

中华人民共和国行业标准

建筑地基处理技术规范

JGJ 79—91

主编单位：中国建筑科学研究院
批准部门：中华人民共和国建设部
施行日期：1992年9月1日

工程建设标准局部修订公告

第 16 号

行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79—91,由中国建筑科学研究院会同有关单位进行了局部修订,已经有关部门会审,现批准局部修订的条文,自一九九九年一月十五日起施行,该规范中相应的条文同时废止。现予公告。

中华人民共和国建设部

1998 年 12 月 23 日

关于发布行业标准《建筑地基处理技术规范》的通知

建标[1992]116 号

根据原国家计委计标函(1987)第 3 号文的要求,由中国建筑科学研究院主编的《建筑地基处理技术规范》,业经审查,现批准为行业标准,编号 JGJ 79—91,自 1992 年 9 月 1 日起施行。

本标准由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院归口管理,由中国建筑科学研究院地基所负责解释,由建设部标准定额研究所组织出版发行。

中华人民共和国建设部

一九九二年三月七日

主要符号

A ——基础底面积；
 A_e ——1根桩承担的处理面积；
 A_p ——桩的截面积；
 b ——基础底面宽度；
 D_r ——砂土相对密实度；
 d ——桩身直径；
 d_e ——等效影响圆直径；
 d_s ——土粒相对密度；
 e ——孔隙比；
 f_k ——地基承载力标准值；
 $f_{p,k}$ ——桩体单位截面积承载力标准值；
 $f_{s,k}$ ——桩间土的承载力标准值；
 $f_{sp,k}$ ——复合地基的承载力标准值；
 I_p ——塑性指数；
 l ——基础底面长度，桩长；
 m ——面积置换率；
 p ——基础底面压力；
 p_c ——基础底面处土的自重压力；
 q_p ——桩端天然地基土的承载力标准值；
 q_s ——桩周土的摩擦力标准值；
 R_k^d ——单桩竖向承载力标准值；
 s ——桩间距；
 U ——固结度；
 w_{op} ——最优含水量；
 z ——基础底面下垫层的厚度；
 θ ——压力扩散角；
 λ_c ——压实系数；
 ρ_d ——干密度。

第一章 总 则

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

第 1.0.2 条 本规范适用于工业与民用建筑(包括构筑物)地基处理的设计和施工。

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

第 1.0.4 条 建筑地基处理除执行本规范外,尚应符合国家现行的有关标准。经地基处理后的地基基础设计,应按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 的有关规定执行。

第二章 基本规定

第 2.0.1 条 在选择地基处理方案前,应完成下列工作:

- 一、搜集详细的工程地质、水文地质及地基基础设计资料等;
- 二、根据工程的设计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;
- 三、结合工程情况,了解本地区地基处理经验和施工条件以及其它地区相似场地上同类工程的地基处理经验和使用情况等。

第 2.0.2 条 在选择地基处理方案时,应考虑上部结构、基础和地基的共同作用,并经过技术经济比较,选用地基处理方案或加强上部结构和处理地基相结合的方案。

第 2.0.3 条 地基处理方法的确定宜按下列步骤进行:

- 一、根据结构类型、荷载大小及使用要求,结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、环境情况和对邻近建筑的影响等因素,初步选定几种可供考虑的地基处理方案;
- 二、对初步选定的各种地基处理方案,分别从加固原理、适用范围、预期处理效果、材料来源及消耗、机具条件、施工进度和对环境的影响等方面进行技术经济分析和对比,选择最佳的地基处理方法,必要时也可选择两种或多种地基处理措施组成的综合处理方法;
- 三、对已选定的地基处理方法,宜按建筑物安全等级和场地复杂程度,在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工,并进行必要的测试,以检验设计参数和处理效果,如达不到设计要求时,应查找原因采取措施或修改设计。

第 2.0.4 条 经处理后的地基,当按地基承载力确定基础底面积及埋深而需要对本规范确定的地基承载力标准值进行修正时,基础宽度的地基承载力修正系数应取零,基础埋深的地基承载力修正系数应取 1.0。

第 2.0.5 条 地基处理技术人员应掌握所承担工程的地基处理目的、加固原理、技术要求和质量标准等。施工中应有专人负责质量控制和监测,并做好施工记录。当出现异常情况时,必须及时会同有关部门妥善解决。

第 2.0.6 条 施工过程中应有专人或专门机构负责质量监理。施工结束后应按国家有关规定进行工程质量检验和验收。

第 2.0.7 条 经地基处理的建筑,应在施工期间进行沉降观测,对重要的或对沉降有严格限制的建筑物,尚应在使用期间继续进行沉降观测。

第三章 换 填 法

第一节 一般规定

第 3.1.1 条 换填法适用于淤泥、淤泥质土、湿陷性黄土、素填土、杂填土地基及暗沟、暗塘等的浅层处理。

换填法用于消除黄土湿陷性时,除应按本规范的规定执行外,尚应符合国家标准《湿陷性黄土地区

建筑规范》GBJ 25—89 的有关规定。

采用大面积填土作为建筑地基,应符合国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 的有关规定。

第 3.1.2 条 应根据建筑体型、结构特点、荷载性质和地质条件,并结合施工机械设备与当地材料来源等综合分析,进行换填垫层的设计,选择换填材料和夯压施工方法。

第二节 设 计

第 3.2.1 条 垫层的厚度 z 应根据下卧土层的承载力确定,并符合下式要求:

$$p_z + p_{cz} \leq f_z \quad (3.2.1-1)$$

式中 p_z ——垫层底面处的附加压力;

p_{cz} ——垫层底面处土的自重压力;

f_z ——垫层底面处土层的地基承载力。

垫层的厚度不宜大于 3m。

垫层底面处的附加压力值 p_z 可分别按式(3.2.1-2)和式(3.2.1-3)简化计算:

条形基础

$$p_z = \frac{b(p - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (3.2.1-2)$$

矩形基础

$$p_z = \frac{bl(p - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (3.2.1-3)$$

式中 b ——矩形基础或条形基础底面的宽度;

l ——矩形基础底面的长度;

p ——基础底面压力;

p_c ——基础底面处土的自重压力;

z ——基础底面下垫层的厚度;

θ ——垫层的压力扩散角,可按表 3.2.1 采用。

表 3.2.1 压力扩散角 $\theta(^{\circ})$

| 换填材料 z/b | 中砂、粗砂、砾砂 圆砾、角砾、卵石、碎石 | 粘性土和粉土 ($8 < I_p < 14$) | 灰土 |
|---------------|-------------------------|------------------------------|----|
| 0.25 | 20 | 6 | 30 |
| ≥ 0.50 | 30 | 23 | |

注:①当 $z/b < 0.25$ 时,除灰土仍取 $\theta = 30^{\circ}$ 外,其余材料均取 $\theta = 0^{\circ}$;

②当 $0.25 < z/b < 0.50$ 时, θ 值可内插求得。

第 3.2.2 条 垫层的宽度应满足基础底面应力扩散的要求,可按下式计算或根据当地经验确定。

$$b' \geq b + 2z \tan \theta \quad (3.2.2)$$

式中 b' ——垫层底面宽度;

θ ——垫层的压力扩散角,可按表 3.2.1 采用;当 $z/b < 0.25$ 时,仍按表中 $z/b = 0.25$ 取值。

整片垫层的宽度可根据施工的要求适当加宽。

垫层顶面每边宜超出基础底边不小于 300mm,或从垫层底面两侧向上按当地开挖基坑经验的要求放坡。

第 3.2.3 条 垫层的承载力宜通过现场试验确定,对一般工程,当无试验资料时,可按表 3.2.3 选用,并应验算下卧层的承载力。

表 3.2.3 各种垫层的承载力

| 施工方法 | 换填材料类别 | 压实系数 λ_c | 承载力标准 值 f_k (kPa) |
|-----------|--------------------------|---------------------|------------------------|
| 碾压 或振密 | 碎石、卵石 | 0.94~0.97 | 200~300 |
| | 砂夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%) | | 200~250 |
| | 土夹石(其中碎石、卵石占全重的 30%~50%) | | 150~200 |
| | 中砂、粗砂、砾砂 | | 150~200 |
| | 粘性土和粉土($8 < I_p < 14$) | | 130~180 |
| | 灰土 | 0.93~0.95 | 200~250 |
| 重锤夯实 | 土或灰土 | 0.93~0.95 | 150~200 |

注:①压实系数小的垫层,承载力标准值取低值,反之取高值;

②重锤夯实土的承载力标准值取低值,灰土取高值;

③压实系数 λ_c 为土的控制干密度 ρ_d 与最大干密度 ρ_{dmax} 的比值,土的最大干密度宜采用击实试验确定,碎石或卵石的最大干密度可取 $2.0 \sim 2.2 \text{ t/m}^3$ 。

第 3.2.4 条 对于重要的建筑或垫层下存在软弱下卧层的建筑,还应进行地基变形计算。对超出原地面标高的垫层或换填材料的密度高于天然土层密度的垫层,宜早换填并应考虑其附加的荷载对建筑及邻近建筑的影响。

第 3.2.5 条 垫层可选用下列材料:

一、砂石。应级配良好,不含植物残体、垃圾等杂质。当使用粉细砂时,应掺入 25%~30% 的碎石或卵石。最大粒径不宜大于 50mm。对湿陷性黄土地基,不得选用砂石等渗水材料。

二、素土。土料中有机质含量不得超过 5%,亦不得含有冻土或膨胀土。当含有碎石时,其粒径不宜大于 50mm。用于湿陷性黄土地基的素土垫层,土料中不得夹有砖、瓦和石块。

三、灰土。体积配合比宜为 2:8 或 3:7。土料宜用粘性土及塑性指数大于 4 的粉土,不得含有松软杂质,并应过筛,其颗粒不得大于 15mm。灰土宜用新鲜的消石灰,其颗粒不得大于 5mm。

四、工业废渣。应质地坚硬、性能稳定和无侵蚀性。其最大粒径及级配宜通过试验确定。

第 3.2.6 条 对于工程量较大的垫层,应根据选用的换填材料或场地的土质条件进行现场试验,以确定压实效果。

第 3.2.7 条 重锤夯实的现场试验应确定最少夯击遍数、最后两遍平均下沉量和有效夯实深度等。一般重锤夯实的有效夯实深度可达 1m 左右,并可消除 1.0~1.5m 厚土层的湿陷性。

第 3.2.8 条 土工合成材料加筋垫层是分层铺设土工合成材料及地基土的换填垫层。用于垫层的土工合成材料包括机织土工织物、土工网、土工格栅、土工垫、土工格室等。其选型应根据工程特性、土质条件与土工合成材料的原材料类型、物理力学和水理性质、耐久性及抗腐蚀性等确定。

土工合成材料在垫层中受力时延伸率不宜大于 4%~5%,且不应被拔出。当铺设多层土工合成材料时,层间应填以中、粗、砾砂,也可填细粒碎石类土等能增加垫层内摩阻力的材料。在软土地基上使用加筋垫层时,应考虑保证建筑的稳定性和满足容许变形的要求。

第三节 施 工

第 3.3.1 条 垫层施工应根据不同的换填材料选择施工机械。素填土宜采用平碾或羊足碾,砂石等

宜用振动碾和振动压实机。当有效夯实深度内土的饱和度小于并接近 0.6 时,可采用重锤夯实。

第 3.3.2 条 垫层的施工方法、分层铺填厚度、每层压实遍数等宜通过试验确定。除接触下卧软土层的垫层底层应根据施工机械设备及下卧层土质条件的要求具有足够的厚度外,一般情况下,垫层的分层铺填厚度可取 200~300mm。

为保证分层压实质量,应控制机械碾压速度。

第 3.3.3 条 素土和灰土垫层土料的施工含水量宜控制在最优含水量 $w_{OP} \pm 2\%$ 的范围内,最优含水量可通过击实试验确定,也可按当地经验取用。

第 3.3.4 条 当垫层底部存在古井、古墓、洞穴、旧基础、暗塘等软硬不均的部位时,应根据建筑对不均匀沉降的要求予以处理,并经检验合格后,方可铺填垫层。

第 3.3.5 条 严禁扰动垫层下卧层的淤泥或淤泥质土层,防止其被践踏、受冻或受浸泡。在碎石或卵石垫层底部宜设置 150~300mm 厚的砂垫层,以防止淤泥或淤泥质土层表面的局部破坏。如淤泥或淤泥质土层厚度较小,在碾压荷载下抛石能挤入该层底面时,可采用抛石挤淤处理。先在软弱土面上堆填块石、片石等,然后将其压入以置换和挤出软弱土。

第 3.3.6 条 垫层底面宜设在同一标高上,如深度不同,基坑底土面应挖成阶梯或斜坡搭接,并按先深后浅的顺序进行垫层施工,搭接处应夯压密实。

素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。上下两层的缝距不得小于 500mm。接缝处应夯压密实。灰土应拌合均匀并应当日铺填夯压。灰土夯实后 3 天内不得受水浸泡。

垫层竣工后,应及时进行基础施工与基坑回填。

第 3.3.7 条 重锤夯实的夯锤宜采用圆台形。锤重宜大于 2t,锤底面单位静压力宜为 15~20kPa。夯锤落距宜大于 4m。

重锤夯实宜一夯挨一夯顺序进行,在独立柱基基坑内,宜按先外后里的顺序夯击。同一基坑底面标高不同时,应按先深后浅的顺序逐层夯实。夯击宜分 2~3 遍进行,累计夯击 10~15 次,最后两击平均夯沉量,对砂土不应超过 5~10mm,对细颗粒土不应超过 10~20mm。

第 3.3.8 条 当夯击或碾压振动对邻近既有或正在施工中的建筑产生有害影响时,必须采取有效预防措施。

第 3.3.9 条 铺设土工合成材料时,土层表面应均匀平整,防止土工合成材料被刺穿、顶破。铺设时端头应固定或回折锚固,且避免长时间曝晒或暴露;联结宜用搭接法、缝接法和胶结法。搭接法的搭接长度宜为 300~1000mm,基底较软者应选取较大的搭接长度。当采用胶结法时,搭接长度不应小于 100mm,并均应保证主要受力方向的连接强度不低于所采用材料的抗拉强度。

第四节 质量检验

第 3.4.1 条 对素土、灰土和砂垫层可用贯入仪检验垫层质量;对砂垫层也可用钢筋检验。并均应通过现场试验以控制压实系数所对应的贯入度为合格标准。压实系数的检验可采用环刀法或其它方法。

第 3.4.2 条 垫层的质量检验必须分层进行。每夯压完一层,应检验该层的平均压实系数。当压实系数符合设计要求后,才能铺填上层。

当采用环刀法取样时,取样点应位于每层 2/3 的深度处。

第 3.4.3 条 当采用贯入仪或钢筋检验垫层的质量时,检验点的间距应小于 4m。当取土样检验垫层的质量时,对大基坑每 50~100m² 应不少于 1 个检验点;对基槽每 10~20m 应不少于 1 个点;每个单独柱基应不少于 1 个点。

第 3.4.4 条 重锤夯实的质量检验,除按试夯要求检查施工记录外,总夯沉量不应小于试夯总夯沉量的 90%。

第四章 预 压 法

第一节 一 般 规 定

第 4.1.1 条 预压法分为加载预压法和真空预压法两类,适用于处理淤泥质土、淤泥和冲填土等饱和粘性土地基。

第 4.1.2 条 对预压法处理地基应预先通过勘察查明土层在水平和竖直方向的分布和变化、透水层的位置及水源补给条件等。应通过土工试验确定土的固结系数、孔隙比和固结压力关系、三轴试验抗剪强度以及原位十字板抗剪强度等。

第 4.1.3 条 对重要工程,应预先在现场选择试验区进行预压试验,在预压过程中应进行竖向变形、侧向位移、孔隙水压力等项目的观测以及原位十字板剪切试验。根据试验区获得的资料分析地基的处理效果,与原设计预估值进行比较,对设计作必要的修正,并指导全场的设计和施工。

第 4.1.4 条 对主要以沉降控制的建筑,当地基经预压消除的变形量满足设计要求且受压土层的平均固结度达到 80% 以上时,方可卸载;对主要以地基承载力或抗滑稳定性控制的建筑,在地基上经预压增长的强度满足设计要求后,方可卸载。

第二节 设 计

(1) 加载预压法

第 4.2.1 条 加载预压法处理地基的设计应包括下列内容:

一、选择砂井或塑料排水带等竖向排水体,确定其直径、间距、排列方式和深度;若软土层厚度不大或软土层含较多薄粉砂夹层,预计固结速率能满足工期要求,可不设置竖向排水体。

二、确定加载的数量、范围、速率和预压时间。

三、计算地基的固结度、强度增长、抗滑稳定和变形。

第 4.2.2 条 预压荷载的大小应根据设计要求确定,通常可与建筑物的基底压力大小相同。对于沉降有严格限制的建筑,应采用超载预压法处理地基,超载数量应根据预定时间内要求消除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压力等于或大于建筑荷载所引起的相应点的附加压力。

加载的范围不应小于建筑物基础外缘所包围的范围。

加载速率应与地基土增长的强度相适应,在加载各阶段应进行地基的抗滑稳定计算,以确保工程安全。

第 4.2.3 条 砂井分普通砂井和袋装砂井。普通砂井直径可取 300~500mm,袋装砂井直径可取 70~100mm。塑料排水带的当量换算直径可按下列公式计算:

$$D_p = \alpha \frac{2(b + \delta)}{\pi} \quad (4.2.3)$$

式中 D_p ——塑料排水带当量换算直径;

α ——换算系数,无试验资料时可取 $\alpha = 0.75 \sim 1.00$;

b ——塑料排水带宽度;

δ ——塑料排水带厚度。

第 4.2.4 条 砂井的平面布置可采用等边三角形或正方形排列。一根砂井的有效排水圆柱体的直径 d_e 和砂井间距 s 的关系按下列规定取用:

等边三角形布置 $d_e = 1.05s$

正方形布置 $d_e = 1.13s$

第 4.2.5 条 砂井的间距可根据地基土的固结特性和预定时间内所要求达到的固结度确定。通常砂井的间距可按井径比 n ($n = d_e/d_w$, d_w 为砂井直径) 确定。普通砂井的间距可按 $n = 6 \sim 8$ 选用; 袋装砂井或塑料排水带的间距可按 $n = 15 \sim 20$ 选用。

第 4.2.6 条 砂井的深度应根据建筑物对地基的稳定性和变形的要求确定。

对以地基抗滑稳定性控制的工程, 砂井深度至少应超过最危险滑动面 2m。

对以沉降控制的建筑物, 如压缩土层厚度不大, 砂井宜贯穿压缩土层; 对深厚的压缩土层, 砂井深度应根据在限定的预压时间内应消除的变形量确定, 若施工设备条件达不到设计深度, 则可采用超载预压等方法来满足工程要求。

第 4.2.7 条 一级或多级等速加载条件下, t 时间对应总荷载的地基平均固结度可按下式计算:

$$U_t = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{q}_i}{\sum \Delta p} \left[(T_i - T_{i-1}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta} (e^{\beta T_i} - e^{\beta T_{i-1}}) \right] \quad (4.2.7)$$

式中 U_t —— t 时间地基的平均固结度;

\dot{q}_i ——第 i 级荷载的加载速率;

$\sum \Delta p$ ——各级荷载的累加值;

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

α, β ——参数, 按表 4.2.7 采用。

表 4.2.7 α, β 值

| 排水固结 条件 参数 | 竖向排水 固 结 $U_z > 30\%$ | 向内径向 排水固结 | 竖向和向内径向排水 固结(砂井贯穿受压土 层) | 砂井未贯穿受 压土层之固结 |
|------------------|-----------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| α | $\frac{8}{\pi^2}$ | 1 | $\frac{8}{\pi^2}$ | $\frac{8}{\pi^2} Q$ |
| β | $\frac{\pi^2 C_v}{4H^2}$ | $\frac{8C_h}{F_n d_w^2}$ | $\frac{8C_h}{F_n d_w^2} + \frac{\pi^2 C_v}{4H^2}$ | $\frac{8C_h}{F_n d_w^2}$ |

注: C_v ——土的竖向排水固结系数;

C_h ——土的水平向排水固结系数;

H ——土层竖向排水距离, 双面排水时, H 为土层厚度的一半, 单面排水时, H 为土层厚度;

$$Q \approx \frac{H_1}{H_1 + H_2}$$

H_1 ——砂井深度;

H_2 ——砂井以下压缩土层厚度;

$$F_n = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

n ——井径比。

第 4.2.8 条 对长径比(长度与直径之比)大、井料渗透系数又较小的袋装砂井或塑料排水带, 应考虑井阻作用。当采用挤土方式施工时, 尚应考虑土的涂抹和扰动影响。考虑井阻、涂抹和扰动影响后, 按本规范第 4.2.7 条计算的砂井地基平均固结度应乘以折减系数, 其值通常可取 0.80~0.95。

第 4.2.9 条 预压荷载下, 正常固结饱和粘性土地基中某点任意时间的抗剪强度可按下式计算:

$$\tau_{ft} = \eta(\tau_{fo} + \Delta\tau_{fc}) \quad (4.2.9-1)$$

$$\Delta\tau_{fc} = \Delta\sigma_z U_t \tan\varphi_u \quad (4.2.9-2)$$

式中 τ_{it} —— t 时刻,该点土的抗剪强度;
 τ_{io} ——地基土的天然抗剪强度,由十字板剪切试验测定;
 $\Delta\tau_{ic}$ ——该点土由于固结而增长的强度;
 $\Delta\sigma_z$ ——预压荷载引起的该点的附加竖向压力;
 U_i ——该点土的固结度;
 φ_u ——三轴固结不排水试验求得的土的内摩擦角;
 η ——土体由于剪切蠕变而引起强度衰减的折减系数,可取 0.75~0.90,剪应力大取低值,反之则取高值。

第 4.2.10 条 预压荷载下地基的最终竖向变形量可按下式计算:

$$s_f = \xi \sum_{i=1}^n \frac{e_{oi} - e_{li}}{1 + e_{oi}} h_i \quad (4.2.10)$$

式中 s_f ——最终竖向变形量;
 e_{oi} ——第 i 层中点土自重压力所对应的孔隙比,由室内固结试验所得的孔隙比 e 和固结压力 p (即 $e \sim p$) 关系曲线查得;
 e_{li} ——第 i 层中点土自重压力和附加压力之和所对应的孔隙比,由室内固结试验所得的 $e \sim p$ 关系曲线查得;
 h_i ——第 i 层土层厚度;
 ξ ——经验系数,对正常固结和轻度超固结粘性土地基可取 $\xi = 1.1 \sim 1.4$,荷载较大,地基土较软弱时取较大值,否则取较小值。

变形计算时,可取附加压力与自重压力的比值为 0.1 的深度作为受压层深度的界限。

第 4.2.11 条 预压法处理地基必须在地表铺设排水砂垫层,其厚度宜大于 400mm。

砂垫层砂料宜用中粗砂,含泥量应小于 5%,砂料中可混有少量粒径小于 50mm 的石粒。砂垫层的干密度应大于 $1.5t/m^3$ 。

在预压区内宜设置与砂垫层相连的排水盲沟,并把地基中排出的水引出预压区。

第 4.2.12 条 砂井的砂料宜用中粗砂,含泥量应小于 3%。

(I) 真空预压法

第 4.2.13 条 真空预压法处理地基必须设置砂井或塑料排水带。设计内容包括:砂井或塑料排水带的直径、间距、排列方式和深度的选择;预压区面积和分块大小;要求达到的膜下真空度和土层的固结度;真空预压和建筑荷载下地基的变形计算;真空预压后地基土的强度增长计算等。

第 4.2.14 条 砂井或塑料排水带的间距可按本规范第 4.2.5 条选用。

砂井的砂料应采用中粗砂,其渗透系数宜大于 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。

第 4.2.15 条 真空预压的总面积不得小于建筑物基础外缘所包围的面积,每块预压面积宜尽可能大且相互连接。

第 4.2.16 条 真空预压的膜下真空度应保持在 600mmHg 以上,压缩土层的平均固结度应大于 80%。

第 4.2.17 条 对真空预压处理地基,应进行真空预压和建筑荷载下地基的变形计算。

第 4.2.18 条 对于表层存在良好的透气层以及在处理范围内有充足水源补给的透水层等情况,应采取有效措施切断透气层及透水层。

第三节 施 工

(I) 加载预压法

第 4.3.1 条 砂井的灌砂量,应按井孔的体积和砂在中密时的干密度计算,其实际灌砂量不得小于

计算值的 95%。

灌入砂袋的砂宜用干砂,并应灌制密实,砂袋放入孔内至少应高出孔口 200mm,以便埋入砂垫层中。

第 4.3.2 条 袋装砂井施工所用钢管内径宜略大于砂井直径,以减小施工过程中对地基土的扰动。

袋装砂井或塑料排水带施工时,平面井距偏差应不大于井径,垂直度偏差宜小于 1.5%。拔管后带上砂袋或塑料排水带的长度不宜超过 500mm。

第 4.3.3 条 塑料排水带应有良好的透水性,应有足够的湿润抗拉强度和抗弯曲能力。

塑料排水带需要接长时,应采用滤膜内芯板平搭接的连接方式,搭接长度宜大于 200mm。

第 4.3.4 条 对加载预压工程,应根据设计要求分级逐渐加载,在加载过程中应每天进行竖向变形、边桩位移及孔隙水压力等项目的观测,根据观测资料严格控制加载速率,竖向变形每天不应超过 10mm,边桩水平位移每天不应超过 4mm。

(I) 真空预压法

第 4.3.5 条 真空预压的抽气设备宜采用射流真空泵,真空泵的设置应根据预压面积大小、真空泵效率以及工程经验确定,但每块预压区至少应设置两台真空泵。

第 4.3.6 条 真空管路的连接点应严格进行密封,为避免膜内真空度在停泵后很快降低,在真空管路中应设置止回阀和截门。

水平向分布滤水管可采用条状、梳齿状或羽毛状等形式。滤水管一般设在排水砂垫层中,其上宜有 100~200mm 砂覆盖层。滤水管可采用钢管或塑料管,滤水管在预压过程中应能适应地基的变形。滤水管外宜围绕铅丝、外包尼龙纱或土工织物等滤水材料。

第 4.3.7 条 密封膜应采用抗老化性能好、韧性好、抗穿刺能力强的不透水材料。密封膜热合时宜用两条热合缝的平搭接,搭接长度应大于 15mm。

密封膜宜铺设 3 层,覆盖膜周边可采用挖沟折铺、平铺并用粘土压边、围埝沟内覆水以及膜上全面覆水等方法进行密封。当处理区内有充足水源补给的透水层时,应采用封闭式板桩墙、封闭式板桩墙加沟内覆水或其它密封措施隔断透水层。

第四节 质量检验

第 4.4.1 条 对于以抗滑稳定控制的重要工程,应在预压区内选择代表性地点预留孔位,在加载不同阶段进行不同深度的十字板抗剪强度试验和取土进行室内试验,以验算地基的抗滑稳定性,并检验地基的处理效果。

第 4.4.2 条 在预压期间应及时整理变形与时间、孔隙水压力与时间等关系曲线,推算地基的最终固结变形量、不同时间的固结度和相应的变形量,以分析处理效果并为确定卸载时间提供依据。

第 4.4.3 条 真空预压处理地基除应进行地基变形和孔隙水压力观测外,尚应量测膜下真空度和砂井不同深度的真空度,真空度应满足设计要求。

第 4.4.4 条 预压后的地基应进行十字板抗剪强度试验及室内土工试验等,以检验处理效果。

第五章 强 夯 法

第一节 一般规定

第 5.1.1 条 强夯法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基。对高饱和度的粉土与粘性土等地基,当采用在夯坑内回填块石、碎石或其它粗颗粒材料进

行强夯置换时,应通过现场试验确定其适用性。

第 5.1.2 条 强夯施工前,应在施工现场有代表性的场地上选取一个或几个试验区,进行试夯或试验性施工。试验区数量应根据建筑场地复杂程度、建设规模及建筑类型确定。

第二节 设 计

第 5.2.1 条 强夯法的有效加固深度应根据现场试夯或当地经验确定。在缺少试验资料或经验时可按表 5.2.1 预估。

表 5.2.1 强夯法的有效加固深度(m)

| 单击夯击能 (kN·m) | 碎石土、砂土等 | 粉土、粘性土、 湿陷性黄土等 |
|-----------------|----------|-------------------|
| 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 |

注:强夯法的有效加固深度应从起夯面算起。

第 5.2.2 条 强夯的单位夯击能,应根据地基土类别、结构类型、荷载大小和要求处理的深度等综合考虑,并通过现场试夯确定。在一般情况下,对于粗颗粒土可取 $1000\sim 3000\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$;细颗粒土可取 $1500\sim 4000\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ 。

第 5.2.3 条 夯点的夯击次数,应按现场试夯得到的夯击次数和夯沉量关系曲线确定,且应同时满足下列条件:

- 一、最后两击的平均夯沉量不大于 50mm,当单击夯击能量较大时不大于 100mm;
- 二、夯坑周围地面不应发生过大的隆起;
- 三、不因夯坑过深而发生起锤困难。

第 5.2.4 条 夯击遍数应根据地基土的性质确定,一般情况下,可采用 2~3 遍,最后再以低能量满夯一遍。对于渗透性弱的细颗粒土,必要时夯击遍数可适当增加。

第 5.2.5 条 两遍夯击之间应有一定的时间间隔。间隔时间取决于土中超静孔隙水压力的消散时间。当缺少实测资料时,可根据地基土的渗透性确定,对于渗透性较差的粘性土地基的间隔时间,应不少于 3~4 周;对于渗透性好的地基可连续夯击。

第 5.2.6 条 夯击点位置可根据建筑结构类型,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 5~9m,以后各遍夯击点间距可与第一遍相同,也可适当减小。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适当增大。

第 5.2.7 条 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设计处理深度的 $1/2$ 至 $2/3$ 。并不宜小于 3m。

第 5.2.8 条 根据初步确定的强夯参数,提出强夯试验方案,进行现场试夯。应根据不同土质条件待试夯结束一至数周后,对试夯场地进行测试,并与夯前测试数据进行对比,检验强夯效果,确定工程采用的各项强夯参数。

第三节 施 工

第 5.3.1 条 一般情况下夯锤重可取 10~25t。其底面形式宜采用圆形。锤底面积宜按土的性质确定,锤底静压力值可取 25~40kPa,对于细颗粒土锤底静压力宜取较小值。锤的底面宜对称设置若干个与其顶面贯通的排气孔,孔径可取 250~300mm。

第 5.3.2 条 强夯施工宜采用带有自动脱钩装置的履带式起重机或其它专用设备。采用履带式起重机时,可在臂杆端部设置辅助门架,或采取其它安全措施,防止落锤时机架倾覆。

第 5.3.3 条 当地下水位较高,夯坑底积水影响施工时,宜采用人工降低地下水位或铺填一定厚度的松散性材料。夯坑内或场地积水应及时排除。

第 5.3.4 条 强夯施工前,应查明场地范围内的地下构筑物和各种地下管线的位置及标高等,并采取必要的措施,避免因强夯施工而造成损坏。

第 5.3.5 条 当强夯施工所产生的振动,对邻近建筑物或设备产生有害的影响时,应采取防振或隔振措施。

第 5.3.6 条 强夯施工可按下列步骤进行:

一、清理并平整施工场地;

二、标出第一遍夯点位置,并测量场地高程;

三、起重机就位,使夯锤对准夯点位置;

四、测量夯前锤顶高程;

五、将夯锤起吊到预定高度,待夯锤脱钩自由下落后,放下吊钩,测量锤顶高程,若发现因坑底倾斜而造成夯锤歪斜时,应及时将坑底整平;

六、重复步骤五,按设计规定的夯击次数及控制标准,完成一个夯点的夯击;

七、重复步骤三至六,完成第一遍全部夯点的夯击;

八、用推土机将夯坑填平,并测量场地高程;

九、在规定的间隔时间后,按上述步骤逐次完成全部夯击遍数,最后用低能量满夯,将场地表层松土夯实,并测量夯后场地高程。

第 5.3.7 条 强夯施工过程中应有专人负责下列监测工作:

一、开夯前应检查夯锤重和落距,以确保单击夯击能量符合设计要求;

二、在每遍夯击前,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;

三、按设计要求检查每个夯点的夯击次数和每击的夯沉量。

第 5.3.8 条 施工过程中应对各项参数及施工情况进行详细记录。

第四节 质量检验

第 5.4.1 条 检查强夯施工过程中的各项测试数据和施工记录,不符合设计要求时应补夯或采取其它有效措施。

第 5.4.2 条 强夯施工结束后应间隔一定时间方能对地基质量进行检验。对于碎石土和砂土地基,其间隔时间可取 1~2 周;低饱和度的粉土和粘性土地基可取 2~4 周。

第 5.4.3 条 质量检验的方法,宜根据土性选用原位测试和室内土工试验。对于一般工程应采用两种或两种以上的方法进行检验;对于重要工程应增加检验项目,也可做现场大压板载荷试验。

第 5.4.4 条 质量检验的数量,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物,每个建筑物地基的检验点不应少于 3 处;对于复杂场地或重要建筑物地基应增加检验点数。检验深度应不小于设计处理的深度。

第六章 振 冲 法

第一节 一般规定

第 6.1.1 条 振冲法分为振冲置换法和振冲密实法两类。振冲置换法适用于处理不排水抗剪强度不小于 20kPa 的粘性土、粉土、饱和黄土和人工填土等地基。振冲密实法适用于处理砂土和粉土等地基。不加填料的振冲密实法仅适用于处理粘粒含量小于 10% 的粗砂、中砂地基。

第 6.1.2 条 对大型的、重要的或场地复杂的工程,在正式施工前应在有代表性的场地上进行试验。

第二节 设 计

(1) 振冲置换法

第 6.2.1 条 处理范围应根据建筑物的重要性和场地条件确定,通常都大于基底面积。对一般地基,在基础外缘宜扩大 1~2 排桩;对可液化地基,在基础外缘应扩大 2~4 排桩。

第 6.2.2 条 桩位布置,对大面积满堂处理,宜用等边三角形布置;对独立或条形基础,宜用正方形、矩形或等腰三角形布置。

第 6.2.3 条 桩的间距应根据荷载大小和原土的抗剪强度确定,可用 1.5~2.5m。荷载大或原土强度低时,宜取较小的间距;反之,宜取较大的间距。对桩端未达相对硬层的短桩,应取小间距。

第 6.2.4 条 桩长的确定,当相对硬层的埋藏深度不大时,应按相对硬层埋藏深度确定;当相对硬层的埋藏深度较大时,应按建筑物地基的变形允许值确定。桩长不宜短于 4m。在可液化的地基中,桩长应按要求的抗震处理深度确定。

第 6.2.5 条 在桩顶部应铺设一层 200~500mm 厚的碎石垫层。

第 6.2.6 条 桩体材料可用含泥量不大的碎石、卵石、角砾、圆砾等硬质材料。材料的最大粒径不宜大于 80mm。对碎石,常用的粒径为 20~50mm。

第 6.2.7 条 桩的直径可按每根桩所用的填料量计算,常为 0.8~1.2m。

第 6.2.8 条 复合地基的承载力标准值应按现场复合地基载荷试验确定,也可用单桩和桩间土的载荷试验按下式确定:

$$f_{sp,k} = m f_{p,k} + (1-m) f_{s,k} \quad (6.2.8-1)$$

式中 $f_{sp,k}$ ——复合地基的承载力标准值;

$f_{p,k}$ ——桩体单位截面积承载力标准值;

$f_{s,k}$ ——桩间土的承载力标准值;

m ——面积置换率。

$$m = \frac{d^2}{d_e^2} \quad (6.2.8-2)$$

式中 d ——桩的直径;

d_e ——等效影响圆的直径。

等边三角形布置 $d_e = 1.05s$

正方形布置 $d_e = 1.13s$

矩形布置 $d_e = 1.13 \sqrt{s_1 s_2}$

s, s_1, s_2 分别为桩的间距、纵向间距和横向间距。

对小型工程的粘性土地基如无现场载荷试验资料,复合地基的承载力标准值可按下列式计算:

$$f_{sp,k} = [1 + m(n-1)]f_{s,k} \quad (6.2.8-3)$$

或

$$f_{sp,k} = [1 + m(n-1)](3S_v) \quad (6.2.8-4)$$

式中 n ——桩土应力比,无实测资料时可取 2~4,原土强度低取大值,原土强度高取小值;

S_v ——桩间土的十字板抗剪强度,也可用处理前地基土的十字板抗剪强度代替。

式(6.2.8-3)中的桩间土承载力标准值也可用处理前地基土的承载力标准值代替。

第 6.2.9 条 地基在处理后的变形计算应按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7-89 的有关规定执行。复合土层的压缩模量可按下列式计算:

$$E_{sp} = [1 + m(n-1)]E_s \quad (6.2.9)$$

式中 E_{sp} ——复合土层的压缩模量;

E_s ——桩间土的压缩模量。

式(6.2.9)中的桩土应力比 n 在无实测资料时,对粘性土可取 2~4,对粉土可取 1.5~3,原土强度低取大值,原土强度高取小值。

(I) 振冲密实法

第 6.2.10 条 处理范围应大于建筑物基础范围,在建筑物基础外缘每边放宽不得少于 5m。

第 6.2.11 条 当可液化土层不厚时,振冲深度应穿透整个可液化土层;当可液化土层较厚时,振冲深度应按要求的抗震处理深度确定。

第 6.2.12 条 振冲点宜按等边三角形或正方形布置。间距与土的颗粒组成、要求达到的密实程度、地下水位、振冲器功率、水量等有关,应通过现场试验确定,可取 1.8~2.5m。

第 6.2.13 条 每一振冲点所需的填料量随地基土要求达到的密实程度和振冲点间距而定,应通过现场试验确定,填料宜用碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂、中砂等硬质材料。

第 6.2.14 条 复合地基的承载力标准值应按现场复合地基载荷试验确定,也可用单桩和桩间土的载荷试验,按本规范(6.2.8-1)式确定。

第 6.2.15 条 振冲密实处理地基的变形计算,应按本规范第 6.2.9 条的规定执行。其中桩土应力比 n 在无实测资料时,对砂土可取 1.5~3。原土强度低取大值,原土强度高取小值。

第三节 施 工

(1) 振冲置换法

第 6.3.1 条 振冲施工通常可用功率为 30kW 的振冲器。在既有建筑物邻近施工时,宜用功率较小的振冲器。

第 6.3.2 条 升降振冲器的机具可用起重机、自行井架式施工平车或其它合适的机具设备。

第 6.3.3 条 振冲施工可按下列步骤进行:

一、清理平整施工场地,布置桩位;

二、施工机具就位,使振冲器对准桩位;

三、启动水泵和振冲器,水压可用 400~600kPa,水量可用 200~400L/min,使振冲器徐徐沉入土中,直至达到设计处理深度以上 0.3~0.5m,记录振冲器经各深度的电流值和时间,提升振冲器至孔口;

四、重复上一步骤 1~2 次,使孔内泥浆变稀,然后将振冲器提出孔口;

五、向孔内倒入一批填料,将振冲器沉入填料中进行振密,此时电流随填料的密实而逐渐增大,电流必须超过规定的密实电流,若达不到规定值,应向孔内继续加填料,振密,记录这一深度的最终电流量和填料量;

六、将振冲器提出孔口,继续制作上部的桩段;

七、重复步骤五、六,自下而上地制作桩体,直至孔口;

八、关闭振冲器和水泵。

第 6.3.4 条 施工过程中,各段桩体均应符合密实电流、填料量和留振时间三方面的规定。这些规定应通过现场成桩试验确定。

第 6.3.5 条 在施工场地上应事先开设排泥水沟系,将成桩过程中产生的泥水集中引入沉淀池。定期将沉淀池底部的厚泥浆挖出运送至预先安排的存放地点。沉淀池上部较清的水可重复使用。

第 6.3.6 条 应将桩顶部的松散桩体挖除,或用碾压等方法使之密实,随后铺设并压实垫层。

(I)振冲密实法

第 6.3.7 条 振冲施工可用功率为 30kW 的振冲器,有条件时也可用较大功率的振冲器。升降振冲器的机具可用起重机、自行井架式施工平车或其它合适的机具设备。

第 6.3.8 条 加填料的振冲密实施工可按下列步骤进行:

一、清理平整场地、布置振冲点;

二、施工机具就位,在振冲点上安放钢护筒,使振冲器对准护筒的轴心;

三、启动水泵和振冲器,使振冲器徐徐沉入砂层,水压可用 400~600kPa,水量可用 200~400l/min,下沉速率宜控制在每分钟约 1~2m 范围内;

四、振冲器达设计处理深度后,将水压和水量降至孔口有一定量回水,但无大量细颗粒带出的程度,将填料堆于护筒周围;

五、填料在振冲器振动下依靠自重沿护筒周壁下沉至孔底,在电流升高到规定的控制值后,将振冲器上提 0.3~0.5m;

六、重复上一步骤,直至完成全孔处理,详细记录各深度的最终电流值、填料量等;

七、关闭振冲器和水泵。

第 6.3.9 条 不加填料的振冲密实施工方法与加填料的大体相同。使振冲器沉至设计处理深度,留振至电流稳定地大于规定值后,将振冲器上提 0.3~0.5m。如此重复进行,直至完成全孔处理。在中粗砂层中施工时,如遇振冲器不能贯入,可增设辅助水管,加快下沉速率。

第 6.3.10 条 振冲密实的施工顺序宜沿平行直线逐点进行。

第四节 质量检验

第 6.4.1 条 检查振冲施工和各项施工记录,如有遗漏或不符合规定要求的桩或振冲点,应补做或采取有效的补救措施。

第 6.4.2 条 振冲施工结束后,除砂土地基外,应间隔一定时间方可进行质量检验。对粘性土地基,间隔时间可取 3~4 周;对粉土地基,可取 2~3 周。

第 6.4.3 条 振冲桩的施工质量检验可用单桩载荷试验。试验用圆形压板的直径与桩的直径相等。可按每 200~400 根桩随机抽取一根进行检验,但总数不得少于 3 根。

第 6.4.4 条 对砂土或粉土层中的振冲桩,除用单桩载荷试验检验外,尚可用标准贯入、静力触探等试验对桩间土进行处理前后的对比检验。

第 6.4.5 条 对大型的、重要的或场地复杂的振冲置换工程应进行复合地基的处理效果检验。检验方法宜用单桩复合地基载荷试验或多桩复合地基载荷试验。检验点应选择在有代表性的或土质较差的地段,检验点数量可按处理面积大小取 2~4 组。复合地基载荷试验应符合本规范附录一的有关规定。

第 6.4.6 条 对不加填料的振冲密实法处理的砂土地基,处理效果检验宜用标准贯入、动力触探或其它合适的试验方法。检验点应选择在有代表性的或地基土质较差的地段,并位于振冲点围成的单元形心处。检验点数量可按每 100~200 个振冲点选取 1 孔,总数不得少于 3 孔。

第七章 土或灰土挤密桩法

第一节 一般规定

第 7.1.1 条 土或灰土挤密桩法适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。处理深度宜为 5~15m。

当以消除地基的湿陷性为主要目的时,宜选用土挤密桩法。

当以提高地基的承载力或水稳性为主要目的时,宜选用灰土挤密桩法。

当地基土的含水量大于 23% 及其饱和度大于 0.65 时,不宜选用上述方法。

第 7.1.2 条 对重要工程或在缺乏经验的地区,施工前应按设计要求,在现场选点进行试验。如土性基本相同,试验可在一处进行,如土性差异明显,应在不同地段分别进行试验。

第二节 设计

第 7.2.1 条 土或灰土挤密桩处理地基的宽度应大于基础的宽度。

局部处理时,对非自重湿陷性黄土、素填土、杂填土等地基,每边超出基础的宽度不应小于 $0.25b$ (b 为基础短边宽度),并不应小于 0.5m;对自重湿陷性黄土地基不应小于 $0.75b$,并不应小于 1m。

整片处理宜用于 III、IV 级自重湿陷性黄土场地,每边超出建筑物外墙基础外缘的宽度不宜小于处理土层厚度的 $1/2$,并不应小于 2m。

第 7.2.2 条 土或灰土挤密桩处理地基的深度,应根据土质情况、工程要求和成孔设备等因素确定。对湿陷性黄土地基,应符合国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GBJ 25—90 的有关规定。

第 7.2.3 条 桩孔直径宜为 300~600mm,并可根据所选用的成孔设备或成孔方法确定。桩孔宜按等边三角形布置,其间距可按下式计算:

$$s = 0.95d \sqrt{\frac{\bar{\lambda}_c \rho_{d\max}}{\bar{\lambda}_c \rho_{d\max} - \bar{\rho}_d}} \quad (7.2.3)$$

式中 s ——桩的间距;

d ——桩孔直径;

$\bar{\lambda}_c$ ——地基挤密后,桩间土的平均压实系数,宜取 0.93;

$\rho_{d\max}$ ——桩间土的最大干密度;

$\bar{\rho}_d$ ——地基挤密前土的平均干密度。

第 7.2.4 条 桩孔内的填料,应根据工程要求或处理地基的目的确定,并应用压实系数 λ_c 控制夯实质量。

当用素土回填夯实时,压实系数 λ_c 不应小于 0.95;

当用灰土回填夯实时,压实系数 λ_c 不应小于 0.97,灰与土的体积配合比宜为 2:8 或 3:7。

第 7.2.5 条 土或灰土挤密桩处理地基的承载力标准值,应通过原位测试或结合当地经验确定。当无试验资料时,对土挤密桩地基,不应大于处理前的 1.4 倍,并不应大于 180kPa,对灰土挤密桩地基,不应大于处理前的 2 倍,并不应大于 250kPa。

第 7.2.6 条 土或灰土挤密桩处理地基的变形计算应按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 的有关规定执行。其中复合土层的压缩模量应通过试验或结合当地经验确定。

第三节 施 工

第 7.3.1 条 土或灰土挤密桩的施工,应按设计要求和现场条件选用沉管(振动、锤击)、冲击或爆扩等方法进行成孔,使土向孔的周围挤密。

第 7.3.2 条 成孔和回填夯实的施工应符合下列要求:

一、成孔施工时地基土宜接近最优含水量,当含水量低于 12% 时,宜加水增湿至最优含水量;

二、桩孔中心点的偏差不应超过桩距设计值的 5%;

三、桩孔垂直度偏差不应大于 1.5%;

四、桩孔的直径和深度,对沉管法,其直径和深度应与设计值相同;对冲击法或爆扩法,桩孔直径的误差不得超过设计值的 $\pm 70\text{mm}$,桩孔深度不应小于设计深度 0.5m;

五、向孔内填料前,孔底必须夯实,然后用素土或灰土在最优含水量状态下分层回填夯实,其压实系数应符合本规范第 7.2.4 条的规定,填料(土或灰土)质量应符合本规范第 3.2.5 条的规定;

六、成孔和回填夯实的施工顺序,宜间隔进行,对大型工程可采取分段施工。

第 7.3.3 条 基础底面以上应预留 0.7~1.0m 厚的土层,待施工结束后,将表层挤松的土挖除或分层夯压密实。

第 7.3.4 条 施工过程中,应有专人监测成孔及回填夯实的质量并做好施工记录。如发现地基土质与勘察资料不符,并影响成孔或回填夯实时,应立即停止施工,待查明情况或采取有效措施处理后,方可继续施工。

第 7.3.5 条 雨季或冬季施工,应采取防雨、防冻措施,防止土料和灰土受雨水淋湿或冻结。

第四节 质 量 检 验

第 7.4.1 条 施工结束后,对土或灰土挤密桩处理地基的质量,应及时进行抽样检验。

对一般工程,主要应检查桩和桩间土的干密度、承载力和施工记录。

对重要或大型工程,除应检测上述内容外,尚应进行载荷试验或其它原位测试。也可在地基处理的全部深度内取土样测定桩间土的压缩性和湿陷性。土或灰土挤密桩复合地基的载荷试验应符合本规范附录一的有关规定。

第 7.4.2 条 抽样检验的数量不应少于桩孔总数的 2%。不合格处应采取加桩或其它补救措施。

第八章 砂 石 桩 法

第一节 一 般 规 定

第 8.1.1 条 砂石桩法适用于挤密松散砂土、素填土和杂填土等地基。对在饱和粘性土地基上主要不以变形控制的工程也可采用砂石桩置换处理。

第 8.1.2 条 采用砂石桩法处理地基应补充设计、施工所需的有关技术资料,包括砂土的相对密实度、砂石料特性、可采用的施工机具及性能等。

第 8.1.3 条 用砂石桩挤密素填土和杂填土等地基的设计及质量检验,应符合本规范第七章中的有关规定。

第二节 设 计

第 8.2.1 条 砂石桩孔位宜采用等边三角形或正方形布置。

砂石桩直径可采用 300~800mm,根据地基土质情况和成桩设备等因素确定。对饱和粘性土地基宜选用较大的直径。

第 8.2.2 条 砂石桩的间距应通过现场试验确定,但不宜大于砂石桩直径的 4 倍。在有经验的地区,砂石桩的间距也可按下式计算:

一、松散砂土地基:

等边三角形布置

$$s=0.95d\sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} \quad (8.2.2-1)$$

正方形布置

$$s=0.90d\sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} \quad (8.2.2-2)$$

$$e_1=e_{\max}-D_{r1}(e_{\max}-e_{\min}) \quad (8.2.2-3)$$

式中 s ——砂石桩间距;
 d ——砂石桩直径;
 e_0 ——地基处理前砂土的孔隙比,可按原状土样试验确定,也可根据动力或静力触探等对比试验确定;
 e_1 ——地基挤密后要求达到的孔隙比;
 e_{\max}, e_{\min} ——分别为砂土的最大、最小孔隙比,可按国家标准《土工试验方法标准》GBJ 123—88 的有关规定确定;
 D_{r1} ——地基挤密后要求砂土达到的相对密实度,可取 0.70~0.85。

二、粘性土地基:

等边三角形布置

$$s=1.08\sqrt{A_c} \quad (8.2.2-4)$$

正方形布置

$$s=\sqrt{A_c} \quad (8.2.2-5)$$

式中 A_c ——1 根砂石桩承担的处理面积;

$$A_c=\frac{A_p}{m} \quad (8.2.2-6)$$

式中 A_p ——砂石桩的截面积;

m ——面积置换率,可按本规范(6.2.8-2)式确定。

第 8.2.3 条 当地基中的松软土层厚度不大时,砂石桩宜穿过松软土层;当松软土层厚度较大时,桩长应根据建筑地基的允许变形值确定。

对可液化砂层,桩长应穿透可液化层,或按国家标准《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89 的有关规定执行。

第 8.2.4 条 砂石桩挤密地基的宽度应超出基础的宽度,每边放宽不应少于 1~3 排;砂石桩用于防止砂层液化时,每边放宽不宜小于处理深度的 1/2,并不应小于 5m。当可液化层上覆盖有厚度大于 3m 的非液化层时,每边放宽不宜小于液化层厚度的 1/2,并不应小于 3m。

第 8.2.5 条 砂石桩孔内的填砂石量可按下式计算:

$$S = \frac{A_p l d_s}{1 + e_1} (1 + 0.01w) \quad (8.2.5)$$

式中 S ——填砂石量(以重量计);
 A_p ——砂石桩的截面积;
 l ——桩长;
 d_s ——砂石料的相对密度(比重);
 w ——砂石料的含水量(%).

桩孔内的填料宜用砾砂、粗砂、中砂、圆砾、角砾、卵石、碎石等。填料中含泥量不得大于5%,并不宜含有大于50mm的颗粒。

第8.2.6条 砂石桩复合地基的承载力标准值,应按现场复合地基载荷试验确定,也可通过下列方法确定:

- 一、对于砂石桩处理的复合地基,可用单桩和桩间土的载荷试验按本规范(6.2.8-1)式计算;
- 二、对于砂桩处理的砂土地基,可根据挤密后砂土的密实状态,按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7-89的有关规定确定。

第8.2.7条 砂石桩处理地基的变形计算:对于砂石桩处理的粘性土地基,应按本规范第6.2.9条的规定执行;对于砂石桩处理的砂土地基,应按本规范第6.2.15条执行;对于砂桩处理的砂土地基,应按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7-89的有关规定执行。

第三节 施 工

第8.3.1条 砂石桩施工可采用振动成桩法(简称振动法)或锤击成桩法(简称锤击法)。

第8.3.2条 施工前应进行成桩挤密试验,桩数宜为7~9根。如发现质量不能满足设计要求时,应调整桩间距、填砂石量等有关参数,重新试验或改变设计。

第8.3.3条 振动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,以保证挤密均匀和桩身的连续性。施工中应选用适宜的桩尖结构,保证顺利出料和有效地挤密。

第8.3.4条 锤击法施工可采用双管法或单管法。锤击法挤密应根据锤击的能量,控制分段的填砂石量和成桩的长度。

第8.3.5条 以挤密为主的砂石桩施工顺序应间隔进行,孔内实际填砂石量(不包括水重)不应少于设计值的95%。

砂石桩施工应保证桩位准确,其纵向偏差应不大于桩管直径,桩身应保持连续和垂直,垂直度偏差不应大于1.5%。

施工中应有专人记录各项施工参数。

第8.3.6条 施工结束后,应将基底标高下的松土层夯压密实。

第四节 质 量 检 验

第8.4.1条 检查砂石桩的沉管时间、各段的填砂石量、提升及挤压时间和桩位偏差等各项施工记录和试验结果。如不符合设计要求,应采取补救措施。

第8.4.2条 砂石桩处理地基可采用标准贯入、静力触探或动力触探等方法检测桩及桩间土的挤密质量。桩间土质量的检测位置应在等边三角形或正方形的中心。

对于重要或大型工程,宜进行载荷试验,或采用其它有效手段综合评定地基的处理效果。复合地基的载荷试验应符合本规范附录一的有关规定。

第8.4.3条 砂石桩挤密效果的检测可通过抽查进行,检测数量应不少于桩孔总数的2%,检查结

果如有占检测总数 10% 的桩未达到设计要求时,应采取加桩或其它措施。

第 8.4.4 条 施工后应间隔一定时间方可进行质量检验,对饱和粘性土应待超孔隙水压力基本消散后进行,间隔时间宜为 1~2 周;对其它土可在施工后 3~5d 进行。

第九章 深层搅拌法

第一节 一般规定

第 9.1.1 条 深层搅拌法适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高且地基承载力标准值不大于 120kPa 的粘性土等地基。当用于处理泥炭土或地下水具有侵蚀性时,宜通过试验确定其适用性。冬季施工时应注意负温对处理效果的影响。

第 9.1.2 条 工程地质勘察应查明填土层的厚度和组成,软土层的分布范围、含水量和有机质含量,地下水的侵蚀性质等。

第 9.1.3 条 深层搅拌设计前必须进行室内加固试验,针对现场地基土的性质,选择合适的固化剂及外掺剂,为设计提供各种配比的强度参数。加固土强度标准值宜取 90d 龄期试块的无侧限抗压强度。

第二节 设计

第 9.2.1 条 深层搅拌法处理软土的固化剂可选用水泥,也可用其它有效的固化材料。固化剂的掺入量宜为被加固土重的 7%~15%。外掺剂可根据工程需要选用具有早强、缓凝、减水、节省水泥等性能的材料,但应避免污染环境。

第 9.2.2 条 搅拌桩复合地基承载力标准值应通过现场复合地基载荷试验确定,也可按下式计算:

$$f_{sp,k} = m \frac{R_k^d}{A_p} + \beta(1-m)f_{s,k} \quad (9.2.2-1)$$

式中 $f_{sp,k}$ ——复合地基的承载力标准值;

m ——面积置换率;

A_p ——桩的截面积;

$f_{s,k}$ ——桩间天然地基土承载力标准值;

β ——桩间土承载力折减系数,当桩端土为软土时,可取 0.5~1.0,当桩端土为硬土时,可取 0.1~0.4,当不考虑桩间软土的作用时,可取零;

R_k^d ——单桩竖向承载力标准值,应通过现场单桩载荷试验确定。

单桩竖向承载力标准值也可按下列二式计算,取其中较小值:

$$R_k^d = \eta f_{cu,k} A_p \quad (9.2.2-2)$$

$$R_k^d = \bar{q}_s U_p l + \alpha A_p q_p \quad (9.2.2-3)$$

式中 $f_{cu,k}$ ——与搅拌桩桩身加固土配比相同的室内加固土试块(边长为 70.7mm 的立方体,也可采用边长为 50mm 的立方体)的无侧限抗压强度平均值;

η ——强度折减系数,可取 0.35~0.50;

\bar{q}_s ——桩周土的平均摩擦力,对淤泥可取 5~8kPa,对淤泥质土可取 8~12kPa,对粘性土可取 12~15kPa;

U_p ——桩周长;

l ——桩长;

q_p ——桩端天然地基土的承载力标准值,可按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 第三章第二节的有关规定确定;

α ——桩端天然地基土的承载力折减系数,可取 0.4~0.6。

在设计时,可根据要求达到的地基承载力,按(9.2.2—1)式求得面积置换率 m 。

第 9.2.3 条 深层搅拌桩平面布置可根据上部建筑对变形的要求,采用柱状、壁状、格栅状、块状等处理形式。可只在基础范围内布桩。

柱状处理可采用正方形或等边三角形布桩形式,其桩数可按下式计算:

$$n = \frac{mA}{A_p} \quad (9.2.3)$$

式中 n ——桩数;

A ——基础底面积。

第 9.2.4 条 当搅拌桩处理范围以下存在软弱下卧层时,可按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 的有关规定进行下卧层强度验算。

第 9.2.5 条 搅拌桩复合地基的变形包括复合土层的压缩变形和桩端以下未处理土层的压缩变形。其中复合土层的压缩变形值可根据上部荷载、桩长、桩身强度等按经验取 10~30mm。桩端以下未处理土层的压缩变形值可按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 的有关规定确定。

第 9.2.6 条 深层搅拌壁状处理用于地下临时挡土结构时,可按重力式挡土墙设计。为了加强其整体性,相邻桩搭接宽度宜大于 100mm。

第三节 施 工

第 9.3.1 条 深层搅拌法施工的场地应事先平整,清除桩位处地上、地下一切障碍物(包括大块石、树根和生活垃圾等)。场地低洼时应回填粘性土料,不得回填杂填土。

基础底面以上宜预留 500mm 厚的土层,搅拌桩施工到地面,开挖基坑时,应将上部质量较差桩段挖去。

第 9.3.2 条 深层搅拌施工可按下列步骤进行:

- 一、深层搅拌机械就位;
- 二、预搅下沉;
- 三、喷浆搅拌提升;
- 四、重复搅拌下沉;
- 五、重复搅拌提升直至孔口;
- 六、关闭搅拌机械。

第 9.3.3 条 施工前应标定深层搅拌机械的灰浆泵输浆量、灰浆经输浆管到达搅拌机喷浆口的时间和起吊设备提升速度等施工参数,并根据设计要求通过成桩试验,确定搅拌桩的配比和施工工艺。

第 9.3.4 条 施工使用的固化剂和外掺剂必须通过加固土室内试验检验方能使用。固化剂浆液应严格按预定的配比拌制。制备好的浆液不得离析,泵送必须连续,拌制浆液的罐数、固化剂与外掺剂的用量以及泵送浆液的时间等应有专人记录。

第 9.3.5 条 应保证起吊设备的平整度和导向架的垂直度,搅拌桩的垂直度偏差不得超过 1.5%,桩位偏差不得大于 50mm。

第 9.3.6 条 搅拌机预搅下沉时不宜冲水,当遇到较硬土层下沉太慢时,方可适量冲水,但应考虑冲水成桩对桩身强度的影响。

第 9.3.7 条 搅拌机喷浆提升的速度和次数必须符合施工工艺的要求,应有专人记录搅拌机每米下沉或提升的时间,深度记录误差不得大于 50mm,时间记录误差不得大于 5s,施工中发现的问题及处理情况均应注明。

第四节 质量检验

第 9.4.1 条 施工过程中应随时检查施工记录,并对每根桩进行质量评定。对于不合格的桩应根据其位置和数量等具体情况,分别采取补桩或加强邻桩等措施。

第 9.4.2 条 搅拌桩应在成桩后 7d 内用轻便触探器钻取桩身加固土样,观察搅拌均匀程度,同时根据轻便触探击数用对比法判断桩身强度。检验桩的数量应不少于已完成桩数的 2%。

第 9.4.3 条 在下列情况下尚应进行取样、单桩载荷试验或开挖检验:

- 一、经触探检验对桩身强度有怀疑的桩应钻取桩身芯样,制成试块并测定桩身强度;
- 二、场地复杂或施工有问题的桩应进行单桩载荷试验,检验其承载力;
- 三、对相邻桩搭接要求严格的工程,应在桩养护到一定龄期时选取数根桩体进行开挖,检查桩顶部分外观质量。

第 9.4.4 条 基槽开挖后,应检验桩位、桩数与桩顶质量,如不符合规定要求,应采取有效补救措施。

第十章 高压喷射注浆法

第一节 一般规定

第 10.1.1 条 高压喷射注浆法适用于处理淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等地基。

当土中含有较多的大粒径块石、坚硬粘性土、大量植物根茎或有过多的有机质时,应根据现场试验结果确定其适用程度。

第 10.1.2 条 高压喷射注浆法可用于既有建筑和新建建筑的地基处理、深基坑侧壁挡土或挡水、基坑底部加固、防止管涌与隆起、坝的加固与防水帷幕等工程。

对地下水流速过大和已涌水的工程,应慎重使用。

第 10.1.3 条 高压喷射注浆法的注浆形式分旋喷注浆、定喷注浆和摆喷注浆等三种类别。根据工程需要和机具设备条件,可分别采用单管法、二重管法和三重管法。加固形状可分为柱状、壁状和块状。

第 10.1.4 条 在制定高压喷射注浆方案时,应掌握场地的工程地质、水文地质和建筑结构设计资料等。对既有建筑尚应搜集竣工和现状观测资料、邻近建筑和地下埋设物等资料。

第 10.1.5 条 高压喷射注浆方案确定后,应进行现场试验、试验性施工或根据工程经验确定施工参数及工艺。

第二节 设计

第 10.2.1 条 用旋喷桩处理的地基,宜按复合地基设计。当用作挡土结构或桩基时,可按加固体独立承担荷载计算。

第 10.2.2 条 旋喷桩的强度和直径,应通过现场试验确定。当无现场试验资料时,亦可参照相似土质条件下其它旋喷工程的经验。

第 10.2.3 条 旋喷桩复合地基承载力标准值应通过现场复合地基载荷试验确定。也可按下式计算或结合当地情况及其土质相似工程的经验确定。

$$f_{sp,k} = \frac{1}{A_e} [R_k^d + \beta f_{s,k} (A_e - A_p)] \quad (10.2.3-1)$$

式中 $f_{sp,k}$ ——复合地基承载力标准值；

A_e ——1根桩承担的处理面积；

A_p ——桩的平均截面积；

$f_{s,k}$ ——桩间天然地基土承载力标准值；

β ——桩间天然地基土承载力折减系数，可根据试验确定，在无试验资料时，可取 0.2~0.6，当不考虑桩间软土的作用时，可取零；

R_k^d ——单桩竖向承载力标准值，可通过现场载荷试验确定。

单桩竖向承载力标准值也可按下列二式计算，取其中较小值：

$$R_k^d = \eta f_{cu,k} A_p \quad (10.2.3-2)$$

$$R_k^d = \pi \bar{d} \sum_{i=1}^n h_i q_{si} + A_p q_p \quad (10.2.3-3)$$

式中 $f_{cu,k}$ ——桩身试块(边长为 70.7mm 的立方体)的无侧限抗压强度平均值；

η ——强度折减系数，可取 0.35~0.50；

\bar{d} ——桩的平均直径；

n ——桩长范围内所划分的土层数；

h_i ——桩周第 i 层土的厚度；

q_{si} ——桩周第 i 层土的摩擦力标准值，可采用钻孔灌注桩侧壁摩擦力标准值；

q_p ——桩端天然地基土的承载力标准值，可按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 第三章第二节的有关规定确定。

第 10.2.4 条 桩长范围内复合土层以及下卧层地基变形值应按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 的有关规定计算。其中，复合土层的压缩模量可按下列式确定：

$$E_{ps} = \frac{E_s(A_e - A_p) + E_p A_p}{A_e} \quad (10.2.4)$$

式中 E_{ps} ——旋喷桩复合土层压缩模量；

E_s ——桩间土的压缩模量，可用天然地基土的压缩模量代替；

E_p ——桩体的压缩模量，可采用测定混凝土割线弹性模量的方法确定。

第 10.2.5 条 高压喷射注浆用于深基坑底部加固时，加固范围应满足按复合地基计算圆弧滑动或抵抗管涌的要求。

第 10.2.6 条 高压喷射注浆用于深基坑挡土时，应根据所承受的土压力进行相应的计算。

第 10.2.7 条 高压喷射注浆用作防水帷幕时，应根据防渗要求进行设计计算。

第三节 施 工

第 10.3.1 条 施工前应根据现场环境和地下埋设物的位置等情况，复核高压喷射注浆的设计孔位。

第 10.3.2 条 高压喷射注浆单管法及二重管法的高压水泥浆液流和三重管法高压水射流的压力宜大于 20MPa，三重管法使用的低压水泥浆液流压力宜大于 1MPa，气流压力宜取 0.7MPa，提升速度可取 0.1~0.25m/min。

第 10.3.3 条 高压喷射注浆的主要材料为水泥，对于无特殊要求的工程，宜采用 325 号或 425 号普通硅酸盐水泥。根据需要可加入适量的速凝、悬浮或防冻等外加剂及掺合料。所用外加剂和掺合料的数量，应通过试验确定。

第 10.3.4 条 水泥浆液的水灰比应按工程要求确定,可取 1.0~1.5,常用 1.0。

水泥在使用前需作质量鉴定。搅拌水泥浆所用的水,应符合《混凝土拌合用水标准》JGJ 63—89 的规定。

第 10.3.5 条 高压喷射注浆的施工工序为机具就位、贯入注浆管、喷射注浆、拔管及冲洗等。

第 10.3.6 条 钻机与高压注浆泵的距离不宜过远。钻孔的位置与设计位置的偏差不得大于 50mm。实际孔位、孔深和每个钻孔内的地下障碍物、洞穴、涌水、漏水及与工程地质报告不符等情况均应详细记录。

第 10.3.7 条 当注浆管贯入土中,喷嘴达到设计标高时,即可喷射注浆。在喷射注浆参数达到规定值后,随即分别按旋喷、定喷或摆喷的工艺要求,提升注浆管,由下而上喷射注浆。注浆管分段提升的搭接长度不得小于 100mm。

第 10.3.8 条 对需要扩大加固范围或提高强度的工程,可采取复喷措施,即先喷一遍清水再喷一遍或两遍水泥浆。

第 10.3.9 条 在高压喷射注浆过程中出现压力骤然下降、上升或大量冒浆等异常情况时,应查明产生的原因并及时采取措施。

第 10.3.10 条 当高压喷射注浆完毕,应迅速拔出注浆管。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程,必要时可在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施。

第 10.3.11 条 当处理既有建筑地基时,应采取速凝浆液或大间距隔孔旋喷和冒浆回灌等措施,以防旋喷过程中地基产生附加变形和地基与基础间出现脱空现象,影响被加固建筑及邻近建筑。同时,应对建筑物进行沉降观测。

第 10.3.12 条 施工中应如实记录高压喷射注浆的各项参数和出现的异常现象。

第四节 质量检验

第 10.4.1 条 高压喷射注浆可采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入、载荷试验或压水试验等方法进行检验。

第 10.4.2 条 检验点应布置在下列部位:

- 一、建筑荷载大的部位;
- 二、帷幕中心线上;
- 三、施工过程中出现异常情况的部位;
- 四、地质情况复杂,可能对高压喷射注浆质量产生影响的部位。

第 10.4.3 条 检验点的数量为施工注浆孔数的 2%~5%,对不足 20 孔的工程,至少应检验 2 个点。不合格者应进行补喷。

第 10.4.4 条 质量检验应在高压喷射注浆结束 4 周后进行。

第十一章 托 换 法

第一节 一般规定

第 11.1.1 条 托换法适用于既有建筑物的加固、增层或扩建,以及受修建地下工程、新建工程或深基坑开挖影响的既有建筑物的地基处理和基础加固。

第 11.1.2 条 在制定托换设计和施工方案前,应掌握以下资料:

- 一、现场的工程地质和水文地质资料,必要时应进行补充勘察工作;

二、被托换建筑物的结构设计、施工、竣工、沉降观测和损坏原因分析等资料；
三、场地内地下管线、邻近建筑物和自然环境等对既有建筑物在托换施工时或竣工后可能产生影响的调查资料。

第 11.1.3 条 根据既有建筑物的地基基础情况，可采用一种或几种托换法进行综合加固处理。

第 11.1.4 条 应加强托换时的施工监测和竣工后的沉降观测，并做好施工记录。

第二节 桩式托换法

第 11.2.1 条 桩式托换可分为坑式静压桩托换、锚杆静压桩托换、灌注桩托换和树根桩托换等。

桩式托换适用于软弱粘性土、松散砂土、饱和黄土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。

各种桩的单桩承载力可通过现场桩基载荷试验或按国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 有关规定确定。

第 11.2.2 条 坑式静压桩托换。

一、坑式静压桩托换适用于对条形基础的托换加固。

二、桩身可采用直径 150~250mm 的钢管或边长为 150~250mm 的预制钢筋混凝土方桩。每节桩长可按托换坑的净空高度和千斤顶的行程确定。

桩的平面布置应根据被托换加固的墙体形式及荷载大小确定，每个托换坑的位置应避开门窗等墙体薄弱部位。

三、施工时先在贴近被托换加固建筑物的外侧或内侧开挖一个竖坑，对坑壁不能直立的砂土和软弱土等地基，要进行坑壁支护，并在基础底面下开挖横向导坑。如坑内有水时，应在不扰动地基土的条件下降水后才能施工。

在导坑内放入第一节桩，并安置千斤顶及测力传感器，再驱动千斤顶压桩。每压入一节桩后，再接上一节桩。对钢管桩，接头可采用焊接；对钢筋混凝土桩，可采用硫磺胶泥或焊接接桩。

施工中应随时校正桩的垂直度，量测并记录压桩力和相应的沉降值。桩尖应压入到压桩力达 1.5 倍单桩竖向承载力标准值相应深度的土层内。

到达设计深度后，拆除千斤顶。对钢管桩，根据工程要求可在管内浇灌混凝土。最后应用混凝土将桩与原有基础浇注成整体。

第 11.2.3 条 锚杆静压桩托换。

一、锚杆静压桩托换适用于既有建筑物和新建建筑物的地基处理和基础加固。

二、锚杆静压桩的桩身可采用混凝土强度等级为 C30 的 200mm×200mm 或 300mm×300mm 预制钢筋混凝土方桩，每节长度为 1~3m，由施工净空高度确定，也可选用钢管或钢轨做桩身。接头可采用焊接或硫磺胶泥等。

三、当设计需要对桩施加预加压应力时，应在不卸载条件下立即将桩与基础锚固，在封桩混凝土达到设计强度后，才能拆除压力架和千斤顶。当不需要对桩施加预应力时，在达到设计深度和压桩力后，即可拆除压桩架，并进行封桩处理。桩与基础锚固前应将桩头进行截短和凿毛处理。对压桩孔的孔壁应予凿毛，并清除杂物，再浇注 C30 微膨胀早强混凝土。

第 11.2.4 条 灌注桩托换。

一、灌注桩托换适用于具有沉桩设备所需净空条件的既有建筑物的托换加固。

各种托换灌注桩的适用条件应符合下列规定：

1. 螺旋钻孔灌注桩适用于均质粘性土地基和地下水位较低的地质条件；
2. 潜水钻孔灌注桩适用于粘性土、淤泥、淤泥质土和砂土地基；
3. 人工挖孔灌注桩适用于地下水位以上或土质透水性小的地质条件。当孔壁不能直立时，应加设砖砌护壁或混凝土护壁以防塌孔。

二、灌注桩施工完毕后，应在桩顶用现浇托梁等支承建筑物的柱或墙。

第 11.2.5 条 树根桩托换。

一、树根桩适用于既有建筑物的修复和加层、古建筑整修、地下铁道穿越、桥梁工程等各类地基的处理与基础加固,以及增强边坡的稳定性等。

二、施工时可根据工程要求和地层情况,采用不同钻头、桩孔倾斜角和钻进时的护孔方法。

树根桩穿过既有建筑物基础时,应凿开基础,将主钢筋与树根桩主筋焊接,并应将基础顶面上的混凝土凿毛,浇注一层大于原基础强度的混凝土。采用斜向树根桩时,应采取防止钢筋笼端部插入孔壁土体中的措施。

注浆宜分两次进行,第一次注浆压力可取 0.3~0.5MPa,第二次注浆压力可取 1.5~2.0MPa,并应在第一次注浆的浆液达到初凝后及终凝前进行第二次注浆。

第三节 灌浆托换法

第 11.3.1 条 灌浆托换法适用于既有建筑物的地基处理。

第 11.3.2 条 水泥灌浆法。

一、水泥灌浆法适用于砂土和碎石土中的渗透灌浆,也适用于粘性土、填土和黄土中的压密灌浆与劈裂灌浆。

二、水泥应选用普通硅酸盐水泥或矿渣水泥,其标号不低于 325 号。水泥浆的水灰比可取 1。

为防止水泥浆被地下水冲失,可在水泥浆中掺入相当水泥重量 1%~2% 的速凝剂。常用的速凝剂有水玻璃和氯化钙等。

第 11.3.3 条 硅化法。

硅化法可分双液硅化法和单液硅化法等。当地基土的渗透系数为 0.1~80.0m/d 的粗颗粒土时,可采用双液硅化法(水玻璃、氯化钙);当地基土的渗透系数为 0.1~2.0m/d 的湿陷性黄土时,可采用单液硅化法(水玻璃);对自重湿陷性黄土,宜采用无压力单液硅化法,以减少施工时的附加下沉。

第 11.3.4 条 碱液法。

一、碱液(氢氧化钠溶液)法适用于处理既有建筑物的非自重湿陷性黄土地基。

二、施工时用洛阳铲或用钢管打到预定处理深度,孔径为 50~70mm,孔中填入粒径为 20~40mm 的小石子至注浆管下端的标高处,将 $\phi 20\text{mm}$ 注浆管插入孔中,管子四周填入 5~20mm 的小石子,高度约 200~300mm,再用素土分层填实到地表。

灌注桶中的溶液可用蒸气管加热或用火在桶底加热至 80~100℃。溶液经胶皮管与注浆管自流渗入灌注孔周围形成加固柱体。氢氧化钠的用量可采用加固土体干土重量的 3% 左右。溶液浓度可采用 100g/l。

在基础两侧或周边应各布置一排灌注孔,孔距可根据处理的要求确定。当要求将加固体连成一片时,孔距可取 0.7~0.8m。

为减少施工时的附加下沉,各孔应间隔灌浆,合理安排灌注顺序,控制施工速度,防止浸湿区连成一片。

第四节 基础加固法

第 11.4.1 条 基础加固法适用于建筑物基础支承能力不足的既有建筑物的基础加固。

第 11.4.2 条 当基础由于机械损伤,不均匀沉降和冻胀等原因引起开裂或损坏时,可采用灌浆法加固基础。浆液可采用水泥浆或环氧树脂等。

施工时可在基础中钻孔或打孔。孔径应比注浆管的直径大 2~3mm,在孔内放置直径 25mm 的注浆管。孔距可取 0.5~1.0m。对单独基础每边打孔不应少于 2 个。灌浆压力可取 0.2~0.6MPa。当注浆管提升至地表下 1.0~1.5m 深度范围内而浆液不再下沉时,可停止灌浆。灌浆的有效直径约为 0.6~

1.2m。施工应沿基础纵向分段进行,每段长度可取 2.0~2.5m。

第 11.4.3 条 当既有建筑物的基础产生裂缝或基底面积不足时,可用混凝土或钢筋混凝土套加大基础。

基础可沿单向或双向加宽。条形基础加宽时,可将基础划分成 1.5~2.0m 长的区段分别进行加固。

当采用混凝土套加固时,基础每边可加宽 200~300mm;当采用钢筋混凝土套加固时,基础每边可加宽 300mm 以上。加宽部分钢筋应与基础内主钢筋连接。在加宽部分的地基上,应铺设厚度为 100mm 的压实碎石层或砂砾层。

灌注混凝土前应将原基础凿毛和刷洗干净,并隔一定高度插入钢筋或角钢。

第 11.4.4 条 当既有建筑物需要增层或基础需要加固,而地基不能满足变形和强度要求时,可采用坑式托换法增大基础的埋置深度,使基础支承在较好的土层上。

坑式托换施工可按下列步骤进行:

一、在贴近被托换的基础前侧,开挖一个竖坑,竖坑底面可比基础底面深 1.5m。

二、将竖坑横向扩展到基础底面下,并自基底向下开挖到要求的持力层标高。

三、采用现浇混凝土浇注基础下的坑体,在距基础底面 80mm 处停止浇注,养护 1d 后用干稠水泥砂浆填入上述空隙内,并用锤敲击短木,充分挤实填入的砂浆。可采用早强水泥以加快施工速度。

四、挖坑和浇注混凝土宜分批分段进行。

第 11.4.5 条 当对地基或基础进行局部或单独加固不能满足要求时,可将原单独或条形基础连成整体式的筏板基础,或将原片筏基础改成具有较大刚度的箱形基础,也可设置结构连接体构成组合结构,以增加结构刚度,克服不均匀沉降。

附录一 复合地基载荷试验要点

一、单桩复合地基载荷试验的压板可用圆形或方形,面积为一根桩承担的处理面积;多桩复合地基载荷试验的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。

二、压板底高程应与基础底面设计高程相同,压板下宜设中粗砂找平层。

三、加荷等级可分为 8~12 级,总加载量不宜少于设计要求值的两倍。

四、每加一级荷载 Q ,在加荷前后应各读记压板沉降 s 一次,以后每半小时读记一次。当一小时内沉降增量小于 0.1mm 时即可加下一级荷载;对饱和粘性土地基中的振冲桩或砂石桩,一小时内沉降增量小于 0.25mm 时即可加下一级荷载。

五、当出现下列现象之一时,可终止试验:

1. 沉降急骤增大、土被挤出或压板周围出现明显的裂缝;
2. 累计的沉降量已大于压板宽度或直径的 10%;
3. 总加载量已为设计要求值的两倍以上。

六、卸荷可分三级等量进行,每卸一级,读记回弹量,直至变形稳定。

七、复合地基承载力基本值的确定:

1. 当 $Q \sim s$ 曲线上有明显的比例极限时,可取该比例极限所对应的荷载;
2. 当极限荷载能确定,而其值又小于对应比例极限荷载值的 1.5 倍时,可取极限荷载的一半;
3. 按相对变形值确定:

(1)振冲桩和砂石桩复合地基。对以粘性土为主的地基,可取 s/b 或 $s/d=0.02$ 所对应的荷载(b 和 d 分别为压板宽度和直径);对以粉土或砂土为主的地基,可取 s/b 或 $s/d=0.015$ 所对应的荷载。

(2)土挤密桩复合地基,可取 s/b 或 $s/d=0.010 \sim 0.015$ 所对应的荷载;对灰土挤密桩复合地基,可取 s/b 或 $s/d=0.008$ 所对应的荷载。

(3)深层搅拌桩或旋喷桩复合地基,可取 s/b 或 $s/d=0.004\sim 0.010$ 所对应的荷载。

八、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标准值。

附录二 本规范用词说明

一、为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词,说明如下:

1. 表示很严格,非这样作不可的:

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作的:

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作的:

正面词采用“宜”或“可”;反面词采用“不宜”。

二、条文中指明必须按其它有关标准和规范执行时的写法为“应按……执行”或“应符合……的要求(或规定)”;非必须按所指定的标准和规范执行的写法为“可参照……的要求(或规定)”。

附加说明

本规范主编单位、参加单位和主要起草人名单

主编单位: 中国建筑科学研究院

参加单位: 浙江大学

南京水利科学研究院

陕西省建筑科学研究设计院

铁道部科学研究院

冶金部建筑研究总院

同济大学

北方交通大学

主要起草人: 张永钧 平涌潮(以下按姓名笔划为序)

王吉望 叶书麟 朱庆林 杨灿文 杨鸿贵 罗宇生 周国钧 唐业清 盛崇文

潘秋元