****

**T/CECS XXX-202X**

中国工程建设标准化协会标准

固废基透水混凝土桩应用技术规程Technical specification for application of solid waste pervious concrete pile

（征求意见稿）

**中国XX出版社**

**中国工程建设标准化协会标准**

**固废基透水混凝土桩应用技术规程**Technical specification for application of solid waste pervious concrete pile

**T/CECS XXX-202X**

主编单位：山东大学

重庆大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月X日

**中国XX出版社**

**202X 北 京**

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2023〕10号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分8章和6个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、资料调查与地质勘察、材料、设计、施工、检验与验收等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会绿色建造专业委员会归口管理，由山东大学负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位山东大学（地址：山东省济南市历下区经十路17923号，邮政编码：250000，邮箱：cuixz@sdu.edu.cn），以供修订时参考。

**主编单位：**山东大学

重庆大学

**参编单位：**

**主要起草人**：

**主要审查人：**

目 次

[1 总则 1](#_Toc14001)

[2 术语和符号 2](#_Toc6509)

[2.1 术语 2](#_Toc21315)

[2.2 符号 3](#_Toc1486)

[3 基本规定 5](#_Toc31608)

[4 资料调查与地质勘察 7](#_Toc10826)

[4.1 一般规定 7](#_Toc1871)

[4.2 资料调查 7](#_Toc10494)

[4.3 地质勘察 8](#_Toc31274)

[5 材料 10](#_Toc685)

[5.1 一般规定 10](#_Toc22780)

[5.2 固废再生骨料 11](#_Toc6840)

[5.3 固废基胶凝材料 11](#_Toc2807)

[5.4 辅助材料 13](#_Toc20372)

[6 设计 16](#_Toc24732)

[6.1 一般规定 16](#_Toc29720)

[6.2 配合比设计 20](#_Toc31834)

[6.3 选型与布置 21](#_Toc6175)

[6.4 计算 25](#_Toc28964)

[7 施工 33](#_Toc17228)

[7.1 一般规定 33](#_Toc20126)

[7.2 施工准备 34](#_Toc6908)

[7.3 施工工艺 35](#_Toc20437)

[7.4 施工质量控制 39](#_Toc29858)

[7.5 安全与环境保护措施 39](#_Toc18592)

[8 检验与验收 41](#_Toc8226)

[8.1 一般规定 41](#_Toc3867)

[8.2 施工前检验 42](#_Toc20965)

[8.3 施工中检验 42](#_Toc18902)

[8.4 施工后检验 43](#_Toc4802)

[8.5 验收 45](#_Toc4277)

[附录A 渗透系数的测定方法 47](#_Toc3050)

[附录B 施工记录表 49](#_Toc32144)

[附录C 施工前质量检验标准 50](#_Toc30586)

[附录D 施工中质量检验标准 51](#_Toc29462)

[附录E 施工后质量检验标准 52](#_Toc614)

[附录F 施工质量验收记录表 53](#_Toc21374)

[用词说明 54](#_Toc4813)

[引用标准名录 55](#_Toc28171)

Contents

1 General Provisions 1

2 Terms and Symbols 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 3

3 Basic Requirements 5

4 Data Investigation and Geological Survey 7

4.1 General Requirements 7

4.2 Data Investigation 7

4.3 Geological Survey 8

5 Materials 10

5.1 General Requirements 10

5.2 Solid Waste Aggregate 11

5.3 Solid Waste Cementitious Material 12

5.4 Supplementary Materials 14

6 Design 17

6.1 General Requirements 17

6.2 Design of Mix Proportion 21

6.3 Selection and Layout of Piles 22

6.4 Calculation 26

7 Construction 34

7.1 General Requirements 34

7.2 Construction Preparation 35

7.3 Construction Technology 36

7.4 Construction Quality Control 40

7.5 Safety and Environmental Protection Measures 40

8 Inspection and Acceptance 42

8.1 General Requirements 42

8.2 Inspection before Construction 43

8.3 Inspection during Construction 43

8.4 Inspection after Construction 44

8.5 Acceptance 46

Appendix A The Test Method of Permeability Coefficient 48

Appendix B Construction Records 50

Appendix C Standards for Quality Inspection before Construction 51

Appendix D Standards for Quality Inspection during Construction 52

Appendix E Standards for Quality Inspection After Construction 53

Appendix F Construction Quality Acceptance Records 54

Explanation of Wordig 55

List of Quoted Standards 56

# 1 总则

**1.0.1** 为了规范固废基透水混凝土桩技术的工程应用，做到安全适用、技术先进、保护环境、节约资源，制定本规程。

**条文说明**

固废基透水混凝土桩是利用固废材料替代部分水泥和骨料制备而成的环保型透水混凝土桩，在具备普通透水混凝土桩功能的同时，具有较高的环保性和经济性。该技术已在济青高速改扩建、深海高速改扩建、济南绕城高速大西环等十几项工程中应用，结合固废基透水混凝土桩应用的实践经验与现行相关国家及行业技术标准,制定本规程，以指导固废基透水混凝土桩工程的材料、设计、施工、检验与验收。

**1.0.2** 本规程适用于固废基透水混凝土桩的材料、设计、施工、检验与验收。

**1.0.3**  固废基透水混凝土桩的材料、设计、施工和质量检验与工程验收，应综合分析场地工程地质条件、使用功能、荷载特征和环境条件等影响因素，遵循因地制宜、就地取材、保护环境和节约资源的原则，选择合适的材料，确定技术方案。

**条文说明**

本条强调了固废基透水混凝土桩应用应考虑的各种主要因素,以保证固废基透水混凝土桩做到安全适用、经济合理、质量可控。

**1.0.4** 固废基透水混凝土桩除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程标准化协会有关标准的规定。

**条文说明**

与本规程密切相关、应配套采用的国家现行标准，主要有《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《复合地基技术规范》GB/T 50783、《建筑桩基技术规范》JGJ 94和现行协会标准《固废基胶凝材料应用技术规程》T/CECS 689等。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 固废基透水混凝土桩 solid waste-based pervious concrete pile

由固废再生骨料替代部分或全部天然骨料，由固废基胶凝材料替代部分或全部水泥，掺加水和外加剂拌和制成的固废基透水混凝土，经浇筑、养护形成的具有透水性、抗震减压性的刚性桩。

**条文说明**

固废基透水混凝土桩兼具快速排水性和高强度，加固地基的同时，可以快速消散超孔隙水压力，保障地基的抗震抗液化能力，同时具备环保、节能、经济等优点，符合国家、行业和地方技术经济政策。

**2.1.2** 固废再生骨料 solid waste recycled aggregate

由建筑垃圾及尾矿、废石、煤矸石、钢渣等工业固废再生循环利用制成的骨料。

**2.1.3** 固废焙烧骨料 solid waste roasted aggregate

采用矿业尾渣、工业废渣、工程渣土、淤泥、污泥、土壤修复弃土等固体废弃物为原材料，经配料、制粒、等而成的骨料。

**2.1.4** 固废基胶凝材料 solid waste cementitious material

以粒化高炉矿渣、钢渣、工业副产石膏、粉煤灰、铁尾矿等固体废弃物为原料，加工磨细后按一定比例混合，并掺加少量或不掺水泥配制成水硬性胶凝材料。

**2.1.5** 固废基透水混凝土桩复合地基 composite foundation of solid waste-based pervious concrete pile

以固废基透水混凝土桩作为竖向增强体的复合地基。

**2.1.6** 复合地基置换率 replacement ratio of composite foundation

复合地基中桩体的横截面积与该桩体所承担的复合地基面积的比值。

## 2.2 符号

**2.2.1** 几何参数

 —— 单桩截面积（m2）；

 —— 桩的截面周长（m）；

 —— 桩体直径（m）；

 —— 单根桩分担的地基处理面积的等效圆直径（m）；

 —— 桩长（mm）；

 —— 复合地基置换率；

 —— 桩长范围内所划分的土层数；

 —— 桩长范围内第*i*层土的厚度（m）；

 —— 基础埋置深度（m）。

**2.2.2** 作用和作用效应

 —— 相应于荷载效应标准组合时，作用在复合地基上的平均压力值（kPa）；

——相应于荷载效应标准组合时，作用在基础底面边缘处复合地基上的最大压力值（kPa）；

 —— 荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值（kPa）；

 —— 软弱下卧层顶面处土的自重压力值（kPa）；

 —— 桩顶附加荷载（kN）；

 —— 基础底面以上土的加权平均重度（kN/m3），地下水位以下取浮重度；

 —— 复合地基加固区复合土层压缩变形量（mm）；

 —— 加固区下卧土层压缩变形量（mm）；

 —— 荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪切力（kN）；

 —— 最危险滑动面上的总抗剪切力（kN）。

**2.2.3** 抗力和材料性能

 —— 桩体压缩模量（kPa）；

 —— 基础底面下第*i*层土的压缩模量（kPa）；

 —— 单桩竖向抗压承载力特征值（kN）；

 —— 桩端土地基承载力特征值（kPa）；

—— 复合地基承载力特征值（kPa）；

 —— 桩间土地基承载力特征值（kPa）；

 —— 复合地基经深度修正后的承载力特征值（kPa）；

 —— 桩体抗压强度平均值（kPa）；

 —— 软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值（kPa）；

 —— 第*i*层土的桩侧摩阻力特征值（kPa）。

**2.2.4** 计算系数

 —— 安全系数；

 —— 桩体强度折减系数；

 —— 桩体压缩经验系数；

 —— 可变荷载的准永久组合值系数；

 —— 其它可变荷载的标准组合值系数；

 —— 桩体竖向抗压承载力修正系数；

 —— 桩间土地基承载力修正系数；

 —— 桩端土地基承载力折减系数；

 —— 复合地基加固区下卧土层压缩变形量计算经验系数。

# 3 基本规定

**3.0.1** 固废基透水混凝土桩复合地基适用于素黏土、粉土、黏性土、砂土等场地的地基。

**条文说明**

对固废基透水混凝土桩复合地基适用的地基土范围作出如下明确的规定：

**1** 适用于地下水位高、地质条件差、建设工期短、质量要求高的高液化土场地路基工程；

**2** 处治路基填高的小桥涵及桥头地基；

**3** 抗震设防区的中等及以上液化土场地；

**4** 较厚的淤泥土层及高灵敏度的淤泥质土层等软土场地，标准贯入度试验锤击数、密实度为松散的砂性土场地，未经处理的欠固结土，有效桩身长范围内有较厚的中等液化、严重液化土层的场地；

**5** 无腐蚀性、轻腐蚀性、弱腐蚀场地，在中腐蚀环境下应根据《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB 50046和本规程的有关规定采取切实有效的防护措施，所采取的抗腐蚀措施应在设计文件中详细说明。

**3.0.2** 特殊地质条件下，固废基透水混凝土桩应通过室内试验和现场试验研究并取得工程应用经验后方可确定其适用性。

**条文说明**

对以下特殊地质条件，固废基透水混凝土桩复合地基应进行室内试验和现场试验取得施工经验：

**1** 淤泥、淤泥质土、含有大量植物根茎土；

**2** 地下水具有中-强腐蚀性、地下水流速较大的场地；

**3** 含有较多块石、漂石或其他障碍物。

**3.0.2**  固废基透水混凝土桩的材料选择要因地制宜，综合考虑经济与环境效益后，制定固废基透水混凝土桩材料设计方案。

**3.0.3** 固废基透水混凝土桩复合地基设计与施工前应按国家现行有关标准进行岩土工程勘察。

**3.0.5** 固废基透水混凝土桩复合地基在设计阶段前宜按场地复杂程度，选择有代表性的部位进行成桩工艺性试验，类似条件下试验数量不宜少于3根，并根据试验结果确定试验参数和提出施工技术要求。

**条文说明**

由于复合地基中的底层情况和施工效果等本身存在着差异性和复杂性的特点，所以对固废基透水混凝土桩复合地基设计技术的参数与施工工艺质量控制要求较高。成桩工艺性试验的目的是：验证地层条件适应性；确定实际成桩步骤、水灰比、混凝土配合比、混凝土坍落度、沉管提升速度等工艺参数。若没有邻近同类场地的设计与施工经验参照，在设计阶段进行现场试验或试验性施工，才能使得设计达到科学合理。

**3.0.6** 对于采用固废基透水混凝土桩复合地基的建（构）筑物，在其主体结构施工及使用期间，应按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8的有关规定进行沉降观测直至沉降稳定。

**条文说明**

为了积累资料，本条规定对所有应用固废基透水混凝土桩复合地基的建（构）筑物均应进行沉降观测，沉降观测应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8的有关规定。

**3.0.8** 固废基透水混凝土桩的耐久性应符合国家现行相关标准的规定。

**条文说明**

固废基透水混凝土桩的耐久性应根据《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476中规定的设计使用年限、结构所处的环境类别及作用等级进行设计，同时应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑桩基设计规范》JGJ 94的规定，也可根据其他相关规范采取更严格的措施。

# 4 资料调查与地质勘察

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 若采用固废基透水混凝土桩对场地进行处理，应根据附近场地地质资料和地基处理经验，并进行初步勘察，确定处理方案。

**条文说明**

类似地质条件的工程经验和使用情况，包括固废基透水混凝土桩的施工条件、设计施工经验、载荷试验资料和沉降观测资料等施工场地及其周边环境情况，包括地面建（构）筑物、地下工程、周边道路及管线等情况。

**4.1.2** 固废基透水混凝土桩的岩土工程勘探点的平面布置以及勘探深度范围内每一主要土层的取样和测试，应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定执行。

**4.1.3** 复杂场地进行补充勘察前，应结合初步勘察资料、工程特点和设计要求，明确补充勘察任务和重点。

**4.1.4** 针对采用的固废基透水混凝土桩处理方案，结合工程地质条件和水文地质条件布置勘察工作内容，提供地基处理设计和施工所需的岩土特性参数。

## 4.2 资料调查

**4.2.1** 固废基透水混凝土桩设计施工前，应确定场地类别和抗震设防烈度。

**4.2.2** 固废基透水混凝土桩设计施工前，应具备上部结构及基础设计等资料，包括建（构）筑物基础、路基设计图及固废基透水混凝土桩复合地基设计图等。

**4.2.3** 固废基透水混凝土桩设计施工应调查类似地质条件的工程经验和使用情况。

**4.2.4** 固废基透水混凝土桩设计施工应对场地附近的建筑固废料源进行调查和必要的勘察，并对选用的固废材料进行取样试验，提交固废材料可应用性报告。

**条文说明**

固废材料可应用性报告中应明确固废材料应用用途，规定制作再生骨料及固废基胶凝材料的相关固废原材料。

**4.2.5** 固废基透水混凝土桩设计施工前应调查施工场地及其周边环境情况，包括施工影响范围内的地下管线、地下构筑物、危房、精密仪器车间等调查资料。

**4.2.6** 固废基透水混凝土桩设计施工前应明确主要施工机械及其配套设备的技术性能资料，包括施工机械及设备的型号与性能、动力条件及对地质条件的适应性。

**4.2.7** 固废基透水混凝土桩设计施工前应明确施工机械设备的进出场及现场运行条件。

**4.2.8** 固废基透水混凝土桩设计施工前应明确有关施工工艺参数的试验参考资料。

**4.2.9**  固废基透水混凝土桩设计施工前应具备进场材料检测报告，包括固废基胶凝材料、固废再生骨料、水泥、天然骨料、外加剂等原材料及其制品的质检报告和砼配合比试验报告。

## 4.3 地质勘察

**4.3.1** 地基基础勘察勘探点布置应根据拟建工程特点和地基复杂程度确定，并应满足控制拟建场地岩土工程条件的需要，地基主要受力层或有影响的下卧层起伏较大时，应加密勘探点，查明其变化。

**4.3.2** 应根据复合地基沉降计算的要求，确定控制性勘探孔的深度，需验算地基稳定性时，应满足稳定性验算的要求，确定勘探孔布置和勘察孔深度。

**4.3.3** 拟采用固废基透水混凝土桩复合地基的场地，其岩土工程勘察应包括下列内容：

**1** 查明场地地形、地貌和周边环境，并评价地基处理对附近建（构）筑物、管线等的影响；

**2** 查明勘探深度内土的种类、成因类型、沉积时代及土层空间分布；

**3** 查明大粒径块石、地下洞穴、植物残体、管线、障碍物等可能影响固废基透水混凝土桩施工的因素，对地基处理工程有影响的多层含水层应分层测定其水位，软弱黏性土层宜根据地区土质，查明其灵敏度；

**4** 应查明固废基透水混凝土桩的侧摩阻力、端阻力及土的压缩曲线和压缩模量，对软黏土地基应查明土体的固结系数；

**5** 对需要进行稳定分析的固废基透水混凝土桩复合地基应查明黏性土层土体的抗剪强度指标以及土体不排水抗剪强度；

**6**  固废基透水混凝土桩施工对加固区土体挤密或扰动程度较高时，宜测定施工后加固区土体的压缩性指标和抗剪强度指标；

**7** 路堤、堤坝、堆场工程的固废基透水混凝土桩复合地基应查明填料或堆料的种类、重度、直接快剪强度指标等；

**8** 应查明地下水和土的腐蚀性、软黏土的含水量和不排水抗剪强度等地质参数。

**条文说明**

岩土工程勘察工作应重点查明各土层的厚度和组成、含水率、密实度、颗粒组成及含量、塑性指数、渗透系数、有机质含量、地下水位、pH值、腐蚀性等。

**4.3.4**  地基基础勘察采取土试样和进行原位测试应满足岩土工程评价要求，并应符合下列规定：

**1** 采取土试样和进行原位测试的勘探孔的数量，应根据地层结构、地基土的均匀性和工程特点确定，且不应少于勘探孔总数的1/2。取芯勘探孔的数量不应少于勘探孔总数的1/3；

**2**  每个场地每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于6件(组)，当采用连续记录的静力触探或动力触探为主要勘察手段时，每个场地不应少于3个孔；

**3** 采用标贯击数进行液化判别时，每个场地进行标贯试验的勘探孔数量不应少于3个；

**4** 在地基主要受力层内，对厚度大于0.5m的夹层，应采取土试样或进行原位测试。

**4.3.4**  固废基透水混凝土桩施工中，当发现地质条件与勘察报告和设计文件不一致、或遇到异常情况时，宜进行场地补充勘察。

# 5 材料

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 固废再生骨料及固废基胶凝材料生产加工前应筛选排除污染严重或腐蚀严重的建筑固废。源自医院、化工厂等的建筑固废，应符合国家和行业有关危险废物的相关规定。

**5.1.2** 建筑固废收集、运输、处置等全过程严禁混入生活垃圾及有害物质。

**5.1.3** 采用预拌方式生产的固废基胶凝材料混凝土应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164和《预拌混凝土》GB/T 14902的有关规定。

**5.1.4** 混凝土拌和用水须符合国家现行标准《混凝土用水标准》JGJ 63的规定。

**5.1.5** 骨料应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684和《建设用卵石、碎石》GB/T 14685的有关规定。

**5.1.6** 天然粗骨料，含泥量应不大于1%；一般选择单级配的粗骨料制备透水混凝土，粗骨料粒径宜在5mm~10mm范围内选取，且最大粒径不宜超过25mm。

**条文说明**

用于固废基透水混凝土的集料主要是粗骨料。粗骨料的颗粒级配、比表面积、表面形态等直接决定了固废基透水混凝土的强度、孔隙率、孔隙尺寸、渗透系数等设计参数，从而影响到固废基透水混凝土的物理力学性能。粗骨料的颗粒级配是决定固废基透水混凝土强度和透水性的重要因素之一。为保证固废基透水混凝土达到要求的贯通孔隙率，又不会造成孔隙的孔径过大，粗骨料最好为单一粒级或间断级配，且最大粒径一般不会超过25mm。

**5.1.7** 水泥宜采用强度等级不低于42.5级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，其质量应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定。

**5.1.8** 火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥和掺火山灰质混合材料的普通硅酸盐水泥在进行胶砂强度检验时，其用水量按0.50水灰比和胶砂流动度不小于180mm来确定。当流动度小于180mm时，应以0.01的整倍数递增的方法将水灰比调整至胶砂流动度不小于180mm。

**5.1.9** 胶砂流动度试验按《水泥胶砂流动度测定方法》GB/T 2419进行，其中胶砂制备按《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671规定进行。

## 5.2 固废再生骨料

**5.2.1**  混凝土用固废再生骨料是由建筑垃圾及尾矿、废石、煤矸石等工业固废加工而成，用于配制混凝土的、粒径大于4.75mm的颗粒。

**5.2.2** 固废再生骨料入场检验项目包括：颗粒级配、微粉含量、泥块含量、吸水率、压碎指标、表观密度、空隙率。

**5.2.3** 固废再生骨料的颗粒级配、微粉含量和泥块含量、吸水率、针片状颗粒含量、杂物含量、压碎指标、表观密度等相关参数选取参照《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177的规定执行，同时应符合国家现行标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685和《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52的规定。

**5.2.4** 应检测固废再生骨料中杂物的含量，包括：金属、塑料、沥青、木头、玻璃、草根、树叶、树枝、纸张、石灰、石膏、毛皮、煤块和炉渣等所有不属于混凝土的物质。

**5.2.5** 储存时，固废再生骨料应按类别、规格分别堆放，防止人为碾压和产品污染。

**5.2.6** 运输时，应认真清扫车船等运输设备，并采取措施防止混入杂物，防止粉尘飞扬。

**5.2.7** 固废再生骨料应提供产品质量合格证，内容包括：

**1** 再生粗骨料的名称、类别、规格和生产厂信息（厂名、地址和电话等）；

**2** 批量编号及供货数量；

**3** 检验结果、日期、执行标准；

**4** 合格证编号及发放日期；

**5** 检验部门及检验人员签章；

**6** 注意事项等。

## 5.3 固废基胶凝材料

**5.3.1** 固废基胶凝材料的组分应符合表5.3.1的规定。

**表5.3.1 固废基胶凝材料的组分（%）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 组分 | | | | | 适用范围 |
| 钢渣  *d*1 | 粒化高炉矿渣*d*2 | 脱硫石膏*d*3 | 粉煤灰  *d*4 | 铁尾矿  *d*5 |
| Ⅰ | 30≤*d*1≤50 | 30≤*d*2≤45 | 10≤*d*3≤20 | *d*4≤10 | *d*5≤10 | C20及以下混凝土 |
| Ⅱ | 30≤*d*1≤40 | 40≤*d*2≤60 | 10≤*d*3≤20 | *d*4≤5 | *d*5≤5 | C55及以下混凝土 |
| Ⅲ | 30≤*d*1≤35 | 45≤*d*2≤60 | 10≤*d*3≤20 | *d*4≤5 | *d*5≤5 | C80及以下混凝土 |

**条文说明**

固废基胶凝材料的组分应符合下列规定：

**1** 钢渣应符合现行行业标准《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491的有关规定；

**2** 粒化高炉矿渣应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046的有关规定；

**3** 脱硫石膏应符合现行国家标准《用于水泥中的工业副产石膏》GB/T 21371的有关规定；

**4** 粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596中对Ⅰ级和Ⅱ级粉煤灰的质量规定。

**5.3.2** 固废基胶凝材料的强度应满足通用胶砂强度和专用胶砂强度的规定。通用胶砂强度检验应符合现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671的有关规定；专用胶砂强度检验应按《固废基胶凝材料应用技术规程》T/CECS 689的规定执行。

**表5.3.2 固废基胶凝材料胶砂强度（MPa）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度 | 等级 | 抗压强度 | | | 抗折强度 | | |
| 3d | 28d | 56d | 3d | 28d | 56d |
| 通用胶砂强度 | Ⅰ | ≥4.0 | ≥20.0 | ≥22.5 | ≥1.0 | ≥3.5 | ≥4.0 |
| Ⅱ | ≥5.0 | ≥25.0 | ≥32.5 | ≥2.5 | ≥4.5 | ≥5.5 |
| Ⅲ | ≥8.0 | ≥30.0 | ≥42.5 | ≥3.0 | ≥6.0 | ≥7.0 |
| 专用胶砂强度 | Ⅰ | ≥10.0 | ≥30.0 | ≥40.0 | ≥2.0 | ≥5.0 | ≥6.0 |
| Ⅱ | ≥15.0 | ≥45.0 | ≥55.0 | ≥4.0 | ≥7.0 | ≥8.0 |
| Ⅲ | ≥20.0 | ≥50.0 | ≥60.0 | ≥5.0 | ≥8.5 | ≥9.5 |

**5.3.3** 固废基胶凝材料其他技术性能指标及检验方法应符合表5.5.3的规定。

**表5.3.3 固废基胶凝材料其他技术性能指标及检验方法**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 指标 | 检验方法 |
| 三氧化硫（%）（质量百分比） | ≥5.0且≤10.0 | 《水泥化学分析方法》GB/T176 |
| 氯离子含量（%）（质量百分比） | ≤0.06 | 《水泥原料中氯离子化学分析方法》JC/T 420 |
| 密度（g/cm3） | ≥2.8 | 《水泥密度测定方法》GB/T 208 |
| 细度（80*μ*m方孔筛筛余）（%） | ≤10.0 | 《水泥细度检验方法（筛析法）》GB/T 1345 |
| 比表面积（m2/kg） | 300~400 | 《水泥比表面积测定方法（勃氏法）》GB/T 8074 |
| 标准稠度用水量（%） | ≤28.5 | 《水泥标准稠度用水量﹑凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346、《水泥压蒸安定性试验方法》GB/T 750 |
| 初凝时间（min） | ≥60 |
| 终凝时间（min） | ≤600 |
| 体积安定性（沸煮法和蒸压法） | 合格 |

**5.3.4**  固废基胶凝材料的放射性要求和检验方法应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566的有关规定。

**5.3.5** 固废基胶凝材料的浸出毒性要求应符合现行国家标准《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》GB 5085.3的有关规定。浸出毒性检验方法应符合现行国家标准《固体废物浸出毒性浸出方法 翻转法》GB 5086.1的有关规定。

**5.3.6** 固废基胶凝材料进场时，应对材料的品种、外观、规格生产日期等进行检查，并应按检验批随机抽取样品进行检验，取样方法应按现行国家标准《水泥取样方法》GB/T 12573的有关规定进行。

**条文说明**

检验项目应包括本规程表5.3.1、表5.3.2中的所有项目。每个检验批的检验次数不得少于1次。

## 5.4 辅助材料

**5.4.1** 根据混凝土性能要求、施工及气候条件等因素必须经试验来确定掺加符合国家现行标准《混凝土外加剂》GB 8076有关规定的混合材料或外加剂的品种及掺量。

**条文说明**

通常会在固废基透水混凝土中掺加一定量的外加剂来改善其性能或达到一定的实际工程工艺要求。比如掺入一定量的减水剂，可以改善新拌固废基透水混凝土的流变性能，不增加用水量而提高和易性；掺加絮凝剂，使固废基透水混凝土具有一定的抗分散性，防止混凝土发生浆体流失和离析；冬季施工时还可添加一定量的防冻剂，使固废基透水混凝土能在规定时间内防冻，可在负温条件下凝结硬化达到规定强度。

**5.4.2** 外加剂的应用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。

**条文说明**

**1** 在固废基透水混凝土中掺用外加剂时，外加剂应与固废基胶凝材料具有良好的适应性；

**2** 外加剂中的氯离子含量和碱含量应满足固废基透水混凝土的设计要求；

**3** 外加剂掺量应以外加剂质量占混凝土中胶凝材料总质量的百分数表示。

**5.4.3**  固废基透水混凝土外加剂掺量宜按供方的推荐掺量确定，宜在初步设计配合比的基础上开展室内试验，设计出适用于现场施工的配合比。

**5.4.4** 外加剂与固废基胶凝材料的适应性应经过试验验证，当固废基透水混凝土其他原材料或使用环境发生变化时，混凝土配合比、外加剂掺量可进行调整。

**5.4.5** 防冻剂应符合现行行业标准《混凝土防冻剂》JC 475的有关规定。

**5.4.6** 外加剂进场时，供方应向需方提供型式检验报告、出厂检验报告与合格证、产品说明书等质量证明文件：

**条文说明**

外加剂进场时，同一供方，同一品种的外加剂应按本规程各外加剂种类规定的检验项目与检验批量进行检验与验收，检验样品应随机抽取。外加剂进厂检验方法应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076的规定；絮凝剂应符合现行国家标准《水下不分散混凝土絮凝剂技术要求》GB 37990；外加剂批量进货应与留样一致，应经检验合格后再使用。

**5.4.7** 为避免桩周土堵塞桩体孔隙，保障桩体的长期排水性能，可使用具有透水和过滤的性能的土工布对桩体进行包裹施工。

**5.4.8** 土工合成材料原材料不同，对酸、碱环境的适应性不同，在选择土工合成材料时，应考虑地基土、地下水等环境条件对土工合成材料性能的影响。

**5.4.9** 土工合成材料应根据工程所处地质、水文条件，以及排水过滤要求，受力要求等进行选择，宜采用透水土工织物。

**条文说明**

土工合成材料性能宜满足表5.4.1的要求。

**表5.4.1 土工合成材料性能要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 性能 | | 要求 |
| 1 | 强度 | | 抗拉强度≥30kN/m  土工织物 CBR 破强力≥2.5kN。 |
| 2 | 过滤性能 | 挡土要求 | Q95≤0.21mm  Q95－土工织物等效孔径 |
| 透水要求 | KG>AKS  KG－土工织物渗透系数；  KS－桩周土的渗透系数；  A－系数，不应小于10 |
| 3 | 原材料 | 对盐渍土等具有腐蚀性的地基，不宜使用聚酯类（涤纶）、聚酰胺类（尼龙）、玻璃 纤维类土工合成材料 | |

**5.4.10** 透水土工布套筒宜使用圆织机编织成的无缝套筒。如采用缝制套筒，应采用工业缝纫机缝制，所用尼龙线的强度不得小于150N，其接缝方法宜采用“包缝”或“丁缝”。

**5.7.11** 透水土工布进场后应核实材料的产地、品种、规格、批次、外观、生产日期、数量和相关合格证明材料，并根据设计要求的指标，按现行《公路工程土工合成材料应用技术规范》JTG/T D32要求的频率和方法，委托具有相应资质的单位进行检测，不满足要求的材料不应用于施工。

# 6 设计

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 固废基透水混凝土桩设计时考虑工程造价与经济效益，宜选择存在大量可应用的固废材料工程场地。

**6.1.2** 固废基透水混凝土桩的设计适宜选用摩擦型桩。

**条文说明**

采用桩承式路堤型式时，在荷载作用下，桩体会承受更多的荷载，随着时间的推移，桩会发生一定程度的沉降，荷载逐渐转移到土体中。若桩端落在坚硬的土层或岩石上，桩体沉降会很小，很少的荷载转移到土体，大部分荷载由桩体独自承担，无法充分发挥桩间土的承载能力。若在路堤下设置一定厚度的褥垫层，褥垫层能够使固废基透水混凝土桩产生上下方向的刺入变形。即使桩端落在强度较大的土层上，褥垫层也能确保桩周土体与桩体共同承载荷载。在摩擦型的固废基透水混凝土桩复合地基中，路堤底面与固废基透水混凝土桩桩顶之间设置褥垫层，通过桩顶“刺入”褥垫层和褥垫层本身变形调节，以及桩端“刺入”桩端土和桩端以下土层的压缩变形，这些共同协调来达到桩土共同沉降、协同工作；由此充分发挥和利用桩间土的地基承载力，并满足变形需要。

**6.1.3** 固废基透水混凝土桩的混凝土强度等级宜在C15~C35的范围内选择。

**6.1.4** 荷载分布不均匀时，应进行地基变形验算。

**条文说明**

经固废基透水混凝土桩加固处理后，地基承载力和压缩模量将大幅度提高，地基变形也比未处理的地基小，但在地基处理的基础设计中，仍应进行地基基础变形验算。

**6.1.5** 固废基透水混凝土桩的桩端持力层宜选择承载力相对较高的土层。

**条文说明**

固废基透水混凝土桩桩端承载力不是主要的控制指标，但桩端土层具有较高的承载力既有利于提供较高的桩端阻力，根据桩端硬化效应，又有利于提高固废基透水混凝土桩的侧摩阻力，有助于减小固废基透水混凝土桩复合地基的沉降。综合考虑桩长、桩间距、桩数设置与持力层间的相互作用关系，选择场地内承载力相对较高的土层作为持力层即可。

**6.1.6** 固废基透水混凝土桩处理可能产生挤密作用的地基土体时，应检测地基处理前后的承载力，通过动态调整，确定合理的计算参数。

**条文说明**

采用固废基透水混凝土桩复合地基的目的就是要尽最大限度的发挥桩间土的有效承载力，当采用具有挤密效应的固废基透水混凝土桩施工成桩后，土层的承载能力将有一定程度的提高，为了使得经挤密后的桩间土承载能力能够得到最大限度的合理充分发挥，需要通过检测和进行动态设计调整，以便做到技术可靠、经济合理。

**6.1.7** 抗震设防区内，固废基透水混凝土桩复合地基应当遵循以下设计原则：

**1** 应通过计算确定桩进入液化土层以下稳定土层的长度（不包括桩尖部分）；对于碎石土，砾、粗、中砂，密实粉土，坚硬黏性土不应小于2~3倍桩径，对其它非岩石土尚不宜小于4~5倍桩径；

**2** 设计可能因地震引起上部土层滑移地段的固废基透水混凝土桩时，应考虑滑移体对桩所产生的附加应力影响；

**3** 当基础周围为可液化土或地基承载力特征值小于40kPa（或不排水抗剪强度小于15kPa）的软土，且桩体水平承载力不满足计算要求时，可将基础外500mm范围内的土体进行加固。

**条文说明**

根据大量的现场试验证明，固废基透水混凝土桩不仅能够显著减小地基的加速度响应，快速消散地震期间地基内产生的超静孔隙水压力，抑制地基液化，而且其桩体强度高能够有效协调上、下部土体的变形。可见，固废基透水混凝土桩较其他基础形式具有较好的抗震性能，但设计中应把握三点：一是桩体进入液化土层以下稳定土层的长度不应小于本条规定的最小值；二是建于可能因地震引起上部土层滑移地段的固废基透水混凝土桩，应考虑滑移体对桩产生的附加应力的影响；三是当基础周围为软土和可液化土，且固废基透水混凝土桩水平承载力不满足要求时，可对外侧土体进行适当加固以提高水平抗力。

**6.1.8** 特殊条件下的固废基透水混凝土桩设计原则应符合下列规定：

**1**  软土中固废基透水混凝土桩设计时，应采取技术措施，减小挤土效应对成桩质量、邻近建筑物、道路、地下管线和基坑边坡等产生的不利影响；

**2** 对建于坡地岸边的固废基透水混凝土桩复合地基，不得将固废基透水混凝土桩支承于边坡潜在的滑动体上，桩端进入潜在滑裂面以下稳定土层内的深度应能保证桩体的稳定；

**3** 固废基透水混凝土桩复合地基与边坡应保持一定的水平距离，建筑场地内的边坡必须是完整的边坡；

**4** 坡地、岸边复合地基、基岩面倾斜的复合地基、高路堤等特殊情况下的固废基透水混凝土复合地基，应验算其在最不利荷载效应组合下的整体稳定性和水平承载力。

**条文说明**

新建坡地、岸边建筑固废基透水混凝土桩复合地基工程应与建筑边坡工程统一规划，同步设计，合理确定施工顺序。当有崩塌、滑坡等不良地质现象存在时，应按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330 的规定进行整治，确保其稳定性；可按照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》 GB50007 关于稳定性计算的有关规定进行坡岸复合地基整体稳定性验算。

**6.1.9** 固废基透水混凝土桩复合地基设计应收集岩土工程勘察资料、建筑场地与环境条件资料、建（构）筑物资料、施工条件的有关资料、供设计比较用的有关固废基透水混凝土桩型及实施的可行性的资料。

**条文说明**

为满足固废基透水混凝土桩复合地基设计的需要，应收集建筑场地与环境条件资料、拟建工程的平面布置、结构类型、荷载分布、使用功能上的特殊要求、结构安全等级、场地类别、桩的施工条件、类似地质条件的试桩资料。

**1** 岩土工程勘察资料包括：

1）场地桩位布置图、地质剖面图；若有填土，应明确填土材料的成分、粒径组成、有机质含量、厚度及填筑时间；

2）各层土物理力学指标、承载力特征值和孔隙比-压力（e-p）曲线；

3）标准贯入试验、静力或动力触探试验等原位测试资料；

4）拟建场地的抗震设计条件，应包括建筑场地类别、地基土有无液化的判定；

5）提出选择桩端持力层、沉管可行性及方案建议等。

**2** 建筑场地与环境条件资料包括：

1）建筑场地现状，包括交通设施、高压架空线、地下管线和地下构筑物的分布；

2）相邻建筑物安全等级、基础形式及埋置深度；

3）附近类似工程地质条件场地的试桩资料和单桩承载力设计参数；

4）建（构）筑物所在地区的抗震设防烈度和建筑场地类别；

5）周围建（构）筑物的防振、防噪声的要求。

**3** 建（构）筑物资料包括：

1）建（构）筑物的总平面布置图；

2）建（构）筑物的结构类型、荷载、使用条件和设备对基础竖向及水平位移的要求；

3）建（构）筑结构的安全等级。

**4** 施工条件的有关资料包括：

1）施工机械设备条件，制桩条件，动力条件，施工工艺对地质条件的适应性；

2）水、电及有关建筑材料的供应条件；

3）施工机械的进出场及现场运行条件。

**6.1.10** 固废基透水混凝土桩复合地基设计前，宜选择代表性场地进行现场试验施工，检验设计参数和加固效果。

## 6.2 配合比设计

**6.2.1** 固废基透水混凝土桩的配合比设计宜通过室内试验和现场试验确定，应同时满足桩身混凝土设计强度等级和目标孔隙率的要求，目标孔隙率宜取10%~20%，所需粗集料的质量应由紧密堆积密度确定，考虑实际情况应乘以折减系数0.98。

**条文说明**

使用体积法进行固废基透水混凝土配合比设计以目标孔隙率为控制参数，通过堆积密实的集料空隙率与最优水灰比，按下列公式推导出水泥和水的用量:

配制1立方米透水混凝土：

 （6.2.1-1)

 （6.2.1-2)

 （6.2.1-3)

式中：*mc* ——每立方米透水混凝土所需水泥的质量（kg）；

*ρc* ——水泥的表观密度（kg/m3）；

*mw* ——每立方米透水混凝土所需水泥的质量（kg）；

*ρw* ——水的表观密度（kg/m3）；

*P*——目标孔隙率；

**6.2.2** 混凝土配合比的试配调整和确定，应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的有关规定。

**6.2.3** 固废基胶凝材料混凝土配合比设计应满足混凝土和易性强度和耐久性要求。

**6.2.4**  固废基胶凝材料混凝土的耐久性设计，应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476的有关规定，试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082的有关规定。

**6.2.5** 在满足设计要求的条件下，固废基胶凝材料混凝土的耐久性评定宜采用56d或84d龄期。

## 6.3 选型与布置

**6.3.1**  固废基透水混凝土桩的选型应符合下列规定：

**1** 应根据工程地质情况、建（构）筑物结构类型、荷载性质、沉管设备（静压、锤击）、施工条件、施工经验等经综合分析后选用；

**2** 根据施工工艺和现场评价，可考虑选用单桩、并联桩（复合桩）、串联桩（组合桩）等多元复合地基形式。

**条文说明**

本条各款说明如下：

**1** 近年来，在固废基透水混凝土桩的设计、制作和沉管方面积累了很多宝贵经验。但使用中也出现了一些问题。首先，固废基透水混凝土的坍落度非常小，甚至为零，采用振动沉管法成桩时会遇到投料困难的问题，并容易形成颈缩。其次，施工时的振动会导致水泥浆下沉并堵塞内部空隙，同时在水下环境中水泥浆体因水的浸泡产生离析，从而进一步堵塞空隙，并降低混凝土的强度。鉴于固废基透水混凝土桩在使用中存在的这些问题，本规程建议设计人员选用固废基透水混凝土桩时，应结合工程地质情况、建（构）筑物结构类型、荷载性质、桩的使用功能，沉管设备（静压、锤击）、施工条件、施工经验等经综合分析后选用；

**2** 复合地基中的竖向增强体一般可分为散体材料桩、柔性桩（或称半刚性桩）和刚性桩，如砂桩和碎石桩为散体桩，水泥土桩为柔性桩，而CFG桩和素混凝土桩等都属于刚性桩。碎石桩等散体桩是透水的，可以加快地基的固结速度，也可以减小砂土或粉土地基的液化势，但作为一种散体材料桩，其刚度和强度低，而且与桩周土的围压有很大关系，浅层桩体易发生膨胀破坏，当应用于软黏土及有机土和泥炭土等地基时，地基承载力提高不大，而且工后沉降大。相反，CFG桩等刚性桩复合地基，虽然可以满足强度和变形的要求，但因透水性差，地基固结速度慢，而且不能有效消除液化层的可液化性。固废基透水混凝土桩集快速排水与高承载性的优点。因此，可根据施工工艺和现场性能评价，考虑选用单桩（固废基透水混凝土桩）、并联桩（指固废基透水混凝土桩—碎石桩、固废基透水混凝土桩—水泥土桩等复合桩）、串联桩（指固废基透水混凝土桩—碎石桩等组合桩）等多元复合地基形式。并联桩和串联桩可以充分发挥不同材料桩体的优点，既可以提高复合地基的承载能力，又具备较强的透水性，不仅可以有效减小工后沉降，还能提高地基的抗液化能力。同时通过排水固结作用，可以消除碎石桩、水泥土桩施工引起的工程病害。

**6.2.2** 固废基透水混凝土桩布置应符合下列要求：

**1** 桩长宜按实际岩土工程条件，工程设计要求等因素综合确定，宜使桩端穿过压缩性较高的土层，进入压缩性相对较低的土层。桩端全断面进入持力层的深度应大于1倍桩身直径；当硬层埋藏较深时，桩端可不达到硬层，但应满足承载力及沉降的要求；

**2**  排列桩体时，一般可按均布考虑，当上部荷载分布相差较大时，亦可按非均匀布桩；

**3** 在软土层地基上大面积布桩时，为加快消减孔隙水压力和增强挤土效应，应合理控制布桩密度。

**条文说明**

本条各款说明如下：

**1** 对固废基透水混凝土桩布置的规定，目的在避免不均匀沉降或倾斜；

**2**  固废基透水混凝土复合地基的单桩进入持力层的深度可以较桩基础中的单桩进入持力层的深度浅一些。但固废基透水混凝土桩复合地基的设计应遵从一般设计原则，进行承载能力极限状态和正常使用极限状态两方面的验算，即满足承载力及沉降要求；

**3** 考虑固废基透水混凝土桩复合地基受力体系的最优平衡状态，群桩承载力合力点宜与竖向永久荷载合力作用点重合，以减少荷载偏心的不利影响。当桩体受水平力作用时，应使桩体受水平力和力矩较大方向有较大的抗弯截面模量，以增强桩体的水平承载力，减小桩体的倾斜变形；

**4**  考虑到固废基透水混凝土桩的良好排水性及其易堵塞桩体空隙的特点，在软土场地上大面积布桩时，应合理控制布桩密度，达到最佳的排水效果。

**6.2.3** 桩径、桩间距应根据处理后复合地基承载力、单桩承载力、施工工艺、土层情况综合考虑。方案设计时，桩径宜取300mm~500mm，桩间距宜为3~6倍桩径。

**条文说明**

根据工程实践证明，固废基透水混凝土的桩径过小，施工质量不易控制；桩径过大，需加大褥垫层厚度，才能保证桩土共同作用。固废基透水混凝土桩间距的设置与土的挤密性有着直接的关系，在饱和粘性土、砂土、粉土和人工填土等挤密效果好的地基土中采用振动沉管成桩，桩间距取值大于4倍的桩径，则能大幅度提高桩间土的承载力。而在较厚的淤泥土层及高灵敏度的淤泥质土层等饱和软粘土、较密实的砂土和粘土等不可挤（振）密的地基土中不宜采用振动沉管，以防扰动这些地基土，进而产生松弛降低桩间土的承载力。因此，固废基透水混凝土桩的桩径应根据地质条件、土层性质和复合地基承载力的设计需要，综合考虑后确定。

**6.2.4** 桩顶和桩间土上部必须设褥垫层，并符合以下规定：

**1** 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、碎石或级配良好的砂石等，不宜选用卵石，最大粒径不宜大于30mm、不应大于50mm；

**2** 褥垫层的厚度应根据复合地基置换率及桩间土的性质进行具体设计确定，一般宜取150mm~300mm；

**3** 褥垫层铺设范围宜超出基础边缘500mm，虚铺厚度按压实系数计算确定；

**4** 褥垫层填筑完成后宜由地基中心线向外侧设置横向排水坡，坡度不宜小于4%，并应在四周设置排水沟。

**条文说明**

本条各款说明如下：

**1** 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、碎石或级配良好的砂石等，最大粒径不宜大于30mm、不应大于50mm。不宜选用卵石，由于卵石咬合力差，施工时扰动较大、褥垫层厚度不易保证均匀；

**2** 根据大量的现场试验测试结果表明，褥垫层主要起到保证桩、土共同承担荷载，调整桩、土荷载分担比，减小桩顶水平应力集中的作用。要求褥垫层的密实度不宜太高，厚度宜采用150mm~300mm，较有利于桩、土应力分配和应变协调；

**3** 饱和粉土或砂土地基中设置的固废基透水混凝土桩，在土体内部空隙水压力的作用下，桩体本身就一个良好的竖向排水通道，将土体内部的水排到褥垫层，经褥垫层将水横向排出。因此，在地基的中心线向两侧设置一定坡度横向排水坡，有利于排水固结；

**4** 根据现场工程经验，褥垫层虚铺结束后，要结合其厚度及其分布的面积采取静力压实直到设计所需的厚度，当基础地面桩间土含水量较小时，也可采用动力夯实法。施工机械进行碾压施工时，要避免“橡皮土”以及“翻浆”现象的出现，一旦有出现必须挖掉褥垫层和受扰动的土层，并采取有效措施重新进行处理。

## 6.4 计算

**6.4.1** 复合地基设计时，所采用的荷载效应最不利组合与相应的抗力限值应符合下列规定：

**1** 按复合地基承载力确定基础底面积及埋深，传至复合地基面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合，相应的抗力应采用复合地基承载力特征值；

**2** 计算复合地基变形时，传至复合地基面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用，相应的限值应为复合地基变形允许值；

**3** 复合地基稳定分析中，传至复合地基面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合，相应的抗力应用复合地基中增强体和地基土体抗剪强度标准值进行计算。

**6.4.2** 正常使用极限状态下，荷载效应组合的设计值应按下列规定采用：

**1**  对于标准组合，荷载效应组合的设计值（）应按下式计算：

 （6.4.2-1）

式中：  —— 按永久荷载标准值计算的荷载效应值；

 —— 按起控制性作用的可变荷载标准值计算的荷载效应值；

 —— 按其它可变荷载标准值计算的荷载效应值；

 —— 其它可变荷载的标准组合值系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009的有关规定取值。

**2** 对于准永久组合，荷载效应组合的设计值（）应按下式计算：

 （6.4.2-2）

式中： ——按可变荷载标准值计算的荷载效应值；

 —— 可变荷载的准永久组合值系数，按现行相关荷载规范取值。

**6.4.3** 作用在复合地基上的压力应符合下列规定：

**1** 轴心荷载作用时：

 （6.4.3-1）

式中：** —— 相应于荷载效应标准组合时，作用在复合地基上的平均压力值（kPa）；

** —— 复合地基经深度修正后的承载力特征值（kPa）。

**2** 偏心荷载作用时，作用在复合地基上的压力除应符合公式（6.4.3-2）的要求外，尚应符合下式要求：

 （6.4.3-3）

式中： ** —— 相应于荷载效应标准组合时，作用在基础底面边缘的最大压力值（kPa）。

**6.4.4** 复合地基承载力特征值应通过复合地基载荷试验，或采用增强体载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验综合确定。初步设计时，复合地基承载力特征值也可按下列公式估算：

（6.4.4-1）

 （6.4.4-2）

式中：  —— 单桩截面积（m2）；

** —— 单桩竖向抗压承载力特征值（kN）；

** —— 桩间土地基承载力特征值（kPa）；

** —— 复合地基置换率；

** —— 桩体直径（m）；

 —— 单根桩分担的地基处理面积的等效圆直径（m）；

 —— 桩体竖向抗压承载力修正系数，宜综合复合地基中桩体实际竖向抗压承载力和复合地基破坏时桩体的竖向抗压承载力发挥度，建议取值为1.0；

 —— 桩间土地基承载力修正系数，宜综合复合地基中桩间土地基实际承载力和复合地基破坏时桩间土地基承载力发挥度，建议取值为0.5~0.9。

**条文说明**

本规程公式（6.4.4-1）中综合反映了复合地基中桩体实际竖向抗压承载力与自由单桩竖向抗压承载力之间的差异，以及复合地基破坏时桩体竖向抗压承载力发挥程度；综合反映了复合地基中桩间土地基实际承载力与天然地基承载力之间的差异，以及复合地基破坏时桩间土地基承载力发挥程度。

单根桩分担的地基处理面积的等效圆直径的具体计算方法如下：对等边三角形布桩，；正方形布桩，；矩形布桩，其中、、分别为桩间距、纵向间距和横向间距。

**6.4.5** 固废基透水混凝土桩复合地基竖向增强体为刚性桩，其竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向抗压载荷试验确定。初步设计时，由桩周土和桩端土的抗力可能提供的单桩竖向抗压承载力特征值应按公式（6.4.5-1）计算；由桩体材料强度可能提供的单桩竖向抗压承载力特征值应按公式（6.4.5-2）计算：

 （6.4.5-1）

 （6.4.5-2）

式中： ** —— 单桩竖向抗压承载力特征值（kN）；

 —— 单桩截面积（m2）；

** —— 桩的截面周长（m）；

 —— 桩长范围内所划分的土层数；

** —— 第*i*层土的桩侧摩阻力特征值（kPa）；

 —— 桩长范围内第*i*层土的厚度（m）；

** —— 桩端土地基承载力特征值（kPa）；

 —— 桩端土地基承载力折减系数，建议取值为1.0；

** —— 桩体抗压强度平均值（kPa）；

** —— 桩体强度折减系数，建议取值为0.33。

**6.4.6** 复合地基处理范围以下存在软弱下卧层时，下卧层承载力应按下式验算：

 （6.4.6）

式中： ** —— 荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值（kPa）；

** —— 软弱下卧层顶面处土的自重压力值（kPa）；

** —— 软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值（kPa）。

**6.4.7** 复合地基承载力的基础宽度承载力修正系数应取0；基础埋深的承载力修正系数应取1.0。修正后的复合地基承载力特征值（*f*a）应按下式计算：

 （6.4.7）

式中： ——复合地基承载力特征值（kPa）；

——基础底面以上土的加权平均重度（kN/m3），地下水位以下取浮重度；

——基础埋置深度（m），在填方整平地区，可自填土地面标高算起，但填土在上部结构施工完成后进行时，应从天然地面标高算起。

**6.4.8** 复合地基的沉降由垫层压缩变形量、加固土层压缩变形量（）和加固区下卧土层压缩变形量（）组成。当垫层压缩变形量小，且在施工期已基本完成时，可忽略不计。复合地基沉降可按下式计算：

 （6.4.8）

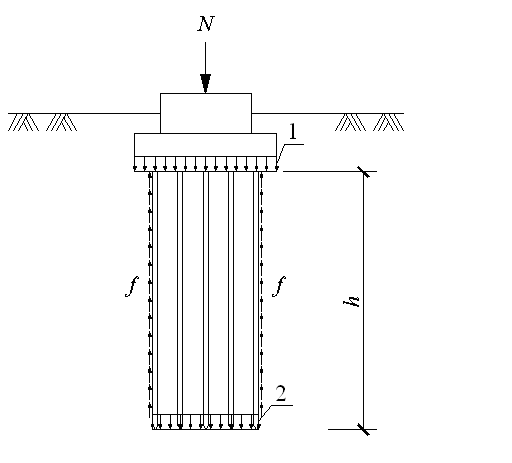
式中：  —— 复合地基加固区复合土层压缩变形量（mm）；

 —— 加固区下卧土层压缩变形量（mm）。

**条文说明**

本规程当复合地基加固区下卧土层压缩性较大时，复合地基沉降主要来自加固区下卧土层的压缩。复合地基加固区下卧土层压缩变形量（）计算中，作用在复合地基加固区下卧层顶部的附加压力较难计算。作用在固废基透水混凝土桩复合地基加固区下卧层顶部的附加压力宜采用等效实体法按下列公式计算：

 （1）



图中1为*p*o；2为*p*z。

图6.4.8 等效实体法计算

式中： ** —— 荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值（kPa）；

** —— 矩形基础底边的长度（m）；

** —— 矩形基础或条形基础底边的宽度（m）；

 —— 复合地基加固区的深度（m）；

 —— 基础长度方向桩的外包尺寸（m）；

 —— 基础宽度方向桩的外包尺寸（m）；

** —— 复合地基加固区顶部的附加压力（kPa）；

** —— 压力扩散角（°）；

 —— 复合地基加固区桩侧摩阻力（kPa）。

**6.4.9** 复合地基加固区复合土层压缩变形量（）可按下列公式计算：

 （6.4.9）

式中：  —— 桩顶附加荷载（kN）；

 —— 桩长（mm）；

** —— 桩体压缩模量（kPa）；

 —— 单桩截面积（m2）；

 —— 桩体压缩经验系数，宜综合考虑刚性桩长细比、桩端刺入量，根据地区实测资料及经验确定。

**6.4.10** 复合地基加固区下卧土层压缩变形量（），可按下式计算：

 （6.4.10）

式中：  —— 第*i*层土的平均附加应力增量（kPa）；

 —— 第*i*层土的厚度（mm）；

 —— 基础底面下第*i*层土的压缩模量（kPa）；

——复合地基加固区下卧土层压缩变形量计算经验系数，根据复合地

基类型地区实测资料及经验确定。

**6.4.11** 作用在复合地基加固区下卧层顶部的附加压力宜采用等效实体法计算。

**6.4.12** 固废基透水混凝土桩复合地基工后沉降*s*r可按总沉降计算值减去工期沉降实测值作为工后沉降预测值。

**6.4.13** 当桩端持力层之下没有软弱下卧层时，桩端下卧层压缩量绝大部分将在工期内完成，在计算工后沉降时可不考虑桩端持力层的工后沉降。

**6.4.14** 在复合地基稳定分析中，所采用的稳定分析方法、计算参数、计算参数的测定方法和稳定安全系数取值应相互匹配。

**条文说明**

复合地基稳定分析中强调采用的稳定分析方法，分析中的计算参数，计算参数的测定方法，稳定性安全系数取值四者应相互匹配非常重要。岩土工程中稳定分析方法很多，所用计算参数也多。以饱和黏性土为例，抗剪强度指标有有效应力指标和总应力指标两类，也可直接测定土的不排水抗剪强度。采用不同试验方法测得的抗剪强度指标值，或不排水抗剪强度值是有差异的。甚至取土器不同也可造成较大差异。对灵敏度较大的软黏土，采用薄壁取土器取样试验得到的抗剪强度指标值比一般取土器取的大30%左右。在岩土工程稳定分析中取的安全系数值一般是特定条件下的经验总结。目前不少规程规范，特别是商用岩土工程稳定分析软件中不重视上述四者相匹配的原则，采用再好的岩土工程稳定分析方法也难以取得客观的分析结果，失去进行稳定分析的意义，有时会酿成工程事故，应予以充分重视。

**6.4.15** 复合地基稳定分析可采用圆弧滑动总应力法进行分析。稳定安全系数应按下式计算：

 （6.4.15）

式中：  —— 荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪切力（kN）；

 —— 最危险滑动面上的总抗剪切力（kN）；

** —— 安全系数。

**6.4.16** 复合地基竖向增强体长度应大于设计要求安全度对应的危险滑动面下2m。

**6.4.17** 复合地基稳定分析方法宜根据复合地基类型合理选用。

**条文说明**

对透水混凝桩复合地基，最危险滑动面上的总剪切力可只考虑传至复合地基桩间土地基面上的荷载，最危险滑动面上的总抗剪切力计算中，可只考虑复合地基加固区桩间土和未加固区天然地基土体对抗力的贡献，稳定安全系数可通过综合考虑桩体类型、复合地基置换率、工程地质条件、桩持力层情况等因素确定。稳定分析中没有考虑由固废基透水混凝土桩承担的荷载产生的滑动力和固废基透水混凝土桩抵抗滑动的贡献。由于没有考虑由固废基透水混凝土桩承担的荷载产生的滑动力的效应可能比固废基透水混凝土桩抵抗滑动的贡献要大，稳定分析安全系数应适当提髙。

# 7 施工

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 施工前应对固废基透水混凝土桩进行材料预实验，通过预实验确保材料的工程性能及环保要求符合国家相关标准规定。

**7.1.2** 施工组织设计应结合工程特点，有针对性地制定相应质量管理措施，特别对挤土效应要求高的场地，无法回避采用挤土效应明显的机械施工时，应对周边构筑物进行调查，分析评估施工可能造成的影响，提出可行的防范措施，周边构筑物强度较差时，宜对结构采取防护措施，避免发生意外，确保周边环境安全。

**条文说明**

针对工程环境特点做出以下措施：

**1**  当周边有浅基构筑物、道路、地下管线时，周边可挖隔振防挤沟，沟深应大于浅基或地下管线埋深，隔振防挤沟与周边构筑物净距不得小于2.5m；当与煤气管线距离小于3m时，宜挖开并架空煤气管道；

**2** 当周边有深基或桩基构筑物时，宜根据周边构筑物变形监测情况，必要时，在场地与邻近构筑物之间（或桩位上）预钻取土，一般深度为1/3桩长，以减小挤土效应；

**3** 在淤泥土层中施工时，不仅应注意施工桩的质量，也要同时观察邻近桩的桩顶变化，可采取隔桩跳打的措施，以消除超静孔隙水压力。

**7.1.3** 桩在正式施工前应进行设计技术参数工艺试成孔，试成孔数量应不少于3个，试成孔时应通知建设、勘察、设计、监理等有关人员参加，核对场地地质情况及机械设备、施工工艺等是否符合设计图纸要求，确认施工工艺。

**条文说明**

施工前“试成孔数量不少于3个”是考虑到固废基透水混凝土桩复合地基的场地岩土条件差异性、设计计算复杂性和施工质量不确定性等因素，若试成孔数量太少则可能影响代表性。

**7.1.4** 桩位轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的地方；开工前控制点和水准点经复核后应妥善保护，施工中应经常复核控制点和水准点。

**条文说明**

固废基透水混凝土桩轴线的控制点和水准点应设置在位置稳定、易于长期保存的地方。当有工作基点时，应定期将其与基准点进行联测。

**7.1.5** 成桩工艺性试验应符合下列规定：

**1** 应根据场地地层分布情况及设计资料确定成桩工艺性试验位置与数量；

**2** 固废基透水混凝土桩工艺性试验可采用振动沉管法；

**3** 成桩工艺性试验时应按本规程附录A的要求做好记录；

**4** 选择施工机械，初步确定成桩施工工艺参数。

**条文说明**

应综合考虑场地地层分布情况、上部结构荷载、拟采用桩参数等，按本规程第3.0.5条的要求确定成桩工艺性试验位置与数量。成桩工艺性试验应详细记录不同时间或深度处对应的施工参数值，并采用开挖、取芯等方法检验成桩质量，为确定相关施工工艺及参数和施工措施提供详尽的资料。

**7.1.6** 灌注混凝土过程中，抽样做混凝土试块，每台机械一天应做一组（3块）试块（边长为150mm的立方体），标准养护，按照规定测定其立方体抗压强度和孔隙率。

**7.1.7** 当周边环境对变形有严格要求时，成桩过程中应减少对周边环境影响的措施。

**7.1.8** 固废基透水混凝土桩施工应根据设计要求和工程需要制订施工方案，并进行工程施工质量控制和工程监测，且宜采用具有自动监控功能的振动沉管设备。

**条文说明**

在成桩过程中，加强对邻近构筑物的变形监测，加强对邻近构筑物的直接观察，根据监测结果，在必要时采取其他措施，以确保邻近构筑物的安全。

## 7.2 施工准备

**7.2.1** 固废基透水混凝土桩复合地基施工前应具备下列资料：

**1** 建筑场地岩土工程勘察报告，当场地较复杂时应作必要的补充勘察；

**2** 建（构）筑物基础、路基设计图及固废基透水混凝土桩复合地基设计图；

**3** 施工影响范围内的地下管线、地下构筑物、危房、精密仪器车间等的调查资料；

**4** 固废基胶凝材料、水泥、固废再生骨料、外加剂等原材料及其制品的质检报告和固废基透水混凝土配合比试验报告；

**5** 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；

**6** 抗震设防烈度和场地类别；

**7** 有关施工工艺参数的试验参考资料。

**条文说明**

为保证固废基透水混凝土桩复合地基正常施工，施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时设施，必须在开工前准备就绪。建筑场地应平整、密实，无地下和空中障碍物，地基承载力应满足施工机械接地压力的要求。

**7.2.2** 施工前应具备下列条件：

**1** 影响施工的管线及障碍物已清除；

**2** 施工用水、用电有保障，施工场地平整，保证施工机械正常作业；

**3** 成桩机械必须经鉴定合格，不得使用不合格机械；

**4** 用于施工质量检验的仪表、器具的性能指标，应符合现行国家相关标准的规定；

**5** 地下水位埋藏情况、类型和水位变化幅度及抗浮设计水位；

**6** 抗震设防区按设防烈度提供的液化土层资料及液化评价；

**7** 有关地基土湿陷性、膨胀性评价；

**8** 关于成桩可能性、桩体施工对环境影响的评价与对策及其他应注意事项的建议。

**7.2.3** 施工前应结合工程特点编制简明的施工方案，主要内容包括：

**1** 施工平面图及桩位布置图：应标明桩位、编号、施工顺序、水电线路和临时设施的位置；

**2** 施工机械、人员配置；

**3** 施工进度计划和劳动力组织计划；

**4** 材料、工具、备品、机械设备供应计划；

**5** 保证工程质量、安全生产和季节性施工的技术措施。

**7.2.4** 施工前应按设计要求由实验室通过试配确定固废基透水混凝土配合比，并提交配合比设计报告。

## 7.3 施工工艺

**7.3.1** 施工单位应按固废基透水混凝土桩复合地基施工图进行桩位放样并填写放线记录，经监理单位或建设单位复核签证后方可开工。

**7.3.2** 固废基透水混凝土桩的施工宜采用振动沉管法进行施工。

**条文说明**

固废基透水混凝土桩在振动沉管施工过程中，振动产生的振动波以弹性波方式在周围土体内传播，振动力和侧向挤土作用易把初凝的邻桩振断或拉断，且在软硬交界的土层最易发生。为了避免施工对相邻已成桩质量产生不利影响而采用间隔一根或多根桩施工的方式，即隔桩跳打法。

**7.3.3** 成孔设备就位后，必须平整、稳固，确保在成孔过程中不发生倾斜和偏移。应在成孔钻具上设置控制深度和沉管垂直度的标尺，或者用专业测量仪器进行测量，并应在施工中进行观测记录。

**条文说明**

在机台上设置沉管垂直度的标尺，让沉管操作人员能够及时了解沉管的垂直度，并且要求有能够呈现相互垂直的两个方向的垂直度的标尺，以便及时掌握调整垂直度。

**7.3.4** 应根据土质情况和荷载要求，分别选用单打法、反插法和复打法进行施工。

**条文说明**

单打法（又称一次拔管法）：一次将沉管沉入设计标高，进行灌注混凝土，拔管时每提升0.5~1.0m，振动5~10s，然后再拔管0.5~1.0m，如此反复至全部拔出。在一般土层内拔管速度应控制在1.2~1.5m/min。在较软弱土层中，不得大于0.6~0.8m/min。

复打法：一次将沉管沉入到设计标高，进行灌注混凝土，将沉管上拔至地面后，二次将沉管下沉到设计标高，或局部进行二次下沉，然后进行补灌混凝土，后提升，振动，反复至全部拔出。当采用复打法施工时，应保证前后两次沉管轴线重合。

反插法：一次将沉管沉入到设计标高，在沉管内灌满混凝土，先振动再开始拔管，沉管每提升0.5~1.0m，再向下反插0.3~0.5m，反复进行，直至沉管拔出。在拔管过程中应分段添加混凝土，保持管内混凝土面始终不低于地表面，或高于地下水位1.0~1.5m以上，并应控制拔管速度不得大于0.5m/min。反插法能使桩的截面增大，从而提高桩的承载能力，宜在较差的软土地基上应用。

**7.3.5** 振动沉管法施工工艺应符合下列规定：

**1** 固废基透水混凝土桩施工现场，应清除地上、地下的障碍物。遇有明浜、池塘及洼地时，应抽水和清淤，应回填粘性土料并压实，不得回填杂填土及生活垃圾；

**2** 桩机进入现场，应根据设计桩长、沉管入土深度确定机架高度和沉管长度，并进行组装；

**3** 桩机就位：按设计桩位放置桩尖，桩尖为混凝土预制（也可用钢材预制）并与沉管契合良好，使装置具有良好的密封性，以防止水进入沉管中。桩机应保持水平、稳固，调整沉管与地面垂直，垂直度偏差应不大于1%；

**4** 将沉管沉入设计标高；

**5** 按调整好的配合比配制混合料，混合料应由拌和站集中拌和。搅拌时首先加入骨料和20%左右的水，搅拌30s，然后将剩余的水、外加剂等混合一起加入搅拌机，搅拌1min；

**6** 待沉管打入地下至桩体设计长度后须尽快用料斗进行空中投料，直到管内混合料满足桩体设计用量。如上料量不够，须在拔管过程中进行补充投料，以保证成桩后桩顶标高满足设计要求。充盈系数根据试桩结果确定；

**7** 投料完毕后，启动马达，沉管原地留振10s，然后边振动边拔管，拔管速度控制在2.2~2.5m/min（拔管速度为线速，固废基透水混凝土流动性能越好，拔管速度应越快）；如遇淤泥或淤泥质土，拔管速度可适当放慢；在拔管过程中遇到管内材料黏滞不出，可捶击管壁，并进行反插，每次反插留振10s；

**8** 成桩后桩顶标高应考虑计入保护桩。成桩桩顶标高宜高出设计桩顶不少于50cm；

**9** 当桩管拔出地面后，若发现桩顶有浮浆，应将浮浆段去除，然后用固废基透水混凝土封顶。根据隔桩跳打法移机继续施工，施工过程中按附录B做好施工记录。

**7.3.6** 混凝土的充盈系数不得小于1.0；对于充盈系数小于1.0的桩，应全长复打，对可能断桩和缩颈桩，应采用局部复打，局部复打应超过断桩或颈缩区1m以上。成桩后的桩身设计标高应不低于设计标高。

**7.3.7** 全长复打桩施工应符合下列规定：

**1** 全长复打时，沉管入土深度宜接近原桩长，第一次灌注混凝土应达到自然地面；

**2** 拔管过程中应及时清除粘在管壁上和散落在地面上的混凝土；

**3** 初打和复打的桩轴线应重合；

**4** 复打施工必须在第一次灌注的混凝土初凝之前完成。

**7.3.8** 固废基透水混凝土桩强度达到设计要求后，方可进行桩头处理。

**7.3.9** 桩顶超灌高度或多余浆液凿除处理时不得造成桩顶设计标高以下桩身断裂和扰动桩间土，出现桩身断裂和扰动桩间土时，应报告设计单位处理。

**7.3.10** 桩头处理完毕后，应尽快进行褥垫层铺设，以防止桩间土被扰动。

**7.3.11** 褥垫层底面宜设在同一标高上，如深度不同，基坑底土面应挖成阶梯或斜坡搭接，并按先深后浅的顺序进行垫层施工，搭接处应夯压密实。

**条文说明**

褥垫层施工前，桩间的浮（松）土必须清理干净。褥垫层应设在同一标高上，如深度不同，可挖成退台状或斜坡搭接，搭接处应充分夯实，并按先深后浅，依次进行。分段施工时，接头处应做成斜坡，每层错开0.5~1m。除此，褥垫层的铺设应按本规程第7.4.12条中的规定执行。

**7.3.12** 褥垫层的施工方法、分层铺填厚度、每层压实遍数等宜通过试验确定。褥垫层应铺设均匀，允许偏差±10mm。除接下卧软土层的垫层应根据施工机械设备及下卧层土质条件确定厚度外，一般情况下，垫层的分层铺填厚度可取100mm~150mm，宜采用静力压实法。

**7.3.13** 当垫层底部存在软硬不均的部位时，应根据建筑对不均匀沉降的要求予以处理，并经检验合格后，方可铺填垫层。

**7.3.14** 当地下水位较高影响褥垫层铺设或者基础底面下桩间土的含水量较高影响褥垫层夯实时，应进行降水处理。夯实方法宜根据基础底面下桩间土的含水量的情况，分别采用静力压实法或动力压实法；对于较干的砂石材料，可适当洒水后在进行振动夯实。

**7.3.15** 褥垫层铺设夯实后，若粗颗粒的碎石沉陷明显，而导致面层级配不均时，可在面层增补适量的粗颗粒碎石后，继续振压或夯实。

## 7.4 施工质量控制

**7.4.1** 严格按照桩位布置图放线布点。

**条文说明**

成孔前应按固废基透水混凝土桩平面布置图，采用经纬仪和钢尺测放桩位，严格按照设计布桩图放线布点，并及时校核孔位。

**7.4.2** 施工时设置专人检测成孔、成桩质量，并逐根做好施工记录，发现问题及时处理。

**条文说明**

施工时应设置专门的生产指挥人员、质量检验人员，确保挖孔、成桩、检验依次进行而不互相干扰，使其有序流畅，并应根据工作面及时增减人员和设备。

**7.4.3**  施工成孔时发现地层与勘察资料不符时，应查明原因，会同勘察、设计单位采取有效处理措施，保证工程质量。

**7.4.4**  固废基透水混凝土桩施工应根据设计要求进行监测，并实施动态设计和信息化施工。

## 7.5 安全与环境保护措施

**7.5.1** 机电设备必须有专人操作，特殊工种必须持证上岗，应杜绝人身、机械、电器等安全事故发生。

**7.5.2** 桩机班长应定期检查桩机工作状况，包括转动、升降、钢丝绳以及机具的安全性，发生故障应及时修理，严禁超负荷运行。

**7.5.3** 施工现场电缆应规范布设，电控箱等必须安装二级漏电保护装置，设警示牌，由电工定期检查电气和电路的运行情况。

**7.5.4** 成桩机移动时，应设置防止桩架倒塌的保护措施，确保设备移动平稳安全。

**7.5.5** 成桩施工时，若有高处作业的应采取配带使用安全带等防止高处坠落的有效措施。

**7.5.6** 现场须设有安全防护措施，包括灭火器、警示牌等。

**7.5.7** 易引起粉尘的细料或松散材料应采用帆布等覆盖，固废基胶凝材料、水泥、天然骨料和固废再生骨料等混合料拌合机站应有防尘设备，作业人员配备必要的劳保防护用品。

**7.5.8** 工地临时用电线路架设及用电设施，应按现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46的有关规定执行。

**条文说明**

加强用电安全管理，电工必须持证上岗，现场设备必须具有接地装置，做到一机一闸一保险和三级漏电保护，严禁私自拉接照明线路，现场实行轮流值班制，便于及时处理突发事故。

**7.5.9** 环境保护应符合下列规定：

**1** 应采用加防护罩等措施对施工机械进行降噪处理；

**2** 固废基胶凝材料运输、混凝土搅拌应采取覆盖、封闭等防尘措施；

**3** 废弃水泥浆应处理后排放，不得污染环境。

**条文说明**

应根据施工现场的设备噪声等常见环境因素，制定现场环境保护的控制措施。采取措施降低施工噪声，尽量减轻噪声扰民；做好固废基胶凝材料运输过程中的防散落与沿途污染措施；施工场地和运输道路要定期清扫，保持整洁卫生，防治扬尘。

# 8 检验与验收

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 固废基透水混凝土桩质量检验按时间顺序可分为三个阶段：施工前检验、施工中检验、施工后检验。

**条文说明**

影响固废基透水混凝土桩单桩承载力和桩身完整性的因素存在于施工的全过程中，仅有施工后的检验和验收是不全面、不完整的。如施工过程中出现的局部地质条件与岩土工程勘察报告不符、工程桩施工参数与成桩工艺性试验确定的参数不同、原材料发生变化、设计变更、施工单位变更等情况，都可能产生质量隐患，因此，加强施工过程中的检验是有必要的，应按不同施工阶段对固废基透水混凝土桩进行检验。

**8.1.2** 固废基透水混凝土桩复合地基验收应符合下列规定：

**1** 按照固废基透水混凝土桩、褥垫层项目依次进行；

**2** 当施工标段范围较小时，宜一次性验收；当施工标段范围较大时，可分片区验收；

**3** 固废基透水混凝土桩工程完工后，检验不合格且未经设计处理的工程，不得进入下一道工序的施工。

**8.1.3** 固废基透水混凝土桩质量检验主控项目应包括固废基胶凝材料及外加剂质量、桩数、桩位偏差、桩身混凝土强度、桩身完整性、单桩承载力和复合地基承载力。

**条文说明**

固废基透水混凝土桩质量检验的主控项目检验应参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106、《建筑桩基技术规范》JGJ 94相关规定。

**8.1.4** 固废基透水混凝土桩复合地基承载力检验应在桩身强度满足试验荷载条件，且宜在施工结束28天后进行单桩竖向抗压载荷试验、单桩与多桩复合地基载荷试验。

**8.1.5** 要求主控项目合格率为100%，一般项目合格率达80%以上。

**条文说明**

不同的检验批主控项目和一般项目不同。主控项目是指建筑工程中对安全、节能、环境保护和主要使用功能起决定性作用的检验项目；一般项目是指除主控项目以外的检验项目。主控项目是对检验批的基本质量起决定性影响的检验项目，要求全部合格；一般项目要求合格率达到80%以上。

## 8.2 施工前检验

**8.2.1** 施工前应对固废胶凝材料、固废再生骨料、外加剂、沉管、接桩用材料等产品质量进行检验。

**8.2.2** 施工前应对施工机械设备及性能进行检验。

**8.2.3** 施工前应对桩位放样偏差进行检验。

**条文说明**

参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB 50202、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 94的相关规定执行。桩位放样指的是施工前按照本规程第7.4.1条要求根据固废基透水混凝土桩复合地基桩位平面布置图在施工现场进行的桩位放样。

**8.2.4** 当桩顶以及现场的标高经复核并且满足设计要求后才能进行褥垫层的施工，不满足时要对桩顶进行处理。

**8.2.5** 对褥垫层的填料等材料质量的检验项目、方法和质量应符合国家现行有关标准的规定。

**8.2.6** 施工前质量检验应符合本规程附录C的规定。

## 8.3 施工中检验

**8.3.1** 混凝土搅制应对原材料质量与计量、混凝土配合比、坍落度、混凝土强度等级进行检测并做好记录。

**条文说明**

采用慢速维持荷载法对复合地基承载力进行检验时，除了符合本规程的要求外，还应按现行国家标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79中附录A处理后地基静载荷试验要点的有关规定执行。

**8.3.2** 固废基透水混凝土桩施工时应检查桩位放样偏差、单桩灌注量、灌注时长、沉管提升速度、桩顶标高、垂直度。

**条文说明**

参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94中施工质量检验项目及检验标准，便于在施工期间查明施工参数、工艺方法等是否满足设计要求而开展自检工作。当发现某些指标达不到设计要求时，需要及时采取相应措施，使透混凝土桩施工质量达到设计要求。

**8.3.3** 褥垫层的填料每层厚度以及质量必须进行检查，应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层土。

**8.3.4** 检验褥垫层的施工质量时，取样点应位于每层厚度的2/3深度处。检验点数量，每50~100m2不应少于1个检验点。

**8.3.5** 固废基透水混凝土桩复合地基施工质量检验应符合附录D的规定。

**8.3.6** 在施工过程中施工单位应按本规程第8.3.2条规定对每根桩进行质量检验，对不符合预定质量参数的桩经监理单位确认后报设计单位进行处理。

**条文说明**

施工过程中要求按单桩进行检验有助于问题得到及时的处理。经监理单位确认后报设计单位进行处理的方法有多种，可通过桩身完整性或单桩竖向承载力的验证检测，也可以通过有效手段证明确实需要调整施工工艺参数来解决，或通过设计复核计算，对于不合格的桩采取补桩等措施。

## 8.4 施工后检验

**8.4.1** 固废基透水混凝土桩成桩后、复合地基竣工验收前，应进行桩身完整性检验、单桩竖向承载力检验和复合地基承载力检验。

**条文说明**

按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 5007、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定，应对施工完成后的工程桩进行桩身完整性和竖向承载力检验。桩身完整性与桩体承载力密切相关，桩身完整性有时会严重影响桩体承载力，桩身完整性检测抽样率较高，费用较低，通过检测可减少桩身安全隐患，并可为判定桩体承载力提供参考。

**8.4.2** 桩身完整性宜根据实际情况采用钻芯法验证检测。

**条文说明**

桩身完整性检验应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106中的有关规定执行。对不做静载试验的桩体进行钻芯检测，钻芯应在成桩28d后进行，观察成桩质量，并可同时进行混凝土强度及透水性的测定。

**8.4.3** 单孔钻芯检测发现混凝土桩身质量问题时，应在同一桩体增加钻孔验证，并根据前、后钻芯结果对受检桩重新评价。

**8.4.4** 单桩竖向承载力检验应采用单桩竖向抗压静载试验，检测桩数不应少于同条件下总桩数的1%，且不应少于3根；当总桩数少于50根时，不应少于2根。

**8.4.5** 单桩竖向抗压载荷试验除符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定外，尚应符合下列规定：

**1** 检测时宜在桩顶铺设粗砂或中砂找平层，厚度不宜大于20mm；

**2** 找平层上的刚性承压板直径应与固废基透水混凝土桩的设计直径一致。

**条文说明**

单桩竖向抗压静载试验方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定执行，其中桩头处理方法、刚性承压板尺寸大小及单桩竖向承载力取值方法是已有固废基透水混凝土桩工程检测经验的总结。

**8.4.6** 复合地基承载力检验应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79中的有关规定执行。

**8.4.7** 符合下列条件的固废基透水混凝土桩，应由勘察、设计单位确定适当增加复合地基承载力检验数量：

**1** 桩端持力层为遇水易软化的土层；

**2** 石灰岩岩溶地区的风化土层场地。

**8.4.8** 固废基透水混凝土桩桩身质量完整性检测或复合地基承载力检验后出现不合格的桩（点）时，应由建设、设计、施工、监理、检测部门共同分析原因，并确定处理方法。

**8.4.9** 固废基透水混凝土桩复合地基施工后质量检验应符合本规程附录E的规定。

## 8.5 验收

**8.5.1** 固废基透水混凝土桩验收程序应符合下列规定：

**1** 全部固废基透水混凝土桩施工完毕，检测合格，并开挖到设计标高和轴线复核后进行验收；检验批的验收应按附录F要求进行；

**2** 当施工段范围较小时，宜一次性验收；当施工标段范围较大时，可分片验收；

**3** 固废基透水混凝土桩工程完工后，检验不合格且未经处理的工程，不得进入下一道工序的施工。

**8.5.2** 褥垫层工程验收程序应符合下列规定：

**1** 褥垫层全部施工完毕，经检查合格后，方可进行验收；

**2** 褥垫层可全部一次性验收，也可按实际需要分片区中间验收；

**3** 未经检查合格的褥垫层，不得进行隐蔽验收和进行下一道工序的施工。

**8.5.3** 透水性混凝土桩复合地基验收应在施工单位自检合格的基础上进行，并应具备下列资料：

**1** 岩土工程勘察报告、固废基透水混凝土桩复合地基施工图、图纸会审纪要、设计变更单及材料代用通知单等；

**2** 经审批的施工组织设计、施工方案、技术交底及执行中的变更单；

**3** 水泥等原材料合格证、见证取样文件及复验报告；

**4** 混凝土质量检验报告；

**5** 桩位测量放线图，包括工程桩位线复核签证单；

**6** 施工记录及隐蔽工程验收文件、桩位编号图；

**7**  成桩质量检查报告，包括桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果、桩径检查资料、低应变动力检测报告等；

**8** 褥垫层施工与质量检查记录及汇总，包括褥垫层骨料配合比、厚度与顶层标高、夯实施工及夯填度检查记录等；

**9** 单桩及多桩复合地基承载力和单桩竖向承载力检验报告；

**10** 工程质量事故及事故调查处理资料；

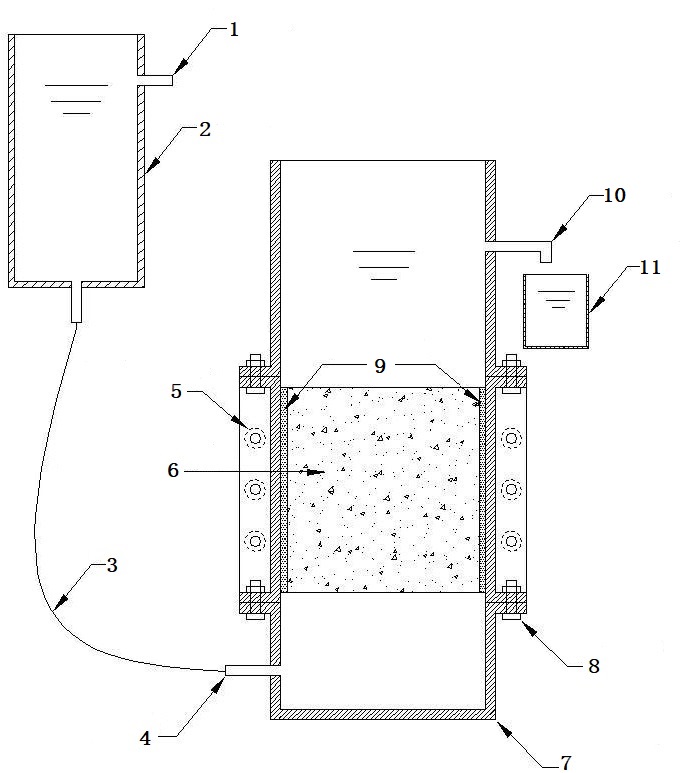
**11** 复合地基变形监测点预埋平面布置图，包括监测点保护措施。

**条文说明**

固废基透水混凝土桩复合地基施工完毕后，应根据施工单位提供的、经现场监理签认的全部竣工资料和现场检查情况，由甲方组织有关单位对工程进行验收，验收合格后，签署工程验收报告。工程验收除应符合本规程有关规定外，尚应符合当地主管部门关于工程验收及国家现行标准《建筑地基基础工程质量验收规范》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

# 附录A 渗透系数的测定方法

**A.0.1** 固废基透水混凝土渗透系数的试验装置宜按图A.0.1设置。

****

1—溢水口；2—储水套筒；3—进水软管；4—进水口；

5—固定件及螺栓；6—固废基透水混凝土试件；7—有机玻璃套筒；

8—法兰连接；9—橡胶垫层；10—溢水口；11—烧杯

图A.0.1 渗透系数测试装置

**A.0.2** 试验装备与装置应符合下列要求：

**1** 有机玻璃套筒：分为上、中、下三节，由法兰螺栓连接；上、下两节分别设置出水口、进水口；中间一节由两个半套筒经固定件及螺栓连接而成；

**2** 橡胶垫层：设置在试件与套筒之间，防止侧壁渗漏。

**A.0.3** 试验前用黄油或凡士林涂抹试件侧面，以封堵试件表面开口空隙。

**A.0.4** 试验用水应使用无气水，可采用新制备的蒸馏水进行排气处理，试验时水温宜为（20±3）℃。

**A.0.5** 试验宜按下列步骤进行：

**1** 将一定龄期的试件取出，擦干表面并在侧面涂抹凡士林或黄油，然后敷以柔性橡胶垫层；将试件安装在有机玻璃套筒的中间段，并将固定螺栓拧紧；最后将套筒三部分连接，并用软管与储水套筒连接；

**2** 将水龙头放在储水套筒上方，打开后先将储水套筒注满，然后让水自下而上灌满试件套筒，同时保持储水套筒和试件套筒都开始溢流；调节储水套筒高度使水位差保持在尽量小的水平，以保证水流处于层流状态；静置数分钟，待水流稳定且气泡排净后开始测试；

**3** 开启秒表，同时用烧杯接取一定时间*t*的渗流水量*V*，计算单位时间内水的体积流量重复试验3次，取其平均值；用直尺测定水头损失。

**A.0.6** 渗透系数应按下式计算：

 （A.0.6）

式中： ——试样的渗透系数（mm/s）；

——单位试件内水的体积流量（mm3）；

——试样的长度（mm）；

——试样的断面积（mm2）；

——两个溢水口水平管的水位差（mm）。

# 附录B 施工记录表

工程名称： 施工日期： 年 月 日

设计桩长/桩径： m 地坪/桩顶标高： m

桩体类型： ；桩尖类型： 混合料坍落度： mm

**透水混凝土桩施工记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 施  工  序  号 | 桩位编号 | 桩入土深度 （m） | 有效桩长（m） | 沉管时间 | | 拔管时间 | | 投料量  （m³） | 浮浆高度（mm） | 激振电流（A/m） | | | | | 备注 |
| 起 | 止 | 起 | 止 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|  |  |  |  |  | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

施工单位： 施工员： 机长：

监理单位： 监理员：

# 附录C 施工前质量检验标准

**固废基透水混凝土桩施工前质量检验标准表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 | 序 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 | 检验方法 |
| 主控项目 | 1 | 水泥及外加剂质量 | 符合出厂和设计要求 | 查产品合格证  和抽样送检 |
| 2 | 粗集料含泥量 | ≤1% | 现场取样送检 |
| 3 | 粗集料压碎值 | ≤16% | 现场取样送检 |
| 一般项目 | 1 | 施工机械设备及性能 | 符合出厂和设计要求 | 查设备标定记录 |
| 2 | 桩位放样（mm） | 10 | 查放线记录 |
| 3 | 沉管管径（mm） | ±5 | 用钢尺量 |
| 4 | 沉管长度 | 按设计要求 | 用钢尺量 |
| 5 | 桩尖中心线（mm） | 2 | 用钢尺量 |
| 6 | 端部倾斜（mm） | 0.5%D | 用水平尺量 |
| 7 | 沉管弯曲（mm） | 1/1000 | 用钢尺量 |
| 8 | 褥垫层材料最大  粒径（mm） | ≤30 | 现场取样送检 |

注：**1** D为沉管外径；

**2** *l*为沉管长度。

# 附录D 施工中质量检验标准

**固废基透水混凝土桩施工中质量检验标准表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 | 序 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 | 检验方法 |
| 主控项目 | 1 | 水泥用量 | 按设计要求 | 查施工记录 |
| 2 | 混凝土配合比 | 按施工组织设计要求 | 查施工记录 |
| 3 | 混凝土坍落度 | 按施工组织设计要求 | 查施工记录 |
| 4 | 沉管提升速度 | 按施工组织设计要求 | 查施工记录 |
| 一般项目 | 1 | 桩位放样偏差（mm） | 10 | 用全站仪及钢尺量 |
| 2 | 单桩灌注量 | 按施工组织设计要求 | 查施工记录 |
| 3 | 单桩灌注时长 | 按施工组织设计要求 | 查施工记录 |
| 4 | 固废基透水混凝土桩垂直度（%） | 1 | 经纬仪 |
| 5 | 桩顶标高（mm） | ±50 | 水准仪 |
| 6 | 褥垫层每层填料厚度 | 按施工组织设计要求 | 查施工记录 |
| 7 | 褥垫层每层填料压实系数 | 按施工组织设计要求 | 查施工记录 |

# 附录E 施工后质量检验标准

**固废基透水混凝土桩施工后质量检验标准表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 | 序 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 | 检验方法 |
| 主控项目 | 1 | 桩身混凝土强度 | 按设计要求 | 混凝土试块评定法 |
| 2 | 单桩承载力和复合  地基承载力 | 按设计要求 | 现场载荷试验 |
| 3 | 桩位偏差（mm） | 100+0.005H | 用全站仪及钢尺量 |
| 4 | 桩身完整性 | 按设计要求 | 按本规程 |
| 5 | 桩数 | 按设计要求 | 现场清点 |
| 一般项目 | 1 | 固废基透水混凝土桩桩径 | 按设计要求 | 用钢尺量 |
| 2 | 桩顶标高（mm） | ±50 | 水准仪 |

注：H为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离。

# 附录F 施工质量验收记录表

**固废基透水混凝土桩施工质量验收记录表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | |  | | 验收部位 |  |
| 施工单位 | |  | | 项目经理 |  |
| 分包单位 | |  | | 分包项目经理 |  |
| 施工执行标准名称及编号 | |  | | | |
| 施工质量验收的规定 | | | | 施工单位检查评定记录 | 监理（建设）单位验收记录 |
| 主  控  项  目 | 1 | 原材料 | 设计要求 |  |  |
| 2 | 桩径（mm） | -20 |  |
| 3 | 桩身强度 | 设计要求 |  |
| 4 | 单桩承载力和复合地基承载力 | 设计要求 |  |
|  | 1 | 桩身完整性 | 设计与规范要求 |  |  |
| 2 | 桩位偏差 | 满堂布桩≤0.40d  条基布桩≤0.25d  单排≤60mm |  |
| 3 | 桩垂直度（%） | ≤1 |  |
| 4 | 桩长（mm） | +100 |  |
| 5 | 褥垫层夯填度 | 0.87~0.9或设计要求 |  |
| 施工单位检查评定结果 | | 专业工长（施工员） |  | 施工班组长 |  |
| 项目专业质量检查员：  年 月 日 | | | |
| 监理（建设）单位验收结论 | | 专业监理工程师：  （建设单位项目专业技术负责人） 年 月 日 | | | |

# 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，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

1. 表示严格，在正常情况下均应该这样做的用词:

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

1. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

1. 表示有选择，在一定条件可以这样做的用词：

正面词采用“可”；反面词采用“不可”。

**2** 本规程中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应按······执行（或采用）”或“应符合······的规定（或要求）”非必须按指定的标准、规范执行的写法为“可参照······”。

# 引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《通用硅酸盐水泥》GB 175

《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》GB 5085.3

《固体废物浸出毒性浸出方法 翻转法》GB 5086.1

《建筑材料放射性核素限量》GB 6566

《混凝土外加剂》GB 8076

《水下不分散混凝土絮凝剂技术要求》GB 37990

《建筑地基基础设计规范》 GB50007

《建筑结构荷载规范》GB50009

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB 50046

《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119

《混凝土质量控制标准》GB 50164

《建筑边坡工程技术规范》GB 50330

《水泥化学分析方法》GB/T 176

《水泥密度测定方法》GB/T 208

《水泥压蒸安定性试验方法》GB/T 750

《水泥细度检验方法（筛析法）》GB/T 1345

《水泥标准稠度用水量﹑凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

《水泥胶砂流动度测定方法》GB/T 2419

《水泥比表面积测定方法（勃氏法）》GB/T 8074

《水泥取样方法》GB/T 12573

《建设用砂》GB/T 14684

《建设用卵石、碎石》GB/T 14685

《预拌混凝土》GB/T 14902

《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》GB/T 17671

《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046

《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491

《用于水泥中的工业副产石膏》GB/T 21371

《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202

《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476

《复合地基技术规范》GB/T 50783

《建筑变形测量规范》JGJ 8

《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46

《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55

《混凝土用水标准》JGJ 63

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

《建筑桩基技术规范》JGJ 94

《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

《公路工程土工合成材料应用技术规范》JTG/T D32

《混凝土防冻剂》JC 475

《水泥原料中氯离子化学分析方法》JC/T 420

《固废基胶凝材料应用技术规程》T/CECS 689