

吉林省工程建设地方标准

预应力混凝土桩基础技术标准

Technical standard for prestressed concrete pile foundations

DB22/T 5159-2024

主编部门：吉林省建设标准化管理办公室

批准部门：吉林省住房和城乡建设厅

吉林省市场监督管理厅

施行日期：2024年6月12日

2024·长 春

吉林省住房和城乡建设厅 吉林省市场监督管理厅

通告

第 651 号

吉林省住房和城乡建设厅 吉林省市场监督管理厅
关于发布《建设工程施工现场消防安全风险
管控与隐患治理标准》等 5 项吉林省
工程建设地方标准的通告

现批准《建设工程施工现场消防安全风险管控与隐患治理标准》《城市地下市政基础设施普查技术标准》《城市地下市政基础设施数据库建设标准》《预应力混凝土桩基础技术标准》《公共建筑节能设计标准（节能 72%）》为吉林省工程建设地方标准，编号依次为：DB22/T 5156-2024，DB22/T 5157-2024，DB22/T 5158-2024，DB22/T 5159-2024，DB22/T 5160-2024，自发布之日起实施。

吉林省住房和城乡建设厅
吉林省市场监督管理厅
2024 年 6 月 12 日

前 言

根据吉林省住房和城乡建设厅《关于下达〈2022 年全省工程建设地方标准制定（修订）计划（二）〉的通知》（吉建设〔2022〕8 号）文件要求，由吉林省建苑设计集团有限公司组织勘察、设计、施工及检测等单位，经调查研究，学习借鉴其他省市先进经验，并广泛征求意见，制定本标准。

本标准主要技术内容：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 预应力混凝土桩制品；5 岩土工程勘察；6 设计；7 施工；8 检测和验收。

本标准由吉林省建设标准化管理办公室负责管理，由吉林省建苑设计集团有限公司负责具体技术内容的解释。

本标准在执行过程中，请相关单位总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给吉林省建设标准化管理办公室（地址：长春市贵阳街 287 号，邮编：130051，电子邮箱：jljsbz@126.com），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：吉林省建苑设计集团有限公司
吉林省阳光工程设计审查有限公司

本标准参编单位：建华建材（吉林）有限公司
吉林省恒基岩土勘测有限责任公司
吉林省中化明达勘察设计有限公司
中建材资源与环境工程吉林有限公司
长春市市政工程设计研究院有限责任公司
吉林省阳光硕苑结构设计事务所有限公司
吉林东煤建筑基础工程有限责任公司
吉林大学

本标准主要起草人员：庞海泉 潘宇峰 孙其锋 王 健
贺 帅 武立明 颜培根 杨 刚
曲 波 张信祥 张 玲 邹文龙
王兴吉 刘福兴 王 超 高 涛

杨文和 尹伟超 丁 明 闫艺夫
孙 光 于崇嘉 赵长文 聂国东
王 珂 李 勇 张 宇 卢珊珊
庞香多 张延军 于子望
周 毅 陶乐然 马青龙 王 毅
毕建东 佟德生 周景宏

本标准主要审查人员：

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	7
4	预应力混凝土桩制品	9
5	岩土工程勘察	12
5.1	一般规定	12
5.2	勘探孔布置	12
5.3	取样、试验及原位测试	13
5.4	勘察报告	14
6	设计	16
6.1	一般规定	16
6.2	桩基计算	19
6.3	构造要求	27
7	施工	30
7.1	一般规定	30
7.2	吊运与堆放	34
7.3	接桩与截桩	35
7.4	静压法沉桩	37
7.5	锤击法沉桩	40
7.6	植入法沉桩	42
8	检测和验收	43
8.1	一般规定	43
8.2	施工前检验	44

8.3	施工过程检验.....	46
8.4	施工后检验.....	48
8.5	工程验收.....	49
附录 A	桩型与成桩工艺选择	51
附录 B	工程常用预应力混凝土桩力学性能.....	52
附录 C	预应力混凝土桩的侧阻力特征值、端阻力特征值.....	68
附录 D	静压桩机及适用范围参数表.....	71
附录 E	柴油锤选择及适用范围参数表.....	74
附录 F	沉桩施工记录表.....	75
	本标准用词说明	77
	引用标准名录	78
附：	条文说明	79

1 总则

1.0.1 为贯彻执行国家的技术经济政策,使预应力混凝土桩基础工程做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于预应力混凝土桩基础工程的勘察、设计、施工、检测和验收。

1.0.3 预应力混凝土桩基础工程除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 预应力混凝土桩 prestressed concrete pile

采用先张法预应力工艺成型的圆形或方形截面的混凝土桩。包括预应力混凝土管桩、预应力混凝土空心方桩、预应力混凝土实心方桩等。

2.1.2 预应力混凝土空心桩 prestressed concrete hollow pile

采用离心和预应力工艺成型的空心的预应力混凝土桩，简称空心桩。包括预应力混凝土管桩、预应力混凝土空心方桩等。

2.1.3 预应力混凝土管桩 prestressed concrete pipe pile

采用离心和预应力工艺成型的圆环形截面的预应力混凝土桩，简称管桩。桩身混凝土强度等级为 C80 的管桩为高强混凝土管桩（代号 PHC）；桩身混凝土强度等级为 C60 的管桩为混凝土管桩（代号 PC）。

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

采用离心和预应力工艺成型的外方内圆形空心截面的预应力混凝土桩，简称空心方桩。桩身混凝土强度等级为 C80 的空心方桩为高强混凝土空心方桩（代号 PHS）；桩身混凝土强度等级为 C60 的空心方桩为混凝土空心方桩（代号 PS）。

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

采用先张法预应力工艺，振动密实成型的正方形截面的预应力混凝土桩，简称实心方桩（代号 YZH）。桩身混凝土强度等级为 C60。

2.1.6 静压法沉桩 jacked driving method

利用静压设备将预应力混凝土桩压至土（岩）层设计深度的沉桩施工方法。

2.1.7 锤击法沉桩 hammer-driving method

利用锤击设备将预应力混凝土桩打至土（岩）层设计深度的沉桩施工方法。

2.1.8 植入法沉桩 implantation method

预先用钻机在桩位处钻孔并灌入砂浆、细石混凝土等填充料，或采用搅拌、旋喷成桩，然后将预应力混凝土桩植入其中的施工方法。

2.1.9 引孔沉桩 pre-augering method

预先用钻机在桩位处钻孔，然后将预应力混凝土桩插入孔内，再用静压法或锤击法沉桩的施工方法。

2.1.10 一体化桩尖 integral pipe-pile shoe

与预应力混凝土桩桩身一体预制的桩尖。

2.1.11 送桩 pile following

沉桩过程中，借助送桩器将桩顶送至设计要求标高的施工工序。

2.1.12 终压控制标准 standard for stop pressing

将桩沉至设计要求时终止压桩的施工控制条件。

2.1.13 抱压式压桩机 pile pressing machine with cramp pressing type

在桩身侧部施加压力作用的液压式压桩机。

2.1.14 顶压式压桩机 pile pressing machine with top pressing type

在桩顶部施加压力作用的液压式压桩机。

2.1.15 收锤标准 standard for stop hammering

将桩沉至设计要求时终止锤击的控制条件。

2.1.16 贯入度 penetration

用落锤锤击预应力混凝土桩一定击数后，预应力混凝土桩进入土（岩）层中的深度。

2.1.17 土塞效应 plugging effect

敞口空心桩沉桩过程中土体涌入桩内腔形成的土塞，对桩端阻力的发挥程度的影响效应。

2.1.18 复压（打） repeated pressing(hammering)

静力压桩（或锤击沉桩）施工完成后，间隔一段时间再次施压（或施打）的作业方法。

2.1.19 填芯混凝土 filling concrete for prestressed concrete hollow pile head

填筑在预应力混凝土空心桩内腔一定深度的混凝土。

2.1.20 焊接连接 welded connection

采用焊接进行接桩的方法。

2.1.21 机械连接 mechanical connection

采用机械部件接桩的方法。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

F_k ——作用效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力；

G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值；

H_{ik} ——作用效应标准组合下，作用于第 i 基桩或复合基桩的水平力；

H_k ——作用效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力；

M_{xk}, M_{yk} ——按作用效应标准组合计算的作用于承台底面的外力，绕通过桩群形心的 x 、 y 主轴的力矩；

N ——作用效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值；

N_k ——作用效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

N_{ik} ——作用效应标准组合偏心竖向力作用下，第 i 基桩或复合基桩的竖向力；

N_t ——作用效应基本组合下的基桩拔力设计值；

N_{tk} ——作用效应标准组合下的基桩拔力；

N_{Ekmax} ——地震作用效应和作用效应标准组合下，基桩或复合基桩的最大竖向力；

x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j ——第 i 、 j 基桩或复合桩甚至 y 、 x 轴的距离。

2.2.2 抗力和材料性能

f_c ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值；

f_n ——填芯混凝土与空心桩内壁的粘结强度设计值；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；

f_t^w ——焊缝抗拉强度设计值；

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_y ——非预应力钢筋抗拉强度设计值；

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；

M ——预应力混凝土桩桩身受弯承载力设计值；

M_{cr} ——预应力混凝土桩桩身正截面抗裂弯矩；

N_{cr} ——预应力混凝土桩桩身正截面抗裂拉力；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

q_{sia} ——桩侧第 i 层土的侧阻力特征值；

q_{pa} ——桩端阻力特征值；

R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值；

R_h ——单桩基础或群桩中基桩的水平承载力特征值；

R_a ——单桩竖向承载力特征值；

R_{ha} ——单桩水平承载力特征值；

R_p ——预应力混凝土桩桩身正截面受压承载力设计值；

R_{ta} ——基桩或复合基桩的的竖向抗拔承载力特征值；

R_b ——桩身允许抱压压桩力；

R_d ——桩身允许顶压压桩力；

V ——预应力混凝土桩剪力设计值；

σ_{ck} ——作用效应标准组合下桩身混凝土正截面法向拉应力；

σ_{pc} ——预应力混凝土桩桩身截面混凝土有效预压应力。

2.2.3 几何参数

A_c ——预应力混凝土桩的混凝土截面面积；
 A_p ——预应力混凝土桩桩端水平投影面积；
 A_{ps} ——预应力混凝土桩桩身截面面积；
 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_w ——接桩连接处焊缝计算面积；
 B ——空心方桩、实心方桩边长；
 B_p ——空心方桩、实心方桩纵向预应力钢棒分布方形的边长；
 d ——管桩外径；
 d_1 ——管桩、空心方桩内径；
 D_p ——纵向预应力钢棒分布圆的直径；
 h_b ——桩端进入持力层深度；
 L ——单节桩长；
 l ——桩身长度；
 L_a ——填芯混凝土高度；
 l_i ——桩周第 i 层土（岩）的厚度；
 t ——管桩壁厚；
 t_s ——端板厚度；
 u ——预应力混凝土桩桩身周长；
 u_f ——桩群外围周长。

2.2.4 计算参数及其他

ψ_c ——基桩成桩工艺系数
 λ_f ——预应力混凝土桩抗拔系数；
 N ——实测标准贯入试验锤击数；
 $N_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探锤击数。

3 基本规定

3.0.1 预应力混凝土桩基础工程应符合现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 的规定。

3.0.2 预应力混凝土桩桩型与成桩工艺选择应综合考虑设计要求、工程地质条件、施工设备及环境等因素，并宜符合本标准附录 A 的要求。工程常用预应力混凝土桩的规格、结构形式及力学性能可按本标准附录 B 选用。

3.0.3 抗震设防区的预应力混凝土桩基础设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

3.0.4 预应力混凝土桩基础施工前应在现场进行沉桩工艺试验，并通过试验桩检测确定相关设计指标和参数。为设计提供依据的试验桩检测应依据设计确定的基桩受力状态，采用相应的静载试验方法确定单桩承载力，按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。

3.0.5 当桩周土体因自重固结或受大面积地面堆载作用而产生的沉降大于基桩的沉降时，在设计和检测时应考虑可能产生的负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响。

3.0.6 预应力混凝土桩的耐久性应满足设计工作年限的要求。

3.0.7 污染土和地下水对预应力混凝土桩的腐蚀性等级，应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 的有关规定确定。

3.0.8 预应力混凝土桩基础工程施工前应进行产品检验，施工过程中和施工完成后应进行施工质量检查、检测和验收。

3.0.9 下列预应力混凝土桩基础工程应在施工期间及使用期间进行沉降监测，直至沉降达到稳定标准为止：

- 1 对沉降有控制要求的桩基；
- 2 非嵌岩桩和非深厚坚硬持力层的桩基；

3 结构体形复杂、荷载分布不均匀或桩端平面下存在软弱土层的桩基；

4 施工过程中可能引起地面沉降、隆起、位移、周边建（构）筑物和地下管线变形、地下水位变化及土体位移的桩基；

5 设计施工工艺采用引孔辅助法沉桩、植入法沉桩的桩基。

3.0.10 在水泥土或旋喷桩中植入预应力混凝土桩尚应符合现行行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327 或《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 的规定。

4 预应力混凝土桩制品

4.0.1 预应力混凝土桩可按以下标准进行分类：

1 预应力混凝土桩按截面形式可分为预应力混凝土管桩、预应力混凝土空心方桩、预应力混凝土实心方桩；

2 预应力混凝土桩按桩身混凝土强度分为高强混凝土桩（C80）、混凝土桩（C60）。

4.0.2 预应力钢筋放张时，预应力混凝土桩的混凝土抗压强度不应低于 45MPa。

4.0.3 产品出厂时，预应力混凝土桩用混凝土抗压强度不应低于其混凝土设计强度等级值。

4.0.4 预应力混凝土桩的有效预压应力值应符合表 4.0.4-1~表 4.0.4-3 的规定。

表 4.0.4-1 管桩有效预压应力值

型号	有效预压应力 σ_{ce} (N/mm ²)
A	4.0
AB	6.0
B	8.0
C	10.0

表 4.0.4-2 空心方桩有效预压应力值

型号	有效预压应力 σ_{ce} (N/mm ²)
A	$3.8 \leq \sigma_{ce} \leq 4.2$
AB	$5.7 < \sigma_{ce} < 6.3$
B	$7.6 \leq \sigma_{ce} \leq 8.4$

表 4.0.4-3 实心方桩有效预压应力值

型号	有效预压应力 σ_{ce} (N/mm ²)
A	$3.0 < \sigma_{ce} \leq 5.0$
B	$5.0 < \sigma_{ce} \leq 7.0$

4.0.5 预应力混凝土桩中钢筋的混凝土保护层厚度不应小于35mm。

4.0.6 预应力混凝土桩中预应力钢筋的最小配筋率不应小于0.5%，并应符合以下规定：

1 管桩的预应力钢筋应沿其分布圆周均匀配置，并不得少于6根；

2 空心方桩的预应力钢筋应方形、对称均匀配置，并不得少于8根；

3 实心方桩的预应力钢筋应方形、对称均匀配置，并不得少于8根。

4.0.7 工程常用预应力混凝土桩螺旋筋的直径不应小于表 4.0.7-1~表 4.0.7-3 的规定，螺旋筋的间距、加密区长度应符合以下规定：

1 管桩两端螺旋筋加密区长度为外径的3倍~5倍，且不应小于2000mm，加密区螺旋筋的净间距为50mm，其余部分螺旋筋的净间距为80mm，净间距的允许偏差为±5mm；

2 空心方桩两端螺旋筋加密区长度不应小于5倍内径，且不应小于2000mm，加密区螺旋筋的间距为45mm，其余部分螺旋筋的间距为80mm，间距的允许偏差为±5mm；

3 实心方桩两端螺旋筋加密区长度不应小于4倍截面边长，且不小于2500mm；桩体其余部位螺旋筋加密区长度不应小于4倍截面边长且不小于2000mm。加密区螺旋筋的间距不应大于65mm，其余部分螺旋筋的间距不应大于100mm，间距的允许偏差为±5mm。

表 4.0.7-1 管桩螺旋筋的直径

管桩外径 d (mm)	螺旋筋直径 (mm)
400	4
500、600	5
700	6
800	6

表 4.0.7-2 空心方桩螺旋筋的直径

空心方桩边长 B (mm)	螺旋筋直径 (mm)
300、350、400	4
450、500、550、600	5
650、700	6

表 4.0.7-3 实心方桩螺旋筋的直径

实心方桩边长 B (mm)	螺旋筋直径 (mm)
300、350、400	4
450、500	5
550、600	6
700	7

4.0.8 预应力混凝土桩按养护工艺可分为高压蒸汽养护桩和常压蒸汽养护桩。

4.0.9 预应力混凝土桩的构造要求及质量要求尚应符合国家现行标准《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、《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723 及其他的有关标准规定。

5 岩土工程勘察

5.1 一般规定

5.1.1 预应力混凝土桩基础工程应根据设计要求编制有针对性的勘察方案；勘察报告应提供设计及施工所需要的岩土参数及技术建议。

5.1.2 预应力混凝土桩基础工程勘察应符合国家现行标准《工程勘察通用规范》GB 55017、《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T 72、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《岩土工程勘察技术规程》DB22/T 5097 等有关标准的相关规定。

5.2 勘探孔布置

5.2.1 预应力混凝土桩基础工程勘探点宜按建筑物周边线和角点布置，上部荷载差异较大的部位应布设勘探点。

5.2.2 控制性勘探孔的数量不应少于勘探孔总数的 1/3，对于密集建筑群，每栋不应少于 2 个。

5.2.3 端承型预应力混凝土桩勘探点平面布置应符合下列规定：

1 勘探点间距应能控制桩端持力层层面和厚度的变化，宜为 12m~24m；

2 复杂地基的一柱一桩工程，宜每柱设置勘探点；

3 在勘探过程中发现基岩中有断层破碎带，或桩端持力层为软硬互层且厚薄不均，或相邻勘探点揭露的桩端持力层顶面坡度超过 10%，勘探点应适当加密。

5.2.4 摩擦型预应力混凝土桩勘探点间距宜为 20m~30m，当相邻勘探点揭露的地基土在水平方向分布变化较大，影响沉桩或桩基方案选择时，应适当加密勘探点。

5.2.5 预应力混凝土桩基础工程勘探深度应符合下列规定：

- 1 控制性勘探孔深度应满足下列规定：
 - 1) 应进入预计桩端平面以下不小于 $5d\sim 8d$ (或 $5B\sim 8B$) , 且不应小于 5m;
 - 2) 应满足下卧层验算要求; 对需验算沉降的桩基, 应满足地基变形计算深度要求;
 - 3) 持力层中存在软弱夹层时, 应穿透夹层并深入其下部不小于 3m;
 - 4) 当遇断层破碎带时, 应穿透断层破碎带, 到达稳定岩层。
- 2 一般性勘探孔深度应符合下列规定：
 - 1) 应进入预计桩端平面以下不小于 $3d\sim 5d$ (或 $3B\sim 5B$) , 且不应小于 3m; 对桩身直径大于或等于 800mm 的桩, 不应小于 5m;
 - 2) 持力层中存在软弱夹层时, 应穿透夹层。

5.3 取样、试验及原位测试

5.3.1 预应力混凝土桩基础工程勘察宜采用钻探、触探及其他原位测试相结合的方式, 并应能满足估算桩的侧阻力特征值及端阻力特征值、验算下卧层强度及变形计算的相关要求。对黏性土、粉土和砂土的原位测试手段宜采用静力触探和标准贯入试验; 对碎石土宜采用重型或超重型圆锥动力触探试验; 对破碎和极破碎的岩石, 可根据风化成的相应土类进行原位测试。

5.3.2 桩长范围内的各主要岩土层及桩端下卧层均应采取不扰动土试样或进行原位测试, 并应符合下列规定:

- 1 每一岩土层的不扰动土试样或原位测试数据不应少于 6 件 (组、次);
- 2 桩端持力层采取不扰动土试样或进行原位测试的竖向间距应为 1m~2m。

5.3.3 室内试验应符合下列规定：

1 对于大直径桩或需估算沉降的桩基工程，当桩端持力层为黏性土时，应进行固结试验，试验最大压力应大于上覆土的自重压力与附加压力之和；

2 当桩端持力层为基岩时，应采取岩样进行饱和单轴抗压强度试验，且每一桩端持力层试验数量不应少于 6 组，对软岩和极软岩，可进行天然湿度单轴抗压强度试验。对无法取样的破碎和极破碎的岩石，应进行原位测试。

5.4 勘察报告

5.4.1 预应力混凝土桩基础工程勘察报告应包括下列内容：

1 对可液化场地应评价液化等级和危害程度，提出抗液化措施的建议；

2 分析采用桩基的必要性，并提出可选的桩基类型和施工方法；

3 地下水及土对预应力混凝土桩的腐蚀性评价；

4 建议桩端持力层，提供持力层顶面高程及桩长建议，必要时应附桩端持力层顶面等值线图；

5 提供设计及施工所需的岩土参数，如桩的侧阻力特征值、端阻力特征值和变形计算有关参数等。对挡土墙下等承受水平力的桩基础，应提供地基土水平抗力系数的比例系数；

6 预估单桩竖向承载力特征值；

7 对存在欠固结土及有大规模堆载、回填土的工程，分析桩侧产生负摩阻力的可能性及其影响；

8 评价沉桩可能产生的风险、桩基施工对环境的影响以及设计、施工应注意的问题，并提出相关建议。如沉桩挤土效应的不利影响及沉桩施工对相邻设施正常使用及环境的影响等；

9 提出桩基础检测建议。

5.4.2 当场地中存在孤石、坚硬密实夹层、地下障碍物等不利条件时，应评价沉桩可行性并提出沉桩方法的建议。

5.4.3 勘察报告建议的单桩竖向承载力特征值应结合桩身正截面受压承载力设计值，采用静压法沉桩时，尚应考虑沉桩终压力值的影响。

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 桩基设计应具备下列基本资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 建筑场地总平面布置图、建筑物地下室平面布置图，建筑物上部结构类型与荷载，建筑物对基础沉降及水平位移的要求；
- 3 场地与环境条件的有关资料，包括地上及地下管线、地下障碍物的分布，可能受沉桩影响的邻近建（构）筑物的地基基础情况及防振、防噪声要求，施工机械进出场及现场运行条件；
- 4 成桩设备性能、施工工艺及其对场地条件的适应性；
- 5 可选用的预应力混凝土桩规格、接头形式及供应条件。

6.1.2 桩基工程设计时，应根据建筑规模、功能特征、对差异变形的适应性、场地地基和建筑物体型的复杂性，以及由于桩基问题可能造成建筑破坏或影响正常使用的程度，采用不同的设计等级。设计等级的划分应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

6.1.3 预应力混凝土桩选型应符合以下规定：

- 1 桩基设计等级为甲级、受水平和上拔荷载控制的工程不宜选用 A 型预应力混凝土空心桩；
- 2 当用于端承型桩且需穿越一定厚度较硬土层或软硬交替土层时，不宜选用 A 型预应力混凝土空心桩，桩端需封闭时宜选用一体化桩尖；
- 3 抗震设防烈度为 7 度、8 度地区的桩基工程，不宜选用 A 型预应力混凝土空心桩；

4 地下水或地基土对材料有中等腐蚀、强腐蚀的工程不宜选用 A 型预应力混凝土空心桩，并应根据不同的腐蚀性等级采用相应的防腐措施。

6.1.4 遇到下列情况时，宜采用植入法沉桩，也可采取其他有效辅助措施后采用锤击法沉桩或静压法沉桩：

1 桩端持力层以上的地基土中含有较多难以清除且严重影响沉桩的孤石或其他障碍物；

2 桩端持力层以上的地基土中含有不适宜作为桩端持力层且预应力混凝土桩难以贯穿的坚硬、密实夹层；

3 覆盖层为淤泥、人工填土等软弱土层，其下直接为中等风化岩层或微风化岩层，或只有较薄的全风化、强风化岩层；

4 沉桩挤土、振动显著影响工程质量或环境安全。

6.1.5 预应力混凝土桩的平面布置应符合下列规定：

1 桩的最小中心距应符合表 6.1.5 的规定；

表 6.1.5 预应力混凝土桩的最小中心距

土类与沉桩工艺		排数不少于 3 排	其他情况
挤土桩	饱和黏性土	4.5 <i>d</i> (4.5 <i>B</i>)	4.0 <i>d</i> (4.0 <i>B</i>)
	非饱和土、饱和非黏性土	4.0 <i>d</i> (4.0 <i>B</i>)	3.5 <i>d</i> (3.5 <i>B</i>)
部分挤土桩	饱和黏性土	4.0 <i>d</i> (4.0 <i>B</i>)	3.5 <i>d</i> (3.5 <i>B</i>)
	非饱和土、饱和非黏性土	3.5 <i>d</i> (3.5 <i>B</i>)	3.0 <i>d</i> (3.0 <i>B</i>)
非挤土植入桩		3.0 <i>d</i> (3.0 <i>B</i>)	3.0 <i>d</i> (3.0 <i>B</i>)

注：1 *d*——管桩外径；*B*——空心方桩、实心方桩边长；

2 当纵横向桩距不相等时，其最小中心距应满足“其他情况”一栏的规定；

3 “挤土桩”指静压法或锤击法沉桩的实心方桩、闭口管桩及闭口空心方桩；

4 “部分挤土桩”指静压法或锤击法沉桩的敞口空心桩，以及沉桩时采取引孔或应力释放孔等措施的预应力混凝土桩基础；

5 液化土可适当减小桩距。

2 单桩或单排桩宜直接布置于柱、墙等竖向构件之下；当采用多桩或群桩时，宜使桩群承载力合力点与竖向永久荷载合力作用点重合；

3 同一结构单元宜避免同时采用摩擦型桩和端承型桩。当受条件限制必须同时采用时，则应估算其产生的差异沉降对上部结构的影响，并采取相应的加强措施。

6.1.6 桩基宜选择强风化岩、全风化岩、中或低压缩性土层等岩土层作为桩端持力层。桩端全截面（不包括桩尖部分）进入持力层的深度，对于黏性土、粉土、全风化软质岩不宜小于 $2.0d$ （或 $2.0B$ ），砂土、强风化软质岩等不宜小于 $1.5d$ （或 $1.5B$ ），碎石土、强风化硬质岩等不宜小于 $1.0d$ （或 $1.0B$ ）。采用植入法沉桩使桩端进入中等风化岩层时，桩端全截面进入中等风化岩层不宜小于 0.5m 。当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于 $3d$ （或 $3B$ ），并进行软弱下卧层承载力和群桩沉降验算。

6.1.7 当预应力混凝土桩采用锤击法或静压法沉桩时，对于摩擦型或端承摩擦型基桩，其长径比（桩长与桩径或边长之比）不宜大于 100；对于端承型或摩擦端承型基桩，其长径比不宜大于 80。

6.1.8 预应力混凝土桩基础设计计算或验算，应包括下列内容：

- 1 桩基竖向承载力和水平承载力计算；
- 2 桩身强度、桩身压屈验算；
- 3 桩端平面下的软弱下卧层承载力验算；
- 4 位于坡地、岸边的桩基整体稳定性验算；
- 5 运输、吊装和沉桩时桩身承载力验算；
- 6 抗浮桩、抗拔桩的抗拔承载力计算；
- 7 桩基抗震承载力验算；

8 摩擦型桩基，对桩基沉降有控制要求的非嵌岩桩和非深厚坚硬持力层的桩基，对结构体形复杂、荷载分布不均匀或桩端平面下存在软弱土层的桩基等，应进行沉降计算。

6.2 桩基计算

6.2.1 对于一般建筑物和受水平力（包括力矩与水平剪力）较小的高层建筑，当采用桩型相同的多桩或群桩基础，应按下列规定计算群桩中基桩或复合基桩的桩顶作用效应：

1 轴心竖向力作用下

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (6.2.1-1)$$

2 偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (6.2.1-2)$$

3 水平力作用下

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (6.2.1-3)$$

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

6.2.2 轴心竖向力作用下，桩基竖向承载力计算应符合下列规定：

1 作用效应的标准组合:

$$N_k \leq R \quad (6.2.2-1)$$

2 地震作用效应和作用效应的标准组合:

$$N_{Ek} \leq 1.25R \quad (6.2.2-2)$$

式中: N_k ——作用效应标准组合轴心竖向力作用下, 基桩或复合基桩的平均竖向力 (kN);

N_{Ek} ——地震作用效应和作用效应标准组合下, 基桩或复合基桩的平均竖向力 (kN);

R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值 (kN)。

6.2.3 偏心竖向力作用下, 桩基竖向承载力计算应符合下列规定:

1 作用效应的标准组合下, 除应符合式 (6.2.2-1) 的要求外, 尚应符合下式规定:

$$N_{kmax} \leq 1.2R \quad (6.2.3-1)$$

2 地震作用效应和作用效应的标准组合下, 除应符合式 (6.2.2-2) 的要求外, 尚应符合下式规定:

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R \quad (6.2.3-2)$$

式中: N_{kmax} ——作用效应标准组合偏心竖向力作用下, 桩顶最大竖向力 (kN);

N_{Ekmax} ——地震作用效应和作用效应标准组合下, 基桩或复合基桩的最大竖向力 (kN)。

6.2.4 受水平荷载作用下, 桩基水平承载力计算应符合下式规定:

$$H_{ik} \leq R_h \quad (6.2.4)$$

式中: H_{ik} ——作用效应标准组合下, 作用于基桩 i 桩顶处的水平力 (kN);

R_h ——单桩基础或群桩中基桩的水平承载力特征值 (kN), 对

于单桩基础，可取单桩的水平承载力特征值 R_{ha} 。

6.2.5 单桩竖向承载力特征值 R_a 应按下式确定：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (6.2.5)$$

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 $K=2$ 。

6.2.6 单桩竖向极限承载力标准值应通过单桩竖向抗压静载荷试验确定。单桩竖向抗压静载荷试验应采用慢速维持荷载法，按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。初步设计时，单桩竖向承载力特征值可根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系按下列规定估算：

$$R_a = u \sum q_{sia} l_i + q_{pa} A_p \quad (6.2.6)$$

式中： u ——桩身周长（m）；

l_i ——桩周第 i 层土的厚度（m）；

q_{sia} 、 q_{pa} ——桩侧第 i 层土的侧阻力特征值、桩端阻力特征值（kPa），估算时可按本标准附录 C 取值；

A_p ——预应力混凝土桩桩端水平投影面积（ m^2 ）；当为开口型桩尖时，仍按闭口型桩尖的水平投影面积计算。

6.2.7 桩身混凝土强度应满足桩的抗压承载力设计要求。对于轴心受压的预应力混凝土桩基础，当不考虑桩身构造配筋的作用时，应符合下式规定：

$$N \leq R_p \quad (6.2.7)$$

式中： N ——作用效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值（kN）；

R_p ——桩身正截面受压承载力设计值（kN），应按本标准第 6.2.8 条确定。

6.2.8 对于轴心受压的预应力混凝土桩基础，桩身正截面受压承载

力设计值应符合下列规定：

1 不考虑压屈影响时，桩身正截面受压承载力设计值应符合下式规定：

$$R_p = \psi_c f_c A_{ps} \quad (6.2.8-1)$$

2 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（地基承载力特征值小于 25kPa）的软弱土层的基桩，应考虑压屈影响，桩身正截面受压承载力设计值应符合下式规定：

$$R_p = \varphi \psi_c f_c A_{ps} \quad (6.2.8-2)$$

式中： ψ_c ——基桩成桩工艺系数，当采用抱压式静压法沉桩或锤击法沉桩时，取 $\psi_c=0.65$ ；当采用顶压式静压法沉桩时，取 $\psi_c=0.80$ ；当采用植入法沉桩时，取 $\psi_c=0.85$ ；

φ ——桩身稳定系数，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定取值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

A_{ps} ——预应力混凝土桩桩身截面面积（mm²）。

6.2.9 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的沉降时，在计算基桩承载力时应计入桩侧负摩阻力。桩侧负摩阻力可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定进行估算。

1 桩穿越较厚松散填土、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，临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 由于降低地下水位，使桩周土有效应力增大，并产生显著压缩沉降时。

6.2.10 承受拔力的桩基应按下式验算基桩的抗拔承载力：

$$N_{tk} \leq R_{ta} \quad (6.2.10)$$

式中： N_{tk} ——作用效应标准组合下的基桩拔力（kN）；

R_{ta} ——基桩或复合基桩的的竖向抗拔承载力特征值（kN）。

6.2.11 单桩竖向抗拔承载力特征值应通过单桩竖向抗拔静载荷试验确定。单桩竖向抗拔静载荷试验应采用慢速维持荷载法。设计有要求时，可采用多循环加、卸载方法或恒载法，按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。初步设计时，可按下列规定估算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时的基桩抗拔承载力特征值，并取较小值：

1 群桩呈非整体破坏：

$$R_{ta} = u \sum \lambda_i q_{sia} l_i + G_p \quad (6.2.11-1)$$

2 群桩呈整体破坏：

$$R_{ta} = \frac{1}{n} u_1 \sum \lambda_i q_{sia} l_i + G_{gp} \quad (6.2.11-2)$$

式中： u_1 ——桩群外围周长（m）；

λ_i ——抗拔系数，可按表 6.2.11 取值；

G_p ——基桩自重（kN），地下水位以下取浮重度；

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。

表 6.2.11 预应力混凝土桩抗拔系数 λ_i

土的种类	λ_i 值
黏性土、粉土	0.70~0.80
砂土	0.50~0.70
残积土、全风化岩、强风化岩	0.60~0.70

注：桩长 l 与桩径 d （或边长 B ）之比小于 20 时， λ_i 取小值。

6.2.12 预应力混凝土桩应按下列规定进行受拉应力验算：

1 对于严格要求不出现裂缝的预应力混凝土桩，其裂缝控制等

级应为一级，在作用效应标准组合下混凝土不应产生拉应力，应符合下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (6.2.12-1)$$

2 对于一般要求不出现裂缝的预应力混凝土桩，其裂缝控制等级应为二级，在作用效应标准组合下受拉边缘的应力不应大于混凝土轴心受拉强度标准值，应符合下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (6.2.12-2)$$

式中： σ_{ck} ——作用效应标准组合下桩身混凝土正截面法向拉应力（ N/mm^2 ）；

σ_{pc} ——预应力混凝土桩桩身截面混凝土有效预压应力（ N/mm^2 ）；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值（ N/mm^2 ）。

6.2.13 预应力混凝土桩桩身轴心受拉时，裂缝控制等级为一；预应力混凝土桩桩身受弯时，处于中等腐蚀、强腐蚀环境的预应力混凝土桩裂缝控制等级为一，处于微腐蚀、弱腐蚀环境的预应力混凝土桩裂缝控制等级为二。

6.2.14 裂缝控制等级为一时，基桩的抗拔承载力除应符合本标准第 6.2.10 条的规定外，尚应符合下式规定：

$$N_t \leq \sigma_{pc} A_c \quad (6.2.14)$$

式中： N_t ——作用效应基本组合下的基桩拔力设计值（ kN ），可近似按 $1.35R_{ta}$ 计算；

A_c ——预应力混凝土桩的混凝土截面面积（ mm^2 ）。

6.2.15 承受拔力的预应力混凝土桩应进行预应力钢棒抗拉强度、端板孔口抗剪强度、接桩连接强度、桩顶填芯混凝土与承台连接处强度等验算，并按不利处的抗拉强度确定预应力混凝土桩的抗拔承载力。

f_v ——端板抗剪强度设计值 (N/mm^2), 取 $f_v=120 \text{ N}/\text{mm}^2$;
 t_s ——端板厚度 (mm)。

3 根据预应力混凝土桩接桩连接处强度验算单桩抗拔承载力时, 机械连接应按现行国家有关标准的规定进行计算, 焊接连接应按下式进行验算:

$$N_t \leq A_w f_t^w \quad (6.2.15-3)$$

式中: A_w ——接桩连接处焊缝计算面积 (mm^2);

管桩: $A_w = \frac{1}{4} \pi (d_5^2 - d_6^2)$

空心方桩、实心方桩: $A_w = B_1^2 - B_2^2$

f_t^w ——焊缝抗拉强度设计值 (N/mm^2);

d_5 ——管桩焊缝外径 (mm);

d_6 ——管桩焊缝内径 (mm);

B_1 ——空心方桩、实心方桩焊缝外边长 (mm),

取 $B_1=B-2\text{mm}$, B 为方桩边长;

B_2 ——空心方桩、实心方桩焊缝内边长 (mm),

取 $B_2=B-2\alpha$;

α ——焊缝厚度 (mm)。

4 根据预应力混凝土空心桩填芯微膨胀混凝土深度及填芯混凝土内插连接钢筋验算单桩抗拔承载力时, 应按下列规定进行验算:

$$N_t \leq k_1 \pi d_1 L_a f_n \quad (6.2.15-4)$$

$$N_t \leq A_{sd} f_y \quad (6.2.15-5)$$

式中: k_1 ——经验折减系数, 取 0.8;

d_1 ——空心桩内径 (mm);

L_a ——填芯混凝土高度 (mm);

f_n ——填芯混凝土与管桩内壁的粘结强度设计值(N/mm^2)，宜由现场试验确定，当缺乏试验资料时，C30 微膨胀混凝土可取 $0.35\text{N}/\text{mm}^2$ ；

A_{sd} ——填芯混凝土纵向钢筋总截面面积 (mm^2)；

f_y ——填芯混凝土纵向钢筋的抗拉强度设计值 (N/mm^2)。

6.2.16 承受水平力较大的桩基应进行水平承载力验算。桩基水平承载力与桩的规格型号、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。单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载荷试验确定。单桩水平静载荷试验宜采用单向多循环加载法或慢速维持荷载法，按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。初步设计时，单桩水平承载力特征值可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定进行估算。

6.2.17 桩基沉降计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

6.3 构造要求

6.3.1 预应力混凝土桩与承台连接的一端或各节桩连接端处可设置锚固筋并应符合设计要求。

6.3.2 预应力混凝土实心方桩与承台连接应符合下列规定：

- 1 桩顶嵌入承台内的长度宜为 50mm~100mm；
- 2 应采用将桩身主筋与承台连接的方式；对于没有截桩的桩顶，可采用在桩顶端板上焊接钢板后焊接锚筋相结合的方式；
- 3 连接钢筋宜采用热轧带肋钢筋；
- 4 对于承压桩，连接钢筋锚入承台内的长度不应小于 35 倍钢筋直径；

5 对于抗拔桩，连接钢筋面积应根据抗拔承载力确定，锚入承台内的长度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定。

6.3.3 预应力混凝土空心桩与承台连接应符合下列规定：

1 桩顶嵌入承台内的长度宜为 50mm~100mm;

2 应采用桩顶填芯混凝土内插连接钢筋与承台连接的方式;对于没有截桩的桩顶,可采用桩顶填芯混凝土内插连接钢筋和在桩顶端板上焊接钢板后焊接锚筋相结合的方式;

3 连接钢筋宜采用热轧带肋钢筋,连接钢筋插入预应力混凝土空心桩内的长度应与桩顶填芯混凝土深度相同;

4 对于承压桩,连接钢筋配筋率按桩外轮廓实心截面计算不应小于 0.6%,数量不宜少于 4 根,锚入承台内的长度不应小于 35 倍钢筋直径;

5 对于抗拔桩,连接钢筋面积应根据抗拔承载力确定,锚入承台内的长度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定。

6.3.4 预应力混凝土空心桩顶部与承台连接处的填芯混凝土应符合下列规定:

1 对于承压桩,填芯混凝土深度不应小于 3 倍桩径(或边长),且不应小于 1.5m;对于抗拔桩,填芯混凝土深度应按本标准第 6.2.15 条计算确定,且不得小于 3m;对于桩顶承担较大水平力的桩,填芯混凝土深度应按计算确定,且不得小于 6 倍桩径(或边长),并不得小于 3m;

2 填芯混凝土强度等级应比承台和承台梁提高一个等级,且不应低于 C30。填芯混凝土应采用无收缩混凝土或微膨胀混凝土。混凝土限制膨胀率和限制干缩率的测定应按现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定执行;

3 填芯混凝土周围桩内壁浮浆应清除干净,并刷纯水泥浆。填芯混凝土应灌注饱满,振捣密实,下封层不得漏浆。

6.3.5 预应力混凝土桩接桩应符合下列规定:

1 预应力混凝土桩上下节拼接可采用端板焊接连接或机械连接,接头应保证预应力混凝土桩内纵向钢筋与端板等效传力,接头连接强度不应小于桩身强度。任一基桩的接头数量不宜超过 3 个;

2 用作抗拔的预应力混凝土桩宜采用专门的机械连接或经专项设计的焊接连接；当地下水、地基土具有强腐蚀性时，应采用有端板机械连接，并宜同时采用封闭围焊；当地下水、地基土为中等腐蚀时，宜采用专门机械连接，也可采用焊接连接并预留端板厚度和焊缝深度腐蚀裕量；

3 抗震设防烈度为 7 度、8 度地区，接头位置宜设置在非液化土层中。

6.3.6 预应力混凝土空心桩桩尖应符合下列规定：

1 应根据地质条件和布桩情况选用桩尖，宜选用开口型桩尖；

2 当地下水、地基土具有中等腐蚀、强腐蚀或当桩端位于遇水易软化的风化岩层且有软化可能时，桩尖宜选用一体化桩尖，也可根据穿过的土层性质、打（压）桩力的大小以及挤土程度选择平底型、平底十字型或锥形闭口型桩尖。采用钢桩尖时，桩尖焊缝应连续饱满不渗水，且在首节桩沉桩后立即在桩端灌注高度 1.5m~2.0m 的微膨胀细石混凝土或中粗砂拌制的水泥砂浆进行封底，混凝土强度等级不宜低于 C25，水泥砂浆强度等级不宜低于 M15；

3 钢桩尖宜采用钢板制作，钢板应采用 Q235B、Q355B 钢材，其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的有关规定，钢板厚度不宜小于 16mm，且应满足沉桩过程对桩尖的刚度和强度要求。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。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 桩基施工前，应完成下列准备工作：

1 调查场地及毗邻区域内的地下及地上管线、建（构）筑物及障碍物受桩基施工影响的情况，并提出相应的技术安全措施；

2 调查现场的地质、地形、水文、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桩基施工的高空及地下障碍物；

4 平整场地，地基土表面处理，以满足施工机械作业要求；

5 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；

6 编制施工组织设计或施工方案，并经有关单位或部门审查批准；

7 供电、供水、排水、道路、照明、通信、临设工房等的安设；

8 桩基础施工图、设计交底及图纸会审纪要；

9 选择适合本工程施工的桩基机架和机具，且桩机安装就位，试运转正常；

10 进场的预应力混凝土桩及配件符合设计要求，具有产品合格证，质量检验合格；

11 施工现场的工作人员和工种配置到位，并进行技术安全交底。

7.1.2 桩基施工前，应具备下列文件和资料：

1 拟建场地的岩土工程勘察报告；

2 经审批的桩基础施工图、技术安全交底文件、施工组织设计或施工方案；

3 沉桩工艺试验资料；

4 拟建场地周边环境调查资料和保护要求；

- 5 主要施工设备的技术性能资料；
- 6 预应力混凝土桩的出厂合格证及产品说明书；
- 7 保障工程质量、安全生产、文明施工和季节性施工的技术措施。

7.1.3 桩基施工应根据场地条件和沉桩工艺采取下列施工质量控制措施：

- 1 按沉桩工艺试验确定的沉桩施工工艺及参数进行施工；
- 2 合理确定沉桩施工顺序；
- 3 采取必要的沉桩辅助措施；
- 4 合理控制沉桩速率，优化沉桩流程；
- 5 沉桩施工过程中对基桩进行桩顶标高以及水平位移监测。

7.1.4 桩基施工前沉桩工艺试验的试沉桩应符合下列规定：

- 1 试沉桩的位置、地质条件及其规格、长度应具有代表性，位置宜选在勘察的原位测试孔附近；
- 2 施工工艺应与工程桩一致；
- 3 在工程桩位置试沉桩时，试验桩经确认符合设计要求后可按工程桩进行验收。

7.1.5 沉桩施工顺序应符合下列规定：

- 1 沉桩顺序应在施工组织设计或施工方案中明确；
- 2 对于桩的中心距小于 4 倍桩径（或边长）的群桩基础，应由中心向四周的顺序施打；对于软土地区桩的中心距小于 4 倍桩径（或边长）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；
- 3 多桩承台边缘的桩宜待承台内其他桩施工完成并重新测定桩位后再施工；
- 4 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；
- 5 同一场地桩长差异较大或桩径（或边长）不同时，宜遵循先长后短、先大直径（或边长）后小直径（或边长）的施工顺序。

7.1.6 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“重锤低击”法施工；
- 2 在施工场地与被保护对象间开挖缓冲沟；
- 3 全部或部分桩采用引孔沉桩；
- 4 采用植入法等工法施工；
- 5 控制沉桩速率，优化沉桩流程；
- 6 对被保护建筑物进行加固处理。

7.1.7 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；在邻近湖、塘的施工场区，应防止桩位偏移和倾斜。

7.1.8 沉桩施工应符合下列规定：

- 1 沉桩过程中应控制桩身垂直度，第一节桩插入地面时的桩身垂直度偏差不应大于 0.5%；当桩身垂直度偏差大于 0.8%时，应找出原因并作纠正处理；沉桩后，严禁用移动机架的方法进行纠偏；
- 2 每根桩应一次性连续施打到底，沉桩、接桩、送桩应连续进行，尽量减少中间休歇时间。

7.1.9 沉桩施工时，应由专职记录员按本标准附录 F 的要求实时做好施工记录。

7.1.10 沉桩的控制深度应根据地质条件、贯入度、终压力、设计桩长、桩端标高等因素综合确定。当桩端持力层为粉土及一般黏性土时，应以桩端标高控制为主，贯入度、终压力控制为辅；当桩端持力层为碎石土、密实的砂土、坚硬的黏性土、风化岩时，应以贯入度、终压力控制为主，桩端标高控制为辅。

7.1.11 采用引孔辅助法沉桩时，应符合下列规定：

- 1 引孔直径不宜超过桩径（或边长）的 2/3，减小挤土效应的孔深度不宜超过桩长的 2/3，提高沉桩效率的孔应穿过密实的砂土、碎石土夹层或漂石、孤石，并应采取防塌孔的措施；

2 引孔宜采用长螺旋钻机成孔，垂直偏差不宜大于 0.5%，钻孔中有积水时，宜采用空心桩及开口型桩尖；

3 引孔作业和沉桩作业应连续进行，间隔时间不宜大于 12h；

4 采用引孔辅助法沉桩的终压（收锤）标准应根据相应的沉桩工艺，依据本标准第 7.4 节、第 7.5 节的有关规定执行。

7.1.12 出现下列情况之一时，应暂停沉桩，并与设计、勘察和监理等有关人员研究处理后方可继续施工：

- 1 压桩力、贯入度突变或总锤击数超过规定值；
- 2 沉桩入土深度与设计要求差异大；
- 3 实际沉桩情况与勘察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、邻桩上浮或桩头偏移过大；
- 7 沉桩过程出现异常声响；
- 8 其他异常情况。

7.1.13 沉桩完成后应对桩头高出或低于地表部分进行保护处理。

7.1.14 预应力混凝土桩基础工程的土方开挖应符合下列规定：

1 先沉桩，后开挖基坑时应制定专项施工方案；

2 在饱和黏性土、粉土地区，应在沉桩全部完成 15d 后进行开挖；

3 挖土应均衡分层进行，桩周土体高差不宜过大，严禁集中一处开挖；

4 桩间土及桩顶以上 1.0m 内的土方，应采用人工开挖与小型挖土机械相配合的方法；

5 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；

6 当桩长范围内存在较厚的软弱土层时，开挖时宜采取固定措施，且桩周土体高差不应超过 1.0m；

7 严禁在基坑影响范围内的施工现场进行边沉桩边开挖施工；

8 挖土机械和运土车辆在基坑中工作时不应对接桩基础和基坑围护结构进行直接挤推。

7.1.15 在基坑中进行预应力混凝土桩沉桩施工时，应采取有效措施控制振动和挤土所产生的不利影响，并应对基坑支护结构和周围环境进行监测。

7.2 吊运与堆放

7.2.1 预应力混凝土桩宜采用平板车运输，装卸及运输时应采取措施防止桩滑移、滚动与损伤。

7.2.2 预应力混凝土桩的吊运应符合下列规定：

- 1 预应力混凝土桩在吊运过程中应轻吊轻放，严禁碰撞、滚落；
- 2 预应力混凝土桩不宜在施工现场多次倒运，避免造成桩身破损；
- 3 预应力混凝土桩长度不大于 15m 时，宜采用两点吊，如图 7.2.2-1；对于空心桩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° ；

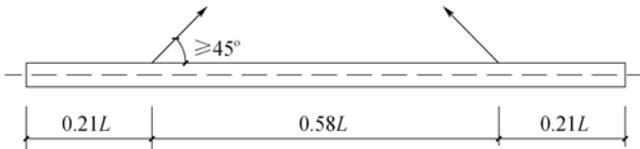


图 7.2.2-1 长度不大于 15m 的预应力混凝土桩吊点位置

4 预应力混凝土桩长度大于 15m 且不大于 30m 时，应采用四点吊，如图 7.2.2-2；长度大于 30m 的预应力混凝土桩应采用多点吊，吊点位置应另行验算。

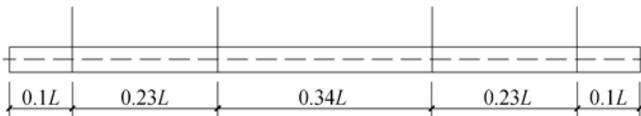


图 7.2.2-2 长度大于 15m 且不大于 30m 的预应力混凝土桩吊点位置

7.2.3 预应力混凝土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、长度及施工顺序分类堆放；宜按工程进度采用“即用即送”的组织方法分批供桩，避免重复倒运；
- 4 当场地条件许可时，宜单层或双层堆放；
- 5 叠层堆放时，应在垂直于桩身长度方向的地面上设置两道垫木，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；桩堆放时，底层最外缘桩的垫木处应用木楔塞紧。

7.2.4 施工现场移桩应符合下列规定：

- 1 预应力混凝土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 可采用桩机自带吊机取桩，长度大于 15m 的超长桩宜采用独立的可移动式起重机取桩。桩机自带吊机作业半径以外的桩，应搬运至其作业半径内起吊喂桩。

7.3 接桩与截桩

7.3.1 预应力混凝土桩接桩宜符合下列规定：

- 1 可采用焊接连接或机械连接；
- 2 相邻基桩接头在竖向方向上宜错开；
- 3 接桩时上下节桩身应对中，其偏差不宜大于 2mm；
- 4 下节桩的桩头处宜设置导向箍或采取其他使上节桩就位的导向措施；
- 5 锤击沉桩施工，不得利用截下的桩作接桩使用；
- 6 应避免在桩尖接近砂土、碎石土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 和《钢结构焊接规范》GB 50661 中二级焊缝的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 入土部分桩段的桩头宜高出地面 1.0m；
- 2 下节桩的桩头处宜设置导向箍或其他导向措施。接桩时，上、下节桩段应保持顺直，错位不宜超过 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 宜采用二氧化碳气体保护电弧焊；
- 5 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；
- 6 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；
- 7 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；
- 8 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)

锤击法沉桩	静压法沉桩	采用二氧化碳气体保护
8	6	3

- 9 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；
- 10 桩身接头焊接外露部分应作防锈处理；
- 11 雨天焊接时，应采取防雨措施；

12 地下水或土对混凝土结构及其中钢筋具有中、强腐蚀性时，接头焊缝坡口根部至焊缝表面的距离不应小于 12mm。

7.3.3 机械连接接桩应符合下列规定：

- 1 采用机械螺纹接头接桩时，下节桩段的桩头宜高出地面 0.8m~1.0m；采用机械啮合接头接桩时，下节桩段的桩头宜高出地面 1.0m~1.5m；
- 2 接桩前应检查上、下节桩段桩端制作的尺寸偏差及连接件；
- 3 接桩前应清理上、下节桩段的端板和连接孔内残留物；
- 4 桩间间隙及连接件孔洞应采用环氧树脂密封胶或沥青密封；
- 5 地下水或土对混凝土结构及其中钢筋具有中、强腐蚀性时，应按设计要求进行防腐处理，如封闭围焊、连接件及端板板面满涂沥青涂料等；
- 6 应符合相应机械连接方式操作要求的规定，固定正确、牢固。

7.3.4 预应力混凝土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。

7.4 静压法沉桩

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、桩型和受力情况按本标准附录 D 综合选定，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 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；
- 3 压边桩的能力应能满足现场施工作业条件要求。

7.4.2 压桩机的每件配重必须用磅秤核实并将其质量标记在其外露表面。

7.4.3 压桩记录宜采用自动记录仪；无自动记录仪时，压桩记录应专人负责，如实、及时填写沉桩施工记录表。

7.4.4 桩身允许压桩力应满足下列规定：

1 抱压施工压桩力
预应力混凝土桩：

$$R_b \leq 1.0 f_c A_{ps} \quad (7.4.4-1)$$

预应力高强混凝土桩：

$$R_b \leq 0.95 f_c A_{ps} \quad (7.4.4-2)$$

2 顶压施工压桩力

$$R_d \leq 1.1 R_b \quad (7.4.4-3)$$

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（N/mm²）；

A_{ps} ——预应力混凝土桩桩身截面面积（m²）。

7.4.5 沉桩工艺试验完成后应提供下列信息资料：

1 压桩全过程施工记录，包括压桩机整体运行情况、压桩力与桩入土深度关系曲线、终压力值和复压记录等；

2 桩穿透岩土层能力判定，包括穿透硬夹层、持力层性质及进入持力层深度等评价；

3 桩的接桩连接方式及接头施工记录；

4 出现异常情况及处理的详细记录；

5 桩身完整性检测及单桩承载力检测资料。

7.4.6 静压沉桩施工除应符合本标准第 7.1.8 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 压桩机应安装能满足最大压桩力要求的配重；

2 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；

3 采用顶压式压桩机时，桩帽或送桩器与桩顶的接触面间应加设弹性衬垫；

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 10mm；

5 施工沉桩速度不宜大于 2m/min；

6 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。

7.4.7 静压沉桩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；

2 送桩器的横截面外轮廓形状应与所沉桩一致，送桩器的弯曲度不得大于送桩器长度的 1‰；

3 送桩器上应有用于测读桩端标高的尺寸标志；

4 送桩器下端面应设置排气孔，保证预应力混凝土空心桩内腔与外界相通。

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 1mm~2mm 的薄钢板焊成，薄钢板上应开孔，保证预应力混凝土空心桩内腔与外界连通。合格后方可送桩，送桩作业应连续进行；

3 送桩前，预应力混凝土桩露出地面高度宜为 0.3m~0.5m；

4 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 1.5m。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。

7.4.9 终压控制标准应符合下列规定：

1 终压控制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阻力等因素，结合静载荷试验情况确定，同时应满足本标准第 7.4.4 条规定；

2 摩擦型桩应按桩端标高控制；端承摩擦型桩应以桩端标高控制为主，终压力控制为辅；摩擦端承型桩与端承型桩应以终压力控制为主，桩端标高控制为辅；

3 当以终压力控制时，终压力值可取单桩竖向承载力特征值的 2.0~3.0 倍（较长桩取小值，较短桩及桩端持力层为砂土时取大值）；

4 终压时连续复压次数应根据桩长及地质条件等因素确定，且不宜超过 3 次，对于入土深度小于 8m 的短桩，不宜超过 5 次。

7.5 锤击法沉桩

7.5.1 锤击式打桩机应根据地质条件、桩型、单桩承载力、持力层岩土性质及入土深度等结合沉桩工艺试验结果及本标准附录 E 综合选定，并应符合下列规定：

- 1 打桩锤宜选用液压锤或柴油锤，不宜采用自由落锤；
- 2 桩架和底盘的强度、刚度和稳定性，应与桩锤相匹配；
- 3 筒式柴油锤的冲击体质量不宜小于本标准附录 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 桩帽应与施打的预应力混凝土桩截面相匹配，桩帽中心应与锤垫中心重合，严禁使用过渡性钢套，用大桩帽打小截面桩；
- 3 打桩时桩帽套筒底面与桩头之间应设置弹性桩垫。桩垫可采用纸板、棕绳、胶合板、钢绞线等材料制作，厚度应均匀一致。压缩后桩垫厚度应为 120mm~150mm，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，锤垫应用竖纹硬木、钢丝绳和高分子聚合物等制作，其厚度应为 150mm~200mm，打桩前应进行检查、校正或更换。

7.5.3 送桩器及其衬垫设置除应符合本标准第 7.4.7 条、第 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 200mm~300mm，外径应比桩内径小 20mm~30mm，对于内孔存有余浆的预应力混凝土空心桩，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 60mm。

7.5.4 锤击沉桩施工除应符合本标准第 7.1.8 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 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；

2 当地表为厚度较大的淤泥层或松软的人工填土时，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 200mm~300mm 的方式施打；

3 沉桩过程中空心桩内孔充满水或淤泥时，桩身上部应设置排气（水）孔。

7.5.5 收锤标准应符合下列规定：

1 收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要求等因素综合确定；

2 当以贯入度控制时，最后贯入度控制值应根据地基条件、桩型和锤型并结合设计要求，通过沉桩工艺试验和单桩承载力静载试验确定，且每阵 10 击的贯入度不宜小于 20mm，应连续三阵贯入度递减并达到设计要求。当持力层为较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 15mm/10 击，此时宜量测一阵锤的贯入度，若达到收锤标准即可收锤；

3 当地质条件较复杂时，可以每根桩的总锤击数及最后 1m 的锤击数作为辅助控制标准，预应力高强混凝土桩及预应力混凝土桩的总锤击数分别不宜超过 2500 击和 2000 击，最后 1m 锤击数分别不宜超过 300 击和 250 击；

4 送桩的最后贯入度应参考同一条件下不送桩时的最后贯入度予以修正。

7.6 植入法沉桩

7.6.1 当在水泥土或旋喷桩中植入预应力混凝土桩时，施工应符合现行行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327 和《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 的规定。

7.6.2 当采用钻孔等成孔工艺植入法沉桩时，应符合下列规定：

1 成孔工艺应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定；

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，应由现场工艺试验与静载试验确定。

7.6.3 植入预应力混凝土桩前应将桩孔附近返浆清理干净。

7.6.4 植入法沉桩时应采取监控预防措施，多节预应力混凝土桩接桩时应保证接桩质量和桩身垂直度。

7.6.5 植入法沉桩施工时，预应力混凝土桩垂直度允许偏差不应大于 0.5%，定位允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ ，桩顶标高允许偏差应为 $\pm 50\text{mm}$ 。

8 检测和验收

8.1 一般规定

8.1.1 预应力混凝土桩基础工程检验应按施工前检验、施工过程检验和施工后检验三个阶段进行。

8.1.2 预应力混凝土桩基础工程的单桩承载力应在沉桩完毕满足休止时间后进行检测。休止时间应符合下列规定：

- 1 对砂土、碎石土场地，不应少于 7d；
- 2 对粉土场地，不应少于 10d；
- 3 对黏性土场地，非饱和时不应少于 15d，饱和时不应少于 25d；
- 4 桩端持力层为遇水软化的风化岩时，不应少于 25d。

8.1.3 对新近回填、产生负摩阻力或桩顶高于设计桩顶工程进行承载力检测时，宜采取措施消除回填土层、产生负摩阻力土层和设计桩顶以上土层侧阻力对承载力的影响。若不能消除其影响，应在确定承载力时考虑其负摩阻力引起的下拉荷载或扣除其正侧阻力对承载力的贡献。

8.1.4 基桩检测点位宜遵循下列原则选取：

- 1 施工质量有疑问或出现过异常情况的桩；
- 2 局部地质条件出现异常的桩；
- 3 承载力验收检测时部分选择完整性检测中判定的Ⅲ类桩；
- 4 荷载较大、对变形敏感、设计方认为重要的桩；
- 5 施工工艺不同的桩；
- 6 除本条第 1~3 款制定的受检桩外，其余受检桩宜均匀、随机选取。

8.2 施工前检验

8.2.1 预应力混凝土桩质量检验应按单位工程进行抽检，也可根据工程具体情况按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的有关规定划分为若干分项工程/检验批分别确定抽检数量，并应符合下列规定：

1 同一单位工程，采用不同桩型或不同沉桩方法的预应力混凝土桩时，宜按不同桩型或不同沉桩方法划分为若干分项工程；

2 同一单位工程，采用不同厂家生产的不同批次预应力混凝土桩时，应按不同厂家不同批次划分为若干检验批。

8.2.2 预应力混凝土桩的进场质量检验应包含以下内容：

- 1 核查规格、型号、龄期；
- 2 抽检尺寸偏差、外观质量；
- 3 抽检端板或机械连接部件；
- 4 抽检结构钢筋；
- 5 抽检防腐性能；
- 6 检查堆放及桩身破损情况等。

8.2.3 预应力混凝土桩进场后，应按设计图纸、施工组织设计以及本标准第4章的有关要求，对照产品合格证、运货单及桩身标记，对其规格、型号进行逐项、逐条检查。当预应力混凝土桩规格和型号不符合要求时，应退回，不得使用。当施工工艺对龄期有要求时，尚应核查龄期。

8.2.4 预应力混凝土桩进场后，应按国家现行标准《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《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723的有关要求，对其尺寸偏差、外观质量进行抽检。抽检数量不应少于桩节总数的2%，且不应少于2节。当抽检结果出现一节桩不符合质量要求时，应加倍抽检，若仍有不合格的桩节，则该批预应力混凝土桩不得使用。

8.2.5 当采取焊接连接时，应对桩端板的质量进行抽检，应重点检

查端板的材质、厚度和电焊坡口尺寸。抽检数量不得少于桩节总数的 2%，且不得少于 2 节，并应符合本标准第 6 章的有关规定。凡端板厚度或电焊坡口尺寸不合格的桩不得使用。

8.2.6 当采用机械连接时，应对桩端接头和连接部件进行抽检，抽检数量不得少于桩节数的 2%，且不得少于 2 节。若发现连接部件的材质、部件数量及尺寸不符合要求时，该检验批的预应力混凝土桩不得使用。

8.2.7 结构钢筋、钢棒的抽检应包括预应力钢棒和纵向钢筋的数量和直径，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。每个工程抽检桩节数不得少于 2 节，且每种规格、型号不宜少于 1 节，检测结果应符合设计要求或国家现行标准《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《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723 的有关规定。当抽检结果不符合要求时，该检验批的预应力混凝土桩不得使用。

8.2.8 桩身混凝土强度等级应对照产品合格证进行检查。当对桩身混凝土强度存在异议时，可对预应力混凝土桩桩身混凝土强度进行抽检，检测方法宜采用钻芯法或全截面桩身混凝土抗压强度试验方法，并应符合下列规定：

1 钻芯法检测及结果评价宜符合现行国家标准《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》GB/T 19496 的有关规定，芯样直径宜为 70mm~100mm，且不得小于 70mm；

2 全截面桩身混凝土抗压强度试验应符合现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的规定。当对钻芯法的检测结果评价有争议时，可采用全截面桩身混凝土抗压强度试验进行评价。

8.2.9 桩尖应进行检查和抽检。生产厂家应提供桩尖钢材化学成分和力学性能的测试报告。桩尖的规格、构造应按设计要求进行检查。检测方法除量测各尺寸外，可随机抽取 5% 的桩尖进行重量检查。单个桩尖重量不应低于规定理论重量的 90%，不合格数量超过 3 个时应逐个检查，不合格者不得使用。

8.2.10 预应力混凝土桩混凝土及桩身防腐检验应按本标准第 4 章的有关要求进行, 尚应符合现行国家或行业标准的有关规定。

8.2.11 预应力混凝土桩进场后叠堆时, 应按本标准第 7.2.3 条规定检查堆放的场地条件、垫木材质、尺寸及位置、堆放层数等, 防止预应力混凝土桩受损。

8.2.12 预应力混凝土桩运输、吊装过程中, 应检查桩身是否存在破损或裂缝, 存在破损或裂缝的预应力混凝土桩不得使用。

8.3 施工过程检验

8.3.1 施工过程中检查和检测应包括下列内容:

- 1 桩位的复测;
- 2 沉桩机具的检查;
- 3 桩身垂直度检测;
- 4 桩连接质量监控;
- 5 终止沉桩标准监控;
- 6 施工记录的监督和检查;
- 7 施工对周围环境影响的监测;
- 8 基坑开挖和截桩头的监控等。

8.3.2 桩位经施工放线定位后, 应进行复核。

8.3.3 施工机具应进行下列检查, 检查结果应满足本标准第 7 章的有关要求。

- 1 现场配备的施工机具是否满足施工要求;
- 2 送桩器的构造和尺寸以及其端部所设置的衬垫厚度。

8.3.4 桩身垂直度检测应符合下列规定:

- 1 第一节桩定位时应检查桩身垂直度, 垂直度偏差不应大于 0.5%;
- 2 施工过程中应及时抽检桩身垂直度;
- 3 送桩前, 应检查桩身垂直度;
- 4 先沉桩后开挖的工程, 应在土方开挖后复测桩身垂直度。

8.3.5 桩连接质量控制应符合下列规定：

1 焊接连接应按本标准第 7.3 节的规定执行。应检查焊条的质量和直径、电焊坡口的尺寸、焊接所用的时间、焊缝质量、焊接后的停歇时间等；

2 机械连接应按本标准第 7.3 节的规定执行。除应检查接头零部件的数量、尺寸及质量外，尚应检查接头连接后的质量等；

3 桩尖与预应力混凝土桩的连接要求按接桩标准进行检查。

8.3.6 施工过程中发生异常情况应立即停止施工并分析原因，采取措施并满足设计要求后，方可继续施工。

8.3.7 终止沉桩标准检查应符合下列规定：

1 锤击法沉桩应根据收锤标准检查桩的入土深度、总锤击数、最后 1m 锤击数和最后贯入度；

2 静压法沉桩应根据终压标准进行检查；

3 植入法沉桩应按施工控制标准进行检查。

8.3.8 施工记录应由作业班组专人记录，应检查施工记录内容是否齐全、真实、清楚，并且应满足当地法规的要求。

8.3.9 施工过程中，应监测施工对周围环境的影响，并应符合下列规定：

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时，应对保护对象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的桩基工程，应抽样监测已施工工程桩的上浮量及桩顶偏位值，抽样监测数量不应少于总桩数的 1% 且不得少于 10 根。

8.3.10 沉桩完成后，应检查空心桩顶口及送桩遗留孔洞的封盖情况。

8.3.11 基坑开挖过程中应检查所采取的减少对工程桩垂直度和桩身质量影响措施的有效性。

8.4 施工后检验

8.4.1 施工后检验应包括以下内容：

- 1 桩身垂直度；
- 2 桩顶标高；
- 3 桩位偏差；
- 4 桩身完整性；
- 5 单桩承载力。

8.4.2 桩基础承台施工前，应对桩身垂直度进行逐根检查。桩身垂直度允许偏差不大于 1%，斜桩倾斜度的允许偏差不大于倾斜角正切值的 15%。

8.4.3 桩顶标高可用水准仪进行检测，桩顶标高与设计标高的允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ 。

8.4.4 桩位可用全站仪进行检测，其允许偏差应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

8.4.5 工程桩施工完毕后，工程桩桩身完整性和单桩承载力应进行抽样检测，检测数量和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。

8.4.6 沉桩结束后，若存在桩顶端头板松动或桩顶混凝土局部破损等桩顶损害情况时，除满足本标准第 8.4.5 条规定外，尚应抽取不少于桩顶损害总桩数的 30% 进行桩身完整性检测。

8.4.7 当设计有要求或有下列情况之一时，为验收提供依据的工程桩单桩竖向抗压静载试验应采用慢速维持荷载法，其余情况可采用快速维持荷载法。

- 1 设计等级为甲级的桩基工程；
- 2 桩端持力层为“互层”、“夹层”、“夹薄层”等相间呈韵律沉积的岩土层时；
- 3 桩端持力层下存在软弱下卧层时；
- 4 施工工艺采用引孔辅助法沉桩、植入法沉桩的桩基工程。

8.4.8 快速维持荷载法的每级荷载维持时间不应少于 1h，且当本级荷载作用下的桩顶沉降速率收敛时，可施加下一级荷载。

8.4.9 当采用低应变法检测桩身完整性发现有Ⅲ、Ⅳ类桩存在时，应在未检桩中扩大检测，并应符合下列规定：

1 应按原检测数量进行扩大检测，扩大检测后仍存在Ⅲ、Ⅳ类桩时，应对其余桩全数进行低应变法检测；

2 抽检不少于 3 根Ⅲ类桩进行单桩静载试验验证。

8.4.10 当单桩静载试验检测结果不满足设计要求时，应分析原因并扩大检测数量，检测数量应会同勘察、设计、监理和建设等单位商定，且不应少于原检测数量。

8.5 工程验收

8.5.1 预应力混凝土桩基础工程验收程序应符合下列规定：

1 当桩顶标高与施工现场标高基本一致时，应在全部预应力混凝土桩沉桩完毕后一次性验收；

2 当需要送桩或截桩时，应在全部预应力混凝土桩沉桩完毕并开挖到设计标高或截桩后分批进行验收。

8.5.2 工程验收时应具备下列资料：

1 岩土工程勘察报告；

2 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；

3 经批准的施工组织设计或专项施工方案及现场核定文件；

4 原材料的质量合格证明文件、预应力混凝土桩出厂合格证及产品说明书、进场质量检验相关资料；

5 桩位测量放线图，包括工程基线复核签证单；

6 沉桩施工记录，包括桩位编号图；

7 检查记录、检测报告和监测资料；

8 桩基工程竣工图；

9 其他必须提供的文件和记录。

8.5.3 预应力混凝土桩基础工程验收尚应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定。

附录 A 桩型与成桩工艺选择

A.0.1 预应力混凝土桩桩型与成桩工艺选择宜符合表 A.0.1 的要求。

表 A.0.1 桩型与成桩工艺选择

桩型	施工方法	挤土效应	穿越土层						桩端持力层				对环境的影响			
			一般黏性土及其素填土	淤泥和淤泥质土	粉土	砂土	碎石土	中间有砂夹层	中间有砾石夹层	硬塑~坚硬黏性土	密实砂土	碎石土	软岩和强(全)风化岩	硬岩和中等、微风化岩	振动和噪声	排浆
预应力(高强)混凝土管桩	静压沉桩	强	□	□	△	△	×	△	×	□	□	□	△	×	无	无
预应力(高强)混凝土空心方桩			□	□	△	△	×	△	×	□	□	△	△	×		
预应力混凝土实心方桩			□	□	△	△	×	△	×	□	□	△	△	×		
预应力(高强)混凝土管桩	锤击沉桩	强	□	□	□	△	△	△	△	□	□	□	□	×	有	无
预应力(高强)混凝土空心方桩			□	□	□	△	×	△	×	□	□	△	△	×		
预应力混凝土实心方桩			□	□	□	△	×	△	×	□	□	△	△	×		
预应力(高强)混凝土管桩	植入法沉桩	弱	□	□	□	□	△	□	□	□	□	□	□	△	可能有	可能有
预应力(高强)混凝土空心方桩			□	□	□	□	△	□	□	□	□	□	□	□		
预应力混凝土实心方桩			□	□	□	□	△	□	□	□	□	□	□	□		

注：表中符号□表示比较合适；△表示有可能采用；×表示不宜采用。

附录 B 工程常用预应力混凝土桩力学性能

B.0.1 桩基工程用管桩推荐桩型桩身配筋及相关参数应按表 B.0.1-1~表 B.0.1-2 取值。

表 B.0.1-1 PHC 桩桩身配筋及相关参数

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} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗裂拉 力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PHC400(95)	A	12	7 $\phi^D 9.0$	4	308	4.21	64	145	381	2124	60	392	681	237
	AB	12	7 $\phi^D 10.7$			5.75	88	163	536		70	539	831	
		12	(10 $\phi^D 9.0$)			5.84	89	164	544		70	547	839	
	B	13	10 $\phi^D 10.7$			7.87	118	185	765		83	747	1042	
	C	13	13 $\phi^D 10.7$			9.82	145	203	995		96	943	1241	
		13	(10 $\phi^D 12.6$)			10.36	152	208	1063		100	998	1298	

续表 B.0.1-1

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} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面承压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗裂拉 力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PHC500(120)	A	14	12 ϕ^D 9.0	5	406	4.56	137	235	653	3342	122	668	1124	372
	AB	15	12 ϕ^D 10.7			6.21	186	265	918		142	918	1378	
	B	15	12 ϕ^D 12.6			8.27	245	298	1275		169	1238	1703	
	C	15	15 ϕ^D 12.6			9.96	291	323	1594		191	1507	1977	
		15	(13 ϕ^D 14.0)			10.51	305	330	1702		198	1595	2067	
PHC600(110)	A	15	14 ϕ^D 9.0	5	506	4.51	206	268	762	3951	190	780	1319	440
	AB	15	14 ϕ^D 10.7			6.14	280	302	1071		221	1073	1616	
	B	15	14 ϕ^D 12.6			8.18	368	340	1488		262	1446	1996	
	C	15	17 ϕ^D 12.6			9.63	427	365	1806		291	1717	2272	
		15	(15 ϕ^D 14.0)			10.30	453	375	1964		306	1846	2404	

续表 B.0.1-1

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} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗裂拉 力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PHC600(130)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.54	226	310	870	4479	204	891	1502	499
	AB	15	16 ϕ^D 10.7			6.18	308	349	1224		238	1225	1841	
	B	15	16 ϕ^D 12.6			8.24	406	393	1700		282	1651	2275	
	C	15	20 ϕ^D 12.6			9.92	481	425	2125		319	2011	2641	
		15	(17 ϕ^D 14.0)			10.30	497	432	2225		328	2093	2724	
PHC700(110)	A	15	12 ϕ^D 10.7	6	590	4.51	297	320	918	4758	279	940	1589	530
		15	(18 ϕ^D 9.0)			4.79	316	327	979		287	999	1649	
	AB	15	24 ϕ^D 9.0			6.21	408	362	1306		328	1306	1961	
		15	(18 ϕ^D 10.7)			6.51	427	369	1377		336	1372	2027	
	B	15	24 ϕ^D 10.7			8.35	541	409	1836		390	1780	2443	
		15	(18 ϕ^D 12.6)			8.65	559	415	1913		399	1846	2510	
	C	15	24 ϕ^D 12.6			10.95	688	460	2550		469	2373	3047	
		15	(20 ϕ^D 14.0)			11.18	700	464	2618		476	2427	3101	

续表 B.0.1-1

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} (N/mm^2)	桩身受弯 承载力 设计值 M ($kN \cdot m$)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} ($kN \cdot m$)	桩身抗裂拉 力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PHC700(130)	A	15	13 ϕ^D 10.7	6	590	4.30	314	363	995	5432	296	1022	1761	605
		15	(20 ϕ^D 9.0)			4.67	341	374	1088		308	1112	1853	
	AB	15	26 ϕ^D 9.0			5.92	432	410	1414		347	1421	2167	
		15	(20 ϕ^D 10.7)			6.35	462	422	1530		360	1528	2275	
	B	15	26 ϕ^D 10.7			7.99	576	463	1989		412	1939	2694	
		15	(20 ϕ^D 12.6)			8.45	607	475	2125		427	2057	2814	
	C	15	26 ϕ^D 12.6			10.50	737	521	2763		495	2590	3357	
		15	(22 ϕ^D 14.0)			10.85	758	529	2880		506	2684	3453	

续表 B.0.1-1

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} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗裂拉 力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PHC800(110)	A	30	15 ϕ^D 10.7	6	690	4.79	432	381	1148	5564	399	1171	1930	620
		30	(22 ϕ^D 9.0)			4.98	449	386	1197		406	1218	1978	
	AB	30	15 ϕ^D 12.6			6.45	579	427	1594		464	1589	2356	
		30	(22 ϕ^D 10.7)			6.77	607	436	1683		477	1670	2438	
	B	30	30 ϕ^D 10.7			8.84	780	487	2295		562	2209	2986	
		30	(22 ϕ^D 12.6)			8.97	791	490	2338		567	2245	3023	
	C	30	30 ϕ^D 12.6			11.54	982	547	3188		676	2937	3728	
		30	(25 ϕ^D 14.0)			11.78	998	552	3273		687	3003	3795	

续表 B.0.1-1

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} (N/mm^2)	桩身受弯 承载力 设计值 M ($kN \cdot m$)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} ($kN \cdot m$)	桩身抗裂拉 力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PHC800(130)	A	30	16 ϕ^D 10.7	6	690	4.48	452	429	1224	6385	423	1254	2124	711
		30	(24 ϕ^D 9.0)			4.76	480	439	1306		435	1333	2204	
	AB	30	16 ϕ^D 12.6			6.04	608	482	1700		491	1705	2582	
		30	(24 ϕ^D 10.7)			6.47	650	495	1836		510	1830	2710	
	B	30	32 ϕ^D 10.7			8.31	825	549	2448		592	2375	3264	
		30	(24 ϕ^D 12.6)			8.60	852	557	2550		605	2463	3354	
	C	30	32 ϕ^D 12.6			10.89	1050	617	3400		712	3167	4071	
		30	(26 ϕ^D 14.0)			10.90	1050	617	3403		712	3169	4073	

- 注：1 PHC 桩的混凝土强度等级为 C80；
 2 表中带括号的主筋配筋规格为该型号 PHC 桩的备选配筋规格；
 3 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 PC 桩桩身配筋及相关参数

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} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗裂拉 力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PC400(95)	A	12	7 ϕ^D 9.0	4	308	4.20	63	137	381	1627	59	391	656	237
	AB	12	7 ϕ^D 10.7			5.73	85	155	536		69	538	806	
	B	13	10 ϕ^D 10.7			7.84	113	176	765		87	745	1016	
	C	13	13 ϕ^D 10.7			9.75	135	193	995		96	940	1214	
PC500(100)	A	14	11 ϕ^D 9.0	5	406	4.73	128	194	598	2246	115	610	977	327
	AB	15	11 ϕ^D 10.7			6.43	172	219	842		136	837	1208	
	B	15	11 ϕ^D 12.6			8.54	220	247	1169		161	1126	1502	
	C	15	14 ϕ^D 12.6			10.41	256	269	1488		185	1391	1771	
PC500(120)	A	14	12 ϕ^D 9.0	5	406	4.55	135	223	653	2560	121	667	1086	372
	AB	15	12 ϕ^D 10.7			6.19	181	251	918		141	917	1339	
	B	15	12 ϕ^D 12.6			8.23	233	283	1275		168	1235	1662	
	C	15	16 ϕ^D 12.6			10.43	281	314	1700		190	1589	2023	

续表 B.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} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗裂拉 力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PC600(110)	A	15	14 ϕ^D 9.0	5	506	4.49	202	254	762	3027	187	779	1273	440
	AB	15	14 ϕ^D 10.7			6.12	271	287	1071		220	1071	1570	
	B	15	14 ϕ^D 12.6			8.14	349	323	1488		261	1443	1948	
	C	15	19 ϕ^D 12.6			10.47	426	360	2019		310	1885	2399	
PC600(130)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.53	222	294	870	3431	201	890	1450	499
	AB	15	16 ϕ^D 10.7			6.16	298	332	1224		236	1223	1789	
	B	15	16 ϕ^D 12.6			8.19	385	373	1700		281	1647	2220	
	C	15	21 ϕ^D 12.6			10.26	461	412	2231		328	2091	2672	

注：1 PC 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。

B.0.2 桩基工程用空心方桩推荐桩型桩身配筋及相关参数应按表 B.0.2-1~表 B.0.2-2 取值。

表 B.0.2-1 PHS 桩桩身配筋及相关参数

规格 (代号-边 长)	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 布方形 边长 B_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考虑 压屈影响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗 裂拉力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PHS300(130)	A	13	$8\phi^D 77.1$	4	210	3.55	37	99	273	1790	35	273	511	192
	AB		$8\phi^D 9.0$			5.53	59	107	437		44	424	663	
PHS350(170)	A	13	$8\phi^D 9.0$	4	257	4.33	79	130	437	2329	61	432	743	250
	AB		$8\phi^D 10.7$			5.95	106	139	615		72	594	904	
	B		$8\phi^D 12.6$			8.02	139	150	854		86	800	1111	
PHS400(220)	A	15	$8\phi^D 9.0$	4	307	3.58	103	151	437	2847	81	437	816	305
	AB		$8\phi^D 10.7$			4.94	148	159	615		95	603	982	
	B		$8\phi^D 12.6$			6.69	197	170	854		113	817	1195	

续表 B.0.2-1

规格 (代号-边 长)	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 布方形 边长 B_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考虑 压屈影响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗 裂拉力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)	
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级		
PHS450(260)	A	15	12 ϕ^D 9.0	4	357	4.34	154	189	656	3486	119	649	1113	374	
	AB		12 ϕ^D 10.7			5.97	207	201			923	142	891		1357
	B		12 ϕ^D 12.6			8.04	276	217			1281	171	1201		1666
PHS500(310)	A	15	12 ϕ^D 9.0	5	407	3.75	197	224	656	4073	146	654	1197	436	
	AB		12 ϕ^D 10.7			5.17	286	236			923	173	902		1445
	B		12 ϕ^D 12.6			6.99	380	253			1281	208	1220		1763
PHS550(350)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	457	4.20	255	266	875	4814	202	866	1508	516	
	AB		16 ϕ^D 10.7			5.78	373	283			1230	241	1192		1834
	B		16 ϕ^D 12.6			7.79	485	305			1709	292	1607		2249

续表 B.0.2-1

规格 (代号-边长)	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 布方形 边长 B_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考虑 压屈影响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗 裂拉力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)	
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级		
PHS600(400)	A	15	20 ϕ^D 9.0	5	507	4.60	312	303	1093	5468	266	1077	1807	586	
	AB		20 ϕ^D 10.7			6.31	468	324			1538	321	1478		2207
	B		20 ϕ^D 12.6			8.49	625	351			2136	390	1989		2718
PHS650(450)	A	15	24 ϕ^D 9.0	6	557	4.89	381	361	1312	6148	340	1287	2108	659	
	AB		24 ϕ^D 10.7			6.70	553	386			1845	412	1764		2585
	B		24 ϕ^D 12.6			8.99	715	419			2563	503	2368		3188
PHS700(500)	A	15	28 ϕ^D 9.0	6	607	5.10	463	402	1531	6852	424	1497	2411	734	
	AB		28 ϕ^D 10.7			6.98	665	431			2153	515	2049		2963
	B		28 ϕ^D 12.6			9.36	882	468			2990	630	2748		3662

注: 1 PHS 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。

B.0.2-2 PS 桩桩身配筋及相关参数

规格 (代号-边长)	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 布方形 边长 B_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗 裂拉力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
PS300(130)	A	13	$8\phi^D 7.1$	4	210	3.55	37	94	273	1371	34	272	491	192
	AB		$8\phi^D 9.0$			5.52	59	101	437		43	424	643	
PS350(170)	A	14	$8\phi^D 9.0$	4	257	4.32	76	123	437	1784	58	431	717	250
	AB		$8\phi^D 10.7$			5.94	102	131	615		70	593	878	
	B		$8\phi^D 12.6$			8.00	132	142	854		84	798	1085	
PS400(220)	A	15	$8\phi^D 9.0$	4	307	3.58	100	142	437	2181	78	436	784	305
	AB		$8\phi^D 10.7$			4.93	144	151	615		92	602	950	
	B		$8\phi^D 12.6$			6.68	189	162	854		109	815	1164	

续表 B.0.2-2

规格 (代号-边 长)	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 布方形 边长 B_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值 (未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗 裂拉力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)	
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级		
PS450(260)	A	15	$12\phi^D 9.0$	4	357	4.33	150	178	656	2671	114	648	1074	374	
	AB		$12\phi^D 10.7$			5.95	200	190			923	137	890		1318
	B		$12\phi^D 12.6$			8.02	265	207			1281	167	1198		1627
PS500(310)	A	15	$12\phi^D 9.0$	5	407	3.74	192	211	656	3120	140	653	1152	436	
	AB		$12\phi^D 10.7$			5.16	276	224			923	167	900		1400
	B		$12\phi^D 12.6$			6.97	366	241			1281	201	1217		1717
PS550(350)	A	15	$16\phi^D 9.0$	5	457	4.19	249	252	875	3687	194	965	1454	516	
	AB		$16\phi^D 10.7$			5.77	360	269			1230	233	1189		1780
	B		$16\phi^D 12.6$			7.77	466	291			1709	283	1603		2195

续表 B.0.2-2

规格 (代号-边 长)	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 布方形 边长 B_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗 裂拉力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)	
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级		
PS600(400)	A	15	20 ϕ^D 9.0	5	507	4.59	305	287	1093	4189	256	1075	1746	586	
	AB		20 ϕ^D 10.7			6.30	452	308			1538	310	1475		2147
	B		20 ϕ^D 12.6			8.46	602	332			2136	379	1983		2657
PS650(450)	A	15	24 ϕ^D 9.0	6	557	4.88	373	343	1312	4709	328	1285	2039	659	
	AB		24 ϕ^D 10.7			6.68	536	368			1845	399	1760		2516
	B		24 ϕ^D 12.6			8.96	700	391			2563	489	2362		3119
PS700(500)	A	15	28 ϕ^D 9.0	6	607	5.09	453	381	1531	5249	409	1495	2335	734	
	AB		28 ϕ^D 10.7			6.96	644	410			2153	499	2045		2887
	B		28 ϕ^D 12.6			9.33	867	431			2990	614	2740		3585

注：1 PS 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。

B.0.3 桩基工程用实心方桩推荐桩型桩身配筋及相关参数应按表 B.0.3 取值。

表 B.0.3 YZH 桩桩身配筋及相关参数

规格 (代号-边 长)	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 布方形 边长 B_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (N/mm^2)	桩身受弯 承载力 设计值 M ($kN\cdot m$)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} ($kN\cdot m$)	桩身抗 裂拉力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
YZH300	A	12	$8\phi^D 9.0$	4	211	4.34	57	147	433	1609	40	400	663	225
	B	14	$8\phi^D 10.7$			6.02	76	155	611		48	561	827	
YZH350	A	12	$8\phi^D 10.7$	4	259	4.49	95	202	611	2190	65	564	923	306
	B	15	$8\phi^D 12.6$			6.15	125	212	848		78	780	1142	
YZH400	A	14	$12\phi^D 10.7$	4	309	5.15	159	270	917	2860	105	819	1319	400
	B	15	$12\phi^D 12.6$			6.96	207	284	1272		127	1161	1637	
YZH450	A	14	$12\phi^D 10.7$	5	357	4.14	187	331	917	3620	131	857	1449	506
	B	15	$12\phi^D 12.6$			5.62	246	346	1272		156	1177	1773	

续表 B.0.3

规格 (代号-边 长)	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 布方形 边长 B_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (N/mm ²)	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)	桩身正截 面受压承 载力设计 值(未考 虑压屈影 响) R_p (kN)	桩身抗 裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	桩身抗 裂拉力 N_{cr} (kN)		理论 质量 (kg/m)
												一级 裂缝 控制 等级	二级 裂缝 控制 等级	
YZH500	A	15	16 ϕ^D 10.7	5	407	4.46	274	435	1223	4469	185	1144	1875	625
	B		16 ϕ^D 12.6			6.03	360	455	1696		221	1563	2301	
YZH550	A	15	20 ϕ^D 10.7	6	455	4.60	376	534	1529	5407	248	1428	2314	756
	B		20 ϕ^D 12.6			6.21	493	551	2120		298	1950	2845	
YZH600	A	15	24 ϕ^D 10.7	6	505	4.63	493	619	1834	6435	320	1713	2767	900
	B		24 ϕ^D 12.6			6.26	646	363	2544		385	2339	3404	

- 注：1 YZH 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。

附录 C 预应力混凝土桩的侧阻力特征值、端阻力特征值

C.0.1 预应力混凝土桩的侧阻力特征值经验值见表 C.0.1。

表 C.0.1 预应力混凝土桩侧阻力特征值经验值 q_{sia} (kPa)

岩土名称	土(岩)状态		桩侧阻力特征值 q_{sia}
淤泥质土	—		6~10
黏性土	流塑	$I_L > 1$	10~15
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	15~20
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	20~30
		$0.25 < I_L \leq 0.50$	30~40
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	40~50
坚硬	$I_L \leq 0$	50~60	
粉土	稍密	$e > 0.90$	11~22
	中密	$0.75 \leq e \leq 0.90$	22~32
	密实	$e < 0.75$	32~43
粉细砂	稍密	$N \leq 15$	12~24
	中密	$15 < N \leq 30$	24~33
	密实	$N > 30$	33~44
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	27~37
	密实	$N > 30$	37~47
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	37~47
	密实	$N > 30$	47~58
砾砂	稍密	$5 < N \leq 15$	35~55
	中密、密实	$N > 15$	58~69
角砾、圆砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	80~100

续表 C.0.1

岩土名称	土(岩)状态		桩侧阻力特征值 q_{sia}
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	100~150
全风化软质岩	$30 < N \leq 50$		50~60
全风化硬质岩	$40 < N \leq 70$		70~80
强风化软质岩	$50 < N \leq 100$		80~120
强风化硬质岩	$N_{63.5} > 10$		110~150

注：1 桩的侧阻力特征值取值，应综合考虑岩土的性质、原位测试指标、桩长等因素；

2 对于尚未完成自重固结的土，不计算其侧阻力；

3 N 为实测标准贯入试验锤击数， $N_{63.5}$ 为修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

4 全风化、强风化软质岩指其母岩为 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ 的岩石；全风化、强风化硬质岩指其母岩为 $f_{rk} > 30\text{MPa}$ 的岩石。

C.0.2 预应力混凝土桩的端阻力特征值经验值见表 C.0.2。

表 C.0.2 预应力混凝土桩端阻力特征值经验值 q_{pa} (kPa)

岩土名称	土(岩)状态		桩长 l (m)		
			$l \leq 9$	$9 < l \leq 16$	$l > 16$
黏性土	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	400~800	700~1100	900~1400
		$0.25 < I_L \leq 0.50$	700~1100	1000~1500	1400~1800
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	1200~1600	1600~2000	2000~3000
	坚硬	$I_L \leq 0$	1600~2000	2000~2600	2600~4000
粉土	中密	$0.75 \leq e \leq 0.90$	450~800	700~1050	900~1500
	密实	$e < 0.75$	700~1200	1000~1500	1400~2000
粉砂	中密、密实	$N > 15$	700~2000	1050~2500	1500~3000
细砂	中密、密实	$N > 15$	1250~2500	1800~3000	2200~3500
中砂	中密、密实	$N > 15$	2500~3500	3000~4000	3500~4500
粗砂	中密、密实	$N > 15$	2800~5000		4500~6000
砾砂	中密、密实	$N > 15$	3000~6000		4700~6500
角砾、圆砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	4000~7500		
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	5000~9000		
全风化软质岩	$30 < N \leq 50$		3000~5000		
全风化硬质岩	$40 < N \leq 70$		4000~6000		
强风化软质岩	$50 < N \leq 100$		5000~8000		
强风化硬质岩	$N_{63.5} > 10$		6000~9000		

注：1 砂土和碎石类土中桩的端阻力特征值取值，宜综合考虑土的密实度，桩端进入持力层的深径比 h_b/d 。土越密实， h_b/d 越大，取值越高；

2 碎石土中填充物为黏性土时取低值，填充物为砂土时取高值；

3 岩石的端阻力特征值指桩端支承于中、微风化基岩表面或进入强风化岩、软质岩一定深度条件下的端阻力特征值；

4 全风化、强风化软质岩指其母岩为 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ 的岩石；全风化、强风化硬质岩指其母岩为 $f_{rk} > 30\text{MPa}$ 的岩石。

附录 D 静压桩机及适用范围参数表

D.0.1 静压桩机技术参数应按表 D.0.1 取值。

表 D.0.1 静压桩机技术参数表

项目		压桩机型号 (吨位)						
		160	240	300	400	500	800	1200
		~	~	~	~	~	~	~
		180	280	360	460	600	1000	1400
最大压桩力 (kN)		1600	2400	3000	4000	5000	8000	12000
		~	~	~	~	~	~	~
		1800	2800	3600	4600	6000	10000	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

注：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。

D.0.2 静压桩机适用范围参数应按表 D.0.2 取值。

表 D.0.2 静压桩机适用范围参数表

项目	压桩机型号（吨位）						
	160 ~ 180	240 ~ 280	300 ~ 360	400 ~ 460	500 ~ 600	800 ~ 1000	1200 ~ 1400
适用管 桩桩径 (mm)	—	400	400	400 500	500 600	500 600 700 800	600 700 800
适用空 心方桩 边长 (mm)	300 350	300 350 400	350 400 450	400 450 500	450 500 550 600	600 700	—
适用实 心方桩 边长 (mm)	350	350 400	350 400 450	400 450	450 500	500 550 600	—
单桩竖 向承载 力特征 值 (kN)	500	500~ 1000	500~ 1200	1200~ 1800	1800~ 2800	2800~ 3600	4000~ 4800
桩端持 力层	中密~密 实砂层、 硬塑~坚 硬黏性 土层、残 积土层	密实砂 层、坚硬 黏性土 层、全风 化岩层	密实砂 层、坚硬 黏性土 层、全风 化岩层	密实砂 层、坚硬 黏性土 层、全风 化岩层、 强风化 岩层	密实砂 层、坚硬 黏性土 层、全风 化岩层、 强风化 岩层	密实砂 层、坚硬 黏性土 层、全风 化岩层、 强风化 岩层	密实砂 层、坚硬 黏性土 层、全风 化岩层、 强风化 岩层

续表 D.0.2

项目	压桩机型号（吨位）						
	160	240	300	400	500	800	1200
	~ 180	~ 280	~ 360	~ 460	~ 600	~ 1000	~ 1400
桩端持力层 标准贯入试验 锤击数 N	20~25	20~35	30~40	30~50	30~55	30~60	30~65
穿透中密~密实 砂层厚度（m）	约 1.5	1.5~2.5	1.5~2.5	2~3	2~5	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、单桩竖向承载力特征值、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 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。

附录 E 柴油锤选择及适用范围参数表

E.0.1 柴油锤选择技术参数见表 E.0.1。

表 E.0.1 柴油锤选择技术参数表

柴油锤型号	25	30~36	40~50	60~62	72~80	100~160
冲击体质量 (t)	2.5	3.2 3.5 3.6	4.0 4.5 4.6 5.0	6.0 6.2	7.2 8.0	10.0 12.5 16.0
锤体总质量 (t)	5.2~6.2	7.2~8.2	9.2~11.0	12.5~15.0	17.4~20.5	20.0~32.8
常用冲程 (m)	1.5~2.2	1.6~3.2	1.8~3.2	1.9~3.6	1.8~3.4	2.0~3.4
适用管桩 桩径 (mm)	—	400	400 500	500 600	500 600 700 800	800
适用空心 方桩边长 (mm)	300	350 400	400 450	450 500	500 550 600	>600
适用实心 方桩边长 (mm)	350 400	350 400 450	350 400 450	500 550	550 600	>600
单桩竖向 承载力特征值 (kN)	400~1200	500~1500	800~2500	1600~3200	1800~4500	>3700
桩端持力层	密实砂 层、坚硬 黏性土 层、全风 化岩	密实砂 层、坚硬 黏性土 层、强风 化岩	强风化岩	强风化岩	强风化岩	强风化岩
常用收锤 贯入度 (mm/10 击)	20~40	20~50	20~50	20~50	30~80	70~120

附录 F 沉桩施工记录表

F.0.1 静压沉桩施工记录见表 F.0.1。

表 F.0.1 静压沉桩施工记录表

工程名称：_____ 建设单位：_____

总包单位：_____ 施工日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

桩型及规格：_____ 生产厂家：_____

接头形式：_____ 桩尖形式：_____

施工单位：_____ 桩机型号：_____

自然地面标高：_____ 设计单桩承载力特征值：_____

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

序号	桩位编号		下节			电焊焊接时间(min)及焊缝外观质量	中节			电焊焊接时间(min)及焊缝外观质量	上节			送桩		桩顶设计标高(m)	备注		
			液压值(MPa)				液压值(MPa)				液压值(MPa)			深度(m)	液压值(MPa)			桩入土深度(m)	桩高出地面(m)
	开始	结束	长度(m)	桩下端	桩中间		桩上端	长度(m)	桩下端		桩中间	桩上端	长度(m)						

建设单位代表：_____ 监理单位：_____ 工程负责人：_____

技术负责人：_____ 记录员：_____ 第 _____ 页/共 _____ 页

F.0.2 锤击沉桩施工记录见表 F.0.2。

表 F.0.2 锤击沉桩施工记录表

工程名称：_____ 建设单位：_____

总承包单位：_____ 施工日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

桩型及规格：_____ 生产厂家：_____

接头形式：_____ 桩尖形式：_____

施工单位：_____ 桩机型号：_____

桩锤类型：_____ 自然地面标高：_____

打桩序号：_____ 桩位编号：_____

桩顶设计标高：_____ 设计单桩承载力特征值：_____

桩节 顺序	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															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		累 计				
下 节																										
中 节																										
上 节																										总 锤 击 数
收锤及验收记录																										
收锤 时间	月 日 时		锤规格及 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 出地面		m	桩顶情况																	
经灯光或孔内摄像 检查后的基本情况						用敞口桩时， 内腔进土高度		m																		

建设单位代表：_____ 监理代表：_____ 工程负责人：_____

技术负责人：_____ 记录员：_____

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时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 4 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 5 《工业建筑防腐蚀设计标准》 GB /T 50046
- 6 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 7 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 8 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 9 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 10 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 11 《建筑与市政地基基础通用规范》 GB 55003
- 12 《工程勘察通用规范》 GB 55017
- 13 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 14 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 15 《先张法预应力混凝土管桩》 GB/T 13476
- 16 《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》 GB/T 19496
- 17 《预应力混凝土实心方桩》 JC/T 2723
- 18 《预应力混凝土空心方桩》 JG/T 197
- 19 《高层建筑岩土工程勘察标准》 JGJ/T 72
- 20 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 21 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 22 《劲性复合桩技术规程》 JGJ/T 327
- 23 《水泥土复合管桩基础技术规程》 JGJ/T 330
- 24 《随钻跟管桩技术规程》 JGJ/T 344
- 25 《预应力混凝土管桩技术标准》 JGJ/T 406
- 26 《岩土工程勘察技术规程》 DB22/T 5097

吉林省工程建设地方标准

预应力混凝土桩基础技术标准

DB22/T 5159—2024

条文说明

制订说明

《预应力混凝土桩基础技术标准》DB22/T 5159-2024，经吉林省住房和城乡建设厅、吉林省市场监督管理局于 2024 年 6 月 12 日以第 651 号通告批准、发布。

本标准编制过程中，为贯彻执行吉林省的技术经济政策，编制组进行了充分的调查研究，结合了吉林省及国内其他地区预应力混凝土桩生产及应用的实践经验与技术发展水平、相关研究成果，参考了吉林省及国内其他地区相关标准并与现行国家、行业标准相协调，确定了相关指标参数。

为便于广大勘察、设计、施工、生产、检测、监理等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《预应力混凝土桩基础技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	83
4	预应力混凝土桩制品	84
5	岩土工程勘察	85
5.2	勘探孔布置	85
5.3	取样、试验及原位测试	85
5.4	勘察报告	85
6	设计	87
6.1	一般规定	87
6.2	桩基计算	89
6.3	构造要求	94
7	施工	98
7.1	一般规定	98
7.3	接桩与截桩	99
7.4	静压法沉桩	99
7.5	锤击法沉桩	100
8	检测和验收	102
8.1	一般规定	102
8.2	施工前检验	102
8.3	施工过程检验	103
附录 C	预应力混凝土桩的侧阻力特征值、端阻力特征值	105

1 总则

1.0.1 本标准主要是对采用先张法预应力工艺成型的混凝土桩的设计、施工、检测与验收等方面做出相关规定。预应力混凝土桩具有质量稳定可靠、机械化施工程度高、生产和施工过程节能环保等优点，在吉林地区应用越来越普遍，为我省经济建设发挥了重要作用。为贯彻执行吉林省的技术经济政策，根据我省预应力混凝土桩生产及应用的实践经验与技术发展水平，有必要对预应力混凝土桩的勘察、设计、施工、质量检测与验收进行相应的规范。

1.0.2 本标准是一部集预应力混凝土桩结构构造、制作质量以及预应力混凝土桩基础的岩土工程勘察、设计、施工、质量检测和验收等内容于一体的综合性工程建设地方标准。随着近年来预应力混凝土桩技术不断发展，其应用范围及应用规模不断扩大：

1 锤击法与静压法作为两种主要的预应力混凝土桩沉桩方式，能满足不同工程场地及环境对于沉桩工艺的要求，使预应力混凝土桩在桩基工程中得以大量应用；

2 预应力（高强）混凝土管桩、预应力（高强）混凝土空心方桩、预应力混凝土实心方桩等不同桩型和规格的预应力混凝土桩产品提高了预应力混凝土桩的适用性；

3 施工机械和植入工法技术的发展，解决了预应力混凝土桩在复杂地质条件下的沉桩问题；

4 混凝土材料和防腐技术的发展，解决了预应力混凝土桩在中、强腐蚀环境下的应用难题。

1.0.3 预应力混凝土桩是桩的一类形式，涉及桩工程勘察、设计、施工、质量检测与验收等共性问题时，本规程未做规定的，应按国家、行业及吉林省现行有关标准的规定执行。

4 预应力混凝土桩制品

4.0.2 在预应力钢棒放张时,若预应力混凝土桩的混凝土立方体抗压强度低于 45MPa,对于较长的预应力混凝土桩 (>10m),在起吊时,桩身容易出现环裂。

4.0.6 根据现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求以及预应力混凝土桩实际应用情况,本条规定了用于桩基工程的预应力混凝土桩预应力钢棒的最小配筋率不应低于 0.5%。

4.0.7 本条根据国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476、《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723 和《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197 的要求制定。

4.0.8 本条按预应力混凝土桩的养护工艺进行分类。常压蒸汽养护和免蒸汽养护应不少于 3d 龄期,如有其他有效措施且有试验数据表明混凝土抗压强度、抗折强度能达到标准养护 28d 龄期的强度时,可适当进行调整。高压蒸气养护的预应力混凝土桩应不少于 1d 的龄期且高压蒸养后在常温下静停 1d 后方可沉桩。

5 岩土工程勘察

5.2 勘探孔布置

5.2.5 预应力混凝土桩基础工程控制性勘探孔深度及地基变形计算深度的确定可参考国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 附录 R 及《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T 72-2017 第 4.2.2 条要求。对于摩擦型桩，群桩桩基沉降计算深度可按桩端平面以下 1.0~1.5 倍假想实体基础宽度考虑。

5.3 取样、试验及原位测试

5.3.2 对于极软岩、碎石土、强风化硬质岩石，很难通过土试样评价其力学性质，通常以标准贯入试验、重型圆锥动力触探试验等原位测试指标作为主要评价手段。现行地方标准《岩土工程勘察技术规程》DB22/T 5097-2015 第 4.1.5 条要求桩端持力层原位测试竖向间距不得大于 2m。

预计作为桩端持力层的岩土层，当极软岩的标准贯入锤击数连续两次大于 200 击，碎石土、破碎和极破碎岩石的超重型动力触探试验锤击数连续两次大于 15 击时，原位测试手段已不再适用，并且已经超过预应力混凝土桩的沉桩能力，可终止试验，但仍应继续钻探，直至达到规定深度。

5.4 勘察报告

5.4.2 当预应力混凝土桩桩身范围内分布有坚硬密实土层时，除应采用动力触探、标准贯入试验试验等原位测试方法查清其水平分布

规律、厚度分布规律及密实程度外，还应重点探明其中地下水情况和其下伏土层性状，并对预应力混凝土桩穿透坚硬密实土层的可能性做出预估。

6 设计

6.1 一般规定

6.1.3 桩基设计等级为甲级、抗震设防烈度 7 度或 8 度地区和受水平和上拔荷载控制时，禁止使用 A 型空心桩，是因为 A 型空心桩的配筋率在 0.5% 左右，抗弯和抗剪承载力较低，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，桩身易受弯破坏，可以作为仅承受竖向压力的复合地基的增强体使用。抗拔桩主要承受拉力，且抗拔桩的裂缝控制等级为一级，A 型桩的受拉承载力较低。

预应力混凝土空心桩可适用于抗震设防烈度 8 度的地区，但应根据建筑物情况及桩基实际受力状况，按所选桩型的各项力学指标加以选用，并采取相应的构造措施。8 度设防区尤其当建筑场地类别为 III、IV 类时，地基土对空心桩的约束比较弱，地震剪力和弯矩主要由空心桩基础承担，宜采用 AB 型、B 型、C 型的空心桩。

腐蚀环境下应用预应力混凝土空心桩时，除优先采用防腐性能好的防腐蚀预应力混凝土空心桩外，还可选择保护层厚度大、抗裂能力强的预应力混凝土空心桩，所以应选用 AB 型或 B 型、C 型空心桩，且桩身合缝和端头不得有漏浆。

6.1.4 预应力混凝土桩桩身强度较高，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，进入硬塑或坚硬的黏性土、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。目前预应力混凝土桩的施工方法主要有锤击贯入法、静力压桩法及植入法等。锤击贯入沉桩时存在桩身较易损伤、对环境有噪声、振动、油烟污染等问题，它的应用在城市中受到了一定的限制。但由于锤击法具有低成本、穿透土层能力强、施工方便等优点，在环境条件

允许的地方仍有很大的市场。

静力压桩法适用于浅层土易穿越，桩端持力层较致密、坚硬的场地。桩端持力层可选择硬塑、坚硬的黏性土，中密~密实的粉土和砂土、碎石土、全风化岩层和强风化岩层。表层土质软弱且压桩机作业面承载力低的场地应预先处理，方可采用静力压桩法，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，并通过现场沉桩工艺试验确定其适用性。另外，采用植入工具有以下几个优点：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。

预应力混凝土桩施工也可配合引孔辅助法沉桩，它是减轻挤土效应常用的一种有效方法，也可以采用引孔法穿越坚硬夹层增加桩的入土深度。

当桩基施工可能影响环境安全时，应调整施工工艺或沉桩施工顺序，并可采用一种或多种辅助措施。如锤击沉桩时采用“重锤轻击”法施工、在施工场地与被保护对象间开挖缓冲沟、全部或部分桩采用引孔辅助法沉桩。

当冻土、密实砂土、碎石土及中等风化岩层可能造成预应力混凝土桩垂直度偏差或桩身破坏时，宜采用引孔辅助法或植入法施工。

6.1.5 基桩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。一般讲桩距越小，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。对于预应力混凝土桩而言，通常采用锤击或静压施工，为挤土桩，为减小挤土负面效应，在饱和黏性土和密实土层条件下，桩距应适当加大，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入工法沉桩时，预应力混凝土桩的间距可参照非挤土灌注桩的间距要求。

关于桩端持力层选择和进入持力层的深度要求。桩端持力层是影响基桩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同成桩工艺可行性相结合。

“挤土桩”与“部分挤土桩”的划分与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 附录 A 相一致。

6.2 桩基计算

6.2.6 单桩竖向极限承载力的确定要把握两点，一是以单桩静载试验为主要依据且应在设计阶段进行，二是要重视综合判定的思想。单桩极限承载力标准值指通过不少于 3 根的单桩现场静载试验确定的，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。

单桩竖向承载力的经验估算公式，各种规范基本一致，其表达式基本上都是桩端总阻力加桩侧总摩阻力。预应力混凝土桩侧摩阻力与普通预制混凝土桩的侧摩阻力无大的差别，提高不多。由于预应力混凝土桩强度高、耐压（打）性好、贯穿力强，能承受比普通钢筋混凝土预制桩大得多的压桩力或锤击能量，从而转化为桩端附近岩土的挤密效应使该层岩土的力学性能大为改善而较大地提高了端阻力。承载力参数采用特征值，与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、现行地方标准《岩土工程勘察技术规程》DB22/T 5097-2015 相一致。

6.2.8 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，来综合考虑上述两方面因素的影响。因此，按桩身混凝土强度计算桩的承载力时，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 按本条规定计算。

现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 中的混凝土预制桩、预应力混凝土空心桩成桩工艺系数取为 0.85，现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 中预应力桩取为 0.55~0.65。由此可见，目前各规范关于预应力混凝土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，根据表中所列预应力混凝土桩桩身强度计算公式计算得到的数值差别较大。部分规范成桩工艺系数取值不高的原因主要是基于当前预应力混凝土桩应用中存在的一些问题：如部分工程预应力混凝土桩龄期不到便开始沉桩、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。因此，预应力混凝土桩工艺系数取值应关注桩身出厂质量，并考虑场地条件、施工方式等因素。考虑到预应力混凝土桩采用工厂化制作，桩身质量比灌注桩更有保证，并结合工程实践，对抱压式施工取综合折减系数 $\psi_c=0.65$ ，对顶压式施工取综合折减系数 $\psi_c=0.80$ ，总体上强调在桩基施工中应根据各专项标准的要求严格施工、加强现场管理和监理。对于采用植入工法施工的预应力混凝土桩，桩身完整性受施工因素的影响较小，将 ψ_c 提高至 0.85。

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，应考虑压屈影响，桩身稳定系数可依据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 5.8.4 条取值。

6.2.12、6.2.13 根据预应力混凝土桩所处的环境类别，参照《混凝土结构设计规范》GB 50010，结构构件正截面的裂缝控制等级分

为三级。预应力混凝土桩桩身裂缝控制计算主要用于抗拔桩和承受水平力的桩。考虑预应力混凝土桩混凝土保护层较薄,钢筋直径小,预应力混凝土桩开裂后承载力的增加空间不多,刚度也下降较多,为保证其耐久性,对桩身裂缝的控制从严规定,所以裂缝控制等级严于普通钢筋混凝土桩。即除临时性结构外,预应力混凝土桩桩身均不允许出现裂缝。抗拔预应力混凝土桩、中等、强腐蚀环境中的预应力混凝土桩,桩身裂缝控制等级为一级。弱腐蚀环境中承受水平力的预应力混凝土桩,桩身裂缝控制等级为二级。

6.2.15 预应力混凝土桩作为抗拔桩,有几方面问题值得注意。首先,预应力混凝土桩作为抗拔桩时桩身结构强度如何控制尚没有一致认识。现行国家标准设计图集《先张法预应力混凝土管桩》23G409中采用预应力钢筋的抗拉强度来确定桩身抗拔承载力,有的地方标准采用混凝土有效预压应力进行控制,或者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混凝土桩混凝土抗裂性能的不同认识。其本质是对于预应力混凝土桩抗裂控制要求的不同,相比较而言,采用预压有效应力进行控制是较为安全的。其次,影响预应力混凝土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,当预应力混凝土桩作为抗拔桩时,端板厚度需要作适当加强。空心桩内采用微膨胀混凝土填芯并内设插筋是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。

实际工程中,预应力混凝土桩作为抗拔桩时,影响桩身抗拔承载力的因素较多,需要验算钢棒及镦头抗拉强度、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,近似按设计值除以 1.35 后应不小于抗拔桩承载力特征值进行计算。

抗拔桩采用电焊焊接接头时,焊缝坡口要比承压桩大一些,留有安全裕量,故抗拔桩的焊缝坡口尺寸应适当加大,需要特制,或者坡口尺寸虽不加大,但焊缝的 10%应进行探伤检查。

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空心桩内壁或多或少存在着一层浮浆层而离散性较大,加上空心桩尤其是小直径空心桩的内孔直径较小,填芯混凝土施工环境差,质量稳定性也差,故填芯混凝土与空心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,标准提出: C30 掺微膨胀剂的填芯混凝土 f_n 可取 0.30MPa~0.35MPa,以上建议值是通过一些抗拔试验资料反算出来的,是留有一定的储备。当然,若填芯混凝土的施工质量较差,取 $f_n=0.30\text{MPa}$ 也会有问题,因此保证填芯混凝土的质量是关键。

6.2.16 预应力混凝土桩单桩水平承载力特征值与桩的规格型号、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,应通过现场水平载荷试验确定单桩水平承载力特征值,可更为直接和可靠地确定实际场地条件下桩在水平荷载下的承载力与变形情况。为设计提供依据的试验桩,宜加载至桩顶出现较大水平位移或桩身结构破坏;对工程桩抽样检测,可按设计要求的水平位移允许值控制加载。

目前根据水平静载荷试验确定单桩水平承载力特征值的方法主要有三种(表 1):

表 1 单桩水平承载力特征值载荷试验确定方法

序号	单桩水平承载力特征值确定方法	规范
1	水平载荷试验曲线 10mm 水平位移对应的荷载 H_{10} 乘以 0.75	《建筑桩基技术规范》 JGJ 94-2008

续表 1

序号	单桩水平承载力特征值确定方法	规范
2	当桩身不允许开裂或灌注桩桩身配筋率小于 0.65% 时, 可取水平临界荷载 H_{cr} 的 0.75 倍; 对于钢筋混凝土预制桩、钢桩和桩身配筋率不小于 0.65% 的灌注桩, 可取设计桩顶标高处允许水平位移对应荷载的 0.75 倍, 对于水平位移不敏感、敏感的建筑, 其允许水平位移分别取 10mm, 6mm	《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106-2014
3	当桩身不允许裂缝时, 取水平临界荷载 H_{cr} 统计值乘以 0.75; 当桩身允许出现裂缝时, 取极限荷载统计值 H_u 除以 2	《建筑地基基础设计规范》 GB 50007-2011

1 按桩身是否出现裂缝控制, 即取临界荷载, 如国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 取水平临界荷载 H_{cr} 统计值乘以 0.75 为单桩水平承载力特征值;

2 按桩顶水平位移控制, 现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 和《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014, 取水平位移为 10mm (对水平位移敏感的建筑取 6mm) 对应的荷载 H_{10} 为单桩水平承载力特征值, 这一要求是反映对桩顶水平位移的控制要求;

3 按极限荷载除以安全系数控制, 如当桩身允许出现裂缝时, 取极限荷载统计值 H_u 除以 2 作为单桩承载力特征值。

对于 A、AB 型低配筋率的空心桩, 通常是桩身先出现裂缝, 随后断裂破坏, 单桩水平承载力特征值由桩身强度控制。对于 B、C 型高配筋率空心桩, 桩身虽未断裂, 但由于桩侧土体塑性隆起或桩顶水平位移超过使用允许值, 单桩水平承载力特征值受位移控制。由于预应力混凝土桩的配筋率较低且不允许出现裂缝, 一般可采用临界荷载与桩顶允许变形值的较小值确定单桩承载力特征值。

试验证明, 荷载稳定时间、循环形式、周期和加载速率等因素都对桩的水平承载力试验结果有影响。为了模拟实际荷载形式, 主

要可分为单向多循环加载法和慢速维持荷载法。多循环加载主要是为了模拟实际结构在承受风、地震、波浪等反复水平作用的一种试验加载方法。当考虑承受长期水平荷载作用时，宜采用慢速维持荷载法，加载方法相对简洁、明了。上海开展过同一场地、同一桩型的两种加载试验，后者得到的临界荷载比前者大 1~2 级荷载，主要是由于多循环加载法在每一级荷载下反复加卸载，试验桩受力更复杂，更易达到临界荷载。但从按水平位移控制确定水平承载力特征值的取值来看，两者差别不大，考虑到试验过程的操作便利性和结果判定的准确性，建议采用慢速维持荷载法。

桩的水平承载力静载试验除了桩顶自由的单桩试验外，还有带承台桩的水平静载试验（可考虑承台底面阻力和侧面抗力，以便充分反映桩基在水平力作用下的实际工作状况）、桩顶不能自由转动的不同约束条件及桩基施加垂直荷载等试验方法。可根据设计的特殊要求进行试验。

6.3 构造要求

6.3.1 预应力混凝土桩锚固筋的设置宜结合工程的地质情况及施工要求进行设置。桩端设置锚固筋，主要使桩端受力更加均匀，尤其是在抗拔工程中。对于单节抗拔桩的工程可在与承台连接的一端设置锚固筋即可，对于多节抗拔桩的工程宜两端均设置锚固筋。

6.3.3、6.3.4 6.3.3、6.3.4 条是对空心桩顶部与承台之间连接结构做出的一系列规定。当桩进入承台的深度为 50mm~100mm 时（大桩取较大值），可实现桩与承台的半刚性连接，十分有利于桩基抵抗地震等较大作用的水平荷载。

上部结构荷载通过承台传递给桩，不同性质荷载的传递对于桩顶与承台连接要求不同。竖向压力的传递要求桩顶与承台底紧密接触，竖向拔力的传递要求桩顶与承台连接的抗拉强度应大于桩的抗拔承载力，水平力的传递要求桩顶与承台连接的抗剪强度大于桩的

水平承载力。因此对建筑预应力混凝土桩基础，特别强调桩进入承台深度的规定。

无论承压桩及抗拔桩，空心桩桩顶均应设置填芯混凝土，主要是用于插筋的锚固，有利于桩和承台连接的简化，同时从整体上改善桩顶部位桩身的抗剪、抗弯能力。一般情况下空心桩由其压弯承载力控制，不由受剪承载力控制。桩顶填芯混凝土长度与连接钢筋的长度相同，一般的做法是用 2mm~3mm 厚的钢板做成一个圆形的托盘，托盘的作用是挡住填芯混凝土不下落到桩底，托盘的直径应比空心桩内径小 20mm 左右（以能放入空心桩内孔为准），然后将连接钢筋的钢筋笼垂直焊在托盘上，施工作业时，先将空心桩顶部内孔清洗干净，将钢筋笼连同托盘小心地放入空心桩内孔，放入深度应根据承压桩和抗拔桩的设计深度而定，然后临时固定钢筋笼，再灌入填芯混凝土至空心桩顶面，用混凝土振动棒振动密实。

填芯混凝土的施工质量与整个空心桩基础的质量紧密相连，故一定要精心施工，保证质量。实践表明，填芯采用补偿收缩混凝土或微膨胀混凝土可取得较好效果。填芯补偿收缩混凝土的限制膨胀率宜为 0.025%，填芯微膨胀混凝土的限制膨胀率宜为 0.03%，限制干缩率均不大于 0.015%。膨胀率过大，影响填芯混凝土的强度，也会对空心桩内壁产生环向压力，使桩头处于复杂受力状态，导致桩头劈裂。膨胀率过小，补偿不了混凝土的干缩，填芯混凝土与内壁间结合不紧密，不能传递拉力。在确定了限值膨胀率和限值干缩率后，生产补偿收缩混凝土或微膨胀混凝土时，采用膨胀剂的品种和数量应通过试验确定，试验应按现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定执行。

对于承压桩统一采用桩顶填芯混凝土中埋设连接钢筋的连接方法；对于抗拔桩提供两种做法：桩顶不截桩时与承台连接方法，桩顶截桩时与承台连接方法。采用桩顶不截桩时与承台的连接方法时，如果拉力较大，还应验算端板的厚度，使其满足受力要求，必要时还应在桩内设置端板锚固钢筋；也可以采用桩顶截桩时与承台

的连接方法。如果用连接钢筋作为抗拔桩的受力钢筋，则填芯混凝土的深度、连接钢筋的总横截面积，应按本标准第 6.2.15 条的有关规定进行计算。

6.3.5 预应力混凝土桩接头处的连接强度均不应低于桩身，以保证力的传递并可使接头的位置不受限制。接头质量受现场施工环境、施工工人技术等影响较大，接头数量较多时，施工的风险更大，且接头超过 3 个时，通常桩长超过 50m，沉桩难度加大且沉桩过程的垂直度控制要求更高，可能会由于接桩的施工误差易造成预应力混凝土桩桩身在竖向力作用下的偏心受压或弯曲破坏。因此，规定一根桩的接头数量不宜超过 3 个接头。若干工程事故经验表明，对于预应力混凝土桩用作抗拔桩的接头连接，应进行专门的设计。当采用植桩工艺施工时，可减少上述不利影响因素。

用作抗拔的预应力混凝土桩焊接接头经专项设计是指根据抗拔承载力要求计算焊缝厚度及加强焊接构造，常规抗压焊接接头不能满足抗拔承载力要求。

当地下水、地基土为强腐蚀等级时，应采用机械连接，宜同时采用封闭围焊，主要是满足低应变检测要求。在中等腐蚀环境中的抗拔桩可采用焊接连接，但需留出焊缝高度裕量。

6.3.6 对于坚硬薄夹层或较厚的稍密—中密砂土层的场地，常常出现桩端难以进入持力层的情况，从而导致桩基承载力和沉降不能满足设计要求；另外，沉桩困难容易损坏桩身。对于预应力混凝土桩，选择合适的桩尖不但可以增强桩的穿透能力，而且可减少压桩对原状土的扰动，保证单桩竖向承载力的正常发挥。桩端持力层为强（全）风化岩时，不设桩尖不易保证桩端进入持力层的深度，桩的稳定性不能保证，应设置桩尖。一般优先选择开口桩尖，开口桩尖压桩阻力更小，挤土效应更小，对桩侧土体损伤也小。需增加沉桩穿透能力时可采用锥形桩尖，其他情况可选用平底型或十字型。对于采用闭口型桩尖的空心桩，可在空心桩内腔采用照明拍摄对桩身进行检查，也便于处理桩身缺陷。

不设桩尖的空心桩桩底容易破损，且预应力钢棒端头无保护板容易受腐蚀，腐蚀环境下应设置桩尖。对于桩端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，但长时间搁置后再做静载荷试验，承载力降低许多。究其原因是桩尖附近有水，或有水渗到桩尖。对强风化泥岩、含泥较多的强风化、全风化花岗岩遇水易发生崩解软化，导致桩端阻力大大降低。桩尖有两种选择方式：①采用一体化混凝土桩尖，在空心桩出厂前即完成桩尖的预制和养护，可解决桩端封闭漏水，减少现场焊接桩尖的监管难度和质量保证；②亦可采用闭口桩尖，为保持桩尖的耐久性，及时灌入灌注高度不小于 1.5m 的补偿收缩混凝土或中粗砂拌制的水泥砂浆进行封底，可较好地解决软化问题。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.4 通过现场沉桩工艺试验，可评价选用合适的沉桩方法，确定施工方法的相关工艺控制参数。沉桩工艺试验可为成桩设备、工艺的选择提供参考，可用来确定桩长、承载力等参数，评估成桩施工过程中对场地土、周围环境的影响。

7.1.5 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、建筑物破坏等，因此，施工时必须合理安排施工顺序。

7.1.11 当遇到密实的砂土等硬夹层，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。

引孔孔径一般比预应力混凝土桩直径小 100mm，否则设计应考虑钻孔对承载力的影响；也有与预应力混凝土桩直径一样的孔径，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 12m，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，预应力混凝土桩下沉时很难纠偏，也容易发生桩身折断事故。

钻孔内积水，宜采用空心桩及开口形桩尖，若用封口形桩尖，桩端部一般达不到孔底，会造成工程质量事故。

7.1.12 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沉桩，并及时报设计、勘察、监理等有关人员，以便进行原因分析，研究处理解决的措施。

“其他异常情况”包含静压法沉桩过程中夹持机具打滑、压桩机下陷或浮机等情况。

7.1.14 预应力混凝土桩工程的基坑开挖是一项很重要的工作，为指导土方开挖，需制定详细可行的土方开挖方案。土方开挖要分层，由于土方开挖未分层造成预应力混凝土桩桩偏移甚至桩身断裂事故时有发生，为防止挖土机械对预应力混凝土桩的碾压和碰撞而破坏桩体，对流塑性状软土的基坑开挖，其高差不应超过 1.0m，否则容易导致预应力混凝土桩大量偏移或断桩。

当基坑有围护结构时，不论采用何种支护形式，一般均不宜先施工围护结构再沉桩，否则会造成以下不良后果：一是后沉桩会对围护结构产生挤压，使其变形或破坏，影响其在基坑开挖后的挡土止水效果；二是围护结构先形成、后沉桩时的挤土受其约束，使孔隙水压力骤增且难以消除，在基坑挖土时，先挖的土坑就成为超孔隙水压力释放的去向和场所，导致工程桩倾斜；三是容易造成预应力混凝土桩随着土的隆起而上浮。

7.3 接桩与截桩

7.3.1 预应力混凝土桩连接时需要的时间较长，停歇在接近硬土层（碎石、卵石、砂层）的预应力混凝土桩再行沉桩时，易造成沉桩困难。

7.4 静压法沉桩

7.4.9 对于摩擦型桩，应按设计桩长控制桩端标高。宜在试沉桩时，按设计桩长试压 3~5 根桩，停歇 24h 后采用与单桩竖向极限承载力标准值相等的压桩力进行复压，如桩身不下沉，即可初步判定其承载力可达到设计要求；否则，应对设计桩长进行修正。

当 $6\text{m} \leq l \leq 8\text{m}$ 时 (l 为桩的入土深度), 终压力值可取单桩竖向承载力特征值的 2.4~3.2 倍; 当 $8\text{m} < l \leq 15\text{m}$ 时, 可取单桩竖向承载力特征值的 2.2~3.0 倍; 当 $15\text{m} < l \leq 23\text{m}$ 时, 可取单桩竖向承载力特征值的 2.0~2.4 倍; 当 $l > 23\text{m}$ 时, 可取单桩竖向承载力特征值的 2.0 倍; 当桩周土为黏性土且灵敏度较高时, 可取 1.7~1.9 倍; 当桩端持力层为砂土时, 应取较大值。

终压时连续复压次数一般不宜超过 3 次。靠增加复压次数来提高静压桩的承载力, 是得不偿失的一种做法, 复压次数太多, 承载力并没有太多的增长, 反而容易引起桩身和压桩机的破损。当然, 对施压入土深度小于 8m 的短桩, 允许复压次数可增至 3 次~5 次。不宜采用满载多次复压法, 条件许可时宜采用超载施压法。

7.5 锤击法沉桩

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 收锤标准包括的内容、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 3 阵 (每阵 10 击) 的贯入度来判断该桩能否收锤。而最后贯入度大小又与工程地质条件、桩承载性状、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

桩收锤的唯一定量控制指标，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，控制建筑物的沉降，使建（构）筑物安全、适用。

确定最后贯入度的控制指标，主要是要解决好一个“度”的问题。贯入度过大不行，基桩达不到设计承载力；贯入度过小也不好，基桩易被打坏。总之，要“恰如其分”，既能达到桩的承载力，又能保持桩身的完整性。在常规情况下，标准要求所确定的贯入度指标不要小于每阵（10 击）20mm。这样做既保护了桩身，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 15mm/10 击；否则，应从设计入手，适当减少单桩竖向承载力特征值。在这种特殊的地质条件下测量一阵锤的贯入度，若贯入度值达到收锤标准时即可收锤，若再打第二阵，预应力混凝土桩易被打坏。当然，在以全风化岩层、密实砂层、坚硬土层作为桩端持力层的预应力混凝土桩工程，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收锤标准时，即可收锤，终止施打。

对每根桩的总锤击数及最后 1m 沉桩击数进行限制，目的是防止桩身混凝土产生疲劳破坏。若为数不少的桩总锤击数超过本条规定时，设计者应从锤型、持力层和收锤贯入度等方面去反复调整。

送桩的最后贯入度应比同一条件下不送桩时的最后贯入度小一些，一般可取不送桩时最后贯入度值的 0.8 倍。

8 检测和验收

8.1 一般规定

8.1.4 由于检测成本和周期问题,很难做到对桩基工程全部基桩进行检测。施工后验收检测的最终目的是查明隐患、确保安全。为了在有限的检测数量中更能充分暴露桩基存在的质量问题,宜优先检测本条第 1~5 款所列的桩,其次再考虑随机性。

8.2 施工前检验

8.2.1 单位工程所用的预应力混凝土桩,进行质量检查和检测时,是否需要划分为若干个检验批,视工程实际情况而定。如果验收批的样本数量较大,当出现不合格情况时,该检验批的预应力混凝土桩不准使用,可能会造成较大浪费;如果单位工程划分的检验批较多,可能会增加抽检数量。诸如预应力混凝土桩的规格和型号,尺寸偏差和外观质量,桩端板几何尺寸等检查项目,可按供货批次划分检验批;预应力混凝土桩的预应力钢棒数量和直径、螺旋筋直径和间距、螺旋筋加密区的长度以及钢筋混凝土保护层厚度、桩身混凝土强度等检查项目,可按预应力混凝土桩生产厂家划分检验批。

8.2.2 建筑工程中使用的预应力混凝土桩,除应按产品标准进行生产质量控制和出厂检验外,预应力混凝土桩运到工地后,施工前,还应进行成品桩质量检查和检测。本条列出的质量检查检测工作,应由施工单位完成并实行旁站监理。

预应力混凝土桩的龄期应满足施工工艺要求。常压蒸汽养护和免蒸汽养护应不少于 3d 龄期,如有其他有效措施且有试验数据表明混凝土抗压强度、抗折强度能达到标准养护 28d 龄期的强度时,

可适当进行调整。高压蒸汽养护的预应力混凝土桩应不少于 1d 的龄期且高压蒸养后在常温下静停 1d 后方可沉桩。

预应力混凝土桩的规格和型号、尺寸偏差和外观质量、桩端板几何尺寸，应在预应力混凝土桩运到工地后及时进行检查和抽检。目前预应力混凝土桩成品桩质量存在最大的问题是混凝土强度低和端板质量问题，端板质量存在三个方面问题，一是端板材质未采用 Q235 钢材，而采用铸钢或“地条钢”，可焊性差而不符合要求；二是端板厚度偏薄，导致钢棒与端板的连接较差；三是电焊坡口尺寸不规范，导致焊缝高度不符合要求。因此，对焊接连接，应重点检查端板厚度和电焊坡口尺寸。当采用机械连接接头时，端板的结构与采用焊接方式的端板结构有一定的差异。为了实现通过连接部件对两节桩的连接，预应力混凝土桩的连接质量既与连接部件质量有关，也与桩端接头质量有关，应重点检查端板厚度和桩端接头以及连接部件。当对端板材质质疑时，应对钢材材质进行抽检。

预应力混凝土桩的预应力钢棒数量和直径、螺旋筋直径和间距、螺旋筋加密区的长度以及钢筋混凝土保护层厚度，可利用先施工的 2m 以上长度的余桩经人工破碎后进行检测；若工地没有余桩可利用，则应在工地上随机选取两节桩经人工破碎后检测。检测预应力钢棒规格可截一段钢筋称其重量，检测螺旋筋直径和保护层厚度可用游标卡尺，检测螺旋筋间距和加密区长度可用钢卷尺。

8.3 施工过程检验

8.3.4 第一节底桩垂直度控制的好坏对整根桩的垂直度影响至关重要，因此对底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，故在送桩前应进行桩身垂直度测量。一般情况下，送桩前后的桩身垂直度不会有大的变化，但对于深基坑内的基桩，有时由于基坑土方开挖不当会引起桩身倾斜，而且这种桩身倾斜往往导致桩基施工单位和土方开挖单位的责任纠

纷，为了理清其责任纠纷，在深基坑土方过程中和开挖后，需再次测量桩身垂直度。桩身垂直度可采用吊线坠法或经纬仪测量。

8.3.9 由于施工方法和工序不合理，或未结合地质条件科学合理地选择桩型，不少工程中出现工程桩上浮甚至发生桩位偏移，对不调整设计方案和施工方案的情况，只能通过加强监测来控制工程质量，本标准对监测数量进行了明确规定，监测点应设置在已施工的工程桩上部裸露的部位，根据施工情况确定监测频次，且应在施工后及时进行第一次监测（基准值）读数。条件允许时，监测应延伸至基坑土方开挖期间。

附录 C 预应力混凝土桩的侧阻力特征值、端阻力特征值

C.0.1 全风化、强风化岩石的土（岩）状态中的原位测试击数仅为表中端阻力特征值对应的状态，并非判别岩石风化状态的标准。岩石的风化程度应按其野外特征结合波速比和风化系数等定量指标划分，仅泥岩、砂岩可根据吉林省地方经验，结合标准贯入试验击数划分。

对于呈土状的残积土和 $N \leq 30$ 的全风化软质岩，可参照对应土类取值。表中硬质岩数据主要适用于花岗岩、花岗片麻岩和火山凝灰岩等。同时，部分岩土因缺少资料并未列入表中，如母岩为 $15\text{MPa} < f_{\text{tk}} \leq 30\text{MPa}$ 的岩石等，可结合其状态及原位测试数据适当取值。