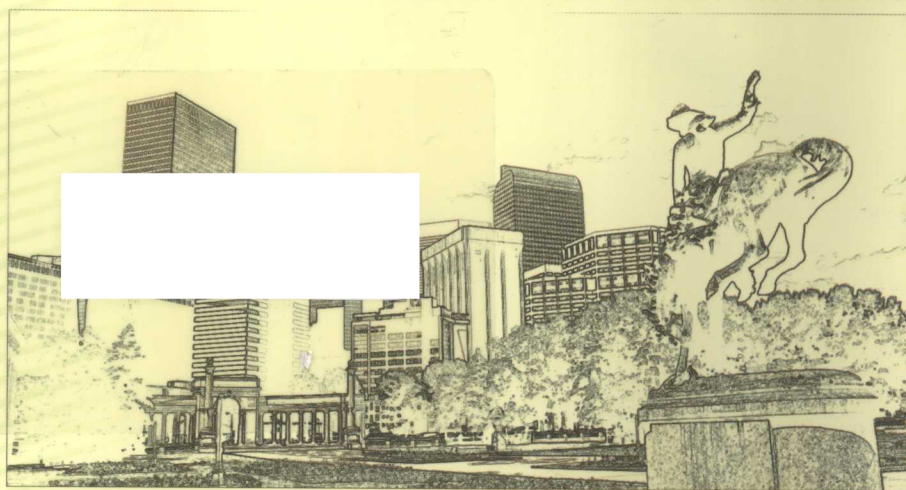


普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

基础工程

● 叶洪东 刘熙媛 主编

EDUCATION



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

基 础 工 程

主 编 叶洪东 刘熙媛
副主编 张春梅 雷华阳
参 编 孙 克 李 琳

图 书 在 册 号 (CIP)

基础工程/叶洪东,刘熙媛主编. —北京:机械工业出版社, 2013.2

普通高等教育

ISBN 978-7-111-34143-7

1. ①基—

IV. ①TU97

中国版本图书馆

机械工业出版社

责任编辑: 王

版式设计: 王

封面设计: 王

中国版本图书馆

2013年2月第1版

184mm×260mm

标准书号: ISBN 978-7-111-34143-7

定价: 42.00元



凡购本社图书, 如蒙惠顾, 请向本社发行部联系

地址: 北京市西城区百万庄大街24号

社址: 北京市西城区百万庄大街24号

社址: 北京市西城区百万庄大街24号

社址: 北京市西城区百万庄大街24号

社址: 北京市西城区百万庄大街24号

本书为普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材。全书系统介绍了基础工程的基本概念、基本原理、设计计算方法及施工等方面的知识。主要内容包括基础工程设计的原则与要求、天然地基上的浅基础设计、连续基础结构设计、桩基础设计、其他深基础、软弱地基处理、特殊土地地区基础工程、地震区基础工程和基坑支护工程等。本书依据相关的最新技术规范 and 规程编写,反映了基础工程学科国内外的新方法、新技术和新成果。本书介绍突出重点,化解难点,深入浅出,循序渐进,图文并茂,易读易懂,特别适合初学者使用。

本书可作为土木工程专业本科生基础工程教材,也可作为道路桥梁工程、勘察技术与工程等相关专业不同层次的基础工程课程教学用书,同时可作为从事岩土工程勘察、设计、施工等工程技术人员以及科研技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/叶洪东,刘熙媛主编. —北京:机械工业出版社,2013.2
普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材
ISBN 978-7-111-41143-7

I. ①基… II. ①叶…②刘… III. ①基础(工程)—高等学校—教材
IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第008975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:马军平 责任编辑:马军平 林辉 冯钺

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:张静 责任印制:邓博

中国农业出版社印刷厂印刷

2013年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22.75印张·560千字

标准书号:ISBN 978-7-111-41143-7

定价:45.00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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 基础工程的基本概念 1

1.2 基础工程的研究内容 2

1.3 基础工程在建筑工程中的地位和作用 2

1.4 基础工程学科发展概况 4

1.5 基础工程课的特点与学习要求 6

思考题 7

第2章 基础工程设计的原则与要求 8

2.1 概述 8

2.2 地基基础设计等级和设计原则 9

2.3 地基基础设计中的两种极限状态 11

2.4 地基基础设计的作用效应组合 13

2.5 地基变形特征指标及其允许变形值 15

思考题 17

第3章 天然地基上的浅基础设计 18

3.1 概述 18

3.2 基础材料和浅基础类型 20

3.3 基础埋置深度的确定 30

3.4 地基承载力特征值的确定 35

3.5 基础底面尺寸的确定 39

3.6 软弱下卧层强度的验算 43

3.7 地基验算 45

3.8 无筋扩展基础（刚性基础）设计 48

3.9 扩展基础（柔性基础）设计 50

3.10 浅基础设计实例 55

3.11 地基、基础与上部结构共同工作问题 57

3.12 减少不均匀沉降对建筑物危害的措施 58

思考题与习题 61

第4章 连续基础结构设计 63

4.1 地基计算模型 63

4.2 柱下钢筋混凝土条形基础 67

4.3 柱下交叉条形基础 73

4.4 筏形基础 79

4.5 箱形基础 83

思考题与习题 86

第5章 桩基础设计 87

5.1 概述 87

5.2 桩基础的类型 90

5.3 竖向荷载作用下单桩的工作性能 96

5.4 单桩竖向承载力的确定 99

5.5 竖向荷载作用下的桩基承载力计算 107

5.6 桩基沉降计算 113

5.7 水平荷载作用下的桩基计算 119

5.8 承台的设计与计算 128

5.9 桩基础常规设计步骤 138

5.10 桩基础设计实例 143

5.11 桩的负摩阻力 146

5.12 变刚度调平设计 150

5.13 软土地区减沉复合疏桩基础 153

思考题与习题 155

第6章 其他深基础 158

6.1 沉井与沉箱 158

6.2 地下连续墙 176

思考题 185

第7章 软弱地基处理 186

7.1 地基处理概论 186

7.2 换土垫层法 192

7.3 碾压与夯实 199

7.4 强夯与强夯置换法 201

7.5 排水固结法 205

7.6 复合地基理论简介 217

7.7 深层挤密法	225	9.3 地基基础抗震设计目标和方法 ...	295
7.8 化学加固法	235	9.4 地基抗震加固处理	304
7.9 水泥粉煤灰碎石桩法 (CFG 桩)	251	思考题与习题	305
7.10 加筋法	257	第 10 章 基坑支护工程	307
7.11 托换工程简介	262	10.1 基坑工程的概念和特点	308
思考题与习题	267	10.2 基坑支护结构的类型及适用 条件	311
第 8 章 特殊土地区基础工程	270	10.3 基坑支护工程设计原则和设计 内容	322
8.1 概述	270	10.4 作用于支护结构上的荷载及 土压力计算	323
8.2 湿陷性黄土区基础工程	270	10.5 基坑支护结构设计	329
8.3 软土区基础工程	276	10.6 基坑稳定性分析	342
8.4 膨胀土区基础工程	278	10.7 基坑工程的现场监测与信息化 施工	347
8.5 冻土区基础工程	282	思考题与习题	353
思考题与习题	286	参考文献	354
第 9 章 地震区基础工程	288		
9.1 概述	288		
9.2 建筑场地类别与震害	290		

第1章 绪论

1.1 基础工程的基本概念

基础工程是研究各类建（构）筑物（如房屋建筑、桥梁工程、水工建筑、近海工程、港口码头工程、支挡结构等）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。基础工程是岩土工程学科的一个重要组成部分，它是采用岩土工程的基本理论和方法解决地基基础问题的一门学科，也是土木工程专业课程设置体系中的一门主干课程。

从基础工程的学科概念可见，基础工程的研究对象是地基和基础。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。与基础直接接触的地基岩土层称为持力层。持力层以下的岩土层称为下卧层。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。地基、基础和上部结构三者相互依赖、相互制约、共同工作，一同构成建筑物的有机整体，如图 1-1 所示。

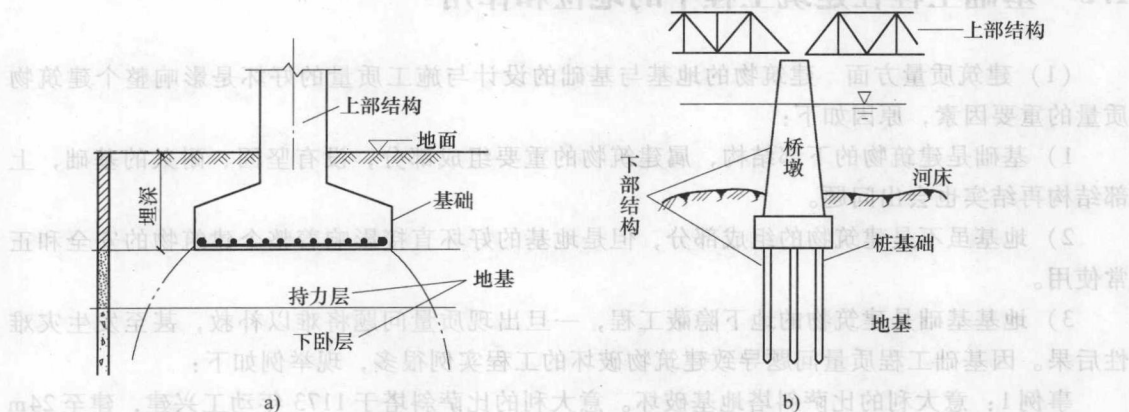


图 1-1 地基、基础与上部结构关系示意图

a) 建筑工程 b) 桥梁工程

按埋深和施工方法可以把基础分为浅基础和深基础。浅基础是指基础埋深不大（一般小于 5m 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。例如：单独基础中的柱基，水塔、烟囱及墙下的单独基础等；连续基础中的墙下条基、柱下条基、筏形基础、部分箱形基础等。深基础是指地基浅层土质不能满足设计要求时，需把基础埋置于深处（一般大于 5m）的良好地层上，并借助特殊的施工方法建造的基础。例如：箱形基础、墩基、沉井基础、地下连续墙等。

地基可分为天然地基和人工地基。天然地基是指不加任何处理就可满足强度和变形要求的地基。人工地基（地基处理或地基加固）是指为满足强度与变形要求而进行人工加固处

理后的地基。如：复合地基、强夯地基、堆载预压地基等。建（构）筑物地基应满足两个基本条件：

- 1) 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。
- 2) 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。

1.2 基础工程的研究内容

基础工程的研究内容主要包括各类建（构）筑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。不仅包括基础和地基的相关设计理论与计算方法，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。基础工程应主要满足三个方面的要求：

- 1) 地基应具有足够的强度和稳定性，以保证建筑物在荷载作用下不会出现地基的承载力不足或产生失稳破坏。
- 2) 地基的沉降不能超过其变形允许值，以保证建筑物不会因地基变形过大而损坏或影响建筑物的正常使用。
- 3) 基础结构本身应具有足够的强度、刚度和耐久性，以保证其功能的正常发挥。

1.3 基础工程在建筑工程中的地位和作用

(1) 建筑质量方面 建筑物的地基与基础的设计与施工质量的好坏是影响整个建筑物质量的重要因素，原因如下：

- 1) 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、耐久的基础，上部结构再结实也会出问题。
- 2) 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。
- 3) 地基基础是建筑物的地下隐蔽工程，一旦出现质量问题将难以补救，甚至发生灾难性后果。因基础工程质量问题导致建筑物破坏的工程实例很多，现举例如下：

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24m（4层半）发现塔身倾斜，于是停建，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54.5m，塔身墙壁底部厚约4m，顶部厚约2m，塔体总质量达 1.42×10^4 t。在底层有圆柱15根，中间6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。

1) 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4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3m深），再加上用大理石砌筑的塔身非常重，因而造成塔身不均衡下沉所致。这种情况的发生，完全是由于建筑师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质量等来设法转移塔的重心。但由于建成的4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2.1m左右。建成之后仍以约1mm/年的速度下沉。至20世纪70年代,北侧下沉1m有余,南侧下沉近3m,沉降差高达1.8m,倾角 5.8° 。

2) 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的厄运,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,斜塔已经偏离中轴线近5m。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50m长的钢柱,如图1-2所示。

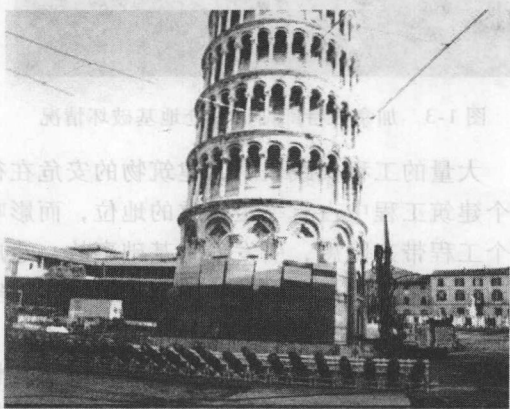


图1-2 纠偏中的比萨斜塔局部

2001年12月15日,关闭了长达4359d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(1里拉=100分,现已被欧元取代),纠偏校斜43.8cm,目前还倾斜4.5m,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31m,其下为钢筋混凝土筏形基础,厚2m。谷仓自重 $20 \times 10^4 \text{ kN}$,当装谷 $27 \times 10^4 \text{ kN}$ 后,发现谷仓明显失稳,24h内西端下沉8.8m,东端上抬1.5m,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251kPa,而谷仓的基底压力已超过300kPa,从而造成地基的整体滑动破坏。基础底面以下部分土体滑动,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16m基岩上的混凝土墩,使用了88个500kN的千斤顶和支承系统,才把仓体逐渐纠正过来,然而谷仓位置比原来已降低了4m。

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21m,直径13m,筏形基础,埋深2.8m。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5.18m。同时,受其地基滑动影响,净距23m以外的办公楼也发生了倾斜,如图1-4所示。

(2) 施工周期与进度方面 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。

(3) 工程造价方面 基础工程造价在工程总造价中占有相当大的比重,尤其在地基条件复杂的情况下更是如此。在软土地区,多层和高层建筑,地面以下造价已达总造价的20%~35%。

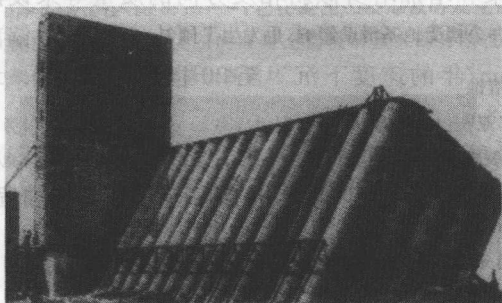


图 1-3 加拿大特朗斯康谷仓地基破坏情况



图 1-4 纽约某水泥仓库的地基破坏事故

大量的工程实践表明,建筑物的安危在很大程度上取决于基础工程的成败。基础工程在整个建筑工程中占有举足轻重的地位,而影响基础工程的因素多且复杂,稍有不慎,就会给整个工程带来隐患,引发地基基础事故,造成上部结构无法正常使用,甚至倒塌和破坏。因此,基础工程的成败直接关系到上部结构的安危,基础工程的重要性是显而易见的,对于建筑物地基和基础必须精心设计,严格施工。

从我国的实际情况出发,城市建设正在快速向高层、超高层和地下空间发展,各类建筑物不但越发密集,而且规模越来越大,结构越来越复杂,地质条件简单的优良建筑场地越来越少,建筑物地基与基础将面临更多更复杂的问题,基础工程在各类土木工程中的地位将会更加重要。

1.4 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。如我国西部的长城大多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5~6m,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50.82m,桥面宽9.6m,石拱跨度37.37m,高7m,拱肩上有4个小拱。它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。桥台埋置在强度高压缩性低的密实粗砂层上,至今已有1300多年,而地基的下沉量仅几个厘米。经专家验算,基底压力约500~600kPa,竟然与现行地基基础设计规范给出的550kPa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),7层,塔高47.5m,采用块石黏土人工地基,厚3m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5800t,基底压力达400kPa,该塔建成至今已有1000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;前门采用筏形基础,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。但由于受当时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、道路建筑、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,促进了岩土力学的发展,如法国科学家C. A. 库仑(Coulomb)在1773年提出了砂土抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑楔理论;19世纪中叶利用气压沉箱法修建桥梁深水基础等;法国学者J. 布辛奈斯克(Boussinesq)在1885年提出了竖向集中荷载作用下半无限弹性体应力和位移的理论解答;1893年美国芝加哥人工挖孔桩问世。先驱们的科学结晶为土力学的建立奠定了基础。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,太沙基发表了第一本比较系统完整的《土力学》专著,标志着土力学已成为一个完整的工程学科;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。太沙基与R. Peck在1948年发表的《工程实用土力学》中,将理论、测试和工程经验密切结合,推动了土力学和基础工程学科的发展。该书的发表,标准着“土力学及基础工程”真正成为一门工程学科。

20世纪50年代,由于现代科学技术尤其是电子技术渗入到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)。1950年意大利米兰地下连续墙问世;1957年德国首先采用土层锚杆桩墙支护深基坑等;此外,全液压抓斗、长螺旋钻进设备、正(反)循环回转钻进等成孔(槽)机械设备的研制与应用,都极大地提高了基础工程施工技术的发展。我国改革开放以后,随着国民经济的恢复和快速发展,城市建设进入了快车道,基础工程也迎来了快速发展时期。

20世纪90年代以来,随着岩土工程及其他相关学科的不断发展,基础工程在设计、计算理论和方法、施工技术和机械设备等方面都有了长足的进展,我国先后颁布实施的规范、规程有GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》、JGJ 79—2012《建筑地基处理技术规范》、JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》、JTG D63—2007《公路桥涵地基及基础设计规范》、JGJ 106—2003《建筑基桩检测技术规范》、GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》,(2009年版)、GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》、JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》、JGJ 123—2012《既有建筑地基基础加固技术规范》等。这些规范规程是基础工程各个领域取得的科研成果和工程经验的高度概括,反映了基础工程的发展水平。

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,尤其是随着国民经济的迅猛发展,现代建筑高度的快速增加,建筑体形和建筑地基条件越来越复杂,对基础工程学科提出了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。

1.5 基础工程课的特点与学习要求

1.5.1 基础工程课程特点

1) 基础工程涉及多个学科门类,综合性强。基础工程课涉及工程地质学、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,需要有诸多土木工程专业基础课和专业课作为知识储备,所以内容广泛,综合性强。此外,由于地基岩土体是复杂多变的天然地质体,不像人工材料构成的上部结构那样,有许多标准图可供参考,基础工程设计通常没有可照搬的工程图或工程实例,即使同类建筑、相邻场地也可能面临程度不同的地基基础问题需要具体分析和解决。因此,要具有综合应用土木工程各个学科理论知识的能力,同时要全面掌握和正确应用基础工程的基本原理、方法、技术来解决基础工程中的复杂多变的实际问题。

2) 基础工程是重要的专业课。基础工程课程是土木工程专业的重要专业课。学好这门课,对于以后从事本专业工作,特别是对地基基础工程的设计、施工、检测与监理是十分重要的。

3) 基础工程涉及的技术规范多。基础工程涉及的规范种类多,包括地基基础、桩基、抗震、基坑等多种规范。目前尚没有统一的地基基础设计规范,同时,各行业规范又存在一定的差别和不协调之处,需要在学习时加以对比和分析。

1.5.2 学习要求与学习方法

学习时要求根据本课程特点,牢固掌握浅基础、桩基础及各种地基处理方法的基本概念、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。学习方法上应注意以下几点:

1) 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,相关技术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,力戒生搬硬套地进行地基基础设计。一个成功的基础工程设计是岩土力学、工程地质、结构设计和施工技术等多学科知识的综合应用,并与工程实践经验完美结合。

2) 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,它们之间存在着相互制约,相互依存,相互影响的关系。设计时应该考虑三者的共同工作,进行整体分析。

3) 重视施工工艺和施工质量。基础工程是隐蔽工程,正由于它深埋于地下,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。

第2章 基础工程设计的原则与要求

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, 即下部结构与岩土相互作用共同承担上部结构荷载所产生的各种强度、变形与稳定问题。

基础工程设计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, 即包括基础结构设计和地基设计两部分内容, 故也称地基基础设计。

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, GB 50068—2001《建筑结构可靠度设计统一标准》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的要求。
- (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, 以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 (即基底压力) 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, 没有足够的安全保证。

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等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。一般来说, 地基的变形越大, 产生的差异变形也越大。在执行这个原则时, 还要明确两个问题:

① 地基变形计算是在未考虑上部结构刚度的情况下进行的, 与实际情况会有相当大的误差。

② 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。另一方面, 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应有足够保证。这个原则的制定目的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, 其所需费用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。

5) 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, GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》将地基基础设计分为三个设计等级(见表 2-1), 设计时应根据具体情况选用。

JTG D63—2007《公路桥涵地基与基础设计规范》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 2 层及 2 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及基坑工程。
丙级	场地和场基条件简单、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;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 5.0m 的基坑工程。

2.2.2 地基基础的设计原则

GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》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、乙级的建筑物及表 2-2 所示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,即按地基变形控制设计。

3) 表 2-2 所示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。

表 2-2 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 特征值 f_{ak}/kPa		$60 \leq f_{ak}$	$80 \leq f_{ak}$	$100 \leq f_{ak}$	$130 \leq f_{ak}$	$160 \leq f_{ak}$	$200 \leq f_{ak}$	
	各土层坡度(%)		< 80	< 100	< 130	< 160	< 200	< 300	
建筑类型	砌体承重结构、框架结构/层数		≤ 5	≤ 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	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	起重机额定 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 (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特征值小于 130kPa 的土层时, 表中砌体承重结构的设计, 应符合本规范第 7 章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. 表中起重机额定起重量、烟囱高度和水塔容积的数值系指最大值。

但设计等级为丙级的建筑物, 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 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。
- 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。

2.3 地基基础设计中的两种极限状态

2.3.1 建筑结构可靠度和极限状态设计

为了在建筑设计上做到技术先进, 经济合理, 安全适用, 建筑物宜采用以概率理论为基础的极限状态设计, 简称为概率极限状态设计方法。这种方法以失效概率或结构可靠度指标代替以往的安全系数。

结构的工作状态可以用荷载效应 S (指荷载在结构或构件内引起的内力或位移等) 和结构抗力 R (指抵抗破坏或变形的能力) 的关系描述。令

$$Z = R - S \quad (2-1)$$

称 Z 为功能函数。显然, 当 $Z > 0$ 或 $R > S$ 时, 结构处于可靠状态; 当 $Z < 0$ 或 $R < S$ 时, 结构处于失效状态; 当 $Z = 0$ 即 $R = S$ 时, 结构处于极限状态。

由于影响荷载效应和结构抗力的因素很多, 各个因素又有许多不确定性, 都是一些随机变量, R 和 S 自然也是随机变量。最简单的情况是假定 R 和 S 的概率分布为正态分布, 则按概率理论, 功能函数 Z 也是正态分布的随机变量, 如图 2-1 所示。

图 2-1 中, $f(Z)$ 为 Z 的概率密度函数, μ_Z 为 Z 的平均值, σ_Z 为 Z 的标准差, p_f 为曲线下的阴影面积与总面积之比 (称为失效概率), β 值称为结构可靠性

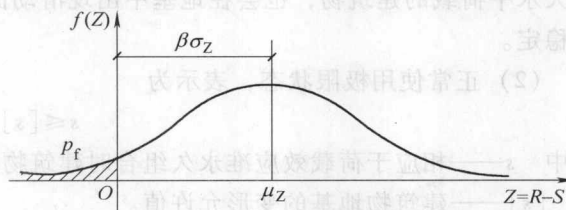


图 2-1 功能函数的概率分布

指标。如果能对荷载效应和结构抗力进行概率分析, 从而确定功能函数的平均值 μ_Z 和标准差 σ_Z , 就可求得概率密度函数 $f(Z)$, 从而计算 Z 的失效概率 p_f 和结构可靠性指标 β 。

用 p_f 或 β 来评价结构的可靠性比单一安全系数更为合理, 无疑是今后努力的方向。但是由于影响 R 和 S 的因素很多, 且缺乏统计资料, 当前直接用概率分析方法计算结构的可靠

度还较困难,于是只能采用较为实用的极限状态设计方法。这种方法要求结构物必须满足如下两种极限状态的要求:

① 承载能力极限状态。这是结构的安全性功能要求,意即让结构物发挥其最大限度的承载能力,荷载效应若超过此种限度,结构或构件即发生强度破坏,或者丧失稳定性。

② 正常使用极限状态。这是结构物的使用功能要求,如若变形超过某一限度,就会影响结构物的正常使用和建筑外观。

考虑可靠性的要求,在进行极限状态设计时,在荷载效应中应以荷载乘以分项系数和组合系数作为设计值;在抗力中,应以强度的标准值乘以分项系数作为设计值。这些系数,一般都是分别考虑了各个参数的离散性,根据概率统计得出,所以这种极限状态设计是建立在概率理论基础上的极限状态设计。

2.3.2 地基基础设计的两种极限状态

地基、基础和上部结构是一幢建筑物不可缺少的组成部分,显然应该在统一的原则下,用同一种方法进行设计。但是地基与基础和上部结构是两种性质完全不同的材料,各有其特殊性,自然在设计方法中应该得到反映。例如,上部结构构件的刚度远比地基土层的刚度大,在荷载作用下,构件产生的变形往往并不大,而相应的地基土则相反,往往产生较大的变形。因此,地基的极限状态设计也必定要反映自身的这一特点。

为了保证建筑物的安全使用,同时充分发挥地基的承载力,根据《建筑地基基础设计规范》,在地基基础设计中一般应满足以下两种极限状态:

(1) 承载能力极限状态,表示为

$$p \leq f_a \quad (2-2)$$

式中 p ——相应于荷载效应标准组合时基础底面处的平均压力值 (kPa);

f_a ——修正后的地基承载力特征值 (kPa)。

为了保证地基具有足够的强度和稳定性,基底压力要小于或等于地基承载力。为了使地基不发生破坏,地基承载力一般应控制在界限荷载 $P_{1/4}$ 范围内,使大部分地基土仍处于压密状态。当基底压力过大时,地基可能出现连续贯通的塑性破坏区,进入整体破坏阶段,导致地基承载能力丧失而失稳。另外,建造在斜坡上的建筑物会沿斜坡滑动,丧失稳定性;承受很大水平荷载的建筑物,也会在地基中出现滑动面,建筑物和滑动面以内土体发生滑动而失去稳定。

(2) 正常使用极限状态,表示为

$$s \leq [s] \quad (2-3)$$

式中 s ——相应于荷载效应准永久组合时建筑物地基的变形;

$[s]$ ——建筑物地基的变形允许值。

为了保证地基的变形值在允许范围内,地基在荷载及其他因素的影响下,要发生变形(均匀沉降或不均匀沉降),变形过大时可能危害到建筑物结构的安全(裂缝、倒塌或其他不允许的变形),或者影响建筑物的正常使用。因此,对地基变形的控制,实质上是根据建筑物的要求而制定的。

在工业与民用建筑工程中,地基的强度问题一般不大,常以变形作为控制条件。受有很大水平荷载或建在斜坡上的建筑物(构筑物),地基稳定性将会成为主要问题,要求具有足