

普通高等教育规划教材

工程结构—— 基础设计

韩淼 张怀静 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

工程结构基础设计

韩 森 张怀静 编



机械工业出版社

本书编写以“厚基础、重能力、拓宽专业知识面，培养应用型人才”为指导思想，结合行业新规范，反映土木工程学科的新技术，注重实用性，根据工程结构基础的实际设计过程，通过工程实例、例题及习题让学生掌握工程结构基础设计的基本步骤与方法，弥补了现有基础工程教材中涉及的设计方法、例题、习题等的不足。同时，本书还注重强调工程结构基础的构造要求的重要性。主要内容包括：浅基础设计的基本原理、扩展基础、柱下条形基础、筏形基础、箱形基础、动力机器基础、桩基础。

本书可作为高等院校土木工程专业教材，也可供从事土木工程设计和施工等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构基础设计/韩森，张怀静编. —北京：机械工业出版社，2015.10

ISBN 978-7-111-51236-3

I. ①工… II. ①韩…②张… III. ①工程结构—结构设计
IV. ①TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 195524 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：林 辉 责任编辑：林 辉

版式设计：赵颖喆 责任校对：张 征

封面设计：马精明 责任印制：李 洋

涿州市京南印刷厂印刷

2015 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.5 印张 · 457 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-51236-3

定价：38.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

前 言

一座座高楼大厦在身边拔地而起，一条条高速公路纵横在祖国大地，高铁技术走向国际市场，这些都彰显着我国经济的繁荣和土木工程行业的活力。我国各地城市化进程的加快，使得市场对土木工程技术人员的需求不断上升。我国开设土木工程专业的高等院校也逐年增多，招生规模不断扩大。在我国卓越工程师培养计划的大背景下，培养出优秀的、具有较强实践能力的应用型人才，是高校都在积极致力的方向。基础工程作为土木工程专业本科必修课程，无论是在学生知识体系构成，还是在毕业后从事工程实际的过程中，都具有举足轻重的作用。工程结构基础设计课程作为本科生毕业设计前学习及毕业设计时应用的知识，其内容是基础工程的补充与完善，具有更强的实践性。

近年来，我国土木工程领域规范修订与新增规范较多，例如：JGJ 6—2011《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》、GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》、GB/T 50941—2014《建筑地基基础术语标准》、JGJ 79—2012《建筑地基处理技术规范》、GB/T 50266—2013《既有建筑地基基础加固技术规范》、GB/T 50905—2014《建筑工程绿色施工规范》、GB50009—2012《建筑结构荷载规范》、JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》等。这些规范为相应教材的编写提供了依据。我国执业资格认证制度要求土木工程行业的工程技术人员不但要精通专业知识和技术，还需要取得相应的执业资格证书。工程结构基础设计作为基础工程课程的补充，其内容是全国注册土木工程师，全国一、二级注册结构工程师等职业资格考试的必备知识。学习好本课程对学生的毕业设计有较好的指导作用，对从业的工程技术人员职业资格考试有良好的帮助作用。

本书编写以“厚基础、重能力、拓宽专业知识面，培养应用型人才”为指导思想，结合行业新规范，反映土木工程学科的新技术，注重实用性，根据工程结构基础的实际设计过程，通过工程实例、例题及习题让学生掌握工程结构基础设计的基本步骤与方法，弥补了现有基础工程教材中涉及的设计方法、例题、习题等的不足。同时，本书还注重强调工程结构基础的构造要求的重要性。

本书的第1~5章由北京建筑大学韩森编写，第6~7章由北京建筑大学张怀静编写。本书在编写过程中学习和参考了大量相关资料和优秀教材，在此谨向它们的作者表示诚挚的感谢。向为此书编写做了工作的研究生表示感谢。限于编者水平，书中难免有疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第1章 浅基础设计的基本原理	1
1.1 概述	1
1.2 浅基础的类型	2
1.3 地基基础设计的一般原则	5
1.4 基础底面尺寸确定	9
1.5 地基变形验算	18
1.6 地基稳定性验算	21
1.7 减轻不均匀沉降危害的措施	22
复习题	24
第2章 扩展基础	26
2.1 概述	26
2.2 无筋扩展基础	27
2.3 墙下钢筋混凝土条形基础	29
2.4 柱下单独基础	34
2.5 柱下联合基础	44
复习题	47
第3章 柱下条形基础	49
3.1 概述	49
3.2 柱下条形基础的构造要求	49
3.3 柱下条形基础的简化计算方法	51
3.4 弹性地基梁法	62
3.5 十字交叉条形基础	76
复习题	85
第4章 筏形基础	87
4.1 概述	87
4.2 筏形基础的设计步骤和构造要求	89
4.3 刚性板条法：平板式筏形基础	91
4.4 倒楼盖法：主次肋梁板式筏形基础	101
4.5 倒楼盖法：双主肋梁板式筏形基础	107
复习题	125
第5章 箱形基础	128
5.1 概述	128
5.2 箱形基础的构造要求	129
5.3 箱形基础的地基验算	131
5.4 箱形基础的结构设计	135
复习题	163
第6章 动力机器基础	165
6.1 概述	165
6.2 动力机器基础基本设计规定及设计步骤	166
6.3 实体式基础计算模型及地基动力特征参数	169
6.4 实体式机器基础振动计算方法	177
6.5 锻锤基础设计	182
6.6 活塞式压缩机基础设计方法简介	194
复习题	202
第7章 桩基础	203
7.1 概述	203
7.2 桩基础及桩的类型	210
7.3 桩的竖向承载力	218
7.4 桩的负摩阻力问题	236
7.5 桩的水平承载力	240
7.6 桩基础沉降计算	252
7.7 桩基础设计	256
复习题	278
附录	280
参考文献	291

第 1 章 浅基础设计的基本原理

1.1 概述

1. 基础概念

建筑物通常是设置在土体上的，在地表以上的建筑物结构称为上部结构，在地表以下的建筑物结构则称为基础。上部结构的荷载是通过基础传递给下面土层的。支撑基础的土层称为地基。

基础具有承上启下的作用，一方面，基础处于上部结构荷载及地基反力的共同作用之下，承受由此而产生的内力（弯矩、剪力、轴力和扭矩等）；另一方面，基础底面的反力反过来作为地基土上的荷载，使地基产生应力和变形。因此，在基础设计时，除了必须保证基础结构本身具有足够的强度和刚度外，同时还须选择合理的基础尺寸和布置方案，使地基的反力和沉降控制在允许的范围内，因而基础设计又常称为地基基础设计。

2. 天然地基与人工地基

凡是基础直接砌置在未经处理的天然土层上时，未经处理的天然土层就被称为天然地基。

若天然地基不能满足上部结构荷载的要求，则在修建基础前需对地基进行人工处理，经过处理的地基被称为人工地基。

3. 扩展基础

通常，上部结构和基础的材料强度较高，如素混凝土材料，其抗压强度至少达到 4200kPa，相比之下，地基土的设计强度（地基承载力）却小得多，如软土的地基承载力一般为 80kPa 左右，且压缩性较大，一般黏性土的地基承载力则高一些，但也只有 160kPa 左右。为此，要使土体能承受上部结构传来的荷载，必须把基础的底面积扩大，并埋置在承载力较大的地层上，这种基础就是扩展基础。概括来说，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，而基础内部的应力也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。

4. 浅基础与深基础

基础在天然地基上的埋置深度有深有浅。通常，当基础的埋置深度不超过 5m，或小于基础最小宽度时，称为浅基础，反之则为深基础。

这种按埋置深度来划分浅基础或深基础的方法，主要是从施工方面来考虑，当基础埋置深度不大（一般浅于 5m）时，可用比较简便的施工方法来建造；但基础埋置深度较大时（如桩、沉井和地下连续墙等），一般要采用特殊的施工方法和设备加以建造。

5. 地基基础设计时要考虑的因素

- 1) 基础的材料及结构形式。
- 2) 基础的埋置深度。

- 3) 地基土的承载力。
- 4) 基础的形状和布置, 以及与相邻基础、地下构筑物和地下管道的关系。
- 5) 上部结构的类型、使用要求及其对不均匀沉降的敏感性。
- 6) 施工期限、施工方法及所需的施工设备等。

由此可见, 地基基础设计是一项极其复杂且细致的工作, 为了能找到最合理和最有利的设计方案, 必须综合考虑这些相互关联的因素, 如此才能做到精心设计。

1.2 浅基础的类型

1.2.1 按基础材料性能分类

浅基础按基础所用材料性能可分为无筋扩展基础和钢筋混凝土扩展基础。

1. 无筋扩展基础

无筋扩展基础通常是由砖、块石、毛石、素混凝土、三合土和灰土等材料建造的基础, 这些材料虽有较好的抗压性能, 但抗拉、抗剪强度却不高。所以, 在设计时要求基础的外伸宽度和基础高度的比值在一定限度内, 以避免发生在基础内的拉应力和剪应力超过其材料强度设计值。在这样的限制下, 基础的相对高度一般都比较大, 几乎不会发生弯曲变形, 所以, 习惯上称此类基础为刚性基础。毛石基础如图 1-1 所示。

无筋扩展基础可用于六层和六层以下 (三合土基础不宜超过四层) 的民用建筑和砌体承重的厂房。无筋扩展基础又可分为墙下刚性条形基础和柱下刚性单独基础。

2. 钢筋混凝土扩展基础

钢筋混凝土扩展基础是指采用钢筋混凝土材料建造的基础。钢筋混凝土扩展基础具有较好的抗剪和抗弯能力。

当竖向荷载较大且存在弯矩和水平荷载, 同时地基承载力又较低时, 应采用钢筋混凝土扩展基础。

无筋扩展基础的尺寸不能同时满足地基承载力和基础埋深的要求, 钢筋混凝土扩展基础可用扩大基础底面积的方法来满足地基承载力的要求, 但其高度不受台阶高宽比的限制, 不必增加基础的埋深, 所以能得到合适的基础埋深。故钢筋混凝土扩展基础适用于需要“宽基浅埋”的场合。

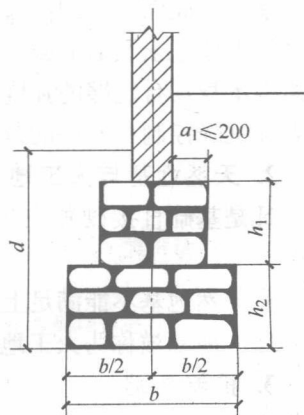


图 1-1 毛石基础

1.2.2 按基础构造分类

基础按构造可分为单独基础 (也称为独立基础)、条形基础 (包括十字交叉条形基础)、筏形基础、箱形基础等几种类型。

1. 单独基础

单独基础是整个或局部结构物下的无筋或配筋的单个基础, 主要用作柱下单独基础, 如图 1-2 所示; 也可用作墙下单独基础, 如图 1-3 所示。

钢筋混凝土单独基础构造形式通常有现浇阶梯形基础（见图 1-2a）、现浇锥形基础（见图 1-2b）和预制柱的杯口形基础（见图 1-2c）。杯口形基础又可分为单肢杯口形基础和双肢杯口形基础，还可分为低杯口形基础和高杯口形基础。

刚性单独基础构造形式通常是台阶形基础。砌体柱下常采用刚性单独基础。墙下单独基础如图 1-3 所示。

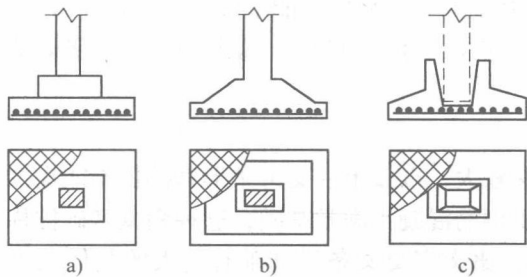


图 1-2 柱下单独基础

a) 现浇阶梯形基础 b) 现浇锥形基础 c) 预制柱的杯口形基础

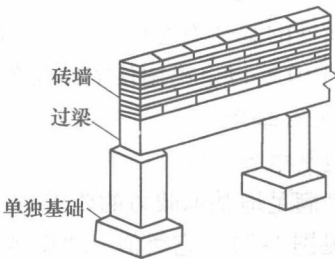


图 1-3 墙下单独基础

轴心受压柱下的基础底面形状一般为正方形，而偏心受压柱下的基础底面形状一般为矩形。

2. 条形基础

条形基础是指基础长度远远大于其宽度（通常 10 倍以上）的一种基础形式。按上部结构类型，条形基础可分为墙下条形基础（见图 1-4）、柱下条形基础（见图 1-5）、十字交叉条形基础（见图 1-6）。

(1) 墙下条形基础 墙下条形基础有刚性条形基础和钢筋混凝土条形基础两种。墙下刚性条形基础在砌体结构基础中得到广泛应用。墙下钢筋混凝土条形基础其横截面积根据受力条件可分为无肋式（见图 1-4a）和有肋式（见图 1-4b）两种，它是钢筋混凝土单独基础的特例。它的计算属于平面应变问题，只考虑在基础横向受力发生破坏。

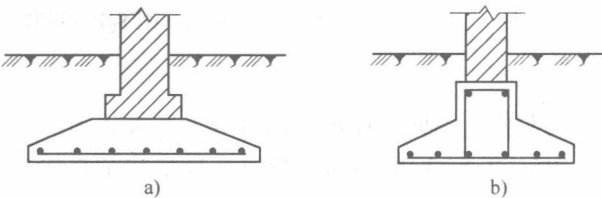


图 1-4 墙下条形基础

a) 无肋式 b) 有肋式

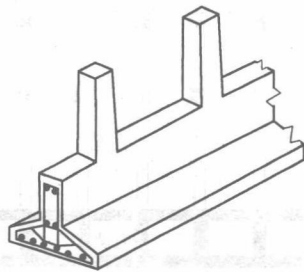


图 1-5 柱下条形基础

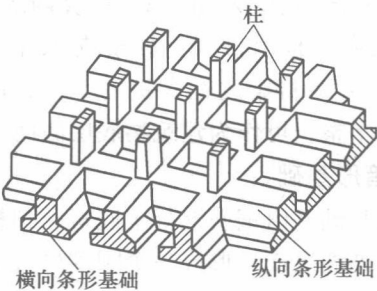


图 1-6 柱下十字交叉条形基础

(2) 柱下条形基础 当地基承载力较低且柱下钢筋混凝土单独基础的底面积不能承受上部结构荷载的作用时,常把若干柱子的基础连成一条,从而构成柱下条形基础,如图 1-5 所示。柱下条形基础设置的目的在于将承受的集中荷载较均匀地分布到条形基础底面积上,以减小地基反力,并通过形成的基础整体刚度来调整可能产生的不均匀沉降。把一个方向的单列柱基连在一起便成为单向条形基础。

(3) 十字交叉条形基础 当单向条形基础的底面积仍不能承受上部结构荷载的作用时,可把纵横柱的基础均连在一起,从而成为十字交叉条形基础(见图 1-6)。十字交叉条形基础可承担 10 层以下民用住宅的荷载。

3. 筏形基础

当地基承载力低、而上部结构的荷重又较大,以致十字交叉条形基础仍不能提供足够的底面积来满足地基承载力的要求时,可采用钢筋混凝土满堂基础,这种满堂基础被称为筏形基础(见图 1-7)。它类似一块倒置的楼盖,比十字交叉条形基础有更大的整体刚度,有利于调整地基的不均匀沉降,较能适应上部结构荷载分布的变化。特别对于有地下室的房屋或大型贮液结构,如水池、油库等,筏形基础是一种比较理想的基础结构。

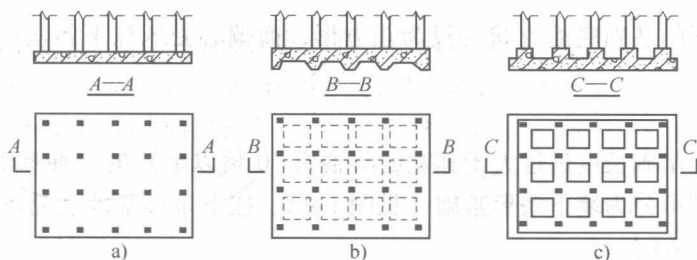


图 1-7 筏形基础

a) 平板式 b)、c) 梁板式

按照构造不同,筏形基础可分为平板式和梁板式两种类型。平板式筏形基础是一块等厚度(0.5~2.5m)的钢筋混凝土平板,柱子直接支承在底板上(见图 1-7a)。若柱距较大、柱荷载相差也较大时,板内会产生较大的弯矩,此时宜在板上沿柱轴纵向设置基础梁,即形成梁板式筏形基础,这时板的厚度虽比平板式小得多,但其刚度较大,能承受更大的弯矩。梁板式筏形基础按梁板的位置不同又可分为图 1-7b、c 所示两类。图 1-7b 为在底板上做梁,柱子支承在梁上;图 1-7c 为将梁放在底板的下方,底板上平面平整,可作为建筑物底层底面。

4. 箱形基础

箱形基础是由钢筋混凝土底板、顶板和纵横内外墙组成,形成一个刚度极大的箱子,故称之为箱形基础(见图 1-8)。它是筏形基础的进一步发展,基础顶板和

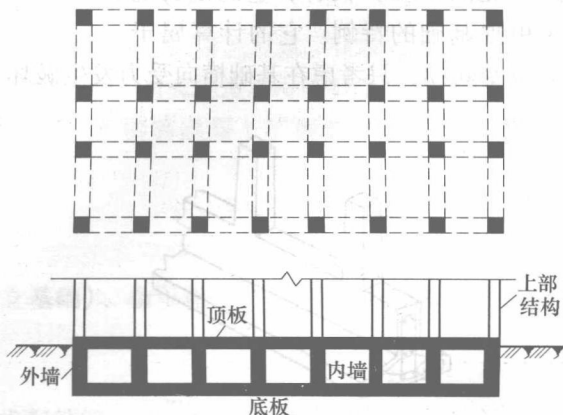


图 1-8 箱形基础

底板之间的空间可以作为地下室。箱形基础比筏形基础具有更大的抗弯刚度，可视为绝对刚性基础，而且挖去很多土，减少了基础底面的附加应力，因而适用于地基软弱土层厚、荷载大和建筑面积不太大的一些重要建筑物。目前高层建筑中多采用箱形基础。

除以上介绍的常见主要类型基础外，还有不少其他类型的基础，如壳体基础、不埋式薄板基础、无筋倒圆台基础、折板基础等。

1.3 地基基础设计的一般原则

地基基础作为承重土层和建筑物的下部结构，承受上部结构传来的全部荷载，因此，地基基础设计应满足建筑物的下列功能要求：

- 1) 能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种情况，并具有良好的工作性能。
- 2) 在正常维护情况下具有足够的耐久性能。
- 3) 在偶然事件发生时及发生后，仍能保持必需的整体稳定性。

1.3.1 设计等级

建筑物的安全和正常使用，不仅取决于上部结构的安全储备，更重要的是要求地基基础有一定的安全度。因为地基基础是隐蔽工程，所以不论地基或基础哪一方面出现问题或发生破坏均很难修复，轻者影响使用，重者还会导致建筑物破坏甚至酿成灾害，因此，地基基础设计在建筑物设计中举足轻重。根据地基复杂程度、建筑物规模和功能特征及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用程度，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 1-1 选用。

表 1-1 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的建筑物 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二层及二层以上地下室的基坑工程 开挖深度大于 15m 的基坑工程周边环境条件复杂、环境保护要求高的基坑工程
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物 除甲级、丙级以外的基坑工程
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑物次要的轻型建筑物 非软土地区且场地地质条件简单、基坑周边环境条件简单、环境保护要求不高且开挖深度小于 5m 的基坑工程

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 1-2 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 地基承载力特征值小于 130kPa，且体型复杂的建筑。
 - ② 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时。
 - ③ 软弱地基上的建筑物存在偏心荷载时。
 - 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。

表 1-2 可不作地基变形计算设计等级为丙类的建筑物范围

地基主要 受力层 情况	地基承载力特征值 f_{ak} /kPa			$80 \leq f_{ak} < 100$	$100 \leq f_{ak} < 130$	$130 \leq f_{ak} < 160$	$160 \leq f_{ak} < 200$	$200 \leq f_{ak} < 300$
	各土层坡度（%）			≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
建筑 类型	砌体承重结构、框架结构 (层数)			≤ 5	≤ 5	≤ 6	≤ 6	≤ 7
	单层 排架 结构 (6m 柱距)	单跨	起重机额 定起重量/t	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 100
			厂房跨度/m	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
		多跨	起重机额 定起重量/t	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 75
			厂房跨度/m	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
	烟囱		高度/m	≤ 40	≤ 50	≤ 75	≤ 75	≤ 100
	水塔	高度/m		≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30
		容积/m ³		50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 500	500 ~ 1000

- 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，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，应进行抗浮验算。

1.3.2 荷载规定

为了按地基承载力确定基础底面积，必须分析传到基础底面上的各种组合的荷载。

作用在建筑物基础上的荷载无论是轴向力、水平力和力矩，都可能由恒荷载和活荷载两部分组成。

恒荷载包括建筑物和基础的自重、固定设备的重力、土压力和正常稳定水位的水压力。恒荷载是长期作用在地基基础上的，它是引起基础沉降的主要因素。

活荷载又分为普通活荷载和特殊荷载（又称偶然荷载）。由于特殊荷载（如地震作用、风力等）发生的机会不多，作用的时间很短，故沉降计算只考虑普通活荷载。但在进行地基的稳定性验算时，则要考虑特殊荷载。

受水平力较大的建筑物（如挡土墙），除验算沉降外，还需进行沿地基与基础接触面滑

动、沿地基内部滑动和沿基础边缘倾覆等方面的验算。

在进行地基基础设计时,应根据使用过程中可能同时出现的荷载,按设计要求和使用要求,取各自最不利状态分别进行荷载效应组合。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。

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。

3) 计算挡土墙、地基或滑坡稳定以及基础抗浮稳定时,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。

4) 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、挡土墙压力以及滑坡推力,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。当需要验算基础裂缝宽度时,应按正常使用极限状态荷载效应标准组合。

5) 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。

1.3.3 基础埋置深度

基础埋置深度是指设计地面至基础底面的深度。为了保证基础安全,同时减少基础的尺寸,要尽量把基础放在良好的土层上。但基础埋置过深,不但施工不便,且会提高基础造价,因此应根据实际情况选择合理的基础埋深,一般应按下列条件确定:

- 1) 建筑物的用途,有无地下室、设备基础和地下设施,基础的形式和构造。
- 2) 作用在地基上的荷载大小和性质。
- 3) 工程地质和水文地质条件。
- 4) 相邻建筑物的基础埋深。
- 5) 地基土冻胀和融陷的影响。

在满足地基稳定和变形要求的前提下,基础宜浅埋,当上层地基的承载力大于下层土时,宜利用上层土为持力层。除岩石地基外,基础埋深不宜小于0.5m。基础顶面应低于设计地面0.1m以上,避免基础外露,遭受外界破坏。

高层建筑筏形基础和箱形基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。在抗震设防区,除岩石地基外,天然地基上的筏形和箱形基础埋置深度不宜小于建筑物高度的1/15;桩筏或桩箱基础的埋置深度(不计桩长)不宜小于建筑物高度的1/18。位于岩石地基上的高层建筑,其基础埋置深度应满足抗滑稳定性要求。

基础宜埋置在地下水位以上,当必须埋在地下水位以下时,应采用地基土在施工时不受扰动的措施。当基础埋置在易风化的岩石上,施工时应在基坑开挖后立即铺筑垫层。

当存在相邻建筑物时,新建建筑物的基础埋置深度不宜大于既有建筑物基础。当埋深大于既有建筑物基础时,两基础中间应保持一定净距,其数值应根据既有建筑物荷载大小、基础形式和土质情况确定。当上述要求不能满足时,应采用分段施工,设临时加固支撑,打板

桩，地下连续墙等施工措施，或加固既有建筑物地基。

确定基础埋深应考虑地基的冻胀性。根据冻胀对建筑物的危害程度，地基土的冻胀性可分为不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀五类，可按 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》附录 G 查取。不冻胀土的基础埋深可不考虑冻结深度。季节性冻土地区基础埋深宜大于场地冻结深度。对于深厚季节冻土地区，当建筑基础底面土层为不冻胀、弱冻胀、冻胀土时，基础埋置深度可以小于场地冻结深度，基础底面下允许冻土层最大厚度应根据当地经验确定，没有地区经验时，可按表 1-3 查取。对于冻胀、强冻胀、特强冻胀地基上的建筑物，尚应采用如下防冻措施：

1) 对在地下水位以上的基础，基础侧面应回填非冻胀性的中砂或粗砂，其厚度不应小于 200mm。对在地下水位以下的基础，可采用桩基础、保温性基础、自锚式基础（冻土层下有扩大板或扩底短桩），也可将独立基础或条形基础做成正梯形的斜面基础。

2) 宜选择地势高、地下水位低、地表排水良好的建筑场地。对低洼场地，建筑物的室外地坪标高应至少高出自然地面 300~500mm，其范围不宜小于建筑四周向外一倍冻深距离范围。

3) 防止雨水、地表水、生产废水、生活污水浸入建筑地基，应设置排水设施。在山区应设截水沟或在建筑物下设置暗沟，以排走地表水和潜水。

4) 在强冻胀性和特强冻胀性地基上，其基础结构应设置钢筋混凝土圈梁和基础梁，并控制上部建筑的长高比，增强房屋的整体刚度。

5) 当单独基础连系梁下或桩基础承台下有冻土时，应在连系梁或承台下留有相当于该土层冻胀量的空隙，以防止因土的冻胀使连系梁或承台开裂。

6) 外门斗、室外台阶和散水坡等部位宜与主体结构断开，散水坡分段不宜超过 1.5m，坡度不宜小于 3%，其下宜填入非冻胀性材料。

7) 对跨年度施工的建筑，入冬前应对地基采取相应的防护措施；按采暖设计的建筑物，当冬季不能正常采暖时，应对地基采取保温措施。

表 1-3 建筑基础底面下允许冻土层最大厚度 (单位：m)

冻胀性	基础形式	采暖情况	基底平均压力/kPa					
			110	130	150	170	190	210
弱冻胀土	方形基础	采暖	0.90	0.95	1.00	1.10	1.15	1.20
		不采暖	0.70	0.80	0.95	1.00	1.05	1.10
	条形基础	采暖	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50
		不采暖	2.50	2.50	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50
冻胀土	方形基础	采暖	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	—
		不采暖	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	—
	条形基础	采暖	1.55	1.80	2.00	2.20	2.50	—
		不采暖	1.15	1.35	1.55	1.75	1.95	—

注：1. 本表只计算法向冻胀力，如果基侧存在切向冻胀力，应采取切向力措施。

2. 基础宽度小于 0.6m 时不适用，矩形基础取短边尺寸按方形基础计算。

3. 表中数据不适用于淤泥、淤泥质土和欠固结土。

4. 计算基底平均压力时取永久作用的标准组合值乘以 0.9，可以内插。

1.3.4 地基基础设计的技术要求

地基基础设计一方面要满足上部结构的要求,另一方面还必须满足地基土的变形和强度的要求。在设计时要重视工程实践经验,就地取材、因地制宜地进行地基基础的设计。在设计时还要充分认识到上部结构和基础是一个整体的事实,要正确认识上部结构基础与地基共同作用的特点,如此才能安全、可靠、合理地进行地基基础设计。

1. 地基承载力要求

在进行地基承载力计算时,传至基础底面的荷载效应应按正常使用极限状态标准组合,有关土体自重的计算,均应采用实际重度。

(1) 轴心荷载作用 当基础轴心受压时,基底压力为均匀分布。基底压力与地基承载力应满足下式

$$p_k \leq f_a \quad (1-1)$$

式中 p_k ——相应于荷载标准组合时,基础底面处的平均压力标准值(kPa),当基础底面位于地下水位以下时,应扣除基础底面处的浮力作用于地基土上的平均压力标准值;

f_a ——修正后的地基承载力特征值(kPa)。

(2) 偏心荷载作用 当基础偏心受压时,基底压力为非均匀分布。基底压力与地基承载力除满足式(1-1)要求外,还应满足下式要求

$$p_{kmax} \leq 1.2f_a \quad (1-2)$$

式中 p_{kmax} ——相应于荷载标准组合时,基础底面边缘处的最大压力标准值(kPa)。

2. 地基变形要求

地基在建筑物荷载作用下要产生变形,变形过大会危及建筑物安全。地基变形应满足下式要求

$$s \leq [s] \quad (1-3)$$

式中 s ——地基变形值(m);

$[s]$ ——地基允许变形值(m)。

3. 地基稳定性要求

对经常承受水平荷载的高层建筑和高耸建筑,以及建造在斜坡上的建筑物和构筑物,应验算其稳定性。

4. 基础结构的要求

基础结构应有足够的强度、刚度及耐久性。

本章主要介绍地基的设计要求,基础结构的设计要求将在后面章节中介绍。

1.4 基础底面尺寸确定

地基承载力是指地基承受荷载的能力。在保证地基稳定的条件下,使建筑物的沉降量不超过允许值的地基承载力称为地基承载力特征值。地基承载力特征值可由载荷试验或其他原位测试、公式计算、并结合工程实践经验等方法综合确定。

1.4.1 地基承载力特征值

1. 实测数理统计法

利用地基土现场载荷试验或其他原位测试结果，并结合工程实践经验来确定地基承载力特征值 f_{ak} 。GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》规定对于基础宽度大于3m或埋置深度大于0.5m时，需按下式对地基承载力特征值进行修正，以修正后地基承载力特征值 f_a 作为设计依据

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_m (d - 0.5)$$
 (1-4)

式中 f_a ——修正后的地基承载力特征值 (kPa)；

f_{ak} ——地基承载力特征值 (kPa)；

η_b 、 η_d ——基础宽度和埋置深度的地基承载力修正系数，按所求承载力的土层类别查表1-4；

γ ——基础底面以下土的重度 (kN/m³)，地下水位以下取浮重度；

b ——基础底面宽度 (m)，当宽度小于3m时按3m考虑，大于6m时按6m考虑；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度，位于地下水位以下的土层取有效重度 (kN/m³)；

d ——基础埋置深度 (m)。

在式 (1-4) 中，基础埋置深度 d 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。对地下室，如采用箱形基础或筏形基础时，基础深度自室外地面标高算起；当采用单独基础或条形基础时，应从室内地面标高算起。

表 1-4 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 的黏性土		0	1.0
红黏土	含水比 $\alpha_w > 0.8$	0	1.2
	含水比 $\alpha_w \leq 0.8$	0.15	1.4
大面积压实填土	压实系数大于 0.95、黏粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 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	黏粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土	0.3	1.5
	黏粒含量 $\rho_c < 10\%$ 的粉土	0.5	2.0
e 或 I_L 均小于等于 0.85 的黏性土		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
中砂、粗砂、砾砂和碎石类土		3.0	4.4

注：1. 含水比是指土的天然含水量与液限的比值。
2. 大面积压实填土是指填土范围大于两倍基础宽度的填土。

当计算所得修正后的地基承载力特征值 $f_a < 1.1f_{ak}$ 时，可取 $f_a = 1.1f_{ak}$ 。当不满足式 (1-4) 的计算条件时，可按 $f_a = 1.1f_{ak}$ 直接确定修正后的地基承载力特征值。

2. 理论承载力公式法

《建筑地基基础设计规范》推荐以界限荷载 $P_{1/4}$ 为基础的理论公式结合经验，给出计算地基承载力特征值的公式如下

f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k \tag{1-5}

式中 f_a ——由土的抗剪强度指标确定的地基承载力特征值 (kPa);
 M_b 、 M_d 、 M_c ——承载力系数, 根据土的内摩擦角标准值 φ_k 按表 1-5 确定;
 b ——基础底面宽度 (m), 大于 6m 时按 6m 考虑, 对于砂土, 小于 3m 时按 3m 考虑;
 c_k ——基底下—倍短边宽度的深度范围内土的黏聚力标准值 (kPa)。
式 (1-5) 适用于偏心距小于或等于基础底面宽度的 3.3% 时的地基承载力计算。

表 1-5 承载力系数 M_b 、 M_d 、 M_c

φ_k (°)	M_b	M_d	M_c	φ_k (°)	M_b	M_d	M_c
0	0.00	1.00	3.14	22	0.61	3.44	6.04
2	0.03	1.12	3.32	24	0.80	3.87	6.45
4	0.06	1.25	3.51	26	1.10	4.37	6.90
6	0.10	1.39	3.71	28	1.40	4.93	7.40
8	0.14	1.55	3.93	30	1.90	5.59	7.95
10	0.18	1.73	4.17	32	2.60	6.35	8.55
12	0.23	1.94	4.42	34	3.40	7.21	9.22
14	0.29	2.17	4.69	36	4.20	8.25	9.97
16	0.36	2.43	5.00	38	5.00	9.44	10.80
18	0.43	2.72	5.31	40	5.80	10.84	11.73
20	0.51	3.06	5.66				

岩石地基承载力特征值, 可按《建筑地基基础设计规范》附录 H 岩石地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按下式计算

f_a = \psi_r f_{rk} \tag{1-6}

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), 可按《建筑地基基础设计规范》附录 J 确定;
 ψ_r ——折减系数, 根据岩体完整程度以及结构面的间距、宽度、产状和组合, 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。

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; 对于黏土质岩, 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; 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。

【例 1-1】某建筑物的箱形基础长 20m, 宽 8.5m, 持力层情况如图 1-9 所示, 其承载力特征值 $f_{ak} = 189\text{kPa}$, 箱形基础埋深 $d = 4\text{m}$, 试确定黏土持力层的修正承载力特征值。已知地下水位在地面下 2m 处。

解: 因箱形基础宽度 $b = 8.5\text{m} > 6.0\text{m}$, 故按 6m 考虑; 箱形基础埋深 $d = 4\text{m}$ 。持力层为

黏土, 因为 $I_L = 0.73 < 0.85$, $e = 0.83 < 0.85$, 所以查表 1-4 可得

$$\eta_b = 0.3, \eta_d = 1.6$$

因基础埋在地下水位以下, 故持力层的 γ 取浮重度

$$\gamma' = (19.2 - 10) \text{ kN/m}^3 = 9.2 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_m = \frac{\sum_{i=1}^3 \gamma_i h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{17.8 \times 1.8 + 18.9 \times 0.2 + (19.2 - 10) \times 2}{1.8 + 0.2 + 2} \text{ kN/m}^3$$

$$= \frac{54.22}{4} \text{ kN/m}^3 = 13.6 \text{ kN/m}^3$$

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma' (b - 3) + \eta_d \gamma_0 (d - 0.5)$$

$$= 189 \text{ kPa} + 0.3 \times 9.2 \times (6 - 3) \text{ kPa} + 1.6 \times 13.6 \times (4 - 0.5) \text{ kPa}$$

$$= 189 \text{ kPa} + 8.28 \text{ kPa} + 76.16 \text{ kPa}$$

$$= 273.4 \text{ kPa}$$

[例 1-2] 某粉土地基如图 1-10 所示, 试按式 (1-5) 计算地基承载力特征值。

层次	土类	层底深度 /m	地面标高 ±0.000	土工试验结果
I	填土	1.80		$\gamma = 17.8 \text{ kN/m}^3$
II	黏土	2.00		$I_L = 0.73$ $e = 0.83$ 水位以上 $\gamma = 18.9 \text{ kN/m}^3$ 水位以下 $\gamma = 19.2 \text{ kN/m}^3$

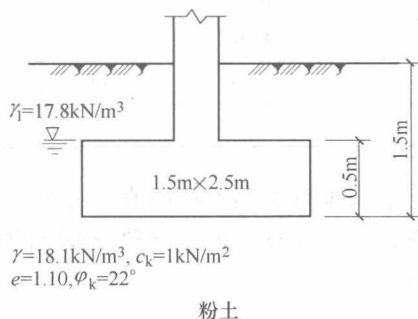


图 1-9 [例 1-1] 图

图 1-10 [例 1-2] 图

解: 持力层粉土 $\varphi_k = 22^\circ$, 查表 1-5, 得 $M_b = 0.61$, $M_d = 3.44$, $M_c = 6.04$

$$f_v = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k$$

$$= 0.61 \times (18.1 - 10) \times 1.5 \text{ kPa} + 3.44 \times \frac{17.8 \times 1.0 + (18.1 - 10) \times 0.5}{1 + 0.5} \times$$

$$1.5 \text{ kPa} + 6.04 \times 1.0 \text{ kPa}$$

$$= 7.41 \text{ kPa} + 75.16 \text{ kPa} + 6.04 \text{ kPa} = 88.6 \text{ kPa}$$

1.4.2 地基承载力验算与基础底面尺寸

1. 轴心荷载作用

当基础承受轴心荷载作用时, 假定基底反力呈均匀分布, 如图 1-11a 所示, 则持力层地基承载力验算必须满足下式

$$p_k = \frac{F_k + G_k}{A} \leq f_a \quad (1-7)$$