

备案号：报建设部备案之中

DB

浙江省工程建设标准

DB33/T 1134-2017

静钻根植桩基础技术规程

Technical specification for pre-bored precast concrete pile foundation

2017-01-22 发布

2017-07-01 施行

浙江省住房和城乡建设厅 发布

# 前 言

根据浙江省住房和城乡建设厅《关于印发 2015 年度浙江省建筑节能及相关工程建设标准制修订计划的通知》(建设发[2015] 423 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,并结合我省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.设计; 5.施工; 6.验收。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理,浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心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、意见和建议函告浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心编写组 [地址:浙江大学紫金港校区安中大楼 A417 室,邮编:310012],以供修订时参考。

主 编 单 位: 浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心

浙江省建筑设计研究院

中淳高科桩业股份有限公司

参 编 单 位: 浙江大学土木工程测试中心

浙江省电力设计院有限公司

浙江大学建筑设计研究院有限公司

温州设计集团有限公司

浙江华展工程研究设计院有限公司

宁波建设集团股份有限公司

主要起草人: 龚晓南 杨学林 吴磊磊 王奎华 余智恩 方伟定 干 钢 张清华

吴才德 徐学敏 张日红 陈洪雨 邢 军 王树峰 严天龙 吴永兴

杜 杰 袁海峰 叶 亮

主要审查人: 樊良本 李宏伟 赵宇宏 周爱其 王银根 王建民 许国平

# 目 次

<b>1 总 则</b> .....	<b>1</b>
<b>2 术语和符号</b> .....	<b>2</b>
2.1 术 语 .....	2
2.2 符 号 .....	2
<b>3 基本规定</b> .....	<b>5</b>
<b>4 设 计</b> .....	<b>6</b>
4.1 一般规定 .....	6
4.2 桩基构造 .....	8
4.3 抗压桩设计 .....	9
4.4 抗拔桩设计 .....	12
4.5 水平受荷桩设计 .....	15
<b>5 施 工</b> .....	<b>19</b>
5.1 一般规定 .....	19
5.2 主要机具设备 .....	19
5.3 施工准备 .....	19
5.4 成桩工艺 .....	20
<b>6 验 收</b> .....	<b>22</b>
6.1 一般规定 .....	22
6.2 主控项目 .....	22
6.3 一般项目 .....	23
<b>附录 A 静钻根植桩施工记录表</b> .....	<b>24</b>
<b>附录 B 静钻根植桩检验批质量验收记录表</b> .....	<b>25</b>
<b>附录 C 植入桩尺寸允许偏差</b> .....	<b>26</b>
<b>附录 D 植入桩外观质量要求</b> .....	<b>27</b>
<b>附录 E 桩端水泥浆抗压强度试验的试块制作方法</b> .....	<b>28</b>
<b>本规程用词说明</b> .....	<b>29</b>
<b>引用标准名录</b> .....	<b>30</b>
<b>条文说明</b> .....	<b>31</b>

# Contents

<b>1</b>	<b>General Provisions .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Terms and Symbols .....</b>	<b>2</b>
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	2
<b>3</b>	<b>Basic Requirements.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Design.....</b>	<b>6</b>
4.1	General Requirements.....	6
4.2	Structure of Pile Foundation .....	8
4.3	Design of Compressive Pile.....	9
4.4	Design of Tensile Pile .....	12
4.5	Design of Horizontal Loaded Pile.....	15
<b>5</b>	<b>Construction .....</b>	<b>19</b>
5.1	General Requirements.....	19
5.2	Main Construction Equipments .....	19
5.3	Construction Preparation .....	19
5.4	Piling Technology .....	20
<b>6</b>	<b>Acceptance .....</b>	<b>22</b>
6.1	General Requirements.....	22
6.2	Main Control Project.....	22
6.3	General Control Project .....	23
<b>Appendix A</b>	<b>Construction Record of Pre-bored Precast Concrete Pile .....</b>	<b>24</b>
<b>Appendix B</b>	<b>Quality Acceptance Record of Inspection Lot of Pre-bored Precast Concrete Pile.....</b>	<b>25</b>
<b>Appendix C</b>	<b>Allowable Deviation of the Size of Implanted Pile .....</b>	<b>26</b>
<b>Appendix D</b>	<b>Appearance Quality Requirement of Implanted Pile .....</b>	<b>27</b>
<b>Appendix E</b>	<b>Method for Making Test Sample of Toe Cement Slurry Compressive Strength Test .....</b>	<b>28</b>
	<b>Explanation of Wording in This Code.....</b>	<b>29</b>
	<b>List of Quoted Standards .....</b>	<b>30</b>
	<b>Explanation of Provisions.....</b>	<b>31</b>

# 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7度及7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，尚应符合国家及浙江省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承台共同组成的建(构)筑物基础。

#### 2.1.3 植入桩

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

$F_k$  —— 按荷载效应标准组合计算的作用于承台顶面的竖向力；

$G_k$  —— 桩基承台和承台上土的自重标准值；

$H_k$  —— 按荷载效应标准组合计算的作用于承台底面的水平力；

$H_{ik}$  —— 按荷载效应标准组合计算的作用于第  $i$  基桩的水平力；

$H_{Eik}$  —— 地震作用效应和荷载效应标准组合下，作用于基桩  $i$  桩顶处的水平力；

$M$  —— 相应于荷载效应基本组合时，作用于基桩的弯矩设计值；

$M_k$  —— 相应于荷载效应标准组合时，作用于基桩的弯矩值；

$M_{xk}$ 、 $M_{yk}$  —— 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；

$N$  —— 相应于荷载效应基本组合时，作用于基桩的竖向力设计值；

$N_k$  —— 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩的平均竖向力；

$N_{k\max}$  —— 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力；

$N_{ik}$  —— 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第  $i$  基桩的竖向力；

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

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

$V$  —— 相应于荷载效应基本组合时，作用于基桩的剪力设计值；

$V_k$  —— 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

- $E_s$  —— 钢筋弹性模量；  
 $E_c$  —— 桩身混凝土弹性模量；  
 $f_c$  —— 混凝土抗压强度设计值；  
 $f_{py}$  —— 预应力钢筋抗拉强度设计值；  
 $f_{py}'$  —— 预应力钢筋抗压强度设计值；  
 $f_{rk}$  —— 岩石饱和单轴抗压强度标准值；  
 $f_t$  —— 混凝土抗拉强度设计值；  
 $f_{tk}$  —— 桩身混凝土轴心抗拉强度标准值；  
 $f_t^w$  —— 焊缝抗拉强度设计值；  
 $f_v$  —— 端板抗剪强度设计值；  
 $f_y$  —— 非预应力钢筋抗拉强度设计值；  
 $M_d$  —— 植入桩的桩身抗弯承载力设计值；  
 $M_{cr,k}$  —— 桩身开裂弯矩标准值；  
 $Q_{uk}$  —— 单桩竖向抗压极限承载力标准值；  
 $q_{pk}$  —— 桩端土极限端阻力标准值；  
 $q_{sik}$  —— 桩周第  $i$  层土的极限侧阻力标准值；  
 $R_a$  —— 单桩竖向承载力特征值；  
 $R_h$  —— 基桩水平承载力特征值；  
 $T_{gk}$  —— 群桩呈整体破坏时基桩的竖向抗拔极限承载力标准值；  
 $T_{uk}$  —— 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；  
 $V_d$  —— 植入桩的桩身抗剪承载力设计值。

### 2.2.3 几何参数

- $A$  —— 桩身截面面积 (对 PHDC 桩为非竹节状突起部位桩身截面面积)；  
 $A_p$  —— 桩端截面面积；  
 $A_{ps}$  —— 预应力钢筋的截面面积；  
 $A_s$  —— 非预应力钢筋的截面面积；  
 $D_b$  —— 扩底直径；  
 $D_w$  —— 预制桩外径 (PHDC 桩为节外径，其他类型桩为桩外径)；  
 $D_z$  —— 钻孔直径；  
 $h_e$  —— 焊缝计算厚度；  
 $L_b$  —— 扩底高度；  
 $l_i$  —— 桩穿越第  $i$  层土的厚度；  
 $l_w$  —— 焊缝长度；  
 $S_e$  —— 桩身压缩量；  
 $t$  —— 植入桩壁厚；

$u_i$ —— 桩身周长；

$x_i$ 、 $x_j$ 、 $y_i$ 、 $y_j$ —— 第  $i$ 、 $j$  基桩至  $y$ 、 $x$  轴的距离。

#### 2.2.4 计算系数

$\lambda_i$ —— 基桩抗拔系数；

$\xi_e$ —— 桩身压缩系数；

$\psi_c$ —— 成桩工艺系数；

$\psi$ —— 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、强风化岩以及中风化软质岩等地层。

**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，当地下水对钢部件或钢筋混凝土结构中的钢筋具有中、强腐蚀性时，桩接头处及植入桩的主筋表面应涂刷环氧涂层；

3 用作抗拔桩时，桩接头处宜涂刷环氧涂层。

## 4 设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 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。

4.1.2 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，进行桩和承台正截面的抗裂验算；
- 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 应进行抗震承载力验算。

4.1.3 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。

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

4.1.5 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。

4.1.6 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 $2.5D_z$ （ $D_z$ 为钻孔直径）且不小于 $1.5D_b$ （ $D_b$ 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 $3.0D_z$ 且不小于 $2.0D_b$ 。

4.1.7 静钻根植桩的桩端进入持力层的深度应符合下列规定：

- 1 桩端进入较硬土层时，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 $2.0D_w$ （ $D_w$ 为预制桩外径，对PHDC桩为节外径，其他类型桩为桩外径），砂土不宜小于 $1.5D_w$ ，碎石类土不宜小于 $1.0D_w$ ；当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层的厚度不宜小于 $3.0D_w$ ；
- 2 当桩端进入岩层时，桩端全断面进入该层的深度，对全风化岩不宜小于 $2.0D_w$ ，强风化岩不宜小于 $1.0D_w$ ，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。

4.1.8 静钻根植桩用作摩擦型桩时，桩的长径比不宜大于120；用作端承型桩时，桩的长径比不宜大于100。

4.1.9 静钻根植桩承载力的确定应符合下列规定：

- 1 除设计等级为丙级的桩基工程外，均应通过单桩竖向抗压静载荷试验确定单桩抗压极限承载力；
- 2 应通过单桩竖向抗拔静载荷试验确定单桩抗拔极限承载力；
- 3 应通过水平静载荷试验确定单桩水平极限承载力，必要时可进行带承台桩的载荷试验；
- 4 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。

4.1.10 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：

$$R_a = Q_{uk} / K \quad (4.1.9-1)$$

- 2 承受竖向拔力时：

$$R_a = \frac{T_{uk}}{K} + G_p \quad (4.1.9-2)$$

式中：  $R_a$  —— 单桩竖向承载力特征值；

$Q_{uk}$  —— 单桩竖向抗压极限承载力标准值；

$T_{uk}$  —— 单桩竖向抗拔极限承载力标准值；

$K$  —— 安全系数，一般取  $K=2$ ；

$G_p$  —— 基桩自重，地下水位以下取浮自重。

4.1.11 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 桩长不小于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 $(40 + S_e')$  mm对应的荷载， $S_e'$ 可取 $0.7 S_e$ 且 $S_e'$ 不应大于15mm， $S_e$ 可按下列式计算：

$$S_e = \xi_e \frac{Q_j l_j}{E_c A} \quad (4.1.10)$$

式中：  $S_e$  —— 桩身压缩量；

$\xi_e$  —— 桩身压缩系数；对端承型桩，取 1.0；对摩擦型桩，当长径比不大于 30 时取 2/3，当长径比不小于 50 时取 1/2，介于两者之间时可线性插值；

$Q_j$  —— 试桩时作用于桩顶的荷载；

$E_c$  —— 桩身混凝土弹性模量；

$l_j$  —— 桩长；

$A$  —— 桩身截面面积，取最上节桩的桩身截面面积。

- 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》JGJ 106的有关规定。

4.1.12 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

弹隆起对桩身受力和桩承载力的影响。

4.1.13 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》GB 50011 的有关规定。

4.1.14 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》GB 50007 和行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

4.1.15 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》JGJ 94 的有关规定。

4.1.16 用于拌制桩端水泥浆、桩周水泥浆的水泥，其强度等级不宜低于 42.5 级。

4.1.17 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 0.6~0.7，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；

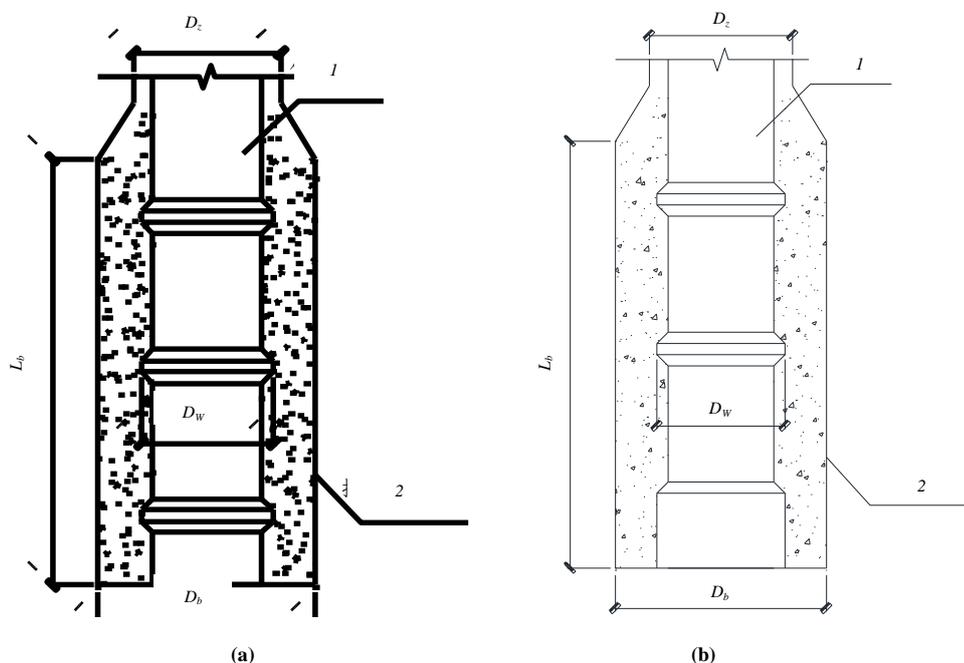
2 桩周水泥浆的水灰比宜取 1.0~1.2，其体积不宜小于有效桩长范围内的钻孔体积减去桩端水泥浆体积及预制桩桩身体积后的 30%。

## 4.2 桩基构造

4.2.1 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。

4.2.2 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。

4.2.3 桩端扩底时，扩底部位（图 4.2.3）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。



1—PHDC 桩，2—扩孔边界线， $D_c$ —钻孔直径， $D_w$ —PHDC 桩节外径， $D_b$ —扩底直径， $L_b$ —扩底高度

图 4.2.3 静钻根植桩扩底部位示意图

4.2.4 单根桩接头数量不宜大于 4 个。

4.2.5 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。

4.2.6 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  $D_w$ ；

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  $4D_w$ ；

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。

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

4.2.8 对承压桩，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。

4.2.9 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。

4.2.10 作为防腐层的环氧涂层的厚度不应小于 300 $\mu$ m，涂层沿桩身方向超出预制桩裙板的长度不应小于 50mm。

4.2.11 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。

### 4.3 抗压桩设计

4.3.1 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

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (4.3.1-1)$$

2 偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (4.3.1-2)$$

式中：

$F_k$ ——荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力；

$G_k$ ——桩基承台和承台上土自重标准值，对稳定的地下水位以下部分应扣除水

的浮力；

$N_k$ ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩的平均竖向力；

$N_{ik}$ ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第  $i$  基桩的竖向力；

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

$x_i$ 、 $x_j$ 、 $y_i$ 、 $y_j$ ——第  $i$ 、 $j$  基桩至  $y$ 、 $x$  轴的距离；

$n$ ——桩基中的桩数。

**4.3.2** 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》GB 50011 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。

**4.3.3** 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：

$$N_k \leq R_a \quad (4.3.3-1)$$

- 2 偏心竖向压力作用下，除满足上式外，尚应满足下式要求：

$$N_{k \max} \leq 1.2R_a \quad (4.3.3-2)$$

式中： $N_k$ ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩的平均竖向力；

$N_{k \max}$ ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力。

**4.3.4** 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

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \quad (4.3.4-1)$$

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

- 2 偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式要求：

$$N_{Ek \max} \leq 1.5R_a \quad (4.3.4-2)$$

式中： $N_{Ek \max}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的最大竖向力。

**4.3.5** 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：

$$Q_{uk} = \sum u_i q_{sik} l_i + A_p q_{pk} \quad (4.3.5-1)$$

式中： $u_i$ ——桩身周长，PHDC 桩按节外径计算，其他类型桩按桩外径计算；

$q_{sik}$ ——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；

$q_{pk}$ ——极限桩端阻力标准值，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；

$l_i$ ——第  $i$  层土的厚度；

$A_p$ ——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 4.3.5-1 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：

$$Q_{uk} = \sum u_i q_{sik} l_i + \zeta_r f_{rk} A_p \quad (4.3.5-2)$$

式中： $f_{rk}$ ——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；

$A_p$ ——桩端截面面积，取钻孔底部截面积；

$\zeta_r$ ——嵌岩段侧阻和端阻综合系数，与嵌岩深径比  $h_r/d$ 、岩石软硬程度有关，

可按表 4.3.5-2 采用。

表 4.3.5-2 嵌岩段侧阻和端阻综合系数  $\zeta_r$

嵌岩深径比 $h_r/d$	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	0.52	0.62	0.70	0.75

注：1 软岩指  $5\text{MPa} < f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ ，较软岩指  $15\text{MPa} < f_{rk} \leq 30\text{MPa}$ 。

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

4.3.6 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：

$$N \leq \psi_c A f_c \quad (4.3.6)$$

式中： $N$ ——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；

$\psi_c$ ——成桩工艺系数，取值不宜大于 0.90；

$A$ ——桩身截面面积，对 PHDC 桩取非竹节状突起部位桩身截面面积；

$f_c$ ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值。

4.3.7 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。

4.3.8 符合下列条件之一，且当桩周土层产生的沉降大于静钻根植桩的沉降时，在计算承载力时应计入桩侧负摩阻力：

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

4.3.9 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。

4.3.10 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  $6D_w$  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  $\psi$  可根据桩端土的压缩模量  $E_s$  按表 4.3.10 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 4.3.10 桩基沉降计算经验系数

$E_s$ (MPa)	$\leq 10$	15	20	35	$\geq 50$
$\psi$	1.20	0.90	0.65	0.50	0.40

4.3.11 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。

## 4.4 抗拔桩设计

4.4.1 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 4.3.1 条、4.3.2 条的规定。

4.4.2 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：

$$N_k \leq T_{gk} / 2 + G_{gp} \quad (4.4.2-1)$$

$$N_k \leq T_{uk} / 2 + G_p \quad (4.4.2-2)$$

式中： $N_k$ ——相应于荷载效应标准组合时，作用于单桩桩顶的竖向拔力；

$T_{gk}$ ——群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值；

$T_{uk}$ ——群桩呈非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值；

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

$G_p$ ——基桩自重，地下水位以下取浮自重，扩底时应按本规程第 4.4.3 条确定桩、土柱体周长，计算桩、土自重。

4.4.3 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：

$$T_{uk} = \sum \lambda_i u_i q_{sik} l_i \quad (4.4.3-1)$$

式中： $T_{uk}$ ——单桩抗拔极限承载力标准值；

$q_{sik}$ ——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；

$u_i$ ——桩身周长，扩底时应按表 4.4.3-1 取值；

$l_i$ ——桩穿越第  $i$  层土(岩)的厚度；

$\lambda_i$ ——抗拔系数，可按表 4.4.3-2 取值。

表 4.4.3-1 扩底时破坏表面周长

自桩底起算的长度 $l_i$	$\leq (4\sim 10) D_w$	$> (4\sim 10) D_w$
$u_i$	$\pi D_b$	$\pi D_w$

注： $l_i$ 对于软土取低值，对于卵石、砾石取高值； $l_i$ 取值按内摩擦角增大而增大。

表 4.4.3-2 抗拔系数

土(岩)的类别	抗拔系数 $\lambda_i$ 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  $l$  与桩径  $d$  之比小于 20 时， $\lambda$  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：

$$T_{gk} = \frac{1}{n} u_l \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad (4.4.3-2)$$

式中： $u_l$ ——群桩外围周长。

4.4.4 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，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：

$$N \leq C f_{py} A_{ps} + f_y A_s \quad (4.4.4-1)$$

式中： $N$ ——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；

$C$ ——考虑预应力钢棒锚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；

$f_{py}$ ——预应力钢筋抗拉强度设计值；

$f_y$ ——非预应力钢筋抗拉强度设计值；

$A_{ps}$ ——全部纵向预应力钢筋的截面面积；

$A_s$ ——全部纵向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：

$$N \leq C f_{py} A_{ps} \quad (4.4.4-2)$$

2 采用焊接连接时，连接强度应符合下列公式要求：

$$N \leq l_w h_e f_t^w / 1.2 \quad (4.4.4-3)$$

$$l_w = \pi(D_1 + D_2) / 2 \quad (4.4.4-4)$$

$$D_1 = D_t - 2S \quad (4.4.4-5)$$

$$D_2 = D_t - 2 \quad (4.4.4-6)$$

$$h_e = 0.75S \quad (4.4.4-7)$$

式中:  $N$  ——荷载效应基本组合时, 作用于桩接头处的竖向拉力设计值;  
 $l_w$  ——焊缝长度;  
 $h_e$  ——焊缝计算厚度;  
 $f_t^w$  ——焊缝抗拉强度设计值, 取 170MPa;  
 $D_1$  ——焊缝内径;  
 $D_2$  ——焊缝外径;  
 $D_t$  ——桩端板外径;  
 $S$  ——焊缝坡口根部至焊缝表面的最短距离。

3 采用机械连接时, 机械接头的各项力学性能指标不得低于桩身的力学性能, 并进行验算。

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(预应力筋锚头锚固处, 图 4.4.4)抗剪强度和锚固钢筋抗拉承载力共同确定, 应符合下式要求:

$$N \leq n' \pi (d_1 + d_2) (t_s - \frac{h_1 + h_2}{2}) f_v / 2 + 0.8 f_y A_m \quad (4.4.4-8)$$

式中:  $N$  ——荷载效应基本组合时, 作用于桩接头处的竖向拉力设计值;  
 $n'$  ——预应力钢筋数量;  
 $d_1$  ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口直径;  
 $d_2$  ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口直径;  
 $t_s$  ——端板厚度;  
 $h_1$  ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口距端板顶距离;  
 $h_2$  ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口距端板顶距离;  
 $f_v$  ——端板抗剪强度设计值, 取 120MPa;  
 $f_y$  ——锚固钢筋抗拉强度设计值;  
 $A_m$  ——锚固钢筋的截面面积。

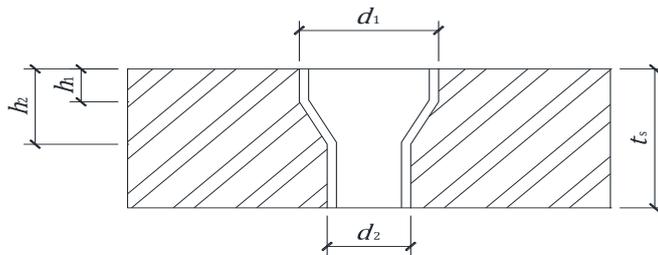


图 4.4.4 端板与预应力钢筋连接示意图

4.4.5 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:

$$N_k \leq \sigma_{pc} A_0 \quad (4.4.5-1)$$

$$A_0 = A + \left[ \frac{E_s}{E_c} - 1 \right] A_E \quad (4.4.5-2)$$

式中:  $N_k$ ——相应于荷载效应标准组合时,作用于植入桩的竖向拔力;

$A_0$ ——截面换算面积;

$A_E$ ——预应力、非预应力钢筋截面面积之和;

$\sigma_{pc}$ ——桩身混凝土的有效预压应力;

$E_s$ ——钢筋弹性模量;

$E_c$ ——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:

$$N_k \leq \sigma_{pc} A_0 + f_{tk} A_n \quad (4.4.5-3)$$

$$A_n = A - A_E \quad (4.4.5-4)$$

式中:  $A_n$ ——桩身混凝土净截面面积;

$f_{tk}$ ——混凝土轴心抗拉强度标准值。

## 4.5 水平受荷桩设计

4.5.1 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,应按下列式计算群桩中单桩的桩顶水平力:

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (4.5.1)$$

式中:  $H_k$ ——荷载效应标准组合下,作用于桩基承台底面的水平力;

$H_{ik}$ ——荷载效应标准组合下,作用于第*i*基桩的水平力;

$n$ ——桩基中的桩数。

4.5.2 单桩水平荷载作用下承载力应符合下列式要求:

$$H_{ik} \leq R_h \quad (4.5.2)$$

式中:  $R_h$ ——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  $R_{ha}$ 。

4.5.3 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列式要求:

$$H_{Eik} \leq 1.25R_h \quad (4.5.3)$$

式中:  $H_{Eik}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下,作用于基桩*i*桩顶处的水平力。

4.5.4 当静钻根植桩的水平承载力由水平位移控制,且缺少单桩水平荷载试验资料时,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。

**4.5.5** 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》JGJ 94 的有关规定。

**4.5.6** 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。

**4.5.7** 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：

$$M \leq M_d \quad (4.5.7-1)$$

式中：  $M$  ——相应于荷载效应基本组合时，作用于桩身的弯矩设计值；

$M_d$  ——植入桩的桩身抗弯承载力设计值。

对 PHC、PHDC 桩， $M_d$  应按下列公式计算：

$$M_d = \alpha_1 f_c A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py} A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (4.5.7-2)$$

$$\alpha = \frac{0.55 \sigma_{p0} A_p + 0.45 f_{py} A_p}{\alpha_1 f_c A + f'_{py} A_p + 0.45 (f_{py} - \sigma_{p0}) A_p} \quad (4.5.7-3)$$

$$\alpha_t = 0.45(1 - \alpha) \quad (4.5.7-4)$$

式中：  $f_{py}$  ——预应力钢筋抗拉强度设计值；

$f'_{py}$  ——预应力钢筋的抗压强度设计值；

$f_c$  ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$\alpha$  ——受压区混凝土面积和全截面面积之比；

$\alpha_t$  ——受拉区纵向预应力钢筋面积与全部预应力钢筋面积之比；

$\alpha_1$  ——混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值之比，强度等级为 C80 时取 0.94，

C100 时取 0.77；

$r_1$ 、 $r_2$  ——桩身环形截面内、外半径；

$\sigma_{p0}$  ——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的  $M_d$  应按下列公式计算：

$$M_d = \alpha_1 f_c A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py} A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} + f_y A_s r_p \frac{(\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t)}{\pi} \quad (4.5.7-5)$$

$$\alpha = \frac{f_y A_s + f_{py} A_p}{\alpha_1 f_c A + f'_{py} A_p + 1.5 A_p (f_{py} - \sigma_{p0}) + 2.5 f_y A_s} \quad (4.5.7-6)$$

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha \quad (4.5.7-7)$$

式中:  $f_y$ ——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:

$$V \leq V_d \quad (4.5.7-8)$$

$$V_d = \frac{tI}{S_0} \sqrt{(\sigma_{pc} + 2\phi_t f_t)^2 - \sigma_{pc}^2} \quad (4.5.7-9)$$

$$I = \pi(r_2^4 - r_1^4) / 4 \quad (4.5.7-10)$$

$$S_0 = 2(r_2^3 - r_1^3) / 3 \quad (4.5.7-11)$$

式中:  $V$ ——相应于荷载效应基本组合时, 作用于桩身的剪力设计值;

$V_d$ ——植入桩的桩身抗剪承载力设计值;

$f_t$ ——混凝土轴心抗拉强度设计值;

$t$ ——植入桩壁厚;

$I$ ——桩身截面对中心轴的惯性矩;

$S_0$ ——桩身半个圆环的面积对中心轴的面积矩;

$\phi_t$ ——混凝土抗拉强度变异调整系数, 取 0.7。

4.5.8 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:

$$M_k \leq M_{cr,k} \quad (4.5.8-1)$$

式中:  $M_k$ ——相应于荷载效应标准组合时, 作用于桩身的弯矩值;

$M_{cr,k}$ ——植入桩的桩身开裂弯矩标准值。

$M_{cr,k}$ 可按下列公式计算:

$$M_{cr,k} = (\sigma_{pc} + \gamma f_{tk}) W_0 \quad (4.5.8-2)$$

$$W_0 = 2I_0 / D_w \quad (4.5.8-3)$$

$$I_0 = \pi(r_2^4 - r_1^4) / 4 + [(E_s / E_c) - 1] A_E r_p^2 / 2 \quad (4.5.8-4)$$

$$A_E = A_p + A_s \quad (4.5.8-5)$$

式中:  $\gamma$ ——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;

$W_0$ ——桩身截面换算弹性抵抗矩;

$E_s$ 、 $E_c$ ——钢筋、混凝土弹性模量;

$I_0$ ——考虑钢筋折算面积的桩身截面对中心轴的惯性矩;

$A_p$ ——全部纵向预应力钢筋的截面面积；

$A_s$ ——全部纵向非预应力钢筋的截面面积；

$r_p$ ——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。

## 5 施 工

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 施工前应根据相关要求编制施工组织设计方案。
- 5.1.2 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。
- 5.1.3 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。
- 5.1.4 施工安全和文物、环境保护等应按有关规定执行。
- 5.1.5 静钻根植桩施工记录应按本规程附录 A 的要求填写。

### 5.2 主要机具设备

- 5.2.1 应根据地质条件、周边环境条件、成桩深度、桩径等选用桩机、水泥浆系统等机具设备。
- 5.2.2 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。
- 5.2.3 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。

### 5.3 施工准备

- 5.3.1 静钻根植桩基础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，并满足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 对桩基施工作业人员进行技术及安全交底。
- 5.3.2 水泥进场后应密封存放。

### 5.3.3 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  $45^\circ$ ；
- 3 在运输过程中的支承位置应符合本规程第 5.3.4 条规定；
- 4 放置于运输车辆上的桩应绑扎牢固。

### 5.3.4 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 5.3.4 所示的两支点位置放置于垫木上；

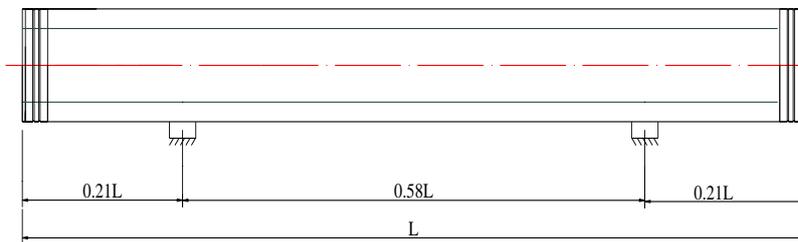


图 5.3.4 两支点法位置

- 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。

## 5.4 成桩工艺

5.4.1 静钻根植桩的施工应先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。

### 5.4.2 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。

5.4.3 扩底应根据地质情况，分 3~5 次逐步扩大至设计扩底直径。

### 5.4.4 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，然后反复提升、下降钻头将剩余 60% 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。

#### 5.4.5 接桩应符合下列要求：

1 接桩应采用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊接或机械连接；

2 采用焊接接桩时，除应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 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 采用机械接头接桩时，应根据相关规定使全部连接件可靠连接。

#### 5.4.6 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 接桩时，应采用专用工具将已沉桩节固定，然后吊装上节桩；

5 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。

# 6 验 收

## 6.1 一般规定

6.1.1 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。

6.1.2 静钻根植桩的检验批质量验收应按本规程附录 B 进行。

6.1.3 除本规程明确规定外，主控项目按 30% 抽查，一般项目按 20% 抽查。

6.1.4 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》GB 50300 和《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定。

6.1.5 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。

## 6.2 主控项目

6.2.1 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。

6.2.2 植入桩性能应符合设计要求，并应通过确认产品合格证进行检验。

6.2.3 工程桩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 其它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。

6.2.4 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。

6.2.5 静钻根植桩的桩位偏差应符合表 6.2.5 的规定。

表 6.2.5 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 (2) 沿基础梁的中心线	100+0.01H 150+0.01H
桩数为 1~3 根桩基中的桩	100
桩数为 4~16 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 (2) 中间桩	1/3 桩径 1/2 桩径

注：H 为总桩长。

### 6.3 一般项目

6.3.1 PHDC 桩、PRHC 桩、PHC 桩的尺寸允许偏差应符合本规程附录 C 的规定。

6.3.2 PHDC 桩、PRHC 桩、PHC 桩的外观质量应符合本规程附录 D 的规定。

6.3.3 钻孔深度允许偏差为 0mm~+300mm，钻孔直径允许偏差为 0mm~+20mm。

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

6.3.5 接桩采用的焊材、机械接头应符合设计及其产品标准要求。

6.3.6 采用电焊接桩时，焊接质量应符合表 6.3.6 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 6.3.6 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	焊缝检测仪
4	焊缝加强层高度	mm	2	焊缝检测仪
5	焊缝加强层宽度	mm	2	焊缝检测仪
6	外观质量	无气孔、无焊瘤、无裂缝		直观

6.3.7 水泥浆的水灰比和用量应符合设计要求。

6.3.8 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 E 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 水泥应制作不少于 3 件试块，试块强度不应低于 20MPa。

6.3.9 植入桩的垂直度允许偏差为 0.5%。

6.3.10 桩顶标高的允许偏差为 ±50mm。

## 附录 A 静钻根植桩施工记录表

**表 A 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、修孔、扩孔及拔杆过程记录							
项目		开始时间			完成时间		
钻孔过程							
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：							
桩端水泥设计用量 (kg)	桩周水泥设计用量 (kg)	桩端水泥实际用量 (kg)	桩周水泥实际用量 (kg)	水泥设计用量合计 (kg)	水泥实际用量合计 (kg)	桩端水灰比	桩周水灰比
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		

## 附录 B 静钻根植桩检验批质量验收记录表

**表 B 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 质量检查员：		项目专业质量 (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 C 植入桩尺寸允许偏差

**C.0.1** 植入桩的尺寸允许偏差应符合表 C 的规定。

**表 C 植入桩的尺寸允许偏差**

序号	项目	允许偏差 (mm)	
1	桩长 L	$\pm 0.5\%L$	
2	端部倾斜	$\leq 0.5\%D_w$	
3	直径 $D_w$ (包括桩身、节部分)	300mm~700mm	+5 -2
		800mm~1400mm	+7 -4
4	壁厚 t	+20 0	
5	保护层厚度	+5 0	
6	桩身弯曲度	$\leq L/1000$	
7	端板	端面平整度	$\leq 0.5\%$
		外径	0 -1
		内径	0 -2
		厚度	正偏差不限 0

## 附录 D 植入桩外观质量要求

**D.0.1** 植入桩的外观质量应符合表 D 的要求。

**表D 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 5000mm <sup>2</sup> ，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锚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。

## 附录 E 桩端水泥浆抗压强度试验的试块制作方法

### E.0.1 适用范围

本附录适用于桩端水泥浆试块的取样及制作。

### E.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。

### E.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。

### E.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”。

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 《先张法预应力混凝土管桩》 GB 13476
- 2 《先张法预应力离心混凝土异型桩》 GB 31039
- 3 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 4 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 5 《普通混凝土力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 6 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB 50202
- 7 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 8 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 9 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 10 《高层建筑岩土工程勘察规程》 JGJ 72
- 11 《建筑钢结构焊接技术规程》 JGJ 81
- 12 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 13 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106

浙江省工程建设标准

# 静钻根植桩基础技术规程

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

**DB33/T1134 -2017**

条文说明

# 目 次

1 总 则 .....	33
3 基本规定 .....	34
4 设 计 .....	35
4.1 一般规定 .....	35
4.2 桩基构造 .....	37
4.3 抗压桩设计 .....	38
4.4 抗拔桩设计 .....	41
4.5 水平受荷桩设计 .....	42
5 施 工 .....	44
5.1 一般规定 .....	44
5.2 主要机具设备 .....	44
5.3 施工准备 .....	45
5.4 成桩工艺 .....	45
6 验 收 .....	49
6.2 主控项目 .....	49
6.3 一般项目 .....	49

# 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。因浙江地区无抗震设防烈度高于7度区域，故本规程中按不高于7度控制。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，故其它地区参考本规程使用时，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，但应符合国家和浙江省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。根据目前浙江省内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圆砾层、卵石层，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流塑状态，植桩过程中植入桩依靠桩的重力沉入孔内，流塑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。溢出的流塑状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；
- 4 桩端持力层层顶标高变化较大。

**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《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措施。

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 ( $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ) (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《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涂层。接头等接桩用钢制部件涂防腐涂层或增加焊缝厚度确保焊缝腐蚀余量不小于 2mm。

4 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。

## 4 设计

### 4.1 一般规定

#### 4.1.2 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。

**4.1.5** 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。

**4.1.7** 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。

**4.1.8** 现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 取消了关于桩的长细比的控制要求，本条对于摩擦型和端承型静钻根植桩明确了相应的长径比，目的是保证沉桩质量。本条中在长径比计算时，桩径按植入桩外径计算，对由 PHC 和 PHDC 组合的植入桩，可取 PHC 桩外径计算。

**4.1.9** 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部位水泥土、桩周水泥土的强度具有较高相关性，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。

**4.1.11** 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 $\xi_e$	桩截面面积 A (mm <sup>2</sup> )	弹性模量 $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	桩顶荷载 $Q_j$ (kN)	桩身压缩量 $S_e$ (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 $\xi_e$	桩截面面积 A (mm <sup>2</sup> )	弹性模量 $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	桩顶荷载 $Q_j$ (kN)	桩身压缩量 $S_e$ (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面积最大的最上节桩的桩身截面面积计算得到。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 曲线呈缓变型时，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。

**4.1.17** 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 0.6~0.7，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 0.6~0.9。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 $\bar{N}$ 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  $\bar{N}$  值确定）

桩端持力层标贯击数平均值 $\bar{N}$	水灰比
$\bar{N} \leq 20$	$\leq 0.9$
$20 < \bar{N} \leq 40$	$\leq 0.7$
$\bar{N} > 40$	$\leq 0.6$

根据《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72 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  $q_{pa}$  确定）

桩端土承载力特征值 $q_{pa}$ (kPa)	水灰比
$q_{pa} \leq 2000$	$\leq 0.9$
$2000 < q_{pa} \leq 4000$	$\leq 0.7$
$q_{pa} > 4000$	$\leq 0.6$

2 桩周水泥浆水灰比宜取为 1.0~1.2，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 1.0~1.5。桩周水泥浆水灰比按 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。

## 4.2 桩基构造

4.2.1 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。

4.2.2 扩底是静钻根植桩提高承载力能力的重要措施，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。

4.2.3 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。

**4.2.4** 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。

**4.2.5** 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。

**4.2.6** 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，且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。

**4.2.11** 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墩头处拉穿的现象，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。

### 4.3 抗压桩设计

**4.3.5** 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》JGJ 94 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。

$$R_a' = \frac{1}{3} R_u \quad \text{式 1}$$

$$R_a' = q_p A_p' + \frac{1}{3} R_F \quad \text{式 2}$$

式中： $R_a'$ ——长期容许竖向承载力；  
 $R_u$ ——单桩竖向静载试验荷载；  
 $q_p$ ——基础桩的端部容许应力值；

$A_p$  ——基础桩的端部有效断面积；

$R_F$  ——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	$q_p = \frac{300}{3} \bar{N}$	$\bar{N} \leq 60$	$R_F = (\frac{10}{3} \bar{N}_s \cdot L_s + \frac{1}{2} \bar{q}_u \cdot L_c) u_i$ $\bar{N}_s \leq 30$ $\bar{q}_u \leq 200kPa$
2 水泥浆工法	$q_p = \frac{200}{3} \bar{N}$	同上	$R_F = (\frac{10}{3} \bar{N}_s \cdot L_s + \frac{1}{2} \bar{q}_u \cdot L_c) u_i$ $\bar{N}_s \leq 30$ $\bar{q}_u \leq 200kPa$

注：表中， $\bar{N}$  为桩端部附近地基标准贯入击数的平均值， $\bar{N}_s$  为桩周砂土的标准贯入击数的平均值， $\bar{q}_u$  为桩周黏土的抗压强度的平均值， $L_s$  为桩周砂土层的总厚度， $L_c$  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方法与锤击工法相同，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
宁波威隘桥项目	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

续表 7

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
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 A3-23/25# 地块项目	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《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。

**4.3.6 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， $f_c$  取 35.90MPa；当强度等级为 C100 时， $f_c$  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 ( $\psi_c$ )	Q-s 曲线形态
宁波威隘桥项目	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

#### 4.4 抗拔桩设计

**4.4.3** 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》 JGJ 94 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。

**4.4.4** 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 9 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 9 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

**4.4.5** 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、地下水位变化情况进行裂缝控制等级的划分。

#### 4.5 水平受荷桩设计

**4.5.4** 表 10 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 10 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 10 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

4.5.7 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《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 桩、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《混凝土结构设计规范》GB 50010 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。

4.5.8 对混凝土强度等级为 C100 的植入桩， $\gamma$  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  $\gamma f_{tk}$  计算结果相同反算得出。

# 5 施 工

## 5.1 一般规定

5.1.2 通过试成孔可确认相关的工艺参数，以指导工程桩施工。

5.1.3 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。

## 5.2 主要机具设备

5.2.1 静钻根植桩施工所需设备见表11。

表11 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
2	桩架	挂钻机	见本节表 13
3	吊车	植桩	80t、100t
4	挖掘机	挖沟槽及排土	0.8 m <sup>3</sup> ~1.0 m <sup>3</sup>
5	供浆系统	泵送水泥浆	BL20
6	发电机	发电	400kVA

5.2.2 桩机的构成及各部件功能详见图 1 和表 12。

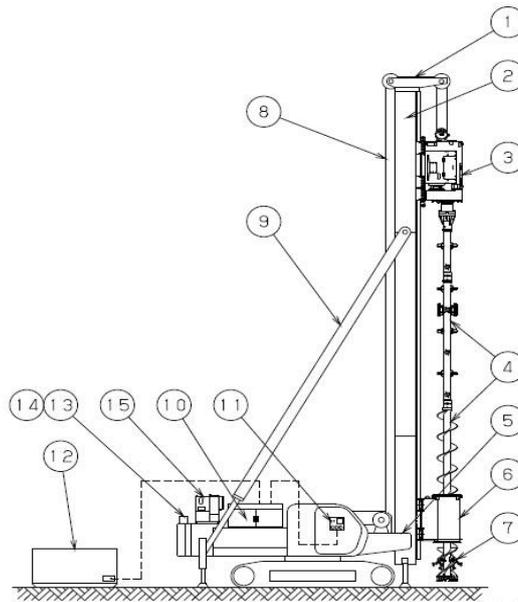


图 1 桩机构成图

表 12 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 12

序号	名称	功能
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13，可根据具体情况选用。

表13 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
	L TZ42.5	42.5

### 5.3 施工准备

**5.3.1** 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。

**5.3.3** 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。

### 5.4 成桩工艺

**5.4.1** 静钻根植桩施工流程如图2所示。

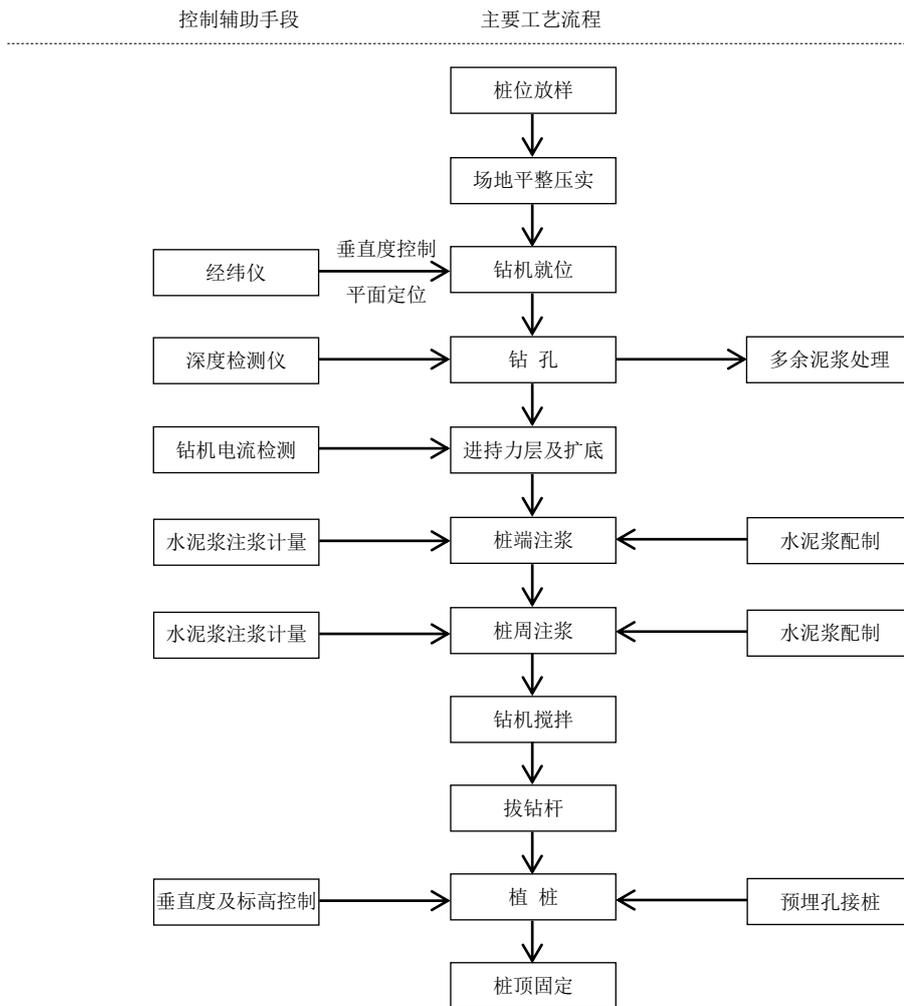


图2 静钻根植桩施工流程图

### 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，反复提升、下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 水泥浆制作及注浆

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 CO<sub>2</sub> 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存设钢管，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。

### 5.4.2 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 14 取用。

表 14 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，为了保证钻孔速度和钻机的正常工作，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。

**5.4.3** 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。

**5.4.4** 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 40%，然后在扩底部位范围内注入另外 60% 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 3~5 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。

**5.4.5** 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。

## 6 验收

### 6.2 主控项目

**6.2.3** 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 静钻根植桩一般采用上部等截面桩、下部 PHDC 桩的组合，深部竹节的存在对低应变曲线的判断的影响可以忽略；

2 桩顶激振产生的应力波由于桩周水泥土和土的衰减作用，低应变曲线判断时应充分考虑桩周水泥土的影响；

3 桩身内外局部水泥土的相对不均匀性会导致低应变曲线出现先反向反射后紧接着低幅值同向反射的情况，该类波形一般为正常完整桩的波形。

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。

**6.2.4** 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。

### 6.3 一般项目

**6.3.4** 当每根桩钻孔前已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。

**6.3.5** 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。

**6.3.8** 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。

图 3 中(a)为取样后悬挂养护的状态，(b)为截取试块后进行两端找平的状态。

按照本规程附录 E 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。



(a)



(b)

图3 桩端水泥浆取样及试块制作