**UDC**

**DB**

广西壮族自治区工程建设地方标准

DBJ/TXX-xxxx

 备案号：xxxxx

建筑地基处理技术规程

Technical code for foundation treatment of buildings

2025-XX-XX发布 202X-XX-XX 实施

广西壮族自治区住房和城乡建设厅 发布

**前 言**

根据《自治区住房城乡建设厅关于征集2019年工程建设地方标准（修）订项目计划的通知》（桂建标2019）21号的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结广西近年来建筑地基处理设计、施工、质量检验的经验，参考国家标准及区内外先进相关地方标准，并在广泛征求意见的基础上制定。

本规程共分为17章4个附录。其主要技术内容包括总则、术语和符号、基本规定、换填垫层与压实地基、预压地基、强夯地基、水泥土搅拌桩复合地基、旋喷桩复合地基、碎石桩复合地基、水泥粉煤灰碎石桩复合地基、刚性桩复合地基、注浆加固、微型桩加固、组合桩复合地基、膨胀土地基处理、岩溶地基处理、地基处理智能化技术。

请注意本规程的某些内容可能涉及专利。本规程由广西壮族自治区住房和城乡建设厅负责管理。

本规程起草单位：广西华蓝岩土工程有限公司

 （南宁市望州路北二里38号，邮编530001）

广西大汉岩土工程有限公司

广西有色勘察设计研究院

广西壮族自治区桂林水文工程资质勘察院有限公司

桂林建筑规划设计集团有限公司

广西建业勘察设计有限公司

核工业柳州工程勘察院

广西桂楚地基基础工程有限公司

广西昇龙工程勘察设计检测有限公司

广西三同工程勘察检测有限公司

贺州市勘察测绘研究院有限公司

广西云科岩土工程有限公司

广西三建工程勘察设计有限公司

本规程主要起草人：卢玉南 陆韦春 丁红萍 张永闯 明守成 唐飞跃 李子登 颜 平 翁敦贤 黄汉林 刘永红 黄 歆 秦 群 黄剑军 李志强 曾 铖 王长庆 韦小鸾 何忠山 赵志永 吕奉成 冯 映 廖海志 蓝红珠 袁韶彬 阮学柱 苏 梅 阮学平 梁 琳 李 欣 梁耀平 陈述明 苏燕奕 沈玉高 张戈腾 韦 慈

 本规程主要审查人：

**目 次**

1 总 则 1

2 术语和符号 2

2.1 术 语 2

2.2 符 号 4

3 基本规定 7

4 换填垫层与压实地基 10

4.1 一般规定 10

4.2 设 计 10

4.3 施 工 18

4.4 质量检验 20

5 预压地基 23

5.1 一般规定 23

5.2 设 计 24

5.3 施 工 31

5.4 质量检验 33

6 强夯地基 35

6.1 一般规定 35

6.2 设 计 35

6.3 施 工 39

6.4 质量检验 40

7 水泥土搅拌桩复合地基 43

7.1 一般规定 43

7.2 设 计 44

7.3 施 工 47

7.4 质量检验 48

8 旋喷桩复合地基 50

8.1 一般规定 50

8.2 设 计 50

8.3 施 工 52

8.4 质量检验 53

9 碎石桩复合地基 55

9.1 一般规定 55

9.2 设 计 55

9.3 施 工 57

9.4 质量检验 58

10 水泥粉煤灰碎石桩复合地基 60

10.1 一般规定 60

10.2 设 计 60

10.3 施 工 63

10.4 质量检验 64

11 刚性桩复合地基 66

11.1 一般规定 66

11.2 设 计 66

11.3 施 工 70

11.4 质量检验 71

12 注浆加固 72

12.1 一般规定 72

12.2 设 计 72

12.3 施 工 75

12.4 质量检验 76

13 微型桩加固 78

13.1 一般规定 78

13.2 设 计 79

13.3 施 工 80

13.4 质量检验 82

14 组合桩复合地基 83

14.1 一般规定 83

14.2 设 计 83

14.3 施 工 87

14.4 质量检验 88

15 膨胀土地基处理 90

15.1 一般规定 90

15.2 膨胀土地基处理方法 90

16 岩溶地基处理 92

16.1 一般规定 92

16.2 岩溶地基处理方法 93

17 地基处理智能化技术 97

17.1 一般规定 97

附 录 A 处理后地基静载荷试验要点 98

（规范性） 98

附 录 B 复合地基静载荷试验要点 100

（规范性） 100

附 录 C 复合地基增强体单桩静载荷试验要点 103

（规范性） 103

附 录 D 泡沫轻质土充填处理的配合比 105

（资料性） 105

本规程用词说明 108

引用标准名录 109

Contents

1 General Provisions 1

2 Terms and Symbols 2

 2.1 Terms........................................2

2.2 Conditions...................................4

3 Basic Requirements 7

4 Replacement Cushion and Compacted Foundation 10

4.1 General Requirements 10

4.2 Design 10

4.3 Construction 18

4.4 Quality Inspection 20

5 Preloading Foundation 23

5.1 General Requirements 23

5.2 Design 24

5.3 Construction 31

5.4 Quality Inspection 33

6 Dynamic Compaction Foundation 35

6.1 General Requirements 35

6.2 Design 35

6.3 Construction 39

6.4 Quality Inspection 40

7 Cement - soil Mixing Pile Composite Foundation 43

7.1 General Requirements 43

7.2 Design 44

7.3 Construction 47

7.4 Quality Inspection 48

8 Jet - grouting Pile Composite Foundation 50

8.1 General Requirements 50

8.2 Design 50

8.3 Construction 52

8.4 Quality Inspection 53

9 Gravel Pile Composite Foundation 55

9.1 General Requirements 55

9.2 Design 55

9.3 Construction 57

9.4 Quality Inspection 58

10 Cement - Fly Ash - Gravel Pile Composite Foundation 60

10.1 General Requirements 60

10.2 Design 60

10.3 Construction 63

10.4 Quality Inspection 64

11 Rigid Pile Composite Foundation 66

11.1 General Requirements 66

11.2 Design 66

11.3 Construction 70

11.4 Quality Inspection 71

12 Grouting Reinforcement 72

12.1 General Requirements 72

12.2 Design 72

12.3 Construction 75

12.4 Quality Inspection 76

13 Miniature Pile Reinforcement 78

13.1 General Requirements 78

13.2 Design 79

13.3 Construction 80

13.4 Quality Inspection 82

14 Combined Pile Composite Foundation 83

14.1 General Requirements 83

14.2 Design 83

14.3 Construction 87

14.4 Quality Inspection 88

15 Treatment of Expansive Soil Foundation 90

15.1 General Requirements 90

15.2 Treatment Methods of Expansive Soil Foundation 90

16 Treatment of Karst Foundation 92

16.1 General Requirements 92

16.2 Treatment Methods of Karst Foundation 93

17 Intelligent Technology for Foundation Treatment98

 17.1 General Requirements.......................98

Appendix A (Normative) Essentials of Static Load Test for Treated Foundation 99

Appendix B (Normative) Essentials of Static Load Test for Composite Foundation 101

Appendix C (Normative) Essentials of Static Load Test for Enhanced Single Pile of Composite Foundation 104

Appendix D (Informative) Mix Proportions for Foamed Lightweight Soil Filling Treatment ..............106

Explanation of Wording in this code.............109

List of Quoted Standards........................ 110

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在广西壮族自治区地基处理的设计、施工、质量检验与验收中贯彻国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、确保质量、经济合理、保护环境，特制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于广西壮族自治区行政区域内房屋建筑与市政工程地基处理的设计、施工、质量检验与验收。

**1.0.3** 地基处理应做到因地制宜、就地取材、节约资源和保护环境等。

**1.0.4** 地基处理除应符合本规程的规定外，尚应满足国家和广西壮族自治区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

为提高地基承载力，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 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， 回填其他性能稳定、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** 压实地基 compacted foundation

利用平碾、振动碾、冲击碾或其他碾压设备将填土进行分层密实处理而形成的地基。

**2.1.6** 预压地基 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** 强夯地基 rammed ground

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，将地基土夯实或置换形成的地基。

**2.1.8** 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。

**2.1.9** 碎石桩复合地基 composite foundation with vibroflotation gravel columns

将碎石、砂或砂石混合料挤压入已成的孔中，形成密实碎石或砂石竖向增强体的复合地基。

**2.1.10** 刚性桩复合地基 rigid pile composite foundation

以刚性桩作为竖向增强体的复合地基。

**2.1.11** 注浆加固 ground improvementby 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。

**2.1.12** 微型桩加固 reinforcement with micropiles

用桩机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对地基进行加固的处理方法。

**2.1.13** 组合桩复合地基 composite foundation with different piles 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。

**2.1.14** 膨胀土地基处理 treatment of expansive soil foundation

采用物理、化学或其他地基处理方法对膨胀土地基进行处理。

**2.1.15** 岩溶地基处理 treatment of karst foundation

采用充填、跨越、穿越或其他地基处理方法对岩溶地基进行处理。

**2.1.16** 地基处理智能化技术 intelligent technology for foundation treatment

应用于地基处理的各种软件、智能设备、远程控制等先进技术。

## 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；

*pc* ——基础底面处土的自重压力值；

*pcz* ——垫层底面处土的自重压力值；

*pk* ——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值；

*p* ——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

*Dr*  ——砂土相对密实度；

*Dri* ——地基挤密后要求砂土达到的相对密实度；

*ds* ——土粒相对密度(比重) ；

*e* ——孔隙比；

*e0* ——地基处理前的孔隙比；

*e1* ——地基挤密后要求达到的孔隙比；

*eman、emin* ——砂土的最大、最小孔隙比；

*fak*  ——天然地基承载力特征值；

*faz* ——垫层底面处经深度修正后的地基承载力特征值；

*fcu* ——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；

*fsk* ——处理后桩间土的承载力特征值；

*fspa* ——深度修正后的复合地基承载力特征值；

*fspk* ——复合地基的承载力特征值；

*kh* ——天然土层水平向渗透系数；

*ks* ——涂抹区的水平向渗透系数；

*qp* ——桩端端阻力特征值；

*qs* ——桩周土的侧阻力特征值；

*qw* ——竖井纵向通水量，为单位水力梯度下单位时间的排水量；

*Ra* ——单桩竖向承载力特征值；

*Ta* ——土工合成材料在允许延伸率下的抗拉强度；

*Tp* ——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；

*Ut* ——t时间地基的平均固结度；

*ωop* ——最优含水量；

*αp* ——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；

*λc* ——压实系数；

*ρd* ——干密度；

*ρdmax* ——最大干密度；

*ρc* ——黏粒含量；

*ρw* ——水的密度；

*τft* ——t时刻，该点土的抗剪强度；

*τf0* ——地基土的天然抗剪强度；

*Δσz* ——预压荷载引起的该点的附加竖向应力；

*φcu* ——三轴固结不排水压缩试验求得的土的内摩擦角；

*ηc* ——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；

*Ae* ——一根桩承担的处理地基面积；

*Ap* ——桩的截面积；

*b* ——基础底面宽度、塑料排水带宽度；

*d* ——桩的直径；

*de*  ——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；

*dp*  ——塑料排水带当量换算直径；

*l*  ——基础底面长度；

*lp* ——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** 在进行地基处理设计前，应完成下列工作：

**1** 搜集岩土工程详细勘察资料、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、处理范围和处理后要求达到的各项技术经济指标等；

**4** 调查邻近建（构）筑物、地下工程、周边道路及有关管线埋设等现状情况；

**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。

**3.0.3** 地基处理方法的确定应符合下列要求：

**1** 根据上部结构类型、荷载大小、使用要求和地基基础设计等级，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（构）筑物的影响、施工条件等因素进行综合分析，通过地基处理方案比选，确定安全、可行、经济的地基处理方案；

**2** 对选定的地基处理方案，宜按建筑物地基基础设计等级和场地复杂程度，在场地有代表性的区域进行试验性施工，并进行现场试验，以检验设计参数和处理效果，根据现场试验结果对设计方案进行优化。

**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时，应对地基承载力特征值进行修正，并应符合下列规定：

**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pc≥10%的粉土，可取1.5，对于干密度大于2.1t/m³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可取零，基础埋深的地基承载力修正系数可取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，以下情形尚应进行有关验算：

**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** 建筑物及构筑物在处理后的地基上受较大水平荷载或位于斜坡上时，应进行地基稳定性验算。

**4** 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。

**5** 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。

**3.0.6** 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。

**3.0.7** 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。

**3.0.8** 采用多种地基处理方法的地基承载力检验，宜采用大尺寸承压板将每一种方法都涵盖进行载荷试验，试验最大加载量不应小于地基承载力特征值的2.0倍。

**3.0.9** 地基处理所采用的材料，应符合现行有关标准对耐久性设计与使用的要求。

**3.0.10** 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。处理后地基载荷试验、复合地基载荷试验和复合地基增强体单桩载荷试验应符合本规程附录A、附录B和附录C的规定。

**3.0.11** 国家现行规范《建筑地基基础设计规范》 GB50007 规定需要进行地基变形计算的建筑物或构筑物，地基处理后应进行沉降观测，具体应按《建筑变形测量规范》JGJ8 执行。

# 4 换填垫层与压实地基

## 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，压实地基适用于大面积填土的地基处理。

**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和施工方法选择。

**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

（Ⅰ）换填垫层设计

**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%，且不得含有膨胀土。当含有碎石时，其最大粒径不宜大于50mm。 用于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，换算成重量比分别为10:100和15:100。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宜大于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，应经场地地下水和土壤环境的不良影响评价合格后，方可使用。

**5** 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。

**6** 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/T 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：

  (4.2.2-1)

式中 ：——相应于作用的标准组合时，垫层底面处的附加压力值 (kPa)；

——垫层底面处土的自重压力值 (kPa)；

——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pz可分别按式(4.2.2-2）和式（4.2.2-3）计算：

1）条形基础

  (4.2.2-2)

2）矩形基础

  (4.2.2-3)

式中 : —— 矩形基础或条形基础底面的宽度 (m)；

——矩形基础底面的长度（m）；

——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值（kPa）；

——基础底面处土的自重压力值 (kPa)；

——基础底面下垫层的厚度 (m)；

——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 垫层材料压力扩散角θ(°)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| z/b换填材料 | 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θ=28°外，其他材料均取θ=0°，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：

  (4.2.3)

式中：——垫层底面宽度 (m)；

——压力扩散角，按本规程表4.2.2取值；当时，按表5.2.2中取值。

**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，按当地基坑开挖保持基坑稳定的经验及要求放坡。

**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λc | 承载力特征值经验值fak（kPa） |
| 碾压振密或夯实 | 碎石、卵石 | ≥0.97 | 200-350 |
| 砂夹石（其中碎石、卵石占全重的30%～50%） | 180-300 |
| 土夹石（其中碎石、卵石占全重的30%～50%） | 150-250 |
| 中砂、粗砂、砾砂、角砾、圆砾、石屑 | 150-250 |
| 粉质黏土 | ≥0.97 | 130-200 |
| 灰土 | ≥0.95 | 200-250 |
| 粉煤灰 | ≥0.95 | 250-300 |

注：1 压实系数λc为土的控制干密度pd与最大干密度pdmax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/m³～2.2t/m³；

2 表中压实系数λc系使用轻型击实试验测定土的最大干密度pdmax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λc≥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，宜及时换填，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程第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：

  (4.2.8)

式中：——土工合成材料在允许延伸率下的抗拉强度 (kN/m)；

——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。

（Ⅱ）压实地基设计

**4.2.10**  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性的影响；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。

**4.2.11** 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、膨胀土以及有机质含量大于5%或易溶盐含量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4.2.11-1选用。

表4.2.11-1 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～25kJ） | 600～1500 | 20～40 |

**3** 对已经回填完成且回填厚度超过表4.2.11-1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λc控制，并应根据结构类型和压实填土所在部位按表4.2.11-2的要求确定。

表4.2.11-2 压实填土的质量控制

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 结构类型 | 填土部位 | 压实系数λ | 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 | wop±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。

**5** 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：

  (4.2.11)

式 中 ：——分层压实填土的最大干密度 (t/m³)；

——经验系数，粉质黏土取0.96，粉土取0.97；

——水的密度 (t/m³)；

——土粒相对密度（比重）(t/m³)；

——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/m³～ 2.2t/m³。

**6** 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。当压实填土阻碍原地表水畅通排泄时，应根据地形修筑雨水截水沟，或设置其他排水设施。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。

**7** 压实填土的边坡坡度允许值，应根据其厚度、填料性质等因素，按照填土自身稳定性、填土下原地基的稳定性的验算结果确定，初步设计时可按表4.2.11-3的数值确定。

表4.2.11-3 压实填土的边坡坡度允许值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 填 土 类 型 | 边坡坡度允许值（高宽比） | 压实系数（λc） |
| 坡高在8m以内 | 坡高为8m～15m |
| 碎石、卵石 | 1:1.50～1:1.25 | l:1.75～1:1.50 | 0.94～0.97 |
| 砂夹石（碎石卵石占全重30%～50%） | 1:1.50～1:1.25 | 1:1.75～1:1.50 |
| 土夹石（碎石卵石占全重30%～50%） | 1:1.50～1:1.25 | 1:2.00～1:1.50 |
| 粉质黏土，黏粒含量pe≥10%的粉土 | 1:1.75～1:1.50 | 1:2.25～1:1.75 |

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。

**9** 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、静力触探等试验，并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规程式（4.2.2-1）、式 (4.2.2-2）和式（4.2.2-3）的要求。

**10** 压实填土地基的变形，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定计算，压缩模量应通过处理后地基的原位测试或土工试验确定。

## 4.3 施 工

（Ⅰ）换填垫层施工

**4.3.1** 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。

**4.3.2** 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。

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

**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，并经验算合格后，方可铺填层。

**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，应防止软弱垫层被扰动或受水浸泡。

**4.3.6** 换填层施工时，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的措施。

**4.3.7** 垫层底面宜设在同一标高上，在暗沟、暗塘或斜坡段的垫层，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；筋材铺好后，填筑填料间隔时间不应超过48h。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。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；

**6** 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。

（Ⅱ）压实填土施工

**4.3.10** 压实填土地基的施工应符合下列规定：

**1** 应根据使用要求、邻近结构类型和地质条件确定允许加载量和范围，并按设计要求均衡分步施加，避免大量快速集中填土。

**2** 填料前，应清除填土层底面以下的耕土、植被或软弱土层等。

**3** 压实填土施工过程中，应采取防雨、防冻措施，防止填料（粉质黏土、粉土）受雨水淋湿或冻结。

**4** 基槽内压实时，应先压实基槽两边，再压实中间。

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

**6** 性质不同的填料，应采取水平分层、分段填筑，并分层压实；同一水平层，应采用同一填料，不得混合填筑；填方分段施工时，接头部位如不能交替填筑，应按不大于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； 压实填土的施工缝，各层应错开搭接，在施工缝的搭接处，应适当增加压实遍数；边角及转弯区域应采取其他措施压实。

**7** 压实地基施工场地附近有对振动和噪声环境控制要求时，应合理安排施工工序和时间，采取挖减振沟等减振和隔振措施，减少噪声与振动对环境的影响，并进行振动和噪声监测。

**8** 压实填土施工结束检验合格后，应及时进行基础施工。

## 4.4 质量检验

**4.4.1** 换填垫层地基的质量检验应符合下列规定：

**1** 换填垫层的施工质量检验应分层进行，每填筑一层，应检验该层的平均压实系数，符合设计要求后，才能铺填上一层。

**2** 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。

**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** 质量检验应采用静载荷试验检验垫层承载力，且每个单位工程不宜少于3个点；对于大型工程应按单位工程的数量和工程的面积确定检验点数。

**4.4.2** 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。

**4.4.3** 压实填土地基的质量检验应符合下列规定：

**1** 在施工过程中，应分层取样检验土的干密度和含水量； 每50m²～100m²面积内应设不少于1个检测点，每一个独立基础下，检测点不少于1个点，条形基础每20延米设检测点不少于1个点，压实系数不得低于本规程表6.2.2-2的规定；采用灌 水法或灌砂法检测的碎石土干密度不得低于2.0t/m³。

**2** 有地区经验时，可采用动力触探、静力触探、标准贯入等原位试验，并结合干密度试验的对比结果进行质量检验。

**3** 冲击碾压法施工宜分层进行变形量、压实系数等土的物理力学指标监测和检测。

**4** 地基承载力验收检验，可通过静载荷试验并结合动力触探、静力触探、标准贯入等试验结果综合判定。每个单位工程静载荷试验不应少于3点，大型工程可按单位工程的数量或面积确定检验点数。

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

# 5 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。并应通过土工试验和原位测试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、抗剪强度指标。

**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，对原设计进行修正。

**5.1.5** 在整个场地预压地基处理过程中，宜进行竖向位移、水平位移和孔隙水压力等项目的实时动态监测。根据现场获取的监测资料，分析地基的加固效果，与原设计预估值进行比较，及时修正设计参数，指导全过程的设计与施工。

**5.1.6** 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。

**5.1.7** 对主要以变形控制设计的建（构）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（构）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。

**5.1.8** 当建（构）筑物的荷载超过真空预压的压力，或建（构）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（构）筑物的竖向荷载。

**5.1.9** 预压地基加固应考虑预压施工对相邻建（构）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（构）筑物、地下管线等的距离不宜小于20m；当距离较近时，应加强变形监测，并对相邻建（构）筑物、地下管线等采取保护措施。

**5.1.10** 当受预压时间限制，工后沉降不满足设计要求时，在保证地基稳定的条件下可采用超载预压。

## 5.2 设 计

（I）堆载预压

**5.2.1** 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等竖向排水体，确定其断面尺寸、间距、排列方式、深度和布置范围；

**2** 确定水平排水垫层的构造、厚度、砂料及其级配分布；

**3** 确定排水盲沟和集水井的布置；

**4** 确定预压荷载大小、荷载分级、加载速率；

**5** 确定预压要求的固结度和预压持续时间；

**6** 估算预压应消除的沉降量；

**7** 计算堆载荷载作用下地基土的强度增长、稳定性和变形。

**5.2.2** 竖向排水体的平面布置宜按采用等边三角形或正方形。

排水体的有效排水直径与间距的关系为：

当等边三角形排列时  (5.2.2-1)

当正方形排列时  (5.2.2-2)

**5.2.3** 竖向排水体的平面布置应遵循“细而密”的原则，其直径和间距应根据地基土的固结特性和预定时间内要求达到的固结度等因素确定，并应符合下列要求：

**1** 普通砂井直径dw宜为300mm～500mm，间距可按井径比n=6～8选用；

**2** 普通砂井直径dw宜为70mm～120mm，间距可按井径比n=15～22选用；

**3** 塑料排水带的当量换算直径可按下式计算：

  (5.2.3)

式中：——塑料排水带当量换算直径 (mm)；

——塑料排水带宽度 (mm)；

——塑料排水带厚度（mm）。

塑料排水带的间距可按井径比n=15～22选用。

**5.2.4** 竖向排水井的深度应根据土层分布情况和建（构）筑物对地基的稳定性、变形要求和工期确定，并应符合下列规定：

**1** 当受压软土层厚度小于等于10m时，竖向排水体宜穿过受压土层；

**2** 当受压软土层厚度大于10m时，对以地基抗滑稳定性控制的工程，竖向排水体深度应超过最危险滑动面以下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。

**5.2.5** 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：

  (5.2.5)

式中：——t时间地基的平均固结度

——第i级荷载的加载速率 (kPa/d)；

——各级荷载的累加值（kPa）；

——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，改为t；

——参数，根据地基土排水固结条件按表5.2.5-1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5.2.5-1 α和β值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 排水固结条件参数 | 竖向排水固结 | 向内向排水固结 | 竖向和向内径向排水固结（竖井穿透受压土层） | 说 明 |
|  |  | l |  | ——土的径向排水固结系数（cm²/s）；——土的竖向排水固结系数（cm/s）；——土层竖向排水距离 (cm)；——双面排水土层或固结 应力均匀分布的单面排水土层均固结度 |
|  |  |  |  |

**5.2.6** 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*qw*与天然土层水平向渗透系数*kh*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：

  (5.2.6-1)

  (5.2.6-2)

   (5.2.6-3)

  (5.2.6-4)

  (5.2.6-5)

式中：——固结时间t时竖井地基径向排水平均固结度；

——天然土层水平向渗透系数 (cm/s)；

——涂抹区土的水平向渗透系数，可取ks=(1/5～1/3)kh (cm/s)；

——涂抹区直径ds 竖井直径dw的比值，可取s=2.0～3.0，对中等灵敏黏性土取低值，对高灵敏黏性土取高值；

——竖井深度 (cm)；

——竖井纵向通水量，为单位水力梯度下单位时间的排水量 (cm³/s)。

**5.2.7**  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。

**5.2.8** 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。

**5.2.9** 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：

  (5.2.9)

式中 ：——t时刻，该点土的抗剪强度 (kPa)；

——地基土的天然抗剪强度 (kPa)；

—— 预压荷载引起的该点的附加竖向应力 (kPa)；

—— 该点土的固结度；

——三轴固结不排水压缩试验求得的土的内摩擦角(°)。

**5.2.10** 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（5.2.10）计算：

  (5.2.10)

式中 ：—— 最终竖向变形量（m）；

——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；

——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ep曲线查得；

——第i层土层厚度 (m)；

——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ξ=1.1～1.4；荷载较大或地基软弱土层厚度大时应取较大值。

**5.2.11** 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%，砂料中可混有不超过总重量10%粒径不大于50mm的砾石；砂垫层的干密度应大于1.5t/m³， 渗透系数应大于1×10-²cm/s。

**5.2.12** 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。

**5.2.13** 砂井的砂料应选用中粗砂，其黏粒含量不应大于3%。

**5.2.14** 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

**5.2.15** 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。

**5.2.16** 排水竖井的间距可按本规程第5.2.3条确定。

**5.2.17** 砂井的砂料应选用中粗砂，其渗透系数应大于1×10-2cm/s。

**5.2.18** 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。

**5.2.19** 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。

**5.2.20** 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%。

**5.2.21** 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。

**5.2.22** 真空预压固结度和地基强度增长的计算可按本规程第5.2.5条、第5.2.6条和第5.2.9条计算。

**5.2.23** 真空预压地基最终竖向变形可按本规程第5.2.10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。

**5.2.24** 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20000m²～40000m²。

**5.2.25** 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1000m²～1500m² 确定设备数量。

**5.2.26** 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

**5.2.27** 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。

**5.2.28** 堆载体的坡肩线宜与真空预压边线一致。

**5.2.29** 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。

**56.2.30** 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。

**5.2.31** 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程第5.2.5条、5.2.6条和5.2.9条计算。

**5.2.32** 真空和堆载联合预压最终竖向变形可按本规程第5.2.10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。

## 5.3 施 工

（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±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或多排搅拌桩，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尚应符合本规程第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** 预压地基质量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程附录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 强夯地基

## 6.1 一般规定

6.1 强夯地基处理应符合下列规定：

**1** 强夯法适用于处理素填土和杂填土等地基，强夯置换法适用于对变形控制要求不严的表层软土地基的处理。对于原状的松散砂土、饱和软黏土等地基采用强夯法，应通过现场试验验证其适用性。

**2** 采用强夯置换处理地基设计前，必须通过现场试验确定其适用性和处理效果。

**3** 强夯和强夯置换施工前，应在施工现场有代表性的场地选取一个或几个试验区，进行试夯或试验性施工，以检验设计参数。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。

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

**5** 施工前，应查明施工影响范围内地下构筑物和地下管线的位置，并采取挖隔振沟等隔振或防振措施。当强夯施工所引起的振动和侧向挤压对邻近建（构）筑物和地下管线产生不利影响时，应设置监测点进行变形、振动及噪声监测。当影响达到限值时，应停止施工，采取有效措施消除影响后方可复工。

## 6.2 设 计

（I）强夯地基

**6.2.1** 强夯的有效加固深度，应根据现场试夯或地区经验确定。在缺少试验资料或经验时，可按表6.2.1进行预估。

表6.2.1 强夯的有效加固深度 (m)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 单击夯击能E(kN ·m) | 杂填土 | 素填土 |
| 1000 | 5.0～6.0 | 4.0～5.0 |
| 2000 | 6.0～7.0 | 5.0～6.0 |
| 3000 | 7.0～8.0 | 6.0～7.0 |
| 4000 | 8.0～9.0 | 7.0～8.0 |
| 5000 | 9.0～9.5 | 8.0～8.5 |
| 6000 | 9.5～10.0 | 8.5～9.0 |
| 8000 | 10.0～10.5 | 9.0～9.5 |
| 10000 | 10.5～11.0 | 9.5～10.0 |
| 12000 | 11.0～11.5 | 10.0～10.5 |

注：强夯法的有效加固深度应从最初起夯面算起；单击夯击能E大于12000kN·m 时，强夯的有效加固深度应通过试验确定。

**6.2.2** 强夯的单位夯击能应根据地基土类别、性质、上部结构类型、荷载大小、基础形式和要求处理深度等综合考虑，并通过试夯确定。

**6.2.3** 夯点的夯击次数，应根据现场试夯的夯击次数和夯沉量关系曲线确定，并应同时满足下列条件：

**1** 最后两击的平均夯沉量，应满足表6.2.3的要求，当单击夯击能E大于6000kN·m时，应通过试验确定；

表6.2.3 强夯法最后两击平均夯沉量 ( mm)

|  |  |
| --- | --- |
| 单击夯击能E(kN ·m) | 最后两击平均夯沉量不大于（mm） |
| E<4000 | 50 |
| 4000≤E<6000 | 100 |
| 6000≤E<8000 | 150 |
| 8000≤E | 200 |

**2** 夯坑周围地面不应发生过大的隆起；

**3** 不因夯坑过深而发生提锤困难。

**6.2.4** 夯击遍数应根据地基土的性质确定。对于砂土、碎石土等粗颗粒土地基，可采用点夯2～3遍；对于渗透性较差的细颗粒土，夯击遍数可适当增加至3～5遍；最后以低能量满夯2遍，满夯可采用轻锤或低落距锤多次夯击，锤印搭接。

**6.2.5** 两遍夯击之间，应有一定的时间间隔，间隔时间宜按超静孔隙水压力消散80%以上所需的时间。当缺少实测资料时，对于渗透性较差的黏性土地基，间隔时间不宜少于2周；对于渗透性好的地基可连续夯击。

**6.2.6** 夯击点位置可根据基础底面形状，采用等边三角形、等腰三角形或正方形布置。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。以后各遍夯击点间距可取夯锤直径的1.5～2.5倍。对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取处理深度的0.6～0.8倍。

**6.2.7** 强夯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下设计处理深度的1/2～2/3，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。

**6.2.8** 在试夯前，应编制强夯试验方案，并满足下列要求：

**1** 根据初步确定的强夯参数，编制测试及检验强夯效果实施方案，按试验方案进行现场试夯。

**2** 应根据不同土质条件待试夯结束一周至数周后，对试夯场地进行检测，检验强夯效果。结合地方已有工程经验，确定工程采用的各项强夯参数。

**6.2.9** 强夯地基承载力特征值和变形模量，应通过现场静载荷试验确定。

**6.2.10** 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》GB 50007有关规定。夯后有效加固深度内土的压缩模量，可通过原位测试或土工试验确定。

（Ⅱ）强夯置换地基

**6.2.11** 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和强夯参数决定，置换深度一般不宜大于7m，置换墩应穿透软土层，到达较硬土层上。

**2** 强夯置换的单击夯击能一般在3000kN·m～6000kN·m，具体选择应根据现场试验确定。

**3** 墩体材料可采用级配良好的块石、碎石、矿渣、工业废渣、建筑垃圾等坚硬粗颗粒材料，且粒径大于300mm的颗粒含量不宜超过30%。

**4** 夯点的夯击次数应通过现场试夯确定，并应满足下列条件：

**1)** 墩底穿透软弱土层，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)** 最后两击的平均夯沉量可按表7.2.3确定。

**5** 墩位布置宜采用等边三角形或正方形。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状土的承载力选定，当满堂布置时，可取2.5m～3.5m或夯锤直径的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** 强夯置换处理范围应符合本规程第6.2.7条的规定。

**8** 墩顶应铺设一层厚度不小于500mm的压实垫层，垫层材料宜与墩体材料相同，粒径不宜大于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，应符合本规程第6.2.8条的规定。除应进行现场静载荷试验和变形模量检测外，尚应采用超重型或重型动力触探等方法，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** 软黏性土中强夯置换地基承载力特征值应通过现场单墩静载荷试验确定；对于饱和粉土地基，当处理后形成2.0m以上厚度的硬层时，其承载力可通过现场单墩复合地基静载荷试验确定。

**12** 强夯置换地基的变形宜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，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定计算确定；对饱和粉土地基，当处理后形成2.0m以上厚度的硬层时，可按本规程第6.1.7条的规定确定。

## 6.3 施 工

**6.3.1** 强夯施工前，应将测量基准点设在受施工影响范围以外。夯点测量定位允许偏差不大于±50mm， 且夯点应有明显标记和编号。

**6.3.2** 强夯法施工机具设备，应满足下列要求：

**1** 强夯夯锤质量宜为10t～60t， 常用20t～30t。锤重40t以上的，宜用铸钢锤。

**2** 其底面形式宜采用圆形，直径宜取2.0m～3.0m，常用2.2m～2.5m。

**3** 锤的底面宜对称设置若干个上下贯通的排气孔，孔径宜为200mm～400mm。

**4** 锤底静接地压力值宜为25kPa～60kPa。对于细颗粒土宜取较小值。

**6.3.3** 强夯置换锤宜采用圆柱形铸钢锤，直径宜取1.0m～1.5m，锤重常用20t～30t，夯锤底静接地压力值宜大于80kPa。

**6.3.4** 夯实地基宜采用带有自动脱钩装置的履带式起重机或其他专用设备，起重能力应为锤重的1.5～2.0倍。施工时采取有效安全措施，防止起落锤时机架倾覆。

**6.3.5** 当场地表层土软弱或地下水位较高，夯坑内或场地积水影响施工时，宜铺填一定厚度透水性良好的松散材料，采用人工降水方法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。

**6.3.6** 强夯施工宜按下列步骤进行：

**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** 将起重机就位，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，夯锤脱钩自由下落，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，宜将夯坑回填至与坑顶齐平后，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** 每一遍夯击完成后，将场地整平，并测量整平后场地高程；

**9** 在规定的间隔时间后，进行下一遍夯击，按上述步骤逐次完成全部夯击遍数；最后宜用夯击能500kN·m～2000kN·m的满夯将场地表层松土夯实， 满夯的夯印搭接部分不应小于锤底面积的1/5～1/3，并测量满夯后场地高程；

**10** 柱下基础范围加强夯宜为满夯，锤印搭接，单点夯击能宜为2000kN·m～3000kN·m。

**11** 当满夯完成后场地地坪标高低于设计要求地坪标高时，可铺设垫层并分层压实。

## 6.4 质量检验

**6.4.1** 强夯施工过程中应进行下列检查工作：

**1** 开夯前，应检查夯锤质量和落距，以确保单击夯击能量符合设计要求。

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

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

**4** 施工过程中，应对各项施工参数及施工情况进行详细记录。

**6.4.2** 夯实地基施工结束后，应根据地基土的性质及所采用的施工工艺，待土层休止期结束后，方可进行基础施工。

**6.4.3** 强夯处理后的地基竣工验收，承载力检验应根据静载荷试验、其他原位测试和室内土工试验等方法综合确定。强夯置换后的地基竣工验收，除应采用单墩静载荷试验进行承载力检验外，尚应采用动力触探、地质雷达等查明置换墩着底情况及密度随深度的变化情况。

**6.4.4** 夯实地基的质量检验应符合下列规定：

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

**2** 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7～14d； 粉土和黏性土地基，间隔时间宜为14～28d； 强夯置换地基，间隔时间宜为28d。

**3** 强夯地基加固深度和均匀性检验，可采用室内土工试验，动力触探试验、标准贯入试验及静力触探试验等原位测试综合进行。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400m²不少于1个检测点，且不少于3点；对于复杂场地或重要建筑地基，每300m²不少于1个检验 点，且不少于3点。强夯置换地基，可采用动力触探或物探等方法，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。

**4** 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。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2.0m 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。

# 7 水泥土搅拌桩复合地基

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 水泥土搅拌桩适用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、素填土、软塑或可塑黏性土、稍密或中密粉土、松散至稍密的砂土等地基。不适用于含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土、欠固结的软土、硬塑及坚硬的黏性土、密实的砂类土，以及地下水渗流影响成桩质量的土层。

**7.1.2** 水泥土搅拌桩的施工工艺分为浆液搅拌法（以下简称湿法）和粉体搅拌法（以下简称干法）。

**7.1.3** 水泥土搅拌桩不宜处理泥炭质土、有机质土、pH质小于4的酸性土、塑性指数大于22的黏性土及腐殖土。当确需使用时，必须通过现场和室内试验确定其适用性。

**7.1.4** 水泥土搅拌桩设计前应做好以下工作：

**1** 应搜集详细的岩土工程资料。特别是填土层的分布范围、厚度、组成成分及地下障碍物的分布情况；软土层的分布范围、分层情况及固结状态；地下水位及pH值、酸根离子类型；土的含水量、塑性指数和有机质含量等参数。

**2** 对拟处理的地基土应进行室内配比试验。针对现场拟处理地基土层的性质，选择合适的固化剂、外掺剂及掺入比，为设计提供各种龄期、各种配比的强度参数。

**3** 用于竖向承载的水泥土强度宜取90d 龄期试块的立方体抗压强度平均值；用于承受水平承载的水泥土强度宜取28d龄期试块的立方体抗压强度平均值。

**7.1.5** 搅拌桩的长度应符合下列规定：

**1** 当用于竖向荷载时，搅拌桩长度应根据上部结构对地基承载力和变形的要求确定，并应穿透软弱土层到达地基承载力相对较高的土层；

**2** 当用于提高地基整体滑动稳定性时，其桩长应超过危险滑动面以下2.0m；

**3** 干法的加固深度不宜大于15m， 湿法加固深度不宜大于20m。

**7.1.6** 搅拌桩的桩径不宜小于500mm。当用于竖向荷载时，加固体形状可采用单轴、双轴、多轴搅拌或连续成槽搅拌形成柱状、壁状、格栅状或块状水泥土加固体。桩可只布置在基础平面内，独立基础下的桩数不宜少于3根，柱状加固可采用正方形、等边三角形等布桩方式。

**7.1.7** 水泥土搅拌桩增强体的水泥掺入比不应小于12%且不宜大于25%，块状加固时水泥掺入比不应小于加固天然土质量的7%；湿法的水泥浆水灰比可取0.5～0.6。竖向承载的水泥土搅拌桩复合地基应在桩顶设置褥垫层， 其厚度可取200mm～400mm。褥垫层材料可选用中砂、粗砂、级配砂石等，最大粒径不宜大于20mm。褥垫层的夯填度不应大于0.9。

## 7.2 设 计

**7.2.1** 水泥土搅拌桩复合地基竖向承载力特征值应通过现场单桩、多桩复合地基静载荷试验综合确定，当无试验资料时可借鉴地质情况类似的成功工程试验结果，按下式预估：

  (7.2.1)

式中：——复合地基承载力特征值 (kPa)；

——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，一般取0.9-1.0；

——面积置换率，桩的截面积除以设计要求每一根桩所承担的处理面积；

—— 单桩竖向承载力特征值 (kN)；

——桩的截面积 (m²)；

——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值，对淤泥、淤泥质土和流塑状软土等，可取0.1～0.4，其他土层可取0.5～0.8；

——桩间土天然地基承载力特征值 (kPa)。

**7.2.2** 水泥土搅拌桩单桩承载力特征值Ra应通过现场慢速维持荷载法静载荷试验确定。初步设计时可借鉴地质情况类似的成功工程经验按下列公式预估，由水泥土强度确定Ra宜大于由桩周土和桩端土的抗力所提供的Ra：

  (7.2.2-1)

 ** （7.2.2-2)

式中：——桩的周长 (m)；

——桩长范围内所划分的土层数；

——桩周第i层土的侧阻力特征值 (kPa)， 可按地区经验确定，无经验时淤泥可取4kPa～7kPa；淤泥质土可取6kPa～12kPa；填土可取5kPa～10kPa；软塑状黏性土可取10kPa～15kPa；稍密粉土和粉细砂可取8kPa～15kPa；可塑状黏性土、稍密中粗砂可12kPa～18kPa；

——桩长范围内第i层土的厚度（m）；

——桩端阻力发挥系数，可按地区经验确定，一般取0.6-0.9，承载力高时取低值；

——桩端土未经修正的地基承载力特征值 (kPa)；

——与搅拌桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块，边长为70.7mm 的立方体在标准养护条件下90d 龄期的立方体抗压强度平均值 (kPa)；

——桩身强度折减系数，可按地区经验确定，无经验时淤泥、淤泥质土、黏土可取0.20～0.30；粉质黏土、填土可取0.25～0.30；粉土可取0.30～0.35；砂土可取0.30～0.40；

**7.2.3** 有效桩长大于10m时，可采用固化剂变掺量设计。在全长桩身水泥总掺量不变的前提下，桩身上部1/3桩长范围内，可适当增加水泥掺量及搅拌次数。

**7.2.4** 当搅拌桩处理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。

**7.2.5** 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》GB 50007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ζ倍，ζ值可按下式确定：

  (7.2.5)

式中：——基础底面下天然地基承载力特征值 (kPa)。

**7.2.6** 复合地基的沉降计算经验系数ψs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7.2.6的数值。

表7.2.6 沉降计算经验系数ψs

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Es(MPa) | 4.0 | 7.0 | 15.0 | 20.0 | 35.0 |
| ψs | 1.0 | 0.7 | 0.4 | 0.25 | 0.2 |

注 ：Es为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算：

  (7.2.6)

式中：——加固土层第i 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

 ——加固土层下第j 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值。

## 7.3 施 工

**7.3.1** 水泥土搅拌桩施工前应整平场地，并清除地上和地下的障碍物。遇明沟、池塘及积水洼地应先抽水清淤，回填砂土、粉土或黏性土并予以压实，不得回填杂填土、生活垃圾及建筑垃圾等。

**7.3.2** 水泥土搅拌桩施工前，应根据设计进行工艺性试桩，数量不得少于3根，多轴搅拌施工不得少于3组。应对工艺试桩的质量进行检验，确定所需施工参数。

**7.3.3** 搅拌头叶片不得少于2层且不得少于4片，叶片宽度不宜小于100mm。搅拌头翼片的枚数、宽度、与搅拌轴的垂直夹角、搅拌头的回转数、提升速度应相互匹配。加固深度范围内土体的任何一点均应搅拌20次以上。

**7.3.4** 搅拌桩施工停浆面应高于桩顶设计标高 300mm～500mm。开挖基坑时应将桩顶施工质量较差的桩段人工挖除，严禁采用机械直接开挖至桩顶标高。

**7.3.5** 采用壁状、格栅状或块状布桩时，相邻桩之间的施工时间间隙不应超过12h。

**7.3.6** 施工中应保持搅拌桩机底盘的水平和导向架的竖直，搅拌桩的垂直偏差不得超过 1%；桩位的偏差不应大于100mm；成桩直径和桩长不得小于设计值。

**7.3.7** 搅拌桩施工步骤应符合下列要求：

**1** 搅拌机械就位、调平；

**2** 搅拌（喷浆）下沉至设计加固深度；

**3** 边喷浆、边搅拌提升直至预定的停浆面；

**4** 喷浆重复搅拌下沉至设计加固深度；

**5** 根据设计要求，喷浆或仅搅拌提升直至预定的停浆面；

**6** 关闭搅拌机械。

**7.3.8** 对于淤泥、淤泥质土或其他黏性土，在预（复）搅下沉时宜直接喷浆，适当增加该土层搅拌次数和提高掺入比，搅拌次数不应小于4次且喷浆次数不应少于2次。

**7.3.9** 用于搅拌桩的水泥、外加剂应过筛，制备好的浆液不得离析，泵送应连续。拌制浆液的罐数，水泥、外加剂的用量以及泵送浆液的时间等参数应有专人记录。

**7.3.10** 搅拌机喷浆提升（下沉）的速度和次数应符合施工工艺要求，并应有专人记录。

**7.3.11** 当搅拌头叶片预搅下沉至喷浆位置后，应喷浆搅拌30s， 等待浆液与桩端土充分搅拌后，再开始提升搅拌头。

**7.3.12** 搅拌机预搅下沉时不宜冲水，当遇到硬土层下沉太慢时，方可适量冲水，但应充分考虑冲水对桩身强度的影响。

**7.3.13** 施工时如因故停浆，应将搅拌头下沉至停浆点以下0.5m处，待恢复供浆时，再喷浆搅拌提升；若停机超过3h， 宜先拆卸输浆管路，并妥善清洗。

**7.3.14** 搅拌桩施工时，邻近场地不得进行地下水抽水作业。

## 7.4 质量检验

**7.4.1** 搅拌桩施工应实行旁站监理，质量控制应贯穿施工全过程。施工过程中应随时检查施工记录和计量记录，并按照批准的施工方案进行质量评定。

**7.4.2** 搅拌桩的施工质量检验可采用以下方法进行：

**1** 成桩3d内，采用轻型动力触探 (N10）检查上部桩身的均匀性，检验数量为施工总桩数的1%，且不少于3根；

**2** 成桩7d后，采用浅部开挖桩头进行检查，开挖深度宜超过停浆面下0.5m， 检查搅拌的均匀性，量测成桩直径，检查数量不少于总桩数的5%；

**3** 对相邻搭接要求严格的工程，应在成桩15d后，开挖检查搭接质量。检查数量不少于总桩数的2%，开挖深度不宜小于2m。

**7.4.3** 竖向承载的搅拌桩应按下列规定进行完整性和承载力检测：

**1** 竖向承载搅拌桩复合地基，应采用单桩静载荷试验和复合地基静载荷试验进行承载力检验。静载荷试验宜在成桩28d后进行，检测数量各为总桩数的0.5%，且每单位工程单桩静载荷试验数量不少于3根；每单位工程复合地基静载荷试验数量不少于3点（多轴搅拌为3组）。

**2** 对变形有严格要求的工程，应在成桩28d 后，采用双管单动取样器钻取芯样，鉴定持力层土性，评价搅拌均匀性，检验水泥土抗压强度；芯样直径不宜小于80mm，钻进持力层深度不应小于3倍桩径且不小于3m，检验数量为施工总桩数的0.5%，且不少于6根。

**7.4.4** 基槽开挖后应进行下列检验：

**1** 应检验桩数与桩顶质量，当桩数不足时应做补桩或其他补强处理；当桩顶质量不符合要求时，应采取有效补强措施；

**2** 复核桩位、桩径、基底尺寸、平整度、标高的偏差情况，偏差值应符合本规程7.3.6的规定。

# 8 旋喷桩复合地基

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 旋喷桩适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、人工填土和碎石土等地基。对含有较多的大直径块石、大量植物根茎或过多的有机质的土层、硬塑黏性土，应通过现场试验结果确定其适应性。有动水压力和已涌水的工程，不宜使用。

**8.1.2** 旋喷桩施工前，应搜集场地的工程地质和水文地质、建筑结构设计和周边环境条件、邻近建筑及周边管线埋设等资料。

**8.1.3** 旋喷桩宜进行现场试验或根据类似工程经验确定其施工参数及施工工艺。

**8.1.4** 旋喷桩施工过程中应对临近建（构）筑物进行变形监测。

## 8.2 设 计

**8.2.1** 旋喷桩的有效范围、固结体物理力学性能应通过现场试验或试验性施工确定。

**8.2.2** 旋喷桩处理地基按复合地基设计。

**8.2.3** 旋喷桩单桩竖向承载力特征值应通过现场慢速维持荷载法静载荷试验确定。初步设计时，可按下列公式估算，取其中的较小值：

  (8.2.3-1)

 ** (8.2.3-2)

式中：——桩的周长 (m)；

——桩长范围内所划分的土层数；

——桩周第i层土的侧阻力特征值 (kPa)， 可按地区经验确定，无经验时淤泥可取4kPa～7kPa；淤泥质土可取6kPa～12kPa；填土可取5kPa～10kPa；软塑状黏性土可取10kPa～15kPa；稍密粉土和粉细砂可取8kPa～15kPa；可塑状黏性土、稍密中粗砂可12kPa～18kPa；

——桩长范围内第i层土的厚度（m）；

——桩端阻力发挥系数，取1.0；

——桩端土未经修正的地基承载力特征值 (kPa)；

——与旋喷桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块，边长为150mm 的立方体在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值 (kPa)；

——桩身强度折减系数，可按地区经验确定，无经验时淤泥、淤泥质土、黏土可取0.20～0.30；粉质黏土、填土可取0.25～0.30；粉土可取0.30～0.35；砂土可取0.30～0.40；

**8.2.4** 旋喷桩复合地基承载力特征值应通过现场静载荷试验确定。初步设计时，可按下列公式估算：

  (8.2.4-1)

  (8.2.4-2)

式中：——复合地基承载力特征值 (kPa)；

——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，一般取0.9-1.0；

——面积置换率，桩的截面积除以设计要求每一根桩所承担的处理面积；

—— 单桩竖向承载力特征值 (kN)；

——桩的截面积 (m²)；

——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值，对淤泥、淤泥质土和流塑状软土等，可取0.1～0.4，其他土层可取0.5～0.8；

——桩间土天然地基承载力特征值 (kPa)；

——单根桩承担的处理面积 (m²)

**8.2.5** 旋喷桩复合地基的地基变形计算应符合本规程第7.2.5条和第7.2.6条的规定。

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

**8.2.7** 旋喷桩的平面布置可根据上部结构和基础特点确定，用于地基加固处理的工程，独立基础下的桩数不应少于4根。用于支护或止水的工程，相邻旋喷桩搭接长度不宜小于300mm，并应符合设计要求和国家现行有关标准的规定。

**8.2.8** 旋喷桩复合地基宜在基础和桩顶之间设置褥垫层。褥垫层厚度宜150mm～300mm，褥垫层材料可选用中砂、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。

## 8.3 施 工

**8.3.1** 施工前应根据现场环境和地下埋设物的位置等情况，复核旋喷桩的设计孔位。

**8.3.2** 旋喷注浆所用的主要材料为水泥，宜采用42.5级普通硅酸盐水泥，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通过试验确定。

**8.3.3** 水泥浆液的水灰比应根据工程实际需要确定，宜取0.8～1.2。浆液应采用机械搅拌，随拌随用。

**8.3.4** 旋喷桩的施工工艺及参数应根据土质条件、加固要求， 通过试验或根据类似工程经验确定。单管法、双管法高压水泥浆和三管法高压水的压力应大于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。

**8.3.5** 旋喷桩的施工工序为机具就位、成孔、置入注浆管、喷射注浆、拔管和冲洗等。成孔直径宜为90mm～150mm，将注浆管插至孔底后喷浆。喷射注浆达到设计要求后，按施工工艺要求提升注浆管，由下而上进行喷射注浆。注浆管分段提升的搭接长度不得小于100mm。

**8.3.6** 采用二重管时，应先送压缩空气再送浆；采用三重管时，应同时送高压水和压缩空气，注浆管在设计深度喷射切割1min后，再注入浆液。由下而上喷射浆液，停机时应先关高压水和压缩空气，再停止送浆。

**8.3.7** 旋喷桩施工时，邻近场地不得进行地下水抽水作业。

**8.3.8** 对需要局部扩大加固范围或提高固结体强度的工程，可采用复喷、驻喷措施。

**8.3.9** 在旋喷注浆过程中出现压力骤然下降、上升或返浆过多等异常情况时，应查明原因并采取相应处理措施。

**8.3.10** 高压注浆完成后，应及时拔出注浆管。需要在原孔位补浆时，时间间隔不宜大于6h。

**8.3.11** 施工中应详细记录施工参数、浆液配比、实际孔位、孔深和钻孔成孔情况，严格按照施工参数和材料用量施工，用浆量和提升速度应采用自动记录装置。

## 8.4 质量检验

**8.4.1** 旋喷桩可采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入试验、动力触探、静载荷试验或压水试验等方法进行检验。

**8.4.2** 检验点布置应符合下列规定：

**1** 有代表性的桩位；

**2** 施工中出现异常情况的部位；

**3** 地质情况复杂，可能对旋喷桩质量产生影响的部位。

**8.4.3** 成桩质量检验点的数量宜为施工孔数的2%，并不应少于6点。

**8.4.4** 钻孔取芯检验和承载力检验宜在成桩28d后进行。

**8.4.5** 竖向承载的旋喷桩复合地基，应检验褥垫层的厚度和夯填度，独立基础检验数量为30%，筏板基础检验数量为每200m²～500m²不少于1点，且每项单位工程不少于3点。

**8.4.6** 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。检测数量各为总桩数的0.5%，且每单位工程单桩静载荷试验数量不少于3根；每单位工程复合地基静载荷试验数量不少于3点。

# 9 碎石桩复合地基

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 碎石桩复合地基适用于处理填土、一般黏性土、粉质黏土、粉土、砂土等地基，以及用于处理可液化地基。对于不排水抗剪强度不小于20kPa的饱和黏性土地基宜慎用，并应在施工前通过现场试验确定其适用性。

**9.1.2** 对大型、重要的或地层复杂的工程，在正式施工前应通过现场试验确定其处理范围、处理深度及处理效果。

**9.1.3** 对于黏粒含量不大于10%的中砂、粗砂、粉砂地基，可采用不加填料振冲挤密法处理。振冲方式宜采用两点（三点）胁迫共振法。施工前，应进行现场工艺试验，确定孔距、留振时间、振密电流、上拔速度、振冲水压力、振后砂层的物理力学指标等施工技术参数。

**9.1.4** 碎石桩施工可采用振冲法、振动沉管、锤击沉管等成桩法。

## 9.2 设 计

**9.2.1** 地基处理范围应根据建筑物的重要性和场地条件确定， 当用于低层或多层建筑时，宜在基础外缘扩大1～3排桩。对消除地基液化时，在基础外缘扩大宽度不应小于基底下可液化土层厚度的1/2，且不应小于5m。

**9.2.2** 对大面积满堂基础，宜采用等边三角形布置；对独立柱基或条形基础，宜采用正方形、矩形或等腰三角形布置。

**9.2.3** 碎石桩的直径和桩间距应根据施工工艺、上部结构荷载大小和场地土层情况综合考虑，并宜通过现场试验确定。振冲碎石桩的桩径宜为800mm～1200mm，沉管砂石桩桩径宜为300mm～800mm，其平均直径可按每根桩所用填料量计算；桩间距宜为桩体直径的1.5～4倍。对于荷载大的建筑或黏性土地基宜采用较小的桩间距，对于荷载小或砂土地基宜采用较大的桩间距。

**9.2.4** 碎石桩桩长可根据工程要求和工程地质条件通过计算确定：

**1** 当相对硬土层埋深较浅时，可按相对硬层埋深确定；

**2** 当相对硬土层埋深较大时，应按建筑物地基变形允许值确定；

**3** 对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；

**4** 对可液化的地基，桩长应按要求处理液化的深度确定；

**5** 桩长不宜小于5m。

**9.2.5** 碎石桩桩顶和基础之间宜铺设厚度为300mm～500mm的垫层，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， 其夯填度不应大于0.9。

**9.2.6** 碎石桩的桩体材料应采用性能稳定的硬质材料，不宜使用风化易碎的石料；桩体可用碎石、卵石或它们与砂的混合料，碎石（卵石）或与砂的混合料的含泥量不宜大于5%，最大粒径不宜大于50mm。

**9.2.7** 碎石桩复合地基承载力特征值应通过现场复合地基静载荷试验确定，初步设计可按下列公式估算：

  (9.2.7)

式中 ： —— 复合地基承载力特征值（kPa）；

——处理后桩间土承载力特征值（kPa），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，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。

——面积置换率，m=d²/de²；d为桩身平均直径（m)，de为一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径 (m)；等边三角形布桩de=1.05s， 正方形布桩de=1.13s， 矩形布桩de=1.13√s1s2 ，s、s1 、s₂分别为桩间距、纵向桩间距和横向桩间距。

**9.2.8** 碎石桩复合地基的变形计算应符合本规程第7.2.5条和第7.2.6条的规定。

## 9.3 施 工

**9.3.1** 振冲法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振冲器。施工前应在现场进行试验，以确定水压、振密电流、填料量、留振时间、振动频率等各种施工参数。当成桩质量不能满足设计要求时，应调整设计和施工参数后，重新进行试验或改变设计。

**9.3.2** 振冲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，使振冲器对准桩位；

**3** 启动供水泵和振冲器，水压宜为200kPa～600kPa，水量宜为200L/min～400L/min，将振冲器徐徐沉入土中，造孔速度宜为0.5m/min～2.0m/min，直至达到设计深度；记录振冲器经各深度的水压、电流和留振时间；

**4** 造孔后边提升振冲器，边冲水直至孔口，再放至孔底，重复2～3次扩大孔径并使孔内泥浆变稀，开始填料制桩；

**5** 大功率振冲器投料可不提出孔口，小功率振冲器下料困难时，可将振冲器提出孔口填料，每次填料厚度不宜大于500mm；将振冲器沉入填料中进行振密制桩，当电流达到规定的密实电流值和规定的留振时间后，将振冲器提升300mm～500mm；

**6** 重复以上步骤，自下而上逐段制作桩体直至孔口，记录各段深度的填料量、最终电流值和留振时间，并均应符合设计要求；

**7** 关闭振冲器和水泵。

**9.3.3** 施工现场应事先开设泥水排放系统，或组织好运浆车辆 将泥浆运至预先安排的存放地点，应设置沉淀池，重复使用上部清水。

**9.3.4** 不加填料振冲加密宜采用大功率振冲器，造孔速度宜为8m/min～10m/min，到达设计深度后，宜将射水量减至最小，留振至密实电流达到规定时，上提0.5m， 逐段振密直至孔口，振密时间宜为1min/m。在粗砂中施工，如遇下沉困难，可在振冲器两侧增焊辅助水管，加大造孔水量，降低造孔水压。

**9.3.5** 振动沉管成桩法施工，应根据沉管和挤密情况，控制填砂石量、提升高度和速度、挤压次数和时间、电机的工作电流等。施工中应选用能顺利出料和有效挤压桩孔内砂石料的桩尖结构。当采用活瓣桩靴时，对砂土和粉土地基宜选用尖锥形，黏性土地基宜选用平底形， 一次性桩尖可采用混凝土锥形桩尖。

**9.3.6** 锤击沉管成桩法施工可采用单管法或双管法。锤击法挤密应根据锤击能量，控制分段的填砂石量和成桩的长度。

**9.3.7** 砂石桩的施工顺序宜从外围或两侧向中间进行。施工时桩位偏差不应大于0.3倍，桩的垂直度偏差不应大于1%。

**9.3.8** 砂石桩施工后，应将顶部预留的松散桩体挖除，如无预留将松散桩头压实，随后铺设垫层并压实。

## 9.4 质量检验

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

**9.4.2** 施工结束后，应间隔一定时间方可进行质量检验。对粉质黏土地基不宜少于21d，对粉土和杂填地基不宜少于14d，对砂土地基不宜少于7d。

**9.4.3** 施工质量的检验，对桩体可采用重型动力触探试验；对桩间土可采用标准贯入、静力触探、动力触探或其他原位测试等方法；对消除液化的地基检验应采用标准贯入试验。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%。

**9.4.5** 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。

# 10 水泥粉煤灰碎石桩复合地基

## 10.1 一般规定

**10.1.1** 水泥粉煤灰碎石桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土和自重固结已完成的素填土地基。对淤泥质土应按地区经验或通过现场试验确定其适用性。

**10.1.2** 对未完成自重固结的填土，应先对填土进行夯填、注浆等有效处理后方可采用水泥粉煤灰碎石桩。

## 10.2 设 计

**10.2.1** 水泥粉煤灰碎石桩，应选择承载力和压缩模量相对较高的土层作为桩端持力层。

**10.2.2** 长螺旋钻中心压灌、干成孔和振动沉管成桩桩径宜为350mm～600mm； 泥浆护壁钻孔成桩桩径宜为600mm～800mm； 钢筋混凝土预制桩宜为300mm～600mm。

**10.2.3** 水泥粉煤灰碎石桩的桩间距应根据基础形式、设计要求的复合地基承载力和 变形、土性及施工工艺确定并满足下列规定：

**1** 采用非挤土成桩工艺和部分挤土成桩工艺，桩间距宜为3～5倍桩径；

**2** 采用挤土成桩工艺和墙下条形基础单排布桩的桩间距宜为3～6倍桩径；

**3** 桩长范围内有饱和粉土、粉细砂、淤泥、淤泥质土层， 采用长螺旋钻中心压灌成桩施工中可能发生窜孔时宜采用较大桩距。

**10.2.4** 桩顶和基础之间应设置褥垫层，褥垫层厚度宜为桩径的40%～60%。褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配砂石和碎石等，最大粒径不宜大于30mm，夯填度不应大于0.9。

**10.2.5** 水泥粉煤灰碎石桩可只在基础范围内布桩，并应根据建筑物荷载分布、基础形式和地基土性状，按下列要求合理确定布桩参数：

**1** 内筒外框结构内筒部位可采用减小桩距、增大桩长或桩径布桩；

**2** 对相邻柱荷载水平相差较大的独立基础，应按变形控制确定桩长和桩距；

**3** 筏板厚度与跨距之比小于1/6的平板式筏基、梁的高跨比大于1/6且板的厚跨比（筏板厚度与梁的中心距之比）小于1/6的梁板式筏基，应在柱（平板式筏基） 和梁（梁板式筏基）边缘每边外扩2.5倍板厚的面积范围内布桩；

**4** 对荷载水平不高的墙下条形基础可采用墙下单排布桩。

**10.2.6** 水泥粉煤灰碎石桩单桩竖向承载力特征值应通过现场慢速维持荷载法静载荷试验确定。初步设计时，可按下列公式估算，取其中的较小值：

  (10.2.6-1)

 ** (10.2.6-2)

式中：——桩的周长 (m)；

——桩长范围内所划分的土层数；

——桩周第i层土的侧阻力特征值 (kPa)， 按勘察报告提供的参数结合地方经验确定；

——桩长范围内第i层土的厚度（m）；

——桩端阻力发挥系数，取1.0；

——桩端阻力特征值 (kPa)，可按地区经验确定。

——与水泥粉煤灰碎石桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块，边长为150mm 的立方体在标准养护条件下28d龄期的立方体抗压强度平均值 (kPa)；

——桩身强度折减系数，可按地区经验确定，无经验时淤泥、淤泥质土、黏土可取0.20～0.30；粉质黏土、填土可取0.25～0.30；粉土可取0.30～0.35；砂土可取0.30～0.40。

**10.2.7** 水泥粉煤灰碎石桩复合地基承载力特征值应通过现场静载荷试验确定。初步设计时，可按下列公式估算：

  (10.2.7-1)

  (10.2.7-2)

式中：——复合地基承载力特征值 (kPa)；

——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，一般取0.8-0.9；

——面积置换率，桩的截面积除以设计要求每一根桩所承担的处理面积；

—— 单桩竖向承载力特征值 (kN)；

——桩的截面积 (m²)；

——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值，一般取0.9-1.0；

——处理后桩间土天然地基承载力特征值 (kPa)，对非挤土成桩工艺，可取天然地基承载力特征值；对挤土成桩工艺，一般黏性土可取天然地基承载力特征值；松散砂土、粉土可取天然地基承载力特征值的1.2～1.5倍，原土强度低的取大值。

——单根桩承担的处理面积 (m²)。

**10.2.8** 水泥粉煤灰碎石桩复合地基增强体桩身强度应满足式（11.2.8-1） 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（11.2.8-2）的要求。

 （10.2.8-1）

  （10.2.8-2）

式中：——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）；

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

——基础埋置深度（m）；

——深度修正后的复合地基承载力特征值（kPa）。

**10.2.9** 旋喷桩复合地基的地基变形计算应符合本规程第7.2.5条和第7.2.6条的规定。

## 10.3 施 工

**10.3.1** 水泥粉煤灰碎石桩施工工艺可按下列情况选用：

**1** 长螺旋钻孔灌注成桩：适用于地下水位以上的黏性土、 粉土、素填土、中等密实以上的砂土地基；

**2** 长螺旋钻中心压灌成桩：适用于黏性土、粉土、砂土和素填土地基，对噪声或泥浆污染要求严格的场地可优先选用；穿越卵石夹层时应通过试验确定适用性；

**3** 振动沉管灌注成桩：适用于粉土、黏性土及素填土地基；挤土造成地面隆起量大时，应采用较大桩距施工；

**4** 泥浆护壁成孔灌注成桩，适用于地下水位以下的黏性土、粉土、砂土、填土、碎石土及风化岩层等地基；桩长范围和桩端有承压水的土层应通过试验确定其适应性。

**10.3.2** 长螺旋钻中心压灌成桩施工和振动沉管灌注成桩施工应符合下列规定：

**1** 施工前，应按设计要求在试验室进行配合比试验；施工时，按配合比配制混合料；长螺旋钻中心压灌成桩施工的坍落度宜为160mm～200mm， 振动沉管灌注成桩施工的坍落度宜为30mm～50mm； 振动沉管灌注成桩后桩顶浮浆厚度不宜超过200mm；

**2** 长螺旋钻中心压灌成桩施工钻至设计深度后，应控制提拔钻杆时间，混合料泵送量应与拔管速度相配合，不得在饱和砂土或饱和粉土层内停泵待料；沉管灌注成桩施工拔管速度宜为1.2m/min～1.5m/min，如遇淤泥质土，拔管速度应适当减慢；当遇有松散饱和粉土、粉细砂或淤泥质土，当桩距较小时，宜采取隔桩跳打措施；

**3** 施工桩顶标高宜高出设计桩顶标高不少于0.5m； 当施工作业面高出桩顶设计标高较大时，宜增加混凝土灌注量；

**4** 成桩过程中，应抽样做混合料试块，每台机械每台班不应少于一组。

**10.3.3** 清土和截桩时，应采用小型机械或人工剔除等措施，不得造成桩顶标高以下桩身断裂或桩间土扰动；

**10.3.4** 褥垫层铺设宜采用静力压实法，当基础底面下桩间土的含水量较低时，也可采用动力夯实法；

**10.3.5** 泥浆护壁成孔灌注成桩和锤击、静压预制桩施工，应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定。

## 10.4 质量检验

**10.4.1** 施工质量检验应检查施工记录、混合料坍落度、桩数、桩位偏差、褥垫层厚度、夯填度和桩体试块抗压强度等；

**10.4.2** 竣工验收时，水泥粉煤灰碎石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；

**10.4.3** 承载力检验宜在施工结束28d后进行，其桩身强度应满足试验荷载条件；复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验的数量不应少于总桩数的1%，且每个单体工程的复合地基静载荷试验的试验数量不应少于3点；

**10.4.4** 采用低应变动力试验检测桩身完整性，检查数量不低于总桩数的10%。

# 11 刚性桩复合地基

## 11.1 一般规定

**11.1.1** 刚性桩复合地基中的增强体包括预制混凝土桩、混凝土灌注桩和注浆钢管桩等，适用于处理黏性土、粉土、砂土和分层压实的素填土等地基，不宜用于处理深厚软土地基。

**11.1.2** 刚性桩复合地基中的桩宜为摩擦桩，并以承载力相对较高的土层作为桩端持力层。

**11.1.3** 刚性桩复合地基的设计应进行地基变形验算。

## 11.2 设 计

**11.2.1** 桩截面尺寸：预制方桩边长宜为200mm～400mm，预应力管桩桩径宜为300mm～500mm，混凝土灌注桩桩径宜为400mm～800mm，注浆钢管桩钻孔直径宜为150mm～300mm。

**11.2.2** 桩中心距应根据复合地基允许沉降量及复合地基承载力特征值计算确定，一般宜取4～6倍桩径或桩边长。

**11.2.3** 桩身混凝土强度等级：预制方桩不宜小于C30，预应力管桩不宜小于C60，混凝土灌注桩不宜小于C25。注浆钢管桩的水泥浆体强度不宜小于M20。

**11.2.4** 刚性桩复合地基承载力特征值可按下式计算：

  (11.2.4)

式中：——复合地基承载力特征值 (kPa)；

——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，一般取0.8-0.9；

——面积置换率，桩的截面积除以设计要求每一根桩所承担的处理面积；

—— 单桩竖向承载力特征值 (kN)；

——桩的截面积 (m²)；

——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值，一般取0.7-0.9；

——处理后桩间土天然地基承载力特征值 (kPa)，对非挤土成桩工艺，可取天然地基承载力特征值。

**11.2.5** 单桩竖向承载力特征值Ra应根据单桩静载荷试验确定，试验方法应采用慢速维持荷载法，试验桩桩数不宜小于3根。

**11.2.6** 当根据地基土的物理力学指标与承载力参数等基验关系估算单桩竖向承载力特征值时，可按下式计算：

 (11.2.6)

式中：——桩的周长 (m)；

——桩长范围内所划分的土层数；

——桩周第i层土的侧阻力特征值 (kPa)， 按勘察报告提供的参数结合地方经验确定；

——桩长范围内第i层土的厚度（m）；

——桩端阻力发挥系数，取1.0；

——桩端阻力特征值 (kPa)，可按地区经验确定。

**11.2.7** 桩身混凝土强度标准值应满足下式要求：

  （11.2.7)

式中：——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）；

——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，一般取0.8-0.9；

—— 单桩竖向承载力特征值 (kN)；

——桩的截面积 (m²)。

**11.2.8** 桩顶和基础之间应设置褥垫层，褥垫层厚度宜为200mm～400mm。褥垫材料宜采用中砂、粗砂、级配砂石和碎石等，最大粒径不宜大于20mm，夯填度不应大于0.9。

**11.2.9** 刚性桩复合地基的变形可按桩间土和桩分别计算。

**1** 桩间土的变形计算，可采用分层总和法进行。桩间土的变形量ss按下式计算：

 s  （11.2.9-1)

其中，为桩间土的基底附加压应力，可取，其余见《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定。沉降计算深度应大于复合地基处理深度。

**2** 桩的变形量可按下列公式进行计算：

  (11.2.9-2)

  (11.2.9-3)

  (11.2.9-4)

式中：——桩顶与基础间垫层的压缩变形（mm）；

——桩身与桩端土层的变形量（mm）；

—— 垫层厚度（mm）；

—— 垫层变形模量，砂垫层可取 20MPa～40MPa；

—— 桩顶压应力，Pp0=Ra/Ap（MPa）；

—— 桩底持力层端阻力（MPa）；

—— 桩径或桩边长（mm）；

—— 桩长（mm）；

—— 桩端持力土层的变形模量（MPa）。

**3** 当桩间土的变形计算值Ss与桩的变形计算值Sp相差不超过30%时，可取两者的大值作为刚性桩复合地基的变形计算值。当Ss与Sp相差超过30%时，可参考现场载荷试验结果调整计算参数。有可靠经验时，也可依据经验对计算结果进行调整。

**11.2.10** 有经验时，刚性桩复合地基的承载力和沉降也可由桩土沉降协调确定。

**1** 承载力由沉降协调确定：

  (11.2.10-1)

式中：——刚性桩复合地基承载力；

  ——由沉降协调确定的土分担的承载力；

  ——由沉降协调确定的桩分担的承载力。

**2** 桩和土的刚度计算：

  (11.2.10-2)

  (11.2.10-3)

式中：——桩的刚度；

——土的刚度；

——刚性桩承载力特征值；

——基础下天然地基修正承载力特征值；

——桩顶位置处基础在桩承载力特征值Ra下对应的沉降，可按公式（11.2.9-2）计算；

——天然地基在基础作用修正承载力特征值fa时的沉降，计算深度至桩底位置，可按公式（11.2.9-1）计算。对于残积土和砂土地基等非饱和土时，建议采用变形模量代替公式（11.2.9-1）的压缩模量计算沉降，此时沉降修正经验系数为1。

**3** 验算桩和地基承载力：

  (11.2.10-4)

  (11.2.10-5)

**4** 加固区底部地基承载力，把复合地基加固区看作一个实体基础，验算下卧层承载力，当地基或桩承载力不满足时，调整设计。

**5**  刚性桩复合地基沉降计算：

  (11.2.10-6)

式中：——刚性桩复合地基沉降；

——加固区沉降，等于桩的沉降Sp，按（11.2.9-2）计算；

——加固区底面以下下卧层的沉降，按《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定进行计算。

## 11.3 施 工

**11.3.1** 桩的施工可按现行国家标准、行业标准及广西标准的相关规定执行。

**11.3.2** 预制桩可采用打入法或静压法沉桩。桩锤的选择可根据地质条件、桩长和桩断面尺寸等因素综合确定。静压桩机的最大加荷能力不宜小于设计单桩竖向极限承载力的1.2倍。

**11.3.3** 预制方桩可采用焊接接头，预应力管桩可采用焊接接头或机械接头。

**11.3.4** 混凝土灌注桩可采用长螺旋钻或旋挖成孔。桩身混凝土的坍落度宜为80mm～150mm，混凝土灌注桩超灌高度不宜小于1倍桩径。

**11.3.5** 注浆钢管桩可采用钻机成孔，钢管可采用螺纹接头或机械接头。水泥浆水灰比宜为0.45～0.60，宜采用强度等级32.5级及以上的水泥。根据需要可加入适量的外加剂及掺和料。

**11.3.6** 桩位偏差不应大于0.5倍桩径，条形基础不应大于0.25倍桩径。垂直度偏差不应大于1%。

**11.3.7** 褥垫层施工宜采用平板振动法压实，对垫层变形量有精确要求的，应通过现场静载荷试验确定。

## 11.4 质量检验

**11.4.1** 刚性桩复合地基竣工验收应按下列规定对刚性桩的完整性和单桩承载力及复合地基承载力特征值进行检测：

**1** 完整性检测可采用高应变法、低应变法、声波测试法和钻芯法等，检测数量应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定。

**2** 刚性桩单桩承载力检测可采用静载荷试验或高应变法，检测数量应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定。

**3** 复合地基承载力特征值检测应采用静载荷试验，检测数量为总桩数的1%且不应小于3点。

**11.4.2** 褥垫层的厚度偏差不应大于±20mm，夯填度应符合设计要求。

**11.4.3** 桩身混凝土强度等级、桩位偏差及桩垂直度偏差应符合设计要求。

**11.4.4** 应按现行国家标准对建筑物进行沉降观测，直至沉降稳定为止。

# 12 注浆加固

## 12.1 一般规定

**12.1.1** 注浆加固可用于既有建筑和新建建筑的地基处理、基坑底部土层加固、建（构）筑物纠偏、基础加固、防渗堵漏等。

**13.1.2** 注浆加固适用于砂土、 粉土、黏性土、淤泥质土、风化岩和人工填土等地基加固，也可用于处理发育土洞、溶洞、破碎岩的地基。

**12.1.3** 注浆按注浆机理分为充填注浆、渗透注浆、劈裂注浆、压密注浆四种类型。

**12.1.4** 注浆设计前应搜集场地详细勘察资料、可能受注浆影响的邻近建（构）筑物基础和结构设计资料、地下埋设物情况等资料。

**12.1.5** 加固材料一般选用水泥浆液等固化剂。注浆加固设计前，应进行室内浆液配比试验和现场注浆试验，确定设计参数，检验施工方法和设备。

**12.1.6** 注浆过程中，应对地面、周围建（构）筑物、地下管线等进行必要的沉降、倾斜、变形和位移监测。监测点数按现行国家或地方相关标准要求确定。

**12.1.7** 注浆加固后的地基变形计算应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定进行。

## 12.2 设 计

**12.2.1** 注浆设计主要包括以下内容：

**1** 确定处理目的、范围及施工工艺；

**2**  注浆材料的种类、配比、性能；

**3** 注浆孔的孔位、孔距、排数、排距、孔深等；

**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** 注浆施工顺序及注浆结束标准；

**6** 质量检验及竣工验收标准。

**12.2.2** 注浆加固设计应符合下列规定：

**1** 对软弱地基土处理，可选用以水泥为主剂的浆液及水泥和水玻璃的双液型混合浆液；对有地下水流动的软弱地基，不应采用单液水泥浆液。

**2** 注浆孔宜采用矩形或梅花形布孔形式，注浆孔间距宜取1.0m～2.0m。

**3** 在砂土地基中，浆液的初凝时间宜为5min～20min；在黏性土地基中，浆液的初凝时间宜为1h～2h。

**4** 注浆量和注浆有效范围，应通过现场注浆试验确定；在黏性土地基中，浆液注入率宜为15%～20%；注浆点上覆土层厚度应大于2m。

**5** 对劈裂注浆的注浆压力，在砂土中，宜为0.2MPa～1.5MPa；在黏性土中，宜为0.3MPa～0.6MPa；在淤泥质土中，宜为0.1MPa～0.4MPa。对压密注浆，当采用水泥砂浆浆液时，坍落度宜为25mm～75mm，注浆压力宜为1.0MPa～7.0MPa 。当采用水泥水玻璃双液快凝浆液时，注浆压力不应大于1.0MPa。

**6** 对人工填土地基，应采用多次注浆，间隔时间应按浆液的初凝试验结果确定，且不应大于4h。

**12.2.3** 注浆材料应根据注浆目的、地层特点、注浆设备及施工工艺等因素合理选择。浆液应具有黏度低、可注性和稳定性良好、凝固时间可调节、经济环保、施工操作方便等特点。选择注浆材料宜满足下列要求：

**1** 孔隙率和渗透系数较高的砾砂、粗砂、松散的填土等地层加固，宜采用水泥为主剂；

**2** 孔隙率和渗透系数较低的中砂、粉砂、细砂等地层加固，宜采用以水玻璃类、丙烯酸盐类化学浆材并加入一定量外掺剂的浆液；

**3** 土洞或溶洞地层的充填注浆，宜选用粉煤灰、中粗砂、黏土、碎石等惰性材料和水泥固化剂；

**4** 水泥浆液水灰比宜为0.5:1～2:1，根据工程的实际需要，可再水泥浆液中加入速凝剂、早强剂、分散剂、塑化剂、缓凝剂、膨胀剂等外掺剂。外掺剂的掺入量应根据试验确定，一般不宜大于水泥量的5%。

**12.2.4** 浆液有效扩散距离或扩散半径应根据现场试验确定，有成熟经验的地区可按当地经验确定。

**12.2.5** 总注浆量或每孔注浆量可按下式估算：

  (12.2.5-1)

  (12.2.5-2)

式中：、—— 分别为总注浆量和每孔注浆量（L）；

—— 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；

—— 被注浆的土体积 (m3 ) ；

—— 土的孔隙率；

—— 浆液损耗系数，一般取1.15～1.30；

——浆液充填系数，一般取0.40～0.95；

——浆液有效扩散距离或扩散半径（m）；

—— 注浆孔（段）深度（m）。

**12.2.6** 注浆施工顺序应按分序加密的原则进行。多排孔注浆时，应遵循先边排后中排、先外围后内部的注浆顺序；同一排孔，应采用间隔跳跃式注浆顺序。

**12.2.7** 注浆深度大或土层不均匀时，应进行分段注浆。当土层渗透系数相近时，宜采用下行式分段注浆；当土层渗透系数随深度增大时，宜采用上行式分段注浆；当地层土性变化大、渗透系数相差大时，宜采用混合式分段注浆，在土层分界处应加强注浆。

**12.2.8** 以注浆压力、注浆量、注浆孔单位吸浆量或周边环境变化达到设计要求作为注浆结束标准。

## 12.3 施 工

**12.3.1** 施工场地应预先平整，测量放线，标记注浆孔，并沿钻孔位置开挖沟槽和集水坑。

**12.3.2** 花管注浆法施工可按下列步骤进行：

**1** 钻机与注浆设备就位；

**2** 成孔：钻孔或采用振动法将花管置入土层；

**3** 注浆：按设计要求自下而上或自上而下进行注浆；

**4** 清洗：注浆结束后，应及时用清水冲洗注浆设备、管路中残留的浆液。

**12.3.3** 袖阀管注浆施工可按下列步骤进行：

**1** 钻机与注浆设备就位；

**2** 成孔：钻孔或采用振动法将注浆管压入土层；

**3** 采用钻孔法成孔时，应从钻杆内灌入封闭泥浆，然后插入注浆管；

**4** 注浆：待封闭泥浆凝固后，再进行注浆，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、管路中残留的浆液。

**12.3.4** 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** 成孔：根据土层情况采用泥浆护壁钻进或跟管钻进成孔；

**3**  浇注套壳料：成孔至设计深度，钻杆不拔出，利用钻杆浇注套壳料，边注套壳料边上提钻杆直至孔口；

**4** 插入袖阀管：在注满套壳料的钻孔中插入袖阀管，袖阀管插入至孔底设计深度，并确保袖阀管位于钻孔中心；

**5** 注浆：待套壳料具有一定强度后，在袖阀管内将双层双栓塞注浆芯管插入设计位置进行注浆；

**6** 清洗：注浆结束后，应及时用清水冲洗注浆设备、袖阀管中残留的浆液。

**13.3.5** 注浆孔可采用旋转式或冲击式钻机等机具成孔，钻孔孔径宜为70mm～110mm。钻孔孔位偏差不得大于50mm，垂直度偏差不得大于1%。有角度要求的注浆孔其倾角偏差不得大于2。

**12.3.6** 注浆材料的质量及各项技术指标应符合现行国家标准的相关规定。

**12.3.7** 注浆用水应采用饮用的河水、井水、自来水及其他清洁水，不得采用酸性水和工业废水。

**12.3.8** 浆液应经过搅拌机充分搅拌均匀后才能进行注浆，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。

**12.3.9** 在不同季节、不同气温条件下注浆施工，应注意温度对浆液性能的影响，并及时调整浆液配比。

**1** 冬季当日平均气温低于5℃的条件下进行注浆施工时，应采取措施防止浆液冻结。

**2** 夏日炎热条件下进行注浆施工时，用水水温不得超过30℃～35℃，盛浆桶和注浆管路在注浆体静止状态不得暴露于阳光下，防止浆液凝固。

**12.3.10** 当既有建筑地基进行注浆加固时，应对既有建筑及其邻近建筑、地下管线和地面的沉降、倾斜、位移和裂缝进行监测。 并应采用多孔间隔注浆和缩短浆液凝固时间等措施，防止或减少既有建筑基础因注浆而产生的附加沉降。

**12.3.11** 注浆过程中，发现地面冒浆、跑浆或长时间不冒浆、跑浆等情况时，应暂停注浆施工，查明原因并制订处理方案后再继续注浆，做到信息化施工。

## 12.4 质量检验

**12.4.1** 施工过程中应检查并记录注浆压力、浆液流量、注浆时间、注浆量、浆液水灰比及外加剂用量等，检查记录每个注浆孔的孔位、倾斜度、钻孔倾角等。

**12.4.2** 水泥为主剂的注浆检验时间应在注浆结束28d后进行；黏性土的注浆应在注浆结束60d后进行；其他注浆材料应根据具体情况而定，但不得小于7d。

**12.4.3** 注浆地基质量检验，可采用下列方法进行：

**1** 可选用标准贯入、轻型动力触探、静力触探对加固前后的土体强度指标进行检验；

**2** 采用钻孔弹性波法对加固前后的土体动弹性模量和剪切模量进行检验；

**3** 开挖观察注浆体的胶结情况；

**4** 钻芯取样进行室内试验。

**12.4.4** 注浆检验点不应少于注浆孔数的2%，且不少于3点。检验点合格率小于80%时，应对不合格的注浆区实施重复注浆，再复检。

**12.4.5** 注浆加固处理后地基的承载力应进行静载荷试验检验，每个单体建筑的静载荷试验检验数量不应少于3点。

**12.4.6** 对于以防渗止水为目的注浆工程，可采用抽水（注水）试验测定其防渗止水效果，抽水（注水）试验点应布置在工程重要部位，检测数量不少于3点。

# 13 微型桩加固

## 13.1 一般规定

**13.1.1** 微型桩加固适用于既有建筑地基加固或新建建筑的地基处理。微型桩按桩型和施工工艺，可分为树根桩、预制桩和注浆钢管桩等。

**13.1.2** 微型桩加固后的地基，当桩与承台整体连接时，可按桩基础设计；桩与基础不整体连接时，可按复合地基设计。按桩基设计时，桩顶与基础的连接应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定；按复合地基设计时，应符合《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定，褥垫层厚度宜为100mm～150mm。

**13.1.3** 既有建筑地基基础采用微型桩加固补强，应符合现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》 JGJ 123 的有关规定。

**13.1.4** 根据环境的腐蚀性、微型桩的类型、荷载类型（受拉或受压）、钢材的品种及设计使用年限，微型桩中钢构件或钢筋的防腐构造应符合耐久性设计的要求。钢构件或预制桩钢筋保护层厚度不应小于25mm，钢管砂浆保护层厚度不应小于35mm，混凝土灌注桩钢筋保护层厚度不应小于50mm。

**13.1.5** 软土地基微型桩的设计施工应符合下列规定：

**1** 应选择较好的土层作为桩端持力层，进入持力层深度不宜小于5倍的桩径或边长；

**2** 对不排水抗剪强度小于10kPa的土层，应进行试验性施工；并应采用护筒或永久套管包裹水泥浆、砂浆或混凝土；

**3** 应采取间隔施工、控制注浆压力和速度等措施，减小微型桩施工期间的地基附加变形，控制基础不均匀沉降及总沉降量；

**4** 在成孔、注浆或压桩施工过程中，应监测相邻建（构）筑物、地下管线和边坡的变形。

## 13.2 设 计

**13.2.1** 树根桩适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、 碎石土及人工填土等地基处理。树根桩加固设计应符合下列规定：

**1** 树根桩的直径宜为150mm～300mm，桩长不宜超过30m，对新建建筑宜采用直桩型或斜桩网状布置；

**2** 树根桩的单桩竖向承载力应通过单桩静载荷试验确定。当无试验资料时，可按本规程式（7.2.1）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** 桩身材料混凝土强度不应小于C25， 灌注材料可用水泥浆、水泥砂浆、细石混凝土或其他灌浆料，也可用碎石或细石充填再灌注水泥浆或水泥砂浆；

**4** 树根桩主筋不应少于3根，钢筋直径不应小于12mm， 且宜通长配筋；

**5** 对高渗透性土体或存在地下洞室可能导致的胶凝材料流失，以及施工和使用过程中可能出现桩孔变形与移位，造成微型桩的失稳与扭曲时，应采取土层加固等措施。

14.2.2 预制桩适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土和人工填土等地基处理。预制桩桩体可采用边长为150mm～300mm 的预制混凝土方桩，直径300mm的预应力混凝土管桩，断面尺寸为100mm～300mm的钢管桩和型钢等。预制桩的单桩竖向承载力应通过单桩静载荷试验确定；无试验资料时，初步设计可按本规程式（7.2.1）估算。

**13.2.3** 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。 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》JGJ 94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。

## 13.3 施 工

**13.3.1** 树根桩施工应符合下列规定：

**1** 桩位允许偏差宜为±20mm；桩身垂直度允许偏差应为士1%；

**2** 钻机成孔可采用天然泥浆护壁，遇粉细砂层易塌孔时应加套管；

**3** 树根桩钢筋笼宜整根吊放。分节吊放时，钢筋搭接焊缝长度双面焊不得小于5倍钢筋直径，单面焊不得小于10倍钢筋直径，施工时，应缩短吊放和焊接时间；钢筋笼应采用悬挂或支撑的方法，确保灌浆或浇注混凝土时的位置和高度。在斜桩中组装钢筋笼时，应采用可靠的支撑和定位方法；

**4** 灌注施工时，应采用间隔施工、间歇施工或添加速凝剂等措施，以防止相邻桩孔移位和窜孔；

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

**6** 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；

**7** 当通过水下浇注管或带孔钻杆或管状承重构件进行浇注混凝土或水泥砂浆时，水下浇注管或带孔钻杆的末端应埋入泥浆中。浇注过程应连续进行，直到顶端溢出浆体的黏稠度与注入浆体一致时为止；

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

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

**10** 树根桩采用的灌注材料应符合下列规定：

**1）**具有较好的和易性、可塑性、黏聚性、流动性和自密实性；

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

**3）**对水下浇注混凝土配合比，水泥含量不应小于375kg/m³，水灰比宜小于0.6；

**4）**水泥浆的制配，宜采用强度等级42.5级普通硅酸盐水泥，水灰比不宜大于0.55。

**13.3.2** 预制桩的施工除应满足现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 对型钢微型桩应保证压桩过程中计算桩体材料最大应力不超过材料抗压强度标准值的90%；

**2** 对预制混凝土方桩或预应力混凝土管桩，所用材料及预制过程（包括连接件）、压桩力、接桩和截桩等，应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定；

**3** 除用于减小桩身阻力的涂层外，桩身材料以及连接件的耐久性应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》 GB/T 50046的有关规定。

**13.3.3** 钢管桩的施工可采用静压或植入等方法。

**1** 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。

**2** 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。

**3** 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标准》GB 50202的要求。

## 13.4 质量检验

**13.4.1** 微型桩的施工验收，应提供施工过程有关参数，原材料的力学性能检验报告，试件留置数量及制作养护方法、混凝土和砂浆等抗压强度试验报告，型钢、钢管和钢筋笼制作质量检查报告。施工完成后尚应进行桩顶标高和桩位偏差等检验。

**13.4.2** 微型桩的桩位施工允许偏差，对独立基础、条形基础的边桩沿垂直轴线方向应为士1/6桩径，沿轴线方向应为±1/4桩径，其他位置的桩应为±1/2桩径；桩身的垂直度允许偏差应为±1%。

**13.4.3** 桩身完整性检验宜采用低应变动力试验进行检测。检测桩数不得少于总桩数的10%，且不得少于10根。每个柱下承台的抽检桩数不应少于1根。

**13.4.4** 微型桩的竖向承载力检验应采用静载荷试验，检验桩数不得少于总桩数的1%，且不得少于3根。

# 14 组合桩复合地基

## 14.1 一般规定

**14.1.1** 组合桩复合地基适用于正常固结的淤泥和淤泥质土、黏性土、粉土、可液化土等土层。

**14.1.2** 组合桩复合地基的竖向增强体由长桩和短桩组成，其中长桩应采用刚性桩，短桩可采用刚性桩、柔性桩或散体材料桩，刚性桩应布置在基础范围内。

**14.1.3** 组合桩复合地基的长桩，宜选择相对较好的持力层；短桩桩长宜穿越浅层要处理的软弱或液化土层；

**15.1.4** 长桩刚性桩的桩距应根据土质条件、设计要求的复合地基承载力、沉降，以及施工工艺确定，宜取4～6倍桩径。短桩的平面布置应根据上部结构特点及对地基承载力和沉降的要求确定。

**14.1.5** 组合桩复合地基宜按沉降控制的原则进行设计。

## 14.2 设 计

**14.2.1** 组合桩复合地基单桩承载力应由静载荷试验确定，初步设计可按本标准第11.2.8条规定估算；对施工扰动敏感的土层，应考虑后施工桩对已施工桩的影响，单桩承载力予以折减。

**14.2.2** 组合桩复合地基承载力特征值，应采用多桩复合地基静载荷试验确定，初步设计时，可采用下列公式估算：

**1** 对具有粘结强度的两种桩组合形成的多桩型复合地基承载力特征值：

  (14.2.2-1)

式中： 、——分别为长桩、短桩的面积置换率；

、——分别为长桩、短桩的单桩承载力发挥系数；由试验或当地经验确定，无经验时长桩取0.8～1.0，短桩取0.7～0.9；

、——分别为长桩、短桩的单桩承载力特征值(kN)；

、——分别为长桩、短桩的截面面积 (m²)；

——桩间土承载力发挥系数；无经验时可取0.9～1.0；

——处理后复合地基桩间土承载力特征值（kPa），可通过载荷试验确定，无经验时，可取天然地基承载力特征值。

**2** 对具有粘结强度的桩与散体材料桩组合形成的复合地基承载力特征值：

  (14.2.2-2)

式中：——仅由散体材料桩加固处理形成的复合地基承载力发挥系数；

——仅由散体材料桩加固处理形成复合地基的桩土应力比；

——仅由散体材料桩加固处理后桩间土承载力特征值(kPa)。

**14.2.3** 组合桩复合地基面积置换率，应根据基础面积与该面积范围内实际的布桩数量进行计算，当基础面积较大或条形基础较长时，可用单元面积置换率替代。

当按图14.2.3(a) 矩形布桩时，，；



图14.2.3（a） 组合桩复合地基矩形布桩单元面积计算模型

1—长桩；2—短桩

当按图14.2.3 (b）三角形布桩且时，，。



图14.2.3（b） 组合桩复合地基矩形布桩单元面积计算模型

1—长桩；2—短桩

**14.2.4** 组合桩复合地基与基础间应设褥垫层，并符合下列规定：

**1** 褥垫层厚度可根据桩端持力层、桩间土性质、建筑荷载情况等综合确定，垫层厚度宜取长桩直径的1/2，宜为150mm～300mm。褥垫层布置范围宜大于基础范围，每边超出基础外边缘的宽度宜为200mm～300mm；

**2** 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配砂石和碎石等，最大粒径不宜大于20mm，夯填度不应大于0.9。

**14.2.5** 组合桩复合地基的沉降由褥垫层的压缩量、加固区压缩量和加固区下卧土层压缩量组成，加固区压缩量分为短桩范围内复合土层压缩量和短桩以下只有长桩部分复合土层压缩量，褥垫层压缩量小且在施工期已基本完成，故不予考虑。组合桩复合地基的沉降采用各土层分层总和法计算，计算公式按本标准7.2.5条和7.2.6条规定进行，复合土层的压缩模量可按下列公式计算：

**1** 有粘结强度增强体的长短桩复合加固区、仅长桩加固区土层压缩模量提高系数分别按下列公式计算：

  (14.2.5-1)

  (14.2.5-2)

式中：、——分别为仅由长桩处理形成复合地基承载力特征值和长短桩复合地基承载力特征值（kPa）；

  、——分别为长短桩复合地基加固土层压缩模量提高系数和仅由长桩处理形成复合地基加固土层压缩模量提高系数。

**2** 对由有粘结强度的桩与散体材料桩组合形成的复合地基加固区土层压缩模量提高系数可下列公式计算：

  (14.2.5-3)

  (14.2.5-4)

式中：——仅由散体材料桩加固处理后复合地基承载力特征值 （kPa）；

——处理后桩间土地基承载力的调整系数，α=fsk/fak；

——散体材料桩的面积置换率。

**14.2.6** 组合桩复合地基变形计算深度应大于复合地基土层的厚度，且应满足现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定。

## 14.3 施 工

**14.3.1** 组合桩的施工顺序应根据所采用桩型的施工工艺、加固机理和挤土效应等确定。

**14.3.2** 组合桩复合地基桩的施工应符合本标准有关同桩型桩施工的相关规定。

**14.3.3** 桩施工垂直度允许偏差和桩位允许偏差应符合现行《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定。

**15.3.4** 褥垫层施工不得在浸水条件下进行，当地下水位较高影响施工时，应采取有效措施将水位降至桩顶标高下不少于500mm。

**15.3.5** 褥垫层铺设前应预留约200mm厚土层，待铺设褥垫层时再人工开挖至设计标高，然后及时按设计要求铺设褥垫层。褥垫层底面应在同一标高上，深度不同时，应采用阶梯或斜坡搭接，并按先深后浅的顺序施工，搭接处应夯实。褥垫层验收合格后，应及时进行基础垫层施工与回填。

## 14.4 质量检验

**14.4.1** 组合桩复合地基施工过程中应随时检查桩的施工记录，并对每根桩进行施工质量评定。

**14.4.2** 组合桩复合地基竣工验收应按下列规定对单桩承载力及完整性、复合地基承载力特征值进行检测：

**1** 组合桩复合地基承载力检验，应采用多桩复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验；

**2** 刚性桩检测数量不应少于其总桩数的1%且不少于3点，柔性桩或散体材料桩检测数量不应少于其总桩数的1%且不少于3点；

**3** 组合桩复合地基载荷板静载荷试验，检测数量不宜少于长桩总桩数的1%且不少于3点，对每个单体工程检验数量不得少于3点；

**4** 增强体施工质量检验，对散体材料增强体的检验数量不应少于其总桩数的2%，对具有粘结强度的增强体，完整性检验数量不应少于其总桩数的20%。

**14.4.3** 应对建筑物进行沉降观测，直至地基沉降趋于稳定为止。

# 15 膨胀土地基处理

## 15.1 一般规定

**15.1.1** 膨胀土地基处理可采用换土、土性改良、砂石或灰土垫层、桩基穿越等方法，从根本上减弱或消除膨胀土的胀缩性。

**15.1.2** 膨胀土地基换土应采用非膨胀性土、灰土或改良土，换填厚度应通过变形计算确定。在高温设备等因素的影响下，基础既不能直接与膨胀土接触而又不能设空气隔热层时，可用天然三合土等材料均匀换土，换土厚度由计算定，若上部荷载较大，而换土厚度又很厚时，则应分层碾压后再做载荷试验，以达到地基设计要求为限。

**15.1.3** 膨胀土土性改良可采用掺和水泥、石灰、石膏、固化剂等材料，掺合比和施工工艺应通过试验确定。

**15.1.4** 砂石或灰土垫层：在条形基础、独立柱基的基底垫砂石；在挡土墙、地下室、地沟、地坑等的侧壁填砂石；坡地上的基础底不应垫砂石。砂石垫层做法：选料为中粗砂，厚度不小于0.3m，含水量控制在9%左右，夯填度不得大于0.9。

**15.1.5** 土性改良法的质量检验应采取改性后土样进行室内胀缩试验以确定改良效果。

## 15.2 膨胀土地基处理方法

**15.2.1** 换填与垫层法

**1** 换填法：挖除膨胀土，换填非膨胀性材料（如砂土、碎石、灰土等），从根本上消除胀缩性。多层建筑或低层建筑，换填厚度需大于大气急剧影响深度（通常1.5m～3.6m，强膨胀土换填2m～3.6m，中弱膨胀土1.5m～2.7m），施工时严格控制填料含水量、分层碾压，并配合排水措施防止地下水渗入。

**2** 垫层法：在基础底部铺设砂垫层或砂石垫层（厚度300mm～600mm），缓解胀缩变形并阻断毛细水上升。低层建筑或路堤包封处理，如路堤两侧及顶部用非膨胀土封层，必要时加铺土工布形成“包心填方”。

**15.2.2** 化学与物理改良法

**1** 石灰、水泥、石膏、固化剂改良：通过掺入石灰（水泥、石膏、固化剂，剂量5%～12%）或石灰加水泥（固化剂）组合，发生离子交换和胶结反应，降低膨胀性并提高强度。需控制含灰率、拌和均匀性及碾压工艺，确保改性后胀缩总率接近零。

**2** 生态改性剂技术：使用复合化工材料（如膨胀土生态改性剂），通过离子交换破坏膨胀土亲水性，永久改性为非膨胀土，形成类沉积岩结构。

**15.2.3** 桩基穿越与结构防护措施

**1** 采用钢筋混凝土桩、灰土桩、水泥桩等穿透膨胀土层，将桩基支承于稳定岩土层，以消除膨胀土的危害。该方法适用于高层建筑或膨胀土较厚区域。

**2** 结构防护措施：建筑结构优先采用全框架结构，设置圈梁、构造柱增强整体刚度；基础埋深不小于1m，置于大气急剧影响深度以下。路堤边坡采用浆砌护坡、土工格栅加筋或抗滑桩，防止雨水侵蚀和滑坡。

**15.2.4** 新型技术与综合应用

采用土工布、土工格栅用于增强地基承载力、防渗排水，或加筋边坡防溜塌。

# 16 岩溶地基处理

## 16.1 一般规定

**16.1.1** 岩溶地基处理方法选择，应考虑地基、基础和上部结构的共同作用效应。

**16.1.2** 岩溶地基处理时，应根据岩溶发育特征和地表水径流、地下水赋存条件制定截流、防渗、堵漏或疏排措施。

**16.1.3** 对塌陷或浅埋溶（土）洞宜采用挖填夯实法、跨越法、充填法、垫层法进行处理；对深埋溶（土）洞宜采用注浆法、充填法、桩基法进行处理。

**16.1.4** 对落水洞及浅埋的溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）等，宜采用跨越法、充填法进行处理。

**16.1.5** 大块孤石或石芽出露的地基宜对岩石表面进行修整，并按土岩组合地基设置褥垫层。

**16.1.6** 对地貌、地质、水文条件复杂及塌陷量大、影响范围大的地段，可采用多种方法综合处理。

**16.1.7** 岩溶地基处理与施工时，应对岩溶水进行疏导或封堵，减少淘蚀、潜蚀。岩溶水的处理应符合下列规定：

**1** 对于流量较小、水路复杂、出水点多、影响范围广、水流分散不易汇集等地段，可采用与水流方向垂直设置的截水盲沟、截水墙、截水洞等截流（截渗）方法；

**2** 对于流量大而集中的岩溶水，可采用设置与水流方向一致的泄水洞、管道、桥涵及明沟等疏导方法；

**3** 应采取保证岩溶泉水流出和落水洞排水的措施；

**4** 当地下水量小且呈弥散径流时，可用砂浆、黏土及浆砌片石等进行堵塞；对水量大而集中及水压力大的岩溶水径流，堵塞措施应充分考虑地下水径流方式空间变化的不确定性，需经室内模拟、现场水文试验等方法确认后采用；

**5**  对覆盖型岩溶、土洞发育地段的地下水越流渗透进行地基处理时，可采用钻孔注浆、旋（摆）喷注浆等措施进行截渗处理。

## 16.2 岩溶地基处理方法

**16.2.1** 充填法

**1** 充填法适用于溶（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙、漏斗）、落水洞的充填和石芽地基的嵌补。

**2** 充填材料可采用素土、灰土、砂砾、碎石、混凝土、泡沫轻质土等。当充填部位在地下水位以下、埋藏较深时，不宜采用素土、灰土充填；有防渗要求时，不宜采用砂砾、碎石、泡沫轻质土充填。

**3** 采用碎石及混凝土材料充填时，应根据岩溶发育程度、地下水特征、充填材料等因素选择施工机械。材料粒径宜由大到小的顺序，分层充填密实，逐步过渡至良好级配面层。充填材料中的 碎石抗压强度不宜低于15MPa。

**4** 泡沫轻质土采用的材料应符合下列规定：

**1）**水泥应符合国家现行标准《通用硅酸盐水泥》GB 175、《快硬硫铝酸盐水泥》JC 933 的规定；

**2）**粉煤灰应采用F 类粉煤灰，并应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定，严禁采用C 类粉煤灰作为泡沫轻质土的掺和料；

**3）**外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定 ；

**4）**发泡剂严禁采用动物蛋白类发泡剂，其性能宜符合表16.2.1-1的规定；

表16.2.1-1 发泡剂性能指标

|  |  |
| --- | --- |
| 性能指标　 | 规定值 |
| 稀释倍率 | 40～60 |
| 发泡倍率 | 800～1200 |
| 标准泡沫密度（kg/m3） | 30～50 |
| 标准泡沫泌水率（%） | ≤25 |

**5）**泡沫轻质土的配合比宜符合本标准附录D的规定；

**6）**泡沫轻质土的 抗压强度应通过试验确定，且不应低于1.5MPa。

**16.2.2** 跨越法

**1** 采用跨越法处理岩溶地基时，可根据溶（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）、落水洞的大小、形状、岩体的强度、地下水等因素确定洞侧支承条件，进行结构计算；

**2** 浅埋的开口型或跨度较大的溶（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）等岩溶地基，宜采用梁、板、拱等结构跨越；规模较大的洞隙或溶沟、溶槽，可采用洞底支撑、沟槽底部连续支撑或调整结构柱距等方法处理；

**3** 梁、板、拱等跨越结构，应符合结构计算的要求。跨度大的洞隙或溶沟、溶槽，可采用支撑调整跨距。支撑的洞底岩体也应符合强度和稳定性的要求。梁板式结构在支撑体上的长度应大于梁高的1.5倍；

4 跨越结构施工前应先检查、清理洞侧支撑岩（土）体，清除支撑面上的杂草、浮土及岩石碎片，保证支承面清洁平整。应通过清理支承体侧面的岩石碎片检查岩体的完整性，对影响跨越结构施工的裂隙应采取灌浆等措施进行填补加固；

5 跨越结构设计与施工应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

**16.2.3** 桩基法

**1** 当场地存在下列情况之一时，宜采用桩基础进行处理，且基桩宜穿过不稳定的岩土层：

**1）**浅埋的溶（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙、漏斗）或洞体顶板破碎的地段；

**2）**洞体围岩为微风化岩石、顶板岩石厚度小于洞跨或基础底面积小于洞的平面尺寸并且无足够支撑长度的地段；

**3）**基础底面以下土层厚度大于独立基础的3倍或条形基础的 6倍，但具备形成土洞或其他地面变形条件的地段，未经有效处理的隐伏土洞或地表塌陷影响范围内设计等级为甲、乙级的建筑物。

**2** 岩溶地区桩基法的设计和施工应符合下列规定：

**1）**岩溶地基处理桩基础可采用预制桩基础、钻 （冲）孔灌注桩、混凝土钢管桩基础等；

**2）**采用钻（冲）成孔灌注桩穿过溶洞时，应根据溶洞大小备足泥浆及片石。当冲孔至溶洞位置发现孔内泥浆液面迅速下降时， 应立即抛填片石封堵溶洞，并从储浆池向孔内补注泥浆至孔内泥 浆面稳定后再继续成孔，防止漏浆及混凝土流失。当溶洞规模较大时，可采用强度等级不低于C20的速凝混凝土或水泥砂浆封堵，混凝土或水泥砂浆中应添加速凝剂；

**3）**混凝土钢管桩采用岩芯钻机成孔，桩端应穿越溶洞底下至少1倍桩径且不小于300mm；钢管安装好后进行灌浆，把钢管内腔和上部荷重应力扩散范围内的岩石空洞、裂隙用水泥浆液灌满，灌浆后将所有的钢管用设计要求等级混凝土灌满。

**3** 桩基础的设计、施工及质量检验尚应符合现行国家标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

**16.2.4** 注浆法

**1** 注浆法可用于溶洞充填土体和较厚覆盖土层的地基处理，也可与其他地基处理方法综合使用；

**2** 注浆施工前应根据设计要求进行工艺性试验，数量不少于2点；

**3** 注浆处理前应进行室内配比试验和现场试验确定设计参数；

**4** 注浆的设计、施工、质量检验参照本规程第12章。

**16.2.5** 褥垫层法

**1** 对于石芽密布并有出露、石芽间距小于2m、其间为硬塑或坚硬状态的红粘土的地基，当房屋为六层以上的砌体承重结构、三层以上的框架结构或吊车荷载大于150kN的单层排架结构且基底压力大于200kPa时，宜利用稳定的石芽作支墩式基础，在石芽出露部位作褥垫；

**2** 对于大块孤石或个别石芽出露的地基，当土层的承载力特征值大于150kPa、房屋为单层排架结构或一、二层砌体承重结构时，宜在基础与岩石接触的部位采用褥垫层进行处理；

**3** 褥垫层可采用中砂、粗砂、土夹石、级配砂石、碎石和毛石混凝土等材料，其厚度宜取300mm～500mm，夯填度应根据试验确定。初步设计时，夯填度可按表16.2.5的规定取值。

表16.2.5夯填度标准

|  |  |
| --- | --- |
| 褥垫层材料 | 夯 填 度 |
| 中砂、粗砂 | 0.87±0.05 |
| 土夹石（其中碎石含量为20%～30%） | 0.70±0.05 |

**16.2.6** 其他处理方法

**1** 岩溶地区地基处理采用顶柱法、复合地基、爆破挖除法等方法时，应符合下列规定：

**1）**当顶板较薄、裂隙较多、洞跨较大、顶板强度不足以承担上部荷载时，为保持地下水通畅，条件许可时可采用附加支撑减少洞跨 ；

**2）** 对溶（土）洞内软土较深地段、上部土层承载力不足且具有一定厚度，下伏基岩溶洞发育采用桩基穿越桩长过大的地段，宜采用水泥土搅拌桩、碎石桩、旋喷桩、水泥粉煤灰碎石桩、刚性桩或钢（板）管桩等打入洞内形成的复合地基；

**3）** 对浅埋的溶（土）洞，可采用挖除法进行处理；

**4）** 当采用爆破处理岩溶地基时，应采取有效措施避免爆破对周围建（构）筑物的震害，当爆破对周围建（构）筑物震害较严重时， 宜部分或全部采用静态爆破、液压涨裂开挖方案，并避免岩溶塌陷。

**2** 复合地基处理方法的设计、施工和质量检验参照本规程的相关章节。

# 17 地基处理智能化技术

## 17.1 一般规定

**17.1.1** 为推动地基处理智能化技术发展，结合国家政策及行业需求，鼓励在地基处理设计、施工、检测采用智能化技术。

**17.1.2** 地基处理智能化技术可从以下几个方面进行：

**1 定位与引导精准化**：利用北斗卫星导航系统（BDS）或 GPS 等高精度定位技术，实现打桩机等施工设备的精准定位与引导。

**2 实时监测普及化**：在地基处理施工设备及地基中安装各类传感器和监控设备，实时监测桩孔的深度、直径、垂直度以及设备的振动、电流等关键参数。数据通过无线传输技术发送至中央控制系统或云平台，及时发现并处理异常情况。

**3 施工控制自动化**：借助智能控制系统和自动化设备，根据预设的施工流程和参数，自动调整施工设备的作业模式、速度和力量等参数，实现地基处理的高效作业。

**4 数据分析智能化**：运用人工智能（AI）技术，进行数据挖掘和机器学习，对施工过程中收集的大量数据进行分析，评估和预测施工质量和效率，优化设计施工参数，为设计单位及施工管理者提供科学的数据支持和决策依据。

**17.1.3** 创新性的技术方法与措施，应进行论证并符合国家相关规范的要求。

# 附 录 A 处理后地基静载荷试验要点

# （规范性）

**A.0.1** 本试验要点适用于确定换填垫层、预压地基、压实地基、夯实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1.0m²，对夯实地基，不宜小于2.0m²。

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

**A.0.4** 加荷分级不应少于8级。最大加载量不应小于设计要求的2倍。

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

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

**1** 承压板周围的土明显地侧向挤出；

**2** 沉降s急骤增大，压力-沉降曲线出现陡降段；

**3** 在某一级荷载下，24h内沉降速率不能达到稳定标准；

**4** 承压板的累计沉降量已大于其宽度或直径的6%。

**A.0.7** 处理后的地基承载力特征值确定应符合下列规定：

**1** 当压力-沉降曲线上有比例界限时，取该比例界限所对应的荷载值。

**2** 当极限荷载小于对应比例界限的荷载值的2倍时，取极限荷载值的一半。

**3** 当不能按上述两款要求确定时，可取 s/b=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。

**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

# （规范性）

**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垫层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，且与承压板边的净距不应小于2m。

**B.0.5** 试验前应采取防水和排水措施，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的隆起；

**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 比例界限的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)** 对沉管砂石桩、振冲碎石桩和柱锤冲扩桩复合地基， 可取s/b 或s/d 等于0.01所对应的压力；

**2)** 对灰土挤密桩、土挤密桩复合地基，可取s/b 或s/d 等于0.008所对应的压力；

**3)** 对水泥粉煤灰碎石桩或夯实水泥土桩复合地基，对以卵石、圆砾、密实粗中砂为主的地基，可取s/b 或s/d 等于0.008所对应的压力；对以黏性土、粉土为主的地基，可取s/b 或s/d 等于0.01所对应的压力；

**4)** 对水泥土搅拌桩或旋喷桩复合地基，可取s/b 或s/d 等于0.006～0.008所对应的压力，桩身强度大于1.0MPa 且桩身质量均匀时可取高值；

**5)** 对有经验的地区，可按当地经验确定相对变形值，但原地基土为高压缩性土层时，相对变形值的最大值不应大于0.015；

**6)** 复合地基荷载试验，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 ；

**7)** 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

# （规范性）

**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》GB 50007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》GB 50007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**  ，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：—— 第n级荷载的沉降增量；——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）曲线和其他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** 当出现本规程第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，可结合其他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。

# 附 录 D 泡沫轻质土充填处理的配合比

# （资料性）

**D.0.1** 泡沫轻质土的配合比应符合下列规定：

**1** 泡沫轻质土配合比设计应满足抗压强度、湿密度、流值的要求；

**2** 泡沫轻质土试配强度应满足下式要求：

 ** 或 ** （D.0.1）

式中： 、—7天龄期抗压强度、28天龄期抗压强度

—设计抗压强度

**3** 泡沫轻质土的流值宜为160mm～190mm；当掺入可塑剂时，流值不宜高于150mm：

**4** 泡沫轻质土抗压强度试验用的试件尺寸应为100mm×100mm×100mm。

**D.0.2** 泡沫轻质土的配合比设计应按下列步骤进行：

**1** 根据设计要求确定泡沫轻质土施工湿密度Rfw；

**2** 确定水泥浆配合比，按下式计算水泥浆单方材料组成、湿密度：

 ** (D.0.2-1)

按下式计算泡沫轻质土配合比单方材料组成、气泡率：

 (D.0.2-2)

式中：、、分别为水泥浆单位体积内水泥、粉煤灰、水的质量

、、分别为轻质土单位体积内水泥、粉煤灰、水的质量

、为水泥浆、轻质土单位体积质量

、、分别为水泥、粉煤灰、泡沫密度

为轻质土气泡率

在确定水泥浆配合比时，水固比参数b值宜取1.3～1.6；粉煤灰掺量α不应大于30%。

**D.0.3** 配合比试配试验应符合下列规定：

**1** 根据计算的配合比，拌合水泥浆、泡沫轻质土；

**2** 测定泡沫轻质土流值是否符合要求；当不符合时，应按0.05的差额调整水固比参数b，重新拌合泡沫轻质土，直至流值满足要求为止；

**3** 进行标准沉陷距试验，如标准沉陷距大于5mm，应选择新的水泥、粉煤灰品牌重新进行试配；

**4** 取泡沫轻质土拌合物制备强度检测试件，并检测7天龄期抗压强度，当抗压强度满足要求时，该配合比可作为施工配合比；否则，应增大泡沫轻质土的试配密度，重新进行试配试验；

**5** 当标准沉陷距满足要求时，也可调整水固比、试配密度，同步进行多组试配试验，以强度满足要求的配合比作为施工配合比。

# 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同时的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

#  引用标准名录

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，标注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规程；不标注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

《建筑地基基础设计规范》 GB 50007

《岩土工程勘察规范》 GB 50021

《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202

《建筑与市政地基基础通用规范》 GB 55003

《混凝土结构设计标准》 GB/T 50010

《建筑抗震设计标准》 GB/T 50011

《工业建筑防腐蚀设计标准》 GB/T 50046

《土工合成材料应用技术规范》 GB/T 50290

《复合地基技术规范》GB/T 50783

《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79

《建筑桩基技术规范》 JGJ 94

《建筑变形测量规范》JGJ8

《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

《混凝土结构工程施工规范》GB 50666