

住房和城乡建设部备案号：JXXXXXX-2023

HN

海南省工程建设地方标准

P

DBJ 46—066—2023

海南省预应力混凝土预制桩技术标准

Technical standard for prestressed precast concrete piles in Hainan
Province

2023 - 09 - 19发布

2024 - 01 - 01实施

海南省住房和城乡建设厅 发布

海南省工程建设地方标准

海南省预应力混凝土预制桩技术标准

Technical standard for prestressed precast concrete piles

in Hainan Province

DBJ46—066—2023

主编部门：海南省住房和城乡建设厅

批准部门：海南省住房和城乡建设厅

实施日期：2024年1月1日

前 言

根据《海南省住房和城乡建设厅关于发布<2023 年度海南省工程建设地方标准制订、修订项目立项目录>（第一期）的通知》（琼建定函〔2023〕77 号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，结合海南省实际情况，参考国内外有关先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准针对海南省的工程地质特点（如生物碎屑层、火山岩夹层、深厚软土等），对预应力混凝土预制桩穿越不同岩土层和进入桩端持力层提出了相应的措施；对沿海地区中等、强腐蚀性环境场地选用预制桩时推荐了更为可靠的防腐蚀措施；对采用预制桩的复合地基和基坑支护提出了设计、构造与施工要求。

本标准共分 8 章和 11 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、基础工程、复合地基工程、基坑支护工程、施工、质量检测与工程验收以及有关的附录。

本标准由海南省住房和城乡建设厅负责管理，由海南省建设标准定额站负责日常管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中如有意见或建议，请随时将有关意见和建议反馈至海南省建设标准定额站（地址：海南省海口市美兰区白龙南路 77 号，邮编：570203，电话：0898-65359219，电子邮箱：bzk_dez@hainan.gov.cn），以供今后修订时参考。

本标准主参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：海南省设计研究院有限公司

海南柏森建筑设计有限公司

海南水文地质工程地质勘察院

参编单位：建华建材（海南）有限公司

海南大学

海南地质综合勘察设计院

海南泓景建筑设计有限公司

中南建筑设计院股份有限公司

中元国际（海南）工程设计研究院有限公司

海南省勘察设计协会

主要起草人：孙要东 张 明 王志鑫 杨 武 麦 浩

陈张锋 韩建刚 吴修文 张光宝 阳建新

曾东灵 杨勇昌 闫守海 张诗茂 段晓农

胡 俊 黎辉若 黄卓雄 尹 优 高晓通
张 震 王武军 李文庆 练余勇
主要审查人: 张 炜 苏恒强 吴坤顺 路 岗 谭新城
廖建平 叶邦日

目 录

1	总则	1
2	术语和符号	1
2.1	术语	1
2.2	符号	4
3	基本规定	6
3.1	一般规定	6
3.2	材料与制作	6
3.3	耐久性规定	7
3.4	岩土工程勘察要点	9
4	基础工程	11
4.1	一般规定	11
4.2	设计	14
4.3	构造与施工要求	29
5	复合地基工程	31
5.1	一般规定	31
5.2	设计	31
6	基坑支护工程	33
6.1	一般规定	33
6.2	设计	33
6.3	构造与施工要求	35
7	施工	36
7.1	一般规定	36
7.2	起吊、搬运及堆放	39
7.3	静压法沉桩	40
7.4	锤击法沉桩	42
7.5	水泥石复合桩	44
7.6	预成孔植桩	46
7.7	接桩与截桩	49
7.8	施工过程质量控制与监测	51
8	质量检验与验收	53
8.1	进场质量检验	53

8.2 成桩质量检测	54
8.3 工程验收	56
附录 A 桩型与成桩工艺选择	58
附录 B 预制桩结构形式	60
附录 C 预制桩力学性能	67
附录 D 静压桩机及适用范围参数表	88
附录 E 打桩锤选择及适用范围参数表	90
附录 F 常用预制桩的桩尖构造图	92
附录 G 施工常见问题及处理措施	100
附录 H 管桩与腰梁、冠梁的连接构造	107
附录 J 静压沉桩施工记录表	109
附录 K 锤击沉桩施工记录表	110
附录 L 植桩施工记录表	116
本标准用词说明	117
引用标准名录	118
附：条文说明	118

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	1
2.1	Terms	1
2.2	Symbols	4
3	Basic Requirements	6
3.1	General Requirements	6
3.2	Materials and Production	6
3.3	Durability Requirements	7
3.4	Key Points of Geotechnical Engineering Investigation	9
4	Foundation	11
4.1	General Requirements	11
4.2	Design	14
4.3	Construction and Construction Requirements	29
5	Composite Foundation	31
5.1	General Requirements	31
5.2	Design	31
6	Retaining and Protecting for Excavation	33
6.1	General Requirements	33
6.2	Design	33
6.3	Construction and Construction Requirements	35
7	Construction	36
7.1	General Requirements	36
7.2	Lift、Transport and Stack	39
7.3	Jacked Driving Method	40
7.4	Hammer-driving Method	42
7.5	Pile Embedded in Cement Soil	44
7.6	Pre-Hole Planting Pile	46
7.7	Connecting and Cutting of Piles	49
7.8	Construction Process Quality Control and Monitoring	51
8	Quality Inspection and Acceptance	53
8.1	Incoming Quality Inspection	53

8.2	Pile Quality Inspection	54
8.3	Construction Quality Acceptance	56
Appendix A	Selection of Pile Type and Pile Forming Technology	58
Appendix B	Precast Pile Structure	60
Appendix C	Mechanical Properties of Precast Pile	67
Appendix D	Static Piling Machine and Applicable Range Parameter Table	88
Appendix E	Pile Hammer Selection and Scope of Application Parameter Table	90
Appendix F	The Structural Drawing of Precast Pile Tip In Common Use	92
Appendix G	Common Construction Problems and Treatment Measures	100
Appendix H	Connection Structure of Pipe Pile with Waist Beam and Crown Beam	107
Appendix J	Construction Record Sheet of Static Pressure Pile Driving	109
Appendix K	Hammer Driving Pile Construction Record Table	110
Appendix L	Record Sheet of Pile Planting Construction	116
	Explanations of Wording in This Standard	117
	List of Quoted Standards	118
	Addition: Explanations of Provisions	118

1 总则

1.0.1 为规范预应力混凝土预制桩在海南省的应用，贯彻执行国家有关技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、质量可靠、节能环保，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于海南省房屋建筑工程中预应力混凝土预制桩的勘察、设计、施工、质量检验与验收。市政工程采用预应力混凝土预制桩时可参照使用。

1.0.3 预应力混凝土预制桩的应用必须坚持因地制宜、科学勘察、合理设计、精心施工、严格监控的原则，综合考虑工程地质与水文地质条件、上部结构类型、使用功能、荷载特征、施工技术条件与环境，合理选择桩型、成桩工艺，优化布桩，节约资源，强化施工质量控制与管理。

1.0.4 预应力混凝土预制桩应用除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家、行业及海南省有关法规、标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 预应力混凝土预制桩（简称“预制桩”） prestressed precast concrete pile

采用工厂化制造的钢筋混凝土预应力实心或空心的方形、圆形或其他形状的桩，包括预应力混凝土管桩（PC管桩）、预应力高强混凝土管桩（PHC管桩）、预应力高强混凝土空心方桩（PHS方桩）和预应力混凝土空心方桩（PS方桩）、预应力混凝土实心方桩（YZH方桩）、混合配筋预应力混凝土管桩（PRC管桩）、预应力超高强混凝土管桩（UHC管桩）、预应力高强混凝土厚壁管桩（HPHC管桩）、预应力高强混凝土薄壁管桩（PTC管桩）等。

2.1.2 薄（厚）壁管桩 thin(thick)-wall pipe pile

小于（大于）GB/T13476规定壁厚的离心成型预应力混凝土管桩称为预应力混凝土薄（厚）壁管桩，简称薄（厚）壁管桩。

2.1.3 混合配筋混凝土管桩 Prestressed concrete pipe pile of mixed reinforcement

主筋配筋形式为预应力钢棒和普通钢筋组合布置的高强混凝土管桩称为混合配筋混凝土管桩（简称PRC管桩）。

2.1.4 一体化桩尖 integral pipe pile shoe

与预制桩桩身一体预制的桩尖。

2.1.5 复合地基增强体 reinforcement in the composite foundation

复合地基土体中被增强或置换的部分，用以改善地基性能的结构体。

2.1.6 锤击法沉桩 hammer-driving method

利用锤击设备将预制桩打至土（岩）层设计深度的沉桩施工方法。

2.1.7 静压法沉桩 jacked driving method

利用静压设备把预制桩压至土（岩）层设计深度的沉桩施工方法。

2.1.8 植桩 method of planting pile

包括机械成孔植桩和搅拌（旋喷）植桩。预先用钻机在桩位处钻孔并灌入砂浆、细石混凝土等填充料，然后将预制桩植入其中的施工方法为机械成孔植桩；采用搅拌、旋喷等方法成桩，然后将预制桩植入其中的施工方法为搅拌（旋喷）植桩。

2.1.9 送桩 pile following

沉桩过程中，借助送桩器将桩顶送至设计要求标高的施工工序。

2.1.10 收锤标准 standard for stop hammering

将桩沉至设计要求时终止锤击的施工控制条件。

2.1.11 终压控制标准 standard for stop pressing

将桩沉至设计要求时终止压桩的施工控制条件。

2.1.12 贯入度 penetration

用落锤锤击预制桩一定击数后，预制桩进入土（岩）层中的深度。

2.1.13 土塞效应 plugging effect

敞口预应力混凝土空心桩沉桩过程中土体涌入桩内腔形成的土塞，对桩端阻力发挥程度的影响效应。

2.1.14 复压（打） repeated pressing（hammering）

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

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

填筑在预应力混凝土空心桩内腔一定深度的混凝土。

2.1.16 焊接连接 welded connection

采用焊接进行接桩的方法。

2.1.17 机械连接 mechanical connection

采用机械部件接桩的方法。

2.1.18 载体 bearing sphere

桩身以下经夯实形成的承载体。

2.1.19 载体技术施工 construction with ram-compacted bearing sphere

采用一定质量的柱锤以一定落距夯击岩土或填料进行施工的工艺。

2.1.20 水泥石复合桩 pile embedded in cement soil

由水泥石桩与同心植入的预制桩复合而成的基桩。

2.1.21 生物碎屑层 bioclastic layers

主要由破碎的贝壳、珊瑚碎屑、砂砾、黏性土等泥质胶结或钙质胶结而成，成分复杂，软硬不均，孔洞发育，多呈半成岩状态或土岩结合状。根据成分及胶结差异定名为生物碎屑（砂砾）岩、生物碎屑灰岩、生物碎屑粉质黏土等，当主要生物成分为贝壳碎屑时，通常定名为贝壳碎屑土（岩）。环岛海积盆地均有分布，主要揭露于新近系海口组，第四系偶有分布。

2.1.22 火山岩夹层 volcanic intercalation

主要指位于土层中的火山熔岩夹层，典型岩性为玄武岩、火山碎屑岩、凝灰岩等，即岩浆经火山口（或深大断裂）喷发出地表冷凝而成，多呈玻璃质、隐晶质或斑状结构，多具气孔、杏仁和流纹等构造，琼北地区的火山岩约占全岛陆域

面积的 19.5%。

2.2 符号

2.2.1 抗力和材料性能

E_c ——桩身混凝土的弹性模量；

f_c ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值；

f_n ——填芯混凝土与预制桩内壁的粘结强度设计值；

f_{ptk} ——预应力钢棒抗拉强度标准值；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；

f_y ——非预应力钢筋抗拉强度设计值；

M ——桩身受弯承载力设计值；

M_{cr} ——桩身开裂弯矩；

M_u ——桩身受弯承载力极限值；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

q_{pk} ——桩的极限端阻力标准值；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值；

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；

R_h ——单桩基础或群桩基础中基桩的水平承载力特征值；

R_{ha} ——单桩水平承载力特征值；

R_{ta} ——基桩或复合基桩竖向抗拔承载力特征值；

R_v ——桩身斜截面受剪承载力设计值；

V ——预制桩剪力设计值；

σ_{pc} ——桩身截面混凝土有效预压应力。

2.2.2 作用和效应

F_k ——相应于作用的标准组合时，作用于桩基承台顶面的竖向力；

G_k ——桩基承台及承台上土自重标准值；

H_k ——相应于作用的标准组合时，作用于承台底面的水平力；

H_{ik} ——相应于作用的标准组合时，作用于第 i 根基桩或复合基桩的水平力；

M_{xk} 、 M_{yk} ——相应于作用的标准组合时，作用于承台底面通过桩群形心 x 、 y 轴的力矩；

N ——相应于作用的基本组合时的单桩竖向力设计值；

N_k ——相应于作用的标准组合时，轴心竖向力作用下任一基桩或复合基桩的竖向力；

N_{ik} ——相应于作用的标准组合时，偏心竖向力作用下第 i 根基桩或复合基桩的竖向力；

N_t ——单桩抗拔力设计值；

N_{tk} ——相应于作用的标准组合时，轴心竖向拔力作用下任一基桩或复合基桩的竖向力。

2.2.3 几何参数

A ——桩身横截面面积；

A_j ——预制空心桩桩端净面积；

A_p ——预制实心桩桩身横截面面积；

A_{p1} ——预制空心桩敞口面积；

A_{py} ——全部纵向预应力钢棒的总截面面积；

A_{sd} ——填芯混凝土纵向钢筋总截面面积；

B ——方桩边长；

B_p ——方桩纵向预应力钢棒分布矩形的边长；

d ——管桩外径；

d_1 ——空心桩内径；

D_p ——纵向预应力钢棒分布圆的直径；

h_b ——桩端进入持力层深度；

I ——桩截面相对中性轴的惯性矩；

I_0 ——桩身换算截面惯性矩；

L ——单节桩长；

L_a ——桩顶填芯混凝土的深度；

l_i ——桩周第 i 层土（岩）的厚度；

u ——桩身周长。

u_D ——植桩成孔周长。

2.2.4 计算系数

ν_x ——桩顶水平位移系数；

α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；

β_c ——混凝土强度影响系数；

γ ——考虑离心工艺影响及截面抵抗矩塑性影响的综合系数；

α ——预制桩的水平变形系数；

ψ_c ——成桩工艺系数；

χ_{0a} ——桩顶允许水平位移。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 预制桩的几何尺寸和桩身力学性能宜分别符合本标准附录 B 及附录 C 的规定。

3.1.2 预制桩设计应符合现行国家及行业标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等的有关规定。

3.1.3 预制桩施工应确保桩身完整、无损伤。沉桩方法的选用应根据具体的岩土条件、工程特点、场地施工条件以及挤土、振动、噪声等对周边环境和安全的影响等因素综合确定。

3.1.4 预制桩施工前宜在现场进行沉桩工艺试验。当采用锤击法施工工艺时，宜同时进行沉桩施工过程监测。

3.1.5 采用植桩和载体技术等方法施工时，宜选用超高强混凝土、厚壁预制桩。

3.2 材料与制作

3.2.1 预应力筋应采用预应力混凝土用钢棒，其质量应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 中低松弛螺旋槽钢棒的规定，基本尺寸应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 预应力钢棒的基本尺寸

公称直径 (mm)	基本直径及 允许偏差 (mm)	公称截面面积 (mm ²)	最小截面面积 (mm ²)	理论重量 (kg/m)	允许最小重量 (kg/m)
7.1	7.25±0.15	40.0	39.0	0.314	0.306
9.0	9.15±0.20	64.0	62.4	0.502	0.490
10.7	11.10±0.20	90.0	87.5	0.707	0.687
12.6	13.10±0.20	125.0	121.5	0.981	0.954
14.0	14.15±0.20	154.0	149.6	1.209	1.184

3.2.2 端板材质应采用 Q235B，并应符合下列规定：

- 1 端板制造不得采用铸造工艺；
- 2 端板厚度不得有负偏差，用于抗拔桩工程的端板厚度宜增加且应满足设计要求；

3 除焊接坡口、桩套箍连接槽、预应力钢棒锚固孔、消除焊接应力槽、机械连接孔外，端板表面应平整，不得开槽和打孔。

3.2.3 预制桩按桩身混凝土强度可分为超高强混凝土预制桩（C105及以上）、高强混凝土预制桩（C80）、混凝土预制桩（C60及以下）。

3.2.4 预制桩养护工艺可分为高压蒸汽养护、常压蒸汽养护和免蒸压养护。

3.2.5 预制桩采用免蒸压养护工艺时，掺合料宜采用矿渣微粉、硅灰等，并应符合下列规定：

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

2 硅灰的质量应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定；

3 掺合料进厂应有供方提供的该批材料的检验报告和质保书，存放对应挂牌标明品种、生产厂家、数量及进厂日期，掺合料不得混合存放；

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

3.2.6 预制桩用其他原材料要求尚应符合现行国家标准或行业标准的规定。

3.3 耐久性规定

3.3.1 预制桩应根据环境水、土的腐蚀性等级采取相应的防腐蚀措施。当腐蚀性等级为中等及以上时，应采用添加防腐蚀材料或增加腐蚀裕量的防腐蚀措施。

3.3.2 预制桩应减少接头数量，当接头位于中、强腐蚀性的水、土层中时，接桩钢零件应增加厚度，其腐蚀裕量不应小于 2mm 且涂刷耐磨防腐蚀涂层 500 μm ，也可采用热收缩聚乙烯套膜保护。

3.3.3 预制桩混凝土及桩身防腐要求应符合表 3.3.3-1 和 3.3.3-2 的规定。

表 3.3.3-1 预制桩桩身混凝土防腐要求

项目 \ 桩型	混凝土最低强度等级	最大水胶比	抗渗等级	钢筋最小保护层厚度 (mm)	胶凝材料中 Cl ⁻ 含量 (%)	碱含量 (kg/m ³)	胶凝材料最小用量 (kg/m ³)
PC 管桩	C60	0.40	≥P12	35	≤0.06	≤3.0	400
UHC 管桩	C105	0.30	≥P12	35	≤0.06	≤3.0	460
其他预制桩	C80	0.35	≥P12	35	≤0.06	≤3.0	430

表 3.3.3-2 预制桩桩身防腐要求

桩型	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	弱	强	中	弱	强	中	弱
PC管桩	1.提高桩身混凝土耐腐蚀性能	抗硫酸盐等级	KS150 ≥0.85	KS120 ≥0.85	可不防护	—	—	可不防护	—	—	可不防护
		28d龄期氯离子迁移系数 D_{RCM} (10 ⁻¹² m ² /s)	—	—		≤4.0	≤7.0		—	—	
	2.增加混凝土腐蚀裕量 (mm)	≥20	≥10	—		—	≥30		≥20		
其他预制桩	1.提高桩身混凝土耐腐蚀性能	抗硫酸盐等级	KS150 ≥0.85	KS120 ≥0.85	可不防护	—	—	可不防护	—	—	可不防护
		28d龄期氯离子迁移系数 D_{RCM} (10 ⁻¹² m ² /s)	—	—		≤4.0	≤7.0		—	—	
	2.增加混凝土腐蚀裕量 (mm)	≥20	≥10	—		—	≥20		≥10		

注：1 本表适用于设计使用年限为 50 年，桩基工程所处的地下水、土的腐蚀性介质主要为 SO₄²⁻和 Cl⁻环境。当土中含有酸性液体 pH≤3.0、环境水中 Cl⁻≥20000mg/L 以及设计使用年限为 100 年时，防护措施应专门研究；

2 桩身混凝土材料可根据防腐要求，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、掺入矿物掺合料、钢筋阻锈剂；当桩身混凝土采用或掺入耐腐蚀材料后已能满足防腐性能要求时，可不再采用表中 2 的技术措施；

3 在预应力混凝土空心桩中不得采用单一亚硝酸盐类的阻锈剂；

4 在中、强腐蚀环境中，桩基工程的预应力混凝土空心桩有效壁厚不应小于 95mm；

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，但相同的防护措施可不迭加；

6 表中“—”表示可不采用此指标控制；

7 氯离子迁移系数和抗硫酸盐等级检测试验方法按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行。

3.3.4 中等及强腐蚀场地应选用 AB 型或 B 型、C 型管桩，并应根据不同的腐蚀性等级采用相应的防腐措施。

3.3.5 预制桩用混凝土的耐久性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。

3.4 岩土工程勘察要点

3.4.1 各项建设工程在设计和施工之前，必须按照基本建设程序进行岩土工程勘察。

3.4.2 预制桩用于基础工程时，岩土勘察应符合下列规定：

1 应查明建（构）筑物范围内岩土层的结构、成因、年代、物理力学性质，并对地基的均匀性、承载力和变形特征做出评价；

2 当穿越生物碎屑岩、火山岩、沙滩岩等硬夹层或采用岩层作为桩端持力层时，应查明岩性、构造、岩面变化、风化程度，确定其坚硬程度、完整程度和基本质量等级，判定有无洞穴、临空面、破碎岩体或软弱岩层；

3 应查明场地不良地质作用和特殊岩土的类型、特性、分布范围、发展趋势、危害程度，特别是液化、震陷土层对桩基的不利影响，并提出治理方案；

4 应调查周边道路、管线、邻近建（构）筑物的情况，提出周边环境对施工的限制条件；

5 应查明地下水类型、埋藏条件、补给及排泄条件、腐蚀性、初见及稳定水位，提供季节变化幅度；

6 应提出各岩土层的地基承载力特征值的建议值，提出经济合理、技术可靠的地基基础方案建议及使用预制桩的可行性；

7 对桩型选择、持力层选择、沉桩方式选择、成桩可行性及设计与施工应注意的问题、施工时对环境的影响应提出建议，并提供桩的极限侧阻力标准值、极限端阻力标准值和变形计算有关参数的建议值。

3.4.3 预制桩用于复合地基工程时，岩土勘察应符合下列规定：

1 查明暗塘、暗洪、暗沟、洞穴等的分布和埋深；

2 查明土的组成、分布和物理力学性质，软弱土的厚度和埋深，可作为桩基持力层的相对硬层的埋深；

3 预估成桩施工可能性（有无地下障碍、地下洞穴、地下管线、电缆等）和成桩工艺对周围土体、邻近建筑、工程设施和环境的影响（噪声、振动、侧向挤土、地面沉陷或隆起等），桩体与水土间的相互作用（地下水对桩材的腐蚀性，桩材对周围水土环境的污染等）；

4 评定桩间土承载力，预估单桩承载力和复合地基承载力；

5 评定桩间土、桩身、复合地基、桩端以下变形计算深度范围内岩土层的压缩性，任务需要时估算复合地基的沉降量。

3.4.4 预制桩用于基坑支护工程时，岩土勘察应符合下列规定：

1 应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定进行原位测试和室内试验，并提出各层土的物理性质指标和力学参数；

2 基坑工程勘察的范围和深度应根据环境条件、地质条件和基坑工程特点确定，应满足基坑工程稳定性评价和设计要求。勘察深度不宜小于开挖深度的 2 倍，在此深度内遇到坚硬黏性土、碎石土和岩层，可根据岩土类别和支护设计要求减少深度。勘察的平面范围宜超出开挖边界外开挖深度的 2 倍~3 倍。在深厚软土区，勘察深度和范围尚应适当扩大。在开挖边界外，勘察手段以调查研究、搜集已有资料为主，复杂场地和斜坡场地应布置适量的勘探点；

3 当有地下水时，应查明各含水层的埋深、厚度和分布，判断地下水类型、补给和排泄条件；有承压水时，应分层测量其水头高度；

4 应对基坑开挖与支护工程使用期内地下水位的变化幅度进行监测与分析；

5 当基坑需要降水时，宜采用抽水试验测定各含水层的渗透系数与影响半径；勘察报告中应提出各含水层的渗透系数；

6 当工程条件发生变化，勘察资料不能满足支护设计与施工要求时，应进行补充勘察。

3.4.5 勘探点间距应符合下列规定：

1 对端承型桩宜为 12m~24m，相邻勘探孔揭露的持力层层面高差宜控制为 1m~2m；当相邻勘探点桩端持力层层面坡度大于 10%或地层分布复杂时，应根据具体工程条件适当加密勘探点；

2 对摩擦型桩宜为 20m~35m；当遇到岩土层的性质或状态在水平方向分布变化较大，或地层条件复杂存在可能影响成桩或设计有特殊要求时，勘探点应适当加密；

3 复杂地基的一柱一桩工程，宜每柱设置勘探点。

3.4.6 勘探孔的深度应符合下列规定：

1 一般性勘探孔深度应进入预制桩端平面以下岩土层不小于 3d（d 为桩身设计桩径），且不应小于 3m；对桩身直径大于或等于 800mm 的桩，不应小于 5m；

2 控制性勘探孔深度应满足下卧层验算要求；对需验算沉降的桩基，应满足地基变形计算深度要求。当需进行抗浮设计时，勘探孔深度应满足抗浮设计要求；

3 对嵌岩桩，控制性勘探孔深度应进入预计桩端平面以下岩层不小于 3d，一般性勘探孔深度应进入预计桩端平面以下岩层不小于 1d，且应穿过溶洞、破碎带到达稳定岩层；

4 钻至预计深度遇软弱层时，应予加深；在预计勘探孔深度内遇稳定坚实岩土时，可适当减小；

5 对可能有多种桩长方案时，应根据最长桩方案确定。

3.4.7 生物（贝壳）碎屑层、火山岩夹层、孤石发育土层、深厚软土等特殊地层，对预制桩成桩工艺及成桩质量影响很大，钻孔间距宜取小值或局部加密钻孔，钻孔深度宜根据地层情况适当加深。

3.4.8 预制桩岩土工程勘察宜采用钻探和触探以及其他原位测试相结合的方式。在勘探深度范围内的每一主要地层，均应采取不扰动试样进行室内试验或根据土质情况选用有效的原位测试方法进行原位测试，提供设计所需参数。如对软土、黏性土、粉土和砂土的测试手段，宜采用静力触探和标准贯入试验；对碎石土宜采用重型或超重型圆锥动力触探；填土层较厚时（对桩或基坑设计有影响时），根据土的主要组分进行取样或原位测试。

3.4.9 勘察应对预制桩穿越或沉入各岩土层的可能性给出评价。

3.4.10 岩土试验应满足下列要求：

1 当需估算桩的侧阻力、端阻力和验算下卧层承载力时，宜进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验；三轴剪切试验的受力条件应模拟工程的实际情况；

2 对需估算沉降的桩基工程，桩端以下土层应进行压缩试验，最大压力应大于上覆自重压力与附加压力之和；

3 当桩端持力层为基岩时，应采取岩样进行饱和单轴抗压强度试验，必要时尚应进行软化试验；对软岩和极软岩，可进行天然湿度的单轴抗压强度试验。对无法取样的破碎和极破碎的岩石，宜采用重型或超重型圆锥动力触探进行原位测试。

4 基础工程

4.1 一般规定

4.1.1 预制桩基础工程设计应取得下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 建筑物对基础沉降与水平位移的要求；
- 3 场地地上及地下管线、地下建（构）筑物的分布、受沉桩影响的邻近建（构）筑物的地基基础情况；
- 4 周边环境对振动、噪声的要求；
- 5 施工机械进出场及施工条件；
- 6 可选用的预制桩种类、规格。

4.1.2 预制桩基础设计对穿越不同的岩土层，可参照表 4.1.2 采取有针对性的措施：

表 4.1.2 穿越不同岩土层的措施或桩型

穿越岩土层	措施或桩型
软弱土	控制基桩垂直度与桩顶标高、加固基底下一定范围的软弱土层
硬夹层	采用植桩、载体桩；先引孔再沉桩
密实砂层	采用植桩、载体桩
孤石	采用植桩、载体桩、引孔
生物碎屑层	采用植桩、载体桩

注：1 存在表中穿越岩土层时，应结合地层情况选择有代表性的位置试桩，同时宜增加试桩数量和工程桩检测数量；

2 表中硬夹层主要指玄武岩、凝灰岩、沙滩岩、铁锰结核等。

4.1.3 预制桩基础设计对不同的桩端持力层，可参照表 4.1.3 采取有针对性的措施，同时应扩大试验桩和工程桩的检测数量。

表 4.1.3 不同桩端持力层的措施或桩型

持力层	措施或桩型
强风化岩	采用植桩、载体桩
中风化岩	采用植桩、载体桩
含孤石的土层	采用植桩、载体桩、引孔
火山岩夹层	采用载体桩、折减预制桩单桩承载力
生物碎屑层	采用植桩、载体桩

4.1.4 预制桩选型应符合下列规定：

1 基础设计等级为甲级的桩基础不宜选用 A 型桩，抗拔桩、端承桩不宜选用 A 型桩；

2 抗震设防烈度 8 度及以上地区，宜选用混合配筋或 AB 型、B 型、C 型预应力高强混凝土桩。与承台连接的首节桩不应选用 A 型桩。

4.1.5 预制桩的布置应符合下列规定：

1 预制桩的最小中心距应符合表 4.1.5 的规定；

表 4.1.5 预制桩的最小中心距

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

注：1 d ——管桩外径； B ——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”指沉桩时采取引孔或其他应力释放措施方式成孔的预制桩基础；
- 4 液化土可适当减小桩距；
- 5 当有减少挤土效应的措施时，可以减少桩距，但不应小于 $3.0d$ （或 $3.0B$ ）；
- 6 采用植桩或载体桩施工工艺时，桩间距参照现行相关行业标准执行。

2 单桩或单排桩宜直接布置在墙、柱等竖向构件之下，采用多桩或多排桩时，宜使桩群承载力合力点与其竖向荷载效应准永久组合的合力作用点相重合；

3 同一结构单元宜避免同时采用摩擦桩和端承桩，当无法避免时，应评估其产生的差异沉降对上部结构的影响，并采取相应的处理措施；

4 桩端持力层宜选择较硬土层。桩端全截面（不包括桩尖部分）进入持力层深度，对于黏性土、粉土不宜小于 $2.0d$ ，砂土、全风化、强风化软岩等不宜小于 $1.5d$ ，碎石土、强风化硬岩不宜小于 $1.0d$ 。当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于 $4d$ ，且应进行软弱下卧层承载力和群桩沉降验算。

4.1.6 载体桩桩端载体的贯入度宜通过试桩确定。持力层为强风化硬岩和中风化岩时，载体应全部采用干硬性混凝土。

4.1.7 持力层为中风化岩的非嵌岩桩，宜采用水泥石复合桩，桩底水泥石复搅次数应适当增加。

4.1.8 单桩竖向极限承载力标准值的确定应符合下列规定：

1 设计等级为甲级和缺少可靠资料的乙级桩基础，应在施工前采用单桩静荷载试验确定，在同一条件下的试桩数量不应少于 3 根（总桩数少于 50 根时不

少于 2 根)。同时试桩的规格、长度及地质条件应具有代表性，试桩应布置在地质勘探孔附近，试桩施工条件应与工程桩一致。

2 设计等级为丙级和具有可靠资料的乙级桩基础，可结合静力触探等原位测试参数和工程经验参数综合确定。

4.1.9 对于承受水平荷载大的预制桩基础，应通过现场单桩水平静载试验确定单桩水平承载力特征值。试验按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。

4.1.10 承受水平荷载的预制桩，应符合下列规定：

- 1 应验算桩身受弯承载力；
- 2 应验算桩顶斜截面受剪承载力；
- 3 桩身所承受最大弯矩和水平剪力的计算，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行；

4 桩身正截面受弯承载力和斜截面受剪承载力的计算，应按本标准第 4.2.12~4.2.17 条的规定执行。

4.1.11 预制桩应按下列规定进行受拉应力验算：

1 对于严格要求不出现裂缝的预制桩，其裂缝控制等级应为一级，在荷载效应标准组合下混凝土不应产生拉应力，即符合下列要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (4.1.11-1)$$

2 对于一般要求不出现裂缝的预制桩，其裂缝控制等级应为二级，在荷载效应标准组合下受拉边缘的应力不大于混凝土轴心受拉强度标准值，即符合下列要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (4.1.11-2)$$

$$\sigma_{cq} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (4.1.11-3)$$

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

σ_{pc} ——管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）。

4.1.12 预制桩桩身轴心受拉时，裂缝控制等级为一级；桩身受弯时，处于弱腐蚀环境和微腐蚀环境的预制桩裂缝控制等级为二级，中等、强腐蚀环境的预制桩裂缝控制等级为一级。

4.2 设计

4.2.1 对于一般建筑物和受水平力（包括力矩和水平剪力）较小的高层建筑物，当采用桩型相同的多桩或群桩基础，群桩中单桩桩顶作用力应按下列公式计算：

1 轴心竖向力作用下

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (4.2.1-1)$$

2 偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (4.2.1-2)$$

3 水平力作用下

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (4.2.1-3)$$

式中：
 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（kN）；
 G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值（kN）；
 N_k ——相应于荷载效应标准组合时，轴心竖向力作用下任一单桩的竖向力（kN）；
 n ——群桩基础中的桩数；
 N_{ik} ——按荷载效应标准组合计算的偏心竖向力作用下第 i 根桩的竖向力（kN）；
 M_{xk} 、 M_{yk} ——按荷载效应标准组合计算的作用于承台底面的外力，绕通过桩群形心的 x 、 y 主轴的力矩（kN·m）；
 x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j ——第 i 、 j 基桩或复合基桩至 x 、 y 轴的距离（m）；
 H_k ——按荷载效应标准组合计算的作用于桩基承台底面的水平力（kN）；
 H_{ik} ——按荷载效应标准组合计算的作用于第 i 基桩或复合基桩的水平力（kN）。

4.2.2 单桩承载力验算应符合下列规定：

1 不考虑地震作用效应组合的标准值：

1) 轴心竖向力作用下

$$N_k \leq R \quad (4.2.2-1)$$

2) 偏心竖向力作用下，除满足式（4.2.2-1）外，尚应满足

$$N_{kmax} \leq 1.2R \quad (4.2.2-2)$$

3) 水平力作用下

$$H_{ik} \leq R_h \quad (4.2.2-3)$$

2 考虑地震作用效应组合的标准值:

1) 轴心竖向力作用下

$$N_{Ek} \leq 1.25R \quad (4.2.2-4)$$

2) 偏心竖向力作用下, 除满足式 (4.2.2-4) 外, 尚应满足

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R \quad (4.2.2-5)$$

3) 水平力作用下

$$H_{ik} \leq 1.25R_h \quad (4.2.2-6)$$

式中: R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值 (kN);

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

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_{Ekmax} ——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);

R_h ——单桩基础或群桩中基桩的水平承载力特征值, 对于单桩基础, 可取单桩的水平承载力特征值 R_{ha} (kN), R_{ha} 按本标准第 4.2.11 条确定。

4.2.3 承受竖向拔力的预制桩基础, 应按下式验算单桩的抗拔承载力:

$$H_{ik} \leq R_{ta} \quad (4.2.3)$$

式中: H_{ik} ——按荷载效应标准组合计算的作用于单桩桩顶的竖向拔力 (kN);

R_{ta} ——单桩竖向抗拔承载力特征值 (kN)。

4.2.4 单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按下式计算:

$$R_a \leq \frac{Q_{uk}}{K} \quad (4.2.4)$$

式中: Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值;

K ——安全系数, 取 $K = 2$ 。

4.2.5 预制桩单桩竖向承载力标准值可结合工程经验参数或静力触探原位试验结果按下列公式估算:

1 实心桩时:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (4.2.5-1)$$

2 敞口空心桩时:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} (A_j + \lambda_p A_{p1}) \quad (4.2.5-2)$$

$$\text{当 } h_b/d < 5 \text{ 时, } \lambda_p = 0.16h_b/d \quad (4.2.5-3)$$

$$\text{当 } h_b/d \geq 5 \text{ 时, } \lambda_p = 0.8 \quad (4.2.5-4)$$

$$\text{管桩: } A_j = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2) \quad (4.2.5-5)$$

$$\text{空心方桩: } A_j = B^2 - \frac{\pi}{4} d_1^2 \quad (4.2.5-6)$$

$$A_{p1} = \frac{\pi}{4} d_1^2 \quad (4.2.5-7)$$

式中: Q_{sk} 、 Q_{pk} ——总极限侧阻力标准值、总极限端阻力标准值;

q_{sik} 、 q_{pk} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值、极限端阻力标准值,可由当地静载荷试验结果统计分析得到,或根据场地单桥、双桥探头静力触探试验结果,按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 取值;

A_p ——预制实心桩桩身横截面面积 (m^2);

A_j ——预制空心桩桩端净面积 (m^2);

A_{p1} ——预制管桩空心部分敞口面积 (m^2);

u ——桩身周长;

λ_p ——桩端土塞效应修正系数,对于闭口预制桩 $\lambda_p = 1.0$,对于敞口预制桩按式 (4.2.5-3)、式 (4.2.5-4) 取值;

h_b ——桩端进入持力层深度 (m);

l_i ——桩周第 i 层土 (岩) 的厚度 (m);

d 、 d_1 ——预制桩外径、内径 (m)。

4.2.6 对于轴向受压的预制桩基础,不考虑压屈影响时,桩身混凝土强度验算应符合下式规定:

$$N \leq \psi_c f_c A \quad (4.2.6)$$

式中: ψ_c ——成桩工艺系数。管桩:当采用抱压式或锤击式施工时, ψ_c 取 0.70;

当采用顶压式施工时, ψ_c 取 0.80。方桩: ψ_c 取 0.65。当采用植入工法或中掘工法施工时, ψ_c 取 0.85。

f_c ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm²)，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取值；

A ——预制桩桩身横截面面积 (mm²)；

N ——轴心竖向力作用下单桩所受竖向压力设计值 (N)。

4.2.7 偏心受压预制管桩正截面受压承载力的验算应符合下列规定：

1 预应力高强混凝土管桩、预应力混凝土管桩：

$$N \leq \alpha a_1 f_c A - \sigma_{p0} A_{py} + \alpha f'_{py} A_{py} - a_t (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py} \quad (4.2.7-1)$$

$$N \eta e_i \leq a_1 f_c A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py} A_{py} r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py} r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (4.2.7-2)$$

$$a_t = 0.45(1 - \alpha) \quad (4.2.7-3)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (4.2.7-4)$$

2 混合配筋混凝土管桩

$$N \leq \alpha a_1 f_c A - \sigma_{p0} A_{py} + \alpha f'_{py} A_{py} - a_t (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py} + (a - a_t) f_y A_s \quad (4.2.7-5)$$

$$N \eta e_i \leq a_1 f_c A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py} A_{py} r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py} r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} + f_y A_s r_s \left(\frac{\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t}{\pi} \right) \quad (4.2.7-6)$$

$$a_t = 1 - 1.5\alpha \quad (4.2.7-7)$$

式中： N ——轴心竖向力作用下单桩所受竖向压力设计值 (N)；

A ——预制桩桩身横截面面积 (mm²)；

r_1 、 r_2 ——预制管桩环形截面的内、外半径 (mm)；

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

r_p 、 r_s ——纵向预应力钢棒、非预应力钢筋重心所在圆周的半径 (mm)；

α_1 ——混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值之比，对 C60 取 $\alpha_1 = 0.98$ ，C80 取 $\alpha_1 = 0.94$ ；

α ——受压区混凝土截面面积与全截面面积的比值；

α_t ——纵向受拉预应力钢棒截面面积与全部纵向预应力钢棒截面面积的比值，当 α 大于 2/3 时，取 α_t 为 0；

- f_c ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm²) ;
 f_{py} ——预应力钢棒抗拉强度设计值 (N/mm²) ;
 f'_{py} ——预应力钢棒抗压强度设计值 (N/mm²) ;
 f_y ——非预应力钢筋抗拉强度设计值 (N/mm²) ;
 σ_{p0} ——预应力钢棒合力点处混凝土法向应力等于零时预应力钢棒应力 (MPa) ;
 e_i ——初始偏心距 $e_i = e_0 + e_a$;
 e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距, $e_0 = M / N$, M 为预制桩桩身正截面受弯承载力设计值;
 e_a ——附加偏心距, $e_a = d / 30$, 且 $e_a \geq 20\text{mm}$, d 为预制桩外径;
 η ——考虑二阶弯矩影响的轴向压力偏心距增大系数。

4.2.8 计算偏心受压预制管桩正截面受压承载力时, 可不考虑偏心距的增大影响, 取 $\eta=1$ 。预制管桩偏心受压时的承载力取值应满足现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的要求。

4.2.9 初步设计时, 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:

$$R_{ta} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i / 2 + G_p \quad (4.2.9-1)$$

式中: R_{ta} ——预制桩抗拔承载力特征值;

u_i ——桩身周长, 取 $u_i = \pi d$;

l_i ——桩周第 i 层土的厚度;

q_{sik} ——桩侧表面第 i 层土的抗压极限侧阻力标准值;

λ_i ——抗拔系数, 可按表 4.2.9 取值;

G_p ——基桩自重, 地下水位以下取浮重度。

表 4.2.9 预制桩抗拔系数 λ_i

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

注: 桩长 l 与桩径 d 之比小于 20 时, λ 取小值。

2 群桩呈整体破坏:

$$R_{ta} = \left(\frac{1}{n} u_l \sum \lambda_i q_{sik} l_i \right) / 2 + G_{gp} \quad (4.2.9-2)$$

式中： u_l —— 桩群外围周长；

n —— 群桩基础中的桩数；

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

4.2.10 承受竖向上拔力作用的预制桩应进行预应力钢棒抗拉强度、端板孔口抗剪强度、接桩连接强度、桩顶填芯混凝土与承台连接处强度等验算，并按不利处的抗拉强度确定预制桩的抗拔承载力。

1 根据预应力钢棒抗拉强度验算单桩抗拔承载力时，应按下列公式进行验算：

$$N_t \leq C f_{py} A_{py} \quad (4.2.10-1)$$

式中： N_t —— 单桩抗拔力设计值 (N)，可近似按 $1.35R_{ta}$ 计算；

C —— 考虑预应力钢棒锚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 根据预制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：

$$N_t \leq A_w f_t^w \quad (4.2.10-2)$$

式中： A_w —— 接桩连接处焊缝计算面积 (mm²)；

$$\text{管桩： } A_w = \frac{1}{4} \pi (d_5^2 - d_6^2)； \text{方桩： } A_w = B_1^2 - B_2^2；$$

N_t —— 单桩抗拔力设计值 (N)；

d_5 —— 管桩焊缝外径 (mm)，取 $d_5 = d - 2mm$ ， d 为管桩外径；

d_6 —— 管桩焊缝内径 (mm)，取 $d_6 = d - 2h_f$ ；

B_1 —— 方桩焊缝外边长 (mm)，取 $B_1 = B - 2mm$ ， B 为方桩边长；

B_2 —— 方桩焊缝内边长 (mm)，取 $B_2 = B - 2h_f$ ；

f_t^w —— 焊缝抗拉强度设计值；

h_f —— 横截面方向焊缝高度。

3 根据预制桩端板锚固孔抗剪强度验算单桩抗拔承载力时 (图 4.2.10)，应按下列公式进行验算：

$$N_t \leq n' \pi (d_3 + d_4) \left(t_s - \frac{h_1 + h_2}{2} \right) f_v / 2 \quad (4.2.10-3)$$

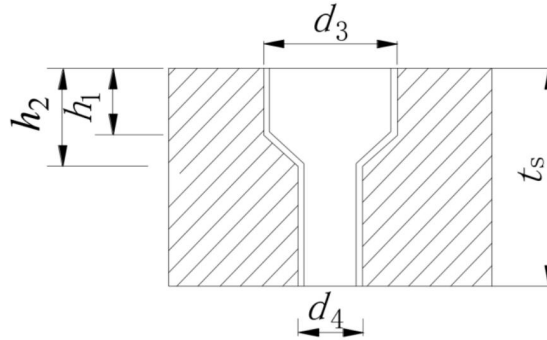


图 4.2.10 端板锚固孔示意图

式中： N_t ——单桩抗拔力设计值（N）；

n' ——预应力钢棒数量（根）；

d_3 ——端板上预应力钢棒锚固孔台阶上口直径（mm）；

d_4 ——端板上预应力钢棒锚固孔台阶下口直径（mm）；

h_1 ——端板上预应力钢棒锚固孔台阶上口距端板顶距离（mm）；

h_2 ——端板上预应力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（N/mm²）。取 $f_v = 120 \text{N/mm}^2$ ；

t_s ——端板厚度（mm）。

4 根据空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：

$$N_t \leq k_1 \pi d_1 L_a f_n \quad (4.2.10-4)$$

$$N_t \leq A_{sd} f_y \quad (4.2.10-5)$$

式中： N_t ——单桩抗拔力设计值（N）；

k_1 ——经验折减系数，取 0.8；

d_1 ——预制空心桩内径（mm）；

L_a ——填芯混凝土高度（mm）；

f_n ——填芯混凝土与预制空心桩内壁的粘结强度设计值（N/mm²），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/mm²；

A_{sd} ——填芯混凝土纵向钢筋总截面面积（mm²）；

f_y ——填芯混凝土中纵向钢筋的抗拉强度设计值（N/mm²）。

4.2.11 当预制桩的水平承载力由水平位移控制，且缺少单桩水平荷载试验资料时，除 A 型预制管桩外，可按变形控制采用下列公式估算预制桩基础单桩水平承载力特征值：

$$R_{ha} \leq 0.75 \frac{a^3 EI}{v_x} \chi_{0a} \quad (4.2.11-1)$$

$$EI = 0.85 E_c I_0 \quad (4.2.11-2)$$

$$a = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}} \quad (4.2.11-3)$$

1 管桩

$$I_0 = \frac{\pi}{64} (d^4 - d_1^4) + (\alpha_E - 1) A_{py} \frac{D_p^2}{8} \quad (4.2.11-4)$$

$$\text{当直径 } d \leq 1\text{m 时, } b_0 = 0.9(1.5d + 0.5) \quad (4.2.11-5)$$

$$\text{当直径 } d > 1\text{m 时, } b_0 = 0.9(d + 1) \quad (4.2.11-6)$$

2 空心方桩

$$I_0 = \frac{B^3 b_0}{12} - \frac{\pi d_1^2}{64} + \frac{2(\alpha_E - 1) A_{py} b_0^3}{12b} \quad (4.2.11-7)$$

$$\text{当边长 } B \leq 1\text{m 时, } b_0 = 1.5B + 0.5 \quad (4.2.11-8)$$

$$\text{当边长 } B > 1\text{m 时, } b_0 = B + 1 \quad (4.2.11-9)$$

3 实心方桩

$$I_0 = \frac{1}{12} \left[B^3 b_0 + \frac{2(\alpha_E - 1) A_{py} b_0^3}{b} \right] \quad (4.2.11-10)$$

$$\text{当边长 } B \leq 1\text{m 时, } b_0 = 1.5B + 0.5 \quad (4.2.11-11)$$

$$\text{当边长 } B > 1\text{m 时, } b_0 = B + 1 \quad (4.2.11-12)$$

式中： E_c ——桩身混凝土弹性模量（kN/m²）；

I_0 ——桩身换算截面惯性矩（m⁴）；

d ——预制管桩外径（m）；

d_1 ——预制管桩内径（m）；

D_p ——纵向预应力钢棒分布圆的直径（m）；

A_{py} ——全部纵向预应力钢棒的总截面面积 (m^2)；

α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；

χ_{oa} ——预制桩桩顶允许水平位移 (m)；

m ——桩侧土的水平抗力系数的比例系数 (MN/m^4)，可按表 4.2.11-1 选用；

ν_x ——预制桩桩顶水平位移系数，按表 4.2.11-2 取值；

α ——预制桩的水平变形系数 ($1/m$)；

b_0 ——预制桩桩身计算宽度 (m)；

表 4.2.11-1 桩侧土水平抗力系数的比例系数 m 值

序号	地基土类别	预制桩	
		m (MN/m^4)	相应桩顶面处水平位移 (mm)
1	淤泥，淤泥质土	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 当桩侧面为几种岩土层组成时，应求得主要影响深度 $h_m=2(d+1)$ (m) 范围内的 m 值作为计算值。

表 4.2.11-2 预制管桩桩顶水平位移系数 ν_x

桩顶约束情况	桩的换算深度 (ah)	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

续表 4.2.11-2 预制管桩桩顶水平位移系数 ν_x

桩顶约束情况	桩的换算深度 (αh)	ν_x
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：1 当 $\alpha h > 4.0$ 时，取 $\alpha h = 4.0$ ；

2 3 桩及 3 桩以上承台且满足附录 B 节点要求可视为刚接；

3 2 桩及单桩承台有双向拉梁约束且满足附录 B 节点要求可视为刚接；

4 不满足 2 或 3 要求时可视为铰接。

4.2.12 预制管桩桩身正截面受弯承载力计算应符合下列规定：

1 预制管桩（预应力高强混凝土管桩、预制管桩）正截面受弯承载力设计值计算：

$$M \leq a_1 f_c A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi a}{2\pi} + f'_{py} A_{py} r_p \frac{\sin \pi a}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py} r_p \frac{\sin \pi a_t}{\pi} \quad (4.2.12-1)$$

$$a = \frac{0.55 \sigma_{p0} A_{py} + 0.45 f_{py} A_{py}}{a_1 f_c A + f'_{py} A_{py} + 0.45 (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py}} \quad (4.2.12-2)$$

$$a_t = 0.45(1 - a) \quad (4.2.12-3)$$

2 预制管桩（预应力高强混凝土管桩、预制管桩）正截面受弯承载力极限值计算：

$$M_u \leq a_1 f_{ck} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi a}{2\pi} + f'_{py} A_{py} r_p \frac{\sin \pi a}{\pi} + (f_{ptk} - \sigma_{p0}) A_{py} r_p \frac{\sin \pi a_t}{\pi} \quad (4.2.12-4)$$

$$a = \frac{0.55 \sigma_{p0} A_{py} + 0.45 f_{ptk} A_{py}}{a_1 f_{ck} A + f'_{py} A_{py} + 0.45 (f_{ptk} - \sigma_{p0}) A_{py}} \quad (4.2.12-5)$$

$$a_t = 0.45(1 - a) \quad (4.2.12-6)$$

式中： M ——预制管桩桩身受弯承载力设计值（N·mm）；

M_u ——预制管桩桩身受弯承载力极限值（N·mm）；

A ——预制管桩桩身横截面面积 (mm^2) ;
 A_{py} ——全部纵向预应力钢棒的总截面面积 (mm^2) ;
 r_1 、 r_2 ——预制管桩环形截面的内、外半径 (mm) ;
 r_p ——纵向预应力钢棒重心所在圆周的半径 (mm) ;
 α_1 ——混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值之比, 对 C60 取 $\alpha_1 = 0.98$, C80 取 $\alpha_1 = 0.94$; 其间按线性内插法确定;
 α ——矩形应力图中, 混凝土受压区面积与全截面面积的比值;
 α_t ——矩形应力图中, 纵向受拉预应力钢棒达到屈服强度的钢筋面积与全部纵向预应力钢棒截面面积的比值;
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2) ;
 f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值 (N/mm^2) ;
 f_{py} ——预应力钢棒抗拉强度设计值 (N/mm^2) ;
 f_{ptk} ——预应力钢棒抗拉强度标准值 (N/mm^2) ;
 f'_{py} ——预应力钢棒抗压强度设计值 (N/mm^2) ;
 σ_{p0} ——预应力钢棒合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢棒应力 (N/mm^2) 。

4.2.13 混合配筋混凝土管桩正截面受弯承载力应符合下列规定:

1 混合配筋混凝土管桩正截面受弯承载力设计值:

$$M \leq a_1 f_c A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi a}{2\pi} + f'_{py} A_{py} r_p \frac{\sin \pi a}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py} r_p \frac{\sin \pi a_t}{\pi} + f_y A_s r_s \left(\frac{\sin \pi a + \sin \pi a_t}{\pi} \right) \quad (4.2.13-1)$$

$$a = \frac{f_{py} A_{py} + f_y A_s}{a_1 f_c A + f'_{py} A_{py} + 1.5 (f_{py} - \sigma_{p0}) A_{py} + 2.5 f_y A_s} \quad (4.2.13-2)$$

$$a_t = 1 - 1.5a \quad (4.2.13-3)$$

2 混合配筋混凝土管桩正截面受弯承载力极限值计算:

$$M_u \leq \gamma \left(a_1 f_{ck} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi a}{2\pi} + f'_{py} A_{py} r_p \frac{\sin \pi a}{\pi} + (f_{ptk} - \sigma_{p0}) A_{py} r_p \frac{\sin \pi a_t}{\pi} + f_{yk} A_s r_s \left(\frac{\sin \pi a + \sin \pi a_t}{\pi} \right) \right) \quad (4.2.13-4)$$

$$a = \frac{f_{ptk} A_{py} + f_{yk} A_s}{a_1 f_{ck} A + f'_{py} A_{py} + 1.5 (f_{ptk} - \sigma_{p0}) A_{py} + 2.5 f_{yk} A_s} \quad (4.2.13-5)$$

$$a_t = 1 - 1.5a \quad (4.2.13-5)$$

式中： A ——预制管桩桩身横截面面积（ mm^2 ）；
 A_s ——全部纵向非预应力钢筋的总截面面积（ mm^2 ）；
 A_{py} ——全部纵向预应力钢棒的总截面面积（ mm^2 ）；
 r_1 、 r_2 ——环形截面的内、外半径（ mm ）；
 r_s ——纵向非预应力钢筋重心所在圆周的半径（ mm ）；
 r_p ——纵向预应力钢棒重心所在圆周的半径（ mm ）；
 α ——受压区混凝土截面面积与全截面面积的比值；
 α_t ——矩形应力图中，纵向受拉预应力钢棒达到屈服强度的钢筋面积与全部纵向预应力钢棒截面面积的比值；
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；
 f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值（ N/mm^2 ）；
 f_{py} ——预应力钢棒抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；
 f_{ptk} ——预应力钢棒抗拉强度标准值（ N/mm^2 ）；
 f'_{py} ——预应力钢棒抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；
 f_y ——非预应力钢筋抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；
 f_{yk} ——非预应力钢筋抗拉强度标准值（ N/mm^2 ）；
 σ_{p0} ——预应力钢棒合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢棒应力（ N/mm^2 ）；
 γ' ——考虑实际条件下的综合折减系数，取 $\gamma' = 0.95$ 。

4.2.14 预制方桩桩身正截面受弯承载力计算应符合下列规定：

$$M \leq \sum f_{py} A_{pi} \left(h_i - \frac{x}{2} \right) \quad (4.2.14)$$

式中： M ——预制方桩身受弯承载力设计值（ $\text{N}\cdot\text{mm}$ ）；
 f_{py} ——预应力钢棒抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；
 A_{pi} ——第*i*排受拉预应力钢棒的截面积（ mm^2 ）；
 h_i ——第*i*排受拉预应力钢棒至混凝土受压区外边缘的距离（ mm ）；
 x ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度，可按下列式
 $\alpha_1 f_c Bx = \sum f_{pi} A_{pi}$ ，当 x 小于 $2a'$ 时取为 $2a'$ ；
 a' ——受压区纵向钢棒合力点至截面受压区边缘的距离；
 α_1 ——系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定；
 B ——方桩边长（ mm ）；
 f_c ——桩身混凝土抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；

f_{pi} ——（混凝土受压区和受拉区）第 i 排受拉预应力钢棒的应力值（ N/mm^2 ）。

4.2.15 按裂缝等级为一级控制的轴心受拉预制桩，应符合下列规定：

$$N_k = \sigma_{pc} A_0 \quad (4.2.15-1)$$

$$A_0 = A_j + (\alpha_E - 1) A_{pv} \quad (4.2.15-2)$$

式中： N_k ——按荷载效应的标准组合计算的拉力值（ N ）；

σ_{pc} ——混凝土有效预压应力（ MPa ）；

A_0 ——截面换算面积（ mm^2 ）。

4.2.16 预制管桩的受剪截面应符合下式规定：

$$V \leq 0.12 \beta_c f_c (d^2 - d_1^2) \quad (4.2.16)$$

式中： V ——预制桩剪力设计值（ kN ）；

β_c ——混凝土强度影响系数：C80 混凝土，取 $\beta_c = 0.8$ ；C60 混凝土，取 $\beta_c = 0.93$ 。

4.2.17 预制管桩桩身斜截面受剪承载力应符合下式规定：

$$V \leq R_v \quad (4.2.17)$$

式中： R_v ——预制管桩桩身斜截面受剪承载力设计值，按本标准第 4.2.18 条确定。

4.2.18 预制管桩桩身斜截面受剪承载力设计值 R_v 应按下列公式规定确定：

1 预制管桩斜截面受剪承载力设计值，可按下式计算：

$$R_v \leq \frac{0.7tI}{s_0} \sqrt{(\sigma_{pc} + 2f_t)^2 - \sigma_{pc}^2} + \frac{\pi}{2} f_{yv} A_{sv1} \sin a \frac{d}{s} \quad (4.2.18-1)$$

2 预制管桩截桩部位斜截面受剪承载力设计值，可按下式计算：

$$R_v \leq \frac{0.7tI}{s_0} \sqrt{(\mu\sigma_{pc} + 2f_t)^2 - (\mu\sigma_{pc})^2} + \frac{\pi}{2} f_{yv} A_{sv1} \sin a \frac{d}{s} \quad (4.2.18-2)$$

3 符合本标准预制管桩填芯混凝土构造的预制管桩填芯部位斜截面受剪承载力设计值，可按下式计算：

$$R_v \leq \frac{0.7tI}{s_0} \sqrt{(\sigma_{pc} + 2f_t)^2 - \sigma_{pc}^2} + \frac{\pi}{2} f_{yv} A_{sv1} \sin a \frac{d}{s} + 0.3 f_{t1} d_1^2 \quad (4.2.18-3)$$

4 符合本标准预制管桩填芯混凝土构造的预制管桩截桩部位的填芯部位斜截面受剪承载力设计值，可按下式计算：

$$R_v \leq \frac{0.7tI}{s_0} \sqrt{(\mu\sigma_{pc} + 2f_t)^2 - (\mu\sigma_{pc})^2} + \frac{\pi}{2} f_{yv} A_{sv1} \sin \alpha \frac{d}{s_v} + 0.3f_{t1}d_1^2 \quad (4.2.18-4)$$

$$\mu = \frac{m}{l_{tr}} \quad (4.2.18-5)$$

$$l_{tr} = 0.14 \frac{\sigma_{pc}}{f_{tk}} d_e \quad (4.2.18-6)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (d^4 - d_1^4) \quad (4.2.18-7)$$

$$s_0 = \frac{1}{12} (d^3 - d_1^3) \quad (4.2.18-8)$$

式中： μ ——截桩后混凝土的有效预压应力折减系数；

l_{tr} ——截桩后预应力筋的预应力传递长度；

d_e ——预应力钢棒的公称直径；

m ——计算截面至截桩顶的距离，当 $m > l_{tr}$ ，取 $m = l_{tr}$ ；

f_t ——预制管桩混凝土的轴心抗拉强度设计值（N/mm²）；

f_{t1} ——填芯混凝土的抗拉强度设计值（N/mm²）；

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值（N/mm²）；

t ——预制管桩壁厚（mm）；

I ——预制管桩截面相对中心轴的惯性矩（mm⁴）；

S_0 ——中心轴以上截面对中心轴的面积矩（mm³）；

A_{sv1} ——单支箍筋的截面面积（mm²）；

$\sin \alpha$ ——螺旋斜向箍筋与纵轴夹角的正弦值；

s_v ——箍筋间距（mm）。

4.2.19 对于桩侧土不排水抗剪强度小于 10kPa 或可液化土层且长径比大于 50 的桩，应参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 进行桩身压屈验算。

4.2.20 预制桩基础的沉降计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。采用不同植桩工艺的预制桩承载力计算方法参照相应的现行行业标准执行。

4.2.21 预制桩桩周土体因自重固结或受地面大面积堆载等因素影响而产生的沉降大于桩的沉降时，应考虑由此引起的桩侧负摩擦力对预制桩抗压承载力及沉降的影响。当缺乏实测资料及地方经验时，桩侧负摩擦力可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定进行估算。

4.3 构造与施工要求

4.3.1 预应力筋应沿其圆周均匀配置。用于桩基工程的预制桩最小配筋率不应小于 0.5%，并不得少于 6 根，间距允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$ 。

4.3.2 混合配筋预制桩的非预应力钢筋与预应力筋宜按 1:1 间隔对称布置且非预应力钢筋屈服强度标准值不宜低于 400MPa。

4.3.3 预制桩预应力筋、箍筋及预应力筋张拉、钢筋混凝土保护层厚度等指标应参照现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的要求执行。

4.3.4 预制桩的接桩应符合下列规定：

1 预制桩上下节拼接可采用端板焊接连接或机械连接，接头应保证桩身纵向钢筋与端板等效传力，接头连接强度不应小于桩身强度。基桩的接头数量不宜超过 3 个；

2 用作抗拔的预制桩宜采用机械连接，且在强腐蚀环境下应同时采用焊接连接；

3 焊接连接施工应符合本标准 7.7 节的规定。

4.3.5 预制桩桩尖应符合下列规定：

1 桩尖应根据地质条件和布桩情况选用，中、强腐蚀性以外的场地宜优先选择开口型桩尖；

2 弱腐蚀及以上环境或桩端位于遇水易软化的风化岩层，可根据穿过的岩土层性质、打（压）桩力的大小以及挤土程度选择平底形、平底十字形或锥形闭口型桩尖，桩尖焊缝应连续饱满不渗水，且在首节桩沉桩后立即在桩端灌注高度不小于 1.2m 的补偿收缩混凝土或中粗砂拌制的水泥砂浆进行封底，混凝土强度等级不宜低于 C20，水泥砂浆强度等级不宜低于 M15。

4.3.6 预制桩顶部与承台连接处的混凝土填芯应符合下列规定：

1 对于承压桩，填芯混凝土深度不应小于 3 倍桩径且不应小于 1.5m；对于抗拔桩，填芯混凝土深度应按本标准 4.2.10 条计算确定，且不得小于 3m；对于桩顶承担较大水平力的桩，填芯混凝土深度应按计算确定，且不得小于 6 倍桩径并不得小于 3m；

2 填芯混凝土强度等级应比承台提高一个等级，且不应低于 C30 的无收缩混凝土或微膨胀混凝土；

3 预制空心桩腔内壁浮浆应清除干净，并刷纯水泥浆。填芯混凝土应灌注饱满、振捣密实，下封层不得漏浆。

4.3.7 预制桩穿越液化土层时应采用提高基础整体性、实心方桩、混合配筋桩、加大混凝土灌芯长度等加强措施。

5 复合地基工程

5.1 一般规定

5.1.1 当采用预制桩作为复合地基竖向增强体时，增强体可选用薄壁管桩、PC管桩、PS方桩等。

5.1.2 预制桩复合地基处理应符合下列规定：

- 1 预制桩复合地基处理适用于正常固结的填土、黏性土、粉土、砂土、全风化岩等岩土层；对于淤泥、淤泥质土、欠固结填土应通过试验确定其适用性；
- 2 宜选用承载力和压缩模量相对较高的岩土层作为持力层；
- 3 地基处理所采用的预制桩及连接材料，应符合耐久性要求；
- 4 预制桩复合地基可根据岩土条件、环境影响程度，选择打入、压入等方法施工；

5 预制桩增强体直径或边长宜取 300mm~600mm。间距应按复合地基承载力设计要求，考虑岩土层情况、施工机具、施工工法等综合确定，间距宜为 3 倍~6 倍桩径。

5.1.3 预制桩复合地基单桩的桩位施工允许偏差：对条形基础的边桩沿轴线方向应为桩径的 $\pm 1/4$ ，沿垂直轴线方向应为桩径的 $\pm 1/6$ ，其他情况桩位的施工允许偏差应为桩径的 $\pm 40\%$ ；桩身的垂直度允许偏差应为 $\pm 1\%$ 。

5.1.4 预制桩复合地基单桩可只在基础范围内布置；处理液化土层时，在基础外缘扩大宽度不应小于基底下可液化土层厚度的 1/2，且不应小于 5m。

5.1.5 预制桩复合地基承载力、变形和稳定性验算应符合现行国家及行业标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的要求。

5.1.6 预制桩复合地基承载力的验收检验应采用复合地基静载荷试验、单桩静载荷试验、桩身完整性检验。复合地基静载试验按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 要求执行；单桩静载荷试验、桩身完整性检验按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 要求执行。复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验的数量均不应少于总桩数的 0.5%，且每个单体工程的复合地基静载荷试验不应少于 3 点；桩身完整性检测数量不低于总桩数的 10%。

5.2 设计

5.2.1 预制桩复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验或采用增强体静载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定，初步设计时，单桩承

承载力特征值、复合地基承载力特征值、桩身强度可按下列公式估算：

$$R_a = u \sum q_{sik} l_i + \alpha_p q_p A_p \quad (5.2.1-1)$$

$$f_{spk} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (5.2.1-2)$$

$$f_{cuk} \geq 4 \frac{R_a}{A_p} + [1 + \gamma_m (d_m - 0.5) / f_{spa}] \quad (5.2.1-3)$$

式中： R_a ——单桩承载力特征值（kN）；

u ——桩身周长（m）；

q_{sk} ——桩周第 i 层土的侧阻力特征值（kPa）；

l_i ——桩周第 i 层土（岩）的厚度（m）；

α_p ——桩端端阻力发挥系数，可按地区经验确定，一般可取 0.8~1.0；

A_p ——预制桩由外径计算得到的面积（m²）；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值（kPa）；

m ——面积置换率，按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 取值；

β ——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值，无经验时取 0.7~0.9；

f_{sk} ——深度修正后的桩间土天然地基承载力特征值的经验值（kPa），可按当地经验取值；

f_{cuk} ——桩身混凝土立方体抗压强度标准值（N/mm²）；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度（kN/m³），地下水位以下取浮重度；

d_m ——基础埋置深度（m）；

f_{spa} ——经深度修正后的复合地基承载力特征值（kPa）。

5.2.2 预制桩复合地基变形计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。预制桩复合地基沉降计算按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 要求执行。

5.2.3 预制桩复合地基应在基础和增强体之间设置褥垫层，并应符合下列规定：

- 1 褥垫层厚度宜取预制桩增强体直径的 1/2，宜为 200mm~300mm；
- 2 褥垫层材料可选用中粗砂、最大粒径不大于 25mm 的级配砂石；
- 3 管桩、空心方桩顶应采用填芯混凝土等方式进行封闭，填芯高度不宜小于管桩直径或边长的 3 倍，填芯混凝土强度等级不宜小于 C30；
- 4 褥垫层夯填度不应大于 0.9。

6 基坑支护工程

6.1 一般规定

6.1.1 当采用预制桩作为支护结构主要受力构件时，应综合考虑周边环境条件、开挖深度、工程地质与水文地质条件、施工工艺及设备条件、类似工程经验、施工工期及施工季节等因素，选择悬臂式排桩、双排桩、桩—复合土钉墙、倾斜桩、排桩—锚杆、排桩—支撑等支护结构形式。支护结构选型宜符合下列规定：

1 安全等级为一级的基坑工程宜选用排桩—预应力锚杆支护、双排桩或排桩—支撑支护形式；

2 预制桩支护与截水帷幕结合时，亦可采用水泥土墙内插预制桩的形式，水泥土墙可根据土层情况、施工对周边环境扰动程度，选用搅拌水泥土连续墙、旋喷水泥土连续墙、渠式切割连续墙等。

6.1.2 预制桩支护结构类型可参照表 6.1.2 选定。

表 6.1.2 预制桩支护结构形式选型表

支护结构形式	安全等级	适用范围
悬臂桩支护结构	二级、三级基坑	基坑深度不宜大于 7m、地面荷载不大且对位移控制要求不高的支护结构。
双排桩、倾斜桩支护结构	一级、二级基坑	基坑深度 6m~12m、对位移控制要求较严格的支护结构。
锚拉式支护结构	一级、二级、三级基坑	基坑深度较大、对位移控制要求较严格。
支撑式支护结构	一级、二级、三级基坑	基坑深度大、对位移控制要求严格、设置锚杆有困难的支护结构。

6.1.3 支护结构的预制桩选型应符合下列规定：

1 宜选用混合配筋桩，当选用其他预应力混凝土管桩时，除微型桩复合土钉墙支护外，不应选用 A 型桩；

2 根据土层和土压力分布特征、支护桩内力计算结果，选用由混合配筋预应力混凝土管桩与预应力高强混凝土预制桩组合的形式。

6.1.4 支护设计应评价预制桩施工方法对周边环境的影响，并应根据影响程度选择施工方法和工艺。

6.2 设计

6.2.1 预制桩支护设计应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的相关规定。

6.2.2 预制桩选型参照表 6.2.2 并经经济性分析后综合确定。预制桩截面形式及力学性能参见附录 C。

表 6.2.2 预制桩截面形式及选型表

桩型		截面形式	单节桩长 (m)	适用土层	沉桩方法
圆形桩	混合配筋管桩	截面为圆环形的桩，直径为 400mm~800mm	≤15	填土、软土、黏性土、砂土、卵砾石、强风化岩	锤击法、振动法、静压法、植桩法
	壁体桩	截面为外方内圆的空心桩，截面边长 400mm~800mm	≤18	填土、软土、黏性土、砂土、卵砾石、强风化岩	锤击法、振动法、静压法、植桩法
方形桩	方桩	截面为正方形的实心桩，边长 300mm~600mm	≤15		
平板形桩	平板桩	截面为矩形的实心桩，宽度为 600mm，截面高度为 200mm~300mm	≤11	填土、软土、黏性土、砂土	振动法、植桩法
	空心平板桩	截面为矩形的空心桩，截面宽度为 600mm~1300mm	≤14		锤击法、振动法、植桩法
异形桩	波浪桩	截面为半圆环形的桩，截面高度 250mm~600mm	≤15	填土、软土、黏性土、砂土	锤击法、振动法、静压法、植桩法
	波形板桩 (U 形板桩)	截面为 U 形的异形桩，截面宽度为 1000mm 或 1200mm	根据型号，单节最大桩长 17~34		
	生态板桩	截面为 U 形的异形桩，截面宽度为 996mm，设置生物筑巢孔和仿生纹理	≤17		

6.2.3 预制桩与腰梁连接处应进行桩身抗剪性能和局部承压验算，并采取必要的加强措施，保证连接传力可靠。

6.2.4 预制桩支护结构监测，除应满足设计要求外尚应符合下列规定：

- 1 基坑监测应覆盖预制桩支护结构施工、土方开挖至基坑回填的全过程；
- 2 宜对预制桩挠曲变形进行监测，监测方法可采用填芯混凝土中预埋测斜管并结合桩顶水平位移监测。

6.2.5 预制混凝土桩作为临时性基础或支挡结构可不考虑耐久性及其腐蚀性要求。

6.3 构造与施工要求

6.3.1 预制桩的接头可采用机械连接，接头强度应与桩身等强度并通过试验确定。相邻桩接头应错开布置，且错开距离不应小于 2.0m，且接桩位置不宜设在计算最大弯矩或剪力的位置；悬臂式支护时，宜采用单节桩。

6.3.2 当采用排桩—锚杆支护时，桩净距不宜大于一倍桩径（边长），砂性土中宜采用较小桩间距，桩间土宜采用钢筋网喷射混凝土等防护措施封闭。

6.3.3 排桩桩顶应设置冠梁，其混凝土强度等级不应低于 C30，宽度宜大于排桩桩径，高度不宜小于 400mm。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 沉桩施工前，并应具备下列文件和资料：

- 1 拟建场地的岩土工程勘察报告；
- 2 桩基础施工图、技术安全交底文件；
- 3 施工组织设计或专项施工方案；
- 4 主要施工设备的技术性能资料；
- 5 拟建场地周围道路及建（构）筑物、地下管线、高空线路等相关的技术资料；
- 6 沉桩工艺试验资料；
- 7 预制桩出厂合格证及产品说明书；
- 8 保障工程质量、安全生产、文明施工和季节性施工的技术措施；
- 9 主管部门要求的其他资料。

7.1.2 沉桩施工前应完成下列准备工作：

- 1 调查施工场地及毗邻区域内的地下及地上管线、建（构）筑物分布情况，分析其可能遭受沉桩施工影响程度，并提出相应的安全技术保障措施；
- 2 分析当地水文、气象资料并制定可靠的施工安全措施；
- 3 处理或清除场地内影响预制桩施工的高空及地下障碍物；
- 4 平整场地，确保场地平整、坚实，承载能力能满足施工机械通行及工作的要求；
- 5 在施工影响以外稳定区域设置基桩水准基点及轴线控制点，且标记明显并做好保护；
- 6 供电、供水、排水、道路、照明、通讯、临设工房等的安装设置；
- 7 选择适合本工程施工的桩基机架和机具，且桩机安装就位，试运转正常；
- 8 施工现场的工作人员和工种配置到位；
- 9 编制周边环境全过程监测方案。

7.1.3 桩基施工的沉桩工艺试验，在同一条件下的试桩数量不应少于 3 根（总桩数少于 50 根时不少于 2 根）。试桩应符合下列规定：

- 1 试桩的位置、地质条件及其规格、长度应具有代表性，且应由设计方确认；
- 2 宜选择在控制勘探孔附近；
- 3 施工工艺应与工程桩一致；

4 利用工程桩位置试桩，且桩体未破坏，试桩经设计、监理确认符合设计要求后可按工程桩进行验收使用。

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

- 1 静压或“重锤轻击”法施工；
- 2 在施工场地与被保护对象间开挖缓冲沟，根据挤土情况可反复在缓冲沟内取土；
- 3 控制沉桩速率、优化沉桩流程；
- 4 对被保护建筑物进行加固处理。

7.1.5 桩基施工毗邻边坡或在边坡上施工时，应采取措施保证施工质量和安全，同时监测施工对边坡的影响。在临近湖、塘的施工场区，应防止桩位偏移和倾斜。

7.1.6 对于挤土沉桩的密集桩群，应对桩的竖向和水平位移进行监测。

7.1.7 桩位控制应符合下列规定：

1 桩位测放应根据桩位平面图、建筑红线和主要基准轴线确定。桩位误差应符合设计和现行国家标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的要求；

- 2 沉桩时桩机定位应准确、平稳，保证在施工中不会发生倾斜、移动。

7.1.8 沉桩施工顺序应符合下列规定：

- 1 沉桩顺序应在施工组织设计或施工方案中明确；

2 对于桩的中心距小于 4 倍管桩桩径（或方桩边长）的群桩基础，应由中心向四周的顺序施打；对于软土地区桩的中心距小于 4 倍管桩桩径（或方桩边长）的排桩，或群桩基础的同一承台的桩采用锤击法沉桩时，可采取跳打或对角线施打的施工顺序；

3 多桩承台边缘的桩宜待承台内其他桩施工完成并重新测定桩位后再施工；

4 对于一侧靠近现有建（构）筑物的场地，宜从毗邻建（构）筑物的一侧开始由近至远端施工；

5 同一场地桩长差异较大或截面尺寸不同时，宜遵循先长后短、先大直径（边长）后小直径（边长）的施工顺序。

7.1.9 预制桩的沉桩施工应符合下列规定：

1 第一节预制桩起吊就位插入地面下 0.5m~1.0m 时的垂直度偏差不得大于 0.5%；

2 当桩身垂直度偏差超过 0.8% 时，应找出原因并作纠正处理；沉桩后，严禁用移动桩架的方法进行纠偏；

- 3 沉桩、接桩、送桩宜连续进行；
 - 4 沉桩施工工艺应与沉桩工艺试验一致。
- 7.1.10** 遇下列情况时，可采用引孔、植桩法或其他有效施工措施进行沉桩：
- 1 当挤土型预制桩的最小间距无法满足本标准 4.1.5 条的相关规定或挤土效应对周边影响较大时；
 - 2 当遇到密实的砂土、碎（卵）石土等硬土夹层，桩端难于沉到设计标高时；
 - 3 当遇到坚硬岩、较硬岩层或遇有飘石、孤石时。
- 7.1.11** 采用引孔辅助沉桩法时，引孔的直径、孔深应符合下列规定：
- 1 引孔直径不宜超过桩直径的 2/3，深度不应超过桩长的 2/3；
 - 2 引孔垂直偏差不宜大于 0.5%；
 - 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 采用引孔辅助沉桩法的终压（锤）标准应根据相应的沉桩工艺，依据第 7.3 节、7.4 节的有关规定执行。
- 7.1.12** 植入法的成孔方式有旋挖成孔法、螺旋成孔法、潜孔锤成孔法、水泥石搅拌及高压旋喷法等工法，沉桩方式有静压植入法、锤击植入法、振动植入法等。
- 7.1.13** 在植入法施工过程中，采用静压、锤击、振动辅助预制桩沉桩时，施工过程的控制应符合规程中相关工艺要求；桩端标高应不高于成孔有效标高。
- 7.1.14** 遇下列特殊情况之一时，应暂停沉桩，并与设计、勘察、监理等有关人员研究处理后方可继续施工：
- 1 压桩力或沉桩贯入度异常突变；
 - 2 沉桩入土深度与设计要求差异大；
 - 3 实际沉桩情况与地质报告中的土层性质明显不符；
 - 4 桩头混凝土剥落、破碎，或桩身混凝土出现裂缝或破碎；
 - 5 桩身突然倾斜；
 - 6 地面明显隆起、邻桩上浮或位移过大；
 - 7 沉桩过程出现异常声响；
 - 8 压桩不到位，或总锤击数超过规定值。
- 7.1.15** 沉桩的控制深度应根据地质条件、贯入度、压桩力、设计桩长、标高等因素综合确定。当桩端位于一般土层时（摩擦型桩），应以控制桩端设计标高为主，贯入度（压桩力）为辅；桩端达到坚硬、硬塑的黏性土、中密以上粉土、砂土、碎石类土及风化岩时（端承型桩），应以贯入度（压桩力）控制为主，桩端标高为辅。

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

7.1.17 沉桩完成后应对桩头高出或低于地表部分进行保护处理。

7.1.18 基坑开挖时应制定施工方案，桩顶以上 1.0m 内的土方，应采用人工开挖与小型挖土机械相配合的方法。当桩顶高低不齐时，应采用人工逐批开挖出桩头，截桩后再行开挖。

7.1.19 基础工程桩一般应在基坑支护结构施工前完成，若在基坑底采用植入法施工，应适当控制沉桩速率和施工平面顺序。

7.1.20 在饱和黏性土、粉土地区，宜在沉桩全部完成 15 天后进行开挖。

7.1.21 挖土应均衡分层进行，对流塑状软土的基坑开挖，高差不应超过 1.0m。

7.1.22 施工现场道路布置、材料堆放、车辆行驶路线等应符合设计荷载控制要求，并应减少对主体结构、支护结构、周边环境等的影响。

7.1.23 挖土机械和运土车辆在基坑中工作时不应对预制桩和基坑围护结构进行直接挤推。

7.2 起吊、搬运及堆放

7.2.1 预制桩的吊运应符合下列规定：

- 1 预制桩在吊运过程中应轻吊轻放，采取措施防止吊点滑动，严禁碰撞、滚落；
- 2 预制桩不宜在施工现场多次倒运；
- 3 预制桩长度不大于 15m，宜采用两点起吊，吊点位置如图 7.2.1-1 所示；也可采用专用吊钩钩住桩两端内壁进行水平起吊，吊绳与桩夹角应大于 45° ；

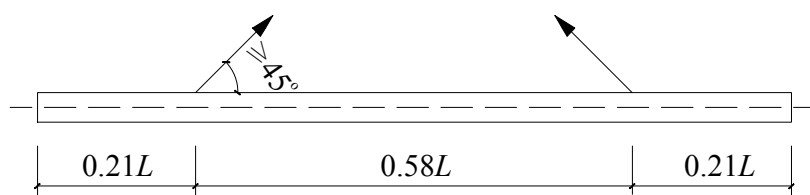


图 7.2.1-1 长度不大于 15m 的预制桩吊点位置

- 4 预制桩长度大于 15m 且小于 30m，应采用四点吊，吊点位置如图 7.2.1-2 所示；长度大于 30m 的预制桩，应采用多点吊，吊点位置应另行验算；

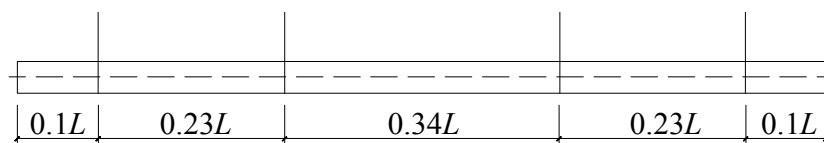


图 7.2.1-2 长度大于 15m 且小于 30m 的预制桩吊点位置

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

7.2.3 预制桩的现场堆放应符合下列规定：

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

7.2.4 施工现场移桩应符合下列规定：

- 1 预制桩叠层堆放时，应采用吊机取桩，严禁拖拉移桩；
- 2 应保持桩机的稳定和桩的完整；
- 3 采用三点支撑履带自行式打桩机施工时不宜拖拉取桩。

7.3 静压法沉桩

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

- 1 压桩机最大压桩力应大于考虑群桩挤密效应的最大压桩动阻力，还应小于压桩机的机架重量和配重之和的 0.8 倍，不得在浮机状态下施工；
- 2 采用顶压式压桩机时，桩帽或送桩器与桩之间应加设弹性衬垫；
- 3 采用抱压式压桩机时，夹持机构中夹具应避开桩身两侧合缝的位置；
- 4 压桩过程中的最大压桩力值应符合设计要求，或根据沉桩工艺试验值确定，不宜大于桩身结构竖向承载力设计值的 1.5 倍；
- 5 压桩机的选择还应综合考虑下列因素：
 - 1) 夹持机构应适应桩截面形状，且桩身混凝土不发生夹裂现象；
 - 2) 压边桩的能力应能满足现场施工作业条件要求；
 - 3) 最大压桩力应达到本条第 4 款所规定的终压力值。

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

1 抱压施工压桩力

预应力混凝土管桩、预制桩：

$$R_b \leq 1.0 f_c A \quad (7.3.2-1)$$

预应力超高强混凝土预制桩、预应力高强混凝土预制桩、混合配筋管桩：

$$R_b \leq 0.95 f_c A \quad (7.3.2-2)$$

2 顶压施工压桩力

$$R_d \leq 1.1 R_b \quad (7.3.2-3)$$

式中： R_b ——桩身允许抱压压桩力（kN）；

R_d ——桩身允许顶压压桩力（kN）；

f_c ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值（kPa）；

A ——预制桩桩身横截面面积（ m^2 ）。

7.3.3 压桩机就位后应精确定位，采用线锤对点时，锤尖距离放样点不宜大于10mm；施工沉桩速度不宜大于2m/min。

7.3.4 施工过程中应记录沉桩过程中的各种情况，包括压桩时间、桩位编号、桩身外观情况、入土深度和对应的压桩力、终压持续时间等。

7.3.5 沉桩时应符合下列规定：

1 压桩机应保持水平；稳压压桩力不得小于终压力，稳定压桩的时间宜为5s~10s；

2 宜连续将桩沉到设计标高，尽量缩短中间停顿时间，避免在接近持力层时接桩；

3 斜桩下桩过程中，桩架宜与桩的设计倾斜度保持一致。

7.3.6 静压施工应配备专用送桩器，严禁采用工程用桩作为送桩器，送桩器应符合下列规定：

1 送桩器应有足够的强度和刚度，送桩器长度应满足送桩深度的要求；

2 送桩器的横截面外周形状应与所压桩相一致，下端应设置套筒，套筒深度宜为300mm~350mm，送桩器的弯曲度不得大于送桩器长度的1%；

3 送桩器上应有尺寸标志；

4 送桩器下端应设置排气孔，保证预制桩内腔与外界相通。

7.3.7 采用送桩器施工时，应符合下列规定：

1 送桩器与桩顶的接触面应平整，并与送桩器中心轴线垂直。送桩器与桩顶的接触面间应加衬垫，防止桩顶压碎。衬垫需经常更换，送桩器与桩顶接触面应密贴；

2 送桩前应测量桩的垂直度，并检查桩头质量。最上面一节桩的端板应套上防土桩帽，桩帽用 1mm~2mm 的薄钢板焊成，薄钢板上应开孔，保证预制桩内腔与外界连通。合格后方可送桩，送桩作业应连续进行；

3 送桩前，预制桩露出地面高度宜为 0.3m~0.5m；

4 有上浮可能需要复压或在饱和软黏土、淤泥质土中送桩时，送桩深度不宜超过 1.5m；

5 当桩的垂直度偏差小于 1%，且桩的有效桩长大于 15m 时，静压桩送桩深度不宜超过 8m；

6 不应将工程桩用作送装器。送桩的最大压桩力不宜超过桩身允许抱压压桩力的 1.1 倍。

7.3.8 终压控制标准应符合下列规定：

1 终压标准应根据设计要求、沉桩工艺试验情况、桩端进入持力层情况及压桩动阻力等因素，结合现场静载试验结果确定；

2 摩擦型桩以桩端标高控制为主，终压力控制为辅；

3 当压桩力已达到终压力或桩端已到达持力层时应采取稳压措施；

4 稳压压桩力不得小于终压力，稳压压桩的时间宜 5s~10s；

5 终压连续复压次数应根据桩长及地址条件等因素确定，对于入土深度大于或等于 8m 的桩，复压次数可为 2 次~3 次，对于入土深度小于 8m 的桩，复压次数可为 3 次~5 次。

7.4 锤击法沉桩

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

7.4.2 桩帽及垫层的选择应符合下列规定：

1 桩帽应有符合要求的强度、刚度和耐打性；

2 桩帽应与施打的预制桩截面相匹配，桩帽中心应与锤垫中心重合。严禁使用过渡性钢套，用大桩帽打小截面桩；

3 打桩时桩帽底面与桩头之间应设置弹性桩垫，桩垫可采用纸板、棕绳、胶合板、钢绞线等材料制作，厚度应均匀一致。压缩后桩垫厚度应为 120mm~150mm，且应在打桩期间经常检查，及时更换或补充；

4 桩帽上部直接接触打桩锤的部位应设置锤垫，锤垫应用坚纹硬木、钢丝绳和分子聚合物等制作，其厚度应为 150mm~200mm，打桩前应进行检查、校正或更换。

7.4.3 送桩器及其衬垫设置除应符合 7.3.6 条、7.4.2 条规定外，尚应符合下列规定：

1 插销式送桩器下端的插销长度宜取 200mm~300mm，外径应比桩内径小 20mm~30mm，对于内孔存有余浆的预制桩，不应采用插销式送桩器；

2 送桩作业时，送桩器与桩头之间应设置桩垫，桩垫经锤击压实后的厚度不宜小于 60mm。

7.4.4 沉桩施工应符合下列规定：

1 第一节预制桩起吊就位插入地面后应认真检查桩位及桩身垂直度偏差，垂直度偏差不得大于 0.5%；

2 当预制桩沉入地表土后就遇上厚度较大的淤泥层或松软的回填土时，柴油锤应采用不点火空锤的方式施打。液压锤应采用落距为 200mm~300mm 的方式施打；

3 预制桩施打过程中，宜重锤低击，应保持桩锤、桩帽和桩身的中心线在同一条直线上，并随时检查桩身的垂直度。

4 在深厚的黏土、粉质黏土层、砂土中施打预制桩，沉桩、接桩、送桩宜连续进行，尽量减少中间休歇时间；

5 预制桩内孔充满水或淤泥时，桩身上部应设置排气（水）孔；

6 斜桩沉桩过程中，桩架宜与桩的设计倾斜度保持一致；

7 施工应设置机械臂导向架并及时调整机座和桩架，使桩锤上下运动轨迹与桩身横截面形心重合；

8 根据现场环境要求采取防挤土、噪声措施。

7.4.5 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、最后贯入度或最后 1m~3m 的每米沉桩锤击数等因素综合确定。

7.4.6 当以贯入度控制时，最后 10 击的贯入度不宜大于 30mm。当持力层为较薄的强风化岩层且下卧层为中、微风化岩层时，最后 10 击的贯入度不应大于 25mm。

7.4.7 每根桩的总锤数及最后 1m 沉桩锤击数宜进行控制，混合配筋管桩、预应力高强混凝土预制桩总锤击数不宜超过 2000 击、最后 1m 沉桩锤击数不宜超过 300 击；预应力混凝土预制桩总锤击数不宜超过 1500 击。最后 1m 沉桩锤击数不宜超过 250 击。

7.5 水泥土复合桩

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

7.5.2 水泥土复合桩沉桩适用于填土、黏性土、砂卵石、全风化、强风化岩。

7.5.3 水泥土复合桩的施工应符合下列规定：

1 应根据工程地质条件、场地环境条件、原材料供应情况和类似工程经验编制专项施工方案，因地制宜选择施工设备和工艺参数；

2 应通过工艺性试验施工确定施工工艺参数；

3 水泥土复合桩直径应根据土层的工程地质性质确定，成桩直径宜超过预制桩直径 200mm~300mm；

4 水泥土复合桩成孔深度应达到设计深度；

5 宜采用 42.5 级或以上普通硅酸盐水泥，对于水、土腐蚀性环境宜选用抗腐蚀性水泥；水泥掺入量根据现场土质条件、受力特征选取，一般为 15%~25%，软土取高值，不宜小于 15%。

7.5.4 水泥土复合桩工法的施工机械宜由下列设备组成。

1 成孔设备：深层搅拌钻机或高压旋喷钻机；

2 植桩设备：静压桩机或锤击桩机；

3 制浆设备：水泥浆拌合罐、砂浆泵等；

4 其它辅助设备：小型挖掘机、送桩器、电焊机等。

7.5.5 施工前应对施工机械各组成部分进行系统检查、试运行，由水泥浆搅拌装置、混凝土注入装置、输送管线等组成的供料系统应进行调试，各系统试运转正常后方可施工。

7.5.6 水泥土复合桩工法施工工艺流程宜符合图 7.5.6 的规定。

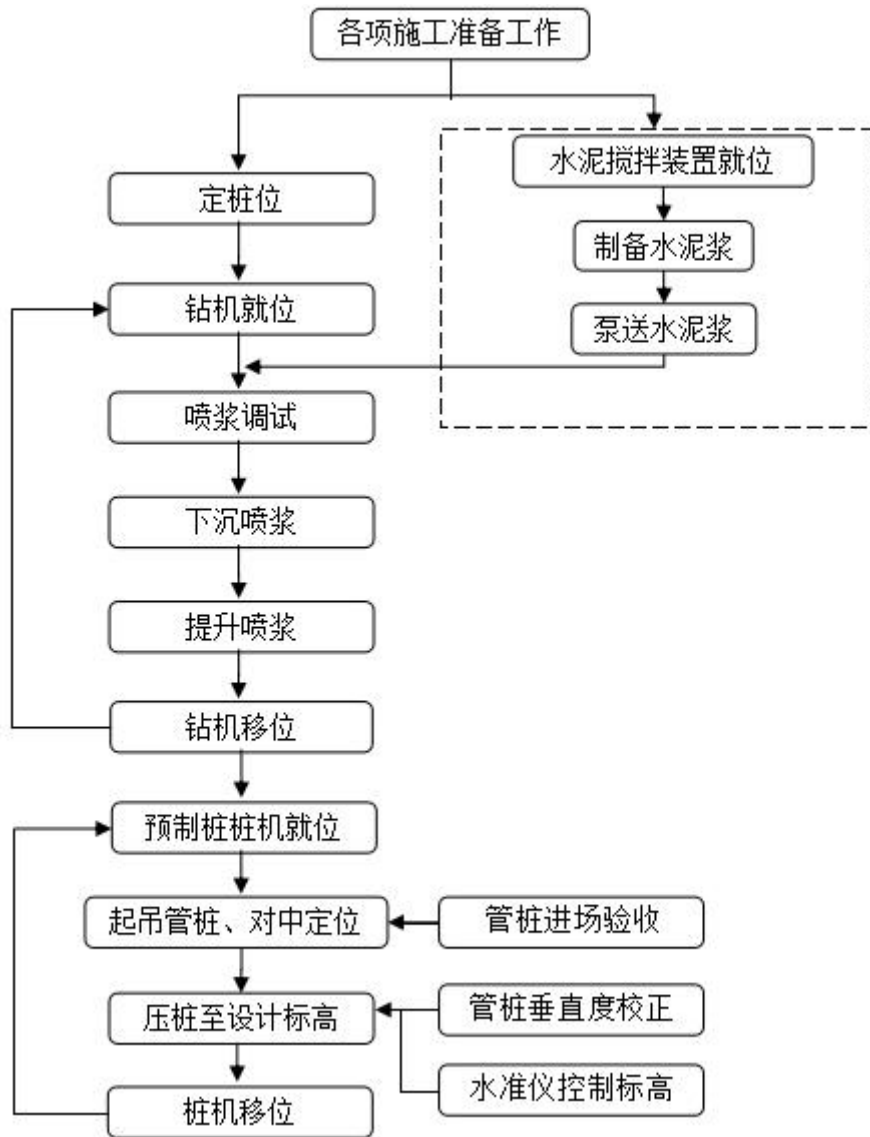


图7.5.6 水泥土复合桩工法施工工艺流程图

7.5.7 放样定位测量控制应符合下列规定：

- 1 施工前，应根据轴线及桩位布置情况，在场地内建立测量控制网确定各桩位中心点；
- 2 开孔前，在桩位外设置定位龙门桩；
- 3 桩位轴线采取在地面设十字控制网和基准点。

7.5.8 沉桩应符合下列规定：

- 1 钻机就位后，钻尖对准桩位中心，桩机定位应准确、水平、垂直、稳固，钻杆中心线、钻头中心线应保持在同一直线；
- 2 钻头中心与桩位中心水平偏差应小于 10mm，垂直度偏差不超过 0.5%；

3 水泥土复合桩施工需保证连续性，应在搅拌桩施工完成后 2h~3.5h 内完成植桩施工（夏季施工可取小值，冬季施工可取大值）。超时未植入芯桩的水泥土桩，应进行复搅后方可植入芯桩。

7.5.9 水泥土复合桩沉桩施工可采用静压法沉桩、振动法沉桩、锤击法沉桩。

7.6 预成孔植桩

7.6.1 引孔植桩宜采用等长桩，其构造示意如图 7.6.1 所示。

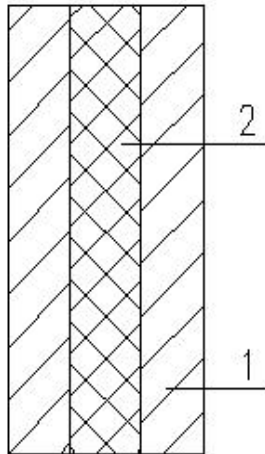


图7.6.1 预成孔植桩构造示意图

1—细石混凝土（或水泥砂浆） 2—预制桩

7.6.2 施工设备

- 1 预成孔植桩法的施工机械宜由钻机、起吊设备和其他辅助设备组成。
- 2 其他辅助设备应由小型挖掘机、送桩器、电焊机和其他设备组成：
 - 1) 小型挖掘机：主要用于排土处理；
 - 2) 送桩器：用于把桩头沉设至地面以下；
 - 3) 电焊机：焊接采用电弧焊或二氧化碳气体保护焊。
- 3 应对施工机械各组成部分进行系统检查、试运行正常后方可施工。
- 4 砂浆、混凝土注入装置、输送管线等组成的供料系统应先进行调试、试运转正常后方可施工。

7.6.3 预成孔植桩法施工工艺流程图如图 7.6.3 所示。

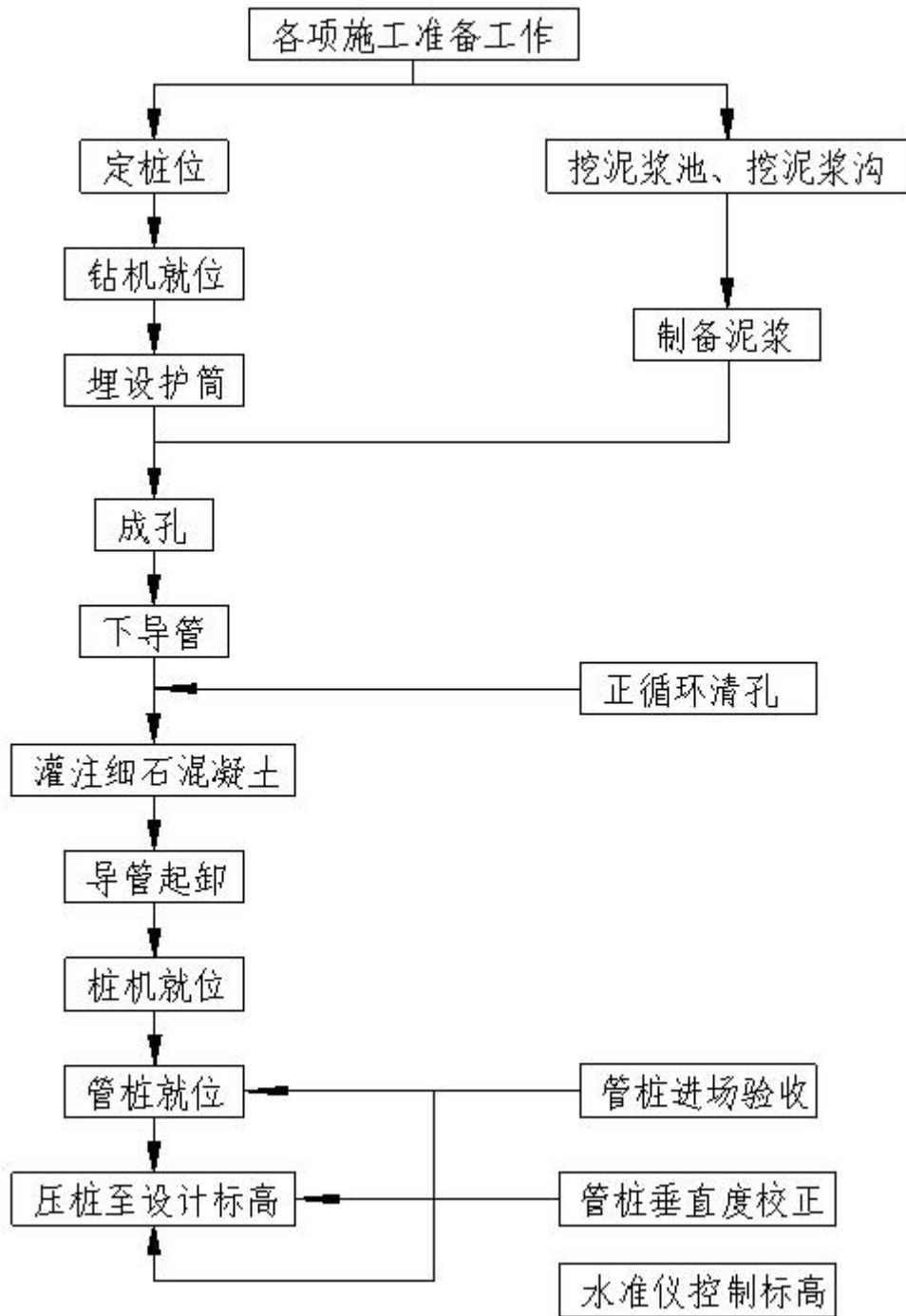


图7.6.3 预成孔植桩施工工艺流程图

7.6.4 钻机就位应符合下列规定：

1 在桩位复核正确，护筒埋设符合要求，护筒、地坪标高已测定的基础上，钻机方可就位；

2 钻机就位后，在测量和施工人员的指导下，钻尖对准桩位中心，钻机旋挖至一定深度取出土后下放护筒。护筒埋深宜为 1m~2m，高出地面宜为 30cm。桩机定位应准确、水平、垂直、稳固，钻机导杆中心线、回旋盘中心线、护筒中心线应保持在同一直线。钻头中心与桩位中心误差应小于 10mm。

7.6.5 清孔

1 当钻进至设计桩底标高时，应及时停止钻进，提出钻头，并让成孔桩静止 0.5h。此地层在 0.5h 之内，悬浮在泥浆中的砂砾沉淀接近 80%，此时用钻具贴近桩底进行第一次清孔，孔底沉渣不得大于设计要求，泥浆密度比较稳定，方可进行下一道工序，直至第二次清孔。清孔是孔桩施工、保证成桩质量的重要一环，通过清孔确保桩孔的质量指标、孔底沉渣厚度、循环液中含钻渣量和孔壁泥垢等符合桩孔质量要求。

2 桩孔终孔后将钻具提高 20cm~50cm，采用大泵量泵入性能指标符合要求的新泥浆并维持正循环 30min 以上，直到清除孔底沉渣且使孔壁泥质、泥浆含砂量小于 4% 为止。工程桩孔因有较厚的松散易坍土层，清孔后不能立即终孔，安装好灌浆导管后施行二次清孔作业，以使砼灌注前孔底沉渣厚度符合要求，保证成柱质量。

7.6.6 下导管

1 导管的选择

采用丝扣连接的导管，其内径 $\phi 250 \sim \phi 280$ ，底管长度为 4m，中间每节长度一般为 2.5m。在导管使用前，必须对导管进行外观检查、对接检查。

外观检查：检查导管有无变形、坑凹、弯曲，以及有无破损或裂缝等，并应检查其内壁是否平滑，对于新导管应检查其内壁是否光滑及有无焊渣，对于旧导管应检查其内壁是否有混凝土粘附固结。

对接检查：导管接头丝扣应保持良好。连接后应平直，同心度要好。

导管应做闭水试验，试验时的水压应不小于井孔内水深 1.3 倍的压力。

经以上检验合格后方可投入使用，对于不合格导管严禁使用。导管长度应根据孔深进行配备，满足清孔及水下混凝土浇筑的需要，即清孔时能下至孔底；水下浇筑时，导管底端距孔底 0.5m 左右，混凝土应能顺利从导管内灌至孔底。

2 导管下放

导管在孔口连接处应牢固，设置密封圈，吊放时，应使位置居中，轴线顺直，稳定沉放。

7.6.7 外芯填充料灌注

1 填充料应根据设计要求选择，当采用预灌注细石混凝土时，应根据施工设备和施工组织，添加缓凝剂以满足植入桩时间需要，混凝土坍落度宜控制在 180mm~220mm。当采用水泥砂浆作为填充料时应根据设计要求通过配合比试验确定。

2 浇筑前，对不同直径、深度的桩孔分别计算出混凝土浇筑灌入量，施工中要保证灌入量满足要求，防止填充高度不足和超灌过量的浪费，以超灌量600mm~1000mm为宜。

3 成孔后应根据计算和先期试桩工艺，填筑合适深度的填充料。

4 当采用细石混凝土或水泥砂浆作为填充料时，应采用导管灌注，孔内经检查沉渣满足规范要求时，导管需伸至孔底，灌注填充料时缓慢提管。

5 预钻孔内有水或采用泥浆护壁，应采用水下灌注混凝土工艺。

6 水下混凝土浇筑：施工中要保证灌入量。浇筑时导管埋深控制在2m~6m，拆管前专人测量孔内混凝土面，并做记录。

7.6.8 钻孔过程中应及时检查成孔垂直度，垂直度偏差不应大于0.5%。

7.6.9 接桩时应在下节桩桩顶距离地面0.8~1.0m时，用专用工具将桩固定，固定桩的专用工具应具有足够强度、刚度，置于孔口周围保持稳定，确保植入桩垂直对中；吊下一节桩接桩时，孔内桩桩顶卡口夹具应具有足够强度和刚度，防止已植入孔内的桩与孔外的桩在连接时滑落。

7.6.10 预成孔植入桩沉桩可采用静压法沉桩、锤击法沉桩和振动法沉桩，收锤和终压标准宜按试桩确定的参数或工程经验进行。

7.6.11 预成孔植入桩质量的控制应符合下列要求：

1 桩位控制应在沉桩前做好桩位标记，严格控制桩的对中程度，桩位定位允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ ；

2 钻孔应孔径均匀、垂直且不能塌孔，孔口应有防止坠物措施；

3 桩植入过程中，应随时检测桩位和垂直度，第一节桩垂直度偏差不应大于0.5%，整根桩垂直度偏差不应大于1%；

4 桩端标高应不高于成孔有效标高，避免存在孔底沉渣；

5 预制桩与预成孔孔壁间间隙浆液应饱和密实，并根据需要随时补充。

7.7 接桩与截桩

7.7.1 焊接接桩除应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205和《钢结构焊接规范》GB 50661中的焊缝规定外，尚应符合下列规定：

1 抗拔桩和抗压桩分别满足一级焊缝和二级焊缝的相关要求；

2 桩头宜高出地面1.0m；

3 下节桩的桩头处宜设置导向箍或其他导向措施。接桩时，上、下节桩段应保持顺直，错位不超过2mm；逐节接桩时，节点弯曲矢高不得大于桩长的1/1000，且不得大于20mm；

- 4 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；
- 5 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；
- 6 焊接层数不得少于 2 层，内层焊渣应清理干净后方可施焊外层，焊缝应饱满连续；
- 7 手工电弧焊接时，第一层宜用 $\phi 3.2\text{mm}$ 电焊条施焊，保证根部焊透。第二层可用粗焊条，宜采用 E43 型系列焊条；采用二氧化碳气体保护焊时，焊丝宜采用 ER50-6 型；
- 8 桩接头焊好后应进行外观检查，检查合格后必须经自然冷却，方可继续沉桩。锤击桩自然冷却时间应不少于 8 分钟，静压桩自然冷却时间应不少于 6 分钟，当采用二氧化碳气体保护焊时不应少于 3 分钟。严禁浇水冷却，或不冷却就继续沉桩；
- 9 钢桩尖宜在工厂内焊接；当在工地焊接时，宜在堆放现场焊接。严禁桩起吊后点焊、仰焊；
- 10 桩身接头焊接外露部分应作防锈处理；
- 11 雨天焊接时，应采取防雨措施。

7.7.2 预制桩采用机械连接方式时，其间隙应保证采用沥青填料填满，并应符合下列规定：

- 1 采用机械螺纹接头接桩时，应符合下列规定：
 - 1) 接桩前检查桩两端制作的尺寸偏差及连接件，无损伤后方可起吊施工，下节桩段的桩头宜高出地面 0.8m~1.0m；
 - 2) 接桩时，卸下上、下节桩两端的保护装置后，应清理接头残留物；
 - 3) 采用专用接头锥度对中，对准上下节桩后，旋紧连接；
 - 4) 可采用专用链条式扳手旋紧，锁紧后两端板尚应有 1mm~2mm 的间隙。
- 2 采用机械啮合接头接桩时，应符合下列规定：
 - 1) 连接前，连接处的桩端端头板必须先清理干净，把满涂沥青涂料的连接销用扳手逐根旋入预制桩带孔端板的螺栓孔内，并用钢模型板检测调整连接销的方位；
 - 2) 剔除下边已就位预制桩带槽端板连接槽内填塞的泡塑保护块，在连接槽内注入不少于 0.5 倍槽深的沥青涂料，并沿带槽端板外周边抹上宽度 20mm、厚度 3mm 的沥青涂料。当预制桩基础的地基土、地下水为中等以上腐蚀性时，带槽端板板面应满涂沥青涂料，厚度不应小于 2mm；

3) 将上节预制桩吊起, 使连接销与带槽端板上的各个接口对准, 随即
将连接销插入连接槽内;

4) 加压使上、下桩节的桩端端头板接触, 接桩完成。

4 采用其它机械方式接桩时, 应符合相应机械连接方式操作要求的规定,
固定正确、牢固。

7.7.3 预制桩截桩应采用锯桩器, 严禁采用大锤横向敲击截桩或强行扳拉截桩。

7.8 施工过程质量控制与监测

7.8.1 施工过程质量控制与监测包含以下内容:

- 1 桩位的复测;
- 2 成桩机具的检查;
- 3 桩身垂直度检测;
- 4 桩接头施工质量监控;
- 5 锤击沉桩收锤或静压沉桩终压力值、稳压次数和稳压时间的监控;
- 6 施工记录的监督和检查;
- 7 施工对周围环境影响的监测;
- 8 基坑开挖和截桩头的监控等。

7.8.2 桩位经施工单位放线定位后, 应根据有关要求对桩位进行复核。在施工过
程中, 应随时注意桩位标记的保护, 防止桩位标记发生错乱和移位。

7.8.3 桩身垂直度检测应符合下列规定:

1 应首先检查第一节桩定位时的垂直度, 可用吊线锤法; 当垂直度偏差不
大于 0.5% 时, 方可进行施打;

2 在施工过程中, 应及时抽检桩身垂直度;

3 送桩前, 应对桩身垂直度进行检查;

4 预制桩承台施工前, 应对桩身垂直度进行检查, 垂直度偏差应为 $\pm 1\%$ 。

7.8.4 桩接头连接质量控制应符合下列规定:

1 焊接接头应按第 7.7 节的规定执行。应检查电焊工上岗资质证书; 检查焊
条的规格、品种、质量和直径; 再次检查电焊坡口的尺寸; 记录焊接所用的时间;
检查焊缝的质量; 记录焊完后的停歇时间等;

2 机械接头应按第 7.7 节的规定执行。除应检查接头零部件的数量、尺寸及
质量外, 尚应检查接头连接后的质量等。

7.8.5 锤击沉桩过程中出现贯入度突变时, 应停止锤击沉桩施工, 按现行行业标
准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 规定的方法, 对出现贯入度突变的基桩进

行检测，并在相同施工工艺和相似地基条件下，与未出现贯入度突变的基桩进行对比检测或监测，查明贯入度突变的原因。

7.8.6 机械成孔植桩及搅拌植桩施工工艺性能试验应对预制桩外侧填充料的形态大小、垂直度、胶结情况、桩身均匀程度及固结体强度进行检验。

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

7.8.8 施工记录应按下列规定进行审核：

1 当配置施工自动记录仪时，应检查自动记录仪是否正常，对所记录的各种施工数据进行逻辑分析判定；

2 当采用人工记录时，应对作业班组所安排专人记录的内容进行检查；

3 预制桩施工完成后，施工记录应经旁站监理人员签名确认，方可作为施工记录。

7.8.9 施工过程对周围环境影响的监测应符合下列规定：

1 应根据施工组织方案检查预制桩的施工顺序；

2 当施工振动或挤土可能危及周边的建筑物、道路、市政设施时，应对周边建（构）筑物的变形和裂缝情况进行监测；

3 对挤土效应明显或大面积群桩基础，应抽样监测已施工预制桩的上浮量及桩顶偏位位置，预制桩的监测数量不应少于 10%且不得少于 10 根。

7.8.10 预制桩支护结构监测，除应满足设计要求外尚应符合下列规定：

1 安全监测应覆盖预制桩支护结构施工、土方开挖、基坑工程使用与维护直至基坑回填的全过程；

2 宜对预制桩的裂缝进行监测；

3 宜对预制桩芯桩钢筋与冠梁的连接处外观进行检查。

8 质量检验与验收

8.1 进场质量检验

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

1 同一单位工程，采用不同桩型的预制桩时，宜按不同桩型划分为若干分项工程；

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

8.1.2 预制桩的进场质量检验应包含以下内容：

- 1 规格、型号的核查；
- 2 尺寸偏差、外观质量的抽检；
- 3 端板或机械连接部件的抽检；
- 4 结构钢筋的抽检；
- 5 防腐蚀性能的抽检；
- 6 堆放及桩身破损情况的检查等。

8.1.3 预制桩进场后，应按设计图纸、施工组织设计以及本标准第 3 章的有关要求，对照产品合格证、运货单及预制桩外壁的标志，对其规格、型号以及种类逐条进行检查。当预制桩规格和型号不符合要求时，应退回，不得使用。当施工工艺对龄期有要求时，应核查龄期，预制桩的龄期应满足施工工艺要求。

8.1.4 预制桩进场后，应按现行标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476 和《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197 的有关要求，对预制桩的尺寸偏差和外观质量进行抽检。抽检数量不应少于 2% 的桩节数且不应少于 2 节。当抽检结果出现一根桩节不符合质量要求时，应加倍抽检，若仍有不合格的桩节，该批预制桩不得使用。

8.1.5 当采取焊接接头时，应按本标准第 4 章的要求以及行业标准的有关规定抽检桩套箍和端板的质量，应重点检查端板的材质、厚度和电焊坡口尺寸，并应符合以下规定：

- 1 端板厚度的抽检数量不应少于 2% 的桩节数，且不应少于 2 节；
- 2 电焊坡口尺寸检查应逐条进行；
- 3 凡端板厚度或电焊坡口尺寸不合格的桩不得使用。

8.1.6 当采用机械连接时，应符合以下规定：

- 1 抽检数量不应少于 2%的桩节数，且不应少于 2 节；
- 2 若发现连接部件的材质、部件数量及尺寸有不符合要求者，该批桩不得使用。

8.1.7 结构钢筋、钢棒的抽检应包括预应力钢棒和纵向钢筋的数量和直径，螺旋筋的直径、间距和加密区的长度，以及钢筋的混凝土保护层厚度，每个检验批抽检桩节数不应少于 2 节，检测结果应符合设计要求或行业标准的有关规定。同一检验批中，当发现有不合格的预制桩时，该检验批的预制桩不得使用。

8.1.8 当需对预制桩所用预应力钢棒、螺旋筋材料的材质进行抽检时，检测方法及其结果应符合行业标准《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3、《低碳钢热轧圆盘条》GB/T 701、《冷拔低碳钢丝应用技术规程》JGJ 19 等的有关规定。

8.1.9 桩身混凝土强度等级的检查应对照产品合格证书。当需对预制桩桩身混凝土强度进行抽检时，检测方法宜采用钻芯法或全截面抗压试验方法，并应符合下列规定：

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

- 2 预制桩全截面抗压试验应符合行业标准规定。当对钻芯法的检测结果评价有争议时，可采用全截面抗压试验进行评价。

8.1.10 常用桩尖或特殊桩尖的检查 and 检测，应按设计要求进行。生产厂家应提供桩尖钢材化学成分和力学性能的测试报告。桩尖的规格、构造的检查和验收应按本标准附录 F 或设计的要求进行，检测方法除量测各尺寸外，可随机抽取 5% 的桩尖进行重量的检查。若单个桩尖重量达不到规定理论重量的 90%，该桩尖即为不合格。不合格数量超过 3 个时应逐个检查，不合格者不得使用。

8.1.11 预制桩混凝土及桩身防腐蚀检验应按本标准第 3.2 节和国家或行业标准的有关要求进行。

8.1.12 预制桩进场后叠堆时，应按本标准第 7.2.3 条的有关要求检查堆放的场地条件、垫木材质、尺寸及位置、堆放层数等，防止预制桩受损。

8.1.13 对预制桩的拖拉和起吊应进行旁站监理，当预制桩起吊就位前，应检查桩身是否存在裂缝，不得使用有裂缝的预制桩。

8.2 成桩质量检测

8.2.1 成桩质量检测的内容应包括以下内容：

- 1 桩位、桩长、桩径等；

- 2 桩身垂直度；
- 3 截桩后的桩顶标高；
- 4 桩身质量、完整性；
- 5 桩基承载力。

8.2.2 预制桩桩顶平面位置的允许偏差除应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定外，尚应符合表 8.2.2 的规定，可用全站仪进行检测。

表 8.2.2 预制桩桩顶平面位置的允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
单排或双排桩条形桩基： (1) 垂直于条形桩基纵向轴的桩	100
(2) 平行于条形桩基纵向轴的桩	150
承台桩数为 1~3 根桩基中的桩	100
承台桩数为 4~16 根桩基中的桩	$d/2$ (或 $B/2$)
承台桩数多于 16 根的桩： (1) 周边桩	$d/3$ (或 $B/3$)
(2) 中间桩	$d/2$ (或 $B/2$)

注：1 d 为管桩外径； B 为方桩边长；

- 2 支护桩桩位允许偏差为 50mm，预埋件位置的偏差为 20mm；
- 3 复合地基的桩位允许偏差为 100mm；
- 4 植入法施工的桩，桩位允许偏差为 10mm。

8.2.3 成桩桩身垂直度检查应符合下列规定：

- 1 逐根进行检查；
- 2 检查方法应按第 7 章相关规定执行；
- 3 桩基工程和复合地基中的预制桩桩身垂直度允许偏差为 1%；
- 4 支护工程中的预制桩桩身垂直度允许偏差为 0.5%。

8.2.4 截桩后桩顶的实际标高与设计标高的允许偏差应满足 $\pm 10\text{mm}$ ，可用水准仪进行检测。

8.2.5 机械成孔植桩时应现场取填充料制作试块，每个台班不得少于 1 根桩，每根桩应制作试块数量 3 件；搅拌（旋喷）植桩时宜采用软取芯法检验水泥土强度，检验数量不宜小于总桩数的 1%，且不宜少于 3 根桩。

8.2.6 预制桩施工完毕后应进行单桩承载力和桩身完整性抽样检测，检测数量和检测方法应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。对水泥土桩中植入预制桩的水泥土复合桩，其单桩承载力试验应采用静载试验。

8.2.7 对于复合地基，除应按第 8.2.6 条对预制桩进行检测外，还应进行复合地基平板载荷试验，复合地基平板载荷试验的检测数量和检测方法应符合现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的有关规定。

8.2.8 单桩竖向抗压承载力验收检测应符合下列规定：

1 采用静载试验时，检测数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%，且不应少于 3 根；当总桩数小于 50 根时，抽检桩数不应少于 2 根；

2 复合地基中预制桩的抽检桩数为总桩数的 0.5%，且不得少于 3 根。

8.2.9 当设计需要进行成桩的单桩水平承载力或单桩竖向抗拔承载力的检测时，抽检桩数应不少于同条件下总桩数的 1%，且不应少于 3 根。在总桩数在 50 根以内时，不应少于 2 根。检测方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。

8.2.10 下列桩基工程应在承台完成以后的施工期间及使用期间进行沉降变形观测直到沉降达到稳定标准：

- 1 设计等级为甲级的桩基工程；
- 2 地质条件较复杂的设计等级为乙级的桩基工程；
- 3 设计施工工艺采用植入法的桩基工程；
- 4 采用预制桩的复合地基；
- 5 桩端持力层为遇水易软化的风化岩层的桩基工程。

8.3 工程验收

8.3.1 当桩顶设计标高与施工场地标高相近时，基桩的验收应待基桩施工完毕后进行；当桩顶设计标高低于施工场地标高时，应待开挖到设计标高后进行验收。

8.3.2 桩基工程验收时应具备下列资料：

- 1 桩基设计文件和施工图，包括施工图纸会审记录、设计变更资料；
- 2 桩位测量放线图，包括工程基线复核签证单；
- 3 岩土工程勘察报告；
- 4 经审定的施工组织设计及施工方案；
- 5 预制桩出厂合格证、产品说明书；
- 6 施工记录汇总，包括桩位编号图；
- 7 现场用桩检查资料，包括预制桩的规格型号，尺寸偏差和外观质量，预应力钢棒的数量和直径，螺旋筋的直径和间距，螺旋筋加密区的长度，钢筋混凝土保护层厚度，桩端板和桩尖的尺寸，预应力钢棒和螺旋筋抽检、接头焊缝验收记录等汇总资料；

- 8 桩基工程竣工图；
 - 9 桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果；
 - 10 预应力钢棒、螺旋筋、桩端板材质检验报告，预制桩混凝土强度检测报告；
 - 11 桩身完整性检测报告；
 - 12 单桩承载力检测报告，对预制桩复合地基还应有复合地基承载力检测报告；
 - 13 监测资料；
 - 14 发生质量事故时的处理记录；
 - 15 施工技术措施记录。
- 8.3.3** 桩基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》GB 50202 的有关规定。

附录 A 桩型与成桩工艺选择

A.0.1 预制桩桩型与成桩工艺选择宜符合表 A.0.1 要求。

表A.0.1 桩型与成桩工艺选择

桩型	截面形式	施工方法	挤土情况	穿越岩土层									桩端进入持力层			地下水位		对环境的影响		主要适用工程类型			
				一般黏性土及其填土	淤泥和淤泥质土	粉土	砂土	碎石土	中间有硬夹层	中间有砂夹层	中间有砾石夹层	硬黏性土	密实砂土	碎石土	软岩和强(全)风化岩	硬岩和微风化岩	以上	以下	振动和噪声		排浆		
高强混凝土空心方桩	外方内圆	锤击沉桩	挤土效应大																		桩基础		
预应力混凝土实心方桩	正方形																						
高强混凝土管桩	圆环形			○	○	○	△	△	△	△	△	○	○	○	○	×	○	○	有	无		桩基础、 支护工程	
超高强混凝土管桩																							
混合配筋混凝土管桩																							
劲性体																							

续表A.0.1

高强混凝土空心方桩	外方内圆	静压沉桩	挤土效应大	○	○	△	△	×	△	△	×	○	○	○	△	×	○	○	无	无	桩基础
预应力混凝土实心方桩	正方形			桩基础、支护工程																	
高强混凝土管桩	圆环形				地基处理																
超高强混凝土管桩																					
混合配筋混凝土管桩																					
预制竖向劲性体管桩																					
高强混凝土空心方桩	外方内圆	植桩	非挤土(挤土效应小)	○	○	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	△	○	○	无	无	桩基础
高强混凝土管桩	圆环形			桩基础、支护工程																	
超高强混凝土管桩					地基处理																
混合配筋混凝土管桩																					
劲性体																					

注：1、表中符号○表示比较合适；△表示有可能采用；×表示不宜采用；

2、刚性桩复合地基中作为竖向增强体，混凝土强度等级为 C60、C70 的地基处理用管桩，简称劲性体。

附录 B 预制桩结构形式

I 管桩

B.0.1 管桩结构形式

1 预应力超高强混凝土管桩、预应力高强混凝土管桩、预应力混凝土管桩、预制竖向劲性体管桩的结构形式（图 B.0.1-1）：

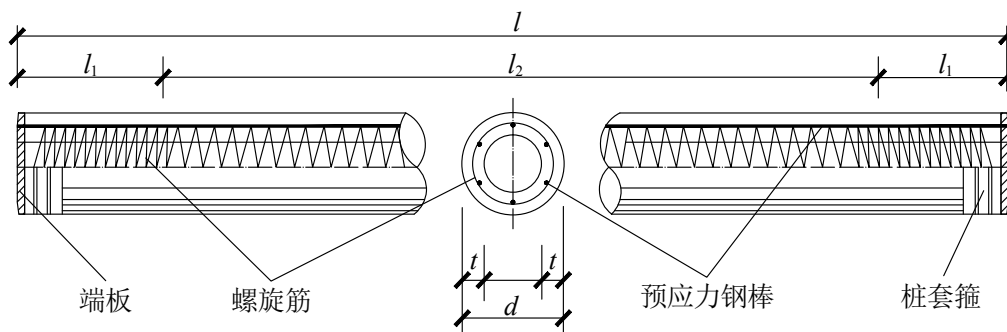


图 B.0.1-1 预应力超高强混凝土管桩、预应力高强混凝土管桩、预应力混凝土管桩、预制竖向劲性体管桩结构形式

t —壁厚； l —桩长； d —管桩外径； l_1 —桩端加密区长度； l_2 —非加密区长度

2 混合配筋混凝土管桩的结构形式（图 B.0.1-2~图 B.0.1-4）：

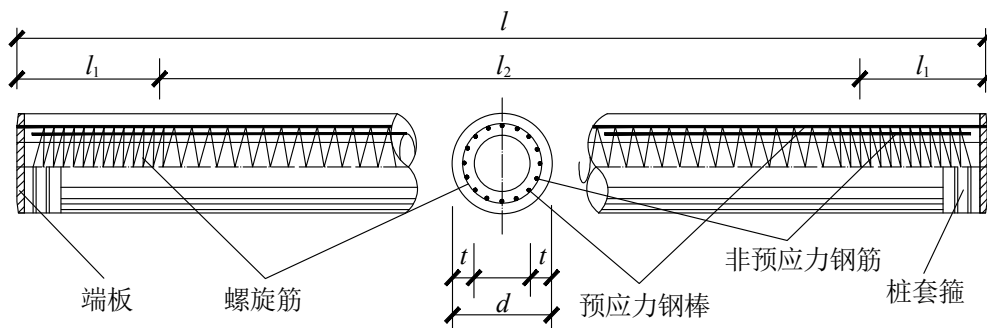


图 B.0.1-2 混合配筋混凝土管桩结构形式

t —壁厚； l —桩长； d —外径； l_1 —桩端加密区长度； l_2 —非加密区长度

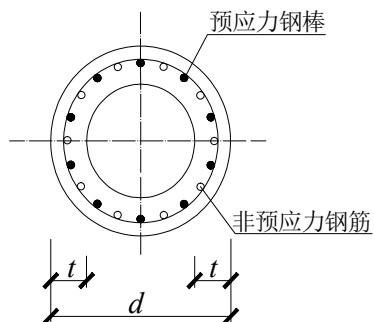


图 B.0.1-3 混合配筋混凝土管桩（I型）

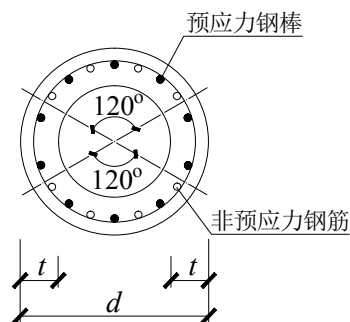


图 B.0.1-4 混合配筋混凝土管桩（II型）

B.0.2 受压管桩与承台连接构造（图 B.0.2）及填芯混凝土内配筋（表 B.0.2）。

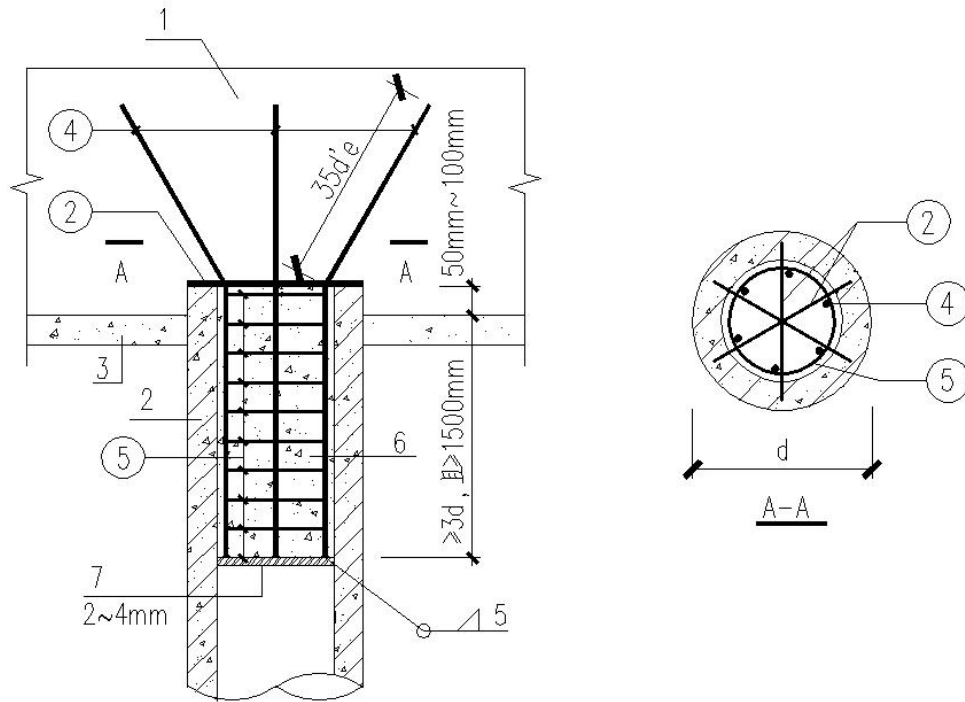


图 B.0.2 受压管桩与承台连接构造图

1—承台或底板；2—管桩；3—垫层；4—灌芯混凝土内纵筋；5—灌芯混凝土内箍筋；
6—微膨胀混凝土灌芯；7—支托钢板及吊筋； d_c —填芯钢筋直径（mm）

表 B.0.2 填芯混凝土内配筋表

管桩外径 d (mm)	灌芯混凝土内配筋		
	②	④	⑤
300	2C8	4C16	A6@200
400	2C8	4C20	A6@200
500	3C8	6C18	A8@200
600	3C8	6C20	A8@200
700	3C8	6C20	A8@200
800	3C10	6C20	A8@150
1000	4C10	8C20	A8@150
1200	5C10	10C22	A8@150
1400	5C10	12C22	A8@150

B.0.3 不截桩受拉管桩与承台连接构造（图 B.0.3-1）和截桩受拉管桩与承台连接构造（图 B.0.3-2）。

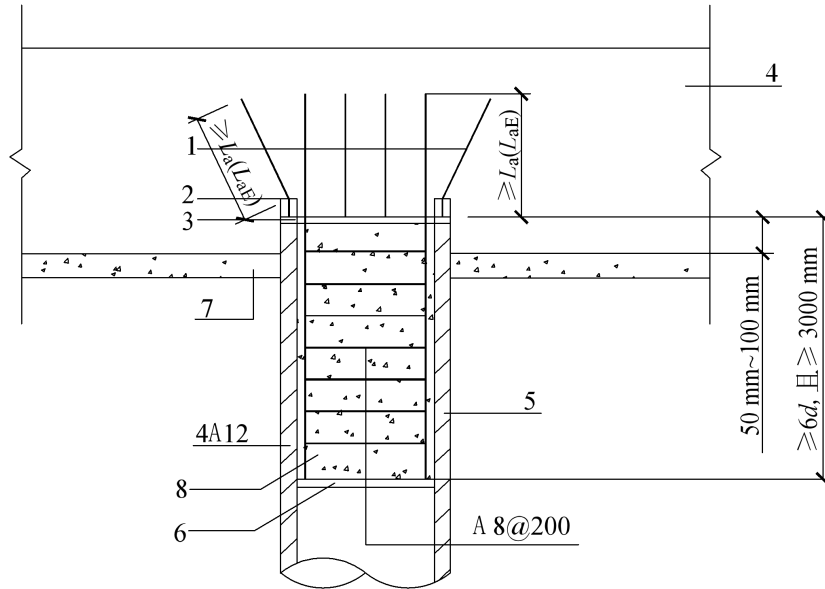


图 B.0.3-1 不截桩受拉管桩与承台连接构造图

1—锚固钢筋；2—锚板；3—端板；4—承台或底板；5—管桩；

6—托板；7—垫层；8—微膨胀灌芯混凝土

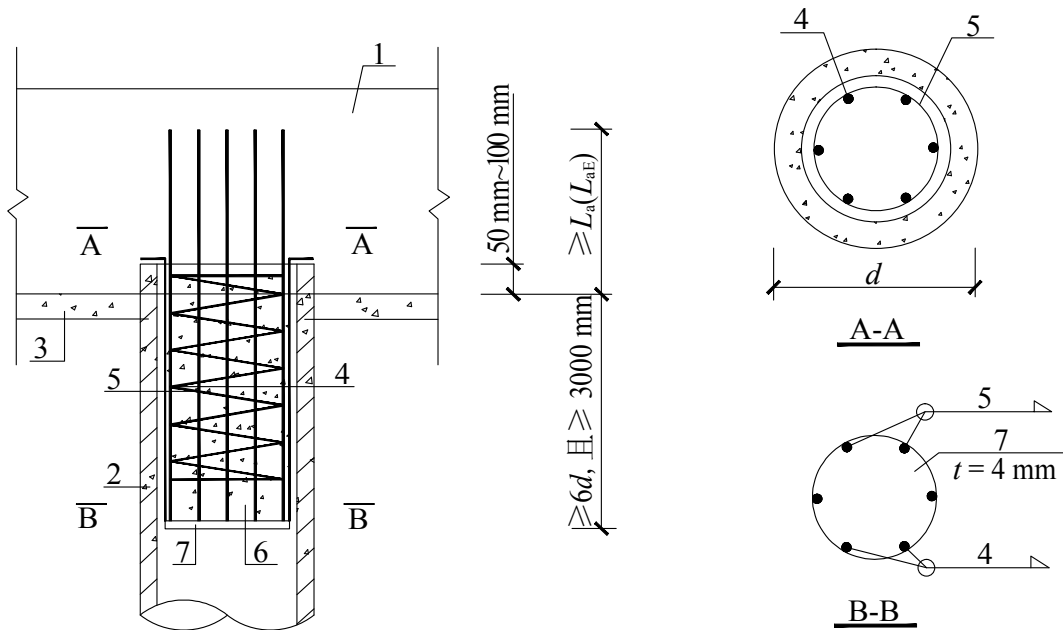


图 B.0.3-2 截桩受拉管桩与承台连接构造图

1—承台或底板；2—管桩；3—垫层；4—灌芯混凝土内纵筋；

5—灌芯混凝土内箍筋；6—灌芯混凝土；7—支托钢板

B.0.4 管桩焊接接桩连接构造（图 B.0.4）。

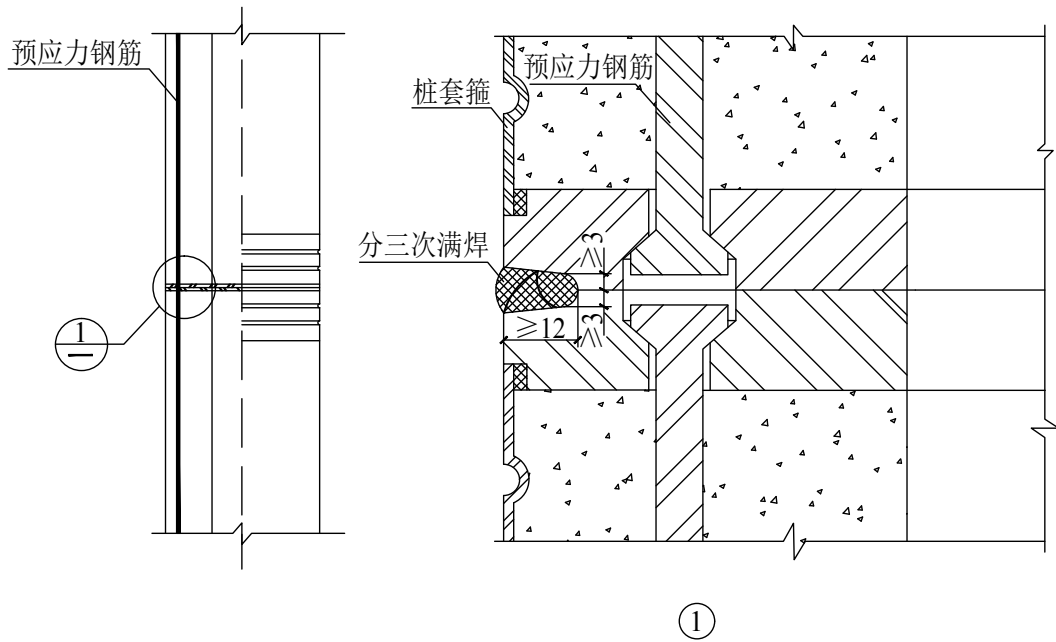


图 B.0.4 管桩焊接接桩详图

注：受拉管桩的焊接接头需做专项设计。

II 空心方桩

B.0.5 空心方桩结构形式

1 预应力高强混凝土空心方桩、预应力混凝土空心方桩的结构形式（图 B.0.5）：

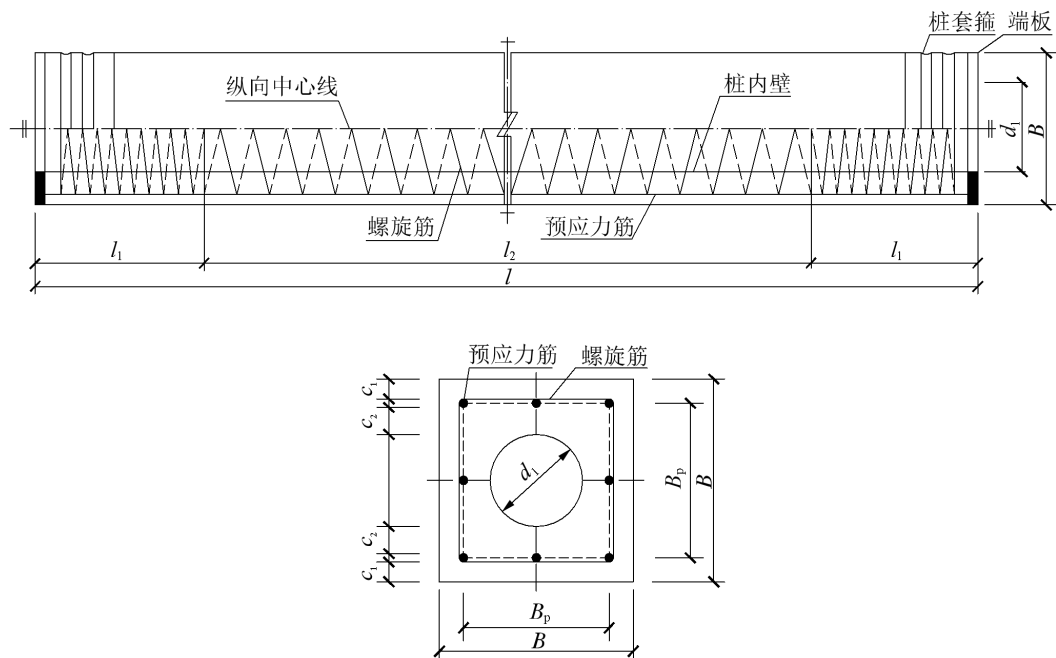


图 B.0.5 预应力高强混凝土空心方桩、预应力混凝土空心方桩结构形式

B —边长； d_1 —空心内径； B_p —预应力筋分布矩形边长；

l —桩长； l_1 —桩端加密区长度； l_2 —非加密区长度；

c_1 —混凝土保护层厚度（外）； c_2 —混凝土保护层厚度（内）

B.0.6 受压空心方桩与承台连接构造(图 B.0.6)与填芯混凝土内配筋(表 B.0.6)。

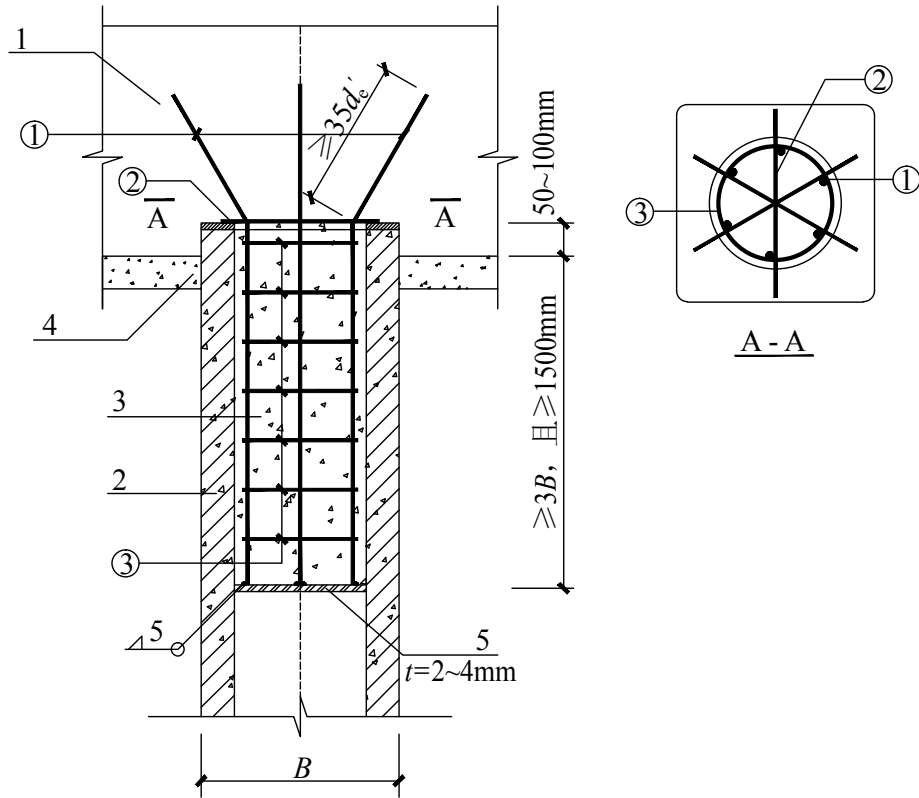


图 B.0.6 受压空心方桩与承台连接构造图

1—承台或底板；2—空心方桩；3—灌芯混凝土；4—垫层；5—托板

表 B.0.6 受压空心方桩填芯混凝土内配筋表

空心方桩边长 B (mm)	配筋		
	①	②	③
300	4C16	4C12	A6@150
350	4C18	4C12	A6@150
400	4C20	4C12	A6@150
450	6C18	4C12	A8@150
500	6C18	4C12	A8@150
550	6C20	4C12	A8@150
600	6C20	5C12	A8@150
650	6C22	6C12	A8@150
700	6C22	6C12	A8@150

B.0.7 受拉空心方桩与承台连接构造(图 B.0.7)与填芯混凝土内配筋(表 B.0.7)。

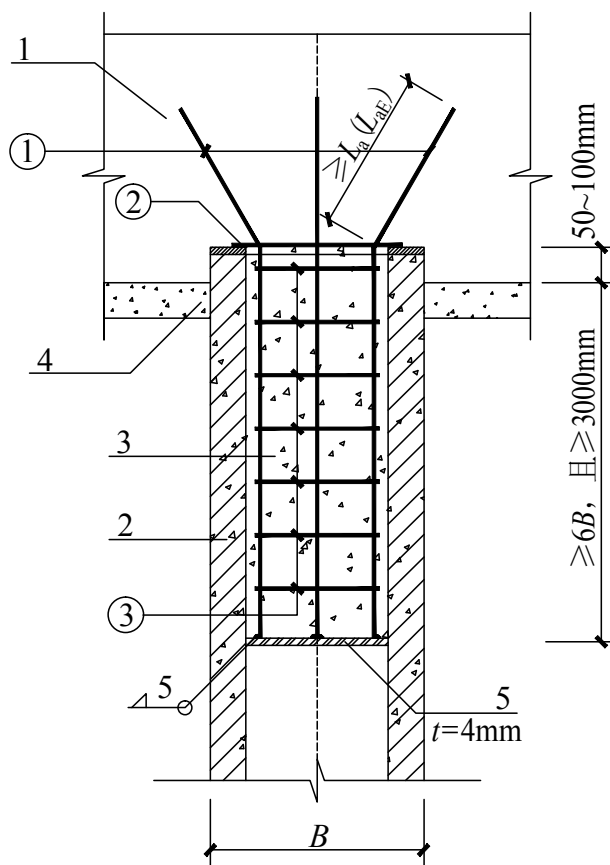


图 B.0.7 受拉空心方桩与承台连接构造图

1—承台或底板；2—空心方桩；3—灌芯混凝土；4—垫层；5—托板

表 B.0.7 受拉空心方桩填芯混凝土内配筋表

空心方桩边长 B (mm)	配筋		空心方桩边长 B (mm)	配筋	
	②	③		②	③
300	4C12	A6@100	550	4C12	A8@100
350	4C12	A6@100	600	5C12	A8@100
400	4C12	A6@100	650	6C12	A8@100
450	4C12	A8@100	700	6C12	A8@100
500	4C12	A8@100			

注：①号筋需根据计算确定。

B.0.8 空心方桩焊接接桩连接构造（图 B.0.8）。

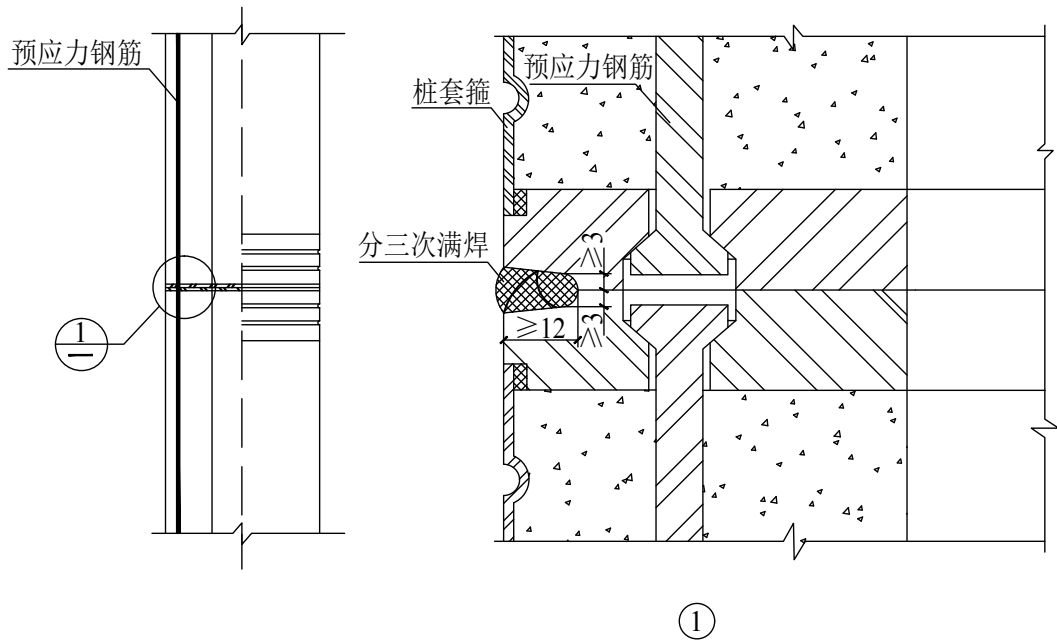


图 B.0.8 空心方桩焊接接桩详图

注：受拉空心方桩的焊接接头需做专项设计。

附录 C 预制桩力学性能

I 管桩

表C.1 PHC管桩桩身配筋及相关参数

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHC 300 (70)	A	11	6 $\phi^{D7.1}$	4	230	4.15	26	80	204	1271	25	214	132
	AB	11	6 $\phi^{D9.0}$			6.37	40	94	326		31	333	
	B	12	8 $\phi^{D9.0}$			8.19	51	104	435		36	432	
PHC 400 (95)	A	12	7 $\phi^{D9.0}$	4	308	4.30	64	146	381	2288	60	399	237
	AB	13	7 $\phi^{D10.7}$			5.87	88	164	536		70	550	
	B	14	10 $\phi^{D10.7}$			8.03	119	187	765		84	762	
	C	15	13 $\phi^{D10.7}$			10.01	145	205	995		97	961	
PHC 500 (100)	A	14	11 $\phi^{D9.0}$	5	406	4.84	132	206	598	3158	118	623	327
	AB	15	11 $\phi^{D10.7}$			6.59	178	233	842		138	855	
	B	16	11 $\phi^{D12.6}$			8.75	233	262	1169		164	1151	
	C	17	13 $\phi^{D12.6}$			10.06	264	278	1381		180	1333	

续表C.1

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)	
PHC 500 (125)	A	13	12 ϕ^D 9.0	5	406	4.53	136	243	653	3701	123	683	383	
	AB	14	12 ϕ^D 10.7			6.18	186	273			918	144		939
	B	15	12 ϕ^D 12.6			8.24	245	308			1275	170		1266
	C	16	15 ϕ^D 12.6			9.93	290	333			1594	193		1542
PHC 600 (110)	A	15	14 ϕ^D 9.0	5	506	4.60	206	270	762	4255	191	796	440	
	AB	16	14 ϕ^D 10.7			6.26	281	305			1071	224		1094
	B	18	14 ϕ^D 12.6			8.34	369	343			1488	265		1474
	C	19	17 ϕ^D 12.6			9.81	428	368			1806	295		1750
PHC 600 (130)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.63	227	312	870	4824	205	909	499	
	AB	16	16 ϕ^D 10.7			6.31	309	352			1224	240		1249
	B	17	16 ϕ^D 12.6			8.40	407	396			1700	285		1683
	C	19	20 ϕ^D 12.6			10.12	482	429			2125	323		2050
PHC 700 (110)	A	17	12 ϕ^D 10.7	6	590	4.60	299	322	918	5124	282	959	530	
	AB	18	24 ϕ^D 9.0			6.33	410	365			1306	331		1332
	B	20	24 ϕ^D 10.7			8.52	543	413			1836	395		1815
	C	22	24 ϕ^D 12.6			11.16	689	464			2550	475		2418

续表C.1

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)	
PHC 700 (130)	A	16	13 ϕ^D 10.7	6	590	4.38	315	366	995	5850	299	1042	605	
	AB	18	26 ϕ^D 9.0			6.04	434	413			1414	350		1449
	B	19	26 ϕ^D 10.7			8.14	578	467			1989	417		1977
	C	21	26 ϕ^D 12.6			10.70	738	525			2763	501		2640
PHC 800 (110)	A	19	15 ϕ^D 10.7	6	690	4.89	434	384	1148	5992	402	1194	620	
	AB	20	15 ϕ^D 12.6			6.58	582	431			1594	469		1620
	B	22	30 ϕ^D 10.7			9.01	782	491			2295	568		2252
	C	24	30 ϕ^D 12.6			11.76	983	551			3188	685		2993
PHC 800 (130)	A	18	16 ϕ^D 10.7	6	690	4.57	454	433	1224	6876	427	1279	711	
	AB	19	16 ϕ^D 12.6			6.16	610	485			1700	496		1739
	B	21	32 ϕ^D 10.7			8.47	827	553			2448	599		2422
	C	23	32 ϕ^D 12.6			11.10	1051	622			3400	721		3228
PHC 1000 (130)	A	21	32 ϕ^D 9.0	6	880	4.97	831	574	1741	8929	766	1809	924	
	AB	23	32 ϕ^D 10.7			6.75	1123	648			2448	901		2483
	B	25	32 ϕ^D 12.6			8.97	1465	729			3400	1071		3338
	C	26	32 ϕ^D 14.0	8		10.65	1705	785			4189	1205		4006

续表C.1

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHC 1200 (150)	A	23	30 $\phi^{D10.7}$	6	1060	4.73	1327	783	2295	12434	1262	2393	1286
	AB	25	30 $\phi^{D12.6}$			6.36	1781	880	3188		1469	3251	
	B	27	45 $\phi^{D12.6}$			9.04	2481	1017	4781		1817	4689	
	C	29	45 $\phi^{D14.0}$	8		10.73	2883	1096	5891		2045	5626	

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

表C.2 PC管桩桩身配筋及相关参数

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PC 300 (70)	A	11	6 $\phi^{D7.1}$	4	230	4.14	26	76	204	974	24	214	132
	AB	11	6 $\phi^{D9.0}$			6.35	39	89	326		30	332	
	B	12	8 $\phi^{D9.0}$			8.15	48	99	435		35	431	
PC 400 (95)	A	12	7 $\phi^{D9.0}$	4	308	4.29	63	138	381	1752	59	399	237
	AB	13	7 $\phi^{D10.7}$			5.85	85	156	536		69	549	
	B	14	11 $\phi^{D10.7}$			8.66	121	184	842		87	827	
	C	15	13 $\phi^{D10.7}$			9.94	135	195	995		96	958	

续表C.2

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PC 400 (95)	A	12	7 ϕ^D 9.0	4	308	4.29	63	138	381	1752	59	399	237
	AB	13	7 ϕ^D 10.7			5.85	85	156	536		69	549	
	B	14	11 ϕ^D 10.7			8.66	121	184	842		87	827	
	C	15	13 ϕ^D 10.7			9.94	135	195	995		96	958	
PC 500 (100)	A	14	11 ϕ^D 9.0	5	406	4.83	129	195	598	2419	115	622	327
	AB	15	11 ϕ^D 10.7			6.56	172	221	842		136	854	
	B	16	11 ϕ^D 12.6			8.70	220	249	1169		161	1148	
	C	17	14 ϕ^D 12.6			10.61	256	271	1488		185	1417	
PC 500 (125)	A	13	12 ϕ^D 9.0	5	406	4.52	134	230	653	2835	121	682	383
	AB	14	12 ϕ^D 10.7			6.16	180	260	918		141	937	
	B	15	12 ϕ^D 12.6			8.19	233	292	1275		168	1263	
	C	16	15 ϕ^D 12.6			9.87	270	317	1594		190	1537	
PC 600 (110)	A	15	14 ϕ^D 9.0	5	506	4.58	203	256	762	3260	187	795	440
	AB	16	14 ϕ^D 10.7			6.24	272	289	1071		220	1092	
	B	18	14 ϕ^D 12.6			8.29	350	326	1488		261	1471	
	C	19	19 ϕ^D 12.6			10.67	426	363	2019		310	1922	
PC 600 (130)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.62	223	296	870	3695	201	908	499
	AB	16	16 ϕ^D 10.7			6.28	299	334	1224		236	1247	
	B	17	16 ϕ^D 12.6			8.35	386	377	1700		281	1679	

	C	18	21 ϕ^D 12.6			10.45	461	415	2231		328	2132	
--	---	----	------------------	--	--	-------	-----	-----	------	--	-----	------	--

续表C.2

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)	
PC 700 (110)	A	17	13 ϕ^D 10.7	6	590	4.94	315	314	995	3925	286	1033	530	
	AB	18	26 ϕ^D 9.0			6.77	423	357			1414	339		1431
	B	20	26 ϕ^D 10.7			9.06	542	404			1989	407		1943
	C	22	26 ϕ^D 12.6			11.80	656	453			2763	491		2580
PC 700 (130)	A	16	14 ϕ^D 10.7	6	590	4.68	331	355	1071	4481	302	1116	605	
	AB	17	28 ϕ^D 9.0			6.43	447	403			1523	357		1548
	B	19	28 ϕ^D 10.7			8.63	579	456			2142	428		2107
	C	21	28 ϕ^D 12.6			11.27	708	513			2975	516		2803
PC 800 (110)	A	18	16 ϕ^D 10.7	6	690	5.17	450	372	1224	4590	406	1267	620	
	AB	20	16 ϕ^D 12.6			6.93	591	419			1700	477		1716
	B	22	32 ϕ^D 10.7			9.45	767	478			2448	581		2377
	C	24	32 ϕ^D 12.6			12.27	919	536			3400	702		3149
PC 800 (130)	A	18	17 ϕ^D 10.7	6	690	4.82	470	419	1301	5267	430	1352	711	
	AB	19	17 ϕ^D 12.6			6.48	622	471			1806	503		1835
	B	21	34 ϕ^D 10.7			8.86	817	538			2601	610		2549
	C	23	34 ϕ^D 12.6			11.56	994	604			3613	737		3387
PC 1000 (130)	A	21	24 ϕ^D 10.7	6	880	5.20	852	555	1836	6840	770	1899	924	
	AB	23	24 ϕ^D 12.6			6.97	1117	624			2550	904		2572
	B	25	32 ϕ^D 12.6			8.91	1379	693			3400	1056		3330

	C	26	40 φ ^D 14.0	8		12.58	1758	806	5236		1356	4822	
--	---	----	------------------------	---	--	-------	------	-----	------	--	------	------	--

续表C.2

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PC 1200 (150)	A	23	32 φ ^D 10.7	6	1060	5.00	1378	760	2448	9525	1274	2539	1286
	AB	24	32 φ ^D 12.6			6.71	1814	855	3400		1492	3442	
	B	27	48 φ ^D 12.6			9.48	2432	990	5100		1858	4950	
	C	29	50 φ ^D 14.0	8		11.58	2806	1081	6545		2146	6135	

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

表C.3-1 PRC管桩桩身配筋及相关参数（I型）

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	预应力钢 棒数量与 直径 (mm)	非预应力 钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	纵向主 筋分布 圆周直 径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	换算截 面抵抗 矩 W_0 (mm ³ × 10 ⁶)	桩身受 弯承载 力设计 值 M (kN·m)	桩身 斜受 剪承载 力设计 值 V (kN)	桩身轴 心受拉 承载力 设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (打入式或抱 压式施工) R_p (kN)	桩身开裂 弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准 组合计 算的抗 裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/ m)
PRC I 500 (100)	AB	15	11 φ ^D 10.7	11C12	5	406	6.64	11.029	258	262	842	3158	142	863	327
	B	16	14 φ ^D 10.7	14C12			8.22	11.124	313	279	1071		161	1076	
PRC I 500	C	17	11 φ ^D 12.6	11C12	5	406	8.83	11.165	309	285	1169	3158	168	1161	327

(100)	D	18	14 ϕ^D 12.6	14C12			10.79	11.296	368	303	1488		192	1436	
-------	---	----	------------------	-------	--	--	-------	--------	-----	-----	------	--	-----	------	--

续表C. 3- 1

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	预应力钢 棒数量与 直径(mm)	非预应 力钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	纵向主 筋分布 圆周直 径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pe} (MPa)	换算截 面抵抗 矩 W_0 ($\text{mm}^3 \times 10^6$)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身斜 受剪承 载力设 计值 V (kN)	桩身轴 心受拉 承载力 设计值 N (kN)	桩身轴心受 压承载力设 计值(打入式 或抱压式施 工) R_p (kN)	桩身开裂弯 矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/ m)
PRC I 500 (125)	AB	14	12 ϕ^D 10.7	12C12	5	406	6.23	11.884	271	296	918	3701	148	946	383
	B	15	14 ϕ^D 10.7	14C12			7.15	11.948	309	308	1071		160	1091	
	C	16	12 ϕ^D 12.6	12C12			8.3	12.032	328	323	1275		175	1276	
	D	16	14 ϕ^D 12.6	14C12			9.46	12.120	369	337	1488		190	1464	
PRC I 600 (110)	AB	17	14 ϕ^D 10.7	14C12	5	506	6.31	18.367	407	336	1071	4255	230	1103	440
	B	17	16 ϕ^D 10.7	16C12			7.11	18.449	455	348	1224		246	1248	
	C	18	14 ϕ^D 12.6	14C12			8.41	18.590	491	366	1488		272	1486	
	D	19	16 ϕ^D 12.6	16C12			9.42	18.704	543	379	1700		292	1675	
PRC I 600 (130)	AB	16	16 ϕ^D 10.7	16C12	5	506	6.36	19.674	451	375	1224	4824	247	1260	499
	B	17	18 ϕ^D 10.7	18C12			7.06	19.756	498	387	1377		262	1405	
	C	18	16 ϕ^D 12.6	16C12			8.47	19.929	544	410	1700		293	1697	
	D	18	18 ϕ^D 12.6	18C12			9.36	20.042	596	423	1913		312	1886	
PRC I 700 (110)	AB	19	18 ϕ^D 10.7	18C12	6	590	6.70	27.088	618	448	1377	5124	350	1411	530
	B	20	22 ϕ^D 10.7	22C12			7.99	27.278	726	470	1683		388	1697	
	C	21	20 ϕ^D 12.6	20C12			9.72	27.554	801	497	2125		439	2084	

续表C.3-1

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	预应力钢 棒数量与 直径(mm)	非预应 力钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	纵向主 筋分布 圆周直 径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	换算截 面抵抗 矩 W_0 ($\text{mm}^3 \times 10^6$)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身斜 受剪承 载力设 计值 V (kN)	桩身轴 心受拉 承载力 设计值 N (kN)	桩身轴心受 压承载力设 计值(打入式 或抱压式施 工) R_p (kN)	桩身开裂弯 矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/ m)
PRC I 700 (110)	D	22	22 $\phi^{D12.6}$	22C12	6	590	10.51	27.686	857	509	2338	5124	463	2267	530
PRC I 700 (130)	AB	18	18 $\phi^{D10.7}$	18C12	6	590	5.94	29.276	616	480	1377	5850	356	1425	605
	B	19	22 $\phi^{D10.7}$	22C12			7.11	29.467	728	504	1683		393	1716	
	C	20	20 $\phi^{D12.6}$	20C12			8.69	29.742	809	534	2125		443	2115	
	D	20	22 $\phi^{D12.6}$	22C12			9.42	29.875	870	547	2338		467	2303	
PRC I 800 (110)	B	21	24 $\phi^{D10.7}$	24C12	6	690	7.52	37.748	940	535	1836	5992	519	1862	620
	C	23	24 $\phi^{D12.6}$	24C12			9.93	38.281	1116	579	2550		618	2494	
PRC I 800 (130)	B	20	24 $\phi^{D10.7}$	24C12	6	690	6.66	41.201	945	573	1836	6876	531	1883	711
	C	22	24 $\phi^{D12.6}$	24C12			8.84	41.733	1134	622	2550		629	2532	
PRC I 1000 (130)	B	22	26 $\phi^{D10.7}$	26C12	6	880	5.65	70.667	1360	700	1989	8929	839	2065	924
	C	24	26 $\phi^{D12.6}$	26C12			7.56	71.418	1651	758	2763		984	2792	

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

表C.3-2 PRC管桩桩身配筋及相关参数（II型）

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	预应力钢 棒数量与 直径 (mm)	非预应 力钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	纵向主 筋分布 圆周直 径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	换算截 面抵抗 矩 W_0 (mm ³ × 10 ⁶)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身斜 受剪承 载力设 计值 V (kN)	桩身轴 心受拉 承载力 设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (打入式或抱 压式施工) R_p (kN)	桩身开裂 弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/ m)
PRC II 500 (100)	AB	15	11 $\phi^{D10.7}$	6C12	5	406	6.62	11.029	225	262	842	3158	142	860	327
	B	16	14 $\phi^{D10.7}$	7C12			8.17	11.124	270	278	1071		160	1071	
	C	17	11 $\phi^{D12.6}$	7C14			8.82	11.165	300	285	1169		168	1160	
	D	18	14 $\phi^{D12.6}$	7C14			10.75	11.296	344	303	1488		192	1432	
PRC II 500 (125)	AB	14	12 $\phi^{D10.7}$	6C12	5	406	6.21	11.884	232	296	918	3701	148	942	372
	B	15	14 $\phi^{D10.7}$	7C12			7.12	11.948	265	308	1071		159	1086	
	C	16	12 $\phi^{D12.6}$	6C14			8.28	12.032	305	323	1275		174	1272	
	D	16	14 $\phi^{D12.6}$	7C14			9.44	12.120	343	336	1488		190	1460	
PRC II 600 (110)	AB	17	14 $\phi^{D10.7}$	7C12	5	506	6.29	18.367	350	336	1071	4255	230	1098	440
	B	17	16 $\phi^{D10.7}$	8C12			7.08	18.449	392	347	1224		245	1242	
	C	18	14 $\phi^{D12.6}$	7C14			8.38	18.590	457	365	1488		271	1482	
	D	19	16 $\phi^{D12.6}$	8C14			9.39	18.704	506	379	1700		292	1670	
PRC II 600 (130)	AB	16	16 $\phi^{D10.7}$	8C12	5	506	6.33	19.674	386	375	1224	4824	247	1254	499
	B	17	18 $\phi^{D10.7}$	8C12			7.03	19.756	419	386	1377		262	1397	
	C	18	16 $\phi^{D12.6}$	8C14			8.44	19.929	506	409	1700		292	1693	
	D	18	18 $\phi^{D12.6}$	9C14			9.33	20.042	554	423	1913		312	1880	
PRC II 700 (110)	AB	19	18 $\phi^{D10.7}$	9C12	6	590	6.67	27.088	533	447	1377	5124	349	1405	530
	B	20	22 $\phi^{D10.7}$	11C12			7.95	27.278	628	469	1683		386	1688	

续表C.3-2

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	预应力钢 棒数量与 直径 (mm)	非预应 力钢筋 数量与 直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	纵向主 筋分布 圆周直 径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	换算截 面抵抗 矩 W_0 ($\text{mm}^3 \times 10^6$)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身斜 受剪承 载力设 计值 V (kN)	桩身轴 心受拉 承载力 设计值 N (kN)	桩身轴心受 压承载力设 计值 (打入式 或抱压式施 工) R_p (kN)	桩身开裂弯 矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/ m)
PRC II 700 (110)	C	21	20 $\phi^D 12.6$	10C14	6	590	9.69	27.554	748	497	2125	5124	438	2078	530
	D	22	22 $\phi^D 12.6$	11C14			10.48	27.686	800	508	2338		462	2259	
PRC II 700 (130)	AB	18	18 $\phi^D 10.7$	9C12	6	590	5.92	29.276	528	479	1377	5850	355	1419	605
	B	19	22 $\phi^D 10.7$	11C12			7.08	29.467	627	503	1683		392	1708	
	C	20	20 $\phi^D 12.6$	10C14			8.66	29.742	754	533	2125		443	2109	
	D	20	22 $\phi^D 12.6$	11C14			9.39	29.875	811	546	2338		466	2296	
PRC II 800 (110)	B	21	24 $\phi^D 10.7$	12C12	6	690	7.50	37.748	859	534	1836	5992	518	1856	620
	C	23	24 $\phi^D 12.6$	12C14			9.90	38.281	1042	578	2550		617	2486	
PRC II 800 (130)	B	20	24 $\phi^D 10.7$	12C12	6	690	6.63	41.201	812	572	1836	6876	529	1874	711
	C	22	24 $\phi^D 12.6$	12C14			8.82	41.733	1057	621	2550		628	2526	
PRC II 1000 (130)	B	22	26 $\phi^D 10.7$	13C12	6	880	5.63	70.667	1167	699	1989	8929	838	2057	924
	C	24	26 $\phi^D 12.6$	13C14			7.54	71.418	1537	758	2763		983	2785	

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

表 C.4-1 UHC 管桩桩身配筋及相关参数 (C105)

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 400 (95)	I	12	7 ϕ^D 9.0	4	308	4.41	65	165	381	2886	68	401	237
	II	13	7 ϕ^D 10.7			5.90	89	185	536		78	552	
	III	14	10 ϕ^D 10.7			8.09	121	209	765		92	766	
	IV	15	13 ϕ^D 10.7			10.10	150	229	995		105	968	
UHC 500 (100)	I	14	11 ϕ^D 9.0	5	406	4.86	132	233	598	3985	131	625	327
	II	15	11 ϕ^D 10.7			6.63	180	261	842		151	859	
	III	16	11 ϕ^D 12.6			8.83	239	293	1169		178	1158	
	IV	17	13 ϕ^D 12.6			10.15	273	311	1381		194	1343	
UHC 500 (125)	I	13	12 ϕ^D 9.0	5	406	4.55	137	274	653	4670	137	685	383
	II	14	12 ϕ^D 10.7			6.22	187	307	918		158	943	
	III	15	12 ϕ^D 12.6			8.30	249	345	1275		185	1273	
	IV	16	15 ϕ^D 12.6			10.03	299	373	1594		208	1553	
UHC 600 (110)	I	15	14 ϕ^D 9.0	5	506	4.61	207	305	762	5370	213	798	440
	II	16	14 ϕ^D 10.7			6.30	283	342	1071		246	1099	
	III	18	14 ϕ^D 12.6			8.41	377	384	1488		288	1483	
	IV	19	17 ϕ^D 12.6			9.91	441	411	1806		319	1763	
UHC 600 (130)	I	15	16 ϕ^D 9.0	5	506	4.65	228	352	870	6087	229	912	499
	II	16	16 ϕ^D 10.7			6.34	312	396	1224		265	1255	
	III	17	16 ϕ^D 12.6			8.46	415	444	1700		310	1693	
	IV	19	20 ϕ^D 12.6			10.22	498	480	2125		349	2065	

续表C.4-1

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)	
UHC 700 (110)	I	17	12 $\phi^{D10.7}$	6	590	4.62	300	364	918	6465	314	962	530	
	II	18	24 $\phi^{D9.0}$			6.37	414	410			1306	364		1338
	III	20	24 $\phi^{D10.7}$			8.59	555	462			1836	429		1826
	IV	22	24 $\phi^{D12.6}$			11.28	718	518			2550	511		2438
UHC 700 (130)	I	16	13 $\phi^{D10.7}$	6	590	4.40	316	413	995	7382	334	1045	605	
	II	18	26 $\phi^{D9.0}$			6.07	437	465			1414	386		1455
	III	19	26 $\phi^{D10.7}$			8.21	589	523			1989	454		1988
	IV	21	26 $\phi^{D12.6}$			10.81	766	587			2763	539		2660
UHC 800 (110)	I	19	15 $\phi^{D10.7}$	6	690	4.91	436	433	1148	7561	448	1198	620	
	II	20	15 $\phi^{D12.6}$			6.62	588	484			1594	515		1628
	III	22	30 $\phi^{D10.7}$			9.09	801	550			2295	616		2266
	IV	24	30 $\phi^{D12.6}$			11.90	1031	616			3188	735		3019
UHC 800 (130)	I	18	16 $\phi^{D10.7}$	6	690	4.59	455	488	1224	8677	477	1283	711	
	II	19	16 $\phi^{D12.6}$			6.20	616	546			1700	547		1746
	III	21	32 $\phi^{D10.7}$			8.54	844	620			2448	651		2436
	IV	23	32 $\phi^{D12.6}$			11.22	1095	695			3400	775		3254

续表C.4-1

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 1000 (130)	I	21	32 ϕ^D 9.0	6	880	4.99	834	647	1741	11267	852	1816	924
	II	23	32 ϕ^D 10.7			6.80	1135	727	2448		988	2494	
	III	25	32 ϕ^D 12.6			9.04	1500	816	3400		1162	3360	
	IV	26	32 ϕ^D 14.0	8		10.76	1798	878	4189		1298	4037	

注：UHC管桩C105混凝土的力学性能指标见表C.4-3；表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为0.7。实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身轴心受压承载力设计值按规范计算。

表C.4-2 UHC管桩桩身配筋及相关参数 (C125)

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 400 (95)	I	12	7 ϕ^D 9.0	4	308	4.42	65	185	381	3294	76	401	237
	II	13	7 ϕ^D 10.7			5.91	89	206	536		86	552	
	III	14	10 ϕ^D 10.7			8.11	122	232	765		100	767	
	IV	15	13 ϕ^D 10.7			10.13	152	254	995		113	969	
UHC 500 (100)	I	14	11 ϕ^D 9.0	5	406	4.87	133	260	598	4548	146	625	327
	II	15	11 ϕ^D 10.7			6.64	182	291	842		166	860	
	III	16	11 ϕ^D 12.6			8.85	242	325	1169		193	1160	
	IV	17	13 ϕ^D 12.6			10.18	277	344	1381		209	1345	

续表C.4-2

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)	
UHC 500 (125)	I	13	12 $\phi^{D9.0}$	5	406	4.56	137	307	653	5329	153	685	383	
	II	14	12 $\phi^{D10.7}$			6.22	188	343			918	174		943
	III	15	12 $\phi^{D12.6}$			8.32	252	383			1275	201		1274
	IV	16	15 $\phi^{D12.6}$			10.05	304	413			1594	224		1554
UHC 600 (110)	I	15	14 $\phi^{D9.0}$	5	506	4.62	208	342	762	6218	238	799	440	
	II	16	14 $\phi^{D10.7}$			6.31	285	382			1071	271		1099
	III	18	14 $\phi^{D12.6}$			8.42	381	427			1488	313		1484
	IV	19	17 $\phi^{D12.6}$			9.93	448	456			1806	344		1765
UHC 600 (130)	I	15	16 $\phi^{D9.0}$	5	506	4.65	229	395	870	6947	255	912	499	
	II	16	16 $\phi^{D10.7}$			6.35	314	441			1224	291		1256
	III	17	16 $\phi^{D12.6}$			8.48	420	493			1700	337		1695
	IV	19	20 $\phi^{D12.6}$			10.24	505	532			2125	376		2067
UHC 700 (110)	I	17	12 $\phi^{D10.7}$	6	590	4.62	301	408	918	7379	350	962	530	
	II	18	24 $\phi^{D9.0}$			6.38	417	457			1306	401		1339
	III	20	24 $\phi^{D10.7}$			8.60	561	513			1836	466		1828
	IV	22	24 $\phi^{D12.6}$			11.32	732	574			2550	548		2441
UHC 700 (130)	I	16	13 $\phi^{D10.7}$	6	590	4.40	317	463	995	8425	373	1046	605	
	II	18	26 $\phi^{D9.0}$			6.08	440	519			1414	426		1456
	III	19	26 $\phi^{D10.7}$			8.22	595	582			1989	494		1990
	IV	21	26 $\phi^{D12.6}$			10.84	780	650			2763	580		2663

续表C.4-2

规格 (代号-外径-壁厚)	型号	单节 长度 L 5~(m)	主筋数量 与直径 (mm)	螺旋筋 直径 (mm)	预应力钢 棒分布圆 周直径 D_p (mm)	混凝土 有效预 压应力 σ_{pc} (MPa)	桩身受弯 承载力设 计值 M (kN·m)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心受压 承载力设计值 (未考虑压屈 影响) R_p (kN)	按标准组 合计算的 抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	按标准组 合计算的 抗裂拉力 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
UHC 800 (110)	I	19	15 $\phi^D10.7$	6	690	4.92	438	484	1148	8629	498	1199	620
	II	20	15 $\phi^D12.6$			6.63	592	539	1594		566	1629	
	III	22	30 $\phi^D10.7$			9.11	812	610	2295		667	2269	
	IV	24	30 $\phi^D12.6$			11.94	1052	682	3188		787	3023	
UHC 800 (130)	I	18	16 $\phi^D10.7$	6	690	4.60	457	548	1224	9903	532	1284	711
	II	19	16 $\phi^D12.6$			6.21	620	609	1700		602	1747	
	III	21	32 $\phi^D10.7$			8.56	854	688	2448		707	2438	
	IV	23	32 $\phi^D12.6$			11.26	1116	770	3400		832	3258	
UHC 1000 (130)	I	21	32 $\phi^D9.0$	6	880	5.00	838	724	1741	12859	947	1817	924
	II	23	32 $\phi^D10.7$			6.81	1145	810	2448		1084	2496	
	III	25	32 $\phi^D12.6$			9.06	1520	905	3400		1259	3363	
	IV	26	32 $\phi^D14.0$	8		10.79	1800	972	4189		1396	4042	

注：UHC 管桩 C125 混凝土的力学性能指标见表 C. 4- 3；表中桩身轴心受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.7。实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身轴心受压承载力设计值按规范计算。

表C.4-3 UHC管桩混凝土极限强度标准值、弹性模量

混凝土强度等级	f_{ck} (MPa)	f_c (MPa)	f_{tk} (MPa)	E_c ($\times 10^4$ MPa)
C105	63.4	45.3	3.75	3.95
C125	72.4	51.7	4.46	4.04

注： f_{ck} —混凝土轴心抗压强度标准值； f_c —混凝土轴心抗压强度设计值； f_{tk} —混凝土轴心抗拉强度标准值； E_c —混凝土的弹性模量；

II 方桩

表C.5 PHS桩桩身配筋及相关参数（空心方桩）

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)	抗裂弯矩 检验值 (kN·m)	正截面抗 弯弯矩设 计值 (kN·m)	桩身受压承 载力设计值 (未考虑压 屈影响) R_p (kN)	桩身受拉承 载力设计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身一级 裂缝控制 抗裂拉力 值 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHS 300 (130)	A	13	8 $\phi^{D7.1}$	4	3.68	34	34	1790	273	96	282	192
	AB		8 $\phi^{D9.0}$		5.67	43	54		437	104	435	
	B		8 $\phi^{D10.7}$		7.66	52	76		615	112	588	
PHS 350 (170)	A	13	8 $\phi^{D9.0}$	4	4.46	60	66	2329	437	127	445	250
	AB		8 $\phi^{D10.7}$		6.08	71	93		615	135	607	
	B		8 $\phi^{D12.6}$		8.11	85	129		854	145	809	
PHS 400 (220)	A	15	8 $\phi^{D9.0}$	4	3.70	79	79	2847	437	147	452	305
	AB		8 $\phi^{D10.7}$		5.07	94	111		615	155	619	
	B		8 $\phi^{D12.6}$		6.81	111	154		854	166	831	
PHS 450 (260)	A	15	12 $\phi^{D9.0}$	4	4.47	123	138	3486	656	193	668	374
	AB		12 $\phi^{D10.7}$		6.09	146	194		923	205	910	
	B		12 $\phi^{D12.6}$		8.12	175	269		1281	220	1213	
PHS 500 (310)	A	15	12 $\phi^{D9.0}$	5	3.87	153	157	4073	656	216	675	436
	AB		12 $\phi^{D10.7}$		5.30	181	221		923	229	925	
	B		12 $\phi^{D12.6}$		7.10	215	307		1281	244	1239	
PHS 550 (310)	A	15	16 $\phi^{D9.0}$	5	3.96	213	235	5298	875	287	899	568
	AB		16 $\phi^{D10.7}$		5.42	251	331		1230	303	1230	
	B		16 $\phi^{D12.6}$		7.26	299	459		1709	324	1647	

续表 C.5

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)	抗裂弯矩 检验值 (kN·m)	正截面抗 弯弯矩设 计值 (kN·m)	桩身受压承 载力设计值 (未考虑压 屈影响) R_p (kN)	桩身受拉承 载力设计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身一级 裂缝控制 抗裂拉力 值 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PHS 550 (350)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	4.33	214	235	4814	875	258	893	516
	AB		16 ϕ^D 10.7		5.91	253	331		1230	274	1218	
	B		16 ϕ^D 12.6		7.88	303	459		1709	294	1626	
PHS 600 (360)	A	15	20 ϕ^D 9.0	5	4.32	283	326	6025	1093	326	1116	646
	AB		20 ϕ^D 10.7		5.90	336	459		1538	346	1523	
	B		20 ϕ^D 12.6		7.87	401	628		2136	371	2033	
PHS 600 (410)	A	15	20 ϕ^D 9.0	5	4.85	284	326	5320	1093	286	1105	570
	AB		20 ϕ^D 10.7		6.59	339	459		1538	306	1502	
	B		20 ϕ^D 12.6		8.75	406	628		2136	330	1995	
PHS 700 (440)	A	15	28 ϕ^D 9.0	6	4.60	457	547	7886	1531	442	1554	845
	AB		28 ϕ^D 10.7		6.26	543	769		2153	470	2117	
	B		28 ϕ^D 12.6		8.34	651	1010		2990	504	2818	

注：PHS 桩的混凝土强度等级为 C80；表中桩身受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.65。实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身轴心受压承载力设计值按规范计算。

表 C.6 PS 桩桩身配筋及相关参数（空心方桩）

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)	抗裂弯矩 检验值 (kN·m)	正截面抗 弯弯矩设 计值 (kN·m)	桩身受压承 载力设计值 (未考虑压 屈影响) R_p (kN)	桩身受拉承 载力设计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身一级 裂缝控制 抗裂拉力 值 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PS 300 (130)	A	13	8 $\phi^{D7.1}$	4	3.67	33	34	1371	273	91	282	192
	AB		8 $\phi^{D9.0}$		5.65	42	54		437	98	434	
	B		8 $\phi^{D10.7}$		7.63	51	76		615	106	585	
PS 350 (170)	A	13	8 $\phi^{D9.0}$	4	4.45	57	66	1784	437	119	444	250
	AB		8 $\phi^{D10.7}$		6.06	68	93		615	127	605	
	B		8 $\phi^{D12.6}$		8.06	82	129		854	137	805	
PS 400 (220)	A	15	8 $\phi^{D9.0}$	4	3.69	76	79	2181	437	138	451	305
	AB		8 $\phi^{D10.7}$		5.06	90	111		615	146	617	
	B		8 $\phi^{D12.6}$		6.78	107	154		854	156	827	
PS 450 (260)	A	15	12 $\phi^{D9.0}$	4	4.46	118	138	2671	656	173	666	374
	AB		12 $\phi^{D10.7}$		6.07	141	194		923	185	907	
	B		12 $\phi^{D12.6}$		8.08	169	265		1281	199	1207	
PS 500 (310)	A	15	12 $\phi^{D9.0}$	5	3.86	147	157	3120	656	204	675	436
	AB		12 $\phi^{D10.7}$		5.28	174	221		923	216	924	
	B		12 $\phi^{D12.6}$		7.07	208	307		1281	231	1238	
PS 550 (310)	A	15	16 $\phi^{D9.0}$	5	3.95	203	235	4058	875	270	897	568
	AB		16 $\phi^{D10.7}$		5.40	241	331		1230	286	1226	
	B		16 $\phi^{D12.6}$		7.22	289	445		1709	306	1639	

续表 C.6

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)	抗裂弯矩 检验值 (kN·m)	正截面抗 弯弯矩设 计值 (kN·m)	桩身受压承 载力设计值 (未考虑压 屈影响) R_p (kN)	桩身受拉承 载力设计值 N (kN)	桩身受剪 承载力设 计值 V (kN)	桩身一级 裂缝控制 抗裂拉力 值 N_k (kN)	理论 重量 (kg/m)
PS 550 (350)	A	15	16 ϕ^D 9.0	5	4.32	204	235	3687	875	243	890	516
	AB		16 ϕ^D 10.7		5.88	244	331		1230	259	1214	
	B		16 ϕ^D 12.6		7.84	293	446		1709	279	1618	
PS 600 (360)	A	15	20 ϕ^D 9.0	5	4.31	271	326	4616	1093	306	1113	646
	AB		20 ϕ^D 10.7		5.88	323	459		1538	326	1517	
	B		20 ϕ^D 12.6		7.83	388	602		2136	351	2022	
PS 600 (410)	A	15	20 ϕ^D 9.0	5	4.83	272	326	4075	1093	270	1104	570
	AB		20 ϕ^D 10.7		6.56	327	489		1538	289	1501	
	B		20 ϕ^D 12.6		8.70	394	602		2136	313	1993	
PS 700 (440)	A	15	28 ϕ^D 9.0	6	4.59	438	547	6041	1531	417	1550	845
	AB		28 ϕ^D 10.7		6.24	524	769		2153	445	2108	
	B		28 ϕ^D 12.6		8.29	630	1010		2990	479	2803	

注：PS 桩的混凝土强度等级为 C60；表中桩身受压承载力设计值的成桩工艺系数为 0.65。实际工程中可根据项目需求调整壁厚，桩身轴心受压承载力设计值按规范计算。

表C.7 YZH桩桩身配筋及相关参数（实心方桩）

注：YZH 桩的混凝土强度等级为 C60。

边长 B (mm)	型号	配筋规格	螺旋筋 规格	预应力筋 配筋率 (%)	抗弯性能			抗压性能	抗拉性能			理论 质量 (kg/ m)
					桩身开 裂弯矩 M _{cr} (kN·m)	设计弯 矩 M (kN· m)	检验弯 矩 M _u (kN· m)		桩身轴心 受压承载 力设计值 N (kN)	桩身轴心 受拉承载 力设计值 N _t (kN)	按标准组合计 算的抗裂拉力 N _k (一级裂缝控 制) (kN)	
250	A	4Φ ^D 10.7	Φ ^D 3	0.58	23.8	36.1	45.1	1117	306	282.6	465.4	162
	B	4Φ ^D 12.6		0.80	28.5	47.5	59.4	1117	424	389.4	574.0	
300	A	8Φ ^D 9.0	Φ ^D 4	0.57	40.5	57.7	72.1	1609	433	400.2	663.3	232
	B	8Φ ^D 10.7		0.81	48.9	76.9	96.1	1609	611	561.2	827.5	
350	A	8Φ ^D 10.7	Φ ^D 4	0.59	65.8	95.7	119.6	2190	611	564.8	923.3	317
	B	8Φ ^D 12.6		0.82	78.9	125.4	156.7	2190	848	780.7	1142.8	
400	A	12Φ ^D 10.7	Φ ^D 4	0.68	105.9	159.9	199.9	2860	917	849.6	1319.6	413
	B	12Φ ^D 12.6		0.94	127.6	207.6	259.5	2860	1272	1161.8	1637.2	
450	A	12Φ ^D 10.7	Φ ^D 5	0.54	131.6	187.3	234.1	3620	917	857.9	1449.0	523
	B	12Φ ^D 12.6		0.74	156.6	246.7	308.4	3620	1272	1177.0	1773.6	
500	A	16Φ ^D 10.7	Φ ^D 5	0.58	185.4	274.8	343.5	4469	1223	1144.4	1875.6	645
	B	16Φ ^D 12.6		0.80	221.8	360.5	450.6	4469	1696	1563.2	2301.6	
550	A	20Φ ^D 10.7	Φ ^D 6	0.60	248.1	376.8	471.0	5407	1529	1428.6	2314.1	782
	B	20Φ ^D 12.6		0.83	298.0	493.6	617.0	5407	2120	1950.5	2845.0	
600	A	24Φ ^D 10.7	Φ ^D 6	0.60	320.6	493.4	616.7	6435	1834	1713.8	2767.8	930
	B	24Φ ^D 12.6		0.84	385.9	646.1	807.6	6435	2544	2339.6	3404.4	

附录 D 静压桩机及适用范围参数表

D.0.1 静压桩机技术参数应按表 D.0.1 取值。

表 D.0.1 静压桩机技术参数表

项目 \ 压桩机型号 (吨位)		160~	240~	300~	400~	500~	800~	1200~
		180	280	380	460	600	1000	1400
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

D.0.2 静压桩机适用范围参数应按表 D.0.2 取值。

表 D.0.2 静压桩机适用范围参数表

项目 \ 压桩机型号 (吨位)		160~	240~	300~	400~	500~	800~	1200~
		180	280	380	460	600	1000	1400
适用 管桩	最小桩径 (mm)	300	300	400	400	500	500	600
	最大桩径 (mm)	400	500	500	550	600	800	800
单桩承载力特征值 (kN)		500~ 1000	800~ 1500	1000~ 1900	1500~ 2500	1800~ 2800	2800~ 3600	4000~ 4800
桩端持力层		中密~密 实砂层、 硬塑~坚 硬黏土 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层、强 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层、强 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层、强 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层、强 风化岩 层

续表 D.0.2

压桩机型号 (吨位)	160~ 180	240~ 280	300~ 380	400~ 460	500~ 600	800~ 1000	1200~ 1400
项目							
桩端持力层标贯值 (N)	20~25	20~35	30~40	30~50	30~55	35~60	30~65
穿透中密—密实砂 层厚度 (m)	约 1.5	1.5~2.5	2~3	2~4	3~5	4~6	4~6

- 注：1 压桩机应根据工程地质条件、估算的最大压桩阻力、单桩极限承载力、入土深度及桩身强度并结合地区经验等因素综合考虑后选用；
- 2 最大压桩力为理论最大压桩力，压桩时压桩机提供的最大压桩力约为其机架重量和配重之和的 0.8 倍；
- 3 本表中静压桩机施工边、角桩及正常桩时，与邻近建（构）筑物施工的最小距离为 2m~5m。

附录 E 打桩锤选择及适用范围参数表

E.0.1 柴油锤选择参考表见表 E.0.1:

表 E.0.1 柴油锤选择参考表

柴油锤型号	30~36	40~50	60~62	72~80	100~160
冲击体质量 (t)	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)	6.2~8.2	9.2~11.0	11.5~12.3	13.1~16.9	20.6~32.8
常用冲程 (m)	1.6~3.2	1.8~3.2	1.9~3.6	1.8~2.5	2.0~3.4
适用管桩规格	A 300 A 400	A 400 A 500	A 500~ A 600	A 600~ A 800	A 900~ A 1200
适用空心方桩规格	350~400	400~450	450~500	500~600	>600
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 ($N' > 70$)
常用收锤贯入度 (mm/10 击)	20~50	20~50	20~50	30~70	70~120
单桩竖向承载力特征值适用范围 (kN)	500~ 1500	800~2500	1600~ 3200	1800~ 4500	>3700

E.0.2 常用液压锤参数见表 E.0.2-1~E.0.2-3:

表 E.0.2-1 HHP14 液压锤沉桩极限承载力计算估值 (kN)

提锤高度 (mm) \ 贯入度 (mm)	200~400	500~700	800~1000
70~100	950~2100	2400~3800	3700~5400
40~60	1100~2500	2800~4400	4400~6300
20~30	1300~2900	3300~5100	5000~7300

建议: 1 收锤时, 施打外径 400mm~500mm 的管桩, 提锤高度不宜大于 600mm;
2 收锤时, 施打外径 600mm 的管桩, 提锤高度不宜大于 700mm。

表 E.0.2-2 HHP16 液压锤沉桩极限承载力计算估值 (kN)

提锤高度 (mm) 贯入度 (mm)	200~400	500~700	800~1000
	70~100	1100~2400	2800~4300
40~60	1200~2800	3200~5000	5100~7100
20~30	1500~3300	4600~5800	6100~8200
建议：1 收锤时，施打外径 500mm 的管桩，提锤高度不宜大于 600mm； 2 收锤时，施打外径 600mm、700mm 的管桩，提锤高度不宜大于 700mm。			

表 E.0.2-3 HHP20 液压锤沉桩极限承载力计算估值 (kN)

提锤高度 (mm) 贯入度 (mm)	200~400	500~700	800~1000
	70~100	1400~3000	3500~5400
40~60	1600~3600	4000~6300	6500~9000
20~30	1900~4100	5700~7300	7700~10000
建议：1 收锤时，施打外径 600mm 的管桩，提锤高度不宜大于 600mm； 2 收锤时，施打外径 700mm、800mm 的管桩，提锤高度不宜大于 700mm。 3 收锤时，施打外径 1000mm 及以上的管桩，提锤高度不宜大于 900mm。			

F.0.3 常用振动锤参数见表 F.0.3:

表 E.0.3 常用振动锤参考性能表 (kN)

分类	型号、名称	技术性能	适用管桩直径 (mm)	沉桩深度 (m)
		锤重 (t) 或激振力 (kN)		
振动打 桩机	70-80 振动打桩机	激振力 70-80kN	300	5-6
	100-150 振动打桩机	激振力 100-150kN	300	6-7
	150-200 振动打桩机	激振力 150-200kN	400	7-8
	ZJ40	激振力 230-260kN	400	18
	ZJ60	激振力 280-345kN	400, 500	25
	DZ25	激振力 550kN	400, 500	25

附录 F 常用预制桩的桩尖构造图

I 管桩

F.0.1 平底十字型桩尖构造（图 F.0.1）及尺寸（表 F.0.1）：

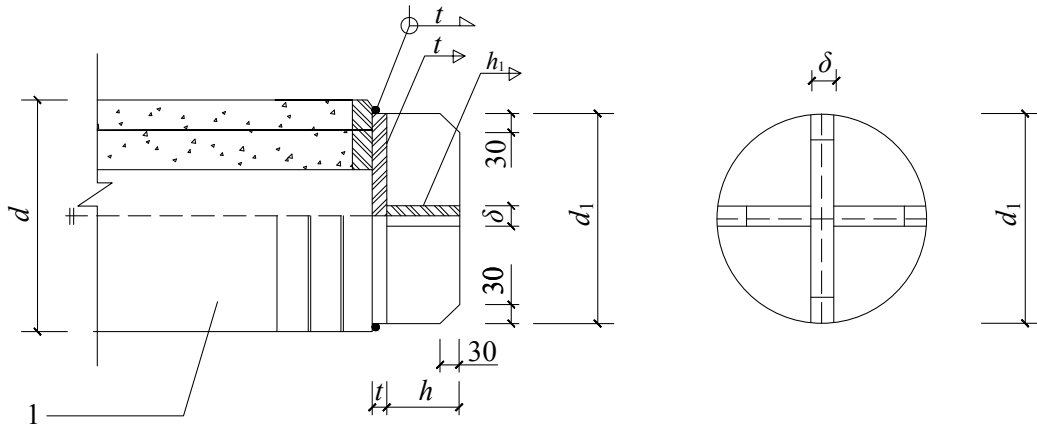


图 F.0.1 平底十字型桩尖

1—管桩桩身

表 F.0.1 平底十字型桩尖构造尺寸（mm）

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

F.0.2 尖底十字 I（II）型桩尖构造（图 F.0.2）及尺寸（表 F.0.2）：

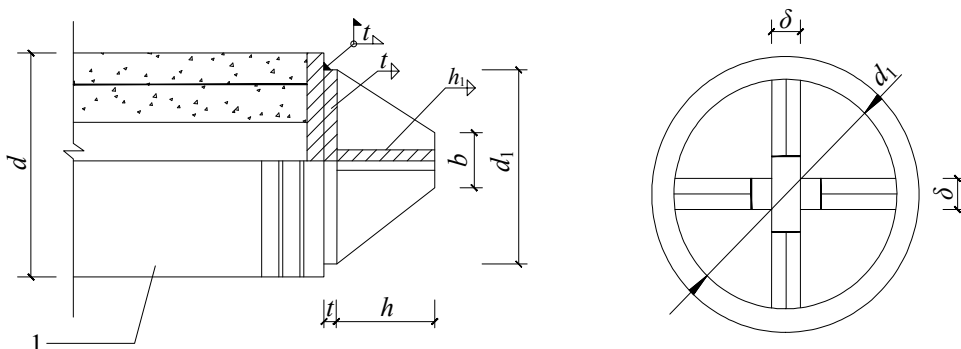


图 F.0.2 尖底十字型桩尖

1—管桩桩身

表 F.0.2 尖底十字型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	b	δ	t	h_1
300	270	100~250	30	≥ 14	≥ 8	≥ 10
400	350	125~275	40	≥ 16	≥ 10	≥ 10
500	450	175~375	50	≥ 16	≥ 12	≥ 12
600	540	225~475	60	≥ 18	≥ 14	≥ 14
700	640	275~575	70	≥ 20	≥ 14	≥ 14
800	730	325~575	80	≥ 20	≥ 16	≥ 20
1000	920	425~675	100	≥ 22	≥ 20	≥ 16
1200	1110	475~775	120	≥ 24	≥ 22	≥ 20

F.0.3 锯齿十字型桩尖构造 (图 F.0.3) 及尺寸 (表 F.0.3) :

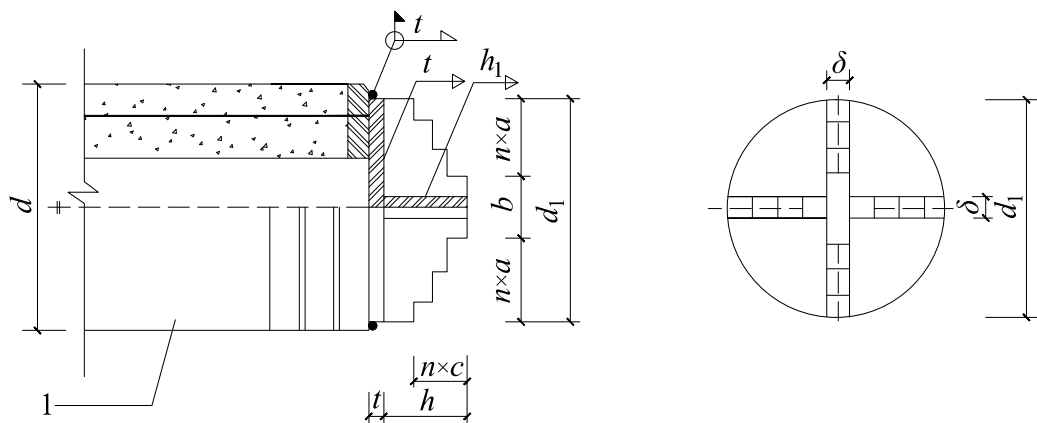


图 F.0.3 锯齿十字型桩尖

1—管桩桩身

表 F.0.3 锯齿十字型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	n	a	b	c	δ	t	h_1
300	270	80~200	2	45	30	35	≥ 14	≥ 8	≥ 10
400	350	100~250	2	50	40	45	≥ 16	≥ 10	≥ 10
500	450	150~300	3	55	50	45	≥ 16	≥ 12	≥ 12
600	540	200~350	3	65	60	55	≥ 18	≥ 14	≥ 14
700	640	275~425	4	70	70	60	≥ 20	≥ 14	≥ 14
800	730	325~475	4	75	80	70	≥ 20	≥ 16	≥ 20
1000	920	350~500	5	85	100	90	≥ 22	≥ 20	≥ 16
1200	1110	375~525	6	95	120	100	≥ 24	≥ 22	≥ 20

F.0.4 四棱锥型桩尖构造（图 F.0.4）及尺寸（表 F.0.4）：

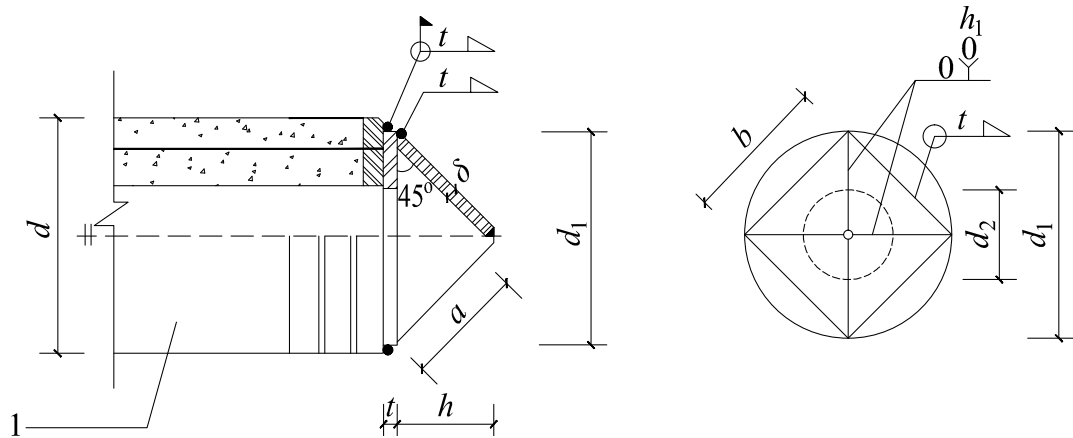


图 F.0.4 四棱锥型桩尖

1—管桩桩身

表 F.0.4 四棱锥型桩尖构造尺寸（mm）

d	d_1	d_2	h	a	b	δ	t	h_1
300	270	100	175~275	184	184	≥ 14	≥ 8	≥ 10
400	350	120	175~300	247	247	≥ 16	≥ 10	≥ 10
500	450	150	225~375	318	318	≥ 16	≥ 12	≥ 12
600	540	200	270~450	382	382	≥ 18	≥ 14	≥ 14
700	640	200	325~575	452	452	≥ 20	≥ 14	≥ 14
800	730	250	375~575	516	516	≥ 20	≥ 16	≥ 20
1000	920	300	475~675	650	650	≥ 22	≥ 20	≥ 16
1200	1110	350	575~775	750	750	≥ 24	≥ 22	≥ 20

注：必要时桩尖内可灌 C30 混凝土填实。

F.0.5 六棱锥型桩尖构造（图 F.0.5）及尺寸（表 F.0.5）：

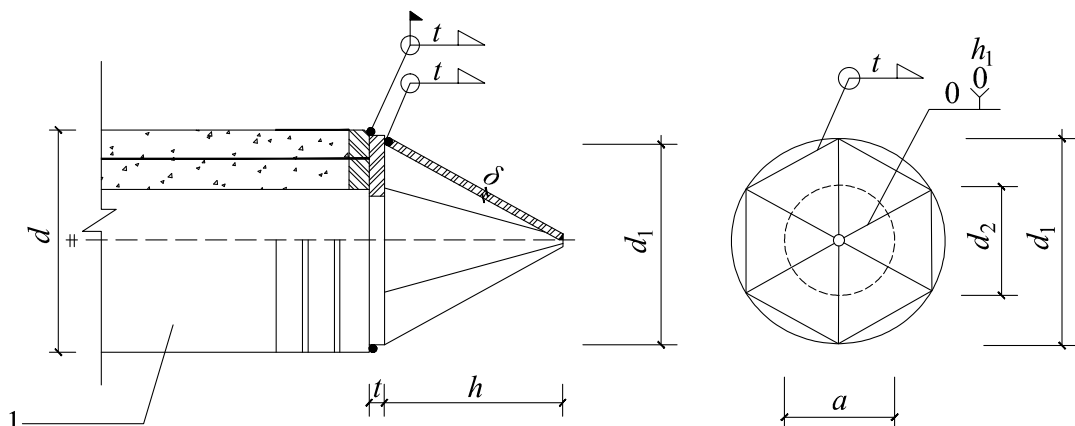


图 F.0.5 六棱锥型桩尖

1—管桩桩身

表 F.0.5 六棱锥型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	d_2	h	a	δ	t	h_1
300	270	100	175~275	120	≥ 14	≥ 8	≥ 10
400	350	120	175~300	165	≥ 16	≥ 10	≥ 10
500	450	150	225~375	215	≥ 16	≥ 12	≥ 12
600	540	200	270~450	260	≥ 18	≥ 14	≥ 14
700	640	250	325~575	310	≥ 20	≥ 14	≥ 14
800	730	300	375~575	370	≥ 20	≥ 16	≥ 20
1000	920	350	475~675	440	≥ 22	≥ 20	≥ 16
1200	1110	400	575~775	540	≥ 24	≥ 22	≥ 20

注：必要时桩尖内可灌 C30 混凝土填实。

F.0.6 H 钢 1 型桩尖构造 (图 F.0.6) 及尺寸 (表 F.0.6) :

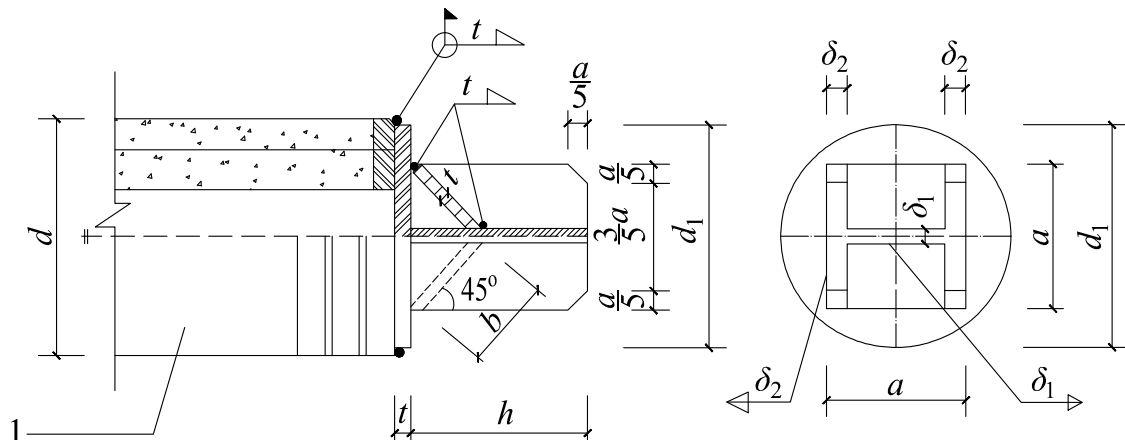


图 F.0.6 H 钢 1 型桩尖

1—管桩桩身

表 F.0.6 H 钢 1 型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	a	b	HW 型钢	δ_1	δ_2	t
300	270	175~275	200	130	200×200	≥ 8	≥ 12	≥ 8
400	350	175~300	250	163	250×250	≥ 9	≥ 14	≥ 10
500	450	225~375	300	198	300×300	≥ 10	≥ 15	≥ 12
600	540	270~450	350	232	350×350	≥ 12	≥ 19	≥ 14
700	640	325~575	400	280	400×400	≥ 14	≥ 23	≥ 14
800	730	375~575	450	320	450×450	≥ 16	≥ 27	≥ 16
1000	920	475~675	500	400	500×500	≥ 16	≥ 31	≥ 20
1200	1110	575~775	600	480	600×600	≥ 18	≥ 35	≥ 22

F.0.7 H 钢 2 型桩尖构造 (图 F.0.7) 及尺寸 (表 F.0.7) :

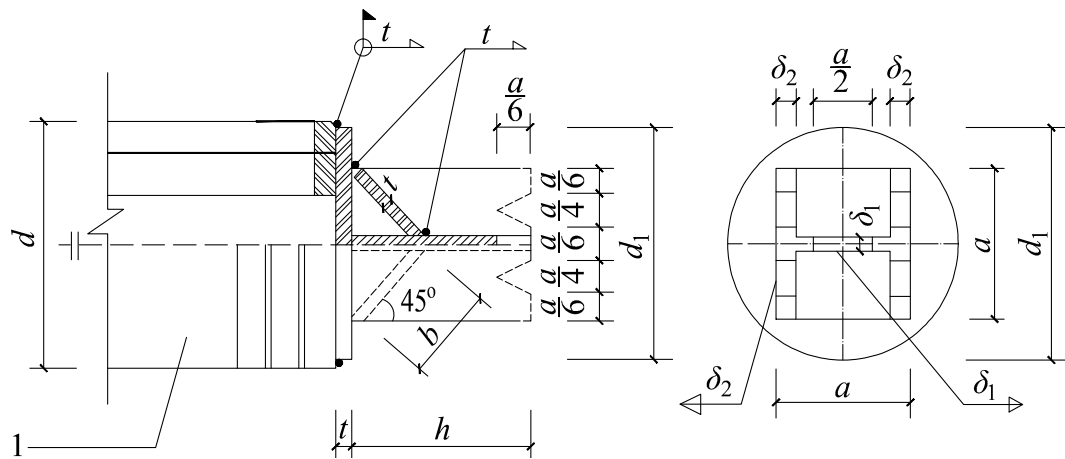


图 F.0.7 H 钢 2 型桩尖

1—管桩桩身

表 F.0.7 H 钢 2 型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	a	b	HW 型钢	δ_1	δ_2	t
300	270	175~275	200	130	200×200	≥ 12	≥ 12	≥ 8
400	350	175~300	250	163	250×250	≥ 14	≥ 14	≥ 10
500	450	225~375	300	198	300×300	≥ 15	≥ 15	≥ 12
600	540	270~450	350	232	350×350	≥ 19	≥ 19	≥ 14
700	640	325~575	400	280	400×400	≥ 14	≥ 23	≥ 14
800	730	375~575	450	320	450×450	≥ 16	≥ 27	≥ 16
1000	920	475~675	500	400	500×500	≥ 16	≥ 31	≥ 20
1200	1110	575~775	600	480	600×600	≥ 18	≥ 35	≥ 22

F.0.8 开口型桩尖构造 (图 F.0.8) 及尺寸 (表 F.0.8) :

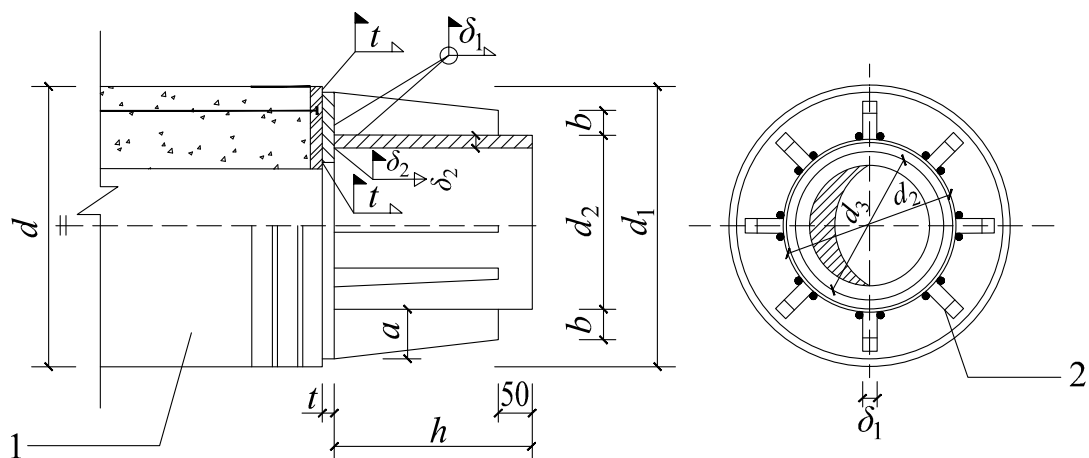


图 F.0.8 开口型桩尖

1—管桩桩身; 2—加劲肋 n 条

表 F.0.8 开口型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	d_2	d_3	h	a	b	δ_1	δ_2	t	n
300	270	219	180	100~250	25	15	12~14	10	≥ 8	4
400	350	299	250	125~275	30	20	12~14	10	≥ 10	5
500	450	377	300	175~375	30	20	12~16	12	≥ 12	6
600	540	480	400	225~475	30	20	12~18	12	≥ 14	8
700	640	580	500	275~575	35	25	14~20	14	≥ 14	9
800	730	660	600	325~575	35	25	14~20	14	≥ 16	10
1000	920	850	780	425~675	45	30	16~22	16	≥ 20	12
1200	1110	1030	950	475~775	50	35	16~24	18	≥ 22	12

F.0.9 一体化桩尖构造 (图 F.0.9) 及尺寸 (表 F.0.90) :

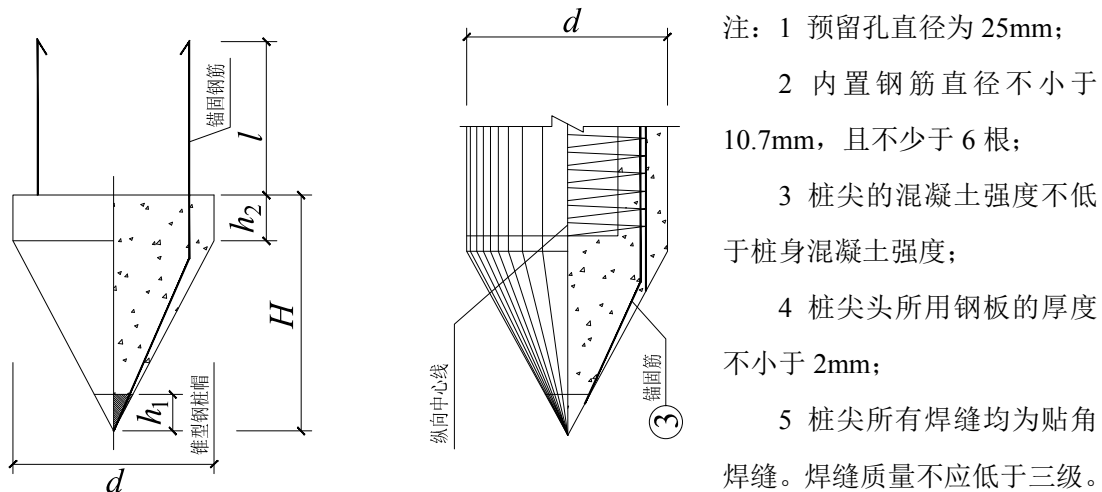


图 F.0.9 混凝土一体化桩尖

表 F.0.9 混凝土一体化桩尖构造尺寸 (mm)

d	l	H	h_1	h_2
300	≥ 500	422	≥ 140	120
400	≥ 500	527	≥ 140	120
500	≥ 500	630	≥ 140	120
600	≥ 500	775	≥ 140	120
700	≥ 500	885	≥ 140	120
800	≥ 500	1010	≥ 180	120
1000	≥ 500	1260	≥ 180	120

II 空心方桩

F.0.10 开口型钢桩尖构造（图 F.0.10）及尺寸（表 F.0.10）：

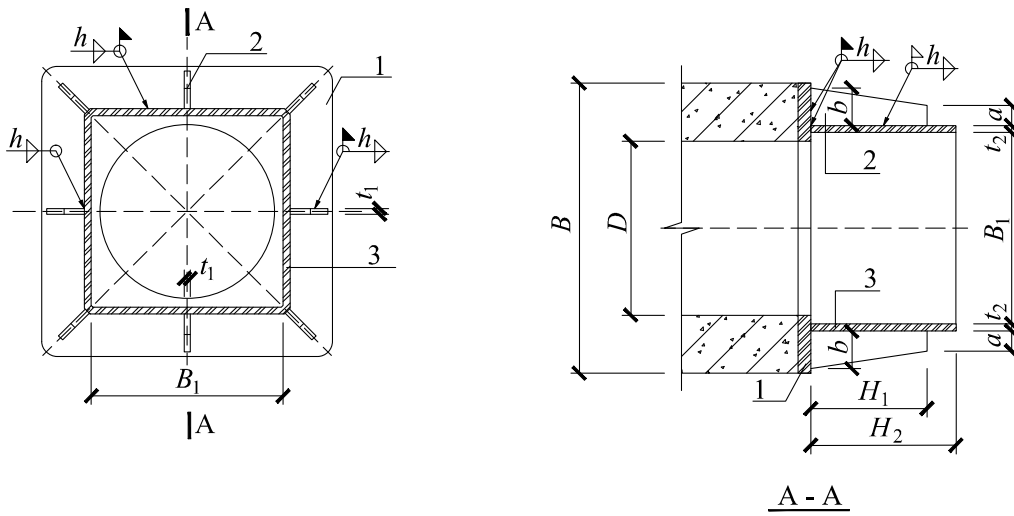


图 F.0.10 开口型钢桩尖

1—端板；2—梯形导向钢板；3—方形钢板筒

表 F.0.10 开口型钢桩尖构造尺寸（mm）

桩边长 B	桩内径 D	B_1	H_1	H_2	t_1	t_2	a	b	h	导向板数量 (个)
300	130	150	100	150	10	10	25	40	6~10	4
350	170	190	100	200	10	10	25	45	6~10	4
400	220	240	100	200	10	10	30	45	6~10	4
450	260	280	100	200	12	12	30	45	8~12	4
500	310	330	200	250	12	12	35	65	8~12	8
550	350	370	200	250	12	12	35	65	8~12	8
600	400	420	300	400	12	12	40	65	8~12	8
650	450	470	300	400	14	14	40	65	10~14	8
700	500	520	350	450	16	16	45	75	10~14	8

F.0.11 十字型钢桩尖构造（图 F.0.11）及尺寸（表 F.0.11）：

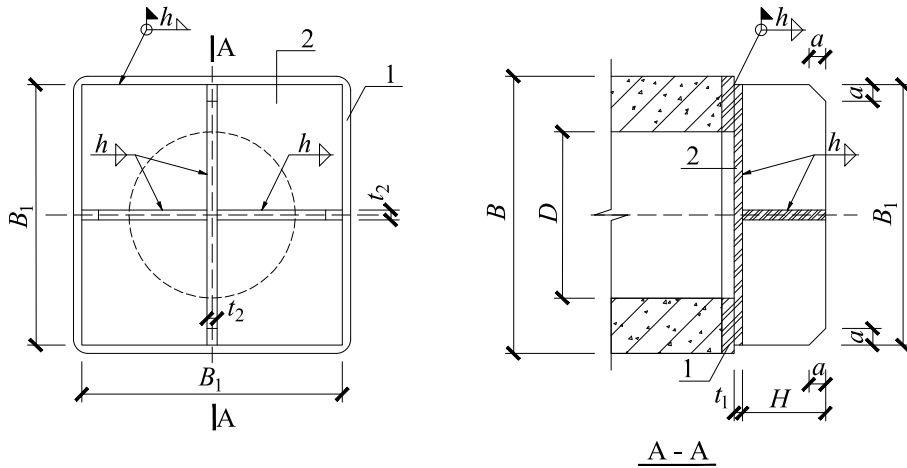


图 F.0.11 十字型钢桩尖

1—端板；2—方形钢板

表 F.0.11 十字型钢桩尖构造尺寸 (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

F.0.12 圆锥型钢桩尖构造 (图 G.0.12) 及尺寸 (表 G.0.12) :

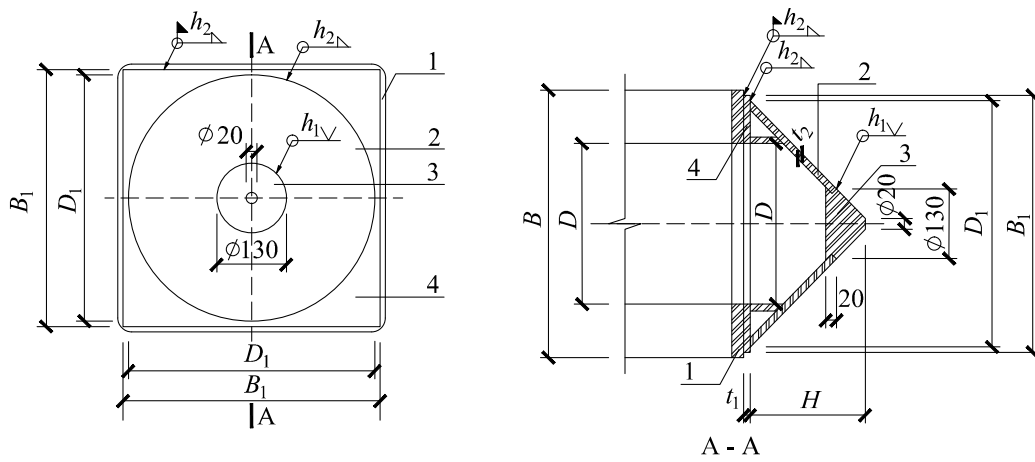


图 F.0.12 圆锥型钢桩尖

1—端板；2—锥型钢板；3—钢尖头；4—带孔方钢板

表 F.0.12 圆锥型钢桩尖构造尺寸 (mm)

桩边长 B	桩内径 D	B_1	D_1	H	t_1	t_2	h_1	h_2
300	130	280	260	120~200	10~16	10~16	≥ 8	≥ 8
350	170	330	310	140~200	10~18	10~18	≥ 10	≥ 10
400	220	380	360	170~250	10~18	10~18	≥ 10	≥ 10
450	260	430	410	190~270	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
500	310	480	460	220~300	12~20	12~20	≥ 10	≥ 10
550	350	530	510	240~320	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
600	400	580	560	270~350	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
650	450	630	610	290~370	12~25	12~25	≥ 12	≥ 12
700	500	680	660	320~400	14~28	14~28	≥ 12	≥ 12

F.0.13 锥型混凝土桩尖构造 (图 F.0.13) 及尺寸 (表 F.0.13) :

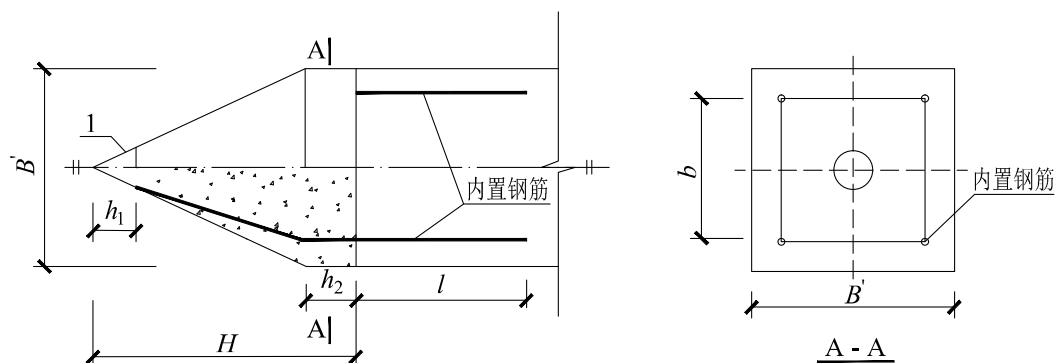


图 F.0.13 锥型混凝土桩尖

1—钢桩尖头

表 F.0.13 锥型混凝土桩尖构造尺寸 (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

附录 G 施工常见问题及处理措施

G.0.1 桩顶破碎

1 施工中用桩送桩，受力不均，导致桩头破坏。

应对措施：应采用送桩器送桩。

2 送桩器尺寸不合适或采用内插式送桩器。

应对措施：根据桩径选用合适的送桩器，严禁使用内插式送桩器。

3 桩锤、桩帽和桩身轴线不在同一中心线上，产生偏心锤击，桩顶局部应力过大导致桩头破坏。

应对措施：施工过程中应按 90° 角布置 2 台经纬仪，随时校正桩垂直度，保证桩帽和桩身中轴线在同一中心线上。

4 由于存在桩头严重跑浆，桩头与端板之间混凝土不密实，强度不足，墩头突出端面，端面不平，桩端箍筋加密区间距过大等管桩质量问题，在锤击或顶压施工时易出现桩顶破碎。

应对措施：施工前应检查桩顶端板抱箍内的混凝土密实程度，若出现裂隙、空洞等质量问题，应作退桩处理。

5 搬运、吊装、堆放过程中桩头碰撞损坏。

应对措施：施工前对桩身质量作型式检验。

6 打桩锤重选用不当：桩锤过重，锤击应力太大易将桩头击碎；桩锤过轻，锤击次数增多，易产生疲劳破坏。

应对措施：施工中应按“桩锤匹配，重锤低击”的原则选用锤重。

7 桩帽尺寸不合适，桩帽衬垫材料太薄或未加衬垫，或未及时更换，或铺设不平。

应对措施：桩帽太小会挤压桩顶，太大会产生晃动，易折断桩顶，应根据桩径选用合适的桩帽。桩帽衬垫应铺设平稳，施工前应进行检查，发现损坏及时更换。

8 遇到孤石、基岩面或密实砂卵石层时继续高档位锤击易打碎桩头。

应对措施：根据现场施工情况，核对地质资料，与施工、设计人员商讨合适的施工方案。

9 未使用锯桩器，采取锤敲等野蛮方法截桩容易导致桩头破坏。

应对措施：截桩必须使用锯桩器，严禁采用锤敲等方式进行截桩，避免桩头损坏。

G.0.2 桩身断裂

1 静压桩机配重不足，压桩力过大，出现“浮机”偏位折断桩身。

应对措施：施工前应进行设计技术交底，根据场地的地质情况及单桩承载力极限值合理选择压桩配重。

2 软土地层中因大重量施工设备的移动，对下部桩造成挤推破坏。

应对措施：在深厚软土地区，为了保证大型设备的移动对桩基础不产生挤推破坏，施工前应对地面进行固化或对软土表层采用搅拌桩、注浆或换土垫层等方法进行地基加固。

3 承台施工时，因挖机操作不当而出现挖断桩。

应对措施：基坑开挖时应保留桩顶之上 0.3m~0.5m 原状土层，采用人工开挖和平整，防止机械挖断管桩。

4 管桩腔内进水时，上部未开孔，在锤击作用下，出现水锤效益，管内压力激增，导致管桩产生纵向裂缝。

应对措施：在地层中含有饱和砂土层，且地下水丰富的地区采用下部开口管桩锤击施工时，管桩下沉过程中会产生巨大的水压力，出现水锤效应，导致管桩产生纵向裂缝，建议在每节管桩端板下 1.5m~2.0m 处开排气孔 2 个进行排气(水)，沉桩 5m~7m 时可 将桩帽与桩顶脱开，进行排气（水）。

5 下部桩端遇到孤石和大角度倾斜硬岩面，易 滑 移 折 断。

应对措施：在填土中存在孤石或下部为倾角较大的硬质岩以及岩溶发育地区，宜采用旋挖植桩工法。

6 电焊焊接时自然冷却时间不够，焊好后立即施打。焊缝遇水淬 火 易 裂，接头脱开，两节桩错位断桩。

应对措施：严格按相关规定进行管桩焊接。

7 管桩存在香蕉型、管壁太薄、合缝漏浆严重等质量问题时，易出现断桩。

应对措施：施工前对管桩桩身质量作型式检验，合格后方可施工。

8 打桩锤选择不当。

应对措施：遵循“桩锤匹配，重锤低击”的原则选用合适的锤重。

9 打桩时桩锤、桩帽和桩身轴线不在同一直线上，倾斜过大产生偏心受力。

应对措施：施工过程中应按 90° 夹角布置 2 台经纬仪，随时校正桩锤，桩帽和桩身中轴线在同一中心线上。

10 桩身预应力值不满足规范要求，不足以抵抗锤击时出现的拉应力而产生横向裂缝。

应对措施：应遵循“桩锤匹配，重锤低击”的原则选用锤型，有经验地区按地区经验选用。

11 桩身自由段长细比过大，沉桩时遇坚硬土层，易使桩断裂。

应对措施：适当调整桩的长细比。

12 桩在堆放、吊装和搬运过程中已产生裂缝或折断而在使用前又未认真检验。

应对措施：施工前应对管桩桩身质量作型式检验，合格后方可施工。

13 基坑开挖时操作不当引起桩身大倾斜大偏位而折断桩身。

应对措施：基坑开挖一定要有施工组织设计，分层开挖，按指定的运土通道出土。

14 静压机夹具不同步导致桩周受力不同步产生倾斜或夹断。

应对措施：施工前要调整压桩的平整度，保持夹具与桩身垂直。

G.0.3 桩顶偏位或桩身倾斜

1 测量放线有误或放样时小变位而未及时加以校核纠正，导致误差累加。

应对措施：每根桩在施工前应进行桩位核验，及时修正偏差。

2 插桩对中不正。

应对措施：在压每节桩前需进行上下桩中心线及垂直度校核。

3 在软土中，先施工的桩被挤动产生偏位及倾斜的现象。

应对措施：软土层较厚的场地在施工前应做 800mm~1000mm 厚的硬壳层，便于桩架作业，减小由于沉桩机械行走过程中大吨位的压力而产生的挤土效应对已施工完的桩的影响，淤泥层较厚的场地中，宜在桩顶标高以下 3m~5m 范围对土体进行固化处理，固化工作宜在压桩前进行，主要固化方法有搅拌桩、注浆、换土垫层等。

4 打桩顺序不当引起的桩顶偏位。

应对措施：应按固定的打桩顺序，应先内后外，先中间后两边的顺序进行施工，或采用跳打的措施。

5 孤石和其它坚硬障碍物可将管桩桩尖和桩身挤向一旁。

应对措施：暂停施工，利用开挖机械挖除孤石及坚硬障碍物，调整好桩位及垂直度再进行施工，无法调时可直接补压一根桩。

6 持力层坚硬岩面倾斜度过大而产生桩尖滑移。

应对措施：持力层为坚硬岩面，持力层以上无硬土层且岩面坡度大于 15%，不宜采用锤击或静压施工，宜采用旋挖植桩工法。

7 施工过程中两节桩或多节桩对接不直，桩中心线成折线形，桩顶偏位或倾斜。

应对措施：施工每节桩时应进行双向垂直度校核，应确保桩头间的连接质量（焊接质量，机械连接的质量）。

8 软土地基，基坑开挖不当，基坑边堆土，基坑边修建临时施工道路（运输材料，土方等重载车运输道路）而产生的桩倾斜。

应对措施：对于淤泥层较厚的管桩基础应在施工前宜对桩顶标高以下土体进行固化处理，处理深度一般为3m~5m；采用小机械开挖，每次开挖深度不宜大于1m；严禁在基坑20m范围内进行堆土，如果在基坑周边20m范围内原来有堆土，也应进行清除；施工便道应设在离基坑边不小于20m以外。

G.0.4 沉桩达不到设计控制（最终桩长、最终终压值或最终贯入度）要求

预应力管桩施工时，桩设计是以最终终压值或最终贯入度和最终桩长作为施工的最终控制。个别桩长达不到设计深度的原因有以下几方面：

1 勘探资料精度不够，与实际地质情况偏差较大，对局部硬夹层、软夹层及地下障碍物未探明或程度不够，导致设计要求与实际情况不相符。

应对措施：与勘察单位、设计单位核对地质资料，必要时进行补充勘察。

2 由于设备故障或其他特殊原因，致使沉桩过程突然中断，或接桩时，桩尖停留在密实硬土层内，若延续时间过长，沉桩的侧阻力、端阻力增加，使桩无法沉到设计深度。

3 群桩施工时穿越较厚的密实砂夹层，由于密实砂夹层结构的不稳定性，同一层土的强度差异很大，桩沉入到该层时，砂层受压越挤越密，最后发生沉不下去的现象。

4 沉桩遇到地下障碍物或厚度较大的硬夹层。

5 打桩锤选择太小，或柴油锤破旧跳动不正常或自由落锤下落不顺畅或蒸汽锤气压不足。

6 持力层为密实粉土或粉细砂层，压桩会出现“假凝”现象，即孔隙水压力骤增，应力扩散后，后期承载力不足。

应对措施：施工前必须进行试桩，试桩按设计要求的压力及桩长进行双控。试桩参数若不满足设计要求，设计单位应及时调整桩长或桩数。

8 较硬土层中，桩间距过小或打桩顺序不当，先压的桩出现挤土效应，后压的桩无法压到设计标高。短时间内在一区域内打入大量的桩，孔隙水压力未及时消散。

应对措施：合理安排压桩顺序，先内后外，先中间后两边，采用跳打方案。也可采用补打应力消散孔或会同勘察设计分析原因，确定补充方案。

G.0.5 桩达到设计深度，终压值不足

依据地质勘察资料和桩的终压记录，根据经验有时会发现桩达到设计深度但终压值不能满足的现象。这往往是因为地质条件复杂，持力层的层面起伏较大，

造成设计桩长不足，桩尖未能进入持力层足够的深度在这种情况下，可采用的相应措施如下：

- 1 根据实际成桩情况，可采用送桩将桩打入持力层足够深度，直至达到设计终压值为止。
- 2 可考虑在桩末端设置闭口桩尖等形式，增加桩端闭塞效应，提高桩的承载能力。
- 3 设计变更布桩和增加桩数来满足设计承载力的要求。
- 4 对软化岩及时做好封水措施，防止岩层软化导致桩基承载力不足。

G.G.6 桩达到设计深度，终压值不足

预制桩属于挤土桩，在沉桩时使桩四周的土体结构受到扰动，改变了土体的应力状态。由于桩自身的体积“占用”了土体原有空间，使桩周的土体向四周排开，挤压应力主要通过土体位移来消减。桩的接头较多而且焊接质量不好，施工方法与施工顺序不当，每天成桩数量太多，桩速率过快，布桩过多过密等，均会加剧挤土效应。如不采取措施，会使已完成桩发生横向位移和桩身上浮现象，影响桩身承载力。

预防措施：

- 1 控制沉桩施工速度。

由于沉桩时桩周土体受挤压而产生较大的超静孔隙水压力，因此，应严格控制单桩沉桩速度，控制每天同一个区域内的沉桩根数，以使沉桩所产生的超静孔隙水压力来得及消散。

- 2 设置排水砂井等排水措施。

大面积沉桩会产生很大的超静孔隙水压力。施工中如采用合理的施工路线，仍然产生较严重的挤土效应，则可采用砂井等排水措施，使孔隙水应力迅速消散，从而减少沉桩的挤土效应。砂井可设置在工程场地四周或群桩内部。

- 3 设置应力释放孔。

施工中可根据实际情况在工程场地范围内或四周布置应力释放孔。应力释放孔可采用旋挖或长螺旋钻机施工。在大面积沉桩过程中发生严重挤土时，应力释放孔能起到缓解和隔断挤土通道的作用，同时可减少孔深范围的孔隙水应力。应力释放孔可根据现场实际情况采取土成孔方法或者搅松不取土方法。应力释放孔可灵活布置，可以在沉桩之前施工，也可以根据需要在沉桩之后施工，孔径约比桩径小 100mm~300mm，深度宜为桩长的 1/3~1/2。施工时应随钻随打。

- 4 预应力混凝土管桩施工时，采用开口桩尖，将部分土体导入管桩桩芯内。
- 5 设置隔离板桩或地下连续墙；开挖地面排土沟，消除挤土效应。

附录 H 管桩与腰梁、冠梁的连接构造

H.0.1 管桩-锚杆支护的腰梁设计应根据实际约束条件按连续梁或简支梁计算。

H.0.2 钢腰梁设计除应符合现行相关标准外，材料与制作应符合下列规定：

1 钢腰梁型钢规格、缀板尺寸及间距应通过计算确定；
 2 钢腰梁可采用型钢组合腰梁，型钢组合腰梁可选用双拼槽钢或双拼工字钢；对于双拼槽钢，其规格宜选用[18~[36；对于双拼工字钢，其规格宜选用 I16~I32；

3 双拼钢腰梁应通过缀板焊接为整体，缀板的尺寸及间距应根据在锚杆集中荷载作用下的局部受压稳定与受扭稳定计算确定，两相邻锚头之间不应少于 1 块；焊缝高度不应小于 8mm；

4 锚头承压板开洞根据锚杆的杆体的直径确定，其宽度应满足局部承压要求，且不小于 200mm；

5 顶部缀板、底部缀板、锚头承压板钢材牌号 Q235 或 Q355。

H.0.3 混凝土腰梁的构件设计除应符合现行相关标准外，构件尚应符合图 H.0.3-1 及图 H.0.3-2 的规定。

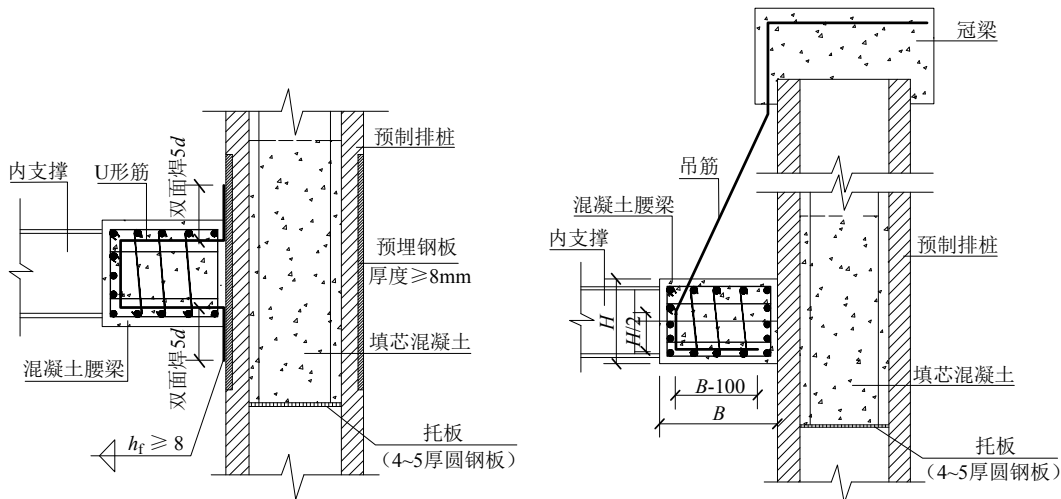


图 H.0.3-1 管桩与混凝土腰梁连接构造
(预埋钢板)

图 H.0.3-2 管桩与混凝土腰梁连接构造
(吊筋)

H.0.4 锚杆的混凝土腰梁宜采用斜面与锚杆轴线垂直的梯形截面；腰梁的混凝土强度等级不宜低于 C30。采用梯形截面时，截面的上边水平尺寸不宜小于 250mm。

H.0.5 支护管桩冠梁宜采用混凝土梁，冠梁与管桩连接构造应符合图 H.0.5 的要求。

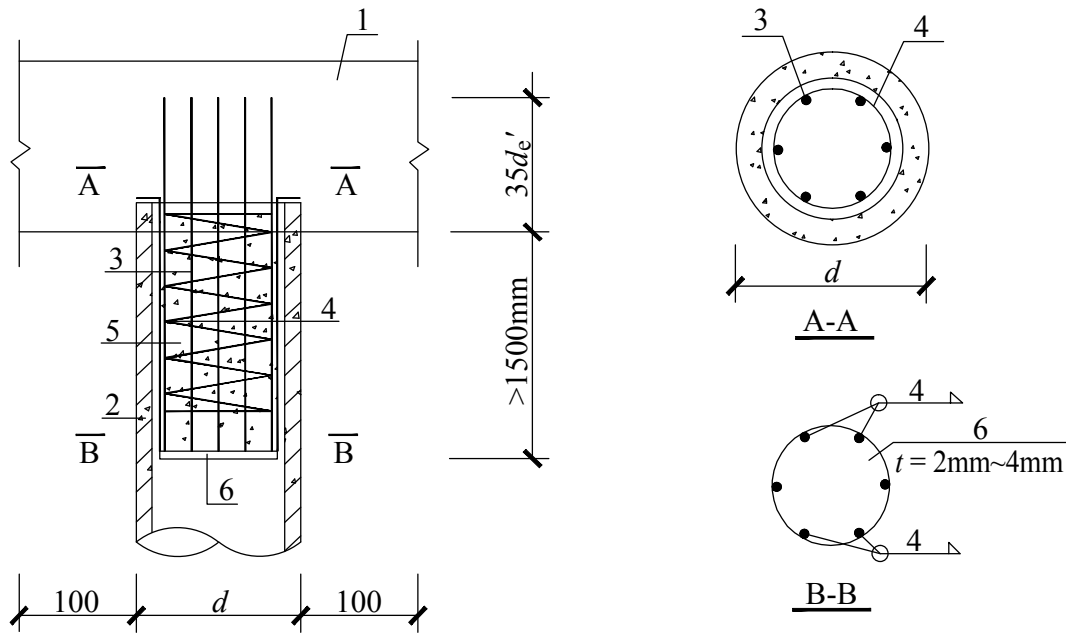


图 H.0.5 管桩与混凝土冠梁连接构造

1—冠梁；2—管桩；3—灌芯混凝土内纵筋；4—灌芯混凝土内箍筋；

5—微膨胀混凝土灌芯；6—支托钢板

附录 J 静压沉桩施工记录表

表J 静压沉桩施工记录表

工程名称: _____ 施工单位: _____ 桩顶设计标高: _____ 生产厂家: _____ 第 页
 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)			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	桩 下 端						

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

附录 K 锤击沉桩施工记录表

表K 锤击沉桩施工记录表

施工单位:

第 页

工程名称				工程地址				打桩顺序号														
管桩外径	mm	管桩壁厚	mm	质量等级	接头形式		管桩生产厂															
桩位编号	桩尖形式		桩机型号		桩锤类型		单桩承载力特征值		kN													
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																						
第四节																						
										总锤击数												

续表 K

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 L 植桩施工记录表

表L 植桩施工记录表

工程名称： _____ 施工单位： _____
 建设单位： _____ 总包单位： _____
 施工日期： _____ 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：			专业质量检查员：		记录：			
年 月 日			年 月 日		年 月 日			

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其它有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《工程结构通用规范》 GB 55001
- 2 《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002
- 3 《建筑与市政地基基础通用规范》 GB 55003
- 4 《工程勘察通用规范》 GB 55017
- 5 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 6 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 7 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 8 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 9 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 10 《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB 50046
- 11 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
- 12 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
- 13 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 14 《工程结构可靠性设计统一标准》 GB 50153
- 15 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 16 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 17 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 18 《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330
- 19 《建筑基坑工程监测技术规范》 GB 50497
- 20 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 21 《复合地基技术规范》 GB/T 50783
- 22 《岩溶地区建筑地基基础技术标准》 GB/T 51238
- 23 《预应力混凝土用钢棒》 GB/T 5223.3
- 24 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 25 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 26 《先张法预应力混凝土管桩》 GB 13476
- 27 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 1804
- 28 《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》 GB/T 19496
- 29 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 30 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 31 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94

- 32 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 33 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 34 《建筑地基检测技术规范》 JGJ 340
- 35 《预应力混凝土空心方桩》 JG/T 197
- 36 《劲性复合桩技术规程》 JGJ/T 327
- 37 《水泥石复合管桩基础技术规程》 JGJ/T 330
- 38 《随钻跟管桩技术规程》 JGJ/T 344
- 39 《预应力混凝土管桩技术标准》 JGJ/T 406
- 40 《先张法预应力混凝土管桩用端板》 JC/T 947
- 41 《预应力离心混凝土空心方桩用端板》 JC/T 223

海南省工程建设地方标准

海南省预应力混凝土预制桩技术标准

**Technical standard for prestressed precast concrete piles
in Hainan Province**

DBJ46—0XX—2023

条文说明

目 录

1	总则	122
3	基本规定	123
3.1	一般规定	123
3.2	材料与制作	123
3.3	耐久性规定	124
3.4	岩土工程勘察要点	124
4	基础工程	125
4.1	一般规定	125
4.2	设计	128
4.3	构造与施工要求	130
5	复合地基工程	132
5.1	一般规定	132
5.2	设计	132
6	基坑支护工程	134
6.1	一般规定	134
6.2	设计	134
6.3	构造与施工要求	135
7	施工	136
7.1	一般规定	136
7.2	起吊、搬运及堆放	137
7.3	静压法沉桩	137
7.4	锤击法沉桩	137
7.7	接桩与截桩	138
7.8	施工过程质量控制与监测	139
8	质量检验与验收	140
8.1	进场质量检验	140
8.2	成桩质量检测	140

1 总则

1.0.1 预应力混凝土预制桩具有构件标准化、生产工厂化的装配式部品部件特征，能够减少自然资源和能源的消耗，减少对环境的污染，增强混凝土的使用寿命，符合国家的发展政策。我国预应力混凝土预制桩的生产、设计、施工市场巨大。海南地区地质条件复杂多变，针对海南地层的桩基施工工艺主要有钻孔灌注桩（以旋挖灌注桩、冲孔灌注桩两类为主）和预制桩，因各施工工艺适用性的差异，引发了许多工程问题。对钻孔灌注桩而言，其优点是适用地层广，能保证桩端进入持力层深度，但其缺点是施工周期长、孔壁易坍塌、孔底沉渣、断桩、缩颈、露筋、夹泥等，因此成桩质量难以控制。对预制桩而言，其优点是成桩质量易控制，但在特殊的工程地质中的应用同样存在沉桩困难、倾斜、嵌岩深度不足等问题。

为规范预应力混凝土预制桩在海南省的工程应用，保障工程质量安全，编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，结合海南省实际情况，参考国内外有关先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 为改善预制桩的工作性能，提高预制桩的抗弯、抗水平及抗震能力，同时也为了推广预制桩的应用范围，本标准除了包含传统的预应力混凝土管桩（PC管桩）、预应力高强混凝土管桩（PHC管桩）等桩型外，还将近年来涌现出的预应力混凝土实心方桩（YZH方桩）、混合配筋预应力混凝土管桩（PRC管桩）、超高强预应力混凝土管桩（UHC管桩）、预应力高强混凝土厚壁桩（HPHC）等涵盖在内。

3.1.3 预制桩沉桩方法有：静压、锤击、植桩、载体技术施工（含桩内施工载体）等，施工困难时可采用水泥土复合桩、预成孔植桩、引孔等方式，施工要求可参考现行行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T327、《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330、《载体桩技术标准》JGJ 135 等执行。当周边环境条件复杂，锤击沉桩可能对周边环境造成损害时不宜采用。

3.1.4 锤击法沉桩施工过程中，有较大冲击力作用于预制桩，可能对预制桩桩身产生破损和影响场地周边环境，可对桩端进行加强，同时加强施工过程中对桩身和场地周边环境的监测。采用其他沉桩工艺施工时，可根据项目现场具体情况决定沉桩施工过程监测的要求。

3.1.5 采用植桩法和载体技术施工可大幅提高桩侧阻和端阻，与超高强混凝土、厚壁预制桩相结合，可提供更高的单桩承载力。

3.2 材料与制作

3.2.2 本条对端板的材质、构造、制作工艺及要求提出了详细的规定，目的是规范生产、质量管控与市场监管。目前，从部分地方预制桩施工情况看，端板的制造很不规范又缺乏监控，出现了不少问题，因此本条详细规定了端板构造的具体要求。

3.2.5 随着国家对节能、环保的要求越来越高，部分预制桩生产企业及科研单位已成功研发预制桩常压蒸气养护及免蒸气养护工艺，通过工程实践表明，预制桩采用常压蒸气养护及免蒸气养护工艺能节约资源，降低能耗，符合节能环保要求。免蒸压养护工艺制作的预制桩，其掺合料品种不只是矿渣微粉和硅灰，也与各工序有关。为规范预制桩免蒸压生产，本条对采用免蒸压工艺所用的掺合料的指标、检测、存放做出了明确的要求。

3.3 耐久性规定

3.3.1 海南沿海地区中等、强腐蚀环境场地较多，预制桩沉桩过程中易损伤防腐蚀涂层，添加防腐蚀材料和预留腐蚀裕量的措施更为可靠。

3.3.2 当地下水土对钢材有中等、强腐蚀性时，不宜采用焊接连接。采用机械连接时，可增加零件厚度或使用热收缩聚乙烯套膜。

3.4 岩土工程勘察要点

3.4.5 对于详细勘察阶段未有相关资料判定复杂地质条件或未明确为柱下单桩基础工程时本条第3款可在施工勘察阶段执行。

3.4.7 生物（贝壳）碎屑层、火山岩夹层、孤石发育土层等作为桩端持力层时，应采用超前钻进行桩端持力层检验，每个承台不宜少于一个超前钻探孔，柱下单桩基础宜每桩进行超前钻探施工。

3.4.10 基坑工程设计计算时，计算指标、计算方法、安全度是配套的，三轴试验受力明确，又可控制排水条件，但取样和试验难度较大，因此不排除有经验、有条件的地区作现场直剪试验。在设计计算时使用的试验排水条件应与计算方法一致。当设计者采用有效应力计算时，可作三轴不排水剪并测量孔隙水压力。

4 基础工程

4.1 一般规定

4.1.1 预制桩为工业成品，是典型的建筑装配式部件，海南省已有生产厂家，可以根据设计需求选用或定制相应的预制桩，具体桩型与成桩工艺选择见附录 A。需要特别关注预制桩运输、沉桩施工等对周边环境和建（构）筑物的影响。设计对预制桩规格、构造、材料等提出特殊要求时，应了解预制桩生产厂家的生产条件和能力。

4.1.2 海南省工程场地水位地质情况复杂多变，许多场地存在软弱土、硬夹层、密实砂层、孤石、生物碎屑层等对预制桩沉桩施工不利的岩土层，在初步设计阶段应针对场地地质情况选择合适的预制桩设计方案进行试桩。试验桩位置应选择在沉桩难度大的钻孔附近；岩土层变化大时应适当增加试桩数量，为工程桩施工找到可行、安全、经济的预制桩沉桩工艺，避免造成工程桩施工出现问题而带来成本和工期的不可控制。预制桩基础设计对穿越不同的岩土层可按下列情况采取合理的处理措施：

1、当软弱土层较厚时，预制桩沉桩及基坑开挖过程中，常常出现基桩倾斜、上浮等事故，设计文件应提出可行、有效的预防措施；

2、海南省部分区域存在玄武岩、凝灰岩、沙滩岩、铁锰结核、砂卵石等硬夹层，导致沉桩困难，甚至爆桩，可采用载体桩、植桩、引孔等方法解决；

3、海南省部分区域密实砂层较厚，难以穿越，导致沉桩困难，甚至爆桩，引孔又容易塌孔，可采用载体桩、植桩施工等方法解决；

4、海南省风化残积土层中常夹杂孤石，采用常规方法沉桩困难，易造成桩身倾斜、破坏、难以达到持力层等，应选择合适的沉桩方法，潜孔锤植桩可穿越含孤石土层，载体桩可依靠落锤的冲击力击碎孤石；

5、生物碎屑层中的胶结硬块增加沉桩难度，植桩、载体桩都是有效方法。

4.1.3 采用锤击或静压等常规沉桩施工工艺难以让预制桩进入表中岩土层一定深度。要保证持力层提供稳定的端承力，可以选择植桩、载体桩等施工工艺来提高预制桩与持力层的结合度。相对于锤击或静压预制桩，植桩和载体桩工程应用较晚，尤其是持力层为均匀性较差的岩土层时，适当增加试验桩数量是必要的，可以全面检验施工工艺和基桩承载力的分布范围（区间），找到预制桩施工的关注重点，避免工程桩施工过程中出现问题而修改设计或调整施工工艺。预制桩进入持力层可按下列情况采取合理的处理措施：

1、强风化岩沉桩困难，采用载体桩和植桩等措施在多个实际工程中取得了较好的效果；

2、旋挖植桩可以进入中风化岩；载体桩的载体和水泥土复合桩可以将预制桩的荷载传递给岩层，预制桩可不进入岩层；

3、火山岩夹层厚度较薄时，载体桩的载体能有效扩散桩端应力，也可考虑折减预制桩单桩承载力，采用多桩、小直径桩；

4、生物碎屑层存在胶结硬块（半固结），裂隙、孔洞发育，灌注桩漏水漏浆不易成桩、桩身质量不易控制，静压、锤击预制桩沉桩困难，可采用植桩、载体桩等措施成桩。

4.1.4 A型桩的抗弯和抗剪承载力较低，尤其是桩身受弯承载力设计值比开裂弯矩值提高不多，桩身一旦开裂很快就达到承载力设计值，延性差，桩身易受弯破坏，同时抗拔桩主要承受拉力，裂缝控制等级为一级，因此基础设计等级为甲级的桩基础，抗拔桩、端承桩不宜选用A型桩。A型桩、AB型桩、B型桩、C型桩的划分详见附录C。

混合配筋桩相比普通桩，抗弯性能得到了显著的改善，且原预应力筋配筋率越低效果越明显。断裂破坏时，混合配筋桩的跨中挠度明显大于普通桩，延性性能得到改善。非预应力螺纹钢筋的配置明显提高剪力作用下桩身刚度，且较大幅度减小了桩的变形和桩身裂缝的长度及平均宽度，但裂缝分布范围及数量有一定程度的增加；桩身主要应力位于跨中纯弯段内，裂缝出现前跨中截面应变基本符合平截面假定，裂缝出现后中轴线明显上移，混合配筋桩断裂前受压区部分混凝土呈压碎状。抗震设防烈度8度及以上地区，地震剪力和弯矩主要由桩基础承担，与承台连接的首节桩不应选用A型桩，宜选用混合配筋或AB型、B型、C型预应力高强混凝土桩。

4.1.5 预制桩的最小桩间距控制主要在于考虑发挥桩的承载力和减少沉桩工艺对桩身质量的影响。一般来讲桩距越小，桩基相互影响越明显，桩基的承载力和支承刚度因桩土相互作用而降低；对于管桩而言，通常采用锤击或静压施工，为减少挤土负面效应，在饱和黏性土和密实土层条件下，桩距应适当加大，特别是对于桩的排列和数量较多的群桩。当采用挤土效应非常小的植入工艺沉桩时，管桩的间距可参照非挤土灌注桩的间距要求。预制桩的挤土效应在软弱土层中更加明显，并可能产生上浮，除应控制桩中心间距外，还应该采用跳打、监测桩顶标高及复压等措施保证桩基施工质量。

桩端持力层是影响基桩承载力的关键性因素，不仅制约着桩端阻力而且影响侧阻力的发挥，因此选择较硬土层作为桩端持力层至关重要；同时应确保桩端进入持力层的深度，有效发挥其承载力。

4.1.7 水泥土复合桩是基于水泥土桩和预应力高强混凝土桩两种桩型的特点综合而成的一种新桩型，由作为芯桩使用的预应力高强混凝土桩、包裹在芯桩周围的水泥土桩和填芯混凝土优化匹配复合而成，可充分发挥水泥土桩桩侧摩阻力和预应力高强混凝土桩桩身材料强度，具有大直径、长桩、高承载力、性价比高的特点。水泥土复合桩桩底水泥土复搅次数应适当增加形成复喷段，使其能有效扩散桩端应力，复喷复搅困难时应采取引孔等有效措施。

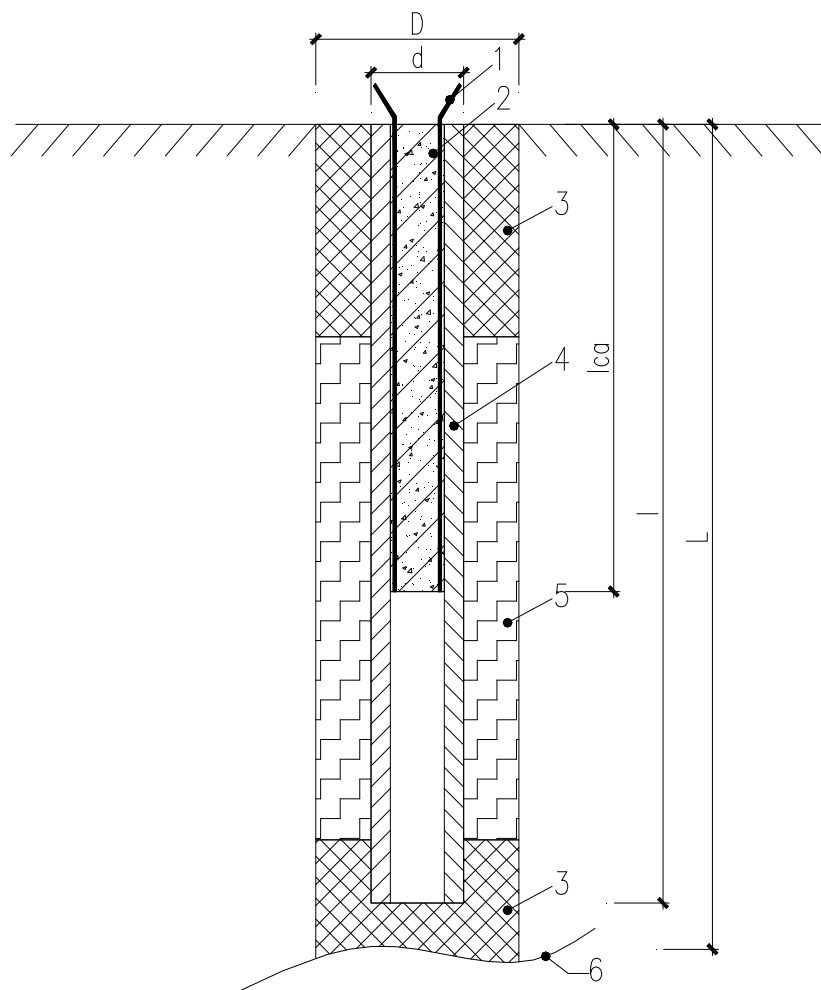


图4.1.7 水泥土复合桩

- 1—锚固钢筋； 2—填芯混凝土； 3—复喷段；
4—预制桩； 5—水泥土； 6—中风化岩面

4.1.8 试验桩由设计单位根据工程桩数量、岩土条件等情况确定试桩数量和位置。试验桩是确定单桩承载力取值和获取施工控制参数的依据，同时也是对选择的沉桩工艺进行检验。岩土条件复杂时，应有针对性地选择有代表性的位置增加

试验桩数量。预制桩单桩竖向极限承载力仍以原位原型静载荷试验为最可靠的确定方法。

在本标准中，“同一条件”指“地基条件、桩长相近，桩端持力层、桩型、桩径、成桩工艺相同”。本条规定试桩数量是保障合理评价试桩结果的底限要求，若实际中由于某些原因不足以为设计提供可靠依据或设计另有要求时，可根据实际情况增加试桩数量。如果施工时桩参数和施工工艺发生了变化，应重新试桩。

4.1.11 预制桩桩身裂缝控制计算主要用于抗拔桩和承受水平力的桩。考虑到预制桩保护层较薄，钢筋直径小，管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要求，裂缝的控制等级严于普通钢筋混凝土桩。

4.2 设计

4.2.1 关于桩顶竖向力和水平力的计算是基于上部结构分析得到的柱、墙等竖向构件作用于基础的荷载作用。其假定：①承台为绝对刚性；②桩与承台为铰接；③各基桩的刚度相等。

4.2.4 考虑承台效应的复合基桩承载力按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

4.2.6 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。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。考虑到预制桩采用工厂化制作，桩身质量比灌注桩更有保证，并结合工程实践，对抱压式施工取成桩工艺系数 $\psi_c = 0.70$ ，对顶压式施工取成桩工艺系数 $\psi_c = 0.80$ 。对于采用植入工法或中掘工法施工的管桩，桩身完整性受施工因素的影响较小，将提高至 $\psi_c = 0.85$ 。

4.2.10 预制桩作为抗拔桩时桩身结构强度如何控制尚没有一致认识。相较采用预应力筋的抗拉强度来确定桩身抗拔承载力，采用有效预压应力进行控制是较为安全的。其次，影响预制桩抗拔承载力的另一方面是焊缝强度、端头板厚度以及桩顶与承台的连接构造（包括填芯高度、插筋的设置）等。端板与预应力钢棒的连接是抗拔桩的薄弱环节，当预制桩作为抗拔桩时，端板厚度需要作适当加强。桩内采用微膨胀混凝土填芯并内设插筋是预制桩与承台连接的较好方式，填芯高度和插筋应进行验算。实际工程中，预制桩作为抗拔桩时，影响桩身抗拔承载力

的因素较多，需要验算钢棒及墩头抗拉强度、端板孔口抗剪强度、接桩连接强度、桩顶（采用填芯混凝土）与承台连接处强度等桩身结构强度。取以上计算得到的最小值作为桩身抗拔承载力设计值，并满足荷载效应基本组合作用下基桩的上拔荷载。抗拔预制桩采用电焊焊接接头时，焊缝应满足一级焊缝要求。

抗拔桩的桩顶填芯混凝土长度和连接钢筋总横截面积的经验计算公式。抗拔桩填芯混凝土的抗剪强度由于预制桩内壁或多或少存在着一层浮浆层而离散性较大，加上预制桩尤其是小直径管桩的内孔直径较小，填芯混凝土施工环境差，质量稳定性也差，故填芯混凝土与管桩内壁的粘结强度设计值，宜由现场试验确定。

4.2.11 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、桩侧土质条件、桩的入土深度、桩顶约束条件等。对于低配筋率的桩，通常是桩身先出现裂缝，随后断裂破坏，单桩水平承载力由桩身强度控制。对于抗弯能力强的桩，桩身虽未断裂，但由于桩侧土体塑性隆起，或桩顶水平位移大大超过使用允许值，也认为桩的水平承载力达到极限状态。此时，单桩水平承载力由位移控制。除 A 型管桩外其余各种型号管桩的开裂弯矩值均大于相同直径配筋率为 1% 的灌注桩的抗弯承载力设计值，可认为是抗弯能力强的桩，当桩的水平承载力由水平位移控制，可用公式（4.2.11）计算管桩水平承载力特征值。

试验和理论研究表明，对于 A、AB、B 和 C 型管桩，桩型的变化对单桩水平承载力线性阶段影响不大，单桩水平承载力仅微小增加。但随着配筋率增加及混凝土预压应力提高，可显著延缓 H-Y₀（水平力—作用点水平位移）曲线后期变形，提高桩身延性，改善极限状态下的桩身承载能力。填芯对管桩单桩水平承载力影响不大。但设置钢筋笼后的灌芯可显著改善 H-Y₀ 曲线后期变形性状。桩顶转动刚度约束条件对水平承载力影响显著。在承台的作用下，管桩水平承载力有所提高，且显著改善 H-Y₀ 曲线后期变形性状。承台厚度在满足规范构造要求下，具有较大整体刚度，厚度变化对水平承载力影响不明显。承台水平尺寸及其下土体的竖向变形约束条件对水平承载力影响较大。

4.2.13 混合配筋混凝土管桩受弯承载力极限值按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行计算，同时考虑实际制作上的误差及保证率，在计算混合配筋管桩受弯极限承载力时，乘以折减系数 $\gamma' = 0.95$ 。

4.2.16 基础中的管桩属于偏心受压或偏心受拉构件，支护结构中的管桩属于受弯构件，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，为防止构件发生斜压破坏，并限制使用阶段可能发生的斜裂缝宽度，对这类混凝土构件的受剪截面提出限值，对于方形截面受剪截面限值为： $V \leq 0.25\beta_c f_c b h$ ，对于圆形

截面按 GB 50010 的规定, 可得受剪截面限值为: $V \leq 0.25\beta_c f_c d^2$ 。但 GB 50010 没有给出环形截面受剪截面的限值, 公式 (4.2.16) 是根据圆形截面受剪限值减去空心部分混凝土面积, 并考虑到环形截面剪应力最大值约为圆形截面剪应力最大值的 1.5 倍得出的公式。

4.2.19 本条“可液化土层”指液化等级为中等及以上的液化土层。

4.3 构造与施工要求

4.3.2 本条对混合配筋预制桩的非预应力钢筋的设置数量、直径及强度等提出了要求, 只有在满足本条规定的前提下, 混合配筋预制桩的性能才得到有效发挥。

4.3.4 应在设计文件说明中明确焊接质量要求。接头质量受现场施工环境、工人技术等影响较大, 接头数量较多时, 施工的风险更大, 当接头超过 3 个时, 通常桩长超过 50m, 沉桩难度加大且沉桩过程的垂直度控制要求更高, 可能会由于接桩的施工误差造成预制桩桩身在竖向力作用下的偏心受压或弯曲破坏。因此, 规定一根预制桩的接头数量不宜超过 3 个。当采用植桩工艺施工时, 可减少上述不利影响因素。对于预制桩用作抗拔桩的接头连接, 应进行专门的设计。

4.3.5 当沉桩困难时, 选择合适的桩尖不但可以增强桩的穿透能力, 而且可减少压桩对原状土的扰动, 保证单桩竖向承载力的正常发挥。一般优先选择开口桩尖, 开口桩尖压桩阻力更小, 挤土效应更小, 对桩侧土体损伤也小。需增加沉桩穿透能力时可采用锥形桩尖, 其他情况可选用平底形或十字形。对于采用闭口型桩尖的管桩, 可在管桩内腔采用照明拍摄对桩身进行检查, 也便于处理桩身缺陷。

不设桩尖的管桩桩底容易破损, 且预应力钢棒端头无保护板容易受腐蚀, 腐蚀环境下应设置桩尖。对于桩端持力层为易软化的风化岩层(尤其是强风化泥岩, 以及含泥较多的强风化、全风化花岗岩)的场地, 有时压桩和静载荷试验时显示承载力均能达到设计要求, 但时间长后再做静载荷试验, 承载力降低许多。究其原因是在桩尖附近有水, 或有水渗到桩尖。对含泥较多的强风化、全风化花岗岩遇水易发生崩解软化, 导致桩端阻力大大降低。有些地区采用闭口桩尖, 为保持桩尖的耐久性, 及时灌入灌注高度不小于 1.2m 的补偿收缩混凝土或中粗砂拌制的水泥砂浆进行封底, 可较好地解决软化问题。

4.3.6 上部结构荷载通过承台传递给管桩, 不同性质荷载的传递对桩顶与承台连接要求不同。竖向压力的传递要求桩顶与承台底紧密接触, 竖向拔力的传递要求桩顶与承台连接的抗拉强度应大于预制桩的抗拔承载力, 水平力的传递要求桩顶与承台连接的抗剪强度大于桩的水平承载力。无论承压桩或抗拔桩, 预制桩桩顶均应设置填芯混凝土, 主要是用于插筋的锚固, 有利于桩和承台连接的简化, 同

时从整体上改善桩顶部位桩身的抗剪、抗弯能力。填芯混凝土的施工质量与整个预制桩基础的质量紧密相连，故一定要精心施工，保证质量。实践表明，填芯采用补偿收缩混凝土或微膨胀混凝土可取得较好效果。填芯补偿收缩混凝土的限制膨胀率宜为 0.025%，填芯微膨胀混凝土的限制膨胀率宜为 0.03%，限制干缩率均不大于 0.015%。膨胀率过大，影响填芯混凝土的强度，也会对管桩内壁产生环向压力，使桩头处于复杂受力状态导致桩头劈裂。膨胀率过小，补偿不了混凝土的干缩，填芯混凝土与管壁间结合不紧密，不能传递拉力。

4.3.7 提高基础整体性是抗液化重要、经济且可靠的措施；预制空心桩抗剪性能较差，当场地存在较厚的中等及以上液化土层或震陷性软土层时，应采取有效的加强措施，如采用实心预制桩、加大灌芯长度、增大截面面积（桩径、壁厚等）、混合配筋桩等。在地震烈度 8 度及以上地区宜采用两种及以上加强措施。采用混凝土灌芯、混合配筋桩的措施时，加强深度为液化土层或震陷软土层底面以下不小于 1.0m。当灌芯施工有困难或质量难以保证时，应选用其他加强措施。

5 复合地基工程

5.1 一般规定

5.1.1 工程经验表明,采用薄壁管桩、PC管桩、PS方桩等刚性桩的地基处理效果较好,可降低造价、缩短工期。

5.1.2 预制桩复合地基适用于黏性土、粉土、砂土、全风化岩等岩土层,对于淤泥、淤泥质土、欠固结填土应通过试验确定其适用性。预制桩应选择承载力和压缩模量相对较高的岩土层作为桩端持力层。

相对于桩基而言,复合地基中桩间距可适当放宽。桩距应根据设计要求的复合地基承载力、建筑物控制沉降量、岩土条件、施工工艺等综合考虑确定。桩距首先要满足地基承载力和变形量的要求,从施工角度考虑,尽量选用较大的桩距,以防止新打桩对已打桩的不良影响。

5.1.5 对位于坡地、岸边的复合地基,除应进行承载力和沉降计算外,还有必要进行稳定分析。满足地基承载力要求的并不一定能满足地基稳定性要求。

5.1.6 本条是对预制桩复合地基施工后增强体与复合地基的检验要求。增强体是保证复合地基工作、提高地基承载力、减少变形的必要条件,其施工质量必须得到保证。

受载荷板尺寸限制,单纯采用复合地基静载荷试验确定复合地基承载力不能全面反映复合地基的承载特性。对预制桩复合地基的增强体进行单桩静载荷试验,保证增强体桩身质量和承载力,是保证复合地基满足建筑物地基承载力要求的必要条件。

5.2 设计

5.2.2 复合地基沉降计算目前仍以采用分层总和法为基础的经验计算方法为主。

5.2.3 复合地基需要设置褥垫层,复合地基中褥垫层具有如下作用:

(1) 确保桩与土共同承担荷载;

(2) 通过改变褥垫层厚度,可调整桩、土荷载的分担比,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。

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,取200mm~300mm为宜,当桩径大、桩距大、土层压缩性

高时，褥垫层厚度取大值，反之取小值。

褥垫层材料可选用中粗砂、最大粒径不大于 25mm 的级配砂石。褥垫层施工应分层压实，分层厚度不大于 200mm。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不小于 100mm 的垫层。

6 基坑支护工程

6.1 一般规定

6.1.1 预制桩运用于基坑支护工程在我国已经有十多年的历史,为了保证基坑工程的安全,促进预制桩支护技术的健康发展,对基坑工程中的支护形式做一些限制。

倾斜桩支护技术利用倾斜桩体支撑竖直桩体,将倾斜桩体、竖直桩体及桩间土体连结为整体共同受力,形成一种高自稳、自撑式支护结构,是一种同等条件下极限开挖深度显著大于传统悬臂式无支撑支护结构的高自稳性支护结构,且在同等条件下变形显著小于传统悬臂式无支撑支护结构并可与内支撑支护结构变形相当的自撑式无支撑支护结构。倾斜桩支护的工作机理主要包括刚架效应、斜撑(拉)效应、重力效应和减沉效应。斜竖组合双排桩支护结构通过桩顶冠梁的连接,形成一个共同抵抗土体变形的刚架体系。倾斜桩支护既可取消基坑内支撑,又能保障基坑安全,实现坑内大空间无支撑开挖,兼具安全、高效、经济、环保的优势,相对传统内支撑支护技术来说,是一种绿色低碳的基坑支护新技术。

6.2 设计

6.2.2 生态板桩指采用钢筋混凝土材料预制成型,具备一定生态和景观功能的板桩;平板桩,根据生产工艺及形状分为离心空心混凝土平板桩或实心混凝土板桩;波浪桩指外观呈波浪状的混凝土板桩,根据连接形式及外观表现分为“S”型或“M”型波浪状;采用混合配筋,桩身呈卡口式的壁体式预制混凝土桩,称为护壁桩,可根据使用要求在桩间注浆的多功能支护桩。

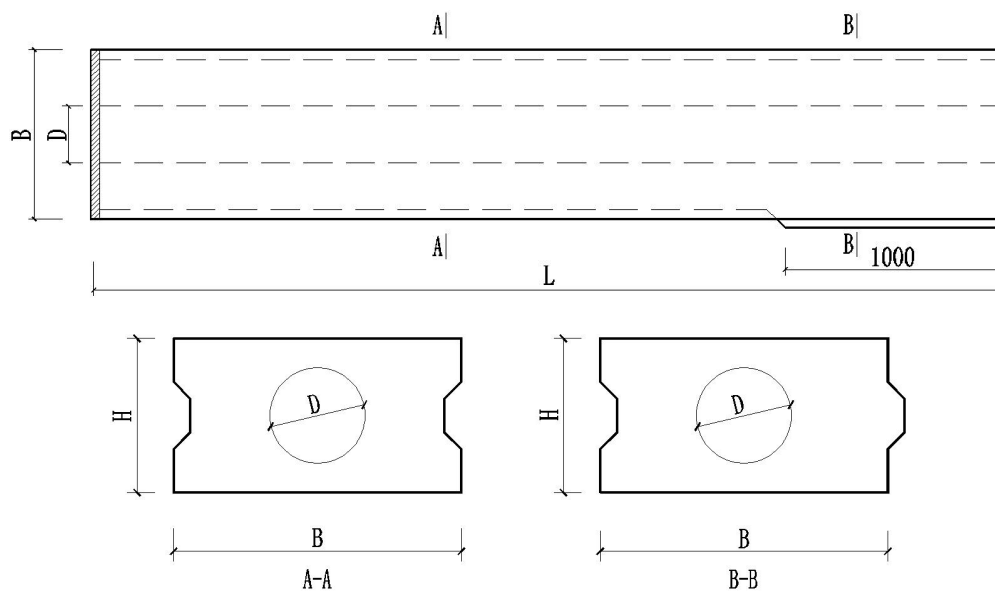


图 6.2.2-1 空心平板桩

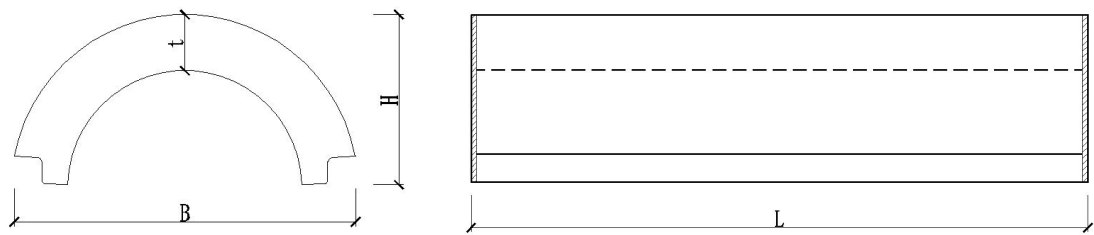


图 6.2.2-2 波浪桩

6.3 构造与施工要求

6.3.1~6.3.3 用于支护的预制桩原则上宜用单节桩，当需要接桩时应严格控制接头数量。采用机械连接或套箍连接，是保证等强度连接的关键。排桩间距要求主要考虑排桩外侧土体形成拱效应的条件。

预制桩的接头是预制桩用于基坑支护时的关键部位，接头的连接质量与强度影响到基坑支护结构的施工安全与质量。用于支护的预制桩主要承受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建筑桩基础的接头要求。预制桩的连接主要是通过端板焊接、机械连接或端板焊接与机械连接组合连接等方式，不同连接方式的接头抗弯性能也不一致，对于现场施工人员的水平要求也不一样。故为控制接头的连接质量，接头应采用机械连接或套箍连接。接头不管采用哪种连接形式，均应满足与桩身等强度的设计要求。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1、7.1.2 施工前应准备好相关的各种资料（含邻近建筑物的完损性情况），特别是应着重在三个方面：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，包括影响预制桩施工的高压架空线、地下电缆、地下管线、位于桩位处的旧建筑物基础和杂填土中的石块等，场地回填情况、地下构筑物埋藏情况等资料，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，施工组织设计是作为现场管理和质量保障的主要依据，能充分反映施工单位现场管理水平和技术水平。在预应力混凝土空心桩施工前应清除或妥善处理地下障碍物，否则会妨碍施工，延误工期，影响沉桩质量。

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

7.1.11 沉桩有困难时，应优先选用合适的植桩工艺施工。既有工程经验表明，预制桩引孔施工会产生诸多问题，如承载力损失、塌孔后无法穿越或悬桩等，应慎重选择。

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

7.1.15 本条所规定的停止沉桩的控制原则适用于一般情况，实践中也存在特例。如软土中的密集桩群，由于大量桩沉入土中产生挤土效应，对后续桩的沉桩带来困难，如坚持按设计标高控制很难实现。桩端持力层和主要受力层为黏性土时，有时终压力达不到但是桩长达到设计要求，一般静载试验均能满足设计要求。桩端持力层为碎石类、密实砂土时，按贯入度（压桩力）控制的桩，有时也会满足不了设计的要求。对于重要建筑，强调贯入度（压桩力）和桩端标高均达到设计要求，即实行双控是必要的。因此停止沉桩的标准是较复杂的，宜借鉴经验和通过静载试验综合确定。

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

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

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

7.1.21 本条引用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94。管桩工程的基坑开挖是一项很重要的工作，为指导土方开挖，需制定详细可行的土方开挖方案。土方开挖要分层。由于土方开挖未分层造成预制桩偏移甚至桩身断裂事故时有发生。为防止挖土机械对预制桩的碾压和碰撞而破坏桩体，对流塑性状软土的基坑开挖。其高差不应超过 1.0m，否则容易导致预制桩偏移或断桩。

7.2 起吊、搬运及堆放

7.2.3 现场预制桩的堆放多采用单层堆放或双层堆放，堆放对场地平整要求较高，双层堆放应在桩下放置垫木。

7.3 静压法沉桩

7.3.7 当桩较密集，或地基为饱和软黏土、淤泥质土时，预制桩施工可能存在上涌或偏位从而需要复压，送桩太深难以进行复压。

7.3.8 终压标准类似于打桩的收锤标准，主要的定量控制指标是：终压力值、复压次数和稳压时间。稳压时间一般规定 5s~10s，所以实际上只有终压力值和复压次数这两项。复压次数一般不宜超过 3 次。靠增加复压次数来提高静压桩的承载力是一种得不偿失的做法，复压次数太多，承载力并没有太多的增长，反而容易引起桩身和压桩机的破损。当然，对施压入土深度小于 8m 的短桩，允许复压次数可增至 3 次~5 次。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。稳压时间太长，压桩机上高压油泵和油管很快破损。另外，增加稳压时间，对单桩承载力的增加并不起多大效果，因为这些都是瞬间压力，倒不如增大终压力值，反而能起到一点增载的效果，但终压力值受桩身抱压允许压桩力的限制，不能无限增加。

7.4 锤击法沉桩

7.4.5 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，一般以最后三阵（每阵十击）的贯入度来判断该桩能否收锤。而最后贯入度大小又与工程地质条件、桩承载性状、单桩承载力特征值、桩规格及桩入土深度、打桩锤的规格、性能及冲击能量大小、桩端持力层性状及桩尖进入持力层深度等因素有关，需要综合考虑后确认。但由于地质等条件复杂多变，最后贯入度并非是打桩收锤的唯一定量控制指标，应具体情况具体分析，最终目的是为了保障单桩的承载能力，控制建筑物的沉降，使建（构）筑物安全、适用。

7.4.7 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。统计资料表明，大多数管桩工程的桩的总锤击数在 300 击~1500 击之间，少数超过 2000 击，个别达到 3000 击甚至 4000 击；超过 3000 击时，桩身容易被打坏或产生严重的“内伤”。当某工地为数不少的桩总锤击数超过本条规定时，设计者应从锤型、持力层和收锤贯入度等方面去反复调整。

7.7 接桩与截桩

7.7.1 抗拔桩的连接是保证抗拔桩发挥作用的关键措施，施工、监理、检测应严格执行上述规定。已经采用机械连接的抗拔桩，同时采用焊接连接时，焊缝可满足二级焊缝要求即可。

7.7.2 本条指出的机械啮合接头只适用于 $\phi 300$ 、 $\phi 400$ 、 $\phi 500$ 、 $\phi 600$ 的 A 型和 AB 型管桩，尚不适用于 B 型和 C 型管桩。因为管桩接头的极限弯矩应大于桩身的极限弯矩，而 B 型和 C 型桩的桩身极限弯矩较大，为满足要求，接头处的连接盒数量就要多几个，现场无法埋下。另外需要提醒的是，采用机械啮合接头的管桩接头，是利用上节桩的自重将连接销完全插入下节桩的连接槽内。在软弱土层太厚的场地接桩施工时，下节桩还没有进入较坚硬土层，桩入土部分的侧摩阻力较小，当上节桩对中下压时，由于下节桩没有足够的支承力，不仅连接销无法顺利地插入连接槽内，而且可能把下节桩顺势压入软土层中，因此，在一般情况下，当需要接桩时下节桩桩头露出地面的高度要比焊接接桩时露出地面的桩头高度略高一些。当地面下有厚度 10m 以上的流塑淤泥土层时，第一节桩（底桩）露出地面的桩段外周地面处宜设置“防滑箍”，所谓“防滑箍”就是用两个半圆形的钢箍合起来夹住管桩外周，以增加底桩的支承力。当地表下软土层厚度

小于 10m，且第一节桩（底桩）长度足以使其下端进入坚硬土层时，可不设防滑箍。

7.7.3 预制桩截桩应采用锯桩器。先行截桩应采取有效措施防止桩头开裂，若截桩时出现较严重的裂缝，应继续下移截桩，将裂缝段去除。

7.8 施工过程质量控制与监测

7.8.3 第一节底桩垂直度控制的好坏对整根桩的垂直度影响至关重要，因此对底桩垂直度控制要严格一些，不得大于 0.5%。送桩以后桩身垂直度偏差不易测量，故在送桩前进行测量。一般情况下，送桩前后的桩身垂直度不会有大的变化，但在深基坑内的基桩，有时由于基坑土方开挖不当会引起桩身倾斜，故在深基坑土方开挖后，需再次测量桩身垂直度。

7.8.4 桩接头连接质量的控制非常重要，监理工程师应作旁站监理。焊接接头施工应检查电焊工上岗资质证书、焊条的规格、直径和质量、电焊坡口的尺寸，记录并监控焊接所用时间；焊完后应有 5 分钟的停歇时间才能沉桩施工。机械接头连接时的工作是否顺畅是接头质量好坏的一个重要标志。

8 质量检验与验收

8.1 进场质量检验

8.1.2 预制桩的进场质量检测方法按现行国家及行业标准《色漆和清漆漆膜厚度的测定》GB/T 13452.2、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等进行。

8.1.9 预制桩混凝土强度是影响工程质量安全的主要因素，也是生产厂家和地基基础施工单位对预制桩质量纠纷的主要矛盾，因此，本标准对预制桩桩身混凝土强度抽检进行了明确规定，一是明确可选择两种检测方法，即钻芯法或全截面抗压试验方法，二是影响钻芯法检测结果的因素比较多，如取样、样品处理等都会影响评价结果，当对钻芯法的检测评价结果有争议时，可采用全截面抗压试验进行评价。

8.1.10 桩尖分常用桩尖和特殊桩尖。平底十字型钢桩尖和尖底十字型钢桩尖属于常用桩尖，其他诸如锯齿十字型、方锥型、六棱锥型、H 型、开口型钢桩尖等属于特殊桩尖，可根据地质条件、设计要求进行选用。目前在桩尖上存在的问题是：桩尖的材质、桩尖的尺寸构造、桩尖的焊接等。桩尖材质特别是其化学成分和力学性能不合格者不在少数；桩尖的尺寸主要是偏小、偏薄，检测方法就是量测其尺寸并称其重量。桩尖的焊接也普遍存在问题，预制桩起吊就位后处于悬吊状态下在桩端进行点焊或仰焊而成，导致焊接时间短，焊缝质量差，预制桩进入地层后，内孔很快进水，严重的甚至桩尖脱落或者挤入预制桩底内孔，有的甚至不用桩尖。因此，对桩尖的检查也应严格认真。

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

8.2 成桩质量检测

8.2.6、8.2.7 在本标准中，预制桩有三种使用方式，即桩基工程中的预制桩、地基处理中的预制桩和支护工程中的预制桩。不论哪种情况，均应对预制桩桩身质量完整性和单桩承载力进行抽检。单桩承载力检测，视设计要求而定，可能只包括单桩竖向抗压承载力，也可能包括单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力和单桩水平承载力。检测单桩竖向抗压承载力可采用静载试验和高应变法，检测桩身质量完整性可采用低应变法和高应变法。应该指出，对于支护工程中的预制桩，其水平受力状况与现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 单桩水平荷载试验假定的基桩水平受力状况是有差别的，如何科学合理地评价支护工程

中的预制桩水平承载能力满足设计要求，尚需进一步的研究。此外，本标准规定，对水泥土桩中植入预制桩的劲性复合桩，应采用静载试验对水泥土复合桩的单桩承载力进行试验。对于管桩复合地基，还应进行复合地基平板载荷试验，对设计要求消除地基液化、湿陷性的，应进行桩间土的液化、湿陷性检验。

8.2.8 工程桩的检测点位应着重考虑以下因素并由设计单位根据相关规范和标准综合确定：①地质情况变化较大位置，②施工过程中存在可疑问题，③结构受力较大或复杂位置。