UDC

中国土木工程学会标准

P T/CCES XX－2024

再生骨料混凝土应用技术规程

Technical specification for application of recycled aggregate concrete

（征求意见稿）

2024–XX–XX 发布 2024–XX–XX 实施

中国土木工程学会 发布

**中国土木工程学会标准**

再生骨料混凝土应用技术规程

Technical specification for application of recycled aggregate concrete

**T/CCES －2024**

批准单位：中国土木工程学会

施行日期：2024年X月X日

2024 北 京

**前 言**

本规程是根据中国土木工程学会《关于发布<2022年中国土木工程学会标准立项计划（第二批）>的通知》（中土学标〔2022〕11号）的要求，由清华大学会同有关单位编制完成。

在本规程编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了再生骨料混凝土的科学知识和工程经验，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、符号与参考标准，基本规定，材料，再生骨料技术要求，再生骨料混凝土技术要求，施工要求，检验与验收及有关的附录。

请注意本规程的某些内容可能涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国土木工程学会学术与标准工作委员会负责管理，由清华大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见和建议，请寄送清华大学（地址：北京市海淀区清华大学新土木馆448，邮编100084；电子信箱：junjiewang@tsinghua.edu.cn）。

本规程主编单位：清华大学

本规程参编单位：浙江大学

贵州建工集团有限公司

同济大学

湖南大学

中建三局集团有限公司

中海建筑国际集团

郑州鼎盛集团

中建铁路投资建设集团有限公司

中国建筑科学研究院有限公司

北京市建设工程质量第一检测所有限责 任公司

中冶检测认证有限公司

首都机场科技管理有限公司

北京中企卓创科技发展有限公司

北京建工国际建设工程有限责任公司

中铁十七局集团第三工程有限公司

吉林大学

北京清智博科技有限公司

北京建工集团

中交第一航务工程局有限公司

中交一航局第五工程有限公司

泉州市绿色低碳研究院

重庆机场集团有限公司

广东中邺山河建筑工程有限公司

广东中寓再生建筑科技有限公司

湖南湘水路桥建设有限公司

本规程主要起草人员：王俊杰 王海龙 黄 靓 韦康周 韦林林 赵增丰

马 高 俞可权 吕俊秀 徐 磊 钟 燏 黄 蓉

苏吉祥 刘文琦 夏京亮 闵宗军 戴 岭 李 翀

赵寒伊 李传辉 张新波 袁俊青 刘 岩 李 正

贺伟奇 刘永亮 张开军 熊玉章 杨 凯 赵元金

来 勇 王 磊 胡凯玲 李 鑫 杜晓萌 黄俊杰

本规程主要审查人员：

**目 次**

1 总则 1

2 术语、符号与参考标准 2

2.1 术语 2

2.2 符号 3

2.3 参考标准 4

3 基本规定 5

3.1 一般规定 5

4 材料 6

4.1 一般规定 6

4.2 再生骨料 9

4.3再生骨料混凝土 12

5再生骨料技术要求 14

5.1 分类和规格 14

5.2 颗粒级配 14

5.3 微粉含量和泥块含量 15

5.4 吸水率和含水率 16

5.5 针片状颗粒含量 16

5.6 有害物质含量 17

5.7 杂物含量 17

5.8 坚固性 17

5.9 压碎指标 18

5.10 表观密度和空隙率 18

5.11 松散堆积密度 18

5.12 碱集料反应 19

5.13 再生胶砂需水量比 19

5.14 再生胶砂强度比 19

6再生骨料混凝土技术要求 20

6.1再生骨料普通混凝土 20

7施工要求 21

7.1 一般规定 21

7.2 技术准备 21

7.3 原材料 21

7.4 混凝土配合比 22

7.5 混凝土搅拌 23

7.6 混凝土的制备与运输 24

7.7 混凝土的浇筑和养护 24

8检验与验收 25

附录A 施工补充资料 26

附录B 耐久性指标测试方法 31

本规程用词说明 37

条文说明 38

**Contents**

1 General Provisions 1

2 Terms, Symbols and Reference Standards 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 3

2.3 Reference Standards 4

3 Basic Requirements 5

3.1 General Requirements 5

4 Materials 6

4.1 General Requirements 6

4.2 Recycled Aggregates 9

4.3 Recycled Aggregate Concrete 12

5 Technical Requirements for Recycled Aggregates 14

5.1 Classifications and Specifications 14

5.2 Particle Size Distribution 14

5.3 Micro-powder Content and Clay Content 15

5.4 Water Absorption Ratio and Moisture Ratio 16

5.5 Needle-like and Flake-like Particle Content 16

5.6 Content of Hazardous Substances 17

5.7 Content of Impurities 17

5.8 Integrity 17

5.9 Crushing Index 18

5.10 Apparent Density and Void Ratio 18

5.11 Loose Bulk Density 18

5.12 Alkali-aggregate Reaction 19

5.13 Water Demand Ratio for Recycled Mortar 19

5.14 Strength Ratio for Recycled Mortar 19

6 Technical Requirements for Recycled Aggregate Concrete 20

6.1 General Recycled Aggregate Concrete 20

7 Construction Requirements 21

7.1 General Requirements 21

7.2 Technical Preparation 21

7.3 Raw Materials 21

7.4 Concrete Mix Design 22

7.5 Concrete Mixing 23

7.6 Preparation and Transportation of Concrete 24

7.7 Placement and maintenance of concrete 24

8 Inspection and Acceptance Criteria 25

Appendix A Construction Supplementary Information 26

Appendix B Tests for Durability Indicators 31

Explanation of Wording in the Specification 37

Explanation of Provisions 38

**1 总则**

**1.0.1**  为指导再生骨料及再生骨料混凝土性能要求与技术措施，保障再生骨料混凝土结构的合理使用年限，制订本规程。

**1.0.2** 本规程针对再生骨料混凝土给出相应的技术指标规定，适用于满足相应工程要求的再生骨料混凝土材料。

**1.0.3** 本规程中经强化处理后的再生骨料能够满足现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685及现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684的应按照相应标准规定执行，适用于建设工程（除水工建筑物）中水泥混凝土及其制品用碎石、用砂和普通砂浆用砂。

**1.0.4** 本规程中再生骨料能够满足现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177及现行国家标准《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176的应按照相应标准规定执行，适用于配制混凝土的再生粗骨料、再生细骨料及砂浆的再生细骨料。

**1.0.5** 本规程提出的性能要求是满足结构适用性和安全性的基本要求，使用者可根据工程及其所处环境的具体特点，考虑工程的重要性、环境作用的复杂性、材料劣化导致结构失效后果的严重性、使用中修复的可行性等，调整性能要求并采取相应的技术措施。

**1.0.6** 采用本规程的再生骨料混凝土性能要求与技术措施，应符合国家现行标准的有关规定。

**2 术语、符号与参考标准**

2.1 术语

**2.1.1** 再生粗骨料 recycled coarse aggregate

由建筑垃圾中的混凝土、砂浆、石或砖瓦等加工而成，粒径大于4.75mm的颗粒。

**2.1.2** 再生细骨料 recycled fine aggregate

由建筑垃圾中的混凝土、砂浆、石或砖瓦等加工而成，粒径不大于4.75mm的颗粒。

**2.1.3** 再生骨料混凝土 recycled aggregate concrete

掺用再生骨料配制而成的混凝土。

**2.1.4** 再生粗骨料取代率 replacement ratio of recycled coarse aggregate

再生骨料混凝土中再生粗骨料用量占粗骨料总用量的质量百分比。

**2.1.5** 再生细骨料取代率 replacement ratio of recycled fine aggregate

再生骨料混凝土中再生细骨料用量占细骨料总用量的质量百分比。

**2.1.6** 废弃混凝土 waste concrete

由建筑物拆除、路面翻修、混凝土生产、工程施工或其他情况下产生的混凝土废料。

**2.1.7** 结构耐久性 structure durability

在环境作用和正常维护、使用条件下，结构或构件在设计工作年限内保持其适用性和安全性的能力。

**2.1.8** 环境作用 environmental action

温、湿度及其变化以及二氧化碳、氧、盐、酸等环境因素对结构或材料性能的影响。

**2.1.9** 劣化 degradation

材料或结构在所处环境中性能随时间的衰减。

**2.1.10** 修复 restoration

通过修补、更换或加固，使受到损伤的结构恢复到满足正常使用所进行的活动。

**2.1.11** 引气 air entrainment

在混凝土拌合过程中引入均匀、稳定、球形封闭微气泡的工艺措施。

**2.1.12** 孔隙率 porosity

混凝土内部空隙和孔隙占材料总体积的比率，通常用百分比表示。

**2.1.13** 胶凝材料 cementitious material, or binder

混凝土原材料中具有胶结作用的硅酸盐类水泥和粉煤灰、硅灰、粒化高炉矿渣粉等矿物掺和料的总称。

**2.1.14** 水胶比 water to binder ratio

单位体积混凝土拌合物中用水量与胶凝材料总量的质量比。

**2.1.15** 氯离子含量 chloride content

混凝土中氯离子与胶凝材料的质量比。

**2.2 符号**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *ac* | —— | 温度线膨胀系数； |
| *c* | —— | 比热容； |
| *C-I* | —— | 表示使用类别和骨料质量等级，大写英文字母代表骨料用途（C表示建（构）筑用，R表示道路用），罗马字符代表质量等级（I-IV）； |
| *Ec* | —— | 受压和受拉弹性模量； |
| *fc* | —— | 轴心抗压强度设计值； |
| *fcf* | —— | 轴心抗压疲劳强度设计值； |
| *fck* | —— | 轴心抗压强度标准值； |
| *ft* | —— | 轴心抗拉强度设计值； |
| *ftf* | —— | 轴心抗拉疲劳强度设计值； |
| *ftk* | —— | 轴心抗拉强度标准值； |
| *Gc* | —— | 剪切变形模量； |
| *MB* | —— | 表示亚甲蓝实验中使用的亚甲蓝值，表征含泥量的多少； |
| *νc* | —— | 泊松比； |
| *λ* | —— | 导热系数； |
| *σ* | —— | 混凝土强度标准差； |
| *δg* | —— | 再生粗骨料取代率； |
| *δs* | —— | 再生细骨料取代率。 |

**2.3 参考标准**

**1** 《通用硅酸盐水泥》GB 175

**2** 《钢质无缝气瓶》GB 5099

**3** 《混凝土结构设计规范》GB 50010

**4** 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119

**5** 《混凝土质量控制标准》GB 50164

**6** 《民用建筑热工设计规范》GB 50176

**7** 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

**8** 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666

**9** 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

**10** 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌机》GB/T 9142

**11** 《混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171

**12** 《建设用砂》GB/T 14684

**13** 《建设用卵石、碎石》GB/T 14685

**14** 《预拌混凝土》GB/T 14902

**15** 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046

**16** 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736

**17** 《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176

**18** 《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177

**19** 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476

**20** 《模板早拆施工技术规程》DB 11/T 694-2021

**21** 《建筑垃圾再生骨料技术规程》DBJ 43/T383

**22** 《混凝土抗渗仪》JG/T 249

**23** 《混凝土和砂浆用天然沸石粉》JG/T 3048

**24** 《普通混凝土用砂、石质量检验方法标准》JGJ 52

**25** 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55

**26** 《混凝土用水标准》JGJ 63

**27** 《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240

**28** 《公路水泥混凝土路面施工技术规范》JTG F30

**29** 《公路水泥混凝土路面再生利用技术细则》JTG/T F31

**3 基本规定**

**3.1 一般规定**

**3.1.1** 再生骨料混凝土的力学性能和耐久性能应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476的规定，其工作性能应满足相应的施工要求。

**3.1.2** 再生骨料混凝土中所用天然粗骨料应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685及现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量检验方法标准》JGJ 52的规定；所用天然细骨料应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684及现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量检验方法标准》JGJ 52的规定。

**3.1.3** 除常规原材料适应性试验外，再生骨料与外加剂、掺合料间也应进行适应性试验。

**4 材料规定**

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 再生骨料混凝土可在普通混凝土结构工程和混凝土制品中使用，混凝土用再生骨料所用应符合《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177和《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176中的相关规定。

**4.1.2** 按现行国家标准和《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177的相关规定，建（构）筑用再生粗骨料可分为C-I级、C-II级、C-III级和C-IV级，建（构）筑用再生粗骨料的微粉含量、泥块含量、吸水率、压碎指标、表观密度、空隙率、针片状颗粒含量、坚固性应符合表 4.1.2-1的规定；建（构）筑用再生粗骨料中如含有有机物、硫化物及硫酸盐、氯化物、杂物、轻质杂物等有害物质，其含量应符合表 4.1.2-2的规定。

**表4.1.2-1 建（构）筑用再生粗骨料性能要求**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | C-Ⅰ级 | C-Ⅱ级 | C-Ⅲ级 | C-Ⅳ级 |
| 微粉含量（按质量计）/% | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤3.0 | ≤5.0 |
| 泥块含量（按质量计）/% | ≤0.5 | ≤0.7 | ≤1.0 | |
| 吸水率（按质量计）/% | ≤3.5 | ≤7.0 | ≤10.0 | ≤14.0 |
| 压碎指标/% | ≤12 | ≤20 | ≤30 | ≤35 |
| 表观密度/（kg/m3） | ≥2450 | ≥2350 | ≥2250 | ≥2100 |
| 空隙率a/% | ≤47 | ≤50 | ≤53 | |
| 针、片状颗粒（按质量计）/% | ≤5 | ≤10 | | |
| 坚固性（质量损失）/% | ≤5.0 | ≤10.0 | ≤15.0 | |

注：a 连续级配的再生粗骨料应进行空隙率检测。

**表4.1.2-2 建（构）筑用再生粗骨料中的有害物质含量**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 试验项目 | 各最大粒径（mm）下的最小取样质量 | | | | |
| 9.5 | 16.0 | 19.0 | 26.5 | 31.5 |
| 1 | 颗粒级配 | 10 | 15 | 20 | 20 | 30 |
| 2 | 微粉含量 | 8 | 8 | 24 | 24 | 40 |
| 3 | 针、片状颗粒含量 | 1.2 | 4 | 8 | 8 | 20 |
| 4 | 轻质杂物含量 | 20 | 40 | 40 | 60 | 60 |
| 5 | 吸水率 | 8 | 8 | 24 | 24 | 40 |
| 6 | 压碎指标 | 按试验要求的粒径和质量取样 | | | | |

**4.1.3** 道路用再生粗骨料按性能要求分为三个等级：R-I级、R-Ⅱ级、R-Ⅲ级，道路用再生粗骨料的压碎指标、微粉含量、针片状颗粒含量、轻质杂物含量、吸水率应符合表 4.1.3的规定。

**表4.1.3 道路用再生粗骨料性能要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | R-Ⅰ级 | R-Ⅱ级 | R-Ⅲ级 |
| 压碎指标/% | ≤30 | ≤35 | ≤45 |
| 微粉含量（按质量计）/% | ≤1.2 | ≤2.0 | ≤5.0 |
| 针、片状颗粒含量（按质量计）/% | ≤18 | ≤20 | |
| 轻质杂物含量（按质量计）/% | ≤0.3 | ≤0.5 | ≤1.0 |
| 吸水率（按质量计）/% | ≤7.0 | ≤10.0 | - |

**4.1.4**  按现行国家标准和《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176的相关规定，建（构）筑用再生细骨料按性能要求分为四个等级：C-I级、C-Ⅱ级、C-Ⅲ级、C-IV级。建（构）筑用再生细骨料的微粉含量、泥块含量、再生胶砂需水量比、表观密度、堆积密度、空隙率、压碎指标、坚固性、饱和面干吸水率、再生胶砂强度比性能指标应符合表4.1.4-1的规定；建（构）筑用再生细骨料中如含有云母、轻物质、有机物﹑硫化物及硫酸盐、氯化物等有害物质，其含量应符合表 4.1.4-2的规定。

**表4.1.4-1 建（构）筑用再生细骨料性能指标**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | C-Ⅰ级 | C-Ⅱ级 | C-Ⅲ级 | C-Ⅳ级 |
| 微粉含量（按质量计）/% | MB值≤1.4  或快速试验合格 | ≤5.0 | ≤7.0 | ≤10.0 | ≤15.0 |
| MB值>1.4  或快速试验不合格 | ≤1.0 | ≤3.0 | ≤5.0 | ≤6.0 |
| 泥块含量（按质量计）/% | | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤3.0 | |
| 再生胶砂需水量比/% | | ≤140 | ≤160 | ≤180 | ≤200 |
| 表观密度/（kg/m3） | | ≥2450 | ≥2350 | ≥2250 | ≥2150 |
| 堆积密度/（kg/m3） | | ≥1350 | ≥1300 | ≥1200 | ≥1150 |
| 空隙率/% | | ≤46 | ≤48 | ≤52 | ≤54 |
| 压碎指标（单级最大压碎值）/% | | ≤20 | ≤25 | ≤30 | ≤35 |
| 坚固性（饱和硫酸钠溶液中质量损失）/% | | ≤8.0 | ≤10.0 | ≤12.0 | ≤15.0 |

注：1 砂浆用再生细骨料的微粉含量，经试验验证，可由供需双方协商确定；

a 根据使用环境和用途，经试验验证，由供需双方协商确定，C-Ⅰ级再生细骨料微粉含量可放宽至不大于3.0%，C-Ⅱ级再生细骨料微粉含量可放宽至不大于5.0%，C-Ⅲ级再生细骨料微粉含量可放宽至不大于7.0%，C-Ⅳ级再生细骨料微粉含量可放宽至不大于8.0%。

**表4.1.4-2 建（构）筑用再生细骨料中的有害物质含量**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | C-Ⅰ级 | C-Ⅱ级 | C-Ⅲ级 | C-Ⅳ级 |
| 轻物质含量（按质量计）/% | ≤1.0 | | | ≤1.5 |
| 有机物含量（比色法） | 合格 | | | |
| 硫化物及硫酸盐含量（按SO3质量计）/% | ≤1.5 | ≤2.0 | | |
| 氯化物含量（以氯离子质量计）/% | ≤0.06 | | | |
| 云母含量（按质量计）a/% | ≤2.0 | | | |

注：a 此指标为选择性指标，可由供需双方协商是否采用。

**4.1.5** 道路用再生细骨料的 0.075mm 以下材料的塑性指数、砂当量、有机质含量、硫酸盐含量、微粉含量、泥块含量、表观密度性能指标应符合表 4.1.5 的规定。

**表4.1.5 道路用再生细骨料性能指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | R-Ⅰ级 | R-Ⅱ级 | R-Ⅲ级 |
| 0.075mm以下材料的塑性指数 | ≤17a | | |
| 砂当量/% | ≥40 | | |
| 有机质含量 | <2.0b | | |
| 硫酸盐含量（按SO3质量计）/% | ≤0.25c | | - |
| 微粉含量/% | ≤15 | ≤20 | - |
| 泥块含量/% | ≤2.0 | ≤3.0 | - |
| 表观密度/（kg/m3） | ≥2350 | ≥2250 | - |

注 ：a 用于石灰粉煤灰稳定时宜控制在12%~20%；

b 用于石灰粉煤灰稳定时应小于等于10%；

c 用于石灰粉煤灰稳定时不做要求。

**4.1.6** 对不满足国家现行标准规定要求的I类、Ⅱ类和Ⅲ类再生骨料，经试验试配合格后，可用于垫层混凝土等非承重结构以及道路基层。**4.1.7** 在运输过程中，应控制再生骨料混凝土不离析、不分层，并应控制混凝土拌合物性能满足施工要求。

**4.2 再生骨料**

**4.2.1** 废混凝土按回收方式可分为现场分类回收和场外分类回收。

**4.2.2** 有害杂质含量不足以影响新拌再生骨料混凝土使用性能的废混凝土可回收。本规范不适用于下列情况下废混凝土的回收利用：

**1** 废混凝土来自于轻骨料混凝土。

**2** 废混凝土来自于沿海港口工程、核电站、医院放射间等有特殊使用要求的混凝土。

**3** 废混凝土受硫酸盐腐蚀严重。

**4** 废混凝土已受重金属污染。

**5** 废混凝土存在碱－骨料反应。

**6** 废混凝土中含有大量不易分离的木屑、污泥、沥青等杂质。

**7** 废混凝土受氯盐腐蚀严重。

**8** 废混凝土已受有机物污染。

**9** 废混凝土碳化严重，质地酥松。

**4.2.3** 再生粗骨料的颗粒级配、性能指标应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177的有关规定，具体比例应符合表4.2.3要求。

**表4.2.3 建（构）筑用再生粗骨料颗粒级配**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公称粒径/mm | | 累计筛余/% | | | | | | | |
| 方孔筛筛孔边长/mm | | | | | | | |
| 2.36 | 4.75 | 9.50a | 16.0 | 19.0 | 26.5 | 31.5 | 37.5 |
| 单粒粒级 | 5~8 | 95~100 | 80~100 | 0 | — | — | — | — | — |
| 5~10 | 95~100 | 80~100 | 0~15 | 0 | — | — | — | — |
| 10~16 | — | 95~100 | 80~100 | 0~15 | — | — | — | — |
| 10~20 | — | 95~100 | 85~100 |  | 0~15 | 0 | — | — |
| 16~25 | — | — | 95~100 | 55~70 | 25~40 | 0~10 | — | — |
| 16~31.5 | — | 95~100 | — | 85~100 | — | — | 0~10 | 0 |
| 连续粒级 | 5~16 | 95~100 | 85~100 | 30~60 | 0~10 | 0 | — | — | — |
| 5~20 | 95~100 | 90~100 | 40~80 | — | 0~10 | 0 | — | — |
| 5~25 | 95~100 | 90~100 | — | 30~70 | — | 0~5 | 0 | — |
| 5~31.5 | 95~100 | 90~100 | 70~90 | — | 15~45 | — | 0~5 | 0 |

注： “—”表示该孔径累计筛余不作要求；“0”表示该孔径累计筛余为0。

a 对于单粒粒级为5mm~8mm规格的再生粗骨料，该方孔筛筛孔边长应为8.00mm。

**4.2.4** 再生细骨料的颗粒级配、性能指标应符合现行国家标准《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176的有关规定。具体比例应符合表4.2.4要求。

**表4.2.4 建（构）筑用再生细骨料颗粒级配**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 级配区 | 1级配区 | 2级配区 | 3级配区 |
| 方筛孔尺寸/mm | 累计筛余/% | | |
| 9.50 | 0 | 0 | 0 |
| 4.75 | 10~0 | 10~0 | 10~0 |
| 2.36 | 35~5 | 25~0 | 15~0 |
| 1.18 | 65~35 | 50~10 | 25~0 |
| 0.60 | 85~71 | 70~41 | 40~16 |
| 0.30 | 95~80 | 92~70 | 85~55 |
| 0.15 | 97~85 | 94~80 | 94~75 |

注： 再生细骨料的实际颗粒级配与表中所列数字相比，除4.75mm和0.60mm筛档外，可以超过，但各级累计筛余超出值总和不应大于5%。

**4.2.5** 再生骨料检验方法应按现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52有关规定执行。再生骨料应由专门的加工企业生产，工艺流程包括一次破碎加工和二次破碎加工。再生骨料中金属宜采用磁铁分离器加以去除，木屑、泥土、泥块应采用水洗加以去除。

**4.2.6** 再生骨料进场时，应按规定批次验收型式检验报告、出厂检验报告及合格证等质量证明文件。合格证内容应包括下列内容：

**1** 产品品种、规格、等级与批量编号。

**2** 生产厂名。

**3** 编号及日期。

**4** 供货数量。

**5** 性能检验结果。

**6** 检验人员与检验单位签字盖章。

**4.2.7** 再生骨料宜按类别、规格及日产量确定检验批次，日产量在2000t及2000t以下，每600t为一批，不足600t也为一批；日产量超过2000t，每1000t为一批,不足1000t也为一批；日产量超过5000t，每2000t为一批，不足2000t也为一批；对于工程施工废弃物来源相同，日产量不足600t的，可以以连续生产不超过3天且不大于600t为一检验批。

**4.2.8** 再生骨料的运输和堆放，应符合下列规定：

**1** 不同类别、不同粒径的再生骨料应分别运输和堆放。

**2** 再生骨料和天然骨料不得混合。

**3** 再生骨料的运输与堆放应防止混入泥土和其他可能改变其品质的杂质。

**4** 再生骨料的生产部门应做好废混凝土相关信息的采集与记录工作，主要应包括拆除结构的用途、服役时间和原始混凝土强度等级等。

**4.2.9** 再生骨料的主要技术指标应符合本规程和现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177和《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176规定。制备混凝土用再生骨料应同时符合现行行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240相关规定。

**4.2.10** 尾矿再生细骨料技术指标应符合GB/T 14684的要求，分为I类、II类和III类。按细度模数可分为粗、中、细三种规格，其细度模数分别为粗砂3.7~3.1；中砂3.0~2.3；细砂2.2~1.6。具体性能指标参考表4.2.10。

**表4.2.10 尾矿再生骨料性能标准**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 | 试验方法 |
| 石粉含量（按质量计）/% | MB值≤1.4（合格） | <3.0 | <5.0 | <7.0 | 按照GB/T 14684中规定的石粉含量与MB值试验方法执行 |
| MB值>1.4（不合格） | <1.0 | <3.0 | <5.0 |
| 泥块含量/% | | 0 | <1.0 | <2.0 | GB/T 14684 |
| 单级最大压碎指标/% | | ≤20 | ≤25 | ≤30 | GB/T 14684 |
| 表观密度/（kg/m3） | | >2500 | | | GB/T 14684 |
| 空隙率/% | | ≤46 | | | GB/T 14684 |

**4.3 再生骨料混凝土**

**4.3.1** 再生骨料混凝土所用各种水泥应符合本规程第4.1.2条的规定。为控制生产再生骨料混凝土所用水泥的质量，在使用前应复检其质量指标。

**4.3.2** 再生骨料混凝土所用再生粗骨料进场时应具有质量证明文件，并应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177的有关规定。

**4.3.3** 当使用再生骨料设计更高强度等级再生混凝土时，应通过试验对其结果做出可行性评定。各类再生骨料混凝土强度等级合理使用范围应符合表4.3.3的规定。

**表4.3.3 再生骨料混凝土强度等级使用范围**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别名称 | 强度等级 | 用途 |
| 砌体用再生骨料混凝土 | C20  C25  C30 | 主要用于再生骨料混凝土制品 |
| 道路用再生骨料混凝土 | C30  C35  C40 | 主要用于道路路面 |
| 结构用再生骨料混凝土 | C30  C35  C40 | 主要用于承重构件 |

**4.3.4** 基于性能的再生骨料混凝土配合比设计应符合下列规定：

**1** 满足工作性能要求。

**2** 满足强度要求。

**3** 满足耐久性能要求。

**4** 满足经济性要求。

**4.3.5** 再生骨料混凝土所用天然骨料应具有质量证明文件，并应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52的有关规定。

**4.3.6** 再生骨料混凝土拌和用水应符合现行行业标准《混凝土拌和用水标准》JGJ 63的有关规定，不得使用海水拌制钢筋再生骨料混凝土。

**4.3.7** 再生骨料混凝土中宜掺加粉煤灰、矿渣粉、硅粉等矿物掺合料，其质量应符合国家现行有关标准的规定。

**4.3.8** 再生骨料混凝土所用外加剂应符合下列规定：

**1** 再生骨料混凝土所用的外加剂应符合国家现行有关标准的规定。

**2** 外加剂进场时应具有质量证明文件。对进场外加剂应按批进行复检，复检项目应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119的有关规定，复检合格后再使用。

**5 再生骨料技术要求**

**5.1 分类和规格**

**5.1.1** 混凝土用再生粗骨料（以下简称再生粗骨料）按性能要求可分为Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类。

**5.1.2** 再生粗骨料按粒径尺寸分为连续粒径和单粒径。连续粒径分为5mm~16mm、5mm~20mm、5mm~25mm和5mm~31.5mm四种规格，单粒径分为5mm~10mm、10mm~20mm和16mm~31.5mm三种规格。

**5.1.3** 混凝土和砂浆用再生细骨料（以下简称再生细骨料）按性能要求可分为Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类。

**5.1.4** 再生细骨料按细度模数分为粗、中、细、特细四种规格，其细度模数*Mx*分别为：

**1** 粗：*Mx*=3.7~3.1。

**2** 中：*Mx*=3.0~2.3。

**3** 细：*Mx*=2.2~1.6。

**4** 特细：*Mx*=1.5~0.7。

**5.2 颗粒级配**

**5.2.1** 再生粗骨料部分或完全取代天然粗骨料时，粗骨料的颗粒级配应符合表5.2.1的规定。

**表5.2.1 再生粗骨料颗粒级配**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公称粒径/mm | | 累计筛余/% | | | | | | | |
| 方孔筛筛孔边长/mm | | | | | | | |
| 2.36 | 4.75 | 9.50 | 16.00 | 19.00 | 26.50 | 31.50 | 37.50 |
| 连续粒径 | 5~16 | 95~100 | 85~100 | 30~60 | 0~10 | 0 |  |  |  |
| 5~20 | 95~100 | 90~100 | 40~80 | — | 0~10 | 0 |  |  |
| 5~25 | 95~100 | 90~100 | — | 30~70 | — | 0~5 | 0 |  |
| 5~31.5 | 95~100 | 90~100 | 70~90 | — | 15~45 | — | 0~5 | 0 |
| 单粒径 | 5~10 | 95~100 | 80~100 | 0~15 | 0 |  |  |  |  |
| 10~20 |  | 95~100 | 85~100 |  | 0~15 | 0 |  |  |
| 16~31.5 |  | 95~100 |  | 85~100 |  |  | 0~10 | 0 |

**5.2.2** 再生细骨料除属于特细类外，Ⅰ类再生细骨料的累计筛余应符合表5.2.2-1中2区的规定，分计筛余应符合表5.2.2-2的规定；Ⅱ类和Ⅲ类再生细骨料的累计筛余应符合表5.2.2-1的规定。再生细骨料的实际颗粒级配除4.75mm和0.60mm筛档外，可以超出，但各级累计筛余超出总和不应大于5%。Ⅰ类再生细骨料的细度模数应为2.3~3.2。

**表5.2.2-1 再生细骨料累计筛余**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 方孔筛尺寸/mm | 累计筛余/% | | |
| 1区 | 2区 | 3区 |
| 4.75 | 5~0 | 5~0 | 5~0 |
| 2.36 | 35~5 | 25~0 | 15~0 |
| 1.18 | 65~35 | 50~10 | 25~0 |
| 0.60 | 85~71 | 70~41 | 40~16 |
| 0.30 | 95~80 | 92~70 | 85~55 |
| 0.15 | 97~85 | 94~80 | 94~75 |

**表5.2.2-2 再生细骨料分计筛余**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 方孔筛尺寸/mm | 4.75a | 2.36 | 1.18 | 0.60 | 0.30 | 0.15b | 筛底 |
| 分计筛余/% | 0~10 | 10~15 | 10~25 | 20~31 | 20~30 | 5~15 | 0~20 |

注：a 4.75mm筛的分计筛余不应大于5%；

b 对于MB>1.4的再生细骨料，0.15mm筛和筛底的分计筛余之和不应大于25%。

**5.3 微粉含量和泥块含量**

**5.3.1** 再生粗骨料的微粉含量和泥块含量应符合表5.3.1的规定。

**表5.3.1 再生粗骨料微粉含量和泥块含量**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 微粉含量（按质量计）/ % | ＜1.0 | ＜2.0 | ＜3.0 |
| 泥块含量（按质量计）/ % | ＜0.5 | ＜0.7 | ＜1.0 |

5.3.2 根据亚甲蓝试验结果的不同，再生细骨料的微粉含量应符合表5.3.2-1的规定，泥块含量应符合表5.3.2-2的规定。

**表5.3.2-1 再生细骨料微粉含量**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项 目 | 亚甲蓝值(MB) | 微粉含量（按质量计）/ % |
| Ⅰ类 | MB≤0.5 | ≤15.0 |
| 0.5<MB≤1.0 | ≤10.0 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ⅰ类 | 1.0<MB≤1.4或快速试验合格 | ≤5.0 |
| MB>1.4或快速试验不合格 | ≤1.0 |
| Ⅱ类 | MB≤1.0 | ≤15.0 |
| 1.0<MB≤1.4或快速试验合格 | ≤10.0 |
| MB>1.4或快速试验不合格 | ≤3.0 |
| Ⅲ类 | MB≤1.4或快速试验合格 | ≤15.0 |
| MB>1.4或快速试验不合格 | ≤5.0 |

**表5.3.2-2 再生细骨料泥块含量**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 泥块含量（按质量计）/ % | ≤0.2 | ≤1.0 | ≤2.0 |

**5.4 吸水率和含水率**

**5.4.1** 再生粗骨料的吸水率应符合表5.4.1的规定，当需方对含水率提出要求时，应出示其实测值。

**表5.4.1 再生粗骨料吸水率**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 吸水率（按质量计）/ % | ＜3.0 | ＜5.0 | ＜8.0 |

**5.4.2** 再生细骨料的吸水率和含水率，当需方提出要求时，应出示其实测值。

**5.5 针片状颗粒含量**

**5.5.1** 再生粗骨料的针片状颗粒含量应符合表5.5.1的规定。

**表5.5.1 再生粗骨料针片状颗粒含量**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 针片状颗粒含量（按质量计）/ % | ＜10 | | |

5.5.2 Ⅰ类再生细骨料的片状颗粒含量不应大于10%。

**5.6 有害物质含量**

**5.6.1** 再生粗骨料中有害物质含量应符合表5.6.1的规定。

**表5.6.1 再生粗骨料有害物质含量**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 有机物 | 合格 | | |
| 硫化物及硫酸盐（折算成SO3，按质量计）/ % | ＜2.0 | | |
| 氯化物（以氯离子质量计）/ % | ＜0.06 | | |

5.6.2 再生细骨料中如含有云母、轻物质、有机物、硫化物及硫酸盐或氯盐等有害物质，其含量应符合表5.6.2的规定。

**表5.6.2 再生细骨料有害物质含量**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 云母（质量分数）/ % | ≤1.0 | ≤2.0 | |
| 轻物质（质量分数）/ % | ≤1.0 | | |
| 有机物 | 合格 | | |
| 硫化物及硫酸盐（按SO3质量计）/ % | ≤0.05 | | |
| 氯化物（以氯离子质量计）/ % | ≤0.01 | ≤0.02 | ≤0.06 |

**5.7 杂物含量**

**5.7.1** 再生粗骨料中的杂物含量应符合表5.7.1的规定。

**表5.7.1 再生粗骨料杂物含量**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 杂物含量（按质量计）/ % | ＜1.0 | | |

**5.8 坚固性**

**5.8.1** 采用硫酸钠溶液法进行试验，再生骨料经5次循环后，其质量损失应符合表5.8.1的规定。

**表5.8.1 坚固性指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 再生粗骨料质量损失 / % | ＜5.0 | ＜10.0 | ＜15.0 |
| 再生细骨料质量损失 / % | ≤8.0 | ≤8.0 | ≤10.0 |

**5.9 压碎指标**

**5.9.1** 再生粗骨料的压碎指标值应符合表5.9.1的规定。

**表5.9.1 再生粗骨料压碎指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 压碎指标 / % | ＜12 | ＜20 | ＜30 |

**5.9.2** 再生细骨料的压碎指标值应符合表5.9.2的规定。

**表5.9.2 再生细骨料压碎指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 单级最大压碎指标 / % | ＜20 | ＜25 | ＜30 |

**5.10 表观密度和空隙率**

**5.10.1** 再生粗骨料的表观密度和空隙率应符合表5.10.1的规定。

**表5.10.1 再生粗骨料表观密度和空隙率**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
| 表观密度 / (kg/m3) | ＞2450 | ＞2350 | ＞2250 |
| 空隙率 / % | ＜47 | ＜50 | ＜53 |

5.10.2 除特细类型外，再生细骨料表观密度应不小于2500 kg/m3；再生细骨料空隙率应不大于44%。

**5.11 松散堆积密度**

**5.11.1** 再生细骨料的松散堆积密度应不小于1400 kg/m3。

**5.12 碱集料反应**

**5.12.1** 经碱集料反应试验后，由再生骨料制备的试件无裂缝、酥裂或胶体外溢等现象，膨胀率应小于0.10%。

**5.13 再生胶砂需水量比**

**5.13.1** 再生胶砂需水量比应符合表5.13.1的规定。

**表5.13.1 再生粗骨料表观密度和空隙率再生胶砂需水量比**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | | | Ⅱ类 | | | Ⅲ类 | | |
| 细 | 中 | 粗 | 细 | 中 | 粗 | 细 | 中 | 粗 |
| 需水量比 | ＜1.35 | ＜1.30 | ＜1.20 | ＜1.55 | ＜1.45 | ＜1.35 | ＜1.80 | ＜1.70 | ＜1.50 |

**5.14 再生胶砂强度比**

**5.14.1** 再生胶砂强度比应符合表5.14.1的规定。

**5.14.1 再生胶砂强度比**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | Ⅰ类 | | | Ⅱ类 | | | Ⅲ类 | | |
| 细 | 中 | 粗 | 细 | 中 | 粗 | 细 | 中 | 粗 |
| 强度比 | ＞0.80 | ＞0.90 | ＞1.00 | ＞0.70 | ＞0.85 | ＞0.95 | ＞0.60 | ＞0.75 | ＞0.90 |

**6 再生骨料混凝土技术要求**

**6.1 再生骨料普通混凝土**

**6.1.1** 再生骨料普通混凝土的拌合物性能、力学性能、长期性能和耐久性能、强度检验评定及耐久性检验评定等，应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164的规定。

**6.1.2** 再生骨料普通混凝土的轴心抗压强度标准值（*fck*）、轴心抗压强度设计值（*fc*）、轴心抗拉强度标准值（*ftk*）、轴心抗拉强度设计值（*ft*）、轴心抗压疲劳强度设计值（*fcf*）、轴心抗拉疲劳强度设计值（*ftf*）、剪切变形模量（*Gc*）和泊松比（*νc*）均可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的相关规定取值。

**6.1.3** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料配制的混凝土，其受压和受拉弹性模量（*Ec*）可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定取值。其他情况下配制的再生骨料混凝土，其弹性模量宜通过试验确定，在缺乏试验条件或技术资料时，可按湖南省标准《建筑垃圾再生骨料技术规程》DBJ 43/T383的规定取值。

**6.1.4** 再生骨料普通混凝土的温度线膨胀系数（*ac*）、比热容（*c*）和导热系数（*λ*）宜通过试验确定。当缺乏试验条件或技术资料时，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《民用建筑热工设计规范》GB 50176的规定取值。

**7 施工要求**

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 混凝土施工宜采用预拌混凝土。原材料计量宜采用电子计量设备。计量设备的精度应符合现行国家标准《混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171的有关规定。

**7.1.2** 混凝土搅拌机应符合现行国家标准《混凝土搅拌机》GB/T 9142的有关规定。混凝土搅拌宜采用强制式搅拌机。

**7.1.3** 在运输过程中，应控制混凝土不离析、不分层，并应控制混凝土拌合物性能满足施工要求。

**7.2 施工准备**

**7.2.1** 技术准备：熟悉施工工序内容、施工方案已批准、技术交底工作已进行、有可靠的试验检验和测试方法。

**7.2.2** 现场准备：具备生产所需临时设施，与相关单位做好现场交接工作。

**7.2.3** 劳动力准备：确定工程用工量并编制各专业劳动力计划表。

**7.2.4** 物资准备：包括工程材料和设备配置、周转材料和施工机具配置、计量测量和检验仪器配置。

**7.2.5** 组织准备：联络，指挥、协调系统已准备就绪，与社区、城管、交通、环境监管部门已协调并已办理必要的手续。

**7.3混凝土原材料**

**7.3.1** 再生骨料的主要技术指标应满足本规程第4章的相关规定，在配制混凝土时再生骨料的适用范围应符合以下要求：

**1** 再生骨料不得用于配制预应力混凝土。

**2** 再生骨料不得用于配制公路桥梁、隧道混凝土，用于道路底基层、基层和面层混凝土的再生骨料还应满足《公路水泥混凝土路面再生利用技术细则》(JTG/T F31)第7.3节的规定。

**3** Ⅰ类再生粗骨料应用不受强度等级限制。

**4** Ⅱ类产品指标要求的再生粗骨料限制可以用于配制不高于C40的再生骨料混凝土。

**5** Ⅲ类再生粗骨料仅可用于C25以下强度等级的混凝土,不宜用于配制有抗冻性要求的混凝土。

**6** Ⅰ类再生细骨料可用于配制C40及以下强度等级的混凝土。

**7** Ⅱ类再生细骨料宜用于配制C25及以下强度等级的混凝土。

**8** Ⅲ类再生细骨料不宜用于配制结构混凝土。

**9** 再生粗、细骨料的其他要求。

**7.3.2** 用天然粗骨料和天然细骨料应符合本规程第4.3.5条的规定。

**7.3.3** 水泥宜采用通用硅酸盐水泥，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定；当采用其他品种水泥时，其性能应符合国家现行有关标准的规定。

**7.3.4** 拌合用水应符合本规程第4.3.6条的规定。

**7.3.5** 矿物掺合料应符合本规程第4.3.7条的规定。

**7.3.6** 外加剂应符合本规程第4.3.8条的规定。

**7.4混凝土配合比**

**7.4.1**  混凝土配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55和《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240的有关规定。使用再生骨料替代天然骨料配制混凝土，其配合比设计应符合以下要求：

**1** Ⅰ类再生粗骨料取代率不受限制。

**2** 当缺乏技术资料时，Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率一般不宜大于50%。

**3** 再生粗骨料和再生细骨料不宜同时掺用。

**7.4.2** 确定混凝土强度标准差（*σ*），可按下列规定进行。

**1** 不掺再生细骨料的混凝土，仅掺Ⅰ类再生粗骨料，*σ*可按现行行业规范《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定取值。

**2** 不掺再生细骨料的混凝土，Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率（*δg*）小于30%时，*σ*可按现行行业规范《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定取值。

**3**不掺再生细骨料的混凝土，Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率（*δg*）大于等于30%时，*σ*值应根据相同再生骨料掺量和砼强度等级的同品种再生骨料混凝土统计资料计算确定。

**4**不掺再生细骨料的混凝土，Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率（*δg*）大于等于30%时，当无统计资料时，其*σ*值可按表7.4.1的规定确定。

**表7.4.1 再生粗骨混凝土抗压强度标准差推荐值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 强度等级 | ≤C20 | C25、C30 | C35、C40 |
| *σ*（MPa） | 4.0 | 5.0 | 6.0 |

5掺用再生细骨料或同时掺用再生粗骨料和再生细骨料的混凝土，也应根据统计资料计算确定*σ*值。

**6** 掺用再生细骨料或同时掺用再生粗骨料和再生细骨料的混凝土，当无统计资料时，抗压强度标准差*σ*值也按表7.4.1取值。

**7.4.3** 计算基准混凝土配合比，应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的方法进行。外加剂和掺合料的品种和掺量应通过试验确定；在满足和易性要求前提下，再生骨料混凝土宜采用较低的砂率。

**7.4.4** 以基准混凝土配合比中的粗、细骨料用量为基础，并根据已确定的再生粗骨料取代率（*δg*）和再生细骨料取代率（*δs*），计算再生骨料用量。

**7.4.5** 通过试配及调整，确定再生骨料混凝土最终配合比，配制时，应根据工程具体要求采取控制拌合物坍落度损失的相应措施。

**7.4.6** 混凝土配合比应满足混凝土施工性能要求，强度以及其他力学性能和耐久性能应符合设计要求。

**7.5混凝土搅拌**

**7.5.1** 原材料投料方式应满足混凝土搅拌技术要求和混凝土拌合物质量要求。

**7.5.2**　混凝土搅拌的最短时间可按表7.5.2采用。

**表7.5.2 混凝土搅拌的最短时间（s）**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土坍落度 （mm） | 搅拌机型 | 搅拌机出料量（L） | | |
| ＜250 | 250～500 | ＞500 |
| ≤40 | 强制式 | 60 | 90 | 120 |
| ＞40且＜100 | 强制式 | 60 | 60 | 90 |
| ≥100 | 强制式 | 60 | | |

注： 混凝土搅拌的最短时间系指全部材料装入搅拌筒中起，到开始卸料止的时间。

**7.5.3** 对首次使用的配合比应进行开盘鉴定，开盘鉴定应包括以下内容：

**1** 混凝土的原材料与配合比设计所采用原材料的一致性。

**2** 出机混凝土工作性与配合比设计要求的一致性。

**3** 混凝土强度是否满足设计要求。

**4** 有特殊要求时，还应包括混凝土耐久性。

**7.6 混凝土的制备与运输**

**7.6.1** 混凝土的制备与运输能力满足混凝土浇筑工艺要求，预拌混凝土质量应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902的有关规定，并应满足施工工艺对坍落度损失、入模坍落度等的技术要求。

**7.6.2** 对同时供应同一工程分项的预拌混凝土，胶凝材料和外加剂、配合比应一致，制备工艺和质量控制水平应基本相同。

**7.6.3** 混凝土拌合物运输应采用混凝土搅拌运输车，运输车应根据施工现场实际情况具有防晒、防雨和保温措施。

**7.6.4** 运输和浇筑过程中，不应通过向拌合物中加水方式调整其性能。

**7.6.5** 运输程中坍落度损失或离析严重，经采取措施无法恢复混凝土拌合物工作性能时，不得浇筑入模。

**7.6.6** 再生骨料混凝土的运输时间系指从混凝土由搅拌机卸入运输车开始至该运输车开始卸料为止。当采用搅拌运输车运送混凝士时，宜在1h内卸料;当采用翻斗车运送混凝土时，宜在0.5h 内卸料。如需延长运送时间，则应采取相应的技术措施，并应通过试验验证。

**7.7 混凝土的浇筑和养护**

**7.7.1** 再生骨料混凝土的浇筑和养护应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的相关规定**。**

**1** 再生骨料混凝土浇筑方法可参考附录A.2节执行。

**2** 再生骨料混凝土宜进行二次收光，收光方法可参考附录A.2.3条执行。

**3** 再生骨料混凝土养护方法可参考附录A.2.4条执行。

**8 检验与验收**

**8.0.1** 再生骨料混凝土原材料进场检验、复验，混凝土制备过程中的质量检查，预拌混凝土进场的质量检验、复验，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的相关规定。

**8.0.2** 再生骨料混凝土的施工质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的相关规定。

**8.0.3** 再生骨料混凝土用于公路路面工程的施工质量验收应符合现行国家标准《公路水泥混凝土路面施工技术规范》JTG F30的相关规定。

**附录A 施工补充资料**

**A.1 再生骨料混凝土施工硬化中易出现的问题及原因分析**

**A.1.1** 气泡的出现常与下列因素有关：

**1** 原材料的原因。

**2** 配合比的原因。

**3** 生产的原因。

**4** 施工、浇筑的原因。

**5** 脱模剂的原因。

**6** 模板的原因。

**7** 养护上的原因。

**A.1.2** 水化纹的常见因素：

**1** 混凝土拌合物的保水性差。

**2** 混凝土浇筑时落距过大。

**3** 再生骨料因钢筋的阻碍发生离析，形成水花纹。

**4** 在混凝土浇筑混凝土下料太厚，混凝土保水性不好时，泛水翻浆没有结束又浇筑上新的混凝土，使混凝土内部孔隙水压增大产生水花痕迹。

**5** 施工下料速度过快，水无法排出，长时间积聚形成水膜。到了一定程度上浮，形成水花纹。

**6** 模板上有水渍或明水，使混凝土表面产生饱和水，造成混凝土局部泌水，形成水花纹。

**A.1.3** 蜂窝、麻面的常见原因如下：

**1** 混凝土粘度大。

**2** 振捣力度不足。

**3** 每层布料厚度过大。

**4** 混凝土浆骨分离。

**5** 混凝土含气量损失大。

**6** 外加剂引气剂品质差。

**A.1.4** 色差出现的原因：

**1** 混凝土原材料质量不稳。

**2** 模板的原因。

**3** 脱模剂的原因。

**4** 再生骨料的原因。

**5** 混凝土入模后的状态受结构物内部钢筋的阻碍，导致离析分层，骨料局部堆积，形成色差或水纹。

**A.1.5** 裂缝的出现常与下列因素有关：

**1** 混凝土干燥收缩。

**2** 混凝土塑性收缩。

**3** 混凝土沉降收缩。

**4** 混凝土自收缩。

**5** 混凝土化学收缩。

**6** 混凝土温度收缩。

**A.1.6** 混凝土墩身砂线主要是由于混凝土泌水，积存在模板边上，水沿模板向下流，在流动过程中将混凝土中的胶凝材料浆体带走而形成。砂线主要存在以下几个方面的原因：

**1** 混凝土中砂和碎石的级配不合格，配合比不合理。

**2** 模板状况较差。

**3** 振捣过度。

**4** 雨天施工。

**5** 混凝土浇筑时下料高度过高，使混凝土产生离析泌水。

**A.1.7** 浮浆层产生的原因如下：

**1** 混凝土浇筑过程中，坍落扩展度太大，浆体过多。

**2** 细集料中细颗粒的含量相对较少，拌合站没有依据原材料的变化及时调整混凝土砂率，造成混凝土的和易性不好。

**3** 混凝土的入模时状态和易性虽然很好，但是入模后，由于落距过大、钢筋过密，钢筋的阻隔，造成入模后的混凝土状态离析，浆体上浮在表面形成浮浆、发泡层。

**A.2 施工过程质量控制**

**A.2.1** 浇筑过程中需要质量控制的事项如下：

**1** 浇筑前注意事项如下：

**1**） 混凝土浇筑前，应清除模板内以及垫层上的杂物.

**2**） 浇筑前应事先浇水湿润。

**3**） 模板、钢筋、保护层和预埋件的尺寸、规格、数量和位置，其偏差值应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）（2013版）的有关规定。

**4**） 模板支撑的稳定性以及接缝的密合情况，也影响混凝土质量。

**5**） 应根据季节和气温，对泵管进行保温或隔热措施。

**2** 浇筑方式应注意如下事项：

**1**） 混凝土应一次连续、分层浇筑。上层混凝土应在下层混凝土初凝之前浇筑完毕。

**2**） 浇筑竖向尺寸较大的结构时，应分层浇筑，每层浇筑厚度宜控制在300mm~350mm。

**3** 浇筑时间的注意事项如下：

**1**） 混凝土运输、输送入模的过程应保证混凝土连续浇筑。

**2**） 为了更好地控制混凝土质量，混凝土还应以最少的运载次数和最短的时间完成运输、输送入模过程。

**3**） 混凝土从运输到输送入模的延续时间应符合表A.2.1的规定，可作为通常情况下的时间控制值。

**表A.2.1 运输到输送入模的延续时间（min）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 条件 | 气温 | |
| ≤25℃ | ＞25℃ |
| 不掺外加剂 | 90 | 60 |
| 掺外加剂 | 150 | 120 |

**4**） 混凝土浇筑过程中，因暴雨、停电等特殊原因无法继续浇筑的，或混凝土总间歇时间超过限值要求时，可临时留设施工缝。

**5**） 试配时应进行标准条件和同条件的凝结时间试验，生产过程中应进行同条件凝结时间的验证。

**4** 布料时应注意如下事项：

**1**） 混凝土浇筑时布料要均衡。

**2**） 布料时应采取减少混凝土下料冲击的措施，使混凝土布料点接近浇筑位置。

**5** 倾落高度的注意事项如下：

**1**） 应注意造成混凝土浇筑离析的关键步骤，例如混凝土下料方式、最大粗集料粒径以及混凝土倾落高度等。

**2**） 实践证明，泵送混凝土采用最大粒径不大于25mm的粗集料，且混凝土最大倾落高度控制在6m以内时，混凝土不会发生离析。

**3**） 柱、墙模板内的混凝土布料时，应注意倾斜高度。当混凝土自由倾落高度大于3.0m时（石粒径＞25mm）或6m（石粒径≤25mm）时，宜采用串筒、溜管或振动溜管等辅助设备，以保证混凝土的均匀性。

**6** 砂浆处理时应注意下列事项：

**1**） 润泵砂浆应采用集料斗等容器收集后运出，不得用于结构浇筑。

**2**） 接茬砂浆应采用同配合比混凝土的去石配合比生产，去石配合比生产时应适当减少用水量和外加剂用量，保证砂浆的稠度。

**3）** 接浆层厚度不应大于30mm，接茬砂浆泵出后应分散均匀布料，不得集中浇筑在一处。

**A.2.2** 振捣时需要注意事项如下：

**1** 振捣工具及振捣方式如下：

**1**） 一般结构混凝土通常使用振捣棒进行插入振捣，尤其是竖向结构以及厚度较大的水平结构振捣。

**2**） 对于厚度较小的水平结构或薄壁板式结构可采用平板振捣器进行表面振捣，也用于配合振动棒辅助振捣结构表面。

**3**） 竖向薄壁且配筋较密的结构或构件可采用附壁振动器进行附壁振动，通常在装配式结构工程的预制构件中采用，在特殊现浇结构例如自密实二衬混凝土中，也可采用附着振动器。

**2** 振捣注意事项如下：

**1**） 振捣工艺。

**2**） 振捣时间。

**3**） 振捣对底板混凝土强度有重要的影响。如果完全不振捣或振捣不到位，混凝土强度会大大降低。

**A.2.3** 收面又叫抹面，一般在混凝土初凝之前完成。收面是控制混凝土塑性收缩裂缝的重要手段之一，应注意如下事项：

**1** 混凝土抹面时，应至少进行两次搓压，最后一次搓压要把握恰当的时机，在混凝土泌浆结束、初凝前完成，可以防止混凝土表面起粉、塌陷。

**2** 必要时应进行二次以上的搓压，以减少混凝土的沉降及塑性干缩产生的表面裂缝。

**A.2.4** 养护工作应注意以下事项：

**1** 混凝土施工可采用洒水、覆盖保湿、喷涂养护剂、冬季蓄热养护等方法进行养护。这些养护方式可单独使用，也可以同时使用，应根据工程实际情况合理选择：

**1**） 洒水养护宜在混凝土裸露表面覆盖麻袋或草帘后进行，也可采用直接洒水、蓄水等养护方式，当日最低温度低于5℃时，不应采用洒水养护。

**2**） 覆盖养护宜在混凝土裸露表面覆盖塑料薄膜、塑料薄膜加麻袋、塑料薄膜加草帘进行，塑料薄膜应紧贴混凝土裸露表面，塑料薄膜内应保持有凝结水。

**3**） 喷涂养护剂养护，养护剂水溶性大，下雨前不宜喷刷；要及时喷涂养护剂；喷涂完养护剂后混凝土表面不能受潮，一般夏季0.5h成膜，冬季3h成膜。

**4**） 目前，新型养护技术有内养护剂和减蒸剂两种。

**2** 养护时机应注意以下：

**1**） 应尽可能边浇筑边养护，越早进行养护，养护效果越好。

**2**） 对于一些强度等级较高、用水量较低的混凝土，对浇筑的混凝土振捣抹平后应立即覆盖，减少混凝土表面失水。二次抹面时应边揭覆盖物边抹面，抹完面随即覆盖。

**3** 养护周期也是影响水泥水化程度的重要因素之一，应注意以下事项：

**1**） 养护应该从最早可能的时间开始，养护应持续一段时间，一般规定为7~14d。

**2**） 预拌混凝土掺加了大量的掺合料，应适当延长养护时间，以有利于混凝土的水化进程。

**4** 养护温度和湿度应注意以下事项：

**1**） 养护温度升高对水泥水化反应起着加速作用，负温下水泥水化几乎停止，必须保证混凝土的养护温度，控制好混凝土的内表温差，并做好保温工作。

**2**） 养护湿度对混凝土的收缩影响很大，因此必须要保证养护的湿度，以保证混凝土的水化所需要的水，减少混凝土的收缩。对于一些薄壁结构，更需要潮湿养护。

**A.2.5** 拆模时需要注意以下几个方面：

**1** 承受荷载时间，一般要求混凝土强度达到1.2MPa以上方可承受荷载。底模或支架拆除过早会使上面结构荷载和施工荷载对混凝土结构造成伤害的可能性增大。

**2** 模板支撑拆除应有强度依据，注意事项如下：

**1**） 对于早拆模板的情况，必须根据留置的同条件试件强度确定拆模时间。

**2**） 一般情况下，顶板混凝土的拆模要达到100%的强度时方可进行。

**3**） 柱子在养护2d之后可拆模，但应立即进行养护。

**4**） 墙体混凝土可适当延长拆模时间，避免在混凝土水化热温升最高时进行拆模，以防止出现温差裂缝。

**3** 应尽量避开大风天气或混凝土表面温度过高时拆模，建议选择一天中大气温度较高时拆模，以减少混凝土表面与大气温差。

**附录B 耐久性指标测试方法**

**B.1 混凝土透气性测试方法**

**B.1.1** 本方法使用常压稳态流量测定原理测量硬化混凝土的气体本征（固有）渗透率，确定混凝土对气体介质渗透的抵抗能力。

**B.1.2** 本试验方法适用于最大骨料粒径不超过25mm的混凝土材料气体渗透率的测量。试件可以在实验室内按标准方法进行制备。

**B.1.3** 本测试方法的气体渗透装置如图B.1.3所示。



图B.1.3 气体渗透设备图

1——高压氮气瓶；2——气路开关；3-1、3-2、3-3——减压阀；4——高精度数字绝对压力表；5——混凝土试件；6——PVC圆垫板；7——圆钢套；8——底板；9——充气橡胶囊；10——橡胶密封套；11——顶板；12——橡胶套进气嘴；13——渗透单元进气嘴；14——渗透单元出气嘴；15——底板螺栓；16——顶板螺栓；17——O形密封圈；18——皂膜或其他类型体积流量计；19——气路塑料管

**B.1.4** 试件制备与预处理，应符合下列规定：

**1** 气体渗透率测试所用试件规格为直径为100/150mm±1mm，标准厚度为50mm±2mm，每组取3个试件；端面平整度不超过0.1mm，垂直度偏差不超过3°。

**2** 气体渗透率测试所用混凝土试件可在试验室利用模具浇筑成型, 拌合均匀后的混凝土在模具中应充分振捣成型，在3天龄期拆模，并置于标准养护条件下（温度20℃±2℃，湿度95%以上）养护至56天龄期；然后使用岩石切割机从混凝土柱体中部切出厚度为50mm的圆饼试件，每个圆柱在中段至少切割出圆饼试件3个。

**3** 混凝土试件侧面采用环氧树脂来进行密封处理，尤其应封闭表面气孔并避免试件上下表面沾染环氧树脂，必要时待树脂固化之后可采用砂纸打磨掉沾染的环氧树脂并露出新鲜混凝土表面。采用游标卡尺在圆饼的平均分布的3个方向（120o）测量试件厚度（精确到0.02mm）并计算得到它们的平均值*h*（mm，精确到0.1mm）。若试件侧面较平整，也可采用自粘式铝箔等防水胶带来密封。

**4** 将圆饼试件置入60 ℃烘箱干燥7天（直径150mm）或者3天（直径100mm），然后将试件密封置于60℃烘箱中放置14天进行水分均衡，使水分在试件内部分布均匀，取出后再将圆饼试件置于温度为20℃±2℃、湿度为(65±5)%环境中24h。在干燥前后分别称取试件的质量，精确到0.1g。

**B.1.5** 试验步骤，应符合下列规定：

**1** 气体渗透率测试宜在恒温条件下进行。利用绝对压力表测量当地的绝对大气压力*P*0（MPa，精确到1kPa），利用温度计测量当前温度*T*（精确到0.1℃），同时查表确定所用气体的动粘度系数*μ*（Pa∙s）。

**2** 每个混凝土试件的测试过程应按照下列步骤进行：

**1**） 在底板8与圆钢套7的接合面垫上O形密封圈17并用底板螺栓15连接起来后在钢套7内置入充气橡胶囊9，将B.1.4中处理好的混凝土试件5上下表面垫上PVC圆垫板6、套上橡胶密封套10后轻轻压入充气橡胶囊9中，垫上O形密封圈17、盖上顶板11并用螺栓16紧固。

**2**） 在高压钢瓶出气口连接减压阀3-1进行第一次减压，采用三通将气流一分为二，其中一路气流由调压阀3-3调至需要的压力并经高精度绝对压力表4与底板8的进气口13相连；另一路气流经调压阀3-2调整至需要的压力后与圆钢套7侧面的进气口12连接；在顶板11的下游出气口14处用气密软管连接气体体积流量计18。

**3**） 利用减压阀3-1将高压气体调压至1MPa左右，再打开连接充气橡胶囊9的调压阀3-2并调整压力至0.7MPa给橡胶囊9充气，之后打开与底板8上进气口13连接的调压阀3-3给试件下表面施加一定气压压力，每隔20min利用体积流量计18测量一次气体流量，待前后两次测量结果相差小于1％时记录所得流速Q即为稳态体积流速。

**4**） 调整与进气口13连接的调压阀3-3来改变试件下表面施加的气体压力，按步骤**3**的方法分别测量试件在0.15MPa、0.20MPa、0.30MPa、0.40MPa进气压力下的稳态流量。

**5**） 关闭高压气瓶阀门并给充气橡胶囊9放气，之后打开顶板11，揭开试件5上表面的PVC圆垫板6，将混凝土试件5连同橡胶密封套10一起取出后即可更换试件，或结束测试。

**B.1.6** 试验结果，应符合下列规定：

**1** 混凝土试件的表观气体渗透率可根据每个进气压力水平（0.15MPa～0.40MPa）下记录的稳定流量*Q*按照式（B.1.6-1）计算，

 (B.1.6-1)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中， | ——混凝土表观气体渗透率（m2）； |
| *P*atm | ——试验当时、当地的绝对大气压力（Pa）； |
| *P* | ——底板进气口的绝对气体压力（Pa）； |
| *P*m | ——上下游气体压力均值（Pa），等于（P＋Patm）/2； |
| *Q* | ——下游出气口气体体积流量（m3/s）； |
| *L* | ——试件平均厚度（m）； |
|  | ——气体的动力粘度（Pa∙s）； |
| *A* | ——试件断面横截面积（m2）。 |

**2** 混凝土试件的本征渗透率可根据同一试件至少4个不同压力水平下的表观渗透率进行计算得到，按照式（B.1.6-2）对不同压力下的 1/*P*m 与表观渗透率 *k*a 进行线性回归拟合，

 (B.1.6-2)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中，*b* | ——气体的边界滑流系数（Klinkenberg）（Pa）； |
| *k*0 | ——截距，为所测试件的本征渗透率，精确到0.1×10-18 m2。 |

**3** 混凝土透气性测量的试验报告应记录混凝土材料的配合比、试验日期和试件的数量与编号。对每个试件，应记录试件的厚度（精确到0.1mm）、试件在干燥前后的质量（精确到0.1g）、在不同压力水平下的表观渗透率*k*a（精确到0.1×10-18m2）以及回归得到的材料本征渗透率*k*0（精确到0.1 ×10-18m2）。

**B.2 混凝土透水性测试方法**

## B.2.1 渗水高度法

**1** 本方法适用于以测定硬化混凝土在恒定水压力下的平均渗水高度来表示的混凝土抗水渗透性能。

**2** 试验设备应符合下列规定：

**1**） 混凝土抗渗仪应符合现行行业标准《混凝土抗渗仪》JG/T 249的规定，并应能使水压按规定的制度稳定地作用在试件上，抗渗仪施加水压力范围应为（0.1～2.0）MPa。

**2**） 试模应采用上口内部直径为175mm、下口内部直径为185mm和高度为150mm的圆台体。

**3**） 密封材料宜用石蜡加松香或水泥加黄油等材料，也可采用橡胶套等其它有效密封材料。

**4**） 梯形板（图B.2.1）应采用尺寸为200mm×200mm透明材料制成，并应画有十条等间距、垂直于梯形底线的直线。



图B.2.1 梯形板示意图（mm）

**5**） 钢尺的分度值应为1mm。

**6**） 钟表的分度值应为1min。

**7**） 辅助设备应包括螺旋加压器、烘箱、电炉、浅盘、铁锅和钢丝刷等。

**8**） 安装试件的加压设备可为螺旋加压或其它加压形式，其压力应能保证将试件压入试件套内。

**3** 抗水渗透试验应按照下列步骤进行：

**1**） 应先按第3章规定的方法进行试件的制作和养护，抗水渗透试验应以6个试件为一组。

**2**） 试件拆模后，应用钢丝刷刷去两端面的水泥浆膜，并应立即将试件送入标准养护室进行养护。

**3**） 抗水渗透试验的龄期宜为28d，应在到达试验龄期的前一天，从养护室取出试件，并擦拭干净，待试件表面晾干后，进行试件密封。

**4**） 试件准备好之后，应启动抗渗仪，并开通6个试位下的阀门，使水从6个孔中渗出，水应充满试位坑，在关闭6个试位下的阀门后应将密封好的试件安装在抗渗仪上。

**5**） 试件安装好以后，应立即开通6个试位下的阀门，应使水压在24h内恒定控制在（1.2±0.05）MPa，且加压过程不应大于5min，应以达到稳定压力的时间作为试验记录起始时间（精确至1min），在稳压过程中随时观察试件端面的渗水情况，当有某一个试件端面出现渗水时，应停止该试件的试验并应记录时间，并应以试件的高度作为该试件的渗水高度，对于试件端面未出现渗水的情况，应在试验24h后停止试验，并及时取出试件，在试验过程中，当发现水从试件周边渗出时，应重新按本规程第6.1.3条的规定进行密封。

**6**） 将从抗渗仪上取出来的试件放在压力机上，并应在试件上下两端面中心处沿直径方向各放一根直径为6mm的钢垫条，并应确保它们在同一竖直平面内，然后开动压力机，应将试件沿纵断面劈裂为两半，试件劈开后，应用防水笔描出水痕。

**7**） 应将梯形板放在试件劈裂面上，并用钢尺沿水痕等间距量测10个测点的渗水高度值，读数应精确至1mm，当读数时遇到某测点被骨料阻挡时，可以靠近骨料两端的渗水高度算术平均值来作为该测点的渗水高度。

**4** 试验结果计算及处理应符合下列规定：

**1**） 试件渗水高度应按下式进行计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （B.2.1-1） |

式中：——第个试件第个测点处的渗水高度（mm）；

——第个试件的平均渗水高度（mm）。应以10个测点渗水高度的平均值作为该试件渗水高度的测定值。

**2**） 一组试件的平均渗水高度应按下式进行计算。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （B.2.1-2） |

## 式中：——一组6个试件的平均渗水高度（mm）。应以一组6个试件渗水高度的算术平均值作为该组试件渗水高度的测定值。

## B.2.2 逐级加压法

**1** 本方法适用于通过逐级施加水压力来测定以抗渗等级来表示混凝土的抗水渗透性能。

**2** 仪器设备应符合本规程第6.1节的规定。

**3** 试验步骤应符合下列规定：

**1**） 首先应按本规程第6.1.3条的规定进行试件的密封和安装。

**2**） 试验时，水压应从0.1MPa开始，以后应每隔8h增加0.1MPa水压，并应随时观察试件端面渗水情况，当6个试件中有3个试件表面出现渗水时，或加至规定压力（设计抗渗等级）在8h内6个试件中表面渗水试件少于3个时，可停止试验，并应记下此时的水压力。在试验过程中，当发现水从试件周边渗出时，应按本标准第6.1.3条的规定重新进行密封。

**4** 混凝土的抗渗等级应以每组6个试件中有4个试件未出现渗水时的最大水压力乘以10来确定。混凝土的抗渗等级应按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （B2.2-1） |

式中：——混凝土抗渗等级；

——6个试件中有3个试件渗水时的水压力（MPa）。

**本规程用词说明**

**1** 为了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：

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：

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，在条件允许时首先这样做的：

正面词采用“宜”，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** 规程中指明应按其他有关标准执行的，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**中国土木工程学会标准**

再生骨料混凝土应用技术规程

T/CCES XX－2024

条 文 说 明

**制订说明**

《再生骨料混凝土应用技术规程》T/CCES XXX-2024，经中国土木工程学会2024年XX月XX日以学标XXXXX号函文批准发布。

本规程制订过程中，编制组进行了国内外广泛的调查研究，总结了我国近年来在再生骨料和再生骨料混凝土领域的实践经验，同时参考了相关先进技术法规、技术标准，通过试验（再生骨料强化试验）取得了强化再生骨料的重要技术参数。

为便于广大检测、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，本规程编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。需要注意的是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

**目 次**

1 总则 41

4 材料 42

4.1 一般规定 42

4.2 再生骨料 42

4.3再生骨料混凝土 43

7施工要求 45

7.1 一般规定 45

7.2 施工准备 45

7.3 混凝土原材料 46

7.4 混凝土配合比 47

7.5 混凝土搅拌 49

7.6 混凝土的制备与运输 49

7.7 混凝土的浇筑和养护 50

8检验与验收 51

8.1 一般规定 51

附录A 施工补充资料 52

附录B 耐久性指标测试方法 59

**1 总则**

**1.0.1**  结构

我国现行的再生骨料混凝土结构设计和施工技术标准，是对我国现行技术标准体系的重要补充。

**1.0.3** 再生骨料强化方法根据其原理可以分为三种，第一种是采用加热、机械研磨及浸泡酸溶液等处理方法剥离旧砂浆强化，其二是通过裹浆处理、微生物矿化沉积及碳化等处理方法来增强旧砂浆达到强化目的，其二可以通过浸渍聚合物乳液使再生骨料表面疏水隔离也能起到强化作用。

**1.0.4** 没有经过强化处理的再生骨料，满足满足现行国家标准中再生骨料规定指标和相应等级，应按现行国家标准中再生骨料在混凝土和砂浆中的使用要求执行。

**4 材料规定**

**4.1 一般规定**

**4.1.2** I类再生粗骨料品质已经基本达到或接近常用天然粗骨料的品质，其应用不受强度等级限制；为充分保证结构安全，规定Ⅱ类再生粗骨料用于配制强度等级不高于C40的再生骨料混凝土；Ⅲ类再生粗骨料由于品质相对较差，可能对结构混凝土或较高强度再生骨料混凝土性能带来不利影响，规定其用于配制强度等级不高于C25的再生骨料混凝土，由于Ⅲ类再生粗骨料吸水率等指标相对较高，因此不宜用于有抗冻要求的混凝土。

**4.1.4** I类再生细骨料主要技术性能已经基本达到或接近常用天然砂的品质，但是由于再生细骨料中往往含有水泥石颗粒或粉末，而且目前采用再生细骨料配制混凝土的应用实践相对较少，因此对再生细骨料在混凝土中的应用比再生粗骨料限制严格。Ⅲ类再生细骨料由于品质较差，不宜用于混凝土。

**4.1.6** 由于工程施工废弃物来源的复杂性、各地固废回收产业发展程度差异和加工处理的客观条件限制，生产出来的再生骨料会有一些指标例如微粉含量、骨料级配等，不能满足现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177或《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176的有关要求，这些再生骨料尽管不宜用来配制再生骨料混凝土用于结构混凝土，但是完全可以配制垫层等非结构用混凝土。因此，为了扩大工程施工废弃物的消纳利用范围，提高固废利用率，此处作了较为宽松的规定。

**4.2 再生骨料**

**4.2.1** 现场分类回收是指在现场设置临时施工堆场区域，对废弃物进行人工分类，分别将已分类的废弃物进行处理，场外分类回收是指混合施工废弃物直接运输到场外的废弃物分拣中转站。

**4.2.2** 基于现有的研究和工程实践经验，以及对废混凝土回收利用经济性与再生粗骨料性能要求的考虑，本规范规定了暂时不适于回收利用的废混凝土：如轻骨料混凝土、有严重的碱-骨料反应的混凝土及产生冻融破坏的混凝土；有害物质含量超标的废混凝土不可回收；受到严重污染的混凝土不可回收，如沿海港口工程混凝土、核电站混凝土、医院放射间混凝土等。

**4.2.3~4.2.4** 规定了再生骨料的颗粒级配、性能指标应符合相应标准要求。再生粗骨料的各项品质指标均劣于普通粗骨料，因此对再生粗骨料各项品质指标的要求，在普通粗骨料各项品质指标要求的基础上适当放宽。

**4.2.5** 废混凝土来源广，杂质多，因此再生粗骨料的加工工艺较普通粗骨料的加工工艺更复杂。根据全国示范生产线工艺并参考国外有关标准，规定了再生粗骨料的加工工艺，主要工艺过程为破碎、筛分，必要时要除去不纯物，调整粒度及水洗等。一次破碎的加工设备可采用颚式破碎机，二次破碎加工设备可采用圆锥破碎机。

**4.3 再生骨料混凝土**

**4.3.1** 再生骨料混凝土所用原料应符合的标准要求。为控制再生骨料混凝土的质量，其所用原材料必须符合国家现行有关标准，原材料在使用前应按国家现行有关标准复检其质量指标。再生骨料混凝土所用原材料应符合下列国家现行标准的规定：

**1** 再生粗骨料应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177的有关规定；再生细骨料应符合现行国家标准《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 的有关规定。

**2** 天然粗骨料和天然细骨料应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52的有关规定。

**3** 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的有关规定；当采用其他品种水泥时，其性能应符合相应标准规定，不同水泥不得混合使用。

**4** 拌合水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的有关规定。

**5** 矿物掺合料应分别符合现行国家标准或现行行业标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046、《混凝土和砂浆用天然沸石粉》JG/T 3048或《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736的有关规定。

**4.3.2** 根据国外经验，为了便于使用和比较，再生粗骨料的试验方法与普通粗骨料或轻粗骨料基本上是统一的，因此，本标准规定的再生粗骨料取样、缩分、筛分、表观密度等检验方法全部按我国普通粗骨料的国家标准执行；氯盐含量检验方法按我国轻骨料的国家标准执行；金属、塑料、沥青等杂质含量和砖类含量的检验方法，则参照国外再生粗骨料通用的方法。再生粗骨料除颗粒级配、表观密度、含泥量、吸水率、压碎指标、泥块含量及针、片状含量外，微粉含量、孔隙率和砖类含量对再生骨料混凝土的物理力学性能有显著影响，这一点也是再生骨料混凝土与普通混凝土的区别之一。因此，除了必须检验普通粗骨料的必检项目，还需检验再生粗骨料的微粉含量、空隙率和砖类含量。

**4.3.3** 根据国内同类标准和规程的经验，主要规定了再生骨料混凝土强度等级的定义及其划分原则。按用途将再生骨料混凝土划分为砌块、道路和结构用再生骨料混凝土三大类，分别规定了各类混凝土的强度等级和合理使用范围。砌体用再生骨料混凝土可用于墙用砌块、铺地砌块、装饰砌块、护坡砌块和筒仓砌块等；少量再生骨料混凝土可用于导墙、门窗和过梁等小型预制构件，要求强度等级大于C20;专业工厂生产的再生骨料混凝土可用于建筑工程的主体结构。

**4.3.4** 再生混凝土偏心受压、局部受压、轴心受拉、偏心受拉、受扭、受冲切等工况下，力学承载力可参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的相关公式进行计算。由于来源的复杂性，再生骨料中氯离子含量、三氧化硫含量可能高于天然骨料。由于氯离子含量等对混凝土尤其是钢筋混凝土的耐久性影响较大，所以本规范并没有将掺用了再生骨料的混凝土中氯离子含量、三氧化硫含量要求降低，而是严格执行现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476的有关规定。

**7 施工要求**

**7.1 一般规定**

**7.1.1~7.1.2** 鼓励采用预拌方式生产。

**7.1.3** 混凝土在运输工程中保持均匀性，使运输线路短直、道路平坦、车辆行使平稳，防止造成混凝土分层离析。混凝土在运输过程中需要不停搅拌，在浇筑前需要检测坍落度。

**7.2 施工准备**

**7.2.1** 预拌再生骨料混凝土施工技术准备工作总体和预拌普通混凝土施工要求一样，本条主要从施工方案、技术交底、试验检验等方面进行说明：

**1** 施工前根据项目特征和施工方法、工艺要求等，必须编制相应的施工方案。施工方案应充分考虑项目所在区域天气、季节变化情况。如：夏季高温、冬雨期施工应采取的各项降温、防寒、防裂等技术措施，以确保混凝土施工质量。在台风和寒流等突然袭击之际，有保证混凝土顺利进行浇筑的技术措施。

1） 由项目部提供完整的施工方案， 提交公司技术部门审查。

2） 公司技术部门依据项目提供的信息对施工方案进行审核，形成审核意见发往项目部。

3） 项目部必须按照公司技术部门形成的审核意见修改完善施工方案，并对审核意见作出书面回复，再反馈公司技术部门复查。

4） 施工方案经公司技术部门复查通过后，填写复查意见，并组织工程（质量）部门、安全部门会签。

5） 完成内审程序后报送项目监理单位进行审批，审定合格后填写施工方案报审表并签章。

6） 经监理审批同意并且手续齐全的施工方案方可实施。

7） 施工组织设计在实施过程中发生重大变更，必须重新编制并按上述程序办理审批手续。一般变更应进行修订，由项目部填写施工组织设计修改记录，经原审核审批部门批准。

**2** 按照施工方案所确定的施工工艺流程，流水作业段的划分，浇筑程序与方法，混凝土运输与布料方式、方法以及质量标准，安全施工等，进行交底。

**3** 钢筋、模板、预埋件已安装完毕，并完成了各项检验和质量验收，标高线等已检验合格，伸缩缝、沉降缝，后浇带或加强带支挡所需要的准备已完成。

**7.2.2** 现场临时设施主要包含施工道路，施工场地，水、电、照明已布设，施工脚手架、安全防护搭设已完毕。

**7.2.3** 劳动力计划中各专业人员到位。需持证上岗的人员需经培训，证件完备。

**7.2.4** 再生骨料混凝土施工物资准备应做好以下几点：

**1** 再生骨料混凝土供应已落实，相应的配套设备、计量仪器仪表、所需的各种辅助材料供应渠道已落实，并已进入现场。

**2** 混凝土输送泵及泵管已布设并试车。

**3** 施工所需要的机械设备、仪表、机具、工具等均已备齐，测温元件或测温埋管，已备好，并检验合格。

**4** 根据季节施工特点，应准备好在浇筑过程中所必须的抽水设备及防雨、防寒、降温、防裂等措施所需的物资。

**7.3混凝土原材料**

**7.3.1** 本条参考《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240中内容，明确用于配制混凝土的各类再生骨料的适用范围，为了便于工程人员使用，对标准条文进行了简化，并将条文说明原文抄录于下：

**1** 再生骨料往往会增大混凝的收缩，由此可能增大预应力损失，所以本规程从严规定不得用于预应力混凝土。

**2** 建筑工程和公路工程用混凝土在原材料、性能和施工要求等方面存在一定的区别，因此，限制再生骨料在公路桥梁、隧道结构混凝土中的使用，用于道路底基层、基层和面层混凝土的再生骨料应同时满足本规程第4章和《公路水泥混凝土路面再生利用技术细则》(JTG/T F31)第7.3节的规定。在实际应用中，应根据具体工程需求选择合适的混凝土类型，并按照相应的施工要求进行操作，以保证工程质量和安全。

**3** 由于Ⅰ类再生粗骨料品质已经基本达到常用天然粗骨料的品质，所以其应用不受强度等级限制。

**4** 为充分保证结构安全，达到Ⅱ类产品指标要求的再生粗骨料限制可以用于配制不高于C40的再生骨料混凝土，目前我国国内如北京、青岛等地再生骨料混凝土在实际工程中应用已经达到了C40；

**5** Ⅲ类再生粗骨料由于品质相对较差，可能对结构混凝土或较高强度再生骨料混凝土性能带来不利影响，所以限制其仅可用于C25以下的再生骨料混凝土，且由于吸水率等指标相对较高，所以Ⅲ类再生粗骨料不宜用于有抗冻要求的混凝土。本规程所说混凝土均指符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010规定的混凝土。  
 国外相关标准对再生骨料混凝土强度应用范围也有类似限定，例如对于近似于我国Ⅱ类再生粗骨料配制的混凝土，比利时限定为不超过C30，丹麦限定为不超过40MPa，荷兰限定为不超过C50（荷兰国家标准规定再生骨料取代天然骨料的质量比不能超过20％）。

**6**~**7** 尽管Ⅰ类再生细骨料主要技术性能已经基本达到常用天然砂的品质，但是由于再生细骨料中往往含有水泥石颗粒或粉末，而且目前采用再生细骨料配制混凝土的应用实践相对较少，所以对再生细骨料在混凝土中的应用比再生粗骨料限制严格一些。

**8** Ⅲ类再生细骨料由于品质较差，不宜用于结构混凝土,可用于配制垫层等混凝土。

**9** 选择再生骨料还应考虑生产工艺控制和质量管理要求，并符合有关环境保护的规定，其要求至少包含以下内容：

1） 再生骨料宜选择可靠的供应商或来源，确保原材料的质量和供应的稳定性。

2） 再生粗、细骨料堆场应有遮雨设施，再生粗、细骨料应按不同品种、规格分别堆放，不得混入杂物。

**7.3.2~7.3.6** 总体上和普通混凝土的要求一样。

**7.4混凝土配合比**

**7.4.1** 本条参考了《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240中内容，明确用于配制再生骨料混凝土的各类的原材料的配合比要求，对原标准条文进行了分类归纳，并将条文说明原文抄录于下：

**1** Ⅰ类再生粗骨料品质较好，可以按照常用天然粗骨料来使用，所以其取代率可不受限制。

**2** 近年来各相关企业积累的实践经验表面，对于C30、C40混凝土，再生粗骨料掺量一般为50%以内为宜，这样较容易控制和易性及保证强度。所以，在缺乏实践经验情况下来计算配合比参数，Ⅱ类、Ⅲ类再生骨料的取代率一般不宜大于50%。

**3** 一般不宜同时掺用再生粗骨料和再生细骨料，因为这样操作的交互影响因素过多，对配制技术要求较高，且再生细骨料易导致混凝土坍落度损失加快。所以为了保险起见，在目前实践经验较少、没有经过试验验证的情况下，暂不提倡同时掺用再生粗、细骨料，尤其是如果已经掺用了Ⅲ类再生粗骨料时，则不宜再掺入再生细骨料；如果同时掺用，必须进行充分的试验验证。

**7.4.2** 本节明确再生骨料混凝土强度标准差的取值，内容也参考了《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240，对原文中标准条文和条文说明容易解读错误的地方归纳如下：

**1** 对于不掺再生细骨料，仅掺Ⅰ类再生粗骨料的混凝土，由于Ⅰ类再生粗骨料品质已经相当于天然骨料，所以可以视其为常规混凝土。抗压强度标准差σ可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定执行。

**2** 对于不掺再生细骨料，如果掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料，但是取代率小于30%，由于在生骨料掺用较小，对混凝土性能影响很有限，此时也可以视为常规混凝土。抗压强度标准差*σ*可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定执行。

**3** 对于不掺再生细骨料，如果Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率大于等于30%时，由于建筑垃圾来源的复杂性、再生骨料品质的离散性导致其对混凝土性能的影响相应增大，这种情况下，根据统计资料计算时，为了更好的保证统计数据的代表性，本规程规定强度试件组数提高到不小于30组（《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011要求是不小于25组），且为了保证再生骨料混凝土配制强度具有较好的富余度，进一步降低再生骨料离散性带来的影响，本规程对σ计算值的最低限值作出了相应的下限要求。

1）对于强度等级小于等于C20的混凝土，当*σ*计算值大于等于3.0Mpa时，应按计算结果取值；当*σ*计算值小于3.0MPa时，*σ*应取3.0MPa；

2）对于强度等级大于C20且小于等于C40的混凝土，当*σ*计算值大于等于4.0Mpa时，应按计算结果取值；当*σ*计算值小于4.0MPa时，*σ*应取4.0MPa；

**4** 对于不掺再生细骨料，如果Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率大于等于30%时，当无统计资料时，其*σ*值可按表7.4.1确定。表7.4.1取值比计算值的最低限值相应增大，目的是保证无统计资料时的配制强度富余度足够。

**5** 掺用再生细骨料或同时掺用再生粗骨料和再生细骨料的混凝土，混凝土强度的影响因素往往更为复杂，此时，也应根据统计资料计算确定*σ*值。计算时，强度试件组数同样提高到不小于30组，*σ*要取计算值和表7.4.1中对应值中的大者，取值要求更高。

**6** 掺用再生细骨料或同时掺用再生粗骨料和再生细骨料的混凝土，当无统计资料时，抗压强度标准差*σ*也按表7.4.1取值。此处规定偏严格的目的就是为了充分保证再生细骨料复杂影响情况下的配制强度。

**7.4.3** 配制再生骨料混凝土离不开外加剂，尤其建议选择使用氨基磺酸盐、聚羧酸盐等减水率较高的高效减水剂，这对保证再生骨料混凝土性能具有较明显优势。由于再生骨料的微粉含量等往往高于天然骨料，有可能影响混凝土强度和耐久性；砂率较高也会影响混凝土强度和耐久性，所以适当降低砂率可以在一定程度上弥补再生骨料带来的不利影响。因此，在设计基准混凝土配合比时，宜采用较低的砂率。

**7.5混凝土搅拌**

**7.5.1~7.5.3** 总体上和普通混凝土的要求一样。鉴于再生骨料表观密度普遍大于天然骨料混凝土、再生骨料的内摩力较大、再生骨料混凝土离散性较普通混凝土大，因此对再生骨料混凝土的浇筑、振捣的要求适当加强，并建议采用机械振捣。

**7.6 混凝土的制备与运输**

**7.6.1** 再生骨料混凝土的制备有预拌和现场搅拌两种情况，鼓励采用预拌方式生产，本规程同时提供现场制备再生骨料混凝土的工艺流程，由于建筑废弃物来源较复杂，各地加工处理条件不一样，再生骨料混凝土应根据具体的工程要求和再生骨料的特性来确定相适应的工艺流程。现场制备再生骨料混凝土基本流程包括（但不局限于）以下几个步骤：

图7.2.1-1现场配制再生骨料混凝土流程图

【流程说明：】

**1** 再生骨料混凝土是通过对废弃的混凝土进行处理，选择的混凝土应为强度达到指定要求的混凝土，符合要求的骨料应为均匀、无石包、裂口、泥土块等石子。

**2** 挑选出符合要求的废旧混凝土块之后，对混凝土块进行清洗处理，将杂质去除，至留下符合规格的骨料。

**3** 清洗处理之后的废旧混凝土块需要进行破碎和筛分处理，先使用破碎机将混凝土进行破碎，再经过筛分机进行筛分处理。处理后得到不同规格的骨料，供后续加工使用。

**4** 将以上三道工序处理得到的再生骨料按一定比例混合，再加入天然骨料、水泥和水进行搅拌，得到再生骨料混凝土。

**5** 混凝土搅拌完成后需要进行固化处理，常用水养固化和湿浸固化

**7.6.2~7.6.6** 总体上和普通混凝土的要求一样。

**7.7 混凝土的浇筑和养护**

**7.7.1** 总体和普通混凝土的要求一样。 由于再生骨料混凝土对干燥收缩更为敏感，预防混凝土早期收缩开裂尤为重要，所以对于再生骨料混凝土应特别加强早期养护。

**8 检验与验收**

**8.0.1** 再生骨料混凝试块强度评定不合格时，可根据国家现行有关标准采用回弹法、超声回弹综合法、钻芯法、后装拔出法等推定结构混凝土的强度,通过检测得到的推定强度可作为判断结构是否需要处理的依据。

**附录A 施工补充资料**

**A.1 再生骨料混凝土施工硬化中易出现的问题及原因分析**

**A.1.1** 气泡出现的原因分析包含以下内容：

**1** 水泥中的助磨剂；粉煤灰脱硫、脱硝带进的多余氨；砂、石级配不合理、外加剂中的引气成分。

**2** 配合比设计与现场原材料不匹配，没有及时予以调整。

**3** 搅拌机搅拌裹进的空气。

**4** 下料速度过快，带进部分空气，厚度过大，不利气泡排出。

**5** 脱模剂质量较差，粘度大，吸附气泡，不利于气泡排出。

**6** 模板表面质量较差，不光滑，黏附气泡。

**7** 蒸汽养护，温度过高，导致混凝土拌合物中的小气泡体积膨胀成大气泡，未排出来形成气泡。

**A.1.3** 解决蜂窝、麻面问题包含以下对策：

**1** 降低混凝土粘度。

**2** 布料厚度不大于20cm。

**3** 加大振捣力度。

**4** 减少混凝土自由落差。

**5** 提高混凝土和易性。

**6** 改善外加剂配方，防止大气泡的产生和气泡的外逸。

**A.1.4** 色差出现的原因分析如下：

**1** 水泥中的粉煤灰是燃煤电厂排出的主要固体废物，是从煤燃烧后的烟气中搜捕下的细灰。在生产过程中，当发电机开机负荷不够时，为使煤充分燃烧，电力更足，厂家会加入部分柴油或重油，未完全燃烧的油残留会被粉煤灰中的碳颗粒吸收，在浇筑混凝土的时候随着拌合水泌出，导致混凝土表面出现油迹。

**2** 特别是使用次数较多的模板会由于清理除锈不彻底，脱模剂涂刷不均匀，造成混凝土表面色差，锈迹斑斑，影响观瞻。

**3** 质量较好的脱模剂使混凝土外观质量增色，但价格昂贵。施工队伍为降低成本，用劣质脱模剂甚至是一些废旧的机油替代脱模剂，加上涂刷不均。致使混凝土脱模后，在混凝土表面形成色差。

**4** 再生碎石来源不定。这个地方来一车，那个地方来一车，造成质量不稳定。来自不同地方的再生骨料混在一起使用，难免形成混凝土色差。

不同原因导致的色差应采取以下处理措施：

**1** 在进行粉煤灰验收时，首先进行外观质量检查。但我们国家的规范的检测项目只能对粉煤灰的性能指标进行检验，无法判断含油情况。有必要对外观颜色较深的粉煤灰取样进行溶水试验，有油残留的粉煤灰溶于水后，表面会出现一层明显的油渍。如图A.1.4左侧烧杯内的情况所示。



图A.1.4 粉煤灰进行溶水试验图

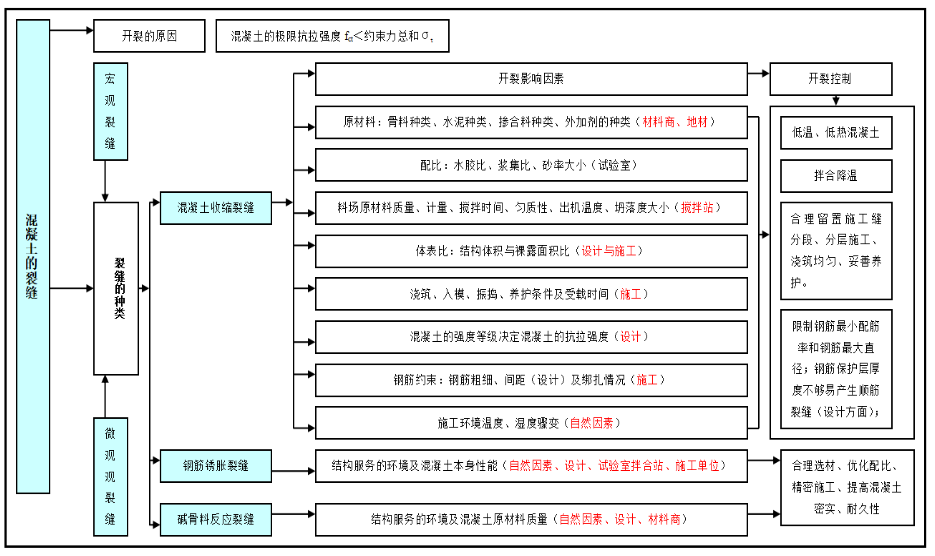
**2** 模板清理尽可能地彻底，除锈完全。避免因锈迹的存在，脱模后在混凝土表面形成锈迹斑斑的色差。

**3** 尽可能地使用质量好的脱模剂，少用或不用劣质脱模剂。纠正用废旧机油代替脱模剂的做法，减少混凝土色差的出现。

**4** 同一个结构物所用的混凝土，生产时粗细骨料尽可能地保证同一个地方的料源，胶凝材料尽可能地使用同厂家的同批材料。

**5** 入模后的混凝土尽可能地保证状态的稳定性，避免离析出现。

**A.1.5** 裂缝的原因分析及对策如图A.1.5所示，针对原因应采取以下对策：



图A.1.5 裂缝的原因分析及对策

**1** 延长湿养护时间，降低水胶比、降低砂率、降低细粉材料用量，增加骨料用量、降低坍落度等。

**2** 及早开始湿养护，二次振捣、二次抹面。

**3** 提高模板刚度、提高支撑力度、夯实地面。

**4** 加强湿养护、提高水胶比，提高掺合料掺量。

**5** 避免使用收缩量大的水泥。

**6** 布设降温管、降低混凝土温度、减少水泥。

**A.1.6** 混凝土砂线时混凝土表面出现的露砂现象。砂线虽然不影响结构物的强度，却影响墩身混凝土的的外观，给人一种视觉瑕疵。

**1** 混凝土配合比设计时砂石料级配不均匀，不能达到致密状态。另外，为了便于混凝土的浇筑施工，配合比设计时的水胶比较大，保水性差。随着水胶比的加大，混凝土中胶凝材料浆体流出的可能性增大，为砂线的形成提供了条件。

**2** 模板表面不平整、接缝不严，混凝土浇筑振捣后水泥浆会从缝隙出漏出，致使混凝土表面缺少胶凝浆体而形成砂线。在现场施工中发现，还有一部分砂线形成的原因是由于模板上的残留砂浆等污物造成的。

**3** 过高的水胶比会降低混凝土的耐久性。在配合比设计和施工中应严格控制水胶比。但是，在浇筑过程中，混凝土的流动性不足时，施工工人往往通过提高振捣强度、延长振捣时间来取得振捣效果。但是过度的振捣会使混凝土集料按粒径大小分层，从而破环原有级配产生严重的离析，离析出的水会从模板内侧流下带走浆体中的胶凝材料，形成砂线。

**4** 雨天浇筑混凝土时很难防止雨水进入模板。大量的雨水进入模板后，致使浆体变稀，水胶比增大，被稀释的浆体沿着模板内侧流下，形成砂线。

**5** 墩身施工时，工人图省事，直接从模板上部直接浇筑（吊装或泵送）最终造成集料级配破坏产生严重的离析现象，而离析出的水从模板内侧流下带走浆体，形成砂线。

改进措施包含以下几个方面：

**1** 精心设计混凝土配合比，选用合格的原材料，合理选择配合比，使混凝土水胶比在满足施工的前提下尽可能地小。

**2** 及时处理模板间的接缝或模板法兰盘和面板间的接缝。对于模板法兰盘和面板间的接缝可以通过原子灰封堵，模板间的接缝可采用模板间贴高级双面胶，再拧紧连接螺栓的办法解决。

**3** 熟练掌握振捣技术。混凝土应分层摊铺，分层振捣。分层厚度30cm~50cm。垂直振捣或振捣棒于混凝土成40°~50°角，插入深度30cm~40cm为好，振捣时间为20s~30s，以混凝土不再出现气泡，不再落沉，表面呈浮浆状态为宜。振捣棒插捣要均匀，移动距离不宜大于振捣棒作用半径的1.5倍，振捣棒要快插慢拔。

**4** 避免雨天施工：混凝土要尽量避免雨天施工，施工过程中遇到大雨应停止施工，遇到小雨要做好防雨措施。

**A.1.7** 浮浆层的改进措施及建议如下：

**1** 严格控制细集料质量，细度模数控制在2.3~2.7范围内，级配在II区。依据细集料的实际细度模数，拌合站生产时，进行砂率调整，确保混凝土的和易性。

**2** 混凝土的坍落扩展度不宜过大或过小，控制在600mm~680mm之间较好。太小时，混凝土不易充填密实；太大，混凝土表面容易出现浮浆和泡沫层。

**3** 混凝土生产所用的减水剂最好采用先消泡再引气的工艺，消除有害的汽泡，再适当引起，以保证混凝土拌合物和易性良好，不泌水、不离析。

**A.2 施工过程质量控制**

**A.2.1** 浇筑

**1** 浇筑前注意事项

**2**） 表面干燥的地基土、垫层、木模板具有吸水性，会造成混凝土表面失水过多，容易产生外观质量问题。

**3**） 如模板失稳或跑模会打乱混凝土浇筑节奏，影响混凝土质量；支模质量差对混凝土外观质量有直接影响，顶板支撑刚度不够，会造成顶板不均匀沉降产生裂缝，甚至坍塌。

**2** 浇筑方式

**2**） 厚度过大不利于混凝土的振捣，会造成混凝土气泡不易排出，影响混凝土强度和外观质量。

**3** 浇筑时间

混凝土运输过程中会因交通等原因而产生时间间歇，运输到现场的混凝土也会因为输送等原因而产生时间间歇，在混凝土浇筑过程中也会因为不同部位浇筑及振捣工艺要求而减慢输送产生的时间间歇。应根据设计及施工要求，通过试验确定允许时间。

搅拌站多数采用缓凝型的外加剂，因此建议通过不同条件下混凝土凝结时间，以及坍落度经时损失情况来确定延续时间和间歇时间限值。

大体积混凝土应考虑大体量条件下温升和水泥水化反应的相互促进作用情况，充分延长凝结时间。坍落度经时损失应控制在合理的范围内，以保证混凝土的流动性。并应设定科学的现场调整方法，对损失过大的混凝土进行调整，在时间限值内完成浇筑。

**4** 布料

**1**） 应能使布料设备均衡而迅速地进行混凝土下料浇筑，同时避免集中堆放或不均匀布料造成模板和支架过大的变形。布料设备是指安装在输送泵管前端，用于混凝土浇筑的布料机或布料杆等。

**2**） 采用串筒、溜槽、溜管等辅助装置可以减少混凝土下料冲击，但其下料端的尺寸只需比输送泵管或布料设备的端部尺寸略大即可，如果端口直径过大或过宽，反而容易造成混凝土浇筑离析。

**5** 倾落高度

混凝土浇筑倾落高度是指浇筑结构的高度加上混凝土布料点距本次浇筑结构顶面的距离。

**A.2.2** 混凝土的振捣过程实质上是把夹杂在混凝土内的空气排除出去而得到尽可能致密结构的过程。搅拌施工过程中夹杂进去的大气泡约占1%，其孔径大，对混凝土的强度不利，充分的振捣可以有效减少其数量，增加混凝土密实度。

振捣应能使模板内各个部位混凝土密实、均匀，不应漏振、欠振或过振。混凝土漏振、欠振影响混凝土密实性；过振容易造成混凝土离析泌水，粗集料下沉，水浮到粗集料的下方和水平钢筋的下方，混凝土硬化后会在这些部位留下孔隙，这些孔隙减弱了粗集料的界面黏结力和与钢筋的黏结强度，成为混凝土中的薄弱点，产生不均匀的混凝土结构。

**1** 混凝土振捣工具有插入式振捣棒、平板振动器或附着振动器。

**2** 振捣注意事项如下：

**1**） 应按分层浇筑厚度分别进行振捣，振动棒的前端应插入前一层混凝土中，插入深度不应小于50mm，以保证两层混凝土间能进行充分的结合，使其成为一个连续的整体；振动棒应垂直于混凝土表面并快插慢拔均匀振捣。

**2**） 振捣时间要适宜，避免混凝土密实不够或分层。当混凝土表面无明显缺陷、有水泥浆出现、不再冒气泡时，应结束该部位的振捣。例如可按拌合物坍落度和振捣部位等不同情况，控制在10s~30s内。大坍落度混凝土应防止混凝土泌水离析或浆体上浮，振捣后的混凝土表面不应出现明显的浮浆层。对于坍落度较小的混凝土构件可适当延长振捣时间，当混凝土拌合物表面出现泛浆，基本无气泡溢出，可视为捣实。

**3**） 对于一些施工过程管理不严的底板浇筑通常是这样的：混凝土靠自然流淌进行分层，混凝土从出泵口出来后长时间固定在一处，操作人员用振捣棒振动和推动混凝土向远处流淌，混凝土从出泵口到底板低端自然形成了一个斜面。由于浇筑的不连续性，这个斜面浇筑一层后，过几十分钟或更长时间再浇筑下一层，这样就形成了一层压一层像“千层饼”一样，各层之间尽管不会出现冷缝，但会有一个明显的界限，上层混凝土流淌过程中会将气泡裹挟在上下层混凝土的界面上，形成混凝土强度的薄弱环节。这种情况下，如果经过正常的振捣，界面会消失，气泡会排出，并不影响混凝土强度。

**A.2.4** 混凝土养护是水泥水化及混凝土硬化正常发展的重要条件，浇筑后应及时进行保湿养护。混凝土养护是降低失水速率（补充水分），防止混凝土产生裂缝，确保达到混凝土各项力学性能和耐久性能的重要措施。若混凝土养护不好会造成混凝土强度低、裂缝、碳化大等一系列问题，必须充分重视养护工作。

**1** 养护方式

**1**） 混凝土洒水养护应根据温度、湿度、风力情况、阳光直射条件等，观察不同结构混凝土表面，确定洒水次数，确保混凝土处于饱和湿润状态。

**2**） 覆盖养护的原理是通过混凝土的自然温升在塑料薄膜内产生凝结水，从而达到湿润养护的目的。同时薄膜可以阻止混凝土水分因风吹日晒而从表面蒸发。覆盖养护可以预防混凝土早期失水，是非常好的养护措施。

**3**） 养护剂是一种涂膜材料，喷涂于混凝土表面，形成致密的薄膜，与空气隔绝，水分不再蒸发从而利用自身水分最大限度地完成水化作用，达到养护目的。养护剂按成膜材料分：水玻璃类、乳化石蜡类、氯乙烯－偏氯乙烯共聚乳液类、有机无机复合胶体类。

由于现场条件下养护剂的效果不易评价，因此在选择养护剂时，应进行实际对比试验，以选择效果好的养护剂。但由于部分施工人员操作技能不达标或缺乏责任心，涂刷（喷涂）养护剂造成成本大幅上涨及某些混凝土部位表面并不适合使用养护剂等因素，导致养护剂的实际应用面不广，应用效果不尽如人意。

**4**） 混凝土内养护剂是一种新型的养护剂，为直接掺入混凝土中的高吸水性物质，可明显地提高混凝土保水性。内养护剂将混凝土中的自由水吸附到自身分子内部，从而减小自由水的蒸发量。随着水化反应的进行，高吸水性物质将释放出其吸附的自由水供水泥进行继续水化。提高混凝土后期强度增长幅度。

减蒸剂（混凝土水分蒸发抑制剂）应在振捣找平后立刻进行喷洒。减蒸剂主要利用两亲性化合物在混凝土表面形成单分子膜来降低水分蒸发，大幅度减少由于失水过快而引起的混凝土塑性收缩开裂、结壳和发黏等现象，从而达到改善混凝土质量、提高服役性能的目的。适用于蒸发速率大于泌水速率的塑性混凝土表面，尤其适用于高温、大风和低湿等恶劣环境条件，大面积摊铺（如机场）和大尺寸薄板（如楼面、桥面）等混凝土在塑性阶段的养护。

**2** 传统观念上，混凝土的养护是在浇筑完毕，首次抹面后开始进行的。但对于现代混凝土的养护，因为水胶比低、用水量少以及矿物掺合料用量大等原因，应尽量缩短浇筑完毕和养护开始的时间间隔，减少混凝土裸露时间，以控制混凝土温湿度。

**2**） 这种混凝土的养护以覆盖减少失水为主，只要不失水，混凝土的裂缝就能得到很好的控制。虽然洒水养护更好，但这种混凝土由于其拌合物的密实度已经很大，外界的水很难进到混凝土内部，因此防止其失水效果更好。

**3** 潮湿养护期越长，混凝土强度越高。完全潮湿养护、潮湿养护一定龄期后暴露于空气中、不养护等几种养护情况对混凝土的强度发展有不同的影响。不同养护温度下，养护时间不同混凝土强度发展也不同。

北京市政路桥集团所属预制混凝土公司李彦昌、王海波等曾经做过C70超早强抗扰动混凝土，在浇筑拉平即覆盖养护，几乎没有可见裂缝。由于强度发展太快，如果等到用抹刀收面后再覆盖，则裂缝已经开始形成，二次抹面起不到作用。

**4** 养护温度和湿度

**2**） 养护湿度。水泥的水化只有在饱和条件下方能充分地进行。当毛细管中水蒸气压力降至饱和湿度的80%时，水泥的水化几乎停止，因此养护湿度是影响水泥水化程度的重要因素之一，对强度影响十分显著。对于一些薄壁结构，更需要潮湿养护。因为薄壁混凝土毛细管水很容易蒸发而失水，导致混凝土水化减慢或停止。同时混凝土干燥收缩会造成过渡区界面缝的扩展，进一步降低了混凝土的强度。暴露在风中的混凝土收缩要远远大于干养护的混凝土，干养护（相对湿度一般小于50%）时，混凝土收缩较湿养护大一倍。

**A.2.5** 拆模

**1** 混凝土在未达到一定强度时，踩踏、堆放荷载、安装模板及支架等会破坏混凝土的内部结构，导致混凝土产生裂缝。

**2** 模板早拆时，可参考《模板早拆施工技术规程》（DB 11/T 694-2021）的方法。

**附录B 耐久性指标测试方法**

**B.1 混凝土透气性测试方法**

**B.1.3** 其中，高压氮气瓶应按照现行国家标准《钢质无缝气瓶》GB 5099中的规定执行，最低为工作压力2MPa；高精度数字绝对压力表，量程1MPa，精度不低于1kPa；气体体积流量计，量程0.1 mL/min ~100 mL/min，精度不低于1%。

**B.2 混凝土透水性测试方法**

**B.2.1** 渗水高度法

**3** 抗水渗透试验应按下列方法进行试件密封：

**1**） 当用石蜡密封时，应在试件侧面裹涂一层熔化的内加少量松香的石蜡。然后应用螺旋加压器将试件压入经过烘箱或电炉预热过的试模中，使试件与试模底平齐，并应在试模变冷后解除压力。试模的预热温度，应以石蜡接触试模，即缓慢熔化，但不流淌为准。

**2**） 用水泥加黄油密封时，其质量比应为（2.5～3）:1。应用三角刀将密封材料均匀地刮涂在试件侧面上，厚度应为（1～2）mm。应套上试模并将试件压入，应使试件与试模底齐平。

**3**） 试件密封也可以采用其它更可靠的密封方式。