



注册岩土工程师 必备规范汇编

(修订缩印本)
(下册)

本社 编

2017

中国建筑工业出版社

注册岩土工程师必备规范汇编

(修订缩印本)

(下 册)

本社 编

中国建筑工程工业出版社

总 目 录

(附条文说明)

上 册

1. 《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001) (2009 年版)	1—1
2. 《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJ/T 87—2012)	2—1
3. 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—2012)	3—1
4. 《工程岩体分级标准》(GB/T 50218—2014)	4—1
5. 《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266—2013)	5—1
6. 《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)	6—1
7. 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)	7—1
8. 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)	8—1
9. 《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)	9—1
10. 《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) (2016 年版)	10—1

下 册

11. 《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)	11—1
12. 《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004)	12—1
13. 《膨胀土地区建筑技术规范》(GB 50112—2013)	13—1
14. 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)	14—1
15. 《建筑基坑工程监测技术规范》(GB 50497—2009)	15—1
16. 《建筑变形测量规范》(JGJ 8—2016)	16—1
17. 《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487—2008)	17—1
18. 《盐渍土地区建筑技术规范》(GB/T 50942—2014)	18—1
19. 《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)	19—1
20. 《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)	20—1
21. 《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2014)	21—1
22. 《建筑地基检测技术规范》(JGJ 340—2015)	22—1
23. 《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》(GB 50869—2013)	23—1
24. 《土工合成材料应用技术规范》(GB/T 50290—2014)	24—1
25. 《地基动力特性测试规范》(GB/T 50269—2015)	25—1
26. 《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB 50911—2013)	26—1

附录 2017 年度全国注册土木工程师(岩土)专业考试所使用的标准和法律法规

中华人民共和国行业标准

建筑地基处理技术规范

Technical code for ground treatment of buildings

JGJ 79—2012

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 3 年 6 月 1 日

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1448 号

住房和城乡建设部关于发布行业标准 《建筑地基处理技术规范》的公告

现批准《建筑地基处理技术规范》为行业标准，编号为 JGJ 79-2012，自 2013 年 6 月 1 日起实施。其中，第 3.0.5、4.4.2、5.4.2、6.2.5、6.3.2、6.3.10、6.3.13、7.1.2、7.1.3、7.3.2、7.3.6、8.4.4、10.2.7 条为强制性条文，必须严格执行。原行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 同

时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部
2012 年 8 月 23 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发(2009 年工程建设标准规范制订、修订计划)的通知》(建标[2009]88 号)的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，与国内相关规范协调，并在广泛征求意见的基础上，修订了《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002。

本规范主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 换填垫层；5. 预压地基；6. 压实地基和夯实地基；7. 复合地基；8. 注浆加固；9. 微型桩加固；10. 检验与监测。

本规范修订的主要技术内容是：1. 增加处理后的地基应满足建筑物承载力、变形和稳定性要求的规定；2. 增加采用多种地基处理方法综合使用的地基处理工程验收检验的综合安全系数的检验要求；3. 增加地基处理采用的材料，应根据场地环境类别符合耐久性设计的要求；4. 增加处理后的地基整体稳定分析方法；5. 增加加筋垫层设计验算方法；6. 增加真空和堆载联合预压处理的设计、施工要求；7. 增加高夯击能的设计参数；8. 增加复合地基承载力考虑基础深度修正的有粘结强度增强体桩身强度验算方法；9. 增加多桩型复合地基设计施工要求；10. 增加注浆加固；11. 增加微型桩加固；12. 增加检验与监测；13. 增加复合地基增强体单桩静载荷试验要点；14. 增加处理后地基静载荷试验要点。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由中国建筑科学研究院负责具体技术内

容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国建筑科学研究院（地址：北京市北三环东路 30 号 邮政编码：100013）。

本规范主编单位：中国建筑科学研究院
本规范参编单位：机械工业勘察设计研究院
湖北省建筑科学研究设计院
福建省建筑科学研究院
现代建筑设计集团上海申元岩土工程有限公司
中化岩土工程股份有限公司
中国航空规划建设发展有限公司
天津大学
同济大学
太原理工大学
郑州大学综合设计研究院

本规范主要起草人员：滕延京 张永钧 闫明礼
张 峰 张东刚 袁内镇
侯伟生 叶观宝 白晓红
郑 刚 王亚凌 水伟厚
郑建国 周同和 杨俊峰

本规范主要审查人员：顾国荣 周国钧 顾晓鲁
徐张建 张丙吉 康景文
梅全亭 滕文川 肖自强
潘凯云 黄 新

目次

1 总则	11—5	7.7 水泥粉煤灰碎石桩复合地基	11—26
2 术语和符号	11—5	7.8 柱锤冲扩桩复合地基	11—27
2.1 术语	11—5	7.9 多桩型复合地基	11—28
2.2 符号	11—6	8 注浆加固	11—30
3 基本规定	11—6	8.1 一般规定	11—30
4 换填垫层	11—7	8.2 设计	11—30
4.1 一般规定	11—7	8.3 施工	11—31
4.2 设计	11—7	8.4 质量检验	11—33
4.3 施工	11—9	9 微型桩加固	11—33
4.4 质量检验	11—9	9.1 一般规定	11—33
5 预压地基	11—10	9.2 树根桩	11—33
5.1 一般规定	11—10	9.3 预制桩	11—34
5.2 设计	11—10	9.4 注浆钢管桩	11—34
5.3 施工	11—13	9.5 质量检验	11—35
5.4 质量检验	11—13	10 检验与监测	11—35
6 压实地基和夯实地基	11—14	10.1 检验	11—35
6.1 一般规定	11—14	10.2 监测	11—35
6.2 压实地基	11—14	附录 A 处理后地基静载荷试验	
6.3 夯实地基	11—16	要点	11—35
7 复合地基	11—18	附录 B 复合地基静载荷试验	
7.1 一般规定	11—18	要点	11—36
7.2 振冲碎石桩和沉管砂石桩		附录 C 复合地基增强体单桩静	
复合地基	11—19	载荷试验要点	11—37
7.3 水泥土搅拌桩复合地基	11—21	本规范用词说明	11—37
7.4 旋喷桩复合地基	11—23	引用标准名录	11—38
7.5 灰土挤密桩和土挤密桩		附：条文说明	11—39
复合地基	11—24		
7.6 夯实水泥土桩复合地基	11—25		

Contents

1	General Provisions	11—5		Impact Displacement Columns	11—27
2	Terms and Symbols	11—5	7.9	Composite Foundation with Multiple Reinforcement of Different Materials or Lengths	11—28
2.1	Terms	11—5			
2.2	Symbols	11—6			
3	Basic Requirements	11—6	8	Ground Improvement by Permeation and High Hydrofracture Grouting	11—30
4	Replacement Layer of Compacted Fill	11—7	8.1	General Requirements	11—30
4.1	General Requirements	11—7	8.2	Design Considerations	11—30
4.2	Design Considerations	11—7	8.3	Construction	11—31
4.3	Construction	11—9	8.4	Inspection	11—33
4.4	Inspection	11—9	9	Ground Improvement by Micropiles	11—33
5	Preloaded Ground	11—10	9.1	General Requirements	11—33
5.1	General Requirements	11—10	9.2	Root Piles	11—33
5.2	Design Considerations	11—10	9.3	Driven Cast-in-place Piles	11—34
5.3	Construction	11—13	9.4	Grouting Piles with Steel-pipe	11—34
5.4	Inspection	11—13	9.5	Inspection	11—35
6	Compacted Ground and Rammed Ground	11—14	10	Inspection and Monitoring	11—35
6.1	General Requirements	11—14	10.1	Inspection	11—35
6.2	Compacted Ground	11—14	10.2	Monitoring	11—35
6.3	Rammed Ground	11—16	Appendix A	Key Points for Load Test on Treatment Ground	11—35
7	Composite Foundation	11—18	Appendix B	Key Points for Load Test on Composite Foundation	11—36
7.1	General Requirements	11—18	Appendix C	Key Points for Load Test on Single Pile of Composite Foundation	11—37
7.2	Composite Foundation with Sand-gravel Columns	11—19	Explanation of Wording in This Code	11—37	
7.3	Composite Foundation with Cement Deep Mixed Columns	11—21	List of Quoted Standards	11—38	
7.4	Composite Foundation with Jet Grouting	11—23	Addition; Explanation of Provisions	11—39	
7.5	Composite Foundation with Compa- cted Soil-lime Columns or Comp- acted Soil Columns	11—24			
7.6	Composite Foundation with Rammed Soil-cement Columns	11—25			
7.7	Composite Foundation with Cement-Fly ash-gravel Piles	11—26			
7.8	Composite Foundation with				

1 总 则

1.0.1 为了在地基处理的设计和施工中贯彻执行国家的技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于建筑工程地基处理的设计、施工和质量检验。

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

1.0.4 建筑工程地基处理除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 地基处理 ground treatment, ground improvement

提高地基承载力,改善其变形性能或渗透性能而采取的技术措施。

2.1.2 复合地基 composite ground, composite foundation

部分土体被增强或被置换,形成由地基土和竖向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 subsoil bearing capacity

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

2.1.4 换填垫层 replacement layer of compacted fill

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

2.1.5 加筋垫层 replacement layer of tensile reinforcement

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 预压地基 preloaded ground, preloaded foundation

在地基上进行堆载预压或真空预压,或联合使用堆载和真空预压,形成固结压密后的地基。

2.1.7 堆载预压 preloading with surcharge of fill

地基上堆加荷载使地基土固结压密的地基处理方法。

2.1.8 真空预压 vacuum preloading

通过对覆盖于竖井地基表面的封闭薄膜内抽真空排水使地基土固结压密的地基处理方法。

2.1.9 压实地基 compacted ground, compacted fill

利用平碾、振动碾、冲击碾或其他碾压设备将填土分层密实处理的地基。

2.1.10 夯实地基 rammed ground, rammed earth

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,将地基土密实处理或置换形成密实墩体的地基。

2.1.11 砂石桩复合地基 composite foundation with sand-gravel columns

将碎石、砂或砂石混合料挤压入已成的孔中,形成密实砂石竖向增强体的复合地基。

2.1.12 水泥粉煤灰碎石桩复合地基 composite foundation with cement-fly ash-gravel piles

由水泥、粉煤灰、碎石等混合料加水拌合在土中灌注形成竖向增强体的复合地基。

2.1.13 夯实水泥土桩复合地基 composite foundation with rammed soil-cement columns

将水泥和土按设计比例拌合均匀,在孔内分层夯实形成竖向增强体的复合地基。

2.1.14 水泥土搅拌桩复合地基 composite foundation with cement deep mixed columns

以水泥作为固化剂的主要材料,通过深层搅拌机械,将固化剂和地基土强制搅拌形成竖向增强体的复合地基。

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

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水泥土竖向增强体的复合地基。

2.1.16 灰土桩复合地基 composite foundation with compacted soil-lime columns

用灰土填入孔内分层夯实形成竖向增强体的复合地基。

2.1.17 柱锤冲扩桩复合地基 composite foundation with impact displacement columns

用柱锤冲击方法成孔并分层夯扩填料形成竖向增强体的复合地基。

2.1.18 多桩型复合地基 composite foundation with multiple reinforcement of different materials or lengths

采用两种及两种以上不同材料增强体,或采用同一材料、不同长度增强体加固形成的复合地基。

2.1.19 注浆加固 ground improvement by permeation and high hydrofracture grouting

将水泥浆或其他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。

2.1.20 微型桩 micropile

用桩工机械或其他小型设备在土中形成直径不大于300mm的树根桩、预制混凝土桩或钢管桩。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

- E ——强夯或强夯置换夯击能；
 p_c ——基础底面处土的自重压力值；
 p_{cz} ——垫层底面处土的自重压力值；
 p_k ——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值；
 p_z ——相应于作用的标准组合时，垫层底面处的附加压力值。

2.2.2 抗力和材料性能

- D_r ——砂土相对密实度；
 D_{rl} ——地基挤密后要求砂土达到的相对密实度；
 d_s ——土粒相对密度（比重）；
 e ——孔隙比；
 e_0 ——地基处理前的孔隙比；
 e_1 ——地基挤密后要求达到的孔隙比；
 $e_{\max}, e_{\min}$ ——砂土的最大、最小孔隙比；
 f_{ak} ——天然地基承载力特征值；
 f_{az} ——垫层底面处经深度修正后的地基承载力特征值；
 f_{cu} ——桩体试块（边长 150mm 立方体）标准养护 28d 的立方体抗压强度平均值，对水泥土可取桩体试块（边长 70.7mm 立方体）标准养护 90d 的立方体抗压强度平均值；
 f_{sk} ——处理后桩间土的承载力特征值；
 f_{spa} ——深度修正后的复合地基承载力特征值；
 f_{spk} ——复合地基的承载力特征值；
 k_h ——天然土层水平向渗透系数；
 k_s ——涂抹区的水平向渗透系数；
 q_p ——桩端端阻力特征值；
 q_s ——桩周土的侧阻力特征值；
 q_w ——竖向纵向通水量，为单位水力梯度下单位时间的排水量；
 R_a ——单桩竖向承载力特征值；
 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土工合成材料的最大拉力；
 U ——固结度；
 $\bar{U}_t$ —— t 时间地基的平均固结度；
 w_{op} ——最优含水量；
 α_p ——桩端端阻力发挥系数；
 β ——桩间土承载力发挥系数；
 θ ——压力扩散角；
 λ ——单桩承载力发挥系数；
 λ_c ——压实系数；

- ρ_d ——干密度；
 $\rho_{d\max}$ ——最大干密度；
 ρ_c ——黏粒含量；
 ρ_w ——水的密度；
 τ_{ft} —— t 时刻，该点土的抗剪强度；
 $\tau_{(t)}$ ——地基土的天然抗剪强度；
 $\Delta\sigma_z$ ——预压荷载引起的该点的附加竖向应力；
 φ_{cu} ——三轴固结不排水压缩试验求得的土的内摩擦角；
 $\bar{\eta}_c$ ——桩间土经成孔挤密后的平均挤密系数。

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；
 b ——基础底面宽度、塑料排水带宽度；
 d ——桩的直径；
 d_c ——一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径、竖井的有效排水直径；
 d_p ——塑料排水带当量换算直径；
 l ——基础底面长度；
 l_p ——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；
 δ ——塑料排水带厚度。

3 基 本 规 定

3.0.1 在选择地基处理方案前，应完成下列工作：

- 1 搜集详细的岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计资料等；
- 2 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，尚应了解其他地区相似场地上同类工程的地基处理经验和使用情况等；
- 3 根据工程的要求和采用天然地基存在的主要问题，确定地基处理的目的和处理后要求达到的各项技术经济指标等；
- 4 调查邻近建筑、地下工程、周边道路及有关管线等情况；
- 5 了解施工场地的周边环境情况。

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，进行多种方案的技术经济比较，选用地基处理或加强上部结构与地基处理相结合的方案。

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、荷载大小及使用要求，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，初步选出几种可供考虑的地基处理方案，包括选择两种或

多种地基处理措施组成的综合处理方案;

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;

3 对已选定的地基处理方法,应按建筑物地基基础设计等级和场地复杂程度以及该种地基处理方法在本地区使用的成熟程度,在场地有代表性的区域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案。

3.0.4 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对本规范确定的地基承载力特征值进行修正时,应符合下列规定:

1 大面积压实填土地基,基础宽度的地基承载力修正系数应取零;基础埋深的地基承载力修正系数,对于压实系数大于 0.95、黏粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土,可取 1.5,对于干密度大于 2.1t/m^3 的级配砂石可取 2.0;

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

3.0.5 处理后的地基应满足建筑物地基承载力、变形和稳定性要求,地基处理的设计尚应符合下列规定:

1 经处理后的地基,当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时,应进行软弱下卧层地基承载力验算;

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

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

3.0.6 处理后地基的承载力验算,应同时满足轴心荷载作用和偏心荷载作用的要求。

3.0.7 处理后地基的整体稳定分析可采用圆弧滑动法,其稳定安全系数不应小于 1.30。散体加固材料的抗剪强度指标,可按加固体材料的密实度通过试验确定;胶结材料的抗剪强度指标,可按桩体断裂后滑动面材料的摩擦性能确定。

3.0.8 刚度差异较大的整体大面积基础的地基处理,宜考虑上部结构、基础和地基共同作用进行地基承载力和变形验算。

3.0.9 处理后的地基应进行地基承载力和变形评价、处理范围和有效加固深度内地基均匀性评价,以及复合地基增强体的成桩质量和承载力评价。

3.0.10 采用多种地基处理方法综合使用的地基处理工程验收检验时,应采用大尺寸承压板进行载荷试

验,其安全系数不应小于 2.0。

3.0.11 地基处理所采用的材料,应根据场地类别符合有关标准对耐久性设计与使用的要求。

3.0.12 地基处理施工中应有专人负责质量控制和监测,并做好施工记录;当出现异常情况时,必须及时会同有关部门妥善解决。施工结束后应按国家有关规定进行工程质量检验和验收。

4 换填垫层

4.1 一般规定

4.1.1 换填垫层适用于浅层软弱土层或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综合分析后,进行换填垫层的设计,并选择施工方法。

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,厚度宜为 0.5m~3.0m。

4.2 设计

4.2.1 垫层材料的选用应符合下列要求:

1 砂石。宜选用碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂、中砂或石屑,并应级配良好,不含植物残体、垃圾等杂质。当使用粉细砂或石粉时,应掺入不少于总重量 30% 的碎石或卵石。砂石的最大粒径不宜大于 50mm。对湿陷性黄土或膨胀土地基,不得选用砂石等透水性材料。

2 粉质黏土。土料中有机质含量不得超过 5%,且不得含有冻土或膨胀土。当含有碎石时,其最大粒径不宜大于 50mm。用于湿陷性黄土或膨胀土地基的粉质黏土垫层,土料中不得夹有砖、瓦或石块等。

3 灰土。体积配合比宜为 2:8 或 3:7。石灰宜选用新鲜的消石灰,其最大粒径不得大于 5mm。土料宜选用粉质黏土,不宜使用块状黏土,且不得含有松软杂质,土料应过筛且最大粒径不得大于 15mm。

4 粉煤灰。选用的粉煤灰应满足相关标准对腐蚀性和放射性的要求。粉煤灰垫层上宜覆土 0.3m~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。粉煤灰垫层中的金属构件、管网应采取防腐措施。大量填筑粉煤灰时,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。

5 矿渣。宜选用分级矿渣、混合矿渣及原状矿渣等高炉重矿渣。矿渣的松散重度不应小于 11kN/m^3 ,有机质及含泥总量不得超过 5%。垫层设计、施工前应对所选用的矿渣进行试验,确认性能稳定并满足腐

蚀性和放射性安全的要求。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，应经场地地下水和土壤环境的不良影响评价合格后，方可使用。

6 其他工业废渣。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，但应经过现场试验证明其经济技术效果良好且施工措施完善后方可使用。

7 土工合成材料加筋垫层所选用土工合成材料的品种与性能及填料，应根据工程特性和地基土质条件，按照现行国家标准《土工合成材料应用技术规范》GB 50290 的要求，通过设计计算并进行现场试验后确定。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、土工格室、土工垫或土工织物等土工合成材料。垫层填料宜用碎石、角砾、砾砂、粗砂、中砂等材料，且不宜含氯化钙、碳酸钠、硫化物等化学物质。当工程要求垫层具有排水功能时，垫层材料应具有良好的透水性。在软土地基上使用加筋垫层时，应保证建筑物稳定并满足允许变形的要求。

4.2.2 垫层厚度的确定应符合下列规定：

1 应根据需置换软弱土（层）的深度或下卧土层的承载力确定，并应符合下式要求：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{nz} \tag{4.2.2-1}$$

式中： p_z ——相应于作用的标准组合时，垫层底面处的附加压力值（kPa）；

p_{cz} ——垫层底面处土的自重压力值（kPa）；

f_{nz} ——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）和式（4.2.2-3）计算：

1) 条形基础

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

2) 矩形基础

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

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 ——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值（kPa）；

p_c ——基础底面处土的自重压力值（kPa）；

z ——基础底面下垫层的厚度（m）；

θ ——垫层（材料）的压力扩散角（°），宜通过试验确定。无试验资料时，可按表 4.2.2 采用。

表 4.2.2 土和砂石材料压力扩散角 θ （°）

换填材料 z/b	中砂、粗砂、砾砂、 圆砾、角砾、石屑、 卵石、碎石、矿渣	粉质黏土、 粉煤灰	灰土
0.25	20	6	28
≥ 0.50	30	23	

注：1 当 $z/b < 0.25$ 时，除灰土取 $\theta = 28^\circ$ 外，其他材料均取 $\theta = 0^\circ$ ，必要时宜由试验确定；
2 当 $0.25 < z/b < 0.5$ 时， θ 值可以内插；
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 垫层底面的宽度应符合下列规定：

1 垫层底面宽度应满足基础底面应力扩散的要求，可按下式确定：

$$b' \geq b + 2z \tan \theta \tag{4.2.3}$$

式中： b' ——垫层底面宽度（m）；

θ ——压力扩散角，按本规范表 4.2.2 取值；
当 $z/b < 0.25$ 时，按表 4.2.2 中 $z/b = 0.25$ 取值。

2 垫层顶面每边超出基础底边缘不应小于 300mm，且从垫层底面两侧向上，按当地基坑开挖的经验及要求放坡。

3 整片垫层底面的宽度可根据施工的要求适当加宽。

4.2.4 垫层的压实标准可按表 4.2.4 选用。矿渣垫层的压实系数可根据满足承载力设计要求的试验结果，按最后两遍压实的压陷差确定。

表 4.2.4 各种垫层的压实标准

施工方法	换填材料类别	压实系数 λ_c
碾压 振密 或夯实	碎石、卵石	≥ 0.97
	砂夹石（其中碎石、卵石占全重的 30%~50%）	
	土夹石（其中碎石、卵石占全重的 30%~50%）	
	中砂、粗砂、砾砂、角砾、圆砾、石屑	
	粉质黏土	≥ 0.97
	灰土	≥ 0.95
	粉煤灰	≥ 0.95

注：1 压实系数 λ_c 为土的控制干密度 ρ_d 与最大干密度 ρ_{dmax} 的比值；土的最大干密度宜采用击实试验确定；碎石或卵石的最大干密度可取 $2.1t/m^3 \sim 2.2t/m^3$ ；
2 表中压实系数 λ_c 系使用轻型击实试验测定土的最大干密度 ρ_{dmax} 时给出的压实控制标准，采用重型击实试验时，对粉质黏土、灰土、粉煤灰及其他材料压实标准应为压实系数 $\lambda_c \geq 0.94$ 。

4.2.5 换填垫层的承载力宜通过现场静载荷试验确定。

4.2.6 对于垫层下存在软弱下卧层的建筑,在进行地基变形计算时应考虑邻近建筑物基础荷载对软弱下卧层顶面应力叠加的影响。当超出原地面标高的垫层或换填材料的重度高于天然土层重度时,应及时换填,并应考虑其附加荷载的不利影响。

4.2.7 垫层地基的变形由垫层自身变形和下卧层变形组成。换填垫层在满足本规范第 4.2.2 条~4.2.4 条的条件下,垫层地基的变形可仅考虑其下卧层的变形。对地基沉降有严格限制的建筑,应计算垫层自身的变形。垫层下卧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 的规定进行计算。

4.2.8 加筋土垫层所选用的土工合成材料尚应进行材料强度验算:

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

式中: T_a ——土工合成材料在允许延伸率下的抗拉强度 (kN/m);

T_p ——相应于作用的标准组合时,单位宽度的土工合成材料的最大拉力 (kN/m)。

4.2.9 加筋土垫层的加筋体设置应符合下列规定:

- 1 一层加筋时,可设置在垫层的中部;
- 2 多层加筋时,首层筋材距垫层顶面的距离宜取 30% 垫层厚度,筋材层间距宜取 30%~50% 的垫层厚度,且不应小于 200mm;
- 3 加筋线密度宜为 0.15~0.35。无经验时,单层加筋宜取高值,多层加筋宜取低值。垫层的边缘应有足够的锚固长度。

4.3 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。粉质黏土、灰土垫层宜采用平碾、振动碾或羊足碾,以及蛙式夯、柴油夯。砂石垫层等宜用振动碾。粉煤灰垫层宜采用平碾、振动碾、平板振动器、蛙式夯。矿渣垫层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、每层压实遍数宜通过现场试验确定。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,其他垫层的分层铺填厚度宜为 200mm~300mm。为保证分层压实质量,应控制机械碾压速度。

4.3.3 粉质黏土和灰土垫层土料的施工含水量宜控制在 $w_{op} \pm 2\%$ 的范围内,粉煤灰垫层的施工含水量宜控制在 $w_{op} \pm 4\%$ 的范围内。最优含水量 w_{op} 可通过击实试验确定,也可按当地经验选取。

4.3.4 当垫层底部存在古井、古墓、洞穴、旧基础、暗塘时,应根据建筑物对不均匀沉降的控制要求予以处理,并经检验合格后,方可铺填垫层。

4.3.5 基坑开挖时应避免坑底土层受扰动,可保留

180mm~220mm 厚的土层暂不挖去,待铺填垫层前再由人工挖至设计标高。严禁扰动垫层下的软弱土层,应防止软弱垫层被践踏、受冻或受水浸泡。在碎石或卵石垫层底部宜设置厚度为 150mm~300mm 的砂垫层或铺一层土工织物,并应防止基坑边坡塌土混入垫层中。

4.3.6 换填垫层施工时,应采取基坑排水措施。除砂垫层宜采用水撼法施工外,其余垫层施工均不得在浸水条件下进行。工程需要时应采取降低地下水位措施。

4.3.7 垫层底面宜设在同一标高上,如深度不同,坑底土层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。

4.3.8 粉质黏土、灰土垫层及粉煤灰垫层施工,应符合下列规定:

- 1 粉质黏土及灰土垫层分段施工时,不得在柱基、墙角及承重窗间墙下接缝;
- 2 垫层上下两层的缝距不得小于 500mm,且接缝处应夯压密实;
- 3 灰土拌合均匀后,应当日铺填夯压;灰土夯压密实后,3d 内不得受水浸泡;
- 4 粉煤灰垫层铺填后,宜当日压实,每层验收后应及时铺填上层或封层,并应禁止车辆碾压通行;
- 5 垫层施工竣工验收合格后,应及时进行基础施工与基坑回填。

4.3.9 土工合成材料施工,应符合下列要求:

- 1 下铺地基土层顶面应平整;
- 2 土工合成材料铺设顺序应先纵向后横向,且应把土工合成材料张拉平整、绷紧,严禁有皱折;
- 3 土工合成材料的连接宜采用搭接法、缝接法或胶接法,接缝强度不应低于原材料抗拉强度,端部应采用有效方法固定,防止筋材拉出;
- 4 应避免土工合成材料暴晒或裸露,阳光暴晒时间不应大于 8h。

4.4 质量检验

4.4.1 对粉质黏土、灰土、砂石、粉煤灰垫层的施工质量可选用环刀取样、静力触探、轻型动力触探或标准贯入试验等方法进行检验;对碎石、矿渣垫层的施工质量可采用重型动力触探试验等进行检验。压实系数可采用灌砂法、灌水法或其他方法进行检验。

4.4.2 换填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。

4.4.3 采用环刀法检验垫层的施工质量时,取样点应选择位于每层垫层厚度的 2/3 深度处。检验点数量,条形基础下垫层每 10m~20m 不应少于 1 个点,独立柱基、单个基础下垫层不应少于 1 个点,其他基础下垫层每 50m²~100m² 不应少于 1 个点。采用标准贯入试验或动力触探法检验垫层的施工质量时,每

分层平面上检验点的间距不应大于4m。

4.4.4 竣工验收应采用静载荷试验检验垫层承载力,且每个单体工程不宜少于3个点;对于大型工程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 加筋垫层中土工合成材料的检验应符合下列要求:

1 土工合成材料质量应符合设计要求,外观无破损、无老化、无污染;

2 土工合成材料应可张拉、无皱折、紧贴下承层,锚固端应锚固牢靠;

3 上下层土工合成材料搭接缝应交替错开,搭接强度应满足设计要求。

5 预压地基

5.1 一般规定

5.1.1 预压地基适用于处理淤泥质土、淤泥、冲填土等饱和黏性土地基。预压地基按处理工艺可分为堆载预压、真空预压、真空和堆载联合预压。

5.1.2 真空预压适用于处理以黏性土为主的软弱地基。当存在粉土、砂土等透水、透气层时,加固区周边应采取确保膜下真空压力满足设计要求的密封措施。对塑性指数大于25且含水量大于85%的淤泥,应通过现场试验确定其适用性。加固土层上覆盖有厚度大于5m以上的回填土或承载力较高的黏性土层时,不宜采用真空预压处理。

5.1.3 预压地基应预先通过勘察查明土层在水平和竖直方向的分布、层理变化,查明透水层的位置、地下水类型及水源补给情况等。并应通过土工试验确定土层的先期固结压力、孔隙比与固结压力的关系、渗透系数、固结系数、三轴试验抗剪强度指标,通过原位十字板试验确定土的抗剪强度。

5.1.4 对重要工程,应在现场选择试验区进行预压试验,在预压过程中应进行地基竖向变形、侧向位移、孔隙水压力、地下水位等项目的监测并进行原位十字板剪切试验和室内土工试验。根据试验区获得的监测资料确定加载速率控制指标,推算土的固结系数、固结度及最终竖向变形等,分析地基处理效果,对原设计进行修正,指导整个场区的设计与施工。

5.1.5 对堆载预压工程,预压荷载应分级施加,并确保每级荷载下地基的稳定性;对真空预压工程,可采用一次连续抽真空至最大压力的加载方式。

5.1.6 对主要以变形控制设计的建筑物,当地基土经预压所完成的变形量和平均固结度满足设计要求时,方可卸载。对以地基承载力或抗滑稳定性控制设计的建筑物,当地基土经预压后其强度满足建筑物地基承载力或稳定性要求时,方可卸载。

5.1.7 当建筑物的荷载超过真空预压的压力,或建

筑物对地基变形有严格要求时,可采用真空和堆载联合预压,其总压力宜超过建筑物的竖向荷载。

5.1.8 预压地基加固应考虑预压施工对相邻建筑物、地下管线等产生附加沉降的影响。真空预压地基加固区边线与相邻建筑物、地下管线等的距离不宜小于20m,当距离较近时,应对相邻建筑物、地下管线等采取保护措施。

5.1.9 当受预压时间限制,残余沉降或工程投入使用后的沉降不满足工程要求时,在保证整体稳定条件下可采用超载预压。

5.2 设计

I 堆载预压

5.2.1 对深厚软黏土地基,应设置塑料排水带或砂井等排水竖井。当软土层厚度较小或软土层中含较多薄粉砂夹层,且固结速率能满足工期要求时,可不设置排水竖井。

5.2.2 堆载预压地基处理的设计应包括下列内容:

1 选择塑料排水带或砂井,确定其断面尺寸、间距、排列方式和深度;

2 确定预压区范围、预压荷载大小、荷载分级、加载速率和预压时间;

3 计算堆载荷载作用下地基土的固结度、强度增长、稳定性和变形。

5.2.3 排水竖井分普通砂井、袋装砂井和塑料排水带。普通砂井直径宜为300mm~500mm,袋装砂井直径宜为70mm~120mm。塑料排水带的当量换算直径可按式(5.2.3)计算:

$$d_p = \frac{2(b+\delta)}{\pi} \quad (5.2.3)$$

式中: d_p ——塑料排水带当量换算直径(mm);

b ——塑料排水带宽度(mm);

δ ——塑料排水带厚度(mm)。

5.2.4 排水竖井可采用等边三角形或正方形排列的平面布置,并应符合下列规定:

1 当等边三角形排列时,

$$d_e = 1.05l \quad (5.2.4-1)$$

2 当正方形排列时,

$$d_e = 1.13l \quad (5.2.4-2)$$

式中: d_e ——竖井的有效排水直径;

l ——竖井的间距。

5.2.5 排水竖井的间距可根据地基土的固结特性和预定时间内所要求达到的固结度确定。设计时,竖井的间距可按井径比 n 选用 ($n=d_e/d_w$, d_w 为竖井直径,对塑料排水带可取 $d_w=d_p$)。塑料排水带或袋装砂井的间距可按 $n=15\sim22$ 选用,普通砂井的间距可按 $n=6\sim8$ 选用。

5.2.6 排水竖井的深度应符合下列规定:

1 根据建筑物对地基的稳定性、变形要求和工期确定;

2 对以地基抗滑稳定性控制的工程,竖井深度应大于最危险滑动面以下 2.0m;

3 对以变形控制的建筑工程,竖井深度应根据在限定的预压时间内需完成的变形量确定;竖井宜穿透受压土层。

5.2.7 一级或多级等速加载条件下,当固结时间为 t 时,对应总荷载的地基平均固结度可按下式计算:

$$\bar{U}_t = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{q}_i}{\Sigma \Delta p} \left[(T_i - T_{i-1}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta T_i} (e^{\beta T_i} - e^{\beta T_{i-1}}) \right] \quad (5.2.7)$$

式中: $\bar{U}_t$ —— t 时间地基的平均固结度;

$\dot{q}_i$ ——第 i 级荷载的加载速率 (kPa/d);

$\Sigma \Delta p$ ——各级荷载的累加值 (kPa);

T_{i-1}, T_i ——分别为第 i 级荷载加载的起始和终止时间 (从零点起算) (d),当计算第 i 级荷载加载过程中某时间 t 的固结度时, T_i 改为 t ;

α, β ——参数,根据地基土排水固结条件按表 5.2.7 采用。对竖井地基,表中所列 β 为不考虑涂抹和井阻影响的参数值。

表 5.2.7 α 和 β 值

排水固结条件 参数	竖向排水固结 $\bar{U}_z > 30\%$	向内 径向排水固结	竖向和向 内径向排水固结 (竖 井穿透受压土层)	说 明
α	$\frac{8}{\pi^2}$	1	$\frac{8}{\pi^2}$	$F_n = \frac{n^2}{n^2-1} \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$ c_h ——土的径向排水固结系数 (cm^2/s); c_v ——土的竖向排水固结系数 (cm^2/s); H ——土层竖向排水距离 (cm);
β	$\frac{\pi^2 c_v}{4H^2}$	$\frac{8c_h}{F_n d_c^2}$	$\frac{8c_h}{F_n d_c^2} + \frac{\pi^2 c_v}{4H^2}$	$\bar{U}_z$ ——双面排水土层或固结应力均匀分布的单面排水土层平均固结度

5.2.8 当排水竖井采用挤土方式施工时,应考虑涂抹对土体固结的影响。当竖井的纵向通水量 q_w 与天然土层水平向渗透系数 k_h 的比值较小,且长度较长时,尚应考虑井阻影响。瞬时加载条件下,考虑涂抹和井阻影响时,竖井地基径向排水平均固结度可按下列公式计算:

$$\bar{U}_r = 1 - e^{-\frac{8c_h}{F_n d_c^2} t} \quad (5.2.8-1)$$

$$F = F_n + F_s + F_r \quad (5.2.8-2)$$

$$F_n = \ln(n) - \frac{3}{4} \quad n \geq 15 \quad (5.2.8-3)$$

$$F_s = \left[\frac{k_h}{k_s} - 1 \right] \ln s \quad (5.2.8-4)$$

$$F_r = \frac{\pi^2 L^2}{4} \frac{k_h}{q_w} \quad (5.2.8-5)$$

式中: $\bar{U}_r$ ——固结时间 t 时竖井地基径向排水平均固结度;

k_h ——天然土层水平向渗透系数 (cm/s);

k_s ——涂抹区土的水平向渗透系数,可取 $k_s = (1/5 \sim 1/3)k_h$ (cm/s);

s ——涂抹区直径 d_s 竖井直径 d_w 的比值,可取 $s = 2.0 \sim 3.0$,对中等灵敏黏性土取低值,对高灵敏黏性土取高值;

L ——竖井深度 (cm);

q_w ——竖井纵向通水量,为单位水力梯度下单位时间的排水量 (cm^3/s)。

一级或多级等速加荷条件下,考虑涂抹和井阻影响时竖井穿透受压土层地基的平均固结度可按式

$$(5.2.7) \text{ 计算, 其中, } \alpha = \frac{8}{\pi^2}, \beta = \frac{8c_h}{F_n d_c^2} + \frac{\pi^2 c_v}{4H^2}。$$

5.2.9 对排水竖井未穿透受压土层的情况,竖井范围内土层的平均固结度和竖井底面以下受压土层的平均固结度,以及通过预压完成的变形量均应满足设计要求。

5.2.10 预压荷载大小、范围、加载速率应符合下列规定:

1 预压荷载大小应根据设计要求确定;对于沉降有严格限制的建筑,可采用超载预压法处理,超载量大小应根据预压时间内要求完成的变形量通过计算确定,并宜使预压荷载下受压土层各点的有效竖向应力大于建筑物荷载引起的相应点的附加应力;

2 预压荷载顶面的范围应不小于建筑物基础外缘的范围;

3 加载速率应根据地基土的强度确定;当天然地基土的强度满足预压荷载下地基的稳定性要求时,可一次性加载;如不满足应分级逐渐加载,待前期预压荷载下地基土的强度增长满足下一级荷载下地基的稳定性要求时,方可加载。

5.2.11 计算预压荷载下饱和黏性土地基中某点的抗剪强度时,应考虑土体原来的固结状态。对正常固结饱和黏性土地基,某点某一时间的抗剪强度可按下式计算:

$$\tau_{ft} = \tau_{f0} + \Delta \sigma_z \cdot U_t \tan \varphi_{cu} \quad (5.2.11)$$

式中: τ_{ft} —— t 时刻,该点土的抗剪强度 (kPa);

τ_{f0} ——地基土的天然抗剪强度 (kPa);

$\Delta \sigma_z$ ——预压荷载引起的该点的附加竖向应力

(kPa);

U_t ——该点土的固结度;

φ_{cu} ——三轴固结不排水压缩试验求得的土的
摩擦角 ($^{\circ}$)。

5.2.12 预压荷载下地基最终竖向变形量的计算可取附加应力与土自重应力的比值为 0.1 的深度作为压缩层的计算深度,可按式 (5.2.12) 计算:

$$s_f = \xi \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} h_i \quad (5.2.12)$$

式中: s_f ——最终竖向变形量 (m);

e_{0i} ——第 i 层中点土自重应力所对应的孔隙比,由室内固结试验 $e-p$ 曲线查得;

e_{1i} ——第 i 层中点土自重应力与附加应力之和所对应的孔隙比,由室内固结试验 $e-p$ 曲线查得;

h_i ——第 i 层土层厚度 (m);

ξ ——经验系数,可按地区经验确定。无经验时对正常固结饱和黏性土地基可取 $\xi = 1.1 \sim 1.4$; 荷载较大或地基软弱土层厚度大时应取较大值。

5.2.13 预压处理地基应在地表铺设与排水竖井相连的砂垫层,砂垫层应符合下列规定:

1 厚度不应小于 500mm;

2 砂垫层砂料宜用中粗砂,黏粒含量不应大于 3%,砂料中可含有少量粒径不大于 50mm 的砾石;砂垫层的干密度应大于 1.5 t/m^3 ,渗透系数应大于 $1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。

5.2.14 在预压区边缘应设置排水沟,在预压区内宜设置与砂垫层相连的排水盲沟,排水盲沟的间距不宜大于 20m。

5.2.15 砂井的砂料应选用中粗砂,其黏粒含量不应大于 3%。

5.2.16 堆载预压处理地基设计的平均固结度不宜低于 90%,且应在现场监测的变形速率明显变缓时方可卸载。

II 真空预压

5.2.17 真空预压处理地基应设置排水竖井,其设计应包括下列内容:

1 竖井断面尺寸、间距、排列方式和深度;

2 预压区面积和分块大小;

3 真空预压施工工艺;

4 要求达到的真空度和土层的固结度;

5 真空预压和建筑物荷载下地基的变形计算;

6 真空预压后的地基承载力增长计算。

5.2.18 排水竖井的间距可按本规范第 5.2.5 条确定。

5.2.19 砂井的砂料应选用中粗砂,其渗透系数应大于 $1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。

5.2.20 真空预压竖向排水通道宜穿透软土层,但不应进入下卧透水层。当软土层较厚、且以地基抗滑稳定性控制的工程,竖向排水通道的深度不应小于最危险滑动面下 2.0m。对以变形控制的工程,竖井深度应根据在限定的预压时间内需完成的变形量确定,且宜穿透主要受压土层。

5.2.21 真空预压区边缘应大于建筑物基础轮廓线,每边增加量不得小于 3.0m。

5.2.22 真空预压的膜下真空度应稳定地保持在 86.7kPa (650mmHg) 以上,且应均匀分布,排水竖井深度范围内土层的平均固结度应大于 90%。

5.2.23 对于表层存在良好的透气层或在处理范围内有充足水源补给的透水层,应采取有效措施隔断透气层或透水层。

5.2.24 真空预压固结度和地基强度增长的计算可按本规范第 5.2.7 条、第 5.2.8 条和第 5.2.11 条计算。

5.2.25 真空预压地基最终竖向变形可按本规范第 5.2.12 条计算。 ξ 可按当地经验取值,无当地经验时, ξ 可取 1.0~1.3。

5.2.26 真空预压地基加固面积较大时,宜采取分区加固,每块预压面积应尽可能大且呈方形,分区面积宜为 $20000 \text{ m}^2 \sim 40000 \text{ m}^2$ 。

5.2.27 真空预压地基加固可根据加固面积的大小、形状和土层结构特点,按每套设备可加固地基 $1000 \text{ m}^2 \sim 1500 \text{ m}^2$ 确定设备数量。

5.2.28 真空预压的膜下真空度应符合设计要求,且预压时间不宜低于 90d。

III 真空和堆载联合预压

5.2.29 当设计地基预压荷载大于 80kPa,且进行真空预压处理地基不能满足设计要求时可采用真空和堆载联合预压地基处理。

5.2.30 堆载体的坡肩线宜与真空预压边线一致。

5.2.31 对于一般软黏土,上部堆载施工宜在真空预压膜下真空度稳定地达到 86.7kPa (650mmHg) 且抽真空时间不少于 10d 后进行。对于高含水量的淤泥类土,上部堆载施工宜在真空预压膜下真空度稳定地达到 86.7kPa (650mmHg) 且抽真空 20d~30d 后可进行。

5.2.32 当堆载较大时,真空和堆载联合预压应采用分级加载,分级数应根据地基土稳定计算确定。分级加载时,应待前期预压荷载下地基的承载力增长满足下一级荷载下地基的稳定性要求时,方可增加堆载。

5.2.33 真空和堆载联合预压时地基固结度和地基承载力增长可按本规范第 5.2.7 条、5.2.8 条和 5.2.11 条计算。

5.2.34 真空和堆载联合预压最终竖向变形可按本规范第 5.2.12 条计算, ξ 可按当地经验取值,无当地经验时, ξ 可取 1.0~1.3。

I 堆载预压

5.3.1 塑料排水带的性能指标应符合设计要求,并应在现场妥善保护,防止阳光照射、破损或污染。破损或污染的塑料排水带不得在工程中使用。

5.3.2 砂井的灌砂量,应按井孔的体积和砂在中密状态时的干密度计算,实际灌砂量不得小于计算值的95%。

5.3.3 灌入砂袋中的砂宜用干砂,并应灌制密实。

5.3.4 塑料排水带和袋装砂井施工时,宜配置深度检测设备。

5.3.5 塑料排水带需接长时,应采用滤膜内芯带平搭接的连接方法,搭接长度宜大于200mm。

5.3.6 塑料排水带施工所用套管应保证插入地基中的带子不扭曲。袋装砂井施工所用套管内径应大于砂井直径。

5.3.7 塑料排水带和袋装砂井施工时,平面井距偏差不应大于井径,垂直度允许偏差应为 $\pm 1.5\%$,深度应满足设计要求。

5.3.8 塑料排水带和袋装砂井砂袋埋入砂垫层中的长度不应小于500mm。

5.3.9 堆载预压加载过程中,应满足地基承载力和稳定控制要求,并应进行竖向变形、水平位移及孔隙水压力的监测,堆载预压加载速率应满足下列要求:

- 1 竖井地基最大竖向变形量不应超过15mm/d;
- 2 天然地基最大竖向变形量不应超过10mm/d;
- 3 堆载预压边缘处水平位移不应超过5mm/d;
- 4 根据上述观测资料综合分析、判断地基的承载力和稳定性。

II 真空预压

5.3.10 真空预压的抽气设备宜采用射流真空泵,真空泵空抽吸力不应低于95kPa。真空泵的设置应根据地基预压面积、形状、真空泵效率和工程经验确定,每块预压区设置的真空泵不应少于两台。

5.3.11 真空管路设置应符合下列规定:

1 真空管路的连接应密封,真空管路中应设置止回阀和截门;

2 水平向分布滤水管可采用条状、梳齿状及羽毛状等形式,滤水管布置宜形成回路;

3 滤水管应设在砂垫层中,上覆砂层厚度宜为100mm~200mm;

4 滤水管可采用钢管或塑料管,应外包尼龙纱或土工织物等滤水材料。

5.3.12 密封膜应符合下列规定:

1 密封膜应采用抗老化性能好、韧性好、抗穿刺性能强的不透气材料;

2 密封膜热合时,宜采用双热合缝的平搭接,搭接宽度应大于15mm;

3 密封膜宜铺设三层,膜周边可采用挖沟埋膜,平铺并用黏土覆盖压边、围埝沟内及膜上覆水等方法进行密封。

5.3.13 地基土渗透性强时,应设置黏土密封墙。黏土密封墙宜采用双排搅拌桩,搅拌桩直径不宜小于700mm;当搅拌桩深度小于15m时,搭接宽度不宜小于200mm;当搅拌桩深度大于15m时,搭接宽度不宜小于300mm;搅拌桩成桩搅拌应均匀,黏土密封墙的渗透系数应满足设计要求。

III 真空和堆载联合预压

5.3.14 采用真空和堆载联合预压时,应先抽真空,当真空压力达到设计要求并稳定后,再进行堆载,并继续抽真空。

5.3.15 堆载前,应在膜上铺设编织布或无纺布等土工编织布保护层。保护层上铺设100mm~300mm厚砂垫层。

5.3.16 堆载施工时可采用轻型运输工具,不得损坏密封膜。

5.3.17 上部堆载施工时,应监测膜下真空度的变化,发现漏气应及时处理。

5.3.18 堆载加载过程中,应满足地基稳定性设计要求,对竖向变形、边缘水平位移及孔隙水压力的监测应满足下列要求:

- 1 地基向加固区外的侧移速率不应大于5mm/d;
- 2 地基竖向变形速率不应大于10mm/d;
- 3 根据上述观察资料综合分析、判断地基的稳定性。

5.3.19 真空和堆载联合预压除满足本规范第5.3.14条~5.3.18条规定外,尚应符合本规范第5.3节“I堆载预压”和“II真空预压”的规定。

5.4 质量检验

5.4.1 施工过程中,质量检验和监测应包括下列内容:

1 对塑料排水带应进行纵向通水量、复合体抗拉强度、滤膜抗拉强度、滤膜渗透系数和等效孔径等性能指标现场随机抽样测试;

2 对不同来源的砂井和砂垫层砂料,应取样进行颗粒分析和渗透性试验;

3 对以地基抗滑稳定性控制的工程,应在预压区内预留孔位,在加载不同阶段进行原位十字板剪切试验和取土进行室内土工试验;加固前的地基土检测,应在打设塑料排水带之前进行;

4 对预压工程,应进行地基竖向变形、侧向位移和孔隙水压力等监测;

5 真空预压、真空和堆载联合预压工程,除应进行地基变形、孔隙水压力监测外,尚应进行膜下真空度和地下水位监测。

5.4.2 预压地基竣工验收检验应符合下列规定:

1 排水竖井处理深度范围内和竖井底面以下受压土层,经预压所完成的竖向变形和平均固结度应满足设计要求;

2 应对预压的地基土进行原位试验和室内土工试验。

5.4.3 原位试验可采用十字板剪切试验或静力触探,检验深度不应小于设计处理深度。原位试验和室内土工试验,应在卸载 3d~5d 后进行。检验数量按每个处理分区不少于 6 点进行检测,对于堆载斜坡处应增加检验数量。

5.4.4 预压处理后的地基承载力应按本规范附录 A 确定。检验数量按每个处理分区不应少于 3 点进行检测。

6 压实地基和夯实地基

6.1 一般规定

6.1.1 压实地基适用于处理大面积填土地基。浅层软弱地基以及局部不均匀地基的换填处理应符合本规范第 4 章的有关规定。

6.1.2 夯实地基可分为强夯和强夯置换处理地基。强夯处理地基适用于碎石土、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;强夯置换适用于高饱和度的粉土与软塑~流塑的黏性土地基上对变形要求不严格的工程。

6.1.3 压实和夯实处理后的地基承载力应按本规范附录 A 确定。

6.2 压实地基

6.2.1 压实地基处理应符合下列规定:

1 地下水位以上填土,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。

2 压实地基的设计和施工方法的选择,应根据建筑物体型、结构与荷载特点、场地土层条件、变形要求及填料等因素确定。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。

3 以压实填土作为建筑地基持力层时,应根据建筑结构类型、填料性能和现场条件等,对拟压实的填土提出质量要求。未经检验,且不符合质量要求的压实填土,不得作为建筑地基持力层。

4 对大面积填土的设计和施工,应验算并采取有效措施确保大面积填土自身稳定性、填土下原地基

的稳定性、承载力和变形满足设计要求;应评估对邻近建筑物及重要市政设施、地下管线等的变形和稳定的影响;施工过程中,应对大面积填土和邻近建筑物、重要市政设施、地下管线等进行变形监测。

6.2.2 压实填土地基的设计应符合下列规定:

1 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、无腐蚀性和无放射性危害的工业废料等,并应满足下列要求:

- 1) 以碎石土作填料时,其最大粒径不宜大于 100mm;
- 2) 以粉质黏土、粉土作填料时,其含水量宜为最优含水量,可采用击实试验确定;
- 3) 不得使用淤泥、耕土、冻土、膨胀土以及有机质含量大于 5% 的土料;
- 4) 采用振动压实法时,宜降低地下水位到振实面下 600mm。

2 碾压法和振动压实法施工时,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。初步设计可按表 6.2.2-1 选用。

表 6.2.2-1 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 15 kJ~25kJ)	600~1500	20~40

3 对已经回填完成且回填厚度超过表 6.2.2-1 中的铺填厚度,或粒径超过 100mm 的填料含量超过 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。

4 压实填土的质量以压实系数 λ_c 控制,并应根据结构类型和压实填土所在部位按表 6.2.2-2 的要求确定。

表 6.2.2-2 压实填土的质量控制

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

注:地坪垫层以下及基础底面标高以上的压实填土,压实系数不应小于 0.94。