

ICS 编号

CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

水利水电工程预制桩基础技术规范

Technical specification for prefabricated Pile foundation of
hydraulic and hydroelectric engineering

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

前 言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，按照工程建设标准编写规定（建标〔2008〕182号）的要求，编制本标准。

本规范分为8章和6个附录，主要技术内容包括：总则、术语与符号、基本规定、材料、分类与选型、桩基设计、复合地基设计、施工、质量检查与验收等。

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

本标准由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条16号，邮编：100053），以便今后修订时参考。

本规范主编单位：建华建材（中国）有限公司

长江勘测规划设计研究有限责任公司

本规范参编单位：中铁水利水电规划设计集团有限公司

中国水利水电第八工程局有限公司

中交第三航务工程勘察设计院有限公司

中水北方勘测设计研究有限责任公司

广东省水利电力勘测设计研究院有限公司

本规范主要起草人：

本规范主要审查人：

目 次

前 言	1
1 总 则	1
2 术语与符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 基本规定	7
4 材料、分类与选型	9
4.1 材 料	9
4.2 分 类	10
4.3 选 型	10
5 桩基设计	12
5.1 一般规定	12
5.2 预制桩布置	13
5.3 桩基础竖向承载力计算	13
5.4 桩基水平承载力和位移计算	19
5.5 桩基础沉降计算	23
5.6 构造要求	23
6 复合地基设计	25
6.1 一般规定	25
6.2 预制桩布置	25
6.3 复合地基计算	26
6.4 构造要求	28
7 施 工	29
7.1 一般规定	29
7.2 起吊、运输和堆放	31
7.3 接桩与截桩	32
7.4 静压法施工	33
7.5 锤击法施工	36
7.6 植入法沉桩	37
8 质量检查与验收	39
8.1 一般规定	39
8.2 沉桩前检查和验收	39
8.3 沉桩过程检查和验收	42
8.4 沉桩后检查和验收	44
8.5 工程验收	45
附录 A 预制桩结构形式、截面及力学性能	47
附录 B 预制桩桩尖规格及构造图	85
附录 C 预制桩与承台连接构造图	89
附录 D 沉桩施工记录表	92
附录 E 沉桩设备选型参考表	95
附录 F 进场检验和施工质量检验记录表	97

本标准用词说明	101
引用标准名录	102

1 总 则

1.0.1 为规范预应力混凝土桩应用的技术要求，做到安全适用、经济合理、技术先进、资源节约、环境友好、施工可靠，推动水利水电工程高质量发展，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程中水工建筑物预应力混凝土桩基础的设计、施工、质量检查与验收，其他行业可参照使用。

1.0.3 预应力混凝土桩基础的应用应综合考虑水工建筑物类型、地质条件、工程特点、施工技术条件和环境保护等因素，根据水工建筑物的稳定、变形、渗流控制等不同目的确定基础型式、桩型和施工工艺，精心设计、精心施工。

1.0.4 预应力混凝土桩基础设计应重视地方经验，因地制宜，合理选择桩型和优化布桩，做到科学设计、合理应用。

1.0.5 水利水电工程中预应力混凝土桩的应用除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 预应力混凝土桩 precast concrete pile

在工厂采用浇筑或离心工艺制作，主筋采用预应力钢筋、非预应力钢筋或预应力钢筋与非预应力钢筋组合（钢管全部包裹桩身混凝土时可不设主筋），经蒸汽养护成型或自然养护成型的钢筋混凝土桩，简称预制桩。

2.1.2 预制桩桩基 precast pile foundation

由沉入岩土中的预制桩和与桩顶连接的建筑物底板（承台）组成的基础。简称桩基。

2.1.3 预制桩复合地基 precast pile composite ground

天然地基土体经处理后，部分土体被预制桩置换形成增强体，由天然地基土体和预制桩增强体共同承担荷载的人工地基。

2.1.4 预应力混凝土管桩 pretensioned pre-stressed spun concrete pipe pile

采用离心成型的桩身混凝土强度等级不低于 C60 的先张法预应力混凝土环形截面空心桩，简称 PC 管桩。

2.1.5 预应力高强混凝土管桩 pretensioned pre-stressed spun high strength concrete pipe pile

采用离心成型的桩身混凝土强度等级不低于 C80 的先张法预应力混凝土环形截面空心桩，简称 PHC 管桩。

2.1.6 预应力超高强混凝土管桩 ultra high strength concrete pipe pile

采用离心成型的桩身混凝土强度等级不低于 C105 的先张法预应力混凝土环形截面空心桩，简称 UHC 管桩。

2.1.7 混合配筋预应力高强混凝土管桩 pretensioned prestressed concrete pipe pile with hybrid reinforcement

采用离心成型，并采用预应力钢棒和普通钢筋混合配筋的先张法预应力混凝土环形截面空心桩，简称 PRC 管桩。

2.1.8 高强钢管混凝土管桩 high strength concrete and thin-walled steel composite pile

在薄壁钢管内浇筑混凝土，经离心工艺成型的混凝土强度等级不低于 C80 的复合管桩，简称 SC 桩。

2.1.9 预应力混凝土薄壁预制桩 prestressed spun concrete thin wall pile

在复合地基中作为增强体，采用离心工艺成型的桩身混凝土强度等级不低于 C60 的先张法预应力混凝土薄壁管桩或空心方桩，简称 PST 桩或 PTS 桩。

2.1.10 预应力混凝土空心方桩 pretensioned prestressed concrete hollow square pile

采用离心成型的桩身混凝土强度等级不低于 C60 的先张法预应力混凝土方形截面空心桩，简称 PS 桩。

2.1.11 预应力高强混凝土空心方桩 pretensioned prestressed high strength concrete hollow square pile

采用离心成型的桩身混凝土强度等级不低于 C80 的先张法预应力混凝土方形截面空心桩，简称 PHS 桩。

2.1.12 预应力混凝土实心方桩 pretensioned prestressed concrete solid square pile

采用浇筑法成型的桩身混凝土强度等级不低于 C60 的先张法预应力方形截面桩，简称 YRS 桩。

2.1.13 锤击法 hammer-driving method

利用锤击设备将预制桩打至岩土层设计深度的沉桩施工方法。

2.1.14 静压法 jacking driving method

利用静压设备将预制桩打至岩土层设计深度的沉桩施工方法。

2.1.15 引孔法 drilling driving method

预先用钻机或其他设备在桩位处成孔，随后采用沉桩设备将预制桩打入、压入、振入或靠自重沉入的施工方法。当采用大尺寸中空预制桩时，可采用长螺旋钻机在内腔取土引孔的辅助沉桩方式，即内钻引孔法。

2.1.16 植入法 method of planting pile

预先用钻机或其他设备在桩位处成孔并灌注填充料或采用搅拌、旋喷工艺后，随后采用沉桩设备将预制桩打入、压入、振入或靠自重沉入的施工方法。

2.1.17 终压控制标准 standard for stop pressing

将预制桩沉至设计要求时终止压桩的施工控制条件

2.1.18 填芯混凝土 filling concrete for pipe pile head

填筑在空心预制桩顶部或底板空腔一定深度的混凝土。

2.1.19 送桩 pile following

沉桩过程中，借助送桩器将预制桩顶送至泥面以下设计要求标高的施工工序。

2.1.20 土塞效应 plugging effect

开口预制桩沉桩过程中，土体涌入预制桩空腔内的土芯固结闭塞后对桩端阻力发挥程度的影响效应。

2.1.21 外芯 outer core

采用植入法沉桩时，包裹在预制桩外侧的水泥土、水泥砂浆或混凝土。

2.1.22 复压 repeated pressing

静力压桩施工完成后，间隔一端时间再次施压的作业方法。

2.1.23 停锤标准 standard for stop hammering

将桩端沉至设计要求时终止锤击的控制条件。

2.1.24 贯入度 penetration

用落锤锤击预制桩一定击数后，预制桩进入岩土层中深度。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

- Q_k —— 轴心竖向作用下单桩平均竖向力；
- Q_i —— 偏心竖向力作用下第 i 根桩的竖向力；
- Q_{imax} —— 偏心竖向力作用下作用于单桩的最大竖向力；
- Q —— 轴心竖向力作用下单桩竖向力设计值；
- M_x 、 M_y —— 作用于水工建筑物底板底面，绕通过桩群形心 x 、 y 轴的力矩；

- M_H —— 在基岩顶面处的弯矩；
 H_k —— 作用于单桩的水平力；
 $\sum G$ —— 作用于底板底面的全部竖向荷载（包括自重）；
 $\sum H$ —— 作用于底板底面的全部水平荷载；
 P_c —— 底板（承台）底地基土分担的竖向总荷载；
 p_z —— 软弱下卧层顶面处的附加压应力值；
 p_{cz} —— 软弱下卧层顶面处地基土的自重压力值；
 T_t —— 荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪切力。

2.2.2 抗力和材料性能

- E_c —— 混凝土弹性模量；
 EI —— 桩身抗弯刚度；
 E_s —— 桩间土的加权平均压缩模量；
 E_{sp} —— 复合地基的压缩模量；
 E_{spi} —— 加固区第 i 层土的压缩模量；
 E_{sj} —— 加固土层下第 j 层土的压缩模量；
 f_c —— 桩身混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_{py} —— 预应力钢棒抗拉强度设计值；
 f_v —— 端板抗剪强度设计值；
 f_t^w —— 焊缝抗拉强度设计值；
 f_n —— 填芯混凝土与管桩内壁之间的粘结强度设计值；
 f_y —— 填芯混凝土纵向钢筋的抗拉强度设计值；
 f_{rk} —— 岩石饱和单轴抗压强度标准值；
 γ_m —— 基础底面以上土的加权平均重度；
 G_p —— 基桩自重；
 G_{gp} —— 群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数；
 Q_{uk} —— 单桩竖向极限承载力标准值；
 R_a —— 单桩竖向承载力特征值；
 R_{a1} —— 长桩单桩竖向抗压承载力特征值；
 R_{a2} —— 短桩单桩竖向抗压承载力特征值；
 R_b —— 桩身允许抱压压桩力；
 R_d —— 桩身允许顶压压桩力；
 q_{sik} —— 桩侧第 i 层土的桩侧极限摩阻力；
 q_{pk} —— 桩端极限端阻力；
 q_{sik}^m —— 外芯侧第 i 层土的桩侧极限摩阻力；
 R_{Ha} —— 单桩水平承载力特征值；
 T_{uk} —— 群桩呈非整体破坏时基桩抗拔承载力特征值；
 T_{gk} —— 群桩呈整体破坏时基桩抗拔承载力特征值；
 N_t —— 单桩抗拔力设计值；

- f_{ak} —— 基础底面下天然地基承载力特征值；
 f_{sk} —— 处理后桩间土的承载力特征值；
 f_{spk} —— 复合地基承载力特征值；
 f_{az} —— 软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力允许值；
 T_s —— 最危险滑动面上的总抗剪切力。

2.2.3 几何参数

- A_{p1} —— 桩的净截面积；
 A_j —— 空心桩敞口面积；
 A_p —— 桩端外周面积；
 A_{py} —— 全部纵向预应力钢棒的总截面面积；
 A_{sd} —— 填芯混凝土纵向钢筋总截面面积；
 A —— 底板（承台）总面积；
 A_{p1} —— 长桩的单桩截面积；
 A_{p2} —— 短桩的单桩截面积；
 u_p —— 桩身周长；
 u —— 外芯身周长；
 u_l —— 群桩外围周长；
 l_i —— 第 i 层岩土层的厚度；
 d —— 管桩外径、方桩边长；
 d_1 —— 空心桩内径；
 d_2 —— 端板上预应力钢棒锚固孔上口直径；
 d_3 —— 端板上预应力钢棒锚固孔下口直径；
 d_4 —— 焊缝外径；
 d_5 —— 焊缝内径；
 b_0 —— 桩身的计算宽度；
 b_h —— 垂直于弯矩作用平面桩的边长；
 h —— 桩嵌入基岩中（不计强风化层和全风化层）的有效深度；
 h_1 —— 端板上预应力钢筋锚固孔上口距端板顶距离；
 h_2 —— 端板上预应力钢筋锚固孔下口距端板顶距离；
 t_s —— 端板厚度；
 L_a —— 填芯混凝土高度；
 χ_{0a} —— 桩顶允许水平位移；
 D —— 基础埋置深度；
 W_0 —— 桩身换算截面受拉边缘的截面模量；
 x_i, x_j —— 第 i 根、第 j 根桩至桩群形心的 y 轴线的距离；
 y_i, y_j —— 第 i 根、第 j 根桩至桩群形心的 x 轴线的距离；
 B'_c —— 底板（承台）受侧向土抗力一边的计算宽度；
 B_c —— 底板（承台）宽度；
 h_c —— 底板（承台）高度。

2.2.4 计算参数和其他

n	群桩基础中的桩数；
n'	预应力钢棒数量；
λ	单桩承载力发挥系数；
λ_p	桩端土塞效应系数；
λ_i	抗拔系数；
λ_1	长桩竖向抗压承载力修正系数；
λ_2	短桩竖向抗压承载力修正系数；
β_p	桩端极限阻力调整系数；
K	安全系数；
δ_r	嵌岩端侧阻力和端阻综合系数；
m	面积置换率；
ψ_c	沉桩工艺系数；
C	考虑预应力钢棒墩头与端板连接处受力不均匀等因素的影响而取的折减系数；
α	管桩的水平变形系数；
ν_x	桩顶水平位移系数；
η_h	群桩效应综合系数；
η_i	桩的相互影响效应系数；
η_r	桩顶约束效应系数；
η_l	底板（承台）侧向土水平抗力效应系数；
η_b	底板（承台）底摩阻效应系数；
s_a/d	沿水平荷载方向的矩径比；
n_1, n_2	沿水平荷载方向与垂直水平荷载方向每排桩中的桩数；
μ	底板（承台）底与地基土间的摩擦系数；
η_c	底板（承台）效应系数；
m_1	长桩的面积置换率；
m_2	短桩的面积置换率；
A_i	加固土层第 i 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；
A_j	加固土层下第 j 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值。

3 基本规定

3.0.1 水利水电工程预制桩基础设计时应根据所属水利水电工程等别和建筑物级别确定合理使用年限，预制桩桩身混凝土的基本要求和防腐要求应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 的规定。

3.0.2 水利水电工程预制桩基础应按下列两类极限状态设计：

1 承载能力极限状态：桩基达到最大承载能力、整体失稳或发生不适于继续承载的变形；

2 正常使用极限状态：桩基达到建筑物正常使用所规定的变形限值或达到耐久性要求的某项限值。

3.0.3 根据水工建筑物的建筑物级别，应将水利水电工程桩基础分为表 3.0.3 所列的四个设计等级，建筑物级别确定应符合现行行业标准《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL 252 的规定。

表 3.0.3 水利水电工程桩基础设计等级

建筑物级别	建筑物重要性	桩基设计等级
1	特别重要	一级
2	重要	二级
3	比较重要	三级
4	一般	四级
5		

注：对于地质条件特别复杂、上部结构特别重要且复杂的的基础，桩基设计等级可适当提高一级。

3.0.4 水利水电工程采用预制桩基础时，岩土工程勘察应符合下列规定：

1 查明建（构）筑物范围内土层的结构、成因、年代、各岩（土）层的物理力学性质，对可供选择的持力层和下卧层的岩土层面要查明起伏变化，判定有无洞穴、临空面、破碎岩体或软弱夹层；

2 查明与工程建设有关的地质构造及不良地质作用，查明场地和地基的地震效应及对桩基和地基处理的危害，并提出防治措施建议；

3 查明地下水位类型、埋藏情况、水位变化幅度、初见和稳定水位及抗浮设计水位，土、水的腐蚀性评价；

4 查明岸坡形态、冲淤变化及稳定性，查明掩埋的古河道、沟、塘的分布；

5 查明场区内可能影响沉桩的岩土层和地下管道等建筑物的设施及分布；

6 提供预制桩设计所需的岩土设计参数，推荐桩型及持力层；

7 对沉桩可行性，施工时对环境的影响及预制桩设计、施工中应注意的问题提出意见。

3.0.5 预制桩基础设计时，采用的荷载组合和相应的抗力限值应符合下列规定：

1 确定桩数和布桩时，应采用传至基础或承台底面上的基本组合和特殊组合的荷载效应，并按荷载标准值取用；相应的抗力应采用单桩承载力特征值或复合地基承载力特征值；

2 计算地基变形时，应采用传至基础底面上基本组合和特殊组合的荷载效应，并按荷载标准值取用；相应的限值应为地基变形允许值；

3 验算坡地、岸边建筑桩基的整体稳定性时，应采用基本组合和特殊组合的荷载效应，并按荷载标准值取用；抗震设防区，应采用地震作用效应和荷载效应的标准组合。

4 桩基结构设计使用年限和承载力能力应符合现行行业标准《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》SL 654 和《水工混凝土结构设计规范》SL 191 的规定。

3.0.6 水利水电工程中的地基经预制桩处理后应符合下列规定：

1 具有足够的强度，能够承受上部建筑物传递的荷载，满足地基承载力要求和抗滑稳定要求；

2 具有足够的整体性和均匀性，满足变形控制要求；

3 具有足够的耐久性，防止地基在水或其他外部因素的长期作用下发生劣化；

4 有抗震要求的水工建筑物，应在设计烈度的地震作用下，不发生失稳破坏，避免产生影响建筑物使用的过大变形。

3.0.7 预制桩的沉桩方法应根据地质情况、工程特点、场地施工条件以及挤土、施工振动、噪声等对周边环境和安全影响等因素确定，当沉桩施工遇到下列情况时，宜采用引孔法或植入法：

1 影响临近建构筑物、地下管线的正常使用和安全时；

2 当遇到密实的砂土、碎（卵）石土等硬土夹层，预制桩难以穿透时；

3 当遇到坚硬岩、较硬岩或遇有漂石、孤石时；

3.0.8 预制桩施工前宜在现场进行沉桩工艺试验，宜同时进行沉桩工艺监测。

3.0.9 水利水电工程预制桩基础和地基处理施工应根据工程特点编制施工组织设计或施工方法，并应得到监理等相关单位的批准。

3.0.10 对重要水工建筑物、条件特殊或复杂的地基，应通过原位测试等试验方法获取合理可靠的设计参数。

3.0.11 水利水电工程的桩基础和地基处理用预制桩的检测要求应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定。

4 材料、分类与选型

4.1 材 料

4.1.1 预制桩采用高强及超高强混凝土时，桩身混凝土力学性能指标应符合表 4.1.2 的要求。

表 4.1.1 高强及超高强混凝土力学性能指标

混凝土强度等级	轴心抗压强度标准值 f_{ck} (N/mm ²)	轴心抗压强度设计值 f_c (N/mm ²)	轴心抗拉强度标准值 f_{tk} (N/mm ²)	轴心抗拉强度设计值 f_t (N/mm ²)	弹性模量 E_c ($\times 10^4$ N/mm ²)
C80	50.2	35.9	3.11	2.22	3.80
C105	63.4	45.3	3.75	2.68	3.95
C125	72.4	51.7	4.46	3.19	4.04

4.1.2 预应力钢筋应采用预应力混凝土用钢棒，其质量应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 中低松弛螺旋槽钢棒的规定。

4.1.3 非预应力钢筋宜采用 HRB400、HRB500 级热轧带肋钢筋，其质量应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 的有关规定。

4.1.4 螺旋筋宜采用低碳钢热轧圆盘条、混凝土制品用冷拔低碳钢丝，其质量应分别符合国家现行标准《低碳钢热轧圆盘条》GB/T 701、《混凝土制品用冷拔低碳钢丝》JC/T 540 的有关规定。

4.1.5 端板材质应采用 Q235B，并应符合下列规定：

- 1 端板制造不得采用铸造工艺；
- 2 端板厚度不得有负偏差，用于抗拔工程的端板厚度宜增加且应满足设计要求；
- 3 除焊接坡口、桩套箍连接槽、预应力钢棒锚固孔、消除焊接应力槽、机械连接孔外，端板表面应平整，不得开槽和打孔。

4.1.6 其他结构钢质预埋件的材质性能符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中 Q235B 的规定。

4.1.7 预制桩掺合料宜采用矿渣微粉、粉煤灰、硅灰、硅砂粉、蒸养混凝土制品用掺合料等，并应符合下列规定：

- 1 矿渣微粉的质量不应低于现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046-2017 中 S95 级的有关规定；
- 2 粉煤灰的质量不应低于现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596-2017 中 II 级 F 类的要求；
- 3 硅灰的质量应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736-2017 中表 1 的有关规定；
- 4 硅砂粉的质量应符合《预应力高强混凝土管桩用硅砂粉》JC/T 950 的规定；
- 5 蒸养混凝土制品用掺合料的质量应符合《蒸养混凝土制品用掺合料》JC/T 2554 的规定；
- 6 掺合料进厂应有供方提供的该批材料的检验报告和质保书，存放对应挂牌标明

品种、生产厂家、数量及进厂日期，掺合料不得混合存放；

7 当采用其他品种的掺合料时，应通过试验确定，确认符合预制桩混凝土质量要求后，方可使用。

4.1.8 预制桩的混凝土质量及其他技术指标应符合国家现行标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476、《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197、《先张法预应力混凝土薄壁管桩》JC/T 888 和《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723 的有关规定。

4.2 分 类

4.2.1 预制桩在水利水电工程预制桩基础设计中按应用方式可分为桩基础用桩、复合地基用桩。

4.2.2 预制桩可根据截面外形分为管桩和方桩。

4.2.3 预制桩按养护工艺可分为高压蒸汽养护桩和常压蒸汽养护桩。

4.2.4 管桩按外径可分为 300 mm、400 mm、500 mm、600 mm、700 mm、800 mm、1000 mm、1200 mm、1400 mm 等。

4.2.5 方桩按边长可分为 250 mm、300 mm、350 mm、400 mm、450 mm、500 mm、550 mm、600 mm、650 mm、700 mm 等。

4.2.6 管桩根据混凝土强度等级、外形构造以及主筋配筋形式分为预应力混凝土管桩（PC）、预应力高强混凝土管桩（PHC）、预应力超高强混凝土管桩（UHC）、混合配筋预应力高强混凝土管桩（PRC）、薄壁混凝土管桩（PST）、高强钢管混凝土管桩（SC）。

4.2.7 方桩根据混凝土强度等级及截面形式分为预应力混凝土实心方桩（YZH）、预应力高强混凝土实心方桩（GYZH）、预应力混凝土空心方桩（PS）、预应力高强混凝土空心方桩（PHS）、预应力超高强混凝土空心方桩（UHS）、薄壁混凝土空心方桩（PTS）。

4.2.8 预制桩按照有效预压应力大小和配筋率差异可分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型。

4.2.9 钢管混凝土管桩根据所采用钢管材质牌号，可分为 I 型（Q235B）和 II 型（Q355B）。

4.2.10 用于桩基础时，预制桩的预应力钢筋的最小配筋率不应小于 0.5%，并不应少于 6 根；用于复合地基时，预制桩的预应力钢筋的最小配筋率不宜小于 0.4%。

4.2.11 预制桩的桩身构造、配筋及力学性能应符合本规范附录 A 的规定。

4.3 选 型

4.3.1 预制桩的选用应根据工程地质条件、上部结构特点、荷载性质、耐久性要求、沉桩工艺、施工条件和施工经验等条件综合分析后选用。

4.3.2 水利水电工程中桩基工程选用的预制桩钢筋混凝土保护层不应小于 35 mm，复合地基和临时性建筑物基础选用的预制桩钢筋混凝土保护层不应小于 25 mm。用于中强腐蚀、冻融等特殊环境时，应按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的相关规定对其原材料、混凝土

配合比、生产工艺和混凝土保护层等进行调整。

4.3.3 桩基工程用预制桩设计选型应符合下列规定：

1 重要建筑物或地质条件复杂的基础工程，以及受水平力作用或承担抗拔作用的桩不宜选用 A 型桩；

2 软土地基宜采用 AB 型、B 型或 C 型预制桩。当预制桩穿越厚度较大的淤泥、淤泥质土、欠固结土、松散填土等软弱土层时，应考虑桩身稳定对桩身结构承载力降低的影响；

3 在中等及强腐蚀场地，应选用 AB 型、B 型或 C 型预制桩，并应根据腐蚀性等级采用相应的防腐措施；

4 用于抗震设防烈度 8 度的桩基工程时，宜选用混合配筋桩、高强钢管混凝土管桩或 AB 型、B 型或 C 型预应力高强混凝土预制桩，且与承台连接的首节桩不应选用 A 型桩；

5 需穿越硬土层的预制桩宜选用壁厚较大的预制桩或超高强混凝土预制桩；

6 采用植入法并进入岩层时，宜选用超高强混凝土桩、高强钢管混凝土管桩等预制桩。

4.3.4 复合地基用预制桩设计选型应符合下列规定：

1 宜优先选用薄壁混凝土管桩（PST）、薄壁混凝土空心方桩（PTS）、预应力混凝土管桩（PC）和预应力混凝土空心方桩（PS）等；

2 预制桩直径（边长）宜选择 300 mm~600 mm，加固土层厚度大、软土性质差或上部荷载大时宜取大值。

4.3.5 预制桩出厂时，桩身混凝土抗压强度不应低于其混凝土设计强度等级值。

5 桩基设计

5.1 一般规定

5.1.1 桩基设计前，应收集下列资料：

- 1 水工建筑物的布置、结构及相关要求；
- 2 详细的工程地质和水文地质资料及评价，有碍沉桩的障碍物的探测资料；
- 3 当地预制桩使用经验和施工条件，对有特殊要求的工程，尚应了解其他地区相似场地上同类工程的基础设计经验和使用情况等；
- 4 施工场地的周边环境情况。

5.1.2 同一结构单元内的桩基，应采用相同类型的桩，且桩长不宜相差过大。

5.1.3 单桩竖向承载力特征值的确定应符合下列要求：

- 1 对于基础设计等级为一、二、三级的水工建筑物预制桩基，应在施工前采用单桩静载荷试验确定，在同一条件下的试桩数量不宜少于 3 根，并应符合下列规定：
 - 1) 试桩的规格、长度及地质条件应具有代表性；
 - 2) 试桩应选在地质勘探孔附近；
 - 3) 试桩施工条件应与工程桩一致。
- 2 设计等级为四级的预制桩基，可结合静力触探原位试验参数和工程经验参数综合确定。

5.1.4 桩基设计等级为一级、二级、三级且承受水平荷载大的的预制桩基，应通过现场单桩水平静载试验确定单桩水平承载力特征值，试验宜采用单向多循环加载法或慢速维持荷载法，试验要点可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行，在同一条件下的试桩数量不应少于 3 根。

5.1.5 桩基应根据实际受力条件进行竖向承载力、水平承载力、软弱下卧层承载力、沉降、桩身强度和裂缝控制等内容的计算。

5.1.6 采用植入法时，桩基设计应符合下列要求：

- 1 非取土植桩外芯的水泥或固化剂掺量宜为被加固土质量的 10%~20%，水灰比应按设计要求确定，宜为 0.8~1.5。
- 2 取土植桩外芯的填充料可根据土层情况、地下水位、成孔直径等因素选用水泥砂浆、细石混凝土、水泥土等，水泥砂浆强度不宜低于 M15，细石混凝土强度等级不宜低于 C20；
- 3 水泥、固化剂或填充料可根据工程需要掺入具有早强、缓凝等作用的改性材料。
- 4 植入法工程应通过试桩和静载试验确定工艺参数及承载力取值。

5.1.7 符合下列条件之一的桩基，当桩周土层产生的沉降超过基桩沉降时，桩侧负摩阻力应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定计算：

- 1 桩穿越较厚松散填土、自重湿陷性黄土、欠固结土、液化土层进入相对较硬土层时；
- 2 桩周存在软弱土层，邻近桩侧地面承受局部较大的长期荷载，或地面大面积堆载（包括填土）时；
- 3 由于地下水位降低，使桩周土有效应力增大，并产生显著压缩沉降时。

5.1.8 承担抗剪作用的桩基，桩端进入持力层或嵌岩深度应通过计算确定。

5.1.9 地基有防渗要求的水工建筑物桩基，应采用防止建筑物底板底面与地基接触冲刷的措施。

5.2 预制桩布置

5.2.1 预制桩的布置应符合下列规定：

- 1 预制桩的最小中心距应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 预制桩的最小中心距

土类与桩基情况		排数不小于 3 排且桩数不小于 9 根的摩擦型桩桩基	其他情况
挤土桩	饱和黏性土	$4.5d$	$4.0d$
	非饱和土、饱和非黏性土	$4.0d$	$3.5d$
部分挤土桩	饱和黏性土	$4.0d$	$3.5d$
	非饱和土、饱和非黏性土	$3.5d$	$3.0d$
非挤土植入桩		$3.0d$	$3.0d$

注：1 桩的中心距指两根桩桩端横截面中心之间的距离；

2 d —管桩外径，方桩时为边长 b ；

3 当纵横向桩距不相等时，其最小中心距应满足“其它情况”一栏的规定；

4 “部分挤土桩”指沉桩时采取引孔或应力释放孔等措施的桩基；

5 液化土、湿陷性土等特殊土，可适当减小桩距。

2 桩的平面布置宜使桩群形心与水工建筑物底板底面以上的荷载基本组合合力作用点相接近，并使受水平力或弯矩较大方向有较大的抗弯截面模量。

3 同一结构宜避免同时使用摩擦桩和端承桩。当条件受限制时，则应估算差异沉降对上部结构的影响，并采取相应的处理措施。

5.2.2 桩基应选择硬土层作为桩端持力层。预制桩桩端全截面（不包括桩尖部分）进入持力层深度，对于黏性土、粉土不宜小于 $2d$ ，砂土、全风化、强风化软质岩等不宜小于 $1.5d$ ，碎石土、强风化硬质岩等不宜小于 $1d$ 。当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于 $4d$ ，并应进行软弱下卧层承载力和群桩沉降验算。

5.3 桩基础竖向承载力计算

5.3.1 预制桩的数量和尺寸宜根据承担底面以上的全部荷载确定。对于摩擦桩型，经论证后可适当考虑桩间土承担部分荷载。

5.3.2 水工建筑物的单桩桩顶受力应按式（5.3.2-1）及式（5.3.2-2）进行计算。

- 1 轴心竖向力作用下：

$$Q_k = \frac{\sum G}{n_0} \quad (5.3.2-1)$$

式中： $\sum G$ ——作用于桩顶的全部竖向荷载（包括自重）（kN）；

Q_k ——轴心竖向作用下单桩平均竖向力（kN）；

n_0 ——桩基中的桩数。

- 2 偏心竖向力作用下：

$$Q_i = \frac{\sum G}{n_0} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x_j^2} \quad (5.3.2-2)$$

式中：\$Q_i\$——偏心竖向力作用下第 \$i\$ 根桩的竖向力（kN）；

\$M_x\$、\$M_y\$——作用于水工建筑物底板底面，绕通过桩群形心 \$x\$、\$y\$ 轴的力矩（kN·m）；

\$x_i\$、\$x_j\$——第 \$i\$ 根、第 \$j\$ 根桩至桩群形心的 \$y\$ 轴线的距离（m）；

\$y_i\$、\$y_j\$——第 \$i\$ 根、第 \$j\$ 根桩至桩群形心的 \$x\$ 轴线的距离（m）。

I 桩基抗压承载力计算

5.3.3 单桩竖向承载力计算应符合下列规定：

1 轴心竖向力作用下：

$$Q_k \leq R_a \quad (5.3.3-1)$$

式中：\$R_a\$——单桩竖向承载力特征值（kN）；特殊组合中包含地震荷载时，应将其提高 25%。

2 偏心竖向力作用下，除满足式（5.3.1-1）外，尚应满足下列要求：

$$Q_{imax} \leq 1.2R_a \quad (5.3.3-2)$$

式中：\$Q_{imax}\$——偏心竖向力作用下作用于单桩的最大竖向力（kN）。特殊组合中包含地震荷载时，应将其提高 25%。

5.3.4 单桩竖向承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 以单桩竖向抗压静载试验确定单桩竖向承载力时，单桩竖向抗压承载力特征值 \$R_a\$ 应按下列式计算。

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (5.3.4-1)$$

式中：\$R_a\$——单桩竖向承载力特征值（kN）；

\$Q_{uk}\$——单桩竖向极限承载力标准值（kN）。

\$K\$——安全系数，取 \$K=2\$。

2 当桩端持力层为密实砂卵石或其他承载力类似的土层时，对单桩竖向承载力很大的大直径端承桩，可采用深层平板载荷试验确定极限端阻力。

3 初步计算时，敞口预制桩单桩竖向极限承载力标准值可按下列公式初步估算确定。

$$Q_{uk} = u_p \sum q_{sik} l_i + q_{pk} (A_{p1} + \lambda_p A_j) \quad (5.3.4-2)$$

$$\text{当 } h_b/d_1 < 5 \text{ 时, } \lambda_p = 0.16 h_b/d_1 \quad (5.3.4-3)$$

$$\text{当 } h_b/d_1 \geq 5 \text{ 时, } \lambda_p = 0.8 \quad (5.3.4-4)$$

式中：\$u_p\$——桩身周长（m）；

\$q_{sik}\$、\$q_{pk}\$——桩侧第 \$i\$ 层土极限摩阻力、桩端极限端阻力，由当地静载试验结果统计分析得到或参考有关经验取值（kPa）；无试验结果和地区经验时，可按表

表 5.3.4-1 预制桩取值；

\$A_{p1}\$——桩的净截面积（m²）；

\$l_i\$——第 \$i\$ 层岩土层的厚度（m）；

\$\lambda_p\$——桩端土塞效应系数；

\$A_j\$——空心桩敞口面积：\$A_j = \frac{\pi}{4} d_1^2\$；

\$d\$——管桩为外径、方桩为边长（m）；

\$d_1\$——空心桩内径（m）。

4 初步计算时，设置闭口桩尖或实心预制桩单桩竖向极限承载力标准值可按下列

公式初步估算确定。

$$Q_{uk} = u_p \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (5.3.4-5)$$

式中： A_p ——桩端外周面积（ m^2 ）。

5 当采用植入法施工时，预制桩单桩竖向极限承载力标准值可按下列公式初步估算确定。

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik}^m l_i + \beta_p q_{pk} A_p \quad (5.3.4-6)$$

式中： u ——外芯身周长（ m ）；

q_{sik}^m ——外芯侧第 i 层土极限摩阻力标准值，宜按现场试验或地区经验取值（ kPa ）。无试验资料和地区经验时，可按表 5.3.4-1 的钻孔桩区间高值取值；当内芯桩长度大于外芯时，超出部分取内芯桩桩侧第 i 层土极限摩阻力标准值；

A_p ——内芯桩端外周面积（ m^2 ）；

β_p ——桩端极限阻力调整系数，宜按现场试验或地区经验取值，当桩端为混凝土、水泥砂浆或细石混凝土时宜取 0.5~0.7；当预制桩桩端进入持力层时取 1.0。

6 当采用植入法施工嵌岩桩时，预制桩单桩竖向极限承载力标准值可按下列公式初步估算确定。

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik}^m l_i + \delta_r f_{rk} A_p \quad (5.3.4-7)$$

式中： δ_r ——嵌岩端侧阻力和端阻综合系数，与嵌岩深径比、岩石软硬程度和成桩工艺有关可按表 5.3.4-2 取值；

f_{rk} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值，黏土岩等取天然湿度单轴抗压强度标准值（ kPa ）。

表 5.3.4-1 桩的极限侧阻力标准值 q_{sik} 和极限端阻力标准值 q_{pk} （ kPa ）

土的名称	土的状态		桩的极限侧阻力 q_{sik}		预制桩的极限端阻力 q_{pk}
			预制桩	钻孔桩	
填土	—		22~30	20~28	—
淤泥	—		14~20	12~18	—
淤泥质土	—		22~30	20~28	—
黏性土	流塑	$I_L > 1$	24~40	21~38	—
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	40~55	38~53	650~1400
	可塑	$0.5 < I_L \leq 0.75$	55~70	53~68	1400~2200
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.5$	70~86	68~84	2300~3300
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	86~98	84~96	3800~5500
	坚硬	$I_L \leq 0$	98~105	96~102	—
红黏土	可塑 $0.7 < a_w \leq 1$		13~32	12~30	—
	硬塑 $0.5 < a_w \leq 0.7$		32~74	30~70	—
粉土	稍密	$e > 0.9$	26~46	24~42	—
	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	46~66	42~62	1400~2100
	密实	$e < 0.75$	66~88	62~82	2100~3000
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	24~48	22~46	1500~2300
	中密	$15 < N \leq 30$	48~66	46~64	2100~3000
	密实	$N > 30$	66~88	64~86	2100~3000
细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	24~48	22~46	—
	中密	$15 < N \leq 30$	48~66	46~64	3600~5000
	密实	$N > 30$	66~88	64~86	3600~5000
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	54~74	53~72	5500~7000
	密实	$N > 30$	74~95	72~94	5500~7000
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	74~95	74~95	7500~8500

	密实	$N > 30$	95~116	95~116	7500~8500
砾砂	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 15$	70~110	50~90	—
	中密（密实）	$N_{63.5} > 15$	116~138	116~130	6000~9500
圆砾、角砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	160~200	135~150	7000~10000
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	200~300	140~170	8000~11000
全风化软质岩	—	$15 < N \leq 30$	100~120	80~100	4000~6000
全风化硬质岩	—	$15 < N \leq 30$	140~160	120~140	5000~8000
强风化软质岩	—	$N_{63.5} > 10$	160~240	140~200	6000~9000
强风化硬质岩	—	$N_{63.5} > 10$	220~300	160~240	7000~11000

注：1 a_w 为含水比， $a_w = w/w_l$ ， w 为土的天然含水量， w_l 为土的液限；

2 N 为标准贯入击数； $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数。

表 5.3.4-2 嵌岩段侧阻和端阻综合系数

嵌岩深径比 h_r/d	0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
极软岩、软岩	0.7	0.96	1.15	1.28	1.42	1.62	1.77	1.88
较软岩	0.6	0.9	1.05	1.15	1.25	1.41	-	-
硬质岩	0.5	0.8	0.96	1.02	1.08	1.2	-	-

注：1 极软岩、软岩指 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ ，较软岩是指 $15\text{MPa} < f_{rk} \leq 30\text{MPa}$ ，硬质岩是指 $f_{rk} > 30\text{MPa}$ ；

2 h_r 为桩身嵌岩深度，当岩面倾斜时，以坡下方嵌岩深度为准；当 h_r/d 为非表列数值时，可内插取值。

5.3.5 软土、季节性冻土、湿陷性黄土、膨胀土和地震液化土等特殊地质条件下，预制桩的应用应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和《水工建筑物地基处理设计规范》SL/T 792 的规定。

5.3.6 桩下端锚固在岩石内时，可假定弯矩由锚固侧壁岩石承受，锚固深度可不考虑水平剪力影响，其嵌入基岩中的深度可按下列公式计算。

1 管桩：

$$h = \frac{1.27H + \sqrt{3.81\beta f_{rk} d M_H + 4.84H^2}}{0.5\beta f_{rk} d} \quad (5.3.6-1)$$

2 方桩：

$$h = \frac{H + \sqrt{3.81\beta f_{rk} b M_H + 3H^2}}{0.5\beta f_{rk} b} \quad (5.3.6-2)$$

式中： h ——桩嵌入基岩中（不计强风化层和全风化层）的有效深度（m），不宜小于0.5m；

H ——基岩顶面处的水平力（kN）；

M_H ——在基岩顶面处的弯矩（kN·m）；

β ——岩石的垂直抗压强度换算为水平抗压强度的折减系数，取0.5~1.0，应根据岩层侧面构造确定，节理发育岩石取小值，节理不发育岩石取大值；

b_h ——垂直于弯矩作用平面桩的边长（m）；

5.3.7 对于轴向受压桩，不考虑压屈影响时，桩身混凝土验算应符合下式规定：

$$Q \leq \psi_c f_c A_{p1} \quad (5.3.7)$$

式中： Q ——轴心竖向力作用下单桩竖向力设计值（kN）；

ψ_c ——沉桩工艺系数，对于管桩：采用抱压式或锤击式施工时，取0.7；采用顶压式施工时，取0.8；对于方桩：空心方桩取0.7，实心方桩取0.65；当采用植入工法施工时，取0.80~0.85；

f_c ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²），按现行国家标准《混凝土

结构设计规范》GB 50010 及本标准第 4.1.2 条的规定取值。

5.3.8 对于高桩承台、桩身穿越可液化土或不排水抗剪强度小于 10kPa 的软弱土层时，应考虑压屈影响，桩身正截面受压承载力应乘以稳定系数折减，稳定系数可参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定进行取值。

5.3.9 偏心受压桩的正截面受压承载力，可不考虑偏心距的增大影响，按现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》SL 191 的相关规定计算；但对于高桩承台、桩周为可液化土或不排水抗剪强度小于 10kPa 的软弱土层，应考虑桩身在弯矩作用平面内的挠曲对轴向力偏心矩的影响，应将轴向力对截面重心的初始偏心矩乘以偏心矩增大系数，偏心矩增大系数可按现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》SL 191 的规定计算。

II 桩基抗拔承载力计算

5.3.10 承受上拔力的水利水电工程桩基，初步计算时，应按下列要求同时验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时基桩的抗拔承载力，并取较小值。

1 群桩呈非整体破坏：

$$R_{ta} = u_p \sum \lambda_i q_{sik} l_i / 2 + G_p \quad (5.3.10-1)$$

式中：\$R_{ta}\$——群桩呈非整体破坏时基桩抗拔承载力特征值（kN）；

\$u_p\$——桩身周长（m）；

\$\lambda_i\$——抗拔系数，可按表 5.3.10 取值；

\$G_p\$——基桩自重（kN），地下水位以下取浮重度。

表 5.3.10 预制桩抗拔系数

土的种类	\$\lambda_i\$ 值
黏性土、粉土	0.70~0.80
松散-密实砂土	0.50~0.70
残积土，全、强风化岩	0.60~0.70

注：桩长与桩径（边长）之比小于 20 时，取小值。

2 群桩呈整体破坏：

$$R_{ta} = \left(\frac{1}{n} \sum \lambda_i q_{sik} u_{li} \right) / 2 + G_{gp} \quad (5.3.10-2)$$

式中：\$R_{ta}\$——群桩呈整体破坏时基桩抗拔承载力特征值（kN）；

\$u_l\$——群桩外周围长（m）；

\$n\$——群桩基础中的桩数；

\$G_{gp}\$——群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数（kN），地下水位以下取浮重度。

5.3.11 用于中等腐蚀环境以上的轴心受拉的预制桩应按照一级裂缝控制要求进行裂缝控制，用于微腐蚀、弱腐蚀环境和桩身受弯的预制桩应按照不低于二级裂缝控制要求进行裂缝控制。预制桩的受拉应力验算应符合下列规定。

1 对于严格要求不出现裂缝的预制桩，其裂缝控制等级应为一，混凝土受拉边缘应力应满足下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (5.3.11-1)$$

2 对于一般要求不出现裂缝的预制桩，其裂缝控制等级应为二级，混凝土受拉边缘应力应满足下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (5.3.11-2)$$

式中： σ_{ck} ——荷载标准作用下，桩身边缘的混凝土正截面法向拉应力（N/mm²）；

σ_{pc} ——预制桩桩身截面混凝土有效预压应力（N/mm²）；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值（N/mm²）。

5.3.12 承受上拔力的水利水电工程预制桩基，应进行预应力及非预应力主筋抗拉强度、端板孔口抗剪强度、接桩强度、桩顶与底板（承台）连接强度验算，并按不利处的抗拉强度确定预制桩的抗拔承载力。

1 根据预应力钢棒抗拉强度验算单桩抗拔承载力时，应按下式进行验算：

$$N_t \leq C f_{py} A_{py} \quad (5.3.12-1)$$

$$N_t \leq C f_{py} A_{py} + f_y A_s \quad (5.3.12-2)$$

式中： N_t ——单桩抗拔力设计值（kN）；

C ——考虑预应力钢棒墩头与端板连接处受力不均匀等因素的影响而取的折减系数，可取 0.85；

f_{py} 、 f_y ——预应力钢棒、普通钢筋抗拉强度设计值（N/mm²）；

A_{py} 、 A_s ——全部纵向预应力钢棒、普通钢筋的总截面面积（mm²）。

2 根据预制桩端板锚固孔抗剪强度验算单桩抗拔承载力时，应按下式进行验算：

$$N_t \leq n' \pi (d_2 + d_3) \left(t_s - \frac{h_1 + h_2}{2} \right) f_v / 2 \quad (5.3.12-3)$$

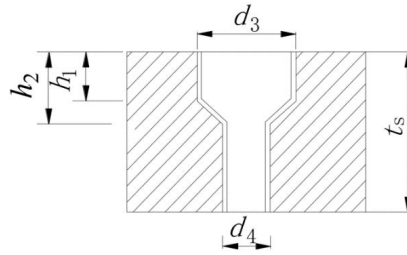


图 5.3.11 端板锚固孔示意图

式中： n' ——预应力钢棒数量；

d_2 ——端板上预应力钢棒锚固孔上口直径（mm）；

d_3 ——端板上预应力钢棒锚固孔下口直径（mm）；

h_1 ——端板上预应力钢筋锚固孔上口距端板顶距离（mm）；

h_2 ——端板上预应力钢筋锚固孔下口距端板顶距离（mm）；

f_v ——端板抗剪强度设计值（N/mm²）；

t_s ——端板厚度（mm）。

3 根据预制桩接桩连接处强度确定单桩抗拉承载力时，宜同时考虑机械连接和焊接连接的连接强度。机械连接应按有关规范规定进行计算。焊接连接可按式（5.3.12-4）计算：

$$N_t \leq A_w f_t^w \quad (5.3.12-4)$$

式中： A_w ——接桩连接处焊缝计算面积，mm²；管桩 $A_w = \frac{1}{4} \pi (d_4^2 - d_5^2)$ ；方桩 $A_w = b_1^2 - b_2^2$ ；

d_4 ——焊缝外径（mm），取 $d_4 = d - 2$ ；

d_5 ——焊缝内径（mm），取 $d_5 = d - 2a$ ；

b_1 ——焊缝外边长（mm），取 $b_1 = b - 2$ ；

- b_2 ——焊缝内边长 (mm)，取 $b_2=b_1-2a$ ；
 f_t^w ——焊缝抗拉强度设计值 (N/mm²)，取 175 N/mm²；
 a ——焊缝厚度 (mm)。

4 根据预制桩填芯微膨胀混凝土深度及填芯混凝土纵向钢筋验算承台与预制桩连接处抗拔承载力时，应按下列公式进行验算：

$$N_t \leq k_1 \pi d_1 L_a f_n \quad (5.3.12-5)$$

$$N_t \leq A_{sd} f_y \quad (5.3.12-6)$$

式中： k_1 ——经验折减系数，取 0.8；

L_a ——填芯混凝土高度 (mm)；

f_n ——填芯混凝土与管桩内壁之间的粘结强度设计值 (N/mm²)，应由现场试验确定。当缺乏试验数据时，C30 微膨胀混凝土可取 0.3N/mm² ~ 0.35N/mm²，并经现场试验验证；

A_{sd} ——填芯混凝土纵向钢筋总截面面积 (mm²)；

f_y ——填芯混凝土纵向钢筋的抗拉强度设计值 (N/mm²)。

5.4 桩基水平承载力和位移计算

5.4.1 对于一般水工建筑物和受水平力（包括力矩和水平剪力）较小的群桩基础，应按下列公式计算基桩的桩顶水平作用力：

$$H_k = \frac{\sum H}{n_0} \quad (5.4.1)$$

式中： $\sum H$ —— 作用于水工建筑物底板底面的全部水平向荷载，取相应荷载组合的标准值 (kN)；

H_k —— 作用于单桩的水平力 (kN)。

5.4.2 属于下列情况之一的桩基，计算各基桩的水平力、桩身内力和位移时，宜考虑承台与基桩协同工作和土的弹性抗力作用，其计算方法可按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定进行：

- 1 位于 8 度和 8 度以上抗震设防区的建筑，当其桩基承台刚度较大或由于上部结构与承台协同作用能增强承台的刚度时；
- 2 其他受较大水平力的桩基。

5.4.3 受水平荷载的一般建筑物和水平荷载较小的建筑物单桩基础和群桩中基桩应满足下式要求：

$$H_k \leq R_{Ha} \quad (5.4.3)$$

式中： R_{Ha} ——单桩水平承载力特征值 (kN)。

5.4.4 预制桩的单桩水平承载力特征值与预制桩的规格型号、桩周土质条件、桩顶水平位移允许值和桩顶嵌固情况等因素有关，宜通过现场水平荷载试验确定，取单桩水平荷载试验的临界荷载统计值的 75% 为单桩水平承载力特征值。确定永久荷载控制的桩基水平承载力时，应将试验确定的单桩水平承载力特征值乘以调整系数 0.8。

5.4.5 规格型号为 A 型的预制桩，水平承载力宜按照桩身强度控制，其余可按水平位移控制，水平位移宜控制不大于 10 mm。

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

$$R_{Ha} = 0.75 \frac{\alpha^3 EI}{v_x} \chi_{0a} \quad (5.4.6-1)$$

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}} \quad (5.4.6-2)$$

$$EI = 0.85 E_c I_0 \quad (5.4.6-3)$$

式中：\$EI\$——桩身抗弯刚度（\$MN \cdot m^2\$）；

\$I_0\$——截面换算惯性矩（\$mm^4\$）；管桩截面：\$I_0 = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64} + (\frac{E_p}{E_c} - 1)A_p \frac{r_p^2}{2} + (\frac{E_s}{E_c} - 1)A_s \frac{r_s^2}{2}\$；空心方桩：\$I_0 = \frac{b^4}{12} - \frac{\pi d_1^4}{64} + (\frac{E_p}{E_c} - 1)A_p \frac{B_p^2}{6}\$；实心方桩：\$I_0 = \frac{b^4}{12} + (\frac{E_p}{E_c} - 1)A_p \frac{B_p^2}{6}\$；其中\$r_p\$为管桩预应力钢筋分布圆半径，\$r_s\$为管桩非预应力

钢筋分布圆半径，\$B_p\$为空心方桩预应力钢筋呈方形布置时的边长，\$A_p\$

为预应力钢筋总截面积，\$A_s\$为非预应力钢筋总截面积，\$E_p\$为预应力钢筋

的弹性模量，\$E_s\$为非预应力钢筋的弹性模量，\$E_p\$为混凝土的弹性模量。

\$\alpha\$——管桩的水平变形系数（\$1/m\$）；

\$E_c\$——混凝土弹性模量（\$\times 10^4 N/mm^2\$）；

\$v_x\$——桩顶水平位移系数，按表 5.4.6-1 取值；

\$\chi_{0a}\$——桩顶允许水平位移（\$mm\$），取 10 \$mm\$；

\$m\$——桩侧土水平抗力系数的比例系数（\$MN/m^4\$），宜通过水平静载试验，无

静载试验时，按表 5.4.6-2 取值；

\$b_0\$——桩身的计算宽度（\$m\$）：

圆形桩：当直径 \$d \le 1m\$ 时，\$b_0 = 0.9(1.5d + 0.5)\$；
当直径 \$d > 1m\$ 时，\$b_0 = 0.9(d + 1)\$；

方形桩：当直径 \$b \le 1m\$ 时，\$b_0 = 1.5b + 0.5\$；

当直径 \$b > 1m\$ 时，\$b_0 = b + 1\$；

\$W_0\$——桩身换算截面受拉边缘的截面模量（\$mm^3\$），圆形截面为 \$W_0 = 2I_0/d\$，
方形截面为 \$W_0 = 2I_0/b\$。

表 5.4.6-1 桩顶水平位移系数

桩顶约束情况	桩的换算埋深（\$\alpha h\$）	\$v_x\$	\$v_m\$
铰接、自由	4.0	2.441	0.768
	3.5	2.502	0.750
	3.0	2.727	0.703
	2.8	2.905	0.675
	2.6	3.163	0.639
	2.4	3.526	0.601
固接	4.0	0.940	0.926
	3.5	0.970	0.934
	3.0	1.028	0.967

	2.8	1.055	0.990
	2.6	1.079	1.018
	2.4	1.095	1.045

注：当 $\alpha h > 4$ 时取4， h 为桩的入土深度。

表 5.4.6-2 预制桩桩顶水平位移系数

序号	地基土类别	m (MN/m ⁴)	相应单桩在地面处水平位移 (mm)
1	淤泥：淤泥质土；饱和湿陷性黄土	2~4.5	10
2	流塑 ($I_L > 1$)、软塑 ($0.75 < I_L < 1$) 状黏性土； $e > 0.9$ 粉土；松散粉细砂；松散、稍密填土	4.5~6.0	10
3	可塑 ($0.25 < I_L \leq 0.75$) 状黏性土、湿陷性黄土； $0.75 \leq e \leq 0.9$ 粉土；稍密细砂；中密填土	6.0~10	10
4	硬塑 ($0 < I_L \leq 0.25$)、坚硬 ($I_L \leq 0$) 状黏性土、湿陷性黄土； $e < 0.75$ 粉土；中密的中粗砂；密实老填土	10~22	10

注：1 当桩顶水平位移大于表列数值时， m 值应适当降低；反之，可适当提高；

2 当水平荷载为长期或经常出现的荷载时，应将表列数值乘以 0.4 降低采用；

3 当地基为可液化土层时，应将表列数值乘以液化折减系数。

5.4.7 当桩身水平承载力由桩身强度控制时，且缺少单桩水平静载试验资料时，可按下列下式估算单桩水平承载力特征值：

$$R_{Ha} = \frac{\alpha(\sigma_{pc} + \gamma f_{tk})W_0}{v_m} (1.25 + 22\rho_g) \left(1 \pm \zeta_N \frac{Q_k}{(\sigma_{pc} + \gamma f_{tk})A_n} \right) \quad (5.4.7)$$

式中： W_0 ——桩身换算截面受拉边缘的截面模量 (m³)；

γ ——考虑离心工艺影响及截面抵抗矩塑性影响的综合系数；管桩：对 C60 取

$\gamma=2$ ，对 C80 及以上取 $\gamma=1.9$ ；空心方桩： $\gamma=1.35$ ；

v_m ——桩顶(身)最大弯矩系数，按表 5.4.6-1 取值；

ρ_g ——桩纵向钢筋配筋率；

ζ_N ——桩顶竖向力影响系数，竖向压力取 0.5，竖向拉力取 1.0；

A_n ——桩身换算截面面积(m²)， $A_n = A_{p1} + (\alpha_E - 1)A_{py}$ ；

Q_k ——桩顶竖向力 (kN)。

5.4.8 群桩基础的基桩水平承载力特征值应考虑底板（承台）、桩群、土相互作用产生的群桩效应，可按下列公式确定：

$$R_h = \eta_h R_{Ha} \quad (5.4.8-1)$$

考虑地震作用且 $s/d \leq 6$ 时：

$$\eta_h = \eta_i \eta_r + \eta_l \quad (5.4.8-2)$$

$$\eta_i = \frac{\left(\frac{s}{d}\right)^{0.015n_2+0.45}}{0.15n_1+0.10n_2+1.9} \quad (5.4.8-3)$$

$$\eta_l = \frac{m\chi_{0a}B'_c h_c^2}{2n_1 n_2 R_{Ha}} \quad (5.4.8-4)$$

其他情况：

$$\eta_h = \eta_i \eta_r + \eta_l + \eta_b \quad (5.4.8-5)$$

$$\eta_b = \frac{\mu P_c}{n_1 n_2 R_{Ha}} \quad (5.4.8-6)$$

$$B'_c = B_c + 1 \quad (5.4.8-7)$$

$$P_c = \eta_c f_{ak}(A - nA_p) \quad (5.4.8-8)$$

式中： η_h ——群桩效应综合系数；

η_i ——桩的相互影响效应系数；

η_r ——桩顶约束效应系数（桩顶嵌入承台 50 mm~100 mm 时），按表 5.4.8-1 取值；

η_l ——底板（承台）侧向土水平抗力效应系数（当承台外围回填土为松散状态时取 0）；

η_b ——底板（承台）底摩阻效应系数；

s_a/d ——沿水平荷载方向的矩径比；

n_1, n_2 ——分别为沿水平荷载方向与垂直水平荷载方向每排桩中的桩数；

B'_c ——底板（承台）受侧向土抗力一边的计算宽度（m）；

B_c ——底板（承台）宽度（m）；

h_c ——底板（承台）高度（m）；

μ ——底板（承台）底与地基土间的摩擦系数；

P_c ——底板（承台）底地基土分担的竖向总荷载（kN）；

η_c ——底板（承台）效应系数，按表 5.4.8-2 取值；当底板（承台）底为可液化、湿陷性土、高灵敏度软土、欠固结土、新填土时，沉桩引起超孔隙水压力和土体隆起时，不考虑；

A ——底板（承台）总面积（m²）；

表 5.4.8-1 桩顶约束效应系数 η_r

换算深度 ah	2.4	2.6	2.8	3.0	3.5	≥ 4.0
位移控制	2.58	2.34	2.2	2.13	2.07	2.05
强度控制	1.44	1.57	1.71	1.82	2.00	2.07

表 5.4.8-2 底板（承台）效应系数 η_c

s_a/d	B_c/l				
	3	4	5	6	>6
≤ 0.4	0.06~0.08	0.14~0.17	0.22~0.26	0.32~0.38	0.50~0.80
0.4~0.8	0.08~0.10	0.17~0.20	0.26~0.30	0.38~0.44	
>0.8	0.10~0.12	0.20~0.22	0.30~0.34	0.44~0.50	

注：1 B_c/l 为承台宽度与桩长之比，当桩基为非正方形布置时， $s_a = \sqrt{A/n}$ ；

2 对于饱和黏性土中直接打入或软土地基中的桩基，宜取低值的 0.8 倍。

5.4.9 验算地震作用下桩基的水平承载力时，应将按上述单桩水平承载力特征值乘以调整系数 1.25。

5.4.10 软土地基、季节性冻土地基、膨胀土地基、湿陷性地基、地震液化地基、岩溶地基预制桩水平承载力和位移计算的相关要求应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.5 桩基础沉降计算

5.5.1 桩基沉降量和沉降差不应超过相应水工建筑物的最大容许沉降量和沉降差。

5.5.2 计算桩基沉降时，最终沉降量宜按单向压缩分层总和法计算，可参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定进行计算。等效作用面位于桩端平面，等效作用面积为桩承台投影面积，等效作用附加压力近似取承台底平均附加压力。

5.5.3 桩基沉降计算时，应考虑相邻承台下基础的影响，采用叠加原理计算。

5.6 构造要求

5.6.1 预制桩接桩应符合下列要求：

- 1 预制桩上下节拼接可采用端板焊接连接或机械连接，有抗拔或抗弯要求时宜采用专门的机械连接或经专项设计的焊接接头。
- 2 接头应保证预制桩内纵向钢筋与端板等效传力，接头连接强度不应小于预制桩桩身强度。单根预制桩的接头数量不宜超过 3 个。
- 3 连接接头的焊缝、连接板和机械连接件应满足耐腐蚀性要求或其腐蚀裕量满足设计要求，其工作年限不得低于主体结构的设计工作年限。

5.6.2 应根据地质情况选用桩尖，并应符合下列规定：

- 1 桩基需要穿透较坚硬土层或进入硬持力层一定深度时，宜选用敞口型桩尖；
- 2 腐蚀地质或桩端位于遇水易软化的风化岩层时，可根据穿过的土层性质、沉桩设备及挤土程度选择钢桩尖或混凝土桩尖，钢桩尖宜采用平底形、平底十字形或锥形闭口型桩尖，混凝土桩尖宜采用圆锥形、四角锥形。对于空心桩钢桩尖焊接应连续饱满不渗水，且在首节桩沉桩后立即灌注补偿混凝土或水泥砂浆进行封底，高度不应小于 1.2 m，混凝土强度等级不宜小于 C20，水泥砂浆强度等级不宜低于 M20；
- 3 钢桩尖宜采用钢板制作，钢板应采用 Q235B 钢材，其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的有关规定，当沉桩困难时应增加钢桩尖刚度。钢桩尖制作和焊接应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定；
- 4 混凝土桩尖可与桩身一体预制，无防腐和防渗水要求时也可单独预制后现场拼装。混凝土桩尖的混凝土强度不宜低于桩身强度；
- 5 桩尖规格及构造可参照本规范附录 B 的规定。

5.6.3 采用锤击法沉桩的预制空心桩，宜在桩顶适当位置预留排水、排气孔，孔径可取 30 mm~50 mm。

5.6.4 预制桩与水工建筑物底板（承台）连接应符合下列要求：

- 1 桩顶伸入底板（承台）的长度不应小于 100 mm；
- 2 空心桩宜采用填芯混凝土插连接钢筋或填芯混凝土加端板焊钢筋与底板（承台）

连接，对于受压桩填芯混凝土在底板（承台）下不应小于 3 倍桩径（或边长）且不小于 1500 mm；对于受拉桩，填芯混凝土在底板（承台）下的长度应按式（5.3.11-4）计算确定，且不得小于 3000 mm；

- 3 受压桩连接钢筋配筋率按桩身截面计算，不应低于 0.6%，且数量不宜少于 4 根，当设计无要求时，可参照本规范附录 C 执行；受拉桩连接钢筋面积应根据轴向抗拔力按式（5.3.12-5）计算确定，且不应小于承压桩的配筋率；
- 4 实心桩不截桩时，连接钢筋可采用端板焊接或机械连接；截桩时，主筋直接锚固底板（承台），主筋不满足锚固长度时通过机械连接接长；
- 5 连接钢筋锚入底板（承台）的长度应满足锚固长度设计要求。

5.6.5 填芯混凝土的强度等级不应低于底板（承台）的混凝土强度等级，且不应低于 C30，应采用无收缩混凝土或微膨胀混凝土。填筑前，空腔内壁浮浆应清除干净，并涂刷水泥净浆或混凝土界面剂。

5.6.6 填芯混凝土用连接钢筋宜采用 HRB400 级和 HRB500 级钢筋，箍筋宜采用 HPB300 级和 HRB400 级钢筋。

5.6.7 采用植入法时，外芯直径应大于内芯桩直径或边长，外芯直径与管桩直径差值宜取 100 mm~300 mm，与方桩对角线差值宜取 100 mm~300 mm。

5.6.8 边桩中心至底板（承台）边缘的距离不应小于桩的直径或边长，且桩的外边缘至底板（承台）边缘的距离不应小于 150 mm。

6 复合地基设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 预制桩复合地基适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土和人工填土等土层。对湿陷性黄土、液化土等应按地区经验或通过现场试验确定其适用性。
- 6.1.2 当采用预制桩作为复合地基竖向增强体时，应根据地质条件、工程特点与地基处理要求、结合工程当地技术水平与地方经验，可单独使用形成刚性桩复合地基，也可与碎石桩、水泥土桩、灰土挤密桩和 CFG 桩等组合使用形成多桩型复合地基。
- 6.1.3 预制桩复合地基应根据地质条件、施工场地、周边环境等条件确定沉桩方式，一般可选择锤击法、静压法和振动法。
- 6.1.4 地基处理所采用的预制桩及其他材料，应满足耐久性设计要求。
- 6.1.5 预制桩复合地基的设计选型应符合下列规定：
- 1 应选择承载力和压缩模量高的土层作为预制桩桩端持力层；
 - 2 地基中有多层坚硬土层时，可采用长桩与短桩组合的预制桩复合地基方案，当采用预制桩与其他增强体组合形成多桩型复合地基时，应将预制桩设计为复合地基主要增强体；
 - 3 浅部存在软土、欠固结土、湿陷性黄土、可液化土时，宜先采用预压、压实、夯实、挤密等方法或低强度桩处理浅层地基，再采用预制桩复合地基处理，处理效果应满足国家现行标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 和《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的相关规定；
 - 4 当预制桩挤土效应能减低或消除黄土湿陷性、砂土和粉土液化时，也可单独使用预制桩复合地基。
 - 5 地基有防渗要求时，应采取防止建筑物底板（承台）底面与地基接触冲刷的措施。
- 6.1.6 预制桩复合地基应进行复合地基承载力、变形和稳定性验算，下部存在软弱下卧层时，还应进行软弱下卧层承载力、变形和稳定性验算。
- 6.1.7 预制桩复合地基可只在基础范围内布置增强体，对需要进行液化设计的地基采用多桩型复合地基时，增强体布置范围应能满足地基抗液化处理的要求。

6.2 预制桩布置

- 6.2.1 预制桩可只在基础范围内布置，褥垫层应超出基础外一定宽度。对需要进行抗震设计的复合地基，增强体布置范围应能满足地基抗液化处理的要求。
- 6.2.2 预制桩宜采用正方形、等边三角形布置。根据底板（承台）尺寸情况，也可采用矩形布置。
- 6.2.3 预制桩的中心距应根据基础平面尺寸、地质条件、复合地基承载力要求、施工工艺和周边环境等因素综合确定，其中心距要求不宜小于表 6.2.3 的要求。

表 6.2.3 预制桩的最小中心距

应用类别	施工工艺	最小中心间距
------	------	--------

正常固结土，挤土效应不明显	锤击法、静压法	3.0d
正常固结土，且桩长范围内挤土效应明显	锤击法、静压法	3.5d
无挤土效应	植入法或其他非挤土施工方法	3.0d
利用挤土效应处理湿陷性黄土、可液化土	锤击法、静压法	2.5d

注：1 桩的中心距指两根桩桩端横截面中心之间的距离；

2 d—管桩外径，方桩时为边长。

6.3 复合地基计算

6.3.1 复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验或采用增强体静载荷试验结果和周边土的承载力特征值并结合工程实践经验综合确定。单桩竖向承载力特征值宜通过单桩静载荷试验确定。同一条件下的试桩数量，不宜少于总桩数的 1%且不应少于 3 根。

6.3.2 初步计算时，可按下列公式估算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{sk} \quad (6.3.1-1)$$

$$R_a = \frac{1}{2} [u_p \sum q_{sik} l_i + \alpha_p q_{pk} A_p] \quad (6.3.1-2)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值，kPa；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值，kPa，可按地区经验取值；

λ ——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值；

β ——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值；

m ——面积置换率，圆桩： $m = \frac{d^2}{d_e^2}$ ， d 为桩身直径， m ， d_e 为一根桩分担的处理

地基面积的等效圆直径，等边三角形布桩 $d_e = 1.05s$ ，正方形布桩 $d_e = 1.13s$ ，矩形布桩 $d_e = 1.13\sqrt{s_1 s_2}$ ， s 、 s_1 、 s_2 分别为桩间距、纵向桩间距

和横向桩间距；方桩： $m = \frac{b^2}{b_e^2}$ ， b_e 为一根桩分担的处理地基面积的等效

正方形边长，等边三角形布桩 $b_e = 0.93s$ ，正方形布桩 $b_e = s$ ，矩形布桩 $d_e = \sqrt{s_1 s_2}$ ；

α_p ——桩端端阻力发挥系数，一般取 1.0，也可按地区经验取值；

A_p ——单桩截面积， m^2 。

6.3.3 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列公式验算：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (6.3.3)$$

式中： p_z ——软弱下卧层顶面处的附加压应力值（kPa）；

p_{cz} ——软弱下卧层顶面处地基土的自重压力值（kPa）；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值（kPa）。

6.3.4 当采用长桩和短桩复合地基时，复合地基承载力特征值可按下列公式计算：

$$f_{spk} = \lambda_1 m_1 \frac{R_{a1}}{A_{p1}} + \lambda_2 m_2 \frac{R_{a2}}{A_{p2}} + \beta(1 - m_1 - m_2)f_{sk} \quad (6.3.4)$$

式中： A_{p1} ——长桩的单桩截面积， m^2 ；

A_{p2} ——短桩的单桩截面积， m^2 ；

R_{a1} ——长桩单桩竖向抗压承载力特征值， kN ；

R_{a2} ——短桩单桩竖向抗压承载力特征值， kN ；

f_{sk} ——桩间土地基承载力特征值， kPa ；

m_1 、 m_2 ——分别为长桩、短桩的面积置换率，

λ_1 、 λ_2 ——分别为长桩、短桩的单桩承载力发挥系数，单桩复合地基试验按等变形准则或多桩复合地基静载荷试验确定，有地区经验时也可按地区经验确定；

6.3.5 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_{spa} 应按下式计算：

$$f_{spa} = f_{spk} + \gamma_m(d-0.5) \quad (6.3.5)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值（ kPa ）；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度（ kN/m^3 ），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。

6.3.6 复合地基用预制桩桩身强度应按下式验算：

$$f_c \leq \frac{R_a}{\psi_c A_{p1}} \quad (6.3.6)$$

式中： f_c ——混凝土轴向抗压强度设计值（ kPa ），C80 以上按照本规范 4.1.1 条取值，C80 以下按现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》SL 191 的有关规定取值；

6.3.7 复合地基变形计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定，地基变形计算深度应大于复合土层的深度。加固区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 ζ 倍， ζ 值可按下列公式计算：

$$\zeta = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (6.3.7)$$

式中： f_{ak} ——基础底面下天然地基承载力特征值（ kPa ）。

6.3.8 复合地基的沉降计算经验系数 ψ_s 可根据地区沉降观测资料统计确定，无经验资料时，可采用表 6.3.8 的数值。

表 6.3.8 沉降计算经验系数 ψ_s

$\bar{E}_s$ (MPa)	4.0	7.0	15.0	20.0	35.0
ψ_s	1.0	0.7	0.4	0.25	0.2

注： $\bar{E}_s$ 为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m A_j}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{spi}} + \sum_{j=1}^m \frac{A_j}{E_{sj}}} \quad (6.3.8)$$

式中： A_i ——加固土层第 i 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

A_j ——加固土层下第 j 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

E_{spi} ——加固区第 i 层土的压缩模量 (MPa)；

E_{sj} ——加固土层下第 j 层土的压缩模量 (MPa)。

6.3.9 位于滑动面上的复合地基应进行稳定性计算，可采用圆弧滑动总应力法进行分析。稳定安全系数应按式计算：

$$K = \frac{T_s}{T_t} \quad (6.3.9)$$

式中： T_t ——荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪切力 (kN)；

T_s ——最危险滑动面上的总抗剪切力 (kN)；

K ——安全系数。

6.4 构造要求

6.4.1 复合地基与底板（承台）之间应设置褥垫层，褥垫层厚度宜取预制桩直径（边长）的 1/2；采用多桩型的复合地基，应取承载力贡献大的桩体径（边长）的 1/2，且不宜小于 200 mm。

6.4.2 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配良好的砂石或碎石等，最大砂石粒径不宜大于 30 mm；基础有防渗要求时，应采用灰土、素混凝土或有一定强度的水泥土垫层；对未要求全部消除湿陷性的黄土、膨胀土地基，宜采用灰土垫层，其厚度不宜小于 300 mm。

6.4.3 褥垫层宜采用静力压实法，当基础底面下桩间土的含水量较小时，也可采用动力夯实法。砂石褥垫层夯填度不应大于 0.9，灰土褥垫层压实度不应小于 0.95。

6.4.4 空心桩顶可采用填芯混凝土等方式进行封闭。当采用填芯混凝土时，填芯高度不宜小于预制桩直径或边长并满足整桩截面受压的要求，填芯混凝土强度等级不宜小于 C30。

7 施 工

7.1 一般规定

7.1.1 沉桩施工前，应进行下列准备工作：

- 1 调查场地及毗邻区域内的地下及地上管线、建筑物及障碍物等沉桩施工影响的情况，并应提出相应的技术安全措施；
- 2 调查现场的地质、地形、气象等情况并提出相应的安全质量措施；
- 3 处理或清除场地内影响沉桩的高空及地下障碍物；
- 4 平整场地，地基土表面处理；
- 5 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料
- 6 水上沉桩时，应根据选用的船机性能、桩长和施工时水位变化情况，检查沉桩区泥面高程和水深是否符合沉桩要求；
- 7 在不受施工影响的位置设置坐标、高程控制点及轴线定位点；
- 8 经审查批准的施工组织设计或施工方案；
- 9 供电、供水、排水、道路、照明、通信、临设工房等的安设；
- 10 桩基施工图、设计交底及图纸会审纪要。

7.1.3 当桩基施工影响邻近建筑物、地下管线的正常使用和安全时，应调整施工工艺或沉桩施工顺序，并可采用下列一种或多种辅助措施：

- 1 锤击沉桩时，宜采用“重锤轻击”法施工；
- 2 在施工场地与被保护对象间开挖缓冲沟，根据挤土情况可反复在缓冲沟内取土；
- 3 全部或部分桩采用引孔沉桩；
- 4 在饱和软土地区设置砂井或塑料排水板；
- 5 采用植入法施工；
- 6 控制沉桩速率、优化沉桩流程；
- 7 对被保护建筑物进行加固处理。

7.1.4 施工时应应对不少于总桩数 10% 的桩设置相应观测点，对先期沉入的基桩顶部进行上浮和水平位移监测。

7.1.5 当桩基施工毗邻边坡或在边坡上施工时，应监测施工对边坡的影响，并应防止桩位偏移和倾斜。

7.1.6 沉桩顺序应在施工组织设计或施工方案中明确，并应符合下列规定：

- 1 对于桩的中心距小于 4 倍桩径的群桩基础，应由中间向外或向后退打；对于软土地区桩的中心距小于 4 倍桩径的排桩，或群桩基础的同一承台的桩采用锤击法沉桩时，可采取跳打或对角线施打的施工顺序；
- 2 对于一侧靠近现有建（构）筑物的场地，宜从毗邻建（构）筑物的一侧开始由近至远端施工；
- 3 同一场地桩长差异较大或桩径不同时，宜遵循先长后短、先大直径后小直径的施工顺序；
- 4 桩顶设计高程不同时，宜先深后浅。

7.1.7 桩位控制应符合下列规定：

- 1 桩位测放应根据桩位平面图、建筑红线和主要基轴线确定，桩位误差应符合设计要求；
- 2 沉桩时桩机定位应准确、平稳，保证在施工中不会发生倾斜、移动。

7.1.8 预制桩的沉桩施工应符合下列规定：

- 1 首节桩起吊就位插入地面下 0.5 m~1.0 m 时的垂直度偏差不得大于 0.5 %；
- 2 当桩身垂直度偏差超过 0.8 %时，应找出原因并作纠正处理；沉桩后，严禁用移动桩架的方法进行纠偏；
- 3 沉桩、接桩、送桩宜连续进行；
- 4 沉桩施工工艺应与沉桩工艺试验一致。

7.1.9 沉桩施工时，每根桩应根据沉桩工艺由专职记录员分别按本标准附录 D 的要求实时做好施工记录，并经当班监理人员验证签名后方可作为施工记录。

7.1.10 送桩时，需用两台互为正交的经纬仪随时观测控制送桩器的垂直度，送桩器与桩身的纵向轴线应保持一致。

7.1.11 沉桩的控制深度应根据地质条件、贯入度、压桩力、设计桩长、标高等因素综合确定。当桩端持力层为黏性土时，应以标高控制为主，贯入度、压桩力控制为辅；当桩端持力层为密实砂性土时，应以贯入度、压桩力控制为主，标高控制为辅。采用植入法沉桩工艺时，宜按标高控制为主，贯入度、压桩力控制为辅。

7.1.12 采用引孔辅助沉桩法时，引孔的直径、孔深及数量应符合下列规定：

- 1 引孔直径不宜超过桩直径的 2/3，深度不宜超过桩长的 2/3，并应采取防塌孔的措施；
- 2 引孔宜采用长螺旋钻机引孔，垂直偏差宜大于 0.5%，钻孔中有积水时，宜用开口型桩尖；
- 3 引孔作业和沉桩作业应连续进行，间隔时间不宜大于 12h；在软土地基中不宜大于 3h。
- 4 采用引孔辅助沉桩法的终压（锤）标准应根据相应的沉桩工艺，依据本标准第 7.4、7.5 节的有关规定执行。

7.1.13 遇下列特殊情况之一时应暂停沉桩，应与设计、监理等有关人员研究处理后方可继续施工：

- 1 压桩力或沉桩贯入度突变；
- 2 沉桩入土深度与设计要求差异大；
- 3 实际沉桩情况与地质报告中的土层性质明显不符；
- 4 桩头混凝土剥落、破碎，或桩身混凝土出现裂缝或破碎；
- 5 桩身突然倾斜；
- 6 地面明显隆起、邻桩上浮或位移过大；
- 7 沉桩过程出现异常声响；
- 8 压桩不到位，或总锤击数超过规定值。

7.1.14 沉桩完成后应对桩头高出或低于地表部分进行保护处理。

7.1.15 需进行基坑或基槽开挖的工程应制定施工方案，桩顶以上 1.0 m 内的土方，应采

用人工开挖与小型挖土机械相配合的方法，施工机械不应直接挤推。软土地基开挖时应采取调整挖土顺序、分层开挖等措施，高差不应超过 1.0 m。当桩顶高低不齐时，应采用人工逐批开挖出桩头，截桩后再行开挖。

7.1.16 在饱和黏性土、粉土地区，应在沉桩全部完成 15d 后进行基坑或基槽开挖。

7.2 起吊、运输和堆放

7.2.1 预制桩运输宜采用平板车或驳船，装卸及运输时应采取防止桩滑移与损伤的措施。

7.2.2 预制桩的现场堆放应符合下列规定：

- 1 堆放场地应平整坚实，排水条件良好；
- 2 堆放时应采取支垫措施，支垫材料宜选用长方木或枕木，不得使用有棱角的金属构件；
- 3 应按不同规格、长度及施工流水顺序分类堆放；
- 4 当场地条件许可时，宜单层或双层堆放；允许的最大堆叠层数，应满足地基承载力和施工安全的要求；
- 5 叠层堆放时，应在垂直于桩身长度方向的地面上设置 2 道垫木，垫木支点宜分别位于距桩端 0.21 倍桩长处；采用多支点堆放时，上下叠层支点不应错位，两支点间不得有突出地面的石块等硬物；堆放时，底层最外缘桩的垫木处应用木楔塞紧。

7.2.3 预制桩的吊运应符合下列规定：

- 1 预制桩在吊运过程中应轻吊轻放，严禁碰撞、滚落；
- 2 预制桩不宜在施工现场多次倒运；
- 3 预制桩长度不大于 15 m 时，宜采用两点起吊（图 7.2.3-1）；也可采用专用吊钩钩住桩两端内壁进行水平起吊，吊绳与桩夹角应大于 45°；

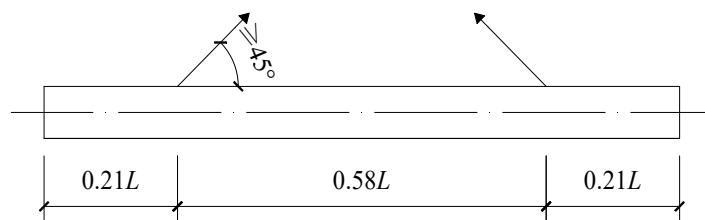


图 7.2.3-1 15m 以下桩吊点位置

- 4 桩身长度大于 15 m，且小于 30 m 的单节预制桩或拼接桩，应采用四点吊（图 7.2.3-2）；长度大于 30 m 的单节预制桩或拼接桩，应采用多点吊，吊点位置应另行验算确定。

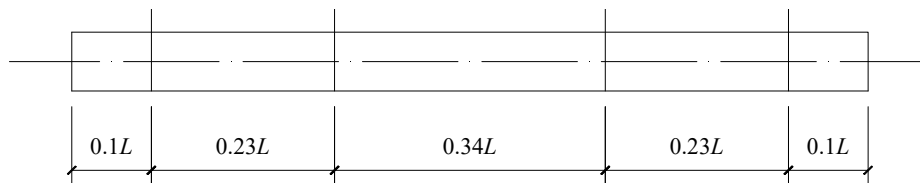


图 7.2.3-2 15m~30m 长桩吊点位置

7.2.4 施工现场移桩应符合下列规定：

- 1 预制桩叠层堆放时，应采用吊机取桩，严禁拖拉移桩；

- 2 应保持桩机的稳定和桩的完整；
- 3 采用三点支撑履带自行式打桩机施工时不宜拖拉取桩。

7.3 接桩与截桩

7.3.1 预制桩施工应避免在桩底接近密实砂土、碎石、卵石等硬土层时进行接桩。

7.3.2 焊接接桩除应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 中二级焊缝的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 接桩时入土部分桩段的桩头宜高出地面 0.5 m~1.0 m；
- 2 下节桩的桩头处宜设置导向箍或其他导向措施，植入法沉桩时宜用专用工具固定下节桩。接桩时，上、下节桩段应保持顺直，错位不超过 2mm；逐节接桩时，节点弯曲矢高不得大于 1/1000 桩长，且不得大于 20mm；
- 3 上、下节桩接头端板坡口应洁净、干燥，且焊接处应刷至露出金属光泽；
- 4 手工焊接时宜先在坡口圆周上对称点焊 4 点~6 点，待上、下节桩固定后拆除导向箍再分层焊接，焊接宜对称进行；
- 5 焊接层数不得少于 2 层，内层焊渣必须清理干净后方可施焊外层，焊缝应饱满连续；
- 6 手工电弧焊接时，第一层宜用 $\phi 3.2\text{mm}$ 电焊条施焊，保证根部焊透；第二层可用粗焊条，宜采用 E43 型系列焊条。采用二氧化碳气体保护焊时，焊丝宜采用 ER50-6 型；
- 7 桩接头焊好后应进行外观检查，检查合格后必须经自然冷却，方可继续沉桩。自然冷却时间不应少于表 7.3.2 所列时间，严禁浇水冷却，或不冷却就开始沉桩；

表 7.3.2 自然冷却时间表(min)

锤击桩	静压桩	采用二氧化碳气体保护焊
8	6	3

- 8 钢桩尖宜在工厂内焊接；当在工地焊接时，宜在堆放现场焊接。严禁桩起吊后点焊、仰焊的做法；
- 9 桩身接头焊接外露部分应作防锈处理；
- 10 雨天焊接时，应采取防雨措施。

7.3.3 机械连接接桩分为插销式接头接桩、抱箍式连接接桩、膨胀咬合接头接桩、机械连接加焊接等多种形式，其规格尺寸、质量应符合产品使用说明和现行相关规范的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 采用插销式接头接桩时，应符合下列规定：
 - 1) 接桩前应检查桩两端制作的尺寸偏差及连接件，无损伤后方可起吊施工；
 - 2) 下节预制桩安装弹簧、扣筒、中间螺母等配件后，应采用水平靠尺检查中间螺母的平整度，并应符合设计要求；
 - 3) 上节预制桩安装插杆等配件后，应采用与桩等边长或等直径的垫板整体平靠在插杆的头部，插杆的头部均需与垫板接触；
 - 4) 下节桩的端面应均匀涂抹环氧树脂等密封材料，材料的初凝时间不应超过 6h，终凝时间不应超过 12h，涂抹时间不宜超过 3min。当施工温度低于 10℃

时，应采取加热措施对密封材料进行加热，加热温度宜为 25℃~30℃。涂抹密封材料的总时间不宜大于 2min；

- 5) 上下节桩对准 3 个以上孔位时缓慢插入，严禁碰撞，完全连接后方可继续沉桩。
- 2 采用抱箍式连接接桩时，应符合下列步骤：
 - 1) 接桩前检查桩两端制作的尺寸偏差及连接件，无损伤后方可起吊施工；
 - 2) 接桩时应清理上、下节桩的端板和螺栓孔内残留物，定位销安装在端板的螺栓孔内，定位销数量不宜小于 1 个；
 - 3) 将上节桩吊起，连接孔与定位销对准后方可将定位销插入连接孔内；
 - 4) 当地基土、地下水具有中、强腐蚀性时，宜将端板封闭围焊后再安装机械连接卡；
 - 5) 应按顺序将机械连接卡卡入上、下节预制桩突出桩身的端板上，当采用螺栓与端板侧边螺丝孔来固定连接卡时，应调整连接卡位置使连接卡和端板的螺栓孔对准，并用工具将固定螺栓旋入端板上的螺孔内固定连接卡；当采用螺杆塞焊在上下端板的焊接坡口时，应将螺杆焊接在端板侧边相应的标记点上，将连接卡安装在端板外侧后，用工具将螺帽旋入螺杆上固定连接卡。
- 3 采用膨胀咬合接头接桩时，应符合下列规定：
 - 1) 连接前，连接处的桩端端头板应先清理干净，将满涂沥青涂料的连接销逐根旋入预制桩带孔端板的螺栓孔内，并用钢模型板检测调整连接销的方位；
 - 2) 剔除已就位预制桩带槽端板连接槽内填塞的泡塑保护块，在连接槽内注入不少于 0.5 倍槽深的沥青涂料，并沿带槽端板外周边抹上宽度 20mm、厚度 3mm 的沥青涂料；
 - 3) 将上节预制桩吊起，使连接销与带槽端板上的各个连接口对准，随即将连接销插入连接槽内；
 - 4) 加压使上、下桩节的桩端端头板接触后，方可继续沉桩接桩完成；
 - 5) 当地基土、地下水具有中、强腐蚀性时，宜在连接销与连接槽连接后再将端板封闭围焊。
- 4 采用其他机械方式接桩时，应符合相应机械连接方式操作要求的规定，或在专业厂家指导下进行正确接桩，固定正确牢固。

7.3.4 预制桩截桩应采用锯桩器，严禁采用大锤横向敲击截桩或强行扳拉截桩，截桩后出现轻微裂纹处应采取补强措施。

7.4 静压法施工

7.4.1 静力压桩设备宜采用液压式压桩机，桩机型号应根据地质条件、桩型和受力情况及本规范附录 E 确定，并应符合下列规定：

- 1 压桩机最大压桩力应大于考虑群桩挤密效应的最大压桩动阻力，还应小于压桩机的机架重量和配重之和的 0.8 倍，不得在浮机状态下施工；
- 2 采用顶压式压桩机时，桩帽或送桩器与桩之间应加设弹性衬垫；

- 3 采用抱压式压桩机时，夹持机构中夹具应避开桩身两侧合缝的位置；
- 4 压桩过程中的最大压桩力值应符合设计要求，或根据沉桩工艺试验值确定，不宜大于桩身结构竖向承载力设计值的 1.5 倍；
- 5 压桩机的选择还应综合考虑下列因素后确定：
 - 1) 夹持机构应适应桩截面形状，且桩身混凝土不发生夹裂现象；
 - 2) 压边桩的能力应能满足现场施工作业条件要求；
 - 3) 最大压桩力应达到按本条第 4 款所规定的终压力值。

7.4.2 选择抱压式或顶压式液压压桩机时，桩身允许抱压压桩力、顶压压桩力可按下列公式计算：

1 抱压施工压桩力

$$\text{预应力混凝土桩：} R_b \leq 1.0f_c A \quad (7.4.2-1)$$

$$\text{预应力高强混凝土桩、混合配筋桩：} R_b \leq 0.95f_c A \quad (7.4.2-2)$$

2 顶压施工压桩力

$$R_d \leq 1.1R_b \quad (7.4.2-3)$$

式中： R_b ——桩身允许抱压压桩力（kN）；

R_d ——桩身允许顶压压桩力（kN）；

f_c ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值（kPa）；

7.4.3 压桩机资料应具备下列内容：

- 1 压桩机型号、机架重量（不含配重）、整机的额定压桩力等；
- 2 压桩机的外型尺寸及拖运尺寸；
- 3 压桩机的最小边桩距及压边桩机构的额定压桩力；
- 4 长、短船型靴履的接地压力；
- 5 夹持机构的形式；
- 6 液压油缸的数量、直径，率定后的压力表读数与压桩力的对应关系；
- 7 吊桩机构的性能及吊桩能力。

7.4.4 压桩机就位后应精确定位，采用线锤对点时，锤尖距离放样点不宜大于 10 mm。

7.4.5 沉桩工艺试验完成后应提供下列信息资料：

- 1 压桩全过程记录，包括桩不同入土深度时的压桩力、压桩力曲线等；
- 2 桩身混凝土经抱压后完整性的检查检测资料；
- 3 压桩机整体运行情况；
- 4 桩接头形式及接头施工记录。

7.4.6 静压法施工时应符合下列规定：

- 1 压桩机应安装能满足最大压桩力要求的配重；
- 2 抱压式桩机送桩时，抱压力不应大于桩身允许侧向压力的 1.1 倍；
- 3 首节桩插入时，应认真检查桩位及桩身垂直度偏差，宜采用互成 90 度方向上的两台经纬仪矫正桩身垂直度，校正后的垂直度偏差不应大于 0.5%；
- 4 当机上吊机在进行吊桩续桩过程中，压桩机严禁行走和调整；
- 5 压桩时，应保持加载装置的合力点与桩身的中心线在同一直线上；

- 6 施工时沉桩速度不宜大于 2 m/min;
 - 7 每根桩宜一次连续施压至设计标高, 接桩和送桩不宜停歇, 避免在桩端接近硬土层时进行接桩, 如确需停歇, 应严格控制停歇时间;
 - 8 压桩过程中应经常注意观察桩身混凝土的完整性, 一旦发现桩身裂缝或掉角, 应立即停机, 找出原因, 采取改进措施后方可再施压;
 - 9 遇有夹持机具打滑、压桩机下陷或浮机时, 应暂停压桩作业, 采取处理措施。
- 7.4.7 静压施工应配备专用送桩器, 严禁采用工程用桩作为送桩器, 送桩器应符合下列规定:
- 1 送桩器应有足够的强度和刚度, 送桩器长度应满足送桩深度的要求, 且不宜小于送桩深度的 1.2 倍;
 - 2 送桩器的横截面外周形状应与所压桩相一致, 下端应设置套筒, 套筒深度宜为 300 mm~350 mm, 内径应比预制桩外径大 20 mm~30 mm, 送桩器的弯曲度不得大于送桩器长度的 1‰;
 - 3 送桩器上应有尺寸标志;
 - 4 送桩器下端应设置排气孔, 保证桩内腔与外界相通。
- 7.4.8 采用送桩器施工时, 应符合下列规定:
- 1 送桩器与桩顶的接触面应平整, 并与送桩器中心轴线垂直。送桩器与桩顶的接触面间应加衬垫, 防止桩顶压碎。衬垫需经常更换, 送桩器与桩顶接触面应密贴;
 - 2 送桩前应测量桩的垂直度, 并检查桩头质量。最上面一节桩的端板应套上防土桩帽, 桩帽用 1 mm~2 mm 的薄钢板焊成, 薄钢板上应开孔, 保证桩内腔与外界连通。合格后方可送桩, 送桩作业应连续进行;
 - 3 送桩前, 预制桩露出地面高度宜为 0.3 m~0.5 m。
- 7.4.9 当场地上部有较厚的淤泥土层时, 送桩器应开孔排淤、排泥, 送桩深度不宜小于 2.0m。当场地上无淤泥土层或确有沉桩经验, 且采取相应的措施保证桩身的垂直度满足要求时, 送桩深度不宜超过 12m。
- 7.4.10 终压控制标准应符合下列规定:
- 1 终压标准应根据设计要求、沉桩工艺试验情况、桩端进入持力层情况及压桩动阻力等因素, 结合静载荷试验情况确定;
 - 2 摩擦桩与端承摩擦桩以桩端标高控制为主, 终压力控制为辅;
 - 3 当终压力值达不到预估时, 单桩竖向承载力特征值应根据静载试验确定, 不得任意增加复压次数;
 - 4 当压桩力已达到终压力或桩端已到达持力层时应采取稳压措施;
 - 5 当压桩力小于 3000 kN 时, 稳压时间不宜超过 10 s; 当压桩力大于 3000 kN 时, 稳压时间不宜超过 5 s;
 - 6 稳压次数不宜超过 3 次, 对于小于 8 m 的短桩或稳压贯入度大的桩不宜超过 5 次。

7.5 锤击法施工

7.5.1 锤击式沉桩机械应根据场地条件、工程特点、施工前沉桩工艺试验、预制桩截面尺寸及强度、承载力特征值、地质条件等综合选定，打桩锤宜选用液压锤或柴油锤。打桩机的桩架和底盘必须具有足够的强度、刚度和稳定性，并应与桩锤相匹配。筒式柴油锤的冲击体质量不宜小于本规范附录 E 规定的低限值。

7.5.2 桩帽及垫层的设置应符合下列规定：

- 1 桩帽应有符合要求的强度、刚度和耐打性；
- 2 桩帽套筒应与施打的预制桩尺寸相匹配，套筒中心应与锤垫中心重合，筒体深度宜取 350 mm~400 mm，尺寸应比预制桩大 20 mm~30 mm，严禁使用过渡性钢套，用大桩帽打小直径管桩；
- 3 打桩时桩帽套筒底面与桩头之间应设置桩垫，桩垫可采用纸板、棕绳、胶合板等材料制作，厚度应均匀一致，压缩后桩垫厚度应为 120 mm~150 mm，且应在打桩期间经常检查，及时更换或补充；
- 4 桩帽上部直接接触打桩锤的部位应设置锤垫，锤垫应用坚纹硬木或钢丝绳制作，其厚度应为 150 mm~200 mm。锤垫应设置排气孔，并应在打桩前进行检查、校正或更换。

7.5.3 送桩器及其衬垫设置除应符合 7.4.7 条、7.5.2 条规定外，尚应符合下列规定：

- 1 插销式送桩器下端的插销长度宜取 200 mm~300 mm，尺寸应比桩内径小 20 mm~30 mm，对于内孔存有余浆的空心桩，不应采用插销式送桩器；
- 2 送桩作业时，送桩器与桩头之间应设置桩垫，桩垫经锤击压实后的厚度不宜小于 60 mm。

7.5.4 锤击沉桩施工应符合下列规定：

- 1 首节桩插入时，应认真检查桩位及桩身垂直度偏差，校正后的垂直度偏差应符合本规范 7.1.8 条的要求；
- 2 当预制桩沉入地表土后就遇上厚度较大的淤泥层或松软的回填土时，柴油锤应采用不点火空锤的方式施打；液压锤应采用落距为 200 mm~300 mm 的方式施打；
- 3 预制桩施打过程中，宜重锤轻击，应保持桩锤、桩帽和桩身的中心线在同一条直线上，并随时检查桩身的垂直度；
- 4 在较厚的黏土、粉质黏土层中施打预制桩，宜将每根桩一次性连续打到底，减少中间休歇时间；
- 5 重要工程应采用高应变法进行打桩过程监测，并对监测结果进行分析。

7.5.5 每根桩的总锤击数及最后 1 m 沉桩锤击数宜进行控制，预应力高强混凝土桩总锤击数不宜超过 2000，最后 1 m 沉桩锤击数不宜超过 300；预应力混凝土桩总锤击数不宜超过 1500，最后 1 m 沉桩锤击数不宜超过 250。

7.5.6 打桩的最后贯入度量测应符合下列条件：

- 1 桩头和桩身完好；
- 2 桩锤、桩帽、桩身及送桩器中心线重合；
- 3 桩帽及送桩器套筒内衬垫厚度符合本标准规定；
- 4 打桩结束前即完成测定，不得间隔较长时间后才量测。

7.5.7 锤击法施工停锤应符合下列规定：

1 承压桩停锤标准应根据工程地质条件、桩的承载性状、单桩承载力特征值、桩规格及入土深度、打桩锤性能规格及冲击能量、桩端持力层性状及桩尖进入持力层深度、最后贯入度、最后 1 m 沉桩锤击数、邻近工程或相近桩基条件的打桩经验并宜通过工艺性试桩等综合确定；

2 桩端位于一般土层时，应以控制桩端设计标高为主，贯入度可作参考；

3 桩端达到坚硬黏性土、密实的粉土、砂土、碎石土、软~极软岩时，应以贯入度为主，桩端标高为辅；最后贯入度应连续测量三次，当每一阵贯入度逐次递减达到收锤标准时即可终锤；

4 抗拔桩宜根据设计桩长控制停锤；

5 最后贯入度不宜小于 30 mm/10 击。当持力层为薄的强风化岩层且下卧层为中、微风化岩层时，最后贯入度不应小于 25 mm/10 击，此时宜量测一阵锤的贯入度，若达到停锤标准即可停锤。

7.5.8 采用水上沉桩时，打桩船或其他水上沉桩设备的布设和作业可参照现行行业标准《码头结构施工规范》JTS 215 的有关规定执行。

7.6 植入法沉桩

7.6.1 植入法沉桩根据预成孔方式分为非取土植桩和取土植桩，非取土植桩可采用搅拌植桩、高压旋喷植桩等方式，取土植桩可采用机械成孔。

7.6.2 非取土植桩工艺适用于填土、黏性土、砂卵石、全风化、强风化岩，采用时应符合下列要求：

1 应先施工搅拌桩或旋喷桩，再施工预制桩；

2 搅拌（旋喷）桩施工需保证连续性，成桩长度不应小于设计值；

3 搅拌（旋喷）固化剂宜采用 42.5 级及以上的硅酸盐或普通硅酸盐水泥土，也可根据实际情况添加膨润土、粉煤灰等；

4 外芯的停浆面宜高出桩顶设计标高不小于 500 mm；

5 预制桩宜在搅拌桩或旋喷桩施工完成后 4 h~6 h 内植入，冬期施工时可取大值，夏期施工时宜取小值。对于超过 24 小时未植入的桩孔，应进行复搅后方可植入预制桩；

6 预制桩可采用静压、锤击、振动等方法植入，采用静压时，宜取 1.5~1.8 倍单桩承载力特征值作为终压值；采用锤击时，宜取 40 mm/10 击~50 mm/10 击作为最终贯入度。

7.6.3 取土植桩工艺适用于当采用时，应符合下列规定：

1 成孔应按对应工艺钻孔灌注桩的施工工艺控制，成孔直径宜大于管桩直径 100 mm 以上；采用长螺旋钻机引孔时出土量宜控制在 30%以内；

2 护壁浆液宜采用水泥浆、水泥与膨润土混合浆液，相关配比及性能应符合工艺与性能要求，并应由现场工艺试验与静载试验确定；

3 成孔后应及时灌入水泥浆、水泥砂浆、细石混凝土或固化泥浆等，在初凝前可采用静压、锤击、振动等方式植入预制桩，采用静压时，宜取 1.5~1.8 倍单桩承载力特征值作为终压值；采用锤击时，最终贯入度宜取 50 mm/10 击~60 mm/10 击；

4 长螺旋压灌植桩泵送充填材料至孔底并加压后方可提钻，严禁先提钻后泵送充

填材料。充填材料压灌过程中，应保持钻具排气孔畅通，钻杆提升速度应与充填材料泵送量相匹配。泵料斗内的充填材料面高于料斗底面的高度不应小于 400 mm。植入预制桩时，充填材料压灌高度不宜小于桩顶设计标高。

7.6.4 采用植入法沉桩时，施工前应进行沉桩工艺试验和静载试验，确定施工工艺和施工参数。

7.6.5 植入预制桩前应将桩孔附近返浆清理干净，并将出孔桩土用挖机整平。

7.6.6 植入法沉桩时应采取监控预防措施，多节桩接桩时应保证接桩质量和桩身垂直度。

7.6.7 植入法沉桩施工时，外芯和预制桩中心应重合。外芯允许偏差 ± 20 mm，外芯和预制桩垂直度允许偏差均不应大于 0.5 %，预制桩定位允许偏差应为 ± 10 mm，桩顶标高允许偏差应为 ± 50 mm。

7.6.8 植桩记录可按本规范附录 D 执行。

8 质量检查与验收

8.1 一般规定

8.1.1 预制桩基础应按单元工程进行检验，一般以施工区、段或 30 根~100 根为 1 个单元工程，宜为重要隐蔽工程。当出现下列情况时，宜单独划分单元工程：

- 1 同一分部工程中，采用不同桩型的预制桩时，宜按不同桩型划分为单元工程；
- 2 同一分部工程中，采用不同厂家生产的不同批次预制桩时，应按不同厂家不同批次划分为若干单元工程。

8.1.2 单元工程检验项目应按作用和影响程度划分为主控项目和一般项目，具体检验项目可按本规范附录 F 执行。

8.1.3 预制桩基础的质量检验按时间顺序可分为三个阶段：沉桩前检查和验收、沉桩检查和验收以及沉桩后检查和验收。

8.1.4 桩身及施工过程中所使用的砂、石、水泥、钢筋等原材料质量的检验项目和方法应按国家现行有关标准执行。

8.1.5 对预制桩生产质量的检验项目和方法应符合国家现行有关标准的规定。

8.1.6 上部结构施工前应按规范要求组织基础工程施工质量验收。

8.1.7 桩基和复合地基的承台完成后应在施工期间和使用期间进行沉降观测，直至沉降达到稳定为止。

8.2 沉桩前检查和验收

8.2.1 预制桩进场后，监理单位、施工单位应按设计文件及本规范的有关规定对产品合格证、试验报告和桩身标记进行全数检查，并对产品质量进行抽样检查，形成预制桩进场验收记录，记录文件可参照附录 F。产品质量进场检验应包括下列内容：

- 1 尺寸偏差、外观质量抽检；
- 2 结构钢筋抽检；
- 3 机械连接部件抽检；
- 4 桩尖规格、构造抽检；
- 5 其他特殊要求的检验。

8.2.2 预制桩进场后，应按本规范表 8.2.2-1~表 8.2.2-5 的要求，对桩身尺寸偏差和外观质量进行抽检。抽检数量不得少于 2 %的桩节数，且不得少于 2 节。当抽检结果出现一根桩节不符合要求时，应加倍抽检，若仍有不合格的桩节，该批次桩不得使用。

表 8.2.2-1 管桩的尺寸允许偏差和检查方法

序号	项目	允许偏差（mm）		检查工具和检查方法	测量工具分度值/mm
1	长度 L	$\pm 0.5\%L$		用钢卷尺测量，精确至 1 mm。	1
2	外径 d	300 mm~700 mm	+5 -2	用 π 尺在与桩身轴线相垂直的同一圆周测量直径；或用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两直径，取其平均值，精确至 1 mm。	1
		800 mm~1400 mm	+7 -4		

3	壁厚 t	+20 0		用混凝土厚度测定仪或卡尺或钢直尺在与桩身轴线垂直的同一截面测量相互垂直直径上的 4 个壁厚, 取其平均值, 精确至 1 mm。	0.5
4	端部倾斜	$\leq 0.5\%d$		将直角靠尺的一边紧靠桩身, 另一边与端板紧靠, 测其最大间隙处, 精确至 1 mm。	0.5
5	桩身弯曲度	$L \leq 15 \text{ m}$	$\leq L/1000$	管桩水平放置, 将拉线紧靠桩的两端部, 用钢直尺测量其弯曲处的最大距离, 精确至 1 mm。	0.5
		$15 \text{ m} < L \leq 30 \text{ m}$	$\leq L/2000$		
6	保护层厚度	+5 0		用混凝土保护层测定仪在同一圆周上均匀分布的 3 处不同部位测量最外层钢筋的混凝土保护层, 精确至 1 mm。	1
7	端 板	端面平整度	≤ 0.5	用钢直尺立起横放在端板面上缓慢旋转, 用塞尺测量最大间隙, 精确至 0.1 mm。	0.02
		外径	0 -1	用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两直径, 取其平均值, 精确到 1 mm。	0.5
		内径	0 -2	用钢直尺在同一断面测定相互垂直的两直径, 取其平均值, 精确至 1mm。	0.5
		厚度	正偏差不限 0	用游标卡尺在互相垂直的两直径上测定 4 处厚度, 取其平均值, 精确至 0.1 mm。	0.02

表 8.2.2-2 空心方桩的尺寸允许偏差和检查方法

序号	项目	允许偏差 (mm)		检查工具和检查方法	测量工具分度值/mm
1	长度 L	$\pm 0.5\%L$		用钢卷尺测量, 精确至 1 mm。	1
2	边长 b	$\leq 600 \text{ mm}$	+4 -2	用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两边长, 取其平均值, 精确至 1 mm。	1
		$> 600 \text{ mm}$	+5 -2		
3	空心直径 d_1	0 -20		用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两内径, 取其平均值, 精确至 1mm	1
4	最小壁厚 t	+10 0		用混凝土厚度测定仪或卡尺或钢直尺在与桩身轴线垂直的同一截面最薄壁厚 4 处测量, 取其平均值, 精确至 1 mm。	0.5
5	端部倾斜	$\leq 0.5\%b$		将直角靠尺的一边紧靠桩身, 另一边与端板紧靠, 测其最大间隙处, 精确至 1 mm。	0.5
6	桩身弯曲度	$L \leq 15 \text{ m}$	$\leq L/1000$	空心方桩水平放置, 将拉线紧靠桩的两端部, 用钢直尺测量其弯曲处的最大距离, 精确至 1 mm。	0.5
		$15 \text{ m} < L \leq 30 \text{ m}$	$\leq L/2000$		
7	保护层厚度	+5 0		用混凝土保护层测定仪在同一圆周上均匀分布的 3 处不同部位测量最外层钢筋的混凝土保护层, 精确至 1 mm。	1
8	端 板	端面平整度	≤ 0.5	用钢直尺立起横放在端板面上缓慢旋转, 用塞尺测量最大间隙, 精确至 0.1 mm。	0.02
		边长	0 -1	用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两边长, 取其平均值, 精确到 1 mm。	0.5
		内径	0 -2	用钢直尺在同一断面测定相互垂直的两直径, 取其平均值, 精确至 1mm。	0.5
		厚度	正偏差不限 0	用游标卡尺在互相垂直的两边长上测定 4 处厚度, 取其平均值, 精确至 0.1 mm。	0.02

表 8.2.2-2 实心方桩的尺寸允许偏差和检查方法

序号	项目	允许偏差 (mm)	检查工具和检查方法	测量工具分度值/mm
1	长度 L	$\pm 0.5\%L$	用钢卷尺测量, 精确至 1 mm。	1

2	边长 b	+5 -5	用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两边长, 取其平均值, 精确至 1 mm。	1
3	桩身弯曲度	$\leq L/1000$ 且 ≤ 20	实心方桩水平放置, 将拉线紧靠桩的两端部, 用钢直尺测量其弯曲处的最大距离, 精确至 1 mm。	1
4	桩尖偏心	≤ 10	用钢直尺测量, 精确至 1 mm	1
5	桩顶平面对桩中心线的倾斜 (桩顶倾斜)	≤ 3	将直角靠尺的一边紧靠桩身, 另一边与端板紧靠, 测其最大间隙处, 精确至 1 mm。	0.5
6	桩顶对角线之差	≤ 10	用卡尺或者钢直尺测量桩顶两对角线的长度, 精确至 1 mm	1
7	保护层厚度	+5 0	用混凝土保护层测定仪在同一圆周上均匀分布的 3 处不同部位测量最外层钢筋的混凝土保护层, 精确至 1 mm。	1

表 8.2.2-4 管桩和空心方桩的外观质量要求和检查方法

序号	项 目		外观质量要求	检查工具和检测方法	测量工具分度值/mm
1	粘皮、麻面和蜂窝		局部粘皮和麻面累计面积不应大于桩总外表面的 0.5 %; 每处粘皮和麻面的深度不应大于 5 mm, 应进行修补	目测	—
2	桩身合缝漏浆		漏浆深度不应大于 5 mm, 每处漏浆长度不大于 300 mm, 累计长度不应大于管桩长度的 10 %, 或对称漏浆的搭接长度不应大于 100 mm, 应进行修补	用深度游标卡尺测量漏浆深度, 精确至 0.1 mm	0.02
				用钢卷尺测量漏浆长度, 精确至 1 mm	1
3	局部磕损		局部磕损深度不应大于 5 mm, 每处面积不大于 5000 mm ² , 应进行修补	目测	—
4	内、外表面露筋		不允许	目测	—
5	表面裂缝		不应出现环向或纵向裂缝, 但龟裂、水纹和内壁浮浆层中的收缩裂缝不在此限	用 20 倍读数放大镜测量宽度, 精确至 0.01 mm	0.01
6	桩端面平整度		管桩端面混凝土和预应力钢筋锚头不应高出端板平面	目测	—
7	断筋、脱头		不允许	目测	—
8	桩套箍凹陷		凹陷深度不应大于 10 mm	用游标卡尺测量凹陷深度, 精确至 1 mm	1
9	内表面混凝土塌落		不允许	目测	—
10	接头和桩套箍与桩身结合面	漏浆	漏浆深度不大于 5 mm; 漏浆长度不大于周长的 1/6, 应进行修补	用深度游标卡尺测量漏浆深度, 精确至 0.1 mm	0.02
				用钢卷尺测量漏浆长度, 精确至 1 mm	1
		空洞、蜂窝	不允许	目测	—

表 8.2.2-5 实心方桩的外观质量要求和检查方法

序号	项 目		外观质量要求	检查工具和检测方法	测量工具分度值/mm
1	粘皮、麻面、蜂窝和气孔		局部麻面、起砂、粘皮和气孔的深度不应大于 5 mm, 应进行修补	用游标卡尺测量麻面、粘皮、气孔的尺寸, 精确至 1 mm	1
2	桩套箍凹陷		凹陷深度不应大于 10 mm	用深度游标卡尺测量凹陷深度, 精确至 1 mm	0.02
3	局部磕损		局部磕损深度不应大于 10 mm	用游标卡尺测量局部磕损深度, 精确至 1 mm	—

序号	项 目	外观质量要求	检查工具和检测方法	测量工具分度值/mm
4	桩外混凝土浇筑面	应抹光平整，不应有踩踏脚印	目测	—
5	露筋	不允许	目测	—
6	断筋、脱头	不允许	目测	—
7	桩套箍与桩身结合面空洞	不允许	目测	—
8	表面裂缝	不应出现环向或纵向裂缝，但龟裂、水纹和内壁浮浆层中的收缩裂缝不在此限	用 20 倍读数放大镜测量宽度，精确至 0.01 mm	0.01
9	桩端面平整度	管桩端面混凝土和预应力钢筋锚头不应高出端板平面	目测	—

8.2.3 结构钢筋的抽检应包括主筋（预应力钢棒、非预应力钢筋）的数量和直径，螺旋筋的直径、间距和加密区的长度，以及钢筋的混凝土保护层厚度，每个单元工程抽检桩节数不应少于 2 节，检测结果应符合设计或国家现行有关标准的要求，否则该批桩不得使用。

8.2.4 当工程桩采用机械连接、机械-连续焊接连接时，应对不同的机械连接形式进行检验。抽查数量不得小于桩节总数的 2%，且不得少于 2 节，若发现连接部件的材质、部件数量及尺寸有不符合要求，则该批桩不得使用。

8.2.5 预制桩采用桩尖时，应根据设计要求对桩尖进行检验。钢桩尖应提供桩尖钢材化学成分和力学性能的测试报告。常用桩尖的规格、构造可按本规范附录 B 进行检查和验收，特殊桩尖应按设计要求进行。检查方法除量测各尺寸外，可随机抽取 5% 的桩尖进行重量检查。若单个桩尖重量达不到规定理论重量的 90%，该桩尖即为不合格。不合格数量超过 3 个时应逐个检查，不合格者不得使用。

8.2.6 采用植入法成桩施工前应对填充料（掺和料）拌制的材料质量与计量、配合比、坍落度、强度等级等进行检查。

8.2.7 管桩进场后应按本规范第 7.2.2 条的有关要求检查堆放的场地条件、垫木材质、尺寸及位置、堆放层数等，防止管桩受损。

8.3 沉桩过程检查和验收

8.3.1 预制桩施工过程中应进行下列检验：

- 1 工程桩的定位及沉桩前的桩位复测；
- 2 沉桩机具的检查；
- 3 直接打入（静压）桩的入土深度、锤击数、停锤标准、静压终止压力值及桩身（架）垂直度检查；
- 4 采用植入法打入（静压）桩的外芯桩质量、停锤标准、静压终止压力值及桩身（架）垂直度检查；
- 5 接桩施工质量；
- 6 沉桩过程中对桩身质量的监控；
- 7 沉桩记录的监督和审核；
- 8 沉桩对周边环境影响的监测。

8.3.2 桩基施工单位应在监理人员的监督下，对桩位进行复核。沉桩过程中，应随时

注意桩位标记的保护，防止桩位标记发生错乱和移位。

8.3.3 桩身垂直度进行监控应符合下列要求：

- 1 应检查首节桩定位时的垂直度，当垂直度偏差不大于 0.5%时，方可沉桩；
- 2 沉桩过程中，应随时观测桩身垂直度，并及时进行分析和调整；
- 3 送桩前，应对桩身垂直度、送桩器的垂直度进行检测；
- 4 应对开挖后基坑内的工程桩，进行垂直度监测。

8.3.4 采用取土植入法成桩施工时，预制桩沉入前应进行下列检验：

- 1 预制桩植入前，应对已成孔的中心位置、孔深、垂直度以及干作业条件下成孔或桩基持力层为强（中）风化岩时孔底渣土性状进行检验；
- 2 应对填充料的填充量、填充高度进行检验，同时留备试块进行检验，每个台班不得少于 1 根桩，每根桩制作试块 3 件。

8.3.5 采用非取土植入法施工时，预制桩沉入前应进行下列检验：

- 1 水泥土搅拌桩或高压旋喷桩施工过程中，应随时检查施工记录和计量记录；
- 2 当水泥土搅拌桩或高压旋喷桩施工至设计标高时，搅拌桩可根据电流值判定是否进入持力层，高压旋喷桩可根据钻杆进尺速度或静力触探判定。

8.3.6 沉桩过程中应对沉桩机具、送桩器构造、衬垫厚度、工作状态、作业流程、安全措施等进行检查，保障施工规范和安全。

8.3.7 停锤或终压实测值应符合设计控制要求，当设计无要求时，应符合本规范第 7 章的相关要求。

8.3.8 施工记录应按下列规定进行审核：

- 1 当配置施工自动记录仪时，应对自动记录仪的工作状态、所记录的各种施工数据进行逻辑分析判定；
- 2 当采用人工记录时，应对作业班组所安排专人记录的内容进行检查；
- 3 工程桩施工完成后，施工记录应经旁站监理人员签名确认，方可作为施工记录。

8.3.9 接桩质量检验应包含下列内容：

- 1 采用焊接工艺时，应检查焊条规格和质量、焊接所用的时间和焊后冷却时间；
- 2 焊缝应符合二级焊缝要求，并应对接头总量 10%的焊缝进行探伤检测；
- 3 机械连接接头应检查接头零部件的数量、尺寸、尺寸及其连接件的牢固性。

8.3.10 沉桩过程中应随时检查桩身的贯入度及其裂缝情况、桩顶部分的完整性。当贯入度发生异常、沉桩困难、桩身开裂时，应立即停止沉桩，分析原因并提出解决办法后，方能继续施工。

8.3.11 施工过程中，应监测施工对周围环境的影响。监测应符合下列规定：

- 1 应根据施工组织方案检查工程桩的施工顺序；
- 2 当施工振动或挤土可能危及周边的建筑物、道路时，应对周边建（构）筑物的变形和裂缝情况进行监测；
- 3 对挤土效应明显或大面积群桩基础，应按本规范 7.1.4 条的规定设置检测桩，监测已施工工程桩的上浮量及桩顶偏位值。

8.4 沉桩后检查和验收

8.4.1 工程桩沉桩施工完毕，应按下列要求进行检测和验收：

- 1 用水准仪和水准尺逐根测定桩顶设计标高；
- 2 用经纬仪和钢尺逐根测量桩位的平面位置偏差；
- 3 用低应变动测法、高应变动测法或孔内摄像法检测桩身质量的完整性；
- 4 用静载法或高应变动测法检测单桩竖向承载力，植入法沉桩的预制桩，单桩承载力试验应采用静载荷试验；
- 5 水平力较大且设计需要时，应通过水平静载试验检测单桩水平承载力；
- 6 用静载法检测单桩竖向抗拔承载力；
- 7 用复合地基静载荷试验和单桩静载试验检测复合地基承载力。

8.4.2 以标高控制的预制桩，桩顶标高的允许偏差应为-50 mm~100 mm。按贯入度或终压值控制的预制桩，截桩或接桩后的桩顶实际标高的允许误差为±10 mm。

8.4.3 工程桩在设计标高处的平面位置允许偏差应符合表 8.4.3-1、8.4.3-2 的规定。

表 8.4.3-1 桩基工程中桩位的允许偏差

序号	项 目		允许偏差 (mm)		
			陆域或无水施工	水上施工	
				内河及近岸有掩护水域	近岸无掩护水域
1	条形基础的桩基	垂直于轴线方向	100	100	150
		平行于轴线方向	150	150	150
2	桩数为 1~3 根桩基中的桩		100	100	150
3	桩数为 4~16 根桩基中的桩	中间桩	1/2 桩径或边长	1/2 桩径或边长	1/2 桩径或边长
		周边桩	100	100	150
4	桩数大于 16 根桩基中的桩	中间桩	1/2 桩径或边长	1/2 桩径或边长	1/2 桩径或边长
		周边桩	1/3 桩径或边长和 150mm 两者中的大值	1/3 桩径或边长和 150mm 两者中的大值	1/3 桩径或边长和 200mm 两者中的大值

注：1 近岸无掩护水域是指靠近海岸线，无天然或人工建筑物遮挡风浪的水域；反之，称为近岸有掩护水域；

2 掩护条件较差的河口区域可按“无掩护近岸水域”执行；

3 需要送桩时，允许偏差可增加 $0.01H$ ， H 为预制桩施工面至设计桩顶的距离。

表 8.4.3-2 复合地基中桩位的允许偏差

序号	项目		允许偏差
1	条形基础的边桩	平行于轴线方向	1/4 桩径或边长
		垂直于轴向方向	1/6 桩径或边长
2	其他情况		2/5 桩径或边长

8.4.4 预制桩桩身完整性宜采用低应变法检测，当低应变法检测中不能明确完整性类别

的桩或Ⅲ类桩，可根据实际情况采用高应变法、孔内摄像法等适宜的方法验证检测。低应变法检测数量应符合下列要求：

- 1 桩基工程中，桩基设计等级为一级的预制桩基础抽检桩数不应低于总桩数的30%，且不得少于20根；其余预制桩基础抽检桩数不应低于总桩数的20%，且不得少于10根；
- 2 复合地基中抽检桩数不应少于总桩数的10%，且不得少于5根；
- 3 除符合上述条款外，每个独立承台下的抽检数量不应少于1根；
- 4 对于沉桩中发生贯入度过大等异常情况或存在其他影响桩身结构可靠性因素的桩应进行检测，检测数量不计入正常抽检比例内；

8.4.5 工程桩施工后，应根据设计要求开展单桩竖向抗压静载试验、单桩竖向抗拔静载试验和单桩水平静载试验的检验进行承载力验收检测，检验数量应符合下列要求：

- 1 在同一条件下，不应少于总桩数的1%，且不应少于3根；
- 2 当总桩数少于50根时，检测数量不应少于2根；
- 3 单桩竖向抗压承载力采用高应变法检测时，检测数量不应少于总桩数的5%，且不得少于5根。

8.4.6 桩身完整性和单桩承载力检测方法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。

8.4.7 对于复合地基，除应按本规范第8.4.5条、8.4.6条对基桩进行检测外，还应进行复合地基平板载荷试验，复合地基平板载荷试验的检测数量和检测方法应符合现行行业标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定。对设计要求消除地基液化、湿陷性的，应进行桩间土的液化、湿陷性检验。

8.4.8 应对填芯用的微膨胀混凝土实验室配比试验结果资料进行核查，如有怀疑，应采用取芯法检测混凝土强度，数量不少于3根。

8.5 工程验收

8.5.1 工程验收时应具备下列资料：

- 1 桩基设计文件和施工图，包括施工图纸会审记录、设计变更资料；
- 2 桩位测量放线图，包括工程基线复核签证单；
- 3 岩土工程勘察报告；
- 4 施工组织设计或施工方案；
- 5 预制桩出厂合格证、产品说明书；
- 6 施工记录汇总，包括桩位编号图；
- 7 现场用桩检查资料，包括预制桩的规格型号，尺寸偏差和外观质量，预应力钢棒的数量和直径，螺旋筋的直径和间距，螺旋筋加密区的长度，钢筋混凝土保护层厚度，桩端板和桩尖的尺寸，预应力钢棒和螺旋筋抽检、接头焊缝验收记录等汇总资料；
- 8 桩基工程竣工图；
- 9 桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果；
- 10 预应力钢棒、螺旋筋、桩端板材质检验报告，桩基混凝土强度检测报告；

- 11 桩身完整性检测报告；
 - 12 单桩竖向承载力检测报告，水平受力桩基还应有水平承载力检测报告；复合地基应有复合地基承载力检测报告；
 - 13 监测资料；
 - 14 发生质量事故时的处理记录；
 - 15 施工技术措施记录。
- 8.5.2 工程验收尚应符合现行行业标准《水利水电建设工程验收规程》SL 233 的有关规定。

附录 A 预制桩结构形式、截面及力学性能

A.0.1 管桩桩身结构形式、配筋及相关参数应符合下列规定。

1 预应力混凝土管桩、预应力高强混凝土管桩、预应力超高强混凝土管桩、薄壁混凝土管桩的结构形式（图 A.0.1-1）。

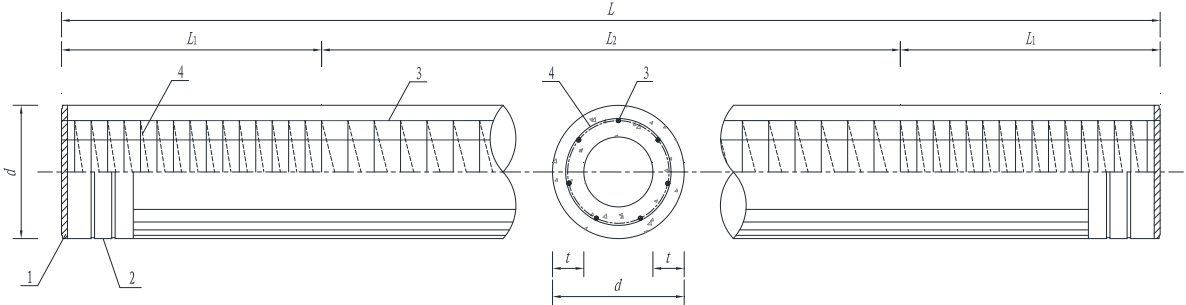


图 A.0.1-1 管桩（预应力混凝土管桩、预应力高强混凝土管桩、预应力超高强混凝土管桩、薄壁混凝土管桩）结构形式示意图

L —桩长； L_1 —箍筋加密区长度； L_2 —箍筋非加密区长度； d —直径； t —壁厚；

1—端板；2—桩套筒；3—预应力钢棒；4—箍筋

2 混合配筋预应力高强混凝土管桩的结构形式（图 A.0.1-2）。

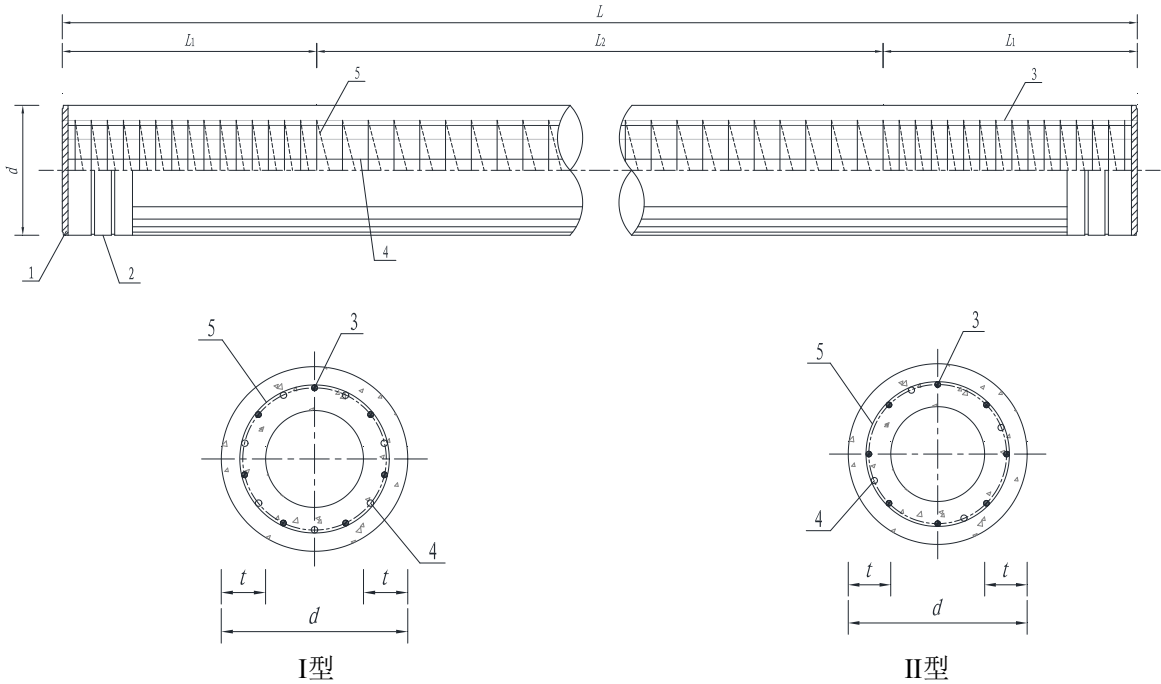


图 A.0.1-2 管桩（混合配筋管桩）结构形式示意图

L —桩长； L_1 —箍筋加密区长度； L_2 —箍筋非加密区长度； d —直径； t —壁厚；

1—端板；2—桩套筒；3—预应力钢棒；4—非预应力钢筋；5—箍筋

3 高强钢管混凝土管桩的结构形式（图 A.0.1-3）。

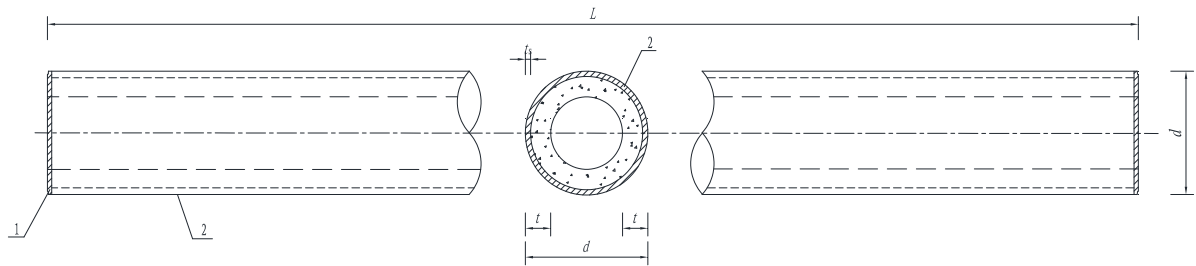


图 A.0.1-3 管桩（高强钢管混凝土管桩）结构形式示意图

L —桩长； d —直径； t —壁厚； t_s —钢管厚度；1—端板；2—钢管

- 4 箍筋加密区长度可取 $3d \sim 5d$ ，且不应小于 2000 mm，加密区箍筋净间距为 50 mm，非加密区箍筋净间距为 80mm。
- 5 采用机械连接的管桩，应根据机械连接方式调整端板设置。
- 6 推荐桩型桩身配筋及相关参数应按表 A.0.1-1~表 A.0.1-8 取值。

表 A.0.1-1 PC 管桩桩身配筋及相关参数表

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PC 300 (70)	A	11	6 ϕ^D 7.1	4	230	4.14	26	76	204	974	24	214	132
	AB	11	6 ϕ^D 9.0			6.35	39	89	326		30	332	
	B	12	8 ϕ^D 9.0			8.15	48	99	435		35	431	
PC 400 (95)	A	12	7 ϕ^D 9.0	4	308	4.29	63	138	381	1752	59	399	237
	AB	13	7 ϕ^D 10.7			5.85	85	156	536		69	549	
	B	14	11 ϕ^D 10.7			8.66	121	184	842		87	827	
	C	15	13 ϕ^D 10.7			9.94	135	195	995		96	958	
PC 500 (100)	A	14	11 ϕ^D 9.0	5	406	4.83	129	195	598	2419	115	622	327
	AB	15	11 ϕ^D 10.7			6.56	172	221	842		136	854	
	B	16	11 ϕ^D 12.6			8.70	220	249	1169		161	1148	
	C	17	14 ϕ^D 12.6			10.61	256	271	1488		185	1417	
PC 500 (120)	A	13	12 ϕ^D 9.0	5	406	4.52	134	230	653	2758	121	682	372
	AB	14	12 ϕ^D 10.7			6.16	180	260	918		141	937	
	B	15	12 ϕ^D 12.6			8.19	233	292	1275		168	1263	
	C	16	16 ϕ^D 12.6			10.43	281	314	1700		196	1589	
PC 600 (110)	A	15	14 ϕ^D 9.0	5	506	4.58	203	256	762	3260	187	795	440
	AB	16	14 ϕ^D 10.7			6.24	272	289	1071		220	1092	
	B	18	14 ϕ^D 12.6			8.29	350	326	1488		261	1471	
	C	19	19 ϕ^D 12.6			10.67	426	363	2019		310	1922	
PC 600 (130)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.62	223	296	870	3695	201	908	499
	AB	16	16 ϕ^D 10.7			6.28	299	334	1224		236	1247	
	B	17	16 ϕ^D 12.6			8.35	386	377	1700		281	1679	
	C	18	21 ϕ^D 12.6			10.45	461	415	2231		328	2132	

续表 A.0.1-1

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PC 700 (130)	A	16	14 $\phi^{D10.7}$	6	590	4.68	331	355	1071	4481	302	1116	605
	AB	17	28 $\phi^{D9.0}$			6.43	447	403	1523		357	1548	
	B	19	28 $\phi^{D10.7}$			8.63	579	456	2142		428	2107	
	C	21	28 $\phi^{D12.6}$			11.27	708	513	2975		516	2803	
PC 800 (110)	A	18	16 $\phi^{D10.7}$	6	690	5.17	450	372	1224	4590	406	1267	620
	AB	20	16 $\phi^{D12.6}$			6.93	591	419	1700		477	1716	
	B	22	32 $\phi^{D10.7}$			9.45	767	478	2448		581	2377	
	C	24	32 $\phi^{D12.6}$			12.27	919	536	3400		702	3149	
PC 800 (130)	A	18	17 $\phi^{D10.7}$	6	690	4.82	470	419	1301	5267	430	1352	711
	AB	19	17 $\phi^{D12.6}$			6.48	622	471	1806		503	1835	
	B	21	34 $\phi^{D10.7}$			8.86	817	538	2601		610	2549	
	C	23	34 $\phi^{D12.6}$			11.56	994	604	3613		737	3387	
PC 1000 (130)	A	21	24 $\phi^{D10.7}$	6	880	5.20	852	555	1836	6840	770	1899	924
	AB	23	24 $\phi^{D12.6}$			6.97	1117	624	2550		904	2572	
	B	25	32 $\phi^{D12.6}$			8.91	1379	693	3400		1056	3330	
	C	26	40 $\phi^{D14.0}$	8		12.58	1758	806	5236		1356	4822	
PC 1200 (150)	A	23	32 $\phi^{D10.7}$	6	1060	5.00	1378	760	2448	9525	1274	2539	1286
	AB	24	32 $\phi^{D12.6}$			6.71	1814	855	3400		1492	3442	
	B	27	48 $\phi^{D12.6}$			9.48	2432	990	5100		1858	4950	
	C	29	50 $\phi^{D14.0}$	8		11.58	2806	1081	6545		2146	6135	

注：1 PC 管桩的混凝土强度等级为 C60；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7。
3 实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身承载力按规范计算。

表 A.0.1-2 PHC 管桩桩身配筋及相关参数表

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHC 300 (70)	A	11	6 $\phi^{D7.1}$	4	230	4.15	26	80	204	1271	25	214	132
	AB	11	6 $\phi^{D9.0}$			6.37	40	94	326		31	333	
	B	12	8 $\phi^{D9.0}$			8.19	51	104	435		36	432	
PHC 400 (95)	A	12	7 $\phi^{D9.0}$	4	308	4.30	64	146	381	2288	60	399	237
	AB	13	7 $\phi^{D10.7}$			5.87	88	164	536		70	550	
	B	14	10 $\phi^{D10.7}$			8.03	119	187	765		84	762	
	C	15	13 $\phi^{D10.7}$			10.01	145	205	995		97	961	
PHC 500 (100)	A	14	11 $\phi^{D9.0}$	5	406	4.84	132	206	598	3158	118	623	327
	AB	15	11 $\phi^{D10.7}$			6.59	178	233	842		138	855	
	B	16	11 $\phi^{D12.6}$			8.75	233	262	1169		164	1151	
	C	17	13 $\phi^{D12.6}$			10.06	264	278	1381		180	1333	
PHC 500 (120)	A	13	12 $\phi^{D9.0}$	5	406	4.53	136	243	653	3600	123	683	372
	AB	14	12 $\phi^{D10.7}$			6.18	186	273	918		144	939	
	B	15	12 $\phi^{D12.6}$			8.24	245	308	1275		170	1266	
	C	16	15 $\phi^{D12.6}$			9.93	290	333	1594		193	1542	
PHC 600 (110)	A	15	14 $\phi^{D9.0}$	5	506	4.60	206	270	762	4255	191	796	440
	AB	16	14 $\phi^{D10.7}$			6.26	281	305	1071		224	1094	
	B	18	14 $\phi^{D12.6}$			8.34	369	343	1488		265	1474	
	C	19	17 $\phi^{D12.6}$			9.81	428	368	1806		295	1750	

续表 A.0.1-2

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHC 600 (130)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.63	227	312	870	4824	205	909	499
	AB	16	16 ϕ^D 10.7			6.31	309	352	1224		240	1249	
	B	17	16 ϕ^D 12.6			8.40	407	396	1700		285	1683	
	C	19	20 ϕ^D 12.6			10.12	482	429	2125		323	2050	
PHC 700 (110)	A	17	12 ϕ^D 10.7	6	590	4.60	299	322	918	5124	282	959	530
	AB	18	24 ϕ^D 9.0			6.33	410	365	1306		331	1332	
	B	20	24 ϕ^D 10.7			8.52	543	413	1836		395	1815	
	C	22	24 ϕ^D 12.6			11.16	689	464	2550		475	2418	
PHC 700 (130)	A	16	13 ϕ^D 10.7	6	590	4.38	315	366	995	5850	299	1042	605
	AB	18	26 ϕ^D 9.0			6.04	434	413	1414		350	1449	
	B	19	26 ϕ^D 10.7			8.14	578	467	1989		417	1977	
	C	21	26 ϕ^D 12.6			10.70	738	525	2763		501	2640	
PHC 800 (110)	A	19	15 ϕ^D 10.7	6	690	4.89	434	384	1148	5992	402	1194	620
	AB	20	15 ϕ^D 12.6			6.58	582	431	1594		469	1620	
	B	22	30 ϕ^D 10.7			9.01	782	491	2295		568	2252	
	C	24	30 ϕ^D 12.6			11.76	983	551	3188		685	2993	

续表 A.0.1-2

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHC 800 (130)	A	18	16 $\phi^{D10.7}$	6	690	4.57	454	433	1224	6876	427	1279	711
	AB	19	16 $\phi^{D12.6}$			6.16	610	485	1700		496	1739	
	B	21	32 $\phi^{D10.7}$			8.47	827	553	2448		599	2422	
	C	23	32 $\phi^{D12.6}$			11.10	1051	622	3400		721	3228	
PHC 1000 (130)	A	21	32 $\phi^{D9.0}$	6	880	4.97	831	574	1741	8929	766	1809	924
	AB	23	32 $\phi^{D10.7}$			6.75	1123	648	2448		901	2483	
	B	25	32 $\phi^{D12.6}$			8.97	1465	729	3400		1071	3338	
	C	26	32 $\phi^{D14.0}$			10.65	1705	785	4189		1205	4006	
PHC 1200 (150)	A	23	30 $\phi^{D10.7}$	6	1060	4.73	1327	783	2295	12434	1262	2393	1286
	AB	25	30 $\phi^{D12.6}$			6.36	1781	880	3188		1469	3251	
	B	27	45 $\phi^{D12.6}$			9.04	2481	1017	4781		1817	4689	
	C	29	45 $\phi^{D14.0}$			10.73	2883	1096	5891		2045	5626	

注：1 PHC 管桩的混凝土强度等级为 C80；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7；
3 实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身承载力按规范计算。

表 A.0.1-3 UHC 管桩桩身配筋及相关参数表（C105）

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 400 (95)	I	12	7 ϕ^D 9.0	4	308	4.41	65	165	381	2886	68	401	237
	II	13	7 ϕ^D 10.7			5.90	89	185	536		78	552	
	III	14	10 ϕ^D 10.7			8.09	121	209	765		92	766	
	IV	15	13 ϕ^D 10.7			10.10	150	229	995		105	968	
UHC 500 (100)	I	14	11 ϕ^D 9.0	5	406	4.86	132	233	598	3985	131	625	327
	II	15	11 ϕ^D 10.7			6.63	180	261	842		151	859	
	III	16	11 ϕ^D 12.6			8.83	239	293	1169		178	1158	
	IV	17	13 ϕ^D 12.6			10.15	273	311	1381		194	1343	
UHC 500 (125)	I	13	12 ϕ^D 9.0	5	406	4.55	137	274	653	4670	137	685	383
	II	14	12 ϕ^D 10.7			6.22	187	307	918		158	943	
	III	15	12 ϕ^D 12.6			8.30	249	345	1275		185	1273	
	IV	16	15 ϕ^D 12.6			10.03	299	373	1594		208	1553	
UHC 600 (110)	I	15	14 ϕ^D 9.0	5	506	4.61	207	305	762	5370	213	798	440
	II	16	14 ϕ^D 10.7			6.30	283	342	1071		246	1099	
	III	18	14 ϕ^D 12.6			8.41	377	384	1488		288	1483	
	IV	19	17 ϕ^D 12.6			9.91	441	411	1806		319	1763	

续表 A.0.1-3

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 600 (130)	I	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.65	228	352	870	6087	229	912	499
	II	16	16 ϕ^D 10.7			6.34	312	396	1224		265	1255	
	III	17	16 ϕ^D 12.6			8.46	415	444	1700		310	1693	
	IV	19	20 ϕ^D 12.6			10.22	498	480	2125		349	2065	
UHC 700 (110)	I	17	12 ϕ^D 10.7	6	590	4.62	300	364	918	6465	314	962	530
	II	18	24 ϕ^D 9.0			6.37	414	410	1306		364	1338	
	III	20	24 ϕ^D 10.7			8.59	555	462	1836		429	1826	
	IV	22	24 ϕ^D 12.6			11.28	718	518	2550		511	2438	
UHC 700 (130)	I	16	13 ϕ^D 10.7	6	590	4.40	316	413	995	7382	334	1045	605
	II	18	26 ϕ^D 9.0			6.07	437	465	1414		386	1455	
	III	19	26 ϕ^D 10.7			8.21	589	523	1989		454	1988	
	IV	21	26 ϕ^D 12.6			10.81	766	587	2763		539	2660	
UHC 800 (110)	I	19	15 ϕ^D 10.7	6	690	4.91	436	433	1148	7561	448	1198	620
	II	20	15 ϕ^D 12.6			6.62	588	484	1594		515	1628	
	III	22	30 ϕ^D 10.7			9.09	801	550	2295		616	2266	
	IV	24	30 ϕ^D 12.6			11.90	1031	616	3188		735	3019	

续表 A.0.1-3

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 800 (130)	I	18	16 ϕ^D 10.7	6	690	4.59	455	488	1224	8677	477	1283	711
	II	19	16 ϕ^D 12.6			6.20	616	546	1700		547	1746	
	III	21	32 ϕ^D 10.7			8.54	844	620	2448		651	2436	
	IV	23	32 ϕ^D 12.6			11.22	1095	695	3400		775	3254	
UHC 1000 (130)	I	21	32 ϕ^D 9.0	6	880	4.99	834	647	1741	11267	852	1816	924
	II	23	32 ϕ^D 10.7			6.80	1135	727	2448		988	2494	
	III	25	32 ϕ^D 12.6			9.04	1500	816	3400		1162	3360	
	IV	26	32 ϕ^D 14.0	8		10.76	1798	878	4189		1298	4037	

注：1 UHC 管桩 (C105) 的混凝土力学性能指标见表 4.1.2；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7；
3 实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身承载力按规范计算。

表 A.0.1-4 UHC 管桩桩身配筋及相关参数表 (C125)

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 400 (95)	I	12	7 ϕ^D 9.0	4	308	4.42	65	185	381	3294	76	401	237
	II	13	7 ϕ^D 10.7			5.91	89	206	536		86	552	
	III	14	10 ϕ^D 10.7			8.11	122	232	765		100	767	
	IV	15	13 ϕ^D 10.7			10.13	152	254	995		113	969	
UHC 500 (100)	I	14	11 ϕ^D 9.0	5	406	4.87	133	260	598	4548	146	625	327
	II	15	11 ϕ^D 10.7			6.64	182	291	842		166	860	
	III	16	11 ϕ^D 12.6			8.85	242	325	1169		193	1160	
	IV	17	13 ϕ^D 12.6			10.18	277	344	1381		209	1345	
UHC 500 (125)	I	13	12 ϕ^D 9.0	5	406	4.56	137	307	653	5329	153	685	383
	II	14	12 ϕ^D 10.7			6.22	188	343	918		174	943	
	III	15	12 ϕ^D 12.6			8.32	252	383	1275		201	1274	
	IV	16	15 ϕ^D 12.6			10.05	304	413	1594		224	1554	
UHC 600 (110)	I	15	14 ϕ^D 9.0	5	506	4.62	208	342	762	6218	238	799	440
	II	16	14 ϕ^D 10.7			6.31	285	382	1071		271	1099	
	III	18	14 ϕ^D 12.6			8.42	381	427	1488		313	1484	
	IV	19	17 ϕ^D 12.6			9.93	448	456	1806		344	1765	

续表 A.0.1-4

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 600 (130)	I	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.65	229	395	870	6947	255	912	499
	II	16	16 ϕ^D 10.7			6.35	314	441	1224		291	1256	
	III	17	16 ϕ^D 12.6			8.48	420	493	1700		337	1695	
	IV	19	20 ϕ^D 12.6			10.24	505	532	2125		376	2067	
UHC 700 (110)	I	17	12 ϕ^D 10.7	6	590	4.62	301	408	918	7379	350	962	530
	II	18	24 ϕ^D 9.0			6.38	417	457	1306		401	1339	
	III	20	24 ϕ^D 10.7			8.60	561	513	1836		466	1828	
	IV	22	24 ϕ^D 12.6			11.32	732	574	2550		548	2441	
UHC 700 (130)	I	16	13 ϕ^D 10.7	6	590	4.40	317	463	995	8425	373	1046	605
	II	18	26 ϕ^D 9.0			6.08	440	519	1414		426	1456	
	III	19	26 ϕ^D 10.7			8.22	595	582	1989		494	1990	
	IV	21	26 ϕ^D 12.6			10.84	780	650	2763		580	2663	
UHC 800 (110)	I	19	15 ϕ^D 10.7	6	690	4.92	438	484	1148	8629	498	1199	620
	II	20	15 ϕ^D 12.6			6.63	592	539	1594		566	1629	
	III	22	30 ϕ^D 10.7			9.11	812	610	2295		667	2269	
	IV	24	30 ϕ^D 12.6			11.94	1052	682	3188		787	3023	

续表 A.0.1-4

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 800 (130)	I	18	16 ϕ^D 10.7	6	690	4.60	457	548	1224	9903	532	1284	711
	II	19	16 ϕ^D 12.6			6.21	620	609	1700		602	1747	
	III	21	32 ϕ^D 10.7			8.56	854	688	2448		707	2438	
	IV	23	32 ϕ^D 12.6			11.26	1116	770	3400		832	3258	
UHC 1000 (130)	I	21	32 ϕ^P 9.0	6	880	5.00	838	724	1741	12859	947	1817	924
	II	23	32 ϕ^D 10.7			6.81	1145	810	2448		1084	2496	
	III	25	32 ϕ^D 12.6			9.06	1520	905	3400		1259	3363	
	IV	26	32 ϕ^D 14.0	8		10.79	1800	972	4189		1396	4042	

注：1 UHC 管桩（C125）的混凝土力学性能指标见表 4.1.2；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7；
3 实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身承载力按规范计算。

表 A.0.1-5 PST 管桩桩身配筋及相关参数表

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾吊最大长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋直径 (mm)	预应力钢棒分 布圆周直径 D_p (mm)	混凝土有效 预压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身轴心受压承载力 设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组合计算 的抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	理论 重量 (kg/m)
PST 300 (60)	A	11	6 ϕ^D 7.1	4	250	4.61	1543	25	118
	AB	12	6 ϕ^D 7.1			7.03		31	
PST 400 (60)	A	14	7 ϕ^D 9.0	4	340	5.92	2186	58	167
	AB	15	7 ϕ^D 10.7			7.99		69	
PST 500 (65)	A	16	11 ϕ^D 9.0	5	440	6.62	3029	111	231
	AB	18	11 ϕ^D 10.7			8.89		133	
PST 600 (65)	A	22	14 ϕ^D 9.0	4	530	6.82	3726	174	284
	AB	23	14 ϕ^D 10.7			9.15		209	

注：1 表中 PST 管桩的混凝土强度等级为 C60；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7；

表 A.0.1-6 PRC 管桩桩身配筋及相关参数表 (I型)

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	非预应力钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PRC I 400 (95)	AB	13	7 ϕ^D 10.7	7C10	4	308	5.90	116	172	536	2288	72	553	237
	B	14	10 ϕ^D 10.7	10C10			8.09	156	189	765		86	767	
	D	15	10 ϕ^D 12.6	10C10			10.63	188	208	1063		103	1025	
PRC I 500 (100)	AB	15	11 ϕ^D 10.7	11C12	5	406	6.64	258	262	842	3158	142	863	327
	B	16	14 ϕ^D 10.7	14C12			8.22	313	279	1071		161	1076	
	C	17	11 ϕ^D 12.6	11C12			8.83	309	285	1169		168	1161	
	D	18	14 ϕ^D 12.6	14C12			10.79	368	303	1488		192	1436	
PRC I 500 (120)	AB	14	12 ϕ^D 10.7	12C12	5	406	6.23	271	296	918	3701	148	946	372
	B	15	14 ϕ^D 10.7	14C12			7.15	309	308	1071		160	1091	
	C	16	12 ϕ^D 12.6	12C12			8.3	328	323	1275		175	1276	
	D	16	14 ϕ^D 12.6	14C12			9.46	369	337	1488		190	1464	
PRC I 600 (110)	AB	17	14 ϕ^D 10.7	14C12	5	506	6.31	407	336	1071	4255	230	1103	440
	B	17	16 ϕ^D 10.7	16C12			7.11	455	348	1224		246	1248	
	C	18	14 ϕ^D 12.6	14C12			8.41	491	366	1488		272	1486	
	D	19	16 ϕ^D 12.6	16C12			9.42	543	379	1700		292	1675	
PRC I 600 (130)	AB	16	16 ϕ^D 10.7	16C12	5	506	6.36	451	375	1224	4824	247	1260	499
	B	17	18 ϕ^D 10.7	18C12			7.06	498	387	1377		262	1405	
	C	18	16 ϕ^D 12.6	16C12			8.47	544	410	1700		293	1697	
	D	18	18 ϕ^D 12.6	18C12			9.36	596	423	1913		312	1886	

续表 A.0.1-6

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	非预应力钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PRC I 700 (110)	AB	19	18 ϕ^D 10.7	18C12	6	590	6.70	618	448	1377	5124	350	1411	530
	B	20	22 ϕ^D 10.7	22C12			7.99	726	470	1683		388	1697	
	C	21	20 ϕ^D 12.6	20C12			9.72	801	497	2125		439	2084	
	D	22	22 ϕ^D 12.6	22C12			10.51	857	509	2338		463	2267	
PRC I 700 (130)	AB	18	18 ϕ^D 10.7	18C12	6	590	5.94	616	480	1377	5850	356	1425	605
	B	19	22 ϕ^D 10.7	22C12			7.11	728	504	1683		393	1716	
	C	20	20 ϕ^D 12.6	20C12			8.69	809	534	2125		443	2115	
	D	20	22 ϕ^D 12.6	22C12			9.42	870	547	2338		467	2303	
PRC I 800 (110)	B	21	24 ϕ^D 10.7	24C12	6	690	7.52	940	535	1836	5992	519	1862	620
	C	23	24 ϕ^D 12.6	24C12			9.93	1116	579	2550		618	2494	
PRC I 800 (130)	B	20	24 ϕ^D 10.7	24C12	6	690	6.66	945	573	1836	6876	531	1883	711
	C	22	24 ϕ^D 12.6	24C12			8.84	1134	622	2550		629	2532	
PRC I 1000 (130)	B	22	26 ϕ^D 10.7	26C12	6	880	5.65	1360	700	1989	8929	839	2065	924
	C	24	26 ϕ^D 12.6	26C12			7.56	1651	758	2763		984	2792	
PRC I 1200 (150)	A	23	30 ϕ^D 10.7	30C12	6	1060	4.76	1936	893	2295	12434	1303	1936	1286
	AB	25	30 ϕ^D 12.6	30C12			6.40	2374	968	3188		1511	2374	

注：1 PRC 管桩的混凝土强度等级为 C80；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7；
3 实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身承载力按规范计算。

表 A.0.1-7 PRC 管桩桩身配筋及相关参数表（II型）

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	非预应力钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PRC II 400 (95)	AB	13	7 ϕ^D 10.7	4C10	4	308	5.89	112	172	536	2288	72	552	237
	B	14	10 ϕ^D 10.7	5C10			8.07	147	189	765		86	766	
	D	15	10 ϕ^D 12.6	5C10			10.63	188	207	1063		103	1025	
PRC II 500 (100)	AB	15	11 ϕ^D 10.7	6C12	5	406	6.62	225	262	842	3158	142	860	327
	B	16	14 ϕ^D 10.7	7C12			8.17	270	278	1071		160	1071	
	C	17	11 ϕ^D 12.6	7C14			8.82	300	285	1169		168	1160	
	D	18	14 ϕ^D 12.6	7C14			10.75	344	303	1488		192	1432	
PRC II 500 (120)	AB	14	12 ϕ^D 10.7	6C12	5	406	6.21	232	296	918	3701	148	942	372
	B	15	14 ϕ^D 10.7	7C12			7.12	265	308	1071		159	1086	
	C	16	12 ϕ^D 12.6	6C14			8.28	305	323	1275		174	1272	
	D	16	14 ϕ^D 12.6	7C14			9.44	343	336	1488		190	1460	
PRC II 600 (110)	AB	17	14 ϕ^D 10.7	7C12	5	506	6.29	350	336	1071	4255	230	1098	440
	B	17	16 ϕ^D 10.7	8C12			7.08	392	347	1224		245	1242	
	C	18	14 ϕ^D 12.6	7C14			8.38	457	365	1488		271	1482	
	D	19	16 ϕ^D 12.6	8C14			9.39	506	379	1700		292	1670	
PRC II 600 (130)	AB	16	16 ϕ^D 10.7	8C12	5	506	6.33	386	375	1224	4824	247	1254	499
	B	17	18 ϕ^D 10.7	8C12			7.03	419	386	1377		262	1397	
	C	18	16 ϕ^D 12.6	8C14			8.44	506	409	1700		292	1693	
	D	18	18 ϕ^D 12.6	9C14			9.33	554	423	1913		312	1880	

续表 A.0.1-7

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	两端勾 吊最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	非预应力钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PRC I 700 (110)	AB	19	18 $\phi^{D10.7}$	9C12	6	590	6.67	533	447	1377	5124	349	1405	530
	B	20	22 $\phi^{D10.7}$	11C12			7.95	628	469	1683		386	1688	
	C	21	20 $\phi^{D12.6}$	10C12			9.69	748	497	2125		438	2078	
	D	22	22 $\phi^{D12.6}$	11C12			10.48	800	508	2338		462	2259	
PRC I 700 (130)	AB	18	18 $\phi^{D10.7}$	9C12	6	590	5.92	528	479	1377	5850	355	1419	605
	B	19	22 $\phi^{D10.7}$	11C12			7.08	627	503	1683		392	1708	
	C	20	20 $\phi^{D12.6}$	10C14			8.66	754	533	2125		443	2109	
	D	20	22 $\phi^{D12.6}$	11C14			9.39	811	546	2338		466	2296	
PRC I 800 (110)	B	21	24 $\phi^{D10.7}$	12C12	6	690	7.50	859	534	1836	5992	518	1856	620
	C	23	24 $\phi^{D12.6}$	12C14			9.90	1042	578	2550		617	2486	
PRC I 800 (130)	B	20	24 $\phi^{D10.7}$	12C12	6	690	6.63	812	572	1836	6876	529	1874	711
	C	22	24 $\phi^{D12.6}$	12C14			8.82	1057	621	2550		628	2526	
PRC I 1000 (130)	B	22	26 $\phi^{D10.7}$	13C12	6	880	5.63	1167	699	1989	8929	838	2057	924
	C	24	26 $\phi^{D12.6}$	13C14			7.54	1537	758	2763		983	2785	
PRC I 1200 (150)	A	23	30 $\phi^{D10.7}$	15C12	6	1060	4.74	1655	893	2295	12434	1301	2401	1286
	AB	25	30 $\phi^{D12.6}$	15C14			6.39	2207	967	3188		1510	3264	

注：1 PRC 管桩的混凝土强度等级为 C80；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7；
3 实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身承载力按规范计算。

表 A.0.1-8 SC 管桩桩身配筋及相关参数表

公称 直径 (mm)	外径 d (mm)	钢管厚度 t_s (mm)	桩壁厚 t (mm)	最大 单节 长度 L (m)	桩身极限弯矩设计值 M_u (kN·m)		桩身轴向承载力设计值 (未考虑压屈影响) R_p (kN)	
					I型	II型	I型	II型
400	396	6	90	15	291	373	3796	4182
		7			333	426	3954	4403
		8			374	478	4112	4624
		9			413	529	4269	4843
		10			452	579	4425	5062
500	496	6	100	15	465	596	5282	5767
		7			532	682	5482	6046
		8			598	766	5681	6325
		9			662	848	5880	6602
		10			725	928	6077	6879
		12			847	1085	6470	7428
		14			966	1237	6859	7972
600	596	6	110	15	680	874	6953	7537
		7			780	1000	7194	7874
		8			877	1124	7435	8211
		9			972	1245	7675	8546
		10			1065	1363	7914	8880
		12			1246	1595	8389	9545
		14			1421	1820	8861	10205
		16			1592	2040	9330	10861
800	796	6	110	39	1223	1571	9708	10490
		7			1403	1800	10032	10943
		8			1579	2024	10356	11395
		9			1751	2243	10678	11846
		10			1920	2458	11000	12296
		12			2248	2877	11641	13193
		14			2566	3286	12279	14085
		16			2877	3685	12913	14972
		18			3180	4078	13545	15854

续表 A.0.1-8

公称 直径 (mm)	外径 d (mm)	钢管厚度 t_s (mm)	桩壁厚 t (mm)	最大 单节 长度 L (m)	桩身极限弯矩设计值 M_u (kN·m)		桩身轴向承载力设计值 (未考虑压屈影响) R_p (kN)	
					I型	II型	I型	II型
1000	996	8	130	39	2524	3238	14828	16132
		9			2802	3592	15233	16698
		10			3074	3939	15638	17264
		12			3605	4616	16445	18392
		14			4121	5275	17248	19516
		16			4623	5918	18048	20635
		18			5114	6550	18845	21749
		20			5596	7171	19639	22858
1200	1196	8	150	39	3697	4751	20039	21607
		9			4109	5274	20528	22289
		10			4512	5787	21015	22971
		12			5299	6788	21987	24331
		14			6063	7762	22957	25686
		16			6808	8714	23922	27036
		18			7536	9647	24885	28382
		20			8250	10564	25844	29723

注：1 SC 管桩的混凝土强度等级为 C80；
2 钢管采用 Q235B 的为I型，钢管采用 Q345B 的为II型；
3 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7。

A.0.2 方桩桩身结构形式、配筋及相关参数应符合下列规定。

1 预应力混凝土实心方桩、预应力高强混凝土实心方桩的结构形式（图 A.0.2-1）。

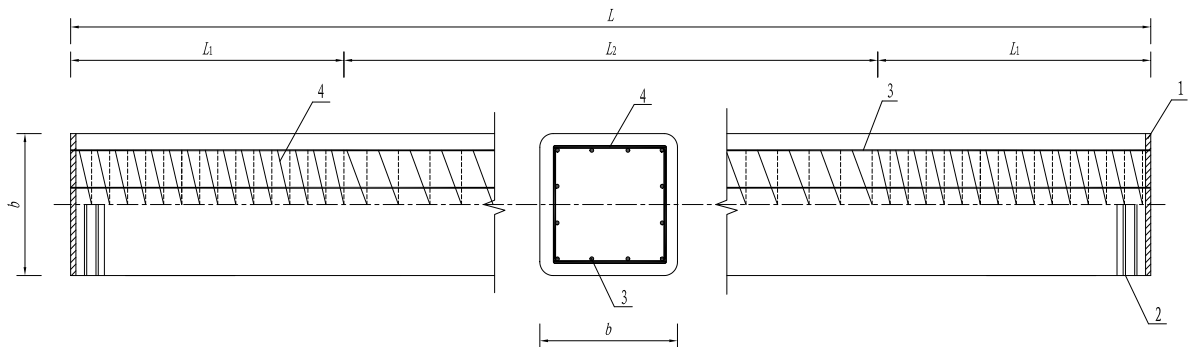


图 A.0.2-1 方桩（预应力混凝土实心方桩、预应力高强混凝土实心方桩）结构形式示意图

L —桩长； L_1 —箍筋加密区长度； L_2 —箍筋非加密区长度； b —边长；

1—端板；2—桩套筒；3—预应力钢棒；4—箍筋

2 预应力混凝土空心方桩、预应力高强混凝土空心方桩、预应力超高强混凝土空心方桩、薄壁混凝土空心方桩的结构形式（图 A.0.2-2）

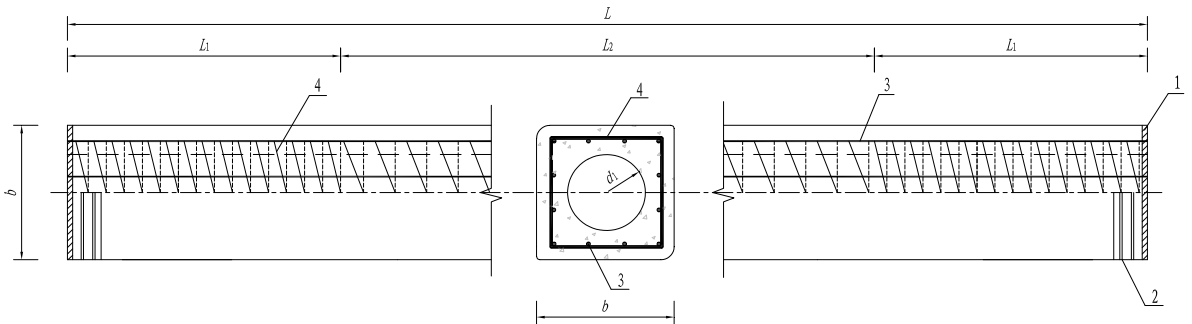


图 A.0.2-2 方桩（预应力混凝土空心方桩、预应力高强混凝土空心方桩、预应力超高强混凝土空心方桩、薄壁混凝土空心方桩）结构形式示意图

L —桩长； L_1 —箍筋加密区长度； L_2 —箍筋非加密区长度； b —边长； d_1 —内径；

1—端板；2—桩套筒；3—预应力钢棒；4—箍筋

3 箍筋加密区长度可取 $4b$ ，且不应小于 2000 mm，加密区箍筋净间距为 50 mm，非加密区箍筋净间距为 80mm。

4 采用机械连接时，应根据机械连接方式调整端板设置。

5 推荐桩型桩身配筋及相关参数应按表 A.0.2-1~表 A.0.2-6 取值。

表 A.0.2-1 YZS 实心方桩桩身配筋及力学性能参数表

规格 (代号-边长)	单节 长度 $L(\text{m})$	型 号	配筋规 格	螺旋 筋规 格	混凝土 有效预 应力 $\sigma_{\text{pc}}(\text{MPa})$	抗弯性能			抗压性能 抗压承载 力设计值 R_p (kN)	抗拉性能			抗剪性能 抗剪承载 力设计值 $Q(\text{kN})$	理论 质量 (kg/m)
						抗裂弯矩 $M_{\text{cr}}(\text{kN}\cdot\text{m})$	抗弯承载 力设计值 $M(\text{kN}\cdot\text{m})$	抗弯承载 力极限值 $M_u(\text{kN}\cdot\text{m})$		抗拉标准值 (一级裂缝 控制) N_{pc} (kN)	抗拉标准值 (二级裂缝 控制) N_{pc} (kN)	抗拉承 载力设 计值 N_{pj} (kN)		
YZH 300	≤ 15	A	8A9.0	4	4.81	42	56	70	1600	444	707	461	117	234
		B	8A10.7		6.62	50	79	99	1596	617	883	648	125	
		C	8A12.6		8.79	59	104	129	1591	832	1101	900	135	
YZH 350	≤ 15	A	8A9.5	4	3.57	57	69	86	2181	446	802	461	150	318
		B	8A10.7		4.96	67	97	121	2177	624	982	648	158	
		C	8A12.6		6.74	80	134	168	2172	857	1218	900	169	
YZH 400	≤ 18	A	12A9.0	4	4.10	91	123	154	2846	671	1136	691	197	416
		B	12A10.7		5.66	108	172	215	2841	934	1403	972	210	
		C	12A12.6		7.68	129	221	277	2833	1281	1757	1350	226	
YZH 450	≤ 18	A	12A10.7	5	4.53	134	200	250	3600	941	1531	972	275	526
		B	12A12.6		6.18	159	268	335	3593	1293	1890	1350	291	
		C	16A12.6		7.92	185	328	410	3584	1676	2279	1800	308	
YZH 500	≤ 20	A	16A10.7	5	4.88	188	299	374	4443	1253	1983	1296	338	650
		B	16A12.6		6.64	225	392	490	4433	1721	2459	1800	360	
		C	20A12.6		8.01	253	455	569	4424	2094	2839	2250	377	
YZH 550	≤ 20	A	16A10.7	6	4.08	225	338	423	5381	1259	2142	1296	427	786
		B	16A12.6		5.56	267	449	561	5371	1733	2621	1800	449	
		C	20A12.6		6.75	300	531	663	5363	2118	3012	2250	467	

续表 A.0.2-1

规格 (代号-边长)	单节 长度 $L(\text{m})$	型 号	配筋规 格	螺旋 筋规 格	混凝土 有效预 应力 $\sigma_{\text{pe}}(\text{MPa})$	抗弯性能			抗压性能	抗拉性能			抗剪性能	理论 质量 (kg/m)
						抗裂弯矩 $M_{\text{cr}}(\text{kN}\cdot\text{m})$	抗弯承载 力设计值 $M(\text{kN}\cdot\text{m})$	抗弯承载 力极限值 $M_u(\text{kN}\cdot\text{m})$		抗拉标准值 (一级裂缝 控制) N_{pc} (kN)	抗拉标准值 (二级裂缝 控制) N_{pc} (kN)	抗拉承 载力设 计值 N_{pj} (kN)	抗剪承载 力设计值 $Q(\text{kN})$	
YZH 600	≤ 22	A	20A10.7	6	4.27	297	460	575	6403	1574	2622	1620	503	936
		B	20A12.6		5.83	353	608	760	6390	2165	3224	2250	531	
		C	24A12.6		6.80	388	695	869	6381	2540	3605	2700	548	
YZH 650	≤ 22	A	24A10.7	6	4.32	377	596	745	7514	1869	3101	1944	583	1098
		B	24A12.6		5.87	448	783	979	7499	2561	3804	2700	615	
		C	28A12.6		6.76	488	882	1102	7490	2964	4214	3150	633	
YZH 700	≤ 24	A	28A10.7	6	4.35	469	750	937	8714	2180	3609	2268	668	1274
		B	28A12.6		5.90	558	985	1231	8696	2987	4429	3150	705	
		C	32A12.6		6.67	601	1091	1364	8687	3390	4839	3600	724	

注：1 YZH 实心方桩的混凝土强度等级为 C60；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.65；

表 A.0.2-2 GYZS 实心方桩桩身配筋及力学性能参数表

规格 (代号-边长)	单节 长度 <i>L</i> (m)	型 号	配筋规 格	螺旋 筋规 格	混凝土 有效预 应力 σ_{pc} (MPa)	抗弯性能			抗压性能	抗拉性能			抗剪性能	理论质 量 (kg/m)
						抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	抗弯承载力设计值 M (kN·m)	抗弯承载力极限值 M_u (kN·m)	抗压承载力设计值 R_p (kN)	抗拉标准值 (一级裂缝控制) N_{pc} (kN)	抗拉标准值 (二级裂缝控制) N_{pc} (kN)	抗拉承载力设计值 N_{pj} (kN)	抗剪承载力设计值 Q (kN)	
GYZH 300	≤15	A	8A9.0	4	4.84	43	56	70	2088	446	733	461	124	234
		B	8A10.7		6.67	52	79	99	2083	620	910	648	132	
		C	8A12.6		9.01	62	110	138	2077	849	1142	900	142	
GYZH 350	≤15	A	8A9.5	4	3.61	60	69	86	2847	450	837	461	159	318
		B	8A10.7		4.99	70	97	122	2842	627	1017	648	167	
		C	8A12.6		6.79	83	135	169	2835	861	1255	900	178	
GYZH 400	≤18	A	12A9.0	4	4.12	95	123	154	3716	672	1180	691	209	416
		B	12A10.7		5.69	112	173	216	3708	936	1448	972	221	
		C	12A12.6		7.72	134	234	292	3699	1284	1801	1350	237	
GYZH 450	≤18	A	12A10.7	5	4.55	140	200	250	4700	943	1587	972	289	526
		B	12A12.6		6.20	165	277	346	4690	1296	1946	1350	306	
		C	16A12.6		8.09	194	348	435	4679	1708	2364	1800	325	
GYZH 500	≤20	A	16A10.7	5	4.90	196	302	378	5800	1254	2051	1296	357	650
		B	16A12.6		6.67	233	406	508	5787	1723	2527	1800	378	
		C	20A12.6		8.19	265	484	605	5775	2134	2944	2250	397	
GYZH 550	≤20	A	16A10.7	6	4.09	236	338	423	7025	1261	2221	1296	449	786
		B	16A12.6		5.58	277	463	578	7012	1735	2702	1800	472	
		C	20A12.6		6.87	313	557	696	7001	2151	3125	2250	491	

续表 A.0.2-2

规格 (代号-边长)	单节 长度 $L(\text{m})$	型 号	配筋规 格	螺旋 筋规 格	混凝土 有效预 应力 $\sigma_{\text{pc}}(\text{MPa})$	抗弯性能			抗压性能 抗压承载 力设计值 $R_p(\text{kN})$	抗拉性能			抗剪性能 抗剪承载 力设计值 $Q(\text{kN})$	理论质 量 (kg/m)
						抗裂弯矩 $M_{\text{cr}}(\text{kN}\cdot\text{m})$	抗弯承载 力设计值 $M(\text{kN}\cdot\text{m})$	抗弯承载 力极限值 $M_u(\text{kN}\cdot\text{m})$		抗拉标准值 (一级裂缝 控制) N_{pc} (kN)	抗拉标准值 (二级裂缝 控制) N_{pc} (kN)	抗拉承 载力设 计值 N_{pj} (kN)		
GYZH 600	≤ 22	A	20A10.7	6	4.28	310	468	585	8359	1574	2718	1620	530	936
		B	20A12.6		5.84	366	628	785	8342	2165	3318	2250	557	
		C	24A12.6		6.92	405	730	912	8331	2581	3740	2700	577	
GYZH 650	≤ 22	A	24A10.7	6	4.37	395	613	766	9809	1888	3231	1944	615	1098
		B	24A12.6		5.96	468	815	1019	9789	2596	3950	2700	648	
		C	28A12.6		6.88	510	925	1157	9777	3012	4372	3150	667	
GYZH 700	≤ 24	A	28A10.7	6	4.40	492	771	964	11375	2202	3760	2268	705	1274
		B	28A12.6		6.00	583	1025	1282	11352	3028	4599	3150	744	
		C	32A12.6		6.79	628	1145	1431	11341	3444	5021	3600	763	

注：1 GYZH 实心方桩的混凝土强度等级为 C80；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.65。

表 A.0.2-3 PS 空心方桩桩身配筋及力学性能参数表

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 (kN·m)	受弯承载 力设计值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHS-200-80	A	8	4A ^D 7.1	4	3.59	10	12	816	144	46	128	91
	AB	9	4A ^D 9.0		5.60	13	19		230	50	202	
PHS-250-110	A	8	4A ^D 7.1	4	2.40	17	17	1237	144	66	129	138
	AB	9	4A ^D 9.0		3.78	21	27		230	70	204	
PHS-300-140	A	10	8A ^D 7.1	4	3.37	34	44	1741	288	96	256	194
	AB	11	8A ^D 9.0		5.27	43	70		461	103	405	
	B	12	8A ^D 10.7		7.23	52	99		648	111	562	
	C	13	8A ^D 12.6		9.72	64	138		900	121	767	
PHS-300-170	A	10	8A ^D 7.1	4	3.72	34	44	1570	288	85	256	175
	AB	11	8A ^D 9.0		5.80	44	70		461	92	403	
	B	13	8A ^D 10.7		7.94	54	99		648	100	559	
	C	14	8A ^D 12.6		10.65	67	138		900	110	762	
PHS-350-135	A	9	8A ^D 7.1	4	2.35	47	54	2525	288	138	258	281
	AB	10	8A ^D 9.0		3.71	57	86		461	146	409	
	B	11	8A ^D 10.7		5.12	68	122		648	154	570	
	C	12	8A ^D 12.6		6.95	82	169		900	164	781	
PHS-350-190	A	10	8A ^D 7.1	4	2.69	47	54	2197	288	114	257	245
	AB	11	8A ^D 9.0		4.23	59	86		461	122	408	
	B	12	8A ^D 10.7		5.83	70	122		648	130	567	
	C	13	8A ^D 12.6		7.89	86	169		900	140	776	
PHS-350-210	A	10	8A ^D 7.1	4	2.88	47	54	2050	288	105	257	228
	AB	12	8A ^D 9.0		4.52	59	86		461	113	407	

续表 A.0.2-3

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预压 应力 σ_{pe} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHS-400-190	A	10	8A ^D 9.0	4	2.85	76	102	3321	461	186	411	370
	AB	11	8A ^D 10.7		3.95	88	144		648	194	574	
	B	12	12A ^D 10.7		5.79	109	216		972	208	851	
	C	14	12A ^D 12.6		7.83	134	294		1350	224	1165	
PHS-400-240	A	12	8A ^D 9.0	4	3.50	77	102	2678	461	141	410	298
	AB	13	8A ^D 10.7		4.84	92	144		648	149	571	
	B	14	12A ^D 10.7		7.06	116	216		972	162	843	
	C	16	12A ^D 12.6		9.51	143	294		1350	178	1152	
PHS-400-270	A	11	8A ^D 7.1	4	2.48	63	64	2398	288	118	258	267
	AB	12	8A ^D 9.0		3.89	77	102		461	125	408	
PHS-450-160	A	11	12A ^D 9.0	5	3.31	116	178	4256	691	257	615	474
	AB	12	12A ^D 10.7		4.59	136	250		972	269	858	
	B	13	12A ^D 12.6		6.24	164	347		1350	285	1178	
	C	15	16A ^D 12.6		8.12	196	436		1800	304	1550	
PHS-450-260	A	13	12A ^D 9.0	5	4.01	119	178	3486	691	199	612	388
	AB	14	12A ^D 10.7		5.53	143	250		972	211	852	
	B	15	12A ^D 12.6		7.49	174	347		1350	227	1168	
	C	17	16A ^D 12.6		9.71	210	437		1800	245	1533	
PHS-450-300	A	12	12A ^D 7.1	5	2.88	97	111	3076	432	165	386	343
	AB	14	12A ^D 9.0		4.52	120	178		691	176	610	
PHS-500-210	A	12	12A ^D 9.0	5	2.82	146	202	5026	691	288	617	560
	AB	13	12A ^D 10.7		3.92	171	284		972	300	862	
	B	14	12A ^D 12.6		5.34	203	394		1350	317	1185	
	C	15	16A ^D 12.6		6.98	240	509		1800	336	1562	

续表 A.0.2-3

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHS-500-310	A	13	12A ^D 9.0	5	3.46	149	202	4072	691	223	615	454
	AB	14	12A ^D 10.7		4.78	176	284		972	235	856	
	B	16	12A ^D 12.6		6.50	212	394		1350	251	1176	
	C	17	16A ^D 12.6		8.45	254	510		1800	270	1547	
PHS-500-350	A	13	12A ^D 7.1	5	2.48	121	126	3589	432	186	387	400
	AB	14	12A ^D 9.0		3.90	148	202		691	197	613	
PHS-550-250	A	13	16A ^D 9.0	5	3.18	204	301	5913	922	337	821	659
	AB	14	16A ^D 10.7		4.41	240	423		1296	354	1145	
	B	15	16A ^D 12.6		6.00	288	580		1800	375	1573	
	C	16	20A ^D 12.6		7.38	330	697		2250	394	1948	
PHS-550-350	A	14	16A ^D 9.0	5	3.88	207	301	4814	922	265	817	536
	AB	15	16A ^D 10.7		5.35	247	423		1296	281	1137	
	B	17	16A ^D 12.6		7.26	301	581		1800	302	1559	
	C	18	20A ^D 12.6		8.89	347	697		2250	321	1928	
PHS-550-400	A	14	16A ^D 7.1	5	2.86	166	188	4126	576	214	514	460
	AB	15	16A ^D 9.0		4.49	206	301		922	229	814	
PHS-600-300	A	14	20A ^D 9.0	6	3.47	272	416	6751	1152	381	1024	752
	AB	15	20A ^D 10.7		4.81	323	585		1620	401	1427	
	B	16	20A ^D 12.6		6.53	390	786		2250	427	1959	
	C	17	24A ^D 12.6		7.72	436	912		2700	446	2332	
PHS-600-400	A	15	20A ^D 9.0	6	4.25	276	416	5468	1152	301	1019	609
	AB	17	20A ^D 10.7		5.86	332	585		1620	321	1417	
	B	18	20A ^D 12.6		7.92	405	787		2250	347	1940	
	C	20	24A ^D 12.6		9.33	457	912		2700	366	2306	

续表 A.0.2-3

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHS-600-450	A	15	20A ^D 7.1	6	3.14	219	260	4689	720	243	642	522
	AB	17	20A ^D 9.0	6	4.91	275	416		1152	262	1014	
PHS-650-350	A	15	24A ^D 9.0	6	3.69	352	547	7614	1382	446	1227	848
	AB	16	24A ^D 10.7	6	5.09	419	768		1944	470	1709	
	B	18	24A ^D 12.6	6	6.91	507	1019		2700	501	2345	
	C	18	28A ^D 12.6	6	7.96	559	1155		3150	520	2716	
PHS-650-450	A	16	24A ^D 9.0	6	4.52	355	547	6148	1382	359	1220	685
	AB	18	24A ^D 10.7	6	6.22	429	769		1944	383	1696	
	B	20	24A ^D 12.6	6	8.40	526	1020		2700	414	2321	
	C	21	28A ^D 12.6	6	9.64	583	1156		3150	433	2685	
PHS-700-400	A	16	28A ^D 9.0	6	3.84	442	694	8502	1613	492	1430	947
	AB	17	28A ^D 10.7	6	5.31	528	966		2268	520	1991	
	B	19	28A ^D 12.6	6	7.20	642	1281		3150	557	2730	
PHS-700-500	A	17	28A ^D 9.0	6	4.72	444	694	6852	1613	399	1422	763
	AB	19	28A ^D 10.7	6	6.49	539	966		2268	426	1975	
	B	21	28A ^D 12.6	6	8.75	663	1282		3150	463	2701	

注：1 PS 空心方桩的混凝土强度等级为 C60；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.65。

表 A.0.2-4 UHS 空心方桩桩身配筋及力学性能参数表(C105)

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值 (未 考虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHS-200-80	A	8	4A ^D 7.1	4	3.61	12	12	1030	144	53	129	91
	AB	9	4A ^D 9.0		5.66	14	19		230	56	204	
UHS-250-110	A	9	4A ^D 7.1	4	2.41	19	17	1560	144	76	130	138
	AB	9	4A ^D 9.0		3.81	23	27		230	80	206	
UHS-300-140	A	10	8A ^D 7.1	4	3.40	38	44	2197	288	110	258	194
	AB	11	8A ^D 9.0		5.33	47	70		461	118	409	
	B	12	8A ^D 10.7		7.34	56	99		648	126	569	
	C	14	8A ^D 12.6		9.92	69	138		900	136	780	
UHS-300-170	A	11	8A ^D 7.1	4	3.75	38	44	1982	288	97	257	175
	AB	12	8A ^D 9.0		5.87	48	70		461	105	407	
	B	13	8A ^D 10.7		8.07	58	99		648	113	567	
	C	15	8A ^D 12.6		10.88	71	138		900	123	777	
UHS-350-135	A	10	8A ^D 7.1	4	2.37	53	54	3186	288	161	259	281
	AB	11	8A ^D 9.0		3.73	63	86		461	169	412	
	B	12	8A ^D 10.7		5.17	75	122		648	177	575	
	C	13	8A ^D 12.6		7.05	89	169		900	187	791	
UHS-350-190	A	11	8A ^D 7.1	4	2.71	53	54	2772	288	132	259	245
	AB	12	8A ^D 9.0		4.27	65	86		461	139	411	
	B	13	8A ^D 10.7		5.90	77	122		648	148	573	
	C	14	8A ^D 12.6		8.02	93	169		900	158	788	
UHS-350-210	A	11	8A ^D 7.1	4	2.90	53	54	2587	288	121	258	228
	AB	12	8A ^D 9.0		4.56	65	86		461	129	410	
UHS-400-190	A	11	8A ^D 9.0	4	2.86	85	102	4191	461	217	413	370
	AB	12	8A ^D 10.7		3.98	98	144		648	225	578	
	B	13	12A ^D 10.7		5.86	119	216		972	239	859	
	C	14	12A ^D 12.6		7.96	144	300		1350	255	1182	

续表 A.0.2-4

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 M_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHS-400-240	A	12	8A ^D 9.0	4	3.53	86	102	3379	461	162	412	298
	AB	13	8A ^D 10.7		4.89	101	144		648	170	576	
	B	15	12A ^D 10.7		7.17	125	216		972	184	854	
	C	17	12A ^D 12.6		9.70	154	300		1350	200	1172	
UHS-400-270	A	12	8A ^D 7.1	4	2.49	72	64	3025	288	136	259	267
	AB	13	8A ^D 9.0		3.92	86	102		461	143	411	
UHS-450-160	A	12	12A ^D 9.0	5	3.34	129	178	5371	691	298	619	474
	AB	13	12A ^D 10.7		4.63	150	250		972	310	865	
	B	14	12A ^D 12.6		6.32	179	347		1350	326	1191	
	C	15	16A ^D 12.6		8.26	212	453		1800	345	1573	
UHS-450-260	A	13	12A ^D 9.0	5	4.04	132	178	4399	691	228	617	388
	AB	15	12A ^D 10.7		5.60	156	250		972	240	861	
	B	16	12A ^D 12.6		7.61	188	347		1350	256	1184	
	C	18	16A ^D 12.6		9.91	225	454		1800	275	1561	
UHS-450-300	A	13	12A ^D 7.1	5	2.90	108	111	3881	432	188	388	343
	AB	14	12A ^D 9.0		4.56	132	178		691	200	615	
UHS-500-210	A	13	12A ^D 9.0	5	2.84	165	202	6341	691	334	620	560
	AB	13	12A ^D 10.7		3.95	189	284		972	347	868	
	B	15	12A ^D 12.6		5.40	222	394		1350	363	1196	
	C	16	16A ^D 12.6		7.08	260	525		1800	382	1582	

续表 A.0.2-4

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHS-500-310	A	14	12A ^D 9.0	5	3.48	166	202	5139	691	256	618	454
	AB	15	12A ^D 10.7		4.83	194	284		972	268	864	
	B	17	12A ^D 12.6		6.59	230	394		1350	284	1189	
	C	18	16A ^D 12.6		8.60	273	525		1800	304	1571	
UHS-500-350	A	14	12A ^D 7.1	5	2.49	137	126	4528	432	213	388	400
	AB	15	12A ^D 9.0		3.93	164	202		691	225	617	
UHS-550-250	A	14	16A ^D 9.0	5	3.21	228	301	7462	922	391	826	659
	AB	15	16A ^D 10.7		4.45	265	423		1296	407	1154	
	B	16	16A ^D 12.6		6.08	314	588		1800	429	1590	
	C	17	20A ^D 12.6		7.49	357	719		2250	448	1974	
UHS-550-350	A	15	16A ^D 9.0	5	3.91	230	301	6074	922	304	823	536
	AB	17	16A ^D 10.7		5.41	271	423		1296	320	1148	
	B	18	16A ^D 12.6		7.37	325	588		1800	342	1580	
	C	19	20A ^D 12.6		9.05	373	719		2250	361	1959	
UHS-550-400	A	15	16A ^D 7.1	5	2.88	187	188	5207	576	245	517	460
	AB	17	16A ^D 9.0		4.53	228	301		922	260	820	
UHS-600-300	A	15	20A ^D 9.0	5	3.50	304	416	8519	1152	440	1030	752
	AB	16	20A ^D 10.7		4.85	355	585		1620	460	1440	
	B	17	20A ^D 12.6		6.62	423	807		2250	488	1982	
	C	18	24A ^D 12.6		7.84	471	941		2700	507	2365	

续表 A.0.2-4

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHS-600-400	A	16	20A ^D 9.0	5	4.29	305	416	6900	1152	345	1027	609
	AB	18	20A ^D 10.7	5	5.93	362	585		1620	365	1432	
	B	20	20A ^D 12.6	5	8.05	438	807		2250	392	1968	
	C	21	24A ^D 12.6	5	9.51	491	942		2700	410	2346	
UHS-600-450	A	16	20A ^D 7.1	5	3.16	245	260	5917	720	278	645	522
	AB	18	20A ^D 9.0	5	4.96	302	416		1152	297	1023	
UHS-650-350	A	16	24A ^D 9.0	6	3.71	391	547	9608	1382	511	1235	848
	AB	17	24A ^D 10.7	6	5.15	459	770		1944	536	1725	
	B	19	24A ^D 12.6	6	7.01	550	1047		2700	568	2374	
	C	19	28A ^D 12.6	6	8.09	604	1192		3150	587	2755	
UHS-650-450	A	17	24A ^D 9.0	6	4.56	391	547	7757	1382	407	1230	685
	AB	19	24A ^D 10.7	6	6.30	467	770		1944	432	1715	
	B	21	24A ^D 12.6	6	8.55	567	1047		2700	464	2356	
	C	22	28A ^D 12.6	6	9.84	625	1193		3150	482	2732	
UHS-700-400	A	17	28A ^D 9.0	6	3.87	491	694	10728	1613	564	1440	947
	AB	18	28A ^D 10.7	6	5.37	579	977		2268	593	2010	
	B	20	28A ^D 12.6	6	7.31	695	1316		3150	630	2766	
UHS-700-500	A	18	28A ^D 9.0	6	4.76	489	694	8647	1613	452	1434	763
	AB	20	28A ^D 10.7	6	6.58	585	977		2268	480	1998	
	B	22	28A ^D 12.6	6	8.91	713	1316		3150	517	2744	

注：1 UHS 空心方桩（C105）的混凝土力学性能指标见表 4.1.2；

2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.65。

表 A.0.2-5 UHS 空心方桩桩身配筋及力学性能参数表(C125)

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值（未 考虑压屈影 响） R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHS-200-80	A	9	4A ^D 7.1	4	3.63	13	12	1175	144	60	129	91
	AB	10	4A ^D 9.0	4	5.70	16	19		230	64	205	
UHS-250-110	A	9	4A ^D 7.1	4	2.42	22	17	1781	144	87	130	138
	AB	10	4A ^D 9.0	4	3.82	26	27		230	91	206	
UHS-300-140	A	11	8A ^D 7.1	4	3.41	42	44	2507	288	126	259	194
	AB	12	8A ^D 9.0	4	5.36	51	70		461	134	410	
	B	13	8A ^D 10.7	4	7.39	61	99		648	142	573	
	C	14	8A ^D 12.6	4	10.02	74	138		900	153	787	
UHS-300-170	A	11	8A ^D 7.1	4	3.77	42	44	2262	288	111	258	175
	AB	13	8A ^D 9.0	4	5.91	52	70		461	118	410	
	B	14	8A ^D 10.7	4	8.14	62	99		648	126	571	
	C	15	8A ^D 12.6	4	11.01	76	138		900	137	784	
UHS-350-135	A	11	8A ^D 7.1	4	2.37	60	54	3636	288	186	260	281
	AB	12	8A ^D 9.0	4	3.75	70	86		461	194	413	
	B	12	8A ^D 10.7	4	5.20	82	122		648	202	578	
	C	14	8A ^D 12.6	4	7.10	97	169		900	213	796	
UHS-350-190	A	11	8A ^D 7.1	4	2.72	60	54	3164	288	152	259	245
	AB	12	8A ^D 9.0	4	4.29	72	86		461	159	412	
	B	14	8A ^D 10.7	4	5.94	84	122		648	167	576	
	C	15	8A ^D 12.6	4	8.09	100	169		900	178	793	
UHS-350-210	A	12	8A ^D 7.1	4	2.91	60	54	2953	288	139	259	228
	AB	13	8A ^D 9.0	4	4.58	72	86		461	147	412	
UHS-400-190	A	12	8A ^D 9.0	4	2.87	95	102	4783	461	251	415	370
	AB	12	8A ^D 10.7	4	4.00	108	144		648	259	580	
	B	14	12A ^D 10.7	4	5.89	130	216		972	273	864	
	C	15	12A ^D 12.6	4	8.03	156	300		1350	290	1190	

续表 A.0.2-5

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 M_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHS-400-240	A	13	8A ^D 9.0	4	3.54	96	102	3857	461	185	413	298
	AB	14	8A ^D 10.7	4	4.92	111	144		648	194	578	
	B	16	12A ^D 10.7	4	7.22	136	216		972	208	860	
	C	17	12A ^D 12.6	4	9.79	164	300		1350	224	1182	
UHS-400-270	A	13	8A ^D 7.1	4	2.49	81	64	3453	288	156	259	267
	AB	14	8A ^D 9.0	4	3.94	95	102		461	163	413	
UHS-450-160	A	13	12A ^D 9.0	5	3.35	144	178	6129	691	342	621	474
	AB	14	12A ^D 10.7	5	4.65	165	250		972	355	868	
	B	15	12A ^D 12.6	5	6.36	194	347		1350	371	1198	
	C	16	16A ^D 12.6	5	8.33	228	461		1800	391	1585	
UHS-450-260	A	14	12A ^D 9.0	5	4.06	146	178	5021	691	259	619	388
	AB	15	12A ^D 10.7	5	5.63	171	250		972	272	865	
	B	17	12A ^D 12.6	5	7.67	203	347		1350	288	1192	
	C	18	16A ^D 12.6	5	10.01	241	461		1800	307	1575	
UHS-450-300	A	14	12A ^D 7.1	5	2.91	122	111	4430	432	215	389	343
	AB	15	12A ^D 9.0	5	4.58	146	178		691	226	618	
UHS-500-210	A	13	12A ^D 9.0	5	2.85	185	202	7237	691	385	622	560
	AB	14	12A ^D 10.7	5	3.96	210	284		972	398	871	
	B	15	12A ^D 12.6	5	5.43	243	394		1350	414	1202	
	C	16	16A ^D 12.6	5	7.13	282	525		1800	434	1592	

续表 A.0.2-5

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载 力检验值 (kN·m)	桩身受压承载 力设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设 计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHS-500-310	A	15	12A ^D 9.0	5	3.49	185	202	5865	691	292	620	454
	AB	16	12A ^D 10.7	5	4.85	213	284		972	304	868	
	B	17	12A ^D 12.6	5	6.63	250	394		1350	321	1197	
	C	19	16A ^D 12.6	5	8.68	294	525		1800	340	1583	
UHS-500-350	A	14	12A ^D 7.1	5	2.50	154	126	5168	432	243	389	400
	AB	16	12A ^D 9.0	5	3.95	182	202		691	255	619	
UHS-550-250	A	14	16A ^D 9.0	5	3.22	255	301	8516	922	450	828	659
	AB	15	16A ^D 10.7	5	4.47	292	423		1296	466	1159	
	B	17	16A ^D 12.6	5	6.12	341	588		1800	488	1599	
	C	18	20A ^D 12.6	5	7.55	385	728		2250	508	1987	
UHS-550-350	A	16	16A ^D 9.0	5	3.93	255	301	6932	922	346	826	536
	AB	17	16A ^D 10.7	5	5.44	296	423		1296	363	1154	
	B	19	16A ^D 12.6	5	7.43	352	588		1800	384	1591	
	C	20	20A ^D 12.6	5	9.14	400	729		2250	404	1975	
UHS-550-400	A	16	16A ^D 7.1	5	2.89	209	188	5943	576	279	518	460
	AB	17	16A ^D 9.0	5	4.55	251	301		922	294	824	
UHS-600-300	A	15	20A ^D 9.0	5	3.51	338	416	9722	1152	506	1034	752
	AB	17	20A ^D 10.7	5	4.88	390	585		1620	526	1446	
	B	18	20A ^D 12.6	5	6.66	459	813		2250	554	1994	
	C	19	24A ^D 12.6	5	7.91	508	954		2700	573	2381	

续表 A.0.2-5

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊 单节最大 长度 L (m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	开裂弯矩 检验值 (kN·m)	受弯承载力 检验值 (kN·m)	桩身受压承载力 设计值(未考 虑压屈影响) R_p (kN)	桩身受拉 承载力设计 值 N (kN)	桩身受剪 承载力设计 值 V (kN)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHS-600-400	A	17	20A ^D 9.0	5	4.30	336	416	7875	1152	392	1030	609
	AB	19	20A ^D 10.7	5	5.96	394	585		1620	413	1440	
	B	20	20A ^D 12.6	5	8.12	471	813		2250	440	1983	
	C	21	24A ^D 12.6	5	9.61	525	954		2700	459	2366	
UHS-600-450	A	17	20A ^D 7.1	5	3.17	274	260	6753	720	316	647	522
	AB	18	20A ^D 9.0	5	4.99	331	416		1152	335	1028	
UHS-650-350	A	17	24A ^D 9.0	6	3.73	434	547	10965	1382	584	1239	848
	AB	18	24A ^D 10.7	6	5.18	503	770		1944	609	1733	
	B	19	24A ^D 12.6	6	7.07	596	1059		2700	641	2389	
	C	20	28A ^D 12.6	6	8.16	650	1208		3150	661	2775	
UHS-650-450	A	18	24A ^D 9.0	6	4.58	431	547	8853	1382	460	1235	685
	AB	20	24A ^D 10.7	6	6.34	507	770		1944	485	1725	
	B	22	24A ^D 12.6	6	8.63	609	1059		2700	517	2375	
	C	23	28A ^D 12.6	6	9.94	669	1209		3150	536	2757	
UHS-700-400	A	18	28A ^D 9.0	6	3.89	544	694	12244	1613	644	1445	947
	AB	19	28A ^D 10.7	6	5.40	633	977		2268	673	2020	
	B	21	28A ^D 12.6	6	7.36	751	1331		3150	711	2784	
UHS-700-500	A	19	28A ^D 9.0	6	4.79	537	694	9868	1613	510	1440	763
	AB	21	28A ^D 10.7	6	6.62	635	977		2268	539	2010	
	B	23	28A ^D 12.6	6	9.00	765	1331		3150	576	2767	

注：1 UHS 空心方桩（C125）的混凝土力学性能指标见表 4.1.2；

2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.65。

表 A.0.2-6 PTS 空心方桩桩身配筋及力学性能参数表

规格 (代号-边长-内径)	型号	两端勾吊最大 长度 L (m)	主筋数量与直 径 (mm)	螺旋筋直 径 (mm)	预应力钢棒分 布圆周直径 D_p (mm)	混凝土有效 预压应力 σ_{pe} (MPa)	桩身轴心受压承载 力设计值 (未考虑 压屈影响) R_p (kN)	按标准组合计 算的抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	理论 重量 (kg/m)
PTS-300-180	A	13	8 $\phi^{D7.1}$	4	240	4.51	1506	37	118
	AB		8 $\phi^{D9.0}$			6.60		46	
PTS-350-230	A	14	8 $\phi^{D7.1}$	4	290	3.47	1889	50	167
	AB		8 $\phi^{D9.0}$			5.38		63	
PTS-400-280	A	15	8 $\phi^{D7.1}$	4	340	2.88	2297	66	231
	AB		8 $\phi^{D9.0}$			4.50		81	
PTS-450-310	A	15	12 $\phi^{D7.1}$	5	380	3.33	2964	101	284
	AB		12 $\phi^{D9.0}$			5.17		127	
PTS-500-360	A	15	12 $\phi^{D7.1}$	5	430	2.87	3459	126	
	AB		12 $\phi^{D9.0}$			4.48		156	

注：1 PTS 空心方桩的混凝土强度等级为 C80；
2 表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.65。

表 B.0.1-2 方形桩开口型桩尖构造尺寸 (mm)

b	d_3	l	h_1	h_2	t_1	t_2	a	b	k	n
300	140	180	100	150	10	10	25	45	6~10	4
350	170	210	100	200	10	10	25	45		
400	220	270	100	200	10	10	25	45		
450	260	270	100	200	10	10	30	45	8~12	8
500	310	320	200	250	10	12	35	65		
550	350	370	200	250	10	12	35	65		
600	400	420	300	400	12	12	40	65		
650	450	430	400	500	14	20	50	75	10~14	
700	500	460	400	500	14	20	50	75		

B.0.2 平底十字型桩尖构造（图 B.0.2-1~B.0.2-2）及尺寸（表 B.0.2-1~B.0.2-2）。

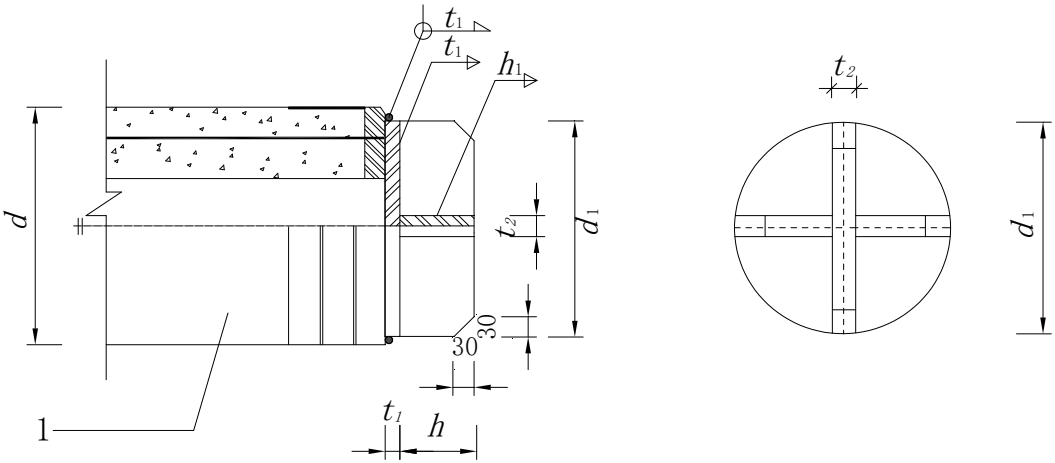


图 B.0.2-1 圆形桩平底十字型桩尖

1—圆形桩桩身

表 B.0.2-1 圆形桩平底十字型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	t_1	t_2	h_1
300	270	115~140	≥ 8	≥ 14	≥ 10
400	350	115~140	≥ 10	≥ 16	≥ 10
500	450	125~175	≥ 12	≥ 18	≥ 12
600	540	125~175	≥ 14	≥ 18	≥ 14
700	640	175~275	≥ 14	≥ 20	≥ 14
800	730	175~275	≥ 16	≥ 20	≥ 20
1000	920	275~375	≥ 20	≥ 22	≥ 16
1200	1110	275~375	≥ 22	≥ 24	≥ 20
1400	1300	375~475	≥ 24	≥ 26	≥ 22

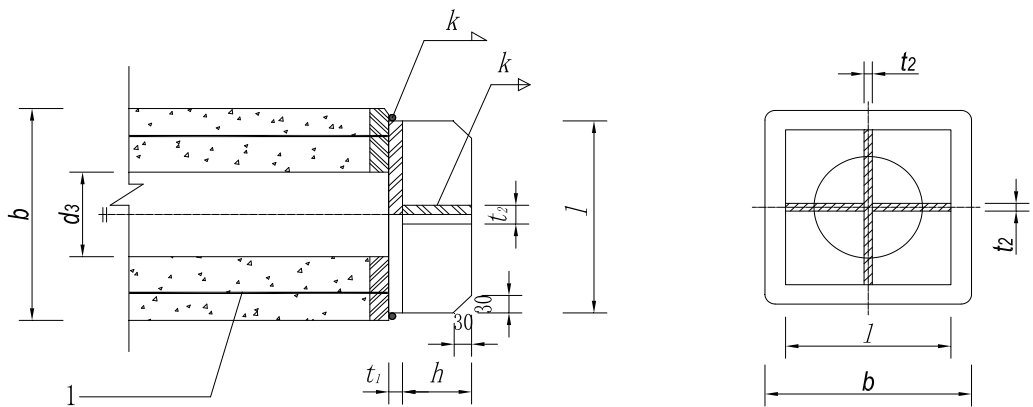


图 B.0.2-2 方形桩平底十字型桩尖

1—方形桩桩身

表 B.0.2-2 方形桩平底十字型桩尖构造尺寸 (mm)

b	l	h	t_1	t_2	k
300	270	125~140	12	18	10
350	320	125~140			
400	370	125~150			
450	420	125~150			
500	470	125~150	15	18	12
550	520	125~150			
600	570	125~150			
650	620	150~400	18	22	18
700	670	150~400			

B.0.3 锥型混凝土桩尖构造 (图 B.0.3-1~B.0.3-2) 及尺寸 (表 B.0.3-1~B.0.3-2)。

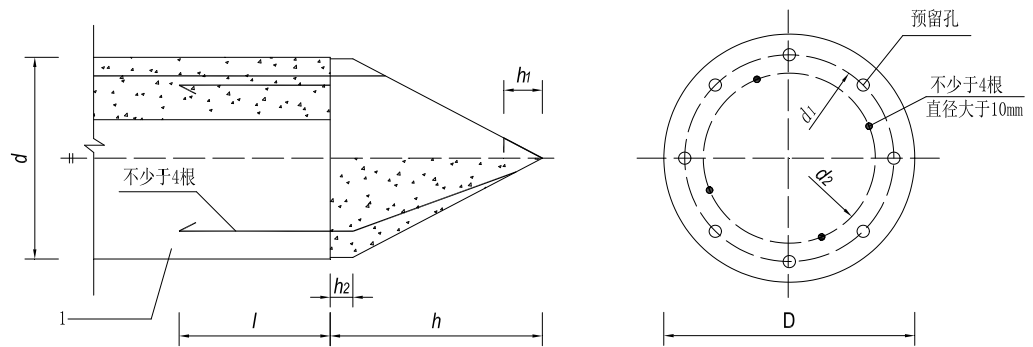


图 B.0.3-1 圆形桩锥型混凝土桩尖

1—圆形桩桩身

表 B.0.3-1 圆形桩锥型混凝土桩尖构造尺寸 (mm)

d	D	h	l	h_1	h_2	d_1	d_2
300	299	422	≥ 500	≥ 140	120	230	216
350	349	425	≥ 500	≥ 140	120	280	266
400	399	527	≥ 500	≥ 140	120	308	294
450	449	575	≥ 500	≥ 140	120	358	344
500	499	630	≥ 500	≥ 140	120	406	392
550	549	700	≥ 500	≥ 140	120	456	442
600	599	775	≥ 500	≥ 140	120	506	492

注：混凝土强度等级不低于 C60。

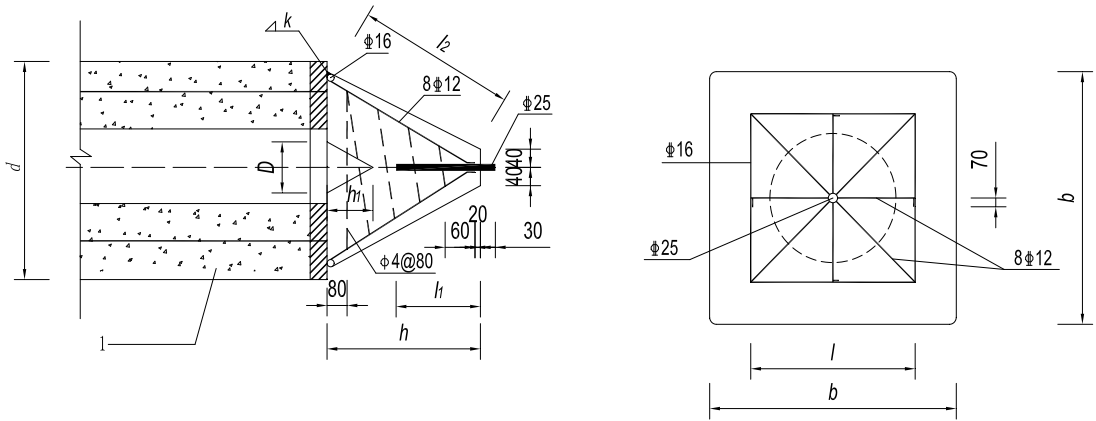


图 B.0.3-2 方形桩四角锥型混凝土桩尖
1—方形桩桩身

表 B.0.3-1 方形桩锥型混凝土桩尖构造尺寸 (mm)

d	l	D	h	l_1	l_2	h_1	k
300	280	115	200	100	145	80	8~12
350	330	175	250	140	200	90	
400	380	220	290	160	245	100	
450	430	290	320	180	310	120	
500	480	310	370	200	340	140	
550	530	330	415	220	390	160	
600	580	380	450	250	440	180	
650	630	430	500	280	490	220	
700	680	480	550	310	540	260	

附录 C 预制桩与承台连接构造图

C.0.1 管桩与承台连接宜采用图 C.0.1 的方式，管桩填芯混凝土内配筋不应少于表 C.0.1-1。

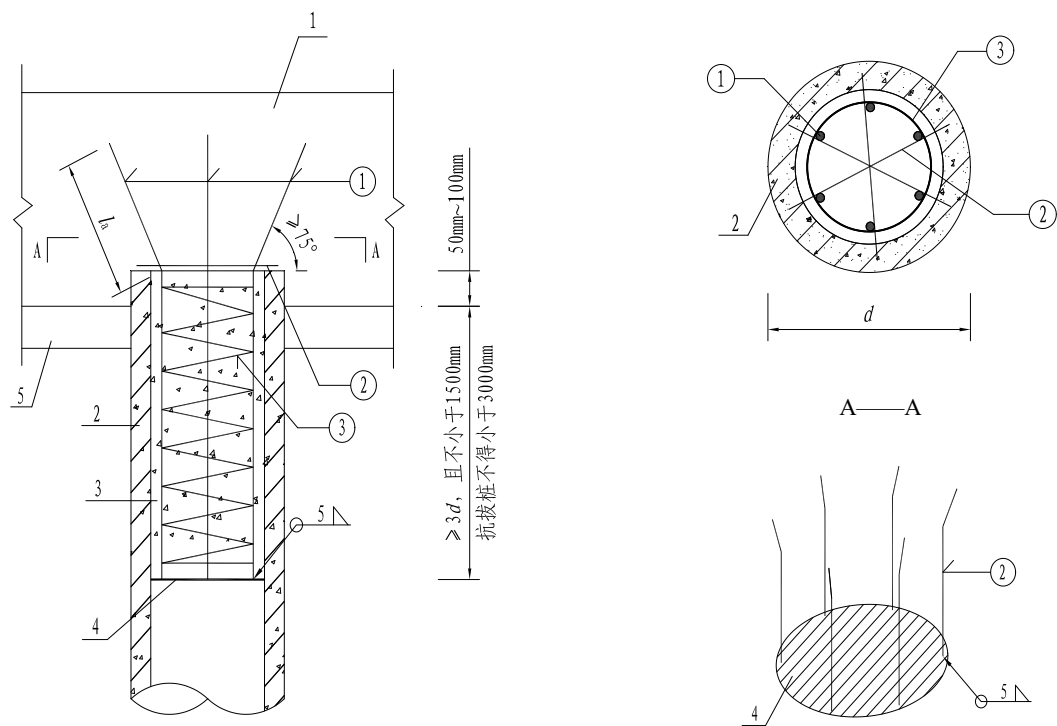


图 C.0.1 管桩与承台连接构造图

1—承台或底板；2—空心方桩；3—灌芯混凝土；4—厚度 4mm~6 mm 钢托板；5—垫层

表 C.0.1-1 管桩填芯混凝土内配筋表

管桩外径 d (mm)	配 筋		
	①号锚固筋	②号钢筋	③号箍筋
300	4C14	2C10	A6@200
400	4C16	2C10	A6@200
500	6C16	3C10	A8@200
600	6C16	3C10	A8@200
700	6C18	3C12	A8@200
800	8C18	4C12	A8@200
1000	10C18	5C14	A10@200
1200	12C20	6C14	A10@200

注：1 ①号锚固筋和②号钢筋应焊接牢固。
2 用于抗拔桩时，①号锚固筋应按 5.3.11 条计算确定，②号数量应为①号钢筋的一半。拔力较大时可与其他连接方式联合使用。

C.0.2 空心方桩与承台连接宜采用图 C.0.2 的方式，空心方桩填芯混凝土内配筋不应少于表 C.0.2。

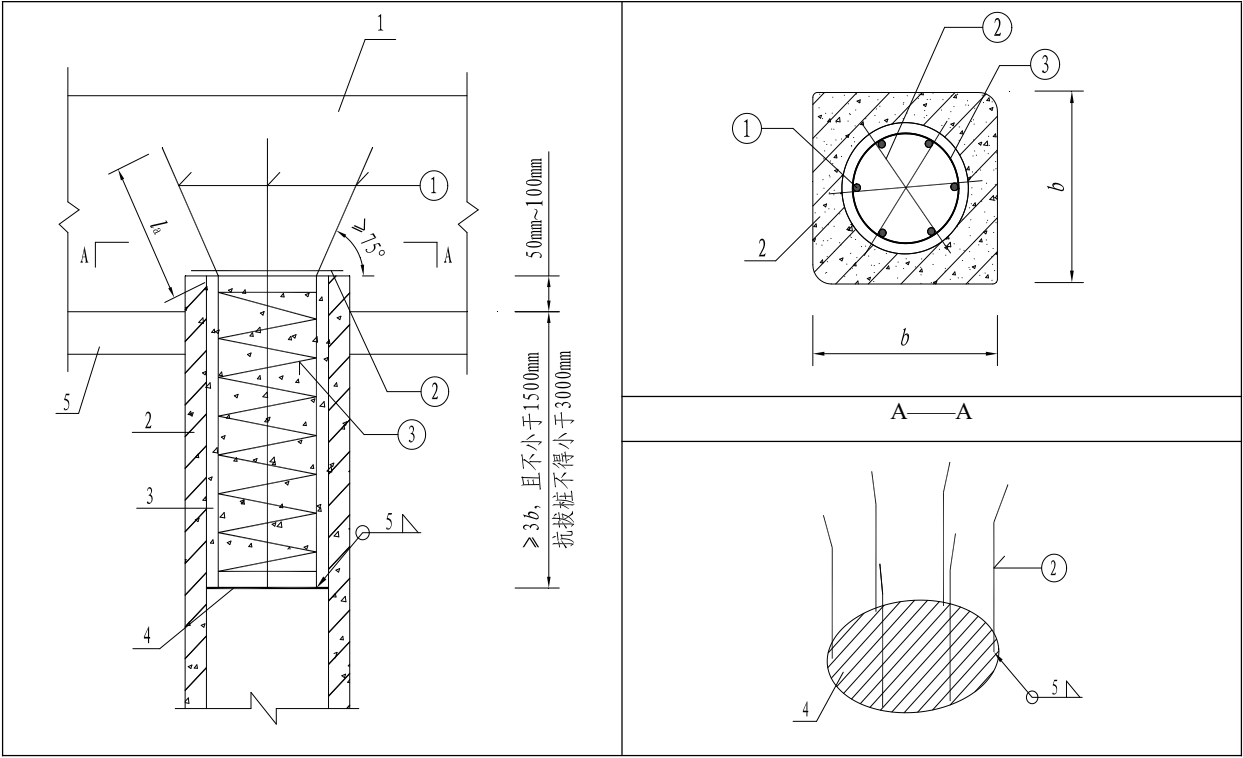


图 C.0.2 空心方桩与承台连接构造图

1—承台或底板；2—空心方桩；3—灌芯混凝土；4—厚度 4mm~6 mm 钢托板；5—垫层

表 C.0.2 空心方桩填芯混凝土内配筋表

空心方桩边长 b (mm)	配 筋		
	①号锚固筋	②号钢筋	③号箍筋
250	6C10	3C10	A6@200
300	6C10	3C10	A6@200
350	6C12	3C10	A6@200
400	6C14	3C10	A8@200
450	6C14	2C10	A8@200
500	6C16	3C12	A8@200
550	8C16	4C12	A8@200
600	8C16	4C12	A8@200
650	8C18	4C14	A10@200
700	10C20	5C14	A10@200

注：1 ①号锚固筋和②号钢筋应焊接牢固。
2 用于抗拔桩时，①号锚固筋应按 5.3.11 条计算确定，②号数量应为①号钢筋的一半。拔力较大时可与其他连接方式联合使用。

C.0.3 实心方桩与承台连接构造（图 C.0.3）和配筋表（表 C.0.3）。

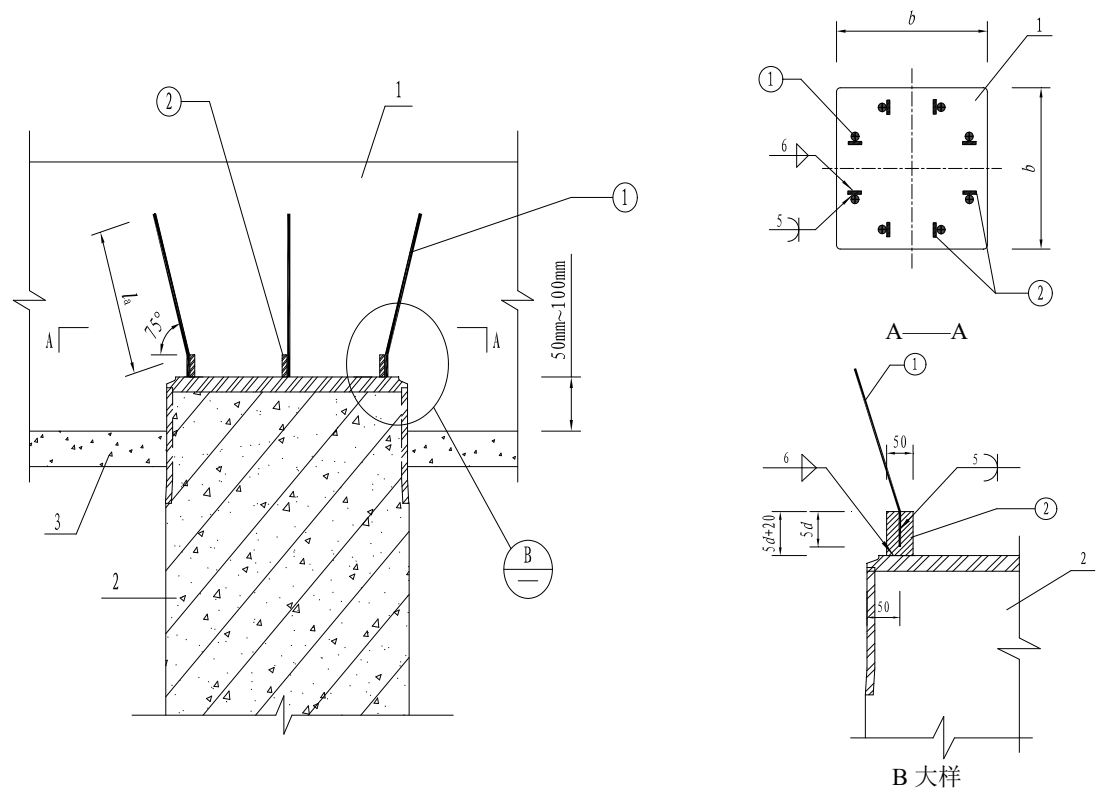


图 C.0.3 实心方桩桩与承台连接构造图

1—承台或底板；2—实心方桩；3—垫层

表 C.0.3 实心方桩填芯混凝土内配筋表

实心方桩边长 b (mm)	①号锚固筋	②连接板
300	4C14	Q235B, $t \geq 10\text{mm}$, $h \geq 5d + 20$
350	4C16	
400	8C14	
450	8C16	
500	8C16	
550	8C18	
600	8C20	
650	8C22	
700	8C22	

注：1 ①号锚固筋和②号连接应焊接牢固。
2 用于抗拔桩时，①号锚固筋应按式（5.3.11-5）计算确定，②号连接板厚度应满足抗拔要求。
3 d 为①号锚固筋直径， h 为②号连接板高度， t 为②号连接板厚度。

附录 D 沉桩施工记录表

D.0.1 静压法施工可按表 D.0.1 进行记录。

表 D.0.1 静压沉桩施工记录表

工程名称：_____ 工程地址：_____ 桩位号：_____ 第____页 共____页

建设单位：_____ 总包单位：_____ 施工单位：_____ 生产厂家：_____

桩型及规格：_____ 自然地面标高：_____ 桩顶设计标高：_____ 设计单桩承载力特征值：_____kN

桩尖形式：_____ 接头形式：_____ 总桩长及配桩：_____ 桩机型号：_____

压力换算值： 双缸 1MPa 时=_____kN； 四缸 1MPa 时=_____kN； 六缸 1MPa 时=_____kN

日期 日/月	序 号	起 止 时 间 时：分	下 桩			中 桩			中 桩			上 桩			送 桩		终压 力 值(kN)	终压 次 数	桩入 土总 深度 (m)	备注
			长 度 (m)	油压值 (MPa)		长 度 (m)	油压值 (MPa)		长 度 (m)	油压值 (MPa)		长 度 (m)	油压值 (MPa)		深 度 (m)	油压值 (MPa)				
				桩 下 端	桩 中 间		桩 上 端	桩 下 端		桩 中 间	桩 上 端		桩 下 端	桩 中 间						
	</																			

建设单位代表：_____ 监理：_____ 工程负责人：_____ 技术负责人：_____ 记录员：_____ 年 月

D.0.2 锤击法施工可按表 D.0.2 进行记录。

表 D.0.2 锤击沉桩施工记录表

工程名称：_____

工程地址_____

桩位号：_____

第____页

共____页

建设单位：_____

总包单位：_____

施工单位：_____

生产厂家：_____

桩型及规格：_____

自然地面标高：_____

桩顶设计标高：_____

设计单桩承载力特征值：_____kN

桩尖形式：_____

接头形式：_____

总桩长及配桩：_____

桩机型号：_____

桩节顺序 （从底至顶）	节长及桩身号 （m）	锤规格及落 距	锤击起止时间			每 米 沉 桩 锤 击 数															累计 总数	电焊焊接时间（min） 及焊缝外观质量			
			日	时	分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					
第一节																									
第二节																									
第三节																									
第四节																								总锤击数	
收 锤 及 验 收 记 录																									
停锤时间	月 日 时 分		锤规格落距				最 后 贯 入 度			mm/10 击			mm/10 击			mm/10 击									
送桩深度	m		桩入土深度		m		桩高出自然地面			m			桩 顶 状 况												
经 灯 光 或 孔 内 摄 像 检 查 后 的 基 本 情 况								用 开 口 桩 时，管 内 进 土 高 度			m			天 气											

建设单位代表：_____

监理：_____

工程负责人：_____

技术负责人：_____

记录员：_____

年 月

D.0.3 植入法施工可按表 D.0.3 进行记录。

表 D.0.3 植入法沉桩施工记录表

工程名称：_____

工程地址_____

桩位号：_____

第____页

共____页

建设单位：_____

总包单位：_____

施工单位：_____

生产厂家：_____

桩型及规格：_____

自然地面标高：_____

桩顶设计标高：_____

设计单桩承载力特征值：_____kN

桩尖形式：_____

接头形式：_____

总桩长及配桩：_____

桩机型号：_____

钻孔深度				实际钻孔深度				桩顶实际标高			
钻孔直径				扩孔部分直径				扩孔部分高度			
钻孔过程记录											
序号		接杆米数		开始钻孔时间		钻孔完成时间		备注			
1											
2											
3											
修孔、扩孔及拔杆过程记录											
项目				开始时间				完成时间			
修孔过程											
扩孔过程											
拔杆过程											
植桩过程记录											
序号	桩型		植入桩机型号	开始接桩时间		接桩完成时间		开始沉桩时间		沉桩完成时间	
1											
2											
3											
总桩长				桩校正完成时间							
备注											
水泥浆情况	桩端用水量(kg)	桩周用水量(kg)	用水量合计(kg)	桩端水泥用量(kg)		桩周水泥用量(kg)		水泥量合计(kg)		桩端水灰比	桩周水灰比
设计用量											
实际用量											

建设单位代表：_____

监理：_____

工程负责人：_____

技术负责人：_____

记录员：_____

年 月

附录 E 沉桩设备选型参考表

E.0.1 静压桩机技术参数应按表 E.0.1 取值。

表 E.0.1 静压桩机技术参数表

压桩机型号 (吨位)		160~ 180	240~ 280	300~ 360	400~ 460	500~ 600	800~ 1000	1200~ 1400
项 目								
最大压桩力 (kN)		1600~ 1800	2400~ 2800	3000~ 3600	4000~ 4600	5000~ 6000	8000~ 10000	12000~ 14000
行程 (m)	纵向 (一次)	3	3	3	3	3	3	3
	横向 (一次)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.55	0.55
最大回转角 (°)		18	18	18	18	18	20	20

E.0.2 静压桩机适用范围参数应按表 E.0.2 取值。

表 E.0.2 静压桩机适用范围参数表

压桩机型号 (吨位)		160~ 180	240~ 280	300~ 360	400~460	500~600	800~1000	1200~1400
项 目								
适用管 桩	最小桩径 (mm)	300	300	400	400	500	500	600
	最大桩径 (mm)	400	500	500	550	600	800	800
单桩承载力特征值 (kN)		500~ 1000	800~ 1500	1000~ 1900	1500~ 2500	1800~ 2800	2800~ 3600	4000~ 4800
桩端持力层		中密~ 密实砂 层、硬 塑~坚 硬黏土 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层	密实砂 层、坚硬 黏土层、 全风化岩 层、强风 化岩层	密实砂 层、坚硬 黏土层、 全风化岩 层、强风 化岩层	密实砂 层、坚硬 黏土层、 全风化岩 层、强风 化岩层	密实砂层、 坚硬黏土 层、全风化 岩层、强风 化岩层
桩端持力层标贯值 N		20~25	20~35	30~40	30~50	30~55	35~60	30~65
穿透中密~密实 砂层厚度 (m)		约 1.5	1.5~2.5	2~3	2~4	3~5	4~6	4~6

注：1 压桩机应根据工程地质条件、估算的最大压桩阻力、单桩极限承载力、入土深度及桩身强度并结合地区经验等因素综合考虑后选用；

2 最大压桩力为理论最大压桩力，压桩时压桩机提供的最大压桩力约为其机架重量和配重之和的 0.8 倍；

3 本表中静压桩机施工边、角桩及正常桩时，与邻近建（构）筑物施工的最小距离宜为 2m~5m。

E.0.3 柴油锤重选择技术参数应按表 E.0.3 取值。

表 E.0.3 柴油锤重选择技术参数表

柴油锤型号	35	45	50	62	72	80	100	120
冲击体质量 (t)	3.5	4.5	5.0	6.2	7.2	8.0	10.0	12.0

锤体总质量 (t)	7.2~8.2	9.2~10.5	9.2~11.0	12.5~15.0	18.4	17.4~20.5	20.0	20.0
常用冲程 (m)	1.8~2.3	1.8~2.3	1.8~3.2	1.9~3.6	1.8~2.5	2.0~3.4	2.0~3.4	2.0~3.4
液压锤规格 (t)	5~7	6~8	7~9	9~11	9~13	11~13	13~15	13~15

E.0.4 柴油锤重适用范围参数应按表 E.0.4 取值。

表 E.0.4 柴油锤重适用范围参数表

柴油锤型号	35	45	50	62	72	80	100	120
适用管桩规格	φ300 φ400	φ300 φ400	φ400 φ500	φ400 φ500	φ500 φ600	φ600	>φ600	>φ600
单桩竖向承载力特征值 适用范围 (kN)	400~1200	600~1600	800~1800	1600~2600	1800~3000	2000~3500	>3700	>3700
桩尖可进入 的岩土层	密实砂层 坚硬土层 全风化岩	密实砂层 坚硬土层 强风化岩	强风化岩 ($N>50$)	强风化岩 ($N>50$)	强风化岩 ($N>50$)	强风化岩 ($N>50$)	强风化 岩 ($N>50$)	强风化 岩 ($N>50$)
常用停锤贯 入度 (mm/10 击)	20~30	20~50	20~50	20~50	30~60	30~60	70~120	70~120

注：1 本表仅供选锤用，选择时宜重锤低击。

2 本表适用于桩长 16m~60m，且桩端进入硬土层有一定深度。

3 本表中的柴油锤施工时，与邻近建（构）筑物的最小距离宜为 1.5m。

附录 F 进场检验和施工质量检验记录表

F.0.1 进场原材料/中间产品外观质量验收检查可按表 F.0.1 进行记录。

表 F.0.1 进场原材料/中间产品外观质量验收检查记录

编号：

材料品种	
型号	
数量	
生产厂家	
进场时间	
生产日期	
产品质量证明书	
计划使用工程部位	
存放方法	
供应商	
外观质量情况：	
验收结论：	
现场质检员：	监理工程师：

F.0.2 预制桩成品外观质量检验可按表 F.0.2 进行记录。

表 F.0.2 预制桩成品外观质量验收检查记录

所属单位工程名称：

所属分部工程：

所属单元工程：

程：

编号：

项次		检测项目	规定 值或 允许 偏差	实测值或实测偏差												质量评定		
																平均 值、 代表 值	合格 率	合格 判定
实 测 项 目	1	长度 L																
	2	外径 d																
	3	壁厚 t																
	4	端部倾斜																
	5	桩身弯曲度																
	6	钢筋保护层 层厚度																
	7	端 板	端面平 整度															
	8		外径															
	9		内径															
	10		厚度															
验收结论																		
记录员：				现场 质检员：			监 理 工 程 师：			日期：								

注：检测项目根据桩型按照 8.2.2 条进行调整。

F.0.3 预制桩接桩质量检查可按表 F.0.3 进行记录。

表 F.0.3 预制桩接桩质量检查记录

工程名称：_____ 焊接方式：_____ 焊条型号：_____

桩规格：_____ 施工班组：_____ 焊工姓名：_____

桩号	接桩节点位置	上下节错位偏差(mm)	桩头高出地面长度(m)	节点弯曲矢高(mm)	焊接层数	是否清理焊渣	焊接冷却时间(min)
记录员：		质检员：		监理工程师：		年 月 日	

F.0.4 预制桩沉桩质量评定可按表 F.0.4 进行记录。

表 F.0.4 预制桩沉桩单元工程质量评定表

单位工程名称					单位工程编号		
分部工程名称					分部工程编号		
单元工程名称、部位					单元工程编号		
项次		检验项目		设计值	质量要求（允许偏差）	检验记录	评定 （合格率）
主控项目	1	管桩质量			符合设计和规范要求		
	2	桩身完整性			符合设计和规范要求		
	3	承载力			符合设计和规范要求		
	4	垂直度			<1%		
一般项目	1	桩位偏差	盖有基础梁的桩		本规范 8.4.3 条		
			桩数 1 根~3 根桩基中的桩		本规范 8.4.3 条		
			桩数 4 根~16 根桩基中的桩		本规范 8.4.3 条		
			桩数大于 16 根桩基中的桩		本规范 8.4.3 条		
	2	接桩质量	焊接		符合规范要求		
			焊毕间歇时间		>8 min		
			接点弯曲矢高		<0.1%L		
	3	终锤条件	锤击		桩端位于一般土层：以控制桩端高程为主；桩端位于坚硬、硬塑土层：以控制贯入度为主，最后 3 阵均不大于设计值		
			静压		桩端进入设计要求的持力层，最大压桩力不小于极限承载力标准值或按试压桩检测结果确定		
	4	桩顶高程			±50 mm		
施工单位自评意见		检查项目全部符合质量要求，主控检测项目逐项检测点合格率为____%，一般检测项目检测点最低合格率为____%。桩基承载力检测结果符合设计要求，经桩身完整性检测的桩____%达到Ⅰ类桩，其余达到Ⅱ类桩。					
		单元工程质量等级评定为：					
		专职质检员（签字）： 年 月 日		技术负责人（签字）： 年 月 日		项目经理（签字）： 年 月 日	
监理单位复核意见		经抽查并查验相关检验报告和检验资料，检查项目全部符合质量要求，主控检测项目逐项检测点合格率为____%，一般检测项目检测点最低合格率为____%。桩基承载力检测结果符合设计要求，经桩身完整性检测的桩____%达到Ⅰ类桩，其余达到Ⅱ类桩。					
		单元工程质量等级评定为：					
		监理工程师（签字）：				年 月 日	
注：L 为单节桩长。							

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 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 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 2 《低碳钢热轧圆盘条》 GB/T 701
- 3 《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》 GB/T 1499.2
- 4 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596-2017
- 5 《预应力混凝土用钢棒》 GB/T 5223.3
- 6 《先张法预应力混凝土管桩》 GB/T 13476
- 7 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046-2017
- 8 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736-2017
- 9 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 10 《湿陷性黄土地区建筑规范》 GB 50025
- 11 《工业建筑防腐蚀设计标准》 GB/T 50046
- 12 《混凝土质量控制标准》 GB 50164
- 13 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 14 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
- 15 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 16 《水工混凝土结构设计规范》 SL 191
- 17 《水利水电工程等级划分及洪水标准》 SL 252
- 18 《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》 SL 654
- 19 《水工建筑物地基处理设计规范》 SL/T 792
- 20 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 21 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 22 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 23 《码头结构施工规范》 JTS 215
- 24 《混凝土制品用冷拔低碳钢丝》 JC/T 540
- 25 《先张法预应力混凝土薄壁管桩》 JC/T 888
- 26 《预应力高强混凝土管桩用硅砂粉》 JC/T 950
- 27 《蒸养混凝土制品用掺合料》 JC/T 2554
- 28 《预应力混凝土实心方桩》 JC/T 2723
- 29 《预应力混凝土空心方桩》 JG/T 197

团 体 标 准

水利水电工程预制桩基础技术规范

T/CHES XXX—20XX

条文说明

目 次

3 基本规定 105

4 材料与分类 107

 4.1 材 料 107

 4.2 分 类 107

 4.3 选 型 107

5 桩基设计 109

 5.1 一般规定 109

 5.2 预制桩布置 110

 5.3 桩基础竖向承载力计算 110

 5.4 桩基水平承载力和位移计算 112

 5.6 构造要求 112

6 复合地基设计 114

 6.1 一般规定 114

 6.2 预制桩布置 114

 6.3 复合地基计算 114

 6.4 构造要求 115

7 施 工 116

 7.1 一般规定 116

 7.2 起吊、运输和堆放 117

 7.3 接桩与截桩 117

 7.4 静压法施工 117

 7.5 锤击法施工 118

 7.6 植入法沉桩 119

8 质量检查与验收 120

 8.1 一般规定 120

 8.2 沉桩前检查和验收 120

 8.3 沉桩过程检查和验收 120

 8.4 沉桩后检查和验收 121

3 基本规定

3.0.2 依据《水利水电工程结构可靠性设计统一标准》GB 50199 的规定，水利水电工程桩基础仍采用两类极限设计状态进行设计。对于桩身承载力极限状态的抗力可根据《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476、《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197 和《先张法预应力混凝土薄壁管桩》JC/T 888 等产品标准确定，本标准附录 A 亦给出了常见型号产品的限值。

3.0.3 划分桩基设计等级，旨在界定桩基设计的复杂程度、计算内容和应采取的相应技术措施。水利水电工程桩基设计等级是根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL 252 中水工建筑物级别以及重要程度，将其划分为三个等级。对于地质条件复杂（如岩溶、岩性不稳定、地质灾害强烈等情况），其地基参数不易确定，以及上部结构重要且不易修复的情况，为确保工程安全，可以将桩基设计等级提高一级，其目的是提高结构的安全标准。

3.0.5 桩基础设计所采用的作用效应组合和抗力是根据计算或验算的内容相适应的原则确定。

1 确定桩数和布桩时，由于抗力是采用基桩或复合地基极限承载力除以综合安全系数 $K=2$ 确定的特征值，故按各水工建筑物规定的荷载组合取《水工建筑物荷载设计规范》SL 744 中确定荷载值的标准值。

2 由于水工建筑物各种作用的统计状况的特殊性，其与常规建筑物不同，在水利工程中不考虑准永久组合工况，故正常使用极限状态设计时，采用荷载效应的标准组合。基桩沉降和水平位移计算，一般仅考虑持久设计状况，短暂设计状况和偶然设计状况可根据实际荷载和地质情况确定是否需要。

3 由于验算坡地、岸边建筑桩基整体稳定性采用综合安全系数，故其荷载效应采用标准组合。

4 桩基础为水工结构体系的一部分，其结构设计使用年限与上部结构一致，故符合行业标准《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》SL 654 的要求；在计算桩身结构时，应与上部混凝土结构一致，基础或承台顶面作用效应应采用基本组合和特殊组合，并考虑承载力安全系数，取值与《水工混凝土结构设计规范》SL 191 相同，其抗力应采用可参照本标准附录 A，其它规格的预制桩可参照现行产品标准和《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算确定；在进行桩身的裂缝控制验算时，应与上部混凝土结构一致，荷载应按标准值采用，对于一般水利水电工程的桩基础，其环境类别为二类，抗力按二级裂缝控制，地下水或地基土具有腐蚀性时，抗力按一级裂缝控制。

3.0.7 本规范所述及预制桩桩身混凝土强度等级均高于 C60，抗压强度高，可穿越各类软土、填土、可塑状黏性土、粉土、松散或稍密的砂土，进入硬塑或坚硬状黏性土、密实的砂土、碎石土、强风化岩层及中风化极软岩层一定深度。目前，预制桩主要的施工方法有锤击法、静压法。锤击法沉桩是利用落锤的冲击力克服土体阻力打入地基，设备简单，能量转换率高，穿透力强，成本低，但是存在噪声大、油烟污染、振动等问题，且土体密实度越高，越容易造成桩身损伤，同时引起地基的振动也越大；静压法是利用设备自重和配重提供的反力将预制桩压入地基，无锤击法的振动、噪音和污染问题，适用于浅层土易穿越，桩端持力层较致密、坚硬的场地，但由于设备自重较大，其对地基承载力要求较高，表层土质软弱且压机作业面承载力低的场地应预先处理，以免在这样的场地出现桩机陷机、桩位偏移过大、周边环境隆沉而对邻近道路、管线、建筑物产生危害等事故，当采用抱压方式沉桩时，由于抱压力过大而发生桩身破损的现象也时有发生。

因此，当场地存在含孤石或障碍物较多且不易清除的地层，桩端以上存在难以穿透的坚硬黏性土、密实的砂土、碎石土层的场地时或可能因锤击、抱压力过大引起桩身破损时，宜选用植入法沉桩，并应通过现场沉桩工艺试验确定其适用性；但存在较硬粘性土，或需要降低挤土效应对周边环境的影响，可选用引孔法辅助或植入法沉桩。

植入法经过 10 余年的应用，积累了大量经验，在《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 等行业、地方标准中均已经纳入，是一种成熟的施工方法，故本规范将其纳入，采用植入法还具有以下几个优点：①施工时挤土效应小；②成桩后桩身完整无损伤；③桩身承载力及耐久性提高。

3.0.8 沉桩试验应选择具有代表性的地质钻孔，通过试打桩除可以验证设计桩的承载力、确定施工工艺和桩长外，还需要重点记录各类施工参数，可包括锤的落距、控制贯入度、压桩力、沉桩速度、桩身应力、电流值、冲水压力等（植入法施工还包括水灰比、水泥掺量、混凝土或砂浆灌注量），以指导工程施工顺利进行。

3.0.9 桩基础属于地下隐蔽工程，如发生质量问题，修复难度大，将造成较大的经济损失。因此，桩基础施工前，相关单位应对施工场地及场地的条件、地下和周边环境进行全面分析，编制桩基础施工方案，视其复杂程度决定是否组织专项审查，选择适宜的沉桩设备、施工设备，配备齐全相关管理人员。并由设计、施工、监理及建设单位等共同对设计文件及相关资料进行会审，由组织单位将会审发现的问题及解决办法详细记录，并整理成会议纪要作为施工图的补充文件，完工后连同施工图存入工程档案。

4 材料与分类

4.1 材 料

4.1.1 C105 及以上混凝土强度指标及弹性模量是结合日本、欧美等国家的现行规范及国内科研院校研究成果，编制单位通过试验验证后综合确定。轴心抗拉强度、混凝土弹性模量均按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的公式计算取值，对比试验数据所取结果是偏于安全的。

4.2 分 类

4.2.3 高压蒸汽养护桩是指将预制桩放在压强不小于 0.8 MPa、温度 180°左右的蒸压釜内，并持续供入蒸汽加速混凝土的水化反应，需要消耗蒸汽和电能。为响应国家绿色低碳要求，混凝土制品行业持续在材料技术上突破创新，目前预制桩行业已经实现在常压蒸汽养护条件下，脱模强度即可达到 70 MPa 以上，3 d 后即可达到设计强度，在不影响效率的情况下大幅降低了能源用量。

4.2.4~4.2.5 条文中给出的尺寸为常用桩型规格，当工程需要时，也可以根据设计定制其他规格尺寸的预制桩，定制桩型的技术要求仍需符合国家现行相应标准的规定。

4.3 选 型

4.3.1 预制桩在建筑工程领域已应用超过 30 年，在设计、施工中积累了很多宝贵经验。但使用中也出现了一些问题，如基坑开挖过程中，由于施工开挖方法不正确，导致开挖过程中工程桩倾斜、折断，这种现象在软土地基施工中尤为突出。又如设计人员选用的桩型号不正确，导致沉桩过程中较多预制桩桩身破损。鉴于预制桩在使用中存在的这些问题，以及水利水电工程行业对于预制桩的总体认知程度，本规范强调设计人员选用预制桩时，应结合工程地质条件、上部结构特点、荷载性质、耐久性要求、沉桩工艺和施工条件，同时注重施工经验汲取，在综合分析后进行选用。

4.3.2 在现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》中规定纵向钢筋的保护层厚度，环境类别二类的保护层厚度不小于 35 mm，预制桩的应用多数情况是完全位于地下，故其最小保护层厚度要求可按二类环境控制。现行国家标准《先张法预应力混凝土管》GB/T 13476 规定管桩钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 35 mm，地基处理、设备基础和临时性建筑基础用管桩混凝土保护层厚度不应小于 25 mm；现行行业标准《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197 中规定空心方桩钢筋的混凝土保护层厚度应不小于 35 mm；现行行业标准《先张法预应力混凝土薄壁管桩》JC/T 888 中规定管桩钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 25 mm；现行行业标准《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723 规定方桩最外层钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 35 mm，地基处理和临时性建筑基础用预应力方桩最外层钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 25 mm。由于复合地基中预制桩主要受压，且弯矩和水平力很小，故所使用的预制桩的抗力只要满足吊运、施工的要求，完工后桩身不开裂即可，其钢筋混凝土保护层厚度取 25mm 足够满足设计要求。临时性设施基础和临时支护工程的设计年限一般为 2 年，对混凝土的耐久性要求不高，钢筋混凝土保护层厚度调整为 25 mm 可提高身的抗裂和设计弯矩，对临时建（构）筑物特别是受水平力的桩是相对有利，且可减少钢筋的用量。

因此，对于设计使用年限为 50 年的桩基础，现行预制桩相关的产品标准中混凝土保护层的最底要求，均是高于水利水电工程行业标准要求的，本规范所采用的保护层要求可满足设计要求。同时，对于特殊环境和设计使用年限为 100 年的工程，应按照《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的要求对桩身进行防护处理。

4.3.3 桩基工程中预制桩的选型主要是依据其受力情况、地质条件、施工工艺等因素初步确定。

1 在重要建筑物或地质条件复杂的基础工程，以及受水平力、用作抗拔的预制桩，不推荐选用 A 型桩，主要是因为 A 型的配筋率一般相对较低，多在 0.5 % 左右，抗弯、抗剪和抗拉承载力较低，尤其是桩身受弯承载力设计值比开裂弯矩值提高不多，桩身一旦开裂，很快达到承载力设计值、延

性差，桩身受弯破坏。用作抗拔桩时，桩身裂缝控制等级为一级，而 A 型桩的抗拉承载力较低。

2 软土地基由于抗剪强度和地基承载力较低，在附加荷载作用下，容易产生稳定问题，且由于挤土效应使孔隙水压力升高，桩身的抗弯和抗拉承载力高于一般地质条件，故建议选用 AB 型、B 型或 C 型预制桩。

3 中强腐蚀环境下应用预制桩时，应严格控制桩身开裂，防止过早开裂造成耐久性下降，故需要选用抗裂性能更优的 AB 型、B 型或 C 型预制桩。同时，对于中等以上腐蚀环境下使用管桩，应由工程设计人员根据国家现行标准《标准混凝土耐久性设计标准》GB/T 50476、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 和《水工混凝土结构设计规范》SL 191，在设计文件中对制作管桩所用混凝土、钢筋、铁件、掺合料材料性能和钢筋保护层厚度等影响管桩耐久性的相关指标提出定性和定量要求。也可选用防腐蚀性能好的防腐蚀管桩

4 混合配筋桩相比普通桩，抗弯性能得到了显著的改善，且原预应力筋配筋率越低效果越明显。试验研究结果表明：桩身主要应力位于跨中纯弯段内，裂缝出现前跨中截面应变基本符合平截面假定，裂缝出现后中轴线明显上移，混合配筋桩断裂前受压区部分混凝土呈压碎状；断裂破坏时，混合配筋桩的跨中挠度明显大于普通桩，延性性能得到改善；非预应力螺纹钢筋的配置明显延缓了桩身开裂发展，减小了桩身裂缝的长度及平均宽度，但裂缝分布范围及数量有一定程度的增加；非预应力的配置改变了剪力作用下的桩身应力和裂缝分布规律及断裂性状，使混合配筋管桩呈斜剪破坏性状。抗震设防烈度 8 度及以上地区，地震剪力和弯矩主要由桩基础承担，故与承台连接的首节桩不应选用 A 型桩，宜选用混合配筋桩、高强钢管混凝土管桩或 AB 型、B 型、C 型预应力高强混凝土桩等承载能力较强的桩型。

5 当预制桩进入硬土层时，其锤击数或压桩力会迅速上升，为了防止在沉桩过程中造成桩身损伤，宜选用抗压承载力更高的预制桩或者超高强混凝土预制桩。

6 除极软岩外，预制桩难以直接进入岩层，此时一般采用植入法，而单桩竖向承载力可由桩身强度控制，选用超高强混凝土桩、高强钢管混凝土管桩等高抗压承载力的桩型，可有效的降低工程造价。

4.3.4 复合地基受力机理为桩土共同受力，预制桩为摩擦桩，同时对桩身开裂和抗弯要求低，故多选用经济性较好的薄壁混凝土桩，要求的混凝土强度等级 C60 以上即可。

5 桩基设计

5.1 一般规定

5.1.2 为尽量减小同一单元结构下桩基实际分担荷载的差异，避免产生过大的不均匀沉降，危及上部结构物的安全和正常使用，故对桩型和桩长做出规定。

5.1.3 本条主要给出了单桩竖向承载力特征值的确定方法。

单桩竖向极限承载力计算受土体强度参数、施工工艺的不确定性影响较大，目前仍以原位原型试验为最可靠的确定方法，以单桩静载试验结果作为工程桩主要依据，其次是利用地质条件相同的试桩资料和原位测试及端阻力、侧阻力与土的物理指标的经验关系参数确定。

水利水电工程中水工建筑物一旦破坏，不仅是其本身还会累周边和上下游，故在参照《建筑桩基设计规范》JGJ 94 的同时，本规范结合行业特点适当提高了单桩竖向承载力确定的要求，即在四级以上均应采用静载荷试验确定。

由于试验单极限承载力标准值是反映特定地质条件、桩型与工艺、几何尺寸的单桩极限承载力代表值，限定其数量主要是为保证评价试桩结果的合理性，当工程桩数量少于 50 根或周边有试桩数据时，可减少 1 根。若实际工程中由于某些原因不足以为设计提供可靠依据或设计另有要求时，可根据实际情况增加试桩数量。

5.1.4 本条规定了水平荷载较大的桩基单桩水平承载力特征值确定的方法，试验时宜加载至桩顶出现较大的水平位移或桩身破坏。桩基设计等级为四级的单桩水平承载力特征值确定和三级以上单桩水平承载力特征值估算按照本规范 5.4 节计算。

5.1.5 本条所列内容，有的为必算项，有的为可算项，具体应结合工程自身的实际情况进行计算或验算。

通常情况下，水利水电工程中必算项包括竖向承载力、水平承载力和沉降。水工建筑物一般由于上下游水头差、土压力的原因，水平承载力一般较大，且本身对水平位移也有一定的要求，故多数情况下都需要进行水平承载力的计算；由于预制桩的桩身抗压强度远高于钻孔灌注桩，故一般只有采用植入法并进入岩层的预制桩，需要进行桩身强度验算。

5.1.6 本条对植入法设计时的外芯提出了要求。

1 非取土植桩的外芯一般为水泥土搅拌桩或高压旋喷桩，主要适用于填土、粘性土、砂卵石、全风化、强风化基岩等。为减小原地基对预制桩施工的不利影响，在非取土植入法中外芯水灰比较常规成桩要高，同时为保证外芯可成桩，故规定了其水泥或者固化剂的掺量。

2 取土植桩的外芯的施工工艺与钻孔灌注桩相同，主要在老黏土、砂性土、卵砾石、基岩等地质条件中应用，使用该工艺的预制桩一般为端承型桩，竖向承载力较高，为保证内外芯的协同受力，故对外芯的强度提出了一定的要求。

3 植入法应用的目的是提高承载力和降低沉桩难度，当外芯初凝后，预制桩插入困难，故需要在外芯初凝前将预制桩插入。是否加入改性材料、加入何种改性材料，主要根据桩长、沉桩难易程度、沉桩设备、工期、材料来源等因素综合确定。

4 植入法预制桩的竖向承载力依据本标准式（5.3.4-6）进行估算。

5.1.9 根据处于挡水前沿的水工建筑物需要防渗的特点，水工建筑物基础底板与地基土之间应有紧密的接触，以避免形成渗流通道。因此，为了保证渗流安全，土质地基上处于挡水前沿有防渗要求的水工建筑物桩基一般采用摩擦型桩（包括摩擦桩和端承摩擦桩）。如果采用端承型桩（包括端承桩和摩擦端承），底板底面以上的作用荷载几乎全部由端承型桩承担，直接传递到下卧岩层或坚硬土层上，底板与地基土的接触面上则有可能出现“脱空”现象，加之渗流的作用，造成接触冲刷，从而危及水工建筑物安全。因此，水工建筑物的桩基通常宜采用摩擦型桩。当确需采用端承桩时，应设置可靠的防渗措施。

5.2 预制桩布置

5.2.1 预制桩的最小中心距规定主要基于两个因素，其一是减小群桩效应，有效发挥桩的承载力。一般桩间距越小，桩基相互影响越明显，桩基的承载力和支承刚度因桩土相互作用而降低。其二是减小沉桩工艺对桩身质量的影响。对于预制桩而言，通常采用锤击或静压施工，为挤土桩，为减小挤土负面效应，在饱和粘性土和密实土层条件下，桩间距应适当加大，特别是对于桩的排列与数量较多的群桩。当采用挤土效应非常小的植桩工法进行沉桩时，预制桩的间距可参照非挤土灌注桩的间距要求。

5.2.2 本条对桩端持力层选择和进入持力层的深度作了规定。桩端持力层是影响桩基承载力的关键性因素，不仅制约桩端阻力而且影响侧阻力的发挥，因此选择较硬土层作为桩端持力层至关重要；其次，应保证桩端进入持力层的深度，有效发挥其承载力。进入持力层的深度除考虑承载性状外尚应与成桩工艺可行性相结合。预制桩采用植入法嵌岩时，其成孔全断面入岩深度不宜小于 $1.0d$ 且不小于 $0.5m$ 。

5.3 桩基础竖向承载力计算

5.3.1 对于桩的竖向承载力和水平向承载力的计算，一般均按底板底面以上的全部荷载全部由桩承担的原则考虑，不计桩间土的承载能力，这是偏于安全的。本条参照现行行业标准《水工建筑物地基处理设计规范》SL/T 792 的规定，提出对于摩擦型桩经论证后可适当考虑桩间土承担部分荷载，主要是因为摩擦型桩由侧阻力承担上部荷载，当上部结构与桩基的协同变形较好时，土体将承担部分上部荷载，黄河勘测规划设计院和山东黄河河务局等单位的试验成果亦表明，对于摩擦桩基础，设计时如考虑桩间土承担底板底面以上 $10\% \sim 15\%$ 的荷载，工程仍是安全的。实际上，这与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中承台效应是一致的，水利水电工程中建筑物一般均为筏形基础，整体刚度大且多数单体体型相对简单，除地基土为可液化土、湿陷性土、高灵敏度软土、欠固结土时，一般都可适当考虑承台效应。

I 桩基抗压承载力计算

5.3.4 本条列明桩基竖向承载力的估算。

为便于借鉴其他工程行业的应用经验，本规范采用单桩竖向极限承载力标准值除以安全系数 2 作为单桩竖向极限承载力特征值，这与行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093 是一致的。

预制桩单桩竖向极限承载力仍以原位原型静载荷试验为最可靠的确定方法，在试验前，设计单位可采用土的物理力学指标与承载力参数之间的经验关系估算单桩竖向极限承载力。估算方法的核心问题是不同土层极限侧阻力和极限端阻力经验参数的收集，很难给出力求涵盖不同区、土质，具有一定的可靠性和较大适用性的预制桩极限侧摩阻力和桩端阻力标准值。由于静力触探与静压桩在贯入机理及贯入速率等方面的一致性，通过试桩载荷资料建立的原位测试指标与桩侧阻力与端阻力经验关系估算预制桩单桩承载力已为工程界广泛认可，特别是有地区经验时，其承载力的估算可靠度较高。可以按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 中的 5.3.3、5.3.4 条，根据单桥探头、双桥探头静力触探资或标准贯入指标确定桩侧阻力和端阻力。另外，行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 收集得到 317 根预制桩试桩资料，并参考了上海、天津、浙江、福建、深圳等省市地方标准给出的经验值，得到不同桩型的 q_{sik} 、 q_{pk} 经验值，为便于应用，本标准针对预制桩将其表格重新整理，在工程设计前期缺乏资料时，可以参照表 5.3.4-1 的取值进行预制桩承载力估算。该表根据土层状态 (I_L 、 N 、 $N_{63.5}$) 的范围值给出各种状态对应的桩侧摩阻力和桩端阻力，均为范围值，工程技术人员需根据土层的状态作出判断后给出对应的摩阻力和端阻力具体数值。

目前，国内预制桩植桩技术主要分为两大类：非取土类植桩和取土类植桩。其中，非取土类植桩可再细分为搅拌植桩（包括劲性复合桩、深层搅拌复合桩等）、旋喷植桩（包括高压旋喷植桩和

潜孔锤高压旋喷桩植桩等)等;取土植桩常见的形式有回转钻成孔植桩、旋挖成孔植桩、长螺旋压灌混凝土植桩和异位搅拌植入复合桩(EMC 桩)等。本规范中植入法设计时,除预制桩长度小于外芯的情况,其余情况均要求按打入桩停锤标准或终压标准进行控制。因此,对于外芯扩大的植入法预制桩,其承载力计算时桩身周长计算取外芯直径,即外芯截面周长,考虑预制桩植入挤密作用,桩的极限侧阻力标准值在估算时可取灌注桩极限侧阻力标准值区间的高值,对于桩端极限阻力标准值的计算,可按表中的混凝土预制桩取值。同时,端阻力计算时应结合不同植桩工法固化材料、不同桩端持力条件,选取不同的桩端极限阻力调整系数。该方法已有大量试验数据作为实测依据。

5.3.6 本条适用于岩石饱和单轴抗压强度标准值大于 2MPa 的情况,其计算与行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 相一致。

5.3.7 桩身结构强度验算不同于一般的轴心受压构件的强度验算,一方面它需考虑桩在制作、运输、沉桩、接桩或水下作业等施工过程中,多种不确定因素对桩身材料的削弱影响;另一方面也需考虑桩在地基土中实际受力状态与理想的轴心受压状态之间的差异在长期荷载作用下可能产生的不利影响。国内外工程界多数是通过成桩工艺系数或工作条件系数来控制桩身材料容许应力的实用方法,来综合考虑上述二方面因素的影响。因此,按桩身混凝土强度验算桩的承载力时,应按成桩工艺的不同将混凝土的轴心抗压强度设计值乘以综合折减系数 ψ_c 来计算。

行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 中的预制桩成桩工艺系数取为 0.85,国家标准《建筑地基基础设计规范》GB5007-2011 中取 0.55~0.65。可见目前各规范关于预制桩桩身强度的计算和成桩工艺系数取值上还存在一些差异,造成上述差异的原因主要有以下几个方面:一是部分预制桩龄期不到便开始沉桩;二是部分工程受土层条件(硬土或基岩)或沉桩方式(锤击)的影响,导致桩身沉桩过程中混凝土受损;三是上述标准制定较早,早期的施工设备仍有不足,施工规范性有待提高。随着预制桩应用的快速发展,工厂化规模、规范化程度高,其桩身比灌注桩更有保证,同时各地均具有较大的样本数量可供参考,故对抱压式施工取综合折减系数 $\psi_c=0.70$,而对顶压式施工取综合折减系数 $\psi_c=0.80$,对于采用植入法沉桩施工的预制桩,桩身完整性受施工因素的影响较小,将 ψ_c 提高至 0.80~0.85。但在应用中仍应关注预制桩桩身出厂质量,并考虑场地条件、施工方式等因素,施工过程中应严格施工、加强现场管理和监理。

5.3.8 对于高承台基桩,桩身穿越可液化土或不排水抗剪强度小于 10kPa 的软弱土层的基桩,由于桩周约束小,容易发生压屈失稳问题,设计时应综合桩顶、桩端的约束条件考虑压屈影响,即将公式 5.3.7 乘以稳定系数折减后作为单桩竖向力设计值。

II 桩基抗拔承载力计算

5.3.11 预制桩桩身裂缝控制计算主要用于抗拔桩,根据预制桩所处的环境类别,参照《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关要求,预制桩正截面的裂缝控制等级分为三级。为保证其耐久性,对桩身裂缝的控制从严要求,故裂缝控制等级严于普通钢筋混凝土桩。

5.3.13 预制桩作为抗拔桩,有几方面问题值得注意。首先,预制桩作为抗拔桩时桩身结构强度如何控制尚没有一致认识。有采用混凝土有效预压应力进行控制,也有在此基础上还考虑混凝土的抗拉强度。其间的差别主要体现在对预制桩混凝土抗裂性能的不同认识。其本质是对于预应力桩抗裂控制要求的不同,相比较而言,采用有效预压应力进行控制是较为安全的。其次,影响预制桩抗拔承载力的另一方面是焊缝强度、端头板厚度以及桩顶与承台的连接构造(包括填芯高度、插筋的设置)等。从理论计算看,端板与预应力钢棒连接强度是抗拔桩的薄弱环节,当预制桩作为抗拔桩时,端板厚度需要作适当加强。预制空心桩内采用微膨胀混凝土填芯并内设插筋是预制空心桩与承台连接的较好方式,填芯高度和插筋应进行验算。在试验研究方面,浙江省进行了管桩(PC500(100)AB 型)结构抗拉性能的试验研究,从单桩结构强度、焊缝、填芯等方面进行了拉伸破坏性试验。在 11 根试桩中,6 根拉力直接作用于端板上的试桩中 5 根首先出现墩头断裂、端板拉脱,另 1 根先出现桩身裂缝再出现墩头断裂。5 根填芯后拉力通过钢筋施加的试桩,3 根首先出现桩身裂缝,1 根墩头

断裂，另 1 根未破坏；5 根试桩均未出现填芯段滑移，桩身裂缝均首先出现在套箍尾端。试验结果表明，在接头焊缝质量和填芯质量保证的前提下，拉伸作用下桩身混凝土首先出现环裂，但管桩仍能继续承载，然后是墩头断裂或环向裂缝宽度达到 1.0~1.5mm 从而导致管桩破坏。室内试验的受力情况与工程实际情况虽不尽相同，但也提供了一些有益的参考。

在实际工程中，预制桩作为抗拔桩时，影响桩身抗拔承载力的因素较多，需要验算钢棒及墩头抗拉强度、端板孔口抗剪强度、接桩连接强度、桩顶（采用填芯混凝土）与承台连接处强度等桩身结构强度。取以上计算得到的最小值作为桩身抗拔承载力设计值，并满足荷载效应基本组合作用下基桩的上拔荷载。当与桩土抗拔承载力特征值进行比较时，可以采用简化规则，近似按设计值乘以 1.25 后应不小于 2 倍的抗拔桩承载力特征值进行计算。

抗拔桩的桩顶填芯混凝土长度和连接钢筋总横截面积的经验计算公式。抗拔桩填芯混凝土的抗剪强度由于预制桩内壁或多或少存在着一层浮浆层而离散性较大，加上预应力混凝土空心桩尤其是小直径（或边长）桩的内孔直径较小，填芯混凝土施工环境差，质量稳定性也差，故填芯混凝土与预制桩内壁的粘结强度设计值，宜由现场试验确定。当缺乏试验资料时，规范提出 C30 掺微膨胀剂的填芯混凝土 f_b 可取 0.30~0.35MPa，以上建议值是通过一些抗拔试验资料反算出来的，是留有一定的安全储备。当然，若填芯混凝土的施工质量较差，取 $f_b=0.30\text{MPa}$ 也可能会有问题，因此保证填芯混凝土的质量是关键。

5.4 桩基水平承载力和位移计算

5.4.1 水工建筑物一般规模尺寸均较大，桩基多为群桩基础，在不同运行工况下，承受上下游水头、土压力等荷载作用，还有部分可能承受双向水头的作用，同时不同建筑物的上部结构的约束刚度、地基土均有一定的差异，群桩基础中各排桩实际承受的水平向荷载的分担比例难以做出具体的规定，目前设计时仍按全部水平向荷载由各桩平均承担的原则进行设计计算。

5.4.5 试验发现，对于低配筋率的桩，通常是桩身先出现裂缝，随后断裂破坏，单桩水平承载力由桩身强度控制；对于抗弯能力强的桩，桩身虽未断裂，但由于桩侧土体塑性隆起，或桩顶水平位移大大超过使用允许值，也认为桩的水平承载力达到极限状态。此时单桩水平承载力由位移控制。除部分 A 型桩外其余各种型号的预制桩的开裂弯矩值均大于相同直径配筋率为 0.65% 的灌注桩的抗弯承载力设计值，可认为是抗弯能力强的桩，桩的水平承载力由水平位移控制。为安全起见，本规范中对于 A 型桩的水平承载力估算建议按桩身强度控制。

5.4.6~5.4.7 影响单桩水平承载力和位移的因素包括桩身截面抗弯刚度、材料强度、桩侧土质条件、桩的入土深度、桩顶约束条件等。除桩身截面抗弯刚度，即桩身截面尺寸外，桩侧土水平抗力系数的比例系数 m 对承载力影响是较大的，桩身强度控制受影响稍小，呈 $m^{1/5}$ 的关系；桩身位移控制受影响较大，呈 $m^{3/5}$ 的关系。故对于受水平荷载较大的桩基，应通过现场单桩水平承载力试验确定单桩水平承载力特征值。在初设阶段可按照公式（5.4.6-1）和（5.4.7-1）进行计算，确定桩型规格。

5.4.8 采用考虑群桩相互影响、桩顶约束、承台（底板）侧土质条件的群桩效应综合系数法。本条适用于承台顶面弯矩较小的情况，设有地下结构、顶面弯矩较大时，需按照行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 中附录 C 的规定进行计算。

5.6 构造要求

5.6.1 本条主要是关于预制桩的连接接头要求。

1 受生产、运输、吊装、沉桩设备等因素影响，预制桩的单节长度一般多在 15m 以下，陆运最大长度不超过 20m，对于桩长较大桩基，需要现场施工时连接后使用。一般用于抗压的预制桩接桩方式仍以焊接连接为主，也可采用机械连接的方式；对于有抗拔要求的预制桩，宜采用专用的抗拔桩机械连接，也可以采用机械-连续焊接连接，采用常规的焊接连接，由于受焊缝尺寸、焊接质量的影响，难以满足抗拔的要求，因此要求采用专项设计的焊缝，即根据抗拔承载力要求计算的焊

缝高度及加强构造设计；有抗弯要求的预制桩，主要是指需要承受较大水平荷载或直接承担支护的桩，宜采用专项设计的加强焊接连接。

2 为保证便于工程应用（接头位置可位于任何位置），要求连接后接桩处的连接强度不低于桩身。接头数量较多时，由于桩身垂直度误差和施工误差，易造成整根桩的桩身弯曲度过大，降低了工程桩的承载力，所以规定单根预制桩的接头数量不宜超过 3 个。当然目前在沿海软土区域应用的最长的预制桩已经超过 70m，接头数量也超过 3 个，对于超长桩的应用应采取可靠的施工措施并有足够的安全富裕度。

5.6.2 预制桩为打入型挤土桩，沉桩时需要克服地基阻力至设计标高，为防止锤击数过高、拉应力或压应力过大等因素造成桩身受损，以及解决部分特殊性质地基土的工程问题，可采取在桩端设置桩尖的方式。根据桩尖材料可分为钢制桩尖和混凝土桩尖，钢制桩尖通过焊接与桩身连接，混凝土桩尖一般与桩身一体成型，也可采用分离式，现场拼装；根据开口情况可分为开口型桩尖和闭口型桩尖。

1 敞口型桩尖为钢制桩尖，壁厚薄，材质强度高，且内径大于预制桩内径，故其穿透能力最强，可打入砂层、砾石层、风化岩层等硬土层一定深度，桩尖的长度不宜小于附录 B 所列数值，具体可根据需要穿过或打入土层的深度确定。

2 空心桩用于持力层为易软化的风化岩层（尤其是强风化泥岩，以及含泥较多的强风化、全风化花岗岩）的场地，有时压桩和静载荷试验时显示承载力均能达到设计要求，但休止期或更长时间后再做静载荷试验，承载力降低许多，究其原因是在桩尖附近有水，或有水渗到桩尖，使含泥较多的强风化、全风化花岗岩遇水易发生崩解软化，导致端阻力大大降低。因此，应该选择闭口型的桩尖，同时为防止桩尖在制作或施工过程中有缺陷（缝隙、裂缝等），在最下端桩节施工后立即采用无收缩的混凝土或砂浆进行封底处理，可较好的解决软化问题。

5.6.3 对于直径或边长较大的空心桩，应在桩顶适当部位开设一定数量的透气孔，主要是为了减小沉桩过程中桩身内外的空气压力差，并避免产生水锤效应。预留透气孔宜根据预制桩的尺寸不同设置，一般在 2~5 个左右。为不影响桩身性能，排气孔和排水孔孔径一般不超过 50 mm。

5.6.4~5.6.5 桩与承台按半刚性连接时，桩顶弯矩相对刚性连接，弯矩可降低 40%，水平位移增加约 25%，此时桩进入承台的深度为 50 mm~100 mm，此时十分有利于桩基抵抗地震等较大作用的水平荷载，日本自 1995 年阪神地震后，明确规定桩与承台应实现半刚性连接。我国行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 一直沿用 50 mm~100 mm 的规定，行业标准《水工建筑物地基处理设计规范》SL/T 792、《水运工程桩基设计规范》JTS 147-7、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 则规定不小于 100 mm。综合以上因素，本标准主要用涉水相关的建筑物，受力条件复杂，耐久性要求高，故采用半刚性连接~刚接之间连接方式，规定嵌入深度不小于 100 mm。

预制桩与底板（承台）连接处填芯混凝土的主要作用是改善桩顶的受力状态，同时桩芯纵向钢筋伸入桩帽一定长度，能增加连接点的延性，并使节点抗弯、抗剪承载能力也略有增加。

为保证填芯混凝土与预制桩内壁的有效粘结，填芯前应先将预制桩内壁清理干净，并用在涂刷水泥净浆或混凝土界面剂，增加新旧混凝土间的粘结强度，且填芯混凝土的最低强度等级不应低于 C40。为防止混凝土收缩造成新旧混凝土分离，应采用微膨胀混凝土填充。

5.6.7 本条提出植桩的成孔直径与预制桩的直径或对角线差的范围值，主要是考虑两个方面：一是桩长与桩身垂直度之间的协调，当桩较短且持力层为基岩时可取小值，反之取大值；二是充分发挥预制桩桩身强度。

6 复合地基设计

6.1 一般规定

6.1.2 多桩型复合地基主要用于解决特殊地质的承载力问题，同时兼顾造价和时间成本。如湿陷性黄土地区，先采用挤土的灰土桩处理湿陷性，再施工预制桩形成复合地基；再如可液化土先采用碎石桩挤密消除湿陷性，再施工预制桩形成复合地基。

6.1.3 复合地基对于预制桩承载力要求不高，常规桩型应用材料富裕大，经济性不好。因此，用于复合地基的预制桩一般均选用薄壁型桩，圆桩直径多为 600mm 以下，方桩边长多为 400mm 以下，桩身力学性能较普通桩低。为防止在施工过程中桩身开裂、破损，应综合地质条件、施工场地、周边环境的要求确定施工工艺。

6.1.5 本条主要规定了预制桩复合地基的应用方式。通过桩与土变形协调使桩与土共同承担荷载是复合地基的本质和形成条件，桩端应该进入承载力和压缩模量相对较高的土层，满足地基承载力和沉降即可。这其实是要求复合地基按照摩擦桩来设计，若设计为端承型桩，桩间土将不再承担荷载，实际受力特性变为桩基，故设计时应避免。

长桩和短桩组合的应用方式，主要侧重降低工程造价，对于地基有多层坚硬土层的情况，上部软弱区域处理后，沉降即可满足设计要求，但承载力可能稍有不足，可以通过间隔布置长桩的方式，提高复合地基承载力。同时，长桩和短桩组合复合地基上部置换率高、刚度大，下部置换率低、刚度小，与荷载作用下地基上部附加应力大，下部附加应力小相适应。

6.2 预制桩布置

6.2.2 复合地基的平面布置多采用正方形、等边三角形，这是因为对称形状布置，对荷载的传递也更为有利，也使地基的挤密加固作用更加均匀。考虑基础形式和上部荷载分布等因素的影响，也可以采用矩形布置的方式。

6.2.3 相对于桩基而言，复合地基中的预制桩桩长短、桩径小、壁厚薄，桩间距可适当放宽。考虑到预制桩施工时的挤土效应可能造成桩身的偏位、倾斜、桩身上浮等影响单桩承载力和地基处理效果，本规范规定要利用挤土效应处理湿陷性黄土、可液化土时，桩间距最小可取 2.5d；其他情况，挤土效应不明显或无挤土效应时，不宜小于 3.0d，挤土效应明显时不小于 3.5d。

6.3 复合地基计算

6.3.2 复合地基承载力由刚性桩的竖向抗压承载力和桩间土地基承载力两部分组成，由于桩土相对刚度、褥垫层厚度不同，两者对承载力的贡献不可能完全同步，同时受勘察报告中提出设计参数的富裕程度不同的影响。因此，在现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 中提出了单桩承载力发挥系数、桩间土承载力发挥系数和桩端端阻力发挥系数，同时由于受上述多重因素的影响，故强调需要根据地区经验推定的经验系数进行取值。

复合地基承载力初步计算时，单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数的取值范围一般在 0.8~1.0 之间，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，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。无设计经验时，单桩承载力发挥系数 λ 可取 0.8~0.9，桩间土承载力发挥系数 β 可取 0.9~1.0。设计参数取值是否合理，关乎工程安全和工程投资，故无经验地区应根据试桩情况反推确定。

考虑到刚性桩刚度一般较大，增强体单桩承载力计算时的桩端端阻力发挥系数 α_p 一般可取 1.0。

6.3.7 复合地基变形从理论上将其分为复合加固层变形和下卧层变形，将两部分变形相加得到，故要求地基变形计算深度要大于复合土层。变形估算方法仍采用分层总和法，各地可根据工程特性、试验结果和地区经验，选择适宜的方法确定。

对于长桩和短桩复合地基，应按长短桩加固区和仅由长桩加固区分别乘压缩模量提高系数。

6.4 构造要求

6.4.1 复合地基中褥垫层具有如下作用：

- 1 确保桩、土共同承担上部荷载；
- 2 通过改变褥垫层厚度，可调整桩、土垂直荷载的分担比，褥垫层越薄，桩分担荷载越多；
- 3 减少基础底面的应力集中。当褥垫层厚度为零时，桩对基础的应力集中很显著，和桩基一样，需要考虑桩对基础的冲切破坏；当褥垫层达到一定厚度时，基底反力即为天然地基的反力分布；
- 4 调整桩、土水平荷载的分担，褥垫层厚度过小，且在软弱淤泥土层中时，褥垫层会产生较大变形，形成桩间土的下陷，会使桩间土承载能力不能充分发挥，同时也会传递较大的水平力至预制桩增强体，容易造成桩身损坏；褥垫层厚度过大，能充分发挥桩间土的承载能力，但桩承担的荷载太小，甚至形成负摩阻区，使得复合地基中桩的设置失去意义。在抗震设防区，不宜采用厚度过薄的褥垫层。

因此，褥垫层厚度应根据桩的直径、间距或置换率、桩土相对刚度、上部结构对沉降的要求等综合确定。根据工程经验，褥垫层的厚度可按预制桩直径（边长）的 1/2 取值。

6.4.2 砂石材料强度高、稳定性好，能有效的将上部结构荷载分散至地基，是优良的垫层材料。对于水工建筑物，为了防止其底板与地基脱空，形成接触冲刷，一般均需设置可靠的防渗措施，包括防渗铺盖、垂直防渗墙等，对于已经设计可靠防渗措施的建筑物，其复合地基的褥垫层可选用砂石料，但当基底有粉土、粉细砂等渗透系数较大土层时，宜在砂石垫层中加入灰土或水泥土，达到一定的防水要求。

为防止渗流对湿陷性黄土、膨胀土的不利影响，对于未完全消除特殊土不利影响的预制桩复合地基褥垫层，应该选用防水性好的灰土垫层。

6.4.3 褥垫层材料可为粗砂、中砂、级配砂石或碎石，碎石粒径宜为 5 mm~16 mm，不宜选用卵石。当基础底面间土含水量较大时，应避免采用动力夯实法，以防扰动桩间土。对基底土为较干燥的砂石时，虚铺后可适当洒水再行碾压或夯实。

褥垫层应分层进行压实，分层厚度一般为 200 mm~300 mm。由于砂石不存在最佳含水率，故砂石褥垫层的压实程度采用夯填度（夯实后的厚度与虚铺厚度的比值）更容易控制。

6.4.4 复合地基中预制桩桩顶封闭是防止褥垫层落入桩内，是功能需求而结构需求，要求低于桩基结构，因此其封闭方式可根据设计要求设置。无论采用何种方式，应保证荷载传递至桩顶时，封闭措施不发生破坏，如填芯混凝土，其填芯高度应使填芯混凝土不与桩身分离。

7 施 工

7.1 一般规定

7.1.1 施工前应准备好相关的各种资料，特别是应着重在三个方面：一是场地现状及周围环境，包括影响预制桩施工的高压架空线、地下电缆、地下管线、位于桩位处的旧建（构）筑物基础和杂填土中的石块等，水上沉桩时，还要考虑水深、通航情况等，，同时应考虑施工对周围建筑及环境造成的影响；二是场地气象、地形、地质资料，根据场地条件选择合适的施工工艺，确定主要设备性能和配套设备等；三是编写施工组织设计，施工组织设计是作为现场管理和质量保障的主要依据，能充分反映施工单位现场管理水平和技术水平。

在预制桩施工前应清除或妥善处理高空及地下障碍物，否则会妨碍施工，延误工期，影响沉桩质量。

7.1.4 水利水电工程中的建筑（构）物一般多为筏形基础，桩基设置密集，沉桩结束后应对桩顶上浮以及水平位移进行检测，变化值较大时应复打或复压。

7.1.6 沉桩顺序是施工方案的一项重要内容，以往施工单位不注意合理安排沉桩顺序而造成事故的事例很多，如桩位偏移、挤断上拔、地面隆起过多、建（构）筑物破坏等，因此，施工时必须合理安排施工顺序。

7.1.7 桩位施放是现场控制重要环节之一，同时需防止施工时的桩点跑位，因此，施工时需经常对将要施工的桩位进行复核，以保障桩点位误差在允许范围内。

7.1.8 当预制桩已打斜，应尽可能拔出桩身，查明原因，排除故障，桩孔用砂土回填后再进行施工。

7.1.11 为准确控制沉桩深度或桩顶标高，施工前对全部工程的桩顶标高进行分类，并在施工时严格按设计标高执行，一般采用水准仪控制桩顶标高。对于以密实土层作为桩端持力层的场地沉桩时，锤击法可采用贯入度控制，最后三阵贯入度不宜小于 30 mm/10 击，以防止将桩头打坏，并根据不同的锤型或不同的设计要求综合确定；静压法可采用压桩力控制，其控制的压桩力不能超过桩身结构承载力设计值。对于不能达到设计要求的桩，应及时向设计人员反馈，当施工桩长与设计桩长差异较大时，设计应采取相应的措施。

7.1.12 当遇到密实的砂土、饱和黏土等硬土层，桩难于穿透沉到设计标高，或需要减少桩的挤土效应时，此时可采用引孔辅助沉桩法。

引孔孔径一般比预制桩直径或边长小 100 mm，否则设计应考虑钻孔对承载力的影响；也有与预制桩直径一样的孔径，主要看现场的土质情况、桩直径、桩的密集程度等因素而定。一般情况下，钻孔深度不宜超过桩长的 2/3，主要是因为钻孔太深，孔的垂直度偏差不易控制，一旦钻孔倾斜，管桩下沉时很难纠偏，也容易发生桩身折断事故。

对于大直径桩，还可采用边打边引孔的工艺，即先采用锤击或静压沉桩，到达硬土层沉入阻力大时，长螺旋从空心桩孔内取土后，继续打入，应用时应充分考虑空心桩内径对长螺旋垂直度偏差的要求。

钻孔内积水，宜采用开口型桩尖，若用封口型桩尖，桩端部一般达不到孔底，会造成工程质量事故。对于易塌孔土层，地下水位以下引孔应采用泥浆护壁回转钻进工艺。

7.1.13 沉桩过程综合反映了土层的阻力、桩身质量、桩锤锤击和压桩机效能，沉桩出现的异常情况与地质、设计、施工、桩质量均有关，因此，施工遇到本条所列情况之一时均应暂停打桩，并及时报设计、监理等有关人员，以便进行原因分析，研究处理解决的措施。

7.1.14 沉桩后，桩头高出地表部分需小心保护，严禁施工机械碰撞或将桩头用作拉锚点；沉桩后，桩孔洞应做好回填、覆盖等措施，防止坠人、坠物事件发生。

7.1.15 由于土方开挖未分层造成桩位偏移甚至桩身断裂事故时有发生，故开挖必须制定施工方案，

开挖顺序必须合理适当。为防止挖土机械对预制桩的碾压和碰撞而破坏桩体，对流塑性状软土的地基开挖，应防止土体侧移对桩身产生的不良影响，其开挖高差不应超过 1.0 m，否则容易导致预制桩大量偏移或断桩。

7.1.16 一般饱和黏性土、粉土地区，超孔隙水压力的消散时间为 15 d，淤泥质土时间会更长一些。因此，建议各地区结合当地经验确定合理的基坑后基槽开挖时间。

7.2 起吊、运输和堆放

7.2.2 现场施工时，预制桩一般采用两点吊或多点吊，绑带绑扎于吊点位置起吊，为便于工人操作，确保安全，堆放时应设置长木方或枕木支垫。

7.3 接桩与截桩

7.3.1 接桩一般需要较长的时间，特别是焊接，施焊后需待冷却后方可继续沉桩，停歇在接近硬土层的预制桩再进行沉桩时，易造成沉桩困难。

7.3.2 预制桩采用焊接接桩时，焊缝的焊接质量应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 中的二级焊缝控制，焊接完成后应进行外观检查，焊缝质量检查数量应满足设计要求或符合现行国家及行业标准的相关规定。

采用植入法时，桩位处外芯桩仍处于流动状态，侧向约束小，特别是首节桩入土深度小，为防止预制桩由于自重下沉和偏位，故在接桩时需采用工具固定。

考虑到高温的焊缝遇到地下水，如同淬火一样，焊缝容易变脆而被打裂，自然冷却的时间对于焊接接头的质量非常关键。经综合考量和工程实践，电焊结束后冷却的时间规定：1) 手工焊接的自然冷却时间不应少于 6 分钟；2) 二氧化碳气体保护焊所用焊条的直径细，散热快，所以确定其自然冷却时间为不应少于 3 分钟。

目前，工地上的桩尖焊法很不规范，起吊后点焊、仰焊做法仍然存在，焊接质量较差。因此，一定要加强桩尖焊接质量的监督。

7.3.3 由于机械连接的种类较多，不同的机械连接的技术特点各有不同，本条对不同机械连接的技术要点和质量控制进行规定，工程实践中应加强监督，严格按照机械连接操作流程作业，以避免以往由于接桩质量问题导致沉桩过程中由于锤击拉应力和土体上涌接头被拉断的事故。

7.3.4 预制桩截桩应采用锯桩器。截桩应采取有效措施（如通过机械方法将不需要截除的桩身端部用钢抱抱紧）防止桩头开裂，若截桩时出现较严重的裂缝，应继续下移截桩，将裂缝段去除。可采用桩头外包混凝土，加强桩顶嵌固的方法进行补强。

7.4 静压法施工

7.4.1 本条规定了静压法对静力压桩机的选择原则和施工方法。目前工程中常用的静力压桩方法分为顶压式和抱压式，桩机的选型应注重地方施工经验，结合 7.4.2 条允许压桩力的计算，顶压式施工方法对桩身更为有利。

顶压法沉桩和锤击法沉桩的工作原理相似，因此要求顶压施工时，应设置桩帽和弹性衬垫，保护工程桩顶部，避免被压坏。

对于临近建（构）筑物附近的桩基，静力压桩机需采用边桩器施工，现有设备边桩器的作业一般要求与邻近建（构）筑物距离不宜小于 2 m。

7.4.6 静力法压桩施工时应严格控制第一节桩的桩身垂直度，以防止偏心造成桩身破损，确保单桩竖向承载力符合设计要求。在整根桩的压入过程中，不宜停歇或尽量缩短停歇时间。应严格控制压入速度，特别是在软土地基上，以防止速度过快造成的桩身倾斜。

7.4.7 本条规定了送桩器的截面形状、长度和刚度要求。一般情况下送桩器的刚度宜和工程桩接近，便于准确判定终锤或终压标准。送桩器刚度过小时，会导致部分锤击能量不能有效下传至工程桩顶，工程桩会因总锤击数过大造成桩身损伤。目前工程中使用的送桩器一般均采用钢管制作，只是送桩

器的底端做法不同,有的采用钢套筒直接罩住预制桩桩顶部,有的在其底部设置四个固定爪等。本规范建议采用底部为套筒式的钢制送桩器。对于送桩器的垂直度应密切观察,严禁在送桩器倾斜情况下送桩。送桩器的下端应设排气孔,便于管腔内的水和气体外排,避免因此损坏桩身。

7.4.9 如果送桩深度太大,送桩器向下传递的能量衰减较多,传递到工程管桩顶部的能量不足,无法使桩身继续贯入,并且可能因送桩器的垂直度不符合要求把工程桩的顶部打坏或压坏。当有地方经验时,可适当加大。

7.4.10 终压标准一般以桩长控制(桩端标高控制)为主,最大压桩力控制为辅,必要是也可采取桩长和最大压桩力双控。一般情况可按设计要求、持力层情况、试桩资料等数据综合分析确定。

终压标准有点类似于打桩的停锤标准,主要的定量控制指标是:终压力值、终压次数和稳压时间。稳压时间一般规定为 3s~5s,所以实际上只有终压力值和终压次数这两项。稳压时间是指终压时每次用终压力值持续稳压的时间,不宜太长,一般应控制在 3s~5s。稳压时间太长,桩机上高压油泵和油管很快破损。另外,增加稳压时间,对单桩承载力的增加并不起多大效果,因为这些都是瞬间压力,倒不如增大终压力值,反而能起到一点增载的效果,但终压力值受桩身抱压允许压桩力的限制,不能无限增加。

终压次数一般不宜超过 3 次,靠增加终压次数来提高静压桩的承载力,是得不偿失的一种做法,终压次数太多,承载力并没有太多的增长,反而容易引起桩身和压桩机的损伤。当然,对施压人士深度小于 8 m 的短桩,允许终压次数最大可增至 5 次。

7.5 锤击法施工

7.5.1 液压打桩锤无油烟污染,其锤击噪音要比柴油锤小 30 分贝左右,而且锤击能量大小的选择范围较大,冲击体的质量从 7 t~30 t 都有,落距从 20 cm~150 cm 可自动调节,比柴油锤一跳动就达 1.6 m~1.8 m 的落距小得多。

柴油锤爆发力强,锤击能量大,工效高,锤击作用时间长,打桩应力峰值不高,落距可随桩阻力的自动调整,人为掺杂因素少,较适用于预制桩的施打,但打桩会引起油烟、噪声、振动等污染,故在临近居住区域受到限制使用,但在远离居住区域,打桩作业还普遍存在。柴油锤分筒式和导杆式两种,筒式柴油打桩锤是利用芯(上活塞或冲击体)往复运动进行锤击打桩,导杆式柴油打桩锤是活塞固定、缸体往复运动作为冲击体进行锤击打桩,因其锤击能量较少、使用寿命短已逐渐被淘汰,在某些地区有用于沉管灌注桩和一些小直径预制桩的施工。

水利水电工程一般都距离人类聚集区较远,故设备的选用以经济适用为主要考虑因素,具体采用哪种设备由施工企业综合考虑。

7.5.2 桩帽的刚度、内径、深度关系到桩头的保护和耐锤击能力。桩帽需经得起重锤击打,桩帽下部套桩头用的套筒应做成与预制桩的截面相匹配。套筒的深度宜取 350 mm~400 mm,套筒深度太浅,套入的预制桩容易“掀帽、脱帽”;套筒太深,一旦桩身或桩帽略有倾斜,筒体下沿口的钢板就会磕伤桩头上的混凝土。套筒内壁与管桩外壁的间隙过小,桩身一有倾斜就容易挤坏桩身;间隙过大,容易出现偏心锤击。桩帽与桩头间必须设置弹性桩垫,弹性、厚度适宜的桩垫,可以延长锤击作用的时间,降低锤击应力的峰值,起到保护桩头的作用,也可提高管桩的贯入效率。规范强调桩帽套筒应与施打的管桩直径相匹配,现场应严格限制一帽多用以及“博士帽”使用。

7.5.4 沉桩时,必须严格控制第一节桩的沉桩质量,认真注意稳桩、压桩时的桩身变化情况,发现有偏移或倾斜时,应立即分析原因,采取校正措施。。开始锤击时,宜用低能量、低冲程或空锤锤击 3 击~5 击,在确认桩身贯入方向无异常时,方可连续锤击。

7.5.5 对每根桩的总锤击数及最后 1 m 沉桩击数进行限制,目的是防止桩身混凝土产生疲劳破坏。有统计资料表明,大多数预制桩的总锤击数在 300 击~1500 击之间,少数超过 2000 击,个别达到 3000 击甚至 4000 击;超过 3000 击时,桩身容易被打坏或产生严重的“内伤”。当某工地为数不少的桩总锤击数超过本条规定时,设计者应从锤型、持力层和停锤贯入度等方面去反复调整。

7.5.7 锤击沉桩控制受地质、锤型和桩型等众多因素影响,停锤标准包括的内容、指标较多,如桩

的入土深度、每米沉桩锤击数、最后一米沉桩锤击数、总锤击数、最后贯入度、桩尖进入持力层深度等。一般情况下，桩端持力层、最后贯入度或最后一米沉桩锤击数为主要控制指标，其中桩端持力层作为定性控制指标，最后贯入度或最后一米锤击数作为定量控制指标。其余指标可根据具体情况有所选择作为参考指标。定量指标中用得最多的是最后贯入度，一般以最后三阵（每阵十击）的贯入度来判断该桩能否停锤。而最后贯入度大小又与工程地质条件、桩的承载性状、单桩承载力特征值、桩规格及桩入土深度、打桩锤的规格、性能及冲击能量大小、桩端持力层性状及桩尖进入持力层深度等因素有关，需要综合考虑后确认。但由于地质等条件复杂多变，最后贯入度并非是打桩停锤的唯一控制指标，应具体情况具体分析，最终目的是为了保障单桩的承载能力，控制建（构）筑物的沉降，使建（构）筑物安全、适用。

一般情况下，最后三阵的贯入度不宜小于 30 mm/10 击，以防止将桩头打坏，既保护了桩身，又延长了打桩锤的使用寿命。有些特殊的地质条件，如强风化岩层较薄（ $\leq 1.0\text{m}$ ）且上覆土层又较软弱时，要达到同样的承载力，最后贯入度控制值可适当减少，但不宜小于 25mm/10 击，否则，应从设计入手适当减少单桩竖向抗压承载力特征值。在这种特殊的地质条件下测量一阵贯入度，若贯入度值达到停锤标准时即可停锤，若再打第二阵，预制桩易被打坏。当然，在以全风化岩层、密实砂层、坚硬土层作桩端持力层的预制桩工程，应量测最后三阵贯入度值，当每阵贯入度值逐渐递减且最后二阵达到停锤标准时即可停锤，终止施打。

7.6 植入法沉桩

7.6.1 植入法的预成孔工艺是采用现有水泥土桩或钻孔灌注桩工艺，本规范对于预成孔施工工艺不再赘述，施工时应参照国家现行相关标准执行。水泥土桩的工艺用于非取土植桩，钻孔灌注桩工艺用于取土植桩，包括冲孔、钻孔、旋挖成孔、螺旋成孔、潜孔锤等。

7.6.5 植入预制桩前清除桩孔附近返浆，露出外芯桩孔轮廓，有助于预制桩沉入前定位。

8 质量检查与验收

8.1 一般规定

8.1.1 对于大部分水利水电工程来说，桩基础工程是保证整个上部结构安全的根本，建议确定为重要隐蔽工程。单元工程划分应工程实际情况而定，如果单元工程预制桩的数量较大，当出现不合格情况时，该检验批的桩不准使用，可能会造成较大的浪费，反之则会增加抽检数量。

8.1.3 为保证预制桩质量满足设计要求，必须严格按照沉桩前、沉桩过程和沉桩后等三个阶段进行检验和验收，只有在上一阶段检验和验收合格后，方可进入下一阶段。

8.2 沉桩前检查和验收

8.2.1 预制桩在制造及吊运过程中，可能发生损坏，在某一工程中甚至出现将明显挠曲的预制桩压入土中的现象，造成了不应有的损失。因此，在预制桩进场时，必须进行逐一检查，检查中特别注意预制桩是否产生微小裂缝，对受损预制桩一概不准使用。列出检查和检测的内容，便于施工单位自检，监理、质监、业主等单位检查验收。当对检查结果有异议时，应由具有相应检测资质的单位对进入施工现场的预制桩桩节进行随机抽检，可先进行桩身抗弯检测，再从合格的样品中进行破损检测钢筋的混凝土保护层厚度、钢棒的数量和直径、螺旋箍筋的直径、间距和加密区长度等。

8.2.2~8.2.3 预制桩进场时，应按照本条规定进行外观质量和尺寸偏差的抽检，抽检数量不少于 2% 的桩节总数，且不得少于 2 节。本条规定要求生产企业把控好管桩的出厂质量，杜绝不合格品进入工地。预制桩用的螺旋箍筋，一般为冷拔低碳钢丝，多为企业自行生产，出现负偏差的情况时有发生，另外还有极少企业擅自加大箍筋间距。当对预制桩的混凝土保护层厚度、钢筋质量有怀疑时，可随机抽取 2 节桩进行破碎检查，如出现 1 节不合格桩，则该批管桩不得使用。

8.2.5 预制桩的钢桩尖，为施工单位自行制作或另行采购，为限制不按照设计要求进行制作，随意改小钢桩尖尺寸或焊接不规范，造成钢桩尖刚度不足，导致工程预制桩沉桩困难，出现桩身被打坏的情况。为确保沉桩质量，本条明确规定了桩尖的检验和验收要求，禁止使用不合格桩尖。

8.2.7 预制桩施工现场堆放条件没有工厂内专用堆场的条件好，不宜叠层堆放过高。一般较好的做法是：按工程进度分批运入预制桩，既避免二次搬运，又便于单层着地放置。

8.3 沉桩过程检查和验收

8.3.1 本条列出沉桩过程中工程质量检验的主要内容，供施工单位自检，监理、质监、业主等单位检查和控制。

8.3.3 首节桩垂直度的控制直接影响到整根桩的垂直度，因此对首节桩垂直度控制要严格一些，不得大于 0.5%。送桩以后桩身垂直度偏差不易测量，故在送桩前进行测量。一般情况下，送桩前后的桩身垂直度不会有大的变化，但在深基坑内的基桩，有时由于基坑土方开挖不当会引起桩身倾斜，故在深基坑土方开挖后，需再次测量桩身垂直度。

桩身垂直与否直接影响工程桩的竖向承载力发挥。因此，当发现桩身垂直度不符合本条的规定时，应及时查找原因并予以纠正。

8.3.6 在沉桩过程中，加强对沉桩设备检查，可及时发现沉桩设备异常，避免工程事故的发生；对衬垫厚度、作业流程的检查，可规范施工人员的作业，避免因原因造成的沉桩质量事故。

8.3.10 由于地质情况变化，如孤石、硬夹层、液化、超孔隙水压力等，沉桩过程中可能随时出现工程桩贯入异常、桩顶打坏或压坏、沉桩困难等情况，往往难以沉桩到设计标高。出现上述情况时，要求相关单位认真检查和分析原因，提出书面解决办法，保证后续沉桩施工顺利实施。

8.3.11 大部分水利水电工程远离居住区或有足够的安全距离，但仍需注意对周边环境的影响，防止挤土效应对边坡稳定或周边建筑物造成不利影响。特别是枢纽工程，建筑物重要性程度高，影响范

围广，工程中建筑物种类多，基础形式也有差异，故大面积桩群施工时应合理设置观测桩，确保沉桩质量。在沉桩过程中，如发现观测桩上浮或桩顶偏移，应立即分析原因并采取合理措施。

8.4 沉桩后检查和验收

8.4.1 目前水利工程中预制桩基础桩身质量和承载力的验收主要参照现行国家标准《建筑地基工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定进行。故工程桩沉桩完毕，相关单位应按照本条规定的内容，逐条进行检测和验收，检测桩应分布应均匀、随机并具有代表性，这对于确保工程桩的力学性能和建筑物安全至关重要。

8.4.4 当低应变有效检测深度不满足要求、III类桩或对检测结果又异议时，可采用高应变法进行验证，对于空心桩也可采用孔内摄像法。同时应注意低应变法对不同形式的接头质量判定尺度较难掌握，所以对接头质量有怀疑时，宜采用低应变法与高应变法或孔内摄像相结合的方式检测，提高完整性检测的可靠性。

工程桩的低应变检测数量不应低于本规范的规定，当检测结果显示存在质量问题的桩较多时，应适当加大检测数量。每个独立承台下抽检，是为提高建筑物整体的安全可靠度，防止刻意挑选非核心部分的受检桩。

对于沉桩过程中贯入度过大、锤击数过多（超过本规范 7.5.5 条规定）、桩身破损、桩身倾斜过大、设计要求等情况的预制桩应逐根检测，检测数量不计数抽检数量内。

8.4.5 静载试验桩的数量，当施工区域地质条件单一时，当地又有足够的实践经验，数量可根据实际情况，由设计确定。承载力检验不仅是检验施工的质量，而且也能检验设计是否达到工程的要求。因此，施工前的试桩如没有破坏又用于实际工程中，可计入同方法验收数量。