

普通高等教育“十二五”规划教材

基础工程

张艳美 卢玉华 程玉梅 高峰 主编
战永亮 主审

JICHU
GONGCHENG

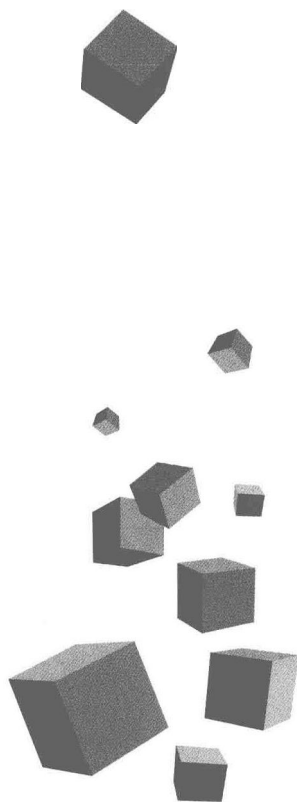


化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

基础工程

张艳美 卢玉华 程玉梅 高峰 主编
战永亮 主审



化学工业出版社

·北京·

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。主要包括：绪论、浅基础设计的基本原理、扩展基础与联合基础设计、柱下条形基础（包括柱下交叉条形基础）设计、筏形与箱形基础设计、桩基础设计、沉井基础设计、岩石锚杆基础设计、储罐基础设计、基坑支护、挡土墙设计、地基处理和 JCCAD 基础设计软件应用。

本书可作为高等院校土木工程各领域（如建筑工程、桥梁工程、道路工程等）以及工程力学和储运工程等专业的本科教材，也可作为土建专业技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程/张艳美等主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.5

普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-10901-9

I. 基… II. 张… III. 地基-基础 (工程)
IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 054615 号

责任编辑: 满悦芝
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 韩亚南
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 562 千字 2011 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.80 元

版权所有 违者必究

前 言

为了满足大土木专业的需要，突出不同领域的特色，由中国石油大学（华东）、山东科技大学、山西大同大学和青岛农业大学四校联合编写了本教材。

本教材遵循普通高等学校土木工程专业培养方案以及现行国家和行业相关规范编写，注重实用性，内容广泛，针对性强。本书安排了一定数量的例题和习题，以供学习参考，最后还详细介绍了 JCCAD 基础设计软件的应用，为学生将来独立从事基础设计工作奠定基础。另外，本书中基础的相关构造要求和例题中材料的选择是以现行的相关规范为基础的，鉴于即将执行新的《混凝土结构设计规范》，所以在以后的学习和实际工程中应参考新规范选择材料。

本书共分为 13 章，其中，第 1、2、6、9 章由中国石油大学（华东）张艳美编写；第 3 章由青岛农业大学夏春、中国石油大学（华东）张旭东合写；第 4 章由中国石油大学（华东）程玉梅编写；第 5 章由山东科技大学卢玉华编写；第 7、8 章由山西大同大学高峰编写；第 10 章由山西大同大学张芳芳编写；第 11 章由中国石油大学（华东）张媛编写；第 12 章由石油大学（华东）张艳美、管友海合写；第 13 章由石油大学（华东）管友海编写；另外，青岛农业大学夏春教授为第 6 章的编写提供了重要资料，青岛农业大学刘福强教授提出了许多宝贵建议并起草了第 11 章的初步编写大纲，研究生朱峰、潘振华也做了许多校对工作，在此表示衷心的感谢。全书由张艳美统稿，战永亮主审。

本书在编写过程中，参阅的相关资料和一些优秀教材的内容，均在参考文献中列出，在此向有关作者深表谢意。由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2011 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 基础工程的发展概况	2
1.3 本课程的特点及学习要求	2
参考文献	3
第 2 章 浅基础设计的基本原理	4
2.1 浅基础设计的内容及步骤	4
2.2 浅基础的常规设计方法	4
2.3 地基基础设计的基本规定	5
2.3.1 地基基础设计等级	5
2.3.2 地基基础设计的基本规定	5
2.3.3 荷载效应取值	6
2.4 浅基础的类型与方案选择	7
2.4.1 浅基础的类型	8
2.4.2 基础方案选择	11
2.5 地基计算	12
2.5.1 确定基础埋置深度	12
2.5.2 确定地基承载力	16
2.5.3 地基承载力验算	19
2.5.4 确定基础底面尺寸	22
2.5.5 地基变形验算	24
2.5.6 地基稳定性验算	29
习题	29
参考文献	30
第 3 章 扩展基础与联合基础设计	32
3.1 无筋扩展基础设计	32
3.2 扩展基础设计	35
3.2.1 扩展基础的构造要求	35
3.2.2 墙下钢筋混凝土条形基础设计	36
3.2.3 柱下钢筋混凝土独立基础设计	39
3.3 联合基础设计	45
习题	48
参考文献	48
第 4 章 柱下条形基础设计	49
4.1 弹性地基梁法计算理论	49
4.1.1 地基计算模型	49
4.1.2 弹性地基梁法的基本条件和分析 方法	52
4.1.3 基床系数法	52
4.2 柱下条形基础设计	60
4.2.1 构造要求	60
4.2.2 内力计算	61
4.3 柱下交叉条形基础设计	67
4.3.1 节点荷载的分配	68
4.3.2 设计计算	72
习题	72
参考文献	73
第 5 章 筏形与箱形基础设计	74
5.1 概述	74
5.2 筏形与箱形基础地基计算	75
5.2.1 基础埋置深度	75
5.2.2 确定基础底面尺寸	75
5.2.3 地基承载力验算	76
5.2.4 地基变形计算	76
5.3 筏形基础设计	77
5.3.1 筏形基础的构造要求	77
5.3.2 筏形基础底板厚度	78
5.3.3 筏形基础内力计算	80
5.4 箱形基础设计	89
5.4.1 构造要求	89
5.4.2 箱形基础设计计算	92
5.4.3 箱形基础设计实例	96
习题	112
参考文献	113

第 6 章 桩基础设计	114		
6.1 概述	114	确定	137
6.1.1 桩基础设计的主要内容和基本要求	114	6.4.3 基桩的水平承载力特征值	142
6.1.2 桩基设计的基本规定	115	6.5 抗拔桩的承载力	143
6.2 桩基础及桩的分类与选型	117	6.6 桩基沉降计算	144
6.2.1 桩基础的分类	117	6.6.1 单桩沉降的计算理论	144
6.2.2 桩的分类	117	6.6.2 群桩沉降计算	145
6.2.3 桩型选用	122	6.6.3 根据现行《建筑地基基础设计规范》 进行桩基沉降计算	149
6.3 竖向承压桩的承载力	122	6.7 桩基础设计	151
6.3.1 单桩竖向荷载的传递	122	6.7.1 桩基构造要求	151
6.3.2 单桩的破坏模式	125	6.7.2 桩基选型与布置	153
6.3.3 单桩竖向承载力特征值的确定	126	6.7.3 桩基承载力验算	155
6.3.4 单桩的负摩阻力	131	6.7.4 桩身设计计算	157
6.3.5 基桩的竖向承载力	133	6.7.5 桩基沉降与稳定性验算	160
6.4 桩的水平承载力	136	6.7.6 承台设计计算	160
6.4.1 水平荷载作用下单桩的破坏 模式	136	6.8 桩基设计实例	166
6.4.2 单桩水平承载力特征值的 确定	137	习题	175
		参考文献	176
第 7 章 沉井基础设计	178		
7.1 概述	178	7.4.1 旱地沉井施工	191
7.1.1 沉井适用范围	178	7.4.2 水中沉井施工	192
7.1.2 沉井分类	179	7.4.3 沉井下沉工程问题处理	193
7.2 沉井基础的构造	181	7.5 工程实例	194
7.2.1 沉井尺寸	181	7.5.1 工程概况	194
7.2.2 沉井一般构造	182	7.5.2 沉井高度及细部尺寸确定	194
7.3 沉井设计与计算	183	7.5.3 荷载计算	194
7.3.1 沉井作为整体基础的计算	183	7.5.4 沉井强度及稳定验算	195
7.3.2 沉井施工过程计算	187	习题	199
7.4 沉井施工	191	参考文献	199
第 8 章 岩石锚杆基础设计	200		
8.1 概述	200	8.4.1 锚杆施工	206
8.1.1 锚杆构造	200	8.4.2 锚杆锚固质量无损检测	207
8.1.2 锚杆承载机理	200	8.5 锚杆抗拔承载力特征值现场试验	208
8.1.3 岩石锚杆基础	201	8.5.1 试验方案设计	208
8.2 岩石锚杆基础的基本要求	202	8.5.2 试验加载与测试	209
8.2.1 构造要求	202	8.5.3 试验结果分析	209
8.2.2 安全系数要求	203	8.6 工程实例	210
8.2.3 工程材料要求	204	8.6.1 工程概况	210
8.3 设计计算	205	8.6.2 工程地质条件	210
8.3.1 单根锚杆拉拔力	205	8.6.3 岩石锚杆基础设计	211
8.3.2 单根锚杆抗拔承载力	205	8.6.4 岩石锚杆施工要求	212
8.3.3 锚杆基础承载力验算	206	习题	213
8.4 锚杆施工及锚固质量无损检测	206	参考文献	213

第 9 章 储罐基础设计	214		
9.1 储罐基础的分类	214	9.3.2 稳定性验算	219
9.1.1 护坡式基础	214	9.3.3 地基变形计算	220
9.1.2 环墙式基础	214	9.4 储罐基础的构造与材料	224
9.1.3 外环墙式基础	217	9.5 环墙基础设计	226
9.1.4 桩基础	218	9.5.1 环墙的高度	226
9.2 储罐基础设计的基本规定	218	9.5.2 环墙的厚度	226
9.2.1 一般规定	218	9.5.3 环墙的内力计算	227
9.2.2 荷载及荷载效应取值	218	9.5.4 环墙截面配筋计算	228
9.3 储罐基础地基计算	219	习题	229
9.3.1 地基承载力验算	219	参考文献	229
第 10 章 基坑支护工程	230		
10.1 概述	230	10.3.3 水泥土挡墙的稳定验算	238
10.1.1 基坑支护结构的设计原则	230	10.3.4 构造要求	241
10.1.2 基坑工程设计	231	10.4 土钉支护的设计计算	241
10.2 支护结构的类型及特点	232	10.4.1 土钉支护结构参数的确定	241
10.2.1 支护结构分类	232	10.4.2 土钉的设计计算	243
10.2.2 支护类型简介	233	10.4.3 土钉支护整体稳定性分析	244
10.2.3 支护结构造型	236	10.4.4 喷射混凝土面层设计	246
10.3 水泥土挡墙的设计计算	237	习题	246
10.3.1 侧压力计算	237	参考文献	247
10.3.2 墙体的厚度和嵌固深度	238		
第 11 章 挡土墙设计	248		
11.1 概述	248	11.3.2 重力式挡土墙的构造	252
11.2 挡土墙的类型	248	11.3.3 重力式挡土墙的计算	257
11.2.1 重力式挡土墙	249	11.4 悬臂式挡土墙	263
11.2.2 悬臂式挡土墙	249	11.4.1 悬臂式挡土墙的构造	263
11.2.3 扶壁式挡土墙	250	11.4.2 悬臂式挡土墙设计	264
11.2.4 板桩式挡土墙	250	11.5 扶壁式挡土墙	269
11.2.5 锚定式挡土墙	250	11.5.1 扶壁式挡土墙的构造	269
11.2.6 加筋土挡土墙	251	11.5.2 扶壁式挡土墙的计算	269
11.3 重力式挡土墙	252	习题	270
11.3.1 重力式挡土墙的选型	252	参考文献	271
第 12 章 地基处理	272		
12.1 概述	272	12.3 预压法	278
12.1.1 地基处理的目的	272	12.3.1 概述	278
12.1.2 地基处理方法分类	272	12.3.2 加固机理	279
12.1.3 地基处理方法的选择与步骤	273	12.3.3 堆载预压法设计计算	279
12.1.4 我国地基处理技术的发展过程	274	12.4 强夯法	284
12.2 换填垫层法	275	12.4.1 概述	284
12.2.1 概述	275	12.4.2 加固机理	284
12.2.2 加固机理	275	12.4.3 设计计算	285
12.2.3 设计计算	276	12.5 振冲法	286

12.5.1	概述	286	12.7.2	加固机理	292
12.5.2	加固机理	287	12.7.3	设计计算	292
12.5.3	设计计算	287	12.8	水泥土搅拌法	294
12.6	砂石桩法	289	12.8.1	概述	294
12.6.1	概述	289	12.8.2	加固机理	294
12.6.2	加固机理	289	12.8.3	设计计算	295
12.6.3	设计计算	290	习题		298
12.7	水泥粉煤灰碎石桩法	291	参考文献		298
12.7.1	概述	291			
第 13 章 JCCAD 基础设计软件应用					299
13.1	JCCAD 软件功能与应用范围	299	13.3.11	墙下条基	313
13.2	地质资料输入 (JCCAD 主菜单 1)	300	13.3.12	重心校核	314
13.2.1	土参数	300	13.3.13	局部承压	314
13.2.2	土层布置	301	13.3.14	图形管理	314
13.2.3	孔点输入	301	13.4	JCCAD 基础计算方法	314
13.2.4	网格修改	301	13.4.1	基础梁板弹性地基梁法计算 (JCCAD 主菜单 3)	314
13.2.5	点柱状图	302	13.4.2	桩基承台及独基沉降计算 (JCCAD 主菜单 4)	316
13.2.6	土剖面图	302	13.4.3	桩筏筏板有限元计算 (JCCAD 主菜单 5)	317
13.2.7	画等高线	302	13.5	基础施工图设计	319
13.3	基础人机交互输入 (JCCAD 主菜单 2)	303	13.5.1	基础平面施工图 (JCCAD 主菜单 6)	319
13.3.1	地质资料	303	13.5.2	筏板基础配筋施工图 (JCCAD 主菜单 7)	320
13.3.2	参数输入	304	13.5.3	弹性地基梁施工图 (JCCAD 主菜单 8)	320
13.3.3	网格节点	307	13.5.4	独基条基详图 (JCCAD 主菜单 9)	322
13.3.4	荷载输入	307	参考文献		322
13.3.5	上部构件	309			
13.3.6	筏板	309			
13.3.7	地基梁	310			
13.3.8	板带	310			
13.3.9	桩基础	311			
13.3.10	柱下独基	313			
附录 A 抗剪强度指标标准值					323
附录 B 建筑材料规定					324

第 1 章 绪 论

【学习指南】 本章主要介绍基础工程的基本概念、发展概况、学科特点及学习要求。通过本章的学习，应掌握地基与基础的概念，熟悉基础工程的主要研究内容，了解基础工程的发展概况，了解本学科的特点及学习要求。

1.1 概述

“万丈高楼平地起”，任何建（构）筑物的全部荷载都由它下面的地层（土层或岩层）来承担。其中，地基是指支撑建（构）筑物荷载并受其影响的那一部分地层；基础是指将建（构）筑物荷载传递到地基上的结构组成部分（图 1-1）。对某一建筑物而言，地表以上的部分称为上部结构，地基和基础属于下部结构。

基础工程的研究对象包括地基和基础两部分，主要是研究下部结构设计以及下部结构与岩土相互作用共同承担上部荷载而产生的各类变形与稳定问题。基础工程的主要内容包括地基基础的设计、施工和监测等。其中，基础设计包括选择基础类型、确定基础埋深及基底面积、基础内力计算和结构设计等；地基设计包括确定地基承载力、进行地基变形和稳定计算等。当地基承载力不足或压缩性很大而不能满足设计要求时，需要对地基进行人工处理即地基处理^[1]。

为了保证上部结构的安全和正常使用，地基基础必须具有足够的强度和耐久性，变形也应控制在允许范围之内。地基基础的形式很多，设计时应根据工程地质条件、上部结构要求、荷载作用及施工技术等因素综合选择合理的设计方案。

地基可分为天然地基和人工地基。无须人工处理就可满足设计要求的地基称为天然地基。如果天然土层不能满足工程要求，必须经过人工加固处理后才能满足设计要求，则处理后的地基称为人工地基。建（构）筑物应尽量修建在良好的天然地基上，以减少地基处理的费用。另外，主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基属于软弱地基，软弱地基必须经过地基处理后方可作为建（构）筑物的地基^[2]。

地基一般由多层土构成。如图 1-1 所示，直接承担基础荷载的地层称为持力层，位于持力层以下，并处于压缩层或可能被剪损深度内的各层地基土称为下卧层，当下卧层的承载力显著低于持力层时称为软弱下卧层。

根据埋置深度，基础可分为浅基础和深基础两大类。浅基础一般是指埋置深度不大（小于或相当于基础底面宽度，一般认为小于 5m）的基础。深基础是指埋深较大（一般大于 5m 或借助于特殊方法才能施工）的基础。常见的深基础有桩基、沉井、沉箱和地下连续墙等。

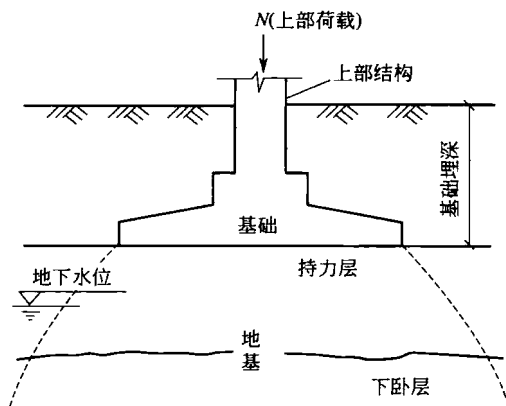


图 1-1 地基与基础示意图

当浅层土质不良,需要利用地基深部较为坚实的地层作为持力层时可采用深基础。与浅基础相比,深基础耗料多、施工时需要专门的设备、施工技术相对复杂、造价较高,因此,基础设计时应优先考虑天然地基上的浅基础。

地基基础是建(构)筑物的根基,它的设计和施工质量会直接影响上部结构的安危。基础工程还属于隐蔽工程,如有缺陷,较难发现,一旦出现问题,很难补救。古今中外因基础工程问题而导致的工程事故,不胜枚举,基础工程的重要性不言而喻。此外,随着高层建筑的大量涌现,基础工程的造价在整个建筑物造价中所占的比例明显上升。因此,工程实践中必须严格遵守基本建设原则,对基础工程做到精心设计、精心施工,确保其安全可靠、经济合理。

1.2 基础工程的发展概况^[3~9]

基础工程是一门实践性很强的应用学科,是人类在长期的工程实践中不断发展起来的。

追本溯源,早在几千年前,人类就已经创造了基础工程工艺,遍及世界各地的古代宫殿、寺院、桥梁和高塔都充分体现了当时能工巧匠的高超技艺。但是由于受到当时生产力水平的限制,基础工程建设还主要依靠经验,缺乏相应的科学理论。

随着18世纪欧洲工业革命的开始,公路、铁路、水利和建筑工程的大量兴建推动了土力学的发展。1925年,美籍奥地利学者 Terzaghi 发表了专著《土力学》,标志着土力学从此成为一门独立的学科。土力学的诞生不仅为基础工程建设提供了理论基础,还促使人们对基础工程进行深入的研究和探索。

1936年在美国哈佛召开了第一届国际土力学与基础工程会议,1962年在我国天津召开了第一届土力学与基础工程会议,另外,欧洲等地区的国家也相继召开了相关的学术会议。国内外各类学术会议的召开,极大地促进了土力学与基础工程的发展。

特别是近几十年,随着计算机和计算技术的引入,使得基础工程无论是在理论上还是在施工技术上都得到了迅猛发展。不仅常规基础的设计理论更加完善,还出现了诸如桩-箱基础、桩-筏基础、补偿基础、墩基础、沉井、沉箱和地下连续墙等基础形式。在地基处理方面也出现了振冲法、强夯法、预压法、复合地基法、注浆法、冷热处理和各类托换技术等地基加固方法。与此同时,人们还研发了各种各样的与勘察、试验和地基处理有关的仪器设备如薄壁取土器、高压固结仪、大型三轴仪、动三轴仪、深层搅拌机、塑料排水带插板机等,这些仪器设备为基础工程的研究、实施和质量保证提供了条件。另外,随着土工合成材料技术的发展,各类土工聚合物也在建筑、水利、道路、港口、桥梁等工程的地基处理中得到广泛应用。在大量理论研究和实践经验积累的基础上,各类与基础工程相关的规范、规程相继问世,如《建筑地基基础设计规范》、《建筑地基处理技术规范》、《钢制储罐地基基础设计规范》、《石油化工钢储罐地基处理技术规范》、《港口工程地基规范》、《铁路桥涵地基和基础设计规范》、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》等,这些规范为基础工程的设计和施工提供了理论和实践经验依据。

由于基础工程深入地下,再加上工程地质条件复杂,特别是随着我国西部大开发战略的实施、大型和重型土木工程的兴建,尽管目前基础工程的设计理论和施工技术有了较大发展,但仍有许多问题值得深入研究和探索。

1.3 本课程的特点及学习要求

基础工程内容广泛,综合性、理论性和实践性都很强。它不仅涉及材料力学、结构力

学、弹性力学、土力学、水力学、工程地质、钢筋混凝土结构、砌体结构、建筑材料、施工技术等多个学科，还涉及建筑、水利、道路、港口等多个领域的规范，加之我国幅员辽阔、地质环境复杂、区域性强、地基土具有多样性和易变性的特点，使得基础工程问题十分复杂。

在学习本课程时，除了掌握基础工程设计的基本原理以外，还应注意各类基础及地基处理方法的适用范围和地基土的特性，培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力，了解全国性及区域性的相关规范，做到理论联系实际，重视工程实践，增强解决基础工程问题的能力。

参 考 文 献

- [1] 华南理工大学，浙江大学，湖南大学. 基础工程. 北京：中国建筑工业出版社，2005.
- [2] 中华人民共和国建设部. 建筑地基基础设计规范 (GB 50007—2002). 北京：中国建筑工业出版社，2002.
- [3] 金喜平等. 基础工程. 北京：机械工业出版社，2007.
- [4] 袁聚云等. 基础工程设计原理. 上海：同济大学出版社，2001.
- [5] 华南理工大学，东南大学，浙江大学，湖南大学. 地基及基础. 第3版. 北京：中国建筑工业出版社，1991.
- [6] 陈希哲. 土力学地基基础. 北京：清华大学出版社，1996.
- [7] 常土驷等. 工程地质手册. 第4版. 北京：中国建筑工业出版社，2007.
- [8] 刘起霞. 特种基础工程. 北京：机械工业出版社，2008.
- [9] 罗晓辉. 基础工程设计原理. 武汉：华中科技大学出版社，2007.

第 2 章 浅基础设计的基本原理

【学习指南】本章主要介绍浅基础设计的内容和步骤及常规设计方法、地基基础设计的基本规定、浅基础的类型和基础方案的选择以及地基计算等。通过本章学习，应了解现行《建筑地基基础设计规范》对地基基础设计的基本规定、荷载效应的取值及两种极限状态；熟悉浅基础的分类、特点及使用条件；熟知影响基础埋深的因素；掌握地基承载力特征值及基础底面积的确定方法；了解对建筑物地基变形允许值的控制标准及地基的稳定性验算要求。

地基基础设计是建筑设计的重要组成部分。在进行地基基础设计时，应根据岩土工程勘察资料，综合考虑建筑物的用途、上部结构的类型、荷载大小和分布情况、材料供应情况、施工条件等因素，坚持因地制宜、就地取材、保护环境和节约资源的原则，进行精心设计。地基基础必须满足以下几方面的基本要求：基底压力小于地基承载力并具有足够的安全储备以防地基土发生强度破坏；地基及基础的变形值小于建筑物的允许值以免影响建筑物的正常使用；地基及基础的整体稳定性应有足够保证；基础本身的强度、刚度、耐久性等应满足上部结构的要求。一般情况下，宜首先考虑采用天然地基上的浅基础，这样不仅便于施工，缩短工期，还可以降低工程造价。本章将主要介绍天然地基上浅基础的设计原理和基本规定。

2.1 浅基础设计的内容及步骤

由于浅基础具有埋深浅、结构形式简单、施工方便、工期短、造价较低等优点，是工程中最常用的基础类型。天然地基上浅基础的设计包括地基计算和基础设计两部分。设计时，不仅要满足地基强度、变形和稳定性的要求，还应保证基础本身的强度及稳定性。浅基础设计的主要内容及步骤如下：仔细研究分析相关岩土工程勘察资料及上部结构相关设计资料；选择合适的基础类型及材料，进行基础平面布置；选择持力层并初步确定基础埋置深度；确定持力层的地基承载力；初步确定基础底面尺寸，若存在软弱下卧层，尚应验算软弱下卧层的承载力；根据需要进行地基变形及稳定性验算；对需要抗震验算的建筑物，应进行地基基础的抗震验算；进行基础结构设计并满足相关构造要求；绘制基础施工图，并附必要的施工说明。如果在以上计算过程中有不满足要求的情况，应调整基础底面尺寸或基础埋深甚至上部结构设计，直至满足要求为止。

2.2 浅基础的常规设计方法

在建筑工程设计中，通常把上部结构、基础和地基三者分开，即把三者各自作为独立的结构单元分别进行计算分析。如图 2-1 所示的一榀框架设计，先把一榀框架分离出来，框架柱底端视为固定端 [图 2-1(a)]，进行内力计算；把求得的柱脚支座反力作为外荷载作用于基础上，对基础进行结构设计 [图 2-1(b)]；在进行地基计算时，将基底压力视为施加于地

基上的外荷载（不考虑基础刚度即作为柔性荷载）对地基进行承载力验算和沉降计算 [图 2-1(c)]。这种设计方法称为常规设计方法。

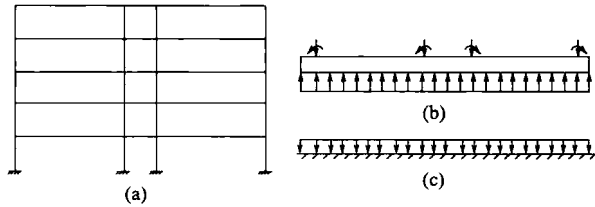


图 2-1 常规设计方法计算简图

常规设计方法满足了静力平衡，但是由于没有考虑上部结构、基础和地基三者之间共同工作、协调变形的实质，而使得该方法不能满足变形协调条件。因此，在工程设计中，按常规设计方法得到的计算结果与实际情况之间存在一定的误差。鉴于这类方法简单易懂，所以常用于连续基础的初步设计中，对于大型或复杂的基础，宜在常规设计方法的基础上，根据具体情况考虑上部结构、基础与地基之间的相互作用。

2.3 地基基础设计的基本规定^[1]

2.3.1 地基基础设计等级

现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 根据地基复杂程度、建筑物规模和功能特征以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度，将地基基础设计分为三个设计等级，设计时应根据具体情况按表 2-1 选用。

表 2-1 地基基础设计等级

设计等级	建筑和地基类型
甲级	重要的工业与民用建筑物 30 层以上的高层建筑 体型复杂,层数相差超过 10 层的高低层连成一体建筑物 大面积的多层地下建筑物(如地下车库、商场、运动场等) 对地基变形有特殊要求的建筑物 复杂地质条件下的坡上建筑物(包括高边坡) 对原有工程影响较大的新建建筑物 场地和地基条件复杂的一般建筑物 位于复杂地质条件及软土地区的 2 层及 2 层以上地下室的基坑工程
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的 7 层及 7 层以下民用建筑及一般工业建筑物 次要的轻型建筑物

2.3.2 地基基础设计的基本规定

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，地基基础设计应符合下列规定。

- 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 2-2 所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不进行变形验算，如有下列情况之一时，仍应进行变形验算。

a. 地基承载力特征值小于 130kPa，且体型复杂的建筑。

b. 在基础上及其附近有地面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。

- c. 软弱地基上的建筑物存在偏心荷载。
- d. 相邻建筑距离过近, 可能发生倾斜。
- e. 地基内有厚度较大或厚薄不均的填土, 其自重固结未完成。

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, 尚应进行抗浮验算。

表 2-2 可不进行地基变形计算设计等级为丙级的建筑物范围

地基主要受力层情况	地基承载力特征值 f_{ak}/kPa		$60 \leq f_{ak} < 80$	$80 \leq f_{ak} < 100$	$100 \leq f_{ak} < 130$	$130 \leq f_{ak} < 160$	$160 \leq f_{ak} < 200$	$200 \leq f_{ak} < 300$	
	各土层坡度/%		≤ 5	≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
砌体承重结构、框架结构(层数)		≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 7	
建筑类型	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	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 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	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30	
	烟囱		高度/m	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 75	≤ 100	
	水塔		高度/m	≤ 15	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 30	
容积/ m^3			≤ 50	50~100	100~200	200~300	300~500	500~1000	

注: 1. 地基主要受力层是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 (2 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《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 中软弱地基的有关要求。

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值是指最大值。

2.3.3 荷载效应取值

2.3.3.1 两种极限状态设计

当整个结构或结构的某一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求, 此特定状态称为该功能的极限状态。结构的极限状态总体上可分为承载力极限状态和正常使用极限状态两类。承载力极限状态一般以结构的内力超过其承载能力为依据; 正常使用极限状态一般以结构的变形、裂缝、振动参数超过设计允许的限值为依据。在地基基础设计时, 地基稳定和变形允许是地基基础必须满足的两种不同要求。为此, 现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007) 采用正常使用极限状态进行地基计算, 采用承载力极限状态进行基础设计, 并明确规定了两种极限状态对应的荷载组合及使用范围。

2.3.3.2 荷载效应取值的基本规定^[1~2]

地基基础设计时, 所采用的荷载效应最不利组合与相应的抗力限值应按下列规定。

① 按地基承载力确定基础底面积及埋深或按单桩承载力确定桩数时, 传至基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合。相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值。正常使用极限状态下, 荷载效应的标准组合值 S_k 应用下式表示:

$$S_k = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \Psi_{ci} S_{Qik} \quad (2-1)$$

式中, S_{Gk} 为按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值; S_{Qik} 为按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值; S_{Q1k} 为诸可变荷载效应中起控制作用者; Ψ_{ci} 为可变荷载 Q_i 的组合系数, 按现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 的规定取值。

② 计算地基变形时,传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合,不应计入风荷载和地震作用。相应的限值应为地基变形允许值。正常使用极限状态下,荷载效应的准永久组合值 S_k 应用下式表示:

$$S_k = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \Psi_{qi} S_{Qik} \quad (2-2)$$

式中, Ψ_{qi} 为准永久值系数,按现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的规定取值。

③ 在确定基础或桩台高度、支挡结构截面,计算基础或支挡结构内力,确定配筋和验算材料强度时,上部结构传来的荷载效应组合和相应的基底反力,应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合,采用相应的分项系数。

a. 承载力极限状态下,由可变荷载效应控制的基本组合设计值 S 应用下式表示:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \Psi_{ci} S_{Qik} \quad (2-3)$$

式中, γ_G 为永久荷载的分项系数,按现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的规定取值; γ_{Qi} 为第 i 个可变荷载的分项系数,按现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的规定取值; Ψ_{ci} 为可变荷载 Q_i 的组合值系数,按现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的规定取值。

b. 由永久荷载效应控制的基本组合设计值 S 应用下式表示:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \Psi_{ci} S_{Qik} \quad (2-4)$$

对由永久荷载效应控制的基本组合,也可采用简化规则,即荷载效应基本组合设计值 S 按下式确定:

$$S = 1.35 S_k \leq R \quad (2-5)$$

式中, R 为结构构件抗力的设计值,按有关建筑结构设计规范的规定确定; S_k 为荷载效应的标准组合值。

④ 计算挡土墙土压力、地基或斜坡稳定及滑坡推力时,荷载效应应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合,但其分项系数均为 1.0。

当需要验算基础裂缝宽度时,应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合。

另外,基础设计安全等级、结构设计使用年限、结构重要性系数应按有关规范的规定采用,但结构重要性系数 γ_0 不应小于 1.0。

2.4 浅基础的类型与方案选择

浅基础根据所用材料和受力性能可分为刚性基础(无筋基础)和柔性基础(钢筋混凝土基础),根据基础形状和结构形式可分为扩展基础、联合基础、连续基础和壳体基础等,如图 2-2 所示。

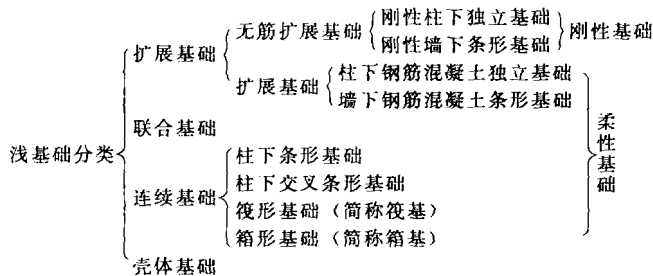


图 2-2 浅基础的分类

2.4.1 浅基础的类型

2.4.1.1 刚性基础

刚性基础又称无筋扩展基础，通常是指由砖、毛石、混凝土或毛石混凝土、灰土（石灰和土）和三合土（石灰、砂和骨料如矿渣、碎砖或碎石等加水泥混合而成）等材料组成的，且无须配置钢筋的基础^[1]。刚性基础主要包括刚性墙下条形基础和刚性柱下独立基础（图 2-3）两类。

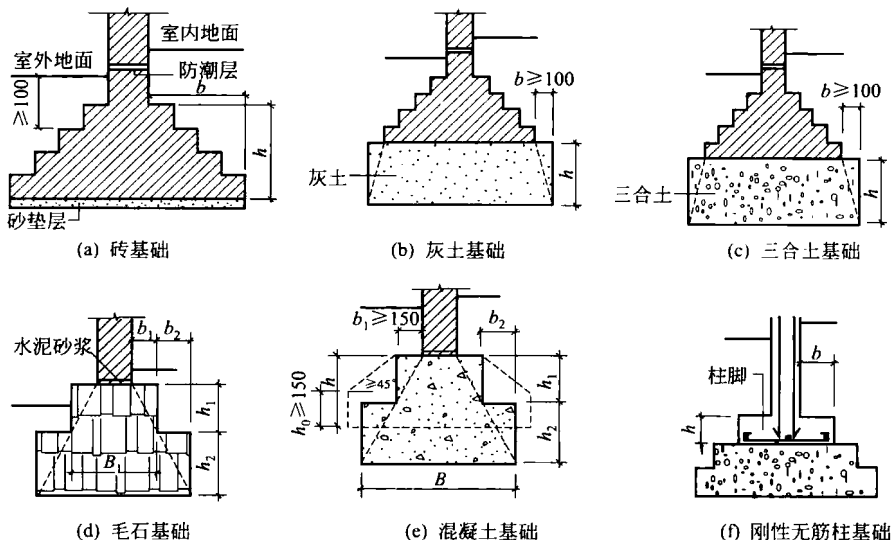


图 2-3 刚性基础分类^[3]

由于构成刚性基础的材料的抗压强度一般远大于其抗拉、抗剪强度，所以刚性基础能够承担较大的竖向荷载、稳定性较好。但是，由于没有配置钢筋，基础的抗拉、抗剪性能较差，所以，在设计时，一般通过控制材料的质量和对基础构造的限制来确保基础不发生拉力或剪切破坏。在这样的限制下，基础的相对高度一般较大，基础几乎不发生挠曲变形，故习惯上又把无筋基础称为刚性基础。刚性基础一般适用于多层民用建筑（三合土基础不宜超过 4 层）和轻型厂房。

2.4.1.2 柔性基础

柔性基础是指钢筋混凝土基础。这类基础整体性较好，不仅能够承担较大的竖向荷载，还具有较好的抗弯强度、抗剪强度和抵抗一定不均匀沉降的能力，所以在工程中得到广泛应用。柔性基础主要包括扩展基础、联合基础、连续基础和壳体基础等类型。

(1) 扩展基础

将上部结构传来的荷载，通过向侧边扩展成一定底面积，使作用在基底的压应力等于或小于地基土的允许承载力，而基础内部的应力应同时满足材料本身的强度要求，这种起到压力扩散作用的基础称为扩展基础^[1]。

根据基础材料，扩展基础可分为无筋扩展基础和钢筋混凝土扩展基础。无筋扩展基础即刚性基础。钢筋混凝土扩展基础常简称为扩展基础，主要包括墙下钢筋混凝土条形基础和柱下钢筋混凝土独立基础两类。与无筋扩展基础相比，扩展基础具有良好的抗弯和抗剪性能，可在竖向荷载较大、地基承载力不高以及承受弯矩和水平荷载等情况下使用。由于这类基础可通过扩大基础底面积的方法来满足地基承载力的要求，而不必增加基础埋深，因此特别适用于需要“宽基浅埋”的工程。

① 墙下钢筋混凝土条形基础 是混合结构承重墙基础中最常用的一种形式。如图 2-4 所

示,可分为有肋和无肋两种,有肋基础的整体性和抗弯能力较强,在地基不均匀时宜采用。

② 柱下钢筋混凝土独立基础 主要用于柱下,也可用于一般的高耸构筑物,如烟囱、水塔等。柱下钢筋混凝土独立基础分为现浇和预制两种。现浇的独立基础可做成阶梯形或锥形;预制基础一般做成杯形,又称为杯口基础(图2-5)。现浇独立基础可用于一般厂房或多层框架结构中;杯口基础常用在装配式单层工业厂房中,作为预制柱的基础。

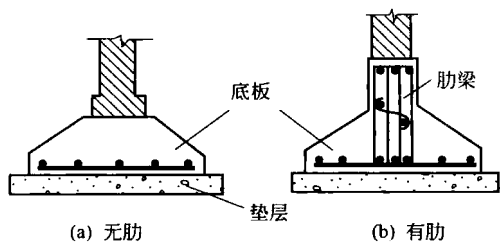


图 2-4 墙下钢筋混凝土条形基础^[4]

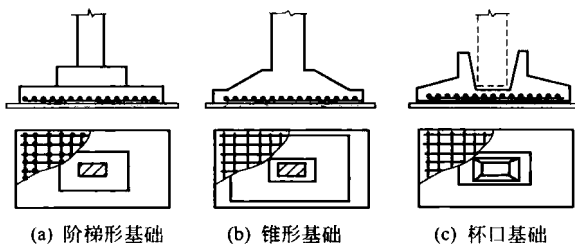


图 2-5 柱下钢筋混凝土独立基础^[4]

(2) 联合基础

这里所介绍的联合基础主要指同列相邻两柱公共的钢筋混凝土基础,即双柱联合基础(图2-6)。通常为了满足地基承载力要求,必须扩大基础底面尺寸,使得相邻两柱的独立基础底面相接甚至重叠时,可将它们连在一起形成联合基础。联合基础还可用于调整相邻两柱的不均匀沉降,或防止两者之间的相向倾斜等。

(3) 连续基础

为了扩大基础底面积以满足地基承载力的要求,可将建筑物的基础沿单向或双向(柱列)甚至整片连接起来形成连续基础。连续基础主要包括柱下条形基础、柱下交叉条形基础、筏形基础和箱形基础等。与其他基础相比,连续基础的整体刚度和调整不均匀沉降的能力显著提高,建筑物的整体抗震性能也有所改善。

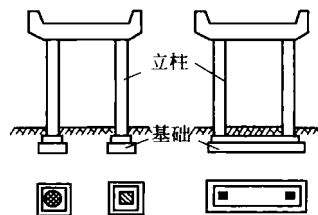


图 2-6 联合基础

① 柱下条形基础 当柱荷载较大、地基较弱或地基土压缩性分布不均匀时,为了满足地基承载力要求,减小柱基之间的不均匀沉降,可将同一方向上若干柱子的基础连接起来形成一个整体,称为柱下条形基础(图2-7)。这类基础常用于软弱地基上的框架结构或排架结构中。另外,当柱距较小、基底面积较大、相邻基础十分接近时,为了便于施工,也可采用柱下条形基础。

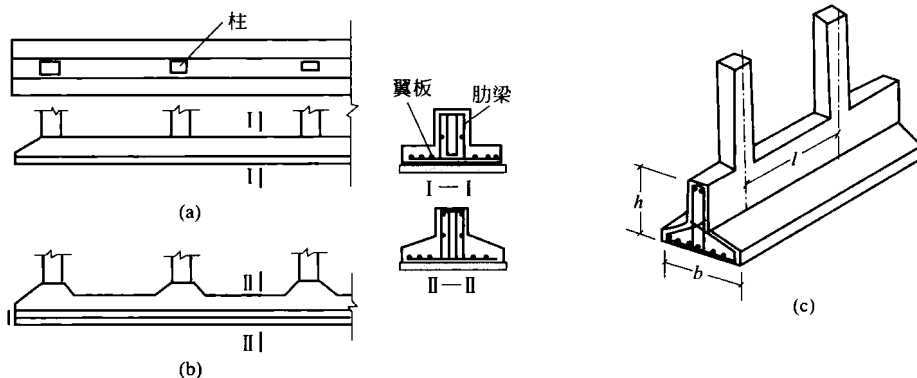


图 2-7 柱下条形基础