



21st CENTURY
实用规划教材

21世纪全国应用型本科

土木建筑系列 实用规划教材

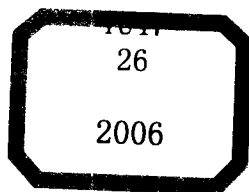


基础工程

主 编 王协群 章宝华
副主编 蒋 刚 王翠英



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材

基 础 工 程

主 编 王协群 章宝华
副主编 蒋 刚 王翠英
参 编 张厚先 汤 斌 杨智硕



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书系统阐述了基础工程的基本原理,同时也介绍了较多国内外基础工程的新技术、新工艺、新经验。全书共分 10 章,包括绪论;地基的勘察、试验与计算;天然地基上浅基础设计;桩基础;沉井基础及地下连续墙;基坑工程与围堰工程;挡土墙和护坡工程;软弱地基处理;特殊地基;动力机器地基与地基基础抗震等。本书在编写过程中,参照了新修订的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)及《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)等相关规范。

考虑到教学和工程设计的实用性要求,本书按教学体系编写,各章节进行了合理的学时分配。全书内容简明扼要,重点突出。为了便于读者掌握本书所叙述的基本理论,书中还列举了大量的典型例题。本书可作为各类高等院校土建、公路、铁路、地质、冶金、石油、农业、林业等相关专业本科和在职工程师进修班的教材,还可供从事工程勘察、设计和施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/王协群,章宝华主编. —北京:北京大学出版社,2006.12

(21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材)

ISBN 7-301-11300-5

I. 基… II. ①王… ②章… III. 地基—基础(工程)—高等学校—教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 138068 号

书 名: 基础工程

著作责任者: 王协群 章宝华 主编

策划编辑: 吴 迪 李昱涛

责任编辑: 刘 丽

标准书号: ISBN 7-301-11300-5/TU · 0044

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 497 千字

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材

专家编审委员会

主 任 彭少民

副主任 (按拼音顺序排名)

陈伯望 金康宁 李 忱 李 杰

罗迎社 彭 刚 许成祥 杨 勤

俞 晓 袁海庆 周先雁 张俊彦

委 员 (按拼音顺序排名)

邓寿昌 付晓灵 何放龙 何培玲

李晓目 李学罡 刘 杰 刘建军

刘文生 罗 章 石建军 许 明

严 兵 张泽平 张仲先

丛书总序

我国高等教育发展迅速,全日制高等学校每年招生人数至2004年已达到420万人,毛入学率19%,步入国际公认的高等教育“大众化”阶段。面临这种大规模的扩招,教育事业的发展与改革坚持以人为本的两个主体:一是学生,一是教师。教学质量的提高是在这两个主体上的反映,教材则是两个主体的媒介,属于教学的载体。

教育部曾在第三次新建本科院校教学工作研讨会上指出:“一些高校办学定位不明,盲目追求上层次、上规格,导致人才培养规格盲目拔高,培养模式趋同。高校学生中‘升本热’、‘考硕热’、‘考博热’持续升温,应试学习倾向仍然比较普遍,导致各层次人才培养目标难于全面实现,大学生知识结构不够合理,动手能力弱,实际工作能力不强。”而作为知识传承载体的教材,在高等教育的发展过程中起着至关重要的作用,但目前教材建设却远远滞后于应用型人才培养的步伐,许多应用型本科院校一直沿用偏重于研究型的教材,缺乏针对性强的实用教材。

近年来,我国房地产行业已经成为国民经济的支柱产业之一,随着本世纪我国城市化的大趋势,土木建筑行业对实用型人才的需求还将持续增加。为了满足相关应用型本科院校培养应用型人才的教学需求,从2004年10月北京大学出版社第六事业部就开始策划本套丛书,并派出十多位编辑分赴全国近三十个省份调研了两百多所院校的课程改革与教材建设的情况。在此基础上,规划出了涵盖“大土建”六个专业——土木工程、工程管理、建筑学、城市规划、给排水、建筑环境与设备工程的基础课程及专业主干课程的系列教材。通过2005年1月份在湖南大学的组稿会和2005年4月份在三峡大学的审纲会,在来自全国各地几十所高校的知名专家、教授的共同努力下,不但成立了本丛书的编审委员会,还规划出了首批包括土木工程、工程管理及建筑环境与设备工程等专业方向的四十多个选题,再经过各位主编老师和参编老师的艰苦努力,并在北京大学出版社各级领导的关心和第六事业部的各位编辑辛勤劳动下,首批教材终于2006年春季学期前夕陆续出版发行了。

在首批教材的编写出版过程中,得到了越来越多的来自全国各地相关兄弟院校的领导和专家的大力支持。于是,在顺利运作第一批土建教材的鼓舞下,北京大学出版社联合全国七十多家开设有土木建筑相关专业的高校,于2005年11月26日在长沙中南林业科技大学召开了《21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》(第二批)组稿会,规划了①建筑学专业;②城市规划专业;③建筑环境与设备工程专业;④给排水工程专业;⑤土木工程专业中的道路、桥梁、地下、岩土、矿山课群组近六十个选题。至此,北京大学出版社规划的“大土木建筑系列教材”已经涵盖了“大土建”的六个专业,是近年来全国高等教育出版界唯一一套完全覆盖“大土建”六个专业方向的系列教材,并将于2007年全部出版发行。

我国高等学校土木建筑专业的教育,在国家教育部和建设部的指导下,经土木建筑专业指导委员会六年来的研讨,已经形成了宽口径“大土建”的专业发展模式,明确了土木建筑专业教育的培养目标、培养方案和毕业生基本规格,从宽口径的视角,要求毕业生能

从事土木工程的设计、施工与管理工作。业务范围涉及房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程与桥梁、矿山建筑等，并且制定一整套课程教学大纲。本系列教材就是根据最新的培养方案和课程教学大纲，由一批长期在教学第一线从事教学并有多年工程经验和丰富教学经验的教师担任主编，以定位“应用型人才培养”为目标而编撰，具有以下特点：

(1) 按照宽口径土木工程专业培养方案，注重提高学生综合素质和创新能力，注重加强学生专业基础知识和优化基本理论知识结构，不刻意追求理论研究型教材深度，内容取舍少而精，向培养土木工程师从事设计、施工与管理的应用方向拓展。

(2) 在理解土木工程相关学科的基础上，深入研究各课程之间的相互关系，各课程教材既要反映本学科发展水平，保证教材自身体系的完整性，又要尽量避免内容的重复。

(3) 培养学生，单靠专门的设计技巧训练和运用现成的方法，要取得专门实践的成功是不够的，因为这些方法随科学技术的发展经常改变。为了了解并和这些迅速发展的方法同步，教材的编撰侧重培养学生透析理解教材中的基本理论、基本特性和性能，又同时熟悉现行设计方法的理论依据和工程背景，以不变应万变，这是本系列教材力图涵盖的两个方面。

(4) 我国颁发的现行有关土木工程类的规范及规程，系 1999 年—2002 年完成的修订，内容有较大的取舍和更新，反映了我国土木工程设计与施工技术的发展。作为应用型教材，为培养学生毕业后获得注册执业资格，在内容上涉及不少相关规范条文和算例。但并不是规范条文的释义。

(5) 当代土木工程设计，越来越多地使用计算机程序或采用通用性的商业软件，有些结构特殊要求，则由工程师自行编写程序。本系列的相关工程结构课程的教材中，在阐述真实结构、简化计算模型、数学表达式之间的关系的基础上，给出了设计方法的详细步骤，这些步骤均可容易地转换成工程结构的流程图，有助于培养学生编写计算机程序。

(6) 按照科学发展观，从可持续发展的观念，根据课程特点，反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺，以社会发展和科技进步的新近成果充实、更新教材内容，尽最大可能在教材中增加了这方面的信息量。同时考虑开发音像、电子、网络等多媒体教学形式，以提高教学效果和效率。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者，没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践，要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台，为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生，不吝指正，随时给我们提出宝贵的意见，以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

本系列教材配套的 PPT 电子教案以及习题答案在出版社相关网站上提供下载。

《21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 1 月

前 言

1998 年国家教育部颁布了新的本科专业目录, 调整后的土木工程专业的知识面大大拓宽, 相应的专业培养目标和业务要求有了很大变化, 涵盖了原来的建筑工程、岩土工程、地下结构工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等相近的若干专业或专业方向。为了适应土木工程专业教学的需要, 按高等学校土木工程专业指导委员会的有关决议, 分别设置《土力学》和《基础工程》课程, 本教材的编写是按照全国土木工程专业教学指导委员会对土木工程专业的培养规格要求和目标进行的。

《基础工程》研究的对象是地基与基础问题, 是土木工程专业的主干课程。《基础工程》既是一门独立的课程, 又与土力学、钢筋混凝土结构、工程地质、材料力学、结构力学等知识密切结合。随着科学技术的发展, 国内外工程建设中基础工程的理论与技术日新月异。近年来各项新的国家标准的颁布及修订, 使基础工程的设计与施工有了新的准绳。

根据我们多年的教学经验, 编写中遵循“内容充实、注重实用、兼顾不同行业、便于自学”的原则, 各编写人员积极收集资料, 广泛征求意见, 吸收国内外比较成熟的知识, 力求用简短的篇幅将原理讲解清楚, 也注重工程应用和学科前沿知识的阐述。同时, 为了服务于工程实践, 教材中也汇编了有关规范和手册中对设计和试验及施工方法的具体规定和建议。

本教材共分 10 章, 课程计划 40 学时左右, 建议授课时对某些内容可做适当删节。书中第 1、4 章由武汉理工大学王协群编写, 第 3 章由南京工业大学蒋刚编写, 第 2、9 章由湖北工业大学王翠英编写, 第 5、7 章由南昌工程学院章宝华编写, 第 6 章由南京工程学院张厚先、莆田学院杨智硕共同编写, 第 8、10 章由武汉科技大学汤斌编写。本书由王协群、章宝华任主编, 蒋刚、王翠英任副主编, 并由王协群担任全书统稿工作。在编写过程中, 武汉理工大学研究生陈小红参加了校稿及整理工作。

学时分配参考:

第 1 章 绪论	(1 学时)
第 2 章 地基的勘察、试验与计算	(2 学时)
第 3 章 天然地基上浅基础设计	(8 学时)
第 4 章 桩基础	(9 学时)
第 5 章 沉井基础及地下连续墙	(4 学时)
第 6 章 基坑工程与围堰工程	(4 学时)
第 7 章 挡土墙和护坡工程	(4 学时)
第 8 章 软弱地基处理	(4 学时)
第 9 章 特殊地基	(2 学时)
第 10 章 动力机器地基与地基基础抗震	(2 学时)

由于时间仓促和编者水平有限, 书中不妥之处在所难免, 希望读者多加指正。

编 者

2006 年 10 月

目 录

第1章 绪论.....	1	3.2.2 钢筋混凝土扩展基础(柔性扩展基础).....	27
1.1 基础工程的研究内容.....	1	3.2.3 筏板基础.....	28
1.2 基础工程是土木工程的重要组成部分.....	2	3.2.4 箱形基础.....	29
1.3 基础工程的现状及发展.....	3	3.3 基础埋置深度的确定.....	29
1.4 本课程的学习特点.....	5	3.3.1 建筑物的有关条件.....	30
第2章 地基的勘察、试验与计算.....	6	3.3.2 工程地质条件及水文地质条件.....	31
2.1 概述.....	6	3.3.3 相邻建筑物基础埋深的影响... 31	
2.1.1 地基勘察的目的与任务.....	6	3.3.4 地基冻融条件的影响.....	32
2.1.2 地基勘察的一般要求.....	6	3.3.5 补偿性基础.....	35
2.2 工程地质勘探.....	8	3.4 地基承载力的确定与验算.....	35
2.2.1 工程地质物探.....	8	3.4.1 地基承载力的确定.....	35
2.2.2 工程地质钻探.....	9	3.4.2 地基持力层承载力的验算——基础底面尺寸的确定.....	38
2.2.3 工程地质坑探.....	10	3.4.3 软弱下卧层承载力的验算.....	42
2.3 现场原位测试.....	11	3.5 地基变形验算.....	45
2.3.1 静荷载试验.....	11	3.5.1 地基特征变形.....	45
2.3.2 静力触探试验.....	13	3.5.2 地基特征变形验算.....	45
2.3.3 圆锥动力触探.....	17	3.6 扩展基础设计.....	48
2.3.4 标准贯入试验.....	18	3.6.1 无筋扩展基础设计.....	48
2.4 现场监测.....	20	3.6.2 墙下条形基础设计.....	51
2.4.1 建筑物的沉降观测.....	20	3.6.3 柱下独立基础设计.....	54
2.4.2 基坑工程监测.....	20	3.7 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施... 61	
2.4.3 地下水的监测.....	21	3.7.1 建筑措施.....	61
2.5 岩土工程勘察报告的主要内容.....	21	3.7.2 结构措施.....	65
2.6 思考题.....	22	3.7.3 施工措施.....	66
第3章 天然地基上浅基础设计.....	23	3.8 地基、基础与上部结构的共同作用.....	67
3.1 概述.....	23	3.8.1 地基与基础的相互作用.....	67
3.1.1 地基基础的设计等级.....	23	3.8.2 地基变形对上部结构的影响... 69	
3.1.2 地基基础的设计原则、荷载取值与设计内容.....	24	3.8.3 上部结构刚度对基础受力的影响.....	70
3.2 浅基础的类型.....	25	3.8.4 地基计算模型.....	70
3.2.1 刚性基础.....	26		

3.9 柱下条形基础设计.....	73	4.6.1 群桩基础.....	139
3.9.1 构造要求.....	73	4.6.2 群桩效应.....	140
3.9.2 简化计算方法.....	75	4.6.3 桩承台效应.....	141
3.9.3 文克尔地基上梁的计算.....	79	4.6.4 按《建筑桩基技术规范》 群桩分项效应系数法确定 群桩的竖向承载力.....	142
3.9.4 柱下十字交叉条形基础.....	88	4.6.5 桩基中各基桩的竖向承载 力验算.....	145
3.10 筏板基础设计.....	92	4.6.6 群桩的水平承载力.....	147
3.10.1 筏板基础构造.....	92	4.7 桩基础的设计.....	147
3.10.2 筏板基础内力计算.....	94	4.7.1 桩基的设计原则与安全 等级.....	148
3.10.3 弹性地基板法.....	95	4.7.2 设计内容和步骤.....	148
3.11 箱形基础设计.....	96	4.7.3 群桩的抗拔力.....	154
3.11.1 箱形基础构造.....	96	4.8 桩基沉降计算.....	154
3.11.2 箱基简化计算.....	96	4.8.1 实体深基础法.....	155
3.12 思考题与习题.....	101	4.8.2 明德林应力公式方法.....	157
第4章 桩基础	103	4.9 桩基检测.....	163
4.1 概述.....	103	4.9.1 钻芯法.....	163
4.2 桩的类型和成桩工艺.....	105	4.9.2 低应变动测法.....	164
4.2.1 桩的类型.....	105	4.9.3 声波透射法.....	164
4.2.2 沉桩方法.....	111	4.9.4 高应变动测法.....	164
4.2.3 现场灌注桩.....	112	4.9.5 单桩静荷载试验.....	165
4.2.4 水下桩基础施工.....	113	4.10 思考题与习题.....	165
4.3 单桩的轴向荷载传递.....	113	第5章 沉井基础及地下连续墙	167
4.3.1 荷载传递机理.....	113	5.1 概述.....	167
4.3.2 桩侧负摩阻力.....	114	5.2 沉井的类型与构造.....	169
4.4 单桩竖向承载力的确定.....	116	5.2.1 沉井的类型.....	169
4.4.1 单桩竖向承载力的分析 与计算.....	117	5.2.2 一般沉井的构造.....	171
4.4.2 桩的静荷载试验及其他原 位试验.....	122	5.3 沉井的施工.....	172
4.4.3 打桩公式(动力分析).....	127	5.3.1 施工前准备工作.....	172
4.4.4 按规范经验公式确定单桩 竖向承载力.....	129	5.3.2 旱地沉井的施工.....	173
4.4.5 按桩身材料强度确定单桩 承载力.....	133	5.4 沉井的设计与计算.....	180
4.4.6 桩的抗拔力.....	134	5.5 地下连续墙的设计与施工.....	183
4.5 单桩的水平承载力.....	134	5.5.1 地下连续墙的类型.....	183
4.5.1 水平荷载作用下的竖直桩.....	134	5.5.2 护壁挖槽使用的泥浆.....	184
4.5.2 横向静荷载试验.....	138	5.5.3 地下连续墙施工.....	185
4.6 群桩基础及其承载力.....	139	5.6 思考题与习题.....	193

第 6 章 基坑工程与围堰工程	195	第 8 章 软弱地基处理	263
6.1 基坑工程概述	195	8.1 概述	263
6.1.1 基坑工程概念及现状	195	8.1.1 软弱土的特征	263
6.1.2 支护结构的类型	196	8.1.2 地基处理方法分类	264
6.1.3 基坑工程的特点	198	8.2 复合地基	265
6.1.4 基坑工程设计内容	198	8.2.1 复合地基的概念与分类	265
6.1.5 基坑工程设计依据	199	8.2.2 复合地基的作用机理	265
6.1.6 支护结构设计计算方法		8.2.3 复合地基的有关设计参数	266
综述	199	8.2.4 复合地基承载力的确定	266
6.2 支护结构设计的荷载及其组合	200	8.2.5 复合地基变形计算	267
6.2.1 土压力与水压力	200	8.3 换填垫层法	268
6.2.2 支护结构设计的荷载组合	205	8.3.1 换填垫层法的作用	268
6.3 基坑工程设计计算	206	8.3.2 垫层的设计	268
6.3.1 桩墙式支护结构的内力		8.4 强夯法与强夯置换法	271
与变形计算	206	8.4.1 强夯法的加固机理	271
6.3.2 基坑的稳定性分析	213	8.4.2 强夯设计	272
6.3.3 内支撑的内力与截面计算	217	8.5 预压法	274
6.3.4 锚杆设计	219	8.5.1 加固原理	274
6.3.5 土钉墙设计	221	8.5.2 堆载预压法设计	275
6.4 围堰工程	224	8.6 砂石桩法	277
6.5 思考题与习题	227	8.6.1 砂石桩的作用	277
第 7 章 挡土墙和护坡工程	230	8.6.2 砂石桩的设计	277
7.1 概述	230	8.7 高压喷射注浆法	279
7.2 土压力计算	231	8.7.1 高压喷射注浆法的分类	279
7.2.1 静止土压力	231	8.7.2 高压喷射注浆法的特征	280
7.2.2 主动土压力	232	8.7.3 加固地基的机理	280
7.2.3 被动土压力	236	8.7.4 设计要点	280
7.3 挡土墙的设计计算	238	8.8 水泥土搅拌桩法	281
7.3.1 挡土墙的类型与尺寸的		8.8.1 水泥土搅拌桩法的特点	282
选择	238	8.8.2 水泥土搅拌桩法的设计	
7.3.2 重力式挡土墙的设计	240	要点	282
7.3.3 挡土墙设计实例	249	8.9 土工合成材料	283
7.4 护坡工程	251	8.9.1 土工合成材料的特性指标	283
7.4.1 护坡工程的意义和分类	251	8.9.2 土工合成材料的特点	283
7.4.2 坡面防护	252	8.9.3 土工合成材料在岩土工	
7.4.3 冲刷防护	258	程中的应用	284
7.5 思考题与习题	259	8.10 托换技术	285
		8.10.1 既有建筑地基基础加固	
		托换	285

8.10.2 既有建筑纠倾	286	9.6 冻土地基	307
8.11 思考题与习题	287	9.6.1 冻土地基概述	307
第9章 特殊地基	289	9.6.2 冻土的物理和力学性质	307
9.1 概述	289	9.6.3 冻土岩土工程地质评价与 地基处理	310
9.2 湿陷性黄土地基	289	9.7 思考题与习题	311
9.2.1 黄土的特征和分布	289	第10章 动力机器基础与地基基础 抗震	312
9.2.2 黄土的湿陷机理及影响 因素	290	10.1 概述	312
9.2.3 黄土地基的湿陷性评价及 勘察要求	291	10.2 动力机器基础设计	313
9.2.4 湿陷性黄土地基的工程 措施	294	10.2.1 动力机器基础的设计基本 要求	313
9.3 膨胀土地基	295	10.2.2 一般构造要求	314
9.3.1 膨胀土的工程地质特征	295	10.2.3 一般计算规定	315
9.3.2 影响膨胀土胀缩变形的主 要因素	296	10.2.4 动力机器基础设计的基本 步骤	316
9.3.3 膨胀土地基勘察	296	10.3 地震震害及场地因素	316
9.3.4 膨胀土地基的评价	298	10.3.1 地震震害	316
9.3.5 膨胀土地基计算和工程 措施	299	10.3.2 场地因素	317
9.4 山区地基和红黏土地基	300	10.4 天然地基基础抗震设计	320
9.4.1 土岩组合地基	300	10.4.1 基本要求	320
9.4.2 岩溶	301	10.4.2 天然地基基础抗震验算	320
9.4.3 土洞地基	302	10.4.3 液化土地基液化判别与 抗震措施	322
9.4.4 红黏土地基	303	10.5 桩基抗震设计	326
9.5 盐渍土地基	304	10.5.1 桩基抗震验算	326
9.5.1 盐渍土的形成及分布	304	10.5.2 桩基抗震构造措施	328
9.5.2 盐渍土的分类	304	10.6 思考题与习题	328
9.5.3 盐渍土岩土工程地质评价	305	参考文献	331
9.5.4 盐渍土地基设计与防护 措施	306		

第1章 绪 论

教学提示:本章主要介绍基础工程的研究内容,阐明基础工程是土木工程的重要组成部分,讲述基础工程的现状和发展以及本课程的学习特点。

教学要求:本章主要使学生了解基础工程中的有关概念和术语、基础工程研究的内容,使学生认识到学习基础工程的重要性和意义。

1.1 基础工程的研究内容

各类建筑物和构筑物如房屋、道路、桥梁、大坝、油罐等,都坐落在地层上,它们一般包括三部分,即上部结构、基础和地基。房屋建筑、桥梁桥跨结构及其他构筑物等结构的最下面那部分结构称为基础,它将上部结构的荷载传递到地层中去;而受上部结构荷载影响的那部分地层称为地基,它在上部结构的荷载作用下会产生附加应力和变形。

当地基由多层土组成时,地基直接与基础底面相接触,承受主要荷载的那部分土层称为持力层,持力层以下的其他土层称为下卧层。当持力层和下卧层的土质坚实、性能较好时,上部结构对地基的强度、变形和稳定的要求容易得到满足。地基可分为天然地基和人工地基两类,天然地基是不加处理就能满足设计要求,可直接在上面进行修建的天然土层,如密实的砂土层,老黏土层等;人工地基是经过人工处理后才满足要求的土层,如经过处理后的软黏土地基或其他不良地基。显然,当能满足基础工程的要求时,采用天然地基是最“快、好、省”的。另外由于持力层位置的深浅不同,导致基础的埋深也有深浅之分,即基础又可分为浅基础和深基础两大类。浅基础通常埋置深度小于5m,只需经过简单的挖槽、排水等施工工序就可以建造起来,例如扩展基础、柱下条形基础等。反之,若基础埋置较深,要借助于特殊的施工方法才能建造,则称为深基础,例如桩基础、沉井、地下连续墙等。

基础工程主要研究在各种可能荷载作用下以及各种工程地质条件下的地基基础问题。关于地基和基础,因为基础是直接和地基土接触的结构部分,与地基土的关系非常密切,设计中往往不能截然分开,正确的基础设计必须建立在合理的地基评价基础上。英语文献中“地基”、“基础”的单词都可采用“Foundation”,反映了两者密不可分的关系。基础工程研究的主要内容包括地基勘察、浅基础、桩基础和其他深基础、挡土墙以及地基处理等。

地基勘察是为地基和基础设计服务的,它仍属于岩土工程勘察的范畴,其目的在于用各种勘察手段和方法,揭示和评价建筑场地和地基的工程地质条件,为设计和施工提供所需的工程地质资料。地基的物理性质和状态、承载力大小和变形特性是基础设计的主要依据,因此在设计前必须采取有效手段了解地基的岩土组成、物理力学特性和水文地质条件,这些都是地基勘察的任务。

由基础传来的上部荷载将在地基范围内产生不可忽略的附加应力和变形,为了减小地

基中的应力和变形,一般将基础的底面积加大,或者将基础深置于地表之下。由此涉及到的基础类型选择、底面积和埋深的确定等就是基础设计的主要内容。基础上面为上部结构,如墙或柱,下面与地基土接触。因此,在基础设计中,应将基础、上部结构和地基联系在一起考虑,特别是应将地基和基础结合在一起进行设计,以满足地基的稳定性和基础沉降控制的要求。此外,基础的结构刚度、材料的强度和耐久性应符合要求,同时还应考虑施工方便,如基坑的开挖和降低地下水位的要求、施工机械的配置,以及工程的费用和工期安排。基础施工有专门的技术和方法,包括基坑开挖、施工降水、桩基础和其他深基础的专项技术、各类地基处理技术等。基础施工受自然条件 and 环境条件的影响要比上部结构大得多。例如有无地下室的功能和抗浮防渗要求、抗变形和抗震构造、特殊土地基上的构造等。

在地基基础设计中,除了地基稳定性和基础沉降控制的要求外,在基坑开挖中,当开挖至地下水位以下时,会出现渗透稳定的问题;在水工建筑中,当地基的渗透性较大,地基土的级配较差时,在大的水力梯度作用下,也会产生流土和管涌破坏,并引起水量的损失。所有这些设计要求,在天然地基上通过基础选型无法得到满足时,就必须对地基进行处理,以确保建筑物的顺利施工和安全正常运行。地基处理的方法很多,而且处在不断发展之中,有些地基处理方法是近年发明和推广的,如高压旋喷、深层搅拌、强夯和劈裂灌浆等,可列入地基处理或岩土工程新技术的范畴;有些是属于新材料的应用,如土工合成材料用于加筋、防渗和排水(如塑料排水带)等工程。

1.2 基础工程是土木工程的重要组成部分

基础工程是土木工程的重要组成部分,它一方面要用岩土工程的基本理论和方法去解决地基基础方面的工程问题;另一方面,由于基础有独特的功能和构造要求,在基础设计中需要大量的结构计算,所以基础工程也与结构设计和计算密切相关。基础工程课程是土木工程类专业的一门重要的技术基础课。

地基基础问题是土木工程领域普遍存在的问题。基础设计和施工是整个结构设计和施工中必不可少的一环。当地基条件复杂或者恶劣时,基础工程经常会成为工程建设中的难点和首先需要解决的问题。而由于岩土条件的复杂性、易变性及勘察工作的局限性等造成岩土工程的不确定性,基础工程问题又往往成为工程师感到最难把握的问题。

基础工程是建筑物的根本,直接关系到上部结构的稳定。从工程费用上看,基础造价占土建工程总造价的比例,随着复杂地基的开发利用而呈上升趋势,有的高达30%;如果勘察、设计和施工正确,不仅能确保工程顺利完成和正常运行,同时也能节省工程投资。反之,由于地基变形或不均匀变形过大、地基强度不足或基础设计施工问题等原因造成的地基失稳事故也很多。有的发生在施工过程中,如基坑失稳,危及周围建筑;有的发生在建筑物施工后,如整体倾斜,不能正常使用,甚至不得不拆除或炸毁,其代价是昂贵的。或者由于地基的不均匀变形,基础之间产生差异沉降,发生挠曲或倾斜,上部结构受到影响,也会产生倾斜、扭转、挠曲,并可能造成结构损坏。不仅影响到结构的正常使用,有时还危及建筑的安全。事故的预防和事故发生前的补救措施也属于基础工程的范围。

经典的地基基础工程案例有举世闻名的意大利比萨斜塔(如图1.1所示)。该塔始建于公

元 1173 年,中间经历过建至 24m 时,因为塔出现倾斜而停工近百年的情况,后于公元 1370 年竣工。因地基土层强度差,压缩土层分布不均匀,南边压缩变形大于北边。塔基的基础深度不够,再加上用大理石砌筑,塔身非常重,达 1.42 万 t,从而导致比萨斜塔向南倾斜,塔顶离开垂直线的水平距离曾达 5.27m。分析倾斜原因,有很多影响因素,主要是因为地基不均匀沉降引起的。从 1902 年起,世界上曾多次发起拯救比萨斜塔的国际运动,如进行原因调查、提出处理方案等。1990 年该塔被封闭,经过 10 多年的拯救维修,2001 年底再次对外开放。比萨斜塔是意大利文化、历史和宗教的象征,它也对土力学地基基础学科的发展做出了不可磨灭的贡献。

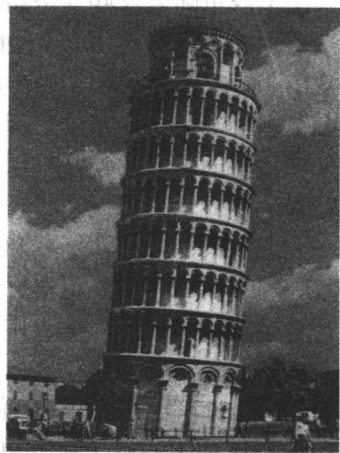


图 1.1 比萨斜塔

另一反例为:在武汉市汉口建设大道的一处 18 层高楼,1995 年 1 月开始兴建,采用夯扩桩基。同年 9 月 15 日 18 层封顶,12 月 2 日深夜至次日凌晨突然发生过量整体倾斜,由西南倾向东北,主要原因是工程桩端未进入坚实持力层,加上桩身周围软土对桩侧向约束极小,另外一些断桩接桩质量不能保证,从而导致桩基整体失稳,并无法补救,不得不于 12 月 26 日将整幢危楼控制爆破拆除,损失巨大。

基础工程是土木工程中非常重要的工程内容,由于它是隐蔽工程,在工程建设中大部分事故都是由地基基础问题导致的,因此基础工程的勘察、设计和施工质量直接关系到上部结构安危。只有做到严格遵循基本建设的原则,精心设计、精心施工,并且每位土木工程师及管理者本着事前积极预防,事中认真分析,事后吸取教训的高度责任感,才能将基础工程建设好。

1.3 基础工程的现状及发展

基础工程是人类在长期的生产实践中不断发展起来的一门应用科学,在世界各文明古国数千年的建造活动中,人类很早就懂得了广泛利用土体进行工程建设,有很多关于基础工程的技术成就。我国古代劳动人民在基础工程方面,也早就表现出高超的技艺和创造才能,许多宏伟壮丽的中国古代建筑逾千百年仍安然留存至今的事实就充分说明了这一点。例如,1300 多年前隋代工匠李春主持修建的赵州安济石拱桥,不仅建筑结构独特,防洪能力强,而且在地基基础的处理上也非常合理。该桥桥台坐落在两岸较浅的密实粗砂土层上,沉降很小,充分利用了天然地基的承载力。另外在桩基础和地基加固方面,我国古代也已有广泛运用,如秦代所建渭桥、隋代郑州超化寺等都以木桩为基础。国外在 18 世纪产业革命以后,城建、水利、道路等建设规模的扩大促使人们对基础工程的重视与研究,对有关问题开始寻求理论上的解答。此阶段在作为基础工程学科的理论基础土力学方面,有相当多的成就,如 1773 年,法国的库仑(Coulomb)根据试验创立了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论;1875 年,英国的朗肯(Rankine)又从另一途径提出了挡土墙土压力的理论,这对后来土体强度理论的发展起了很大的促进作用。此外,法国的布辛奈斯克(Boussinesq, 1885)求得了在弹性半无限空间表面作用竖向集中力的应力和变形

的理论解答;瑞典费兰纽斯(Fellenius, 1922)为解决铁路塌方问题提出了土坡稳定分析法。基础工程也随着这些理论和工业技术的发展而得到新的发展。如 19 世纪中叶利用气压沉箱法修建深水基础, 20 世纪 20 年代, 基础工程领域开始有比较系统、比较完整的专著问世。从 1936 年到 2005 年, 共召开了 15 届国际土力学与基础工程学术会议, 许多国家和地区兴办了多种土力学和基础工程的杂志期刊, 这些都对本学科的发展起到了推动作用, 现代科学新成就的渗入, 使基础工程技术与理论得到更进一步的发展与充实, 成为一门较成熟的独立的现代学科。

近年来, 我国在勘察和现场观测的技术、基础及其他土工建筑物设计与施工方法、地基处理、新设备、新材料、新工艺的研究和应用方面, 取得了很大的进展。例如: 静力和动力触探仪、现场孔隙水压力仪、测斜仪、土体内部和建筑结构内部以及界面上的应力应变传感器等新的试验仪器日益增多, 且开始采用近代物理技术测定土的物理性质等。我国对全国各地区的特殊土类(如西北、华北的黄土, 东北、西北及西藏的冻土, 西南的红黏土, 华东沿海地区的软土淤泥以及散布在全国不少省份的膨胀土等)都进行了大量的勘察、试验、研究和调查总结工作, 积累了大量资料, 制定了一些切实可行的条例和规程。我国设计单位对常用的主要基础类型结构设计已有较完备的计算机辅助设计系统, 基本上实现了电算化。在桥梁基础工程方面, 为充分利用天然地基承载力, 改进和发展了多种结构形式的浅基础, 以适应不同地基土质、不同荷载性质及上部结构使用要求。为缩短工期, 降低造价和适应大型加大跨度桥梁的建设, 大力发展了深基础技术。随着在各种土层、不同深度中施工经验和设计技术的积累, 桩基础尤其是钻孔灌注桩成为我国最广泛采用的深基础形式。已建成的桥梁钻孔桩最大桩径达 2.6m, 钻孔深度超过百米; 沉井基础在轻型、薄壁、助沉技术、机械化施工及沉井与桩、管柱组合式深水基础等方面开展了许多工作。近年来我国高速公路及高等级公路发展迅速, 在长江、黄河等大江大河和近海区域修筑的大型桥梁工程中采用了大直径钻孔灌注桩、顶应力管桩、管柱、钢管桩、多种形式的浮运沉井、组合式沉井。各种结构类型的单壁、双壁钢围堰等一系列新型深基础、深水基础, 成功地解决了复杂地质、深水、大型桥梁基础工程问题。我国 1999 年 9 月建成通车的江阴长江公路大桥, 为一跨过江的大跨径钢箱梁悬索桥, 主跨 1385m, 大桥南北锚采用重力式锚方案, 其中北锚碇采用大型沉井, 将大桥主缆 64 万 kN 的拉力传给地基, 整体规模目前居世界第一。在地基处理方面, 深层搅拌、高压旋喷、真空预压、强夯以及各种土工合成材料等在土建、水利、桥隧、港口、海洋等有关工程中得到广泛应用, 并取得了较好的经济技术效果。

在大量研究与实践经验积累的基础上, 有关基础工程的各种设计与施工规范或规程等相应问世或日臻完善。20 世纪 90 年代以来, 我国陆续编制及修订了大量的规范规程, 如《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—1994)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—1985)、《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—1999)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—1999)、《既有建筑地基基础加固技术规范》(JGJ 123—2000)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)、《建筑桩基检测技术规范》(JGJ 106—2003)等。这些规范规程都是基础工程各个领域中的科研成果和工程经验的高度概括, 反映了近十年来基础工程的发展水平, 为我国基础工程设计与施

工做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量提供了充分的理论与实践依据。

目前,基础工程的发展,包括在设计计算理论和方法方面的研究探讨,如考虑上部结构、基础与地基共同工作的理论和设计方法,概率极限状态设计理论和方法,优化设计方法,数值分析方法和计算机技术的应用等。有对于复杂地质条件下的基础工程,例如在高重建筑物、大型桥梁、水工结构、近海工程中,进行地震、风和波浪冲击作用的深入研究,以及发展深基础的设计和施工方法。在地基处理方面,包括进一步完善复合地基理论,对各类地基处理方法机理的深化研究以及施工及检测技术的改进。

随着我国经济建设的发展,相信会碰到更多的基础工程问题,也会不断出现新的热点和难点需要解决,而基础工程将在克服这些难点的基础上得到新的发展。

1.4 本课程的学习特点

前面简要介绍了本课程的一些基本内容,可以看出基础工程涉及的学科很广,有岩土力学、工程地质学、混凝土结构学、工程施工等学科领域,内容广泛,综合性强。在学习过程中,应明确任何一个成功的基础工程都是岩土力学、工程地质学、结构计算等知识的运用和工程实践经验的完美结合,在某些情况下,施工也可能是决定基础工程成败的关键。应了解上部结构、基础和地基是作为一个整体协调工作的,一些常规计算方法不考虑三者共同工作是有条件的,在评价计算结果中应考虑这种影响,并采取相应的构造措施。应清楚了解各种地基处理方法的特点,加固机理和适用范围,根据土的特性和工程特点选用不同的处理方法。地基处理方法很多,而且新方法、新工艺、新材料不断涌现,需下一番工夫。即使是很有经验的工程师,仍需不断学习,不断实践,了解他未曾使用过的方法。哪怕有些方法曾用过,也要了解别人在使用这些方法中的经验和独到之处。

由于地基土的成分、成因和构造不同,其性质是比较复杂的,加之土的性质随含水量及外力的变化而改变,使得不同建筑场地的地基性质相差很大,这就要求设计者以岩土力学基本理论为基础,以工程勘察结果为依据,灵活采用合适的基础形式和选用最佳的处理方案去解决基础工程问题;另外在建筑、道桥、水利、港口等不同行业,基础工程的设计、施工不尽相同,在学习基础工程课程时,既要重点突出,掌握其基本理论和一般原则,又要学会根据不同行业相关规范的不同要求进行基础工程设计与计算。

基础工程这门课程涉及地基勘察、基础设计和地基处理的基本原理等,同时介绍岩土工程中出现的一些新技术。全书力求用简短的篇幅将原理讲解清楚,同时,为了服务于工程实践,教材中也汇编了有关规范和手册中对设计、试验及施工方法的具体规定和建议。现代土木工程对地基基础提出了日益严格的要求,给土木工程师提出了一个又一个难题,让我们面对挑战,用科学发展观加深对基础工程课程的研究与探讨,以促进基础工程技术的更大发展。

第2章 地基的勘察、试验与计算

教学提示：本章主要介绍各种地基勘察的方法和适用条件，以及布置勘察任务，合理利用勘察成果解决设计和施工问题等内容。

教学要求：本章要求掌握各种地基勘察的基本方法、土工原位测试方法和地基勘察报告的主要内容。

2.1 概 述

2.1.1 地基勘察的目的与任务

建筑工程是根据设计要求和建筑场区的工程地质条件进行建设的。地基勘察是运用工程地质理论和各种勘察测试技术手段、方法，为解决工程建设中的地质问题而进行的调查研究工作。地基勘察是工程建设的先行工作，其成果资料是工程项目决策、设计和施工等的重要依据。

地基勘察是完成工程地质学在经济建设中“防灾”这一总任务的具体实践过程。其任务从总体上来说是为工程建设规划、设计、施工提供可靠的地质依据，充分利用有利的自然和地质条件，避开或改造不利的地质因素，以保证建筑物的安全和正常使用。具体而言，地基勘察的任务可归纳如下：

- (1) 查明建筑场地的工程地质条件，选择优越合适的地质条件作为建筑场地。
- (2) 查明场区内崩塌、滑坡、岩溶、岸边冲刷等不良地质现象，分析和判明它们对建筑场地稳定性的危害程度，为拟定改善和防治不良地质现象的措施提供地质依据。
- (3) 查明建筑物地基岩土的地层时代、岩性、地质构造、土的成因类型及其埋藏分布规律。测定地基岩土的物理力学性质。
- (4) 查明地下水类型、水质、埋深及分布规律。
- (5) 根据建筑场地的工程地质条件，分析研究可能发生的工程地质问题，提出拟建建筑物的结构类型、基础类型及施工方法的建议。
- (6) 对于不良工程地质现象，提出切实可行的处理方法或防治措施。

2.1.2 地基勘察的一般要求

建设工程项目设计一般分为可行性研究、初步设计和施工图设计三个阶段。为了提供各设计阶段所需的工程地质资料，勘察工作也相应地划分为选址勘察(可行性研究勘察)、初步勘察、详细勘察三个阶段。对工程地质条件复杂或有特殊施工要求的重要建筑物地基，尚应进行预可行性勘察及施工勘察；场地较少且无特殊要求的工程可合并勘察阶段。

各勘察阶段的任务和工作内容简述如下。