UDC

中国土木工程学会标准

P T/CCES1－201X

劲扩桩技术规程

Technical specification for for equivalent expanded pile with

deep mixing column

（征求意见稿）

201X–XX–XX发布 201X–XX–XX实施

中国土木工程学会发布

**中国土木工程学会标准**

劲扩桩技术规程

Technical specification for expanded rigid pile with

deep mixing cement-soil column

**T/CCES1－201X**

批准单位：中国土木工程学会

施行日期：20XX年X月X日

201X北京

前言

本规程是根据中国土木工程学会《关于发布〈2019年中国土木工程学会标准立项计划〉的通知》（土标委〔2019〕11号）的要求，由中国建筑科学研究院、江苏劲桩基础工程有限公司会同有关单位编制完成。

在规程编制过程中，编制组广泛调查研究，开展专题试验研究，认真总结实践经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本规程的主要技术内容是：总则，术语、符号及参考标准，基本规定，设计与构造，施工与环保，工程检验与验收。

注意本规程某些内容可能涉及专利(CN201010130246.2、CN201210229106.X、CN201410088076.4、CN201610387215.2、CN201610387213.3、CN201610414527.8、CN201610414485.8)、及其他未列出相关专利，本文件的发布机构和编制组不承担识别这些专利的责任，对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

涉及的七件专利持有人已向本规程的发布机构保证，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本规程的发布机构备案。涉及其它未列出相关专利，使用者应与专利权人协商处理。

本规程由中国土木工程学会标准与出版工作委员会负责管理，由江苏劲桩基础工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送江苏劲桩基础工程有限公司（地址：江苏省南通市工农南路128号天宝大厦17楼；邮政编码：226019）。

|  |  |
| --- | --- |
| 本规程主编单位： | 江苏劲桩基础工程有限公司 |
| 本规程参编单位： | 中国建筑科学研究院 |
|  | 东南大学 |
|  | 南通大学 |
|  | 北京市建筑设计研究院有限公司 |
|  | 中交上海航道勘察设计研究院有限公司 |
|  | 河北寰球工程有限公司 |
|  | 上海交通大学 |
|  | 江苏省建筑设计研究院有限公司 |
|  | 江苏省建苑岩土工程勘测有限公司 |
|  | 深圳市工勘岩土集团有限公司 |
|  | 南京金宸建筑设计有限公司 |
|  | 广东新长安建筑设计院有限公司 |
|  | 上海民航新时代机场设计研究院有限公司 |
|  | 南通市建筑设计研究院有限公司 |
|  | 盐城市建筑设计研究院有限公司 |
|  | 江苏劲桩岩土科技有限公司 |
|  |  |
| 本规程主要起草人员： |  |
| 本规程主要审查人员： |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

目次

[1总则 7](#_Toc80197489)

[2 术语、符号及参考标准 8](#_Toc80197490)

[2.1 术语 8](#_Toc80197491)

[2.2 符号 10](#_Toc80197492)

[2.3 参考标准 13](#_Toc80197493)

[3 基本规定 15](#_Toc80197494)

[3.1 一般规定 15](#_Toc80197495)

[3.2 桩的选型与布置 18](#_Toc80197496)

[3.3 耐久性规定 20](#_Toc80197497)

[4 桩基构造 23](#_Toc80197498)

[4.1 一般规定 23](#_Toc80197499)

[4.2 基桩构造 24](#_Toc80197500)

[4.3 承台及连接构造 27](#_Toc80197501)

[5 桩基计算 30](#_Toc80197502)

[5.1 一般规定 30](#_Toc80197503)

[5.2 单桩竖向极限承载力 31](#_Toc80197504)

[5.3 桩基沉降计算 38](#_Toc80197505)

[5.4 桩基水平承载力计算 40](#_Toc80197506)

[5.5 桩身承载力与裂缝控制计算 42](#_Toc80197507)

[6 施工与环保 45](#_Toc80197508)

[6.1 一般规定 45](#_Toc80197509)

[6.2 施工准备 45](#_Toc80197510)

[6.3 施工作业 48](#_Toc80197511)

[6.4 施工安全和环境保护 54](#_Toc80197512)

[7 工程检验与验收 56](#_Toc80197513)

[7.1 一般规定 56](#_Toc80197514)

[7.2 施工前检验 56](#_Toc80197515)

[7.3 施工中检验 57](#_Toc80197516)

[7.4 施工后检验 58](#_Toc80197517)

[7.5 工程验收 60](#_Toc80197518)

[附录A 桩型与成桩工艺选择 62](#_Toc80197519)

[附录B 扩底端主要参数估算办法 63](#_Toc80197520)

[附录C 劲性扩体复合桩的桩身抗弯刚度计算 65](#_Toc80197521)

[附录D 常用施工记录表 67](#_Toc80197522)

[附录E 常用施工质量检验表 69](#_Toc80197523)

[本规程用词说明 71](#_Toc80197524)

Contents

[1 General Provisions 7](#_Toc80197642)

[2 Terms, Symbols and List of Qutoed Standards 8](#_Toc80197643)

[2.1 Terms 8](#_Toc80197644)

[2.2 Symbols 10](#_Toc80197645)

[2.3 List of Qutoed Standards 13](#_Toc80197646)

[3 Basic Requirements 15](#_Toc80197647)

[3.1 General Provisions 15](#_Toc80197648)

[3.2 Type Selection and Arrangement of Piles 18](#_Toc80197649)

[3.3 Provisions on Durability 20](#_Toc80197650)

[4 Pile Foundation Structure 23](#_Toc80197651)

[4.1 General Provisions 23](#_Toc80197652)

[4.2 Foundation Pile Structure 24](#_Toc80197653)

[4.3 Cushion Cap and Connection Structure 27](#_Toc80197654)

[5 Pile Foundation Caculations 30](#_Toc80197655)

[5.1 General Provisions 30](#_Toc80197656)

[5.2 Vertical Ultimate Bearing Pressure of a Single Pile 31](#_Toc80197657)

[5.3 Calculation for Pile Foundation Settlement 38](#_Toc80197658)

[5.4 Calculation for Level Bearing Capacity of Pile Foundation 40](#_Toc80197659)

[5.5 Calculation for Bearing Capacity and Fracture control of Pile Shaft 42](#_Toc80197660)

[6 Construction and Environmental Protection 45](#_Toc80197661)

[6.1 General Provisions 45](#_Toc80197662)

[6.2 Preparations for Construction 45](#_Toc80197663)

[6.3 Construction Operation 48](#_Toc80197664)

[6.4 Construction Safety and Enviromental Protection 54](#_Toc80197665)

[7 Engineering Inspection and Acceptance 56](#_Toc80197666)

[7.1 General Provisions 56](#_Toc80197667)

[7.2 Inspection before Construciton 56](#_Toc80197668)

[7.3 Inspection during ConstrucitonStage 57](#_Toc80197669)

[7.4 Inspection after Construciton 58](#_Toc80197670)

[7.5 Engineering Acceptance 60](#_Toc80197671)

[Appendix A Selection for Pile Types and Pile Forming Technology 62](#_Toc80197672)

[Appendix B Main Estimated Parameters for Enlargerd Rigid Bottom 63](#_Toc80197673)

[Appendix C Pile-Shaft Flexural Stiffness for Pile Shaft 65](#_Toc80197674)

[Appendix D Common Tables for Construction Records 67](#_Toc80197675)

[Appendix E Common Tables for Qulity Inspection 69](#_Toc80197676)

[Explanation of Wording in this Specificaiton 71](#_Toc80197677)

Explanation of provisions

# 1总则

**1.0.1**为了在劲性扩体复合桩设计与施工中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规程。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 1.0.1 劲性扩体复合桩技术充分发挥桩侧阻力、合理利用桩端阻力，且施工挤土效应减小、环保效果好、桩身质量高，其（抗压、抗拔、抗水平、抗震）承载力稳定可靠、耐久性好、造价低，符合国家的技术经济政策。目前该技术在江苏、山东、天津、浙江、上海等地使用，取得了较好的效果。为使该技术更好地推广应用，制定本规程。 |

**1.0.2** 本规程适用于建设工程中劲性扩体复合桩的设计、施工、检验与验收。用于其他行业时，尚应符合国家及行业现行相关标准的规定。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 1.0.2本规程主要根据劲性扩体复合桩在建筑工程领域中的研究与应用成果制定。用于其它行业（市政、公路与桥梁、机场、铁路、港口、水利及石油化工等）建设工程中时，应符合相关行业标准的规定。劲性扩体复合桩用于复合地基时，应符合国家现行有关标准、规范的规定。 |

**1.0.3** 劲性扩体复合桩的设计与施工，应坚持以土为本、因地制宜、保护环境和节约资源的原则，应综合考虑工程地质与水文地质条件、上部结构与荷载特征、施工技术条件和工程环境等因素，重视地区经验，精心设计，强化施工质量控制与管理。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 1.0.3劲性扩体复合桩的设计与施工受到工程地质与水文地质条件、上部结构与荷载特征、施工技术条件和工程环境等因素的综合影响。工程地质与水文地质条件是决定劲性扩体复合桩的适宜性和可行性的前提；施工技术与管理水平是劲性扩体复合桩关键技术能否达到设计目标的决定性因素；为此特别要求坚持因地制宜、以土为本的原则，重视各地的工程经验，把握技术要点，精心设计，强化施工质量控制与管理。 |

**1.0.4**劲性扩体复合桩的设计、施工、工程检验与验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 术语、符号及参考标准

2.1 术语

**2.1.1** 劲性扩体复合桩 Expanded rigid pile with deep mixing cement-soil column

在水泥土桩中同心沉入刚性芯桩，通过水泥土桩和芯桩实现扩体(扩径、扩底)，进而组合形成具备扩体形态和力学特点的一种新桩型。简称“劲扩桩”。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 2.1.1劲性扩体复合桩是一种新桩型。在先行施工完成的水泥土桩中，同心（轴）沉入刚性芯桩后组合而成的一种桩型，其特点：一是由水泥土桩与刚性芯桩组成“劲性”的、“复合”的桩，二是通过水泥土桩等效扩大直径、芯桩扩底，形成几何意义上的“扩体”，水泥土桩与芯桩整体工作。所以将该桩型定义为劲性扩体复合桩，简称“劲扩桩”。国内外学者试验研究表明，水泥土搅拌桩的侧阻力远大于传统混凝土桩，而刚性芯桩的桩身强度和刚度远高于水泥土搅拌桩。由此，假定由芯桩承受全部竖向荷载，仅考虑利用水泥土抗剪强度传递荷载，即：采用芯桩承受竖向荷载，实现了桩全长范围内均用芯桩桩身承担荷载，从而使桩身抗力具有符合《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153的保证率和安全度。同时，通过设计使水泥土桩侧阻力与芯桩桩身强度在极限状态下互相匹配，各自优势性能得到充分发挥，从而获得高于传统桩型的性价比。  根据芯桩与水泥土桩的不同形态组合、不同长度组合，其组合后的劲性扩体复合桩类型繁多。劲性扩体复合桩构造及技术可能涉及专利权益，涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与专利权人协商处理。 |

**2.1.2**水泥土桩 Cement-soil column

将以水泥为主的固化剂、外掺剂和地基土强制搅拌形成的混合物，其固化后形成具有一定强度的柱状体，是土的竖向改良体。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 2.1.2 固化剂(以水泥为主)、外掺剂与地基土混合物发生水化反应（也有学者认为是活化反应）固化形成具有一定强度的柱状体，其抗剪强度远高于原状土，可有效将芯桩荷载传递到桩周地基土。 |

**2.1.3**芯桩 Core pile

水泥土桩中的刚性桩。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 2.1.3 劲性扩体复合桩的芯桩一般采用扩底桩。  芯桩由桩身和扩底两部分组成，见图1。扩底芯桩分两类：（1）灌注混凝土桩身+灌注混凝土扩底，即常见的混凝土扩底灌注桩；（2）预制桩身+灌注混凝土扩底，预制桩采用管桩和钢管桩。扩底设置方式及扩底大小由设计确定，预计端承效应不明显时，可采用非扩底形式。扩底桩一般是谋求浅部持力层的承载力充分发挥而采取的技术方案，持力层埋深过大时采用扩底桩，扩底承载力得不到充分发挥，且施工困难、经济性不佳。  预制桩身，可以是通常的钢筋混凝土桩，包括预应力和非预应力的实心桩、空心桩；也可采用钢桩(包括钢管桩和型钢桩)、木桩、石丁桩、塑料桩等等。 |

**2.1.4** 长芯桩 Long core pile

芯桩长度大于水泥土桩长度的劲性扩体复合桩。

**2.1.5** 等芯桩 Equal-length core pile

芯桩长度与水泥土桩长度相等或大致相等的劲性扩体复合桩。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 2.1.4~2.1.5 根据芯桩长度与水泥土桩长度的不同组合，可将劲性扩体复合桩分成三类：长芯桩(*l*cp＞*l*cs)、等芯桩(*l*cp≈*l*cs)和短芯桩(*l*cp＜*l*cs)，见图1。    图1 长芯桩、等芯桩与短芯桩  1—水泥土桩；2—芯桩桩身；3—桩端扩底  等芯桩，可通过设计使水泥土桩侧阻力与芯桩桩身强度在极限状态下互相匹配，各自优势性能得到充分发挥，从而获得高于传统桩型的性价比。水泥土的抗渗性能优于地基土，水泥土环对芯桩可起到有效的保护作用，所以等芯桩是首选的技术方案。  采用长芯桩的目的是选择更好的土层作桩端持力层，从而获得较高的端阻力和减小沉降。从国内的工程实践来看，长芯桩的预制芯桩沉桩施工需要穿越坚硬土层，容易造成芯桩桩身损伤、或露桩、或设备损伤；另外，过长的芯桩也发挥不出劲扩桩的技术和经济优势。长芯桩的灌注芯桩穿越水泥土桩后进入原状地基土，桩的属性转变为挤土桩，其适用深度和设备能力均受到限制。所以长芯桩的裸芯段长度不宜过长。  短芯桩下部存在过长的无芯段水泥土桩，而深部的水泥土质量稳定性、强度保证率更低，导致过长的水泥土桩强度不足以承受芯桩传递下来的荷载。故本规程不建议采用短芯桩。 |

**2.1.6**外界面 Outer interface

水泥土桩侧面与其周边土的接触面；或裸芯段桩侧与其周边土的接触面。

**2.1.7**内界面 Inner interface

芯桩侧面与其周边水泥土的接触面。

**2.1.8** 复合段 Composite section

由芯桩和水泥土桩组成的桩身部分。

**2.1.9** 无芯段 Pure cement-soil section

仅有水泥土桩的桩身部分。

**2.1.10** 裸芯段 Pure core section

仅有芯桩的桩身部分。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 2.1.8~2.1.10 劲性扩体复合桩桩身根据芯桩-水泥土的不同组合情况，划分成：复合段、无芯段和裸芯段，见图1。裸芯段在长芯桩中出现，无芯段则在等芯桩和短芯桩中出现，由于本规程不建议采短芯桩，所以无芯段一般指等芯桩下部较小范围内的一段仅有水泥土桩的桩身部分。 |

**2.1.11**填芯混凝土 Filling concrete for pipe pile head

管桩、空心方桩，灌填于桩顶内腔一定深度的混凝土。

**2.1.12**核心混凝土 Core concrete

钢管桩内全长灌注的混凝土。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 2.1.11~2.1.12本规程的填芯混凝土是有特定指向：即芯桩采用管桩、空心方桩时，灌填于桩顶部内腔一定深度（可全长范围）的混凝土；而钢管桩内全长灌注的混凝土称其为核心混凝土。 |

2.2 符号

**2.2.1**作用和作用效应

|  |  |
| --- | --- |
| *F*k —— | 相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至承台顶面的竖向力； |
| *G*k —— | 桩基承台和承台上土自重标准值； |
| *G*p —— | 劲性扩体复合桩基桩自重； |
| *G*gp —— | 单桩所分担的群桩基础所包围体积的桩土总自重； |
| *Hi*k —— | 荷载效应标准组合下，作用于第*i*基桩顶处的水平力； |
| *N* —— | 荷载效应基本组合下，桩顶轴向压力设计值； |
| *N*k —— | 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力； |
| *N*kmax—— | 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力； |
| *Qj* —— | 荷载效应准永久组合作用下，第*j*桩顶的附加荷载； |

**2.2.2**抗力和材料性能

|  |  |
| --- | --- |
| *E*c0—— | 桩顶填芯混凝土或钢管内核心混凝土的弹性模量； |
| *E*cs—— | 水泥土桩的变形模量； |
| *E*cp—— | 芯桩桩身的混凝土弹性模量； |
| *E*sp—— | 钢管桩用钢材弹性模量； |
| *f*az—— | 经深度修正的地基承载力特征值； |
| *f*csu—— | 水泥土无侧限抗压强度，取与水泥土桩配合比相同的室内水泥土试块(边长70.7mm立方体)在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值。 |
| ‾*f*csu—— | 主要土层水泥土*f*csu的按土层厚度的加权平均值； |
| *f*n—— | 填芯混凝土与空心桩内壁的平均抗剪强度设计值； |
| *f*py—— | 预应力钢筋抗拉强度设计值； |
| *f*t、*f*c—— | 混凝土抗拉、抗压强度设计值； |
| *f*y —— | 普通钢筋抗拉强度设计值； |
| *f*y0 —— | 填芯混凝土中受力钢筋的抗拉强度设计值； |
| *m*—— | 桩侧地基土水平抗力系数的比例系数； |
| *q*csk—— | 内界面极限侧阻力标准值； |
| *q*pk—— | 单桩极限端阻力标准值； |
| *q*s*i*k —— | 单桩复合段第*i*层土的极限侧阻力标准值； |
| *q*s*j*k —— | 单桩裸芯段第*j*层土的极限侧阻力标准值； |
| *T*gk —— | 群桩呈整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值； |
| *T*uk —— | 群桩呈非整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值； |
| *Q*uk —— | 单桩竖向抗压极限承载能力标准值； |
| *Q*csk —— | 单桩复合段总极限侧阻力标准值； |
| *Q*sk —— | 单桩裸芯段总极限侧阻力标准值； |
| *Q*pk —— | 单桩复合段总极限端阻力标准值； |
| *R*—— | 基桩或复合基桩竖向承载力特征值； |
| *R*a —— | 单桩竖向抗压承载力特征值； |
| *R*ha—— | 单桩水平承载力特征值； |
| *γ*m —— | 各土层重度（地下水位以下取浮重度）按厚度加权平均重度； |

**2.2.3**几何参数

|  |  |
| --- | --- |
| *A*c0 —— | 桩顶填芯混凝土截面面积或钢管内核心混凝土截面面积； |
| *A*cp—— | 芯桩的桩身截面面积；计净面积； |
| *A*f —— | 群桩实体基础外缘面积； |
| *A*p—— | 劲性扩体复合桩的桩端面积； |
| *A*py —— | 预应力钢筋截面面积； |
| *A*s、*A*s′—— | 纵向受拉钢筋、纵向受压钢筋截面面积； |
| *A*s0—— | 填芯混凝土中受力钢筋的截面面积； |
| *D*—— | 桩端扩大头设计直径； |
| *D*cs—— | 水泥土桩设计直径； |
| *b*0 —— | 桩身的计算宽度； |
| *d*、*b*—— | 芯桩桩身设计外直径、边长； |
| *d*1—— | 空心桩空腔直径； |
| *hb* —— | 桩端扩底大头的估算高度； |
| *l*cp —— | 芯桩全长长度(含扩底大头高度)； |
| *l*cs —— | 水泥土桩长度； |
| *l*px —— | 芯桩桩身长度(不含扩底大头高度)； |
| *li*、*lj*—— | 复合段桩周第*i*层土、裸芯段桩周第*j*层土的厚度； |
| *l*0—— | 填芯混凝土长度； |
| *s*a—— | 基桩中心距； |
| *U*f*i* —— | 群桩实体基础外缘周长； |
| *U*cs、*u*cp—— | 水泥土桩周长、芯桩桩身周长； |
| *z*p —— | 承台底面至桩端底面深度； |

**2.2.4**计算系数

|  |  |
| --- | --- |
| *K* —— | 安全系数； |
| *α*—— | 桩的水平变形系数； |
| *α*e*——* | 钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值； |
| *α*cs—— | 内界面极限侧阻力标准值与水泥土立方抗压强度换算系数； |
| *β*h —— | 单桩水平承载力调整系数。 |
| *β*f —— | 实体基础外表面总侧阻力扣除系数； |
| *η*cs—— | 桩身水泥土强度折减系数； |
| *ϕ*—— | 轴心受压桩与稳定性相关的系数； |
| *λi* —— | 抗拔系数； |
| *ψ* —— | 桩基沉降计算经验系数； |
| *ψ*c—— | 成桩工艺与工作条件系数； |
| *ψ*e —— | 桩基等效沉降系数； |
| *ψ*p —— | 大直径桩的端阻力尺寸效应系数； |
| *ψ*y —— | 预应力钢筋受力不均匀影响的折减系数； |
| *ξ*e —— | 芯桩桩身压缩系数； |
| *ξ*p —— | 复合段桩端极限端阻力调整系数； |
| *ξ*s —— | 复合段土的极限侧阻力调整系数； |
| *ν*x —— | 桩的水平位移系数； |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 2.2.1~2.2.4 符号设定原则上按总体上国家现行有关标准的规定采用，现行标准中没有规定时，采用国际通用的符号。本规程并结合劲性扩体复合桩的具体特点，设定的符号尽量与国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011和《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008的规定一致。 |

2.3 参考标准

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

1《通用硅酸盐水泥》GB175

2《建筑地基基础设计规范》GB 50007

3《建筑结构荷载规范》GB 50009

4《混凝土结构设计规范》GB 50010

5《建筑抗震设计规范》GB 50011

6《钢结构设计标准》GB 50017-2017

7《岩土工程勘察规范》GB 50021

8《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153

9《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202

10《混凝土结构工程施工规范》GB 50666

11《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936

12《钢筋混凝土用钢》GB/T 1499

13《预拌混凝土》GB/T 14902

14《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046

15《土工试验方法标准》GB/T 50123

16《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476

17《建筑工程绿色施工评价标准》GB/T50640

18《复合地基技术规范》GB/T 50783

19《盐渍土地区建筑技术规范》GB/T50942

20《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004

21《建筑施工安全检查标准》JGJ 59

22《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

23《建筑桩基技术规范》JGJ 94

24《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

25《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146

26《混凝土用水标准》JGJ 163

27《海砂混凝土应用技术规范》JGJ206

28《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T 72

29《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233

30《再生骨料应用技术规程》JGJ/T240

31《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T283

32《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151

33《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153

34《码头结构设计规范》JTS 167

3 基本规定

3.1 一般规定

**3.1.1** 劲性扩体复合桩基的详细勘察除应满足国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB50021和《建筑桩基技术规范》JGJ 94的相关规定外，尚应符合下列规定：

**1** 应进行地基土和地下水对水泥土腐蚀性评价。

**2** 应重点查明各土层的pH值、有机质含量、塑性指数、地下障碍物、地下水位及其运动规律等。

**3** 对不均匀地基，宜进行施工勘察，查明并提供持力层顶板高程等值线图、不同风化程度基岩面高程等值线图。

**3.1.2** 设计前，应根据岩土工程勘察报告对下列土层，如无可靠地区经验，应进行水泥土适宜性评价：

（1）地基土和地下水具有中、强腐蚀性的土层；

（2）地下水的pH值小于4的土层；

（3）泥炭土及有机质土层；

（4）塑性指数大于25的土层；

（5）湿陷性黄土、季节性冻土、膨胀土等。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.1.1~3.1.2岩土工程详细勘察应按国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB50021的要求执行，同时应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011和《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。  1 目前尚无统一的地基土和地下水对水泥土腐蚀性评价标准，建议参照国家现行标准《盐渍土地区建筑技术规范》GB/T50942，按地基土和地下水对无筋水泥基材料的腐蚀性评价标准执行。  2 为评价水泥土适宜性，应重点查明各土层的pH值、塑性指数、有机质含量、地下障碍物、地下水位及其运动规律等。适宜性主要评价主要包括两个方面：（1）水泥土成型的可能性。实践表明，在有机质含量高的淤泥、淤泥质土中的水泥土，28d取芯芯样灰黑色，芯样松软、手捏可碎，成形质量差。地下水的pH值小于4时，水中的酸性物质对水泥水化产物产生溶蚀或生成膨胀晶体，导致水泥土出现膨胀开裂、崩解而丧失强度；另外在强酸性介质作用下，混凝土的抗渗性能也无法抵御酸性介质的侵蚀。在腐蚀性的土层中，由于腐蚀介质的不同，其对水泥土产生的作用可能是双向的，有的是积极有利的，有的是负面不利的。如果地基土层仅存在厚度较小的腐蚀性薄夹层时，可采取技术措施（如：提高水泥掺入比、掺加外掺剂，或不计薄夹层承载力）进行局部处理。欠固结的淤泥与淤泥质土层，由于欠固结土层后期固结产生桩侧负摩阻，给工程带来安全隐患。但有研究和实践证明，先行采取地基处理技术措施后，采用劲性扩体复合桩取得了较好的效果。（2）施工的可行性。塑性指数（Ip）大于25的黏土，施工中容易在搅拌头叶片上形成泥团，无法使水泥与土均匀拌和，施工难度大。但有研究和实践证明，采取调整钻头叶片、喷浆系统和施工工艺等措施可在此类黏土地基土取得较理想的结果。另外，劲性扩体复合桩用于特殊土的实践积累经验少，应通过试验确定其适宜性。  3 对不均匀地基，尤其是持力层为倾斜地层、层面起伏大或岩土中有洞穴时的地基，需要评价桩的稳定性，故需要提供详细的持力层及下部的岩土层参数，为此宜进行施工勘察。不均匀地基的判别按现行标准《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T72执行。 |

**3.1.3** 水泥土适宜性评价可采用室内试验方法，应采用拟建工程现场地基土和地下水进行水泥土成型试验和强度试验，试验应符合国家现行标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T233的规定。试验时应选择合适的水泥品种及掺入比、外掺剂种类及掺量。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.1.3 实验室试验包括水泥土成型试验和强度试验。实验室试验应注意水泥土搅拌柱体施工工艺的不同对水泥土成型的影响，现行标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T233的试验方法适合于湿法施工工艺成型的水泥土；而对于干法施工工艺成型的水泥土，试验时，应取工程地点的地基土、水进行试验，这样水泥土的试验条件与实际环境条件基本相符。成型试验根据水泥土能否固化成型初步判断水泥土是否满足适宜性要求，强度试验则提供28d龄期水泥土无侧限抗压强度。设计工程师可根据成型试验、强度试验和成桩工艺性试验结论综合评判确定水泥土的适宜性。 |

**3.1.4** 设计前，应在水泥土适宜性评价的基础上进行劲性扩体复合桩适宜性评价：

1 劲性扩体复合桩适用于正常固结的淤泥与淤泥质土、素填土、冲填土、黏性土、粉土、砂土、全风化~强风化岩等土层。

2 桩身不宜穿越厚度较大的坚硬黏性土层、密实砂类土层、含有较多块石或障碍物且不易清除的土层、以及地下水渗流速度较大的土层。

3 对湿陷性黄土、季节性冻土、膨胀土、岩溶等特殊土地区，按地区经验评价后确定。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.1.4 在水泥土适宜性评价的基础上，尚应进行劲性扩体复合桩适宜性评价。  1 劲性扩体复合桩的适用土层比较广泛，有些土层，如：坚硬黏性土、密实粉土、密实砂类土等土层可作为良好的持力层，但水泥土桩穿越这些土层时施工难度大，故当这些土层厚度较大时不建议穿越，可作为持力层用。  2 目前国内的搅拌桩机在含有较多块石或障碍物且不易清除的土层、坚硬黏性土、密实砂类土等土层施工难度大，故复合段不宜穿越这些土层，但采用裸芯段穿越时，不受此条限制。地下水渗流速度较大的土层，由于水泥等固化剂随地下水的渗流而流失，形成水泥土固化体的难度大。但裸芯段穿越地下水渗流速度较大的土层时，不受此条限制。  3 另外，特殊土地区和特殊地基，劲性扩体复合桩实践积累经验少，应按地区经验评价后确定其适宜性。 |

**3.1.5** 设计前宜选择在有代表性场地进行成桩工艺性试验，确定各项工艺参数。无可靠当地工程经验的地区必须进行成桩工艺性试验。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.1.5 劲性扩体复合桩设计前，应根据工程所在地区是否具有可靠工程经验，确定是否进行现场成桩工艺性试验，目的在于评价施工的可行性、确定设计与施工参数。（1）成桩工艺性试验可以采用开挖检测法、轻便触探法、低应变法、标准贯入法、钻芯取样检测法等原位测试手段检查水泥土桩固化形态、均匀程度和成型质量。（2）成桩工艺性试验还可进行基桩静载试验，通过试验初步确定单桩承载力作为设计依据。（3）成桩工艺性试验还有一个重要的任务，就是为后期工程桩施工选择合适施工机械、确定工程桩施工工艺参数提供依据。（4）当成桩工艺试验的结论不能满足设计要求时，应调整设计与施工有关参数；当成桩工艺性试验结果与设计要求有较大的出入时，可考虑重新进行试验。  在条件许可时，可以将成桩工艺性试验与第3.1.6条规定的静载试验合二为一。 |

**3.1.6** 工程桩正式施工前应进行静载试验，确定单桩承载力。同一条件下，试桩数量不应少于3根。当地质条件复杂、桩施工质量可靠性低时，宜增加试桩数量。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.1.6 按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007和《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的有关规定，在工程桩正式施工前应进行基桩竖向或水平静载试验，并加载至破坏，确定单桩竖向或水平极限承载力，为设计工程师提供足够的设计依据。 |

**3.1.7** 劲性扩体复合桩的水泥土桩宜采用非取土搅拌施工工艺，芯桩宜采用非取土的沉桩施工工艺，扩底宜采用夯扩成型施工工艺。如采用其他施工工艺且无可靠工程经验时，应按本规程3.1.4条的规定进行成桩工艺性试验。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.1.7 本规程主要总结了沿江沿海一带劲性扩体复合桩及类似桩型的应用成果并结合试验研究，提出了适合于劲性扩体复合桩技术的施工工艺特点，具备这些特点的施工工艺用于劲性扩体复合桩被证明是可靠、可行的，这些特点也是按本规程设计劲性扩体复合桩需要满足的前提。目前国内外桩的类型、桩的施工技术很多，有的不一定适用于劲性扩体复合桩，有的即使适用但经济性差。所以，当采用不具备本规程所述特点的施工工艺时，应由可靠的工程经验予以支撑，否则应通过成桩工艺性试验证实其可靠性和可行性。  1 水泥土桩施工强调的是“非取土”工艺与“搅拌”工艺的组合，一般采用原地机械搅拌法施工，包括：喷粉(灰)搅拌法（干法）、喷浆搅拌法（湿法）、高压喷浆搅拌法。  2 芯桩的施工也强调“非取土”沉桩工艺。混凝土预制桩和钢管桩施工工艺通常采用锤击沉桩、静压沉桩，不宜采用植入成桩；在未成型或未形成强度的水泥土桩中施工灌注桩，沉管灌注工艺、内夯沉管灌注工艺是成熟可靠的成桩工艺，不应采用取土的成孔灌注工艺。  3 扩底施工强调的是“夯扩”工艺，扩底灌注桩一般采用夯扩成型法，如沉管柱锤冲击夯扩法、沉管内夯管锤击夯扩法。预制空心桩一般采用内腔夯扩成型法，如衬管柱锤冲击夯扩法。 |

**3.1.8** 劲性扩体复合桩基础应按承载能力极限状态和正常使用极限状态两类极限状态设计。劲性扩体复合桩基础的基本设计规定除应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 劲性扩体复合桩基础设计等级：

（1）海滩涂地基的7层以上的一般建筑的桩基础设计等级为甲级。

（2）海滩涂地基的7层及以下的一般建筑的桩基础设计等级为乙级。

**2** 应对桩端持力层承载力进行验算。

**3** 下列劲性扩体复合桩基应进行沉降计算：

（1）设计等级为甲级、乙级的桩基；

（2）设计等级为丙级的桩端平面以下存在软弱土层的桩基。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.1.8 规程编制组在调研过程中，发现相当部分设计工程师对“海滩涂地基”定性把握不到位，因为海滩涂确实不存在国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007所描述的复杂场地和地基的特征，所以设计时常把海滩涂地基作为“场地和地基条件简单”来考虑，结果实际工程中出现了较多的沉降问题。考虑海滩涂的场地和地基土的复杂性以及腐蚀性的综合性，宜适度提高其基础设计等级，故将海滩涂地基划为“场地和地基条件复杂”系列。  劲性扩体复合桩基础计算设计内容和一般规定应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。同时本规程补充要求对桩端持力层承载力进行验算；并适度扩大了沉降验算的范围，与《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定相比，要求乙级桩基应无条件进行沉降验算，增加部分丙级桩基沉降验算的要求。 |

**3.1.9** 对设计等级为乙级及以上的劲性扩体复合桩基，在其施工过程中及建成后使用期间，应进行沉降变形观测。对设计等级为丙级的劲性扩体复合桩基，宜进行沉降变形观测。沉降变形观测应按国家现行标准《建筑变形测量规范》JGJ8的有关规定进行系统的沉降观测直至沉降稳定。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.1.9 主要依据国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007和标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定提出沉降观测要求，本规程适度扩大了沉降变形观测的范围，要求乙级桩基全部进行沉降变形观测，建议丙级桩基宜全部进行沉降变形观测。 |

3.2 桩的选型与布置

**3.2.1** 劲性扩体复合桩桩型与成桩工艺应根据建筑结构类型、荷载性质、桩的使用功能、穿越土层、桩端持力层、地下水位、地下水土腐蚀性、施工设备、施工环境、施工经验、制桩材料供应条件等，按安全适用、经济合理的原则选择。可按本规程附录A选择。

**1** 抗震设防烈度为8度及以上地区，芯桩不宜采用预应力混凝土管桩(PC)和预应力混凝土空心方桩(PS)。

**2** 同一结构单元中钢管桩所用钢材应采用同一牌号的钢种。

**3** 宜用复合段穿越深厚淤泥和淤泥质土层。

**4** 在腐蚀环境中，选择桩型应符合本规程3.3.1条规定。

**3.2.2** 劲性扩体复合桩宜按摩擦端承桩或端承摩擦桩设计。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.2.2 基桩按承载性状分类可分成：摩擦型桩、端承摩擦桩、端承型桩和摩擦端承桩四类，是根据其在极限承载力状态下，总侧阻力和总端阻力所占份额而定。承载性状的变化不仅与桩端持力层性质有关，还与桩的长径比、桩周土层性质，成桩工艺等有关。劲性扩体复合桩通过水泥土等效扩径充分发挥土层的侧阻力，通过桩端扩底发挥土层的端阻力，很显然，桩顶竖向荷载是由侧阻力与端阻力共同承受，且侧阻效应与端阻效应均较显著，所以劲性扩体复合桩宜按摩擦端承桩或端承摩擦桩设计。 |

**3.2.3** 基桩的最小中心距*s*a应符合表3.2.2的规定；当施工中采取减小挤土效应的可靠措施时，可根据当地经验适当减小。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 表3.2.3基桩的最小中心距 | | | | |
| 桩的类型与土类 | | | 排数不少于3排  且桩数不少于9根的桩基 | 其他情况 |
| 等芯桩  与  长芯桩 | 复合段 | 非饱和土、饱和非黏性土 | 应≥2.0*D*cs，且应≥3.5*d* | 应≥1.8*D*cs，且应≥3.0*d* |
| 饱和黏性土 | 应≥2.2*D*cs，且应≥4.0*d* | 应≥2.0*D*cs，且应≥3.5*d* |
| 长芯桩 | 裸芯段 | 非饱和土、饱和非黏性土 | 应≥2.2*D*，且应≥4.0*d* | 应≥2.0*D*，且应≥3.5*d* |
| 饱和黏性土 | 应≥2.5*D*，且应≥4.5*d* | 应≥2.2*D*，且应≥4.0*d* |
| 注：1 此表中*d*为芯桩设计直径或边长，*D*为扩底端设计直径，*D*cs为劲性扩体复合桩设计直径。 2 当纵横向桩距不相等时，其最小中心距应满足对应“其他情况”一栏的规定。  3 等芯桩当*D*＞*D*cs时，应用*D*代替表中的*D*cs。 | | | | |

**3.2.4** 劲性扩体复合桩的持力层选择应符合下列规定：

**1**宜选择中、低压缩性土层作为桩端持力层；同一结构单元内的桩基，不宜选用压缩性差异较大的土层作桩端持力层；夯扩扩底桩不宜选择施工作业可能产生液化的粉土和砂土土层作为扩底端持力层。

**2** 桩端全断面进入持力层的深度，应满足下列要求：

（1）长芯桩：对于黏性土、粉土不宜小于2.0倍桩端直径，砂土不宜小于1.5倍桩端直径，碎石类土不宜小于1.0倍桩端直径。

（2）等芯桩：不宜小于1.0倍水泥土桩设计直径、也不宜小于1.0倍扩底端设计直径。

**3** 当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层的厚度不宜小于3.0倍水泥土桩设计直径、也不宜小于3.0倍扩底端设计直径。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.2.4 桩端持力层和进入持力层的深度是影响基桩承载力和稳定性的关键性因素。  1 选择中、低压缩性土层作为桩端持力层，选择相同（或相近）土层作为桩端持力层是为了减小差异沉降；扩底桩的扩底端持力层宜为硬可塑~硬塑黏性土、密实粉土和砂土，对施工作业可能产生液化的粉土和砂土土层，应事先采取有效措施，避免施工时产生液化。  2 桩端进入持力层的最小深度，主要考虑荷载及在各类持力层中成桩的可能性和难易程度，并尽可能达到该土层桩端阻力的临界深度，有效发挥其承载力。抗震设防区，桩端进入液化土层以下稳定土层的长度应按标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。  3 桩端下持力层的厚度制约着桩端阻力的发挥，影响桩基沉降和稳定。综合2017版《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T72和浙江、上海等地区规范的规定给出“扩底端以下持力层的厚度不宜小于3*D*”的规定。当存在连续沉积、层位稳定的多层持力层，可合并作为复合持力层，并应满足进入持力层深度及持力层厚度要求。 |

3.3 耐久性规定

**3.3.1** 劲性扩体复合桩的耐久性应根据设计使用年限、工作环境类别以及地基土和地下水腐蚀性，分别对水泥土、芯桩的耐久性进行设计，应符合下列规定：

**1** 劲性扩体复合桩基的设计使用年限不应小于上部结构设计使用年限。

**2** 水泥土桩、芯桩均应符合耐久性要求。

**3** 宜优先采用等芯桩。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.3.1劲性扩体复合桩作为一种复合桩，应分别对水泥土、芯桩耐久性进行设计，要求两者都符本规程的耐久性要求。水泥土的腐蚀分内部腐蚀和外部腐蚀，如水泥土产生内部腐蚀，则需要的技术措施需要进一步试验研究，且措施费用高，显然从适宜性上就予以否定。所以，取工程地点的地基土、水进行水泥土适宜性试验，能成型并达到设计预期强度，是水泥土耐久性达标的基本要求。当采用等芯桩时，尤其是在腐蚀环境下对芯桩的保护是非常有效的。有可靠工程经验的地区采用等芯桩时，按国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB50021的腐蚀性等级的调整方法，建议当水泥土的渗透系数小于1×10-7cm/s时，可考虑下调地基土和地下水对芯桩的腐蚀性1个等级。水泥土的渗透系数应试验确定。 |

**3.3.2** 钢筋混凝土芯桩的耐久性设计，除应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定，并应符合下列规定：

**1** 四类、五类环境桩基结构耐久性设计可按国家现行标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046和《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151等执行。

**2** 芯桩的防腐保护措施和施工要求，应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046的相关规定。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.3.2钢筋混凝土芯桩的耐久性设计，可按照国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。由于《建筑桩基技术规范》JGJ 94规定执行的标准《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ267和《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046作了替换和修改，本规程要求按现行的《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151和《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046等执行。腐蚀环境下，混凝土芯桩的防腐保护措施及施工要求是达到耐久性规定的关键，应予以重视。 |

**3.3.3** 钢管芯桩、钢管混凝土芯桩的耐久性设计，应符合下列规定：

**1** 钢管应进行防腐蚀处理，防腐蚀技术措施可选用：增加管壁厚度腐蚀裕量和选用耐腐蚀钢种。

**2** 壁厚腐蚀裕量可根据钢管腐蚀速度模型及使用年限计算确定，也可以参照类似工作环境下钢结构的腐蚀实测数据确定。

**3** 当钢管桩内壁同外界隔绝时，可不考虑内壁防护。

**4** 设计时，应根据施工环境考虑钢管桩在施工期间的防腐蚀措施。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.3.5本条为钢管的耐久性设计的一般规定。  1 不管是否在腐蚀性环境下，钢管必须进行防腐蚀处理。钢管桩的防腐蚀技术措施可选用：外壁加覆防腐涂层或覆盖层、增加管壁厚度腐蚀裕量、采取阴极保护和选用耐腐蚀钢种。防腐蚀措施的选择应根据建筑物的重要性、使用年限、腐蚀环境、结构部位、施工可能性、维护方法以及防腐材料等，经技术经济比较后确定。鉴于防腐涂层或覆盖层对桩侧阻力的影响，本规程未推荐采用。阴极保护法设计及构造要求应符合国家现行标准《水运工程结构耐久性设计标准》JTS153的有关规定。  2 钢管桩的壁厚腐蚀裕量有2种确定方法，一是参照类似工作环境下钢结构的腐蚀实测数据确定；二是根据钢桩腐蚀速度模型及使用年限计算确定，腐蚀速率可按照国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。 |

**3.3.4** 地基土和地下水对水泥土腐蚀等级，可参照国家现行标准《盐渍土地区建筑技术规范》GB/T50942中地基土和地下水对无筋水泥基材料的腐蚀性评价标准执行，可分为强腐蚀、中腐蚀、弱腐蚀、微腐蚀四个等级。

**3.3.5** 设计使用年限为50年的劲性扩体复合桩，其水泥土桩耐久性设计应符合下列规定：

**1** 在弱腐蚀等级工作环境下，水泥土中水泥掺入比不应小于12%；在中腐蚀工作环境下，水泥掺入比不应小于18%。水泥土应充分搅拌均匀。

**2** 在强腐蚀等级工作环境下，应对水泥土耐久性进行专门研究，确定设计参数和施工方案。

**3** 除微腐蚀等级外，对其余腐蚀性等级的地基土和地下水层宜采取复喷复搅措施，累计水泥掺入比不宜小于20%。必要时可采取加入防腐蚀外掺剂措施。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 3.3.5 中~强腐蚀等级地基土和地下水，应首先判定水泥土适宜性试验，确定水泥土适宜性后尚应采取耐久性设计技术措施。  1 国内外研究表明，水泥土的耐久性失效表象之一是其强度的损失，预留水泥土的强度劣化裕量是耐久性设计的措施之一。水泥掺入比越高、搅拌越均匀则水泥土的强度越高、抗渗透性越好，通过提高水泥掺入比实现提高水泥土强度、降低水泥土渗透性是行之有效的手段。鉴于检测手段的局限，本规程要求施工严格控制掺灰量并搅拌均匀。  2 对于强腐蚀环境下的水泥土，应通过专门的试验研究水泥土的劣化特性和劣化模型，确定设计主要参数和施工方案。  3对具有腐蚀性的地基土和地下水层，通过复喷复搅措施，可以改善水泥土的质量，提高其抗渗透性，有利于水泥土的耐腐蚀性和对芯桩的保护。采取加入防腐蚀外掺剂措施，可提高水泥土自身的耐腐蚀性。  设计使用年限超过50年的的劲性扩体复合桩，其耐久性设计应经专门研究后确定；设计使用年限小于50年的的劲性扩体复合桩，可适度降低耐久性要求。 |

**3.3.6** 劲性扩体复合桩基础的承台耐久性要求，应符合国家现行标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476和《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T50046的相关规定。

4 桩基构造

4.1 一般规定

**4.1.1** 劲性扩体复合桩水平剖面上的主要构造尺寸应符合下列规定：

**1** 设计水泥土桩应与圆形芯桩同圆心，水泥土环的最小壁厚不宜小于150mm，最大壁厚不宜大于300。

**2** 设计水泥土桩圆心应与方形芯桩形心重合，水泥土的沿对角线最小壁厚不宜小于100mm，最大壁厚不宜大于250。

**4.1.2** 劲性扩体复合桩的扩底端主要构造尺寸应符合下列规定：

**1** 等芯桩：扩底端直径*D*宜小于水泥土桩*D*cs。

**2** 长芯桩：扩底端直径*D*不应大于2.5倍芯桩直径*d*。

**4.1.3** 劲性扩体复合桩不应采用短芯桩，但允许等芯桩的无芯段长度不大于0.5倍的水泥土桩直径*D*cs。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 条文说明 | 4.1.1~4.1.3 劲性扩体复合桩常用的芯桩直径或边长与水泥土桩直径的组合表见表1。   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 表1常用芯桩直径或边长与相应的水泥土直径选用表 | | | | | | | | | | 芯桩设计边长  *b*(mm) | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | ------ | | 水泥土桩直径  *D*cs(mm) | 680  ~900 | 750  ~1000 | 850  ~1050 | 900  ~1150 | 1000  ~1200 | 1050  ~1250 | 1150  ~1300 |  | | 芯桩设计直径  *d*(mm) | 300 | | 400 | | 500 | 550 | 600 | 800 | | 水泥土桩直径  *D*cs(mm) | 600~850 | | 700~950 | | 800  ~1050 | 900  ~1100 | 1000  ~1200 | 1200  ~1400 |   1试验表明，在芯桩抗压承载力满足要求前提下，*D*cs/*d*越大性价比越高，但*D*cs/*d*过大会导致水泥土内界面抗剪承载力低于外界面的侧阻力，从而使内界面先于外界面破坏，外界面侧阻抗力不能充分发挥。再者，考虑施工对心定位偏差控制、垂直度偏差控制等因素，要求水泥土不宜太薄；从耐久性角度看，水泥土桩对芯桩的保护层也需要一定厚度。为提高芯桩抗压承载力宜优先选用厚壁高强混凝土管桩。  2 扩底桩能提高承载力，关键在扩底端的大小与质量。从施工的角度看，扩底端的大小受施工工艺、施工能力和管理水平影响，不宜盲目追求所谓的大直径；从受力分析的角度看，由于强力的挤土效应，对邻近的桩产生不利影响，也不宜有过大的直径。对等芯桩而言，一般控制扩底直径*D*不超过水泥土桩的直径*D*cs。如果*D*大于*D*cs较多，则形成了大直径的扩底桩，按《建筑桩基技术规范》JGJ94规定，扩大头高度及变截面以上2D范围不计侧阻，这样总侧阻力损失较多，经济性不合理。所以本条对扩底端（等效球体）的直径作了限制。  3 深部水泥土在其固化初期成型稳定性差、强度增长慢，无芯段不宜承担过大的承载力，所以无芯段长度不宜过长。但中后期水泥土的强度远大于桩端的天然地基土，故较小的无芯段水泥土桩抗压强度不存在安全问题。再有，留有适当长度的无芯段可方便芯桩沉桩至设计标高，可避免截桩；从对芯桩的保护角度来看，留有一定长度的无芯段也是有益的。  4 长芯桩的裸芯段属于挤土桩，由于挤土效应，过长的芯桩施工困难，而导致对芯桩桩身造成的损伤、或沉桩不到位、或造成施工机械损伤。另外，长芯桩的裸芯段过长，承载力优势不明显、性价比不高，实现不了劲性扩体复合桩的优势。 |

4.2 基桩构造

Ⅰ 水泥土桩

**4.2.1** 水泥土桩材料与强度，应符合下列规定：

**1** 固化剂宜选用强度等级为42.5级及以上的水泥、或其他类型的固化剂。固化剂掺入比宜根据室内配比试验或成桩工艺性试验确定。

**2** 外掺剂可根据设计要求和土质条件选用具有早强、缓凝、减水、防腐以及节省水泥等作用的材料，外掺剂掺量宜经室内配比试验或成桩工艺性试验确定。使用外掺剂应避免污染环境。

**3** 主要土层的水泥土无侧限抗压强度(*f*csu)按土层厚度加权平均值(‾*f*csu)不宜小于1.2MPa，土层最弱水泥土无侧限抗压强度(*f*csu)不应小于0.7MPa。水泥土无侧限抗压强度，取与水泥土桩配合比相同的室内水泥土试块(边长70.7mm立方体)在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 4.2.1 本条规定了水泥土桩材料与强度要求。  1 水泥土桩采用的固化剂（通常采用水泥）、外掺剂（具有早强、缓凝、减水、防腐以及节省水泥等作用的材料）的种类及其掺入比例宜根据室内配比试验或成桩工艺性试验确定。对有可靠工程经验的地区，可参考类似地质条件工程的相关参数确定。  2 水泥土无侧限抗压强度*f*csu，取与水泥土桩配合比相同的室内水泥土试块(边长70.7mm立方体)在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值，主要考虑：水泥土试块90d龄期强度相对28d龄期强度比值在1.45~1.80之间，以28d龄期强度推算90d龄期强度具有很好的可预见性；基础和上部结构施工一般安排在桩基完成21d~28d后开始，随着施工进程水泥土桩逐步进入工作状态，此时间段水泥土强度未完全形成，所以宜以28d龄期的强度进行设计，可把后期水泥土强度的增长量作为安全储备；水泥土配合比试验结论需要3个月后才能给出，过长的试验期是建设业主方很难接受的事情；目前江苏、天津与山东的做法也是取28d龄期的试验强度平均值作为水泥土强度值。  3 规定水泥土强度加权平均值‾*f*csu的下限值，是为了内界面强度（粘结性能）、荷载有效传递、耐久性要求等得到保证。 |

Ⅱ 混凝土灌注桩芯桩

**4.2.2** 混凝土灌注桩配筋，除应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定，且应符合下列规定：

**1** 配筋率：受水平荷载的桩，正截面配筋率不小于0.65%。

**2** 箍筋：桩顶以下5*d*范围内的箍筋应加密，间距不应大于100mm。

**3** 配筋长度：应沿桩身等截面或变截面通长配筋，配置的通长钢筋应延伸至桩端底部或扩底端底部。通长钢筋不少于4根。

**4.2.3** 桩身混凝土及混凝土保护层厚度应符合下列规定：

**1** 桩身混凝土强度等级不应小于C30；配合比应通过试验确定，混凝土坍落度宜为80~120mm。

**2** 扩底混凝土强度等级按设计确定，且不应小于C30；宜用低水灰比混凝土拌合料，不宜采用无水混凝土拌合料。

**3** 纵向钢筋的混凝土保护层厚度不应小于50mm。四类、五类环境下桩身混凝土保护层厚度应符合国家现行标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046和《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151的相关规定。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 4.2.2~4.2.3灌注桩构造应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。  配筋构造方面：本规程建议配置通长钢筋，由于沉管灌注桩长度不大，在造价增加有限的情况下，既增加了桩身抗剪性能、抗裂性能和抗拔承载力，又方便施工。本规程将桩顶箍筋加密区范围统一规定为5*d*。既考虑了桩顶要承受较大剪力和弯矩，又考虑箍筋对混凝土的约束作用，可大幅度提高桩顶受压承载力。  桩身材料方面：灌注桩混凝土应有良好的和易性，控制水灰比和坍落度应根据施工工艺和地下水位情况综合确定，一般湿法施工水泥土桩中的灌注桩混凝土坍落度以为80~100mm，干法施工水泥土桩中的灌注桩混凝土坍落度以为100~120mm。试桩开挖检查结果表明，无水混凝土拌合料夯扩成型的扩底端质量不理想。 |

**4.2.4** 沉管灌注桩桩长不应小于5.0m，也不宜大于30.0m。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 4.2.4 目前沉管灌注桩的桩管外径通常为Ø325mm、Ø377mm、Ø426mm，为保证成桩质量，通常控制长径比范围60~80之间，桩过长则钢管的稳定和灌注混凝土质量均会出现问题，故建议控制桩长不宜大于30.0m，在具有保证桩身质量可靠措施和成熟经验时，可适当增长，但施工长度不宜大于35m。 |

Ⅲ 混凝土预制桩芯桩

**4.2.5** 工厂制作的产品化预制桩，其桩身材料、生产制作与吊运要求应符合相关产品标准的规定。现场制作的混凝土预制桩，应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**4.2.6** 空心桩的填芯混凝土强度等级不应低于C40，宜采用微膨胀混凝土。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 4.2.6 填芯混凝土不仅具有连接构造作用，而且具有提高承载力、抗震性能和耐久性等作用。为了提高填芯混凝土与桩身混凝土的整体性，应先清除桩内腔壁浮浆，宜采用水泥净浆或混凝土界面剂涂刷内壁，后采用微膨胀混凝土填芯。 |

**4.2.7** 扩底混凝土强度等级按设计确定，且不应小于C30；宜用和易性适宜的低水灰比混凝土拌合料，配合比应通过试验确定。

**4.2.8** 预制桩每根桩的接头数量不宜超过3个。抗拔桩接头不应超过1个、连接强度不应低于桩身强度。

Ⅳ 钢管桩与钢管混凝土桩芯桩

**4.2.9** 钢管桩与钢管混凝土桩的钢管制桩质量要求，应符合国家现行标准《码头结构设计规范》JTS167的有关规定。

**1**钢材的选用应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB50017的有关规定，可优先采用Q235-B级以上镇静钢或Q345钢。钢材的质量应符合国家现行标准《碳素结构钢》GB/T 700和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的有关规定。

**2** 钢管桩管壁的厚度由有效厚度和预留腐蚀厚度裕量两部分组成。钢管桩的外径***d***与壁厚***t***之比不宜大于100，且管壁的最小有效厚度不应小于7.0mm。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 4.2.9 本条根据国家现行标准《码头结构设计规范》JTS 167给出钢管桩用钢材选用方法和要求。钢管桩的管壁厚度由有效厚度和预留腐蚀厚度裕量两部分组成，腐蚀厚度裕量的强度不应计入结构承载力；有效厚度按计算确定。本规程综合国家现行标准《码头结构设计规范》JTS 167和现行上海市工程建设规范《地基基础设计标准》DGJ 08-11的相关规定，规定钢管桩的管壁最小厚度不应小于7mm。 |

**4.2.10** 钢管桩的分段、钢管桩连接、钢管桩端部形式等要求，应符合国家现行标准《建筑桩基技术规程》JGJ94的有关规定。钢管桩的防腐蚀处理应符合本规程耐久性规定。

**4.2.11** 钢管混凝土桩，钢管内核心混凝土应满足下列要求：

**1** 混凝土强度等级不应低于C30。

**2** 核心混凝土可采用海砂混凝土、再生骨料混凝土和自密实混凝土，各自配合比设计、施工和质量检验和验收应符合国家现行标准《海砂混凝土应用技术规范》JGJ206、《再生骨料应用技术规程》JGJ/T240和《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T283的规定。

**3** 施工需要掺加混凝土外掺剂时，不得使用对钢管有腐蚀作用的外掺剂。

4.3 承台及连接构造

**4.3.1** 劲性扩体复合桩基的承台构造、劲性扩体复合桩与承台连接构造，除应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定，尚应符合下列规定：

**1** 边桩的芯桩中心至承台边缘的距离不应小于芯桩的直径*d*或边长*b*，且芯桩的外边缘至承台边缘的距离不应小于150mm。对于墙下条形承台梁，芯桩的外边缘至承台梁边缘的距离不应小于100mm，见图4.3.1。

**2** 芯桩顶嵌入承台内的长度不宜小于50mm；对于直径大于800mm的芯桩不宜小于100mm。

**3** 芯桩顶纵向主筋(或专用锚固钢筋)应锚入承台内，锚固长度不宜小于35倍主筋(或锚固钢筋)直径，有抗震要求时锚固长度不宜小于40倍主筋(或锚固钢筋)直径。对于抗拔桩，锚固长度应按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010计算确定。

**4** 水泥土桩顶不应伸入垫层和承台内。

****

图 4.3.1 劲性扩体复合桩与承台连接构造

1—水泥土桩；2—芯桩；3—垫层；4—承台；5—承台梁；6—基础墙

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 4.3.1劲性扩体复合桩的承台构造，应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。本规程要求控制劲性扩体复合桩芯桩的中心和边缘到承台（或承台梁）边缘的距离，以及芯桩嵌入承台的长度，而不是控制水泥土桩。芯桩顶钢筋锚入承台的方式较多，有的采用桩身配筋，有的采用专用锚固钢筋，对钢筋的锚固长度做了明确规定。 |

**4.3.2** 预应力混凝土空心桩作为芯桩时，其与承台连接可采用桩身另设锚固钢筋与承台锚固的方式，应符合下列规定：

**1** 桩顶填芯混凝土内埋设锚固钢筋连接方式**[**见图4.3.2(a)**]**：锚固钢筋宜采用热轧带肋钢筋，且在填芯混凝土中通长配置，锚入承台的锚固长度按本规程4.3.1条确定。对于抗压桩，锚固钢筋及箍筋的规格数量按表4.3.2选用；对于抗拔桩，锚固钢筋面积按本规程5.5.7条计算确定，且应满足表4.3.2的规定，箍筋可按表4.3.2选取。

**2** 桩顶端板上通过连接板焊接锚固钢筋连接方式**[**见图4.3.2(b)**]**：锚固钢筋面积及锚固长度可按本条上1款执行。采用该连接方式需做桩顶混凝土填芯，填芯混凝土构造及施工应符合本规程相关规定。

**3** 对承压桩，填芯深度不应小于5*d*，且不得小于3.0m；对抗拔桩，填芯深度不应小于8*d*，且不得小于6.0m；对抗水平桩，填芯深度不应小于4.0/*α*(*α*为桩的水平变形系数)，且不得小于8.0m。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表4.3.2锚固钢筋、箍筋数量和规格（mm） | | | | | | |
| 芯桩直径*d* | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 |
| 锚固钢筋*d*s | 4D16 | 4D20 | 6D18 | 6D20 | 6D20 | 8D20 |
| 箍筋 | φ6@200 | φ6@200 | φ8@200 | φ8@200 | φ8@150 | φ8@150 |



图4.3.2预应力混凝土空心桩与承台连接

1—水泥土桩；2—芯桩；3—垫层；4—填芯混凝土；5—承台；6—圆托板(4~5厚钢板)；

7—锚固钢筋(与固定钢筋焊牢)；8—箍筋；9—固定钢筋(与桩顶端板焊牢)；10—桩顶端板；

11—构造钢筋4Ø12；12—箍筋2Ø6@100；13—锚固钢筋(与连接钢板焊牢)；14—连接钢板10×50×130

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 4.3.2预制混凝土空心桩尤其是管桩在建设工程中应用量非常大，也是劲性扩体复合桩芯桩的主要类型。由于管桩顶端的构造原因，通常采用桩身另设锚固钢筋与承台锚固的方式，锚固钢筋与桩身的连接方式包括：桩顶填芯混凝土内埋设锚固钢筋方式、桩顶端板上通过连接板焊接锚固钢筋方式。工程应用证明这两种连接方式是行之有效的连接构造。另外试验表明，劲性扩体复合桩受压时桩顶承担荷载最大，桩顶部位是最薄弱环节，为此要求对桩顶部位进行加强，采用桩顶填芯混凝土，既解决了钢筋锚固的问题，也对桩头进行了加强。 |

**4.3.3** 钢管桩、钢管混凝土桩作为芯桩时，其与承台连接可采用下列连接方式，并符合下列规定：

**1** 钢管桩直接嵌入承台方式**[**图4.3.3(a)**]**：钢管桩顶嵌入承台内的长度不宜小于钢管桩外直径。

**2** 通过锚固钢筋(或铁件)嵌入承台方式**[**图4.3.3(b)**]**：锚固钢筋(或铁件)面积及焊接参数计算确定，锚固长度按本章4.3.1条确定。采用该连接方式时，钢管桩顶嵌入承台内的长度不宜小于100mm。

**3** 核心混凝土植入锚固钢筋嵌入承台方式：锚固钢筋宜采用热轧带肋钢筋，且在核心混凝土中预先植入，植入长度不应小于锚入承台的锚固长度，锚入承台的锚固长度按本规程4.3.1条确定。锚固钢筋面积计算确定，且应满足表4.3.2的规定；箍筋可按表4.3.2选取。



图4.3.3 钢管桩与承台连接

1—水泥土桩；2—钢管桩；3—垫层；4—随承台浇筑混凝土；5—承台；6—吊模吊筋4Ø12；

7—吊模(4~5厚钢板)；8—锚固钢筋(与钢管桩焊接)；9—圆盖板(4~5厚钢板)；10—十字肋(与圆盖板焊接)

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 4.3.3 总结国内、外钢管桩（钢管混凝土桩）与承台连接做法，大体有三种：钢管桩直接嵌入承台方式，是刚性连接方法，在房屋建筑结构中较少采用；通过锚固钢筋(或铁件)嵌入承台方式，是铰接连接，施工方便；核心混凝土植入锚固钢筋嵌入承台方式，是铰接连接，做法类同于管桩桩顶填芯混凝土内埋设锚固钢筋连接方式。 |

**4.3.4** 劲性扩体复合桩基承台与柱的连接构造、承台与承台之间的连接构造，按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。

5 桩基计算

5.1 一般规定

**5.1.1** 桩顶作用效应计算、桩基竖向承载力计算、承台计算的规定，除应国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定外，尚应符合本节的规定。

**5.1.2** 劲性扩体复合桩基竖向承载力计算应符合下列规定：

**1** 轴心竖向力作用下：

*N*k≤*R* （5.1.2-1）

**2** 偏心竖向力作用下，除应满足式5.1.2-1外，尚应满足下式的要求：

*N*kmax≤1.2*R* （5.1.2-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *N*k——  *N*kmax——  *R*—— | 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；  荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力；  基桩或复合基桩竖向承载力特征值。 |

**5.1.3** 单桩竖向承载力特征值*R*a按下式确定：

*R*a= （5.1.3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *Q*uk——  *K*—— | 单桩竖向极限承载能力标准值；  安全系数，取*K*=2。 |

**5.1.4** 考虑承台效应，应按距径比*s*a/*D*cs计算承台效应系数*η*c。如不考虑承台效应，基桩竖向承载力特征值可按公式(5.14)确定：

*R*=*R*a （5.1.4）

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.1.4劲性扩体复合桩基设计时，是否考虑承台效应，可按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。按《建筑桩基技术规范》JGJ 94选用承台效应系数*η*c时，“桩中心距与桩径之比”可采用桩中心距*s*a与水泥土桩直径*D*cs之比值。 |

**5.1.5** 承台计算时按芯桩承担全部荷载考虑。

5.2 单桩竖向极限承载力

Ⅰ 竖向受压桩

**5.2.1** 单桩竖向抗压极限承载力标准值的确定应符合下列规定：

**1** 设计采用的单桩竖向抗压极限承载力标准值，应通过单桩竖向抗压静载试验确定，试验方法应按国家现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106及本规程第7.4.6条执行。

**2** 初步设计时，单桩竖向抗压极限承载力标准值可按经验参数法确定。当有成熟的地区工程经验时，可依据静力触探原位测试法的结果确定。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.2.1 劲性扩体复合桩单桩竖向极限承载力计算受地质条件、成桩工艺与质量、计算模式等不确定性因素影响，为保证劲性扩体复合桩设计的可靠性，单桩竖向极限承载力的确定，应以原位静载试验为主要依据，并结合地质条件、类似工程、邻近工程的经验综合判断确定。初步设计时，可利用地质条件相同的试桩资料结合原位测试数据及经验参数确定单桩竖向极限承载力。  静力触探的探头（单桥或双桥）刺入土中的机理更相似于挤土桩，且能直接提供可靠的指标而被用于确定桩的承载力。结合工程案例的试验结果，与采用静力触探原位测试法计算的等芯桩单桩竖向极限承载力比较，试验结果与计算结果两者总体相符；对于长芯桩，试验结果与计算结果存在一定差异。采用静力触探原位测试法确定等芯桩单桩竖向极限承载力标准值时，计算方法按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。 |

**5.2.3** 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定等芯桩单桩竖向极限承载力标准值*Q*uk时，按下列公式估算(见图5.2.3)：



图5.2.3 等芯桩抗压承载力计算示意图

*Q*uk＝*Q*csk＋*Q*pk （5.2.3-1）

*Q*csk=*U*cs*·*∑*ξ*s*·q*s*i*k*·li* （5.2.3-2）

*Q*csk=*u*cp*·q*csk*·l*px （5.2.3-3）

*q*csk＝*η*cs*·α*cs*·*‾*f*csu （5.2.3-4）

*Q*pk=*ξ*p*·ψ*p*·q*pk*·A*p （5.2.3-5）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *Q*uk—— | 单桩竖向抗压极限承载能力标准值； |
|  | *Q*csk—— | 复合段总极限侧阻力标准值；取按式(5.2.3-2)与式(5.2.3-3)计算结果的较小值； |
|  | *Q*pk—— | 总极限端阻力标准值； |
|  | *U*cs —— | 水泥土桩周长； |
|  | *u*cp —— | 芯桩周长； |
|  | *q*s*i*k —— | 桩侧第*i*层土的极限侧阻力标准值； |
|  | *li*—— | 桩侧第*i*层土的厚度；在图示复合段范围内划分； |
|  | *l*px —— | 芯桩桩身长度；对扩底桩计变截面以上桩身长度；对无扩底桩计芯桩全长*l*cp； |
|  | *ξ*s —— | 复合段土层极限侧阻力调整系数；按地区工程经验取值，如无地区经验时，可按下列方法取值：流塑状软土、淤泥可取1.0，其它土层可取1.7~1.9； |
|  | *q*csk —— | 内界面极限侧阻力标准值； |
|  | ‾*f*csu —— | 水泥土桩长度范围内，主要土层的水泥土无侧限抗压强度*f*csu的按其厚度的加权平均值； |
|  | *η*cs —— | 桩身水泥土强度折减系数，可取0.45~0.65； |
|  | *α*cs —— | 换算系数；可取0.18~0.22。 |
|  | *q*pk —— | 极限端阻力标准值； |
|  | *A*p —— | 劲性扩体复合桩的桩端面积； |
|  | *ξ*p —— | 复合段桩端极限端阻力调整系数；按地区工程经验取值，如无地区经验时可取1.0； |
|  | *ψ*p —— | 大直径桩的端阻力尺寸效应系数；可按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定确定。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.2.3 本条规定了等芯桩的单桩竖向极限承载力标准值计算办法。等芯桩的极限承载力是由复合段总极限侧阻力和桩端总极限端阻力两部分组成，其中：复合段总极限侧阻力按外界面极限承载力、内界面极限承载力和桩身承载力（按本规程5.5节计算）的较小值确定。实际工程中通常应使内界面的承载力大于外界面的承载力，以保证劲性扩体复合桩整体工作而更好地发挥其优势。  1 公式(5.2.3-2)参数  等芯桩桩侧土极限侧阻力标准值“*q*sik”可按泥浆护壁钻孔灌注桩取值。本规程编制组通过无端承桩静载试验发现，按预制桩参数估算的总侧阻力与按泥浆护壁钻孔灌注桩参数估算的总侧阻力相比，前者更接近实测值；比较《建筑桩基技术规范》JGJ 94给出的极限侧阻力标准值的经验值，预制桩略大于灌注桩，总体非常接近。鉴于上述理由，在有可靠工程经验地区，土极限侧阻力标准值“*q*sik”可按预制桩取值。  国内外研究成果表明，由于水泥土的重组固化效应、水泥土的界面效应以及挤密效应，水泥土桩外界面侧阻力大于混凝土桩与土直接接触界面的侧阻力。为此，常用的做法是将复合段土的极限侧阻力标准值“*q*sik”乘以调整系数“*ξ*s”予以放大。调整系数有两种确定方法：（1）分土层调整系数法，行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T327采用分层调整系数法，调整系数取1.3~2.3，粘性土低，砂性土高。分土层调整系数法目前尚缺少足够试验数据支撑，调整系数法取值规律尚存在争议。（2）统一调整系数法，行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T330及山东、天津地区的规程采用统一调整系数法。统一调整系数法没有考虑特殊岩土层分布的情况，如地基土层中含有深厚软土层时，统一调整系数法可能会偏于不安全。尽管两调整方法有不足之处，但实际工程中两种方法均有大量的成功案例。为研究调整系数“*ξ*s”的取值，本规程编制组开展了对比试验研究和无端承劲性扩体复合桩(无端承的)试验研究，对比试验研究表明，劲性扩体复合桩总极限侧阻力与钻孔灌注桩总极限侧阻力的比值为1.56~1.91（注：最小值的试验桩为芯桩桩顶压裂），平均1.80，这结论与国内其他兄弟单位的试验研究成果相符，天津大学试验结果为1.3~1.7，山东建研院试验结果为1.45~1.98。无端承桩试验研究表明，劲性扩体复合桩总侧阻力实测值与估算值的比值为1.88~2.13，平均2.03。综上论述，本规程在统一调整系数法的基础上区分极端土层，并结合工程实际经验，对复合段土极限侧阻力调整系数“*ξ*s”建议取值：流塑状软土、淤泥可取1.0，一般土层可取1.8±0.1。  2 公式(5.2.3-3)与公式(5.2.3-4)参数  国内研究成果表明，内界面侧摩阻大小与水泥土无侧限抗压强度相关，即*q*csk=*α*cs *f*csu。上式中“*α*cs”为换算系数，河北工业大学室内模型试验得出*α*cs=0.176~0.273，平均0.213；南京工业大学现场实体桩(水泥土桩周边土挖除)试验得出*α*cs=0.191~0.202，平均0.196；东南大学室内模型试验得出*α*cs=0.188~0.223，平均0.205；本规程编制组考虑一定侧压力变化的情况下进行了淤泥土的室内模型试验，得出*α*cs=0.194~0.236，平均0.216。尽管试验方法和条件的有差别，但试验结果却大体相当。从现场开挖检验的劲性扩体复合桩断裂面显示，预制桩与水泥土界面平顺较光滑、灌注桩与水泥土界面的平顺较粗糙，表明灌注芯桩内界面具有更高的粘结强度。同现行的行业标准及部分地区规程一样，本规程也采用了上述结论。建议换算系数“*α*cs”取值：灌注桩取0.21±0.01、预制桩取0.19±0.01，如有可靠工程经验时，可做适当调整。  在水泥土桩搅拌施工和芯桩沉桩过程中，成层分布的原状土被扰动后，其形成的水泥土无法与室内试验的试件严格对应，故在确定内界面极限承载力时，水泥土强度宜取室内试验各主要土层水泥土强度的加权平均值“‾*f*csu”。按国家现行标准《复合地基技术规范》GB/T50783和《建筑地基处理技术规范》JGJ79规定，水泥土强度“特征值”折减表达式为*f*csa=*ηf*cu，其中“*f*cu”为水泥土立方体抗压强度试验值的平均值。两部规范对折减系“*η*”取值分别为：喷粉搅拌和；喷浆搅拌和。考虑水泥土强度特征值与无侧限抗压强度值的换算，本规程建议水泥土强度折减系数“*η*cs”取值0.55±0.10，喷浆搅拌可取偏高值。  3 公式(5.2.3-5)参数  等芯桩极限端阻力标准值“*q*pk”取值有两种，行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T330及山东、天津地区规程采用按“泥浆护壁钻孔桩极限端阻力”取值方法，行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T327采用按“未经修正的桩端土承载力特征值”取值方法。本规程建议，劲性扩体复合桩极限端阻力标准值取值应考虑岩土参数和成桩工艺等综合因素，结合地区工程经验（如勘察报告提供的参数）取值。实际工程应用中，极限端阻力标准值“*q*pk”可按泥浆护壁钻孔灌注桩取值，对应桩端面积“*A*p”按水泥土桩面积计；对于有夯实效果的扩底桩“*q*pk”按预制桩取值，对应桩端面积“*A*p”按扩底端平均直径投影面积计。实践证明如此取值是安全的。  从包括《建筑桩基技术规范》JGJ 94在内的国家现行标准、规范看，绝大多数都对桩端承载力进行调整或修正。但由于出发点不尽相同，修正后结果的波动范围也较大。行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T330规定不考虑折减；行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T327进行了多重折减；天津的地区标准考虑折减系数0.5~0.7。本规程建议，极限端阻力调整系数“*ξ*p”应综合考虑桩端阻力发挥程度、桩端夯压工艺等因素，结合地区工程经验综合确定，通常情况可取1.0。  等芯桩中采用空心芯桩时，桩端应尽量采用桩端闭口形式。 |

**5.2.4** 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定长芯桩单桩竖向极限承载力标准值*Q*uk时，按下列公式估算(见图5.2.4)：



图5.2.4 长芯桩抗压承载力计算示意图

*Q*uk＝*Q*csk＋*Q*sk＋*Q*pk （5.2.4-1）

*Q*sk=*u*cp*·*∑*q*s*j*k*·lj* （5.2.4-2）

*Q*pk=*ψ*p*·q*pk*·A*p （5.2.4-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *Q*csk—— | 复合段总极限侧阻力标准值；可按本规程5.2.3条办法计算； |
|  | *Q*sk —— | 裸芯段总极限侧阻力标准值； |
|  | *Q*pk —— | 总极限端阻力标准值； |
|  | *q*s*j*k—— | 桩侧第*j*层土的极限侧阻力标准值； |
|  | *lj*—— | 桩侧第*j*层土的厚度；在图示裸芯段范围内划分，扩底桩“*h*b”范围不计侧阻力。“*h*b”按本规程附录B规定的方法估算。 |
|  | *A*p —— | 劲性扩体复合桩的桩端面积。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.2.4 本条规定了长芯桩的单桩竖向极限承载力标准值计算办法。长芯桩的极限承载力是由复合段总极限侧阻力、裸芯段总极限侧阻力和总极限端阻力三部分组成，其中：复合段总极限侧阻力按本规程5.2.3条规定方法计算。  1 公式(5.2.4-2)参数。裸芯段总极限侧阻力的计算时，极限侧阻力标准值“*q*s*j*k”取值，可以按照岩土工程勘察报告提供的参数计算，或按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94所列经验值计算。对于扩底桩，扩大低端高度“*h*b”范围不计侧阻力，即仅计算“*l*pu”范围内土层的侧阻力。本规程附录B提供了不同工艺的扩大低端高度“*h*b”的估算方法，供设计时采用；如有可靠工程经验时，可采用其他方法估算。  2 公式(5.2.4-3)参数。极限端阻力标准值“*q*pk”取值，可以按照岩土工程勘察报告提供的参数计算，或按《建筑桩基技术规范》JGJ 94所列经验值计算。劲性扩体复合桩的桩端面积“*A*p”应根据芯桩进入持力层的桩端实际几何形态、尺寸及敞口情况按《建筑桩基技术规范》JGJ 94规定计算。 |

**5.2.5** 对于桩身周围有液化土层的低承台桩基，计算单桩极限承载力时应考虑对液化土层极限侧阻力的折减，可按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。

**5.2.6** 对于群桩基础，宜按下列公式进行桩端持力层承载力验算：

*σ*z＋*γ*m*·z*p≤*f*az （5.2.6-1）

 （5.2.6-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *σ*z —— | 作用于持力层顶面的附加应力； |
|  | *γ*m —— | 持力层顶面以上各土层重度(地下水位以下取浮重度)按厚度加权平均重度； |
|  | *z*p —— | 承台底面至桩端底面深度； |
|  | *f*az —— | 经深度*z*p修正的持力层地基承载力特征值； |
|  | *F*k—— | 荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力； |
|  | *G*k—— | 桩基承台和承台上土自重标准值，对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力； |
|  | *U*f*i* —— | 群桩实体基础外缘周长；等芯桩按水泥土桩外缘矩形计算；长芯桩分段计算，复合段按水泥土桩外缘矩形计算，裸芯段按芯桩外缘矩形计算； |
|  | *A*f —— | 群桩实体基础外缘面积；等芯桩按水泥土桩外缘矩形计算；长芯桩按芯桩外缘矩形计算； |
|  | *β*f —— | 实体基础外表面总侧阻力扣除系数，可取3/4； |
|  | *q*s*i*k —— | 桩周第*i*层土的极限侧阻力标准值； |
|  | *li*—— | 桩周第*i*层土的厚度； |

**5.2.7** 桩端持力层下存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层的承载力验算，验算方法可按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。验算时群桩实体基础外缘矩形周长、边长按本规程5.2.6条规定计算。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.2.6~5.2.7 国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94规定，对于桩距不超过6d的群桩基础，桩端持力层下存在承载力低于桩端持力层承载力1/3的软弱下卧层时，应验算软弱下卧层的承载力。本规程除此之外增加了对群桩的桩端持力层进行承载力验算的要求。  **1** 由于劲桩扩体复合桩最大程度地发挥了桩周土的承载能力，其上部荷载最终由桩端以下土层承担，桩端土如不满足要求将引起持力层侧向挤出，导致桩基偏沉，严重者引起建筑物整体失稳。持力层验算要求：（1）验算范围，编制组对30余项工程的持力层进行了验算，发现部分项目的桩距大于6*d*的群桩持力层验算不满足要求的情况。所以本规程不强调“桩距不超过6*d*的群桩”，而是所有群桩都要进行持力层验算。（2）扣除的总侧阻力不应进行调整。简化的实体基础与周边土的接触关系不是“水泥土与土”的接触，而是“土与土”的接触，所以扣除的总侧阻力不应乘以侧阻力调整系数。（3）桩端荷载扩散深度为零。（4）持力层承载力只进行深度修正。  2 若桩端持力层下存在承载力低于桩端持力层承载力1/3的软弱下卧层时，尚应对软弱下卧层进行承载力验算。同意本规程不强调“桩距不超过6*d*的群桩”，而是所有群桩都要进行软弱下卧层验算。其他要求均按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94规定执行。 |

**5.2.8** 当桩穿越土层或当桩周工况条件较差，导致桩周土层产生的沉降超过桩基沉降时，在计算基桩承载力时应计入桩侧负摩阻力，并根据国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定验算桩基承载力。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.2.8 根据国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定，当桩穿越土层或当桩周工况如符合下列条件之一，导致桩周土层产生的沉降超过桩基沉降时，在计算基桩承载力时应计入桩侧负摩阻力。（1）桩穿越较厚松散填土、欠固结土、液化土层进入相对较硬土层时；（2）桩周存在软弱土层，邻近桩侧地面承受局部较大的长期荷载，或地面大面积堆载（包括填土）时；（3）由于降低地下水，使桩周土有效应力增大，并产生显著压缩沉降时。  计算桩侧负摩阻力及其引起的下拉荷载时，当土层桩侧负摩阻力标准值“*q*n s*i*”计算值大于正摩阻力标准值时，取正摩阻力标准值进行计算；桩身周长取水泥土桩直径进行计算。 |

Ⅱ 竖向抗拔桩

**5.2.9** 承受拔力的桩基，应同时验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时基桩的抗拔承载力。

**1** 群桩基础呈整体破坏时，按公式(5.2.9-1)验算：

*N*k≤*·T*gk＋*G*gp （5.2.9-1）

**2** 单桩或群桩基础呈非整体破坏时，按公式(5.2.9-2)验算：

*N*k≤*·T*uk＋*G*p （5.2.9-2）

**3** 当采用试桩确定的单桩抗拔极限承载力标准值验算单桩或群桩基础呈非整体破坏基桩的抗拔承载力时，按公式(5.2.9-3)验算：

*N*k≤*·T*uk （5.2.9-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *N*k—— | 荷载效应标准组合竖向力作用下，基桩的拔力； |
|  | *T*gk—— | 群桩呈整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值； |
|  | *T*uk—— | 群桩呈非整体破坏时，劲性扩体复合桩的抗拔极限承载力标准值； |
|  | *G*p—— | 劲性扩体复合桩自重，地下水位以下取浮重度； |
|  | *G*gp—— | 群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数，地下水位以下取浮重度； |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.2.9 劲性扩体复合桩承受拔力时，除桩身破坏外，可能出现三种破坏模式：  1 劲性扩体复合桩水泥土桩被拔出，考虑对应极限状态下的平衡条件，抗力中应计入包括芯桩、水泥土桩全长在内的桩身自重；但当采用试桩确定的单桩抗拔极限承载力标准值验算单桩或群桩基础呈非整体破坏基桩的抗拔承载力时，不计桩自重。  2 群桩被整体拔出，考虑对应极限状态下的平衡条件，抗力中应计入假设群桩基础所包围的桩土自重。  3 芯桩被拔出。国内的研究结果表明，极限状态下芯桩与水泥土界面粘结力发挥度为6.9%～15.7%；另外从现场开挖检验的劲性扩体复合桩显示芯桩与水泥土界面整体性好；芯桩具有扩底时，芯桩几乎没有被拔出的可能。工程试桩和试验研究表明，破坏模式没有出现芯桩被拔出的情况。由此本规程不考虑芯桩被拔出的破坏模式。 |

**5.2.10** 单桩竖向抗拔极限承载力标准值的确定应符合下列规定：

**1** 设计采用的单桩竖向抗拔极限承载力标准值，应通过单桩竖向抗拔静载试验确定，试验方法应按国家现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106及本规程第7.4.7条执行。

**2** 初步设计时，单桩竖向抗拔极限承载力标准值可经验参数法确定。

**5.2.11** 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向抗拔极限承载力标准值时，可按下列规定计算：

**1** 劲性扩体复合桩的抗拔承载力仅考虑复合段的抗拔极限承载力。

**2** 群桩呈整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值可按下式计算：

*T*gk = *U*f∑*λi·q*s*i*k*·li* （5.2.11-1）

**3** 单桩或群桩呈非整体破坏时，单桩或基桩的抗拔极限承载力标准值可按下式计算：

*T*uk=*U*cs∑*λi·ξ*s*·q*s*i*k*·li* （5.2.11-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *n*—— | 群桩中的总桩数； |
|  | *U*f—— | 群桩实体基础外缘周长；按水泥土桩外缘矩形计算； |
|  | *λi*—— | 外界面抗拔系数；砂土可取0.50~0.70，黏性土、粉土可取0.70~0.80；桩长*l*与桩径*D*cs之比小于20时，取小值； |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.2.11 总结目前的工程实践，大部分劲性扩体复合桩既承受竖向压力也承担竖向拔力，此类桩实际需要抗拔承载力较小，仅考虑复合段的抗拔承载力能满足工程要求；而以抗拔为主的劲性扩体复合桩，一般采用等芯桩。采用长芯桩作为抗拔桩时，由于水泥土桩-土变截面处受拔力分析模型复杂，且经济性差；从工程实践看，长芯桩案例很少。为设计安全和简化计算，本规程规定劲性扩体复合桩的抗拔承载力仅考虑复合段的抗拔极限承载力。 |

5.3 桩基沉降计算

**5.3.1** 桩基沉降变形计算值不应大于桩基沉降变形允许值。桩基沉降变形允许值应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定。

**5.3.2** 桩基最终沉降计算可采用下列方法计算，计算时应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定，

**1** 对于桩中心距不大于6*d*的桩基，桩基最终沉降计算可按实体深基础采用单向压缩分层总和法计算。

**2** 对于桩中心距大于6*d*的桩基，桩基最终沉降计算可按明德林应力公式采用单向压缩分层总和法计算。

**5.3.3** 沉降变形计算值等于桩基最终沉降计算值与桩身压缩量计算值之和。

**5.3.4** 劲性扩体复合桩的桩身压缩量仅考虑芯桩承担全部荷载。

**1** 桩身压缩量按下式计算：

 （5.3.4-1）

**2** 芯桩的轴压刚度按下列公式计算：

（1）钢筋混凝土桩：

*EA*＝*E*cp*·A*cp （5.3.4-2）

（2）钢管混凝土桩：

*EA*＝*E*sp*·A*cp＋*E*c0*·A*c0 （5.3.4-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *s*e—— | 桩身压缩量（mm）； |
|  | *ξ*e—— | 芯桩桩身压缩系数，其取值方法：摩擦型桩：当*l*cp*/d*≤30时，取*ξ*cp=2/3；当*l*cp*/d*≥50时，取*ξ*cp=1/2；当30＜*l*cp*/d*＜50时，可线性插入；端承型桩：取*ξ*cp=1.0。 |
|  | *Qj* —— | 第*j*桩在荷载效应准永久组合作用下桩顶的附加荷载（kN）；当地下室埋深超过5m时，取荷载效应准永久组合作用下的总荷载为考虑回弹再压缩的等代附加荷载； |
|  | *l*cp—— | 芯桩桩长（m）； |
|  | *EA*—— | 芯桩的轴压刚度； |
|  | *E*cp—— | 芯桩桩身混凝土弹性模量； |
|  | *A*cp—— | 芯桩桩身截面面积，空心桩计净面积； |
|  | *E*sp—— | 钢管桩用钢材弹性模量； |
|  | *E*c0—— | 钢管内核心混凝土弹性模量； |
|  | *A*c0—— | 钢管内核心混凝土截面面积； |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.3.3~5.3.4 根据搜集到单桩竖向抗压静载试验、内力测试及实体工程沉降观测资料，结合国内研究资料，劲性扩体复合桩桩身压缩量占总沉降量比例较大。编制组现场试验也表明，芯桩桩身压缩量占比桩顶试验沉降量可达30%左右，桩身压缩的效应比较显著。另外，国内其它相似桩型的规程也有明确提出计算桩身压缩量的规定。综上所述，本规程建议劲芯扩体复合桩基最终沉降量应计入桩身压缩量，即最终沉降量取桩端下土层按照分层总和法计算的结果与桩身压缩量之和。  本规程建议可按照《建筑地基基础设计规范》GB50007相关规定计算。但考虑到最终沉降量的估算受地区和经验影响较大，固有充分地区经验时也可参照《建筑桩基技术规程》JGJ94等其它相关规程计算。 |

5.4 桩基水平承载力计算

**5.4.1** 承受水平荷载的单桩基础或群桩中的基桩应满足公式(5.4.1)要求：

*Hi*k≤*R*ha （5.4.1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *Hi*k—— | 在荷载效应标准组合下，作用于第*i*桩顶的水平力； |
|  | *R*ha—— | 单桩水平承载力特征值。 |

**5.4.2**单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

**1** 设计采用的单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定，试验方法应按国家现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106及本规程第7.4.8条执行。

**2** 初步设计时，单桩水平承载力特征值可采用控制桩顶水平位移的经验方法估算。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.4.2 本条规定了不同设计阶段单桩水平承载力确定的方法。对于受水平荷载的建筑桩基，应通过现场单桩水平承载力试验确定单桩水平承载力特征值；初步设计阶段，可通过按桩顶水平位移控制的经验公式进行计算，最后对工程桩进行静载试验检测。  国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94规定，当桩身抗弯承载能力较低时，如配筋率较低的灌注桩，在水平力作用下桩身先开裂、破坏，此类单桩水平承载能力由桩身强度控制；当桩身抗弯承载能力较高时，如配筋率较高的灌注桩、预制桩，在水平力作用下桩顶位移超出限值，此类单桩水平承载能力由桩顶水平位移控制。由于本规程4.2.1条规定“受水平荷载的桩，正截面配筋率不小于0.65%”，根据国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定，可采用桩顶水平位移控制的单桩水平承载力计算公式进行估算。 |

**5.4.3** 当桩的水平承载力由水平位移控制，且缺少单桩水平静载试验资料时，单桩水平承载力特征值可按下列公式估算：

 （5.4.3-1）

 （5.4.3-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *β*h —— | 调整系数，可取0.60~0.75；一般情况下可取0.75。 |
|  | *α*—— | 桩的水平变形系数(1/m)； |
|  | *ν*x—— | 桩的水平位移系数；按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定取值； |
|  | *χ*0a—— | 桩顶水平位移允许值，当以位移控制时，可取*χ*0a=10mm；对水平位移敏感的结构物取*χ*0a=6mm； |
|  | *EI* —— | 劲性扩体复合桩的桩身抗弯刚度；按本规程附录C计算； |
|  | *m*—— | 桩侧土水平抗力系数的比例系数，宜通过单桩水平静载试验确定；当无试验资料时，可按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定取值； |
|  | *b*0—— | 桩身的计算宽度(m)，依劲性扩体复合桩直径按下列方法计算：  圆形桩：当直径*D*cs≤1.0m时，*b*0=0.9(1.5*D*cs＋0.5)；  当直径*D*cs＞1.0m时，*b*0=0.9(*D*cs＋1.0)。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.4.3 相关文献、工程应用及试验数据表明，劲性扩体复合桩及同类桩型水平承载能力远高于同内芯直径的传统桩型的承载力，部分甚至于达到同等直径灌注桩的承载力。其实质是硬化后的水泥土可以有效地参与到桩身的共同工作中，提高了芯桩的承载性能。  水泥土桩在其硬化一段时间后具有一定强度和变形模量，且通常远高于周边其它土体。设计初期如何考虑水泥土对于芯桩水平承载力提高的贡献度，各地做法有所差异，目前主要处理方法是形式上不考虑水泥土的影响，而是以芯桩为分析对象，提高地基土水平抗力系数的比例系数“*m*”取值，但如何提高并没有明确提法。本规程编制组以国内外相关文献中足尺、大比例以及工程试桩的试验数据为基础，反演了桩侧土水平抗力系数的比例系数“*m*”的取值，结论是：桩侧水平抗力系数的比例系数“*m*”取值，可按照国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的灌注桩对应土类别的“*m*”的上限取值。有可靠工程经验时，可按照灌注桩对应土类别的“*m*”的上限的1.5~2.0倍取值。  本课题编制组研究发现，以工程常用（“*D*cs”与“*d*”组合符合条文说明中表1规定）的劲性扩体复合桩分析表明：即使保守估计，水泥土的参与工作对于桩身总的抗弯刚度可以提高40%以上，劲性扩体复合桩的水平承载力可达芯桩的2倍以上，是同直径灌注桩的50%。随着桩周土体的类别的提高，上述数据可以进一步提高。因此，水泥土桩几何尺寸与水泥土强度对于劲性扩体复合桩桩身总抗弯刚度的影响均相当显著，尤以水泥土桩壁厚影响更大。本规程建议将水泥土桩明确纳入到劲性扩体复合桩的抗弯刚度的计算中来。其中部分参数取值说明如下：（1）桩身计算宽度*b*0：水泥土桩在其硬化后一段时间后具有一定强度和变形模量，且通常远高于周边其它土体。有文献表明临界荷载时其影响半径可达到水泥土桩直径2.5倍，即水泥土显著扩大了与桩身协同工作的周边的土体的范围，可将将规范公式中桩径“*d*”改用水泥土桩直径“*D*cs”。（2）桩身抗弯刚度*EI*：劲性扩体复合桩桩身抗弯刚度由两部分组成，即芯桩和水泥土桩的抗弯刚度。  水泥土桩对于桩身抗弯刚度的贡献主要涉及水泥土桩的变形模量“*E*cs”，“*E*cs”应取水泥土弹性模量，但由于水泥土压缩应力应变曲线的非线性特点，实际常取对应极限强度一定比例的割线模量作为弹性模量考虑，常用“E50”、“E30”表示。研究同时表明，变形模量与水泥土无侧限抗压强度具有较好的线性相关度，轻壤土水泥土变形模量约为抗压强度的1000~1200倍，而重粉质壤土水泥土变形模量约为500倍左右，粉质黏土水泥土变形模量约为700倍，“E50”变形模量与抗压强度的比值大致在60~1000倍之间。但水泥土变形模量的试验方法、取值等没有统一的规定，而且随着土的种类、水泥掺入比、龄期、试件规格、试验方法、加载速率等因素的不同，水泥土的所谓变形模量变化范围比较广，离散性较大。考虑这里仅作为水平承载力初步估算用，建议无可靠依据时水泥土变形模量“*E*cs”可取其抗压强度值的500倍。  编制组根据上述假定的计算模型试算了几个工程案例和试验项目的水平推力，计算值与实测值的比值在0.87~1.11之间，平均0.94，吻合度较好，计算结果属于偏安全在合理范围内。 |

5.5 桩身承载力与裂缝控制计算

**5.5.1** 对劲性扩体复合桩的芯桩，应进行桩身承载力验算和裂缝控制计算。验算劲性扩体复合桩桩身承载力时，可仅考虑芯桩承受各种状态的作用。

**5.5.2**除特别注明外，验算时不应计入预留的几何腐蚀裕量和强度腐蚀裕量。

**5.5.3** 产品化预制混凝土桩的截面尺寸、配筋、桩身极限弯矩、桩身竖向承载力设计值等参数可按国家或地区标准设计图集选用。

Ⅰ 钢筋混凝土芯桩

**5.5.4** 钢筋混凝土芯桩的桩身承载力验算和裂缝控制计算，除应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定外，尚应符合本节相关规定。

**5.5.5** 钢筋混凝土芯桩轴心抗压桩正截面受压承载力应符合下式(5.5.5)规定。当桩身配筋符合本规程4.2.2条规定且钢筋耐久性得到保证的灌注桩，可适当计入桩身纵向钢筋的抗压作用。当有可靠工程经验时，可适当计入空心桩的填芯混凝土的抗压作用。

*N*≤*ψ*c*·f*c*·A*cp （5.5.5）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *N*—— | 荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值； |
|  | *ψ*c —— | 芯桩成桩工艺与工作条件系数；混凝土预制桩可取0.65~0.85，非预应力桩取高值；混凝土灌注桩可取0.70~0.80； |
|  | *f*c—— | 芯桩桩身混凝土轴心抗压强度设计值； |
|  | *A*cp—— | 芯桩桩身截面面积，计净面积； |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.5.5 混凝土桩身强度验算，国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007和标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的验算规定、系数取值略有不同。（1）本规程采用了不考虑纵向钢筋的抗压作用验算公式，当灌注桩的桩身配筋构造满足本规程4.2.2条规定时，且钢筋耐久性得到保证时，可适当计入桩身纵向钢筋的抗压作用。（2）芯桩成桩工艺与工作条件系数“*ψ*c”，结合《建筑地基基础设计规范》GB50007、《建筑桩基技术规范》JGJ94和国内外的一些研究成果，提出系数“*ψ*c”的建议取值方法。  劲性扩体复合桩的承载力较大，当混凝土芯桩桩身承载力不足时，应对桩身进行加强。当芯桩采用空心桩时，若承载力不足，允许在构造上对桩顶进行混凝土填芯加强，当填芯混凝土构造及施工满足本规程的相关规定，且填芯混凝土深度应满足下式(1)要求时，管桩的轴心抗压正截面受压承载力可计入填芯混凝土承载力，按下式(2)进行验算。  （1）  *N*≤*ψ*c(*f*c*·A*cp＋*f*c0*·A*c0) （2）  式中：*q*s为桩侧土平均侧阻力特征值；*U*cs为劲性扩体复合桩桩身周长；*γ*为分项系数。填芯深度公式推导思路：填芯深度在“*l*0x”处桩的极限平衡条件满足：空心桩极限承载力“*ψ*c*·f*ck*·A*cp”≥桩顶荷载(设为*Q*uk＝*K*.*R*a＝*K*.*N*k)－传给桩周土的荷载“*U*cs*q*s*i*k*l*0x”；并设：*K*＝2、*f*k＝0.7*f*ck、*N*＝*γ*.*N*k、设计填芯深度“*l*0”则按计算长度“*l*0x”延长“*d* ”取值。由此推导得出公式(1)。 |

**5.5.6** 计算轴心受压桩正截面受压承载力时，一般取稳定系数*φ*＝1.0。对于桩身穿越可液化土或不排水抗剪强度小于10kPa（地基承载力特征值小于25KPa）的软弱土层的基桩，应考虑芯桩压屈影响。当有可靠工程经验时，可适当考虑水泥土桩对芯桩稳定性有利影响。

**5.5.7** 轴心抗拔桩正截面受拉承载力验算应符合下列规定：

**1** 轴心抗拔桩正截面受拉承载力按下式(5.5.7-1)验算：

*N*≤*f*y*·A*s＋*ψ*y*·f*py*·A*py （5.5.7-1）

**2** 空心桩考虑利用填芯混凝土抗拔时，正截面受拉承载力按公式(5.5.7-2)和公式(5.5.7-3)验算：

*N*≤π*·d*1*·f*n*·l*0 （5.5.7-2）

*N*≤*f*y0*·A*s0 （5.5.7-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *N*—— | 荷载效应基本组合下的桩顶轴向拉力设计值； |
|  | *f*y、*f*py—— | 芯桩配置的普通钢筋、预应力钢筋抗拉强度设计值； |
|  | *A*s、*A*py—— | 芯桩配置的普通钢筋、预应力钢筋总截面面积； |
|  | *ψ*y—— | 预应力钢筋受力不均匀影响的折减系数，可取0.85； |
|  | *d*1—— | 空心桩内腔直径。 |
|  | *f*n—— | 填芯混凝土与空心桩内壁的平均抗剪强度设计值，宜由现场试验确定； |
|  | *l*0—— | 填芯混凝土深度； |
|  | *A*s0、*f*y0—— | 填芯混凝土中受力钢筋的截面面积、抗拉强度设计值； |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.5.7 桩身抗拔承载力验算采用了国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的计算公式和条件，但考虑了预应力钢筋受力不均匀影响的折减系数"*ψ*py"，可取0.85。  目前预制预应力管桩、方桩等空心桩已广泛使用，由于桩顶连接设计不当和施工质量等问题导致抗拔桩失效的案例屡有发生。常用的抗拔桩与承台连接大多采用桩顶填芯混凝土锚固钢筋连接，抗拔桩桩顶荷载通过锚固钢筋—填芯混凝土—芯桩—水泥土—桩周土传递，对于传递过程中填芯混凝土与管桩内壁的界面内力传递机理，目前国内的认识不统一，大体分成两类：（1）有侧限界面抗剪假设，考虑填芯混凝土受压产生径向膨胀，在桩壁约束下界面摩擦力随锚筋拉力的增大而增大，从而形成了填芯混凝土与内腔壁之间的自锁机制，破坏模式不是填芯混凝土界面滑移，而是桩壁抗拉承载力先于界面抗剪承载力达到了极限状态。国内的一些实验研究也证明了此理论。此假设下，界面抗剪强度只取决于管桩桩身的抗拉承载力。但该破坏模式尚待进一步试验研究。（2）无侧限界面抗剪假设，界面平均抗剪强度"*f*n"主要与填芯混凝土抗拉强度"*f*t"、界面粗糙程度"*λ*pc*"*两个因素相关，即*f*n=*λ*pc*·f*t。上海、安徽和浙江的试验结果"*λ*pc*"*分别为：0.42、0.51、0.23；行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T330取*λ*pc=0.21；国家建筑标准设计图集《预应力混凝土管桩》10G409也采用此理论计算填芯混凝土界面抗剪承载力，并规定界面粘结强度由现场试验确定。本规程采用了第二类方法。 |

Ⅱ 钢管芯桩与钢管混凝土芯桩

**5.5.8** 钢管芯桩(不填混凝土),其轴心抗压正截面受压承载力应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB50017的相关规定。

**5.5.9** 钢管混凝土芯桩,应按实心钢管混凝土（S-CFST）构件验算其轴心抗压正截面受压承载力，并应符合国家现行标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936的相关规定。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 5.5.8~5.5.9 本规程直接采用国家现行标准《钢结构设计标准》GB50017中轴心受压钢构件考虑稳定性的强度验算公式，作为钢管桩的正截面受压承载力验算公式。本规程钢管混凝土桩是指钢管中填满混凝土的构件，即《钢管混凝土结构技术规范》GB50936中的实心钢管混凝土（S-CFST）构件，而不是空心钢管混凝土构件（H-CFST）。空心钢管混凝土桩（H-CFST）也可以作为芯桩使用，其承载力验算可按国家现行标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936的相关规定执行。 |

**5.5.10**施工时桩身局部压屈验算应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的相关规定。钢管桩施工阶段强度、稳定性验算时可计入钢管壁厚腐蚀裕量。

**5.5.11** 对钢管桩、钢管混凝土桩，允许不进行正截面受拉承载力验算、允许不进行桩身受弯承载力和受剪承载力的验算。

6 施工与环保

6.1 一般规定

**6.1.1** 劲性扩体复合桩施工应遵循安全施工、绿色施工、信息化施工原则。

**6.1.2** 施工应采取有效的工程质量、安全生产、环境保护措施。

**6.1.3** 施工中劳动保护、防火防灾、文物保护等应符合国家现行有关标准的规定。

**6.1.4** 应做好施工记录，应保证施工资料真实、有效、完整和齐全。

**6.1.5** 施工应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB51004、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202、《复合地基技术规范》GB/T50783及国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的相关规定。

6.2 施工准备

Ⅰ 技术准备

**6.2.1** 施工资料准备：

**1** 通用资料。主要包括：岩土工程勘察报告、建筑场地与环境条件资料、施工图及图纸会审纪要、施工组织设计、材料及制品质检资料、工艺试验资料和机械设备资料等。

**2** 专门资料。主要包括：施工机械的进出场及现场运行条件、动力条件(水、电)供应条件；水泥土适宜性或成桩工艺性试验的资料；建设环境污染(振动、噪声)控制的要求。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.2.1 劲性扩体复合桩施工应具备的通用资料应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的相关规定，而专门资料则根据劲性扩体复合桩施工的特点及绿色施工要求提出的。劲性扩体复合桩施工设备自重较大、用电负荷比较大，所以要掌握施工机械的进出场及现场运行条件、动力条件(水、电)供应条件等资料。如果施工过程中有少量的扬尘、振动和噪声，应根据建设环境污染(振动、噪声)控制的要求采取有效措施减少污染。 |

**6.2.2** 施工前应编制桩基工程施工组织设计。施工组织设计应结合工程特点，针对劲性扩体复合桩的技术要点及多工序组合的特点制定相应技术措施。

**6.2.3** 施工前应平整场地，应查明并清除地下和空中障碍物。平整后的场地标高宜高出设计桩顶标高不小于0.8m；平整后的场地地基承载力不应小于桩机接地压强(接地比压)的1.2倍。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.2.3 劲性扩体复合桩机对施工场地有一定要求，地面高度规定是避免部分桩头高出地面影响走机，而规定场地承载力是考虑重型打桩机的工作需要。 |

**6.2.4** 桩位放线定位前应按单体建（构）筑物设置轴线定位控制点及水准点；测量控制点和水准点应设在不受施工影响的地区，开工前，经复核后采取措施妥善保护，施工中应经常复测。

**6.2.5** 用于施工质量检验的仪表、器具的性能指标，应符合国家现行相关标准的规定。应在检定或校准有效期内并应处于良好工作状态。

Ⅱ 材料准备

**6.2.8** 水泥质量应符合国家现行标准《通用硅酸盐水泥》GB175的规定。

**6.2.9** 钢筋的品种、级别、规格和质量应符合设计要求。钢筋进场应有产品合格证和出厂检验报告，进场后尚应按国家现行标准《钢筋混凝土用钢》GB/T 1499等的规定抽取试件做复检。

**6.2.10** 施工用水应符合国家现行标准《混凝土用水标准》JGJ 163的规定。

**6.2.11** 外掺剂应有产品出厂合格证。

**6.2.12** 根据设计通过试验确定水泥土桩材料的配合比。

**6.2.13** 采用预拌混凝土应符合国家现行标准《预拌混凝土》GB 14902的有关规定。

**6.2.14** 无条件采用预拌混凝土时，可采用现场搅拌混凝土。混凝土材料的主要技术指标、配合比设计、拌制技术要求和质量检查应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的规定。现场搅拌混凝土宜采用具有自动计量装置的设备集中搅拌。

**6.2.15** 预制桩的质量应符合设计要求。产品化的预制桩应有出厂合格证明及检验报告，进场后应组织检查验收，并按各地方规定进行抽样检查。

Ⅲ 施工设备

**6.2.16** 施工前应结合成桩工艺性试验情况合理选择施工机械，可以选用水泥土深层搅拌和芯桩各自独立施工的分体式桩机，也可选用搅拌与沉桩一体式桩机。施工机械、设备宜配置远程智能监控与管理系统。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.3.1 目前国内劲性扩体复合桩施工机械有两类，一是水泥土深层搅拌机械和芯桩施工机械分体式，深层搅拌机械施工结束后移机，芯桩打桩机就位施工，两机械配合流水作业施工；二是搅拌与芯桩施工功能集于一体的一体机。两类机械各有优缺点：（1）分体式机械施工设备相对轻便，移机方便，搅拌与沉桩工作面分离，各道工序干扰少，可以调整搅拌与沉桩配合施工的设备台套比例，提高工效、缩短施工工期。但多次放线定位，引起偏位和同轴度偏差的风险大；（2）一体机施工工序转换方便，施工质量尤其是同轴度保证率高。但设备自重大，对场地要求高，移机慢，总体工效不如分体式施工机械。  在新的发展阶段，土木工程与物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术相融合，形成智能建造。信息技术实现了对桩基施工的安全管理、环境管理、质量管理、工地监控、物资材料管理及后勤保障条件等实现多尺度与多维度控制和管理。本规程要求包括深层搅拌机械、预制桩沉桩机械和灌注桩成桩机械在内的施工机械宜配备远程监测、监控和管理系统，实现了劲性扩体复合桩施工全过程线上线下同步管理，保障劲性扩体复合桩的工程质量。 |

**6.2.17** 成桩机械必须通过鉴定合格，不得使用不合格机械。

**6.2.18** 应对施工机械及其配套设备进行试运行，并测定主要施工工艺参数。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.2.18 对施工机械试运行时，检查施工的工作性能是否良好，同时应测定主要施工工艺参数。主要施工工艺参数如：灰浆泵的输送量、灰浆输送到搅拌机喷口的时间、钻杆转速(提升速度)—喷粉(浆)量—土体任一点搅拌次数三个指标的匹配量。 |

**6.2.19** 应对主要施工参数计测量的仪器仪表进行标定。施工机械性能应能全面满足施工工艺的要求。

**6.2.20** 水泥土深层搅拌机械及配套设备应配置压力、流量、速度等主要施工参数监测记录装置；应配置垂直度指示和调整装置；必须配置经国家计量部门确认的喷粉(浆)量和搅拌深度监测装置及自动记录仪。

**6.2.21** 芯桩沉(成)桩机械及配套设备应配置压力、电流、速度等主要施工参数监测记录装置；应配置垂直度指示和调整装置；必须配置沉桩(管)入土深度及贯入度监测记录装置。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.2.20~6.2.21 水泥土桩施工机械包括：深层搅拌机、灰浆泵、空气压缩机、灰浆拌制机、灰浆集料罐、储水罐、灰浆输送管、电气控制柜等；计测量装置包括：远程控制装置，水泥粉(浆)量流量监测记录仪、搅拌深度自动记录仪、钻杆转速及提速仪器计量仪表、导向架及钻杆垂直度监测记录仪、空气（水）压力计量仪表、经纬仪、水准仪及全站仪等计测量仪器。沉管灌注桩施工机械包括：锤击打桩机、桩锤或柱锤、机架等；预制桩锤击工艺施工机械包括：打桩机架、打桩锤、起重机、送桩器等。预制桩静压工艺施工机械包括：静力压桩机、起重机、送桩器等。  施工机械配置的仪器、仪表应具备对施工参数可视、可控、可记录的功能，一是方便桩机司机实时了解施工参数，并根据施工进程和遇到的具体情况及时调整施工参数或纠偏，二是对关键施工参数进行监测和记录，为质量检验留有备查数据，三是为工程技术和施工机械的后续改进积累资料。 |

6.3 施工作业

**6.3.1**劲性扩体复合桩总体施工顺序为：测量定桩位—水泥土桩施工—移机或调整机身—芯桩沉桩施工—移机。具体施工工序见表6.3.1。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表6.3.1 劲性扩体复合桩总体施工顺序与工序 | | | | | |
| 施工顺序 | | | 主要施工工序描述 | | |
| 测量定桩 | | 1 | 桩位测定，桩位放线偏差不应大于10mm； | | |
| 水泥土桩  施工 | | 2 | 2-1 | 深层搅拌机就位，调平调垂直；导向架垂直度偏差应小于1/150；同时后台准备； | |
| 2-2 | 搅拌钻进下沉至设计深度； | |
| 2-3 | 搅拌喷粉(浆)提升至预定的停粉(浆)面； | |
| 2-4 | 根据设计要求复搅、复喷； | |
| 2-5 | 关闭水泥土桩施工机械； | |
| 移机或  调整机身 | | 3 | ◇ | 整体式桩机：需要调整机身、机架； | |
| 分体式桩机：移走水泥土深层搅拌机； | |
| 芯桩沉桩施工 | 沉管或沉桩 | 4 | ◇ | **灌注桩** | **预制桩** |
| 4-1 | 芯桩桩位测定；测量允许偏差为10mm； | |
| 4-2 | 芯桩沉桩机调平调垂直，垂直度偏差不得超过0.5%； | |
| 4-3 | 沉管外管封底、空心桩首节封底； | |
| 4-4 | —— | 将第一节预制桩同心沉入水泥土中； |
| 4-5 | —— | 接桩、沉桩， |
| 4-6 | —— | 重复4-4、4-5工序，循环作业； |
| 4-7 | 将沉管沉入水泥土桩中至设计标高或满足设计贯入度； | 最后一节桩，送桩至设计深度或贯入度； |
| 扩底施工 | 4-8 | —— | 在空心桩内腔放入内衬管； |
| 4-9 | 在外管内投入一定高度混凝土料； | 在内衬管内投入一定高度混凝土料； |
| 4-10 | 拔外管一定高度； | —— |
| 4-11 | 将外管内混凝土夯出管外； | 将内衬管内混凝土夯出或压出管外； |
| 4-12 | 重复4-9、4-10、4-11，循环作业扩底； | 重复4-9、4-11工序，循环作业扩底； |
| 桩身施工 | 4-13 | 下放钢筋笼，灌注混凝土到设计顶标高； | 灌注混凝土到设计标高； |
| 4-14 | 边振动外管、边轻压混凝土、边拔套管； | 边轻压混凝土、边拔内衬管； |
| 4-15 | 按需要，过程中进行分段反插复打施工； | —— |
| 4-16 | 拔出外管。 | 拔出内衬管。 |
| 4-17 | 关闭施工机械。 | |
| 移机 | | 5 | 移机，重复上述步骤进行下一根桩施工。 | | |
| 后续施工 | | 6 | 桩头处理，包括清理、剔凿、填芯等。 | | |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.3.1 本规程以表格图方式给出劲性扩体复合桩总体施工顺序与主要施工工序，在其工艺流程中，有一些工序没有展开描述，如：后台准备工序，由于干喷与湿喷工艺差异，后台准备的内容也不同。芯桩施工主要描述了扩底桩的施工工序，对于不同的芯桩身，不是每道工序都需要用上，不需要时可以转入下道工序或更后的工序。 |

**6.3.2** 劲性扩体复合桩桩位放线应符合下列规定：

1 第一次定位：桩位放线偏差不应大于10mm，桩位点测放后应设有不易破坏的明显标记，并宜在施工时进行桩位复核。桩位确定后应填写放线记录，经监理单位或建设单位等有关单位复核签证。

2 第二次定位：首先应清理桩头、露出轮廓，测定水泥土桩中心点位置。再根据桩位平面布置图进行桩位第二次定位放线，并设有不易破坏的明显标记，桩位放线偏差不应大于10mm。

3 芯桩桩位点确定：应根据已施工水泥土桩中心点与第二次测放桩位点的偏差，合理调整芯桩桩位点，减少和消除已施工水泥土桩偏位对整体桩偏位的影响。芯桩桩位点与第二次测放桩位点的定位允许偏差不应大于50mm，且应使最薄水泥土处壁厚不小于75mm。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.3.2 劲性扩体复合桩的定位有两次，第一次定位是为水泥土桩定位，关乎整个桩基的桩位偏差，需要业主和监理单位复核认定，桩位的定位放线应符合《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202的规定。桩位点处设置明显标记及施工时进行桩位复核的目的是避免漏桩、校验桩位放样偏差。第二次定位是为芯桩定位，是影响劲性扩体复合桩同轴度的关键工序，施工中应予以充分的重视。  理论上芯桩桩位点、已施工水泥土桩中心点、第二次测放桩位点、第一次测放桩位点四者是同一点，但由于施工、测量等原因造成误差，常常不在同一点上。第二次测放桩位点时，应处理已施工水泥土桩中心点与第二次测放桩位点的偏差，合理确定芯桩的桩位点，并减少和消除已施工水泥土桩偏位对整个劲性扩体复合桩成桩允许偏差的影响。芯桩桩位点确定方法：取第二次测放桩位点与已施工水泥土桩中心点连线上的某点作为芯桩定位点，并校核“桩位允许偏差50mm”与“最小水泥土壁厚不小于100mm”两者须同时满足。如第二次测放桩位点与已施工水泥土桩中心点偏差较大，无法满足上述规定时，可应根据具体情况及时采取水泥土桩咬合处理措施。 |

Ⅰ 水泥土桩施工

**6.3.3** 采用深层搅拌法施工水泥土桩时，应严格按确定的施工参数进行施工控制，主要施工参数应符合下列规定。

**1** 应有可靠的垂直度控制措施；施工过程中应全过程监测垂直度偏差，如有超限应及时纠偏。导向架垂直度控制偏差应小于1/150。

**2** 喷粉(浆)量不得小于设计规定的掺量，喷粉(浆)量应采用经国家计量部门认证的监测仪器进行自动记录。

**3** 应根据搅拌翼片参数控制钻杆转速及上下行速度，确保水泥土桩任意一点的搅拌次数不应少于20次；

**4** 应在水泥土桩底部原位复喷复搅30~60秒；干湿交替部位下延伸0.5m处至桩顶设计标高范围内的桩顶部位，应复搅复喷1遍。

**5** 搅拌深度应采用经国家计量部门认证的监测仪器进行自动记录，施工深度不应小于设计值。水泥土桩停粉(浆)面应高于桩顶设计标高500±100mm，并宜在地面附近形成水泥土桩头。

**6** 搅拌翼片的直径应留有磨耗裕量10~20mm，并应定期复核检查，其磨耗量不得大于20mm。

**7** 因故停止喷粉(浆)，应将搅拌头下沉至停粉(浆)面以下1.0~0.5m处，待恢复喷粉(浆)时，再喷粉(浆)搅拌提升。

**6.3.4** 采用喷粉深层搅拌法施工水泥土桩时，应采取下列措施：

**1** 当地基土的天然含水量小于30％时，应辅用地面注水搅拌和注水养护工艺。

**2** 应定时检查供粉泵、送气（粉）管路、接头和阀门的密封性与可靠性，送气（粉）管路的长度不宜大于150m；

**3** 当搅拌头到达设计桩底以上2.0m时，应开始进行下行喷粉作业。

**4** 搅拌头每旋转一周，其提升高度不宜超过16mm，并应有记录。

**6.3.5** 采用喷浆深层搅拌法施工水泥土桩时，应采取下列措施：

**1** 水泥应过筛后使用，制浆搅拌时间不应少于2min，制备好的浆液不得离析。拌制水泥浆液的罐数、水泥和外掺剂用量以及泵送浆液的时间等，应有专人记录。水泥浆液自制备至用完的时间不应超过2h。

**2** 施工前应确定灰浆泵输浆量、灰浆到达喷浆口的时间。施工时泵送应连续，宜用流量泵控制输浆速度，输浆速度应保持常量。

**3** 搅拌机喷浆搅拌提升速度宜控制在0.5m/min~1.0m/min，并应有记录。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.3.3~6.3.5 如前所述，劲性扩体复合桩的质量关键在于水泥土桩质量和其与的同轴度。水泥土桩的质量关键控制指标有五个：水泥土桩的垂直度、水泥的掺量、水泥土搅拌的均匀程度、水泥土桩的有效深度和直径。本规程总结了工程实践经验，针对上述五个指标提出水泥土桩施工要点。  水泥土桩的垂直度一般通过机架的垂直度来实现，要求导向架垂直度控制偏差应小于1/150，此标准高于水泥土桩垂直度检验允许偏差（1%）。施工过程中应随时观测导向架垂直度，偏差超限应及时纠偏，尤其要控制钻杆入土3.0~5.0m深度前的导向架垂直度。另外施工前应保证场地平整度和承载力、以及搅拌机底盘的刚度，也是影响水泥土桩的垂直度的因素。  由于建筑物地下室埋深影响，水泥土桩的施工停粉(浆)面埋深较大，第二次定位时可能不易找出水泥土桩的柱头，遇到此类情况，应在靠近地面处少量喷粉(浆)搅拌形成柱头。由于靠近地面粉(浆)由于压力较大而喷出地面产生污染，建议在地面下0.5m范围内少量喷粉(浆)搅拌。  与设备有关工艺的参数：包括搅拌头类型和尺度，搅拌刀排的类型、刀排翼片角度、每层翼片数、层数和层间距，喷粉(浆)口的类型、数量、位置，注浆泵的类型、水/浆转换阀门的位置、注浆管的内径和长度等，空压机的类型、额定压力、功率等。试验研究与实践总结表明，设备参数与设计参数、施工参数相互匹配，才能有效保证水泥土搅拌桩的质量。 |

Ⅱ 芯桩施工

**6.3.6** 芯桩施工除应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB51004和国家现行标准《建筑桩基技术规程》JGJ94的规定外，尚应符合下列条款规定：

**1** 施工前应清理桩头、露出轮廓，测定桩中心位置，并按本规程6.3.2条规定确定芯桩桩位。

**2** 应有可靠的垂直度控制措施；施工过程中应全过程监测机架和桩身（或沉管）的垂直度偏差，如有超限应及时纠偏。导向架垂直度控制偏差应小于1/150。

**3** 应严格控制芯桩桩顶标高，允许偏差为±50mm；对长芯桩的预制芯桩，桩顶标高允许偏差可以放宽。

**4** 桩的入土深度以标高控制为主、贯入度控制为辅。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.3.6 在劲性扩体复合桩芯桩与水泥土桩应具有良好的同轴度，同轴的前提是同心。芯桩与水泥土桩同心的关键是放线定位，芯桩定位既要考虑两者同心，也要考虑减少和消除已施工水泥土桩偏位对整个劲性扩体复合桩成桩允许偏差的影响。为此，要求施工前应清理桩头、露出轮廓，测定桩中心位置，并按本规程6.4.2条规定确定芯桩桩位。芯桩与水泥土桩同轴的关键是芯桩的垂直度：（1）机架垂直是成桩垂直的前提，应利用现代监测系统或有专人全过程实时监测机架垂直度偏差，如有超限应及时调整；（2）在芯桩或沉管的下沉过程中，同样应全程实时监测芯桩或沉管的垂直度，并及时纠偏。尤其要控制芯桩或沉管入土3.0m深度前的垂直度；（3）其他控制关键工序包括：场地平整度与承载力、芯桩沉桩时间、以及喂桩对心、接桩上下平面偏差、接桩节点弯曲矢高、接桩停歇时间等。芯桩应在水泥土初凝前沉入水泥土桩中，沉桩间隔时间应经现场试验确定，一般控制在3.0h内，不宜超过6.0h内，有条件时应尽量减少沉桩间隔时间，以减少沉桩阻力；喂桩时桩身倾斜、对心困难，应制定可靠的对心和垂直度控制措施。  控制芯桩桩顶标高允许偏差为±50mm，对于长芯桩的预制芯桩，桩顶标高控制难度比较大，其允许偏差可以放宽，可以按照国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB51004中规定的“锤击桩终止沉桩的控制标准”和“静压桩终压的控制标准”执行。 |

**6.3.7** 沉管灌注桩施工应符合下列规定：

**1** 当水泥土有可能进入桩管时，对内夯管沉管工艺应采取封底措施；对柱锤内夯沉管工艺应提高沉管速率。

**2** 钢筋笼应提前制作验收。埋设钢筋笼时要对准管孔，垂直缓慢下放，应确保灌注桩钢筋保护层满足设计要求。

**3** 混凝土坍落度宜为80mm~100mm；桩身混凝土应分段灌注；灌注混凝土充盈系数不小于1.0。

**4** 内夯管沉管工艺拔管应符合下列规定：

（1）拔管速度应保持均匀，拔管速度不宜大于1.0m/min；在软弱土层和软硬土层交界处拔管速度不宜大于0.8m/min。

（2）对可能断桩和缩颈的部位，应进行局部复打，局部复打应超出断桩或缩颈区1.0m以上。

（3）拔管时内夯管和桩锤应施压于混凝土顶面，边拔边压。

**5** 柱锤内夯沉管工艺拔管应符合下列规定：

（1）前应先振动桩管8.0s~10.0s，开始拔管时应边振边拔，每拔出1.0m停拔振动5s~10s。拔管速度应保持均匀，拔管速度不宜大于1.5m/min；在软弱土层中拔管速度不宜大于0.8m/min。

（2）拔管时柱锤应施压于混凝土顶面，边拔边压。

**6** 灌注桩施工完成后应对混凝土进行养护。

**6.3.8** 预制桩施工应符合下列规定：

**1** 当水泥土有可能进入空心桩内腔时，应采取封底措施。当内衬管与芯桩同步沉入时，应对内衬管采取封底措施。

**2** 接桩时，控制桩段接头作业在距地面1.0m左右进行，上下节桩的中心线偏差不得大于2.0mm，节点弯曲矢高不得大于桩长的1.0%。

**3** 打桩过程中出现异常情况，应立即停止沉桩。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.3.7~6.3.8 为避免流塑状态的水泥土进入沉管、或空心桩内腔、或内衬管，影响后期扩底混凝土施工，应采用干硬性混凝土或无水混凝土拌合料将首节空心桩底端封闭。对内夯管沉管工艺，也可在外管内灌注1.0m~1.5m的混凝土封堵。具体做法可根据当地成熟做法采用。  预制桩的施工工艺较成熟，本规程结合劲性扩体复合桩技术要点，仅列出对最后成桩质量影响较大的工序。未尽之处按国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB51004和国家现行标准《建筑桩基技术规程》JGJ94的规定执行。  芯桩施工的异常情况包括但不限于：贯入度突增或突降、压桩力突增或突降、桩机倾斜或下沉或上台、桩身倾斜或移位、桩身或桩顶破损等。 |

**6.3.9** 扩底施工应符合下列规定：

**1** 沉管灌注桩的扩体工艺采用沉管内内夯管扩底工艺、沉管内柱锤内夯扩底工艺时，施工参数应根据成桩工艺性试验确定。无工程经验时，可以按本规程附录B初步确定主要施工参数。

**2** 空心桩内腔的扩体工艺采用内衬管内柱锤内夯扩底工艺、内衬管内静压扩底工艺时，施工参数应根据成桩工艺性试验确定。

**3** 沉管(沉桩)达到设计停沉深度后，应及时进行扩底施工。

**4** 应采用多次夯扩工序进行扩底，不应采用一次夯扩工序进行扩底。

**5** 宜采用拔管扩底工艺。

（1）沉管内内夯管扩底，拔管高度可取投料高度的一半；

（2）沉管内柱锤内夯扩底，至少应在最后一次夯扩时拔管一次，拔管高度控制在0.2m~0.5m。

（3）空心桩内腔扩底时，拔管时应连同空心桩一并拔出，拔出高度不宜大于0.5m，并随扩底混凝土再压至设计底标高。

**6** 夯扩停沉面应高于沉管停沉面0.2m~0.3m。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 6.3.9扩底桩的扩底形态与夯扩工艺与土性有关，根据工程经验，一次性投料高2.0~2.5m时，混凝土不易被夯出，混凝土粗骨料被击碎，扩底效果不理想。而采用多次夯扩工艺，每次投料高度控制在设计扩底直径的1.2~1.5左右，经两次夯扩就能达到*D*≈2.0*d*的效果。另外，夯扩施工工艺有拔外管与不拔外管之分，其也影响扩底形态。拔管夯扩，可以容易将管内混凝土夯出，并较均匀地向下和周边挤扩，扩大头形态大体呈橄榄形，如图3（a）所示；不拔管（或拔管距离较小）夯扩需要较大动能将管内混凝土夯出，向下挤扩受限后向周边挤扩的趋势增大，扩头形状大体呈球形和鼔性，如图3（b）所示。  C:\Users\user\AppData\Local\Temp\WeChat Files\4f00d802364d2277c133477113df1a5.jpg C:\Users\user\AppData\Local\Temp\WeChat Files\cc8257c444d0a28e6ea10f603bf5aab.jpg  （a）两次投料拔管夯扩 （b）多次投料不拔管夯扩  图3：夯扩头成形效果  本规程附录B中第B.0.2的估算扩底平均直径公式的思路是：扩底形成圆柱体，直径为*D*、高为*h*；其圆柱体体积π*·D*2*h*/4＝第2管混凝土考虑压实的体积0.9π*·d*02*H*2/4＋第1管混凝土考虑压实的体积[0.9π*·d*02*H*1/4－π*·d*02*C*/4]＋外管占据的体积π*·d*02(*h*2-*C*)/4，由此推导而出。  本规程附录B中第B.0.4的估算扩底平均直径公式的思路是：扩底形成球体，直径为*D*；其球体积π*·D*3/6＝考虑压实的夯出混凝土体积*ρ·n·*π*·d*02*·hi*/4，并设*hi*＝*d*0，由此推导而出。 |

**6.3.10** 施工过程中，应按本规程7.3节的规定做好过程检验与检测，确保主控参数符合设计要求和本规程的规定，并按本规程附录D做好施工记录。

**6.3.11** 基坑开挖与承台施工应符合应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB51004和《建筑桩基技术规程》JGJ94及下列规定：

**1** 基坑开挖宜分层均匀进行，且桩周围土体高差不宜大于1.0m。

**2** 机械开挖时，应确保桩体不受损坏；应采用人工截桩头，不得造成桩顶标高以下桩身断裂。

6.4 施工安全和环境保护

**6.4.1** 安全施工技术措施、管理措施，除应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB51004-2015和《建筑施工安全检查标准》JGJ 59中的规定外，尚应符合及下列规定：

**1** 合理安排工程桩与围护桩的施工顺序，工程桩不宜与围护桩同时施工。

**2** 施工时可采取开挖防震沟、控制沉桩速率、设置砂井或塑料排水板、设置隔离桩、合理安排沉桩流程等减少振动与挤土的技术措施。

**3** 在饱和软土地区进行打(压)入桩、搅拌桩施工时，宜对孔隙水压力和土体位移进行监测。

**4** 施工过程中应采取下列安全防范措施：

（1）进场的预制桩应按要求堆放整齐、支垫稳妥；

（2）施工完成的桩孔应及时回填、或设置盖板、或设置防护栏和提醒标识。

**6.4.2** 应按现行《绿色施工导则》的要求组织施工。施工组织设计应包含绿色施工管理和技术要求的内容，并经审批通过后实施。

**6.4.3** 施工过程的环境保护措施，除应符合国家及行业现行标准《建筑工程绿色施工评价标准》GB/T50640和《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ146的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 水泥运输、储存和搅拌，应采用覆盖、封闭、集尘等防止扬尘污染措施。

**2** 禁止乱弃排放废弃水泥浆。外运泥浆和废弃物时应用封闭的罐装车。

7 工程检验与验收

7.1 一般规定

**7.1.1** 劲性扩体复合桩基础工程质量检验，应分别对水泥土桩施工和芯桩施工过程按时间顺序进行三个阶段检验：施工前检验、施工中检验和施工后检验。

**7.1.2** 劲性扩体复合桩基础工程应进行下列主控项目的检验：

**1** 水泥质量、水泥用量。

**2** 混凝土强度。

**3** 芯桩桩长、桩数；钢桩尚应包括：外径、壁厚，矢高。

**4** 桩身完整性。

**5** 单桩承载力。

**7.1.3** 劲性扩体复合桩基础工程质量检验和验收，应符合国家及行业现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202和《建筑桩基技术规范》JGJ94的相关规定。

7.2 施工前检验

**7.2.1** 施工前应严格对桩位和基准点进行检验。

**7.2.2** 施工前应对施工机械及配套设备、各种计测量设备进行检验、标定。

**7.2.3** 施工前应进行下列检验：

**1** 砂、石子、水泥、钢材、外掺剂等桩体原材料及拌合料、制品。

**2** 搅拌叶片直径、钻杆长度、沉管长度。

**3** 成品桩合格证书、尺寸、外观质量；桩身混凝土强度；钢管桩焊缝。

**4** 接桩用焊条、机械接桩配件、压桩设备与配件。

**5** 钢筋笼制作质量（钢筋规格、焊条规格、品种、焊口规格、焊缝长度、焊缝外观和质量、主筋和箍筋的制作偏差）。

**7.2.4** 施工前质量检验应符合本规程附录E的规定。

7.3 施工中检验

**7.3.1** 水泥土桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录，应进行下列检验：

**1** 水泥用量、外掺剂用量。

**2** 导向架垂直度。

**3** 搅拌叶片直径。

**4** 搅拌喷粉(浆)深度；复搅复喷次数和深度。

**5** 搅拌头转速、提升速度、下行速度。

**6** 输浆(送粉)压力、水压、气压、水灰比。

**7** 停喷粉(浆)面标高；喷粉(浆)时间。

**7.3.2** 芯桩施工时，应进行下列检验：

**1** 桩位二次放样定位。

**2** 导向架或机架垂直度；桩身垂直度或沉管垂直度。

**3** 芯桩施工时间与水泥土桩施工结束时间的间歇时间。

**7.3.3** 预制芯桩桩施工过程中，尚应进行下列检验：

**1** 接桩质量（电焊结束停歇时间、上下节平面偏差、端平面与桩身中心线的倾斜值、弯曲矢高、焊缝外观质量、机械接桩质量、钢管桩焊缝探伤）。

**2** 收锤标准或终压标准。

**3** 桩顶标高。

**7.3.4** 灌注芯桩施工过程中，尚应进行下列检验：

**1** 沉管深度。

**2** 成孔垂直度。其允许偏差应应符合表7.4.4的规定。

**3** 混凝土用量、混凝土强度（试件）、混凝土坍落度。

**4** 钢筋笼顶标高、桩顶标高。

**5** 拔管速度。

**7.3.5** 扩底施工过程中，应进行下列检验：：

**1** 管底涌水和涌泥情况。

**2** 混凝土分次投料量和总投料量。

**3** 拔管高度；同步下沉距离。

**4** 落锤落距（冲程）、夯击次数、贯入度。

**7.3.6** 劲性扩体复合桩施工质量检验应符合本规程附录E的规定。

**7.3.7** 施工中检验不合格的桩，应经监理单位确认后报设计单位进行处理。

7.4 施工后检验

**7.4.1** 施工结束后，基坑开挖至设计标高后，应进行下列检验：

**1** 水泥土桩成型质量。

**2** 芯桩成桩质量。

**3** 劲性扩体复合桩桩位、桩数。

**4** 劲性扩体复合桩承载力。

**7.4.2** 水泥土桩质量可按下列规定检验：

**1** 水泥土桩施工结束7d后宜采用浅部开挖柱头进行检查，深度宜超过停粉（浆）面下0.5m。检验水泥土固结情况、柱体直径、垂直度、搅拌均匀程度。检验数量不宜少于已施工总桩数的5％。

**2** 对重要工程或怀疑质量可靠性较低的工程，水泥土桩28d后，宜采用动力触探法、或标准贯入试验法、或钻芯取样试验法检验水泥土桩质量。检验点数量不宜少于已施工总桩数的1.0％，且不少于3点。钻芯取样结束后应采用水泥浆从下至上进行封孔处理。

**3** 水泥土桩直径，检验数量为施工总桩数。

**7.4.3** 芯桩成桩质量可按下列规定检验：

**1** 应采用低应变法进行桩身完整性检验，检验数量不少于已施工总桩数的20%，且不应少于10根。每个柱下承台检测桩数不应少于1根。

**2** 对预留混凝土试件进行强度等级检验。

**3** 芯桩直径，检验数量为施工总桩数，其允许偏差应符合表7.4.4的规定。

**4** 芯桩桩顶标高，检验数量为施工总桩数，其允许偏差为±50mm。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 7.4.3 桩身完整性检测，应在保证准确全面判定的原则上，首选适用、快速、经济的检测方法。从目前工程实践看，由于水泥土对低应变检测有影响，水泥土固化质量越好影响越大，此情况下，应调整波速和锤击能量等参数。当一种方法不能全面评判基桩完整性时，应采用两种或多种检测方法组合进行检测。如采用低应变法与高应变法的组合、低应变法与钻芯法的组合。 |

**7.4.4** 桩数、桩位可按下列规定检验。

**1** 水泥土桩的数量、芯桩数量应符合设计要求。

**2** 成桩桩位偏差应符合表7.4.4的规定。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表7.4.4 桩径、桩位与成孔垂直度允许偏差 | | | | | | | | | | | |
| 桩的类型及参数 | | | 直径允许偏差/mm | 成孔垂直度允许偏差  /% | 桩位允许偏差/mm | | | | | | |
| 水泥土环最小壁厚  /mm | 带有基础梁的桩 | | 桩数为1～3 根桩基中的桩 | 桩数为4～16 根桩基中的桩 | 桩数大于16 根桩基中的桩 | |
| 垂直基础梁中心线 | 沿基础梁的中心线 | 最外边的桩 | 中间桩 |
| 水泥土桩 | | | ≥0 | — | ≥75 | 100 | | | | | |
| 芯桩 | 灌注桩 | *d*≤500mm | ≥0 | 1% | 70 | 150 | 70 | 150 | 70 | 150 |
| *d*＞500mm | ≥0 | 1% | 100 | 150 | 100 | 150 | 100 | 150 |
| 预制桩 | | ±5 | — | 100+0.01H | 150+0.01H | 100 | 1/2*d* | 1/3 *d* | 1/2*d* |
| 注：1 H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离；如果方桩时，直径*d*应替换为方桩边长*b*。  2 劲性扩体复合桩桩位偏差应同时满足水泥土环最小壁厚和芯桩桩位允许偏差。 | | | | | | | | | | | |

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 7.4.4 劲性扩体复合桩施工结束后，桩位偏差控制较传统桩的检验控制参数多。水泥土桩的纵横向最大偏位*Δ*xcs、*Δ*ycs，芯桩的纵横向最大偏位*Δ*xcp、*Δ*ycp，和水泥土环的最小壁厚*δ*五个指标均需满足本规程表7.7.4的规定。从工程实践看，一般水泥土桩的偏位控制基本能符合要求，其他主要偏差表现为：（1）芯桩的纵横向最大偏位*Δ*xcp、*Δ*ycp合格，而水泥土环的最小壁厚*δ*不合格，如图4(a)；（2）水泥土环的最小壁厚*δ*合格，而芯桩的纵横向最大偏位*Δ*xcp或*Δ*ycp不合格，如图4(b)；（3）芯桩的纵横向最大偏位*Δ*xcp、*Δ*ycp与水泥土环的最小壁厚*δ*均不合格，如图4(c)。工程实践也表明，施工时应从放线定位（尤其二次定位放线）、桩机定位、喂桩、桩身或沉管垂直度等环节做到严格控制，可以有效控制桩位偏差。    图4 劲性扩体复合桩桩位偏差情况  1—桩设计定位点；2—水泥土桩施工中心点；3—芯桩施工中心点 |

**7.4.5**劲性扩体复合桩的静载荷试验宜在成桩28d后进行，若提前检测应采取有效措施，待水泥土及现浇混凝土强度满足试验加载条件时方可进行。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 7.4.5 劲性扩体复合桩的静载荷试验时，水泥土强度要满足加载试验要求。从江苏、山东的工程实践来看，如用预制桩做芯桩的话，可以在成桩21d后进行静载荷试。所以在本条文中也考虑到此类情况，在有地区经验的地区，允许有条件提前做静载荷试验。 |

**7.4.6** 单桩竖向抗压静载试验，除应符合国家现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 检测桩数不应少于同条件下桩基总桩数的1%，且不应少于3根；当总桩数少于50根时，不应少于2根。

**2** 检测时，应使水泥土桩顶面低于芯桩顶面，宜在水泥土桩顶面铺设粗砂或中砂找平层，厚度宜取20mm～30mm，与芯桩顶平。

**3** 找平层上的刚性承压板直径应与劲性扩体复合桩的设计直径相一致。

**4** 对水泥土桩直径*D*cs不小于800mm的劲性扩体复合桩，*Q-s*曲线呈缓变型时，单桩竖向极限承载力可取*s*/*D*cs等于0.05对应的荷载值。

**7.4.7** 单桩竖向抗拔静载试验，除应符合国家现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 检测桩数不应少于同条件下总桩数的1%，且不应少于3根。

**2** 试验拔力作用位置应与施工图设计的拔力作用位置一致。

**7.4.8** 单桩水平静载试验，除应符合国家现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的规定外，尚应符合下列规定：

**1**检测桩数不应少于同条件下总桩数的1%，且不应少于3根。

**2**水平推力应施加在芯桩上。

|  |  |
| --- | --- |
| 条文说明 | 7.4.8 鉴于芯桩与承台的连接方式和构造，相当于水平荷载施加在芯桩上，因此劲性扩体复合桩单桩水平静载试验时，要求水平荷载应施加在芯桩上。 |

**7.4.9** 劲性扩体复合桩施工后质量检验应符合本规程附录E的规定。

7.5 工程验收

**7.5.1**劲性扩体复合桩工程验收，由建设单位会同施工、设计、勘察及监理等单位共同进行，验收合格后方可后续工序施工。

**7.5.2** 劲性扩体复合桩基础工程施工质量验收应符合下列规定：

1 工程质量的验收应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行；

2 质量验收的程序应符合验收规定的要求；

3 质量验收应按主控项目和一般项目验收，施工质量应符合验收规定的要求。

**7.5.3** 劲性扩体复合桩基础工程验收时应提交下列资料：

1 岩土工程勘察报告；

2 设计文件、图纸会审记录、设计变更和技术交底资料；

3 工程测量、定位放线记录，包括工程桩位线复核签证单；

4 施工组织设计及专项施工方案，以及过程中的变更与交底资料；

5 施工记录、隐蔽工程验收资料及施工单位自查评定报告；

6 监测资料；

7 隐蔽工程验收资料；

8 检测与检验报告；包括单桩承载力及桩身完整性检测与检验报告；

9 桩竣工图；

10 其他必须提供的文件或记录。

# 附录A 桩型与成桩工艺选择

**A.0.1** 桩型与成桩工艺应根据建筑结构类型、荷载性质、桩的使用功能、穿越土层、桩端持力层、地下水位、地下水土腐蚀性、施工设备、施工环境、施工经验、制桩材料供应条件等，按安全适用、经济合理的原则选择。可按表A.0.1选择。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **表A.0.1 桩型与成桩工艺选择** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 桩段 | 芯桩 | | 芯桩施工工艺 | 水泥土体施工工艺 | 芯桩尺寸 | | 穿越土层 | | | | | | | | | 桩端进入持力层 | | | 地下水位 | | 对环境影响 | | |
| 材料 | 类型 | 直径/mm | 最大入土深度/m | 一般黏性土及其填土 | 淤泥和淤泥质土 | 粉土 | 砂土 | 碎石土 | 中间有硬夹层 | 中间有砂夹层 | 中间有砾石夹层 | 硬粘性土 | 密实砂土 | 碎石土 | 软质岩石和分化岩石 | 以上 | 以下 | 振动和噪音 | 溢浆 | 桩端有无挤密 |
| 等芯桩 |  | 不限 |  | 喷粉 | 300~800 | 30 | 〇 | 〇 | Δ | Δ | ╳ | Δ | Δ | ╳ | 〇 | 〇 | ╳ | ╳ | Δ | 〇 | 无 | 无 | 有 |
| 喷浆 | 45 | 〇 | 〇 | 〇 | Δ | ╳ | 〇 | 〇 | Δ | 〇 | 〇 | ╳ | ╳ | 〇 | 〇 | 无 | 有 | 有 |
| 长芯桩 | 混凝土 | 灌注桩 | 打或振 | 不限 | 300~800 | 30 | 〇 | 〇 | 〇 | Δ | Δ | ╳ | Δ | ╳ | 〇 | Δ | Δ | ╳ | 〇 | 〇 | 有 | 无 | 有 |
| 预制桩 | 打入 | 300~800 | 60 | 〇 | 〇 | 〇 | Δ | Δ | 〇 | 〇 | Δ | 〇 | 〇 | Δ | Δ | 〇 | 〇 | 有 | 无 | 有 |
| 静压 | 300~800 | 40 | 〇 | 〇 | Δ | Δ | Δ | Δ | Δ | ╳ | 〇 | 〇 | Δ | ╳ | 〇 | 〇 | 无 | 无 | 有 |
| 钢 | 钢管桩 | 打入 | 300~800 | 80 | 〇 | 〇 | 〇 | Δ | Δ | 〇 | 〇 | Δ | 〇 | 〇 | Δ | Δ | 〇 | 〇 | 无 | 无 | 有 |
| 静压 | 60 | 〇 | 〇 | Δ | Δ | Δ | Δ | Δ | ╳ | 〇 | 〇 | Δ | ╳ | 〇 | 〇 | 无 | 无 | 有 |

注：表中符号〇表示比较合适；△表示有可能采用；╳表示不宜采用；裸芯段长度应不大于复合段水泥土长度。

# 附录B 扩底端主要参数估算办法

**B.0.1** 扩底端的主要参数应根据夯扩工艺确定，并应符合下列规定：

1 预估扩底大头的平均直径*D*不应小于设计值。

2 夯扩工序不小于2次。

**B.0.2** 当采用外管与内夯管结合锤击沉管进行夯扩时，见图B.0.2。两次夯扩桩端夯扩大头平均直径可按下列公式估算：



图B.0.2扩底端夯扩大头施工参数示意

1—沉管停沉面；2—管内第一次投料混凝土；3—上拔外管；4—内夯管夯击；5—第一次夯扩大头；

6—夯扩停沉面；2—管内第二次投料混凝土；3—上拔外管；4—内夯管夯击；5—第二次夯扩大头；

 (B.0.2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *D* —— | 夯扩大头平均直径； |
|  | *d*0 —— | 套管或外管外直径； |
|  | *H*1、*H*2 —— | 第1次、第2次夯扩工序中外管内灌注混凝土的投料高度，分别从沉管停沉面、夯扩停沉面算起；见图B.0.2； |
|  | *C* —— | 外管与内夯管同步沉入至离沉管停沉面的距离；见图B.0.2；两次夯扩宜保持相同夯扩停沉面；可取0.2±0.1m； |
|  | *h*1、*h*2 —— | 第1次、第2次夯扩工序中外管的上拔距离，分别从沉管停沉面、夯扩停沉面算起；见图B.0.2；一般可取1/2投料高度。 |
|  | *h*—— | 扩底混凝土柱体的高度；可取*h*1与*h*2之间较大值。 |

**B.0.3** 用本规程B.0.2条夯扩工艺时，等芯桩的沉管停沉面标高应略高于水泥土桩底标高，长芯桩的停沉面标高（外管入土深度）应以设计标高为主，以贯入度控制为辅。设计时，可以以夯扩停沉面作为扩底最大直径位置，并据此计算芯桩长度*l*cp和扩底端高度*h*b。扩底端高度*h*b可取第2次夯扩工序中外管的上拔距离*h*2。

**B.0.4** 当采用外管与内夯柱锤结合进行夯扩时，不拔管多次夯扩形成桩端夯扩大头平均直径可按下列公式估算：

 （B.0.4）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中 | *ρ* —— | 扩大头混凝土压实系数；一般可取0.9~1.0； |
|  | *n* —— | 夯扩混凝土投料次数；每次投料高度宜同内腔直径，即*hi*＝*d*0，投料次数可取6~10次。 |

**B.0.5** 采用本规程B.0.4条夯扩工艺时，每次夯扩应将外管内的混凝土全部夯出，方可再次投料进行下一轮夯扩工序。最后一次投料夯扩时允许上拔外管，上拔高度*hj*不宜超过2*d*0/3。

**B.0.6** 采用本规程B.0.4条夯扩工艺时，等芯桩的沉管停沉面标高应高于水泥土桩底标高0.5*D*cs或0.5*D*左右。设计时，可以以水泥土桩底作为扩底最大直径位置，并据此计算芯桩长度*l*cp和扩底端高度*h*b。扩底端高度*h*b可取预估扩底平均半径加上最后一次投料夯扩时上拔外管的高度，即：*h*b=0.5D＋*hj*。

**B.0.7** 采用本规程B.0.4条夯扩工艺时，长芯桩的停沉面标高（外管入土深度）应以设计标高为主，以贯入度控制为辅。沉管停沉面标高应高于设计桩底标高0.5*D*左右。设计时，可以以设计底标高位置作为扩底最大直径位置，并据此计算芯桩长度*l*cp和扩底端高度*h*b。扩底端高度按*h*b=0.5D＋*hj*估算确定。

# 附录C 劲性扩体复合桩的桩身抗弯刚度计算

**C.0.1** 劲性扩体复合桩的桩身抗弯刚度可按下列情况分别计算：

1 钢筋混凝土实心桩：

*EI*=0.85*·E*cp*·I*cp+*E*cs*·I*cs （C.0.1-1）

2钢筋混凝土空心桩：

*EI*=0.85(*E*cp*·I*cp+*E*c0*·I*c0)+*E*cs*·I*cs （C.0.1-2）

3 钢管(混凝土)桩：

*EI*=0.85(*E*sp*·I*sp+*E*c0*·I*c0)+*E*cs*·I*cs （C.0.1-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *E*cp—— | 芯桩混凝土弹性模量；依国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定取值； |
|  | *E*c0—— | 桩顶填芯混凝土弹性模量或钢管内核心混凝土弹性模量；按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《海砂混凝土应用技术规范》JGJ206、《再生骨料应用技术规程》JGJ/T240和《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T283的规定取值； |
|  | *E*sp—— | 钢管桩用钢材弹性模量；依国家现行标准《钢结构设计标准》GB50017的规定取值； |
|  | *E*cs—— | 劲性扩体复合桩水泥土弹性模量，宜由同配合比水泥土试块试验确定；抗水平力估算时可取(300~700)倍水泥土强度平均值； |
|  | *I*cp—— | 钢筋混凝土桩换算截面惯性矩； |
|  | *I*sp—— | 钢管截面惯性矩； |
|  | *I*c0—— | 桩顶填芯混凝土或钢管内核心混凝土换算截面惯性矩； |
|  | *I*cs—— | 水泥土桩换算截面惯性矩； |

**C.0.2** 考虑配筋的实心桩桩身截面惯性矩可按下式计算：

**1** 圆形截面：

 （C.0.2-1）

**2** 方形截面：

 （C.0.2-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *d* —— | 桩的外直径； |
|  | *d*0 —— | 扣除保护层厚度的桩直径； |
|  | *b*0—— | 方形截面桩的边长； |
|  | *b*0—— | 扣除保护层厚度的桩截面宽度； |
|  | *α*E —— | 钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值； |
|  | *ρ*g —— | 为桩身配筋率；空心桩配筋率计算时取截面净面积。 |

**C.0.3** 考虑配筋的空心桩桩身截面惯性矩可按下式计算：

**1** 圆环截面

 （C.0.3-1）

**2** 外方内圆截面

 （C.0.3-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *d*1—— | 空心桩的内腔圆直径； |

**C.0.4** 单一截面惯性矩可按下式计算：

1 钢管（环形截面）

 （C.0.4-1）

2 水泥土桩（环形截面）

 （C.0.4-2）

3 水泥土桩（圆截面）

 （C.0.4-3）

4 填芯混凝土或核心混凝土（圆截面）

 （C.0.4-4）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *d* —— | 芯桩外直径； |
|  | *D*cs—— | 水泥土桩外直径； |

# 附录D 常用施工记录表

D.0.1 水泥土桩施工记录可参考表D.0.1使用。

D.0.2 芯桩为预制桩时，施工记录可参考表D.0.2使用，钢管桩施工记录可参考表D.0.2使用。

D.0.3芯桩为灌注桩时，施工记录可参考表D.0.3-1使用，扩底施工记录可参考表D.0.3-2使用。

D.0.4施工记录表可以根据施工单位或地区习惯做法进行调整。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表D.0.1 水泥土桩施工记录表 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 工程名称： | |  | | | | | | 单体项目名称： | |  | | | | | | | |
| 水泥品种： | |  | | 水灰比： | |  | | 搅拌翼片外径： | |  | | 喷粉（浆）嘴直径： | | |  | | |
| 设计桩径： | |  | | 设计桩长： | |  | | 设计顶标高： | |  | | 设计底标高： | | |  | | |
| 序  号 | 施工  日期 | 施工  桩号 | 孔口  标高  m | 施工  顺序 | 水泥土主要施工参数 | | | | | | | | | | | | |
| 时间 | | 下沉/提升  起始标高  m | 钻杆  旋转速度  r/min | 下沉/提升  钻杆速度  cm/min | | 垂直度  偏差 | | 浆液  压力  MPa | 气压  MPa | | 水压  MPa | 水泥  用量  kg |
| 开始 | 结束 |
|  |  |  |  | 下沉 |  |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |  |
| 提升 |  |  |  |  |  | |  |  | |  |
| 下沉 |  |  |  |  |  | |  |  | |  |
| 提升 |  |  |  |  |  | |  |  | |  |
| 下沉 |  |  |  |  |  | |  |  | |  |
| 提升 |  |  |  |  |  | |  |  | |  |
|  |  |  |  | 下沉 |  |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |  |
| 提升 |  |  |  |  |  | |  |  | |  |
| …… |  |  |  |  |  | |  |  | |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表D.0.2 预制桩施工记录表 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 工程名称： | |  | | | | | | | 单体项目名称： | |  | | | | | | |
| 设计桩径： | |  | | 设计桩长： | |  | | | 设计顶标高： | |  | | 设计底标高： | | |  | |
| 序  号 | 施工  日期 | 施工  桩号 | 孔口  标高  m | 施工  顺序 | 预制桩主要施工参数 | | | | | | | | | | | | |
| 时间 | | | 桩长  m | 桩顶标高  m | 接桩时间  min | | 送桩深度  m | | 垂直度  偏差 | 终压力  kN | | 贯入度  cm/10击 |
| 开始 | | 结束 |
|  |  |  |  | 沉桩 |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |
| 接桩 |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |
| 沉桩 |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |
| 接桩 |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |
| 沉桩 |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |
| 送桩 |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |
|  |  |  |  | 沉桩 |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |
| 接桩 |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |
| …… |  | |  |  |  |  | |  | |  |  | |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表D.0.3-1 灌注桩施工记录 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 工程名称 | | | |  | | | | | | | | | 沉管外径(mm) | | | |  | | | 混凝土强度 | | |  | | |
| 水泥土直径(mm) | | | |  | | | 灌注桩直径(mm) | | |  | | | 沉管壁厚(mm) | | | |  | | | 混凝土坍落度 | | |  | | |
| 序  号 | 施工  日期 | 桩  号 | 施工桩顶标高  (m) | | 施工  桩长  (m) | 有效  桩长  (m) | | 复打  桩长  (m) | 第1次  沉管  时长  (min) | | 第1次  沉管  深度  (m) | 第1次  投料  高度  (m) | | 第1次  拔管  时长  (min) | 第2次  沉管  时长  (min) | 第2次  沉管  深度  (m) | | 第2次  投料  高度  (m) | 第2次  拔管  时长  (min) | | 充盈  系数 | 操作  损耗  (%) | | 钢筋  笼  长度  (m) | 钢筋  笼顶  标高  (m) |
| 1 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| 2 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| 3 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| 4 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| 5 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| 6 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| 7 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| 8 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| 9 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |
| … |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表D.0.3-2 扩底施工记录 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 工程名称 | | | |  | | | | | | | | | 沉管外径(mm) | | | |  | | | 混凝土强度 | | |  | | | |
| 水泥土直径(mm) | | | |  | | | 灌注桩直径(mm) | | |  | | | 沉管壁厚(mm) | | | |  | | | 混凝土坍落度 | | |  | | | |
| 序  号 | 施工  日期 | 桩  号 | 桩底  设计  标高  (m) | | 沉管  深度  (m) | 第一道夯扩工序 | | | | | | | | | 第二道夯扩工序 | | | | | | | | | 最后三阵  每阵10击  贯入度  (cm) | | |
| 起扩  前沉  管底  标高  (m) | | 起扩前  内夯  件底  标高  (m) | 第1次  填料  高度  *H*1  (m) | | 外管  上拔  距离  *h*1  (m) | 拔管  至夯扩结束时间点 | | 同步下沉距离  *C*1  (m) | 起扩  前沉  管底  标高  (m) | 起扩前  内夯  件底  标高  (m) | | 第1次  填料  高度  *H*2  (m) | 外管  上拔  距离  *h*2  (m) | | 拔管  至夯扩结束时间点 | 同步下沉距离  *C*2  (m) | |
| 首 | 中 | 末 |
| 1 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 2 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 3 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 4 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 5 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 6 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 7 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 8 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| 9 |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |
| … |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  |  |

# 附录E 常用施工质量检验表

E.0.1 施工前质量检验表可采用表E.0.1。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表E.0.1 施工前质量检验表 | | | | | | | | |
| **控制项** | **序号** | | **检查项目** | | | | **允许偏差或允许值** | **检查方法** |
| **主控项目** | **1** | **1.1** | **水泥土** | **水泥质量** | | | **符合出厂及设计要求** | **查产品合格证和抽样送检** |
| **1.2** | **混凝土** | **混凝土强度** | | | **符合设计要求** | **试件报告或钻芯取样** |
| **一般项目** | **2** | **2.1** | **通用项** | **施工机械设备及性能** | | | **符合出厂及设计要求** | **查设备标定记录** |
| **2.2** | **桩位放样（mm）** | | | **10** | **查放线记录** |
| **3** | **3.1** | **预制桩** | **桩外观质量** | | | **无蜂窝、漏筋、裂缝，色感均匀，桩顶处无空隙** | **直观** |
| **3.2** | **桩径或边长（mm）** | | | **±5** | **用钢尺量** |
| **3.3** | **桩节长度** | | **实心桩** | **±20mm** | **用钢尺量** |
| **空心桩** | **±0.5%桩长** | **用钢尺量** |
| **3.4** | **保护层厚度** | | **实心桩** | **±5mm** | **用钢尺量** |
| **空心桩** | **+10mm，-5mm** | **用钢尺量** |
| **3.5** | **桩身弯曲矢高** | | **实心桩** | **≤0.1%桩长且≤20mm** | **用钢尺量** |
| **空心桩** | **≤0.1%桩长** | **用钢尺量** |
| **3.6** | **桩尖中心线偏位mm** | | | **≤10** | **用钢尺量** |
| **3.7** | **实心桩** | **桩顶对角线之差** | | **≤5mm** | **用钢尺量** |
| **3.8** | **桩端面倾斜** | | **≤0.005** | **用钢尺量** |
| **3.7** | **空心桩** | **空心桩壁厚** | | **-5mm** | **用钢尺量** |
| **3.8** | **桩头板平整度** | | **≤2mm** | **用钢尺量** |
| **3.9** | **端头板偏心** | | **≤2mm** | **用钢尺量** |
| **3.10** | **内腔壁浮浆** | | **不得有浮浆** | **直观** |
| **3.11** | **接桩用材料** | | **符合出厂及设计要求** | **查产品合格证或抽样送检** |
| **4** | **4.1** | **灌注桩** | **外管或套管直径** | | | **≥0.0mm** | **用钢尺量** |
| **3.2** | **钢筋笼** | **主筋规格、直径** | | **符合出厂及设计要求** | **查产品合格证、用卡尺量或抽样送检** |
| **4.2** | **箍筋规格、直径** | | **符合出厂及设计要求** | **查产品合格证、用卡尺量或抽样送检** |
| **4.3** | **主筋根数** | | **符合设计要求** | **直观** |
| **4.4** | **加强箍筋** | | **数量、焊接符合设计要求** | **用钢尺量、观察检查** |
| **4.5** | **制作偏差** | | **符合本规程6.2.5条** | **用钢尺、卡尺量** |
| **4.6** | **钢筋笼钢筋连接用材料** | | | **符合出厂及设计要求** | **查产品合格证或抽样送检** |
| **4.7** | **钢筋笼钢筋接头** | | **焊接连接** | **符合《钢筋焊接及验收规程》JGJ18的规定** | **查产品合格证、用卡尺量或抽样送检** |
| **机械连接** | **符合《钢筋机械连接技术规程》JGJ107的规定** | **查产品合格证、用卡尺量或抽样送检** |
| **4.9** | **钢筋笼防腐蚀涂层** | | | **符合本规程第3.2.7条** | **专用工具** |
| **4.10** | **混凝土坍落度** | | | **70~100mm** | **塌落度仪** |
|  | | | | | | | | |

E.0.2施工中质量检验表可采用表E.0.2。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 表E.0.2 施工中质量检验表 | | | | |
| **项** | **序** | **检查项目** | **允许偏差或允许值** | **检查方法** |
| **主控项目** | **1** | **水泥用量** | **按设计要求** | **查施工记录** |
| **一般项目** | **1** | **浆液压力** | **按施工组织设计要求** | **查施工记录** |
| **2** | **水压** | **按施工组织设计要求** | **查施工记录** |
| **3** | **气压** | **按施工组织设计要求** | **查施工记录** |
| **4** | **水灰比** | **按施工组织设计要求** | **查施工记录** |
| **5** | **钻杆提升速度** | **按施工组织设计要求** | **查施工记录** |
| **6** | **钻杆旋转速度** | **按施工组织设计要求** | **查施工记录** |
| **7** | **水泥土桩垂直度（%）** | **1** | **经纬仪** |
| **8** | **水泥土桩的桩底标高** | **按设计要求** | **测量钻头深度** |
| **9** | **管桩垂直度（%）** | **1/150** | **经纬仪** |
| **10** | **管桩的桩顶标高（mm）** | **±50** | **水准仪** |
| **11** | **接桩质量** | **按设计或规范要求** | **满足设计或规范要求** |
| **12** | **接桩停歇时间（min）** | **>5** | **秒表测定** |
| **13** | **接桩上下节平面偏差（mm）** | **10** | **用钢尺量** |
| **14** | **接桩节点弯曲矢高** | **1/1000*l*** | **用钢尺量** |

E.0.3施工后质量检验表可采用表E.0.3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 表E.0.3 施工后质量检验表 | | | | |
| **项** | **序** | **检查项目** | **允许偏差或允许值** | **检查方法** |
| **主控项目** | **1** | **承载力** | **按设计要求** | **按本规程** |
| **2** | **桩身完整性** | **按设计要求** | **按本规程** |
| **3** | **桩数** | **按设计要求** | **现场清点** |
| **一般项目** | **1** | **水泥土桩直径** | **按设计要求** | **用钢尺量** |
| **2** | **桩顶标高（mm）** | **±50** | **水准仪** |
| **3** | **桩位偏差（mm）** | **按规程7.4.4条** | **用全站仪及钢尺量** |

# 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”。

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规程中指明应按其它有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。