

建筑施工实用技术丛书

地基与基础工程 施工技术

陈跃庆 编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



建筑施工实用技术丛书

地基与基础工程施工技术

陈跃庆 编



机械工业出版社

本书为“建筑施工实用技术丛书”之一，内容包括：地基承载力、地基处理与加固技术、浅基础施工、桩基础施工及检测等。

本书按最新颁布的设计规范、工程施工及验收规范编写，内容力求简明、实用、新颖，反映国内外先进技术水平，总结近年工程实践中积累起来的新技术、新材料、新工艺，并附必要的插图，使之通俗易懂，便于读者迅速查阅。文中涉及比例时，未作特殊说明时均为质量比。

本丛书可供从事工程施工、监理、质量监督和建设管理的技术人员使用，也可供高等学校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

地基与基础工程施工技术/陈跃庆编. —北京: 机械工业出版社, 2003. 8
(建筑施工实用技术丛书)
ISBN 7-111-12762-5

I. 地… II. 陈… III. ①地基—工程施工—施工技术②基础(工程)—工程施工—施工技术 IV. TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 067013 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 荆宏智 责任编辑: 王春雨 版式设计: 张世琴
责任校对: 姚培新 封面设计: 姚毅 责任印制: 闫焱
北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行
2003 年 9 月第 1 版 · 第 1 次印刷
787mm×1092mm $1/16$ · 16.25 印张 · 401 千字
0 001—4 000 册
定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

建筑施工实用技术丛书

编审委员会名单

主 任：李惠强

副主任：吴贤国

委 员：(按姓氏笔画排列)

王望珍	仲景冰	陈悦华	陈跃庆
余群舟	曾文杰	薛莉敏	

前 言

近十年来，我国建设事业蓬勃发展，全国各地兴建了大量现代化建筑，促进了建筑施工领域新技术、新工艺的不断发展进步。与此同时，许多新的施工验收规范、技术规程及有关定额已颁布执行。为了能够更好地应用新规范，推广新技术，解决新问题，编写了这套“建筑施工实用技术丛书”，以满足当前工程施工实际的迫切需要。

“建筑施工实用技术丛书”根据我国最新的有关规范、规程，较全面系统地介绍了建筑工程中各分部分项工程的施工技术和施工工艺方法，注重总结和介绍近年来工程实践中广泛应用的新技术，新工艺、新材料、新设备，是广大工程技术人员解决工程实际问题、应用新技术和新工艺的工具书。本丛书可供从事工程施工、监理、质量监督和建设管理的技术人员及高校师生使用。

本丛书分为六分册，即《土石方工程施工技术》、《地基与基础工程施工技术》、《建筑结构主体工程施工技术》、《建筑屋面与地下工程防水施工技术》、《建筑装饰工程施工技术》以及《高层建筑施工新技术》。

在本丛书的编写过程中，参阅了一些资料和书籍，并得到出版社领导和有关人员的大力支持，在此表示衷心感谢！由于我们水平有限，加上时间仓促，书中缺点在所难免，恳切希望读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言

第 1 章 地基承载力	1	2.8 高压喷射注浆法	53
1.1 基本要求	1	2.9 托换法	56
1.2 地基承载力的确定	2	2.9.1 托换法及其分类	56
1.2.1 载荷试验确定地基承载力的特征值	2	2.9.2 桩式托换法	59
1.2.2 根据土的抗剪强度指标确定地基承载力的特征值	3	2.9.3 灌浆托换法	64
1.2.3 岩石地基承载力特征值的确定	4	2.9.4 基础加固法	68
1.3 地基变形允许值	6	2.10 地基工程质量验收	72
第 2 章 地基加固处理技术	7	2.10.1 一般要求	72
2.1 换填法	7	2.10.2 灰土地基	73
2.1.1 换填垫层设计	7	2.10.3 砂和砂石地基	73
2.1.2 换填垫层施工方法	9	2.10.4 土工合成材料地基	74
2.1.3 素土垫层	11	2.10.5 粉煤灰地基	74
2.1.4 灰土垫层	12	2.10.6 强夯地基	74
2.1.5 砂和砂砾石垫层	13	2.10.7 注浆地基	75
2.1.6 碎石垫层	14	2.10.8 预压地基	76
2.1.7 废渣垫层	15	2.10.9 振冲地基	76
2.2 预压法	16	2.10.10 高压喷射注浆地基	77
2.2.1 堆载预压法	17	2.10.11 水泥土搅拌桩地基	78
2.2.2 砂井堆载预压法	18	2.10.12 土和灰土挤密桩复合地基	79
2.2.3 袋装砂井堆载预压法	20	2.10.13 水泥粉煤灰碎石桩复合地基	79
2.2.4 塑料排水板堆载预压法	22	2.10.14 夯实水泥土桩复合地基	80
2.2.5 真空预压法	26	2.10.15 砂桩地基	80
2.3 夯实法	28	第 3 章 地基特殊问题的处理	81
2.3.1 重锤夯实法	28	3.1 岩溶地基的处理	81
2.3.2 强夯法	31	3.1.1 石芽(石笋)、石林	81
2.4 振冲法	35	3.1.2 溶洞	82
2.4.1 振冲置换法	36	3.1.3 溶沟、溶槽	83
2.4.2 振冲密实法	39	3.1.4 土洞	84
2.5 土或灰土挤密桩法	40	3.2 局部地基的处理	85
2.6 砂石桩法	44	3.2.1 古墓、坑穴、地下障碍物	85
2.7 深层搅拌法	48	3.2.2 松土坑	86
		3.2.3 土井、砖井	87
		3.2.4 局部软硬地基	88
		3.3 地基特殊问题的处理	89

3.3.1 故河道、湖泊	89	5.2.3 施工现场准备	136
3.3.2 橡皮土	89	5.3 预制桩施工	137
3.3.3 砂土液化	90	5.3.1 施工机械设备	137
3.4 特殊土地基的处理	91	5.3.2 钢筋混凝土桩的制作	153
3.4.1 湿陷性黄土	91	5.3.3 钢筋混凝土预制桩的起吊、运 输和堆放	154
3.4.2 膨胀土	94	5.3.4 打(沉)桩施工	155
3.4.3 软土	98	5.3.5 植桩法施工	160
3.4.4 红粘土	100	5.3.6 打(沉)桩的质量通病与防治 措施	161
3.4.5 冻土	101	5.4 钢桩	164
3.4.6 填土	103	5.4.1 钢管桩	164
第4章 浅基础施工	104	5.4.2 H形钢桩	169
4.1 概述	104	5.5 灌注桩施工	172
4.1.1 浅基础类型及其适用条件	104	5.5.1 施工准备	172
4.1.2 浅基础的施工准备	106	5.5.2 一般规定	172
4.2 无筋扩展基础施工	106	5.5.3 泥浆护壁钻(冲)孔灌注桩	175
4.2.1 无筋扩展基础的构造	106	5.5.4 沉管灌注桩和夯压成形灌注 桩	194
4.2.2 砖基础	107	5.5.5 干作业成孔灌注桩	204
4.2.3 毛石基础	110	5.6 承台	218
4.2.4 灰土和三合土基础	112	5.6.1 承台的构造	218
4.2.5 混凝土基础和毛石混凝土	113	5.6.2 承台的施工	219
4.3 钢筋混凝土基础施工	115	5.7 桩基础工程质量验收	219
4.3.1 钢筋混凝土独立基础	115	5.7.1 一般规定	219
4.3.2 钢筋混凝土条形基础	119	5.7.2 静力压桩	221
4.3.3 筏板基础	121	5.7.3 先张法预应力管桩	221
4.3.4 箱形基础	123	5.7.4 混凝土预制桩	222
4.3.5 钢筋混凝土基础的质量通病 与防治措施	126	5.7.5 钢桩	223
第5章 桩基础施工	129	5.7.6 混凝土灌注桩	225
5.1 桩的分类与选型	129	5.8 桩的检测——静载试验法	226
5.1.1 桩的分类	129	5.8.1 单桩竖向静载试验	226
5.1.2 桩的选型	131	5.8.2 单桩水平静载试验	229
5.1.3 桩的布置	134	5.9 桩的检测——动测法	231
5.2 桩基础施工准备	134	5.9.1 低应变动测法	231
5.2.1 调查与收集资料	134	5.9.2 高应变动测法	244
5.2.2 编制桩基础工程施工组织设计 方案	135	参考文献	252

第 1 章 地基承载力

1.1 基本要求

地基承载力特性指标的代表值是地基承载力特征值。地基承载力特征值是指由载荷试验地基土压力变形关系线性变形段内不超过比例界限点的地基压力值，实际即为地基承载力的允许值。

确定地基承载力应以同时满足极限稳定和不超过容许变形为原则。根据建筑物地基基础设计等级及长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度，按照《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)》确定地基承载力，应结合当地经验按下列规定综合考虑：

- 1) 所有建筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定。
- 2) 设计等级为甲级、乙级的建筑物，均应按地基变形设计。
- 3) 表 1-1 所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不作变形验算，如有下列情况之一时，仍应作变形验算：
 - ①地基承载特征值小于 130kPa，且体形复杂的建筑。
 - ②在基础上及其附近有地基堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降时。
 - ③软弱地基上的建筑物存在偏心荷载时。

表 1-1 可不作地基变形计算的丙级建筑物范围

地基主要 受力层 情况	地基承载力标准值			$60\leqslant f_k$	$80\leqslant f_k$	$100\leqslant f_k$	$130\leqslant f_k$	$160\leqslant f_k$	$200\leqslant f_k$
	f_k/kPa			<80	<100	<130	<160	<200	<300
	各土层坡度（%）			$\leqslant 5$	$\leqslant 5$	$\leqslant 10$	$\leqslant 10$	$\leqslant 10$	
建 筑 类 型	砌体承重结构、框架结构（层数）			$\leqslant 5$	$\leqslant 5$	$\leqslant 5$	$\leqslant 6$	$\leqslant 6$	$\leqslant 7$
	单层排 架结构 （6m柱 距）	单跨	吊车额定起重量/t	5~10	10~15	15~20	20~30	30~50	50~100
			厂房跨度/m	$\leqslant 12$	$\leqslant 18$	$\leqslant 24$	$\leqslant 30$	$\leqslant 30$	$\leqslant 30$
		多跨	吊车额定起重量/t	3~5	5~10	10~15	15~20	20~30	30~75
			厂房跨度/m	$\leqslant 12$	$\leqslant 18$	$\leqslant 24$	$\leqslant 30$	$\leqslant 30$	$\leqslant 30$
	烟囱		高度/m	$\leqslant 30$	$\leqslant 40$	$\leqslant 50$	$\leqslant 75$		$\leqslant 100$
	水塔		高度/m	$\leqslant 15$	$\leqslant 20$	$\leqslant 30$	$\leqslant 30$		$\leqslant 30$
			容积/ m^3	$\leqslant 50$	50~100	100~200	200~300	300~500	500~1000

- 注：1. 地基主要受力层系指条形基础底面下深度为 $3b$ (b 为基础底面宽度)，独立基础下为 $1.5b$ ，且厚度均不小于 5m 的范围 (两层以下一般的民用建筑除外)。
2. 地基主要受力层中如有承载力标准值小于 130kPa 的土层时，表中砌体承重结构的设计，应符合《GB50007—2002 规范》第七章的有关要求。
3. 表中砌体承重结构和框架结构均指民用建筑；对于工业建筑可按厂房高度、荷载情况折合成与其相当的民用建筑层数。
4. 表中吊车额定起重量、烟囱高度和水塔容积的数量系指最大值。

④相邻建筑距离过近，可能发生倾斜时。

⑤地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，其自重固结未完成时。

4) 对经常受水平荷载作用的高层建筑、高耸结构和挡土墙等，以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性。

5) 基坑工程应进行稳定性验算。

6) 当地下水埋藏较浅，建筑地下室或地下构筑物存在上浮问题时，还应进行抗浮验算。

1.2 地基承载力的确定

地基承载力特征值可由载荷试验、原位测试（静力触探、动力触探、标准贯入试验）、公式计算、并结合工程实践经验等方法综合确定。当地基基础设计等级为甲级和乙级时，应结合室内试验成果综合分析。

1.2.1 载荷试验确定地基承载力的特征值

载荷试验包括浅层平板载荷试验和深层平板载荷试验。浅层平板载荷试验适用于浅层地基，深层平板载荷试验适用于深层地基。

1. 根据浅层平板载荷试验确定

地基土浅层平板载荷试验可用于确定浅部地基土层的承压板下应力主要影响范围内的承载力。浅层平板载荷试验要点如下。

1) 承压板面积不应小于 0.25m^2 ，对于软土不应小于 0.5m^2 。

2) 试验基坑宽度不应小于承压板宽度或直径的三倍。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 。

3) 加荷分级不应少于 8 级。最大加载量不应小于设计要求的两倍。

4) 每级加载后，按间隔 10、10、10、15、15min，以后为每隔半小时测读一次沉降量，当在连续两小时内，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。

5) 当出现下列情况之一时，即可终止加载。

①承压板周围的土明显地侧向挤出。

②沉降 s 急骤增大，荷载—沉降（ $p-s$ ）曲线出现陡降段。

③在某一荷载下，24 小时内沉降速率不能达到稳定。

④沉降量与承压板宽度或直径之比大于或等于 0.06。

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。

6) 承载力特征值的确定应符合下列规定：

①当 $p-s$ 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当不能按上述两条要求确定时，当压板面积为 $0.25 \sim 0.50\text{m}^2$ ，可取 $s/b = 0.01 \sim 0.015$ 所对应的荷载，但其值不应大于最大加载量的一半。

7) 同一土层参加统计的试验点不应少于三点，当试验实测值的极差不超过其平均值的 30% 时，取此平均值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} 。

2. 根据深层平板载荷试验确定

深层平板载荷试验可适用于确定深部地基土层及大直径桩桩端土层在承压板下应力主要影响范围内的承载力。深层平板载荷试验要点如下：

1) 深层平板载荷试验的承压板采用直径为 0.8m 的刚性板, 紧靠承压板周围外侧的土层高度应不少于 800mm。

2) 加荷等级可按预估极限承载力的 1/10~1/15 分级施加。

3) 每级加荷后, 每一个小时内按间隔 10、10、10、15、15min, 以后为每隔半小时测读一次沉降。当在连续两小时内, 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。

4) 当出现下列情况之一时, 可终止加载:

①沉降 s 急骤增大, 荷载—沉降 ($p-s$) 曲线上有可判定极限承载力的陡降段, 且沉降量超过 $0.04d$ (d 为承压板直径)。

②在某级荷载下, 24 小时内沉降速率不能达到稳定。

③本级沉降量大于前一级沉降量的 5 倍。

④当持力层土层坚硬, 沉降量很小时, 最大加载量不小于设计要求的 2 倍。

5) 承载力特征值的确定应符合下列规定:

①当 $p-s$ 曲线上有比例界限时, 取该比例界限对应的荷载值。

②满足前三条终止加载条件之一时, 其对应的前一级荷载定为极限荷载, 当该值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不能按上述两条要求确定时, 可取 $s/d=0.01\sim0.015$ 所对应的荷载值, 但其值不应大于最大加载量的一半。

6) 同一土层参加统计的试验点不应少于三点, 当试验实测值的极差不超过平均值的 30% 时, 取此平均值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} 。

3. 载荷试验地基承载力特征值的修正

当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 时, 从载荷试验或其他原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值, 尚应按下式修正:

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \quad (1-1)$$

式中 f_a ——修正后的地基承载力特征值;

f_{ak} ——地基承载力特征值;

η_b 、 η_d ——基础宽度和埋深的地基承载力修正系数, 按基底下土的类别查表 1-2 取值;

γ ——基础底面以下土的重度, 地下水位以下取浮重度;

b ——基础底面宽度 (m), 当基宽小于 3m 按 3m 取值, 大于 6m 按 6m 取值;

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度, 地下水位以下取浮重度;

d ——基础埋置深度 (m), 一般自室外地面标高算起。在填方整平地区, 可自填土地面标高算起, 但填土在上部结构施工后完成时, 应从天然地面标高算起。对于地下室, 如采用箱形基础或筏基时, 基础埋置深度自室外地面标高算起; 当采用独立基础或条形基础时, 应从室内地面标高算起。

1.2.2 根据土的抗剪强度指标确定地基承载力特征值

当偏心距 e 小于或等于 0.033 倍基础底面宽度时, 通过试验和统计得到土的抗剪强度指标标准值后, 根据土的抗剪强度指标确定地基承载力特征值可按下式计算, 并应满足变形要求:

$$f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma d + M_c c_k \tag{1-2}$$

式中 f_a ——由上的抗剪强度指标确定的地基承载力特征值；
 M_b 、 M_d 、 M_c ——承载力系数，按表 1-3 取值；
 b ——基础底面宽度，大于 6m 时，按 6m 取值；对于砂土，小于 3m 时，按 3m 取值；
 c_k ——基底下—倍短边宽深度内土的粘聚力标准值。

其他符号意义同前。

上式中的承载力系数 M_b 、 M_d 、 M_c 是以控制塑性区最大深度为基底宽度的 1/4 的地基临界压力的理论公式确定的，理论计算的假设条件为地基承受均布压力，当荷载偏心距过大时，地基反力就会很不均匀，使上述理论计算的结果有较大误差。因而，应当注意，上述公式仅适用于荷载偏心距 $e \leq b/30$ 的情况（其中 b 为基础底面宽度）。

表 1-2 承载力修正系数

土 的 类 别		η_b	η_d
淤泥和淤泥质土		0	1.0
人工填土 e 或 I_L 大于等于 0.85 的粘土		0	1.0
红粘土	含水比 $a_w > 0.8$	0	1.2
	含水比 $a_w \leq 0.8$	0.15	1.4
大面积压实填土	压实系数大于 0.95、粘粒含量小于 10% 的粉土	0	1.5
	最大干密度大于 2.1t/m ³ 的级配砂石	0	2.0
粉土	粘粒含量不小于 10% 的粉土	0.3	1.5
	粘粒含量小于 10% 的粉土	0.5	2.0
e 或 I_L 均小于 0.85 的粘性土		0.3	1.6
粉砂、细砂（不包括很湿与饱和时的稍密状态）		2.0	3.0
		3.0	4.4
中砂、粗砂、砾砂和碎石土			

注：1. 强风化和全风化的岩石可参照所风化成的相应土类取值，其他状态下的岩石不修正。
2. 地基承载力特征值按本深层平板载荷试验确定时 η_d 取 0。

表 1-3 承载力系数 M_b 、 M_d 、 M_c

土的内摩擦角标准值 φ_k (°)	M_b	M_d	M_c
0	0	1.00	3.14
2	0.03	1.12	3.32
4	0.06	1.25	3.51
6	0.10	1.39	3.71
8	0.14	1.55	3.93
10	0.18	1.73	4.17
12	0.23	1.94	4.42
14	0.29	2.17	4.69
16	0.36	2.43	5.00
18	0.43	2.72	5.31
20	0.51	3.06	5.66
22	0.61	3.44	6.04
24	0.80	3.87	6.45
26	1.10	4.37	6.90
28	1.40	4.93	7.40
30	1.90	5.59	7.95
32	2.60	6.35	8.55
34	3.40	7.21	9.22
36	4.20	8.25	9.97
38	5.00	9.44	10.80
40	5.80	10.84	11.73

注： φ_k ——基底下—倍短边宽深度内土的内摩擦角标准值。

1.2.3 岩石地基承载力特征值的确定

岩石地基承载力特征值，可按岩基载荷试验方法确定。对完整、较完整和较破碎的岩石地基承载力特征值，可根据室内饱和单轴抗压强度计算。对破碎、极破碎的岩石地基承载力特征值，可根据地区经验取值，无地区经验时，可根据平板载荷试验确定。

1. 根据岩基载荷试验确定

岩基载荷试验适用于确定完整、较完整、较破碎岩基作为天然地基或桩基础持力层时的承载力。岩基载荷试验要点如下：

1) 采用圆形刚性承压板, 直径为 300mm。当岩石埋藏深度较大时, 可采用钢筋混凝土桩, 但桩周需采取措施以消除桩身与土之间的摩擦力。

2) 测量系统的初始稳定读数观测: 加压前, 每隔 10min 读数一次, 连续三次读数不变可开始试验。

3) 加载方式: 单循环加载, 荷载逐级递增直到破坏, 然后分级卸载。

4) 荷载分级: 第一级加载值为预估设计荷载的 1/5, 以后每级为 1/10。

5) 沉降量测读: 加载后立即读数, 以后每 10min 读数一次。

6) 稳定标准: 连续三次读数之差均不大于 0.01mm。

7) 终止加载条件: 当出现下述现象之一时, 即可终止加载:

①沉降量读数不断变化, 在 24h 内, 沉降速率有增大的趋势;

②压力加不上或勉强加上而不能保持稳定。

若限于加载能力, 荷载也应增加到不少于设计要求的两倍。

8) 卸载观测: 每级卸载为加载时的两倍, 如为奇数, 第一级可为三倍。每级卸载后, 隔 10min 测读一次, 测读三次后可卸下一级荷载。全部卸载后, 当测读到半小时回弹量小于 0.01mm 时, 即认为稳定。

9) 岩石地基承载力的确定

①对应于 $p-s$ 曲线上起始直线段的终点为比例界限。符合终止加载条件的前一级荷载为极限荷载。将极限荷载除以 3 的安全系数, 所得值与对应于比例界限的荷载相比较, 取小值;

②每个场地载荷试验的数量不应少于 3 个, 取最小值作为岩石地基承载力特征值。

③岩石地基承载力不进行深宽修正。

2. 根据饱和单轴抗压强度确定

(1) 岩石饱和单轴抗压强度标准值确定 根据室内岩石单轴抗压强度试验确定岩石饱和单轴抗压强度标准值, 试验要点如下:

1) 用钻孔的岩心或坑、槽探中采取的岩块作试料。

2) 岩样尺寸一般为 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$, 数量不应少于 6 个, 进行饱和处理。

3) 在压力机上以每秒 500~800kPa 的加载速度加载, 直到试样被破坏为止, 记下最大加载值, 做好试验前后的试样描述。

4) 根据参加统计的一组试样的试验值计算其平均值、标准差、变异系数, 取岩石饱和单轴抗压强度的标准值为:

$$f_{rk} = \psi f_{rm} \quad (1-3)$$

$$\psi = 1 - \left(\frac{1.74}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta$$

式中 f_{rm} ——岩石饱和单轴抗压强度平均值;

f_{rk} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值;

ψ ——统计修正系数;

n ——试样个数;

δ ——变异系数。

(2) 岩石地基承载力特征值确定 对完整、较完整和较破碎的岩石地基承载力特征值,

根据室内饱和单轴抗压强度按下式计算：

$$f_a = \varphi_r f_{rk} \quad (1-4)$$

式中 f_a ——岩石地基承载力特征值 (kPa)；

f_{rk} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值 (kPa)；

φ_r ——折减系数。根据岩体完整程度以及结构面的间距、宽度、形状和组合，由地区经验确定。无经验时，对完整岩体可取 0.5；对较完整岩体可取 0.2~0.5；对较破碎岩体可取 0.1~0.2。

1) 上述折减系数值未考虑施工因素及建筑物使用后风化作用的继续。

2) 对于粘土质岩，在确保施工期及使用期不致遭水浸泡时，也可采用天然湿度的试样，不进行饱和处理。

1.3 地基变形允许值

建筑物的地基变形允许值可按表 1-4 采用。对表中未包括的其他建筑物的地基变形允许值，可根据上部结构对地基变形的适应能力和使用上的要求确定。

表 1-4 建筑物的地基变形允许值

变 形 特 征		地 基 土 类 别	
		中、低压缩性土	高压缩性土
砌体承重结构基础的局部倾斜		0.002	0.003
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差			
(1) 框架结构		0.002/l	0.003/l
(2) 砖石墙填充的边排柱		0.0007/l	0.001/l
(3) 当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构		0.005/l	0.005/l
单层排架结构 (柱距为 6m) 柱基的沉降量/mm		(120)	200
桥式吊车轨面的倾斜 (按不调整轨道考虑)			
纵向			0.004
横向			0.003
多层和高层建筑基础的倾斜			
	$H_g \leq 24\text{m}$		0.004
	$24\text{m} < H_g \leq 60\text{m}$		0.003
	$60\text{m} < H_g \leq 100\text{m}$		0.0025
	$H_g > 100\text{m}$		0.002
体型简单的高层建筑地基的平均沉降量/mm			200
高耸结构基础的倾斜			
	$H_g \leq 20\text{m}$		0.008
	$20\text{m} < H_g \leq 50\text{m}$		0.006
	$50\text{m} < H_g \leq 100\text{m}$		0.005
	$100\text{m} < H_g \leq 150\text{m}$		0.004
	$150\text{m} < H_g \leq 200\text{m}$		0.003
	$200\text{m} < H_g \leq 250\text{m}$		0.002
高耸结构基础的沉降量/mm			
	$H_g \leq 100\text{m}$		400
	$100\text{m} < H_g \leq 200\text{m}$		300
	$200\text{m} < H_g \leq 250\text{m}$		200

注：1. 本表数值为建筑物地基实际最终变形允许值；

2. 有括号者仅适用于中压缩性土；

3. l 为相邻柱基的中心距离 (mm)； H_g 为自室外地面起算的建筑物高度 (m)；

4. 倾斜是指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值；

5. 局部倾斜指砌体承重结构沿纵向 6~10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值。

第2章 地基加固处理技术

当软土地基不能满足承载力或稳定要求时,对地基加固是有效的措施。加固的方法很多,大体上可分为两类。第一类方法的原理是减少或减小土体中的孔隙,使土颗粒尽量靠拢,从而减少压缩性,提高强度,如换填法、预压法、夯实法、振动水冲法、挤密桩法、砂石桩法等。第二类方法的原理是用各种胶结剂把土颗粒胶结起来,如深层水泥搅拌法、旋喷法、灌浆法等。

软土的加固方法很多,而且尚在发展,各种方法都有它的适用范围和局限性,选用何种方法,必须进行技术经济综合考虑。在选择地基处理方案前,应搜集详细的工程地质、水文地质及地基基础设计资料;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;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。

地基处理方法的确定宜按下列步骤进行:

1) 根据结构类型、荷载大小及使用要求,结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、环境情况和对邻近建筑的影响等因素,初步选定几种可供考虑的地基处理方案;

2) 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;

3) 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。

2.1 换填法

换填法是将基础下面一定厚度的软弱土层挖除,分层换以中砂、粗砂、角(圆)砾、碎(卵)石、灰土、粘性土及其他性能稳定、无侵蚀性的材料,并分层夯实或振实至要求的密实度。当软弱土地基的承载力和变形满足不了建筑物的要求,而软弱土层的厚度又不很大时,采用换填法能取得较好的效果。换填法常用于荷载不大的建筑、地坪、堆料场地和道路工程等的地基处理,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。处理深度一般控制在3m以内,也不宜小于0.5m。应根据建筑体型、结构特点、荷载性质和地质条件,并结合施工机械与当地材料来源等综合分析,选择换填材料和夯实施工方法。

2.1.1 换填垫层设计

换填垫层设计主要是确定断面的合理厚度与宽度。垫层既要有足够的厚度以置换可能被剪切破坏的软弱土层,又要有足够的宽度以防止垫层向两侧挤出。垫层构造和应力分布如图2-1所示。

1. 垫层厚度的确定

垫层的厚度 z 应根据垫层底部下卧软弱土层的承载力确定, 如图 2-1 所示, 即应符合下式要求:

$$p_z + p_{cz} \leq f_z \quad (2-1)$$

式中 p_z ——垫层底面处的附加压力设计值 (kPa);

p_{cz} ——垫层底面处土的自重压力标准值 (kPa);

f_z ——经深度修正后垫层底面处土层的地基承载力设计值 (kPa)。

垫层底面处的附加压力值 p_z 可根据基础形式不同, 分别按以下简化式计算:

条形基础:
$$p_z = \frac{b(p - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (2-2a)$$

矩形基础:
$$p_z = \frac{bl(p - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (2-2b)$$

式中 b ——条形基础或矩形基础底面的宽度 (m);

l ——矩形基础底面的长度 (m);

p ——基础底面压力 (kPa);

p_c ——基础底面处土的自重压力标准值 (kPa);

z ——基础底面下垫层的厚度 (m);

θ ——垫层的压力扩散角, 可按表 2-1 采用。

表 2-1 压力扩散角

换填材料	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
z/b			
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 $0.25 < z/b < 0.5$ 时, θ 值可内插求得。

按式 (2-1) 确定垫层厚度时, 需要用试算法。垫层的厚度一般为 0.5~2.5m, 不宜大于 3.0m, 否则费工费料, 施工比较困难, 也不够经济, 小于 0.5m 则作用不明显。

用素土垫层换填湿陷性黄土地基时, 垫层厚度常根据地质勘察报告试验结果确定。对于非自重湿陷性黄土地基, 一般当矩形基础的垫层厚度为 0.8~1.0 倍基底宽度时, 条形基础为 1.0~1.5 倍基底宽度时, 能消除部分地基湿陷性。如果取垫层厚度为 1.0~1.5 倍基底宽度 (柱基) 和 1.5~2.0 倍基底宽度 (条基), 则可基本消除地基湿陷性。对于自重湿陷性黄土地基, 应换填全部湿陷性黄土层, 以保证地基浸水后不出现湿陷变形。

2. 垫层宽度的确定

垫层的底面宽度除应满足基础底面应力扩散的要求外, 还要考虑垫层侧面土的承载力, 防止垫层向两边挤动。如果垫层宽度不足, 侧面土质又比较软弱, 就有可能发生垫层部分挤

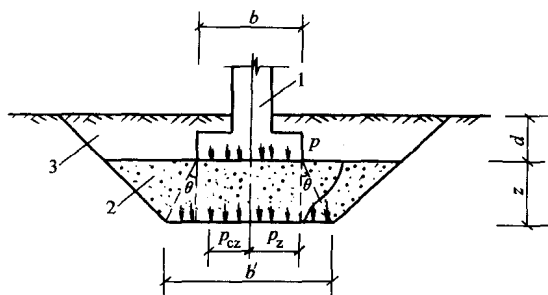


图 2-1 垫层内应力的分布

1—基础 2—垫层 3—回填土

入侧面软弱土中，使基础沉降增大。垫层底面宽度常采用扩散角法按下式计算：

$$b' \geq b + 2z \tan \theta$$

(2-3)

式中 b' ——垫层底面的宽度；

θ ——垫层的压力扩散角，可按表 2-1 采用；当 $z/b < 0.25$ 时，仍按表中 $z/b = 0.25$ 取值。

用素土垫层换填湿陷性黄土地基时，垫层宽度除可按式 (2-3) 确定外，还可按如下经验方法确定：当素土垫层厚度小于 2m 时，每边加宽不小于垫层厚度的 1/3，且不小于 300mm；当素土垫层厚度大于 2m 时，应考虑基础宽度的影响，适当加宽且不小于 700mm。

大面积整片垫层的底面宽度可根据施工经验适当加宽。整片素土垫层超出基础外缘的宽度不小于 1.5m。

垫层顶面每边宜超出基础底边不小于 300mm。或可在垫层底面宽度确定后，根据开挖基坑要求的坡度延伸至基础底面，即得垫层顶面宽度。

3. 垫层的承载力

垫层的承载力宜通过现场试验确定，当无试验资料时，可按表 2-2 选用，并验算下卧层的承载力。

表 2-2 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 $20 \sim 22 \text{ kN/m}^3$ 。

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造的建筑物及邻近建筑物的影响。

2.1.2 换填垫层施工方法

换填垫层的施工方法一般有机械碾压法、重锤夯实法和平板振动法三种，对于砂石垫层，还可采用插振法、水撼法等。

1. 机械碾压法

机械碾压法是采用压路机、推土机、羊足碾或其他压实机械来压实地基土。施工时先将近拟建建筑物范围一定深度内的软弱土挖去，开挖的深度和宽度应根据换填垫层设计的具体要

求确定。先在基坑底部碾压，再将砂石、素土或灰土等垫层材料分层铺筑在基坑内，逐层压实。

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，砂土、碎石类土等宜用振动碾和振动压实机。对于狭窄场地、边角及接触带可用蛙式夯实机。

分层回填碾压的每层铺填厚度及压实遍数，应根据施工机械及实际压实效果确定，可参照表 2-3 选用。

表 2-3 机械碾压垫层的每层铺填厚度及压实遍数

施 工 机 械	重量/t	每层铺填厚度/mm	每层压实遍数
平碾	8~12	200~300	6~8
羊足碾	5~16	200~350	8~16
蛙式夯	0.2	200~250	3~4
振动碾	8~15	600~1300	6~8
振动压实机	2	1200~1500	10

采用机械碾压法施工时，为保证有效压实深度，机械碾压行进速度不能过快，应控制在下述范围内：平碾为 2km/h；羊足碾为 3km/h；振动碾为 2km/h；振动压实机为 0.5km/h。

分层回填碾压应注意防止基坑灌水或雨水下渗，并应控制填料的施工含水量。如填料含水量偏低，则可预先洒水润湿并待渗透均匀后回填；如含水量偏高，可采用翻松、晾晒、均匀掺入吸水材料（如干土、生石灰、碎砖）等措施，直至含水量合格后回填碾压。

机械碾压法的质量检验必须逐层进行。每碾压完一层，应检验该层土的平均干密度和含水量。当砂垫层采用中、粗砂时，其中密状态的干密度一般应控制在 $15.5 \sim 16.0 \text{ kN/m}^3$ ；土垫层的质量检验在设计无规定时，一般可控制在 $15.0 \sim 15.5 \text{ kN/m}^3$ 。当压实系数符合设计要求后，才能铺填上面土层。干密度的检验可采用环刀法，每个基坑或每 $100 \sim 500 \text{ m}^2$ 应有一个检验点，环刀法取样点应位于每层 $2/3$ 深度处。对砂石、土夹石、碎石、卵石、矿渣及杂填土等的垫层可设置纯砂检验点，按环刀取样法检验，或用灌水法、灌砂法进行检验。

2. 重锤夯实法

重锤夯实法是用起重机械将夯锤提升到一定高度，然后自由落锤，不断重复夯击以加固地基。重锤夯实法一般适用于地下水位距地表 0.8m 以上，有效夯实深度内土的饱和度小于并接近 0.6 时。当夯击振动对邻近建筑物或设备产生有害影响时不得采用重锤夯实。

重锤夯实法的主要设备为起重机械、夯锤、钢丝绳和吊钩等，详见 2.3.1 节。

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。

重锤夯实分层填土地基时，每层的虚铺厚度以相当于锤底直径为宜，夯实完后，应将基坑表面修整至设计标高。

采用重锤夯实法施工时，应控制土的最优含水量，使土粒间有适当的水分滑润，夯击时易于互相滑动挤压密实；同时应防止土的含水量过大，避免夯击成“橡皮土”。

重锤夯实地基的密实度和夯实深度必须达到设计要求。