 CECS ×× — 201×

**中国工程建设协会标准**

**静钻根植桩基础技术规程**

**Technical specification for pre-bored precast concrete pile foundation**

**（征求意见稿）**

**2019 北京**

**前言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2017年第二批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2017] 031号）的要求，规程编制组通过广泛调查研究，参考了国内外的有关标准，并结合静钻根植桩的应用实践，制定了本规程。

本规程的主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.材料与分类；5.设计；6.施工；7.承台施工；8.检测与验收。

本规程由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会负责管理，宁波中淳高科股份有限公司负责技术内容的解释。执行过程中，请各有关单位结合实际，不断总结经验，并将发现的问题、意见和建议函告宁波中淳高科股份有限公司[地址：浙江省宁波市鄞州经济开发区临江路166号，邮编：315145，电子邮箱：wangsf@zcone.com.cn ]。

主编单位：宁波中淳高科股份有限公司

建研地基基础工程有限公司

参编单位：浙江大学城市与滨海岩土工程技术中心

华东建筑设计研究院

中船第九设计研究院

浙江省建筑设计研究院

福建省建筑设计研究院

宁波市建筑设计研究院

上海建工机施公司

主要起草人：

主要审查人：

目次

[1 总则 1](#_Toc9242197)

[2 术语和符号 2](#_Toc9242198)

[2.1 术语 2](#_Toc9242199)

[2.2 符号 2](#_Toc9242200)

[3 基本规定 5](#_Toc9242201)

[4 材料与分类 7](#_Toc9242202)

[4.1 材料 7](#_Toc9242203)

[4.2 分类 8](#_Toc9242204)

[5 设计 9](#_Toc9242205)

[5.1 一般规定 9](#_Toc9242206)

[5.2 桩基构造 11](#_Toc9242207)

[5.3 抗压桩设计 12](#_Toc9242208)

[5.4 抗拔桩设计 14](#_Toc9242209)

[5.5 水平受荷桩设计 17](#_Toc9242210)

[6 施工 21](#_Toc9242211)

[6.1 一般规定 21](#_Toc9242212)

[6.2 主要机具设备 21](#_Toc9242213)

[6.3 施工准备 21](#_Toc9242214)

[6.4 成桩工艺 22](#_Toc9242215)

[7 承台施工 24](#_Toc9242216)

[8 检测与验收 25](#_Toc9242217)

[8.1 一般规定 25](#_Toc9242218)

[8.2 施工前检测 25](#_Toc9242219)

[8.3 施工过程检测 26](#_Toc9242220)

[8.4 施工后检测 28](#_Toc9242221)

[8.5 工程验收 28](#_Toc9242222)

[附录A 植入桩结构形式、桩身配筋及桩身力学性能参数表 30](#_Toc9242223)

[附录B 静钻根植桩施工记录表 47](#_Toc9242224)

[附录C 静钻根植桩检验批质量验收记录表 48](#_Toc9242225)

[附录D 桩端水泥浆抗压强度试验用试块制作方法 49](#_Toc9242226)

[本规程用词说明 50](#_Toc9242227)

[引用标准名录 51](#_Toc9242228)

[条文说明 52](#_Toc9242229)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc446494059)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc446494060)

[2.1 Terms 2](#_Toc446494061)

[2.2 Symbols 2](#_Toc446494062)

[3 Basic Requirements 5](#_Toc446494063)

[4 Materials and Classification 7](#_Toc446494065)

[4.1 Materials 7](#_Toc446494066)

[4.2 Classification 8](#_Toc446494067)

[5 Design 9](#_Toc446494065)

[5.1 General Requirements 9](#_Toc446494066)

[5.2 Structure of Pile Foundation 11](#_Toc446494067)

[5.3 Design of Compressive Pile 12](#_Toc446494068)

[5.4 Design of Tensile Pile 14](#_Toc446494069)

[5.5 Design of Horizontal Loaded Pile 17](#_Toc446494070)

[6 Construction 21](#_Toc446494072)

[6.1 General Requirements 21](#_Toc446494073)

[6.2 Main Construction Equipments 21](#_Toc446494074)

[6.3 Construction Preparation 21](#_Toc446494075)

[6.4 Piling Technology](#_Toc446494076) 22

[7 Pile Caps Construction 24](#_Toc446494077)

[8 Inspection and Acceptance](#_Toc446494077) 25

[8.1 General Requirements](#_Toc446494078) 25

[8.2 Inspection before Construction 25](#_Toc446494079)

[8.3 Inspection during Construction](#_Toc446494080) 26

[8.4 Inspection after Construction](#_Toc446494079) 28

[8.5 Construction Quality Acceptance 28](#_Toc446494080)

[[appendix](http://www.baidu.com/link?url=Fo4uQSBiujD7nVEzKwCpLZGZoaiIZ16Asd6OLFjp5om8ADfNfGaKeh47fuaO3nl5y-Jlw3bA3PJ-ogbM5z0rrf3zxAIFaWgntdssFD0VYA3) A Constructional Drawing of Pre-bored Precast Concrete Pile,Table of Reinforcements and Mechanical Properties 30](#_Toc446494086)

[[appendix](http://www.baidu.com/link?url=Fo4uQSBiujD7nVEzKwCpLZGZoaiIZ16Asd6OLFjp5om8ADfNfGaKeh47fuaO3nl5y-Jlw3bA3PJ-ogbM5z0rrf3zxAIFaWgntdssFD0VYA3) B Construction Record of Pre-bored Precast Concrete Pile 47](#_Toc446494086)

[[appendix](http://www.baidu.com/link?url=Fo4uQSBiujD7nVEzKwCpLZGZoaiIZ16Asd6OLFjp5om8ADfNfGaKeh47fuaO3nl5y-Jlw3bA3PJ-ogbM5z0rrf3zxAIFaWgntdssFD0VYA3) C Quality Acceptance Record of Inspection Lot of Pre-bored Precast Concrete Pile](#_Toc446494087) 48

[[appendix](http://www.baidu.com/link?url=Fo4uQSBiujD7nVEzKwCpLZGZoaiIZ16Asd6OLFjp5om8ADfNfGaKeh47fuaO3nl5y-Jlw3bA3PJ-ogbM5z0rrf3zxAIFaWgntdssFD0VYA3) D Test Method of Compressive Strength of Toe Cement Slurry](#_Toc446494088) 49

[Explanation of Wording in This Code](#_Toc446494089) 50

[List of Quoted Standards](#_Toc446494090) 51

[Explanation of Provisions](#_Toc446494090) 52

1 总则

**1.0.1**为规范静钻根植桩基础的应用，在设计、施工与检测验收中做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量、保护环境，制定本规程。

**1.0.2**本规程适用于抗震设防烈度8度及8度以下地区的建筑和市政工程中静钻根植桩基础的设计、施工与验收。

**1.0.3**静钻根植桩基础的设计、施工，应根据工程勘察资料，综合考虑场地工程地质与水文地质条件、结构类型、材料性能、使用功能、荷载特征、施工技术条件、检测方法与环境条件等影响因素，合理选型，优化布桩，节约资源，强化施工质量控制与管理。

**1.0.4**静钻根植桩基础的设计、施工与验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

## 2.1 术语

**2.1.1**静钻根植桩

采用单轴钻机进行钻孔、扩底，注入桩端和桩周水泥浆，然后将植入桩植入已成孔内形成的基桩。

**2.1.2**静钻根植桩基础

由静钻根植桩和桩顶的承台共同组成的建(构)筑物基础。

**2.1.3**植入桩

由静钻根植先张法预应力混凝土竹节桩、复合配筋先张法预应力混凝土管桩、先张法预应力高强混凝土管桩等按一定形式组合的预制桩。

**2.1.4**静钻根植先张法预应力混凝土竹节桩

采用离心工艺生产的带有等间隔竹节状突起的环形截面预应力高强混凝土预制桩，简称PHDC桩。

**2.1.5**复合配筋先张法预应力混凝土管桩

配置非预应力普通钢筋的先张法预应力混凝土管桩，简称PRHC桩。

## 2.2 符号

**2.2.1**作用和作用效应

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 按荷载效应标准组合计算的作用于承台顶面的竖向力； |
|  | —— | 桩基承台和承台上土的自重标准值； |
|  | —— | 按荷载效应标准组合计算的作用于承台底面的水平力； |
|  | —— | 按荷载效应标准组合计算的作用于第*i*基桩的水平力； |
|  | —— | 地震作用效应和荷载效应标准组合下，作用于基桩桩顶处的水平力； |
|  | —— | 相应于荷载效应基本组合时，作用于基桩的弯矩设计值； |
|  | —— | 相应于荷载效应标准组合时，作用于基桩的弯矩值； |
| 、 | —— | 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、 |
|  |  | 主轴的力矩； |
|  | —— | 相应于荷载效应基本组合时，作用于基桩的竖向力设计值； |
|  | —— | 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩的平均竖向力； |
|  | —— | 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力； |
|  | —— | 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第*i*基桩的竖向力； |
|  | —— | 地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的平均竖向力； |
|  | —— | 地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的最大竖向力； |
|  | —— | 相应于荷载效应基本组合时，作用于基桩的剪力设计值； |
|  | —— | 相应于荷载效应标准组合时，作用于基桩的剪力值。 |

**2.2.2**抗力和材料性能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 钢筋弹性模量； |
|  | —— | 桩身混凝土弹性模量； |
|  | —— | 混凝土抗压强度设计值； |
|  | —— | 预应力钢筋抗拉强度设计值； |
|  | —— | 预应力钢筋抗压强度设计值； |
|  | —— | 岩石饱和单轴抗压强度标准值； |
|  | —— | 混凝土抗拉强度设计值； |
|  | —— | 桩身混凝土轴心抗拉强度标准值； |
|  | —— | 焊缝抗拉强度设计值； |
|  | —— | 端板抗剪强度设计值； |
|  | —— | 非预应力钢筋抗拉强度设计值； |
|  | —— | 植入桩的桩身抗弯承载力设计值； |
|  | —— | 桩身开裂弯矩标准值； |
|  | —— | 单桩竖向抗压极限承载力标准值； |
|  | —— | 桩端土极限端阻力标准值； |
|  | —— | 桩周第层土的极限侧阻力标准值； |
|  | —— | 单桩竖向承载力特征值； |
|  | —— | 基桩水平承载力特征值； |
|  | —— | 群桩呈整体破坏时基桩的竖向抗拔极限承载力标准值； |
|  | —— | 单桩或非整体破坏群桩中的基桩的竖向抗拔极限承载力标准值； |
|  | —— | 植入桩的桩身抗剪承载力设计值。 |

**2.2.3**几何参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 桩身截面面积（对PHDC桩为桩身截面面积）； |
|  | —— | 桩端截面面积； |
|  | —— | 预应力钢筋的截面面积； |
|  | —— | 非预应力钢筋的截面面积； |
|  | —— | 扩底直径； |
|  | —— | 预制桩外径（PHDC桩为节外径，其他类型桩为桩外径）； |
|  | —— | 钻孔直径； |
|  | —— | 焊缝计算厚度； |
|  | —— | 扩底高度； |
|  | —— | 桩穿越第i层土的厚度； |
|  | —— | 焊缝长度； |
|  | —— | 桩身压缩量； |
|  | —— | 植入桩壁厚； |
|  | —— | 桩身周长； |
| ﹑﹑﹑ | —— | 第、基桩至、轴的距离。 |

**2.2.4**计算系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 基桩抗拔系数； |
|  | —— | 桩身压缩系数； |
|  | —— | 成桩工艺系数； |
|  | —— | 沉降计算经验系数。 |

3 基本规定

**3.0.1**静钻根植桩适用于填土、淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、碎（砾）石土、全风化岩、强风化岩以及软质中风化岩等地层。

**3.0.2**静钻根植桩基础设计、施工前，应具备下列资料：

**1** 场地与环境条件，包括邻近建（构）筑物的分布及其地基基础情况，周边地下管线分布情况等；

**2** 场地的岩土工程勘察报告；

**3** 上部结构类型、结构安全等级、荷载分布及性质；

**4** 对桩基础的沉降和水平变形的控制要求；

**5** 施工机械进退场及现场运行条件；

**6** 沉桩设备的性能及施工工艺对地质条件的适应性等。

**3.0.3**植入桩的桩身、桩接头的防腐处理应符合《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046，且符合下列规定：

**1** 在地下水位变动区内，当地下水对钢筋混凝土结构中的钢筋具有中、强腐蚀性时，位于该部位的植入桩桩身外侧面应涂刷环氧涂层；

**2** 在长期浸水条件下，对防腐有特别要求时，桩接头处可涂刷环氧涂层；

**3** 用作抗拔桩时，桩接头处宜涂刷环氧涂层。

**3.0.4**污染土和地下水对管桩的腐蚀性等级，应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB/T 50046的有关规定确定。

**3.0.5**植入桩混凝土及桩身防腐要求应符合表3.0.5-1和表3.0.5-2的规定。

表3.0.5-1 植入桩混凝土防腐要求

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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） | Cl—含量  （%） | 碱含量（kg/m3） | 胶材最小  用量（kg/m3） |
| PHDC桩、  PRHC桩、  PHC桩 | C80/C100 | 0.35 | ≥12 | 35 | ≤0.06 | ≤3.0 | 430 |

表3.0.5-2 植入桩桩身防腐要求

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩型 | 保护措施和要求 | | 腐蚀性介质和强度等级 | | | | | | | | |
| SO42— | | | Cl— | | | pH值 | | |
| 强 | 中 | 弱 | 强 | 中 | 弱 | 强 | 中 | 弱 |
| PHDC桩、PRHC桩、PHC桩 | 提高桩身混凝土耐腐蚀性能 | 电通量（C） | ≤800 | ≤1000 | 可不防护 | ≤800 | ≤1000 | 可不防护 | ≤500 | ≤800 | 可不防护 |
| 抗硫酸盐等级 | KS150≥0.85 | KS120≥0.85 | — | — | — | — |
| 氯离子迁移系数DRCM（10-12m2/s） | — | — | ≤4.0 | ≤7.0 | — | — |

注：表中所列基本要求为设计使用年限为50年，设计使用年限为100年时的材料要求应专项论证。

**3.0.6**当植入桩桩身防腐不满足本规程表3.0.5-2规定的防腐指标要求时，应采取相应措施进行防护，并应符合表3.0.6的要求。

表3.0.6 植入桩桩身防护要求

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩型 | 保护措施和要求 | 腐蚀性介质和强度等级 | | | | | | | | |
| SO42— | | | Cl— | | | pH值 | | |
| 强 | 中 | 弱 | 强 | 中 | 弱 | 强 | 中 | 弱 |
| PHDC桩、PRHC桩、PHC桩 | 1.增加钢筋混凝土保护层厚度（mm） | ≥10 | ≥5 | 可不防护 | ≥10 | ≥5 | 可不防护 | ≥10 | ≥5 | 可不防护 |
| 2.表面涂覆防腐蚀涂层厚度（μm） | ≥500 | ≥300 | ≥500 | ≥300 | ≥500 | ≥300 |

注：1 本表适用于设计使用年限为50年，桩基础所处的地下水、土的腐蚀介质主要为硫酸盐、氯盐和酸环境。当其他腐蚀介质或pH≤2.0时，以及设计使用年限为100年时，防护措施应专项论证。

2 桩身混凝土材料可根据防腐蚀要求，采用抗硫酸盐硅酸盐水泥，也可在普通水泥中掺入抗硫酸盐的外加剂、矿物掺合料、钢筋阻锈剂。

3 植入桩不得单独采用亚硝酸盐类的阻锈剂。

4 在中、强腐蚀环境中，植入桩有效壁厚不应小于95mm。

5 桩身涂刷防腐蚀涂层的长度，应大于污染土层的厚度。

6 当有两类以上腐蚀介质同时作用时，应分别满足各自防护要求，但相同的防护措施不叠加。

**3.0.7**植入桩基础应减少接桩数量，接头宜位于非污染土层中，可采用焊接或机械接桩。位于污染土层中的桩接头，接桩钢零件应涂刷防腐蚀耐磨涂层或增加钢零件厚度，其腐蚀裕量不小于2mm，也可采用热收缩聚苯乙烯套膜保护。

**3.0.8**植入桩的其他防护尚应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB/T 50046的规定。

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

4 材料与分类

## 4.1 材料

**4.1.1**预应力钢筋力学性能应符合表4.1.1-1的规定，基本尺寸应符合表4.1.1-2的规定；预应力钢筋张拉控制应力*σ*con应取钢筋抗拉强度标准值的0.7倍，钢筋的张拉应力及每根钢筋的张拉力应符合表4.1.1-3的规定。

表4.1.1-1 预应力钢筋的力学性能

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 抗拉强度  标准值  （MPa） | 规定非比例  延伸强度  （MPa） | 弹性模量  （N/mm2） | 1000h最大  松弛值  （%） | 最大总  伸长率  （%） | 断后伸长率（%） |
| ≥1420 | ≥1280 | 2.0×105 | 2.0 | 3.5 | ≥7.0 |

表4.1.1-2 预应力钢筋的基本尺寸

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公称直径  （mm） | 基本直径及  允许偏差  （mm） | 公称截  面面积  （mm2） | 最小截  面面积  （mm2） | 参考重量  （kg/m） | 允许最  小重量  （kg/m） |
| 7.1 | 7.25±0.15 | 40.0 | 39.0 | 0.314 | 0.304 |
| 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 | 149.0 | 1.209 | 1.162 |

表4.1.1-3 预应力钢筋的张拉应力及每根钢筋的张拉力值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢筋直径（mm） | 7.1 | 9.0 | 10.7 | 12.6 | 14.0 |
| 张拉控制应力σcon（MPa） | 994 | | | | |
| 每根钢筋的张拉力（kN） | 36.76 | 63.62 | 89.46 | 124.25 | 153.08 |

**4.1.2**非预应力钢筋的强度及力学性能应符合表4.1.2的规定。

表4.1.2 非预应力钢筋强度指标及弹性模量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 抗拉强度设计值*f*y（MPa） | 抗拉强度标准值*f*yk（MPa） | 弹性模量*E*s（N/mm2） |
| C | 360 | 400 | 2.0×105 |

**4.1.3**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，端板厚度不得有负偏差，单块端板采用对焊接成型时，其焊接性能应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661的规定；

**2** 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** 质量应符合国家现行标准《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T947和《碳素结构钢》GB/T700的有关规定；

**4** 厚度应符合表4.1.3的规定：

表4.1.3 端板最小厚度

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢棒直径（mm） | 7.1 | 9.0 | 10.7 | 12.6 | 14.0 |
| 端板最小厚度（mm） | 18 | 20 | 24 | 27 | 30 |

**4.1.4**植入桩桩身制作用水泥应采用强度等级不低于42.5级的水泥，植入桩施工桩周、桩端所注水泥浆用水泥应采用强度等级不低于42.5级的水泥。水泥可采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，其质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定。

**4.1.5**植入桩用掺合料宜采用矿渣微粉、粉煤灰或硅灰等，质量要求应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476、《先张法预应力离心混凝土异型桩》GB 31039的有关规定。当采用其他品种的掺合料时，应通过试验鉴定，确认符合植入桩用混凝土质量要求时，方可使用。

**4.1.6**外加剂的质量应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076的有关规定，不应采用含有氯盐或有害物的外加剂。

## 4.2 分类

**4.2.1**植入桩按桩身截面形式及主筋配筋形式，可分为静钻根植先张法预应力混凝土竹节桩（代号PHDC）；复合配筋先张法预应力混凝土管桩（代号PRHC）；先张法预应力高强混凝土管桩（代号PHC）等。

**4.2.2**静钻根植先张法预应力混凝土竹节桩按混凝土有效预压应力值可分为A型、AB型、B型和C型，其有效预压应力值应分别为4MPa、6MPa、8MPa和10MPa，其桩身配筋和力学性能应符合本规程附录A的规定。

**4.2.3**复合配筋先张法预应力混凝土管桩按非预应力热轧带肋钢筋的配置方式，可分为部分复合配筋先张法预应力混凝土管桩和通长复合配筋先张法预应力混凝土管桩，其中通长复合配筋先张法预应力混凝土管桩按配筋率可分为Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型和Ⅳ型，其桩身配筋和力学性能应符合本规程附录A的规定；部分复合配筋先张法预应力混凝土管桩其桩身配筋和力学性能应符合本规程附录A的规定。

**4.2.4**先张法预应力高强混凝土管桩按混凝土有效预压应力值可分为A型、AB型、B型和C型，其有效预压应力值应分别为4MPa、6MPa、8MPa和10MPa，其桩身配筋和力学性能应符合本规程附录A的规定。

**4.2.5**植入桩按养护工艺可分为高压蒸汽养护预制桩和免压蒸预制桩。

5 设计

## 5.1 一般规定

**5.1.1**桩基设计等级的划分应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**5.1.2**静钻根植桩基础应根据具体条件分别进行下列计算或验算：

**1** 应根据桩基的使用功能和受力特征分别进行桩基的竖向承载力和水平承载力计算；

**2** 应进行桩身及承台结构承载力计算；

**3** 对于桩侧土不排水抗剪强度小于15kPa且长径比大于50的桩，应进行桩身压屈验算；

**4** 应根据桩基所处环境类别和相应的裂缝控制等级，进行抗裂验算；

**5** 当桩端平面以下存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层承载力验算；

**6** 对于抗浮、抗拔桩基，应进行基桩和群桩的抗拔承载力计算；

**7** 对设计等级为甲级的非嵌岩桩、非深厚坚硬持力层的桩基，或设计等级为乙级的体型复杂、荷载分布显著不均匀、桩端平面以下存在软弱土层的桩基，应进行沉降计算；

**8** 除本规程特别说明的情况外，应进行抗震承载力验算。

**5.1.3**静钻根植桩设计时，所采用的作用效应组合与相应的抗力应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**5.1.4** PHDC桩、PRHC桩、PHC桩等的桩身混凝土强度等级不宜低于C80。

**5.1.5**静钻根植桩的选型应符合下列规定：

**1** 扩底时，植入桩的最下节桩应采用PHDC桩；

**2** 主要承受竖向压力时，最上节桩宜采用PHC桩或PRHC桩；

**3** 承受较大竖向拔力时或较大水平荷载时，最上节桩宜采用PRHC桩。

**5.1.6**静钻根植桩的最小桩间距应符合下列规定：

**1** 基桩之间的中心距应不小于2.5（为钻孔直径）不应小于1.5（为扩底直径）

**2** 对排数不少于3排且桩数不少于9根的摩擦型桩基，中心距应不小于3.0且不应小于2.0。

**5.1.7**静钻根植桩的桩端进入持力层的深度应符合下列规定：

**1** 以较硬土层作为持力层时，桩端全断面进入该持力层的深度，对于黏性土、粉土不宜小于2.0（为预制桩外径，对于PHDC桩为节外径，其他类型桩位桩外径），砂土不宜小于1.5，碎石类土不宜小于1.0；当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层的厚度不宜小于3.0；

**2** 以岩层作为持力层时，桩端全断面进入该层的深度，对全风化岩不宜小于2.0，强风化岩不宜小于1.0，对中风化岩应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**5.1.8**静钻根植桩承载力的确定应符合下列规定：

**1** 设计等级为甲级的静钻根植桩基础，应通过单桩静载试验确定，在同一条件下的试桩数量不应少于3根，并应符合下列规定：

1）试桩的规格、长度及地质条件应具有代表性；

2）试桩应选在地质勘探孔附近；

3）试桩施工条件应与工程桩一致。

**2** 设计等级为乙级的静钻根植桩基础，当地质条件简单时，可参照地质条件相同的试桩资料，结合静力触探等原位测试和经验参数综合确定；其余均应通过单桩静载试验确定；

**3** 设计等级为丙级的静钻根植桩基础，可根据原位测试和经验参数确定。

**4** 单桩抗拔极限承载力应通过单桩竖向抗拔静载荷试验确定；

**5** 单桩水平极限承载力应通过水平静载荷试验确定，必要时可进行带承台桩的载荷试验；

**6** 现场静载荷试验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。

**5.1.9**单桩竖向承载力特征值应按下列公式计算：

**1** 承受竖向压力时：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.1.10-1） |

**2** 承受竖向拔力时：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.1.10-2） |
| 式中: |  | —— | 单桩竖向承载力特征值； | | |
|  |  | —— | 单桩竖向抗压极限承载力标准值； | | |
|  |  | —— | 单桩竖向抗拔极限承载力标准值； | | |
|  |  | —— | 安全系数，一般取*K*=2； | | |
|  |  | —— | 基桩自重，地下水位以下取浮自重。 | | |

**5.1.10**当通过静载荷试验确定静钻根植桩的单桩竖向抗压极限承载力时，应符合下列规定：

**1** 桩长小于40m且*Q-s*曲线为缓变型时，单桩竖向抗压极限承载力宜取桩顶总沉降量为40mm对应的荷载；

**2** 桩长大于或等于40m且Q-s曲线为缓变型时，宜考虑桩身弹性压缩*Se*，单桩竖向抗压极限承载力宜取桩顶总沉降量为（40+*Se*）mm对应的荷载；

**3** *Q-s*曲线为陡降型时，单桩抗压极限承载力取值应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的有关规定。

**5.1.11**当桩基承台以下为深厚淤泥、淤泥质土等软弱土层时，应考虑深基坑开挖卸荷、坑底土体回弹隆起对桩身受力及桩承载力的影响。

**5.1.12**静钻根植桩基础的抗震验算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定。

**5.1.13**静钻根植桩基础承台的截面承载力计算和构造要求，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007和行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定。

**5.1.14**植入桩的裂缝控制等级划分应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定。

**5.1.15** 水泥浆的水灰比和设计用量宜符合下列规定：

**1** 桩端水泥浆的水灰比宜取05~0.7，扩底时其体积宜取扩底部位体积，不扩底时宜取桩端3米范围的钻孔体积；

**2** 桩周水泥浆的水灰比宜取0.9~1.2，其体积不宜小于有效桩长的钻孔体积减去桩端水泥浆体积及预制桩桩身体积后的30%。

## 5.2 桩基构造

**5.2.1**钻孔直径应大于植入桩外径，钻孔直径与植入桩外径之差不应小于50mm且不应大于150mm。

**5.2.2**当持力层为可塑~硬塑黏土、中密~密实粉土、砂土、砾（卵）石或全风化岩、强风化岩时，桩端宜扩底；当持力层为极软中风化岩时，桩端可扩底。

**5.2.3**桩端扩底时，扩底部位（图5.2.3）的扩底直径不宜大于钻孔直径的1.6倍，扩底高度不宜小于钻孔直径的3倍。



*DW*

*Db*

*Dz*

*Lb*

L

*a*

*b*

**a--PHDC桩，b--扩孔边界线，*Dz*—钻孔直径，*DW*—桩身直径，*Db*—扩底直径，*Lb*—扩底高度**

**图5.2.3静钻根植桩扩底示意图**

**5.2.4**单根桩接头数量不宜大于4个。

**5.2.5**承受较大水平荷载作用时，最上部的桩接头与桩顶的距离不应小于10m。

**5.2.6**静钻根植桩用于抗拔时，植入桩的端板和桩身混凝土之间应设置锚固钢筋，锚固长度应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。

## 5.3 抗压桩设计

**5.3.1**对于一般建筑物和受水平力（包括力矩与水平剪力）较小的高层建筑群桩基础，应按下列公式计算静钻根植桩群桩中单桩的桩顶竖向作用效应：

**1** 轴心竖向力作用下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.3.1-1） |

**2** 偏心竖向力作用下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | | （5.3.1-2） |
| 式中: |  | | —— | 荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力； | |
|  |  | | —— | 桩基承台和承台上土自重标准值，对稳定的地下水位以下部分应扣除水 | |
|  |  | |  | 的浮力； | |
|  |  | | —— | 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩的平均竖向力； | |
|  |  | | —— | 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第i基桩的竖向力； | |
|  | 、 | | —— | 荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群形心的、主轴 | |
|  |  | |  | 的力矩； | |
|  | 、、、 | | —— | 第、基桩至、轴的距离； | |
|  |  | | —— | 桩基中的桩数。 | |

**5.3.2**对于主要承受竖向荷载的抗震设防区桩基，当同时满足下列条件时，桩顶作用效应计算可不考虑地震作用：

**1** 按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011规定，可不进行基础抗震承载力计算的建筑物；

**2** 桩端及桩身周围无液化土层；

**3** 承台周围无液化土、淤泥、淤泥质土和地基承载力特征值不大于100kPa的填土。

**5.3.3**单桩竖向承载力的验算应符合下列要求：

**1** 轴心竖向压力作用下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.3.3-1） |

**2** 偏心竖向压力作用下，除满足上式外，尚应满足下式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.3.3-2） |
| 式中: |  | —— | 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩的平均竖向力； | | |
|  |  | —— | 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力。 | | |

**5.3.4**需考虑地震作用时，单桩竖向承载力的计算应符合下列规定：

**1** 轴心竖向力作用下

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.3.4-1） |
| 式中: |  | —— | 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。 | | |

**2** 偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.3.4-2） |
| 式中: |  | —— | 地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的最大竖向力。 | | |

**5.3.5**初步设计或桩基设计等级为丙级时，静钻根植桩的单桩竖向抗压极限承载力标准值可按下式

估算：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.3.5-1） |
| 式中: |  | —— | 桩身周长，PHDC桩按节外径计算，其他类型桩按桩外径计算； | | |
|  |  | —— | 桩周第*i*层土的极限侧阻力标准值，按岩土工程勘察报告提供的预制桩极限侧阻力 | | |
|  |  |  | 标准值取值； | | |
|  |  | —— | 桩极限端阻力标准值，桩端扩底时可按岩土工程勘察报告提供的预制桩极限端阻力标准值乘以表4.3.5-1对应的折减系数取值，桩端不扩底时折减系数取0.6； | | |
|  |  | —— | 第i层土的厚度； | | |
|  |  | —— | 桩端截面面积，不扩底时取钻孔底部截面积，扩底时取扩底部位截面积。 | | |
|  |  |  |  | | |

**表5.3.5-1 桩端扩底时静钻根植桩端阻力折减系数**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 土层名称 | 黏土、粉土、全风化岩 | 粉砂、细砂、中砂 | 粗砂、砾砂、强风化岩 | 砾石、卵石、中风化岩 |
| 折减系数 | 0.45~0.50 | 0.50 | 0.55 | 0.60 |

当桩端置于完整、较完整的软岩、较软岩且桩端不扩底时，也可根据岩石饱和单轴抗压强度确定单桩竖向抗压极限承载力标准值，按下式进行计算：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.3.5-2） |
| 式中: |  | —— | 岩石饱和单轴抗压强度标准值，黏土岩取天然湿度单轴抗压强度标准值； | | |
|  |  | —— | 桩端截面面积，取钻孔底部截面积； | | |
|  |  | —— | 嵌岩段侧阻和端阻综合系数，与嵌岩深径比、岩石软硬程度有关，可按表5.3.5-2 | | |
|  |  |  | 采用。 | | |

**表5.3.5-2 嵌岩段侧阻和端阻综合系数**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 嵌岩深径比 | 0 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 |
| 软岩 | 0.36 | 0.48 | 0.57 | 0.71 | 0.81 | 0.89 |
| 较软岩 | 0.31 | 0.43 | 0.42 | 0.62 | 0.70 | 0.75 |

注：1 软岩指5MPa<≤15MPa，较软岩指15MPa<≤30MPa。

2 为桩身嵌岩深度，当岩面倾斜时，以坡下方嵌岩深度为准；当为非表列值时，可内插取值。

**5.3.6** PHC、PHDC、PRHC桩轴心受压时，桩身正截面受压承载力应满足下式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.3.6） |
| 式中: |  | —— | 相应于荷载效应基本组合时，作用于单节桩的竖向压力设计值；对非最上节桩，宜 | | |
|  |  |  | 按桩顶荷载扣除其上部桩节的侧摩阻力后取值； | | |
|  |  | —— | 成桩工艺系数，取值不宜大于0.90； | | |
|  |  | —— | 桩身截面面积，对PHDC桩取桩身截面面积（即非竹节状凸起截面）； | | |
|  |  | —— | 桩身混凝土轴心抗压强度设计值。 | | |

**5.3.7** 根据植入桩承载受力机理，PHDC桩竹节节外径与桩身外径比不应小于1.25。

**5.3.8**当需考虑压屈影响时，桩身压屈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。

**5.3.9**静钻根植桩需考虑负摩阻力对静钻根植桩承载力的影响时，桩侧负摩阻力及其引起的下拉荷载的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。

**5.3.10**静钻根植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。对桩中心距不大于6的桩基，采用等效作用分层总和法计算时，沉降计算经验系数可根据桩端土的压缩模量按表5.3.10取用，当桩端为砂、砾、卵石层时，可对表中数值乘以0.7的折减系数后取用。

**表5.3.10桩基沉降计算经验系数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| （MPa） | ≤10 | 15 | 20 | 35 | ≥50 |
|  | 1.20 | 0.90 | 0.65 | 0.50 | 0.40 |

**5.3.11**桩基的计算最终沉降量不得超过建筑物的沉降允许值，并应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

## 5.4 抗拔桩设计

**5.4.1**承受竖向拔力的静钻根植桩，桩顶作用效应的计算和承载力的验算应符合本规程第5.3.1条、5.3.2条的规定。

**5.4.2**承受竖向拔力的静钻根植桩基础，应按下列公式同时验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时基桩的抗拔承载力：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.4.2-1） |
|  | | | |  | （5.4.2-2） |
| 式中: |  | —— | 相应于荷载效应标准组合时，作用于单桩桩顶的竖向拔力； | | |
|  |  | —— | 群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值； | | |
|  |  | —— | 群桩呈非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值； | | |
|  |  | —— | 群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数，地下水位以下取浮自重； | | |
|  |  | —— | 基桩自重，地下水位以下取浮自重，扩底时应按本规程第5.4.3条确定桩、土柱体 | | |
|  |  |  | 周长，计算桩、土自重。 | | |

**5.4.3**初步设计时，抗拔承载力的计算应符合下列规定：

**1** 对单桩或群桩呈非整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值可按下式估算：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.4.3-1） |
| 式中: |  | —— | 单桩抗拔极限承载力标准值； | | |
|  |  | —— | 桩侧表面第*i*层土(岩)的抗压极限侧阻力标准值，按预制桩参数取值； | | |
|  |  | —— | 桩身周长，扩底时应按表5.4.3-1取值； | | |
|  |  | —— | 桩穿越第*i*层土(岩)的厚度； | | |
|  |  | —— | 抗拔系数，可按表5.4.3-2取值。 | | |

**表5.4.3-1扩底时破坏表面周长**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 自桩底起算的长度 | ≤（4~10） | >（4~10） |
|  |  |  |

注：对于软土取低值，对于卵石、砾石取高值；取值按内摩擦角增大而增大。

**表5.4.3-2抗拔系数**

|  |  |
| --- | --- |
| 土(岩)的类别 | 抗拔系数值 |
| 粘性土、粉土 | 0.70~0.80 |
| 砂土 | 0.50~0.70 |
| 砾石、卵石 | 0.50~0.60 |

注：桩长与桩径之比小于20时，取小值。

**2** 群桩呈整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值可按下式估算：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.4.3-2） |
| 式中: |  | —— | 群桩外围周长。 | | |

**5.4.4** 静钻根植桩抗拔时，应对桩身结构强度、连接强度等进行下列验算：

**1** PRHC桩轴心受拉时，通长配置非预应力主筋部分的桩身受拉承载力应符合下式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.4.4-1） |
| 式中: |  | —— | 荷载效应基本组合时，作用于单节桩桩顶的竖向拉力设计值； | | |
|  |  | —— | 考虑预应力钢棒镦头与端板连接处受力不均匀等因素影响的折减系数，取0.85； | | |
|  |  | —— | 预应力钢筋抗拉强度设计值； | | |
|  |  | —— | 非预应力钢筋抗拉强度设计值； | | |
|  |  | —— | 全部纵向预应力钢筋的截面面积； | | |
|  |  | —— | 全部纵向通长非预应力主筋的截面面积。 | | |

PHC桩、PHDC桩轴心受拉时，桩身受拉承载力应符合下式要求：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.4.4-2） |

**2**采用焊接连接时，连接强度应符合下列公式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.4.4-3） |
|  | | | |  | （5.4.4-4） |
|  | | | |  | （5.4.4-5） |
|  | | | |  | （5.4.4-6） |
|  | | | |  | （5.4.4-7） |
| 式中: |  | —— | 荷载效应基本组合时，作用于桩接头处的竖向拉力设计值； | | |
|  |  | —— | 焊缝长度； | | |
|  |  | —— | 焊缝计算厚度； | | |
|  |  | —— | 焊缝抗拉强度设计值，取170MPa； | | |
|  |  | —— | 焊缝内径； | | |
|  |  | —— | 焊缝外径； | | |
|  |  | —— | 桩端板外径； | | |
|  |  | —— | 焊缝坡口根部至焊缝表面的最短距离。 | | |

**3** 采用机械连接时，机械接头的受弯承载力、轴心受拉承载力、受剪承载力等指标不得低于桩身的力学性能，并应进行验算。

**4** 端板和桩身混凝土连接处的抗拉承载力应根据预制桩端板孔口（预应力筋镦头锚固处，见图5.4.4）抗剪强度和锚固钢筋抗拉承载力共同确定，并应符合下式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.4.4-8） |
| 式中: |  | —— | 荷载效应基本组合时，作用于桩接头处的竖向拉力设计值； | | |
|  |  | —— | 预应力钢筋数量； | | |
|  |  | —— | 端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口直径； | | |
|  |  | —— | 端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口直径； | | |
|  |  | —— | 端板厚度； | | |
|  |  | —— | 端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口距端板顶距离； | | |
|  |  | —— | 端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口距端板顶距离； | | |
|  |  | —— | 端板抗剪强度设计值，取120MPa； | | |
|  |  | —— | 锚固钢筋抗拉强度设计值； | | |
|  |  | —— | 锚固钢筋的截面面积。 | | |



**图5.4.4 端板与预应力钢筋连接示意图**

**5.4.5**静钻根植桩承受拔力时，裂缝控制验算应符合下列规定：

**1** 裂缝控制等级为一级时，应符合下列公式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.4.5-1） |
|  | | | |  | （5.4.5-2） |
| 式中: |  | —— | 相应于荷载效应标准组合时，作用于植入桩的竖向拔力； | | |
|  |  | —— | 截面换算面积； | | |
|  |  | —— | 预应力、非预应力钢筋截面面积之和； | | |
|  |  | —— | 桩身混凝土的有效预压应力； | | |
|  |  | —— | 钢筋弹性模量； | | |
|  |  | —— | 桩身混凝土弹性模量。 | | |

**2**裂缝控制等级为二级时，应符合下列公式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.4.5-3） |
|  | | | |  | （5.4.5-4） |
| 式中: |  | —— | 桩身混凝土净截面面积； | | |
|  |  | —— | 混凝土轴心抗拉强度标准值。 | | |

## 5.5 水平受荷桩设计

**5.5.1**对于一般建筑物和受水平力(包括力矩与水平剪力)较小的高大建筑物，桩径相同的群桩基础，应按下式计算群桩中单桩的桩顶水平力：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.5.1） |
| 式中: |  | —— | 荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力； | | |
|  |  | —— | 荷载效应标准组合下，作用于第*i*基桩的水平力； | | |
|  |  | —— | 桩基中的桩数。 | | |

**5.5.2**水平荷载作用下单桩水平承载力应符合下式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.5.2） |
| 式中: |  | —— | 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。 | | |

**5.5.3**需要进行地震作用效应设计的桩基在水平荷载作用下应符合下式要求：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.5.3） |
| 式中: |  | —— | 地震作用效应和荷载效应标准组合下，作用于基桩桩顶处的水平力。 | | |

**5.5.4**当静钻根植桩的水平承载力由水平位移控制，且缺少单桩水平载荷试验资料时，单桩水平承载力特征值的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。

**5.5.5**群桩基础（不含水平力垂直于单排桩基纵向轴线和力矩较大的情况）的基桩水平承载力特征值应考虑由承台、桩群、土相互作用产生的群桩效应，计算时应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定。

**5.5.6**承受较大水平荷载或水平地震作用、风载作用时，基桩内力和变位的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。

**5.5.7**承受水平荷载时，植入桩的桩身结构承载力设计值应满足下列要求：

**1** 植入桩的桩身抗弯承载力应按下列公式验算：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.5.7-1） |
| 式中: |  | —— | 相应于荷载效应基本组合时，作用于桩身的弯矩设计值； | | |
|  |  | —— | 植入桩的桩身抗弯承载力设计值。 | | |

对PHC、PHDC 桩，应按下列公式计算：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | | | | （5.5.7-2） |
|  | | | | |  | （5.5.7-3） | |
|  | | | | |  | （5.5.7-4） | |
| 式中: |  | | —— | 预应力钢筋抗拉强度设计值； | | | |
|  |  | | —— | 预应力钢筋的抗压强度设计值； | | | |
|  |  | | —— | 混凝土轴心抗压强度设计值； | | | |
|  |  | | —— | 受压区混凝土面积和全截面面积之比； | | | |
|  |  | | —— | 受拉区纵向预应力钢筋面积与全部预应力钢筋面积之比； | | | |
|  |  | | —— | 混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值之比，强度等级为C80时取0.94， | | | |
|  |  | |  | C100时取0.77； | | | |
|  | 、 | | —— | 桩身环形截面内、外半径； | | | |
|  |  | | —— | 预应力钢筋有效预应力。 | | | |

对PRHC桩，配置非预应力主筋部分的桩身应按下列公式计算：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  |  |
|  | | | |  | （5.5.7-5） |
|  | | | |  | （5.5.7-6） |
|  | | | |  | （5.5.7-7） |
| 式中: |  | —— | 非预应力钢筋的抗拉强度设计值。 | | |

**2** 植入桩的抗剪承载力应按下列公式验算：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.5.7-8） |
|  | | | |  | （5.5.7-9） |
|  | | | |  | （5.5.7-10） |
|  | | | |  | （5.5.7-11） |
| 式中: |  | —— | 相应于荷载效应基本组合时，作用于桩身的剪力设计值； | | |
|  |  | —— | 植入桩的桩身抗剪承载力设计值； | | |
|  |  | —— | 混凝土轴心抗拉强度设计值； | | |
|  |  | —— | 植入桩壁厚； | | |
|  |  | —— | 桩身截面对中心轴的惯性矩； | | |
|  |  | —— | 桩身半个圆环的面积对中心轴的面积矩； | | |
|  |  | —— | 混凝土抗拉强度变异调整系数，取0.7。 | | |

**5.5.8**PHC、PHDC、PRHC桩受弯时，桩身抗裂验算应满足下列要求：

**1** 裂缝控制等级为二级时：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | （5.5.8-1） |
| 式中: |  | —— | 相应于荷载效应标准组合时，作用于桩身的弯矩值； | | |
|  |  | —— | 植入桩的桩身开裂弯矩标准值。 | | |

可按下列公式计算：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | |  | （5.5.8-2） |
|  | | |  | （5.5.8-3） |
|  | | |  | （5.5.8-4） |
|  | | |  | （5.5.8-5） |
| 式中: |  | —— | 考虑离心工艺影响及截面抵抗矩塑性影响的综合系数，混凝土强度等级为C80时取 | |
|  |  |  | 1.9，C100时取1.8； | |
|  |  | —— | 桩身截面换算弹性抵抗矩； | |
|  | 、 | —— | 钢筋、混凝土弹性模量； | |
|  |  | —— | 考虑钢筋折算面积的桩身截面对中心轴的惯性矩； | |
|  |  | —— | 全部纵向预应力钢筋的截面面积； | |
|  |  | —— | 全部纵向非预应力钢筋的截面面积； | |
|  |  | —— | 纵向预应力钢筋分布圆的半径，纵向非预应力钢筋分布圆取与预应力钢筋相同。 | |

**2** 裂缝控制等级为一级时，桩身抗裂应另行设计、验算。

6 施工

## 6.1 一般规定

**6.1.1**施工前应根据相关要求编制施工组织设计方案。

**6.1.2**施工前应通过试成孔确认钻孔过程状况、持力层状况、施工设备能力、施工时间等。

**6.1.3**施工中应配备相关记录仪器，对钻孔深度、钻孔速度、钻机电流、扩底尺寸及注浆等进行监控并存储数据。

**6.1.4**施工安全和文物、环境保护等应按有关规定执行。

**6.1.5**静钻根植桩施工记录应按本规程附录B的要求填写。

## 6.2 主要机具设备

**6.2.1**应根据地质条件、周边环境条件、成桩深度、桩径等选用静钻根植桩施工用桩机、水泥浆系统等机具设备。

**6.2.2**桩机应符合下列规定：

**1**单轴钻机应采用专用钻机，输出扭矩应满足成孔的需求；

**2**钻杆直径不宜小于270mm；

**3**钻孔深度大于最大单节钻杆长度时，钻杆应具有接杆功能；

**4**钻杆及其叶片构造应满足成桩过程中使水泥浆和土搅拌均匀的要求；

**5**钻杆叶片宜由螺旋叶片和搅拌叶片组成，搅拌叶片的间距不宜大于800mm；

**6**采用扩底工艺时，钻头部位应能够依靠液压回路进行可控的扩大和收拢；

**7**桩架应具有垂直度监控和调整的功能。

**6.2.3**水泥浆系统应符合以下规定：

**1** 水泥浆搅拌系统应包括搅拌桶、储浆桶、注浆泵、水泥储罐、螺旋输送机、水箱等；

**2** 注浆泵的工作流量应可调节；

**3** 应配置拌浆和注浆的计量装置。

## 6.3 施工准备

**6.3.1**静钻根植桩施工前应做好下列准备工作：

**1** 场地完成三通一平、排水畅通，并具备正常施工所需的地面承载力；

**2** 处理场内影响施工的高空及地下障碍物；

**3** 设置高程控制点和轴线定位点；

**4** 选定性能满足技术要求的施工设备；

**5** 对施工作业人员进行技术及安全交底。

**6.3.2**水泥进场后应置于水泥罐中存放。

**6.3.3**预制桩的吊运应符合下列规定：

**1** 在吊运过程中应轻起轻放，严禁抛掷、碰撞、滚落；

**2** 吊装宜采用两头钩吊法，吊索与桩节水平夹角不得小于45°；

**3** 在运输过程中的支承位置应符合本规程第6.3.4条规定；

**4** 放置于运输车辆上的桩应绑扎牢固。

**6.3.4**预制桩的现场堆放应符合下列规定：

**1** 堆放场地应坚实平整；

**2** 应按不同规格、长度及施工流程分类堆放，不得混堆；

**3** 场地许可时宜单层堆放，需叠层堆放时，最下层宜按图6.3.4所示的两支点位置放置于垫木上；



**图6.3.4两支点法位置**

**4** 需叠层堆放时，对于外径不小于800mm的桩不宜超过2层，其他类型的桩不宜超过3层；

**5** PHDC桩叠层堆放时，每层的下方应放置垫木支垫。

## 6.4 成桩工艺

**6.4.1**静钻根植桩的施工应按照设计要求进行钻孔和扩底，然后注入桩端水泥浆和桩周水泥浆，最后将桩植入钻成孔内至设计标高。

**6.4.2**钻孔施工应符合下列规定：

**1** 孔位允许偏差为20mm，钻杆垂直度允许偏差为0.5%；

**2** 应根据孔径、钻进速度及地质情况调整水或外加剂混合液的用量；

**3** 应根据钻进速度和钻机电流变化，结合岩土工程勘察报告判断进入持力层情况；

**4** 钻至设计深度后宜进行2~4次孔体的修整。

**6.4.3**扩底应根据地质情况，分3~5次逐步扩大至设计扩底直径。

**6.4.4**注浆应符合下列规定：

**1** 水泥浆的水灰比及用量应满足设计要求；

**2** 注浆速度应与钻杆升降速度相匹配；

**3** 应先在孔底处注入桩端水泥浆设计用量的1/3，然反复提升、下降钻头将剩余2/3水泥浆注入至扩底部位，钻头提升、下降幅度为扩底部位的高度；

**4** 桩端、桩周水泥浆注入后应与土体搅拌混合均匀；

**5** 注浆终止位置应保证植桩后含水泥的浆液溢至设计桩顶标高。

**6.4.5**接桩应符合下列要求：

**1** 接桩应采用CO2气体保护焊焊接或机械连接；

**2** 采用焊接接桩时，除应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661的有关规定外，尚应符合下列规定：

**1）**下节桩的桩头处宜设导向块，接桩时上下节桩应保持顺直，错位偏差不宜大于2mm，接桩就位纠偏时，不得采用大锤横向敲打；

**2）**桩对接前，上下端板表面应采用铁刷清刷干净，坡口处应刷至露出金属光泽；

**3）**焊接宜在桩周对称进行，上下桩节固定后拆除导向块再分层施焊，焊缝应连续、饱满；

**4）**焊好后的桩接头应自然冷却后方可继续沉桩，自然冷却时间不应少于5min，严禁用水冷却或焊好即沉桩；

**5）**焊好后的接头应进行焊缝拍照存档；

**6）**雨天焊接时，应采取可靠的防雨措施。

**3** 采用机械连接接头接桩时，应按相关规定使全部连接件可靠连接;

**4** 应采用工具将已沉桩节固定，然后吊装上节桩。

**6.4.6**植桩应符合下列要求：

**1** 桩的植入应和注浆保持连续，植桩应在桩端水泥浆初凝前完成；

**2** 植桩时，应采用检测尺对桩进行定位，桩位允许偏差为30mm；

**3** 植桩时，桩的垂直度允许偏差为0.5%；

**4** 当最后一节桩沉至地面附近时，应采用送桩器将桩进行固定、校正和送桩。

7 承台施工

**7.0.1**静钻根植桩与承台连接，植入桩桩孔内填芯，在填芯混凝土长度范围内不能有水泥土，桩孔内水泥土可在施工过程中对桩孔内部提前进行封堵或者在承载连接施工前用专用工具将孔内水泥土清理完成。

**7.0.2**植入桩与承台的连接应符合下列规定：

**1** 当桩径小于800mm时，桩顶嵌入承台内的长度不宜小于50mm；桩径不小于800mm时，桩顶嵌入承台内的长度不宜小于100mm;

**2** 宜采用在端板上焊接连接钢板，再将锚固钢筋与连接钢板焊缝连接的方式；也可采用转换螺栓接头连接锚固钢筋和端板的方式；

**3**  对承压桩，可根据需要在桩孔内填芯插筋，填芯混凝土长度不宜小于1.0m且不宜小于；

**4** 对抗拔桩，当上拔力较大时，应在桩孔内填芯插筋，桩顶填芯混凝土长度不宜小于3m且不宜小于4；

**5** 锚固钢筋锚入承台内的长度，对承压桩不宜小于35倍锚固钢筋直径，对抗拔桩应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定，且不宜小于40倍锚固钢筋直径。

**6** 截桩时，应将需截除的桩节内的钢筋保留并锚入承台，当最上节为PRHC桩且非预应力钢筋长度不满足锚固长度要求时，可在非预应力钢筋上焊接或机械方式连接钢筋后锚入承台。

**7.0.3**桩基承台边缘至桩中心的距离不应小于，且桩的外边缘至承台边缘的距离不应小于150mm。

**7.0.4**对抗压桩，填芯混凝土应采用与承台或基础梁同强度等级的混凝土；对抗拔桩，填芯混凝土强度等级应高于承台或基础梁一级，且不得低于C30。

**7.0.5**承台的构造应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

8 检测与验收

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 静钻根植桩基工程应进行桩位、桩长、桩径、桩身质量和单桩承载力的检验。

**8.1.2**静钻根植桩基工程质量检测按时间顺序可分为三个阶段:施工前检测、施工过程检测和施工后检测。

**8.1.3**对砂、石子、水泥、钢材等桩体原材料质量的检验项目和方法应符合国家现行有关标准的规定。

## 8.2 施工前检测

**8.2.1**植入桩进入施工现场后，应进行下列检测：

**1** 核查植入桩合格证、规格、型号和龄期；

**2** 抽查植入桩的尺寸偏差和外观质量；

**3**  抽查植入桩端板几何尺寸；

**4** 抽查植入桩结构钢筋；

**5** 抽查拌制水泥浆的水泥的强度等级。

**8.2.2**进场的植入桩的混凝土强度应达到设计强度，并应满足沉桩要求。

**8.2.3**对进场的植入桩的尺寸偏差和外观质量进行抽查。抽查的数量不应少于植入桩桩节总数的2%，植入桩的尺寸偏差应符合表8.2.3-1的规定，植入桩的外观质量应符合表8.2.3-2的规定。同一检验批中，当抽查结果出现一节植入桩不符合质量要求时，应加倍检查，再发现有不合格的植入桩时，该检验批的植入桩不准使用。

**表8.2.3-1 植入桩的尺寸允许偏差**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | | 允许偏差（mm） |
| 1 | 桩长L | | ±0.5%L |
| 2 | 端部倾斜 | | ≤0.5%*DW* |
| 3 | 直径*DW*  （包括桩身、节部分） | 300mm~700mm |  |
| 800mm~1400mm |  |
| 4 | 壁厚t | |  |
| 5 | 保护层厚度 | |  |
| 6 | 桩身弯曲度 | | ≤L/1000 |
| 7 | 端板 | 端面平整度 | ≤0.5% |
| 外径 |  |
| 内径 |  |
| 厚度 |  |

**表8.2.3-2 植入桩的外观质量要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | | 外观质量要求 |
| 1 | 粘皮和麻面 | | 局部粘皮和麻面累计面积不应大于桩总外表面的0.5%；每处粘皮和麻面的深度不得大于5mm，且应修补。 |
| 2 | 桩身合缝漏浆 | | 漏浆深度不应大于5mm，每处漏浆长度不得大于300mm，累计长度不得大于单节植入桩长度的10%，或对称漏浆的搭接长度不得大于100mm，且应修补。 |
| 3 | 局部磕损 | | 局部磕损深度不得大于5mm，每处面积不得大于5000mm2，且应修补。 |
| 4 | 内外表面露筋 | | 不允许。 |
| 5 | 表面裂缝 | | 不得出现环向和纵向裂缝，但龟裂、水温和内壁浮浆层中的收缩裂缝不在此限。 |
| 6 | 桩端面平整度 | | 植入桩端面混凝土和预应力钢筋镦头不得高出端板平面。 |
| 7 | 断筋、脱头 | | 不允许。 |
| 8 | 桩套箍凹陷 | | 凹陷深度不应大于10mm。 |
| 9 | 内表面混凝土塌落 | | 不允许。 |
| 10 | 接头和桩套箍与桩身结合面 | 漏浆 | 漏浆深度不应大于5mm，漏浆长度不得大于周长的1/6，且应修补。 |
| 空洞和  蜂窝 | 不允许。 |

**8.2.4**对进场的植入桩端板的几何尺寸进行抽查。抽查数量不应少于植入桩桩节总数的2%，检测结果应符合现行行业标准《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947的有关规定，凡端板厚度或电焊坡口尺寸不合格的植入桩，不得使用。

**8.2.5**对进场的植入桩的预应力钢棒、非预应力钢筋的数量和直径、螺旋筋直径和间距、螺旋筋加密区的长度以及钢筋混凝土保护层厚度进行抽查，每个检验批抽查桩节数不应少于两根。

**8.2.6**拌制水泥浆用的水泥进场时，应对水泥的强度等级进行检查，并应对水泥的强度进行检验，检查数量和检验方法应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定。

## 8.3 施工过程检测

**8.3.1**沉桩施工过程中应进行下列检测：

**1** 桩身垂直度的检查；

**2** 沉桩对周围环境的影响监测；

**3** 施工记录的审核。

**8.3.2**应对桩身垂直度进行检查。检查应符合下列规定：

**1** 应检查第一节桩定位时的垂直度，当垂直度偏差不大于0.5%时，方可进行施工；

**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** 静钻根植桩基础承台施工前，应对工程桩桩身垂直度进行检查，垂直度偏差应为±1%。

**8.3.3**施工过程中，应监测施工对周围环境的影响。监测应符合下列规定：

**1** 应根据施工组织方案检查工程桩的施工顺序；

**2** 当施工振动或挤土可能危及周边的建筑物、道路、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** 对大面积群桩基础，应抽检监测已施工工程桩的上浮量及桩顶偏位值，工程桩的监测数量不应少于1%且不得少于10根。

**8.3.4**施工记录应按下列规定进行审核：

**1** 当配置施工自动记录仪时，应对自动记录仪的工作状态、所记录的各种施工数据进行逻辑分析判定；

**2** 当采用人工记录时，应对作业班组所安排专人记录的内容进行检查；

**3** 工程桩施工完成后，施工记录应经旁站监理人员签名确认，方可作为施工记录。

**8.3.5**接桩采用的焊材、机械接头应符合设计要求及其产品标准要求。

**8.3.6**采用电焊接桩时，焊接质量应符合表8.3.6及现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202的有关规定。

**表8.3.6 焊缝质量要求**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 | | 检查方法 |
| 单位 | 数值 |
| 1 | 上下节端部错口 | mm | ≤3 | 用钢尺量 |
| 2 | 节点弯曲矢高 | mm | ﹤1/1000 | 用钢尺量 |
| 3 | 焊缝咬边深度 | mm | ≤0.5 | 焊缝检查仪 |
| 4 | 焊缝加强层高度 | mm | 2 | 焊缝检查仪 |
| 5 | 焊缝加强层宽度 | mm | 2 | 焊缝检查仪 |
| 6 | 外观质量 | 无气孔、无焊瘤、无裂缝 | | 直观 |

**8.3.7**钻孔深度允许偏差为（+300，0）mm，钻孔直径允许偏差为（+20，0） mm。

**8.3.8**扩底直径和高度应满足设计要求，扩底直径允许偏差为（+50，0）mm，扩底高度允许偏差为（+150，0）mm。

**8.3.9**水泥浆的水灰比和用量应符合设计要求。

**8.3.10**桩端水泥浆应制作试块并进行无侧限抗压强度试验，试块制作方法应符合本规程附录D的规定，强度试验方法应符合《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081的有关规定；每100t水泥应制作少于3组试块，试块强度应根据试验值乘以换算系数1.15，换算强度不应低于20MPa。

## 8.4 施工后检测

**8.4.1**桩顶标高的允许偏差为±50mm。

**8.4.2**工程桩施工完成后，应进行桩身完整性检测，检测数量应符合下列规定：

**1** 当桩基设计等级为甲级时，抽检数量不应少于总桩数的30%，且不得少于20根；

**2** 其他桩基工程的抽检数量不应少于总桩数的20%，且不得少于10根；

**3** 每个承台下抽检数量不得少于1根。

**8.4.3**工程桩应进行单桩承载力检测，检测方法及检测数量应符合下列规定：

**1** 桩基设计等级为甲级或地质条件复杂时，宜采用静载荷试验法进行检测；

**2** 检测数量不应少于总桩数的1%，且不应少于3根；

**3** 总桩数不大于50根时，检测数量不应少于2根。

**8.4.4**静钻根植桩的桩位偏差应符合表8.4.4的规定。

**表8.4.4 静钻根植桩顶平面位置的允许偏差**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | | 允许偏差（mm） |
| 带有基础梁的桩 | （1）垂直基础梁的中心线 | 100+0.01H | |
| （2）沿基础梁的中心线 | 150+0.01H | |
| 桩数为1根~3根桩基中的桩 | | 100 | |
| 桩数为4根~16根桩基中的桩 | | 1/2桩径 | |
| 桩数大于16根桩基中的桩 | （1）最外边的桩 | 1/3桩径 | |
| （2）中间桩 | 1/2桩径 | |

注：H为总桩长。

## 8.5 工程验收

**8.5.1**静钻根植桩验收时应具备下列资料或文件：

**1** 预制桩出厂合格证；

**2** 预制桩进场验收记录；

**3** 水泥合格证及质检报告；

**4** 桩位测量放线图、桩位复核签证单；

**5** 岩土工程勘察报告；

**6** 图纸会审记录及设计变更联系单；

**7** 经批准的施工组织设计或专项施工方案及技术交底资料；

**8** 施工记录、桩位编号图；

**9** 接桩隐蔽验收记录；

**10** 包含桩位实测偏位情况、补桩位置、试桩位置等内容的工程竣工图；

**11** 质量事故处理记录；

**12** 试沉桩记录；

**13** 静载荷试验报告和桩身低应变检测报告。

**8.5.2**静钻根植桩的检验批质量验收应按本规程附录C进行。

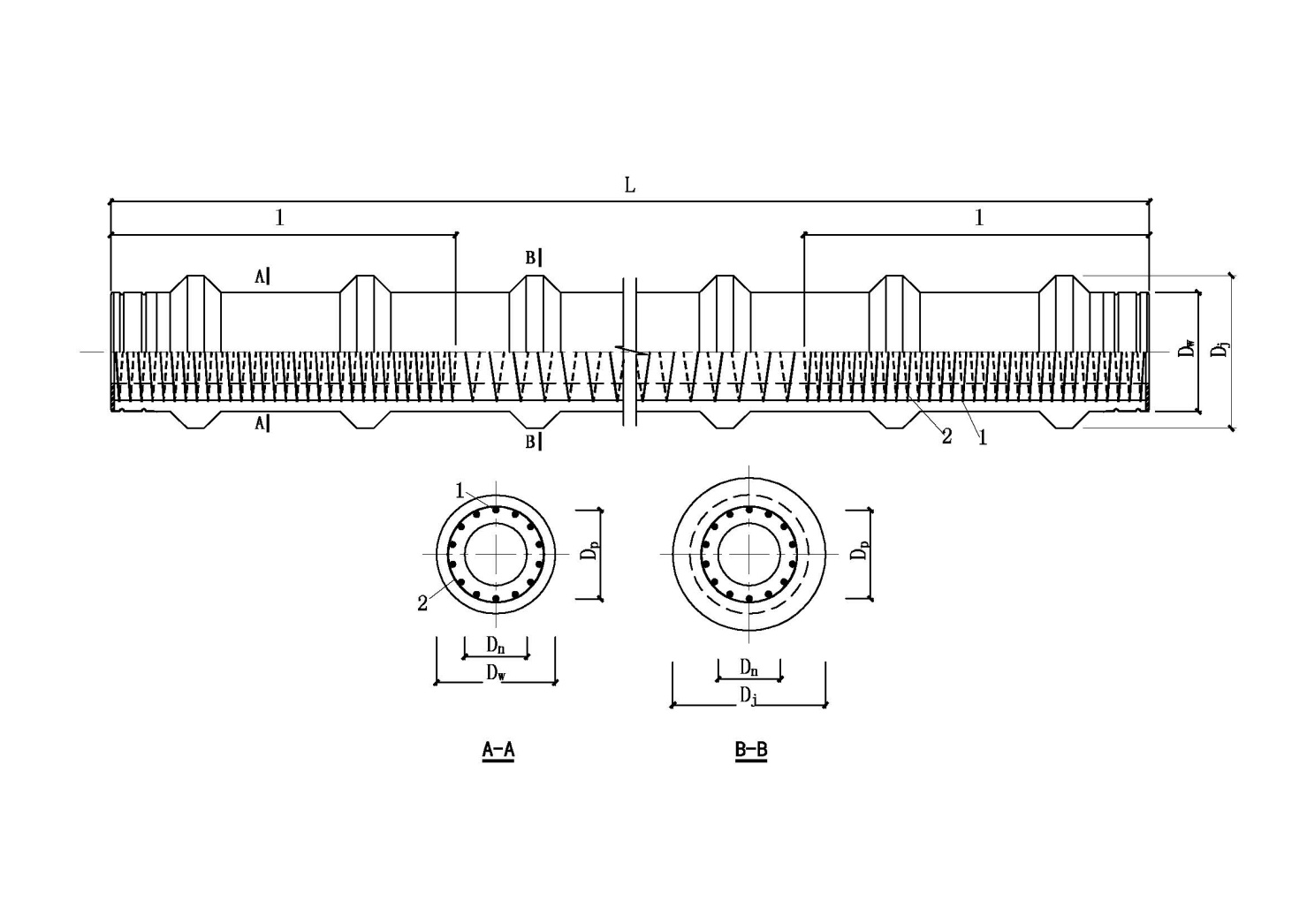
**8.5.3**静钻根植桩的验收除应符合本规程外，尚应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300和《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202的有关规定。

**8.5.4**承台的验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定。

附录A 植入桩结构形式、桩身配筋及桩身力学性能参数表

**A.0.1**植入桩结构形式（图A.0.1-1～图A.0.1-4），桩套箍结构形式（图A.0.1-5）及参数（表A.0.1）。

**1** 静钻根植先张法预应力混凝土竹节桩的结构形式（图A.0.1-1）；

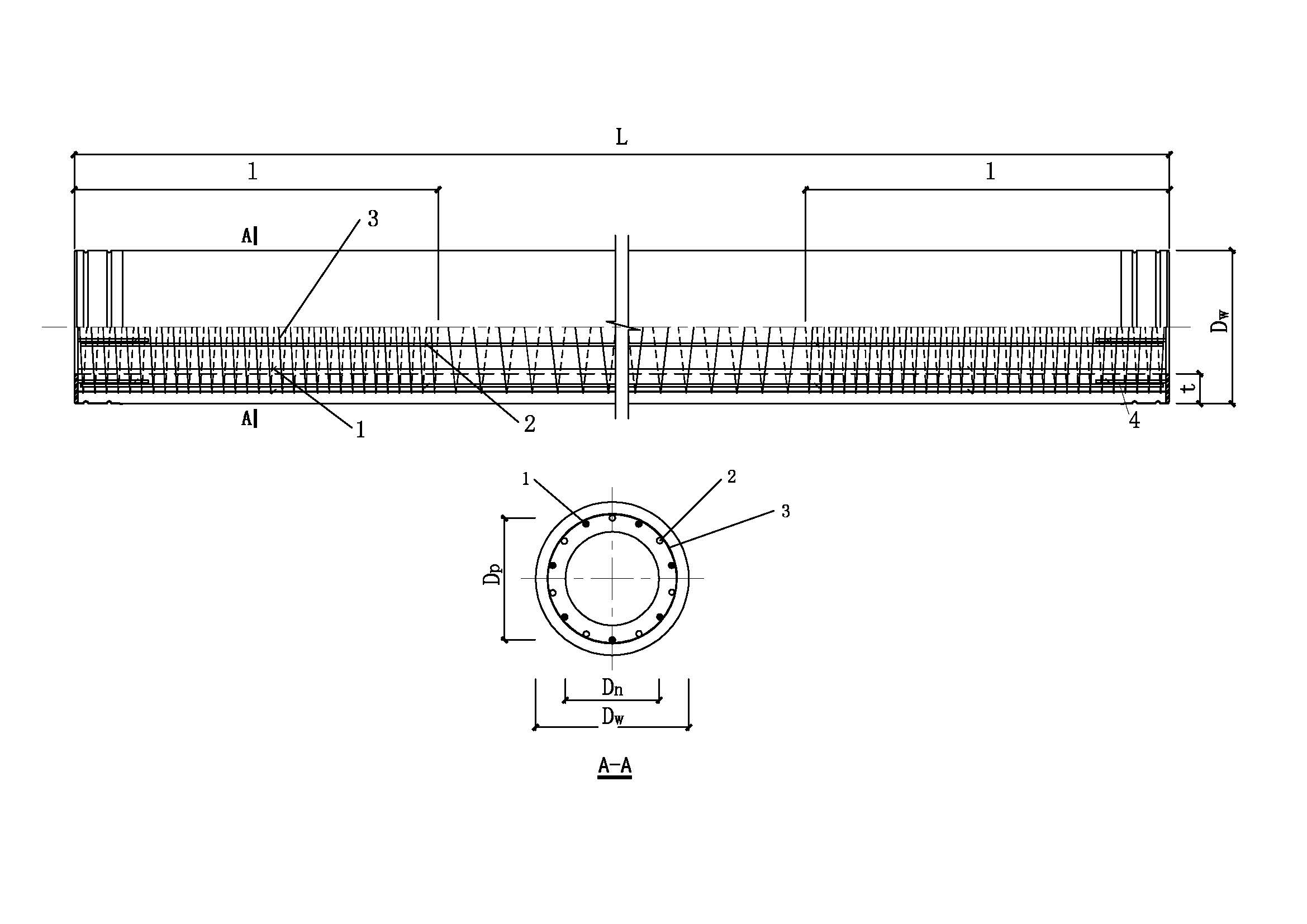


1—预应力钢筋，2—螺旋箍筋，L—桩长，l—箍筋加密区长度

Dw—桩身直径，Dj—节外径，Dn—桩内径，Dp—预应力钢筋分布圆直径

图A.0.1-1 静钻根植先张法预应力混凝土竹节桩的结构形式

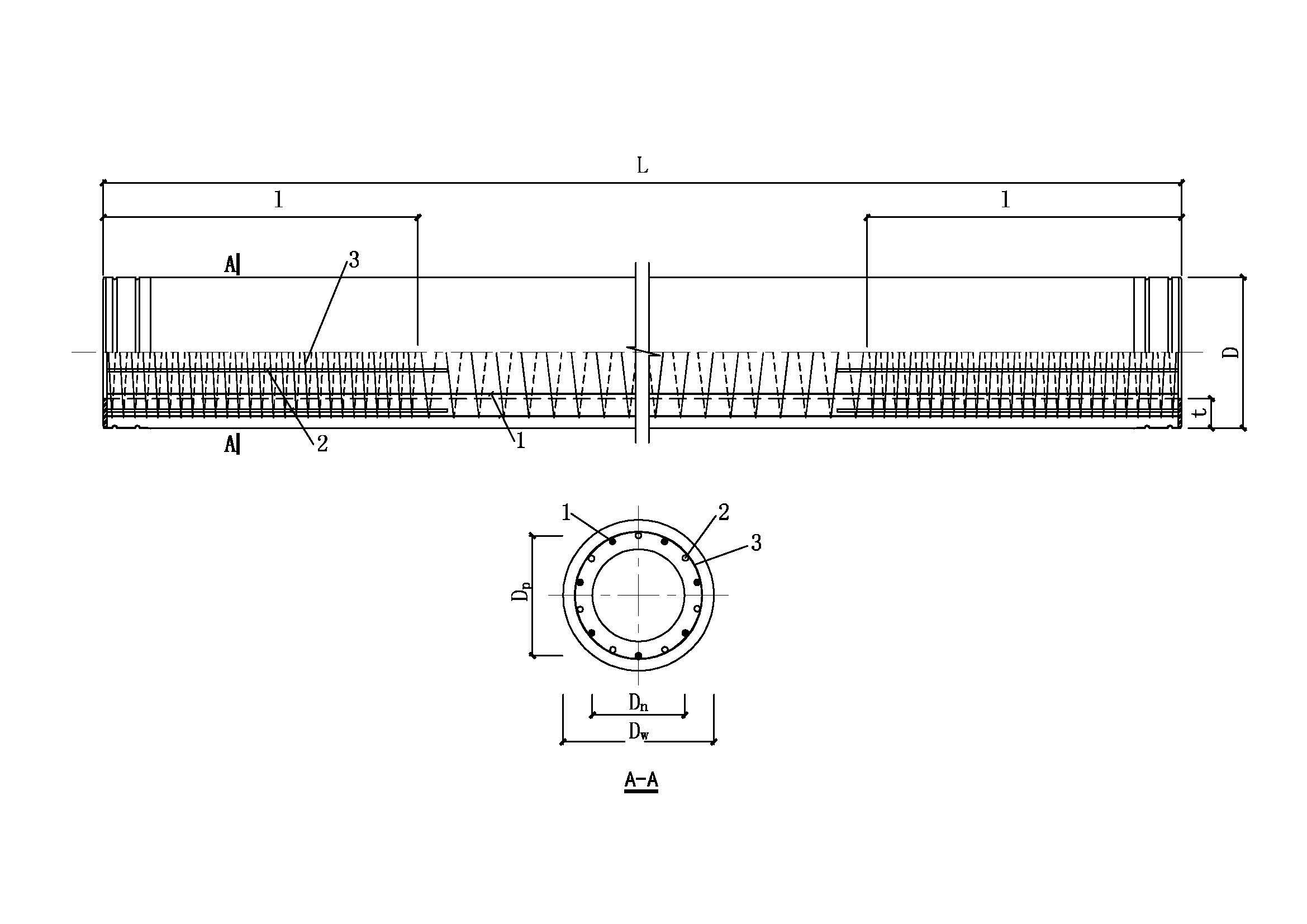
**2** 复合配筋先张法预应力混凝土管桩的结构形式（图A.0.1-2）；



1—预应力钢筋，2—非预应力钢筋，3—螺旋箍筋，4—桩端锚固钢筋，L—桩长

l—箍筋加密区长度，Dw—桩身直径，Dn—桩内径，Dp—预应力钢筋分布圆直径

图A.0.1-2 通长复合配筋先张法预应力混凝土管桩（一）的结构形式

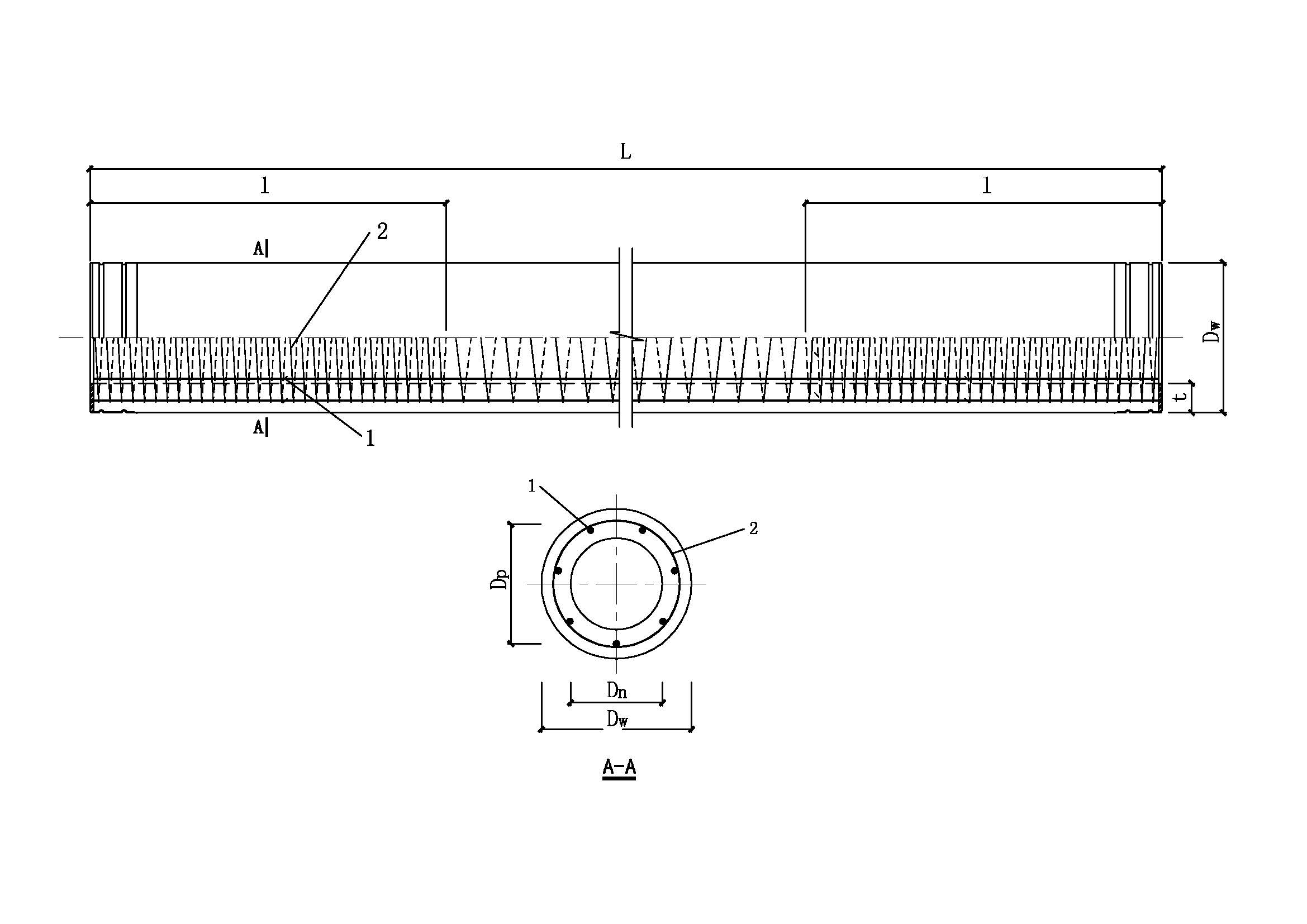


1—预应力钢筋，2—非预应力钢筋，3—螺旋箍筋，L—桩长

l—箍筋加密区长度，Dw—桩身直径，Dn—桩内径，Dp—预应力钢筋分布圆直径

图A.0.1-3 部分复合配筋先张法预应力混凝土管桩（二）的结构形式

**3** 先张法预应力高强混凝土管桩的结构形式（图A.0.1-4）；



1—预应力钢筋，2—螺旋箍筋，L—桩长

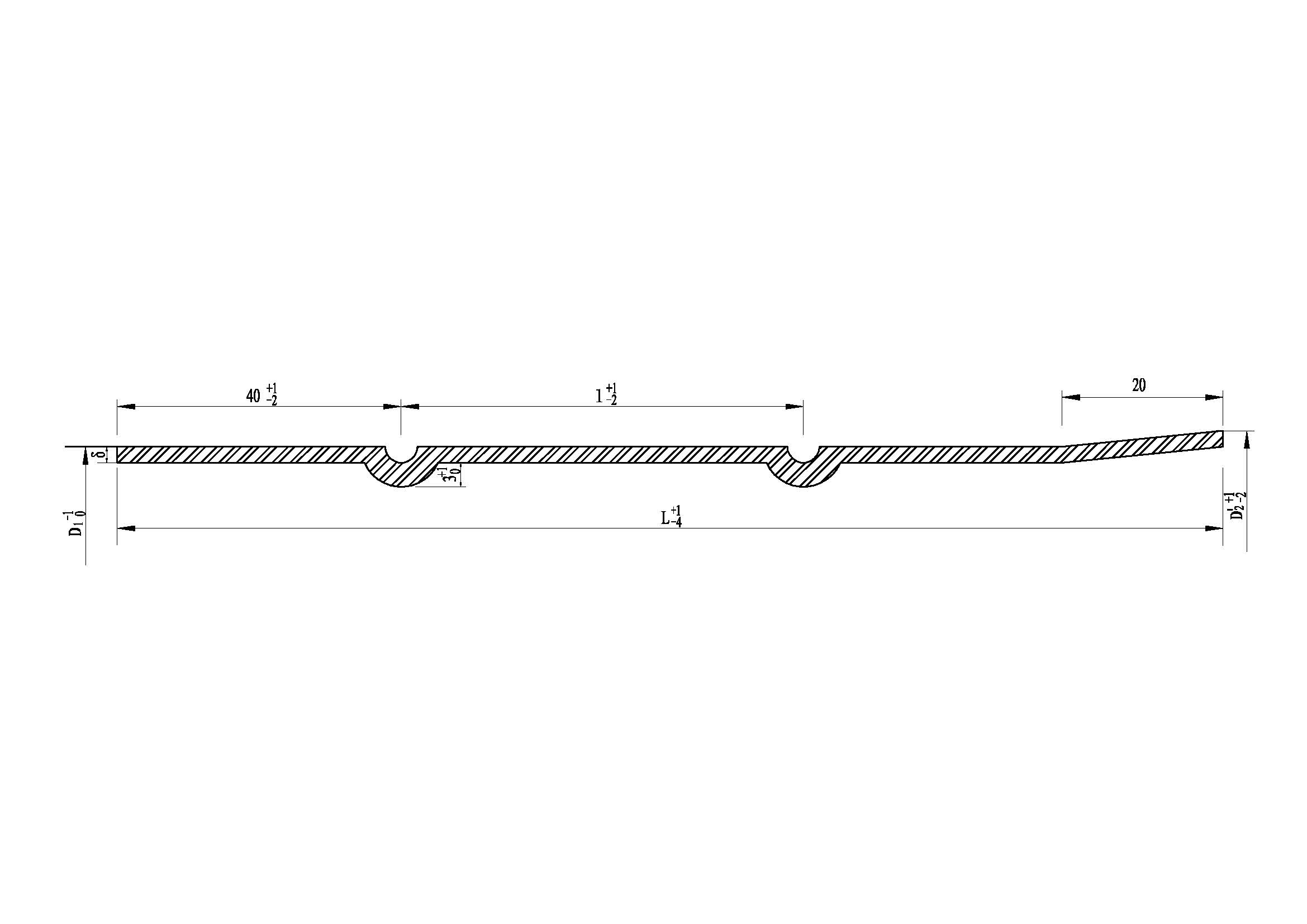
l—箍筋加密区长度，Dw—桩身直径，Dn—桩内径，Dp—预应力钢筋分布圆直径

图A.0.1-4 先张法预应力高强混凝土管桩的结构形式

**4** 植入桩的桩套箍结构形式（图A.0.1-5）及参数（表A.0.1）。

表A.0.1 植入桩桩套箍的结构参数表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **桩身外径（mm）** | **300** | **400** | **500** | **600** | **700** | **800** | **1000** |
| **D1**（mm） | **299** | **399** | **499** | **599** | **699** | **799** | **999** |
| **D2’**（mm） | **303** | **403** | **503** | **603** | **703** | **803** | **1003** |
| **δ**（mm） | **1.5～2.0** | **1.5～2.0** | **1.5～2.0** | **1.6～2.0** | **1.6～2.0** | **1.6～2.3** | **1.6～2.3** |
| **L**（mm） | **120** | **150** | **150** | **150** | **250** | **250** | **300** |
| **l**（mm） | **40** | **50** | **50** | **50** | **150** | **150** | **150** |



图A.0.1-5 植入桩桩套箍的结构形式

A.0.2植入桩桩身配筋及力学性能应符合表A.0.2-1～A.0.2-5的规定。

表A.0.2-1 PHDC桩桩身配筋及力学性能表（混凝土强度等级为C80）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 节外径（mm） | 桩身外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距标准值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩标准值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力标准值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 500 | 390 | 90 | AB | 7A10.7 | Ab4 | 7～13 | 6.25 | 67 | 113 | 192 | 2588 | 256 |
| B | 10A10.7 | 8.53 | 80 | 153 | 217 |
| C | 13A10.7 | 10.60 | 93 | 187 | 237 |
| 550 | 400 | 95 | AB | 7A10.7 | Ab4 | 7～13 | 5.87 | 70 | 116 | 203 | 2777 | 268 |
| B | 10A10.7 | 8.03 | 84 | 158 | 228 |
| C | 13A10.7 | 10.01 | 97 | 195 | 249 |
| 650 | 500 | 100 | A | 11A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.84 | 118 | 174 | 256 | 3834 | 364 |
| AB | 11A10.7 | 6.59 | 138 | 236 | 286 |
| B | 11A12.6 | 8.75 | 164 | 311 | 319 |
| C | 13A12.6 | 10.06 | 180 | 355 | 338 |
| 650 | 500 | 125 | A | 12A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.53 | 123 | 181 | 302 | 4493 | 418 |
| AB | 12A10.7 | 6.18 | 144 | 247 | 337 |
| B | 12A12.6 | 8.24 | 170 | 327 | 376 |
| C | 15A12.6 | 9.93 | 193 | 391 | 405 |
| 800 | 600 | 110 | A | 14A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.60 | 191 | 273 | 336 | 5167 | 504 |
| AB | 14A10.7 | 6.26 | 224 | 372 | 375 |
| B | 14A12.6 | 8.34 | 265 | 492 | 419 |
| C | 17A12.6 | 9.81 | 295 | 575 | 447 |

续表A.0.2-1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 节外径（mm） | 桩身外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距标准值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩标准值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力标准值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 800 | 600 | 130 | A | 16A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.63 | 206 | 301 | 388 | 5857 | 560 |
| AB | 16A10.7 | 6.31 | 241 | 411 | 433 |
| B | 16A12.6 | 8.40 | 285 | 544 | 484 |
| C | 20A12.6 | 10.12 | 323 | 649 | 521 |
| 900 | 700 | 110 | A | 12A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.60 | 282 | 394 | 401 | 6221 | 602 |
| AB | 24A9.0 | 6.33 | 331 | 542 | 449 |
| B | 24A10.7 | 8.52 | 395 | 723 | 503 |
| C | 24A12.6 | 11.16 | 475 | 930 | 562 |
| 900 | 700 | 130 | A | 13A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.38 | 299 | 416 | 455 | 7103 | 674 |
| AB | 26A9.0 | 6.04 | 350 | 574 | 509 |
| B | 26A10.7 | 8.14 | 417 | 770 | 571 |
| C | 26A12.6 | 10.70 | 501 | 996 | 638 |
| 1000 | 800 | 110 | A | 15A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.89 | 402 | 573 | 476 | 7276 | 700 |
| AB | 15A12.6 | 6.58 | 469 | 770 | 529 |
| B | 30A10.7 | 9.01 | 568 | 1044 | 598 |
| C | 30A12.6 | 11.76 | 685 | 1333 | 668 |
| 1000 | 800 | 130 | A | 16A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.57 | 427 | 600 | 538 | 8349 | 788 |
| AB | 16A12.6 | 6.16 | 496 | 808 | 598 |
| B | 32A10.7 | 8.47 | 599 | 1104 | 675 |
| C | 32A12.6 | 11.10 | 721 | 1421 | 754 |

表A.0.2-2 PHDC桩桩身配筋及力学性能表（混凝土强度等级为C100）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 节外径（mm） | 桩身外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距标准值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩标准值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力标准值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 500 | 390 | 90 | AB | 7A10.7 | Ab4 | 7～13 | 6.27 | 67 | 113 | 199 | 3165 | 256 |
| B | 10A10.7 | 8.57 | 80 | 153 | 225 |
| C | 13A10.7 | 10.6 | 93 | 188 | 245 |
| 550 | 400 | 95 | AB | 7A10.7 | Ab4 | 7～13 | 5.89 | 70 | 116 | 210 | 3396 | 268 |
| B | 10A10.7 | 8.07 | 84 | 158 | 236 |
| C | 13A10.7 | 10.07 | 97 | 195 | 258 |
| 650 | 500 | 100 | A | 11A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.86 | 117 | 174 | 266 | 4689 | 364 |
| AB | 11A10.7 | 6.61 | 138 | 236 | 296 |
| B | 11A12.6 | 8.80 | 164 | 312 | 331 |
| C | 13A12.6 | 10.12 | 180 | 355 | 350 |
| 650 | 500 | 125 | A | 12A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.55 | 123 | 181 | 313 | 5495 | 418 |
| AB | 12A10.7 | 6.20 | 144 | 247 | 349 |
| B | 12A12.6 | 8.28 | 170 | 327 | 389 |
| C | 15A12.6 | 9.99 | 193 | 391 | 420 |
| 800 | 600 | 110 | A | 14A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.61 | 191 | 273 | 349 | 6318 | 504 |
| AB | 14A10.7 | 6.28 | 223 | 372 | 389 |
| B | 14A12.6 | 8.38 | 265 | 493 | 434 |
| C | 17A12.6 | 9.87 | 295 | 575 | 463 |

续表A.0.2-2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 节外径（mm） | 桩身外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距标准值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩标准值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力标准值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 800 | 600 | 130 | A | 16A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.64 | 205 | 301 | 403 | 7162 | 560 |
| AB | 16A10.7 | 6.33 | 240 | 411 | 449 |
| B | 16A12.6 | 8.44 | 285 | 544 | 501 |
| C | 20A12.6 | 10.18 | 323 | 650 | 540 |
| 900 | 700 | 110 | A | 12A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.61 | 282 | 394 | 416 | 7608 | 602 |
| AB | 24A9.0 | 6.35 | 331 | 542 | 466 |
| B | 24A10.7 | 8.56 | 395 | 724 | 522 |
| C | 24A12.6 | 11.24 | 475 | 931 | 582 |
| 900 | 700 | 130 | A | 13A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.39 | 299 | 416 | 473 | 8686 | 674 |
| AB | 26A9.0 | 6.06 | 350 | 575 | 528 |
| B | 26A10.7 | 8.18 | 417 | 771 | 591 |
| C | 26A12.6 | 10.77 | 501 | 997 | 660 |
| 1000 | 800 | 110 | A | 15A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.90 | 402 | 573 | 494 | 8897 | 700 |
| AB | 15A12.6 | 6.60 | 469 | 770 | 549 |
| B | 30A10.7 | 9.06 | 568 | 1045 | 620 |
| C | 30A12.6 | 11.85 | 686 | 1334 | 692 |
| 1000 | 800 | 130 | A | 16A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.58 | 427 | 600 | 558 | 10210 | 788 |
| AB | 16A12.6 | 6.18 | 496 | 809 | 620 |
| B | 32A10.7 | 8.51 | 599 | 1105 | 700 |
| C | 32A12.6 | 11.18 | 721 | 1423 | 781 |

表A.0.2-3 PRHC桩（一）桩身配筋及力学性能表（混凝土强度等级为C80）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 非预应力钢筋配筋 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 400 | 95 | Ⅰ | 7A12.6 | 7C10 | Ab4 | 7～14 | 7.67 | 83 | 187 | 223 | 2797/3396 | 232 |
| Ⅱ | 7C12 | 7.60 | 84 | 198 | 223 |
| Ⅲ | 7C14 | 7.51 | 84 | 210 | 222 |
| 500 | 100 | Ⅰ | 11A12.6 | 11C10 | Ab5 | 7～15 | 8.54 | 165 | 376 | 315 | 3861/4689 | 320 |
| Ⅱ | 11C14 | 8.35 | 167 | 422 | 313 |
| Ⅲ | 11C16 | 8.24 | 168 | 451 | 311 |
| Ⅳ | 11C18 | 8.11 | 170 | 482 | 309 |
| 125 | Ⅰ | 12A12.6 | 12C10 | Ab5 | 7～15 | 8.05 | 172 | 398 | 372 | 4525/5495 | 376 |
| Ⅱ | 12C14 | 7.88 | 174 | 449 | 369 |
| Ⅲ | 12C16 | 7.78 | 176 | 480 | 367 |
| Ⅳ | 12C18 | 7.66 | 177 | 515 | 365 |
| 600 | 110 | Ⅰ | 14A12.6 | 14C10 | Ab5 | 7～15 | 8.15 | 268 | 597 | 414 | 5203/6318 | 432 |
| Ⅱ | 14C14 | 7.97 | 271 | 671 | 411 |
| Ⅲ | 14C16 | 7.87 | 273 | 717 | 409 |
| Ⅳ | 14C18 | 7.75 | 276 | 770 | 406 |
| 130 | Ⅰ | 16A12.6 | 16C10 | Ab5 | 7～15 | 8.20 | 289 | 661 | 479 | 5898/7162 | 489 |
| Ⅱ | 16C14 | 8.03 | 293 | 745 | 474 |
| Ⅲ | 16C16 | 7.92 | 295 | 797 | 472 |
| Ⅳ | 16C18 | 7.80 | 298 | 854 | 469 |

续表A.0.2-3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 非预应力钢筋配筋 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 700 | 110 | Ⅰ | 12A12.6 | 12C16 | Ab6 | 7～15 | 5.93 | 335 | 782 | 438 | 5124/6221 | 520 |
| Ⅱ | 12C20 | 5.79 | 340 | 901 | 434 |
| Ⅲ | 12C22 | 5.71 | 342 | 969 | 432 |
| 700 | 130 | Ⅰ | 13A12.6 | 13C16 | Ab6 | 7～15 | 5.67 | 355 | 833 | 497 | 5850/7103 | 594 |
| Ⅱ | 13C20 | 5.54 | 360 | 963 | 493 |
| Ⅲ | 13C22 | 5.47 | 363 | 1037 | 491 |
| 800 | 110 | Ⅰ | 15A12.6 | 15C16 | Ab6 | 7～15 | 6.28 | 481 | 1130 | 520 | 5992/7276 | 608 |
| Ⅱ | 15C20 | 6.12 | 488 | 1301 | 515 |
| Ⅲ | 15C22 | 6.03 | 491 | 1399 | 512 |
| 800 | 130 | Ⅰ | 16A12.6 | 16C16 | Ab6 | 7～15 | 5.90 | 509 | 1195 | 587 | 6876/8349 | 698 |
| Ⅱ | 16C20 | 5.76 | 516 | 1380 | 582 |
| Ⅲ | 16C22 | 5.68 | 521 | 1485 | 580 |
| 1000 | 130 | Ⅰ | 16A12.6 | 16C18 | Ab6 | 7～15 | 4.66 | 779 | 1718 | 695 | 8929/10842 | 906 |
| Ⅱ | 16C22 | 4.56 | 789 | 1995 | 690 |
| Ⅲ | 16C25 | 4.48 | 798 | 2232 | 686 |

表A.0.2-4 PRHC桩（一）桩身配筋及力学性能表（混凝土强度等级为C100）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 非预应力钢筋配筋 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 400 | 95 | Ⅰ | 7A12.6 | 7C10 | Ab4 | 7～14 | 7.67 | 83 | 187 | 223 | 2797/3396 | 232 |
| Ⅱ | 7C12 | 7.60 | 84 | 198 | 223 |
| Ⅲ | 7C14 | 7.51 | 84 | 210 | 222 |
| 500 | 100 | Ⅰ | 11A12.6 | 11C10 | Ab5 | 7～15 | 8.54 | 169 | 376 | 326 | 3861/4689 | 320 |
| Ⅱ | 11C14 | 8.35 | 171 | 422 | 324 |
| Ⅲ | 11C16 | 8.24 | 173 | 451 | 322 |
| Ⅳ | 11C18 | 8.11 | 174 | 482 | 320 |
| 125 | Ⅰ | 12A12.6 | 12C10 | Ab5 | 7～15 | 8.05 | 176 | 398 | 385 | 4525/5495 | 376 |
| Ⅱ | 12C14 | 7.88 | 179 | 449 | 382 |
| Ⅲ | 12C16 | 7.78 | 180 | 480 | 380 |
| Ⅳ | 12C18 | 7.66 | 182 | 515 | 378 |
| 600 | 110 | Ⅰ | 14A12.6 | 14C10 | Ab5 | 7～15 | 8.15 | 274 | 597 | 429 | 5203/6318 | 432 |
| Ⅱ | 14C14 | 7.97 | 278 | 671 | 425 |
| Ⅲ | 14C16 | 7.87 | 280 | 717 | 423 |
| Ⅳ | 14C18 | 7.75 | 283 | 770 | 420 |
| 130 | Ⅰ | 16A12.6 | 16C10 | Ab5 | 7～15 | 8.20 | 296 | 661 | 495 | 5898/7162 | 489 |
| Ⅱ | 16C14 | 8.03 | 300 | 745 | 491 |
| Ⅲ | 16C16 | 7.92 | 303 | 797 | 488 |
| Ⅳ | 16C18 | 7.80 | 306 | 854 | 486 |

续表A.0.2-4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 非预应力钢筋配筋 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 700 | 110 | Ⅰ | 12A12.6 | 12C16 | Ab6 | 7～15 | 5.93 | 344 | 782 | 454 | 6265/7608 | 520 |
| Ⅱ | 12C20 | 5.79 | 349 | 901 | 450 |
| Ⅲ | 12C22 | 5.71 | 352 | 969 | 448 |
| 700 | 130 | Ⅰ | 13A12.6 | 13C16 | Ab6 | 7～15 | 5.67 | 365 | 833 | 515 | 7153/8686 | 594 |
| Ⅱ | 13C20 | 5.54 | 370 | 963 | 511 |
| Ⅲ | 13C22 | 5.47 | 373 | 1037 | 509 |
| 800 | 110 | Ⅰ | 15A12.6 | 15C16 | Ab6 | 7～15 | 6.28 | 494 | 1130 | 538 | 7327/8897 | 608 |
| Ⅱ | 15C20 | 6.12 | 501 | 1301 | 534 |
| Ⅲ | 15C22 | 6.03 | 506 | 1399 | 531 |
| 800 | 130 | Ⅰ | 16A12.6 | 16C16 | Ab6 | 7～15 | 5.90 | 524 | 1195 | 609 | 8408/10210 | 698 |
| Ⅱ | 16C20 | 5.76 | 532 | 1380 | 604 |
| Ⅲ | 16C22 | 5.68 | 536 | 1485 | 601 |
| 1000 | 130 | Ⅰ | 16A12.6 | 16C18 | Ab6 | 7～15 | 4.66 | 804 | 1718 | 721 | 10918/13258 | 906 |
| Ⅱ | 16C22 | 4.56 | 815 | 1995 | 716 |
| Ⅲ | 16C25 | 4.48 | 824 | 2232 | 712 |

表A.0.2-5 PRHC桩（二）桩身配筋及力学性能表（混凝土强度等级为C80）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 400 | 95 | AB | 7A10.7 | Ab4 | 7～14 | 5.87 | 70 | 116 | 202 | 2787/2777 | 232 |
| B | 10A10.7 | 8.03 | 84 | 158 | 228 |
| 500 | 100 | A | 11A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.84 | 118 | 174 | 256 | 3158/3834 | 320 |
| AB | 11A10.7 | 6.59 | 138 | 236 | 286 |
| B | 11A12.6 | 8.75 | 164 | 311 | 319 |
| 125 | A | 12A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.53 | 123 | 181 | 302 | 3700/4493 | 376 |
| AB | 12A10.7 | 6.18 | 144 | 247 | 337 |
| B | 12A12.6 | 8.24 | 170 | 327 | 376 |
| 600 | 110 | A | 14A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.60 | 191 | 273 | 336 | 4255/5167 | 432 |
| AB | 14A10.7 | 6.26 | 224 | 372 | 375 |
| B | 14A12.6 | 8.34 | 265 | 492 | 419 |
| 130 | A | 16A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.63 | 206 | 301 | 388 | 4823/5857 | 489 |
| AB | 16A10.7 | 6.31 | 241 | 411 | 433 |
| B | 16A12.6 | 8.40 | 285 | 544 | 484 |
| 700 | 110 | A | 12A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.60 | 282 | 394 | 401 | 5124/6221 | 520 |
| AB | 24A9.0 | 6.33 | 331 | 542 | 449 |
| B | 24A10.7 | 8.52 | 395 | 723 | 503 |

续表A.0.2-6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 700 | 130 | A | 13A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.38 | 299 | 416 | 455 | 5850/7103 | 594 |
| AB | 26A9.0 | 6.04 | 350 | 574 | 509 |
| B | 26A10.7 | 8.14 | 417 | 770 | 571 |
| 145 | A | 20A9.0 | Ab6 | 7～15 | 4.41 | 313 | 445 | 500 | 6353/7714 | 645 |
| AB | 20A10.7 | 6.02 | 365 | 608 | 557 |
| B | 20A12.6 | 8.03 | 432 | 807 | 622 |
| 800 | 110 | A | 15A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.89 | 402 | 573 | 476 | 5992/7276 | 608 |
| AB | 15A12.6 | 6.58 | 469 | 770 | 529 |
| B | 30A10.7 | 9.01 | 568 | 1044 | 598 |
| 130 | A | 16A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.57 | 427 | 600 | 538 | 6876/8349 | 698 |
| AB | 16A12.6 | 6.16 | 496 | 808 | 598 |
| B | 32A10.7 | 8.47 | 599 | 1104 | 675 |
| 150 | A | 24A9.0 | Ab6 | 7～15 | 4.38 | 436 | 625 | 586 | 7697/9347 | 781 |
| AB | 24A10.7 | 5.97 | 522 | 855 | 667 |
| B | 24A12.6 | 7.96 | 617 | 1136 | 744 |
| 1000 | 130 | A | 32A9.0 | Ab6 | 7～15 | 4.97 | 766 | 1096 | 711 | 8929/10842 | 906 |
| AB | 32A10.7 | 6.75 | 900 | 1487 | 794 |
| B | 32A12.5 | 8.97 | 1071 | 1956 | 887 |

表A.0.2-6 PRHC桩（二）桩身配筋及力学性能表（混凝土强度等级为C100）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 400 | 95 | AB | 7A10.7 | Ab4 | 7～14 | 5.89 | 70 | 116 | 210 | 2797/3396 | 232 |
| B | 10A10.7 | 8.07 | 84 | 158 | 236 |
| 500 | 100 | A | 11A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.86 | 118 | 174 | 266 | 3861/4689 | 320 |
| AB | 11A10.7 | 6.61 | 138 | 236 | 296 |
| B | 11A12.6 | 8.80 | 164 | 311 | 331 |
| 125 | A | 12A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.55 | 123 | 181 | 313 | 4525/5495 | 376 |
| AB | 12A10.7 | 6.20 | 144 | 247 | 349 |
| B | 12A12.6 | 8.28 | 170 | 327 | 389 |
| 600 | 110 | A | 14A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.61 | 191 | 273 | 349 | 5203/6318 | 432 |
| AB | 14A10.7 | 6.28 | 224 | 372 | 389 |
| B | 14A12.6 | 8.38 | 265 | 492 | 434 |
| 130 | A | 16A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.64 | 206 | 301 | 403 | 5898/7162 | 489 |
| AB | 16A10.7 | 6.33 | 241 | 411 | 449 |
| B | 16A12.6 | 8.44 | 285 | 544 | 501 |
| 700 | 110 | A | 12A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.61 | 282 | 394 | 416 | 6265/7608 | 520 |
| AB | 24A9.0 | 6.35 | 331 | 542 | 466 |
| B | 24A10.7 | 8.56 | 395 | 723 | 522 |

续表A.0.2-6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 700 | 130 | A | 13A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.39 | 299 | 416 | 473 | 7153/8686 | 594 |
| AB | 26A9.0 | 6.06 | 350 | 574 | 528 |
| B | 26A10.7 | 8.18 | 417 | 770 | 592 |
| 145 | A | 20A9.0 | Ab6 | 7～15 | 4.42 | 314 | 445 | 519 | 7312/8879 | 645 |
| AB | 20A10.7 | 6.04 | 366 | 608 | 578 |
| B | 20A12.6 | 8.07 | 433 | 807 | 645 |
| 800 | 110 | A | 15A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.90 | 402 | 573 | 494 | 7327/8897 | 608 |
| AB | 15A12.6 | 6.60 | 469 | 770 | 549 |
| B | 30A10.7 | 9.06 | 569 | 1044 | 620 |
| 130 | A | 16A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.58 | 427 | 600 | 558 | 8408/10210 | 698 |
| AB | 16A12.6 | 6.18 | 496 | 808 | 620 |
| B | 32A10.7 | 8.51 | 599 | 1104 | 700 |
| 150 | A | 24A9.0 | Ab6 | 7～15 | 4.38 | 448 | 625 | 622 | 9410/11427 | 781 |
| AB | 24A10.7 | 5.99 | 522 | 855 | 692 |
| B | 24A12.6 | 8.00 | 617 | 1136 | 772 |
| 1000 | 130 | A | 32A9.0 | Ab6 | 7～15 | 4.98 | 767 | 1096 | 738 | 10918/13258 | 906 |
| AB | 32A10.7 | 6.78 | 901 | 1487 | 824 |
| B | 32A12.5 | 9.01 | 1072 | 1956 | 920 |

表A.0.2-7 PHC桩桩身配筋及力学性能表（混凝土强度等级为C80）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯距检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 400 | 95 | A | 7A9.0 | Ab4 | 7～12 | 4.30 | 54 | 81 | 173 | 2288 | 237 |
| AB | 7A10.7 | 5.87 | 64 | 106 | 200 |
| B | 10A10.7 | 7～13 | 8.03 | 74 | 132 | 224 |
| C | 13A10.7 | 10.01 | 88 | 176 | 245 |
| 500 | 100 | A | 11A9.0 | Ab5 | 7～14 | 4.84 | 103 | 155 | 239 | 3158 | 327 |
| AB | 11A10.7 | 7～15 | 6.59 | 125 | 210 | 271 |
| B | 11A12.6 | 8.75 | 147 | 265 | 302 |
| C | 13A12.6 | 10.06 | 167 | 334 | 331 |
| 125 | A | 12A9.0 | Ab5 | 7～14 | 4.53 | 111 | 167 | 284 | 3701 | 383 |
| AB | 12A10.7 | 7～15 | 6.18 | 136 | 226 | 327 |
| B | 12A12.6 | 8.24 | 160 | 285 | 364 |
| C | 15A12.6 | 9.93 | 180 | 360 | 399 |
| 600 | 110 | A | 14A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.60 | 167 | 250 | 316 | 4255 | 440 |
| AB | 14A10.7 | 6.26 | 206 | 346 | 362 |
| B | 14A12.6 | 8.34 | 245 | 441 | 404 |
| C | 17A12.6 | 9.81 | 285 | 569 | 443 |
| 130 | A | 16A9.0 | Ab5 | 7～15 | 4.63 | 180 | 270 | 362 | 4824 | 499 |
| AB | 16A10.7 | 6.31 | 223 | 374 | 417 |
| B | 16A12.6 | 7.40 | 265 | 477 | 465 |
| C | 20A12.6 | 10.12 | 307 | 615 | 510 |

续表A.0.2-7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 外径（mm） | 壁厚（mm） | 型号 | 预应力钢筋数量及直径 | 螺旋箍筋规格 | 长度（m） | 混凝土有效预压应力（MPa） | 开裂弯检验值  *M*cr(kN·m) | 极限弯矩检验值  *M*u(kN·m) | 开裂剪力检验值  *Vcr*（kN） | 桩身轴心受压承载力设计值（未考虑压屈影响）  [*R*](kN) | 钢筋混凝土理论重量（kg/m） |
| 700 | 110 | A | 12A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.60 | 265 | 397 | 390 | 5124 | 530 |
| AB | 24A9.0 | 6.33 | 319 | 534 | 437 |
| B | 24A10.7 | 8.52 | 373 | 671 | 481 |
| C | 24A12.6 | 11.16 | 441 | 883 | 545 |
| 130 | A | 13A10.7 | Ab6 | 7～15 | 4.38 | 275 | 413 | 435 | 5850 | 605 |
| AB | 26A9.0 | 6.04 | 332 | 556 | 498 |
| B | 26A10.7 | 8.14 | 388 | 698 | 556 |
| C | 26A12.6 | 10.70 | 459 | 918 | 610 |
| 800 | 110 | A | 15A10.7 | Ab6 | 7～30 | 4.89 | 392 | 589 | 468 | 5992 | 620 |
| AB | 15A12.6 | 6.58 | 471 | 771 | 520 |
| B | 30A10.7 | 9.01 | 540 | 971 | 573 |
| C | 30A12.6 | 11.76 | 638 | 1275 | 652 |
| 130 | A | 16A10.7 | Ab6 | 7～30 | 4.57 | 408 | 612 | 526 | 6876 | 711 |
| AB | 16A12.6 | 6.16 | 484 | 811 | 584 |
| B | 32A10.7 | 8.47 | 560 | 1010 | 648 |
| C | 32A12.6 | 11.10 | 663 | 1326 | 725 |
| 1000 | 130 | A | 32A9.0 | Ab6 | 7～30 | 4.97 | 736 | 1104 | 695 | 8929 | 924 |
| AB | 32A10.7 | 6.75 | 883 | 1457 | 774 |
| B | 32A12.6 | 8.97 | 1030 | 1854 | 858 |
| C | 32A14.0 | Ab8 | 10.65 | 1177 | 2354 | 930 |
| 1200 | 150 | A | 30A10.7 | Ab6 | 7～30 | 4.73 | 1177 | 1766 | 946 | 12434 | 1286 |
| AB | 30A12.6 | 6.36 | 1412 | 2330 | 1056 |
| B | 45A12.6 | 9.04 | 1668 | 3002 | 1175 |
| C | 45A14.0 | Ab8 | 10.73 | 1962 | 3924 | 1334 |

附录B 静钻根植桩施工记录表

**表**B.0.1 **静钻根植桩施工记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工日期 | | | |  | | | | | | 桩号 | | |  | | | | | | |
| 植入桩  组合方式 | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |
| 自然地面标高 | | | |  | | | | | | 钻孔深度 | | |  | | | | | | |
| 钻孔直径 | | | |  | | | | | | 扩底高度 | | |  | | | | | | |
| 扩底直径 | | | |  | | | | | | 桩顶标高 | | |  | | | | | | |
| 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 | |  | | | | |  | | | | |  | | | |
| 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 | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | |
| 扩底过程 | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | |
| 拔杆过程 | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | |
| 植桩过程记录 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 桩型 | | | | | | | 接桩  开始时间 | | | 接桩  完成时间 | | | | 沉桩  开始时间 | | | 沉桩  完成时间 | |
| 1 |  | | | | | | |  | | |  | | | |  | | |  | |
| 2 |  | | | | | | |  | | |  | | | |  | | |  | |
| 总桩长 |  | | | | | | | 桩校正完成时间： | | | | | | |  | | | | |
| 备注： | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 |
|  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | |  |
| 专业监理工程师：  年月日 | | | | | 专业质量检查员：  年月日 | | | | | | | | | 记录：  年月日 | | | | | |

附录C 静钻根植桩检验批质量验收记录表

**表C.0.1 静钻根植桩检验批质量验收记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位工程名称 | | |  | | | 分部工程名称 | | |  | | | 分项工程名称 |  | |
| 施工单位 | | |  | | | 项目负责人 | | |  | | | 检验批容量 |  | |
| 分包单位 | | |  | | | 分包单位  项目负责人 | | |  | | | 检验批部位 |  | |
| 施工依据 | | |  | | | | | | 验收依据 | | |  | | |
| 验收项目 | | | | | | 设计要求及规范规定 | | | | 最小/实际  抽检数量 | 检查记录 | | | 检查结果 |
| 单位 | | 数值 | |
| 主  控  项  目 | 1 | 水泥质量 | | | | 合格 | | | |  |  | | |  |
| 2 | 植入桩性能 | | | | 合格 | | | |  |  | | |  |
| 3 | 桩身完整性 | | | | 按基桩检测技术规范 | | | |  |  | | |  |
| 4 | 桩位偏差 | | | | mm | 符合本规程规定 | | |  |  | | |  |
| 5 | 承载力 | | | | 按基桩检测技术规范 | | | |  |  | | |  |
| 一  般  项  目 | 1 | 预制桩外观质量、尺寸偏差 | | | | 见本规程附录C、D | | | |  |  | | |  |
| 2 | 钻孔深度 | | | | mm | +300  0 | | |  |  | | |  |
| 3 | 钻孔直径 | | | | mm | +20  0 | | |  |  | | |  |
| 4 | 扩底直径 | | | | mm | +50  0 | | |  |  | | |  |
| 5 | 扩底高度 | | | | mm | +150  0 | | |  |  | | |  |
| 6 | 电  焊  接  桩 | | 上、下端部错口 | | mm | ≤3 | | |  |  | | |  |
| 节点弯曲矢高 | | mm | ＜1/1000 | | |  |  | | |  |
| 焊缝咬边深度 | | mm | ≤0.5 | | |  |  | | |  |
| 焊缝加强层高度 | | mm | 2 | | |  |  | | |  |
| 焊缝加强层宽度 | | mm | 2 | | |  |  | | |  |
| 外观质量 | | 无气泡、无焊瘤 | | | |  |  | | |  |
| 焊接后停歇时间 | | min | 5 | | |  |  | | |  |
| 机械  连接 | | 连接外观质量 | | 符合相关标准要求 | | | |  |  | | |  |
| 其他技术要求 | |  |  | | |  |
| 7 | 桩垂直度 | | | | ＜0.5% | | | |  |  | | |  |
| 8 | 桩顶标高 | | | | mm | ±50 | | |  |  | | |  |
| 9 | 桩端、桩周水泥浆水灰比 | | | | 符合设计要求 | | | |  |  | | |  |
| 10 | 水泥浆用量 | | | | 正偏差不限  -2% | | | |  |  | | |  |
| 11 | 桩端水泥浆试块强度 | | | | ≧20MPa | | | |  |  | | |  |
| 施工单位  检查结果 | | | | | 项目专业项目专业质量  质量检查员：（技术）负责人：  年月日 | | | | | | | | | |
| 监理单位  验收结论 | | | | | 专业监理工程师：  年月日 | | | | | | | | | |

附录D 桩端水泥浆抗压强度试验用试块制作方法

**D.0.1 适用范围**

本附录适用于桩端水泥浆试块的取样、制作。

**D.0.2 桩端水泥浆的取样**

桩端水泥浆输送约50%时，从水泥浆搅拌机出口处接取试样，取样量不得小于1.8L。

**D.0.3 使用器具**

**1** 取样器具

塑料袋：直径50mm、长540mm、厚0.05mm；

漏斗：直径100mm；

塑料桶：容量10L -15L。

**2** 试验用器具

金刚石切割机、打磨机、抗压试验机。

**D.0.4 试块制作**

**1** 试块数量：同条件试验试块3个。

**2** 试块尺寸：直径约50mm、高度约50mm的圆柱体试块。

**3** 试块制作

将水泥浆用漏斗注入塑料袋，高度不得低于300mm；为防止水泥浆离析，边搅拌边取样。在塑料袋上标注项目名称、制作日期等，悬挂养护3-5日，硬化后放入标准养护室养护。至28d龄期后，切取试块，对试块的端面进行找平处理，在找平过程中应防止试块表面干燥。

本规程用词说明

**1** 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1**) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

**2)** 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

**3)** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

**4**) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 规程中指明应按其他有关标准、规范执行的，写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定或要求”。

引用标准名录

**1**《建筑地基基础设计规范》GB 50007

**2**《混凝土结构设计规范》GB 50010

**3**《建筑抗震设计规范》GB 50011

**4**《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202

**5**《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

**6**《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300

**7**《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081

**8**《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476

**9**《钢结构焊接规范》GB 50661

**10**《碳素结构钢》GB/T 700

**11**《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3

**12**《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476

**13**《先张法预应力离心混凝土异型桩》GB 31039

**14**《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046

**15**《砂浆或混凝土用硅灰》GB/T 27690

**16**《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947

**17**《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72

**18**《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81

**19**《建筑桩基技术规范》JGJ 94

**20**《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

**21**《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046

**22**《岩土工程勘察规范》GB 50021

 CECS ×× — 201×

**中国工程建设协会标准**

**静钻根植桩基础技术规程**

**Technical specification for pre-bored precast concrete pile foundation**

**条文说明**

**2019 北京**

目次

1总则·························································································································54

3基本规定···················································································································55

5 设计·······················································································································57

5.1 一般规定·········································································································57

5.2 桩基构造·········································································································59

5.3 抗压桩设计······································································································60

5.4 抗拔桩设计······································································································64

5.5 水平受荷桩设计································································································65

6 施工·······················································································································67

6.1 一般规定·········································································································67

6.2 主要机具设备··································································································67

6.3 施工准备········································································································68

6.4 成桩工艺········································································································68

7 承台施工················································································································72

8 检测与验收·············································································································73

8.3 施工过程检测·································································································73

8.4 施工后检测 ··································································································73

**1** 总则

**1.0.1**静钻根植桩是采用专用单轴钻机进行钻孔、扩底，注入桩端和桩周水泥浆后，将预制桩植入已成孔内形成的基桩。为使静钻根植桩基础的设计、施工和检验规范化，做到安全可靠、技术先进、经济合理、确保质量及保护环境，制定本规程。

**1.0.2**本条文明确了本规程适用的行业和区域抗震设防烈度的要求。当上节桩配置复合配筋先张法预应力混凝土管桩（PRHC）时，桩身抗弯剪性能及延性显著增强，可提高建筑物在地震荷载作用下的安全性；在日本用于建筑物及桥梁等的预制桩基础的上节桩均普遍采用PRHC桩，取得了良好的抗震效果，故在我国各地区使用本规程时，在上节桩配置复合配筋先张法预应力混凝土管桩的情况下，可用于8度设防区域。

对用于铁路、公路、港口、水利、电力等工程的静钻根植桩基础，也可参考本规程使用，但尚应符合国家现行有关标准的规定。

**3**基本规定

**3.0.1**本条明确了静钻根植桩适用的地层。根据目前静钻根植桩施工设备条件以及工程经验，在本条提及的土层或岩层中均能够保证良好的成孔质量。对于杂填土地层，施工前需清除地下障碍物；在无工程经验及特殊地区，宜通过现场试验确定静钻根植桩的适用性。为保证沉桩的顺利，一般情况下，对需穿越或作为持力层的碎石类，最大粒径不宜大于20cm。

静钻根植桩在施工过程中，通过钻孔过程将土体切削并搅拌成可流动状态，植桩过程中植入桩依靠桩的重力沉入孔内，可流动状态的土体从孔口溢出，施工过程不会对周围土体产生扰动。溢出的可流动土体体积约为同等承载力条件下钻孔灌注桩泥浆排放量的三分之一，采取固化措施后可运至其他场地进行再利用。此外，静钻根植桩的施工设备具有较大的扭矩，对地质较复杂的情况具有良好的适应性。

因此，对于存在下列情况之一的工程，可优先采用静钻根植桩：

**（1）** 地基中夹层多，存在软硬变化较大的土层或风化不均的岩层；

**（2）** 场地临近有建（构）筑物或地下管线等，需控制挤土效应；

**（3）** 周边环境对泥浆排放限制较严格；

**3.0.3**植入桩的桩身被水泥土包裹，该水泥土层能够延迟各种腐蚀介质对预制桩的腐蚀作用，提高桩身的耐久性。国家建筑标准设计图集《建筑结构设计规范应用图示》（13SG108-1）中第6.12条规定“在腐蚀性等级为中、强腐蚀时，建议可采用静钻根植法施工的预制桩”。

**（1）** 在中腐蚀环境下，由于植入桩的钢筋内外保护层厚度均不小于40mm，桩身混凝土抗渗等级不小于P10，符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476的相关规定；在硫酸盐中腐蚀环境下，必要时桩身混凝土也可采用抗硫酸盐水泥，或掺加矿物掺合料等。

**（2）** 由于植入桩的桩身混凝土一般为设计强度80MPa及以上的高强离心混凝土，混凝土的水胶比通常低于0.32，大量试验数据表明其桩身混凝土均能够满足相关规范中对强腐蚀环境下预制桩的耐久性控制指标要求（表1）。静钻根植桩的植桩过程不会对桩身产生不良影响，能够确保混凝土耐久性的发挥。

**表1 预制桩耐久性控制指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境等级 | 混凝土电通量  （库仑） | 氯离子扩散系数（10-12m2/s）（RCM法） | 抗硫酸盐等级 | 抗渗等级 |
| Ⅲ-C | ≤1000 | ≤5.0 | —— | ≥P10 |
| Ⅲ-D | ≤800 | ≤4.0 | —— |
| Ⅴ-C | ≤1000 | ≤5.0 | KS120 |
| Ⅴ-D | ≤800 | ≤4.0 | KS150 |
| Ⅱ-C，Ⅱ-D，Ⅳ-C | ≤1000 | ≤3.0 | —— |
| Ⅱ-E，Ⅳ-D | ≤800 | ≤3.0 | —— |
| Ⅳ-E，Ⅴ-E | ≤600 | ≤2.0 | >KS150 |

注：表中环境等级为现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476中规定的作用等级。

**（3）** 静钻根植桩的沉桩过程能够保证桩身防腐蚀涂层的完整性。在强腐蚀的环境下，对处于干湿交替环境的桩身表面应涂刷防腐蚀涂层。接头等接桩用钢制部件涂防腐蚀涂层或增加焊缝厚度确保焊缝腐蚀余量不小于2mm。

**（4）**地基中水、土具有中、强腐蚀性时，桩承台的埋深不宜小于2.5m，当承台埋深小于2.5m时，桩身处于2.5m以上的部位宜加强防护，可在预制桩表面涂刷防腐蚀涂层。

**（5）** 在具有中、强腐蚀性的土层中施工时，桩周水泥浆的水灰比宜适当减小，桩周水泥浆注入体积宜适当增加。

**5** 设计

**5.1 一般规定**

**5.1.2**桩基应同时按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计计算。

按承载能力极限状态进行设计计算的内容包括：桩基竖向承载力计算、桩基水平承载力计算以及桩基承台的截面和配筋设计计算。

按正常使用极限状态进行设计计算的内容包括：桩基最终沉降量计算、有特殊要求的基础结构的变形计算以及裂缝控制计算。

现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94取消了关于桩的长径比的控制要求，静钻根植桩为非挤土桩，沉桩工艺与钻孔灌注桩类似，且桩芯内都有固结水泥土，故不进行长径比限制，长径比限制一般是针对挤土桩。

**5.1.5** PHC桩按有效预压应力值进行型号划分时，应满足《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476的相关规定；PHDC桩按有效预压应力值进行型号划分时，应满足《先张法预应力离心混凝土异型桩》GB 31039的相关规定。当桩端扩底时，最下节桩采用PHDC桩，可发挥竹节与水泥土的嵌固作用，使预制桩与桩端扩底部位共同工作，有效提高桩端抗压及抗拔性能。非扩底时，也可根据需要选用其他桩型；上节桩及中段桩可根据抗压、抗拔、水平承载力的需求进行选配，抗压时上节桩、中段桩可配置PHC桩或PRHC桩，抗拔、受水平荷载作用时，上节桩宜采用PRHC桩。同时，PHC、PRHC、PHDC组合使用时，宜根据荷载传递规律考虑侧摩阻力对桩身轴力的递减作用，进行合理配桩。PRHC桩通过增配非预应力主筋，提高了桩身配筋率，增强了桩身抗弯承载力，改善了桩身延性，在受水平荷载作用时，上节桩宜优先选用。对PHDC桩的A型桩以及PHC桩的A型桩，因有效预压应力较低，配筋率较低，抗弯和抗剪承载力低，且延性差容易出现脆性破坏现象，承受水平荷载作用时不应选用。

**5.1.6** 本条对静钻根植桩的最小桩间距做出规定。

静钻根植桩用于市政工程时，可取直径与静钻根植桩钻孔直径相同的非挤土灌注桩的最小桩间距，同时扩底端净距应满足相关规范的要求。

**5.1.7**桩端持力层是影响静钻根植桩承载力发挥的重要因素，它不仅决定桩端阻力而且也影响侧摩阻力的发挥，因此选择合适的土层作为持力层至关重要。同时，桩端进入持力层应达到合理的深度，适当提高进入持力层的深度可以提高桩端承载力。此外，进入持力层的深度除考虑有利于承载力的发挥外，尚应考虑成桩的可行性和施工难度。

对于嵌岩桩，嵌岩深度应综合荷载、上覆土层、基岩、桩径、桩长等因素确定。

**5.1.8** 为静钻根植桩单桩承载力取值提供依据的静载荷试验宜加载至破坏或桩顶沉降量达到变形控制要求。静钻根植桩承载力的发挥与桩端扩底水泥土、桩周水泥土的强度具有较高的相关性，根据一般经验，水泥土的强度发挥需较长时间，一般以90d龄期作为其强度判断的标准龄期。对于静钻根植桩，以不小于28d进行静载荷试验确定单桩承载力偏于安全，在条件具备时可适当延长试验休止时间。

**5.1.10**关于桩身弹性压缩量：当进行桩身应变或位移测试是已知的；缺乏测试数据时，可假设桩身轴力沿桩长倒梯形分布进行估算，或忽略端承力按倒三角形保守估算，计算公式为 。

大量工程实例表明，当沉降量达到桩径的10%时，才出现极限荷载，黏性土中端阻充分发挥所需的桩端位移为桩径的4%~5%，砂土中至少需达到15%。静钻根植桩试桩Q-s曲线多呈缓变型，符合扩底桩的Q-s曲线特性。当桩长超过40m且桩顶沉降量为40mm时，实际桩端变形量仍较小，桩端承载力尚未有效发挥，若以40mm桩顶沉降量作为极限承载力的判定标准则不够合理。

表2、表3给出了钻孔灌注桩和静钻根植桩作为摩擦桩考虑时，在相应桩顶荷载作用下的桩身压缩量计算值。

**表2 钻孔灌注桩桩身弹性压缩量**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩径（mm） | 桩长（m） | 长径比 | 混凝土  强度等级 | 桩身压缩系数 | 桩截面面积（mm2） | 弹性模量  （N/mm2） | 桩顶荷载（kN） | 桩身压缩量  (mm） |
| 700 | 40 | 57 | C40 | 0.5 | 384845 | 32500 | 6000 | 9.59 |
| 800 | 40 | 50 | C40 | 0.5 | 502655 | 32500 | 8000 | 9.79 |
| 700 | 50 | 71 | C40 | 0.5 | 384845 | 32500 | 6000 | 11.99 |
| 800 | 50 | 63 | C40 | 0.5 | 502655 | 32500 | 8000 | 12.24 |
| 700 | 60 | 86 | C40 | 0.5 | 384845 | 32500 | 6000 | 14.39 |
| 800 | 60 | 75 | C40 | 0.5 | 502655 | 32500 | 8000 | 14.69 |

**表3 静钻根植桩桩身弹性压缩量**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩径（mm） | 壁厚（mm） | 桩长（m） | 长径比 | 混凝土  强度等级 | 桩身压缩系数 | 桩截面面积  （mm2） | 弹性模量  （N/mm2） | 桩顶荷载  （kN） | 桩身压缩量  (mm） |
| 500 | 125 | 40 | 80 | C80 | 0.5 | 147262 | 38000 | 6000 | 21.44 |
| 600 | 130 | 40 | 67 | C80 | 0.5 | 191951 | 38000 | 8000 | 21.94 |
| 500 | 125 | 50 | 100 | C80 | 0.5 | 147262 | 38000 | 6000 | 26.81 |
| 600 | 130 | 50 | 83 | C80 | 0.5 | 191951 | 38000 | 8000 | 27.42 |
| 500 | 125 | 60 | 120 | C80 | 0.5 | 147262 | 38000 | 6000 | 32.17 |
| 600 | 130 | 60 | 100 | C80 | 0.5 | 191951 | 38000 | 8000 | 32.90 |

表3中静钻根植桩桩身压缩量按截面积最大的最上节桩的桩身截面积计算得到。因植入桩下部的PHDC桩的截面积小于最上节桩，故表3中列出的数据偏小。根据表2和表3数据，当桩长为60m时，在同为6000kN的桩顶荷载作用下，直径500mm的静钻根植桩的桩身压缩量比直径700mm的钻孔灌注桩多约18mm，达到32.17mm；在同为8000kN的桩顶荷载作用下，直径600mm静钻根植桩的桩身压缩量比直径800mm的钻孔灌注桩亦多约18mm，达到32.90mm。

静钻根植桩通过桩端扩底可提高端部承载力，实际应按端承摩擦桩考虑，若端阻比取30%，则表3中的桩身压缩系数可按0.65取值，在相同桩顶荷载作用下，当桩长、桩径、壁厚、桩身强度和桩周土层条件相同时，桩身弹性压缩量比摩擦桩大30%。对桩长较长且Q-s曲线呈缓变型的静钻根植桩，在桩顶荷载较大时，仅桩身弹性压缩量就有可能超过40mm。故对桩长超过40m且*Q-s*曲线为缓变型时，确定单桩竖向抗压极限承载力应适当考虑桩身弹性压缩量进行综合判断。

因植入桩桩身横截面面积从上向下存在一定变化，一般最上节桩的截面积最大。本条中规定计算桩身压缩时取最上节桩的横截面积，桩身压缩量计算值较实际偏小，是偏于安全的。

**5.1.15**本条对桩端水泥浆和桩周水泥浆的水灰比和用量进行规定。桩端水泥浆是注入桩端扩底部位或非扩底时的桩端一定范围内，固化后与植入桩共同工作的水泥浆；桩周水泥浆是注入已成孔的非桩端部位，从而对原该部位土体起加强作用的水泥浆。

**1** 桩端水泥浆水灰比宜取为0.5~0.7，随着施工经验和施工数据的积累，可根据桩端土土性确定桩端水泥浆的水灰比，水灰比宜控制为0.5~0.9。当桩端水泥浆水灰比按0.6取用时，每立方米水泥浆中含水泥1090kg。

日本根据桩端持力层的标准贯入击数平均值来确定桩端水泥浆的配合比，可按表4进行取值：

**表4 桩端水泥浆配比（按N值确定）**

|  |  |
| --- | --- |
| 桩端持力层标贯击数平均值 | 水灰比 |
| ≤20 | ≤0.9 |
| 20<≤40 | ≤0.7 |
| ＞40 | ≤0.5 |

根据现行行业标准《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004中附录D 用标准贯入试验成果估算单桩竖向极限承载力提供的数据，当对持力层仅提供端阻力参数时，桩端水泥浆水灰比可按表5取值：

**表5桩端水泥浆配比（按****确定）**

|  |  |
| --- | --- |
| 桩端土承载力特征值(kPa) | 水灰比 |
| ≤2000 | ≤0.9 |
| 2000<≤4000 | ≤0.7 |
| ＞4000 | ≤0.5 |

**2** 桩周水泥浆水灰比宜取为0.9~1.2，随着施工经验的和施工数据的积累，可根据桩周土性情况确定桩周水泥浆的水灰比，水灰比可控制为0.9~1.5。桩周水泥浆水泥浆水灰比按1.0取用时，每立方米水泥浆中含水泥760kg。

为保证桩周、桩端的水泥浆的均匀性，桩周、桩端水泥浆的拌制和注入应通过自动化水泥搅拌系统完成；在注入水泥浆时，钻杆应上下往复搅拌。桩端、桩周水泥浆用量应通过管理装置在注浆过程中控制。根据现场静载试验的结果及钻芯取样结果，在保证注浆量和注浆均匀性时，桩端、桩周水泥浆与桩身连接密实。

**5.2 桩基构造**

**5.2.1** 根据现有静钻根植桩工程经验，钻孔直径宜比PHDC桩的节外径大100mm。

**5.2.2** 扩底是静钻根植桩提高承载能力的重要措施，当持力层为较硬土层或全、强风化岩时，宜进行桩端扩底；当持力层为极软中风化岩时，可进行扩底。

**5.2.3** 扩底尺寸可根据工程需要和持力层土性确定；在现阶段，扩底直径为钻孔直径的1.6倍时能够保证桩端水泥土均匀性并满足承载力要求。为使PHDC桩与扩大头水泥土有效嵌固而共同发挥承载作用，PHDC桩进入扩底部位的长度不宜小于1.5m；植入桩桩端宜与扩底部位的底部在同一平面位置，根据土性条件不同可允许植入桩桩端稍高于扩底部位的底部，但一般不得大于1000mm。进行桩身承载力计算时，植入桩底部至扩底部位底部的长度不计入桩身长度。此外，因扩底部位固化后与PHDC桩形成共同受力的整体，故桩端与持力层接触面积取扩底部位截面积，孔底处预制桩的桩端截面面积的大小不会影响桩端承载力。

**5.2.4** 预制桩采用预拼接工艺或机械连接技术可保证接头质量的稳定可靠，同时沉桩时桩身主要依靠自重沉入桩孔中，预制桩及接头皆不会受到损伤；考虑到以上因素，静钻根植桩的接头数量在锤击、静压法施工预制桩对接头数量限制的基础上适当提高，本规程按不宜超过4个进行控制。

**5.2.5**承受水平荷载作用时，水平力作用影响范围主要为较浅部位；本条文规定最上部的桩接头应位于桩顶以下不小于10m位置，目的在于通过构造措施降低接头对桩水平承载力性能的影响。

**5.2.6**静钻根植桩抗拔时，为保证桩端板和桩身混凝土间的整体性，避免在上拔力作用下因端板抗剪性能不足而发生镦头处拉穿的现象，植入桩制造时应在端板上焊接锚固钢筋，锚入桩身混凝土内，锚固长度应满足相关规范的要求。

**5.3 抗压桩设计**

**5.3.5**单桩竖向抗压承载力的计算方法参照了现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定并借鉴了日本相关计算方法及有关规程。

日本社团法人混凝土预制桩建设技术协会《预制混凝土桩—基础结构设计手册（建筑编）》（2009年5月）第2章设计手法中对预制桩的容许竖向承载力的计算方法规定如下：

根据平成13年（2001年）国土交通省告示第1113号基础桩容许承载力的确定方法，预制桩的长期容许竖向承载力可按式1或式2计算。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | |  | 式1 |
|  | | | |  | 式2 |
| 式中： |  | —— | 长期容许竖向承载力； | | |
|  |  | —— | 单桩竖向静载试验荷载； | | |
|  |  | —— | 基础桩的端部容许应力值； | | |
|  |  | —— | 基础桩的端部有效断面积； | | |
|  |  | —— | 极限侧阻力。 | | |

采用锤击工法和注入水泥浆植入式工法的长期容许竖向承载力计算公式见表6。

**表6 日本规范长期容许竖向承载力计算公式**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 施工工法 | 容许端部应力值 | 桩的端部条件 | 侧阻力的计算式 |
| 1 锤击工法 |  |  |  |
| 2 水泥浆工法 |  | 同上 |  |

注：表中，为桩端部附近地基标准贯入击数的平均值，为桩周砂土的标准贯入击数的平均值，为桩周黏土的抗压强度的平均值，为桩周砂土层的总厚度，为桩周黏性土层的总厚度。

日本的相关计算公式中，与静钻根植桩技术基本等同的水泥浆工法的侧阻力计算与锤击工法相同，容许端部应力值取值为锤击工法的三分之二。因端阻力的发挥与桩端土性密切相关，本规程参照了日本相关规定，并结合实际试验数据，考虑了静钻根植桩的桩端结构以及扩底部位的尺寸效应，将端阻力特征值按岩土工程勘察报告提供的混凝土预制桩参数根据桩端土性进行折减。

本条文中的计算方法，是将桩周水泥土作为对原桩周部位的水泥土的加强来考虑的，因成孔过程对该部位及周边土体的扰动小，可近似达到预制桩施工对周边土体的加强作用。故计算侧阻力时，桩周接触面积按植入桩的桩身侧面积计算，侧摩阻力参数按岩土工程勘察报告提供的预制桩参数进行取值。

静钻根植桩已经完成超过300根桩的静载试验，通过验算和复核，承载力的估算结果与实验能够吻合并具有一定的安全储备，部分数据见表7。

**表7 静钻根植桩竖向承载力试验值与估算值对比数据**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 桩长（m） | 桩径（mm） | 桩端  持力层 | 桩端承载力折减系数 | 极限承载力估算值（kN） | 极限承载力实测值（或最大加载荷载）（kN） | 对应沉降量（mm） | 极限承载力取值/ 极限承载力估算值 |
| 浙东建材  集团工厂 | 64 | 650 | 粉质黏土 | 0.5 | 6834 | 8100 | 30.37 | >1.19 |
| 宁波戚隘桥  项目 | 70 | 650 | 粉质黏土 | 0.5 | 8662 | 9500 | 39.62 | >1.10 |
| 宁波东部新城  邱一安置小区 | 59 | 650 | 粉质黏土 | 0.5 | 4954 | 5900 | 38.8 | >1.19 |
| 59 | 650 | 粉质黏土 | 0.5 | 4728 | 5500 | 38.48 | >1.16 |
| 59 | 650 | 粉质黏土 | 0.5 | 4876 | 5700 | 38.13 | >1.17 |
| 宁波太平货柜  钢卷仓库 | 26 | 650 | 含黏性土角砾 | 0.55 | 3470 | 4000 | 23.39 | >1.15 |
| 26 | 650 | 含黏性土角砾 | 0.55 | 3512 | 4000 | 24.87 | >1.14 |
| 26 | 650 | 含黏性土角砾 | 0.55 | 3536 | 4000 | 24.54 | >1.13 |
| 宁波象山  沃尔玛  商业广场 | 33 | 650 | 含黏性土砾砂 | 0.55 | 5201 | 6120 | 16.91 | >1.18 |
| 36 | 650 | 含黏性土砾砂 | 0.55 | 5435 | 6120 | 14.22 | >1.13 |
| 35 | 650 | 含黏性土砾砂 | 0.55 | 5009 | 5600 | 21.61 | >1.12 |
| 33 | 650 | 含黏性土砾砂 | 0.55 | 4721 | 5880 | 13.81 | >1.25 |
| 48 | 800 | 含黏性土砾砂 | 0.55 | 9861 | 11000 | 37.89 | >1.12 |
| 48 | 800 | 含黏性土砾砂 | 0.55 | 10103 | 11550 | 32.01 | >1.14 |
| 48 | 800 | 含黏性土砾砂 | 0.55 | 10403 | 11550 | 18.96 | >1.17 |
| 宁波中心 | 73 | 800 | 粉质黏土 | 0.5 | 9916 | 10697 | 40.00 | >1.08 |
| 73 | 800 | 粉质黏土 | 0.5 | 9795 | 10633 | 38.73 | >1.09 |
| 73 | 800 | 粉质黏土 | 0.5 | 9632 | 9881 | 40.00 | >1.03 |
| 宁波长丰  安置房 | 57 | 550 | 粉质黏土 | 0.5 | 5510 | 5800 | 40.00 | >1.05 |
| 57 | 550 | 粉质黏土 | 0.5 | 5494 | 5800 | 40.00 | >1.06 |
| 57 | 550 | 粉质黏土 | 0.5 | 5690 | 6380 | 40.00 | >1.12 |
| 57 | 650 | 粉质黏土 | 0.5 | 7108 | 7444 | 40.00 | >1.05 |
| 57 | 650 | 粉质黏土 | 0.5 | 7085 | 7480 | 40.00 | >1.06 |
| 57 | 650 | 粉质黏土 | 0.5 | 7019 | 7467 | 40.00 | >1.06 |
| 宁波轨道交通  1号线二期  工程 | 64 | 800 | 圆砾 | 0.6 | 13731 | 16773 | 43.61 | >1.22 |
| 64 | 800 | 圆砾 | 0.6 | 13416 | 16773 | 43.90 | >1.25 |
| 杭州下沙天然气枢纽工程 | 64 | 550 | 全风化岩 | 0.5 | 6090 | 6200 | 19.23 | >1.02 |
| 台州月湖小学 | 60 | 650 | 黏土 | 0.4 | 3450 | 3620 | 14.57 | >1.05 |
| 53 | 550 | 黏土 | 0.4 | 2178 | 2300 | 11.89 | >1.06 |
| 浙能温州电厂  四期工程 | 61 | 650 | 砾石 | 0.6 | 7850 | 8250 | 28.97 | >1.05 |
| 61 | 650 | 砾石 | 0.6 | 7795 | 8250 | 30.69 | >1.06 |
| 61 | 800 | 砾石 | 0.6 | 9966 | 11000 | 25.44 | >1.10 |
| 61 | 800 | 砾石 | 0.6 | 10085 | 11000 | 24.40 | >1.09 |

初步设计中，对不扩底嵌岩桩的承载力进行计算时，考虑桩端水泥土的影响，嵌岩段侧阻和端阻综合系数参考现行行业标准《建筑桩基技术规范》 JGJ 94中的参数并在其基础上乘以0.6的折减系数进行取值。

**5.3.6**锤击、静压工法施工预制桩，在一定程度上会对桩身结构造成宏观或微观的损伤，故在桩身受压承载力设计值计算时，现行行业标准《建筑桩基技术规范》 JGJ 94中规定预应力混凝土空心桩的成桩工艺系数取值为0.85，相关产品标准图集中该系数一般取0.7；现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94中规定，干作业非挤土灌注桩成桩工艺系数可取为0.9；对于静钻根植桩，沉桩过程中预制桩主要依靠自重植入预成孔中，对桩身无损伤且桩身垂直度偏差小，故考虑提高成桩工艺系数，按不大于0.90进行取值。

对强度等级为C80的混凝土，取35.90MPa；当强度等级为C100时，取43.90MPa。表8给出了部分工程桩单桩极限承载力试验值和桩身抗压极限承载力计算值（成桩工艺系数按0.9）的对比情况。

对桩身承载力进行验算时，宜结合竖向荷载传递规律，扣除需验算桩节的以上部位桩节的侧摩阻力。

**表8单桩极限承载力试验值和桩身抗压极限承载力计算值对比数据**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 桩长（m） | 桩径/  壁厚（mm） | 桩端  持力层 | 桩身抗压极限  承载力计算值（kN) | 极限承载力实测值（或最大加载荷载）（kN) | 对应  沉降量（mm） | 极限承载力实测值/  桩身极限承载力计算值（） | Q-s曲线  形态 |
| 宁波戚隘桥  项目 | 70 | 600/130 | 粉质黏土 | 9188 | 9500 | 39.62 | 1.03 | 缓变型 |
| 70 | 600/130 | 粉质黏土 | 9188 | 9500 | 69.93 | 1.03 | 缓变型 |
| 宁波轨道  交通1号线二期  试验项目 | 64 | 800/130 | 卵石 | 13097 | 16773 | 43.61 | 1.28 | 缓变型 |
| 64 | 800/130 | 卵石 | 13097 | 16773 | 43.90 | 1.28 | 缓变型 |
| 宁波新材料  科技城A区 | 64 | 600/130 | 细砂 | 9188 | 12000 | 33.93 | 1.30 | 缓变型 |
| 65 | 800/130 | 细砂 | 13097 | 14000 | 36.86 | 1.07 | 缓变型 |

**5.3.7**本条说明静钻根植桩竹节桩端的受力机理。

图1所示为静钻根植桩受压时单桩的承载力示意图。竹节桩由于有多个外扩竹节的存在，其受力状态发生了明显的变化，桩的受力除了桩端阻力qp和桩身侧摩阻力qs外，还有各竹节的环端面阻力，即节端阻力qpa作用；根据静钻根植桩技术要求，桩端扩底高度至少保证两个竹节进度扩底部分，扩底部分注浆按桩底注浆配合比及注入量进行施工，保证桩端扩底部分水泥浆强度高于桩端持力层土的强度。

根据实验及有限元分析，竹节桩桩端受力破坏的界面为图2所示AB面，破坏方向为力qc所示方向。

得出图1受力分析图。因而，静钻根植法施工竹节桩总的承载力Q则可用下式表示：

式3



图1 静钻根植桩受压时单桩的承载力示意图

由图2受力分析图可知：

式4

其中：

式5

式6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | —— | 竹节桩端部总承载力； |
|  |  | —— | 竹节桩竹节部位垂直受承载力； |
|  |  | —— | 竹节桩桩身部位垂直受承载力； |
|  |  | —— | 竹节桩竹节部位垂直受总承载力； |
|  |  | —— | 竹节桩桩身部位垂直受总承载力； |
|  |  | —— | 竹节桩竹节部位垂直竹节面承载力； |
|  |  | —— | 竹节桩竹节部位沿竹节面分力； |

由于与竹节桩节侧面平行，未对土体形成压力，因此根据图2土体破坏受力分析图可看出qc是垂直作用于土体的力，且其作用界面为土体的破坏界面，根据桩端土的承载力特征值定义，可得出：

式7

式8



qj

qc

qs

图2 土体破坏受力分析图

按上述受力分析，可计算出各种规格竹节桩桩端总承载力如表9：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **表9 静钻根植桩配置PHDC桩端部等效总承载力与按公式估算的扩底部位的总承载力对比表** | | | | | | | | | | |
| 节外径 Dj（mm） | 桩身外径Dw（mm） | 竹节高度h (mm) | 预制桩竹节投影面积(mm2) | 预制桩桩底面积(mm2) | 预制桩端部等效总承载力(kN) | 钻孔直径(mm) | 扩底倍数 | 按公式估算的扩底部位的总承载力(kN) | 等效总承载力与估算总承载力之差 | 节/径比 | |
|
| 500 | 390 | 55 | 76891 | 119459 | 336939.0qpa | 600 | 1.5 | 318087qpa | 18852qpa | 1.28 | |
| 500 | 400 | 50 | 70686 | 125664 | 325594.2qpa | 600 | 1.5 | 318087qpa | 7507qpa | 1.25 | |
| 550 | 400 | 75 | 111920 | 125664 | 442220.1qpa | 650 | 1.5 | 373310qpa | 68910qpa | 1.38 | |
| 550 | 450 | 50 | 78540 | 159044 | 381188.2qpa | 650 | 1.5 | 373310qpa | 7878qpa | 1.22 | |
| 650 | 500 | 75 | 135482 | 196350 | 579549.5qpa | 750 | 1.5 | 497011qpa | 82539qpa | 1.30 | |
| 650 | 550 | 50 | 94248 | 237584 | 504157.1qpa | 750 | 1.5 | 497011qpa | 7146qpa | 1.18 | |
| 800 | 600 | 100 | 219912 | 282744 | 904749.1qpa | 900 | 1.5 | 715696qpa | 189053qpa | 1.33 | |
| 800 | 700 | 50 | 117810 | 384846 | 718063.0qpa | 900 | 1.5 | 715696qpa | 2367qpa | 1.14 | |

由上表对比分析竹节外径与桩外径对比，为保证桩端承载力竹节节外径与桩身外径比不应小于1.25，否则桩端承载力则无法满足承载力估算取值。

**5.4 抗拔桩设计**

**5.4.3**在桩端进行扩底，并在扩底部位注入同体积的水灰比为0.6的水泥浆，可提高地基土提供的抗拔承载力。本规程中抗拔承载力的估算参照了现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94中扩底灌注桩抗拔承载力的计算方法。宁波轨道交通3号线一期甬江北站站后折返线工程中，对桩身直径600mm的静钻根植桩采用自平衡法检测单桩抗拔承载力，抗拔极限承载力实测值为不小于3500kN（对应桩顶上拔量为1.92mm）。根据本条中公式，桩端7倍桩径范围内按扩底直径计算抗拔承载力，可得单桩抗拔极限承载力为3455kN。故在初步设计时按本条中公式计算抗拔承载力是基本适用的，施工图设计时单桩抗拔承载力应通过静载荷试验确定。

**5.4.4**PHC、PHDC、PRHC桩作为抗拔桩时，应进行桩身结构承载力的验算。本条包括了静钻根植桩桩身抗拉承载力、配筋、由端板孔抗剪强度控制的抗拉承载力、锚固钢筋抗拉承载力、静钻根植桩接头焊缝承载力或机械接头抗拉承载力等的验算方法。在采用焊接方式连接时，考虑到现场焊接质量的影响，为了确保安全，本规程中焊缝抗拉强度的设计值取170MPa并除以1.2进行折减。

静钻根植桩用于抗拔时，可通过使用PRHC桩及根据需要在PHC桩、PHDC桩端板设置锚固钢筋，并配套以预埋孔预拼接的接桩工艺等施工措施，提高桩身及接头抗拔性能。表10为部分工程中采用上述措施后的静钻根植桩抗拔极限承载力的试验数据。

**表10 静钻根植桩抗拔极限承载力试验数据**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 桩长  （m） | 上节桩规格 | 抗拔极限承载力试验值  （kN) | 对应上拔量  （mm） |
| 宁波杭州湾新区201035#地块  五星级酒店工程 | 68 | PRHC600（130）Ⅰ | 2100 | 15.20 |
| 宁波象山  沃尔玛商业广场 | 35 | PHC600（110）AB | 1400 | 4.93 |
| 35 | PHC600（110）AB | 1400 | 6.20 |
| 35 | PHC600（110）AB | 1400 | 5.06 |
| 宁波轨道交通1号线  二期试验项目 | 64 | PRHC800（130）Ⅱ | 4000 | 24.93 |
| 宁波市南北环  快速路试验项目 | 72 | PRHC800（110）Ⅱ | 3000 | 16.39 |
| 宁波中心A3-23/25#  地块项目 | 62 | PRHC800（110）Ⅰ | 3200 | 15.19 |
| 62 | PRHC800（110）Ⅰ | 3200 | 15.71 |
| 62 | PRHC800（110）Ⅰ | 3200 | 31.44 |
| 宁波市公安局业务  技术用房迁建项目 | 61 | PRHC500（125）Ⅲ | 2300 | 15.26 |
| 61 | PRHC600（130）Ⅲ | 2560 | 13.44 |
| 62 | PRHC800（110）Ⅲ | 3800 | 14.66 |
| 宁波市中医院扩建工程 | 61 | PRHC500（125）Ⅱ | 2000 | 17.80 |
| 61 | PRHC500（125）Ⅱ | 2000 | 12.80 |
| 61 | PRHC500（125）Ⅱ | 2000 | 13.70 |

**5.4.5** PRHC桩、PHC桩、PHDC桩承受竖向拔力时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定，根据环境类别、水土腐蚀性、地下水位变化情况等进行裂缝控制等级的划分。

**5.5 水平受荷桩设计**

**5.5.4**表11为部分项目按位移控制的静钻根植桩水平承载力特征值的计算结果与试验值的对比。表11所示的试验数据表明，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94中的公式估算静钻根植桩单桩水平承载力特征值可以保证具有足够的安全度。

**表11 按位移控制的水平承载力特征值计算值与试验值的对比**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 桩长（m） | 上节桩规格 | 10mm水平位移对应水平承载力特征值计算值  （kN) | 水平临界荷载试验值（kN) | 10mm水平位移对应水平荷载试验值  （kN） |
| 宁波市轨道交通  1号线二期工程 | 64 | PRHC800（130）Ⅱ | 131 | 280 | 240 |
| 64 | PRHC800（130）Ⅱ | 131 | 280 | 200 |
| 温州经济技术  开发区污泥综合利用热电工程 | 54 | PHC500(100)AB | 52 | 70(最大加载荷载) | 55 |
| 温州电厂  四期工程 | 61 | PRHC600（130）Ⅰ | 77 | 150 | 150 |
| 61 | PRHC600（130）Ⅰ | 77 | 150 | 150 |
| 61 | PRHC800（130）Ⅰ | 130 | 200 | 200 |
| 61 | PRHC800（130）Ⅰ | 130 | 200 | 200 |
| 宁波市南、北环  快速路工程 | 72 | PRHC800（130）Ⅱ | 131 | 250 | 200 |

**5.5.7** PHDC桩的抗弯承载力计算采用了PHC管桩的计算方法。根据相关学者的研究成果，在所收集的PHC管桩极限弯矩实测资料中，有97%的试件是因为受拉区混凝土裂缝达到极限标准（1.5mm）而被认为破坏，其中的预应力钢筋应力基本都未达到抗拉强度标准值，因此按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010计算偏不安全。本条文中采用的配置预应力钢筋的PHC、PHDC桩的受弯承载力计算方法，目前已被普遍接受。增加配置非预应力主筋的PRHC桩的抗弯试验结果表明，其破坏形态接近钢筋混凝土构件，采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010附录E中的公式计算更符合实际情况，故对PRHC桩配置非预应力主筋部分的桩身受弯承载力设计值提出本条中相应的计算方式。

**5.5.8** 对混凝土强度等级为C100的植入桩，值为根据抗弯试验数据统计并按照C100混凝土与C80混凝土的*rf*tk 计算结果相同反算得出。

**6** 施工

**6.1 一般规定**

**6.1.2**通过试成孔可确认相关的工艺参数，以指导工程桩施工。

**6.1.3**配置自动监控系统是保证施工质量的基础，自动监控记录内容包括钻孔深度、扩底情况、水泥浆配比、注浆量、注水量、钻机电流变化情况等。

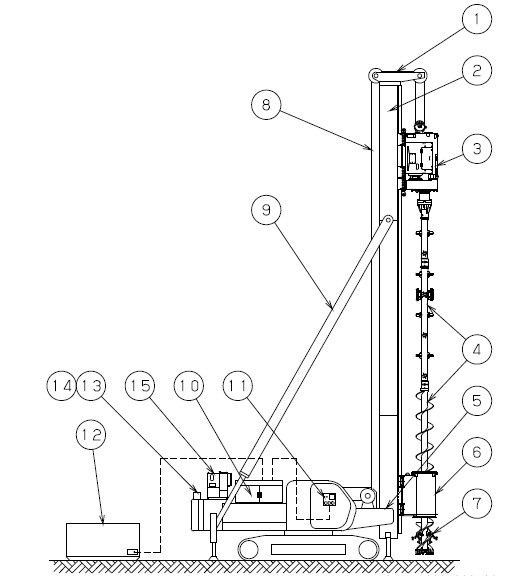
**6.2 主要机具设备**

**6.2.1**静钻根植桩施工所需设备见表12。

**表12 主要设备清单**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 用途 | 常用规格、型号 |
| 1 | 单轴钻机 | 钻孔 | D-150HP、SDP110 |
| 2 | 桩架 | 挂钻机 | 见本节表14 |
| 3 | 吊车 | 植桩 | 80t、100t |
| 4 | 挖掘机 | 挖沟槽及排土 | 0.8 m3~1.0 m3 |
| 5 | 供浆系统 | 泵送水泥浆 | BL20 |
| 6 | 发电机 | 发电 | 400kV·A |

**6.2.2**桩机的构成及各部件功能详见图3和表13。



**图3 桩机构成图**

**表13 桩机各部件名称及功能**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 功能 |
| 1 | 顶部滑轮 | 吊起钻机主机及减震装置的滑轮组部件 |
| 2 | 导杆 | 保持钻机主机垂直，承受掘削力的反作用力 |
| 3 | 动力机构 | 带动轴回转，通过钻头、搅拌翼螺旋杆进行钻孔，使用油压回转装置（旋转接头）实现工作油的供给 |
| 4 | 钻杆、螺旋钻杆 | 把钻机输出的回转力传递到钻头，对地基进行掘削，通过轴中心安装的油压内管实现工作油的供给 |
| 5 | 抓钩 | 支撑挺杆的下部，修正掘削位置 |

**续表13**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 6 | 减震装置 | 在地面上校正钻杆全长下方的震动程度 |
| 7 | 液压扩大钻头 | 通过钻杆传传递的力进行掘削，通过内置的油缸控制扩大翼的打开和收拢 |
| 8 | 钻机主机起吊钢缆 | 吊起钻机的钢缆 |
| 9 | 导杆支撑 | 从桩架的后方通过2点支撑导杆的上部 |
| 10 | 控制箱 | 收容钻机的控制电器及保护装置 |
| 11 | 操作盘 | 进行钻机转动方向、运动方式、转动速度的操作 |
| 12 | 发电机 | 钻机备用电源 |
| 13 | 施工管理装置 | 对施工所必须的掘削深度、水泥浆流量、钻机电流、高低速和正反转进行监控 |
| 14 | 液压管理装置 | 管理液压扩大钻头的扩大直径 |
| 15 | 液压系统 | 液压扩大钻头用 |

静钻根植桩施工所需的桩架可采用履带式或步履式，常用桩架见表14，可根据具体情况选用。

**表14 常用桩架设备**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 型号 | 桩架高度 |
| 履带式桩架 | SF808 | 36 |
| SF558 | 30 |
| DH508 | 33 |
| DH608 | 36 |
| 步履式桩架 | JB160 | 36 |
| JB180 | 39 |
| LTZ42.5 | 42.5 |

**6.3 施工准备**

**6.3.1**本条未列入的工程技术管理文件和资料，如施工许可证等，建设单位和施工单位应按各地建设行政主管部门的要求办理。

建筑场区内高空和地下的障碍物是指影响静钻根植桩施工的高压架空线、地下电缆、位于桩位处的旧建筑物基础、地下管线和杂填土中的石块等，这些障碍物应在静钻根植桩施工前清除或妥善处理，不然会妨碍施工，延误工期，影响沉桩质量。

**6.3.3** 单节植入桩长度一般不大于15m，且施加了预应力，可用专用吊钩钩住预制桩两端直接进行水平起吊；此法不适用于接长后的桩，吊装接长后的桩仍应进行吊点位置设计及桩身强度验算。采用汽车运输时，一般使用长挂车，应在车上位于距桩端0.21倍桩长处设置固定支承点；装运时，应将预制桩平行放置，叠层时应错位放置，大直径桩、长桩应放置在下部，小直径桩、短桩应放置在上部，在四周塞紧后将桩绑固；运输时悬臂长度不应超过1.5m。

**6.4 成桩工艺**

**6.4.1**静钻根植桩施工流程如图4所示。

**控制辅助手段**  **主要工艺流程**

桩位放样

场地平整压实

钻机就位

钻孔

进持力层及扩底

桩端注浆

桩周注浆

钻机搅拌

拔钻杆

植桩

桩顶固定

经纬仪

垂直度控制

平面定位

深度检测仪

钻机电流检测

水泥浆注浆计量

水泥浆注浆计量

垂直度及标高控制

多余泥浆处理

水泥浆配制

水泥浆配制

预埋孔接桩

**图4 静钻根植桩施工流程图**

**（1） 桩架就位**

移动桩架到达作业位置，调整桩架垂直度偏差至0.5%以内。桩架就位后对桩位再次进行定位复核，桩位偏差值应不大于20mm。

**（2） 钻孔、修孔操作**

将钻头定位于桩心位置，确认平面位置及钻杆垂直度，垂直度允许偏差为0.5%。钻孔过程中，应根据地质情况边钻孔边注水，通过搅拌钻杆的搅拌作用使桩孔内土体分散形成比重为1.4~1.5的泥浆。钻孔至设计深度后，反复升降钻杆进行桩孔的修整。

**（3） 扩底操作**

施工前应对扩底装置工作状况进行检查，检查内容包括扩底直径、操作控制状况、保养状况，确认正常后方可进行施工。扩底操作应根据地质情况逐次完成，以保证扩底部位成孔质量。

**（4） 水泥浆制作及注入**

水泥浆应采用全自动水泥浆搅拌系统进行拌制，拌制好的水泥浆在自动计量后排入储浆桶，再由泥浆泵经过输浆管压送至钻杆内注浆孔。水泥浆在输送过程中应配备水泥浆流量计，以对水泥浆的用量进行监控。

扩底操作完成后注入桩端水泥浆，在注浆过程中，上下反复升降钻机直至桩端水泥浆全部注入扩底部位。桩端水泥浆注入完成后注入桩周水泥浆，为确保桩周水泥浆的实际注入量，水泥浆泵送速度应与搅拌下沉或提升的速度相匹配，根据提升钻杆的速度确认单位时间的供浆量，发现偏差应及时修正。

**（5）植桩**

应在水泥浆注入完成、钻杆全部拔出后即开始植桩，以保证水泥浆初凝前完成植桩。植桩过程中，应采用检测尺对桩进行定位，偏差超过30mm时，应进行校正。

桩与桩之间采用焊接连接时，应采用CO2气体保护焊焊接。

用专用工具将桩固定、校正和送桩。送桩过程，利用桩身自重及钻机提供的压力，将桩送至设计标高。

**（6） 预埋孔接桩工艺**

为提高施工效率、保证焊接质量，施工中宜采用预埋孔接桩工艺。即在不影响钻孔施工的区域内埋设钢管，在钢管内进行2节或数节桩的焊接接桩，然后将拼接好的桩整体起吊，植入桩孔内。

**6.4.2** 本条对静钻根植桩的钻孔过程进行规定。

**1** 钻孔宜采用螺旋钻杆和搅拌钻杆的组合钻杆，螺旋钻杆的长度宜根据土层性质合理选择。

钻孔时应根据地质情况，确保主机负荷在允许范围内。钻杆应保持匀速下沉或提升，提升时不应在孔内产生负压。在保证成孔质量的前提下应选择合适的钻孔速度，搅拌次数和搅拌时间应能保证成孔质量。一般情况下，钻孔速度可按表15取用。

**表15 钻孔速度**

|  |  |
| --- | --- |
| 地质情况 | 钻孔速度（m/min） |
| 黏土 | 2.0~6.0 |
| 中密砂 | 1.0~5.0 |
| 密砂、砂砾 | 0.2~5.0 |

钻杆垂直度依靠桩架的垂直度检测装置进行监控和调整，钻杆垂直度偏差不得超过0.5%。

**2** 在钻孔期间，为了保证钻孔速度钻机的正常工作，可根据地质情况适当注水或外加剂混合液，注入量以钻机电流控制在允许范围内为标准。

**3** 一般情况下，钻进持力层后钻机电流变大且维持在较高值。但由于钻机电流和钻孔速度、用水量等有一定关联，考虑到地质条件的复杂性，钻机电流变化可初步判断土层的软硬程度。通过对钻机的电流进行积分处理，可形成成孔过程的积分电流曲线。通过试成孔确认钻孔过程状况等基础上，可以采用积分电流曲线作为进入持力层的判断手段之一。

**4** 钻机系统中的钻杆以搅拌钻杆为主，在钻孔过程中主要发挥搅拌功能；为了保证孔体的成形，通常在钻杆上配置鼓钻。在重复修孔过程中，通过鼓钻对孔壁进行修整。修孔的次数及幅度可根据地质情况、钻机电流大小、桩架荷载仪数据、孔口排出土体情况综合判断。

**6.4.3** 为保证扩底部位的扩孔质量，扩底次数应根据地质条件等情况综合考虑，当土质较软的情况下，扩底次数取低值，当土质较硬的情况下，扩底次数取高值。

**6.4.4** 本条对静钻根植桩的注浆过程进行规定。

**1** 水泥浆中可根据需要掺入缓凝剂、早强剂、膨胀剂等外加剂，掺量应通过配比试验进行确定，同时应确保不得降低水泥浆液的性能。

**2** 在向上拔出钻杆的同时注入桩周水泥浆，应使得桩周水泥浆沿注浆范围内均匀分布；拔杆速度过慢易使得浆液集中在桩的下部，拔杆速度过快易导致浆液量注入不足，因此泵送水泥浆的速度需和钻杆拔出的速度相匹配。

**3** 桩端水泥浆开始注入时，应保持钻头部位出浆口位于孔底直至注入设计用量的1/3，然后在扩底部位范围内注入另外2/3的设计用量，目的在于保证扩底部位强度，保证承载力的良好发挥。

**4** 桩端水泥浆注入完成后应升降钻杆3次～5次进行搅拌；桩周水泥浆注入时，沿桩身长度每注入15m高度水泥浆后，应升降钻杆1次进行搅拌。

**5** 注浆终止位置应根据植入桩的体积置换同等体积的含水泥的浆液进行换算。

**6.4.5** 本条对接桩的操作进行规定，目的在于确保接头的质量。当采用焊接连接时，每个接头焊接完成并对外观质量进行检查后，应从四个方向对焊缝进行拍照，同时将工程名称、桩号、接头编号、焊接操作人、检查人等信息拍入照片中，以备查验。

**7 承台施工**

**7.0.1**本条对静钻根植桩与承台或底板的连接形式进行规定。静钻根植桩桩顶标高控制在允许偏差范围内时，可采用在端板上焊接锚固钢筋或转换螺栓接头方式与承台进行连接，并可根据需要在预制桩桩孔内填芯进行构造处理。

当需要截桩时，可参照《预应力混凝土管桩》（10G409）的有关规定进行操作，必须保留截桩部分桩身主筋。

本条中“上拔力较大”指单桩抗拔承载力特征值不小于最上节桩桩身混凝土有效预压应力和桩身截面面积的乘积的一半；当抗拔力要求较小时，桩顶可不填芯，可只采用连接钢板与端板焊接后在连接钢板上焊接锚固钢筋的方式，或者转换螺栓接头连接锚固钢筋和端板的方式。

当基坑开挖后静钻根植桩桩顶部孔内填充有水泥土时，应及时将填芯段水泥土取出并将附着在预制桩内壁的水泥土清除后方可进行填芯操作。

**8** 检测与验收

**8.3 施工过程检测**

**8.3.5**当采用机械连接时，连接件的精度和连接的可靠度应符合相关标准的规定。

**8.3.8**当每根桩钻孔前对单轴钻机系统的扩底操作装置进行性能和工作状况的确认时，可通过管理装置数据检验扩底操作的情况，包括扩底直径和扩底高度等。扩底尺寸的正偏差不宜过大，正偏差超出允许范围时，应根据实际情况增加水泥浆用量。

**8.3.10**桩端水泥浆的质量检测宜采用水泥浆试块强度试验的方法。现场采取水泥浆后应立即密封，悬挂养护至硬化后进行标准养护，于28d龄期进行无侧限抗压强度试验。

按照本规程附录D的方法已经取得了约1500组试样，水泥浆试块抗压强度试验结果表明，采用该方法试验数据稳定可靠，可作为桩端水泥浆的质量控制方法。

**8.4 施工后检测**

**8.4.2** 采用低应变动测法检查桩身完整性是一种较有效的测试手段，采用低应变动测法检测静钻根植桩的数量已经超过3000根，数据表明低应变动测技术适用于静钻根植桩的桩身完整性检测。

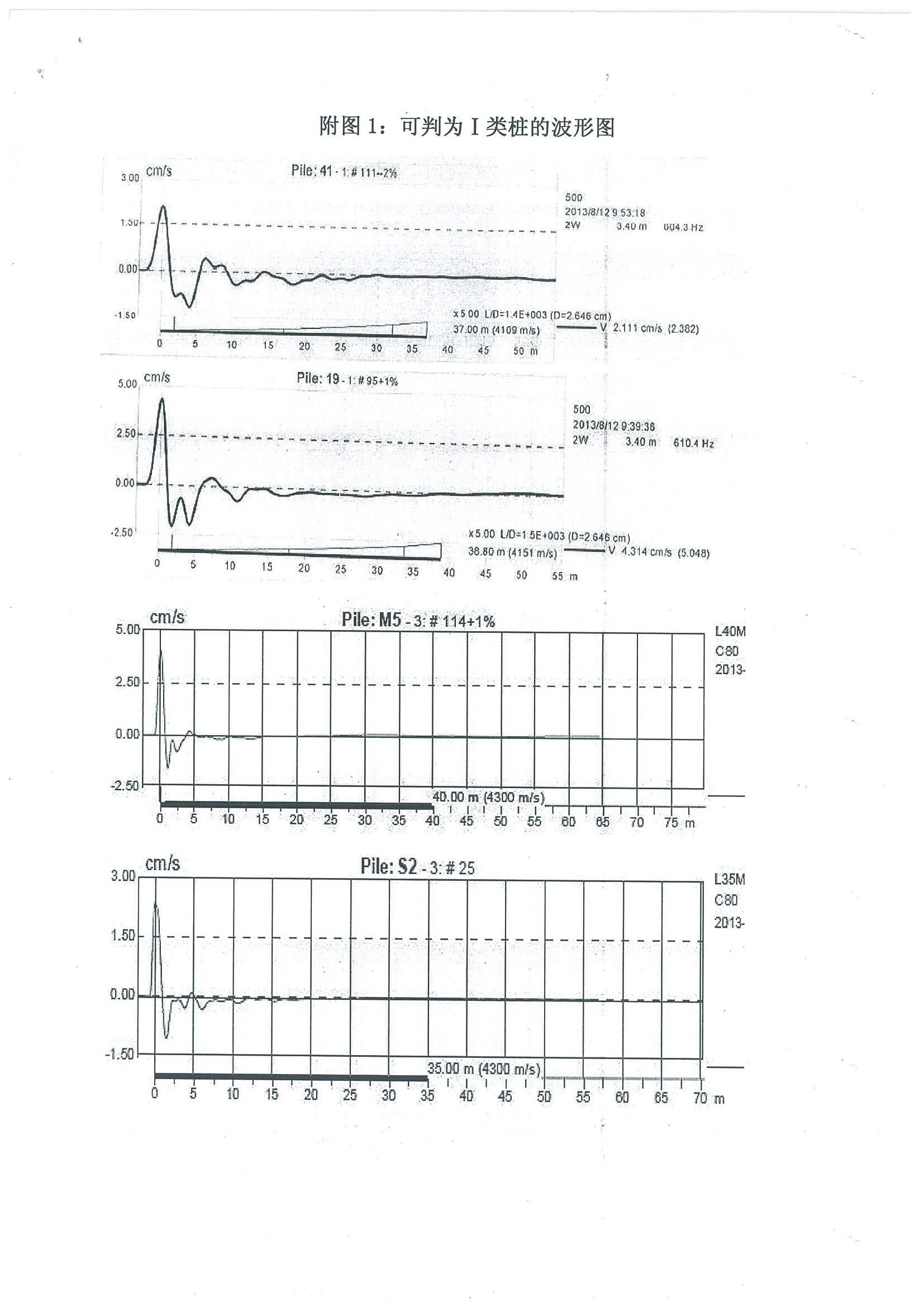
相关研究成果表明，在采用低应变动测法检测静钻根植桩桩身完整性时，桩身完整性判断应综合考虑成桩工艺和桩-水泥土-土的相互作用的特性，并遵循如下原则：

1 相对于传统预制桩桩型，静钻根植在成桩过程中对桩身几乎无损伤，桩身完整性更容易控制。成桩后因其他外部原因（如挖土和机械撞击）可能造成静钻根植桩产生缺陷时多出现在中、上部等截面桩桩身部分，此时低应变检测能够有效地反映桩身完整性；

2 由于桩身竹节长度较短，加上桩周水泥土和土的衰减作用，深部竹节所导致的波反射较弱，对低应变曲线形态的影响一般较小。因此竹节桩的存在对静钻根植桩低应变曲线的判断影响较小，当竹节桩位于地面以下30米以上深度时，这种影响可以忽略。

3 由于桩身内外局部水泥土的相对不均匀性会在低应变实测曲线上叠加异常反射，往往会先出现反向反射紧接着低幅值同向反射（见图5），在非接桩位置时，可判断为Ⅰ类桩。对于非上述情形下单独出现同向反射的情况，需验证后再进行分析判定。

同时，静钻根植桩因采用埋入法施工，对桩身无损伤，故采用低应变方法进行完整性检测时，主要在于对接头部位质量的判断以及易受开挖施工影响的浅部桩身的判断。



**图5 可判为Ⅰ类桩的波形图**

**8.4.3**当同等条件的静钻根植桩有本场地不少于2根桩的动静对比试验资料，且存在下列情况之一时，也可采用高应变动测法对工程桩单桩竖向承载力进行检测：

**1** 除本条文规定条件外的桩基；

**2** 作为设计等级为甲级的建筑桩基的辅助检测。