中国工程建设标准化协会

潜孔冲击高压旋喷技术规程

Technical Code for Down-The-Hole Jet Grouting with High Pressure

T/CECS xxx-201x

（征求意见稿）

中国工程建设标准化协会

潜孔冲击高压旋喷技术规程

T/CECS xxx-201x

主编单位：北京荣创岩土工程股份有限公司

 建研地基基础工程有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：

**前 言**

本规程根据中国工程建设标准化协会《关于印发2017年第一批工程建设协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字[2017]014号）的要求，经广泛调查研究，结合我国实际情况，参考国内外先进标准基础上编制。

本规程共分6章和2个附录，主要技术内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕；5.潜孔冲击高压旋喷桩复合地基；6.潜孔冲击高压旋喷复合桩。

本协会提请注意，使用本规程时，可能涉及与“潜孔冲击高压旋喷桩施工工艺和设备（专利号：ZL 201110293700.0）”、“喷射器、钻头组合结构及组合钻具（专利号：ZL 201110298252.3）”、“气浆分离装置及具有该装置的钻杆组合结构（专利号：ZL01120370314.2）”等相关专利，应按国家有关规定与有效专利技术持有人协商解决。本协会对于相关专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

本规程由中国工程建设标准化协会负责管理，由北京荣创岩土工程股份有限公司负责条文的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送北京荣创岩土工程股份有限公司（地址：北京市海淀区西三旗801号院8号楼，邮政编码：100085；电子邮箱：rcytgs@163.com ），以便今后修订时参考。

本规程主编单位：

北京荣创岩土工程股份有限公司

建研地基基础工程有限责任公司

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc14089)

[2 术语和符号 2](#_Toc23892)

[2.1 术 语 2](#_Toc4133)

[2.2 符 号 3](#_Toc12106)

[3 基本规定 5](#_Toc28928)

[4 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕 6](#_Toc15515)

[4.1 一般规定 6](#_Toc7423)

[4.2 勘察要求 6](#_Toc4585)

[4.3 设 计 8](#_Toc4576)

[4.4 施 工 12](#_Toc21258)

[4.5 质量检验及验收 14](#_Toc29900)

[5 潜孔冲击高压旋喷桩复合地基 16](#_Toc9841)

[5.1 一般规定 16](#_Toc14516)

[5.2 勘察要求 16](#_Toc2182)

[5.3 设 计 18](#_Toc20652)

[5.4 施 工 23](#_Toc12056)

[5.5 质量检验及验收 24](#_Toc5677)

[6 潜孔冲击高压旋喷复合桩 26](#_Toc9489)

[6.1 一般规定 26](#_Toc2663)

[6.2 勘察要求 27](#_Toc18705)

[6.3 设 计 30](#_Toc4864)

[6.4 施 工 39](#_Toc28062)

[6.5 质量检验及验收 42](#_Toc5622)

[附录A 施工记录表 46](#_Toc4099)

[表A.0.1 潜孔冲击高压旋喷桩施工记录表 46](#_Toc13705)

[表A.0.2 潜孔冲击高压旋喷复合桩施工记录表 47](#_Toc803)

[附录B 潜孔冲击高压旋喷复合桩施工质量检验标准 48](#_Toc13382)

[表B.0.1 施工前质量检验标准 48](#_Toc5563)

[表B.0.2 施工中质量检验标准 49](#_Toc2740)

[表B.0.3 施工后质量检验标准 50](#_Toc14319)

[附:条文说明 5](#_Toc13382)1

**1 总 则**

**1.0.1** 为使潜孔冲击高压旋喷技术达到安全适用、质量可靠、经济合理、技术先进、保护环境的要求，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用各种于建筑工程中潜孔冲击高压旋喷技术的勘察设计、施工、质量检测和验收。

**1.0.3** 潜孔冲击高压旋喷技术应综合考虑工程地质条件与水文地质条件、地基基础形式、上部结构与荷载特征、施工技术条件、工程环境等因素的影响，并结合工程经验，合理设计、精心施工、严格检测。

**1.0.4**  潜孔冲击高压旋喷技术的设计、施工、质量检测与验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**2 术语和符号**

2.1 术 语

**2.1.1**  潜孔冲击高压旋喷工法 down-the-hole jet grouting with high pressure

利用潜孔锤高频振动作用和高压水动能、气动能共同冲击破坏土体，然后通过钻杆带动喷射口旋转、提升，将高压喷射的水泥浆液与土体混合形成水泥土固结体的方法。由该工法形成的水泥土桩体称为潜孔冲击高压旋喷桩。

**2.1.2** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕 jet grouting columns groundwater cut-off curtain

由潜孔冲击高压旋喷桩相互咬合或与排桩相互咬合形成的阻隔或减少地下水从围护体侧壁进入开挖施工作业面的连续阻水体。

**2.1.3** 潜孔冲击高压旋喷桩复合地基 jet grouting columns composite foundation

由潜孔冲击高压旋喷桩作为竖向增强体与地基土共同承担荷载的人工地基。

**2.1.4** 潜孔冲击高压旋喷复合桩 cement soil columns composite piles

由潜孔冲击高压旋喷桩与同轴的芯桩（芯桩可采用预制桩或灌注桩）复合而成的基桩。

2.2 符 号

**2.2.1** 作用和作用效应

 ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值；

 ——基础底面处土的自重压力值；

 ——孔隙比；

 ——地基承载力特征值；

 ——桩体单位截面积承载力特征值；

 ——桩间土的承载力特征值；

——复合地基的承载力特征值；

 ——塑性指数；

 ——桩端地基土的承载力特征值，桩端端阻力特征值；

 ——桩周土的侧阻力特征值；

 ——单桩竖向承载力特征值；

**2.2.2** 几何参数

 ——基础底面积；

——一根桩承担的处理地基面积；

 ——桩的截面积；

 ——基础底面宽度；

 —水泥土桩直径

 ——芯桩直径；

 ——一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径、有效排水直径；

 ——基础底面长度，桩长；

 ——面积置换率；

 ——桩间距；

 —— 基础底面下换填垫层的厚度；

**3 基本规定**

**3.0.1** 潜孔冲击高压旋喷技术适用的地层范围：

**1** 适用于素填土、冲填土、黏性土、粉土、砂土等地层。

**2** 对于碎石土（包括砾石、卵石、漂石、块石等）、杂填土、抛石填海地层、高填方松散回填地层、湿陷性土、膨胀土、红黏土、盐渍土、冻土、混合土、污染土以及风化岩、残积土等地层，应进行成桩工艺试验。

**3.0.2** 潜孔冲击高压旋喷成桩工艺试验，应确定钻具型号、钻进速度、风压风量、钻具提升速度、转速、气压、水泥浆（水）的喷射压力、流量注浆量等工艺参数。应确定固化材料和添加剂种类、浆液配比，并通过试验确定其实用性。每项工程试桩数量不宜少于3根。

**3.0.3** 采用潜孔冲击高压旋喷技术进行防渗、地基加固和用于桩基础时，除应遵守本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**4 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕**

4.1 一般规定

**4.1.1** 潜孔冲击高压旋喷桩用于基坑截水帷幕时，对碎石土、杂填土、泥炭质土或地下水流速较大时，宜通过试验确定潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕的适用性。

**4.1.2** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕功能应符合下列规定：

**1** 应满足周边既有建（构）筑物使用安全的要求；

**2** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕设计应与支护结构设计相结合；

**3** 应满足开挖面渗流稳定性要求；

**4** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕应满足自防渗要求，渗透系数不宜大于1.0×10-6 cm/ s。

4.2 勘察要求

**4.2.1** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕勘察应查明场地及其周边区域的水文地质条件，提供地下水控制设计、潜孔冲击高压旋喷桩施工所需的水文地质参数和岩土参数。

**4.2.2** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕勘察应根据工程设计需要开展，可与岩土工程勘察合并进行。对于特殊场地或工程需要时，可进行补充勘察或专项地下水控制勘察。

**4.2.3** 地下水控制勘察应包括下列主要工作：

**1** 搜集场地及其周边工程地质、水文地质资料，已有建筑物、管线、地下构筑物的分布和埋设资料，拟建建（构）筑物平面布置和基础埋深等设计资料及要求等；

**2** 搜集区域性气候资料；

**3** 查明含水层和隔水层的埋藏条件，主要含水层的岩性特征、分布规律、地下水类型、流向、水质、水位及其变化幅度，当场地有多层对工程有影响的地下水时，分层量测地下水位，并查明各含水层之间的补排关系；

**4** 查明基岩裂隙、岩溶发育程度、富水性；

**5** 查明地下水的补给、径流、排泄条件，地表水体和地下河系的分布及其与工程场地地下水的水力联系；

**6** 确定各含水层的渗透系数等水文地质参数；

**7** 确定地下水控制稳定、变形计算等所需的岩土参数；

**8** 提出地下水控制方法的建议。

4.3 设 计

**4.3.1** 截水帷幕设计应包括下列内容：

**1** 确定截水帷幕的平面布置、竖向布置、结构形式；

**2** 截水帷幕的结构设计和构造要求；

**3** 确定技术参数，提出施工质量要求和控制指标；

**4** 提出对帷幕本体及周边工程环境监测要求，明确预警值、控制值和控制措施；

**5** 预测可能存在的施工风险，有针对性的制定应急措施。

**4.3.2** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕在平面布置上宜沿地下水控制区域闭合，在设计深度范围内应连续。当采用未闭合的平面布置时，应对地下水沿帷幕两端绕流引起的渗流破坏和地下水位下降对周边环境的影响进行分析，并应采取阻止地下水流入基坑内的措施。

**4.3.3** 当基础底部以下存在连续分布、埋深较浅的隔水层时，应采用落底式竖向截水帷幕；当基础底部以下含水层厚度较大，隔水层不连续或埋深较深时，可采用悬挂式竖向截水帷幕，同时应采取截水帷幕内侧降水，必要时采取帷幕外侧回灌或与水平截水帷幕结合的措施；地下暗挖隧道、涵洞工程可采用水平向或斜向截水帷幕。

**4.3.4** 落底式帷幕进入下卧隔水层的深度应满足下式要求，且不宜小于1.5m：

 （4.3.4）

式中： ──帷幕进入隔水层的深度(m)；

──帷幕帷幕两侧水头差值(m)；

──帷幕厚度(m)。

**4.3.5** 悬挂式截水帷幕在坑底以下的插入深度应满足地下水从帷幕底绕流的渗流稳定性验算的要求。对非均质含水层宜采用数值方法进行渗流稳定性分析；对均质含水层，可按下式验算：

 (4.3.5)

式中：*—* 流土稳定性安全系数；安全等级为一、二、三级的地下水控制工程应分别不小于1. 6、1. 5 、1. 4；

—悬挂式截水帷幕在基坑底面以下的插入深度(m)；

—潜水面或承压水含水层顶面至基坑底面的土层厚度(m)；

—帷幕内外的水头差(m)；

—基坑底面以下土的浮重度(kN/m3 )；

—水的重度(kN/m3 )。

**4.3.6** 当支护结构为排桩时，可采用潜孔冲击高压旋喷桩与排桩相互衔接(咬合)组成的嵌入式截水帷幕。

**4.3.7** 当采用挡土止水一体结构时，应根据土层的性质、地下水条件及基坑周边环境要求等，选择在相互衔接（咬合）的潜孔冲击高压旋喷桩中插入型钢、钢板、钢管等桩型。

**4.3.8** 当基坑底部一定范围内没有可以利用的隔水层时，可采用水泥土固结体在基坑底部形成一定厚度的水平截水帷幕。水平截水帷幕的厚度与深度应满足抗浮稳定要求：

  (4.3.8)

式中： —水泥土的重度，kN/m³；

—水的重度，取10kN/m³；

 —水平截水帷幕底面的承压水头，m；

 —水平截水帷幕的厚度，m；

 —安全系数，可取≥1.2；

图4.3.8 水平截水帷幕的突涌稳定性验算

1-地下水位，2-基坑底标高，3-水平截水帷幕，4-截水帷幕

**4.3.8** 水泥土的重度与水泥的掺量有关，水泥的掺量与帷幕桩设计要求的抗渗、抗压强度有关。可建立思路如下：先通过设计要求的水泥土抗渗强度和抗压强度确定该地层所需的水泥掺量；然后通过水泥掺量计算水泥土的重度（需再查询资料，或在条文说明中给出不同土层（仅考虑渗透性较大的土层，黏性土不考虑）、不同水泥掺量下的水泥土重度经验取值）。检测水泥土重度可采用现场同条件试块、钻芯取样进行密度试验得到所需重度值。例如：天津海相淤泥重度1.75，加入20%水泥后，测得水泥土比重2.25；但淤泥及粘土不需考虑封底的抗渗透作用。

4.4 施 工

**4.4.1** 施工前根据周边环境、地下管线的埋设情况以及地下构筑物的分布复核止水帷幕的平面布置。

**4.4.2** 施工前应根据潜孔冲击高压旋喷桩的有效半径和土的类别确定喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转速度等工艺参数。对硬塑状态的黏性土、密实的砂土和碎石土宜采用较小的提升速度和较大的喷射压力。缺少类似土层条件下的施工经验时，应通过现场工艺试验确定施工工艺参数。

**4.4.3** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕所用浆液应满足下列要求：

**1** 应根据地层条件和设计要求选用适合的浆液，浆液一般由水、水泥和外加剂组成；

**2** 配置浆液的水，应干净无杂质和对混凝土无侵蚀性；

**3** 水泥宜采用普通硅酸盐水泥，外加剂的选择和用量应通过现场试验确定。

**4.4.4** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕施工时应符合下列规定：

**1**  采用与排桩咬合的嵌入式截水帷幕时，应先进行排桩施工，后进行高压旋喷桩施工；

**2** 独立式截水帷幕应采用隔孔作业的施工顺序，相邻孔喷射注浆的间隔时间不宜小于24h；

**3** 喷射注浆时，应由下而上均匀喷射，停止喷射的位置宜高于帷幕设计顶面1m；

**4** 当高压喷射注浆因故中途停喷后，继续注浆时应与停喷前的注浆体搭接，其搭接长度不应小于0.5m；

**5** 可采用复喷工艺增大固结体半径、提高固结体强度；

**6** 喷射注浆时，当孔口的返浆量大于注浆量的20％时，可采用提高喷射压力、增加提升速度等措施；

**7** 当因喷射注浆的浆液渗漏而出现孔口不返浆的情况时，应在漏浆部位停止提升注浆管进行喷射注浆，并宜同时采用从孔口填入中粗砂、注浆液掺入速凝剂等措施，直至出现孔口返浆；

**8** 喷射注浆后，当浆液析水、液面下降时，应进行补浆；

**9** 施工中遇地下障碍物、洞穴、涌水、漏水及与工程地质报告不符等情况，应采取相应的措施。

**4.4.5**  孔位允许偏差应为50mm，注浆孔的垂直度偏差不应超过0.5%。

**4.4.6**  水泥土固结体搭接宽度应符合下列规定：

**1** 当注浆孔深度L < 10m时，搭接宽度不应小于150mm；

**2**  当注浆孔深度为10m≤L<20m时，搭接宽度不应小于200mm；

**3** 当注浆孔深度20m≤L<30mm时，搭接宽度不应小于300mm。

4.5 质量检验及验收

**4.5.1** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕的质量验收应根据《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120和《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111等有关规定。

**4.5.2** 对封闭式截水帷幕，宜通过坑内抽水试验，观测抽水量变化、坑内外水位变化等检验其可靠性。

**4.5.3** 对设置在支护结构外侧的独立式截水帷幕，可通过开挖后的隔水效果判定其可靠性。

**4.5.4** 对嵌入式截水帷幕，应在开挖过程中检查固结体的尺寸、搭接宽度，检查点应随机选取，对施工中出现异常和漏水部位应检查并采取封堵、加固措施。

**4.5.5** 截水帷幕的运行维护应符合下列规定：

**1** 现场配电设施应有明显的安全保护标识；

**2** 应按设计要求进行监测和日常巡视；

**3** 发现异常应及时反馈，并应采取必要的处理措施；

**4** 基坑开挖过程中不得损伤截水帷幕；当土钉、锚杆穿过截水帷幕时应采用快硬水泥砂浆封堵锚孔，修复截水帷幕。

**4.5.6** 截水帷幕验收资料应包括下列内容：

**1** 设计依据、技术要求，经审批的施工组织设计、施工方案以及执行中的变更单；

**2** 测量放线成果和复核签证单；

**3**  原材料质量合格和质量鉴定书，半成品产品的质量合格证书；

**4** 施工记录和隐蔽工程的验收文件，检测试验及见证取样文件；

**5**  监测、巡视检查记录；

**6**  截水帷幕的运行维护记录；

**7** 对周边工程环境的影响记录，包括基坑支护结构、周边地面、邻近工程和地下设施的变形记录。

**5 潜孔冲击高压旋喷桩复合地基**

5.1 一般规定

**5.1.1**  潜孔冲击高压旋喷桩复合地基适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土（流塑、软塑和可塑）、粉土、砂土、黄土、素填土、碎石土和土中含有较多大直径块石等地基。对土中含有大量植物根茎和高含量的有机质，以及地下水流速较大的工程，应根据现场试验结果确定其适用性。

**5.1.2**  在制定地基处理方案前，应完成下列工作：

 **1** 搜集详细的岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计资料等；

 **2** 调查邻近建筑、地下工程、周边道路及有关管线等情况；

 **3** 了解施工场地周边环境情况。

**5.1.3** 对潜孔冲击高压旋喷桩应进行强度及桩身完整性检验。

**5.1.4** 潜孔冲击高压旋喷桩复合地基承载力的验收检验应采用复合地基静载荷试验，对复合地基增强体尚应进行单桩静载荷试验。

5.2 勘察要求

**5.2.1** 拟采用潜孔冲击高压旋喷桩复合地基的场地，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** 查明孤石、地下洞穴、植物残体、管线、障碍物等可能影响复合地基中增强体施工的因素。

**4** 应查明潜孔冲击高压旋喷桩复合地基中增强体的侧摩阻力、端阻力及土的压缩曲线、压缩模量和未经修正的桩端土地基承载力。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复合地基应查明黏性土层士体的抗剪强度指标以及土体不排水抗剪强度。

**6**  路堤、堤坝、堆场工程的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。

**7**  应查明pH值、有机质含量、地下水和土的腐蚀性、黏性土的超固结度等地质参数。

**5.2.2**  控制性勘探孔的深度应满足复合地基沉降计算的要求；需验算地基稳定性时，勘探孔布置和勘察孔深度应满足稳定性验算的需要。

5.3 设 计

**5.3.1** 当采用潜孔冲击高压旋喷桩作为复合地基增强体时，复合地基设计前，应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，以确定设计参数和处理效果。

**5.3.2** 潜孔冲击高压旋喷桩的平面布置可根据上部结构和基础特点确定。独立基础下的桩数一般不应少于4根。

**5.3.3**  潜孔冲击高压旋喷桩复合地基承载力特征值和单桩竖向承载力特征值应通过现场静载荷试验确定。初步设计时，按下列公式估算：

**1** 复合地基承载力特征值应按下式计算：

  (5.3.3-1)

式中：——复合地基承载力特征值（kPa）；

——单桩承载力发挥系数，可根据《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的相关规定取值；

——面积置换率；

——单桩竖向承载力特征值(kN)；

——桩的截面积(m2)；

*—*—桩间土承载力发挥系数，可根据《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的相关规定取值；

——处理后桩间土承载力特征值（kPa）应按静载荷试验确定；无试验资料时可取天然地基承载力特征值；

**2** 潜孔冲击高压旋喷桩单桩竖向承载力特征值应通过现场载荷试验确定。初步设计时也可按下式估算：

  (5.3.3-2)

式中：——单桩竖向承载力特征值（kN）；

——桩的周长（m）；

——桩周第*i*层土的侧阻力特征值（kPa），可根据《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的相关规定取值；

——桩长范围内第*i*层土的厚度（m）；

——桩端端阻力发挥系数，可根据《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的相关规定取值；

——桩端端阻力特征值（kPa），可根据《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的相关规定取值；

**5.3.4** 潜孔冲击高压旋喷桩桩身强度应满足式（5.3.4-1）的要求。

  （5.3.4-1）

式中：——桩体试块（边长150mm立方体）标准养护28d的立方体抗压强度平均值（kPa）；

**5.3.5** 复合地基变形计算应符合国家《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定，地基变形计算深度应大于复合土层的深度。复合土层的分层与天然地基相同，各复合土层的压缩模量等于该层天然地基压缩模量的倍，值可按下式确定：

  （5.3.5-1）

  （5.3.5-2）

式中：——基础底面下天然地基承载力特征值（kPa）。

**5.3.6** 复合地基的变形计算经验系数可根据地区沉降观测资料统计值确定，无经验取值时，可采用表5.3.6的数值。

表5.3.6 沉降计算经验系数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 4.0 | 7.0 | 15.0 | 20.0 | 35.0 |
|  | 1.0 | 0.7 | 0.4 | 0.25 | 0.2 |

注：为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算；

  （5.3.6）

式中：*—*—加固土层第*i*层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

*—*—加固土层下第*j*层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

**5.3.7** 当旋喷桩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：

  (5.3.7)

式中： ——荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加应力值（kPa）；

——软弱下卧层顶面处地基土的自重压力值 (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) 。

**5.3.8** 旋喷桩复合地基宜在基础和桩顶之间设置褥垫层。褥垫层厚度可取150mm～300mm，褥垫层材料可选用中砂、粗砂和级配砂石等，褥垫层最大粒径不宜大于20mm。褥垫层的夯填度不应大于0.9。

**5.3.9** 潜孔冲击高压旋喷桩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（） 应按下式计算：

  (5.3.9)

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；

*D*——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。

5.4 施 工

**5.4.1** 潜孔冲击高压旋喷桩方案确定后，应结合工程情况进行现场试验，确定施工参数。

**5.4.2** 桩位施工允许偏差：对条形基础的边桩沿轴线方向应为桩径的±1/4，沿垂直轴线方向应为桩径的±1/6，其他情况桩位的施工允许偏差为桩径的±40%；桩身的垂直度允许偏差应为±0.5%。

**5.4.3** 潜孔冲击高压旋喷桩施工应符合下列规定：

**1** 施工前，应根据现场环境和地下埋设物的位置等情况，复核桩位。

**2** 施工参数应根据土质条件、加固要求，通过试验或根据工程经验确定。高压水的压力宜大于20MPa，流量应大于60L/min，气流压力宜大于0.7MPa，提升速度宜为0.1m/min～0.4m/min。

**3** 旋喷注浆，宜采用强度等级为42.5级的普通硅酸盐水泥，可根据需要可加入适量的外加剂及掺合料。外加剂和掺合料的用量，应通过试验确定。

**4** 水泥浆液的水灰比宜为0.8～1.2。

**5** 施工工序为机具就位、下钻成孔、提升钻杆喷射注浆和冲洗钻机等。

**6** 喷射孔与高压注浆泵的距离不宜大于50m。钻孔的位置的允许偏差应为±50mm。垂直度允许偏差应为±0.5%。

**7** 当成孔深度达到设计标高时，即可喷射注浆。在喷射注浆参数达到规定值后，随即按旋喷的工艺要求，提升钻杆及喷射器，由下而上旋转喷射注浆。

**8** 对需要局部扩大加固范围或提高强度的部位，可采用复喷措施。

**9** 在旋喷注浆过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时，应查明原因并及时采取措施。

**10** 旋喷注浆完毕，应迅速拔出喷射器。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程，可在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施。

**11** 施工中应做好废泥浆处理，及时将泥浆运出或在现场短期堆放后作土方运出。

**12** 施工中应严格按照施工参数和材料用量施工，用浆量和提升速度应采用自动记录装置，并做好各项施工记录。

5.5 质量检验及验收

**5.5.1** 潜孔冲击高压旋喷桩复合地基质量检验应符合下列规定：

**1** 可根据工程要求和当地经验采用开挖检查、钻孔取芯和静载荷试验等方法进行检验成桩质量。

**2** 检验点布置应符合下列规定：

1）有代表性的桩位；

2）施工中出现异常情况的部位；

3）地基情况复杂，可能对旋喷桩质量产生影响的部位。

**3** 成桩质量检验点的数量不少于总桩数的2%，并不应少于6点。

**4** 承载力检验宜在成桩28d后进行。

**5.5.2** 竣工验收时，潜孔冲击高压旋喷桩复合地基承载力检验应采用复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验。检验数量不得少于总桩数的1%，且每个单体工程复合地基静载荷试验的数量不得少于3台。

**6 潜孔冲击高压旋喷复合桩**

6.1 一般规定

**6.1.1** 潜孔冲击高压旋喷复合桩适用于素填土、粉土、黏性土、砂土、碎石土和基岩。遇有下列情况时，应通过现场和室内试验确定其适用性：

 **1** 淤泥、淤泥质土、吹填土、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；

 **4** 岩溶地区、坡地、岸边等特殊场地条件。

**6.1.2** 潜孔冲击高压旋喷复合桩设计与施工前，应具备以下资料：

**1** 岩土工程勘察文件；

**2** 建筑场地与环境条件的有关资料；

**3** 建筑物的有关资料；

**4** 施工条件的有关资料。

**6.1.3**  当无可靠的潜孔冲击高压旋喷复合桩工程经验时，设计前应针对桩长范围内主要土层进行室内水泥土配比试验，选择合适的水泥品种、外加剂及其掺量，并应符合下列规定：

**1** 宜选用普通硅酸盐水泥，强度等级可选用42.5级或以上，对于地下水有腐蚀性环境宜选用抗腐蚀性水泥；

**2** 水泥掺量不宜小于15%；

**3** 水泥浆的水灰比应按工程要求确定，可取0.8～1.5；

**4** 外加剂可根据工程需要和地质条件选用具有早强、缓凝及节省水泥等作用的材料。

**6.1.4** 设计前应选择有代表性场地进行成桩工艺试验，类似条件下试验不宜少于3组。

**6.1.5** 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。

**6.1.6** 对于采用潜孔冲击高压旋喷复合桩的建（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。

6.2 勘察要求

**6.2.1**  潜孔冲击高压旋喷复合桩设计所需的岩土工程勘察文件应包含以下内容：

**1** 桩基按两类极限状态进行设计所需用岩土物理力学参数及原位测试参数；

**2** 对建筑场地的不良地质作用，如滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、土洞等，有明确判断、结论和防治方案；

**3** 地下水位埋藏情况、类型和水位变化幅度及抗浮设计水位，土、水的腐蚀性评价，地下水浮力计算的设计水位；

**4** 抗震设防区按设防烈度提供的液化土层资料；

**5** 有关地基土冻胀性、湿陷性、膨胀性评价。

**6.2.2** 桩基的详细勘察除应满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》 GB 50021 有关要求外，尚应满足下列要求：

**1** 勘探点间距：

1）对于端承型桩（含嵌岩桩）：主要根据桩端持力层顶面坡度决定，宜为 12~24m。当相邻两个勘察点揭露出的桩端持力层层面坡度大于10%或持力层起伏较大、地层分布复杂时，应根据具体工程条件适当加密勘探点。

2）对于摩擦型桩：宜按20~35m布置勘探孔，但遇到土层的性质或状态在水平方向分布变化较大，或存在可能影响成桩的土层时，应适当加密勘探点。

3）复杂地质条件下的柱下单桩基础应按柱列线布置勘探点，并宜每桩设一勘探点。

**2** 勘探深度：

1）宜布置1/3~1/2 的勘探孔为控制性孔。对于设计等级为甲级的建筑桩基，至少应布置3个控制性孔，设计等级为乙级的建筑桩基至少应布置2个控制性孔。控制性孔应穿透桩端平面以下压缩层厚度；一般性勘探孔应深入预计桩端平面以下3~5倍桩身设计直径，且不得小于3m；对于大直径桩，不得小于5m。

2) 嵌岩桩的控制性钻孔应深入预计桩端平面以下不小于3~5 倍桩身设计直径，一般性钻孔应深入预计桩端平面以下不小于1~3 倍桩身设计直径。当持力层较薄时，应有部分钻孔钻穿持力岩层。在岩溶、断层破碎带地区，应查明溶洞、溶沟、溶槽、石笋等的分布情况，钻孔应钻穿溶洞或断层破碎带进入稳定土层，进入深度应满足上述控制性钻孔和一般性钻孔的要求。

**3**  在勘探深度范围内的每一地层，均应采取不扰动试样进行室内试验或根据土质情况选用有效的原位测试方法进行原位测试，提供设计所需参数。

6.3 设 计

**6.3.1** 潜孔冲击高压旋喷复合桩的设计等级应根据建筑规模、功能特征、对差异变形的适应性、场地地基和建筑物体形的复杂性，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定确定。

**6.3.2** 潜孔冲击高压旋喷复合桩应根据具体条件分别进行下列承载能力计算：

**1** 应根据桩基的使用功能和受力特征分别进行桩基的竖向承载力计算和水平承载力计算；

**2** 应对桩身承载力进行计算；

**3** 当桩端平面以下存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层承载力验算；

**4** 对于承受拔力的桩基，应进行基桩和群桩的抗拔承载力计算；

**5** 对于抗震设防区的桩基，应进行抗震承载力验算。

**6.3.3** 以下情况，潜孔冲击高压旋喷复合桩基础应进行沉降计算：

**1** 设计等级为甲级的桩基；

**2** 设计等级为乙级的，且建筑物体形复杂、荷载分布显著不均匀或桩端平面以下存在软弱土层的桩基。

**6.3.4** 与桩身水泥土配比相同的室内水泥土试块（边长为70.7mm的立方体）在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值不宜低于4MPa。

**6.3.5** 潜孔冲击高压旋喷复合桩的选型应符合下列规定：

**1** 水泥土桩直径与芯桩直径之差，应根据环境类别、承载力要求、桩侧土性质等综合确定，且不应小于300mm；

**2** 水泥土桩直径与芯桩直径之比可按表6.3.1的规定确定，水泥土强度高者取低值，反之取高值**:**

表6.3.1 水泥土桩直径与芯桩直径之比

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *d*(mm) | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 |
| *D/d* | 2.7~3.0 | 2.0~2.5 | 1.7~2.2 | 1.5~2.0 | 1.4~1.8 |

**3**  芯桩长度应根据计算确定，且不宜小于水泥土桩长度的2/3；

**4** 芯桩可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》 JGJ 94的有关规定采用混凝土预制桩、预应力混凝土空心桩或钢桩，直径宜为300mm、400mm、500mm、600mm、800mm。

**6.3.6** 潜孔冲击高压旋喷复合桩的布置应符合下列规定：

**1** 对于排数不少于3排且桩数不少于9根的桩基，基桩的中心距不应小于4.5d且不应小于2.5D；对于其他情况的桩基，基桩的中心距不应小于4.0d且不应小于2.5D；

**2** 宜选择中、低压缩性土层作为桩端持力层，桩端全断面进入持力层的长度可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》 JGJ 94的有关规定执行；当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于3D。

**3** 对于嵌岩桩，嵌岩深度应综合荷载、上覆土层、基岩、桩径、桩长诸因素确定；对于嵌入倾斜的完整和较完整岩的全断面深度不宜小于0.4d且不小于0.5m，倾斜度大于30%的中风化岩，宜根据倾斜度及岩石完整性适当加大嵌岩深度；对于嵌入平整、完整的坚硬岩和较硬岩的深度不宜小于0.2d，且不应小于0.2m。

**6.3.7** 单桩竖向承载力计算应符合下列规定：

**1** 荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下

  (6.3.7-1)

偏心竖向力作用下，除应满足式（4.3.3-1)外，尚应满足下式的要求：

  (6.3.7-2)

**2** 地震作用效应和荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下

  (6.3.7-3)

偏心竖向力作用下，除应满足式（4.3.3-3）外，尚应满足下式的要求：

  (6.3.7-4)

式中：——单桩竖向承载力特征值（kN）；

——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力（kN）；

——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的平均竖向力（kN）；

——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的最大竖向力（kN）。

**6.3.8** 单桩竖向承载力应按下式确定：

  (6.3.8)

式中：——安全系数，取=2；

——单桩竖向极限承载力标准值（kN）。

**6.3.9** 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** 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，单桩的静载荷试验，应按《地基基础设计规范》GB50007的有关规定进行；

**2** 初步设计时单桩竖向抗压极限承载力标准值可按下列公式估算，并取其中的较小值：

  （6.3.9-1）

  （6.3.9-2）

  （6.3.9-3）

式中：——潜孔冲击高压旋喷复合桩周长（m)；

——第*i*层土的极限侧阻力标准值（kPa)，无当地经验时，可取现行行业标准《建筑桩基技术规范》 JGJ 94规定的泥浆护壁钻孔桩极限侧阻力标准值的1.5~1.6倍；

——潜孔冲击高压旋喷复合桩长度范围内的第*i*层土的厚度（m）；

——极限端阻力标准值（kPa)，无当地经验时，可取现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94规定的泥浆护壁钻孔桩极限端阻力标准值；

——潜孔冲击高压旋喷复合桩桩端面积（m2)；

**——芯桩周长（m)；

**——芯桩-水泥土界面极限侧阻力标准值（kPa）；

——芯桩长度(m)；

**——桩身水泥土强度折减系数，可取0.33；

**——与桩身水泥土配比相同的室内水泥土试块（边长为70.7mm的立方体）在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值（kPa)；

——芯桩-水泥土界面极限侧阻力标准值与对应位置水泥土立方体抗压强度平均值之比，可取0.16。

**3**  当桩端置于完整、较完整基岩时，潜孔冲击高压旋喷复合桩的单桩竖向极限承载力应通过静载试验确定。初步设计时，非嵌岩段总极限侧阻力应按照本规程6.2.7条规定，取水泥土-土界面总极限侧阻力和芯桩-水泥土界面总极限侧阻力较小值。嵌岩段总极限阻力应按照《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定计算，其中嵌岩段侧阻和端阻综合系数可参考泥浆护壁成桩后压浆工艺执行。

**6.3.10** 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** 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，并应加载至破坏。单桩竖向抗拔载荷试验，应按《地基基础设计规范》GB50007的有关规定进行；

**2** 初步设计时 单桩竖向抗拔极限承载力标准值可按下列公式估算，并取其中的较小值：

单桩或群桩呈非整体破坏时：

 （6.3.10-1）

 （6.3.10-2）

群桩整体破坏时：

 （6.3.10-3）

式中：、—— 芯桩抗拔系数、潜孔冲击高压旋喷复合桩抗拔系数，可按表6.3.10取值；

——芯桩长度范围内第i层土的厚度（m）；

——群桩外周边长度（m）。

表6.3.10 芯桩、潜孔冲击高压旋喷复合桩抗拔系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土类 | λ1值 | λ2i值 |
| 芯桩为预制桩 | 芯桩为灌注桩 |
| 砂土 | 0.90~0.95 | 1 | 0.50~0.70 |
| 黏性土、粉土 | 0.80~0.90 | 1 | 0.70~0.80 |

注：砾石、卵石等土层对于抗拔系数的取值目前尚无具体数据，可参考基岩抗浮锚杆相关规程或抗拔、抗浮相关设计案例中的取值确定。

**6.3.11** 桩身竖向承载力应根据芯桩类型依据《地基基础设计规范》GB 50007和《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定进行验算。

**6.3.12** 单桩水平承载力特征值应通过现场水平载荷试验确定。必要时可进行带承台桩的载荷试验。单桩水平载荷试验应按《地基基础设计规范》GB50007和《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定进行。

**6.3.13**  潜孔冲击高压旋喷复合桩基础的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、《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**6.3.14** 潜孔冲击高压旋喷复合桩与承台的连接构造要求如下：

**1** 复合桩桩中心至承台边缘的距离应符合下列规定：

1. 边桩中心至承台边缘的距离不宜小于管桩的直径，且复合桩的外边缘至承台边缘的距离不应小于150mm；
2. 对于墙下条形承台梁，桩中心至承台梁边缘的距离不宜小于管桩的直径，且水泥土复合管桩的外边缘至承台梁边缘的距离不应小于75mm。

**2** 芯桩嵌入承台内的长度，当芯桩直径小于800mm时不宜小于50mm，当芯桩直径大于等于800mm时不宜小于100mm。

**3** 当芯桩采用管桩时，复合桩与承台宜采用填芯混凝土中埋设锚固钢筋的连接方式，并应合下列规定：

1. 对于承压桩，填芯混凝土深度应大于6倍管桩直径，且不得小于3.0m；对于承受拔力的桩，填芯混凝土深度应按《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330的有关规定计算后确定，且不得小于3.0m；对承受水平力较大的桩，宜通长填芯；
2. 对于承压桩，锚固钢筋数量和规格可按表6.3.14选取；对于承受拔力的桩，锚固钢筋面积应按填芯混凝土深度应按《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330的有关规定计算后确定且应满足表6.3.14规定；箍筋可按表6.3.14选取；

表6.3.14 锚固钢筋、箍筋数量和规格(mm)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 管桩直径 | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 |
| 锚固钢筋 | 4C16 | 4C20 | 6C18 | 6C20 | 6C20 | 8C20 |
| 箍筋 | φ6@200 | φ6@200 | φ8@200 | φ8@200 | φ8@150 | φ8@150 |

1. 填芯混凝土中应通长配置锚固钢筋；
2. 锚固钢筋锚入承台内的长度：承压桩不应小于35倍钢筋直径；承受拔力的桩应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》 GB 50010的有关规定确定。

**4** 承台之间的连接除应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》 GB 50007、《建筑桩基技术规范》 JGJ 94的有关规定外，尚应符合下列规定：

1. 同一承台的桩数不多于2根时，应加强承台间的拉结；
2. 有抗震要求的柱下桩基承台，宜在两个主轴方向设置连系梁。

6.4 施 工

**6.4.1** 潜孔冲击高压旋喷复合桩施工应具备以下资料：

 1 建筑场地岩土工程勘察报告；

 2 桩基工程施工图及图纸会审纪要；

 3 建筑场地和临近区域内的建筑物、地下管线、地下构筑物和架空线路的调查资料；

 4 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；

 5 桩基工程的施工组织设计；

 6 水泥、外加剂、钢筋、混凝土等原材料的质检报告，预制桩的出厂合格证及其技术参数说明；

 7 有关施工工艺参数的试验参考资料。

**6.4.2** 施工前应清除地下和空中障碍物并完成三通一平。平整后的场地标高高出设计桩顶标高不小于0.5m。

**6.4.3** 施工组织设计应结合工程特点，有针对性地制定相应的质量管理措施，主要应包括以下内容：

**1** 施工平面图：标明桩位、编号、施工顺序、水电线路、浆液制备设施和临时设施的位置；

**2** 确定主要施工机械、配套设备以及合理施工工艺的有关资料；

**3** 施工作业计划和劳动力组织计划；

**4** 机械设备、备件、工具、材料供应计划；

**5** 桩基施工时，对安全、劳动保护、防火、防雨、防台风、爆破作业、文物和环境保护等方面应按有关规定执行；

**6** 保护工程质量、安全生产和季节性施工的技术措施。

**6.4.4** 施工机械必须经鉴定合格，不得使用不合格机械。

**6.4.5** 施工前应组织图纸会审，会审纪要连同施工图等应作为施工依据，并应列入工程档案。

**6.4.6** 基桩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，经复核后应妥善保护，施工中应经常复测。

**6.4.7** 潜孔冲击高压旋喷复合桩的水泥土桩应采用潜孔冲击高压旋喷工艺；除应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79的有关规定外，尚应符合下列规定：

**1** 水泥土桩施工参数应根据成桩工艺性试验确定，并在施工中进行控制；

**2** 潜孔锤激振力不宜小于820N；

**3** 喷射浆液时的压力不宜小于25MPa；

**4** 喷射浆液时的提升速度不宜大于0.5m/min；

**5** 喷射水泥浆的水灰比宜为0.8 : 1~1.1 : 1；

**6** 水泥土桩的水泥掺量应不低于15%；

**7** 施工中钻杆的垂直度允许偏差应为0.5%；

**8** 停浆面高出桩顶设计标高不应小于500mm，桩径、有效桩长不应小于设计值。

**6.4.8** 潜孔冲击高压旋喷复合桩的芯桩可采用预制桩；芯桩的施工工艺和设备应根据设计文件、岩土工程勘察报告、施工场地周边环境选用，并应符合《建筑桩基技术规范》 JGJ94的有关规定。

**6.4.9** 潜孔冲击高压旋喷复合桩的施工步骤如下：

 **1** 潜孔冲击高压旋喷桩施工机具就位、桩基调平；

  **2** 制备清水和浆液；

 **3** 向下钻进同时喷射高压水流；

 **4**  向上提升同时喷射高压浆液；

 **5** 复喷作业；

 **6** 关闭潜孔冲击高压旋喷桩施工设备；

 **7** 移走潜孔冲击高压旋喷桩施工机具，芯桩施工机具就位、定位调直；

 **8** 水泥土初凝前完成芯桩施工；

 **9** 移位，进行下一根桩施工。

6.5 质量检验及验收

**6.5.1** 潜孔冲击高压旋喷复合桩的质量检验与验收应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定，并满足以下要求：

**1** 潜孔冲击高压旋喷复合桩应进行桩位、桩长、桩径、桩身质量和单桩承载力的检验。

**2** 潜孔冲击高压旋喷复合桩质量检验按时间顺序可分为三个阶段：施工前检验、施工中检验和施工后检验。

**3** 对砂、石子、水泥、钢材等桩体原材料质量的检验项目和方法应符合国家现行有关标准的规定。

**6.5.2** 施工前检验
 **1** 施工前应严格对桩位进行检验。
 **2**  当芯桩采用预制桩（混凝土预制桩、钢桩）时，施工前应对预制桩进行下列检验：
 1） 成品桩应按选定的标准图或设计图制作，现场应对其外观质量及桩身混凝土强度进行检验；
 2） 应对接桩用焊条、压桩用压力表等材料和设备进行检验。

**6.5.3** 施工中检验
 **1** 成桩工艺性试验应对水泥土固结体的形态大小、垂直度、胶结情况、桩身均匀程度及水泥土强度进行检验；

**2** 水泥土桩施工时应检查桩位放样偏差、水泥用量、浆液压力、水压、气压、水灰比、钻杆提升速度、钻杆旋转速度、桩底标高、垂直度。

**3** 当芯桩采用预制桩（混凝土预制桩、钢桩）时，预制桩的施工过程中应进行下列检验：

1. 打入（静压）深度、停锤标准、静压终止压力值及桩身（架）垂直度检查；
 2） 接桩质量、接桩间歇时间及桩顶完整状况；
 3） 每米进尺锤击数、最后1.0m锤击数、总锤击数、最后三振贯入度及桩尖标高等。

 **6.5.4** 施工后检验
 **1** 工程桩应进行承载力和桩身质量检验。
 **2** 有下列情况之一的桩基工程，应采用静荷载试验对工程桩单桩竖向承载力进行检测，检测数量应根据桩基设计等级、本工程施工前取得试验数据的可靠性因素，可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 确定：
 1） 工程施工前已进行单桩静载试验，但施工过程变更了工艺参数或施工质量出现异常时；
 2） 施工前工程未按《建筑桩基技术规范》JGJ94 规定进行单桩静载试验的工程；
 3） 地质条件复杂、桩的施工质量可靠性低；

 3 桩身质量除对预留混凝土试件进行强度等级检验外，尚应进行现场检测。检测方法可采用可靠的动测法，对于大直径桩还可采取钻芯法、声波透射法；检测数量可根据现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 确定。
 4 对专用抗拔桩和对水平承载力有特殊要求的桩基工程，应进行单桩抗拔静载试验和水平静载试验检测。

**6.5.5** 基桩工程验收资料
 **1** 当桩顶设计标高与施工场地标高相近时，基桩的验收应待基桩施工完毕后进行；当桩顶设计标高低于施工场地标高时，应待开挖到设计标高后进行验收。
  **2** 基桩验收应包括下列资料：
 1） 岩土工程勘察报告、桩基施工图、图纸会审纪要、设计变更单及材料代用通知单等；
 2） 经审定的施工组织设计、施工方案及执行中的变更单；
 3） 桩位测量放线图，包括工程桩位线复核签证单；
 4） 原材料的质量合格和质量鉴定书；
 5） 半成品如预制桩、钢桩等产品的合格证；
 6） 施工记录及隐蔽工程验收文件；
 7） 成桩质量检查报告；
 8） 单桩承载力检测报告；
 9） 基坑挖至设计标高的基桩竣工平面图及桩顶标高图；
 10）其他必须提供的文件和记录。

**附录A 施工记录表**

表A.0.1 潜孔冲击高压旋喷桩施工记录表

工程名称： 设计桩径：水泥土桩mm 设计桩长：水泥土桩 m 设计桩顶/柱底标高：水泥土桩 m

 管桩 mm 管桩 m 管桩 m

水泥品种： 水灰比： 搅拌翅外径： mm 喷（浆、气、水）嘴直径： mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 施工日期 | 桩号 | 孔口标高（m) | 施工工序 | 水泥土桩 | 预应力高强度混凝土管桩 | 备注 |
| 时间 | 下沉/提升其实标高（m） | 浆液压力（MPa) | 气压（MPa) | 水压（MPa) | 钻杆旋转速度（r/min) | 钻杆下沉/提升速度（cm/min) | 垂直度偏差（%） | 水泥用量（kg） | 时间 | 桩长（m） | 桩顶标高（m） | 送桩深度（m） | 接桩时间 | 终压力/最终激振力（KN) | 垂直度偏差（%） |
| 开始 | 结束 | 开始 | 结束 |
|  |  |  |  | 下沉 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 提升 |  |  |  |  |  |  |  |  |

施工单位项目技术负责人: 质检员： 监理工程师（建设单位技术负责人）：

表A.0.2 潜孔冲击高压旋喷复合桩施工记录表

工程名称： 设计桩径：水泥土桩mm 设计桩长：水泥土桩 m 设计桩顶/柱底标高：水泥土桩 m

 管桩 mm 管桩 m 管桩 m

水泥品种： 水灰比： 搅拌翅外径： mm 喷（浆、气、水）嘴直径： mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 施工日期 | 桩号 | 孔口标高（m) | 施工工序 | 水泥土桩 | 预应力高强度混凝土管桩 | 备注 |
| 时间 | 下沉/提升其实标高（m） | 浆液压力（MPa) | 气压（MPa) | 水压（MPa) | 钻杆旋转速度（r/min) | 钻杆下沉/提升速度（cm/min) | 垂直度偏差（%） | 水泥用量（kg） | 时间 | 桩长（m） | 桩顶标高（m） | 送桩深度（m） | 接桩时间 | 终压力/最终激振力（KN) | 垂直度偏差（%） |
| 开始 | 结束 | 开始 | 结束 |
|  |  |  |  | 下沉 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 提升 |  |  |  |  |  |  |  |  |

施工单位项目技术负责人: 质检员： 监理工程师（建设单位技术负责人）：

**附录B 潜孔冲击高压旋喷复合桩施工质量检验标准**

表B.0.1 施工前质量检验标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 | 序 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 | 检查方法 |
| 主控项目 | 1 | 水泥及外掺剂质量 | 符合出厂及设计要求 | 查产品合格证和抽样送检 |
| 一般项目 | 1 | 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 | 桩位放样（mm) | 10 | 查放线记录 |
| 3 | 管桩外观质量 | 无蜂窝、漏筋、裂缝、色感均匀、桩顶处无空隙 | 直观 |
| 4 | 管桩桩径（mm) | ±5 | 用钢尺量 |
| 5 | 管壁厚度（mm) | ≤5 | 用钢尺量 |
| 6 | 管桩桩长 | 按设计要求 | 用钢尺量 |
| 7 | 桩尖中心线（mm) | 2 | 用钢尺量 |
| 8 | 端部倾斜（mm) | 0.5%D | 用水平尺量 |
| 9 | 桩体弯曲（mm) | 1/1000 l | 用钢尺量 |
| 10 | 管桩内壁浮浆 | 不得有浮浆 | 直观 |
| 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 |
| 注： | 1 D为水泥土复合管桩直径； |  |
| 2 l 为管桩长度。 |  |

表B.0.2 施工中质量检验标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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（%） | 0.5 | 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（mm) | 1/1000 l | 用钢尺量 |

注：l为管桩长度。

表B.0.3 施工后质量检验标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 桩位偏差（mm) | 100+0.005H | 用全站仪及钢尺量 |
| 3 | 桩身完整性 | 按设计要求 | 按本规程 |
| 4 | 桩数 | 按设计要求 | 现场清点 |
| 一般项目 | 1 | 水泥土符合管桩桩径 | 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。

中国工程建设标准化协会

潜孔冲击高压旋喷技术规程

T/CECS xxx-201x

条文说明

**目 次**

[1 总 则 55](#_Toc19800)

[3 基本规定 56](#_Toc28810)

[4 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕 57](#_Toc26993)

[4.1 一般规定 57](#_Toc10875)

[4.2 勘察要求 57](#_Toc10895)

[4.3 设 计 59](#_Toc19817)

[4.4 施 工 60](#_Toc30090)

[4.5 质量检验及验收 62](#_Toc7498)

[5 潜孔冲击高压旋喷桩复合地基 64](#_Toc3855)

[5.1 一般规定 64](#_Toc25186)

[5.2 勘察要求 65](#_Toc886)

[5.3 设 计 66](#_Toc20542)

[5.4 施 工 69](#_Toc5705)

[5.5 质量检验及验收 69](#_Toc18864)

[6 潜孔冲击高压旋喷复合桩 71](#_Toc16086)

[6.1 一般规定 71](#_Toc4484)

[6.3 设 计 73](#_Toc8840)

[6.4 施 工 80](#_Toc13830)

[6.5 质量检验及验收 82](#_Toc17116)

**1 总 则**

**1.0.1** 潜孔冲击高压旋喷技术是一种形成高压旋喷桩的施工技术，可用于基坑工程的截水帷幕桩、复合地基增强体以及复合桩的水泥土外桩，该技术的实施效果会直接影响基坑工程的防渗效果、地基加固效果和桩基础的安全性；同时，该技术需要考虑实施后的经济性和对环境的影响。因此，在设计和施工时，均需要考虑该技术的适用性、安全性、经济性，并满足保护环境的要求。

**1.0.2** 潜孔冲击高压旋喷技术已在建筑、城市轨道交通、石油化工领域的多个工程中得到较多应用，已积累和总结了上述工程领域的应用经验；此次规程编制工作也邀请了公路、铁路、水利等行业的多位专家共同参加，根据相关行业领域的特点和要求，论证了该技术在各自领域的适用性。本规程适用于建筑与城市轨道交通工程，公路、铁路、石油化工等行业可根据工程的特点采用本规程的相关规定。

**3 基本规定**

**3.0.1**  目前，高压旋喷桩所采用的多种工艺在素填土、冲填土、黏性土、粉土和松散砂土均可采用，只是在成桩的直径、深度、施工效率及造价等方面存在差异。对于碎石土、杂填土以及基岩等地层，一般需要先引孔，然后进行高压旋喷。但是，按此做法完成的多个工程实例证明，成桩效果均不理想，引孔后塌孔和水泥浆无法与土体充分混合是影响成桩质量的主要问题。潜孔冲击高压旋喷技术，钻杆上方为回转的动力装置，下方连接带有喷射功能的潜孔锤冲击器，可在碎石土、杂填土以及基岩等硬地层中直接冲击破碎成孔；到达设计孔深后，向上提升钻杆的同时可进行高压喷射注浆，无需预先引孔以及考虑引孔后孔壁的稳定性问题，且潜孔锤释放的高压气可以将喷射的浆液进行翻搅、挤压，提高了浆液与土体进行混合的范围和均匀性。

对已完成的超过50余项工程通过钻取芯样分别进行无侧限抗压强度试验和抗渗试验，结果证明，在碎石土、杂填土和基岩等地层条件下，潜孔冲击旋喷技术的成桩质量符合设计要求。但由于我国地域辽阔，地层差异悬殊，为确保工程质量的安全，在上述几类地层条件下采用潜孔冲击高压旋喷技术时，仍需先进行现场试桩，检验效果的同时，也积累更多地层的应用数据和经验。

**4 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕**

4.1 一般规定

**4.1.1** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕的处理效果与设计参数、地基土性质密切相关，还与施工方法、施工设备甚至施工人员有紧密关系，施工前进行现场试验可以验证帷幕效果。

**4.1.2** 本条是截水帷幕设计的基本要求，由于地下工程涉及支护工程，统一考虑非常必要。

4.2 勘察要求

**4.2.1**  查明和获取场地及其周围的水文地质条件和水文地质参数等是地下水控制方案合理选择的重要依据。工程建设进行岩土工程勘察成果，有时不能满足地下水控制工程设计要求，尚需补充降水试验等勘察工作，才能满足地下水控制设计的需要。

**4.2.2** 现场工作量与已有资料的丰富程度、场地水文地质条件的复杂程度、场地的大小有关。地下水控制工程勘察应根据工程设计需要开展工作。

**4.2.4**  本条提出了地下水控制工程勘察的具体要求。

**1** 工程场地多处于城市建筑密集区，相邻场地抽降地下水或管线渗漏补给等人为因素对拟建场地地下水影响较大，强调了周边区域的资料搜集的重要性。

**2** 城市地下水受人为因素影响较大，地下水位变化规律比较复杂，同时，一般情况下勘察阶段时间紧迫，只能了解勘察阶段的地下水动态。因此强调区域地下水动态资料的搜集和分析，必要时设置地下水位长期观测孔。

**3** 多层地下水位的分层观测，尤其是承压水压力水头的观测，对地下水控制和基坑支护设计与施工都十分重要，不应忽视。

**4**  抽水试验是地下水控制工程勘察的一项重要内容，由于多种原因室内试验结果与实际相差较大。为求得各含水层渗透系数等水文地质参数，多通过现场抽水试验测定。

**5**  地下水控制专门水文地质勘察报告内容通常包括:

1) 自然环境与区域地质概况；

2) 场区地层分布；

3) 场区水文地质条件；

4) 地下水控制所需水文地质参数及岩土参数建议；

5) 地下水控制分析评价。

4.3 设 计

**4.3.1** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕的布置方式有多种。

**1** 竖向截水帷幕是最常见的截水帷幕，阻止水流从坑壁和坑底涌入坑内。悬挂式竖向截水帷幕指底端未穿透含水层的截水帷幕；落底式竖向截水帷幕指底端穿透含水层并进入下部不透水层一定深度的截水帷幕。当水头较高，水量充分，可采用竖向截水帷幕与水平向截水帷幕相结合的方法。

**2** 独立式截水帷幕是指在非连续性支护桩外独立设置的帷幕体；嵌入式截水帷幕是指利用旋喷桩嵌入不连续支护结构中间共同形成帷幕体；自抗渗支护结构指支护结构本身就具备抗渗性能。

**4.3.3** 隔水层是相对的，相对所隔含水层而言其渗透系数较小。在有水头差时，隔水层内也会有水的渗流，也应满足渗流和渗透稳定性要求。落底式截水帷幕进入下卧隔水层一定长度，是为了满足地下水绕过帷幕底部的渗透稳定性要求，应验算帷幕进入隔水层的长度能否满足渗透稳定性的经验公式。

**4.3.4** 插入不透水层的竖向截水帷幕在内外形成较大的水头差，本规范公式（4.3.4）是根据隔水层的允许渗透梯度导得，最小值要求是根据国内若干工程实例统计而来。

**4.3.5** 本条以渗流水力梯度不大于地基土的临界水力梯度来判断坑底土体的抗渗流稳定性（考虑一定的安全系数），计算方法较多，工程上常用的有基于平面稳定渗流的直线比例法、流网法、阻力系数法等。为便于计算且满足工程设计要求，在水头15m~20m内，设计人员惯于采用直线比例法。需要说明的是，直线比例法没有考虑渗流流场的三维性，也没有考虑坑周土不透水层的深度，以及地基土的不均匀性。

**4.3.8** 水泥土的重度与水泥的掺量有关，水泥的掺量与帷幕桩设计要求的抗渗、抗压强度有关。可建立思路如下：先通过设计要求的水泥土抗渗强度和抗压强度确定该地层所需的水泥掺量；然后通过水泥掺量计算水泥土的重度（需再查询资料，或在条文说明中给出不同土层（仅考虑渗透性较大的土层，黏性土不考虑）、不同水泥掺量下的水泥土重度经验取值）。检测水泥土重度可采用现场同条件试块、钻芯取样进行密度试验得到所需重度值。例如：天津海相淤泥重度1.75，加入20%水泥后，测得水泥土比重2.25；但淤泥及粘土不需考虑封底的抗渗透作用。

4.4 施 工

**4.4.2** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕一般采用单喷嘴喷射注浆。根据目前的设备性能，实际工程中常见的高压喷射注浆的施工工艺参数见表4.4.2。

**表4.4.2 潜孔冲击高压旋喷注浆工艺参数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水压（Mpa） | 气压（Mpa） | 浆压（Mpa） | 注浆流量（L/min） | 提升速度（m/min） | 旋转速度（r/min） |
| 20～25 | 0.7 | 30~40 | 80~120 | 0.12~0.25 | 20 |

**4.4.3** 潜孔冲击高压旋喷桩截水帷幕用于黏性土、粉土和砂土时一般选用纯水泥浆液。当用于碎石土时，可根据孔隙率、含水量、加固范围要求等指标选择外加剂与水泥共同配制浆液；常用的外加剂有水玻璃、粉煤灰、膨润土等，通过现场配比试验确定选用外加剂的类型及其用量，满足水泥土固结体的强度、固化时间等力学指标。

**4.4.5** 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120和《建筑与市政工程地下水控制技术规范》 JGJ111 中对于旋喷桩施工的偏差控制值分别为：孔位允许偏差50mm，注浆孔的垂直度偏差不超过1%；而潜孔冲击高压旋喷技术将垂直度偏差控制值提升至0.5%是几方面因素综合决定。首先，采用上下双动力驱动钻进，与自钻式设备相比，增加的潜孔锤在钻进时产生的高频振动提供了竖向牵引动力，垂直导向性优于其他自钻式设备；其次，采用特制的钻杆，刚度及抗弯能力优于其他旋喷工艺。通过数十项工程施工过程检测统计，垂直度偏差控制可控制在0.3%范围内，为确保安全和质量，本规程采用0.5%作为垂直度偏差控制值。

**4.4.6** 旋喷桩帷幕一般采用单排或双排布置形式。理论上，单排旋喷桩帷幕只要桩体能够相互搭接、桩体连续、渗透性系数小于10-6cm/s是可以起到截水效果的，但受施工偏差制约，很难达到理想的搭接宽度要求。假设桩长20m，设计搭接1500mm，当位置偏差为50mm、垂直度偏差为0.5%时，则帷幕底部在平面上会偏差150mm。此时，实际上桩之间就不能形成有效搭接。如桩的设计搭接过大，则桩的间距减小、桩的有效部分过少，造成浪费和增加工期。所以帷幕搭接宽度的合理设计对于帷幕的质量、工期和造价有直接的影响。

4.5 质量检验及验收

**4.5.1** 截水帷幕是隐蔽工程，开挖前对其进行检验，尤其是深度和连续性。对于水泥土类截水帷幕，采取浆液试块强度试验的方法检测其强度，应建立静力触探、标准贯入或动力触探等原位测试结果与试块强度试验结果的对应关系，也有根据试块强度结合原位试验方法综合检验。钻芯检验方法除检测芯样强度外，更直接检测深度和均匀性。注意钻孔取芯完成后注浆填充。

**4.5.2** 对封闭式截水帷幕，预先进行坑内抽水试验检查截水帷幕质量是个简单有效的方法，结合坑外水位观测孔水位变化能初步检验截水帷幕质量。

**4.5.3** 截水帷幕刚开挖暴露出来时，水泥土和土体还有一定的结构强度，出现小渗漏好堵，但若延误时间，结构强度破坏，漏点会越来越大，堵漏工作会越发困难，故小漏点应及时堵漏。宜采取挂网喷射混凝土对桩间土分层进行加固处理。

**4.5.4** 土钉、锚杆应采取钻孔方式在截水帷幕上开孔。在高水位、渗透系数大土层中开孔应采取预防措施减少开孔时的水土流失，如双套管钻进，或采取掩护式开孔;开孔后注浆应根据已流失的土体补足水泥浆量，并应采取快硬性水泥砂浆等及时修复杆体与截水帷幕间缝隙。在粉土和砂土土层中，采取连续性截水帷幕、嵌入型截水帷幕时，宜增加挂网喷射提凝土对桩间土分层进行加固处理，这种方法能有效加固截水帷幕，减少渗漏风险。

**5 潜孔冲击高压旋喷桩复合地基**

5.1 一般规定

**5.1.1** 实践表明，潜孔冲击高压旋喷桩复合地基对于软塑～可塑黏性土、粉土、砂土、黄土、素填土和碎石土等地基都有良好的处理效果。但对于硬黏性土，含有较多的块石或大量植物根茎的地基，会影响潜孔冲击高压旋喷桩的钻进效率，且喷射流的能量可能受到削弱，切削范围变小，影响处理效果；而对于含有过多有机质的土层，其处理效果取决于固结体的化学稳定性。鉴于上述几种土组成复杂、差异悬殊，如采用潜孔冲击高压旋喷桩复合地基，应进行现场试验确定适用性。如黄土存在湿陷性，因试验资料和施工实例较少，亦应预先进行现场试验。对于地下水流速过大或已涌水的防水工程，由于工艺、机具和瞬时速凝材料等方面的原因，应慎重使用，必要时应通过现场试验确定。

**5.1.2** 在制订潜孔冲击高压旋喷桩复合地基方案时，应搜集和掌握各种基本资料。主要有：岩土工程勘察资料（土层和基岩的性状，标准贯入击数，土的物理力学性质，地下水的埋藏条件、渗透性和水质成分等）、建筑物结构受力特性资料、施工现场和临近建筑的四周环境资料、地下管道和其他埋设物资料及类似土层条件下使用的工程经验等。高压喷射的浆液在硬化前，有效喷射范围内的地基因受到扰动而强度降低，容易产生附加沉降，因此在既有建筑物附近施工时，应防止浆液凝固硬化前建筑物的附加下沉。通常采用控制施工速度、顺序和加快浆液凝固时间等方法防止或减小附加沉降。

**5.1.3** 本条是对复合地基施工后增强体的强制性要求。增强体是保证复合地基工作，提高地基承载力、减小变形的必要条件，其施工质量必须得到保证。

**5.1.4** 本条是对复合地基承载力设计和工程验收的检验要求。

复合地基承载力的确定方法，应采用复合地基静载荷试验的方法。桩体强度较高的增强体，可以将荷载传递到桩端土层。当桩长较长时，由于静载荷试验的载荷板宽度较小，不能全面反映复合地基的承载特性。因此单纯采用单桩复合地基静载荷试验的结果确定复合地基承载力特征值，可能会由于试验的载荷板面积或由于褥垫层厚度对复合地基静载荷试验结果产生影响。对有粘结强度增强体复合地基的增强体进行单桩静载荷试验，保证增强体桩身质量和承载力，是保证复合地基满足建筑物地基承载力要求的必要条件。

5.2 勘察要求

**5.2.1** 采用水泥作为黏结材料的桩会受腐蚀性地下水、腐蚀性土的腐蚀。因此，采用水泥作为黏结材料的桩应查明地下水、土的腐蚀性。

 填土路堤和柔性面层堆场下复合地基应进行稳定性分析，应查明稳定分析需要的抗剪强度指标，包括荷载填料的抗剪强度指标。刚度较大基础下的水泥土桩复合地基、填土路堤和柔性面层堆场等工程的复合地基可能需要进行固结分析，应查明软黏土的固结系数。

**5.2.2** 承受竖向荷载的复合地基控制性勘探孔深度，对中～低压缩性土可取地基附加应力小于或等于上覆土层有效自重应力20%的深度，对高压缩性土可取地基附加应力小于或等于上覆土层有效自重应力10%的深度。需验算地基稳定性的工程勘探孔深度应超过最危险滑动面5m或穿透软弱土层进入硬土层3m。

5.3 设 计

**5.3.1** 复合地基处理的设计、施工参数有很强的地区性，因此强调在没有地区经验时应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以确定设计参数和处理效果。

**5.3.3** 对有粘结强度增强体复合地基，增强体单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数确定的基本依据是，在复合地基静载荷试验中取或s/b或s/d等于0.01确定复合地基承载力时，地基土和单桩承载力发挥系数的试验结果。一般情况下，复合地基设计有褥垫层时，地基土承载力的发挥是比较充分的。

初步设计时，增强体单桩承载力发挥系数强体单桩承和桩间土承载力发挥系数的取值范围在0.8〜1.0之间，增强体单桩承载力发挥系数取高值时桩间土承载力发挥系数应取低值，反之，增强体单桩承载力发挥系数取低值时桩间土承载力发挥系数应取高值。所以，没有充分的地区经验时应通过试验确定设计参数。

桩端端阻力发挥系数αp与增强体的荷载传递性质、增强体长度以及桩土相对刚度密切相关。桩长过长影响桩端承载力发挥时应取较低值。

**5.3.4** 复合地基增强体桩身强度应满足式（5.3.4-1）的要求。

 （5.3.4-1）

式中： *f*cu——桩体试块（边长150mm立方体）标准养护28d的立方体抗压强度平均值（kPa）；

*η*—桩体强度折减系数，取0.33。

复合地基增强体的强度是保证复合地基工作的必要条件，必须保证其安全度。在有关标准材料的可靠度设计理论基础上，适当提高了增强体材料强度的设计要求。

**5.3.5** 复合地基沉降计算目前仍以经验方法为主。本次修订综合各种复合地基的工程经验，提出以分层总和法为基础的计算方法。各地可根据地区土的工程特性、工法试验结果以及工程经验，采用适宜的方法，以积累工程经验。

**5.3.6**  由于采用复合地基的建筑物沉降观测资料较少，一直沿用天然地基的沉降计算经验系数。各地使用对复合土层模量较低时符合性较好，对于承载力提高幅度较大的刚性桩复合地基出现计算值小于实测值的现象。现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007修订组通过对收集到的全国31个CFG桩复合地基工程沉降观测资料分析，得出地基的沉降计算经验系数与沉降计算深度范围内压缩模量当量值的关系。

5.4 施 工

**5.4.1** 潜孔冲击高压旋喷桩作为增强体的复合地基，施工参数有很强的地区性，因此强调在没有地区经验时应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以确定设计参数和处理效果。

**5.4.2** 本条是复合地基增强体施工桩位允许偏差和垂直度的要求。

5.5 质量检验及验收

**5.5.1** 应在严格控制施工参数的基础上，根据具体情况选定质量检验方法。开挖检查法简单易行，通常在浅层进行，但难以对整个固结体的质量做全面检查。钻孔取芯是检验单孔固结体质量的常用方法，选用时需以不破坏固结体和有代表性为前提，可以在28d后取芯。静载荷试验是建筑地基处理后检验地基承载力的方法。

 检验点的位置应重点布置在有代表性的加固区，对旋喷注浆时出现过异常现象和地质复杂的地段亦应进行检验。

 每个建筑工程旋喷注浆处理后，不论其大小，均应进行检验。检验量为总桩数的2%，并且不少于6点。

 在软弱黏性土中，水泥土的强度增长速度较慢。检验时间应在喷射注浆后28d进行，以防由于固结体强度不高时，因检验而受到破坏，影响检验的可靠性。

**6 潜孔冲击高压旋喷复合桩**

6.1 一般规定

**6.1.1** 潜孔冲击高压旋喷复合桩由水泥土桩与同心的芯桩组成，芯桩可采用植入的预制桩或现场施工的灌注桩。该桩型的施工工艺包括水泥土桩施工与芯桩施工两个步骤，其材料性能、施工方法决定了该桩型可用于素填土、粉土、黏性土、砂土、碎石土以及基岩等多种情况，对于第1〜4款所列情况应通过现场和室内试验确定其适用性。

**6.1.3** 当无可靠经验时，设计前应按现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 23 3 的有关规定进行室内水泥土配合比试验；也可以结合本规程第6.1.4条中的成桩工艺性试验与静载试验，进行钻芯法检测。

当桩长范围内为成层土时，应选择主要土层进行室内水泥土配合比试验，并以其中的较弱土层对应的标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值作为本规程单桩承载力计算依据。

水泥品种与强度等级对水泥土成桩质量至关重要，应根据工程要求确定。宜优先选用42. 5 级及以上的普通硅酸盐系列水泥。在某些地区的地下水中含有大量硫酸盐，因硫酸盐与水泥发生反应时，对水泥土具有结晶性侵蚀，会出现开裂 、崩解而丧失强度。为此应选用抗硫酸盐水泥，使水泥土中产生的结晶膨胀物质控制在一定的数量范围内，借以提高水泥土的抗侵蚀性能。水泥掺量可取被加固土质量的15 %〜25%，当土质较差或设计要求水泥土强度较高时，水泥掺量可取高值。

水泥浆水灰比应根据地层条件及设备条件通过现场试验确定，可取0.8〜1.5，生产实践中常用1.0。对于地下水位以上地层或设备喷射有困难等情况，水灰比可取高值。

**6.1.4** 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、浆液压力 、水压、气压、水灰比、钻杆提升速度、钻杆旋转速度等工艺参数，选择芯桩合理的施工方法。

成桩工艺性试验时可以采用超声波、井径仪或钻芯等方法检查成桩直径及桩身均匀程度。成桩工艺性试验应选择有代表性场地进行，试验桩的直径、长度等参数应符合设计要求。在条件许可时，可以将成桩工艺性试验与第6.1.5 条规定的静载试验合二为一。

**6.1.5** 按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定，应在工程桩正式施工前进行基桩竖向或水平静载试验，并加载至破坏，确定单桩竖向极限承载力或水平极限承载力，为设计人员提供足够的设计依据。

**6.1.6** 为了积累资料，本条规定对所有应用潜孔冲击高压旋喷复合桩基础的建（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。

6.3 设 计

**6.3.1～6.3.3** 为确保桩基设计的安全，在进行桩基设计时应按本条文规定的原则进行承载能力与沉降计算。

 软弱下卧层承载力验算应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》94有关规定执行。

对位于坡地、岸边的建筑物，当采用潜孔冲击高压旋喷复合桩基础时，应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94有关规定进行整体稳定性验算。

**6.3.4** 考虑到桩身水泥土强度折减系数、芯桩—水泥土界面粘结性能、芯桩与水泥土荷载分担比等因素，水泥土强度存在下限值，本条规定与桩身水泥土配比相同的室内水泥土试块（边长为70.7mm的立方体) 在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值不宜低于4MPa。试验表明，采用潜孔冲击高压旋喷技术在素填土、粉土、黏性土、松散砂土、稍密砂土、中密砂土、密实砂土、砾石、卵石等地层中施工的旋喷桩，采用42.5级普通硅酸盐水泥、掺入比15%〜25%，按《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233方法配制的水泥土试样立方体抗压强度平均值可达到4MPa以上。

**6.3.5** 本条规定了潜孔冲击高压旋喷复合桩的选型原则。

 **1** 水泥土桩直径与芯桩直径之比

潜孔冲击高压旋喷复合桩在竖向荷载作用下的工作机理为：芯桩承担的大部分荷载通过芯桩—水泥土界面传递至水泥土桩，然后再通过水泥土—土界面传递至桩侧土；与荷载传递路径相对应的是芯桩—水泥土桩—桩侧土结构刚度按梯度逐渐降低，作为芯桩与桩侧土之间的过渡层，“水泥土”不宜太薄。此外，水泥土对芯桩还起到保护层作用，改善了芯桩的工作环境，可提高芯桩的耐久性。还有一点需要考虑的是施工偏差因素：因水泥土桩和芯桩是通过两个完全独立的施工过程完成的，每个施工过程有各自桩位施工偏差和垂直度偏差，两者相互叠加后，要满足水泥土桩与芯桩相互复合的设计要求，芯桩与土体直径的“水泥土”不宜太薄，水泥土桩直径与管桩直径之差不应小于300mm。

**2** 芯桩长度与水泥土桩长度之比

芯桩底端以下的水泥土桩为柔性—半刚性桩，存在临界桩长，其长度随着水泥土桩直径与水泥土强度的增加而增大。芯桩相当于水泥土桩中的配筋，其长度不宜小于总桩长的2/3。对变形控制要求较高的工程、桩底端土质较差或承受拔力、抗震作用时，芯桩可与水泥土桩等长。试验与计算结果表明无芯桩段桩身压缩量占桩身总压缩量比例随着芯桩长度与水泥土桩长度之比的增大基本呈线性减小，为了减小沉降、提高承载力，芯桩长度与水泥土桩长度比应取高值。需要说明的一种特殊情况是：当遇到桩端持力层为完整或较完整基岩时，芯桩需满足嵌岩桩入岩深度的要求，而在基岩中可以不设置“水泥土”，即芯桩长度超过水泥土桩长度。因此，需要对芯桩与水泥土桩的长度设置下限。

**3** 芯桩选择

潜孔冲击高压旋喷复合桩芯桩桩型的选择范围较广，目前采用最多的是预应力混凝土（PHC）管桩；在初步设计时，可根据设计要求的承载力、施工效率、造价等因素进行综合对比，结合现场载荷试验结果，选择适合的芯桩桩型。芯桩的桩身强度验算应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行。

**6.3.6** 在确定基桩的中心距时，需考虑如下因素：

**1** 一般情况下潜孔冲击高压旋喷复合桩属于摩擦桩；

**2**  防止相邻桩的水泥土施工时相互影响；

**3**  桩侧土位移影响范围。

当地层中有可以利用的中、低压缩土层时，宜尽量选择作为持力层，发挥其对提高承载力的贡献。桩端全断面进入持力层的深度及其至软弱下卧层的距离可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。

关于嵌岩桩的嵌岩深度原则上应按计算确定，计算中综合反映荷载、上覆土层、基岩性质、桩径、桩长诸因素，但对于嵌入倾斜的完整和较完整岩的深度不宜小于 0.4d（以岩面坡下方深度计），对于倾斜度大于 30％的中风化岩，宜根据倾斜度及岩石完整程度适当加大嵌岩深度，以确保基桩的稳定性。

**6.3.7** 本条规定了单桩竖向承载力计算应满足的要求，与国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑桩基技术规范》JGJ 94的相关规定保持一致。

**6.3.8** 本规程中桩基竖向抗压、抗拔承载力计算均采用综合安全系数 k=2。

**6.3.9** 为保证潜孔冲击高压旋喷复合桩设计的可靠性，单桩竖向抗压极限承载力标准值应采用单桩竖向抗压静载试验确定，并应重视类似工程、临近工程的经验。

初步设计时可采用经验公式估算单桩竖向抗压极限承载力标准值，并按本规程第6.3.11条规定验算桩身竖向承载力。其中，计算公式（6.3.9-1）基于水泥土—土界面计算，计算公式（6.3.9-2）基于芯桩—水泥土界面计算。

当采用经验公式进行估算时，极限侧阻力标准值、极限端阻力标准值应由静载试验结果统计分析求得。当无试验资料时，极限侧阻力标准值、极限端阻力标准值可根据岩土工程勘察报告或现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94规定的泥浆护壁钻孔灌注桩极限侧阻力标准值、极限端阻力标准值乘以提高系数得到。

根据搜集到的3组单桩竖向静载试验及内力测试资料，统计不同土层对应的潜孔冲击高压旋喷复合桩极限侧阻力标准值如表1所示，与岩土工程勘察报告或现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94规定的泥浆护壁钻孔灌注桩极限侧摩阻标准值对比，前者约为后者的1.5～1.6倍。且部分试桩未做到破坏，桩侧摩阻力尚未充分发挥，本规程规定的提高倍数1.5～1.6是偏于保守的。

基于芯桩—水泥土界面计算单桩竖向抗压极限承载力标准值时，将芯桩外围的水泥土视为均匀介质，芯桩端部阻力作为安全储备。

《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 对管桩及由粉质黏土、砂土、粉土等拌制的水泥土界面之间的黏结强度进行了统计，统计结果表明，管桩—水泥土界面极限侧阻力标准值与对应位置水泥土立方体抗压强度平均值之比一般为0.16～0.19，为偏于安全，计算时可取0.16。

**6.3.10** 本条规定了水泥土复合管桩单桩竖向抗拔极限承载力标准值的确定方法。研究表明，水泥土复合桩承受竖向上拔荷载时，一般有三种破坏模式：复合桩从地基土中拔出、芯桩从水泥土中拔出、芯桩材料破坏。因此，单桩或群桩呈非整体破坏时，单桩竖向抗拔极限承载力标准值应分别计算芯桩—水泥土界面、水泥土—土界面对应的总极限侧阻力标准值，并按本规程第6.3.11条规定验算桩身竖向承载力。

表6.3.10中，λ1为对应芯桩—水泥土界面的抗拔系数，该界面极限侧阻力在抗拔与抗压时基本一致，λ1因此规定值较高；λ2i为对应水泥土—土界面的抗拔系数，与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定一致。

**6.3.11**  本条规定了潜孔冲击高压旋喷复合桩在承受竖向荷载时桩身竖向承载力的计算原则。研究表明，无论芯桩采用何种桩型，由于水泥土在芯桩和土之间建立了一个材料强度的过渡，在极限荷载作用下，桩头呈现出芯桩、水泥土先后破坏的渐进破坏模式；而在轴向压力设计值对应荷载作用下，桩头未发生渐进破坏，芯桩与水泥土桩共同变形、共同承担上部竖向荷载。因此，验算轴心受压情况下桩身竖向承载力时，应同时考虑管桩与水泥土两种材料的承载性能。

**6.3.12** 研究表明，在水平荷载作用下，复合桩的破坏模式为外围水泥土开裂，而芯桩未发生破坏。地基土水平抗力系数的比例系数随芯桩周围水泥土强度、厚度的增加而提高，因此，当无试验资料时，地基土水平抗力系数的比例系数可以按照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定，并适当提高后采用。

**6.3.13** 桩基沉降变形计算是桩基设计中的一个重要组成部分。当桩基产生过大变形时，可能影响建筑物正常使用，甚至造成建筑物破坏，危及人们的安全。因此，潜孔冲击高压旋喷复合桩基础的沉降变形计算值不应大于国家现行行业标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007和《建筑桩基技术规范》JGJ 94规定的允许值。

**6.3.14** 复合桩中的芯桩与水泥土作为一个整体共同承担外部荷载，且芯桩承担主要荷载，因此确定桩中心至承台边缘距离时应以芯桩为主并兼顾水泥土桩。

当芯桩采用管桩时，复合桩与承台宜采用管桩填芯混凝土中埋设锚固钢筋的方式连接，也可结合当地经验在桩顶设置加强帽等构造措施，具体做法可参考《预应力混凝土管桩》10G409或《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330的有关规定。

6.4 施 工

**6.4.1** 为保证潜孔冲击高压旋喷复合桩正常施工，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。

**6.4.5** 施工前应组织图纸会审，会审纪要连同施工图等应作为施工依据，并应列入工程档案。

**6.4.6** 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。

**6.4.7** 潜孔冲击高压旋喷复合桩作为水泥土复合桩的一种，与其他类型复合桩的区别主要在于水泥土桩的形成工艺不同；芯桩的植入方式与其他类型复合桩的芯桩植入方式基本一致。本条中所规定的几个关键工艺参数是通过多个潜孔冲击高压旋喷技术的应用实例总结出来的，不仅遵循了高压旋喷技术的通用规定，也符合潜孔冲击高压旋喷质量可靠、经济适用的基本原则。

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. 2条的要求确定成桩工艺性试验位置与数量。

**6.4.8** 潜孔冲击高压旋喷复合桩目前应用的多个工程均采用预制桩作为芯桩，且多数为PHC管桩，取得了较好的效果；另外，也做了一些芯桩为灌注桩的试验，探索这种复合桩工艺的适用性。综合对比后发现，采用预制桩作为芯桩优势比较明显，主要体现在施工效率高、芯桩质量稳定、芯桩与水泥土界面清晰等方面，适用性更好。

**6.4.9** 本条说明了潜孔冲击高压旋喷复合桩的施工步骤，其要点在于首先采用潜孔冲击高压旋喷技术施工外围水泥土桩，其次将预制桩采用静压或锤击等方式植入到水泥土桩中，合理时机应在水泥土初凝前，同时确保管桩与水泥土桩的同轴度。
 水泥土初凝前特指：在该时段内水泥土保持流塑状态，芯桩同心植入水泥土桩后，不影响水泥土的成桩形态、后期强度以及芯桩—水泥土界面的粘结强度。
 根据已有的工程经验，在正常施工条件下，水泥土桩施工完成后（2～3）h ，水泥土尚未初凝。综合考虑多种因素，推荐芯桩施工与水泥土桩施工完成时间间隔为（0.5～1.0）h ，最大不宜超过2h。

6.5 质量检验及验收

**6.5.1** 现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202和行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106以强制性条文规定必须对基桩承载力和桩身完整性进行检验。桩身质量与基桩承载力密切相关，桩身质量有时会严重影响基桩承载力，桩身质量检测抽样率较高，费用较低，通过检测可减少桩基安全隐患，并可为判定基桩承载力提供参考。

**6.5.2** 本条参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》G B 50202、《建筑桩基技术规范》94 给出了潜孔冲击高压旋喷复合桩施工前质量检验标准。
 桩位检验工作应包含根据设计图纸给定的桩位平面图检验水泥土桩位和水泥土桩施工结束后芯桩的桩位。
进入现场的预制桩除应按本规程所规定的要求进行进场合格检查外，还必须查验产品合格证。如采用管桩作为芯桩，应检查管桩内壁浮浆是否符合要求，因为内部浮浆会严重影响填芯混凝土与管桩内壁的粘结力，降低二者的整体性，因此本规程规定管桩内壁不得残留有浮浆。

**6.5.3**  对于成桩工艺性试验，应通过开挖检查水泥土固结体，可以研究其形态大小、垂直度及胶结情况与施工参数，比如浆液压力及流量、喷嘴直径、钻杆提升速度、钻杆旋转速度等之间的关系，从而确定合理的水泥土桩施工参数。
 开挖检查一般在水泥土桩施工3d后进行，可沿水泥土固结体周围或一侧进行，开挖深度视土层性质和场地范围确定。由于开挖检查深度有限，工艺性试验成桩质量检查还应采用钻芯法检查水泥土喷搅均匀程度、成桩直径沿地层的变化，并测试水泥土的抗压强度。钻芯法包括常规取芯与软取芯；软取芯是指在刚施工完成而尚未凝固的水泥土桩中取浆液制作试块，可按现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规范》JGJ/T 199的有关规定执行。浆液取样点可设置在桩顶、管桩底端以下0.5m范围内及最软弱土层处的水泥土桩内。

**6.5.4** 按国家现行行业标准《建筑地基基础设计规范》GB50007、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》G B 50202、《建筑基桩检测技术规范》1 0 6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。桩身完整性与基桩承载力密切相关，桩身完整性有时会严重影响基桩承载力，桩身完整性检测抽样率较高，费用较低，通过检测可减少桩基安全隐患，并可为判定基桩承载力提供参考。

**6.5.5** 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《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑桩基技术规范》94的有关规定。