

重庆市工程建设标准

建筑桩基础技术标准

Technical standard for building pile foundations

DBJ50/T-200-2024

主编单位:重庆市设计院有限公司

批准部门:重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期:2025年2月1日

2024 重 庆

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标[2024]47号

重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《建筑桩基础技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,两江新区、重庆高新区建设局,万盛经开区住房城乡建委、双桥经开区建设局、经开区生态环境建管局,有关单位:

现批准《建筑桩基础技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-200-2024,自 2025 年 2 月 1 日起施行,原《建筑桩基础设计与施工验收规范》DBJ50-200-2014、《旋挖成孔灌注桩工程技术规程》DBJ50-156-2012、《旋转挤压灌注桩技术规程》DBJ50/T-207-2014 同时废止。标准文本可在标准施行后登录重庆市住房和城乡建设技术发展中心官网免费下载。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆市设计院有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2024 年 11 月 18 日

重庆工程建设

前 言

本标准是根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达 2021 年度重庆市工程建设标准制定修订项目立项计划(第一批)的通知》(渝建标〔2021〕25 号)的要求,由重庆市设计院有限公司会同有关勘察、设计、施工、研究和教学单位等,将《建筑桩基础设计与施工验收规范》DBJ50-200-2014、《旋挖成孔灌注桩工程技术规程》DBJ50-156-2012、《旋转挤压灌注桩技术规程》DBJ50/T-207-2014 合并修订而成。

修订过程中,编制组开展了专题研究,总结了近 10 年来重庆市在桩基工程勘察、设计、施工、检验及验收中取得的成果和工程实践经验,参考了国内有关技术标准,吸收了国内外相关科研成果,在充分体现重庆市的地区特色、力求与国家 and 地方现行有关标准协调、注重标准的系统性和可操作性基础上,通过反复讨论、修改、充实,最后经审查定稿。

本标准共 9 章 2 个附录,主要技术内容包括:1. 总则;2. 术语和符号;3. 基本规定;4. 桩基计算;5. 桩基构造;6. 桩基施工;7. 承台及连系梁施工;8. 安全施工和环境保护;9. 桩基工程质量检验和验收;10. 有关附录。

本标准主要修订内容是:

1. 将原重庆市工程建设标准《建筑桩基础设计与施工验收规范》DBJ 50-200-2014、《旋挖成孔灌注桩工程技术规程》DBJ50-156-2012、《旋转挤压灌注桩技术规程》DBJ50/T-207-2014 进行合并修订;

2. 增加了植入法管桩和重锤沉管夯扩桩相关内容;

3. 给出了以土层、强风化层、极破碎、破碎和较破碎岩石为持

力层的桩基承载力计算方法；

4. 调整了以较完整、完整岩石为持力层，采用干作业成孔且清底干净或采用后注浆工艺的嵌岩桩单桩竖向极限承载力计算参数；

5. 调整了桩基础分别采用静载试验、岩基载荷试验、岩石单轴抗压强度与桩身质量检测相结合的方式确定承载力的适用条件；

6. 增加桩端以岩层为持力层时，软弱下卧软质岩层的承载力验算方法；

7. 增加桩基础耐久性及相关规定；

8. 增加安全施工和环境保护内容。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理，重庆市设计院有限公司负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中，如有意见或建议，请寄送重庆市设计院有限公司（地址：重庆市渝中区人和街 31 号，邮编：400015，电子邮箱：471405208@qq.com）。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主 编 单 位：重庆市设计院有限公司

参 编 单 位：中冶赛迪集团有限公司

重庆市建筑科学研究院有限公司

中机中联工程有限公司

重庆设计集团有限公司

重庆市都安工程勘察技术咨询有限公司

重庆杰地建筑设计院有限公司

重庆创筑技准建筑设计有限公司

上海水石建筑规划设计院股份有限公司重庆分公司

重庆市勘测院

中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司

重庆中领设计研究院有限公司

重庆市高新工程勘察设计院有限公司

重庆建筑工程职业学院

长江水利委员会长江科学院重庆分院

重庆中科勘测设计有限公司

重庆市二零八地质环境研究院有限公司

重庆路威土木工程设计有限公司

重庆大有工程设计研究院集团有限公司

重庆市鹏越工程技术咨询有限责任公司

重庆汇中建筑施工图设计审查有限公司

中国海外发展重庆公司

重庆建筑业协会基础工程分会

重庆建工集团股份有限公司

重庆卓典建设工程有限公司

建华建材(四川)有限公司

陕西龙海新创基础工程有限公司

中交二航局第二工程有限公司

重庆力旋地基基础工程有限公司

重庆谊伟岩土工程有限公司

主要起草人: 汤启明 罗建兵 何永春 徐向茜 龚文璞
李成芳 来武清 何平 薛尚铃 杨越
徐革 胡朝晖 冯永能 陈涛 陈小平
陈昌海 张京街 孔凡林 赵启林 黄嘉
吴泽 万正义 李翀 王大高 周波
周礼婷 余周 赵华 陈庆玉 刘蔚
陈锐 刘力 易朋莹 张建红 周成涛
张顺斌 张智峻 贺振坤 熊启东 张红军
钟华君 周显毅 张光玮 许星 彭桂皎
张会 谭燕姬 蒋立 秦晨 王晨
冯忠伟 吴相超 张枝华 何涛 刘念
刘亚东 李战平 周向湘 刘雷 李斌斌
李阳华 杨钊翔 杨茂勇 刘景红 马博
罗向奎 姚俊 聂正 敖成标 刘鑫
熊晓科 熊海全 谭天贵 谭新

审查专家: 高文生 李英民 刘彦生 简斌 沈治宇
谭建国 葛增超

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	7
3.1	一般规定	7
3.2	桩基工程勘察	9
3.3	桩的选型与布置	11
3.4	特殊条件下的桩基	17
3.5	耐久性规定	19
4	桩基计算	22
4.1	桩顶作用效应计算	22
4.2	桩基竖向承载力计算	23
4.3	单桩竖向极限承载力	24
4.4	特殊条件下的桩基竖向承载力验算	39
4.5	桩基水平承载力计算	47
4.6	桩身承载力与裂缝控制计算	48
4.7	承台及连系梁计算	50
4.8	桩基抗震	57
5	桩基构造	59
5.1	基桩构造	59
5.2	承台及连系梁构造	62
5.3	人工挖孔桩护壁构造	66
6	桩基施工	67

6.1	一般规定	67
6.2	施工准备	70
6.3	灌注桩施工	72
6.4	预应力管桩施工	85
7	承台及连系梁施工	92
7.1	基坑开挖和回填	92
7.2	模板安装	92
7.3	钢筋和混凝土施工	93
8	安全施工和环境保护	94
8.1	安全施工	94
8.2	环境保护	97
9	桩基工程质量检验和验收	98
9.1	一般规定	98
9.2	施工前检验	98
9.3	施工检验	99
9.4	施工后检验	100
9.5	基桩、承台及连系梁工程验收资料	102
附录 A	桩端岩基载荷试验要点	104
附录 B	基桩承载力自平衡测试要点	106
本标准用词说明		111
引用标准名录		112
条文说明		113

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	General requirements	7
3.1	General	7
3.2	Geological investigation requirements of pile foundation engineering	9
3.3	Style and configuration of foundation piles	11
3.4	Pile foundations under special conditions	17
3.5	Rules on durability	19
4	Calculation of pile foundation	22
4.1	Calculation of pile top action effects	22
4.2	Calculation of pile foundation vertical bearing capacity	23
4.3	Vertical ultimate bearing capacity of pile	24
4.4	Calculation of pile vertical bearing capacity under special conditions	39
4.5	Calculation of pile foundation lateral bearing capacity	47
4.6	Calculation of pile body bearing capacity and pile crack	48
4.7	Calculation of pile cap and connecting beam	50
4.8	Seismic protection of pile foundation	57

5	Detailing of pile foundation	59
5.1	Detail of foundation pile	59
5.2	Detail of pile cap and tie beam	62
5.3	Detail of manual hole digging pile wall	66
6	Construction of pile foundation	67
6.1	General	67
6.2	Construction preparation	70
6.3	Construction of bored Pile	72
6.4	Construction of prestressed pipe-pile	85
7	Construction of pile cap and connecting tie beam	92
7.1	Excavation and backfill of foundation	92
7.2	Formwork	92
7.3	Construction of steel and concrete	93
8	Construction safety and environmental protection	94
8.1	Construction safety	94
8.2	Environmental protection	97
9	Quality inspection and acceptance of pile foundation	98
9.1	General	98
9.2	Pre-construction inspection	98
9.3	Construction inspection	99
9.4	Inspection after construction	100
9.5	Acceptance information of foundation pile, pile cap and tie beam	102
Appendix A	Main points of batholite load test	104
Appendix B	Main points of self-balance load test of foundation pile	106
	Explanation of Wording in this standard	111
	List of quoted standards	112
	Explanation of provisions	113

1 总 则

1.0.1 为在桩基础勘察、设计、施工、检验与验收中贯彻执行国家的技术经济政策,合理利用国家资源,做到技术先进、绿色环保、安全可靠、经济合理、保护环境,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于重庆市建筑工程中混凝土桩基础的勘察、设计、施工、检验与验收。

1.0.3 桩基础设计与施工,应综合考虑工程地质与水文地质条件、上部结构类型、使用功能、荷载特征、施工技术条件与环境;注重地方经验,因地制宜,合理选择桩型和成桩工艺,优化布桩,节约资源。

1.0.4 桩基础的勘察、设计、施工、检验与验收,除应符合本标准外,尚应符合国家和地方现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 桩基础 pile foundation

由设置于岩土中的桩和与桩顶连接的承台共同组成的基础或由桩与柱(剪力墙)直接连接的单桩基础,简称桩基。

2.1.2 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

2.1.3 嵌岩桩 rock-socketed pile

桩端部嵌入岩石中风化层、微风化层中的桩。

2.1.4 极限侧阻力 ultimate shaft resistance

相应于桩顶作用极限荷载时,桩身侧表面所发生的岩土阻力。

2.1.5 极限端阻力 ultimate tip resistance

相应于桩顶作用极限荷载时,桩端所发生的岩土阻力。

2.1.6 旋挖成孔灌注桩 rotary drilling pile

用旋挖钻机的伸缩钻杆传递扭矩并带动回转钻斗、短螺旋钻头或其他作业装置进行干(湿)钻进、逐次取土(岩屑)反复循环作业成孔,成孔后清孔,再灌注混凝土而成的桩。

2.1.7 冲击成孔灌注桩 impact bored pile

采用冲击式钻机或卷扬机悬吊冲击钻头上下往复冲击,将土层或岩层破碎成孔,并用捞渣筒掏渣成孔,再灌注混凝土而成的桩。

2.1.8 螺杆灌注桩 part-screw pile

采用具有加压装置和同步技术的螺杆桩机钻具旋转挤压土体成孔,管内泵送混凝土而成的桩。

2.1.9 重锤沉管夯扩桩 heavy weight pipesinking compacted base -enlarged pile

采用重型桩锤夯击夯管成孔(可向管底灌注一定量干硬性混凝土并夯击形成扩大头或增强体),再向管内灌注混凝土(可在桩端形成底部为扩大头状)而成的桩。

2.1.10 预应力混凝土管桩 prestressed concrete pipe-pile

采用离心和预应力工艺成型的空心截面的预应力混凝土桩,简称管桩。

2.1.11 植入法 method of planting pile

预先用钻机在桩位处成孔或采用搅拌、旋喷、旋挖成孔,再采用静压、锤击、振动等方法将管桩植入其中的施工工法。

2.1.12 干作业旋挖成孔 dry rotary drilling

不使用稳定液护壁,直接采用旋挖钻具成孔的一种工法。

2.1.13 湿作业旋挖成孔 wet rotary drilling

采用旋挖钻具成孔、稳定液护壁的一种工法。

2.1.14 静载试验 static loading test

在桩顶部逐级施加竖向压力、竖向上拔力或水平推力,观测桩顶部随时间产生的沉降、上拔位移或水平位移,以确定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力或单桩水平承载力的试验方法。

2.1.15 声波透射法 crosshole sonic logging

在预埋声测管之间发射并接收声波,通过实测声波在混凝土介质中传播的声时、频率和波幅衰减等声学参数的相对变化,对桩身完整性进行检测的方法。

2.1.16 自平衡测试法 self-balanced testing of foundation pile bearing capacity

基桩静载检测的一种方法。在桩身中预埋荷载箱,在地面由高压油泵进行加载,利用桩身自重、桩侧阻力和桩端阻力互相提供反力,根据检测数据绘制上、下段桩的荷载一位移曲线,从而得

到检测桩的极限承载力的试验方法。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

F_k ——相应于作用标准组合时,计算的作用于承台顶面的竖向力;

G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值;

G_p ——基桩自重;

H_k ——相应于作用标准组合时,计算的作用于承台底面的水平力;

H_{ik} ——相应于作用标准组合时,计算的作用于第 i 基桩的水平力;

M_{xk} 、 M_{yk} ——相应于作用标准组合时,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_k ——相应于作用标准组合轴心竖向力作用下,基桩的平均竖向力;

N_{ik} ——相应于作用标准组合偏心竖向力作用下,第 i 基桩的竖向力;

q_{si}^n ——中性点以上第 i 层土桩侧负摩阻力标准值;

Q_g^n ——负摩阻力引起的基桩下拉荷载标准值;

σ_i' ——桩周第 i 层土平均竖向有效应力。

2.2.2 抗力和材料性能

f_{rk} ——岩石饱和或天然单轴抗压强度标准值;

f_{uk} ——桩端地基极限承载力标准值;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值;

f_{ukl} ——下卧软质岩石的地基极限承载力标准值;

f_y' ——纵向主筋抗压强度设计值;

$N_{63.5}$ —— 重型圆锥动力触探击数；
 q_{pk} —— 单桩极限端阻力标准值；
 q_{sik} —— 单桩第 i 层土(岩)的极限侧阻力标准值；
 Q_{ck} —— 单桩桩周岩石总极限侧阻力标准值；
 Q_{uk} —— 单桩竖向极限承载力标准值；
 Q_{sk} —— 单桩土层段总极限侧阻力标准值；
 Q_{pk} —— 单桩总极限端阻力标准值；
 Q_{rk} —— 单桩嵌岩段总极限阻力标准值；
 R_a —— 单桩竖向承载力特征值；
 R_h —— 单桩水平承载力特征值；
 T_{uk} —— 群桩呈非整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值；
 T_{gk} —— 群桩呈整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值。

2.2.3 几何参数

a —— 矩形桩的短边尺寸；
 b —— 矩形桩的长边尺寸；
 c_1 —— 椭圆形桩直段长度；
 d —— 圆形桩设计直径；
 h_b —— 桩端进入非岩石持力层深度；
 h_r —— 桩身嵌岩深度；
 l —— 桩身长度；
 l_i —— 桩身穿越的第 i 层土厚度；
 n —— 桩基中的桩数；
 t —— 桩端下硬质岩持力层的厚度；
 u —— 桩身周长；
 A —— 桩身截面面积；
 A_p —— 桩端截面面积；
 D —— 桩端扩大头直径；
 s_a —— 基桩中心距。

2.2.4 计算系数

- K ——安全系数；
- α_i ——直杆段第 i 层土的桩侧极限侧阻力标准值的增强系数；
- α ——桩端地基承载力提高系数；
- β ——考虑嵌固力影响后的承载力修正系数；
- β_1 ——综合系数；
- β_{sj} ——螺杆段第 j 层土的桩侧极限侧阻力标准值的增强系数；
- η_e ——端阻力调整系数；
- ζ_r ——桩嵌岩段侧阻和端阻综合系数；
- ζ_{ni} ——桩周第 i 层土桩侧负摩阻力系数；
- ζ_s ——嵌岩段侧阻力系数；
- Ψ_c ——成桩工艺系数；
- Ψ_p ——大直径桩端阻力尺寸效应系数；
- Ψ_{si} ——大直径桩侧阻力尺寸效应系数；
- λ ——基桩抗拔系数；
- γ_0 ——结构重要性系数；
- γ_p ——塑性系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 桩基应按下列两类极限状态设计：

1 承载力极限状态：桩基达到最大承载能力、整体失稳或发生不适于继续承载的变形；

2 正常使用极限状态：桩基达到建筑物正常使用所规定的变形限值或达到耐久性要求的某项限值。

3.1.2 根据建筑规模、功能特征、环境条件以及由于桩基可能造成建筑破坏或影响正常使用的程度，将桩基设计分为表 3.1.2 所列的三个设计等级。桩基设计时，应根据表 3.1.2 确定设计等级。

表 3.1.2 建筑桩基设计等级

设计等级	建筑类型
甲级	(1)抗震设防分类为甲、乙类的高层建筑 (2)30 层以上或高度超过 100m 的高层建筑 (3)场地和地基条件复杂的 7 层以上建筑 (4)位于边坡塌滑区范围内的高层建筑 (5)位于洞室上的高层建筑 (6)对地基变形有特殊要求的建筑 (7)对相邻既有工程影响较大的建筑
乙级	除甲级、丙级以外的建筑
丙级	场地和地基条件简单的 7 层及 7 层以下的一般建筑

3.1.3 桩基应根据具体条件进行下列承载力计算和稳定性验算：

1 应根据桩基的使用功能和受力特性进行桩基的竖向承载力计算和水平承载力计算；

2 应对桩身和承台结构承载力进行计算；对于混凝土预制

桩,还应按吊装、运输及施工作业时的受力工况进行桩身承载力验算;

3 对于桩侧土不排水抗剪强度小于 10kPa 且长径比大于 50 的桩,应进行桩身压屈验算;

4 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;

5 位于斜坡、边坡上的桩基,应进行整体稳定性验算。当相邻桩基桩端高差较大,上部桩基应力扩散对下部桩基存在应力叠加作用时,应对下部桩基进行稳定性和承载力验算;

6 位于洞室上的桩基,应进行桩端洞室顶板抗冲切承载力验算;

7 穿越溶洞、洞室且未对洞室进行填充的桩基,应对穿越段桩基进行承载力及稳定性验算;

8 对抗浮、抗拔桩基,应进行桩基抗拔承载力计算;

9 桩基抗震承载力验算。

3.1.4 当桩基受水平荷载较大或对水平位移有严格限制时,应计算其水平位移。

3.1.5 摩擦型桩基、对沉降有控制要求的非嵌岩桩基和非深厚坚硬持力层的桩基,应进行沉降计算。

3.1.6 抗拔桩基、使用上不允许开裂或需控制裂缝宽度的桩基应进行桩身抗裂和裂缝宽度验算。

3.1.7 桩基设计时,所采用的作用效应与相应的抗力限值应符合下列规定:

1 按单桩承载力确定基桩数量和布桩时,传至承台底面或桩顶的作用效应应按正常使用极限状态下作用的标准组合;相应的抗力应采用单桩承载力特征值;

2 计算桩基沉降时,传至承台底面或桩顶的作用效应应按正常使用极限状态下作用的准永久组合,不应计入风荷载和地震作用;相应的限值应为桩基变形允许值;

3 计算荷载作用下的桩基水平位移时,应采用正常使用极限状态下作用的准永久组合;计算水平地震作用、风荷载作用下的桩基水平位移时,应采用作用的标准组合;

4 验算边坡上桩基础整体稳定性时,作用效应应按承载力极限状态下作用的基本组合,但其分项系数均为 1.0;

5 验算桩基结构承载力、确定尺寸和配筋时,应采用传至承台顶面或桩顶的承载力极限状态下作用的基本组合,采用相应的分项系数,并满足下式的要求:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (3.1.7)$$

式中: S_d ——基本组合下的作用效应设计值;

γ_0 ——结构重要性系数,应按本标准第 3.1.8 条的规定采用;

R_d ——桩身、承台结构抗力的设计值。

6 验算承台和桩身裂缝宽度时,作用效应应分别按正常使用极限状态下作用的标准组合和准永久组合。

3.1.8 桩基设计工作年限应与上部结构设计工作年限一致,桩基结构安全等级不应低于上部结构安全等级。桩基结构的重要性系数 γ_0 ,对安全等级为一级时不应小于 1.1,二级、三级不应小于 1.0,临时性建筑可取 0.9。

3.1.9 桩基施工时应根据对场地稳定性和周边环境影响、成桩质量可靠性、施工安全等因素,选择合适的施工方法和施工工艺。

3.1.10 建筑基坑及边坡支护桩不宜兼作主体结构的基桩。

3.1.11 灌注桩可采取后注浆工艺处理桩底沉渣。

3.1.12 斜坡、边坡上桩基及洞室附近桩基,应严格执行“动态设计、信息化施工”。

3.2 桩基工程勘察

3.2.1 桩基工程勘察除应满足现行地方标准《工程勘察标准》

DBJ50/T-043 的有关要求外,尚应包括下列主要内容:

- 1 提供场地各层岩土的类型、深度、分布、工程特性;
- 2 评价场地稳定性和桩基稳定性;
- 3 提供桩基工程设计及施工所需的各岩土层的物理力学参数;
- 4 评价地下水对桩基设计和施工的影响,判定水和土对钢筋、混凝土的腐蚀性;
- 5 提出桩型、成桩工艺选择及持力层的建议;
- 6 评价成桩的可能性,桩基施工条件及其对环境的影响;对成桩可能遇到的风险,提出桩基施工处理措施建议。

3.2.2 特殊条件下的桩基勘察应符合下列规定:

- 1 场地存在不良地质作用时,查明不良地质作用类型和分布范围,评价不良地质作用的稳定性及其与桩基工程的相互影响,提供工程治理措施建议;

- 2 位于斜(边)坡或岸坡地段的桩基,查明岩土界面起伏情况、陡坡和隐伏陡坎的分布情况;评价斜(边)坡或岸坡的整体稳定性及桩基沿潜在滑移面的稳定性;评价不平衡土压力对桩基可能产生偏压的影响;提出处理措施建议;

- 3 查明填土场地中松散填土的分布范围,填土层中块石、漂石、孤石的含量、分布位置、粒径大小;分析松散填土产生桩侧负摩阻力的可能性及其影响;

- 4 岩溶地区查明土洞、溶洞的分布情况,石笋、石芽、溶沟、溶槽等的发育情况,红黏土的性状、分布和岩土界面起伏情况;

- 5 桩基影响范围内存在岩溶洞穴或地下洞室时,查明其规模、分布、顶板岩性、厚度及完整性,评价桩基加载前后的稳定性;

- 6 查明软土、饱和砂土、饱和粉土的分布范围,评价其对桩基施工的不利影响,提出处理措施建议;

- 7 查明桩基周边地下管网、管道、涵洞、墓穴以及建(构)筑物等地下埋藏物的分布情况,评价其对桩基工程的不利影响;

8 受河、湖水影响的桩基工程,应查明水下地形、冲刷和淤积情况,分析河、湖床的稳定性,评价地表水对桩基的影响;

9 查明填土、淤泥等地层及洞室中有毒、有害气体分布情况。

3.3 桩的选型与布置

3.3.1 桩基可按下列规定分类:

1 按桩承载性状分类:

1) 摩擦型桩:

摩擦桩:在承载能力极限状态下,桩顶竖向荷载由桩侧阻力承受,桩端阻力小到忽略不计;

端承摩擦桩:在承载能力极限状态下,桩顶竖向荷载主要由桩侧阻力承受。

2) 端承型桩:

端承桩:在承载能力极限状态下,桩顶竖向荷载由桩端阻力承受,桩侧阻力小到忽略不计;

摩擦端承桩:在承载能力极限状态下,桩顶竖向荷载主要由桩端阻力承受。

2 按成桩方法分类:

1) 非挤土桩:人工挖孔灌注桩、干作业法钻(挖)孔灌注桩、泥浆护壁法钻(挖)孔灌注桩、套管护壁法钻(挖)孔灌注桩、预成孔植入管桩;

2) 部分挤土桩:冲击成孔灌注桩、钻孔挤扩灌注桩、预成孔打入(静压)预制桩、打入(静压)敞口管桩;

3) 挤土桩:重锤沉管夯扩灌注桩、打入(静压)闭口管桩、螺杆灌注桩、搅拌植入管桩。

3 按桩径(设计直径 d)大小分类:

1) 小直径桩: $d \leq 250\text{mm}$;

2) 中等直径桩: $250\text{mm} < d < 800\text{mm}$;

3) 大直径桩: $d \geq 800\text{mm}$ 。

3.3.2 桩型与成桩工艺应根据建筑结构类型、荷载性质、桩的使用功能、穿越土层、桩端持力层、地下水位、施工设备、施工环境、施工经验、制桩材料供应等,按安全适用、经济合理的原则选择。选择时宜按表 3.3.2-1 和表 3.3.2-2 进行。

1 端承型桩基础宜根据地质条件、成桩工艺和施工方法等合理控制桩长径比,一般情况下灌注桩不宜大于 60,预制桩不宜大于 80。当桩基穿越斜坡地段填土区时,长径比宜适当减小;

2 位于边坡、斜坡地段附近的建筑场地,不宜采用湿作业成孔灌注桩,不应采用部分挤土桩或挤土桩。

表 3.3.2-1 桩型与成桩工艺选用表

桩型	桩径		最大 桩长 (m)	穿越土层								桩端持力层				对环境的影响		地下水位		
	常用的 桩截面 边长或 桩径 (mm)	扩底端 (mm)		一般黏 性土及其填土	淤泥和 淤泥质土	粉土	沙土、砂土	碎石土	有硬 夹层	有砂 夹层	有砾石 夹层	硬黏 性土	密实 砂土	碎石土	软质 岩石和 风化 岩石	振 动和 噪 声	排 浆	桩 端 挤 土 效 应	以上	以下
非挤土成桩	干作业法	600~2500	—	60	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	有	无	无	○	×
		300~600	800~1200	30	○	×	×	×	×	△	×	○	△	△	△	无	无	无	○	×
		300~800	—	28	○	×	×	×	×	△	×	○	△	△	△	无	无	无	○	×
泥浆护壁法	900~2000	1600~3000	20	○	×	×	△	△	○	△	△	△	△	△	○	无	无	无	○	△
	600~2500	—	60	△	○	○	△	△	○	△	△	△	△	△	有	有	无	○	○	
	600~1200	1000~1600	30	○	○	○	△	△	○	△	△	△	△	△	无	有	无	○	○	
套管护壁法	600~2500	—	60	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	有	无	无	○	○	
	400~1200	—	60	○	△	△	△	△	○	△	△	△	△	△	无	有	无	○	○	

注：标志符号○表示比较适合；△表示有可能采用；×表示不宜采用；预成孔植入管桩在岩土层中的适应性采用的预成孔施工工

艺的适应性相同。

表 3.3.2-2 桩型与成桩工艺选用表

桩型	桩径		最大 桩长 (m)	穿越土层								桩端持力层			对环境的影响			地下水位		
	常用的 桩截面 边长或 桩径 (mm)	扩底端 (mm)		一般黏性土及其填土	淤泥和淤泥质土	粉土	沙土、砂土	碎石土	有硬夹层	有砂夹层	有砾石夹层	硬黏性土	密实砂土	碎石土	软质岩石和 风化岩石	振动和噪声	排浆	桩端挤土效应	以上	以下
部分挤土成桩	灌注桩	600~1200	—	50	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	有	无	△	△
	长螺旋钻孔灌注桩	300~800	—	25	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	无	无	△	△
	预钻孔打入预制桩	400~1200	—	60	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	有	有	△	△
	静压混凝土(预应力混凝土)敞口管桩	400~1200	—	60	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	无	有	△	△
挤土成桩	重锤沉管夯扩灌注桩	350~600	700~1400	≥25	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	有	有	△	△
	螺旋桩	400~800	—	35	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	无	有	△	△
	打入混凝土预制桩	400~1200	—	60	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	有	有	△	△
	闭口钢管桩、混凝土管桩	400~1200	—	60	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	有	有	△	△
挤土成桩	静压桩	1000	—	60	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	无	有	△	△
	搅拌桩	400~1200	—	60	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	有	有	△	△

注:标志符号△表示比较适合;△表示有可能采用;×表示不宜采用;预成孔植入管桩在岩土层中的适应性采用的预成孔施工工
艺的适应性相同。

3.3.3 桩的布置应符合下列规定：

1 桩基持力层为土层或强风化岩层时，基桩最小中心距应符合表 3.3.3-1 的规定；

表 3.3.3-1 基桩最小中心距(m)

土类与成桩工艺		排数不少于 3 排且 桩数不少于 9 根的 摩擦型桩桩基	其他情况
非挤土灌注桩		3.0d	2.5d
植入法管桩	非挤土成孔	3.0d	2.5d
	搅拌桩	3.5d	3.0d
部分挤土桩	非饱和土、饱和非黏性土	3.0d	3.0d
	饱和黏性土	3.5d	3.0d
挤土桩	非饱和土、饱和非黏性土	3.5d	3.0d
	饱和黏性土	4.0d	3.5d
重锤沉管夯扩桩	非饱和土、饱和非黏性土	2.2D 且 4.0d	2.0D 且 3.5d
	饱和黏性土	2.5D 且 4.5d	2.2D 且 4.0d

注：1 桩的中心距指两根桩桩端横截面中心之间的距离；d—圆形桩设计直径、方形桩设计边长；D—扩大端设计直径；

2 当纵横向桩距不相等时，其最小中心距应满足“其他情况”一栏的规定；

3 存在液化土层时，宜适当减小桩距。

2 桩基持力层为中、微风化岩石时，嵌岩桩间最小中心距应符合表 3.3.3-2 的规定，且桩间净距不宜小于 1m；

表 3.3.3-2 嵌岩桩桩间最小中心距(m)

成桩工艺	最小中心距
人工挖孔灌注桩	2.0d 且 1.5D(D+1.5)
钻孔灌注桩、旋挖成孔灌注桩	2.5d 且 1.5D(D+1.5)
植入法管桩	2.5d
螺杆灌注桩	2.5d

注：1 d—圆形桩设计直径、椭圆形桩圆弧段直径、矩形桩短边设计边长，D—扩大头直径或短边边长；

2 括号内数值仅用于 $D > 2m$ 时。

3 桩的布置应与上部结构形式、荷载类型、大小与分布一致,当采用多桩或群桩时,宜使桩群抗力合力点与上部竖向永久荷载合力作用点重合;

4 桩宜直接置于柱、剪力墙等竖向构件之下,大直径桩基可采用一柱一桩;

5 群桩可采用三角形、矩形、梅花形等布置方式,并使群桩在受水平力和力矩较大方向有较大抗弯截面模量;

6 同一结构单元宜避免同时采用摩擦型桩和端承型桩。当受条件限制必须采用时,应考虑产生的差异沉降对上部结构的影响,并采取相应的处理措施。

3.3.4 应选择较硬土层和岩层作为桩端持力层。桩端进入持力层的深度应根据岩土体强度和变形特性合理确定,且应符合下列规定:

1 桩端全断面进入持力层最小深度宜符合表 3.3.4 的规定;

表 3.3.4 桩端全断面进入持力层最小深度

岩土类型 成桩工艺	黏性土、 粉土	强风化软岩、 砂土	碎石土、卵石土、 强风化硬岩	中风化极 软岩、软岩	中风化较 硬岩、坚硬岩
人工挖孔灌注桩	—	—	1.0d	0.4d 且 0.5m	0.2d 且 0.2m
旋挖成孔灌注桩	2.0d	1.5d	1.0d	1.0d 且 0.5m	0.4d 且 0.5m
重锤沉管夯扩桩	3.0d	1.5d	1.0d		
螺杆灌注桩	2.0d	1.5d	1.0d	1.0d 且 0.5m	0.4d 且 0.5m
打入(静压)管桩	2.0d	1.5d	1.0d		
植入法管桩	2.0d	1.5d	1.0d	1.0d 且 0.5m	0.4d 且 0.5m

注:1 d—圆形桩设计直径、椭圆形桩圆弧段直径、矩形桩短边设计边长;

2 极软岩、软岩指 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$;较硬岩、坚硬岩指 $f_{rk} > 30\text{MPa}$ 。

2 嵌入倾斜的较完整和完整岩石时,桩端全断面进入岩层深度均不宜小于 0.4d 且不小于 0.5m,倾斜度大于 30%的中风化基岩,宜根据倾斜度及岩石完整性加大嵌岩深度;

3 嵌入较破碎岩石时,桩端全断面进入岩层深度不应小于 $0.5d$ 且不小于 1.0m ;

4 岩溶强发育及中等发育场地,桩端全断面进入岩层深度不宜小于 $1.0d$ 且不小于 1.0m ;

5 以岩层作为桩端持力层且填土厚度不小于 20m 时,桩端全断面进入岩层深度不宜小于 $1.0d$ 且不小于 1.0m 。

3.4 特殊条件下的桩基

3.4.1 斜坡、边坡上桩基设计原则应符合下列规定:

1 斜坡、边坡上的新建建筑桩基工程应与建筑边坡工程统一规划,同步设计,合理确定施工顺序;

2 当建筑位于边坡潜在的滑动体上时,建筑宜采用桩基础,且桩端应进入潜在滑裂面以下稳定岩土层内。桩基应采取有效措施避免桩基承担的竖向荷载传至边坡支护结构,同时桩基还应考虑可能承受的岩土体滑动作用对桩基的影响;

3 建筑桩基与边坡应保持一定的水平距离,且应采取有效措施保证建筑物抗倾覆、桩基础嵌固和传递水平荷载的要求;建筑场地的边坡必须是稳定的边坡。当有崩塌、滑坡等不良地质现象存在时,应按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定进行整治,确保其稳定性;

4 应考虑边坡的变形对地基承载力降低和桩基础变形加大的不利影响,以及斜坡不平衡岩土压力对桩基承载力的不利影响;

5 位于填方边坡上桩基、存在外倾软弱结构面的岩石边坡上桩基,应验算最不利荷载组合下桩基的整体稳定性和基桩的水平承载力;

6 承担较大水平荷载的斜坡上桩基,确定嵌岩深度时,应验算斜坡侧岩体的抗剪承载力。嵌岩段岩体存在外倾结构面时,应验算外倾结构面以上岩体的抗滑稳定性;

7 建筑跨越边坡形成掉层时,应加强边坡上桩基础与掉层结构间的整体性。

3.4.2 洞室附近桩基设计原则应符合下列规定:

- 1 应对洞室地基进行稳定性验算;
- 2 对洞室围岩岩体结构面的不利组合,应进行局部稳定性验算,并采取措施避免洞室因局部岩体的失稳而危及洞室地基的整体稳定性;

- 3 当洞室顶板为完整岩石且顶板厚度较大,桩基直接放置在其上时,宜采用端承型桩基,并应验算桩端下顶板岩体的抗冲切承载力;桩端下顶板岩体的抗冲切承载力不能满足要求时,桩端应置于洞底以下的稳定岩层中;

- 4 按洞室形态和顶板完整程度,可将顶板岩体视作梁、板、拱、壳等自承重结构进行结构内力分析和验算;

- 5 对地基承载力、变形及稳定性有不利影响的洞室,应综合分析后采取封填加固、衬砌加固、贯穿式顶撑、锚杆锚固、锚喷支护、结构跨越等措施;

- 6 穿越洞室段桩基应按上部结构的框架柱进行设计;

- 7 洞室旁边桩基础进入稳定地基时,宜采取有效措施避免桩基础承担的竖向荷载传至洞室。

3.4.3 岩溶地区桩基设计原则应符合下列规定:

- 1 岩溶地区的桩基,宜采用钻(冲)孔灌注桩、旋挖成孔灌注桩,也可采用植入法管桩,在岩溶微发育地区可采用人工挖孔灌注桩;

- 2 岩面埋深较浅时,宜采用端承型嵌岩桩;

- 3 当基岩面起伏较大时,应合理控制相邻桩的高差;

- 4 应对岩溶地基进行稳定性验算;

- 5 桩基附近有洞隙形成临空面时,应验算向临空面倾覆或沿不利结构面滑移的稳定性;

- 6 溶洞顶板岩体为较完整、完整的硬质岩,洞体形态清楚

时,可按照本标准第 3.4.2 条进行桩基设计;

7 对于石笋、石芽密布,溶沟、溶槽发育的地段,灌注桩宜适当提高桩身混凝土强度等级及配筋率;预制桩宜适当降低桩承载力。

3.4.4 填土地桩基础设计原则应符合下列规定:

1 需要大面积填土的建筑场地,宜先填土并保证填土的密实性;待填土地基沉降基本稳定后再成桩;

2 新近填土的建筑场地,宜先采用强夯、灌浆等措施进行地基处理;

3 填土边坡建筑场地,桩基之间应设置连系梁;

4 深厚填土地地上的桩基,应采取有效措施提高其抵抗水平作用的能力;

5 应考虑填土固结未完成时填土层负摩阻力影响,可采取对中性点以上的桩身进行处理等措施减少负摩阻力。

3.4.5 抗拔桩基的设计原则应符合下列规定:

1 应根据环境类别及水、土对钢筋的腐蚀、钢筋种类对腐蚀的敏感性和荷载作用时间等因素确定抗拔桩的裂缝控制等级;

2 对于严格要求不出现裂缝的一级裂缝控制等级,桩身应设置预应力筋,且预应力筋应满足在荷载效应标准组合下抗拔桩混凝土不产生拉应力的要求;对于一般不要求出现裂缝的二级裂缝控制等级,桩身宜设置预应力筋,且预应力筋应满足在荷载效应标准组合下抗拔桩混凝土拉应力不大于混凝土轴心抗拉强度标准值的要求;

3 对于三级裂缝控制等级,应进行桩身裂缝宽度控制计算。

3.5 耐久性规定

3.5.1 桩基结构的耐久性应根据设计工作年限、现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的环境类别规定以及水、土

对钢筋和混凝土腐蚀性的评价进行设计。

3.5.2 二类和三类环境中,设计工作年限为 50 年的桩基结构混凝土材料的耐久性基本要求应符合表 3.5.2 的规定。

表 3.5.2 二类和三类环境桩基结构混凝土材料的耐久性基本要求

环境类别		最大水胶比	最小胶凝材料用量 (kg/m^3)	最低混凝土强度等级	水溶性氯离子最大含量 (%)	最大碱含量 (kg/m^3)
二	a	0.55	260	C25	0.20	3.0
	b	0.50	280	C30	0.15	3.0
三	a	0.45	300	C35	0.15	3.0

注:1 氯离子含量系指其占胶凝材料用量的质量百分比;计算时辅助胶凝材料的量不应大于硅酸盐水泥的量;

2 预应力构件混凝土中的水溶性氯离子最大含量为 0.06%,最小水泥用量为 $300\text{kg}/\text{m}^3$;其最低混凝土强度等级宜按表中的规定提高不少于两个等级;

3 当混凝土中加入活性掺合料或能提高耐久性的外加剂时,可适当降低水泥用量;

4 当使用非碱活性骨料时,对混凝土中的碱含量可不作限制。

3.5.3 桩身裂缝控制等级及最大裂缝宽度应根据环境类别和水、土介质腐蚀性等级按表 3.5.3 规定选用。

表 3.5.3 桩身的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值 (mm)

环境类别		钢筋混凝土桩		预应力混凝土桩	
		裂缝控制等级	ω_{lim}	裂缝控制等级	ω_{lim}
二	a	三	0.20(0.30)	二	0
	b	三	0.20	二	0
三	a	三	0.20	一	0

注:1 水、土为强、中腐蚀性时,抗拔桩裂缝控制等级应提高一级;

2 二 a 类环境中,位于稳定地下水位以下的基桩,其最大裂缝宽度限值可采用括弧中的数值。

3.5.4 四类、五类环境桩基结构耐久性设计可按《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267、现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规

范》GB 50046 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 等执行。

3.5.5 对三类环境中的桩基结构,受力钢筋宜采用环氧树脂涂层带肋钢筋,也可采用其他具有耐腐蚀性能的钢筋或采取阴极保护等措施。

3.5.6 二、三类环境中,设计工作年限大于 50 年的桩基结构应采取专门的有效措施。

4 桩基计算

4.1 桩顶作用效应计算

4.1.1 对于一般建筑物和受水平力较小的高层建筑群桩基础,应按下列公式计算柱、墙、核心筒群桩中基桩的桩顶作用效应:

1 竖向力

轴心竖向力作用下

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (4.1.1-1)$$

偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (4.1.1-2)$$

2 水平力

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (4.1.1-3)$$

式中: F_k ——相应于作用的标准组合下,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 ——作用的标准组合轴心竖向力作用下,基桩的平均竖向力;

N_{ik} ——作用的标准组合偏心竖向力作用下,第 i 基桩竖向力;

M_{xk} 、 M_{yk} ——作用的标准组合下,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;

H_k ——作用标准组合下,作用于桩基承台底面的水平力;

H_{ik} ——作用标准组合下,作用于第 i 基桩的水平力;

n ——桩基中的桩数。

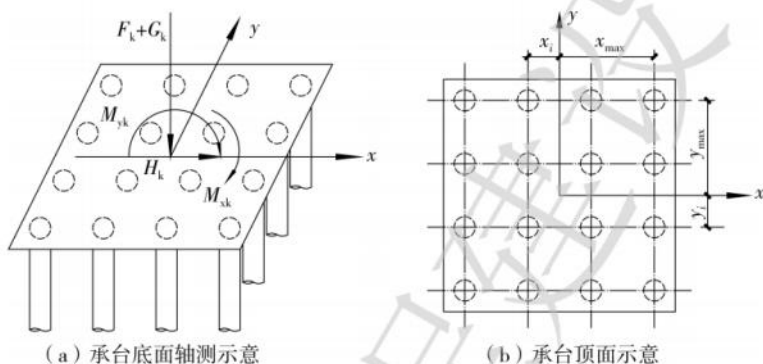


图 4.1.1 桩顶作用简图

4.1.2 受较大水平力的桩基,计算基桩桩身内力和位移等作用效应时,宜考虑承台(包括地下墙体)与基桩协同工作和土的弹性抗力作用。

4.2 桩基竖向承载力计算

4.2.1 桩基竖向承载力计算应符合下列要求:

1 荷载标准组合

轴心竖向力作用下:

$$N_k \leq R_a \quad (4.2.1-1)$$

偏心竖向力作用下除满足上式外,尚应符合下式要求:

$$N_{kmax} \leq 1.2R_a \quad (4.2.1-2)$$

2 地震作用和荷载标准组合

轴心竖向力作用下:

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \quad (4.2.1-3)$$

偏心竖向力作用下除满足上式外,尚应符合下式要求:

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R_a \quad (4.2.1-4)$$

式中: R_a —— 基桩竖向承载力特征值;

N_{kmax} —— 荷载标准组合偏心竖向力作用下, 桩顶最大竖向力;

N_{Ek} —— 地震作用和荷载标准组合下, 基桩平均竖向力;

N_{Ekmax} —— 地震作用和荷载标准组合下, 桩顶最大竖向力。

4.2.2 单桩竖向承载力特征值 R_a 应按下列式确定:

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (4.2.2)$$

式中: Q_{uk} —— 单桩竖向极限承载力标准值;

K —— 安全系数, 岩质地基按本标准第 4.3.15、4.3.16 条确定桩基竖向极限承载力时, $K=3$; 其余 $K=2$ 。

4.3 单桩竖向极限承载力

4.3.1 以土层、强风化层、极破碎或破碎岩石为持力层的桩基, 以及以较破碎、较完整、完整岩石为持力层的中、小直径的桩基, 应通过单桩静载试验确定单桩竖向极限承载力标准值。

4.3.2 以较破碎岩石为持力层的大直径嵌岩桩设计采用的单桩竖向极限承载力标准值应符合以下规定:

1 设计等级为甲级的桩基, 应通过单桩静载试验确定;

2 设计等级为乙级的桩基, 宜通过单桩静载试验确定, 单桩静载试验受场地条件和设备能力等因素限制难以进行, 且地质条件简单时, 经设计单位确认, 设计采用的单桩竖向极限承载力标准值可通过岩基载荷试验取得承载力参数后计算确定;

3 设计等级为丙级的桩基, 宜通过岩基载荷试验取得承载力参数后计算确定, 有可靠资料和经验时, 可采用岩石单轴抗压强度和经验参数计算确定。

4.3.3 以较完整、完整岩石为持力层的大直径嵌岩桩设计采用的单桩竖向极限承载力标准值应符合以下规定:

1 设计等级为甲级的桩基,宜通过单桩静载试验确定,单桩静载试验受场地条件和设备能力等因素限制难以进行,且地质条件简单时,经设计单位确认,设计采用的单桩竖向极限承载力标准值可通过岩基载荷试验取得承载力参数后计算确定,有可靠资料时,也可采用岩石单轴抗压强度和经验参数计算确定;

2 设计等级为乙级的桩基,宜通过岩基载荷试验取得承载力参数后计算确定,有可靠资料和经验时,可采用岩石单轴抗压强度和经验参数计算确定;

3 设计等级为丙级的桩基,可采用岩石单轴抗压强度和经验参数计算确定。

4.3.4 采用竖向静载试验确定单桩竖向极限承载力标准值时,应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行;桩的极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值宜通过埋设桩身轴力测试元件由静载试验或附录 B 的方法确定。

4.3.5 采用岩基载荷试验确定以较破碎、较完整、完整岩石为持力层的大直径嵌岩桩的桩端极限承载力标准值时,应采用附录 A 或附录 B 的方法。

4.3.6 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向极限承载力标准值时,可按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (4.3.6)$$

式中: Q_{sk} ——土的总极限侧阻力标准值;

Q_{pk} ——单桩极限端阻力标准值;

u ——桩身周长;

q_{sik} ——桩的第 i 层土的极限侧阻力标准值(kPa),无试验参数时,可按表 4.3.6-1 取值;

l_i ——桩侧第 i 层土厚度;

q_{pk} ——极限端阻力标准值(kPa),无试验参数时,可按表 4.3.6-2、4.3.6-3 取值;

A_p ——桩端面积(m^2)。

表 4.3.6-1 桩的极限侧阻力标准值 q_{sk} (kPa)

土的 名称	土的状态		混凝土 预制桩	泥浆护壁钻 (冲)孔桩	干作业钻 (挖)孔桩	螺杆灌注桩、 重锤沉管夯扩桩
黏性土	流塑	$I_L > 1$	24~40	21~38	21~38	24~40
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	40~55	38~53	38~53	40~55
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	55~70	53~68	53~66	55~70
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	70~86	68~84	66~82	70~86
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	86~98	84~96	82~94	86~98
	坚硬	$I_L \leq 0$	98~105	96~102	94~104	98~105
红黏土	$0.7 < a_w \leq 1$		13~32	12~30	12~30	13~32
	$0.5 < a_w \leq 0.7$		32~74	30~70	30~70	32~74
粉土	稍密	$e > 0.9$	26~46	24~42	24~42	26~46
	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	46~66	42~62	42~62	46~66
	密实	$e < 0.75$	66~88	62~82	62~82	66~88
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	24~48	22~46	22~46	24~48
	中密	$15 < N \leq 30$	48~66	46~64	46~64	48~66
	密实	$N > 30$	66~88	64~86	64~86	66~88
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	54~74	53~72	53~72	54~74
	密实	$N > 30$	74~95	72~94	72~94	74~95
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	74~95	74~95	76~98	74~95
	密实	$N > 30$	95~116	95~116	98~120	95~116
砾砂	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 15$	70~110	50~90	60~100	70~110
	中密(密实)	$N_{63.5} > 15$	116~138	116~130	112~130	116~138
圆砾、 角砾	中密、 密实	$N_{63.5} > 10$	160~200	135~150	135~150	160~200
碎石、 卵石	中密、 密实	$N_{63.5} > 10$	200~300	140~170	150~170	200~300
强风化 软质岩	—	$N_{63.5} > 10$	160~240	140~200	140~220	160~240
强风化 硬质岩	—	$N_{63.5} > 10$	220~300	160~240	160~260	220~300
中风化 软质岩	—	$N_{63.5} > 10$	—	—	—	180~260

表 4.3.6-2 灌注桩的极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土名称	桩型 土的状态		泥浆护壁钻(冲)孔桩桩长 l (m)				干作业钻孔桩桩长 l (m)		
			$5 \leq l$ < 10	$10 \leq l$ < 15	$15 \leq l$ < 30	$30 \leq l$	$5 \leq l$ < 10	$10 \leq l$ < 15	$15 \leq l$
黏性土	软塑	$0.75 < I_L$ ≤ 1	150~ 250	250~ 300	300~ 450	300~ 450	200~ 400	400~ 700	700~ 950
	可塑	$0.50 < I_L$ ≤ 0.75	350~ 450	450~ 600	600~ 750	750~ 800	500~ 700	800~ 1100	1000~ 1600
	硬可塑	$0.25 < I_L$ ≤ 0.50	800~ 900	900~ 1000	1000~ 1200	1200~ 1400	850~ 1100	1500~ 1700	1700~ 1900
	硬塑	$0 < I_L$ ≤ 0.25	1100~ 1200	1200~ 1400	1400~ 1600	1600~ 1800	1600~ 1800	2200~ 2400	2600~ 2800
粉土	中密	$0.75 \leq e$ ≤ 0.9	300~ 500	500~ 650	650~ 750	750~ 850	800~ 1200	1200~ 1400	1400~ 1600
	密实	$e < 0.75$	650~ 900	750~ 950	900~ 1100	1100~ 1200	1200~ 1700	1400~ 1900	1600~ 2100
粉砂	稍密	$10 < N$ ≤ 15	350~ 500	450~ 600	600~ 700	650~ 750	500~ 950	1300~ 1600	1500~ 1700
	中密、 密实	$N > 15$	600~ 750	750~ 900	900~ 1100	1100~ 1200	900~ 1000	1700~ 1900	1700~ 1900
细砂	中密、 密实	$N > 15$	650~ 850	900~ 1200	1200~ 1500	1500~ 1800	1200~ 1600	2000~ 2400	2400~ 2700
中砂			850~ 1050	1100~ 1500	1500~ 1900	1900~ 2100	1800~ 2400	2800~ 3800	3600~ 4400
粗砂			1500~ 1800	2100~ 2400	2400~ 2600	2600~ 2800	2900~ 3600	4000~ 4600	4600~ 5200
砾砂	中密、 密实	$N > 15$	1400~2000		2000~3200		3500~5000		
角砾、 圆砾		$N_{63.5} > 10$	1800~2200		2200~3600		4000~5500		
碎石、 卵石		$N_{63.5} > 10$	2000~3000		3000~4000		4500~6500		
强风化 软质岩		$N_{63.5} > 10$	1400~2200				1600~2600		
强风化 硬质岩		$N_{63.5} > 10$	1800~2800				2000~3000		

表 4.3.6-3 混凝土预制桩的极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土名称	桩型 土的状态		混凝土预制桩桩长 l (m)			
			$l \leq 9$	$9 < l \leq 16$	$16 < l \leq 30$	$l > 30$
黏性土	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	210~850	650~1400	1200~1800	1300~1900
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	850~1700	1400~2200	1900~2800	2300~3600
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	1500~2300	2300~3300	2700~3600	3600~4400
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	2500~3800	3800~5500	5500~6000	6000~6800
粉土	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	950~1700	1400~2100	1900~2700	2500~3400
	密实	$e < 0.75$	1500~2600	2100~3000	2700~3600	3600~4400
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	1000~1600	1500~2300	1900~2700	2100~3000
	中密、密实	$N > 15$	1400~2200	2100~3000	3000~4500	3800~5500
细砂	中密、 密实	$N > 15$	2500~4000	3600~5000	4400~6000	5300~7000
中砂			4000~6000	5500~7000	6500~8000	7500~9000
粗砂			5700~7500	7500~8500	8500~10000	9500~11000
砾砂	中密、 密实	$N > 15$	6000~9500		9000~10500	
角砾、圆砾		$N_{63.5} > 10$	7000~10000		9500~11500	
碎石、卵石		$N_{63.5} > 10$	8000~11000		10500~13000	
强风化 软质岩		$N_{63.5} > 10$	6000~9000			
强风化 硬质岩		$N_{63.5} > 10$	7000~11000			

注:1 砂土和碎石类土中桩的极限端阻力取值,宜综合考虑土的密实度,桩端进入持力层的深径比 h_b/d ,土愈密实, h_b/d 愈大,取值愈高;

2 N 为标准贯入击数; $N_{63.5}$ 为重型动力触探击数。

4.3.7 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系,确定大直径桩单桩竖向极限承载力标准值时,可按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \Psi_{si} q_{sik} l_i + \Psi_p q_{pk} A_p \quad (4.3.7)$$

式中: q_{sik} ——桩的第 i 层土的极限侧阻力标准值(kPa),无试验参数时,可按表 4.3.6-1 取值,对于扩底桩变截面

以上 2d 长度范围不计侧阻力；

q_{pk} —— 桩径为 800mm 的极限端阻力标准值,可按表 4.3.6-2 取值;对于干作业挖孔(清底干净)可采用深层载荷板试验确定,当不能进行深层载荷板试验时,可按表 4.3.7-1 取值;

Ψ_{si}, Ψ_p —— 大直径桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数,按表 4.3.7-2 取值;

u —— 桩身周长,当人工挖孔桩桩周护壁为振捣密实的混凝土时,桩身周长可按护壁外直径计算。

表 4.3.7-1 干作业挖孔桩(清底干净, $D=800\text{mm}$)

极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土名称		状态		
黏性土		$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0 < I_L \leq 0.25$	$I_L \leq 0$
		800~1800	1800~2400	2400~3000
粉土			$0.75 \leq e \leq 0.9$	$e < 0.75$
			1000~1500	1500~2000
砂土、 碎石 类土		稍密	中密	密实
	粉砂	500~700	800~1100	1200~2000
	细砂	700~1100	1200~1800	2000~2500
	中砂	1000~2000	2200~3200	3500~5000
	粗砂	1200~2200	2500~3500	4000~5500
	砾砂	1400~2400	2600~4000	5000~7000
	圆砾、角砾	1600~3000	3200~5000	6000~9000
	卵石、碎石	2000~3000	3300~5000	7000~11000

- 注:1 当桩进入持力层的深度 h_b 分别为: $h_b \leq D$, $D < h_b \leq 4D$, $h_b > 4D$ 时, q_{pk} 可相应取低、中、高值;
- 2 砂土密实度可根据标贯击数判定, $N \leq 10$ 为松散, $10 < N \leq 15$ 为稍密, $15 < N \leq 30$ 为中密, $N > 30$ 为密实;
- 3 当桩的长径比 $l/d \leq 8$ 时, q_{pk} 宜取较低值;
- 4 当对沉降要求不严时, q_{pk} 可取高值。

表 4.3.7-2 大直径灌注桩侧阻尺寸效应系数 Ψ_{si} 、端阻尺寸效应系数 Ψ_p

土类型	黏性土、粉土	砂土、碎石类土
Ψ_{si}	$(0.8/d)^{1/5}$	$(0.8/d)^{1/3}$
Ψ_p	$(0.8/D)^{1/4}$	$(0.8/D)^{1/3}$

4.3.8 螺杆灌注桩单桩竖向极限承载力标准值可按下式计算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \alpha_i q_{sik} l_i + u \sum \beta_{sj} q_{sjk} l_i + q_{pk} A_p \quad (4.3.8)$$

式中： α_i ——直杆段第 i 层土的桩侧极限侧阻力标准值的增强系数，可根据工程经验确定。无经验时，依据土性选择 $\alpha_i = 1.0 \sim 1.2$ ；黏性土、粉土、砂土宜取低值，砾砂、砂砾土、碎石、卵石、强风化岩宜取高值； α_i 值应根据现场单桩静载试验结果或当地已有试桩资料进行验证和调整；

β_{sj} ——螺纹段第 j 层土的桩侧极限侧阻力标准值的增强系数，可根据工程经验确定。无经验时，可按表 4.3.8-1 取值；

q_{pk} ——极限端阻力标准值 (kPa)，无试验参数时，可按表 4.3.8-2 取值。

表 4.3.8-1 螺杆灌注桩螺纹段桩的极限侧阻力增强系数 β_{sj}

岩土名称	状态	土层桩侧阻力增强系数
黏性土	软塑	1.0~1.2
	可塑	1.4~1.9
	硬塑、坚硬	1.3~1.7
粉土	稍密	1.7~2.0
	中密	1.5~1.7
	密实	1.3~1.5
粉砂、细砂	稍密	1.6~1.9
	中密	1.5~1.8
	密实	1.2~1.5

续表4.3.8-1

岩土名称	状态	土层桩侧阻力增强系数
中砂	中密	1.5~1.8
	密实	1.2~1.5
粗砂	中密	1.5~1.9
	密实	1.2~1.5
砾砂	中密	1.5~1.8
	密实	1.2~1.5
圆砾、角砾	中密、密实	1.2~1.5
卵石、碎石	中密、密实	1.2~1.5
风化岩	强风化	1.2~1.5
	中风化软质岩	1.0~1.2

表 4.3.8-2 螺杆灌注桩的极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土名称	土的状态		极限端阻力标准值			
			螺杆灌注桩桩长 l (m)			
			$l \leq 9$	$9 < l \leq 16$	$16 < l \leq 30$	$l > 30$
黏性土	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	—	—	—	—
	可塑	$0.5 < I_L \leq 0.75$	850~1700	1400~2200	1900~2800	2300~3600
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.5$	1500~2300	2300~3300	2700~3600	3600~4400
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	2500~3800	3800~5500	5500~6000	6000~6800
粉土	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	950~1700	1400~2100	1900~2700	2500~3400
	密实	$e < 0.75$	1500~2600	2100~3000	2700~3600	3600~4400
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	1000~1600	1500~2300	1900~2700	2100~3000
	中密、密实	$N > 15$	1400~2200	2100~3000	3000~4500	3800~5500
细砂	中密、 密实	$N > 15$	2500~4000	3600~5000	4400~6000	5300~7000
中砂			4000~6000	5500~7000	6500~8000	7500~9000
粗砂			5700~7500	7500~8500	8500~10000	9500~11000

续表 4.3.8-2

土名称	土的状态		极限端阻力标准值			
			螺杆灌注桩桩长 $l(\text{m})$			
			$l \leq 9$	$9 < l \leq 16$	$16 < l \leq 30$	$l > 30$
砾砂	中密、 密实	$N_{63.5} > 15$	6000~9500		9000~10500	
角砾、 圆砾		$N_{63.5} > 10$	7000~10000		9500~11500	
碎石、 卵石		$N_{63.5} > 10$	8000~11000		10500~13000	
强风化 软质岩	—	$N_{63.5} > 10$	6000~9000			
强风化 硬质岩	—	$N_{63.5} > 10$	7000~11000			
中风化 软质岩		$N_{63.5} > 10$	9000~13000			

注:1 砂土和碎石土中桩的极限端阻力取值,宜综合考虑土的密实度,桩端进入持力层的深径比 h_b/d ,土愈密实, h_b/d 愈大,取值愈高;

2 桩的岩石极限端阻力指桩端进入强风化岩一定深度条件下极限端阻力。

4.3.9 重锤沉管夯扩桩可根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系计算单桩竖向极限承载力标准值:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + \eta_e q_{pk} A_p \quad (4.3.9)$$

式中: l_i ——桩身穿越第 i 层土的长度 (m),扩大头以上 $2d$ 长度范围内不计侧阻力;

η_e ——端阻力调整系数,对黏性土(水下取 0.9,水上取 1.1),砂土取 1.3,碎石类土取 1.4;

q_{pk} ——桩端极限端阻力标准值(kPa),可按表 4.3.9 取值;

A_p ——桩端扩大头截面积(m^2), $A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$, D 为桩端扩大头直径(m)。

表 4.3.9 重锤沉管夯扩桩极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土的名称	土的状态		桩长 l (m)		
			$l \leq 9$	$9 < l \leq 16$	$16 < l \leq 25$
黏性土	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	210~850	650~1400	1200~1800
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	850~1700	1400~2200	1900~2800
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	1500~2300	2300~3300	2700~3600
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	2500~3800	3800~5500	5500~6000
粉土	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	950~1700	1400~2100	1900~2700
	密实	$e < 0.75$	1500~2600	2100~3000	2700~3600
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	1000~1600	1500~2300	1900~2700
	中密、密实	$N > 15$	1400~2200	2100~3000	3000~4500
细砂	中密、密实	$N > 15$	2500~4000	3600~5000	4400~6000
中砂			4000~6000	5500~7000	6500~8000
粗砂			5700~7500	7500~8500	8500~10000
砾砂	中密、密实	$N > 15$	6000~9500		9000~10500
圆砾、角砾		$N_{63.5} > 10$	7000~10000		9500~11500
碎石、卵石		$N_{63.5} > 10$	8000~11000		10500~13000
强风化软质岩		$N_{63.5} > 10$	6000~9000		
强风化硬质岩		$N_{63.5} > 10$	7000~11000		

注：砂土和碎石土中桩的极限端阻力，宜综合考虑土的密实度，桩端进入持力层的深度比 h_b/d ，土愈密实， h_b/d 愈大，取值愈高。

4.3.10 采用植入法管桩时，单桩竖向极限承载力标准值宜符合下列规定：

1 桩端持力层为土层或强风化层时，可按下式计算：

$$Q_{uk} = u_D \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (4.3.10)$$

式中： u_D ——植桩成孔周长(m)；

l_i ——第 i 层土(岩)的厚度(m);

q_{sik} ——桩的第 i 层土(岩)极限侧阻力标准值(kPa),宜根据现场试验和地区经验按灌注桩取值,无试验资料和地区经验时,可按表 4.3.6-1 泥浆护壁钻孔灌注桩取高值;

q_{pk} ——桩端极限端阻力标准值(kPa),根据桩端插入深度确定,插入深度小于成孔深度,按照灌注桩桩端阻力取值,无相关参数时可按表 4.3.6-2;插入深度等于或大于成孔深度,按照预制桩桩端阻力取值,无相关参数时可按表 4.3.6-3 取值;

A_p ——桩端横截面面积(m^2)。

2 桩端持力层为中、微风化岩层,可按本标准第 4.3.15 条计算。

4.3.11 置于极破碎、破碎岩石的桩基单桩竖向极限承载力标准值,根据成桩工艺的不同,可按本标准第 4.3.6 条~4.3.10 条计算。

4.3.12 置于较破碎、较完整、完整岩石的嵌岩桩单桩竖向极限承载力,由桩周土总极限侧阻力和嵌岩段总极限阻力组成,可按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{rk} \quad (4.3.12)$$

式中: Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值;

Q_{sk} ——土层段单桩总极限侧阻力标准值;

Q_{rk} ——单桩嵌岩段总极限阻力标准值。

4.3.13 置于较完整、完整岩石上的桩基,穿越土层厚度小于 10m 时,可不考虑桩侧土的正摩阻力。

4.3.14 桩端置于较破碎、较完整、完整岩石的机械成孔嵌岩桩,嵌岩段总极限阻力标准值根据岩石单轴抗压强度标准值确定时,可按下式计算:

$$Q_{rk} = \zeta_r f_{rk} A_p \quad (4.3.14)$$

式中: ζ_r ——嵌岩段侧阻和端阻综合系数,可按表 4.3.14 采用;

f_{rk} ——岩石天然单轴抗压强度标准值,对于使用期遭受水浸泡的非黏土质岩(砂岩),应取岩石饱和单轴抗压强度标准值;

A_p ——嵌岩段桩端横截面积。

表 4.3.14 桩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	5.0	6.0	7.0	8.0
极软岩、 软岩	较破碎	—	0.45	0.55	0.60	0.65	0.71	—	—	—	—
	较完整、 完整	0.60	0.80	0.95	1.18	1.35	1.48	1.57	1.63	1.66	1.70
较硬岩、 坚硬岩	较破碎	—	0.32	0.40	0.44	0.48	0.52	—	—	—	—
	较完整、 完整	0.45	0.65	0.81	0.90	1.00	1.04	—	—	—	—

注:1 极软岩、软岩指 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$;较硬岩、坚硬岩指 $f_{rk} > 30\text{MPa}$,介于二者之间可内插取值;

2 d 为嵌岩段桩身直径, 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。

4.3.15 干作业成孔且清底干净或采用后注浆工艺嵌入较破碎、较完整、完整岩石的桩基,其嵌岩段总极限阻力标准值根据岩石单轴抗压强度标准值和经验系数综合确定时,可按下列公式计算:

$$Q_{rk} = \alpha \beta f_{rk} A_p \quad (4.3.15)$$

式中: α ——桩端地基承载力提高系数,按表 4.3.15 桩端承载力提高系数和地质勘察报告提供的地基条件系数的较大值采用;

β ——考虑嵌固力影响后的承载力修正系数,按本标准第 4.3.17 条取值。

表 4.3.15 桩端承载力提高系数最小值

岩石坚硬程度	完整	较完整	较破碎
较硬岩、坚硬岩	1.3	1.1	0.7
极软岩、软岩	1.7	1.5	1.1

注：介于软岩与较硬岩二者之间可内插取值。

4.3.16 干作业成孔且清底干净或采用后注浆工艺的嵌岩桩，其嵌入较破碎、较完整、完整岩石段总极限阻力标准值根据岩基载荷试验所得的桩端地基极限承载力标准值结合经验系数确定时，可按下列公式计算：

$$Q_{rk} = \beta f_{uk} A_p \quad (4.3.16)$$

式中： f_{uk} ——桩端地基极限承载力标准值，可按本标准附录 A 桩端岩石载荷试验方法确定。

4.3.17 根据持力层岩石完整性、软硬程度、嵌岩深度及桩基形状的不同，考虑嵌固力影响后的桩基承载力修正系数 β 应按下列规定取值：

1 以较破碎岩石为持力层，嵌入深度小于 1 倍桩径（短边尺寸）时， $\beta=1.0$ ；嵌入深度不小于 1 倍桩径（短边尺寸）时，圆形桩、矩形桩、椭圆形桩 β 分别按表 4.3.17-1、2、3 取值；

2 以较完整、完整岩石为持力层，嵌入深度小于 0.5 倍桩径（短边尺寸）时， $\beta=1.0$ ；嵌入深度不小于 0.5 倍桩径但小于 1 倍桩径（短边尺寸）时， $\beta=1.2$ ；嵌入深度不小于 1 倍桩径（短边尺寸）时，圆形桩、矩形桩、椭圆形桩 β 分别按表 4.3.17-1、2、3 取值。

表 4.3.17-1 圆形桩承载力修正系数 β

$n = h_r/d$		1	2	3	4	5	6
β	较破碎岩	1.326	1.452	1.578	1.704	1.830	—
	软质岩	1.326	1.742	1.894	2.045	2.196	2.477
	硬质岩	1.326	1.597	1.736	1.874	2.013	—

注： n 为嵌岩深度 h_r 与嵌岩段桩身直径 d 之比，若 n 不为整数时， β 值可按线性插值法计算。

表 4.3.17-2 矩形桩承载力修正系数 β

β $n=h_r/a$ a/b		1	2	3	4	≥ 5
较破碎岩	1	1.320	1.440	1.560	1.680	1.800
	0.9	1.314	1.428	1.542	1.656	1.770
	0.8	1.308	1.416	1.524	1.632	1.740
	0.7	1.302	1.404	1.506	1.608	1.710
	0.6	1.296	1.392	1.488	1.584	1.680
	0.5	1.290	1.380	1.470	1.560	1.650
较完整、 完整 软质岩	1	1.320	1.728	1.872	2.016	2.160
	0.9	1.314	1.714	1.850	1.987	2.124
	0.8	1.308	1.699	1.829	1.958	2.088
	0.7	1.302	1.685	1.807	1.930	2.052
	0.6	1.296	1.670	1.786	1.901	2.016
	0.5	1.290	1.656	1.764	1.872	1.980
较完整、 完整 硬质岩	1	1.320	1.584	1.716	1.848	1.980
	0.9	1.314	1.571	1.697	1.822	1.948
	0.8	1.308	1.558	1.676	1.795	1.914
	0.7	1.302	1.544	1.657	1.769	1.882
	0.6	1.296	1.531	1.637	1.742	1.848
	0.5	1.290	1.518	1.618	1.716	1.816

注:1 a 为矩形桩嵌岩段截面短边尺寸, b 为矩形桩嵌岩段截面长边尺寸;

2 n 为嵌岩深度 h_r 与 a 之比,若 n 不为整数时, β 值可按线性插值法计算;

3 a/b 不为表列数值时, β 值可按线性插值法计算。

表 4.3.17-3 椭圆形桩承载力修正系数 β

β c_t/d		$n=h_t/d$ 1 2 3 4 ≥ 5				
较破碎岩	0.2	1.313	1.426	1.538	1.651	1.765
	0.4	1.304	1.409	1.513	1.618	1.722
	0.6	1.298	1.397	1.495	1.594	1.692
	0.8	1.294	1.388	1.482	1.576	1.670
	1	1.290	1.381	1.471	1.562	1.652
	1.2	1.288	1.375	1.463	1.550	1.638
	1.4	1.285	1.370	1.457	1.542	1.627
	1.6	1.284	1.367	1.451	1.534	1.618
	1.8	1.282	1.364	1.446	1.528	1.609
	2.0	1.280	1.361	1.441	1.523	1.603
较完整、 完整 软质岩	0.2	1.313	1.711	1.846	1.981	2.118
	0.4	1.304	1.691	1.816	1.942	2.066
	0.6	1.298	1.676	1.794	1.913	2.030
	0.8	1.294	1.666	1.778	1.891	2.004
	1	1.290	1.657	1.765	1.874	1.982
	1.2	1.288	1.650	1.756	1.860	1.966
	1.4	1.285	1.644	1.748	1.850	1.952
	1.6	1.284	1.640	1.741	1.841	1.942
	1.8	1.282	1.637	1.735	1.834	1.931
	2.0	1.280	1.633	1.729	1.828	1.924

续表4.3.17-3

β c_t/d		$n=h_t/d$	1	2	3	4	≥ 5
较完整、 完整 硬质岩	0.2		1.313	1.568	1.692	1.817	1.942
	0.4		1.304	1.549	1.664	1.780	1.895
	0.6		1.298	1.536	1.645	1.753	1.861
	0.8		1.294	1.528	1.631	1.733	1.837
	1		1.290	1.519	1.619	1.718	1.818
	1.2		1.288	1.513	1.609	1.705	1.802
	1.4		1.285	1.507	1.602	1.697	1.790
	1.6		1.284	1.504	1.596	1.687	1.780
	1.8		1.282	1.501	1.591	1.680	1.770
	2.0		1.280	1.496	1.585	1.675	1.764

注:1 c_t 为椭圆桩嵌岩段截面直段尺寸, c_t/d 值为表中范围内时, β 值可按线性插值法计算;

2 n 为嵌岩深度 h_t 与椭圆桩圆弧直径 d 之比, 若 n 不为整数时, β 值可按线性插值法计算。

4.4 特殊条件下的桩基竖向承载力验算

I 负摩阻力计算

4.4.1 桩基符合下列条件之一时, 在计算基桩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、液化土层时;

2 桩周存在软弱土层, 邻近桩侧地面承受较大的局部长期荷载, 或地面大面积堆载(包括填土)时;

3 由于降低地下水位,桩周土产生显著压缩沉降时。

4.4.2 桩周土沉降可能引起桩侧负摩阻力时,应根据工程具体情况考虑负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响。当缺乏工程经验及实测资料,没有相似条件下的工程类比经验作参考时,可按下列规定验算:

1 对于摩擦型基桩可取桩身计算中性点以上侧阻力为零,并可按下式验算基桩承载力:

$$N_k \leq R_a \quad (4.4.2-1)$$

2 对于嵌岩桩及端承型基桩除满足式(4.4.2-1)要求外,尚应按下式验算基桩承载力:

$$Q_g^n + N_k \leq \Psi R_a \quad (4.4.2-2)$$

式中: Q_g^n ——负摩阻力引起的基桩下拉荷载标准值;

Ψ ——调整系数,嵌岩段总极限阻力标准值按本标准第4.3.14计算时, Ψ 取1.5;嵌岩段总极限阻力标准值按本标准第4.3.15计算,且桩端位于较完整、完整岩,嵌岩深度大于0.5倍桩径(短边尺寸)时, Ψ 取1.25;其余情况, Ψ 取1.0。

4.4.3 单桩承受的桩侧负摩阻力及其下拉荷载标准值,当无实测资料时可按下列规定计算:

1 中性点以上单桩桩周第*i*层土负摩阻力标准值,可按下式计算:

$$q_{si}^n = \zeta_{ni} \sigma'_i \quad (4.4.3-1)$$

式中: q_{si}^n ——中性点以上的第*i*层土桩侧负摩阻力标准值,当按式(4.4.3-1)计算值大于桩侧极限正摩阻力标准值时,取桩的极限正摩阻力标准值进行设计;

ζ_{ni} ——桩周第*i*层土负摩阻力系数,当缺少相关岩土参数时,可按表4.4.3取值;

σ'_i ——桩周第*i*层土平均竖向有效应力,可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94计算。

表 4.4.3 桩周土负摩阻力系数 ζ_{ni}

土类	ζ_{ni}
饱和软土	0.15~0.25
黏性土、粉土	0.25~0.40
砂土	0.35~0.50
新近填土	0.20~0.50

- 注:1 在同一类土中,对于挤土桩,取表中较大值,对于非挤土桩,取表中较小值;
 2 干作业成孔时,取表中较大值,湿作业成孔时,取表中较小值;
 3 新近碎块石填土,当块石空隙被黏性土充填时,取表中较大值,当无充填时,取表中较小值。

2 基桩下拉荷载标准值可按式计算:

$$Q_g^n = u \sum_{i=1}^n q_{si}^n l_i \quad (4.4.3-2)$$

式中: l_i ——中性点以上第 i 层土的厚度;

u ——桩身周长;

n ——中性点以上土层数。

4.4.4 受负摩阻力的桩,中性点应按桩周土层沉降与桩沉降相等的条件计算确定,也可按工程经验或参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定。

4.4.5 单桩在负摩阻力作用下的桩身强度应按下列规定验算:

1 当桩顶以下 5d 范围的桩身螺旋式(或水平环形)箍筋间距不大于 100mm,且符合本标准第 5.1.1 条规定时:

$$1.3Q_g^n + \gamma_0 N \leq \Psi_c f_c A + 0.9 f_y' A_s' \quad (4.4.5-1)$$

2 当桩身配筋不符合上述 1 款规定时:

$$1.3Q_g^n + \gamma_0 N \leq \Psi_c f_c A \quad (4.4.5-2)$$

式中: N ——相应于荷载基本组合下的桩顶轴向压力设计值;

Ψ_c ——基桩成桩工艺系数,按本标准第 4.4.6 条取值;

f_y' ——纵向主筋抗压强度设计值;

A_s' ——纵向主筋截面面积;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

A ——桩身横截面面积。

4.4.6 基桩成桩工艺系数 Ψ_c 应按下列规定取值：

- 1 混凝土预制桩、预应力混凝土管桩： $\Psi_c=0.85$ ；
- 2 干作业非挤土灌注桩： $\Psi_c=0.9$ ；
- 3 泥浆护壁和套管护壁非挤土灌注桩： $\Psi_c=0.8$ ；
- 4 部分挤土灌注桩及挤土灌注桩： $\Psi_c=0.7\sim0.8$ ；
- 5 软土地区的挤土灌注桩： $\Psi_c=0.6$ 。

II 抗拔桩基承载力验算

4.4.7 承受拔力的桩基，应按下列公式同时验算群桩基础整体破坏和呈非整体破坏时基桩的抗拔承载力：

$$N_k \leq T_{uk}/2 + G_p \quad (4.4.7-1)$$

$$N_k \leq T_{gk}/2 + G_{gp} \quad (4.4.7-2)$$

式中： N_k ——按荷载标准组合计算的基桩拔力；

T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值，可按本标准第 4.4.8 条确定；

G_p ——基桩自重，扩底桩为桩土柱体自重标准值，地下水位以下取浮重度；

T_{gk} ——群桩呈整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值，可按本标准第 4.4.8 条确定；

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

4.4.8 基桩的抗拔极限承载力的确定应符合下列规定：

1 基桩抗拔极限承载力应通过单桩竖向抗拔静载试验确定。单桩竖向抗拔静载试验及抗拔极限承载力标准值取值可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 进行；

2 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列规定计算：

- 1) 以土层、强风化层、极破碎或破碎岩石为持力层的桩基, 基桩的抗拔极限承载力标准值可按下式计算:

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (4.4.8-1)$$

- 2) 以较破碎、较完整、完整岩石为持力层的桩基, 且嵌岩深度不小于 2 倍桩径时, 基桩的抗拔极限承载力标准值可按下式计算:

$$T_{uk} = \sum \lambda_i \zeta_{si} f_{rk} u_i h_r \quad (4.4.8-2)$$

式中: λ_i ——抗拔系数, 可按表 4.4.8-1 取值;

u_i ——桩身周长;

ζ_{si} ——嵌岩桩与岩体的侧阻力系数, 按表 4.4.8-2 采用;

h_r ——嵌岩桩的嵌岩深度。

表 4.4.8-1 抗拔系数 λ

土类	λ 值
砂土	0.50~0.70
黏性土、粉土	0.70~0.80
岩石	0.80

表 4.4.8-2 桩周岩体侧阻力系数 ζ_s

嵌岩深径比 h_r/d		2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
极软岩、 软岩、 较软岩	较破碎	0.027	0.025	0.024	—	—	—	—
	较完整、完整	0.056	0.054	0.051	0.048	0.045	0.042	0.040
较硬岩、 坚硬岩	较破碎	0.024	0.022	0.020	—	—	—	—
	较完整、完整	0.050	0.045	0.040	—	—	—	—

注: 干作业成孔时, 表中系数可提高 20%。

- 3 群桩呈整体破坏时, 基桩的抗拔极限承载力标准值可按
下式计算:

$$T_{gk} = \frac{1}{n} u_l \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad (4.4.8-3)$$

式中: u_l ——桩群外围周长。

III 软弱下卧层验算

4.4.9 桩端持力层以下 3 倍桩径或 5m 的范围内存在承载力低于桩端持力层承载力 1/3 的软弱下卧层时,应验算软弱下卧层的承载力,必要时尚应验算其变形。

4.4.10 软弱下卧层可按下列要求验算承载力:

1 桩端以土层、强风化层、极破碎或破碎岩石为持力层时,可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 进行软弱下卧层的承载力验算;

2 桩端以较破碎、较完整、完整岩石为持力层,两桩之间桩端压力扩散距离之和不大于桩净距时(图 4.4.10-1),可按下列公式验算单桩桩端下卧软质岩层的承载力:

$$\text{圆形桩: } N_k \leq \frac{f_{ukl} A_{pl} + 1.5(Q_{sk} + Q_{ck})}{3} \quad (4.4.10-1)$$

$$A_{pl} = \frac{\pi}{4} (d + 2t \cdot \tan\theta)^2 \quad (4.4.10-2)$$

$$\text{矩形桩或椭圆形桩: } N_k \leq \frac{f_{ukl} A_{pl} + Q_{sk} + Q_{ck}}{3} \quad (4.4.10-3)$$

$$\text{对矩形桩: } A_{pl} = (a + 2t \cdot \tan\theta)(b + 2t \cdot \tan\theta) \quad (4.4.10-4)$$

$$\text{对椭圆形桩: } A_{pl} = \frac{\pi}{4} (d + 2t \cdot \tan\theta)^2 + c_t (d + 2t \cdot \tan\theta) \quad (4.4.10-5)$$

式中: N_k ——相应于荷载标准组合下的桩顶轴向压力值;

f_{ukl} ——下卧软质岩层的桩端地基极限承载力标准值;

A_{pl} ——扩散至下卧软质岩层顶面的计算桩端面积;

Q_{sk} ——土层段单桩总极限侧阻力标准值;

Q_{ck} ——单桩桩周岩石的总极限侧阻力标准值;

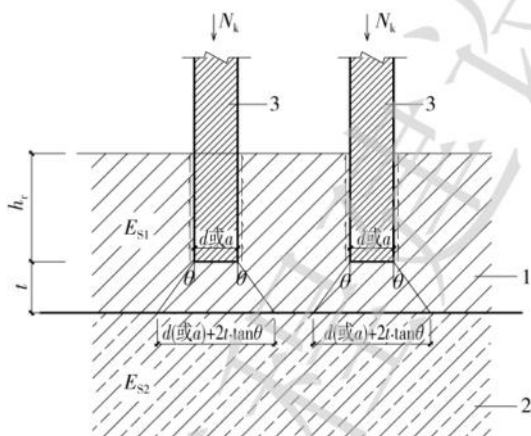
d ——圆形桩或椭圆形桩直径;

a, b —— 分别为矩形桩的短边、长边尺寸；

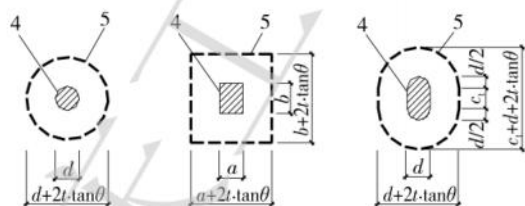
c_t —— 椭圆形桩直段尺寸；

θ —— 桩端压力扩散角；

t —— 桩端持力层厚度。



(a) 桩端应力扩散示意



(b) 扩散至下卧软质岩层顶面的计算桩端面积示意

图 4.4.10-1 软弱下卧层承载力验算-1

1—桩端持力层；2—下卧软质岩层；3—基桩；4—桩端面积 A_{p1} ；

5—扩散至下卧软质岩层顶面的计算桩端面积 A_{p1}

3 桩端以较破碎、较完整、完整岩石为持力层，两桩之间桩端压力扩散距离之和大于桩净距时(图 4.4.10-2)，可按下列公式验算桩端下卧软质岩层的承载力：

$$\text{圆形桩: } \sum N_{ik} \leq \frac{f_{uk1} A_{p2} + 1.5 \sum (Q_{sik} + Q_{cik})}{3} \quad (4.4.10-6)$$

$$\text{矩形桩或椭圆形桩: } \sum N_{ik} \leq \frac{f_{uk1} A_{p2} + \sum (Q_{sik} + Q_{cik})}{3}$$

(4.4.10-7)

式中: N_{ik} —— 相应于荷载标准组合下第 i 桩桩顶轴向压力值;
 Q_{sik} —— 第 i 桩土层段的总极限侧阻力标准值;
 Q_{cik} —— 第 i 桩桩周岩石的总极限侧阻力标准值;
 A_{p2} —— 计算范围桩外缘扩散至下卧软质岩层顶面的总计算桩端面积。

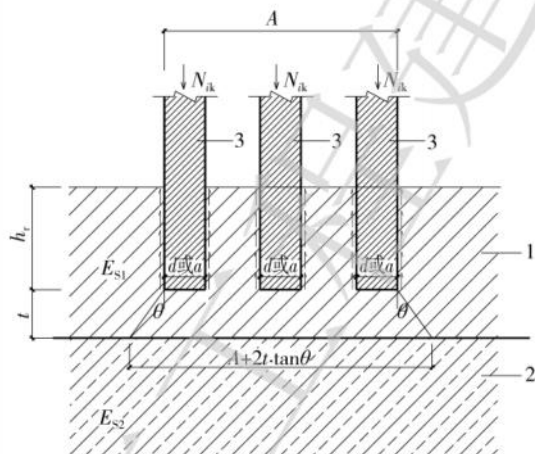


图 4.4.10-2 软弱下卧层承载力验算-2

1—桩端持力层;2—下卧软质岩层;3—基桩

表 4.4.10 桩端持力层扩散角 θ

E_{s1}/E_{s2}	$t \geq d$ (或 a)
1	28°
2	32°
3	34°
≥ 4	36°

注:1 E_{s1} 、 E_{s2} 分别为桩端持力层、下卧软质岩层的弹性模量;

2 当 $t < d(a)$ 或 $t < 2m$ 时,桩端持力层扩散角 $\theta = 0^\circ$;

3 当 E_{s1}/E_{s2} 不为整数时, θ 值可按内插取值。

4.4.11 桩端置于较破碎、较完整、完整岩石的嵌岩桩，桩周岩石的总极限侧阻力标准值 Q_{ck} ，可按下列公式计算：

1 圆形桩：

$$Q_{ck} = \zeta_s f_{rk} u h_r \quad (4.4.11-1)$$

式中： ζ_s ——桩嵌岩段侧阻力系数，可按表 4.4.11 采用；

u ——嵌岩段桩周长；

h_r ——嵌岩深度。

2 矩形桩或椭圆形桩：

$$Q_{ck} = \left(\frac{\beta}{\epsilon} - 1 \right) f_{uk} A_p \quad (4.4.11-2)$$

式中： ϵ ——调整系数。较破碎岩石持力层， $\epsilon=1.0$ ；较完整、完整岩石持力层，嵌入深度小于 1 倍桩径（短边尺寸）时， $\epsilon=1.0$ ，嵌入深度不小于 1 倍桩径（短边尺寸）时，软质岩 $\epsilon=1.2$ ，硬质岩 $\epsilon=1.1$ 。

表 4.4.11 桩嵌岩段侧阻力系数 ζ_s 。

嵌岩深径比 h_r/d		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
极软岩、 软岩、 较软岩	较破碎	0.025	0.029	0.027	0.025	0.024	—	—	—	—
	较完整、完整	0.052	0.056	0.056	0.054	0.051	0.048	0.045	0.042	0.040
较硬岩、 坚硬岩	较破碎	0.025	0.025	0.024	0.022	0.020	—	—	—	—
	较完整、完整	0.050	0.052	0.050	0.045	0.040	—	—	—	—

注：1 当嵌岩段深度小于 0.5m 或 0.5 倍桩径时，桩嵌岩段侧阻力系数 ζ_s 取 0.0；

2 干作业成孔时，表中系数可提高 20%。

4.5 桩基水平承载力计算

4.5.1 单桩水平承载力应符合下列要求：

$$H_{ik} \geq R_h \quad (4.5.1-1)$$

考虑地震作用组合时：

$$H_{ik} \leq R_h / \gamma_{RE} \quad (4.5.1-2)$$

式中: H_{ik} ——相应于作用标准组合下, 作用于基桩 i 桩顶水平力;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数, 取 0.8;

R_h ——单桩水平承载力特征值。

4.5.2 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定:

1 单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定。试验方法可按现行行业标准《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 执行;

2 当缺少单桩水平静载试验资料时, 可按桩身强度或变形控制, 参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定估算单桩水平承载力。

4.5.3 当作用于桩基上的外力主要为水平力时, 应根据使用要求对桩顶水平位移进行限制, 对桩基水平承载力进行验算。桩侧以土体为主时可采用“m”法计算桩内力和变形; 桩侧为岩体时可采用“k”法计算内力和变形。

4.5.4 验算斜坡上桩基的水平承载力时, 应综合考虑斜坡的坡度、岩土条件以及桩基与斜坡的关系等因素的不利影响。

4.6 桩身承载力与裂缝控制计算

4.6.1 钢筋混凝土轴心受压桩正截面受压承载力应符合下列规定:

1 当桩顶以下 $5d$ 范围的桩身螺旋式(或水平环形)箍筋间距不大于 100mm, 且符合本标准第 5.1.1 条规定时:

$$\gamma_0 N \leq \Psi_c f_c A + 0.9 f'_y A'_s \quad (4.6.1-1)$$

2 当桩身配筋不符合上述 1 款规定时:

$$\gamma_0 N \leq \Psi_c f_c A \quad (4.6.1-2)$$

式中: N ——相应于作用基本组合时桩顶轴向压力设计值;

Ψ_c ——基桩成桩工艺系数, 按本标准第 4.4.6 条的规定取值;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

f'_y ——纵向主筋抗压强度设计值;

A'_s ——纵向主筋截面面积;

A ——桩身横截面面积。

4.6.2 钢筋混凝土轴心抗拔桩的正截面受拉承载力应符合下式规定：

$$\gamma_0 N \leq f_y A_s + f_{py} A_{py} \quad (4.6.2)$$

式中： N ——相应于作用基本组合时桩顶轴向拉力设计值；

f_y 、 f_{py} ——普通钢筋、预应力钢筋的抗拉强度设计值；

A_s 、 A_{py} ——普通钢筋、预应力钢筋的截面面积。

4.6.3 抗拔桩的裂缝控制计算应符合下列规定：

1 严格要求不出现裂缝的一级裂缝控制等级预应力混凝土基桩，在荷载标准组合下混凝土不应产生拉应力，应符合下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (4.6.3-1)$$

2 一般要求不出现裂缝的二级裂缝控制等级混凝土基桩，在荷载标准组合下的拉应力不应大于混凝土轴心受拉强度标准值，应符合下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (4.6.3-2)$$

3 允许出现裂缝的三级裂缝控制等级基桩，最大裂缝宽度按荷载准永久组合并考虑长期作用影响的效应计算，预应力混凝土基桩的最大裂缝宽度按荷载标准组合并考虑长期作用影响的效应计算，最大裂缝宽度应符合下列规定：

$$\omega_{\max} \leq \omega_{\lim} \quad (4.6.3-3)$$

预应力混凝土基桩，在荷载效应准永久组合下，受拉边缘应力尚应符合下式规定：

$$\sigma_{cq} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (4.6.3-4)$$

式中： σ_{ck} 、 σ_{cq} ——荷载效应标准组合、准永久组合下正截面法向应力；

σ_{pc} ——扣除全部应力损失后，桩身混凝土的预应力；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；

$\omega_{\max}$ ——按荷载效应标准组合或准永久组合并考虑长期作用影响计算的最大裂缝宽度，可按现行国家

标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 计算；
 $\omega_{\lim}$ ——最大裂缝宽度限值，按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 取用。

4.6.4 水平荷载作用下，桩身受弯、受剪承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 有关规定。

4.6.5 管桩的桩身正截面受压验算按现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 相关要求进行。

4.6.6 当考虑地震作用验算桩身承载力时，应根据现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定，对作用于桩顶的地震作用效应进行调整。

4.7 承台及连系梁计算

4.7.1 柱下桩基承台的弯矩可按以下简化计算方法确定：

1 多桩矩形承台计算截面取在柱边、墙边和承台变阶处(图 4.7.1a)：

$$M_x = \sum N_i y_i \quad (4.7.1-1)$$

$$M_y = \sum N_i x_i \quad (4.7.1-2)$$

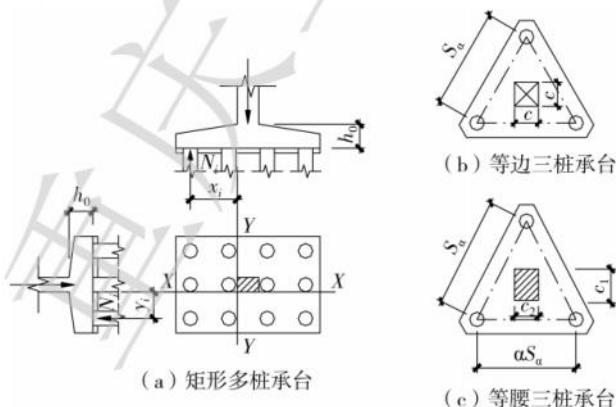


图 4.7.1 承台弯矩计算示意

式中: M_x 、 M_y ——分别为绕 x 轴和绕 y 轴方向计算截面处弯矩设计值;

x_i 、 y_i ——垂直 y 轴和 x 轴方向自桩轴线到相应计算截面的距离;

N_i ——不计承台和其上填土自重,在荷载基本组合下的第 i 基桩竖向反力设计值。

2 三桩承台

1) 等边三桩承台(图 4.7.1b):

$$M = \frac{N_{\max}}{3} \left(s_a - \frac{\sqrt{3}}{4} c \right) \quad (4.7.1-3)$$

式中: M ——由承台形心至各边边缘正交截面范围内板带的弯矩设计值;

$N_{\max}$ ——不计承台和其上填土自重,在荷载基本组合下三桩中最大基桩竖向反力设计值;

s_a ——桩中心距;

c ——方柱边长,圆柱时 $c = 0.8d$ (d 为圆柱直径)。

2) 等腰三桩承台(图 4.7.1c):

$$M_1 = \frac{N_{\max}}{3} \left(s_a - \frac{0.75}{\sqrt{4-\alpha^2}} c_1 \right) \quad (4.7.1-4)$$

$$M_2 = \frac{N_{\max}}{3} \left(\alpha s_a - \frac{0.75}{\sqrt{4-\alpha^2}} c_2 \right) \quad (4.7.1-5)$$

式中: M_1 、 M_2 ——分别为承台形心至两腰边缘和底边缘正交截面范围内板带的弯矩设计值;

s_a ——长向桩中心距;

α ——短向桩中心距与长向桩中心距之比,当 α 小于 0.5 时,应按变截面的二桩承台设计;

c_1 、 c_2 ——分别为垂直于、平行于承台底边的柱截面边长。

4.7.2 柱下桩基础独立承台受冲切承载力的计算,应符合下列规定:

1 柱对承台的冲切,可按下列公式计算(图 4.7.2-1):

$$F_l \leq 2[\beta_{0x}(b_c + a_{0y}) + \beta_{0y}(h_c + a_{0x})]\beta_{hp}f_t h_0 \quad (4.7.2-1)$$

$$F_l = F - \sum N_i \quad (4.7.2-2)$$

$$\beta_{0x} = \frac{0.84}{\lambda_{0x} + 0.2} \quad (4.7.2-3)$$

$$\beta_{0y} = \frac{0.84}{\lambda_{0y} + 0.2} \quad (4.7.2-4)$$

式中: F_l ——不计承台及其上填土自重,在荷载效应基本组合下作用于冲切破坏锥体上的冲切力设计值,冲切破坏锥体应采用自柱边或承台变阶处至相应桩顶边缘连线构成的锥体,锥体与承台底面的夹角不应小于 45° (图 4.7.2-1);

h_0 ——冲切破坏锥体的有效高度;

β_{hp} ——承台受冲切承载力截面高度影响系数,当 $h \leq 800\text{mm}$ 时, β_{hp} 取 1.0, $h \geq 2000\text{mm}$ 时, β_{hp} 取 0.9,其间按线性内插法取值;

β_{0x}, β_{0y} ——冲切系数;

$\lambda_{0x}, \lambda_{0y}$ ——冲跨比, $\lambda_{0x} = a_{0x}/h_0$, $\lambda_{0y} = a_{0y}/h_0$, a_{0x}, a_{0y} 为柱边或变阶处至桩边的水平距离;当 $a_{0x} (a_{0y}) < 0.25h_0$ 时,取 $a_{0x} (a_{0y}) = 0.25h_0$;当 $a_{0x} (a_{0y}) > 0.25h_0$ 时,取 $a_{0x} (a_{0y}) = h_0$;

F ——不计承台及其上土重,在荷载基本组合作用下柱底的竖向荷载设计值;

$\sum N_i$ ——不计承台及其上土重,在荷载基本组合作用下冲切破坏锥体范围内各桩的净反力设计值之和。

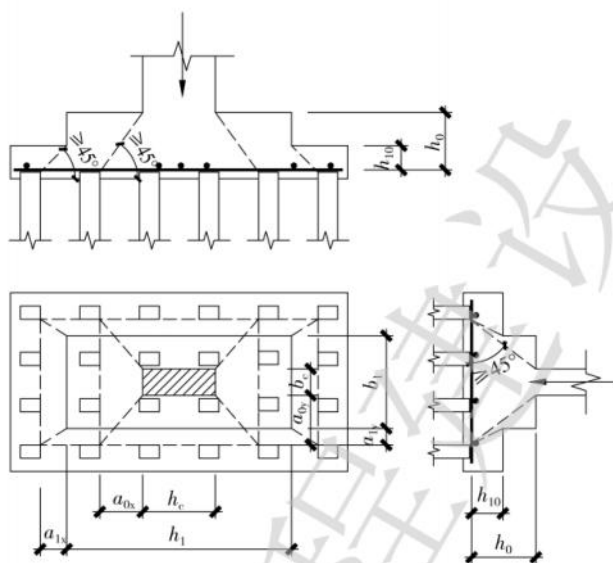


图 4.7.2-1 柱对承台冲切计算示意

2 角桩对承台的冲切,可按下列规定计算:

1) 多桩矩形承台受角桩冲切的承载力应按下列公式计算(图 4.7.2-2):

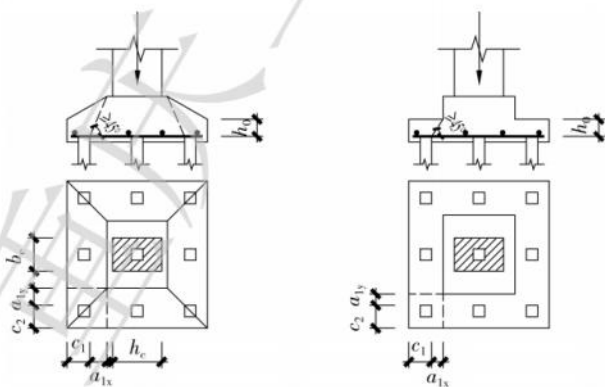


图 4.7.2-2 矩形承台角柱冲切计算示意

$$N_l \leq \left[\beta_{1x} \left(c_2 + \frac{a_{1y}}{2} \right) + \beta_{1y} \left(c_1 + \frac{a_{1x}}{2} \right) \right] \beta_{hp} f_t h_0 \quad (4.7.2-5)$$

$$\beta_{1x} = \frac{0.56}{\lambda_{1x} + 0.2} \quad (4.7.2-6)$$

$$\beta_{1y} = \frac{0.56}{\lambda_{1y} + 0.2} \quad (4.7.2-7)$$

式中: N_l ——不计承台和其上填土自重,在荷载基本组合下角桩反力设计值;

β_{1x}, β_{1y} ——角桩冲切系数;

$\lambda_{1x}, \lambda_{1y}$ ——角桩冲跨比, $\lambda_{1x} = a_{1x}/h_0$, $\lambda_{1y} = a_{1y}/h_0$, 其值均应满足 0.25~1.0;

c_1, c_2 ——从角桩内边缘至承台外边缘的距离;

a_{1x}, a_{1y} ——从承台底角桩顶内边缘引 45°冲切线与承台顶面至角桩内边缘的水平距离;当柱(墙)位于该 45°线以内时,则取柱(墙)边或承台变阶处与桩内边缘连线为冲切锥体的锥线;

h_0 ——承台外边缘的有效高度。

2) 三桩三角形承台受角桩冲切的承载力可按下列公式计算(图 4.7.2-3):

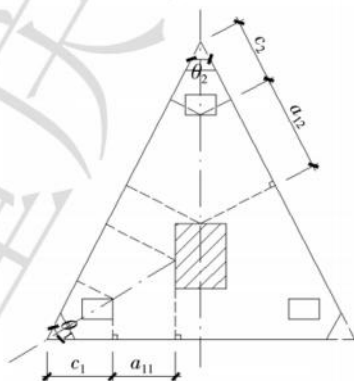


图 4.7.2-3 三角形承台角桩冲切计算示意

底部角桩:

$$N_l \leq \beta_{11} (2c_1 + a_{11}) \beta_{hp} \tan \frac{\theta_1}{2} f_t h_0 \quad (4.7.2-8)$$

$$\beta_{11} = \frac{0.56}{\lambda_{11} + 0.2} \quad (4.7.2-9)$$

顶部角桩:

$$N_l \leq \beta_{12} (2c_2 + a_{12}) \beta_{hp} \tan \frac{\theta_2}{2} f_t h_0 \quad (4.7.2-10)$$

$$\beta_{12} = \frac{0.56}{\lambda_{12} + 0.2} \quad (4.7.2-11)$$

式中: λ_{11} 、 λ_{12} ——角桩冲跨比, $\lambda_{11} = a_{11}/h_0$ 、 $\lambda_{12} = a_{12}/h_0$, 其值均应满足 0.25~1.0 的要求;

a_{11} 、 a_{12} ——从承台底角桩顶内边缘向相邻承台边引起 45° 冲切线与承台顶面相交点至角桩内边缘的水平距离; 当柱(墙)位于该 45° 线以内时, 则取柱(墙)边或承台变阶处与桩内边缘连线为冲切锥体的锥线。

对圆柱及圆形桩, 计算时应将圆形截面换算成正方形截面, 取换算截面边长为 0.8d (d 为圆柱或圆形桩直径)。

4.7.3 柱下桩基独立承台应分别对柱边和桩边, 变阶处和桩边联线形成的斜截面进行受剪计算(图 4.7.3)。当柱边外有多排桩形成多个剪切斜截面时, 尚应对每个斜截面进行验算。斜截面受剪承载力可按下列公式计算:

$$V \leq \beta_{hs} \alpha f_t b h_0 \quad (4.7.3-1)$$

$$\alpha = \frac{1.75}{\lambda + 1} \quad (4.7.3-2)$$

$$\beta_{hs} = \left(\frac{800}{h_0} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4.7.3-2)$$

式中: V——不计承台及其上填土自重, 在荷载基本组合下, 斜截面的最大剪力设计值;

- f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；
 b_0 ——承台计算截面处的计算宽度； h_0 ——计算宽度处的承台有效高度；
 α ——承台剪切系数；
 β_{hs} ——受剪切承载力截面高度影响系数，当 $h_0 < 800\text{mm}$ 时， h_0 取 800mm ；当 $h_0 > 2000\text{mm}$ 时， h_0 取 2000mm ；其间按线性内插法取值；
 λ ——计算截面的剪跨比， $\lambda_x = a_x/h_0$ ， $\lambda_y = a_y/h_0$ ， a_x 、 a_y 为柱边或承台变阶处至 x 、 y 方向计算一排桩的桩边的水平距离，当 $\lambda < 0.25$ 时，取 $\lambda = 0.25$ ，当时 $\lambda > 3.0$ 时，取 $\lambda = 3.0$ 。

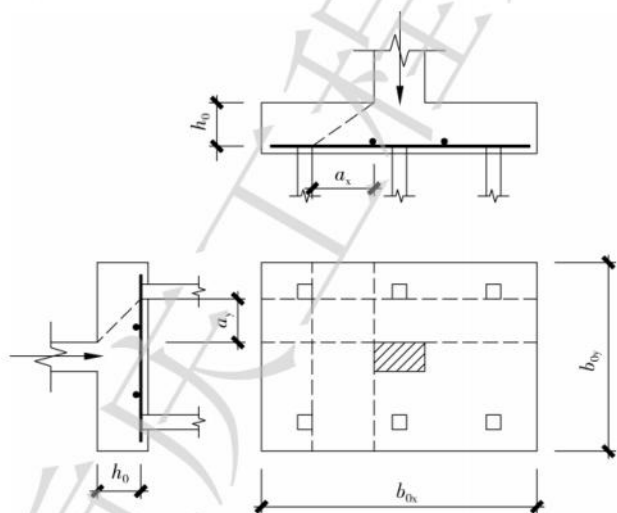


图 4.7.3 承台斜截面受剪计算示意

- 4.7.4 柱(墙)下条形承台梁可视桩为不动铰支座，按连续梁计算。
 4.7.5 当承台的混凝土强度等级低于柱或桩的混凝土强度等级时，尚应验算柱下或桩上承台的局部受压承载力。
 4.7.6 钢筋混凝土挡土墙下连系梁未与钢筋混凝土板相连接

时,可视有垂直方向连系梁相连的桩基为不动铰支座,考虑岩土侧压力荷载,按水平受力的连续梁计算连系梁腰筋和箍筋。

4.7.7 剪力墙下桩间连系梁应按转换梁进行计算。

4.7.8 建筑跨越边坡形成掉层时,边坡上桩基础与掉层结构间连系梁应按弹性板模型计算梁承担的轴向力。

4.7.9 当进行承台和连系梁的抗震验算时,应根据现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定对承台和连系梁顶面的地震作用效应及承台和连系梁的受弯、受冲切、受剪承载力进行抗震调整。

4.8 桩基抗震

4.8.1 承受竖向荷载为主的低承台桩基,当地面以下无液化土,且桩承台周围无淤泥、淤泥质土和地基承载力特征值不大于 100kPa 的填土时,下列建筑可不进行桩基抗震承载力验算:

- 1 6 度设防区的一般工业与民用建筑;
- 2 7 度区不超过 8 层,高度 24m 以下的一般工业与民用建筑;
- 3 7 度区一般的单层厂房和单层空旷房屋。

4.8.2 土中低承台桩基的抗震验算,应符合下列规定:

1 单桩的竖向和水平抗震承载力特征值应按本标准第 4.2、4.5 节的规定执行;

2 当承台周围回填土质量满足现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 对填土的要求时,可由承台正面填土与桩共同承担水平地震作用,承台正面土的水平抗力可取被动土压力的 1/3,但不应计入承台底面与地基土间的摩擦力。

4.8.3 存在液化土层的低承台桩基抗震验算,按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定进行计算。

4.8.4 桩基承台及地下室周围回填土应分层压实或采用混凝土原槽浇筑。处于可液化土中的桩基承台及地下室周围,宜选用级

配良好的材料填筑夯实；当采用砂土或粉土回填时，应使土层的标准贯入击数大于液化标准贯入击数临界值，也可采用注浆等措施来消除液化。

4.8.5 液化土中的桩，由桩顶至液化深度以下 1.5m 的范围内，纵向钢筋需保持与桩顶相同，箍筋应加密，间距宜与桩顶部相同。

4.8.6 位于斜坡地段、岸边的桩基，或因地震作用可能引起地基滑移的桩基，应考虑地震作用产生的附加水平力对桩基承载力的影响，并采取加强措施。

5 桩基构造

5.1 桩基构造

5.1.1 灌注桩配筋应符合下列规定：

1 桩身配筋率可取 0.65%~0.20% (小直径桩取高值,大直径桩取低值);对受荷载特别大的桩、大偏心受压桩、抗拔桩,应根据计算确定配筋率,并不应小于上述规定值;

2 摩擦型灌注桩配筋长度不应小于 2/3 桩长,端承型桩及嵌岩桩应通长配筋;

3 对于受水平荷载较大的桩,主筋不应小于 8 ϕ 12;对于抗压桩和抗拔桩,主筋不应少于 6 ϕ 10;纵向主筋应沿桩身周边均匀布置,其净距不应小于 60mm,不宜大于 300mm;

4 穿越洞室的基桩、斜坡上的基桩,临空部分桩身应按框架柱配筋;

5 箍筋直径不应小于 6mm,间距宜为 200mm~300mm;圆形桩宜采用螺旋式箍筋;大直径桩基,桩顶以下 1500mm 范围内箍筋间距不应大于 100mm,直径不应小于 8mm;中、小直径桩基及考虑主筋作用计算桩身受压承载力的桩基,桩顶以下 5d 范围内箍筋间距不应大于 100mm。当钢筋笼长度超过 4m 时,应每隔 2m 设一道直径不小于 12mm 的加劲箍,焊接成环后与纵筋焊牢。椭圆形桩和矩形桩的钢筋笼,沿桩截面长边方向和桩长度方向每隔 400mm 宜增设直径不小于 10mm 的拉筋。

5.1.2 当桩顶水平力满足下式时,桩身可不配置抗弯钢筋,但应按本标准第 5.1.1 条要求配置构造钢筋。

$$H_{ik} \leq \beta_1 d^2 \sqrt{1.5d^2 + 0.5d} \left(1 + \frac{0.8N_{ik}}{\gamma_p f_{tk} A} \right) \quad (5.1.2)$$

式中: β_1 ——综合系数,按表 5.1.2 选用;

d ——桩身直径(m);

H_{ik} ——相应于作用标准组合下桩顶水平力标准值;

N_{ik} ——相应于作用标准组合下,桩顶扣除竖向活荷载作用的轴向压力标准值(kN);

γ_p ——塑性系数,圆截面取 2;

f_{tk} ——桩身混凝土抗拉强度标准值(kN/m²);

A ——桩身截面面积,按设计直径计算(m²)。

表 5.1.2 综合系数 β_1

土层类别(承台或连系梁下 2d+2m 深度范围内)	桩身混凝土强度等级		
	C25	C30	C35
流塑、软塑状黏性土、松散粉细砂、松散填土	41~48	47~55	55~62
可塑状黏性土、稍密砂土、稍密~中密填土	48~59	55~68	62~67
硬~坚硬黏性土、中密中粗砂、密实老填土	59~73	68~84	77~95
中~密实砾砂、碎石类土	73~91	84~105	95~119

注:1 当水平力为长期荷载时,表中数值乘以 0.8 后采用;

2 当与地震作用组合时,表中数值乘以 1.25 后采用。

5.1.3 预应力混凝土管桩构造应符合下列要求:

1 预应力混凝土管桩最小配筋率不应小于 0.5%,且不得少于 6 根;

2 管桩两端螺旋筋加密区长度不得小于 2000mm,加密区螺旋筋的螺距为 45mm,其余部分螺旋筋的螺距为 80mm;

3 管桩上下节拼接可采用端板焊接连接或机械接头连接,接头应保证管桩内纵向钢筋与端板等效传力,接头连接强度不应小于管桩桩身强度。任一基桩的接头数量不宜超过 3 个。用作抗拔的管桩宜采用专门的机械连接接头或经专项设计的焊接接头。对于高回填土场地条件的管桩,上下节拼接不宜单独采用端板焊接连接方式。

5.1.4 桩身混凝土及混凝土保护层厚度应符合下列规定：

1 灌注桩桩身混凝土强度等级不应低于 C25,采用水下混凝土时,强度等级不应低于 C30;

2 预制桩不应低于 C30,预应力混凝土管桩混凝土强度等级不应低于 C60,预应力高强混凝土管桩混凝土强度等级不应低于 C80;

3 灌注桩纵向受力钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 50mm,腐蚀环境中桩的主筋混凝土保护层厚度不应小于 55mm。预制桩的钢筋混凝土保护层厚度不应小于 45mm,预应力混凝土桩的钢筋混凝土保护层厚度不应小于 35mm。

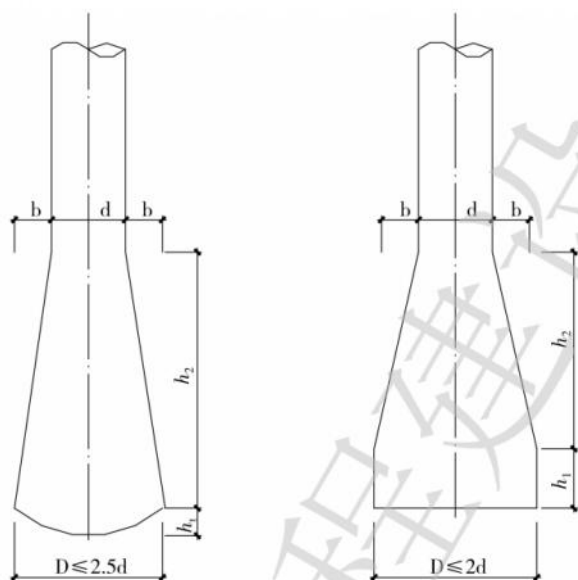
5.1.5 人工挖孔灌注桩桩长大于 10m 时,桩径不应小于 1000mm;矩形人工挖孔灌注桩的长宽比不宜大于 2;椭圆形人工挖孔灌注桩的直段长宽比不宜大于 2。

5.1.6 人工挖孔扩底灌注桩扩底端尺寸应符合下列规定(图 5.1.6)：

1 扩底端直径与桩身直径之比 D/d 应视地质条件而定,在土质地基上不应大于 2.5;岩质地基上不宜大于 2;

2 扩大部分高度与宽度之比 h_2/b 应视地质条件而定,土质地基扩孔时不应小于 4;岩质地基扩孔时不应小于 2;

3 在极软岩石地基或土质地基上的扩底灌注桩,桩端底面宜作成锅底状,矢高 h_1 在土层上可取 $(0.15 \sim 0.20)D$ (图 5.1.6-a),在极软岩上可取 200mm;在软岩、硬质岩石地基上的桩底面可做成平底(图 5.1.6-b),桩底嵌入持力层时扩底端应设计成竖直线,高度可取 300mm~500mm。



(a) 用于土质、极软岩石地基

(b) 用于软岩、硬质岩石地基

图 5.1.6 人工挖孔扩底灌注桩构造

5.1.7 重锤沉管夯扩桩扩大头直径 D 与桩身直径 d 之比宜取 2~3。夯扩桩箍筋最大间距 250mm, 纵向钢筋进入扩大头的长度不应小于 25 倍纵筋直径且不小于 350mm。

5.2 承台及连系梁构造

5.2.1 桩基承台的构造, 除应满足抗冲切、抗剪切、抗弯、局部承压承载力和上部结构要求外, 尚应符合下列规定:

1 柱下独立桩基承台的最小宽度不应小于 500mm, 桩的外边缘至承台边缘的距离不应小于 150mm, 对中、小直径桩, 边桩中心至承台边缘的距离不宜小于桩的直径或边长; 对于墙下条形承台梁, 桩的外边缘至承台梁边缘的距离不应小于 75mm;

2 承台厚度应满足桩、柱主筋锚固长度要求, 最小厚度不应

小于 300mm。

5.2.2 桩承台及连系梁混凝土强度等级不应低于 C25。承台底面钢筋的混凝土保护层厚度,当有混凝土垫层时,不应小于 50mm,无垫层时不应小于 70mm,此外尚不应小于桩头嵌入承台内的长度。连系梁纵筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm。

5.2.3 承台的钢筋配置应符合下列规定:

1 柱下独立桩基承台纵向受力钢筋应通长配置,对四桩以上(含四桩)承台宜按双向均匀布置(图 5.2.3-a),对三桩的三角形承台应按三向板带均匀布置,且最里面的三根钢筋围成的三角形应在柱截面范围内(图 5.2.3-b)。纵向钢筋锚固长度自边桩内侧(当为圆桩时,应将其直径乘以 0.8 等效为方桩)算起,不应小于 $35d$ (d 为钢筋直径);当不满足时应将纵向钢筋向上弯折,此时水平段的长度不应小于 $25d$,弯折段长度不应小于 $10d$ 。承台纵向受力钢筋的直径不应小于 12mm,间距不应大于 200mm;

2 柱下单桩承台上、下纵向受力钢筋及高度范围水平分布钢筋宜形成封闭箍筋;

3 柱下独立两桩承台,应按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 中的深受弯构件配置纵向受拉钢筋、水平及竖向分布钢筋。承台纵向受力钢筋端部的锚固长度及构造应与柱下多桩承台的规定相同;

4 条形承台梁的纵向主筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 关于最小配筋率的规定(图 5.2.3-c),主筋直径不应小于 12mm,架立筋直径不应小于 10mm,箍筋直径不应小于 6mm。承台梁端部纵向受力钢筋的锚固长度及构造应与柱下多桩承台的规定相同;

5 筏形承台板在纵横两个方向的下部钢筋配筋率不宜小于 0.15%,上部钢筋应按计算配筋通长设置。

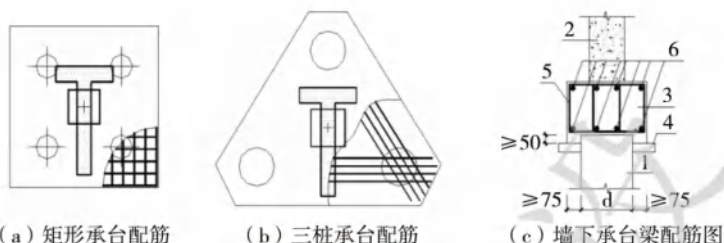


图 5.2.3 承台配筋示意

1—桩；2—混凝土墙；3—承台梁；4—垫层厚 $\geq 100\text{mm}$ ；5—箍筋直径应 $\geq 6\text{mm}$ ；

6—承台梁内主筋，除须按计算配置外，尚应满足最小配筋率

5.2.4 桩与承台的连接构造应符合下列规定：

1 桩嵌入承台内的长度对中、小直径桩及人工挖孔灌注桩不宜小于 50mm ；对其余工艺施工的大直径桩不宜小于 100mm ；

2 桩顶纵向主筋应锚入承台内，其锚入长度不宜小于 35 倍纵向主筋直径。对于抗拔桩，桩顶纵向主筋的锚固长度应按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 确定；

3 对于大直径灌注桩，当采用一柱一桩时可设置承台或将桩与柱直接连接；

4 管桩应采用桩顶填芯混凝土内插钢筋与承台连接的方式。对于没有截桩的桩顶，可采用桩顶填芯混凝土内插钢筋和在桩顶端板上焊接锚筋相结合的方式。连接钢筋配筋率按桩外径实心截面计算不应小于 0.6% ，数量不宜少于 4 根。对于承压桩，钢筋插入管桩内的长度应与桩顶填芯混凝土深度相同，锚入承台内的长度不应小于 35 倍钢筋直径，其余构造应符合现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406；

5 管桩顶部填芯混凝土深度不应小于 3 倍桩径且不应小于 1.5m 。对于桩顶承担较大水平力的桩，填芯混凝土深度应按计算确定，且不得小于 6 倍桩径并不得小于 3m 。填芯混凝土强度等级应比承台和连系梁提高一个等级，且不应低于 C30。

5.2.5 柱与承台的连接构造应符合下列规定：

1 对于一柱一桩基础,柱与桩直接连接时,柱纵向主筋锚入桩身内长度不应小于 35 倍纵向钢筋直径;

2 对于多桩承台,柱纵向主筋应锚入承台不应小于 35 倍纵向钢筋直径;当承台高度不满足锚固要求时,竖向锚固长度不应小于 21 倍纵向钢筋直径,并向柱轴线方向呈 90° 弯折;

3 对于一、二级抗震等级的柱,纵向主筋锚固长度应乘以 1.15 的系数;对于三级抗震等级的柱,纵向主筋锚固长度应乘以 1.05 的系数。

5.2.6 连系梁构造应符合下列规定:

1 连系梁设置于桩基之间、承台之间、桩基与承台之间及桩基与其它形式基础之间;地形高差较大无法设置连系梁时,可在桩基与柱、剪力墙之间设置连系梁;

2 桩基宜沿两个主轴方向设置连系梁。地基岩石露头且完整性较好或当桩与柱的截面直径之比大于 2,可不设连系梁;

3 两桩桩基的承台,宜在其短向设置连系梁;

4 连系梁顶面宜与承台或桩基顶面位于同一标高。连系梁宽度不宜小于 200mm,其高度可取桩中心距的 $1/10 \sim 1/15$,且不宜小于 400mm;

5 连系梁配筋应按计算确定,梁上下部配筋不宜小于 2 根直径 12mm 钢筋;位于同一轴线上的相邻跨连系梁纵筋宜通长配置;

6 高层建筑剪力墙墙下的连系梁截面宽度不宜小于其上剪力墙厚度的 2 倍,且不宜小于 400mm,连系梁截面高度不宜小于计算跨度的 $1/8$;

7 钢筋混凝土挡土墙下连系梁未与钢筋混凝土板相连接时,连系梁腰筋和拉筋宜满足水平受弯构件纵筋及箍筋构造;

8 山地建筑边坡上桩基础与掉层结构间连系梁纵向钢筋宜通长设置。

5.3 人工挖孔桩护壁构造

5.3.1 位于土层中的人工挖孔桩应设置桩护壁,位于强风化岩层中的人工挖孔桩可设置桩护壁。

5.3.2 钢筋混凝土护壁的混凝土强度等级不应低于 C25。当计算桩侧土的极限侧阻力考虑护壁作用时,护壁混凝土强度等级不应低于桩身混凝土强度等级。计算护壁承载力时护壁混凝土强度等级应考虑混凝土龄期的折减。

5.3.3 护壁厚度不宜小于 150mm。护壁钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 20mm。

5.3.4 圆形护壁的环向钢筋直径不宜小于 8mm,竖向钢筋直径不应小于 6mm。矩形护壁和椭圆形护壁钢筋应双层双向布置,钢筋直径不应小于 8mm。

5.3.5 矩形护壁的长宽比不宜大于 2;椭圆形护壁直线段的长宽比不宜大于 2。

5.3.6 护壁钢筋的锚固长度、搭接长度,应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定。

5.3.7 圆形护壁可按闭合圆环计算内力和配筋,矩形护壁、椭圆形护壁可按闭合框架计算内力和配筋,护壁所承受的水平岩土压力可根据当地的工程经验适当考虑卸荷拱效应。

6 桩基施工

6.1 一般规定

6.1.1 不同桩型的适用条件应符合下列规定：

1 钻(冲)孔灌注桩适用于地下水位高的软硬土层。其中泥浆护壁钻孔灌注桩一般适用于地下水位以下的黏性土、粉土、砂土、填土、碎石土及风化岩层；冲孔灌注桩还可用于穿透旧基础、建筑垃圾填土或大孤石等障碍物；

2 旋挖成孔灌注桩宜用于黏性土、粉土、砂土、填土、碎石土及风化岩层；

3 螺杆灌注桩适用于黏性土、粉土、砂土、碎石土、填土、卵石层、全风化岩、强风化岩、中风化软质岩等地层；

4 重锤沉管夯扩灌注桩适用于回填土、黏性土、粉土、卵石层、砂层和强风化岩层；

5 打入(静压)预应力管桩适用于黏性土、粉土、碎石、卵石、风化岩层；

6 植入法管桩适用于回填土、黏性土、粉土、砂土、岩层等；

7 干作业机械钻(挖)孔灌注桩和人工挖孔灌注桩适用于无地下水或地下水较少的黏土、粉质黏土、含水率低淤泥或淤泥质黏土及含少量砂、石黏土层、风化岩层。

6.1.2 灌注桩后注浆技术适用于除沉管灌注桩外的各类钻、挖、冲孔灌注桩桩底沉渣(虚土)、桩侧泥皮和桩底、桩侧一定范围土体的加固。

6.1.3 钻机施工时，应保证机械稳定、安全作业，必要时可在场地铺设能保证其安全行走和操作的钢板或垫层(路基板)。

6.1.4 钢筋笼主筋与螺旋箍筋可采用点焊或绑扎,钢筋笼的制作允许偏差应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 钢筋笼的制作允许偏差

项目	允许偏差(mm)
主筋间距	±10
箍筋间距	±20
钢筋笼直径	±10
钢筋笼长度	±100

6.1.5 分段制作的钢筋笼,其接头宜采用焊接,钢筋直径大于 20mm 时宜采用机械连接。

6.1.6 钢筋笼吊装前应复核护筒上口标高,架立钢筋笼和导管的钢管不得直接担放于护筒上,混凝土浇筑时应控制钢筋笼顶标高,采取防止浮笼措施。每节钢筋笼保护层垫块不少于 2 组,每组不少于 3 个垫块,钢筋笼入孔中心位置与桩孔中心允许偏差为 ±10mm,钢筋笼定位标高允许偏差 ±50mm。

6.1.7 机械成孔灌注桩施工,混凝土超灌标高宜高出设计桩顶标高 0.5m~1.0m;桩身混凝土达到设计强度后,剔除桩顶超灌混凝土,高于设计桩顶标高 20mm 范围内应人工凿平。

6.1.8 当桩基施工影响邻近建(构)筑物、地下管线的正常使用和安全时,应调整施工工艺或方法。

6.1.9 斜坡、边坡桩基施工应符合下列规定:

- 1 边坡稳定性不足时,应先进行边坡治理,再施工桩基;
- 2 斜坡上桩基施工前应修建运出开挖土和运进材料的施工便道;
- 3 斜坡上桩基进入持力层的深度应从桩周最低处起算;
- 4 先施工低处桩基,后施工高处桩基,达到设计嵌岩深度要求后再浇注低处桩芯混凝土;
- 5 弃土应分散处理,不得将其堆置在坡顶及坡面上;

6 严格控制施工用水,加强施工期间边坡的变形观测;

7 在临近湖、塘的施工场区,应防止桩位偏移、倾斜和上浮。

6.1.10 灌注桩在正式施工前应进行试成孔,试成孔数量应根据工程规模及施工场地地质情况确定,且不宜少于 2 根。当试成孔出现成桩困难的塌孔以及沉渣难以清理到位,影响桩基承载力时,应结合试桩检测缺陷,采用增加护筒、后注浆或换填等工艺;当采用新工艺、新设备、新材料或遇到复杂地质条件时,应做工艺性试验。

6.1.11 基坑内桩基施工,应在施工前采取降、排水措施;坑内泥浆沟池的布置应满足废浆废渣清运要求。

6.1.12 对可能影响桩基施工的复杂地层,应根据桩基施工需要进行施工超前钻或补充勘察,并应满足现行地方标准《工程勘察标准》DBJ50/T-043 有关要求。

6.1.13 湿作业钻、挖孔灌注桩浇筑混凝土前应对孔底沉渣厚度进行检测,沉渣厚度应严格控制并满足设计要求。

6.1.14 灌注桩成孔施工允许偏差应符合表 6.1.14 的规定。

表 6.1.14 灌注桩成孔施工允许偏差

成孔方法		桩径偏差 (mm)	垂直度允 许偏差 (%)	桩位允许偏差(mm)	
				1~3 根桩、条形桩基 沿垂直轴线方向和群 桩基础中的边桩	条形桩基沿轴线 方向和群桩基础 中的中间桩
钻、挖、 冲孔桩	$d \leq 1000\text{mm}$	≤ -50	1	$d/6$ 且不大于 100	$d/4$ 且不大于 150
	$d > 1000\text{mm}$	-50		$100 + 0.01H$	
螺杆桩	桩基础	不小于 设计值	$\leq 1/100$	$\leq 70 + 0.01H$	
	复合地基	0, +50		$\leq d/6$	$\leq d/4$
重锤沉管 夯扩桩	$d \leq 500\text{mm}$	-20	1	70	125
	$d > 500\text{mm}$			100	150

续表6.1.14

成孔方法		桩径偏差 (mm)	垂直度允 许偏差 (%)	桩位允许偏差(mm)	
				1~3根桩、条形桩基 沿垂直轴线方向和群 桩基础中的边桩	条形桩基沿轴线 方向和群桩基础 中的中间桩
人工挖 孔桩	现浇混凝土护壁	±50	0.5	50	150
	钢套管护壁	±20	1	100	200

注:1 桩径允许偏差的负值是指个别断面;

2 H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离; d 为设计桩径。

6.1.15 打入预制桩桩位的允许偏差应符合表 6.1.15 的规定。
斜桩倾斜度的偏差不得大于倾斜角正切值的 15%。

表 6.1.15 打入预制桩桩位允许偏差

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 桩径或边长
桩数大于 16 根桩基中的桩:(1)最外边的桩 (2)中间桩	1/3 桩径或边长 1/2 桩径或边长

注:1 H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离;

2 倾斜角系桩的纵向中心线与铅垂线间夹角。

6.1.16 成孔质量检查合格后应立即灌注混凝土。灌注混凝土时,应随机抽取留置强度检验试件。每浇筑 50m^3 至少留置 1 组试件,当混凝土浇筑量不足 50m^3 时,每个灌注台班应留置不少于 1 组试件;对单柱单桩,每根桩至少留置 1 组试件;每组为 3 件。

6.2 施工准备

6.2.1 施工前应具备下列资料:

- 1 建筑场地岩土工程勘察报告；
 - 2 桩基工程施工图及图纸会审纪要；
 - 3 建设单位提供的坐标及高程控制点；建筑场地和邻近区域内的高压线路、通信线路、地下管线（管道、电缆等）、地下构筑物、危房、精密仪器车间的调查资料；
 - 4 桩基施工方案；人工挖孔桩可行性论证和施工安全专项方案论证意见；危险性较大工程专项安全施工方案及施工技术交底记录；需要对周边环境实施保护的施工方案；
 - 5 主要施工机械设备及配套设备的维修检验及完好情况等资料；
 - 6 原材料及制品的质量证明文件和预拌混凝土的试配报告；
 - 7 桩基工程生产安全专项应急预案。
- 6.2.2 踏勘施工现场时，应核对现状与勘察报告的符合程度，评估施工场地与环境条件对施工的影响；组织安全专项方案编制和技术交底。施工场地与环境调查应包括下列内容：
- 1 场地内及周边地下管线分布、类别、材质、埋深及走向与保护要求；
 - 2 场地内及周边空中线路的架设、类别、走向与保护要求；
 - 3 场地周边施工影响范围内地上和地下的建（构）筑物调查；
 - 4 桩与周边建筑物、围墙、管线的最近距离；
 - 5 施工场地平整情况与高程变化。
- 6.2.3 桩基施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等设施，应在开工前准备就绪；施工现场场地或作业平台的高度，宜高于工作期间可能出现的高水位 1m 以上，场地应有截、排水措施。
- 6.2.4 桩基轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的地方，开工前经复核后应妥善保护，施工中应不定期的复核。
- 6.2.5 施工前应根据设计图纸、地质条件、场地条件、工期要求等因素，对施工设备和机具进行选型和配套。
- 6.2.6 施工前应对临近建筑物、构筑物、架空线等根据需要采取

防护措施,预先标明桩位处的地下障碍物;对场地内影响施工的障碍物和地下埋设物提前进行排除,有隔振要求的邻近建筑物应采取保护措施;临近边坡的桩基应在完成边坡支护后施工。

6.2.7 用于施工质量检验的仪表、施工计量器具的性能指标,应符合现行国家相关标准的规定。

6.3 灌注桩施工

I 钻、冲、旋挖成孔灌注桩

6.3.1 钻、冲成孔时应符合下列规定:

1 桩机保持平稳就位,不发生倾斜、位移;机架上或机管上宜作出控制标尺,准确控制和记录钻孔深度;

2 钻进速度、钻杆提升速度、泵送速度、混凝土充盈系数、加压力、钻进扭矩、混凝土浇筑参数和钻杆提钻等参数宜通过成桩工艺试验确定;

3 钻进过程中,应随时清理孔口积土,遇到塌孔、缩孔等异常情况时,应及时处理;

4 孔口埋设的护筒应符合下列规定:

1) 灌注桩成孔时宜在孔位埋设护筒,护筒可采用钢护筒或其它材质的护筒,钢护筒可用 4mm~10mm 厚钢板制作,其内径应大于钻头直径 100mm~200mm,上部宜开设 1~2 个溢浆孔;

2) 护筒埋设深度:护筒的埋置深度应根据地质和地下水位等情况确定,不宜小于 2m;

3) 护筒顶端高度:高出地面不宜小于 0.3m。采用反循环钻孔时,护筒顶端高度应保证孔内泥浆面高出地下水位 2m 以上。采用正循环钻孔时,护筒顶端溢出口底边应高于泥浆池面;

- 4) 护筒位置应埋设正确和稳定,护筒就位后,应在四周对称、均匀的回填黏土,护筒中心与桩孔中心线偏差不大于 50mm;
- 5) 在水面上的作业平台上沉放护筒时,护筒顶端高出水面应不小于 1.5m;护筒的埋设深度应考虑水流的冲刷影响,就位后的护筒应采用吊挂或焊接与作业平台连接牢固;
- 6) 受水位涨落影响或水下施工的钻孔灌注桩,护筒应加高加深,必要时打入不透水层。

5 钻孔达到设计深度,灌注混凝土之前,孔底沉渣厚度指标除满足设计要求外,尚应符合下列规定:

- 1) 对端承型桩,不应大于 50mm;
- 2) 对摩擦型桩,不应大于 100mm;
- 3) 对抗拔、抗水平荷载桩,不应大于 200mm。

6 灌注混凝土前,应在孔口安放护孔漏斗,放置钢筋笼后应再次测量孔内虚土厚度。

6.3.2 泥浆的制备和处理应符合下列规定:

1 除能自行造浆的黏性土层外,均应制备泥浆。泥浆制备应选用高塑性黏土或膨润土。泥浆应根据施工机械、工艺及穿越土层情况进行配合比设计;

2 在黏土地层钻进时,泥浆可在回转和冲击搅动下自然形成泥浆,泥浆的性能指标应符合现场实际需要;

3 施工期间护筒内的泥浆面应高出地下水位 1.0m 以上,在受水位涨落影响时,泥浆面应高出最高水位 1.5m 以上;

4 在清孔过程中,应不断置换泥浆,直至浇注水下混凝土;

5 浇注混凝土前,孔底 500mm 以内的泥浆比重应小于 1.25;含砂率不得大于 8%;粘度不得大于 28s;

6 在容易产生泥浆渗漏的土层中应采取维持孔壁稳定的措施。

6.3.3 正、反循环钻孔灌注桩施工应符合下列规定：

1 正循环回转钻机成孔在黏土层中钻进时，应采用低钻压、快钻速、大泵量的钻进规程，并不断稀释泥浆；砂层钻进回转阻力较小，宜采用较大的密度、粘度和静切力的泥浆；碎石土层钻进时，宜采用低档慢速，优质泥浆，慢进尺钻进；

2 对孔深较大的端承型桩和粗粒土层中的摩擦型桩，宜采用反循环工艺成孔或清孔，反循环回转钻机成孔在软土层中钻进时，应根据泥浆补给情况控制钻进速度；钻进中应观察进尺情况和砂石泵的排水出渣情况，控制钻进速度；

3 钻进时如果出现坍孔、涌砂等异常情况，应立即将钻具提高，控制泵量，保持冲洗液循环，吸除坍塌物和涌砂，同时向孔内输送符合要求的泥浆。

6.3.4 冲击钻机成孔施工应符合下列规定：

1 冲击钻机成孔孔内泥浆面应保持稳定。表土为淤泥、细砂等软弱土层时，应加黏土块夹小石片反复冲击造壁；在粉砂或中粗砂层中成孔时，可向孔内投入黏土块，勤冲、勤掏渣；在密实的黏土层中成孔时，采用小冲程，泵入清水和稀泥浆；在砂卵石层中成孔时，采用中、高冲程，勤掏渣；进入基岩后，应采用大冲程、低频率冲击；

2 冲击钻机成孔遇到孤石时，可采用高低冲程交替冲击，将孤石击碎或挤入孔壁；在软弱土层或塌孔回填重钻时，采用小冲程 1m 左右，加黏土块夹小片石反复冲击；当出现成孔偏移时，应回填片石至偏孔上方 300mm~500mm 处，然后重新冲孔；

3 进入基岩后，非桩端持力层每钻进 300mm~500mm 和桩端持力层每钻进 100mm~300mm 时，应清孔取样一次，并应做记录；

4 大直径桩孔可分级成孔，第一级成孔直径应为设计桩径的 0.6~0.8 倍。

6.3.5 旋挖钻机成孔施工应符合下列规定：

1 旋挖钻成孔应根据不同的地层情况及地下水位埋深,采用干作业成孔或泥浆护壁成孔工艺,在新近回填土、淤泥、淤泥质土、砂土、碎石土、中间有硬夹层及地下水以下的土层中不宜采用干作业成孔;

2 泥浆护壁旋挖钻机成孔应配备成孔和清孔用泥浆及泥浆池(箱),在容易产生泥浆渗漏的土层中可采取提高泥浆比重、掺入锯末、增粘剂提高泥浆粘度等维持孔壁稳定的措施;

3 旋挖钻机成孔应采用跳挖方式,钻斗倒出的土距桩孔口的最小距离应大于 6m,并应及时清除。遇地下水、塌孔、缩孔等异常情况时,应及时采用素混凝土回灌或钢护筒护壁进行处理;

4 旋挖成孔灌注桩孔口应设置护筒,护筒埋置深度根据水文地质条件、施工水位、河床深度、护筒内泥浆容重和施工情况等通过计算确定。当地质为松填土地质、砂卵石地质、厚度较大的淤泥(质)地质等软弱地质、岩溶地质、地下水位较高、有承压水的砂层等岩土层时,可采用全护筒工艺。全护筒宜采用可拆卸式护筒分段连接而成,护筒内径宜比桩径大 100mm~150mm;

5 钻孔达到设计深度时,应采用清孔钻头进行清孔。稳定性差的孔壁应采用泥浆循环或抽渣筒排渣;不易塌孔的桩孔,可采用空气吸泥清孔。清孔时,孔内泥浆面应高出地下水位 1.0m 以上,受水位涨落影响时,泥浆面应高出最高水位 1.5m 以上;

6 摩擦桩应以设计桩长控制成孔深度;端承摩擦桩必须保证设计桩长及桩端进入持力层深度;端承型桩必须保证桩端进入持力层的设计深度;

7 钢筋笼吊装完毕后,应安置导管或气泵管二次清孔,并进行孔位、孔径、垂直度、孔深、沉渣厚度等检验,合格后应立即灌注混凝土。

6.3.6 湿作业成孔灌注桩应采用水下灌注混凝土工艺浇筑,并符合下列规定:

1 当孔底积水水位高于 0.5D 或渗入的地下水上升速度大

于 6mm/min 时,应采用水下灌注混凝土工艺浇筑;

2 水下灌注混凝土强度应按比设计强度提高等级配置;配合比应通过试验确定;水下混凝土应具备良好的和易性,坍落度宜为 180mm~220mm;水下灌注混凝土宜掺外加剂;

3 灌注混凝土的导管壁厚不宜小于 3mm,直径宜为 200mm~250mm;导管接头宜采用双螺纹方扣快速接头;导管使用前应试拼装、试压;

4 使用的隔水栓应有良好的隔水性能,并应保证顺利排出;隔水栓宜采用球胆或与桩身混凝土强度等级相同的细石混凝土制作;

5 开始灌注混凝土时,导管底部至孔底的距离宜为 300mm~500mm;同时应有足够的混凝土初灌量,导管一次埋入混凝土灌注面以下不应少于 0.8m;

6 导管理入混凝土深度宜为 2m~6m,应控制提拔导管速度,测量导管埋深及管内外混凝土灌注面的高差,严禁将导管提出混凝土灌注面;

7 灌注水下混凝土必须连续施工,每根桩的灌注时间应按初盘混凝土的初凝时间控制,对灌注过程中的故障应记录备案;

8 灌注桩实际浇筑混凝土量严禁小于理论计算体积,桩身任意一段平均直径与设计直径之比严禁小于 1。混凝土浇到接近桩顶时,应随时测量顶部标高,以免过多截桩或补桩;

9 应控制最后一次灌注量,超灌高度宜为 0.5m~1.0m,凿除泛浆后必须保证暴露的桩顶混凝土强度达到设计等级。

6.3.7 特殊条件下混凝土灌注质量控制应满足下列要求:

1 当桩孔上部分布较厚淤泥层时,可放慢灌注速度,并在完成混凝土灌注后,保持孔口灌注导管的埋深,观察混凝土面位置的变化,出现混凝土面扩散下降时应及时补灌;

2 在岩溶发育地段灌混凝土时,应加密探测混凝土面上升情况,加大导管埋深;

3 钻孔扩底灌注桩初灌时,应准确计算扩大端的容量,控制好混凝土灌注的初灌量,确保初灌的埋管深度满足要求;

4 采用全套管护壁的灌注桩,应加大桩顶超灌混凝土高度,套管拔出后如桩顶混凝土面下降应补浇混凝土;

5 雨期灌注桩身混凝土时,应搭设临时防雨棚,做好孔口防雨措施;

6 高温期间灌注桩身混凝土时,应适当调整混凝土配合比,控制混凝土灌注温度,混凝土入模温度不宜超过 35°C ;

7 大体积桩身混凝土灌注时,应根据灌注方案,控制桩身混凝土的灌注时间。

II 螺杆灌注桩

6.3.8 螺杆灌注桩施工顺序应根据专项施工方案、试桩结果、施工图纸及场地实际情况确定,并应符合下列规定:

1 施工顺序应考虑桩间距、地质和周围建筑物的情况,按流水法分区施工;

2 布桩较密集且距周边建(构)筑物较远、施工场地较开阔时,宜从中间开始向四周进行;布桩密集、场地狭长、两端距建(构)筑物较远时,宜从中间开始向两端进行;

3 布桩密集且一侧靠近建(构)筑物时,宜从毗邻建(构)筑物的一侧开始由近及远地进行;

4 根据基础的设计标高,宜先深后浅施工;

5 根据桩的规格,宜先大后小,先长后短;

6 当桩距小于 1.5m 且地下有松散砂层时,或桩间距小于 3 倍桩外径时,宜采用跳桩施工或采用控制凝固时间间隔施工;

7 宜先施工主楼(高层)桩,后施工裙房(低层)桩,先施工密距桩,后施工疏距桩。

6.3.9 正式开工前,螺杆灌注桩施工应通过试桩检测以下技术

参数:

- 1 成孔深度能力和成孔直径;
- 2 成孔终孔的控制电流及加压吨位;
- 3 相邻孔之间的影响;
- 4 混凝土凝结时间和充盈系数;
- 5 确定控制系统施工参数;
- 6 单桩破坏性静载试验。

6.3.10 螺杆灌注桩成孔桩机应满足下列要求:

- 1 具有能实现同步技术的自动控制系统;
- 2 动力装置额定直流输出扭矩不小于 $250\text{kN} \cdot \text{m}$;

3 桩机就位后必须保证平整、稳固,确保在成桩过程中不发生倾斜和偏移,钻机上应设置控制深度和垂直度的仪表或标尺,并应在施工中进行观测记录;

4 挤土敏感土层、易窜孔土层采用螺杆桩工艺时,应根据设计要求采用不同施工间距进行成桩试验,确定本工程的合理施工间距;试桩的桩径、长度应符合设计要求。

6.3.11 螺杆灌注桩钻孔应符合下列规定:

1 下钻约 2m 时停机检查桩位偏差,下钻阶段需分别对螺杆桩机的前后方向和左右方向的垂直度进行控制;

2 钻头钻至设计标高后,钻头应停止旋转,将混凝土泵入钻杆内的空心管道,启动钻杆正向旋转,并提升钻具,提升速度应与混凝土泵送量相匹配,钻管内的混凝土高度高于钻头不宜小于 1m ;

3 螺杆灌注桩终孔标准应定性分析达到的桩端持力层和电流,并定量分析最后 $1\text{m} \sim 3\text{m}$ 的每米电流变化作为收桩的主要控制目标,并通过静载试验或试成桩确定;

4 成桩后,应及时清除钻头、钻杆及泵(软)管内残留混凝土,长时间停置不施工时,应用清水将钻头、钻杆、泵管、混凝土泵清洗干净。

6.3.12 钢筋笼安置应符合下列规定：

1 钢筋笼采用全节点焊接制作，主筋上应加焊耳筋以保证保护层厚度，搬运和吊装过程中应防止变形；

2 混凝土压灌结束后，应立即将钢筋笼插至设计深度，钢筋笼较长时可用内导管辅助插筋；

3 桩顶混凝土如有回落，应及时补注混凝土。

6.3.13 螺杆灌注桩灌压混凝土应符合下列规定：

1 螺杆灌注桩桩身混凝土应按设计要求，通过试验确定混凝土配合比，混凝土坍落度宜为 180mm~240mm，初凝时间不宜少于 6 小时；

2 不得先提钻后泵混凝土，钻头提离地面前不应停泵，提钻及泵送过程应连续进行，混凝土应保证连续泵送。提钻速度与混凝土泵送量相匹配，钻具内的混凝土高度高于钻头不小于 1m；

3 螺杆灌注桩的混凝土充盈系数不应小于 1.1；

4 混凝土浇筑结束后，应立即将钢筋笼插至设计深度；钢筋笼安装使用钻机副卷扬或吊车进行吊装，平板振动器上焊接大刚度钢管，钢管从钢筋笼内部伸入钢筋笼，将平板振动器的振动力传递至钢筋笼底部，将钢筋笼插入桩体；

5 基桩龄期达 14 天后方可破除桩头，高于桩顶设计标高 20mm 范围内应人工凿平，严禁横向锤击桩头。

III 重锤沉管夯扩桩

6.3.14 重锤沉管夯扩桩成桩施工前应选择具有代表性的地段进行试成孔，施打工艺与工程桩一致；试打桩数量不宜少于工程桩总数的 1%且不得少于 3 根；利用工程桩位置试打桩，试桩经设计、监理确认符合设计要求后按工程桩进行验收。

6.3.15 打桩机具应根据场地条件、工程特点、施工前沉桩工艺试验、桩身截面尺寸及强度、承载力特征值、持力层土性及进入深

度,遵循“桩锤匹配、重锤低击”的原则综合考虑后选用。

6.3.16 重锤沉管夯扩桩桩机由机架、桩锤、外管、内夯管及卷扬机等组成,桩机调整至水平后加以稳固,桩长超过 16m,重锤沉管夯扩桩施工时宜增设二次拔管装置和机架反载配重,以提高拔管能力和桩机的稳定性。

6.3.17 重锤沉管夯扩桩施工应符合下列规定:

1 重锤沉管过程中遇到障碍物或沉管对周边环境造成影响时,可采用预钻孔等措施排除。桩间距小于 3.5d 时,宜采用跳打;

2 采用双重套管施工法时,应将内管放入外管中;采用单管施工法时,桩管底端需设置可以开闭的钢制封底板;

3 内夯管应比外管短 100mm,内夯管底端可采用闭口平底或闭口锥底。内夯管底部应加焊一块直径比外管内径小 10mm~20mm,厚 20mm 的封底圆形钢板;

4 锤击外夯桩管沉入到设计持力层深度,在外夯管上做好标记,锤击十次,用钢卷尺实测外夯管十击贯入度不大于 30mm,测量外夯管实际入土深度,结合区域地勘是否沉入到设计持力层深度,同时做好现场记录;

5 当需要在桩端设置扩大头时,扩大头应采用干硬性混凝土夯填,填料坍落度宜为 20mm~40mm。扩大头的填料量应以十击贯入度控制,不宜大于计算值的 1.2 倍;

6 成孔时如遇较大块石,应反复锤击冲击,以切削和击碎障碍物,顺利进入设计持力层;如遇巨石,则需现场测算巨石实际埋深,采用回旋钻引孔等方式进行清除或者排障;

7 桩端持力层为水下砂层时,第一次拔管高度不宜大于 0.20m。拔管应满足下列要求:

1) 拔管时内夯管压在外管内混凝土顶面上,开启振动锤缓慢均匀地上拔外管,直至同步终止于施工要求的桩顶标高处;

- 2) 拔管速度一般土层宜为 $1\text{m}\sim 2\text{m}/\text{min}$, 在淤泥质土、饱和软黄土层中, 以及在软硬土层交界处及扩大头与上部桩身连接处宜为 $0.6\text{m}\sim 0.8\text{m}/\text{min}$ 。

8 夯击沉管的控制深度应根据地质条件、贯入度、设计桩长、标高等因素综合确定。当桩端持力层为黏性土时, 应以标高控制为主, 贯入度控制为辅; 当桩端持力层为密实砂性土、坚硬黏性土、全风化岩层、强风化岩层时, 应以贯入度控制为主, 标高控制为辅;

9 高回填区存在持力层(黏性土、粉土、卵石层、砂层和强风化岩石等)埋深不一, 桩底标高起伏较大时, 成孔深度以贯入度控制;

10 内外管提出地面后, 应采用插入式振动器对上部 4m 的桩身混凝土进行振捣密实。浇筑完成后应对桩头高出或低于地表部分进行保护处理。对先期沉入的基桩顶部应进行上浮、下沉以及水平位移监测。

IV 人工挖孔灌注桩

6.3.18 人工挖孔灌注桩开孔前, 桩位应准确定位放样, 在桩位外设置定位基准桩, 安装护壁模板必须用桩中心点校正模板位置, 并应由专人负责。

6.3.19 人工挖孔灌注桩施工应符合下列规定:

1 施工现场应设置排水设施, 第一节护壁上口应标定桩位轴线和高程, 顶面应比场地高出 $100\text{mm}\sim 150\text{mm}$, 壁厚应比下面井壁厚度增加 $100\text{mm}\sim 150\text{mm}$;

2 现浇混凝土护壁模板采用拆上节、支下节重复周转使用; 每挖完一节以后应立即浇筑护壁混凝土, 每节护壁均应在当日连续施工完毕, 护壁混凝土可根据土层渗水情况使用速凝剂;

3 桩孔上口架设的垂直运输支架搭设稳定、牢固, 安装滑轮

的横梁应采用型钢,使用的电葫芦、吊笼等应配有自动卡紧保险装置;

4 当地下水量不大时,随挖随将泥水用吊桶运出。地下渗水量较大时,用高程水泵沉入抽水,边降水边挖土。地下水位较高时,应先采用统一降水的措施,再进行开挖;

5 当遇有局部厚度不大于 1.5m 的流动性淤泥和可能出现涌土涌砂的土层时,护壁施工按下列方法处理:

- 1) 每节护壁的高度可减少到 300mm~500mm,并随挖、随验、随浇注混凝土;
- 2) 采用下沉钢护筒、混凝土小沉井作护壁以堵截淤泥或砂粒流动,钢护筒一般为 1m~2m 高左右,厚为 4mm,直径略小于砼护壁内径。

6 扩底桩应先将扩底部位桩身的圆柱体挖好,再按扩底部位的尺寸、形状自上而下削土扩充成设计图纸的要求;

7 终孔后应及时清理孔壁上的泥土和孔底残渣积水,隐蔽工程验收合格后,立即封底浇注混凝土和灌注桩身混凝土;

8 钢筋笼吊装完毕后,灌注混凝土前应再次检查孔底,沉渣厚度超标应二次清孔;

9 混凝土可采用导管泵送,当出口落距超过 3m 时,应加串筒,串筒末端距孔底高度不宜大于 2m。当孔底渗入的地下水水位上升的速度大于 6mm/min 时,应采用场地截水、降水或水下灌注混凝土等有效措施,严禁在桩孔中边抽水边开挖边灌注;

10 混凝土浇筑到桩顶时,应适当超过桩顶设计标高,以保证在剔除浮浆后,桩顶标高符合设计要求。

6.3.20 场地存在特别不良地质条件时,不得采用人工挖孔桩。特别不良地质条件主要包括:

1 地基土中分布有厚度超过 2m 的流塑状淤泥与淤泥质土或厚度超过 4m 的软塑状黏性土;

2 地下水位以下有层厚超过 2m 的砂层;

- 3 岩溶地区地下水丰富或可能出现涌泥和流沙的岩溶发育带;
- 4 有涌水的地质断裂带;
- 5 高压缩性人工填土层厚度超过 5m;
- 6 埋藏有腐植质层、泥炭、煤层等可能存在有毒有害气体的地层;
- 7 厚度超过 2m 的严重污染土、生活垃圾填埋土。

V 灌注桩后注浆

6.3.21 灌注桩后注浆的注浆参数、方式、工艺及承载力设计参数应经试验确定,后注浆装置的设置应符合下列规定:

1 后注浆导管应采用钢管,且应与钢筋笼加劲筋绑扎固定或焊接;注浆钢导管应与钢筋笼一起下孔;每下一节钢筋笼时,应在注浆管内灌水并检查接头密封性,注浆管采用丝扣连接或外加短套管电焊,连接应紧密且不应焊穿钢管或漏焊;

2 桩端后注浆导管及注浆阀数量宜根据桩径大小设置。对于直径不大于 1200mm 的桩宜沿钢筋笼圆周对称设置 2 根;对于直径大于 1200mm 而不大于 2500mm 的,宜对称设置 3 根;

3 桩侧后注浆管阀设置数量应综合地层情况、桩长和承载力增幅要求等因素确定,可在离桩底 5m~15m 以上、桩顶 8m 以下,每隔 6m~12m 设置一道侧注浆阀,当有粗粒土时,宜将注浆阀设置于粗粒土层下部,对于干作业成孔灌注桩宜设于粗粒土层中部;

4 对于非通长配筋桩,下部应有不少于 2 根与注浆管等长的主筋组成的钢筋笼通底;钢筋笼应沉放到底,不得悬吊,下笼受阻时不得撞笼、墩笼、扭笼。

6.3.22 后注浆阀应具备下列性能:

1 注浆阀应能承受 1MPa 以上静水压力,注浆前应对注浆阀进行压水试验,压水量宜为 0.6m^3 ,开塞压力宜小于 8MPa;

2 注浆阀外部保护层应能抵抗砂石等硬质物的刮撞而不致使管阀受损;

3 注浆阀应具备逆止功能。

6.3.23 灌注桩后注浆顺序宜采用先周边后中间的顺序注浆,对周边桩应以对称、有间隔的原则依次注浆,直到中心桩;采用桩端桩侧复式注浆时,饱和土中的复式注浆顺序宜先桩侧后桩端,非饱和土宜先桩端后桩侧;多断面桩侧注浆时,应先上后下;桩侧桩端注浆间隔时间不宜少于 2 小时。

6.3.24 浆液配比、终止注浆压力、流量、注浆量等参数设计应符合下列规定:

1 浆液的水灰比应根据土的饱和度、渗透性确定,对于饱和土水灰比宜为 0.45~0.65;对于非饱和土,水灰比宜为 0.7~0.9 (松散碎石、砂砾宜为 0.50~0.6);低水灰比浆液宜掺入减水剂;

2 桩端注浆终止注浆压力应根据土层性质及注浆点深度确定。对于风化岩、非饱和性土及粉土,注浆压力宜为 3.0MPa~10MPa;对于饱和土层注浆压力宜为 1.2MPa~4.0MPa,软土宜取低值,密实黏性土宜取高值;

3 后注浆作业开始前,宜进行注浆试验,优化并最终确定注浆参数,后注浆作业开塞龄期及注浆龄期宜为成桩 2 天后进行,桩端注浆应对同一根桩的各注浆导管依次实施等量注浆。

6.3.25 当满足下列条件之一时可终止注浆;

1 注浆总量和注浆压力均达到设计要求;

2 注浆总量已达到设计值的 80%,且注浆压力超过设计值。

6.3.26 当注浆压力长时间低于正常值或地面出现冒浆或周围桩孔串浆,应改为间歇注浆,间歇时间宜为 30min~60min,或调低浆液水灰比。

6.3.27 后注浆施工过程中,应经常对后注浆的各项工艺参数进行检查,发现异常应采取相应处理措施。

6.3.28 灌浆过程中记录灌浆时间、灌浆压力、灌浆量及桩的上

抬量。注浆排量控制在每分钟 32L~60L 范围内,做好注浆异常情况的记录。

6.3.29 注浆管进场时,应对其管径及壁厚等进行检查;安装注浆管前应清除管内杂物,以防堵塞,并做好注浆头和注浆管的密封和固定;注浆管下到位后,应在管内注满清水,再用管帽封闭。

6.3.30 钢筋笼沉放过程中不宜反复向下冲撞和扭动,下部注浆导管应沉放到底,严禁悬吊。

6.4 预应力管桩施工

6.4.1 预应力管桩的起吊应符合下列规定:

- 1 在吊运过程中应轻吊轻放,避免剧烈碰撞;
- 2 单节桩可采用专用吊钩钩住桩两端内壁直接进行水平起吊;
- 3 运至施工现场时应进行检查验收,严禁使用质量不合格及在吊运过程中产生裂缝的桩。

6.4.2 预应力管桩的堆放应符合下列规定:

- 1 堆放场地应平整坚实,最下层与地面接触的垫木应有足够的宽度和高度。堆放时桩应稳固,不得滚动;
- 2 应按不同规格、长度及施工流水顺序分别堆放;
- 3 当场地条件许可时,宜单层堆放;当叠层堆放时,外径为 500mm~600mm 的桩不宜超过 4 层,外径为 300mm~400mm 的桩不宜超过 5 层;
- 4 叠层堆放桩时,应在垂直于桩长度方向的地面上设置 2 道垫木,垫木应分别位于距桩端 0.2 倍桩长处。垫木宜选用耐压的长木或枕木,不得使用有棱角的金属构件。

I 锤击沉桩

6.4.3 锤击预应力管桩施工前应在现场进行沉桩工艺试验,并

按规定进行基桩静载试验。

6.4.4 预应力管桩强度应达到设计强度的 100% 后才能开始打桩。

6.4.5 在水泥土中插入管桩宜在搅拌施工完成后 6~8 小时、旋喷施工完成后 3~4 小时内完成；插入管桩的直径宜小于水泥土桩直径或墙最小宽度 50mm，桩间距应符合设计要求。

6.4.6 打桩时要避免桩身倾斜，保证桩锤、桩帽、桩身中心线重合，避免打桩因偏心受力导致桩顶破碎、桩身断裂；打桩宜重锤低击，顺序按先深后浅、先长桩后短桩、先大径后小径、先施工大承台桩后施工小承台桩的原则，自中间分两向对称前进或自中间向四周进行；当一侧毗邻建筑物时，由毗邻建筑物处向另一方向施打。

6.4.7 当遇到贯入度剧变，桩身突然发生倾斜、位移或有严重回弹、桩顶或桩身出现严重裂缝、破碎等情况时，应暂停打桩，并分析原因，采取相应措施。

6.4.8 桩长不够时应进行接桩，接桩应符合下列规定：

1 接桩前应清除接头表面的污物和铁锈，上下节之间的间隙应用铁片垫实焊牢；

2 采用电焊接桩时，焊接宜在桩四周对称地进行，分层施焊；焊接层数不得少于 2 层；

3 焊好后的桩接头应自然冷却后方可继续锤击，自然冷却时间不宜少于 8min，地下水位较高的应适当延长冷却时间，对接后间隙要用不超过 5mm 钢片嵌填，保证打桩时桩顶不偏心受力。

6.4.9 送桩应采用专用的送桩器，并符合下列规定：

1 送桩器应有足够的强度、刚度和耐打性；

2 送桩器长度应满足送桩深度的要求，弯曲度不得大于 1/1000；

3 送桩器下端面应开孔，使空心桩内腔与外界连通；

4 套筒式送桩器下端的套筒深度宜取 250mm~350mm，套管内径应比桩外径大 20mm~30mm，插销式送桩器下端的插销

长度宜取 200mm~300mm,杆销外径应比管桩内径小 20mm~30mm;

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

6.4.10 桩尖应按设计要求进入持力层,送桩的最后贯入度应参考相同条件下不送桩时的最后贯入度并修正;送桩完成后应及时将空孔回填或覆盖。

6.4.11 桩终止锤击的控制应符合下列规定:

1 当桩端位于一般土层时,应以控制桩端设计标高为主,贯入度为辅;桩端达到坚硬、硬塑的黏性土、中密以上粉土、砂土、碎石类土及风化岩时,应以贯入度控制为主,桩端标高为辅;

2 贯入度已达到设计要求而桩端标高未达到时,应继续锤击 3 次,并按每次 10 击的贯入度不应大于设计规定的数值确认,必要时,施工控制贯入度应通过试验确定。

6.4.12 管桩的截桩应采用专业的切割机具进行截割,严禁采用大锤横向敲击截桩或强行扳拉截桩。

6.4.13 沉桩完成后应对桩头高出或低于地表部分进行保护处理。对先期沉入的基桩顶部应进行上浮、下沉以及水平位移监测。

II 静压沉桩

6.4.14 静压预应力管桩宜选择液压式工艺,根据单节桩的长度宜选用顶压式液压压桩机和抱压式液压压桩机。当设计要求或施工需要采用引孔法压桩时,应配备螺旋钻孔机,或在压机上配备专用的螺旋钻。当桩端持力层需进入较坚硬的岩层时,应配备可入岩的钻孔桩机或冲孔桩机。

6.4.15 压桩顺序一般先深后浅,先长桩后短桩,先大径后小径,先施工大承台桩后施工小承台桩的原则,当一侧毗邻建筑物时,由毗邻建筑物处向另一方向施压。对于场地地层中局部含砂、碎

石、卵石时,宜先对该区域进行压桩。

6.4.16 吊桩就位可采用一点法(位置距桩头 $0.29L$ 处),将预制桩吊至静压桩机夹具中,使桩尖垂直对准桩位中心,夹紧并放入土中,桩尖插入桩位时垂直度偏差不得超过 0.5% 。压桩前,应在桩的侧面或桩架上设置标尺,以便在施工中观测、记录。

6.4.17 送桩应采用专制钢质送桩器,不得将工程桩用作送桩器。当场地上多数桩的有效桩长 L 小于或等于 15m 或桩端持力层为风化软质岩,需要复压时,送桩深度不宜超过 1.5m ;当桩的垂直度偏差小于 1% ,且桩的有效桩长大于 15m 时,静压桩送桩深度不宜超过 8m 。

6.4.18 应根据现场试压桩的试验结果确定终压力标准,终压条件应符合下列规定:

- 1 应根据现场试压桩的试验结果确定终压力标准;
- 2 终压连续稳压次数应根据桩长及地质条件等因素确定。

对于入土深度大于或等于 8m 的桩,稳压次数可为 $2\sim 3$ 次;对于入土深度小于 8m 的,稳压次数可为 $3\sim 5$ 次。

6.4.19 稳压压桩力不得小于终压力,当压桩力已达到终压条件时,应立即进行持荷、复压,记录最后三次稳定压力时的复压贯入度及桩顶标高。

6.4.20 出现下列情况之一时,应暂停压桩作业,并分析原因,采取相应措施:

- 1 压力表读数显示情况与勘察报告中的土层性质明显不符;
- 2 桩难以穿越具有软弱下卧层的硬夹层;
- 3 实际桩长与设计桩长相差较大;
- 4 出现异常响声;压桩机械工作状态出现异常;
- 5 桩身出现裂缝和桩头混凝土出现剥落等异常现象;
- 6 夹持机构打滑;
- 7 压桩机下陷。

6.4.21 当桩较密集且地基为饱和淤泥、淤泥质土及黏性土时,

应设置塑料排水板、袋装砂井消减超孔压或采取引孔等措施。在压桩施工过程中应设置上涌和水平偏位观测点,定时检测桩的上浮量及桩顶水平偏位值,若上涌和偏位值较大,应采取复压等措施。

6.4.22 静力压桩施工的质量控制应符合下列规定:

1 预应力管桩强度应达到设计强度的 100% 后才能开始压桩,静压桩施工时压力不应超过桩身所能承受的强度,第一节桩下压时垂直度偏差不应大于 0.5%;

2 宜将每根桩一次性连续压到底,且最后一节有效桩长不宜小于 5m;

3 抱压力不应大于桩身允许侧向压力的 1.1 倍;

4 对于大面积桩群,应控制日压桩量;

5 压桩时要保证桩体的垂直度;保证桩锤、桩帽、桩身中心线重合;

6 桩间距小于 3.5d 时,宜采用跳桩施工,同一区域内应控制每天压桩根数,避免桩体上浮,桩身倾斜;

7 管桩的截桩应采用专业的切割机具进行截割,严禁采用大锤横向敲击截桩或强行扳拉截桩。

6.4.23 引孔压桩质量控制应符合下列规定:

1 引孔宜采用螺旋钻干作业法,引孔的垂直度偏差不宜大于 0.5%;

2 引孔作业和压桩作业应连续进行,间隔时间不宜大于 12 小时;在软土地基中不宜大于 3 小时;

3 引孔中有积水时,宜采用开口型桩尖。

III 植入法沉桩

6.4.24 植入法管桩施工前,应进行沉桩工艺试验,确定施工工艺和施工参数。对未填充段空孔植入桩时应控制桩的对中定位、垂直度,多节桩施工时应考虑接桩稳定性,制定相关措施;管桩植

入可采用锤击法、静压法和振动法。

6.4.25 植入法沉桩工艺应符合下列规定：

1 采用旋挖钻孔成孔工艺植入沉桩时，护壁浆液宜采用水泥浆、水泥与膨润土混合浆液，相关配比及性能应符合工艺与性能要求，应由现场工艺试验确定；

2 搅拌法成孔宜采用 42.5 级普通硅酸盐水泥，水泥掺量、水灰比及添加剂应根据地基土的性质和地下水情况现场试验确定；

3 搅拌桩或旋喷桩成孔完成后应及时将预制管桩打入或压入，植桩宜在搅挫桩完成后 6~8 小时内、旋喷完成后 3~4 小时内；

4 搅拌桩或旋喷桩成孔施工及植桩施工应保证连续性，对于超过 24 小时未植桩的桩孔，应进行复搅后方可植桩沉桩；

5 预钻孔内有积水或采用泥浆护壁成孔，混凝土应采用水下灌注工艺。

6.4.26 遇下列特殊情况之一时，应暂停沉桩，研究处理后方可继续施工：

1 压桩不到位，或总锤击数超过规定后造成压桩力或沉桩贯入度突变；沉桩过程出现异常声响，桩身突然倾斜；

2 实际沉桩情况与地质报告中的土层性状明显不符；

3 桩头混凝土剥落、破碎，或桩身混凝土出现裂缝或破碎；

4 地面明显隆起、邻桩上浮或位移过大。

6.4.27 外芯填充料灌注应符合以下要求：

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

2 施工中要保证灌入量满足要求，防止填充高度不足和超灌过量，以超灌量 600mm~1000mm 为宜；

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

7 承台及连系梁施工

7.1 基坑开挖和回填

7.1.1 桩承台测量放线时,应复测桩顶标高、桩位和桩数量,施工顺序宜先深后浅。

7.1.2 当承台埋置较深时,应对邻近建筑物及市政设施采取必要的保护措施,在施工期间应进行监测。

7.1.3 基坑开挖前应对基坑支护形式、挖土方案、运土路线及堆土位置做出规定;承台基坑开挖遇地下水位较高需降水时,可根据周围环境情况采用内降水或外降水措施;

7.1.4 机械挖土时必须确保基坑内的桩体不受损坏,破桩头时,应防桩头被多凿,造成桩顶伸入承台内高度不够。

7.1.5 流塑状软土地区的承台基槽开挖,基槽内面高度应保持均匀,高差不应超过 1m。进行换填施工时,换填料按设计要求选择、平整、夯实。

7.1.6 承台混凝土浇筑后,承台四周或连系梁两侧应按设计要求对称回填土并夯实。承台和地下室外墙与基坑侧壁间隙回填前,应排除积水,清除虚土和建筑垃圾,填土应按设计要求选料,分层夯实,对称进行。

7.2 模板安装

7.2.1 模板应具有足够的强度和刚度,安装时应牢固。

7.2.2 模板安装在基土上时,基土应坚实,架空桩承台模板支架安装时应有可靠的稳定性。

7.2.3 岩石层采用水钻法开挖、原槽浇灌承台时,应保证承台的断面尺寸满足设计要求。

7.2.4 当连系梁的外模采用砖胎模时,胎膜应用 M5 水泥砂浆砌筑。在砖胎模与混凝土接触面采用 20 厚 1:2 水泥砂浆抹面压光砖胎模内侧抹灰。

7.3 钢筋和混凝土施工

7.3.1 绑扎钢筋前应将灌注桩桩头浮浆及疏松部分和预制桩桩顶锤击破碎部分去除,桩体及其主筋埋入承台长度应符合设计要求,应按设计施作桩头和垫层防水。

7.3.2 桩伸入承台的钢筋、承台及连系梁上的柱、剪力墙插筋,其位置、搭接锚固长度等均应有定位加固措施。

7.3.3 连系梁和承台宜同时浇注。

7.3.4 混凝土浇注时宜避开雨天。对回填土范围的承台、连系梁采用浇水养护时,其前期应避免养护水引起底部土体下沉。

7.3.5 承台混凝土应一次浇筑完成,大体积混凝土施工应根据热工计算,完善温度应力控制措施,防止温度应力引起的裂缝。

8 安全施工和环境保护

8.1 安全施工

8.1.1 施工前应识别施工过程中危险源,编制危险因素清单,确定重大风险源。施工单位项目负责人应当对有关安全施工的技术要求向施工作业班组、作业人员作出详细的书面安全技术交底,每人一份交底书,并由双方签字确认。

8.1.2 施工人员作业前必须进行安全用电、防火、防毒、防缺氧等施工安全常识教育。施工现场所有设备、设施、安全装置、工具配件以及个人劳保用品必须经常检查,确保完好和使用安全。特种作业人员需持证上岗。

8.1.3 成桩设备或其配合作业的相关机具在工作时,必须有专人指挥,任何人员不得在工作回转半径范围内停留或通过。

8.1.4 作业人员在导管对接时必须戴防割手套,且手套大小应合适,并应严格注意安装时手的位置,防止手被导管夹伤。

8.1.5 遇特殊天气时,施工现场应停止作业,并把成桩设备的重心面调至对风的方向,锁固制动器的锁定装置。

8.1.6 各桩位周围 1.5m 和承台的沟槽边应有防滑措施和明显标志。夜间操作时,工作面周边的环境应有稳固、牢靠的防护。

8.1.7 混凝土灌注桩成孔后应在孔口采取安全防护措施。

8.1.8 钻(冲)孔桩施工安全应符合下列规定:

1 钻机施工时,应保证机械稳定、安全作业,必要时可在场地铺设能保证其安全行走和操作的钢板或垫层(路基板);

2 钻机或其配合作业的相关机具在工作时,必须有专人指挥,任何人员不得在工作回转半径范围内停留或通过;

3 成孔后或因故停钻时,应将钻头下降并接触地面,将各部件予以制动,操纵杆放到空档位置后,拉闸切断电源,锁好开关锁;

4 旋挖机施工中平地行走距离不超过 100m 时,可不放下桅杆;上下坡时桅杆必须放平,回转台应有效制动;

5 旋挖机钻孔时,如发现紧固螺栓松动时,应立即停机,重新紧固后方可继续作业;

6 严禁用手清理螺旋叶片上的泥土,防止割伤。

8.1.9 重锤沉管夯扩桩施工安全应符合下列规定:

1 夯扩设备的基座必须坚实、平整,设备安装完毕应保持水平状态,作业前应进行试吊、试夯;

2 夯锤起吊后,臂杆和重锤下 15m 内严禁站人,且不得在起重臂旋转半径范围内通过;

3 停止夯扩作业时,不得将夯锤吊在半空;

4 夯击过程中应随时检查坑壁有无坍塌隐患,必要时采取防护措施;

5 当夯扩施工所产生的振动对邻近建筑物或设备产生有害影响,应采取隔振或防振措施并进行监测。

8.1.10 人工挖孔桩施工安全应符合下列规定:

1 人工挖孔桩桩净距小于 2.5m 时,应采用间隔开挖。相邻排桩跳挖的最小施工净距不得小于 4.5m;

2 使用的电葫芦、吊笼应配有自动卡紧保险装置,超高限位器、吊钩防脱钩装置等应齐备;卷扬机钢丝绳应排列整齐,滚筒上缠绕圈数不少于 3 圈;

3 孔口四周应设置护栏,护栏高度应满足安全防护规定,无人作业井孔应加设井盖,设置警示标志;

4 提升设备挖出的土石方应及时运离孔口,不得堆放在孔口周边 1m 范围内;

5 孔内有人作业时,孔上应配备专人监护,检查吊钩的防脱钩装置是否完好,保持同孔内人员的联络通讯;

6 在溶洞上部作业时,应增加防止塌顶陷落措施;

7 斜坡地带上下桩基不宜同时施工,斜坡桩施工时应先开挖水平作业平台,平台走道及栏杆及靠山坡面应密封。

8.1.11 人工挖孔桩孔内施工时应采取以下安全措施:

1 孔内应设置直径不小于 14 mm 的钢筋爬梯或应急软爬梯;孔深大于 20m 时应按每 15m 在护壁内设置卸荷挂钩拉住钢筋爬梯;

2 作业人员不得脚踏井壁凸缘上下;

3 孔底照明应采用 36V 低压电源,有水时电压不超过 24V,安全灯具应选用带有防水罩的产品;

4 每次进孔施工前应检测孔内有毒、有害气体,当桩孔开挖深度超过 8m 时,应保持向孔内连续送风,风量不宜少于 25L/s;

5 作业人员进入孔内须挂好配有自动卡紧保险装置的防坠器;

6 孔内设置的防护顶棚应随孔深下降,顶棚盖板应坚固,覆盖面积不小于孔截面面积的 1/2,顶棚高度距孔底不小于 2m;

7 开挖中途抽水时,孔内人员必须返回地面。移动水泵时,应切断电源;

8 孔内不得进行施焊作业,孔内用电应遵守现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的规定。

8.1.12 灌注桩后注浆施工安全应符合下列规定:

1 高压泵必须指定专人操作,压力表应定期检修验定,保证正常使用。安全阀中的安全销要进行试压检验,达到规定压力时,能断销卸压;

2 高压设备和管路系统的压力和流量需要满足设计要求,发现管道破损,应立即更换,以防发生高压液体喷出造成损失或安全事故;

3 现场注浆管路应合理布置,穿过现场道路时应采取有效的防护措施防止车辆碾压注浆导管;

4 注浆施工过程中应有专人负责看护注浆压力表,当注浆浆液不进,压力升高很快时应立即停止注浆,查明是否产生堵管,未排除故障前不得进行强制注浆造成炸管事故;

5 注浆作业施工区应设立警示牌,以防高压浆液造成人员伤害。施工人员作业时应采取相应的防护措施并保持安全距离。

8.2 环境保护

8.2.1 施工前应对施工场地的环境因素进行辨识,形成环境因素清单,制订相应的措施。

8.2.2 桩基础工程施工应采取控制措施控制振动、噪声、扬尘、废水、废弃物以及有毒有害物质对工程场地、周边生态环境和人身健康带来的危害。

8.2.3 施工现场应设置排水系统,排水系统严禁与稳定液循环系统串联,严禁向排水系统排放废浆液,排水沟的废水应经沉淀过滤达到标准后方可排入市政排水管网。

8.2.4 施工机械的废油废水,必须采用隔油池等有效措施加以处理,不得超标排放。

8.2.5 施工过程中产生的废土、渣土及废弃稳定液应及时外运。外运车辆应为密封车或有遮盖的自卸车。

8.2.6 泥浆护壁稳定液沟池的容积应满足施工所需的稳定液循环量的需要,以保证稳定液正常循环并防止外溢。

8.2.7 施工现场出入口处应设置冲洗设施、污水池和排水沟,由专人对进出车辆进行清洗保洁。

9 桩基工程质量检验和验收

9.1 一般规定

9.1.1 桩基工程应进行桩位、桩长、桩径、混凝土强度、桩身质量和单桩承载力的检验。

9.1.2 桩基工程的检验按时间顺序可分为三个阶段：施工前检验、施工检验和施工后检验。

9.1.3 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。

9.1.4 桩基应进行地基承载力检验，大直径嵌岩桩尚应视岩性开展持力层性状检验，检验方法应符合现行地方标准《建筑与市政工程地基基础施工质量验收标准》DBJ50/T-125 的规定。

9.2 施工前检验

9.2.1 施工前应对放好的轴线和桩位进行检验，其放线允许偏差对于群桩不应大于 20mm，对于单桩不应大于 10mm。

9.2.2 灌注桩施工前应进行下列检验：

1 混凝土现场拌制应对原材料质量与计量、混凝土配合比、坍落度、混凝土强度等级等进行检查；

2 钢筋笼制作应对钢筋规格、焊条规格、品种、焊口规格、焊缝长度、焊缝外观和质量、主筋和箍筋的制作偏差等进行检查，钢筋笼制作允许偏差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。

9.2.3 预应力混凝土管桩施工前应进行下列检验：

- 1 应对预制桩外观质量、尺寸及混凝土强度等进行检验；
 - 2 应对接桩用焊条、压桩用压力表等材料和设备进行检验。
- 9.2.4 单柱单桩的大直径嵌岩灌注桩,应视岩性检验桩端以下 3 倍桩身直径或 5m 深度范围内有无溶洞、破碎带或软弱夹层等不良地质条件。
- 9.2.5 含有大直径块石、孤石的深厚填土地,当采用旋挖、挤压、打入、压入等非取芯成桩工艺的桩基,应采用地质超前钻确定桩端持力层位置。地质超前钻钻孔布置、取样数量应符合现行地方标准《建筑与市政工程地基基础施工质量验收标准》DBJ50/T-125 的规定。

9.3 施工检验

9.3.1 钻(挖、冲)孔灌注桩施工过程中应进行下列检验:

- 1 灌注混凝土前,应按照本标准第 6 章有关施工质量要求,对已成孔的中心位置、孔深、孔径、垂直度、孔底沉渣厚度进行检验;
- 2 应对钢筋笼安放的实际位置进行检查,并填写相应质量检测、检查记录。

9.3.2 螺杆灌注桩施工过程中应进行下列检验:

- 1 钻进深度、桩位偏差、钻杆垂直度;
- 2 钢筋笼安放的实际位置;
- 3 混凝土超灌高度及充盈系数。

9.3.3 打入(静压)预应力混凝土管桩施工过程中应进行下列检验:

- 1 锤击(静压)深度、收锤(终压)标准、静压终止压力值;
- 2 接桩质量、桩顶完整状况;
- 3 桩位偏差、管桩垂直度;
- 4 每米进尺锤击数、最后 1.0m 进尺锤击数、总锤击数、最后三阵贯入度及桩尖标高;

- 5 桩顶和桩周土体的水平和竖向位移变化情况。
- 9.3.4 植入预应力混凝土管桩施工过程中应进行下列检验：
 - 1 检查钻头直径,使满足成孔直径要求;
 - 2 钻头与桩径对中情况;
 - 3 成孔直径;
 - 4 钻孔终孔时孔底标高、孔底持力层性状及进入持力层深度;
 - 5 孔底地下水及沉渣厚度;
 - 6 填充料灌入量及管桩接头焊缝质量。
- 9.3.5 重锤沉管夯扩桩施工过程中应进行下列检验：
 - 1 内管夯击深度及夯击次数、双管同步沉入深度、停止夯击标准;
 - 2 桩位偏差、外管垂直度;
 - 3 桩周土体的水平和竖向位移变化情况。

9.4 施工后检验

- 9.4.1 工程桩应进行承载力和桩身质量检验。
- 9.4.2 施工完成后的工程桩应采用低应变法、声波透射法或钻芯法进行桩身完整性检验。抽检数量应符合下列规定：
 - 1 旋挖成孔灌注桩应全部采用声波透射法或钻芯法进行检测;
 - 2 旋挖成孔灌注桩以外桩基的抽检数量为：
 - 1) 建筑桩基设计等级为甲级,或地质条件复杂成桩质量可靠性较低的灌注桩,抽检数量不应少于总桩数的30%,且不得少于20根;其他其情况下的桩基,抽检数量不应少于总桩数的20%,且不得少于10根;
 - 2) 除符合本条前款规定外,每个柱下承台抽检桩数不应少于1根;

3) 对于大直径灌注桩,应在上述两款规定的抽检桩数范围内,按不少于总桩数的 10%的比例采用声波透射法或钻芯法检测;

4) 椭圆形桩、矩形桩应全数采用声波透射法或钻芯法进行检测。

9.4.3 以土质地基、强风化岩石地基、极破碎或破碎岩石地基为持力层的桩基,以及以较破碎、较完整、完整岩石地基为持力层的中、小直径桩基,应采用单桩竖向抗压静载试验进行承载力验收检测。

9.4.4 以较破碎、较完整、完整岩石地基为持力层的大直径桩基,当为下列情况之一时应采用单桩竖向抗压静载试验进行承载力验收检测:

- 1 以较破碎岩石地基为持力层且设计等级为甲级的桩基;
- 2 地质条件复杂、桩的施工质量可靠性低;
- 3 采用新桩型或新工艺的桩;
- 4 施工过程中产生挤土上浮或偏位的群桩;
- 5 工程施工前已进行单桩静载试验,但施工过程变更了工艺参数。

9.4.5 采用单桩竖向抗压静载试验进行承载力验收检测时,抽检数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%,且不少于 3 根;当总桩数少于 50 根时,抽检数量不应少于 2 根。

9.4.6 对专用抗拔桩和对水平承载力有特殊要求的桩基工程,应进行单桩抗拔静载试验和水平静载试验检测。抽检数量不应少于总桩数的 1%,且不得少于 3 根。

9.4.7 桩身完整性及承载力检验,除符合本节规定外,尚应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的规定。

9.4.8 当对检测结果有异议时,应进行验证检测,验证检测应符合下列规定:

- 1 对低应变法检测结果有异议时,可根据实际情况采用钻

芯法、高应变法或开挖等适宜的方法验证检测；

2 对声波透射法检测结果有异议时,可采用钻芯法验证检测；

3 对钻芯法检测结果有异议时,可采用在同一基桩增加钻孔验证检测。

9.4.9 当检测结果不满足要求时,应进行扩大抽检。扩大抽检应采用原检测方法或准确度更高的检测方法,并应符合下列规定：

1 低应变法或声波透射法桩身完整性抽检结果中,当Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于抽检桩数的 20%时,应在未检桩中扩大抽检,抽检桩数与首次检测数量相同。若扩大抽检桩数中,Ⅲ、Ⅳ类桩之和仍大于抽检桩数的 20%时,该批桩应全数检测。抽检不合格桩应提出处理方案；

2 钻芯法或单桩承载力抽检结果中存在不满足要求的桩时,应在未检桩中扩大抽检,抽检桩数为不合格桩数的 2 倍。若扩大抽检桩数中仍存在不满足要求的桩,应由参建各方共同研究提出进一步抽检的数量或处理方案。

9.4.10 以岩石为持力层的大直径嵌岩桩,当受设备或现场条件限制无法进行单桩竖向抗压承载力静载试验检测时,可按本标准附录 B 基桩承载力自平衡测试法或按本标准附录 A 桩端岩石载荷试验法进行检验,也可根据终孔时桩端持力层检验情况结合桩身质量检验报告核验。

9.5 基桩、承台及连系梁工程验收资料

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

9.5.2 基桩验收应包括下列资料：

1 岩土工程勘察报告、桩基施工图、图纸会审纪要、超前钻孔及不良地质检验资料、设计变更单及材料代用通知单等；

- 2 经审定的施工组织设计、施工方案及执行中的变更单；
 - 3 桩位测量放线图,包括工程桩位线复核签证单；
 - 4 原材料的质量合格和质量鉴定书；
 - 5 施工记录及隐蔽工程验收文件；
 - 6 桩身完整性检验报告；
 - 7 单桩承载力检验报告；
 - 8 其他必须提供的文件和记录。
- 9.5.3 承台及连系梁工程验收时应包括下列资料：
- 1 承台及连系梁钢筋、混凝土的施工与检查记录；
 - 2 桩头与承台的锚筋、边桩离承台边缘距离、承台及连系梁钢筋保护层记录；
 - 3 桩头与承台防水构造及施工质量；
 - 4 承台及连系梁截面的量测记录及外观情况描述等。
- 9.5.4 承台及连系梁工程验收除符合本节规定外,尚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 的规定。

附录 A 桩端岩基载荷试验要点

A.0.1 本方法适用于确定较破碎、较完整、完整岩石作为桩基础持力层时的承载力。

A.0.2 试点制备及边界条件应符合下列规定：

- 1 试点受力方向应与工程岩体实际受力方向一致；
- 2 试点边缘距洞壁或桩壁边缘距离应大于承压板直径的 1.5 倍，试点间距应大于承压板直径的 3 倍；
- 3 试点以下 3 倍承压板直径范围内岩性应一致，且应为桩端持力层；
- 4 试点表面受扰动的岩体应清除干净。

A.0.3 采用圆形刚性承压板，直径为 300mm。

A.0.4 承压板应满足刚度要求，厚度不宜小于 40mm。

A.0.5 测量系统的初始稳定读数观测：加压前，每隔 10min 读数一次，连续三次读数不变可开始试验。

A.0.6 加载方式：单循环加载，荷载逐级递增直到破坏，然后分级卸载。

A.0.7 荷载分级：第一级加载值为预估设计荷载的 $1/5$ ，以后每级为 $1/10$ 。

A.0.8 沉降量测读：加载后立即读数，以后每 10min 读数一次。

A.0.9 稳定标准：连续三次读数之差均不大于 0.01mm。

A.0.10 终止加载条件：当出现下述现象之一时，即可终止加载：

- 1 沉降量读数不断变化，在 24 小时内，沉降速率有增大的趋势；
- 2 压力加不上或勉强加上而不能保持稳定；
- 3 未出现前 2 种情况下之一时，承压板周围岩面发生明显

隆起或径向裂缝持续发展；

4 当设备加载能力不足又未能使岩体达到破坏,但荷载已经达到设计要求的 3 倍。

A.0.11 卸载观测:每级卸载为加载时的两倍,如为奇数,第一级可为三倍。每级卸载后,隔 10min 测读一次,测读三次后可卸下一级荷载。全部卸载后,当测读到半小时回弹量小于 0.01mm 时,即为稳定。

A.0.12 桩端地基极限承载力标准值 f_{uk} 的确定应符合下列规定:

1 对应于 $p \sim s$ 曲线上起始直线段的终点为比例界限。符合终止加载条件的前一级荷载为极限荷载。将比例界限乘以 3 的安全系数,所得值与对应极限荷载相比较,取小值作为该点的地基极限承载力;

2 每个场地载荷试验的数量不应少于 3 个,取所有试验点地基极限承载力的最小值作为桩端岩石地基极限承载力标准值。

附录 B 基桩承载力自平衡测试要点

I 一般规定

B.0.1 本方法适用于受加载设备或现场条件所限无法采用传统静载试验方法进行检测的大直径灌注桩的竖向抗压承载力检验。

B.0.2 当需测定桩的分层侧阻力和桩端阻力或桩身的位移量时,可埋设测量桩身应力、应变、桩底反力的传感器或位移杆。

B.0.3 为设计提供依据的试验桩,应加至破坏。

II 仪器设备及安装

B.0.4 检测用仪器设备应在检定或校准有效期内,检测前应对仪器设备进行调试。

B.0.5 荷载箱的最大加载量不应小于预估最大试验荷载的 1.2 倍。荷载箱最大加载量对应的油压值量程不应超过 60MPa,工作压力不应超过规定量程的 80%;荷载箱有效行程不应小于 100mm。

B.0.6 荷载箱应平放于钢筋笼中心,荷载箱的上下连接板应分别与平衡点位置处的上下段钢筋笼的主筋焊接;荷载箱位移方向与桩身轴线间的夹角不应大于 1° 。

B.0.7 荷载箱的埋设位置应符合下列规定:

1 当预估极限端阻力小于极限侧阻力时,可将荷载箱置于桩身平衡点处。荷载箱及位移传递系统可按图 B.0.7-1 所示进行安装;

2 当预估极限端阻力大于极限侧阻力时,可将荷载箱置于

桩端,并在桩顶外加一定量的配重。荷载箱及位移传递系统可按图 B.0.7-2 所示进行安装。

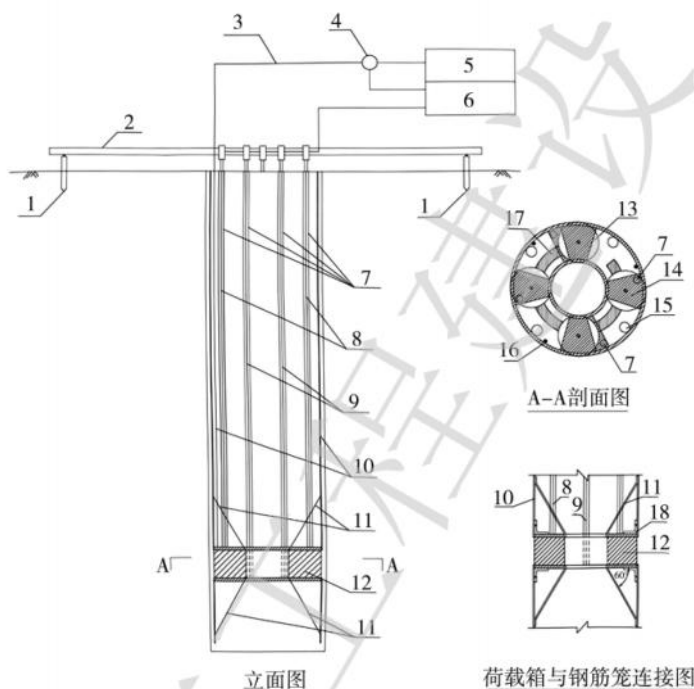


图 B.0.7-1 桩身平衡点处荷载箱及位移传递系统安装示意图

- 1—基准桩;2—基准梁;3—高压油管;4—压力传感器;5—高压油泵;
6—数据采集系统;7—位移护套管;8—上位移杆(丝);9—下位移杆(丝);
10—钢筋笼;11—喇叭导向钢筋;12—荷载箱;13—液压缸;14—连接板;
15—声测管;16—连接钢筋;17—保护盒;18—“L”型加强钢筋

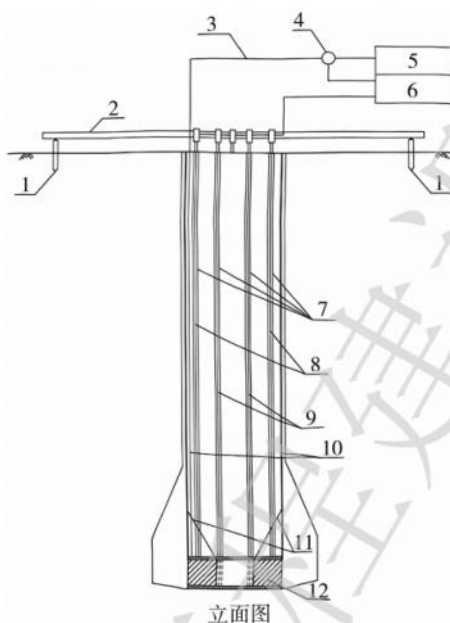


图 B.0.7-2 桩端荷载箱及位移传递系统安装示意图

- 1—基准桩；2—基准梁；3—高压油管；4—压力传感器；5—高压油泵；
6—数据采集系统；7—位移护套管；8—上位移杆(丝)；9—下位移杆(丝)；
10—钢筋笼；11—喇叭导向钢筋；12—荷载箱

B.0.8 工程桩试验工作结束后,应采用高压注浆对荷载箱上下连接板之间的空隙进行有效填充。

B.0.9 当荷载箱置于桩端时,应采取措施确保荷载箱下承压板应与试验地层充分接触。

Ⅲ 现场检测

B.0.10 试验应采用慢速维持荷载法,试验加卸应符合下列规定:

1 加载应分级进行,采用逐级等量加载,每级荷载宜为最大加载值的 $1/10$,第一级加载量可取分级荷载的 2 倍;

2 卸载应分级进行,每级卸载量宜为加载时分级荷载的 2 倍,且应逐级等量卸载。

B.0.11 慢速维持荷载法应符合下列规定:

1 每级荷载施加后按第 5min、15min、30min、45min、60min 测读位移值,以后每隔 30min 测读一次;

2 位移相对稳定标准:从分级荷载施加后第 30min 开始,按 1.5h 连续三次每 30min 的位移观测值计算,每小时的位移增量不超过 0.1mm,并连续出现两次;

3 当位移速率达到相对稳定标准时,再施加下一级荷载;

4 卸载时,每级荷载维持 1h,分别按第 15min、30min、60min 测读位移量后,即可卸下一级荷载。卸载至零后,应测读残余位移量,维持时间为 3h,测读时间为第 15min、30min,以后每隔 30min 测读一次残余位移量。

B.0.12 荷载箱的上段或下段位移出现下列情况之一时,即可终止加载:

1 某级荷载作用下,上段或下段位移增量为前一级荷载作用下位移增量的 5 倍,且总位移超过 40mm;

2 某级荷载作用下,上段或下段位移增量大于前一级荷载作用下位移增量的 2 倍,且 24 小时内尚未达到本标准第 B.0.11 条第 2 款相对稳定标准;

3 已达到设计要求的最大加载量且荷载箱上段或下段位移达到本标准 B.0.11 条第 2 款相对稳定标准;

4 当荷载-位移曲线呈缓变形时,向上位移总量可加载至 40mm~60mm;向下位移总量可加载至 60mm~80mm。

IV 检测数据分析与判定

B.0.13 上段桩及下段桩极限承载力可按下列方法综合确定:

1 对陡变型荷载-位移曲线,取荷载-位移曲线发生明显陡变

的起始点对应的荷载值；

2 对缓变形荷载-位移曲线，上段桩取位移为 40mm 时对应的荷载值；下段桩取位移为 0.05D(D 为桩径)时对应的荷载值；

3 当出现本标准第 B.0.12 条第 1 款、第 2 款情况时，宜取前一级荷载值；

4 当按本条第 1~3 款不能确定时，宜分别取向上、向下两个方向的最大试验荷载作为极限承载力。

B.0.14 单桩竖向抗压极限承载力可按下式计算：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - W}{r} + Q_{ud} \quad (\text{B.0.14})$$

式中： Q_{uu} ——上段桩极限承载力(kN)；

Q_{ud} ——下段桩极限承载力(kN)；

W ——荷载箱上段桩自重及附加重量之和(kN)；

γ ——转换系数，宜通过相近条件的比对试验和工程经验确定，当无可靠资料和工程经验时，对于黏性土、粉土、砂土、强风化岩石， γ 可取 0.8~1；对于中风化、微风化岩石， $\gamma=1$ 。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1) 表示很严格,非这样做不可的:
正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- 2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:
正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;
- 3) 表示允许稍有选择,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 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑抗震设计标准》GB/T 50011
- 《混凝土结构设计标准》GB/T 50010
- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《建筑施工安全技术统一规范》GB 50870
- 《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046
- 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
- 《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406
- 《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267
- 《工程勘察标准》DBJ50/T-043
- 《建筑与市政工程地基基础施工质量验收标准》DBJ50/T-125

重庆市工程建设标准

建筑桩基础技术标准

DBJ50/T-200-2024

条文说明

2024 重 庆

重庆工程建设

目 次

1	总则	117
2	术语和符号	118
2.1	术语	118
3	基本规定	119
3.1	一般规定	119
3.2	桩基工程勘察	122
3.3	桩的选型与布置	122
3.4	特殊条件下的桩基	125
3.5	耐久性规定	128
4	桩基计算	130
4.1	桩顶作用效应计算	130
4.2	桩基竖向承载力计算	130
4.3	单桩竖向极限承载力	131
4.4	特殊条件下的桩基竖向承载力验算	140
4.5	桩基水平承载力计算	145
4.6	桩身承载力与裂缝控制计算	145
4.7	承台及连系梁计算	146
4.8	桩基抗震	146
5	桩基构造	147
5.1	基桩构造	147
5.2	承台及连系梁构造	149
5.3	人工挖孔桩护壁构造	150
6	桩基施工	154
6.1	一般规定	154

6.2	施工准备	156
6.3	灌注桩施工	156
6.4	预应力管桩施工	161
7	承台及连系梁施工	162
7.1	基坑开挖和回填	162
7.3	钢筋和混凝土施工	162
8	安全施工和环境保护	163
8.1	安全施工	163
9	桩基工程质量检验和验收	164
9.1	一般规定	164
9.2	施工前检验	164
9.3	施工检验	165
9.4	施工后检验	165
附录 B	基桩承载力自平衡测试要点	167

1 总 则

1.0.2 重庆市市政工程混凝土桩基础勘察、设计、施工、检验与验收可参照本标准执行。

1.0.4 本标准修订时,重庆市工程建设标准《工程勘察标准》DBJ50/T-043、《建筑地基基础设计标准》DBJ50/T-047、《建筑与市政工程地基基础施工质量验收标准》DBJ50/T-125 几乎同步进行修订,使用本标准时,除应满足国家现行通用规范等有关规定外,尚应与上述几个标准配合使用。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.8 该桩上部为圆柱形、下部为螺纹形的组合挤土型灌注桩，属于部分挤土灌注桩；以前曾用名“旋转挤压灌注桩”。目前协会标准《螺杆灌注桩技术规程》T/CECS780-2020 已于 2021 年 5 月 1 日实施。该桩型具有桩土结合粗糙度大于一般桩体，承载力较高、桩端无虚土等特点。

2.1.10 管桩根据形状又分为圆形管桩、空心方桩；桩身混凝土强度等级为 C80 及以上的管桩为高强混凝土管桩（简称 PHC 或 PHS 管桩），桩身混凝土强度等级为 C60 的管桩为混凝土管桩（简称 PC 或 PS 管桩），主筋配筋形式为预应力钢棒和普通钢筋组合布置的高强混凝土管桩为混合配筋管桩（简称 PRC 管桩）。

2.1.11 植入法是通过用机械设备（旋挖钻机或螺旋钻机等）在桩位处钻孔（引孔）至设计深度或设计要求持力层后，再灌入水泥砂浆或混凝土，最后将管桩插入孔内，一般通过静压或锤击辅助将管桩置于孔底处的施工方法。通过该方法施工桩基础，具有机械化程度高、桩身质量可靠、节能环保、施工速度较快等优点。该技术在四川、广西、重庆以及华东等地区项目中已有应用。目前有《四川省预成孔植入桩技术标准》DBJ51/T184、广西《植入法预制桩技术规程》DBJ/T45-110 以及相关的企业标准、团体标准等作为相应的技术支撑。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.2 建筑桩基设计等级是按照桩基设计的复杂性和技术难度确定的,划分时考虑了建筑物的性质、规模、高度和体型;对地基变形的要求;场地和地基条件的复杂程度;以及由于桩基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度等因素。

结合重庆地区地形、地质特点,抗震设防分类为甲、乙类的高层建筑抗震设防要求高且荷载较大,应按桩基设计等级甲级设计;对于场地和地基条件复杂的七层以上建筑,如场地地基为半填半挖、岩溶地区、深回填土、桩端下受力范围存在软弱下卧层等,桩基受力较为复杂,桩基设计等级按甲级设计;位于边坡滑塌区内的高层建筑、位于洞室上的高层建筑自身无特殊性,但由于场地条件、环境条件的特殊性,应按桩基设计等级甲级设计;对地基变形有特殊要求的建筑,主要包括有精密仪器设备或精密生产工艺的建筑,须严格控制桩基沉降变形;对相邻既有工程影响较大的建筑物包括在原有建筑物旁和在地铁、地下隧道、重要地下管道上或旁边新建的建筑物,当新建建筑物对原有工程影响较大时,为保证原有工程的安全和正常使用,增加了桩基设计的复杂性和难度。

3.1.3 桩基承载力计算和稳定性验算是承载力极限状态设计的具体内容,应结合工程具体条件有针对性地进行计算和验算。

相较于《建筑桩基础设计与施工验收规范》DBJ50-200,本次修订新增了预制桩吊装及施工作业时的验算工况。

按现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003,

强调了桩基抗震承载力验算要求,但并非所有桩基均需要进行抗震承载力验算。除本标准规定可不进行桩基抗震承载力验算的情况外,一般项目可进行桩基抗震承载力的概念性分析。对抗震不利地段的桩基,进行抗震承载力验算是必要的,特别是边坡上桩基,根据上部结构的重要性、基础埋深和边坡支护情况等,甚至还需要进行大震工况桩基承载力验算。

3.1.4 桩基水平位移包括长期水平荷载、风荷载等引起的水平位移。重庆为山地城市,山地建筑结构比比皆是。当主体结构兼边坡支挡结构时,岩土压力需要主体结构和基础来承担,以及当建筑位于边坡顶部附近,桩基对水平荷载作用比较敏感,此时应有效控制桩基的水平位移。

3.1.5 本次修订新增了以土层为持力层的桩基,因此补充了摩擦型桩基及以非岩石为持力层桩基的沉降计算规定。

对以岩石为持力层的桩基,根据重庆地区多年工程经验,完整岩石地基中桩基础沉降基本为桩身混凝土压缩变形,地基产生沉降几乎可以忽略不计。位于极软岩岩质地基(岩石天然单轴强度小于5MPa)中的超高层建筑,以及结构体型复杂、荷载分布显著不均匀的高层建筑,宜考虑地基变形的不利影响。

3.1.7 桩基设计所采用的作用效应和抗力应根据计算或验算的内容相适应的原则确定。

1 确定桩数和布桩时,应采用正常使用极限状态,相应的作用效应采用荷载标准组合;抗力是采用单桩极限承载力除以综合安全系数确定的特征值;

2 计算荷载作用下基桩沉降时,考虑荷载的长期组合,不考虑偶然荷载的作用;

3 整体稳定性属于承载能力极限状态,应采用承载能力极限状态下作用的基本组合。鉴于岩土工程自身特点,验算坡地、岸边建筑桩基整体稳定性采用综合安全系数,故采用基本组合时 γ_G 、 $\gamma_Q=1$;

4 计算承台结构和桩身结构时,应与上部混凝土结构一致,承台顶面作用效应应采用承载能力极限状态下作用的基本组合,其抗力应采用包含抗力分项系数的设计值;

5 进行承台和桩身的裂缝控制验算时,应与上部混凝土结构一致,采用正常使用极限状态下的标准组合和准永久组合。

3.1.10 未采用预应力锚杆(索)等主动控制措施的基坑及边坡支护桩,边坡施工过程中,在岩土压力作用下会产生较大的水平位移。此水平位移在上部结构加载时对桩基产生非常不利的弯矩,削弱桩基承载力,严重时甚至会危及上部结构的安全。因此,基坑(边坡)支护桩一般不应兼做上部主体结构的基桩。

3.1.11 桩端压力注浆技术起源于上世纪 60 年代初。此后,该技术不断创新和发展,应用越来越广。后注浆技术在提高桩基承载力、减少桩基沉降、改善桩基承载性状等方面效果明显。目前桩基后注浆工法在国内已得到很好的应用,可有效解决机械成孔灌注桩桩底沉渣难清除的质量通病,加固桩端岩土体,提高桩端地基承载力。

灌注桩后注浆包括桩端后注浆和桩侧后注浆。重庆地区以土层、卵石层为持力层的大直径桩基工程,已有工程采用后注浆技术,一方面避免了尺寸效应对桩基承载力的降低,同时提高了地基承载力;以岩石为持力层、采用旋挖桩工艺的桩基工程也不断有采用后注浆技术,通过后期桩基承载力现场试验,桩基承载力显著提高。

3.1.12 岩石地层多受地质构造控制,设计参数的变异性不易掌握,计算理论与预测结果不一定完全符合实际。斜坡、边坡地基场地稳定性尤为重要,其受岩土参数影响极大。一方面结合现场桩基施工过程进一步校核边坡持力层性状,另一方面通过施工期间支护结构及地面建筑设点实施监测,通过监测信息及时反馈、修正,实施信息化动态设计,已是重庆地区几十年成功工程经验的总结。本条单独强调“动态设计、信息化施工”,有利于通过桩

基施工进一步弄清斜坡、边坡、洞室等地基地质状况,确保地基稳定性。

3.2 桩基工程勘察

3.2.1 桩基工程勘察文件,需满足重庆市工程建设标准《工程勘察标准》DBJ50/T-043 要求。针对桩基工程的特点,岩土物理学参数包括各层岩土的极限侧阻力和极限端阻力。拟采用基岩作为桩的持力层时,应提供持力层岩性、厚度、软弱夹层、破碎带和桩端岩石完整性指标。当嵌岩桩场地岩土界面的起伏变化较大,有条件时尚需提供岩土界面等高线图或提醒设计和施工单位,后期施工期间通过动态设计、信息化施工,加强对岩土界面的判断,便于设计人员控制桩长,消除隐伏陡坡、陡坎的安全隐患。

需考虑负摩阻力的桩基,应提供负摩阻力系数和减少负摩阻力的措施建议。

场地稳定性评价时,应包括现状稳定性和拟建建筑实施后的稳定性。

分析地下水对桩基的影响,应特别注意以非岩石地基和极软岩为持力层时,地下水对岩土的软化作用、岩土的物理参数、地基沉降、场地稳定性等产生的不利影响。相较于其他桩型,挤土桩受地下水影响更明显。结合地下水的特征和岩土性状,应综合分析评价地下水对桩基设计和施工的影响,并提出建议措施。

当采用部分挤土桩或挤土桩时,尚需评价成桩挤土效应的影响,并提出预防措施建议。

3.3 桩的选型与布置

3.3.1 桩的分类方法较多,除了本文的分类方法外,还可按桩基材料、水平受荷条件、竖向受荷条件等分类。

1 承载性状的变化不仅与桩端持力层性质有关,还与桩的长径比、桩周岩土性状、成桩工艺等有关。以岩石为持力层的桩基均为嵌岩桩。当嵌岩深度小时,桩端承担主要竖向荷载,属于端承桩或摩擦端承桩;随着嵌岩深度逐渐加大,逐步变成端承摩擦桩受力性状;当嵌岩深度过大且桩底沉渣厚度不可忽略时,侧阻力占比明显,但与以土层为持力层的摩擦桩沉降相对较大相比,此时嵌岩桩虽具有摩擦桩受力特性,但沉降依然很小;

2 按成桩挤土效应分类,经大量工程实践证明是必要的。成桩过程有无挤土效应,涉及设计选型、补桩和成桩质量控制,还会影响场地稳定性。

成桩过程中的挤土效应在饱和黏性土中是负面的,会引发桩基质量问题,还会造成周边既有建(构)筑物受损。重庆地区轨道保护区、市政设施保护区内严禁采用挤土桩和部分挤土桩。边坡附近桩基础也不应采用挤土桩和部分挤土桩,避免削弱边坡稳定性。但在松散填土和非饱和填土采用具有挤土效应桩基,则有利于挤密土体,提高桩基承载力。

人工挖孔桩长期在重庆地区普遍使用且有成功经验。重庆地区虽然持力层多为岩石,但岩性变化大,场地边坡众多,采用人工挖孔桩,可进行彻底清孔,避免受沉渣的不利影响,可直观的查实持力层的地质现状,有利于岩石承载力的发挥和成桩质量控制。对一些持力层埋藏深、地下水较丰富、存在有毒气体等场地,从更好的保证人员安全出发、提高效率来看,选择机械成孔灌注桩更合适。

本条除列出重庆地区常用的旋挖灌注桩、人工挖孔桩等桩型外,补充了近年来在重庆已取得一定工程经验的新桩型,包括螺杆灌注桩、植入法管桩、重锤沉管夯扩桩等。新的桩基技术推广应用,给重庆地区深厚回填场地、滨江场地(特别是存在卵石层的场地)等复杂地基中桩基设计和施工提供了更多可选择的解决方案;

3 桩径大小影响成桩质量和桩基承载力性状。对非岩石持

力层,大直径桩孔壁松弛变形会导致侧阻力降低效应随桩径增大而增大,桩端阻力随桩径增大而减小。对以岩石为持力层的桩基础而言,桩径对嵌岩桩承载力的影响依然存在。重庆地区因大直径桩桩身质量可靠性高,承载力更易保证,工程中一柱一桩布置的大直径嵌岩桩应用非常普遍。

3.3.2 限制桩的长径比主要是基于更有利控制桩身变形、保证桩基承载能力和降低施工难度。桩基长径比过大,一方面桩身的变形量会增大,可能导致桩与周围土体的相互作用减弱,从而影响桩的承载能力,另一方面施工过程可能引发桩基偏位甚至桩身弯折,从而增加施工难度和成本。对摩擦型桩基础,桩身压应力自上而下衰减,且在上部荷载作用下产生桩基沉降,因此一般可不考虑桩身产生压屈失稳,此时采用不同成桩工艺的桩基施工,适当控制桩基长径比主要基于避免施工偏差造成桩基间距难以保证。重庆地区大都是以岩石为持力层的嵌岩桩,且上覆土层稳定性较差,控制长径比有利于提高桩基安全度。斜坡地段(包括沟谷地区)上覆填土固结过程中可能会对桩基产生不利的水平推力,根据场地环境条件和上部结构特性,适当降低长径比,提高桩身刚度和桩身抗弯和抗剪承载力是必要的,同时宜加强桩基整体性。

水对边坡稳定性影响较大,因此,本条规定湿作业成孔桩不宜用于边坡顶附近。边坡附近采用挤土类桩,会削弱边坡的现状稳定性,甚至造成安全隐患,限制挤土和部分挤土桩是必要的。

3.3.3 基桩的布置是桩基概念设计的主要内涵,是合理设计、优化设计的主要环节。

1 岩石上的桩基最小桩间距规定一方面是为避免桩基施工过程中对相邻桩基持力层的干扰;另一方面考虑到岩石地基承载力未充分得到发挥,桩底的应力叠加不会影响桩基受力,对最小桩距进行了适当放松。对人工挖孔嵌岩桩采取跳槽施工等减小扰动土体措施时,桩间最小净距可适当减小;

2 一柱一桩,传力直接,当单桩承载力能满足要求时,宜优

先考虑;

3 考虑力系的最优平衡状态,群桩承载力合力点宜与竖向永久荷载合力作用点重合,以减小荷载偏心的负面效应。当桩基受水平力时,应使桩基受水平力和力矩较大方向有较大的抗弯截面模量,以增强桩基的水平承载力,减小桩基的倾斜变形;

4 以非岩石为持力层时,摩擦型桩和端承型桩的沉降显著不同,如果同一结构单元同时采用摩擦型桩和端承型桩,桩基产生的差异沉降可能导致结构产生不均匀变形,影响结构的稳定性和安全性。当采取设置沉降后浇带等控制差异沉降的可靠措施后,方可采用两种不同受力机理的桩基。

当桩基持力层为岩石时,桩基沉降小,摩擦型嵌岩桩与端承型嵌岩桩无法避免存在同一结构单元时,可通过加强桩间连系梁刚度等措施来处理,必要时补充桩基沉降计算。

3.3.4 关于嵌岩桩的嵌岩深度原则上应按计算确定,计算中综合反映荷载、上覆土层、基岩性质、桩径、桩长诸因素。本条对最小嵌岩深度进行规定,其目的是为了保证桩基持力层的可靠性,当岩石 $15\text{MPa} \leq f_{rk} < 30\text{MPa}$ 时,可根据地形条件、荷载条件等按软岩或较硬岩之间插值控制最小嵌岩深度。对于嵌入倾斜面的桩基础,靠近斜面方向岩石厚度大小和完整性决定嵌岩桩承载力的发挥,因此根据倾斜度及岩石完整程度适当加大嵌岩深度,有利于确保桩基的稳定性和承载力的发挥。

岩溶强发育及中等发育场地,主要分布在重庆南川、武隆、黔江等地区,基岩面一般起伏较大,前期地质勘探时很难准确给出持力层位置,同时工程经验积累尚需进一步丰富,因此,适当加深桩端全断面进入岩层最小深度。

3.4 特殊条件下的桩基

3.4.1 本条对斜坡、边坡上桩基设计应注意的事项进行了明确。

1 斜坡、边坡建筑桩基的设计,关键是确保其整体稳定性,一旦失稳既影响自身建筑物的安全,也会波及相邻建筑的安全。边坡稳定性差时,应首先治理边坡,同时桩基施工不得削弱边坡的稳定性;

2 边坡滑塌区范围的甲、乙级桩基础必须将桩支承于稳定岩土层以下足够深度,同时岩石区潜在滑动面以上部分桩基应采用油毡隔离等措施避免上部结构荷载传至潜在滑动面以上岩体,降低地基的稳定性;

3 建筑桩基外缘与坡顶的水平距离过近,风荷载、地震作用对上部结构产生的水平力可能会传至边坡支护结构,一方面降低边坡的安全;另外坡顶建筑物桩基础与边坡支护结构的相互作用,受边坡高度、边坡岩土性状、边坡支护结构约束情况等影响,受力机理很复杂,国内外虽有一定工程经验,但如何转换为指导设计普遍性原则尚处于研究之中,因此,工程中尽量控制建筑桩基与边坡的距离是必要的;

4 对采用非预应力锚杆、重力式挡墙等被动支挡方式进行支护的边坡,应考虑边坡变形对桩基础的不利影响,在斜坡上的桩基考虑其受到不平衡的土压力、桩承受竖向力和水平力的耦合作用,桩基承载力会有一定程度的降低,对此类桩基可通过加大桩身直径和桩身配筋、设置刚度较大的连系梁加强桩间整体性等进行加强;

5 外倾岩石软弱结构面对边坡稳定性影响极大。当边坡未进行有效支护时,应按边坡稳定最不利工况产生的水平推力验算桩基础的稳定性和承载力;

6 斜坡上的桩基础间设置连系梁有利于加强基础的整体性。边坡上桩基础与掉层结构间整体性可以通过设置延伸到边坡上桩基础的楼板进行加强。

3.4.2 重庆地区地基中常有洞穴存在,其中有天然洞穴和人工洞室两大类。洞穴顶部覆盖层是洞穴地基设计时的薄弱部位,顶

板一旦失稳,对其上部的建筑物危害性极大。洞穴顶部覆盖层厚度较大时,宜采用尽量少嵌岩的桩基础。洞穴顶部覆盖层厚度不足时,若洞穴要保留,桩基础则应布置在洞穴两侧,在影响洞穴安全的深度范围应采取桩基隔离等措施,避免桩基传力到洞穴;若洞穴废弃,可采用桩基穿越,穿越洞室段桩身应按框架柱进行设计和构造,其抗震等级可根据情况选择同上部结构柱或降低一级。对穿越岩石段桩基础,若桩身竖向荷载传至洞穴区影响洞穴安全时,应对相应桩身采取隔离措施。

3.4.3 考虑岩溶地区的基岩表面起伏大,溶沟、溶槽、溶洞往往较发育,无风化岩层覆盖等特点,设计应把握三方面要点:一是基桩选型和工艺宜采用钻(冲)孔灌注桩、旋挖灌注桩,条件允许时也可采用植入法管桩,以利于嵌岩;二是桩基附近有临空面时的桩基整体稳定;三是控制桩基嵌岩最小深度,以确保倾斜基岩上基桩的稳定。

岩面埋深较浅时,采用端承型嵌岩桩,减小嵌岩深度,有利于最大限度保证桩端以下洞室顶板厚度。

当基岩面起伏较大时,满足设计承载力需求后的相邻桩基桩端之间高差往往较大,此时设计人员经常按土质地基刚性角概念控制相邻桩基间高差,造成不必要的成本浪费。合理的处理方式是:在相邻桩基高差较大时,一方面重点需要考虑桩基间应力叠加带来的影响,另一方面是保证标高较高桩基的稳定性,以及反馈地勘单位,结合地勘资料和现场实际地质信息,分析相邻桩基之间是否存在溶沟、溶槽等不良地质情况。当无不良地质条件且桩基承载力不受影响时,相邻桩基间高差不必严格控制。

3.4.4 新近填土地基属于重庆地区常见的建筑场地之一。高回填场地因回填土质量差,成桩困难,在机械成孔时,易发生塌孔、缩颈等质量事故,严重时曾发生钻机坠落造成人员伤亡事件,同时因土体固结沉降未完成,对桩侧产生较大的桩侧负摩阻力。因此,高回填土地地,宜先进行填土设计及处理,保证填土的密实

度,为后期桩基础施工创造条件;对先期回填的填土地基,桩基施工前宜进行中低能级强夯处理。

深厚回填土地基上的桩基,可采取设置桩帽、桩间设置纵横连系梁、注浆加固桩间填土、加强刚性地坪等措施提高桩基抵抗水平荷载的能力。对无地下室的高层建筑,桩基础间连系梁截面高度宜适当加大,以更多发挥桩周填土对桩基础的约束作用,提高地基嵌固的可靠性。

3.5 耐久性规定

3.5.1 据环境类别和环境作用等级,桩基结构的耐久性应参照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 和《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 进行设计。

3.5.2 混凝土材料的质量是影响结构耐久性的内因。二、三类环境桩基结构耐久性设计对于混凝土的基本要求应根据现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 规定执行,混凝土最低强度等级、最大水胶比、最小胶凝材料用量、最大氯离子含量、最大碱含量等应符合相应的规定。最小胶凝材料用量结合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 进行了修订完善。重庆地区不存在盐渍土和邻海岸情况(即环境类别为三 b),故表 3.5.2、表 3.5.3 中仅列出了环境类别为三 a 的相关要求。

3.5.3~3.5.5 关于二、三类环境桩基结构的裂缝控制等级的判别,应按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 规定的环境类别和水、土对混凝土结构的腐蚀性等级确定,对桩基结构正截面尤其是对抗拔桩的抗裂和裂缝宽度控制进行设计计算。对腐蚀性较强的环境类别应参照《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 等执行。

3.5.6 国内实际使用超过 100 年的混凝土结构不多,在对以往

正常环境下使用 70~80 年的房屋建筑混凝土结构的调查分析表明,对于一类环境中的混凝土结构通过提高混凝土最低等级、加大保护层厚度、控制最大氯离子含量、最大碱含量等措施,工作年限达到 100 年可以得到保证。而对于不利环境条件下的设计工作年限 100 年的桩基结构,由于缺乏研究及工程经验,需经专门论证或专门设计解决。长期处于地下水位下的桩基构件,设计工作年限为 100 年时,可参照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 中混凝土强度等级建议最低不宜低于 C35,作为技术措施之一。

4 桩基计算

4.1 桩顶作用效应计算

4.1.1 关于桩顶竖向力和水平力的计算,应是在上部结构分析将荷载凝聚于柱、墙底部的基础上进行。这样,对于柱下独立桩基,按承台为刚性板和反力呈线性分布的假定,得到计算各基桩或复合基桩的桩顶竖向力和水平力公式(4.1.1-1)~(4.1.1-3)。

4.1.2 考虑承台(包括地下墙体)与基桩协同工作和土的弹性抗力作用计算桩基的作用效应、桩身内力和位移,可参考现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94。

4.2 桩基竖向承载力计算

4.2.2 极限承载力除以安全系数得到承载力特征值,安全系数的取值一般为2~3。从资料的可靠性来说,场地比较均匀,对数据的代表性比较充分的资料,安全系数取低值,对数据比较离散的资料,安全系数取高值。对于土质地基,考虑土的延性,一般取安全系数为2.0。按本标准第4.3.14条计算嵌岩桩基承载力,仍沿引现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的计算公式,所以安全系数为2.0。

对于按载荷板确定桩基承载力时,考虑岩石的脆性性质,以及载荷板尺寸较小的原因,故按本标准第4.3.16条计算嵌岩桩承载力时,取安全系数为3.0。

本标准第4.3.15条嵌岩桩承载力计算一方面是根据重庆地区多年岩基载荷试验资料,另一方面采用了现行重庆地方标准

《工程勘察标准》DBJ50/T-043 的地基条件系数,因此安全系数为 3.0。

4.3 单桩竖向极限承载力

4.3.1 根据现行国家标准《建筑与市政通用地基基础规范》GB 55003 的要求,本条明确了以土层、强风化层、极破碎或破碎岩石为持力层的桩基应按单桩静载试验确定单桩竖向承载力。其中,本标准中强风化层、极破碎或破碎岩石为持力层时,均按土质地基进行单桩承载力计算,故明确要求按静载试验确定单桩承载力。

以较完整、完整岩石为持力层的中、小直径的嵌岩桩,虽然现有单桩竖向极限承载力静载试验值比计算值均有较大幅度的提升,按本标准推荐公式计算桩基竖向承载力安全可控,但试验成果相对偏少且多为多年以前的成果,进一步揭示嵌桩岩传力规律的测试资料不足,同时,中、小直径的嵌岩桩具备做单桩静载试验的条件,为更好节约资源,进一步深入研究嵌岩桩的传力规律,故要求中、小直径的嵌岩桩采用单桩静载试验确定单桩竖向极限承载力。

4.3.2 重庆地区利用较破碎岩石做桩基础持力层的工程经验不多。因此,对于设计等级为甲级、以较破碎岩石为持力层的大直径嵌岩桩桩基,要求通过单桩静载试验确定单桩竖向极限承载力;对设计等级为乙级的桩基,宜采用单桩静载试验确定单桩竖向极限承载力,地质条件简单时,可采用岩基载荷试验取得桩端地基极限承载力后计算确定;对设计等级为丙级的桩基,上部结构荷载较小,有经验时通过岩石单轴抗压强度和经验系数计算确定单桩竖向承载力是可行的。

4.3.3 本条结合重庆地区地质条件、工程经验及相关试验研究成果,明确了较完整、完整岩质地基上大直径桩不同桩基设计等级对于单桩竖向极限承载力标准值确定方法的要求。相较于现行国家标准《建筑与市政通用地基基础规范》GB 55003,不同之处

是明确单桩静载试验受场地条件和设备能力等因素限制难以进行,且地质条件简单时,经设计单位确认,可采用岩基载荷试验取得桩端地基极限承载力参数后计算确定。有可靠资料时,也可采用岩石单轴抗压强度和经验参数计算确定。其主要原因是:

1 对于重庆地区广泛使用的以中风化岩石为持力层的大直径嵌岩桩,直径一般为 0.80m~2.0m,甚至有时可达 3m 以上,采用单桩静载试验加载至极限状态时,单桩桩顶荷载可达约 15000kN~60000kN。在山区场地进行静载试验受压重、设备能力和场地条件等因素的限制,且试验周期长、费用高、试验过程中存在一定的安全风险。重庆地区对较完整、完整中风化岩石为持力层的大直径嵌岩桩进行单桩静载试验十分困难;

2 一直以来,重庆地区按重庆地方标准《建筑地基基础设计规范》DBJ50-047、《建筑桩基础设计与施工验收规范》DBJ50-200 和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等标准推荐的方法,采用岩石单轴抗压强度来确定大直径嵌岩桩单桩竖向极限承载力,部分极软岩、软岩地基及设计等级为甲级桩基采用桩端岩基载荷试验确定单桩竖向极限承载力,工程中以中风化岩石为持力层大直径嵌岩桩未出现过桩基竖向承载力不足的问题。该方法的使用可保证桩基工程安全,通过多年实践检验证明是成熟和安全的;

3 现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 第 5.3.2 条第 2 款:对于大直径端承型桩,也可通过深层平板(平板直径应与孔径一致)载荷试验确定极限端阻力;第 3 款:对于嵌岩桩,可通过直径为 0.3m 岩基平板载荷试验确定极限端阻力标准值,也可通过直径为 0.3m 嵌岩短墩载荷试验确定极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值;

4 现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 第 5.2.6 条:对于较破碎、较完整、完整岩石地基承载力特征值可按本规范附录 H 岩石地基载荷试验方法确定;第 8.5.6 条第 2 款:当桩端持力层为密实砂卵石或其他承载力类似的土层时,对单桩

竖向承载力很高的大直径端承型桩,可采用深层平板载荷试验确定桩端土的承载力特征值,试验方法应符合本规范附录 D 的规定;第 6 款:嵌岩灌注桩桩端以下 3 倍桩径且不小于 5m 范围内应无软弱夹层、断裂破碎带和洞穴分布,且在桩底应力扩散范围内应无岩体临空面。当桩端无沉渣时,桩端岩石承载力特征值应根据岩石饱和单轴抗压强度标准值按本规范第 5.2.6 条确定,或按规范附录 H 用岩石地基载荷试验确定;

5 现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 前言“关于规范实施”中明确与强制性工程建设规范配套的推荐性工程建设标准是经过实践检验的、保障达到强制性规范要求的成熟技术措施,一般情况下也应当执行;

6 现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 第 1.0.3 条:工程建设所采用的技术方法和措施是否符合本规范要求,由相关责任主体判定。其中,创新性的技术方法和措施,应进行论证并符合本规范中有关性能的要求。

对于在重庆地区应用较少且经验不足的桩型,例如植入法管桩等,当采用大直径嵌岩桩时,仍应按单桩静载试验来确定其单桩竖向极限承载力标准值。

4.3.8 螺杆灌注桩在重庆地区应用不够广泛,仍需积累经验,本标准明确螺杆灌注桩的桩基承载力均采用静载试验确定。

螺杆灌注桩与普通钻孔灌注桩最大的区别成桩工艺的不同。螺杆灌注桩是一种由直杆段和螺纹段组成的变截面灌注桩。螺杆灌注桩采用钻具旋转挤压土体成孔,提高了桩周土体的力学性能,桩的极限侧阻力显著提高。普通钻孔灌注桩通过桩土间抗剪力提供桩侧阻力,螺杆灌注桩的等效侧阻则来源于螺牙间土体的抗剪强度。因此螺杆灌注桩侧阻力估算时多了极限侧阻增强系数。

计算单桩承载力时,侧阻力相关参数宜取低值,静载试验时取高值估算最大加载量。螺纹段侧阻力及端阻力计算时采用螺纹段外径,计算结果是安全。

4.3.10 本条为预成孔植入法管桩的单桩承载力特征值估算公式,与传统工艺灌注桩和锤击(静压)预制桩有所区别。植入法沉桩时先采用预成孔,清孔后灌入细石混凝土或水泥砂浆,再进行预制桩植入工序。植桩时填充料在挤压状态下扩散到周边土体一定范围,桩的侧阻力会有所提高,当桩端持力层为土层、强风化岩层时,公式中的 q_{sik} 取值可按照灌注桩上限值。植入桩至标高后要进行锤击(静压)预制桩施工,并按照锤击(静压)预制桩施工工艺进行贯入度(终压值)控制,故公式中 q_{pk} 取值按照预制桩桩端阻力取值。

当桩端持力层为中、微风化岩层,其受力机理与嵌岩灌注桩是一致的,故采用嵌岩桩相同的计算方法。对于以极软岩为桩端持力层的植入法管桩,按嵌岩桩计算的单桩竖向极限承载力有可能存在比以强风化层为持力层按土的物理指标和承载力参数之间经验关系计算的结果小的情况,因此,可按本标准以土层为持力层的计算方法估算以极软岩为持力层的单桩竖向极限承载力。

4.3.11 极破碎、破碎岩石作桩基础持力层时,现场取岩样困难,其变形和力学性能与较破碎、较完整和完整岩体有很大不同,且工程经验少。重庆现行地方标准《工程勘察标准》DBJ50/T-043 明确其变形和力学参数按成分相近土层取经验值。因此,本条明确以极破碎、破碎岩石为持力层的桩基,其竖向极限承载力按土层相关公式进行估算。

4.3.14 本条基本沿用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 嵌岩桩单桩极限承载力计算方法。适用于泥浆护壁成桩和干作业成桩未采取专门措施保证清底干净的嵌岩桩。当成桩时能保证桩底清底干净,充分发挥桩端地基承载力时,按本标准第 4.3.15 条计算单桩竖向极限承载力,桩基承载力发挥更充分一些。

重庆三峡库区破碎、较破碎岩石分布较为广泛,为便于工程应用,本次修订新增了较破碎岩石为持力层嵌岩桩计算参数。表 4.3.14 中给出桩嵌岩段侧阻和端阻综合系数取值来源和依据主

要基于以下几个方面：

1 岩体较破碎只是影响嵌岩桩侧阻力、端阻力的主要因素之一，岩石坚硬程度、嵌岩深度、桩径、桩身材料、孔壁粗造度、施工工艺、桩底沉渣等均是影响因素；

2 现行重庆地方标准《工程勘察标准》DBJ50/T-043，较破碎岩石地基极限承载力与较完整岩石地基极限承载力经验值之比；

3 借鉴了现行贵州地方标准《贵州省建筑桩基础设计与施工技术规程》DBJ52/T088 和现行广西地方标准《岩溶地区桩基技术规范》DBJ/T45-082 以较破碎岩石为持力层嵌岩桩竖向极限承载力计算规定和相应的综合系数取值。

重庆地区以较破碎岩石为持力层嵌岩桩现场试验资料偏少，本标准规定应通过静载试验为主(设计等级为丙级的大直径桩可适当放松)确定单桩竖向极限承载力。

4.3.15 迄今为止国内嵌岩桩承载力计算主要有三条思路：一是公路、铁路桩基承载力计算，分别提供桩端、桩侧阻力系数，主要代表有公路、铁路以及广东和深圳地方标准等；二是现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 嵌岩桩基承载力计算，提供桩基综合承载力系数；三是重庆地区基于端承桩概念提出的嵌岩桩承载力计算。

现行重庆地方标准《建筑桩基础设计与施工验收规范》DBJ50-200 嵌岩桩承载力计算主要引用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 嵌岩桩基承载力计算方法，仅矩形桩、椭圆形桩承载力及采用原位载荷板试验后的桩基承载力采用了重庆大学黄求顺教授早年提出的通过桩侧扩散角模拟桩侧岩石阻力的扩底端承桩计算方法，一定程度推动了重庆地区桩基工程发展，但岩石地基承载力的发挥空间依然较大。为此，本次修订时，编制组对比分析了重庆地方标准与现行行业标准、广东、广西、贵州、深圳、南京等省市以及港口、铁路、公路等行业标准中嵌岩桩竖向极限承载力计算结果的异同，广泛收集了近年来重庆地区嵌岩桩

岩基载荷试验、自平衡静载试验资料以及部分原位静载试验资料。经过分析可知,按现行重庆地方标准《建筑桩基础设计与施工验收规范》DBJ50-200 提出的嵌岩桩计算承载力总体低于行业标准、公路及铁路标准,与已有的桩基试验资料对比,进一步印证了重庆地区的嵌岩桩竖向极限承载力计算参数调整的必要性。

表 1 为收集的部分近年来重庆岩基载荷试验和自平衡静载试验桩端地基极限承载力与岩石单轴抗压强度对比表。

表 1 岩基载荷试验和自平衡静载试验桩端地基极限承载力与单轴抗压强度对比表

编号	项目	持力层	单轴抗压强度 (kPa)	试验 方式	地基极限承载力 (kPa)	地基极限承载力/单轴 抗压强度	备注
1	龙湖中央公园	泥岩	9100	载荷板	12663	1.4	
2	北辰樾府住宅	泥岩	9960	自平衡	11998	1.2	
3	铜梁宝莲国际都会	泥岩	6570	载荷板	25830	3.93	
4	云篆山组团 B	泥岩	3900	载荷板	11040	2.83	
5	长嘉汇 J 组团	泥岩	7400	载荷板	13296	1.8	
6	长嘉汇 K 组团	泥岩	7010	载荷板	13296	1.9	岩石裂纹
7	江津万达广场	泥岩	3300	载荷板	9933	3.01	
8	置地约克郡 G20b	泥岩	7200	载荷板	15119	2.1	岩石破坏
9	金科中央公园美的·云麓	泥岩	5740	自平衡	17230	3	
10	江津智慧科技城	泥岩	5300	载荷板	12140	2.3	未破坏
11	开州丰泰里	泥岩	5800	载荷板	14150	2.44	未破坏
12	礼悦东方	泥岩	6300	载荷板	15130	2.4	未破坏
13	集美东方	泥岩	3820	载荷板	7430	1.95	未破坏
14	金融街·融府	泥岩	7400	载荷板	18000	2.43	未破坏
15	中交中央公园 C90	泥岩	3350	自平衡	10198	3.04	
16	江津能源职业学院	泥岩	1710	载荷板	5100	2.98	

由于岩石完整性、软硬程度和试验目的不同,表中数据反映的地基极限承载力与单轴抗压强度比值较为离散,但总的规律是原位地基极限承载力高于单轴抗压强度,除个别项目岩石较破碎外,大多数原位地基极限承载力都在单轴抗压强度的 1.8 倍及以上,最大的达到了 3 倍,这些成果为桩端地基承载力调整提供了依据。

同时,重庆地区近年也积累一些大直径桩的单桩静载试验成果,如北碚新城吾悦广场、中海空港新城宝桐路片区(F08-1-2/03)地块项目、大唐江津燃机发电项目大足垃圾场项目等,单桩竖向承载力静载试验值与按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 计算值对比见表 2。

表 2 单桩静载试验值与 JGJ94 计算值对比表

序号	桩径 (mm)	嵌岩深度 (mm)	h_r/d	f_{rk}	Q_{rk} (计算值)	Q_{rk} (试验值)	$Q_{rk}(\text{试验值})/$ $Q_{rk}(\text{计算值})$	备注
1	800	3510	4.39	3.32	2537	13215	4.814	
2	800	2.53	3.16	3.23	2232	10914	4.889	
3	800	2150	2.69	3.65	2388	12669	5.304	
4	800	1960	2.45	4.65	2947	6339	2.151	
5	800	2400	3	3.01	3933	12600	3.2	
6	900	2700	3	5.73	5566	12400	2.23	
7	800	4000	5	4.1	4500	9000	2	
8	600	2200	3.6	7	2500	5000	2	沉降 12mm, 未坏

试验结果嵌岩桩单桩竖向极限承载力为按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 计算结果的 2~5 倍,且未发现桩基损坏或过大的沉降,说明桩基计算承载能力还有较大潜力可以发掘。

现行重庆地方标准《工程勘察标准》DBJ50/T-043 中地基极限承载力可由岩石单轴抗压强度乘以地基条件系数确定,地基条件系数为考虑岩石完整性因素的折减系数和空间条件因素的增

大系数综合而来。标准编制组结合多年几十个项目岩基载荷试验数据,统计分析了载荷试验极限值与单轴抗压强度之间关系后,较原标准进一步提高了地基条件系数取值,放大 1.2 倍,如较完整软质岩由原标准 1.1~1.4 提高到 1.3~1.7。工程勘察标准的调整为本次桩基承载力的调整创造了条件。

基于多年嵌岩桩现场静载试验数据得到单桩竖向总承载力,未分别提供桩侧阻力分布和桩端阻力,大量的岩基载荷试验数据均反映原位桩端地基极限承载力,本次标准修订仍采用通过桩侧假想扩散角模拟桩侧岩石阻力的扩底端承桩计算公式(见图 1),仅对相关计算参数进行调整。

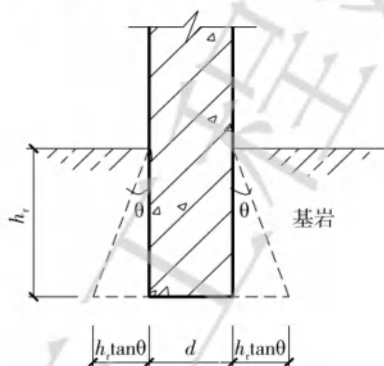


图 1

从简化并统一公式出发,将原标准考虑桩端埋置深度影响后的承载力调整系数(1.1 和 1.2)与综合系数 β 合并改为承载力修正系数 β 。圆形桩、矩形桩、椭圆形桩承载力修正系数 β 均按图 1 所示的扩底端承桩推导而来并考虑岩体空间条件因素的增大系数,其中,扩散角 $\theta=1.5^\circ$ 。桩端承载力提高系数 α 则与地勘资料的地基条件系数 η 匹配。为控制本次修订桩基承载力提高幅度,同时避免出现桩基承载力低于浅基础承载力的不合理现象,嵌入完整岩石时, α 取《工程勘察标准》DBJ50/T-043 建议地基条件系数的下限值,嵌入较破碎、较完整岩石时,取建议地基条件系数的

中间值,最后与场地地勘资料提供的地基条件系数包络取值。

基于端承的受力机理,本标准第 4.3.15 条强调了桩端清底干净的前置条件。表 3~6 为本标准公式与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 嵌岩桩竖向极限承载力计算结果对比。

表 3 本标准完整软质岩嵌岩桩公式和 JGJ94-2008 对比

嵌岩深度	0	0.5	1	2	3	4	5	6
JGJ94 系数 Z	0.36	0.48	0.57	0.71	0.81	0.89	0.94	0.98
本标准 Z	0.57	0.68	0.75	0.99	1.07	1.16	1.24	1.40
本标准 Z/JGJ94Z	1.58	1.42	1.32	1.39	1.32	1.30	1.32	1.44

表 4 本标准较完整软质岩嵌岩桩公式和 JGJ94-2008 对比

嵌岩深度	0	0.5	1	2	3	4	5	6
JGJ94 系数 Z	0.36	0.48	0.57	0.71	0.81	0.89	0.94	0.98
本标准 Z	0.50	0.60	0.66	0.87	0.95	1.02	1.10	1.24
本标准 Z/JGJ94Z	1.39	1.25	1.17	1.23	1.17	1.15	1.17	1.27

表 5 完整硬质岩嵌岩桩公式和 JGJ94-2008 对比

嵌岩深度	0	0.5	1	2	3	4
JGJ94 系数 Z	0.27	0.39	0.48	0.54	0.60	0.62
本标准 Z	0.43	0.52	0.57	0.69	0.75	0.81
本标准 Z/JGJ94Z	1.60	1.33	1.18	1.28	1.25	1.30

表 6 较完整硬质岩嵌岩桩公式和 JGJ94-2008 对比

嵌岩深度	0	0.5	1	2	3	4
JGJ94 系数 Z	0.27	0.39	0.48	0.54	0.60	0.62
本标准 Z	0.40	0.48	0.53	0.64	0.69	0.75
本标准 Z/JGJ94Z	1.48	1.23	1.10	1.18	1.15	1.20

注:嵌岩桩单桩竖向承载力特征值统一简化为 $R_a = Z \cdot f_{rk}$, Z 为安全系数、综合系数、修正系数等的综合值。

从上述对比分析可知,本标准嵌岩桩竖向极限承载力计算值均高于现行行标计算值。其中,对工程中常遇到的较完整软质岩石地基,本条文计算所得的单桩竖向极限承载力比 JGJ 94-2008 增大 20%,提高后的单桩竖向极限承载力与单桩静载试验结果对比,仍有较大富余。

4.3.16 采用岩基载荷试验确定和提高桩基竖向承载力比采用原位静载试验经济、简单且容易操作,一直是重庆地区主要的岩基承载力试验方法,也积累了大量的试验数据,工程经验丰富。相比式(4.3.15),采用岩基载荷试验所得的桩端地基极限承载力标准值确定嵌岩桩单桩竖向极限承载力时,不再考虑桩端承载力提高系数。

4.4 特殊条件下的桩基竖向承载力验算

4.4.1 重庆地处山区,深挖高填工程较多,特别是新近回填土区域采用桩基础时,应该考虑可能产生的桩基负摩阻力的不利影响。本条文将产生负摩阻力的条件归纳为三类情况列出。

4.4.2 桩基负摩阻力问题一直是桩基础设计中十分受关注的难点问题。其作用机理比较复杂,表现为动态发展过程。国内外不少学者和工程技术人员通过现场试验和数值模拟进行了长期研究。考虑负摩阻力作用的基桩承载力验算时,负摩阻力取值为理论最大值,基桩实际受力时,由于基桩变形、土体固结沉降量、固结速度等原因,负摩阻力难以全部发挥。日本港口桩基设计资料介绍桩基负摩阻力一般发挥计算值的 $1/2 \sim 1/3$ 。

现行地方标准《建筑桩基础设计与施工验收规范》DBJ50-200-2014 参考美国、日本等国家相关规范给出的考虑负摩阻力时的基桩验算公式为: $Q_g^n + N_k \leq 1.5R_a$, 工程中按此公式使用多年,积累了成功的经验。

重庆大学李英民教授团队基于“填土地基预制空心嵌岩管桩

负摩阻力性能”,针对重庆地区新近高回填土地基嵌岩管桩,采用实验室试验、现场原位实验、有限元模拟等手段,研究了随时间的变化,预制桩桩身负摩阻力的形成机理、规律。得到负摩阻力分布规律应该为负摩阻力增长段及负摩阻力下降段组合,而不是保守的取为负摩阻力随着深度线性增加,并建议管桩可按现行重庆地方标准考虑负摩阻力的承载力验算公式即 $Q_g + N_k \leq 1.5R_a$ 进行验算。

考虑到目前实测资料欠缺等原因,本次修订维持通过桩基竖向承载力特征值放大 1.5 倍作为考虑负摩阻力滞后的有利因素。因此,采用本标准第 4.3.15 条计算桩基竖向承载力时,考虑地基极限承载力已提高 20%,相应调整系数应取 1.25;采用静载试验或岩基载荷试验确定桩基竖向承载力时,则调整系数取 1.0。

4.4.3 由于桩基负摩阻力与桩的受力特性、桩侧土的固结沉降、时间等因素密切相关,且随时间在不断变化,较准确确定负摩阻力大小和中性点位置比较困难,对桩基负摩阻力,除了按公式计算外,更应强调概念与工程经验。

本条所给出的摩擦型桩基中性点以上侧阻力为零来验算负摩阻力对桩基承载力的影响,是基于土层为持力层。对特殊条件下嵌入岩石的端承摩擦桩基,负摩阻力可在按端承型桩基计算基础上进行适当折减,折减系数可按工程经验确定。

负摩阻力取决于桩侧土压力和桩土间摩阻系数,桩侧土压力可采用静止土压力。表 4.4.3 中桩侧负摩阻力系数宜根据桩基使用时,桩周填土完成自重固结的程度取值,固结程度高时取小值。

4.4.4 中性点深度应按桩周土层沉降与桩沉降相等的条件确定,对于基岩,中性点的深度可取 0.9~1.0 倍桩嵌入基岩面以上的桩长度。

对于深厚回填土地基,当工程中顶部进行强夯,消除了回填土的部分固结沉降时,允许对桩的负摩阻力产生的下拉荷载进行折减,折减系数可按工程经验确定。

4.4.8 本条对桩基的抗拔极限承载力的确定进行了规定。根据现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 要求,相比原标准对设计等级丙级建筑桩基抗拔极限承载力确定进行了放松,本次修订明确建筑桩基均应通过单桩现场抗拔静载试验确定单桩抗拔极限承载力(不包含试验桩基重量)。

持力层为土层桩基的抗拔极限承载力缺少地方实测资料,估算时可参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

嵌岩桩基可通过计算嵌固力估算单桩抗拔极限承载力。借鉴相关行业规范,考虑嵌岩段长度过短可能影响抗拔承载力的发挥,并结合工程中常用的抗拔桩嵌岩深度均较长,规定嵌岩桩采用抗压极限承载力计算模式乘以抗拔系数 λ 的经验性公式来确定,桩嵌岩长度不应小于 2 倍桩径。嵌岩段的侧阻力系数取值与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 一致。

工程中如果嵌岩段侧阻力无法提供足够的抗拔承载力,可采取嵌岩端扩大头来处理。

4.4.10 岩体压力扩散特性研究是异常复杂的课题,目前尚未形成成熟的理论。在工程实践中,对于岩石下卧层强度的验算,通常采用 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 的基底压力扩散角来进行计算。这种做法是基于工程经验和实验数据的总结,旨在确保建筑地基的稳定性和安全性。现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 也明确验算岩石下卧层强度时,“基底压力扩散角可按 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 考虑”。

本次修订时,规范组分别采用 Midas GTS NX 和 Abaqus 有限元软件对双层岩石的压力扩散进行数值模拟分析,取单桩竖向极限承载力对应载荷值的压力扩散角度为软弱下卧层验算取用的基底压力扩散角 θ 。通过对基底压力扩散角 θ 数据分析, θ 受桩直径 d 、岩体弹性模量 E_r 、桩端持力层厚度 t 及桩顶荷载 P_0 等因素的影响,规律如下:

1 基底压力扩散角随桩顶荷载 P_0 的变化关系如图 2 所示,表明基底压力扩散角随桩顶荷载 P_0 的增加而减小。

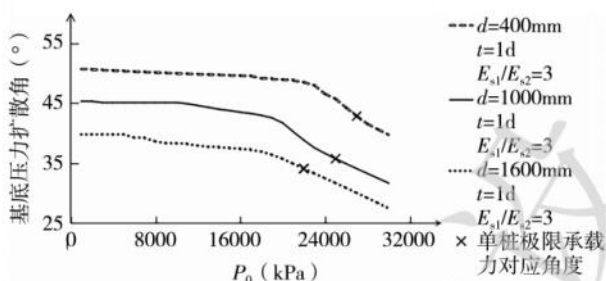


图2 基底压力扩散角与 P_0 关系

2 图3、4为 θ 随桩端持力层厚度 t 、桩径 d 的变化关系,图3表明 $t \geq 1d$ 时, d 值一定, θ 随 t 的减小而减小。图4表明 $t \geq 1d$ 时, t 值一定, d 越大 θ 越小; $t/d=1$ 时, θ 趋于定值。

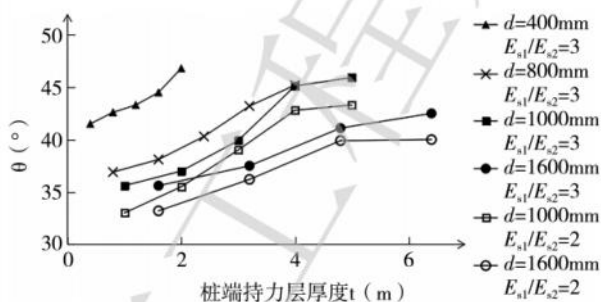


图3 θ 与 t 关系

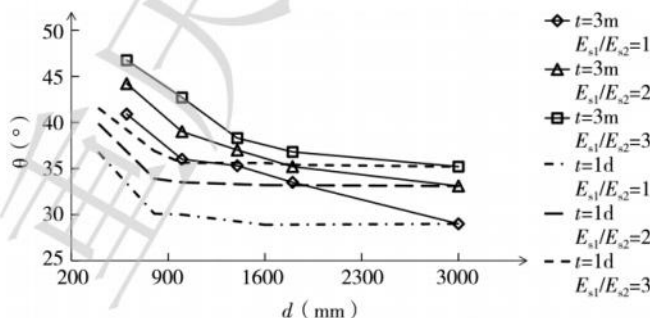


图4 θ 与 d 的变化关系

3 图 5 显示 θ 随下卧层弹性模量 E_{s2} 的增大而减小。

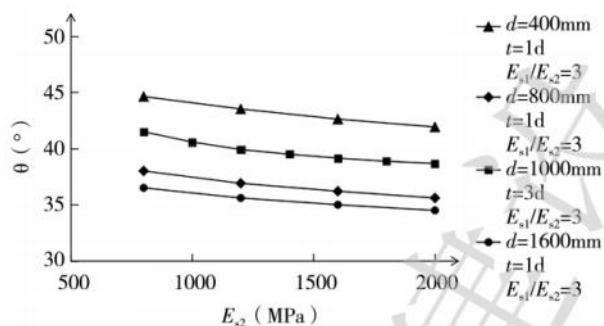


图 5 θ 与 E_{s2} 的变化关系

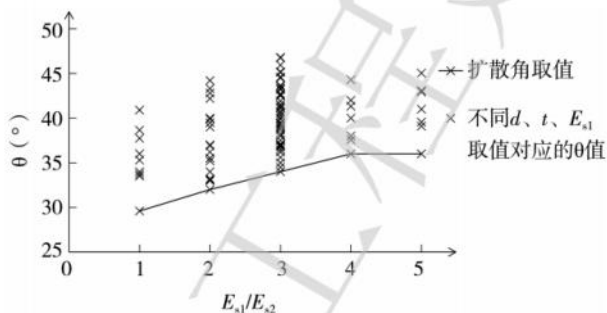


图 6 θ 取值

根据重庆地区实际工程项目的岩石参数统计,桩端持力层与软弱下卧层弹性模量比值 E_{s1}/E_{s2} 大都在 1~4 之间, E_{s2} 取值范围 800~2000MPa。选取桩径变化范围 400~3000mm,不同 E_{s1}/E_{s2} 取值下 θ 的范围详表 7 所示。

表 7 θ 计算值范围 ($t \geq d$)

E_{s1}/E_{s2}	1	2	3	4	5
扩散角 θ	29°~38°	32°~42°	34°~43°	36°~44°	39°~45°

考虑到采用有限元软件计算的单桩竖向极限承载力远大于采用本标准推荐公式计算的单桩竖向极限承载力,因此 $t \geq d$ (或

α)时,以考虑各种最不利情况统计出的最小值(详图 6 所示)作为本标准表 4.4.10 公式给出的扩散角是偏安全的。当 $t < d, \alpha$ (或 2m)时, θ 取 0° 。

4.5 桩基水平承载力计算

4.5.2 本条对桩基的水平承载力特征值的确定进行了规定。根据现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 要求,本次修订明确建筑桩基均应通过单桩水平静载试验确定单桩水平承载力特征值。

4.5.4 斜坡上的桩基受力复杂,高陡斜坡对桩水平承载力的影响显著,特别是新近回填土坡上的桩基,新近回填土的自重固结沉降会对建筑桩基施加一定的水平推力,加大了桩基承受的剪力及弯矩。

对不同坡率、不同填土深度边坡上的桩采用三维有限元计算软件进行计算,发现土质斜坡上位于斜坡区域的桩(以下简称斜坡桩)和位于坡顶平坦区且距坡顶线不大于 1 倍坡高的桩(以下简称坡顶桩),相比于平坦区域桩的水平承载力会有所降低,且土质斜坡桩水平承载力降低幅度大于坡顶桩的降低幅度。因此对于斜坡桩和坡顶桩应综合考虑斜坡的坡率、斜坡的岩土条件及桩基与斜坡的关系等因素对水平承载力的影响,通过采取加强桩基之间的整体性、提高桩身刚度、加强桩身的配筋、对土坡的稳定性进行控制等措施降低斜坡对桩水平承载力的影响。

4.6 桩身承载力与裂缝控制计算

4.6.1 桩身承载力计算同现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94。当桩基存在较大负摩阻力作用时,宜通过提高桩身混凝土强度等级等措施适当加强桩身强度。

4.7 承台及连系梁计算

4.7.1~4.7.3 沿用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 相关条文。

4.8 桩基抗震

4.8.1 一般情况下基础的震害低于上部结构,按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 要求,6 度设防区一般建筑及 7 度设防区多层建筑可不必进行桩基抗震验算。

4.8.4 基础施工完毕后,应及时回填,回填时应均匀、对称、分层夯实。回填材料宜选用碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂、中砂等不含植物残体、垃圾等杂质的材料,有机质含量不得超过 5%,亦不得含有冻土或膨胀土。

4.8.6 斜坡及隐伏边坡上填土可能对桩基础产生水平推力,从结构及岩土概念出发,可采取设置桩间沿坡向地梁、适当加大桩截面、加强桩间整体性、提高纵筋配筋率、加密箍筋等措施。

5 桩基构造

5.1 基桩构造

5.1.1 本条对灌注桩的配筋率、配筋长度和箍筋进行了规定。

正截面配筋率为 $0.20\% \sim 0.65\%$ ，大桩径取低值，小桩径取高值，桩身完全嵌入完整中风化岩石时，构造配筋率可取低值；受荷载特别大的桩、大偏心受压桩、抗拔桩的纵向钢筋需要通过计算确定。对于受水平荷载桩，其极限承载力受配筋率影响大，主筋不应小于 $8\phi 12$ ，以保证受拉区主筋不小于 $3\phi 12$ 。对于抗压桩和抗拔桩，为保证桩身钢筋笼的成型刚度以及桩身承载力的可靠性，主筋不应小于 $6\phi 10$ 。关于箍筋的配置，主要考虑三方面因素：一是箍筋的受剪作用，在地震作用下，基桩桩顶要承受较大剪力和弯矩，在风载等水平力作用下也同样如此，而大直径桩抵抗水平力能力相对较强，重庆为低烈度地震设防区，地震作用相对较小，故对大直径桩仅桩顶 1500 范围箍筋应适当加密，中、小直径桩 5d 范围箍筋应适当加强，一般间距为 100mm，箍筋直径不小于 8mm；二是箍筋在轴压荷载下对混凝土起到约束加强作用，可大幅提高桩身受压承载力，而桩顶部分荷载最大，故桩顶部位箍筋应适当加密；三是为控制钢筋笼的刚度，根据桩身直径不同，箍筋直径一般为 $\phi 6\text{mm} \sim \phi 12\text{mm}$ ，加劲箍为 $\phi 12\text{mm} \sim \phi 18\text{mm}$ 。

穿越洞室基桩临空部分桩身缺少周边岩土约束，斜坡上外露基桩单独承担上部结构传来的水平荷载和竖向荷载，受力均较不利，按框架柱进行配筋加强是必要的，此加强段宜根据岩土性状、上部结构特点等沿桩身上下延伸一定长度。

5.1.2 本条给出公式出自现行广东省标准《建筑地基基础设计

规范》DBJ15-31,是以桩身最大弯矩截面上的拉应力不超过混凝土抗拉强度为条件导出,综合系数 β_1 为 $(m/E)^{1/5}$ 的函数。偏于安全方面的考虑,当桩身直径大于 1m 时,可把根号内 $(1.5d^2 + 0.5d)$ 改为 $(d^2 + d)$ 。

规范组采用弹性地基梁方法验证了该公式计算结果,证明采用公式计算结果作为桩身不考虑水平荷载作用进行配筋的控制条件是安全的。

5.1.3 根据现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的要求,只有在满足本条规定的前提下,PRC 管桩的性能才得到有效发挥。管桩接头处的连接强度均不应低于桩身,以保证力的传递并可使接头的位置不受限制。接头质量受施工环境、施工工人技术等影响较大,接头数量较多时,施工的风险更大,且接头超过 3 个时,通常桩长超过 50m,沉桩难度加大且沉桩过程的垂直度控制要求更高,可能会由于接桩的施工误差易造成管桩桩身在竖向力作用下的偏心受压或弯曲破坏。因此,规定一根管桩的接头数量不宜超过 3 个接头。

5.1.4 规定桩基最低混凝土强度等级和混凝土保护层厚度,主要基于耐久性原因,按现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 作调整。

5.1.5 人工挖孔桩尺寸的要求主要是考虑施工的难易和安全。深度较大时,施工安全隐患加大。人工挖孔桩桩长超过 15m 时,应先试挖,有成功经验后方可继续实施。在工程中若要采用此工艺,事先应制定切实可行的安全施工方案,并进行专门论证。

矩形、椭圆形人工挖孔桩是重庆地区常用的基础形式之一。岩石埋藏较浅时,高层剪力墙结构采用此类基础形式具有较好的经济性。

5.1.6 重庆地区大部分人工挖孔桩持力层为岩石地基,大量的工程实践证明,加大扩底面积比加深嵌岩深度对承载力的提高更合理、更经济。

扩大端直径与桩身直径比 D/d 之规定,主要考虑了施工的安全性、难易程度及扩大端受力均匀性,应根据承载力要求及扩大端侧面和桩端持力层地质条件确定,土质地基上挖孔桩的 D/d 大于 2 时,应验算扩大部分的受弯、受剪承载力,并对桩底配置双向钢筋网。

扩底端侧面的斜率 h_2/b 应根据实际成孔及扩底端侧面岩土体的自立条件确定。

极软岩和土质地基扩底端呈锅底形,扩底桩的桩端应力分布更均匀、受力合理,桩端承载力性状较佳。软岩、硬质岩扩底端竖直段有利于保证持力层提供足够的承载力,使扩底桩正常工作,充分发挥其承载力高的特性。

本条未对机械钻孔桩扩孔做出规定,主要是重庆岩石地基机械扩孔较困难。

5.2 承台及连系梁构造

5.2.3 单桩承台截面相对较小,做成三向环箍是为了箍住混凝土,使承台内的混凝土处于三向约束的状态,以提高桩、柱(墙)纵筋锚固的可靠性。当承台与地下室底板相连时,则垂直方向可形成 U 型箍。筏形承台板上部钢筋应按计算配筋率全部连通。

5.2.6 桩间设置连系梁的主要作用是平衡柱底弯矩,改善桩的受力条件,加强桩间整体性。但当岩石露头、强度高且完整性较好时,连系梁施工会一定程度破坏岩石整体性,可能反而会削弱地基的约束作用,此时宜根据上部结构高度、是否有地下室等因素,决定是否设置连系梁。

桩基截面惯性矩大于上部柱截面惯性矩 6~8 倍时,桩顶可视为上部柱的嵌固点,这是不少重庆老一代结构工程师的习惯做法,本条提出的桩与柱截面直径之比大于 2 时,可不设连系梁也是基于此,此时桩基可以视为上部柱嵌固点。对矩形桩、椭圆形

桩、矩形柱等,可采用等效刚度方式换算成等效直径进行判断。桩长特别是土层段长度、填土质量对桩基的约束作用影响较大,工程中可根据以上因素并结合上部建筑情况、地基嵌固条件等选择加强、放松或是不设桩间连系梁。对于斜坡上的桩基,其受力较为复杂,一般情况下,桩基之间都宜设置连系梁。

用于抬上部剪力墙的连系梁,宜按转换梁进行构造处理。建筑跨越边坡形成掉层时,连系梁与设置的楼板成为掉层与边坡上桩基础间传递水平力的关键构件,楼层平面内会产生水平拉应力,此时连系梁按拉弯构件进行设计才能满足受力需要。

5.3 人工挖孔桩护壁构造

5.3.2 桩护壁的主要作用是防止塌方以保证人工挖孔桩施工的安全,护壁一般采用钢筋混凝土结构,依据现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的相关规定,其强度等级不应低于C25。护壁混凝土龄期折减系数可以取0.2~0.3。

5.3.5 对矩形桩、椭圆形桩护壁的长宽比进行限制,主要是长宽比较大时,护壁的空间受力特性降低,安全性相应降低。矩形桩护壁、椭圆形桩护壁可结合周边填土性状,在长边或直线段增设内支撑,提高护壁的挡土能力。

5.3.7 护壁的计算在现行规范中还没有较为明确、统一的方法,一些设计单位根据自身经验在护壁土压力计算、内力及配筋计算等,主要采用借鉴相关规范、规程的方法,当土体条件较好时,理论上桩孔开挖过程中,空间效应明显,一定深度以下土压力不随深度变化。此处借鉴协会标准《给排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS137、上海市《地基基础设计规范》DGJ08-11 等规范,给出圆形、矩形、椭圆形护壁的计算方法,供设计人员参考。

1 作用在桩井护壁上的侧向土压力宜采用主动土压力,主动土压力标准值可按下列公式计算:

$$F_{\text{ep},k} = k_a \gamma_s z \quad (1)$$

$$k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

$$\tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_D}{2} \right) = k_a - \frac{2c}{\gamma_s z} \sqrt{k_a} \quad (3)$$

式中: $F_{\text{ep},k}$ ——主动土压力标准值(kN/m^2);

k_a ——主动土压力系数;

ϕ ——砂性土的内摩擦角;对黏性土可采用公式(3)将粘聚力 c (kPa) 和内摩擦角 ϕ ($^\circ$) 折算成等效内摩擦角 ϕ_D ($^\circ$);

γ_s ——土的重度(kN/m^3);

z ——自地面至计算截面处的深度(m)。

2 圆形桩井护壁可按不同高度截取闭合圆环计算,并假定在互成 90° 的两点处土的内摩擦角中的差值为 $5^\circ \sim 10^\circ$,即桩井护壁的一个方向($0, \pi$)为 $\phi + (2.5^\circ \sim 5^\circ)$,另一个方向($\pi/2, 3\pi/2$)为 $\phi - (2.5^\circ \sim 5^\circ)$ 。内力可按下列公式计算:

$$\omega = \frac{p_B}{p_A} - 1 \quad (4)$$

$$N_A = p_A r (1 + 0.785\omega') \quad (5)$$

$$N_B = p_A r (1 + 0.5\omega') \quad (6)$$

$$M_A = -0.1488 p_A r^2 \omega' \quad (7)$$

$$M_B = -0.1366 p_A r^2 \omega' \quad (8)$$

式中: N_A ——A 截面上的轴力(kN/m);

M_A ——A 截面上的弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$),以桩井护壁外侧受拉取负值;

N_B ——B 面上的轴力(kN/m);

M_B ——B 面上的弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$);

p_A, p_B ——桩井护壁外侧 A、B 点的水平向土压力 F_{ep} (kN/m^2);

r ——桩井护壁的中心半径(m)。

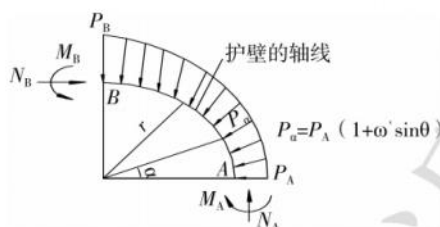


图 7 圆形桩井护壁计算

3 矩形桩井护壁可按不同高度截取闭合框架按下列公式计算：

$$K = \frac{l_2}{l_1} \quad (11)$$

$$M_A = -\frac{ql_1^2}{12} \times \frac{1+K^3}{1+K} \quad (12)$$

$$M_B = \frac{ql_1^2}{24} \times \frac{1+3K-2K^3}{1+K} \quad (13)$$

$$M_C = \frac{ql_1^2}{24} \times \frac{K^3+3K^2-2}{1+K} \quad (14)$$

$$N_B = \frac{1}{2}ql_2 \quad (15)$$

$$N_C = \frac{1}{2}ql_1 \quad (16)$$

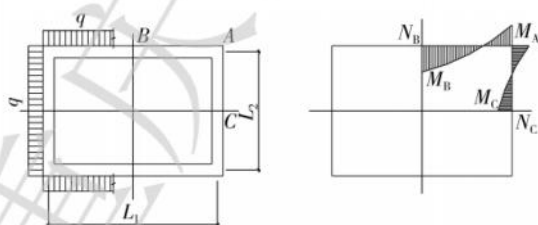


图 8 矩形桩井护壁计算

4 椭圆形桩井护壁可按不同高度截取闭合环形按平面结构计算。计算时假定桩井护壁在同一水平环上土压力均匀分布,各截面的内力可按表 8 计算。

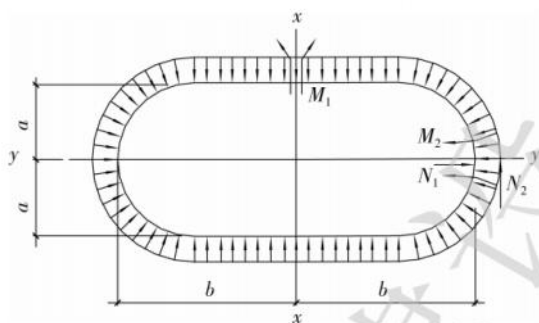


图 9 椭圆形桩井护壁计算

表 9 椭圆形桩井护壁内力系数表

a/b	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	乘数
M_1	0	0.072	0.166	0.293	0.484	0.759	1.247	2.235	qa^2
M_2	0	-0.045	-0.115	-0.227	-0.405	-0.741	-1.378	-2.821	qa^2

注：弯矩 M 值，“+”值表示里皮受拉；“-”值表示外皮受拉。

6 桩基施工

6.1 一般规定

6.1.1 本条规定各类桩型的适用条件是根据多年工程实践归纳总结得出的,在较复杂的岩溶地段施工时经常会发生偏孔、掉钻、卡钻及泥浆流失等情况应谨慎选择成孔工艺,并在施工前制定出相应的处理方案。其它未列入的部分应谨慎并通过试验后再确定成孔工艺。

6.1.3 平整场地是保证钻机站立稳定,保证成孔垂直度的重要条件。施工前必须对场地的水平度进行检查,应将场地整平。对土层强度低的场地,特别是回填场地需进行增强处理,以防提取钻斗时钻机下陷,导致成桩质量或机械事故。

6.1.4 焊接加劲箍筋和螺旋箍筋是现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和国家建筑标准设计图集《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板)G101 提出的要求,有利于消除质量通病。

6.1.7 机械成孔混凝土混有泥浆的部分随着浇筑振捣上浮,故桩身混凝土需多浇一定高度,超灌部分的混凝土通常混有泥浆,其混凝土强度要低于下部桩身混凝土强度,需要剔除。

6.1.9 重庆山地建筑较多,场地狭窄,常常会遇到边坡和桩基施工,为避免相互影响,作此规定。

6.1.10 试成孔,一般选择在工程桩外且有代表性的地质钻孔的位置进行,以核对地质资料,检验设备性能、设计参数、工艺参数以及技术要求是否适宜,检验岩土的可钻性、成孔的自稳定、成孔的垂直度和倾斜岩面处理的难易程度。地下水丰富时,是否引起

的塌孔等。试成孔是保证工程施工能否顺利进行的必要过程。

地质复杂条件主要是指地质灾害发育强烈、地形与地貌类型复杂、地质构造复杂,岩性岩相变化大,岩土体工程地质性质不良、工程地质、水文地质条件不良等影响桩基正常成孔的情况。

6.1.12 重庆地区地质复杂,遇此情况应汇同地勘和设计人员协商增加超前钻或补充勘察。特殊地基包括岩溶强发育、中等发育的场地、破碎带或软弱夹层、有隐伏陡坎、直径大于 3m 大孤石和不明地下洞室等。超前钻和补充勘察内容可参照现行地方标准《工程勘察标准》DBJ50/T-043、《建筑与市政工程地基基础施工质量验收标准》DBJ50/T-125 的相关内容。

6.1.13 孔底沉渣的检查方法主要有以下几种:

1 依靠测锤凭借手感经验进行测量。在放入测锤到孔底后,提起测锤 30cm~50cm 高,然后快速放下,手不要松开测绳。用锤下落的阻力和速度感觉孔底沉渣厚度,如有较厚的沉渣,测锤中间的探针刺不到基底岩石,则感觉测锤无震动。如果沉渣小于 5cm,探针可以刺到基底坚硬的岩石,手会感到震动,测锤有戛然而止的感觉。测试时应反复提放测锤多次,测完一个测点后,再平移 30cm~40cm 连续测试。规范规定端承灌注桩的沉渣不大于 5cm,因此,用测锤探针测试,基本上可以控制在规定的范围内;

2 用测杆进行测量。测杆一般用 4 分钢管按 2m 一节制成,根据孔深接成相应的长度。测杆前端为锥形,中间不让泥浆流入,以便在深孔中减轻重量,方便操作。测杆放入孔底后,提起 80cm~100cm 高,用力向下戳,并可松手,观察测杆的反弹情况,如果孔底沉渣较少时,测杆有明显反弹,并有碰到坚硬岩石后测杆传递的较清脆的响声。如果孔底沉渣较厚,则无反弹,无响声。也可以手握紧测杆向下戳,用手感受测杆的反弹和阻力。在孔中应多次反复测试,测点间距宜为 30cm~40cm。需要注意的是:由于泥浆阻力很大,在平移测杆时应多提出一些,并要反复几次,孔下部的测杆才能真正地达到所要测的位置;

3 测针测饼法:下放测针,测得深度作为孔底深度;下放测饼,测得深度作为沉渣顶面深度。二个数据之差为沉渣厚度;

4 沉渣检测仪检测法:采用专用的沉渣检测仪进行检测。此外,随着科学技术的发展,还有超声波探伤法、激光扫描法等更先进的检测方法。

6.2 施工准备

6.2.1 施工准备内容在现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的基础上,结合工程实际需求,增加了部分内容。

6.2.2 桩基工程专项方案主要应包含下列内容:工程概况、施工平面布置、施工要求和技术保证条件、编制依据、施工计划、施工工艺、技术参数、工艺流程、施工方法、检查验收、施工安全保证措施、应急预案、监测监控、劳动力组织、试验检验和测试计划,试成孔、试桩等工艺试验计划,关键工序样板示范计划、必要的计算书及相关图纸、图示。

6.2.1~6.2.7 综合了各类桩的施工准备相关要求,与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的要求基本一致。

为避免雨季或暴雨造成施工场地被水淹没影响正常施工,要求施工现场场地或作业平台的高度,应高于工作期间可能出现的高水位 1m 以上,如不能满足则需在场地周边设置截、排水措施,保证施工机械正常安全。

施工前应组织图纸会审,会审纪要连同施工图等应作为施工依据列入工程档案。会审需由勘察、设计、监理及施工方共同参与,针对建筑场地,各专业提出成孔桩在施工中的注意事项,防止盲目施工,保证施工质量。

6.3 灌注桩施工

6.3.1 由于钻斗反复放、提,易造成孔口塌孔,安放孔口钢护筒

是防止孔口塌孔的有效措施。护筒钢板厚度宜根据孔径的大小合理选用。重复使用的钢护筒应随时修整,再用时不致卡钻。

钻机重量较大、机架较高、设备较昂贵,保证其安全作业很重要。强调其作业的注意事项,这是总结近几年的施工经验后得出的。

灌注混凝土之前,孔底沉渣厚度指标规定,对端承型桩不应大于 50mm;对摩擦型桩不应大于 100mm。这是多年灌注桩的施工经验;近年对于桩底不同沉渣厚度的试桩结果表明,沉渣厚度大小不仅影响端阻力的发挥,而且也影响侧阻力的发挥值。

本标准对孔底沉渣有更高的要求,当按本标准式(4.3.15)进行嵌岩桩承载力计算时,应保证清底干净,以充分发挥端阻力。

6.3.2 清孔后要求测定的泥浆指标有三项,即泥浆比重、含砂率和黏度。它们是影响混凝土灌注质量的主要指标。

6.3.4 冲击成孔过程中冲击力大,因此产生较大振动力,同时对周围土体也产生一定的挤压作用,成孔后桩身周围土体反之也会对桩孔产生动压力,混凝土灌注桩的成孔是依靠泥浆压力来平衡护壁的,故采取防止坍孔和缩径是必要的措施。在土质较差的土层中尤其要注意,以防产生串孔质量事故。其次是邻桩成桩初始,桩身混凝土的强度很低,需防止冲击成孔对邻桩的影响。

6.3.5 遇地下水丰富、新近深回填土、岩溶发育、流沙、淤泥等特殊地质条件,旋挖钻进成孔困难时,应制定相应的技术手段进行调整。地下水丰富起吊钻斗易形成塌孔的宜改为泥浆护壁施工。新近深回填土、岩溶发育、流沙、淤泥等土质经试验常规施工工艺仍无法成孔时,宜改为全程套管辅助或回灌素混凝土进行成孔施工。

当很大深度范围内无良好持力层时的摩擦桩,应按设计桩长控制成孔深度。当桩较长且桩端置于较好持力层时,应以确保桩端置于较好持力层作主控标准。

成孔质量检验合格后应尽快安放钢筋笼并浇注混凝土,要求连续、快速完成其主要目的是:

- 1 防止基岩表面暴露后力学性质发生改变;
- 2 防止塌孔和滞水沉渣的影响。

旋挖钻机成孔,孔底沉渣(虚土)厚度较难控制,日前积累的工程经验表明,采用旋挖钻机成孔时,应采用清孔钻头进行清渣清孔,必要时可采用桩端后注浆工艺保证桩端承载力。

一般不应有较长时间停留,当间隔时间较长时,在继续浇注混凝土前必须重新对孔底沉渣厚度进行检查。

孔口设置护筒的作用是固定桩孔位置;控制桩顶标高;保持泥浆水位(压力)防止塌孔;防止钻孔过程中的沉渣回流;保护孔口,防止地面石块掉入孔内等。

6.3.6 水下混凝土灌注工艺,不但适用于人工挖孔桩,亦广泛应用于机械成孔桩。桩孔底有地下水时,由于疏于检测,地下水水位上升的速度、判断界线不确定,导致选择混凝土灌注工艺不当,出现严重的桩基工程施工质量事故。地下水的上升速度数值是根据人工挖孔桩施工经验结合公路道涵施工规范的相应数值确定的。

条文中规定了最小的埋管深度宜为2~6m,是为了防止导管拔出混凝土面造成断桩事故,但埋管也不宜太深,以免造成埋管事故。

6.3.8 近几年,螺杆灌注桩不仅在国内外建筑和市政工程中得到广泛应用,在公路、铁路、港口、水利等行业也得到迅速推广和应用。螺杆桩技术经历10余年的发展,形成4大桩型,即螺杆桩、浅螺纹桩、旋转挤压灌注桩、旋转挤压带扩大头灌注桩。螺杆桩与螺纹桩的区别,在于螺纹桩是全桩身带螺纹,而螺杆桩是“上直杆,下螺纹”的型式。由于轴力是由上至下递减的。螺纹桩的全桩身螺纹设计,使得桩的最小截面积在全桩身均为桩芯截面积;而螺杆桩上部直杆的直径等于下部螺纹的外径,上部直杆段的桩身最小截面积更大。因此螺杆灌注桩成为目前的主流成桩工艺。

近几年,在海南、陕西、广西出现了带有扩大桩身的螺杆灌注

桩,由于收集资料不足,暂未纳入本标准,本标准主要介绍不扩大桩身的螺杆灌注桩施工工艺。

桩的施工顺序应充分考虑施工特点和周围建筑物的情况。对于较密集的满堂布桩可采取成排推进,并从中向四周进行;若一侧靠近既有建筑物,宜从毗邻建筑物的一侧由近及远进行。同时根据桩的规格,宜先长后短进行施工。当桩距小于 1.2m 且地下有深厚淤泥层及松散砂层时,应采取跳跃式施工,或采用控制凝固时间间隔施工,以防桩孔间窜浆。

6.3.10 应根据地质情况和设计要求合理选择钻机与钻具,特别是钻机动力头扭矩、主桅杆高度和钻具类型的确定,钻机要具备施打桩孔至设计直径和控制深度的能力,以满足螺杆灌注桩的施工要求。

6.3.11 终孔标准根据试打桩的深度和终孔电流标准确定,采用电流和桩长双重控制。如间隔时间超过混凝土初凝时间,地泵及管内混凝土应及时进行清理;长时间停置时,应及时将钻头、钻杆、泵管、混凝土泵清洗干净。

6.3.13 螺杆灌注桩在钻具旋转提升的全过程中,必须保持混凝土泵连续泵料,钻具内应具有足够高度的混凝土(根据实际施工经验钻具内的混凝土高于钻头不小于 2m),实现混凝土的连续泵送;重庆地区回填土较普遍,施工充盈系数较高,充盈系数不应小于 1.1。

6.3.17 扩大头的填料量应以十击贯入度控制,其填料量不宜大于计算值的 1.2 倍,当填料量大于计算值的 1.2 倍时,说明持力层选择不当或施工参数不适宜,应予调整。

掌握好拔管速度是保证桩身完整性的重要条件,在淤泥质土、饱和软黄土层中或在软硬土层交界处及扩大头与上部桩身连接处拔管过快往往造成缩径、离析等质量缺陷,严重时造成断桩。

6.3.19 人工挖孔桩使用起重吊装设备种类较多、很不统一,危及施工安全。本条主要从安全起吊能力、各种安全保险装置等加

以控制,使用前应检验验收合格。

开挖至持力层验收合格后应立即浇注混凝土或采用与设计混凝土强度相同的水泥砂浆封底,使基岩与水和空气隔离,防止地基因暴露时间较长产生崩解或软化影响岩石的承载能力。

6.3.20 人工挖孔桩因安全隐患大,作业环境差,职业健康危害大被重庆市列为限制技术,只有因施工技术、现场条件限制等不能采用机械成孔的项目,经可行性和施工方案论证可以采用人工挖孔桩工艺。根据工程实践,人工挖孔桩在特别不良地质条件下,存在严重塌孔、地下水不易疏干、流砂以及有毒有害气体情况,导致人工开挖难以成孔,且不能保障施工作业人员的安全。此外,当地下水位较高、有承压水的砂土层、滞水层、涌水量大的冲积地及近代沉积含水量高的淤泥或淤泥质土层、较厚的流砂层时,难以保证施工人员的安全工作条件,也不应采用人工挖孔桩工艺。

6.3.21 灌注桩后注浆(Cast-in-place pile post grouting,简写PPG)是灌注桩的辅助工法。该技术旨在通过桩底桩侧后注浆固化沉渣(虚土)和泥皮,并加固桩底和桩周一定范围的土体,以大幅提高桩的承载力,增强桩的质量稳定性,减小桩基沉降。对于干作业的钻、挖孔灌注桩,经实践表明均取得良好成效。

桩底后注浆管阀的设置数量应根据桩径大小确定,最少不少于2根,对于 $d>1200\text{mm}$ 桩应增至3根。目的在于确保后注浆浆液扩散的均匀对称及后注浆的可靠性。桩侧注浆断面间距视土层性质、桩长、承载力增幅要求而定,宜为6~12m。

6.3.23 注浆作业顺序的规定是大量工程实践经验的总结,对于提高后注浆的可靠性和有效性至关重要。

6.3.24 浆液水灰比是根据大量工程实践经验提出的。水灰比过大容易造成浆液流失,降低后注浆的有效性,水灰比过小会增大注浆阻力,降低可注性,乃至转化为压密注浆。因此,水灰比的大小应根据土层类别、土的密实度、土是否饱和诸因素确定。当

浆液水灰比不超过 0.5 时,加入减水、微膨胀等外加剂在于增加浆液的流动性和对土体的增强效应。确保最佳注浆量是确保桩的承载力增幅达到要求的重要因素,过量注浆会增加不必要的消耗,应通过试注浆确定。

6.4 预应力管桩施工

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

6.4.11 本条所规定的停止锤击的控制原则适用于一般情况,实践中也存在某些特例。如软土中的密集桩群,由于大量桩沉入土中产生挤土效应,对后续桩的沉桩带来困难,如坚持按设计标高控制很难实现。按贯入度控制的桩,有时也会出现满足不了设计要求的情况。对于重要建筑,强调贯入度和桩端标高均达到设计要求,即实行双控是必要的。因此确定停锤标准是较复杂的,宜借鉴经验与通过静载试验综合确定停锤标准。

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

6.4.14 抱压式液压压桩机按主压桩机构在桩机平面的不同位置可分为中置式液压压桩机和前置式液压压桩机。

6.4.24 采用植入法沉桩时,施工前应进行试沉和静载试验,确定施工工艺和施工参数。

6.4.25 旋挖钻孔成孔工艺就是按照设计要求的桩长,预先采用旋挖钻孔设备钻孔至设计标高,再采用压桩设备将预制桩压入的施工方法。在钻孔内注入水泥土、混泥土或其他固桩液,再植入预制桩可以形成复合管桩。

搅拌桩或旋喷桩成孔工艺是在旋喷桩、水泥土搅拌桩注浆中插入高强度预应力管桩作为劲性体形成的复合基桩施工工艺。

7 承台及连系梁施工

7.1 基坑开挖和回填

7.1.2、7.1.3 目前大型基坑越来越多,且许多工程位于建筑群中或闹市区。完善的基坑开挖方案,对确保邻近建筑物和公用设施(煤气管线、上下水道、电缆等)的安全至关重要。

外降水可降低主动土压力,增加边坡的稳定;内降水可增加被动土压,减少支护结构的变形,且利于机具在基坑内作业。

7.3 钢筋和混凝土施工

7.3.5 大体积承台日益增多,如高层、超高层建筑筒体筏板承台,450m 高的重庆陆海国际中心,筒体下筏板承台厚度达 11m,需要一次性连续浇筑。还有不少钢厂、电厂、大型桥墩的承台一次浇注混凝土量近万方,厚达 3m~4m。对这种桩基承台的浇注,事先应作充分研究。当浇注设备适应时,可用平铺法;如不适应,则应从一端开始采用滚浇法,以减少混凝土的浇注面。对水泥用量,减少温差措施均需慎重研究;措施得当,可实现一次浇注。

8 安全施工和环境保护

8.1 安全施工

8.1.12 桩孔内因有毒、有害气体超过规定,已经出现多起作业人员死亡事故,故每次开工前必须进行有害气体检测。

在桩孔内焊接作业,由于用电、用气隐患,已经出现多起作业人员死亡事故,故作出本条规定。

施工现场安全用电存在不少隐患,应按本条严格控制、消除隐患。作业人员防坠器(或防坠助爬器),可以有效防止作业人员疲劳或爬梯意外时出现的险情。

9 桩基工程质量检验和验收

9.1 一般规定

9.1.4 持力层地基承载力的检验方法主要包括土基平板载荷试验、岩基载荷试验及岩石单轴抗压强度试验,现行地方标准《建筑与市政工程地基基础施工质量验收标准》DBJ50/T-125 对不同检验方法的抽检数量、检测部位、检测结果统计等检测技术要求均提出了相关规定,采用岩石单轴抗压强度确定大直径嵌岩桩桩端地基承载力时,每一单位工程内同一岩性岩样的取样点数量,不应少于总桩数的 10%且不少于 10 根。桩孔总数少于上述规定时,应全数抽检。

9.2 施工前检验

9.2.4 本条中的不良地质条件主要指桩端下 3 倍桩径或 5m 深度范围内分布有天然或人工洞室(如溶洞、采空区、防空洞等)、破碎带或软弱夹层等对桩基承载力、变形及稳定性可能造成影响的地质条件。当详勘阶段发现建筑场地存在不良地质条件时,应在桩基施工前,采用超前钻逐孔对桩端持力层的性状进行检验,并提供岩芯抗压强度试验报告。

9.2.5 含有大直径块石、孤石的深厚填土建筑场地,当采用非取芯成桩工艺的桩基施工时,不易击穿大直径块石、孤石,而将其误判为基岩。采用地质超前钻可准确判定土岩界面位置,避免持力层误判导致工程质量事故。

9.3 施工检验

9.3.1 与原标准 8.3.1~8.3.2 条内容基本一致,系两条合并成一条。与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 保持一致。

9.3.2 螺杆桩桩基的垂直度要求是桩机安全和成孔质量的重要保证,螺杆桩桩机的垂直度由倾斜仪及传感器控制。成孔和成桩则是施工的关键工艺,应按以下要点控制工程施工质量:

1 采用正向旋转挤压土体下钻,钻孔时应先慢后快,下钻过程中应注意是否挤桩。在下钻约 2m 时,对桩位偏差进行检测,若偏差过大,需采取提钻、回填、复钻的方式来控制桩位偏差;

2 钻具在下钻过程中,通过桩机加压系统,正向(顺时针)同步技术旋转挤压土体成孔,直至到达设计桩底标高。钻进至设计深度前,不应反向旋转钻杆或提升钻杆;

3 钻头到达桩端设计标高后,钻具开始反向(逆时针)同步旋转上提,并启动泵送混凝土,待泵送的混凝土进入钻具后,再保持反向同步旋转的同时缓慢提升钻具。在钻具旋转提升的全过程中,必须保持混凝土泵连续泵料,钻杆提升速度应与混凝土泵送速度相匹配,保证钻具内具有足够高度的混凝土,实现混凝土的连续泵送;

4 终孔时以进入桩端持力层最后 1m~3m 的钻进速度、钻进扭矩作为主要的控制标准;

5 严格控制混凝土坍落度,宜为 180mm~240mm。

9.4 施工后检验

9.4.1 影响桩基承载力和桩身质量的因素存在于桩基施工的全过程,桩基础施工中出现局部地质条件变化、工程桩施工参数变化、材料变化等,均可能影响桩基质量,因此,加强施工过程中

的检验是必要的。不同阶段的检验要求可参照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 和现行地方标准《建筑与市政工程地基基础施工质量验收标准》DBJ50/T-125 执行。

9.4.3~9.4.4 基桩验收检测的方法宜与设计承载力的确定方法保持一致。如设计采用静载试验法、桩端岩基载荷试验法或岩石单轴抗压强度法确定基桩承载力时,验收阶段的承载力检验方法则相应采用静载试验法、桩端岩基载荷试验法或岩石单轴抗压强度法。

附录 B 基桩承载力自平衡测试要点

B.0.1 对本标准 4.3.1、4.3.2 条规定的桩基,应采用传统静载试验方法进行承载力检验,对 4.3.1、4.3.2、4.3.3 条规定之外的桩基,当受加载设备或现场条件所限无法采用传统静载试验方法而按自平衡测试法进行检测时,现场测试及承载力判定方法应符合本附录的规定。

B.0.8 加载过程,荷载箱打开后,荷载箱部位的桩体会被拉开,桩身在荷载箱上下连接板之间位置处会形成一空隙,因此,对工程桩验收检测,应在试验结束后对荷载箱周围进行高压注浆,使得空隙被充分填充,确保上部结构荷载能有效传递到桩端。

B.0.10 慢速维持荷载法是我国公认的、已沿用多年的标准试验方法,是我国的传统做法。

荷载箱置于桩端情况下,当出现第一级荷载作用下荷载箱的向下位移量较大时,应分析原因,充分考虑桩端沉渣较厚或荷载箱的下承压板与地层没有充分接触等因素对产生较大位移的影响。当确认是沉渣较厚引起的较大变形时,应改进清渣工艺或在基桩承载力确定时考虑其不利影响。

B.0.14 在平衡法试验中,上段桩的摩阻力方向是向下的,与传统方法得到的摩阻力方向是相反的。传统加载时,侧阻力将使土层压密,而自平衡法加载时,上段桩侧阻力将使土层减压松散,故自平衡法测出的摩阻力要小于传统方法测出的摩阻力,因此,引进上段桩侧表面岩土转换系数,目的是对自平衡法上段桩的负摩阻力进行修正,把上段桩负摩阻力转化成传统静载试验的正摩阻力。