

山东省工程建设标准



DB37/T 5141 — 2019

J 11880 — 2019

水泥土复合混凝土空心桩基础 技术规程

Technical specification for pile foundation of
concrete hollow pile embedded in cement soil

2019-06-03 发布

2019-10-01 实施



统一书号: 155160 · 1737
定 价: 42.00 元

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

山东省工程建设标准

水泥土复合混凝土空心桩基础 技术规程

Technical specification for pile foundation of
concrete hollow pile embedded in cement soil

DB37/T 5141 — 2019

住房城乡建设部备案号：J 11880 — 2019

主编单位：山东省建筑科学研究院

中建八局第一建设有限公司

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

实施日期：2019 年 10 月 1 日

中国建材工业出版社

2019 北京

前 言

根据《山东省住房和城乡建设厅、山东省质量技术监督局关于印发〈2017年山东省工程建设标准制订、修订计划（第一批）〉的通知》（鲁建标字〔2017〕17号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了《管桩水泥土复合基桩技术规程》DBJ 14-080-2011。

新修订的规程共分为6章和4个附录，主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、设计、施工、质量检验与工程验收。

本规程修订的主要技术内容包括：1. 变更了规程名称；2. 增加了植入水泥土桩中的预制空心桩类型；3. 提高了水泥强度等级；4. 细化了桩身结构匹配关系；5. 调整了单桩竖向承载力计算公式及相关参数取值、桩身结构承载力验算公式；6. 增加了单桩水平承载力和桩基最终沉降量计算公式；7. 增加了预应力高强混凝土空心桩接桩要求、水泥土复合混凝土空心桩桩中心至承台边缘的距离要求，调整了桩与承台连接构造要求；8. 增加了整体式施工机械，细化了施工设备性能要求、施工工艺及质量控制措施；9. 增加了水泥土试块留置要求；10. 增加了承台施工要求；11. 调整了质量检验项目及相应的检验方法。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东省建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请反馈至山东省建筑科学研究院（地址：山东省济南市天桥区无影山路29号；邮政编码：250031）。

本 规 程 主 编 单 位：山东省建筑科学研究院

中建八局第一建设有限公司

本 规 程 参 编 单 位：山东省建筑设计研究院
山东同圆设计集团有限公司
山东华科规划建筑设计有限公司
德州市建筑规划勘察设计研究院
东营市建设工程质量监督站
德州市建设工程质量监督站
德州市建诚勘察设计的审查有限公司
滨州市工程建设质量监督站
东营市建筑设计研究院
滨州市建筑设计研究院
滨州建筑工程施工图审查中心
菏泽城建建筑设计研究院有限公司
东营市建设工程质量检测站
烟建集团有限公司
山东鑫国基础工程有限公司
山东聊建集团有限公司
山东建科特种建筑工程技术中心

本规程主要起草人员：宋义仲 哈小平 卜发东 程海涛
张维汇 徐承强 王希岭 朱 锋
米春荣 李建业 王兴锋 韩春刚
苏振霖 田文成 谢志敏 张玉明
刘立明 谢光武 汪俊波 李守峰
田孟鲁 葛振刚 盖跃金 穆炳生
杨洪涛 梁文波 王立刚 张学军
韩金涛 孟 炎 王玮犇 刘 彬
王庆军 张化峰 赵金博

本规程主要审查人员：孙剑平 刘俊岩 高 峰 丁尚辉
刘正银 林定权 郑全明 王基文
邢庆毅

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	7
4	设计	8
4.1	一般规定	8
4.2	桩的选型与布置	9
4.3	桩基计算	10
4.4	构造要求	20
5	施工	22
5.1	施工准备	22
5.2	施工机械	22
5.3	施工作业	23
5.4	施工安全和环境保护	25
6	质量检验与工程验收	27
6.1	一般规定	27
6.2	施工前检验	27
6.3	施工中检验	27
6.4	施工后检验	28
6.5	工程验收	29
附录 A	施工记录表	31
附录 B	施工前质量检验标准	32
附录 C	施工中质量检验标准	33
附录 D	施工后质量检验标准	34

本规程用词说明	35
引用标准名录	36
附：条文说明	37

1 总 则

1.0.1 为了在水泥土复合混凝土空心桩基础工程中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水泥土复合混凝土空心桩基础的设计、施工、质量检验与验收。

1.0.3 水泥土复合混凝土空心桩基础的设计与施工，应综合分析场地工程地质与水文地质条件、上部结构类型和基础形式、使用功能、荷载特征、施工技术条件与环境，遵循因地制宜、节约资源、保护环境的原则，强化工程质量控制与管理。

1.0.4 水泥土复合混凝土空心桩基础的设计、施工、质量检验与验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 水泥土复合混凝土空心桩 concrete hollow pile embedded in cement soil

由高喷搅拌法形成的水泥土桩与同心植入的预应力高强混凝土空心桩复合而形成的基桩。

2.1.2 水泥土复合混凝土空心桩基础 pile foundation of concrete hollow pile embedded in cement soil

由水泥土复合混凝土空心桩和连接于桩顶的承台组成的基础。

2.1.3 高喷搅拌法 jet-mixing method

采用高压浆液形成高速喷射流束，冲击、切割、破碎地层土体，并由搅拌机具将水泥浆等材料与地基土强制搅拌的施工方法。

2.1.4 预应力高强混凝土空心桩 prestressed high-strength concrete hollow pile

采用离心成型的先张法预应力高强度混凝土环形截面桩或外方内圆空心截面桩，包括预应力高强混凝土管桩（PHC）、预应力高强混凝土空心方桩（PHS）。

2.1.5 填芯混凝土 core concrete

灌填在预应力高强混凝土空心桩顶部内腔一定深度的混凝土。

2.1.6 成桩工艺性试验 piling process test

为验证岩土工程条件适应性、成桩机械性能，确定相关施工工艺及参数和施工措施而进行的成桩施工。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

F_k ——荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力；

G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值；

H_{Eik} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，作用于第 i 基桩的水平力；

H_{ik} ——荷载效应标准组合下，作用于第 i 基桩的水平力；

H_k ——荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力；

M_{xk} 、 M_{yk} ——荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群形心的 x 、 y 主轴的力矩；

Q_c ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值；

Q_{ct} ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向拉力设计值；

Q_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的平均竖向力；

Q_{Ekmax} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的最大竖向力；

Q_{ik} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第 i 基桩的竖向力；

Q_j ——第 j 基桩在荷载效应准永久组合作用下，桩顶的附加荷载；

Q_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，任一单桩的竖向力；

Q_{kmax} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力；

s ——桩基最终沉降量；

s_e ——桩身压缩量；

σ_c ——土的自重应力；
 σ_z ——土中竖向附加应力；
 σ_{zi} ——桩端平面下第 i 计算土层 $1/2$ 厚度处竖向附加应力。

2.2.2 抗力和材料性能

E_{cs} ——水泥土弹性模量；
 EI ——桩身抗弯刚度；
 E_p ——预应力高强混凝土空心桩混凝土弹性模量；
 E_{pcs} ——组合段水泥土复合混凝土空心桩桩身材料复合模量；
 $\bar{E}_s$ ——沉降计算深度范围内土层压缩模量的当量值；
 E_{si} ——第 i 计算土层的压缩模量；
 f_c ——预应力高强混凝土空心桩混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_{cu} ——龄期为 28d 时的桩身水泥土实体强度；
 f_n ——填芯混凝土与预应力高强混凝土空心桩内壁的黏结强度设计值；
 f_{py} ——预应力高强混凝土空心桩预应力钢筋的抗拉强度设计值；
 f_y ——锚固钢筋的抗拉强度设计值；
 m ——地基土水平抗力系数的比例系数；
 q_{pk} ——极限端阻力标准值；
 q_{sk} ——预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面抗剪强度；
 q_{sik} ——第 i 层土的极限侧阻力标准值；
 Q_{sl} ——组合段水泥土复合混凝土空心桩总极限侧阻力标准值；
 Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；
 R_n ——单桩竖向承载力特征值；
 R_{ha} ——单桩水平承载力特征值。

2.2.3 几何参数

- A_t ——组合段水泥土净截面面积；
- A_{tL} ——水泥土复合混凝土空心桩桩端面积；
- A_p ——预应力高强混凝土空心桩截面面积；
- A_{ps} ——预应力高强混凝土空心桩全部纵向预应力钢筋的总截面面积；
- A_s ——填芯混凝土内锚固钢筋的总截面面积；
- b ——预应力高强混凝土空心方桩边长；
- b_0 ——桩身计算宽度；
- b_c ——预应力高强混凝土空心方桩扣除保护层后的边长；
- d ——预应力高强混凝土管桩直径；
- d_0 ——预应力高强混凝土空心桩扣除保护层后的直径；
- d_c ——预应力高强混凝土空心桩内径；
- D ——水泥土复合混凝土空心桩直径；
- I_p ——预应力高强混凝土空心桩换算截面惯性矩；
- l 、 L ——预应力高强混凝土空心桩、水泥土复合混凝土空心桩长度；
- l_i 、 L_i ——预应力高强混凝土空心桩、水泥土复合混凝土空心桩长度范围内第 i 层土的厚度；
- l_{cn} ——填芯混凝土深度；
- n ——桩基中的桩数；
- n_1 ——沉降计算深度范围内土层的计算分层数；
- u_c ——预应力高强混凝土空心桩内腔圆周长度；
- u_p ——预应力高强混凝土空心桩周长；
- U ——水泥土复合混凝土空心桩周长；
- U_t ——群桩外周边长度；
- x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j ——第 i 、 j 基桩至通过桩群形心的 y 、 x 主轴的距离；

Z_n ——桩基沉降计算深度；
 Δz_i ——第 i 计算土层的厚度；
 χ_{0n} ——桩顶允许水平位移。

2.2.4 计算系数

C ——考虑预应力高强混凝土空心桩纵向预应力钢筋墩头与端板连接处受力不均匀等因素影响而取的折减系数；
 K ——安全系数；
 m_p ——预应力高强混凝土空心桩截面面积与组合段水泥土复合混凝土空心桩总截面面积之比；
 n_0 ——预应力高强混凝土空心桩与水泥土的应力比；
 p_g ——预应力高强混凝土空心桩纵向预应力筋配筋率；
 v_x ——桩顶水平位移系数；
 α ——桩的水平变形系数；
 α_E ——预应力高强混凝土空心桩预应力钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；
 α_l 、 α_L ——预应力高强混凝土空心桩底部桩身总轴力占桩顶荷载之比、水泥土复合混凝土空心桩底部总端阻力占桩顶荷载之比；
 β_1 、 β_2 ——组合段、非组合段桩身压缩折减系数；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 λ_i 、 λ_{2i} ——预应力高强混凝土空心桩抗拔系数、水泥土复合混凝土空心桩抗拔系数；
 ξ ——预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面剪切强度与对应位置水泥土强度换算系数；
 ξ_{e1} 、 ξ_{e2} ——组合段、非组合段桩身压缩系数；
 φ ——沉降计算经验系数；
 ψ_c ——预应力高强混凝土空心桩施工工艺系数。

3 基本规定

3.0.1 水泥土复合混凝土空心桩适用于素填土、淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土地基。

3.0.2 水泥土复合混凝土空心桩基础设计与施工前应按国家现行有关标准进行岩土工程勘察，查明各土层的类型及工程性质、地下水条件及腐蚀性。

3.0.3 当无同类工程经验时，应针对桩长范围内主要土层进行室内水泥土配合比试验。

3.0.4 水泥选用应符合下列规定：

- 1 宜选用普通硅酸盐水泥；
- 2 水泥强度等级宜为 42.5 级或以上；
- 3 水泥掺量应大于被加固土质量的 20%。

3.0.5 对于无同类工程经验和复杂地质条件的场地，应在场地有代表性的区域进行成桩工艺性试验。

3.0.6 工程桩正式施工前应进行静载试验，确定单桩极限承载力，并应符合下列规定：

- 1 同一条件下，试桩数量不应少于 3 根；
- 2 当地基条件复杂、桩施工质量可靠性低时，宜增加试桩数量；
- 3 无当地工程经验时，宜测试预应力高强混凝土空心桩与水泥土的应力比。

3.0.7 对于采用水泥土复合混凝土空心桩基础的建（构）筑物，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。

3.0.8 对于全生命期内采用建筑信息模型的工程，水泥土复合混凝土空心桩基础各相关方应提交满足要求的数据信息。

4 设 计

4.1 一般规定

4.1.1 水泥土复合混凝土空心桩基础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以及由于桩基问题可能造成建筑破坏或影响正常使用的程度，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定确定。

4.1.2 水泥土复合混凝土空心桩基础应根据具体条件分别进行下列承载力计算：

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 应对桩身和承台结构承载力进行计算；

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 对于承受上拔力的桩基，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。

4.1.3 下列水泥土复合混凝土空心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。

4.1.4 水泥土复合混凝土空心桩基础设计时，所采用的作用效应与相应的抗力应符合下列规定：

1 确定桩数和布桩时，应采用传至承台底面的荷载效应标准组合；相应的抗力应采用单桩承载力特征值；

2 计算荷载作用下的桩基沉降和水平位移时，应采用荷载

效应准永久组合；计算水平地震作用、风载作用下的桩基水平位移时，应采用水平地震作用、风载效应标准组合；

3 验算抗震设防区桩基的整体稳定性时，应采用地震作用效应和荷载效应的标准组合；

4 计算承台内力、确定承台高度、配筋和验算桩身强度时，上部结构传来的荷载效应组合和相应的桩顶反力，应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，采用相应的分项系数；当进行承台裂缝控制验算时，应采用荷载效应标准组合；

5 桩基结构安全等级、结构设计使用年限和结构重要性系数应按国家现行有关建筑结构标准的规定采用，但结构重要性系数 γ_0 不应小于 1.0；

6 对桩基结构进行抗震验算时，其承载力调整系数应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定采用。

4.1.5 水泥土复合混凝土空心桩基础设计应具备下列基本资料：

1 岩土工程勘察报告；

2 建筑场地与环境条件资料；

3 建筑物的总平面布置图；建筑物的结构类型、荷载，建筑物和设备对基础竖向及水平位移的要求；建筑结构的安全等级；

4 施工条件资料；

5 实施可行性资料。

4.2 桩的选型与布置

4.2.1 水泥土复合混凝土空心桩的选型应符合下列规定：

1 水泥土桩直径与预应力高强混凝土空心桩直径或外接圆直径之差，应根据环境类别、承载力要求、桩侧土质等综合确定，且不宜小于 300mm。

2 水泥土桩直径与预应力高强混凝土空心桩直径或边长之比可按表 4.2.1 的规定确定，水泥土强度高者取低值，反之取高值。

表 4.2.1 混凝土桩直径与预应力高强混凝土空心桩直径或边长之比

d 或 b (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
D/b	3.0~3.4	2.3~2.8	2.0~2.5	1.9~2.3	—

3 预应力高强混凝土空心桩长度不宜小于混凝土桩长度的 $2/3$ 。

4 预应力高强混凝土空心桩可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定采用预应力高强混凝土管桩、预应力高强混凝土空心方桩。

4.2.2 混凝土复合混凝土空心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 $4.5d$ 或 $4.5b$ ，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 $4.0d$ 或 $4.0b$ ，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 $3D$ 。

4.3 桩基计算

4.3.1 对于一般建筑物和受水平力（包括力矩与水平剪力）较小的高层建筑混凝土复合混凝土空心桩基础，单桩桩顶作用力应按下列公式计算：

1 轴心竖向力作用下

$$Q_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (4.3.1-1)$$

2 偏心竖向力作用下

$$Q_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (4.3.1-2)$$

3 水平力作用下

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (4.3.1-3)$$

- 式中：
- Q_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，任一单桩的竖向力 (kN)；
 - F_k ——荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力 (kN)；
 - G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值 (kN)，对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；
 - n ——桩基中的桩数；
 - Q_{ik} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第 i 基桩的竖向力 (kN)；
 - M_{xk} 、 M_{yk} ——荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群形心的 x 、 y 主轴的力矩 (kN·m)；
 - x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j ——第 i 、 j 基桩至通过桩群形心的 y 、 x 主轴的距离 (m)；
 - H_{ik} ——荷载效应标准组合下，作用于第 i 基桩的水平力 (kN)；
 - H_k ——荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力 (kN)。

4.3.2 水泥土复合混凝土空心桩基础的抗震验算应按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行。

4.3.3 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

$$Q_k \leq R_a \quad (4.3.3-1)$$

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：

$$Q_{kmax} \leq 1.2R_a \quad (4.3.3-2)$$

2 地震作用效应和荷载效应标准组合：
轴心竖向力作用下

$$Q_{Ek} \leq 1.25R_a \quad (4.3.3-3)$$

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：

$$Q_{Ekmax} \leq 1.5R_a \quad (4.3.3-4)$$

式中： R_a ——单桩竖向承载力特征值（kN）；

Q_{kmax} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力（kN）；

Q_{Ek} ——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）；

Q_{Ekmax} ——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）。

4.3.4 单桩竖向承载力特征值应按下式确定：

$$R_a = Q_{uk}/K \quad (4.3.4)$$

式中： K ——安全系数，取 $K=2$ ；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值（kN）。

4.3.5 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，试验方法应按本规程第 6.4.4 条执行；

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

$$Q_{uk} = U \sum q_{sik} L_i + q_{pk} A_L \quad (4.3.5-1)$$

$$Q_{uk} = u_p q_{sk} l \quad (4.3.5-2)$$

$$q_{sk} = \xi f_{cu} \quad (4.3.5-3)$$

式中： U ——水泥土复合混凝土空心桩周长（m）；

q_{sik} ——第 i 层土的极限侧阻力标准值 (kPa), 无当地经验时, 可取泥浆护壁钻孔桩极限侧阻力标准值的 1.5 倍~1.6 倍;

L_i ——水泥土复合混凝土空心桩长度范围内第 i 层土的厚度 (m);

q_{pk} ——极限端阻力标准值 (kPa), 无当地经验时, 可取泥浆护壁钻孔桩极限端阻力标准值的 0.8 倍;

A_L ——水泥土复合混凝土空心桩桩端面积 (m^2);

u_p ——预应力高强混凝土空心桩周长 (m);

q_{sk} ——预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面剪切强度 (kPa);

l ——预应力高强混凝土空心桩长度 (m);

ξ ——预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面剪切强度标准值与对应位置水泥土强度换算系数, 可取 0.15;

f_{cu} ——龄期为 28d 时的桩身水泥土实体强度 (kPa), 可取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的 0.6 倍。

4.3.6 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, 试验方法应按本规程第 6.4.6 条执行;

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, 并取其其中的较小值:

单桩或群桩呈非整体破坏时:

$$Q_{uk} = u_p \lambda_{1i} q_{sik} l \quad (4.3.6-1)$$

$$Q_{uk} = U \sum \lambda_{2i} q_{sik} L_i \quad (4.3.6-2)$$

群桩整体破坏时:

$$Q_{uk} = \frac{1}{n} U_1 \sum \lambda_{2i} q_{sik} l_i \quad (4.3.6-3)$$

式中: λ_{1i} 、 λ_{2i} ——预应力高强混凝土空心桩抗拔系数、水泥土

复合混凝土空心桩抗拔系数，可按表 4.3.6 取值；

l_i ——预应力高强混凝土空心桩长度范围内第 i 层土的厚度 (m)；

U_1 ——群桩外周边长度 (m)。

表 4.3.6 抗拔系数

土类	λ_{1i}	λ_{2i}
砂土	0.90~0.95	0.50~0.70
黏性土、粉土	0.80~0.90	0.70~0.80

4.3.7 桩身竖向承载力应符合下列规定：

1 桩轴心受压时，荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值 Q_c 应同时满足下列公式要求：

组合段：

$$Q_c \leq \phi_c f_c \left(A_p + \frac{A_l}{n_0} \right) \quad (4.3.7-1)$$

非组合段：

$$Q_c - 1.35 \frac{Q_{sl}}{K} \leq \frac{f_{cu} A_l}{1.6} \quad (4.3.7-2)$$

$$Q_{sl} = U \sum q_{sik} l_i \quad (4.3.7-3)$$

式中： Q_c ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值 (kN)；

ϕ_c ——预应力高强混凝土空心桩施工工艺系数，取 0.85；

f_c ——预应力高强混凝土空心桩混凝土轴心抗压强度设计值 (kPa)，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值；

A_p ——预应力高强混凝土空心桩截面面积 (m²)；

A_l ——组合段水泥土净截面面积 (m²)；

n_0 ——预应力高强混凝土空心桩与水泥土的应力比，当无实测资料时可按表 4.3.7 取值；

Q_{sl} ——组合段水泥土复合混凝土空心桩总极限侧阻力标准值 (kN)。

表 4.3.7 预应力高强混凝土空心桩与水泥土的应力比

水泥土强度 f_{cu} (MPa)	应力比 n_0
1.5~2.0	50~30
2.0~2.5	30~20
2.5~3.0	20~15
3.0~5.0	15~10

2 桩轴心受拉时, 荷载效应基本组合下的桩顶轴向拉力设计值 Q_{ct} 应同时满足下列公式要求:

$$Q_{ct} \leq C f_{py} A_{ps} \quad (4.3.7-4)$$

$$Q_{ct} \leq f_n u_c l_{ca} \quad (4.3.7-5)$$

$$Q_{ct} \leq f_y A_s \quad (4.3.7-6)$$

式中: Q_{ct} ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向拉力设计值 (kN);

C ——考虑预应力高强混凝土空心桩纵向预应力钢筋墩头与端板连接处受力不均匀等因素影响而取的折减系数, 可取 0.85;

f_{py} ——预应力高强混凝土空心桩预应力钢筋的抗拉强度设计值 (kPa), 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值;

A_{ps} ——预应力高强混凝土空心桩全部纵向预应力钢筋的总截面面积 (m^2);

f_n ——填芯混凝土与预应力高强混凝土空心桩内壁的粘结强度设计值 (kPa), 宜由现场试验确定; 当无试验资料时, C40 微膨胀混凝土的 f_n 可取 360kPa;

u_c ——预应力高强混凝土空心桩内腔圆周长度 (m);

l_{ca} ——填芯混凝土深度 (m);

f_y ——锚固钢筋的抗拉强度设计值 (kPa), 应按现行国

家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值；

A_s ——填芯混凝土内锚固钢筋的总截面面积 (m^2)。

4.3.8 单桩水平承载力计算应符合下列规定：

荷载效应标准组合：

$$H_{ik} \leq R_{ha} \quad (4.3.8-1)$$

地震作用效应和荷载效应标准组合：

$$H_{Eik} \leq 1.25R_{ha} \quad (4.3.8-2)$$

式中： H_{Eik} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，作用于第 i 基桩的水平力 (kN)；

R_{ha} ——单桩水平承载力特征值 (kN)。

4.3.9 桩基水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定，试验方法应按本规程第 6.4.5 条执行；

2 初步设计时单桩水平承载力特征值可按下列公式估算：

$$R_{ha} = 0.6 \frac{\alpha^3 EI}{\nu_x} \chi_{0a} \quad (4.3.9-1)$$

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}} \quad (4.3.9-2)$$

$$EI = 0.85E_p I_p \quad (4.3.9-3)$$

预应力高强混凝土管桩

$$I_p = \frac{\pi(d^2 - d_c^2)}{64} [(d^2 + d_c^2) + 2(\alpha_E - 1)p_g d_0^2] \quad (4.3.9-4)$$

$$b_0 = 0.9(1.5d + 0.5) \quad (4.3.9-5)$$

预应力高强混凝土空心方桩

$$I_p = \frac{b^4}{12} - \frac{\pi d_c^4}{64} + \frac{(4b^2 - \pi d_c^2)}{24} (\alpha_E - 1) p_g b_c^2 \quad (4.3.9-6)$$

$$b_0 = 1.5b + 0.5 \quad (4.3.9-7)$$

式中： α ——桩的水平变形系数 ($1/m$)；

EI ——桩身抗弯刚度 ($MN \cdot m^2$)；

v_x ——桩顶水平位移系数，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定取值；

χ_{0a} ——桩顶允许水平位移 (mm)；

m ——地基土水平抗力系数的比例系数 (MN/m^4)，宜通过单桩水平静载试验确定，当无试验资料时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定的预制桩的地基土水平抗力系数的比例系数适当提高后采用；

b_0 ——桩身计算宽度 (m)；

E_p ——预应力高强混凝土空心桩混凝土弹性模量 (MPa)，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值；

I_p ——预应力高强混凝土空心桩混凝土换算截面惯性矩 (m^4)；

d ——预应力高强混凝土管桩直径 (m)；

b ——预应力高强混凝土空心方桩边长 (m)；

d_c ——预应力高强混凝土空心桩内径 (m)；

α_E ——预应力高强混凝土空心桩预应力钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；

p_g ——预应力高强混凝土空心桩纵向预应力筋配筋率；

d_0 ——预应力高强混凝土管桩扣除保护层后的直径 (m)；

b_c ——预应力高强混凝土空心方桩扣除保护层后的边长 (m)。

3 群桩水平承载力特征值可取各单桩水平承载力特征值的总和。

4.3.10 当水泥土复合混凝土空心桩桩周土体因自重固结、地面大面积堆载等因素影响而产生的沉降大于桩的沉降时，应根据工

程具体情况考虑负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响；当无工程经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定估算。

4.3.11 水泥土复合混凝土空心桩基础的沉降变形计算值不应大于桩基沉降变形允许值，并应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

4.3.12 桩基最终沉降量包括桩身压缩量与由单向压缩分层总和法计算的土层沉降，可按下列公式计算：

$$s = \varphi \sum_{i=1}^{n_1} \frac{\sigma_{zi}}{E_{si}} \Delta z_i + s_e \quad (4.3.12-1)$$

$$s_e = \xi_{e1} \frac{Q_l}{E_{\text{pcs}}(A_p + A_l)} + \xi_{e2} \frac{Q_l(L-l)}{E_{\text{cs}}A_L} \quad (4.3.12-2)$$

$$\xi_{e1} = \beta_1 \frac{1 + \alpha_l}{2} \quad (4.3.12-3)$$

$$\xi_{e2} = \beta_2 \frac{\alpha_l + \alpha_L}{2} \quad (4.3.12-4)$$

$$E_{\text{pcs}} = m_p E_p + (1 - m_p) E_{\text{cs}} \quad (4.3.12-5)$$

式中： s ——桩基最终沉降量（mm）；

φ ——沉降计算经验系数，可按当地经验取值；

n_1 ——沉降计算深度范围内土层的计算分层数，应结合土层性质确定；

σ_{zi} ——桩端平面下第 i 计算土层 1/2 厚度处竖向附加应力（kPa），可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中的明德林应力公式方法计算；

E_{si} ——第 i 计算土层的压缩模量（MPa），应采用土的自重应力至土的自重应力加附加应力作用段的压缩模量；

Δz_i ——第 i 计算土层的厚度（m），不应超过计算深度的 0.3 倍；

s_e ——桩身压缩量 (mm)；

ξ_{e1} 、 ξ_{e2} ——组合段、非组合段桩身压缩系数；

Q_j ——第 j 基桩在荷载效应准永久组合作用下，桩顶的附加荷载 (kN)；当地下室埋深超过 5m 时，取荷载效应准永久组合作用下的总荷载为考虑回弹再压缩的等代附加荷载；

E_{ps} 、 E_{cs} ——组合段桩身材料复合模量、水泥土弹性模量 (MPa)；

L ——水泥土复合混凝土空心桩长度 (m)；

β_1 、 β_2 ——组合段、非组合段桩身压缩折减系数，无试验资料时可取 1.0；

α_1 、 α_L ——预应力高强混凝土空心桩底部桩身总轴力占桩顶荷载之比、水泥土复合混凝土空心桩底部总端阻力占桩顶荷载之比，宜根据试验确定，当无试验资料时可根据本规程第 4.3.5 条规定的桩侧、端阻力值进行计算；

m_p ——预应力高强混凝土空心桩截面面积与组合段水泥土复合混凝土空心桩总截面面积之比。

4.3.13 桩基沉降计算深度 Z_n 可按应力比法确定，即计算深度处的附加应力 σ_z 与土的自重应力 σ_c 应符合下式要求：

$$\sigma_z \leq 0.1\sigma_c \quad (4.3.13)$$

式中： σ_z ——土中竖向附加应力 (kPa)；

σ_c ——土的自重应力 (kPa)。

4.3.14 水泥土复合混凝土空心桩基础承台设计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 承台计算时，桩基竖向反力宜按全部由预应力高强混凝土空心桩承担计算；

2 承台受冲切计算时，桩径宜按预应力高强混凝土空心桩

计算；

3 宜进行上部结构-承台-桩-土共同工作分析。

4.4 构造要求

4.4.1 桩身混凝土抗压强度不应低于 1.5MPa。

4.4.2 预应力高强混凝土空心桩上下节拼接宜采用焊接或机械连接，接头数量不宜超过 1 个，接头质量可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行。

4.4.3 混凝土复合混凝土空心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预应力高强混凝土空心桩桩径或边长，且混凝土复合混凝土空心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预应力高强混凝土空心桩桩径或边长，且混凝土复合混凝土空心桩的外边缘至承台梁边缘的距离不应小于 75mm。

4.4.4 混凝土复合混凝土空心桩与承台宜采用填芯混凝土中埋设锚固钢筋的连接方式，并应符合下列规定：

1 预应力高强混凝土空心桩嵌入承台内的长度不宜小于 50mm。

2 填芯混凝土应采用微膨胀混凝土，强度等级不宜低于 C40。

3 对于承压桩，填芯混凝土深度应大于 6 倍预应力高强混凝土空心桩直径或边长，且不得小于 3.0m；对于承受上拔力的桩，填芯混凝土深度应按本规程公式（4.3.7-5）计算确定，且不得小于 3.0m；对承受水平力较大的桩，可在桩顶混凝土中设置钢筋笼。

4 填芯混凝土中应通长配置锚固钢筋。

5 对于承压桩，锚固钢筋数量和规格可按表 4.4.3 选取；对于承受上拔力的桩，锚固钢筋面积应按本规程公式（4.3.7-6）计算确定且应满足表 4.4.4 的规定；箍筋可按表 4.4.4 选取。

表 4.4.4 锚固钢筋、箍筋数量和规格 (mm)

d 或 b (mm)	300	400	500	600	800	1000
锚固钢筋	4 Φ 16	4 Φ 20	6 Φ 20	6 Φ 20	6 Φ 22	8 Φ 22
箍筋	Φ 6 @200	Φ 6 @200	Φ 8 @200	Φ 8 @200	Φ 8 @150	Φ 8 @150

6 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；承受上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。

4.4.5 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 柱下桩基承台，宜在两个主轴方向设置连系梁。

5 施 工

5.1 施工准备

5.1.1 水泥土复合混凝土空心桩施工应具备下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 桩基工程施工图及图纸会审纪要；
- 3 建筑场地和相邻区域内的建筑物、地下管线、地下构筑物和架空线路等的调查资料；
- 4 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；
- 5 施工组织设计；
- 6 水泥等原材料质量证明文件；
- 7 预应力高强混凝土空心桩的质量证明文件及相关技术参数说明；
- 8 有关施工工艺参数的试验参考资料。

5.1.2 施工前应清除地下和空中障碍物并完成三通一平。平整后的场地标高应高出水泥土复合混凝土空心桩设计桩顶标高不小于 1.0m。

5.1.3 基桩轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的位置，并妥善保护，施工中应定期复测。

5.1.4 施工前应对水泥土复合混凝土空心桩施工机械及其配套设备进行试运行，并对主要技术参数进行标定。

5.2 施工机械

5.2.1 水泥土复合混凝土空心桩施工应根据设计要求、地基条件、周边环境情况选用整体式施工机械或组合式施工机械。

5.2.2 水泥土桩施工机具应具有高压喷射与机械搅拌功能。

5.2.3 水泥土桩施工主要配套设备应符合下列规定：

1 注浆泵的压力、流量应满足施工要求，额定压力不应小于设计最大压力的 1.5 倍；

2 空气压缩机的供气量和额定排气压力不应小于设计最大值的 1.5 倍；

3 水泥浆搅拌机、储浆桶的性能应满足需浆量、浆液搅拌均匀的施工要求。

5.2.4 应根据设计文件、岩土工程勘察报告、施工场地周边环境情况选用适宜的预应力高强混凝土空心桩施工机械。

5.3 施工作业

5.3.1 施工单位应按桩基施工图进行桩位放样并填写放线记录，桩位放样允许偏差应为 10mm，经监理单位或建设单位复核确认后开工。

5.3.2 桩位点应设有不易破坏的明显标记，并应在施工时进行桩位复核。

5.3.3 水泥土复合混凝土空心桩施工工艺应按下列流程进行：

1 高喷搅拌法施工水泥土桩：

1) 水泥土桩施工机械就位、桩机调平；

2) 制备水泥浆；

3) 高喷搅拌钻进下沉；

4) 高喷搅拌提升；

5) 复搅复喷。

2 封闭预应力高强混凝土空心桩的首节底端及末节顶端。

3 在水泥土桩中同心植入预应力高强混凝土空心桩：

1) 采用整体式施工机械时，旋转或移动桩架，预应力高强混凝土空心桩定位；

2) 采用组合式施工机械时，移走水泥土桩施工机械，预应力高强混凝土空心桩施工机械就位、桩机调平；

3) 在水泥土初凝前，沉桩、接桩，送桩至设计标高。

4 移位，进行下一根桩施工。

5.3.4 水泥浆应按设计水灰比进行制备，并应符合下列规定：

1 应配置在检定或校准有效期内的计量仪器，对水与水泥的用量进行计量；

2 应选用能实现水灰比自动控制的制浆工艺；

3 水泥浆应过筛后使用，搅拌时间不应少于 2min，自制备至用完的时间不应超过 2h；

4 施工过程中应测量水泥浆密度，测量次数不应少于 1 次/根。

5.3.5 水泥土桩施工除应符合现行行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 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，并在施工过程中进行控制；

2 水泥用量应通过调整水泥浆压力与流量、钻杆提升速度、复搅复喷次数进行控制，并不应低于设计值；

3 桩身深度范围内每米的搅拌次数不应少于 300 次；

4 施工中钻杆垂直度允许偏差应为 1%；

5 对需要提高强度或增加喷搅次数的部位应采取复搅复喷措施；

6 停浆面高出桩顶设计标高不应小于 500mm，桩径、桩长不应小于设计值。

5.3.6 水泥土桩施工后应按下列规定留置试件：

1 宜采取尚未凝固的水泥土浆液制作水泥土试块；

2 每个施工台班留置试件不应少于 2 组，每组试件应留 6 件，试件尺寸应为 70.7mm×70.7mm×70.7mm；

3 单组试件应取自同一根桩，取样位置应为桩顶设计标高以下；

4 试件应养护 28d，其中应有 1 组同条件养护、1 组标准养护。

5.3.7 预应力高强混凝土空心桩施工应符合下列规定：

1 采用组合式施工机械时，施工前应清除水泥土桩施工后

的地面返浆；

- 2 垂直度允许偏差应为 0.5%；
- 3 定位允许偏差应为 10mm；
- 4 植入水泥土桩中时应采取监控预防措施；
- 5 接桩时应保证接桩质量和上下节段的桩身垂直度；
- 6 桩顶标高允许偏差应为 $\pm 50\text{mm}$ 。

5.3.8 水泥土复合混凝土空心桩施工记录应符合本规程附录 A 的规定。

5.3.9 承台施工除应符合现行行业标准《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 截桩应采用人工方式，不得造成桩身断裂；
- 2 浇筑填芯混凝土前，应清除预应力高强混凝土空心桩内壁浮浆；
- 3 填芯混凝土应灌注饱满，振捣密实，下封层不得漏浆；
- 4 预应力高强混凝土空心桩及锚固钢筋埋入承台的长度应符合设计要求，承台混凝土应一次浇筑完成。

5.4 施工安全和环境保护

5.4.1 水泥土复合混凝土空心桩施工，应在危险源辨识和风险评估的基础上，采取相应的安全技术措施，并应符合下列规定：

- 1 桩机的安装、试运行和拆除应按机械使用说明书的要求进行；
- 2 施工前应对注浆泵、空气压缩机、高压水龙头和供水、供气、供浆管路系统进行安全检查；
- 3 施工过程中，应经常检查机械设备及防护设施的运转情况，当发生异响、吊索具破损、紧固螺栓松动、漏油、漏浆、漏气、停电以及其他异常情况时，应立即停机检查，排除故障；
- 4 桩机行走时，地面的平整度与坚实度应符合要求，并应有专人指挥；
- 5 遇暴风雨、雷电时，应暂停施工并切断电源；

6 施工完成后应在桩位处设置防护措施。

5.4.2 水泥土复合混凝土空心桩施工，应有明确的环境保护管理目标、组织机构、控制措施，并应符合下列规定：

- 1 应采用加防护罩等措施对施工机械进行降噪处理；
- 2 水泥运输、水泥浆制备应采取覆盖、封闭等防扬尘措施；
- 3 废弃水泥浆应处理后排放；
- 4 桩顶返浆应及时清理并集中堆放；
- 5 机械设备维修保养、管路清洗产生的废油、废水应集中

处理。

6 质量检验与工程验收

6.1 一般规定

6.1.1 水泥土复合混凝土空心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。

6.1.2 质量验收应按主控项目和一般项目验收。

6.1.3 水泥土复合混凝土空心桩质量检验主控项目应包括水泥及外掺剂质量、水泥用量、水泥土强度、桩长、桩径、桩数、预应力高强混凝土空心桩桩身完整性、承载力。

6.2 施工前检验

6.2.1 施工前应对水泥及外掺剂、预应力高强混凝土空心桩、接桩用材料等产品质量进行检验。

6.2.2 施工前应对施工机械设备及性能进行检查。

6.2.3 施工前应对桩位进行检验。

6.2.4 施工前质量检验内容与标准应符合本规程附录 B 的规定。

6.3 施工中检验

6.3.1 成桩工艺性试验应采用轻型动力触探或浅部开挖的方法对水泥土桩的形态大小、胶结情况、水泥土均匀程度进行检验。

6.3.2 水泥土复合混凝土空心桩中的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、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度、垂直度、桩底标高。

6.3.3 水泥土复合混凝土空心桩中的预应力高强混凝土空心桩施工时应检查植入情况：桩长、垂直度、接桩质量、接桩上下节平面偏差、接桩停歇时间、桩顶标高。

6.3.4 施工中水泥土复合混凝土空心桩施工质量检验内容与标准应符合本规程附录 C 的规定。

6.3.5 施工过程中应按本规程第 6.3.4 条规定对每根桩进行质量控制,对不符合预定质量要求的桩,经监理单位确认后报设计单位进行处理。

6.4 施工后检验

6.4.1 开挖至桩顶设计标高后应检查水泥土复合混凝土空心桩的桩位偏差、桩数、桩径、桩顶标高。

6.4.2 施工完成后的工程桩应进行竖向承载力和桩身质量检验。

6.4.3 竖向承载力的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。

6.4.4 单桩竖向抗压静载试验除应符合现行行业标准《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 水泥土复合混凝土空心桩的检测桩顶标高不得高于桩周土标高;

2 检测时宜在桩顶铺设粗砂或中砂找平层,厚度宜取 20mm~30mm;

3 找平层上的刚性承压板直径应与水泥土复合混凝土空心桩的设计直径相一致;

4 对直径不小于 800mm 的水泥土复合混凝土空心桩, $Q-s$ 曲线呈缓变型时,单桩竖向极限承载力可取 s/D 等于 0.05 对应的荷载值。

6.4.5 对于承受水平力较大的水泥土复合混凝土空心桩,除应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定进行单桩水平静载试验外,尚应符合下列规定:

1 检测桩数不应少于同条件下总桩数的 1%,且不应少于 3 根;

2 水平推力应施加在预应力高强混凝土空心桩上;

3 单桩水平承载力特征值应按水平临界荷载的 0.6 倍取值，且不应大于单桩水平极限承载力的 50%。

6.4.6 对于承受上拔力的水泥土复合混凝土空心桩，应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定进行单桩竖向抗拔静载试验。检测桩数不应少于同条件下总桩数的 1%，且不应少于 3 根。

6.4.7 桩身质量除对预留水泥土试件进行无侧限抗压强度检验外，尚应进行预应力高强混凝土空心桩桩身完整性检测。

6.4.8 当水泥土强度有异常时，桩身水泥土实体强度可在桩顶浅部钻取芯样验证，检测桩数不应少于总桩数的 5%，且不得少于 6 根。

6.4.9 预应力高强混凝土空心桩桩身完整性检测可采用低应变法，应符合下列规定：

1 检测桩数不应少于总桩数的 20%，且不得少于 10 根，同时每根桩下承台的检测桩数不应少于 1 根；

2 桩身完整性判定时，应考虑水泥土对实测信号的影响，当实测信号复杂，无规律，且无法对其进行合理解释时，宜结合孔内摄像法进行。

6.4.10 施工后水泥土复合混凝土空心桩施工质量检验内容与标准应符合本规程附录 D 的规定。

6.5 工程验收

6.5.1 开挖至桩顶设计标高后，在施工单位自检合格的基础上，建设单位应会同勘察、设计、施工、监理等单位进行水泥土复合混凝土空心桩施工质量验收。

6.5.2 水泥土复合混凝土空心桩施工质量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；

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 桩位测量放线图，包括工程桩位线复核签证单；
 - 4 预应力高强混凝土空心桩的质量证明文件、相关技术参数说明、进场验收记录；
 - 5 水泥等其他材料的质量证明文件、见证取样文件及复验报告；
 - 6 施工记录及施工单位自查评定报告；
 - 7 隐蔽工程验收资料；
 - 8 工程质量事故及事故调查处理资料；
 - 9 单桩承载力、预应力高强混凝土空心桩桩身完整性、水泥土强度检测报告；
 - 10 基桩竣工平面图及桩顶标高图；
 - 11 其他必须提供的文件或记录。
- 6.5.3** 承台工程验收除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 的有关规定外，尚应具备下列资料：
- 1 承台钢筋、混凝土的施工与检查记录；
 - 2 桩头与承台的锚筋、边桩离承台边缘距离、承台钢筋保护层记录；
 - 3 桩头与承台防水构造及施工质量；
 - 4 承台厚度、长度和宽度的量测记录及外观情况描述；
 - 5 其他必须提供的文件或记录。

附录 B 施工前质量检验标准

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	检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	检查设备标定记录	
	2	桩位放样 (mm)		10	检查放线记录	
	3	PHC	外观质量	无蜂窝、露筋、裂缝, 色感均匀, 桩顶处无空隙	直观	
	4		桩长	按设计要求	用钢尺量	
	5		桩体弯曲 (mm)	$1\%_0 l$	用钢尺量	
	6		内壁浮浆	不得有浮浆	直观	
	7			桩径 (mm)	± 5	用钢尺量
	8			壁厚 (mm)	≤ 5	用钢尺量
	9			桩尖中心线 (mm)	2	用钢尺量
	10			端部倾斜 (mm)	$0.5\% d$	用水平尺量
	11		PHS	边长 (mm)	$+4$ -2	用钢尺量
	12			桩顶对角线之差 (mm)	≤ 5	用钢尺量
	13	内径 (mm)		0 -20	用钢尺量	
	14	最小壁厚 (mm)		$+10$ 0	用钢尺量	
	15	端部倾斜 (mm)		$0.4\% b$	用水平尺量	
	16	接桩用材料		符合出厂及设计要求	检查产品质量证明文件或抽样送检	

注: 1 d 为 PHC 直径;
 2 b 为 PHS 边长;
 3 l 为空心桩长度。

附录 C 施工中质量检验标准

表 C.0.1 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	检查施工记录
	2	桩长	不小于设计值	测钻杆长度
一般项目	1	浆液压力	按施工组织设计要求	检查施工记录
	2	水压	按施工组织设计要求	检查施工记录
	3	气压	按施工组织设计要求	检查施工记录
	4	水灰比	按施工组织设计要求	检查施工记录
	5	钻杆下沉/提升速度	按施工组织设计要求	检查施工记录
	6	钻杆旋转速度	按施工组织设计要求	检查施工记录
	7	水泥土桩垂直度 (%)	1	经纬仪测量或线锤测量
	8	预应力高强混凝土空心桩垂直度 (%)	0.5	经纬仪测量或线锤测量
	9	预应力高强混凝土空心桩桩顶标高 (mm)	±50	水准测量
	10	接桩质量	满足设计或规范要求	按设计或规范要求
	11	接桩上下节平面偏差 (mm)	10	用钢尺量
	12	焊接接桩停歇时间 (min)	>5	用表计量

附录 D 施工后质量检验标准

表 D.0.1 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	不小于设计值	静载试验
	2	桩数	按设计要求	现场清点
	3	桩径	不小于设计值	用钢尺量
	4	水泥土强度	不小于设计值	28d 试块强度或 钻芯取样送检
	5	预应力高强混凝土 空心桩桩身完整性	—	低应变法
一般项目	1	桩位偏差 (mm)	$100+0.005H$	全站仪或用钢尺量
	2	桩顶标高 (mm)	± 50	水准测量

注：H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离 (mm)。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；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用词，采用“可”。

2 条文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”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 4 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 5 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 6 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 7 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 8 《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330

山东省工程建设标准

水泥土复合混凝土空心桩基础
技术规程

DB37/T 5141 — 2019

条文说明

修 订 说 明

《水泥土复合混凝土空心桩基础技术规程》DB37/T 5141—2019，经山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局2019年6月3日以鲁建标字〔2019〕14号通知批准、发布。

本规程是在《管桩水泥土复合基桩技术规程》DBJ 14-080—2011的基础上修订而成，上一版的主编单位是山东省建筑科学研究院，参编单位是山东省建设工程质量监督总站、山东省建筑设计研究院、山东同圆设计集团有限公司、聊城市规划建筑设计院、德州市建筑规划勘察设计研究院、东营市建设工程质量监督站、德州市建设工程质量监督站、德州市建诚勘察设计审查有限公司、滨州市建设工程质量监督站、东营市建筑设计研究院、滨州市建筑设计研究院、东营市建筑工程质量检测站、菏泽市规划建筑设计院、山东鑫国基础工程有限公司、山东聊建集团有限公司，主要起草人是宋义仲、马凤生、徐承强、张维汇、王金玉、李建业、王希岭、田文成、崔宏海、王兴锋、韩春刚、崔全岳、陈守章、刘强、张树胜、张玉明、高传印、赵西久、王庆军、卜发东、万淑红、于克猛、马勇、王幸、王庆海、卢俭、李文洲、李利民、朱锋、米春荣、宋来营、谷千里、孟炎、姚德利、高宏泉、商敬文、韩金涛、谢志敏、程海涛、穆炳生。

本规程修订过程中，编制组进行了广泛和深入的调查研究，总结了已有的工程经验，同时参考了国外先进技术标准，通过试验，取得了大量重要技术参数。

为便于广大设计、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，《水泥土复合混凝土空心桩基础技术规程》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、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，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
2	术语和符号	42
2.1	术语	42
2.2	符号	43
3	基本规定	44
4	设计	49
4.1	一般规定	49
4.2	桩的选型与布置	50
4.3	桩基计算	53
4.4	构造要求	60
5	施工	63
5.1	施工准备	63
5.2	施工机械	63
5.3	施工作业	64
5.4	施工安全和环境保护	70
6	质量检验与工程验收	72
6.1	一般规定	72
6.2	施工前检验	72
6.3	施工中检验	73
6.4	施工后检验	73
6.5	工程验收	77

1 总 则

1.0.1 水泥土复合混凝土空心桩是通过一定的施工工艺，将具有特定匹配关系的水泥土桩和预应力高强混凝土空心桩等两种单体桩同心复合而形成的新型组合桩。该技术可有效改善桩的荷载传递途径、提高承载力、减小沉降，性价比高、绿色环保，并已列入《建筑业 10 项新技术（2017 版）》。

为使该技术的设计、施工、检验与验收规范化，便于推广应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 水泥土复合混凝土空心桩基础主要用于工业与民用建筑、构筑物等工程中承受竖向抗压荷载的低承台桩基础。市政、公路与桥梁、铁路、港口、水利等工程采用低承台桩基时可参考使用，但尚应符合有关行业标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 水泥土复合混凝土空心桩是基于水泥土桩和预应力高强混凝土空心桩两种桩型的特点提出的一种新桩型，由作为芯桩使用的预应力高强混凝土空心桩、包裹在芯桩周围的水泥土桩和填芯混凝土优化匹配复合而成（图 1）。本规程中，预应力高强混凝土空心桩长度不宜大于水泥土桩长度，分为短芯、等芯两种情况；预应力高强混凝土空心桩可采用 PHC、PHS。

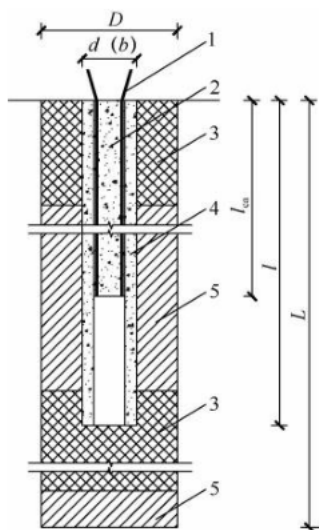


图 1 水泥土复合混凝土空心桩

- 1—锚固钢筋；2—填芯混凝土；3—复喷段；
4—预应力高强混凝土空心桩；5—水泥土桩

水泥土桩由高喷搅拌法施工，水泥土初凝前通过静压或振动

等方式同心植入预应力高强混凝土空心桩，施工速度快，无挤土效应，不产生泥浆。

水泥土复合混凝土空心桩由水泥土桩和预应力高强混凝土空心桩优化匹配复合而成，可充分发挥水泥土桩桩侧摩阻力和预应力高强混凝土空心桩桩身材料强度，具有大直径、长桩、高承载力、性价比高的特点。目前水泥土复合混凝土空心桩最大直径可达 2m，桩长可达 40m。

2.1.3 高喷搅拌法综合了高压喷射与搅拌法两种工艺的优点。由高压浆液形成高速喷射流束，冲击、切割、破碎地层土体，同时采用搅拌翅等强制搅拌水泥浆液与地基土，可有效控制桩身均匀性、成桩直径，返浆量小，提高了施工效率。

2.1.5 填芯混凝土不仅具有构造作用，而且具有提高承载力、抗震等作用。

2.2 符 号

2.2.3 本条规定了水泥土复合混凝土空心桩的几何参数符号，重点对桩径、桩长、桩身截面积等参数符号解释如下：

水泥土复合混凝土空心桩计算时，不考虑预应力高强混凝土空心桩植入时对水泥土桩直径的挤扩作用，水泥土复合混凝土空心桩直径与水泥土桩直径相等，为等直径桩。

D 表示水泥土复合混凝土空心桩直径，等于水泥土桩直径。

L 表示水泥土复合混凝土空心桩总长度，等于水泥土桩长度。

A_1 表示组合段环形水泥土部分净截面面积； A_L 表示基桩底端的面积，等于非组合段水泥土桩截面面积。

3 基本规定

3.0.1 水泥土复合混凝土空心桩由水泥土桩与同心植入的预应力高强混凝土空心桩构成，施工工艺包括水泥土桩施工与预应力高强混凝土空心桩植入两个步骤，其材料性能、施工方法决定了该桩型可用于素填土、淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土地基，尤其适用于软弱土层。

对于以下 4 种情况，应通过现场和室内试验确定其适用性：

- (1) 冲填土、含有大量植物根茎或有机质含量较高的土；
- (2) 具有中—强腐蚀性的场地；
- (3) 地下水渗流影响成桩质量的场地；
- (4) 含有坚硬夹层。

3.0.2 岩土工程勘察应符合国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 的有关规定，重点查明对水泥土复合混凝土空心桩成桩质量、施工效率有影响的岩土参数。

本条规定水泥土复合混凝土空心桩基础工程进行岩土工程勘察时应查明土层的工程性质，具体包括土层的分布、含水率、密实度、颗粒组成、胶结状态、塑性指数、有机质含量、pH 值等。其中土层的胶结状态，主要是指局部姜石、碎（卵）石是否相互胶结成为凸镜体或薄夹层。当遇有这种土层时，应通过现场试验确定水泥土复合混凝土空心桩基础的适用性。

地下水条件包含地下水水位、流速、层数、赋存方式等内容。地下水 pH 值、水和土的腐蚀性是选择水泥、外掺剂、预应力高强混凝土空心桩时应考虑的重要因素。

3.0.3、3.0.4 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 233 的有关规定进行室内水泥土配合比试验；也可以结合成桩工艺性试验，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 20%~35%，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。

3.0.5 对于没有水泥土复合桩应用经验和复杂地质条件的场地，应进行成桩工艺性试验。

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、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度等工艺参数；了解钻进阻力及植桩情况并采取相应措施。

成桩工艺性试验应综合考虑场地地层分布情况、上部荷载、拟采用桩参数等，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。

水泥土复合混凝土空心桩中的水泥土桩工艺性试验可先采用喷水的方法初步确定工艺参数，在此基础上再采用喷水泥浆的方法，并宜植入芯桩。

成桩工艺性试验时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、井径仪、取芯等方法检验成桩质量，为选

择施工机械、确定相关施工工艺及参数和施工措施提供详尽的资料。

3.0.6 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，水泥土复合混凝土空心桩作为一种新桩型，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。

预应力高强混凝土空心桩与水泥土的应力比可采用水泥土应力测试、预应力高强混凝土空心桩应力测试的方法确定，具体方法如下：

(1) 水泥土应力测试宜选用振弦式土压力计及与之相匹配的频率仪。

(2) 土压力计量程应大于最大加载时水泥土应力预估值的1.2倍，频率仪分辨力应优于或等于1Hz。

(3) 土压力计应在静载荷试验前埋设在桩顶水泥土中，并应符合下列规定：

1) 土压力计宜均匀对称埋设在环状水泥土中部，数量不应少于2个；

2) 土压力计埋设槽宜为圆形，宜大于土压力计外形尺寸20mm~30mm；

3) 土压力计底部宜铺设厚度为20mm~30mm的中砂或细砂找平层，土压力计周围空隙应采用中砂或细砂填充；

4) 土压力计顶面和水泥土桩顶面应齐平。

(4) 静载荷试验前，应读记土压力计初始数据，不应少于3次；每加一级荷载前后均应各读记土压力计数据一次，以后每30min读记一次。

(5) 预应力高强混凝土空心桩应力测试宜选用电阻应变计及与之相匹配的电阻应变仪。

(6) 电阻应变仪应具有多点自动测量功能，分辨力应优于或等于 $1\mu\epsilon$ 。

(7) 电阻应变计应在芯桩施工前粘贴在桩身上, 并应符合下列规定:

1) 电阻应变计应均匀对称设置在桩顶以下 1 倍桩径或边长处, 数量不应少于 2 个;

2) 电阻应变计及其连接电缆应采取防潮绝缘防护措施, 系统绝缘电阻不应低于 $200\text{M}\Omega$ 。

(8) 静载荷试验前, 应读记电阻应变计初始数据, 不应少于 3 次; 每加一级荷载前后均应各读记电阻应变计数据一次, 以后每 5min 读记一次。

(9) 采用振弦式土压力计测量时, 应根据率定系数将土压力计的实测频率换算成应力值; 采用电阻应变计测量时, 应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定进行导线电阻修正。

(10) 数据处理时, 应删除异常测点数据, 并取各测点平均值。

(11) 桩顶处预应力高强混凝土空心桩与水泥土的应力比应按下列公式计算:

水泥土应力测试时

$$n_0 = \frac{(Q_i - A_{cs}\sigma_{cs})/A_{cor}}{\sigma_{cs}} \quad (1)$$

预应力高强混凝土空心桩应力测试时

$$n_0 = \frac{\sigma_{cor}}{(Q_i - A_{cor}\sigma_{cor})/A_{cs}} \quad (2)$$

二者同时测试时

$$n_0 = \frac{\sigma_{cor}}{\sigma_{cs}} \quad (3)$$

式中: Q_i ——施加在桩顶的第 i 级荷载 (kN);

σ_{cs} ——水泥土应力 (kPa);

σ_{cor} ——预应力高强混凝土空心桩应力 (kPa)。

3.0.7 为了积累资料, 本条规定对所有应用水泥土复合混凝土空心桩基础的建(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。

3.0.8 影响水泥土复合混凝土空心桩基础工程质量的因素很多,需要进行全过程控制。对于全生命期内采用建筑信息模型的工程,水泥土复合混凝土空心桩基础勘察、设计、施工、监理等相关方应提交满足任务要求与对方需求的数据信息,以便于控制工程质量。建筑信息模型相关要求可参照现行国家标准《建筑信息模型应用统一标准》GB/T 51212。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.2、4.1.3 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》JGJ 94 有关规定执行。

对位于坡地、岸边的建筑物，应慎用水泥土复合混凝土空心桩基础；当采用水泥土复合混凝土空心桩基础时，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，并采取减小水泥土复合混凝土空心桩与预应力高强混凝土空心桩直径比、植入等长预应力高强混凝土空心桩、通长填芯等措施。

4.1.4 按照国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 相关要求，本条规定了水泥土复合混凝土空心桩基础设计时所采用的作用效应组合和抗力。

4.1.5 岩土工程勘察报告应符合本规程第 3.0.2 条规定。

建筑场地与环境条件资料包括：交通设施、地上及地下管线、地下构筑物的分布；相邻建筑物安全等级、基础形式及埋置深度；附近类似地层条件场地的桩基工程试桩资料和单桩承载力设计参数；周围建筑物的防振、防噪声的要求；返浆排放条件；建筑物所在地区的抗震设防烈度和建筑场地类别。

施工条件资料包括：施工机械设备条件，动力条件，施工工艺对地层条件的适应性；水、电及有关建筑材料的供应条件；施工机械进出场及现场运行条件。

实施可行性资料包括：附近类似地层条件场地的水泥土复合

混凝土空心桩、水泥土桩的设计与施工参数、试桩资料等。

4.2 桩的选型与布置

4.2.1 本条规定了水泥土复合混凝土空心桩的选型原则。

1 水泥土桩直径与预应力高强混凝土空心桩直径或边长之比

水泥土复合混凝土空心桩是在强度较低的大直径水泥土桩中植入合适的预应力高强混凝土空心桩，提高桩身材料复合强度，以达到与桩侧土阻力的匹配（图 2）。

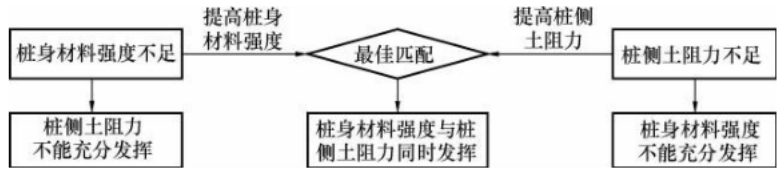


图 2 匹配关系

当水泥土桩直径与预应力高强混凝土空心桩直径或边长之比增大至某值后，桩身材料复合强度对应承载力小于桩侧土阻力对应承载力，桩身材料强度与桩侧土阻力不匹配，即水泥土桩直径与预应力高强混凝土空心桩直径或边长之比存在上限值。

水泥土复合混凝土空心桩在竖向荷载作用下的工作机理为：预应力高强混凝土空心桩承担的大部分荷载通过预应力高强混凝土空心桩-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，预应力高强混凝土空心桩、水泥土桩、桩侧土构成了由刚性向柔性过渡的结构。作为预应力高强混凝土空心桩与桩侧土之间的过渡层——“水泥土”不宜太薄，否则无法保证水泥土复合混凝土空心桩有效工作。包裹在预应力高强混凝土空心桩周围的水泥土还起到了保护层作用，改善了预应力高强混凝土空心桩的耐久性。综合考虑水泥土复合混凝土空心桩承载力机理、桩基所处环境类别、施工偏差、垂直度偏差等因素，“水泥土”不宜太薄，水泥土桩直径与预应力高强混凝土空心桩外接圆

直径之差不应小于 300mm。

水泥土复合混凝土空心桩与承台采用本规程第 4.4.3 条规定的方式连接时, 预应力高强混凝土空心桩承担 70% 以上的荷载, 结合预应力高强混凝土空心桩与水泥土的应力比测试结果, 可以计算出常用预应力高强混凝土空心桩直径或边长、水泥土强度工况下的水泥土桩直径与预应力高强混凝土空心桩直径或边长之比的取值范围, 如表 4.2.1 所示, 当水泥土强度高或桩侧土质较好时取小值。条文中仅列出了预应力高强混凝土空心桩直径或边长为 300mm、400mm、500mm、600mm、800mm 时水泥土桩直径与预应力高强混凝土空心桩直径或边长之比的取值范围, 对于其他尺寸的预应力高强混凝土空心桩可参考取用。

2 预应力高强混凝土空心桩长度与水泥土桩长度之比

预应力高强混凝土空心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。预应力高强混凝土空心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上拔力、抗震作用时, 预应力高强混凝土空心桩可与水泥土桩等长。

试验与计算结果表明, 非组合段桩身压缩量占桩身总压缩量比例随着预应力高强混凝土空心桩长度与水泥土桩长度之比的增长基本呈线性减小, 为了减小沉降、提高承载力, 预应力高强混凝土空心桩长度与水泥土桩长度比应取高值。

3 预应力高强混凝土空心桩选择

按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定, 预应力高强混凝土空心桩可选用预应力高强混凝土管桩 (PHC)、预应力高强混凝土空心方桩 (PHS)。特殊工况下, 桩身上部芯桩和下部芯桩可以选用不同类型的预应力高强混凝土空心桩。例如: 下节芯桩选用 PHC500AB100, 上节芯桩选用 PHC500AB125, 可有效提高桩顶材料综合强度; 下节芯桩选用普通 A 型预应力混凝土管桩, 上节芯桩选用复式配筋预应力混

凝土管桩，可有效改善水平承载性能。

4.2.2 水泥土复合混凝土空心桩与承台采用本规程第 4.4.3 条规定的方式连接时，预应力高强混凝土空心桩承担 70% 以上的荷载，因此确定基桩的中心距时，应主要考虑预应力高强混凝土空心桩直径 d 或边长 b ，并兼顾水泥土复合混凝土空心桩直径 D 。

在确定基桩的中心距时，需考虑如下因素：

- 1 预应力高强混凝土空心桩封底，属于挤土桩；
- 2 水泥土初凝前植入预应力高强混凝土空心桩时，水泥土呈流塑状态；
- 3 水泥土复合混凝土空心桩呈摩擦桩特性；
- 4 防止相邻桩的水泥土施工时相互影响；
- 5 桩侧土位移影响范围。

单桩竖向抗压与水平静载试验表明，桩侧土沉降与水平位移均随着至桩心距离的增大而迅速减小（图 3），距离桩心 $2.5D$ 处桩侧土沉降约为桩顶沉降的 10%、水平位移为 0。这说明至桩中心 $2.5D$ 范围内桩、土影响较明显，超出该距离后影响较小甚至可以忽略。

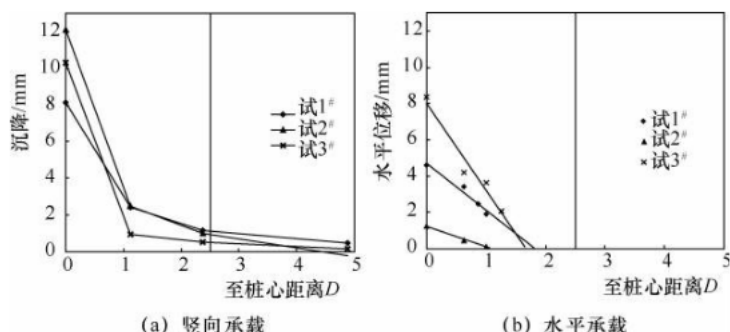


图 3 桩侧土影响范围

综合上述因素，参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94，本条规定了基桩的中心距。

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。

4.3 桩基计算

4.3.1 水泥土复合混凝土空心桩主要用于承受竖向抗压荷载，应尽量避免承受较大的上拔与水平荷载，因此本条仅给出了桩基设计中沿用已久的针对“一般建筑物和受水平力（包括力矩与水平剪力）较小”情况的桩顶作用力计算公式。

4.3.3 按照国家现行标准《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，本条规定了单桩竖向承载力计算应满足的要求。

4.3.4 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 $K = 2$ 。

4.3.5 为保证水泥土复合混凝土空心桩设计的可靠性，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、邻近工程的经验。

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 4.3.7 条验算桩身竖向承载力。其中式 (4.3.5-1) 基于水泥土-土界面计算，式 (4.3.5-2) 基于预应力高强混凝土空心桩-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、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桩极限侧、端阻力标准值乘以提高或折减系数得到。

根据搜集到的 39 组单桩竖向抗压静载试验及内力测试资料，统计不同土层对应的水泥土复合混凝土空心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桩极限侧阻力标准值对比，前者约为后者的 1.5 倍~1.6 倍。且多数试桩为桩头材料破坏，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。

表 1 极限侧阻力标准值

土的名称	土的状态	q_{sk} (kPa)
填土	—	30~42
淤泥	—	18~28
淤泥质土	—	30~42
黏性土	$I_L > 1$	38~58
	$0.75 < I_L \leq 1$	58~80
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	80~102
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	102~126
	$0 < I_L \leq 0.25$	126~144
	$I_L \leq 0$	144~152
粉土	$e > 0.9$	36~64
	$0.75 \leq e \leq 0.9$	64~94
	$e < 0.75$	94~124
粉细砂	稍密	34~70
	中密	70~96
	密实	96~130

济南黄河北试验基地水泥土复合混凝土空心桩、灌注桩、水泥土桩极限端阻力实测结果表明：水泥土复合混凝土空心桩底端总阻力约占桩顶荷载的 12%，与灌注桩的 15% 接近，大于水泥土桩的 6%；水泥土复合混凝土空心桩端阻力平均值约为灌注桩的 1.2 倍，为水泥土桩的 6.3 倍。这说明水泥土复合混凝土空心桩荷载传递性状与灌注桩类似，设计时水泥土复合混凝土空心桩极限端阻力标准值可近似取泥浆护壁钻孔灌注桩的极限端阻力标

准值。为偏于安全，无当地经验时，本条规定水泥土复合混凝土空心桩极限端阻力标准值 q_{pk} 可取泥浆护壁钻孔桩极限端阻力标准值的 0.8 倍。

按式 (4.3.5-2) 基于预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面计算单桩竖向抗压极限承载力标准值时，将预应力高强混凝土空心桩外围的水泥土视作均匀介质，当桩长范围内为成层土时，应取主要土层中较弱土层对应的水泥土强度进行计算，预应力高强混凝土空心桩底端阻力作为安全储备。

采用室内剪切试验，研究了管桩、方桩与由粉质黏土、砂土、粉土等拌制的水泥土界面之间的剪切强度。测试结果表明，预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面剪切强度可取对应位置水泥土强度的 0.15~0.19，为偏于安全，本规程中预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面剪切强度标准值与对应位置水泥土强度换算系数取 0.15。

基于桩身取芯与室内配比试验，研究了耕土、粉质黏土、粉土、粉细砂、粉砂等土质条件下高喷搅拌水泥土桩桩身水泥土强度与室内相同配比试块强度的关系：水泥掺入比为 20% 时，桩身水泥土强度均大于室内配比水泥土强度，其比值为 1.29~3.23，平均值为 1.86；水泥掺入比为 27% 时，桩身水泥土强度均大于室内配比水泥土强度，其比值为 1.01~3.73，平均值为 1.63；水泥掺入比为 35% 时，桩身水泥土强度略小于室内配比水泥土强度，其比值为 0.84~1.01，平均值为 0.94；水泥土强度比值随着水泥掺入比的增加略有减小，随深度增加略有增大。大量的深层搅拌桩实测资料也表明，水泥掺入比为 13.5%~20% 时，桩体强度与室内配比水泥土强度比值一般为 0.44~0.87。由于高喷搅拌水泥土桩桩身搅拌均匀，桩身水泥土强度与室内配比水泥土强度比值宜高于深层搅拌桩相应值，结合高喷搅拌水泥土强度实测值，高喷搅拌水泥土桩桩身水泥土强度与室内配比水泥土强度比值可取 0.6。

4.3.6 本条规定了水泥土复合混凝土空心桩单桩竖向抗拔极限

承载力标准值的确定方法。

研究表明,水泥土复合混凝土空心桩承受竖向上拔荷载时一般有三种破坏模式:水泥土复合混凝土空心桩从地基土中拔出、预应力高强混凝土空心桩从水泥土桩中拔出、预应力高强混凝土空心桩材料破坏。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按式(4.3.6-1)、式(4.3.6-2)分别计算预应力高强混凝土空心桩-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4.3.7条验算桩身竖向承载力。计算单桩竖向抗拔极限承载力时不考虑非组合段水泥土桩的自重。

表4.3.6中 λ_{1i} 为对应于预应力高强混凝土空心桩-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,因此 λ_{1i} 规定值较高; λ_{2i} 为对应于水泥土-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。

4.3.7 本条规定了水泥土复合混凝土空心桩承受竖向荷载时桩身竖向承载力的验算方法。

单桩竖向抗压静载试验表明,水泥土复合混凝土空心桩与承台采用本规程第4.4.3条规定的方式连接时,在极限荷载作用下,桩头呈现预应力高强混凝土空心桩、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,预应力高强混凝土空心桩与水泥土均未发生破坏。即在轴向压力设计值对应荷载作用下,桩头未发生渐进破坏,预应力高强混凝土空心桩与水泥土共同变形、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,应同时考虑预应力高强混凝土空心桩与水泥土两种材料的承载性能。

式(4.3.7-1)基于预应力高强混凝土空心桩验算了桩头材料强度,式(4.3.7-2)验算了预应力高强混凝土空心桩底端处水泥土材料强度。在本规程第4.1.6条给出的水泥土材料强度范围及表4.3.7给出的应力比情况下,桩顶轴向压力设计值一般由预应力高强混凝土空心桩材料强度控制,因此桩头材料验算时仅

给出了基于预应力高强混凝土空心桩材料强度的验算公式，而未给出基于水泥土材料强度的验算公式。

根据国家现行标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153、《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》GB 50199、《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233、《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 的有关规定，本规程中将水泥土立方体抗压强度平均值作为水泥土抗压强度标准值使用，其材料性能分项系数取 1.6。

轴向压力设计值对应荷载作用下，预应力高强混凝土空心桩与水泥土共同变形，符合等应变假定，应力比实测值与二者弹性模量之比接近。表 4.3.7 给出了轴向压力设计值对应荷载作用下，预应力高强混凝土空心桩与水泥土的应力比取值范围，可在初步设计时选用。

填芯混凝土与预应力高强混凝土空心桩内壁黏结强度受填芯混凝土的强度和组成成分、预应力高强混凝土空心桩内壁的粗糙程度、填芯混凝土长度等因素影响，一般可取填芯混凝土轴心抗拉强度的 0.21 倍。当填芯混凝土强度等级为 C30、C35 时，填芯混凝土与管桩内壁黏结强度设计值 f_n 可取 300kPa、330kPa。

4.3.9 按本规程第 6.4.7 条规定方法进行的单桩水平静载试验结果表明，水泥土复合混凝土空心桩水平极限荷载为水平临界荷载的 1.18 倍~1.20 倍，为了使单桩水平承载力特征值具有足够的安全储备，即其安全系数达到 2，单桩水平承载力特征值计算时应取 0.6 的折减系数。

水平荷载作用下，水泥土复合混凝土空心桩破坏模式为外围水泥土开裂，而预应力高强混凝土空心桩未发生破坏。地基土水平抗力系数的比例系数随预应力高强混凝土空心桩周围水泥土强度、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现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中有关预制桩的规定，并适当提高后采用。

搜集到的单桩水平静载试验（水泥土复合混凝土控制桩直径

800mm, 植入 PHC400AB95) 结果表明: 水平临界荷载对应水平位移为 4mm~9mm, 相应的地基土水平抗力系数的比例系数为 $40\text{MN/m}^4 \sim 80\text{MN/m}^4$ 。

4.3.10 当水泥土复合混凝土空心桩桩周土体因自重固结或因地面大面积堆载而产生的沉降大于桩的沉降时, 应考虑由此引起的桩侧负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响, 并考虑对非组合段水泥土桩的拖曳影响。

4.3.11 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。因此水泥土复合混凝土空心桩基础的沉降变形计算值不应大于国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定的允许值。

4.3.12 本条规定了水泥土复合混凝土空心桩基础最终沉降量计算方法。不论单桩、单排桩、桩中心距大于 6 倍桩径的桩基, 还是桩中心距不大于 6 倍桩径的群桩基础, 其最终沉降量计算均采用单向压缩分层总和法, 并计入桩身弹性压缩量。

1 桩身压缩量

根据搜集到的 27 组单桩竖向抗压静载试验、内力测试及实体工程沉降观测资料, 单桩桩身压缩量约占总沉降量的 36%~75%, 平均值为 64%; 群桩基础中桩身压缩量约占总沉降量的 15%。可见水泥土复合混凝土空心桩桩身压缩量占总沉降量比例较大, 桩基最终沉降量计算时应计入桩身压缩量。

水泥土复合混凝土空心桩可分为组合段与非组合段, 两段的轴力分布、弹性模量有较大差异, 应分段计算桩身压缩量 (图 4)。

2 桩身材料弹性模量

水泥土复合混凝土空心桩与承台采用本规程第 4.4.3 条规定的方式连接时, 水泥土直接与承台接触, 预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面未发生滑移, 二者能共同承担外部竖向荷载, 符合等应变假定, 组合段桩身材料弹性模量可采用考虑面积比的复合模量。

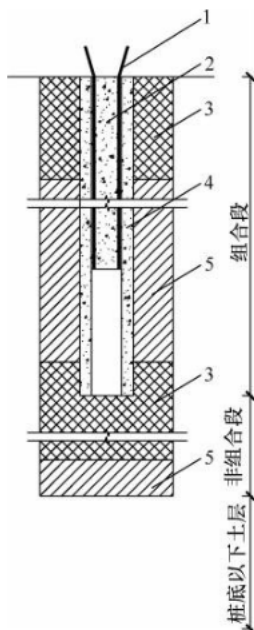


图 4 最终沉降量计算范围

- 1—锚固钢筋；2—填芯混凝土；3—复喷段；
4—预应力高强混凝土空心桩；5—水泥土桩

水泥土材料弹性模量宜根据试验确定，当无试验资料时可近似取水泥土无侧限抗压强度的 600 倍～1000 倍，水泥土强度高者取高值，反之取低值。

3 桩身压缩系数与桩身压缩折减系数

内力测试结果表明，竖向荷载作用下桩身轴力基本呈折线分布，拐点在预应力高强混凝土空心桩底端。基于桩侧阻力矩形分布假定给出了桩身压缩系数确定方法。

桩身压缩折减系数则考虑了桩侧阻力实际分布形式与矩形分布假定的差异。

4 沉降计算经验系数

根据山东地区搜集到的 27 组单桩竖向抗压静载试验及内力

测试资料,单桩总沉降量实测值与计算值之比为 0.56~1.67,平均值为 0.84,单桩、单排桩、桩中心距大于 6 倍桩径的桩基沉降计算经验系数可取 1.00,偏于安全。

根据实体工程沉降观测资料,沉降计算深度范围内土层压缩模量的当量值为 30MPa 左右时,扣除桩身压缩量后桩底土层实测沉降量与单向压缩分层总和法计算最终沉降量之比为 0.45~0.49,该值约为国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 附录 R 表 R.0.5 推荐沉降计算经验系数的 0.65 倍~0.71 倍。根据工程比拟法,群桩基础沉降计算经验系数可按表 2 取值。

表 2 沉降计算经验系数

$\bar{E}_s$ (MPa)	≤ 15	25	35	≥ 40
φ	0.68	0.54	0.40	0.20

其中, $\bar{E}_s$ 为沉降计算深度范围内土层压缩模量的当量值 (MPa),应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定确定; φ 可根据 $\bar{E}_s$ 内插取值。

4.3.13 水泥土复合混凝土空心桩基础沉降计算深度按应力比法确定,即按附加应力与自重应力之比为 10% 确定计算深度。

4.3.14 在竖向荷载作用下,水泥土复合混凝土空心桩中的预应力高强混凝土空心桩承担主要荷载,本条 1、2 款规定按预应力高强混凝土空心桩承担全部荷载来进行承台计算,偏于安全。

4.4 构造要求

4.4.1 水泥土复合混凝土空心桩中的水泥土桩和预应力高强混凝土空心桩共同承担上部荷载,考虑到预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面黏结性能、预应力高强混凝土空心桩与水泥土荷载分担比等因素,水泥土强度存在下限值。桩身水泥土实体强度应符合本规程第 4.3.7 条规定且不应低于 1.5MPa。

4.4.2 为了保证水泥土复合混凝土空心桩施工质量,应在水泥

土桩施工完成后及时植入预应力高强混凝土空心桩，尽量缩短桩机挪动、接桩时间等，因此选择桩长时应考虑预应力高强混凝土空心桩成品长度，控制接头数量不宜超过 1 个。对于承受上拔力的水泥土复合混凝土空心桩，预应力高强混凝土空心桩承担全部拔力，预应力高强混凝土空心桩接头应采用等强度连接。

4.4.3 水泥土复合混凝土空心桩中的预应力高强混凝土空心桩与水泥土作为一个整体共同承担外部荷载，且预应力高强混凝土空心桩承担主要荷载，因此确定桩中心至承台边缘距离时应以预应力高强混凝土空心桩为主并兼顾水泥土桩。

4.4.4 水泥土复合混凝土空心桩与承台宜采用预应力高强混凝土空心桩填芯混凝土中埋设锚固钢筋的方式连接（图 5）。

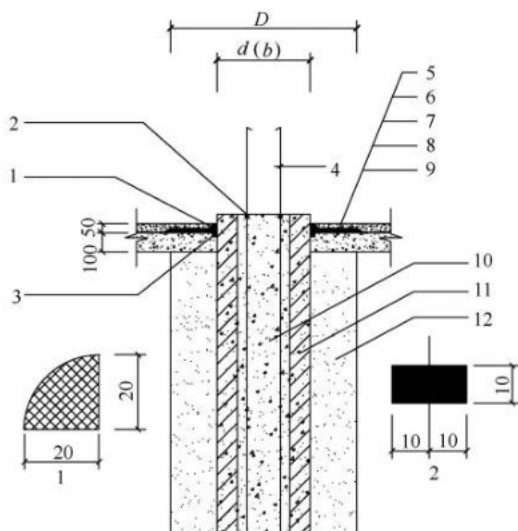


图 5 桩与承台连接构造

- 1—聚硫嵌缝膏；2—遇水膨胀橡胶条；3—缓膨型遇水膨胀橡胶条；
4—锚固钢筋；5—C20 细石混凝土；6—底板防水层；7—聚合物
水泥防水砂浆；8—1.5 厚水泥基渗透结晶型防水涂料；9—混凝土
土垫层；10—填芯混凝土；11—预应力高强混凝土空心桩；12—水泥土桩

对于承压桩，填芯混凝土的主要作用是改善桩顶的受力状态，有利于桩与承台的连接；对于承受上拔力的桩，还起到将力均匀传至桩身的作用。填芯混凝土的灌注深度及质量直接影响到力的传递，设计时应慎重处理，必要时应通过试验确定。

对于承受上拔力的桩也可以采用预应力高强混凝土空心桩底部固定锚固钢筋的构造措施，即把通长的锚固钢筋焊接于预应力高强混凝土空心桩底部的端板或桩尖上，由锚固钢筋将拔力传递至预应力高强混凝土空心桩底部。

对承受水平力较大的桩，可在桩顶水泥土中设置钢筋笼。当在桩顶水泥土中设置钢筋笼时，应考虑钢筋笼防腐蚀并应符合下列规定：

- 1 钢筋笼长度不应小于 $3D$ ；
- 2 主筋宜选用 $6\Phi 14$ ，箍筋宜选用 $\phi 8@200$ ；
- 3 钢筋笼宜设置在环状水泥土中部。

5 施 工

5.1 施 工 准 备

5.1.2 三通一平是建设项目开工的前提条件，具体指水通、电通、道路通和场地平整。为保证水泥土复合混凝土空心桩正常施工，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。

5.1.3 基桩轴线的控制点和水准点应设置在稳定、易于长期保存的位置。当有工作基准点时，应定期将其与基准点进行联测。

5.1.4 本条规定的主要目的是：在施工前通过对施工机械及其配套设备的试运行及对流量、浆液压力、水压、气压、钻杆提升速度与钻杆旋转速度等施工参数的标定，确认现场所有设备能够安全正常运转、施工参数是否满足本规程第 5.2.2、5.2.3 条要求；施工参数由成桩工艺性试验确定。

5.2 施 工 机 械

5.2.1 水泥土复合混凝土空心桩施工机械包括整体式与组合式两种，为了提高施工效率及保证成桩质量，应优先选用整体式施工机械。

水泥土复合混凝土空心桩整体式施工机械同时具备水泥土桩施工和预应力高强混凝土空心桩施工两种功能。在平行于桩架的钻杆顶端设置高压旋喷水龙头、动力头，钻杆底端设置搅拌翅、水平向喷嘴、钻头，钻杆通过高压旋喷水龙头与喷浆、喷气、喷水系统连接后形成水泥土桩施工机具。在桩架上与水泥土桩施工机具成固定夹角或距离设置预应力高强混凝土空心桩施工机具，预应力高强混凝土空心桩施工机具可采用振动锤或静力压桩设

备。通过旋转或移动桩架先后进行水泥土桩与预应力高强混凝土空心桩的定位及施工。

水泥土复合混凝土空心桩组合式施工机械由水泥土桩施工机械和预应力高强混凝土空心桩施工机械等两种设备组合而成。水泥土桩施工机械原理与整体式施工机械中的水泥土桩施工机具部分相同；预应力高强混凝土空心桩施工机械可采用静力压桩机。

5.2.2 高喷搅拌法综合了高压喷射与搅拌法两种工艺的的优点，所选用的机具应具有高压喷射与机械搅拌功能，并能够自钻式下沉。

钻具特别是钻杆、钻头形式，应能适应不同的地层条件，提高钻进效率和施工质量。

5.2.3 本条给出了水泥土桩施工主要配套设备即注浆泵、空气压缩机、水泥浆搅拌机、储浆桶的技术要求。其中浆液压力、水压、气压等设计规定值应按施工组织设计要求确定。

5.2.4 本条给出了预应力高强混凝土空心桩施工机械选择时应考虑的影响因素。

设计文件主要指水泥土复合混凝土空心桩的技术要求，如预应力高强混凝土空心桩型号、桩位、桩顶标高等。

岩土工程勘察报告主要指场地的工程地质条件与水文地质条件。

场地环境条件对施工机械选用的影响主要体现在边桩的施工。当场地狭窄、环境条件复杂、无法将基坑开挖范围加大时，则预应力高强混凝土空心桩施工机械的选择必须考虑边桩的施工能力。

5.3 施 工 作 业

5.3.2 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。

5.3.3 水泥土复合混凝土空心桩的施工要点在于首先采用高喷搅拌法施工外围水泥土桩，其次为预应力高强混凝土空心桩植入

水泥土桩的合理时机应在水泥土初凝前，同时确保预应力高强混凝土空心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，预应力高强混凝土空心桩同心植入水泥土桩后，不影响水泥土的成桩形态、后期强度以及预应力高强混凝土空心桩-水泥土界面剪切强度。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 2h~3h，水泥土尚未初凝。综合考虑多种因素，推荐预应力高强混凝土空心桩施工与水泥土桩施工完成时间间隔为 0.5h~1.0h，最大不宜超过 2h。

为避免流塑状态的水泥土进入预应力高强混凝土空心桩内腔，影响后期填芯混凝土施工，应采用薄铁皮等方法将首节预应力高强混凝土空心桩底端及末节管桩顶端封闭。

水泥土复合混凝土空心桩施工过程中出现的一些常见问题可按表 3 进行处理。在施工前应做好有针对性的应急预案，施工过程中根据施工现场实际情况，快速找出原因，并及时采取相应的处理措施，确保水泥土插芯组合桩施工质量。

表 3 施工常见问题处理措施

常见问题	发生原因	处理措施
桩位偏差	定位不准； 施工中垂直度偏差超出规定值	对水泥土桩及预应力高强混凝土空心桩施工采用全站仪定位、复检； 采用线锤或经纬仪控制水泥土桩与预应力高强混凝土空心桩施工时的垂直度
水泥土复合混凝土空心桩直径小	浆液压力小； 浆液流量小	调整浆液压力、流量、钻杆提升速度、钻杆旋转速度、搅拌翅直径等施工参数

续表 3

常见问题	发生原因	处理措施
桩身混凝土强度达不到设计要求	水泥掺量小； 水灰比大； 搅拌不匀； 局部喷浆量小、喷浆不连续	增大水泥掺量； 减小水灰比； 减小钻杆提升速度、增加搅拌均匀程度及喷浆量、连续喷浆
混凝土断桩	喷浆不连续	恢复供浆后喷头提升或下沉 1.0m 后再行下沉或提升施工，保证接茬
钻进下沉困难、电流值高、跳闸	电压偏低； 土质坚硬，阻力太大； 遇大块石等障碍物； 漏电	调高电压； 加大浆液压力； 更换合适的钻具； 开挖排除障碍物； 检查电缆接头，排除漏电
浆液过早用完或剩余过多	供浆管路堵塞、漏浆； 钻杆提升速度过慢或过快； 投料不准、加水量少或过多； 钻进过程耗浆量太大	检修注浆泵及供浆管路； 调整钻杆提升速度； 重新标定投料量及加水量； 减小钻进耗时
注浆泵堵塞，供浆管路堵塞、爆裂，喷嘴堵塞	水泥浆杂质多； 供浆管路内有杂物； 杂物进入喷嘴	增加水泥浆过滤遍数或更换过滤网； 拆洗供浆管路、注浆泵； 检查拆洗喷嘴
注浆泵压力剧增或剧减	喷浆嘴或注浆管路堵塞； 喷浆嘴或注浆管路漏浆； 喷杆磨损漏浆	拆洗检查； 更换喷杆

续表 3

常见问题	发生原因	处理措施
注浆泵压力不稳	注浆泵内进气； 注浆泵内进入硬质颗粒； 注浆泵机械磨损	排除空气； 拆洗检查； 更换磨损件
空气压缩机不工作	线路或电机出现问题； 喷气嘴堵塞或供气管路堵塞	检查线路及电机； 检查清洗供气管路、喷气嘴及钻头内部气腔
水泥浆进入空气压缩机储气罐	钻头在地下时气被憋住，造成回浆	提起钻头，清洗空气压缩机储气罐
注浆泵压力、钻杆提升速度等施工参数与设计不符	喷嘴直径与设计不符； 供浆管路堵塞； 调速电机控制器出现问题	检查喷嘴直径； 检查供浆管路； 检查或更换调速电机控制器
冒浆多	土质太黏，搅拌不动； 遇硬土或障碍物下沉困难； 浆液流量过大； 喷浆下沉、提升速度小 水灰比过大	加强搅拌； 清除障碍物； 调整浆液流量； 加大升降速度及喷搅遍数 减少水灰比
不返气、不返浆	供气、供浆管路堵塞； 下沉过快，上层黏土层封住返气、返浆通道	疏通供气、供浆管路； 降低下沉速度； 提起钻头，待返气、返浆后再行下沉施工
相邻桩附近冒气、冒水	距离施工桩太近； 邻近桩施工完成时间较短	间隔施工； 增加相邻桩施工时间间隔
埋钻	钻头埋置地下较深时，钻杆停止转动，同时不喷气、不喷浆； 遇流砂等土层	降低钻进速度； 检查电路及设备，防止出现钻杆停止转动等故障； 维修设备时，应将钻杆提至地面

续表 3

常见问题	发生原因	处理措施
预应力高强混凝土空心桩施工达不到设计标高	预应力高强混凝土空心桩施工与水泥土桩施工完成时间间隔过长； 接桩时间过长； 水灰比小或注浆量少； 压桩力或激振力不足； 桩身偏斜，压入土中； 水泥土不均匀	减少时间间隔； 缩短接桩时间； 增大水灰比或注水搅拌； 加大压桩力或激振力； 确保预应力高强混凝土空心桩位置及垂直度； 增加喷搅次数
预应力高强混凝土空心桩掉入水泥土中	水灰比过大； 预应力高强混凝土空心桩未封底	减小水灰比； 预应力高强混凝土空心桩封底； 施工时采取控制措施
预应力高强混凝土空心桩内腔进浆	预应力高强混凝土空心桩顶、底封闭不严密； 接桩漏焊	预应力高强混凝土空心桩顶、底封严； 焊接严密

5.3.4 水泥浆制备应优先采用全自动制浆设备，提高施工效率和控制精度，减少环境污染和工人劳动强度。施工过程中应定期量测水泥浆密度，检查水灰比是否满足要求、计量仪器是否正常工作。

水泥浆水灰比应根据地层、地下水条件综合确定，可选取 0.6~1.5。

5.3.5 水泥土桩施工参数如浆液压力、气压、水压及流量、喷嘴数量及直径、搅拌翅直径、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度等由成桩工艺性试验确定，在施工中应严格控制，不得随意更改。在确保水泥土桩桩顶标高、有效桩长、桩径、垂直度、水泥土强度达到设计要求的前提下，施工单位可根据本工程的施工经验、土质条件等对施工参数作必要的调整。

表 4 列出了部分实际工程的高喷搅拌法水泥土桩施工参数，供参考。

表 4 部分实际工程水泥土桩施工参数

地层条件	素填土、粉土、黏性土、砂土	
施工参数		
空气	压力 (MPa)	0.7
	流量 (m ³ /min)	1~2
	喷嘴间隙 (mm) 及个数	1~2 (1~4)
浆液	水灰比	0.8~1.2
	压力 (MPa)	4~30
	流量 (L/min)	35~280
钻头	喷嘴孔径 (mm) 及个数	2.4~2.8 (1~4)
	搅拌翅外径 (mm)	350~900
钻杆	钻杆外径 (mm)	219、299
	提升速度 (cm/min)	20~50
	旋转速度 (r/min)	18~23

搅拌次数是保证水泥土质量均匀的重要施工措施,根据工程经验,桩身深度范围内每米的搅拌次数大于 300 次时,桩身水泥土质量能够满足设计要求。

需要提高强度或增加喷搅次数而采取复搅复喷措施的部位一般指桩顶部位、芯桩底部、塑性指数较高的黏土层以及因故停浆或喷浆不连续的部位等。复喷复搅段长度宜根据作用在桩顶及芯桩底部荷载大小、土质条件、水泥用量、水灰比、浆液流量、提升速度、施工异常情况等因素综合确定。

5.3.6 水泥土桩施工过程中,应在桩顶设计标高以下采取尚未凝固的水泥土浆液制作水泥土试块(一般称为“软取芯法”),并分别进行同条件养护和标准养护 28d。可将试块埋置于桩头附近的地基土中进行同条件养护。

软取芯可按现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199 的有关规定执行。

5.3.7 采用组合式施工机械植入预应力高强混凝土空心桩前,

应将水泥土桩施工后的桩孔附近返浆清理干净，露出桩顶轮廓，以方便预应力高强混凝土空心桩植入时中心位置的确定。同时应提前架设全站仪及水准仪、预应力高强混凝土空心桩施工设备预就位等。

预应力高强混凝土空心桩垂直度控制对水泥土复合混凝土空心桩成桩质量相当关键，应制定可靠的垂直度控制措施。

采用组合式施工机械时，为保证预应力高强混凝土空心桩与水泥土桩之间的同轴度，在水泥土桩施工结束后宜对预应力高强混凝土空心桩植入位置进行放样定位，定位允许偏差应为10mm。采用整体式机械时，在水泥土桩施工完成后通过旋转或移动桩架进行预应力高强混凝土空心桩的定位。

在预应力高强混凝土空心桩植入水泥土桩中时允许有少量水泥土挤出，并应采取监控预防措施，如根据监测的植桩情况采取措施防止首节预应力高强混凝土空心桩掉入水泥土桩中。

预应力高强混凝土空心桩接桩有焊接、机械连接两种方式，采用其中任一种连接方式时均应保证接桩质量和上下节段的桩身垂直度。

5.3.8 水泥土复合混凝土空心桩施工应按本规程附录 A 施工记录表的要求进行记录，也可根据工程实际情况对该表格格式进行重新设计，但其包含的施工信息必须齐全。

5.3.9 采用机械开挖土方时，不得碰及桩身，挖到离桩顶标高0.4m以上时，宜改用人工挖除桩顶余土，以保证水泥土复合混凝土空心桩的质量。

5.4 施工安全和环境保护

5.4.1 高压注浆设备是水泥土复合混凝土空心桩施工中的重要危险源，所以针对注浆泵，空气压缩机，供浆、供气、供水管路等设备应制定相应安全技术措施，如：对于安全阀要进行施压检验；对于注浆泵、空气压缩机应指定专人管理，一旦发生故障，应及时停泵停机，及时排除故障，并做好运转情况记录。施工过

程中必须按设备操作规程进行操作，严禁违规操作。

近年来，大型施工设备施工期间倾覆事故时有发生，多是由于操作不当、施工作业面不平整或地基承载力不足所致。水泥土复合混凝土空心桩施工机械应由专人按照机械使用说明书操作，施工作业面的平整度与坚实度应符合要求，并应有专人指挥。

5.4.2 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。做好水泥运输过程中的防散落与沿途防污染措施；施工场地和运输道路要定期清扫，保持整洁卫生，防治扬尘；采取措施降低施工噪声，尽量减轻噪声扰民。

6 质量检验与工程验收

6.1 一般规定

6.1.1 影响水泥土复合混凝土空心桩质量的因素存在于桩基施工的全过程中，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水泥土复合混凝土空心桩进行检验。

水泥土复合混凝土空心桩质量检验主要包括对水泥土桩施工、预应力高强混凝土空心桩施工及施工工序过程的质量检验。

6.1.3 参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 相关规定，本条给出了水泥土复合混凝土空心桩质量检验的主控项目，如水泥及外掺剂质量、水泥用量、水泥土强度、桩长、桩径、桩数、预应力高强混凝土空心桩桩身完整性、承载力。

6.2 施工前检验

6.2.1~6.2.4 参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 给出了水泥土复合混凝土空心桩施工前质量检验标准。

桩位放样指的是施工前按本规程第 5.3.1 条要求根据水泥土复合混凝土空心桩桩位平面布置图在施工现场进行的桩位放样，有别于水泥土桩施工结束后预应力高强混凝土空心桩施工前的放样定位。

本规程附录 B 中施工机械设备及性能检查涵盖了对注浆泵压力表、调速电机转速表的检查，主要通过本规程第 5.1.4 条规定来实现，因此检查设备的标定记录即可。

进入现场的预应力高强混凝土空心桩除应按本规程附录 B 要求进行检查外，还必须查验产品合格证。预应力高强混凝土空心桩内壁浮浆严重影响填芯混凝土与预应力高强混凝土空心桩内壁的黏结力，降低二者的整体性，因此本规程规定预应力高强混凝土空心桩内壁不得残留有浮浆。

6.3 施工中检验

6.3.1 对于成桩工艺性试验，应通过轻型动力触探或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。

6.3.4 本条给出了水泥土复合混凝土空心桩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，使水泥土复合混凝土空心桩施工质量达到设计要求。

6.3.5 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，可以通过桩身完整性或单桩承载力的验证检测；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。

6.4 施工后检验

6.4.1 本条给出了基坑开挖至设计标高后对水泥土复合混凝土空心桩进行检查的内容。

6.4.2、6.4.3 按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》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质量和竖向承载力检验。

对承载力进行检验时，水泥土龄期应达到 28d，或受检桩同条件养护水泥土试件强度应达到设计强度要求。

6.4.4 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，其中的桩头处理方法、刚性承压板尺寸大小及单桩竖向承载力取值方法是已有水泥土复合混凝土空心桩工程检测经验的总结。

6.4.5 水泥土复合混凝土空心桩与承台采用本规程第 4.4.3 条规定的方式连接时，相当于水平荷载施加在管桩上，因此水泥土复合混凝土空心桩单桩水平静载试验时，水平荷载应施加在管桩上。

水泥土复合混凝土空心桩是一种新桩型，为偏于安全，单桩水平承载力特征值应同时满足不大于水平临界荷载的 0.6 倍与水平极限承载力的 50% 两个条件。

6.4.6 水泥土复合混凝土空心桩进行单桩竖向抗拔静载试验时可采用预应力高强混凝土空心桩内灌注填芯混凝土并预埋通长抗拔钢筋、预应力高强混凝土空心桩底端固定抗拔钢筋（焊接于端板或桩尖上）等方法传递拔力。抗拔钢筋种类与数量应通过计算确定。

6.4.7 水泥土复合混凝土空心桩中的预应力高强混凝土空心桩和水泥土共同承担上部荷载，且预应力高强混凝土空心桩是主要承力构件。桩身质量检验时，应重点检验水泥土强度和预应力高强混凝土空心桩桩身完整性。

6.4.8 桩顶浅部钻芯法检测水泥土抗压强度时，应符合下列要求：

（1）每根受检桩的芯样试件数量不应少于 1 组，每组 3 件，取芯深度不应超过 0.5m。

(2) 水泥土取芯时的龄期应不少于 28d。

(3) 钻芯机应具有足够的刚度，操作灵活，固定和移动方便，并应有水冷却系统。

(4) 钻取芯样应根据桩身设计强度选用合适的薄壁合金钢钻头或金刚石钻头，钻头外径不宜小于 91mm。

(5) 钻芯机安装时宜进行固定，钻芯过程中不应发生倾斜、移位，钻芯孔垂直度允许偏差应为 0.5%。

(6) 开孔位置至桩中心的距离宜为环状水泥土内、外半径之和的 1/2；当钻芯孔为 2 个或 2 个以上时，开孔位置宜均匀对称布置。

(7) 开孔时宜采用较小的钻头压力，钻芯过程中宜保持匀速钻进，钻进速度宜为 50mm/min~100mm/min。

(8) 提钻卸取芯样时，严禁敲打卸芯。

(9) 在运送和保存过程中，应采取防止芯样受压、震、晒、冻、失水或吸水的措施。

(10) 钻芯孔应采用水泥浆回灌封孔。

(11) 锯切机应具有冷却系统和夹紧固定装置；芯样试件端面的补平器和磨平机应满足芯样制作的要求。

(12) 芯样试件加工和测量可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行，高径比宜为 1:1，不得有裂缝、松动掉块或其他较大缺陷。

(13) 芯样试件制作完成后，可立即进行抗压强度试验。

(14) 压力试验机应具有加荷速率控制装置，测量精度应为±1%，额定最大压力应为试件预估破坏荷载的 1.25 倍~5.00 倍。

(15) 抗压强度试验时，宜以 0.03kN/s~0.15kN/s 的速率均匀、连续地对试件加荷，直至试件破坏后记录破坏荷载，并应精确至 0.01kN。

(16) 芯样试件抗压强度应按下式计算确定：

$$f_{cu} = \frac{4P}{\pi d_{cm}^2} \quad (4)$$

式中： f_{cu} ——芯样试件抗压强度值 (MPa)，精确至 0.01MPa；

P ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载 (N);

d_{cm} ——芯样试件的平均直径 (mm)。

(17) 桩顶浅部水泥土芯样试件抗压强度检测值应取一组 3 块试件强度值的平均值。

(18) 同一受检桩有两组或两组以上水泥土芯样试件抗压强度检测值时, 应取其平均值作为该桩桩顶浅部水泥土芯样试件抗压强度检测值。

6.4.9 实测结果表明, 随着水泥土龄期的增长, 水泥土复合混凝土空心桩中的预应力高强混凝土空心桩桩身完整性低应变检测信号受预应力高强混凝土空心桩-水泥土耦合效应的影响明显 (图 6)。

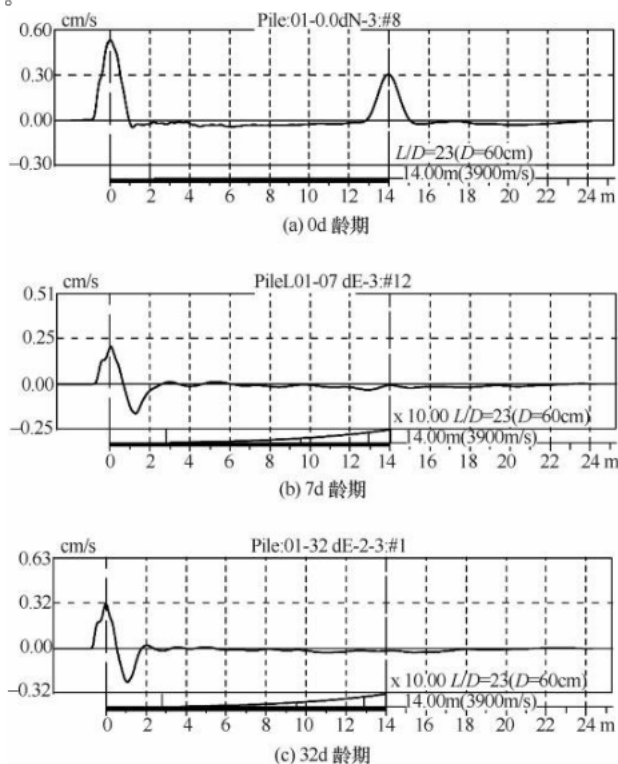


图 6 预应力高强混凝土空心桩桩身完整性时域信号

预应力高强混凝土空心桩刚植入水泥土中时，预应力高强混凝土空心桩与水泥土之间基本没有耦合效应，信号衰减规则、桩身范围内无同向反射，桩底反射明显，是典型的完整桩时域信号。随着水泥土龄期的增加，预应力高强混凝土空心桩和水泥土之间耦合效应明显。当预应力高强混凝土空心桩周围水泥土软硬程度出现差异、水泥土外表面形状不规则时，桩头浅部出现同向反射信号，桩底反射减弱，直至消失。

有条件时，可采用孔内摄像法对预应力高强混凝土空心桩桩身完整性进行检测。

6.4.10 本条给出了水泥土复合混凝土空心桩施工后的质量检验项目及检验标准。

水泥土复合混凝土空心桩的桩位偏差通过量测预应力高强混凝土空心桩的桩位偏差进行控制。水泥土复合混凝土空心桩的桩径是指以预应力高强混凝土空心桩中心为基准的外围水泥土的最小桩径，只要该最小桩径能达到设计要求即可。

6.5 工程验收

6.5.1~6.5.3 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标准》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。