

重庆市工程建设标准

## 建筑地基处理技术标准

Technical standard for ground treatment of buildings

DBJ50/T-229-2023

主编单位:重庆市建筑科学研究院有限公司

批准部门:重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期:2024年01月01日

2023 重 庆

重庆工程建设

# 重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标[2023]37号

## 重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《建筑地基处理技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,两江新区、西部科学城重庆高新区、重庆经开区、万盛经开区、双桥经开区建设局,有关单位:

现批准《建筑地基处理技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-229-2023,自 2024 年 1 月 1 日起施行,原《建筑地基处理技术规范》DBJ50/T-229-2015 同时废止。标准文本可在标准施行后登录重庆市住房和城乡建设技术发展中心官网免费下载。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆市建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2023 年 10 月 31 日

重庆工程建设

## 前 言

根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达 2020 年度重庆市工程建设标准制定修订项目计划的通知》(渝建标[2020] 31 号)要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结工程实践经验,参考有关国家标准,保留原规范的先进成果、内容,补充完善近几年重庆市在地基处理方面科研、设计、施工及检测中取得的成果和经验,充分体现重庆市的地区特色并在广泛充分征求意见的基础上,修订本标准。

本标准的主要技术内容是:1. 总则;2. 术语和符号;3. 基本规定;4. 换填垫层法;5. 压实地基和夯实地基;6. 复合地基;7. 静压注浆法;8. 既有建筑地基加固;9. 地基变形控制措施;10. 监测。

本标准修订的主要技术内容是:在编排格式上,与行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012 保持一致,删除重庆地区不常用地基处理方法,增加重庆地区近年来已实施的新型地基处理方法,将传统地基处理方法在近年来的最新发展利用加以总结,新增第九章地基变形控制措施。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆市建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中,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给《建筑地基处理技术标准》(修编)编制组。(地址:重庆市长江二路 221 号重庆市建筑科学研究院有限公司,邮编:400015,邮箱:cqjzdcjcljsgf@126.com)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主编单位：重庆市建筑科学研究院有限公司

参编单位：重庆市建设工程质量检验检测中心有限公司

重庆市建设工程质量监督总站

重庆大学

重庆建筑工程职业学院

四川建筑工程职业学院

中冶赛迪工程技术股份有限公司

中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

重庆市地质矿产勘查开发集团检验检测有限公司

重庆三峡地质工程技术有限公司

重庆羚铨建筑工程有限公司

主要起草人：孔凡林 李 昕 张京街 李成芳 刘海源

文先琪 王太春 陈建功 王桂林 陶 修

候俊伟 李 勇 罗渝锋 马时强 肖普祥

钟 煜 张继丁 申 强 陈 谅

审查专家：何 平 薛尚铃 冯永能 熊启东 来武清

吴曙光 陈小平

# 目次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	7
4	换填垫层法	10
4.1	一般规定	10
4.2	设计	10
4.3	施工	15
4.4	质量检验	16
5	压实地基和夯实地基	18
5.1	一般规定	18
5.2	压实地基	18
5.3	夯实地基	23
6	复合地基	32
6.1	一般规定	32
6.2	散体桩复合地基	35
6.3	有粘结强度桩复合地基	38
7	静压注浆法	44
7.1	一般规定	44
7.2	设计	44
7.3	施工	47
7.4	质量检验	49
8	既有建筑地基加固	51
8.1	一般规定	51

8.2	树根桩	51
8.3	注浆钢管桩	54
8.4	锚杆静压桩	55
9	地基变形控制措施	60
9.1	一般规定	60
9.2	建筑措施	60
9.3	结构措施	61
9.4	施工措施	62
10	监测	63
附录 A	处理后地基静载荷试验要点	64
附录 B	复合地基静载荷试验要点	66
附录 C	复合地基增强体单桩静载荷试验要点	69
	本标准用词说明	71
	引用标准目录	72
	条文说明	73



# Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms and symbols .....	2
2.1	Term .....	2
2.2	Symbols .....	4
3	Basic requirements .....	7
4	Replacement layer of compacted fill .....	10
4.1	General requirements .....	10
4.2	Design considerations .....	10
4.3	Construction .....	15
4.4	Inspection .....	16
5	Compacted ground and tamping foundation .....	18
5.1	General requirements .....	18
5.2	Compacted ground .....	18
5.3	Tamping foundation .....	23
6	Composite foundation .....	32
6.1	General requirements .....	32
6.2	Composite foundation with granular material piles .....	35
6.3	Composite foundation with bond strength piles .....	38
7	Static pressure injection .....	44
7.1	General requirements .....	44
7.2	Design considerations .....	44
7.3	Construction .....	44
7.4	Inspection .....	49
8	Improvement of soil and foundation of existing buildings	

.....	51
8.1 General requirements .....	51
8.2 Root piles .....	51
8.3 Grouting steel pipe .....	54
8.4 pressed pile by anchor rod .....	55
9 Foundation deformation control .....	60
9.1 General requirements .....	60
9.2 Building measures .....	60
9.3 Structural measures .....	61
9.4 Construction measures .....	62
10 Monitoring .....	63
Appendix A Key point for load test on treatment ground .....	64
Appendix B Key point for load test on composite foundation .....	66
Appendix C Key point for load test on single static pile of composite foundation enhancer .....	69
Explanation of Wording in this standard .....	71
Normative standards .....	72
Explanation of provision .....	73

# 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,制定本标准。

**1.0.2** 本标准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、节约资源和保护环境等。

**1.0.4** 建筑地基处理除应执行本标准外,尚应符合国家和重庆市现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 地基处理 ground treatment

提高地基强度,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,由地基土和增强体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 subgrade bearing capacity

由载荷试验测定的地基压力-沉降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 replacement layer of compacted fill

挖除基础底面下一定范围内的浅层软弱土层或不均匀土层,回填其它性能稳定、无侵蚀性、强度较高的材料,并夯压密实形成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进行分层密实处理而形成的地基。

#### 2.1.7 强夯法 heavy tamping

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,并不断夯击坑内回填的碎石、砂石等骨料,使其形成密实墩体的地基处理方法。

#### 2.1.9 强夯有效加固深度 effective reinforcement depth

从最初起夯面算起,经强夯法处理后地基土的强度、变形等指标能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、渗透性降低的地基处理方法。

#### 2.1.11 树根桩 root pile

一种小直径的钻孔灌注钢筋混凝土桩,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,借助高压将水泥浆从喷嘴射出,直接破坏土体,并与之混合,或者喷射高压水射流切割破坏土体,再掺加水泥浆与之混合,形成水泥土加固体地基的处理方法。

#### 2.1.12 散体桩复合地基 composite foundation with granular material piles

由散体材料组成的,通过振冲、沉管、冲夯等方式形成的竖向增强体的复合地基。

#### 2.1.13 冲夯碎石桩复合地基 gravel pile composite foundation with impacting and punning

采用冲夯碎石桩作为增强体的复合地基。冲夯碎石桩是采用特殊锤体,用强夯法冲击成较深夯坑,在夯坑内不断填加碎石(也可采用建筑垃圾、石块或其它粗颗粒材料),强行夯入并挤开软土或回填料,在地基中形成大于夯锤直径的碎石桩。

#### 2.1.14 有粘结强度桩复合地基 composite foundation with bond strength piles

采用有粘结强度桩作为增强体的复合地基。有粘结强度桩

是指骨料与胶结材料混合形成复合地基的增强体。

### 2.1.15 高压旋喷桩复合地基 composite foundation with jet grouting

采用高压旋喷桩作为增强体的复合地基。高压旋喷桩是通过钻杆的旋转、提升,高压水泥浆由水平方向的喷嘴喷出,形成喷射流,以此切割土体并与土拌合形成的水泥石竖向增强体。

### 2.1.16 旋喷砂石桩复合地基 granular pile composite foundation with jet grouting

采用旋喷砂石桩作为增强体的复合地基。旋喷砂石桩是采用夯扩成孔或其它成孔方式,在孔中填筑级配砂石后再进行高压旋喷的方法形成的有粘结强度桩。

## 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;

$P_c$ 、 $P_z$  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;

$D_c$  砂土相对密实度;

$e$  孔隙比;

$f_{ak}$  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；  
 $f_{sk}$  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；  
 $Q_{sk}$  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；  
 $\lambda_c$  压实系数；  
 $\lambda_m$  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；  
 $\rho_w$  水的密度；  
 $\rho$  黏粒含量；  
 $\rho_d$  干密度；  
 $\rho_{dmax}$  最大干密度；  
 $d_s$  土粒相对密度；  
 $\lambda$  单桩承载力发挥系数；

$\beta$  桩间土承载力折减系数。

### 2.2.3 几何参数

$A$  基础底面积；

$A_c$  一根桩承担的处理地基面积；

$A_p$  桩的截面积；

$\theta$  压力扩散角；

$b$  基础底面宽度；

$d$  桩身直径；

$u_p$  桩的周长；

$d_e$  一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径、有效排

水直径；

$l$  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报告、上部结构及基础设计文件等工程相关资料;

2 根据工程对地基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,宜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,应进行补充岩土工程勘察。

**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标准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;

2 其它方法处理的地基,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,当其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。处理后地基和复合地基载荷试验应符合本标准附录 A 和附录 B 的规定。

**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。除本标准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它适宜的处理方法。对本地区尚无工程经验的地基处理方法应先进行充分的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
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 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。

4.1.3 对于工程量较大的换填垫层,应按所选用的施工机械、换填材料及场地的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。

4.1.4 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。

### 4.2 设计

4.2.1 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及水稳定性。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。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》GB175 的有关规定。

4 矿渣等工业废渣。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、无放射性的工业废渣材料,但必须经过现场试验证明其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。

#### 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)的深度或下卧土层的承载力确定,并应符合式 4.2.2-1 的要求:

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (4.2.2-1)$$

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);

$p_{cz}$  垫层底面处的自重压力值(kPa);

$f_{az}$  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 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)；  
 $\theta$  垫层的压力扩散角(°)，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  $\theta$  (°)

$z/b$ 换填材料	中砂、粗砂、砾砂、圆砾、角砾、石屑、卵石、碎石、 矿渣、水泥稳定碎石	粉煤灰
0.25	20	6
$\geq 0.50$	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， $\theta$  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，可按下式确定：

条形基础

$$b' > b + 2z \tan \theta \quad (4.2.3-1)$$

矩形基础

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

$$l' > l + 2z \tan \theta \quad (4.2.3-3)$$

- 式中： $b'$  条形基础或矩形基础垫层底面宽度(m)；  
 $l'$  矩形基础垫层底面的长度(m)。

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。同时垫层顶面每边超出基础底边缘不应小于 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 换填垫层地基的承载力宜通过现场静载荷试验确定。

4.2.5 各种垫层的压实标准可按表 4.2.5 选用。初步设计阶段,当无试验资料时垫层的承载力特征值可按表 4.2.5 提供的经验值选用。

表 4.2.5 各种垫层的压实标准及承载力特征值的经验值

施工方法	换填材料类别	承载力特征值 $f_{sk}$ (kPa)	压实系数 $\lambda_c$
压实 或夯实	碎石、卵石	200~300	$\geq 0.97$
	砂夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%)	200~250	$\geq 0.97$
	土夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%)	150~200	$\geq 0.97$
	中砂、粗砂、砾砂、角砾、圆砾、石屑	150~200	$\geq 0.97$
	粉煤灰	120~150	$\geq 0.95$
	水泥稳定碎石	200~250	$\geq 0.97$

注:压实系数 $\lambda_c$ 为土的控制干密度 $\rho_d$ 与最大干密度 $\rho_{dmax}$ 的比值;土的最大干密度宜采用击实试验确定,填料为碎石或卵石时,其最大干密度可取 2.1~2.2g/cm<sup>3</sup>,以碎石为主取低值,以卵石为主取高值。

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。换填垫层在满足本标准第 4.2.2 条、第 4.2.3 条和第 4.2.5 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。

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** 当采用分层铺设的土工合成材料与地基土构成加筋垫层时，所用筋材的品种、性能及填料的种类，应根据工程特性和地基土条件，通过设计并进行现场试验后确定，应符合下列规定：

1 加筋垫层的压实标准应符合本标准第 4.2.5 节相关规定。

2 加筋垫层的厚度不宜小于 0.5m。

3 一层加筋时，筋材可设置在垫层的中部。多层加筋时，首层筋材距垫层顶面的距离宜取 0.3 倍垫层厚度；底层筋材距垫层底部的距离不应小于 200mm；筋材层间距宜取 0.3~0.5 倍的垫层厚度，且不应小于 200mm。

4 筋材的连接宜采用搭接法，搭接长度不宜小于 1m，搭接缝应交替错开。

5 筋材间的中心距宜为 250mm~500mm，线密度宜为 0.15~0.35。

6 筋材端部应反包回折压入垫层，回折长度不宜小于 2.5m，且应深入基础下。回折处用土工胞腔袋压实。

**4.2.10** 土岩组合地基中的褥垫厚度应根据需要调整的变形量、所采用的材料的性质，通过试验分析后确定。褥垫材料采用炉渣、中砂、粗砂、土夹石时，厚度一般采用 300mm~500mm；采用卵石时，粒径不宜大于 50mm，厚度宜取 500mm~600mm；采用碎石时，粒径不宜大于 30mm，厚度不宜小于 700mm。

**4.2.11** 当褥垫设置在基岩坑(槽)中时，可根据所采用的褥垫材料在侧限条件下进行压缩试验，按照测试获得的压力与变形关系曲线，采用下式计算褥垫厚度：



$$z = \frac{s}{s_0} h_0 \quad (4.2.11)$$

式中： $z$  褥垫厚度(mm)；  
 $s$  需要调整的地基变形值(mm)；  
 $h_0$  需要调整的地基变形值(mm)；  
 $s_0$  相当于基底压力作用下，侧限压缩试验试样变形量(mm)。

### 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 200mm~300mm。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 150mm~300mm 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 应避免土工复合筋材暴晒或裸露,受阳光暴晒时间不应超过 8h。筋材铺好后,应尽快回填。同时在填土前应检查筋材是否有损伤,如孔洞、撕裂等情况,如有损伤应及时补救。
- 5 填土要从中心向外侧对称进行,同时铺筑厚度不得过高,防止局部下陷;
- 6 在填土压实过程中,施工机械应沿单方向进行,不得回折,施工机械形成的车辙不得超过 70mm~80mm;
- 7 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  $200\text{m}^2 \sim 400\text{m}^2$  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  $100\text{m}^2$  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 压实地基和夯实地基

### 5.1 一般规定

5.1.1 压实地基适用于处理大面积填土地基。

5.1.2 夯实地基可分为强夯、强夯置换处理地基。强夯法适用于碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、素填土和杂填土地基的处理；强夯置换法适用于处理高饱和度的粉土与软塑~流塑的黏性土和杂填土地基，软塑状的淤泥、淤泥质土、黏性土及素填土地基，用于对变形控制要求不严的工程中。强夯置换法也可用于碎石土、砂土、非饱和细粒土、素填土和杂填土地基的深孔处理，以提高深厚填土地基的变形指标。

5.1.3 为了减少桩基础的负摩阻力，改善塌孔现象，新近填土地基，可先用强夯法进行地基预处理，然后再进行桩基施工。

5.1.4 对采用强夯法处理的沟谷地带，进行新填筑时，应采用分层回填强夯处理，每层回填厚度可根据试夯区检测结果或地区经验确定。

5.1.5 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机械和施工方法并进行压实地基和夯实地基的设计，压实和夯实地基承载力应按本标准附录 A 确定。

### 5.2 压实地基

5.2.1 当利用压实填土作为建筑地基持力层时，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，对大型、重要或场地地层条件复杂的工程，在正式施工前，应通过现场

试验确定地基处理效果。

### 5.2.2 压实填土的设计应符合下列规定：

1 地下水位以上填土地基可采用碾压法和振动压实法，非黏性土或黏粒含量少、透水性较好的松散填土地基宜采用振动压实法；当下卧层为淤泥时，不宜采用振动压实法。

2 压实填土的填料可选用粉质黏土、灰土、粉煤灰、级配良好的砂土或碎石土，以及质地坚硬、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) 以碎石土作填料时，其最大粒径不宜大于100mm；
- 2) 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；
- 3) 挖高填低或开山填沟的土料和石料，应符合1和2的要求；
- 4) 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；
- 5) 采用振动压实法时，宜降低地下水位到振实面下600mm。

3 碾压法和振动碾压法施工时，应根据压实机械的压实性能，地基土性质、密实度、压实系数和施工含水量等，并结合现场试验确定碾压分层厚度、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。初步设计阶段可按表5.2.2-1确定。

表 5.2.2-1 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(8t~12t)	200~300	6~8
羊足碾(5t~16t)	200~350	8~16
振动碾(8t~15t)	500~1200	6~8
冲击碾压(冲击势能15kJ~32kJ)	600~1500	20~40

注:1 对已经完成回填且回填厚度超过表5.2.2-1中的铺填厚度,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夯实

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。

3 压实填土的质量以压实系数  $\lambda_c$  控制，并应根据结构类型和压实填土所在部位按表 5.2.2-2 的数值确定。

表 5.2.2-2 压实填土的质量控制

结构类型	填土部位	压实系数 $\lambda_c$	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以内	$\geq 0.97$	$w_{op} \pm 2$
	在地基主要受力层范围以下	$\geq 0.95$	
排架结构	在地基主要受力层范围以内	$\geq 0.96$	
	在地基主要受力层范围以下	$\geq 0.94$	

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。

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，最大干密度可按下式计算：

$$\rho_{dmax} = \eta \frac{\rho_w d_s}{1 + 0.01 w_{op} d_s} \quad (5.2.2-1)$$

式中： $\rho_{dmax}$  分层压实填土的最大干密度( $t/m^3$ )；

$\eta$  经验系数，粉质黏土取 0.96，粉土取 0.97；

$\rho_w$  水的密度( $t/m^3$ )；

$d_s$  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  $2.1t/m^3 \sim 2.2t/m^3$ ，以碎石为主取低值，以卵石为主取高值。

5 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。应根据地形修筑雨水截水沟或设置其它排水措施。设置在压实填土区的上、下水管道，应采取严格防渗、防漏措施。

6 压实填土的边坡坡率允许值，宜根据其厚度、填料性质等因素，按表 5.2.2-3 的数值确定。

表 5.2.2-3 压实填土的边坡坡率允许值

填料类别	压实系数 ( $\lambda_c$ )	边坡坡度允许值			
		填土厚度 H(m)			
		H≤5	5<H≤10	10<H≤15	15<H≤20
碎石、卵石	0.94~0.97	1:1.25	1:1.50	1:1.75	1:2.00
砂夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%)		1:1.25	1:1.50	1:1.75	1:2.00
土夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%)		1:1.25	1:1.50	1:1.75	1:2.00
粉质粘土、粘粒含量的粉土 $\rho_c > 10\%$		1:1.50	1:1.75	1:2.00	1:2.25

注:当压实填土厚度 H 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。

7 冲击碾压法可用于地基冲击碾压、土石混填或填石路基分层碾压、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 3.0m~4.0m,施工前应进行试验段施工,确定施工参数。

8 压实填土地基承载力特征值,应根据现场静载荷试验确定,或可通过动力触探等试验结合静载荷试验结果确定;其下卧层顶面的承载力应满足本标准式(4.2.2-1)、式(4.2.2-2)和(4.2.2-3)的要求。

9 压实填土地基的变形计算应符合本标准 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。

### 5.2.3 压实填土地基的施工应符合下列规定:

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。

2 在雨季、冬季进行压实填土施工时,应采取防雨、防冻措施,防止填料受雨水淋湿或冻结,并应采取防止出现“橡皮土”。

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。压实标准以振动机原地振实不再继续下沉为合格。边角及转弯区域应采取其它措施压实,以达到设计标准。

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它措施压实;施工时,地下水位应降低到碾压面以下 1.5m。

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。

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震隔振措施或进行振动监测。

7 施工过程中严禁扰动垫层下卧层的淤泥或淤泥质土层,防止受冻或受水浸泡。施工结束后应根据采用的施工工艺,待土层休止期后再进行基础施工。

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。

9 当压实填土阻碍地表水畅通排泄时,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。



#### 5.2.4 压实填土地基的质量检验应符合下列规定：

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。

2 在压实填土的过程中，应分层取样检验土的干密度和含水量。每  $100\text{m}^2$  面积内应不少于 1 个检测点，压实系数不得低于表 5.2.2-2 的规定，对碎石土干密度不得低于  $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。

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。

4 冲击碾压法垫层宜进行沉降量、压实度、土的物理力学参数、层厚、弯沉、破碎状况等的监测和检测。

### 5.3 夯实地基

#### 5.3.1 夯实地基处理应符合下列规定：

1 强夯和强夯置换施工前，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。每个试验区面积不宜小于  $20\text{m} \times 20\text{m}$ ，试验区数量应根据建筑场地复杂程度、建筑规模及建筑类型确定。

2 场地地下水位高，影响施工或夯实效果时，应采取降水或其它技术措施进行处理。

#### 5.3.2 强夯地基的设计应符合下列规定：

1 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。应考虑强夯施工对周边建(构)筑物的影响，宜通过振动波速测试以确保周边建(构)筑物的安全。

2 强夯法的有效加固深度应根据现场试夯初步设计时或欠缺试验资料或经验时，也可根据表 5.3.2-1 进行预估。

表 5.3.2-1 强夯有效加固深度经验值(m)

单击夯击能 E(kN·m)	碎石土、砂土等粗颗粒土	粉土、黏性土等细颗粒土
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	9.0~10.0	8.0~9.0
10000	10.0~11.0	8.5~9.0
12000	11.0~12.0	9.0~10.0
14000	13.0~14.0	
16000	15.0~16.0	
18000	16.0~17.0	
20000	17.0~18.0	
25000	18.0~20.0	

3 夯击次数应按现场试夯确定的夯击次数与夯沉量的关系来确定,并应同时满足下列条件:

- 1) 最后两击平均夯沉量宜满足表 5.3.2-2 的要求,当单击能大于 12000kN·m 时,应通过试验确定;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。

表 5.3.2-2 强夯法最后两击平均夯沉量(mm)

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
$12000 \leq E < 20000$	

2) 夯坑周围地面不应发生过大隆起;

3) 不因夯坑过深发生提锤困难。

4 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,最后以低能量满夯 2 遍,2 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,对于渗透性较差的黏性土地基,间隔时间不应少于 2~3 周;对于渗透性好的地基可连续夯击。

5 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  $150\text{kPa} \sim 250\text{kPa}$  时,满夯击数不宜低于 3 击。满夯后可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 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,对于处理深度较深或单击夯击能较大的工程,第一遍夯击点间距宜适当增大。

7 夯实地基处理范围应大于建筑物基础范围,每边超出基础外缘的宽度宜为基底设计处理深度的  $1/2 \sim 2/3$ ,且不应小于 3m;对可液化地基,基础边缘的处理宽度,不应小于 5m。

8 根据初步确定的强夯参数,提出强夯试验方案,进行现场试夯。应根据不同土质条件,待试夯结束一周至数周后,对试夯场地的压实系数、面波波速、承载力特征值等参数进行检测,并与夯前测试数据进行对比,检验强夯效果,确定工程采用的各项强夯参数。

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。根据基础埋深和试夯时所测得的夯沉量,确定起夯面标高、夯坑回填方式和夯后标高。

10 强夯地基变形计算,应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 和《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ6 有关规定。

### 5.3.3 强夯处理地基的施工,应符合下列规定:

1 夯锤宜采用铁质圆形锤,直径宜为 2.0m~3.0m,锤底接地静压力可取 40kPa~100kPa,满夯取小值,点夯宜考虑夯坑深度、夯点间距及夯沉量后取大值。锤的底面宜对称设置若干个上下贯通的排气孔,孔径宜为 300mm~400mm。

强夯夯锤质量宜为 10t~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 25kPa~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 300mm~400mm。

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,但无明显隆起,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)~6),完成第一遍全部夯点的夯击;
- 8) 用推土机将夯坑推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,采用低能量满夯,将场地表层松土夯实,并测量夯后场地高程。

#### 5.3.4 强夯置换处理地基的设计,应符合下列规定:

1 强夯置换墩的深度应由土质条件决定。除厚层饱和粉土外,应穿透软土层,到达较硬土层上,深度不宜超过 12m。对于采用特殊锤型和较大夯击能时,成孔深度一般在 20m。

2 强夯置换的夯锤直径、夯锤静压和单击夯击能应根据现场试验确定。

3 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全重的 30%。

4 夯点的夯击能量、夯击次数和夯沉量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) 最后两击夯沉量可按表 5.3.2-2。

5 夯点宜采用等边三角形或正方形布置。对独立基础或条形基础可根据基础形状与宽度作相应布置。

6 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 强夯置换处理范围可仅在建筑物基础范围内,应符合本标准第 5.3.2 条第 7 款的规定。

8 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。

9 强夯置换设计时,应预估地面抬高值,并在试夯时校正。

10 强夯置换地基处理试验方案的确定,应符合本标准第 5.3.2 条第 8 款的规定。除应进行现场静载荷试验和变形模量检测外,尚应采用钻芯或动力触探等方法,检查置换墩着底情况,以及地基土的承载力与密度随深度的变化。

11 一般场地中的强夯置换地基承载力特征值应通过复合地基载荷试验确定;对于软黏性土、饱和粉土等高饱和细粒土,其承载力应通过现场单墩及复合地基静载荷试验来确定。

12 强夯置换地基的变形,应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 和行业标准《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ6 有关规定。当按单墩静载荷试验确定的变形模量计算加固区的地基变形,对墩下地基土的变形可按置换墩材料的压力扩散角计算传至墩下土层的附加应力;对饱和粉土地基,当处理后形成 2.0m 以上厚度的硬层时,可按本标准第 6.1.5 条的规定确定。

**5.3.5 强夯置换处理地基的施工应符合下列规定:**

1 强夯置换夯锤底面宜采用圆形,夯锤底静接地压力值宜大于 80kPa。夯锤宜采用铁质柱形锤,直径宜为 1.0m~1.5m,锤底接地静压力可取 100kPa~200kPa。

2 强夯置换施工应按下列步骤进行:

1) 清理并平整施工场地,当表层土松软时,可铺设 1.0~2.0m 厚的砂石垫层;

- 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) 夯击并逐击记录夯坑深度;当夯坑过深,起锤困难时,应停夯,向夯坑内填料直至与坑顶齐平,记录填料数量;工序重复,直至满足设计的夯击次数及质量控制标准,完成一个墩体的夯击;当夯点周围软土挤出,影响施工时,应随时清理,并宜在夯点周围铺垫碎石后,继续施工;
- 6) 按照“由内而外、隔行跳打”的原则,完成全部夯点的施工;
- 7) 换夯点,重复步骤3)~6),完成第一遍全部夯点的夯击;
- 8) 用推土机将夯坑推平或用填料将夯坑填平,并测量场地高程;
- 9) 按上述步骤逐次完成全部夯击遍数,最后,采用低能量满夯,将场地表层松土夯实,推平场地并测量夯后场地高程;
- 10) 铺设垫层,分层碾压密实。

**5.3.6** 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,夯锤的质量应不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,或采取其它安全措施,防止落锤时机架倾覆。

**5.3.7** 当场地地表土软弱或地下水位较高,夯坑底积水影响施工时,宜采用人工降低地下水位或铺填一定厚度的砂石材料的施工措施。施工前,宜将地下水位降低至坑底面以下 2m。施工时,坑内或场地积水应及时排除。对细颗粒土,尚应采取晾晒等措施降低含水量。当地基土的含水量低,影响处理效果时,宜采取增

湿措施。

**5.3.8** 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。

**5.3.9** 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,必要时应采取隔震或减震措施。

**5.3.10** 施工过程中的监测应符合下列规定:

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。

4 施工过程中,应对各项参数及施工情况进行详细记录。

**5.3.11** 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,待土层休止期结束后,方可进行基础施工。

**5.3.12** 夯实地基的竣工验收,承载力检验应根据静载荷试验、其它原位测试和室内土工试验等方法综合确定。

**5.3.13** 夯实地基的质量检验应符合下列规定:

1 夯实填土施工质量检验点的数量要求必须符合重庆市工程建设标准《建筑地基基础检测技术规范》DEJ50/T-136 的相关规定。

2 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它有效措施。

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进行,对于碎石土和砂土地基,间隔时间宜为 7d~14d;粉土和黏性土地基,间隔时间宜为 14d~28d;强夯置换地基间隔时间宜为 28d。



4 强夯地基加固深度和均匀性检验,可采用动力触探试验等原位测试,以及室内土工试验。检验点的数量,可根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定,对于简单场地上的一般建筑物,按每  $400\text{m}^2$  不少于 1 个检测点,且总数不少于 3 点;对于复杂场地或重要建筑地基,每  $300\text{m}^2$  不少于 1 个检测点,且不少于 3 点。强夯置换地基,可采用动力触探或波速检测等方法,检查置换墩着底情况及承载力与密度随深度的变化,检验数量不应少于墩点数的 3%,且不少于 3 点。

5 强夯地基承载力检验的数量,应根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定,对于简单场地上的一般建筑,每个建筑地基载荷试验检验点不应少于 3 点;对于复杂场地或重要建筑地基应增加检验点数。检测结果的评价,应考虑夯点和夯间位置的差异。强夯置换地基单墩载荷试验数量不应少于墩点数的 1%,且不少于 3 点;对饱和粉土地基,当处理后墩间土能形成  $2.0\text{m}$  以上厚度的硬层时,其地基承载力可通过现场单墩复合地基静载荷试验确定,检验数量不应少于墩点数的 1%,且每个建筑载荷试验检验点不应少于 3 点。

## 6 复合地基

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 复合地基设计前,应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工,测试复合地基的承载力和变形性质,桩土应力分担特性,并确定施工技术的适用性及施工工艺控制标准。

**6.1.2** 复合地基工程的验收检验应包括复合地基承载力、增强体施工质量、消除地基特殊土的不良工程特性、桩位施工偏差等。桩位施工允许偏差应满足以下要求:对条形基础的边桩沿轴线方向应为桩径的 $\pm 1/4$ ,沿垂直轴线方向应为桩径的 $\pm 1/6$ ,其它情况桩位的施工允许偏差应为桩径的 $\pm 40\%$ ,桩身的垂直度允许偏差应为 $\pm 1\%$ 。

**6.1.3** 复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验或采用增强体静载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定。初步设计时,可按下列公式估算:

1 对散体材料增强体复合地基应按下列公式计算:

$$f_{\text{spk}} = [1 + m(n_c - 1)]f_{\text{sk}} \quad (6.1.3-1)$$

式中: $f_{\text{spk}}$  复合地基承载力特征值(kPa);

$f_{\text{sk}}$  处理后桩间土承载力特征值(kPa),可按地区经验确定;

$n_c$  复合地基桩土应力比,可按地区经验确定;

$m$  面积置换率,  $m = d^2/d_c^2$ ;  $d$  为桩身平均直径(m),  $d_c$  可为一根桩的处理地基面积的等效圆直径(m);等边三角形布桩  $d_c = 1.05s$ , 正方形布桩  $d_c = 1.13s$ , 矩形布桩  $d_c = 1.13\sqrt{s_1s_2}$ ,  $s, s_1, s_2$  分别为桩间距、纵向桩间距和横向桩间距。

2 对粘结强度增强体复合地基应按下列式计算：

$$f_{\text{spk}} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{\text{sk}} \quad (6.1.3-2)$$

式中： $\lambda$  单桩承载力发挥系数，取 0.7~1.0，或按地区经验取值；

$R_a$  单桩承载力特征值(kN)；

$A_p$  桩的截面面积( $\text{m}^2$ )；

$\beta$  桩间土承载力发挥系数，可根据试验确定，无试验资料时可取 0.75~0.99，天然地基承载力较低时取低值；考虑注浆的扩散效应，取大值；土层渗透系数较小时取低值，渗透系数较大时取高值。

6.1.4 对散体材料复合地基增强体应进行密实度检验；对有粘结强度复合地基增强体应进行桩身强度和完整性、单桩承载力等检验。

1 有粘结强度复合地基增强体桩身强度应满足式(6.1.4-1)的要求。当复合地基承载力进行基础埋深的深度修正时，增强体桩身强度应满足式(6.1.4-2)的要求。

$$f_{\text{cu}} > 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \quad (6.1.4-1)$$

$$f_{\text{cu}} > 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \left[ 1 + \frac{\gamma_m(d-0.5)}{f_{\text{spk}}} \right] \quad (6.1.4-2)$$

式中： $f_{\text{cu}}$  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)；

$\gamma_m$  基础底面以上土的加权平均重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ )，地下水位以下取有效重度；

$d$  基础埋置深度(m)；

$f_{\text{spk}}$  深度修正后的复合地基承载力特征值(kPa)。

2 增强体单桩竖向承载力特征值可按下列式估算：

$$R_a = Q_{\text{uk}}/K \quad (6.1.4-3)$$

$$Q_{\text{uk}} = u_p \sum_{i=1}^n \beta_i q_{\text{aik}} l_{\text{pi}} + \alpha_p q_{\text{pk}} A_p \quad (6.1.4-4)$$

- 式中： $Q_{uk}$  单桩竖向极限承载力标准值(kN)；  
 $K$  安全系数，宜取  $K=2$ ；  
 $u_p$  桩的周长(m)；  
 $n$  桩长范围内所划分的土层数；  
 $\alpha_p$  桩端端阻力发挥系数，应按地区经验确定，桩端土为高压缩性土层时取低值，低压缩性土层时取高值；  
 $l_{pi}$  桩长范围内第  $i$  层土的厚度(m)；  
 $\beta_{1i}$  第  $i$  层土桩侧阻力提高系数，对于散体桩， $\beta_{1i}=1$ ，对于现场浇注有粘结强度桩，宜根据工程经验取  $1.0\sim 1.2$ ，土层渗透系数较小时取低值，渗透系数较大时取高值；  
 $q_{sik}$  第  $i$  层土的极限桩侧阻力标准值(kPa)，可按地区经验确定；  
 $q_{pk}$  极限桩端阻力标准值(kPa)，可按地区经验确定；当无当地经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 关于泥浆护壁钻孔桩的规定取值，对于旋喷桩应取未经修正的桩端地土承载力特征值。

**6.1.5** 复合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》GB50007 的有关规定，地基变形计算深度应大于复合土层的深度。复合土层的分层与天然地基相同，各复合土层的压缩模量等于该层天然地基压缩模量的  $\zeta$  倍， $\zeta$  值可按下式确定：

$$\zeta = \frac{f_{ak}}{f_{sk}} \quad (6.1.5)$$

式中： $f_{sk}$  基础底面下天然地基承载力特征值(kPa)。

**6.1.6** 复合地基的沉降计算经验系数  $\psi_s$  可根据地区沉降观测资料统计值确定，无经验取值时，可采用表 6.1.6 的数值。

表 6.1.6 沉降计算经验系数  $\psi_s$

$\bar{E}_s$ (MPa)	2.5	4.0	7.0	15.0	20.0	35.0
$\psi_s$	1.1	1.0	0.7	0.4	0.25	0.2

注： $\bar{E}_s$  为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m A_j}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{spi}} + \sum_{j=1}^m \frac{A_j}{E_{sj}}} \quad (6.1.6)$$

式中： $A_i$  加固土层第  $i$  层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

$A_j$  加固土层下第  $j$  层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

$E_{spi}$  第  $i$  层土加固后的压缩模量(MPa)；

$E_{sj}$  加固土层下第  $j$  层的压缩模量(MPa)。

**6.1.7** 处理后的复合地基承载力,应按本标准附录 B 的方法确定;复合地基增强体的单桩承载力,应按本标准附录 C 的方法确定。

**6.1.8** 采用复合地基的建筑工程,应按国家现行有关标准规定进行变形监测。

## 6.2 散体桩复合地基

**6.2.1** 散体材料桩复合地基的桩体是由散体材料组成的,主要形式有碎石桩、砂桩等。施工方式主要有振冲、沉管、冲夯等。散体桩复合地基处理适用于挤密处理松散砂土、粉土、粉质黏土、素填土、杂填土等地基。对大型的、重要的或场地地层复杂的工程,以及对于处理不排水抗剪强度不小于 20kPa 的饱和黏性土,应在施工前通过现场试验确定其适用性。

**6.2.2** 冲夯碎石桩复合地基设计应符合下列规定:

1 地基处理范围应根据建筑物的重要性和场地条件确定,宜在基础外缘扩大 2~3 倍桩距。

2 桩位布置,对大面积满堂基础和独立基础,可采用三角形、正方形、矩形布桩;对条形基础,可沿基础轴线采用单排布桩或对称轴线多排布桩。

3 桩径可根据地基土质情况、锤体和成桩设备等因素确定，无现场经验时可按表 6.2.2 选取。

表 6.2.2 冲夯碎石桩的孔径

冲击夯锤重(t)	成孔直径(mm)	夯后桩径(mm)
2~5	500~1000	600~1500
5~10	1000~1400	1500~2000
10~20	1400~2000	2000~3000

4 冲夯碎石桩的间距应根据上部结构荷载大小和场地土层情况，并结合所采用的夯击设备的功率大小综合考虑，通过现场试验确定。桩宜按等边三角形或正方形布置，初步设计时桩距取成孔直径 2.0~3.5 倍，且不大于 4m。

5 桩长可根据工程要求和工程地质条件通过计算确定，并应符合下列规定：

- 1) 当松软土层厚度不大时，宜穿过松软土层；
- 2) 当松软土层厚度较大时，对于按变形控制的工程，处理后地基变形量不超过地基变形允许值并满足软弱下卧层承载力的要求；对于按稳定性控制的工程，桩长应不小于最危险滑动面以下 2.0m 的深度；
- 3) 桩长不宜小于 4 倍桩径。

6 桩体材料可采用含泥量不大于 5% 的碎石、卵石、矿渣，也可采用建筑垃圾、石块、或其它性能稳定的硬质粗颗粒材料，不宜使用风化易碎的材料。桩孔内材料填料量，应通过现场试验确定，估算时，可按设计桩孔体积乘以充盈系数确定，充盈系数可取 1.2~1.4。

7 桩顶和基础之间宜铺设垫层，对于一般工程，垫层厚度为 300mm~500mm，对高层其厚度为 500mm~1000mm。垫层材料宜用中砂、粗砂、级配砂石和碎石等，最大粒径不宜大于 30mm，其夯填度(夯实后的厚度与虚铺厚度的比值)不应大于 0.9。

8 冲夯碎石桩复合地基的承载力初步设计可按本标准式(6.1.3-1)、(6.1.4-3)和式(6.1.4-4)估算,处理后桩间土承载力特征值,可按地区经验确定,如无经验时,对于一般黏性土地基,可取天然地基承载力特征值,松散的砂土、粉土可取原天然地基承载力特征值的1.2~1.5倍;复合地基桩土应力比 $n$ ,宜采用实测值确定,如无实测资料时,对于黏性土可取2.0~4.0,对于砂土、粉土可取1.5~3.0。

9 复合地基变形计算应符合本标准第6.1.5条和第6.1.6条的规定。

10 对处理堆载场地地基,应进行稳定性验算。

### 6.2.3 冲夯碎石桩施工应符合下列规定:

1 冲夯施工可根据设计荷载的大小、原土强度的高低、设计桩长等条件选用不同功率的夯击器。施工前应在现场进行试验,以确定各种施工参数。

2 冲夯成孔采用100kN~200kN(或更大)的冲孔锤,锤体呈尖锥状或橄榄状,夯击成桩采用平底柱锤,柱锤直径800mm~2000mm,锤重100kN~200kN。

3 升降冲孔锤的机械可用起重机、自行井架式施工平车或其它合适的设备。施工设备应配有电流、电压等自动信号仪表。

4 冲夯施工可按下列步骤进行:

1) 清理平整施工场地,布置桩位。

2) 施工机具就位,使冲孔锤对准桩位。

3) 冲击成孔。

4) 成桩(墩)。先往孔内填筑一定高度的级配碎石料,再用圆柱式平底锤夯击密实,如此反复,直至孔口。

### 6.2.4 冲夯碎石桩复合地基的质量检验应符合下列规定:

1 检查各项施工记录,如有遗漏或不符合要求的桩,应补桩或采取其它有效的补救措施。

2 地基处理效果检测,应在施工后间隔一定时间方可进行。

对粉质黏土地基不宜少于 21d,对粉土地基不宜少于 14d,对砂土和杂填土地基不宜少于 7d。

3 施工质量的检验,对桩体可采用重型或超重型动力触探试验,查明碎石桩着底情况及承载力与密实度随深度的变化;碎石桩的承载力检验应采用单桩载荷试验。

4 对桩间土可采用标准贯入、静力触探、动力触探或其它原位测试等方法。桩间土质量的检测位置应在等边三角形或正方形的中心。检验深度不应小于处理地基深度,检测数量不应少于桩孔总数的 2%。

5 竣工验收时,地基承载力检验应采用复合地基静载荷试验,试验数量不应少于总桩数的 1%,且每个单体建筑不应少于 3 点。

6 冲夯碎石桩复合地基质量检验标准参照《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202-2018 表 4.9.4 的执行。

### 6.3 有粘结强度桩复合地基

6.3.1 有粘结强度桩复合地基应符合下列规定:

1 适用于黏性土、粉土、松散或稍密砂土、素填土和杂填土等地基处理。对含有大粒径块石回填土、建筑垃圾回填土及地下水位较高的工程,应先进行现场试验以确定其适应性。

2 在制定地基处理方案时,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。

3 在地基处理方案确定后,应结合工程情况在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工,确定施工参数及工艺。

4 有粘结强度桩(增强体)的强度和直径,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。高压旋喷砂石桩的直径宜为 300mm~800mm,桩长不宜大于 35m。



5 复合地基承载力特征值和单桩竖向承载力特征值应通过现场静载荷试验确定。初步设计时,可按本标准式(6.1.3-2)、式(6.1.4-3)和式(6.1.4-4)估算,其桩身材料强度尚应满足式(6.1.4-1)和式(6.1.4-2)要求。

6 复合地基的地基变形计算应符合本标准第 6.1.5 条和第 6.1.6 条的规定。

7 复合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。

8 复合地基宜在基础和桩顶之间设置褥垫层。对于旋喷桩加固地基,褥垫层厚度宜为 150mm~300mm;对于高压旋喷砂石桩复合地基,褥垫层厚度宜为 300mm~500mm,桩距大时取大值;褥垫材料可选用无机稳定材料、中砂、粗砂和级配砂石等,褥垫层最大粒径不宜大于 20mm,褥垫层的夯填度不应大于 0.9,褥垫层设置范围宜大于基础范围,垫层顶面边缘至基础底面边缘的距离宜为 200mm~500mm。

9 旋喷桩的平面布置应根据上部结构和基础特点确定,独立基础下的桩数不应少于 4 根。高压旋喷砂石桩宜在基础范围内布桩,边桩轴线至基础边缘的距离不应小于 1 倍桩径。

### 6.3.2 旋喷桩施工应符合下列规定:

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。

2 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。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 0.1m/min~0.2m/min。

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。

4 水泥浆液的水灰比应结合工程要求确定,宜取 0.8~1.2。

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。

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 $\pm 50\text{mm}$ ,垂直度允许偏差应为 $\pm 1\%$ 。

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。

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。

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 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。

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。

12 施工中应做好注浆压力、流量、冒浆量等记录工作。

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。

### 6.3.3 旋喷桩复合地基的质量检验应符合下列规定:

1 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。

2 成桩质量检验点的数量不少于施工孔数的 2%,且不应少于 6 个点。检验点布置应选择有代表性的桩位、施工过程中出现异常情况的部位和地基情况复杂,可能对旋喷桩质量产生影响的

部位。

3 桩的承载力检验宜在成桩 28d 后进行。

4 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。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 台。

5 旋喷桩复合地基质量检验标准参照《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 相关规定执行。

#### 6.3.4 高压旋喷砂石桩施工应符合下列规定:

1 高压旋喷砂石桩的施工步骤宜包括:施工准备、场地平整、定位放线、成孔设备就位、成孔、PVC 保护管埋设、下注浆管、填筑级配砂石、旋喷机具就位、插入喷射管、喷射注浆、拔管和冲洗等。

2 在正式施工前应施工试验桩,并根据设计要求的数量进行施工工艺参数试验,试验桩的规格、长度、数量及地质条件应具有代表性,试验桩与工程桩的条件应一致。应根据试验桩的参数调整设计、并相应调整施工方案或施工组织设计。

3 施工机械的选择应符合下列规定:

1) 成孔设备选择应满足工程地质条件及设计要求。成孔设备净高应满足施工场地条件,宜选择夯扩机成孔,也可采用其它成孔方式。

2) 注浆设备应选择高压注浆泵,采用双管法的高压水泥浆压力大于 20MPa,流量大于 80L/min,气流压力 0.7 MPa,提升速度为 0.1~0.2m/min,旋转速度取 20r/min,根据现场实际情况可在该范围内作相应调整,连接注浆泵的管路宜采用高压柔管,并安装自动灌浆记录仪。

3) 施工机械选定后应核实现场地基承载能力是否满足桩基施工的要求,当不满足时,应采取相应处理措施。

4 采用夯扩机成孔时,应选用相应桩径的厚壁钢管,底部采

用圆锥形封底,在相应的冲击能量作用下,挤密周边土体,并夯实孔底土体,形成圆柱状孔洞。可选择旋挖取土工艺,成孔孔壁不稳定地层也可采用回旋钻进工艺;开孔应采用慢速钻进,钻头中心位置对准桩位中心、钻杆保持垂直稳固;钻进过程中应及时清理孔口积土和地面散落土,防止掉落孔内;发生孔内坍塌后应停止钻孔,查明部位后及时回填粘土并捣实后重新成孔;钻进至设计深度后进行清孔并检查孔底,清孔后泥浆比重应小于 1.05。

5 成孔完成后,预埋 PVC 保护管至孔底。

6 孔内填筑级配砂石料,直至孔口。

7 高压旋喷施工工艺同 6.3.2。

### 6.3.5 高压旋喷砂石桩复合地基的质量检验应符合下列规定:

1 成桩质量检查应包括成孔、散体材料投放及注浆等工序过程的质量检查。

2 施工中应检查桩身混合料的配合比、坍落度和成孔深度、混合料充盈系数等。

3 桩施工后,应在成桩 14d 后现场开挖检查桩身质量,开挖深度不宜小于 1m,检查数量宜为总桩数的 0.2%~0.5%,且每个单项工程不得少于 3 根。

4 桩身完整性按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》DBJ50/T-136 和重庆市工程建设标准《建筑地基基础检测技术规范》JGJ106 的有关规定执行,对设计等级为甲级或地质条件复杂、成桩质量可靠性低的桩,抽检数里不得少于总数的 30%,其它情况下不得少于总数的 10%。

5 对于一般工程的桩,可在桩身强度满足加载要求后进行单桩静载荷试验,单桩载荷试验数量宜为总桩数的 0.2%~0.5%,且不应少于 3 根,对设计等级为甲级或地质条件复杂、成桩质量可靠性低的桩,应采用单桩和复合地基静载荷试验方法进行检测,检测数量宜为总桩数的 0.2%~0.5%,且不应少于 3 根。

6 对软土地区桩长大于 10m 的浆固散体材料桩宜采用钻芯

取样的方法进行桩身质量检测，检测数量不宜小于总桩数的0.2%。

7 当桩顶设计标高与施工场地标高相近时，复合地基验收应在桩身质量检测完毕后进行，当桩顶设计标高低于施工场地标高时，桩基工程验收应在开挖至设计标高后进行验收。

8 复合地基质量检验标准参照《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202-2018 表 4.10.4 的执行。

## 7 静压注浆法

### 7.1 一般规定

7.1.1 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。

7.1.2 注浆设计方案制定前,应进行岩土工程勘察,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。

7.1.3 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确定相关设计参数,检验其适用性和施工方法。

7.1.4 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。

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

### 7.2 设计

7.2.1 注浆法处理地基,主要设计内容包括:

- 1 确定注浆处理范围;
- 2 确定注浆材料的种类、性能、配比;
- 3 确定注浆钻孔的孔位、孔距、孔深等参数;
- 4 注浆压力、浆液有效扩散半径、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 注浆质量检查和竣工验收标准。
- 7.2.2 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，注浆范围应超出建筑物地基压力扩散线，地基压力扩散线斜率可按现行《建筑地基基础设计规范》GB50007 有关规定执行；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。
- 7.2.3 根据注浆目的、岩土类型及可注性，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类型的外掺剂，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 0.5~2.0，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试验，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。
- 7.2.4 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 1.0m~2.0m。**
- 7.2.5 注浆压力应综合考虑覆盖土压、浆液种类、地质条件等因素，并通过试验综合确定，在砂土中宜为 0.2MPa~1.5MPa；在黏性土中宜为 0.3MPa~0.6MPa；在淤泥或淤泥质土中宜为 0.1**

MPa~0.4MPa。

**7.2.6** 注浆泵宜根据注浆材料选择,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。

**7.2.7** 浆液有效扩散半径应根据现场试验或类似工程经验确定,也可根据土的类型按表 7.2.7 选用。

表 7.2.7 浆液有效扩散半径

土的类型	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

**7.2.8** 总注浆量或单孔注浆量应通过现场注浆试验确定,或可按下列式估算:

$$Q=1000kvn \quad (7.2.8)$$

式中:Q 总注浆量或单孔注浆量(L);

v 被注浆的土体积(m<sup>3</sup>);

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。

**7.2.9** 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 5min~20min;在黏土地基中,宜为 1h~2h。



**7.2.10** 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。

**7.2.11** 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。

**7.2.12** 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。

**7.2.13** 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。

### 7.3 施工

**7.3.1** 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。

**7.3.2** 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。

**7.3.3** 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。

**7.3.4** 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。

**7.3.5** 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 70mm~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。

**7.3.6** 注浆用水应采用饮用的河水、井水、自来水及其它洁净水，不得采用 pH 值小于 4 的酸性水和工业废水。

**7.3.7** 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。

**7.3.8** 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。

**7.3.9** 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。

7.3.10 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。

7.3.11 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。

## 7.4 质量检验

7.4.1 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。

7.4.2 检查每个注浆孔垂直偏斜率、孔位偏差、钻孔倾角。

7.4.3 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；其它注浆材料应根据具体情况而定，不宜少于 7d。

7.4.4 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。

7.4.5 注浆质量检验可采用下列方法：

1 采用标准贯入试验、静力触探、轻型和重型动力触探或面波法进行加固地层均匀性检测；

2 采用轻型和重型动力触探、钻探取芯并结合面波法、声波测试检验其注浆效果；

3 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；

4 钻取芯样观察注浆体的胶结情况；

5 地基加固前后沉降观测。

7.4.6 注浆加固后地基的承载力应采用静载荷试验进行检验。

7.4.7 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。

7.4.8 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。

## 8 既有建筑地基加固

### 8.1 一般规定

8.1.1 实施既有建筑地基基础加固前,应对现状进行调查,其内容包括:

- 1 查阅原有岩土工程勘察报告,根据情况进行必要的补充勘察。
- 2 复核原有建筑结构设计图纸。
- 3 检查施工隐蔽记录和竣工技术资料。
- 4 收集沉降与裂缝实测资料。
- 5 查明既有建筑生产、使用情况,以及周围环境和地下管线情况。

8.1.2 确定地基基础加固施工方案时,应分析评价施工工艺和方法对既有建筑的影响,制定必要的保护或加强措施确保安全。

8.1.3 地基基础加固施工过程中,应对既有建筑进行必要的变形、应力监测。当出现异常情况时应及时调整方案。

8.1.4 对地基加固后的既有建筑应进行变形观测,直至变形稳定。

8.1.5 对既有建筑地基基础加固采取的施工方法,应保证新、旧基础可靠连接,导坑回填应达到设计密实度要求。

8.1.6 当选用钢管桩等进行既有建筑地基基础加固时,应采取有效的防腐或增加钢管腐蚀量壁厚的技术保护措施。

### 8.2 树根桩

8.2.1 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。

### 8.2.2 树根桩加固设计应符合下列规定:

1 树根桩的直径宜为 150mm~400mm,桩长不宜超过 30m,桩的布置可采用直桩型或斜桩网状布置。

2 树根桩的单桩竖向承载力可通过单桩载荷试验确定;当无试验资料时,可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定估算。当采用水泥浆二次注浆工艺时,桩侧阻力可乘 1.2~1.4 的系数。

3 桩身混凝土强度等级不应小于 C20;混凝土细石骨料粒径宜为 10mm~25mm;钢筋笼外径宜小于设计桩径的 40mm~60mm;主筋直径宜为 12mm~18mm;箍筋直径宜为 6mm~8mm,间距宜为 150mm~250mm;主筋不得少于 3 根;桩承受压力作用时,主筋长度不得小于桩长的 2/3;桩承受拉力作用时,桩身应通长配筋;对直径小于 200mm 树根桩,宜注水泥砂浆,砂粒粒径不宜大于 0.5mm。

4 可用钢管代替树根桩中的钢筋笼,并采用压力注浆提高承载力。

5 树根桩设计时,应对既有建筑的基础进行承载力的验算。当基础不满足承载力要求时,应对原基础进行加固或增设新的桩承台。

6 网状结构树根桩设计时,可将桩及周围土体视作整体结构进行整体验算,并应对网状结构中的单根树根桩进行内力分析和计算。

7 网状结构树根桩的整体稳定性计算,可采用假定滑动面不通过网状结构树根桩的加固体进行计算;可按圆弧滑动法考虑树根桩的抗滑力进行计算。

### 8.2.3 树根桩施工,应符合下列规定:

1 桩位允许偏差宜为  $\pm 20\text{mm}$ ;桩身垂直度允许偏差应为  $\pm 1\%$ 。

2 可采用钻机成孔,穿过原基础混凝土。在土层中钻孔时,应采用清水或天然地基泥浆护壁;可在孔口附近下一段套管;作为端承桩使用时,钻孔应全桩长下套管。钻孔到设计标高后,清孔至孔口泛清水为止;当土层中有地下水,且成孔困难时,可采用套管跟进成孔或利用套管替代钢筋笼一次成桩。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 钢筋笼宜整根吊放。当分节吊放时,节间钢筋搭接焊缝采用双面焊时,搭接长度不得小于 5 倍钢筋直径;采用单面焊时,搭接长度不得小于 10 倍钢筋直径。在斜桩中组装钢筋笼时,应采用可靠的支撑和定位方法。注浆管应直插到孔底,需二次注浆的树根桩应插两根注浆管。施工时应缩短吊放和焊接时间。树根桩钢筋笼宜整根吊放。

4 当采用碎石和细石填料时,填料应经清洗,投入量不应小于计算桩孔体积的 90%。填灌时,应同时采用注浆管注水清孔。

5 注浆材料可采用水泥浆、水泥砂浆或细石混凝土,当采用碎石填灌时,注浆应采用水泥浆。

6 当采用一次注浆时,泵的最大工作压力不应低于 1.5 MPa。注浆时,起始注浆压力不应小于 1.0MPa,待浆液经注浆管从孔底压出后,注浆压力可调整为 0.1MPa~0.3MPa,浆液泛出孔口时,应停止注浆。

当采用二次注浆时,泵的最大工作压力不宜低于 4.0MPa,且待第一次注浆的浆液初凝时,方可进行第二次注浆。浆液的初凝时间根据水泥品种和外加剂掺量确定,且宜为 45min~100min。第二次注浆压力宜为 1.0MPa~3.0MPa,二次注浆不宜采用水泥砂浆和细石混凝土。

7 注浆施工时,应采用间隔施工、间歇施工或增加速凝剂掺量等技术措施,防止出现相邻桩冒浆和窜孔现象。

8 树根桩施工,桩身不得出现缩颈和塌孔。在风化或有裂隙发育的岩层中灌注水泥浆时,为避免水泥浆向周围岩体的流

失,应进行桩孔测试和预灌浆。

9 拔管后,应立即在桩顶填充碎石,并在桩顶 1m~2m 范围内补充注浆。

**8.2.4 树根桩质量检验,应符合下列规定:**

1 每 3 根~6 根桩,应留一组试块,并测定试块抗压强度。

2 应采用载荷试验检验树根桩的竖向承载力,有经验时,可采用动测法检验桩身质量。

### 8.3 注浆钢管桩

**8.3.1 注浆钢管桩适用于淤泥质土、黏性土、粉土、砂土和人工填土等地基处理。**

**8.3.2 注浆钢管桩单桩承载力的设计计算,应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定;当采用二次注浆工艺时,桩侧摩阻力特征值取值可乘以 1.3 的系数。**

**8.3.3 钢管桩可采用静压或植入等方法施工。**

**8.3.4 水泥浆的制备应符合下列规定:**

1 水泥浆的配合比应采用经认证的计量装置计量,材料掺量符合设计要求;

2 选用的搅拌机应能够保证搅拌水泥浆的均匀性;在搅拌槽和注浆泵之间应设置存储池,注浆前应进行搅拌以防止浆液离析和凝固。

**8.3.5 水泥浆灌注应符合下列规定:**

1 应缩短桩孔成孔和灌注水泥浆之间的时间间隔;

2 注浆时,应采取措施保证桩长范围内完全灌满水泥浆;

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。

8.3.6 注浆钢管桩钢管的连接应采用套管焊接,焊接强度与质量应满足现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的要求。

## 8.4 锚杆静压桩

8.4.1 锚杆静压桩法适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、人工填土、湿陷性黄土等地基加固。

8.4.2 锚杆静压桩设计,应符合下列规定:

1 锚杆静压桩的单桩竖向承载力可通过单桩载荷试验确定;当无试验资料时,可按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ94 有关规定估算。

2 压桩孔应布置在墙体的内外两侧或柱子四周。设计桩数应由上部结构荷载及单桩竖向承载力计算确定;施工时,压桩力不得大于该加固部分的结构自重荷载。压桩孔可预留,或在扩大基础上由人工或机械开凿,压桩孔的截面形状,可做成上小下大的截头锥形,压桩孔洞口的底板、板面应设保护附加钢筋,其孔口每边不宜小于桩截面边长的 50mm~100mm。

3 应对既有建筑基础重新进行受冲切、受剪及受弯强度验算。如不满足要求,应对基础进行加固补强,或采用新浇筑钢筋混凝土挑梁或抬梁作为压桩承台。

4 桩身制作除应满足现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 的规定外,尚应符合下列规定:

1) 桩身可采用钢筋混凝土桩、钢管桩、预制管桩、型钢等。

2) 钢筋混凝土桩宜采用方形,其边长宜为 200mm~

350mm;钢管桩直径宜为 100mm~600mm,壁厚宜为 5mm~10mm;预制管桩直径宜为 400mm~600mm,壁厚不宜小于 10mm。

- 3) 每段桩节长度,应根据施工净空高度及机具条件确定,每段桩节长度宜为 1.0m~3.0m;
  - 4) 钢筋混凝土桩的主筋配置应按计算确定,且应满足最小配筋率要求。当方桩截面边长为 200mm 时,配筋不宜少于 4 $\Phi$ 10;当边长为 250mm 时,配筋不宜少于 4 $\Phi$ 12;当边长为 300mm 时,配筋不宜少于 4 $\Phi$ 14;当边长为 350mm 时,配筋不宜少于 4 $\Phi$ 16;抗拔桩主筋由计算确定。
  - 5) 钢筋宜选用 HRB400 级以上,桩身混凝土强度等级不应低于 C30。
  - 6) 当单桩承载力设计值大于 1500kN 时,宜选用直径不小于  $\Phi$ 400mm 的钢管桩。
  - 7) 当桩身承受拉应力时,桩节的连接应采用焊接接头;其它情况下,桩节的连接可采用硫磺胶泥或其它方式连接。当采用硫磺胶泥接头连接时,桩节两端连接处,应设置焊接钢筋网片,一端应预埋插筋,另一端应预留插筋孔和吊装孔;当采用焊接接头时,桩节的两端均应设置预埋连接件。
- 5 原基础承台除应满足承载力要求外,尚应符合下列规定:
- 1) 承台周边至边桩的净距不宜小于 300mm;
  - 2) 承台厚度不宜小于 400mm;
  - 3) 桩顶嵌入承台内长度应为 50mm~100mm;当桩承受拉力或有特殊要求时,应在桩顶四角增设锚固筋,锚固筋伸入承台内的锚固长度,应满足钢筋锚固要求;
  - 4) 压桩孔内应采用混凝土强度等级为 C30 或不低于基础强度等级的微膨胀早强混凝土浇筑密实;

5) 当原基础厚度小于 350mm 时,压桩孔应采用 2Φ16 钢筋交叉焊接于锚杆上,并应在浇筑压桩孔混凝土时,在桩孔顶面以上浇筑桩帽,厚度不得小于 150mm。

6 锚杆应根据压桩力大小通过计算确定。锚杆可采用带螺纹锚杆、端头带镦粗锚杆或带爪肢锚杆,并应符合下列规定:

- 1) 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;
- 2) 锚杆螺栓的锚固深度可采用 12 倍~15 倍螺栓直径,且不应小于 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;
- 3) 锚杆螺栓在锚杆孔内的胶粘剂可采用植筋胶、环氧砂浆或硫磺胶泥等;
- 4) 锚杆与压桩孔、周围结构及承台边缘的距离不应小于 200mm。

8.4.3 锚杆静压桩施工应符合下列规定:

1 锚杆静压桩施工前,应做好下列准备工作:

- 1) 清理压桩孔和锚杆孔施工工作面;
- 2) 制作锚杆螺栓和桩节;
- 3) 开凿压桩孔,孔壁凿毛;将原承台钢筋切断后弯起,待压桩后再焊接;
- 4) 开凿锚杆孔,应确保锚杆孔内清洁干燥后再埋设锚杆,并以胶粘剂加以封固。

2 压桩施工应符合下列规定:

- 1) 压桩架应保持竖直,锚固螺栓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。桩位偏差不得大于 20mm,桩节垂直度偏差不得大于 1.0% 的桩节长;钢

管桩平整度偏差不得大于 2mm, 接桩处的坡口应为 45°, 焊缝应饱满、无气孔、无杂质, 焊缝高度应为  $h - t + 1$  (mm,  $t$  为壁厚);

- 3) 桩应一次连续压到设计标高。当必须中途停压时, 桩端应停留在软土层中, 且停压的间隔时间不宜超过 24h;
- 4) 压桩施工宜采用先中间后两端, 间隔跳压的方法施工, 且应对称进行。不应数台压桩机在一个独立基础上同时加压施工;
- 5) 焊接接桩前应对准上、下节桩的垂直轴线, 清除焊面铁锈后进行满焊;
- 6) 采用硫磺胶泥接桩时, 其操作施工应按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的规定执行;
- 7) 可根据静力触探资料, 预估最大压桩力选择压桩设备。最大压桩力  $P_{p(z)}$  和设计最终压桩力  $P_p$ , 可分别按式(8.4.3-1)和式(8.4.3-2)计算:

$$P_{p(z)} = K_s \cdot P_{s(z)} \quad (8.4.3-1)$$

$$P_p = K_p \cdot R_d \quad (8.4.3-2)$$

式中:  $P_{p(z)}$  桩入土深度为  $z$  时的最大压桩力(kN);

$K_s$  换算系数( $m^2$ ), 可由试验确定;

$P_{s(z)}$  桩入土深度为  $z$  时的最大比贯入阻力(kPa);

$P_p$  设计最终压桩力(kN);

$K_p$  压桩力系数, 可由试验或经验确定, 在黏性土中, 当桩长小于 20m 时, 可取不小于 1.5; 在填土中可取不小于 2.0;

$R_d$  单桩竖向承载力特征值(kN)。

- 8) 桩尖应达到设计深度, 且压桩力不小于设计单桩承载力 1.5 倍时的持续时间不少于 5min 时, 可终止压桩;

9) 封桩前,应凿毛和刷洗干净桩顶桩侧表面,并涂混凝土界面剂,压桩孔内封桩应采用 C30 或 C35 微膨胀混凝土,封桩可采用不施加预应力的方法或施加预应力的方法。

8.4.4 锚杆静压桩质量检验,应符合下列规定:

- 1 最终压桩力与桩压入深度,应符合设计要求。
- 2 桩帽梁、交叉钢筋及焊接质量,应符合设计要求。
- 3 桩位允许偏差应为 $\pm 20\text{mm}$ 。
- 4 桩节垂直度允许偏差不应大于桩节长度的 1.0%。
- 5 钢管桩平整度允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ ,接桩处的坡口应为 $45^\circ$ ,接桩处焊缝应饱满、无气孔、无杂质,焊缝高度应为 $h - t + 1$  (mm,  $t$  为壁厚)。
- 6 桩身试块强度和封桩混凝土试块强度,应符合设计要求。

## 9 地基变形控制措施

### 9.1 一般规定

9.1.1 当经处理的地基土作为基础持力层时,建(构)筑物应按地基变形设计。地基变形设计应考虑建筑物场地地质条件、建筑荷载、基础埋深、后期回填等因素。

9.1.2 建(构)筑物设计应采取建筑措施、结构措施及施工措施,预防和减少建筑物的地基变形。

9.1.3 相邻建筑之间的间隔距离较小时,应考虑新建建筑物产生的附加应力对相邻建筑的不利影响,并采取可靠措施,保证其安全和正常使用。

9.1.4 位于土质边坡坡顶的建(构)筑物基础,其埋深和基础外边缘到坡顶边缘的水平距离除应按现行有关标准的要求进行稳定性验算外,还应验算地基的变形。

### 9.2 建筑措施

9.2.1 在满足使用和其它要求的前提下,建(构)筑物的体型应力求简单。

9.2.2 建(构)筑物的下列部位宜设置沉降缝:

- 1 地基土的压缩性或者填土厚度有显著差异处;
- 2 平面形状复杂的建筑物转折部位;
- 3 建筑物高度或荷载差异较大处;
- 4 建筑结构或基础类型不同处;
- 5 长高比过大的砌体承重结构或钢筋混凝土框架结构的适当部位;

- 6 下卧基岩的驼峰顶部；
- 7 分期建造房屋的交接处。

**9.2.3** 建(构)筑物可根据预估的不均匀沉降量,适当调整各组成部分的高程:

- 1 室内地坪和地下设施的高程,应根据预估差异沉降量予以提高。建(构)筑物各部分或设备之间有联系时,可将沉降量较大者高程予以提高。

- 2 建(构)筑物与设备之间应根据预估差异沉降量留有足够净空。建(构)筑物有管道穿过时,应根据预估差异沉降量预留孔洞或采取柔性管道接头。

### 9.3 结构措施

**9.3.1** 预防和减少建(构)筑物的地基变形,宜采取以下结构措施:

- 1 加强条形基础刚度或采用十字交叉条基、筏板等刚度较大的基础形式;

- 2 采用加筋垫层以调节基础变形;

- 3 选用轻质结构,减轻墙体自重,设置地下室、半地下室或架空层,调整基础埋深及断面尺寸;

- 4 加强上部结构的刚度,利用地基基础与上部结构的共同作用来抵抗、调整地基的不均匀沉降。

**9.3.2** 同一结构单元宜采用同一类型的基础,并应设置在同一持力层上,在同一标高上。

**9.3.3** 在边坡坡顶附近新建重要建(构)筑物时,边坡支护结构和建筑物基础设计应符合下列规定:

- 1 新建建筑物的基础设计应满足《建筑工程边坡技术规范》GB50330 的规定;

- 2 应避免新建高、重建(构)筑物产生的垂直荷载直接作用

在边坡潜在塌滑体上；

3 应采取桩基础、加深基础、增设地下室或降低边坡高度等措施，将建筑物的荷载传至边坡潜在破裂面以下足够深度的稳定岩土层内；

4 当新建建筑物的部分荷载作用于现有的边坡支护结构上而使后者的安全度和耐久性不满足要求时，尚应对现有支护结构进行加固处理，保证建筑物正常使用。

## 9.4 施工措施

9.4.1 相邻建(构)筑物之间轻(低)重(高)悬殊时，施工顺序宜按照先重后轻的程序进行，即先盖高层、荷载重部分，后盖低层、荷载轻部分。

9.4.2 在已建成的轻型建(构)筑物周围，不宜堆放大量的建筑材料或土方等重物，以免地面堆载使建筑物产生附加沉降。

9.4.3 基槽开挖施工时，应避免扰动地基土的结构。

9.4.4 应避免建(构)筑物基础施工完成后的不均匀回填或堆载。不能避免的，应采取措施减少后期回填对其的不利影响。

9.4.5 在土质边坡坡顶附近新建重要建(构)筑物时，应首先施工建筑边坡，再施工建(构)筑物。



## 10 监 测

**10.1** 地基处理工程应进行施工全过程的监测。监测机构应结合设计要求制定监测方案,并经设计单位、监理单位确认。监测结果应作为工序、分项工程、分部工程质量评定和房屋竣工验收依据。

**10.2** 强夯施工应进行夯击次数、夯沉量、隆起量、孔隙水压力等项目的监测;强夯置换施工尚应进行置换深度的监测。

**10.3** 当夯实、挤密、旋喷桩、水泥粉煤灰碎石桩、注浆等方法的施工可能对周边环境及建筑物产生不良影响时,应对施工过程的振动、噪声、孔隙水压力、地下管线和建筑物变形进行监测。

**10.4** 大面积填土等地基处理工程,应对地面变形进行长期监测;施工过程中还应对土体位移和孔隙水压力等进行监测。

**10.5** 地基处理工程施工对周边环境有影响时,应监测邻近建(构)筑物、邻近地下管线、邻近边坡以及周围地表的变形。

**10.6** 置于处理地基上的建(构)筑物应在施工期间及使用期间应进行沉降观测,直至沉降达到稳定为止。

## 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  $1.0\text{m}^2$ ,对强夯和强夯置换地基不宜小于  $2.0\text{m}^2$ 。

**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  $20\text{mm}$ 。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  $2\text{m}$ 。

**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  $10\text{min}$ 、 $10\text{min}$ 、 $10\text{min}$ 、 $15\text{min}$ 、 $15\text{min}$ ,以后为每隔  $0.5\text{h}$  测读一次沉降量,当在连续  $2\text{h}$  内,每小时的沉降量小于  $0.1\text{mm}$  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, $24\text{h}$  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,面积为一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 100mm~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，并应符合下列规定：

- 1) 对由强夯置换等形成的散体材料桩复合地基可取  $s/b$  或  $s/d$  等于 0.015~0.020 所对应的压力；
- 2) 对由旋喷桩等形成的柔性桩复合地基，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) 对由低强度桩、钢筋混凝土桩等形成的刚性桩复合地基，可取  $s/b$  或  $s/d$  等于 0.010~0.015 所对应的压力；
- 4) 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；
- 5) 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、基础形式综合评价,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最低值。

## 附录 C 复合地基增强体单桩静载荷试验要点

**C.0.1** 本试验要点适用于复合地基增强体单桩竖向抗压静载荷试验。

**C.0.2** 试验应采用慢速维持荷载法。

**C.0.3** 试验提供的反力装置可采用锚桩法或堆载法。当采用堆载法加载时应符合下列规定：

1 堆载支点施加于地基的压应力不宜超过地基承载力特征值；

2 堆载的支墩位置以不对试桩和基准桩的测试产生较大影响确定，无法避开时应采取有效措施；

3 堆载量大时，可利用工程桩作为堆载支点；

4 试验反力装置的承重能力应满足试验加载要求。

**C.0.4** 堆载支点以及试桩、锚桩、基准桩之间的中心距离应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的规定。

**C.0.5** 试压前应对桩头进行加固处理，水泥粉煤灰碎石桩等强度高的桩，桩顶宜设置带水平钢筋网片的混凝土桩帽或采用钢护筒桩帽，其混凝土宜提高强度等级和采用早强剂。桩帽高度不宜小于 1 倍桩的直径。

**C.0.6** 桩帽下复合地基增强体单桩的桩顶标高及地基土标高应与设计标高一致，加固桩头前应凿成平面。

**C.0.7** 百分表架设位置宜在桩顶标高位置。

**C.0.8** 开始试验的时间、加载分级、测读沉降量的时间、稳定标准及卸载观测等应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的有关规定。

**C.0.9** 当出现下列条件之一时可终止加载：

1 当荷载沉降(Q-s)曲线上有可判定极限承载力的陡降段，

且桩顶总沉降量超过 40mm;

2  $\frac{\Delta s_{n+1}}{\Delta s_n} > 2$ , 且经 24h 沉降尚未稳定;

3 桩身破坏, 桩顶变形急剧增大;

4 当桩长超过 25m, Q-s 曲线呈缓变形时, 桩顶总沉降量大于 60mm~80mm;

5 验收检验时, 最大加载量不应小于设计单桩承载力特征值的 2 倍;

注:  $\Delta s_n$ —第 n 级荷载的沉降增量;  $\Delta s_{n+1}$ —第 n+1 级荷载的沉降增量。

**C. 0.10** 单桩竖向抗压极限承载力的确定应符合下列规定:

1 作荷载-沉降(Q-s)曲线和其它辅助分析所需的曲线;

2 曲线陡降段明显时, 取相应于陡降段起点的荷载值;

3 当出现本标准第 C. 0.9 条第 2 款的情况时, 取前一级荷载值;

4 Q-s 曲线呈缓变型时, 取桩顶总沉降量 s 为 40mm 所对应的荷载值;

5 按上述方法判断有困难时, 可结合其它辅助分析方法综合判定;

6 参加统计的试桩, 当满足其极差不超过平均值的 30% 时, 设计可取其平均值为单桩极限承载力; 极差超过平均值的 30% 时, 应分析离差过大的原因, 结合工程具体情况确定单桩极限承载力; 需要时应增加试桩数量。工程验收时应视建筑物结构、基础形式综合评价, 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, 应取最低值。

**C. 0.11** 将单桩极限承载力除以安全系数 2, 为单桩承载力特征值。



## 本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的:采用“可”。

2 条文中指明应按其它有关标准、规范执行的写法为:“应符合……的规定(或要求)”或“应按……执行”。

## 引用标准目录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 3 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 4 《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025
- 5 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 6 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 7 《土工合成材料应用技术规范》GB 50290
- 8 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 9 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 10 《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123

重庆市工程建设标准

建筑地基处理技术标准

DBJ50/T-229-2023

条文说明

2023 重 庆

重庆工程建设

## 目次

1	总则	77
2	术语和符号	78
3	基本规定	79
4	换填垫层法	82
4.1	一般规定	82
4.2	设计	83
4.3	施工	89
4.4	质量检验	91
5	压实地基和夯实地基	93
5.1	一般规定	93
5.2	压实地基	93
5.3	夯实地基	98
6	复合地基	113
6.1	一般规定	113
6.2	散体桩复合地基	115
6.3	有粘结强度桩复合地基	118
7	静压注浆法	129
7.1	一般规定	129
7.2	设计	130
7.3	施工	131
7.4	质量检验	133
8	既有建筑地基加固	134
8.1	一般规定	134

8.2	树根桩	135
8.3	注浆钢管桩	136
8.4	锚杆静压桩	137
9	地基变形控制措施	141
9.1	一般规定	141
9.2	建筑措施	141
9.3	结构措施	142
9.4	施工措施	143
10	监测	144

# 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地基上进行建设,为此,就需要对此类地基进行处理。

地基处理的设计、施工和质量检验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** 本标准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、交通和水利工程的建(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、节约资源和保护环境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** 本标准是以中华人民共和国行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ-2012 为基本依据,并针对重庆高填方碎石土地基的特点,总结多年来建筑地基处理工程设计、施工和检测经验,以及科研成果进行编制的。

本标准中处理地基质量检验需执行重庆市工程建设规范《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。

## 2 术语和符号

在编写本章术语时,主要参考了《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 等国家、地方标准中的相关术语,个别术语作了调整。

本标准的术语是从建筑地基处理技术的角度赋予其含义的,但含义不一定是术语的定义。同时还给出了相应的推荐性英文术语,该英文术语不一定是国际上通用的标准术语,仅供参考。



### 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，熟悉场地岩土工程勘察资料，如勘察资料不全，还应针对根据可能采用的地基处理方法、基础形式进行必要的补充勘察。

2 地基处理的设计，除应满足工程对地基的强度、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邻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，应先调查邻近建筑、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，又能取得满意效果。

**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、土岩组合地基、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,从中选择一种最优的地基处理方案。

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,为大范围施工积累经验创造有利条件,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岩土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、土层厚度、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

力修正系数比现行标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 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、强夯地基和其它方法处理的地基,依据《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》GB50007 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》GB50007 的有关规定。

**3.0.9** 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验算。

**3.0.10** 由于本标准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,若采用本标准以外的其它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,同时满足相关标准和要求。

## 4 换填垫层法

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 换填垫层法主要用于处理浅层软弱地基,将基础底面下处理范围内的软弱土层部分或全部挖除,然后分层换填强度大、性能稳定、无侵蚀性材料,应压实至设计要求的密实度为止。当建筑物的楼层数不多,荷载不大时,采用换填垫层是一种简单、经济、适用的方法。

所谓软弱土层主要指由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。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** 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。当软弱土层厚度较大时,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

它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。

**4.1.3** 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,对换填土的分层厚度、压实效果及施工质量控制标准等均应通过试验确定。

**4.1.4** 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。

## 4.2 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  $\text{CaO}$ 、 $\text{SO}_3$  等成分,具有一定的活性,当与水作用时,与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,因而粉煤灰亦有时有弱放射性。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 厚的粘性土,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,碎石应为级配碎石,且宜进行适宜性验证。

4 矿渣垫层使用的矿渣是高炉冶炼生铁过程中所产生的固体废渣经自然冷却而形成,矿渣的稳定性是其是否适用于作换填垫层材料的最主要性能指标,试验结果证明,当矿渣中  $\text{CaO}$  的含量小于 45% 及  $\text{FeS}$  与  $\text{MnS}$  的含量约为 1% 时,矿渣不会产生硅酸盐分解和铁锰分解,排渣时不加石灰水,矿渣也就不会产生石灰分解,则该类矿渣性能稳定,可用于换填。

垫层设计、施工前应对所选用的矿渣进行试验,作为建筑物垫层的矿渣应将《建筑材料放射性核素限量》GB6566 等有关规定作为安全使用的标准,确认性能稳定并满足腐蚀性和放射性等安

全性的要求。对易受酸、碱影响的基础或地下管网不得采用矿渣垫层。大量填筑矿渣时,应经场地地下水及土壤环境的不良影响评价合格后,方可使用。在有充分依据或成功经验时,可采用质地坚硬、性能稳定、透水性强、无腐蚀性和无放射性危害的其他工业废渣材料,但需要经过现场试验证明其经济技术效果良好后方可使用。

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：1) 下部未处理的土层应满足承载力设计要求；2) 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；3) 符合其他工程目的需要，如隔水性、排水性等；4) 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。本标准参照《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， $\theta$  宜取  $26^\circ$ ；设置两层及以上土工筋带时， $\theta$  宜取  $35^\circ$ 。

**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。

垫层底宽确定后,根据开挖基坑要求的坡度延伸至地面,即可得到垫层的设计断面,同时垫层顶面每边超出基础底边线应大于  $z \tan \theta$ ,且不得小于 300mm,如图 1 所示。整片垫层底面的宽度可根据施工的要求适当加宽。

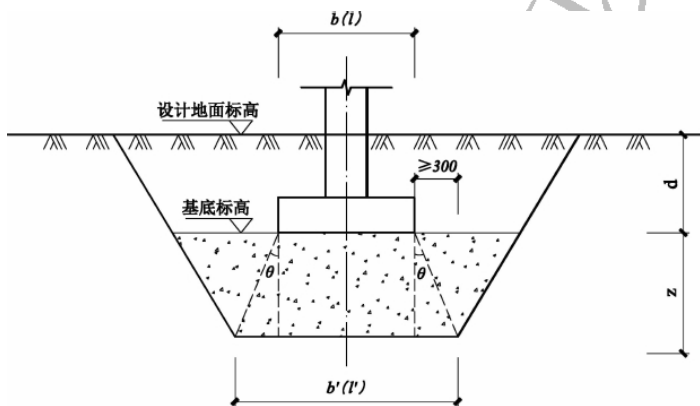


图 1 垫层宽度取值示意

4.2.4 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,而难于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。

4.2.5 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细则》JTG/TF20-2015 中对高速公路和一级公路中底基层的要求,即水泥稳定碎石压实系数不小于 0.97。

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。同时在计算地基沉降时应考虑临

近基础对软弱下卧层顶面应力叠加的影响。

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天然地基的性状,增大压力扩散角,降低下卧土层的压力,约束地基侧向变形,调整地基不均匀变形,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。

**4.2.8** 为了提高地基土的抗剪强度,有效约束地基侧向变形,土工合成材料应具有抗拉强度高、受拉伸长率小、耐久性好、表面摩阻力大等特性。对于加筋垫层中常用的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%;土工格栅与土接触的界面阻力系数不宜小于 0.5。

**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。对于土工加筋带端部可采用图 2 所示的胞腔式固定方法。

铺设土工筋材时,土层表面应均匀平整,以防筋材被刺穿顶破,筋材两端应固定或回折锚固。土工复合筋材铺设时应先铺设纵向,再铺设横向,应平顺、拉紧、铺平、避免折扭。土工胞腔袋应

满足《塑料编织袋通用技术要求》GB/T8946 的相关要求:抗拉强度  $12\sim 15\text{kN/m}^2$ ,质量  $90\sim 95\text{g/m}^2$ ,渗透系数大于  $5\times 10^{-3}\text{cm/s}$ ,等效孔径大于  $0.05\text{cm}$ ,袋内填充材料与垫层材料相同,密度也一致。

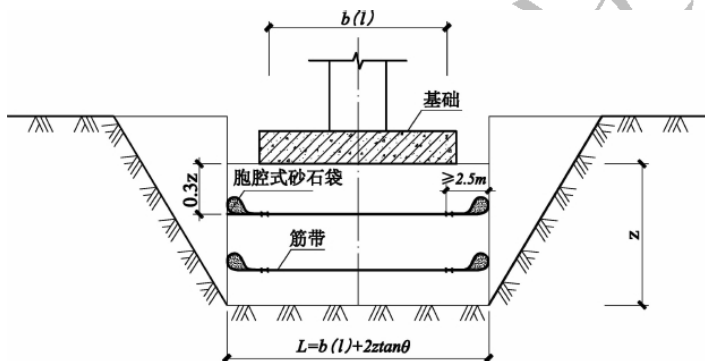


图2 土工复合筋材端部处理大样

4.2.10 土岩组合地基是山区常见的地基形式之一,其主要特点是不均匀变形。当地基受力范围内存在刚性下卧层时,会使上覆土体出现应力集中现象,从而引起土层应力变形增大。

重庆地区的基岩面往往起伏较大,崩坡积层、残坡积层、碎屑堆积层等土质地基中常含有大量的孤石,岩溶地区石芽密布,这些土岩组合地基,通常须将基础下基岩(孤石)挖除一定厚度,垫以炉渣或土夹石等材料,形成“褥垫”,以调节地基的不均匀沉降。

### 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 换填材料应分层铺筑,逐层压实。垫层的分铺铺设厚度

及压实遍数与填土的含水量、碾压机械及机械行走速度等各种因素有关。现场应以压实系数与施工含水量进行控制。

为获得最佳密实效果,宜采用垫层材料的最优含水量 $\omega_{op}$ 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 $\omega_{op} \pm 4\%$ 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,即用平板式振动器时可取 $15\% \sim 20\%$ ;当用平碾或蛙式夯时可取 $8\% \sim 12\%$ ;当用插入式振动器时宜为饱和。对于碎石及卵石应充分浇水湿透后旁压。

**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、埋藏很深或处于地基压缩层范围以外,且四周土层稳定时,对该不均匀点可不作处理。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  $200\text{cm}^3$  时,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,其具体要求必须符合重庆市工程建设标准《建筑地基基础检测技术规范》DBJ 50/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** 竣工验收采用静载荷试验检验垫层承载力时,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  $1.0\text{m}^2$ 。垫层的竣工验收质量检验具体要求应符合重庆市工程建设标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》DBJ 50-125 相关规定。

**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 压实地基和夯实地基

### 5.1 一般规定

**5.1.1-5.1.2** 本条对压实地基和夯实地基的适用范围做出规定,当涉及浅层软弱地基以及局部不均匀地基换填处理时应按照本标准第4章的有关规定执行。

### 5.2 压实地基

**5.2.1** 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。压实填土需通过设计,按设计要求进行分层压实,对其填料性质和施工质量有严格控制,其承载力和变形需满足地基设计要求。

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。压实设备选定后,应在现场通过试验确定分层填料的虚铺厚度和分层压实的遍数,取得必要的施工参数后,再进行压实填土的施工,以确保压实填土的施工质量。压实设备施工对下卧层的饱和土体易产生扰动时可在填土底部设置碎石盲沟。

压实机械包括静力碾压,冲击碾压,振动碾压等。静力碾压压实机械是利用碾轮的重力作用;振动式压路机是通过振动作用使被压土层产生永久变形而密实,但不适用于下卧层是含水量较大淤泥或其它软弱土层,以免对其产生扰动。碾压和冲击作用的冲击式压实机其碾轮分为:光碾、槽碾、羊足碾和轮胎碾等。光碾压路机压实的表面平整光滑,使用最广,适用于各种路面、垫层、

飞机场道面和广场等工程的压实。槽碾、羊足碾单位压力较大,压实层厚,适用于路基、堤坝的压实。轮胎式压路机轮胎气压可调节,可增减压重,单位压力可变,压实过程有揉搓作用,使压实土层均匀密实,且不伤路面,适用于道路、广场等垫层的压实。在实际施工中,尤其是压实填土作为建筑地基持力层时,应根据填土特性、工程类别等条件选用合适的碾压方法,并通过现场试验确定地基处理效果。

### 5.2.2 本条为压实填土地基的设计要求。

2 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。

工业废渣粘结力小,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 0.3m~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。

对于一般的黏性土,可用 8t~10t 的平碾或 12t 的羊足碾,每层铺土厚度 300mm 左右,碾压 8 遍~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。

采用粉质黏土和黏粒含量  $\rho_c > 10\%$  的粉土作填料时,填料的含水量至关重要。在一定的压实功下,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;填料的含水量太小,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。

粗颗粒的砂、石等材料具有透水性,而湿陷性黄土和膨胀土



遇水反应敏感,前者引起湿陷,后者引起膨胀,二者对建筑物都会产生有害变形。为此,在湿陷性黄土场地和膨胀土场地进行压实填土的施工,不得使用粗颗粒的透水性材料作填料。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。

**3** 冲击碾压法可用于地基冲击碾压、土石混填或填石路基分层碾压、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3.0m~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,本标准参照《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79)给出了填土每层铺填厚度及压实遍数的参考数据。

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。

填土粗骨料含量高时,如果其不均匀系数小(例如小于5)时,压实效果较差,应选用压实功大的压实设备。

**4** 有些中小型工程或偏远地区,由于缺乏击实试验设备,或由于工期和其它原因,确无条件进行击实试验,在这种情况下,允许按本条公式(5.2.2-1)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 在斜坡上进行压实填土,应考虑压实填土沿斜坡滑动的可能,并应根据天然地面的实际坡度验算其稳定性。当天然地面坡度大于20%时,填料前,宜将斜坡的坡面挖出若干台阶,使压实填土与斜坡坡面紧密接触,形成整体,防止压实填土向下滑动。此外,还应将斜坡顶面以上的雨水有组织地引向远处,防止雨水流向压实的填土内。

6 压实填土边坡设计应控制坡高和坡率,而边坡的坡比与其高度密切相关,如土性指标相同,边坡越高,坡角越大,坡体的滑动势就越大。为了提高其稳定性,通常将坡比放缓,但坡比太缓,压实的土方量则大,不一定经济合理。因此,坡比不宜太缓,也不宜太陡,坡高和坡比应有一合适的关系。本条表5.2.2-3的规定吸收了铁路、公路等部门的有关资料和经验,是比较成熟的。

压实填土由于其填料性质及其厚度不同,它们的边坡坡率允许值也有不同。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。

7 冲击碾压技术源于20世纪中期,我国于1995年由南非引入。目前我国国产的冲击压路机数量已达数百台。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的密实度不断增加,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。

确定压实填土处理范围,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。当基础荷载较大,或对沉降要求较高,或侧边未经处理土的承载力较差时,处理范围应适当加大。

8 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它原位测试进行评价。

9 压实填土的变形包括压实填土层变形和下卧土层变形。

### 5.2.3 本条为压实填土的施工要求。

1 大面积压实填土的施工,在有条件的场地或工程,应首先考虑采用一次施工,即将基础底面以下和以上的压实填土一次施工完毕后,再开挖基坑及基槽。对无条件一次施工的场地或工程,当基础超出±0.00 标高后,也宜将基础底面以上的压实填土施工完毕,避免在主体工程完工后,再施工基础底面以上的压实填土。

2 在建设期间,压实填土场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。

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,并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。

6 振动监测:当场地周围有对振动敏感的精密仪器、设备、建筑物等或有其它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。

7 压实填土施工结束后,当不能及时施工基础和主体工程时,应采取必要的保护措施,防止压实填土表层直接日晒或受雨水浸泡。

5.2.4 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  $1.0\text{m}$ 。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。

当利用压实填土作为建筑工程的地基持力层时,宜采用荷载试验确定地基承载力,也可通过现场类比试验,确定压实系数与地基荷载试验的关系,以压实系数评定压实填土质量。

### 5.3 夯实地基

5.3.1 本条为夯实地基处理的基本规定。

强夯法是反复将夯锤(质量一般为  $10\text{t}\sim 60\text{t}$ )提到一定高度使其自由落下(落距一般为  $10\text{m}\sim 40\text{m}$ ),给地基以冲击和振动能

量,从而提高地基的承载力并降低其压缩性,改善地基性能。强夯置换法是采用在夯坑内回填块石、碎石等粗颗粒材料,用夯锤连续夯击形成强夯置换墩。

由于强夯法具有加固效果显著、适用土类广、设备简单、施工方便、节省劳力、施工期短、节约材料、施工文明和施工费用低等优点,我国自 20 世纪 70 年代引进此法后迅速在全国推广应用。大量工程实例证明,强夯法用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基,一般均能取得较好的效果。对于软土地基,如果未采取辅助措施,一般来说处理效果不好。强夯置换法是 20 世纪 80 年代后期开发的方法,适用于高饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基,一般均能取得较好的效果。对于软土地基,如果未采取辅助措施,一般来说处理效果不好。强夯置换法是 20 世纪 80 年代后期开发的方法,适用于高饱和度的粉土与软塑~流塑的黏性土等地基上对变形控制要求不严的工程。

强夯法已在工程中得到广泛的应用,有关强夯机理的研究也在不断深入,并取得了一批研究成果。目前国内强夯工程应用夯击能已经达到  $18000\text{kN}\cdot\text{m}$ ,在软土地区开发的降水低能级强夯和在湿陷性黄土地区普遍采用的增湿强夯,解决了工程中地基处理问题,同时拓宽了强夯法应用范围,但还没有一套成熟的设计计算方法。因此,规定强夯施工前,应在施工现场有代表性的场地上进行试夯或试验性施工。

强夯置换法具有加固效果显著、施工期短、施工费用低等优点,目前已用于堆场、公路、机场、房屋建筑和油罐等工程,一般效果良好。但个别工程因设计、施工不当,加固后出现下沉较大或墩体与墩间土下沉不等的情况。因此,特别强调采用强夯置换法前,必须通过现场试验确定其适用性和处理效果,否则不得采用。

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處理深度,100kPa~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左右,压缩模量可达12MPa~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试验确定。

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前在3000kN·m~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1.0m~2.5m之间。当采用柱锤和异型夯锤时,置换墩体深度可达10m。

大面积回填土地基上桩基施工,存在两个不利因素。1)桩基的负摩阻较大,降低了桩基的承载能力,2)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。

强夯和强夯置换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验证其适用性。

### 5.3.2 强夯地基处理设计应符合下列规定:

1 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。

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

$$\text{有效加固深度} = \sqrt{MH}$$

式中： $M$  夯锤质量(t)；  
 $H$  落距(m)。

国内外大量试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，其影响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，除了夯锤重和落距以外，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，本标准不采用修正后的梅那公式，继续保持列表形式。表 5.3.2-1 中将土类分成碎石土、砂土等粗颗粒土和粉土、黏性土、湿陷性黄土等细颗粒土两类，便于使用。上版标准单击夯击能范围为  $1000\text{kN}\cdot\text{m}$ ~ $12000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，近年来，沿海和内陆高填土场地地基采用  $12000\text{kN}\cdot\text{m}$ ~ $20000\text{kN}\cdot\text{m}$  能级强夯法的工程越来越多，积累了一定实测资料，本次修订，将单击夯击能范围扩展为  $1000\text{kN}\cdot\text{m}$ ~ $25000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，可满足当前绝大多数工程的需要。各能级对应的有效加固深度，是在工程实测资料的基础上，结合工程经验制定。

3 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下,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。

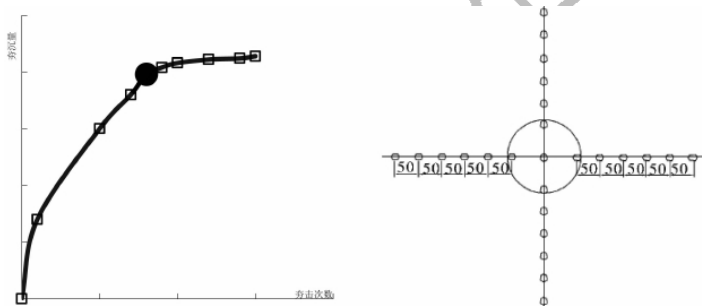


图 3 最佳夯击次数的确定方式

4 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。

5 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 1~3m 时,满夯能级可取  $1000\text{kN}\cdot\text{m}\sim 2000\text{kN}\cdot\text{m}$ ; 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  $4000\text{kN}\cdot\text{m}\sim$



6000kN·m 时,可取 1500kN·m,当主夯能级小于或等于 3000kN·m 时可取 1000kN·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。

特别注意的是满夯也会不同程度的产生扰动层,表 1 表示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。

7 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  $1/2-2/3$ ,并不宜小于 3m。

8 根据上述初步确定的强夯参数,提出强夯试验方案,进行现场试夯,并通过测试,与夯前测试数据进行对比,检验强夯效果,并确定工程采用的各项强夯参数,若不符合使用要求,则应改变设计参数。在进行试夯时也可采用不同设计参数的方案进行比较,择优选用。

9 在确定工程采用的各项强夯参数后,还应根据试夯所测得的夯沉量、夯坑回填方式、夯前夯后场地标高变化,结合基础埋深,确定起夯标高。夯前场地标高宜高出基础底标高 0.3m~1.0m。

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,1)保证基础一定的埋置深度;2)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加固工程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试验确定,在初设过程中可按表 1 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 1 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
8000-12000	0.9~1.2	
12000-16000	1.2~1.5	
16000-20000	1.5~1.8	

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试验验证该层的加固程度和深度。

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 2 进行估算:

表 2 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、粘性土等细颗粒土
1000-3000	0.4~0.7	0.4~0.5
3000-6000	0.5~0.9	0.5~0.7
6000-8000	0.6~1.0	0.7~0.9
8000-12000	0.8~1.5	
12000-16000	1.0~1.8	
16000-20000	1.3~2.0	

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-基础高度和埋深+夯沉量+扰动层厚度。

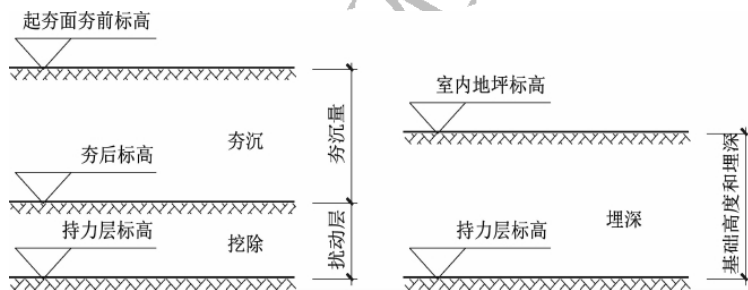


图 4 起夯面的确定方法

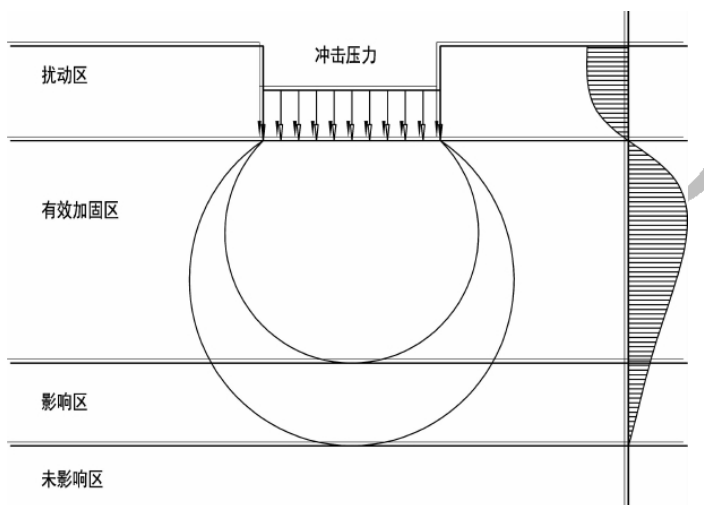


图 5 强夯夯后地基土分层

### 5.3.3 本条为强夯处理地基的施工要求。

强夯施工程序：一般可以分为四个阶段，1) 施工前结合岩土工程勘察报告对工程采用强夯技术的可行性论证；2) 试验性施工，我们俗称“强夯试夯”阶段，获取保证基础安全的强夯施工参数；3) 强夯施工阶段，按照试夯成果编制施工方案并按其施工；4) 检验、补夯与其它技术处理、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。

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 15t~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,圆形锤或多变形锤不存在此缺点,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  $25\text{kPa}\sim 80\text{kPa}$ ,锤底静接地压力值应与夯击能相匹配,单击夯击能高时取大值,单击夯击能低时取小值。对粗颗粒土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  $300\text{mm}\sim 400\text{mm}$ 。

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。

#### 5.3.4 强夯置换处理地基设计应符合下列规定:

1 将上版标准规定的置换深度不宜超过  $10\text{m}$ ,修改为不宜超过  $12\text{m}$ ,是根据置换夯击能的提高,在工程实测资料的基础上确定的。

对淤泥、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,如果墩底仍在软弱土中,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。

强夯置换的加固原理为下列三者之和:

强夯置换—强夯(加密)+碎石墩+特大直径排水井

因此,墩间和墩下的粉土或黏性土通过排水与加密,其密度及状态可以改善。由此可知,强夯置换的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,因资料有限目前尚难确定,应通过现场试验逐步累积资料。

2 单击夯击能应根据现场试验决定,但在可行性研究或初步设计时可按下列公式估计。

较适宜的夯击能  $\bar{E} = 940(H_1 - 2.1)$

夯击能最低值  $E_w = 940(H_1 - 3.3)$

初选夯击能宜在  $\bar{E}$  与  $E_w$  之间选取,高于  $\bar{E}$  则可能浪费,低于  $E_w$  则可能达不到所需的置换深度,强夯置换宜选取同一夯击能中锤底静压力较高的锤施工。

3 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。

置换材料级配不良或块石过多过大,均易在墩中留下大孔,在后续墩施工或建筑物使用过程中使墩间土挤入孔隙,下沉增加,因此本条强调了级配和大于 300mm 的块石总量不超出填料总重的 30%。

4 累计夯沉量指单个夯点在每一击下夯沉量的总和,累计夯沉量为设计墩长的 1.5~2 倍以上,主要是保证夯墩的密实度与着底,实际是充盈系数的概念,此处以长度比代替体积比。

9 强夯置换时地面不可避免要抬高,特别在饱和黏性土中,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。

10 规定强夯置换后的地基承载力对粉土中的置换地基按

复合地基考虑,对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,按单墩静荷载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,须等有足够工程经验后再行修正,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,墩间的淤泥等软土性质改善不够,因此不考虑墩间土的承载力较为稳妥。

12 强夯置换处理后的地基情况比较复杂。不考虑墩间土作用地基变形计算时,如果采用的单墩静荷载试验的载荷板尺寸与夯锤直径相同时,其地基的主要变形发生在加固区,下卧土层的变形较小,但墩的长度较小时应计算下卧土层的变形。强夯置换处理地基的建筑物沉降观测资料较少,各地应根据地区经验确定变形计算参数。

5.3.5 本条是强夯置换处理地基的施工要求:

1 强夯置换夯锤可选用圆柱形,锤底静接地压力值可取 $80\text{kPa}\sim 200\text{kPa}$ 。

2 当表土松软时应铺设一层厚为 $1.0\text{m}\sim 2.0\text{m}$ 的砂石施工垫层以利施工机具运转。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。

**5.3.6** 本条是对夯实法施工所用起重设备的要求。国内用于夯实法地基处理施工的起重机械以改装后的履带式起重机为主,施工时一般在臂杆端部设置门字形或三角形支架,提高起重能力和稳定性,降低起落夯锤时机架倾覆的安全事故发生的风险,实践证明,这是一种行之有效的办法。但同时也出现改装后的起重机实际起重量超过设备出厂额定最大起重量的情况,这种情况不利于施工安全,因此,应予以限制。

**5.3.7** 当地表土软弱或地下水位高的情况,宜采用人工降低地下水位,或在表层铺填一定厚度的松散性材料。这样做的目的是在地表形成硬层,确保机械设备通行和施工,又可加大地下水和地表面的距离,防止夯击时夯坑积水。当砂土、湿陷性黄土的含水量低,夯击时,表层松散层较厚,形成的夯坑很浅,以致影响有效加固深度时,可采取表面洒水、钻孔注水等人工增湿措施。对回填地基,当可采用夯实法处理时,如果具备分层回填条件,应该选择采用分层回填方式进行回填,回填厚度尽可能控制在强夯法相应能级所对应的有效加固深度范围之内。

**5.3.9** 对振动有特殊要求的建筑物,或精密仪器设备等,当强夯产生的振动和挤压有可能对其产生有害影响时,应采取隔振或防振措施。施工时,在作业区一定范围设置安全警戒,防止非作业人员、车辆误入作业区而受到伤害。

**5.3.10** 施工过程中应有专人负责监测工作。首先,应检查夯锤质量和落距,因为若夯锤使用过久,往往因底面磨损而使质量减小,落距未达设计要求,也将影响单击夯击能;其次,夯点放线错误情况常有发生,因此,在每遍夯击前,均应对夯点放线进行认真复核;此外,在施工过程中还必须认真检查每个夯点的夯击次数,量测每击的夯沉量,检查每个夯点的夯击起止时间,防止出现少夯或漏夯,对强夯置换尚应检查置换墩长度。



由于强夯施工的特殊性,施工中所采用的各项参数和施工步骤是否符合设计要求,在施工结束后往往很难进行检查,所以要求在施工过程中对各项参数和施工情况进行详细记录。

**5.3.11** 基础施工必须在土层休止期满后才能进行,对黏性土地基和新近人工填土,休止期更显重要。

**5.3.12** 强夯处理后的地基竣工验收时,承载力的检验除了静载试验外,对细颗粒土尚应选择标准贯入试验、静力触探试验等原位检测方法和室内土工试验进行综合检测评价;对粗颗粒土尚应选择标准贯入试验、动力触探试验等原位检测方法进行综合检测评价。

强夯置换处理后的地基竣工验收时,承载力的检验除了单墩静载荷试验或单墩复合地基静载试验外,尚应采用动力触探、钻探检测置换墩的墩长、着底情况、密度随深度的变化情况,达到综合评价目的。对饱和粉土地基,尚应检测墩间土的物理力学指标。

**5.3.13** 本条是夯实地基竣工验收检验的要求。

**2** 夯实地基的质量检验,包括施工过程中的质量监测及夯后地基的质量检验,其中前者尤为重要。所以必须认真检查施工过程中的各项测试数据和施工记录,若不符合设计要求时,应补夯或采取其它有效措施。

**3** 经强夯和强夯置换处理的地基,其强度是随着时间增长而逐步恢复和提高的,因此,竣工验收质量检验应在施工结束间隔一定时间后方能进行。其间隔时间可根据土的性质而定。

**4-5** 夯实地基静载荷试验和其它原位测试、室内土工试验检验点的数量,主要根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定。考虑到场地土的不均匀性和测试方法可能出现的误差,本条规定了最少检验点数。对强夯地基,应考虑夯间土和夯击点土的差异。当需要检验夯实地基的湿陷性时,应采用现场浸水载荷试验。

国内夯实地基采用波速法检测,评价夯后地基土的均匀性,

累积了许多工程资料。作为一种辅助检测评价手段,应进一步总结,与动力触探试验或标准贯入试验、静力触探试验等原位测试结果验证后使用。

重庆地区因大块石较多,夯实处理地基一般采用压实系数或大容重试验、瞬态瑞雷波法或动力触探、平板载荷试验来进行强夯加固效果的检测。

## 6 复合地基

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 复合地基强调由地基土和增强体共同承担荷载,对于地基土为欠固结、人工填土、红黏土等特殊土,必须选用适当的增强体和施工工艺,消除特殊土的不良工程力学性质等,才能形成复合地基。复合地基处理的设计、施工参数有很强的地区性,因此强调在没有地区经验时应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工,并进行必要的测试,以确定设计参数和处理效果。

**6.1.2** 复合地基强调由地基土和增强体共同承担荷载,其验收检验应包括复合地基承载力、增强体施工质量、桩身完整性和强度、单桩承载力、复合地基增强体施工桩位允许偏差和垂直度的要求等。增强体是保证复合地基工作、提高地基承载力、减少变形的必要条件,其施工质量必须得到保证。

**6.1.3** 复合地基承载力的确定方法,应采用复合地基静载荷试验的方法。桩体强度较高的增强体,可以将荷载传递到桩端土层。当桩长较长时,由于静载荷试验的载荷板宽度较小,不能全面反映复合地基的承载特性。因此只是采用单桩复合地基静载荷试验的结果确定复合地基承载力特征值,可能会由于试验的载荷板面积或由于褥垫层厚度对复合地基静载荷试验结果产生影响。对有粘结强度增强体复合地基的增强体进行单桩静载荷试验,保证增强体桩身质量和承载力,是保证复合地基满足建筑物地基承载力要求的必要条件。

复合地基承载力的计算表达式对不同的增强体和地基土情况,可分散体材料桩复合地基和有粘结强度桩复合地基,本条分别给出设计时的估算表达式。对散体材料桩复合地基设计计算

时,桩土应力比应按试验取值或按地区经验取值,但由于地基土的固结条件不同,在长期荷载作用下的桩土应力比与试验条件时的结果有一定差异,设计时应充分考虑。对有粘结强度桩复合地基,增加了增强体单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数,可根据复合地基静载荷试验确定,一般情况下,复合地基设计有褥垫层时,地基土承载力的发挥是比较充分的。

复合地基承载力设计时取得的设计参数可靠性对设计的安全度有很大影响,当有充分试验资料作依据时,可直接按试验的综合分析结果进行设计。对刚度较大的增强体,根据缓降型荷载-沉降曲线确定的复合地基承载力以及增强体单桩承载力特征值的情况下,增强体单桩承载力发挥系数为 0.7~0.9,地基土承载力发挥系数为 1.0~1.1。同时应考虑长期荷载作用的影响,要根据工程的具体情况,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,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。

**6.1.4** 复合地基增强体的强度是保证复合地基工作的必要条件,必须保证其安全度。在有关标准材料的可靠度设计理论上,适当提高了增强体材料强度的设计要求。对具有粘结强度的复合地基增强体应按建筑物基础底面作用在增强体上的压力进行验算,当复合地基承载力验算需要进行基础埋深的深度修正时,增强体桩身强度验算应按基底压力验算。本次修订给出了验算方法。桩端端阻力发挥系数与增强体的荷载传递性质,增强体长度以及桩土相对刚度密切相关。桩长过长影响桩端承载力发挥时应取较低值。

**6.1.5** 复合地基沉降计算目前仍以分层总和法为基础,结合工程经验进行修正,可根据地区土的工程特性、工法试验结果以及工程经验,采用适宜的方法,积累工程经验。

**6.1.6** 由于采用复合地基的建筑物沉降观测资料较少,一直沿用天然地基的沉降计算经验系数。当复合土层压缩模量较低,符合较好,对于承载力提高幅度较大的刚性桩复合地基出现计算值小于实测值的现象。

## 6.2 散体桩复合地基

**6.2.1** 散体桩对不同性质的土层分别具有置换、挤密和动密实等作用。对黏性土主要起到置换作用,对砂土和粉土除置换作用外还有振实挤密作用。在以上各种土中都要孔内加填碎石回填料,制成密实的散体桩,而桩间土受到不同程度的挤密和振密。桩和桩间土构成复合地基,使地基承载力提高,变形减少,并可消除特殊土的不良工程特性。振冲碎石桩复合地基和沉管砂石桩复合地基在重庆地区应用较少,采用前应进行可行性分析,按照《建筑地基处理技术规范》JGJ79 执行。

**6.2.2** 本条是冲夯碎石桩复合地基设计的规定。

1 冲夯碎石桩处理地基范围要超出基础一定宽度,这是基于基础的压力向基础外扩散,需要侧向约束条件保证。另外,考虑到基础下靠外边的(2~3)排桩挤密效果较差,应加宽(2~3)排桩。重要的建筑以及要求荷载较大的情况应加宽更多。

2 冲夯碎石桩的平面布置应当根据基础及荷载情况进行确定,可采用等边三角形或正方形布置,对于圆形基础,宜采用放射状布置。对于砂土地基,因靠挤密桩周土提高密度,所以采用等边三角形更有利,它使地基挤密较为均匀,考虑基础形式和上部结构的荷载分布等因素,工程中还可根据建筑物承载力和变形要求采用矩形、等腰三角形等布桩形式。

3 冲夯碎石桩的桩径与夯击锤大小、夯击设备的功率和地基土条件有关,夯击设备的功率大、地基土松散时,成桩直径大。

4 冲夯碎石桩的间距应根据复合地基承载力和变形要求以

及对原地基土要达到的挤密要求确定,尤其是夯后直径的大小,它不但与设计动能有关,而且与地基土的构造有关,在动能及填料相同时,其直径随天然地基土层的软硬变化而变化。天然地基强度越低则桩径越大,使桩型成一个不等径的类似糖葫芦串珠状,达到处理地基刚度均匀的目的,一般夯后的桩径可达到成孔直径的2.5~4.0倍。

5 冲夯碎石桩的长度通常根据地基的稳定和变形验算确定,为保证稳定,桩长应达到滑动弧面之下,当软土层厚度不大时,桩长宜超过整个松软土层。标准贯入和静力触探沿深度的变化特性也是提供确定桩长的重要资料。由于散体桩在地面下1m~2m深度的土层处理效果较差,其设计长度应大于主要受荷深度且不宜小于4m。当建筑物荷载不均匀或地基主要压缩层不均匀,建筑物的沉降存在一个沉降差,当差异沉降过大,则会使建筑物受到损坏。为了减少其差异沉降,可分区采用不同桩长进行加固,用以调整差异沉降。

6 选用碎块石材料时,要求填料级配应良好,最大粒径不宜大于30cm,碎石(粒径2cm~20cm)的质量大于总质量的50%,含泥量小于10%,不均匀系数 $C_u \geq 5$ ,曲率系数 $C_c = 1 \sim 3$ 。

7 由于桩身材料是散体材料,施工后的表层土需挖除或密实处理,设置垫层是有益的。同时垫层起水平排水的作用,有利于施工后加快土层固结;对独立基础等小基础碎石垫层还可以起到明显的应力扩散作用,降低散体桩和桩周围土的附加应力,减少桩体的侧向变形,从而提高复合地基承载力,减少地基变形量。垫层铺设后需压实,可分层进行,夯填度(夯实后的垫层厚度与虚铺厚度的比值)不得大于0.9。

8 对砂土和粉土,采用冲夯碎石桩复合地基,由于成桩过程对桩间土的振密或挤密,使桩间土承载力比天然地基承载力有较大幅度的提高,为此可用桩间土承载力调整系数来表达。

9 由于冲夯碎石桩向深层传递荷载的能力有限,当桩长较

大时,复合地基的变形计算,不宜全桩长范围加固土层压缩模量采用统一的放大系数。桩长超过 12 倍夯后桩径的加固土层压缩模量的提高,对于砂土、粉土宜按挤密后桩间土的模量取值;对于黏性土不宜考虑挤密效果,但有经验时可按排水固结后经检验的桩间土的模量取值。

### 6.2.3 本条是冲夯碎石桩复合地基施工的规定。

场地平整、清除障碍物是机械作业的基本条件。当加固深度较深,柱锤长度不够时,也可采取先挖一部分土,然后再进行冲扩施工。施工时桩位放线一般可在地面上撒白灰线,或在柱位处用短钢钎击深 200mm,然后灌入白灰,以保证桩点醒目、持久,以防漏掉。将冲孔锤提升一定高度,自动脱钩下落冲击土层,如此反复冲击,接近设计成孔深度时,可在孔内填少量粗骨料继续冲击,直到孔底被夯密实。成孔工艺条件是冲孔时孔内无明水、孔壁直立、不坍塌、不缩颈。当冲击成孔出现坍塌或缩颈时,可分次填入碎砖、碎石和生石灰块,边冲击边将填料挤入孔壁及孔底,当孔底接近设计成孔深度时,夯入部分碎砖、碎石挤密桩端土。碎砖、碎石及生石灰能够吸收孔壁附近地基中的水分,密实孔壁,使孔壁直立、不坍塌、不缩颈,提高桩间土承载力。

采用分段填筑、分层夯实工艺成桩(墩)工艺,圆柱式平底锤的质量、锤长、落距、分层填料量、分层夯填度、夯击材料、总填料量等应根据试验或按当地经验确定。孔内分段填筑高度不超过 3m,分层夯实击数 3~5 击,成桩长度约 1.5m。

每个桩孔应夯填至桩顶设计标高以上至少 0.5m,其上部桩孔宜用原槽土夯封。施工中应做好记录,并对发现的问题及时进行处理。对素填土进行夯扩碎石桩进行处理,如下作业施工参数可做参考:

- 1 成桩(墩)深度:碎石桩(墩)长度不小于设计桩(墩)长并应穿透上部覆盖层着底至全~强风化基岩层。

- 2 夯锤:夯锤直径 1.2m,圆柱形平底夯锤,夯锤重量 8t。

3 单击夯击能:800kN·m~1000kN·m。

4 成墩直径:≥1.5m。

5 孔内碎块石料分段填筑高度:≤3.0m。

6 分段夯实夯击数:3~5击。

7 分段夯实成墩高度:1.5m。

8 分段夯实累计夯沉量:1.5m。

#### 6.2.4 本条为冲夯碎石桩复合地基的检验要求。

1 检查冲夯施工各项施工记录,如有遗漏或不符合规定要求的桩,应补做或采取有效的补救措施。冲夯碎石桩应在施工期间及施工结束后,检查碎石桩的施工记录,这些资料可以作为评估施工质量的重要依据,再结合抽检便可以较好地作出质量评价。

2 由于在冲夯过程中原状土的结构受到不同程度的扰动,强度会有所降低,饱和土地基在桩周围一定范围内,土的孔隙水压力上升。待休置一段时间后,孔隙水压力会消散,强度会逐渐恢复,恢复期的长短是根据土的性质而定。原则上应待孔压消散后进行检验。黏性土孔隙水压力的消散需要的时间较长,砂土则很快。根据实际工程经验规定对饱和黏土不宜小于28d,粉质黏土不宜小于21d,粉土、砂土和杂填土可适当减少。

3 冲夯碎石桩复合地基最终是要满足承载力、变形等要求,标准贯入、静力触探以及动力触探可直接反映施工质量并提供检测资料,所以本条规定可用这些测试方法检测碎石桩及其周围土的挤密效果。应在桩位布置的等边三角形或正方形中心进行散体桩处理效果检测,因为该处挤密效果较差。只要该处挤密达到要求,其它位置就一定会满足要求。

### 6.3 有粘结强度桩复合地基

#### 6.3.1 有粘结强度桩主要指骨料与胶结材料混合形成复合地基



的增强体,本标准主要针对高压旋喷桩复合地基和高压旋喷砂石桩复合地基。对于重庆地区广泛存在的素填土,主要由黏性土、砂、泥岩块、碎石组成,土石比为 5:5~7:3,松散~中密状,若采用高压旋喷桩处理地基,容易出现旋喷孔不返浆,单桩水泥耗量大或成桩困难等问题,可以采用高压旋喷砂石桩来处理地基。高压旋喷砂石桩是采用夯扩成孔,然后填筑级配砂石后再进行高压旋喷的方法形成粘结强度桩的地基处理方法。这种改进的旋喷桩施工工法克服了传统高压旋喷桩在重庆抛填土地基中不能成桩的问题,具有良好的适应性。

1 高压旋喷桩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,对细粒土和颗粒直径较大的卵石、碎石土,都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。工程实践表明,旋喷注浆对粘土、卵石土、素填土等地基有着良好的处理效果。浆固散体材料桩复合地基技术是为了满足既有障碍物环境下建筑、公路、轨道、港口和市政等工程地基加固而研发的一种新型地基加固技术,该技术具有适应复杂施工环境,挤土小,无噪音,施工方便快捷及工程造价低等技术经济优点。

有粘结强度桩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),压力注浆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,均会对增强体产生不利影响,导致处理效果差。对于地下水位较高的场地,压力注浆流受地下水的影响导致浆液稀释,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处于欠固结状态的人工填土地基,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。

2 在制定有粘结强度桩复合地基处理方案时,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;地下管道和其它埋设物资料及类似土层条件下使用的工程经验等。

3 有粘结强度桩复合地基可用于既有建筑和新建工程的地基处理,应结合工程情况在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工,确定施工参数及工艺。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。

4 有粘结强度桩(增强体)的强度和直径,应通过现场试验确定。

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3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3 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
$6 < N < 10$	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。高压旋喷砂石桩的直径宜为300mm~800mm,桩长不宜大于35m。

5 本条主要参考现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012。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。

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,根据试验性施工效果来调整设计参数,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,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。

#### 8 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) 通过改变褥垫厚度,调整桩垂直荷载的分担,通常褥垫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,对于旋喷桩复合地基,褥垫层合理厚度为 150mm~300mm,对于浆固散体桩复合地基,褥垫层合理厚度为

300mm~500mm。当桩径大,桩距大时取高值。

### 6.3.2 旋喷桩施工应符合下列规定:

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、旧建筑基础和其它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。

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0.1m/min~0.2m/min,旋转速度宜取20r/min。表4列出建议的旋喷桩的施工参数,供参考。

表4 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		

续表 4

旋喷施工方法		单管法	双管法	三管法	
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)
		灌浆管外径(mm)	φ42 或 φ45	φ42, φ50, φ75	φ75 或 φ90
提升速度(cm/min)		15~25	7~20	5~20	
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。

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、 $\text{FeSO}_4$ 、膨润土、高塑性粘土、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、膨润土或过筛粘土等。

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。

5 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)。

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。

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。

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。

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。

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。
- 4) 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 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。

**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。

**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。

**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。

### **6.3.3 旋喷桩复合地基的质量检验应符合下列规定:**

**1** 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。

**2** 成桩质量检验点的数量不少于施工孔数的2%,且不应少于6个点。检验点布置应选择有代表性的桩位、施工过程中出现异常情况的部位和地基情况复杂,可能对旋喷桩质量产生影响的部位。

**3** 桩的承载力检验宜在成桩28d后进行。

**4** 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。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台。

**5** 旋喷桩复合地基质量检验标准参照《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202-2018表4.10.4的执行。

### **6.3.4 浆固散体材料桩施工应符合下列规定:**

**1** 高压旋喷砂石桩的施工工艺包括以下步骤

1) 施工准备:根据设计要求和地质条件,设定施工工艺参数,并确定施工方案或施工组织设计、人员、设备、材料进场,组织施工技术与安全交底。



- 2) 场地平整:根据现场情况,将场地进行平整,清除表面障碍物。如遇软土地基无法承受桩机设备,应先将土层表面用碎石、石渣铺垫,以便施工设备就位及灵活移机。
- 3) 定位放线:根据设计图,确定桩位轴线和桩位点,用 $\Phi 12$ 钢筋插在桩位中心点上,并撒上白灰做明显标记,桩位偏差小于 $\pm 2\text{mm}$ 。
- 4) 成孔设备就位、成孔:成孔设备进场后,按照装配图纸进行组装。根据上述桩位点,进行成孔设备就位,成孔设备就位后应调整平稳,施工作业人员应从成孔设备正面与侧面两个相互垂直方向,采用吊锥线或利用成孔设备平台用水平尺进行垂直检查,及时调整成孔设备位置,保证机具垂直,并将对准桩位中心点。成孔开始时,先慢后快,同时检查成孔的偏差并及时纠正,在成孔过程中发现机具摇晃或难进时,应放慢进尺,防止桩孔偏斜、位移和机具损坏。成孔时作业人员应随时检查机具成孔时的垂直度,发现偏斜及时进行调整,以保证桩孔的垂直度。成孔深度应满足设计要求,可利用在成孔设备立柱上施划尺寸标记或其它方法进行施工深度控制,对成孔时出土及时清理,以保证场地道路通畅、平整。
- 5) PVC 保护管:防止成孔、投石过程中孔口发生坍塌,同时,防止注浆过程中浆液流失。
- 6) 下注浆管:成孔后,下注浆管。
- 7) 填筑级配砂石料:往孔内填筑级配砂石料(砂石配合比 1:3,碎石粒径规格 0mm-20mm),直至孔口。

6.3.5 浆固散体材料桩复合地基的质量检验应符合下列规定:

1 桩身质量与基桩承载力密切相关,桩身质量有时会严重影响基桩承载力。浆固散体材料桩可通过现场开挖桩头来观察桩的成形。

4 低应变反射波法主要是用来检测浆固散体材料桩的桩身完整性和成桩填充料的质量。

## 7 静压注浆法

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 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。处理土洞和溶洞地基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,但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,且不经济。

**7.1.2** 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。

**7.1.3** 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。

**7.1.4** 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”。

## 7.2 设计

**7.2.3** 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试验决定。对于水泥浆液水灰比一般取  $0.5:1 \sim 1:1$ ,防渗注浆宜取较稀浆液,加固注浆宜取较稠浆液。

**7.2.4** 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似工程经验确定。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  $1.0\text{m} \sim 2.0\text{m}$  设计。

**7.2.5~7.2.6** 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、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的地层注浆压力要小。

**7.2.7** 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  $3\text{mm}$  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。

**7.2.9~7.2.11** 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。

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。

**7.2.12** 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。

**7.2.13** 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。

## 7.3 施 工

**7.3.1** 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。

**7.3.3** 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 2mm~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,还可用于孔隙率大的裂隙岩体注浆。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。

**7.3.4 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 25mm~150mm，压密注浆孔径一般为 50mm~100mm。

**7.3.5 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它取芯钻头，但成孔速度较慢，因此可以采用冲击式成孔。

**7.3.8 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。

**7.3.10 既有建筑物地基加固注浆过程中**，因浆液在凝固且固结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。

**7.3.11 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的。

## 7.4 质量检验

7.4.3~7.4.5 国内外注浆效果的检验或检测技术见表5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5 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	$\gamma$ 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

## 8 既有建筑地基加固

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 必要的地质、结构及周边环境资料是制定加固设计和施工方案的前提。对既有建筑物地基加固前应对既有建筑物设计、施工、竣工资料,工程地质条件,沉降发展情况,上部结构有无倾斜,有无产生裂缝,周围环境条件等情况作全面了解,并对产生上述不正常现象的原因以及发展趋势作出合理的分析和判断,在此基础上进行既有建筑物地基加固设计和施工。

**8.1.2** 建筑物产生沉降和沉降差源自地基土体的变形。但是上部结构、基础和地基是一个统一的整体,在考虑加固措施时,应将上部结构、基础和地基作为一个整体统一考虑。

**8.1.3** 在整个加固施工过程中必须进行监测,进行信息化施工,以确保安全和质量。对被加固或被穿越的建筑物及其邻近建筑物,都要进行沉降监测。沉降观测点的布置应根据建筑物的体形、结构条件和工程地质条件等因素综合考虑,并要求沉降观测点便于监测和不易遭到损害。

监测过程中要做好以下四个方面的工作:

- 1 对加固或穿越过程中引起的各个监测点的发展状况,整理出沉降(或其它观测量)与时间的关系曲线,预测最终沉降量。
- 2 确定加固或穿越的每个施工步骤对沉降所产生的影响。
- 3 根据沉降曲线预估被加固建筑物的安全度以及针对现状采取相应的措施,如增加安全支护或改变施工方法。
- 4 监测期限和测量频度的要求取决于施工过程,特别是在荷载转移阶段每天都要求监测,危险程度越大,则监测频率应加



密。当直接的加固或穿越过程完成后,监测过程尚需持续到沉降稳定为止。沉降标准可参阅相关规范,或者采用半年沉降量不超过 2mm 为依据。

**8.1.5** 既有地基基础加固对象是已投入使用的建筑物,在不影响正常使用的前提下达到加固改造目的。新建基础与既有基础连接的变形协调,各种地基基础加固方法的地基变形协调,应在设计要求的条件下通过严格的施工质量控制实现。导坑回填施工应达到设计要求的密实度,保证地基基础工作条件。

**8.1.6** 钢管桩表面进行涂刷环氧富锌涂料、树脂砂浆等防腐处理,但实施效果难以检验。增加壁厚腐蚀余量的方式更易实施。

## 8.2 树根桩

**8.2.1** 树根桩也称为微型桩或小桩,树根桩适用于各种不同的土质条件、对既有建筑的修复、增层、地下铁道的穿越以及增加边坡稳定性等托换加固都可应用,其适用性非常广泛。其优点包括:

- 1 小型钻机所需的场地小,一般平面尺寸  $1\text{m}\times 1.5\text{m}$ ,净空高度 2.5m 即可。
- 2 施工时噪声和振动小。
- 3 施工时桩孔小,对既有建筑墙身和地基土不产生次应力。
- 4 原位加固,对建筑物外观和风格影响小。

**8.2.2** 树根桩设计时,应对既有建筑的基础进行有关承载力的验算。当不满足要求时,应先对原基础进行加固或增设新的桩承台。树根桩的单桩竖向承载力可按载荷试验得到,也可按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB/50007 有关规定结合经验估算,但应考虑既有建筑的地基变形条件的限制和考虑桩身材料强度的要求。设计人员要根据被加固建筑物的具体条件,预估既有

建筑所能承受的最大沉降量。在载荷试验中,可由荷载—沉降曲线上求出相应允许沉降量的单桩竖向承载力。应特别注意:树根桩承载力的发挥取决于建筑物所能承受的容许最大沉降。容许最大沉降值越大,树根桩承载力发挥越高。承担同样的荷载,当树根桩承载力发挥较低时,则要求设置的数量就多。

**8.2.3 树根桩的施工**由于采用了注浆成桩的工艺,根据经验通常有 50% 以上的水泥浆液注入周围土层,从而增大了桩侧摩阻力。施工可采用二次注浆工艺。采用二次注浆可提高桩极限摩阻力的 30%~50%。由于二次注浆通常在某一深度范围内进行,极限摩阻力的提高仅对该土层范围而言。如采用二次注浆,则需待第一次注浆的浆液初凝时方可进行。第二次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。浆液的初凝时间一般控制在 45min~60min 范围,而第二次注浆的最大压力一般不大于 4MPa。拔管后孔内混凝土和浆液面会下降,当表层土质松散时会出现浆液流失现象,通常的做法是立即在桩顶填充碎石和补充注浆。

**8.2.4 树根桩试块**取自成桩后的桩顶混凝土,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010,试块尺寸为 150mm 立方体,其强度等级由 28d 龄期的用标准试验方法测得的抗压强度值确定。树根桩静载荷试验可参照混凝土灌注桩试验方法进行。

### 8.3 注浆钢管桩

**8.3.1 注浆钢管桩**是在静压钢管桩技术基础上发展起来的一种新的加固方法,近年来注浆钢管桩常用于新建工程的桩基或复合地基施工质量事故的处理,具有施工灵活、质量可靠的特点。基坑工程中,注浆钢管桩大量应用于复合土钉的超前支护。

**8.3.2 二次注浆对桩侧阻力的提高系数**除与桩侧土体类型、注

浆材料、注浆量和注浆压力、方式等密切相关外,桩直径为影响因素之一。一般来说,相同压力形成的桩周压密区厚度相等,小直径桩侧阻力增加幅度大于同材料相对直径较大的桩,因此,本条桩侧阻力增加系数与树根桩的规定有所不同,提高系数 1.3 为最小值,具体取值可根据试验结果或经验确定。

**8.3.3** 施工方法包含了传统的锚杆静压法和坑式静压法,对新建工程,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,采用封孔注浆施工时,应具有足够的封孔长度,保证注浆压力的形成。

## 8.4 锚杆静压桩

**8.4.1** 锚杆静压桩是锚杆和静压桩结合形成的桩基施工工艺。它是通过在基础上埋设锚杆固定压桩架,以既有建筑的自重荷载作为压桩反力,用千斤顶将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,从而达到提高基础承载力和控制沉降的目的。锚杆静压桩的加固机理类同于打入桩及大型压入桩,但其施工工艺又不同于两者,其在施工条件要求及对周围环境的影响方面明显优于打入桩及大型压入桩。

**8.4.2** 在进行锚杆静压桩设计前,必须对拟加固建筑物进行调研,查明其工程事故发生的原因,了解其沉降、倾斜、开裂情况,分析上部结构与地基基础之间的关系,调查周边环境、地下网线及地下障碍物等情况,并应收集加固工程的地基基础设计所必需的其它资料。设计内容包括单桩竖向承载力、桩断面及桩数设计、桩位布置设计、桩身强度及桩段构造设计、锚杆构造设计、下卧层强度及桩基沉降验算、承台厚度验算等。若是纠倾加固工程,尚需进行纠倾设计。当既有建筑基础承载力不满足压桩所需的反力时,则应对基础进行加固补强;也可采用新浇筑的钢筋混凝土

挑梁或抬梁作为压桩的承台。

**8.4.3** 在进行锚杆静压桩施工时,首先在需要进行加固的既有建筑物基础上开凿压桩孔和锚杆孔,用胶粘剂埋好锚杆,然后安装压桩架且与建筑物基础连为一体。利用既有建筑物自重作反力,用千斤顶将预制桩压入土中,桩段间用硫磺胶泥或焊接连接。当压桩力或压入深度达到设计要求后,将桩与基础用微膨胀混凝土浇筑在一起,桩即可受力,从而达到提高地基承载力和控制沉降的目的。

封桩是锚杆静压桩技术的关键工序,封桩可分别采用不施加预应力的方法及施加预应力的方法。不施加预应力的方法封桩工序为:

清除压桩孔周围桩帽梁区域内的泥土-将桩帽梁区域内基础混凝土表面清洗干净-清洗压桩孔壁-清除压桩孔内的泥水-焊接交叉钢筋-检查-浇捣 C30 或 C35 微膨胀混凝土-检查封桩孔有无渗水。锚固筋不宜少于 4 $\Phi$ 14。

对沉降敏感的建筑物或要求加固后制止沉降起到立竿见影效果的建筑物(如古建筑、沉降缝两侧等部位),其封桩可采用预加预应力的方法。通过预加反力封桩,附加沉降可以减少,收到良好的效果。具体做法:

在桩顶上预加反力(预加反力值一般为 1.2 倍单桩承载力),此时底板上保留了一个相反的上拔力,由此减少了基底反力,在桩顶预加反力作用下,桩身即形成了一个预加反力区,然后将桩与基础底板浇捣微膨胀混凝土,形成整体,待封桩混凝土硬结后拆除桩顶上千斤顶,桩身有很大的回弹力,从而减少基础的拖带沉降,起到减少沉降的作用。

常用的预加反力装置为一种用特制短反力架,通过特制的预加反力短柱,使千斤顶和桩顶起到传递荷载的作用,然后当千斤顶施加要求的反力后,立即浇捣 C30 或 C35 微膨胀早强混凝土,

当封桩混凝土强度达到设计要求后,拆除千斤顶和反力架。

1 锚杆静压桩对岩土工程勘察除常规要求外,应补充进行静力触探试验。

2 压桩施工时不宜数台压桩机同时在一个独立柱基上施工,压桩施工应一次到位。

3 条形基础桩位靠近基础两侧,减少基础的弯矩。独立柱基围绕柱子对称布置,板基、筏基靠近荷载大的部位及基础边缘,尤其角部,适应马鞍形基底接触应力分布。

大型锚杆静压桩法可用于新建高层建筑桩基工程中经常遇到类似断桩、缩径、偏斜、接头脱开等质量事故工程,以及既有高层建筑的使用功能改变或裙房区的加层等基础托换加固工程。在加固工程中硫磺胶泥是一种常用的连接材料,下面对硫磺泥的配合比和主要物理力学性能指标简单介绍。

1 硫磺胶泥的重量配合比为:硫磺:水泥:砂:聚硫橡胶(44:11:44:1)。

2 硫磺胶泥的主要物理性能如下:

1) 热变性:硫磺胶泥的强度与温度的关系:在 60℃以内强度无明显影响;120℃时变液态且随着温度的继续升高,由稠变稀;到 140℃~145℃时,密度最大且和易性最好;170℃时开始沸腾;超过 180℃开始焦化,且遇明火即燃烧。

2) 重度:22.8kN/m<sup>3</sup>~23.2kN/m<sup>3</sup>。

3) 吸水率:硫磺胶泥的吸水率与胶泥制作质量、重度及试件表面的平整度有关,一般为 0.12%~0.24%。

4) 弹性模量:5×10<sup>4</sup>MPa。

5) 耐酸性:在常温下耐盐酸、硫酸、磷酸、40%以下的硝酸、25%以下的铬酸、中等浓度乳酸和醋酸。

3 硫磺胶泥的主要力学性能要求如下:

- 1) 抗拉强度:4MPa;
- 2) 抗压强度:40MPa;
- 3) 抗折强度:10MPa;
- 4) 握裹强度:与螺纹钢筋为 11MPa;与螺纹孔混凝土为 4MPa;
- 5) 疲劳强度:参照混凝土的试验方法,当疲劳应力比  $p$  为 0.38 时,疲劳强度修正系数为  $\gamma > 0.8$ 。

## 9 地基变形控制措施

### 9.1 一般规定

9.1.2 处理土地上修建多层建筑,若处理不当,易产生较大沉降和不均匀沉降,引起结构构件破损,影响建筑物正常使用,工程中可从上部建筑体型的布置、结构构造、地基基础设计等方面采取措施来加以控制,通过预估建筑变形量,调整标高来使建筑物适应这种变形,保证其使用功能不受影响。尽可能使建筑物各单元的荷载差异不要太大,建筑物平面形状力求简单,否则可使各单元隔开适当距离分别建造,且先建高后建低部分,先建重后建轻部分。

9.1.3 建筑物的荷载不仅使建筑物下面的土层受到压缩,在它以外一定范围内的土层,因应力扩散的影响也将产生压缩变形。两建筑物相距太近,当被影响的建筑物刚度较差时,会产生裂缝;被影响的建筑物刚度较好时,会产生倾斜;为减少建筑物的相互影响,建筑物之间应相隔一定距离。

9.1.4 本条强调坡顶建(构)筑物基础荷载作用在边坡外边缘时除应计算边坡整体稳定外,尚应进行地基局部稳定性验算,同时考虑边坡的变形对建(构)筑物产生的不利影响。

### 9.2 建筑措施

9.2.1 复杂的体型,往往削减建筑物的整体刚度,是造成不均匀沉降的重要因素。体型复杂的平面,在建筑单元纵、横交叉处,基础设置紧密,地基中各单元荷载产生的附加应力互相重叠,必然出现比别处大的沉降。另外,转折多的建筑,结构的整体刚度降

低,各部分的刚度不对称,很容易因不均匀沉降而引起建筑物开裂破坏。

建筑物的高低变化悬殊,地基各部分受的荷载轻重不同,自然也易出现过量的不均匀沉降。因此,在软弱地基上建造建筑物时,应注意建筑物层数的高差问题,同时建筑物体型力求简单。

**9.2.3 土质地基承受荷载后必然有沉降。**新填土地基即使不受荷载,自重固结也会产生沉降变形。因此在进行建筑物设计时,应预估沉降量的大小,预留出建筑物与设备之间、穿墙孔洞与管道之间的沉降变形位置,才不至于因变形而使建筑的功能受到影响。

### 9.3 结构措施

**9.3.1** 对于填土地基、土岩组合地基而言,由于地基均匀性的差异、基底压缩层厚度的差异、柱间荷载大小的差异等问题,常产生不均匀沉降,而扩展(独立)基础调整差异沉降的能力较差,极易在上部结构产生裂缝,故对于框架结构不建议采用扩展(独立)基础。

**9.3.2** 当基础持力层标高差异较大时,由于地基土的差异,受应力叠加、回填加载、降雨等因素的影响,会引起地基的变形差异。

**9.3.3** 当坡顶建筑物基础位于边坡塌滑区,建筑物基础传来的垂直荷载、水平荷载及弯矩部分作用于支护结构时,边坡支护结构强度、整体稳定和变形验算均应根据工程具体情况,考虑建筑物传来的荷载对边坡支护结构的作用。其中建筑水平荷载对边坡支护结构作用的定性及定量近似估算,可根据基础方案、构造作法、荷载大小、基础到边坡的距离、边坡岩土体性状等因素确定。建筑物传来的水平荷载由基础抗侧力、地基摩擦力及基础与边坡间坡体岩土抗力承担,当水平作用力大于上述抗力之和时由支护结构承担不平衡的水平力。



## 9.4 施工措施

**9.4.3** 基础施工前,避免雨水浸泡,保持地基土的正常状态,减少施工对地基土的扰动,基槽开挖深度保留 20cm 左右原土,待基础施工开始时再挖除。如地基土已被扰动,可先铺一层中粗砂,再铺卵石或碎石压实处理。

**9.4.4** 基础后的不均匀回填或堆载,是建筑物产生不均匀沉降或位移的主要原因。应加强施工管理,后期回填应均匀回填。由于场地条件的限制,确有局部不均匀回填的时候,应在上部结构施工前及时回填,预留施工沉降量。

## 10 监 测

**10.1** 地基处理是隐蔽工程,施工时必须重视施工质量监测和质量检验方法。只有通过施工全过程的监督管理才能保证质量,及时发现问题采取措施。建设单位应委托第三方检测机构实施监测,监测方案需要经设计单位对监测项目和技术要求进行审查确认,监理单位应将监测工作纳入监理旁站内容。

**10.2** 强夯施工时的振动对周围建(构)筑物的影响程度与土质条件、夯击能量和建筑物的特性等因素有关。为此,在强夯时有时需要沿不同距离测试地表面的水平振动加速度,绘成加速度与距离的关系曲线。工程中应通过检测的建(构)筑物反应加速度以及对建(构)筑物的振动反应对人的适应能力综合确定安全距离。

根据国内目前的强夯采用的能量级,强夯振动引起建(构)筑物损伤影响距离由速度、振动幅度和地面加速度确定,但对人的适应能力则不然,因人而异,与地质条件密切相关。影响范围内的建(构)筑物采取防振或隔振措施,通常在夯区周围设置隔振沟。

**10.3** 在软土地基中采用夯实、挤密桩、旋喷桩、水泥粉煤灰碎石桩和注浆等方法进行施工时,会产生挤土效应,对周边建筑物或地下管线产生影响,应按要求进行监测。在渗透性弱,强度低的饱和软黏土地基中,挤土效应会使周围地基土体受到明显的挤压并产生较高的超静孔隙水压力,使桩周土体的侧向挤出、向上隆起现象比较明显,对邻近的建(构)筑物、地下管线等将产生有害的影响。为了保护周围建筑物和地下管线,应在施工期间有针对性地采取监测措施,并有效合理地控制施工进度和施工顺序,使施工带来的种种不利影响减小到最低程度。

挤土效应中孔隙水压力增长是引起土体位移的主要原因。通过孔隙水压力监测可掌握场地地质条件下孔隙水压力增长及消散的规律,为调整施工速率、设置释放孔、设置隔离措施、开挖地面防震沟、设置袋装砂井和塑料排水板等提供施工参数。施工时的振动对周围建筑物的影响程度与土质条件、需保护的建筑物、地下设施和管线等的特性有关。振动强度主要有三个参数:位移、速度和加速度,而在评价施工振动的危害性时,建议以速度为主,结合位移和加速度值参照现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的进行综合分析比较,然后作出判断。通过监测不同距离的振动速度和振动主频,根据建筑(构)物类型来判断施工振动对建(构)筑物是否安全。

**10.4** 为保证大面积填方等地基的长期稳定性应对地面变形进行长期监测。

**10.5** 本条是对处理施工有影响的周边环境监测的要求。

1 邻近建(构)筑物竖向及水平位移监测点应布置在基础类型、埋深和荷载有明显不同处及沉降缝、伸缩缝、新老建(构)筑物连接处的两侧、建(构)筑物的角点、中点;圆形、多边形的建(构)筑物宜沿纵横轴线对称布置;工业厂房监测点宜布置在独立柱基上。倾斜监测点宜布置在建(构)筑物角点或伸缩缝两侧承重柱(墙)上。

2 邻近地下管线监测点宜布置在上水、煤气管处、窨井、阀门、抽气孔以及检查井等管线设备处、地下电缆接头处、管线端点、转弯处;影响范围内有多条管线时,宜根据管线年份、类型、材质、管径等情况,综合确定监测点,且宜在内侧和外侧的管线上布置监测点;地铁、雨污水管线等重要市政设施、管线监测点布置方案应征求等有关管理部门的意见;当无法在地下管线上布置直接监测点时,管线上地表监测点的布置间距宜为 15m~25m。

3 邻近边坡工程监测点宜按《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的有关规定执行。

4 周边地表监测点宜按剖面布置,剖面间距宜为 30m~50m,宜设置在场地每侧边中部;每条剖面线上的监测点宜由内向外先密后疏布置,且不宜少于 5 个。

**10.6** 本条规定建筑物和构筑物地基进行地基处理,应对地基处理后的建筑物和构筑物在施工期间和使用期间进行沉降观测。沉降观测终止时间应符合设计要求,或按国家现行标准《工程测量规范》GB 50026 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定执行。