

重庆市工程建设标准

建筑地基处理技术规范

Technical Code for Ground Treatment of Buildings

DBJ50/T-229-2015

主编单位:重庆市建筑科学研究院

重庆市建设工程质量检验检测中心

批准单位:重庆市城乡建设委员会

施行日期:2016 年 4 月 1 日

2015 重 庆

重庆工程建设

重庆市城乡建设委员会文件

渝建[2015]455 号

重庆市城乡建设委员会 关于发布《建筑地基处理技术规范》 的通知

各区县(自治县)城乡建委,两江新区、北部新区、经开区、高新区、万盛经开区、双桥经开区建设管理局,有关单位:

现批准《建筑地基处理技术规范》为我市工程建设推荐性标准,编号为 DBJ50/T-229-2015,自 2016 年 4 月 1 日起施行。

本标准由重庆市城乡建设委员会负责管理,重庆市建筑科学研究院负责具体技术内容解释。

重庆市城乡建设委员会

二〇一五年十二月二十八日

重庆工程建设

关于同意重庆市《建设工程绿色施工规范》 等地方标准备案的函

建标标备〔2016〕22 号

重庆市城乡建设委员会：

你委《关于工程建设地方标准〈建设工程绿色施工规范〉备案的请示》、《关于工程建设地方标准〈建筑地基处理技术规范〉备案的请示》、《关于工程建设地方标准〈绿色建材评价标准〉备案的请示》、《关于工程建设地方标准〈绿色医院建筑评价标准〉备案的请示》，收悉。经研究，同意该 4 项标准作为“中华人民共和国工程建设地方标准”备案，其备案号为：

建设工程绿色施工规范	J13305-2016
建筑地基处理技术规范	J13306-2016
绿色建材评价标准	J13307-2016
绿色医院建筑评价标准	J13308-2016

该 4 项标准的备案号，将刊登在国家工程建设标准化信息网和近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

住房和城乡建设部标准定额司

2016 年 1 月 26 日

重庆工程建设

前 言

根据重庆市城乡建设委员会《关于下达 2012 年度重庆市工程建设标准制定修订项目计划的通知》(渝建[2011]20 号)文件的要求,重庆市建筑科学研究院会同有关单位共同编制了重庆市地方标准《建筑地基处理技术规范》。

在编制过程中,编制组调查总结了近年来重庆市在地基处理设计、施工、检测及质量验收的工程实践经验,参考了国内有关技术标准,吸收了国内外相关科技成果,开展了多项专题研究,并在重庆市范围内广泛征求了有关单位的意见,经反复讨论、修改、充实,编制本标准。

本规范共十章和二一个附录,内容包括:1. 总则;2. 术语;3. 基本规定;4. 换填垫层法;5. 压实法;6. 强夯法;7. 强夯置换法;8. 静压注浆法;9. 树根桩法;10. 高压旋喷法;附录 A. 处理后地基静载荷试验要点;附录 B. 复合地基静载荷试验要点。

本规范由重庆市城乡建设委员会负责管理,由重庆市建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。在本规范执行过程中,请各单位注意收集资料,总结经验,并将有关意见和建议反馈至重庆市建筑科学研究院(地址:重庆市渝中区长江二路 221 号 1-5 幢,邮政编码:400020,E-mail:kfanlin@126.com,电话 023-63876480),以供修编时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人员和主要审查专家：

主 编 单 位：重庆市建筑科学研究院

重庆市建设工程质量检验检测中心

参 编 单 位：重庆建工第八建设有限责任公司

重庆市渝北区建设工程质量监督站

重庆科技学院

重庆市市政设计研究院

重庆安济建设加固工程有限责任公司

主要起草人：孔凡林 贺 渝 赖晶星 李 昕 李成芳

任 凯 杨 东 朱永珠 刘少武 刘永棵

何祥全 杜清超 宋海燕 张 一 张京街

张茂慧 陈志平 陈志刚 吴成忠 高 荣

徐志武 董 倩 熊启东 窦有义

审 查 专 家：钱志雄 杨 越 陈希昌 谷 军 冯永能

吴曙光 纪秋林

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	换填垫层法	9
4.1	一般规定	9
4.2	设计	9
4.3	施工	13
4.4	质量检验	14
5	压实地基	16
5.1	一般规定	16
5.2	设计	16
5.3	施工	19
5.4	质量检验	20
6	强夯法	21
6.1	一般规定	21
6.2	设计	21
6.3	施工	23
6.4	质量检验	25
7	强夯置换法	27
7.1	一般规定	27
7.2	设计	27

7.3	施工	28
7.4	质量检验	30
8	静压注浆法	31
8.1	一般规定	31
8.2	设计	31
8.3	施工	34
8.4	质量检验	36
9	树根桩法	38
9.1	一般规定	38
9.2	设计	38
9.3	施工	39
9.4	质量检验	41
10	高压旋喷法	42
10.1	一般规定	42
10.2	设计	42
10.3	施工	44
10.4	质量检验	46
附录 A	处理后地基静载荷试验要点	47
附录 B	复合地基静载荷试验要点	49
本规范用词说明		51
引用标准名录		52
条文说明		53

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Term	2
2.2	Symbols	3
3	Basic requirements	6
4	Replacement layer of compacted fill	9
4.1	General requirements	9
4.2	Design considerations	9
4.3	Construction	13
4.4	Inspection	14
5	Compacted ground	16
5.1	General requirements	16
5.2	Design considerations	16
5.3	Construction	19
5.4	Inspection	20
6	Dynamic compaction	21
6.1	General requirements	21
6.2	Design considerations	21
6.3	Construction	23
6.4	Inspection	25
7	Dynamic replacement	27
7.1	General requirements	27
7.2	Design considerations	27

7.3	Construction	28
7.4	Inspection	30
8	Static pressure injection	31
8.1	General requirements	31
8.2	Design considerations	31
8.3	Construction	34
8.4	Inspection	36
9	Root piles	38
9.1	General requirements	38
9.2	Design considerations	38
9.3	Construction	39
9.4	Inspection	41
10	Grouting	42
10.1	General requirements	42
10.2	Design considerations	42
10.3	Construction	44
10.4	Inspection	46
Appendix A	Key point for load test on treatment ground	47
Appendix B	Key point for load test on composite foundation	49
	Explanation of wording in this code	51
	List of quoted standards	52
	Explanation of provision	53

1 总 则

1.0.1 为了在重庆市地基处理的设计、施工和质量检验中贯彻执行国家的技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于重庆市建筑工程地基处理的设计、施工和质量检验。

1.0.3 地基处理除应满足工程设计要求外,尚应做到因地制宜、就地取材、保护环境、节约资源等。

1.0.4 建筑工程地基处理除应执行本规范外,尚应符合现行国家和重庆市有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 地基处理 ground treatment

提高地基承载力,改善其变形性质或渗透性质而采取的技术措施。

2.1.2 复合地基 composite foundation

部分土体被增强或被置换形成增强体,由增强体和周围地基土共同承担荷载的人工地基。

2.1.3 地基承载力特征值 characteristic value of sub-grade bearing capacity

由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值,其最大值为比例界限值。

2.1.4 换填垫层法 cushion

挖除基础底面下一定范围内的软弱土层或不均匀土层,回填其他性能稳定、无侵蚀性、强度较高的材料,并夯压密实形成的垫层的地基处理方法。

2.1.5 加筋垫层 reinforced cushion

在垫层材料内铺设单层或多层水平向加筋材料形成的垫层。

2.1.6 压实地基 compacted foundation

利用平碾、振动碾或其它碾压设备将填土分层密实的处理地基。

2.1.7 强夯法 dynamic compaction

反复将夯锤提到高处使其自由落下,给地基以冲击和振动能量,将地基土夯实的处理方法。

2.1.8 强夯置换法 dynamic replacement

反复将夯锤提到高处,使其自由落下形成夯坑,并不断往夯坑内回填块碎石、砂石等骨料,使其形成密实墩体的地基处理方法。

2.1.9 有效加固深度 effective reinforcement depth

从最初起夯面算起,经强夯法处理后地基土的强度、变形等指标在一定深度内满足工程设计要求的深度。

2.1.10 静压注浆法 grouting

将水泥浆或其它化学浆液注入地基土层中,增强土颗粒间的联结,使土体强度提高、变形减少、渗透性降低的加固方法。

2.1.11 树根桩 root pile

一种小直径的就地灌注钢筋混凝土桩,制桩时可竖向也可斜向,并在各个方向上可倾斜任意角度,形成的桩基形状如同树根。

2.1.12 高压旋喷法 high pressure jet grouting

采用注浆管和喷嘴,借高压将水泥浆从喷嘴射出,直接破坏地基土体,并与之混合,或者喷射高压水射流切割破坏土体,参加水泥浆与之混合形成水泥土加固体的一种地基处理方法。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

P_K 相应于荷载效应标准组合时,基础底面处的平均压力值;

P_c 、 P_∞ 基础底面处土的自重压力值;

p_z 相应于荷载效应标准组合时,垫层底面处的附加压力值。

2.2.2 抗力和材料性能

T_a 土工合成材料在允许延伸率下的抗拉强度;

T_P 相应于作用的标准组合时,单位宽度的土工合成材

料的最大拉力；

f_{ak} 地基承载力特征值；

f_{ac} 经修正后的地基承载力特征值；

f_{pk} 桩体单位截面积承载力特征值；

f_{sk} 桩间土的承载力特征值；

f_{spk} 复合地基的承载力特征值；

f_{spa} 深度修正后的复合地基承载力特征值；

f_c 桩身混凝土轴心抗压强度设计值；

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；

n 桩土应力比，土的孔隙率；

E_s 桩间土压缩模量；

E_{sp} 复合土层压缩模量；

f_{sa} 地基土的摩阻力特征值；

q_p 桩端地基土的承载力特征值，桩端端阻力特征值；

q_{pk} 极限端阻力标准值；

q_s 桩周土的侧阻力特征值；

q_{sk} 桩侧摩阻力标准值；

R_{sa} 、 R_a 单桩竖向承载力特征值；

Q 总注浆量或单孔注浆量；

Q_{ak} 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；

N 作用在桩顶的竖向荷载设计值；

w_{op} 最优含水量；

λ_c 压实系数；

λ_m 基础底面以上土的加权平均重度，地下水位以下取有效重度；

ρ_w 水的密度；

ρ_e	黏粒含量；
ρ_d	干密度；
ρ_{dmax}	最大干密度；
d_s	土粒相对密度；
λ	单桩承载力发挥系数；
β	桩间土承载力折减系数。

2.2.3 几何参数

A	基础底面积；
A_e	一根桩承担的处理地基面积；
A_p	桩的截面积；
θ	压力扩散角；
b	基础底面宽度；
v	被注浆的土体积；
d	桩身直径,基础埋置深度；
u_p	桩的周长；
d_e	一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径；
l	基础底面长度、桩长；
m	面积置换率；
s	桩间距；
z	基础底面下换填垫层的厚度。

3 基本规定

3.0.1 在选择地基处理方案前,应完成下列工作:

1 搜集详细的岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计资料等;

2 根据工程的要求和采用天然地基存在的主要问题,确定地基处理的目的、处理范围和处理后要求达到的各项技术经济指标等;

3 结合工程情况,了解当地地基处理经验和施工条件,对于有特殊要求的工程,尚应了解相似场地同类工程的地基处理经验和使用情况等;

4 调查邻近建筑、地下结构、道路和有关管线等周边环境情况。

3.0.2 在选择地基处理方案时,应考虑上部结构、基础和地基的共同作用,并经过技术经济比较,选用处理地基或加强上部结构与处理地基相结合的方案。

3.0.3 地基处理方法的确定宜按下列步骤进行:

1 根据结构类型、荷载及使用要求,结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、环境情况和对邻近建筑的影响等因素进行综合分析,初步选出几种可行的地基处理方案;

2 对初步选出的各种地基处理方案,分别从加固原理、适用范围、预期处理效果、耗用材料、施工机械、工期要求和对环境的影响等方面进行技术经济分析和对比,选择最佳的地基处理方法,当单一地基处理方法不能满足设计要求的、技术、经济指标,可考虑多种处理方法地基处理措施组成的综合处理方案;

3 对已选定的地基处理方法,应按建筑物地基基础设计等

级和场地复杂程度,在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工,并进行必要的测试,以检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时,应查明原因,修改设计参数或调整地基处理方法。

3.0.4 地基处理的施工图设计必须充分掌握场地地质条件,如现有资料不能满足设计要求,应进行补充地质勘察。

3.0.5 经处理后的地基,当按地基承载力确定基础底面积及埋深而需要对本规范确定的地基承载力特征值进行修正时,应符合下列规定:

1 大面积压实填土地基,基础宽度的地基承载力修正系数应取零;基础埋深的地基承载力修正系数应取 1.0~1.5;

2 其他处理地基,基础宽度的地基承载力修正系数应取零,基础埋深的地基承载力修正系数应取 1.0。

3.0.6 经处理后的地基,当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时,应验算下卧层的地基承载力。

3.0.7 按地基变形设计或应作变形验算且需进行地基处理的建筑物或构筑物,应对处理后的地基进行变形验算。

3.0.8 受较大水平荷载或位于斜坡上的建筑物及构筑物,当建造在处理后的地基上时,应进行地基稳定性验算。

3.0.9 未经质量检验或检验不符合设计要求的处理地基,不得作为建筑工程持力层,在满足变形和承载力要求的情况下,该处理地基可用于荷载较小的环境、市政或道路工程。

3.0.10 重庆地区常见不良地基类型与相应的地基处理方法选用应符合表 3.0.10 的规定。除本规范所列的地基处理方法外,也可根据场地岩土工程条件、处理目的和适用性,参照相关规范采用其他适宜的处理方法。对本地区尚无工程经验的地基处理方法应先进行充分验证其适用性后方可采用。

表 3.0.10 重庆地区常见不良地基类型与相应的地基处理方法一览表

不良地基类型	拟建建筑物及周围环境	地基处理方法
填方地基	一般工业建筑和多层民用建筑;建筑场地 30 米范围内无重要既有建筑物	强夯法、强夯置换法
	一般工业建筑和多层民用建筑;建筑场地 30 米范围内有重要既有建筑物	换填法、高压旋喷法
既有建筑地基	发生较大差异沉降或倾斜	静压注浆法、树根桩法
软弱土地基	一般工业建筑和多层民用建筑;场地地下水贫乏	换填法、高压旋喷法、静压注浆法
岩溶或地质破碎带地基	一般工业建筑和多层民用建筑	静压注浆法、高压旋喷法

4 换填垫层法

4.1 一般规定

4.1.1 换填垫层法适用于浅层软弱土层及不均匀土层的地基处理。

4.1.2 对于工程量较大的换填垫层,应按所选用的施工机械、换填材料及场地土质条件进行现场试验,确定换填垫层压实效果和施工质量控制标准。

4.1.3 换填垫层的厚度应根据置换软弱土的深度以及下卧土层的承载力确定,厚度不宜小于 0.5m,也不宜大于 3m。

4.1.4 应根据建筑体型、结构特点、荷载性质、场地土质条件、施工机械设备及填料性质和来源等进行综合分析,进行换填垫层的设计和选择施工方法。

4.2 设计

4.2.1 垫层可选用下列材料:

1 砂石。宜选用碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂、中砂或石屑,应级配良好,不含植物残体、生活垃圾等杂质。

2 粉煤灰。粉煤灰垫层上宜覆土 0.3~0.5m。粉煤灰垫层中采用掺加剂时,应通过试验确定其性能及适用条件。作为建筑物地基垫层的粉煤灰应满足相关标准对腐蚀性和放射性的要求。粉煤灰垫层中的金属构件、管网宜采取适当防腐措施。大量填筑粉煤灰时应考虑对地下水和土壤的环境影响。

3 水泥稳定碎石。碎石宜采用反击式破碎机轧制的级配碎石,碎石最大粒径应控制在 31.5mm 以内,针片状颗粒的总含量

应不超过 20%，压碎值小于 30%。水泥宜采用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，快硬、早强和受潮变质水泥不得使用，细度、凝结时间、安定性、抗压强度等指标应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。

4 工业废渣。在有充分依据或成功经验时，也可采用质地坚硬、性能稳定、透水性强、无腐蚀性的其他工业废渣材料，但必须经过现场试验证明其技术经济效果良好及施工措施完善方能应用。

5 土工合成材料。加筋垫层所用土工合成材料的品种与性能及填料的土类应根据工程特性和地基土条件，符合现行国家标准《土工合成材料应用技术规范》GB 50290 的有关规定，通过设计计算和现场试验后确定。作为加筋的土工合成材料应采用抗拉强度较高、耐久性好、抗腐蚀的土工带、土工格栅等土工合成材料；垫层填料宜用碎石、角砾、砾砂、粗砂、中砂等材料。当工程要求垫层具有排水功能时，垫层材料应具有良好的透水性。在软土地基上使用加筋垫层时，应满足建筑物稳定性和变形的要求。

4.2.2 垫层厚度的确定应符合下列规定：

1 应根据需置换软弱土(层)的深度和建筑物对地基变形的要求确定，并符合式 4.2.2-1 的要求：

$$p_z + p_\alpha \leq f_\alpha \quad (4.2.2-1)$$

式中： p_z 相应于荷载效应标准组合时，垫层底面处的附加压力值(kPa)；

p_α 垫层底面处的自重压力值(kPa)；

f_α 垫层底面处经深度修正后的地基承载力特征值(kPa)。

2 垫层底面处的附加压力值 p_z 可分别按式 4.2.2-2 和 4.2.2-3 式计算：

条形基础

$$p_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (4.2.2-2)$$

矩形基础

$$p_z = \frac{bl(p_k - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (4.2.2-3)$$

式中: b 矩形基础或条形基础底面的宽度(m);

l 矩形基础底面的长度(m);

p_k 相应于荷载效应标准组合时,基础底面处的平均压力值(kPa);

p_c 基础底面处土的自重压力值(kPa);

z 基础底面下垫层的厚度(m);

θ 垫层的压力扩散角($^\circ$),宜通过试验确定,当无试验资料时,可按表 4.2.2 采用。

表 4.2.2 垫层材料的压力扩散角 θ ($^\circ$)

换填材料 z/b	中砂、粗砂、砾砂、圆砾、角砾、石屑、卵石、碎石、 矿渣、水稳碎石	粉煤灰
0.25	20	6
≥ 0.50	30	23

注:1 当 $z/b < 0.25$, $\theta = 0^\circ$,必要时宜由试验确定;

2 当 $0.25 < z/b < 0.50$ 时, θ 值可内插求得;

3 土工合成材料加筋垫层其压力扩散角宜由现场静载荷试验确定。

4.2.3 垫层底面的宽度应满足基础底面应力扩散的要求,可按公式 4.2.3 计算:

$$b' \geq b + 2z \tan \theta \quad (4.2.3)$$

式中: b' 垫层底面宽度(m);

θ 压力扩散角($^\circ$),可按表 4.2.2 采用;当 $z/b < 0.25$ 时,按表 4.2.2 中 $z/b = 0.25$ 取值。

垫层顶面宽度可从垫层底面两侧向上,按基坑开挖期间保持边坡稳定的当地经验放坡确定。垫层顶面每边超出基础底边不

应小于 300mm,垫层底面的宽度需要防止地基受力后向侧向挤出。

4.2.4 垫层的压实标准应符合表 4.2.4 规定。

表 4.2.4 各种垫层的压实标准

施工方法	换填材料	压实系数 λ_c
碾压 振密 或夯实	碎石、卵石	≥ 0.97
	砂、土夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%)	
	中砂、粗砂、砾石、角砾、圆砾、石屑	
	粉煤灰	≥ 0.95
	水泥稳定碎石	≥ 0.96

注:压实系数 λ_c 为土的现场实测干密度 ρ_d 与最大干密度 ρ_{dmax} 的比值;土的最大干密度宜采用击实试验确定,当填料为碎石或卵石时,其最大干密度可取 $2.1 \sim 2.2 \text{g/cm}^3$,以碎石为主取低值,以卵石为主取高值。

4.2.5 换填垫层地基的承载力应通过现场静载荷试验确定。

4.2.6 垫层地基的变形由垫层自身变形和下卧层变形组成。换填垫层在满足本规范第 4.2.2 条、第 4.2.3 条和第 4.2.4 条的条件下,换填垫层地基的变形可仅考虑其下卧层的变形。对沉降要求严格或垫层厚的建筑,应计算垫层自身的变形。垫层下卧土层的变形量的计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

4.2.7 当上部结构对地基沉降或变形要求较高时,换填垫层地基宜铺设土工合成材料。

4.2.8 换填垫层所用土工合成材料需进行材料强度验算,并符合式 4.2.8 的规定:

$$T_P \leq T_a \quad (4.2.8)$$

式中: T_a 土工合成材料在允许延伸率下的抗拉强度(kN/m);

T_P 相应于作用的标准组合时,单位宽度的土工合成材

料的 最大拉力 (kN/m) 。

4.2.9 加筋土垫层的加筋体设置应符合下列规定：

1 一层加筋时，可设置在垫层的中部；

2 多层加筋时，首层筋材距垫层顶面的距离宜取 30% 垫层厚度，筋材层间距宜取 $30\% \sim 50\%$ 的垫层厚度，每层厚度可取 $300 \sim 600\text{mm}$ ，且不应小于 200mm ；

3 加筋线密度宜为 $0.15 \sim 0.35$ 。无经验时，单层加筋宜取高值，多层加筋宜取低值。垫层的边缘应有足够的锚固长度；

4 土工格栅宜采用双向拉伸格栅，双向极限抗拉强度不宜小于 50kN/m ，伸长率不宜大于 5% 。

4.3 施 工

4.3.1 垫层施工应根据不同的换填材料选择施工机械。砂石等宜用振动碾。粉煤灰宜采用平碾、振动碾、平板振动器、蛙式夯。水泥稳定碎石宜采用平碾或振动碾。矿渣宜采用平板振动器或平碾，也可采用振动碾。

4.3.2 垫层的施工方法、分层铺填厚度、每层压实遍数等宜通过试验确定。除接触下卧软土层的垫层底部应根据施工机械设备及下卧层土质条件确定厚度外，一般情况下，垫层的分层铺填厚度可取 $200 \sim 300\text{mm}$ 。为保证分层压实质量，应控制机械碾压速度。

4.3.3 当垫层底部存在古井、古墓、洞穴、旧基础、暗塘等软硬不均的部位时，应根据建筑对不均匀沉降的要求予以处理，并经检验合格后，方可铺填垫层。

4.3.4 基坑开挖时应避免坑底土层受扰动，可保留约 200mm 厚的土层暂不挖去，待铺填垫层前再挖至设计标高。严禁扰动垫层下的软弱土层，防止其被践踏、受冻或受水浸泡。在碎石或卵石垫层底部宜设置 $150 \sim 300\text{mm}$ 厚的砂垫层或铺一层土工织物，以

防止软弱土层表面的局部破坏,同时必须防止基坑边坡坍土混入垫层中。

4.3.5 换填垫层施工应注意基坑排水,除采用水撼法施工砂垫层外,不得在浸水条件下施工,必要时应采用降低地下水位的措施。

4.3.6 垫层底面宜设在同一标高上,如深度不同,基坑底土面应挖成阶梯或斜坡搭接,并按先深后浅的顺序进行垫层施工,搭接处应夯压密实,垫层不宜在柱基、墙角及荷载较集中处接缝。上下两层的缝距不得小于 500mm。接缝处应夯压密实。粉煤灰垫层铺填后宜当天压实,每层验收后应及时铺填上层或封层,防止干燥后松散起尘污染,同时应禁止车辆碾压通行。

垫层竣工验收合格后,应及时进行基础施工与基坑回填。

4.3.7 铺设土工合成材料施工,应符合以下要求:

- 1 下铺地基土层顶面应平整;
- 2 土工合成材料铺设时应把土工合成材料张拉平整、绷紧,严禁有褶皱;
- 3 土工合成材料的连接宜采用搭接法、缝接法或胶接法,连接强度不应低于原材料抗拉强度,端部应采用有效固定方法,防止筋材拉出;
- 4 严禁碾压或运输设备直接在土工合成材料上碾压或行走,垫层的压实作业宜用平碾,不得用振动碾压。

4.4 质量检验

4.4.1 垫层的施工质量检验可用动力触探或标准贯入试验等方法进行检验。单位工程抽检数量为条基每 20m 不少于 1 点,筏基每 200~400m³ 不少于 1 点,每个独立柱基不少于 1 点,检验深度应满足设计要求。

4.4.2 垫层的压实系数对细粒土可采用环刀法,对粗粒土可采

用灌砂法、灌水法或其他方法进行检验。抽检数量为每 100m^3 不应少于 1 点。

4.4.3 垫层的施工质量检验应分层进行,并应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层。

4.4.4 竣工验收采用载荷试验检验垫层承载力时,每个单体工程不宜少于 3 点;对于大型工程则应按单体工程的数量或工程划分的面积确定检验点数。

4.4.5 对加筋垫层中土工合成材料应进行如下检验:

1 土工合成材料质量符合设计要求,外观无破损、无老化、无污染;

2 土工合成材料要求张拉平整、无皱折、紧贴下承层,锚固端锚固牢固;

3 上下层土工合成材料搭接缝要交替错开,搭接强度应满足设计要求。

5 压实地基

5.1 一般规定

5.1.1 压实法适用于处理大面积填土地基。浅层软弱地基以及局部不均匀地基换填处理应符合本规范第四章有关规定。

5.1.2 应根据建筑体型、结构与荷载特点、场地土层条件、变形要求及填料等综合分析后选择施工方法并进行压实地基的设计。

5.1.3 当利用压实填土作为建筑工程的基础持力层时,应根据结构类型、填料性能和现场条件等,对拟压实的填土提出质量要求。

5.1.4 对大型的、重要的或场地地层复杂的工程,在正式施工前应通过现场试验确定其处理效果。

5.2 设计

5.2.1 压实填土的填料可选用粉煤灰,级配良好的砂土或碎石土,土工合成材料,质地坚硬、性能稳定、无腐蚀性和放射性危害的工业废料等,并符合下列规定:

1 以砾石、卵石或块石作填料时,分层压实时其最大粒径不宜大于 200mm;

2 不得使用淤泥、耕土、冻土、膨胀性土以及有机质含量大于 5% 的土;

3 挖高填低或开山填沟的土料和石料,应符合本条 1 项和 2 项的规定;

5.2.2 碾压法施工时应根据压实机械的压实能量、地基土的性

质、压实系数和施工含水量等来控制,选择适当的碾压分层厚度和碾压遍数。碾压分层厚度、碾压遍数、碾压范围和有效加固深度等施工参数宜由现场试验确定。初步设计可按表 5.2.2 的规定取值。

表 5.2.2 填土每层铺填厚度及压实遍数

施工设备	每层铺填厚度(mm)	每层压实遍数
平碾(8~12t)	200~300	6~8
羊足碾(5~16t)	200~350	8~16
振动碾(8~15t)	500~1200	6~8
冲击碾压(冲击势能 15~32kJ)	600~1500	20~40

注:1. 对已经完成回填且回填厚度大于表 5.2.2 中铺填厚度,或粒径超过 100mm 填料含量超过 50% 的填土地基,应采用较高性能的压实设备或采用强夯法进行加固;

2. 冲击碾压法的设计应根据土质条件、工期要求等因素综合确定,施工前应进行试验性施工,每层铺填厚度通过试验确定。

5.2.3 压实填土的质量以压实系数 λ_c 控制,并应根据结构类型和压实填土所在部位按表 5.2.3 的规定取值。

表 5.2.3 压实填土的质量控制

结构类型	填土部位	压实系数 λ_c	控制含水量(%)
砌体承重结构和框架结构	在地基主要受力层范围内	≥ 0.97	$w_{op} + 2$
	在地基主要受力层范围以下	≥ 0.95	
排架结构	在地基主要受力层范围内	≥ 0.96	
	在地基主要受力层范围以下	≥ 0.94	

注:地坪垫层以下及基础底面标高以上的压实填土,压实系数不应小于 0.94。

5.2.4 压实填土的最大干密度和最优含水量,宜采用击实试验确定,当无试验资料时,最大干密度可按式 5.2.4 计算:

$$\rho_{dmax} = \eta \frac{\rho_w d_s}{1 + 0.01 w_{op} d_s} \quad (5.2.4)$$

式中, ρ_{dmax} 分层压实填土的最大干密度;

η 经验系数,粉土取 0.97;

- ρ_w 水的密度；
 d_s 土粒相对密度(比重)；
 w_{op} 填料的最优含水量(%)。

当填料为碎石或卵石时，其最大干密度可取 $2.1 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ ，以碎石为主取低值，以卵石为主取高值。

5.2.5 压实填土的边坡允许值，应根据其厚度、填料性质等因素，可按表 5.2.5 的规定取值。

表 5.2.5 压实填土的边坡允许值

填料类型	边坡坡度允许值(高宽比)		压实系数
	坡高在 8m 以内	坡高为 8~15m	
碎石、卵石	1:1.50~1:1.25	1:1.75~1:1.50	0.94~0.97
砂夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%)	1:1.50~1:1.25	1:1.75~1:1.50	
土夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%)	1:1.50~1:1.25	1:2.00~1:1.50	
粉质黏土、黏粒含量 $\rho \geq 10\%$ 的粉土	1:1.75~1:1.50	1:2.25~1:1.75	

注：当压实填土厚度大于 15m 时，可设计成台阶或者采用土工格栅加筋等措施，验算满足稳定性要求后进行压实填土的施工。

5.2.6 压实填土地基下卧层顶面的承载力应满足本规范式 4.2.2-1、式 4.2.2-2 和 4.2.2-3 的要求。

5.2.7 压实填土地基的变形计算应符合本规范 4.2.6 条的规定，压缩模量应通过处理后地基的原位测试或土工试验确定。

5.2.8 设置在斜坡上的压实填土，应验算其稳定性。当天然地面坡度大于 20% 时，应采取防止压实填土可能沿坡面滑动的措施，并应避免雨水沿斜坡排泄。

5.3 施 工

5.3.1 铺填料前,应清除或处理场地内填土层底面以下的耕土或软弱土层等。

5.3.2 在雨季进行压实填土施工时,应采取防雨措施,防止填料受雨水淋湿。

5.3.3 压实填土的施工缝上下两层应错开搭接,分片(段)施工时不得在柱基和承重墙下接缝,在施工缝的搭接处,应适当增加压实遍数。先振压基槽两边,再振压中间。以振动机原地振实不再继续下沉为压实合格标准。边角及转弯区域应采取其它措施压实,以达到设计标准。

5.3.4 冲击碾压法施工的冲击碾压宽度不宜小于 6m,工作面较窄时,需设置转弯车道,冲压最短直线距离不宜少于 100m,冲压边角及转弯区域应采用其他措施压实;施工时,地下水位应降低到碾压面以下 1.5m。

5.3.5 性质不同的填料,应水平分层、分段填筑,分层压实。同一水平层应采用同一填料,不得混合填筑。填方分几个作业段施工时,接头部位如不能交替填筑,则先填筑区段,应按 1 : 1 坡度分层留台阶;如能交替填筑,则应分层相互交替搭接,搭接长度不小于 2m。

5.3.6 压实施工场地附近有需要保护的建筑物时,应合理安排施工时间,减少噪声与振动对环境的影响。必要时可采取挖减振沟等减振隔振措施或进行振动监测。

5.3.7 当压实填土阻碍原地表水畅通排泄时,应根据地形修筑雨水截水沟,或设置其它排水设施。设置在压实填土区的上、下水管道,应采取防渗、防漏措施。

5.4 质量检验

5.4.1 压实地基的施工质量检验应分层进行,每完成一道工序应按设计要求及时验收,未经验收或验收不合格时,不得进行下一道工序施工。

5.4.2 在压实填土施工的过程中,应分层取样检验土的干密度和含水量。每 100m^3 面积内应不少于 1 个检测点,压实系数不得低于表 5.2.3 的规定,对碎石土干密度不得低于 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。

5.4.3 地基承载力可通过载荷试验并结合动力触探等原位试验进行。每个单体工程载荷试验不宜少于 3 点,大型工程可按单体工程的数量或面积确定检验点数。

6 强夯法

6.1 一般规定

6.1.1 强夯法适用于碎石土、砂土、非饱和细粒土、素填土和杂填土等地基的处理。

6.1.2 对于采用桩基的填土地基,可先用强夯法进行地基预处理,然后再进行桩基施工。

6.1.3 采用强夯法处理地基前,应对场地周边环境、原始地形地貌、工程地质条件、地下管线布置、排水情况进行调查。

6.1.4 对采用强夯法处理的沟谷地带,进行新填筑时,宜采用分层回填强夯处理,每层回填深度可根据强夯的有效加固深度进行预估。

6.1.5 对既有大面积高填方场地进行小面积强夯处理,应验算不均匀沉降对上部结构的影响。

6.1.6 强夯施工前,应在施工现场有代表性的场地上选取一个或几个试验区,进行试夯或试验性施工,以检验设计参数和加固效果。试验区数量及面积应根据建筑场地复杂程度、建筑规模及建筑类型确定。

6.1.7 强夯处理地基进行浅基础设计时,基础持力层应置于强夯扰动层以下,在有效加固深度范围内,并确保持力层厚度。

6.2 设计

6.2.1 强夯法的有效加固深度应根据现场试夯或当地经验确定;在初步设计时,或欠缺试验资料或经验时,也可按表 6.2.1 规

定进行预估。

表 6.2.1 强夯有效加固深度经验值

单击夯击能 E (kN·m)	碎石土、砂土等粗颗粒土 (m)	粉土、黏性土等细颗粒土 (m)
1000	4.0~5.0	3.0~4.0
2000	5.0~6.0	4.0~5.0
3000	6.0~7.0	5.0~6.0
4000	7.0~8.0	6.0~7.0
5000	8.0~8.5	7.0~7.5
6000	8.5~9.0	7.5~8.0
8000	9.0~9.5	8.0~9.0
10000	9.5~10.0	8.5~9.0
12000	10.0~11.0	9.0~10.0

注：强夯法的有效加固深度应从最初起夯面算起。

6.2.2 夯锤宜采用铁质圆形锤，直径宜为 2.0~3.0m，锤底接地静压力可取 40~100kPa。

6.2.3 强夯夯击点布置形式可根据基础形式、地基土类型和工程特点选用，宜为正方形、矩形、正三角形、等腰三角形等形式。第一遍夯击点间距可取夯锤直径的(2.5~3.5)倍，第二遍夯击点应位于第一遍夯击点之间。低能级时取小值，高能级及考虑能级组合时取大值。

6.2.4 夯击次数应按现场试夯确定的夯击次数和夯沉量关系确定，并应同时满足下列条件：

1 最后两击平均夯沉量宜满足表 6.2.4 的要求，当单击能大于 12000kN·m 时，应通过试验确定；

表 6.2.4 强夯法最后两击平均夯沉量

单击夯击能 $E(\text{kN} \cdot \text{m})$	最后两击平均夯沉量不大于(mm)
$E < 4000$	50
$4000 \leq E < 6000$	100
$6000 \leq E < 8000$	150
$8000 \leq E < 12000$	200

2 夯坑周围地面不应发生过大的隆起；

3 不因夯坑过深发生提锤困难。

6.2.5 夯击遍数应根据地基土的性质确定，一般情况可采用点夯(2~4)遍，最后以低能级满夯 2 遍，两遍夯击之间应有一定的时间间隔，间隔时间根据地基土的渗透性决定，对于渗透性好的地基可连续夯击。

6.2.6 满夯能级应根据点夯后地表扰动层的厚度确定，夯击时点与点之间宜搭接 1/4 锤径。满夯的击数可根据地基承载力特征值的设计要求确定，当地基承载力特征值要求在 150~250 kPa 时，满夯击数不宜低于 3 击。

6.2.7 满夯后应进行机械碾压或冲击碾压，以满足地基土表面的压实度要求。

6.2.8 强夯地基处理范围应大于工程基础范围，每边超出外缘的宽度宜为基础下设计处理深度的 1/2 至 2/3，并不应小于 3m。

6.2.9 强夯前应预估地面的夯沉量，并在试夯时予以校正。应根据场地夯后的沉降值和夯后地面的整平设计标高确定场地起夯面标高。

6.3 施 工

6.3.1 强夯夯锤质量宜为 10~60t，其底面形式宜采用圆形，锤底面积宜按土的性质确定，锤底静接地压力值宜为 25~80kPa，单击夯击能高时，取高值，单击夯击能低时，取低值，对于细颗粒土

宜取低值。锤的底面宜对称设置若干个上下贯通的排气孔,孔径宜为 300~400mm。

6.3.2 强夯法施工应按下列步骤进行:

- 1 清理并平整施工场地;
- 2 标出第一遍夯点位置,并测量场地高程;
- 3 起重机就位,夯锤置于夯点位置;
- 4 测量夯前锤顶高程;
- 5 将夯锤起吊到预定高度,开启脱钩装置,待夯锤脱钩自由下落后,放下吊钩,测量锤顶高程,若发现因坑底倾斜而造成夯锤歪斜时,应及时将坑底整平;
- 6 重复步骤 5,按设计规定的夯击次数及控制标准,完成一个夯点的夯击。当夯坑过深出现提锤困难,又无明显隆起,而尚未达到控制标准时,宜将夯坑回填不超过 1/2 深度后,继续夯击;
- 7 换夯点,重复步骤 3 至 6,完成第一遍全部夯点的夯击;
- 8 用推土机将夯坑填平或用填料将夯坑填平,并测量场地高程;
- 9 在规定的间隔时间后,按上述步骤逐次完成全部夯击遍数,最后用低能量满夯,将场地表层松土夯实,并测量夯后场地高程。

6.3.3 起吊夯锤的起重机械宜采用带有自动脱钩装置履带式起重机、强夯专用施工机械、或其它可靠的起重设备,夯锤的质量不应超过起重机械自身额定起重质量。采用履带式起重机时,可在臂杆端部设置辅助门架,或采取其他安全措施,防止落锤时机架倾覆。

6.3.4 当场地表土软弱或地下水位较高,夯坑底积水影响施工时,宜铺填一定厚度的砂石材料并采用人工降低地下水位,使地下水位低于有效加固深度以下不小于 2m。

6.3.5 施工前应查明影响范围内地下建构筑物的位置及标高,并采取必要措施予以保护。

6.3.6 施工时应设置安全警戒;强夯引起的振动对邻近构筑物可能产生影响时,应进行振动监测,必要时应采取隔振或减振措施。

6.3.7 施工过程中应有专人负责下列监测工作:

1 开夯前应检查夯锤质量和落距,以确保单击夯击能量符合设计要求;

2 在每一遍夯击前,应对夯点放线进行复核,夯完后检查夯坑位置,发现偏差或漏夯应及时纠正;

3 按设计要求检查每个夯点的夯击次数、每击的夯沉量、最后两击的平均夯沉量和总夯沉量,夯点施工起止时间。

6.3.8 施工过程中应对各项参数及情况进行详细记录。

6.3.9 夯实地基施工结束后应根据地基土的性质和采用的施工工艺,待土层休止期过后再进行基础施工。

6.4 质量检验

6.4.1 检查施工过程中的各项测试数据和施工记录,不符合设计要求时应补夯或采取其他有效措施。

6.4.2 强夯处理后的地基承载力检验,应在基础的持力层标高处。

6.4.3 强夯处理后的地基承载力检验,应在施工结束后间隔一定时间方能进行,对于碎石土和砂土地基,其间隔时间可取 7~14d;粉土和黏性土地基可取 14~28d,对于渗透性好的碎、块石填土地基可连续夯击。

6.4.4 强夯地基密实度和均匀性检验,可采用重型或超重型动力触探、探坑检测、瑞雷波以及室内土工试验。检验点数量,可根据场地复杂程度和建筑物重要性确定,对于简单场地上的一般建筑物,按每 400m² 不少于 1 个检测点,且不少于 3 点;对于复杂场地或重要建筑物,每 300m² 不少于 1 个检测点,且不少于 3 点。

6.4.5 强夯地基承载力检验应采用静载荷试验,检验点数量根据场地复杂程度和建筑物重要性确定,对于简单场地上的一般建筑,单位工程静载荷试验点不少于 3 点,对强夯连续处理面积大于 3000m^2 的工程,每增加 1000m^2 增加 1 个试验点;对复杂场地或重要建筑物,应增加试验点数。对大面积强夯或分层强夯地基,当有本场地对比资料时,可适当减少静载试验点增加动力触探试验点。

7 强夯置换法

7.1 一般规定

7.1.1 强夯置换法适用于处理高饱和度的粉土与软塑状的淤泥、淤泥质土、黏性土、素填土及新近填土地基。

7.1.2 强夯置换墩的深度由土层条件决定,除饱和粉土、黏性土和填土外,应穿透软土层到达硬质土层上,置换墩体深度不宜超过 10m。

7.1.3 强夯置换法的单击夯击能和置换深度应通过试验确定。

7.1.4 强夯置换法处理前,应通过现场试验确定其适用性和处理效果。

7.1.5 夯锤宜采用铁质柱形锤,直径宜为 1.0~1.5m,锤底接地静压力可取 100~200kPa。

7.2 设计

7.2.1 置换材料可用级配良好的块石、碎石、矿渣、建筑垃圾等坚硬粗颗粒材料,粒径大于 300mm 的颗粒含量不宜超过 30%。

7.2.2 夯点的夯击次数应通过现场试夯确定,并应同时满足下列条件:

- 1 墩体穿透软弱土层,且达到设计墩长;
- 2 累计夯沉量为设计墩长的 1.5~2.0 倍;
- 3 最后二击平均夯沉量不大于本规范 6.2.4 条的规定。

7.2.3 夯点宜采用等边三角形或正方形布置。

7.2.4 墩间距应根据荷载大小和原土的承载力选定,当满堂布

置时可取夯锤直径的 2~3 倍,对独立基础或条形基础可取夯锤直径的 1.5~2.0 倍。墩的计算直径可取夯锤直径的 1.1~1.2 倍。

7.2.5 当墩间净距较大时,应适当提高上部结构和基础的刚度。

7.2.6 强夯置换处理范围应符合本规范 6.2.8 条的有关规定。

7.2.7 墩顶应铺一层厚度不小于 500mm 的压实垫层,垫层材料可与墩体相同,粒径不大于 100mm。

7.2.8 强夯置换设计时,应预估地面抬高值,并在试夯时校正,起夯面标高和夯后整平标高的确定应符合本规范 6.2.9 条的有关规定。

7.2.9 确定饱和软土强夯置换处理后的地基承载力特征值应通过现场单墩载荷试验确定;对饱和粉土地基,当处理后形成 2.0m 以上厚度的硬层时,其承载力可通过现场单墩复合地基载荷试验确定。

7.2.10 强夯置换地基的变形计算,应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。复合土层的压缩模量可按式 7.2.10 计算:

$$E_{sp} = [1 + m(n - 1)]E_s \quad (7.2.10)$$

式中: E_{sp} 复合土层压缩模量(MPa);

E_s 桩间土压缩模量(MPa),宜按当地经验取值,如无经验时,可取天然地基压缩模量;

m 面积置换率;

n 桩土应力比,在无实测资料时,对黏性土可取 2~4,对粉土可取 1.5~3.0,原土强度低取大值,原土强度高取小值。

7.3 施 工

7.3.1 强夯置换施工应按下列步骤进行:

1 清理并平整施工场地,当表土松软时可铺设一层厚度为1.0m~2.0m的砂石施工垫层;

2 标出夯点位置,并测量场地高程;

3 起重机就位,夯锤置于夯点位置;

4 测量夯前锤顶高程;

5 夯击并逐击记录夯坑深度。当夯坑过深而发生起锤困难时停夯,向坑内填料直至与坑顶平,记录填料数量,如此重复直至满足规定的夯击次数及控制标准完成一个墩体的夯击。当夯点周围软土挤出影响施工时,可随时清理并在夯点周围铺垫碎石,继续施工;

6 按由内而外,隔行跳打原则完成全部夯点的施工;

7 推平场地,用低能量满夯,将场地表层松土夯实,并测量夯后场地高程;

8 铺设垫层,并分层碾压密实。

7.3.2 起吊夯锤的起重机械宜采用带有自动脱钩装置履带式起重机、强夯专用施工机械,或其它可靠的起重设备,夯锤的质量不应超过起重机械自身额定起重质量。采用履带式起重机时,可在臂杆端部设置辅助门架,或采取其他安全措施,防止落锤时机架倾覆。

7.3.3 当场地表土软弱或地下水位较高,夯坑底积水影响施工时,宜铺填一定厚度的砂石材料并采用人工降低地下水位,使地下水位低于有效加固深度以下不小于2m。坑内或场地积水应及时排除,对细颗粒土,应经过晾晒,含水量满足要求后施工。

7.3.4 施工前应查明影响范围内地下建构筑物的位置及标高,并采取必要措施予以保护。

7.3.5 施工时应设置安全警戒;强夯引起的振动对邻近建构筑物可能产生影响时,应进行振动监测,必要时应采取隔振或减振措施。

7.3.6 施工过程中应有专人负责下列监测工作:

1 开夯前应检查夯锤质量和落距,以确保单击夯击能量符合设计要求;

2 在每一遍夯击前,应对夯点放线进行复核,夯完后检查夯坑位置,发现偏差或漏夯应及时纠正;

3 按设计要求检查每个夯点的夯击次数、每击的夯沉量、最后两击的平均夯沉量和总夯沉量,夯点施工起止时间。对强夯置换尚应检查置换深度。

7.4 质量检验

7.4.1 检查施工过程中的各项测试数据和施工记录,不符合设计要求时应补夯或采取其他有效措施。

7.4.2 强夯置换后的地基承载力检验,应在基础的持力层标高处。

7.4.3 强夯置换地基检测间隔时间可取 28d。

7.4.4 强夯置换后的地基承载力检验除应采用单墩载荷试验检验外,尚应采用动力触探等有效手段查明置换墩底情况及承载力与密度随深度的变化,对饱和粉土地基可采用单墩复合地基载荷试验检验。

7.4.5 强夯置换地基载荷试验检验和置换墩底情况检验数量均不应少于墩点数的 1%,且不应少于 3 点。其它检测工作量可根据工程实际确定。

8 静压注浆法

8.1 一般规定

8.1.1 静压注浆法适用于处理砂土、粉土、黏性土和人工填土等既有建筑和新建建筑的地基处理,也可用于处理规模不大的、封闭的土洞或溶洞。

8.1.2 注浆设计方案制定前,应进行工程地质勘察,掌握处理注浆场地及其邻近的工程地质、水文地质资料,搜集可能受注浆影响的邻近建(构)筑物基础和结构设计资料、地下管线、箱涵等资料。

8.1.3 对高填方回填土地基进行注浆加固设计前,应进行现场注浆试验检验其适用性和相关设计参数、施工方法。

8.1.4 注浆加固设计前应进行室内浆液材料试验,选择合适的注浆材料 and 外加剂,对于大型工程或重要工程,宜进行现场注浆试验或根据类似工程经验确定设计参数,检验施工方法。

8.1.5 对地基承载力和变形有特殊要求的建筑地基,注浆加固宜与其他地基处理方法联合使用。

8.2 设计

8.2.1 注浆法处理地基,主要设计内容包括:

- 1 注浆处理对象和范围;
- 2 注浆浆液的种类、性能、配比;
- 3 注浆钻孔的孔位、孔距、孔深、成孔方法和工艺等;
- 4 注浆压力、浆液有效扩散半径、单位注浆量、浆液初凝时

间、注浆时间等施工参数；

5 注浆顺序；

6 注浆结束标准；

7 注浆质量检查和注浆效果检验的要求。

8.2.2 注浆法处理地基时其处理范围应满足：

1 注浆处理范围不应小于建筑物基础外缘所包围的范围，对于扩展基础、筏形基础、条形基础和壳体基础，注浆范围应超出工程基础范围，每边超出外缘的宽度宜为基础下设计处理深度的 $1/2$ 至 $2/3$ ，并不应小于 3m ；

2 加固注浆深度应满足地基承载力的要求或大于计算承载地层的下限。

8.2.3 根据注浆目的、地层类型及可注性，并考虑所采用的注浆设备和注浆工艺，注浆材料的选择宜满足下列要求：

1 采用注浆法加固地基时应以水泥浆为主要注浆材料。加固土洞、溶洞、松散杂填土、碎块石回填土等空隙较大地层时，可在水泥浆中掺入粉煤灰、中粗砂、黏土等材料；

2 根据工程的不同需求，可在水泥浆液中加入不同种类的外掺剂，以改善浆液性能，满足工程的特定要求。外掺剂的掺入量应根据试验而定，不宜大于水泥量的 5% ；

3 水泥为主剂的浆液水灰比宜为 $0.5\sim 2.0$ ，常用的水灰比为 1.0 ，对于重要工程或大型工程，宜先进行室内浆液配比实验，主要考察指标为浆液的可注性、结石率、结石体强度、析水率等。

8.2.4 注浆孔布置应根据浆液有效扩散距离、注浆目的来确定，常采用矩形或梅花形布孔形式；注浆孔间距视浆液有效扩散距离、注浆相互重叠宽度而定，一般可取 $1.0\sim 2.0\text{m}$ 。

8.2.5 注浆压力应综合考虑覆盖土层、浆液种类、地质条件及临近地下结构的保护等因素，并通过试验综合确定，砂土中宜为 $0.2\sim 1.5\text{MPa}$ ；在黏性土中宜为 $0.3\sim 0.6\text{MPa}$ ；在淤泥或淤泥质土中宜为 $0.1\sim 0.4\text{MPa}$ 。

8.2.6 注浆泵宜根据注浆浆液选择,以水泥为主剂时宜选择柱塞式或活塞式注浆泵,掺加惰性材料时宜选择螺杆式注浆泵。注浆泵最大工作压力不应小于 1.5MPa。注浆时应控制压力,使浆液均匀上冒,直至泛出孔口为止。灌注施工时,宜采用跳孔施工、间歇施工或添加速凝剂等措施,以防止相邻桩孔位移和串孔。

8.2.7 浆液有效扩散半径应根据现场试验或类似工程经验确定。当无试验资料时,浆液有效扩散半径的选用应符合表 8.2.7 的有关规定。

表 8.2.7 浆液有效扩散半径

土的种类型	浆液有效扩散距离或扩散半径(m)
碎石类土	1.5~3.0
砾砂	1.3~2.5
粗砂	1.1~1.6
中砂	0.7~1.1
细砂	0.4~0.7
粉砂	0.3

8.2.8 总注浆量或单孔注浆量宜通过现场注浆试验确定,无试验资料时可按式 8.2.8 估算:

$$Q = 1000k_{\nu}n \quad (8.2.8)$$

式中:Q 总注浆量或单孔注浆量(L);

ν 被注浆的土体积(m^3);

n 土的孔隙率;

k 经验系数;软土、黏性土、细砂取 0.3~0.5,中砂、粗砂取 0.5~0.7,砾砂取 0.7~1.0;

在黏性土地基中,注浆注入率宜为 15%~20%,注浆点上的覆盖土厚度宜大于 2m。

8.2.9 浆液初凝时间应根据地基土质条件和注浆目的确定。在砂土地基中,浆液的初凝时间宜为 5~20min;在黏土地基中,宜为 1~2h。

8.2.10 注浆时间应根据浆液流量、注浆量、浆液凝固时间等因素确定,对于人工填土地基注浆,宜采用多次注浆法,其间隔时间应按浆液的初凝试验结果确定,且不应大于 4h。

8.2.11 注浆顺序应按跳孔间隔注浆方式进行,并宜采用先外围后内部,先普通区域后重点区域的注浆顺序。当地下水流速较大时,应从水头高的一端开始注浆。

8.2.12 注浆深度大或注浆土层不均匀,应进行分段注浆。对渗透系数相同的土层,首先应注浆封顶,然后由下向上进行注浆,防止浆液上冒。如土层的渗透系数随深度而增大,则应自下向上注浆。对互层地层,首先应对渗透性或孔隙率大的地层进行注浆,在土层界面应加强注浆。

8.2.13 注浆结束标准应根据注浆压力、注浆量、注浆孔单位吸浆量或注浆时间达到设计要求综合确定。

8.3 施 工

8.3.1 注浆施工前应清理、平整施工场地,开挖必要的集水坑和沟槽,确定注浆孔位并统一编号、注明施工顺序。

8.3.2 注浆施工时,宜采用自动流量和压力记录仪,并应及时对资料进行整理分析。

8.3.3 花管注浆施工可按下列步骤进行:

- 1 钻机与注浆设备就位;
- 2 采用钻孔或振动法将花管植入土层;
- 3 插入注浆花管:钻孔完成后应及时灌入封闭泥浆并插入注浆花管至设计位置。对于松散土层,可以利用振动法将注浆花管压入土层中;

4 注浆:待封闭泥浆凝固后,按设计要求开泵进行注浆,直至达到注浆结束标准;

- 5 清洗:注浆结束后,应及时用清水冲洗注浆设备、管路中

的残留浆液。

8.3.4 压密注浆施工可按下列步骤进行：

- 1 钻机与注浆设备就位；
- 2 采用钻孔或振动法将注浆管压入土层；
- 3 若采用钻孔法，应从钻杆内灌入封闭泥浆，然后插入注浆管；
- 4 待封闭泥浆凝固后，再实施注浆，直至注浆结束。
- 5 清洗：注浆结束后，应及时用清水冲洗注浆设备、管路中的残留浆液。

8.3.5 注浆孔可采用旋转式或冲击式钻机等机具钻孔，根据注浆目的、形式和机具不同，钻孔孔径宜为 70~110mm，钻孔至设计深度为止，孔位偏差不得大于 50mm，钻孔垂直偏斜率应控制在 1%以内。

8.3.6 注浆用水应采用饮用的河水、井水、自来水及其他清洁水，不得采用 pH 值小于 4 的酸性水和工业废水。

8.3.7 浆液应经过搅拌机充分搅拌均匀后才能开始灌注，并在注浆过程中不停缓慢搅拌，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。

8.3.8 在不同季节、不同气温条件下施工，应注意温度对浆液性能的影响，并及时调整浆液配比，保持浆液性能的稳定以确保注浆质量和效果。

1 冬季日平均气温低于 5℃或最低气温低于-3℃的条件下进行注浆施工时，应在施工现场采取适当措施，以保证浆液不冻结；

2 夏季炎热条件下注浆施工时，用水温度不得超过 30~35℃，应避免浆液暴露在阳光下，以免加速浆液凝固。

8.3.9 在注浆过程中，发现地面冒浆、跑浆时可采取下列措施进行处理：

- 1 停止注浆，查清原因；

2 减少注浆压力、加浓浆液或采用间歇式注浆；

3 改换采用速凝浆液注浆。

8.3.10 既有建筑物地基进行注浆加固时应采用多孔间隔注浆和缩短浆液凝固时间等,防止或减少既有建筑物因注浆而产生附加沉降。

8.3.11 注浆过程中,做好详细的施工记录、分析和资料整理工作,经常对比相邻注浆孔的流量、压力和注浆量等参数,做到信息化施工,分析注浆中存在的问题,并及时解决。

8.4 质量检验

8.4.1 施工过程中应检查注浆压力、浆液流量、注浆时间、注浆量、浆液水灰比及外加剂用量等施工参数。

8.4.2 检查每个注浆孔垂直偏斜率、孔位偏差、钻孔倾角。

8.4.3 以水泥为主剂的注浆检验时间应在注浆结束 28d 后进行,黏性土注浆应在 60d 以后进行;其他注浆材料应根据具体情况而定,不宜少于 7d。

8.4.4 注浆检验点可为注浆孔数的 2%~5%。当检验点合格率小于或等于 80%,或虽大于 80%但检验点的平均值达不到强度或防渗的设计要求时,应对不合格的注浆区实施重复注浆。

8.4.5 注浆质量检验可采用下列方法:

1 采用轻、重型动力触探、钻探取芯并结合面波法、声波测试检验其注浆效果;

2 采用钻孔、弹性波法测定加固土体前后的动弹性模量和剪切模量变化;

3 钻取芯样观察注浆体的胶结情况;

4 地基加固前后沉降观测。

8.4.6 注浆加固后地基的承载力应采用静载荷试验进行检验。

8.4.7 静载荷试验应按附录 A(处理后地基静载荷试验要点)的

规定进行,每个单体建筑的检验数量不应少于 3 点。

8.4.8 注浆过程中,应对地面、周围建筑物、地下管线进行沉降、倾斜、变形和位移监测。

重庆工程建设

9 树根桩法

9.1 一般规定

9.1.1 树根桩法适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、碎石土及人工填土等既有建筑基础托换加固处理,也可用于新建建筑物的地基处理。

9.1.2 树根桩的直径宜为 150~300mm,桩长不宜超过 30m,布置形式可采用直桩型或斜桩网状布置。

9.1.3 当树根桩与承台整体连接时,可按桩基础设计,桩顶与基础的连接应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

9.1.4 采用树根桩作为既有建筑地基基础加固补强时,应符合现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123 的有关规定。

9.2 设计

9.2.1 树根桩作为支承桩时,单桩承载力设计值应通过单桩静载荷试验确定。初步设计时,可按摩擦桩设计,按式 9.2.1-1 和式 9.2.1-2 估算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u_p \sum q_{sk} l_i + q_{pk} A_p \quad (9.2.1-1)$$

$$R_{sk} = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (9.2.1-2)$$

式中: Q_{uk} 单桩竖向极限承载力标准值;

Q_{sk} 、 Q_{pk} 分别为总极限侧阻力标准值和总极限端阻力

标准值;

R_{sa} 单桩承载力设计特征值;

K 安全系数,取 $K=2$;

u_p 桩截面周长(m);

q_{sk} 第 i 层土的桩侧摩阻力标准值(kPa);

q_{pk} 极限端阻力标准值(kPa);

l_i 第 i 层土层中的桩长度(m)。

9.2.2 桩身混凝土强度不应小于 C25,并可按式 9.2.2 估算:

$$N \leq \alpha f_c A_p \quad (9.2.2)$$

式中 N 作用在树根桩单桩桩顶的竖向荷载设计值(kN);

α 适用条件系数,0.5~0.7,施工条件良好、质量可靠取高值,反之取低值;

A_p 桩身截面积(m²);

f_c 桩身混凝土轴心抗压强度设计值(kPa)。

9.2.3 树根桩桩身灌注材料可用水泥浆、水泥砂浆、细石混凝土或其它浆料,细石骨料粒径宜在 10~25mm 范围内,对直径小于 200mm 的树根桩,宜灌注水泥砂浆或骨料更细的浆料,灌注材料配比应符合混凝土设计强度等级要求。

9.2.4 树根桩主筋不应少于 3 根,钢筋直径不得小于 12mm,且宜通长配筋,钢筋笼外径宜小于设计桩径 40~60mm。

9.3 施 工

9.3.1 树根桩施工应符合下列规定:

1 桩位允许偏差宜为 ± 20 mm;桩身垂直度允许偏差为 $\pm 1\%$ 。

2 钻机成孔可采用清水或天然泥浆护壁,如遇塌孔时应加套管。

3 树根桩钢筋笼宜整根吊放。分节吊放时,钢筋接头宜采

用焊接或机械连接,钢筋搭接焊缝长度双面焊不得小于 5 倍钢筋直径、单面焊不得小于 10 倍钢筋直径。注浆管可采用直径为 20~50mm 的钢管或铁管,插入钢筋笼底部,与钢筋笼一同吊放。需二次注浆的树根桩,应在事先于钢筋笼上绑扎两根注浆管。施工时,应尽量缩短吊放和焊接时间。

4 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。在斜桩中组装钢筋笼时,应采用可靠的支撑和定位方法。

5 注浆设备宜采用专用注浆泵或细石混凝土泵,最大工作压力不应小于 1.5MPa。注浆时应控制压力,使浆液均匀上冒,直至泛出孔口为止。灌注施工时,宜采用跳孔施工、间歇施工或添加速凝剂等措施,以防止相邻桩孔位移和串孔。

6 当灌注时发生塌孔、填土空隙过大、因地下水流速较大可能导致浆液流失而影响灌注质量,应采用永久套管、护筒或其它保护措施。

7 当通过水下浇筑管或带孔钻杆或管状承重构件进行浇筑混凝土或水泥砂浆时,水下浇筑管或带孔钻杆的末端应埋入泥浆中。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为止。

8 通过临时套管灌注水泥浆时,钢筋笼的放置应在临时套管拔出之前完成,套管拔出过程中应每隔 2m 施加注浆压力。采用管材作为承重构件时,可通过其底部进行注浆。

9 当采用碎石或细石充填再注浆工艺时,填料应经清洗,投入量不应小于计算桩孔体积的 0.9 倍,填灌时应同时用注浆管注水清孔。一次注浆时,注浆压力宜为 0.3~1.0MPa,由孔底使浆液逐渐上升,直至浆液溢出孔口再停止注浆。第一次注浆浆液初凝时,方可进行二次注浆或多次注浆,二次注浆水泥浆压力宜为 2~4MPa。注浆过程结束后,注浆管中应充满水泥浆并维持注浆压力一定时间。拔除注浆管后应立即在桩顶填充碎石,并在 1~

2m 范围内补充注浆。

9.3.2 树根桩采用的灌注材料应符合下列规定：

1 具有较好的和易性、可塑性、黏聚性、流动性和自密实性。

2 当采用管送或泵送混凝土或砂浆时，应选用圆形骨料。骨料的_{最大}粒径不应大于纵向钢筋净距的 1/4，且不应大于 15mm。

3 对水下浇筑混凝土配合比，水泥含量不应小于 375kg/m³，水灰比宜小于 0.6。

4 水泥浆的制配，应符合本规范 8.3.6~8.3.9 节的规定，水泥宜采用普通硅酸盐水泥，水灰比不宜大于 0.55。

9.4 质量检验

9.4.1 树根桩的施工质量检验，应检查施工记录、提交原材料的力学性能检验报告、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、钢筋笼制作质量检查报告。施工完成后尚应进行桩顶标高和桩位偏差等检验。

9.4.2 桩身完整性检验宜采用低应变动力试验进行检测。检测桩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。

9.4.3 树根桩竣工验收检验时，应采用静载荷试验检验其承载力和沉降特性，检验宜在施工结束后 28d 后进行，试验数量不得少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

10 高压旋喷法

10.1 一般规定

10.1.1 高压旋喷法适用于在黏性土、粉土、素填土、淤泥质土、砂土、碎石土等地基土中进行高压喷射注浆形成增强体的复合地基处理或地基加固,对含有大粒径块石回填土、建筑垃圾回填土、有机质含量较大的软土及地下水位较高的场地,应先进行现场试验以确定其适应性。

10.1.2 在制定旋喷桩方案时,应搜集工程场地临近建(构)筑物和周边地下管线、箱涵等埋设物等资料。

10.1.3 高压旋喷注浆应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工,进行必要的测试确定设计参数和处理效果后方可大面积施工。

10.1.4 根据工程需要和现场土质条件,高压旋喷桩施工可分别采用单管法、双管法和三管法;旋喷桩加固体形状可分为柱状、壁状、条状或块状。

10.2 设计

10.2.1 高压旋喷法形成的增强体强度和直径,应通过现场试验确定。当无现场试验资料时,可参考相似土质条件的工程经验进行初步设计。

10.2.2 旋喷桩复合地基承载力特征值应通过现场载荷试验确定。初步设计时也可按式 10.2.2 估算:

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (10.2.2)$$

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, (0.7~1.0);
 m 面积置换率, $m = d^2/d_e^2$; d 为桩身平均直径(m),
 d_e 为一根桩分担的处理地基面积等效圆直径(m); 等边三角形布桩 $d_e = 1.05s$, 正方形布桩 $d_e = 1.13s$, 矩形布桩 $d_e = 1.13\sqrt{s_1 s_2}$, s_1, s_2 分别为纵向桩间距和横向桩间距;
 R_a 单桩竖向承载力特征值(kPa);
 A_p 桩(增强体)截面积(m²);
 β 桩间土承载力折减系数可根据试验确定, 无试验资料时可取 0.75~0.95, 天然地基承载力较低时取低值;
 f_{sk} 处理后桩间土承载力特征值, 可取天然地基承载力特征值(kPa)。

10.2.3 增强体承载力特征值应通过现场载荷试验确定。初步设计时也可按式 10.2.3 估算:

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (10.2.3)$$

其中 u_p 桩的周长(m);
 n 桩长范围内所划分的土层数;
 q_{si} 桩周第 i 层土的侧阻力特征值(kPa);
 A_p 桩的截面积(m²);
 l_i 桩长范围内第 i 层土的厚度(m);
 α 桩端端阻力发挥系数, 取 0.8~1.0;
 q_p 桩端土端阻力特征值(kPa), 取未经修正的桩端地基土承载力特征值。

10.2.4 旋喷桩桩身强度应满足式 10.2.4-1 的要求。当复合地基承载力进行基础埋深的深度修正时, 桩身强度应满足式 10.2.4-2 的要求。

$$f_{ax} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \quad (10.2.4-1)$$

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \left[1 + \frac{\gamma_m (d - 0.5)}{f_{spa}} \right] \quad (10.2.4-2)$$

式中 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(kPa);

λ_m 基础底面以上土的加权平均重度(kN/m³),地下水位以下取有效重度;

d 基础埋置深度(m);

f_{spa} 深度修正后的复合地基承载力特征值(kPa)。

10.2.5 旋喷桩复合地基的地基变形计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定,复合地基压缩模量可按式 10.2.5-1 和式 10.2.5-2 计算:

$$E_p = \zeta E_s \quad (10.2.5-1)$$

$$\zeta = \frac{f_{pk}}{f_{ak}} \quad (10.2.5-2)$$

其中 E_s 压缩模量,可采用天然地基土的压缩模量代替;

f_{pk} 复合地基承载力特征值(kPa);

f_{ak} 基础底面下天然地基承载力特征值(kPa)。

10.2.6 旋喷处理地基范围以下存在软弱下卧层时,应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定进行软弱下卧层地基承载力验算。

10.2.7 旋喷桩复合地基宜在基础和桩顶之间设置褥垫层。褥垫层厚度宜为 150~300mm,褥垫层材料可选中砂、粗砂和级配砂石,褥垫层最大粒径不宜大于 20mm。

10.2.8 旋喷桩的平面布置应根据地基处理的目的和基础特点确定。

10.3 施 工

10.3.1 施工前,应根据现场环境和地下埋设物的位置情况,复

核旋喷桩的设计孔位。

10.3.2 旋喷桩的施工工艺及参数应根据土质条件、加固要求,通过试验或根据工程经验确定。单管法、双管法和三管法高压水泥浆液的压力宜大于 20MPa,流量应大于 30L/min,气流压力宜大于 0.7MPa,提升速度宜为 0.1~0.2m/min。

10.3.3 旋喷注浆,宜采用强度等级为 42.5 级的普通硅酸盐水泥,可根据需要加入适量的外加剂及掺合料。外加剂和掺合料的用量,应根据试验确定。

10.3.4 水泥浆液的水灰比应结合工程要求确定,宜取 0.8~1.2。

10.3.5 旋喷桩的施工工序为:成孔、机具就位、插入喷射管、喷射注浆、拔管和冲洗等。

10.3.6 喷射孔与高压注浆泵的距离不宜大于 50m,钻孔位置的允许偏差应为+50mm,垂直度允许偏差应为+1%。

10.3.7 当喷射注浆管贯入土中,喷嘴达到设计标高时,即可喷射注浆。在喷射参数达到规定值后,随即按旋喷的工艺要求,提升喷射管,由下而上旋转喷射注浆。喷射管分段提升的搭接长度不得小于 100mm。

10.3.8 对需要局部扩大加固范围或提高强度的部位或对出现质量问题需要进行修补、加固的部位,可采用复喷措施。

10.3.9 在旋喷注浆过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时,应查明原因并及时采取措施。

10.3.10 旋喷注浆完毕,应迅速拔出喷射管并及时冲洗管路。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程,可在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施。

10.3.11 施工中应做好废泥浆处理,及时将废泥浆运出或在现场短期堆放后作土方运出。

10.3.12 施工中应做好注浆压力、流量、冒浆量等记录工作。

10.3.13 当处理既有建筑地基时,应采取措施防止高压注浆过

程中对既有建筑地基基础产生附加变形的影响。

10.4 质量检验

10.4.1 旋喷桩可根据工程要求和当地经验采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入试验、动力触探和静载荷试验等方法进行检验。

10.4.2 检验点布置应符合下列规定

- 1 有代表性的桩位；
- 2 施工过程中出现异常情况的部位；
- 3 地基情况复杂,可能对旋喷桩质量产生影响的部位。

10.4.3 成桩质量检验点的数量不少于施工孔数的 2%,并不应少于 6 点。

10.4.4 承载力检验宜在成桩 28d 后进行。

10.4.5 竣工验收时,旋喷桩复合地基承载力检验应采用复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验。复合地基静载荷试验应按附录 B(复合地基静载荷试验要点)的规定进行,检验数量不得少于总桩数的 1%,且每个单体工程复合地基静载荷试验的数量不得少于 3 点。

附录 A 处理后地基静载荷试验要点

A.0.1 本试验要点适用于确定换填垫层、压实地基、强夯地基、强夯置换地基和注浆加固等处理后地基承压板应力主要影响范围内土层的承载力和变形参数。

A.0.2 平板静载荷试验采用的压板面积应按需检验土层的厚度确定,且不应小于 1.0m^2 ,对强夯和强夯置换地基不宜小于 2.0m^2 。

A.0.3 试验基坑宽度不应小于承压板宽度或直径的 3 倍。应保持试验土层的原状结构和天然湿度。宜在拟试压表面用粗砂或中砂层找平,其厚度不超过 20mm 。基准梁及加荷平台支点(或锚桩)宜设在试坑以外,且与承压板边的净距不应小于 2m 。

A.0.4 加荷分级不应少于 8 级。最大加载量不应小于设计要求地基承载力特征值的 2 倍。

A.0.5 每级加载后,按间隔 10min 、 10min 、 10min 、 15min 、 15min ,以后为每隔 0.5h 测读一次沉降量,当在连续 2h 内,每小时的沉降量小于 0.1mm 时,则认为已趋稳定,可加下一级荷载。

A.0.6 当出现下列情况之一时,即可终止加载,当满足前三种情况之一时,其对应的前一级荷载定为极限荷载:

- 1 承压板周围的土明显地侧向挤出;
- 2 沉降 s 急骤增大,压力-沉降曲线出现陡降段;
- 3 在某一级荷载下, 24h 内沉降速率不能达到稳定标准;
- 4 承压板的累计沉降量已大于其宽度或直径的 6% 。

A.0.7 处理后的地基承载力特征值确定应符合下列规定:

- 1 当压力-沉降曲线上有比例界限时,取该比例界限所对应的荷载值;

2 当极限荷载小于对应比例界限的荷载值的 2 倍时,取极限荷载值的一半;

3 当不能按上述两款要求确定时,应取 s/b 小于等于 0.01 所对应的的荷载,但其值不应大于最大加载量的一半。承压板的宽度或直径大于 2m 时,按 2m 计算。

注: s 为静载荷试验承压板的沉降量; b 为承压板宽度或直径。

A.0.8 同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点,各试验实测值的极差不超过其平均值的 30%时,取该平均值作为处理地基的承载力特征值。当极差超过平均值的 30%时,应分析极差过大的原因,需要时应增加试验数量并结合工程具体情况确定处理后地基的承载力特征值。

附录 B 复合地基静载荷试验要点

B.0.1 本试验要点适用于单桩复合地基静载荷试验和多桩复合地基静载荷试验。

B.0.2 复合地基静载荷试验用于测定承压板下应力主要影响范围内复合土层的承载力。复合地基静载荷试验承压板应具有足够刚度。单桩复合地基静载荷试验的承压板可用圆形或方形,面积为—根桩承担的处理面积;多桩复合地基静载荷试验的承压板可用方形或矩形,其尺寸按实际桩数所承担的处理面积确定。单桩复合地基静载荷试验桩的中心(或形心)应与承压板中心保持一致,并与荷载作用点相重合。

B.0.3 试验应在桩顶设计标高进行。承压板底面以下宜铺设粗砂或中砂垫层,垫层厚度可取 100~150mm。如采用设计的垫层厚度进行试验,试验承压板的宽度对独立基础和条形基础应采用基础的设计宽度,对大型基础试验有困难时应考虑承压板尺寸和厚度对试验结果的影响。垫层施工的夯填度应满足设计要求。

B.0.4 试验标高处的试坑宽度和长度不应小于承压板尺寸的 3 倍。基准梁及加荷平台支点(或锚桩)宜设在试坑以外,且与承压板的净距不应小于 2m。

B.0.5 试验前应采取防水措施和排水措施,防止试验场地地基土含水量变化或地基土扰动,影响试验结果。

B.0.6 加载等级可分为(8~12)级。测试前为校核试验系统整体工作性能,预压荷载不得大于总加载量的 5%。最大加载压力不应小于设计要求承载力特征值的 2 倍。

B.0.7 每加一级荷载前后均应各读记承压板沉降量一次,以后每 0.5h 读记一次。当 1h 内沉降量小于 0.1mm 时,即可加下一

级荷载。

B.0.8 当出现下列现象之一时可终止试验：

- 1 沉降急剧增大，土被挤出或承压板周围出现明显隆起；
- 2 承压板的累计沉降量已大于其宽度或直径的 6%；
- 3 当达不到极限荷载，而最大加载压力已大于设计要求压力值的 2 倍。

B.0.9 卸载级数可为加载级数的一半，等量进行，每卸一级，间隔 0.5h，读记回弹量，待卸完全部荷载后间隔 3h 读记总回弹量。

B.0.10 复合地基承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 当压力-沉降曲线上极限荷载能确定，而其值不小于对应比例界限 2 倍时，可取比例界限；当其值小于对应比例界限的 2 倍时，可取极限荷载的一半；

2 当压力-沉降曲线是平缓的光滑曲线时，可按相对变形值确定，对旋喷桩复合地基，可取 s/b 或 s/d 等于 0.006~0.008 所对应的压力，桩身强度大于 1.0MPa 且桩身质量均匀时可取高值；

3 复合地基静载荷试验，当采用边长或直径大于 2m 的承压板进行试验时， b 或 d 按 2m 计；

4 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。

注： s 为静载荷试验承压板的沉降量； b 和 d 分别为承压板宽度和直径。

B.0.11 试验点的数量不应少于 3 点，当满足其极差不超过平均值的 30% 时，可取其平均值为复合地基承载力特征值。当极差超过平均值的 30% 时，应分析离差过大的原因，需要时应增加试验点数量，并结合工程具体情况确定复合地基承载力特征值。工程验收时应视建筑物结构、基础型式综合评价，对于桩数少于 5 根的独立基础或桩数少于 3 排的条形基础，复合地基承载力特征值应取低值。

本标准用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
《土工合成材料应用技术规范》GB 50290
《土工试验方法标准》GB/T 50123
《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
《建筑桩基技术规范》JGJ 94
《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123
《建筑地基基础设计规范》DBJ 50-047
《建筑地基基础检测技术规范》DBJ50/T-136

重庆市工程建设标准

建筑地基处理技术规范

DBJ50/T-229-2015

条文说明

2015 重 庆

重庆工程建设

目 次

1	总则	57
3	基本规定	58
4	换填垫层法	61
4.1	一般规定	61
4.2	设计	62
4.3	施工	66
4.4	质量检验	68
5	压实法	69
5.1	一般规定	69
5.2	设计	69
5.3	施工	72
5.4	质量检验	73
6	强夯法	74
6.1	一般规定	74
6.2	设计	76
6.3	施工	79
7	强夯置换法	81
7.1	一般规定	81
7.2	设计	81
7.3	施工	83
8	静压注浆法	84
8.1	一般规定	84

8.2	设计	85
8.3	施工	86
8.4	质量检验	88
9	树根桩法	89
9.1	一般规定	89
9.2	设计	89
9.3	施工	90
9.4	质量检验	90
10	高压旋喷法	92
10.1	一般规定	92
10.2	设计	94
10.3	施工	96
10.4	质量检验	99

1 总 则

1.0.1 我国幅员辽阔,各个地区自然环境不同、地质条件各异,由此造成建筑地基存在区域性差别,随着重庆地区大规模的基本建设和经济发展,建筑使用功能的要求不断提高,可用于建设的优良建筑地基不断减少,有时不得不在地质条件不好的场地进行建设,为此,就需要对此类地基进行处理。

地基处理的设计、施工必须认真贯彻执行国家各项技术经济政策,尽可能做到安全使用、技术先进、经济合理、确保质量和保护环境。

1.0.2 本规范适用于重庆地区建筑工程地基处理的设计、施工和质量检验,市政、交通、水利和市政工程的建(构)筑物地基可根据工程特点酌情参照使用。

1.0.3 因地制宜、就地取材、节约资源和环境保护是地基处理工程应该遵循的原则,符合国家的技术经济政策。

1.0.4 本规范是以中华人民共和国行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 为基本依据,并针对重庆高填方碎石土地基的特点,总结多年来工程设计、施工和检测经验,以及科研成果进行编制的。

本规范中处理地基质量检验需执行重庆市工程建设标准《建筑地基基础设计规范》DBJ50-047,《建筑地基基础检测技术规范》DBJ50/T-136 的有关规定。

3 基本规定

3.0.1 本条主要规定在选择地基处理方案前应完成的工作：

1 在进行地基处理方案前，应进行现场调查研究，熟悉场地岩土勘察资料，如勘察资料不全，还应针对根据可能采用的地基处理方法、基础型式进行必要的补充勘察。

2 地基处理的设计，除应满足工程要求的强度、变形要求外，尚应明确处理范围，以满足土体的应力扩散要求。

3 地基处理是经验性很强的技术工作，某一地区常用的地基处理方法往往是该地区的设计和施工经验的总结，它综合体现了处理方式、材料、设备机具、工期、造价和加固效果，因此，重视类似场地上同类工程的地基处理经验至为重要。

4 地基处理施工过程中可能对周围环境造成影响，如机具的施工噪音会影响周边居民的休息和工作；强夯和强夯置换引起的振动的挤土作用可能导致临近建筑物和地下管线的开裂、位移和沉降，因此在选择处理方式前，应先调查临近建筑、地下工程、管线和环境情况等。

3.0.2 大量工程实例证明，同时考虑上部结构、基础和地基的共同作用，尽量选用加强上部结构和处理地基相结合的方案，往往既可降低处理费用，又收到满意效果。

3.0.3 本条主要规定了在确定地基处理方法时宜遵循的步骤。重庆地区地基处理主要针对的对象是填土、高填方碎石土、土岩地基、黏土（红黏土）等。设计人员在选择处理方案时，宜根据各种因素进行综合分析，初步选出几种可供考虑的地基处理方案，其中包括选择两种或多种地基处理措施组成的综合处理方案。根据重庆市已有的工程实践表明，当场地条件较为复杂或建筑物

对地基要求较高时,采用单一的地基处理方法,往往满足不了设计要求或造价较高,而用两种或多种地基处理措施组成的综合处理方法可能是最佳选择。如对回填土地基,为了提高其承载力和不均匀沉降,单独采用注浆法进行处理时,注浆量过大且效果难以保证,若采用强夯地基,因强夯单击夯击能对地基土有效加固深度的局限,导致建筑物沉降计算不能满足设计要求,注浆-强夯联合工艺则能获得理想的效果。

对初步选定的地基处理方案,应进行技术经济分析,根据安全可靠、施工方便、经济合理等原则,从中选择一种最有效的地基处理方案。

由于岩土工程的复杂性,相同的地基处理工艺,相同的设备,在不同成因的场地上处理效果不尽相同,在一个场地成功的地基处理方法,在另一个类似的场地使用,也需要根据场地的特点对施工工艺进行调整,才能取得满意的效果。因此,对已选定的地基处理方法,根据建筑物的安全等级和场地复杂程度,应在有代表性的场地上进行相应的试验或试验性施工,其目的是为了调试机械设备、确定施工工艺、调整施工参数,检验处理效果、优化设计方案,为大范围施工创造有利条件,加快工程进度,优化设计,节约投资。

3.0.4 在进行地基处理设计前,设计单位应搜集场地工程勘察文件以充分掌握场地地质条件,并结合现有资料以及拟采用的地基处理方法,确定现有勘察资料深度是否满足地基处理设计的要求,如能达到设计要求,应对原勘察资料进行复核后使用,如不能达到设计要求,应进行专门的补充地质勘察。其中勘察资料的深度主要与拟采用的处理方法有关,主要体现在勘察范围、勘探孔深度、间距、地基土厚度、地下水以及原位测试指标等。

3.0.5 处理后的地基承载力和变形指标宜严于天然地基,且在结构施工前留有足够的间隙时间。考虑到基础开挖扰动及后期回填压实质量的不确定性,对于大面积处理的压实地基、强夯地

基,基础宽度的地基承载力修正系数取零,基础埋深的地基承载力修正系数比行标降低使用,取 1.0~1.5,压实系数高、级配良好取大值。对于不满足大面积处理的压实地基、强夯地基和其它处理地基,依据我国现行标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 相关章节的要求基础宽度的地基承载力修正系数取零,基础埋深的地基承载力修正系数取 1.0。

3.0.6~3.0.7 处理地基的软弱下卧层验算,对采用换填法、压实法、强夯法、强夯置换法、注浆加固地基等应按压力扩散角,按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的方法验算,对树根桩、高压旋喷法形成的复合地基,按其荷载传递特性,可按实体深基础法验算。处理后的地基应满足建筑物承载力、变形和稳定性要求,稳定性计算按本标准 3.0.9 条规定进行,变形计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

3.0.8 刚度差异较大的整体大面积基础其地基反力分布不均匀,且结构对地基变形有较高要求,所以其地基处理设计,宜根据结构、基础和地基共同作用结果进行地基承载力和变形检验。

3.0.10 由于本规范中列出的地基处理方法有限,而实际工程中可能遇到的实际情况纷繁复杂,在某些特殊场合或工程,若采用本规范以外的其他处理方法可能更为适宜,则宜推荐采用,但在采用前应充分进行验证,同时满足相关规范和要求。

4 换填垫层法

4.1 一般规定

4.1.1 选择换填垫层法进行地基处理应与场地条件相适应。换填垫层法适用于处理各类浅层软弱地基。当在建筑范围内上层软弱土较薄时,则可采用全部置换处理。对于较深厚的软弱土层,当仅用垫层局部置换上层软弱土层时,下卧软弱土层在荷载作用下的长期变形可能依然很大。例如,对较深厚的淤泥或淤泥质土类软弱地基,采用垫层仅置换上层软土后,通常可提高持力层的承载力,但不能解决由于深层土质软弱而造成地基变形量大对上部建筑物产生的有害影响;或者对于体型复杂、整体刚度差、或对差异变形敏感的建筑,均不应采用浅层局部换填的处理方法。

对于建筑范围内局部存在松填土、暗沟、暗塘、古井、古墓或拆除旧基础后的坑穴,可采用换填垫层进行地基处理。在这种局部的换填处理中,保持建筑地基整体变形均匀是换填应遵循的最基本原则。

4.1.2 大面积换填处理,一般采用大型机械设备,场地条件应满足大型机械对下卧土层的施工要求,地下水位高时应采取降水措施,对分层土的厚度、压实效果及施工质量控制标准等均应通过试验确定。

4.1.3 换填垫层法一般主要用于处理各类浅层软弱地基。当换填深度过大时,常因施工土方量大、弃土多,施工中易受地下水影响,存在边坡稳定问题等因素,产生工程费用增高、工期拖长、对环境的影响增大等副作用,并且随着换填深度增大,地基处理效

果降低。因此,换填法的处理深度通常控制在 3m 以内较为经济合理。

4.1.4 采用换填垫层全部置换厚度不大的软弱土层,可取得良好的效果。当软弱土层深度较大时,对于结构整体性较好,荷重较小的工程,采用只换填上部部分厚度的软弱土或采用换填与其他地基处理措施相结合的综合方法时,传递到下卧层顶面的附加应力较小时,也可取得较好的效果。但对于结构刚度差、体形复杂、荷重较大的建筑,由于附加荷载对下卧层的影响较大,如仅换填软弱土层的上部,地基仍将产生较大的变形及不均匀变形,仍有可能对建筑造成破坏。

针对不同特点的工程,还应分别考虑换填材料的强度、稳定性、压力扩散能力、密度、渗透性、耐久性、对环境的影响、价格、来源与消耗等。当换填量大时,尤其应首先考虑当地材料的性能及使用条件。此外,还应考虑所能获得的施工机械设备类型、适用条件等综合因素,从而合理地进行换填垫层设计及选择施工方法。

4.2 设计

4.2.1 本条主要对换填垫层中所使用的换填材料的种类和要求做出相应规定。

1 砂石是良好的换填材料,但对具有排水要求的砂垫层宜控制含泥量不大于 3%;对石屑应控制好含泥量及含粉量,才能保证垫层的质量。

2 粉煤灰中含有 CaO 、 SO_3 等成分,具有一定的活性,当与水作用时,因具有胶凝作用的火山灰反应,使粉煤灰垫层逐渐获得一定的强度与刚度,有效地改善了垫层地基的承载能力及减小变形的能力。粉煤灰具有一定的胶凝作用,在压实系数大于 0.9 时,即可以抵抗 7 度地震液化。用于发电的燃煤常伴生有微量放

射性同位素,因而粉煤灰亦有可能存在弱放射性。作为建筑物垫层的粉煤灰应按照现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的有关规定作为安全使用的标准。粉煤灰含碱性物质,回填后碱性成分在地下水中溶出,使地下水具有弱碱性,因此应考虑其对地下水的影响并应对粉煤灰垫层中的金属构件、管网采取一定的防腐措施。粉煤灰垫层上宜覆盖 0.3m-0.5m 厚的黏性土,以防干灰飞扬,同时减少碱性对植物生长的不利影响,有利于环境绿化。

3 水泥稳定碎石是以级配碎石作骨料,采用一定数量的胶凝材料和足够的灰浆体积填充骨料的空隙,按嵌挤原理摊铺压实形成的混合料。它的初期强度高,并且强度随龄期而增加很快结成板体,因而具有较高的强度,抗渗度和抗冻性较好,一般主要用于道路的基层。近年来重庆地区在部分工程中以水泥稳定碎石作为换填垫层材料使用,取得了较好的效果。当水泥稳定碎石垫层作为建筑地基的换填垫层时,作为换填垫层的粒径、颗粒组成、均匀系数、压碎值和含泥量等材料要求应满足现行行业标准《公路路面基层施工技术规范》JTJ 034 中对高速公路(一级公路)中的底基层的要求,碎石应为级配碎石,且宜进行适宜性验证。

5 采用土工合成材料加筋垫层时,应根据工程荷载的特点、对变形、稳定性的要求和地基土的工程性质、地下水性质及土工合成材料的工作环境等,选择土工合成材料的类型、布置形式及填料品种,主要包括:(1)确定所需土工合成材料的类型、物理性质和主要的力学性质,如允许抗拉强度及相应的伸长率、耐久性与抗腐蚀性等;(2)确定土工合成材料在垫层中的布置形式、间距及端部的固定方式;(3)选择适用的填料与施工方法等。此外,要通过验证、保证土工合成材料在垫层中不被拉断和拔出失效。同时还要检验垫层地基的强度和变形以确保满足设计的要求。最后通过静载荷试验确定垫层地基的承载能力。

在加筋土垫层中,主要由土工合成材料承受拉应力,所以要

求选用高强度、低徐变性、延伸率适宜的材料,以保证垫层及下卧层土体的稳定性。在软弱土层采用土工合成材料加筋垫层,由合成材料承受上部荷载产生的应力远高于软弱土中的应力,因此一旦由于合成材料超过极限强度产生破坏,随之荷载转移而由软弱土承受全部外荷,势将大大超过软弱土的极限强度,而导致地基的整体破坏;进而地基的失稳将会引起上部建筑产生较大的沉降,并使建筑结构造成严重的破坏。因此用于加筋垫层中的土工合成材料必须留有足够的安全系数,而绝不能使其受力后的强度等参数处于临界状态,以免导致严重的后果。

4.2.2 垫层设计应满足建筑地基的承载力和变形要求。首先垫层能换除基础下直接承受建筑荷载的软弱土层,代之以能满足承载力要求的垫层;其次荷载通过垫层的应力扩散,使下卧层顶面受到的压力满足小于或等于下卧层承载能力的条件;再者基础持力层被低压缩性的垫层代换,能大大减少基础的沉降量。因此,合理确定垫层厚度是垫层设计的主要内容。

垫层的厚度设计原则:一是下部未处理的土层应满足承载力设计要求;二是垫层和下部地基土总的变形量应满足建(构)筑物允许变形要求,包括差异变形;三是符合其他工程目的需要,如隔水性、排水性等;四是垫层厚度应考虑该种材料在填筑后自身稳定的条件,在材料种类、施工方法及工期安排等方面应加以综合考虑。

通常根据土层的情况确定需要换填的深度,对于浅层软土厚度不大的工程,应置换掉全部软弱土。对需换填的软弱土层,首先应根据垫层的承载力确定基础的宽度和基底压力,再根据垫层下卧层的承载力,设置垫层的厚度。

压力扩散角应随垫层材料及下卧土层的力学特性差异而定,可按双层地基的条件来考虑。本规范参照《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 给出垫层材料的压力扩散角参考值。对于水泥稳定碎石垫层,其主要成分为级配碎石和水泥,正常养护后垫层

抗压强度通常不小于 3.0MPa,变形模量不小于 30MPa,经水泥稳定后的碎石垫层还获得一定的抗拉强度,作为垫层其压力扩散角与碎石垫层相比更为有利,但水泥稳定材料作为建筑地基的换填材料在重庆地区暂未大面积采用,所得的试验数据较少,因此建议在采用水泥稳定碎石垫层时其压力扩散角宜通过静载荷试验确定,在无试验数据时,按表 4.2.2 中的数据保守使用。

土工合成材料加筋垫层一般用于 z/b 较小的薄垫层,其压力扩散角宜通过静载荷试验确定,通过实测软弱下卧层顶面的压力反算上部垫层的压力扩散角。对于土工带加筋垫层,设置一层土工筋带时, θ 宜取 26° ;设置两层及以上土工筋带时, θ 宜取 35° 。

4.2.3 确定垫层宽度时,除应满足应力扩散的要求外,还应考虑侧面土的强度条件,保证垫层应有足够的宽度,防止垫层材料向侧边挤出而增大垫层的竖向变形量。当基础荷载较大,或对沉降要求较高,或垫层侧边土的承载力较差时,垫层宽度应适当加大。

4.2.4 根据以往地区工程经验,水泥稳定碎石垫层作为建筑地基时,可按现行行业标准《公路路面基层施工技术规范》JTJ 034 中对高速公路(一级公路)中的底基层的要求,即水泥稳定碎石压实系数不小于 0.96。

4.2.5 经换填处理后的地基,由于理论计算方法尚不够完善,或由于较难选取有代表性的计算参数等原因,而难以通过计算准确确定地基承载力,所以,本条强调经换填垫层处理的地基其承载力宜通过试验,尤其是通过现场原位试验确定。

4.2.6 工程经验表明,采用换填垫层进行局部处理后,往往由于软弱下卧层的变形,建筑物地基仍将产生过大的沉降量及差异沉降量。因此,应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中的变形计算方法进行建筑物的沉降计算,以保证地基处理效果及建筑物的安全使用。

粗粒换填材料的垫层在施工期间垫层自身的压缩变形已基本完成,且量值很小。因而对于碎石、卵石、砂夹石、砂和矿渣垫

层,在地基变形计算中,可以忽略垫层自身部分的变形值;但对于细粒材料的尤其是厚度较大的换填垫层,则应计入垫层自身的变形。

下卧层顶面承受换填材料本身的压力超过原天然土层压力较多的工程,地基下卧层将产生较大的变形。如工程条件许可,宜尽早换填,以使由此引起的大部分地基变形在上部结构施工之前完成。

4.2.7 铺设在换填垫层中的土工合成材料,在垫层中主要起加筋作用,可以提高地基土的抗拉和抗剪强度、防止垫层被拉断裂和剪切破坏、保持垫层的完整性、提高垫层的抗弯刚度。利用土工合成材料加筋的垫层能有效地改变了天然地基的性状,增大了压力扩散角,降低了下卧土层的压力,约束了地基侧向变形,调整了地基不均匀变形,增大地基的稳定性并提高地基的承载力。

根据工程经验,使用加筋垫层,可使垫层厚度比仅采用砂石换填时减少 60%。采用加筋垫层可以降低工程造价,施工更方便。

4.2.9 加筋线密度为加筋带宽度与加筋带水平间距的比值。

4.3 施 工

4.3.1 换填垫层的施工参数应根据垫层材料、施工机械设备及设计要求等通过现场试验确定,以求获得最佳密实效果。对于存在软弱下卧层的垫层,应针对不同施工机械设备的重量、碾压强度、振动力等因素,确定垫层底层的铺填厚度,使既能满足该层的压密条件,又能防止扰动下卧软弱土的结构。

4.3.2 为获得最佳密实效果,宜采用垫层材料的最优含水量 ω_{op} 作为施工控制含水量。最优含水量可按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 中击实试验的要求求得。粉煤灰垫层不应采用浸水饱和施工法,其施工含水量应控制在最优含水量 ω_{op}

+4%的范围内。若土料湿度过大或过小,应分别予以晾晒、翻松、掺加吸水材料或洒水湿润以调整土料的含水量。对于砂石料则可根据施工方法不同按经验控制适宜的施工含水量,即当用平板式振动器时可取 15%-20%;当用平碾或蛙式夯时可取 8%-12%;当用插入式振动器时宜为饱和。对于碎石及卵石应充分离水湿透后旁压。

4.3.3 对垫层底部的下卧层中存在的软硬不均匀点,要根据其对垫层稳定及建筑物安全的影响确定处理方法。对不均匀沉降要求不高的一般性建筑,当下卧层中不均匀点范围小,埋藏很深,处于地基压缩层范围以外,且四周土层稳定时,对该不均匀点可不做处理。否则,应予挖除并根据与周围土质及密实度均匀一致的原则分层回填并夯压密实,以防止下卧层的不均匀变形对垫层及上部建筑产生危害。

4.3.4 垫层下卧层为软弱土层时,因其具有一定的结构强度,一旦被扰动则强度大大降低,变形大量增加,将影响到垫层及建筑的安全使用。通常的做法是,开挖基坑时应预留厚约 200mm 的保护层,待做好铺填垫层的准备后,对保护层挖一段随即用换填材料铺填一段,直到完成全部垫层,以保护下卧土层的结构不被破坏。

4.3.6 在同一栋建筑下,应尽量保持垫层厚度相同;对于厚度不同的垫层,应防止垫层厚度突变;在垫层较深部位施工时,应注意控制该部位的压实系数,以防止或减少由于地基处理厚度不同所引起的差异变形。

粉煤灰分层碾压验收后,应及时铺填上层或封层,防止干燥或扰动使碾压层松胀密实度下降及扬起粉尘污染。

4.3.7 在地基土层表面铺设土工合成材料时,应确保地基土层顶面平整,且不得直接铺设在碎石、卵石等坚硬的下承层上,宜在土工合成材料和碎石之间铺设不小于 5cm 厚的保护层(砂垫层除外),防止土工合成材料被刺穿、顶破。

铺设两层及以上土工合成材料时,上、下层接缝应交替错开,错开距离不宜小于 0.5m。土工合成材料的搭接长度对于土工格栅不宜小于 1 个方格,对土工带不宜小于 30cm,且应满足连接强度要求。

4.4 质量检验

4.4.1 垫层的施工质量检验可利用动力触探或标准贯入试验法检验。必须首先通过现场试验,在达到设计要求压实系数的垫层试验区内,测得标准的贯入深度或击数,然后再以此作为控制施工压实系数的标准,进行施工质量检验。

利用传统的贯入试验进行施工质量检验必须在有经验的地区通过对比试验确定检验标准,再在工程中实施。检验砂垫层使用的环刀容积不应小于 200cm^3 ,以减少其偶然误差。在粗粒土垫层中的施工质量检验,可设置纯砂检验点,按环刀取样法检验,或采用灌水法、灌砂法进行检验。

4.4.2 垫层施工质量检验点的数量因各地土质条件、工程规模、类型和使用条件不同而不同,其具体要求应符合重庆市工程建设标准《建筑地基基础检测技术规范》DBJ50/T-136 的相关规定。

4.4.3 换填垫层的施工必须在每层密实度检验合格后再进行下一工序施工。

4.4.4 竣工验收应采用静载荷试验检验垫层质量,为保证静载荷试验的有效影响深度不小于换填垫层处理的厚度,静载荷试验压板的面积不应小于 1.0m^2 。

4.4.5 土工合成材料应具有经国家或部门认可的测试单位出具的测试报告,材料进场时,应进行抽检。施工质量检验主要内容应包括材料的搭接强度、填料压实度、压重、保护层厚度等。

5 压实法

5.1 一般规定

5.1.1 本条对压实地基的适用范围做出规定,浅层软弱地基以及局部不均匀地基换填处理应按照本规范第4章的有关规定执行。

5.2 设计

5.2.1 本条主要规定了压实填土的填料选用要求。利用当地的土、石或性能稳定的工业废渣作为压实填土的填料,既经济,又省工省时,符合因地制宜、就地取材和保护环境、节约资源的建设原则。

工业废渣黏结力小,易于流失,露天填筑时宜采用黏性土包边护坡,填筑顶面宜用0.3~0.5m厚的粗粒土封闭。以粉质黏土、粉土作填料时,其含水量宜为最优含水量,最优含水量的经验参数值为20~22%,可通过击实试验确定。

5.2.2 对于一般的黏性土,可用8~10t的平碾或12t的羊足碾,每层铺土厚度300mm左右,碾压8~12遍。对饱和黏土进行表面压实,可考虑适当的排水措施以加快土体固结。

对于淤泥及淤泥质土,一般应予挖除或者结合碾压进行挤淤充填,先堆土、块石和片石等,然后用机械压入置换和挤出淤泥,堆积碾压分层进行,直到把淤泥挤出、置换完毕为止。

采用粉质黏土和蒙脱石含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土作填料时,填料的含水量至关重要。在一定的压实荷载下,填料在最优含水量

时,干密度可达最大值,压实效果最好。填料的含水量太大,容易压成“橡皮土”,应将其适当晾干后再分层夯实,填料的含水量大小,土颗粒之间的阻力大,则不易压实。当填料含水量 $<12\%$ 时,应将其适当增湿。压实填土施工前,应在现场选取有代表性的填料进行击实试验,测定其最优含水量,用以指导施工。

对主要由炉渣、碎砖、瓦块组成的建筑垃圾,每层的压实遍数一般不少于 8 遍。对含炉灰等细颗粒的填土,每层的压实遍数一般不少于 10 遍。

冲击碾压技术是由曲线为边而构成的正多边形冲击轮在位能落差与行驶动能相结合下对工作面进行静压、揉搓、冲击,其高振幅、低频率冲击碾压使工作面下深层土石의 密实度不断增加,受冲压土体逐渐接近于弹性状态,是大面积土石方工程压实技术的新发展。与一般压路机相比,考虑上料、摊铺、平整的工序等因素其压实土石的效率提高(3~4)倍。

冲击碾压法可用于地基冲击碾压、土石混填或填石路基层碾压、路基冲击增强补压、旧砂石(沥青)路面冲压和旧水泥混凝土路面冲压等处理;其冲击设备、分层填料的虚铺厚度、分层压实的遍数等的设计应根据土质条件、工期要求等因素综合确定,其有效加固深度宜为 3.0~4.0m,施工前应进行试验段施工,确定施工参数。

对于初步设计阶段缺乏相关准确的参数时,本规范参照《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 给出了填土每层铺填厚度及压实遍数的参考数据。

5.2.3~5.2.4 有些中小型工程或偏远地区,由于缺乏击实试验设备,或由于工期和其他原因,确无条件进行击实试验,在这种情况下,允许按本条公式 5.1.2-1 计算压实填土的最大干密度,计算结果与击实试验数值不一定完全一致,但可按当地经验作比较。土的最大干密度试验有室内试验和现场试验两种,室内试验应严格按照现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规

定,轻型和重型击实设备应严格限定其使用范围。以细颗粒土作填料的压实填土,一般采用环刀取样检验其质量。而以粗颗粒砂石作填料的压实填土,当室内试验结果不能正确评价现场土料的最大干密度时,不能按照检验细颗粒土的方法采用环刀取样,应在现场对土料作不同击实功下的击实试验(根据土料性质取不同含水量),采用灌水法和灌砂法测定其密度,并按其最大干密度作为控制干密度。

5.2.5 压实填土由于其填料性质及其厚度不同,它们的边坡坡度允许值也有所不同。以碎石等为填料的压实填土,在抗剪强度和变形方面要好于以粉质黏土为填料的压实填土,前者,颗粒表面粗糙,阻力较大,变形稳定快,且不易产生滑移,边坡坡度允许值相对较大;后者,阻力较小,变形稳定慢,边坡坡度允许值相对较小。

5.2.6 压实填土的承载力是设计的重要参数,也是检验压实填土质量的主要指标之一。在现场通常采用静载荷试验或其他原位测试进行评价。

5.2.7 压实填土地基包括压实填土及其下部天然土层两部分,压实填土地基的变形也包括压实填土及其下部天然土层的变形。压实填土地基的变形,可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定计算,压缩模量应通过处理后地基的原位测试或土工试验确定。

5.2.8 设置在斜坡上的压实填土,存在填土与原地面土层之间的结合问题,如果这个问题处理不好,有可能导致填土沿着与原地面的结合面整体滑移破坏的情况。因此,在填土施工之前,必须在原地面上通过开挖台阶等措施对结合面进行处理,以保证填土与原地面的结合紧密。

5.3 施 工

5.3.1 压实填土层底面下卧层的土质,对压实填土地基的变形有直接影响,为消除隐患,铺填料前,首先应查明并清除场地内填土层底面以下耕土和软弱土层。

5.3.3 压实填土的施工缝各层应错开搭接,不宜在相同部位留施工缝,以免形成各层贯通薄弱面。在施工缝处应适当增加压实遍数。此外,还应避免在工程的主要部位或主要承重部位留施工缝。

5.3.6 冲击碾压和振动碾压施工应考虑对居民、建(构)筑物等周围环境可能带来的影响。可采取以下两种减振隔振措施:①开挖宽 0.5m、深 1.5m 左右的隔振沟进行隔振;②降低冲击压路机的行驶速度,增加冲压遍数。

振动监测:当场地周围有对振动敏感的精密仪器、设备、建筑物等或有其他需要时宜进行振动监测。测点布置应根据监测目的和现场情况确定,一般可在振动强度较大区域内的建筑物基础或地面上布设观测点,并对其振动速度峰值和主振频率进行监测,具体控制标准及监测方法可参照现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 执行。对于居民区、工业集中区等受振动可能影响人居环境时可参照现行国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070 和《城市区域环境振动测量方法》GB/T 10071 要求执行。

噪声监测:在噪声保护要求较高区域内可进行噪声监测。噪声的控制标准和监测方法可按现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523 执行。

5.3.7 在建设期间,压实填土地地阻碍原地表水的畅通排泄往往很难避免,但遇到此种情况时,应根据当地地形及时修筑雨水截水沟、排水盲沟等,疏通排水系统,使雨水或地下水顺利排走。对填土高度较大的边坡应重视排水对边坡稳定性的影响。设置

在压实填土地地的上、下水管道,由于材料及施工等原因,管道渗漏的可能性很大,应采取必要的防渗漏措施。

5.4 质量检验

5.4.1 压实地基的施工质量检验应分层进行。每完成一道工序,应按设计要求进行验收,未经验收或验收不合格时,不得进行下一道工序施工。

5.4.2 压实填土施工质量检验点的数量要求应符合重庆市现行工程建设标准《建筑地基基础设计规范》DBJ50-047,《建筑地基基础检测技术规范》DBJ50/T-136 的有关规定。

5.4.3 压实填土地基竣工验收应采用静载荷试验检验填土地基承载力,静载荷试验点宜选择通过静力触探试验或轻便触探等原位试验确定的薄弱点。当采用静载荷试验检验压实填土的承载力时,应考虑压板尺寸与压实填土厚度的关系。压实填土厚度大,承压板尺寸也要相应增大,或采取分层检验。否则,检验结果只能反映上层或某一深度范围内压实填土的承载力。为保证静载荷试验的有效性,静载荷试验承压板的边长或直径不应小于压实地基检验厚度的 $1/3$,且不应小于 1.0m 。当需要检验压实填土的湿陷性时,应采用现场浸水载荷试验。

6 强夯法

6.1 一般规定

6.1.1 强夯法的适用范围具有经验性,在不同场地地基使用前均应通过试验性试验验证其适用性。

6.1.2 大面积回填土地基上桩基施工,存在两个不利因素。一是桩基的负摩阻较大,降低了桩基的承载力能力,二是桩基开挖施工易产生塌孔等不利影响。为了消除上述影响,强夯法处理大面积回填土地基可以消除上述不利影响。

6.1.3 采用强夯法处理地基,调查周边环境、原始地形地貌、工程地质条件、地下管线布置、排水情况等是必要的。周边环境主要是建(构)筑物、边坡临空面调查,原始地貌调查主要是岩土界面以及植被处理;工程地质条件主要是填土时间,填土厚度,填土组成及其物理力学性质和不良地质现象等。

6.1.6 强夯施工程序:一般可以分为四个阶段,一是施工前结合工程地质勘察报告对工程采用强夯技术的可行性论证;二是试验性施工,俗称“强夯试夯”阶段,获取保证基础安全的强夯施工参数;三是强夯施工阶段,按照试夯成果编制施工方案并按其施工;四是检验、补夯与其他技术处理、验收。

强夯试验性施工又称“试夯”,该阶段需要在充分了解建设项目的水文地质与工程地质条件、工程主体结构与基础设计文件等基础上,严格按照一定的程序进行。因此,在试夯阶段,主要是利用技术手段评价强夯施工对填土地基的加固效果并获取强夯施工参数。

6.1.7 强夯夯后地基土共分四层,夯后扰动层、有效加固层和强

夯影响层及未加固层。强夯处理地基进行浅基础设计时,第一,保证基础一定的埋置深度;第二,基础持力层不能直接放在扰动层上。重庆市建筑科学研究院等单位的工程加固案例及研究成果表明,满夯不能完全解决强夯完成面以下一定深度范围内的夯实效果,故这个深度范围内的地基强度和变形指标因受扰动存在不确定性和不均匀性。从而造成建筑物基础的不均匀沉降。扰动层的深度应通过实验确定,在初设过程中可按表 6.1.7 中的经验数据估计。建筑物基础不宜直接放置在该扰动层上。

表 6.1.7 强夯扰动层深度经验值(m)

单击夯击能(kN.m)	块石、碎石土、砂土等粗颗粒土	粉土、黏性土等细颗粒土
1000-3000	0.2~0.5	0.5~0.6
3000-6000	0.5~0.7	0.6~0.8
6000-8000	0.7~0.9	0.8~1.0

关于有效加固深度的定义国内外存在不同的见解,普遍将有效加固深度定义为从最初被加固地基土表面算起,经强夯地基处理后地基土满足了设计要求的加固深度。研究成果表明,随着强夯应力波随深度消减,在强夯有效加固深度以下存在一定深度范围的影响深度,该层地基土体得到一定程度的加固,但不能完全满足设计要求。强夯设计时若对该层进行考虑需要通过实验验证该层的加固程度和深度。

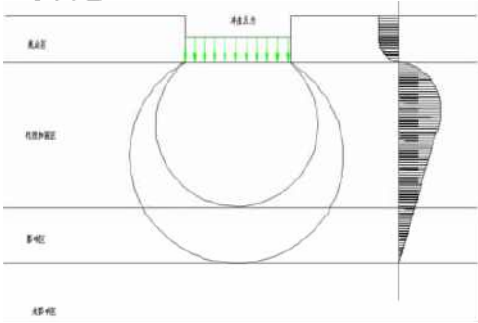


图 6.1.7 强夯夯后地基土分层

6.2 设计

6.2.1 强夯法的有效加固深度既是反映处理效果的重要参数,也是选择地基处理方案的重要依据。强夯法创始人梅那(L. Menard)曾提出下式来估算:

$$\text{有效加固深度} \approx \sqrt{MH}$$

式中: M 夯锤质量(t);

H 落距(m)

国内外大量实验研究和工程实测资料表明,采用上述梅那公式估算有效加固深度将会得出偏大的结果。从梅那公式中可以看出,其加固深度仅与夯锤重和落距有关。而实际上影响有效加固深度的因素很多,除了夯锤重和落距外,夯击次数,锤底静压、地基土性质、不同土层的厚度和埋藏顺序以及地下水位等都与加固深度有着密切的关系。鉴于有效加固深度问题的复杂性,以及目前尚无适用的计算式,所以本款规定有效加固深度应根据现场试夯或当地经验确定。

考虑到设计人员选择地基处理方法的需要,有必要提出有效加固深度的预估方法。由于梅那公式估算值较实测值大,国内外相继发表了一些文章,建议对梅那公式进行修正,修正系数范围值大致为 0.34~0.80,根据不同土类选用不同修正系数。虽然经过修正的梅那公式与未修正的梅那公式相比较有了改进,但是大量工程实践证明,对于同一类土,采用不同能量夯击时,其修正系数并不相同。单击夯击能越大时,修正系数越小。对于同一类土,采用一个修正系数,并不能得到满意的结果。因此,本规范不采用修正后的梅那公式,继续保持列表形式。

6.2.3 强夯夯点布置形式可根据基础形式、地基土类型和工程特点选用,推荐的布置形式见表 6.2.3,也可根据工程特点灵活选用。

表 6.2.3 强夯夯点布置形式

土的类型	矩形基础	条形基础
砂土、碎石土、块石	等边三角形	正方形、梅花布置
粉土、黏性土	正方形、梅花布置	正方形、梅花布置

6.2.4 夯击次数是强夯设计中的一个重要参数,对于不同地基土来说夯击次数也不同。夯击次数应通过现场试夯确定,常以夯坑的压缩量最大,夯坑周围隆起量最小为确定的原则。可从现场试夯得到的夯击次数和有效夯沉量关系曲线确定,有效夯沉量是指夯沉量与隆起量的差值,其与夯沉量的比值为有效夯实系数。通常有效夯实系数不宜小于 0.75,但要满足最后两击的平均夯沉量不大于本款的有关规定。同时夯坑周围地面不发生过大的隆起。因为隆起量太大,有效夯实系数变小,说明夯击效率降低,则夯击次数要适当减少,不能为了达到最后两击平均夯沉量控制值,而在夯坑周围 1/2 夯点间距内出现太大隆起量的情况,继续夯击。此外,还要考虑施工方便,不能因夯坑过深而发生提锤困难的情况。

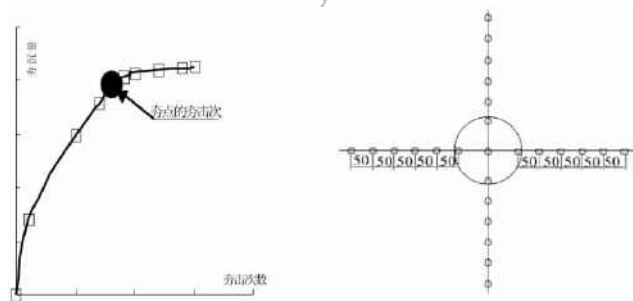


图 6.2.4 最佳夯击次数的确定方式

6.2.5 两遍夯击之间应有一定的时间间隔,以利于土中超静孔隙水压力的消散。所以间隔时间取决于超静孔隙水压力的消散时间。但土中超静孔隙水压力的消散速率与土的类别、夯点间距等因素相关。有条件时在试夯前埋设孔隙水压力传感器,通过试

夯确定孔隙水压力的消散时间,从而决定两遍夯击之间的间隔时间。当缺少实测资料时,间隔时间可根据地基土的渗透性按本条规定采用。

6.2.6 满夯目的为对强夯地基土扰动层进行夯实,当地基土扰动层厚度在 $1\sim 3\text{m}$ 时,满夯能级可取 $1000\sim 2000\text{kN}\cdot\text{m}$;满夯能级也可根据点夯的能级确定,当主夯能级大于或等于 $6000\text{kN}\cdot\text{m}$ 时可取 $2000\text{kN}\cdot\text{m}$;当主夯能级在 $4000\sim 6000\text{kN}\cdot\text{m}$ 时,可取 $1500\text{kN}\cdot\text{m}$,当主夯能级小于或等于 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ 时可取 $1000\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

满夯的击数直接决定了地基持力层的强度和变形指标,击数过少,持力层的强度和变形指标很难提高。

满夯夯印搭接 $1/4$ 锤径有两方面的意义,一是现场直观观察就可以监控满夯的施工质量,保证满夯的加固效果。二是夯印搭接范围不宜过大,搭接范围增大会导致夯锤落地不稳,产生夯锤落点偏移,加固效果反而降低。当采用两遍或两遍以上满夯时,也可以采用第一遍满夯夯印相切,第二遍及以后遍数的夯印搭接 $1/4$ 的形式。

6.2.7 特别注意的是满夯也会不同程度的产生扰动层,表 6.1.7 为满夯之后的扰动层厚度。该层土体的指标存在不确定性和不稳定性,一般的做法为剔除该层后在地基表面增加机械碾压或冲击碾压的措施。或者通过开挖基槽,将基础持力层放置在该层之下,在有效加固层内。

表 6.2.7 强夯夯沉量经验值 (m)

单击夯击能(kN·m)	碎石土、砂土等粗颗粒土	粉土、黏性土等细颗粒土
1000-3000	0.4~0.7	0.4~0.5
3000-6000	0.7~1.0	0.5~0.7
6000-8000	0.8~1.5	0.7~1.2

6.2.8 由于基础的应力扩散作用和抗震设防需要,强夯处理范围应大于建筑物基础范围,具体放大范围可根据建筑结构类型和

重要性等因素考虑确定。对于一般建筑物,每边超出基础外缘的宽度宜为基底下设计处理深度的 $1/2 \sim 2/3$, 并不宜小于 3m。

6.2.9 强夯法夯后地面的平均沉降量,一般指从起夯面标高到全部强夯施工完毕后整平面标高的沉降差,也相当于各遍夯后平均沉降量的累加值,由于强夯后地面平均夯沉量的估算直接关系到建筑场地的土方平衡和工程费用,所以预估强夯地面的平均夯沉量有一定的经济意义和工程意义。强夯完成后的地面沉降量应按试验性强夯确定,并在强夯标高设计上加以考虑,在初步设计时可按表 6.2.7 进行估算:

考虑到强夯扰动层的影响,强夯完成面的标高应高于建筑基底标高,高差宜不小于扰动层厚度且不小于 0.5m。强夯起夯面的标高=室内地坪标高-基础高度和埋置深度+夯沉量+扰动层厚度。



图 6.2.9 起夯面的确定方法

6.3 施 工

6.3.1 根据要求处理的深度和起重机的起重能力选择强夯锤质量。我国至今采用的最大夯锤质量已超过 60t,常用的夯锤质量为 15~40t。夯锤底面形式是否合理,在一定程度上也会影响夯击效果。正方形锤具有制作简单的优点,但在使用时也存在一些缺点,主要是起吊时由于夯锤旋转,不能保证前后几次夯击的夯坑重合,故常出现锤角与夯坑侧壁相接触的现象,因而使一部分

夯击能消耗在坑壁上,影响了夯击效果。根据工程实践,圆形锤或多边形锤不存在此缺点,效果较好。锤底面积可按土的性质确定,锤底静接地压力值可取 $40\sim 100\text{kPa}$,锤底静接地压力值与夯击能相匹配,单击夯击能高时取大值,单击夯击能低时取小值。对粗颗粒和饱和度低的细颗粒土,锤底静接地压力取值大时,有利于提高有效加固深度;对于饱和细颗粒土宜取较小值。为了提高夯击效果,锤底应对称设置不少于 4 个与其顶面贯通的排气孔,以利于夯锤着地时坑底空气迅速排出和起锤时减小坑底的吸力。排气孔的孔径一般为 $300\sim 400\text{mm}$ 。

6.3.2 当最后两击夯沉量尚未达到控制标准,地面无明显隆起,而因为夯坑过深出现起夯困难时,说明地基土的压缩性仍较高,还可以继续夯击。但由于夯锤与夯坑壁的摩擦阻力加大和锤底接触面出现负压的原因,继续夯击,需要频繁挖锤,施工效率降低,处理不当会引起安全事故。遇到此种情况时,应将夯坑回填后继续夯击,直至达到控制标准。

6.3.4 地下水是影响强夯加固效果的重要因素,地下水位较高时,强夯单位夯击能引起的地面沉降较小,大大影响有效加固深度。对于细颗粒土地,含水量较大时,强夯过程中易形成“橡皮土”。

6.3.5~6.3.6 强夯施工过程中会产生大量的噪声和振动,可能对周边的管道和地下建(构)筑物产生影响,因此进行强夯前,应现查明强夯场地及周边的情况。

7 强夯置换法

7.1 一般规定

7.1.1~7.1.5 通过重庆恒大城、重庆渝州监狱等工程实践证明,由于新近填土密实度较低,为了改善填土成分和粒径,采用强夯置换法地基处理效果优于强夯法。因重庆填方地区填料的不均匀性,强夯置换墩难以做到均匀可靠,在将其视为复合地基进行设计时需具备可靠的工程经验,并经过现场试验性施工证明其适用性。工程经验表明,夯锤接地静压大可获得较好的处理效果和深度,100~200kPa 的静压为重庆地区适用的设备,当填土塑性指数较高时采用低值。较低时采用高值。

采用强夯置换法处理后的地基承载力特征值可达 200kPa 以上,压缩模量可达 12~15MPa。其加固深度由两部分组成,即置换墩长度和墩下加密范围。墩下加密范围因资料有限,理论尚不完善。在采用墩下加密范围时应通过实验确定。

强夯置换施工技术近年来进展很大,强夯置换采用的能级目前 在 3000~8000kN·m 之间,强夯置换的夯锤锤型有普通夯锤,柱锤,也有取得专利技术的异型夯锤,夯锤直径在 1.0~2.5m 之间。当采用柱锤和异型夯锤时,置换墩体深度可达 10m。

7.2 设计

7.2.1 置换材料的好坏关系到置换墩的承载能力,同时强夯置换工艺可提供特大直径的排水井,利于孔隙水压力的消散,采用级配较好的坚硬颗粒材料对于地基承载力的提高可以起到更好

的帮助。

墩体材料级配不良或块石过多过大,均易在墩中留下大孔,在后续墩施工和建筑物使用过程中使墩间土挤入空隙,下沉增加,因此本条强调了级配和粒径大于 300mm 的颗粒含量不宜超过全重的 30%。

7.2.2 对于淤泥、泥炭等黏性软弱土层,置换墩应穿透软土层,着底在较好土层上,因墩底竖向应力较墩间土高,如果墩体仍在软弱土中,墩底较高竖向应力将产生较多沉降,从而产生地基不均匀沉降。

对于深厚饱和粉土、粉砂墩身可不穿透该层,因墩下土在施工中密度变大,强度提高有保证,故可允许不穿透该层。碎石土或经证明其自重固结已完成的回填地基墩身可不穿透该层,但应进行软弱下卧层验算。

7.2.8 强夯置换时不可避免地地面要抬高,特别是在饱和黏性土中,根据现有资料,隆起的体积可达填入体积的大半,这主要是因为黏性土在强夯置换中密度改变较粉土少。虽有部分软土挤入置换墩孔隙中,或因填料吸水而降低一些含水量,但隆起的体积还是可观的,应在试夯时仔细记录,做出合理的估计。

7.2.9 规定强夯置换后的地基承载力对粉土中的置换地质按复合地基考虑,对于淤泥或流塑的黏性土中的置换墩则不考虑墩间土的承载力,按单墩静载荷试验的承载力除以单墩加固面积取为加固后的地基承载力,主要是考虑:

1)淤泥或流塑软土中强夯置换国内有个别不成功的先例,为安全起见,需等有足够工程经验后再进行修正,以利于此法的推广应用。

2)某些国内工程因单墩承载力已够,而不再考虑墩间土的承载力。

3)强夯置换法在国外亦称为“动力置换与混合”法(Dynamic replacement and mixing method),因为墩体填料为碎石或

砂砾时,置换墩形成过程中大量填料与墩间土混合,越浅处混合的越多,因而墩间土已非原来的土而是一种混合土,含水量与密实度改善很多,可与墩体共同组成复合地基,但目前由于对填料要求与施工操作尚未规范化,填料中块石过多,混合作用不强,墩间的淤泥等软土改善不够,因此不考虑墩间土的承载力较为妥当。

7.3 施 工

7.3.1 当表土松软时应铺设一层厚为1.0~2.0m的砂石施工垫层以利于施工机具运转,随着置换墩的加深,被挤出的软土渐多,夯点周围地面渐高,先铺的施工垫层在向夯坑中填料时往往被推入坑中成了填料,施工层越来越薄,因此,施工中须不断地在夯点周围加厚施工垫层,避免地面松软。

8 静压注浆法

8.1 一般规定

8.1.1 静压注浆法几乎适用于所有岩土体地基处理,但是不同的岩土体,其处理效果存在较大差异。

静压注浆法是一项适用性很强、应用范围广的工程技术。它的实质是用液压、气压或电化学方法,把某些能凝固的浆液注入到岩土体的孔隙、裂隙、节理等软弱结构面中,或挤压土体,使岩土体形成强度高、抗渗性能好、稳定性高的新结构体,从而改善岩土体的物理力学性质。土洞和溶洞的注浆原理为采用静压注浆将孔洞进行封闭,改善地基的承载性能,对于规模较大的土洞、溶洞或孔洞连通较好,采用静压注浆往往不容易控制注浆量,不经济。

8.1.2 这些资料对注浆方案的选择、注浆参数的确定、施工措施的制定以及工程的进度和造价都有重要的影响。

8.1.3 重庆地区高填方回填土地基孔隙大、沉降大、水位变化大,在这种土质条件下进行注浆施工技术参数选择是一个非常复杂的问题,根据重庆地区大量注浆工程经验,高填方回填土地地进行注浆,若事先未进行试验检验就进行设计施工,大多未能得到理想的效果,造成大量的损失,因此针对该类地基的注浆处理,应特别强调现场注浆检验,以检验该方法的适用性并调整设计参数和施工方法。

8.1.4 由于注浆法带有较强的经验性,其处理地基的效果不仅与设计参数、地基土性质密切相关,还与施工方法、施工设备甚至与施工人员有紧密关系。因此对重要工程宜进行现场注浆试验,

以求得合适的设计参数,并检验施工方法和设备。

“重要工程”是指不良的地基处理效果会酿成重大经济损失和较坏的社会影响的工程。一般认为造价超过 100 万元人民币的注浆工程项目为“重要工程”。

8.2 设计

8.2.3 应综合考虑各种因素选择适宜的注浆浆液。一般地,选择满足所有性能要求的注浆浆液是不可能的,因此,选择能满足几个主要性能指标要求的注浆材料就可以满足实际注浆要求。

由于气温的变化对浆液的性能影响较大,因此,在气温变化较大的条件下,浆液的配比以及外掺剂的掺入量应根据现场实验决定。对于水泥浆液水灰比一般取 0.5:1~1:1,防渗注浆宜取较稀浆液,加固注浆宜取较稠浆液。

8.2.4 注浆孔的布置是根据浆液的注浆有效范围且应相互重叠的原则决定的。由于浆液扩散有效范围难以决定,因此,注浆孔间距往往根据岩土体工程地质条件和类型工程经验确定。用作加固地基提高地基承载力的注浆浆液可选用以水泥主剂的悬浊液,注浆孔间距可按 1.0~2.0m 设计。

8.2.5 注浆压力是浆液在地层中扩散的动力,它直接影响注浆加固或防渗效果,但是注浆压力受地层条件、注浆方法的注浆材料等因素的影响和制约。国内外对注浆压力大小的确定持两种截然相反的观点:一是尽可能提高注浆压力;二是注浆压力应尽量小。这两种观点都很片面,确定注浆压力大小应视具体工程而定。一般来说,化学注浆比水泥注浆时的压力要小得多;浅部注浆比深部地层注浆压力要小;渗透系数大比渗透系数小得地层注浆压力要小。

8.2.6 注浆泵根据工作原理分为活塞式、柱塞式和螺杆式。活塞式和柱塞式适用于泵送粒径不大于 3mm 的灰浆、水泥浆、泡沫

混凝土等介质,对粒径和水灰比较大的水泥砂浆、细石混凝土可采用螺杆式注浆泵。

8.2.8~8.2.10 注浆量、注浆流量、注浆时间三者之间具有紧密关系,但是它们取决于地基岩土体性质和浆液的渗透性等因素。在进行大规模注浆施工时,宜在施工现场进行试验性注浆以确定上述三个设计参数。

8.2.11 注浆施工顺序一般不宜采用自注浆地带某一端单向推进方式,应按先外围后内部孔、跳孔间隔注浆方式进行,以防止浆液向注浆加固区外扩散、串浆,提高注浆孔内浆液的强度。应考虑浆液在动水流下的迁移效应,应自水头高的一端开始注浆。

8.2.12 进行分段注浆是为了提高注浆浆液在地基中分布的均匀性和注浆效果。

8.2.13 根据注浆目的、注浆要求的不同,用注浆压力、注浆量、注浆流量或注浆时间等指标的一项或若干项达到设计要求作为注浆结束标准。

8.3 施 工

8.3.1 注浆施工前应特别重视场地附近的地下管线分布情况。即使废弃的地下管线也会给注浆施工的质量带来麻烦,常因浆液流入废管而造成不必要的浪费。因此,对废弃的地下管线应事先采取封堵措施。

8.3.3 花管注浆工艺较为简便,它是在注浆管前端的一段管壁上钻许多直径2~5mm小孔,使浆液从小孔水平地喷到地基中。与钻杆注浆法相比,由于注浆管喷出的断面明显增大,因此大大减小了压力急剧上升和浆液涌到地表面的可能性。花管注浆可用于砂砾层渗透注浆,也可用于土体劈裂注浆。与注浆塞组合,还可用于孔比较好的裂隙岩体注浆。花管注浆存在以下缺点:

(1)不能进行二次或多次注浆;

(2)浆液极易从注浆管周围侧冒至地面；

(3)无法进行封顶注浆；

(4)注浆深度不及袖阀管注浆法。

8.3.4 压密注浆指用很稠的浆液灌注到地基土内，常用的浆液为水灰比较小的水泥浆或水泥砂浆。评价浆液稠度的指标通常是浆液的坍落度值。目前对压密注浆坍落度的规定尚未达成一致认识。美国土木工程协会注浆委员会认为，“压密注浆的浆液坍落度小于 25mm”；根据 ASTM C-143 标准混凝土坍落度试验，压密注浆的浆液坍落度绝对不允许超过 50mm；但是曾经在土石坝坝基压密注浆中所使用的坍落度是 25~150mm，压密注浆孔径一般为 50~100mm。

8.3.5 旋转式钻机主要适用于硬度在中硬以下的岩石，特别是土层、砂岩、泥岩、软弱页岩等相对较软弱的岩层，在这些岩层中旋转钻进是最有效的钻孔办法。对于较硬的岩石，旋转式钻进容易钻机卡钻，可改用金刚石钻头或其他取芯钻头，但成孔速度较慢，因此可以采用冲击式成孔。

8.3.8 温度对浆液性能的直接影响表现在浆液的凝固时间、流动性的改变，尤其是冬季与夏季的极端温度对其影响更大。

8.3.10 既有建筑物地基加固注浆过程中，因浆液在凝固且固体强度达到设计要求前，在建筑物荷载作用下地基在短时间内会沉降，为了避免对既有建筑物的不利影响，有必要采用多孔间隔注浆和缩短浆液凝固时间等措施消除或减少因注浆而产生的附加沉降。

8.3.11 注浆施工属于隐蔽性工程作业，必须及时做好施工记录、分析和资料整理工作。我国注浆施工监控技术比较落后，一般只能从注浆设备中获取部分注浆参数，而无法按照注浆过程中参数变化情况来调节注浆工艺过程，这方面还有待于进一步研究和发展。

8.4 质量检验

8.4.3~8.4.5 国内外注浆效果的检验或检测技术见表4所示。现有的各种注浆效果检验或检测技术方法还不够成熟。目前注浆效果检验或检测手段仍然是注浆施工技术中的一个薄弱环节,对于土层注浆加固,可利用开挖、标准贯入试验、静力触探法、压板荷载试验等进行检验或检测。

表4 注浆效果检验或检测技术方法

地点	检测目的	检测方法
现场检测试验	注浆范围	γ 射线及放射线法;中子水分仪检测法;取样试验法;示踪染色追踪法;电探及声波探测法
	注浆加固	钻孔内荷载试验法;取样物理力学性能测定法;声波探测法;贯入试验法;电探法;静力触探法;压板荷载法
实验室试验	注浆加固	固砂试验法;注浆参数模拟试验法

9 树根桩法

9.1 一般规定

9.1.1 树根桩作为微型桩的一种,一般指具有钢筋笼,采用压力灌注混凝土、水泥浆或水泥砂浆形成的直径小于 300mm 的灌注桩,也可采用投石压浆方法形成直径小于 300mm 的钢筋混凝土桩。近年来,树根桩复合地基应用于特殊土地区建筑工程的地基处理已经获得较好的处理效果。

9.1.2 树根桩最常用的直径在 $\phi 200\text{mm}$ 左右,国外工程报道较多的采用 $\phi 100\text{mm}$,为了有别于钻孔灌注桩,将上限定为 $\phi 300\text{mm}$ 。

9.2 设计

9.2.1 树根桩一般都为摩擦桩,上部与承台连接,承台下的桩与土共同承受上部荷载作用。桩土应力比在桩达到极限状态之前一般是随荷载的增加而增大的。同济大学的树根桩研究报告指出,桩土应力比变化于 20~60 之间,对托换基础的桩土应力比变化于 50~100 之间。桩土应力分配实际是沉降变形协调的问题,在新建工程中采用树根桩作为支撑桩时,如考虑桩土共同作用,则应根据工程经验或现场试验,确定桩土应力比。

由于采用了压浆成桩的工艺,通常有 50% 以上的水泥浆液压入周围土层,从而增大了桩侧摩阻力,一系列树根桩静荷载试验也证明了这一点,土层极限摩阻力取上限值是合适的。根据工程经验,树根桩施工采用二次压浆工艺时,桩的极限摩阻力可提高 30%~50%。

公式 9.2.1-1 中的 q_{sk} 按工程地质勘察报告提供的极限摩阻力标准值取用。初步设计时,可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 中表 5.3.5-1 桩侧土摩阻力的上限;当采用水泥二次注浆时,可乘 1.3 的系数。极限端阻力标准值 q_{pk} 按工程地质勘察报告提供的未经过修正的承载力,初步设计时可按《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 中表 5.3.5-2 选取。

9.2.2 式 9.2.2 为由桩身结构强度确定单桩承载力设计值,条件系数 α 的施工质量的可靠度的判定原则,可按对地质情况复杂,地下水位高、流速快的场地,对初凝前混凝土强度可能产生不利影响,因而条件系数宜取低值,对地质条件、水文地质情况简单的场地,系数则可取高值。

9.2.3 树根桩所采用的碎石粒径不宜过大,以防卡在钢筋笼上,通常以不超过 1/10 桩径为宜。砂粒粒径的选取常受砂浆泵的限制,应以砂浆泵能正常输送为原则。当粒径超过 0.5mm 时,浆液往往容易沉淀,造成输送管道堵塞。

9.3 施 工

9.3.2 对骨料粒径的规定主要考虑可灌性要求,对混凝土水泥用量及水灰比的要求,主要考虑水下灌注混凝土的强度、质量和可泵送性等。

9.4 质量检验

9.4.1 树根桩属地下隐蔽工程,施工条件和周围环境往往较复杂,成桩过程中,每道工序的检查是关键。施工单位应按设计要求提出施工组织设计大纲,经现场监理审核后监督执行。

9.4.3 树根桩静载试验可参照混凝土灌注桩试验方法进行,对用作基础换托的树根桩,可以从试桩曲线上了解其沉降特性。应

该明确 $Q-s$ 曲线上的沉降量不是桩基实际工作状态下的沉降量，只反映实际工作中的桩基早期沉降量，对软土地层的树根桩，后期沉降量是不容忽视的，设计时刻参照已有的工程经验留足够的余量。

重庆工程建设

10 高压旋喷法

10.1 一般规定

10.1.1 由于高压旋喷注浆形成的浆液压力大,喷射流的能量大、速度快。当它连续和集中地作用在土体上,压应力和冲蚀等多种因素便在很小的区域内产生效应,对从粒径很小的细粒土到含有颗粒直径较大的卵石、碎石土,均有很大的冲击和搅动作用,使注入的浆液和土拌合凝固为新的固结体。

通过近年来在重庆地区的工程实践表明,旋喷注浆对黏土、卵石土、素填土等地基有着良好的处理效果。而对于含有大粒径的块石回填土,块石强度若较大(重庆地区主要为灰岩和砂岩),喷射流可能受到削弱甚至阻挡,造成冲击破碎力下降,切割范围减小,处理效果难以保证。对于建筑垃圾回填场地,因其多含有大粒径建筑材料(混凝土、砖等)、生活垃圾、植物根茎等,均会对高压旋喷产生不利影响,导致处理效果差。对于地下水位较高的场地,喷射流受地下水的影响可能导致浆液稀释,导致固结体强度减小。因此对含有大粒径块石回填土、建筑垃圾回填及地下水丰富且水位较高的场地,应先进行现场试验,根据室内外试验结果确定该方法的适用性。

10.1.2 在制定旋喷注浆方案时,应搜集和掌握各种基本资料。主要是:岩土工程勘察(土层和基岩的性状,标准贯入击数,土的物理力学性质,地下水的埋藏条件、渗透性和水质成分等)资料;建筑物结构受力特性资料;施工现场和邻近建筑的四周环境资料;地下管道和其他埋设物资料及类似土层条件下使用的工程经验等。

10.1.3 高压旋喷注浆方案确定后,固结体的形状、深度一般可根据已有工程经验确定,但对水灰比、喷射压力、注浆孔间距等参数,以及浆液扩散半径、固结体强度等设计参数和效果指标均应通过现场试验或试验性施工进行验证,特别是对有特殊要求、工程复杂、处理面积大、风险大的处理工程,现场试验或试验性施工就显得更为必要。

10.1.4 高压喷射法根据注浆机具设备条件可分为单管、双管(二重管)、三管(三重管)三种方法。

1)单管法:利用钻机等设备,把安装在注浆管(单管)底部侧面的特殊喷嘴,置入预定的深度后,用高压泵以大于 20MPa 的压力,把水泥浆液喷射出去,冲击破坏土体,浆液凝固后,在土中形成一定形状的固结体。该法只喷射水泥浆一种介质。

2)双管法:使用双通道二重注浆管,当二重注浆管到达预定深度后,通过在管底部侧面的一个同轴双重喷嘴,同时喷射高压水泥浆液和压缩空气两种介质的喷射流冲击破坏土体,通过高压泥浆泵喷射出的水泥浆液能到达 20MPa,并用 0.7MPa 左右压力把压缩空气从外喷嘴喷出,在高压浆液流和它外圈环绕高压气流的作用下,破坏土体的能量明显增大,固结体的范围显著增加。

3)三管法:施工时使用分别喷射水、浆、气三种不同介质的三重注浆管。在以高压泵输出的 20MPa 喷射水流的周围,环绕一股 0.7MPa 左右的气流,进行高压水喷射流和气流同轴喷射冲切土体,形成大体积孔隙,再由压力为 2~5MPa 的浆液填充,形成更大范围的固结体。

由于上述 3 种喷射流的结构和喷射的介质不同,有效处理范围也不同,以三管法最大,双管法次之,单管法最小。

高压旋喷注浆按注浆型式分为旋喷、定喷和摆喷三种注浆型式,其中采用旋喷注浆时,固结体呈圆柱状;定喷施工时,喷嘴一面喷射一面提升,喷射方向固定不变,固结体呈壁状;摆喷法与定

喷法施工工艺基本相同,喷射方向成小角度来回摆动,固结体呈扇状或条状。

10.2 设计

10.2.1 旋喷桩直径的确定是一个复杂的问题,尤其是深部的直径,无法用准确的方法确定。因此,除了浅层可以用开挖的方法验证之外,只能用半经验的方法加以判断、确定。根据国内外的施工经验,初步设计时,其设计直径可参考表 10.2.1 选用。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。

表 10.2.1 旋喷桩的设计直径(m)

土质 \ 方法		单管法	双管法	三管法
黏性土	$0 < N < 5$	0.5~0.8	0.8~1.2	1.2~1.8
	$6 < N < 10$	0.4~0.7	0.7~1.1	1.0~1.6
砂土	$0 < N < 10$	0.6~1.0	1.0~1.4	1.5~2.0
	$11 < N < 20$	0.5~0.9	0.9~1.3	1.2~1.8
	$21 < N < 30$	0.4~0.8	0.8~1.2	0.9~1.5

注:表中 N 为标准贯入击数。

10.2.2~10.2.3 本条主要参考现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012。复合地基设计需要根据工程不同的地质情况,采用相对安全的设计。初步设计时,增强体单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数的取值范围在 0.8~1.0 之间,一般来说,增强体单桩承载力发挥系数取高值时,桩间土承载力发挥系数应取低值,反之,增强体单桩承载力发挥系数取低值时桩间土承载力发挥系数应取高值。

根据重庆地区特点,高压旋喷法多使用于回填土、黏性土和碎石土地基上多层建筑时的地基处理,

对于工程设计的大部分情况,采用初步设计的估算值进行试验性施工,根据试验性施工调整设计参数,并要求随后大面积施工达到设计要求。复合地基承载力设计中,单桩承载力发挥和桩间土承载力发挥与桩、土相对刚度有关,在相同褥垫层厚度条件下,相对刚度差值越大,刚度大的增强体在加荷初始发挥较小,后期发挥较大;且由于采用勘察报告提供的参数,其对单桩承载力和天然地基承载力在相同变形条件下的富余程度不同,使得复合地基工作时增强体单桩承载力发挥和桩间土承载力发挥存在不同的情况,当提供的单桩承载力和天然地基承载力存在较大的富余值,增强体单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数均可达到 1.0,复合地基承载力载荷试验检验结果也能满足设计要求。

10.2.7 褥垫层在复合地基中具有如下作用:

1 保证桩、土共同承担荷载,它是高压旋喷法形成复合地基的重要条件。

2 通过改变褥垫层厚度,调整桩垂直荷载的分担,通常褥垫层越薄桩承担的荷载占总荷载的百分比越高,反之亦然。

3 减少基础底面的应力集中。

4 调整桩、土水平荷载的分担,褥垫层越厚,土分担的水平荷载占总荷载的百分比越大,桩分担的水平荷载占总荷载的百分比越小。

工程实践表明,褥垫层合理厚度为 100~300mm,考虑施工时的不均匀性,本条规定褥垫层厚度取 150~300mm,当桩径大,桩距大时取高值。

褥垫层材料宜用中砂、粗砂、级配砂石和碎石,最大粒径不宜大于 20mm。

10.3 施 工

10.3.1 施工前,应对照设计图纸核实设计处有无妨碍施工和影响安全的障碍物。如遇有上水管、下水管、电缆线、煤气管、人防工程、旧建筑基础和其他地下埋设物等障碍物影响施工时,则应与有关单位协商清除或搬移障碍物或更改设计孔位。

10.3.2 旋喷桩的施工参数应根据土质条件、加固要求通过试验或根据工程经验确定,加固土体每立方的水泥掺入量不宜少于300kg。旋喷注浆的压力大,处理地基的效果好。根据国内实际工程中应用实例,单管法、双管法及三管法的高压水泥浆液流或高压水射流的压力应大于20MPa,流量大于30L/min,气流的压力以空气压缩机的最大压力为限,通常在0.7MPa左右,提升速度可取0.1~0.2m/min,旋转速度宜取20r/min。表10.3.2列出建议的旋喷桩的施工参数,供参考。

表 10.3.2 旋喷桩的施工参数一览表

旋喷施工方法			单管法	双管法	三管法
适用土质			砂土、黏性土、黄土、杂填土、小粒径砂砾		
浆液材料及配方			以水泥为主材,加入不同的外加剂后具有速凝、早强、抗腐蚀、防冻等特性,常用水灰比1:1,也可适用化学材料		
旋 喷 施 工 参 数	水	压力(MPa)	—	—	25
		流量(L/min)	—	—	80~120
		喷嘴(mm)及个数	—	—	2~3(1~2)
	空气	压力(MPa)	—	0.7	0.7
		流量(L/min)	—	1~2	1~2
		喷嘴间隙(mm)及个数	—	1~2(1~2)	1~2(1~2)
	浆液	压力(MPa)	25	25	25
		流量(L/min)	80~120	80~120	80~100
		喷嘴孔径(mm)及个数	2~3(2)	2~3(1~2)	10~2(1~2)

续表 10.3.2

旋喷施工方法		单管法	双管法	三管法
旋喷	灌浆管外径(mm)	$\varphi 42$ 或 $\varphi 45$	$\varphi 42, \varphi 50, \varphi 75$	$\varphi 75$ 或 $\varphi 90$
施工	提升速度 cm/min)	15~25	7~20	5~20
参数	旋转速度 r/min)	16~20	5~16	5~16

近年来旋喷注浆技术得到了很大的发展,利用超高压水泵(泵压大于 50MPa)和超高压水泥浆泵(水泥浆压力大于 35MPa),辅以低压空气,大大提高了旋喷桩的处理能力。在软土中的切割直径可超过 2.0m,注浆体的强度可达 5.0MPa,有效加固深度可达 60m。所以对于重要的工程以及对变形要求严格的工程,应选择较强设备能力进行施工,以保证工程质量。

10.3.3 旋喷注浆的主要材料为水泥,对于无特殊要求的工程宜采用强度等级为 42.5 级及以上普通硅酸盐水泥。根据需要,可在水泥浆中分别加入适量的外加剂和掺合料,以改善水泥浆液的性能,所有外加剂和掺合料的数量,应根据具体的工程条件通过试验确定。

常用的外加剂有:

- 1 速凝剂:水玻璃、氯化钙、三乙醇胺、苏打、碳酸钾、硫酸钠等;
- 2 速凝早强剂:三乙醇胺、三异丙醇胺、氯化钠、二水石膏加氯化钙等;
- 3 悬浮剂与塑化剂:亚硫酸盐、食糖、硫酸钠、 FeSO_4 、膨润土、高塑性黏土、纸浆废液等;
- 4 防水剂:沸石粉、三乙醇胺、亚硝酸钠等。

常用的掺合料有:粉煤灰、膨润土或过筛黏土等。

10.3.4 水泥浆液的水灰比越小,旋喷注浆处理地基的承载力越高。在施工中因注浆设备的原因,水灰比太小时,喷射有困难,故水灰比通常取 0.8~1.2,生产实践中常用 0.9。

10.3.5 本条简述高压旋喷注浆施工的全过程。对于单管法注

浆,一般将钻杆作为注浆管直接把注浆管钻入土层预定深度,即钻孔和置入注浆管的两道工序合并为一道。对于二重管法、三重管法注浆,应事先用专用钻机钻孔,然后移走钻机、置入注浆管,钻孔和置入注浆管的两道工序分开。施工结束后应立即对机具和孔口进行清洗,以免堵管(孔)。

10.3.6 高压泵通过高压橡胶软管输送高压浆液至钻机上的注浆管,进行喷射注浆。若钻机和高压水泵的距离过远,势必要增加高压橡胶软管的长度,使高压喷射流的沿程损失增大,造成实际喷射压力降低的后果。因此钻机与高压泵的距离不宜过远,在大面积场地施工时,为了减少沿程损失,则应搬动高压泵保持与钻机的距离。

实际施工孔位与设计孔位偏差过大时,会影响加固效果。故规定孔位偏差值应小于 50mm,并且必须保持钻孔的垂直度。实际孔位、孔深和每个钻孔内的地下障碍物、洞穴、涌水、漏水及与岩土工程勘察报告不符等情况均应详细记录。

土层的结构和土质种类对加固质量关系更为密切,只有通过钻孔过程详细记录地质情况并了解地下情况后,施工时才能因地制宜及时调整工艺和变更喷射参数,达到良好的处理效果。

10.3.7 旋喷注浆均自下而上进行。当注浆管不能一次提升完成而需分数次卸管时,卸管后喷射的搭接长度不得小于 100mm,以保证固结体的整体性。

10.3.8 在不改变喷射参数的条件下,对同一标高的土层作重复喷射时,能加大有效加固范围和提高固结体强度。复喷的方法根据工程要求决定。在实际工作中,旋喷桩通常在底部和顶部进行复喷,以增大承载力和确保处理质量。

10.3.9 当旋喷注浆过程中出现下列异常情况时,需查明原因并采取相应措施:

1 流量不变而压力突然下降时,应检查各部位的泄漏情况,并应拔出注浆管,检查密封性能。

2 出现不冒浆或断续冒浆时,若系土质松软则视为正常现象,可适当进行复喷;若系附近有空洞、通道,则应不提升注浆管继续注浆直至冒浆为止,或拔出注浆管待浆液凝固后重新注浆。

3 压力稍有下降时,可能系注浆管被击穿或有孔洞,使喷射能力降低。此时应拔出注浆管进行检查。

3 压力陡增超过最高限值、流量为零、停机后压力仍不变动时,则可能系喷嘴堵塞。应拔管疏通喷嘴。

10.3.10 当旋喷注浆完毕后,或在喷射注浆过程中因故中断,短时间(小于或等于浆液初凝时间)内不能继续喷浆时,均应立即拔出注浆管清洗备用,以防浆液凝固后拔不出管来。为防止因浆液凝固收缩,产生加固地基与建筑基础不密贴或脱空现象,可采用超高喷射(旋喷处理地基的顶面超过建筑基础底面,其超高量大于收缩高度)、冒浆回灌或第二次注浆等措施。

10.3.11 在城市施工中泥浆管理直接影响文明施工,必须在开工前做好规划,做到有计划地堆放或废浆及时排出现场,保持场地文明。

10.3.12 应在专门的记录表格上做好自检,如实记录施工的各项参数和详细描述喷射注浆时的各种现象,以便判断加固效果并为质量检验提供资料。

10.4 质量检验

10.4.1 应在严格控制施工参数的基础上,根据具体情况选定质量检验方法。开挖检查法简单易行,通常在浅层进行,但难以对整个固结体的质量作全面检查。钻孔取芯是检验单孔固结体质量的常用方法,选用时需以不破坏固结体和有代表性为前提,可以在 28d 后取芯。标准贯入和静力触探在有经验的情况下也可以应用。静载荷试验是建筑地基处理后检验地基承载力的方法。压水试验通常在工程有防渗漏要求时采用。

10.4.2 检验点的位置应重点布置在有代表性的加固区,对旋喷注浆时出现过异常现象和地质复杂的地段亦应进行检验。

10.4.3 每个建筑工程旋喷注浆处理后,不论其大小,均应进行检验。检验量为施工孔数的 2%,并且不应少于 6 点。

10.4.4 旋喷注浆处理地基的强度离散性大,在软弱黏性土中,强度增长速度较慢。检验时间应在喷射注浆后 28d 进行,以防由于固结体强度不高时,因检验而受到破坏,影响检验的可靠性。