIM应用提供支撑。

[关键词] 三维钢筋；国产平台；BIM技术；参数化编辑

Research and Application ofThre-DimensionalReinforcementCreation and ParametricEditingMethod Based on DomesticBIMBasePlatform

Zhang Meng , wu Rui-rui, Lu Dan-ni, Hu Pei-ning , wang Xiao-gian(Beijing GloryPKPM TechnologyCo.,Ltd., Beijing 100013 , China)

Abstract: Compared with 2 Dgraphic design , the creation of 3 Dvisual reinforcement is intuitive and efficient, and the traditional BIM modeling technology pays more attention to displaying the geometry of the component, and the reinforcement required inside the component is not fully reflected. At present, the mainstream foreign software Revit and Tekla on the market have supported the free creation of three-dimensional reinforcement and applied to a large number of projects, while the domestic lack of universal three-dimensional reinforcement modeling software. Based on the domestic BIMBase platform, a modeling and editing method of three-dimensional steel reinforcement is researched , which is of great significance for the application of three-dimensional reinforcement in domestic BIM model. Therefore, this paper proposes a general three-dimensional reinforcement modeling technology, taking the creation of caissons and prefabricated bay windows as an example, introducing its use method , and realizing the linkage between concrete and reinforcement, effectively reducing the amount of model modification , and providing support for the BIM application of three-dimensional reinforcement.

Keywor4 s: three-dimensional reinforcement; domestic platform; BIM technology; parameterized editing

0 引言

国家高度重视 BIM 技术发展，国家发改委、住建部、工信部分别出台政策文件，支持自主 BIM 技术发展和技术应用^[1]。当前国内 BIM 技术普遍应用于管道综合和虚拟模型展示方面，在构件内部钢

筋的运用较少，主要原因之一 是钢筋建模及联动是限制结构构件发展的难点，且钢筋类型和形状复杂，设计要求繁多。国产 BIM软件大多以标准化构件为原型，缺少基础、通用的外形和钢筋创建能力，而国外厂商软件例如 Revit、Tekla等均提供了强大的基础建模功能，并提供开放的接口供国内各大开放商进行二次开发，市场占有率高。因此建立完全国产的三维钢筋创建体系，对于国产 BIM技术的发展具有重要意义。

[收稿日期] 2022 -11 -15
[基金项目] 住房和城乡建设部研究开发项目 " 面向智能建造全过程数据应用的装配式建筑 BIM设计软件开发与应用"(2022 -K-066)
[作者简介] 张盟(1992 -)，女，本科，工程师。主要从事国产 BIM技术应用与装配式结构设计方面的研究
[联系方式] E-mail:zhangmengnew@cabrtech.com

1 BIMBase平台介绍

BIMBase平台是由北京构力科技有限公司开发,基于自主可控的P3D图形引擎研发,突破了大体量几何图形的优化存储与显示等关键核心技术,实现了核心引擎、专业平台和专业模块的完全国产化。该平台获得中国泰尔实验室颁发的最高级别:“BIM软件技术创新 s 级(五星级别)”评估证书,核心代码自主化率 100%。

2021年4月,“新城建·新发展”主题展在第四届数字中国建设峰会成功举办,此次数字中国峰会,国务院国资委面向社会公开发布了十项国有企业数字技术成果,BIMBase系统入选工业软件类数字技术成果。BIMBase系统作为北京构力科技具体研发的“BIM工程”重大专项成果,是国内首款实现建筑信息模型(BIM)关键核心技术自主研发和安全可控的BIM平台和软件,填补了国产BIM软件空白^[1]。

BIMBase平台的三大核心能力包括)几何引擎、渲染引擎、数据引擎。几何引擎提供基础的数学计算和通用的几何计算算法,几何的点、线、面、体的数据定义和相关运算算法,包括螺旋曲线、样条曲线、样条曲面等。为构件内三维钢筋创建提供重要基础。

2 三维钢筋

2.1 钢筋分类

实际工程项目中常用结构构件类型为结构梁、板、柱、墙等构件,根据现行国家规范和图集^[2-3]要求,其构造钢筋的种类大致分为)纵筋、箍筋、拉筋。从三维BIM模型创建角度考虑,根据钢筋的几何外形特性则可分为)直线钢筋、封闭钢筋、以及多段弯折钢筋,需要同时考虑钢筋的几何造型和排列方法,以满足不同构件对于钢筋的构造要求。

现将钢筋类型按图1进行划分)单根钢筋作为基础钢筋,可设置不同长度和弯折样式形成纵筋、箍筋等形式;将单根钢筋按一定规则进行排列,则可形成单排钢筋、双排钢筋、按两个方向面排布钢筋……,这些组合钢筋可以形成钢筋组^[6],进行整体编辑。

2.2 数据定义

根据上述分类原则,提供两种钢筋创建方式)



图1 钢筋分类示意图

单根钢筋和钢筋排创建工具。其中,单根钢筋的数据结构负责描述钢筋几何造型和与位置信息;钢筋排的数据结构用来描述一排钢筋在指定空间上的排布信息。

在钢筋混凝土构件中,钢筋的几何造型通常与构件混凝土轮廓相关,工程中习惯使用:保护层厚度":伸出长度"^[2-3]来描述钢筋与混凝土轮廓面之间的相对位置关系;而上述工程术语通常也被视为钢筋的重要属性,用来展示和控制钢筋的几何造型和位置信息;此外,在构件混凝土几何造型和位置信息被修改后,往往需要重新调整钢筋来适应新的混凝土造型^[7]。

基于上述业务场景的归纳和分析,本文总结提出了钢筋模型数据结构设计的关键点)1)钢筋的几何造型简化为多段折线模型;2)钢筋:虚拟轮廓"数据结构中需要设计:保护层厚度"和:伸出长度"两类变量,用来描述钢筋与混凝土之间的相对位置关系;3)在实际工程中,为了保证钢筋在混凝土中的锚固,钢筋的端部通常会设置各类弯钩,因此钢筋的造型还要支持各类弯钩的造型;4)钢筋模型保留混凝土的造型信息,用来实现混凝土-钢筋的联动。

根据上述的设计重点,提出使用:虚拟轮廓"来定义钢筋的多段折线模型,:虚拟轮廓"的每段折线都设计了对应的:保护层厚度"。实际钢筋节点视为:虚拟轮廓"经过:保护层厚度"的修正计算后得到。当:虚拟轮廓"的节点与混凝土的截面造型有重合时,:保护层厚度"即反应了钢筋与混凝土位置之间的相对位置关系;钢筋的起点和终点位置上,设计端头变量,用来支持弯钩造型;此外,钢筋与混凝土之间的关联关系,将通过混凝土造型顶点被记录到:虚拟轮廓"中,以完成后续的联动计算。

如图所示,ABCD为钢筋的:虚拟轮廓"节点,标注文字表示钢筋各段的保护层厚度,钢筋实际节点A0B0C0D0由ABCD偏移指定保护层厚度后计算得出。

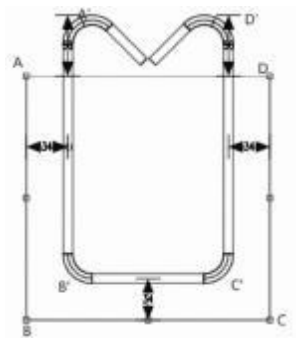


图 2 钢筋轮廓点示意图

钢筋的端头被简化为圆弧 - 直线造型 , 开放圆弧弯折角度 θ 、半径 R 、直线长度 L 、旋转角度 α 等变量供用户修改^[6]。端头段造型通过平移和旋转组合到钢筋主体几何造型上 , 从而构成完整的钢筋造型。

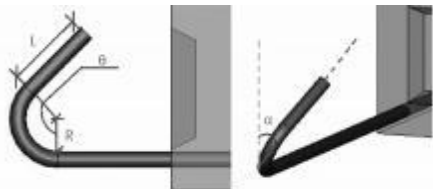


图 3 钢筋端头示意图

在钢筋排列的规则上 , 提供多种排布策略进行钢筋排布的自动计算 , 定义钢筋中线为定位基准线 , 根据表 1 算法自动生成排列结果。 a_1 、 a_2 为首/末个钢筋间距 , b_1 、 b_2 为首/末第二个钢筋间距 , s 为钢筋间距 , n 为相同排列的钢筋根数 , M 为钢筋总数量。

五种排布方式的计算方法 , 如表 1。

表 1 排布算法汇总表

排布计算名称	公式	参数变量
按固定间距值平均分布	$n = (L / a_1 + a_2) / s \uparrow$ $n \text{ 取整数}$ $b = (L / a_1 + a_2 - s * n) / 2$	a_1, a_2, s
按钢筋数量平均分布	$n = M \uparrow$ $s = (L / a_1 + a_2) / n$	M
按输入间距排布	无	a_1, a_2, b_1, b_2, s, n
按首点的间隔值分布	$n = (L / a_1 + a_2) / s$ 取整数 余数放在首个间距位置	a_1, a_2, s
按末点的间隔值分布	$n = (L / a_1 + a_2) / s$ 取整数 余数放在末个间距位置	a_1, a_2, s

以实际叠合梁为例 , 如图 5 , 以钢筋的绘制平面为起点 , 交互定义钢筋的排列终点 , 通过设置按固



图 4 排布参数示意图

定间距排列 , 进行钢筋自动排布。根据叠合梁箍筋排布的抗震构造措施和配筋设计要求 , 需要分别设置加密区间距为 100mm , 非加密区的间距 200mm 来完成箍筋的排布。

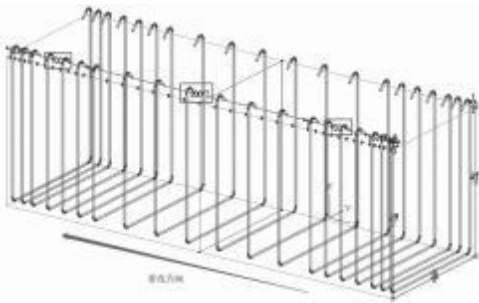


图 5 梁箍筋排布示意图

3 钢筋建模

3.1 钢筋建模

从三维 BIM 模型创建角度考虑 , 把钢筋构造抽象出来 , 可采取任意绘制路径的方式进行单根钢筋创建 , 并通过设置不同的长度及弯折、旋转角度以满足规范中对钢筋的构造要求。如图 6 所示 , 通过自由定义钢筋的绘制路径 , 可创建直线钢筋、端部弯折钢筋、箍筋、和任意弯折钢筋 , 并通过路径上每个点位置的距离控制来调整钢筋的长度。对于一些复杂的构件 , 例如装配式住宅建筑中常用的预制飘窗 , 单根钢筋的创建效率低下 , 需要一种创建钢筋组^[6]的方法 , 辅助完成设计。通过钢筋排创建工具 , 可指定钢筋的排列方向和排布间距 , 如图 7 所示 , 飘窗后背板处纵筋可按照板长方向进行排列 , 可自定义排列间距 , 此排列内的所有钢筋属性一致 , 所有钢筋外形的调整均联动变化 , 从而实现三维钢筋的批量创建 , 提升建模效率。

3.2 钢筋编辑

1) 属性栏参数编辑

通用的单根钢筋属性需要涵盖钢筋直径、等级、编号等基本信息 , 同时也要满足不同类型钢筋的几何造型要求 , 总结钢筋属性所需的合理参数值详表 2。

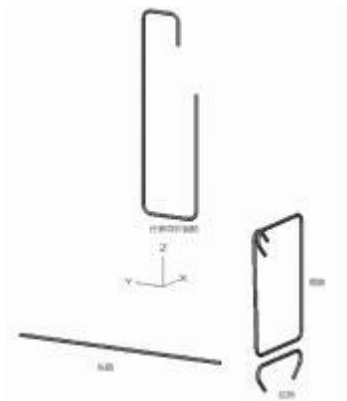


图 6 单根钢筋布置

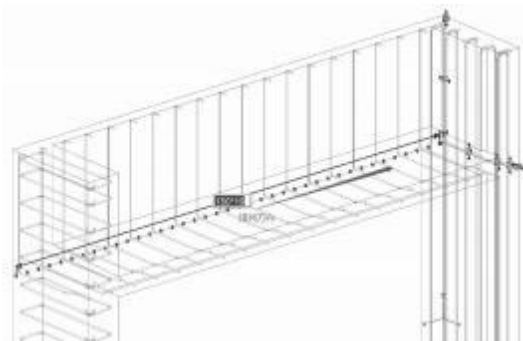


图 7 钢筋排布置图

表 2 钢筋属性合理取值表

参数名称	常用合理值	参数名称	常用合理值
钢筋名称	任意字符	平面外偏移量	合 理 范 围 0 ~50 mm
编号	任意字符	起、终 endpoint 弯折角度	0°、90°、135°
钢筋类型	纵筋、箍筋、 拉筋	弯后直段长度	5 倍 钢 筋 直 径、10 倍 钢 筋 直 和 75mm 的 较 大 值
钢筋等级	HPB300、 HRB335、 HRB400 等 常见钢筋规格	端头转角	0°、90°、180°、 135°
钢筋直径	5 mm~40 mm	排布方式	参见表 1
弯折半径	15 mm~140 mm	间距值	100 mm,150 mm, 200 mm

图 8 所示为单根钢筋的属性栏，可对钢筋的基本属性进行调整。对于弯折钢筋的弯折半径，按照混凝土结构施工钢筋排布规则与构造详图^[4]中规定进行自动计算，与钢筋直径和等级相关。同时也

考虑自动化的钢筋加工设备，对于钢筋圆弧半径存在固定值的要求，开放弯折半径的修改。

设置钢筋的轮廓和端头参数进行钢筋几何外形的调整。例如可分别设置起、终点的弯折角度为 135°和 90°，弯后直段长度^[3]为 80mm。



图 8 单根钢筋属性栏

2) 属性栏参数编辑

基于 BIM模型三维可视化的特点，采用原位修改几何图形的标注信息更为直观、高效。通过定义“虚拟轮廓”，上每个点的保护层厚度，可实现钢筋距混凝土轮廓的位移控制，包括基于钢筋绘制平面内的偏移和垂直于钢筋所在平面的空间偏移值。如图 9 所示，可直接修改钢筋的标注值，对钢筋的形状和空间位置进行调整。



图 9 原位标注修改示意图

4 参数联动

随着 BIM技术的广泛应用，参数化建模和驱动图形联动能够有效提升模型复用率。在房建领域处于主导地位的 Revit软件使用了参数化引擎建

模,利用参数控制图元属性,并且在各个图元之间形成"链"一样的关联关系。当修改某一图元属性时,参数的变更引起引擎变化,从而引擎可将确认其余图元是否更新和变更,已达到修改构件几何轮廓后钢筋联动的效果^[5]。

目前基于 BIMBase平台的自定义构件支持的混凝土造型均可视为多面体,多面体的面数记作 F;顶点数记作 V;棱数记作 E,则 F、E、V满足如下拓扑关系:

$$F + V = E + 2 \tag{I}$$

当多面体的面和棱边保持不变时,顶点数也保持不变。而在实际工程中一般是针对构件长度尺寸来进行设计生产的,可以视为是对多面体的棱的尺寸进行设计,因此构件的一般尺寸修改不涉及其面、棱以及顶点数目的变化。根据以上分析,当混凝土的几何造型发生变化时可以将顶点视为参考依据,给予 Cuid(全局唯一标识符),然后根据顶点与钢筋"虚拟轮廓"之间的关系来计算出混凝土造型变化后,钢筋"虚拟轮廓"节点的位置。变化的计算过程如图所示,ABCD为混凝土轮廓顶点,AvBvCvDv为钢筋虚拟轮廓点,由于钢筋造型和混凝土轮廓存在关联,顶点和虚拟轮廓点存在重合关系。此处,在钢筋的"虚拟轮廓"中构造其节点与混凝土顶点的关联关系。

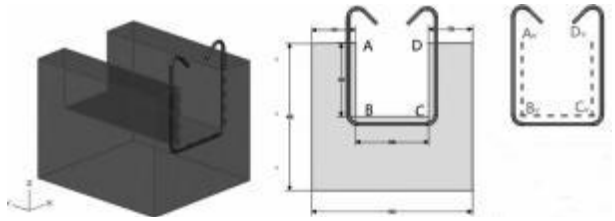


图 10 钢筋虚拟轮廓关系图

当混凝土轮廓的截面尺寸发生如果所示的变化后,顶点 ABCD 的首先变化为 A' B' C' D', 然后遍历所有钢筋的"虚拟轮廓",寻找到与 ABCD 存在关联关系的点 AVBVCVDV,按照关联关系计算出新的 AV' BV' CV' DV'; 然后根据钢筋的保护层厚度,计算出虚拟轮廓 AV' BV' CV' DV' 下的钢筋,至此,钢筋的联动计算完成。

通过实现钢筋关键点与混凝土轮廓的绑定关系,能达到构件几何外形尺寸调整带动钢筋轮廓的刷新,从而实现钢筋与构件的联动,减少模型后期

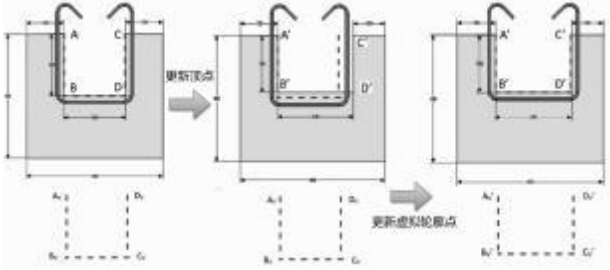


图 11 钢筋虚拟轮廓变化图

修改量。

5 应用成果

装配式项目作为 BIM 技术应用的重要落地点,其项目中所用构件的钢筋种类多、排布复杂,设计精度要求高。以某装配式剪力墙项目中采用的沉箱和飘窗构件为例,实现三维钢筋的创建和参数化联动,满足工程项目生产要求。

5.1 沉箱

基于构件的几何外轮廓进行构件钢筋的创建,根据设计要求,定义所有底板钢筋等级为 HRB400、直径为 8mm,沉箱楼面板处长度方向单根钢筋的起、终点样式定义为 90°,弯折平直段长度起点设置为 96mm,终点设置为 310mm,终点弯折角度为 180°;控制端部弯折方向。排列间距按照板的构造要求采用间距 200mm。图 12、13 所示为沉箱整体钢筋构造和钢筋统计表,构件加工厂可依据钢筋统计表中的内容进行备料和生产。



图 12 沉箱钢筋构造图

5.2 预制飘窗

近年来,随着人们对建筑空间环境和舒适度要求的增加,飘窗在民用建筑中的应用越来越广泛^[8]。然而飘窗的造型复杂多变,弯折钢筋类型多,二维设计难以满足其设计精度要求,因而需要通过参数化建模的方式进行三维展示和材料统计。根据飘窗的配筋设计要求进行钢筋的基本属

钢筋表									
序号	钢筋名称	编号	规格	数量	长度(m)	重量(kg)	长度(m)	重量(kg)	长度(m)
1	钢筋	1	Φ8	5	1000	2.000	1000	2.000	1000
	钢筋	1a	Φ8	5	1000	2.000	1000	2.000	1000
	钢筋	2	Φ8	15	1000	6.000	1000	6.000	1000
	钢筋	2a	Φ8	15	1000	6.000	1000	6.000	1000
	钢筋	3	Φ8	15	1000	6.000	1000	6.000	1000
	钢筋	3a	Φ8	15	1000	6.000	1000	6.000	1000
	钢筋	4	Φ8	2	1000	0.400	1000	0.400	1000
	钢筋	5	Φ8	2	1000	0.400	1000	0.400	1000
	钢筋	6	Φ8	2	1000	0.400	1000	0.400	1000
	钢筋	7	Φ8	2	1000	0.400	1000	0.400	1000
	钢筋	8	Φ8	15	1000	6.000	1000	6.000	1000
	钢筋	8a	Φ8	12	1000	4.800	1000	4.800	1000
	钢筋	9	Φ8	1	1000	0.200	1000	0.200	1000
	钢筋	10	Φ8	2	1000	0.400	1000	0.400	1000
	钢筋	11	Φ8	2	1000	0.400	1000	0.400	1000
钢筋汇总表									
钢筋名称	规格	数量	长度(m)	重量(kg)	长度(m)	重量(kg)	长度(m)	重量(kg)	长度(m)
钢筋	Φ8	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

图 13 沉箱钢筋统计表

性定义方法同 5.1 节。在飘窗侧板箍筋创建时绘制路径与混凝土轮廓点重合,纵筋绘制时参考侧板外轮廓的顶、底位置创建纵筋组。如图 I5 所示,修改飘窗侧板厚度时,箍筋可联动构件几何尺寸的变化,调整箍筋宽度由 I60mm 自动调整为 260mm;侧板高度方向调整高度后,纵筋顶部相对位置同混凝土外轮廓保持不变,长度对应延长 500mm。基于此种参数化建模和联动效果,能够提升设计师的建模效率,减少模型修改工作量,实现模型的高效利用。



图 14 预制飘窗钢筋构造图

6 结语与展望

基于国产 BIMBase平台的三维钢筋创建与编辑方法能够充分发挥 BIM模型的优势,以通用化的钢筋数据为基础,提供灵活的交互方式,帮助设计师快速实现构件级的三维钢筋创建与调整,大幅提

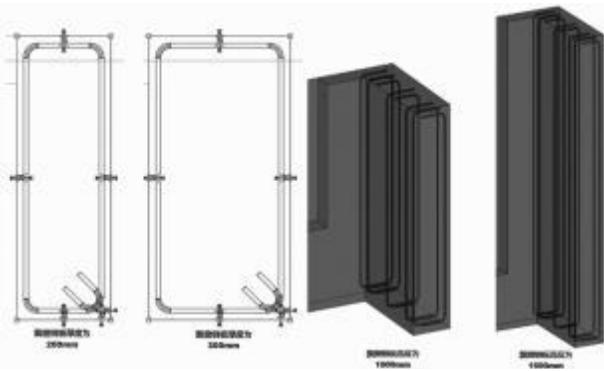


图 15 预制飘窗联动效果图

高设计精度,并能应用于实际工程项目。在当前复杂的国际环境下,只有掌握自主可控的 BIM 核心技术,解决关键技术的“卡脖子”问题,才能保障行业发展的可持续性与数据安全,实现建筑行业的数字化转型。因此需要大力发挥自主 BIM 平台的优势和价值,持续研究适合国内应用的国产 BIM技术,为行业发展提供源源不断的动力。

参考文献

[1] 于静. 自主 BIM技术推动建筑行业转型升级与高质量发展[J]. 中国建设信息化, 2021 (I4) : 2 .

[2] CB50010 —2010 混凝土结构设计规范[s] .北京: 中国建筑工业出版社, 2002 .

[3] 22 C101 -I, 混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板)[s] .北京: 中国标准出版社, 2022.5 .

[4] 18 C901 -I, 混凝土结构施工钢筋排布规则与构造详图(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板)[s] .北京: 中国计划出版社, 2018.6 .

[5] 李强. 基于 BIM技术的房建工程结构构件参数化钢筋建模研究[C] / .第六届全国 BIM 学术会议论文集 ., 2020 : 227 -230 .

[6] 陈雄杰. 工业建筑构件的三维配筋方法研究与实现[D] .武汉: 华中科技大学, 2012 .

[7] 郑岗, 戴玮, 谢玉萌. 三维钢筋建模统计及 自动出样方法研究[J] .石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2015, 28 (04) : 34 -38 .

[8] 庞军辉, 张海强, 李敏. 飘窗部位保温模板 — 体化板的加固模具设计与应用[J] .建筑施工, 2019, 04I (005) : 868 -869 .

基于国产 BIM 平台的不同结构形式建筑全生命周期碳排放研究 — 以长沙市某幼儿园为例

龙毅湘¹, 欧鹏飞¹, 易子涵¹, 王佳员², 刘平平² (1.湖南省建筑设计院集团股份有限公司, 湖南 长沙 410000, 2.北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 建筑领域作为双碳工程的重点领域之一,需对其碳排放特征展开深入研究。为研究不同结构形式对建筑全生命周期碳排放的影响,本文以湖南长沙某现代木结构幼儿园作为研究对象,采用建筑全生命周期碳排放计算方法,基于国产自主可控的 BIMBase平台的软件 PKPM-CEs 对现代木结构和钢筋混凝土结构进行碳排放计算,对比两种结构形式的碳排放差异并做减碳分析。研究结果表明,与钢筋混凝土结构相比,现代木结构全生命周期碳排放量减少 5.98%;在建材生产阶段,碳排放降低值达 25.00%;在建材运输阶段,碳排放增加 43.32%;建造及拆除阶段目前使用经验公式法,两种结构形式在碳排放量上基本无差别;在建筑运行阶段,与采用 50mm 泡沫玻璃板外保温的钢筋混凝土结构相比,常规做法的现代木结构碳排放降低 0.18%,通过保温构造优化后降低 4.25%;在建材回收阶段现代木结构的碳排放降低比例最大,达 106.36%,最能体现现代木结构减碳效果。结果表明,从节能减排方面考虑,由于木材本身的固碳作用、热工性能特点和可回收的优势,应推广现代木结构的实际工程应用。

[关键词] BIMBase平台;PKPM-CEs;现代木结构;钢筋混凝土结构;全生命周期碳排放

study on the Life-Cycle Carbon Emission of Buildings with Different Structural Forms Based on Domestic BIM Platform — A Case Study of a Kindergarten in Changsha

Long yi-xiang¹, Ou Peng-fei¹, Yi Zi-han¹, Wang Jia-yuan², Liu Ping-ping² (1. Hunan Architectural Design Institute Group Co. Ltd, Changsha 410000, Hunan, China; 2. Beijing Glory PKPM Technology Co. Ltd, Beijing 100013, China)

Abstract) As one of the key fields of double carbon engineering, the carbon emission characteristics of buildings need to be further studied. In order to study the influence of different structural forms on the Life-Cycle Carbon Emission of a building, this paper takes a modern wooden structure kindergarten in Changsha, Hunan as the research object, adopts the calculation method of the carbon emission of the whole life cycle of the building, and calculates the carbon emission of the modern wood structure and reinforced concrete structure based on the domestic autonomous and controllable BIMBase software PKPM-CEs, the carbon emission difference between the two structural forms was compared and carbon reduction analysis was made. The results show that compared with reinforced concrete structure, Life-Cycle Carbon Emission of modern wood structure is reduced by 5.98%; in the production stage of building materials, the final carbon emission reduction value reached 25.00%; in the building material production period, the final carbon emission reduction value reached 25.00%; in the building material transportation period, carbon emissions increased by 43.32%; at present, the empirical formula method is used in the construction and demolition period, and there is basically no difference in carbon emission between the two structures; in the operation period, compared with the reinforced concrete structure with 50 mm foamed glass plate external insulation, the carbon emission of modern wood structure with conventional practice is reduced by 0.18%, and 4.25% after the optimization of insulation structure; in the building material recycling period, the carbon emission reduction ratio of modern wood

[收稿日期] 2022-12-20

[基金项目] 湖南省住建厅 2022 省直项目课题: 湖南省建筑能耗与碳排放统计标准"

[作者简介] 龙毅湘(1975-),男,博士,高级工程师,国家一级注册建筑师,LED AP,主要从事建筑领域绿色低碳研究工作以及低碳项目咨询

[联系方式] E-mail: 1627950395@qq.com

structure is the largest, reaching 106.36%, which can best reflect the carbon reduction effect of modern wood structure. The results show that, from the aspect of energy saving and emission reduction, the practical application of modern wood structures should be popularized due to the carbon sequestration function of wood itself, the characteristics of thermal performance and the advantages of recycling.

Keywords: BIM Base platform; PKPM-CEs; modern wooden structure; reinforced concrete structures; life-cycle carbon emissions

0 引言

为践行《巴黎协定》在本世纪后半叶实现净零排放约定,以及习近平主席“努力争取2060年前实现碳中和”的战略目标,建筑领域作为碳排的主要来源之一,需要重点关注。我国双碳目标中建筑领域要实现碳中和势必要对高能耗建筑进一步约束,这就要求从源头设计上朝着更加低碳的路径去实现,因此结构形式的选择就显得尤为主要。目前,已有众多学者从结构层面研究影响建筑碳排放的因素。尚春静对木结构、轻钢结构和钢筋混凝土结构的生命周期碳排放进行对比研究,但其生命周期未能考虑建材回收利用对碳排放的优化效果^[1]。王玉对比了4个结构不同的低层住宅全生命周期碳排放,未能针对同一建筑的不同结构形式碳排放展开分析^[2]。郑晓云对装配式建筑的全生命周期碳排放展开了研究,但缺少对减碳手段的优化效果的验证^[3]。温日琨应用静、动态模型模拟研究了混凝土结构、钢结构及木结构住宅建筑全生命周期的碳排放流差异,其中钢结构住宅碳排放流量最大,木结构住宅建筑碳排放流量最小^[4]。高颖研究了我国木结构建筑全生命周期碳排放数据库的构成途径^[5];李飞对比了砖混结构和剪力墙结构住宅的碳足迹,发现砖混结构的人均碳足迹为67.98t/m²,略高于剪力墙结构^[6]。

综上,目前关于不同结构建筑的碳排放研究涵盖了常用的结构类型,但一方面缺乏对不同结构的建材回收阶段分析,另一方面极少对同一建筑的不同结构形式开展研究,也难以排除建筑空间设计等对碳排放的影响。此外,目前的研究缺少数字化工具的应用,如基于BIM平台的碳排放分析。基于上述原因,本文以全生命周期评价理论,从建材生产及运输、建造、运行到拆除回收的“全生命”过程,聚焦于某幼儿园建筑的现代木结构与钢筋混凝土结构的碳排放对比,可以去除不同建筑的设计差异对碳排放结果造成的影响,将结论聚焦于结构和保温

构造的差异本身,旨在为今后政策研究及设计实践提供参考和借鉴。

1 全生命周期计算方法

《建筑碳排放计算标准》中将建筑的全生命周期分为建材生产及运输阶段碳排放、建造及拆除阶段以及运行阶段碳排放^[7],如图1。在《建筑全生命周期的碳足迹》一书中,将建筑全生命周期分为前期准备阶段、建造物化阶段、使用维护阶段以及拆解回收阶段^[8],如图2。根据《建筑全生命周期的碳足迹》介绍,前期准备阶段主要以勘察设计工作为主,消耗的碳排放几乎可以忽略不计,但会直接影响到后续阶段的碳排放;拆解回收阶段不单考虑建筑的拆除,还包括建材的回收利用。不同的建材和施工方式,拆解回收阶段的碳排放会有较大差异,对于木结构等装配式类型的建筑,回收阶段可以节省大量碳排放,因此,为更加准确的对比现代木结构和钢筋混凝土结构的全生命周期碳排放,本文的全生命周期在《建筑碳排放计算标准》的基础上,补充对建材回收阶段的碳排放计算,将全生命周期分为建材生产及运输阶段、建造及拆除阶段、运行阶段以及建材回收阶段。



图1 《建筑碳排放计算标准》全生命周期划分



图2 《建筑全生命周期的碳足迹》全生命周期划分

1.1 建材生产及运输阶段

根据《建筑碳排放计算标准》CB/T51366-2019,建材生产及运输阶段的碳排放应为建材生产阶段碳排放与建材运输阶段碳排放之和,并按式(1)计算^[7]:

$$C_{JC} = \frac{C_{sc} + C_{ys}}{A} \quad (1)$$

式中: C_{JC} 为建材生产及运输阶段单位建筑面积的碳排放量($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$); C_{sc} 为建材生产阶段碳排放(kgCO_2e); C_{ys} 为建材运输过程碳排放(kgCO_2e); A 为建筑面积(m^2)。

建材生产阶段碳排放应按式(2)计算^[7]:

$$C_{sc} = \sum_{i=1}^n M_i F_i \quad (2)$$

式中: C_{sc} 为建材生产计算碳排放(kgCO_2e); M_i 为第*i*种主要建材的消耗量; F_i 为第*i*种主要建材的碳排放因子(kgCO_2e 单位建材数量),按《建筑碳排放计算标准》CB/T51366-2019附录D取值。

建材运输阶段碳排放应按式(3)计算^[7]:

$$C_{ys} = \sum_{i=1}^n M_i D_i T_i \quad (3)$$

式中: C_{ys} 为建材运输过程碳排放(kgCO_2e); M_i 为第*i*种主要建材的消耗量(t); D_i 为第*i*种建材平均运输距离(km); T_i 为第*i*种建材的运输方式下,单位重量运输距离的碳排放因子 $[\text{kgCO}_2/(\text{t}^* \text{km})]$ 。

本论文现代木结构的主要建材的碳排放因子和各建材单位重量运输距离的碳排放因子见表1,钢筋混凝土结构的主要建材的碳排放因子和各建材单位重量运输距离的碳排放因子见表2。因钢筋混凝土结构的建材由软件建模后自动估算,实际运输距离未知,为统一对比标准,两种结果皆按《建筑碳排放计算标准》CB/T51366-2019附录E中的默认值取值,混凝土的默认运输距离值为40km,其他建材的默认运输距离值为500km^[7]。

1.2 建造及拆除阶段

建造及拆除阶段碳排放的关键在于确定施工阶段各种建造工艺需使用的施工机械设备和小型机具消耗的电、汽油、柴油、燃气等能源。

根据《建筑碳排放计算标准》CB/T51366-2019,建筑建造阶段的碳排放量应按式(4)计算^[7]:

$$C_{JZ} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{jz,i} EF_i)}{A} \quad (4)$$

式中: C_{JZ} 为建筑建造阶段单位建筑面积的碳排放量



图3 建造工艺及实景图

(kgCO_2/m^2); $E_{jz,i}$ 为第*i*种能源总用量(kwh 或 kg); EF_i 为第*i*类能源的碳排放因子(kgCO_2/kwh 或 kgCO_2/kg),按《建筑碳排放计算标准》CB/T51366-2019附录A确定; A 为建筑面积(m^2)

建筑拆除阶段的单位建筑面积的碳排放量应按式(5)计算^[7]:

$$C_c = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{c,i} EF_i)}{A} \quad (5)$$

式中: C_c 为建筑拆除阶段单位建筑面积的碳排放量(kgCO_2/m^2); $E_{c,i}$ 为建筑拆除阶段第*i*种能源总用量(kwh 或 kg); EF_i 为第*i*种主要建材的消耗量; F_i 为第*i*类能源的碳排放因子(kgCO_2/kwh),按《建筑碳排放计算标准》CB/T51366-2019附录A确定; A 为建筑面积(m^2)。

在建造及拆除阶段过程中,施工机械所使用的能源包括汽油、柴油和电。本工程建造阶段无详细数据,建造阶段碳排放计算采用能耗清单法,预估建筑建造阶段各分部分项工程所使用的施工机械的电表、汽油和柴油消耗量。其中汽油、柴油的碳排放因子采用《建筑全生命周期的碳足迹》表3-5的数据,取值分别为0.00294、0.00311 $\text{tCO}_2\text{e}/\text{kg}$ ^[8];电能碳排放因子选择中华人民共和国生态环境部公布的2022年中国区域电网碳排放因子,取值0.000581 $\text{tCO}_2\text{e}/\text{kw}\cdot\text{h}$ 。

1.3 运行阶段

根据相关研究测算建筑运行阶段碳排放占据建筑全生命周期碳排放的80%左右,运行能耗中各类设备的碳排放占比如图4所示,其中采暖引起的

表 1 现代木结构各阶段主要建材的碳排放参数

建材种类	用量	单位	建材生产碳排放因子 (tCO ₂ e/ 单位)	建材运输			建材回收阶段		
				运输方式	运输因子 [tCO ₂ e/ (t* km)]	运 输 距 离 (km)	回收因子 (tCO ₂ e/单位)	可回 收率	运 输 距 离 (km)
水泥砂浆	190.74	m ³	0.730 2 ^[9]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
钢筋混凝土	433.4 1	m ³	0.295 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	40	0.0 14 984 1 ^[8]	0.7 ^[8]	17
龙骨固定层	1.57	t	3.6 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
防水透气纸	1.57	t	3.6 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
定向刨花板	23.54	t	1.351 31 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	1.351 31 ^[8]	0.65 ^[8]	17
双层耐火石膏板	4 021.5	m ²	0.002 55 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
隔热金属型材 K _f =5.8 w/ (m ² .K) 框面积 20 %	234.66	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
6 高透光 Low-E+12 空气 +6 透明	21.58	t	2.84 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
木(塑料) 框单层实体门	261.62	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
隔热金属型材多腔密封 K _f = 5.0 w/(m ² * K) 框面积 20 %	2.32	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
6 透明 +12 空气 +6 透明	0.28	t	2.84 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
加气混凝土砌块 B07	4 12 . 2	m ³	0.25 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.207 744 7 ^[8]	0.7 ^[8]	17
黄绿色塑胶地面	210.94	t	0.951 4 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.7905933 ^[8]	0.7 ^[8]	17
C20 刚性防水混凝土层	210.94	t	0.1 12 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	40	0.0056889 ^[8]	0.7 ^[8]	17
低标号砂浆隔离层	21.09	m ³	0.730 2 ^[9]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
sBs 改性沥青防水卷材	13.29	t	1.830 37 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
0 sB板找平	22.78	t	1.351 31 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	1.35131 ^[8]	0.65 ^[8]	17
难燃型挤塑聚笨板	1.69	t	20.887 44 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
0 sB板	95.05	t	1.351 31 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	1.351 31 ^[8]	0.65 ^[8]	17
6 高透光 Low-E+12 氩气 +6 透明	6.58	t	2.84 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
软垫层	2.07	t	0.951 4 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.790 593 3 ^[8]	0.7 ^[8]	17
聚乙烯泡沬塑料垫	2.77	t	5.02 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
38 *235 木龙骨内填玻璃棉	1.38	t	2.84 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
自粘隔音毡	4.15	t	3.6 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0

碳排放为 60%，照明为 25%，空调制冷为 12%，动力系统为 3%^[8]。

根据《建筑碳排放计算标准》CB/T51366 - 2019 ,建筑运行阶段碳排放量应根据各系统不同类型能源消耗量和不同类型能源的碳排放因子确定，建筑运行阶段单位建筑面积的总碳排放量(CM) 应按式(6)、(7) 计算^[7]：

$$C_M = \frac{[\sum_{i=1}^n (E_i EFT_i) - C_p] y}{A}$$

(6)

$$E_i = \sum_{j=1}^n (E_{i,j} - ER_{i,j})$$

(7)

式中:C_M 为建筑运行阶段单位建筑面积碳排放当量 (kgCO₂ /m²) ;E_i为建筑第 i类能源年消耗量(单位/a) ;EFT_i为第 i类能源的碳排放因子，按《建筑碳排放计算标准》CB/T51366 -2019 附录 A 取值;

表 2 钢筋混凝土结构各阶段主要建材的碳排放参数

建材种类	用量	单位	建材生产 碳排放因子 (tCO ₂ e/ 单位)	建材运输			建材回收阶段		
				运输方式	运输因子 [tCO ₂ e/ (t* km)]	运输 距离 (km)	回收因子 (tCO ₂ e/单位)	可回 收率	运输 距离 (km)
水泥砂浆	429.76	m ³	0.730 2 ^[9]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
钢筋混凝土	1 040.13	m ³	0.295 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	40	0.014 984 1 ^[8]	0.7 ^[8]	17
薄灰缝(3 ~5 mm) 蒸压 加气混凝土砌块墙 2	523	m ³	0.25 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.207 744 7 ^[8]	0.7 ^[8]	17
专用粘结剂	0.03	t	0.951 4 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.790 593 3 ^[8]	0.7 ^[8]	17
泡沫玻璃保温板 II 型	20.16	t	2.84 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
聚合物抗裂砂浆	29.19	t	5.02 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
隔热金属型材 K _f = 5.8 w/(m ² .K) 框面积 20 %	179.8 1	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
6 高透光 Low-E+12 空气 +6 透明	21.58	t	2.84 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
木(塑料) 框单层实体门	261.62	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
界面砂浆	3.73	m ³	0.730 2 ^[9]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
无机轻集料保温砂浆	13.06	t	5.02 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
隔热金属型材多腔密封 K _f = 5.0 w/(m ² * K) 框面积 20 %	0.23	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
6 透明 +12 空气 +6 透明	0.3 1	t	2.84 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
重砂浆砌筑烧结页岩 多孔砖/空心砖墙	4 12. 2	m ³	0.25 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.207 744 7 ^[8]	0.7 ^[8]	17
隔热金属型材 K _f = 5.8 w/(m ² .K) 框面积 10 %	0.82	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
细石混凝土	84.37	m ³	0.295 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	40	0.014 984 1 ^[8]	0.7 ^[8]	17
聚乙烯薄膜隔离层	0.03	t	0.951 4 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.790 593 3 ^[8]	0.7 ^[8]	17
难燃型挤塑聚苯板	4.43	t	20.887 44 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
sBs 聚脂胎改性沥青防水卷材	5. 7	t	5.02 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
非固化橡胶沥青防水涂料	8.86	t	1.830 37 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
轻骨料混凝土	63.28	t	0.126 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	40	0.006 4 ^[8]	0.7 ^[8]	17
非隔热金属型材 K _f = 10.8 w/(m ² .K) 框面积 15 %	0.35	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
隔热金属型材多腔密封 K _f = 5.0 w/(m ² .K) 框面积 20 %	54.84	m ²	0.254 ^[7]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	0.059 797 1 ^[8]	0.8 ^[8]	17
6 中透光 Low-E+12 空气 +6 透明	6.58	t	2.84 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
无饰面网织岩棉复合板	0.7 1	t	5.02 ^[8]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0
抗裂砂浆(压入一层 耐碱玻纤网格布)	0.74	m ³	0.7302 ^[9]	轻型汽油货车运输(载重 2 t)	0.000 334 ^[7]	500	"	0	0



图4 建筑运行阶段碳排放构成图

$E_{i,j}$ 为 j 类系统的第 i 类能源消耗量(单位/a); $ER_{i,j}$ 为 j 类系统消耗由可再生能源系统提供的第 i 类能源量(单位/a); i 为建筑消耗终端能源类型,包括电力、燃气、石油、市政热力等; j 为建筑用能系统类型,包括供暖空调、照明、还是能和热水系统等; C_p 为建筑绿地碳汇系统年减碳量(kgCO_2/m^2); y 为建筑设计寿命(a); A 为建筑面积(m^2)。

运行阶段的碳排放源自暖通空调系统的照明系统以及电梯系统,因此,运行阶段所使用的能源为电能,碳排放因子同上文选择 $0.000\ 581\ 0\ \text{tCO}_2\ \text{e}/\text{kw}\cdot\text{h}$ 。本研究中,暖通空调系统根据建筑项目资料进行设置,冷热源为分体式空调,采暖期根据夏热冬冷地区气候特点设定为11月15日至次年2月30日,制冷期设定为6月1日至9月1日,日均工作时长为14h。照明及电梯系统中,照明系统根据CB/T 51366—2019中规定考虑自然采光的影响,各房间的照明功率密度限值主要参考《建筑照明设计标准》CB50034-2013^[10],幼儿园内未设置电梯。通风系统能耗依据项目暖通图纸的风机类型数量进行设置。幼儿园所需的生活热水系统参数为人均用水定额 $10.00\text{L}/\text{天}$ 、用水人数330人、冷热水温差 55°C 、年热水供应时间365天。除生活热水系统外,还设置了 50.32m^2 的屋顶光伏组件作为可再生能源系统。为控制变量,钢筋混凝土结构的运行阶段各系统设置与现代木结构建筑相同。

1.4 建材回收阶段

建材回收阶段除了考虑回收建材的再利用节省的碳排放,还需要注意扣除建材运输至回收地的碳排放,受回收运输工具和运输距离的影响,因此为了更加准确的考虑回收的减碳作用,建材回收阶

段可分为建材回收利用过程和建材回收运输过程,计算公式结合《建筑碳排放计量标准》4.3.8^[11]及《建筑碳排放计算标准》运输阶段公式^[7],具体如式(8)、(9)、(10):

$$C_{hs} = C_{hsly} - C_{hsys} \quad (8)$$

$$C_{hsly} = \sum_{i=1}^n M_{hsi} \eta_{hsi} EF_{hsi} \quad (9)$$

$$C_{hsys} = \sum_{i=1}^n M_{hsi} D_{hsi} T_{hsi} \quad (9)$$

式中: C_{hs} 为建材回收过程碳减排量($\text{kgCO}_2\ \text{e}$); C_{hsly} 为建材回收利用过程碳减排量($\text{kgCO}_2\ \text{e}$); C_{hsys} 为建材回收运输过程碳排放量($\text{kgCO}_2\ \text{e}$); M_{hsi} 为第 i 种可回收主要建材的消耗量(t); η_{hsi} 为第 i 种可回收主要建材的回收比例(%); EF_{hsi} 为第 i 种可回收主要建材的回收因子($\text{kgCO}_2/\text{单位}$); D_{hsi} 为第 i 种可回收建材平均运输距离(km); T_{hsi} 为第 i 种可回收建材的运输方式下,单位重量运输距离的碳排放因子 $[\text{kgCO}_2/(\text{t}\cdot\text{km})]$ 。

并非所有建材都能回收,回收阶段阶段的现代木结构的主要建材的可回收率、运输距离等见表1,钢筋混凝土结构的主要建材的可回收率、运输距离等见表2,其中运输距离根据项目地址到最近的建筑垃圾回收处置建材厂的实际距离设置为17km,运输方式、运输因子皆与建材运输阶段相同。

2 案例应用

2.1 案例背景及研究工具

本项目位于长沙市岳麓区,主要功能为18班制幼儿园及其配套用房,地处夏热冬冷A地区,朝向为南偏东 34.46° 。层数为地上两层,建筑高度为9.90m,总建筑面积为 $4\ 374.6\ \text{m}^2$ 。结构形式为现代木结构。

BIM技术可同步提供有关建筑建造和设备使用情况等信息,同时还可用于环境分析、能量分析、数字综合成本估算等,并对设计结果进行可视化呈现。但目前针对BIM的碳排放计算分析较少,这样限制了BIM自带构件属性的天然优势的发挥,并且随着国家大力推广BIM技术,碳排放计算在其中的应用需求必然会愈发强烈。本文使用中国建研院北京构力科技有限公司自主开发的国产BIMBase平台的PKPM-CEs软件,该软件能够实现建模与计算分析为一体,基于BIM来计算建筑全生命周期碳排放量,有效发挥BIM的准确优势,实



图 5 研究对象效果图及 BIM模型效果图

现碳排放的精准计算。图 5 为项目效果及软件 BIM 模型效果。

研究所需的建材数据有两种获得方法: 1. 可由实际工程量清单提供, 后续可导入到 PKPM-CEs 软件中进行碳排放计算; 2. 在 PKPM-CEs 软件中根据项目图纸进行建模, 由软件根据模型信息自动统计建材量。本项目的工程量清单为现代木结构, 可直

接导入软件进行计算, 钢筋混凝土结构的建材量可建模后获得。但根据此流程计算, 现代木结构和钢筋混凝土建材用量差别较大, 故各阶段碳排放缺少对比价值, 因此, 为减少变量, 本文两种结构的建材数据统一采用建模后软件自动计算的方法。

2.2 计算结果分析

将各阶段碳排放计算结果汇总得到表 3。

表 3 不同结构各阶段碳排放

结构类型	建材生产及运输阶段碳排放		建造及拆除阶段		运行阶段 碳排放	建材回收 阶段	全生命周期 碳排放碳排放	单位面积 年均碳排放
	建材生产	建材运输	建筑建造	建筑拆除				
现代木结构	1 131.17	840.05	560.21	9.32	4 387.48	"323.14	6 605.09	0.030 2
钢筋混凝土结构	1 508.15	351.67	560.21	9.32	4 395.22	"156.59	6 667.98	0.030 5
差值	"376.98	488.38	0.00	0.00	"7.74	"166.55	"62.89	"0.000 3

2.2.1 建材生产及运输阶段

根据表 3 数据可知, 对比钢筋混凝土结构, 现代木结构在建材生产阶段碳排放量降低 25.00%, 在建材运输阶段碳排放量增加 43.32%。建材生产阶段的碳排放差异原因在于建材种类的差别, 钢筋混凝土结构以砖、钢材、混凝土为主, 现代木结构的主要材料为木材, 并以钢构件为连接材料, 部分钢筋混凝土做补充。通常来说, 由于木材具有独特的碳储存能力, 每 1 m³ 的木材其固碳量达 0.9 t^[8], 木材的碳排放量不到同体积混凝土的 70%^[12], 因此相比与钢筋混凝土建筑可以大大降低建材生产的能耗。建材运输阶段的碳排放差异来源于建材数量, 现代木结构建筑需要关注其防火性能, 因此, 通常整个外围护结构会外包一层双层耐火石膏板用于保护建筑主体, 本案例中双层耐火石膏板面积达到了 4021.5 m², 而钢筋混凝土建筑并不需要增加额外的构造保证建筑的耐火性能。此外, 根据国标默认的运输距离参考值, 混凝土的距离远小于其它建

材, 也是造成现代木结构运输阶段碳排放偏高的原因之一。实际工程建设中, 若处于木材资源丰富、加工生产成熟的地区, 现代木结构建筑的运输阶段碳排放将大大降低。

2.2.2 建造及拆除阶段

根据表 3 中两种结构建造阶段和拆除阶段的碳排放量可以发现两者的碳排放数值皆为 560.21 t, 说明采用能耗清单法预估建筑建造阶段各分项工程的能源消耗量并不能很好的反应不同结构的不同建造拆除方式之间碳排放的差异。通常现代木结构建筑都采用装配式的建造方式, 而钢筋混凝土结构以传统的现浇混凝土湿作业施工为主, 根据杨学兵的研究, 装配式的现代木结构施工周期只需同等规模混凝土结构建筑的 1/3 ~ 1/2^[13], 因此, 粗略认为减少的工期等同于减少的施工器械等所需的工作能耗, 故现代木结构的建造阶段碳排放约为 186.73 ~ 280.11 t。拆除阶段缺少相应研究, 根据实际工程经验, 两种结构所需时间接近, 因此采用软

件的计算结果 o

2.2.3 运行阶段

对比钢筋混凝土结构,现代木结构在运行阶段单位面积年运行碳排放减少 0.18%,效果并不显著 o 根据图 4 所示,运行阶段碳排放量由采暖、空调制冷、照明和动力系统的碳排放组成,其中照明和动力系统碳排放与具体设备设置有关,与结构形式无关,采暖和空调制冷能耗与外围护结构构造有关,而结构材料的不同会导致外围护结构热工属性的差异,因此,对维护结构的负荷展开分析有助于进一步解析运行阶段两种结构体系碳排放的差异点 o

根据图 6 可知,与钢筋混凝土结构相比,现代木结构的外墙空调负荷略低,采暖负荷降低 20.86%,屋顶空调和采暖负荷增加较大,其中空调负荷增加 130.03% o 图 7、图 8 是计算所用的现代木结构和钢筋混凝土结构的屋面构造和墙体构造节点,本工

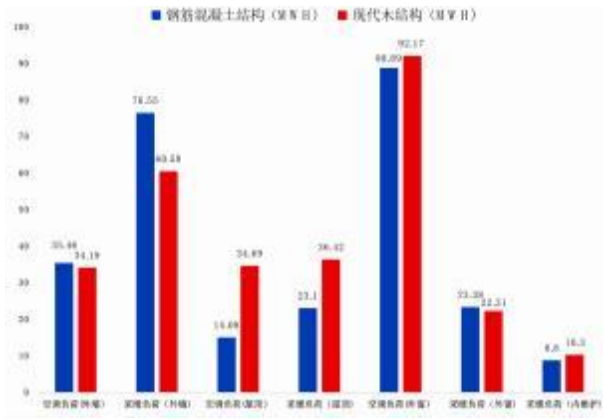


图 6 围护结构负荷计算柱状图

程木结构外墙采用自保温,中间空腔填充玻纤棉 200mm,屋顶为 30mm 厚难燃型挤塑聚苯板,钢筋混凝土结构采用 50mm 泡沫玻璃保温板外保温构造,屋顶为 84mm 厚难燃型挤塑聚苯板 o 根据计算,两种结构体系的常规构造做法传热系数存在较大差

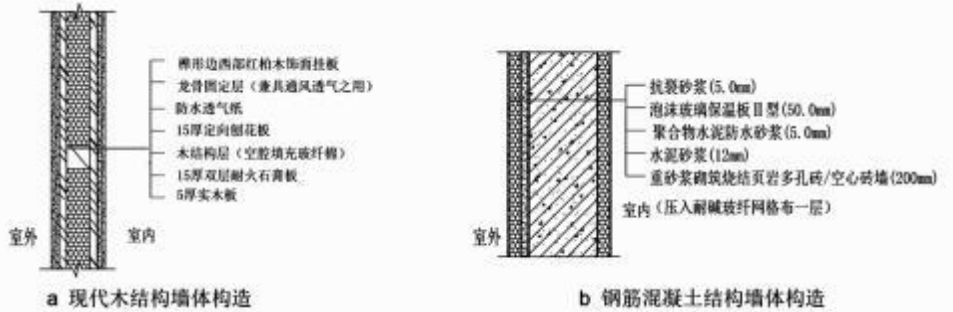


图 7 两种结构墙体构造图

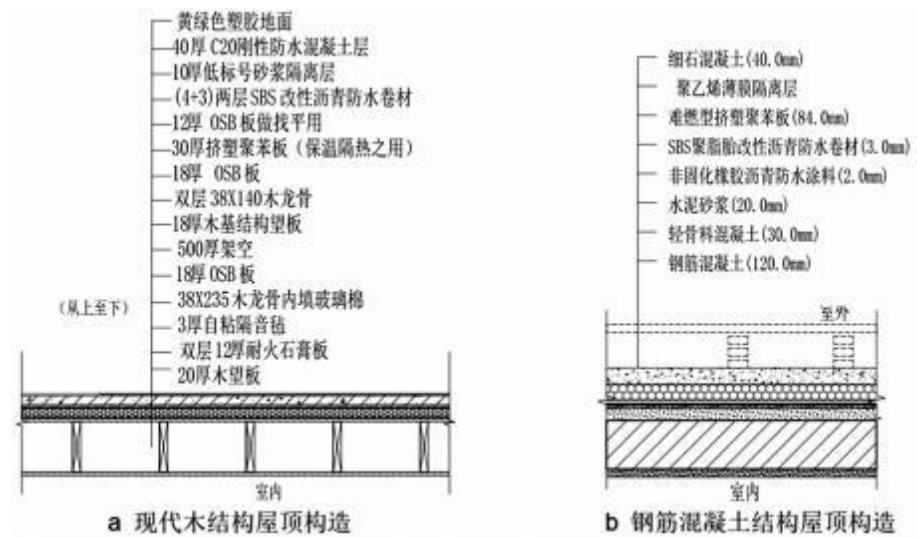


图 8 两种结构墙体屋顶构造图

异,现代木结构的屋面 $K=0.56\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 外墙 $K=0.71\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 钢筋混凝土的屋面 $K=0.39\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 外墙 $K=0.95\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

不同的外围护结构构造产生了不同的传热系数,导致了外围护结构热工性能的差异,根据图 9 可知,与钢筋混凝土结构相比,现代木结构的全年供暖负荷增加 9.7%,而供冷负荷降低 8.8%,因此,总能耗上现代木结构整体略低于钢筋混凝土结构,导致运行阶段的碳排放降低效果不明显。

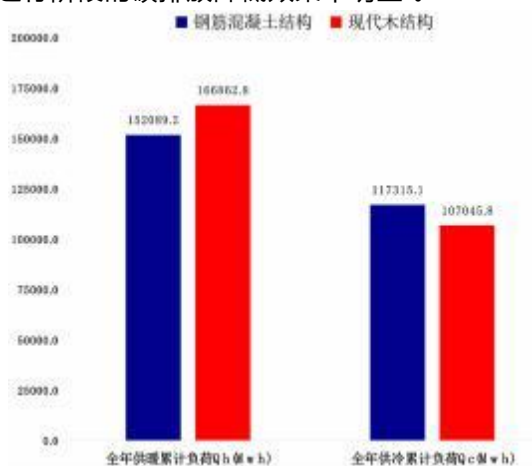


图 9 建筑全年负荷对比柱状图

综上所述,不考虑设备性能等影响,仅从钢筋混凝土结构和现代木结构的构造差异考虑,现代木结构通常利用结构间隙设置保温层,而钢筋混凝土结构通常外包保温层,现代木结构的外围护结构热工性能不如钢筋混凝土结构,使得现代木结构的冷热负荷更大,运行阶段对能源的需求更高,这也就导致现代木结构的降碳效果不理想。

2.2.4 建材回收阶段

现代木结构相较于钢筋混凝土结构在建材回收阶段可多减少 163.57t碳排放,达到 106.36%,一方面由于木材可回收的特性,另一方面装配式的施工方式材料回收率也比钢筋混凝土结构更高。但实际研究中由于研究数据的不足,无法确定所有材料的可回收率等信息,导致部分可回收的材料当作不可回收计算,根据实际工程经验,现代木结构建材回收阶段应能减少更多的碳排放。

2.2.5 建筑全生命周期碳排放

建筑全生命周期碳排放情况汇总如下:

根据计算结果,现代木结构在全生命周期碳排



图 10 现代木结构全生命周期碳排放占比图

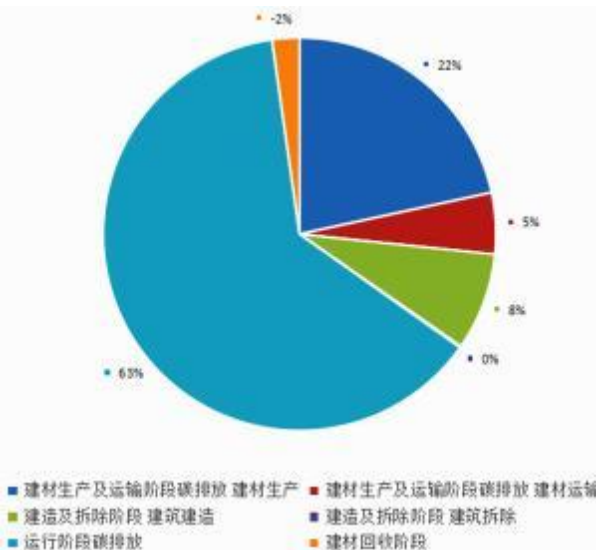


图 11 钢筋混凝土结构全生命周期碳排放占比图

放量 6 269.07t,单位面积年均碳排放为 $0.0287\text{tCO}_2\text{e}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,钢筋混凝土结构为 6 667.98t,单位面积年均碳排放为 $0.0305\text{tCO}_2\text{e}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,现代木结构全生命周期碳排放量减少 398.91t,约 5.98%。

3 现代木结构碳排放优化

由表 3 可知,现代木结构全生命周期碳排放仅在建材运输阶段高于钢筋混凝土结构,其产生原因主要是计算时的默认运输距离较大,实际工程中就近选用建材则可实现该部分碳排放的减少。根据图 10、图 11 可知,运行阶段碳排放分别是两者整个

全生命周期碳排放的 64%和 63% ,针对运行阶段进行降碳优化将能极大改变全生命周期的碳排放量 ,即使是少量的优化 ,放在建筑 50 年的寿命周期之中 ,也能获得可观的提升 ,因此 ,下文对现代木结构运行阶段的优化策略展开重点研究 。

根据前文分析 ,不同结构形式的运行阶段碳排放主要与外围护结构构造相关 。 因此 ,为了提高现代木结构的减碳效果 ,可以在外墙构造中增加额外的保温层 ,形成外保温或内保温构造 ,提高现代木结构的外墙热工性能 。 为进一步分析优化后现代木结构和钢筋混凝土结构的外保温和内保温减碳效果差异 ,本文通过软件对两种结构的不同保温构造分别进行建模 ,计算 20 ~160mm泡沫玻璃保温板的运行阶段碳排放变化 。

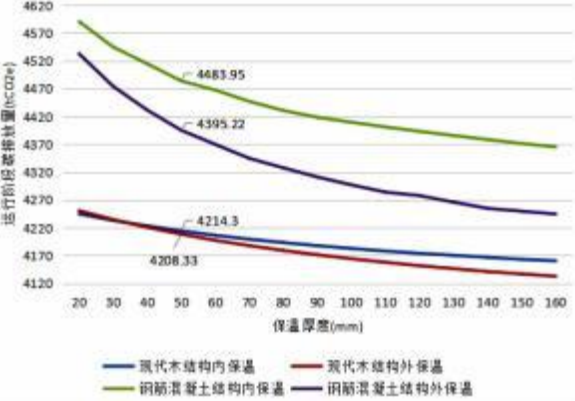


图 12 不同结构、保温位置、保温厚度的碳排放对比

由图 12 可知 ,钢筋混凝土结构内保温碳排放最大 ,在 20 ~60mm厚之间减碳效果显著 。 长沙市住房和城乡建设局于 2022 年 8 月 1 日发布的《 关于进一步加强建筑节能工作的通知 》中要求“ 采用外墙内保温系统时 ,居住建筑保温材料厚度不得超过 50mm ,公共建筑保温材料厚度不得超过 60mm ” ,该要求符合计算结果 ,能实现经济性和减碳效果的平衡 ;钢筋混凝土结构外保温在 20 ~70mm厚之间减碳效果显著 ,随着保温层加厚 ,钢筋混凝土结构内外保温的碳排放差值逐渐增大 ,140mm时差值最大 ,为 123.68tCO₂ e 。 增设保温层的现代木结构减碳效果整体都优于钢筋混凝土结构 ,保温厚度小于 30mm时 ,内保温减碳效果优于外保温 ,保温厚度大于 30mm时 ,外保温减碳效果优于内保温 ;现代木结构的热惰性更好 ,因此内外保温的碳排放整体差值不大 ,最大仅有 27.8 ltCO₂ e ,是钢筋混凝土结构的

22.5 % ;与钢筋混凝土结构相比 ,现代木结构碳排放曲线整体比较平稳 ,保温层加厚并不能显著降低碳排放 。

与上文采用的 50mm泡沫玻璃板外保温钢筋混凝土结构相比 ,优化后的现代木结构的屋面 K值提升至 0.3 lw/(m² .K) ,外墙 K 值提升至 0.54w/(m² .K) ,运行阶段碳排放为 4 208.33t ,降低 4.25 % ,全生命周期碳排放碳排放6 089.92t ,降低 8.67 % ,增设保温层的优化策略减碳效果显著 。

4 结论

本文主要通过国产可控的 BIMBase平台的 PKPM-CEs 软件对现代木结构与钢筋混凝土结构形式的幼儿园进行计算分析 ,重点阐述了其建筑全生命周期碳排放量的区别与原因 ,并得到了以下结论 :

1) 通过计算两种不同结构形式的幼儿园 50 年全生命周期内的碳排放量可知 ,现代木结构的碳排放量约 0.028 7tCO₂ e/(m² .a) ,钢筋混凝土结构建筑单位面积年均碳排放量约 0.030 5tCO₂ e/(m² .a) ,常规构造做法的现代木结构的减碳效果不明显 。

2) 在建材生产阶段 ,对比钢筋混凝土结构 ,现代木结构碳排放量降低 25.00 % ,木材的固碳能力减碳效果明显 ;在建材运输阶段 ,由于木构建筑增加了额外的防火层需要运输 ,导致在软件计算时建材运输阶段碳排放量增加 43.32 % 。 因此 ,在实际工程建设中采用本地建材的情况下 ,不同结构形式运输阶段的碳排放量则基本相当 。

3) 在建造及拆除阶段 ,由于缺少详细的建造拆除数据 ,软件采用能耗清单法预估能源用量得出碳排放 ,故该阶段的碳排放量两种结构未有差别 ,后续应完善不同结构形式以及不同施工方式的建造及拆除阶段碳排放估算方式 。

4) 在运行阶段 ,常规构造的现代木结构建筑外围护结构的热工性能较差 ,与钢筋混凝土结构相比碳排放值仅减少 7.74 t ,优化外围护结构构造是提升现代木结构减碳效果的主要方向 。

5) 在建材回收阶段 ,与钢筋混凝土结构相比 ,现代木结构装配式的安装方式拆除简单 ,木材回收率更高 ,可多减少 100.4 1%的回收阶段碳排放 。

6) 现代木结构外围护结构的优化可采用增设保温层的方式 ,该优化策略可大大减少运行阶段的碳排放 ,提高现代木结构的全生命周期减碳效果 。

选用泡沫玻璃保温板作为保温材料时，同等保温层厚度下，无论保温层位置，现代木结构碳排放都低于钢筋混凝土结构，厚度小于 30mm时采用内保温，大于 30mm时采用外保温。

在双碳工程的背景下，本研究对同一建筑不同结构的减碳效果进行了对比分析，解析了产生差异的具体原因，并针对运行阶段展开了定量的优化策略研究，结果证明从节能减排方面考虑，应推广使用现代木结构。但目前的碳排放计算软件未能很好的区分不同结构体系的建构差异，不同建材的运输数据、碳排放因子等信息缺失严重，建造及拆除阶段的估算方法并未反应不同施工方式的碳排放差异，导致针对不同结构建筑的全生命周期碳排放计算不够准确。对缺少的数据信息进行补充对比研究是后续提升全生命周期碳排放计算准确性的重点研究方向。

参考文献

[1] 尚春静,储成龙,张智慧.不同结构建筑生命周期的碳排放比较[J].建筑科学,2011,27(12):66-70+95.D01:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2011.12.006.

[2] 王玉,张宏,董凌.不同结构类型建筑全生命周期碳排放比较[J].建筑与文化,2015(02):110-111.

[3] 郑晓云,徐金秀.基于 LCA的装配式建筑全生命周期碳排放

研究——以重庆市某轻钢装配式集成别墅为例[J].建筑经济,2019,40(01):107-111.D01:10.14181/j.cnki.1002-851x.201901107.

[4] 温日琨,祁神军.不同结构住宅建筑碳排放流的模拟研究[J].建筑科学,2015,31(06):26-34.D01:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2015.06.005.

[5] 高颖,梅诗意.中国木结构建筑全生命周期碳排放数据库建设探析[J].建筑技术,2020,51(03):260-263.

[6] 李飞,崔胜辉,高莉洁,林剑艺,于洋.砖混和剪力墙结构住宅建筑碳足迹对比研究[J].环境科学与技术,2012,35(s1):18-22+70.

[7] GB/T51366—2019,建筑碳排放计算标准[s].北京:中国建筑工业出版社,2019.

[8] 李岳岩,陈静.建筑全生命周期的碳足迹[M].北京:中国建筑工业出版社,2001:50-107.

[9] 董坤涛.基于钢筋混凝土结构的建筑物二氧化碳碳排放研究[D].青岛:青岛理工大学,2011.

[10] GB50034-2013,建筑照明设计标准[s].北京:中国建筑工业出版社,2013.

[11] GB50374-2014,建筑碳排放计量标准[s].北京:中国计划出版社,2014.

[12] 曾杰,俞海勇,张德东,杨辉,蔡维森.木结构材料与其他建筑结构材料的碳排放对比[J].木材工业,2018,32(01):28-32.D01:10.19455/j.mcgj.20180107.

[13] 杨学兵,欧加加.我国装配式木结构建筑体系发展趋势[J].建设科技,2018(05):6-11.D01:10.16116/j.cnki.jskj.2018.05.001.

基于点云数据的 BIM 模型快速复核方法研究

陈卫国¹, 王利军², 宋华国³ (1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 广州地铁建设管理有限公司, 广州 510220; 3. 中铁(广州)投资发展有限公司, 广州 510308)

[摘 要] 为促进 BIM 模型在工程项目全生命周期中的应用效果和质量, 本文基于点云数据开展了 BIM 模型快速复核方法的研究工作。通过梳理传统 BIM 模型复核方法存在的问题, 本文依托广州市地铁十一号线某地铁车站项目, 借助 Revit 二次开发, 提出一种基于点云数据的 BIM 模型快速复核修改方法。实践表明: 优化后的点云复核方法体系流程更为完善, 更加适合实际工程 BIM 模型复核应用; 该方法通过 Revit 二次开发及工程实体数据实测, BIM 模型修改的准确率接近 100%; 应用该方法可显著提高模型修改效率及复核成果质量管理能力, 降低人工成本。

[关键词] 点云; BIM; 快速复核; 二次开发

Research on Method of Quick Model Checking Based on BIM and Point Cloud Data

Chen wei-guo¹, wang Li-jun², song Hua-guo³ (1. China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu 610036, China; 2. Guangzhou Metro Construction Management Co. Ltd, Guangzhou 510220, China; 3. China Railway (Guangzhou) Infrastructure Development Co. Ltd, Guangzhou 510308, China)

Abstract: In order to promote the application effect and quality of BIM model in the whole life cycle of engineering projects, the research on the rapid review method of BIM model based on point cloud data is carried out. Through analysis of problems existing in the traditional BIM model review methods, relying on a subway station project of Guangzhou Metro Line 11, this paper proposes a rapid BIM model review and modification method based on point cloud data through the secondary development of Revit. The practice shows that the optimized point cloud recheck method system process is more perfect, and more suitable for the actual project BIM model recheck application; Using the secondary development of Revit and actual measurement of engineering entity data, the accuracy of BIM model modification is close to 100%; The application of this method can significantly improve the efficiency of model modification and the quality management ability of review results, and reduce the labor cost.

Keywords: Point cloud; BIM; Quick review; Secondary development

0 引言

BIM 技术因其虚拟现实表达及数据集成等特点, 近几年在工程项目全生命期得到广泛应用, 如在项目建设阶段通过虚拟施工模拟、可视化交底、信息化管控等 BIM 技术应用, 可实现优化施工方案、合理配置资源、减少施工返工等目的; 运维阶段以数据模型为基础, 结合信息化管理平台, 可辅助资产及空间运维管理。

BIM 模型作为项目建设前期准备阶段、施工及运维阶段的核心及基础, 其与工程实体的一致性直接影响着 BIM 技术应用的效果及质量。但在实际施工过程中, 由于现场情况的复杂多变性, 实际应用中需基于三维扫描技术进行模型的动态更新, 以达到模型与工程实体一致。三维扫描技术目前已在装配式构件定位^[1-3]、自动化建模^[4-6]、专业协同信息交互^[7]等方面有着大量且成熟的应用, 在模型与工程实体的一致性检查方面, 相关研究也多见诸于论文中, 2022 年, 苏立勇、李鹏^[8-9]等开展了基于点云数据的地铁车站 BIM 模型复核研究工作, 文章主要通过三维扫描软件导出对比报告后辅助模型修改。朱煜捷、吴怡洁^[10-11]等通过讨论 BIM 逆向建

[收稿日期] 2022-10-14

[作者简介] 陈卫国(1994-), 男, 硕士, 工程师。主要从事建筑工程 BIM 及信息化方面应用及研究

[联系方式] E-mail: 1395262740@qq.com

模技术的研究热点和趋势得出,目前 BIM平台与点云数据模型互操作的问题依然突出,这也导致了基于三维扫描相关软件开展 BIM模型的修改 目前依然无法实现。陈正立、廖羚、陈滨津^[12-14]等通过将获得的点云模型导入 Revit软件后,任意改变模型剖面框的大小来开展复核及修改工作。

基于上述文献研究可以得知,目前 BIM模型与工程实体的校核及修改技术路线主要有两种,一是依托于三维扫描技术获取工程实体点云模型,再通过 ControlX等三维扫描软件得到模型匹配报告后进行针对性修改;二是通过将点云模型导入 Revit软件后通过手动任意剖切检查。以上技术路线主要存在三个问题,一是由于实际地铁站完工主体现场情况复杂,干扰因素较多,针对地铁站尺寸较小的孔洞、预埋件复核时,人为无法通过点云模型这一单一手段准确定位及判断与工程实体是否一致;二是通过 Revit剖面框手动剖切进行问题定位和修改时,效率低下且耗时费力;三是修改核查部位无法复现间接造成了模型复核工作质量管理难度加大,管理者往往无法合理且快速评价模型复核质量,工程实体与模型的复核往往流于形式。

基于上述问题,本文依托项目实践,通过 Revit二次开发,同时结合现场断面测量等手段,提出了一种基于点云数据的模型快速复核修改方法体系,旨在解决模型与工程实体一致性检查修改时效率低、模型同步修改困难、复核质量管理难度大等问题,以期为类似工程项目 BIM技术应用降本增效。

1 基于点云数据的 BIM 模型快速复核方法

1.1 原理介绍

如图 1 所示,本文提出了一种 BIM模型快速复核修改方法,该方法形成了以点云数据模型作为模型复核及成果质量管理的基础,断面测量及定位复测为补充的 BIM模型复核完整技术路线,可有效提升点云数据模型的利用效率及 BIM模型复核质量。

1.2 与传统模型复核方法对比

为保证地铁站机电 BIM 技术应用成果的效率及质量,地铁站土建工程实体与 BIM模型的匹配性检查要点主要可分为三类:一是针对主体结构预留孔洞检查;二是预埋件位置复核检查;三是车站与模型断面轮廓尺寸的检查。目前,传统基于点云数据对 BIM模型的复核已得到了广泛且深入的

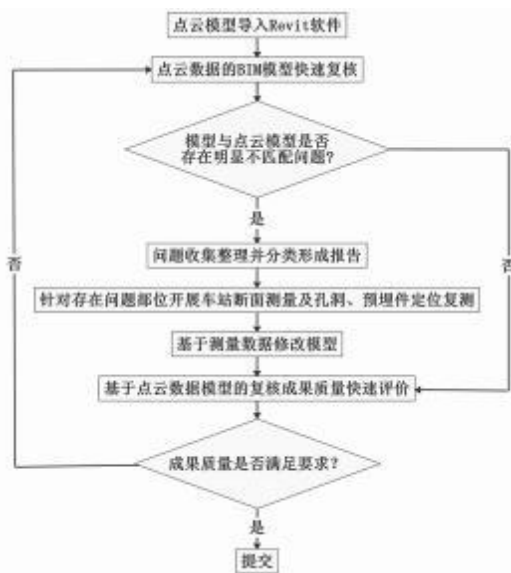


图 1 方法原理

应用,可有效检查 BIM模型错建、漏建以及问题定位等问题,但是仍然存在以下不足:

1) 传统点云模型与 BIM模型的复核主要通过人为手动改变剖面框大小来实现,工作量大且效率低。

2) 如图 2 所示,针对预埋吊钩、预埋套管、洞口等进行复核时,基于点云模型可快速进行问题定位,但由于点云模型数据点的分散、预埋件及洞口边界不清晰等原因,发现问题后并不能对模型进行准确的位置调整。

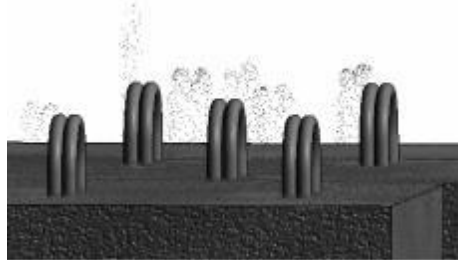


图 2 基于点云数据模型的预埋吊钩复核

3) 模型复核质量评价困难。现存基于点云模型开展 BIM模型复核修改的工作,由于缺乏定量评价的标准依据,往往给模型修改质量管理带来了很大的困难和挑战。

针对上述问题,本文提出的基于点云数据的模型快速复核方法主要优势体现如下:

1) 针对点云数据与 BIM模型工作量大且效率

低等问题,基于 revit二次开发,实现了模型断面的快速剖切及生成,提高了复核效率。

2) 针对依托点云数据无法实现 BIM模型的准确修改等问题,本方法基于问题定位信息,通过现场断面测量及孔洞、预埋件定位复测等手段,可实现模型尺寸、位置的快速修改。

3) 针对模型复核质量管理难度较大等问题,本方法基于 revit二次开发的模型快速剖切工具为模型修改质量的评价提供了标准和依据,为模型质量的把控提供了新的管理手段。

2 基于点云数据的 BIM 模型快速复核方法的实现

2.1 基于点云数据的模型问题快速定位

本文中模型快速复核方法中,BIM模型快速复核主要通过 revit二次开发技术实现,工具提供了三种不同的断面复核精度,分别为粗略模式、中等模式及精细模式。用户可自定义模型剖切方向及剖切精度,进而通过改变模型 sectionBox坐标的大小,实现快速生成复核用户精度要求的标准断面。模型复核人员可通过查看断面 BIM模型与点云模型的匹配度,快速定位存在较大偏差的模型部位,为后续开展现场断面测量及定位复测奠定基础。快速复核工具界面如图 3 所示,部分核心代码如下所示。



图 3 基于点云及 BIM模型的快速复核工具界面

2.2 断面测量

如图 5 所示,断面测量主要采用便携式激光测距仪开展,它具有使用方便、测量准确、功能强大等特点。基于点云复核中存在较大模型偏差的 BIM模型断面图,可将测得的断面尺寸数据与模型的断面尺寸数据对比,进而得到模型所需要调整的精确数值,以保证 BIM模型与工程实体一致。

2.3 孔洞、预埋件定位复测

```
public void Execute(ITApplication app)
{
    app = app.Application;
    BDocument doc = app.ActiveBDocument;
    Document doc = _Doc.Document;

    Transaction transaction = new Transaction(doc, "打开默认三维视图");

    SwitchedViews(doc, transaction);
    var type_Plane3D = doc.ActiveView.GetType();
    TaskDialog.Show("视图类型为", type_Plane3D.Name);
    View3D view3D = doc.ActiveView as View3D;
    using (Transaction trans = new Transaction(doc, "修改 Section Box"))
    {
        trans.Start();
        BoundingBox3D box_new = view3D.GetSectionBox();
        if (false == box.Enabled)
        {
            box.Enabled = true;
        }

        if (Pathname == "粗略模式")
        {
            BoundingBox3D box_new = view3D.GetSectionBox();
            double maxT = box_new.Max.T = 3000 / 304.8;
            double minT = box_new.Min.T = 7000 / 304.8;
            XYZ max = new XYZ(box_new.Max.X, maxT, box_new.Max.Z);
            XYZ min = new XYZ(box_new.Min.X, minT, box_new.Min.Z);
            //XYZ center = this_new.Max + box_new.Min / 2;

            BoundingBox3D sectionBox = new BoundingBox3D();
            sectionBox.Max = max;
            sectionBox.Min = min;
            //设置位置
            view3D.SetSectionBox(sectionBox);
        }
    }
}
```

图 4 快速复核工具部分代码



图 5 便携式手持激光测距仪

孔洞及预埋件定位复测主要采用钢卷尺及全站仪(图 6)开展,基于孔洞及预埋件定位及尺寸数据,开展 BIM模型的修改。

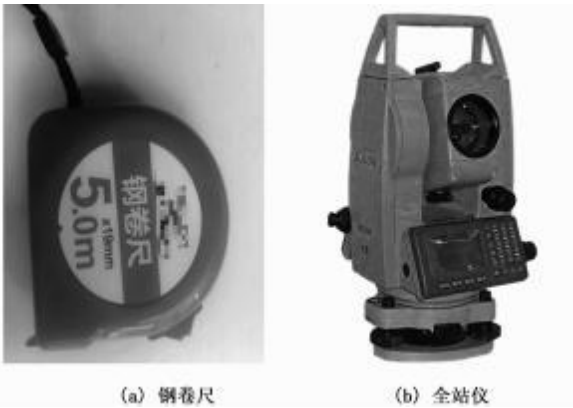


图 6 测量仪器

2.4 BIM 模型复核成果质量管理

目前基于点云数据的 BIM 模型复核成果质量管理难度大的主要原因是没有一个一致的标准或依据评价,管理人员往往需要通过不断的手动剖切模型检查,直接导致了不同车站之间检查断面数

量、断面剖切精度等标准的不统一,此外,人为改变剖面框也耗时费力,工作效率低下,以上两个原因直接或间接的导致了模型质量管理流于形式。

本文中基于点云数据的 BIM 模型复核质量管理,采用 BIM模型快速复核工具,通过用户自定义模型剖切精度及剖切方向,为模型复核质量管理提供一致的标准和依据,管理人员只需复核自动剖切断面中 BIM模型与点云模型的匹配度来评价模型复核质量,进而根据评价结果采取进一步的管理措施。

3 项目应用及效果

3.1 项目概况

本项目为广东省广州市地铁十一号线某地铁站,有效站中心里程 YDK15 +480.6,建筑面积 20 220.72m²。车站为 11.8 米岛式站台车站,全长 326 米,标准段宽为 21.5 米,主体部分顶板覆土 2.87 ~12.45 m。

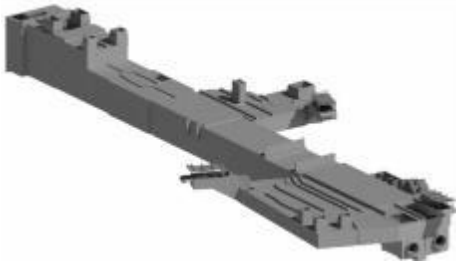


图 7 广州市某地铁站示意图

3.2 模型复核

本项目中,点云模型主要通过分析与 BIM模型的断面匹配性来复核 BIM模型存在的问题,进而对关键问题进行定位,为后续模型修改奠定基础。本文主要从横、纵、平三个不同尺度开展了模型断面分析,模型剖切精选为精细模式,断面测量工具自动生成的待分析模型断面如图 8 所示。

如图 9,通过模型断面快速生成工具可根据用户需求精度生成模型平、纵、横断面局部模型,通过分析横、纵、平三个不同维度点云模型与 BIM模型的匹配度,可得出模型与工程实体匹配性较差的部位。

通过分析模型断面,本项目工程实体与 BIM模型存在的问题统计主要见表 1,本次共发现问题 70



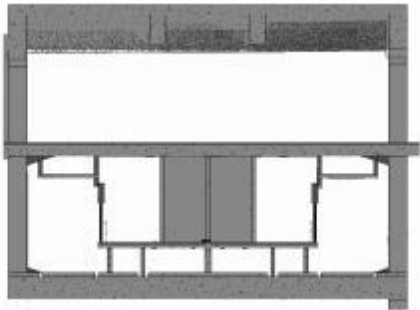
图 8 模型复核断面



(a) 模型平断面



(b) 模型纵断面



(c) 模型横断面

图 9 模型平、纵、横断面图

处,其中共 60 处断面尺寸,5 处预留孔洞、4 处预埋件及 1 处集水井位置尺寸偏差问题。

3.3 断面测量及预埋件、孔洞定位复核

如图 10 所示,根据模型复核发现的问题的定位信息,利用便携式手持激光测距仪、钢卷尺等测量工具开展现场数据测量,其中,断面测量数据如表 2 所示,预留孔洞、预埋吊钩、预埋件测量数据如表 3 所示。

表 1 模型问题统计

序号	问题分类	问题数量	定位
1	断面尺寸	60	15 ~20 轴 ,35 ~41 轴间断面
2	预留孔洞	5	站厅层 16 ~17 轴与 B轴、 站台层 19 轴与 B轴处
3	预埋吊钩、 预埋套管等	4	顶板 7 ~8 轴间预埋吊钩， 1A出入口预留孔洞、站台板 30 ~31 轴间预埋套管
4	集水井位置 偏差问题	1	站厅层 8 轴交 A轴处集水井

注:①断面尺寸问题以断面数量计,预埋件、预留孔洞、集水井问题以构件、洞口数量计 ② 因定位信息较多,表中仅列部分定位信息示意 ○

3.4 模型修改

如图 11 ,本文以 35 轴 ~41 轴处断面为例说明 ,

表 2 断面尺寸测量数据

断面位置	断面宽 / mm	断面高 /mm			纵梁底面 /mm		横梁 /mm		
		距腋角底部	距腋角中部	层高	中梁	边梁 2	梁底距板高	距横轴定位	距纵轴定位
站厅 35 ~41 轴	19 502	2 800	4 200	5 150	"	"	"	"	"
站台 35 ~41 轴	19 502	5 810 (底板)	"	6 310 (底板)	"	"	"	"	"
站厅 15 ~20 轴	21 810	5 650	"	5 950	5 500	"	"	"	"
站台 15 ~20 轴	21 810	6 210	"	6 510	5 910	"	"	"	"

表 3 预埋件及预留洞口测量数据

问题部位	横向 定位	距 离 / mm	纵向 定位	距 离 / mm
站厅 8 轴交 A轴处集水井	8	4 000、6 000	A	400、2400
站厅 11 轴交 B轴处顶板吊钩	11	2 110	B	2 190
站台 41 轴交 B轴处预埋套管	41 轴墙 体表面	1 160	B	3 670

4 结论与展望

综上所述 ,三维激光扫描技术给 BIM模型与工程实体的一致性核对提供了强大的技术支撑 ,但由于目前利用点云数据进行模型 自 动化复核算法并不成熟 ,复核流程主要通过 人 为 任 意 剖 切 模 型 开 展 ,直接造成了复核过程耗时费力、模型修改界限模糊、成果质量管理无据可依等问题 ○ 本文通过着力于 BIM技术现场应用痛点 ,利用 revit二次开发技术及工程经验 ,提出基于 BIM技术及点云数据的模

从图 12(a) 中可以看出 ,BIM模型断面宽(19.7 m) 与点云模型存在明显不匹 配 ,通过 现 场 测 量 后 发 现 ,该处断面实际宽度为 19.5 m,基于上述已测得的现场数据 ,可对模型进行准确的断面调整 ,调整后断面如图 11(b) 所示 ○

3.5 模型修改质量管理

利用模型快速复核工具 ,管理人员可根据项目具体情况选择模型复核精度 ,通过对程序 自 动 生 成 的断面数据分析核对 ,实现对 BIM模型修改质量的评价 ,同时针对已提出的预 埋 构 件 及 预 留 孔 洞 问 题 ,开展针对性的检查 ,以进 一 步检查模型问题整改落实情况 ○ 本项 目通过对各断面数据及复核问题的针对性检查分析 ,模型问题全部已解决 ,达到了 BIM土建模型与工程实体一致的既定目标 ○



图 10 现场数据测量

型快速复核技术路线 ,该技术路线通过利用 revit二次开发及点云数据作为模型问题定位的技术支撑 ,开展现场针对性复测和模型修改 ,有效解决了 BIM模型与工程实体一 致性复核时存在的效率低、模型精确修改难、成果质量管理难等问题 ,可为类似 BIM

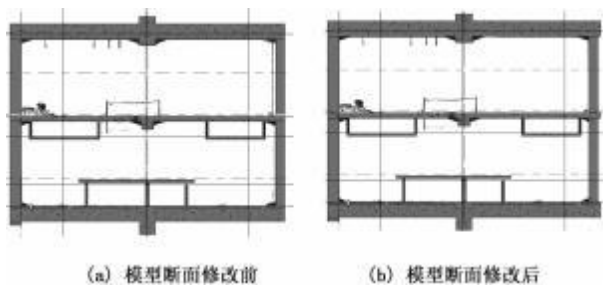


图 11 模型修改

技术落地应用提供参考。

在目前利用点云模型进行自动化模型复核算法还不成熟的情况下,本文所提技术路线具有较强的应用价值,但仍然存在人为主观性强、无法实现模型全覆盖检查、相比于全自动化复核效率低等问题,因此,对于模型自动复核算法的研究仍然是当前这一领域 BIM 技术应用的 关键。

参考文献

[1] 于欣洋,廖维张. BIM与三维激光扫描在装配式构件误差检测中的应用研究[J]. 工业建筑会议论文集, 2021:420 -423 .
[2] 陈雨,杨波,卢雪松. 基于 BIM及激光扫描技术的装配式建筑构件定位[J]. 激光杂志, 2021, 42 (10) :192 -196 .
[3] 杨远松,朱宇波等. 三维点云扫描在核电预拼装中的应用研究[J]. 核学会论文集, 2022 .

[4] 张平,龙玉婷. 基于 BIM技术及三维激光扫描的客家古建筑模型重建[J]. 福建建设科技, 2022 (1) :101 -106 .
[5] 缪盾. 基于 Dynamo的点云 BIM 自动化建模[J]. 山东建筑大学学报, 2021, 36 (4) :88 -93 .
[6] 魏英洪,邱世超,王然. 铁路站房建筑 BIM快速建模技术方法研究[J]. 铁路技术创新, 2020 (1) :38 -40 .
[7] 封伟,赵千理等. 激光扫描结合 BIM技术在专业协同信息交互中的应用[J]. 上海建设科技, 2021 (6) :79 -81 .
[8] 苏立勇,路清泉等. 基于三维点云扫描验证地铁车站 BIM模型的研究[J]. 工程技术研究, 2020 (17) :35 -37 .
[9] 李鹏,朱家德等. 三维激光扫描技术在地铁车站土建竣工交付建筑信息模型中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2022 :60 -64 .
[10] 朱煜捷,张得煊等. 基于三维激光扫描的 BIM逆向建模技术研究热点和趋势分析[J]. 土木建筑工程信息技术, 2022 , 14 (1) :38 -43 .
[11] 吴恰洁,董志明等. 基于 LiDAR点云的竣工 BIM建模文献综述[J]. 第七届全国 BIM学术会议论文集. 2021:426 -430 .
[12] 陈正立,谢昱果等. 三维扫描结合 BIM技术在结构复核中的应用[J]. 施工技术, 2019 (48) :284 -287 .
[13] 廖玲,莫专恒等. BIM 技术在南宁轨道交通 3 号线创业路站的机电工程施工研究应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2019 , 11 (5) :7 -18 .
[14] 陈滨津,姚守俨等. BIM+ 三维激光扫描技术在工程质量管控中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2019 , 11 (5) :55 -60 .

一般钢结构二阶效应系数 计算及屈曲分析研究

刘孝国¹, 李建燎², 诸凤根³ (1. 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013; 2. 中钢国际设计集团股份有限公司, 北京 100013; 3. 青海合臣钢结构工程有限公司, 青海西宁 810000)

[摘要] 钢结构二阶效应系数的大小是确定钢结构设计采用一阶分析法还是二阶分析法的依据。对弯曲型和剪弯型变形形态的一般钢结构, 钢结构标准按整体结构最低阶弹性临界荷载与荷载设计值比值得到的临界因子取倒数得到结构的二阶效应系数。PMSAP软件通过 Buckling屈曲分析得到结构两个方向最低阶的屈曲模态, 进而来计算结构二阶效应系数。对于质量沿高度分布比较均匀的钢结构, 根据悬臂柱模型, 推导出刚重比与二阶效应系数的关系, 通过 0.14 除以结构的刚重比结果来简单高效估算一般钢结构的二阶效应系数。sATwE软件计算一般钢结构的二阶效应系数时采用了该方法。通过弹性屈曲分析的案例发现, 要确定结构两个方向最低阶整体屈曲模态往往需要计算很多阶模态才能得到, 同时也较难准确确定最低阶屈曲模态, 简化方法计算的结果与屈曲分析结果基本一致。设计中建议对规则结构可按 sATwE软件的方式简化计算一般钢结构二阶效应系数。

[关键词] 二阶效应系数; 一阶分析法; 二阶分析法; 刚重比; 屈曲分析; 屈曲因子

Research on second-order Effect Coefficient and Buckling Analysis of General Steel Structures

Liu Xiao-guo¹, Li Jian-liao², Chu Feng-gen³ (1. China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. Zhongkai International Design Group Co., Ltd., Beijing 100013, China; 3. Qinghai Hechen Steel Structure Engineering Co., Ltd., Xining 810000, China)

Abstract: The second order effect coefficient of steel structure is the basis to determine whether the first order analysis method or the second order analysis method is adopted for steel structure design. For general steel structures with bending and shear bending deformation forms, the steel structure standard takes the reciprocal of the critical factor obtained by the ratio of the lowest order elastic critical load of the overall structure to the design value of the load to obtain the second order effect coefficient of the structure. PMSAP software obtains the lowest order buckling mode of the structure in two directions through Buckling buckling analysis, and then calculates the second order effect coefficient of the structure. For steel structures with uniform mass distribution along the height, the relationship between the stiffness to weight ratio and the second-order effect coefficient is derived according to the cantilever column model. The second-order effect coefficient of general steel structures is estimated simply and efficiently by dividing the result of the stiffness to weight ratio of the structure by 0.14. sATwE software uses this method to calculate the second-order effect coefficient of general steel structures. Through the case of elastic buckling analysis, it is found that to determine the lowest order overall buckling mode of the structure in both directions, it is often necessary to calculate many orders of modes, and it is also difficult to accurately determine the lowest order buckling mode. The results of the simplified method are basically consistent with the results of buckling analysis. In the design, it is suggested that the second order effect coefficient of general steel structure can be simplified according to the sATwE software for regular structures.

Keywords: second order effect coefficient; First order analysis; second order analysis method; stiffness to weight ratio; Buckling analysis; buckling factor

0 引言

钢结构标准中要求按照结构二阶效应系数的

大小判断结构的分析方法是采用一阶分析法还是二阶分析法。根据标准 5.1.6 条, 当结构二阶效应系数大于 0.1 时, 需要进行二阶效应分析。标准对结构二阶效应系数的计算区分了不同的结构类型。对弯曲型和剪弯型变形形态的一般钢结构, 包括钢框架支撑结构、复杂钢结构及钢结构混凝土

[收稿日期] 2022-11-10

[作者简介] 刘孝国(1986-), 男, 高级工程师。主要从事 PKPM 结构软件开发、工程结构抗震、减隔震、钢结构等方面的研究工作

[联系方式] E-mail: 563193037@qq.com

混合结构等按钢结构标准 5.1.6 -2 公式进行结构二阶效应系数的计算,该系数按照整体结构最低阶弹性临界荷载与荷载设计值比值得到的临界因子取倒数得到。因此,要按照钢结构标准计算结构二阶效应系数,需要对结构进行弹性屈曲分析,得到结构整体最低阶的屈曲因子。需要注意排除可能出现的一些最薄弱构件的屈曲模式。

实际工程设计中采用屈曲因子直接计算结构二阶效应系数时,需要结构取到足够多的模式,并且要观察每一阶模式,确保二阶效应系数计算的屈曲因子对应的屈曲模式是结构整体的模式,要排除可能出现的一些最薄弱构件的屈曲模式。模式过多会导致计算工作量大,并且要逐一查看屈曲模式对设计师来说效率也很低。需要对规范的二阶效应系数公式做一些推导以便适应量大面广的一般工程。

PKPM 的 sATwE 软件对一般钢结构,如钢框架支撑体系等,并未完全按照新钢标的公式计算二阶效应系数,而是通过推导了二阶效应系数与刚重比的关系,按照刚重比来计算,并输出结构两个方向二阶效应系数。也可使用 PMsAP 软件对结构进行屈曲分析,按照计算的屈曲因子,结合钢结构标准 5.1.6 -2 公式得结构的二阶效应系数。

结合某框架支撑结构案例,按照两种方法分别计算结构的二阶效应系数,并对结果进行对比分析,对设计师在设计中如何正确执行规范提供相关建议。

1 钢标对结构二阶效应系数的计算

钢结构标准对钢结构二阶效应系数的计算区分结构体系的不同,对于框架结构与非框架的一般钢结构计算方式有所不同。

对于剪切型的规则钢框架,二阶效应系数的计算,按照图 1 公式进行计算。

对一般的钢结构二阶效应系数计算,按照图 2 公式进行计算。

通过钢结构标准的公式可以看到,对于结构二阶效应系数的计算,规范根据钢结构抗侧力构件在水平力作用下的变形形态,分为剪切型(框架结构)、弯曲型和剪弯型。对弯曲型和剪弯型变形形态的一般钢结构,包括钢框架支撑结构、复杂钢结构及钢结构混凝土混合结构等按钢结构标准 5.1.6 -

1 规则框架结构的二阶效应系数可按下式计算:

$$\theta_i^{\text{II}} = \frac{\sum N_i \cdot \Delta u_i}{\sum H_{w_i} \cdot h_i} \quad (5.1.6-1)$$

式中: $\sum N_i$ ——所计算 i 楼层各柱轴心压力设计值之和 (N);
 $\sum H_{w_i}$ ——产生层间侧移 Δu_i 的计算楼层及以上各层的水平力标准值之和 (N);
 h_i ——所计算 i 楼层的层高 (mm);
 Δu_i —— $\sum H_{w_i}$ 作用下按一阶弹性分析求得的计算楼层的层间侧移 (mm)。

图 1 规则钢框架二阶效应系数计算

2 一般结构的二阶效应系数可按下式计算:

$$\theta^{\text{II}} = \frac{1}{\eta_r} \quad (5.1.6-2)$$

式中: η_r ——整体结构最低阶弹性临界荷载与荷载设计值的比值。

图 2 一般钢结构二阶效应系数计算

2 公式进行结构二阶效应系数的计算,这就需要得到整体结构最低阶弹性临界荷载与荷载设计值的比值,该比值与刚重比有一定的关系。

钢框架结构的二阶效应系数计算直接采用楼层剪力及位移计算。但对一般钢结构的二阶效应系数,需要对结构进行屈曲分析以便确定结构最低阶屈曲模式,进而求得其二阶效应系数。但是对比较规则的结构,符合悬臂柱模型,根据杆件的临界荷载,推导刚重比与二阶效应系数的关系,并将其应用到 sATwE 软件之中。

2 弯曲型和剪弯型结构失稳的临界荷载

一般的建筑结构可以视为悬臂杆件,弯曲型悬臂杆件的临界荷载可以由欧拉公式求得:

$$P_{cr} = m^2 EJ / 4H^2 \quad (1)$$

式中 P_{cr} 为作用在悬臂杆顶部的竖向临界荷载; EJ 为悬臂杆的弯曲刚度; H 为悬臂杆的高度。

将作用在顶部的临界荷载 P_{cr} 以沿楼层均匀分布的重力荷载之总和 ($\sum_{i=1}^n G_i$) 取代,进行简化可得到如下表达式:

$$P_{cr} = \frac{1}{3} \left(\sum_{i=1}^n G_i \right)_{cr} \quad (2)$$

将 (2) 式代入 (1) 式,得到如下表达式:

$$\left(\sum_{i=1}^n G_i \right)_{cr} = \frac{3\pi^2 EJ}{4H^2} = 7.4 \frac{EJ}{H^2} \quad (3)$$

对于弯剪型悬臂构件,近似计算中,可用等效侧向刚度 EJ_d 取代式 (3) 中的弯曲刚度 EJ 。作为临

界荷载的近似计算公式,对弯曲型和剪弯型悬臂杆件统一表示为:

$$\left(\sum_{i=1}^n G_i\right)_{cr} = 7.4 \frac{EJ_d}{H^2} \quad (4)$$

3 二阶效应系数与刚重比关系

《高层建筑混凝土结构技术规程》JCJ3-2010(后续简称“高规”)第5.4节中对于剪力墙结构、框架-剪力墙结构、板柱剪力墙结构等弯曲型及剪弯型结构的重力二阶效应计算结果满足如下(5)式要求时,可不考虑重力二阶效应的不利影响。

$$EJ_d \geq 2.7H^2 \sum_{i=1}^n G_i \quad (5)$$

式中 $\sum_{i=1}^n G_i$ 为结构所有楼层的重力荷载设计值,取1.2倍永久荷载标准值与1.4倍的楼面可变荷载标准值的组合值; EJ_d 为悬臂杆的等效侧向刚度; H 为悬臂杆的高度。

为便于判断结构是否满足不计算二阶效应的条件,特定义参数 R_{sw} ,并称之为刚重比,且当弯曲型或剪弯型结构的刚重比大于2.7时,可不考虑结构重力二阶效应。对应刚重比可表达为如(6)式所示:

$$R_{sw} = \frac{EJ_d}{H^2 \sum_{i=1}^n G_i} \quad (6)$$

按照钢标,对于一般钢结构二阶效应系数的表达式如下:

$$\theta_i = \frac{1}{\eta_{cr}} \quad (7)$$

再由钢结构标准对 η_{cr} 的表达,可得如下表达式

$$\eta_{cr} = \frac{P_{cr}}{P} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{\left(\sum_{i=1}^n G_i\right)_{cr}} \quad (8)$$

结合上述表达式(4)、(6)、(7)及(8),并做相应的变换,得到一般结构二阶效应系数与刚重比的关系如下:

$$\theta_i = \frac{1}{7.4} \frac{1}{R_{sw}} = \frac{0.135}{R_{sw}} \quad (9)$$

从上述的公式中可以看到,对于质量沿高度分布比较均匀的钢框架-支撑结构、钢框架-混凝土核心筒等以弯曲变形为主的结构,也可以借助结构刚

重比的结果来快速计算钢结构的二阶效应系数,并判断结构的设计方法是否采用二阶分析法。

4 PKPM 软件对一般钢结构二阶效应系数计算

以某钢框架支撑结构为例,进行一般结构二阶效应系数的计算。该结构的三维模型图如图3所示。



图3 某钢结构支撑体系的三维模型图

计算完毕,软件在计算结果的“抗倾覆和验算”下“二阶效应系数及内力放大系数”文本中输出了该框架支撑结构两个方向的二阶效应系数,如图4所示。

图4展示了计算输出的钢框架支撑体系的二阶效应系数。表格上方有标题“表3 二阶效应系数”，并包含一些单位说明。表格本身有7列：层号、X向刚度、Y向刚度、层高、上部重量、 θ_x 、 θ_y 。表格下方有图例说明。

层号	X向刚度	Y向刚度	层高	上部重量	θ_x	θ_y
14	75475.48	75475.48	3.40	954.35	0.0159	0.0259
13	2.28e+6	2.69e+6	3.40	4301.30	0.0159	0.0259
12	3.02e+6	3.62e+6	3.30	5275.05	0.0159	0.0259
11	3.08e+6	3.66e+6	3.40	7415.04	0.0159	0.0259
10	4.02e+6	3.75e+6	3.30	8420.00	0.0159	0.0259
9	4.43e+6	3.84e+6	3.00	8836.31	0.0159	0.0259
8	5.43e+6	3.13e+6	3.00	10955.01	0.0159	0.0259
7	4.36e+6	3.82e+6	3.40	14436.18	0.0159	0.0259
6	5.12e+6	3.63e+6	3.30	25706.07	0.0159	0.0259
5	7.22e+6	3.92e+6	4.00	36914.21	0.0159	0.0259
4	1.08e+6	1.13e+6	3.00	38948.77	0.0159	0.0259
3	1.24e+6	1.18e+6	3.00	65866.05	0.0159	0.0259
2	1.13e+6	1.03e+6	4.00	85215.48	0.0159	0.0259
1	1.24e+6	1.24e+6	5.00	95235.42	0.0159	0.0259

图4 计算输出的钢框架支撑体系的二阶效应系数

同时可以直接查看软件计算的结构在两个方向刚重比结果,如图5所示:

目前 sATwE 软件按照风荷载下的刚重比计算二阶效应系数,因此校核二阶效应系数时,取风荷载下的刚重比。按照上述的推导公式,手工校核结构 X,Y 两个方向的二阶效应系数,结果如下:(注:

整体稳定刚重比验算

这部分为 1.1 版以后版本采用更精确的刚重比计算公式,与之前版本有所不同,详细请查看用户手册。

表 1 基于地震作用的刚重比验算(适用于弯曲线、弯剪型结构)

工况	验算公式	验算值
强震	$B/D/GH^2$	7.87
强震	$B/D/GH^2$	5.63

该结构刚重比 $B/D/GH^2$ 大于 0.7, 能够通过高烈度 (6.1, 7) 的整体稳定验算

表 2 基于风荷载作用的刚重比验算(适用于弯曲线、弯剪型结构)

工况	验算公式	验算值
强震	$B/D/GH^2$	7.80
强震	$B/D/GH^2$	5.40

该结构刚重比 $B/D/GH^2$ 大于 0.7, 能够通过高烈度 (6.1, 7) 的整体稳定验算

图 5 钢结构框架支撑体系的刚重比结果

推导公式中的系数 0.135, 在软件计算时按 0.14 取值)

$$\theta_{\alpha} = \frac{0.14}{7.8} = 0.0179$$

$$\theta_{\alpha} = \frac{0.14}{5.4} = 0.0259$$

手工校核该框架支撑结构的二阶效应系数计算结果与软件输出结果一致。对于比较规则的一般性结构按照刚重比简单换算后计算其二阶效应系数不仅简单, 并计算结果也比较准确。

5 钢结构采用弹性屈曲分析计算二阶效应系数

按照钢结构标准的要求, 可直接对结构进行弹性屈曲分析, 直接以整体结构最低阶弹性临界荷载与荷载设计值比值得到的临界因子取倒数得到结构的二阶效应系数。在 PKPM 的 PMsAP 软件中, 仅仅需要简单的操作结合模态分析的结果即可得到整体结构最低阶屈曲因子。进行弹性屈曲分析的流程如下:

5.1 PM 模型接入 PMsAP 进行计算

如果是在 PM 中建的模型, 直接接入 PMsAP 进行分析会弹出如下图 6 的界面, 为了和 sATwe 参数设置一致, 计算结果有可比性, 首次进入 PMsAP 计算选择生成“全新模型”即可; 如果是在 spascad 空间结构中建的模型, 直接进行 PMsAP 分析。

5.2 PMsAP 软件中选择考虑屈曲分析

在 PMsAP 软件的参数设置中, “活荷载”下面选择“考虑 buckling 分析”, 同时指定屈曲模态数及屈曲分析的误差, 如果有剪力墙, 可以选择“剪力墙按照空间壳元分析”。屈曲分析选择如图 7 所示。

5.3 PMsAP 软件中定义屈曲组合

在 PMsAP 软件“工况组合”下定义屈曲分析组合, 按照规范要求, 定义 1.2 倍永久荷载标准值与



图 6 PM 模型接入 PMsAP 计算



图 7 PMsAP 中选择屈曲分析

1.4 倍的楼面可变荷载标准值的组合, 如图 8 所示。当然如果执行了通用规范, 永久荷载和可变荷载的分项系数应该取值 1.3 和 1.5。

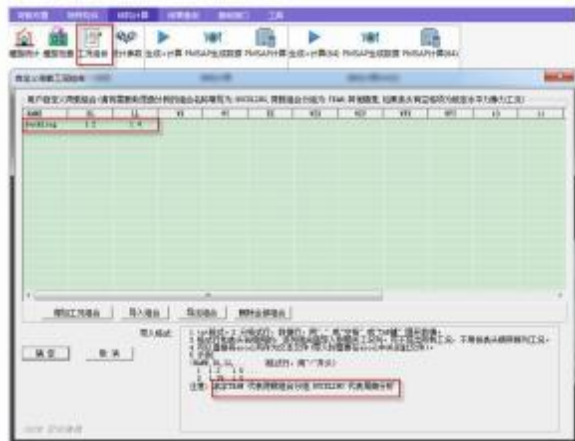


图 8 PMsAP 中定义屈曲组合

5.4 bucklinz 屈曲分析结果的查看

计算完毕之后, 查看后处理计算结果, 在“设计结果”图型文件中可以看到定义了屈曲工况下结构的每一个屈曲模态, 如图 9 所示, 根据屈曲模态动画, 可以判断那个模态属于结构整体沿着某个方向的最低阶模态, 该屈曲模态对应的屈曲因子的倒数

就是该结构沿着该方向的二阶效应系数。同时"文本查看"下"旧版本文本查看",查看"详细摘要",再找到对应的"(ITEM046)结构整体屈曲分析结果(BucklingAnalysis)"该项结果,如图10所示为结果查看菜单,图11所示为图3模型计算的前6阶屈曲模态对应的临界因子。

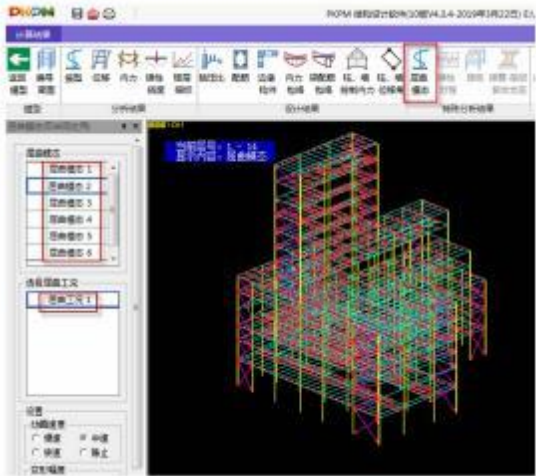


图9 结构屈曲模态图形结果



图10 结构屈曲模态结果文本结果

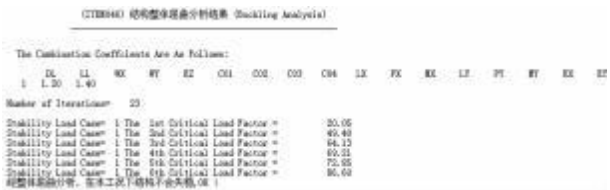


图11 钢结构每个屈曲模态对应的屈曲因子

结构屈曲因子的查看要结合屈曲模态来考察，

二阶效应系数的计算要取结构整体最低阶屈曲模态对应的屈曲因子,要分别考虑结构两个主轴方向各自的结果,对应得出结构整体 X、Y 的二阶效应系数。

6 某钢结构案例屈曲分析计算二阶效应系数

如图12所示为一框架支撑结构,对该结构按照sATWE软件的方法计算二阶效应系数,同时使用PMsAP软件按照屈曲分析进行二阶效应系数计算,并对两种计算结果进行比对。

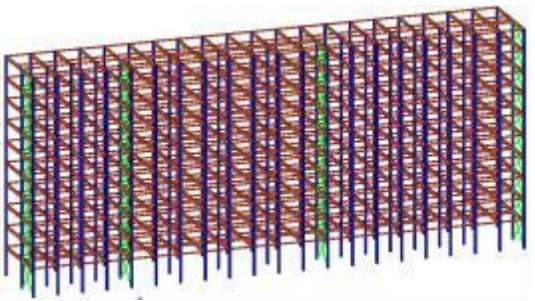


图12 某钢框架支撑案例三维模型

6.1 sATWE软件按与刚重比的关系计算二阶效应系数

sATWE软件输出的该结构在两个方向的二阶效应系数如图13所示。



图13 sATWE软件按二阶效应系数与刚重比的关系计算的结果

6.2 PMsAP按屈曲因子计算二阶效应系数

使用PMsAP软件对该结构进行屈曲分析计算该结构的二阶效应系数。由于该结构Y方向的低阶屈曲模态出现的比较靠后,因此,在计算时,取屈曲模态数为90。计算完毕得到结构沿着X方向整体屈曲的最低阶模态为第一模态,模态如图14所

示;结构沿着 Y 方向整体屈曲的最低阶屈曲模态为第 66 个模态,屈曲模态只有取得足够多的情况下才能看到沿着 Y 向结构整体的屈曲模态,第 66 阶屈曲模态如图 15 所示。

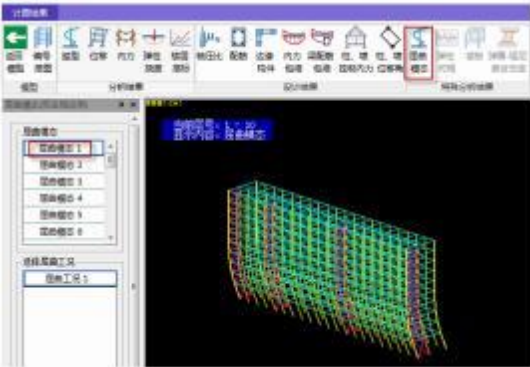


图 14 结构第一阶屈曲模态为 X 方向的最低阶整体屈曲

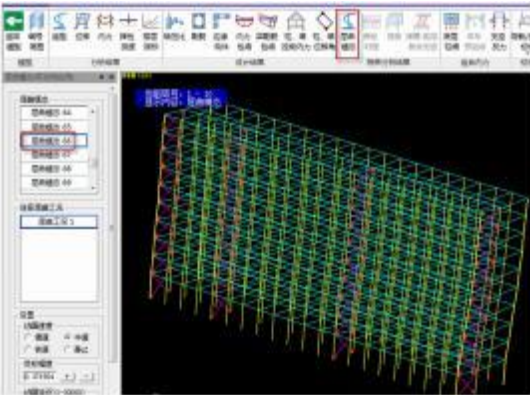


图 15 结构第 66 阶模态为 Y 方向的最低阶整体屈曲

再查看该结构计算输出的每一阶屈曲模态的屈曲因子,结果如图 16 所示。

根据计算结果,结构沿着 X 方向整体屈曲的最低阶模态为第一模态,第 1 阶屈曲因子为 2.63,因此按照屈曲分析得到的结构 X 方向的二阶效应系数为 $1/2.63=0.38$;结构沿着 Y 方向结构整体屈曲的最低阶屈曲模态为第 66 个模态,第 66 阶屈曲因子为 24.23,因此按照屈曲分析得到的结构 Y 方向的二阶效应系数为 $1/24.23=0.041$ 。

6.3 两种计算二阶效应系数方法比较

对两种方法及两个软件计算的同一结构的二阶效应系数结果对比如下表 1 所示:

通过上述的结果对比可以看出,两种方法计算的结构的二阶效应系数有别,对该框架支撑结构 Y 向的二阶效应系数结果基本一致,但是 X 方向

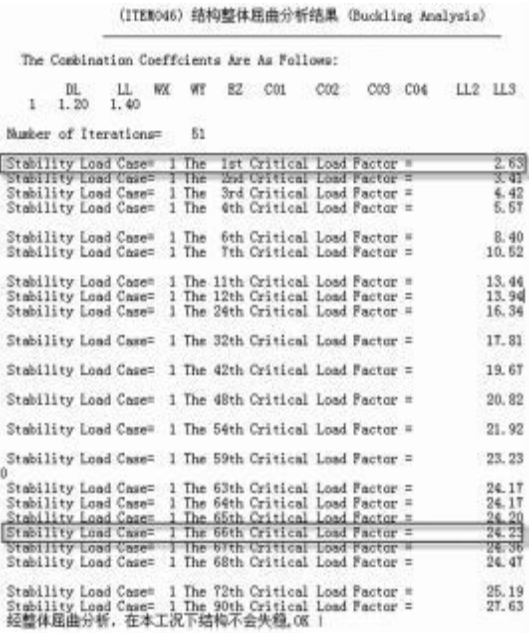


图 16 结构每一阶屈曲因子输出结果

表 1 两软件采用不同方法计算的二阶效应系数

该框架支撑 体系二阶效应 系数结果	sATwE软件 (用刚重比 计算)	PMsAR软件 (结构整体最低 阶屈曲因子)	PMsAP软件 (用屈曲 分析计算)
X方向	0.304 6	2.63	0.380 2
Y方向	0.041	24.23	0.041 3

阶效应系数差异较大,基本接近 20%,主要原因是该方向没有支撑基本接近框架。对上述案例的 X 方向添加支撑后再进行结构的屈曲分析计算该方向二阶效应系数。

6.4 对该结构 x 方向增加支撑再计算二阶效应

由于图 12 的钢框架支撑结构两种方法计算的二阶效应系数在 X 方向差异较大,因为 X 方向属于纯框架,因此,对图 12 的结构沿着 X 方向布置了两道支撑,如图 17 所示,对该工程再按照两种方法进行二阶效应系数的计算及结果比对。

采用 sATwE 软件计算之后得到的结构的二阶效应系数如图 18 所示。

采用 PMsAP 软件进行屈曲分析,得到的屈曲因子如图 19 所示。

根据计算结果,结构沿着 X 方向整体屈曲的最低阶模态为第一模态,第 1 阶屈曲因子为 7.13,因此按照屈曲分析得到的结构 X 方向的二阶效应系数为 $1/7.13=0.140 3$;结构沿着 Y 方向结构整体屈曲的最低阶屈曲模态为第 69 个模态,第 69 阶屈



图 17 钢框架支撑案例 X方向增加两道支撑后三维模型

θ_x, θ_y : 按高规表 7.5.5 计算的二阶效应系数

刚度单位: kN/m

层高单位: m

上部重量单位: kN

表 1 二阶效应系数						
层号	X向刚度	Y向刚度	层高	上部重量	θ_x	θ_y
10	50165.49	1.78e+5	3.30	8206.78	0.1420	0.0403
9	72906.82	2.70e+5	3.30	16413.96	0.1420	0.0403
8	81006.25	3.19e+5	3.30	24620.35	0.1420	0.0403
7	87496.47	3.42e+5	3.30	32827.13	0.1420	0.0403
6	96226.68	3.61e+5	3.30	42033.91	0.1420	0.0403
5	1.07e+5	3.88e+5	3.30	49040.70	0.1420	0.0403
4	1.20e+5	4.13e+5	3.30	57447.48	0.1420	0.0403
3	1.40e+5	5.03e+5	3.30	65854.26	0.1420	0.0403
2	1.82e+5	6.04e+5	3.30	73861.04	0.1420	0.0403
1	2.01e+5	5.88e+5	4.60	84906.48	0.1420	0.0403

图 18 按二阶效应系数与刚重比关系计算的二阶效应系数

The Combination Coefficients Are As Follows:												
DL	LL	NX	NY	EZ	C01	C02	C03	C04	LL2	LL3		
1	1.20		1.40									
Number of Iterations= 43												
Stability Load Case= 1 The 1st Critical Load Factor = 7.13												
Stability Load Case= 1 The 2nd Critical Load Factor = 12.47												
Stability Load Case= 1 The 3rd Critical Load Factor = 12.87												
Stability Load Case= 1 The 4th Critical Load Factor = 12.88												
Stability Load Case= 1 The 5th Critical Load Factor = 13.41												
Stability Load Case= 1 The 29th Critical Load Factor = 18.31												
Stability Load Case= 1 The 45th Critical Load Factor = 20.65												
Stability Load Case= 1 The 63th Critical Load Factor = 24.40												
Stability Load Case= 1 The 64th Critical Load Factor = 24.46												
Stability Load Case= 1 The 65th Critical Load Factor = 24.65												
Stability Load Case= 1 The 66th Critical Load Factor = 24.67												
Stability Load Case= 1 The 67th Critical Load Factor = 24.76												
Stability Load Case= 1 The 68th Critical Load Factor = 24.82												
Stability Load Case= 1 The 69th Critical Load Factor = 25.02												
Stability Load Case= 1 The 70th Critical Load Factor = 25.20												
Stability Load Case= 1 The 71th Critical Load Factor = 25.26												
Stability Load Case= 1 The 85th Critical Load Factor = 27.28												
Stability Load Case= 1 The 89th Critical Load Factor = 27.82												
Stability Load Case= 1 The 90th Critical Load Factor = 28.25												
经整体屈曲分析,在本工况下结构不会失稳,OK!												

图 19 PMsAP 计算输出加支撑后结构每一阶屈曲因子结果

曲因子为 25.02，因此按照屈曲分析得到的结构 Y 方向的二阶效应系数为 $1/25.02 = 0.040$ 。PMsAP 采用屈曲分析计算的结构二阶效应系数与 sATwE 软件采用刚重比的关系简单计算的结果一致。两种二阶效应系数计算的方法，对两个方向都是框架支撑结构的体系是一致的。两种方法在设计中都可以使用，并且计算结果也是一致的，屈曲分析唯一比较麻烦的是有可能要取更多阶屈曲模态并且对每个模态观察才能确定二阶效应系数计算需要

的屈曲模态与屈曲因子。

并且通过上述的对比可以看到，采用屈曲分析的方式进行一般钢结构二阶效应系数的计算需要找到结构某个方向最低阶整体屈曲模态，才能得到该方向的屈曲因子。但在实际工程设计中要找到结构的屈曲因子，不仅仅要取很多阶屈曲模态，还要观察每个屈曲模态，工作量比较大，并且从图 16 中也可以看到，高阶模态下的屈曲因子，结果之间差异并不是太大，要确定一个准确的因子不好把握，因此确定结构二阶效应系数也比较困难。

7 结论及设计建议

PKPM 软件可以自动计算一般钢结构的二阶效应系数，设计师可以根据软件输出的计算结果，进行设计方法的正确选择。sATwE 软件按照推导出的结构的刚重比与二阶效应系数的关系来计算一般结构的二阶效应系数；PMsAP 软件可按照钢结构新标准屈曲因子的方法计算二阶效应系数。一般钢结构二阶效应系数计算时需要注意以下几点事项：

(1) 对一般钢结构，包括钢框架支撑结构、复杂钢结构及钢结构混凝土混合结构等 sATwE 软件按钢结构标准 5.1.6 -2 公式自动进行结构二阶效应系数的计算。

(2) sATwE 软件按照结构二阶效应系数与刚重比的近似关系 $\theta_i = \frac{0.14}{R_w}$ 计算一般钢结构的二阶效应系数；PMsAP 软件可对结构进行屈曲分析，按照钢结构新标准计算屈曲因子直接得到结构的二阶效应系数，但是两种方法计算的结果有一定的差异。

(3) 使用 PMsAP 软件进行一般钢结构的屈曲分析时，需要定义 buckling 组合，并且定义永久荷载和可变荷载的分项系数。（需要注意的是：由于可靠性新标准的执行，该分项系数应修改为 1.3 与 1.5，但现阶段设计中，高规对该系数没有修改，在该文中及现有软件中均取值 1.2 与 1.4；同时通用规范已经执行，按照通用规范要求该系数应该取值为 1.3 和 1.5）

(4) 使用 PMsAP 软件做屈曲分析，根据结构最低阶屈曲模态得到结构二阶效应系数时，需要观察取到足够多的模态，并且要观察每一阶模态，确保

二阶效应系数计算的屈曲因子对应的屈曲模态是结构整体的模态,要排除可能出现的一些最薄弱构件的屈曲模态。

(5) 在实际工程设计中,采用新标准屈曲因子直接计算结构二阶效应系数虽然在 PMsAP 软件中也可实现,但存在结构两个方向最低阶整体屈曲模态不好确定的难题,并且有些情况需要计算很多阶模态才能得到,因此,在设计中建议适当选择。而按 sATwE 软件方式计算一般钢结构二阶效应系数的方法比较简单,易掌握,且也是正确的,建议在设计中使用。

参考文献

- [1] CB50017 -2017 钢结构设计标准[s] .北京: 中国建筑工业出版社 .2017 (CB50017 -2017 stelstructuredesign standard[s] . Beijing: China Architecture - Building Pres, 2017 (in Chinese))
- [2] JCJ3 -2010 高层建筑混凝土结构技术规程[s] .北京: 中国建筑工业出版社 .2010 (JCJ3-2010. Technicalcodeforconcrete structureofhigh risebuildings[s] . Beijing: ChinaArchitecture - BuildingPres, 2010 (inChinese))
- [3] CB55001 -2021 工程结构通用规范[s] .北京: 中国建筑工业出版社 .2021 (CB55002 -2021 General specification for engineering structures[s] . Beijing: China Architecture - BuildingPres, 2021 (inChinese))

基于 BIM + GIS 的宁淮城际 铁路工程项目全生命期 数字化管理研究

付海清, 黄武, 刘友松(中铁二院工程集团有限责任公司 BIM 中心, 四川成都 610031)

[摘 要] 为实现宁淮城际铁路全生命期数字化管理,提升宁淮城际铁路全生命期管理水平, 同步形成工程实体和数字档案, 构建“数字宁淮”,开展数字化铁路管理平台研发。通过 BIM模型,为各类数据提供载体,并融合至 GIS场景,搭建基于 BIM+GIS的宏观场景,为平台提供可视化场景支持。平台涵盖设计、建设、运维多个阶段,包含总览、投资、征拆、运维、数字档案等十个模块。根据项目特点建设数字底座,形成 BIM+GIS 宏观场景,基于数字底座和平台开展典型应用。研究表明,通过方案实施,能实现对设计方案的整体把控、建设情况的动态掌握、各类文件的归档跟踪和数字化运营维护,可为其他类似项目提供参考。

[关键词] BIM;GIS;铁路工程;全生命期;数字化

Research on TheDigitalManagementofRailwayEngineering ProjectsBased on BIM+ GIS

Fu Hai-ting, Huang wu, Liu you-song(BIM Center,China RailwayEryuan Engineering GroupCo., Ltd., Chengdu sichuan 610031, China)

Abstract: In ordertorealizethedigitalmanagementofthewholelifecycleofNanjingHuaiAn intercityrailway, improvethemanagementlevelofthewholelifecycleofNanjingHuaiAn intercityrailway, form engineering entitiesand digitalarchives synchronously, builda. digitalNanjingHuaiAn. and caryouttheresearch and developmentofdigitalrailwaymanagementplatform. Through theBIM model, itprovidesacarrierforvariousdata, and integratesitintotheGISscenetobuildamacroscenebased on BIM +GIS, and providevisualscenesupportfortheplatform.Theplatformcoversmultiplestagesofdesign, construction and operation and maintenance, includingten modulesuch asoverview, investment, requisition and demolition, operation and maintenance, and digital archives. Buildadigitalbaseaccordingtothecharacteristicsoftheproject, formaBIM + GIS macroscene, and caryouttypical applicationsbased on thedigitalbaseand platform.Theresearch showsthatthrough theimplementation ofthescheme, theoverall controlofthedesign scheme, thedynamicgrasp oftheconstruction situation, thefilingand trackingofvariousdocuments, and the digitaloperation and maintenancerecan berealized, which can providereferenceforothersimilarprojects.

Keywor4 s: BIM; GIS; railwayengineering; fullifespan; digitization

0 引言

近年来,我国加速推进国民经济信息化的进程,跨入了以“数字中国”、“数字城市”、“数字交通”为代表的信息技术高度集中与迅猛发展的数字

时代,数字化、信息化、智能化在各领域均取得了突破性的发展和应用,信息技术的飞速发展传统行业的变革和创新注入了新的活力,作为综合运输体系骨干的铁路行业也面临着前所未有的机遇和挑战,迫切需要提升运输组织效率、提高经营效益、优化服务品质、增强安全保障能力^[1-4]。目前,对于铁路工程项目的数字化管理研究多为单阶段,或者全生命期单专业、单应用点^[5-8],亟需开展基于多阶段、全专业的铁路工程项目全生命期数字化管理研究。故本文依托宁淮城际铁路,以 BIM 和 GIS为核

[收稿日期] 2022 -11 -15

[基金项目] 中国中铁股份有限公司科研计划项目重点课题 (Ksw&214036)

[作者简介] 付海清(1994 -),男,硕士研究生,工程师

[联系方式] E-mail:Hatch f@163.com

心开展全生命期数字化管理研究,以提升宁淮城际铁路全生命期管理水平,同步形成工程实体和数字档案,构建"数字宁淮",实现对工程项目的全生命期数字化管理。

1 工程概况

南京至淮安城际铁路位于我国华东地区江苏省和安徽省境内,线路自北向南由江苏省淮安市在建淮安东站引出,向南经淮安市洪泽区、金湖县,进入安徽省天长市(县级市)并设站,出站后线路继续向南跨过省界,经南京市六合区、浦口区,引入新建的南京枢纽第三客站南京北站。江苏省范围内新建正线长 136.693km,其中新建江苏省淮安段黄楼(不含)~苏院省界长 76.048km,新建江苏省南京段院苏省界~南京北(含)长 60.645km。

2 总体设计

数字宁淮以 BIM 技术与 CIs 技术为核心,搭建数据服务中心,并以此为中心构建数字化铁路管理平台。平台覆盖勘测设计、施工建设以及运维阶段对工程管控的需求,结合 BIM、CIs、大数据、移动互联等技术,在制度、技术等保障措施下,从标准体系建设、数据中心建设、数字底座、典型应用、数字化铁路管理平台等方面着手,将信息技术应用于项目业主管控的全过程,通过技术创新带动宁淮城际铁路建设管理模式升级。



图 1 总体架构图
Fig. 1 Overall architecture

3 数字化铁路管理平台

宁淮数字化铁路管理平台以 BIM 和 CIs 为核心,集成宁淮铁路建设单位、施工单位、运维单位、工地现场等多种管理维度数据,同时,可为其他平

台上传数据,为其他平台提供数字底座。平台纵向贯通工地现场、施工单位和建设公司各层级业务,横向分析进度、安全、质量等多维度管理数据,对宁淮城际铁路全生命期提供集中展示和智慧决策手段。



图 2 数字化铁路管理平台主界面
Fig. 2 Main interface of digital railway management platform

平台包含项目总览、投资管理、征拆管理、技术管理、进度管理、安质管理、现场监控、运营管理、维护管理、数字档案共十个模块。

3.1 项目总览

项目总览综合展示项目信息、工程概况、重难点工程、地质地理环境、工程特点、管理架构等内容。可视化呈现铁路工程线路走向、沿线情况、桥隧工程分布等概况,着重突显关键控制性工程位置和情况,以便对项目进行宏观把控。

3.2 投资管理

投资管理对项目前期、设计阶段、招标阶段、施工阶段、竣工阶段等多阶段投资管理数据进行整理统计并实现可视化大屏展示。支持对铁路建设项目施工、监理、物资、设备单位投资数据等相关信息的展示,能够对项目投资的全流程和相关文档资料进行查询、管理和展示,支持通过 BIM 和 CIs 方式展示工程项目各标段实际完成进度、投资计划和投资进度数据,便于直观对比分析,辅助管理人员科学管理投资情况。

3.3 征拆管理

征拆管理以专题地图、统计图表等多种表现形式直观地显示征拆计划、征拆进度,实现征拆实景"一张图",实现了空间交互查询、地学辅助计算和对比分析。通过对重点对象和重点进度的自动预警和推送,结合移动端 AP,实现重要进度的及时

监管。

3.4 技术管理

技术管理对各类设计变更和施工方案变更相关数据进行集成展示。跟踪显示工程项目设计变更信息与执行情况,变更金额占比等统计数据通过不同颜色区分预警,便于管理人员直观掌握工程设计变更信息;跟踪显示工程项目施工方案变更信息与执行情况,对于重大以上的方案进行重点统计展示,对于各等级方案采用饼状图展示数量占比。

3.5 安质管理

安质管理接入安全管理、质量管理功能数据,利用数据中心进行存储分析。对安全质量管理文件、安全质量培训、安全质量问题整改情况、安全质量考评考核、安全风险管控、信用评价、安全质量管理评价等内容进行安质信息综合展示。基于 BIM 模型实现安全质量异常预警报警、快速定位问题事件,对问题整改、事件处理情况进行跟踪。

3.6 现场监控

现场监控接入自动(高频)连续监测数据;重点控制性工程、主要高风险点、环境敏感点、其他重点管控工点等视频数据;集成施工期环水保过程数据资料及环境监测数据;在电子沙盘中将 BIM模型与现场各类监控点位相绑定,通过预设监控报警阈值和颜色,直观展示现场监控情况,快速定位监控问题点位,预警报警消息自动推送,实现应急指挥辅助和问题跟踪。

3.7 进度管理

进度管理通过三维 BIM 模型形象展示工程当前施工进度,用特定的颜色表示工程超前、正常和滞后的部分。结合施工计划对进度偏差自动预警、报警,量化进度偏差量,统计材料节超情况;通过对全线历史进度数据进行分析,生成直观的统计图表,通过数据服务中心利用挣值分析等算法,实现进度预期评估。

3.8 运营管理

运营管理接入车务和客运管理部门主要数据,对铁路系统运营工作数据进行汇总统计和集中展示,车务信息包括线路中的各大小车站,列车在车站范围内的运营状态、指挥调度计划,管理车站客运、货运业务情况;客运信息包括对列车工作人员、客流、车票销售情况的统计,以及对客流预测、旅客

群体分析等结果。

3.9 维护管理

维护管理接入工务、机务、车辆、电务、供电和通信 6 类维护管理部门主要数据,对铁路系统维护工作数据进行汇总统计和集中展示,包括各类维护设施设备的监测状态信息统计、预警报警提醒,备品备件库存统计、对维护工作的计划、执行、审批信息统计。

3.10 数字档案

数字档案包含前期、勘察设计、咨询、施工、竣工、运维多阶段档案统计、查询、调取和表格输出功能;按照制定的结构建立对应的类别和结构关系,对各类数字资产进行分类管理,实现多用户,多权限,多颗粒度的管理,提高数字资产安全性;用户可通过项目结构树和 BIM + ClS 的可视化方式,快速定位数字资产,高效检索调阅。

4 数字底座

数字底座是数字宁淮的基础。本项目数字底座的建设主要包含 ClS平台数据创建,BIM工程数据创建和外部数据接入三部分。

4.1 G1s平台数据

ClS平台数据用于搭建三维 ClS宏观场景,为 BIM模型和各类数据的呈现提供场景支持。主要包含地理信息数据、专题图数据及工程信息数据三部分。

地理信息数据包含由影像数据(航空测绘数据、遥感测绘数据)、基础地理信息数据(建模区域内 1:500、1:2000、1:10000 等比例尺地形图数据)、境界资料、现状地理要素有关的高程资料等数据生成的 DOM、DEM 经过处理得到的三维地形模型和三维实景模型。三维地形模型由不同精度的 DOM、DEM叠加生成,不同精度及层级 DEM和 DOM数据混合使用。三维实景模型利用倾斜摄影数据制作,主要针对重难点区域。三维地形模型和三维实景模型制作成 ClS平台支持的格式,并发布为 ClS服务接入到数字化铁路管理平台。平台可根据用户对场景的缩放,动态加载不同等级的 ClS场景。

专题图数据指影响线路方案或反映设计方案的专题信息,主要包括环保区域、不良地质、地质断裂带、比选线位方案等数据,可接入数字化铁路管理平台进行直观显示。

CIs平台中的工程信息数据主要包括工程概况、工期安排等统揽性数据,通过对这些数据进行搜集、整理、统计、分析,并将其接入数字化铁路管理平台,能够直观反映工程概况、工期安排等重要信息,便于对项目的统揽和把控。

4.2 B1M 工程数据

BIM工程数据指 BIM模型和模型上附加的各类信息。按应用场景的不同,BIM模型精度分为 LOD300 设计精度、LOD500 竣工精度。全线主要采用 LOD300 设计精度 BIM模型,重难点采用 LOD500 竣工精度模型。

搭建协同设计环境,各专业基于各自业务逻辑,在协同环境下进行 BIM设计。利用测绘资料和地质资料建立地形、三维实景和地质 BIM模型,为其他专业设计提供设计环境;开展线路 BIM设计,以线路为基线开展桥梁、路基、站场 BIM设计,在路、桥、站 BIM模型基础上,开展轨道 BIM设计,得到站前工程 BIM模型;在站前 BIM模型的基础上开展站房和站后四电等站后工程 BIM设计,得到站后各专业 BIM模型。

由于 CIs平台大多不支持 BIM类型数据格式,需要对 BIM模型在相应的 BIM平台通过插件进行数据转换。转换后的 BIM工程数据需要与 CIs进行融合处理,主要包含坐标系统融合、BIM模型与三维地形融合、BIM模型数据组织三部分。融合后的 BIM工程数据可上传至数字化铁路管理平台,为建造期和运维期提供三维信息模型支撑。

4.3 外部数据接入

为保证数字化铁路管理平台按照预定目标运行,实现对宁淮城际铁路全生命期的把控与管理,需要对外部数据进行接入。数据接入可根据实际情况采用手动填报、自动接入或两种方式相结合。

建设阶段主要有投资、技术、征地拆迁、安全、质量、进度、现场监控等数据。根据数字宁淮数据需求,可建立数字化铁路管理平台与铁路工程管理平台、监控系统等第三方平台的数据接口,将项目施工建设中的关键信息集成到数字化铁路管理平台直观呈现。通过数据交互,实现基于数字化铁路管理平台对施工建设期间的数字化管控,达到形象直观统揽全局的目的,提高项目建设和管理水平。

建立数字化铁路管理平台与第三方运维系统的数据接口,获取宁淮城际铁路运营期间各养护维

修部门的车辆运行数据、设备设施数据、工程结构数据,将运营阶段主要设备设施、重点地区的关键运维数据集成到数字化铁路管理平台进行运算处理,得到车辆、设施设备和主要工程结构健康状态,实现宁淮城际铁路数字化运维状态展示、重点运维风险预警、报警,实现养护维修从“计划修、定期修”到“状态修”的改变。

5 典型应用

5.1 重点工程三维扫描

重难点工程往往有结构复杂,如果采用传统的手段,由人工使用检测仪器对施工中构筑物的坐标位置校核,难以将复杂三维空间的构筑物具体几何尺寸进行呈现,不利于施工监控和后续施工步骤的进行。而三维激光扫描技术具有非接触性、可全天候作业、扫描速度快、实时性强、精度高、数据兼容性强、全数字化等特点,可复制已完成构筑物的真实结合尺寸和位置,发现施工问题,指导后续施工,保证施工精度,避免施工后的返工以及方案调整造成的工期延误、经费增加等情况。项目竣工验收阶段也可以利用三维扫描技术扫描竣工工程结构,并与设计 BIM模型对比,辅助项目合格验收,并形成数字档案。

5.2 重点区域征拆管理

在南京段,特别是六合区等重难点地区,以高清正射影像、三维地形、实景模型和基础地理数据为依托来开展征拆业务。将设计线位、用地红线和土地、房屋、构筑物、三电迁改等各类现场征拆数据悉数融合,形成定位准确、信息丰富、表达直观、功能完善的实景征拆一张图。结合宁淮城际铁路工程特点,对河道补偿征拆数量费用和超概现象最严重的重大迁改项目的征拆实际发生数量费用和概算数量费用突出对比显示。在征拆 app 和 web 端征拆平台录入征拆数据,并通过实现征拆项目实景浏览、进度统计、征拆计划管理和统计分析等功能,显著提升征地拆迁项目的信息化管理水平,为现场工作人员提供详尽的征拆对象信息,为管理人员提供直观、丰富、多维度的管理和分析服务。切实解决征地拆迁补偿实施过程中缺乏有效的监督和执行体系、对征地拆迁计划和进度把握不到位、征拆过程数据无法追溯、征拆资料归档不及时等问题。

5.3 基于 B1M + G1s的运行调度

接入宁淮城际铁路运行调度数据,结合全线 BIM+CIIs数据,形成全线运行调度数据的可视化集成,包含基础数据和外接口数据。基础数据包含机车车辆技术参数、实时作业车辆车号、时速、装卸作业及空重车状态、货物监探状态等数据;外接数据包含路网运行数据、外包资源等数据。结合 BIM模型及 CIIs场景,在平台中形成运行调度可视化运维管理数据,业主根据平台数据可以查看调度命令、运输资源方案、统计分情况、安全管理数据,从而形成指挥、管理、决策。

5.4 重点设备可视化运维管控

为解决传统的、采用分散的通信各系统维护管理问题,数字化铁路管理平台沿用建设期管理模型数据,对运维期重点工程设备系统进行数据集成,并结合物联网技术实现统一物联网设备告警、信息查询、可视化巡检等功能。

整合空调系统、用水系统、安防系统、监控系统等重点工程运维设备系统,开展重点设备系统可视化管控,通过后台数据库或者标准通信协议对接各数据系统。将各系统的全部管道、线路和设备与 BIM 可视化系统进行有效关联,三维场景通过数据接口实时读取系统设备的真实数据,并通过运维管控面板上的数据改变内容,监控预警报警数据,获取重点工程动态数据回传 BIM模型,当回传数据经分析超过警戒值,系统实时响应自动报警。

5.5 重点设备运维检修辅助决策

结合宁淮铁路可视化检修与三维运维管理的基础上,针对预警设备提供检修警告和数据分析,包括铁路通信信号、烟雾警告装置、售票系统、安检以及水浸等。配合告警时间,以及具体设备故障维护处理相关数据信息,以支持整个重点运维通信系统的运维管理。利用系统集成统一运维数据,软件饼状图可视化效果呈现照明、空调、屏幕、通讯与机

房等设备用能情况,并辅以柱状图展示近期内能耗与能耗变化趋势。运营人员可以掌握用能规律,用统一标准限制用能水平,发现运行中的问题和节能潜力。对出现损坏的设备,平台结合 BIM 模型 + CIIs场景,根据故障设备类型和资料数据库,及时提供设备维修资料。同时为检修人员自动派发工单,在平台大屏实时显示运维检修数据动态情况,更新检修情况,为管理层提供运维检修辅助决策依据。

6 结论

研究表明,以 BIM + CIIs 为核心的数字化铁路管理平台满足全生命周期管理需求;通过方案的实施,能实现对设计方案的整体把控、建设情况的动态掌握、各类文件的归档跟踪和数字化运营维护,实现对宁淮城际铁路全生命期数字化管理,提升管理水平,为其他铁工工程项目提供参考。

参考文献

- [1] 王同军.中国智能高铁发展战略研究[J].中国铁路,2019(1):6.
- [2] 王同军.中国智能高速铁路 2.0 的内涵特征,体系架构与实施路径[J].铁路计算机应用,2022,31(7):9.
- [3] 王焕松,于胜利,卢文龙,张敬涵.基于 BIM 的企业级铁路施工管理平台研究[J/OL].铁道标准设计:1-7 [2022-09-10]. DOI:10.13238/j.issn.1004-2954.20211020001.
- [4] 王同军.智能铁路总体架构与发展展望[J].铁路计算机应用,2018,27(7):8.
- [5] 薛彩丽.基于 BIM 的铁路建设全寿命周期投资管理研究[J].铁道工程学报,2019,36(11):5.
- [6] 杨建军.基于 BIM 的铁路工程管理平台建设研究[J].2020.
- [7] 周颖.基于 BIM 的铁路建设项目数字化协同管理体系研究[D].北京交通大学,2017.
- [8] 吕刚,刘建友,赵勇,等.京张高铁隧道智能建造技术[J].隧道建设(中英文),2021,041(008):P.1375-1384,10024-10033.

基于 PKPM-PC 的装配式建筑 装配率(国标) 计算的方法研究

胡培宁, 张盟, 赖宗睿(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 为改善目前装配式建筑国标装配率计算过程中误差大,效率低、计算细节不统一 的问题,优化国标装配率计算的效率和性能,提升建筑前期预算和审查的准确性、科学性和规范性,进行了本研究。本研究结合工程实际,对国标规范《装配式建筑评价标准》CB/T51129 各条目规定进行梳理分析,并将之整合应用在 PKPM-PC 系统,通过对模型信息的过滤提取和计算转化,最终形成完善的装配率计算书。利用该方法进行装配率的计算,可提高装配率计算的准确度,提升建筑预算和审查的科学性,推动我国建筑信息化的科学发展。

[关键词] 装配率;装配式建筑;装配式建筑评价标准;PKPM-PC

Research on Calculation Method of Prefabrication Rate(CB) of Prefabricated Building Based on PKPM-PC

Hu Pei-ning, Zhang Meng, Lai Zong-rui(Beijing GloryPKPM Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In order to improve the current problems of large errors, low efficiency and inconsistent calculation details in the calculation process of prefabrication ratio(CB) of prefabricated buildings, optimize the efficiency and performance of national standard assembly rate calculation, and improve the accuracy, scientificity and standardization of pre-construction budget and review, this study was conducted. Combined with the construction practice, this study sorted out and analyzed the provisions of each item of the national standard. standard for assessment of prefabricated building. CB/T51129, and integrated them into the PKPM-PC system. Through the filtering and extraction of model information, calculation and transformation, a perfect prefabrication ratio calculation book was finally formed. Using this method to calculate the prefabrication ratio can improve the accuracy of prefabrication ratio calculation, improve the scientificity of construction budget and review, and promote the scientific development of construction informatization in China.

Keywords: prefabrication ratio; prefabricated building; standard for assessment of prefabricated building; PKPM-PC

0 引言

装配式建筑是指利用预制部品部件,在工地施工现场用可靠的连接方式装配而成的建筑^[1]。装配式建筑在 20 世纪初开始提出,并得到了人们的关注,到 20 世纪中叶,经过英、法、苏等国的实践,装配式建筑因为其建造周期短,成本低、污染小等优点,迅速在实践各地发展开来^[2]。大力发展装配式建筑对于我国建筑工业化的整体发展,对于贯彻落实创新、协调、绿色、开发、共享五大发展理念,全面推进生态文明建设具有重大意义。装配式

建筑将以其建筑效率高、建筑绿色化、安全性能高的优点,对我国建筑行业的发展起到积极的推动作用。

预制装配率是评价装配式建筑的重要指标之一,是预制装配式建筑设计的重要参考,是制定建筑预算的重要依据,也是政府制定装配式建筑扶持政策,进行建筑审查的主要依据指标。预制装配率的准确性和规范化对于提高我国预制装配式建筑的整体质量、提升建筑工业化和绿色建筑的整体水平具有重要的推动作用。

1 PKPM-PC 简介

PKPM-PC 是中国建筑科学研究院 PKPM 软件事业部依据我国建筑行业的实际国情,结合现有的产品和规范,在与工作在建筑行业第一线的设计院、施工单位以及甲方进行合作研究、共同开发的基础上,综

[收稿日期] 2022-11-01

[基金项目] 住房和城乡建设部研究开发项目“面向智能建造全过程数据应用的装配式建筑 BIM 设计软件研发与应用”(2022-K-066)

[作者简介] 胡培宁(1990-),男,硕士研究生,工程师。主要从事 BIM 技术及装配式建筑领域应用技术及软件研发方面的研究

[联系方式] E-mail: hupeining@cabrttech.com

合中国建筑科学研究院相关领域专家的指导和建议,利用建筑信息模型(BIM)的理念和关键技术以及对我国装配式建筑现状和流程深入研究的前提下,研发出的基于我国国产 自主版权 BIM 系统—PKPM-BIM 的装配式建筑设计系统 PKPM-PC^[3]。PKPM-PC

系统在结构、建筑、水暖电等各个专业上有着很好的应用,在其协同系统的应用下,各专业相互联系,相互提资。该系统将 BIM技术以及信息化技术结合在一起,为装配式建筑行业提供 一体化的解决方案,图 1 为 PKPM-PC系统的系统结构图。

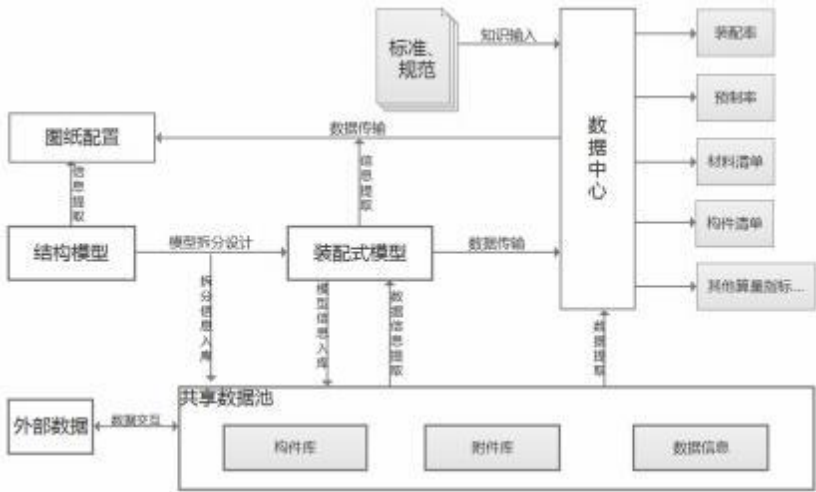


图 1 PKPM-PC系统结构图

Fig. 1 systemstructureofPKPM- PC

如图 1 所示, PKPM-PC系统以建立在 PKPM-BIM 的结构模型为最初的数据来源,在对结构模型进行预制构件类型制定和拆分之后会形成装配式模型,同时,将相关的数据信息存入到 PKPM-PC的共享数据池中。这个共享数据池是 PKPM-PC系统的基础,所有的 PC数据均保存在这里,这就在数据层面上脱离了 PKPM-BIM平台,从而保证了该系统具有很好的可移植性和平台独立性。外部数据通过共享数据池提供的接口可以轻松的与 PKPM-PC数据进行交互,大大地提升了平台数据的可延展性。使基于该平台的需求的客户化非常容易实现。

PKPM-PC的数据中心的核心数据来源是共享数据池以及平台上的项目模型。数据中心从共享数据池中采集模型的基本属性信息,比如项目信息、构件钢筋信息,构件材质、构件混凝土等级等;而数据中心从项目模型中提取构件外形信息,如项目的建筑平面面积、构件的外形尺寸、体积和重量,构件的投影面积等。另外,各种计算书的准则和规范也是数据中心的重要数据来源,数据中心会对这些准则和规范进行解读,并内化到系统代码参考数据中,对最终计算书的形成提供核心指导。

装配率统计的功能就是在数据中心中,依据装配率国标准则,对数据进行提取和筛选、经过计算和整合最终形成统计结果、输出报告文档的过程。

2 《装配式建筑评价标准》规范解读

规范解读是将计算书形成所要依据的规范转换成计算机能够识别的语言的过程^[4]。在本次研究的装配率计算方法中,规范知识来源为《装配式建筑评价标准》CB/T51129(以下称《标准》),所以本次研究的规范解读工作就是将《标准》的相关条目逐一翻译,形成 PKPM-PC系统能够识别的语言,并在装配率计算书形成过程中提过指导,以形成符合国家规范的装配率计算书,这个工作是整个方法体系的基础,也是计算书计算和形成的知识来源,处于整个方法体系的核心位置。

该《标准》的实施解决了当前装配式建筑评价工作中的一系列问题,《标准》主要有以下几个显著的内容^[5]:

首先,《标准》主要适用于评价民用建筑的装配化程度。如果评价对象时属于工业建筑,如果符合评价原则,也可以以《标准》作为参照,执行评价。

其次,针对各地装配式项目选取的评价指标和计算方法“五花八门”的现象,如有采用预制率、装配率、预制装配率等单指标,也有采用预制率和装配率结合评价的双指标现象,《标准》统一了装配式建筑的评价指标为“装配率”,这对于各地装配式建筑的统一评价具有重要意义。

第三,《标准》规定在一般情况下装配率以单体建筑为计算和评价单元,对于特殊情况而言,可以采用组团评价或者分开评价的方式。

依据《标准》的主要内容,可以归纳出其主要的特点有以下几个方面^[4]:

(1) 适用范围广。不仅是上面提到的使用的建筑类型多,从结构类型看,该标准适用于混凝土结构、木结构、钢结构、组合结构、钢混结构。本次装配率计算方法的研究主要是针对混凝土结构。

(2) 评价尺度统一。不仅在同一种类型的建筑中,《标准》对多种类型的建筑采用统一的“尺度”进行评价,这体现了评价工作的公正性和公平性,提高了评价结果的说服力,对于装配式建筑的健康发展具有积极的推动意义。

(3) 结果导向,注重实施。《标准》的评价结果以竣工的建筑情况判定,注重对实际完成情况的评价。而且为保证技术选项在施工阶段的顺利实施,《标准》鼓励项目实施方案结合各地实际情况选取。

(4) 细化分级,兼顾考虑。《标准》规定,在可进行装配式建筑等级评价的前提下,装配式建筑评价等级划分为 A 级、AA 级、AAA 级。这样不仅能满足当前装配式建筑的评价要求,也能对装配式建筑的后续发展提供标准,而且兼顾了一般项目和示范项目的需求,这对于装配式建筑的发展具有重要的推动作用。

3 装配率计算方法分析

3.1 开发语言和研发工具

PKPM-PC 系统主要是利用面向对象的编程语言 C++ 语言来研发的。C++ 语言以其运行效率高、安全性能好的特点吸引了大量的拥护者^[6]。很多大型的工程设计类软件(例如 Autodesk 公司的大部分设计类软件, Bentley 公司的部分设计类软件)的底层以及很多优秀程序的框架(如 Bost、MFC 等)都是由该语言作为主要的开发语言来开发的。此外, C++ 还有可重用性好,可移植性高的特点^[7]。

因此,为了保持系统的一致性和连贯性以及更好的兼容性,避免不同代码之间繁杂的信息交互和转换,此次基于 PKPM-PC 系统装配率计算的研发也是用 C++ 语言来实现。

目前,支持 C++ 的研发工具有很多, Visual studio(以下简称 Vs)是由 Microsoft 公司研发的软件开发环境工具集。对于 C++ 研发而言, Vs 的集成环境是基本完整的,基本包含了软件研发周期中的大部分工具。而且 Vs 集成的 Team Foundation server(一个面向互联网服务的分布式文件系统,以下简称 TFs)对于源代码管理非常方便和安全,便于对大型系统源代码进行团队级的维护和管理。本次研究的代码实现采用的研发工具为 Visualstudio 2013。

3.2 计算方法分析

一般地,基于规则的对模型的信息收集与计算一般分为四个部分,包括规范解读、模型准备、模型计算和报告输出^[8]。

3.2.1 规范解读—《标准》条目的筛选和梳理

本次方法的研究基于 PKPM-PC 平台, PKPM 平台是预制混凝土结构的装配式建筑设计平台。而标准中所涉及的装配式建筑类型还包括钢结构、木结构、钢混结构等。有鉴于此,本次研究中有必要对《标准》条目进行梳理和筛选,整理出适合在 PKPM-PC 系统设计出的建筑模型进行装配率指标的计算。

表 1 显示了在《标准》中列出的计算项和 PKPM-PC 系统相应构件的对应关系。如表中所示,对于系统可以自动计算的信息,系统提供了两种信息获取的方式:一种是在 PC 模型的基础上自动计算获取数据,另一种是用户通过输入获取相应数据。这样就在数据层面上给用户提供了更加便捷的选项,拓宽了该功能的适用范围。另外,开放数据的获取途径,使用户可以干预评价结果,提高了该功能的实用性,也提升了评价结果的准确性。规范解读工作完成之后,就要进行装配率计算的工作,具体地,装配率计算流程如图 2 所示:

3.2.2 模型准备

装配率计算功能的应用对象是用户在 PKPM-PC 系统建立的装配式建筑模型。

一种情况是,用户要形成最终的装配率评价结果,那么为了保证评价计算结果的准确性和全面

表 I 各评价项的计算内容

Table T上 ecaluationcontentofeac上 evaluationitem

评价范围	代号	评价项	软件计算项	计算内容	数据来源
主体结构	q _{1a}	柱、支撑、承重墙、 延性墙板等竖向构件	柱、承重墙中参与结构受力部分、 可计人预制的现浇部分	体积	PC模型/用户输入
	q _{1b}	梁、板、楼梯、阳台、 空调板 等构件	梁、板、楼梯、阳台、空调板、 可计人现浇的预制部分	投影面积	PC模型/用户输入
围护墙和内隔墙	q _{2a}	非承重围护墙非砌筑	非承重围护墙中的预制墙	正投影面积	PC模型/用户输入
	q _{2b}	围护墙与保温、隔热、装饰一体化	"	"	用户输入
	q _{2c}	内隔墙非砌筑	内隔墙中的预制墙	正投影面积	PC模型/用户输入
	q _{2d}	内隔墙与管线、装修一体化	"	"	用户输入
装修和设备管线	"	全装修	"	"	用户输入
	q _{3a}	干式工法的楼面、地面	"	"	用户输入
	q _{3b}	集成厨房	"	"	用户输入
	q _{3c}	集成卫生间	"	"	用户输入
	q _{3d}	管线分离	"	"	用户输入



图 2 装配率计算流程

Fig. 2 Calculation process of prefabrication ratio

性 ,进行该功能的前提是该模型已经按照设计者的设计意图依次完成了结构建模 ,预制指定和模型拆分而已经形成了初步的信息较为完备的装配式建筑模型 。

另外一 种情况 ,用户在设计的末期或者中期 ,想查看已经设计完成的部分的装配率评价情况 ,这种情形下运行装配率计算功能就不必形成最终的

装配式建筑模型 。图3显示了完成部分拆分的PKPM装配式模型 。

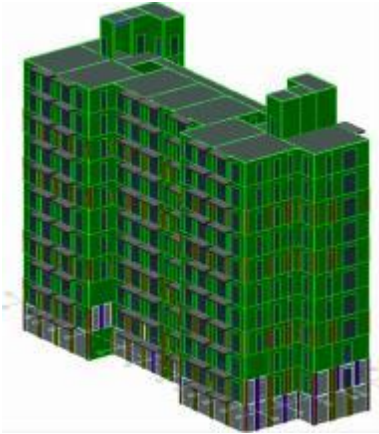


图 3 PKPM装配式设计模型

Fig. 3 Model designed by PKPM-PC

3.2.3 模型计算

用户点击装配率计算命令 ,弹出装配率计算参数设置对话框 。用户可以在这个对话框中设置装配率计算的各项参数 。计算参数分为总体信息和分项信息 。总体信息指的是可以总体设置的一些参数 ,比如项 目信息、输出格式 ,地下室层数(默认地下室不参与计算)等 。另外,《标准》第三章基本规定中 3.0.3 条规定装配式建筑应满足"采用全装修"的条件 。所以 ,是否采用全装修也放在了总体信息中 ,如果用户没有采用全装修 ,那么可以认定

该建筑不是装配式建筑。总体信息设置界面如图 4 所示。



图 4 总信息设置界面

Fig. 4 Page of general information setting

用户在项目树中点击各个分项，可以设置各分项的计算参数。图 5 显示了 q_{1a} 竖向构件的参数设置界面。



图 5 主体结构竖向构件参数设置

Fig. 5 Page of parameter setting for vertical component

如果所要计算的模型不涉及某个评价分项所包含的内容，那么可以在这个分项的设置界面中取消勾选“包含该项”，这样根据装配率计算公式（如公式 1 所示），该项的分分值将会计算到 Q₄ 中参与计算。

$$P = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{100 - Q_4} \times 100\% \quad (1)$$

如果用户勾选“自动计算该项”，那么该项的数值将会从模型中提取；如果不勾选，该项的数值由用户手动输入。

点击确定，系统开始就进行装配率计算过程。

首先，系统进行数据搜集的工作。系统以 q_{1a} ~ q_{3d} 的顺序，根据用户设置的参数，依次进行数据

的搜集。接下来，系统进行数据计算。系统利用搜集的数据，结合《标准》的计算规则进行各分项的计算，根据评价分值，最终计算出装配率的数值。再结合《标准》3.0.3 的规定以及主体构件预制部品比例对项目进行认定评价，认定评价结果有两种——非装配式建筑与装配式建筑，最终，如果项目被认定为装配式建筑，则系统针对装配率数值进行评级，最后评出目标模型的装配式建筑的评价等级。

3.2.4 报告输出

报告输出的方式有两种——表格展现或者输出计算书，表格展现会将评价结果以及各分项的中间计算信息，包括参与计算的各自然层的数据，各自然层结构构件以及预制构件的计算数据直接以表格的形式展现在系统中，用户可以将这个结果表格导出为 Excle 格式文档。如果输出为计算书，装配式评价结果以及中间详细数据将会形成详尽的装配率计算书，并保存为 word 文档。

3.3 案例验证

用于验证本计算方法的案例模型是一栋 8 层的体居住建筑，该模型在 PKPM-PC 系统创建，部分墙、梁、板、楼梯、悬挑板采用了预制构件。图六显示了验证模型的整体（左侧）和第一层（右侧）的构件情况。



图 6 验证模型

Fig. 6 Verification model

应用本研究所提出的方法进行国标装配率的计算，得到了本栋建筑的装配率计算结果。图 7 所示为计算结果汇总表，图 8 为水平构件统计表。

进行计算书的导出操作，可以得到模型装配率计算详尽的计算书。图 9 显示了验证模型装配率计算书的目录。图 10 显示了计算书项目评价部分内容。

通过本案例模型的验证，可以得出采用本方法预制建筑模型进行装配率计算，结算结果详实准



图 7 装配率计算汇总表

Fig. 7 summarytableofprefabrication ratio



图 8 水平构件统计表

Fig. 8 Tableofhorizontalcomponent



图 9 装配率计算书 目录部分

Fig. 9 Catalogueofthecalculationshet



图 10 装配率计算书项目评价部分

Fig. 10 Projectassessmentincalculation
shetofprefabrication ratio

确,可以大大提高计算的效率和精确度。达到了本次研究的预期效果。

4 结论与展望

本文以 PKPM-PC预制装配式建筑设计系统为平台基础,利用《标准》所包含的计算规则作为知识来源,利用C++编程语言和 Vs 开发软件对 PKPM-PC系统进行系统开发,研发了适用于《标准》的装配式建筑装配率计算功能,为国标装配率的自动计算提供了一套准确、高效、可行的计算方法。

但是,本次研究工作还有一定的局限性,作为分阶段的研究成果,本次研究还没有将一些相对重要的、体现与用户交互的功能考虑在内,如参与计算的构件类型的交互指定,手动输入各评价分项的比例、输出文档形式的用户配置等。在接下来的日子里,我将会继续在本领域进行研究,并将精力放在上述功能点的实现上,争取在现有功能基础上,早日使装配率计算功能更加智能化。

参考文献

[1] 李丽红,隋思琪,付欣,齐宝库.装配式住宅构件预制率的核算及构件类型的选择[J].建筑与预算 2015 年第 7 期,总第 231 期 48 -52 页

[2] 刘俊娥,高思,郭章林.BIM技术在装配式建筑中的应用探究[J]. ValueEngineering. 16 1

[3] 朱磊,肖丽萍,郑鹏,艾显书.装配式混凝土结构基于 PKPM-BIM平台的设计应用[J].建设科技-BIM与装配式建筑 2017 年 15 期 24 -26 页.

[4] 胡培宁,张金月.基于 BIM和 Ontology的建筑防火设计自动审查的方法研究[J].工程管理学报 第 31 卷第 2 期 2017 年 04 月.

[5] 张艾荣《装配式建筑评价标准》解读[J].城市住宅 2019 年 01 期

[6] 张驰.基于C++语言的跨平台软件开发的设计与实现[D].北京:北京交通大学,2010

[7] 蓝雯飞.C++面向对象编程思想探讨[J].计算机工程与应用,2004 (22)

[8] C.Eastman , Jae-min Le, Yeon-suk Jeong, Jin-kook Le. Automatic rule- based checking of building designs[J]. Automation inConstruction 18 (2009) : 1011 -1033 .

基于 Modelica 与 x.Flow 的 实验室通风系统协同仿真研究

雷雪莲, 张慎, 陈菡, 王义凡, 吴燕(中南建筑设计院股份有限公司工程数字中心, 湖北武汉 430072)

[摘 要] 实验室运行过程中常伴随着污染性气体产生,要求采用全新风通风系统进行机械通风,因此设计人员在设计过程中需要考虑到伴随的高能耗问题。本文以实验室房间与通风系统为研究对象,对实验室通风过程进行数值模拟,采用 Dymola 与 X-Flow 对实验室进行协同仿真,分别模拟定风量通风系统(CAV 系统)、变风量通风系统(VAV 系统)和直自适应式通风系统(UBC 系统)下的实验室运行工况,分析了不同控制情境下的室内污染物排出、室内温湿度与通风系统能耗的差异。结果表明,基于 Modelica 与 X-Flow 的协同仿真的实验室通风系统的数值模拟能够对通风系统在各工况运行行下的不同指标进行评价,对解决实验室的安全性、舒适性与节能的多目标优化问题有着重要意义。

[关键词] 实验室设计;系统仿真;modelica;CFD

Co-simulation of Laboratory Ventilation system Based on Modelica and X-Flow

LeiXue-lian, Zhang shen, Chen Han, wang yi-fan, wu yan (Centralsouth Architectural Design Institute Co., Ltd., wuhan 430072, China)

Abstract: Laboratory operation process often accompanied by gas pollution, require the use of a fresh air ventilation system for mechanical ventilation, to ensure the safety of the researchers, at the same time, the operation of the full fresh air demand caused a huge energy consumption, in the traditional design approach to safety as the only index to carry on the design, easy to cause huge energy waste, therefore, Designers should also consider energy consumption during the design process. Based on the laboratory room and ventilation system as the research object, a numerical simulation of the process of laboratory ventilation of the laboratory by Dymola and X-ray Flow collaborative simulation, simulated air ventilation system (CAV), variable air volume (VAV) system and ventilation system direct adaptive ventilation system (UBC) under the laboratory condition, It is of great significance to analyze the differences of indoor pollutant discharge, indoor temperature and humidity and ventilation system energy consumption under different control situations to solve the multi-objective optimization problem of laboratory safety, comfort and energy saving.

Keywords: laboratory design; system simulation; modelica; CFD

0 引言

通风系统的设计是实验室设计过程中至关重要的环节,实验室的通风系统直接关系到实验人员的健康,因此需要巨大的通风量维持室内的空气质量,其 HVAC 系统的能耗远高于一般房间的能耗^[1];同时,实验室存在不同数量通风柜的运行工况,要求通风控制系统灵活性较好且管网系统抗干扰能力强。

为了研究实验室通风效率和通风控制系统的

问题,本文建立实验室气流的 CFD 模型和不同控制系统下的通风系统模型,基于 FMI 标准接口进行联合仿真,对不同控制输入下的通风柜排风进行 CFD 模拟,并围绕仿真结果展开分析。

1 项目概况

1.1 实验室通风需求

该实验室为某疾控中心的生物实验室的通风系统设计为例,该实验室面积为 120m²,层高 3m,共有 2 台落地通风柜,6 台普通通风柜,《化工采暖通风和空气调节设计规范》^[2]规定,化验室房间的最小换气量一般在 6 次/h~8 次/h。为了满足净化需求,选用 1 台 11kw 容量 15 000cmh 的排风机和 1 台

[收稿日期] 2022-11-08

[作者简介] 雷雪莲(1997-),女,硕士,工程师。主要从事建筑能源系统仿真与计算流体力学方面的研究

[联系方式] E-mail:459959377@qq.com

7kw容量4 000cmh 的送风机。实验室的运行需求如下:

(1) 室内空气净化需求。室内空气需满足实验室工艺要求的洁净度需求,同时控制工作过程中产生的有害气体,保证操作人员的安全。

(2) 室内舒适度需求。在高频率通风的情境下,维持室内适宜的温度和相对湿度。

(3) 室内压力需求。保持正确的气流流向和压力梯度,将室内压强维持在 $-5\sim 0\text{Pa}$ 。

1.2 通风系统设计需求

从实验室通风系统的具体需求,设计人员还需要从以下几个方面考虑实验室的运行需求^[3]:

(1) 通风柜操作口气流控制。实验室通过通风柜或排风罩等排风设备排出实验产生的有害气体,以保证实验人员的安全,若通风柜操作口面风速太小,则污染物排出的速度不够,有害气体会扩散至室内,若风速过大,则会形成涡流,将柜内污染性气体带出。因此通风系统应实现对通风柜操作口面风速的控制,实验室内通风柜在无人操作时应维持最小面风速 0.3 m/s ,进行实验操作时操作口应为 0.5 m/s 的面风速。

(2) 通风控制和运行操作设计。实验室运行过程中,室内的换气频率和通风效率由合理的设备启停控制保证。除此之外,实验室操作应考虑实验人员的使用习惯以及功能需求,以保证实验室运行的安全和绿色。

(4) 绿色节能需求。实验室的通风系统不同于普通房间,通风系统一般要求常年运行,且没有回风及余热回收的设计,加上全新风的通风要求,使得实验室运行能耗高出普通房间 $5\sim 10$ 倍,因此需要在设计过程中考虑实验室的能耗控制。

2 实验室通风系统仿真模型

为了实现对实验室通风系统不同优化目标的仿真分析,需要根据研究对象和优化目标的不同建立相应的模型,本文基于 FMI标准接口,采用协同仿真的方式对实验室通风问题进行数值模拟。实际建模通过 Dymola建立通风系统仿真模型,基于 X-Flow建立 CFD模型,对实验室通风系统进行数值模拟。

2.1 实验室建筑结构 CFD模型的建立

室内空气计算的房间区域包括外围护结构和

室内布设的各种设备,根据建筑设计在 catia中建立房间结构的 BIM模型,导入基于格子玻尔兹曼法的计算流体力学软件 X-Flow。

选用 X-Flow 内置的大涡模拟 Dynamic smagorinsky模型,该模型对内流场分析有着良好的适用性,模型的计算网格设置为 0.01 m 。

为了研究通风柜操作台中污染性气体排出对室内气流的影响和对室内空气质量的影响,根据相关标准^[3]中的实验数据,在通风柜口设定气体污染源,模拟实验过程中的有害气体排放;在实验室的新风人口、通风柜操作口设定质量流边界,模拟室内机械通风的过程。

2.2 实验室通风系统 Modelica 模型的建立

实验室通风系统由通风设备和控制系统构成,对室内气流的控制通过对室内送排风设备的控制实现。

(1) 设备模型

通风系统的设备包括风机,管道,三通,电动阀,手动阀,文丘里阀,通风柜等,根据通风系统设备的设计,基于开源建筑能耗系统 Modelica库 BuildingsLibrary对通风系统建立相应的模型。

其中,模型中的管道模型的压降参数通过管道尺寸计算;风机设备的容量的通过计算实验室换气次数得到,根据风机容量选定相应的风机型号,并在模型中输入风机厂家的实测风机曲线。

BuildingsLibrary库中没有可以直接调用的通风柜和文丘里阀的对应模型,本文基于 Buildings Library根据通风柜和文丘里阀的工作特性进行二次开发,得到如图所示的文丘里阀和通风柜模型,文丘里阀见图 1,通过 PI控制器对阀的开度控制实现文丘里阀的控制功能,通风柜识别柜门开度,通过面风速计算并控制空气质量流量。

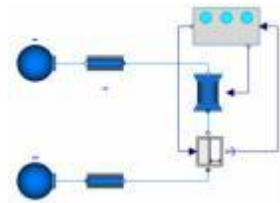


图 1 基于 Modelica语言开发的文丘里阀-通风柜模型

(2) 控制系统模型

控制系统主要包括室内压力平衡控制和风机

频率控制,室内压力平衡通过送风阀和补风量实现。实验室进排风机有多种控制系统^[4],实验室通风在设计最初期时采用固定风量控制(Constant Air Volume, CAV)系统,采用固定频率的风机,通风柜开启时风机按最大风量运行;随后发展至变风量系统(Variable Air Volume, VAV),其中变风量系统根据实验室内通风柜的使用状态调节风机,实现对面风速的控制;在其基础上衍生的自适应控制系统(Usage Based Control, UBC),通过感应器对通风柜前是否有人进行检测,从而自动调节面风速,以满足通风柜的运行需求。

定风量控制系统中,风机始终按最大风量运行、或仅有高风量和低风量两种运行状态,室内气流和风量控制通过文丘里阀实现。

变风量控制系统中,进排风机通过各通风柜门的开度控制风机频率,以保证排风主管道的静压。

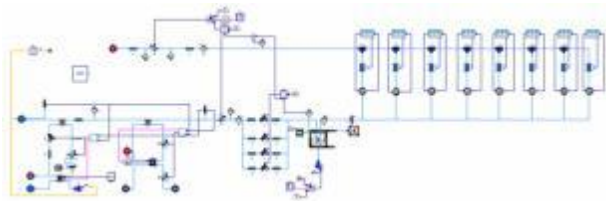


图 2 UBC控制系统下通风系统 Modelica模型

2.3 基于 CFD.Mo4elica 的协同仿真模型

为了解决不同软件平台的数值仿真计算数据交换和耦合的问题, FMI(Functional Mock-up Interface) 标准被提出,其通过接口文件和 C 代码来支持动态模型的数据交换和联合仿真。

X-Flow 内置有 FMI 标准的接口,可以直接导出 FMU 接口文件,实现与 Dymola 的数据交换,进行协同仿真。

选取 X-Flow 中的通风柜操作台和新风入口的质量流量作为 FMI 标准输入值,导出 FMU 接口文件。将 FMU 文件导入 Dymola 接入质量流数据。

3 数值仿真与结果分析

本节通过对 CAV、VAV、UBC 三种控制下通风系统的模型进行联合仿真计算,以同时使用系数取 0.6~0.7 为标准,设定工况同时开启 5 台通风柜,并对三种控制系统下的设备能耗和室内污染物浓度进行比较。

3.1 污染物

在实验室其中一个通风柜的操作台设置污染物标量,污染物释放时间为 1~10 s。

其中 CAV 系统和 VAV 系统的通风柜面风速通过手动调节通风柜门开度变化,因此通风柜面风速相同,UBC 系统在感应到人离开后定时自动关闭。在模型中通风柜前设置测点,在 dymola 中设置不同工况下在污染物停止释放后的通风柜最大风量运行时长,污染物浓度的计算结果如图所示。

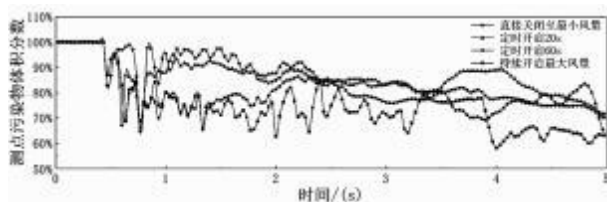


图 3 污染物浓度时间历程线

由图 3 可以观察到,污染物停止释放后,污染物浓度程波动下降趋势,下降速率不同。在最小通风量下,污染物排出速率缓慢,浓度随时间变化不均,测点浓度有回升;最大风量持续 20 s 时,在最大风量下,污染物浓度下降较快,随后下降速率变慢,但测点浓度几乎没有回升;最大风量持续 60 s 和持续以最大风量运行时,污染物浓度在一分钟内稳定下降至 70%,随后均承波动下降的趋势,最大风量时的下降速率更快。

可以得到结论,在实验停止时,即污染物停止释放后,操作台前污染物浓度仍较高,因此需要持续运行一段时间,使污染物浓度降低。考虑到试验人员的操作习惯,在 UBC 控制系统下,设置合适时长的感应控制时间能够维持实验室安全性和节能性,同时避免了因为实验人员不良操作习惯造成的浪费。

3.2 实验室能耗

选取两日的实验室运行情况进行数值模拟,对通风系统的运行能耗进行数值模拟,其中 VAV 系统和 UBC 系统中设备运行状态相差相差不大,因此本节对 CAV 系统和 VAV 系统的能耗进行比较。

从图 4 计算结果可以看到,通风系统的 Modelica 模型可以根据不同的使用状态,模拟不同工况下的设备运行状况。

可以得到结论,在通风柜同时使用系数为 0.6~0.7 时,VAV/UBC 系统的运行能耗远低于 CAV 控制系统,变频风机相比定频风机约节能 90%,在

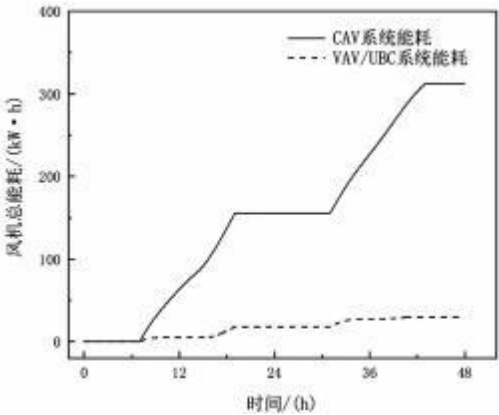


图 4 通风系统运行能耗曲线

使用系数更低时 ,节能空间更大 。

4 结论

本文基于数值模拟软件 Dymola和 X-Flow对实验室通风系统的运行进行了计算 ,模拟不同控制系统下的设备运行 ,并计算相应的碳排放量 ,可以得到以下结论:

(I) 方法上 ,Dymola和 X-Flow的协同仿真可以解决实验室设计过程中设备运行与通风能效的问题 ,将系统模型与计算流体力学模型相结合 ,能够解决实验室设计过程中不同领域的设计问题 。

(2) 计算结果上 ,从安全性层面 ,CFD计算结果表明在 UBC系统设置合适时长的感应控制时间能够维持实验室运行的安全性 ,同时避免不良操作习惯造成的能源浪费;从能耗角度 ,通过 Dymola系统模型的计算 ,变风量系统相比定风量控制系统运能约节能 90%以上 。

(3) 本文提出的设计方法适用于新建和改造实验室的通风系统设计 ,在双碳背景下 ,可以为新建实验室的不同设计方案同时进行安全性评估和提供碳排放量参考 ,为改造实验室的不同方案计算碳排放的减排潜力 ,并提供相应的设计建议 。

参考文献

[1] 陈静 .实验室排风柜的安全特性及节能效果研究 [D] .同济大学 ,2007 .

[2] HC/T20698 —2009 ,化工采暖通风与空气调节设计规范 [s] .

[3] 中国建筑科学研究院 .CB50346 —2004 生物安全实验室建筑技术规范[s] .北京:中国建筑工业出版社 .2004 .

[4] 任松保 ,喻文娟 .化学实验室通风节能改造案例分析[J] .洁净与空调技术 ,2018 (2) :4 .

[5] 刘坡军 .医疗检验实验室通风柜变风量运行特性分析及节能研究[D] .华南理工大学 .

[6] 国家机械工业局 .排风柜(JB/T6412 -1999) [s] .北京: 国家机械工业局 ,1999 .

基于实际工况的 sATWE 剪跨比计算应用分析

李健¹, 史建鑫¹, 孙雪², 赵昱璐¹ (1.北京构力科技有限公司,北京 100000;2.广联达梦龙有限公司,北京 100085)

[摘 要] 首先介绍了规范对剪跨比的定义及规定,从理论分析的角度对剪跨比的两种计算方法:广义算法和简化算法进行了详细的推导,并分别介绍了剪跨比对梁及柱破坏形态的影响。然后介绍了 sATWE 在墙柱剪跨比计算中的基本思路与计算流程,阐述了考虑到实际工况的复杂情况 sATWE 在广义算法与简化算法之间相互取值选取的最新应用。

[关键词] 剪跨比;sATWE;混凝土;破坏形态;计算流程

Application Analysis of sATWE Shear Span Ratio Calculation Based on Actual Engineering Conditions

Li Jian¹, Shi Jian-xin¹, Sun Xue², Zhao Yu-lu¹ (1.Beijing Guoli Technology Co., LTD, Beijing 100000;2.Glodon Melrodragon Limited, Beijing 100085)

Abstract: At first, introduced the definition and regulation of shear span ratio, Then from the perspective of theoretical analysis, two calculation methods of shear span ratio: generalized algorithm and simplified algorithm are deduced in detail. The influence of shear span ratio on the failure modes of beams and columns is introduced respectively. In the end, Not only explained the computed mode and calculation process of sATWE in the calculation of shear span ratio of wall column, but also introduced the new application of sATWE in the calculation of shear span ratio.

Keywords: shear span ratio; sATWE; concrete; destruction form; calculating process

0 引言

剪跨比作为衡量构件发生剪切破坏难易程度的一个重要指标,对梁、柱以及墙的破坏形态具有很大的影响。在 sATWE 的计算中有关墙、柱剪跨比的计算取值一直是用户关心的问题,本文在理论层次及程序计算流程方面进行了相关分析,并对用户反应的重点问题进行了详细介绍。

1 规范规定

1.1 《GB50010-2010》2.1.22 术语部分定义^[1]

剪跨比 ratio of shear span to effective depth 截面弯矩与剪力和有效高度乘积的比值。

1.2 《GB50010-2010》6.3.4 计算受剪承载力时提到

当仅配置箍筋时,矩形、T形和 I 形截面受弯构

件的受剪承载力应符合下列规定:

$$V \leq V_{cs} + V_p \quad 6.3.4-1$$

$$V_{cs} = \alpha_c \cdot V_{cs} b h_0 + f_y \cdot \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad 6.3.4-2$$

$$V_p = 0.05 N_{p0} \quad 6.3.4-3$$

式中: V_{cs} 为构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值; V_p 为由预加应力所提高的构件受剪承载力设计值; α_c 为斜截面混凝土受剪承载力系数,对于一般受弯构件取 0.7; 对集中荷载作用下(包括作用有多重荷载,其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力的 75% 以上的情况)的独立梁,取 α_c 为 $1.75/(\lambda+1)$, λ 为计算剪跨比,可取 λ 等于 a/h_0 。当 λ 小于 1.5 时,取 1.5,当 λ 大于 3 时,取 3, a 取集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离。

1.3 《GB50010-2010》6.3.12 计算偏压构件受剪承载力时提到

矩形、T形和 I 形截面的钢筋混凝土偏心受压构件,其斜截面受剪承载力应符合下列规定:

[收稿日期] 2022-11-09

[作者简介] 李健(1993-),男,硕士,工程师

[联系方式] E-mail: sunx-h@glodon.com

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_y \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.07 N \quad 6.3.12$$

其中: λ 为偏心受压构件计算截面的剪跨比, 取为 $M/(Vh_0)$; N 为与剪力设计值 V 相应的轴压力设计值, 当大于 $0.3f_c A$ 时, 取 $0.3f_c A$, 此处, A 为构件的截面积。

计算截面的剪跨比应按下列规定取用:

a) 对框架结构中的框架柱, 当其反弯点在层高范围内时, 可取为 $H_n/(2h_0)$ 。当 λ 小于 1 时取 1; 当 λ 大于 3 时, 取 3。此处, M 为计算截面上与剪力设计值 V 相应的弯矩设计值, H_n 为柱净高。

b) 其他偏心受压构件, 当承受均布荷载时, 取 1.5; 当承受符合本规范第 6.3.4 条所述的集中荷载时, 取为 a/h_0 , 且当小于 1.5 时取 1.5, 当 λ 大于 3 时取 3。

1.4 《GB50011-2010》6.2.9 对剪跨比的规定^[2]

钢筋混凝土结构的梁、柱、抗震墙和连梁, 其截面组合的剪力设计值应符合下列要求:

跨高比大于 2.5 的梁和连梁及跨高比大于 2 的柱和抗震墙:

$$V \leq \frac{1}{V_{RE}} (0.20 f_c b h_0) \quad 6.2.9-1$$

跨高比不大于 2.5 的连梁、剪跨比不大于 2 的柱和抗震墙部分框支抗震墙结构的框支柱和框支梁、以及落地抗震墙的底部加强部位剪跨比应按下列式计算:

$$V \leq \frac{1}{y_{RE}} (0.15 f_c b h_0) \quad 6.2.9-2$$

式中: λ 为剪跨比, 应按柱端或墙端截面组合的弯矩计算值 M^c 、对应的截面组合剪力计算值 V^c 及截面有效高度 h_0 确定, 并取上下端计算结果的较大值; 反弯点位于柱高中部的框架柱可按柱净高与 2 倍柱截面高度之比计算;

1.5 对《GB50011-2010》6.2.9 剪跨比计算的条文说明

2 剪跨比概念理解

剪跨比 $\lambda = \frac{M}{Vh_0}$ 的实质是截面上压应力 σ 与剪

应力 T 的比值关系, 压应力 σ 与剪应力 T 决定了主应力的方向和大小, 必然对斜截面的抗剪性能和破坏形态起着重要影响。所以: 剪跨比包含在受剪承

6.2.9 框架柱和抗震墙的剪跨比可按图 15 及公式进行计算。

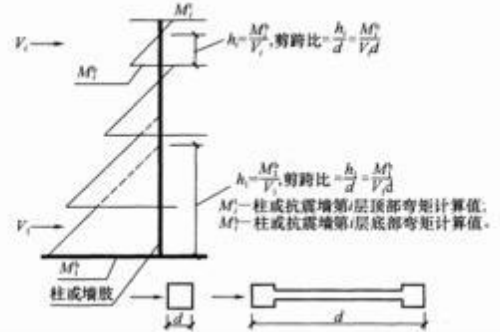


图 1 框架柱和抗震墙剪跨比计算

载力公式中。具体推导如下

(1) 截面上某点正应力 $\sigma = \frac{M}{I_z} y^{[4]}$, y 为该点到

中性轴的距离, 当 $y = \frac{h_0}{2}$ 时为正应力最大值 $\sigma_{\max} = \frac{Mh_0}{2I_z}$, (I_z 为截面惯性矩, 对矩形截面 $I_z = \frac{bh_0^3}{12}$, b 为矩形截面宽, h_0 为矩形截面有效高度)。

(2) 截面上某点剪应力为 $T = \frac{V}{2I_z} \left(\frac{h_0^2}{4} - y^2 \right)^{[4]}$,

如图 2 所示其剪应力最大值为 $y = 0$ 时 $T_{\max} = \frac{Vh_0}{8I_z}$,

其截面平均剪应力为 $\frac{V}{bh_0}$,

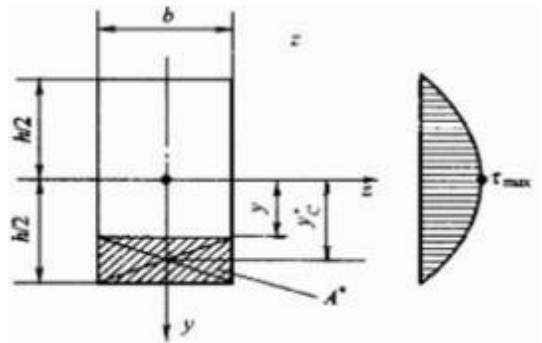


图 2

(3) 分别比较同一截面上压应力与剪应力的关系: 其中最大压应力与最大剪应力的比值为: $\frac{\sigma_{\max}}{T_{\max}} =$

$\frac{Mh_0}{2I_z} \cdot \frac{8I_z}{Vh_0} = 4 \left(\frac{V}{Mh_0} \right)$, 最大压应力与平均剪应力比值为 $\frac{\sigma_{\max}}{\tau} = 8 \cdot \lambda$

$$\frac{\frac{6M}{bh_0^2}}{V} = 6 \left(\frac{M}{Vh_0} \right), \text{ 因此规范取 } \frac{M}{Vh_0} \text{ 作为剪跨比的实质}$$

上是取截面上正应力 σ 与剪应力 T 的比值关系。

总结以上推导:剪跨比是使截面产生弯曲的应力 σ (压应力) 与使截面产生剪切的应力 T (剪应力) 之间的比值,是衡量构件发生剪切破坏难易程度的一个指标。剪跨比大,对于荷载数值的增加弯矩表现的更加敏感,更容易发生弯曲破坏;剪跨比小,剪力对荷载变化更加敏感,更容易发生剪切破坏。因此,斜截面的抗剪承载力 Q , 剪应力 T 、及受压区相对高度 ξ 等均随剪跨比的增加而减小,压应力 σ 则随剪跨比的增加而增加^[5]。

3 梁的剪跨比及对其破坏形态的影响

3.1 梁剪跨比计算

广义算法:^[6]

$$\lambda = \frac{M}{Vh_0} \tag{I}$$

简化算法:简支梁上剪跨比为集中荷载作用点到支座边缘的最小距离 a (a 称剪跨) 与截面有效高度 h_0 之比,以 $\lambda=a/h_0$ 表示^[1]。

简化算法推导如图 3 所示,对于承受集中荷载的梁,截面 C 的剪跨比为: $\lambda=\frac{M}{Vh_0}=\frac{Fa}{Vh_0}=\frac{a}{h_0}$,即等于剪跨跨长 a ,与截面有效高度 h_0 之比,

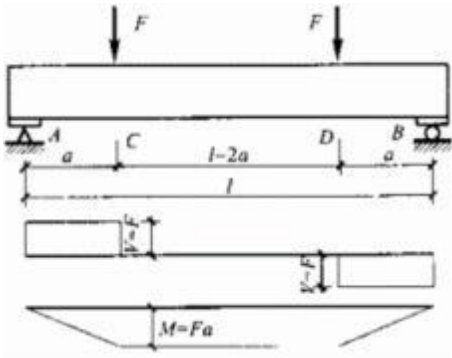


图 3

在其它因素相同时,对承受集中荷载的梁抗剪强度将随剪跨比的增大而降低。在剪跨比大于 3 之后,趋于平稳影响逐渐减小^[7];对于承受均布荷载作用的梁而言,构件跨度与截面高度之比(简称跨高比)是影响受剪承载力的主要因素,随着跨高比

的增大受剪承载力降低^[6]。

3.2 剪跨比对梁破坏形态的影响

表 1 剪跨比对梁破坏形态的影响^[6]

梁	$\lambda < 1.5$	$1.5 < \lambda \leq 3.0$	$\lambda \geq 3.0$
破坏形态	斜压破坏	剪压破坏	斜拉破坏

剪跨比影响梁的传力机制

剪跨比较小时(小于 1.5),剪力对荷载变化更敏感),开裂后剪压区是拱式传力机制,破坏形态是斜压破坏,受剪承载力由混凝土抗压强度确定;



图 4 斜压破坏

剪跨比增大(大于 1.5),梁的传力机制由拱式传力机制过渡到梁式传力机制过渡,其特征是当加载到一定阶段时斜裂缝中的某一条发展成为临界斜裂缝,临界斜裂缝向荷载作用点缓慢发展,剪压区高度逐渐减小^[8]混凝土被压碎,梁丧失承载能力,极限承载力由混凝土抗拉强度决定的;

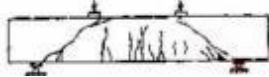


图 5 剪压破坏

剪跨比过大(大于 3,弯矩对荷载变化更敏感)时是斜拉破坏,传力机制为梁式传力机制,极限承载力由混凝土的抗拉强度决定,所以混凝土规范 6.3.12 对斜截面受剪承载力的规定中 $V \leq \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0$ 用 f_t 混凝土轴心抗拉强度而不是 f_c 混凝土轴心抗压强度进行计算。

4 柱的剪跨比及对其破坏形态的影响

4.1 柱剪跨比计算

公式算法:

$$\lambda = \frac{M}{Vh_0} \tag{2}$$

简化算法:当框架结构中框架柱的反弯点位于柱高中部时,可取 $\lambda=H_n/(2h_0)$ ^[1], H_n 为柱净高;当 $\lambda < 1.0$ 时,取 $\lambda=1.0$;当 $\lambda \geq 3.0$ 时,取 $\lambda=3.0$ 。

柱简化算法推导如下:

框架柱中反弯点大都接近中点,当框架柱中反

弯接近中点时: $M = Vx(H_n/2)$, H_n 为柱子净高,带人 $\lambda = \frac{M}{Vh_0}$ 于是化简之后就得到规范《CB50010-2010》6.3.12 的剪跨比的简化公式: $\lambda = H_n/(2 \times h_0)$, h_0 为柱截面有效高度。

4.2 剪跨比对柱破坏形态的影响

表 2 剪跨比对柱破坏形态的影响			
柱	$\lambda < 1.5$	$1.5 \leq \lambda \leq 2.0$	$\lambda \geq 2.0$
类型	极短柱	短柱	长柱
破坏形态	剪切斜拉破坏	剪切破坏	多发生弯曲破坏

剪跨比 $\lambda \geq 2$ 时(柱反弯点在柱高度 H_0 中部时即 $H_0/h_0 \geq 34$ [2]), 简称为长柱, 只要按照构造配置横向钢筋, 尚能保构件有一定的延性, 一般破坏形式都为弯曲破坏 [9]。

剪跨比 $\lambda = 1.5$ 到 2.0 时, 简称为短柱(短柱反弯点靠近柱端), 多数会产生斜裂缝导致剪切破坏 [10], 但当提高混凝土强度或配有足够的横向钢筋时, 也可能出现延性较好的剪切受压破坏。当受拉钢筋配筋率过大时, 则可能出现粘结型破坏。一般在短柱中应当计算斜截面抗剪强度。

剪跨比 $\lambda < 1.5$ 时, 简称为极短柱, 反弯点靠近柱端或没有反弯点, 非常容易产生脆性剪切破坏, 因此需要同时采取高强度混凝土及高配箍率等措施, 否则难以保证有效的延性 [9]。

从柱反弯点位置分析, 短柱反弯点靠近柱端或无反弯点, 长柱反弯点靠近柱中。抗震设计的框架结构柱, 柱端剪力一般较大, 从而剪跨比入较小, 易形成短柱或极短柱, 产生斜裂缝导致剪切破坏。柱的剪切受拉和剪切斜拉破坏属于脆性破坏, 在设计中应特别注意避免发生这类破坏。

5 程序中柱剪跨比计算流程

柱剪跨比计算流程如图 6 所示。

6 程序中剪力墙剪跨比实现流程

剪力墙剪跨比实现流程如图 7 所示。

7 程序中使用简化算法所得剪跨比进行托底取值原因

结合规范《CB50011-2010》6.2.9 中对墙、柱剪跨比计算图示进行分析, 对于多层建筑来说墙、柱

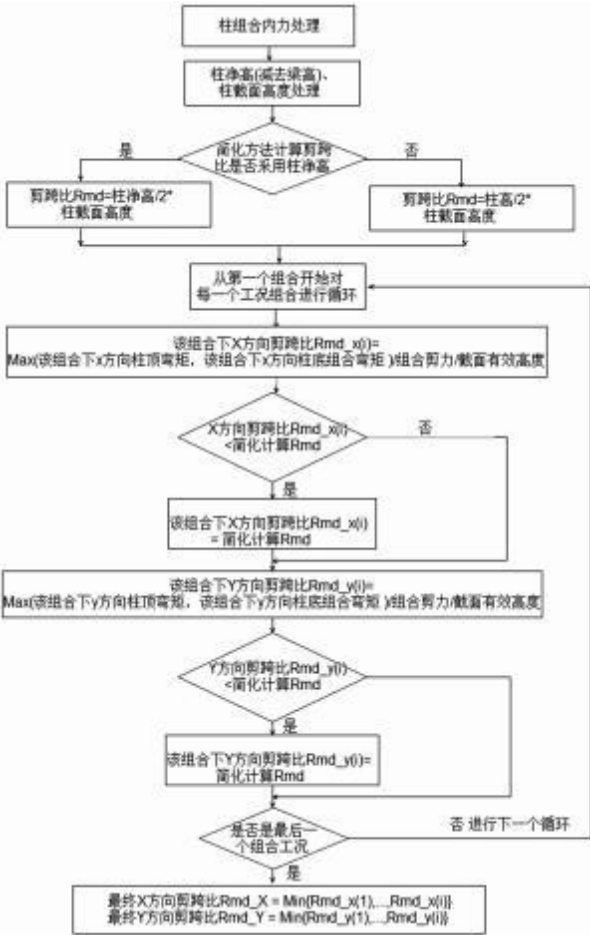


图 6 sATwe混凝土柱剪跨比计算流程

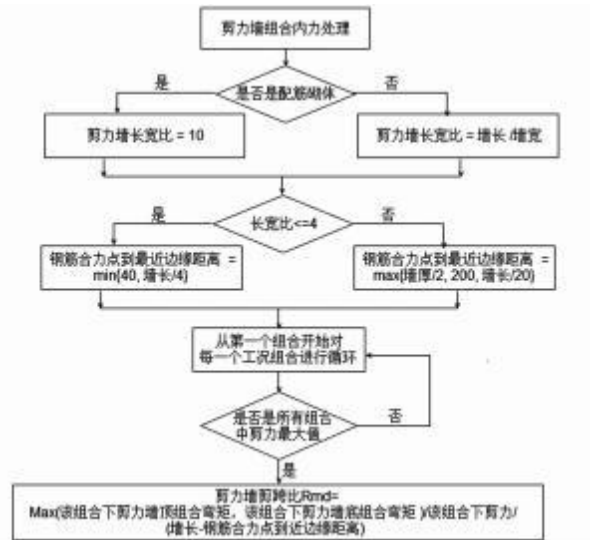


图 7 sATwe混凝土墙剪跨比计算流程

线刚度比较小, 特别是底部几层, 由于受柱底嵌固的影响且梁对柱的约束弯矩比较小, 一般情况下反

弯点高度会比柱高的 一半高的多, 大概为 $2/3$ 净高的位置, 甚至不出现反弯点, 因此简化算法计算结果偏小且不具有普遍性, 而符合力学定义的广义算法 $\lambda = \frac{M_c}{V_c h_0}$ 计算所得的剪跨比更准确、适用性更好且由上推导广义算法一般比按简化算法所得的剪跨比要大的多。

但程序在进行计算时为了考虑到不同振型的相关性使计算结果更接近实际工况, 在广义算法 $\lambda = \frac{M}{V h_0}$ 进行剪跨比计算时, 使用的弯矩 M 剪力 V 的是 C0C(完全二次项组合法) 组合后的内力, (即取各振型反应的内力平方与不同振型耦连项总和的方根作为总反应的振型的内力)。

C&C法计算内力的具体计算公式为:

$$M_{EK} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m |\beta_{jk}| M_j M_k} \quad (3)$$

$$V_{EK} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m |\beta_{jk}| V_j V_k} \quad (4)$$

β_{jk} : j 振型与 k 振型的耦连系数; M_{EK} : C0C 计算之后的地震作用标准值的弯矩; V_{EK} : C0C 计算之后的地震作用标准值的剪力(此公式仅用于解释 C0C 组合力的过程)。

由于特殊工况时耦连系数及特殊振型下弯矩及剪力会出现极小值的情况, 以至于最后使用 C0C 计算后的内力 M_{EK} 、及 V_{EK} 进行剪跨比计算得到的 $\lambda_{EK} = \frac{M_{EK}}{V_{EK}}$ 也会出现极小值甚至于小于简化算法, 显然在特殊算例或特殊工况下采用内力耦合的剪跨比计算值 λ_{EK} 并不能反映实际的工况。

为了避免使用 C0C 组合后内力计算所得的剪跨比出现极小值不能反映实际工况的特殊情况。因此程序在执行过程中首先使用简化算法计算结果作为最小值, 当公式算法所得结果大于简化算法所得结果时, 取公式算法所得剪跨比进行后续计算。反之, 当公式算法所得计算值小于简化算法时说明该 C0C 组合之后的内力在进行剪跨比计算时不具有代表性, 从而选用简化算法所得计算值托底作为剪跨比进行后续计算。

参考文献

- [1] CB50010-2010 混凝土结构设计规范[s].北京:中国工业出版社, 2010.
- [2] CB50011-2010 建筑抗震设计规范[s].北京:中国工业出版社, 2010.
- [3] JCJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[s].北京:中国工业出版社.
- [4] 徐芝纶. 弹性力学简明教程[M]. 高等教育出版社, 2013.
- [5] 蒋大骅. 钢筋混凝土梁抗剪强度的一个新解[J]. 土木工程学报, 1984 (03): 23-34.
- [6] 沈蒲生. 混凝土结构设计原理[M]. 北京:高等教育出版社, 2012.2: 109-111.
- [7] 钱国梁, 何英明, 陈跃庆. 对小剪跨、小跨高比梁受剪承载力计算的探讨[J]. 水运工程, 1994 (08): 54-58.
- [8] 蒋宁. 剪跨比为 1.5 的无腹筋简支梁受剪性能试验研究及有限元分析[D]. 重庆大学, 2005.
- [9] 胡德鹿. 日本短柱委员会试验研究成果简介[J]. 建筑结构, 1982 (03): 66-68.
- [10] 王蕾. 浅谈高层建筑中短柱问题的问题及改善措施[J]. 建筑科学, 2012 (02): 204.

基于 3DEXPERENCE 平台的 管道支吊架建模

李井义, 王杰(中南建筑设计院有限公司, 湖北武汉 430071)

[摘 要] 为解决在 3DE(3DEXPERENCE) 平台下创建支吊架模板时型材类型不可变更问题,提升支吊架的创建效率。本文提出了一种基于 3DE 平台的管道支吊架建模方法。该方法通过 CAA(Component Application Architecture) 二次开发方式,构建自定义支吊架特征;通过将型材截面参数和类型作为自定义支吊架特征属性,实现支吊架模型型材类型的自由切换;在此基础上,对支吊架特征进行产品封装,通过实例化产品参考达到批量创建支吊架的目的。本文研究结果表明对支吊架特征定义与产品封装的整个过程,能有效提高支吊架模型可变自由度及创建效率。

[关键词] 支吊架; CAA 二次开发; 3DEXPERENCE 平台; BIM

Modeling of Pipe Hanger Based on 3 DEXPERENCE Platform

LiJing-yi, wang Jie(Central-south Architectural Design Institute, Wuhan Hubei 430071)

Abstract: In order to solve the problem that the profile type cannot be changed when constructing the hanger template under the 3 DE (3 DEXPERENCE) platform, the creation efficiency of the hanger is improved. This paper presents a modeling method of pipe hanger based on 3 DE platform. This method constructs the custom support hanger characteristic through the CAA secondary development way, by using these section parameters and types of the profile as the characteristic attributes of the custom hanger, the free switching of the profile types of the hanger model is realized. On this basis, the characteristics of the hanger product packaging, through the instantiation of product reference to achieve the purpose of batch creation hanger. The research results of this paper show that the whole process of feature definition and product packaging can effectively improve the variable degree of freedom and rapid creation of the hanger model.

Keywords: hanger; CAA secondary development; 3 DEXPERENCE platform; BIM

0 引言

BIM 即建筑信息模型,由 Chuck Eastman 和 Robert Aish 提出的建筑描述系统与建筑模型的概念发展而来。它依据三维数字技术将建筑项目运行过程中的各种数据集成,实现对整个项目进行全生命周期管理。利用 BIM 技术不仅能够对建筑模型进行直观的展示,还能实现数据贡献,提升各专业在项目实施过程的协同能力,使建筑能够像汽车、飞机行业一样进行精细化管理,为建筑行业的数字化转型奠定了基础^[1-3]。在管道工程领域,应用 BIM 技术可以在设计阶段完成碰撞检查,提前发现施工过程中可能出现的错误,及时进行必要的修改,该过程在提升效率的同时也能够保证工程质量。但

是由于管道支吊架种类多、模型复杂,不同的公司所使用的类型也不一致。市面上用于 BIM 应用的软件很难提供通用的支吊架模型,需要在 BIM 软件的应用过程中结合切实的业务需要进行二次开发^[4-5]。

目前,市面上有多种用于 BIM 的成熟商业软件,包括 Revit、0BD、CATIA、Rhino 等。Revit 在国内的 BIM 技术应用中使用较为广泛,本地化功能相对成熟,但其在异性构建处理方面的表现不及 0BD 和 CATIA。CATIA 作为一款三维设计软件,在混合建模、参数化设计以及模型精度方面具有明显优势^[6-7]。目前,已应用与异性建筑、桥梁工程、幕墙等土木工程领域。将 CATIA 三维设计能力与达索的其他产品集为一体的 3DE(3DEXPERENCE)平台,能够为建筑行业提供一套集设计、施工、运维于一体的全生命周期管理解决方案。利用 3DE 平台进行管道支吊架布置时,需要提前准备好项目实施

[收稿日期] 2022 -11 -05

[作者简介] 李井义(1997 -),男,硕士

[联系方式] E-mail:2471713388@qq.com

所需的模板库。合理的参数化设计是提高模板通用性的必要条件,这要求设计人员具备较高的设计水平和丰富的实践经验。对于尺寸变化的支吊架,通过参数化驱动即可由单一模板生成不同尺寸的支吊架模型,但是对于型材类型变化的支吊架,通常单一模板并不能满足要求,需要根据型材类型创建不同的模板。该过程需要耗费大量的时间,影响项目实施进度的同时增加成本消耗。

基于在 3DE 平台上创建支吊架模板时存在的问题,本文利用该平台开放的 CAA 开发框架进行二次开发,提出了一种快速创建支吊架模型的方法。详细描述了通过自定义支吊架特征的方式,实现对支吊架的参数化设计,并在此基础上完成支吊架由特征到产品的封装和批量创建操作。提高在 3DE 平台下创建支吊架的效率,同时为基于该平台进行二次开发提供参考。

1 平台及开发方式概述

1.1 3DEXPERENCE 平台

3DEXPERENCE 软件平台的概念由达索系统于 2012 提出,该平台将达索系统的其他软件产品线如 CATIA、ENOVIA、DELMIA 等集为一体,能够在各产品线间实现数据共享,达到单一数据源的目的。通过整合各产品线的优势,在单一平台上能够为飞机、汽车、船舶以及土木工程领域提供完备的产品全生命周期解决方案。

1.2 基于 3DE 平台的二次开发技术

3DE 平台作为一个集多应用于一体的通用软件平台,为满足各专业用户能够快速设计符合各自国家或企业标准产品的需要。平台提供了多种二次开发方式以满足客户定制化需求,包括自动化应用程序接口 (Automation API)、组件应用架构 (Component Application Architecture, CAA)^[9-10]。Automation API 属于进程外的一种开发方式,它较进程内的开发方式运行速度更快,能够实现对软件功能的集成与扩展,但存在功能受限的局限性,无法满足底层开发的需求;CAA 所能扩展和集成的范围更广,能够应用于底层开发,它所提供用于 3DE 平台二次开发 API 库,采用 C++ 语言编写,具备运行速度快、性能高优势。采用哪种开发方式需要结合实际业务需要进行选择。本文通过自定义特征进行支吊架建模,模型参数相关数据需要调整平台

资源库,这些操作更近底层。因此本文选用 CAA 开发方式以满足实际需求。

2 支吊架模型需求分析

在传统的管道设计过程中,支吊架的布置是在满足规范的前提下,现场施工方按需确定支吊架的类型及安装位置^[10]。本文利用二次开发方式建立对应的自定义支吊架特征。

在管道支吊架安装过程中,支吊架是沿管道轴线方向进行布置;因此,所定义的支吊架特征应以管道轴线作为创建支吊架特征的输入条件之一,管道上轴线上一点作为定位点,墙、梁或板、柱表面作为支吊架的支撑面。即使相同类型的支吊架,在实际安装过程中吊杆和底托的型材类型也不相同,需为用户提供可供选择型材类型的交互界面,使用户可以根据需要实时修改支吊架模型的上型材类型;此外,安装支吊架时,通常同一条管道线路上支吊架类型相同。为实现支吊架的快速创建,可以现有模型为参考批量创建,并且提供相应的工具能够为快速生成的支吊架参数进行修改。

3 支吊架特征实现

在现代三维辅助设计软件中,普遍采用基于特征的建模方法进行模型的表达,该方法能够较为全面描述几何模型,除了能够表达基本的几何外形外还附带其他工程语义。利用 3DE 平台建模时,用户交互创建的所有特征被统一组织在结构树下 3Dshape 节点内。根据特征所表示的内容不同,可将结构树上的特征分为几何特征和非几何特征两大类。其中几何特征除具有几何与拓扑信息外还包含其他工程语。因此,为完整的表达支吊架的几何外形,自定义支吊架特征应定义为几何特征类型。此外,为了便于后期支吊架的干涉检查和预留安装空间,需将支吊架的几何外形定义为包络体而非实体。

3.1 自定义支吊架特征基本流程

在 3DE 平台下,所有特征对象的创建是通过应用程序实例化特征对应的 startUp 实现。startUp 可看作是储存于目录文件(文件后缀为 CATfct)中的特征模板,它包含所定义特征的基本数据结构。因此,定义支吊架的流程主要可分为两大步:(1)创建包含 startUp 的目录文件。(2)定义和实现与特征

行为相关的接口。

包含特征数据模型的目录文件,可由开发平台提供的 CATfctAssistantEdiotr工具编译 0sM文件创建,0sM是一种专门用于描述目录。为使自定义支吊架特征满足输入条件简单、型材类型与参数便于修改的要求,将特征模板的内的基本数据结构分为三类:(1) 输入条件参数。以点、线、面三个几何特征作为创建支吊架特征的输入参数,其中点将作为支吊架的定位点,线为其方向参考线,面为吊架的支撑面。(2) 支吊架尺寸参数。由双精度类型的实数定义,用于控制支吊架吊杆之间的间距以及其他相关尺寸。(3) 型材参数。型材参数包括型材截面尺寸参数和一个用于表示型材类型的整型参数 (Type) 组成。

定义好目录文件后要实现特征的创建,还需要为自定义的支吊架定义对应的接口 以及将其整合到应用程序内,该过程需要现实标准特征行为对应的接口,由于 自定义支吊架特征定义为包络体,在创建目录文件时,特征模板继承自通用的几何特征类型 CeometryElement3D。自定义的支吊架特征部分行为可通过继承获得,仅需实现少量接口,即可实现新特征的整合。需要支吊架特征实现的主要接口和对应的功能如表 1 所示。

表 1 特征主要实现接口

Table1	T上 emaininterfaceto implement
接口名	功能
CATIFmFeatureBehaviorCustomization	创建特征结果
CATIReplace	实现替换输入条件
CATIInputDescription	特征插入有序几何集

3.2 支吊架模型程序实现

自定义特征的几何外形和拓扑结果是通过 CATIFeatureBehaviorCustomization接口提供的更新机制创建。每次修改特征对应的属性值后,通过更新机制都可以重新计算特征的拓扑结果,使特征外形能够实时更改。首先,通过系统提供的交互式机制,利用选择代理(CATPathElementAagnet)依此选取一个平面,可以是特征或拓扑子元,管路的轴线并在上面创建一个特征点,以这三个元素作为创建支吊架特征的输入。特征点对应的坐标作为支吊架局部坐标系的原点,过原点参考直线方向创建的向量为 X轴;原点与其在支撑面上的投影点构成的向

量为 Z轴,指向支撑面方向为正;Y轴由 X轴与 Z轴计算得到。坐标系构建完成后,根据型材截面参数在 XY坐标平面内利用几何工厂接口 (CATCeofactory) 创建型材截面的轮廓线,并根据所创建的轮廓线,利用拓扑操作 (CATCMCreateTopskin) 获取型材截面对应的拓扑结果并根据拓扑倒圆角操作完成型材截面边界的处理。由支吊架的尺寸参数确定各杆件的空间位置,通过 CATransfoManager将 XY平面内创建的型材截面已复制模式进行空间位置的变换。最后,利用型材截面以坐标轴方向进行扫掠操作,并利用布尔运算将扫掠结果进行合并,从而完成特征结果的构建。

不同规格的型材截面尺寸参数不一致,在程序中预设每种规格型材对应的参数,会导致代码臃肿同时还会增加工作量,也不便于新规格的添加。得益于 3DE平台下的规格捕捉与重用模块,可将不同规格的型材截面尺寸参数,创建为资源表并将其挂接到对应的合作区,通过读取配置的资源表获取不同的型材规格。利用下拉列表将其组织到创建自定义特征的用户界面内,如图 1。用户通过交互界面选取对应的型材类型和对应的规格,完成特征参数的修改。在更新机制的作用下实时计算特征的几何外形,实现支吊架杆件型材类型和尺寸可变,增加支吊架模型的灵活性。

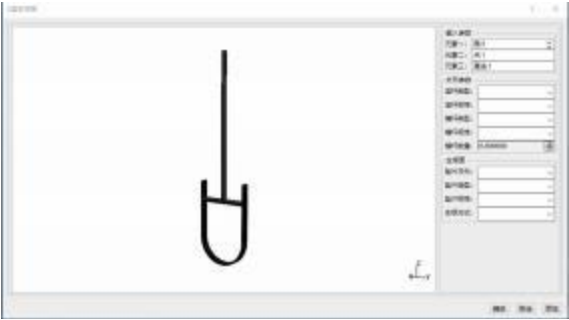


图 1 支吊架用户界面

4 支吊架产品封装与修改

通常一栋建筑内的管道系统所需的支吊架数量巨大,如将所有类型相同的支吊架放到一个零件下,单个零件的数据量过大,即会影响文件创建和打开的效率,同时由于支吊架沿管路布置时所处的空间位置不同,不利有位置的调整。为解决上述缺

陷,每个不可共享的展示下仅 一个支吊架特征,通过将不可共享的展示聚合到 一个物理产品节点下实现支吊架产品封装。在支吊架安装过程中,通常情况下相邻连接管路上的支吊架类型相同,但是存在管径变化和支吊架支撑面不在同一 平面内的情况,如有的支撑面位于楼板或梁下表面。因此支吊架产品因具备批量创建和单独修改的能力。以现有的支吊架产品为参考,通过实例化其参考可以批量生成多个支吊架产品;由于实例化的是产品节点,每个实例化后的产品具有相同的展示,即批量创建的产品仅指向 一份流对象,可以减少整个建筑支吊架产品的数据量。为了使批量创建的支吊架产品能够跟随管径变化自动更改模型,可在数据库中拷贝实例参考模型,通过实例化拷贝的参考,可达到与原有支吊架产品断参效果,实现产品级修改且不对原来的支吊架模型产生影响。

5 实例

为验证本文开发的 自定义支吊架特征程序的可靠性及稳定性,以单杆 U型吊架为例进行功能测试,如图 2。具体步骤如下:



图 2 单杆 U型吊架

- 1) 以交互方式选取楼层天花板作为支吊架的支撑面,管道轴线为方向参考线,并通过指示代理在参考线上创建支吊架在管路上的定位点。
- 2) 根据需要在交互界面提供的下拉列表中选择对应的型材类型和规格,通过预览按钮,显示不同规格和型材类型对应的支吊架模型。
- 3) 由交互式方式选取结构树上现有的支吊架模型,以其参考进行实例化操作,批量创建支吊架产品,并于原生工程模板实例化对比,如表 2。

表 2 实例化对比

Table2	Comparison of different instantiation		
实例化方式	支架数量/个	时间/s	模型大小/MB
参考实例化	864	109	7.665
原生模板实例化	200	432	37.1748

测试结果表明程序能够及时响应用户操作,可根据需要实时更改支吊架型材类型和规格。满足支吊架根据需要更改型材类型的要求,同时需要指出的是自定义特征方式创建支吊架较手工调用模板的方式创建支吊架的效率有明显提升,且自定义特征的自由对相对于模板更高。

6 结论

本文以 3DEXPERENCE平台下构建管道支吊架模型为切入点,针对现阶段构建支吊架模板库时,模板的自由度不高且单一模板无法满足型材类型变化的需求,每种型材类型需要单独创建模板,模板的创建和实例化效率较低等问题。提出了一种基于自定义特征的管道支吊架模型构建方法。通过在特征模板(startUp)内定义不同型材类型和截面参数属性,可实现支吊架杆件型材类型和规格的自由切换。此外,通过对支吊架产品的封装可快速实现支吊架批量创建,同时在一 定程度上实现减小建筑整体支吊架模型的大小。通过实例验证表明,利用二次开发方式,以自定义特征方式创建支吊架模型的方式稳定可靠性,有助于实现支吊架模型的快速创建。

参考文献

[1] 赵全斌,程浩,于欣玉.基于 BIM 的抗震支吊架编码体系与智能设计研究[J].土木建筑工程信息技术,2022,14(02):58-63. Zhao Qianbin, Cheng Hao, Yu Xinyu. Research on coding system and intelligent design of anti-seismic supports and hangers based on BIM [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2022, 14 (02): 58 -63 (in Chinese)

[2] 于欣玉.基于 BIM 的抗震支吊架智能设计与工程应用研究[D].山东:山东建筑大学,2020. Yu Xinyu. Research on intelligent design and engineering application of anti-seismic support and hanger based on BIM [D]. shandong: shandong Jianzhu University, 2020 (in Chinese)

[3] 刘济凡,熊峰.基于 BIM 的管道支吊架辅助布置系统[J].土木建筑工程信息技术,2015,7(01):30-36. Liu Jifan, Xiong

- Feng. Design and ArrangementsystemofPipelineHangersbased on BIM [J] . JournalofInformation Technology in Civil Engineering and Architecture, 2015 , 7 (01) : 30 -36. (in Chinese))
- [4] 彭起,张燎原.基于 BIM软件的支吊架建模二次开发[J] .中国勘察设 计, 2021 (08) : 76 -79 .Peng&i, ZhangLiaoyuan. secondarydevelopmentofhangermodelingbased on BIMsoftware [J] . ChinaEngineering Consulting, 2021 (08) : 76 -79 (in Chinese)
- [5] 满延磊,吴杰,张其林,等.基于建筑信息模型的支吊架全过程设计系统[J] .同济大学学报(自然科学版), 2019 , 47 (10) : 1383 -1389 .Man Yanlei, wu Ji, Zhang&ilin, et. al. wholeprocessdesign systemforsupportand hangerstructures based on BIM [J] . JournalofTongjiUniversity(Natural science) , 2019 ,47 (10) :1383 -1389 (in Chinese)
- [6] 刘薇娜,贾帅帅.基于 CATIA二次开发的非标准件参数化设计[J] .自动化技术与应用, 2017 ,36 (07) :43 -46 .Liu weina, Jiashuaishuai, ParametricDesign ofnon- standardpartsbased on CATIAsecondarydevelopment[J] . TechniquesofAutomation and Applications, 2017 ,26 (07) :43 -46 (in Chinese)
- [7] 王海涛,陈顺怀.基于 CATIA二次开发的浅吃水肥大船隧道双解型线参数化设计[J] .船海工程, 2012 ,41 (05) : 39 -42 . wangHaitao, Chengsunhuai. Parametricdesign oftunneltunnel- stern ofHypertrophicshalowdraftshipusingAPlinCATIA[J] . ship- Ocean Engineering, 2012 ,41 (05) :39 -42 (inChinese)
- [8] 彭欢.基于 V5 Automation 的 CATIA二次开发技术研究[J] .电子机械 工程, 2012 , 28 (02) : 61 -64 .PengHuan. studyon secondarydevelopmenttchnologyforCATIA based on V5 Automation [J] . Elector- MechanicalEngineering, 2012 , 28 (02) :61 -68 (in Chinese))
- [9] 梁岱春,张为民,隋立江.浅析基于 CAA 的 CATIA二次开发[J] .航空制造 技术, 2012 (10) : 65 -68 .Lian Daicun , Zhang weiming, suiLijiang. BrifAnalysisison secondaryDevelopment ofCATIA based on CAA [J] . AeronauticalManufacturing Technology, 2012 (10) :65 -68 (inChinese)
- [10] 杨搏涛.基于 Revit的 自动化管道支吊架系统应用研究及开发[D] .河北: 河北科技 大学, 2021 .YangBotao. Application research and developmentofautomated pipelinesupportand hangersystembased on Revit[D] . Hebei: HebeiUniversityof scienceand Technology, 2021 (inChinese)

PKPM 与 Robotstructure软件 模型复建的实现

童大云, 臧丽, 杨双舟(北京构力科技有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 为了解决 PKPM结构软件与 Autodesk RobotstructureAnalysis结构软件对同一 工程分析计算需要重复建模的问题, 研究 PKPM二次开发中的 JwD数据文件格式和 R0B0T-API二次开发技术。提出使用 s&Lite库读取 JwD文件中的结构模型数据到数据集, 将 PKPM独特的工程概念模型数据转成有限元概念的模型数据。借助 R0B0T-API提供的二次开发功能读取有限元模型数据在 Robotstructure中进行自动建模。案例分析表明, 复建模型与原模型的构件类型及数量、截面属性、前三阶振型等指标是一致的, 使用此方法生成模型数据是完整、准确的。

[关键词] PKPM; RobotstructureAnalysis; 二次开发; 数据接口

studyon softwareModelTransformation between PKPM and RobotstructureAnalysis

Tong Da-yun, Zang Li, yang shuang-Zhou(PKPM TechnologyCo.,Ltd, BeiJing 100013, China)

Abstract: In ordertosolve theproblemthatthesameprojectneedsrepeated modelingbyPKPM structuresoftwareand Autodesk Robot structureAnalysisstructuresoftware, theJwDdatafileformatand R0 B0 T- APIsecondarydevelopmenttechnologyarestudied. Itis proposed touses& Litedatabasetoread structuralmodeldatafromJwDfiletoDatasetand convertmodeldataofPKPM intofinite elementconceptmodeldatainRobot. Read thefiniteelementmodeldatawiththeR0 B0 T- APIand caryoutautomaticmodelingin Robotstructure. Casestudyshowsthatthecomplexmodelisconsistentwith theoriginalmodelin termsofcomponenttypeand quantity, section property, firstthreeordermodeshape, etc., and themodeldatagenerated bythismethod iscompleteand accurate.

Keywor4 s: PKPM; RobotstructureAnalysis; secondarydevelopment; datainterface

0 引言

PKPM结构软件是工程师熟知的 结 构 设 计 软 件, 具有优秀的交互界面, 鲜明的工程理念, 较高的建模效率等特点^[1]。Autodesk Robotstructure Analysis是一款国际广泛认同的有限元结构计算与设计软件, 主要应用领域包括房建, 市政, 水利, 桥梁, 石化工程^[2]。该软件具有强大的分析功能, 支持多国语言, 内置多个国家的结构设计规范及标准截面库, 可以无缝地与 Autodesk Revitstructure软件进行数据交换。

随着工程设计行业 BIM技术应用的深入, 以及国际工程业务的开展, 结构软件间互相校核、BIM全生命周期数据传递, 与国外同行沟通等场景下, 都

需要进行结构模型转换工作^[3]。手动翻模需要消耗大量重复劳动, 且容易出错。目前, 市面上还未发现能够实现 PKPM 结构模型自动转换为 Robot structure模型功能的成果。综上所述, 研究通过程序进行不同软件间自动模型转换技术, 提高建模效率是一项有意义的工作。

本文研究了 PKPM二次开发技术, 使用数据接口文件 JwD 及 Robotstructure二次开发工具 R0B0T-API进行模型数据转换。提出使用 s&Lite 及 AD0.NETDataset组件解析 PKPM 软件的 JwD 数据文件, 获取模型几何、截面、工况、荷载等信息, 通过 R0B0T-API实现 PKPM模型自动转换为 Robot structure模型的解决方案。

I 二次开发技术及模型复建流程设计

PKPM结构软件和 Robotstructure软件分别为用户提供了强大的二次开发解决方案。要实现数

据在两种结构软件中正确高效流转 ,需要对相关技术进行研究 ,结合实际需求 ,提出合适的解决办法 。下面分别就两种二次开发技术进行分析 ,结合模型复建需求 ,设计转换程序的基本框架 。

I-1 PKPM 二次开发

PKPM结构软件为用户提供了多种形式的二次开发方案:PDB-I0、C++、C# ,Python 语言的 API、以及接口工具导出数据文件等 。 以上解决方案各有特点:PDB-I0,API的使用依赖 PKPM相关程序库 ,与结构软件共享内存数据 ,支持通过代码模拟用户操作控制软件运行 ,适合进行优化设计 ,与第三方软件联动等相对较复杂的开发任务 。 如果用户的二次开发工作仅需要完整工程数据 ,不调用 PKPM其它功能就能完成 ,可以考虑使用接口程序导出数据 ,以数据文件为对象进行研发 。 本文采用导出数据的方式进行二次开发 。

PKPM 自 V5.2 版本开始提供 JwD数据文件的导出和导入功能 ,JwD数据标准是基于 s&Lite数据库格式的 PKPM结构模型数据标准 。 模型数据文件扩展名为 .JwD,文件名与工程 目录下的 .Jws 文件同名 。

PKPM支持导入导出两种类型的 JwD格式数据:模型数据和计算结果数据 。 JwD格式是一种关系数据库文件 ,关系数据库的表采用二维表格来存储数据 。 模型数据文件中的表格 ,分为工程数据、构件定义和布置、荷载及工况等三大类 。 工程数据包含工程参数 ,标准层 ,自然层 ,多塔 ,层塔等数据表;构件定义和布置表包含节点 ,网格 ,轴线 ,构件截面 ,梁柱墙等构件布置表等; 荷载及工况包括荷载类型定义 ,荷载布置 ,自定义工况表等 。

表中的每一行除保存基础信息外 ,还包含主键和外键 ,主键是表中 一 行的唯一 标识 ,外键值一般等于该行关联的其它表格中的某 一 行的主键值:如柱表中有一个标准层 ID的外键 ,可以通过该外键获取到该柱的标准层信息 。

I-2 Robotstructure二次开发

Robotstructure软件具有功能强大的用户交互界面 ,还提供了与 CUI功能相当的 R0B0T-API,向开发者开放通过代码与软件进行交互功能 。 使用二次开发功能较方便 ,只需要本机安装 Robotstructure软件 ,在 Visualstudio项目 中引用安装 目录下的 Robot0M.tlb文件即可 。

R0B0T-API采用了由微软开发的组件对象模型(COM) 技术 ,提供 C# ,VB, C++等编程语言的支持 。 R0B0T-API提供 的主要 功能 如下:(1) 替代 CUI界面的重复操作 ,比如批量选择单元 ,批量荷载输入;(2) 提供参数化建模功能 ,根据提供的参数 ,快速建立结构计算模型;(3)调用 Robot的计算功能;(4) 按照个性化需求输出计算报告;(5) 导入其它格式的数据到 Robot;(6) 与第三方软件进行集成 。 上述表明 ,R0B0T-API向开发者提供了几乎和界面操作一样的功能 ,借助程序的批量处理和第三方算法 ,用编程接口操作 Robotstructure软件会更加灵活高效 。

本文采用 Visualstudio开发工具和 C# 编程语言工具对 Robotstructure二次开发接 口进行研究 。 R0B0T-API通过面向对象的技术进行了封装提供了大量软件功能 ,常用的类或接口如下表所示:

表 I 本文涉及的 RobotAPI主要类型/接口

类/接口功能	接口/类型名称
新建工程	IRobotApplication
新建节点	IRobotNodeserver
新建杆单元	IRobotBarserver
材料	RobotMaterialData
截面	Robotselection
约束	IRobotNode
荷载	IRobotsimpleCase
荷载组合	IRobotCaseCombination
计算	IRobotCalcEngine
节点反力	IRobotReactionData
节点位移	IRobotDisplacementData

上述 API公开了 Robotstructure的标准功能 ,便于用户通过外部软件进行编程控制 。 通过这种机制访问软件 ,可以使通过标准用户界面访问的任何常规任务完全自动化 ,高效完成可重复、可扩展的相关工作 。

I-3 转换程序的基本流程

PKPM导出完整的结构模型数据文件后 ,需要对数据进行重整和流转 ,以满足 Robotstructure对建模数据的要求 。 R0B0T-API主要接受有限元模型数据:包括节点信息 ,单元信息 ,材料信息 ,截面信息等 。 要打通数据实现模型转换 ,需要进行以下几个步骤的处理:(1) 使用接 口程序导出 JwD数

据;(2)PKPM数据解析及预处理,通过 s&Lite库加载 JwD文件,经预处理后存入数据集,方便查询。(3)数据转换及建模,将带有工程概念的 PKPM 数据转为纯有限元概念数据,经过 R0BOT-API,在 Robotstructure中建模。模型转换工作流程示意图如图 1 所示:



图 1 模型数据转换流程示意图

2 转换程序的实现

2.1 PKPM 数据获取及预处理

JwD文件使用了 s&Lite数据库文件格式,s&Lite是一个进程库,实现了一个自包含的,无服务器,零配置,事务性的 s&L数据库引擎^[4]。它能够支持多种操作系统,同时能够跟很多程序语言相结合,比如 C#、C++、Java等。

本文使用 s&LiteDevelopmentTeam 提供的 s&LitePackage进行 JwD文件的读取。该软件包可以直接从 VisualstudioNuget包管理器中获取,实现与 C#项目无缝结合,使用方便。

s&LitePackage通过 sql语句对数据库进行操作,可以满足对数据增删改查的需求,但使用时不够简洁灵活。C#原生的 ADO.NET框架提供对表格结构的数据进行简单高效的查询支持^[5]。框架中 DataSet数据集对应 s&Lite数据库结构,DataTable对应 s&Lite数据表结构。在 DataTable中的数据可以方便的通过索引和字段名进行数据存取。数据预处理流程如下图 2 所示:

2.2 数据转换及 Robot模型建立

Robotstructure模型建立是将经过预处理后的模型数据变成工程模型的过程。程序开发基于 Robot软件运行环境,使用 R0BOT-API来驱动软件进行自动化建模,主要分为以下几个子模块:

(1) 初始化 Robot运行环境,使用解析程序打开 JwD文件并进行数据预处理;

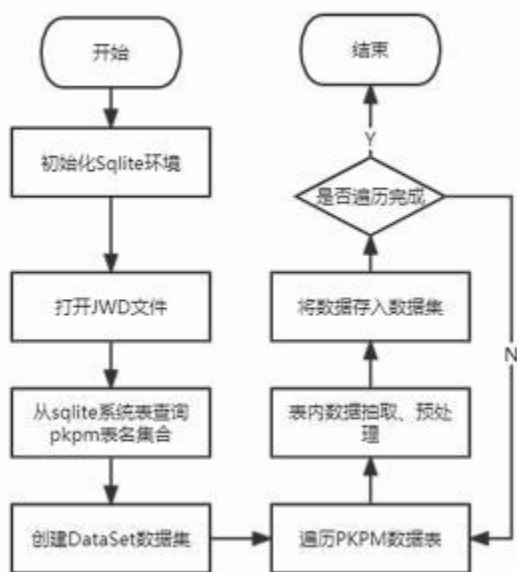


图 2 PKPM数据获取及预处理流程图

(2) 查询楼层表,获取自然层标高及对应的标准层信息;

(3) 根据楼层标准层信息,查询构件表及关联表,获取构件信息;

(4) 使用 R0BOT-API及构件信息,建立模型。

数据转换及 Robotstructure建模主要流程如下图 3 所示:

PKPM在软件中融入的大量工程信息^[6],包括轴线,标准层,自然层等,方便工程师更好的使用软件,在 Robot中建模,以有限元概念为主,包括节点,单元,材料,截面,约束等信息^[7]。由于二者数据结构存在较大的差异,为模型转换工作增加了难度,需要对节点,材料,截面等信息进行数据转换处理^[8]。

(1) 节点的处理,Robot中所需节点信号主要由节点编号,X,Y,Z坐标和组成,默认情况下,不同单元共节点时,单元对应的节点号是一致的。PKPM节点按标准层来存储,不同标准层间节点编号可能重复,且节点只包含 X, Y 坐标, Z坐标需要通过对标准层,自然层信息关联查询。

(2) 材料,截面的处理,对于不同的构件,可能使用同一种材料或截面信息,存在"一对多"的关系。因此处理材料,截面信息要确保"不遗漏,不重复":构件关联材料,截面信息时,对截面,材料库中

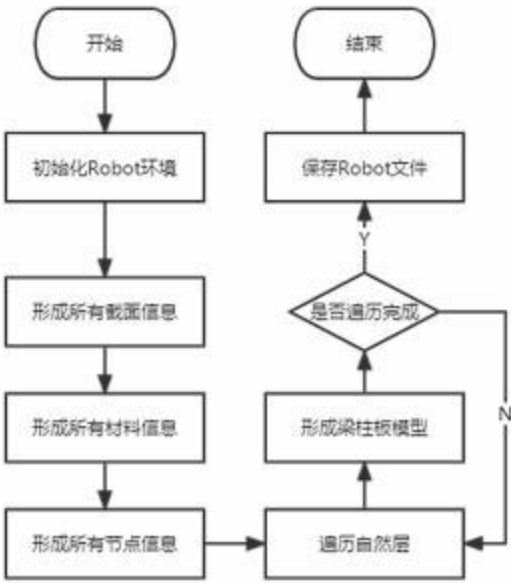


图 3 PKPM数据转换及 Robotstructure建模流程图

已存在的 ,直接关联 ;材料截面库中不存在的 ,需要添加到截面材料库再关联 。

3 案例分析

为了验证转换程序的正确性 ,对不同类型的结构进行了模型转换测试 。下面以某典型框架结构进行说明 。

某混凝土框架结构模型 ,有 7 个自然层 ,结构主要由梁、柱构件组成 。图 4 为 PKPM 中的全楼结构展示效果 ;图 5 为经程序转换后 ,再 Robotstructure 软件中的显示效果 。从模型上可以看 ,两者是一致的 。

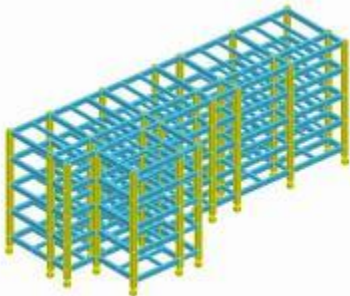


图 4 PKPM结构模型

分别统计两个软件中的截面 ,构件数量 ,混凝土方量 ,前三阶振型等结构相关统计信息如表 2



图 5 Robotstructure结构模型

所示 。

表 2 PKPM 与 Robotstructure模型相关指标对比

	梁截面数	柱截面数	梁构件数	柱构件数	混凝土	第 1 振型周期	第 2 振型周期	第 3 振型周期
PKPM	12	4	370	125	650.4 m³	2.147 s	2.136 s	1.721 s
ROBOT	3	4	370	125	650.3 m³	2.146 s	2.135 s	1.722 s

上表 2 统计结果表明 ,两个软件中的结构相关指标基本一致 ,误差是可以接受的 。

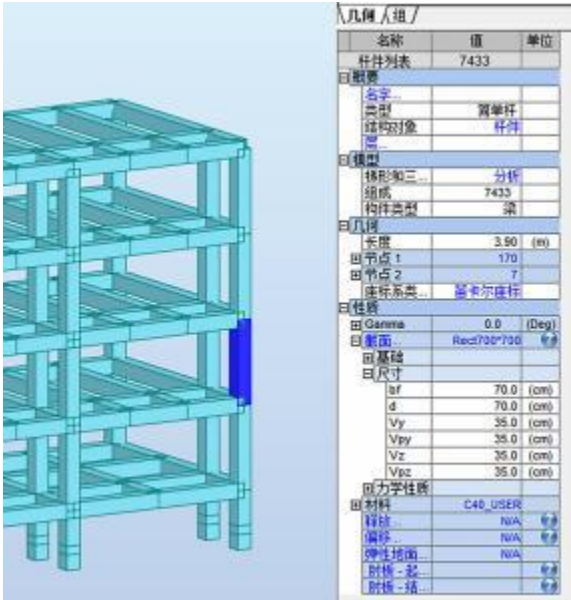


图 6 Robotstructure模型属性

PKPM 中查看位于第二层的边柱 ,如图所示 ,其截面类型为矩形 ,尺寸为 700mm x700mm ,混凝土标号为 C40 ,转角为 0 。在 Robotstructure中相同不为的构件属性如图所示 ,其界面类型为矩形 ,尺寸为 700mm x700mm ,混凝土标号为 C40 ,转角为 0 。由此可见二者构件属性也是一致的 。

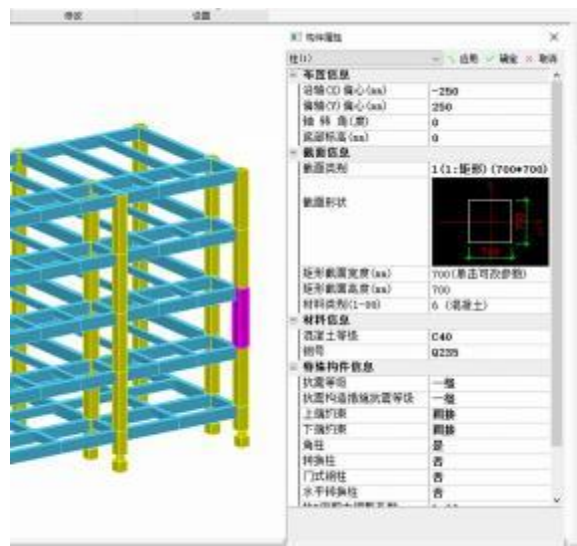


图 7 PKPM模型属性

4 小结

本文研究了 PKPM结构软件的二次开发技术以及 Robotstructure结构软件的应用程序开发接口，提出了一种解析 PKPM结构模型数据并在 Robot中进行自动建模的方法。即使用.NET环境下的 s&Lite程序包解析 JwD文件，获取 PKPM结构模型的节点，单元，材料，截面等信息，通过对数据集进

行查询，形成 R0B0T-API建模需要的数据流，自动建立结构模型。典型 PKPM 工程案例转换实践表明，通过该程序转换的模型在 B0B0T中数据完整，显示正确，转换效率较高。对于有 PKPM结构模型转 BIM模型，海外工程校核交流的用户，具有一定的借鉴意义。

参考文献

[1] 杨星 .PKPM结构软件从入门到精通[M] .北京:中国建筑工业出版社 ,2008 .

[2] 王言磊 ,王 永 帅 .BIM 结 构 — Autodesk Robotstructure Analysis在土 木 工 程 中 的 应 用 [M] .北 京:化 学 工 业 出 版 社 ,2017 .

[3] 王 琪 .BIM理念及 BIM软件在建设项 目 中的应用研究[D] .成都:西南交通大学 ,2011 .

[4] [美] 格兰特 .艾伦 ,迈克 .欧文斯 .s&Lite权威指南[M] .北京:电子工业出版社 ,2012 .

[5] [美] 克里斯琴 .内格尔 .C#高级编程(第 11 版) [M] .北京:清华大学出版社 ,2019 .

[6] 董立坤 ,王 徽 .PKPM 与 ETABs 结构模型数据转换接 口 的 实 现[J] .土木建筑工程信息技术 ,2012 ,4 (03) .

[7] 乔保娟 ,邓正贤 ,张洪磊 .PKPM与 Revit接口软件中若干问题探讨[J] .土木建筑工程信息技术 ,2014 ,6 (01) :113 -117 .

[8] 李月雯 ,张 斌 .PKPM与 三 维 布 置 软 件 数 据 交 互 方 法 研 究 [J] .工程建设与计 ,2019 (09) :159 -162 .

数字建筑为建筑行业全生命周期注入新活力

王鹏, 胡红国(北京城建智控科技股份有限公司, 北京 101399)

[摘 要] "互联网 + 制造" 打开了工业 4.0 时代的大门, 数字建筑的概念也呼之欲出, 其本质是把工业 4.0 引入建筑业。传统建筑业是劳动密集型产业, 并且长期处于粗放式发展, 数字建筑的提出 目的是为了提升建筑规划、设计、施工、运维的品质与管理水平, 从而有效帮助施工企业在建设工程的全生命周期实现精细化管理和集约化发展。在数字科技的大背景下, 数字建筑必然会将新一代信息技术(BIM、云计算、大数据、区块链等) 与建筑业深度融合, 为其转型发展注入新活力。

[关键词] 数字建筑; BIM; 信息技术; 全生命周期

Digital Architecture Injects New Vitality into The whole Life Cycle of The Construction Industry

wang Peng, Hu Hong-guo(Beijing Urban Construction Intelligent Control Co., Ltd, Beijing 101399, China)

Abstract: Internet+ manufacturing has opened the door to the era of industry 4.0, and the concept of digital architecture is also emerging. Its essence is to introduce industry 4.0 into the construction industry. The traditional construction industry is a labor-intensive industry and has been in extensive management for a long time. The digital architecture is proposed to improve the quality and management level of architectural planning, design, construction, operation and maintenance, so as to effectively help construction enterprises achieve refined management and intensive development in the whole life cycle of construction projects. In the context of digital technology, digital architecture will inevitably integrate the new generation of information technology (BIM, cloud computing, big data, blockchain, etc.) with the construction industry, injecting new vitality into its transformation and development.

Keywords: digital architecture; BIM; information technology; full life cycle

0 引言

近些年来,我国建筑行业的发展速度一直稳定在国家 CDP 增速水平之上。尽管建筑产业设计建造能力持续增强、产业规模不断扩大,但其发展方式粗放、生产效率低下、能耗高、污染严重等问题也逐渐愈发明显,这与当前国家行业化转型升级、创新发展的总方针严重不符。

在建筑工程项目的规划、设计、施工、运维的全生命周期中存在着规模庞大的业务数据。如何有效收集和管理这些信息一直是阻碍行业信息化向前发展的难题。近些年,随着 BIM、云计算、大数据、区块链等前沿数字技术向建筑行业不断渗透,基于

数字建筑理念进行建筑项目的全生命周期治理正成为可能。

我国的数字建筑发展正处于快速起步阶段,产业链发展潜力巨大,在这样的发展背景下,项目现场的一些有代表性信息化需求凸显的愈发明显,能够应用数字化技术的场景也慢慢丰富起来。施工现场信息化应用总体呈现出数字化、实时化和智能化等特点,我们的愿景是利用数字化手段把施工项目现场变成一个有感知、有生命、有智慧的有机体。

1 认识数字建筑

了解数字建筑,我们首先要从数字技术说起。本质上数字技术就是把信息的收集、处理、输出交给计算机完成的过程,通俗一点的讲,数字技术就是一种利用计算机把日常生活中某些场景的信息交换过程管理起来的方法论。它于 20 世纪 90 年代中期兴起,尤其在近十几年发展非常迅速,几乎影

[收稿日期] 2022-11-01

[作者简介] 王鹏(1983-),男,本科,助理研究员,信息系统项目管理师(高级),主要从事建筑行业数字化转型的研究以及软件研发设计工作

[联系方式] E-mail:wangpeng02@bjuci.com.cn

响了我们日常的方方面面。

数字建筑是数字技术的一个细分领域,它把新一代信息技术、先进的建造理念与建筑行业全链条、全周期、全要素相融合。其具备三个基本特征:

(1) 数字化,它是数字建筑的基础,它是围绕建筑本体实现全业务链的数字化解构的过程。

(2) 实时化,它是数字建筑的关键,通过实时的数据交换以及可视化数据展现,让信息传递更加便捷,业务数据更加直观。

(3) 智能化,它是数字建筑的核心,通过智能软硬件设备实现全面感知,深度认知,自主学习。在建筑业的体系、管理、信息、技术等方面完成智能化革命。

数字建筑将进一步推动建筑全产业链的发展以及智能化转变,在此过程中也会对生产活动中各要素和资源的进行整合,从而加快建筑各系统的运行效率。

由于信息技术的不断革新,BIM、云计算、大数据、物联网、区块链、人工智能在结合先进的精益建造项目管理理论后,数字建筑给我们的想象空间越来越大,以数字技术驱动行业发展正变为现实,数字建筑应用于项目规划、设计到施工、运维的全生命周期势在必行。

2 数字建筑从概念走向落地

数字建筑概念提出伊始,业内就发出过不少质疑的声音。比如:传统建造模式已经难以为继了吗?目前的数字技术足够成熟支撑业务落地吗?打破质疑我们还是要从客观形势和主观发展两个角度看。客观形势主要关注目前我国建筑行业发展现状和存在的问题。主观层面更强调的是新一代信息技术发展和创新型的建造理念以及从其它相关行业借鉴的成功经验。

2.1 客观情况推波助澜

• 建筑施工人员老龄化

国家统计局发布《2021年农民工监测调查报告》,数据显示,我国农民工的平均年轻持续提高至41.7岁,比上年提高0.3岁;其中,50岁以上占比超过27%。如下表1描述了近五年农民工群里的年龄结构变化趋势。

建筑行业高空作业多,危险繁重特性强,农民工“超龄”极易带来安全风险。但已经逐渐“老龄

化”的建筑行业,用工荒难题会进一步加剧。我们如何破局?笔者认为运用数字的力量减低劳动强度、提高职业尊严才是出路。传统建筑业智能化、数字化转型迫在眉睫,在既有的现代化技术体系中,建设数字化体系,进而降低建筑工人对体力的依赖,提升建筑安全与质量。

• 安全事故频发

建筑业是一种高风险行业,户外作业且环境恶劣,很多场景需要多工种之间的配合与协调,同时潜伏有许多安全隐患。传统的建筑业属于劳动密集型行业,从事人员普遍学历不高,安全意识也比较低,由于安全责任没有落实、安全措施还不到位等原因导致的安全事故层出不穷,基于这点我们引人精细化的数字管理已经迫在眉睫。

• 生产力水平低下

作为传统产业,建筑企业的科技属性一直不高,在规划、设计、施工、运维过程中其生产力水平也处于低位,在新设备的研发、新工艺的推广和新技术的应用等方面,与其他产业有着较大差距,建筑业要想寻求更快的发展,转型升级迫在眉睫。

2.2 主观发展顺势而为

随着云计算、物联网、大数据、AI等新技术的应用,建筑行业的近邻“制造业”已经走上了新型工业化道路,在很多场景下利用数据和数字技术的力量,重新定义产品及产品制造,数字与智能几乎贯通设计开发与生产制造的每一环节。

从本质上讲建筑业也属于制造业,是一种高度离散的制造业,它强调每个“产品”的个性化设计。制造业的现代工业化实践,为建筑业的转型升级指明了方向。其重点是在数字技术为代表的创新科技引领下,以新型建造理念为核心,信息化手段为有效支撑,通过绿色化、工业化、信息化的三化融合,辅以新设计、新建造、新运维的建筑行业新思维将建筑业提升至工业级精细化水平,以更加高效、准确的解决方案与发展策略,增强核心竞争力,促进企业的转型升级。我们当前的任务是在看清形势的同时,顺势而为,精准发力,为数字建筑的发展下好先手旗,把握好业务模式转型、信息技术落地、产业链条共赢的总方针。

3 数字建筑体系下的 BLM

建筑全生命周期管理,英文全称为: Building

表 1 农民工年龄构成
近五年农民工年龄构成趋势对比

年龄组	2017	2018	2019	2020	2021
16 ~20 岁	2.6	2.4	2.0	1.6	1.6
21 ~30 岁	27.3	25.2	23.1	21.1	19.6
31 ~40 岁	22.5	24.5	25.5	26.7	27.0
41 ~50 岁	26.3	25.5	24.8	24.2	24.5
50 岁以上	21.3	22.4	24.6	26.4	27.3

注:单位是百分比。

LifecycleManagement,业内通常以其简称" BLM" 来称呼它。它是基于项目管理生命周期的概念阶段、规划阶段、实施阶段和收尾阶段的四个阶段,提出的一个适用于建筑项目的概念。在一个完整的工程建筑项目的全生命周期主要包括项目规划、项目设计、项目施工和项目运维四个阶段,建筑项目全生命周期的各个时期之间存在着紧密的联系。如图 1 所示 BLM各个阶段划分以及主要环节。



图 1 建筑项目全生命周期

3.1 项目规划阶段

项目规划阶段主要任务是对于建筑项目进行概要评估,从项目规模、整体方案、建设条件、潜在风险、项目经济效益与社会效益等几个方面综合调研,最终形成可行性研究报告。根据以往的经验,我们往往会在信息收集与项目整体方案确定的过程中耗费比较大的精力,长期的固化思维造成我们在此阶段通常忽视运用数字化手段,从而造成我们的可行性研究报告编制效率较低,也很容易出现缺乏深度和准度的问题。

3.1.1 信息收集

项目规划阶段信息收集重点主要有:市场信息、资源信息、现场环境相关数据、专业技术配套信息、政策法规,法律条文等约束性条件信息等。施工企业为完成信息收集通常会采用社会调查法,汇

报法、资料查阅法等。这些方法费时费力,效率也很低,也很难保证信息的及时性和有效性。

在此阶段我们完全可以应用数字化思维,建立企业大数据知识库,保存以往项目的历史数据、成功经验以及企业独有的工法信息,以便所有未来项目进行参考,知识库的建立将大大减少我们获取同类型数据的时间和难度。未来随着基于物联网和大数据技术的智慧城市概念的推广,我们收集自然条件数据和资源环境数据也会更加便捷。

信息收集的数字化将极大的提高规划阶段的工作效率以及可行性研究报告的质量。

3.1.2 初步建模

BIM技术的运用能在此阶段给项目建设者提供1.0 版本模型,对整个建筑项目方案进行验证、模拟,充分运用 BIM技术的直观可视化特性,以保证建筑项目满足使用者要求,提高方案质量;同时对于建设者自身来说,工程目标更加明确,从而提高项目团队工作沟通效率。此外利用 BIM 技术建立三维方案模型,对建筑标的做综合能耗分析,帮助建设方直观地了解方案并及时反馈设计院,避免设计因方案不合理导致返工现象。

3.2 项目设计阶段

建设项目的设计阶段主要包括方案设计、初步设计、施工图设计三个阶段。在这其中主要面临的问题有:

(1) 设计需求变化频繁

项目中除了日常的需求变更外,引起需求变化的来源还可能是勘察阶段的疏漏、设计本身的错误、不合理等因素。也会对项目工期、造价、施工成本、施工质量等产生负面影响,进而降低项目价值。

(2) 设计沟通与协调难度大

由于传统建筑项目设计技术和工具的限制,不同专业之间协同设计较为困难。特别是大型工程,工期紧、专业多、图纸问题多、分包单位多、数据共享困难等容易造成系统之间的割裂和专业部门之间的沟通障碍。

(3) 终端用户参与度不够

传统建筑项目在设计过程中,终端用户的参与渠道较少,建筑企业往往会忽略终端用户在项目设计阶段的参与作用。如果在项目早期缺失与真实消费者的信息交流,就会增加设计成果的盲目性和项目失败的风险性。

3.2.1 碰撞检测

碰撞检查是二维时代转向三维时代的重要标志,通过全面的“三维校审”,可发现大量隐藏在设计中的问题。传统的 CAD 二维图纸中,不能清晰的了解管线、设备等专业线型的走势,导致在施工阶段,才发现管线产生碰撞,造成工期的延误和巨大的损失。而在设计阶段,建立 BIM 模型,能直观的在三维模型中查看管线碰撞问题,并利用软件生成检查报告,减少因“错、漏、碰、缺”造成的经济损失和人工浪费。总的来说,碰撞检测的应用较传统 CAD 各专业设计人员现场对接更加直观、高效,在施工前及时查找各专业漏洞,减少返工窝工时间,也提高了项目进度。

3.2.2 BIM 协同平台

基于 BIM 技术在设计方面的应用,可以充分发挥动态多维、参数化设计、模拟优化、可出图性等方面的优势。但是单纯的 BIM 技术难以满足设计过程的协同的需求,业主端、施工端、运维端等对于建筑数据的需求愈加精细化,协同的诉求会更加强烈。笔者认为协同平台应具备且不限于以下功能:

(1) 文档共享协同

可以让工程项目的各方集中存储和共享项目全生命周期的所有文档,集成系统 IM 功能,改变传统分散的交流模式。

(2) 模型轻量化浏览

无需借助第三方设计软件就可以在平台轻量化浏览各种常见格式模型文件,并能够完成基础的 BIM 效果预览。

(3) 团队高效协同办公

对项目内编校审、提资反提资、设计变更等项目流程的高效管理。提供跨格式合模总装、二三维版本对比、在线批注校审、高效 BIM 会议等功能。

3.2.3 数字化模拟

在实体建造生产之前,数字化模拟参建各方对设计、采购、生产、施工、运维各个阶段的数字化 PDCA 循环。不但有利于在模拟过程中发现各种问题,还会使得设计更加直观化,能让项目相关方最大理解整体设计,在施工前期对设计产生认同感。

3.3 项目施工阶段

该阶段的主要任务是将建设投入要素进行组合,形成工程实物形态,实现投资决策目标。在这一阶段,通过施工、采购等活动,在规定的工作内

容、工期、费用、质量范围内,按设计要求高效率地实现工程项目目标。本阶段在工程项目建设周期中工作量最大,投入的人力、物力和财力最多,工程项目管理的难度也最大。项目现场普遍存在痛点如图 2 所示:



图 2 施工阶段痛点

3.3.1 智慧工地平台

智慧工地云平台以 BIM 和物联网为技术基础,通过对接现场设备以及其他业子业务系统的方式,将施工现场碎片化的数据集成在一起,最终将产生的业务数据汇总,形成数据中心。同时基于平台内的数据中心,服务于多参与方的科学决策,为工地的精细化、智能化管理提供数据支撑。从而实现对建筑工地的人员、机械、材料、场地环境和施工过程的数字化管理。

较流行的智慧工地平台大体可以分为三个层级,其软硬件结构如图 3 所示:

(1) 终端层:利用物联网技术对项目建设过程的实时监控、智能感知、数据采集和高效协同。

(2) 平台层:提供运算以及存储等基础服务,让项目参建各方更便捷的访问数据,协同工作,使得建造过程更加集约、灵活和高效。

(3) 应用层:也就是工地现场的业务端应用,它是数据的来源主体,该层的内容应始终围绕以提升工程效益与施工效率这一关键核心。

3.4 项目运维阶段

施工项目的运营维修保养过程是整个建筑项目生命周期中时间最长的,也最为重要。其维管理的对象主要包括建筑、家具、设备等“硬件”和人、环境、安全等“软件”,其范畴主要包括以下五个方面:空间管理、设备管理、安防管理、能耗管理、数据管理。运营维保的质量直接决定了建筑项目的正常使用及运行寿命。传统的运维管理手段单一,主要

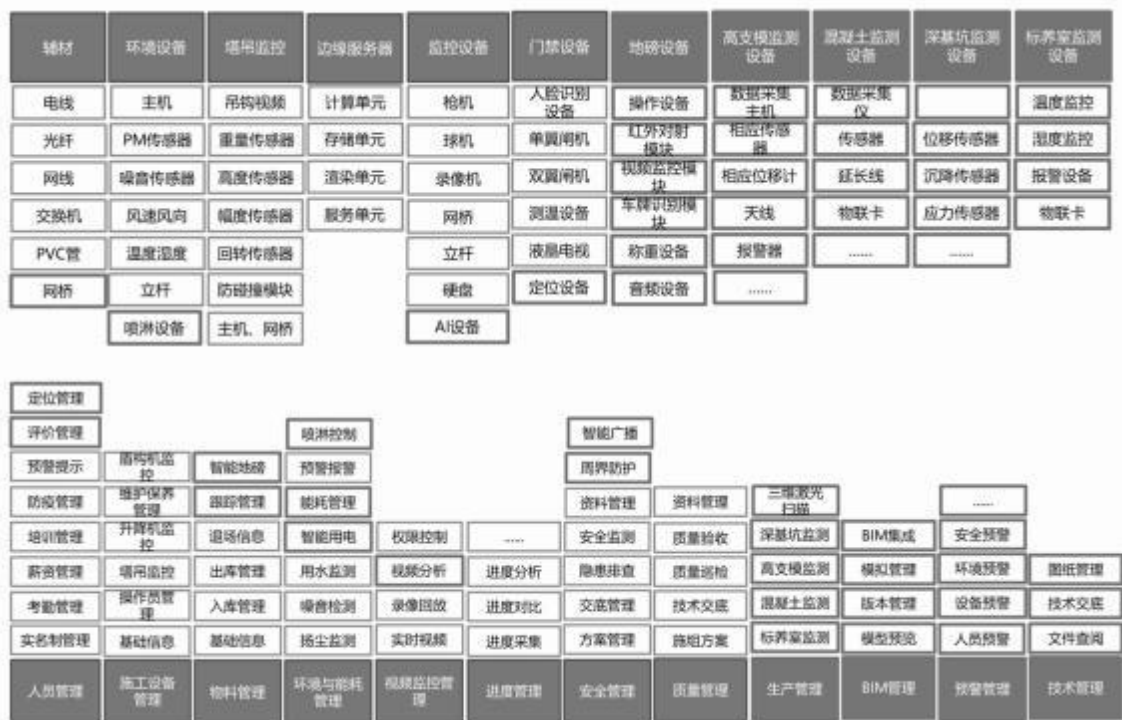


图 3 智慧工地软硬件

依靠各种割裂的数据表单和台账来进行管理,缺乏系统联动性和实时性,一旦工作人员与其他人沟通不顺利或者刚刚接触此项目,就很难对信息数据进行快速有效处理,工作人员提高管理效率的手段主要就是积累经验。在这样的环境下,传统运维管理的效率其实并不高,而且难度大、成本高。

3.4.1 运维管理可视化

传统的运维管理中, 现场人员若想定位建筑构件的位置, 一般会使用二维图纸或者凭借经验, 部分设备、装饰等构件可以直接看到, 但对于安装系统来说, 暖通、电气、煤气管道等都无法直接看到。因此现场人员需要重复对这些构件进行定位, 耗费大量时间和精力。而 BIM 的可视化功能可以轻松确定任何一个构件的位置, 而且不需重复工作, 基于其大数据功能还能实时传送信息, 这对运维管理来说不失为一种非常好的技术。如图 4 所示, 展示的是建筑管道运维可视化界面。

3.4.2 应急管理决策与模拟

运维管理中有一项很重要的工作就是应急管理。建筑物中存在大量紧急风险,例如火灾、地震等不可抗风险。一般来说,只要能对建筑物空间进行高效分配和利用,就能最大程度地减少伤害。

BIM可以提高具有空间性质的数据，可以协助工作人员模拟和识别突发情况，例如制定逃跑方案、规划疏散线路等，从而降低突发状况的不确定性。后期还可以评估损失、预防未来的风险。

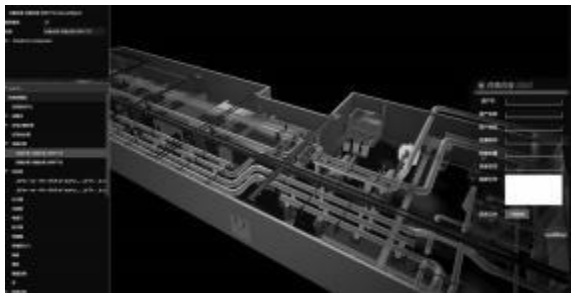


图 4 管道运维可视化

4 结语

在全球数字化的带动下,数字建筑正踏入快速起步阶段,施工企业的数字化转型重点也正由业务数据整合向全周期集成化管理转变。数字建筑的核心是 BIM 技术,它也是贯穿建筑行业全生命周期数字化基础。在项目规划阶段,利用"BIM+信息库+大数据,技术来实现信息收集与方案雏形;在项目设计阶段,利用"BIM+设计交互平台,来实现跨

专业数据协同与设计缺陷检查;在项 目施工阶段 , 利用"BIM+物联网 +云计算 +智慧工地平台" 来实 现对人员、机器、原料、方法、环境的全方位管理;在 项目运维阶段 ,利用" BIM +智能化终端" 来实现对 建筑资产的可视化、精细化、动态化运维管理。从 未来发展角度看 ,数字建筑为建筑行业全生命周期 都注入了全新活力 ,数字科技与建筑产业的不断融 合必将成为推动整个建筑产业转型的核心力量。

参考文献

[1] 曾思媛 .建筑工业 4.0 时代背景下数字建筑的应用与发展趋 势[D].产业论坛 , 2021 , (21) : 41 -43 .
[2] 罗紫桓 , 陈天兰 , 漆凯 , 韩东 , 林红 .BIM技术引领下的智能

建筑全生命周期探索[J] .科学探索 , 2019 , (7) : 57 -58 .
[3] 赵宁 , 董华 .数字化驱动建筑项 目全生命周期价值创造的新 机遇与新路径[J] .项目管理评论 , 2022 , 41 (3) : 62 -65 .
[4] 汪莉莉 .数字技术为建筑业创新赋能[J] .大 趋 势 , 2018 , (10) : 18 -21 .
[5] 樱子 .数字建筑勾勒建筑业未来蓝图[J] .中国勘察设计 , 2018 ,247 (2) : 2 -3 .
[6] 姚健波 , 王卓 ." 四位一体" 的建设工程项目全生命周期融合 管理研究[J] .项目管理技术 , 2021 , 19 (8) : 73 -77 .
[7] 潘孙鹏 , 靳宁 , 邵丽 .以数字建造推动建筑 业 高 质 量 发 展 [J] .建筑 ,2019 , (15) : 40 -41 .
[8] 刘文峰 .智能建造关键技术体系研究[J] .建设科技 ,2020 , 421 (24) : 72 -77 .

结构楼层位移比计算及控制相关问题研究

刘孝国¹, 赵平安² (1. 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013; 2. 许昌金泰建筑勘测设计有限公司, 河南许昌 461500)

[摘 要] 规范通过计算楼层两端抗侧力构件的最大位移与平均位移之比即楼层位移比来限值结构的平面不规则程度。实际设计中楼层位移比的计算存在难以准确确定楼层端部构件、抗侧力构件类型及分块刚性板等问题,可能引起设计人员不同的统计方式得到不同的结果。对于有斜撑构件的结构,角度布置的不同,引起对是否是抗侧力构件的判断不同,进而会引起位移比统计的差异。对规范位移比计算的关键点进行深入研究,PKPM软件默认取楼层最外圈所有墙、柱竖向构件及小于支撑临界角的斜撑杆件最大和最小位移计算位移比。对带斜杆的工程,人工干预指定支撑临界角,实现该角度范围内作为抗侧力构件统计其位移。对分块刚性板位移比的计算,通过"自定义统计范围指标"实现。

[关键词] 位移比;最大位移;刚性板假定;端部构件;抗侧力构件;斜撑构件

Research on Calculation and Control of Structural Floor Displacement Ratio

Liu Xiao-guo¹, Zhao Ping-an² (1. China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. Xuchang Jinlai Architectural Survey and Design Co., Ltd, XuChang 461500, China)

Abstract: The code limits the plane irregularity of the structure by calculating the ratio of the maximum displacement to the average displacement of the lateral force resisting members at both ends of the floor, that is, the floor displacement ratio. In actual design, the calculation of floor displacement ratio is difficult to accurately determine the types of floor end members, lateral force resisting members and rigid slabs, which may cause designers to obtain different results in different statistical methods. For structures with diagonal braced members, the different angle arrangement will lead to different judgments on whether they are lateral force resisting members, and then lead to differences in displacement ratio statistics. PKPM software acquiesces to calculate the maximum and minimum displacement of the wall and column vertical members in the outermost circle of the floor and the inclined bracing member which is less than the critical angle of the support. For the engineering with inclined rod, the artificial intervention specifies the critical angle of support, which can be used as the anti-lateral force member to count the displacement in this angle range. The calculation of the displacement ratio of the block rigid plate is realized by the "self-defined statistical range index".

Keywords: displacement ratio; maximum displacement; rigid plate assumption; end members; lateral force resisting member; bracing member

0 引言

《建筑抗震设计规范》CB50011-2010(2016版)(以下简称"抗规")及《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010(以下简称"高规")对于结构楼层位移比的计算及控制限值均提出了详细的要求,结构设计中需要按规范的相关要求进行楼层位移比及层间位移比的控制。但在实际的工程设计中往往

存在各种情况,楼层平面外轮廓为不规则多边形、楼层中有不同角度的斜杆构件、楼层平面为斜坡屋面等,如果完全按照规范要求处理会存在一些位移比计算不确定的情况,或者由于设计师对相关概念的把控尺度不同,导致计算结果也不相同。

本文针对当前规范位移比计算中可能涉及到的几个关键点,比如楼层端部构件的确定、抗侧力构件的确定及分块刚性楼板假定等展开剖析,结合设计中用到的 PKPM 软件及工程案例,解析设计中如何正确的理解并应用规范,对软件计算结果如何应用去判断结构楼层的扭转效应。

[收稿日期] 2022-11-12

[作者简介] 刘孝国(1986-),男,高级工程师。主要从事 PKPM 结构软件开发、工程结构抗震、减隔震、钢结构等方面的研究工作

[联系方式] E-mail:563193037@qq.com

1 规范对结构楼层位移比的要求

《建筑抗震设计规范》CB50011-2010(2016 版)(以下简称:抗规.) 3.4.3 条对于扭转不规则的定义为)在具有偶然偏心规定水平力作用下,楼层两端抗侧力构件弹性水平位移(或者层间位移)的最大值与平均值的比值大于 1.2。

同时抗规 3.4.4 条对于平面不规则建筑,位移比计算及限值有以下几点要求)

扭转不规则时,应计入扭转影响,且在具有偶然偏心的规定水平力作用下,楼层两端抗侧力构件弹性水平位移或层间位移的最大值与平均值的比值不宜大于 1.5,当最大层间位移远小于规范限值时,可适当放宽。

凹凸不规则或楼板局部不连续时,应采用符合楼板平面内实际刚度变化的计算模型;高烈度或不规则程度较大时,宜计入楼板局部变形的影响。

平面不对称且凹凸不规则或局部不连续,可根据实际情况分块计算扭转位移比,对扭转较大的部位应采用局部的内力增大系数。

《高层建筑混凝土结构技术规程》JCJ3-2010(以下简称:高规.) 3.4.5 条要求,对结构平面布置应减少扭转的影响。在考虑偶然偏心影响的规定水平地震力作用下,楼层竖向构件最大的水平位移和层间位移,A级高度高层建筑不宜大于该楼层平均值的 1.2 倍,不应大于该楼层平均值的 1.5 倍;B级高度高层建筑、超过 A级高度的混合结构及本规程第 10 章所指的复杂高层建筑不宜大于该楼层平均值的 1.2 倍,不应大于该楼层平均值的 1.4 倍。当楼层的最大层间位移角不大于本规程第 3.7.3 条规定的限值的 40% 时,该楼层竖向构件的最大水平位移和层间位移与该楼层平均值的比值可适当放松,但不应大于 1.6。

两本规范对楼层位移比的要求基本一致,都明确要求位移比计算时,应在具有偶然偏心规定水平力作用下,楼层两端抗侧力构件弹性水平位移(或者层间位移)的最大值与平均值的比值。对于位移比限值得控制,B级高度的建筑,高规要求更为严格一些,位移比不应超过 1.4,抗规限值要求不超过 1.5。对于结构层间位移远小于规范限值时,抗规与高规均提到可适当放松,高规中给出了具体数值,放松最大限值到 1.6。

2 对规范位移比计算中几个关键点的理解

2.1 对抗侧力构件的理解

抗规要求位移比计算时最大最小位移点需要取抗侧力构件的节点位移,但实际工程中什么叫抗侧力构件,有时候好像较难以区分,一般认为墙、柱等竖向构件属于抗侧力构件,这种比较清楚确定,但是对于存在斜杆的工程,斜杆是否是抗侧力构件?不同角度的斜杆是否抗侧力程度也不一样?多大的角度算作抗侧力构件?规范中未明确要求,显得比较模糊,实际设计中执行起来也难度较大。因此,要确定一个结构尤其带支撑构件的位移比计算时,对于抗侧力构件的最大位移及最小位移点的选取是需要细致考察的。

一般建议斜杆构件的最大最小位移点是否参与到位移比的统计需要由设计确定,这就导致不同的设计师对抗侧力构件的认知不同,导致同样的结构可能得出不同的位移比。

2.2 对楼层端部的理解

扭转位移比的核心在于楼面扭转的度量,即扭转角度的界定。规范要求楼层位移比计算的位移点选取楼层端部抗侧力构件的节点位移。对于规范示例图 1 中的结构平面两端节点是比较好确定的。但在实际工程中两端节点最大最小位移难以确定,如图 2 平面布置的轮廓为多多边形的(工程中楼盖情况可能更加复杂)情况,如何定义端部节点呢?

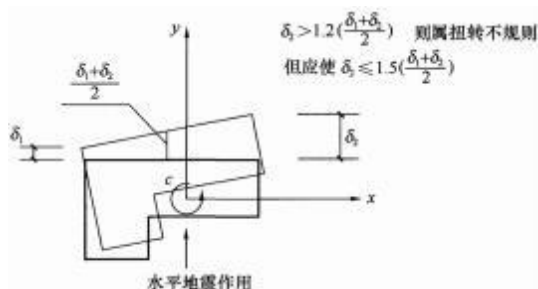


图 1 建筑结构平面的扭转不规则示例

结合某实际工程,图 3 所示为其首层圆形平面,基本没法确定什么是两端节点,只能沿着周边取所有抗侧力构件的最大及最小位移点才能计算位移比。另外如果按规范所述,分块计算楼板的位移比,这就更难以确定所谓的端部节点的最大最小位

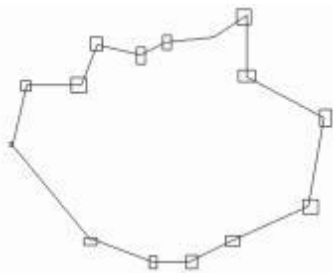


图2 某结构布置的平面轮廓为多边形

移了。因此,规范中对于两端节点的要求对大部分平面为多边形的结构很难按图1的示意图方式确定。

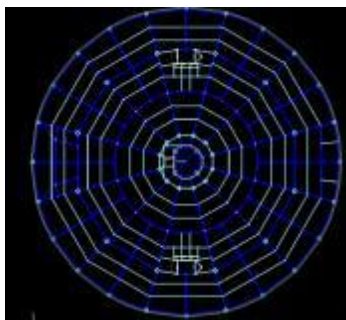


图3 圆形平面布置图

规范组建议在具体操作时,可取与地震作用方向正交、且水平尺寸最长轴线两端点抗侧力构件位移进行核算。从实际设计角度看,找一条最长的线是可以的,但可能会存在这条线与楼面的交点上根本就没有抗侧力构件。因此,从位移比计算可操作角度讲,最大最小位移的节点选取既要满足属于抗侧力构件的节点,同时又要属于最长轴线两端节点的基本无法实现。

2.3 对刚性楼板假定的理解

抗规要求,对于结构扭转不规则,按刚性楼盖计算,当最大层间位移与其平均值的比值为1.2时,相当于一端为1.0,另一端为1.5;当比值1.5时,相当于一端为1.0,另一端为3。高规中要求扭转位移比为1.6时,该楼层的扭转变形已很大,相当于一端位移为1,另一端位移为4。规范这两条都明确要求位移比是在刚性楼盖假定下计算才能得到上述的结果。但抗规条文说明中又补充了计算扭转位移比时,楼盖刚度可按实际情况确定而限于刚度无限大假定。且规范要求平面不对称且凹凸不规则或局部不连续,可根据实际情况分块计算扭转位

移比。

规范并未明确要求位移比计算时一定在刚性楼板下考察,但一般设计中设计师都会选择刚性楼板假定下考察位移比。假如不考虑刚性楼板假定,如图4的平面(红色线条标识出了对应的开洞位置)该如何确定楼层位移比?或该楼层是否不存在位移比概念?完全按照规范可分块计算位移比,但如何选取分块楼板的端部最大最小位移点呢?另外楼盖应该怎么去分块?即使计算出每一分块楼板的位移比对设计来讲未必有实质性的指导意义。

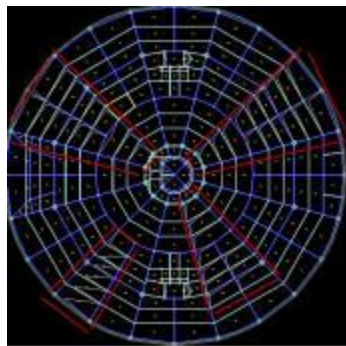


图4 楼板平面开洞情况

2.4 对考虑楼板的实际刚度的理解

如果按规范考虑实际刚度的弹性楼板计算位移比,如图4的布置,可以得到在考虑偶然偏心规定水平力下比较真实的楼层变形,进而求得弹性楼板的位移比,但存在以下几点问题:

第一,该楼层在某个方向规定水平力下由于开洞弱连接造成节点的位移有正有负,如果按照整体这一层考察位移比,最大位移与最小位移可能反号,会造成位移比超过理论值2的限值,不合理。

第二,如果按图4中楼层平面分块考察位移比,就存在所谓端部节点最大最小位移怎么选取的问题,有些内部节点会变为部分楼板的端部节点;同时也可能存在位移比大于2的情况。

第三,实际工程设计中,楼盖开洞面积大小不一,且可能有多个不连续洞口,造成难以确定楼盖分块的具体数量。如果按照分块弹性板考虑,不同的楼板分块方式,造成分块计算楼板位移比的抗侧力构件最大最小位移点选取不同,会导致不同的位移比结果,这造成无法对楼盖平面不规则做出合理判断。因此,从数值上分析位移比的计算,按弹性板考虑或者分块弹性板考虑,都可以得到楼板位移

比的具体数值,但该结果无法用于判断结构楼层平面的不规则性。

2.5 地震作用最不利方向角的位移比计算问题

抗规 5.1.1 条要求对有斜交抗侧力构件的结构,当相交角度大于 15 度,应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。对一个结构而言,X、Y轴是人为定义的,可能存在沿着某个角度结构基底剪力最大,该角度定义为地震作用最不利方向角,需计算该方向角作用下的结构的内力与配筋,并要控制该方向的变形满足规范要求。但规范中对该方向的位移比是否需要计算并满足规范要求没有明确说明。

实际设计中,结构建模不同的摆放方向,计算得到结构两个方向的内力、位移及位移比等都是不同的。个人认为,有必要考察地震作用最不利方向角下的位移及位移比,同时也建议控制该位移比满足规范要求。

3 PKPM 软件对于位移比的计算原则

3.1 对规范抗侧力构件的确定原则

对于楼层位移比计算时,要选取抗侧力构件的节点位移,PKPM程序自动识别墙、柱节点,并将其位移作为抗侧力构件的节点位移进行选取。但对结构中有支撑构件的情况,由于程序无法识别斜撑是否是抗侧力构件,因此,斜撑是否是抗侧力构件,位移比计算时是否要考虑斜杆的节点位移,需要由设计师指定。图 5 所示为是否统计斜柱构件参与位移比统计的菜单。该参数默认不勾选,即对于有斜杆的楼层位移比统计时默认不统计支撑杆件的位移。如果选择统计,程序默认对与竖向夹角 20 度以内的斜杆按照柱设计,位移比计算时统计其位移;若想考虑其他角度的斜撑也参与位移比的统计,按图 5 所示菜单,指定支撑临界角度,在该角度范围以内的斜杆位移在统计楼层位移比时都会考虑。

3.2 对规范端部节点的确定原则

规范要求楼层位移比计算时取端部节点,对规则矩形结构端部节点的选取很清楚,但对于平面布置比较复杂的情况,如平面为任意多边形的情况,无法确定哪些是端部两端节点。在刚性楼板假定下计算位移比的时候,最大最小位移节点可能出现在结构的所有边缘部位,因此,软件在刚性板假定



图 5 位移比计算是否考虑斜柱及支撑临界角指定

下位移比计算时取所有抗侧力构件边缘节点的位移,找出其中的抗侧力构件对应节点的最大位移与最小位移,再计算楼层位移比。

3.3 对规范平均位移的计算原则

规范要求的平均位移取值是取最大位移与最小位移之和除以 2,并不是所有端部节点的位移取平均,软件在计算时按照周边节点最大位移点与最小位移点计算平均位移。

3.4 对偶然偏心的处理原则

规范要求在位移比计算时考虑偶然偏心,因此,计算位移比指标时需在软件中选择“考虑偶然偏心”,如图 6 所示。软件默认勾选该参数,不需要设计师手动选择,对偶然偏心的取值软件默认值同规范要求。



图 6 偶然偏心软件自动考虑

3.5 对规定水平力的处理原则

规范要求“规定水平地震力”一般可采用振型组合后的楼层地震剪力换算的水平作用力,并考虑偶然偏心。水平作用力的换算原则:每一楼面处的水平作用力取该楼面上、下两个楼层的地震剪力差的绝对值。sATwe软件对于“规定水平力”的确定方式默认按照规范处理,即按照“楼层剪力差”计算得到,如图 7 所示。



图 7 楼层剪力差及刚性板楼假定算指标

3.6 刚性楼板假定的处理原则

为了满足规范的要求,即在刚性板假定下进行位移比的计算,sATwE软件选择在"全楼强制刚性楼板假定"下进行位移比、刚度比等整体指标计算。实际工程中由于整体指标计算模型与内力配筋模型有区别,整体指标一般在强制刚性楼板下考察,内力配筋一般在分块刚性板下得到;为方便一次性输出符合规范要求的指标与配筋,可按图 7 方式选择"整体指标计算采用强刚,其他结果采用非强刚",结构的刚度比、位移比及周期比按照强制刚性楼板假定下的结果输出。

3.7 对规范要求的分块计算楼层位移比的处理

抗规要求可分块计算楼板的位移比,借助软件是很方便实现的,但楼盖分块位移比统计结果对设计是否有实质性指导意义难以评价。在 sATwE软件中有自动化及半自动化两种方式实现分块楼板位移比的计算。

方法一:选定需要分块统计位移比的楼板由软件自动计算

如果要分块考察楼板的位移比,仅需要简单操作即可实现软件对位移比的自动统计。

(1) 计算时选择"采用自定义范围统计指标",如图 8 所示。



图 8 选择采用自定义范围统计指标

(2) 计算完毕可通过自定义组装实现指标自

定义。

图 9 为楼层自定义指标菜单,通过"定义组装表"实现对于位移比、刚度比等的自定义。定义组装表截面如图 10 所示。



图 9 楼层指标位移比、刚度比自定义菜单

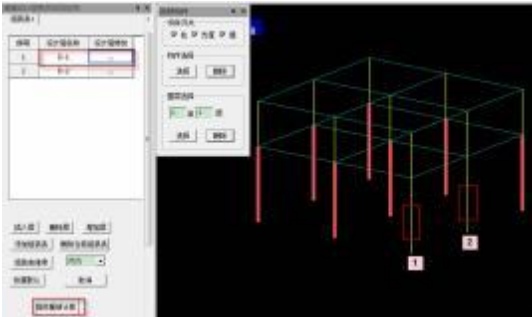


图 10 自定义楼层装表

通过图 10 的组装表,可将不需要统计位移的构件删除,可实现对某一局部楼板进行位移比的指标统计。程序默认对本层所有满足要求的抗侧力构件进行位移的统计来计算位移比。图 10 中的 1, 2 号两根柱子被删除,处于未被选中的状态,此时,首层楼层位移比的计算仅仅从红色高亮的周边柱子中取出最大位移及最小位移进行位移比的统计。

(3) 对自定义的组装表重新统计各项指标。

通过图 10 的"指标重新计算"即可完成在上述自定义状态下的位移比统计,没有特殊指定的楼层仍然按照正常情况统计位移比。可通过文本文件查看自定义后的位移比结果,如图 11 所示,选择统计范围为"自定义",选择"刷新",即可看到按照自定义方式统计的楼层位移比结果。

方法二:手工提取最大最小位移点手工校核

若人为校核某块或者某几块楼板分块的位移比,除按方法一自动统计外,还可按软件输出的详细位移信息进行手工校核。步骤如下:

(1) 计算时选择位移输出方式为"详细输出"。



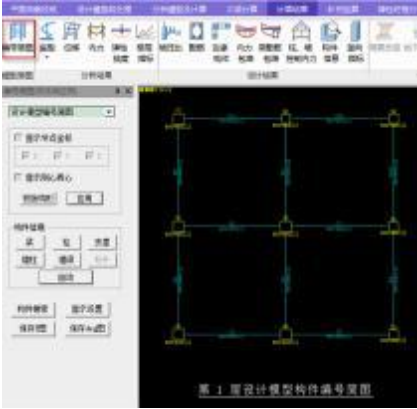
图 11 自定义统计位移比结果查看图

如图 12 所示。



图 12 选择输出详细位移

(2) 查看分块考察楼板的每个节点编号。计算完毕之后,通过图 13 的"编号简图"可查看需要分块考察位移比的某层楼板各个节点对应竖向抗侧力构件的编号。



(3) 根据节点编号确定楼盖的最大位移与最小位移,进而计算位移比。

输出详细位移的结果 wdisp.out,如图 14 所示,读取所要考察的节点的最大位移与最小位移,手工校核计算求得位移比。需要注意的是,要分别计算在 X,Y两个方向及正负偶然偏心规定水平力下的位移比。

Table 11: X 方向地震作用规定水平力下的结构位移(强制顺型)

Node	Node	X-Dir	Y-Dir	Z-Dir
1	20	2.243	0.000	0.015
2	21	2.208	0.000	0.017
3	22	2.297	0.000	0.014
4	23	2.243	-0.017	-0.006
5	24	2.208	-0.017	-0.006
6	25	2.297	-0.017	-0.006
7	26	2.243	-0.094	-0.014
8	27	2.208	-0.094	-0.015
9	28	2.297	-0.094	-0.015
10	29	1.525	0.000	0.012
11	30	1.508	0.000	0.014
12	31	1.671	0.000	0.011
13	32	1.525	-0.015	-0.006
14	33	1.508	-0.015	-0.006
15	34	1.671	-0.015	-0.006
16	35	1.525	-0.008	-0.011
17	36	1.508	-0.008	-0.015
18	37	1.671	-0.008	-0.010

Table 12: X 方向地震作用规定水平力下的结构位移(强制顺型)

Node	Node	X-Dir	Y-Dir	Z-Dir
1	20	2.402	-0.007	0.015
2	21	2.371	-0.007	0.017
3	22	2.462	-0.007	0.014
4	23	2.402	-0.012	-0.006
5	24	2.371	-0.012	-0.006
6	25	2.462	-0.012	-0.006
7	26	2.402	-0.113	-0.015
8	27	2.371	-0.113	-0.015
9	28	2.462	-0.113	-0.015
10	29	1.646	-0.040	0.012
11	30	1.598	-0.040	0.014
12	31	1.748	-0.040	0.011
13	32	1.646	-0.010	-0.006
14	33	1.598	-0.010	-0.006
15	34	1.748	-0.010	-0.006

图 14 详细输出的节点位移

4 带斜撑结构位移比的计算及校核

图 15 所示为一简单有斜撑构件的框架结构。该结构首层高度 5m,斜杆沿着 X 负方向偏移 2m,该斜杆构件与竖向夹角为 21.8 度。

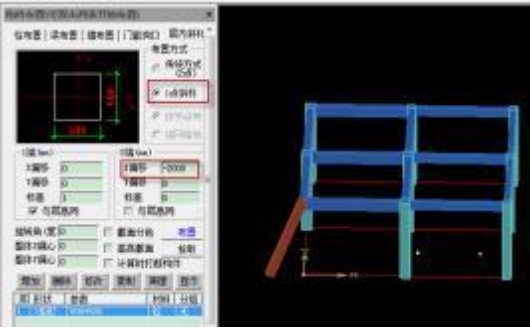


图 15 有斜撑构件的框架结构

如果采用默认设置进行位移比计算,则输出如下首层位移比的结果,如图 16 所示。

表 1 首层位移比结果 (单位: mm)

层号	最大位移 (mm)	最小位移 (mm)	平均位移 (mm)	位移比	位移比
1	2.09 (20)	0.94 (12)	0.94	1.00	1.00
2	2.47 (12)	0.93 (12)	0.98	2.50	2.50

表 2 首层位移比结果 (单位: mm)

层号	最大位移 (mm)	最小位移 (mm)	平均位移 (mm)	位移比	位移比
1	2.09 (20)	0.94 (12)	0.94	1.14	1.14
2	2.47 (12)	0.93 (12)	0.98	2.50	2.50

图 16 不考虑斜撑构件位移结构首层的位移比

为了位移比计算考虑斜撑构件的位移,设置"支撑临界角"为 30 度 (大于斜杆布置的角度

21.8),同时选择"位移指标统计考虑斜柱",计算完毕之后,查看首层位移比的计算结果,如图 17 所示。



图 17 考虑斜撑构件位移首层的楼层位移比

通过对图 16 与 17 对比,最大位移点两种情况下一致,都是 12 号节点,最大位移值为 1.67mm;最小位移节点在不统计斜杆构件时为 13 号节点,最小位移为 1.24mm;最小位移节点在考虑斜杆构件位移时,节点号变为 10 号节点,最小位移还是 1.24mm,虽然最小位移值一致,但是指定支撑临界角后选取的节点号是有别的。图 18 所示为通过节点搜索找到 10 号最小位移节点对应的位置,设置了考虑斜杆构件位移参与位移比统计,sATWe软件在位移比计算时已经考虑该斜杆构件的节点位移。

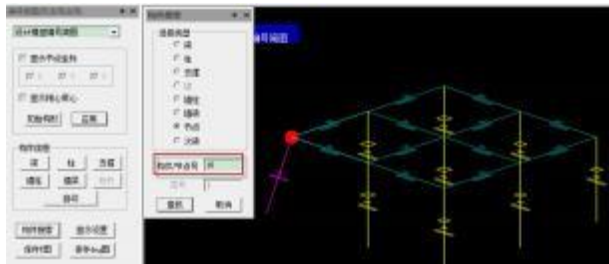


图 18 斜杆构件的位移参与位移比统计

按照规范及软件计算的位移结果校核位移比为: $1.67 / [(1.67 + 1.24) / 2] = 1.15$ 。位移比计算时仅取抗侧力构件对应节点的最大位移与最小位移。

5 结论与设计建议

本文通过对规范位移比的研究及计算过程中可能存在的问题,结合 PKPM 软件对位移比计算时的处理原则,得出如下结论:

1.PKPM 软件根据规范要求,可考虑在偶然

偏心、规定水平力下,强制刚性楼板假定下取楼层的位移比。

2.对规范要求的端部构件,软件默认取楼层最外圈所有墙、柱竖向构件及小于支撑临界角的斜撑杆件。

3.楼层位移比的计算采用最大位移除以平均位移,平均位移取楼层所有外圈抗侧力构件最大位移与最小位移除以 2。

4.对带斜杆的工程,软件中可以人工干预指定支撑临界角,根据工程具体情况,实现该角度范围内作为抗侧力构件统计其位移来计算位移比。

5.对分块刚性板位移比的计算,通过"自定义统计范围指标"实现;对地震作用最不利方向角下的位移比,可通过指定"水平力与整体坐标系的夹角"来实现自动计算位移比。

对结构设计中给出如下建议:

1.对带斜杆构件的结构,位移比计算需要设计师指定在一定角度范围内的斜杆构件属于斜柱,并选择是否在位移比计算时统计该类斜柱的节点位移,程序可根据设计师的指定选择统计。

2.如果采用弹性楼盖计算位移比,由于局部振动变形(包括结构边缘部位),将可能使位移比变形指标放大或者缩小,甚至位移比结果会超过 2,不能对结构整体扭转特性做出合理判断。建议设计中对不做开大洞的楼板采用全楼强制刚性楼板假定计算楼层位移比。

3.按照规范中分块计算楼盖的位移比,程序提供了自动统计功能及手工计算功能,可以通过自定义指标范围实现方便的统计,但得到局部分块楼盖的位移比指标对设计可能未必有实质性指导意义。

参考文献

[1] JCJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[s].北京:中国建筑工业出版社.2010 (JCJ3-2010. Technical code for concrete structure of high rise buildings[s]. Beijing: China Architecture - Building Press, 2010 (in Chinese))

[2] CB50011-2010 建筑抗震设计规范(2016 年版)[s].北京:中国建筑工业出版社.2016 (CB50011-2010 Code for seismic design of buildings[s]. Beijing: China Architecture - Building Press, 2016 (in Chinese))

三维激光扫描技术在工程监测领域中的运用

张箭^{1, 2}, 章胜平¹, 林武东² (1.昆明理工大学, 云南 昆明 650000; 2.广东省水利电力勘测设计研究院有限公司, 广东广州 510635)

[摘 要] 传统测绘技术由于常常局限于单点式测量,无法对建筑工程的全貌如倾斜、隧洞变形、墙体开裂等进行监测。而三维激光扫描技术能够有效的解决这一问题。本文通过珠三角水资源配置工程安全监测 04 标做为实例,介绍了三维激光扫描技术在成型盾构隧洞的姿态观测以及隧洞施工时对地表建筑的倾斜监测,展示三维激光扫描技术在工程监测当中的运用成果。结果表明,三维激光扫描技术对比传统监测手段,具有精度高、速度快、范围广、自动化程度高等优点,在盾构法施工隧洞工程中具有良好的推广应用价值。

[关键词] 工程监测;三维激光扫描;三维点云;监测预警

Application of 3 D Laserscanning Technology in Engineering Monitoring

Zhang Jian^{1, 2}, Zhang sheng-ping¹, Lin wu-dong² (1.Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, China; 2.Guangdong Hydropower Planning and Design Institute Co., Ltd, Guangzhou 510635, China)

Abstract: The traditional surveying and mapping technology is often limited to single point measurement, so it is unable to monitor the whole construction project, such as inclination, tunnel deformation, wall cracking, etc. Three-dimensional laser scanning technology can effectively solve this problem. This article introduces the posture observation of 3 D laser scanning technology in forming shield tunnel and the inclination monitoring of surface buildings during tunnel construction, and shows the application results of 3 D laser scanning technology in project monitoring through the example of the Lot 4 of safety monitoring of the Pearl River Delta Water Resources Allocation Project. The results show that the three-dimensional laser scanning technology has the advantages of high precision, fast speed, wider range, high degree of automation, and has good application value in shield tunneling.

Keywords: Engineering monitoring; Three-dimensional laser scanning; 3 D point cloud; Monitoring and early warning

0 引言

目前,大多数盾构施工隧洞监测仍以传统全站仪、水准仪测量为主要监测手段。该种测量手段获取数据虽然精度较高,但是大多采用单点式数据采集,不仅采集点数较少,无法反映隧洞全貌,且效率低下、人工成本高,对于动辄几十公里长的隧洞监测,存在着显而易见的缺点。正因如此,运用三维激光扫描仪获取可靠的三维激光点云数据,并对数据进行分析的新型监测技术手段应运而生。

与传统测量手段相比,三维激光扫描技术、倾斜摄影测量等新兴测绘技术近几年发展迅猛,在大

范围监测、无人机等领域大有赶超传统测量技术的趋势^[1]。其中,三维激光扫描技术在盾构隧洞及地表监测中具有采集点数众多、非接触性、穿透力强、受环境影响小、范围广、精度高、人工成本低、自动化程度高等特点。近年来,开始逐渐运用到工程监测当中,且三维激光扫描技术已日渐完善。为解决现有盾构隧洞监测中常规测绘手段的不足,本文引入三维激光扫描技术对盾构隧洞进行监测,探讨了三维激光扫描技术在盾构隧洞工程中的应用。

1 三维激光扫描技术

1.1 工作原理

三维激光扫描技术是由多种高新技术集合的综合激光扫描系统,主要由三维激光发射与接收装置、彩色 CD 相机、控制电路板、马达可控制旋转滤光镜和计算机相应软硬件组成^[2]。其工作原理是

[收稿日期] 2022 -11 -12

[作者简介] 张箭(1985 -),男,硕士,工程师。主要从事建筑工程监测相关工作

[联系方式] E-mail:157894882@qq.com

通过内置系统在 X、Y 两个方向进行快速发射脉冲激光信号,通过记录激光到达目标后反射回三维激光扫描仪的往返时间 自动计算扫描仪与 目标地物间的距离 s ,并同步记录激光脉冲的横向角度观测值 α 和纵向扫描角度观测值 θ 。从而计算得到扫描仪自定义坐标系下的三维坐标(X、Y、Z),见图 1。

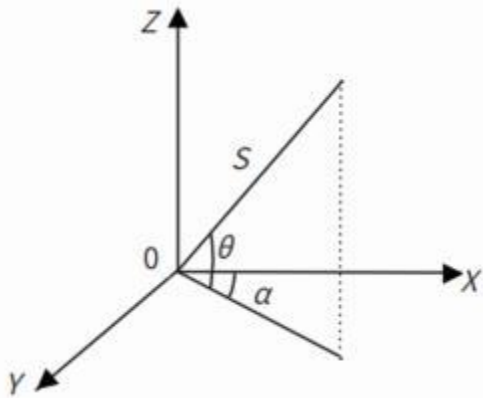


图 1 三维激光扫描技术的基本原理
Fig. 1 Basic principles of 3 D laserscanning technology

1.2 技术路线

三维激光扫描仪通过发射激光快速阵列式扫描空间环境,可以获取极高 分辨率的三维空间点云,点云数量一 般达到百万数量级。而由于三维激光扫描仪的视角所限,且获取的地形环境大多较为复杂,这不得不需要进行多视角多站点扫描,并在全部扫描完成后将多站点云拼接到一起。特别注意的是,分站式扫描需要在一定程度上进行重叠扫描以保证扫描质量(一般重叠度在 30%以上)。

外业扫描完成后的即可进入三维点云内业处理阶段,内业处理阶段大致包含 5 个步骤。具体三维激光扫描技术路线见图 2。

(1) 多站数据拼接和坐标转换,这一 步骤的目的是将多个测站的点云数据拼接到一起,并赋予点云实际的空间坐标系。

点云数据拼接主要分为标靶拼接和自由拼接。标靶拼接是将点云通过多站之间的共同标靶拼接到一块,一般两站之间的共同标靶不得少于 2 个且必须空间分布合理^[3]。这一步非常关键,因为标靶的空间位置和数量直接决定了点云的拼接质量。而自由拼接仅限于测站与测站点云之间重叠度高且特征地物比较明显的地表建筑物,这里不展开讨论;

(2) 空间点云滤波降噪。将空间内的不相关的噪声点,如隧洞内的粉尘噪点、地表建筑物旁的植被、来往的行人车辆以及遮挡物点云进行剔除;

(3) 点云数据裁切精简。这一 步骤是对点云数据进行精简,只保留参与拟合的点云,并适当进行裁切,分段进行分析,最后再进行统一,以提高后续点云处理效率。

(4) 点云数据拟合。这一 步骤是将处理好的点云在软件中进行拟合形成曲面,如将隧洞断面拟合成椭圆、将房屋立面拟合成平面等;

(5) 形变参数提取,通过三维建模软件对拟合曲面进行参数提取,找出隧洞中心线、椭圆度,地表建筑物立面与平面间的倾斜率等。

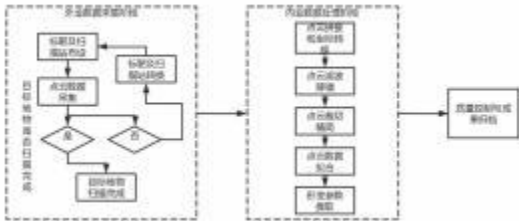


图 2 三维激光扫描的技术路线
Fig. 2 Technical route of 3 D laserscanning

本次三维激光扫描使用的是徕卡三维激光扫描仪 P50,见图 3。徕卡三维激光扫描仪 P50 是新一代采用 wFD 波形数字化技术的脉冲式扫描仪,其距离精度在 120 米范围内可达毫米级,与全站仪精度相差无几。点云拼接和坐标转换采用的是专业配套点云拼接软件 Cyclone,点云后处理如点云数据拟合、形变参数提取等是采用的三维点云建模工具 3 D Reshaper。

2 应用案例

2.1 工程概况

珠三角水资源配置工程是国务院要求加快建设的 172 项重大水利工程之一,全长 113.2 km。其中安全监测 04 标监测的盾构隧洞总长 5.9 km,地下穿越了东莞市、深圳市区。为全面了解成型隧洞的中线的姿态以及管片成型后椭圆度检测和隧洞周边地表重要建筑物在掘进过程中的不均匀沉降过程,需对隧洞以及周边建筑物开展三维激光扫描。本文分别对盾构隧洞和周边地表建筑物两种案例



图 3 徕卡 P50 三维激光扫描仪
Fig.3 Leicascanstation P50

为例，介绍三维激光扫描技术在工程监测领域中的应用与实施案例。

2.2 盾构隧洞三维激光扫描案例

传统测绘方法对成型盾构隧洞进行贯通测量时往往采用断面仪、全站仪进行单点测量等，不仅效率低下，而且无法反映隧洞的真实全貌，而采用三维激光扫描不仅可以全面了解隧洞的轴线误差、管片的椭圆度等成型信息，还可以记录混凝土管片表面裂缝分布大小、管片错台等情况^[4]，为成型隧洞的质量提供重要准确的信息并进行及时归档。

隧洞三维激光扫描的一个重要环节是将已有的导线控制点坐标赋予三维点云。常用的方法是在隧洞贯通后，利用全站仪对隧洞内控制点进行贯通误差测量，即利用始发井和接收井控制点进行贯通隧洞附和导线测量。将平差后的导线点做为三维激光扫描标靶的控制点。

由于盾构隧洞狭长的特点，扫描时需要多测站进行扫描，站与站之间的距离选定就尤为重要。如扫描站间距过短，会导致扫描效率降低，增加工作量；如扫描站距离过长，会导致离测站较远的管片扫描点过于稀疏而无法达到软件要求^[5]。通过实践发现，站与站之间距离设置在 60~80 米之间较为合理。另外，在扫描过程中可以将隧洞按照每 200~300 米划分为若干个测段，保证在一个测段内有一组已知的导线控制点做为标靶点，这样既可以提高扫描效率，又能够保证点云拼接质量。

实践证明，扫描完成三维点云在 Cyclone 软件中拼接完成，拼接误差均在 5 mm 以下，满足设计要

求，见图 4。

Source	Target	Type	dx	dy	dz	Source	Target	Type	dx	dy	dz
1	2	Translation	0.000	0.000	0.000	1	2	Translation	0.000	0.000	0.000
1	3	Translation	0.000	0.000	0.000	1	3	Translation	0.000	0.000	0.000
1	4	Translation	0.000	0.000	0.000	1	4	Translation	0.000	0.000	0.000
1	5	Translation	0.000	0.000	0.000	1	5	Translation	0.000	0.000	0.000
1	6	Translation	0.000	0.000	0.000	1	6	Translation	0.000	0.000	0.000
1	7	Translation	0.000	0.000	0.000	1	7	Translation	0.000	0.000	0.000
1	8	Translation	0.000	0.000	0.000	1	8	Translation	0.000	0.000	0.000
1	9	Translation	0.000	0.000	0.000	1	9	Translation	0.000	0.000	0.000
1	10	Translation	0.000	0.000	0.000	1	10	Translation	0.000	0.000	0.000
1	11	Translation	0.000	0.000	0.000	1	11	Translation	0.000	0.000	0.000
1	12	Translation	0.000	0.000	0.000	1	12	Translation	0.000	0.000	0.000
1	13	Translation	0.000	0.000	0.000	1	13	Translation	0.000	0.000	0.000
1	14	Translation	0.000	0.000	0.000	1	14	Translation	0.000	0.000	0.000
1	15	Translation	0.000	0.000	0.000	1	15	Translation	0.000	0.000	0.000
1	16	Translation	0.000	0.000	0.000	1	16	Translation	0.000	0.000	0.000
1	17	Translation	0.000	0.000	0.000	1	17	Translation	0.000	0.000	0.000
1	18	Translation	0.000	0.000	0.000	1	18	Translation	0.000	0.000	0.000
1	19	Translation	0.000	0.000	0.000	1	19	Translation	0.000	0.000	0.000
1	20	Translation	0.000	0.000	0.000	1	20	Translation	0.000	0.000	0.000

图 4 三维点云配准列表
Fig. 4 3Dpointcloud registration list

拼接完成点云经过专业点云处理软件进行滤波降噪、裁切、管片拟合后等数据处理后，可以求出隧洞中心线坐标、管片椭圆度检测等信息。实践发现，盾构隧洞内所有断面仅 0.44% 的断面高程和 1.76% 的断面椭圆度超出设计值^[6]，满足设计要求，见表 1。

表 1 偏差值统计表

Table1 statistictableof4 eviationvalues				
桩号	X偏移量 / mm	Y偏移量 / mm	H偏移量 / mm	椭圆度 / %
010 +095.130	6	" 3	" 15	0.9
010 +087.630	5	" 5	" 14	2.6
010 +080.130	20	5	" 1	2
010 +072.630	16	" 3	" 19	4.2
010 +065.130	11	" 3	" 5	0.3
010 +057.630	17	" 14	11	0.5
010 +050.130	" 11	" 8	25	1.4

2.2 地表建筑物三维激光扫描案例

传统地表监测常常采用水准仪对建筑物进行沉降观测、不均匀观测等，往往观测仅仅局限于有限的沉降观测点上，无法对建筑物的整体倾斜、房屋外墙体的裂缝进行观测。而三维激光扫描技术就可以有效的解决这一痛点，通过对比盾构机通过前后周边建筑物如房屋、桥梁、铁塔、水闸的倾斜状态，建立合理的预警机制，可以实时有效的对隧洞周边地表建筑物进行监测预警。

地表三维激光扫描的方法与隧洞扫描方法基本类似，也是分为外业和内业两个阶段。外业扫描过程是在建筑物的四周分别架设扫描仪和标靶对建筑物进行扫描。对于视线较好无遮挡的建筑物可以不架设标靶，后期用自由拼接的方式进行拼接。在扫描完成以后，内业数据处理是对分别点云进行拼接、降噪，将地表建筑物旁的植被、来往的行

人与车辆进行剔除,并对点云进行统一化后即可在专业三维点云建模软件中对房屋、铁塔、桥梁的外平面进行拟合建模^[7],并对建筑物的倾斜率进行统计。作业期间共计扫描周边建筑物共计 127 座,其中房屋 110 栋、桥梁 4 座、铁塔 13 座,共统计立面 449 个,超限立面共计 21 个^[8],占比 4.6%。且超限立面大多为低矮民房,见图 4。

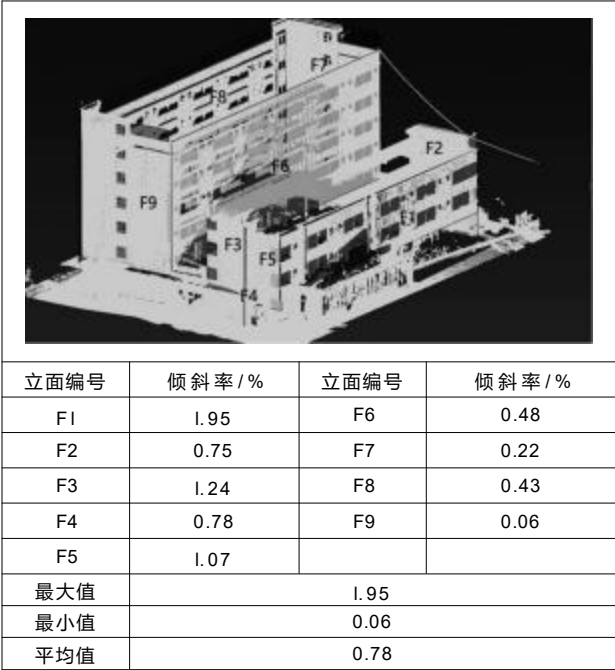


图 5 房屋倾斜率统计表
Fig. 5 Building facade tilt rate list

3 结论

本文以珠江三角洲水资源配置工程盾构隧洞

及周边地表监测为例,介绍了三维激光扫描技术在盾构隧洞变形监测以及地表建筑物监测的应用场景,有效地解决了传统测绘技术无法全面测绘建筑整体形变的问题。实践证明,三维激光扫描技术在采集地表房屋、桥梁、铁塔以及盾构隧洞的全貌等信息时具有采集点数众多、非接触式测量、精度高、范围广、效率高等优点,在工程监测中有具有一定的推广应用价值,值得相关工作人员借鉴。

参考文献

[1] 杨必胜,梁福逊,黄荣刚.三维激光扫描点云数据处理研究进展、挑战与趋势[J].遥感学报,2017,46(10):1509-1516.

[2] 李清泉,杨必胜.三维空间数据的实时获取建模与可视化[M].武汉:武汉大学出版社,2003.

[3] 朱凌,石若明.地面三维激光扫描点云分辨率研究[J].遥感学报,2008,12(3):405-410.

[4] 谢雄耀,卢晓智,田海洋,等.基于地面三维激光扫描技术的隧道全断面变形测量方法[J].岩石力学与工程学报,2013,32(11):2214-2224.

[5] 刘绍堂,刘文错,周跃寅.一种隧道整体变形监测方法及其应用[J].武汉大学学报:信息科学版,2014,39(8):981-986.

[6] GB50446-2008 盾构法隧道施工与验收规范[s].北京:中国建筑工业出版社,2008 (GB 50446—2008 Code for Construction and Acceptance of shield Tunneling Method [s]). Beijing: China Architecture- Building Press, 2011.

[7] 李必军,方志祥,任娟.从激光扫描数据中进行建筑物特征提取研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2003,28(4):65-69.

[8] GB50007-2011 建筑地基基础设计规范[s].北京:中国建筑工业出版社,2011 (GB 50007—2011 Code for design of building foundation [s]). Beijing: China Architecture- Building Press, 2011.

文本数据驱动的施工安全隐患分析流程框架研究

张芸菡, 刘珊敏, 段未珀, 陈珂(华中科技大学 土木与水利工程学院, 湖北 武汉 430074)

[摘要] 施工安全事故在发生之前往往伴随着诸多隐患的产生。在安全隐患管理方面, 目前国内外缺少针对隐患文本的分析研究, 存在数据综合利用程度低, 数据价值缺乏挖掘等问题。鉴于此, 本研究设计了文本数据驱动的安全隐患分析流程框架, 集成数据采集、数据存储、数据分析及隐患排查治理等内容。该流程框架在某地铁施工项目中得到应用, 以施工日志数据为分析对象发现项目安全隐患, 优化排查治理工作。本研究有助于解决当前施工安全隐患管理普遍存在依赖主观经验的问题, 丰富了安全管理手段, 为持续改进现场安全管理提供支撑。

[关键词] 数据驱动; 施工安全隐患; 文本挖掘; 流程框架

TextDataDriven Construction safetyHazardAnalysis ProcesFramework study

Zhang yun-han , LiuJun-min, Duan wei-xun , Chen Ke(school of Civil and Hydraulic Engineering , Huazhong University of Science and Technology, Wuhan , Hubei 430074 , China)

Abstract: Construction safety accidents are often accompanied by many hidden dangers before they occur. In the area of safety hazard management, there is a lack of analysis research on the text of hidden hazards at home and abroad, and there are problems such as slow comprehensive utilization of data and lack of data value mining. In view of this, this study designs a text data-driven safety hazard analysis process framework, which integrates data collection, data storage, data analysis and hidden hazard investigation and management. The process framework is applied in a subway construction project, and the construction log data is used as the analysis object to discover the project safety hazards and optimize the investigation and management work. This study helps solve the current problem of relying on subjective experience in construction safety hazard management in general, enriches the means of safety management, and provides support for continuous improvement of site safety management.

Keywords: data driven; construction safety hazards; text-mining; process framework

0 引言

随着建设活动日益复杂, 隐患排查困难且风险防控难度正不断增加, 因而需要使用更加科学的方式改进传统基于经验的安全隐患管理模式。在此方面, 以物联网、大数据、人工智能等为代表的信息技术快速发展, 施工安全隐患管理提供了更多的解决方案。一方面, 传统纸质文件的数据记录模式正在向电子文档形式转变, 为安全隐患管理提供了丰富的数据资源^[1]; 另一方面, 在施工活动中的大量施工安全隐患管理业务数据可以存入平台数据库

中, 工作人员使用移动端 APP、云平台等可随时进行数据的读取与利用。以上电子化方式都促使安全隐患相关数据的大量积累, 为数据驱动的安全隐患管理奠定了基础。

在安全隐患管理的技术方法方面, 许多研究人员采用数据挖掘与机器学习等方式对隐患数据进行处理, 挖掘安全隐患相关知识, 为安全施工提供指导^[2-3]。但目前针对隐患文本分析的研究缺少系统性的流程框架, 因而施工过程中产生的大量隐患数据得不到有效利用, 无法充分实现数据驱动的施工现场安全隐患管理。

综上所述, 本文基于数据挖掘、数据驱动决策等理论方法, 参考国内外学者构建的安全隐患管理系统^[4-5], 选取合适的数据采集、存储及分析技术, 建立加强施工安全隐患数据利用的分析流程框架,

[收稿日期] 2022-11-16

[基金项目] 国家自然科学基金(72101093)

[作者简介] 张芸菡(1999-), 女, 硕士研究生

[联系方式] E-mail: z770373818@163.com

以此充分利用施工安全隐患数据,为安全隐患管理提供持续更新的信息和知识。

1 安全隐患数据的分析流程思路

受 DIKw 模型启发,构建隐患数据—信息—知识的分析流程。施工日志中的隐患描述文本是原始数据,需要对其进行加工整合,形成具备一定含义的安全隐患信息,随后有目的地进行挖掘和提炼,最终形成对安全隐患管理有指导意义的知识。具体流程框架如图 1 所示,包括隐患数据采集、隐患数据存储与预处理、隐患主题提取及分类、关联规则分析以及隐患数据反馈等内容。

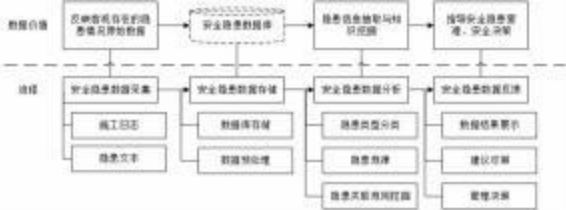


图 1 施工安全隐患数据分析流程思路

2 施工安全隐患数据分析流程与技术

2.1 隐患文本数据采集

隐患文本数据源于施工日志内对隐患的描述,而施工日志数据则可分为两种情况进行采集与获取。一种情况是施工日志集中存放在数据库中,则可直接对数据库进行访问,读取隐患相关的数据信息,并用作后续的分析;另一种情况则是安全隐患的施工日志文本以网页形式显示,并且无权限访问数据库。针对这种情况可通过网络爬虫实现数据的批量获取与重要信息提炼。本文利用 Python 编写网络爬虫代码,通过 request 库以及 lxml 库,实现网络文本爬取和解析的功能。

由于日志数据的无规则性,文本数据的提取较为困难,需要结合数据采集目的、数据源特点等进行针对性编程。如果日志文本的文字整篇堆积,无明显的定位标签,则需要人工提炼信息。利用正则表达式,通过对字符格式的匹配进行分析,实现文本数据的过滤,获取想要的内容。如根据关键词触发对时间、地点、填报人员等信息进行针对性爬取。数据采集流程见图 2。

2.2 隐患文本存储与数据处理

获取数据后,将爬取到的隐患数据直接进行存



图 2 安全隐患数据采集与存储流程图

储,并通过访问数据库的形式进行预处理。在数据存储方面,考虑到数据处理需求及易用性要求,本文选择关系型数据库来进行存储,实现数据读写及事务处理。虽然获取到的数据都由文字、数字组成,但是可将其以结构化形式表示,形成二维表格模式。Mys&L 是本文选择的关系型数据库,具有速度快、安全性高且开源的优点。并且 Mys&L 数据库具备与 Python 的交互功能,通过 Python 编程就能够实现数据的批量管理。但是, Mys&L 本身没有提供图形化的管理工具,开发和维护均在类似 dos 窗口的界面中进行。因此,为了更快上手以及提供更加直观的数据展示,可以通过 Navicat 等图形用户管理工具,直接建立数据库以及表格。

为了更有效地开展分析,对隐患文本数据采取一定的处理措施,主要包括数据清洗、中文文本分词处理、建立用户词典以及去停用词等步骤^[6],见图 3。

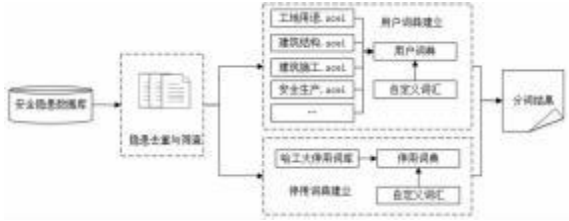


图 3 施工安全隐患文本数据处理流程图

“数据清洗”的目的是过滤掉不符合分析要求的数据,对数据内容的表述进行仔细筛选,去除错误判断和重复填报等情况。“中文文本分词”是在数据初步清洗后,利用专业的辅助工具,对词语进行识别与划分。本文选择 jieba 分词工具,可在 Python 直接安装 jieba 库进行使用,具备关键词提取、自定义词典等功能。之后,为提高分词精度,优化分词效果,需要设置“用户词典”以及“停用词表”。根据施工项目不同,可以选择不同场景需求的安全隐患词库。最后需要“过滤停用词”,使用哈

工大停用词库,对无意义的副词、介词和虚词进行剔除,减少对后续分析的干扰。

2.3 隐患文本主题提取与分类

对隐患进行分类是安全隐患管理的重要内容,能够对隐患数据的进一步分析与挖掘创造条件。本文采用 LDA 主题模型来实现对文本主题信息的提取。LDA 即隐含狄利克雷分布 (Latent Dirichlet Allocation),是文本处理常用的主题模型方法,它克服了传统主题挖掘中忽视语义关联的问题,以“文档-主题-词”的三层贝叶斯模型模拟文档中词语的生成过程,最终实现对文字中隐含主题的挖掘^[7]。同时,由于 LDA 是非监督学习,能够用于大批量文档语料的潜在主题信息自动挖掘和文本聚类。LDA 模型最终输出结果由“关键字*权重”组合而成,并且将联系比较密切的词语形成聚类,权重较大的关键词越能代表该主题内容,根据关键词可以对主题类型进行定义。

在分类方面,虽然可以利用 LDA 主题模型对每个文档的最大概率主题进行计算,实现类别的区分,但是分类结果准确率较低,难以准确提取隐患信息,故需要另外寻找方法。对各主题的关键词进行观察可以发现,不同隐患主题所含的关键词具有明显的区分作用,利用个别关键词或者词的组合即可辨别主题类别。因此,可以利用 LDA 主题模型对文档进行降维,获取若干主题及关键词,并使用关键词作为文档分类判定的依据。当出现分类失败时,则由人工进行审核。如果隐患文本不属于 LDA 模型生成的任何一个主题,则可对模型主题进行完善,涵盖所有主题。如果问题出现在分类上,由于文本不包含主题描述的关键词,从而导致的分类失败,则对生成分类的关键词组进行更新,由此实现主题提取和分类的学习功能。日志文本的持续输入使分类功能也在不断完善,最终建立成熟的主题模型和分类机制,能够自动而准确地处理施工活动的隐患文本数据(见图 4)。

2.4 隐患文本类型关联分析

关联规则挖掘是发现数据间关联性的方法,找出可信的规则,能帮助施工人员做好决策。在对主题进行分类后,可以将文档隐患情况进行关联规则的挖掘。发现如隐患发生频繁项、隐患之间相关性、隐患发生与时空之间关联等规律。

本文运用 Fp-growth 算法进行关联挖掘。该算

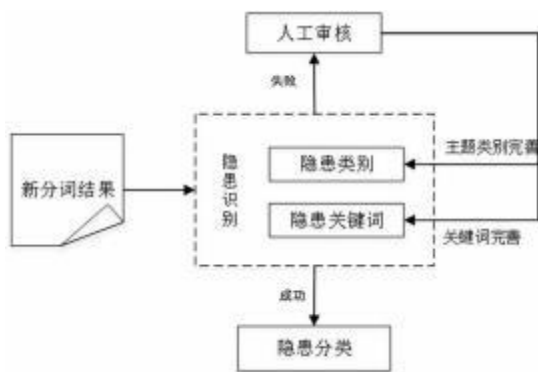


图 4 施工安全隐患数据分类方式

法不同于 Apriori 等算法,只需要扫描两次数据库,显著减少了 I/O 过程^[8]。Fp-growth 算法过程主要包括以下步骤:产生频繁项列表、建立频繁模式树和挖掘频繁项集。在整理出所有频繁项集和路径后,进行关联规则挖掘,并计算相应的置信度,从而做出判断。

2.5 隐患文本数据反馈

对上述隐患文本数据处理后的结果进行展示,其中, LDA 主题模型可使用 Python 的 pyLDAvis 库实现可视化。pyLDAvis 是 Python 中的一个对 LDA 主题模型进行交互可视化的库,可以将主题模型建模后的结果,制作成一个网页交互版的结果展示工具。

对安全隐患数据进行挖掘,目的是整合信息、发现安全知识,最终将安全信息与知识用在实际隐患管理中,为安全开展施工活动提供有用的参考建议,实现数据驱动安全隐患管理。针对频繁发生的隐患应当着重关注,防止其引发安全事故,这对安全隐患排查方向起到一个指导作用。通过进一步分析,发现隐患发生的潜在规律或知识,确定重点观察对象,做好隐患的预防和排查工作。如高空作业隐患在某条线路施工中频繁发生,则重点针对此线路对此构建完善的隐患排查治理体系,合理确定隐患排查周期,做好闭环管理。同时应加强现场管理工作,包括对安全设备的检查以及对安全施工的监管,针对性地对该施工区域的工人进行安全知识培训,强化高空作业安全理念和安全技能。

3 应用案例

为验证提出的流程框架的有效性,以某市地铁施工工程为例,对该项目的施工日志文本数据进行

分析。

图 5 展示了该项目某线路的站点施工与区间施工安全隐患类型统计,可以发现其站点和区间隐患发生类型有较大的差别,地铁站点施工隐患以杆件搭设、支撑架设以及临边防护隐患为主,而区间段施工则用电、积水和临边防护隐患方面发生较为频繁,同时区间段还存在有盾构掘进、管片质量特有隐患类型。因此针对不同的施工场所,隐患关注重点应当有调整。

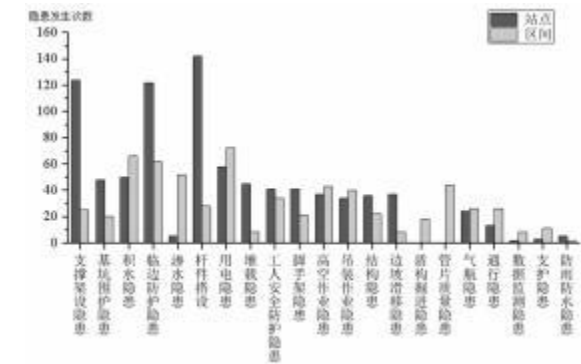


图 5 某线路站点与区间的施工安全隐患类型统计

利用 Fp-growth 算法,对文档的隐患关联规则进行挖掘,发现了隐患发生的关联情况(见表 1)。

表 1 关联规则挖掘结果

序号	规则
1	0 高空作业隐患* 30 工人安全防护隐患0
2	0 堆载隐患* 30 积水隐患0
3	0 杆件搭设隐患0,0 脚手架隐患* 30 临边防护隐患0
4	0 支撑架设隐患0,0 渗水隐患* 30 基坑围护隐患0
5	0 堆载隐患* 30 基坑围护隐患0
6	0 基坑围护隐患0,0 积水隐患* 30 渗水隐患0

根据表中规则可以得到一些结论:高空作业时,重点检查工人的安全防护措施是否到位,必须按照规定要求佩戴防护用具如安全帽、安全带等。地面堆载、支撑架设不规范以及基坑内渗水,需要对基坑的围护结构进行检查,避免产生安全隐患。在杆件架体和脚手架搭设时,临边防护是关注重点,制定防护方案并进行经常性检查。地面堆载过多物品,可能会造成地下结构内产生积水,或会影响积水的抽排。

综上,针对具体的地铁线路、地铁施工场所、时间分布,分析隐患排查重点,同时,可将施工日志数

据持续输入,让模型不断学习,最终从海量数据中发现隐患分布的普遍规律。最后根据关联规则分析结果,注重隐患产生的关联性,及时作出预防方案,制止事态恶化,以免产生更严重的后果。该应用案例验证了本研究提出的流程框架的可行性。同时,本流程框架可持续性输入施工日志数据,将促进形成基于数据驱动的施工安全隐患管理模式。

4 结论与展望

随着建筑业信息化发展,施工安全隐患数据得到不断积累,为数据驱动安全隐患管理提供了契机。本文设计了一套流程框架,有效利用大量隐患数据,完善了数据驱动安全隐患管理的研究内容。本文主要结论如下:

- 1) 为实现数据驱动施工安全隐患管理,构建了一套安全隐患数据分析的流程框架,以日志文本数据为分析对象,实现对隐患类型的识别以及隐患发生规律的发现,从而充分挖掘该类型数据的价值。
- 2) 利用某市地铁质量安全监测平台的施工日志数据,对分析流程框架进行实证研究。对隐患类别、隐患发生与时间、空间的关系进行分析,发现不同线路、不同施工地点以及施工时间段上隐患的发生规律。同时对隐患关联情况进行分析,发现了隐患发生的关联规则。以上数据挖掘结果验证了流程框架的有效性,为隐患重点排查与治理指出方向。

参考文献

[1] R.Kanan , O. Elhasan , R. Bensalem. An IoT-based autonomoussystemforworkers0 safetyin construction siteswith real-time alarming, monitoring, and positioning strategies. Automation inConstruction.2018 , 88 : 73 -86 .

[2] 刘文,杨志勇,刘东军,等.城市轨道交通工程施工安全事故聚类分析[J].科学技术与工程,2021,21(07):2982-2988 .Liu wen , YangZhiyong, LiuDongjun , etal. Clusteringanalysisof safetyaccidentsin urban railTransitEngineering construction [J] . scienceTechnologyand Engineering, 2021 , 21 (07) : 2982 -2988 .

[3] 张东成,强茂山,江汉臣,等.大型工程安全隐患管理协作特征挖掘[J].清华大学学报(自然科学版),2022,62(02):208-214 .ZhangDongcheng, &iangMaoshan, JiangHanchen , etal. Colaborativefeature mining forlarge projectsafety hazard management. JournalofTsinghuaUniversity(Naturscience Edition) .2022 , 62 (02) : 208 -214 .

[4] X. Xu , P. X. w. Zou. Discoveryofnewsafetyknowledgefrom

mininglargeinjurydatasetin construction. safetyscience. 2021, 144 : 105481 .

[5] 张宇栋 , 吕淑然 , 李玉杰 . 生产事故隐患排查治理及预警管理信息系统研究[J] . 安全与环境工程 , 2017 , 24 (02) : 148 -152 + 158 . ZhangYudong, Lvshuran , LiYujie. Research on production accidenthidden dangerinvestigation and management and earlywarningmanagementinformation system. safetyand EnvironmentalEngineering. 2017 , 24 (02) : 148 -152 .

[6] 王颖洁 , 朱久棋 , 汪祖民 , 等 . 自然语言处理在文本情感分析领域应用综述 [J] . 计 算 机 应 用 , 2022 , 42 (04) : 1011 -1020 . wangYingjie, Zhu Jiuqi, wangZumin, etal. , Bowand Arow. Areviewofnaturallanguageprocesingapplicationsinthefieldof textsentimentanalysis[J] . ComputerApplications, 2022 , 42 (04) : 1011 -1020 .

[7] 廖列法 , 勒孚刚 , 朱亚兰 . LDA模型在专利文本分类中的应用 [J] . 现代 情 报 , 2017 , 37 (03) : 35 -39 . LiaoLefa, LeFugang, Zhu Yalan. Application ofLDAmode linpatenttextclasification [J] . Modern Inteligence, 2017 , 37 (03) : 35 -39 .

[8] 马瑞敏 , 吴海霞 . 基于 FP Crowth算法的关联规则挖掘研究 及应用 [J] . 太 原 师 范 学 院 学 报 (自 然 科 学 版) , 2021 , 20 (01) : 19 -22 . Ma, Ruimin, wu , Haixia. Research and application ofasociation ruleminingbased on FP Crowth algorithm[J] . JournalofTaiyuan NormalColege (Natural scienceEdition) , 2021 , 20 (01) : 19 -22 .

Web3.0 时代下建筑软件工具的应用及探索现状分析

张春芳(中国建筑科学研究院有限公司,北京 100013)

[摘要] 本文在数字经济 web3.0 的时代背景下,分析 web3.0 的技术体系,并对其在建筑领域的应用进行探索,将建筑的全生命周期作为研究的纵向维度,建筑各专业作为横向维度,分析软件工具的应用和研发现状,预测未来建筑在互联网生态下的数字化转型升级方向及可能性。

[关键词] web3.0;建筑全生命周期;软件工具;互联网生态;数字化转型升级

Analysis of The Application and Exploration of Architectural software Tools in The Era of web 3 . 0

Zhang Chun-fang(China Academy of Building sciences, Beijing 100013, China)

Abstract: In the context of the digital economy web3 . 0 era, this paper analyzes the evolution of its technical system, and explores its application in the field of architecture, taking the whole life cycle of architecture as the vertical dimension of research, and various disciplines of architecture as the horizontal dimension, analyzes the application and research and development status of software tools, Predicting the direction and possibility of digital transformation and upgrading of buildings in the Internet ecosystem in the future.

Keywords: web3 . 0 ; the whole life cycle of architecture; software tools; internet ecology; digital transformation and upgrading

0 引言

全球互联网发展迈入 web3.0 时代,新一代互联网将是信息聚联和用户价值共享的时代。建筑行业作为国民经济产业的重要支柱,其行业的数字化转型受到政府的高度重视。“十四五”规划纲要下,我国加快部署推进新基建,培养壮大数字经济新动能。近年来,数字经济规模占 GDP 的比重持续攀升,到 2025 年有望突破 55%。数字经济已成为我国实现“变道超车”的关键举措。2021 年,各项政策红利加持,“十四五”规划新增了数字经济核心产业增加值占 GDP 的比重等新经济指标。建筑企业在融合数字化基因的过程中,逐渐摆脱粗放的传统标签,通过新一代互联网为建筑产业赋能,从底层加入建筑元素的训练,便涌现了 AI、大数据、机器学习、人工智能等和建筑工程技术的交叉研究。

这些政策及技术的出现,必将推动建筑行业数

字化转型的快速发展,未来建筑产业会衍生为:以信息技术为底层的共享互联网、建筑经济数字化的产业链,对于进一步推进建筑节能,实现建筑行业的可持续发展具有十分重要的意义。本文在分析 web3.0 时代下的技术研究特征的基础上,展示建筑全生命周期过程中所输出的建筑产业链的数字化转型升级成果。

1 Web3.0 技术体系演进分析

1.1 技术特点

web3.0 的核心特征是一个用户共建、隐私保护、平台开放的生态体系,不仅是技术层面的迭代更新,更是多项科技的集成。互联网在演进过程中,往往伴随着存储、网络、软件的全方位更新,从 web1.0 到 web2.0 时代,互联网技术多以点、线状态迭代,而 web3.0 时代则呈现由 5C、VR、AR、区块链、云计算、芯片、边缘计算等多项科技全方面集成态势。web3.0 是信息聚联与价值共享的用户互联网,用户对 ID、内容、数据拥有自主权。web3.0 的出现打破了 web2.0 时代互联网生态的诸多边界,

从互联网的定位、中心模式、内容传输形态、ID数字身份管理模式、用户角色定位、数据形态等方面进行了全面重塑。

1.2 生态体系

web3.0 基于区块链的去中心化特征构建，生态体系较 web2.0 生态体系大有不同。web3.0 生态体系主要有四层，分别是基础层、软件层、交互层和应用层，另外还有相关配套的社会治理体系和经济系统。基础层提供底层的计算、存储、网络、区块链基础设施等，软件层提供引擎、AI、操作系统等软件系统，交互层则提供交互设备，应用层则是主要的应用场景与赛道。软件层作为基础设施的载体，是整个体系的骨架也是最核心的部分，因此基于 web3.0 的应用场景特点，从建筑领域展示各专业在 web3.0 生态体系下软件层的应用和探索。

2 建筑软件工具的应用研究

随着数字化时代的进程加快，数字化和智能化技术也开始逐步应用在建筑工程行业，大大提高了城市建造的效率和质量。行业内数字化软件开发的企业也针对建筑全生命周期过程，分析行业中诸多亟需解决的痛点，做出了全专业的实践、改革和探索。以北京构力科技有限公司开发的软件为例进行探讨。

2.1 设计阶段的探索

"数智融合"的数字设计是设计的智能化、业务的一体化和数据的资产化。北京构力科技有限公司重构设计业务数字化，融合数据、算法与算力，以数据驱动的一体化设计，建立全要素、全过程、全参与方的协同设计模式，打造建筑全领域的数字化工具，实现了从信息化走向智能化、从工具化思维走向数据思维、从数据孤岛走向数字孪生，让设计回归到创意本质。

1) 结构专业：结构智能辅助设计软件 PKPM- AID

在建筑工程的结构设计中，设计师主要面临的痛点如下：依赖设计人员的经验，反复的手动调整模型效率低，经济性安全度取舍难等(图 1)。

为解决以上问题，构力科技与奥雅纳合作，依托 PKPM软件平台，结合奥雅纳成熟高效的结构智能化算法，共同研发用户体验好、符合国内规范的结构智能辅助设计软件(PKPM- AID)，推动建筑结



图 1 结构设计中的困境

构自动化、智能化的技术应用，提升设计效率和设计水平。

PKPM-AID,可智能确定调整方向，自动迭代计算搜索最优截面，让更高效的"算法调试"代替"人工试错"，高效完成构件截面优选以及整体计算指标的控制，大幅度提高设计效率和设计质量，让设计师更多的去关注设计本身。相比传统设计流程，"设计效率提升 50%，节约经济指标 10%以上"(图 2) [1]。

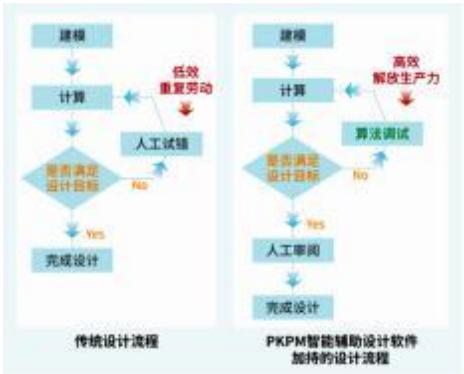


图 2 PKPM-CAE软件设计流程优化

此外，PKPM结构还提供了 API二次开发接口，包含模型数据、计算和设计引擎、结果数据等内容，可为开发者提供参数化、结构优化挖掘成本能力以及个性功能订制等价值。这充分展现了 web3.0 信息聚联与价值共建、共享的能力。

2) 电力专业：

电力领域中，为设计师提供了各构件类型的数字化模型创建工具，可以建立完整的建设模型，同时支持后期的数字化应用，包括：模块化设计、碰撞检查、开洞提资、对接节能和碳排放等分析计算，出图、清单统计、数字化审查、可视化应用等。总图设计阶段还可以识别地形文件生成初始地形数据，并在地形基础上实现场地平整，土石方计算，自动统计挖填方量等。这些研究为电力设计行业提供了新赛道，逐步靠近真正的正向设计。

3) 工业领域:PKPM-CAE通用仿真云计算系统

通用仿真软件广泛应用于机械制造、材料加工、汽车、航空航天、土木建筑等领域,是国家的工业基石之一。其系统复杂度高,物理和数学层面理论难度大,同时牵涉多学科的交叉协同,因此开发难度大、成本高、周期长。由于国内对通用仿真软件的研究起步较晚,导致该领域长期被欧美国家垄断,属于典型的"卡脖子"领域,在一定程度上已经影响国家的工业数据安全(图 3)。

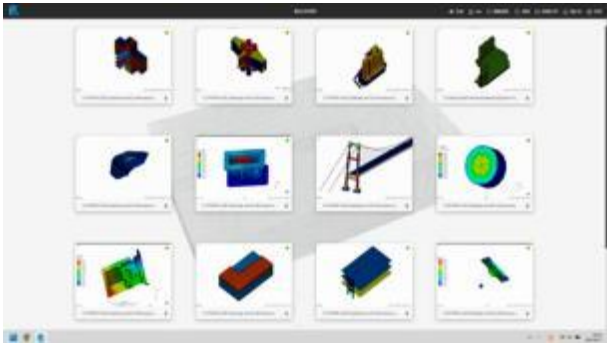


图 3 PKPM-CAE软件界面

该产品拥有完全自主知识产权的二维和三维网格划分引擎;分析功能包括模态、静力、稳定性、隐式/显式动力学、谐响应、谱分析等,支持生死单元和超级单元技术,支持 cpu 和 gpu 多核并行(云版和 Linux版);支持的非线性形式包括几何、材料(弹性)、接触等;支持耦合、绑定、嵌入等多种广义连接,支持自定义约束方程和主从自由度;

同样还提供丰富的外部接口,可导入 PKPM结构设计模型或 Abaqus或 ANSYS 等有限元计算模型,现阶段正在扩展 stl、igs、obj等通用几何模型接口(图 4)。

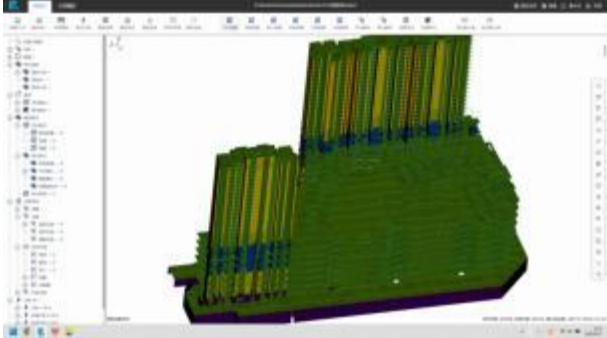


图 4 PKPM-CAE有限元计算模型

PKPM-CAE通用仿真模拟系统突破关键技术问

题,实现通用仿真模拟成套技术突破,解决工业领域通用仿真模拟问题^[2]。软件拥有完整且自主可控的仿真模拟前后处理系统、任务调度系统、网格划分和通用有限元计算内核。PKPM-CAE不仅支持 WEB端,也可以在云端进行使用,两者操作界面完全一样,且桌面版可与 WEB版进行项目交互(拉取和推送),从而实现了两者的统一。

2.2 审查阶段的探索。B1M 报建审查系统

建研构力 BIM 报建审查系统是国内首个 BIM 报建审查审批系统(图 5)。基于自主软件开发,通过行业首创公开格式,可实现轻松对接各种 BIM软件,对 BIM模型进行指标自动化计算,一键导出项目审查报告,提升报建审批质量及效率。通过审查的 BIM模型及数据可以无缝接入城市管理(CIM)平台,为智慧城市提供建筑模型和数据,助力建设领域的数字化、信息化、智能化发展。



图 5 BIM报建审查系统展示

BIM报建审查系统的优势主要在于报建前自行预审查,为报批提质增效;项目指标自动计算,审查准确快速,一键生成审查报告,审批高效便捷。项目数据入库城市平台,为 BIM 成果增值,打通信息孤岛,实现不同软件、不同专业、各类技术的数据互通,支撑智慧城市应用。解决行业痛点,公开数据格式,促进信息共享共融。

2.3 交付阶段的探索。以 B1MBase为核心的 PKPM 软件生态

国务院国资委首次发布国有企业 10 大科技创新成果,中国建研院构力科技自主研发的国产 BIM 平台软件 "BIMBase系统" 成功入选 BIMBase代表 "中国芯" 的国产 BIM 平台软件实现工程建设行业

数字化转型的关键技术^[3]。它是一个建筑领域集“软件”、“平台”、“生态”为一体的区块链(图6)。



图6 BIMBase核心技术

平台是以数据、渲染、几何三大引擎作为核心能力,具备九大核心功能。支持多专业、多终端的企业级协同设计支持,实现了“多人多端,协作提效”。主流软件数据格式兼容,可以。一个项目,多源模型。且对象属性数据的挂载和编辑实现“物码关联,一联互通”^[4](图7)。提供依据交付标准的模型检查,保证交付质量,可作为数字化交付的最终出口(图8)。



图7 BIMBase数据接口



图8 BIMBase软件功能

正是基于以上这些特征,为建筑行业从横向维度上搭建了各专业开发应用的平台(图9),如电力、公路、市政、石化等;从纵向维度上提供了全生命周期集成应用的解决方案。



图9 BIMBase全生命周期解决方案

3 总结和展望

结合建筑领域从微观的视角来看,未来建筑领域的数字化转型可以从以下几个方面开展:

(1) 以数字平台为支撑的智能化协同设计。通过智能化协同设计,可进一步规范设计流程、保证设计质量、提升设计效率。同时,大幅提升信息化管理水平和信息安全级别,实现跨地域协同工作,文件随时存储、可追溯,为设计业务高质量发展提供重要技术支持。

(2) 以人工智能为核心的智能化设计与优化。数字化、智能化将会成为未来建筑设计方法发展的主流方向,而机器学习是人工智能的基础,通过运用计算机强大的计算能力,深入挖掘并解析数据信息,从统计意义上拟合复杂函数,从而得到最优解。采用机器学习技术可为建筑结构进行精确、量化设计提供有效途径。

(3) 基于BIM的施工图智能审查。施工图智能化审查可以显著提高施工图审查效率和质量。同时,基于BIM的审图技术打破传统二维审图模式,以三维建筑模型为基础,可快速、全面、准确、高效的发现项目中的问题,不仅大幅减少审图成本,还可有效减少施工中的返工,提高建造质量。

从宏观视角来看,当下web3.0现在还是价值投资的阶段,也就是虚拟货币和数字货币,中国也根据自身优势发展起了自己的web3.0产业,即区块链和数字资产。web3.0提出了新概念DAO(DataAcce0bject),它是一种文化性的重塑,这种重塑追求数字游民和数字联邦的概念,从组织层面来说,也是新的一种管理模式。国内的很多社区也

正转向 DAO社区,当然这种重塑是否仅仅停留在技术人员和文化思潮下的产物,还是可以为行业转型增效赋能,还需要时间去验证^[5]。DAO概念的出现可能也会颠覆某些行业传统的工作方式。通过成立一个建筑师 DAO去获得建筑项目并完成相关的建筑实践,实践一旦成功这对于 web3 和建筑领域来说都是一次巨大的飞跃。

从未来十年来看,中国经济未来的增长点在于数字经济:数字经济是数字革命的产物,涵盖范围包括了底层基础设施、通用技术、通用资源等,这意味着数字经济的竞争是一场全球化的竞争。从未来十年来看,中国经济未来的增长点在于数字经济:数字经济是数字革命的产物,涵盖范围包括了底层基础设施、通用技术、通用资源等,这意味着数字经济的竞争是一场全球化的竞争。建筑领域数字化是中国 WEB3.0 发展的重要方向之一,除基础的互联网技术之外,众多科技将集成发展。回顾历

史,重大科技创新离不开政府的支持、产业的发展、学界的碰撞,中国需要加强鼓励科技创新,加大对建筑国产软件自主化探讨的支持,从而推进中国建筑数字化发展。

参考文献

- [1] 张荷花,顾明.BIM模型智能检查工具研究与应用[J].土木建筑工程信息技术,2018,10(2):6.
- [2] 董艳辉.BIM技术在水利工程配套设施中协同设计的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(4):4.
- [3] 郭素芹,田苗,张刚.浅析数字化技术在建筑设计中的应用研究[J].建筑工程技术与设计,2017.
- [4] 刘鹏.建筑结构设计中BIM技术的应用实践分析与研究[J].工程建设与设计,2018(11):3.
- [5] 李湘媛.web3.0时代互联网发展研究[J].中国传媒大学学报:自然科学版,2010.

既有建筑安全监测预警与智能诊断系统研究

焦柯, 胡成恩, 叶文许(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东省 广州市 510010)

[摘 要] 国内既有建筑普遍存在寿命短、隐患多的现象。近些年, 既有建筑倒塌事件时有发生, 严重威胁人民生命财产安全。针对既有建筑采用数字化、智能化的监测手段和评估方法, 能及时发现建筑物的安全隐患并加以跟踪处理, 有助于延长建筑物工作年限、保护所有者生命财产安全。本文就既有建筑安全管理架构及安全风险评估指标和方法进行了研究, 建立了既有建筑安全监测预警与智能诊断系统, 实现了对既有建筑安全信息的全过程数字化管理, 以及运维监测、安全风险排查、定期体检报告和灾害前预评估等多场景应用, 为建筑安全管理与决策提供了可行解决方案。

[关键词] 既有建筑; 安全管理; 监测预警; 智能诊断

Research on The system of safety Monitoring, Early warning and Intelligent Diagnosis for Existing Buildings

Jiao Ke, Hu Cheng-en, yewen-xu (Guangdong Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510010, China)

Abstract: The phenomenon of short lifespan and multiple hidden dangers generally exists in domestic existing buildings. In recent years, the collapse of existing buildings has occurred from time to time, seriously threatening the safety of people's lives and property. Digital and intelligent monitoring means and evaluation methods are adopted for existing buildings. It can timely find, track and deal with hidden dangers of buildings, and help to prolong the working life of buildings and protect the safety of owners' lives and property. In this paper, the safety management framework, safety risk assessment indicators and methods of existing buildings are studied, and the system of safety monitoring, early warning and intelligent diagnosis for existing buildings is developed. It realizes the whole process digital management of the existing buildings safety information, as well as multi-scenario applications such as operation and maintenance monitoring, safety risk investigation, regular physical examination reports and pre-disaster assessment, providing a complete set of solutions for buildings safety management and decision-making.

Keywords: Existing buildings; safety management; Monitoring and early warning; Intelligent diagnosis

0 引言

既有建筑由于正常老化和维护不到位, 安全系数将逐年降低, 结构安全风险也随时间慢慢累积。建筑安全是满足居民生产生活的保障, 建筑安全事故的发生会给人民生命财产安全带来巨大威胁。近年发生的“泉州欣佳酒店坍塌事故”、“郑州游泳馆坍塌事故”、“长沙望城区自建房倒塌事故”都是典型恶劣事件, 影响深远。

土木工程结构安全监测研究大约开始于上世

纪 70 年代^[1], 并随着科学技术的发展, 逐渐引入物联网技术, 向智能化发展。周智等引入智能传感器、信息融合、故障诊断、结构损伤探测理论等对结构健康监测与诊断系统进行探讨, 建立智能监测与诊断系统^[2]。BAOY 等基于机器学习和深度学习, 提出了结构健康监测的研究方向^[3]。结构健康诊断与安全评估方法有多种, 例如专家评估法、神经网络方法、对比方法、体系可靠度分析方法等等。但目前结构健康监测系统仍存在信息孤岛、通用性差、监测时效短的问题^[4]。

建筑全生命周期安全是目前行业研究热点。建筑结构安全监测与智能诊断系统具有数据实时性与连续性, 建立全方位的大数据图谱, 通过区块链技术实现全生命周期档案追溯, 能充分落实智慧

[收稿日期] 2022-11-15

[基金项目] 省属国有企业技术创新专项(2022 B01010880001)

[作者简介] 焦柯(1968-), 男, 硕士, 教授级高级工程师

[联系方式] E-mail: gscad@qq.com

城市中不同领域之间的横向交叉式发展。建立建筑结构安全监测与智能诊断系统可以有效延长结构使用寿命,是促进建筑智能化、低碳化的有效途径^[5]。

本文探讨了以建筑物及其使用者为核心的城乡建筑公共管理模式,提出了基于物联网的建筑物健康监测与智能诊断方法,建立了既有建筑安全风险评估体系,实现了准确、实时、高效的建筑全生命周期安全监管目的,助力行业规范化、通用化、智能

化、绿色化发展。

1 建筑安全管理架构

建筑安全管理架构由管理标准和应用系统两部分组成,见图1。标准指引作为建筑全生命周期安全管理的政策性依据,规范了既有建筑(群)运维期安全风险评估的内容;建筑安全监测预警与智能诊断系统是建筑全生命周期安全管理的具体实施平台,实现对建筑安全的规范化管理和历史数据归档。

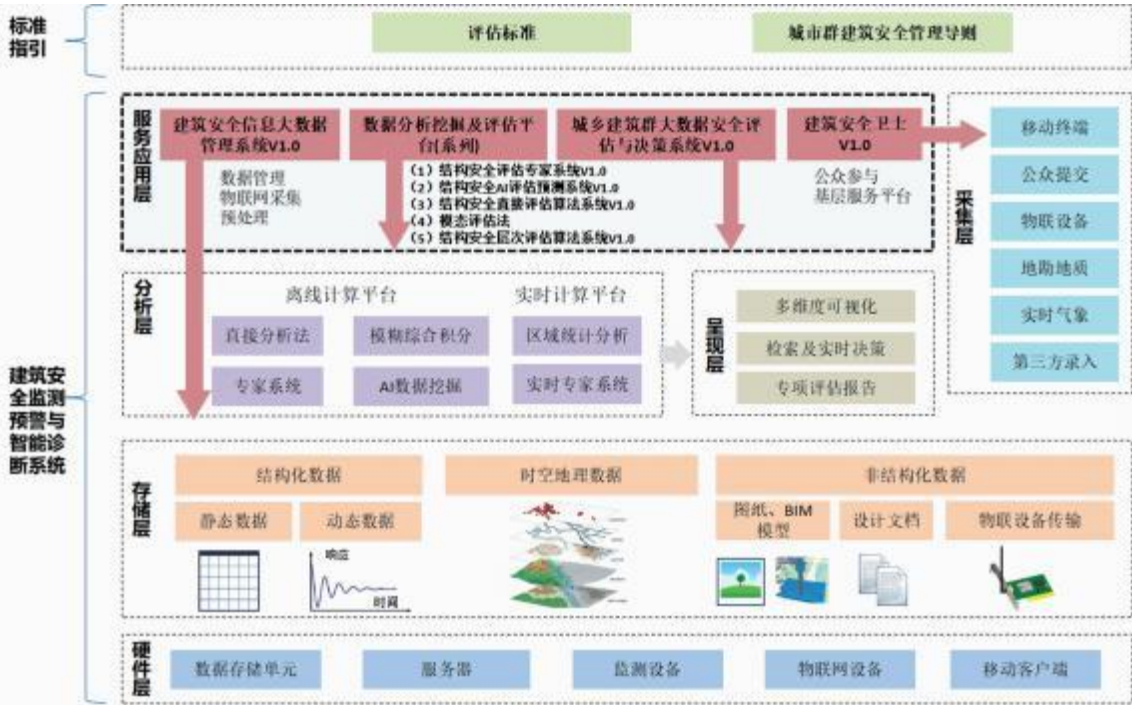


图1 建筑安全管理整体架构

Fig. 1 Overall architecture of building safety management

《既有建筑(群)运维期安全风险评估标准》(征求意见稿,下文简称《评估标准》)规范了既有建筑(群)运维期安全风险评估的内容,统一技术要求;《城市群建筑安全管理导则》可用于普通居民和基层社区管理人员快速掌握房屋安全管理全过程的基本要求和方法,基于手册原则,可进行具体安全管理措施的细化,根据手册提供的建议方法开展具体安全评估委托及合约拟定。

建筑安全监测预警与智能诊断系统由采集层、分析层、存储层、硬件层、服务应用层共同构成,其中应用层包括5大系统,分别为建筑安全信息大数据管理系统、建筑安全评估系统、物联网监测预警

平台、建筑群安全预警及辅助决策系统和建筑安全卫士。建筑安全信息大数据管理系统可实现多维数据的增、删、查、改及拓展,数据种类包括文本、数字、图片、模型以及动态监测数据等。建筑安全评估系统主要针对不同分析类型和场景,实现各种算法的评估。物联网监测预警平台用于监测数据的处理和展示。建筑群安全预警及辅助决策系统主要用于地理时空场景下的划区管理与统计,多种地理空间分析与决策。

2 建筑安全数据采集

既有建筑安全风险评估的前提是真实准确的

建筑信息数据。建筑信息数据常结合现场调查情况,并查阅建筑档案资料库中建筑设计图纸完善相关信息;建筑信息数据可分为基本信息、模型数据、调查数据和实时监测数据等。

a) 基本信息

基本信息指用于描述建筑物的使用功能、结构几何特征等信息的总称,包括项目地址、项目名称、建筑年代、结构材料、结构体系、有效设计资料、加固改造信息、几何信息、整体牢固性、荷载信息、地基基础信息等。

b) 模型信息

模型信息指建筑三维几何模型,如 BIM 模型、激光扫描得到的点云模型等。三维几何模型多用于服务工程管理、设计、运营等领域,如基于城市信息模型(CIM)平台的智能化市政基础设施建设和改造、智慧城市与智能网联汽车协同发展、智慧社区、城市运行管理服务平台建设等。传统三维模型增加结构安全特征、结构安全指标等标签,可形成服务于结构工程的建筑安全信息模型,可直接作为建筑物安全评估的主要基础数据。

c) 调查数据

调查数据指工作人员现场查看、检测和计算得到的信息,包括环境信息、地基基础信息、构件信息等。单独一次的调查数据是静态的,但建筑全寿命周期中历次调查数据具有一定连续性和规律性,属于一种动态数据,因此对历次调查数据的存储研究具有重要意义。

以混凝土结构为例,调查过程中主要采集房屋的使用年限,经历灾害作用,使用功能改变情况,维修与加固的历史记录,周边环境,环境类别,混凝土损伤,钢筋锈蚀,装饰材料状况,基础的沉降速率,整体倾斜率,结构整体牢固性,构件变形,裂缝情况,结构整体位移,维护系统牢固性,结构平面规则性和竖向规则性等 20 多个影响因素。

d) 监测数据

基于物联网技术的建筑物安全监测是对建筑全生命周期管理的一种方式,通过多种传感器获取建筑物的安全特征参数,利用相关通信技术实现数据的自动采集和传输,利用软件实现数据自动处理,进而对建筑物的安全状况进行评估,并把评估结果通过多种终端设备发送给用户,用户对评估结果进行的反馈指令也通过物联网发送给传感器,从

而实现对建筑物安全实时、在线监控。

监测项目包括结构位移、挠度、裂缝、倾斜量、振动加速度等结构响应,相应传感器种类有静力水准仪、挠度计、裂缝计、倾角仪、加速度计等。监测数据主要包括传感器设备信息、传感器布置信息、传感器测量数据等。

3 建筑安全评估方法

考虑到数据获取的便利性、难易程度、详细程度等因素,以及针对建筑物安全风险评估的不同应用场景,需要不同的评估方法来满足其评估需求,实现对建筑安全的定量评估。

a) 综合评估法

用于大批量低矮建筑物或普通建筑物的快速普查、排查,旨在迅速查出风险程度较高的建筑,此类场景下需要应用的评估指标较少,需充分发挥工程经验的优势。作者在《评估标准》中提出的综合评估法,综合考虑了客观评估指标和主观人工诊断,针对不同结构给出不同关键指标和评估方法。以混凝土结构为例,综合评估法评估指标包括整体牢固性、倾斜、裂缝、损伤、钢筋锈蚀、构件变形等。

b) 结构安全层次法

结构安全层次法是在对调查、查勘、检测、验算的数据资料进行全面分析的基础上,参考行业标准的可靠经验,以层次分析法(AHP)为原型,建立的一种不需要进行承载力验算即可评估结构安全风险状况的评价机制。结构安全层次法需要采集构件信息,按构件、楼层、上部承重结构逐层评估,适用于对单体建筑的详查,可明确风险点的具体位置和程度。

c) 结构安全 AI智能评估

AI法是应用深度学习原理,参考房屋可靠性鉴定流程,使构件承载力等指标通过神经网络,从更基础的数据推理、映射得出,把原本复杂的结构计算转换为简单的神经网络前馈计算,实现快速评估。本方法以 45~50 个涵盖承载能力、耐久性、历史记录和环境情况等指标,基于《民用建筑可靠性鉴定标准》的调查与检测要求和考虑易获取性得出的变量作为输入,以安全等级、结构牢固性等级等作为输出,采用深度置信网络学习输入与输出间的非线性映射关系。AI智能评估系统融入了迷失森林算法,对输入数据进行缺值插补;结合变分自编

码器算法缓解小样本和样本不均衡的问题,提升模型的泛化性能;对神经网络的训练提出了加权交叉熵损失函数的优化方法,使神经网络训练引入对不安全类别的倾向性,提高对不安全类别的查全率。

d) 专家法

专家法是基于贝叶斯网络概率图模型并融合专家经验知识的结构安全评估方法。建立专家法模型需要完成三个步骤:

- 1、识别和确定影响结构安全的风险因素指标;
- 2、建立各风险因素指标的结构关系图;
- 3、通过样本数据训练完成模型参数估计(量化各风险因素指标之间的因果关系及依赖程度,一般以 CPT条件概率表的形式)。

通过专家分析并采用粗糙集理论进行属性提炼,专家法确定了包括上部结构风险评估、地基基础风险评估两大类,共 13 个风险指标,并建立贝叶斯网络结构关系图(有向无环图)。每个指标分为三个等级,分别对应较好等级、一般等级和较差等级^[6]。

e) 模态法

模态法是结构健康监测评估的一种方法,其评估数据为结构振动加速度信息,其原理为考虑实际建筑受地脉动、风载等未知环境荷载,引入荷载平稳性假定,基于协方差回归的模态分析新方法,实现在未知环境激励下提取建筑结构的模态参数,利用模态参数通过特征方程反向识别刚度,对比刚度的变化判断损伤的位置和程度^[7,8]。此方法使得在无需干扰建筑结构的正常使用情况,快速获取结构的模态信息和损伤信息。

f) 指标诊断

指标诊断是指直接根据结构倾斜、裂缝、沉降等结构响应进行安全风险评估。指标诊断针对实时数据,根据预先设定好的指标限值自动给出评估结果,其限值可参考《评估标准》中预警和危险报警的指标限值。

g) 评估周期

建筑全生命周期安全管理是长期的动态的,在既有建筑服役期间需要定期进行调查评估维护等工作,《评估标准》中将评估工作分为首次评估和二次评估,其中首次评估需要尽可能详尽的收集建筑信息,二次评估则需要重点关注在评估周期内建筑的变动如拆改、加固等。

二次评估的评估周期根据首次评估结果确定,如表 1 所示。重要建筑因其破坏可能导致重大损失,则需要重点监测并缩短检测周期;对既有建筑进行合法合规的整体鉴定加固后可基本确定其在加固设计工作年限内安全使用,因此可按 As 级建筑进行检查;对采用健康监测的建筑物,可根据监测数据的情况对评估周期进行适当调整。

表 1 二次评估的评估周期

Table 1 Evaluation cycle of secondary evaluation				
序号	上次评估结果	采用健康监测	二次评估的评估周期(年)	
			在设计工作年限内	超出设计工作年限
1	A s	否	5	3
		是,且未出现预警情况	8	5
2	B s	否	2	1
		是,且未出现预警情况	5	3
3	C s	"	"	"

4 系统功能

本文建立建筑全生命周期安全监测预警与智能诊断系统,给出多源要素融合驱动下的建筑全生命周期安全管理与决策的成套解决方案,开发出大数据云平台、多种物联终端采集、三维激光点云扫描、建筑 BIM 模型集成、基于专家系统的评估决策与预警等模块,满足在不同应用场景下的城市建筑安全综合管理需要。

a) 信息录入

建筑物安全信息数据是实现其评估诊断和安全管理的基礎与依据。数据的采集录入、收集储存与备份管理至关重要。系统在城市 CIs 系统层面,通过空间大数据切片存储与异步传输等技术手段,集成精细化的 BIM 模型(LOD200)模块,实现全比例尺覆盖的大数据管理集成系统,实现分层次的精细化评估。

本文创建了完善的结构安全管理采集数据库,提炼出影响建筑物安全的 20 个因素,并将其划分为七类建筑状态,对各主要因素进行定量化描述和等级划分。数据的采集录入主要分为以下两种:

(I) 人工录入数据。这个类型数据是由工作人员手动操作,将建筑全周期各类数据上传系统,主要包括建筑结构基本信息数据、模型数据以及历次

调查数据。其中涉及主体结构、附属结构、建筑消防以及机电设备信息。实现数据采集录入、BIM模型存储、三维激光扫描点云模型存储、现场拍照和检测报告资料存储,建立基于云数据库的弹性大数据存储平台。

(2) 自动化采集录入数据。系统可通过监测传感器采集各类数据,如沉降、应力应变、倾斜、加速度等,实时上传系统,并在平台同步展示实时数据。

b) 监测预警输出

自动化监测设备实时上传数据至系统平台,系统可对数据进行初步处理和统计,并以数据曲线或表格的形式展现各监测项情况。平台具备实时监测并预警的功能,对于各监测指标,平台提供三级预警设置,工作人员可依据相关规范及需求设置各级报警阈值。一旦发生超限情况,平台可及时发出警报,并通过短信、微信通知等方式迅速传递报警信息给工作人员。

c) 评估结果输出

用户可选择综合评估法、结构安全层次法、AI智能评估法、专家法或模态法用于安全评估及诊断,多种评估法的选择可满足不同数据信息深度、不同建筑物安全风险评估应用场景的需要。

进行建筑安全评估诊断时系统依据所选择评估方法的需求,调用项目数据库,实现建筑物安全风险程度的快速评估和诊断。其中,评估方法指标信息的数据越完备,评估诊断结果越准确。系统评估诊断结果示例如图 2 所示。



图 2 项目评估诊断结果示例

Fig. 2 Example of project evaluation results

系统自带有标准化的评估报告模板,可调用建筑全部基本信息、调查信息、监测数据、评估结果等自动生成报告。报告类型主要有监测报告、安全风险排查报告、定期体检报告等。

系统智能调用数据库可高效率生成并输出报

告。各类型自动化报告模板框架是依据行业相关规范和专家经验制定,报告输出内容有文字、图片等,内涵丰富多样,能满足用户需求。大大节省了人力时间成本,实现建筑全生命周期的智能化管理。

d) 决策平台

系统辅助决策平台实现定量分析下的建筑群应急处置决策,对预期情况进行平台预警,实现了建筑群区块网格的初步预估评价。适用于重要公共建筑评估、监测、预警与决策;城市更新房屋评估、监测、预警与决策;普通业主、物业公司所属房屋的安全评估及咨询等。

系统提供决策中台数据可视化模块、时空地理数据存储与分析模块、与信息管理平台 and 评估平台衔接模块,系统辅助决策平台操作界面如图 3 所示。



图 3 建筑群辅助决策平台管理界面

Fig. 3 Management interface of building group auxiliary decision making

5 应用场景

既有建筑安全监测预警与智能诊断系统作为数字技术在传统土木建筑领域转化落地产品,其主要应用场景如下:

(1) 运维监测。即应用物联网设备、云计算等先进技术对建筑物实现实时感知,常用于已出现明显隐患的建筑物,如周边存在基坑开挖或建筑物自身出现裂缝、倾斜等。具体操作流程见图 4 所示。

(2) 风险排查。由政府主导的大规模建筑群风险排查要求快速出结果、抓重点即主要安全隐患,因此要求评估人员具有丰富的经验根据不同结构类型的建筑物易损点进行检查,可采用综合评估法给出建筑物安全风险等级,具体操作流程见图 5



图 4 运维监测流程图

Fig. 4 Theflowchartofoperation and maintenancemonitor



图 5 风险排查流程图

Fig. 5 Theflowchartofrisk screening

(3) 定期体检。普通建筑无明显安全隐患的可选择定期二次评估,通过体检报告可以监控结构刚度和强度退化过程,并根据损伤发展情况选择不同干预方法,降低建筑物维护的费用,保证建筑物的安全,具体操作流程见图 6 所示。



图 6 定期体检流程图

Fig. 6 Theflowchartofregularphysicalexamination

(4) 灾害前预评估。可用于预测评估不同等级风灾、地震、水灾等影响。掌握区域建筑结构信息,即可计算出灾害时结构的响应,进而筛选出可能发生严重损伤的建筑,方便决策者制定疏散预案或加固预案等,具体操作流程见图 7 所示。



图 7 灾害前预评估流程图

Fig. 7 Theflowchartofpredisasterasesment

6 总结

采用既有建筑全生命周期安全管理解决方案,

可以监控建筑物安全风险的发展进程,在风险累计的过程中及时进行预警或处理,预防和减少使用期间安全事故的发生。本文研究的建筑安全监测预警与智能诊断系统实现对单体建筑和建筑群的多层次管理,提供既有建筑安全信息的录入、评估和输出,实现运维监测、安全风险排查、定期体检报告和灾害前预评估等多场景应用落地,为建筑安全决策提供数据支撑,是传统建筑向数字化、智能化转型的重要体现。

目前既有建筑全生命周期安全管理尚缺乏相关标准规范的约束力,部分地方政府颁布的指引或管理条例,强制性可操作性不够,导致既有建筑全生命周期管理模式较难推广,业主对安全管理相关数字化产品不容易接受。未来应加强相关标准研究及产品开发力度,推动建筑安全管理理念的普及和数字化技术的应用。

参考文献

[1] ZongZH, wangTL, K, Huang, D Z. stateoftheArtReport ofBridgeHealth Monitoring[J] . JournalofFuzhou University (Naturalscience), 2002 ,30 (2) :127 -152 .

[2] 周智, 欧进萍. 土木工程智能健康监测与诊断系统[J] . 传感器技术, 2001, 20 (11) :1 -4 .

[3] BA0 Y &, TANC Z Y, LIH, etal. ComputerVision and DLearning- Based DataAnomalyDetection Method forstruct Health Monitoring[J] . structuralHealth Monitoring, 2019 , (2) :401 -421 .

[4] 井彦娜. 基于物联网的建筑安全监测管理系统研究[D] . 浙江大学, 2017 .

[5] 焦柯, 赖鸿立, 彭子祥, 等. 基于物联网的既有建筑全生命周期安全运维服务系统关键技术研究[J] . 工业建筑, 2021, 51 (10) :201 -210 + 8. DOI: 10.13204/j. gjzg20111504 .

[6] 彭子祥, 焦柯, 王俊杰, 等. 基于贝叶斯网络的建筑结构安全评估模型[J] . 建筑技术, 2021, 52 (10) :1213 -1216 .

[7] 谭颖轩, 陈衍茂, 汪利, 等. 基于模态修正策略和稀疏正则化的损伤识别[J] . 中山大学学报(自然科学版) (中英文), 2022, 61 (03) :116 -122. DOI: 10.13471/j. cnki. acta. snus. 2020 bl42. (TAN Yingxuan, CHEN Yanmao, wANC L, LU Zhongrong.

[8] Lu Z R, Yin Z, Zhou J, etal. A simpleand efective Measurement-Changes-Correction strategy for damage identification with aleatoricand epistemicmodelerors[J] . structuralHealthMonitoring, 2020, 20 (3) .

关于建筑物联网智能运维的研究

张学智¹, 赵袖先², 牟云浩¹, 李海波¹ (1. 中国五冶集团有限公司, 四川成都 610063; 2. 四川大学, 四川成都 610061)

[摘要] 针对建筑物联网存在系统较复杂、运维成本较高、运维工具自动化程度较低的现状, 本文从建筑物联网发展趋势及运维需求入手论述了在建筑物联网中实施智能运维的必要性, 从运维的发展历程提出了目前建筑物联网智能运维的最佳模式——人机协同模式, 最后阐述了在建筑物联网中实施智能运维的路径。本文的研究为在建筑物联网系统中实施智能运维勾画了路线图、指明了方向, 对智能运维在建筑物联网中的推广应用具有一定的指导作用。

[关键词] 智能运维; 建筑物联网; 人机协同; 单点智能; 线性智能; 全场景智能

Thinking on AIOPS of Building Internet of Things system

Zhang Xue-zhi¹, Zhao Xiuxian², Mou Yun-hao¹, Li Hai-bo¹ (1. China Wuyue Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610063; 2. Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610061)

Abstract: In view of the fact that the building Internet of Things system is complex, the operation and maintenance cost is high, and the automation of the operation and maintenance is slow, this paper discusses the necessity of implementing AIOPS in building Internet of Things system from the development trend of building Internet of Things system and the requirements for operation and maintenance, and puts forward the best mode of AIOPS in building Internet of Things system at present—human-machine cooperation mode from the development process of operation and maintenance, and finally expounds the path of implementing AIOPS in building Internet of Things system. The research in this paper outlines the road map and points out the direction for the implementation of AIOPS in building Internet of Things system, which will certainly play a certain role in promoting the promotion and application of AIOPS in building Internet of Things system.

Keywords: AIOPS; building internet of things system; human machine cooperation; single point intelligence; linear intelligence; full scene intelligence

0 引言

智能运维从 2016 年提出以来, 在信息网络系统的异常告警、故障分析、异常检测、根因分析、趋势预测等方面表现卓越。目前, 智能运维已在金融、互联网、电信、能源等行业得到了较多应用, 但在建筑物联网领域鲜有提及。本文阐述了建筑物联网发展趋势及其运维需求, 提出了建筑物联网智能运维的最佳模式——人机协同模式, 最后论述了在建筑物联网中实施智能运维的路径。本文的研究, 为业主在建筑物联网中实施智能运维规划了路径图, 对智能运维在建筑物联网中的推广应用将有一定的推动作用。

1 建筑物联网发展趋势及运维需求

建筑物联网是否有必要引入智能运维, 这需要从其发展趋势及运维的现实需要出发来探讨。

1.1 建筑物联网发展趋势

智慧建筑发展至今, 从最初仅注重以视频监控为重点的安防系统建设, 到后来不断引入新的子系统, 实现应用的不断丰富。从上世纪 80 年代第一代智慧建筑的简单互联到当下的万物互联, 智慧能源、智慧停车、智慧消防等已成为现实, 建筑物联网已经实现了跨越式的发展与改变。在科技创新为建筑物联网带来发展机遇的同时, 也在颠覆这个行业的方方面面, 从其发展趋势上看有以下几个方面:

第一, 数据赋能

建筑物联网不仅为建筑本身提供服务, 同时将为其它行业提供大量的后向合作, 开发更为丰富的

[收稿日期] 2022-11-01

[作者简介] 张学智, 男, 硕士, 工程师, 主要从事信息网络工程方面的研究

[联系方式] E-mail: 1226220@qq.com

业务种类。随着物联网平台沉淀海量的运维数据,可以与相应的设备厂商合作挖掘这些数据带来的价值,使其赋能这些行业成为可能。

第二,成本趋高

智慧建筑中各大系统越来越复杂,对运维人员的专业技能要求较高。传统的运维方式,每一系统都要求有对应的运维人员,系统运维成本越来越高

第三,系统复杂

智慧建筑中涉及的各类弱电子系统多达几十个,接入设备多达数十万台,这些异构的系统整体规模越来越大,系统也越来越复杂。

第四,体验完美

建筑特别是公用建筑的用户,对建筑的使用体验要求越来越高,体验感受更趋完美。在当前市场充分竞争的情况下,建筑运营需要更关注用户体验。

1.2 建筑物联网运维新需求

科技推动了建筑物联网的发展和进步,在给建筑物联网业务带来巨大变化的同时,运维作为支撑物联网持续运营的重要部分,市场同样提出了新的需求,具体表现如下:

第一,日益多样的应用需要更高效、灵活的运维。为挖掘物联网沉淀的海量数据带来的价值,需要与众多的专业厂商进行后续的合作以便进行新应用的开发。为满足新应用的时效性需求,物联网运维需要更灵活与高效,以应对更多故障快速处理的挑战。要做到这一点,需改变当下烟囱式的系统导致的低效运维状态,改变当前运维人员不能快速定位故障的状态。

第二,越来越大的成本压力需要更低成本的运维。建筑物联网在运营过程中一般不会产生直接的业务收入,而要使其正常运营还需大量成本组建专业的运维团队。因此,以更低成本运维来降低物联网的总体拥有成本是建筑物联网发展的刚性需求。要做到这一点,需改变当下运维仍过多依赖人工参与、运维人力成本占比过高、自动化程度过低的状况。

第三,越来越高的用户体验需要更稳定的物联网。用户对建筑的体验要求越来越高,安全的办公环境、舒适的温湿度、建筑设施的高效运行都离不开稳定的物联网,高质量的运维服务是提升用户体验、提高用户粘性的重要手段。要做到这一点,

需改变当前用户体验管理都是基于投诉驱动、大量的物联网问题都由用户发现的现状;要改变物联网故障不能准确定位,不能提前预判、主动干预的现状;要改变物联网运维不能端到端可视,在发生故障后无法快速恢复,无法形成端到端闭环处理的现状。

第四,越来越复杂的系统需要更智能的运维。复杂的系统将导致更高频率的故障发生,且其复杂程度、解决难度都会大大提升。引入新的更智能化的运维手段、运维模式是支撑未来更复杂、大量异构系统并存的物联网的必然要求。要做到这一点,需改变当前严重依赖人的经验和知识的运维模式,这需使用智能化运维工具。

综上所述,从建筑物联网发展趋势及对运维的要求来看,在物联网系统中实施智能运维对降低故障频率、缩短故障周期、提高用户体验、降低成本、开发多元应用具有重要作用。

2 建筑物联网智能运维模式—人机协同模式

2.1 运维模式的发展阶段

从发展历程来看,物联网的运维模式可分为三个阶段:人工运维阶段、流程自动化阶段、人机协同阶段。

人工运维阶段:机器系统主要实现数据采集。运维人员需对运维知识进行提炼总结并内化为自身的运维技能,需对运维事件进行系列决策并执行,需对运维流程进行监督。

流程自动化阶段:机器系统实现数据采集、运维流程的自动化。这个阶段运维人员不需对流程进行监督,但需对运维知识进行提炼总结并内化为自身的运维技能,需对运维事件进行系列决策并执行。

人机协同阶段:机器系统实现数据采集、自决策、自执行、流程自动化。运维人员需对运维知识进行提炼总结,并把这些知识运用于对AI运维模型的训练。

随着机器学习、深度学习等人工智能技术在物联网运维中的深入运用,机器系统将模拟人的感知、分析、决策、执行等行为以协助管理人员进行运维活动。人机协同模式下,新技术将运维人员从繁杂的工作中解放出来,使运维变得更为智能化。新

技术让沉淀的海量数据可赋能相关行业,使运维由成本中心转化为效益中心成为可能。

2.2 物联网运维人机协同模型

物联网运维人机协同模型(见图 1:物联网运维人机协同模型)主要由运维经验注入、运维模型、自动化运维工具三个层次构成。模型从上到下形成一个闭环系统,形成一个正反馈系统。



图 1 物联网运维人机协同模型

Fig. 1 Human machine cooperation model of IoT operation and maintenance

第一,运维经验的注入,这是实现人机协同模

型的前提条件。通过友好的人机接口把复杂的运维专家经验转化为抽象的机器语言,即把运维知识沉淀转化为机器可以识别的信息。通过经验的注入,形成运维模型的规则、知识、能力。通过自动化运维工具执行结果的反馈,不断优化、丰富运维知识。

第二,运维模型,对上接受运维经验的注入,

对下是自动化运维工具的“大脑”。可按实际需要形成以下几类模型:

(1) 数据来源模型,包括:状态查询模型、拓扑生成模型等。

(2) 预防分析模型,包括:故障分析模型、根因分析模型等。

(3) 快速决策模型,包括:预防预测模型、故障处理流程模型等。

(4) 准确执行模型,包括:物联网配置 API、物联网操作 API 等。

这些模型通过运维大数据的不断训练及不断优化,最终使得模型的运维能力越来越接近甚

至超越经验丰富的运维专家。

第三,自动化运维工具是实现人机协同的基

础,在工具包中可以集成机器系统的感知工具、分析工具、决策工具及执行工具。这些工具有相应的运维模型与其对应,是对应模型的执行机构。

在物联网智能运维模式中,以大数据和 AI 技术驱动传统的“人+流程”的运维模式转向人机协同模式。机器一方面可以代替运维人员完成大量重复性的工作,并能降低问题处理时长;另一方面,机器可以实现对故障的预测预防,以有效减少故障数量。这些以丰富运维知识武装的机器面向物联网进行自动化、智能化运维作业,持续构建自动化和智能化的运维能力,帮助运营者尽可能实现运维流程的高度自动化。

3 建筑物物联网智能运维实现路径

目前,国内建筑物物联网发展情况参差不齐。主要有以下三种情况:

第一,有的建筑只实现了简单的视频监控;

第二,有的建筑建设了多个子系统,比如有较

完善的安防系统,有停车场系统,有信息网络系统等,但这些子系统相互独立,有各自的管理系统,总体呈烟囱式布局;

第三,有的建筑在构建多个子系统的同时,通过接口让各个系统相互连通,打通了彼此的信息边界,使多个异构网络形成了一张大的物联网,在此基础上形成了统一的物联网管理平台。

针对这些基础不一的网络情况,如何才能实现建筑物物联网的智能运维,其实现路径是什么呢?可以参考以下步骤(见图 2:建筑物物联网智能运维实施路径)。



图 2 建筑物物联网智能运维实施路径

Fig. 2 Implementation path of building network intelligent operation and maintenance

3.1 建设统一物联网

现代智慧建筑内包含众多子系统,比如包含视频监控、周界报警、门禁、出入口控制等在内的安防系统、消防系统、暖通系统、新风系统、信息网络系统等多达近 30 个子系统。这些子系统间往往各自独立,每个子系统有各自的网管系统,彼此间形成

物理隔离的孤岛状态。因此,要实施智能运维,第一步就是要打破建筑内各子系统的物理边界和信息边界,通过接口把各子系统连成一张统一的大物联网。建筑物联网内接口众多,除常见的 Rs232 串口、Rs485 串口、RJ45 接口外,还有很多私有接口协议,这涉及到大量接口协议的定制开发,这也是形成建筑统一物联网的一个难点。

建设统一物联网的目的就是要让原本互不关联的系统实现彼此间信息的畅通,是系统联动、智能运维的前提和基础。统一物联网平台搭建好后,就可实现各子系统间的联动,特别是视频监控与消防的联动、视频监控与报警系统的联动。

3.2 搭建统一物联网管理平台

因各子系统一般有各自的管理软件,故在搭建统一物联网管理平台时区分是否包含子系统管理软件形成 2 种构建方式。

第一种方式,利用子系统的网络管理软件,在这基础上形成物联网管理平台(见图 3:利用子系统管理软件搭建物联网管理平台架构示意图)。这种方式可充分利用子网管软件的功能,系统搭建相对方便、快捷。但,这种方式弱点也是明显的,一方面数据采集受制于子网管系统,上层物联网管理平台需要的数据有可能子网管系统提供不了;另一方面,如子网管系统出了故障,对应子网的全部设备的管理将受到影响。



图 3 利用子系统管理软件搭建物联网管理平台架构示意图

Fig. 3 schematic diagram of building IoT management platform with subsystem management software

第二种方式,甩开子系统管理软件,物联网管理平台直接从各子系统设备处采集数据(见图 4:数据直采物联网管理平台架构示意图)。这种平台构建方式,数据采集的颗粒粒度较细,平台需要什么数据都可以直接采集上来,而不受制于子系统管理软件的限制。当然,这种方式搭建的管理平台开发工作量较大,成本较高。

搭建统一物联网管理平台一个重要目的就是

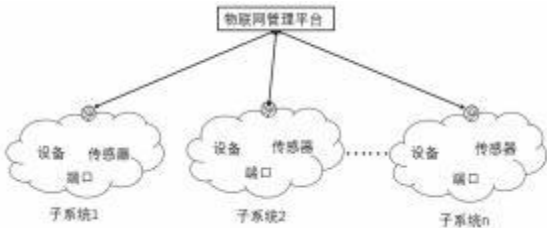


图 4 数据直采物联网管理平台架构示意图

Fig. 4 schematic diagram of the architecture of the IoT management platform for direct data acquisition

要收集物联网中各设备、各系统的运维数据,这个数据收集的时间越长越好,收集得越完整越好,最终形成海量的运维数据。这是训练智能运维模型的"粮食"。

3.3 构建人机协同运维模式

统一的物联网管理平台搭建完成后,就可以着手构建人机协同的智能运维模式。这种智能运维模式不可能一蹴而就,有一个架构的过程。一般来说构架人机协同的智能运维模式需经历以下四个阶段:



图 5 人机协同智能模式四阶段

Fig. 5 Four stages of man-machine collaborative intelligence mode

第一,数据治理

高质量、标准化的数据是人机协同智能化运维的前提和基础。物联网管理平台收集上来的运维数据(包括:指标数据、日志数据、配置数据、流程数据等)因厂家不一、数据类型不一,导致数据格式不一、数据质量参差不齐。因此,为了输出标准和规范一致的数据,形成安全可靠的数据源,需对收集上来的海量异构数据通过集成、定义、计算、萃取、存储、管控等进行数据治理,以满足上层各类应用场景的需求。

第二,单点智能

单点智能就是针对运维中发现的痛点,实现单个应用场景的智能化,这是一种简单的、基础的智能运维应用,比如实现摄像头或烟感、温感探头的自动巡检、实现特定指标的智能异常报警或智能预警功能等。

因要求不一样、算法不一样导致单点智能的实

现方式多种多样。下面以指标故障识别为例来简单说明实现单点智能的一个模型(见图 6:单点故障指标自动识别模型架构)。

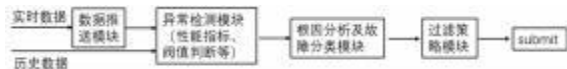


图 6 单点故障指标自动识别模型架构

Fig. 6 singlepointfaultindicatorautomatic identification modelarchitecture

数据推送模块对送来的实时数据进行筛选,筛选出模型需要的指标数据,并通过滑动窗口截取一定时长(比如 5 分钟,时长可根据指标特性来确定)的数据推送到异常检测模块。实时数据应保持其格式的一致性。

异常检测模块对历史数据进行分析并计算指标阈值,同时通过自适应机制不断实时调整阈值,通过实时数据与阈值的比较来发现异常值,把结果为异常值的信息数据发送到根因分析及故障分类模块。

根因分析及故障分类模块通过异常检测模块计算出来的异常值作为特征进行故障分类及根因分析,并输出 cmdb 对应的故障类型。

过滤策略模块通过建立告警过滤机制来实现根因的噪声排除与告警抑制,通过一定的规则对模型输出结果进行筛查过滤,以减少告警的误报。

第二,线形智能

在实现多个单点智能的基础上,可按子系统类型实现多个典型运维场景的智能化。线形智能化可做到子系统运维流程免干预,平时需人工干预的运维问题可快速转换为由数据驱动的自动化流程来处理。

第三,全场景智能

在实现单个线形智能的基础上,逐步实现建筑物联网内其它子系统典型运维场景的智能化。每个子系统都实现了线形智能运维,整个建筑物联网也就实现了智能运维的全场景覆盖。全场景智能是智能运维的高级阶段,是一种高度智能化的运维,可有效缩短平均故障修复时间。

4 结语

随着 AI、大数据、云计算与建筑物联网运维的有机融合,人机协同的智能运维模式使运维从传统的"人拉肩扛"、"嘴喊腿跑"方式转向"智能化"及"自动化"。智能运维模式把运维人员从繁杂的、重复的运维事务中解放出来,使得运维人员能更关注物联网前瞻性需求、更专注于业务本身。随着智能运维在建筑物联网中的实施,可及时准确发现故障、快速准确诊断故障、提前预警并规避故障。因此,智能运维对提升运维质量、降低运维成本,从而对建筑物联网的稳定运营提供了更为可靠的保障。

参考文献

- [1] Top 10 Trends Impacting Infrastructure Operations for 2019 [M]. Cartner, 2019.
- [2] 钱兵等编著 智能运维之道:基于 AI 技术的应用实践. 出版社:机械工业出版社 出版时间:2022 年 01 月.
- [3] 陆兴海 彭华盛 编著 运维数据治理:构筑智能运维的基石 出版社:机械工业出版社 出版时间:2022 年 06 月.
- [4] 彭冬,朱伟 智能运维:从 0 搭建大规模分布式 AIops 系统 出版社:电子工业出版社 出版时间:2018-07-01.
- [5] 汤滨 大数据定义智能运维 出版社:机械工业出版社 出版时间:2019 年 12 月. Tang Bin: bigdata defines intelligent operation and maintenance Publishing House: mechanical industry publishing house publication time: December 2019.
- [6] 张振亚 王萍 张红艳 王菲露 建筑物联网技术 出版社:中国建筑工业出版社 出版时间:2021 年 08 月. Zhang Zhenya, wang Ping, Zhang Hongyan, wang Feilu building Networking Technology Publishing House: China Construction Industry Publishing House publication time: August 2021.
- [7] 陈宏峰 中国智能运维实践年度报告导读(2021-2022). <https://mp.weixin.qq.com/s?biz=MzlyMzcwMDYwNg=&mid=2247492080&idx=1&sn=0ddcc7b9567f1514abe4ac4417d45e64-chksm=e818bd1ldf6f3407c3eb8bbd95d2485425de61ell608562b98d69075138155c8f2292aa75d00-mpshare=1&scene=23&srcid=0824jtA4j9rsoEld4c&sb4gk-sharer-sharetime=1661326134186-sharer-shareid=30040e893ce989f173e2da983dfc093#rd>.
- [8] [美] 佩里·莱亚 著 陈凯 译 物联网架构设计实战-从云端到传感器. 出版社:清华大学出版社 出版时间:2021 年 02 月.

数字孪生在电力配网系统应用的关键技术研究

朱鹤云^{1,2}, 董松^{1,2}, 吴尚高^{1,2}, 徐元节^{1,2} (1.中 国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013; 2.北京构力科技有限公司上海分公司, 上海 200023)

[摘 要] 在双碳目标的国家战略背景下, 电力系统向更加智慧、更加泛在、更加友好的能源互联网升级是必然趋势。其中, 配网系统不仅承担可靠供电的重任, 还将升级为能源的控制管理中枢。要实现这一目标, 需要先进的数字化技术从虚实互动、仿真模拟、系统控制能方面介入, 革新传统的运维管理方式方法。数字孪生技术作为数字化技术的新兴方向, 近年来得到广泛关注。为促进数字孪生技术在配网系统的落地应用, 本文首先分析了配网系统数字孪生系统内涵、特征、架构。其次, 从数字孪生的构建过程出发, 分析了实现配网系统数字孪生运维系统所需的各类基础技术。结合运维需求, 对配网系统数字孪生应用服务做了详细分类, 提出了配网数字孪生系统的实现构想, 为配网系统数字孪生技术在运维管理阶段的实现提供了可行思路。

[关键词] 数字孪生;配网系统;运维管理

Research on Key Technologies of Digital Twin Applied in The system of Power Distribution

Zhu He-yun^{1,2}, Dong song^{1,2}, wu shang-gao^{1,2}, Xu yuan-jie^{1,2} (1.China Academy of Building sciences Co., Ltd, Beijing 100013, China; 2.Beijing Guli Technology Co., Ltd. shanghai Branch, shanghai 200023, China)

Abstract: In the context of the national strategy of dual carbon goals, it is an inevitable trend for the power system to promote a more intelligent, universal and friendly energy Internet. Among them, the distribution system not only undertakes the responsibility of reliable power supply, but also will be a center of energy control. To achieve this goal, advanced digital technology is required to intervene from the aspects of virtual reality interaction, simulation and system control, and it will innovate the traditional operation and maintenance management. As a new direction of digital technology, digital twin technology has been concerned in recent years. In order to accelerate its application in the power distribution, firstly, this paper analyzes the connotation, characteristics and architecture of the digital twin of distribution network system. secondly, from the construction process of digital twin, this paper describes the key technologies involved in the realization of the digital twin of power distribution. Combined with the operation and maintenance requirements, the digital twin application service of power distribution system is classified in detail, and the realization idea of digital twin of distribution network system is proposed, which provides a feasible idea for the realization of digital twin in power distribution on the management of operation and maintenance.

Keywords: digital twin; power distribution; management of operation and maintenance

0 引言

在“碳达峰、碳中和”双碳目标的国家战略背景下, 电力系统作为实现双碳目标的主要组成部分,

对数字化转型有更加迫切的需求。目前, 源网荷储(电源、电网、负荷、储能)一体化发展与下游能源数字化结合, 催生出综合性能源服务, 带来电力系统持续数字化升级需求。数字化是推动电力系统源网荷储各环节协调互动的有力抓手, 是实现双碳目标的重要途径。

配网系统是电力系统的末端, 向上对接输变电

网, 向下对接用电终端。而新型配电网目标不仅仅要实现可靠供电, 更要成为能源流的控制、管理中枢。鉴于对配网系统数字化升级的现实需求, 将借助于数字孪生技术实现配网系统在运维管理阶段的可行方案。

1 面向配网系统的数字孪生技术系统架构

数字孪生(digitaltwin, DT)是现有或将有的物理实体对象的数字模型, 通过实测、仿真和数据分析来实时感知、诊断、预测物理实体对象的状态, 通过指令来调控物理实体对象的行为, 已被应用于航空航天、智能汽车、飞行器设计、卫星工程等行业。此外, 数字孪生技术在电力行业的应用也有一些研究成果。从全生命周期管理角度来看, 在设计、制造、交付、运维四个阶段中, 随着数字化进程的不断推进, 各个阶段呈现出不同的需求特征。

设计阶段: 需将已有的设计模型、经验、数据等进行有效存储并能实现复用, 并考虑在节省资源的前提下进行优化设计。施工及制造阶段: 需对建造和制造流程进行数字化规划与监测, 对其整个过程可实现复现与溯源。交付阶段: 需交付土建与设备的物理实体和虚拟实体工程成果, 按标准规范成体系组织交付物, 编制使用方案, 服务于下一阶段使用。运维阶段: 实现系统的全面感知、实施监测、准确评估、精准预测、智能控制, 提高其运维效率。

尤其在运维阶段, 数字孪生技术大有应用发展的潜力, 相关研究可按照以下三个方面分类:

- 1) 可观, 状态监测;
- 2) 可测, 评估预测;
- 3) 可控, 智能控制。

1.1 配网数字孪生系统内涵

数字孪生落地应用的首要任务是创建应用对象的数字孪生模型。即: 物理模型、虚拟模型、服务模型、孪生数据和连接这个五个维度的模型^[1-2], 如图1。

1) 物理实体: 可以根据业务和应用的需求进行不同粒度的分层, 比如: 电力网络可以分为元件级、单元级、设备级、系统级等。

2) 虚拟实体: 包括几何属性、物理属性、行为属性和规则属性, 这些属性能从多时间尺度、多空间尺度对物理模型进行描述与刻画。

3) 服务模型: 是指对数字孪生应用过程中所需

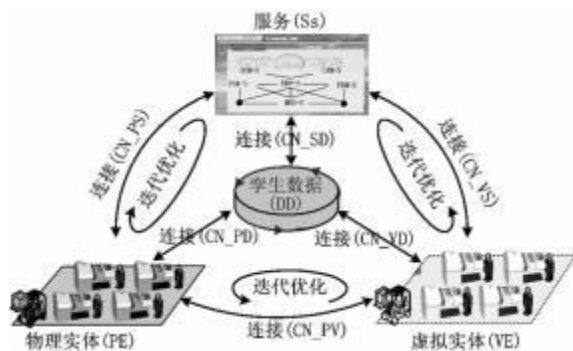


图1 数字孪生组织结构

Fig. 1 structureofdigitaltwin

各类数据、模型、算法、仿真、结果进行服务化封装, 以工具组件、中间件、模块引擎等形式支撑数字孪生内部功能运行与实现的“功能性服务”, 以及以应用软件、移动端 App 等形式满足不同领域不同用户不同业务需求的“业务性服务”。

4) 孪生数据: 主要包括物理模型数据, 虚拟模型数据, 服务数据, 知识数据, 及融合衍生数据。

5) 连接: 物理实体和虚拟实体的互联互通是由连接实现, 数字孪生模型之间有六种交互, 包括物理模型和孪生数据交互、物理模型和虚拟模型交互、物理模型和服务交互、虚拟模型和孪生数据交互、虚拟模型和服务交互、服务和孪生数据交互。

在虚拟实体的基础上映射物理实体在真实世界中的态势或行为, 即数字孪生系统。从数字孪生系统构建过程来看, 其需要具备的特征包括:

1) 虚实精准映射: 通过感知、建模等技术完成配网系统数字化模拟, 进而实现对配网系统物理实体的数字化呈现、精准表达与实时监测;

2) 多源数据融合与驱动: 来自物理实体、传感器采集、运维检修记录等多种数据源, 数据内容涵盖设计数据、建造制造数据、感知数据、仿真模拟数据、决策分析数据, 再进行多源异构数据综合集成。

3) 模拟支撑: 可视化展示模型、数据模型、机理仿真模型等支撑配网数字孪生系统工作效能。

4) 拓展能力: 刻画物理实体的虚拟孪生体、数据库、孪生应用服务均能支持拓展, 从粗糙到精细, 从点到面地拓展数字孪生技术的应用场景。

1.2 配网数字孪生系统架构

针对配网系统在运维阶段所面临的实际业务需求, 结合数字孪生模型的内涵与特征, 提出了配

网系统数字孪生构建的架构,用于建设实现配网系统数字孪生平台,如图 2 所示。系统架构包含物理层、感知层、传输层、虚拟层、应用层 5 层^[3-4]。



图 2 配网系统运维数字孪生系统架构

Fig. 2 Digitaltwinsystemarchitecturefortheoperation and maintenanceofdistribution grids

1) 物理层是系统架构的基础,包含配网系统的物理实体,如配网站、配网网络、站内电气设备,以及运行配网系统运检事件历史记录。实体与事件积累了大量可以描述及重现物理世界的数据。这些数据具有信息多维、海量、随机和非线性的特征,为数据感知层提供实时数据,并记录事件报表信息。同时,需要建立标准化控制信息接口,物理世界对象还可接受虚拟电网实时反馈的控制指令。

2) 数据感知层基于先进的传感装置监测配网系统的状态及其特征参量。感知层的数据采集包括两个方面:电量和非电量。对电量的采集来自于电网的 sCADA 系统,包括电压、电流、电能;对非电量的采集包括温湿度、水位、噪声等。通过在终端环网柜等设备上安装传感器,传输设备上安装信号采集器,以及在二次设备上安装的保护测控装置,实现感知层的硬件设备设施建设。此外,获取监测测量信息,通过局域网实现协同采集、汇聚和资源整合共享。

3) 数据传输层以有线、无线网络为主要通信方式,是电网数据安全、可靠、双向传输的通道,采用接口协议、互动安全等技术,实现数据交互、数据融合、数据存储。部署相应的网络安全设备,将实现数字孪生技术的数据传输需求。

4) 数字孪生系统是数据构建成的配网系统的全业务、全要素的数字化载体,将孪生模型和孪生

行为一同呈现,能够表现配网系统的数据特征,有利于有效提取及发掘配网系统多源数据的潜在关联。通过执行、决策、更改等方式,触发配网相关业务信息,将控制指令通过传输层实时传递给物理层,用以实现物理层与虚拟层之间的实时交互。

5) 平台应用层是配网系统运维过程所需的业务应用。针对运维业务而言,要实现的是运行管理、巡检管理、资产管理、仿真模拟四大业务场景。应用服务将根据配电系统终端设备工作状态和运行规则,建立虚拟化的运行平台,实现对运营决策、远程操作、状态监测、计算模拟的效能控制。

2 配网系统数字孪生关键技术

数字孪生技术在配网系统运维管理业务的实现需要从以下关键技术突破,此部分将从数字化建模阶段、虚实感知互动阶段、数据驱动的模拟分析阶段,逐一介绍。

2.1 数字化建模阶段

数字化建模是实现配网系统数字孪生的基础。这个阶段将配网系统的物理实体表达为计算机可识别的数字孪生模型,实现配网系统运行参量及状态的数字化。驱动该过程的关键技术包括建模技术、可视化技术、模型轻量化技术,如图 3。



图 3 数字化建模关键技术

Fig. 3 Keytechnologyofdigitalmodeling

建模技术包含模型搭建、模型融合技术,它是对物理实体进行实景建模的方法。例如通过激光三维扫描采集的点云数据并进行清晰和整理,实现实景的数字化复制;通过倾斜摄影采集的图像数据,匹配算法生成三维模型。建模方式的多样性导致数据格式的多元性。因此在建模任务完成后,还需能够将多种建模成果集成并融合为一个场景,这同时也要求模型集成工具具备强大的调度能力,保

障大场景模型流畅编辑和查看。

模型可视化技术是指将模型以更加逼真且美观的效果展示出来,内置简明的人机交互规则,达到人与数字孪生系统的和谐互联互动,提升人对三维虚拟空间的感知能力。除了在物理空间的人、设备、环境的事实交互外,还需增加在虚拟空间的人、设备、环境的交互控制,以及虚拟与现实空间相结合的人、设备、环境交互控制,为远程操作和准确操作的业务场景,提供技术支撑。

模型轻量化技术是根据不同业务场景对三维模型进行概括和简化,能够极大压缩文件,提升文件的浏览效率。除了模型文件数据处理外,还需要一定的渲染策略,例如动态内存调度和多层次渲染,实现高效快速展示三维模型,并能够跟随用户操作进行即时响应,做有针对性的动态显示。此外,为呈现数字孪生系统的基本空间特性,辅以必备的模型轻量化技术,如模型轻量化视图、模型动画、模型测量及标注等。除模型浏览外,系统支持提供模型校验,还原出有层级结构的模型场景,如元件级、单元级、系统级的构件组,最终建成层次清晰的数字孪生模型。

2.2 虚实感知互动阶段

感知互动是实现配网系统物理空间与虚拟空间实时交互的重要环节,这个阶段将建成与现实行为相同步的配网系统虚拟空间的动态行为,且现实的物理世界能够接受虚拟空间的控制指令^[3]。该阶段包括先进传感技术、同步技术、传输技术等,如图4。



图 4 感知互动关键技术

Fig. 4 Keytechnologyofperceptualinteraction

先进传感技术以传感器为代表,在运维阶段,布局电量及非电量的传感及监控装置,采集特征量,在传感器的布局数量和位置方面也需遵循一定的规则,将监控面拓展至全局最优,有效记录配网系统的状态演变及行为趋势。

同步技术是通过调整通信网中的多样信号使之协同工作的技术。基于该技术可确保信息传输的实时性与准确性,保障了配网系统虚实空间的一致性。

传输技术指利用不同信道的传输能力,构成完整的传输系统,保证虚实空间交互的通信可靠性,包含有线传输跟无线传输两种方式。随着电子技术的快速发展,无线传输的应用更为广泛。

除上述技术外,还需要通讯协议技术、一致性交互技术、网络安全技术。

2.3 数据驱动的模拟分析阶段

数据驱动的模拟分析阶段主要任务是对配网系统运维积累的数据进行模拟分析,做出决策建议及预测预警。这是一项智能化、可拓展场景应用的功能建设。这个阶段必需的技术包括模型降价技术、数值仿真技术、数据预处理技术、故障诊断与预测技术,如图5。



图 5 模拟分析关键技术

Fig. 5 Keytechnologyofsimulation analysis

在已知物理机理和边界条件的前提下,以模型为基础进行仿真,求解配网系统设备结构或电力运行状态未来行为。这个阶段需要模型降价技术和模型进化技术,对多维物理过程进行低维的近似描述,在满足计算精度要求的前提下,模型降价技术用于降低计算维度,减少计算量并节省时间,使得仿真结果达到最优。数值仿真技术是运用仿真硬件和软件,求解配网系统运行状态,综合得出系统维护的资产决策建议。

在信息不完整或机理不明确的情况下,通过大数据分析、人工智能算法对配网系统状态进行预测,这类预测的实现注重对未知的、不确定因素的规律探寻。首先对数据进行预处理,提高数据挖掘的准确率和效率,具体表现为数据清洗、数据规约、数据集成等工作。故障诊断与预测技术是利用各种检查和监测方法,采集感知数据,利用智能算法分析,对其之后的运行状态进行预警,提前掌握配网系统的运行趋势。

3 数字孪生技术在配网系统的应用展望

数字孪生技术需扎根于配网系统的运维管理业务,在应用层面可拓展的服务场景分类为四个方面:监测、诊断、预测、优化^[5]。其中,监测是配网系统基本状态的数据采集;诊断是依据历史数据进行的机理模拟和规律挖掘;预测是从历史数据结合当下状态对未来系统行为的推断,能够给到运维管理风险预警及维护建议;优化是对配网系统现状作出的整体性决策动作。对前文所罗列的应用层服务进行增维呈现,如图6示。仿真模拟是服务应用的"大脑",集成有多重场景应用的核心算法,可拓展各类智能算法。

	资产管理	运行管理	巡检管理	仿真模拟
监测	-	状态监测	虚拟巡检	-
诊断	资产评估	缺陷分析	-	缺陷分析
预测	-	故障预警	-	故障预警
优化	资产管控	-	远程操作	教育培训

图6 配网系统数字孪生技术应用

Fig. 6 Application of digital twin technology in distribution system

从监测来看,人员对配网系统状态感知分为动态的虚拟巡检和静态的状态监测。从诊断来看,对配网系统进行缺陷分析和资产评估,二者根据业务情景可以考虑实时分析或周期分析。从预测来看,结合积累的运维数据,做仿真模拟,并对可能风险作出预警预报。从优化来看,历史运行数据可以支撑配网系统的教学训考,辅助或替代高危岗位员工完成配网的远程操作控制,甚至在配网系统的资产管控中,不断优化资源配置,持续保持系统的优良运行状态,如图6所示。^[6-8]

4 结论

随着数字化进程的推进,配网系统在各阶段呈现了新的需求,数字孪生技术为实现配网系统运维管理提供了新路径。在配网系统物理实体的基础上,同构虚拟化的数字孪生世界,构建新业态新模式,以数字孪生系统驱动物理世界实现高度智能,物理世界同时依托数字孪生系统发挥衍生价值,最终优化配网系统的运行方式和管理方法。

目前,数字孪生技术在配网系统的运维管理应用还处于初步阶段。搭建一套配网系统数字孪生运维平台,需要融合多重技术、多源数据、多样需求,必然要求配网系统数字孪生平台是一个开放的系统,需要逐步迭代,逐步拓展。此外,发展面临的难点还有平台的国产化建设、标准的制定、新兴算法的应用等,建设工作任重道远。数字孪生技术作为新兴发展方向,将赋能配网系统的运维管理,为配网系统提质增效。

参考文献

[1] 陶飞,刘蔚然,张萌等.数字孪生五维模型及十大应用领域[J].计算机集成制造系统,2019,25(1):1-18.Fivedimension digitaltwin modeland itsten applications[J]. Computer integrated manufacturingsystems, 2019,25 (1):1-18.

[2] 蒲天骄,陈盛,赵琦等.能源互联网数字孪生系统框架设计及应用展望[J].中国电机工程学报,2021,41(6):2012-2028.PUTianjiao, CHENsheng, ZHA0 & i, etal. Framework design and application prospectfordigitaltwinssystemofenergy internet[J]. Proceedingsofthe CsE, 2021, 41 (6): 2012-2028.

[3] 刘云鹏,刘一瑾,律方成等.数字孪生技术在输变电设备中的应用前景与关键技术[J].高压电技术,2022,48(5):1621-1633.Application prospectand technologyofdigitaltwin in powertransmission and transformation equipment[J]. High VoltageEngineering, 2022, 48 (5): 2012-2028.

[4] 张正文,彭娇,孙树娟等.电网数字孪生管理平台的设计及实现[J].河北电力技术,2022,41(1):8-12.Design ofpower griddigitaltwinmanagementplatform[J]. Hebeielectricpower, 2022,41 (1):8-12.

[5] 黄鑫,汤蕾,朱涛等.数字孪生在变电设备运行维护中的应用探索[J].电力信息与通信技术,2020,19(12):102-108.Application ofDigitalTwin in O peration and Maintenancefor substation Equipment[J], ELECTRIC POWER ICT2020, 19 (12):102-108.

[6] 白浩,周长城,袁智勇等.基于数字孪生的数字电网展望和思考[J].南方电网技术,2020,14(8):18-24.Prospectand

Thinking of Digital Power Grid Based on Digital Twin [J] .
SOUTHERN POWER SYSTEM TECHNOLOGY, 2020 , 14 (8) :
18 -24 .

[7] 潘博, 张弛, 张华等 . 数字孪生变电站在电网企业数智化转
型的探索与 应用 [J] . 电 力 与 能 源 , 2020 , 41 (5) : 558 -560 .
Exploration and application of digital twin substation in digital
intelligent transformation of power grid enterprises [J] . Power
and Energy, 2020 , 41 (5) : 558 -560 .

[8] 江秀臣, 许永鹏, 李曜丞等 . 新型电力系统背景下的输变电
数 字 化 转 型 [J] . 高 电 压 技 术 , 2022 , 48 (1) : 1 -10 .
Digitalization Transformation of Power Transmission and
Transformation Under the Background of New Power system [J] .
High Voltage Engineering, 2022 , 48 (1) : 1 -10 .