

ICS 93.010

P 22

团 体 标 准

T/ZJXXXX XX-2024

预应力高强混凝土空心方桩技术规程

Technical specification for prestressed high strength
concrete hollow square pile

（征求意见稿）

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

浙江省土木建筑学会 发布

前 言

根据国家标准化管理委员会、民政部制定的《团体标准管理规定》（国标委联〔2019〕1号）和浙江省土木建筑学会相关要求，规程编制单位经广泛调查研究，认真总结实践经验，结合国家和地方有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分7章和11个附录，主要包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.原材料、分类及制作；5.设计；6.施工；7.检验和验收；附录A~附录L。

本规程主编单位：

本规程参编单位：

本规程主要起草人：

本规程主要审查人：

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	2
3 基本规定	5
4 材料与分类	6
4.1 材 料	6
4.2 分 类	8
5 设 计	10
5.1 一般规定	10
5.2 桩基计算	12
5.3 复合地基计算	22
5.4 构造要求	23
5.5 桩身防腐设计	25
6 施 工	27
6.1 一般规定	27
6.2 起吊、搬运与堆放	29
6.3 接桩与截桩	30
6.4 锤击法沉桩	31
6.5 静压法沉桩	32
6.6 植入法沉桩	33
7 检测和验收	34
7.1 一般规定	34
7.2 检 测	35
7.3 验 收	39
附录 A 高强空心方桩桩身结构及力学性能参数	41
附录 B 高强空心方桩力学性能计算	55
附录 C 端板结构	61

附录 D 高强空心方桩接桩处构造	62
附录 E 张拉机械套筒结构及参数	65
附录 F 桩尖构造	67
附录 G 桩顶与承台连接构造	71
附录 H 锤击法沉桩锤重选择参考表	77
附录 I 锤击法沉桩施工记录表	78
附录 J 静压法沉桩设备选择参考表	79
附录 K 静压法沉桩施工记录表	80
附录 L 植入法沉桩施工记录表	81
引用标准名录	81
本规程用词说明	84
条文说明	85

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic Requirements	5
4	Materials, Classification and Production	6
4.1	Materials	6
4.2	Classification	8
5	Design	10
5.1	General Requirements	10
5.2	Calculation of Pile Foundation	16
5.3	Calculation of Composite Foundation	22
5.4	Detailing Requirements	23
5.5	Anticorrosion design of Pile body	25
6	Construction	27
6.1	General Requirements	27
6.2	Lift, Transport and Stack	29
6.3	Connecting and Cutting of Piles	30
6.4	Hammer-driving Method	31
6.5	Jacked Driving Method	32
6.6	Method of Planting Pile	33
7	Inspection and Acceptance	34
7.1	General Requirements	34
7.2	Inspection	35
7.3	Quality Acceptance	39
	Appendix A Mechanical Performance Parameters of Spun Square Pile	错误！未定义书签。
	Appendix B Calculation of high strength concrete hollow square pile	62
	Appendix C End Plate Structure	61

Appendix D Construction of Pile Connection	62
Appendix E Structure and Parameters of Tension Mechanical Sleeve	65
Appendix F Pile Tip Structure	67
Appendix G Pile Top and Cap Connection Structure	71
Appendix H Hammer Pile-sinking of Sinking Pile Hammer Weight Selection Reference Table .	77
Appendix I Construction Record Table of Hammer Pile-sinkin	78
Appendix J Reference Table for Pile Driving Selection of Static Pressure Pile-sinking	79
Appendix K Construction Record Table of Static Pressure Pile-sinking	80
Appendix L Construction Record Table of Planting Pile	81
List of Quoted Standards	81
Explanation of Wording in This Specification	84
Addition: Explanation of Provisions	85

1 总 则

1.0.1 为规范浙江省预应力高强混凝土空心方桩的应用，贯彻国家的技术要求和经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于工程建设中预应力高强混凝土空心方桩的设计、生产、施工、质量检验与验收。

1.0.3 预应力高强混凝土空心方桩应根据地质条件、工程类型、荷载特征、施工条件与环境保护等因素，因地制宜选择桩型及沉桩工艺，加强施工质量控制和管理。

1.0.4 预应力高强混凝土空心方桩的应用除应符合本规程外，尚应符合国家及浙江省有关现行标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

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

采用预应力和离心成型工艺制作而成的混凝土强度等级为 C80 及以上的一种外方内圆截面空心方桩，包含等截面空心方桩及变截面异形空心方桩，简称“高强空心方桩”。桩身混凝土强度等级为 C80 的等截面空心方桩为高强混凝土空心方桩（简称 PHS 桩）；桩身混凝土强度等级为 C105 及以上的等截面空心方桩为超高强混凝土空心方桩（简称 UHS 桩）。

2.1.2 异形空心方桩 special-shaped hollow square piles

桩身由空心方形段和空心圆形段交替组合而成，两端截面呈方形，空心方形段长度大于空心圆形段，混凝土强度等级为 C80 及以上的异形空心桩（简称 DPHS 桩）。

2.1.3 机械连接接头 mechanical connection joint

桩节与桩节之间采用插销、抱箍连接件等方式形成的机械连接接头。

2.1.4 机械-连续焊接连接接头 mechanical-continuous welding connection joint

桩节与桩节之间在采用机械外接、内接、预埋连接件机械连接基础上，外加钢端板、钢套箍间焊接的连接接头。

2.1.5 抱箍式连接接头 anchor ear mechanical connection joint

采用机械连接卡与相邻桩间的端板咬合实现桩节与桩节之间连接的机械连接接头。

2.1.6 机械连接卡 mechanical connection card

抱箍式连接中横截面呈凹形，纵向呈弧形或直线形的钢件。

2.1.7 插销式连接接头 plug-in connection joint

采用插杆与锁紧件咬合来实现桩节与桩节之间连接的机械连接接头。

2.1.8 植入法沉桩 method of planting pile

采用搅拌、旋喷形成水泥土桩，再采用锤击、静压或振动等辅助措施将预制桩植入的施工方法。

2.1.9 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。

2.1.10 一体化桩尖 integral pipe-pile shoe

与高强空心方桩桩身一体预制的桩尖。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

F_k ——按荷载效应标准组合计算的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；

G_p ——基桩自重，地下水位以下取浮重度；

H_k ——荷载效应标准组合下作用于桩基承台底面的水平力；

H_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的平均水平力；

H_{ik} ——荷载效应标准组合下作用于第 i 根基桩的水平力；

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

N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下基桩的平均竖向力；

N_{ik} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下第 i 根基桩的竖向力；

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

$N_{ik\max}$ ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下桩顶的最大竖向力；

$N_{Ek\max}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的最大竖向力；

N ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值；

2.2.2 抗力和材料性能

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$f_{cu,k}$ ——桩身混凝土立方体抗压强度标准值；

f_y 、 f_{py} ——普通钢筋、预应力钢棒的抗拉强度设计值；

f_{tk} ——桩身混凝土轴心抗拉强度标准值；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值；

q_{pk} ——桩端极限端阻力标准值；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

R_h ——单桩基础或群桩中基桩的水平承载力特征值；

2.2.3 几何参数

A ——桩身截面面积；

B ——高强空心方桩边长；

D ——高强空心方桩内径；

x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j ——荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群形心的 x 、 y 主轴的力矩；

2.2.4 计算参数及其他

K ——安全系数；

K_1 ——经验系数；

l_i ——桩侧第 i 层土的厚度；

ψ_c ——工作条件系数；

φ ——桩身稳定系数；

χ_{oa} ——桩顶允许水平位移；

v_x ——桩顶水平位移系数；

3 基本规定

3.0.1 高强空心方桩桩型与成桩工艺选择应综合考虑工程类型、结构特征、穿越地层及持力层性质、地下水位、施工设备、施工环境条件和施工经验等因素。高强空心方桩桩身结构及力学性能应符合本规程附录 A 的规定。

3.0.2 高强空心方桩工程抗震设计应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑抗震设计规范》GB 50011 及相关国家、地方现行标准的规定。

3.0.3 高强空心方桩桩身耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的相关规定，桩身及接头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 的相关规定。

3.0.4 高强空心方桩基础应根据建（构）筑物规模、功能特征、对差异变形的适应性、场地地基和建（构）筑物体型的复杂性以及由于桩基问题可能造成建（构）筑破坏或影响正常使用的程度采用不同的设计等级（级别）。

3.0.5 采用高强空心方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进行设计，应符合现行浙江省工程建设标准《建筑地基基础设计规范》DB33/T1136-2017 及行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的相关规定。

3.0.6 高强空心方桩的施工可根据地质条件、工程类型、结构特征、施工条件与环境保护等因素选用锤击法沉桩、静压法沉桩或植入法沉桩。

4 材料与分类

4.1 材 料

4.1.1 水泥应采用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，其质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。采用免蒸汽养护工艺或混凝土强度为 C105 及以上的高强空心方桩采用的水泥强度等级不宜低于 52.5 级。

4.1.2 骨料应符合下列规定：

1 细骨料宜采用天然硬质中粗砂或机制砂，不得采用海砂，其质量应符合《建设用砂》GB/T 14684 中 I 类砂的规定。天然砂的细度模数宜为 2.5~3.2；机制砂的细度模数可为 2.5~3.5；

2 粗骨料宜采用碎石或卵石，质量应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的规定，其最大粒径不应大于 25mm，且不得超过钢筋净距的 3/4。

4.1.3 混凝土拌合用水的质量应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

4.1.4 外加剂质量应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定，严禁使用氯盐类外加剂，宜采用高效减水剂。

4.1.5 掺和料宜采用硅砂粉、矿渣微粉、粉煤灰或硅灰等，其中：

1 硅砂粉的质量应符合现行行业标准《预应力高强混凝土管桩用硅砂粉》JC/T 950 中表 1 的有关规定；

2 矿渣微粉的质量不应低于现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 表 1 中 S95 级的有关规定；

3 粉煤灰的质量不低于现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 中 II 级 F 类的有关规定；

4 硅粉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 中表 1 的有关规定。

4.1.6 对特殊环境要求下使用的高强空心方桩，应对其采用的原材料、混凝土配合比和生产工艺等相关指标与技术进行控制，并按照相关标准的规定和设计要求采取措施。

4.1.7 制作高强空心方桩的混凝土质量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。预应力高强空心方桩混凝土强度指标及弹性模量按表 4.1.7 采用。

表 4.1.7 混凝土强度指标及弹性模量 (N/mm²)

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

4.1.8 预应力钢筋宜采用预应力混凝土低松弛螺旋槽钢棒，钢棒的几何特性及力学性能指标宜分别符合表 4.1.8-1 和 4.1.8-2 的规定，韧性级别为延性 35 级，其它性能要求应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 中的相关规定。

表 4.1.8-1 螺旋槽钢棒的几何特性

公称直径 d_n (mm)	基本直径 d 及允许偏差 (mm)	公称横截面积 S_n (mm ²)	理论重量 (kg/m)
7.1	7.25±0.15	40.0	0.314
9.0	9.25±0.20	64.0	0.502
10.7	11.10±0.20	90.0	0.707
12.6	13.10±0.20	125.0	0.981
14.0	14.40±0.20	154.0	1.209

注：1. 公称直径：设计采用的直径，按有效面积换算成圆的直径，本规程均用公称直径表示；
2. 基本直径：钢筋的外接圆直径；
3. 公称截面积：横截面面积等于圆形光面钢筋公称直径的面积，本规程均按公称截面面积计算；
4. 根据需要也可采用其他公称直径的预应力混凝土用钢棒。

表 4.1.8-2 螺旋槽钢棒的力学性能

符号	抗拉强度标准值 (N/mm ²)	规定塑性延伸强度 (N/mm ²)	抗拉强度设计值 (N/mm ²)	抗压强度设计值 (N/mm ²)	断后伸长率 (%)	弹性模量 (N/mm ²)	1000h 松弛值 (%)
Φ^D	≥1420	≥1280	1000	400	≥7.0	2.0×10 ⁵	≤2.0
	≥1570	≥1420	1100	400			

注：断后伸长率标距 L_0 为钢棒公称直径 d_n 的 8 倍，即取 $L_0=8d_n$ 。

4.1.9 螺旋箍筋宜采用低碳钢热轧圆盘条、混凝土制品用冷拔低碳钢丝，其质量应分别符合现行国家标准《低碳钢热轧圆盘条》GB/T 701、现行行业标准《冷拔低碳钢丝应用技术规程》JGJ 19 的相关规定。冷拔低碳钢丝的几何特性和力学性能应分别符合表 4.1.9-1 和 4.1.9-2 的规定。当用其它型号的钢材制作螺旋箍筋时，其力学性能应不低于冷拔低碳钢丝和相关标准的规定。

表 4.1.9-1 冷拔低碳钢丝的几何特性

公称直径 (mm)	直径允许偏差 (mm)	公称横截面积 (mm ²)	理论质量 (kg/m)
4	负偏差 0 正偏差不限	12.57	0.099
5		19.63	0.154
6		28.27	0.222
7		38.48	0.241
8		50.26	0.394

表 4.1.9-2 冷拔低碳钢丝的力学性能

符号	公称直径 (mm)	钢筋抗拉强度 标准值 (MPa)	钢筋抗拉强度 设计值 (MPa)	断后伸长率 A100(%)	180°反复弯 曲次数	弹性模量 (MPa)
Φ ^b	4	≥550	320	≥2.5	≥4	2.0×10 ⁵
	5			≥3.0		
	6					
	7					
	8					

4.1.10 非预应力钢棒宜采用钢筋混凝土用热轧带肋钢筋，屈服强度标准值不宜低于 400MPa，直径不应小于 10mm，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 的相关规定。

4.1.11 桩端设置端板时，端板的材质性能不宜低于 Q235B 且应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和现行行业标准《预应力离心混凝土高强空心方桩用端板》JC/T 2239 的相关规定，不应采用铸造工艺生产的端板，端板的结构见附录 C，端板最小厚度不应小于表 4.1.11 的规定。

表 4.1.11 高强空心方桩端板允许最小厚度（mm）

钢棒直径	7.1	9.0	10.7	12.6	14.0
最小厚度	16（18）	18（20）	20（22）	24（24）	28（28）
注：用于抗拔工程时，接桩处的端板最小厚度应采用括号内的值。					

4.1.12 桩套箍的材质性能不应低于 Q235A 的要求。当为加强型焊接套箍时，其材质性能不应低于 Q235B 且应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的规定。

4.1.13 端板设置锚固筋时，锚固筋宜采用钢筋混凝土用热轧带肋钢筋或低碳钢热轧圆盘条，其性能应分别符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢带肋钢筋 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2、《低碳钢热轧圆盘条》GB/T 701 中的相关规定。

4.1.14 机械连接卡的材质性能不应低于 Q235B 且应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的规定，机械连接卡结构见附录 D。

4.1.15 张拉机械套筒的材质性能不应低于 45#且应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699 的规定，张拉机械套筒的结构见附录 E。

4.1.16 插销式连接用螺母的用材质性能不应低于 45#且应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699 的规定，插杆及扣筒的材质性能不宜低于 40Cr 且应符合现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077 的规定。

4.1.17 采用环氧树脂作为桩节与桩节之间的密封材料时，其质量应符合现行国家标准《双酚-A 型环氧树脂》GB/T 13657 的规定。

4.1.18 采用手工电弧焊进行焊接时，宜采用 E43 型系列焊条，其质量应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 的规定。采用二氧化碳气体保护焊时，宜采用 ER50-6 型焊丝，其质量应符合现行国家标准《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110 的规定。

4.1.19 高强空心方桩制作前，应按国家现行标准的相关规定对各项原材料进行复检，确认符合预应力高强空心方桩制作质量要求后，方可使用。

4.2 分 类

4.2.1 高强空心方桩的分类宜下列规定：

- 1 高强空心方桩按截面形式分为预应力高强混凝土空心方桩和预应力高强混凝土异形空心方

桩；

2 高强空心方桩按桩身混凝土强度分为预应力高强混凝土空心桩（C80）、预应力超高强混凝土空心方桩（C105 及以上）；

3 高强空心方桩按生产工艺可分为高压蒸汽养护空心方桩、常压蒸汽养护空心方桩或免蒸汽养护空心方桩。

4.2.2 高强空心方桩的型号和规格宜符合下列规定：

1 高强混凝土空心方桩、超高强混凝土空心方桩的边长为 200mm~800mm，按桩身混凝土有效预压应力值大小可分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型，对应混凝土有效预压应力值宜分别为 2.7MPa~4.8MPa、4.2MPa~6.6MPa、5.8MPa~9.0MPa 和 7.9MPa~10.1MPa；

2 高强混凝土异形空心方桩的外径为 300mm~600mm，按桩身混凝土有效预压应力值大小可分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型，对应混凝土有效预压应力值宜分别为 4MPa、6MPa、8MPa 和 10MPa，其计算值不应低于各型号规定值的 95%。

4.2.3 高强空心方桩的配筋宜符合附录 A 的规定，当采用其它配筋时，其力学性能应按现行相关标准的规定重新进行计算确定。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 高强空心方桩基础设计应综合分析下列条件后确定：

1 岩土工程勘察文件：

1) 桩基按两类极限状态进行设计所需用的岩土物理力学参数及原位测试参数；
2) 对场地的不良地质作用，如滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、土洞等有明确判断、结论和防治方案；

3) 地下水位埋藏情况、类型和水位季节性变化幅度；

4) 抗震设防烈度提供的液化土层资料；

5) 有关地基土冻胀性、湿陷性、膨胀性评价。

2 场地与环境条件的有关资料：

1) 场地现状，包括交通设施、高压架空线、地下管线和地下构筑物的分布；

2) 相邻建（构）筑物安全等级（别）、基础形式及埋置深度；

3) 附近类似工程地质条件的桩基工程试桩资料和单桩承载力设计参数；

4) 周围建（构）筑物的防振、防噪声的要求；

5) 场地所在地区的抗震设防烈度和建筑场地类别。

3 场地建（构）筑物的有关资料：

1) 建（构）筑物的总平面布置图；

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

3) 建（构）筑结构的安全等级（别）。

4 施工机械及其进出场、现场运行条件。

5.1.2 高强空心方桩基础应按下列两类极限状态设计：

1 承载能力极限状态：高强空心方桩基础达到最大承载能力、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：高强空心方桩基础达到建（构）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。

5.1.3 高强空心方桩的选用应符合下列要求：

1 高强空心方桩用于地基处理或作摩擦桩时，可选用 A 型桩，其长边比不宜大于 100；当用作端承桩或摩擦端承桩或需穿越硬土层时，宜选用 AB 型、B 型、C 型桩或超高强空心方桩，其长边比不宜大于 80；

2 深厚软土地基宜采用 AB 型、B 型、C 型高强空心方桩或根据软土地基厚度采取增加高强空心方桩壁厚等措施；

3 中腐蚀及以上环境场地宜选用 AB 型、B 型、C 型高强空心方桩或根据腐蚀程度增加保护层厚度；

4 工程地质条件复杂的桩基础工程，宜选用 AB、B 型、C 型的高强空心方桩；

5 对主要承受竖向抗拉荷载的高强空心方桩基础工程，宜选用 AB、B 型或 C 型高强空心方桩；

6 边长 300mm 以下的高强空心方桩宜适用于构筑物、地基处理和既有基础加固等工程。

5.1.4 桩基的平面布置可按下列原则进行：

1 相邻桩的最小中心距应符合表 5.1.4 中的规定。

表 5.1.4 相邻桩中心距的要求

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
部分挤土桩	非饱和土、饱和非黏性土	$3.5B$	$3.0B$
	饱和黏性土	$4.0B$	$3.5B$
挤土桩	非饱和土、饱和非黏性土	$4.0B$	$3.5B$
	饱和黏性土	$4.5B$	$4.0B$

注：1 桩的中心距指两根桩桩端横截面中心之间的距离， B 为高强空心方桩边长；

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 “部分挤土桩”指沉桩时采取引孔、应力释放孔、敞口桩尖等措施的预制高强空心方桩；

4 存在液化土层时可适当减小桩距。

2 单桩或单排桩宜直接布置于柱、墙等竖向构件之下，采用多桩或群桩时，宜使桩群承载力合力点与其竖向荷载效应标准组合的合力作用点相重合，并使群桩在承受水平力和弯拉方向有较大的抵抗矩；

3 当受施工环境及地基条件影响，同一结构单元同时采用摩擦桩和端承桩或同时采用浅基础和桩基时，需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。

5.1.5 应根据高强空心方桩基础所处的环境类别及工作状态控制相应的裂缝等级，高强空心方桩桩身轴心受拉和用于中等腐蚀及以上环境时应按照一级裂缝控制要求进行裂缝控制；高强空心方桩桩身受弯和处于微腐蚀、弱腐蚀环境中时，在满足设计要求的情况下，可按二级裂缝控制要求进行裂缝控制。

5.1.6 桩端全断面进入持力层的深度（不包括桩尖部分）对于黏性土、粉土不宜小于 $2.0B$ ，砂土不宜小于 $1.5B$ ，碎石土不宜小于 $1.0B$ ，全风化岩不宜小于 $1.5B$ ，强风化岩不宜小于 $1.0B$ 。当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于 $3.0B$ ，并应进行软弱下卧层承载力和群桩基础沉降验算。当硬持力层较厚且施工条件允许时，桩端全断面进入持力层的深度宜达到桩端阻力的临界深度。

5.1.7 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。

5.1.8 高强空心方桩在计算竖向承载力和水平承载力时应考虑群桩效应，群桩效应的计算方法可按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定执行。

5.1.9 当需进行桩基沉降验算时，建筑物沉降量的估算方法及沉降允许值应符合现行国家行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.1.10 软土地基桩基设计应符合下列规定：

- 1 应考虑挤土效应对沉桩质量、邻近建（构）筑物、道路和地下管线设施等产生的影响，并采取相应技术措施；
- 2 应防止基坑开挖时土体侧移对桩产生不良影响，并采取调整挖土顺序、分层开挖等措施，最大开挖分层厚度不宜超过1m；
- 3 软土场地施工大面积密集高强空心方桩时，应采取有效的消减超孔隙水压力和挤土效应的措施。

5.1.11 高强空心方桩复合地基的设计选型应符合以下规定：

- 1 基桩宜为摩擦型桩，并以承载力相对较高的土层作为桩端持力层；
- 2 地基中有多层坚硬土层时，可采用长桩与短桩组合的高强空心方桩复合地基方案，长桩宜支承在较好的土层，短桩宜穿过浅层软弱土层；
- 3 当采用高强空心方桩与其他增强体组合形成多桩型复合地基时，应将高强空心方桩设计为复合地基主要增强体；
- 4 浅部存在软土、欠固结土、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，再采用高强空心方桩复合地基处理，处理效果应满足现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79的有关规定。

5.2 桩基计算

5.2.1 高强空心方桩桩基设计应进行以下计算：

- 1 桩身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 抗浮桩、抗拔桩的抗拔承载力计算；
- 6 桩基抗震承载力验算；

5.2.2 对于一般建（构）筑物和受水平力（包括力矩与水平剪力）小的建（构）筑物且边长相同的群桩基础，应按下列公式计算群桩中基桩的桩顶作用效应：

1 竖向力作用下：

轴心竖向力作用下：

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (5.2.2-1)$$

偏心竖向力作用下：

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (5.2.2-2)$$

2 水平力作用下：

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (5.2.2-3)$$

式中：

F_k ——荷载效应标准组合下作用于桩基承台顶面的竖向力（kN）；

G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值（kN），对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；

N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下基桩的平均竖向力（kN）；

N_{ik} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下第 i 根基桩的竖向力（kN）；

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

x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j ——第 i 、 j 根基桩至 y 轴、 x 轴的距离（m）；

H_k ——荷载效应标准组合下作用于桩基承台底面的水平力（kN）；

H_{ik} ——荷载效应标准组合下作用于第 i 根基桩的水平力（kN）；

n ——桩基中的桩数。

5.2.3 在不考虑地震作用效应时，单桩承载力应符合下列规定：

1 轴心竖向力作用下：

$$N_k \leq R_a \quad (5.2.3-1)$$

2 偏心竖向力作用下，除满足式（5.2.2-1）之外，尚应满足式（5.2.2-2）要求：

$$N_{ik \max} \leq 1.2R_a \quad (5.2.3-2)$$

3 水平荷载作用下：

$$H_{ik} \leq R_h \quad (5.2.3-3)$$

式中：

R_a ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值（kN）；

N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下基桩的平均竖向力（kN）；

$N_{ik \max}$ ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下桩顶最大竖向力（kN）；

H_{ik} ——在荷载效应标准组合作用下第 i 根基桩桩顶处的水平力（kN）；

R_h ——单桩水平承载力特征值（kN）。

5.2.4 在考虑地震作用效应时，单桩承载力应符合下列规定：

1 轴心竖向力作用下：

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \quad (5.2.4-1)$$

2 偏心竖向力作用下，除满足式（5.2.4-1）之外，尚应满足式（5.2.4-2）要求：

$$N_{Ek\max} \leq 1.5R_a \quad (5.2.4-2)$$

3 水平荷载作用下：

$$H_{Ek} \leq 1.25R_h \quad (5.2.4-3)$$

式中：

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

$N_{Ek\max}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下基桩或复合基桩的最大竖向力（kN）；

H_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下基桩的平均水平力（kN）

5.2.5 工程桩应进行承载力与桩身质量检验。设计等级为甲级、乙级高强空心方桩基础，应在施工前通过单桩静荷载试验确定。设计等级为丙级的桩基可根据原位测试和经验参数确定。

I 抗压承载力计算

5.2.6 单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按式（5.2.6）确定：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (5.2.6)$$

式中：

R_a ——单桩竖向抗压承载力承载力特征值（kN）；

K ——安全系数，取值为 2；

Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值（kN）。

5.2.7 高强空心方桩采用锤击和静压法施工时，可根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定预制桩单桩竖向极限承载力标准值，按式（5.2.7.1）估算：

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} (A_j + \lambda_p A_{p1}) \quad (5.2.7-1)$$

$$\text{当 } h_b/d_1 < 5 \text{ 时, } \lambda_p = 0.16h_b/d_1 \quad (5.2.7-2)$$

$$\text{当 } h_b/d_1 \geq 5 \text{ 时, } \lambda_p = 0.8 \quad (5.2.7-3)$$

式中：

q_{sik} 、 q_{pk} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值、桩的极限端阻力标准值(kPa)，无当地经验时可按《建筑桩基技术规范表》JGJ94-2008 中表 5.3. 5-1 选用；

A_j ——高强空心方桩桩端净面积 (m²): $A_j=B^2-\frac{\pi}{4}d_1^2$

A_{p1} ——高强空心方桩敞口面积 (m²): $A_{p1}=\frac{\pi}{4}d_1^2$;

λ_p ——桩端土塞效应系数, 采用闭口高强空心方桩桩尖时 $\lambda_p=1$;

u ——高强空心方桩桩身周长 (m), 对于异形空心方桩取最大边长;

l_i ——桩周第 i 层土 (岩) 的厚度 (m);

h_b ——桩端进入持力层深度 (m);

B ——高强空心方桩边长 (m);

d_1 ——高强空心方桩内径 (m);

5.2.8 高强空心方桩采用植入法施工时, 可根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定高强空心方桩单桩竖向极限承载力标准值, 按公式 5.2.8-1~5.2.8-4 进行估算, 并取两者的最小值:

1 搅拌桩桩侧破坏面位于外芯与桩周土界面时, 单桩竖向抗压极限承载力标准值可按下列式估算:

$$\text{等芯桩: } Q_{uk} = u_D \sum \xi_{sik} q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (5.2.8-1)$$

$$\text{长芯桩: } Q_{uk} = u_D \sum \xi_{sik} q_{sik} l_i + u^c \sum q_{sjk} l_j + q_{pk} A_p \quad (5.2.8-2)$$

2 搅拌桩桩侧破坏面位于内、外芯界面时, 单桩竖向抗压极限承载力标准值可按下列式估算:

$$\text{等芯桩: } Q_{uk} = u^c \sum q_{sa}^c l_i + q_{pk} A_p \quad (5.2.8-3)$$

$$\text{长芯桩: } Q_{uk} = u^c \sum q_{sa}^c l_i + u^c \sum q_{sjk} l_j + q_{pk} A_p \quad (5.2.8-4)$$

式中:

q_{sik} ——复合段第 i 土层极限侧阻力标准值 (kPa); 宜按实验资料和地区经验取值, 无试验资料和地区经验时, 按表 5.2.8 取值。

q_{sjk} ——非复合段第 j 土层极限侧阻力标准值 (kPa); 宜按实验资料和地区经验预制桩取值, 无试验资料和地区经验时, 宜按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中的混凝土预制桩取值;

ξ_{si} ——桩桩外芯侧阻力修正系数, 当外芯桩桩长小于 30m 时, ξ_{si} 取 1.0; 当外芯桩桩长大于 30m 时, 超过 30m 深度部分, ξ_{si} 按 0.8-0.9 取值;

q_{pk} ——桩端极限阻力标准值 (kPa); 宜按实验资料和地区经验的混凝土预制桩取值, 无试验资料和地区经验时, 宜按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中

的混凝土预制桩取值；

q_{sa}^c ——复合段芯桩极限侧阻力标准值（kPa），宜按现场试验或地区经验取值。无试验资料和地区经验时，复合段极限侧阻力标准值宜取室内相同配比水泥土试块在标准条件下 28d 龄期的立方体（边长 70.7mm）无侧限抗压强度的 0.16 倍；

u_D ——外芯水泥土桩桩身周长（m）；

u^c ——内芯预制桩桩身周长（m），对于异形空心方桩取最大边长；

l_i ——复合段第 i 层土厚度（m）；

l_j ——非复合段第 j 层土厚度（m）；

A_p ——芯桩预制桩由外径计算得到的面积（m²），对于异形空心方桩取最大边长计算得出的面积（m²）。

表 5.2.8 桩的极限侧阻力标准值 q_{sik} （kPa）

土的名称	第一指标	第二指标	第三指标	地层深度	
	土的状态	q_c （kPa）	α_{1-2}	≤ 20	> 20
填土		800~1500		6~10	
淤泥		< 350	$\alpha_{1-2} > 1.30$	8~10	10~16
淤泥质土		350~650	$0.80 < \alpha_{1-2} \leq 1.30$	18~20	20~24
		650~1000	$0.50 < \alpha_{1-2} \leq 0.80$	20~22	22~26
黏性土	$1 < I_L \leq 1.2$	1000~1300	$0.30 < \alpha_{1-2} \leq 0.50$	26~30	30~40
	$0.75 < I_L \leq 1$	1300~1800	$0.25 < \alpha_{1-2} \leq 0.40$	30~42	42~52
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	1600~2500	$0.20 < \alpha_{1-2} \leq 0.30$	36~48	48~66
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	2000~3500	$0.10 < \alpha_{1-2} \leq 0.20$	42~56	56~82
	$0 < I_L \leq 0.25$	3000~4000	$0.06 < \alpha_{1-2} \leq 0.10$	56~70	70~84
粉土	松散	< 2000	$N \leq 7$	16~26	26~40
	稍密	2000~4000	$7 < N \leq 13$	20~36	36~50
	中密	4000~6000	$13 < N \leq 25$	34~44	44~60
	密实	> 6000	$N > 25$	38~50	50~72
粉细砂	稍密	3000~6000	$10 < N \leq 15$	34~50	50~72
	中密	6000~12000	$15 < N \leq 30$	40~60	60~80
	密实	> 12000	$N > 30$	60~80	80~96
中粗砂	中密		$5 < N_{63.5} \leq 15$	66~86	86~100
	密实		$N_{63.5} > 15$	70~90	90~108
砾砂	中密		$5 < N_{63.5} \leq 15$	80~96	96~116
	密实		$N_{63.5} > 15$	80~100	100~120
圆砂、卵石	中密		$5 < N_{63.5} \leq 15$	90~110	110~132
	密实		$N_{63.5} > 15$	100~120	120~144
全风化软质岩				100~120	
全风化硬质岩				130~150	
强风化软质岩				160~220	
强风化硬质岩				220~260	

5.2.9 除按地基岩土条件确定高强空心方桩的竖向承载力特征值外，桩身混凝土强度应满足桩的抗

压承载力设计要求。对于轴向受压的高强空心方桩，当不考虑桩身构造配筋作用时，应符合下式规定：

$$N \leq R_p \quad (5.2.9)$$

式中：

N ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值（kN）；

R_p ——桩身混凝土强度允许的竖向承载力设计值（kN），应按本规程 5.2.10 条计算。

5.2.10 桩身混凝土强度允许的竖向承载力设计值（按轴心受压计算）应符合下列规定：

1 不考虑高强空心方桩压屈影响时，应按式（5.2.10-1）计算：

$$R_p = \psi_c f_c A \quad (5.2.10-1)$$

式中：

R_p ——桩身混凝土强度允许的竖向承载力设计值（kN）；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（MPa），可按表 4.1.7 取值；

A ——桩身横截面面积（异形高强空心方桩取小截面横截面面积）（m²）；

ψ_c ——工作条件系数（锤击或静压取 0.65，植入法沉桩可取 0.70~0.85），可结合地区经验和现行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定进行验算后综合确定。

2 当高强空心方桩穿越液化土、淤泥、淤泥质土或不排水抗剪强度小于 10kPa 且长径比大于 50 的软弱土层的高强空心方桩基础，应考虑高强空心方桩压屈的影响。当考虑高强空心方桩压屈影响时，应按式（5.2.10-2）计算：

$$R_p = \varphi \psi_c f_c A \quad (5.2.10-2)$$

式中：

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

II 抗拔承载力计算

5.2.11 高强空心方桩采用锤击和静压法施工时，初步设计可按下列规定计算群桩基础呈非整体破坏和呈整体破坏时的基桩抗拔力特征值，并取较小值：

1 群桩呈非整体破坏：

$$R_{ta} = (u \sum \lambda_i q_{sik} l_i) / 2 + G_{p1} \quad (5.2.11-1)$$

式中：

R_{ta} ——基桩抗拔极限承载力特征值；

λ_i ——高强空心方桩桩周土抗拔承载力系数，如无试验数据时可按表 5.2.11 取值；

G_{p1} ——高强空心方桩基桩自重，地下水位以下取浮重度（kN）。

表 5.2.11 抗拔系数 λ_i

土类别	λ 值
砂土	0.50~0.70
黏性土、粉土	0.70~0.80
淤泥、淤泥质土	0.80~0.85

注：桩长 l 与空心方桩边长 B 之比小于 20 时， λ 取小值。

2 群桩呈整体破坏：

$$R_{ta} = \left(\frac{1}{n} u_l \sum \lambda_i q_{sik} l_i \right) / 2 + G_{gp1} \quad (5.2.11-2)$$

式中：

u_l ——桩群外围周长（m）；

n ——群桩基础中的桩数；

G_{gp1} ——高强空心方桩群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数，地下水位以下取浮重度（kN）。

5.2.12 高强空心方桩采用植入法施工时，初步设计可按下列规定估算群桩基础呈非整体破坏和呈整体破坏时的基桩抗拔力特征值，并取较小值：

1 群桩呈非整体破坏：

$$R_{ta} = (u_D \xi_{si} \sum \lambda_i q_{sik} l_i) / 2 + G_{p1} \quad (5.2.12-1)$$

2 群桩呈整体破坏：

$$R_{ta} = \left(\frac{1}{n} u_L \xi_{si} \sum \lambda_i q_{sik} l_i \right) / 2 + G_{gp2} \quad (5.2.12-2)$$

G_{gp2} ——植入桩基桩自重，地下水位以下取浮重度（kN）。。

5.2.13 高强空心方桩桩身轴心受拉时，裂缝控制等级为一级；桩身受弯时，裂缝控制等级为一级（中、强腐蚀环境）和二级（弱或无腐蚀环境）。高强空心方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高强空心方桩，其裂缝控制等级应为一，在荷载效应标准组合下混凝土不应产生拉应力，应满足下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (5.2.13-1)$$

2 对于一般要求不出现裂缝的高强空心方桩，其裂缝控制等级应为二级，在荷载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，应满足下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (5.2.13-2)$$

σ_{ck} ——荷载效应标准组合下桩身混凝土正截面法向拉应力 (N/mm²)；

σ_{pc} ——高强空心方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)。

5.2.14 承受竖向上拔力作用的高强空心方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高强空心方桩的抗拔承载力。

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：

$$N_t \leq C f_{py} A_{py} \quad (5.2.14-1)$$

C ——考虑预应力钢棒锻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，

$C=0.85$ ；

f_{py} ——预应力钢棒抗拉强度设计值 (N/mm²)；

A_{py} ——全部纵向预应力钢棒的总截面面积 (mm²)。

2 根据高强空心方桩端板锚固孔抗剪强度验算单桩抗拔承载力时（图 5.2.14），应按下式进行验算：

$$N_t \leq n\pi(d_1 + d_2)(t_s - \frac{h_1 + h_2}{2})f_v / 2 \quad (5.2.14-2)$$

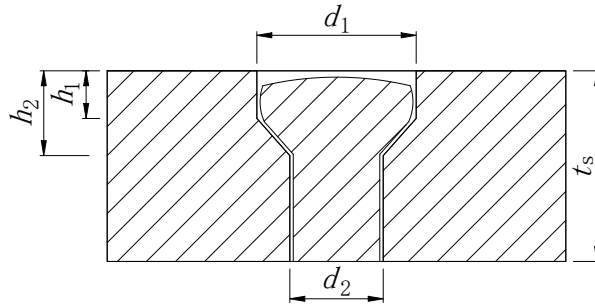


图 4.2.13 端板锚固孔示意图

式中：

N_t ——空心抗拔桩单桩抗拉承载力设计值 (N)；

n ——钢棒数量 (根)；

d_1 ——端板上钢棒锚固孔台阶上口直径 (mm)；

d_2 ——端板上钢棒锚固孔台阶下口直径 (mm)；

h_1 ——端板上钢棒锚固孔台阶上口距端板顶距离 (mm)；

h_2 ——端板上钢棒锚固孔台阶下口距端板顶距离 (mm)；

f_v ——端板抗剪强度设计值 (MPa)，取 $f_v=120\text{MPa}$ ；

t_s ——端板厚度 (mm)。

3 根据高强空心方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及地方有关标准的规定进行计算，焊接连接应按下列公式进行验算：

$$N_t \leq A_w f_t^w \quad (5.2.14-3)$$

A_w ——接桩连接处焊缝计算面积 (mm²)：空心方桩： $A_w=B_1^2-B_2^2$ ；

f_t^w ——焊缝抗拉强度设计值 (N/mm²)；

B_1 ——空心方桩焊缝外边长 (mm)，取 $B_1=B-2\text{mm}$ ， B 为空心方桩边长；

B_2 ——空心方桩焊缝内边长 (mm)，取 $B_2=B-2a$ ；

a ——焊缝厚度 (mm)。

4 根据腔内填芯微膨胀混凝土深度及填芯混凝土纵向钢筋验算单桩抗拔承载力时，应按下列公式进行验算：

$$N_t \leq k_1 \pi d_1 L_a f_n \quad (5.2.14-4)$$

$$N_t \leq A_{sd} f_y \quad (5.2.14-5)$$

k_1 ——经验折减系数，取 0.8；

d_1 ——高强空心方桩内径 (mm)；

L_a ——填芯混凝土高度 (mm)；

f_n ——填芯混凝土与高强空心方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，C30 微膨胀混凝土可取 0.35N/mm^2 ；

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)。

III 水平承载力计算

5.2.15 桩基工程的单桩水平承载力特征值与高强空心方桩的规格型号、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，应通过现场单桩水平荷载试验确定。

5.2.16 当高强空心方桩的水平承载力由桩顶水平位移控制，且缺少单桩水平荷载试验资料时，除 A 型桩外，宜采用下列公式估算桩基单桩水平承载力特征值：

$$R_{ha} \leq 0.75 \frac{\alpha^3 EI}{\nu_x} \chi_{\alpha\alpha} \tag{5.2.16-1}$$

式中：

EI ——高强空心方桩桩身抗弯刚度($\text{kN} \cdot \text{m}^2$)， $EI = 0.85E_c I_0$ ；其中 E_c 为混凝土弹性模量，

$$I_0 \text{ 按公式 } I_0 = \frac{B^3}{12-2\pi} \times \frac{D^4}{32} + A_s \left(\frac{E_s}{E_c} - 1 \right) \frac{B_p^2}{6} \text{ 计算；}$$

B ——高强空心方桩边长（mm）；

D ——高强空心方桩内径（mm）；

b_p ——钢棒分布的边长或直径（mm）；

A_s ——钢棒的总截面积（ mm^2 ）；

$\chi_{\alpha\alpha}$ ——桩顶允许水平位移（mm）；

ν_x ——桩顶水平位移系数，按表 5.2.16-1 取值；

α ——高强空心方桩的水平变形系数（1/m）， $\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}}$ ；其中， m 为桩侧土的水平

抗力系数的比例系数，可按表5.2.16-2选用； b_0 为桩身计算宽度，当边长 $B \leq 1\text{m}$ 时

， $b_0 = 1.5B + 0.5$ ；当边长 $B > 1\text{m}$ 时， $b_0 = B + 1$ 。

表 5.2.16-1 桩顶水平位移系数 ν_x

桩顶约束情况	桩的换算深度(αh)	ν_x
铰接	4.0	2.441
	3.5	2.502
	3.0	2.727
	2.8	2.905
	2.6	3.163
	2.4	3.526
刚接	4.0	0.940
	3.5	0.970
	3.0	1.028
	2.8	1.055
	2.6	1.079
	2.4	1.095

注：当 $\alpha h > 4.0$ 时，取 $\alpha h = 4.0$ ；

表 5.2.16-2 桩侧土水平抗力系数的比例系数 m 值

序号	地基土类别	m (MN/m^4)	相应桩顶面处水平 位移 (mm)
1	淤泥，淤泥质土、饱和湿陷性黄土	2.0~4.5	10
2	流塑、软塑黏性土，松散粉土，松散粉细砂，松散或稍密填土	4.5~6.0	10
3	可塑黏性土，稍密粉土，中密填土，稍密粉砂	6.0~10	10

4	硬塑、坚硬黏性土，中密或密实粉土，中密中粗砂，密实老填土	10~22	10
---	------------------------------	-------	----

注：1 当桩顶位移大于 10mm， m 值宜适当降低；反之，可适当提高；

2 当水平荷载为长期荷载时，应将表列数值乘以 0.4 后采用；

3 当桩侧面为几种土层组成时，应求得主要影响深度 $h_m=2(B+1)$ 米范围内的 m 值作为计算值。

5.2.17 受水平荷载的高强空心方桩，其桩身受弯承载力和受剪承载力的验算应符合下列规定：

1 应验算最大弯矩处的桩身受弯承载力，异形高强空心方桩尚应验算临近变截面处的受弯承载力；

2 应验算桩顶斜截面的受剪承载力，异形高强空心方桩尚应计算临近变截面处的受剪承载力；

3 桩身所承受最大弯矩和水平剪力的计算应符合附录 B 的规定；

4 在受竖向荷载及水平荷载的情况下，尚应验算高强空心方桩的压弯承载力；

5 桩身所承受最大弯矩和水平剪力见附录 A。

5.3 复合地基计算

5.3.1 高强空心方桩复合地基应在有代表性的场地上进行现场试验，确定设计与施工参数。其设计应符合以下规定：

1 应进行包括软弱下卧层在内的承载力、变形和稳定性验算；

2 桩土荷载分配由地基变形协调条件和静力平衡条件确定；

3 基桩承载的荷载不应大于由桩身材料强度确定的单桩承载力特征值；

4 基桩宜为摩擦型桩，并以承载力相对高的土层作为桩端持力层。

5 高强空心方桩边长宜取 200mm~400mm。间距应满足复合地基承载力设计要求，结合土层情况、施工机具、施工工法等因素综合确定。

5.3.2 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高强空心方桩静载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定，初步设计时，可按下列公式估算：

1 复合地基承载力特征值估算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (5.3.2-1)$$

f_{spk} ——复合地基承载力特征值（kPa）；

λ ——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，无经验时可取 0.8~1.0；

R_a ——单桩竖向承载力特征值（kN）；

A_p ——由高强空心方桩边长计算得到的面积（m²）；

β ——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值，无经验时可取 0.8~1.0；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值（kPa），可按地区经验确定；

m ——面积置换率。

2 采用锤击、静压法施工时，单桩承载力特征值估算：

$$R_a = u \sum q_{sia} l_i + \alpha_p q_{pa} A_p \quad (5.3.2-2)$$

u ——桩身周长（m）；

q_{sia} ——桩侧第 i 层土的侧阻力特征值（kPa），可根据经验或现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定取值；

l_i ——桩侧第 i 层土的厚度（m）；

α_p ——桩端端阻力发挥系数，可按经验确定，一般可取 1.0；

q_{pa} ——桩端阻力特征值（kPa），可按地区经验取值或现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定取值。

3 当采用植桩工法施工时，单桩承载力特征值估算应符合按本规程 5.2.6 的规定。

5.3.3 高强空心方桩复合地基应进行变形计算，计算结果应小于现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定限值或设计限值。变形监测应根据设计要求确定。

5.4 构造要求

5.4.1 用于桩基工程的高强空心方桩最小配筋率不宜小于 0.5%。低于 0.5% 的桩型不宜用于桩基础，宜作为地基处理桩型使用。

5.4.2 高强空心方桩的钢筋混凝土保护层厚度应符合以下规定：

- 1 用于桩基工程的最外层钢筋保护层厚度不应小于 35mm；
- 2 用于临时性设施基础和复合地基的最外层钢筋保护层厚度不应小于 25mm；
- 3 用于特殊环境的最外层钢筋保护层厚度应符合相关标准的规定。

5.4.3 高强空心方桩箍筋宜采用螺旋式，两端螺旋筋加密区长度不应小于 4B（B 为高强空心方桩边长）且不应小于 2000mm，加密区螺旋箍筋的净距不应大于 50mm，非加密区螺旋箍筋的净距不应大于 100mm，间距的允许偏差均为 ± 5 mm，箍筋直径不应小于 4mm。

5.4.4 高强空心方桩脱模放张时，与高强空心方桩相同条件养护下的混凝土立方体抗压强度标准值不应低于 45MPa；高强空心方桩出厂时桩身混凝土抗压强度不得低于设计的混凝土强度等级值。

5.4.5 高强空心方桩端板宜设置钢套箍，厚度不宜小于 1.2mm，高度不宜小于 50mm。用于抗拔方桩的接桩位置端板处可根据抗拔力大小确定锚固筋设置，锚固筋应按设计要求与端板可靠连接，可采用与端板焊接、穿孔塞焊或其他连接方式，锚固钢筋与端板连接强度不应小于钢筋强度。

5.4.6 高强空心方桩桩尖宜采用一体式桩尖或装配式桩尖，常用桩尖结构见附录 F。当采用装配式桩尖时，混凝土强度等级不宜低于桩身强度，且与桩身连接应符合相关要求。桩尖采用钢桩靴时，其材质应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的有关规定，性能不宜低于 Q235B，制作及焊接应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的有关规定。桩底部嵌入遇水易软化的强风化岩、全风化岩和非饱和土的预应力混凝土高强空心方桩，应采用闭口桩尖，且在沉桩后应对桩端以上 2m 范围内采取有效的防渗措施，可采用 C25 以上等级微膨胀混凝土填芯封堵。

5.4.7 承压高强空心方桩桩节与桩节之间的连接可采用焊接连接、抱箍式机械连接、插销式机械连接、机械-连续焊接连接等方式，任一基桩的接头数量不宜超过 3 个，连接构造见附录 D。抗拔高强空心方桩宜采用机械连接或机械-连续焊接连接方式，接头不宜超过 2 个；当抗拔高强空心方桩仅采用焊接连接时，除端板焊接连接外，可采取加厚端板厚度并增加角钢或钢板辅助焊接等加强措施。

5.4.8 高强空心方桩应用在深厚软土区、中强腐蚀区、高烈度抗震设防区、液化土层及其他特殊土层时，宜采用机械-连续焊接连接接头。

5.4.9 高强空心方桩顶部灌注填芯混凝土及其配筋应符合下列要求：

1 浇筑填芯混凝土前，应将高强空心方桩内壁泥浆清除干净，并在内壁涂刷界面剂。桩顶填芯混凝土应灌注饱满，振捣密实，下封层不应漏浆。填芯混凝土强度等级应高于承台或基础梁一级且应采用强度等级不低于 C30 的微膨胀混凝土；

2 承压桩填芯混凝土的高度可取 3~5B，且不小于 1500~2500mm；软土地区及承台下为软弱土层时取高值。当承台下有液化土时，应取填芯高度不小于 5B，且填芯内配筋应适当加强。

3 抗拔桩填芯混凝土高度应通过计算确定，当计算值小于 10B 及 4.5m 的大值时，取 10B 及 4.5m 的大值。

5.4.10 高强空心方桩桩顶与承台的连接构造见附录 G，并应符合下列规定：

1 桩顶嵌入承台内的长度宜为 50mm~100mm。边长小于 400mm 时，桩顶嵌入长度宜取 50mm，边长大于等于 450mm 以上时，桩顶嵌入长度宜取 100mm；

2 承压高强空心方桩桩顶采用填芯混凝土内插钢筋与承台连接时，内插钢筋锚入承台内的有效长度不应小于 35 倍内插钢筋直径，且不应小于 500mm。钢筋插入高强空心方桩内腔的长度同填芯高度。

5.4.11 高强空心方桩复合地基应在基础和高强空心方桩之间设置褥垫层，并应符合下列规定：

1 褥垫层厚度由计算确定且不宜小于 200mm；

2 褥垫层材料可用中砂、粗砂、石屑或级配砂石等，最大粒径不宜大于 20mm；

3 桩顶应采取可靠的封闭措施；

4 砂石褥垫层夯填度不应大于 0.90。

5.4.12 高强空心方桩复合地基桩顶设置桩帽时，桩帽应符合下列规定：

- 1 桩帽面积与单桩处理面积之比不宜小于 25%；
- 2 高强空心方桩嵌入桩帽不宜小于 50mm；
- 3 应进行抗冲切和抗弯承载力验算；
- 4 混凝土强度等级不低于 C30；
- 5 边长不宜小于 1000mm，厚度不宜小于 200mm。

5.5 桩身防腐设计

5.5.1 用于桩基工程高强空心方桩的耐久性应满足设计工作年限的要求且符合表 5.5.1-1 和表 5.5.1-2 的规定。

表 5.5.1-1 桩身混凝土防腐要求

混凝土最低强度等级	最大水胶比	抗渗等级	钢筋保护层最小厚度 (mm)	水溶性氯离子最大含量(%)	碱含量 (kg/m ³)
≥C105	0.30	≥P12	35	≤0.06	≤3.0
C80	0.35	≥P12	35	≤0.06	≤3.0

表 5.5.1-2 高强空心方桩桩身防腐要求

保护措施和要求		腐蚀性介质和强度等级					
		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		PH 值	
		强	中	强	中	强	中
提高混凝土耐腐蚀性能	抗硫酸盐等级	KS150≥0.85	KS120≥0.85	—	—	—	—
	28d 龄期氯离子迁移系数 D _{RCM} (10 ⁻¹² m ² /s)	—	—	≤4.0	≤7.0	—	—

注：1 表中所列基本要求为设计工作年限为 50 年，设计工作年限为 100 年的材料要求专项论证。弱腐蚀环境可不防护。
2 表中“—”表示可不采用此指标控制。

5.5.2 高强空心方桩桩身防腐不满足本规程表 5.5.1-2 规定的防腐指标要求时，应采取相应措施进行防护，并应符合表 5.5.2 的要求。

表 5.5.2 桩身混凝土防护要求

保护措施和要求		腐蚀性介质和强度等级					
		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		PH 值	
		强	中	强	中	强	中
增加钢筋混凝土保护层厚度 (mm)		≥20	≥10	—	—	≥20	≥10
表面涂刷防腐涂层厚度 (μm)		≥500	≥300	≥500	≥300	≥500	≥300

注：1 本表适用于设计工作年限为 50 年，桩基础所处的地下水、土的腐蚀介质主要为硫酸盐、氯盐和酸性环境。当其他腐蚀介质或 PH≤2.0 时，以及设计工作年限为 100 年时，防护措施应专项论证。
2 桩身混凝土材料可根据防腐蚀要求，采用抗硫酸盐硅酸盐水泥，也可在普通水泥中掺入抗硫酸盐的外加剂、矿物掺和料、钢筋阻锈剂。

- 3 不得采用亚硝酸盐类的阻锈剂。
- 4 桩身涂刷防腐蚀涂层的长度，应大于污染土层的厚度。
- 5 当有两类以上介质同时作用时，应分别满足各自防护要求，但相同的防护措施不叠加。
- 6 表中“—”表示可不采用此指标控制。

5.5.3 用于中等及以上腐蚀环境或污染土层中的桩节焊接及机械连接接头，接桩钢部件应涂刷防腐蚀耐磨涂层或增加钢部件厚度，增加钢部件厚度的腐蚀余量不小于 2mm，不应低于主体结构设计工作年限，且不应低于 50 年。

5.5.4 高强空心方桩的其他防腐要求尚应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 和现行地方标准《预应力混凝土高强空心方桩基础技术规程》DB32/T 4285 的有关规定。

5.5.5 高强空心方桩用混凝土的耐久性能试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的有关规定。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1 桩基施工前应完成下列准备工作和文件资料：

- 1 拟建场地的岩土工程勘察报告；
- 2 基础施工图、设计交底或图纸会审纪要、施工组织设计或施工方案及安全技术交底资料等；
- 3 施工场地及毗邻区域内的上空、地下和地上管线、建（构）筑物及障碍物等的调查资料；
- 4 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；
- 5 确认场地是否满足桩机正常运行和安全文明施工的要求；
- 6 高强空心方桩产品合格证及质检报告；
- 7 有关施工工艺的试验参考资料。

6.1.2 应根据设计文件、工程勘察报告、施工场地及周边环境等选择施工工艺，并应根据桩机总重对施工场地的承载力进行验算。

6.1.3 施工组织设计应结合工程特点，有针对性地制定相应质量管控措施，应包括下列主要内容：

- 1 施工平面图：标明桩位、编号、施工顺序、水电线路和临时设施的位置；
- 2 确定施工机械、配套设备以及施工工艺的有关资料；
- 3 施工作业计划和劳动力组织计划；
- 4 机械设备、备件、工具、材料供应计划；
- 5 桩基施工时，对安全、劳动保护、防火、防雨、防台风、文物和环境保护等相关要求应按有关规定执行；
- 6 保证工程质量、安全生产和季节性施工的技术措施。

6.1.4 桩基施工前宜在现场进行沉桩工艺试验确定施工参数，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；
- 2 试沉桩工艺与工程桩一致；
- 3 利用工程桩位置进行试桩，试桩需经设计、监理确认符合设计要求后按工程桩进行验收。

6.1.5 采用锤击法、静压法进行沉桩的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 对于一侧靠近现有建（构）筑物的场地，宜从毗邻侧开始由近至远施工；
- 3 宜遵循先长后短、先大边长后小边长的施工顺序；
- 4 宜由中心向四周的顺序施打，对于软土地区桩的中心距小于 3.5 倍边长的排桩或群桩基础的同一承台的桩，宜采取跳打或对角线施打的施工顺序；
- 5 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。

6.1.6 沉桩施工时，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

差为 $\pm 50\text{mm}$ 。应在施工过程中采用两台互为正交的经纬仪随时观测桩身的垂直度及桩顶水平偏位值。

6.1.7 高强空心方桩的沉桩控制深度应根据地质条件、贯入度、设计桩长、标高等因素综合确定。当桩端为黏性土时，应以标高控制为主，贯入度、压桩力控制为辅；桩端到达硬塑、坚硬以上黏性土、中密以上粉土、砂土、碎石类土以风化岩时，应以贯入度、压桩力为主，桩端标高为辅。

6.1.8 遇下列特殊情况之一时，应暂停沉桩，研究处理后方可继续施工：

- 1 压桩力或沉桩贯入度异常突变，压桩不到位或总锤击数超过规定值，沉桩过程出现异常响声；
- 2 桩头混凝土剥落、破碎，或桩身出现裂缝或破碎等异常现象；
- 3 地面明显隆起、邻桩上浮或水平位移大；
- 4 地层条件、压力表读数显示情况与岩土工程勘察报告中的土层性质明显不符；
- 5 桩难以穿越硬夹层，实际压入的桩长与设计桩长相差大；
- 6 桩身夹持机具打滑；
- 7 压桩机下陷严重不能保证桩身垂直度。

6.1.9 施工时应设置相应观测点，对前期沉入的高强空心方桩桩顶进行上浮、下沉及水平位移监测。

6.1.10 当桩基施工产生的挤土效应影响邻近建（构）筑物、地下管线的正常使用和安全时，应调整施工工艺或方法，并可采用以下一种或多种辅助措施：

- 1 全部或部分采用引孔辅助沉桩；
- 2 采用植入法沉桩；
- 3 对被保护建（构）筑物进行加固处理。

6.1.11 采用引孔辅助沉桩时，引孔的直径、孔深及数量应符合下列规定：

- 1 引孔直径不宜超过高强空心方桩对角线长度的 $2/3$ ，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，垂直偏差不宜大于 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 ；
- 4 采用引孔辅助沉桩的终压（锤）标准应根据相应的沉桩工艺，按本规程第 6.4 节、6.5 节的有关规定执行。

6.1.12 送桩应符合下列规定：

- 1 送桩器的强度、刚度应满足耐打性要求，器身弯曲度不应大于 $1/1000$ 。宜采用材质性能不低于 Q235B 的厚壁钢管制成，上下两端面应平整，且与送桩器中心轴线相垂直。严禁使用不合格的送桩器施工；
- 2 送桩器长度应满足送桩深度的要求，宜为送桩深度的 1.2 倍；
- 3 送桩器应与高强空心方桩形状匹配。套筒式送桩器下端套筒长度应为 $300\sim 350\text{mm}$ ，边长应比高强空心方桩的边长大 $20\sim 30\text{mm}$ 。插销式送桩器下端插销长度宜取 $200\sim 300\text{mm}$ ，杆销的边长应比高强空心方桩的边长小 $20\sim 30\text{mm}$ ，对于腔内有余浆的高强空心方桩，不宜采用插销式送桩器；

4 送桩作业时，送桩器与桩头之间应设置 1~2 层麻袋或硬纸板等衬垫。内填弹性衬垫压实后的厚度不宜小于 60mm；

5 送桩器下端应设置排气孔，使桩内腔与外界相通，防止出现气锤和水锤现象而损坏桩头；

6 不得将工程用高强空心方桩作为送桩器使用。

6.2 起吊、搬运与堆放

6.2.1 高强空心方桩出厂时，混凝土强度应满足设计强度的要求。

6.2.2 高强空心方桩的吊运应符合下列规定：

1 在吊运过程中应轻吊轻放，严禁碰撞、滚落、抛掷、碰撞；

2 不宜在施工现场多次倒运；

3 长度不大于 15m 时，宜采用专用吊钩钩住桩两端内壁进行水平起吊，或采用两点起吊，如图 6.2.2-1 所示，吊绳与桩夹角不小于 45°；

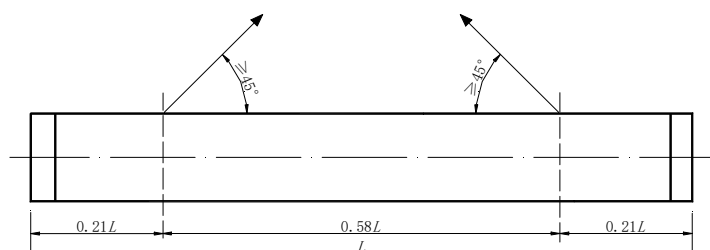


图 6.2.2-1 15m 以下桩吊点位置

4 长度大于 15m 且小于 30m 的高强空心方桩或拼接桩，应按图 6.2.2-2 采用四点吊；长度大于 30m 的高强空心方桩或拼接桩，应采用多点吊，吊点位置应另行计算确定。

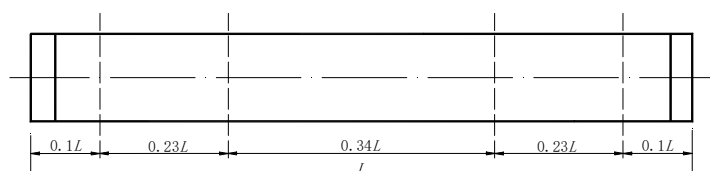


图 6.2.2-2 15m~30m 长桩吊点位置

6.2.3 高强空心方桩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 按不同规格、长度及施工流水顺序分别堆放，并做好标识；条件许可时宜采用“即用即送”的方法进行供桩，减少二次搬运及堆存；

3 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；

4 堆放层数应根据高强空心方桩强度、地面承载力、垫木及堆垛稳定性等综合分析确定，施工现场堆放不应超过 2 层。

6.2.4 施工现场移桩应符合下列规定：

- 1 高强空心方桩叠层堆放时，应采用吊机取桩，严禁拖拉移桩；
- 2 三点支撑履带自行式打桩机不应拖拉取桩；
- 3 吊机取桩时，应保持打桩机的稳定和桩的完整；
- 4 单层摆放的高强空心方桩在移桩时应防止碰撞，采用平板车移送桩。

6.3 接桩与截桩

6.3.1 高强空心方桩接桩应符合下列规定：

- 1 宜避免下节桩桩端位于硬塑及以上硬粘性土层或密实的粉、砂层中；
- 2 配桩时最上节桩桩长不宜小于 10m，入土部分桩段的桩头宜高出地面 0.5~1.0m；
- 3 接桩时，应注意上下两节桩的圆、直角对正。桩头处宜设定位板或其他导向措施，上下桩段应保持顺直，错位偏差不宜大于 1mm。
- 4 焊接接桩就位纠偏时，宜采用施工设备辅助纠偏，不应采用大锤横向敲打，机械连接方式接桩时，应确保沉桩时的垂直度，接桩时不宜大幅度纠偏。

6.3.2 采用焊接接桩时，焊接完成后应进行外观检查，焊缝质量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。焊接接桩除应符合国家现行标准《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 的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 焊接接桩形式宜按本规程附录 D.0.1 进行施工；
- 2 下节桩的桩头处宜设置导向箍或其他导向措施。逐节接桩时，节点弯曲矢高不应大于 1/1000 桩长，且不应大于 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四周上对称点焊 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 焊接层数不应少于 3 层，内层焊渣应清理干净后施焊外层，焊缝应饱满连续；
- 6 焊接可采用手工电弧焊或二氧化碳气体保护焊，焊条质量应符合本规程 4.1.18 的规定；
- 7 桩接头焊好后应进行外观检查，检查合格后应经自然冷却，方可继续沉桩。自然冷却时间不应少于 5min，采用二氧化碳气体保护焊时不应少于 3min。严禁浇水冷却，或不冷却就开始沉桩；
- 8 钢桩尖宜在工厂内焊接；当在工地内焊接时，宜在堆放现场焊接。严禁起吊后点焊、仰焊；
- 9 雨天焊接时，应采取防雨、防风措施。

6.3.3 采用抱箍式连接接桩应符合下列规定：

- 1 抱箍式连接接桩形式宜按本规程附录 D.0.6 进行施工；
- 2 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；
- 3 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 2 个；
- 4 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；

5 当高强空心方桩基础的地基土、地下水具有中、强腐蚀性时，应将端板封闭围焊后再安装机械连接卡；

6 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。

6.3.4 采用插销式连接接桩应符合下列规定：

- 1 插销式连接接桩形式宜按本规程附录 D.0.2 进行施工；
- 2 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；
- 3 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；
- 4 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；

5 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；

6 上下节桩对准所有孔位时缓慢插入，严禁碰撞，完全连接后方可继续沉桩。

6.3.5 高强空心方桩截桩时应采用锯桩器截桩，钢筋可用气割法切割，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。

6.4 锤击法沉桩

6.4.1 锤击式施工设备应根据场地条件、地质条件、周边环境条件、工程特点、施工前沉桩工艺试验、高强空心方桩截面尺寸及强度、承载力特征值、持力层性状及进入深度等合理选用，打桩锤宜选用液压锤或柴油锤，当对环境污染和噪声有限制时，宜采用液压锤，液压锤、柴油锤的主要技术参数可按本规程附录 H 确定。

6.4.2 桩帽及锤垫、桩垫的选择应符合下列规定：

- 1 桩帽应与桩截面相匹配，其刚度、强度和耐打性应满足施工要求，桩帽与桩头之间应设置桩垫，出现破损时应及时更换；桩帽与桩周围的间隙宜为 5~10mm；
- 2 桩帽的上部与桩锤之间需设置锤垫，并设置排气孔，打桩前应进行检查、校正或更换。

6.4.3 锤击法施工应符合下列规定：

- 1 施工应设置机械臂导向架并调整机座和桩架，使桩锤上下运动轨迹与桩身横截面形心重合；
- 2 宜采用重锤低击施工工艺；

3 宜根据现场环境要求采取防挤土、防噪声措施。

6.4.4 高强空心方桩总锤击数不宜超过 2000 锤，最后 1m 锤击数不宜超过 200 锤。

6.4.5 锤击法施工收锤应符合下列规定：

1 承压桩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、最后贯入度、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 抗拔桩宜根据设计桩长控制收锤；

3 最后贯入度不宜大于 30mm/10 击。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，宜放宽收锤标准；

4 锤击记录按本规程附录 I 执行。

6.4.6 锤击法施工时应验算桩身在沉桩施工中的锤击压应力和锤击拉应力，可参照《桩基技术规范》JGJ94 中 5.8.12 条规定进行验算。

6.5 静压法沉桩

6.5.1 静压沉桩可选用顶压或抱压沉桩方法，压桩机型号和配重选择可按附录 J 确定。

6.5.2 应对施工场地地基承载力进行复核，不满足静压机施工要求时需要在地坪进行处理。

6.5.3 压桩过程中应对沉桩过程进行记录并附桩位图，记录的内容包括桩的编号、截面尺寸、长度、入土深度、入土角度、桩位偏差、压桩力、贯入度、施工机械和施工日期等。

6.5.4 静压法沉桩时应符合下列规定：

1 压桩机应保持水平；宜连续将桩沉到设计标高，缩短停顿时间，避免在接近持力层时接桩；

2 当终压力值达不到预估值时，宜根据静载或高应变试验确定桩是否满足设计要求，不宜任意增加复压次数；

3 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；

4 采用顶压式压桩机时，桩帽、衬垫可参考锤击法设置；

5 压桩过程中的最大抱压压桩力值可按式（6.5.4）计算，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；

$$P_{\max} \leq 0.45 (f_{\text{cu, k}} - \sigma_{\text{pc}}) A \quad (6.5.4)$$

式中：

$P_{\max}$ ——桩身允许抱压压桩力（kN）；

$f_{\text{cu, k}}$ ——桩身混凝土立方体抗压强度标准值（MPa）；

σ_{pc} ——桩身混凝土有效预应力值（MPa）；

A ——桩身横截面面积 (mm^2)。

6 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 2~5m；

7 应根据顶压或抱压分别验算最大施压力或最大抱压力。

6.5.5 顶压式桩机的最大施压压力不应大于桩身允许最大抱压力的 1.1 倍。

6.5.6 静压法施工过程应根据设计要求的桩长、终压力、试压桩结果，确定终压控制标准，压桩记录按本规程附录 K 执行。

1 稳压压桩力不得小于终压力，稳定压桩的时间宜为 5~10s；

2 终压连续复压次数应根据桩长及地质条件等因素确定，对于入土深度大于或等于 8m 的桩，复压次数可为 2~3 次；对于入土深度小于 8m 的桩，复压次数可为 2~3 次。

6.5.7 静压时的接桩、送桩应连续进行，减少中间停歇时间。

6.5.8 沉桩过程中，若出现桩身倾斜、位移、桩身或桩顶破损等异常情况，应停止沉桩，待查明原因并进行处理后，方可继续进行施工。

6.5.9 送桩遗留的孔洞应立即回填或覆盖，防止发生安全事故。

6.6 植入法沉桩

6.6.1 植入法沉桩根据预成孔方式分为取土植桩和非取土植桩，取土植桩可采用钻机成孔植桩，非取土植桩可采用搅拌植桩、旋喷植桩。

6.6.2 当采用取土植桩时，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 中相应工艺的施工要求；

2 成孔后应及时灌入水泥浆、水泥砂浆、细石混凝土等，有地下水时应采用水下灌注，并在初凝前采用静压、锤击、振动等方式植入高强空心方桩。采用静压时，宜取 1.3~1.5 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 50~60mm/10 击；

3 当采用长螺旋压灌植桩时，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 400mm。植入预制高强空心方桩时，充填材料压灌高度不宜小于桩顶设计标高。

6.6.3 当采用非取土植桩时，应符合下列规定：

1 搅拌（旋喷）施工需保证连续性，成孔深度应达到设计深度；

2 搅拌桩或旋喷桩施工完成后应及时植入高强空心方桩，间隔时间在搅拌（旋喷）完成后不宜超过 4~6h；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高强空心方桩；

3 植入高强空心方桩可采用静压、锤击、振动等方法，采用静压时，宜取 1.3~1.5 倍单桩承载力特征值作为终压值；采用锤击时，宜取 40~50mm/10 击作为最终贯入度；

6.6.4 植桩施工记录可按本规程附录 L 执行。

7 检测和验收

7.1 一般规定

7.1.1 高强空心方桩为桩基分部中一个分项工程，原则上按每台班、每桩机、同规格划分检验批，检验批施工质量按主控项目和一般项目验收。

7.1.2 对砂、石子、水泥、钢材等桩体原材料质量的检验项目和方法应按现行国家相关标准执行。

7.1.3 检验批的合格判定应符合下列要求：

- 1 主控项目应全部合格；
- 2 一般项目应合格。当采用计数检验时，至少应有 80%以上的检查点合格，其余检查点不得有严重缺陷，且经修补后不影响正常使用；
- 3 应有完整的施工、验收记录。

7.1.4 高强空心方桩基础工程应进行桩长、边长和桩身质量的复检。对工程桩桩位、桩顶设计标高、桩身完整性、单桩竖向承载力和水平承载力等进行检验。

7.1.5 桩身完整性和单桩承载力的检验方法，应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106、现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 和现行地方标准《建筑地基基础设计规范》DB33/T 1136-2017 的相关规定。

7.1.6 采用机械连接接头时，应对接头技术提供单位提交的接头相关技术资料进行审查与验收，并应包括下列内容：

- 1 工程所用接头的有效型式检验报告；
- 2 连接件产品设计、接头加工安装要求的相关技术文件；
- 3 连接件产品合格证和连接件原材料质量证明书。

7.1.7 采用机械连接接头工艺检验应符合下列规定：

1 各种类型和型式接头均应进行工艺检验，检验项目包括单向拉伸极限抗拉强度等；机械连接接头的抽检应按验收批进行，同钢筋生产厂、同强度等级、同规格、同类型和同型式接头应以 1000 个为一个验收批进行检验与验收，不足 1000 个也应作为一个验收批。

2 每种规格钢棒接头试件不应少于 3 个，每个试件极限抗拉强度应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 中的Ⅱ级接头强度要求。

3 工艺检验不合格时，应进行工艺参数调整，合格后方可按最终确认的工艺参数进行接头批量加工；

4 高强空心方桩钢棒机械连接用套筒型式检验方法可参照现行行业标准《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的相关规定执行。

7.1.8 高强空心方桩基础施工完毕，应按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 及本规程的相关规定进行验收。

7.1.9 高强空心方桩防腐及耐久性的检验应满足现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 及《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 等规范的相关要求。

7.2 检测

7.2.1 高强空心方桩进入场地后，监理单位、建设单位、施工单位应按设计文件及本规程有关规定检查高强空心方桩产品合格证、混凝土强度、抗弯性能检测报告、桩身标记及端板、套箍材料检测报告、机械连接部件检测报告等，形成高强空心方桩进场验收记录。与设计文件要求不相符的高强空心方桩不得进场。

7.2.2 进入施工现场的高强空心方桩应按表 7.2.2-1、7.2.2-2 的要求抽查验收。对同一项目、同期施工的同一生产厂家、同一规格的产品，抽取数量不宜少于总节数的 0.1%且不应少于 2 节，在完成高强空心方桩抗弯检测的基础上，继续进行高强空心方桩预应力钢棒的数量和直径，螺旋箍筋的直径、间距和加密区长度，钢筋保护层等指标检验。

表 7.2.2-1 高强空心方桩外观质量要求、检查工具和检测方法

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	粘皮和麻面	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 5mm，且应做有效的修补	用钢直尺和钢卷尺测量麻面、粘皮、气孔的尺寸并计算其面积；用游标卡尺测量麻面、粘皮、气孔的深度，精确至 1mm。	1
2	桩身合缝漏浆	漏浆深度不应大于 5mm，每处漏浆长度不得大于 300mm，累计长度不应大于高强空心方桩长度的 10%，或对称漏浆的搭接长度不应大于 100mm，且应做有效修补	用深度游标卡尺测量漏浆深度，精确至 0.1mm	0.02
			用钢卷尺测量漏浆长度，精确至 1mm	1
3	局部磕损	局部磕损深度不应大于 5mm，每处面积不得大于 5000mm ² ，且应做有效修补	用钢直尺和钢卷尺测量局部磕损的尺寸并计算其面积；用游标卡尺测量局部磕损的深度，精确至 1mm。	1
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 0.01mm	0.01
6	桩端面平整度	高强空心方桩端面混凝土和钢棒镦头不应高出端板平面	用钢直尺立起横放在端板面上缓慢旋转，混凝土、钢棒镦头不触碰钢尺	—
7	断筋、脱头	不允许	目测	—
8	桩套箍凹陷	凹陷深度不应大于 5mm	用游标卡尺测量凹陷深度，精确至 1mm	1
9	内表面混凝土塌落	不允许	目测	—
10	桩接头及桩套箍与桩身结合面	漏浆深度不应大于 5mm，漏浆长度不得大于边长的 1/6，且应做有效修补	用深度游标卡尺测量漏浆深度，精确至 0.1mm	0.02
			用钢卷尺测量漏浆长度，精确至 1mm	1
		不允许出现空洞和蜂窝	目测	—
11	桩内壁浮浆	在需要填芯的范围，应将桩离心成型后的内壁浮浆清除干净	目测	—

表 7.2.2-2 高强空心方桩尺寸允许偏差、检查工具和检测方法

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 1mm。	1
2	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 1mm。	0.5
3	边长 B	250mm~550mm	+5, -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 1mm。	0.5
		≥ 600 mm	+7, -4		0.5
4	壁厚 t	+20, 0		用钢直尺在同一断面相互垂直的两直径上测定四处壁厚, 取其平均值, 精确至 1mm。	0.5
5	桩身弯曲度	$l \leq 15$ m	$\leq l/1000$	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 1mm。	0.5
		$15\text{m} < l \leq 30$ m	$\leq l/2000$		
6	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 0.1mm。	0.02
		边长	0, -3	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 1mm。	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四处厚度, 取其平均值, 精确至 0.1mm。	0.02

7.2.3 出厂检验时, 混凝土强度检验评定应符合现行行业标准《预应力混凝土高强空心方桩》JG/T 197 的规定。

7.2.4 高强空心方桩采用焊接连接时, 应按本规程的相关规定对端板和电焊坡口尺寸进行检查。电焊坡口尺寸应逐节进行检查。端板厚度或电焊坡口尺寸不合格的桩严禁使用。当高强空心方桩采用机械连接或机械-连续焊接连接时, 应对不同机械连接形式进行检查, 检验标准应符合表 7.2.4-1、7.2.4-2 的规定。若机械连接部件的材质、部件数量及尺寸不符合本规程的规定, 该批机械连接部件不得使用。

表 7.2.4-1 高强空心方桩用机械连接卡尺寸允许偏差、检查工具和检测方法

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	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 1mm。	0.5
2	高度	+1, -1	用卡尺或钢直尺测量, 精确到 1mm。	0.5
3	厚度	+1, 0	用卡尺或钢直尺测量, 精确到 1mm。	0.5
4	凹槽深度	+1, 0	用卡尺测量, 精确到 1mm。	0.5
5	凹槽宽度	+1, 0	用卡尺测量, 精确到 1mm。	0.5

表 7.2.4-1 插销连接件尺寸允许偏差、检查工具和检测方法

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	套筒外径	0, -0.5	用卡尺测量, 精确到 1mm。	0.5
2	套筒内径	0, -0.5	用卡尺测量, 精确到 1mm。	0.5
3	套筒高度	+1, -1	用卡尺测量, 精确到 1mm。	0.5
4	插销高度	+1, 0	用卡尺测量, 精确到 1mm。	0.5
5	弹簧外径	0, -0.5	用卡尺测量, 精确到 1mm。	0.5
6	中间螺母高度	+1, 0	用卡尺测量, 精确到 1mm。	0.5

7.2.5 高强空心方桩的起吊应进行旁站监理，在**高强空心方桩**起吊就位前，应目测检查**高强空心方桩**在运输、装卸中是否已产生裂缝，严禁使用有裂缝的**高强空心方桩**。

7.2.6 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。

7.2.7 常用桩尖和特殊桩尖的材质、各部分尺寸及焊接质量，应符合国家现行有关标准的规定，且应满足设计要求。

7.2.8 沉桩施工过程中，应进行下列内容的检验：

- 1 桩的定位及沉桩前的桩位复测；
- 2 桩身垂直度的检测；
- 3 沉桩机具的检查；
- 4 桩的焊接、机械连接、机械-连续焊接连接或其它形式连接的施工质量的监控；
- 5 沉桩过程中对桩身质量的监控；
- 6 终止沉桩的施工标准的监控；
- 7 沉桩记录的监督和审核；
- 8 桩挤土效应的监控；
- 9 沉桩对周边环境影响的监测；
- 10 桩的接桩或截桩过程的监控。

7.2.9 经桩基施工单位放线定位后的桩位，应在监理人员的监督下，对桩位进行复核。桩位允许偏差在应符合表 7.2.9 的规定。沉桩过程中，应做好桩位标记的保护，防止桩位标记发生错乱和移位，及时对变化的桩位进行测量定位。

表 7.2.9 桩位允许偏差

序号	项 目		允许偏差（mm）
1	柱下单桩		80
2	单排或双排条形桩基	垂直于条形桩基横向轴的桩	100
		平行于条形桩基纵向轴的桩	150
3	桩数为 1~4 根桩基中的桩		100
4	桩数为 5~16 根桩基中的桩	周边桩	100
		中间桩	1/3 边长和 150mm 两者中的较大者
5	桩数大于 16 根桩基中的桩	周边桩	1/3 边长和 150mm 两者中的较大者
		中间桩	1/2 边长

7.2.10 应对沉桩机具的下列内容进行检查：

- 1 现场配备的沉桩机具是否满足施工要求；
- 2 检查送桩器的构造、尺寸以及其上下端的衬垫厚度是否满足本规程的规定；
- 3 当沉桩机具配备打桩自动记录仪，应检查其是否能正常工作。

7.2.11 应按下列要求对桩身垂直度进行监控：

- 1 应检查第一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。

7.2.12 接桩处的连接质量监控应符合下列规定：

1 采用焊接接桩工艺时，需检查焊条的型号、质量和直径，焊接总用时和焊后的停歇时间；焊接接桩焊缝质量检查宜采用探伤检测，同一工程探伤抽样检验不得少于 3 个接头，检验标准应符合表 7.3.5 的规定；

表 7.3.5 电焊接桩焊缝检验标准

序号	检查项目		允许偏差或允许值	检查方法
1	上下节端部错口，mm	边长 ≥ 500	≤ 2	用钢尺量
		边长 < 500	≤ 1	
2	焊缝咬边深度（mm）		≤ 0.5	焊缝检查仪
3	焊缝加强层高度（mm）		2	焊缝检查仪
4	焊接加强层宽度（mm）		2	焊缝检查仪
5	焊接电焊质量外观		无气孔，无焊瘤，无裂缝	直观
6	焊缝探伤检验		二级焊缝	GB 50205

2 采用机械接桩工艺时，应检查接桩零部件的数量、质量、尺寸及其连接件的牢固性；

3 其它形式的连接接头，其检查数量和检查方法除应符合本规程的规定外，尚应符合其它相关标准的规定。

7.2.13 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、桩身垂直度。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。

7.2.14 大面积群桩基础或挤土效应明显的高强空心方桩基础工程，应设置观测桩。定时检测基桩的上浮量及桩顶偏位值等。根据检测结果，及时会同设计、监理和勘察单位共同进行分析处理。

7.2.15 沉桩时由于振动和挤土危及周边建（构）筑物、道路、市政设施时，应及时检测其变形和开裂情况，采取相应的安全技术措施。

7.2.16 沉桩过程中，应根据本规程的规定和施工组织设计监控沉桩顺序。锤击法沉桩施工、静压法沉桩施工、植入法沉桩施工尚应分别按本规程第 6.4 节、第 6.5 节、第 6.6 节规定进行监控。

7.2.17 以桩端标高控制的摩擦型桩，应按设计规定保证设计桩长；其他高强空心方桩，应按设计、勘察、监理、施工等单位共同确认的停锤标准收锤或最终压力值停止压桩。

7.2.18 沉桩完毕，应按本规程的相关规定及时检查基桩管口和送桩遗留孔洞的封盖情况。

7.2.19 施工记录应按下列规定进行监控：

1 采用人工记录时，检查施工记录的内容是否齐全、真实清楚，是否为同一作业班组的专业人员所记录的；

2 采用施工记录仪记录时，应检查其工作是否正常，并由专人检查签字；

3 施工记录应经旁站监理人员签名确认。

7.2.20 对填芯深度范围内的管腔内壁浮浆是否清理干净，应逐根进行验收，确保填芯混凝土与桩身的可靠连接。

7.3 验 收

7.3.1 桩沉桩施工完毕，应对桩顶设计标高、桩位的平面位置偏差、桩身质量的完整性及单桩承载力进行检验和验收。

7.3.2 高强空心方桩施工后，应按下列要求进行桩身完整性的检验：

- 1 宜采用低应变法检测受检桩的桩身完整性，抽检数量应符合现行相关标准的规定；
- 2 采用闭口型桩尖施工的高强空心方桩，当对低应变动测法测定的结果有疑问时，可采用孔内摄像法检测桩身完整性，检测方法应按现行相关标准的规定执行。

7.3.3 高强空心方桩施工后，单桩极限承载力的检测应符合下列规定：

- 1 检测数量不应少于同一条件下桩基工程总桩数的 1%且不应少于 3 根；当总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。
- 2 单桩静载试验及极限承载力标准值取值，可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 确定。

7.3.4 高强空心方桩基础工程验收应提交下列资料：

- 1 基础设计文件、施工图以及设计变更通知书；
- 2 工程地质和水文地质勘察报告；
- 3 工程桩测量、定位放线图，包括工程基线复核签证单；
- 4 开、竣工报告；
- 5 经批准的施工组织设计或施工方案，包括实施中的变更资料；
- 6 图纸会审记录；
- 7 高强空心方桩出厂合格证、产品说明书和型式检验报告；
- 8 高强空心方桩进场验收记录，包括桩端板的外形尺寸和材质抽检、预应力钢棒和螺旋箍筋抽检、接头焊缝验收记录等汇总资料；
- 9 高强空心方桩焊接材料和机械连接部件合格证及检验报告；
- 10 高强空心方桩接桩隐蔽验收（高强空心方桩机械连接接头影像资料）记录，包括桩位编号；
- 11 高强空心方桩的沉桩施工记录，包括桩位编号图；
- 12 桩基工程竣工图，桩位偏位实测情况，补桩、试桩记录等；
- 13 质量问题处理记录；
- 14 桩基载荷试验报告和桩身质量检测报告（包括桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果等）；
- 15 桩基工程质量控制资料核查记录；

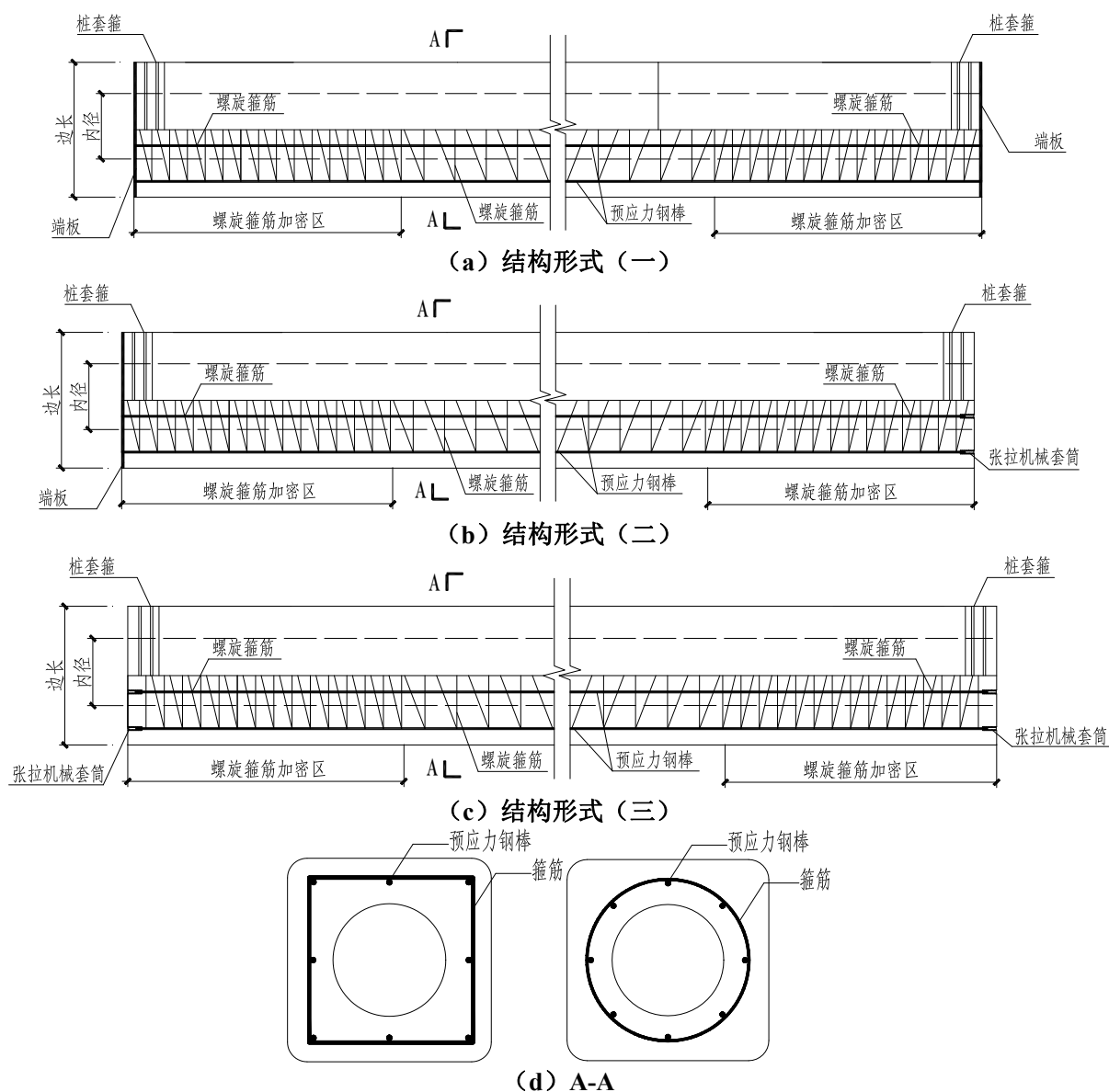
16 沉桩分项工程质量验收记录、检验批质量验收记录；

17 桩基工程质量验收报告。

7.3.5 高强空心方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标准》GB50202 的有关规定。

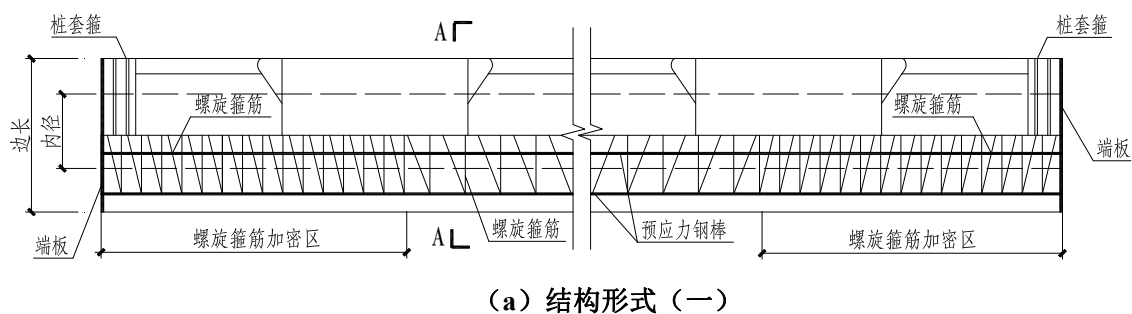
附录 A 高强空心方桩桩身结构及力学性能参数

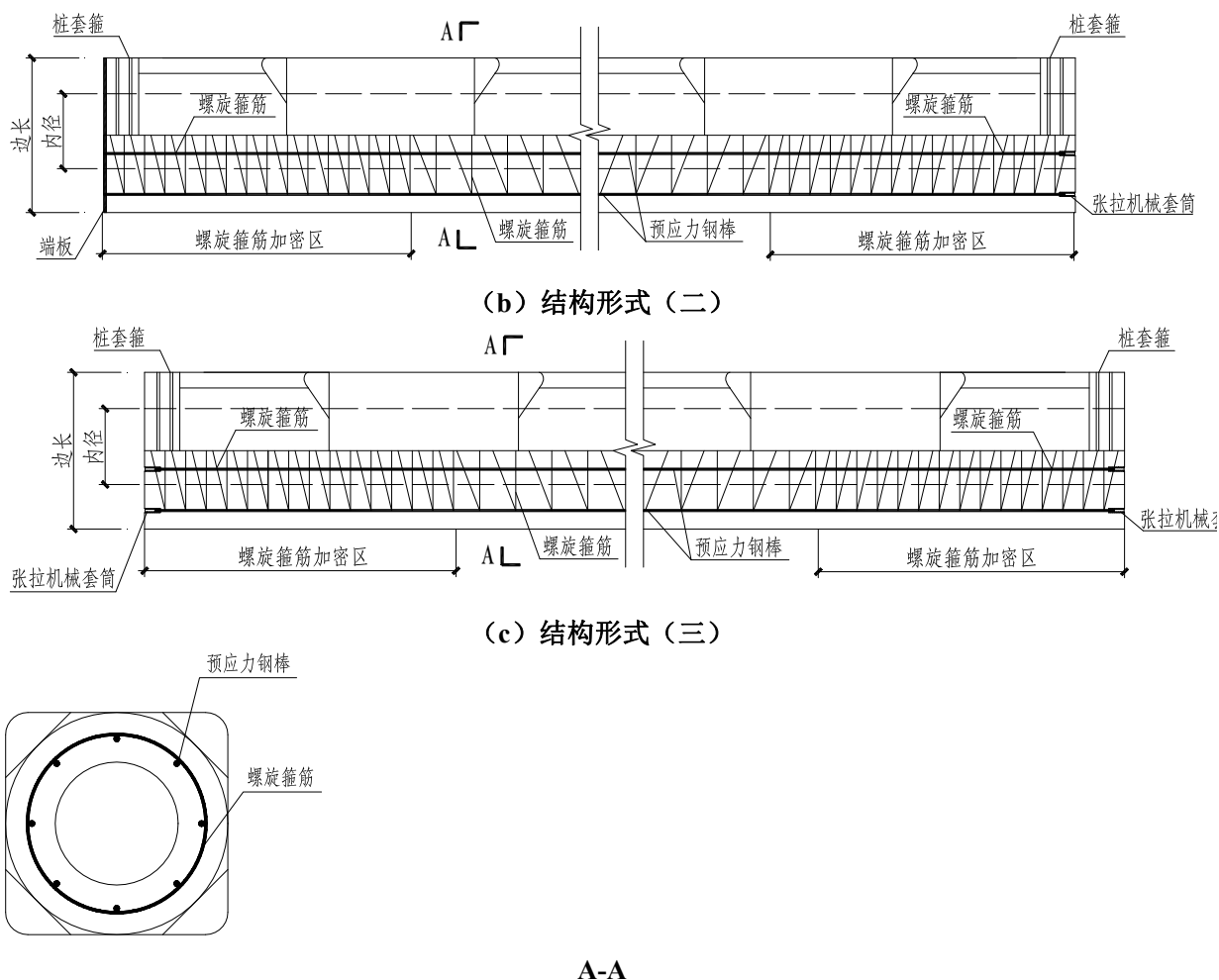
A.0.1 高强空心方桩的桩身结构及主筋设置结构见图A.0.1。



图A.0.1 高强空心方桩桩身结构及主筋设置结构示意图

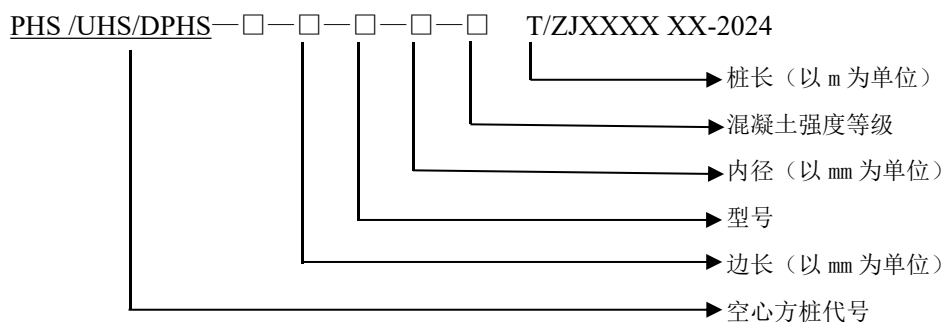
A.0.2 异形高强空心方桩的桩身结构及主筋设置结构见图A.0.2。





图A.0.2 异形高强空心方桩桩身结构及主筋设置结构示意图

A.0.3 高强空心方桩桩身标记为：



注：采用插销式连接进行接桩时，高强空心方桩代号后加上 T 进行标记。采用抱箍式进行接桩时，高强空心方桩代号后加上 G 进行标记。

标记示例：

1 边长 300mm，AB 型桩，内径 140mm，混凝土强度 C80，桩长 12m 的高强空心方桩，标记为 PHS300 AB140 C80 -12 T/ZJXXXX XX-2024。

2 边长 450mm，AB 型桩，内径 250mm，混凝土强度 C105，桩长 15m 的高强空心方桩，标记为 UHS 450 AB 250 C105 -15 T/ZJXXXX XX-2024。

3 边长 400mm，AB 型桩，内径 210mm，混凝土强度 C80，桩长 12m 的异形高强空心方桩，标记为 DPHS 400 AB 210 C80 -12 T/ZJXXXX XX-2024。

4 边长 450mm，AB 型桩，内径 250mm，混凝土强度 C80，桩长 15m，采用插销连接的高强空心方桩，标记为 PHS（T） 450 AB 250 C80 -15 T/ZJXXXX XX-2024。

5 边长 450mm，AB 型桩，内径 250mm，混凝土强度 C80，桩长 15m，采用插销连接的高强空心方桩，标记为 PHS（G） 450 AB 250 C80 -15 T/ZJXXXX XX-2024。

A.0.3 PHS高强空心方桩（C80）桩身配筋及相关参数可按表A.0.3取值。

表A.0.3 PHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数（C80）

规格 （代号-边长（内 径））	型号	单节 长度 L $\leq$ （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）	抗弯承载 力设计值 （kN·m）	抗弯承载 力极限值 （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 300（160）	A	10	8A ^D 7.1	4	3.59	34	35	44	1631	288	88	256	182
	AB	11	8A ^D 9.0	4	5.60	43	56	70		461	96	404	
	B	12	8A ^D 10.7	4	7.67	53	79	99		648	104	560	
	C	14	8A ^D 12.6	4	10.30	66	110	138		900	114	764	
PHS 350（190）	A	10	8A ^D 7.1	4	2.69	47	43	54	2197	288	114	257	245
	AB	11	8A ^D 9.0	4	4.23	59	69	86		461	122	408	
	B	12	8A ^D 10.7	4	5.83	70	97	122		648	130	567	
	C	14	8A ^D 12.6	4	7.89	86	135	169		900	140	776	
PHS 400（220）	A	11	8A ^D 9.0	4	3.30	77	82	102	2847	461	151	410	317
	AB	12	8A ^D 10.7	4	4.57	91	115	144		648	159	572	
	B	14	12A ^D 10.7	4	6.68	114	173	216		972	173	845	
	C	15	12A ^D 12.6	4	9.00	141	235	294		1350	188	1156	
PHS 400（250）	A	12	8A ^D 9.0	4	3.62	78	82	102	2588	461	141	410	298
	AB	13	8A ^D 10.7	4	5.00	92	115	144		648	149	571	
	B	15	12A ^D 10.7	4	7.29	116	173	216		972	162	843	
	C	16	12A ^D 12.6	4	9.80	144	235	294		1350	178	1152	
PHS 450（220）	A	12	12A ^D 9.0	5	3.66	118	142	178	3838	691	222	614	428
	AB	13	12A ^D 10.7	5	5.06	140	200	250		972	235	855	
	B	15	12A ^D 12.6	5	6.86	170	278	347		1350	250	1173	
	C	16	16A ^D 12.6	5	8.91	204	349	437		1800	269	1542	

续表A.0.3 PHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数 (C80)

规格 (代号-边长(内径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载力 设计值 (kN·m)	抗弯承载力 极限值 (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 450 (260)	A	13	12A ^B 9.0	5	4.01	119	142	178	3486	691	199	612	388
	AB	14	12A ^B 10.7	5	5.53	143	200	250		972	211	852	
	B	15	12A ^B 12.6	5	7.49	174	278	347		1350	227	1168	
	C	17	16A ^B 12.6	5	9.71	210	349	437		1800	245	1533	
PHS 500 (310)	A	13	12A ^B 9.0	5	3.46	149	161	202	4072	691	223	615	454
	AB	14	12A ^B 10.7	5	4.78	176	227	284		972	235	856	
	B	16	12A ^B 12.6	5	6.50	212	315	394		1350	251	1176	
	C	17	16A ^B 12.6	5	8.45	254	408	509		1800	270	1547	
PHS 550 (310)	A	14	16A ^B 9.0	5	3.54	206	241	301	5298	922	294	819	590
	AB	15	16A ^B 10.7	5	4.89	245	338	423		1296	310	1141	
	B	16	16A ^B 12.6	5	6.65	296	464	580		1800	331	1566	
	C	18	20A ^B 12.6	5	8.15	340	558	697		2250	350	1937	
PHS 550 (350)	A	14	16A ^B 9.0	5	3.88	207	241	301	4814	922	265	817	536
	AB	16	16A ^B 10.7	5	5.35	247	338	423		1296	281	1137	
	B	17	16A ^B 12.6	5	7.26	301	464	580		1800	302	1559	
	C	19	20A ^B 12.6	5	8.89	347	558	697		2250	321	1928	
PHS 600 (360)	A	15	20A ^B 9.0	6	3.87	275	333	416	6025	1152	333	1021	671
	AB	16	20A ^B 10.7	6	5.35	329	468	585		1620	353	1422	
	B	18	20A ^B 12.6	6	7.25	399	629	786		2250	379	1949	
	C	19	24A ^B 12.6	6	8.56	449	730	912		2700	398	2318	
PHS 600 (410)	A	16	20A ^B 9.0	6	4.36	276	333	416	5320	1152	293	1018	593
	AB	17	20A ^B 10.7	6	6.01	332	468	585		1620	313	1416	
	B	19	20A ^B 12.6	6	8.12	407	629	787		2250	339	1938	
	C	20	24A ^B 12.6	6	9.56	459	730	913		2700	358	2303	

续表A.0.3 PHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数（C80）

规格 (代号-边长(内 径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载 力设计值 (kN·m)	抗弯承载 力极限值 (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 650 (350)	A	15	24A ^b 9.0	6	3.69	352	438	547	7614	1382	446	1227	848
	AB	16	24A ^b 10.7	6	5.09	419	615	768		1944	470	1709	
	B	18	24A ^b 12.6	6	6.91	507	816	1019		2700	501	2345	
	C	19	28A ^b 12.6	6	7.96	559	924	1155		3150	520	2716	
PHS 650 (420)	A	16	24A ^b 9.0	6	4.21	355	438	547	6626	1382	385	1223	738
	AB	18	24A ^b 10.7	6	5.80	426	615	768		1944	409	1701	
	B	19	24A ^b 12.6	6	7.85	521	816	1019		2700	441	2330	
	C	20	28A ^b 12.6	6	9.02	576	925	1155		3150	459	2696	
PHS 700 (440)	A	16	28A ^b 9.0	6	4.13	444	556	694	7886	1613	455	1427	879
	AB	18	28A ^b 10.7	6	5.70	533	773	966		2268	483	1986	
	B	20	28A ^b 12.6	6	7.71	651	1025	1281		3150	519	2721	
PHS 700 (500)	A	18	28A ^b 9.0	6	4.72	444	556	694	6852	1613	399	1422	763
	AB	19	28A ^b 10.7	6	6.49	539	773	966		2268	426	1975	
	B	22	28A ^b 12.6	6	8.75	663	1025	1281		3150	463	2701	
PHS 750 (450)	A	17	32A ^b 9.0	6	3.96	544	686	858	9415	1843	539	1633	1049
	AB	18	32A ^b 10.7	6	5.47	652	948	1185		2592	571	2273	
	B	20	32A ^b 12.6	6	7.41	794	1257	1571		3600	613	3116	
PHS 750 (510)	A	18	32A ^b 9.0	6	4.44	546	686	858	8359	1843	479	1628	931
	AB	19	32A ^b 10.7	6	6.11	659	948	1185		2592	511	2263	
	B	22	32A ^b 12.6	6	8.25	808	1257	1571		3600	552	3098	
PHS 800 (500)	A	17	36A ^b 9.0	6	4.05	658	829	1037	10353	2074	587	1836	1153
	AB	19	36A ^b 10.7	6	5.59	789	1140	1425		2916	623	2555	
	B	21	36A ^b 12.6	6	7.57	963	1512	1890		4050	670	3501	
PHS 800 (560)	A	19	36A ^b 9.0	6	4.54	659	829	1037	9187	2074	522	1830	1024
	AB	20	36A ^b 10.7	6	6.24	796	1140	1425		2916	558	2544	
	B	23	36A ^b 12.6	6	8.43	978	1513	1890		4050	605	3481	

A.0.4 UHS超高强高强空心方桩（C105）桩身配筋及相关参数可按表A.0.4取值。

表A.0.4 UHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数（C105）

规格 (代号-边长(内 径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载 力设计值 (kN·m)	抗弯承载 力极限值 (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 300 (160)	A	11	8A ^B 7.1	4	3.62	38	35	44	2058	288	101	257	182
	AB	12	8A ^B 9.0	4	5.67	47	56	70		461	109	408	
	B	13	8A ^B 10.7	4	7.79	57	79	99		648	117	568	
	C	14	8A ^B 12.6	4	10.52	71	110	138		900	128	778	
UHS 350 (190)	A	11	8A ^B 7.1	4	2.71	53	43	54	2772	288	132	259	245
	AB	12	8A ^B 9.0	4	4.27	65	69	86		461	139	411	
	B	13	8A ^B 10.7	4	5.90	77	97	122		648	148	573	
	C	14	8A ^B 12.6	4	8.02	93	135	169		900	158	788	
UHS 400 (220)	A	12	8A ^B 9.0	4	3.33	86	82	102	3592	461	174	413	317
	AB	13	8A ^B 10.7	4	4.62	100	115	144		648	182	576	
	B	14	12A ^B 10.7	4	6.77	124	173	216		972	196	856	
	C	16	12A ^B 12.6	4	9.17	151	240	300		1350	212	1175	
UHS 400 (250)	A	13	8A ^B 9.0	4	3.65	86	82	102	3266	461	156	412	288
	AB	14	8A ^B 10.7	4	5.05	101	115	144		648	164	575	
	B	15	12A ^B 10.7	4	7.40	126	173	216		972	178	853	
	C	17	12A ^B 12.6	4	10.00	154	240	300		1350	194	1170	
UHS 450 (220)	A	13	12A ^B 9.0	5	3.94	132	142	178	4517	691	235	617	399
	AB	14	12A ^B 10.7	5	5.46	156	200	250		972	247	861	
	B	16	12A ^B 12.6	5	7.43	187	278	347		1350	263	1185	
	C	17	16A ^B 12.6	5	9.67	224	363	453		1800	282	1562	

续表A.0.4 UHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数 (C105)

规格 (代号-边长 (内 径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载 力设计值 (kN·m)	抗弯承载 力极限值 (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 450 (260)	A	13	12A ^b 9.0	5	4.04	132	142	178	4399	691	228	617	388
	AB	15	12A ^b 10.7	5	5.60	156	200	250		972	240	861	
	B	16	12A ^b 12.6	5	7.61	188	278	347		1350	256	1184	
	C	18	16A ^b 12.6	5	9.91	225	363	454		1800	275	1561	
UHS 500 (310)	A	14	12A ^b 9.0	5	3.48	166	161	202	5139	691	256	618	454
	AB	15	12A ^b 10.7	5	4.83	194	227	284		972	268	864	
	B	16	12A ^b 12.6	5	6.59	230	315	394		1350	284	1189	
	C	18	16A ^b 12.6	5	8.60	273	420	525		1800	304	1571	
UHS 550 (310)	A	14	16A ^b 9.0	5	3.56	230	241	301	6685	922	338	824	590
	AB	16	16A ^b 10.7	5	4.94	269	338	423		1296	355	1151	
	B	17	16A ^b 12.6	5	6.74	321	470	588		1800	377	1585	
	C	18	20A ^b 12.6	5	8.29	367	575	719		2250	396	1966	
UHS 550 (350)	A	15	16A ^b 9.0	5	3.91	230	241	301	6074	922	304	823	536
	AB	16	16A ^b 10.7	5	5.41	271	338	423		1296	320	1148	
	B	18	16A ^b 12.6	5	7.37	325	470	588		1800	342	1580	
	C	19	20A ^b 12.6	5	9.05	373	575	719		2250	361	1959	
UHS 600 (360)	A	16	20A ^b 9.0	6	3.90	305	333	416	7603	1152	383	1028	671
	AB	17	20A ^b 10.7	6	5.41	360	468	585		1620	403	1436	
	B	19	20A ^b 12.6	6	7.36	432	645	807		2250	430	1975	
	C	20	24A ^b 12.6	6	8.71	483	753	942		2700	449	2355	
UHS 600 (410)	A	17	20A ^b 9.0	6	4.40	304	333	416	6713	1152	335	1026	593
	AB	18	20A ^b 10.7	6	6.08	362	468	585		1620	355	1431	
	B	20	20A ^b 12.6	6	8.26	439	646	807		2250	382	1966	
	C	21	24A ^b 12.6	6	9.76	492	753	942		2700	401	2343	

续表A.0.4 UHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数 (C105)

规格 (代号-边长 (内 径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载 力设计值 (kN·m)	抗弯承载 力极限值 (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 650 (350)	A	16	24A ^b 9.0	6	3.71	391	438	547	9608	1382	511	1235	848
	AB	17	24A ^b 10.7	6	5.15	459	616	770		1944	536	1725	
	B	19	24A ^b 12.6	6	7.01	550	838	1047		2700	568	2374	
	C	19	28A ^b 12.6	6	8.09	604	954	1192		3150	587	2755	
UHS 650 (420)	A	17	24A ^b 9.0	6	4.25	392	438	547	8361	1382	439	1232	738
	AB	18	24A ^b 10.7	6	5.87	465	616	770		1944	463	1719	
	B	20	24A ^b 12.6	6	7.98	562	838	1047		2700	495	2363	
	C	21	28A ^b 12.6	6	9.19	620	954	1192		3150	514	2741	
UHS 700 (440)	A	17	28A ^b 9.0	6	4.17	491	556	694	9951	1613	519	1438	879
	AB	19	28A ^b 10.7	6	5.76	582	781	977		2268	548	2006	
	B	21	28A ^b 12.6	6	7.83	703	1053	1316		3150	585	2759	
UHS 700 (500)	A	18	28A ^b 9.0	6	4.76	489	556	694	8647	1613	452	1434	763
	AB	20	28A ^b 10.7	6	6.58	585	781	977		2268	480	1998	
	B	22	28A ^b 12.6	6	8.91	713	1053	1316		3150	517	2744	
UHS 750 (450)	A	18	32A ^b 9.0	6	3.99	603	686	858	11880	1843	618	1645	1049
	AB	19	32A ^b 10.7	6	5.53	713	965	1206		2592	650	2296	
	B	21	32A ^b 12.6	6	7.52	859	1291	1614		3600	694	3158	
UHS 750 (510)	A	19	32A ^b 9.0	6	4.48	602	686	858	10548	1843	545	1641	931
	AB	20	32A ^b 10.7	6	6.19	718	965	1206		2592	578	2288	
	B	22	32A ^b 12.6	6	8.40	871	1291	1614		3600	620	3144	
UHS 800 (500)	A	18	36A ^b 9.0	6	4.08	729	829	1037	13063	2074	673	1850	1153
	AB	20	36A ^b 10.7	6	5.65	863	1162	1452		2916	709	2581	
	B	22	36A ^b 12.6	6	7.68	1041	1553	1941		4050	758	3549	
UHS 800 (560)	A	19	36A ^b 9.0	6	4.58	726	829	1037	11592	2074	595	1845	1024
	AB	21	36A ^b 10.7	6	6.32	867	1162	1452		2916	631	2573	
	B	23	36A ^b 12.6	6	8.58	1054	1553	1941		4050	679	3534	

A.0.5 UHS超高强高强空心方桩（C125）桩身配筋及相关参数可按表A.0.5取值。

表A.0.5 UHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数（C125）

规格 (代号-边长(内 径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载 力设计值 (kN·m)	抗弯承载 力极限值 (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 300 (160)	A	11	8A ^b 7.1	4	3.63	42	35	44	2349	288	116	258	182
	AB	12	8A ^b 9.0	4	5.70	52	56	70		461	123	410	
	B	13	8A ^b 10.7	4	7.86	62	79	99		648	132	572	
	C	15	8A ^b 12.6	4	10.64	75	110	138		900	142	785	
UHS 350 (190)	A	11	8A ^b 7.1	4	2.72	54	43	54	3164	288	152	259	245
	AB	12	8A ^b 9.0	4	4.29	72	69	86		461	159	412	
	B	14	8A ^b 10.7	4	5.94	84	97	122		648	167	576	
	C	15	8A ^b 12.6	4	8.09	100	135	169		900	178	793	
UHS 400 (220)	A	13	8A ^b 9.0	4	3.34	96	82	102	4099	461	200	414	317
	AB	14	8A ^b 10.7	4	4.64	110	115	144		648	208	579	
	B	15	12A ^b 10.7	4	6.82	135	173	216		972	222	861	
	C	17	12A ^b 12.6	4	9.26	162	240	300		1350	238	1184	
UHS 400 (250)	A	13	8A ^b 9.0	4	3.66	96	82	102	3727	461	178	413	288
	AB	14	8A ^b 10.7	4	5.08	111	115	144		648	186	578	
	B	16	12A ^b 10.7	4	7.46	136	173	216		972	200	859	
	C	17	12A ^b 12.6	4	10.10	165	240	300		1350	216	1181	
UHS 450 (220)	A	14	12A ^b 9.0	5	3.96	146	142	178	5155	691	268	619	399
	AB	15	12A ^b 10.7	5	5.49	170	200	250		972	280	865	
	B	16	12A ^b 12.6	5	7.48	202	278	347		1350	296	1193	
	C	18	16A ^b 12.6	5	9.77	239	369	461		1800	315	1576	

续表A.0.5 UHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数 (C125)

规格 (代号-边长 (内 径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载 力设计值 (kN·m)	抗弯承载 力极限值 (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 450 (260)	A	14	12A ^b 9.0	5	4.06	146	142	178	5021	691	259	619	388
	AB	15	12A ^b 10.7	5	5.63	171	200	250		972	272	865	
	B	17	12A ^b 12.6	5	7.67	203	278	347		1350	288	1192	
	C	18	16A ^b 12.6	5	10.01	241	369	461		1800	307	1575	
UHS 500 (310)	A	15	12A ^b 9.0	5	3.49	185	161	202	5865	691	292	620	454
	AB	16	12A ^b 10.7	5	4.85	213	227	284		972	304	868	
	B	17	12A ^b 12.6	5	6.63	250	315	394		1350	321	1197	
	C	19	16A ^b 12.6	5	8.68	294	420	525		1800	340	1583	
UHS 550 (310)	A	15	16A ^b 9.0	5	3.58	256	241	301	7629	922	388	827	590
	AB	16	16A ^b 10.7	5	4.97	295	338	423		1296	404	1156	
	B	18	16A ^b 12.6	5	6.79	348	470	588		1800	426	1594	
	C	19	20A ^b 12.6	5	8.36	395	583	728		2250	445	1981	
UHS 550 (350)	A	16	16A ^b 9.0	5	3.93	255	241	301	6932	922	346	826	536
	AB	17	16A ^b 10.7	5	5.44	296	338	423		1296	363	1154	
	B	19	16A ^b 12.6	5	7.43	352	470	588		1800	384	1591	
	C	20	20A ^b 12.6	5	9.14	400	583	728		2250	404	1975	
UHS 600 (360)	A	16	20A ^b 9.0	6	3.92	338	333	416	8677	1152	438	1032	671
	AB	18	20A ^b 10.7	6	5.44	393	468	585		1620	458	1443	
	B	19	20A ^b 12.6	6	7.42	467	650	813		2250	485	1988	
	C	20	24A ^b 12.6	6	8.79	519	763	954		2700	505	2373	
UHS 600 (410)	A	17	20A ^b 9.0	6	4.42	336	333	416	7661	1152	381	1030	593
	AB	19	20A ^b 10.7	6	6.12	394	468	585		1620	401	1439	
	B	21	20A ^b 12.6	6	8.33	472	650	813		2250	428	1981	
	C	22	24A ^b 12.6	6	9.86	527	763	954		2700	447	2364	

续表A.0.5 UHS高强空心方桩桩身配筋及相关参数 (C125)

规格 (代号-边长(空心 内径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载 力设计值 (kN·m)	抗弯承载 力极限值 (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 650 (350)	A	17	24A ^b 9.0	6	3.73	434	438	547	10965	1382	584	1239	848
	AB	18	24A ^b 10.7	6	5.18	503	616	770		1944	609	1733	
	B	19	24A ^b 12.6	6	7.07	596	847	1059		2700	641	2389	
	C	20	28A ^b 12.6	6	8.16	650	967	1208		3150	661	2775	
UHS 650 (420)	A	18	24A ^b 9.0	6	4.26	433	438	547	9542	1382	497	1237	738
	AB	19	24A ^b 10.7	6	5.91	507	616	770		1944	522	1728	
	B	21	24A ^b 12.6	6	8.05	606	847	1059		2700	555	2380	
	C	22	28A ^b 12.6	6	9.28	664	967	1208		3150	574	2764	
UHS 700 (440)	A	18	28A ^b 9.0	6	4.18	543	556	694	11357	1613	590	1443	879
	AB	20	28A ^b 10.7	6	5.80	635	781	977		2268	619	2017	
	B	21	28A ^b 12.6	6	7.90	758	1065	1331		3150	657	2778	
UHS 700 (500)	A	19	28A ^b 9.0	6	4.79	537	556	694	9868	1613	510	1440	763
	AB	21	28A ^b 10.7	6	6.62	635	781	977		2268	539	2010	
	B	23	28A ^b 12.6	6	9.00	765	1065	1331		3150	576	2767	
UHS 750 (450)	A	18	32A ^b 9.0	6	4.01	668	686	858	13558	1843	705	1651	1049
	AB	20	32A ^b 10.7	6	5.56	779	965	1206		2592	738	2307	
	B	22	32A ^b 12.6	6	7.58	927	1306	1632		3600	781	3179	
UHS 750 (510)	A	19	32A ^b 9.0	6	4.50	664	686	858	12038	1843	618	1648	931
	AB	21	32A ^b 10.7	6	6.23	781	965	1206		2592	651	2301	
	B	23	32A ^b 12.6	6	8.47	937	1306	1632		3600	694	3168	
UHS 800 (500)	A	19	36A ^b 9.0	6	4.10	806	829	1037	14909	2074	767	1856	1153
	AB	21	36A ^b 10.7	6	5.68	942	1166	1458		2916	804	2594	
	B	23	36A ^b 12.6	6	7.75	1122	1570	1963		4050	853	3574	
UHS 800 (560)	A	20	36A ^b 9.0	6	4.60	799	829	1037	13230	2074	674	1853	1024
	AB	22	36A ^b 10.7	6	6.36	942	1166	1458		2916	711	2587	
	B	24	36A ^b 12.6	6	8.66	1132	1571	1963		4050	760	3562	

A.0.6 异形高强空心方桩桩身配筋及相关参数可按表 A.0.6~表 A.0.7 取值。

表A.0.6 DPHS高强空心方桩身配筋及相关参数（C80）

规格 (代号-边长(内 径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载 力设计值 (kN·m)	抗弯承载 力极限值 (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)
DPHS 300 (160)	A	9	6A ^Ⅱ 7.1	4	4.07	25	26	35	1271	204	79	210	157
	AB	10	6A ^Ⅱ 9.0		6.25	31	40	54		326	93	326	
	B	11	8A ^Ⅱ 9.0		8.04	35	51	68		435	103	424	
	C	12	8A ^Ⅱ 10.7		10.66	43	65	88		612	117	572	
DPHS 350 (170)	A	10	8A ^Ⅱ 7.1	4	3.76	39	39	53	1847	272	114	281	225
	AB	11	8A ^Ⅱ 9.0		5.79	48	61	82		435	134	438	
	B	12	8A ^Ⅱ 10.7		7.81	57	81	110		612	151	598	
	C	12	10A ^Ⅱ 10.7		9.43	64	97	131		765	164	729	
DPHS 400 (210)	A	11	8A ^Ⅱ 9.0	4	4.77	63	73	98	2288	435	152	444	281
	AB	12	8A ^Ⅱ 10.7		6.48	74	98	133		612	171	610	
	B	13	10A ^Ⅱ 10.7		7.87	83	118	160		765	185	747	
	C	13	12A ^Ⅱ 10.7		9.19	92	137	184		918	198	879	
DPHS 450 (260)	A	12	10A ^Ⅱ 9.0	4	5.09	90	105	142	2663	544	178	553	332
	AB	13	10A ^Ⅱ 10.7		6.90	105	141	191		765	201	758	
	B	14	12A ^Ⅱ 10.7		8.08	116	164	222		918	215	894	
	C	15	12A ^Ⅱ 12.6		10.62	139	210	283		1275	241	1193	
DPHS 500 (300)	A	13	12A ^Ⅱ 9.0	5	5.14	121	142	192	3158	653	211	663	396
	AB	14	12A ^Ⅱ 10.7		6.97	142	191	258		918	238	908	
	B	15	12A ^Ⅱ 12.6		9.23	170	249	336		1275	268	1220	
	C	16	15A ^Ⅱ 12.6		11.07	193	291	393		1594	290	1480	
DPHS 550 (350)	A	14	14A ^Ⅱ 9.0	5	5.31	157	186	250	3553	762	238	772	452
	AB	15	14A ^Ⅱ 10.7		7.20	186	249	337		1071	269	1056	
	B	16	14A ^Ⅱ 12.6		9.52	222	323	436		1488	303	1416	
	C	17	17A ^Ⅱ 12.6		11.14	247	370	499		1806	324	1675	
DPHS 600 (380)	A	14	16A ^Ⅱ 9.0	5	5.09	201	232	314	4225	870	281	884	541
	AB	15	16A ^Ⅱ 10.7		6.91	236	314	423		1224	317	1212	
	B	17	16A ^Ⅱ 12.6		9.15	282	408	551		1700	357	1628	
	C	18	20A ^Ⅱ 12.6		10.98	320	478	646		2125	386	1976	

表A.0.7 DPHS高强空心方桩身配筋及相关参数 (C105)

规格 (代号-边长 (内径))	型号	单节 长度 L $\leq$ (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)	抗弯承载力 设计值 (kN·m)	抗弯承载力 极限值 (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)
DPHS 300 (160)	A	10	6A ^Ⅱ 7.1	4	4.08	28	26	35	1604	204	90	210	157
	AB	11	6A ^Ⅱ 9.0		6.27	34	40	55		326	105	327	
	B	11	8A ^Ⅱ 9.0		8.06	38	52	70		435	116	425	
	C	12	8A ^Ⅱ 10.7		10.72	46	68	92		612	130	573	
DPHS 350 (170)	A	10	8A ^Ⅱ 7.1	4	3.76	44	40	54	2331	272	129	282	225
	AB	11	8A ^Ⅱ 9.0		5.80	53	62	83		435	150	439	
	B	12	8A ^Ⅱ 10.7		7.84	62	84	113		612	169	599	
	C	13	10A ^Ⅱ 10.7		9.47	69	101	136		765	183	731	
DPHS 400 (210)	A	12	8A ^Ⅱ 9.0	4	4.78	71	73	99	2886	435	171	445	281
	AB	12	8A ^Ⅱ 10.7		6.50	81	100	135		612	192	611	
	B	13	10A ^Ⅱ 10.7		7.90	91	122	165		765	207	748	
	C	14	12A ^Ⅱ 10.7		9.23	99	142	191		918	221	880	
DPHS 450 (260)	A	13	10A ^Ⅱ 9.0	4	5.10	99	106	143	3360	544	201	553	332
	AB	14	10A ^Ⅱ 10.7		6.92	115	145	195		765	225	759	
	B	14	12A ^Ⅱ 10.7		8.11	126	169	229		918	240	895	
	C	15	12A ^Ⅱ 12.6		10.67	149	220	297		1275	269	1195	
DPHS 500 (300)	A	13	12A ^Ⅱ 9.0	5	5.15	134	144	194	3985	653	237	664	396
	AB	14	12A ^Ⅱ 10.7		6.99	156	196	264		918	267	910	
	B	16	12A ^Ⅱ 12.6		9.27	183	258	348		1275	299	1222	
	C	17	15A ^Ⅱ 12.6		11.13	206	306	414		1594	323	1483	
DPHS 550 (350)	A	14	14A ^Ⅱ 9.0	5	5.33	174	188	254	4483	762	268	772	452
	AB	15	14A ^Ⅱ 10.7		7.22	203	256	345		1071	301	1058	
	B	17	14A ^Ⅱ 12.6		9.56	239	336	454		1488	338	1419	
	C	18	17A ^Ⅱ 12.6		11.19	265	390	526		1806	361	1679	
DPHS 600 (380)	A	15	16A ^Ⅱ 9.0	5	5.10	223	235	318	5370	870	316	885	541
	AB	16	16A ^Ⅱ 10.7		6.93	259	321	433		1224	355	1214	
	B	17	16A ^Ⅱ 12.6		9.19	304	424	572		1700	399	1631	
	C	18	20A ^Ⅱ 12.6		11.03	343	504	680		2125	430	1981	

附录 B 高强空心方桩力学性能计算

B.0.1 高强异形空心方桩力学性能计算根据 B.0.2~B.0.8 式确定。

I 有效预压应力计算

B.0.2 有效预压应力按下列公式计算：

$$\sigma_{pt} = \frac{\sigma_{con}}{1 + \alpha'_E \cdot \frac{A_p}{A_c}} \quad (B.0.2-1)$$

$$V \sigma_{p\psi} = \frac{\alpha_E \cdot \psi \cdot \sigma_{cpt} + E_p \cdot \delta_s}{1 + \alpha_E \cdot \frac{\sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} \cdot (1 + \frac{\psi}{2})} \quad (B.0.2-2)$$

$$\sigma_{cpt} = \frac{\sigma_{pt} \cdot A_p}{A_c} \quad (B.0.2-3)$$

$$V \sigma_r = \gamma_r \cdot (\sigma_{pt} - 2V \sigma_{p\psi}) \quad (B.0.2-4)$$

$$\sigma_{pe} = \sigma_{pt} - V \sigma_{p\psi} - V \sigma_r \quad (B.0.2-5)$$

$$\sigma_{pc} = \frac{\sigma_{pe} \cdot A_p}{A_c} \quad (B.0.2-6)$$

式中： σ_{pc} ——高强异形空心方桩混凝土的有效预压应力（N/mm²）；

σ_{pe} ——预应力钢棒的有效拉应力（N/mm²）；

$V \sigma_{p\psi}$ ——混凝土的徐变及混凝土的收缩引起的预应力钢棒拉应力损失（N/mm²）；

σ_{pt} ——预应力放张后预应力钢棒的拉应力（N/mm²）；

σ_{cpt} ——放张后混凝土的预压应力（N/mm²）；

σ_{con} ——预应力钢棒的初始张拉应力（N/mm²）， $\sigma_{con}=0.7f_{ptk}$ ；

f_{ptk} ——预应力钢棒的抗拉强度标准值（N/mm²）；

A_p ——预应力钢棒横截面积的总面积（mm²）；

A_c ——高强异形空心方桩混凝土的横截面积（mm²）；

α'_E ——预应力钢棒的弹性模量与放张时混凝土的弹性模量之比；

α_E ——预应力钢棒的弹性模量与混凝土的弹性模量之比；

ψ ——混凝土的徐变系数，取 2.0；

δ_s ——混凝土的收缩率，取 2.5×10^{-4} ；

E_p ——预应力钢棒的弹性模量（N/mm²）；

$V \sigma_r$ ——预应力钢棒因松弛引起的拉应力损失 (N/mm²) ;

γ_r ——预应力钢棒的松弛系数, 取 3.5%。

II 抗裂弯矩计算

B.0.3 当按二级裂缝控制等级验算受弯异形空心方桩受拉边缘应力时, 其正截面受弯承载力应符合下式规定:

$$M_{cr} = (\sigma_{pc} + \gamma f_{tk}) W_0 \quad (B.0.3-1)$$

$$W_0 = \frac{2I_0}{D} \quad (B.0.3-2)$$

$$I_0 = \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4) + \left(\frac{E_p}{E_c} - 1 \right) \frac{A_p r_p^2}{2} \quad (B.0.3-3)$$

式中: M_{cr} ——高强异形空心方桩桩身抗裂弯矩值 (kN·m) ;

γ ——考虑离心工艺影响及截面抵抗矩塑性影响的综合系数, 对 C80 及以上高强异形空心方桩取 $\gamma = 1.9$;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm²) ;

W_0 ——截面换算弹性抵抗矩 (mm³) ;

I_0 ——桩身换算截面惯性矩 (mm⁴) ;

D ——高强异形空心方桩环形外截面直径 (mm) ;

r_1 、 r_2 ——高强异形空心方桩环形截面内、外半径 (mm) ;

r_p ——纵向预应力钢棒重心所在圆的半径 (mm) ;

E_c ——混凝土的弹性模量 (N/mm²) 。

III 桩身斜截面抗剪承载力计算

B.0.4 高强异形空心方桩桩身斜截面受剪承载力设计值验算按下式计算确定:

$$V_R = \frac{tI}{S_0} \sqrt{(\sigma_{pc} + 2\phi_t f_t)^2 - \sigma_{pc}^2} \quad (B.0.4)$$

式中: V_R ——桩身斜截面受剪承载力设计值 (N) ;

t ——高强异形空心方桩壁厚 (mm) ;

I ——高强异形空心方桩截面相对中心轴的惯性矩 (mm⁴) , $I = \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)$;

S_0 ——中心轴以上截面对中性轴的面积矩 (mm³) , $S_0 = \frac{2}{3} (r_2^3 - r_1^3)$;

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm²) ;

ϕ_t ——混凝土抗拉强度变异性调整系数, 取 0.7。

B.0.5 高强异形空心方桩采用增大箍筋或减小箍筋间距等方式增加后，斜截面受剪承载力设计值应按下列公式规定确定：

1 高强异形空心方桩斜截面受剪承载力设计值，可按下列公式计算：

$$V_R = \frac{0.7tI}{S_0} \sqrt{(\sigma_{pc} + 2f_t)^2 - \sigma_{pc}^2} + \frac{\pi}{2} f_{yv} \frac{A_{sv1}}{S} D \sin \theta \quad (\text{B.0.5-1})$$

2 高强异形空心方桩截桩部位斜截面受剪承载力设计值，可按下列公式计算：

$$V_R = \frac{0.7tI}{S_0} \sqrt{(\mu\sigma_{pc} + 2f_t)^2 - (\mu\sigma_{pc})^2} + \frac{\pi}{2} f_{yv} \frac{A_{sv1}}{S} D \sin \theta \quad (\text{B.0.5-2})$$

式中： μ ——截桩后混凝土的有效预压应力折减系数；

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值（N/mm²）；

A_{sv1} ——单肢箍筋的截面面积（mm²）；

θ ——螺旋箍筋与异形空心方桩轴线夹角；

S ——箍筋间距（mm）。

IV 桩身受弯承载力计算

B.0.6 高强异形空心方桩正截面受弯承载力设计值按下式计算：

$$M_R = \alpha_1 f_c A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py} A_{py} r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py} r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (\text{B.0.6-1})$$

$$\alpha = \frac{0.55 \sigma_{p0} A_p + 0.45 f_{py} A_p}{\alpha_1 f_c A + f'_{py} A_p + 0.45 (f_{py} - \sigma_{p0}) A_p} \quad (\text{B.0.6-2})$$

$$\alpha_t = 0.45(1 - \alpha) \quad (\text{B.0.6-3})$$

式中： M_R ——桩身正截面受弯承载力设计值（N·mm）；

α_1 ——系数，按照《混凝土结构设计规范》（2015年版）GB50010-2010 第 6.2.6 条规定取值；

A ——高强异形空心方桩圆段的横截面面积（mm²）；

α ——矩形应力图中，混凝土受压区面积在异形空心方桩圆段截面面积中的占比；

α_t ——矩形应力图中，受拉屈服钢筋截面面积在全部钢筋截面面积中的占比

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）。

f_{py} 、 f'_{py} ——预应力钢筋抗拉、抗压强度设计值（N/mm²）。

B.0.7 高强异形空心方桩正截面受弯承载力极限值按下式计算：

$$M_u = \alpha_1 f_{ck} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py} A_{py} r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{ptk} - \sigma_{p0}) A_{py} r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (\text{B.0.7-1})$$

$$\alpha = \frac{0.55\sigma_{p0}A_p + 0.45f_{ptk}A_p}{\alpha_1f_{ck}A + f'_{py}A_p + 0.45(f_{ptk} - \sigma_{p0})A_p} \quad (\text{B.0.7-2})$$

$$\alpha_t = 0.45(1 - \alpha) \quad (\text{B.0.7-3})$$

式中： M_u ——桩身正截面受弯承载力极限值（N·mm）；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值（N/mm²）。

V 偏心受压正截面承载力计算

B.0.8 偏心受压高强异形空心方桩正截面受压承载力的验算应符合下列规定：

$$N \leq \alpha\alpha_1f_cA + \alpha f'_{py}A_p - \alpha_t(f_{py} - \sigma_{p0})A_p - \sigma_{p0}A_p \quad (\text{B.0.8-1})$$

$$N\eta e_i \leq \alpha_1f_cA(r_1 + r_2)\frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py}A_{py}r_p\frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0})A_{py}r_p\frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (\text{B.0.8-2})$$

$$\alpha_t = 0.45(1 - \alpha) \quad (\text{B.0.8-3})$$

式中： N ——桩身承受的轴向力设计值（N）；

e_i ——初始偏心距（mm）， $e_i = e_0 + e_a$ ；

e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距（mm）， $e_0 = M / N$ ， M 为管桩承受的弯矩设计值（N·mm）；

e_a ——附加偏心距（mm）， $e_0 = D / 30$ ， 且 $e_a \geq 20\text{mm}$ ；

η ——考虑二阶弯矩影响的轴向压力偏心矩增大系数。通常可不考虑偏心矩增大的影响，取 $\eta = 1.0$ ；对于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，应按《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB50010-2010 附录 B 的规定考虑偏心矩增大的影响。

B.0.9 高强空心方桩力学性能计算根据 B.0.10~B.0.13 式确定。

I 有效预压应力计算

B.0.10 有效预压应力计算参照 B.0.2 条确定。

II 抗裂弯矩计算

B.0.11 当按二级裂缝控制等级验算受弯高强空心方桩受拉边缘应力时，其正截面受弯承载力应符合下式规定：

$$M_{cr} \leq (\sigma_{pc} + \gamma f_{tk})W_0 \quad (\text{B.0.11-1})$$

式中： M_{cr} ——高强空心方桩桩身开裂弯矩（kN·m）；

σ_{pc} ——高强空心方桩混凝土的有效预压应力（N/mm²）；

γ ——考虑离心工艺影响及截面抵抗矩塑性影响的综合系数，对 C80 及以上高强空

心方桩取 $\gamma = 1.35$ ；

W_0 ——截面换算弹性抵抗矩（ mm^3 ）；

III 抗剪性能计算

B.0.12 高强空心方桩桩身横向受剪承载力设计值应符合下式规定：

$$V \leq V_{cs} + V_p \quad (\text{B.0.12-1})$$

$$V_{cs} = \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{S} h_0 \quad (\text{B.0.12-1})$$

$$V_p = 0.05 N_{p0} \quad (\text{B.0.12-3})$$

式中： V_{cs} ——高强空心方桩斜截面混凝土和箍筋的受剪承载力设计值（KN）；

V_p ——由预应力提高的高强空心方桩受剪承载力设计值（KN）；

b ——空心方桩截面换算成等面积、等惯性矩的 I 型截面腹板宽度（mm）；

A_{sv} ——螺旋箍筋的截面面积（ mm^2 ）；

S ——沿长度方向的箍筋间距（mm）；

N_{p0} ——计算截面上混凝土法向预应力等于零时纵向钢筋的合力， $N_{p0} = \sigma_{p0} A_p$ 。当

$N_{p0} \geq 0.3 f_c A_0$ 时，取 $N_{p0} = 0.3 f_c A_0$ ；

σ_{p0} ——预应力钢筋合力点混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力（ N/mm^2 ）；

IV 抗弯承载力计算

B.0.13 高强空心方桩正截面受弯承载力设计值按下式计算：

$$M_u = 0.85 \left[\frac{\alpha_1 f_c b x^2}{2} + \sum f_y A_{si} h_{0i} - \sum (\sigma'_{p0} - f'_{py}) A_{pi} h_{0i} - \sum f_{py} A_{pi} h_{0i} - \sum f_y A_{si} h_{0i} \right] \quad (\text{B.0.13})$$

式中： M_u ——高强空心方桩正截面抗弯承载力设计值（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

α_1 ——系数，按《混凝土设计规划》GB50010 第 6.2.6 条的规定计算；

b ——矩形截面的宽度（mm）；

h_{0i} ——第 i 层纵向钢筋截面中心至截面受压边缘的距离（mm）；

x ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度（mm），可按下列公式计算：

$$\alpha_1 f_c b x = \sum f_y A_{si} - \sum f'_y A'_{si} + \sum f_{py} A_{pi} \sum (\sigma'_{p0} - f'_{py}) A_{pi}, \text{ 当 } x \text{ 小于 } 2a' \text{ 时, 取为 } 2a'.$$

a' ——受压区全部纵向受力钢筋合力点至截面受压边缘的距离（mm）；

f_{py} 、 f_y ——预应力钢筋、普通钢筋抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；

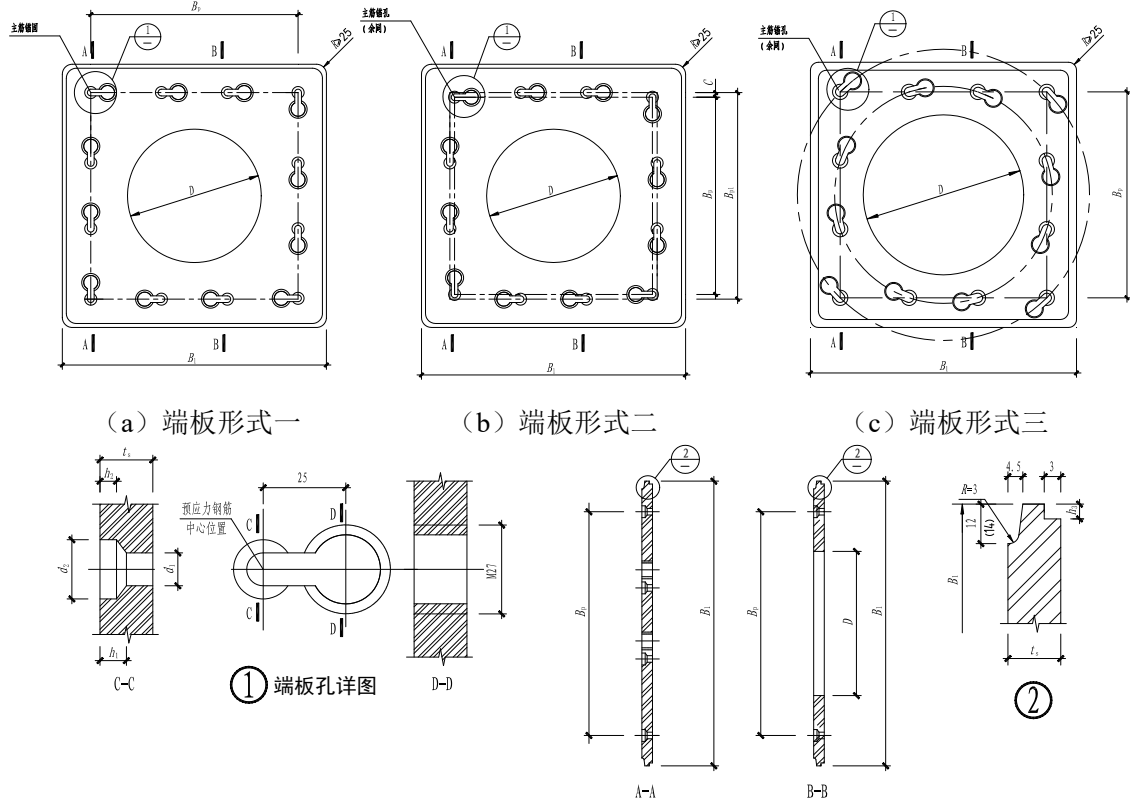
f'_{py} 、 f'_y ——预应力钢筋、普通钢筋抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；

A_{pi} 、 A_{si} ——第 i 层受拉区预应力钢筋、普通钢筋的截面面积 (mm^2)；

A'_{pi} 、 A'_{si} ——第 i 层受压区预应力钢筋、普通钢筋的截面面积 (mm^2)；

附录 C 端板结构

C.0.1 高强空心方桩端板的结构见图 C.0.1，端板的尺寸参数应符合《预应力离心混凝土高强空心方桩用端板》JC/T 2239 的规定。



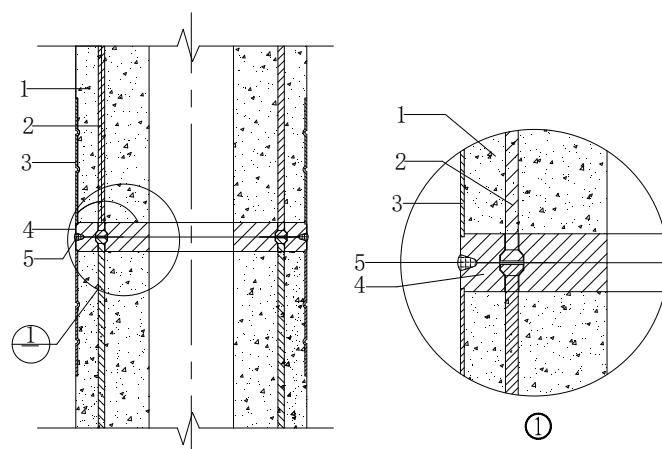
注：端板转角处的圆弧应平衡、圆滑过渡

图C.0.1 预应力高强空心方桩端板结构示意图

C.0.2 设计人员可根据工程需要调整预应力主筋数量、直径和布置形式，调整后的配筋率、混凝土保护层厚度应符合本规程的相关规定，力学性能应根据预应力主筋的布置另行计算，端板结构尺寸应另行计算调整。

附录 D 高强空心方桩接桩处构造

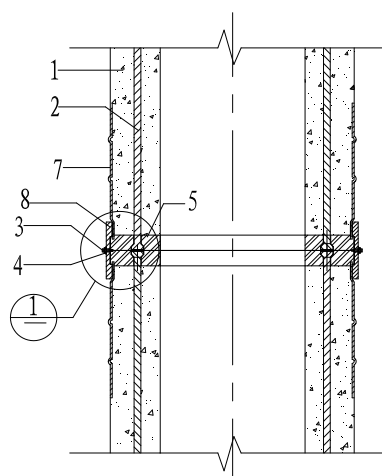
D.0.1 高强空心方桩采用焊接接桩时，接桩构造见图 D.0.1。



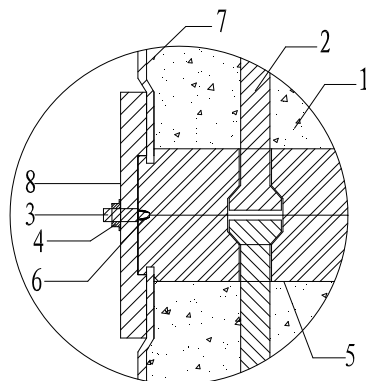
注：1-高强空心方桩；2-预应力钢棒；3-桩套箍；4-端板；5-焊缝。

图 D.0.1 高强空心方桩桩焊接接桩示意图

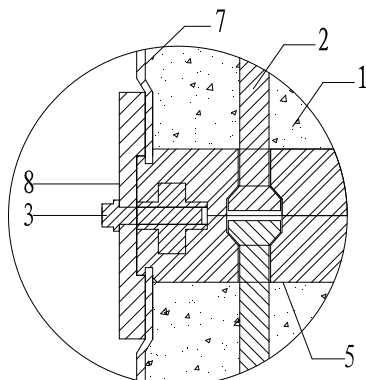
D.0.2 高强空心方桩采用抱箍式连接-连续焊接连接接桩时，接桩处的连接构造见图 D.0.2，机械连接卡与端板的固定方式可采用（b）、（c）或（d）。



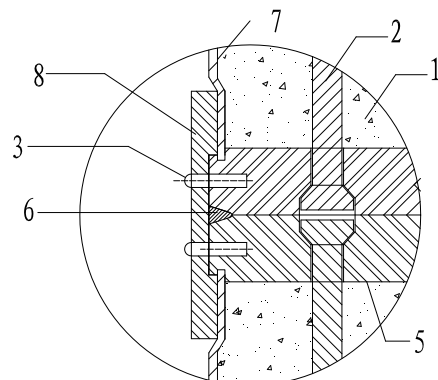
(a) 抱箍式连接-连续焊接连接接桩构造



(b) ①连接处大样（一）



(c) ①连接处大样（二）



(d) ①连接处大样（三）

注：1-高强空心方桩；2-预应力钢棒；3-连接螺杆（连接螺栓）；4-螺帽；5-端板；6-焊缝；7-桩套箍；8机械连接卡。

图 D.0.2 抱箍式连接-连续焊接连接接桩构造示意图

D.0.3 高强空心方桩用抱箍式连接卡的结构见图 D.0.3，机械连接尺寸卡参数见表 D.0.3。

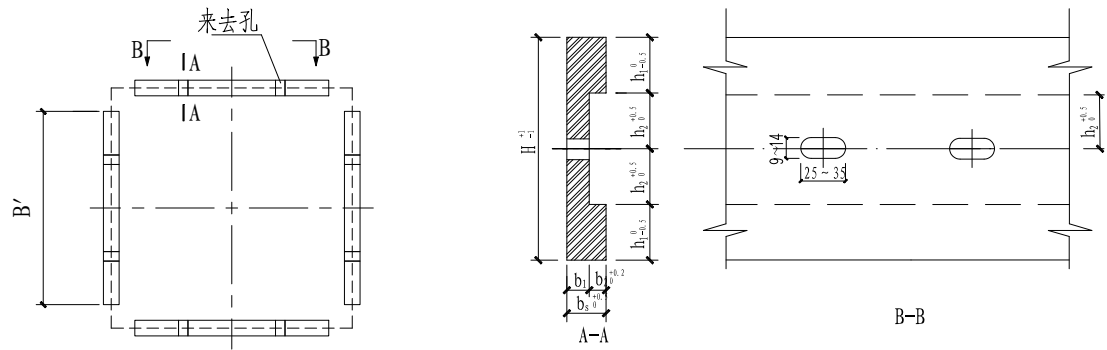


图 D.0.3 高强空心方桩用连接卡结构示意图

表 D.0.3 高强空心方桩用机械连接卡尺寸参数表

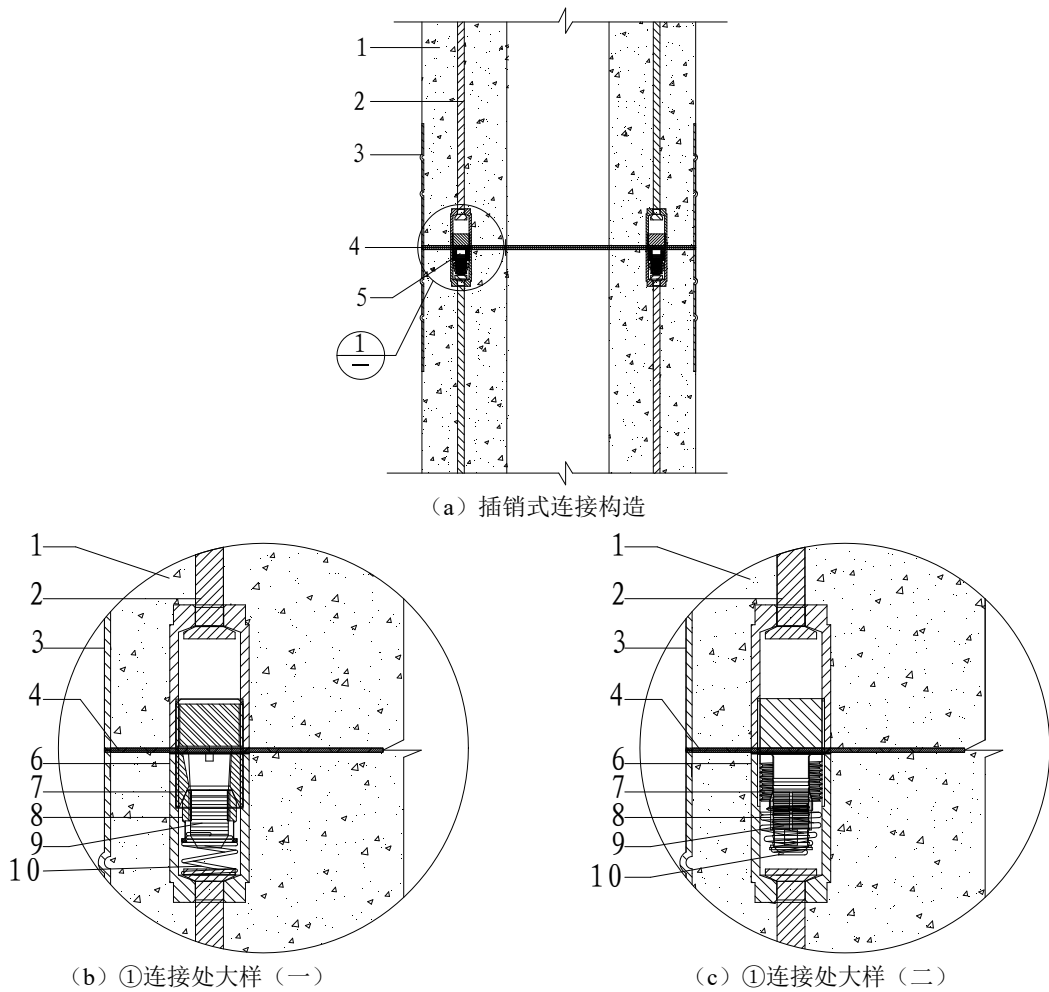
高强空心方桩边长 B (mm)	型号	B' (mm)	b_s (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	H (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
300	A、AB、 B、C	230	15	9	6	81	20.0	20.5
350	A、AB、B	280	15	9	6	81	20.0	20.5
	C	280	15	9	6	85	21.0	21.5
400	A、AB、B	330	15	9	6	81	20.0	20.5
	C	330	15	9	6	85	21.0	21.5
450	A、AB、B	380	15	9	6	81	20.0	20.5
	C	380	15	9	6	85	21.0	21.5
500	A、AB、B	430	15	9	6	81	20.0	20.5
	C	430	15	9	6	85	21.0	21.5
550	A、AB、B	480	18	11	7	81	20.0	20.5
	C	480	18	11	7	85	21.0	21.5
600	A、AB、B	530	18	11	7	81	20.0	20.5
	C	530	18	11	7	85	21.0	21.5
650	A、AB、B	530	18	11	7	81	20.0	20.5
	C	530	18	11	7	85	21.0	21.5
700	A、AB	530	23	13	10	81	20.0	20.5
	B	530	23	13	10	85	21.0	21.5
750	A、AB	680	23	13	10	81	20.0	20.5
	B	680	23	13	10	85	21.0	21.5
800	A、AB	730	23	13	10	81	20.0	20.5
	B	730	23	13	10	85	21.0	21.5
850	A、AB	880	23	13	10	81	20.0	20.5
	B	880	23	13	10	85	21.0	21.5
900	A、AB	830	23	13	10	81	20.0	20.5
	B	830	23	13	10	85	21.0	21.5
1000	A、AB	930	23	13	10	81	20.0	20.5
	B	930	23	13	10	85	21.0	21.5

D.0.4 当接桩处的端板侧边设置螺丝孔时，机械连接卡的来去孔由单层调整为双层，螺丝孔的数量和直径也应做相应的调整。

D.0.5 采用抱箍式连接-连续焊接连接接桩时，抱箍连接件应符合下列规定：

- a) 连接螺杆宜采用通长螺纹，材质性能不应低于 8.8 级；
- b) 可采用单层或双层连接螺杆，当采用单层连接螺杆时，连接螺杆设置在上下节桩的端板之间，当采用双层连接螺杆时，连接螺杆直接与端板侧边的螺丝孔连接；
- c) 应使用不少于 4 片相同的机械连接卡，连接卡的材质性能不应低于 Q235B。

D.0.6 高强空心方桩采用插销式连接进行接桩时，接桩处的连接构造见图 D.0.6。



注：1-高强空心方桩；2-预应力钢棒；3-桩套箍；4-密封材料；5-插销式连接组件；6-套筒；7-中间螺母；8-扣筒；9-插杆；10-弹簧。

图 D.0.6 插销式连接接桩构造示意图

D.0.7 采用插销式连接接桩时，插销连接件应符合下列规定：

- a) 单个插销连接组件的单向极限抗拉强度应不小于单根预应力钢棒的极限抗拉强度；
- b) 插销连接组件中的各部件的质量应符合《优质碳素结构钢》GB/T 699 的规定。

附录 E 张拉机械套筒结构及参数

E.0.1 高强空心方桩桩顶与承台通过张拉机械套筒进行连接时，可采用I型或II型张拉机械套筒，I型张拉机械套筒结构见图 E.0.1，II型张拉机械套筒结构见图 E.0.2。

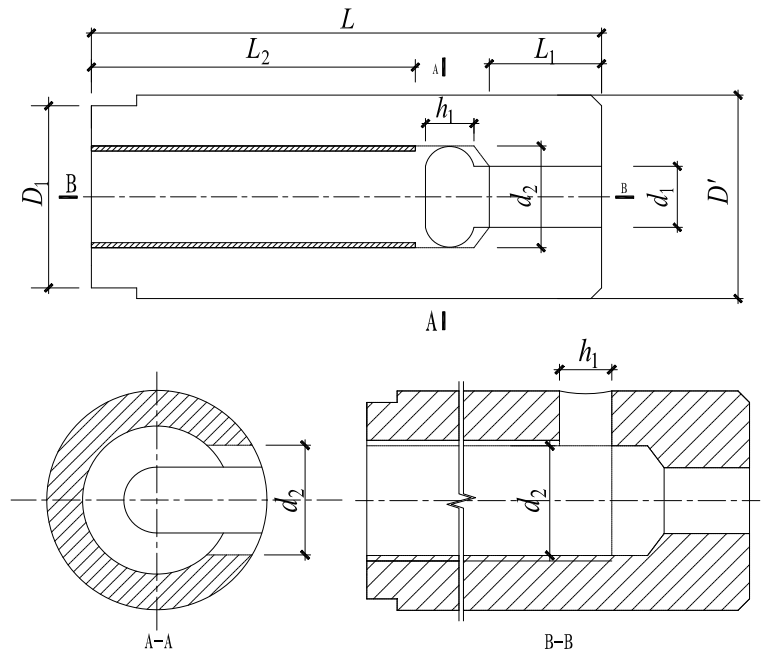


图 E.0.1 I 型张拉机械套筒结构示意图

E.0.2 张拉机械套筒结构尺寸参数见表 E.0.2。

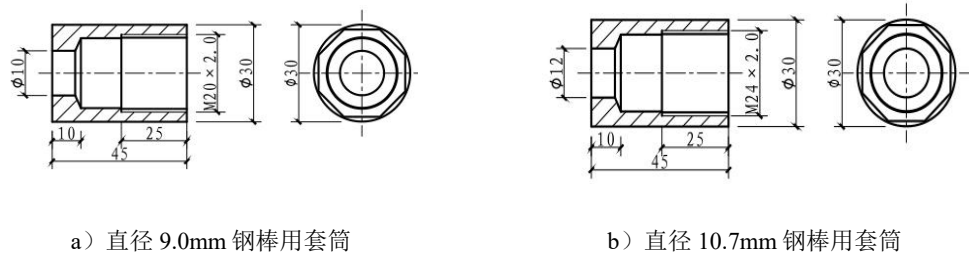
表 E.0.2 张拉机械套筒参数表

钢棒直径 (mm)	张拉机械套筒尺寸 (mm)							
	D'	D_1	d_1	d_2	h_1	L_1	L_2	L
$\phi 9.0$	40	35	11	20	11	19	30	70
$\phi 10.7$	40	35	12	20	11	19	30	70
$\phi 12.6$	45	39	14	22	14	21	30	80

注：锚固钢筋的丝牙应与张拉机械套筒的丝牙匹配。

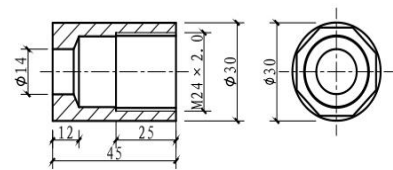
E.0.3 高强空心方桩桩顶与承台通过张拉机械套筒进行连接时，张拉机械套筒与钢板的连接可采用焊接或机械连接，钢板的厚度不宜小于 5mm。

E.0.4 II型张拉机械套筒结构详图及尺寸见图 E.0.4。



a) 直径 9.0mm 钢棒用套筒

b) 直径 10.7mm 钢棒用套筒

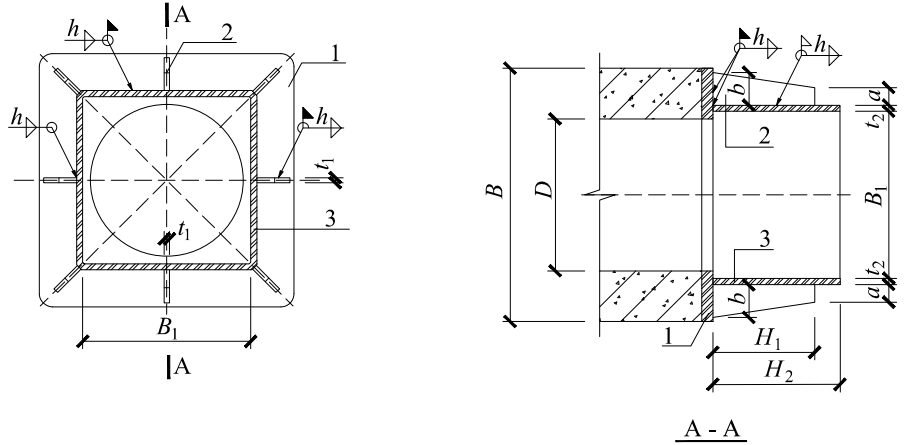


c) 直径 12.6mm 钢棒用套筒

图 E.0.4 II 型张拉机械套筒结构详图

附录 F 桩尖构造

F.0.1 开口型钢桩尖构造见图 F.0.1，具体构造参数见表 F.0.1。



注：1—端板；2—梯形导向钢板；3—方形钢板筒

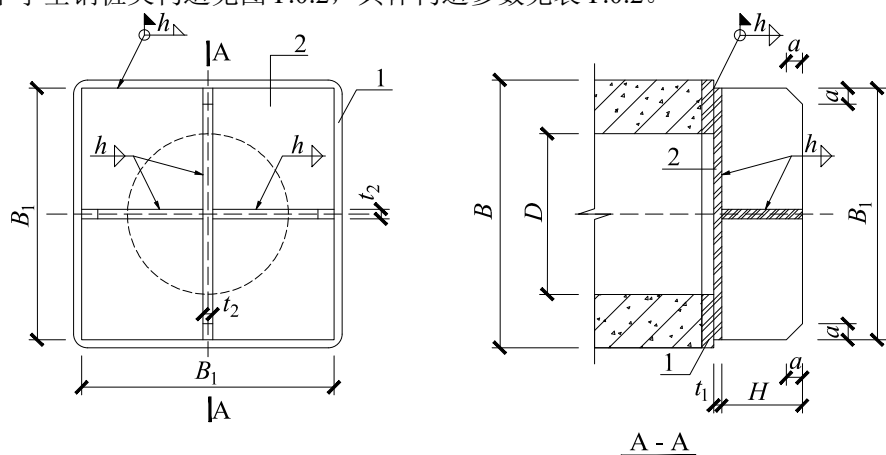
图 F.0.1 开口型钢桩尖构造示意图

表 F.0.1 开口型钢桩尖参数表 (mm)

桩边长 B	桩内径 D	B_1	H_1	H_2	t_1	t_2	a	b	h	梯形导向 钢板数量 (个)
300	140	160	100	150	10	10	25	40	6~10	4
300	170	190	100	150	10	10	25	40	6~10	4
350	170	190	100	200	10	10	25	45	6~10	4
350	190	210	100	200	10	10	25	45	6~10	4
350	210	230	100	200	10	10	25	45	6~10	4
400	200	220	100	200	10	10	30	45	6~10	4
400	240	260	100	200	10	10	30	45	6~10	4
400	260	280	100	200	10	10	30	45	6~10	4
450	220	240	100	250	12	12	30	45	8~12	4
450	250	270	100	250	12	12	30	45	8~12	4
450	300	320	100	250	12	12	30	45	8~12	4
500	240	260	200	300	12	12	35	65	8~12	8
500	280	300	200	300	12	12	35	65	8~12	8
500	310	330	200	300	12	12	35	65	8~12	8
500	310	330	200	300	12	12	35	65	8~12	8
500	350	370	200	300	12	12	35	65	8~12	8
550	310	330	200	350	12	12	35	65	8~12	8
550	350	370	200	350	12	12	35	65	8~12	8
550	400	420	200	350	12	12	35	65	8~12	8
600	360	380	300	400	12	12	40	65	8~12	8
600	400	420	300	400	12	12	40	65	8~12	8
600	450	470	300	400	12	12	40	65	8~12	8
650	350	370	300	400	14	14	40	65	10~14	8
650	420	440	300	400	14	14	40	65	10~14	8
700	440	460	350	450	16	16	45	75	10~14	8
700	500	520	350	450	16	16	45	75	10~14	8
750	450	470	350	500	16	16	45	75	10~14	8

750	510	530	350	500	16	16	45	75	10~14	8
800	500	520	400	500	18	18	50	80	16~20	12
800	560	580	400	500	18	18	50	80	16~20	12
850	550	570	450	550	18	18	50	80	16~20	12
850	610	530	450	550	18	18	50	80	16~20	12
900	600	620	450	550	18	18	50	80	16~20	12
900	660	680	450	550	18	18	50	80	16~20	12
1000	700	720	450	550	18	18	50	80	16~20	12
1000	760	780	450	550	18	18	50	80	16~20	12

F.0.2 十字型钢桩尖构造见图 F.0.2，具体构造参数见表 F.0.2。



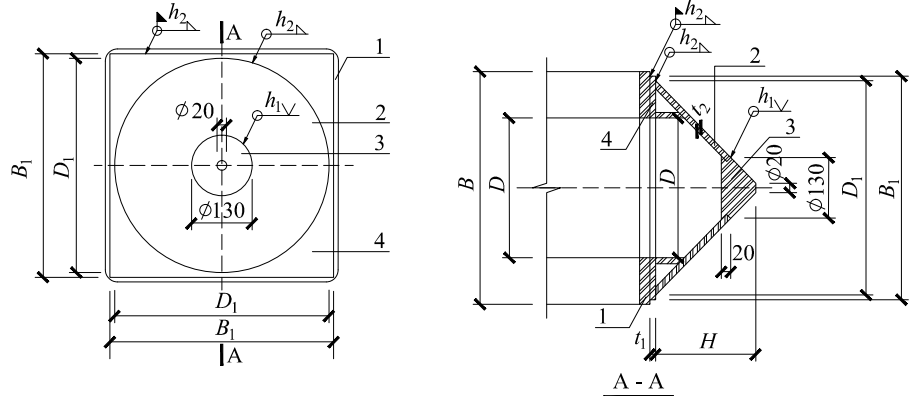
注：1—端板；2—方形钢板

图 F.0.2 十字型钢桩尖构造示意图

表 F.0.2 十字型钢桩尖参数表 (mm)

桩边长 B	B_1	H	t_1	t_2	a	h
300	270	125~140	12	18	25	10
350	320	125~140	12	18	25	10
400	370	125~150	12	18	30	10
450	420	125~150	12	18	30	10
500	470	125~150	15	18	30	12
550	520	125~150	15	18	30	12
600	570	125~150	15	18	30	12
650	620	125~150	15	18	30	12
700	670	125~150	18	18	30	14
750	720	125~150	18	18	30	14
800	870	150~175	20	20	30	16
850	820	150~175	20	20	30	16
900	870	150~175	20	20	30	16
1000	970	150~175	20	20	30	16

F.0.3 圆锥型钢桩尖构造见图 F.0.3，具体构造参数见表 F.0.3。



柱：1—端板；2—锥型钢板；3—钢尖头；4—带孔方钢板

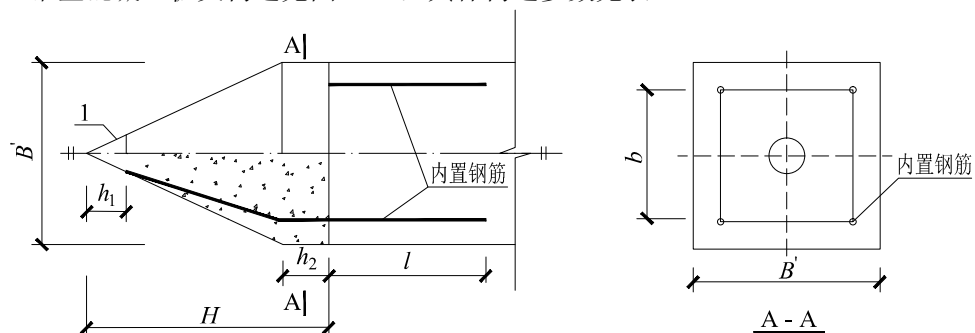
图 F.0.3 圆锥型钢桩尖构造示意图

表 F.0.3 圆锥型钢桩尖参数表 (mm)

桩边长 B	桩内径 D	B_1	D_1	H	t_1	t_2	h_1	h_2
300	140	280	260	120~200	10~16	10~16	≥ 8	≥ 8
300	170	280	260	120~200	10~16	10~16	≥ 8	≥ 8
350	170	330	310	140~200	10~18	10~18	≥ 10	≥ 10
350	190	330	310	140~200	10~18	10~18	≥ 10	≥ 10
350	210	330	310	140~200	10~18	10~18	≥ 10	≥ 10
400	200	380	360	170~250	10~18	10~18	≥ 10	≥ 10
400	240	380	360	170~250	10~18	10~18	≥ 10	≥ 10
400	260	380	360	170~250	10~18	10~18	≥ 10	≥ 10
450	220	430	410	190~270	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
450	250	430	410	190~270	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
450	300	430	410	190~270	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
500	240	480	460	220~300	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
500	280	480	460	220~300	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
500	310	480	460	220~300	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
500	310	480	460	220~300	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
500	350	480	460	220~300	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
550	310	530	510	240~320	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
550	350	530	510	240~320	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
550	400	530	510	240~320	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
600	360	580	560	270~350	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
600	400	580	560	270~350	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
600	450	580	560	270~350	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
650	350	630	610	290~370	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
650	420	630	610	290~370	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
700	440	680	660	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
700	500	680	660	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
750	450	730	710	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
750	510	730	710	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
800	500	780	760	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
800	560	780	760	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
850	550	830	810	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
850	610	830	810	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
900	600	880	860	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12

900	660	880	860	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
1000	700	980	960	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12
1000	760	980	960	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12

F.0.4 锥型混凝土桩尖构造见图 F.0.4，具体构造参数见表 F.0.4。



注：1—钢桩尖头

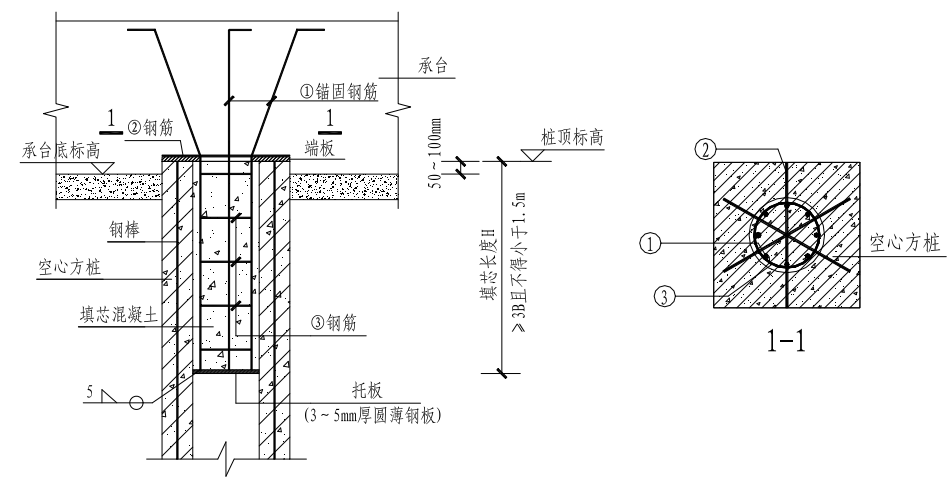
图 F.0.4 锥型混凝土桩尖构造示意图

表 F.0.4 锥型混凝土桩尖参数表 (mm)

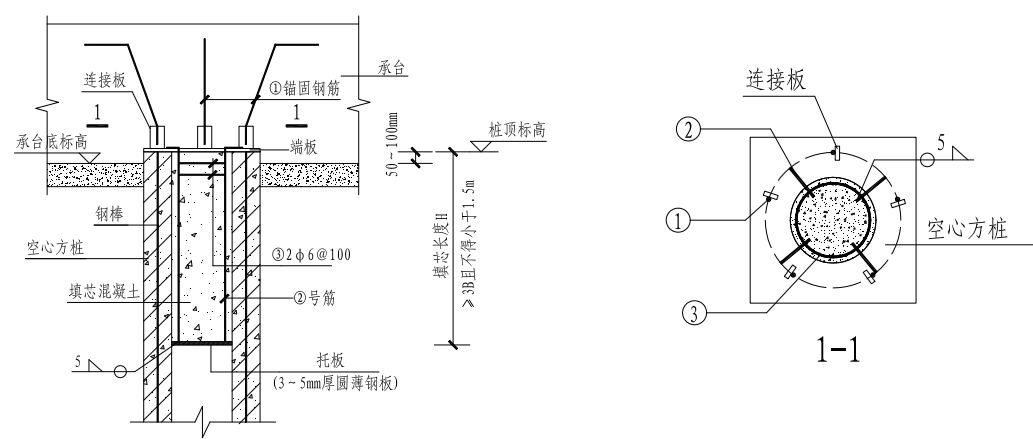
桩边长 B	端板边长 B'	l	H	h_1	h_2	b
300	297	≥ 500	≥ 450	≥ 140	120	180
350	347	≥ 500	≥ 450	≥ 140	120	227
400	397	≥ 500	≥ 550	≥ 140	120	277
450	447	≥ 500	≥ 550	≥ 140	120	327
500	497	≥ 500	≥ 650	≥ 140	120	377
550	547	≥ 500	≥ 650	≥ 140	120	427
600	597	≥ 500	≥ 750	≥ 140	120	477
650	647	≥ 500	≥ 750	≥ 140	120	527
700	697	≥ 500	≥ 850	≥ 140	120	577
750	747	≥ 500	≥ 850	≥ 140	120	627
800	797	≥ 500	≥ 950	≥ 140	120	677
850	847	≥ 500	≥ 950	≥ 140	120	727
900	897	≥ 500	≥ 1050	≥ 140	120	777
1000	997	≥ 500	≥ 1150	≥ 140	120	827

附录 G 桩顶与承台连接构造

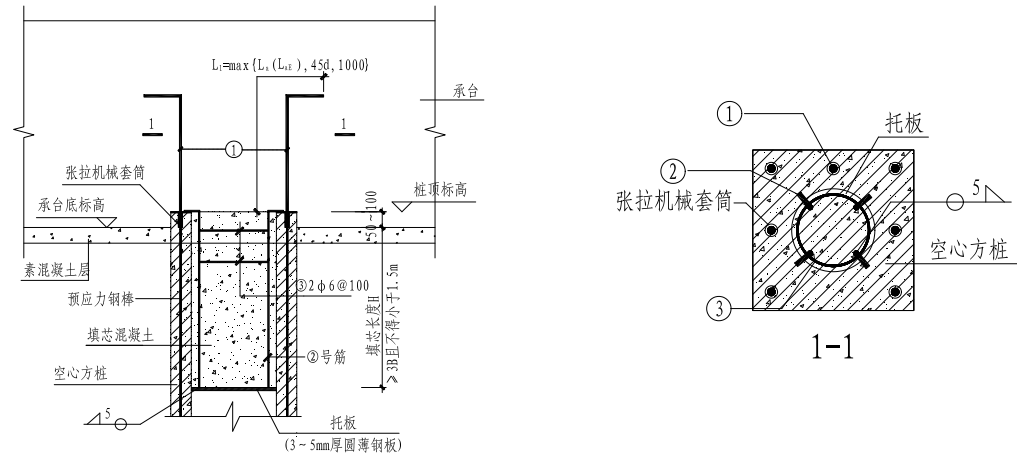
G.0.1 当高强空心方桩用作承压桩且桩顶未截桩时，桩顶与承台连接构造见图F.0.1。桩顶等于设计标高处时，可按连接构造（一）、连接构造（二）或连接构造（三）施工。桩顶低于设计标高处，可连接构造（四）施工。



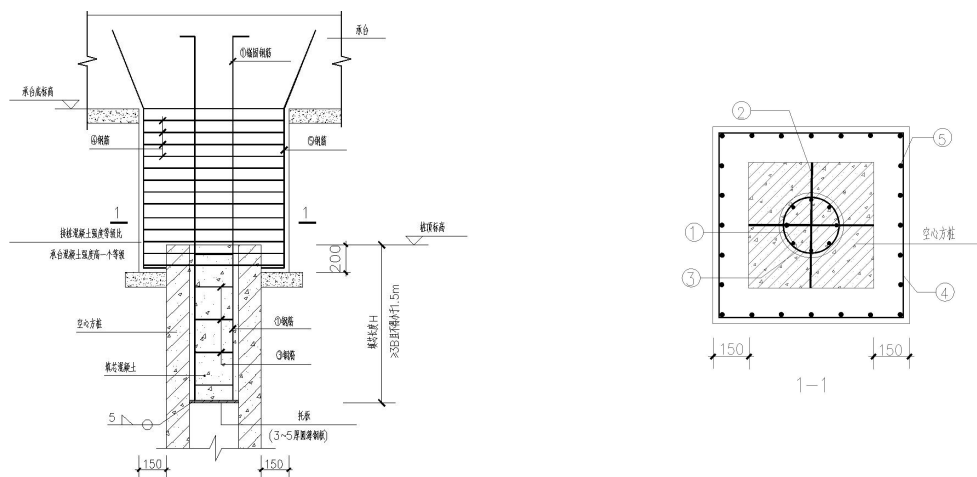
(a) 连接构造（一）



(b) 连接构造（二）



(c) 连接构造（三）



(d) 连接构造 (四)

图 G.0.1 高强空心方桩与承台连接构造示意图

G.0.2 按连接构造 (一) 施工时, 填芯混凝土配筋见表G.0.2-1; 按连接构造 (二) 和连接构造 (三) 施工时, 填芯混凝土配筋见表G.0.2-2; 连接构造 (四) 施工时, 填芯混凝土内配筋见表G.0.2-3。

表 G.0.2-1 不截桩抗压高强空心方桩填芯混凝土配筋表

高强空心方桩边长 (mm)	配筋		
	①	②	③
300	6C10	3C10	2A6@200
350	6C10	3C10	2A6@200
400	6C10	3C10	2A8@200
450	6C12	3C10	2A8@200
500	6C12	3C10	2A8@200
550	6C12	3C10	2A8@150
600	6C14	3C10	2A8@150
650	6C18	3C10	2A8@150
700	6C20	3C10	2A8@150
750	6C20	3C10	2A8@150
800	6C22	3C10	2A8@150
850	6C25	3C10	2A8@150
900	8C25	3C10	2A8@150
1000	10C25	3C10	2A8@150

表 G.0.2-2 不截桩抗压高强空心方桩填芯混凝土配筋表

高强空心方桩边长 (mm)	配筋		
	①	②	③
200	4C10	2C10	A6@200
250	4C10	2C10	A6@200
300	6C10	3C10	A6@200
350	6C10	3C10	A6@200
400	6C10	3C10	A8@200
450	6C12	3C10	A8@200
500	6C12	3C10	A8@200
550	6C12	3C10	A8@150
600	6C14	3C10	A8@150
650	6C18	3C10	A8@150
700	6C20	3C10	A8@150
750	6C20	3C10	A8@150
800	6C22	3C10	A8@150
850	6C25	3C10	A8@150
900	8C25	3C10	A8@150
1000	10C25	3C10	A8@150

表 G.0.2-3 接桩抗压高强空心方桩填芯混凝土配筋表

高强空心方桩 边长 (mm)	配筋				
	①抗压	②	③	④	⑤
200	4C10	2C10	A6@200	A6@100	8C12
250	4C10	2C10	A6@200	A6@100	8C12
300	6C10	3C10	A6@200	A6@100	12C12
350	6C10	3C10	A6@200	A6@100	12C12
400	6C10	3C10	A8@200	A8@100	16C12
450	6C12	3C10	A8@200	A8@100	20C12
500	6C12	3C10	A8@200	A8@100	20C12
550	6C12	3C10	A8@150	A10@100	20C14
600	6C14	3C10	A8@150	A10@100	20C14
650	6C18	3C10	A8@150	A10@100	20C16
700	6C20	3C10	A8@150	A10@100	20C16
750	6C20	3C10	A8@150	A10@100	20C18
800	6C22	3C10	A8@150	A10@100	20C18
850	6C25	3C10	A8@150	A10@100	20C20
900	8C25	3C10	A8@150	A10@100	20C22
1000	10C25	3C10	A8@150	A10@100	20C25

G.0.3 当高强空心方桩用作承压桩且桩顶已截桩时，桩顶与承台连接构造见图G.0.3。按图G.0.3的构造施工时，填芯混凝土配筋见表G.0.3。

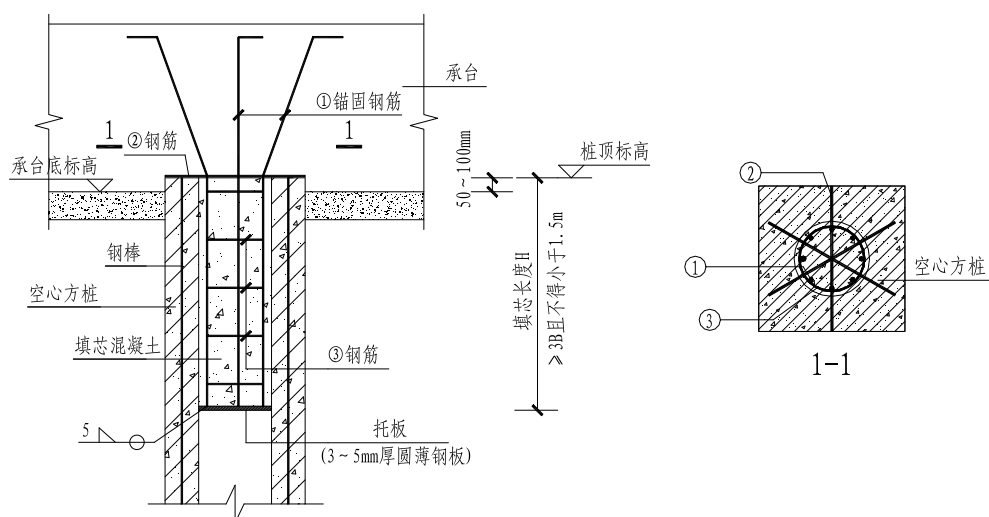
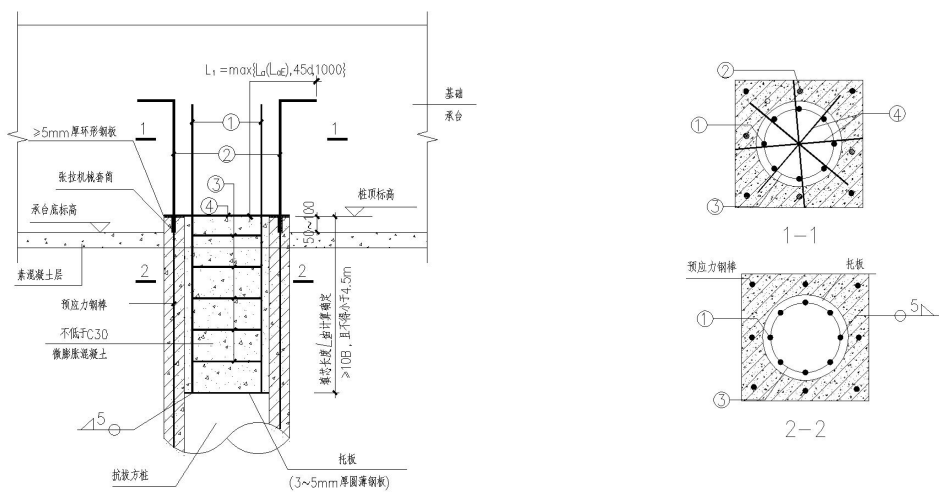


图 G.0.3 截桩高强空心方桩与承台连接构造示意图

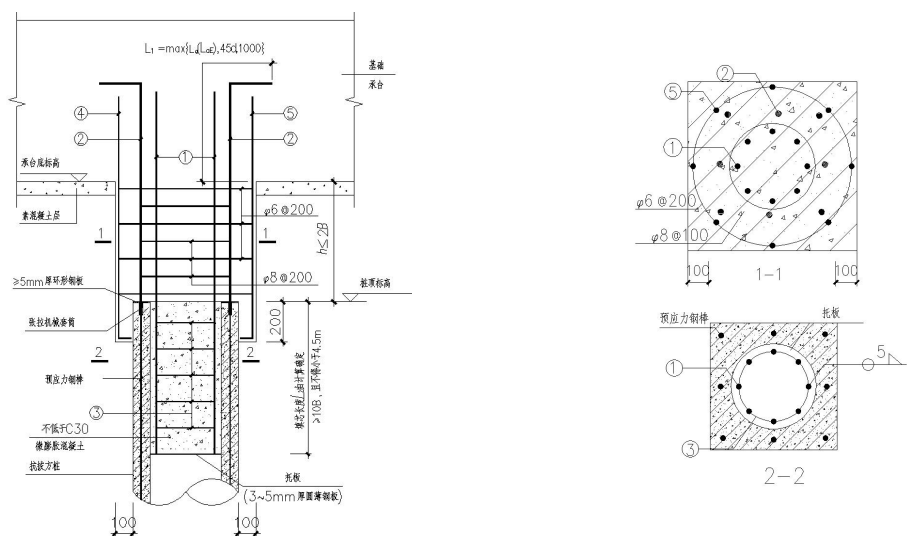
表 G.0.3 截桩抗压高强空心方桩填芯混凝土配筋表

高强空心方桩边长 (mm)	配筋		
	①抗压	②	③
200	4C10	2C10	A6@200
250	4C10	2C10	A6@200
300	6C10	3C10	A6@200
350	6C10	3C10	A6@200
400	6C10	3C10	A8@200
450	6C12	3C10	A8@200
500	6C12	3C10	A8@200
550	6C12	3C10	A8@150
600	6C14	3C10	A8@150
650	6C18	3C10	A8@150
700	6C20	3C10	A8@150
750	6C20	3C10	A8@150
800	6C22	3C10	A8@150
850	6C25	3C10	A8@150
900	8C25	3C10	A8@150
1000	10C25	3C10	A8@150

G.0.4 当高强空心方桩用作抗拔桩且未截桩时，桩顶与承台连接构造见图G.0.4。桩顶等于设计标高处时，可按连接构造（一）施工。桩顶低于设计标高处时，可连接构造（二）施工。



(a) 连接构造 (一)



(b) 连接构造 (二)

G.0.5 按图 G.0.4 的连接构造施工时, 除符合本规程的相关规定外, 尚应符合下列规定:

- (1) ①号钢筋均应沿周围均匀分布, 并与托板焊牢, ②号钢筋均应攻丝后再与张拉机械套筒连接;
- (2) 预埋张拉套筒结构及参数见附录 E, 也可由设计人员根据设计需要另行确定。
- (3) 桩顶与承台锚固钢筋可按表 G.0.5 选用。

表 G.0.5 抗拔空心方桩顶与承台锚固钢筋参数表

抗拔空心方桩边长 (mm)	内径 (mm)	型号	预应力钢筋数量及直径	填芯内主筋	②锚固筋	③箍筋	预埋张拉机械套筒		④桩顶水平架立筋	⑤接桩架立筋
				①钢筋			数量	长度		
350	190	AB	12A9.0	4C16	12C18	A6@200	12	60	2C8	C12@250
		B	12A10.7	4C16	12C20	A6@200	12	70	2C8	C12@250
		C	12A12.6	4C16	12C20	A6@200	12	80	2C8	C12@250
400	240/220	AB	12A9.0	6C16	12C18	A6@200	12	60	3C10	C12@200
		B	12A10.7	6C16	12C20	A6@200	12	70	3C10	C12@200

抗拔空心方桩边长 (mm)	内径 (mm)	型号	预应力钢筋数量及直径	填芯内主筋	②锚固筋	③箍筋	预埋张拉机械套筒		④桩顶水平架立筋	⑤接桩架立筋
				①钢筋			数量	长度		
		C	12A12.6	6C16	12C20	A6@200	12	80	3C10	C12@200
450	250	AB	12A10.7	6C16	12C20	A6@200	12	70	3C10	C12@200
		B	12A12.6	6C16	12C22	A6@200	12	80	3C10	C12@200
		C	16A12.6	6C16	16C22	A6@200	12	80	3C10	C12@200
500	310	AB	12A10.7	6C18	12C20	A8@200	12	70	3C10	C12@200
		B	12A12.6	6C18	12C22	A8@200	12	80	3C10	C12@200
		C	16A12.6	6C18	16C22	A8@200	16	80	3C10	C12@200
550	350	AB	16A10.7	6C18	16C20	A8@200	16	70	3C12	C12@200
		B	16A12.6	6C18	16C22	A8@200	16	80	3C12	C12@200
		C	20A12.6	6C18	20C22	A8@200	20	80	3C12	C12@200
600	400	AB	20A10.7	6C18	20C20	A8@150	20	70	3C12	C12@200
		B	20A12.6	6C18	20C20	A8@150	20	80	3C12	C12@200
		C	24A12.6	6C18	24C22	A8@150	20	80	3C12	C12@200

G.0.6 截桩后的空心抗拔桩桩顶与承台连接构造见图 G.0.6。

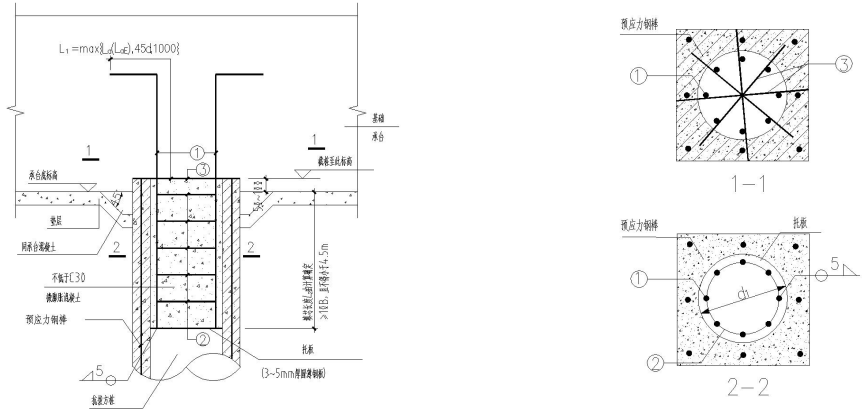


图 G.0.6 空心抗拔桩桩顶（截桩）与承台连接构造示意图

G.0.7 按图 G.0.6 施工时，除符合本规程的相关规定外，尚应符合下列规定。

- (1) 截桩后的单桩抗拔力全部由填芯混凝土内钢筋提供，单桩抗拔力可按式 5.2.14-1~式 5.2.14-2 计算。
- (2) 填芯混凝土主筋①号筋的数量及直径由式 5.2.14-1 和式 5.2.14-2 计算确定应沿周围均匀分布，且①号筋应与③号筋、托板焊牢，③号筋的数量宜为 2~6 根；
- (3) 填芯混凝土箍筋②号筋的设置宜符合表 F.0.2 的规定：

表 G.0.7 抗拔空心方桩填芯混凝土箍筋规格表

边长 (mm)	350	400	450	500	550	600
箍筋直径及间距	A6@120	A6@120	A6@100	A8@100	A8@100	A8@100

附录 H 锤击法沉桩锤重选择参考表

H.0.1 柴油锤可按表 H.0.1 选型。

表 H.0.1 柴油锤选择参考表

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	1.8~2.5	2.0~3.4
适用高强空心方桩规格	200~250	300~350	350~400	400~500	500~600	>600
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 ($N' > 70$)	强风化岩 ($N' > 70$)	强风化岩 ($N' > 70$)	强风化岩 ($N' > 70$)
常用收锤贯入度 (mm/10 击)	20~40	20~50	20~50	20~50	30~60	70~120
单桩竖向承载力特征值适用范围 (kN)	400~1200	500~1500	800~2500	1600~3200	1800~4500	>3700

H.0.2 常用液压锤可按表 H.0.2 选型。

表 H.0.2 常用液压锤主要技术参数

液压锤型号	6"~8"	10"~14"	14"~16"	16~20"	20~25"	25~30"
锤芯质量 (t)	6、8	10、12、14	14、16	16、20	20、25	25、30
锤总重量 (t)	8.3~12.9	16.4~21	21~23.7	23.7~29.5	29.5~41.5	41.5~46.4
最大打击能量 (KJ)	60~120	150~210	210~240	240~300	300~375	375~450
适用高强空心方桩规格	200~250	300~400	400~500	500~600	600~700	700~1000
单桩竖向承载力特征值适用范围 (KN)	500~1500	800~1800	1600~2600	1800~3500	2600~5500	5000~7500
桩尖可进入的岩土层	密实砂层、坚硬土层强风化岩	强风化岩 ($N > 70$)	强风化岩 ($N > 70$)	强风化岩 ($N > 70$)	强风化岩 ($N > 70$)	强风化岩 ($N > 70$)
常用收锤贯入度 (mm/10 击)	20-40	20-40	20-50	30-60	30-60	30-60

注：本表仅供选锤参考，不能作为设计确定贯入度和承载力的依据，桩锤应根据工程地质情况综合考虑，选用时应遵循“重锤低击”的原则。

附录 I 锤击法沉桩施工记录表

表 I 锤击法沉桩施工记录表

施工单位：

第 页

工程名称				工程地址				打桩顺序号															
高强空心方桩边长	mm	高强空心方桩内径	mm	质量等级				接头形式															
桩位编号		桩尖形式		桩机型号				桩锤类型															
锤击记录																							
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																					总锤击数		
收锤及验收记录																							
收锤时间	月 日 时			锤规格落距				最后贯入度		mm/10 击		mm/10 击		mm/10 击									
配桩长度	m	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											
												填表日期		年 月 日									
记录员				班组长				工地负责人				监理代表											

附录 J 静压法沉桩设备选择参考表

J.0.1 静压桩机技术参数可按表 J.0.1 取值。

表 J.0.1 静压桩机技术参数表

压桩机型号 (吨位)		160~180	240~280	300~380	400~460	500~600	800~1000	1200~1400
项目								
最大压桩力 (kN)		1600~1800	2400~2800	3000~3800	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

J.0.2 静压桩机适用范围参数可按表 J.0.2 取值。

表 J.0.2 静压桩机适用范围参数表

压桩机型号 (吨位)		160~180	240~280	300~380	400~460	500~600	800~1000	1200~1400
项目								
适用 方桩 规格	最小边长 (mm)	200	200	250	250	300	300	350
	最大边长 (mm)	400	500	500	550	600	700	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 本表仅供参考，不作为设计确定承载力的依据；

2 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。

附录 K 静压法沉桩施工记录表

表 K 静压法沉桩施工记录表

工程名称： 施工单位： 桩顶设计标高： 生产厂家：

建设单位： 桩型及规格： 自然地面标高： 设计承载力特征值： 第 页

承包单位： 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)	液 压 值 (MPa)		长 度 (m)	液 压 值 (MPa)		长 度 (m)	液 压 值 (MPa)		长 度 (m)	液 压 值 (MPa)		深 度 (m)	油 压 值 (MPa)				
				桩 下 端	桩 中 间		桩 下 端	桩 下 端		桩 中 间	桩 下 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

附录 L 植入法沉桩施工记录表

表 L 植入法沉桩施工记录表

工程名称：
建设单位：
施工日期：

施工单位：
总包单位：
桩 号：

桩型及规格		设计承载力特征值 (kN)		配桩				
钻孔深度		实际钻孔深度		自然地面标高				
钻孔直径		扩孔部分直径		扩孔部分高度				
桩顶设计标高		桩顶实际标高		±0.000				
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								
专业监理工程师： 年 月 日			专业质量检查员： 年 月 日			记录： 年 月 日		

引用标准名录

1. 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
2. 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003
3. 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
4. 《混凝土结构设计规范》GB 50010
5. 《建筑抗震设计规范》GB 50011
6. 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046
7. 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
8. 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
9. 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
10. 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
11. 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
12. 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
13. 《混凝土质量控制标准》GB 50164
14. 《优质碳素结构钢》GB/T 699
15. 《合金结构钢》GB/T 3077
16. 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
17. 《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3
18. 《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110
19. 《双酚-A 型环氧树脂》GB/T 13657
20. 《建设用砂》GB/T 14684
21. 《建设用卵石、碎石》GB/T 14685
22. 《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2
23. 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
24. 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736
25. 《免压蒸管桩硅酸盐水泥》GB/T 34189
26. 《碳素结构钢》GB/T 700
27. 《低碳钢热轧圆盘条》GB/T 701
28. 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
29. 《建筑地基基础检测规程》DB32/T 3916
30. 《预应力混凝土高强空心方桩基础技术规程》DB32/T 4285
31. 《冷拔低碳钢丝应用技术规程》JGJ 19
32. 《混凝土用水标准》JGJ63
33. 《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81
34. 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107

- 35. 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 36. 《钢筋机械连接用套筒》 JG/T 163
- 37. 《建筑工程抗浮技术标准》 JG/T 476
- 38. 《先张法预应力混凝土离心方桩钢模》 JC/T 2225
- 39. 《混凝土制品用脱模剂》 JC/T 949
- 40. 《预应力高强混凝土管桩用硅砂粉》 JC/T 950
- 41. 《预应力混凝土用钢棒镦头机》 JC/T 966
- 42. 《预应力离心混凝土高强空心方桩用端板》 JC/T 2239
- 43. 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 44. 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 45. 《预应力离心混凝土高强空心方桩》 2013 浙 G35

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

正面词采用“可”；

反面词采用“不可”。

2 本规程条文中指明应按其他有关标准、规范执行的，写法为“应按……执行”（或采用）或“应符合……规定（或要求）”。非必须按指定的标准、规范执行时，写法为“可参照……”。

团体标准

预应力高强混凝土高强空心方桩 技术规程

T/ZJXXXX XX-2024

条文说明

目 次

1	总 则	87
3	基本规定	88
4	原材料、分类及制作	89
4.1	原材料	89
4.2	分 类	89
4.3	制 作	错误！未定义书签。
5	设 计	90
5.1	一般规定	90
5.2	计 算	91
5.3	复合地基	94
5.4	构造要求	95
5.5	耐久性规定	98
6	施 工	99
6.1	一般规定	99
6.2	起吊、搬运与堆放	99
6.3	接桩与截桩	100
6.4	锤击法沉桩	100
6.5	静压法沉桩	101
7	检验和验收	102
7.1	一般规定	102
7.2	施工前检验	102
7.3	施工过程检验	错误！未定义书签。
7.4	施工后检验	102

1 总 则

1.0.1 近年来随着新工艺装备的出现以及绿色发展理念的普及，高强空心方桩行业的进步不断加快，我省在高强空心方桩产量和生产企业数量上都是名列全国前茅。为开拓高强空心方桩的应用领域，近年来在高强空心方桩新技术方面取得一定进展：

（1）施工机械和植入工法技术的发展，解决了高强空心方桩在复杂地质条件下的沉桩问题；

（2）高强空心方桩混凝土强度等级提升至 C105 及以上，可大幅度提高单桩承载力，按桩身强度作为桩身承载力时，可替换更大尺寸的高强空心方桩，有效减少桩的数量和承台面积，降低桩基础工程造价，使高强空心方桩在桩基础工程中更具明显优势；

（3）混凝土材料的发展，解决了高强空心方桩在中、强腐蚀性环境下的应用和超过 50 年工作年限的建（构）筑物基础的耐久性难题等。

本规程在现行浙江省地方图集《预应力离心混凝土高强空心方桩》2013 浙 G35 的基础上，吸收近年来的工程实践和技术创新成果，加以总结和提升，增加的新产品、新技术、新工法均有可靠的检测依据和成功工程案例支撑，以达到传承与创新结合的目的。当考虑预应力高强混凝土高强空心方桩的碳排放量计算时，碳排放量的计算应符合现行相关标准的规定。

1.0.2 本规程适用于工程建设领域采用的高强空心方桩，除应符合本规程的相关规定外，尚应符合国家及浙江省地方有关现行标准的规定

1.0.3 设计人员选用高强空心方桩时，首先应考虑拟建场地的地质条件，包括工程地质及水文地质条件等，周边环境条件，考虑沉桩的可行性及承载力要求，确定是否合适采用。应根据场地土层分布选择合适的桩基持力层，根据上部结构形式等合理选择高强空心方桩桩型、沉桩工艺，尽量做到优化布桩，节约工程造价，减小施工对周边环境的影响。能否充分发挥高强空心方桩的技术优势，取决于施工质量是否能够达到要求，加强高强空心方桩的施工质量控制和管理，是保证高强空心方桩实现预定功能的关键因素。

1.0.4 预应力混凝土高强空心方桩是基桩的一种形式，涉及到高强空心方桩的勘察、设计、施工、检测和验收等共性问题时，本规程未作规定的，各工程建设领域应按照相应的现行国家、行业及浙江省有关标准的规定执行。

3 基本规定

3.0.1 浙江省是使用和研发推广高强空心方桩的大省，在高强空心方桩的研发、设计、制作和施工方面积累了丰富的经验，但使用中也出现了一些问题，如：在软土地基的基坑开挖过程中，由于施工开挖方法不正确，导致工程桩倾斜、折断。本规程建议设计人员应结合工程类型、结构特点、荷载特征、穿越地层及持力层性质、地下水位、施工设备（如锤击、静压、植桩等施工设备）、施工环境条件和施工经验等因素综合分析后选用高强空心方桩桩型与成桩工艺。根据不同的工程情况尚应关注高强空心方桩连接部分的设计应满足桩身的承载力和变形要求。

3.0.2 在抗震设防区设计高强空心方桩时，需要考虑多个因素，包括区域、地质条件、场地类别、土层特性、桩长和边长等，应满足一定的强度和刚度要求，以确保其在地震时能够有效地分担结构荷载并保持稳定性，从而提高建（构）筑物的抗震性能。当高强空心方桩受水平力较大或用于主要承受水平荷载时，应进行水平承载力的验算后方可使用，建议增加高强空心方桩壁厚或配筋，以提高桩身的抗弯承载力及延性。

3.0.3 高强空心方桩在使用过程中如面临着环境腐蚀等问题，其桩身混凝土应具备足够的耐久性，尤其是在中、强腐蚀环境下，应采取适当的防腐保护措施，以延长其使用寿命。耐久性设计应该考虑桩基结构预计的工作年限。根据项目需求和预期使用寿命，选择合适的设计参数和材料，以确保桩基结构在设计寿命内能够满足要求的性能和安全性。桩身及接头防腐可根据《工业建筑防腐蚀设计规范》GB/T 50046 的相关规定，根据不同环境类别的腐蚀风险，考虑水质、土壤特性、化学物质的存在等因素，评估腐蚀对结构耐久性的潜在影响，根据评估结果，选择合适的材料和防护措施，以保障高强空心方桩的长期使用性能和安全性。

4 原材料、分类及制作

4.1 原材料

4.1.1~4.1.2 由于高强空心方桩桩身混凝土强度等级不低于 C80，因而对于制作高强空心方桩所采用的水泥品质及其强度等级均有较高要求。混凝土所采用的砂、石要求洁净度高，级配良好，氯离子及硫化物含量均有严格限制。

4.1.6 用于有防腐及特殊要求的高强空心方桩，高强空心方桩用混凝土应添加相应的防腐掺合料，使其具备防腐性能，对钢筋进行有效的保护。另外还可以通过增加钢筋的混凝土保护层厚度来提升高强空心方桩的防腐性能。

4.1.7 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，并通过编制组试验验证后综合确定。

4.1.11 端板宜优先采用高强材质制作，且端板材质性能不应低于 Q235B，其质量应符合现行行业标准《预应力离心混凝土高强空心方桩用端板》JC/T 2239 和现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的规定，端板应采用整板制作，严禁采用拼缝焊接钢板和铸造工艺生产的端板。

4.1.12 桩端设置套箍可以有效保证桩端混凝土成型的质量，提高桩身的耐打性，建议生产高强空心方桩时桩端设置套箍。

4.2 分 类

4.2.3 根据高强空心方桩形状与强度进行分类，主要体现在等截面与变截面，高强与超高强之分，用于不同地质条件提供更多选择。

免蒸汽养护工艺是指预制混凝土制品在养护过程中不需要蒸汽养护，成型后在养护池内放置一定时间（根据效率及强度发展情况而定）后脱模，然后在堆场自然养护（3~7d）即可达到制品出厂性能要求的一种生产养护工艺。近些年，行业技术人员尝试改进功能型外加剂、选用高性能掺合料等方式，均达到了免蒸汽养护工艺的效果，并取得了一定的成果。该工艺可以大幅降低高强空心方桩生产过程中的能耗，且制备的高强空心方桩的性能满足现行标准的要求，符合国家节能减排要求，具有非常广泛的应用前景。

4.2.2 ~ 4.2.3 为便于使用和管理，相邻尺寸的高强空心方桩的边长差值建议为 50mm。对于不满足保护层厚度要求的高强空心方桩规格，如边长 300mm 及以下规格，仅适用于地基处理及临时性设施。根据工程的实际需求，可对现有高强空心方桩的型号、配筋、壁厚等进行调整，其桩身力学性能计算应符合现行标准的相关规定。高强空心方桩的配筋形式可采用沿桩身截面呈方形布置。当呈方形布筋时，其筋数为 4 的倍数，增加主筋数量时至少为 4 根，很难精准控制其桩身有效预压应力值偏差控制在-5%内，为提高高强空心方桩的经济性，对各

个型号的桩身混凝土有效预应力值进行了范围规定，由于桩边长差距较大，各型号预压应力有小范围交叉，具体可根据配筋情况进行相关计算确定。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.2 高强空心方桩基础正常使用极限状态设计计算按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定执行。桩身、承台结构承载力极限状态的抗力仍采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中规定的材料强度设计值，作用效应采用现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 规定的荷载效应基本组合设计值计算确定。

5.1.3 设计人员在选用高强空心方桩时，应结合工程地质情况、建（构）筑物结构类型、荷载性质、桩的使用功能、沉桩设备（静压、锤击）、施工工法、施工条件、施工经验等综合分析后选用。在中强腐蚀环境下应用高强空心方桩时，为防止桩在起吊、运输和施工中开裂而影响后期的使用，宜选择 AB 型及以上的高强空心方桩，且桩身合缝和端头不得有漏浆。对于长边比作出规定，目的是保证是成桩质量，植桩法沉桩阻力及横向挠度小，长边比可按外芯计算。

5.1.4 桩基础的布置是高强空心方桩基础概念设计的主要内涵，是合理设计、优化设计的主要环节。高强空心方桩基桩最小中心距的规定基于两个因素：一是有效发挥桩的承载力。群桩试验表明对于非挤土高强空心方桩，桩距为 3B~4B 时，侧阻和端阻的群桩效应系数接近于 1，但桩基的变形因群桩效应而增大，即桩基的竖向支承刚度因桩土相互作用而降低。二是为减小挤土导致的负面效应，在饱和黏性土和密实土层条件下，挤土桩桩距应适当加大；考虑高强空心方桩基础受力体系的最优平衡状态，群桩承载力合力点宜与竖向永久荷载合力作用点重合，以减少荷载偏心的不利影响。当桩基受水平力作用时，应使基桩受水平力和力矩较大方向有较大的抗弯截面模量，以增强桩基的水平承载力，减小桩基的倾斜变形；软弱黏性土层使用高强空心方桩时，桩端需进入非软弱黏性土层一定深度，承台周边土层须按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 要求进行处理；地基上大面积布桩时，应采用引孔或应力释放孔等措施消减孔隙水压力或挤土效应，并控制布桩密度、沉桩速度和顺序。

5.1.6 桩端持力层是影响高强空心方桩基础承载力的关键因素，不仅制约桩端阻力，而且影响桩侧阻力的发挥，因此，选择硬土层作为桩端持力层至关重要。同时，应确保桩端进入持力层达到一定的深度，以有效发挥其承载力，在沉桩过程中对压桩力和设计桩长宜进行双控。本条对桩端进行持力层的深度与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定协调。

5.2 桩基计算

5.2.2 各式是桩基础设计中沿用已久的单桩桩顶作用力的计算公式，作了三点假定：

(1) 承台是绝对刚性，即受弯矩作用时呈平面转动，不产生挠曲；

(2) 桩与承台为铰接，只传递轴力和水平力，不传递弯矩；

(3) 同一承台中各桩的刚度（竖向或水平）相等。这样，大大简化了计算。群桩中单桩桩顶竖向力采用了正常使用极限状态标准组合下的竖向力，承台及承台上土自重采用标准值，其意义在于以荷载标准组合确定桩数，与天然地基确定基础尺寸的原则相一致。

5.2.3~5.2.4 主要承受竖向荷载的抗震设防区低承台高强空心方桩基础，应同时满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定，即可不进行桩基础抗震承载力验算的建（构）筑物，以及建筑场地位于建筑抗震的有利地段，其地震效应对高强空心方桩的影响较小，计算桩顶作用效应时，可不考虑地震作用。浙江省行政区域全部位于抗震设防区内，设计人员也可综合上部结构和场地条件，考虑地震作用对基桩的影响。

5.2.5~5.2.8 高强空心方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。其次是根据土的物理力学指标与承载力参数之间的经验关系计算单桩竖向极限承载力，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，现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 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，得到包括预制桩桩型的 q_{sik} 、 q_{pk} 经验值。在工程设计前期缺乏资料时，可以参照行标给出的表取值，进行预制桩承载力的估算。

以上预制桩承载力计算过程中的参数取值与施工方式直接相关，取值方法适用于预制桩沉桩采用传统的锤击、振动和静压法。随着预制桩植入工法应用越来越多，其结构形式、受力特征、参数取值和承载力计算方法与传统锤击、振动和静压有较大不同。

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计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。对于桩身强度，相对锤击、静压工法施工预制桩，沉桩过程中预制桩主要依靠自重植入预成孔中，对桩身无损伤且桩身垂直度偏差小，故考虑提高成桩工艺系数，按 0.85~0.9 进行取值。该方法已有大量实测试验数据作为依据。搅拌植桩竖向承载力试验值与估算值对比见表 5-1。

表 5-1 搅拌植桩竖向承载力试验值与估算值对比数据

项目名称	外芯直径 (mm)	芯桩桩材 (mm)	等芯桩 桩长 (m)	持力层	极限抗压承载力估算值 /抗拔 (kN)	极限抗压承载力实测值 /抗拔 (kN)	沉降量 (mm)	极限承载力取值/ 极限承载力估算值
宁南贸易物流地块	700	UHC500B100	37	中风化泥质粉砂岩	6900/2000	7100/2100	12.75	1.02/1.05
台州名强机电设备厂（零地技改）	700	UHC500AB100	60	黏土	4900	4900	35.69	1.00
台州兴益机械设备有限公司（零地技改）	700	UHC500AB100	49	黏土	4200	4960	7.18	1.18
浙江信质新能源项目	700	UHC500AB100	60	粉质黏土	4400	5000	34.25	1.14
鸿翔食品冷藏有限公司项目	700	UHC500AB100	58	粉质黏土	4500	5100	33.76	1.13
台州美丽宝工贸有限公司零地技改项目	700	UHC500AB100	48	黏土	4800	5400	36.23	1.13
温岭市太平街道屏下村三产服务中心	700	UHC500AB100	55	圆砾	4400	5000	21.32	1.14

5.2.9 对高强空心方桩桩身混凝土强度的要求。由于涉及混凝土结构问题，需采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。用荷载效应基本组合计算出来的单桩竖向力设计值，应不大于高强空心方桩桩身结构竖向抗压承载力设计值。

5.2.10 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。各规范中综合折减系数 ψ_c 的取值如下表所示。

规范名	ψ_c
《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008	0.85
《建筑地基基础设计规范》GB 5007-2011	0.55~0.65

各规范关于高强空心方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，根据表中所列高强空心方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高强空心方桩应用中存在的一些问题：如部分工程预应力高强空心方桩龄期不到便开始沉桩，部分工程受土层条件（硬土或基岩）或沉桩方式的影响，导致沉桩过程中桩身混凝土受损。因此，预应力高强空心方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。考虑到高强空心方桩采用工厂化制作，桩身质量比灌注桩更有保证，并结合工程实践，对锤击、静压式施工取综合折减系数 $\psi_c=0.65$ 。对于采用植入法或中掘法施工的高强空心方桩，桩身完整性受施工因素的

影响较小，将 ψ_c 提高至 0.7~0.85。关于桩身承载力设计值和特征值的换算系数取值问题，根据《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068 的规定，本规程对于桩身结构强度允许竖向轴心受压承载力的设计值与特征值的换算系数建议取值 1.45。

5.2.13 根据高强空心方桩所处的环境类别，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。高强空心方桩桩身裂缝控制计算主要用于抗拔桩和永久支护桩。考虑高强空心方桩混凝土保护层较薄，钢筋直径小，高强空心方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，高强空心方桩桩身均不允许出现裂缝。

5.2.14 高强空心方桩作为抗拔桩，有几个问题值得注意。首先，高强空心方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《预应力混凝土管桩》10G409 中采用预应力钢筋的抗拉强度来确定桩身抗拔承载力。现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406、广东省地方标准《锤击式预应力混凝土管桩工程技术规程》DBJ/T 15-22 以及江苏省地方标准《预应力混凝土空心方桩基础技术规程》DGJ32/TJ 223 中采用混凝土有效预压应力进行控制，也有其他地方标准在此基础上还考虑了混凝土的抗拉强度。其间的差别主要体现在对高强空心方桩混凝土抗裂性能的不同认识，其本质是对于高强空心方桩抗裂控制要求的不同。相比而言，采用有效预压应力进行控制是较为安全的。其次，影响高强空心方桩抗拔承载力的因素还包括焊缝强度、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，当高强空心方桩作为抗拔桩时，端板厚度需要作适当加强。高强空心方桩内采用微膨胀混凝土填芯并内设插筋是高强空心方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，高强空心方桩作为抗拔桩时，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，近似按设计值除以 1.35 后应不小于抗拔桩承载力特征值进行计算。

抗拔高强空心方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。

抗拔高强空心方桩填芯混凝土的抗剪强度由于高强空心方桩内壁或多或少存在着一层浮浆层而离散性较大，加上高强空心方桩尤其是小直径（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，故填芯混凝土与高强空心方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，规程提出：C30 掺微膨胀剂的填芯混凝土 f_n 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 $f_n=0.30\text{MPa}$ 也会有问题，因此保证填芯混凝土的质量是关键。

5.2.15~5.2.16 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。如对于低配筋率的灌注桩，通常是桩身先出现裂缝，随后断裂破坏，此时单桩水平承载力由桩身强度控制。对于抗弯性能强的桩，如高配筋率的混凝土高强空心方桩和钢桩，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。由桩身强度控制和由桩顶水平位移控制两种工况均受桩侧土水平抗力系数的比例系数 m 的影响，但是前者受影响较小，后者受影响较大。对于受水平荷载较大的建筑桩基，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。

5.2.17 承担大水平力的高强空心方桩主要承受由水平力产生的弯矩和剪力，其接头所承受的弯矩和剪力远高于用于竖向承载桩基础的高强空心方桩接头。一旦高强空心方桩接头的连接强度不足，易造成质量及安全问题。高强空心方桩与灌注桩不同，灌注桩通过钢筋笼之间的搭接焊可满足搭接焊处与桩身等强度的设计要求。而高强空心方桩的连接主要通过端板焊接、机械连接或端板焊接与机械连接组合连接等方式，不同连接方式对施工质量的控制及现场施工人员的水平要求也不一样，同时不同的连接方式的接头抗弯性能也不一致。当用于承担大水平力的高强空心方桩涉及多节桩接桩时，为控制接头的连接质量，确保结构的安全稳定，接头不管采用哪种连接方式，均应满足与桩身等强度设计要求。当采用焊接连接时，采用规程中的公式进行验算。

5.3 复合地基计算

5.3.1 复合地基强调由地基土和增强体共同承担荷载，对地基土欠固结、可液化或存在土洞或塌陷等特殊土，必须选用适当的增强体和施工工艺，消除欠固结性、液化性、塌陷性等，才能形成复合地基。复合地基处理的设计、施工参数有很强的地区性，因此强调在没有地区经验时应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以

确定设计参数和处理效果。

在复合地基使用过程中，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。端承桩几乎没有沉降变形，只能通过垫层协调桩土相对变形，由于各种原因，如地下水位下降引起地面沉降，当基础与桩间土脱开后，桩间土将不再承担荷载，故宜对端承型桩应用有所限制，建议采用摩擦型桩。相对于桩基而言，复合地基中桩间距的确定可适当放宽。考虑到挤土方法施工时的挤土效应可能产生高强空心方桩的偏位、倾斜、桩身上浮等影响单桩承载力和地基处理效果，本规程规定：对正常固结土，当采用锤击、静压施工方法时，桩间距不宜小于 $3B$ ，桩长范围内土层挤土效应明显时，桩间距不宜小于 $3.5B$ 。

5.3.2 复合地基承载力特征值进行深度修正后的承载力值，实际上可以视为处理后地基承载力的容许值。由于天然地基的竖向变形刚度远小于增强体竖向变形刚度，通过深度修正增加的承载力作为荷载作用于复合地基顶面时，试验结果表明此时的桩土荷载分担并不完全按照预先假定的比例进行。基底桩间土荷载在达到其承载力特征值后分担荷载的水平可能远小于增强体单桩，因此，应对复合地基中的高强空心方桩桩身强度进行验算。当设计取用不经深度修正的复合地基承载力特征值时，只需按单桩承载力特征值验算。

5.4 构造要求

5.4.1 高强空心方桩的预应力筋应沿四边呈方形或圆形布置，用于桩基工程的高强空心方桩，其主筋最小配筋率不宜小于 0.5% 。考虑到桩身的起吊抗裂能力、抗震性能等因素，部分小于 0.5% 的桩型建议作地基处理使用。

5.4.2 刚性桩复合地基的桩主要承受压力不受拉力，弯矩和剪力很小，如搅拌桩、旋喷桩等素混凝土或水泥土桩均可应用，其弯矩和剪力水平几乎为零，故地基处理可采用薄壁类型高强空心方桩，其抗弯、抗剪、抗拉能力均能满足施工要求。采用先张法预应力张拉工艺，施工和承载时不开裂，完工后做桩身完整性检测，桩身不出现开裂，故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 $1\sim 2$ 年，对于混凝土的耐久性要求不高，钢筋混凝土的保护层厚度调整为 25mm 可提高桩身的抗裂和设计弯矩，对于临时建（构）筑物特别是支护类排桩相对有利，可减少钢筋的用量，且经大量的工程实践，预应力钢棒保护层的调整可有效避免锤击施工时因锤击和挤土效应所引起的桩身纵向开裂现象。

5.4.3 高强空心方桩两端螺旋筋加密区的构造对于锤击法施工时的成桩质量影响很大，国家、行业及地方的标准均做了很严格的限制。针对桩端加密区的长度及螺旋筋间距做如下说明：

（1）对于桩基础工程中的高强空心方桩，特别是以贯入度控制的锤击法施工时，加密区长度和间距严格执行国家和行业标准。但对于桩长小于 9m 的短桩，因加密区长度 2m 的限制增加的每米成本也会间接增加桩基础的造价；

(2) 静压法沉桩施工时加密区的长度建议可结合各地的工程经验进行调整,通过总结工程经验后确定合理的构造做法;

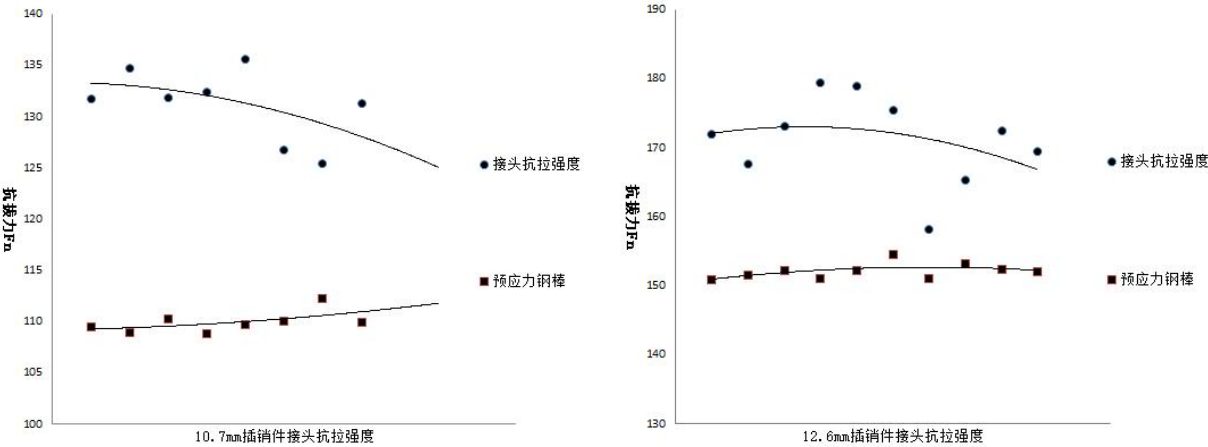
(3) 对于以桩长控制为主的摩擦桩、支护用桩、地基处理等条件下的高强空心方桩,无论锤击或静压施工方式,对于桩身的损伤特别是桩头爆桩的风险远小于以贯入度控制为主的施工方式,设计可根据地质条件、工程性质、荷载分布特征、施工技术条件与环境保护等因素确定高强空心方桩两端螺旋筋加密区长度。

5.4.4 依据现行行业标准《预应力混凝土空心方桩》JG/T197 的相关规定编制,对脱模时最低的混凝土抗压强度进行控制,主要是确保桩在脱模起吊时不产生裂缝,便于脱模后的进一步养护。最终的成品在出厂时,混凝土抗压强度不应低于其混凝土设计强度等级值。

5.4.7 传统预制桩连接采用焊接方式,其技术规范已有明确规定。随着预制桩连接技术的发展,近年来机械连接作为新型预制桩连接方式,相对传统焊接具有质量可靠、施工速度快等优点,在市场上已有广泛应用,已逐步获得设计、审图以及施工单位的认可,尤其是浙江部分地区已取代焊接成为预制桩首选的连接方式。

1 插销式连接

插销式机械连接主要特征为取消桩两端端板,采用紧固螺母配合插销件作为接桩方式,桩与桩界面连接处采用环氧树脂进行填充,避免地下水对接头处进行腐蚀,有效提升接桩处耐久必性,主要应用于抗压桩以及部分低承载力抗拔桩。针对插销件性能,进行了相关试验,其性能如下所示:



根据上述试验成果以及工程桩检测结果,插销式连接其接头抗拔性能大于同等预应力钢棒,用于抗拔桩是安全的。考虑到浙江区域内地质条件偏差较大,对于软土深厚以及抗拔力较大的工程,采用插销式连接时应进行抗拔试桩检测,中等腐蚀性以上场地应进行防腐处理。

2 抱箍式连接

抱箍式连接预应力混凝土抗拔桩是在原有预制桩的基础上,通过提升其竖向抗拉性能,改良桩与桩的连接方法和桩与承台的连接方法,主要考虑承受竖向抗拉荷载,同时也能承

受相应抗压荷载。其作法为通过提高钢棒强度，加大桩身配筋率，增加端板厚度，加强了预应力钢棒与端板的连接，采用了锚固筋+端板加厚等措施，增强管桩性能，满足更大抗拔力要求。桩与桩连接采用焊接加机械抱箍连接，桩与承台预埋螺纹套筒加灌芯，可用于多节抗拔，连接方式更为可靠。

型号	预应力配筋	桩身抗拔力极限值 (KN)	抱箍接头抗拉力 (KN)	桩身抗剪力 (KN)	抱箍接头抗剪力 (KN)
PHC400B95	10A ^Ⅲ 10.7	1086	1091	259	278
			1107		282
PHC500B120	12A ^Ⅲ 12.6	1810	1898	417	478
			1867		485
PHC600B130	18A ^Ⅲ 12.6	2715	2815	581	659
			2831		665
PHC800B130	32A ^Ⅲ 10.7	3476	3520	768	782
			3559		791

从上表中列举的试验数据可以看出，部分型号的抱箍接头的抗拔和抗剪能力均优于桩身极限抗拔和抗剪性能，作为抗拔桩应用是可以满足工程需求和设计要求，且具备较大富余度，有较高的安全储备，针对预制桩应用存在的质量不合格引起的地下室上浮具有较大的改善作用。

5.4.9 高强空心方桩与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，同时有利于高强空心方桩与承台连接。利用插筋与承台连接时，为了保证二者连接可靠，填芯混凝土灌注深度不应小于 3 倍高强空心方桩边长，且不应小于 1.5m。考虑到填芯混凝土与桩内壁粘结的有效性，规定其最小强度等级不应低于 C30。本规程对浙江省抗震设防烈度为 7 度及以下地区用桩，填芯长度要求与浙江省《预应力离心混凝土高强空心方桩》（2013 浙 G35）的规定协调。

5.4.11 复合地基需要设置褥垫层，但褥垫层设置的厚度多少为宜目前尚缺乏系统研究，存在认识分歧。复合地基中褥垫层具有如下作用：

- （1）确保桩与土同时、直接、共同承担荷载；
- （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。和桩基础一样，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，在软弱淤泥土层中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；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，使得复合地基中桩的设置失去意义。

因此，褥垫层厚度应根据桩的间距或置换率、桩的竖向变形刚度、上部结构对沉降

的要求等综合确定。考虑到技术上可靠、经济上合理，褥垫层取 150~400mm 为宜，当边长大、桩距大、土层压缩性高时，褥垫层厚度取大值，反之取小值。褥垫层材料宜采用中粗砂（含泥量不得大于 5%）、级配砂石或碎石，最大粒径不宜大于 30mm。褥垫层施工应分层压实，分层厚度不大于 200mm，厚度偏差不应大于±20mm；褥垫层的铺设宜采用静力压实法，夯填度（夯实后的褥垫层厚度与虚铺厚度的比值）不得大于 0.9。褥垫层与基础间宜铺设 C15 素混凝土垫层，垫层厚度宜取 100mm。

5.4.12 对高强空心方桩复合地基设置桩帽可以减少高强空心方桩向垫层中的刺入量，并使得高强空心方桩承担更大比例的荷载。根据西南交通大学的室内模型试验成果等，当桩帽面积与单桩加固地基面积的比例不小于 25%时，复合地基中桩承担荷载的比例约可达到 90%。因此，对用于软土地基处理的高强空心方桩复合地基，为充分发挥薄壁高强空心方桩承担荷载的作用，减小软土承担的荷载，故对填土下高强空心方桩复合地基中高强空心方桩顶部桩帽面积占加固地基面积的比例不应小于 25%。

5.5 桩身防腐设计

5.5.2 本条针对场地土和地下水等场地介质对高强空心方桩中的混凝土、钢筋及外露铁件有腐蚀作用时所采取的防腐蚀措施，主要根据《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 对设计工作年限为 50 年的有关规定，并结合高强空心方桩的结构特点提出来。中腐蚀及以上环境下可采取的防护措施包括增加高强空心方桩的壁厚、桩与桩的连接采用机械连接或机械-连续焊接连接接头、采用一体化桩尖或钢桩尖等措施。所采取的抗腐蚀措施应在设计文件中详细说明。

5.5.3 不同部位的钢筋锈蚀程度不同，其中以吸附区的失重率最大，锈蚀最为严重，大气环境条件下的次之，土下区锈蚀程度最轻。大气区主要受碳化作用、雨水淋溶和盐雾腐蚀作用对混凝土破坏较大，导致钢筋锈蚀；而在吸附区除存在以上腐蚀作用外，土壤中含盐溶液通过毛细孔作用，进入混凝土内部，随着水分蒸发，溶液浓度增大，化学腐蚀加快，另外盐类在干湿、冷热循环作用下结晶产生膨胀应力，对混凝土破坏严重，加快了钢筋锈蚀，因而锈蚀最为严重；土下区的环境条件相对稳定，梯度作用减弱，化学腐蚀和物理破坏作用减小，而且供氧条件较差，因而钢筋锈蚀的程度最轻。针对污染土层可能会导致桩接头处的外露钢件腐蚀的问题，通过在接桩钢部件处涂刷防腐蚀耐磨涂层或增加钢部件的腐蚀余量不小于 2mm 的措施非常有效。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1~6.1.2 施工前应准备好相关的各种资料，特别应着重在三个方面：一是场地气象、地形、地质资料，根据场地条件选择合适的施工设备，确定桩体强度及考虑是否加桩尖等；二是场地现状及周围环境，包括影响高强空心方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，场地回填情况、地下构筑物等埋藏情况等资料，同时应考虑施工对周围建筑及环境造成的影响；三是编写施工组织设计，它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。在高强空心方桩施工前应清除或妥善处理地下障碍物，不然会妨碍施工，延误工期，影响沉桩质量。

6.1.4 试打桩是施工的重要环节，是后期大规模顺利沉桩的基本保障。因需要预测单桩竖向承载力，验证工艺设备的合理性，并确定收锤、收压标准，故试打时，宜采用高应变动测法配合测试。试打桩数量、位置、施工及注意事项的规定显得尤为重要。

6.1.5 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（构）筑物破坏等，因此，施工时必须合理安排施工顺序。

6.1.6 除了施工过程中的桩身垂直度控制外，也应关注放线的偏差，精确放线定位及保护桩位标记是确保桩基施工质量的重要工作，若桩位的偏差值过大，应联系设计人员按照实际情况复核基桩的受力，同时给出相应的处理方案。对于大承台群桩基础，宜先打承台内的桩，承台四周边缘的桩位待承台内其他桩全部打完后重新定位后沉桩，有利于桩位控制，确保成桩质量。大面积群桩基础或挤土效应明显的预应力高强空心方桩基础工程，应设置观测点，定时检测基桩的上浮量及桩顶偏位值等。

6.1.10 高强空心方桩施工中，可采取引孔或应力释放孔或植入法沉桩并控制沉桩速率等措施，减少对邻近建（构）筑物的影响。

6.2 起吊、搬运与堆放

6.2.1 为保证工程高强空心方桩的质量，桩身混凝土强度应达到 45MPa 以上方可吊装，达到 100%设计强度方能出厂。

6.2.2 当现场施工吊装条件不符合本规定时（如改变单节桩长、起吊用具、吊点位置、起吊方式等），应进行桩身开裂和承载能力验算。桩身结构自重产生的最大吊装弯矩应小于桩的开裂弯矩，在起吊应力作用下，桩身不应出现横向及纵向裂缝。

6.3 接桩与截桩

6.3.1 高强空心方桩焊接连接时需要的时间较长，停歇在厚黏性土层以及厚而密实的粉砂层中的高强空心方桩再行沉桩时，易造成沉桩困难。

6.3.2 焊好的接头应自然冷却，冷却时间：手工电弧焊不应少于 5min，二氧化碳气体保护焊不应少于 3min。若接头焊好立即沉桩，地下水对接头的影响如同淬火一样，会导致接头焊缝处的焊接强度下降，施打时接头处脱焊或开裂。

6.3.5 锯桩时，先采用锯桩器将不需要截除的桩身端部用钢抱箍抱紧，然后沿钢箍上边缘用切割机械截去。当高强空心方桩截桩需保留桩身预应力筋用于锚入承台或与非预应力锚固筋连接时，应采用人工破桩头，先通过打入钢钎将钢筋外侧的保护层混凝土凿除，钢筋暴露，再将钢筋内部混凝土凿除。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。

6.4 锤击法沉桩

6.4.1 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。

6.4.2 合理设置桩帽和桩垫，对沉桩质量非常重要。若桩帽套筒与高强空心方桩的间隙过小，当桩身倾斜时容易挤坏桩顶；过大，易使锤击偏心。套桩头的套筒深度太小容易掉脱；套筒深度太大，桩身或桩帽略有倾斜时，筒体下沿口就会磕伤桩身混凝土。桩帽的垫层有“桩垫”和“锤垫”之分。设在桩帽的上部锤垫可以保护柴油锤。桩垫设在桩帽的下部。软厚适宜的桩垫和锤垫可以延长锤击作用时间，降低锤击应力，起到保护桩头的作用。打桩期间应经常检查更换桩垫和锤垫。

6.4.4 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。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、持力层和收锤贯入度等方面去反复调整。

6.4.5 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。

6.5 静压法沉桩

6.5.6 终压标准有点类似于打桩的收锤标准，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。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破损。当然，对施压入土深度小于 8m 的短桩，允许终压次数可增至 3 次~5 次。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，压桩机上高压油泵和油管会很快破损。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。

7 检测和验收

7.1 一般规定

7.1.2 高强空心方桩的进厂原材料的检验应符合《预应力混凝土高强空心方桩》JG/T 197 的规定。

7.1.7 现行相关规范没有张拉套筒相关检验要求，本条完善了张拉套筒的检验要求。高强空心方桩用张拉套筒型式检验方法应参照《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的相关规定执行，其中型式检验项目只包括：套筒标记、外观、尺寸、钢筋试件拉伸以及接头试件单向拉伸。

7.2 检测

7.2.1~7.2.4 本节对高强空心方桩成品进场时的资料和验收内容、数量、方法提出了要求，对验收不合格的高强空心方桩应立即退场。

高强空心方桩的质量检验应严格按本规程表 7.2.2-1、7.2.2-2 执行，对高强空心方桩的外观尺寸、单节桩垂直度、钢筋保护层厚度、混凝土是否离析分层等应重点检查，不符合要求的高强空心方桩不得进入施工现场。

7.2.8 接桩焊接处所采用的焊条型号应与端板有良好的可焊性，且保证焊缝质量。电焊接桩焊缝质量检验除严格按本规程表 7.2.12 执行外，未进行规定的，尚应符合国家现行标准的相关规定。没有上岗资格证的电焊工，严禁进行高强空心方桩的焊接连接。抗拔高强空心方桩机械连接应对每个抗拔接头进行检查、记录并拍照留存。对不同设计等级的高强空心方桩基础工程，应分别抽取一定数量的焊接接头进行探伤检查，检验接头处的焊接质量。对于机械连接接头处的检验，应确保每个零件安装到位。

7.2.9 精确放线定位及保护桩位标记是确保桩基施工质量的重要工作，若桩位的偏差值过大，应联系设计人员按照实际情况复核基桩的受力，同时给出相应的处理方案。对于大承台群桩基础，宜先打承台内的桩，承台四周边缘的桩位待承台内其他桩全部打完后再重新定位后沉桩，有利于桩位控制，确保成桩质量。大面积群桩基础或挤土效应明显的高强空心方桩基础工程，应设置观测点，定时检测基桩的上浮量及桩顶偏位值等。

7.3 验收

7.3.2 桩身质量及承载力检验应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。静载、高应变和低应变的检测数量按本条规定执行同时应符合地方相应规定。

7.3.4 桩基工程竣工资料是桩基施工质量的反馈，是工程质量验收的参考依据，施工单位

应重视施工过程中竣工资料的收集。