

# 目 次

1 总 则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术 语 .....	2
2.2 符 号 .....	2
3 基本规定 .....	5
4 强夯地基 .....	7
4.1 一般规定 .....	7
4.2 设 计 .....	7
4.3 施 工 .....	13
4.4 质量检验 .....	14
5 刚性桩复合地基 .....	17
5.1 一般规定 .....	17
5.2 设 计 .....	17
5.3 施 工 .....	21
5.4 质量检验 .....	22
6 组合桩复合地基 .....	23
6.1 一般规定 .....	23
6.2 设 计 .....	23
6.3 施 工 .....	27
6.4 质量检验 .....	28
7 注浆加固 .....	29
7.1 一般规定 .....	29
7.2 设 计 .....	29
7.3 施 工 .....	32
7.4 质量检验 .....	33

8	膨胀土地基处理	35
8.1	一般规定	35
8.2	换填垫层法	35
8.3	土性改良法	36
8.4	桩基法	38
8.5	结构防护和防水保湿措施	38
9	岩溶地基处理	40
9.1	一般规定	40
9.2	充填法	40
9.3	换填法	41
9.4	跨越法	41
9.5	变刚度法	42
9.6	桩基法	43
9.7	注浆法	44
9.8	其他处理方法	45
9.9	岩溶水控制	45
	本规程用词说明	47
	引用标准名录	48
	附：条文说明	49

# Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Conditions	2
3	Basic requirements	5
4	Rammed ground	7
4.1	General requirements	7
4.2	Design	7
4.3	Construction	13
4.4	Quality inspection	14
5	Rigid pile composite ground	17
5.1	General requirements	17
5.2	Design	17
5.3	Construction	21
5.4	Quality inspection	22
6	Combined pile composite ground	23
6.1	General requirements	23
6.2	Design	23
6.3	Construction	27
6.4	Quality inspection	28
7	Ground improvement by permeation and high hydrofracture grouting	29
7.1	General requirements	29
7.2	Design	29
7.3	Construction	32

7.4	Quality inspection	33
8	Treatment of expansive soil ground	35
8.1	General requirements	35
8.2	Replacement layer of compacted fill	35
8.3	Soil improvement methods	36
8.4	Pile ground	38
8.5	Structural protection	38
9	Treatment of karst ground	40
9.1	General requirements	40
9.2	Fill mining	40
9.3	Replacement method	41
9.4	Leapfrog method	41
9.5	Variable stiffness method	42
9.6	Pile ground	43
9.7	Grouting	44
9.8	Additional methods	45
9.9	Karst water control	45
	Explanation of wording in this code	47
	List of quoted standards	48
	Addition: Explanation of provisions	49

# 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，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。
- 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** 标准与现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79配套使用。
- 1.0.5** 地基处理除应符合本规程的规定外，尚应满足国家、行业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 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。

#### 2.1.2 刚性桩复合地基 rigid pile composite ground

以摩擦型刚性桩作为竖向增强体的复合地基。

#### 2.1.3 组合桩复合地基 composite ground 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。

#### 2.1.4 膨胀土地基 expansive soil ground

黏粒成分中含较多强亲水性矿物，以吸水膨胀、失水收缩为主要特点的地基。

#### 2.1.5 岩溶地基 karst ground

岩体中存在溶洞、溶蚀裂隙、岩体表面在石芽、溶沟、溶槽、溶蚀漏斗、或覆盖层中存在可溶岩类残积土、半生土洞等不良地质现象的地基。

### 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；

$P_0$  ——桩间土的基底附加压应力；

$K_P$  ——桩的刚度；

$K_s$  ——土的刚度；

### 2.2.2 抗力和材料性能

$f_{ak}$  ——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;

$q_p$  ——桩端端阻力特征值;

$q_s$  ——桩周土的侧阻力特征值;

$R_a$  ——单桩竖向承载力特征值;

$R_k$  ——由沉降协调确定的桩分担的承载力;

$\lambda$  ——单桩承载力发挥系数;

$\beta$  ——桩间土承载力发挥系数;

$\alpha_p$  ——桩端阻力发挥系数;

$S$  ——刚性桩复合地基沉降量;

$S_1$  ——加固区沉降量;

$S_2$  ——加固区底面以下下卧层的沉降量;

$s_s$  ——桩间土的变形量;

$s_p$  ——桩的变形量;

$S_{p1}$  ——桩顶与基础间垫层的压缩变形量;

$S_{p2}$  ——桩身与桩端土层的变形量;

$P_{p0}$  ——桩顶压应力;

$E_0$  ——桩端持力土层的变形模量;

$n$  ——土的孔隙率。

### 2.2.3 几何参数

$A$  ——基础底面积;

$A_e$  ——一根桩承担的处理地基面积;

$A_p$  ——桩的截面积;

$d$  ——桩的直径;

$d_e$  ——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;

$l$  ——基础底面长度;

$l_p$  ——桩长;

$m$  ——面积置换率;

$s$  ——桩间距;

$h_{e0}$  ——垫层厚度;

$Q_{\text{总}}$  ——总注浆量;

$Q_{\text{单}}$  ——每孔注浆量;

$v$  ——被注浆的土体积;

$R$  ——浆液有效扩散距离或扩散半径;

$H$  ——注浆孔（段）深度。

### 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报告、周边环境、场地施工条件、工期、上部结构及基础设计资料等；

2 了解当地地基处理经验和施工条件以及相似场地上同类工程的地基处理经验和使用情况等；

3 对勘察报告提供的地基处理方法建议及参数进行确认；

4 查明可能影响的邻近建（构）筑物、地下工程、道路及有关地上、地下管线分布等现状情况及周边环境情况。

**3.0.2** 地基处理方案应根据上部结构、荷载大小、使用要求以及地基基础设计等级，结合场地实际情况，充分考虑基础和地基的共同作用，在进行多种方案的技术经济比较后确定。

**3.0.3** 地基处理施工前，应通过现场试验或试验性施工，确定其适用性及处理效果，根据试验结果调整设计方案。

**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时，应对地基承载力特征值进行修正。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符合下列规定：

1 大面积压实填土地基，对于压实系数大于 0.95、黏粒含量  $p_c \geq 10\%$  的粉土，可取 1.5；对于干密度大于  $2.1 \text{ g/cm}^3$  的级配砂石可取 2.0；其他填土可取 1.0；

2 其他处理地基应取 1.0。

**3.0.5** 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，也可通过直剪试验或三轴试验确定；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，也可通过残余直剪试验或环剪试验确定。

**3.0.6** 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；复合地基增强体的桩身完整性和复合地基承载力评价；施工工艺对桩间土承载力有影响时应进行桩间土承载力检验。

**3.0.7** 采用多种地基处理方法的复合地基承载力检验，宜采用将每一种方法都包含的大尺寸承压板进行载荷试验，最大加载量不应小于复合地基承载力特征值的 2.0 倍。

**3.0.8** 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现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定。

**3.0.9** 现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 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，直至沉降稳定为止。

**3.0.10** 地基处理工程竣工验收应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

## 4 强夯地基

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 强夯法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、填土地基及岩溶地基等；强夯置换法适用于高饱和度的粉土与流塑～软塑的黏性土，同时可增加强夯处理的有效加固深度；孔内深层强夯法适用于深厚填土地基。

**4.1.2** 强夯地基施工，应在施工现场根据场地大小及土层结构取一个或多个试验区进行强夯试验，以确定强夯方案的可行性和施工参数。试验区数量应根据建筑场地复杂程度、地基复杂程度、建筑规模及类型等确定。每个实验区面积不宜小于  $20m \times 20m$ 。

**4.1.3** 场地地下水位高，影响施工或夯实效果时，应采取降水、表面碾压结合排水沟排水或其他技术措施进行处理。

**4.1.4** 强夯施工宜避开雨季进行，当不可避免在雨季施工时，对粘性土场地在雨天施工宜分区进行。

**4.1.5** 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。强夯施工对建筑结构影响的容许振动值可按现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868 确定。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。

**4.1.5** 质量检验应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定。

## 4.2 设计

### I 强夯地基

**4.2.1** 强夯的有效加固深度，应根据现场试夯或地区经验确定。在制定强夯试验方案时，可按表 4.2.1 进行。

表 4.2.1 强夯的有效加固深度 (m)

单击夯击能 $E$ ( $kN \cdot m$ )	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
15000	11.5~12.5	10.5~11.5
18000	12.5~13.5	11.5~12.5

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  $18000kN \cdot m$  时，强夯的有效加固深度应通过试验确定。

**4.2.2** 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。

**4.2.3** 夯点的夯击次数，应根据现场强夯试验确定，在强夯试验阶段可按表 4.2.3 进行预估。

表 4.2.3 强夯法最后两击平均夯沉量 (mm)

单击夯击能 $E$ ( $kN \cdot m$ )	最后两击平均夯沉量不大于 (mm)
$E < 1000$	50
$1000 \leq E < 2000$	70
$2000 \leq E < 3000$	90
$3000 \leq E < 4000$	100
$4000 \leq E < 6000$	120
$6000 \leq E < 8000$	150
$8000 \leq E < 14000$	200

注：单击夯击能  $E$  大于  $14000kN \cdot m$  时，最后两击平均夯沉量应通过现场试验确定。

**4.2.4** 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，并采取原位复夯的分编方式。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。当点夯坑较深时应增加满夯的遍数及单击夯能。

**4.2.5** 两遍夯击之间的间隔时间宜按超静孔隙水压力消散80%以上所需的时间确定。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。

**4.2.6** 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。

**4.2.7** 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不设计处理深度的1/2~2/3，并不应小于3m；对可液化地基，基础边缘的处理宽度，不应小于5m；对深厚填土地基和岩溶地基，每边超出基础外缘的宽度宜为基底下设计处理深度的2/3~1。

**4.2.8** 强夯试验应符合下列规定：

- 1** 应根据设计确定的强夯参数编制强夯试验方案；
- 2** 夯前，应在点夯坑范围及非点夯位置各布置1个原位测试点，夯前夯后均应采用连续重型动力触探或连续标准贯入试验进行检测，试验深度应超过预计处理深度底部；
- 3** 点夯施工时测量每击的锤顶沉降量及夯坑周边地面隆起量，绘制夯击次数与夯沉量及地面隆起量的关系曲线，确定最佳夯击次数；
- 4** 试夯完成后，应根据不同土质条件待试夯结束一周至数

周后，在夯前原位测试点同一位置上进行相同的原位测试；

**5** 应编制强夯试验报告，确定强夯处理后的地基土承载力特征值、有效加固深度、变形指标等设计参数；确定单点夯击能、夯击遍数、夯点间距、夯坑回填方式、夯后标高等施工参数；确定强夯施工收锤标准等施工质量控制指标；评价强夯施工振动、侧向挤压对周边建（构）筑物和环境的影响，确定工程的最小安全振动距离和减隔振措施等。

**4.2.9** 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。

**4.2.10** 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

**4.2.11** 强夯置换处理地基的设计，应符合下列规定：

**1** 强夯置换的单击夯击能宜为 $3000\text{kN}\cdot\text{m}\sim18000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，具体选择应根据现场试验确定。强夯置换墩的深度应由土质条件决定和强夯参数决定，置换深度不宜大于 $10\text{m}$ ，应考虑工程的性质及软弱土层的厚度确定置换墩是否需要穿透软土层到达较硬土层上。在缺少试验资料时，强夯置换深度可按表 4.2.11 取值。

表 4.2.11 强夯置换的有效加固深度（m）

单击夯击能 E (kN·m)	杂填土
3000	3.0~4.5
6000	4.5~6.0
8000	6.0~7.5
12000	7.5~9.0
15000	9.0~10.5
18000	10.5~11.0

**2** 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 $300\text{mm}$ 的颗粒含

量不宜超过 30%，填料中的含土量不宜大于填料总重的 20%；

**3** 夯点的夯击次数应通过现场试夯确定，并应符合下列规定：

- 1) 墩底应穿透软弱土层，且达到设计墩长；
- 2) 累计夯沉量应为设计墩长的 1.5~2.0 倍；
- 3) 最后两击的平均夯沉量可按表 4.2.3 确定。

**4** 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；

**5** 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；

**6** 强夯置换处理范围应符合本规程第 4.2.7 条的规定；

**7** 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；

**8** 强夯置换设计时，应预估地面抬高值，并在试夯时校正；

**9** 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。

**4.2.12** 强夯置换法试验方案的确定，应符合本规程第 4.2.8 条的规定，同时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。

**4.2.13** 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，并应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定计算确定。

### III 孔内深层强夯

**4.2.14** 孔内深层强夯法适用于素填土、杂填土、砂土、粉土、粘性土、淤泥质土等地基的处理。

**4.2.15** 孔内填料应根据地基处理目的和要求选用便于取得的材

料，宜采用素土、砂土、碎石、建筑固体垃圾、工业废料、灰土、混凝土以及其他非腐蚀性混合物，对地下水无污染等材料。桩体质量应根据其强度采用动力触探或压实系数控制。

**4.2.16** 孔内深层强夯的单击夯击能和加固深度应根据现场试验确定。加固深度不宜大于30m，处理后的地基承载力特征值不宜大于500kPa。

**4.2.17** 孔内深层强夯的单桩竖向承载力特征值、复合地基承载力特征值和变形模量，应由现场原位测试确定。在缺少试验资料时，可按下列公式估算。

$$R_a = R_m + R_b \quad (4.2.17-1)$$

$$R_a = q_{pm} A_m + \sum q_{sim} A_{Fm} \quad (4.2.17-2)$$

$$R_b = \sum q_{pb} A_b + \sum q_{sib} A_{Fb} \quad (4.2.17-3)$$

式中： $R_a$  ——孔内深层强夯单桩竖向承载力特征值（kN）；  
 $R_m$  ——主桩（包括桩端扩大头）竖向承载力特征值  
（kN）；

$R_b$  ——串珠状桩的竖向承载力特征值（kN）；  
 $q_{pm}$  ——主桩端（扩大头）持力层的端阻力特征值  
(kPa)，宜取地质勘察报告提供值的1.5倍，如属人工持力层应根据测试数据确定；

$A_m$  ——主桩端（扩大头）水平投影面积（m<sup>2</sup>）；

$q_{sim}$  ——主桩侧的摩阻力特征值（kPa）。除淤泥、饱和黏性土、淤泥质土外，宜取地质勘察报告提供值的2.0倍~2.5倍；

$A_{Fm}$  ——主桩按土层分段的桩周表面积（m<sup>2</sup>）；

$q_{pb}$  ——桩串珠底端土的端阻力特征值（kPa）；

$A_b$  ——串珠宽于桩体的部分底面积的水平投影面积  
(m<sup>2</sup>)；

$q_{sib}$  ——桩串珠周围土体的摩阻力特征值（kPa）。

除淤泥、饱和黏性土、淤泥质土外，宜取地质勘察报告提供值的 2.0 倍~2.5 倍；

$A_{Fb}$  ——桩串珠周围侧表面积 ( $m^2$ )。

### 4.3 施工

**4.3.1** 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应大于  $\pm 50\text{mm}$ ，且夯点应有标记和编号。

**4.3.2** 强夯法施工机具设备应符合下列规定：

**1** 强夯夯锤质量宜为  $10\text{t} \sim 60\text{t}$ ，常用  $20\text{t} \sim 30\text{t}$ 。锤重  $40\text{t}$  以上的，宜用铸钢锤；

**2** 其底面形式宜采用圆形，直径宜取  $2.0\text{m} \sim 3.0\text{m}$ ，常用  $2.2\text{m} \sim 2.5\text{m}$ ；

**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  $200\text{mm} \sim 400\text{mm}$ ；

**4** 锤底静接地压力值宜为  $25\text{kPa} \sim 60\text{kPa}$ 。对于细颗粒土宜取较小值。

**4.3.3** 强夯置换锤宜采用圆柱形铸钢锤，直径宜取  $1.0\text{m} \sim 1.5\text{m}$ ，锤重宜采用  $20\text{t} \sim 30\text{t}$ ，夯锤底静接地压力值宜大于  $80\text{kPa}$ ；当采用强夯置换增加强夯处理的有效加固深度时，可采用同一夯锤进行施工。

**4.3.4** 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  $1.5 \sim 2.0$  倍。施工时采取有效安全措施，防止起落锤时机架倾覆。

**4.3.5** 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  $2\text{m}$ 。施工时，坑内或场地积水应及时排除。对细颗粒土，应采取晾晒等措施降低含水量。

**4.3.6** 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** 按设计要求进行下一遍夯击，按上述步骤逐次完成全部夯击遍数；最后宜用夯击能 $1000\text{kN}\cdot\text{m} \sim 2000\text{kN}\cdot\text{m}$ 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 $1/5 \sim 1/3$ ，并测量满夯后场地高程；
  - 10** 柱下基础范围内的单点夯击能宜为 $2000\text{kN}\cdot\text{m} \sim 3000\text{kN}\cdot\text{m}$ 。
  - 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。
- 4.3.7** 孔内深层强夯的成孔方法应根据土质条件确定。宜选用钻孔、掏孔方法。当场地土为含块石的松散土层时，可采用冲击成孔或机械挖孔。
- 4.3.8** 强夯施工时夯点周边应设置隔离网，防止飞石伤人及破坏邻近建（构）筑物；强夯震动对邻近建（构）筑物结构有影响时，应在建（构）筑物边开挖防振沟，沟底应大于建（构）筑物的基底埋深。

## 4.4 质量检验

### 4.4.1 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。

**4.4.2** 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。

**4.4.3** 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。

**4.4.4** 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 7d~14d；粉土和黏性土地基，间隔时间宜为 14d~28d；强夯置换地基，间隔时间宜为 28d；

**3** 强夯地基加固深度和均匀性检验，可采用室内土工试验，连续动力触探试验、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，应按每 400m<sup>2</sup> 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 300m<sup>2</sup> 不应少于 1 个检验点，且不少于 3 点。强夯置换地基，可采用连续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。

## 5 刚性桩复合地基

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 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、水泥粉煤灰碎石桩和注浆钢管桩等，适用于处理黏性土、粉土、砂土和分层压实的素填土、岩溶地基等，不宜用于处理深厚软土地基。

**5.1.2** 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。

**5.1.3** 刚性桩复合地基的设计应进行地基变形验算。

### 5.2 设计

**5.2.1** 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，水泥粉煤灰碎石桩桩径宜为 400mm~600mm，注浆钢管桩钻孔宜为 150mm~300mm。

**5.2.2** 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，宜取 3~6 倍桩径或桩边长。

**5.2.3** 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，水泥粉煤灰碎石桩不宜小于 C20。注浆钢管桩的水泥浆体强度不宜小于 M20。

**5.2.4** 刚性桩复合地基承载力特征值可按下式计算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (5.2.4)$$

式中： $f_{spk}$  ——复合地基承载力特征值（kPa）；

$\lambda$  ——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，

- 一般取 0.8-0.9；
- $m$  ——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；
- $R_a$  ——单桩竖向承载力特征值（kN）；
- $A_p$  ——桩的截面积（ $\text{m}^2$ ）；
- $\beta$  ——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；
- $J_{sk}$  ——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。

**5.2.5** 单桩竖向承载力特征值  $R_a$  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，试验桩数不宜小于 3 根。

**5.2.6** 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：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_{pi} + \alpha_p q_p A_p \quad (5.2.6)$$

- 式中：  
 $u_p$  ——桩的周长（m）；  
 $n$  ——桩长范围内所划分的土层数；  
 $q_{si}$  ——桩周第  $i$  层土的侧阻力特征值（kPa），按勘察报告提供的参数结合地方经验确定；  
 $l_{pi}$  ——桩长范围内第  $i$  层土的厚度（m）；  
 $\alpha_p$  ——桩端阻力发挥系数，取 1.0；  
 $q_p$  ——桩端阻力特征值（kPa），可按地区经验确定。

**5.2.7** 桩身混凝土强度标准值应满足下式要求：

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \quad (5.2.7)$$

- 式中：  
 $f_{cu}$  ——桩体试块（边长 150mm 立方体）标准养护 28d 的立方体抗压强度平均值（kPa）；  
 $\lambda$  ——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，

一般取 0.8-0.9;

$R_a$  ——单桩竖向承载力特征值 (kN) ;

$A_p$  ——桩的截面积 ( $m^2$ ) 。

**5.2.8** 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。

**5.2.9** 刚性桩复合地基的变形可按桩间土和桩分别计算，并应符合下列规定：

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  $s_s$  应按下式计算：

$$S_s = \psi_s s_s = \psi_s p_0 \sum_{i=1}^n \frac{(z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})}{E_{si}} \quad (5.2.9-1)$$

式中，其中， $p_0$  为桩间土的基底附加压应力，可取 0.8~1.0  $(1-m) f_{sk}$ ，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  $s_p$  可按下列公式进行计算：

$$s_p = s_{p1} + s_{p2} \quad (5.2.9-2)$$

$$s_{p1} = \frac{R_A h_{c0}}{A_p E_{c0}} \quad (5.2.9-3)$$

$$s_{p2} = \frac{1}{2} \left[ \frac{(p_{p0} + q_{pa})l}{E_c} + \frac{Dq_{pa}}{E_0} \right] \quad (5.2.9-4)$$

式中： $s_{p1}$  ——桩顶与基础间垫层的压缩变形 (mm)；

$s_{p2}$  ——桩身与桩端土层的变形量 (mm)；

$h_{c0}$  ——垫层厚度 (mm)；

$E_{c0}$  ——垫层变形模量，砂垫层可取 20MPa~40MPa；

$p_{p0}$  ——桩顶压应力， $P_{p0}=R_a/A_p$  (MPa)；

$q_{pa}$  —— 桩底持力层端阻力 (MPa) ;  
 $D$  —— 桩径或桩边长 (mm) ;  
 $l$  —— 桩长 (mm) ;  
 $E_0$  —— 桩端持力土层的变形模量 (MPa) 。

**3** 当桩间土的变形计算值  $S_s$  与桩的变形计算值  $S_p$  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  $S_s$  与  $S_p$  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。

**5.2.10** 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，并应符合下列规定：

**1** 承载力应由沉降协调按下式确定：

$$f_{spk} = m \frac{R_k}{A_p} + (1-m) f_{sk} \quad (5.2.10-1)$$

式中：  $f_{spk}$  —— 刚性桩复合地基承载力；

$f_{sk}$  —— 由沉降协调确定的土分担的承载力；

$R_k$  —— 由沉降协调确定的桩分担的承载力。

**2** 桩和土的刚度应按下式计算：

$$K_p = R_a / S_p \quad (5.2.10-2)$$

$$K_s = f_a / S_s \quad (5.2.10-3)$$

式中：  $K_p$  —— 桩的刚度；

$K_s$  —— 土的刚度；

$R_a$  —— 刚性桩承载力特征值；

$f_a$  —— 基础下天然地基修正承载力特征值；

$S_p$  —— 桩顶位置处基础在桩承载力特征值  $R_a$  下对应的沉降，可按公式 (5.2.9-2) 计算；

$S_s$  —— 天然地基在基础作用修正承载力特征值  $f_a$  时的沉降，计算深度至桩底位置，可按公式

(5.2.9-1) 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(5.2.9-1)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：**应满足下列公式的要求。

$$R_k < R_a \quad (5.2.10-4)$$

$$f_k < f_a \quad (5.2.10-5)$$

**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应按下式计算：**

$$S = S_1 + S_2 \quad (5.2.10-6)$$

式中：  $S$  ——刚性桩复合地基沉降；

$S_1$  ——加固区沉降，等于桩的沉降  $S_p$ ，按(5.2.9-2)计算；

$S_2$  ——加固区底面以下下卧层的沉降，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定进行计算。

### 5.3 施工

**5.3.1** 桩的施工可按国家现行相关规定执行。

**5.3.2** 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。静压桩机的最大加载能力不宜小于设计单桩竖向极限承载力的 1.2 倍。

**5.3.3** 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。

**5.3.4** 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。

**5.3.5** 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  $0.45\sim0.60$ ，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合料。

**5.3.6** 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%。

**5.3.7** 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。

## 5.4 质量检验

**5.4.1** 刚性桩复合地基竣工验收应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，并应符合下列规定。

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，检测数量应为总桩数的 1%且不应小于 3 点。

**5.4.2** 褥垫层的厚度偏差不应大于  $\pm 20\text{mm}$ ，夯填度应符合设计要求。

**5.4.3** 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。

**5.4.4** 应按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 对建筑物进行沉降观测，直至沉降稳定为止。

## 6 组合桩复合地基

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 组合桩复合地基适用于淤泥和淤泥质土、黏性土、粉土、可液化土等土层。

**6.1.2** 组合桩复合地基的竖向增强体由长桩和短桩组成，其中长桩宜采用刚性桩，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。

**6.1.3** 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。

**6.1.4** 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。

**6.1.5** 组合桩复合地基应按沉降控制的原则进行设计。

### 6.2 设计

**6.2.1** 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5.2.6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。

**6.2.2** 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，可按下式估算：

$$f_{spk} = m_1 \frac{\lambda_1 R_{a1}}{A_{p1}} + m_2 \frac{\lambda_2 R_{a2}}{A_{p2}} + \beta (1 - m_1 - m_2) f_{sk} \quad (6.2.2-1)$$

式中： $m_1$ 、 $m_2$  ——分别为长桩、短桩的面积置换率；  
 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  ——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；  
 $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$  ——分别为长桩、短桩的单桩承载力特征值（kN）；  
 $A_{p1}$ 、 $A_{p2}$  ——分别为长桩、短桩的截面面积（ $\text{m}^2$ ）；  
 $\beta$  ——桩间土承载力发挥系数；无经验时可取 0.9~1.0；  
 $f_{sk}$  ——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，可按下列公式估算：

$$f_{spk} = m_1 \frac{\lambda_1 R_{a1}}{A_{p1}} + \beta [1 - m_1 + m_2(n-1)] f_{sk} \quad (6.2.2-2)$$

式中： $\beta$  ——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；  
 $n$  ——仅由散体材料桩加固处理形成复合地基的桩土应力比；  
 $f_{sk}$  ——仅由散体材料桩加固处理后桩间土承载力特征值（kPa）。

**6.2.3** 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。

**1** 当按图 6.2.3 (a) 矩形布桩时，长桩面积置换率  $m_1$ 、短桩面积置换率  $m_2$ ，应按以下公式计算。

$$m_1 = A_{p1} / 2s_1 s_2 \quad (6.2.2-3)$$

$$m_2 = A_{p2} / 2s_1 s_2 \quad (6.2.2-4)$$

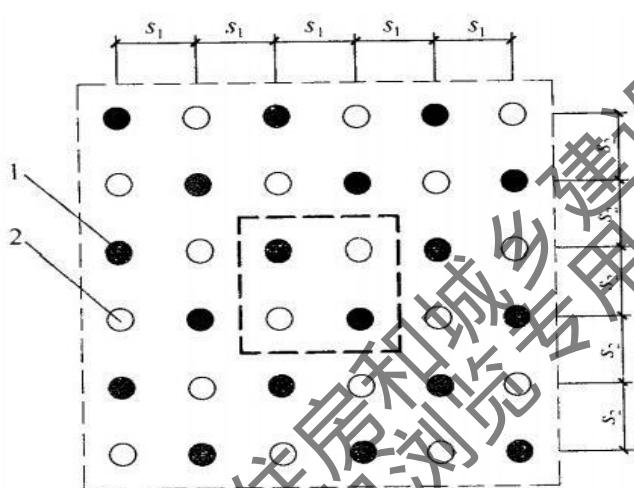


图 6.2.3 (a) 组合桩复合地基矩形布桩单元面积计算模型

1—长桩；2—短桩

2 当按图 6.2.3 (b) 三角形布桩时， $s_1 = s_2$ ，长桩面积置换率  $m_1$ 、短桩面积置换率  $m_2$ ，应按以下公式计算。

$$m_1 = A_{p1} / 2s_1^2 \quad (6.2.2-5)$$

$$m_2 = A_{p2} / 2s_2^2 \quad (6.2.2-6)$$

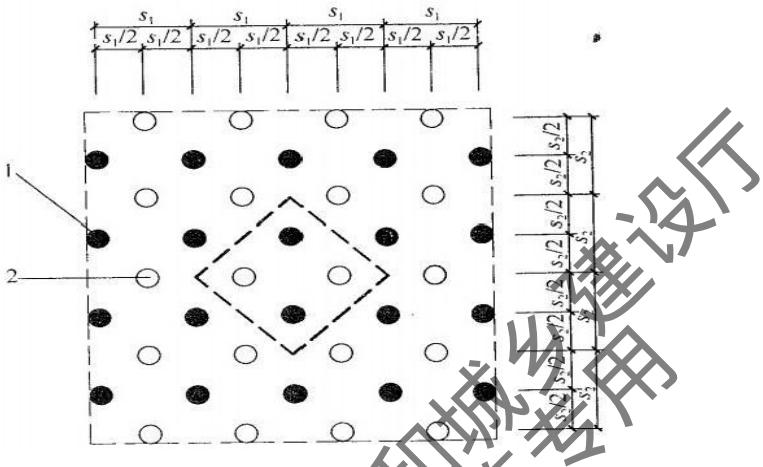


图 6.2.3 (b) 组合桩复合地基矩形布桩单元面积计算模型

1—长桩；2—短桩

**6.2.4** 组合桩复合地基与基础间应设褥垫层，并应符合下列规定：

**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。

**6.2.5** 组合桩复合地基的沉降采用各土层分层总和法计算，计算公式按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的相关要求进行。复合土层的压缩模量的计算应符合下列规定：

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：

$$\zeta_1 = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (6.2.5-1)$$

$$\zeta_2 = \frac{f_{spk1}}{f_{ak}} \quad (6.2.5-2)$$

式中： $f_{spk1}$ 、 $f_{spk}$ ——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）；

$\zeta_1$ 、 $\zeta_2$ ——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应按下列公式计算：

$$\zeta_1 = \frac{f_{spk}}{f_{spk2}} [1 + m(n-1)] \alpha \quad (6.2.5-3)$$

$$\zeta_1 = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (6.2.5-4)$$

式中： $f_{spk2}$ ——仅由散体材料桩加固处理后复合地基承载力特征值（kPa）；

$\alpha$ ——处理后桩间土地基承载力的调整系数，

$\alpha = f_{sk}/f_{ak}$ ；

$m$ ——散体材料桩的面积置换率。

6.2.6 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，并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。

### 6.3 施工

6.3.1 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。

6.3.2 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。

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

**6.3.4** 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。

**6.3.5** 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。

## 6.4 质量检验

**6.4.1** 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。

**6.4.2** 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%。

**6.4.3** 应按国家现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 对建筑物进行沉降观测，直至沉降稳定为止。

## 7 注浆加固

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 注浆加固适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。

**7.1.2** 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。

**7.1.3** 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。

**7.1.4** 加固材料宜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。

**7.1.5** 注浆过程中，应对地面、周围建（构）筑物、地下管线等进行必要变形监测。监测点数应按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的要求确定。

**7.1.6** 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 的有关规定执行。

### 7.2 设计

**7.2.1** 注浆设计应包括下列内容：

- 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。

#### 7.2.2 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；

6 对压密注浆，当采用水泥砂浆浆液时，坍落度宜为25mm~75mm，注浆压力不宜小于1.0MPa；

7 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；

8 对人工填土地基，应采用多次注浆，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。

#### 7.2.3 注浆材料应根据注浆目的、地层特点等因素合理选择。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。选择注浆材料宜符合下列规定：

1 渗透系数 $\geq 20\text{m/d}$ 的砾砂、粗砂、松散的填土等地层加固，宜采用水泥为主剂；

2 渗透系数 $< 20\text{m/d}$ 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外掺剂的浆液，掺

入比宜为水泥重量的 5%~20%;

**3** 土洞或溶洞应先选用粉煤灰、中粗砂、黏土、碎石等填充后灌注水泥浆;

**4** 水泥浆液水灰比宜为 0.5:1~2:1，根据工程的实际需要，可在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，不宜大于水泥量的 5%。

**7.2.4** 浆液有效扩散距离或扩散半径应根据现场试验并结合当地经验综合确定。

**7.2.5** 总注浆量或每孔注浆量可按下式估算：

$$Q_{\text{总}} = 1000kvn \quad (7.2.5-1)$$

$$Q_{\text{单}} = 1000\alpha\beta mR^2 Hn \quad (7.2.5-2)$$

式中： $Q_{\text{总}}$ 、 $Q_{\text{单}}$ ——分别为总注浆量和每孔注浆量（L）；  
 $k$ ——经验系数，软土、黏性土、细砂取 0.3~0.5，中砂、粗砂取 0.5~0.7，砾砂取 0.7~1.0；

$v$ ——被注浆的土体积（m<sup>3</sup>）；

$n$ ——土的孔隙率；

$\alpha$ ——浆液损耗系数，一般取 1.15~1.30；

$\beta$ ——浆液充填系数，一般取 0.40~0.95；

$R$ ——浆液有效扩散距离或扩散半径（m）；

$H$ ——注浆孔（段）深度（m）。

**7.2.6** 注浆施工顺序应按分序的原则进行。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。

**7.2.7** 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。

### 7.3 施工

**7.3.1** 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。

**7.3.2** 花管注浆法施工应按下列步骤进行：

- 1** 钻机与注浆设备就位；
- 2** 钻孔或采用振动法将花管置入土层；
- 3** 按设计要求自下而上或自上而下进行注浆；
- 4** 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。

**7.3.3** 袖阀管注浆施工应按下列步骤进行：

- 1** 钻机与注浆设备就位；
- 2** 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，从钻杆内灌入封闭泥浆，然后插入注浆管；
- 4** 待封闭泥浆凝固后，再进行注浆，直至注浆结束；
- 5** 注浆结束后，及时用清水冲洗注浆设备、管路中残留的浆液。

**7.3.4** 压密注浆施工应按下列步骤进行：

- 1** 钻机与注浆设备就位；
- 2** 根据土层情况采用泥浆护壁钻进或跟管钻进成孔；
- 3** 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** 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** 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** 注浆结束后，及时用清水冲洗注浆设备、袖阀管中残留的浆液。

**7.3.5** 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°。

**7.3.6** 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。

**7.3.7** 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。

**7.3.8** 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。

**7.3.9** 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；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。

**7.3.10** 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。

**7.3.11** 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。

## 7.4 质量检验

**7.4.1** 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。

**7.4.2** 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。

**7.4.3** 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 可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。

**7.4.4** 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。

**7.4.5** 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。

**7.4.6** 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，检测数量不应少于 3 点。

## 8 膨胀土地基处理

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 膨胀土地基处理宜采用换填垫层法、土性改良法、桩基法、结构防护和防水保湿措施等处理方法。

**8.1.2** 膨胀土地基换填垫层应采用砂石、非膨胀性素土、灰土和工业废料，换填厚度应通过变形计算确定。

**8.1.3** 膨胀土土性改良宜用掺合水泥、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。土性改良法的质量检验应采取改性后土样进行室内试验以确定改良效果。

**8.1.4** 桩基法应根据场地实际选用可行的工艺，桩长宜穿越膨胀性岩土。当桩端持力层为膨胀性岩土时，应采取有效措施保证桩端持力层的强度要求。桩基的设计、施工和质量检验应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行。

**8.1.5** 结构防护措施宜采用加大基础埋深+设置垫层+钢筋混凝土圈梁+完善排水系统”的组合方案。设计时宜根据场地实际情况进行不同的组合。

### 8.2 换填垫层法

**8.2.1** 换填垫层法适用于多层建筑、道路、地坪、堆场等，不适用于荷载较大的大型、重型建筑及高层建筑。

**8.2.2** 换填材料应具有强度高、压缩性低、透水性好、稳定性佳且无侵蚀性的特点，并应符合下列规定：

1 砂石宜选用中粗砂、级配良好的砂砾石或碎石，砂石粒径不宜大于 50mm；

2 非膨胀性土宜选用非胀缩性黏性土，土料中的有机质含

量不得超过 5%，杂质总含量不应大于 15%；

**3** 灰土其体积配合比宜为 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，不宜选用块状黏土，土料中不得含有松软杂质，过筛最大粒径应小于 15mm；

**4** 粉煤灰的腐蚀性和放射性安全应符合国家现行标准的规定，粉煤灰垫层上宜覆盖 0.3m~0.5m 的黏性土。矿渣宜选用分级矿渣、混合矿渣及原状矿渣等性能稳定的高炉重矿渣，矿渣应满足相关标准对腐蚀性和放射性安全的要求。工业废料的使用应满足相关环境影响的要求。

**8.2.3** 换填深度应根据计算确定且应大于次急刷影响深度。中弱膨胀土地基换填深度宜为 1.5m~2.7m，强膨胀土地基换填深度宜为 2m~3.6m。

**8.2.4** 垫层底面宽度应超出基础底面宽度，每边放宽不应少于 300mm。

**8.2.5** 换填应分层进行，每层虚铺厚度应为 200mm~300mm，使用平碾、振动碾、蛙式夯等机械压实到的压实系数应满足设计要求。

**8.2.6** 施工时应控制填料含水量，基坑不得浸水，施工过程中应采取有效防水、防雨措施，防止膨胀土原状土体被水浸泡。

**8.2.7** 施工后应分层检验压实质量，对砂石、素土和灰土常用环刀法、轻型动力触探试验、静力触探或标准贯入试验等方法进行质量检验；对工业废料垫层可采用重型动力触探试验进行质量检验。压实系数可采用灌砂法、灌水法或其他方法进行检验。竣工验收的质量检验应采用静载荷试验检验垫层承载力，每个单体工程不宜小于 3 个点；对大型工程，应按单体工程的数量或面积确定检验数量。

### 8.3 土性改良法

**8.3.1** 土性改良法适用于多层建筑、道路、地坪、堆场等，不

适用于荷载较大的大型、重型建筑及高层建筑。

**8.3.2** 用于土性改良的材料宜为石灰、水泥和工业废料，应符合下列规定：

1 石灰宜选用新鲜的熟石灰，其最大粒径不得大于5mm。

2 水泥宜选用等级为32.5及以上的普通硅酸盐水泥。

3 工业废料宜与水泥、石灰混合使用。其腐蚀性和放射性安全应符合国家现行相关标准的规定。

**8.3.3** 土性改良法的掺合比应通过试验确定。通过现场采取膨胀土原状土样，应在实验室进行不同的掺合比配比，通过击实试验、无侧限抗压强度试验、胀缩试验等获取相关的对比参数，从而确定最优的掺合比。

**8.3.4** 改良深度不应小于膨胀土的大气急剧影响深度。

**8.3.5** 改良土应分层进行，每层虚铺厚度应为200mm~300mm，分层压实到的压实系数应满足设计要求。

**8.3.6** 改良土施工应符合下列规定：

1 应清除地表植被、腐殖土，并挖至设计处理深度；

2 将需要改良的原土破碎、晾晒或洒水调整其含水量，使其接近最佳含水量，生块粒径不宜大于5cm；

3 根据每层的体积和密度，计算所需改良材料的重量，用方格网法或打桩划线法均匀布撒；

4 采用现场搅拌法或集中搅拌后运至现场进行拌和，拌和遍数不宜少于2遍。拌和时应均匀，颜色一致，无素土夹层；

5 拌和均匀后，用平地机或人工快速铺平后，按预定的工艺进行碾压压实；

6 施工应连续作业，从布灰到碾压成型应在改良材料的初凝时间内完成；

7 压实成型后，改良土体应进行保湿养护，养护时间通常不少于7d。

**8.3.7** 质量检验应符合以下规定：

1 原材料检验，应检验石灰的有效钙镁含量、水泥的标号

和安定性、工业废料的稳定性、腐蚀性和放射性等，确保材料质量合格；

**2** 压实度检测，应采用环刀法或灌砂法在现场挖坑取样，测定其实际干密度，计算压实度；

**3** 无侧限抗压强度，应在现场钻取芯样或击实制备试件，进行7d龄期的无侧限抗压强度试验，检验其是否满足设计要求；

**4** 在现场取样，应送回实验室测定其自由膨胀率、胀缩总率等胀缩性指标，验证其胀缩性是否已被有效抑制；

**5** 开挖探坑或采用钻芯法，检验改良层的整体厚度和层底是否均匀，有无夹层；

**6** 对重要工程，宜通过平板载荷试验直接检验改良地基的承载力和变形模量。

#### 8.4 桩基法

**8.4.1** 桩基法适用于所有的膨胀土地基处理。

**8.4.2** 桩基穿越法宜采用干作业法成孔工艺。当条件不容许采用干作业时，采用水下作业成孔应在成孔后及时浇筑桩身混凝土，以避免膨胀生长时间浸泡导致其强度降低。

#### 8.5 结构防护和防水保湿措施

**8.5.1** 结构防护措施宜采用下列形式：

**1** 采用适应变形能力较强的基础形式，减小不均匀沉降，避免结构开裂；

**2** 将建筑物分割成若干个长度较短、体型规则、自成沉降体系的抗变形能力更强的独立单元，防止因应力集中而产生开裂；

**3** 在基础顶部和房屋各层楼板、檐口部位设置封闭的钢筋混凝土圈梁，提高建筑物的整体刚度和抗裂能力；

**4** 增强整体空间刚度。

**8.5.2** 防水保湿措施宜采用下列形式：

- 1 将基础埋置在大气影响深度以下，保证地基土的含水量常年保持稳定，消除地基土的胀缩变形；
- 2 设置完善的散水坡、排水沟（或盲沟）和截水沟系统，防止水渗入地基；
- 3 上下水管道、排水管采用柔性接头，水管远离建筑物基础布置；
- 4 房屋周边不宜种植吸水量大的树种，避免植物根系吸收地基土中的水分导致土体收缩。

## 9 岩溶地基处理

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 岩溶地基处理前，应查明场地岩溶的发育程度、形成原因、分布范围以及地下水的情况等。选择岩溶地基处理方案时，应根据岩溶的发育程度、影响范围、工程的重要性、环保要求等因素，并考虑地基、基础和上部结构的共同作用效应，确保处理方案的适宜、安全、环保、经济。

**9.1.2** 应根据岩溶地基的种类选用适宜的处理方法：

**1** 塌陷或浅埋溶（土）洞、深埋溶（土）洞、落水洞及浅埋溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）等岩溶地基采用充填法进行处理；

**2** 塌陷或浅埋溶（土）洞、裸露型溶洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）等的岩溶地基采用换填法进行处理；

**3** 塌陷或浅埋溶（土）洞、落水洞及浅埋溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）等岩溶地基采用跨越法进行处理；

**4** 塌陷或浅埋溶（土）洞岩溶地基采用变刚度法（垫层法）进行处理；

**5** 深埋溶（土）洞岩溶地基采用注浆法和桩基法进行处理。

**9.1.3** 土岩组合地基应对岩石表面进行修整，并设置不同厚度的褥垫层，褥垫层厚度宜取250mm~600mm。

**9.1.4** 对岩溶强烈发育地段宜采用多种方法综合处理。

**9.1.5** 岩溶地基处理施工时，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。

### 9.2 充填法

**9.2.1** 充填材料及工艺应符合环境保护要求，宜采用素土、灰

土、砂砾、碎石、混凝土、水泥净浆、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。设计参数和施工方法应通过试验验证后确定。

**9.2.2** 采用土、灰土、砂砾、碎石等材料充填，当不满足地基承载力和变形要求时，宜与注浆法等其他方法结合使用。

**9.2.3** 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  $15\text{MPa}$ 。

**9.2.4** 充填法施工时应设置投料孔和排气孔，孔径应根据填充材料的最大粒径进行确定，确保洞穴内的空气流通和材料填充时不受阻。

### 9.3 换填法

**9.3.1** 换填前应采用直接开挖的方式，查明表层裸露岩溶的分布范围。挖除塌陷或浅埋溶（土）洞内的填充物后，应清理干净岩石表面，对于石芽地基，应将石芽凿除低于基底标高  $30\text{cm}$  以下。采用级配良好的砂石材料分层铺设压实。

**9.3.2** 换填材料宜采用砂砾、碎石、混凝土、水泥净浆、预拌流态固化土等。有防渗要求时，不宜采用砂砾、碎石换填。

**9.3.3** 换填材料不应改变塌陷坑处地下水的流通路径，不应造成其它处水位上涨形成新的不稳定区。材料应具有自稳定性，确保细颗粒不被地下水潜蚀造成二次塌陷。

**9.3.4** 采用换填法处理后的岩溶地基有承载力要求的，应采用静载荷试验检测，每个单体工程不应少于 3 个点；对于复杂场地或重要建筑岩溶地基宜增加检验点数。

### 9.4 跨越法

**9.4.1** 跨越法处理岩溶地基应根据溶（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。

**9.4.2** 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，宜采用洞底支撑、沟槽底部连续支撑或调整结构柱距等方法处理。

**9.4.3** 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。

**9.4.4** 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。

**9.4.5** 跨越结构设计与施工应符合国家现行标准《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。

**9.4.6** 对采用梁、板、拱等跨越结构，检测项目和检测方法应与所采用的结构措施相对应。采用混凝土结构时，应符合国家现行标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的有关规定；采用砌体结构时，应符合国家现行标准《砌体工程现场检测技术标准》GB/T 50315 的有关规定。

## 9.5 变刚度法

**9.5.1** 变刚度法适用于石芽或孤石分布的土岩组合地基，以及进行换填、注浆等方式处理后的岩溶地基。根据上部结构需要，在基础底部设置不同厚度的褥垫层，以调整因地基软硬不均而产生的不均匀沉降。

**9.5.2** 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黏土的地基，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，在石芽出露部位做褥垫；

**9.5.3** 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。

**9.5.4** 褥垫层宜采用中砂、粗砂、土夹石、级配砂石、碎石等材料，其厚度宜取 250mm~600mm，岩石区域宜取大值，土质区域宜取小值，以地基变形计算值为控制指标，夯填度应满足国家现行相关标准及设计的有关要求。

## 9.6 桩基法

**9.6.1** 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。

**9.6.2** 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宜采用预制桩基础、钻（冲）孔灌注桩、多层镶嵌锚固压力灌浆混凝土钢管桩等；
- 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** 多层镶嵌锚固压力灌浆混凝土钢管桩的施工工序为：机具就位、钻孔、下钢管、压力灌浆、灌混凝土等。

**4** 多层镶嵌锚固压力灌浆混凝土钢管桩应采用岩芯钻机成孔，桩端应穿越溶洞底下至少 1 倍桩径且不小于 300mm。钢管直径不宜小于 108mm，壁厚不宜小于 4.5mm，管顶以下沿管壁四周梅花形开孔。钢管安装好后采用空压机进行压力灌浆，浆液宜采用强度等级为 42.5 级的普通硅酸盐水泥，水灰比宜为 0.5~1.0，分段由下而上灌注，灌浆压力宜为 0.3MPa~0.5MPa。可根据需要在浆液中加入水泥量 5% 的水玻璃。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后，将所有的钢管用设计要求等级的混凝土灌满。

**9.6.3** 采用多层镶嵌锚固压力灌浆混凝土钢管桩处理后的岩石地基应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中的有关要求进行岩石地基载荷试验。其余桩基础的设计、施工及质量检验尚应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

## 9.7 注浆法

**9.7.1** 注浆法适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结合使用。

**9.7.2** 注浆施工前应根据设计要求进行工艺性试验，数量不应少于 3 点。

**9.7.3** 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。

**9.7.4** 注浆压力应通过现场注浆试验来确定。设计时应考虑浆柱压力和地下水的综合影响，在无地区经验时，可按下式进行注浆压力估算。

$$P_z = P_Q + 0.001Hr_j - 0.01(H - h) r_w \quad (9.7.4)$$

式中： $P_z$  ——综合注浆压力 (MPa)；

- $P_Q$  ——孔口回浆管的压力表压力 (MPa) ;  
 $H$  ——注浆段深度 (m) ;  
 $h$  ——地下水位深度 (m) ;  
 $r_j$  ——浆液密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ;  
 $r_w$  ——水密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 。

**9.7.5** 注浆的设计、施工、质量检验应符合本规程第7章的有关规定。

## 9.8 其他处理方法

**9.8.1** 岩溶地区地基处理采用顶柱法、复合地基、爆破挖除法、强夯法等方法时，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）洞内软土较深地段或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，并采取有效措施避免岩溶塌陷；

5 对岩溶漏斗、洼地，可用填料回填后再进行强夯处理；对石芽密布的岩溶地基，可用回填料将石芽覆盖后，采用大能量强夯，破碎石芽并夯实石芽间回填土。

## 9.9 岩溶水控制

**9.9.1** 岩溶水控制应采取疏导为主、封堵为辅的原则，减少淘蚀、潜蚀。应采取措施保持地下水排泄通道畅通，防止堵截造成

动水压力对基础底板、地坪、建筑地基及道路等带来的不良影响，防止泄水、涌水对环境造成污染的措施。

**9.9.2** 在地下水位高于基岩表面的岩溶地区，可采取降低地下水的措施，但应注意人工降低地下水引起土洞或地表塌陷的发生。塌陷的范围及方向可根据地下水条件和抽水试验的观测结果综合分析确定，塌陷区范围内不应采用天然地基。

**9.9.3** 当地下水水量小且呈弥散径流时，可采用砂浆、黏土及浆砌片石等进行堵塞；对水量大而且集中及水压力大的岩溶水径流，不宜采用封堵措施，如必须封堵时应充分考虑地下水径流方式空间变化的不确定性，进行充分试验论证确认后采用。

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

**9.9.5** 由地表水形成的土洞或塌陷地段，应采用地表截流，防渗或堵漏等措施，根据土洞洞深选用挖填、灌砂等方法进行处理。

**9.9.6** 由地下水形成的塌陷及浅埋土洞，应清除软土，抛填块石做反滤层，面层采用黏土夯填；深埋土洞宜用砂、砾石或细石混凝土灌填，并采用梁，板或拱跨越。应采取措施保持岩溶泉出水和落水洞排水不受影响。

**9.9.7** 岩溶水治理施工过程中，周边环境有监控要求的，应对地下水位变化和降水对周边环境的影响进行监测。

## 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“可”。

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

## 引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007  
《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 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666  
《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  
《建筑变形测量规范》 JGJ 8  
《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79  
《建筑桩基技术规范》 JGJ 94  
《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106  
《广西壮族自治区岩土工程勘察规范》 DBJ/T45

广西壮族自治区工程建设地方标准

建筑地基处理技术规程

DBJ/T45-XXX-2025

条文说明

广西壮族自治区住房和城乡建设厅  
公开信息浏览