

陕西省土木建筑学会团体标准

TB

T/SXCEAS 003—2024

挤土扩底混凝土灌注桩技术标准

Cast-in-place pile foundation with concrete compaction
technical standards

（征求意见稿）

《挤土扩底混凝土灌注桩技术标准》编制组

前 言

根据陕西省土木建筑学会（陕土建会标[2024]4 号）关于《挤土扩底混凝土灌注桩技术标准》团体标准制（修）订立项的公示，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国家有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准主要内容有：1.总则；2.术语和符号；3.基本设计规定；4.桩基设计；5.施工；6.工程质量和验收等。

本标准由陕西省土木建筑学会负责管理，由陕西建工基础建设集团有限公司负责具体内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送陕西建工基础建设集团有限公司（地址：西安市未央区太元路 266 号君城国际 27-28 楼，邮政编码：710016，电话：029-81036408，电子邮箱：190020336@qq.com）。

本标准主编单位：陕西建工基础建设集团有限公司

凤翔波森特西北岩土工程有限公司

本标准参编单位：陕西建工集团股份有限公司工程设计研究总院

西部建筑抗震勘察设计研究院有限公司

中铁一局集团第三工程有限公司

中国建筑西北设计研究院有限公司

陕西省建筑设计研究院（集团）有限公司

陕西建科岩土工程有限公司

中联西北工程设计研究院有限公司

中国轻工业西安设计工程有限责任公司

西北综合勘察设计研究院

西安建筑科技大学设计研究总院有限公司

陕西省现代建筑设计研究院

宝鸡市建筑设计院

大连天工建筑设计有限公司宝鸡分公司

陕西燎原建筑设计工程有限公司

中核（西安）工程设计有限公司

陕西中海建工程设计院有限公司

陕西西北综勘院工程检测有限公司

陕西综勘岩土基础工程有限公司

陕西工程勘察研究院有限公司

陕西地矿宝鸡工程勘察院有限公司

陕西标佳建筑工程有限公司

陕西中祥基础工程有限责任公司

陕西丰宇设计工程有限公司

宝鸡市凤翔区建筑工程质量安全管理站

本标准主要起草人：贾 飞 刘录怀 秦杏春 何彦伟 刘泽华

李颖兰 王友涛 仲崇民 戚明军 王 丰

许 嵘 刘卫辉 张 健 柳明亮 刘 鑫

秦 凯 张 春 唐福平 蔺建中 姚泽文

边 真 徐生玉 李兴兵 曾 强 梁 欣

樊 爽 刘 鹏 李瑞军 王小军 吴海涛

肖 峰 邢海兵 李宇光 易建辉 陈伟峰

田佳甲 周鑫贵 狄建强 左秦朝 王伟刚

母俊龙 吴 彪 李向阳 吴 理 曹永刚

秋李广 白 灵

本标准主要审查人：

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符 号.....	3
3	基本设计.....	6
3.1	一般规定.....	6
3.2	基本资料.....	7
3.3	桩的布置.....	8
3.4	特殊条件下的桩基	9
3.5	基桩构造.....	11
4	桩基计算.....	14
4.1	桩顶作用效应计算	14
4.2	单桩竖向承载力确定	15
4.3	特殊条件下竖向承载力验算	21
4.4	桩基沉降计算	27
5	施工.....	30
5.1	一般规定.....	30
5.2	施工准备.....	30
5.3	挤扩桩施工	30
5.4	施工安全和环境保护	33

6 工程质量检查和验收	35
本标准用词说明.....	40
引用标准名录.....	44

1 总 则

1.0.1 为了更好的使挤土扩底混凝土灌注桩在工程领域中应用、减少城市施工环境污染、降低建筑材料消耗、提高单桩承载力、节约成本、确保工程质量与安全，做到技术先进、经济合理、安全适用，特制定本标准。

1.0.2 本标准规定了挤土扩底混凝土灌注桩技术的基本设计、桩基计算、施工、工程质量检查和验收等要求。

1.0.3 本标准适用于房屋建筑、工业建筑、市政基础设施工程挤土扩底混凝土灌注桩的设计与施工。挤土扩底混凝土灌注桩的施工与设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 挤土扩底混凝土灌注桩（以下简称：挤扩桩） cast-in-place pile foundation with concrete compaction

用带豁口、透气孔的螺旋叶片和外加注浆管的钻具挤土成孔，钻至设计深度以上 1.0m 位置，反转钻具伸出的机械臂，旋喷扩底并喷射清水形成锥形混凝土扩大头的桩孔。通过螺旋钻具在挤压扩底成型的桩孔内自下而上压灌混凝土至基桩设计标高以上 500mm，向孔内插入钢筋笼形成的桩体。

2.1.2 夯击扩底灌注桩 rammed and expanded bored pile

对地下水位以上低饱和度、厚度较大、稍密的粉土、湿陷性黄土、可塑~硬塑的粉质黏土，用长螺旋钻机进行引孔至桩端以上 2.0m 位置，采用内锤外管，利用自由落体原理，将搅拌好的干性混凝土分批次填入、连续夯击密实至设计桩底标高形成扩大头，其上灌注混凝土形成的扩底灌注桩。

2.1.3 桩基 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柱与桩直接连接的单桩基础。

2.1.4 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

2.1.5 挤密土体 compacted soil

钻机钻进过程中将钻孔中的土体挤入桩孔周围土体。

2.1.6 单桩竖向极限承载力 ultimate vertical bearing capacity of a single pile

单桩在竖向荷载作用下达到破坏前或出现不适宜继续承载的变形时所对应的最大荷载，它取决于土对桩的支撑阻力和桩身承载力。

2.1.7 极限侧阻力 limiting lateral resistance

相应于桩顶作用于极限荷载时，桩身侧表面所发生的岩土阻力。

2.1.8 极限端阻力 limiting end resistance

相应于桩顶作用于极限荷载时，桩端所发生的岩土阻力。

2.1.9 单桩竖向承载力特征值 Characteristic value of vertical bearing capacity of single pile

单桩竖向极限承载力标准值除以安全系数以后的承载力值。

2.1.10 负摩阻力 negative frictional resistance

桩周土由于自重固结、湿陷、地面荷载作用等原因而产生大于基桩沉降所引起的对桩表面的向下摩阻力。

2.1.11 下拉荷载 pull-down force

作用于中性点以上的负摩阻力之和。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

H_k ——荷载效应标准组合计算的作用于承台底面的水平力；

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

H_{ik} ——荷载效应标准组合下，作用于第 i 基桩或复合基桩的水平力；

F_k ——荷载效应标准组合计算的作用于承台顶面的竖向力；

G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值；

M_{xk} ——荷载效应标准组合计算的作用于承台底面的外力，绕通过群桩形心的 x 主轴的力矩；

M_{yk} ——荷载效应标准组合计算的作用于承台底面的外力，绕通过群桩形心的 y 主

轴的力矩；

Q_g^n ——作用于群桩中某一基桩的下拉荷载。

2.2.2 抗力和材料性能

E_s ——压缩模量；

f_{ak} ——天然地基承载力特征值；

f_{cu} ——桩体试块（边长 150mm 立方体）标准养护 28d 的立方体抗压强度平均值；

f_{sk} ——处理后的桩间土的承载力特征值；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值；

f_t ——混凝土抗拉强度设计值；

f_c ——混凝土抗压强度设计值；

f_{rk} ——岩石饱和单轴抗压强度设计值；

q_{sik} ——单桩第 i 层土的极限侧阻力标准值；

q_{pk} ——单桩极限端阻力标准值；

q_s ——桩周土的侧阻力特征值；

q_p ——桩端端阻力特征值；

Q_{sk} ——单桩总极限侧阻力标准值；

Q_{pk} ——单桩总极限端阻力标准值；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值；

R_a ——单桩竖向承载力特征值；

R_{ha} ——单桩水平承载力特征值；

R_h ——基桩水平承载力特征值；

T_{gk} ——群桩呈整体破坏时基桩抗拔极限承载力标准值；

T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时基桩抗拔极限承载力标准值；

γ ——土的重度；

γ_e ——土的有效重度。

2.2.3 几何参数

A ——基础底面积；

A_c —— 计算基桩所对应的承台底净面积；
 A_e —— 单桩承担的处理地基面积；
 A_p —— 旋喷扩底或挤扩后的桩底端横截面面积；
 A_{ps} —— 桩身截面面积；
 B_c —— 承台宽度；
 d —— 桩身设计直径；
 d_e —— 单桩分担的处理地基面积的等效圆直径；
 D —— 桩端扩底设计直径；
 l —— 桩身长度、基础底面长度；
 l_c —— 承台长度；
 m —— 面积置换率；
 s —— 桩间距；
 s_a —— 基桩中心距；
 u —— 桩身周长；
 Z_n —— 桩基沉降计算深度（从桩端平面算起）。

2.2.4 计算系数

η_c —— 承台效应系数；
 K —— 安全系数；
 ψ_{si} —— 大直径桩侧阻力尺寸效应系数；
 ψ_p —— 大直径桩端阻力尺寸效应系数；
 λ —— 基桩抗拔系数；
 ψ —— 基桩沉降计算经验系数；
 ψ_c —— 成桩工艺系数；
 ψ_e —— 桩基等效沉降系数。

3 基本设计规定

3.1 一般规定

3.1.1 挤扩桩的适用条件应符合下列规定：

- 1 宜用于桩端持力层为埋深不超过 40m 的中、低压缩性黏性土、粉土、砂土和碎石土；
- 2 对噪声或污染要求严格的场地；
- 3 对重要工程或在缺乏经验的地区，施工前应按设计要求，在具有代表性的地段进行现场试验。

3.1.2 挤扩桩桩径宜为 350mm~800mm。

3.1.3 挤扩桩设计时可依据上部荷载、基础形式、成桩设备、施工工艺、桩端持力层的岩土性状、厚度、密实度、自稳能力及类似的工程经验综合确定设计参数。

3.1.4 挤扩桩扩大头施工时不得影响到相邻桩的施工质量。

3.1.5 挤扩桩施工时，应采取相应措施控制相邻桩的上浮量。对于桩身混凝土已达到终凝的相邻桩，其上浮量不应大于 20mm；对于桩身混凝土处于流动状态的相邻桩，其上浮量不应大于 50mm。

3.1.6 挤扩桩初步设计时，扩底尺寸与高压注浆工艺参数的选定应符合表 3.1.6 的规定。

表 3.1.6 扩底尺寸与高压注浆工艺参数对照表

土类别	桩径 mm	扩底尺寸 mm	钻机转数 r/min	提升（下降）速度 cm/min	旋喷压力 MPa	喷嘴直径 mm
中密~密实的 粉土、砂土	350~500	150	10~20	10~20	20~25	3~5
	500~800	200			25~30	
稍密~中密的 碎石土	350~500	150		10~20	25~30	3~5
	500~800	200			25~30	

注：碎石土包括卵石、圆砾、碎石、角砾、砾砂。

3.1.7 挤扩桩的设计等级按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定。

3.1.8 挤扩桩设计时采用的作用效应和抗力限值应符合《建筑地基基础设计规范》GB 5007 的规定。

3.1.9 桩基的详细勘察应满足《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T 72 的规定。

3.1.10 桩基承台构造，承台抗冲切、抗剪切、抗弯承载力计算应按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

3.2 基本资料

3.2.1 岩土工程勘察资料应包括下列内容：

- 1 按《岩土工程勘察规范》GB 50021 出具的岩土工程勘察文件；
- 2 桩基按两类极限状态进行设计所需用的岩土物理力学指标；
- 3 对建筑场地的不良地质现象，如滑坡、泥石流、土洞等，有明确的判断、结论和防治措施；
- 4 地基土、地下水的腐蚀性评价；
- 5 建筑物所在地区的抗震设防烈度，建筑场地类别和液化土层状况；
- 6 关于地基土冻胀性、湿陷性、膨胀性的评价。

3.2.2 建筑场地与环境条件的有关资料应包括下列内容：

- 1 建筑场地交通设施、地上、地下管线及构筑物的分布情况；
- 2 相邻建筑物安全等级、结构类型、基础形式和基础埋深；
- 3 附近类似工程地质条件场地的桩基工程试桩资料和单桩承载力的设计参数；
- 4 周围建筑物的防振、防噪音的要求。

3.2.3 建筑物的有关资料应包括下列内容：

- 1 建筑物的总平面布置图；
- 2 建筑物的结构类型、荷载、建筑物的使用条件和设备对基础竖向及水平

位移的要求；

3 建筑物的安全等级。

3.2.4 施工条件有关的资料应包括下列内容：

- 1 施工机械设备和性能要求；
- 2 施工工艺对地质条件的适用性；
- 3 水、电及有关建筑材料的供应条件；
- 4 施工机械设备的进出场及现场施工条件。

3.3 桩的布置

3.3.1 基桩布置

1 挤扩桩基桩最小中心距应符合表 3.3.1 的规定；

表 3.3.1 基桩最小中心距

地基土类型	排数不少于 3 排且桩数不少于 9 根的摩擦型桩基	其他情况
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：d为挤扩桩桩身直径，D为挤扩桩扩底端直径。

2 桩基础型式分为独立单桩承台基础、两桩及多桩承台基础、梁下排桩基础、桩箱、桩筏基础，对于桩箱、桩筏基础，宜将桩布置在墙下；

3 排列基桩时，承载力合力点与竖向永久荷载合力点重合，并使基桩受水平力和力矩较大方向有较大抗弯截面模量。

3.3.2 桩端持力层的选择符合下列规定：

1 持力层宜选择层位稳定，低压缩性的硬塑～坚硬的粉质黏土、中密～密实的粉土、砂土和碎石土；不应选择在液化土、湿陷性土、饱和软黏土中；

2 当存在软弱下卧层时，扩底桩桩端以下硬持力层的厚度不应小于 3 倍扩底直径，且不应小于 5m。

3.3.3 桩端进入持力层深度，应综合考虑设计单桩承载力大小，地层性状，机械设备能力及成桩工艺的可行性，并应符合下列规定：

1 桩端全段面进入持力层的深度，对于黏性土、粉土不宜小于 $2d$ ，砂土不宜小于 $1.5d$ ，碎石类土不宜小于 $1d$ ；

2 对于以极软岩为主的桩端持力层的嵌岩桩，当极软岩岩层倾斜度小于 30% 时，嵌入完整、较完整的极软岩的深度不宜小于 $0.4d$ ，且不小于 $0.5m$ ；当极软岩岩层倾斜度大于 30% 时，宜根据岩层倾斜度及岩石的完整性适当加大嵌岩深度。

3.4 特殊条件下的桩基

3.4.1 软土地基的桩基设计应符合下列规定：

1 软土地基中的桩基宜选择中、低压缩性土层作为桩端持力层；

2 桩周围的软土因自重固结、场地填土、地面大面积堆载、地下水位降低、大面积挤土沉桩等原因而产生的沉降大于基桩沉降时，应视具体工程情况分析计算桩侧负摩阻力对基桩的影响；

3 挤扩桩施工时，应采取消减孔隙水压力的技术措施，并应控制成桩速率，减小挤土效应对成桩质量、临近建筑物、道路、地下管线和基坑边坡等产生的不利影响；

4 先成桩后挖基坑时，必须合理安排基坑挖土顺序和控制分层开挖的深度，防止土体侧移对桩的影响。

3.4.2 湿陷性黄土地区的桩基设计原则应符合下列规定：

1 基桩应穿透湿陷性黄土层，桩端应支撑在压缩性低的非湿陷性粉质黏土、粉土、中密～密实的砂土、碎石土中；

2 湿陷性黄土地基中，设计等级为甲级、乙级建筑的建筑桩基的单桩极限承载力，宜采用浸水载荷试验确定。当单桩承载力静载荷试验进行浸水确有困难时，其单桩承载力特征值可按《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025 确定；

3 单桩竖向承载力载荷试验进行浸水确有困难时，单桩竖向承载力特征值在非自重湿陷性黄土地段，当自重湿陷量的计算值小于 70mm 时，单桩竖向承载力的计算应计入湿陷性黄土层内的桩长按饱和状态下的正侧阻力；在自重湿陷性黄土地段，除不计入自重湿陷性黄土层内的桩长按饱和状态下的正侧阻力外，尚应扣除桩侧的负摩擦力。对桩侧负摩擦力进行现场试验确有困难时，可按表 3.4.2 中的数值估算。

表 3.4.2 桩侧平均负摩阻力特征值 (kPa)

自重湿陷量计算值/mm	桩侧平均负摩阻力特征值
70~200	15
>200	20

3.4.3 抗震设防区的桩基设计原则应符合下列规定：

1 对于抗震设防区桩基，基桩进入液化土层以下稳定土层的长度应按计算确定，对于密实粉土、坚硬黏性土、粗砂和碎石不应小于 $(2\sim3)d$ ，对其他非岩石类不宜小于 $(4\sim5)d$ ；

2 承台和地下室侧墙周围应采用灰土、级配砂石、压实性较好的素填土回填，并分层夯实，也可采用素混凝土回填；

3 当承台周围为可液化土或地基承载力特征值小于 40kPa（或不排水抗剪强度小于 15kPa）的软土，且桩基水平承载力不满足计算要求时，可将承台外每侧 1/2 承台边长范围内土体进行加固；

4 对于存在液化扩展的地段，应验算桩基在土流动的侧向作用力下的稳定性。

3.4.4 可能出现负摩阻力的桩基设计原则应符合下列规定：

1 对于填土建筑场地，宜先填土并保证填土的密实度，软土地段填土前，应采取预设塑料排水板等措施，待填土地基沉降基本稳定后方可成桩；

2 对于地面有大面积填土的建筑物，应采取减少地面沉降对建筑物影响的措施；

3 对自重湿陷性黄土地基，可采用强夯、挤密土桩等先行处理，消除上部或全部土的自重湿陷；对于欠固结土宜采取先期排水预压等措施；

4 对于挤土沉桩，应采取消减超孔隙水压力、控制沉桩速率等措施。

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；对一般要求不出现裂缝的二级裂缝控制等级，桩身宜设置预应力筋；

3 对三级裂缝控制等级，应进行桩身裂缝宽度计算。

3.5 基桩构造

3.5.1 挤扩桩正截面配筋率可取 0.2%~0.65%（小直径桩取高值）；对受荷载特别大的桩、抗拔桩和端承桩应根据计算确定配筋率，并不应小于上述规定值。

3.5.2 挤扩桩配筋长度应满足下列规定：

1 端承型桩和位于坡地、岸边的基桩应沿桩身等截面或变截面通长配筋；

2 摩擦型灌注桩配筋长度不应小于 $2/3$ 桩长；当受水平荷载时，配筋长度不宜小于 $4.0/\alpha$ （ α 为桩的水平变形系数）；

3 对于受地震作用的基桩，桩身配筋长度应穿过液化土层、软弱土层，进入稳定土层的深度应满足 3.4.3 条的相关规定；

4 受负摩阻力的桩，因先成桩后开挖基坑而随地基土回弹的桩，其配筋长度应穿过软弱土层并进入稳定土层，进入的深度不应小于 $(2\sim3)d$ ；

5 抗拔桩及因地震作用、冻胀或膨胀力作用而受拔力的桩，应等截面或变截面通长配筋。

3.5.3 对于受水平荷载的桩，主筋不应小于 $8\Phi 12$ ，对于抗压桩和抗拔桩，主筋不应小于 $6\Phi 10$ ；纵向主筋应沿桩身周边均匀布置，其净距不小于 60mm，并尽量减少钢筋接头。

3.5.4 箍筋应采用螺旋式，直径宜为 6mm~8mm，间距宜为 200mm~300mm；受水平荷载较大的桩基、承受水平地震作用的桩基以及考虑主筋作用计算桩身受压承载力时，桩顶以下 $5d$ 范围内的箍筋应加密，间距不应大于 100mm；当桩身位于液化土层时，箍筋应加密；当钢筋笼长度超过 4.0m 时，应在钢筋笼内侧每隔 2.0m 设一道直径不小于 $\Phi 12$ 的焊接加劲箍筋。主筋与箍筋宜优先选用 HRB400 级钢筋。桩身混凝土强度等级不应小于 C25，灌注桩主筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm；水下灌注桩主筋的混凝土保护层厚度不应小于 50mm。

3.5.5 挤扩桩扩底端直径与桩身直径 D/d 不应大于 2.5；扩底端侧面斜率应根据实际成孔和土体的自立条件确定， a/h 可取 $1/4 \sim 1/2$ ，砂土可取 $1/4$ ，粉土与黏性土可取 $1/2$ ，抗压桩扩底端宜成锅底形。

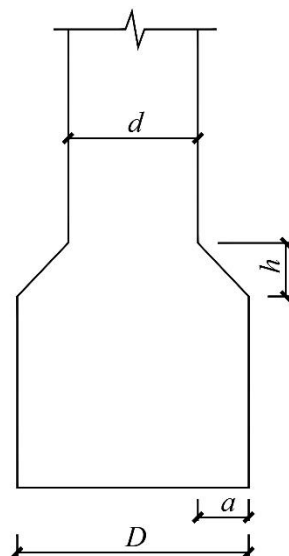


图 3.5.5 扩底桩构造

3.5.6 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等直径的桩不宜小于 50mm；对大直径桩不宜小于 100mm；

2 混凝土桩的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《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定；

3 对于大直径挤扩桩，当采用一柱一桩时，可设置承台或将桩与柱直接连接；

4 抗拔桩纵向钢筋的连接应采用机械连接或焊接。

4 桩基计算

4.1 桩顶作用效应计算

4.1.1 挤扩桩群桩中的基桩或复合基桩的桩顶作用效应计算：

1 竖向力

轴心竖向力作用下：

$$N_k = (F_k + G_k)/n \quad (4.1.1 - 1)$$

偏心竖向力作用下：

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

2 水平力

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

式中：

F_k —— 荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力；

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

N_k —— 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

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

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

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

x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j —— 第*i*、*j*基桩或复合基桩至*y*、*x*轴的距离；

H_k —— 荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力；

H_{ik} —— 荷载效应标准组合下，作用于第*i*基桩或复合基桩的水平力；

n —— 桩基中的桩数。

4.2 单桩竖向承载力确定

4.2.1 挤扩桩竖向承载力计算应符合下列要求：

1 荷载效应的标准组合

轴心竖向力作用下：

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

偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式的要求：

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

2 地震作用效应和荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下：

$$N_{EK} \leq 1.25R \quad (4.2.1 - 3)$$

偏心竖向力作用下，除满足上述式外尚应满足下式的要求：

$$N_{EKmax} \leq 1.5R \quad (4.2.1 - 4)$$

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

N_{kmax} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力；

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

N_{EKmax} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的最大竖向力；

R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值。

4.2.2 对于端承型基桩、桩数少于4根的摩擦型桩下独立桩基、或由于地层土性、使用条件等因素不宜考虑承台效应时，基桩竖向承载力特征值应取单桩竖向承载力特征值。

4.2.3 对于符合下列条件之一的摩擦型桩基，宜考虑承台效应确定其复合基桩的竖向承载力特征值：

- 1 上部结构刚度较好，体型简单的建（构）筑物；
- 2 对差异性沉降适应性较强的排架结构和柔性构筑物；
- 3 按变刚度调平原则设计的桩基刚度相对弱化区；
- 4 软土地基的减沉复合疏桩基础。

4.2.4 考虑承台效应的复合基桩竖向承载力特征值可按下列公式确定：

不考虑地震作用时：

$$R = R_a + \eta_c \cdot f_{ak} \cdot A_c \quad (4.2.4 - 1)$$

考虑地震作用时：

$$R = R_a + \zeta_a \cdot \eta_c \cdot f_{ak} \cdot A_c / 1.25 \quad (4.2.4 - 2)$$

$$A_c = (A - nA_{ps}) / n \quad (4.2.4 - 3)$$

式中： η_c —— 承台效应系数，可按表 4.2.4 取值；

f_{ak} —— 承台下 1/2 承台宽度且不超过 5m 深度范围内各层土的地基承载力特征值按厚度加权的平均值（kPa）；

A_c —— 计算基桩所对应的承台底净面积（m²）；

A_{ps} —— 桩身截面面积（m²）；

A —— 承台计算域面积（m²），对于柱下独立桩基， A 为承台总面积，对于桩筏基础， A 为柱、墙筏板的 1/2 跨距和悬臂边 2.5 倍筏板厚度所围成的面积；桩集中布置于单片墙下的桩筏基础，取墙两边各 1/2 跨距围成的面积，按条形承台计算 η_c ；

ζ_a —— 地基抗震承载力调整系数，其值按《建筑抗震设计规范》GB 50011 采用。当承台底为可液化土、湿陷性黄土、高灵敏度软土、

欠固结土、新填土，沉桩引起超孔隙水压力和土体隆起时，不考虑承台效应，取 $\eta_c = 0$ 。

表 4.2.4 承台效应系数 η_c

$B_c/l \backslash S_a/d$	3	4	5	6	>6
≤ 0.4	0.06~0.08	0.14~0.17	0.22~0.26	0.32~0.38	0.50~0.8
0.4~0.8	0.08~0.10	0.17~0.20	0.26~0.30	0.38~0.44	
>0.8	0.10~0.12	0.20~0.22	0.30~0.34	0.44~0.50	
单排桩条形承台	0.15~0.18	0.25~0.30	0.38~0.45	0.50~0.60	

- 注：1、表中 S_a/d 为桩中心距与桩径之比； B_c/l 为承台宽度与桩长之比。当计算基桩为非正方形排列时， $S_a = \sqrt{A/n}$ ， A 为承台计算域面积， n 为总桩数；
 2、对于桩布置于墙下的箱、筏承台， η_c 可按单排桩条形承台取值；
 3、对于单排桩条形承台，当承台宽度小于 $1.5d$ 时， η_c 按非条形承台取值；
 4、对于饱和黏性土、软土地基上的桩基承台， η_c 宜取低值的0.8倍。

4.2.5 单桩竖向极限承载力

- 1 设计等级为甲级的建筑桩基和工程地质条件复杂的乙级建筑桩基，应通过单桩静载试验确定，试验方法应按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行；
- 2 设计等级为乙级的建筑桩基，当地质条件简单时，可参照地质条件相同的试桩资料，或结合原位测试结果和经验参数综合确定；
- 3 地基基础设计等级为丙级的建筑桩基，可采用原位测试、土的物理力学指标和经验参数综合确定。

4.2.6 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验公式确定单桩竖向极限承载力标准值时，可按下列公式进行估算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i + \psi_p q_{pk} A_p \quad (4.2.6)$$

式中： Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

Q_{sk} ——总极限侧阻力标准值；

Q_{pk} ——总极限端阻力标准值；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值，可按表4.2.6-1取值；变截面以上 $2d$ 长度范围内不计侧阻力；

q_{pk} ——单桩极限端阻力标准值，可按表4.2.6-2取值；

A_p ——机械扩底后的桩底端横截面面积；

u ——桩身周长；

l_i ——桩周第*i*层土的厚度；

ψ_{si} 、 ψ_p ——大直径桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数，当桩径、桩端小于等于800mm时取1，大于800mm时按表4.2.6-3取值。

表 4.2.6-1 桩极限侧阻力标准值 q_{sik} (kPa)

土的名称		土的状态	极限侧阻力标准值 q_{sik}
填土		—	21~29
淤泥		$N < 3$	13~19
淤泥质土		$3 \leq N < 5$	21~29
黏性土	流塑	$I_L > 1.0$ ($N \leq 2$)	22~39
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1.0$ ($2 < N \leq 4$)	39~54
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$ ($4 < N \leq 8$)	54~68
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$ ($8 < N \leq 15$)	68~84
	硬塑	$0.0 < I_L \leq 0.25$ ($15 < N \leq 30$)	84~96
	坚硬	$I_L \leq 0.0$ ($N > 30$)	96~104
粉土	稍密	$e > 0.90$ ($5 < N \leq 10$)	25~44
	中密	$0.75 \leq e \leq 0.90$ ($10 < N \leq 15$)	44~64
	密实	$e < 0.75$ ($N > 15$)	64~85
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	23~47
	中密	$15 < N \leq 30$	47~65
	密实	$N > 30$	65~87
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	53~73
	密实	$N > 30$	73~94
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	75~96
	密实	$N > 30$	96~118
砾砂	稍密	$5 < N \leq 15$	65~105
	中密~密实	$N > 15$	114~134
圆砾、角砾		$N_{63.5} > 10$	147~175
卵石、碎石		$N_{63.5} > 10$	175~235
全风化软质岩		$30 < N \leq 50$	90~110
强风化软质岩		$N_{63.5} > 10$	150~230

注：1、对自重固结尚未完成的素填土、建筑垃圾不计算侧阻力；
 2、 N 为标准贯入试验击数； $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数；
 3、对湿陷性黄土依据土性取饱和状态下的正侧阻力标准值进行计算，自重湿陷性场地除不计入正阻力尚应扣除负摩阻力；

4、全风化、强风化极软岩为母岩的单轴抗压强度 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ 的岩石。

表 4.2.6-2 桩极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土的名称	土的状态		极限端阻力标准值 q_{pk}		
			$5 \leq l < 10$	$10 \leq l < 15$	$15 \leq l$
黏性土	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	500~700	800~1100	1000~1600
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	850~1100	1500~1700	1700~1900
	硬塑	$0.0 < I_L \leq 0.25$	1600~1800	2200~2400	2600~2800
	坚硬	$I_L \leq 0.0$	2200~2400	2600~2800	2800~3000
粉土	中密	$0.75 \leq e \leq 0.90$	800~1200	1200~1400	1400~1600
	密实	$e < 0.75$	1200~1700	1400~1900	1600~2100
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	500~950	1300~1600	1500~1700
	中密、密实	$N > 15$	900~1000	1700~1900	1700~1900
细砂	中密、密实	$N > 15$	1200~1600	2000~2400	2400~2700
中砂		$N > 15$	1800~2400	2800~3800	3600~4400
粗砂		$N > 15$	2900~3600	4000~4600	4600~5200
砾砂	中密~密实	$N > 15$	3500~5000		
圆砾、角砾		$N_{63.5} > 10$	4000~5500		
卵石、碎石		$N_{63.5} > 10$	4500~6500		
全风化软质岩		$30 < N \leq 50$	1200~2000		
强风化软质岩		$N_{63.5} > 10$	1600~2600		

表 4.2.6-3 侧阻力、端阻力尺寸效应系数 ψ_{si} 、 ψ_p

土类别	黏性土、粉土	砂土、碎石类土
ψ_{si}	$\left(\frac{0.8}{d}\right)^{1/5}$	$\left(\frac{0.8}{d}\right)^{1/3}$
ψ_p	$\left(\frac{0.8}{D}\right)^{1/4}$	$\left(\frac{0.8}{D}\right)^{1/3}$

4.2.7 对于桩端持力层为完整、较完整基岩的嵌岩桩单桩竖向极限承载力，由桩周土总极限土侧阻力和嵌岩段总极限阻力组成。当根据岩石单轴抗压强度确定单桩竖向极限承载力标准值时，可按下列公式进行计算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{rk} \quad (4.2.7-1)$$

$$Q_{sk} = u \sum q_{sik} l_i \quad (4.2.7-2)$$

$$Q_{rk} = \zeta_r f_{rk} A_p \quad (4.2.7-3)$$

式中： Q_{sk} 、 Q_{rk} ——分别为土的总极限侧阻力标准值、嵌岩段总极限阻力标准值；

q_{sik} ——桩周第*i*层土的极限侧阻力，无当地经验时，可按本标准的表 4.2.6-1 采用，挤扩桩变截面以上2*d*长度范围内不计侧阻力；

f_{rk} ——岩石单轴饱和抗压强度标准值；黏土岩取天然湿度单轴抗压强度标准值；

ζ_r ——桩嵌岩段侧阻与端阻综合系数，与嵌岩深径比 h_r/d 、岩石软硬程度和成桩工艺有关，可按表 4.2.7 采用；表中数据适用于泥浆护壁成桩，对于干作业成桩（清底干净）和泥浆护壁成桩后注浆， ζ_r 应取表中数值的 1.2 倍。

表 4.2.7 嵌岩段侧阻与端阻综合系数 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	0.60	0.80	0.95	1.18	1.35	1.48	1.57	1.63	1.66	1.70

注：1、极软岩指 $f_{rk} \leq 5\text{MPa}$ ，软岩指 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ ；

2、 h_r 为桩身嵌岩深度，当岩面倾斜时，以坡下方嵌岩深度为准，当 h_r/d 为非列表值时， ζ_r 可以内插取值。

4.2.8 挤扩桩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 5*d* 范围的桩身螺旋式箍筋间距不大于 100mm，且符合本标准第 3.5.4 节规定时：

$$N \leq \psi_c f_c A_{ps} + 0.9 f'_y A'_s \quad (4.2.8 - 1)$$

2 当桩身配筋不符合上述第 1 款规定时：

$$N \leq \psi_c f_c A_{ps} \quad (4.2.8 - 2)$$

式中： N ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值，按《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值；

A_{ps} ——桩身截面面积；

ψ_c ——基桩成桩工艺系数，挤扩桩取 $\psi_c = 0.80$ ；

f'_y ——纵向主筋抗压强度设计值；

A'_s ——纵向主筋截面面积。

4.2.9 桩身穿过液化土层的低承台桩基，当承台底面上下分别有厚度不小于 1.5m、1.0m 的非液化土或非软弱土层时，可将液化土层极限侧阻力乘以土层液化影响折减系数计算单桩极限承载力标准值。土层液化影响折减系数 ψ_l 可按表 4.2.9 确定。当承台底面上下非液化土层厚度小于上述规定时，土层液化影响折减系数 ψ_l 取 0。

表 4.2.9 土层液化影响折减系数 ψ_l

$\lambda_n = N/N_{cr}$	自地面算起的液化土层深度 d_L /m	ψ_l
$\lambda_n \leq 0.6$	$d_L \leq 10$	0
	$10 < d_L \leq 20$	1/3
$0.6 < \lambda_n \leq 0.8$	$d_L \leq 10$	1/3
	$10 < d_L \leq 20$	2/3
$0.8 < \lambda_n \leq 1.0$	$d_L \leq 10$	2/3
	$10 < d_L \leq 20$	1.0

注：1、N为饱和土标贯击数实测值； N_{cr} 为液化判别标贯击数临界值；
 2、对于挤土桩当桩距不大于4d，且桩的排数不少于5排、总桩数不少于25根时，土层液化影响折减系数可按表列值提高一档取值，桩间土标贯击数达到 N_{cr} 时，取 $\psi_l = 1$ 。

4.3 特殊条件下竖向承载力验算

4.3.1 对桩间距不超过 6 倍桩身直径的挤扩群桩基础，桩端持力层下存在承载力低于桩端持力层承载力 1/3 的软弱下卧层时，可按下列公式验算软弱下卧层承载力（见图 4.3.1）。

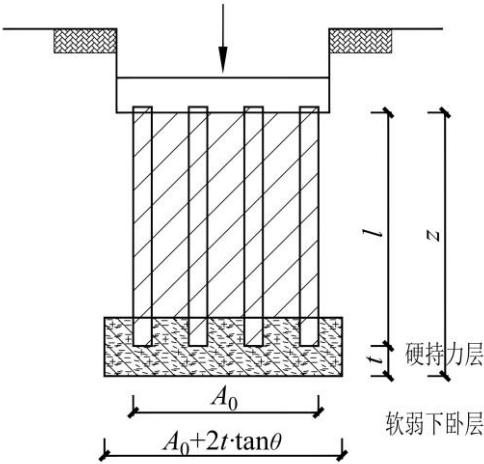


图 4.3.1 软弱下卧层承载力验算

$$\sigma_z + \gamma_m Z \leq f_{az} \quad (4.3.1 - 1)$$

$$\sigma_z = \frac{(F_k + G_k) - \frac{3}{2}(A_0 + B_0) \cdot \sum q_{sik} l_i}{(A_0 + 2t \cdot \tan \theta)(B_0 + 2t \cdot \tan \theta)} \quad (4.3.1 - 2)$$

式中： σ_z —— 作用于软弱下卧层顶面的附加应力；

γ_m —— 软弱下卧层顶面以上各土层重度（地下水位以下取浮重度）按厚度加权平均值；

f_{az} —— 软弱下卧层经深度 z 修正的地基承载力特征值；

t —— 硬持力层厚度；

A_0 、 B_0 —— 桩群外缘矩形底面的长、短边边长；

q_{sik} —— 桩周第 i 层土极限侧阻力标准值，可按本标准表 4.2.6-1 取值；

l_i —— 桩周第 i 层土的厚度；

θ —— 桩端硬持力层压力扩散角，按表 4.3.1 取值。

表 4.3.1 桩端硬持力层压力扩散角 θ

E_{s1}/E_{s2}	$t = 0.25B_0$	$t \leq 0.50B_0$
1	4°	12°
3	6°	23°
5	10°	25°
10	20°	30°

注：1、 E_{s1} 、 E_{s2} 为硬持力层、软弱下卧层的压缩模量；

2、当 $t < 0.25B_0$ 时，取 $\theta = 0^\circ$ ，必要时，需通过试验确定；当 $0.25B_0 < t \leq 0.50B_0$ 时，可以内插取值。

4.3.2 符合下列条件之一的挤扩桩基，当桩周土层产生的沉降大于桩基的沉降时，在计算桩基承载力时应计入负摩阻力。

1 桩穿越较厚的松散土层、自重湿陷性黄土、欠固结土、液化土层进入相对较硬土层时；

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

3 由于降低地下水位，使桩周土有效应力增大，并产生显著压缩沉降时。

4.3.3 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，可按下列规定进行验算：

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

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

2 对于端承型基桩除应满足上式要求外,尚应考虑负摩阻力引起基桩的下拉荷载 Q_g^n ,并按下式验算基桩承载力:

$$N_K + Q_g^n \leq R_a \quad (4.3.3 - 2)$$

3 当土层对不均匀或建(构)筑物对不均匀沉降敏感时,尚应将负摩阻力引起的下拉荷载计入附加荷载验算桩基沉降;

4 挤扩桩试验方法应按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行,试验时除基桩竖向承载力外,尚应计入负摩阻力引起基桩的下拉荷载 Q_g^n ,并应在施工图中进行说明(基桩的竖向承载力 R_a 只计算中性点以下的部分桩侧土的承载力和端阻力)。

4.3.4 挤扩桩侧负摩阻力及其引起的下拉荷载,可按下列规定进行计算:

1 中性点以上单桩桩周第*i*层土负摩阻力标准值,可按下列公式计算:

$$q_{si}^n = \xi_{ni} \sigma_i' \quad (4.3.4 - 1)$$

当填土、自重湿陷性黄土、欠固结土层产生的固结和地下水位降低时:

$$\sigma_i' = \sigma_{yi}' \quad (4.3.4 - 2)$$

当地面分布有大面积荷载时:

$$\sigma_i' = p + \sigma_{yi}' \quad (4.3.4 - 3)$$

$$\sigma_{yi}' = \sum_{e=1}^{i-1} \gamma_e \Delta Z_e + \frac{1}{2} \gamma_i \Delta Z_i \quad (4.3.4 - 4)$$

式中: q_{si}^n ——第*i*层土桩侧负摩阻力标准值,当按式计算值大于正摩阻力标准值时,取正摩阻力标准值进行设计;

ξ_{ni} ——桩周第*i*层土负摩阻力系数,按表 4.3.4-1 取值;

σ_{yi}' ——由土自重引起的桩周第*i*层土平均竖向有效应力;桩群外围桩自地

面算起，桩群内部桩自承台底算起；

σ_i' ——桩周第*i*层土平均竖向有效应力；

γ_i 、 γ_e ——分别为第*i*计算土层和其上第*e*土层的重度，地下水位以下取浮重度；

ΔZ_i 、 ΔZ_e ——第*i*层土、第*e*层土厚度；

p ——地面均布荷载。

表 4.3.4-1 负摩阻力系数 ξ_n

土类	ξ_{ni}
饱和软土	0.15~0.25
黏性土、粉土	0.25~0.40
砂土	0.35~0.50
自重湿陷性黄土	0.20~0.35

注：1、同一类土，对于挤土桩，取表中大值，对于非挤土桩，取表中较小值；

2、填土按其组成取表中同类土的较大值。

2 考虑群桩效应的基桩下拉荷载可按式计算：

$$Q_g^n = \eta_n \cdot u \sum_{i=1}^n q_{si}^n l_i \quad (4.3.4-5)$$

$$\eta_n = s_{ax} \cdot s_{ay} / \left[\pi d \left(\frac{q_s^n}{\gamma_m} + \frac{d}{4} \right) \right] \quad (4.3.4-6)$$

式中： n ——中性点以上的土层数；

l_i ——桩中性点以上第*i*层土层的厚度；

η_n ——负摩阻力群桩效应系数；对于单桩基础或按式4.3.4-6计算的群桩效应系数 $\eta_n > 1$ 时，取 $\eta_n = 1$ 。

s_{ax} 、 s_{ay} ——分别为纵、横向桩的中心距；

q_s^n ——中性点以上桩周土层厚度加权平均负摩阻力标准值；

γ_m ——中性点以上桩周土层厚度加权平均重度，地下水位以下取浮重度。

3 中性点深度 l_n 应按桩周土层沉降与桩沉降相等的条件计算确定，也可参照按表 4.3.4-2 确定。

表 4.3.4-2 中性点深度 l_n

持力层性质	黏性土、粉土	中密以上砂土	砾石、卵石	岩石
中性点深度 l_n/l_0	0.5~0.6	0.7~0.8	0.9	1.0

注：1、 l_n 、 l_0 分别为自桩顶算起的中性点深度和桩周软弱土层下限深度；
 2、桩穿过自重湿陷性土层时， l_n 可按表列值增大10%（持力层为基岩除外）；
 3、当桩周土层固结与桩基固结沉降同时完成时 $l_n = 0$ ；
 4、当桩周土层计算的沉降量小于20mm时， l_n 应按表列值乘以0.4~0.8折减。

4.3.5 承受拔力的挤扩桩基，应按下列公式同时验算群桩基础呈整体破坏和非整体破坏时基桩的抗拔承载力：

$$N_k \leq T_{gk}/2 + G_{gp} \quad (4.3.5 - 1)$$

$$N_k \leq T_{uk}/2 + G_p \quad (4.3.5 - 2)$$

式中： N_k ——按荷载效应标准组合计算的基桩拔力；

T_{gk} ——群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值，可按本标准第4.3.6条确定；

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4.3.6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；

G_p ——基桩自重，地下水位以下取浮重度，按表14确定桩、土柱体周长，计算桩、土自重。

4.3.6 群桩基础及其基桩的抗拔极限承载力的确定应符合下列规定：

1 对于设计等级为甲级和乙级的建筑桩基，基桩的抗拔极限承载力应通过现场单桩上拔静载荷试验确定。单桩上拔静载荷试验及抗拔极限承载力标准值取值可按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 进行；

2 抗拔桩承载力特征值可按下式计算：

$$R_a = T_{uk}/2 \quad (4.3.6 - 1)$$

3 如无当地经验时，群桩基础及设计等级为丙级的建筑桩基，基桩的抗拔极

限承载力标准值取值可按下列规定计算：

1) 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式计算：

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (4.3.6 - 2)$$

式中： T_{uk} —— 基桩抗拔极限承载力标准值；

u_i —— 桩身周长，对于等直径桩取 $u = \pi d$ ，对于扩底桩按表4.3.6-1取值；

q_{sik} —— 桩侧表面第*i*层土的抗压极限侧阻力标准值，可按本标准表4.2.7-1取值；

λ_i —— 抗拔系数，可按表 4.3.6-2 取值；

l_i —— 第*i*层土的厚度。

表 4.3.6-1 破坏表面周长 u_i

自桩底起算的长度 l_i	$\leq (4 \sim 10) d$	$> (4 \sim 10) d$
u_i	πD	πd

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

表 4.3.6-2 抗拔系数 λ_i

土类	λ_i 值
砂土	0.50~0.70
黏性土、粉土	0.70~0.80

注：桩长*l*与桩径*d*之比小于20时， λ_i 取小值。

2) 群桩呈整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值可按下列式计算：

$$T_{gk} = \frac{1}{n} u_1 \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad (4.3.6 - 3)$$

式中： u_1 —— 桩群外围周长。

4.3.7 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 对设计等级为甲、乙级的建筑桩基，单桩水平承载力特征值应通过现场水平载荷试验确定，试验方法应按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行；

2 对于桩身配筋率不小于 0.65%的挤扩桩，可根据静载荷试验结果取地面处

水平位移 10mm(对于水平位移敏感的建筑物取水平位移 6mm)所对应荷载的 75% 为单桩水平承载力特征值;

3 对于桩身配筋率小于 0.65%的挤扩桩,可取单桩水平静载试验的临界荷载的 75%为单桩水平承载力特征值;

4 对缺少单桩水平静载荷试验资料时,可按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的 5.7.2 条估算桩身配筋率小于 0.65%的挤扩桩的单桩水平承载力特征值;

5 群桩基础(不含水平力垂直于单排桩纵向轴线和力矩较大的情况)的基桩水平承载力特征值应考虑由承台、桩群和土相互作用产生的群桩效应,考虑群桩效应的基桩水平承载力特征值可按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 进行计算。

当外力作用面的桩距较大时,桩基的水平承载力可视为各单桩水平承载力的总和。当承台侧面的土体未经扰动或回填密实时,可计算土抗力的作用。当水平推力较大时,宜设置斜桩。

4.4 桩基沉降计算

4.4.1 对于下列情况的挤扩桩应进行沉降计算:

- 1 设计等级为甲级的桩基;
- 2 体型复杂、荷载分布不均匀或桩端平面以下存在软弱土层的设计等级为乙级的建筑桩基;
- 3 摩擦型桩基。

4.4.2 挤扩桩沉降变形可用沉降量、沉降差、整体倾斜、局部倾斜指标表示。

4.4.3 建筑桩基沉降变形计算值不应大于桩基沉降变形允许值,建筑桩基变形允许值应满足《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定。

4.4.4 对桩中心距不大于 6 倍桩径的挤扩桩,沉降计算应按等效作用分层总和法计算。等效作用面位于桩端平面,等效作用面积为桩承台投影面积,等效作用附

加压力近似取承台底平均附加压力。等效作用面以下应力分布采用各向同性均质直线变形体理论。桩基任意一点最终沉降量可用角点法按下式进行计算：

$$s = \psi \cdot \psi_e \cdot s' = \psi \cdot \psi_e \cdot \sum_{j=1}^m p_{0j} \sum_{i=1}^n \frac{z_{ij} \bar{\alpha}_{ij} - z_{(i-1)j} \bar{\alpha}_{(i-1)j}}{E_{si}} \quad (4.4.4)$$

式中： s —— 桩基最终沉降量；

s' —— 采用布辛奈斯克解，按实体深基础分层总和法计算出的桩基沉降量（mm）；

ψ —— 为桩基沉降计算经验系数，可根据地区沉降观测整理及经验确定，当没有地区经验时可按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定；

ψ_e —— 桩基等效沉降系数，可按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定；

m —— 角点法计算点对应的矩形荷载分块数；

P_{0j} —— 第 j 块矩形底面在荷载效应准永久组合下的附加压力（kPa）；

n —— 桩基沉降计算深度范围内所划分的层数；

E_{si} —— 等效面积作用下第 i 层土的压缩模量（MPa），采用地基土在自重压力下至自重压力加附加压力作用时的压缩模量；

Z_{ij} 、 $Z_{(i-1)j}$ —— 桩端平面第 j 块荷载作用面至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面的距离（m）；

$\bar{\alpha}_{ij}$ 、 $\bar{\alpha}_{(i-1)j}$ —— 桩端平面第 j 块荷载计算点至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面深度范围内平均附加应力系数，可按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定。

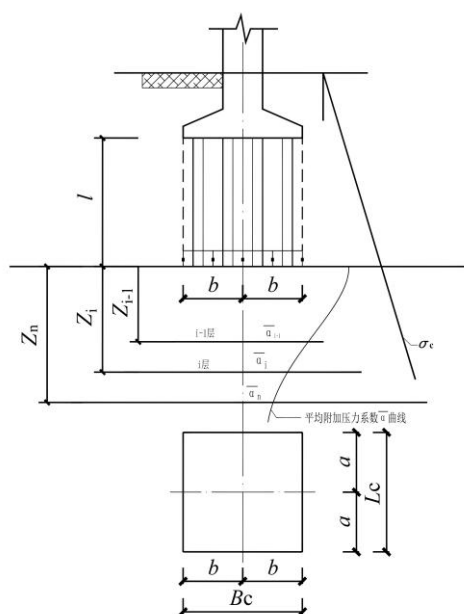


图 4.4.1 桩基沉降计算示意图

4.4.5 桩基沉降计算深度 Z_n 应按应力比法确定，即计算深度处附加压力 σ_z 与土的自重压力 σ_c 应符合下列公式要求：

$$\sigma_z \leq 0.2\sigma_c \quad (4.4.5 - 1)$$

$$\sigma_z = \sum_{j=1}^m \alpha_j p_{0j} \quad (4.4.5 - 2)$$

式中： α_j —— 附加应力系数，可根据角点法划分的矩形长、宽比及深、宽比按《建筑桩基技术规范》JGJ 94附录选用。

4.4.6 计算桩基沉降时，应考虑相邻基础的影响，采用叠加原理计算。

4.4.7 当作用于桩基上的外力主要为水平力或高层建筑承台下为软弱土层、液化土层时，应根据使用要求对桩顶变位进行限制，单桩基础和群桩中基桩应满足下式要求：

$$H_{ik} \leq R_h \quad (4.4.7)$$

式中： H_{ik} —— 在荷载效应标准组合下，作用于基桩 i 桩顶处的水平力；

R_h —— 单桩基础或群桩中的基桩的水平承载力特征值，对于单桩基础，可取单桩的水平承载力特征值。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 挤扩桩的施工分为稳钻、成孔、清水旋切、扩底、压灌混凝土、后插钢筋笼。

5.1.2 对摩擦型桩、端承型摩擦桩以设计桩身长度控制成孔、扩底直径；对于摩擦端承桩、端承桩，以桩身进入持力层厚度控制成孔和扩底直径。

5.2 施工准备

5.2.1 螺旋多功能钻机选型应根据挤扩桩的桩径、扩径、孔深及地层情况等因素综合确定，并应根据地层条件选用喷扩钻具。

5.2.2 挤扩桩施工主要配套设备应符合下列规定：

- 1 混凝土输送泵和注浆泵的压力、流量应满足注浆泵压力施工要求；
- 2 空压机的供气量和额定压力不应小于输送泵的流量；
- 3 储水桶的容积应满足连续供给高压喷射的需求；
- 4 连接注浆泵和钻机的高压输送管长度不宜大于 60m。

5.2.3 施工前应对挤扩桩施工机械及配套设备进行检查试运行，并应对其流量、压力、钻杆提升速度、钻杆旋转速度、钻杆提升高度等施工参数进行标定。

5.3 挤扩桩施工

5.3.1 挤扩桩竖向增强体施工应具备以下要求：

1 应调查场地及附近区域原有建（构）筑物、地上交通情况、架空管线、高压线路、地下埋藏的管线及构筑物、精密仪器车间等。当存在以上影响桩基施工的因素时，应会同建设单位、产权所有单位采取相应的保护、防护措施；

2 应依据施工图审查通过的岩土工程勘察报告、桩基施工图、结合场地施工

条件及当地已有相似工艺的施工经验，编制挤扩桩施工组织方案；

3 依据建设单位提供的已知测量控制点，在场地周边选定稳定、可靠、方便的地点设置基准点，并在挤扩桩施工期间定期检查基准点的稳定性和准确性。基桩轴线的控制点应设置在不受影响的地方，经复核后妥善保护，施工中应经常复测；

4 挤扩桩施工前应进行勘察、设计交底；

5 应对长螺旋钻机及主要施工机械、专利装置、配套的注浆泵、泵送混凝土设备等进行工艺性、稳定性和安全性检查；

6 应依据施工图设计图纸，对进场的钢材和混凝土等桩体原材料按批次进行见证取样送检；

7 桩基施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时建筑，应在施工前准备就绪；施工场地应依据设计桩顶标高进行整平处理，对于非饱和土地面承载力较高时，整平标高设置桩顶设计标高以上 0.50m~0.80m；对于饱和性黏性土地面，场地整平标高宜适当提高，工作面较软时应采取相应的施工措施（铺碎石、垫钢板等）；

8 桩基施工前，应选择有代表性的场地进行工艺性试桩，试桩数量不应少于 2 根，以确定场地地层是否与勘察报告相符、施工工艺是否合适及相应的工艺性调整方案，单桩承载力是否满足设计要求；

9 在地下水位以下施工时，当有必要时应采取有效的封堵措施和降水措施，保证桩基质量不受影响。施工场地内应有完善的排水设施。

5.3.2 桩机就位后，必须平稳、稳固，确保成孔过程中不发生倾斜、位移。应在成孔钻具上设置控制深度的标尺，并应在施工中进行观测记录。

5.3.3 打桩顺序宜采用退打的方式进行，自中间向两侧进行退打或自一边向另一边进行退打；当一侧毗邻建筑物时，应自建筑物一侧向另一侧进行退打。

5.3.4 钻机定位后应进行复检，钻头与桩位偏差不应大于 20mm，开孔时下钻应缓慢，钻进过程中不宜反钻或提升钻具。

5.3.5 采用高压旋喷冲切扩底时，可采用自上而下进行扩底，高压清水的压力宜大于 20MPa，流量应大于 30L/min，提升速度宜为 0.1m/min~0.2m/min。

5.3.6 挤扩桩施工的桩径偏差应大于等于 0mm；垂直度允许偏差 1%；3 根桩以内承台；条形基础沿垂直轴线方向和群桩基础的边桩的桩位允许偏差 70mm；条形基础沿轴线方向和群桩基础的中间桩的桩位允许偏差 150mm。

5.3.7 桩身混凝土的配合比应通过试验确定。混凝土的塌落度宜为 180mm~220mm，粗骨料可采用卵石或碎石，最大粒径不宜大于 30mm。细骨料宜选用中粗砂，砂率宜为 40%~50%，可掺入粉煤灰或外加剂。

5.3.8 挤扩桩钻至设计深度并确认持力层满足设计要求后，应控制提拔钻杆时间，混合料泵送量应与提拔钻杆速度相匹配。不得在饱和砂土和饱和粉土地层中停泵待料。

5.3.9 挤扩桩泵送混凝土应符合下列规定：

- 1 混凝土泵应根据桩径选型，混凝土泵与钻机的距离不宜大于 60m；
- 2 钻至设计深度后，应先泵入混凝土并停顿 10s~20s，提钻速度应根据土层情况确定，且应与混凝土泵送量相匹配；
- 3 桩身混凝土压灌应连续进行，钻机移位时，混凝土泵料斗内的混凝土应连续搅拌，斗内混凝土面应高于料斗底面以上不少于 400mm；
- 4 气温高于 30°C 时，宜在输送泵管上覆盖隔热材料，每隔一段时间应洒水降温；冬季施工时，混凝土入孔温度不得低于 5°C，对桩顶附近的桩间土应采取保温措施。

5.3.10 挤扩桩的充盈系数宜为 1.0~1.3，桩顶混凝土的超灌高度不应小于 0.5m。

5.3.11 成桩后应及时清除钻杆及泵管内残留的混凝土。

5.3.12 成桩过程中，应抽样做混凝土试块，每台机械每台班不少于一组（3 块）试块，标准养护，测定其立方体的抗压强度。

5.3.13 钢筋笼应整节安放，采用分段安放时接头可采用焊接或机械连接。

5.3.14 混凝土压灌结束后，应立即将钢筋笼插至设计深度。钢筋笼的插设应采取专用插筋器。

5.3.15 浆体应经过搅拌机充分搅拌均匀后，方可压注，注浆旋喷过程中应连续缓慢搅拌，搅拌时间应小于浆液初凝时间。浆液在泵送前应经过筛网过滤。

5.3.16 钢筋笼的制作、安装应符合下列规定：

1 钢筋笼应分段制作，分段长度应根据钢筋笼的整体刚度、钢筋长度以及起重的有效高度等因素确定。钢筋笼的连接宜采用焊接或机械接头，接头应相互错开；

2 钢筋笼应采用环形胎膜制作，钢筋笼的主筋应符合设计要求；

3 钢筋笼的材质、尺寸应符合设计要求，钢筋笼的制作允许偏差应符合表 5.3.16 的规定。

表 5.3.16 筋笼制作允许偏差（mm）

项目	允许偏差	检查方法
主筋间距	±10	用钢尺丈量
长度	±100	用钢尺丈量
箍筋间距	±20	用钢尺丈量
直径	±10	用钢尺丈量

5.4 施工安全和环境保护

5.4.1 挤扩桩施工安全应符合下列规定：

1 机械设备应保持性能良好，应由考核合格的专业机械工操作；

2 施工中应对机械设备、设施、工具配件以及劳保用品定期检查；

3 应控制喷浆压力，不得超压运作，试压时作业人员应确保安全距离；

4 启动、钻进及移机时，应设专人负责收、放电缆和输送胶管；

5 提钻灌注混凝土时，应设专人清理钻杆附着泥土；

6 工地临时用电线路架设及用电设施，应按现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46 的有关规定执行。

5.4.2 施工完成桩孔应采取防护措施。

5.4.3 遇暴风雨、雷电等恶劣天气时应暂停施工，设备应停放平稳并切断电源。

5.4.4 环境保护应符合下列规定：

1 应采用防护罩对施工机械进行降噪处理；

2 废弃渣土应有序排放、及时清理，不得随意流淌和堆放，不得污染环境；

3 施工现场作业面应进行覆盖，不得裸露。

6 工程质量检查和验收

6.0.1 挤扩桩应进行桩位、桩径、桩长、桩身质量和单桩承载力的检验。

6.0.2 挤扩桩桩位、桩径、桩长的偏差应满足本规范第 5.3.9 条的规定。

6.0.3 施工前对机具、钢材和混凝土等桩体原材料质量、检验项目、批次和方法应符合国家现行标准的规定。

6.0.4 施工中应对挤扩桩成孔、扩底、持力层、孔底清渣、清水液、混凝土用量、钢筋笼进行全过程检查，混凝土应预留试块，留置数量和试验方法应满足《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 规定。

6.0.5 挤扩桩施工完成后应进行桩身完整性和单桩承载力的验收检测。验收检测时，先进行桩身完整性检测，后进行承载力检测。

6.0.6 挤扩桩桩身完整性可采用低应变法进行检测，当采用低应变法一种方法不能全面评价基桩的完整性时，应采用两种或两种以上的检测方法，检测数量应符合下列规定：

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桩基工程，检测数量不应少于总桩数的 30%，且不应少于 20 根；其他桩基工程，检测数量不应少于总桩数的 20%，且不应少于 10 根；

2 每个柱下承台检测桩数不应少于 1 根；

3 大直径桩基和设计等级为甲级的大直径桩基，应符合本标准本条第 1、第 2 款规定的检测桩数范围内，按不少于总桩数 10%的比例采用声波透射法和钻芯法检测。

6.0.7 挤扩桩基桩承载力检测应符合下列规定：

1 单桩承载力检测应采用静载荷试验确定，为设计提供依据的单桩竖向抗压应采用慢速维持荷载法，检验要求可按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执

行；

2 检测桩的数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%，且不应少于 3 根，当工程桩总数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

6.0.8 桩检测的时间应符合下列规定：

1 当采用低应变法或声波透射法检测时，受检桩的混凝土强度不应低于设计强度的 70%，且不应低于 15MPa；

2 当采用钻芯法检测时，受检桩的混凝土龄期应达到 28 天，或受检桩同条件养护试件强度应达到设计强度要求；

3 承载力检测前的休止时间，除应满足本条第 2 款的规定外，当无成熟的地区经验时，对砂土不应少于 7 天；对粉土不应少于 10 天；对黏性土、非饱和土不应少于 15 天，饱和土不应少于 25 天。

6.0.9 挤扩桩基础工程验收应具备下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告、桩基施工图；
- 2 图纸会审记录、设计变更及材料代用通知单；
- 3 经批准的施工组织设计（方案）；
- 4 桩位测量放线记录；
- 5 原材料复验报告，混凝土试验块抗压强度报告；
- 6 技术（质量）交底记录；
- 7 隐蔽工程检查验收记录；
- 8 质量验收记录表；
- 9 施工记录汇总表；
- 10 单桩承载力检测报告；
- 11 桩基础工程竣工平面图；
- 12 桩基础工程竣工验收报告。

附录 A 基桩施工记录表

表 A.0.1 基桩施工记录表

工程名称:

施工单位:

桩机型号:

桩机编号:

设计桩长: m

设计桩径: mm

混凝土强度:

塌落度: mm

施 工 日 期	序 号	基桩 编号	桩入土 深度 m	施工桩 长 m	钻孔 时间		泵送 时间		砼灌注量 m ³		旋喷 压力	提钻 速度	充盈 系数	桩顶标 高 m	钢筋笼顶 标高 m
					起	止	起	止	设 计	实 际					
小计															

记录（签名）：

班组长（签名）：

现场技术主管（签名）：

附录 B 施工工艺流程图

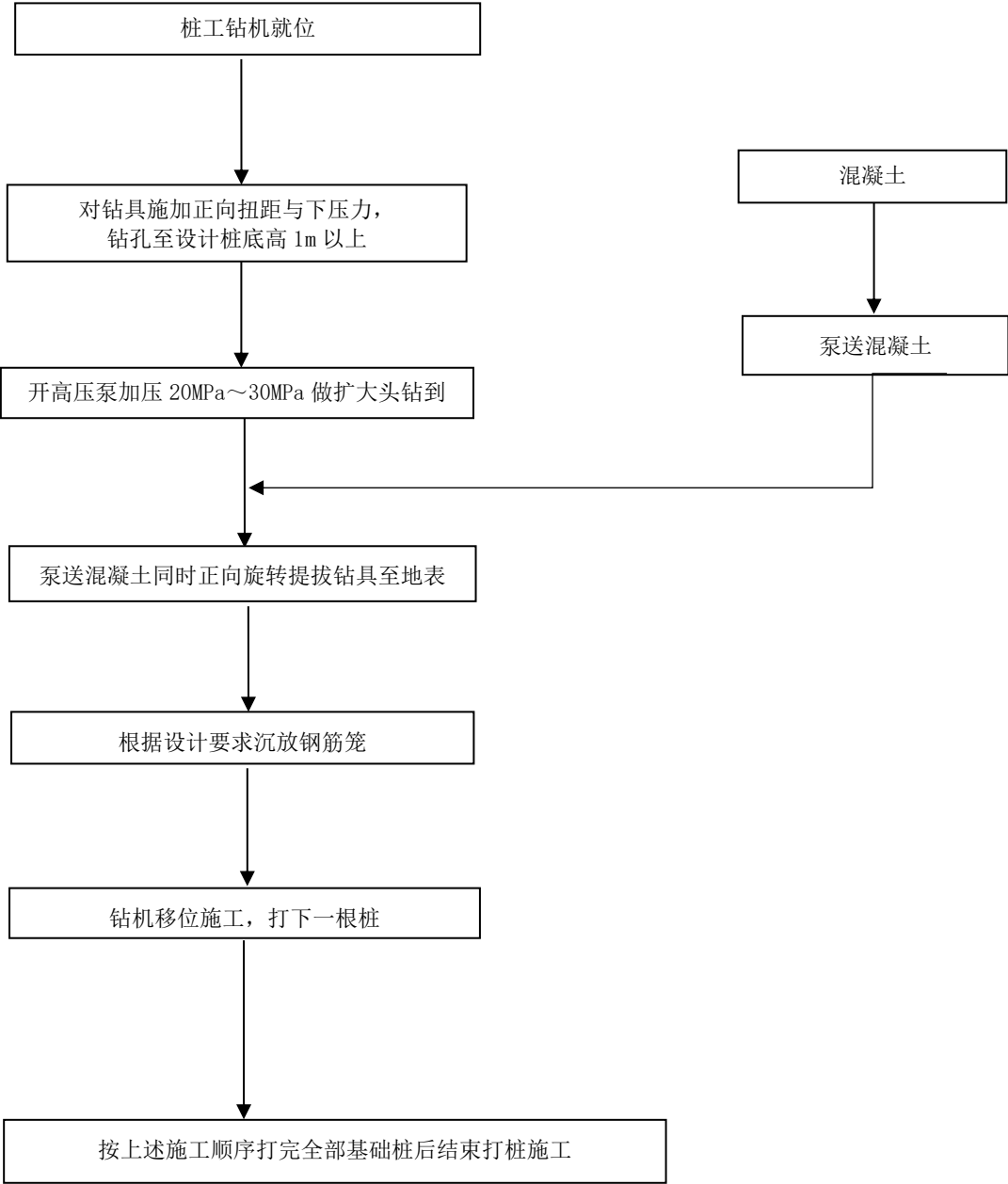
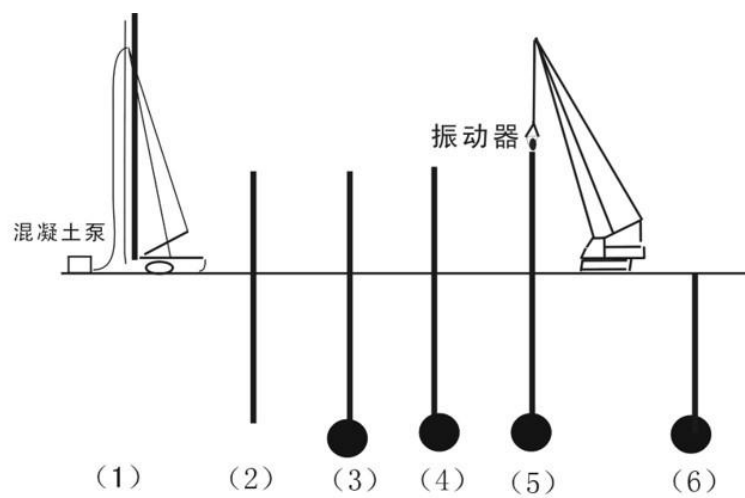


图 B.1 挤土扩底混凝土灌注桩施工工艺流程框图



说明:

- 1—钻机就位 2—下钻成孔 3—做扩大头
4—提钻、压混凝土 5—插入钢筋笼 6—成桩移位

图 B.2 长螺旋挤土扩底混凝土灌注桩施工工艺流程示意图

附录 C 施工前质量检验标准

C.0.1 常用螺旋多功能钻机主要技术参数应按表C.0.1取值。

表 C.0.1 常用螺旋多功能钻机主要技术参数

型号	钻孔直径 (mm)	最大钻孔 深度 (m)	主机功率 (kW)	钻杆转速 (r/min)	扭矩 (kN·m)	自动控 制喷浆	自动开 闭活门
BTL—60	300~800	25	55×2	21	65	具备	具备
BTL—90	400~800	30	55×2	21	100	具备	具备
BTL—120	500~1000	35	90×2	6.5~21	250	具备	具备
BTL—180	500~1000	40	90×2	6.5~21	250	具备	具备

C.0.2 常用高压注浆泵主要技术参数应按表C.0.2取值。

表 C.0.2 常用高压注浆泵主要技术参数

型号	电机功率 (kW)	理论流量 (L/min)	额定排出压力 (MPa)	柱塞直径 (mm)	柱塞行程 (mm)
90E	110	240	25	80	80
	130	240	30	80	80
230V	132	320	25	90	100
	160	320	30	90	100
	185	320	35	90	100
	220	320	40	90	100

附录 D 施工中质量检验标准

表 D 施工中质量检验标准

分类	检查项目	允许偏差或允许值	查检方法
主控项目	水泥、混凝土、钢筋质量	符合出厂及设计要求	查产品合格证和抽样送检
一般项目	施工机械设备及性能	符合出厂及设计要求	查设备标定记录
	桩位 (mm)	10	用GPS或全站仪测量
	钢筋笼质量	按设计要求	用钢尺量

附录 E 施工后质量检验标准

表 E 施工后质量检验标准

分类	序	检查项目	允许偏差或允许值	查检方法
主控项目	1	桩长（或孔深）（m）	+0.3 0	量钻杆有效长度
	2	桩径（mm）	不小于设计值	用钢尺量
	3	混凝土用量	按设计要求	查施工记录
	4	扩径体位置（m）	±0.1	量钻杆有效长度
	5	扩径体直径（m）	按设计要求	查旋喷压力、旋喷扩孔钻杆的提升(下放)速度、单桩混凝土用量施工记录
	6	扩径体长度（m）	按设计要求	量钻杆旋喷提升(下放)长度
一般项目	1	混凝土坍落度	按设计要求	用坍落度仪量
	2	垂直度	<1/100	用经纬仪或钻机水平尺量
	3	钢筋笼标高(mm)	±100	用水准仪量
	4	保护层厚度(mm)	±20	用钢尺量
	5	喷浆压力	按设计要求	查施工记录
	6	旋喷扩孔钻杆的提升(下放)速度	按设计要求	查施工记录

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”；

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：“应按……执行”或“应符合……要求（或规定）”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 3 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 4 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 5 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 6 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 7 《湿陷性黄土地区建筑标准》 GB 50025
- 8 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 9 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 10 《建筑地基基础工程施工规范》 GB 51004
- 11 《钢筋焊接及验收规程》 JGJ 18
- 12 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 13 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 14 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 15 《建筑工程冬期施工规程》 JGJ/T 104
- 16 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 17 《高层建筑岩土工程勘察标准》 JGJ/T 72
- 18 《建筑地基检测技术规范》 JGJ 340

陕西省土木建筑学会团体标准

挤土扩底混凝土灌注桩技术标准

T/SXCEAS 003—2024

条文说明

制 订 说 明

《挤土扩底混凝土灌注桩技术标准》T/SXCEAS 003—2024，经XXXXXXXXXX公告批准、发布。

标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国家标准和国内发达省区的先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本标准。

本标准遵循科学性、实用性和可操作性的原则，在广泛调研，多次研讨、征求意见、认真总结、整理分析的基础上，最后经相关部门组织审查定稿。

请各单位在执行过程中，结合工程试验，不断总结经验，积累资料，并将意见和建议反馈到标准编制组，以供再次修订时参考。

为便于设计、施工、质量监督、工程监理、科研院校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，标准编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对部分条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了详细的解释和说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 录

1 总则.....	49
2 术语和符号.....	50
2.3 术 语	50
3 基本设计规定.....	51
3.1 一般规定	51
3.2 桩的布置	53
3.3 特殊条件下的桩基	54
3.4 基桩构造	55
4 桩基计算.....	57
4.1 桩顶作用效应计算	57
4.2 桩的竖向承载力计算	57
4.3 特殊条件下竖向承载力验算	58
4.4 桩基沉降计算	59
5 施 工.....	60
6 工程质量检查和验收.....	61

挤土扩底混凝土灌注桩技术标准

1 总则

本标准是在依据《一种挤土扩孔桩与该挤土扩孔的施工方法及其钻具》（专利号 ZL2016 10362530.X）的基础上，结合陕西、甘肃、宁夏、青海采用挤扩桩施工成功经验，总结、编制而成。挤扩桩无噪音、无振动、对环境污染小、成桩速度快，对桩间土具有挤密、提高桩侧阻力、部分消除湿陷；扩大头的制作、高压旋喷消除桩底沉渣、提高了桩的端阻力，降低了工程建设成本，与同直径的钢筋混凝土钻孔灌注桩相比节约成本约 30%。

随着工业化进程的快速发展，挤扩桩除在传统的房屋建筑和市政工程应用外，在工业领域也进行大量使用，如厂房、设备基础等。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 挤土扩底混凝土灌注桩。

主要针对桩径 350mm~800mm 的挤扩桩，桩端持力层为砂土、松散~稍密的碎石土。成孔过程不受地下水位影响，桩端持力层强度很高，能够满足设计要求。扩底采用高压旋切可最大限度的减少对桩端持力层的扰动，保证桩底无沉渣。若采用机械挤密桩端持力层，会对桩端持力层进行扰动，降低桩端持力层的端阻，加大桩基沉降量。

成孔后通过螺旋钻自下而上压灌满足设计要求的混凝土至基桩设计标高以上500mm，向孔内插入钢筋笼形成桩体，钢筋笼的插设应采取专用插筋器。

当场地地层中存在粉土、粉质黏土、粉细砂、碎石密实硬夹层时，桩侧土体侧阻力标准值已经相当可观，靠螺旋挤土器的钻具已经无法将桩孔中硬夹层土体全部挤入桩侧外部土体时，施工时可允许挤土成孔过程中硬夹层部分出土钻进成孔。

3 基本设计规定

3.1 一般规定

3.1.1 通过收集采用挤扩桩施工的相关项目工程案例工程经验,经过资料成果汇总分析可知:

(1) 挤扩桩在桩端持力层为砂土、碎石土等相对特性较好的地层,扩底对单桩承载力提高幅度较大;桩端持力层为粉土、粉质黏土等相对特性一般的地层,扩底对单桩承载力提高幅度效果一般。

(2) 挤扩桩单桩承载力的提高幅度与桩端持力层端阻力的大小及扩底直径呈正相关。

下列是采用挤土扩底灌注桩施工的项目案例:

案例一、凤翔县西区“玫瑰园”商住项目,该项目位于陕西省宝鸡市凤翔县,场地地貌单元为渭河左岸(北岸)黄土台塬,场地地下水位埋深 9.60m~10.45m,设计桩长 28.0m,桩径 0.5m,扩底 0.15m,扩底后桩径 0.80m,桩端持力层为粉质黏土,充盈系数 ≥ 1.0 ,计算单桩承载力特征值 1731~1774kN,设计采用单桩承载力特征值 $R_a=1700\text{kN}$ 。

案例二、靖边县活力康城住宅小区项目,该项目位于陕西省榆林市靖边县,场地地貌单元为湖积平原,场地地下水位埋深 15.40~19.00m,设计桩长 21.0m,桩径 0.5m,扩底 0.35m,扩底后桩径 1.20m,桩端持力层为粉土,计算单桩承载力特征值 1885~1995kN,设计采用单桩承载力特征值 $R_a=1900\text{kN}$ 。

案例三、天玺云居项目,该项目位于陕西省宝鸡市高新区,场地地貌单元为渭河南岸三级阶地,勘探深度 50.5m 范围内未见地下水,设计桩长 25.0m,桩径 0.5m,扩底 0.15m,扩底后桩径 0.80m,桩端持力层为圆砾,充盈系数 ≥ 1.1 ,计

算单桩承载力特征值 1869~1965kN，设计采用单桩承载力特征值 $R_a=2000\text{kN}$ ，后期桩基检测单桩竖向静承载力特征值 $R_a=2000\text{kN}$ ，满足设计要求。

案例四、紫汀佳苑项目，该项目位于陕西省宝鸡市金台区，场地地貌单元为金陵河西岸一级阶地与渭河北塬交接地段复合地貌，场地地下水位埋深 25.10~38.60m，设计桩长 25.0m，桩径 0.6m，扩底 0.10m，扩底后桩径 0.80m，桩端持力层为粉质黏土（半成岩），充盈系数 ≥ 1.1 ，计算单桩承载力特征值 2133~2156kN，设计采用单桩承载力特征值 $R_a=2000\text{kN}$ ，后期桩基检测单桩竖向静承载力特征值时，为挖掘单桩竖向极限承载力的潜力，进行破坏性试验，检测确定单桩承载力特征值 $R_a=2980\text{kN}$ ，满足设计要求。

案例五、宝鸡市明星村棚户区改造三期项目-南地块，该项目位于陕西省宝鸡市渭滨区，场地地貌单元为渭河右岸一级阶地后缘，场地地下水位埋深 10.80~19.00m，设计桩长 $\geq 15.0\text{m}$ ，桩径 0.6m，扩底 0.20m，扩底后桩径 1.0m，桩端持力层为砾砂，充盈系数 ≥ 1.1 ，计算单桩承载力特征值 2399~2761kN，设计采用单桩承载力特征值 $R_a=2200\text{kN}$ 。

案例六、碧水润园项目，该项目位于陕西省宝鸡市宝鸡市高新大道以北，场地地貌单元为渭河南岸（右岸）河漫滩，场地地下水位埋深 0.0~10.0m，设计桩长 $\geq 15.0\text{m}$ ，桩径 0.5m，扩底 0.15m，扩底后桩径 0.80m，桩端持力层为砾砂，计算单桩承载力特征值 1494~2102kN，设计采用单桩承载力特征值 $R_a=2250\text{kN}$ ，后期桩基检测单桩竖向静承载力特征值 $R_a=2500\text{kN}$ ，满足设计要求。

3.1.5 采用高压旋喷清水扩底尺寸的确定是一个很复杂的问题，尤其是深部的扩底直径，无法用准确的方法确定，因此，除了浅部可采用开挖的方法验证外，只能用半经验的方法加以判断、确定。当无现场试验资料时，可参照相似土质条件的工程经验进行初步设计。采用高压旋喷清除桩底沉渣时，旋喷压力不宜低于 3MPa~5MPa。

3.3 桩的布置

3.3.1 基桩布置是桩基概念设计的主要内容,是合理设计、优化设计的主要环节。

1 基桩的最小中心距的规定基于两个因素确定,第一,有效发挥桩的承载力,挤扩桩桩距 $4d\sim 5d$ 时,侧阻和端阻的群主效应系数接近或略大于 1;砂土、粉土略高于粉质黏土。考虑承台效应的群桩效率均大于 1。但桩基的沉降因群桩效应而增大,亦即桩基的竖向支撑刚度因桩土的相互作用而降低。第二个因素是成桩工艺,挤扩桩为挤土桩,因考虑减小挤土效应的负面影响,桩间距应适当增大,特别是饱和粘性土和密实土层,同时应考虑桩的排数与数量等因素。

2 桩箱、桩筏基础的布桩原则。为改善承台的受力状态,特别是降低承台的整体弯矩、冲切力和剪切力,宜将桩布置与墙下和梁下,并适当弱化外围。

3 考虑力系的最优平衡状态,桩群承载力的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,应使基桩受水平承载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,减小基桩的倾斜变形。

3.3.2 桩端持力层的选择是影响桩基承载力的关键性因素,不仅制约着桩端阻力而且影响桩侧力的发挥,因此应选择中、低压缩性土层作为桩端持力层,以达到桩端有较大的竖向支撑刚度,减小基桩沉降的目的。

1 当桩端持力层下存在软弱下卧层时,过大的桩端荷载将引起软弱下卧层的侧向挤出,桩基偏沉,严重者引起整体失稳,因此要求桩端下的中、低压缩性持力层最小厚度不应小于 $3D$ 或小于 $5m$ 。

3.3.3 应保证桩端全截面进入持力层的深度,使挤扩桩侧阻、端阻得到最大的发挥,进入桩端持力层的深度除应考虑承载性状外,尚应同成桩可行性相结合。

1 关于嵌岩桩的嵌岩深度应按计算确定,计算中综合反映荷载、上覆土层、基岩性质、桩径、桩长等因素,但对于嵌入倾斜的完整和较完整岩的深度不宜小

于 0.4D（以岩面坡下方的深度计），对于倾斜度大于 30%的中风化岩，宜根据倾斜度及岩石的完整程度适当加大嵌岩深度，宜确保基桩的稳定性。

3.4 特殊条件下的桩基

3.4.1 本条说明关于软土地基桩基的设计原则。

1 软土地区进行挤扩桩施工易造成断桩、缩径及引起邻近建筑物、道路和管线受到破坏，施工时应采取减小孔压和减轻挤土效应的措施，包括施打塑料排水板、应力释放孔、控制成桩速率、采取间隔跳打的施工顺序等。

3.4.2 本条说明关于湿陷性黄土地区桩基的设计原则。

1 湿陷性黄土地区的桩基，由于土的自重湿陷对桩基产生负摩阻力，非自重湿陷性土由于浸水软化土体、削弱桩侧、桩端阻力，承台底土体抗力也随之消减，导致基桩承载力降低。为确保基桩承载力的安全可靠，桩端持力层应选择低压缩性的粉质黏土、粉土、中密～密实的砂土、碎石土层。

2 湿陷性黄土地区的单桩极限承载力的不确定性很大，故对设计等级为甲级、乙级的桩基工程的单桩极限承载力确定，强调采用浸水载荷试验方法。

3 自重湿陷性黄土地基中的单桩极限承载力，应视浸水的可能性、桩端持力层性质、建筑桩基设计等级等因素考虑负摩阻力。

3.4.3 本条说明抗震设防区桩基的设计原则。

1 桩基较其他基础形式具有较好的抗震性能，设计时应把握以下三点：一是基桩应进入液化层以下稳定土层的长度不应小于本条规定的最小值；二是确保承台和地下室外墙土抗力能分担水平地震作用，肥槽回填必须保证；三是当承台周围为软土或可液化土，且桩基水平承载力不满足要求时，可对外侧土体进行适当加固以提高水平抗力。

3.4.4 本条说明可能出现负摩阻力的桩基设计原则

1 对于填土的建筑场地，宜先填土后成桩，为保证填土的密实度，应根据填料及下卧层的性质，对低水位场地应分层填土，分层碾压或夯实，压实系数不应小于 0.94，为加速下卧层固结，宜采取插塑料排水板等措施。

2 对室内大面积堆载的各类仓库、车间，要防止堆载对桩基产生的负摩阻力，可考虑对堆载地基进行加固，对与堆载相邻的桩基进行刚性隔离等措施。

3 对自重湿陷性黄土，可采用强夯、挤密土体、压实换填等方法消除黄土自重湿陷性，起到防止产生负摩阻力的目的。

3.4.5 本条说明关于抗拔桩的设计原则

建筑桩基的抗拔主要有两种情况，一种是建筑物在风荷载、地震作用下的局部非永久性的上拔力；另一种是抵抗超补偿性地下室地下水浮力的抗浮桩。对抗浮桩的设计，首先是根据场地地质勘察报告关于环境类别、水、土的腐蚀性，按《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定桩身的裂缝控制等级，对于不同的裂缝控制等级采取相应的设计原则。其次，对于抗浮桩承载力应按本标准进行单桩和群桩抗拔承载力计算。

3.5 基桩构造

3.5.1 本条说明是关于桩基的配筋率的内容。

挤扩桩的正截面的最小配筋率宜根据桩径确定；另外从承受水平力的角度考虑，桩身受弯截面模量为桩径的 3 次方，配筋对水平抗力的贡献随桩径的增大而增大，从以上两个方面考虑，规定正截面桩身最小配筋率为 0.2%~0.65%，大直径桩取小值。

3.5.2 本条是说明灌注桩的配筋长度内容。

灌注桩的配筋长度，主要考虑轴向荷载的传递特征及荷载性质，对端承桩通长等截面配筋，摩擦型桩宜分段变截面配筋；当桩较长时，也可部分长度配筋，

但不宜小于 $2/3$ 长度配筋。当受水平力时，尚不应小于反弯点的 $4.0/\alpha$ ；当有可液化土层、软弱土层时，纵向主筋应穿越这些土层进入稳定土层一定深度。对于抗拔桩应根据桩长、裂缝控制等级、桩侧土性等因素等截面或变截面配筋。

3.5.3 对于受水平荷载的桩，其极限承载力受配筋率的影响很大，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，主筋不小于 $6\phi 12$ ，对于 $d \leq 400\text{mm}$ 时，不应小于 $4\phi 12$ 。

3.5.4 关于箍筋的配置，主要考虑三方面的因素，一是箍筋的受剪作用，对于地震设防区，基桩桩顶要承受较大的剪力和弯矩，在风载等水平力作用下也是同样如此，故规定在桩径 $5d$ 范围箍筋应适当加密，一般间距为 100mm ；二是箍筋在轴向荷载下对混凝土起到约束加强作用，可大幅度提高桩身承载力，而桩顶部分荷载最大，故桩顶部位箍筋应适当加强；三是为控制钢筋笼的刚度，根据桩身直径不同，箍筋的直径一般为 $\phi 6 \sim \phi 12$ ，加劲箍为 $\phi 12 \sim \phi 18$ 。

3.5.5 由于高压旋喷扩底无法用准确的方法确定，只能用半经验的方法加以判断，故本规定的目的是限制扩大端的直径；扩底端侧面斜率 45° 是满足桩端抗冲切的构造要求。

3.5.6 本条说明桩与承台的连接构造要求。

1 桩嵌入承台的长度是根据实际工程经验确定，如果桩嵌入承台的长度过大，会降低承台的有效高度，降低承台的抗冲切能力。

2 挤扩桩的桩顶纵向主筋插入承台的长度一般情况下为主筋的 35 倍，对于专用的抗拔桩，桩顶主筋的锚固长度应按《混凝土结构设计规范》GB 50010 的受拉钢筋锚固长度确定。

3 对于挤扩桩，当采用一柱一桩时，连接构造通常有两种方式，一是设置承台，将桩与柱通过承台连接；二是将桩与柱直接连接。

4 桩基计算

4.1 桩顶作用效应计算

4.1.1 关于桩顶竖向力与水平力的计算，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。对于柱下独立桩基、按承台为刚性板和反力呈线性分布假定，得到计算各基桩的桩顶竖向力、水平力的公式。对于桩筏或桩箱基础，则按个柱、剪力墙、核心筒底部荷载分别进行桩顶竖向力和水平力的计算。

4.2 单桩竖向承载力计算

4.2.1~4.2.2 本标准采用综合安全系数 $K=2$ ，以单桩竖向极限承载力标准值 Q_{uk} 或极限侧阻力标准值 q_{sik} 极限端阻力标准值 q_{pk} 、桩的几何参数 α_k 为参数确定抗力，以荷载效应标准组合 S_k 为作用力的设计表达式：

$$S_k \leq R (Q_{uk}, K)$$

$$\text{或 } S_k \leq R (q_{sik}, q_{pk}, \alpha_k, K)$$

4.2.3 本条规定给出了摩擦型桩基考虑承台竖向土抗力的四种情况：一是上部结构刚度较大，体型简单的建（构）筑物，由于其使用较大的变形，承台分担的荷载往往也较大；二是按变刚度调平原则设计的核心筒外围框架柱桩基，适当增加沉降，降低桩基支撑刚度，可达到减小差异性沉降，降低承台外围基桩反力，减小承台整体弯矩的目的。

4.2.6 本条规定给出力不同设桩基设计等级对单桩极限承载力特征值确定方法的要求。

4.2.7 本条规定给出根据原位测试和土的物理力学指标与承载力参数之间的经验公式计算单桩极限承载力的公式。根据土的物理指标、标准贯入试验、重型圆锥动力触探试验与承载力参数之间的经验公式确定单桩竖向极限承载力标准值。

该方法为区内勘察单位、设计单位成熟、通常做法。工程挤扩桩单桩极限承载力标准值数值积累虽然较为充分，但考虑挤扩桩极限侧阻力标准值、端阻力标准值实测数据积累较少，尚需在以后工程桩检测中进行大量积累、完善，因此本标准采用与桩侧挤土受力模型相似的混凝土预制桩的极限侧阻力标准值数值作为挤扩桩极限侧阻力标准值数值、预制桩的极限端阻力标准值作为扩底摩擦桩的极限端阻力标准值。

4.2.8 本条给出了桩径大于等于 800mm 挤扩桩的单桩极限承载力计算公式。考虑桩径 $\geq 800\text{mm}$ 的部分出土挤扩桩在成孔和扩底施工后产生应力释放，产生孔壁和孔底松弛变形，导致侧阻、端阻降低，需对侧阻和桩端进行尺寸效应计算。

4.2.9 为保证桩身混凝土强度，对桩身受压正截面进行受压承载力验算。由于挤扩桩混凝土灌注自桩底向上灌注成型，其成桩工艺系数取 0.70~0.80。

4.3 特殊条件下竖向承载力验算

4.3.1 当桩端持力层下存在土层压缩模量小于持力层压缩模量的 1/3 时，依据《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规范的规定，对桩群桩间距不超过 6d 的群桩基础应按等代实体深基础进行软弱下卧层承载力验算，等代实体深基础附加应力作用面积为桩端底面桩群外缘围成的投影面积。

4.3.3 本条说明依据桩侧负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响，按摩擦型挤扩桩、端承型挤扩桩和当土层不均匀或建构筑物对不均匀沉降比较敏感时的 3 种情况进行验算。工程试桩和工程桩进行基桩竖向承载力检测时，尚应计入负摩阻力引起基桩的下拉荷载 Q_g^n ，并应在施工图中进行标注；摩擦型挤扩桩基桩竖向承载力应扣除中性点以上负摩阻力值，负摩阻力取中性点以上饱和状态下的桩侧正摩阻力计算值。

4.3.5 基桩的抗拔承载力破坏可能呈单桩拔出或整体拔出，即呈非整体式破坏或整体式破坏，对两种破坏的承载力均应进行验算。

4.3.6 本条给出了抗拔极限承载力的计算和检测方法，对甲、乙类建筑桩基应通过现场单桩上拔试验确定单桩抗拔极限承载力；群桩无法通过试验确定，可通过计算确定；对设计等级为丙类建筑桩基可通过计算确定单桩极限抗拔承载力，但应进行工程桩抗拔静载试验检测。

4.4 桩基沉降计算

4.4.1~4.4.2 本标准给出了挤扩桩应进行沉降计算的 3 种情况，桩基础的变形包括沉降量、沉降差、整体倾斜、局部倾斜。

4.4.4 桩基沉降计算按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 采用等效作用分层总和法进行沉降计算。

4.4.5 对于低配筋率的灌注桩，单桩承载力由桩身强度控制；对于高配筋率的钻孔灌注由桩顶位移控制，桩基水平承载力和位移计算按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定

5 施 工

5.3 挤扩桩施工

5.3.1 本条给出挤扩桩施工前应依据周边地上、地下环境、场地地质条件、图审通过的岩土工程勘察报告、设计施工图、通过对桩基施工设备的工艺性、稳定性和安全性检查、进场的水泥、混凝土、钢筋等按批次进行见证取样情况。桩基施工前应选择代表性地段的进行试桩，目的是确定场地地层是否与勘察相符、桩基施工工艺是否满足成桩要求、桩基的完整性和单桩极限承载力是否满足设计要求。并编制通俗可行、技术先进、经济合理的挤扩桩施工组织方案。

5.3.3 挤扩桩具挤土性质，桩基施工过程中应依据场地地质条件、周边已有的建构筑物、架空线路、地下管线的埋藏情况及地下水的埋深特点，采用合理的施工工序，防止施工挤土造成周边建构筑物、地下管线破坏和使用功能的损害。

5.3.5~5.3.6 本条给出高压旋喷冲切扩底清水的压力、流量、提升速度要求。

5.3.10 本条给出明确了桩身混凝土配合比的确定方法、塌落度控制、粒径大小的要求，可掺入粉煤灰或添加剂。

5.3.11 本条给出采用泵送商品混凝土进行挤扩桩灌注时的注意事项及要求。

6 工程质量检查和验收

6.0.1~6.0.4 挤扩桩的施工质量检查和验收应满足《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 规定。

6.0.5~6.0.7 挤扩桩竣工验收应满足《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 和《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 规定。

6.0.9 挤扩桩静载荷试验应具有一定的休止时间，主要目的是保证挤扩桩成桩过程中扰动的桩侧土孔隙水压力消散，强度恢复和桩身混凝土强度达到设计要求。