

高等教育“十二五”规划教材

基础工程

Jichu Gongcheng

主编 叶洪东 林 斌
主审 乔 兰

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

基 础 工 程

主 编	叶洪东	林 斌
副主编	原冬霞	李 军
主 审	乔 兰	

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书包括十一章内容,系统阐述了地基基础设计原则、天然地基上的浅基础、浅基础结构设计、桩基础及其他深基础、软弱地基处理、特殊土地区地基基础、动力机器基础与地震区地基基础、建筑基坑支护等多方面知识。不但详细阐述基本概念与设计原理,还通过具体算例说明相关设计计算方法和解决工程实际设计问题的思路。采用现行最新规范编写,内容深入浅出、循序渐进、重点突出、图文并茂。力求反映本学科国内外的新成果、新方法和新技术,以满足教学要求和适应我国 21 世纪工程建设发展的趋势。每章都附有复习思考题与练习题,便于学生对本章内容的复习与掌握。

本书主要作为高等院校土木工程、道路桥梁工程、勘察技术与工程等本科专业教材,也可供从事岩土工程、土木工程相关工作的教师、研究生、科研人员和工程技术人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/叶洪东,林斌主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1157- 6

I. ①基… II. ①叶… ②林… III. ①地基—基础(工程)
IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 148761 号

书 名 基础工程

主 编 叶洪东 林 斌

责任编辑 杨 洋

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏徐州新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 20 字数 495 千字

版次印次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

基础工程是关于建(构)筑物在设计 and 施工中有有关地基和基础问题的实践性很强的应用学科。基础工程课程是土木工程专业和岩土工程专业的主干专业课。本书结合现代基础工程的发展趋势,按照土木工程和岩土工程专业本科教育培养高级应用型人才目标以及高等院校土木工程专业基础工程教学大纲的要求,并参照我国现行最新规范,结合作者多年来教学和指导学生毕业设计的经验及毕业生就业单位反馈意见编写。除作为土木工程专业和岩土工程专业本科教材外,也可作为学生毕业设计参考书或相关工程技术人员的参考用书。

本书在内容安排上既注意先进性与实用性的协调,又注重新规范和新成果的引用,不但详细阐述基本概念与设计原理,还通过具体算例说明相关设计计算方法和解决工程实际设计问题的思路。本书在编写过程中努力做到内容深入浅出、重点突出、循序渐进、图文并茂,力求体现以下特色:

① 本书力图准确阐述基础工程学科的基本概念、基本设计原理与基本设计方法,设计理论围绕现行规范,力求反映规范的基本原则和基本规定。尽量阐述规范中的用意与结论,在理解规范的基础上详细讲解现代设计原理和设计方法,有利于学生深入理解、应用和提高。

② 本书侧重设计理论和方法的讲述,同时强调例题的作用,以此提高学生的理解能力和满足初学者阅读和易懂的要求。安排适当的工程算例与讨论,使学生在学、理解、体会设计规范的基础上通过工程算例的学习,加深对概念设计的认识和对设计方法的理解,并参照算例算法解决实际工程问题。强调理论联系实际。

③ 本书根据国家现行的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等最新规范编写。

④ 本书内容层次分明,既考虑全书内容的系统性和整体性,又力求各章内容相对独立,以适应多层次、不同专业方向和不同学时数的教学要求。

本书内容涉及地基基础设计原则、天然地基上的浅基础、浅基础结构设计、桩基础及其他深基础、软弱地基处理、特殊土地地区地基基础、动力机器基础与地震区地基基础、建筑基坑支护、边坡支护与加固等多方面知识,力求反映本学科

国内外的新成果、新方法和新技术,以满足教学要求和适应我国 21 世纪工程建设发展的趋势。

本书由河北工程大学土木工程学院叶洪东、李军、原冬霞、孙克以及安徽理工大学林斌共同编写。在编写人员集体讨论和充分酝酿的基础上,经数次修改后定稿。全书共分为十一章,其中第 1 章、第 2 章、第 5 章 7~11 节和第 7 章由叶洪东编写,第 6 章、第 10 章、第 11 章由林斌编写,第 3 章、第 5 章 1~6 节由原冬霞编写,第 4 章由孙克编写,第 8 章和第 9 章由李军编写。全书由叶洪东负责编写大纲、统稿、修改并定稿。

全书由北京科技大学乔兰教授负责主审,并在审稿中提出了许多宝贵意见和建议,在此深表感谢。

本书由河北工程大学叶洪东和安徽理工大学林斌主编、河北工程大学原冬霞和李军担任副主编。

本书在内容组织和编写过程中,河北工程大学史三元教授、胡启平教授、周书敬教授、杜海金教授和吴雄志教授等提出了不少宝贵意见和建议,给予了很大的帮助和支持,在此向他们表示诚挚的谢意。对中国矿业大学出版社的编辑杨洋和有关同志在本书出版的组织、审阅、编辑等工作中的热心帮助表示感谢。对参加本书插图绘制、校稿的硕士研究生张巍、赵睿等同学表示谢意。

在教材编写过程中参考了大量文献,参用了有关高等院校的同类教材,参照了有关的手册、规范、标准等,并选用了其中的许多图表和资料,限于篇幅未能一一列举,编者特向各位作者表示衷心谢忱。

由于编者水平所限,书中难免存在不足、纰漏甚至错误之处,恳请同仁及读者批评指正。

作 者

2012 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 基础工程的相关概念	1
1.2 基础工程的研究内容及其在建筑工程中的地位	2
1.3 基础工程学科发展概况	4
1.4 本课程和土木工程专业的关系	5
1.5 基础工程课程的特点与学习方法	5
复习思考题	6
第 2 章 基础工程设计的原则与规定	7
2.1 概述	7
2.2 地基基础设计等级和设计原则	8
2.3 地基基础设计中的两种极限状态	10
2.4 地基基础设计的荷载效应组合	12
2.5 地基变形特征及其允许变形值	14
复习思考题	17
第 3 章 天然地基上的浅基础	18
3.1 概述	18
3.2 浅基础类型和特点	18
3.3 基础埋深的确定	23
3.4 地基承载力特征值的确定	29
3.5 基础底面尺寸的确定	39
3.6 软弱下卧层的验算	41
3.7 地基变形验算	43
3.8 地基稳定性验算	46
3.9 浅基础设计实例	47
3.10 地基、基础与上部结构的共同作用	51
3.11 减少地基不均匀沉降对建筑物危害的措施	54
复习思考题	58
练习题	59

第4章 浅基础结构设计	60
4.1 地基计算模型	60
4.2 无筋扩展基础	64
4.3 墙下条形基础	66
4.4 柱下独立基础	69
4.5 柱下钢筋混凝土条形基础	77
复习思考题	84
练习题	84
第5章 桩基础	85
5.1 概述	85
5.2 桩及桩基础的分类	86
5.3 单桩轴向荷载传递特性	91
5.4 单桩竖向承载力的确定	94
5.5 单桩水平承载力计算	101
5.6 单桩抗拔承载力	108
5.7 群桩承载力计算	110
5.8 桩基沉降计算	116
5.9 承台的设计与计算	120
5.10 桩基设计步骤与内容	129
5.11 桩基础设计实例	134
5.12 桩侧负摩阻力	139
复习思考题	143
练习题	143
第6章 其他深基础	145
6.1 沉井与沉箱基础	145
6.2 地下连续墙	155
复习思考题	158
第7章 地基处理	159
7.1 概述	159
7.2 换土垫层法	166
7.3 强夯与强夯置换法	172
7.4 排水固结法	177
7.5 复合地基理论简介	189
7.6 挤密砂石桩	197
7.7 粉体喷射搅拌桩	203
7.8 水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)	208

复习思考题	214
练习题	215
第 8 章 特殊土地基	217
8.1 概述	217
8.2 湿陷性黄土地基	217
8.3 软土地基	223
8.4 膨胀土地基	227
8.5 冻土地基	234
8.6 山区地基及红黏土地基	239
复习思考题	243
第 9 章 动力机器基础与地震区地基基础	244
9.1 概述	244
9.2 动力机器基础设计	245
9.3 地震的震害	248
9.4 天然地基及基础抗震设计	251
9.5 桩基抗震设计	256
复习思考题	257
第 10 章 建筑基坑支护与基坑降水	258
10.1 概述	258
10.2 支护结构的类型及特点	258
10.3 基坑支护设计原则与内容	260
10.4 支护结构上的荷载及水、土压力计算	261
10.5 基坑支护结构设计	270
10.6 基坑稳定性分析	280
复习思考题	291
练习题	291
第 11 章 边坡支护与加固	292
11.1 概述	292
11.2 挡土墙结构类型	296
11.3 挡土墙结构设计	300
11.4 边坡岩土体加固	304
复习思考题	307
练习题	307
参考文献	309

第1章 绪 论

1.1 基础工程的相关概念

“万丈高楼平地起”，目前所有的土木工程，包括建筑工程、道路工程、桥梁工程、水利工程、港口与码头工程等各类建(构)筑物，均坐落在地球表面的地层上(包括土层和岩层)或处于地面以下的岩土层中。任何建筑物都必须依靠其牢固的地基基础才能保证其工程本身的安全、稳定和正常使用，即地基基础是建筑物的根本。通常建(构)筑物均可分为上部结构和下部结构(基础)两大部分。一般以室外地面整平标高(或河床最大冲刷线)为基准，基准线以上部分称为上部结构，基准线以下部分称为下部结构(基础)。基础是支撑上部结构荷载，并将其传递给地基的建筑物下部结构的统称，如图 1-1 所示。基础常埋藏于地下，起到承上启下和荷载扩散的作用。地基是受建筑物荷载作用或影响的那部分地层(土层或岩层)，包括持力层和下卧层(图 1-1)。

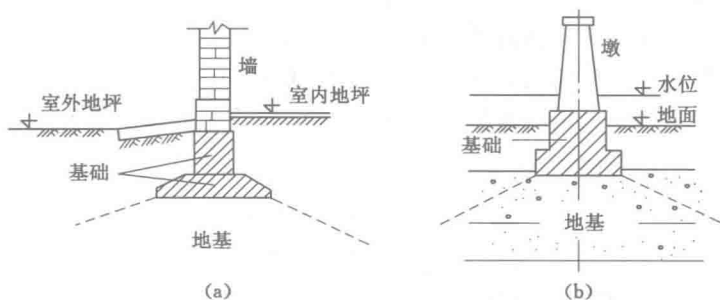


图 1-1 地基基础及与上部结构关系示意图

根据基础的埋置深度，可把基础分为浅基础和深基础两类。浅基础是指基础埋深不大(一般小于 5 m 或小于基础宽度)，只需经过挖槽、排水等普通施工程序就可以建造的基础。如属单独基础的有柱下单独基础，水塔、烟囱及墙下单独基础等；属连续基础的有墙下条基、柱下条基、筏基、部分箱基等。当地基浅层土质不能满足设计要求时，就必须把基础埋置于深处(一般大于 5 m)的良好地层上，并借助特殊的施工方法建造基础，这就是深基础，如箱基、桩箱基础、桩筏基础、墩基础、沉井基础、地下连续墙等。

通常情况下，作为建筑物的地基应满足两个基本条件：其一是地基应具有足够的强度，在荷载的作用下不至于因地基失稳而使建筑物破坏；其二是地基不能产生过大的变形，以保证建筑物的安全和正常使用。地基可分为天然地基和人工地基。不加任何处理就可满足强度和变形要求的地基称为天然地基。需经人工加固处理后才能满足强度与变形要求的地基

称为人工地基(地基处理或地基加固),如复合地基、强夯地基、堆载预压地基等。在地基受力层范围内,基础底面下与基础直接接触的土层称为持力层。持力层直接承受基础和上部结构荷载,对地基起主要作用。持力层之下受荷载影响较小的土层称为下卧层。其中承载力显著低于持力层的土层称为软弱下卧层。

基础工程就是研究建筑物在设计、施工或使用过程中与地基和基础有关的工程问题的学科。随着国家基本建设的迅猛发展,高层、超高层建筑、大跨度、复杂体型和结构越来越多,而人均土地资源有限,可用做建筑物地基的地质条件良好的场地越来越少,遇到的基础工程问题越发复杂,使得基础工程的重要性和技术上的难度进一步加大。基础工程费用往往占工程总造价的 20%~30%,工期占总工期的 25%~30%,甚至更高。据统计,世界各地的工程事故中,以地基基础事故最多。由于地基基础均埋在地下,属于隐蔽工程,此类事故事先难以发现,事后难以补救,严重者几乎无法修复,而且通常要耗费大量的人力、物力和财力,给工程造成严重的经济损失,甚至造成人身伤亡事故。因此,牢固掌握基础工程理论和设计计算方法,充分了解场地的地基条件,选择合理的基础形式,进行地基基础的精心设计,具有重要的技术、经济和现实意义。

1.2 基础工程的研究内容及其在建筑工程中的地位

1.2.1 基础工程的研究对象与内容

基础工程的研究对象包括地基与基础两个方面。研究内容为各类建(构)筑物及结构物的基础与岩土地基相互作用而共同承担上部结构荷载所引起的变形、强度与稳定问题。基础工程不但包括基础和地基的相关设计理论,还包括基础的施工方法和技术,以及为满足基础工程的设计与施工要求采用的各种地基处理方法、基坑支护和支挡结构等。

1.2.2 基础工程在建筑工程中的地位和作用

① 建筑物的地基与基础的设计与施工质量的好坏是整个建筑物质量的根本问题。

基础是建筑物的下部结构,属建筑物的重要组成部分,没有坚固而耐久的基础,上部结构再结实也会出问题;地基虽不是建筑物的组成部分,但是地基的好坏直接影响着整个建筑物的安全和正常使用;地基基础是建筑物的地下隐蔽部分,一旦失事难以补救,甚至发生灾难性后果。下面举例说明。

事例 1:意大利的比萨斜塔地基破坏

意大利的比萨斜塔于 1173 年动工兴建,建至 24 m(4 层半)发现塔身倾斜,停建,100 年后的 1273 年又续建,时续时断,最终于 1350 年完工,为 8 层圆柱形建筑,全部用白色大理石砌成,塔高 54.5 m,塔身墙壁底部厚约 4 m,顶部厚约 2 m,塔体总重量达 1.42 万 t。在底层有圆柱 15 根,中间六层各 31 根,顶层 12 根,这些圆形石柱自下而上一起构成了八种 213 个拱形券门。整个建筑,造型古朴而灵巧,为罗马式建筑艺术之典范。钟置于斜塔顶层。塔内有螺旋式阶梯 294 级,游人由此登上塔顶或各层环廊,可尽览比萨城区风光。

a. 比萨斜塔倾斜情况及原因——建塔之初,塔体还是笔直向上的。但兴建至第四层时,发现塔体开始倾斜,工程被迫停工。塔体出现倾斜的主要原因是土层强度差,塔基的基础深度不够(只有 3 m 深),再加上用大理石砌筑的塔身非常重,因而造成塔身不均匀下沉

所致。这种情况的发生,完全是由于建造前对地层结构缺乏全面、周密的调查和勘测,使其设计有误、奠基不慎造成的。塔停建近百年后,又开始继续施工。为了防止塔身再度倾斜,工程师们采取了一系列补救措施。如采用不同长度的横梁和增加塔身倾斜相反方向的重量等来设法转移塔的重心。但由于建成的四层倾斜已成事实,所以全塔建成后塔顶中心点还是偏离塔体中心垂直线 2.1 m 左右。建成之后仍以 1 mm/a 左右的速度下沉。至 20 世纪 70 年代,北侧下沉 1 m 有余,南侧下沉近 3 m,沉降差高达 1.8 m,倾角 5.8° 。

b. 比萨斜塔治理措施及结果——为了使这座世界闻名的历史建筑物免遭坍塌厄运,从 19 世纪开始,人们就对其采取了各种挽救措施。1930 年,有关部门在塔基周围灌浆加固。意大利政府还于 1965 年和 1973 年两次出高价向各界征求合理的建设性意见。当局在 1990 年关闭斜塔时,塔顶已经偏离轴线近 5 m。为了防止斜塔继续倾斜,当局在斜塔北侧的塔基下码放了数百吨重的铅块,并使用钢丝绳从斜塔的腰部向北侧拽住,还抽走了斜塔北侧的许多淤泥,并在塔基地下打入 10 根 50 m 长的钢柱,如图 1-2 所示。



图 1-2 正在纠偏中的
比萨斜塔局部

2001 年 12 月 15 日,关闭了长达 4 359 天的比萨斜塔重新正式向游客开放。此次拯救斜塔的工程耗资 550 亿里拉,纠偏校斜 43.8 cm,目前还倾斜 4.5 m,加固工程使比萨斜塔的倾斜度减少了 0.5° ,除自然因素外,可确保 300 年内不发生倒塌危险。

事例 2: 加拿大特朗斯康谷仓地基破坏

建于 1941 年的加拿大特朗斯康谷仓由 65 个圆柱形筒仓组成,高 31 m,其下为钢筋混凝土片筏基础,厚 2 m。谷仓自重 2.0×10^8 N,当装谷 2.7×10^8 N 后,发现谷仓明显失稳,24 h 内西端下沉 8.8 m,东端上抬 1.5 m,整体倾斜 $26^\circ 53'$,如图 1-3 所示。

事后进行勘察分析,发现基底之下为厚十余米的淤泥质软黏土层。地基的极限承载力为 251 kPa,而谷仓的基底压力已超过 300 kPa,从而造成地基的整体滑动破坏。基础底面以下一部分土体滑动,向侧面挤出,使东端地面隆起。

为了处理这一事故,在地基中做了 70 多个支承于深 16 m 基岩上的混凝土墩,使用了 88 个 500 kN 的千斤顶和支承系统,才把仓体逐渐纠正过来,然而谷仓标高比原来已降低了 4 m。

事例 3: 美国纽约某水泥仓库的地基破坏事故

美国纽约某水泥仓库位于纽约市汉森河旁,仓库呈椭圆筒形,高 21 m,直径 13 m,片筏基础,埋深 2.8 m。1940 年装载水泥,使黏土地基超载,引起地基剪切破坏而滑动。致使筒仓倾倒成 45° ,地基土被挤出地面高达 5.18 m。同时,受其地基滑动影响,净距 23 m 以外的办公楼也发生了倾斜,如图 1-4 所示。

② 基础工程的施工周期与进度往往控制整个建筑物的施工周期和进度。通常基础工程施工工期占总工期的 25%~30%,甚至更高。

③ 基础工程造价在工程总造价中占有相当大的比重(占工程总造价的 20%~30%),尤其在软土地区和地基条件复杂的情况下的高层、超高层复杂结构的建筑更是如此。

综上所述,基础工程在整个建筑工程中占有举足轻重的地位,土木工程技术必须十

分重视基础工程问题,对于建筑物地基和基础必须精心设计,严格施工。



图 1-3 加拿大特朗斯康谷仓地基破坏情况



图 1-4 纽约某水泥仓库的地基破坏事故

1.3 基础工程学科发展概况

基础工程既是一项古老的工程技术,又是一门年轻的应用科学。基础工程与其他技术科学一样,是在人类长期生产实践活动中不断发展起来的。

在我国古代劳动人民的建筑活动中,早就创造了自己的地基基础工艺,如西安半坡村发现新石器时代的文化遗址中就有“土台”和“石础”——古代的地基基础。

春秋战国时期,夯土基础已达到相当高的水平,一直沿用至今。比如,我国西部的长城大多都是用灰土或素土分层夯实的土筑长城,玉门关一带的汉长城是用砂、砾石、黏土和红柳或芦苇分层压实而成,至今残留高度仍 5~6 m,这就是最早的加筋土。

隋朝,杰出的工匠李春,设计建造了闻名于世的赵州桥,为单孔圆弧弓形石拱桥,全长 50.82 m,桥面宽 9.6 m,石拱跨度 37.37 m,高 7 m,拱肩上 4 个小拱,是当时世界上最大的石拱桥,不仅造型艺术高超,而且地基基础设计经济合理,他把桥台埋置在强度高、压缩性低的密实粗砂层上,至今已有 1 300 多年,而地基的下沉量仅几个厘米。经专家验算,基底压力约 500~600 kPa,竟然与现行地基基础设计规范给出的 550 kPa 承载力值很接近。

宋朝,苏州的虎丘塔,建成于宋太祖建隆二年(公元 961 年),七层,塔高 47.5 m,采用块石黏土人工地基,厚 3 m 多,下卧层为残积土。砖砌塔身垂直向下砌八皮砖,直接置于地基上。估算塔重 5 800 t,基底压力达 400 kPa,该塔建成至今已有 1 000 多年的历史,不过前些年发现塔身出现倾斜,原因之一是地表排水沟堵塞,雨水下渗,加剧了地基的不均匀沉降。

此外,北京故宫、天安门、前门等古建筑在地基、基础上也达到了很高水平。其中,天安门采用桩基础,前门采用筏式基础,故宫三大殿采用的是灰土基础。

以上所列举的古建筑以及其他地方的一些宫殿、寺院、宝塔等建筑,都是因为有了坚固的地基和基础,才能经受千百年的强风暴雨的考验和历次大地震的袭击而安然无恙。这些记载资料说明我国劳动人民很早就具备了地基基础工艺技术,但由于当时受社会生产力和技术条件的限制,在相当长的时期内发展很缓慢,有关地基基础工程的高超技艺未能及时提炼、升华,形成系统的科学理论。

18 世纪工业革命后,随着资本主义国家工业化的发展,城市建设、道路工程、水利工程规模的不断扩大,特别是工程事故的接连发生,促进了人们对地基基础的重视和研究。如

19 世纪中叶利用气压沉箱法修建桥梁深水基础等,但此时在基础工程方面还未形成系统的完整的理论,也未建立起独立的学科。

20 世纪 20 年代以后,地基与基础的研究有了较迅速的发展,随之有了比较系统完整的专著问世:1925 年,太沙基出版了专著《土力学》;1936 年,在美国波士顿召开了第一届国际土力学和基础工程会议。

20 世纪 50 年代,由于现代科学技术,尤其是电子技术渗入土力学与基础工程的研究领域后,基础工程技术与理论得到了进一步的发展与充实,使其成为一门较系统的独立学科——地基与基础(基础工程)。但基础工程学科发展至今,在理论和实践方面仍存在许多问题,尤其是随着现代建筑高度的增加,建筑体形和建筑地基条件越来越复杂,给基础工程学科提出更新更复杂的研究课题,这无疑会推动该学科的进一步发展和完善。

1.4 本课程和土木工程专业的关系

土木工程专业培养目标是土木工程设计、建造与管理方面的高级技术人才。具备从事土木工程的项目规划、设计、研究开发、施工组织及管理能力,在工业与民用建筑工程、道路与桥梁工程、岩土工程等领域从事设计、施工、检测、监理等技术工作的专门人才。其中岩土工程领域具体包括以下五个方面的工作:

① 岩土工程勘察——基础形式、埋深论证,甚至提出基础设计方案,地基处理方案,基坑支护方案,基坑降水方案等。

② 岩土工程设计——浅基础设计,桩基设计,地基处理设计,边坡加固设计,基坑支护设计,基坑降水设计等。

③ 岩土工程施工——浅基础,深基础,地基处理,基坑支护,基坑降水,土工结构,斜坡加固,地下工程等。

④ 岩土工程检测(监测)——检测岩土工程施工质量。监测地基基础的变形及岩土体的变形破坏趋势。

⑤ 岩土工程监理——监督管理岩土工程的勘察、设计、施工、检测等。

基础工程学科是岩土工程学的重要组成部分,从事以上五个方面的工作都涉及基础工程研究的主要内容。因此,基础工程是土木工程专业必修的一门专业课程。

1.5 基础工程课程的特点与学习方法

(1) 课程特点——基础工程是土木工程专业的重要的专业课程,该课程涉及工程地质学、土力学、材料力学、结构力学、弹性力学和建筑施工等多门学科,所以内容广泛、综合性强,而且涉及的技术规范多。

(2) 学习要求——根据本课程特点,牢固掌握浅基础、桩基础各种地基处理方法及基坑支护的基本概念、设计原理、施工方法和施工工艺等。能利用所学理论分析和解决与地基基础有关的工程问题。

(3) 学习方法——学习时应注意以下几点:

① 应在对基础工程设计原理的理解和设计方法的学习基础上,加强对设计案例的学习

与掌握,提高解决实际问题的能力。抓住“应力、变形、强度、稳定性”的主线,理论和应用都是围绕这条主线展开的,搞清基本概念,掌握设计计算方法。

② 重视地区经验,基础工程是一门实践性很强的学科,又由于地基条件的复杂性及建筑类型和结构要求的多样性,目前在解决地基基础问题时还带有一定程度的经验性,《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)等规范就是理论和经验的总结,学习时要依照规范并结合地区经验,力戒死搬硬套地进行地基基础设计。

③ 考虑地基、基础和上部结构的共同工作,地基、基础和上部结构是一个统一的整体,它们相互制约、相互依存、相互影响。设计时应该考虑三者的共同工作,整体分析。

④ 重视施工工艺和施工质量,基础工程是隐蔽工程,正由于它埋于地下,往往易被人们所忽视。经验告诉我们,即使地基基础设计再合理,若不能严格按照施工方法和工艺进行施工,也不能满足建筑物的技术要求,甚至给工程埋下隐患。

复习思考题

- 1-1 什么是基础工程? 其研究的主要内容是什么?
- 1-2 何为地基? 何为基础? 如何分类?
- 1-3 建筑地基应满足的两个基本条件是什么?
- 1-4 简述基础工程在建筑工程中的地位和作用。
- 1-5 简述基础工程学科发展概况。
- 1-6 基础工程课的特点与学习方法是什么?

第2章 基础工程设计的原则与规定

2.1 概述

2.1.1 基础工程及其设计内容

基础工程(foundation engineering)泛指包括地基及基础在内的所有下部结构工程,是工程体系中最为重要的部分。其研究内容是与岩土体有关的建筑工程的技术问题,即下部结构物与岩土相互作用共同承担上部结构所产生的各种荷载、变形与稳定问题。

基础工程设计主要包括基础设计与地基设计。基础设计包括基础形式的选择、基础埋置深度的选择及基底面积大小、基础内力和基础断面计算等内容。地基设计包括地基承载力的确定、地基变形计算、地基抗滑及抗倾覆等计算。基础工程设计要综合考虑上部结构形式、荷载大小及其分布情况,以及地基土的物理力学性质、土层分布、地下水位及其变化等情况,即包括基础设计和地基设计两部分内容,故亦称地基基础设计。此外,与地基基础相关的基坑支护设计、边坡设计等也属于基础工程设计内容。

2.1.2 基础工程的基本设计计算原则

(1) 建筑结构功能要求

为了保证建筑物的安全、稳定和正常使用,《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)规定,建筑结构应满足如下功能要求:

- ① 安全性——能承受在正常施工和正常使用过程中可能出现的各种作用(结构荷载、施工荷载等)。
- ② 适用性——在使用过程中应具有良好的工作性能。
- ③ 耐久性——在正常维护条件下应能满足使用年限。
- ④ 稳定性——在偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定。

(2) 基本设计计算原则

建筑物的地基基础和上部结构是共同工作的,基础作为建筑物的下部结构,显然必须满足上述要求。地基承受建筑物全部荷载,一旦破坏,基础与上部结构都会发生不同程度的位移、变形甚至破坏,因而地基也应适应建筑物的设计要求。因此,在进行基础工程设计时,首先必须有一个上部结构—基础—地基相互作用的整体观点。基础工程设计的目的是设计一个安全、经济和可行的地基与基础,保证上部结构的安全和正常使用。基础工程的基本设计计算原则是:

- ① 地基应具有足够的强度,满足地基承载力的要求。

这个原则的核心是通过基础传给地基的平均压力(基底压力)应小于或等于修正后

地基承载力特征值。这意味着地基经过一段时间的压缩变形后即可趋于稳定,能够保证结构的正常使用。相反,如果基底压力等于地基极限承载力,那就意味着地基处于破坏临界状态。

② 地基与基础的变形应满足建筑物正常使用的允许要求。

这个原则是根据建筑物的破坏多数是由于地基变形不均匀造成的事实提出的。上部结构除木结构外,砖石结构和混凝土结构都只能适应较小的差异沉降,而地基的变形往往较大,可能从几厘米至几十厘米,并且不易准确计算。

在执行这个原则时,还要明确两个问题:

- a. 地基变形计算是在未考虑上部结构刚度的情况下进行的,与实际有相当大的误差;
- b. 地基允许变形值是根据实际建筑物在不同类型地基上的长期观测资料提出来的,它是上部结构、基础、地基三者相互作用的结果。

只有充分认识这两个问题后,才能灵活运用这个原则。否则,由于计算与实测存在基本条件方面的差别,易于引出错误的结论,造成浪费。另外,也会发生认为计算值不可靠,而忽视计算的倾向,其结果也将造成大量的浪费,甚至造成严重的工程事故。

③ 地基与基础的整体稳定性有足够保证。

这个原则的制定是使地基基础具有抗倾覆、抗滑的能力。众所周知,地基失稳破坏造成的事故往往是灾难性的,如房屋倒塌、人员伤亡和交通阻断。在山区建设中,为了防止地基失稳而修建的支挡结构和排水设施可达到整个工程造价的 50% 以上。

④ 基础本身应有足够的强度、刚度和耐久性。

地基基础的设计,还必须坚持因地制宜、就地取材的原则。根据岩土工程勘察资料,综合考虑结构类型、材料供应与施工条件等因素,精心设计,以保证建筑物的安全和正常使用。

随着科学技术的发展,为与国际上建筑物及基础工程设计标准接轨,我国目前新制定的许多工程设计规范规定“建筑物采用以概率理论为基础的极限状态设计方法”,以便在建筑设计上做到技术先进、经济合理和安全适用。

2.2 地基基础设计等级和设计原则

2.2.1 地基基础的设计等级

建(构)筑物的安全和正常使用,不仅取决于上部结构的安全储备,还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都很难修复,轻者影响使用,重者导致建(构)筑物破坏,甚至酿成灾害。因此,地基基础设计在建(构)筑物设计中的地位举足轻重。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,《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)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。

《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)中虽然没有明确地在基础设计中划分建(构)筑物安全等级,但在实际应用中是根据公路等级与桥涵跨径分类相结合的原则来区分建(构)筑物等级的。

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 30 层以上的高层建筑 体型复杂,层数相差超过 10 层的高低层连体一体建筑物 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二层及二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

2.2.2 地基基础的设计原则

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)规定,地基基础的设计与计算应满足承载力极限状态和正常使用极限状态的要求。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:

- (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、乙级的建筑物及表 2-2 所列范围以外的丙级建筑物,除满足承载力要求外,尚应验算变形,即按地基变形设计。
- (3) 表 2-2 所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不作变形验算,按承载力进行设计,即只要求基底压力小于或等于地基承载力,不要求验算变形。认为承载力满足要求后,建筑物沉降就会满足允许变形值。这种方法最为简单,节省了设计计算工作量。

但表 2-2 所列范围内的丙级建筑物,如有下列情况之一时,仍应作变形验算(以保证建筑物不因地基沉降影响正常使用):

- ① 地基承载力特征值小于 130 kPa,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。
- (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,尚应进行抗浮验算。