

前 言

根据《山东省住房和城乡建设厅、山东省质量技术监督局关于印发<2018年第二批山东省工程建设标准制修订计划>的通知》（鲁建标字〔2018〕17号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、设计、施工、检验和监测。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东省建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请反馈至山东省建筑科学研究院有限公司（地址：济南市无影山路29号，邮编：250031，联系电话：0531-85595270，邮箱：253150634@qq.com）。

主 编 单 位：山东省建筑科学研究院有限公司

中铁建工集团山东有限公司

参 编 单 位：青岛瑞源工程集团有限公司

山东省华鲁工程总公司

山东华科规划建筑设计有限公司

济南市勘察测绘研究院

山东正元工程检测有限公司

山东舜祥岩土工程有限公司

山东省建筑工程质量检验检测中心有限公司

中国建筑第二工程局有限公司

主要起草人员：王术江 程海涛 付 军 安振山

杨红波 常玉军 孟宪伟 王景广

王益超 杜云晶 于 峰 郝海峰

高 嵩 宋立玺 朱 磊 陈战江

徐贞社	李 虎	高磊华	仝霄金
杜嘉林	刘同鲁	黄庆华	王 涛
刘强炳	臧运锋	张 珊	孙家宏
刘金法	郑向东	孙 捷	李兴忠
刘洪伟	刘伟明	李 强	李 凯
单连顺	矫龙军	赵洪胜	曹永品
孔凡龙	杨 朋	刘国辉	赵荣平
主要审查人员：邢庆毅	寿崇琦	蒋世林	钟岱辉
葛颜慧	王 志	胡安春	骆明足
陈 杰			

目 次

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	3
3 基本规定.....	6
4 设 计.....	8
4.1 一般规定.....	8
4.2 选型与布置.....	8
4.3 作用效应和承载力计算.....	9
4.4 地基变形计算.....	21
4.5 承台设计.....	21
4.6 构造要求.....	22
5 施 工.....	26
5.1 施工准备.....	26
5.2 微型灌注桩施工.....	26
5.3 微型注浆钢管桩施工.....	28
5.4 微型预制桩施工.....	29
5.5 水泥土复合微型桩施工.....	31
6 检验和监测.....	33
6.1 一般规定.....	33
6.2 检 验.....	33
6.3 监 测.....	35
附录 A 微型桩用钢材腐蚀损失厚度.....	36
附录 B 桩型与成桩工艺选择.....	37
附录 C 钻孔测试和预灌浆.....	38
附录 D 静力压桩施工记录.....	39
附录 E 封桩工程施工记录.....	40
本规程用词说明.....	41
引用标准名录.....	42

附：条文说明.....	43
-------------	----

1 总 则

1.0.1 为在微型桩地基基础加固处理中，做到安全适用、技术先进、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于既有建筑和新建建筑的微型桩地基基础加固处理的设计、施工、检验和监测。

1.0.3 微型桩地基基础加固处理的设计、施工、检验和监测除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 微型桩 micropile

在地基土或地基土竖向增强体中形成的截面直径或边长不大于 300mm 的桩。

2.1.2 微型灌注桩 cast-in-situ micropile

通过机械钻孔、人力挖掘等手段成孔，在孔内放置钢筋、钢棒、钢管等加筋材料，由压力灌注水泥浆、水泥砂浆或细石混凝土，形成的直径不大于 300mm 的灌注桩。

2.1.3 微型注浆钢管桩 post grouting steel micropile

在静压或引孔植入的钢管内，通过压力使灌注的水泥浆扩散至桩周土体并填充钢管内腔形成的微型桩。

2.1.4 微型预制桩 prefabricated micropile

截面尺寸不大于 300mm 的预制混凝土方桩、预应力混凝土管桩、钢管桩、型钢桩等预制桩。

2.1.5 水泥土复合微型桩 prefabricated micropile embedded in cement soil

由水泥土桩与同心植入的微型预制桩复合而形成的桩。

2.1.6 减沉复合桩基 composite foundation with settlement-reducing piles

地基承载力基本满足要求，为减少沉降采用疏布微型桩的复合桩基。

2.1.7 锚杆静压法 method of anchor jacked pile

通过设置在基础上的锚杆作为反力装置，以结构自重为反力，将微型预制桩段从基础中预留或开凿的压桩孔内逐段压入土中，再将桩与基础连接在一起的施工方法。

2.1.8 坑式静压法 method of pit-jacked pile

在基础侧面和底部挖坑形成工作面，以结构自重为反力，将微型预

制桩逐段静压入土中，再将桩与基础连接在一起的施工方法。

2.1.9 投石注浆法 stone grouting method

在已成孔内投入级配碎石并利用埋入桩孔中的注浆管、钢管等灌注水泥浆，凝结后形成的混凝土桩的方法。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

F_k ——荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力；

G_k ——桩基承台及承台上土自重标准值；

M_{xk} 、 M_{yk} ——荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群承载力合力点的 x 、 y 主轴的力矩；

N ——作用效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值；

N_i ——荷载效应标准组合作用下微型桩第 i 基桩桩顶的竖向力 (kN)；

p_k ——荷载效应标准组合下，基础底面处的平均压力值；

$P_{\max}$ ——最大压桩力设计值；

P_p ——设计最终压桩力；

$P_{p(z)}$ ——桩入土深度为 z 时的最大压桩力；

ρ ——轴心受压的水泥土复合微型桩截面上植入的微型预制桩与桩周水泥土的应力比。

2.2.2 抗力和材料性能

E_{cs} ——水泥土桩的弹性模量；

EI ——桩身抗弯刚度；

E_p ——植入桩的弹性模量；

E_{pcs} ——水泥土复合微型桩植入桩复合段桩身材料复合模量；

- f_a ——修正后的地基承载力特征值；
- f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；
- f_{cu} ——与桩身水泥土配比相同的水泥试块（边长为 70.7mm 的立方体）在标准养护条件下 28d 龄期的立方体抗压强度平均值；
- f_{sc} ——考虑套箍效应的混凝土轴心抗压强度设计值；
- f_{sk} ——处理后桩间土地基承载力特征值；
- f_{spk} ——复合地基承载力特征值；
- f_y ——锚固筋抗拉强度设计值；
- f'_y ——钢筋或钢材抗压强度设计值；
- N_{ps} ——水泥土复合微型桩同心植入的微型桩轴心受压承载力设计值；
- $p_{s(z)}$ ——桩入土深度 z 时的最大比贯入阻力；
- q_{pk} ——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；
- 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；
- λ_{Ri} 、 λ_{Rj} ——分别为桩群中第 i 基桩、第 j 基桩与微型桩的竖向支承刚度比。

2.2.3 几何参数

- A ——承台底面积；
- A_c ——承台底净面积；
- A_{cs} ——植入微型桩段水泥土净截面面积；
- A_{gs} ——钢管或型钢截面面积；
- A_p ——桩端面积；
- A_{ps} ——实心钢管混凝土面积；
- A'_y ——纵向主筋截面面积；

d_1 ——锚固筋直径；
 l_i ——桩周第 i 层土的厚度；
 u ——桩身周长。

2.2.4 计算系数

B 、 C ——截面形状对套箍的影响系数；
 K_p ——压桩力系数；
 K_s ——换算系数；
 m_p ——植入桩截面面积与水泥土复合微型桩全截面面积之比；
 n_0 ——每个桩孔预埋锚固筋数；
 α_{sc} ——钢管混凝土含钢率；
 α_p ——桩端端阻力发挥系数；
 β ——桩间土承载力发挥系数；
 β_p ——极限端阻力调整系数；
 β_{si} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力调整系数；
 η ——桩身水泥土强度折减系数；
 θ ——钢管混凝土构件的套箍系数；
 λ ——单桩承载力发挥系数；
 λ_{1i} 、 λ_{2i} ——地基土、相应水泥土抗拔系数；
 ξ ——植入桩—水泥土界面极限侧阻力标准值换算系数；
 ξ_p ——单桩极限承载力利用系数；
 ξ_s ——天然地基承载力特征值的利用系数；
 ψ ——天然地基承载力满足率；
 ψ_c ——微型桩成桩工艺系数。

3 基本规定

3.0.1 微型桩适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、碎石土、人工填土、风化岩或软质岩石等既有建筑的地基基础加固或新建建筑地基处理。

3.0.2 在选择微型桩地基基础加固处理方案前应进行现场调查研究,完成下列准备工作:

1 搜集详细的岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计、施工资料等;

2 搜集既有建筑结构、基础使用现状,结构强度和变形观测资料包括结构裂缝、基础沉降、倾斜等;

3 了解当地微型桩地基基础加固处理经验和施工条件,对于有特殊要求的工程,尚应了解相似场地上同类工程的加固处理经验和使用情况等;

4 确定微型桩地基基础加固处理的目的和加固处理后要求达到的各项技术指标;

5 了解施工场地的周边环境,调查临近建筑、地下工程、周边道路及有关管线等情况。

3.0.3 微型桩地基基础加固设计前应进行岩土工程勘察,岩土工程勘察成果资料应满足地基基础设计、施工及验收要求。

3.0.4 采用微型桩加固既有建筑地基基础前,应对既有建筑地基基础及上部结构进行鉴定。

3.0.5 对于无地区同类工程经验或施工条件复杂的场地,应在设计前选择有代表性区域进行成桩工艺性试验,确定微型桩成桩效果和施工工艺参数。

3.0.6 工程桩正式施工前应进行静载试验确定单桩极限承载力,同一条件下,试桩数量不应少于 3 根。

3.0.7 微型桩地基基础加固应按地基变形设计,对处理后的地基进行变形验算。

3.0.8 微型桩地基基础加固处理在施工及使用期间,应对可能受影响的建筑物、构筑物进行沉降观测,直至沉降达到稳定为止。

3.0.9 既有建筑地基基础加固应对该建筑和施工可能影响的周边环境进行监测设计。

4 设 计

4.1 一般规定

4.1.1 微型桩加固后的地基，当基桩与承台整体连接时，应按桩基础设计；当基桩与基础非整体连接时，应按复合地基设计。

4.1.2 微型桩地基处理工程应按上部结构、基础及地基共同工作的原则进行设计；对于既有建筑地基基础微型桩加固工程，应遵循新基础和旧基础、新增桩和原有桩变形协调原则进行设计。

4.1.3 微型桩地基基础加固处理后的地基应满足承载力、变形和稳定性的要求，其设计尚应符合下列规定：

1 当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层地基承载力验算；

2 对承受较大水平荷载或位于斜坡上的建筑物及构筑物，应进行地基稳定性验算。

4.1.4 微型桩桩基结构的耐久性设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《建筑桩基技术规范》JGJ94 的相关规定。

4.1.5 微型桩地基基础的抗震验算应按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002、《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定执行。

4.2 选型与布置

4.2.1 桩型和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、成桩材料供应条件等，并按安全适宜、经济合理的原则选择。选择时可参照本规程附录 B 的相关规定。

4.2.2 微型桩布置应符合下列规定：

1 对于钻孔桩及引孔植入法施工的非挤土桩，基桩的中心距不应小于桩直径的 3 倍；对于在非饱和土、饱和非黏性土中采用静压法施工的挤土桩，基桩的中心距不应小于桩直径的 3.5 倍；对于在饱和黏性土中采用静压法施工的挤土桩，基桩的中心距不应小于桩直径的 4 倍；对于水泥土复合微型桩，基桩的中心距不应小于植入桩直径或边长的 4 倍，且不宜小于水泥土桩直径的 2.5 倍；

2 微型桩宜选择中、低压缩土层作为桩端持力层，进入持力层深度不宜小于微型桩桩身桩径或边长的 5 倍。对于水泥土复合微型桩除满足以上要求，桩端全断面进入持力层的深度不宜小于水泥土桩直径的 2 倍，且当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于水泥土桩直径的 3 倍；

3 微型灌注桩可采用竖直桩或网状结构的斜桩布置，其他类型微型桩宜采用竖直桩布置；

4 锚杆静压法沉桩压桩孔宜布置在墙体的两侧或柱子四周，并应尽量靠近墙体或柱子；

5 坑式静压法沉桩的桩位布置，应根据既有建筑的墙体和基础形式及荷载大小，按结构荷载重心均匀布置，且应避开门窗等墙体薄弱部位，设置在结构受力节点位置。

4.3 作用效应和承载力计算

I 桩顶作用效应

4.3.1 既有建筑基础采用微型桩加固前，群桩中基桩桩顶竖向力计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定。

4.3.2 既有建筑基础采用微型桩加固后，群桩中新增桩或既有桩的基桩

桩顶竖向力增量应按下列公式计算：

1 在既有建筑原基础内增加微型桩时，作用于第*i*基桩的竖向力增量：

$$N'_{ik} = \frac{F'_k + G'_k}{n} \pm \frac{M'_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M'_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (4.3.2-1)$$

2 既有建筑的独立基础、条形基础扩大并增加微型桩时，作用于第*i*基桩竖向力增量：

$$N'_{ik} = \frac{F'_k + G'_k - f'_a A_c}{n} \pm \frac{M'_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M'_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (4.3.2-2)$$

3 既有建筑桩基础扩大基础并增加微型桩时，新增微型桩与既有桩支承刚度不同时，作用于第*i*基桩竖向力增量：

$$N'_{ik} = \lambda_{Ri} \left(\frac{F'_k + G'_k}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Rj}} \pm \frac{M'_{xk} y_i}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Rj} y_j^2} \pm \frac{M'_{yk} x_i}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Rj} x_j^2} \right) \quad (4.3.2-3)$$

式中： F'_k ——荷载效应标准组合下，地基基础加固后，作用于桩基承台顶面的竖向力增量（kN）；

G'_k ——地基基础加固后，桩基承台及承台上土的自重增量标准值（kN），对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；

f'_a ——既有建筑地基经持载压实后增加的地基承载力（kPa），宜由静载试验或其他原位测试方法确定，按经验取值时，不应超过持载压实前地基承载力特征值的 25%；

N'_{ik} ——地基基础加固后，微型桩或既有桩第 i 基桩竖向力增量（kN）；

M'_{xk} 、 M'_{yk} ——荷载效应标准组合下，地基基础加固后作用于承台底面通过桩群承载力合力点的 x 、 y 轴的力矩增量（kN·m）；

x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j ——地基基础加固后，第 i 、 j 基桩至桩群承载力合力点的 y 、 x 轴线的距离（m）；

λ_{Ri} 、 λ_{Rj} ——分别为桩群中第 i 基桩、第 j 基桩与微型桩的竖向支承刚度比，取其单桩承载力特征值与微型桩的单桩承载力特征值的比值；

A_c ——地基基础加固后，原基础净面积（m²）。

II 单桩竖向承载力

4.3.3 根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定微型灌注桩、微型预制桩、微型注浆钢管桩单桩竖向抗压极限承载力标准值时，应按下式计算：

$$Q_{uk} = u \sum \beta_{si} q_{sik} l_i + \beta_p q_{pk} A_p \quad (4.3.3)$$

式中： Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值（kN）；

u ——桩身周长（m）；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值（kPa），如无当地经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 有关规定取值；

q_{pk} ——极限端阻力标准值（kPa），如无当地经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 有关规定取

值；

β_{si} 、 β_p —— 桩侧、桩端阻力调整系数，应按表 4.3.3 的规定取值；

l_i —— 桩周第 i 层土的厚度（m）；

A_p —— 桩端面积（ m^2 ），当采用空心桩时应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 有关规定考虑桩端土塞效应。

表 4.3.3 桩侧阻力调整系数 β_{si} 、桩端阻力调整系数 β_p

桩类型			β_{si}	β_p
微型灌注桩、 微型注浆钢管 桩	未采用二次注浆工艺		1.0	1.0
	采用二 次注浆 工艺	淤泥、淤泥质土	1.0~1.1	1.0
		黏性土、粉土	1.2~1.4	1.2~1.7
		中砂、粗砂、砾砂	1.3~1.6	1.6~2.3
		全风化岩、强风化岩	1.2~1.5	1.4~2.2
微型预制桩	锚杆静压法沉桩、坑式静压法沉桩		1.0	1.0
水泥土复合微型桩	外围水泥土		1.5~1.6	1.0

注：干作业钻、挖孔桩， β_p 按列表值乘以小于 1.0 的折减系数，当桩端持力层为黏性土或粉土时，折减系数取 0.6，为砂土或碎石土时，取 0.8。

4.3.4 初步设计时，确定水泥土复合微型桩单桩竖向抗压极限承载力标准值应符合下列规定：

1 按桩基础设计时，植入微型桩的单桩竖向抗压极限承载力应按下列公式计算，并取其中的较小值：

$$Q_{uk} = U \sum \beta_{si} q_{ski} l + \alpha_p q_{pk} A_p \quad (4.3.4-1)$$

$$Q_{uk} = u \xi \eta f_{cu} l + \eta f_{cu} A_p \quad (4.3.4-2)$$

式中： U —— 水泥土桩周长；

- u ——同心植入的微型预制桩周长（m）；
- α_p ——桩端端阻力发挥系数，应按地区经验确定，无地区经验时可取 1.0；
- ξ ——植入桩—水泥土界面极限侧阻力换算系数，取预制桩—水泥土界面剪切强度标准值与对应位置桩身水泥土强度标准值之比，无当地经验时，可按表 4.3.4 的规定取值；
- η ——桩身水泥土强度折减系数，可取 0.55~0.70；与水泥土掺入比及搅拌均匀程度有关，对高喷水泥土搅拌桩取高值，对深层搅拌桩取低值；
- f_{cu} ——与桩身水泥土配比相同的水泥土试块（边长为 70.7mm 的立方体）在标准养护条件下 28d 龄期的立方体抗压强度平均值（kPa）。

2 按复合地基设计时，复合地基增强体的单桩竖向抗压极限承载力标准值可按式（4.3.4-1）计算。

表 4.3.4 预制桩—水泥土界面极限侧阻力换算系数 ξ

桩类型		ξ
预制混凝土桩	高强混凝土管桩	0.16
	方桩	0.19
预制钢桩	H 型钢桩	0.12
	型钢管桩	0.16
	型钢方桩	0.17

III 复合桩基竖向承载力

4.3.5 考虑承台效应的微型桩复合桩基竖向承载力应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定计算。

4.3.6 减沉复合桩基础的竖向承载力计算应符合下列规定：

1 天然地基承载力特征值满足率

$$\psi \geq \frac{f_a A}{F_k + G_k} \quad (4.3.6-1)$$

2 整体承载力

$$n \xi_p Q_{uk} + \xi_s f_a A_c \geq F_k + G_k \quad (4.3.6-2)$$

3 单桩荷载与承载力

$$\xi_p Q_{uk} \geq N_{kmax} \quad (4.3.6-3)$$

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k - \xi_s f_a A_c}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (4.3.6-4)$$

式中： Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值（kN）；

F_k ——荷载效应标准组合下，作用于减沉复合桩基础顶面的竖向力（kN）；

G_k ——减沉复合桩基承台及承台上土的自重标准值（kN），对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；

N_{kmax} ——荷载效应标准组合下，基桩竖向力最大值（kN）；

N_{ik} ——荷载效应标准组合下，作用于第 i 基桩的竖向力（kN）；

ψ ——天然地基承载力特征值满足率， ψ 取不小于 0.5；

ξ_p ——单桩极限承载力利用系数，可取 0.8~0.9，当竖向荷载偏心时取小值；

ξ_s ——天然地基承载力特征值的利用系数，按变形设计要求取值，且不大于 0.5；

f_a ——修正后的地基承载力特征值（kPa）；

A ——承台底面积（m²）；

A_c ——承台底净面积 (m^2) ;

n ——微型桩数量。

IV 复合地基承载力

4.3.7 初步设计时, 微型桩复合地基承载力应按下式计算:

$$f_{\text{spk}} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{\text{sk}} \quad (4.3.7)$$

式中: f_{spk} ——复合地基承载力特征值 (kPa) ;

λ ——单桩承载力发挥系数, 按地区经验取值, 无经验时, 水泥土复合微型桩取 0.95~1.0, 其他桩型取 0.90~0.95;

m ——面积置换率, 对水泥土复合微型桩应按水泥土外围计算增强体置换面积;

β ——桩间土承载力发挥系数, 应按地区经验取值, 无经验时, 水泥土复合微型桩取 0.8~0.9, 其他桩型取 0.90~1.0;

R_a ——单桩竖向承载力特征值 (kN), 对水泥土复合微型桩取包括植入桩及其水泥土桩在内的复合地基增强体单桩竖向承载力特征值, 初步设计时可按本规程式 (4.3.4-1) 计算值的一半取值;

f_{sk} ——处理后桩间土地基承载力特征值 (kPa), 宜按静载试验确定。无试验资料时, 对非挤土成桩工艺可取天然地基承载力特征值; 对挤土成桩工艺, 一般黏性土可取天然地基承载力特征值; 松散砂土、粉土可取天然地基承载力特征值的 1.2 倍~1.5 倍, 原土强度低、置换率高时取大值。

V 单桩竖向抗拔承载力

4.3.8 微型桩单桩竖向抗拔极限承载力标准值的确定应符合下列规定：

1 初步设计时，微型灌注桩、微型预制桩、微型注浆钢管桩单桩竖向抗拔极限承载力标准值应按下式计算：

$$T_{uk} = u \sum \lambda_{1i} \beta_{si} q_{sik} l_i \quad (4.3.8-1)$$

式中： T_{uk} —— 单桩竖向抗拔极限承载力标准值（kN）；

λ_{1i} —— 地基土抗拔系数，可按表 4.3.8 取值。

2 初步设计时，水泥石复合微型桩的单桩竖向抗拔极限承载力标准值应按下列公式估算，并取其中的较小值：

$$T_{uk} = U \sum \lambda_{1i} \beta_{si} q_{sik} l \quad (4.3.8-2)$$

$$Q_{uk} = u \lambda_{2i} \xi \eta f_{cu} l \quad (4.3.8-3)$$

式中： λ_{2i} —— 地基土相应水泥石抗拔系数，由现场试验确定，无试验数据可按表 4.3.8 取值。

表 4.3.8 地基土及其相应水泥石抗拔系数

土类	λ_{1i}	λ_{2i}
砂土	0.5~0.7	0.80~0.95
粘性土	0.7~0.8	0.70~0.90

VI 单桩水平承载力

4.3.9 微型桩水平承载力的确定应符合现行行业标准《建筑桩基技术规

范》JGJ 94 有关规定，对水泥土复合微型桩的单桩水平承载力计算尚应符合下列规定：

- 1 桩的设计参数应按植入桩取值；
- 2 土的水平抗力系数应按水泥土桩外围地基土取值。

VII 桩身受压承载力

4.3.10 微型灌注桩、混凝土预制桩轴心受压承载力应符合下列规定：

- 1 当桩顶以下 $10d$ 范围的桩身螺旋式箍筋间距不大于 100mm ，且符合本规程第 4.6.1 条规定时：

$$N \leq \psi_c f_c A_{ps} + 0.9 f_y' A_y' \quad (4.3.10-1)$$

- 2 当桩身配筋不符合上述 1 款规定时：

$$N \leq \psi_c f_c A_{ps} \quad (4.3.10-2)$$

式中： N —— 作用效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值（N）；

ψ_c —— 微型桩成桩工艺系数，应按表 4.3.10 取值；

f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值（MPa）；

f_y' —— 纵向主筋抗压强度设计值（MPa）；

A_y' —— 纵向主筋截面面积（ mm^2 ）。

表 4.3.10 成桩工艺系数 ψ_c

微型桩类型		ψ_c
混凝土灌注桩	干作业	0.60~0.80
	泥浆护壁、套管护壁	0.60~0.70
	软土地区挤土	0.50~0.60
预制混凝土桩	锚杆静压沉法桩、坑式静压沉法桩	0.70~0.80
水泥土复合微型桩（植入的微型桩）		0.85

4.3.11 桩身材质为空心钢管、型钢的微型桩，轴心受压承载力应符合下式规定：

$$N \leq f'_y A_{ps} \quad (4.3.11)$$

式中： N —— 作用效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值（N）；

f'_y —— 钢材抗压强度设计值（MPa）；

A_{gs} —— 钢管或型钢截面面积（mm²）。

4.3.12 注浆钢管桩轴心受压承载力应符合下列规定：

$$N \leq f_{sc} A_{ps} \quad (4.3.12-1)$$

$$f_{sc} = (1.212 + B\theta + C\theta^2) f_c \quad (4.3.12-2)$$

$$\theta = \alpha_{sc} \frac{f'_y}{f_c} \quad (4.3.12-3)$$

$$\alpha_{sc} = \frac{A_{gs}}{A_c} \quad (4.3.12-4)$$

式中： N —— 作用效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值（N）；

f_{sc} —— 考虑套箍效应的混凝土轴心抗压强度设计值（MPa）；

A_{ps} —— 实心钢管混凝土面积（mm²）；

θ —— 钢管混凝土构件的套箍系数；

α_{sc} —— 钢管混凝土含钢率；

B 、 C —— 截面形状对套箍的影响系数，应按表 4.3.12 取值。

表 4.3.12 截面形状对套箍效应的影响系数取值表

截面形状	B	C
圆形	$0.176 f'_y / 213 + 0.974$	$-0.104 f_c / 14.4 + 0.031$
正方形	$0.131 f'_y / 213 + 0.723$	$-0.070 f_c / 14.4 + 0.026$

注：矩形截面应换算成等效正方形截面进行计算，等效正方形的边长为矩形截面的长短边边长

乘积的平方根。

4.3.13 水泥土复合微型桩轴心受压承载力应符合下列规定：

1 水泥土复合微型桩按桩基础设计时，桩身承载力应按植入桩的类型，参照本规程第 4.3.10 条～第 4.3.12 条的有关规定进行计算；

2 水泥土复合微型桩按复合地基设计时，水泥土复合微型桩桩身承载力设计按下式计算：

$$N \leq N_{ps} \left(1 + \frac{A_{cs}}{\rho A_{ps}} \right) \quad (4.3.13)$$

式中： N ——作用效应基本组合下的水泥土复合微型桩桩顶轴向压力设计值；

N_{ps} ——水泥土复合微型桩植入微型桩轴心受压承载力设计值，应按植入桩的类型参照本规程第 4.3.10 条～第 4.3.12 条有关规定执行；

A_{cs} ——植入微型桩段水泥土净截面面积（ mm^2 ）；

A_{ps} ——植入微型桩桩身截面面积（ mm^2 ）；

ρ ——轴心受压的水泥土复合微型桩截面上植入的微型预制桩与桩周水泥土的应力比，宜取微型桩与水泥土的弹性模量比。

4.3.14 微型桩轴心受压正截面受压承载力计算，一般取稳定系数 $\varphi=1.0$ 。对于高承台基桩、桩身穿越可液化土或不排水抗剪强度小于 10kPa（地基承载力特征值小于 25kPa）软弱土层的基桩，应考虑压屈影响，将桩身轴心受压正截面受压承载力计算值乘以稳定系数 φ 折减，其轴心受压稳定系数 φ 的确定应符合下列规定：

1 混凝土桩、钢桩的稳定系数 φ 应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定计算。

2 微型注浆钢管桩的稳定系数 φ 应按现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 有关规定计算。

3 水泥土复合微型桩中植入桩的稳定系数 φ 取 1.0。

VIII 桩结构内力和变形

4.3.15 微型注浆钢管的截面刚度可按下列公式计算：

$$EA_{ps} = E_c A_c + E_s A_{gs} \quad (4.3.15-1)$$

$$EI = E_c I_c + E_s I_s \quad (4.3.15-2)$$

$$GA_{ps} = G_c A_c + G_s A_{gs} \quad (4.3.15-3)$$

式中： EA_{ps} —— 注浆钢管桩的截面压缩刚度（N）；

EI —— 注浆钢管桩的截面抗弯刚度（N·mm²）；

GA_{ps} —— 注浆钢管桩的截面剪切刚度（N）；

E_c 、 E_s —— 分别为钢管内混凝土和钢的弹性模量（MPa）；

G_c 、 G_s —— 分别为钢管内混凝土和钢管的剪变模量（MPa）；

I_c 、 I_s —— 分别为钢管内混凝土和钢管的截面惯性矩（mm⁴）。

4.3.16 水泥土复合微型桩按桩基础设计，进行结构内力和变形计算时，其截面刚度应按植入的微型预制桩参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定计算。

4.3.17 水泥土复合微型桩按复合地基设计时，植入桩复合段的桩身材料复合模量应按下式计算：

$$E_{pcs} = m_p E_p + (1 - m_p) E_{cs} \quad (4.3.17)$$

式中： E_{pcs} —— 水泥土复合微型桩植入桩复合段的桩身材料复合模量（MPa）；

m_p —— 植入桩截面面积与水泥土复合微型桩全截面面积之比；

E_p 、 E_{cs} —— 分别为植入桩和水泥土桩的弹性模量（MPa）。

4.3.18 微型桩的结构内力和变形计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 有关规定。

4.4 地基变形计算

4.4.1 建筑地基基础加固处理后的地基变形允许值应符合现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003、《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定。对于地基变形有特殊要求的保护性建筑，地基变形允许值应根据建筑物的保护要求由设计确定。

4.4.2 对于既有建筑地基基础增加微型桩加固，桩基沉降量可按现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定计算。

4.4.3 对于减沉复合桩基础的沉降计算应符合下列规定：

1 桩基沉降由作用于桩顶的附加荷载所产生的沉降和作用于承台底地基土的附加荷载所产生的沉降组成；

2 在荷载效应准永久组合下，桩与承台下地基土共同承担的外荷载，按桩承担各基桩的单桩极限承载力标准值乘以单桩极限承载力发挥系数之和的荷载，承台下地基土承担扣除桩所承担外荷载后的剩余荷载计算；

3 桩基最终沉降量计算可参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行。

4.4.4 微型桩复合地基沉降量计算宜参照现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T 50783 的有关规定执行。

4.5 承台设计

4.5.1 承台的受弯承载力、受剪承载力、受冲切承载力和局部受压承载力计算,应符合现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

4.5.2 对既有建筑基础应进行强度验算,当强度不满足时,应对基础采取植筋和加厚等必要的加固措施。

4.5.3 对于锚杆静压法沉桩,宜采用地脚螺栓作为锚固筋,锚固筋的锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定,锚固筋自身强度应符合下式要求:

$$\frac{\pi}{4} n_0 d_1^2 f_y \geq 1.2 P_{\max} \quad (4.5.3)$$

式中: n_0 —— 每个桩孔预埋锚固筋数;

d_1 —— 锚固筋直径 (mm);

f_y —— 锚固筋抗拉强度设计值 (MPa);

$P_{\max}$ —— 最大压桩力设计值 (N),根据本规程第 5.4.2 条有关规定确定。

4.6 构造要求

I 基 桩

4.6.1 微型灌注桩的构造应符合下列规定:

1 微型灌注桩配筋率不宜小于 0.65%,主筋不应少于 3 根,钢筋直径不应小于 12mm,且宜通长配筋。

2 微型灌注桩箍筋应采用螺旋式,直径不应小于 6mm,箍筋间距宜为 100mm~200mm。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,桩顶至以下 10d (d 为

微型桩直径)范围内的箍筋应加密,间距不应大于 100mm。

3 桩身混凝土强度等级不应低于 C25,主筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm,水下灌注桩的主筋混凝土保护层厚度不得小于 50mm。

4.6.2 微型注浆钢管桩的构造应符合下列规定:

1 桩的截面参数应经计算确定,钢管壁厚不应小于 3mm。

2 水泥浆、水泥砂浆强度等级不应低于 30MPa。

3 钢管水泥浆、水泥砂浆保护层厚度不应小于 35mm。

4 桩的连接应采用套管焊接,焊接材料及焊接强度应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB55006、《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 的相关规定。

4.6.3 微型预制桩的构造应符合下列规定:

1 预制桩体可采用边长 150mm~300mm 预制混凝土方桩、直径 300mm 的预应力混凝土管桩,截面尺寸为 150mm~300mm 的型钢、钢管桩。

2 混凝土预制桩的桩身配筋率应按吊运、沉桩及桩在使用中受力等条件计算确定。采用静压法或植入法沉桩时,桩的最小配筋率不宜小于 0.65%。采用锤击法沉桩时,桩的最小配筋率不宜少于 0.8%。主筋直径不宜小于 14mm。

3 混凝土预制桩身混凝土强度等级不应低于 C30,钢筋保护层厚度不应小于 30mm。

4 钢管桩、型钢桩桩身材料的耐久性应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 的有关规定,当采用增加腐蚀厚度的做法时,微型桩用钢材的损失厚度可参照本规程附录 A 的规定取值。

5 既有建筑桩由一根首节桩和多根中间节桩组成,桩节长度由既有建筑物底层净高和压桩架高度确定,每节长度宜为 2m~3m;当需对单节桩计算吊运弯矩和拉力时,动力系数取 1.5。

6 预制桩桩体上下节拼接宜采用焊接或机械连接，接头质量应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

4.6.4 水泥土复合微型桩的构造应符合下列规定：

1 桩身水泥土强度不应小于 1.5MPa。

2 植入微型预制桩的截面尺寸不宜小于 150mm，长度宜为水泥土桩长度的 0.67 倍~1.0 倍。

3 水泥土桩直径与植入微型预制桩的直径或其外接圆直径之差不宜小于 150mm，且水泥土桩直径与植入微型预制桩的直径或边长之比不宜大于 3.0。

4 植入微型预制桩的材质为混凝土时，桩身混凝土强度等级不宜低于 C40。

II 承 台

4.6.5 既有建筑扩大基础在新增承台内布置微型桩，新增承台构造应符合现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ123 的有关规定。

4.6.6 既有建筑在原基础承台内增加微型桩，原基础承台应符合下列规定：

1 桩孔边缘距承台边缘的距离不应小于 300mm。桩孔的截面形状，对于抗压桩可做成上小下大的截头锥形，对于抗拔桩可做成上大下小的截头锥形，孔口每边不宜小于桩截面边长的 50mm~100mm；

2 桩基承台混凝土强度等级不应低于 C25，桩基承台最小厚度不宜小于 400mm。当原基础厚度小于 350mm 或有抗震、抗拔等特殊构造要求时，应在桩孔以上设置桩帽梁加固；

3 桩帽梁高度不应小于 150mm，在浇筑桩孔混凝土时浇筑，上部交叉配置 2 根 U 型钢筋并锚固于原承台，钢筋直径不应小于 16mm，锚固深度应符合本规程第 4.5.3 条的规定；

4 浇筑桩孔应采用微膨胀早强混凝土，混凝土强度等级不应低于原承台基础混凝土强度等级，且不应低于 C30；

5 对有防水要求的底板，在封桩时应采取必要的防水措施。

4.6.7 微型桩与承台的连接构造应符合下列规定：

1 微型桩桩顶嵌入承台长度宜为 50mm~100mm。

2 钢筋混凝土桩与承台的连接主筋直径和数量同桩的纵向主筋；钢管桩、注浆钢管桩与承台连接的桩顶主筋直径和数量由计算确定。

3 桩顶主筋嵌入承台的长度不应小于 35 倍主筋直径，且应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

4.6.8 对于锚杆静压法沉桩，锚杆构造应符合下列要求：

1 锚杆直径应根据压桩力大小由计算确定，可采用螺纹锚杆、端头带墩粗锚杆和带爪肢锚杆。

2 锚杆在锚孔内的粘结剂可采用植筋胶、环氧砂浆或硫磺胶泥等。

3 锚杆与承台边缘的距离不应小于 200mm，与压桩孔边缘距离不应小于 150mm，与周围结构的距离应满足施工要求且不小于 100mm。

4 锚杆锚固深度应按本规程第 4.5.3 条计算，不应小于 12 倍锚杆直径、且不应小于 300mm。

5 锚杆露出承台顶面长度应满足压桩机具要求，且不应小于 120mm。

III 垫 层

4.6.9 微型桩按复合地基设计时，宜在基础和复合地基之间设置垫层，且应符合下列要求：

1 垫层宜采用中砂、粗砂、级配砂石或碎石等，最大砂石粒径不宜大于 20mm；

2 垫层的设置范围宜大于基础范围，每边超出基础外缘的宽度宜为 200mm~300mm；

3 垫层设置厚度宜为 100mm~300mm, 且不应大于增强体桩身直径或边长的 0.5 倍。对于水泥土复合微型桩, 增强体桩身直径应取外围水泥土桩; 对于多桩型复合地基, 增强体桩身直径应取对复合地基承载力贡献最大的桩。

5 施 工

5.1 施工准备

5.1.1 微型桩地基基础加固处理施工应具备下列资料：

- 1 建筑场地岩土工程勘察报告；
- 2 微型桩地基基础加固处理施工图及图纸会审纪要；
- 3 建筑场地和相邻区域内的建（构）筑物、地下管线、地下构筑物和架空线路等的调查资料；
- 4 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；
- 5 施工组织设计；
- 6 原材料质量证明文件；
- 7 有关施工工艺参数的试验资料。

5.1.2 施工组织设计应符合现行国家标准《建筑施工组织设计规范》GB/T50502 的有关规定，且应包括绿色施工措施、文物和环境保护措施、监测监控要求等。

5.1.3 施工前应清除地下、地表及空中障碍物。

5.1.4 微型桩轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的位置，并妥善保护，施工中应定期复测。

5.1.5 施工前应对施工机械及其配套设备进行试运行，并对主要技术参数进行标定。

5.2 微型灌注桩施工

5.2.1 钻机成孔可采用天然泥浆护壁，遇粉细砂层易塌孔时应加套管。

5.2.2 微型灌注桩钢筋笼吊放应符合下列要求：

- 1 钢筋笼宜整根吊放，分节吊放时，钢筋连接可采用焊接、机械连接，接头质量应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有

关规定，施工时应缩短钢筋笼吊放和连接时间。

2 钢筋笼应采用悬挂或支撑的方法，确保灌浆或浇筑混凝土时的位置和高度。

3 斜桩中组装钢筋笼时，应采用可靠的支撑和定位方法。

5.2.3 灌注施工应符合下列规定：

1 应采用间隔施工、间歇施工或添加速凝剂等措施，以防止相邻桩孔移位和串孔。

2 当地下水流速较大可能导致水泥浆、砂浆或混凝土流失影响灌注质量时，应采用永久套管、护筒或其他保护措施。

3 在风化强烈或裂隙发育的岩体等透水性较强的地层中灌注水泥浆时，为避免水泥浆向周围岩体的流失，应按本规程附录 C 的规定进行钻孔测试和预灌浆。

4 当通过浇筑管或带孔的钻杆等水下浇筑混凝土或水泥砂浆时，其末端应埋入浇筑的混凝土或水泥砂浆中。浇筑过程应连续进行，直到顶端溢出浆体的黏稠度与注入浆体一致时为止。

5 当通过临时套管护壁成孔灌注水泥浆时，应在桩成孔之后，于套管内置入下端带花管的注浆管，并在自下而上提拔套管的过程中通过花管分段注浆，分段间隔宜为 2m；桩中钢筋的放置应在临时套管拔出之前完成。当护壁管材兼做承重构件时，可通过其底部进行灌浆。

5.2.4 灌注材料应符合下列规定：

1 桩体灌注材料必须具备良好的和易性和自密性，配合比应通过试验确定。

2 当采用管送或泵送混凝土或砂浆时，应选用圆形骨料；细石骨料粒径宜为 10mm~15mm，且不应大于纵向钢筋净距的 1/4。

3 水下浇筑混凝土的配合比，水泥含量不应小于 375kg/m^3 ，水灰比宜小于 0.6。

4 水泥浆制备应符合本规程第 5.3.4 条规定，水泥宜采用普通硅酸

盐水泥，水灰比不宜大于 0.55。

5.2.5 当采用投石注浆法施工微型灌注桩时，应符合下列规定：

1 填料应经清洗，投入量不应小于计算桩孔体积的 0.9 倍，填灌时应同时用灌浆管注水清孔。

2 一次注浆压力宜为 0.3MPa~1.0MPa，浆液应从孔底注入，停止注浆标准应为浆液溢出孔口。

3 二次或多次注浆应在第一次注浆浆液初凝时进行，注浆压力宜为 1.0MPa~3.0MPa。

4 灌浆过程结束后，注浆管中应充满水泥浆并维持灌浆压力一定时间。

5 拔除注浆管后应立即在桩顶填充碎石，并宜在 1m~2m 范围内补充注浆。

5.2.6 施工桩位的允许偏差宜为 20mm，桩身垂直度的允许偏差应为 1%。

5.3 微型注浆钢管桩施工

5.3.1 钢管桩可采用静压法或植入法等施工。

5.3.2 钢管桩的连接应采用套管焊接，并按国家现行标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936、《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定执行。

5.3.3 对于植入法施工的钢管桩，应采用封孔注浆工艺，封孔长度应满足形成注浆压力的要求。

5.3.4 水泥浆应按设计水灰比进行制备，并应符合下列规定：

1 应配置在检定或校准有效期内的计量器具，对水与水泥的用量进行计量；

2 应选用能实现水灰比自动控制的制浆工艺；

3 水泥浆搅拌时间不应少于 2min，并应过筛后使用，自制备至用完的时间不应超过 2h；

4 施工过程中应测量水泥浆密度，测量次数不应少于 3 次/台班。

5.3.5 水泥浆灌注应符合下列规定：

1 应缩短桩孔成孔、钢管连接吊放和灌注水泥浆之间的时间间隔。

2 注浆时，应采取保证桩长范围内完全灌满水泥浆的措施。

3 灌注方法应根据注浆泵和注浆系统合理选用，注浆泵与注浆孔口距离不宜大于 30m。

4 当采用桩身钢管进行注浆时，可通过底部一次或多次灌浆；也可将桩身钢管加工成花管进行多次灌浆。

5 采用花管灌浆时，可通过花管进行全长多次灌浆，也可通过花管及阀门进行分段灌浆，或通过互相交错的后注浆管进行分步灌浆。

5.4 微型预制桩施工

I 锚杆静压法沉桩施工

5.4.1 锚杆静压法沉桩施工前，应完成下列准备工作：

1 清理压桩孔和锚固孔施工工作面；

2 制作锚固筋和桩节；

3 开凿压桩孔，孔壁应凿毛；

4 开凿锚固孔，应确保锚固孔内清洁干燥后再埋设锚固筋，胶粘剂可采用植筋胶、环氧砂浆或硫磺胶泥。

5.4.2 根据静力触探资料预估最大压桩力，根据最终压桩力设计值估算单桩竖向抗压承载力特征值，可按下列公式计算：

$$P_{p(z)} = K_s \cdot p_{s(z)} \quad (5.4.2-1)$$

$$R = \frac{P_p}{K_p} \quad (5.4.2-2)$$

式中: $p_{s(z)}$ ——入土深度 z 时的最大比贯入阻力 (kPa) ;

$P_{p(z)}$ ——桩入土深度为 z 时的预估最大压桩力(kN);

P_p ——设计最终压桩力(kN);

R ——单桩竖向承载力特征值(kN)。

K_s ——比贯入阻力与压桩力换算系数,可根据当地经验确定,
无地区经验时可取 $K_s=0.06\text{m}^2\sim 0.07\text{m}^2$;

K_p ——压桩力系数,宜通过试验确定,按经验取值时,对黏
性土取 1.3~1.5,粉土取不小于 1.5,对填土和砂土取
不小于 2.0。

5.4.3 桩的连接宜采用焊接法,应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》
JGJ94 的相关规定执行。

5.4.4 压桩施工应符合下列规定:

1 压桩架应保持竖直,锚固筋的螺母或锚具应均衡紧固,压桩过
程中应随时拧紧松动的螺母;

2 就位的桩节应保持竖直,使千斤顶、桩节及压桩孔轴线重合,
不得采用偏心加压;压桩时,应垫钢板或桩垫,套上钢桩帽后再进行压
桩;

3 压桩施工应对称进行,在同一个独立基础上,不应数台压桩机
同时施工;

4 桩位的允许偏差宜为 20mm,桩节垂直度的允许偏差应为桩节
长度的 1%;钢管桩平整度的允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$;

5 桩应一次连续压到设计标高,当必须中途停压时,桩端应停留
在软弱土层中,且停压的间隔时间不宜超过 24h;当设计或施工需要采
用引孔法压桩时,可采用螺旋钻孔机机械引孔或洛阳铲人工引孔;

6 桩尖应达到设计深度,且压桩力不小于单桩承载力特征值的 2

倍时的持续时间不少于 5min 时，可终止压桩；

7 静力压桩施工记录应符合本规程附录 D 的规定。

5.4.5 封桩施工应符合下列规定：

1 封桩前应将桩孔内的杂物清理干净，排除积水，应凿毛和刷洗干净桩顶桩侧表面，并涂混凝土界面剂。

2 应采用双面焊将锚固筋和交叉加强钢筋焊接。

3 当施加预加力封桩时，可采用型钢支架托换，再浇筑混凝土。

4 封桩宜对称均衡进行，采用微膨胀混凝土将桩和原基础浇筑成整体。

5 封桩施工记录应符合本规程附录 E 的规定。

II 坑式静压法沉桩施工

5.4.6 坑式静压法沉桩施工时，应先在被加固建筑物的一侧开挖竖向导坑，对砂土或软弱土等地基应进行坑壁支护，然后在基础梁、承台梁或直接在基础底面下开挖横向工作坑。

5.4.7 压桩施工时，应先在最上一节桩桩顶上安置千斤顶及测力传感器，再驱动千斤顶压桩，并按本规程第 5.4.2 条～第 5.4.4 条的相关规定执行。

5.4.8 压桩达设计深度后应进行封桩。封桩施工应按本规程第 5.4.5 条的相关规定执行。

5.5 水泥土复合微型桩施工

5.5.1 水泥土复合微型桩施工应符合下列规定：

1 水泥土桩可采用深层搅拌法、高压旋喷法、高喷搅拌法等施工工艺。

2 微型预制桩施工可选择采用静压法或植入法等。静压法施工应在水泥土初凝前进行，对空心桩应先行封闭桩的首节底端及末节顶端；植入法施工应符合本规程的相关规定。

5.5.2 水泥土桩施工应符合国家现行标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定，当采用高喷搅拌法施工时，尚应符合下列要求：

1 水泥土桩施工参数应根据成桩工艺性试验确定，并在施工过程中进行控制；

2 水泥用量应通过调整水泥浆压力与流量、钻杆提升速度、复搅复喷次数进行控制，并不应低于设计值；

3 桩身深度范围内每米的搅拌次数不应少于 300 次；

4 施工中钻杆垂直度的允许偏差应为 0.5%；

5 对桩顶、植入桩底部及需要提高强度或增加喷搅次数的部位应采取复搅复喷措施；

6 停浆面高出桩顶设计标高不应小于 500mm，桩径、桩长不应小于设计值。

5.5.3 水泥土桩施工后应按下列规定留置试件：

1 宜采取尚未凝固的水泥土浆液制作水泥土试块；

2 每个施工台班留置试件不应少于 2 组，每组试件应留 6 件，试件尺寸应为 70.7mm×70.7mm×70.7mm；

3 单组试件应取自同一根桩，取样位置应为桩顶设计标高以下；

4 试件应养护 28d，其中应有 1 组同条件养护、1 组标准养护。

5.5.4 微型预制桩的植入施工应符合下列规定：

1 垂直度的允许偏差为 0.5%；

2 定位的允许偏差为 10mm；

3 接桩应保证接桩质量和上下节段的桩身垂直度；

4 桩顶标高的允许偏差为±50mm；

5 微型预制桩植入水泥土中时应采取监控预防措施。

6 检验和监测

6.1 一般规定

6.1.1 微型桩地基基础加固处理工程的质量检验应按设计要求且应符合国家现行有关标准的相关规定。

6.1.2 对微型桩地基基础加固工程，当监测数据出现异常时，应立即停止施工，及时分析原因，必要时可采取调整设计、施工和监测方案等的技术措施。

6.2 检 验

6.2.1 微型桩地基基础加固处理的施工验收，应符合下列规定：

- 1 提供施工过程中有关参数，原材料的力学性能检验报告；
- 2 提供试件留置数量及制作养护方法，混凝土和砂浆等抗压强度试验报告，型钢、钢管和钢筋笼制作质量检查报告；
- 3 提供施工记录，隐蔽工程验收资料；
- 4 施工完成后尚应进行桩顶标高和桩位偏差的检验；
- 5 桩身质量检验与承载力静载荷试验等；
- 6 其他必须提供的文件或记录。

6.2.2 微型桩施工桩位允许偏差，对于独立基础、条形基础的边桩沿垂直轴线方向应为 $1/6$ 桩径，沿轴线方向应为 $1/4$ 桩径，其他位置的桩应为 $1/2$ 桩径；施工桩身垂直度的允许偏差应为 1% 。

6.2.3 微型桩桩身完整性检验宜采用低应变法进行检测，抽检数量不得少于总桩数的 10% ，且不得少于 10 根，每个柱下承台的抽检桩数不应少于 1 根。

6.2.4 对变形有严格要求的工程，水泥土复合微型桩除按本规程第 6.2.3 条检测植入桩的桩身完整性外，尚应按现行行业标准《建筑地基

处理技术规范》JGJ79 的有关规定对外围水泥土桩钻芯取样，检验水泥土桩完整性和水泥土强度。

6.2.5 承载力检验数量应符合下列规定：

1 对于按桩基础设计的工程，单桩竖向承载力检验应采用静载荷试验，检验桩数不得少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

2 对于按复合地基设计的工程，单桩竖向承载力、复合地基承载力均应采用静载荷试验，检验数量均不应少于总桩数的 1%，且均不应少于 3 根（点）。

6.2.6 单桩竖向抗压静载试验应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的有关规定执行，对水泥土复合微型桩抗压静载试验尚应符合下列规定：

1 按桩基础设计时，试验应按植入桩；

2 按复合地基设计时，试验应按增强体（复合桩）。

6.2.7 单桩竖向抗压静载试验的荷载-沉降($Q-s$)曲线为缓变型时，单桩竖向抗压承载力特征值取值应符合下列规定：

1 可取桩顶总沉降量等于 30mm 对应的荷载值为单桩竖向抗压极限承载力，当桩长超过 30m 时，宜考虑桩身的弹性压缩。

2 当对水泥土复合微型桩复合地基增强体加载时，可取桩顶总沉降量等于 40mm 对应的荷载值为单桩竖向抗压极限承载力；当增强体外缘直径大于等于 800mm 时，可取桩顶总沉降量等于增强体外缘直径的 0.05 倍对应的荷载值为单桩竖向抗压极限承载力。

3 参加统计的试桩，当单桩竖向抗压极限承载力满足极差不超过统计平均值的 30%时，可取其平均值的一半为单桩竖向抗压承载力特征值。

4 可根据设计要求，取建筑物基桩的允许沉降量对应的荷载值作为单桩竖向抗压承载力特征值。

6.2.8 单桩竖向抗拔静载试验应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的有关规定执行。

6.2.9 单桩水平静载试验应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的有关规定执行，对水泥土复合微型桩的水平静载试验应按植入桩。

6.2.10 复合地基静载荷试验应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的有关规定。当荷载-沉降 ($p-s$) 曲线为平缓的光滑曲线，按相对变形值确定复合地基承载力特征值时，应符合下列规定：

1 对以黏性土、粉土为主的地基，可取沉降值为承压板边宽或直径的 0.01 倍所对应的压力；对以卵石、圆砾、密实粗中砂为主的地基，可取沉降值为承压板边宽或直径的 0.008 倍所对应的压力。当承压板边宽或直径大于 2m 时，按 2m 计；

2 可根据设计要求，取建筑物地基的允许变形值所对应的压力；

3 按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大加载压力的一半。

6.3 监测

6.3.1 微型桩地基基础加固处理工程应进行施工全过程的监测，施工中应有专人或专门机构负责监测工作，随时检查施工记录和计量记录，并按照规定的施工工艺对工序进行质量评定。

6.3.2 微型桩地基基础加固处理施工，应对影响范围内的周边建（构）筑物、地下管线、地面等进行沉降和位移监测。

6.3.3 对既有建筑微型桩的加固处理，应对其结构进行沉降、倾斜和裂缝监测，必要时，还应监测建筑物的水平位移和结构内力。

6.3.4 当施工降水对周边环境有影响时，应对有影响的建筑物、地下管线和道路等进行沉降监测，并监测地下水位的变化。

6.3.5 对建（构）筑物、施工场地及周边环境的监测，其稳定标准应按

设计要求且应符合按国家现行标准《工程测量标准》GB50026 和《建筑变形测量规范》JGJ8 的有关规定。

附录 A 微型桩用钢材腐蚀损失厚度

A.0.1 在微腐蚀及以下的土中，腐蚀引起的微型桩用钢材损失厚度如下表：

表 A.0.1 微型桩用钢材土中腐蚀损失厚度（mm）

钢桩周边土层环境 设计使用年限	5 年	25 年	50 年	75 年	100 年
原状土 （砂土、粉土、黏性土、片岩）	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20
受污染的土体和工业地基	0.15	0.75	1.50	2.25	3.00
有腐蚀性的土 （沼泽、湿地、泥炭）	0.20	1.00	1.75	2.50	3.25
未压实无腐蚀性的填土 （黏性土、片岩、砂土、粉土）	0.18	0.70	1.20	1.70	2.20
未压实有腐蚀性的填土 （灰、矿渣等）	0.50	2.00	3.25	4.50	5.75

注：1 压实填土中的腐蚀速率低于未压实填土中的腐蚀速率，在压实填土中，表中的数据除以 2；

2 表中 5 年和 25 年的值是基于测量值，其它值则由外插取值。

A.0.2 当钢材所处大气环境为正常大气环境，大气腐蚀引起的钢材损失厚度可取每年 0.05mm，而对于海风环境可能影响钢结构性能的地区，大气腐蚀引起的钢材损失厚度可取每年 0.10mm。

附录 B 桩型与成桩工艺选择

表 B.0.1 桩型与成桩工艺选择

桩类型		桩身材料	直径或断面尺寸 /mm	桩长/m	适用地层条件
微型灌注桩		加筋材料（钢筋、钢棒、钢管）、灌注材料（水泥浆、水泥砂浆、细石混凝土、其他灌浆料）	150~300	≤30	淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、碎石土、人工填土
注浆钢管桩		钢管、水泥浆	100~300	≤30	淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、人工填土
微型预制桩	锚杆静压法沉桩	预制混凝土方桩	150~300	≤30	淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、湿陷性黄土、人工填土
		预应力混凝土管桩	300	≤30	
		钢管桩、型钢桩	100~300	≤30	
	坑式静压沉桩	预制混凝土方桩	150~300	≤30	地下水位较低的淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、湿陷性黄土、人工填土
		预应力混凝土管桩	300	≤30	
		钢管桩、型钢桩	100~300	≤30	
水泥土复合微型桩		预制桩（混凝土方桩、混凝土管桩、钢管桩、型钢桩）、水泥土	150~300	≤30	淤泥、淤泥质土、黏性土、粉砂、砂土、素填土

附录 C 钻孔测试和预灌浆

C.0.1 当在风化强烈或裂隙发育的岩体中施工微型灌注桩、微型注浆钢管桩时，应进行钻孔测试或预灌浆，以避免水泥浆向周围岩体不可控制的流失，同时保证钢筋、钢管、型钢等承重构件所需的保护层厚度。

C.0.2 水泥浆流失情况可通过钻孔注水试验分析评估。钻孔注水试验应按下列规定执行：

1 用栓塞对钻孔隔离出一定长度的孔段作为注水试段，试段长度根据地层条件可取桩孔的全长或部分长度；

2 用带流量计的注水管往钻孔内注水，微调阀门保持水头高度稳定不变，波动幅度允许偏差为 $\pm 1\text{cm}$ 。宜按每间隔 2min 测计 1 次注水流量值和水头高度，且连续观测次数不得少于 5 次；

3 当在 0.1MPa 的水头压力下，在不少于 10min 的观测时间内，观测得到的钻孔注水流量值小于 5L/min 时，岩体可不进行预灌浆。

C.0.3 预灌浆采用水泥浆，砂/水泥灌浆通常用于带有部分填充或开放裂缝的岩石，以减少灌浆消耗。

C.0.4 预灌浆完成后，钻孔应再次注水试验，必要时，应重新钻孔并重复灌浆过程。

附录 D 静力压桩施工记录

表 D.0.1 静力压桩施工记录表

工程名称_____施工日期_____

桩号_____设计桩长 _____ (m) 设计压桩力_____ (kN) _

桩段序号	压桩时间	静力压桩入土深度 (m)		压桩力 (kN)	备注
		单次冲压行程	累计		

附录 E 封桩工程施工记录

表 E.0.1 封桩工程施工记录表

工程名称_____基础编号_____

封桩材料_____设计强度_____

桩号	封桩时间	封桩预压力 (kN)	材料强度	锚固筋深度 (mm)	加强筋焊接缝 长度 (mm)

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于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

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 4 《工程测量标准》GB 50026
- 5 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046
- 6 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
- 7 《建筑施工组织设计规范》GB/T50502
- 8 《复合地基技术规范》GB/T 50783
- 9 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 10 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002
- 11 《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003
- 12 《钢结构通用规范》GB55006
- 13 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 14 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 15 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 16 《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123

山东省工程建设标准

微型桩地基基础加固处理技术规程

DB37/T 5218—2022

条文说明

制 订 说 明

《微型桩地基基础加固处理技术规程》DB 37/T5218—2022，经山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局 2021 年 04 月 24 日以鲁建标字〔2022〕6 号通知批准、发布。

本规程的编制过程中，编制组对国内外微型桩在地基基础加固处理中的工程应用，设计理论，试验数据进行了系统的调查研究，全面的总结了已有的工程经验，同时参考了国内外相关的先进技术标准，并进行了工程的现场试验研究，取得了大量重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《微型桩地基基础加固处理技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。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 次

1 总 则.....	46
2 术语和符号.....	47
2.1 术 语.....	47
3 基本规定.....	49
4 设 计.....	51
4.1 一般规定.....	51
4.2 选型与布置.....	52
4.3 作用效应和承载力计算.....	55
4.4 地基变形计算.....	75
4.5 承台设计.....	76
4.6 构造要求.....	77
5 施 工.....	82
5.1 施工准备.....	82
5.2 微型灌注桩施工.....	82
5.3 微型注浆钢管桩施工.....	85
5.4 微型预制桩施工.....	85
5.5 水泥土复合微型桩施工.....	89
6 检验和监测.....	92
6.1 一般规定.....	92
6.2 检 验.....	92
6.3 监 测.....	94
附录 A 微型桩用钢材腐蚀损失厚度.....	96
附录 C 钻孔测试和预灌浆.....	97

1 总 则

1.0.1~1.0.2 微型桩可用于既有建筑物的基础托换和桩基加固处理,也可作为竖向增强体与地基土组成复合地基,支承在建或已建建筑物。微型桩对施工的场地空间条件要求不高,且承载性状优越,在地基基础加固处理领域有广泛的应用,为使微型桩的设计、施工、检测、监测规范化,便于该技术的应用推广,制定本规程。

1.0.3 微型桩作为一种桩基础,具有一般桩基础的共性,又因其工艺特点使其在承载性状以及使用功能方面有其特殊性。本标准是基于桩基础的基本理论而编制,在设计、施工、检测等方面遵循国家现行标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003、《建筑地基基础设计规范》GB50007、《复合地基技术规范》GB/T 50783、《建筑桩基技术规范》JGJ94、《建筑地基处理技术规范》JGJ79 等的基本规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 本条是对微型桩的定义。欧洲标准（BS EN14199:2015）对微型桩的定义是“直径小于 300 毫米的钻孔桩”。参考现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79，微型桩是指用桩工机械或其他小型设备在土中形成直径不大于 300mm 的树根桩、预制混凝土桩或钢管桩。本规程微型桩为在天然地基土中或地基土的竖向增强体中植入、打入及压入的桩身截面形成的截面直径或边长不大于 300mm 的桩。根据以上定义，桩截面直径或边长不大于 300mm，钻孔灌注桩、打入法或静压法施工的预制桩、注浆钢管桩及在地基增强体中施工的桩等都可纳入微型桩的范畴。另外考虑到 20 世纪 90 年代以来，微型桩在减沉复合桩基中的广泛应用，本规程也将其设计计算纳入微型桩的概念体系中。本规程通过对各种微型桩承载机理的研究，并结合其工程实践应用特点，对微型桩的已有概念高度概括、同一规定，扩充了传统的微型桩的概念内涵和应用范畴。

2.1.2~2.1.4 微型桩由于一直没有专门的规范标准，分类命名也缺少一致性，本规程按微型桩成桩的工艺特点对微型桩统一命名。命名参照现行国家标准《建筑地基基础术语标准》GB/T50941，并和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的命名原则保持一致。基于以上原则，根据本规程微型桩概念内涵，并结合其施工工艺，将俗称的树根桩命名为微型灌注桩，另外还分别命名了微型注浆钢管桩、微型预制桩、水泥土复合微型桩等；对于某些标准中所提及的锚杆静压桩、坑式静压桩，按微型桩概念将其归类为截面尺寸不大于 300mm 的预制桩，并命名为微型预制桩。

2.1.5 水泥土复合微型桩是先行通过高喷、旋喷、深层搅拌等工艺形成水泥土桩，然后在水泥土桩中同心植入微型预制桩。水泥土复合微型桩通过水泥土地基处理提高了地基对微型桩的支承阻力，通过植入微型预制桩提高了桩身承载力，属于组合桩的范畴，是水泥土桩和微型桩在地基处理中应用的结合和延伸。根据复合桩承载机理，作为水泥土复合微型桩的芯桩，植入桩身材质应该有相对较高的刚度，才能发挥桩周水泥土的支承抗力作用，故植入桩宜选择支承刚度较大的微型预制桩，宜选择截面尺寸不大于 300mm 的钢管、管桩、高强混凝土管桩、混凝土预制方桩等。微型预制桩植入水泥土桩可选择采用静压法或植入法。在新建地基处理中，可选择采用静压法在水泥土初凝前将微型预制桩同心压入水土桩中；对已建建筑地基加固，水泥土桩已经固结成型，可采用钻孔植入微型预制桩并注浆的施工方法。

2.1.6 减沉复合桩基是介于纯桩基和天然地基之间的一种基础形式，是在天然地基承载力基本满足要求的场地，以减少地基沉降为目的，通过疏布摩擦型或端承力较小的端承摩擦型微型桩，由基桩和地基土共同承担上部荷载的复合桩基。减沉复合桩基主要特点是工作中微型桩的承载力可以用到极限或接近极限、处于塑性支承状态。减沉复合桩基微型桩施工可以采用正作法或逆作法，可根据工况要求选择采用植入法、锚杆静压法、坑式静压法等沉桩，施工灵活，经济性优越，目前在上海、天津、湖北、福建都有工程应用，前景广阔。

2.1.9 投石注浆法工艺较为成熟简单，对地基土扰动小，施工中产生的附加应力小，在工业和民用建筑加固中广泛应用于基础的托换改造。

3 基本规定

3.0.1 微型桩按成桩工艺有钻孔灌注桩、钻孔植入预制桩、静压或打入预制桩；按桩身材料有混凝土桩、钢管桩、型钢桩，以及水泥土复合微型桩。微型桩施工工艺广和桩的材质类型多，因而对地层条件有很好的适用性。

对于既有建筑地基加固，除了考虑室内空间狭窄，还要考虑减少对地基基础的扰动。在土层较硬条件下，宜采用微型钻机成孔，通过压力灌注混凝土、水泥浆、水泥砂浆，或采用投石注浆法灌注成桩。当地基土比较软弱，可以采用分节预制桩，采用传统锚杆静压法或坑式静压法成桩。静压法施工质量容易保证，承载及时，经济性较好。

对于新建地基加固，应因地制宜，采用的桩型主要考虑成桩工艺稳定性和经济性的原则，可以选择微型灌注桩、微型注浆钢桩桩、微型预制桩以及水泥土复合微型桩。预制桩可以根据地层软硬条件、环境条件，采用静压、钻孔植入或打入的成桩方式。水泥土复合微型桩适用于桩基承载力要求比较高，而桩周土比较软弱，可以通过高喷搅拌法、旋喷法或深层搅拌法水泥土等加固的情况。

3.0.2 选择地基基础加固处理方案前，对地基处理加固对象和周边环境必需的调查研究工作，在以上工作基础上，应结合当地地基基础加固处理的经验，确定安全经济的地基基础加固处理方案。

3.0.3 勘察资料包括勘探点的间距、勘探点的深度、原位测试等，应能满足桩型、布桩、桩端持力层、桩基承载力、桩基沉降等的设计要求，并提供地下洞穴不良地质及既有建筑基础障碍物等的分布情况，便于微型桩施工。对于静压法沉桩，宜进行静力触探试验，提供比贯入阻力数据，估算单桩承载力特征值，确定静压沉桩工艺是否适合场地土层条件。

3.0.4 采用微型桩加固既有建筑地基基础前，应对既有地基、基础和上部结构进行鉴定，并对其现状进行分析和评价，确定微型桩加固的必要

性和可能性。以上工作是制定微型桩加固施工和对既有建筑物及周边环境监测方案的必要准备。

3.0.5 微型桩的设计、施工参数有很强的地区性，而复杂施工条件下微型桩桩基施工对于施工工艺的适用性有严格限制条件，因此强调在没有同类工程经验或在复杂施工条件的微型桩桩基施工，应在有代表性的场地上进行现场试验性施工验证工艺的可行性，并进行必要的测试以确定设计参数和地基基础加固处理效果。

3.0.6 地基基础加固设计采用桩基，相比中等直径桩，微型桩的设计资料和设计经验也相对较少，在工程桩设计前，应通过单桩静载试验，取得微型桩的极限承载力以及相应的位移值，为微型桩地基基础加固设计提供足够的承载力和变形设计参数。

3.0.7 地基基础加固处理的目标是使建筑物的地基承载能力和地基变形都能满足要求。在地基基础加固中按地基变形设计的原则是以地基变形作为设计的主控指标，地基变形验算先满足设计要求，然后再验算地基承载力是否满足；地基变形计算值应满足现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003 对地基基础功能要求的相关规定。

3.0.8 微型桩地基基础加固施工可能引起地层扰动导致建筑物或构筑物地基的附加变形，危及建筑结构安全和正常使用。在施工及使用期间应进行沉降观测，直至沉降稳定，这不但是保护建筑物和构筑物安全的需要，而且也是地基基础加固工程验收的重要依据。沉降观测的稳定标准可参照本规程第 6.3.5 条的有关规定。

3.0.9 本条规定对被保护建筑的监测方案设计是既有建筑加固方案设计的必要组成部分。监测方案设计应按国家现行标准《工程测量标准》GB50026 和《建筑变形测量规范》JGJ8 的有关规定，根据被保护建筑物可能发生损坏的主控因素，对结构变形和内力、土层位移和地下水位等进行针对性和系统的监测设计。

4 设 计

4.1 一般规定

4.1.1 微型桩直径小承载力高,且对施工场地条件的适应能力强,大量适用于对用于场地狭小、大型设备不能施工的既有建筑地基基础的加固工程,近年来由于水泥石复合微型桩新工艺,减沉复合桩基设计理论的成熟利用,大大拓展了微型桩的概念体系和应用范围。微型桩设计时按桩与基础的连接方式区分,分别为桩基础或按复合地基设计,在应用中还应结合对地基变形的控制条件及地基加固施工工况要求从而选择采用不同的设计方案。

4.1.2 新建地基微型桩复合地基处理,上部结构刚度、基础刚度影响复合地基的桩土应力分布、地基变形及承载力;刚度差异较大的整体大面积基础其地基反力分布不均,且结构对地基变形也有较高要求。基于上述原因,微型桩复合地基设计宜根据结构、基础和地基共同作用进行地基承载力和变形验算。

既有建筑地基基础微型桩加固处理,在扩大基础或增加桩时,新基础与旧基础、新增加桩与原基础桩由于地基基础支承刚度的差异,各自所分担的荷载与天然地基时不同,而地基反力的分布也应遵循变形协调的原则。基于上述原因,对既有建筑地基基础微型桩加固工程应按变形协调的原则进行设计计算。

4.1.3 本条是对微型桩地基基础加固处理设计计算内容的规定。

1 验算处理地基存在软弱下卧层时,可按现行行业标准《建筑地基技术规范》JGJ94 的实体深基础法。

2 地基稳定性验算可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定验算。

4.2 选型与布置

4.2.1 选择微型桩施工工艺要综合考虑微型桩工艺对地层土质条件的适用性,地基基础加固处理对象对微型桩施工桩基的作业环境和地基附加变形的限制条件。

1 微型灌注桩

微型灌注桩适用于各种不同的土质条件,特别是当地基土层为碎石土、强风化岩石等,采用预制桩可能难以施工时。微型灌注桩既可以用于既有建筑基础加固处理,也可用于新建建筑地基加固处理,微型灌注桩的适用性非常广泛。

2 微型预制桩

预制桩包括预制混凝土方桩、预应力混凝土管桩、钢管桩和型钢桩等,施工方法包括静压法、打入法和植入法等。微型预制桩身强度高,施工质量容易得到保证,经济性较好,在既有建筑基础加固和新建地基地基处理中得到了较快的推广应用。

微型预制桩主要适用于本规程附录 B 中所列的地层,对于碎石土、全风化岩、强风化岩等地层,还应根据现场试验结果确定其适用性。微型预制桩同心植入水泥土桩中时,可与之形成复合桩,即水泥土复合微型桩。对型钢、钢管作为桩身材料的微型预制桩,还应考虑钢桩周边环境土层腐蚀条件对其耐久性的要求(参见本规程附录 B)。

3 注浆钢管桩

注浆钢管桩是在静压钢管桩基础上发展的一种新微型桩。注浆钢管桩采用先沉钢管桩然后再封孔注浆的施工工艺。钢管桩施工方法包括静压法和植入法等。对既有建筑地基基础加固,注浆钢管桩一般采用传统的锚杆静压法或坑式静压法沉桩。对于新建工程地基加固处理,注浆钢管桩一般采用钻机或洛阳铲成孔,然后植入钢管的沉桩方法。注浆钢管桩封孔注浆施工时,应有足够的封孔长度,保证注浆压力的形成。注浆

钢管桩具有施工灵活、质量可靠的特点，常用于新建工程的桩基或复合地基施工质量事故的处理。基坑工程中，注浆钢管桩大量用于复合土钉墙的超前支护，本条文可以作为其设计施工的参考。

注浆钢管桩适用的土层条件和一般预制桩相同，对于碎石土、全风化岩、强风化岩等地层，还应根据现场试验结果确定其适用性。注浆钢管桩也可同心植入水泥土桩中，与之形成水泥土复合微型桩。

4 水泥土复合微型桩

在软弱地基的微型桩加固处理中，单一桩型有一定的局限性：微型预制桩身材料强度高且稳定，在软土中因土层抗剪强度低，单桩承载力较低，桩身承载力得不到充分的发挥；水泥土桩的桩身强度低，而单桩承载力往往受桩身强度控制，桩周土的强度得不到充分的发挥。水泥土复合微型桩是基于水泥土桩和微型桩两种桩型的工艺特点，提出的一种新型微型桩，它由水泥土与同心植入的微型预制桩复合而成。水泥土桩由高喷搅拌法、旋喷法或深层搅拌法施工，在水泥土桩中同心植入微型预制桩可根据工况选择静压、振动或植入的施工方法。微型预制桩可选用混凝土预制桩、混凝土管桩、钢管桩、型钢桩等。水泥土复合微型桩可以充分发挥水泥土桩桩侧摩阻力和微预制桩桩身材料强度，具有承载力高、沉降小、性价比高、绿色环保等特点。

水泥土复合微型桩的施工工艺特点决定了该技术适用于淤泥、淤泥质土、素填土、粉土、黏性土、砂土等土层，尤其适用于软弱土层，对于其他土质条件，应通过试验研究和取得工程经验后方可应用。

另外，本规程在第 4.3.13 条中对水泥土复合微型桩在桩基础和复合地基中的设计应用有区别规定：对水泥土复合微型桩基础，桩顶的竖向荷载和水平荷载完全由植入的微型预制桩承担，周围水泥土桩仅对微型预制桩桩周地基土的加固，不计桩身强度；当按复合地基设计时，竖向增强体需考虑外围水泥土对地基的加固作用。上述规定，在该类桩的选型时应注意区别。

4.2.2 本条说明按桩基础设计时微型桩基桩的布置。

基桩布置是桩基概念设计的重要内涵,是合理设计优化设计的主要环节。微型桩布置应符合国家现行有关规范标准规定的布置原则,在用于对既有建筑基础加固时,尚要兼顾桩基施工空间条件、被加固建筑物对桩基施工附加变形条件的限制,符合便于桩基施工和减少对原有基础和上部结构影响的原则。

1 微型桩最小中心距参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定,主要基于两个方面的限制条件确定:其一是考虑群桩效应,为防止过小桩间距使桩侧摩阻力下降,为能较充分发挥基桩的承载力,对基桩最小中心距的限制条件;其二是考虑成桩效应,对部分挤土桩或挤土桩为减少沉桩中的挤土效应对邻桩的影响,从而对基桩最小中心距的限制条件。

水泥土复合微型桩,承载性状分类属于摩擦桩,施工工艺属于非挤土桩,其适用土层一般为饱和黏性土。参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定,确定水泥土复合微型桩的基桩最小中心距不应小于 4 倍植入桩的直径或边长;参考现行行业标准《劲性复合桩技术规程》JGJ/T327 的有关规定,复合桩基桩的最小中心距不应小于 1.5 倍外围水泥土桩直径。本规程规定水泥土复合微型桩基桩的最小中心距不应小于植入桩直径或边长的 4 倍,且不宜小于水泥土桩直径的 2.5 倍。该规定综合考虑了该类桩在地基处理或加固工程中的工况条件 and 设计要求,在充分发挥地基土对水泥土桩的支承阻力同时,避免施工时相邻的水泥土复合微型桩相互影响。

2 微型桩进入持力层深度是基于现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定确定。对于水泥土复合微型桩除满足以上要求,桩端全断面进入持力层的长度尚应满足不小于水泥土桩直径的 1.5 倍,且当存在下卧层时,桩端以下持力层厚度不应小于水泥土桩直径的 3.0 倍。此规定是将水泥土中的植入桩视同于一般混凝土桩中的构造配筋,

并参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 中混凝土灌注桩构造配筋的有关规定。

3 微型灌注桩可根据需要采用竖直桩或斜桩布置,其他类型微型桩宜采用竖直桩的布置方式。工程实践和试验研究证明,在群桩基础中,适当布置 10° 左右的斜桩,能提高群桩基础的抗压、抗拔、水平承载力,并能显著减少群桩基础的相应变形量。

4 锚杆静压法沉桩桩位应对称布置在墙体的内外两侧或柱子四周;坑式静压法沉桩的桩位布置,应避开门窗等墙体薄弱部位,且应设置在结构受力节点位置;总之,对于加固工程,桩位布置应尽量靠近上部荷载作用点,使桩位处于刚性角以内。目的是为了减少静压沉桩时的压桩反力的弯矩作用,减少施工附加应力对既有建筑基础和上部结构的影响。

4.3 作用效应和承载力计算

4.3.1、4.3.2 本规程对既有建筑地基基础加固桩顶竖向力计算采用荷载增量的计算方法。对于加固前的既有建筑基桩的桩顶作用效用,根据加固前的桩基作用荷载,依据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 有关规定计算。对采用微型桩加固后的桩顶竖向力,按现行行业标准《既有建筑地基加固技术规范》JGJ 123 的有关规定分别计算:

1 在既有建筑原基础内增加桩时,宜按新增加的全部荷载由新增加的微型桩承担进行承载力计算。

2 对既有建筑的独立基础、条形基础扩大基础,并增加微型桩时,按既有建筑原地基持载压实增加的承载力承担部分新增荷载,其余新增加的荷载由微型桩承担。既有建筑地基经持载压实后增加的地基承载力,宜由静载试验或其他原位测试方法确定。建筑地基经持载压实后的承载力增加值与地基土的渗透性条件和持载压实历时有关,砂土渗透性强,持载压实历时短,黏性土渗透性弱,持载压实需要的时间长。根据国内

100 多幢增层楼房地基承载力的实测结果，黏性土地基持载 20 年～30 年，地基承载力增大为持载压实前地基承载力特征值的 1.25 倍～1.35 倍。本规程规定，按经验取值时，既有建筑地基经持载压实后增加的地基承载力不得超过压实前的原地基承载力特征值的 25%。

3 既有建筑桩基础扩大基础并增加桩时，按新增加的荷载由原基础桩和新增加微型桩共同承担，进行承载力计算。对于同一桩基中包含不同桩径、桩长的桩时，桩顶作用效应计算，是基于桩基竖向支承刚度等效换算原理。该原理是假设长、短桩(含大小截面桩)的桩顶反力(荷载效应)与其支承刚度呈线性关系，相同位移下桩顶反力随支承刚度增大而增大。

按以上原理，推导不同竖向支承刚度桩顶竖向力。将不同类型桩的竖向支承刚度比用桩的单桩承载力特征值之比表示，群桩中第 i 桩的竖向支承刚度与所参照的微型桩的竖向支承刚度比如下式：

$$\lambda_{Ri} = \frac{R_{ai}}{R_a} \quad (1)$$

轴心荷载作用下桩顶竖向力按支承刚度分配，第 i 桩桩顶竖向力 N_{ik}

$$N_{ik} = \lambda_{Ri} \frac{F_k + G_k}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Rj}} \quad (2)$$

偏心竖向力作用下，由 M_{xk} 引起的桩顶竖向力增量 $\Delta N_{(x) ik}$ ，按材料力学有关原理计算推导如下：

$$M_{xk} = \frac{1}{\rho} \sum_{j=1}^n y_j^2 E_j A_{pj} \quad (3)$$

由 M_{xk} 引起的桩顶竖向力增量

$$\Delta N_{(x) \text{ ik}} = E_i A_{pi} \varepsilon_i = \pm E_i A_{pi} \frac{1}{\rho} y_i \quad (4)$$

将式 (3) 的 $\frac{1}{\rho}$ 带入式 (4)，得到下式：

$$\Delta N_{(x) \text{ ik}} = E_i A_{pi} \varepsilon_i = \pm E_i A_{pi} \frac{1}{\rho} y_i = \pm E_i A_{pi} \frac{M_{xk} y_i}{\sum_{j=1}^n y_j^2 G_j} \quad (5)$$

对于任意第 i 基桩的竖向支承刚度可以用该基桩的竖向支承刚度比 λ_{Ri} 统一表示为：

$$E_i A_{pi} = \lambda_{Ri} E_p A_p \quad (6)$$

将式 (6) 带入式 (5)，得到

$$\Delta N_{(x) \text{ ik}} = \pm \lambda_{Ri} \frac{M_{xk} y_i}{\sum_{j=1}^n y_j^2 \lambda_{Rj}} \quad (7)$$

同样可以求得

$$\Delta N_{(y) \text{ ik}} = \pm \lambda_{Ri} \frac{M_{yk} x_i}{\sum_{j=1}^n x_j^2 \lambda_{Rj}} \quad (8)$$

综合式 (2)、式 (7)、式 (8)，得到刚性承台下基桩竖向支承刚度不同时，第 i 基桩的桩顶竖向力如下式：

$$N_{ik} = \lambda_{Ri} \left(\frac{F_k + G_k}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Rj}} \pm \frac{M_{sk} y_i}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Rj} y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Rj} x_j^2} \right) \quad (9)$$

4.3.4 本条是微型桩单桩承载力的设计规定。

1 微型预制桩、未采用二次注浆的一般微型灌注桩

以上桩承载力机理等同于一般中小直径桩，桩基承载力计算依据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94有关规定，本条规定对该类桩的桩侧阻力、桩端阻力调整系数均取1.0。

微型桩承载力设计一般不考虑一次注浆对桩侧阻力和桩端阻力的影响。搜集到国内16组同一地层条件下采用钻孔内投石一次注浆成桩和直接灌注细石混凝土成桩的微型桩单桩竖向抗拔或抗压静载试验数据（其中4组为模型桩静载试验数据），同一土层条件下，采用投石一次注浆成桩工艺的微型桩和采用直接灌注细石混凝土成桩的微型桩极限承载力比值在0.90~1.15之间。根据工程经验和以上试验数据分析，一次注浆工艺对微型桩桩侧极限侧摩阻力和桩端极限端阻力的影响可以忽略不计。

2 二次注浆对微型桩极限侧摩阻力和桩端极限端阻力的影响

采用二次注浆，需待第一次注浆的浆液初凝时方可进行，注浆压力必须克服初凝浆液的凝聚力并剪裂周围土体，从而产生劈裂现象。根据上海经验，微型桩的施工采用二次注浆成桩的工艺，通常有50%以上的水泥浆液注入周围土层。二次注浆对微型桩桩侧极限侧摩阻力和桩端极限端阻力的增强，主要是由于注浆对周围地基土的劈裂挤密作用、渗透加强作用，以及对原有桩的扩径效应。对二次注浆工艺研究与工程实践表明，二次注浆对桩侧阻力的提高系数与桩直径、桩侧土体类型、注浆材料、注浆量和注浆压力、方式等密切相关，提高系数一般可达1.2~2.0。

同一条件下,二次注浆桩侧阻力与端阻力的增强系数除与注浆压力密切相关外,原桩直径为影响因素之一,一般地,相同注浆压力形成的桩周压密区厚度相等,小直径桩侧阻力、桩端阻力增加幅度大于同材料相对直径较大的桩。对同一桩,基于二次注浆的扩径效应,桩端阻力提高系数大于桩侧摩阻力提高系数,而且具有近似平方关系。

现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94中对灌注桩后注浆侧阻力增强系数和端阻力增强系数有具体规定,这些系数的取得及应用条件是中等直径桩以上的灌注桩,注浆压力为3MPa~10MPa。根据上面分析,在同一土层条件下,采用同一注浆压力的微型桩其桩侧摩阻力和端阻力增强系数不应小于一般直径桩。微型桩二次注浆工作压力1MPa~3MPa,其注浆压力的上限值与普通灌注桩后压浆注浆压力的下限值相同,从安全考虑,微型桩其桩侧摩阻力和端阻力增强系数的最大值,不宜超过现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94中灌注桩后注浆桩侧、桩端阻力增强系数的下限值。

搜集到国内的52组同一地层条件下二次注浆成桩的微型灌注桩和投石一次注浆成桩、直接灌注细石混凝土成桩的微型灌注桩的单桩竖向抗拔或抗压静载荷试验数据(其中8组是模型桩静载荷试验数据)。经对以上数据综合分析整理,对于二次注浆对桩侧土极限摩阻力的增强系数汇总如下:

表 1 二次注浆桩侧极限侧阻力增强系数计算值

土层名称	淤泥 淤泥质土	黏性土 粉土	粉砂 细砂	中砂、粗砂、 砾砂	填土
β_{si}	1.06~1.70	1.24~1.71	1.60	1.60~3.30	1.60~3.00

3 根据搜集到的原始数据,并按微型桩桩侧摩阻力增强系数的上限值,不宜超过现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94中灌注桩后注浆桩侧力增强系数的下限值的原则,对微型桩二次注浆桩侧阻力增强

系数做出下列规定：

- 1) 淤泥、淤泥质土侧阻力增强系数实测值为1.06~1.70，现行《建筑桩基技术规范》JGJ94为1.10~1.30，本规程取1.00~1.10。
- 2) 黏性土、粉土，侧阻力增强系数实测值1.24~1.70，现行《建筑桩基技术规范》JGJ94为1.40~1.80，本规程取1.20~1.40；
- 3) 细砂、中砂、粗砂、砾砂，侧阻力增强系数实测值1.64~3.30，现行《建筑桩基技术规范》JGJ94取1.6~2.5，本规程取1.3~1.6；
- 4) 全风化岩、强风化岩，现行《建筑桩基技术规范》JGJ94取1.40~1.80，参考砂土实测数据本规程取1.20~1.40；
- 5) 填土，侧阻力增强系数实测值1.64~2.20，结合工程经验，参考砂土，本规程取1.30~1.60；

4 由于二次注浆对微型桩桩端阻力的增强系数大于桩侧摩阻力增强系数，故桩端阻力的增强系数参考表1桩侧阻力的增强系数是安全的。另外从安全考虑，微型桩端阻力增强系数的上限值，不宜超过现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94中灌注桩后注桩端阻力增强系数的下限值。基于以上原因，本规程对桩端阻力系数的取值规定如下：

- 1) 黏性土、粉土，端阻力增强系数参考实测值为1.24~1.70，现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94规定为2.20~2.50，本规程取1.20~1.70；
- 2) 细砂、中砂、粗砂、砾砂，端阻力增强系数参考实测值为1.64~3.30，现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94规定为2.40~3.50，本规程取1.60~2.30；
- 3) 全风化岩、强风化岩，现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94规定端阻力增强系数2.00~2.40；本规程针对风化岩土的工程地质特性，参考了砂土地层端阻力增强系数的实测值，并按上述数据处理原则，取1.40~2.00；
- 4) 填土，端阻力增强系数参考实测值1.64~2.20，结合工程经验，

本规程参考砂土的端阻力增强系数，取1.60~2.00；

5 水泥土复合微型桩

- 1) 当采用经验公式估算由水泥土桩桩周土和桩端土抗力提供的承载力时，依据现行行业标准《水泥土复合管桩技术基础技术规程》JGJ/T330，水泥土复合微型桩侧阻力标准值可取泥浆护壁灌注桩侧阻力标准值的1.5倍，极限端阻力标准值可取泥浆护壁灌注桩极限端阻力标准值的1.0倍；
- 2) 桩端端阻力发挥系数与外围水泥土桩的类型、水泥土桩长度、植入桩长度、以及桩体和土的相对刚度密切相关。桩长过长影响桩端承载力发挥时应取低值；植入桩未通底，水泥土搅拌桩非组合段的荷载传递受搅拌土的性质影响时，应取0.4~0.6；其他情况可取1.0；
- 3) 预制桩—水泥土界面极限侧阻力换算系数 ξ ，参考现行行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T330和山东省工程建设标准《水泥土复合混凝土空心桩基础技术规程》DB37/T 5141，参考大比尺剪切模型实验数据。
- 4) 大比尺剪切模型试验的测试，模型构造同心植入桩为管桩、圆柱形花岗岩、方柱形花岗岩、钢管、工字型钢，植入桩外围为按一定配比的水泥土。图1为水泥土—植入桩界面黏结强度。

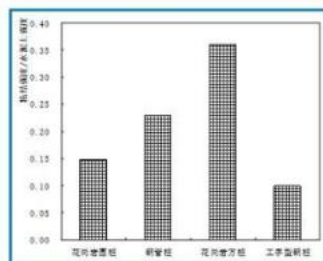
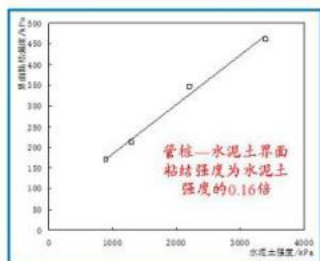


图 1 水泥土一植入桩界面黏结强度

5) 根据以上试验数据, 芯桩-水泥土界面粘结强度 $1/10 f_{cu} \sim 1/3 f_{cu}$ 之间, 方形芯桩界面粘结强度最大、圆形芯桩次之、工字型芯桩最小, 规定取值如下:

工字钢-水泥土的黏结系数取 0.12。

高强混凝土管桩-水泥土界面的黏结系数为 0.16~0.19, 本规程取低值 0.16。

钢管桩实验数据为 0.22, 黏结力略高于高强管桩, 安全起见, 钢管-水泥土的黏结强度系数本规程取 0.16; 考虑桩的截面形状因素对黏结系数的影响, 矩形截面的黏结强度略高于圆形截面, 型钢方桩-水泥土的黏结系数本规程取 0.17。

一般预制方桩的表面粗糙度要高于钢桩或高强管桩, 综合考虑截面影响因素和材质因素, 预制方桩-水泥土的黏结系数取 0.19。

4.3.6 减沉复合桩基是介于桩基础和天然地基之间的一种新型基础形式。它是在天然地基承载力可基本满足要求的建筑场地, 以减少天然地基沉降为设计目的, 而采用疏布的摩擦型微型桩, 由微型桩和地基土共同承载的复合桩基。

减沉复合桩基设计由复合桩基础整体地基承载力、地基变形控制。整体地基承载力应满足安全度不小于 2.0 的要求, 地基变形应满足地基变形允许值和设计要求。设计中通过变形控制来确定微型桩桩基和地基土各自分担上部荷载的比例, 然后确定微型桩桩承载力、设计参数、桩数, 以及地基土承载力特征值的利用系数。

1 天然地基承载力特征值满足率验算

本条规定天然地基承载力特征值的满足率系数 ψ 不应小于 0.5, 这是基于减沉复合桩基整体承载力安全度的考虑。减沉复合桩基安全度定义为复合桩基础整体极限承载力与复合桩基础设计承载力的比值, 它与桩的极限承载力的利用系数、天然地基承载力特征值的利用系数以及天

然地基满足率系数有关，计算公式推导如下：

设上部结构和承台自重传到基底的总荷载为 Q ，由减沉复合桩基础的设计承载力承担，如下式：

$$Q = \xi_s f_a A + n \xi_p Q_{uk} \quad (10)$$

由复合地基承载力特征值的满足率系数定义， $f_a A = \psi Q$ ，带入式（11）：

$$Q = \psi \xi_s Q + n \xi_p Q_{uk} \quad (11)$$

减沉复合桩基的整体极限承载力为：

$$Q_u = 2.0 f_a A + n Q_{uk} = 2.0 \psi Q + n Q_{uk} \quad (12)$$

由式（11）和式（12）联立，求得下式减沉复合桩基础承载力安全度表达式：

$$K = \frac{1}{\xi_p} + (2.0 - \frac{\xi_s}{\xi_p}) \psi \quad (13)$$

减沉复合桩基础设计，群桩中的单桩承载力可用到极限，正常工作中都处于塑性支承状态，考虑施工以及地质条件等不确定因素以及群桩效应的影响，应留有一定安全度，故本条规定单桩极限承载力利用系数 ξ_p 取 0.8~0.9，当荷载为偏心荷载时取低值。当单桩极限承载力利用率分别为 $\xi_p=0.8$ 和 $\xi_p=0.9$ 时，减沉复合桩基安全度分别有：

$$K = 1.25 + (2.0 - 1.25\xi_s)\psi \quad (\xi_p = 0.8) \quad (14)$$

ξ_s	ξ_p	ψ								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.9	1.30	1.49	1.68	1.87	2.05	2.24	2.43	2.62	2.81
	0.8	1.44	1.63	1.81	2.00	2.19	2.38	2.56	2.75	2.94

$$K = 1.11 + (2.0 - 1.11\xi_s)\psi \quad (\xi_p = 0.9) \quad (15)$$

对上式的计算表明（表 2）， ψ 对 K 值影响最大， $\psi \geq 0.5$ 时，容易满足减沉复合桩基础整体承载力安全系数 $K \geq 2.0$ 的要求，按减沉复合桩基础设计可取得良好的经济效益；而当 $\psi < 0.5$ 时，一般应按常规方法设计桩基础。

2 桩间地基土承载力特征值的利用系数 ξ_s 的取值规定

桩间地基土承载力特征值的利用系数 ξ_s ，本条规定取值不大于 0.5。由于减沉复合桩基中单桩处于极限或接近极限的工作状态，地基承载力利用系数是保证复合桩基础整体安全的关键因素，参考表 2 的数据，当地基承载力利用系数满足 $\xi_s \leq 0.5$ 时，建筑场地天然地基承载力容易满足减沉复合桩基础的整体安全度不小于 2.0 的要求。

3 桩顶荷载效应与单桩承载力验算

减沉复合桩基单桩承载力设计值接近竖向极限承载力标准值，而且采用疏布桩，布桩数少，为确保减沉复合桩基整体安全性，应确保所有基桩桩顶承担的竖向压力值不大于 $\xi_p Q_{uk}$ 。

0.2	0.9	1.29	1.47	1.64	1.82	2.00	2.18	2.35	2.53	2.71
	0.8	1.43	1.60	1.78	1.95	2.13	2.30	2.48	2.65	2.83
0.3	0.9	1.28	1.44	1.61	1.78	1.94	2.11	2.28	2.44	2.61
	0.8	1.41	1.58	1.74	1.90	2.06	2.23	2.39	2.55	2.71
0.4	0.9	1.27	1.42	1.58	1.73	1.89	2.04	2.20	2.35	2.51
	0.8	1.40	1.55	1.70	1.85	2.00	2.15	2.30	2.45	2.60
0.5	0.9	1.25	1.40	1.54	1.69	1.83	1.98	2.12	2.27	2.41
	0.8	1.39	1.53	1.66	1.80	1.94	2.08	2.21	2.35	2.49
0.6	0.9	1.24	1.38	1.51	1.64	1.78	1.91	2.04	2.18	2.31
	0.8	1.38	1.50	1.63	1.75	1.88	2.00	2.13	2.25	2.38
0.7	0.9	1.23	1.35	1.48	1.60	1.72	1.84	1.97	2.09	2.21
	0.8	1.36	1.48	1.59	1.70	1.81	1.93	2.04	2.15	2.26
0.8	0.9	1.22	1.33	1.44	1.55	1.67	1.78	1.89	2.00	2.11
	0.8	1.35	1.45	1.55	1.65	1.75	1.85	1.95	2.05	2.15
0.9	0.9	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61	1.71	1.81	1.91	2.01
	0.8	1.34	1.43	1.51	1.60	1.69	1.78	1.86	1.95	2.04
1.0	0.9	1.20	1.29	1.38	1.47	1.56	1.64	1.73	1.82	1.91
	0.8	1.33	1.40	1.48	1.55	1.63	1.70	1.78	1.85	1.93
注：表中数值可插值使用。										

表 2 减沉复合桩基整体安全度 K 与 ψ 、 ξ_s 、 ξ_b 的关系

4.3.7 本条是微型桩复合地基承载力计算的规定。

1 参考国家现行标准《复合地基处理技术规范》GB/T50783、《建筑地基处理技术规范》JGJ79 对刚性桩复合地基有关规定，并根据搜集到的 10 组微型桩复合地基静载荷试验数据（含桩顶应力和地基土应力检测数据）、3 根微型桩单桩静载试验数据，数据分析结果表明，对微型桩复合地基承载力计算，单桩承载力发挥系数 λ 可取 0.90~0.95，桩

间土承载力发挥系数 β 可取 0.90~1.0。

2 水泥土复合微型桩按复合地基设计时，竖向增强体是包括外围水泥土和同心植入的微型桩，国家行业标准《劲性组合桩技术规程》JGJ/T327 规定：劲性组合桩复合地基承载力计算，单桩承载力发挥系数 λ 取 0.95~1.0；桩间土承载力发挥系数 β 取 0.80~1.0。考虑到水泥土复合微型桩的场地土层一般较为软弱，控制地基变形，以及安全等原因，本规程对桩间土承载力发挥系数规定取 0.80~0.90。

4.3.8 本条是计算微型桩单桩竖向抗拔极限承载力标准值的规定：

1 微型桩的抗拔承载力与一般桩基的抗拔承载力计算不完全相同，区别在微型桩抗拔承载力计算考虑二次注浆桩对桩侧土侧摩阻力的增强作用。从二次注浆的机理考虑，抗压或抗拔桩侧阻力增强系数取值是一致的，即 β_{si} 等同于一一般抗压桩。

2 水泥土复合微型桩其竖向抗拔承载机理又不同于一般微型桩，其抗拔破坏有三种可能模式：模式一是由植入微型桩的桩身承载力控制的植入桩桩身受拉破坏；模式二是受水泥土与周围地基土接触界面抗剪强度控制，植入桩连同水泥土桩从地基土中拔出破坏；模式三是受植入桩和水泥土界面黏结强度控制，植入桩从水泥土中拔出破坏。水泥土复合微型桩单桩竖向抗拔承载力标准值应对以上三种可能的破坏模式中取低值。破坏模式一的抗拔承载力可依据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 计算。本条重点给出的是后两种破坏模式的计算公式。

1) 破坏模式二的上拔力极限承载力值计算公式中水泥土桩侧摩阻力增强系数与水泥土复合微型桩抗压计算时一致。

2) 破坏模式三的上拔力极限承载力值计算，水泥土抗拔系数 λ_{2i} 可参考表 4.3.8 选取。该表参考了现行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T330 的规定，并考虑到当植入微型桩的材质为钢管桩、预制混凝土桩等桩型时，抗拔时的泊松比效应有时会比高强混凝土管桩更为显著，本规程对植入桩和水泥

土接触界面的抗拔系数下限值略有调整降低。

4.3.9 大量的微型桩的水平载荷试验证明,二次注浆工艺对于微型灌注桩、注浆钢管桩的水平承载力影响,比较其对抗压和抗拔竖向承载力的大小要小得多。对一般黏性土、粉土等浆液灌注以劈裂为主的细粒土土层,桩的水平承载力提升效果尤其不显著;对于松散填土、粗粒土等浆液灌注以渗透为主的土层虽有一定提升,但效果不稳定。桩的水平承载力是桩身计算宽度范围内土体的水平抗力、桩身抗弯刚度及抗弯强度决定的,二次注浆对桩周土的水平抗力提升效果不显著或不稳定,不易定量计算。

在水平荷载作用下的弹性变形阶段,水泥土复合微型桩的外围水泥土,暂时起到了增强桩身抗弯刚度的作用,等效于扩大了桩身截面尺寸,故水泥土复合微型桩的水平承载力实测值,比按植入桩截面与水泥土桩周地基土水平抗力系数计算得到的临界值偏大。由实测临界值乘以 0.75 倍后得到的特征值也相应偏大,将水平承载力极限值与该特征值比较,将不满足承载力安全度不小于 2.0 倍的要求。水泥土复合微型桩外围水泥土本质是地基土增强体,不具有抗水平荷载桩体材料所要求的强度和耐久性,且其强度受地层的影响离散性高,只是受水平载荷试验条件的限制,在较低水平荷载的弹性变形阶段,微型桩外围水泥土临时起到了对桩身的抗弯刚度增强作用。水泥土复合微型桩的水平极限荷载是由植入桩的桩身抗弯强度决定的,随着施加的水平荷载的增大,特别是当桩身接近弯曲破坏时,水泥土早已失去原有的抗力作用,此时外围水泥土对微型桩水平极限承载力的增强作用可以忽略。

基于以上原因,本条规定在计算水泥土复合微型桩的水平静载特征值时,按植入桩截面参数及其材料强度计算,桩周土水平抗力系数可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定选取,将外围水泥土对植入桩桩身抗弯刚度的增强作用,留作安全储备。

4.3.10 该条是微型桩正截面轴心受压承载力计算的规定。

1 混凝土中箍筋对于发挥混凝土桩桩身结构承载力，有两方面的加强作用：一是在轴压荷载下箍筋对混凝土起到约束加强的作用，改善混凝土的应力分布状况，大幅提高混凝土强度。由于桩顶受荷载作用最大，桩顶附近深度范围的箍筋适当加密，能显著提高桩的竖向抗压承载力；二是桩受水平荷载作用时，箍筋的抗剪作用。当受风等水平荷载或受地震作用，基桩桩顶承受较大的剪力和弯矩，为提高桩身抗水平荷载承载力，桩顶一定范围箍筋应当加密。

参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 有关规定，当桩顶以下 $5d$ 范围的桩身螺旋式箍筋间距不大于 100mm ，计算桩身承载力可以考虑纵向主筋的作用。相比一般中等直径桩，桩周地基土对微型桩的支承抗力要高 1.5 倍~ 2.5 倍，为充分发挥桩周土对桩的阻力，微型桩的桩身强度特别是靠近桩顶范围的桩身强度也比普通灌注桩有更高的要求。对于桩顶箍筋加密范围，现行行业标准规定是桩顶以下 $5d$ ，本规程对该规定范围作了调整。微型桩直径小，长细比大，抗弯刚度低，在竖向偏心荷载或水平荷载作用下更易发生弯曲变形和弯曲破坏，微型桩身结构对于桩基抗震不利。根据搜集到的 102 项工程的桩基震害统计，发现地震中大多数桩在距桩顶 2m ~ 3m 范围内发生环形剪切破坏，分析原因是地震时桩承台受过大的弯矩或侧向水平力所致。根据计算分析，微型桩受水平力作用最大弯矩点位置位于桩顶以下 $4d$ ~ $5d$ ，桩侧地基土对微型桩提供抗力主要为桩顶以下 $8d$ ~ $10d$ ，因此微型桩箍筋加密范围宜取桩顶以下 $10d$ 。本规程规定微型灌注桩、混凝土预制桩桩顶以下 $10d$ 范围的桩身螺旋式箍筋间距不大于 100mm ，且符合第 4.6.1 条规定时，桩身正截面轴心受压承载力可考虑纵向主筋作用。

2 对微型桩成桩工艺系数的规定

桩身混凝土的受压承载力是桩身受压承载力的主要部分，其强度和截面变异受成桩工艺的影响。对微型桩成桩工艺系数 ψ_c 的取值，就其

成桩环境、质量可控度不同，并参考现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94，本规程适当提高了安全度。

干作业非挤土微型灌注桩(含机钻、挖孔桩、人工挖孔桩)： ψ_c 取 0.60~0.80；主要考虑其相比同一施工条件下的中等直径灌注桩，桩径小，桩身截面的变异性较大，为安全应适当降低其成桩工艺系数；对投石注浆法，考虑其一次注浆施工时浆液易流失，需要二次注浆补强，桩截面变异性大，宜取低值。

泥浆护壁和套管护壁、非挤土微型灌注桩、部分挤土微型灌注桩： ψ_c 取 0.60~0.70；主要考虑其相比同一施工条件下的中等直径灌注桩，桩径小，桩身截面的变异性较大，为安全应适当降低其成桩工艺系数；对投石注浆法、对于易塌孔的流塑状软土、松散粉土、粉砂， ψ_c 宜取低值。

软土地区挤土微型灌注桩： ψ_c 取 0.50~0.60；主要考虑其相比同一施工条件下的中等直径灌注桩，桩径小，桩身截面的变异性较大，为安全应适当降低其成桩工艺系数；对投石注浆法宜取低值。

微型预制桩： ψ_c 取 0.70~0.80；主要考虑其相比同一施工条件下的普通预制桩，桩身截面小，长细比大，在堆放、吊装运输、施工中的不利因素对桩身强度影响大，为安全，应适当降低其成桩工艺系数；采用硫磺胶泥接桩时取低值。

水泥土复合微型桩 ψ_c 取 0.85；主要考虑植入预制桩时水泥土处于初凝前，施工过程对预制桩的桩身强度无特别不利影响因素，工艺系数可参考现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 取高值。

4.3.12 注浆钢管桩在轴向应力作用下，管内混凝土产生微小应变，随着应力的增大，应变亦增大，应变增至一定程度后，钢管将对管内的混凝土产生紧箍力，阻止其变形，钢管内的混凝土强度远远大于无侧限的混凝土试块的抗压强度。参考现行国家标准《钢管混凝

土结构技术规范》GB50936，钢管内灌注混凝土，考虑套箍影响，按钢管混凝土强度计算注浆钢管桩轴心受压承载力。下面以某注浆钢管桩工程的基桩静载荷试验数据为例，计算分析说明注浆钢管桩桩身承载力设计值和屈服强度值的计算。

济南某工程采用注浆钢管桩钢管桩加固改造，其直径为 $\Phi 108\text{mm}$ ，钢管壁厚均为 4.5mm ，嵌岩段深度为 3.50m ，钢管内混凝土设计强度等级为 C30。检测试桩 S1# 最大加载至 960kN 未破坏。单桩竖向抗压承载力极限值不小于 960kN 。

1 注浆钢管桩轴心受压桩身承载力设计值计算

采用桩体材料设计值，按本规程第 4.3.12 条相关公式计算如下：

$$A_{ps}=3.14\times(108/2)^2=9156\text{mm}^2$$

$$A_{gc}=3.14\times[(108-4.5\times2)/2]^2=7694\text{mm}^2$$

$$A_{gs}=9156-7694=1462\text{mm}^2$$

$$\alpha_{sc}=1462/7694=0.190$$

$$\theta=0.190\times300/14.3=3.988$$

$$B=0.176\times300/213+0.974=1.222;$$

$$C=-0.104\times14.3/14.4+0.031=-0.072$$

钢管混凝土轴心受压承载力设计值为：

$$F_{sc}=(1.212+1.220\times3.988-0.072\times3.988^2)\times14.3=70.573\text{MPa}$$

注浆钢管桩桩身轴心受压承载力设计值为：

$$N=f_{sc}\cdot A=70.573\times9156=646\text{kN}$$

由桩身设计承载力确定的单桩竖向抗压承载力特征值：

$$R\leqslant 646/1.35=478\text{kN}$$

由桩身设计承载力确定的单桩竖向抗压承载力极限值:

$$R_u=478 \times 2=956 \text{ kN} < 960 \text{ kN}$$

按桩身材料强度确定的单桩竖向抗压承载力极限值 R_u 略小于静载试验检测值 960kN, 可见按本条规定计算桩身承载力设计值是安全的。

2 注浆钢管桩轴心受压桩身承载力极限值计算

考虑钢材和混凝土的分项系数后, 同时将公式中的系数 B 和 C 的材料强度设计值用材料标准值替换, 钢管混凝土轴心受压的抗压强度标准值 f_{sck} 可按式计算:

$$f_{sck} = (1.212 + B\theta + C\theta^2)f_{ck} \quad (16)$$

$$B = 0.176f_y / 235 + 0.974 \quad (17)$$

$$C = -0.104f_{ck} / 20 + 0.031 \quad (18)$$

$$\theta = \alpha_{sc}f_y/f_{ck} \quad (19)$$

式中: f_{sck} —— 钢管混凝土轴心受压的抗压强度标准值

f_{ck} —— 混凝土轴心抗压强度标准值

f_y —— 钢材屈服强度标准值

θ —— 套箍系数

α_{sc} —— 含钢率

采用上述公式验算注浆钢管桩轴心受压桩身承载力极限值。计算时钢材屈服强度标准值取检测值 412MPa, 钢管内混凝土强度 f_{ck} 取 30MPa, 代入上式计算如下:

$$\theta = 0.190 \times 412 / 30 = 2.610$$

$$B=0.176 \times 412/235 + 0.974 = 1.283$$

$$C=-0.104 \times 30/20 + 0.031 = -0.125$$

把 θ 、 B 、 C 、 f_{ck} 代入(1)式中, 得钢管混凝土轴心受压抗压强度标准值:

$$f_{sck} = (1.212 + 1.283 \times 2.610 - 0.125 \times 2.610^2) \times 30 = 111.248 \text{MPa};$$

注浆钢管桩轴心受压桩身承载力极限值为:

$$N_u = f_{sck} A_p = 111.248 \times 9156 = 1019 \text{kN} > 960 \text{kN}$$

验算的桩身承载力极限值大于静载试验最大加载值, 与试桩最大加载至 960kN 未出现破坏的情况相符。

4.3.13 本条是水泥土复合微型桩轴心受压承载力的规定, 参考本规程第 4.3.16 条、第 4.3.17 条的条文说明:

1 水泥土复合微型桩按桩基础设计时, 桩身承载力计算只取植入的微型桩轴心受压承载力, 外围水泥土桩的对微型桩桩身强度抗力增强作用作为安全储备;

2 水泥土复合微型桩按复合地基设计时, 外围水泥土桩是复合地基竖向增强体的一部分, 应考虑外围水泥土桩的抗力作用, 竖向增强体的轴心受压承载力计算应计外围水泥土桩的轴心受压承载力。

4.3.14 本条是计算微型桩桩身正截面轴心受压承载力考虑压屈影响时的有关规定;

相比普通桩, 微型桩长细比大, 但由于周围地基土的横向约束可以抑制桩身压屈的发生, 计算微型桩轴心受压正截面受压承载力一般不用考虑压屈影响, 稳定系数 φ 取 1.0。对于高承台基桩或桩身穿越可液化土或不排水抗剪强度小于 10kPa (地基承载力特征值小于 25kPa) 软弱土层的基桩, 考虑压屈影响时, 应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 有关规定, 将计算所得桩身正截面受压承载力乘以 φ 折减。

1 微型桩注浆钢管桩属于钢管混凝土构件，现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 没有给出采用钢管混凝土材质桩的稳定系数计算公式。确定微型桩注浆钢管桩的稳定系数，应根据桩端、桩顶的约束条件按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定确定其压屈计算长度 l_c ，然后再结合现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 有关规定，确定微型注浆钢管桩稳定系数 φ ，其稳定系数可按下列公式计算：

$$N = \varphi N_0 \quad (20)$$

$$\varphi = \frac{1}{2\bar{\lambda}_{sc}^2} \left[\bar{\lambda}_{sc}^2 + (1 + 0.25\bar{\lambda}_{sc}) - \sqrt{(\bar{\lambda}_{sc}^2 + (1 + 0.25\bar{\lambda}_{sc}))^2 - 4\bar{\lambda}_{sc}^2} \right] \quad (21)$$

$$\bar{\lambda}_{sc} \approx 0.01\lambda_{sc}(0.001f_y + 0.781) \quad (22)$$

式中： N_0 —— 钢管混凝土短柱的轴心抗压强度设计值

φ —— 轴心受压构件稳定系数；

λ_{sc} —— 各种构件的长细比等于构件的计算长度除以回转半径；

$\bar{\lambda}_{sc}$ —— 构件正则长细比

2 对水泥土复合微型桩按桩基础设计时，计算植入微型桩的轴心受压正截面受压承载力时，稳定系数 φ 取 1.0。水泥土复合微型桩周围有水泥土，即使地基土是可液化土或不排水抗剪强度小于 10kPa（地基承载力特征值小于 25kPa）的软弱土层，但由于周围水泥土桩的加固作用，并由于其套箍效应，轴心受压正截面受压承载力可以不考虑压屈。

4.3.15 参照现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936 的规定，对钢管混凝土结构弹性分析中，其截面弹性刚度取钢管和钢管内混

凝土的弹性刚度之和。

4.3.16 微型水泥土复合桩按桩基础设计时，不计外围水泥土的截面刚度，只取同心植入的微型预制桩的截面刚度，其计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定。已有的研究表明，水泥土复合微型桩桩顶处上部竖向荷载主要由植入的微型桩承担。在聊城月亮湾工程、济宁诚信苑工程、东营万方广场工程共进行了 11 组水泥土复合管桩静载荷试验；试验时采用直径与水泥土桩相同的刚性承压板对组合桩（芯桩（管桩）及周围水泥土）加载；通过埋设的应力传感器对桩顶处管桩、水泥土的荷载分担情况进行了研究，试验结果证明荷载分担比大约为：管桩：水泥土=80%：20%。水泥土复合微型桩按桩基础设计时，其同心植入的微型桩一般嵌入承台不小于 100mm，和上述水泥土复合基桩静载试验加载条件不同，微型桩首先主动承受上部荷载，桩周水泥土其次被动承担，故按桩基础设计时，微型桩桩分担的荷载比例比上述该试验还要大。总结了现有的研究成果，本条对水泥土复合微型桩的设计规定，按桩基础时设计时，微型桩承受全部桩顶荷载，忽略桩顶处水泥土的分担作用，以保证微型桩有足够的安全富裕度，相应的，此时对于水泥土复合微型桩的压缩变形计算，计算水泥土复合微型桩的刚度，也不计外围水泥土对微型桩的刚度增强作用。

4.3.17 本条是关于植入桩复合段的桩身材料复合模量的计算规定。水泥土复合微型桩按复合地基设计时，不能忽视水泥土对地基土的增强作用，复合地基竖向增强体为由外围水泥土桩及其中心植入的微型预制桩组成的组合桩。按弹性分析时水泥土桩和中心植入桩共同承担上部荷载，水泥土桩应变值和植入桩应变值一致，不难得到本条计算公式。

4.4 地基变形计算

4.4.1 建筑地基基础加固处理后的地基变形包括沉降量、沉降差、局部倾斜等的允许值应符合应符合现行国家标准《建筑与市政地基基础通用

规范》GB55003、《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定；
对有特殊要求的保护性建筑，地基变形允许值应根据建筑物的保护要求由设计确定。初步设计，地基变形验算值超出以上规定范围，应该调整微型桩设计参数或桩数，直到地基变形验算值满足规定的地基变形允许值为止。

4.4.2 对既有建筑增加桩进行地基基础加固，现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123 规定了既有桩基、新增桩基、和地基土对新增荷载的分配原则；现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定了不同布桩条件下桩基沉降的计算方法：

1 在既有建筑原基础内新增加桩时，新增加荷载全部由桩基承担。桩端平面以下地基中附加应力分布可按实体深基础法或 Mindlin 解计算。

2 对既有建筑的独立基础、条形基础扩大基础，并增加微型桩时，按既有建筑原地基增加的承载力承担部分新增荷载，其余新增加的荷载由微型桩承担，此时地基土承担部分新增荷载的基础面积应按原基础面积计算。桩端平面以下地基中，由承台底地基土新增荷载产生的附加应力按 Boussinesq 解计算、由基桩引起的附加应力按 Mindlin 解计算。

3 既有建筑桩基础扩大基础并增加桩时，按新增加的荷载由原基础桩和新增加桩共同承担进行承载力计算。桩端平面以下地基中由基桩引起的附加应力按 Mindlin 解计算。

4.4.3 本规程基于减沉复合桩基础设计理论，重点是解决了基础中基桩和地基土的荷载分配问题，设计时基桩承载力利用值按其极限值考虑，工作中桩端处于塑性支承状态，忽略基础在上部荷载作用下随地基土的固结和有效应力的增长，以及由此所带来的桩土荷载的重新分配问题。结合本规程第 4.3.6 条减沉复合微型桩设计，对减沉复合桩基础沉降计算做如下说明：

1 减沉复合桩基中桩所承担的附加荷载为所有基桩竖向抗压极限

承载力乘以单桩极限承载力发挥系数后的总和,而承台底地基土所承担的附加荷载为在荷载效用准永久组合下,作用于桩基承台底面以上的总附加荷载除去所有桩所承担的附加荷载后的剩余荷载。

2 减沉复合桩基础的沉降,按基桩桩顶桩附加荷载和承台基底地基土附加荷载对于地基沉降的作用效应计算。由桩顶附加荷载在地基土中引起的附加应力按 Mindlin 解计算,由承台底地基土新增荷载产生的附加应力按 Boussinesq 解计算。由以上附加荷载效应引起的地基最终沉降量采用单向压缩分层总和法计算,具体参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行。

4.4.4 微型桩按复合地基设计,采用作为增强体对新建建筑地基处理或既有建筑地基加固,可选择的桩型有水泥土复合微型桩、注浆钢管桩、微型灌注桩、微型预制桩等。微型桩地基沉降计算应根据复合地基基本理论,并结合微型桩增强体及其复合地基的承载性状,宜参照现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T 50783 有关规定执行。对于水泥土复合微型桩地基增强体,加固区复合土层的地基变形计算,增强体有植入桩复合段可按刚性桩,增强体无植入桩复合段可按柔性桩。

4.5 承台设计

4.5.1、4.5.2 既有建筑增加微型桩,按本规程第 4.3 节规定的荷载分配原则计算荷载效用基本组合下的基桩或复合基桩反力设计值,并依据国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定对承台的受弯承载力、受剪承载力、受冲切承载力计算。当基础的强度不满足时,则应对基础采取加固补强,然后在加固后的基础内增加桩。

4.5.3 锚杆静压桩采用地脚螺栓作为锚固筋,设计验算锚固筋强度时,最大压桩力设计值可根据本规程第 5.4.2 条有关规定,取设计最终压桩力的最大值。

4.6 构造要求

4.6.1 本条是微型灌注桩的构造要求:

1 微型灌注桩直径不大于 300mm, 参考现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 规定, 当直径为 300mm~2000mm 时, 正截面配筋率可取 0.65%~0.2%, 小直径桩取高值。微型灌注桩截面小, 桩身强度小而且变异性大, 为保证桩身结构强度的稳定, 稳定地把上部荷载传递到深部土层, 规定通长配筋。

2 参考本规程第 4.3.10 条文说明, 微型灌注桩因为直径小, 桩身抗弯刚度差, 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承载力时, 桩顶以下 $10d$ 范围内箍筋应加密, 箍筋间距不应大于 100mm。该构造措施有三方面目的: 第一是防止纵筋压屈, 提高上部桩身混凝土承载力; 第二增加稳定系数, 减少桩身穿过软弱土层的压屈影响, 提高竖向桩身正截面受压承载力; 第三是增强桩身受弯刚度, 受剪切及受水平荷载的承载力。

3 比较一般直径的混凝土灌注桩, 微型灌注桩由于桩身截面小, 桩身强度的离散性高, 提高微型灌注的桩身强度, 除了满足桩身混凝土耐久性的要求外, 更主要是为了充分发挥其桩周土承载力高的优势, 参照国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定, 微型桩桩身混凝土强度的最低强度等级不应低于 C25。

4.6.2 注浆钢管桩一般采用钻机或洛阳铲成孔, 然后植入钢管再封孔注浆的工艺, 注浆一般采用水泥浆、水泥砂浆。本条是注浆钢管桩构造要求的规定:

1 规定钢管壁厚不小于 3mm、连接应采用套管焊接, 都是保证钢管焊接质量的要求;

2 现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 有关规定, 钢管砂浆保护层厚度不应小于 35mm; 参照欧洲微型桩标准 BS EN14199:2015 有关规定, 同等条件下, 钢管水泥浆的最小保护层厚度小于钢管砂浆的最小保护层厚度; 本规程同一规定钢管水泥浆、水泥砂浆保护层厚度不应小于 35mm。

4.6.3 本条是微型预制桩的构造要求:

1 预微型制桩身截面小, 抗弯刚度小, 要保证堆放、吊装运输和施工时桩身结构稳定性, 要求截面尺寸不小于 150mm。

2 预制混凝土桩的构造配筋是根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定, 考虑到桩身截面小, 正截面钢筋率取高值。

3 微型桩的耐久性设计中, 对钢材的防腐蚀性保护通常做法是设置保护层厚度。对于型钢或钢管材质的微型预制桩, 参照国内外技术标准, 其耐久性防护设计可采用增加一定腐蚀损耗余度的做法, 本规程附录 A 给出了微型桩用钢材在水土介质和空气介质的腐蚀损失厚度数值, 可供设计参考。

4.6.4 本条是对水泥土复合微型桩的构造要求:

1 对水泥土强度的规定主要考虑水泥土桩发挥着两种抗力作用, 一是使外围水泥土桩-地基土界面所提供的摩阻力能充分传递水泥土-植入桩界面, 水泥土桩发挥的抗剪切作用; 二是水泥土桩体作为地基竖向增强体发挥的竖向承载作用。发挥以上两种抗力作用对水泥土的强度存在下限值要求。本条规定桩身水泥土实体强度应符合本规程第 4.3.13 条规定并不应小于 1.5MPa。

2 水泥土复合微型桩是在比较软弱的地层中先行施工水泥土桩, 然后再在水泥土中植入合适的微型预制桩, 提高桩身强度, 设计目标是达到桩身强度与桩侧土阻力的合理匹配。山东省大量的工程试验与设计计算表明, 水泥土桩截面尺寸与植入的微型预制桩的截面尺寸合理的比值为 2.5 倍~3.0 倍。水泥土桩直径一般为 600mm 左右, 根据水泥土桩

直径和植入桩直径不大于 3 倍的构造要求, 植入桩的直径应为 200mm 左右, 本条规定植入微型预制桩的截面尺寸不宜小于 150mm。植入桩与水泥土桩外围间隔厚度除满足桩侧摩阻力要求外, 还要考虑减少桩位偏差和垂直度偏差而产生的不良影响, 合理的厚度为 150mm~250mm, 本条规定水泥土桩直径与植入微型预制桩的直径或其外接圆直径之差不宜小于 150mm。

3 水泥土复合微型桩就其承载机理相当于摩擦桩, 其中的植入桩相当于钢筋混凝土桩中的纵向配筋, 植入桩长度宜为水泥土桩长度的 0.67 倍~1.0 倍。水泥土复合微型桩中植入桩的长度越长其刚度就越大, 其在水平荷载或竖向荷载作用下的相应变形就越小。当水泥土复合微型桩受水平荷载、地震作用、或承受较大的竖向抗压荷载时, 其中植入桩的长度宜取高值; 对于承受抗拔荷载时或对变形要求高的工程, 其中植入桩宜通长布置。

4 山东省建筑科学研究院在济南黄河北、聊城月亮湾、济宁诚信苑、东营万方广场等地, 曾对水泥土桩中心插管桩的复合桩进行了 18 组单桩竖向抗压静载试验, 证明水泥土复合混凝土管桩的破坏主要受同心植入管桩的桩身强度控制。故水泥土复合微型桩对植入桩的桩身强度有下限值要求, 为充分发挥水泥土桩周地基土的支承阻力, 本条规定植入桩为混凝土桩时, 桩身混凝土强度等级不宜低于 C40。

4.6.5~4.6.7 既有建筑基础增加微型桩时, 对基础承台与微型桩的构造要求说明如下:

1 既有建筑基础增加微型桩, 可以在原有基础内布桩, 也可以采用新增钢筋混凝土挑梁或扩大基础作为新增微型桩承台。新增微型桩基承台的构造要求应按现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ123 的有关规定执行。

2 当原基础承台厚度抗冲切验算承载力不够、或桩基受抗拔力或

地震作用时，桩顶应设置桩帽梁。

3 新增微型桩可以选择灌注桩、锚杆静压法沉桩或坑式静压沉桩、钢管桩与注浆钢管桩等多种桩型。当微型桩施工需要在基础承台内预留或新开凿桩孔时，桩孔应做成截头锥形，并采用微膨胀混凝土封桩，使后浇筑混凝土与原基础混凝土更好结合发挥整体强度。

4 钢筋混凝土微型桩与承台连接，连接主筋直径和数量同桩纵向主筋，钢管桩、注浆钢管桩桩顶主筋直径和数量由计算确定。

4.6.8 本条是锚杆静压法沉桩，锚杆构造设计要求：

1 锚杆静压法沉桩施工时，由锚杆提供的上拔反力作用于承台，为了防止承台被拉剪破坏，故规定锚杆至承台边缘、与压桩孔的间距要求及周围结构的最小间距（图 2）。

2 锚杆直径可根据压桩力大小计算确定：当压桩力小于 400kN 时，可采用 M24 锚杆；当压桩力为 400kN~500kN 时，可采用 M27 锚杆；当压桩力超过 500kN 时，可采用 M32 锚杆，锚杆数量可由压桩力除以单根锚杆的抗拉强度；锚杆锚固深度不小于 12 倍螺栓直径，并不应小于 300mm，锚杆露出承台顶面长度应满足压桩机具要求，且不应小于 120mm。

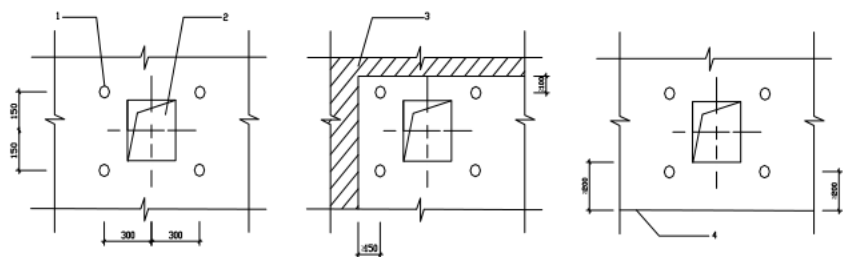


图 2 锚杆与压桩孔布置构造要求

1—锚杆；2—压桩孔；3—压桩孔；

3—高出基础承台结构；4—承台边缘

4.6.9 参照现行国家标准《复合地基技术规范》GB/50783 的有关规定，宜在微型桩复合地基和基础之间设置垫层。微型桩属于刚性桩，当复合地基之上为刚性基础时，垫层宜采用柔性材料，目的是协调微型桩和桩间土刚度差异使之能共同承担上部荷载。垫层厚度一般取 0.4~0.6 倍桩径，桩土相对刚度大时，垫层厚度宜取高值。通过改变垫层设置厚度，可以调整桩、土分担上部荷载的比例，垫层厚度越小，桩分担的上部荷载的比例越大，垫层厚度越大，桩间土分担的上部荷载比例越大。为充分发挥桩的承载力，并控制桩间土的应力水平，减少复合地基沉降量，应使垫层厚度小于增强体桩径或边长的 0.5 倍；对于水泥土复合微型桩，计入水泥土桩对于地基增强作用，增强体截面直径按水泥土桩；对于多桩型复合地基，垫层厚度设置则应按上述原则并主要参照对复合地基承载力贡献最大的竖向增强体的桩径。

5 施 工

5.1 施工准备

5.1.2 微型桩基施工往往施工条件受限制,施工对象既有建筑或周边建筑物、构筑物受严格保护,因此微型桩基的施工组织设计除了常规的质量保证措施,还应结合加固施工的特殊条件,对微型桩桩基施工方法、工艺要求、质量控制、对既有建筑物和周边环境的安全保护措施、绿色施工、监测监控、以及工程验收等,有特别要求和组织设计。

5.1.4 微型桩桩基施工,基桩轴线的控制点和水准点应设在稳定、易于长期保存的位置。当有工作基准点时,应定期将其与基准点进行复测。

5.2 微型灌注桩施工

5.2.1 微型灌注桩俗称树根桩,20世纪30年代起源于意大利,早期国外施工一般都是在钢套管的导向下,用旋转法钻进成孔;在我国,微型灌注桩的施工工艺有了改变,在上海等地区通常采用湿钻法成孔,除端承桩的钻孔采用套管以确保桩身截面的均匀外,一般仅在孔口附近下一段护筒,而不用套管,直接成孔后放钢筋笼并灌注成桩,而当遇粉细砂层地层易塌孔时,则需要加套管保证成孔的稳定性。

微型灌注桩可以是直立的也可以是倾斜的。根据设计和施工要求,钻孔大小和场地施工条件,打直桩时可采用工程地质钻机或采矿钻机,打斜桩时可选择任意调整角度的油压岩回转钻机。

5.2.2 微型灌注桩施工吊放钢筋笼时,应尽可能一次吊放整根钢筋笼,当受净空和起吊设备限制需要分节吊放时,应尽可能缩短钢筋笼连接工艺历时,因为钻孔暴露时间越长,就越容易产生缩颈和塌孔。当钢筋连接采用机械连接时,要求钢筋直径宜大于20mm,以保证连接构件适宜加工和连接稳定。

5.2.3 本条是针对微型桩灌注施工中可能发生的异常情况的处理规定：

1 微型桩灌注施工进行一次或多次注浆，对于注浆中经常出现的窜孔、冒浆和浆液沿砂层或地下通道大量流失的现象，应及时处理。防止微型桩灌注时窜孔常用的措施是采用跳孔工序施工，跳一孔或两孔，间歇施工或在注浆液中加入适量早强剂。

2 当有桩周有地下水流速大的砂层时，浆液沿地下水的排泄路径大量流失，影响注浆效果和成桩质量，这种情况下可采用永久套管、护筒或减小地下径流等的处理措施。

3 在风化强烈或裂隙发育的岩体等透水性强的地层中施工微型桩时，容易发生水泥浆液沿裂隙向周围岩体发生不可控的流失，影响桩身完整性和钢筋、钢管等的保护层厚度。为避免此种情况，应参照本规程附录 C 的规定进行钻孔测试和预灌浆。

4 为防止断桩，水下浇筑管或带孔钻杆的末端应埋入水泥砂浆中。为防止桩顶浮浆过多，影响上部桩顶桩体强度，浇筑过程应连续进行，直到桩顶端溢出浆体的黏稠度与注入浆体一致时为止。

5.2.4 微型灌注桩桩体灌注材料有细石混凝土、水泥砂浆、水泥浆三种。微型灌注桩因为其灌注工艺的特殊性，混凝土材料不同于一般灌注桩，其混凝土中细骨料相对较多，水泥用量大，必须具备良好的和易性，具备强的可塑性、粘聚性、流动性和自密性，其配合比应通过试验确定。

微型桩截面小，灌注细石混凝土，灌注时来自于钢筋和桩周的阻力较一般中等直径灌注桩大，桩体灌注材料的骨料粒径不得大于钢筋最小间距的 $1/4$ ，且不应大于 15mm。

微型桩注浆浆液分为水泥浆和水泥砂浆两种。注水泥浆时，浆液的水灰比以 0.4~0.5 为佳，且不宜超过 0.55。注水泥砂浆时，常用的重量配比为水：水泥：砂=0.5：1.0：0.3，受砂浆泵的限制，砂粒径一般不大于 0.5mm，当粒径超过 5mm 时，浆液易沉淀，造成输送管道堵塞。

5.2.5 投石注浆是比较成熟、应用比较广泛的微型灌注桩施工工艺，该工艺主要是在成孔和钢筋笼沉放之后，往钻孔中填注碎石骨料，通过导管灌注水泥浆或水泥砂浆与碎石骨料胶结成桩，待一次注浆初凝后，再通过二次注浆补强。

1 填注碎石骨料

碎石骨料投入量不应小于计算桩孔体积的 0.9 倍。填碎石料之前应检查孔深，保证实测净孔深不小于设计孔深。符合要求后填注碎石骨料至钻孔顶部，骨料采用粒径 10mm~25mm 的碎石料，碎石应坚硬、洁净，含泥量应小于 2%，碎石填入的同时，通过一次注浆管持续进行清孔，防止泥土随着碎石的填入而混入钻孔内，持续填注碎石骨料直至碎石骨料高出钻孔口不再下沉。碎石骨料填筑完毕后，仍然继续往一次注浆管中注入清水进行二次清孔。应准确记录石料的投放方量，当石料投放量少于理论方量时，应及时分析原因，调整成孔工艺。

2 一次注浆

一次注浆压力宜为 0.3MPa~1.0MPa，浆液应从孔底注入，停止注浆标准应为浆液溢出孔口。注浆完毕，立即上拔一次注浆管，每上拔 2m，补注一次水泥浆，直至把注浆管全部拔出。注浆应连续进行，不得中断，如发生堵管，应及时采取适当处理措施。在整个注浆过程中，由于拔管过程引起振动，使钻孔顶部石子有一定程度沉落，故需在顶部及时补充投入石子。

3 二次注浆

二次注浆待一次注浆液初凝后、终凝前进行，浆液的初凝时间一般控制在 45min~60min 范围。二次注浆的挤压效果受注浆压力、初凝时间、水灰比与土层特征等因素影响，注浆压力必须克服初凝时的凝聚力并劈裂周围土体，一般取 1.0~3.0MPa。注浆时压浆管可按 0.5min/m 匀速上升，至桩身上部 5m 时，持续注浆，直至水泥浆从桩顶冒出，且冒出的浆体的黏稠度与注入浆体一致时为止。灌浆过程结束后，注浆管中

应充满水泥浆并维持灌浆压力一定时间，巩固注浆效果。

5.3 微型注浆钢管桩施工

5.3.1 注浆钢管桩的施工方法包含了传统的锚杆静压法、坑式静压法、锤击贯入法，对于新建工程一般采用钻机或洛阳铲成孔，然后植入钢管再封孔注浆的工艺。

5.3.2 钢管桩的连接采用套管焊接，可以减少钢管壁厚度对焊接质量的影响，利于保证焊接后桩身结构稳定。

5.3.3~5.3.5 对于植入法施工的钢管桩，应采用封孔注浆工艺。钢管桩注浆有两方面作用，一是在钢管桩外围形成水泥固结体能够保护钢管，提高了钢管耐久性，并增加了桩身摩阻力；二是在钢管内的水泥结石与钢管共同作用承担上部荷载，由于钢管混凝土的套箍效应，改善了水泥结石的脆性，使钢管桩的截面承载力和抗弯刚度都有很大提高。钢管桩注浆可进行一次或多次，注浆压力值可参考本规程第 5.2.5 条的有关规定，混凝土封孔长度满足应满足钢管桩注浆的压力要求。第 5.3.4 条注浆钢管桩水泥浆制备的规定，也同样适用于微型桩灌注桩的注浆施工。

5.4 微型预制桩施工

5.4.2 本条是对根据静力触探资料预估最大压桩力并估算单桩竖向抗压承载力特征值的规定：

1 比贯入阻力与压桩力换算系数 K_s 应根据大量的本地试验资料确定，当无地区经验时可取 $K_s=0.06\text{m}^2\sim 0.07\text{m}^2$ ，该参数与微型预制桩端面积有关，桩端面积大时取大值。

2 压桩力系数 K_p ，它主要与土的触变性质有关、另外也与桩长、桩截面形状和压桩速率等因素有关。黏性土所具有的触变性是指黏性土颗粒之间由库仑力作用形成的稳定结构被破坏后，强度降低，若静置不

动,则土颗粒和水分子会重新组合排列,形成新的相对稳定结构,强度又得到一定程度恢复的性质。黏性土中细颗粒含量越多,土的触变性越强。压桩力系数可取值越低。本条规定压桩力系数 K_p 宜根据试验确定,并给出了各类土按地区经验的取值范围。在缺少试验资料时,应结合土的触变性合理选取压桩力系数,土的触变性强时,压桩力系数取低值。

5.4.3 微型预制桩截面尺寸小,焊接法连接强度高且施工操作简单,应优先采用,当桩主要承受竖向压荷载时,也可采用其他的连接方式。接桩施工应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定执行。

5.4.4 本条规定适用于微型预制桩包括预制混凝土桩、预制钢桩等的静压施工,静压施工工艺包括传统的锚杆静压法、坑式静压法等。

除了压桩施工的常规要求外,本条强调静力压桩过程应按本规程附录 D 的要求做好施工记录。由于受加固施工空间,抢险加固时间等条件限制,对静压桩基的静载荷试验有时难以展开,静力压桩施工记录是静压桩基质量控制、承载力分析、质量追溯、工程验收的重要资料。压桩过程中做好施工记录,及时根据记录的数据估算单桩竖向抗压承载力是否达到设计要求,当根据压桩力预估的单桩承载力不能满足设计要求,应及时分析原因,采取调整设计、完善桩基施工工艺等处理措施。

5.4.5 本条是对锚杆静压桩沉桩后封桩施工的规定。

1 封桩前清除压桩孔周围桩帽梁区域内的泥土,将桩孔内的杂物清理干净,将桩顶侧面凿毛和刷洗干净,清洗压桩孔四周混凝土表面,并涂混凝土界面剂,使新浇筑混凝土与原混凝土粘结好。

2 桩孔上方桩帽梁顶部的交叉钢筋应该焊接于锚固筋上,钢筋直径不应小于 16mm (图 3)。

3 沉降敏感的建筑物或设计对基础变形有控制要求的建筑物,施工锚杆静压桩后可采用施加预加力的封桩方式。根据多项压桩工程的测量结果,通过欲加力封桩,可以减少建筑物基底压力作用,减少约 50%

的附加沉降量，对减少施工对建筑物沉降的不利影响效果显著。

预加力封桩具体做法（图 4）：在桩顶焊接安装预制的型钢支柱，

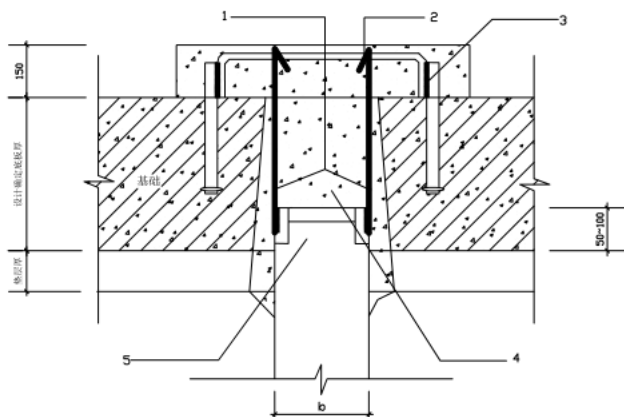


图 3 锚杆静压法沉桩封桩节点示意

1—锚固筋（下端与桩焊接，上端弯折后与交叉筋焊接）；2—交叉钢筋；

3—锚杆（与交叉钢筋焊接）；4—微膨胀混凝土；5—微型桩

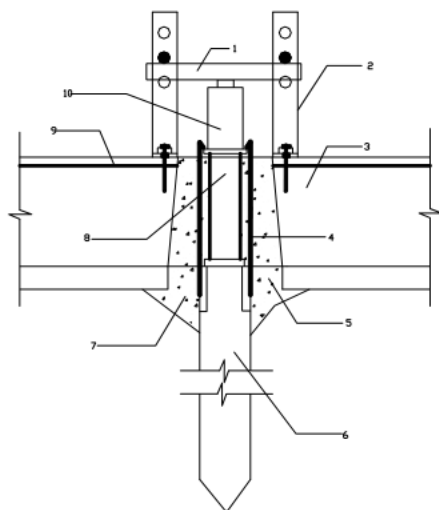


图 4 预加力封桩示意

- 1—反力梁；2—压桩架；3—锚杆；4—锚固筋；5—压桩孔；
6—微型桩；7—微膨胀混凝土；8—型钢支柱（钢管或槽钢）；
9—板面钢筋；10—千斤顶

利用桩顶反力架，通过传力短柱对桩顶施加预加力，预加力值可取单桩竖向抗压承载力特征值的 1.2 倍。施加预加力后，立即浇捣高标号微膨胀速凝混凝土，当封桩混凝土强度达到设计要求后，拆除千斤顶和桩顶反力架。

4 封桩宜对称均匀进行，保证基础承载力合力点与上部竖向永久荷载合力点作用点重合。

5 封桩施工是锚杆静压法沉桩的关键工序，封桩施工桩施工记录是静压桩基质量控制、质量追溯和工程验收的重要资料，应按本规程附录 E 的要求做好施工记录。

5.4.6~5.4.8 坑式静压法沉桩是利用既有建筑物上部结构自重做支撑反力，在已开挖的基础坑内，用千斤顶将预制微型钢桩或微型钢筋混凝土预制桩逐段压入土中的加固方法。坑式静压桩在既有建筑物基础底下施工，难度大且有一定的风险性，所以在其施工前，必须要有详细的施工组织设计、严格的施工程序和具体的施工措施。

1 开挖竖向导坑和工作坑

施工时，先在贴近被加固建筑物的一侧开挖长 1.2m、宽 0.9m 的竖向导坑，直挖到比原有基础底面下 1.5m 处，对坑壁不能直立的砂土或软弱土等地基应进行适当的坑壁支护。再由竖向导坑沿横向扩展到基础梁、承台梁或直接在基础底面下，垂直开挖长 0.8m、宽 0.5m、深 1.8m 的工作坑。为了保护既有建筑物的安全，工作坑不能连续开挖，应采取间隔式的开挖和加固

2 压桩

本规程第 5.4.2 条～第 5.4.4 条的有关规定也适用于坑式静压法沉桩。

压桩施工时，先在工作坑内放入第一节桩，并在桩顶上加钢垫板，在钢垫板上安置千斤顶压桩及测力传感器，驱动千斤顶加荷压桩。每压入一节桩后，再接上另一节桩，桩经交替顶进和接高后，直至桩尖到达设计持力层深度，且压桩力达到设计最终压桩力值。压桩施工应按本规程附录 D 的要求，随时记录压入深度及相应的压桩力。

3 封桩

封桩施工可根据要求采用预加力法或非预加力法，对变形控制严格的工程宜采用预加力法。施工应参照本规程第 5.4.5 条的有关规定，并按本规程附录 E 的要求做好施工记录。封桩混凝土强度应符合本规程第 4.6.6 条的相关规定。

5.5 水泥土复合微型桩施工

5.5.1 水泥土复合微型桩适用于素填土、粉土、黏性土、松散砂土、稍密一中密砂土等土层，尤其适用于软弱土层。水泥土桩施工可以采用深层搅拌法、高压旋喷法、高喷搅拌法等。植入的微型预制桩可以选择采用钢管桩、型钢桩，预制钢筋混凝土，高强管桩等。

微型预制桩施工可采用静压法或植入法等施工。在水泥土初凝前可以采用静压或振动等方式同心植入微型预制桩，施工要点在于选择植入的合理时机，并确保植入的微型预制桩与水泥土桩的同轴度。水泥土初凝前特指在该时段内水泥土保持流塑状态，微型预制桩植入水泥土桩后，不影响水泥土的成桩形态、后期强度以及植入桩-水泥土界面的剪切强度。根据已有的工程经验，在正常施工条件下，水泥土桩施工完成后 2h~3h，水泥土尚未初凝，综合考虑多种因素，推荐微型预制桩的植入施工与水泥土桩施工完成时间间隔为 0.5h~1.0h，最大不宜超过 2h。采用静压法植入微型预制桩，对于空心的预制桩、钢管桩，为避免流塑状态的水泥土进入空心桩内腔，影响后期的填芯混凝土施工，应采用薄铁

皮等方法将空心桩首节底端及末节顶端封闭。

在已经固结成型的水泥土桩中微型预制桩施工可采用植入法,可参照本规程相应的微型桩在地基土中钻孔植入后注浆施工的相关规定。

5.5.2 高喷搅拌法是采用高压浆液形成高速喷射流束,冲击、切割破碎地层土体,并由搅拌机具将水泥浆等材料与地基土强制搅拌的施工工法。当水泥土桩采用高喷搅拌法施工时,水泥土桩施工参数如浆液压力、气压、水压及流量、喷嘴数量及直径、搅拌翅直径、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度等由成桩工艺性试验确定,在施工中应严格控制,不得随意更改。在确保水泥土桩桩顶标高、有效桩长、桩径、垂直度、水泥土强度达到设计要求的前提下,施工单位可根据本工程的施工经验、土质条件等对施工参数作必要的调整。

搅拌次数是保证水泥土质量均匀的重要施工措施,根据工程经验,桩身深度范围内每米的搅拌次数大于 300 次时,桩身水泥土质量能够满足设计要求。

需要提高强度或增加喷搅次数而采取复搅复喷措施的部位一般指桩顶部位、植入桩底部、塑性指数较高的黏土层以及因故停浆或喷浆不连续的部位等。复搅复喷段长度宜根据作用在桩顶及芯桩底部荷载大小、土质条件、水泥用量、水灰比、浆液流量、提升速度、施工异常情况等因素综合确定。

5.5.3 水泥土桩施工过程中,应在桩顶设计标高以下采取尚未凝固的水泥土浆液制作水泥土试块(一般称为“软取芯法”),并分别进行同条件养护和标准养护 28d。可将试块埋置于桩头附近的地基土中进行同条件养护。软取芯可按现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T199 的有关规定执行。

5.5.4 采用组合式施工机械植入微型预制桩前,应将水泥土桩施工后的孔附近返浆清理干净,露出桩顶轮廓,以方便在同心植入微型预制桩时确定水泥土桩中心位置。

微型预制桩的植入垂直度控制对水泥土复合微型桩成桩质量至为重要，应制定可靠的垂直度控制措施。采用组合式施工机械时，为保证植入的微型预制桩与水泥土桩之间的同轴度，在水泥土桩施工结束后宜对植入桩的植入位置进行放样定位，定位允许偏差应为 10mm。采用整体式机械时，在水泥土桩施工完成后通过旋转或移动桩架进行植入桩的定位。植入桩的接桩有焊接、机械连接两种方式，采用其中任一种连接方式时均应保证接桩质量和上下节段的桩身垂直度。微型预制桩植入水泥土桩中时，应采取监控预防植入桩掉入水泥土桩中。

6 检验和监测

6.1 一般规定

6.1.1 本条是微型桩地基基础加固处理工程施工质量检验依据的规定。

1 对于国家现行标准有规定的，应按设计要求并参照相应标准规定的方法和检验标准检验；

2 对于国家现行标准没有涉及或未做规定的，可根据加固的目的、采用加固方法和设计要求选择检验方法或制定检验的标准。

6.1.2 既有建筑微型桩地基基础加固工程应在施工期间进行监测，当既有建筑或其周边的建筑物、构筑物的监测数据，位移、应力、应变、土压力、地下水位、孔隙水压力等出现异常变化时，应及时会同设计及有关单位及时查明原因，并根据监测结果及时调整地基基础加固设计或施工方案的技术措施，制止不利情况的发展。

6.2 检 验

6.2.4 水泥土复合微型桩中植入桩是主要受力构件，外围水泥土桩是属于地基土增强体是地基一部分。桩身完整性检测主要采用低应变动力检测方法检测植入微型预制桩的桩身完整性，当建筑物对地基变形有严格要求时，尚应钻取水泥土芯样，检验水泥土桩成桩质量。水泥土桩钻芯取样数量和方法，根据水泥土桩的施工工艺，按着现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的有关规定执行。

6.2.6 单桩竖向抗压静载荷试验方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的有关规定执行。

对水泥土复合微型桩静载试验，其静载试验加载受力体则与设计要求有关。参考本规程第 4.3.13 条条说明，当按桩基础设计时，上部荷载主要由植入桩承担，忽略外围水泥土增强体分担荷载作用，静载荷试

验时加载的刚性承压板尺寸与同心植入的微型预制桩截面尺寸一致;当按复合地基设计时,不能忽略外围水泥土增强体对上部荷载的分担作用,故静载试验应对包括植入桩及其周围水泥土在内的复合桩增强体加载,承压板尺寸应和水泥土增强体外缘尺寸一致。

6.2.7 本条是单桩竖向抗压静载试验的 $Q-s$ 曲线为缓变型时,确定单桩竖向抗压承载力特征值的规定:

1 大量的常规直径桩基竖向静载测试结果表明,对于 10m~30m 的中长桩,侧阻力发挥所需的桩顶降量一般不超过 20mm。端阻力充分发挥所需的位移与桩径有关,当桩端土层为岩层和较硬的低压缩性土层时,只需要很小的位移就可以使其端阻力充分发挥,与极限荷载对应的桩顶沉降量一般不超过 30mm。

太沙基和 ISSMFF 指出:当沉降量达到桩径的百分之十时,才可能出现极限荷载;黏性土中端阻力充分发挥所需要的桩端位移为桩径的桩径的 4%~5%。对微型桩,当桩端土为中等压缩性的黏性土土层时,端阻力充分发挥所需要的位移量为不超过 15mm,极限承载状态时的桩顶竖向总位移量一般不超过 35mm。

当微型桩长度桩长大于 30m,长细比达 100 以上,即使桩端为岩层或坚硬土层,也属纯摩擦型桩,按承载性状分类属于超长桩,根据桩顶总沉降量确定单桩竖向抗压极限承载力时,宜考虑桩身的弹性压缩,所取用的桩顶沉降量应适当增加。

2 参照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的相关规定:水泥土复合微型桩竖向增强体直径较大,一般为 600mm 左右,桩基竖向静载试验的 $Q-s$ 曲线为缓变型时,可取桩顶总沉降量 40mm 对应的荷载值为单桩竖向抗压极限承载力;当增强体外缘直径大于等于 800mm 时,可取桩顶总沉降量为竖向增强体外缘直径的 0.05 倍所对应的荷载值为单桩竖向抗压极限承载力。

3 对于变形控制严格的工程,或按变形控制设计时,可根据设计要求,取建筑物基桩的允许沉降量对应的承载力作为单桩竖向抗压承载力特征值。

6.2.9 参考本规程第 4.3.13 条的有关规定,按桩基础设计时,水泥土复合微型桩的桩身承载力由植入桩承担,忽略外围水泥土对桩身承载力的贡献。基于同样理由,对水泥土复合微型桩的水平静载试验,应按植入桩的条件进行。

试验时,水平荷载应施加在水泥土桩中心植入的微型桩上,并按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的有关规定执行。对钢筋混凝土预制桩、钢桩,可取设计桩顶标高处水平位移所对应荷载的 0.75 倍,作为单桩水平承载力特征值;对设计要求的建筑物基桩,取水平允许位移所对应得荷载作为单桩水平承载力特征值,且应满足桩身抗裂要求。当植入的混凝土桩桩身不允许开裂时,单桩水平承载力特征值取值由水平荷载临界值乘以 $1/1.35$ 确定。

6.2.10 微型桩复合地基属于刚性桩复合地基,本条静载试验承载力特征值的确定是参照现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T50783 的有关规定。对变形控制严格的工程,按地基变形控制设计时,应按设计要求的复合地基沉降允许值作为相对变形值,确定复合地基承载力。

6.3 监 测

6.3.1 微型桩地基基础加固处理工程是隐蔽工程,应重视施工质量监督工作,根据既有建筑或其周边的建筑物、构筑物的安全保护需要,在施工全过程中由专人或专门机构负责监测位移、应力、应变、土压力、地下水位、孔隙水压力等指标,随时检查施工记录和计量记录,并按照规定的施工工艺对工序进行质量评定,及时发现问题采取措施。

6.3.3 锚杆静压法沉桩或坑式静压法沉桩施工,由于挤土效应会对地基土产生扰动,可能引起地基的局部挤压、隆起、水平位移等,使建筑物

产生诸如基础局部倾斜、不均匀沉降、移位等，引起上部结构裂缝、原有裂缝延伸或扩张等，因此锚杆静压法沉桩或坑式静压法沉桩施工应对建筑的沉降、倾斜、裂缝进行监测，以便监控上部结构在施工过程中的安全。

6.3.5 监测项的稳定标准确定应参照国家现行标准《工程测量标准》GB50026 和《建筑变形测量规范》JGJ8 的有关规定，结合工程的规模和采用的加固方法，被保护对象的特点与安全级别，监测项的精度、监测频率和变化速率，监测项对于被保护对象安全的相关性以及设计要求等综合确定。

附录 A 微型桩用钢材腐蚀损失厚度

微型桩的耐久性设计中，通常做法是设置保护层厚度。参照国内外相关技术标准对钢材耐久性设计的有关规定，也可选择采用增加一定腐蚀厚度的做法。本附录对微型桩用钢材腐蚀损失厚度的规定，参考数据引用自欧洲标准 Eurocode 3: Design of steel structures —Part 5: Piling (BS EN1993-5:2007)，并参考国内相关标准的有关规定，结合地区特点和安全适用性要求做了局部调整，设计时可根据设计施工条件和经济性指标等综合确定。

附录 C 钻孔测试和预灌浆

本附录对岩土钻孔测试和预灌浆的规定，制定时引用了欧洲标准 Execution of special geotechnical works — Micropiles (BS EN14199:2015)，并结合参考了对岩土层注水试验国内相关标准的有关规定。

C.0.2 钻孔测试采用常水头注水试验，试验时保持水头压力不变，在观测周期读取注水通过钻孔试验段的流量值，根据流量值定性分析岩土层的透水性和裂隙发育程度，据此评估岩土层灌浆的适宜性。本条对注水试验的有关规定主要适用于风化强烈、破碎岩体、断层破碎带等透水性较强不能进行压水试验的岩体，对于渗透性较的的壤土、粉土、砂土、碎石土、回填土等土层宜结合地区经验采用。