

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

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	2
3 基本规定	5
4 设 计	6
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
5 施 工	19
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
6 验 收	22
6.1 一般规定	22
6.2 主控项目	22
6.3 一般项目	23
附录 A 静钻根植桩施工记录表	24
附录 B 静钻根植桩检验批质量验收记录表	25
附录 C 植入桩尺寸允许偏差	26
附录 D 植入桩外观质量要求	27
附录 E 桩端水泥浆抗压强度试验的试块制作方法	28
本规程用词说明	29
引用标准名录	30
条文说明	31

Contents

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

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，然后将植入桩插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_d —— 单桩竖向承载力特征值；
 R_p —— 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_c —— 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

λ_i —— 基桩抗拔系数；

ξ_e —— 桩身压缩系数；

ψ_e —— 成桩工艺系数；

ψ —— 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 $2.5 D_Z$ （ D_Z 为钻孔直径）且不小于 $1.5 D_b$ （ 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 $3.0 D_Z$ 且不小于 $2.0 D_b$ 。

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 $2.0 D_W$ （ 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 $1.5 D_W$ ，碎石类土不宜小于 $1.0 D_W$ ；当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层的厚度不宜小于 $3.0 D_W$ ；
- 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 $2.0 D_W$ ，强风化岩不宜小于 $1.0 D_W$ ，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；

ξ_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 —— 桩身截面积，取最上节桩的桩身截面积。

- 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应符合下列规定：

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。

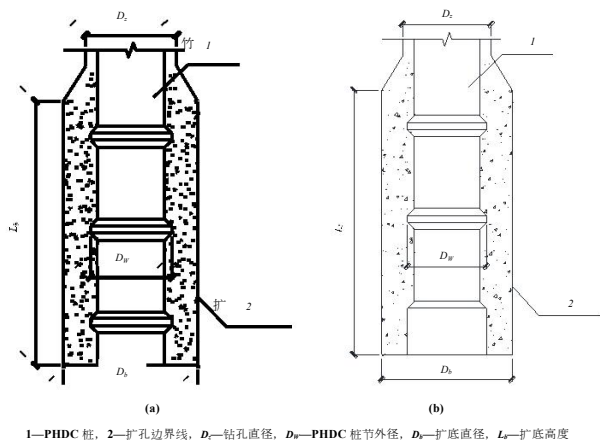


图 4.2.3 静钻根植桩扩底部位示意图

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 μ 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

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

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：

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

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_{kmax} ——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：

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

式中： N_{Ekmax} ——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：

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

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：

$$Q_{uk} = \sum_{i=1}^n q_{sik} l_i + \zeta_r f_r A_p \quad (4.3.5-2)$$

式中： f_r ——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；
 ζ_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 ζ_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， ζ_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；

ψ_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 $6D_H$ 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 ψ 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)	≤ 10	15	20	35	≥ 50
ψ	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 ——群桩呈非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值；

G_{gp}^{uk} ——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：

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

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；

λ_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	$\leq (4\sim 10) D_p$	$> (4\sim 10) D_p$
u_i	πD_b	πD_p

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 λ_{ei} 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， λ 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：

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

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：

$$N \leq l_w h_e f_w / 1.2 \quad (4.4.4-3)$$

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

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

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

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

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_i ——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 (预应力钢筋锚固处, 图 4.4.4)

抗剪强度和锚固钢筋抗拉承载力共同确定, 并应符合下式要求:

$$N \leq n\pi(d_1 + d_2)\left(t_s - \frac{n'_1 + n''_1}{2}\right)f_v / 2 + 0.8f_y A_m \quad (4.4.4-8)$$

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。

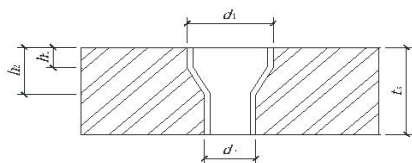


图 4.4.4 端板与预应力钢筋连接示意图

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；

σ_{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式要求：

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

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：

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

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

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

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；

α ——受压区混凝土面积和全截面面积之比；

α_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；

α_1 ——混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值之比，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；

σ_{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：

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

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

$$\alpha_1 = 1 - 1.5\alpha \quad (4.5.7-7)$$

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;

ϕ_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:

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

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

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

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

式中: γ ——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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

5.3.3 预制桩的吊运应符合下列规定：<https://d.book118.com/826005103100010135>

- 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 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 场地许可时可宜单层堆放，需叠层堆放时，最下层应按图 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均匀；