



SIMPLIFIED SERIES OF  
CIVIL ENGINEERING

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

刘起霞 邹剑峰 编著

# 简明土木工程系列专辑

## 土力学与地基基础



中国水利水电出版社   
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)  
知识产权出版社   
[www.cnipr.com](http://www.cnipr.com)

TU4  
49

Simplified Series of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

刘起霞 邹剑峰 编著

简明土木工程系列专辑

土力学与地基基础

中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn  
知识产权出版社  
www.cnipr.com



## 内容提要

根据国家教委审定的“土力学与地基基础”大纲,本书系统地介绍了土力学与地基基础的基本原理、计算方法和设计原理,主要内容包括土的物理性质、力学性质、渗透性以及天然地基上浅基础和深基础的设计、地基处理方法简介等,各章后附有相应的思考题和习题。为读者今后从事地基基础工程的设计、施工工作打下基础。

选题策划: 阳 森 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip. sina. com; z\_ baolin@263. net

责任编辑: 阳 森 张宝林

文字编辑: 周 媛

## 图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础 /刘起霞, 邹剑峰编著. —北京:  
中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2006

(简明土木工程系列专辑 /崔京浩主编)

ISBN 7-5084-3566-4

I. 土... II. ①刘... ②邹... III. ①土力学②地基  
—基础(工程) IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 008234 号

## 简明土木工程系列专辑

## 土力学与地基基础

刘起霞 邹剑峰 编著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68331835 68357319)  
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村 1 号; 传真: 010-82000893)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京市兴怀印刷厂印刷

850mm×1168mm 32 开 9.5 印张 255 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册

定价: 20.00 元

ISBN 7-5084-3566-4

## 版权所有 侵权必究

如有印装质量问题, 可寄中国水利水电出版社营销中心调换  
(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub. com. cn)

土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

**新颖性**——反映新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法

**实用性**——深入浅出，让人一看就懂，一懂能用，不是手册，胜似手册

**科学性**——编写内容均有出处

——摘自《简明土木工程系列专辑》总序

清华大学土木工程系组编

## 简明土木工程系列专辑

### 编 委 会

名誉主编 陈肇元 袁 驷

主 编 崔京浩

副 主 编 石永久 宋二祥

编 委 (按汉语拼音排序)

陈永灿 胡和平 金 峰 李庆斌

刘洪玉 钱稼茹 王志浩 王忠静

武晓峰 辛克贵 阳 森 杨 强

余锡平 张建民 张建平

### 编 辑 办 公 室

主 任 阳 森

成 员 张宝林 董拯民 彭天赦 谈智慧

周 媛 莫 莉 张 冰 邹艳芳

# 总 序

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到1/3；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过GDP总量的50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起

着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程系列专辑”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程系列专辑包括以下几层含义：简明，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；系列，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业；专辑，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，一个特定的行业标准等等，均可独立成册。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“系列专辑”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写人员臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现

代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端，这套系列专辑采用小开本，在选题上尽量划分得细一些，视专业、行业、工种甚至流程的不同，能独立成册的绝不合二为一，每本书原则上只讨论一个专题，根据专题的性质和特点有的书名仍冠以“手册”两字。

这套系列专辑的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性，就是充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法，老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性，就是避免不必要的说理和冗长的论述，尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形来表述；深入浅出，让人一看就懂，一懂能用；不是手册，胜似手册。

科学性，就是编写内容均有出处，参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外，尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套系列专辑的读者对象是比较宽泛的，它包括大专院校师生，土木工程领域的管理、设计、施工人员，以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册，又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩

2005年10月于清华园

崔京浩，男，山东淄博人。1960年清华大学土建系毕业，1964年清华大学结构力学研究生毕业，1986~1988年赴挪威皇家科学技术委员会做博士后，从事围岩应力分析的研究。先后发表论文150多篇，编著专业书4本，参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》，任编辑办公室主任，并为该书撰写绪论；主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”，并任主编。曾任清华大学土木系副系主任，现为中国力学学会理事，《工程力学》学报主编，享受国务院特殊津贴。

# 前 言

本书是在土木工程专业调整与课程体系改革的基础上,根据面向 21 世纪土木工程类人才培养目标和专业指导委员会对课程设置及教学大纲的要求组织编写的。在编写过程中征求了有关学校对本课程教学的意见,吸收了近十年来本学科工程技术的发展成果,同时考虑了宽口径专业设置教学改革的需要。

土力学与地基基础是一门理论性和实践性都很强的课程,本书在基本原理和方法的选用上以工程实用为主,并兼顾反映国内外的先进技术水平。理论部分以讲解基本假定与概念为主;应用部分充分结合现行规范、标准的规定,但尽量以共性内容为主,避免其简单地成为规范的说明书,有利于培养读者工程实践的能力。本书的编写遵循高校土木工程专业培养方案,在教学改革和实践的基础上,对内容进行拓宽,包括建筑工程、公路与城市道路、桥梁工程、地下建筑工程等在内的专业知识。

全书采用简洁明快的表述方法,重点突出,深入浅出,浅显易懂,加强了各章之间的相互衔接,突出科学性、实用性、新颖性。同时,根据《全国注册土木工程师(岩土)执业资格考试大纲》,精选了相关题型,按章节给出了思考题及习题,这些题大多与实际工程相结合,能够有效地提高读者的学习效率,以及分析问题和解决问题的能力。

本书由常年从事土力学与基础工程教学工作的刘起霞副教授主编,具体编写人员分工如下:第 1、2、3 章由刘起霞编写,第 9、10 章由邹剑峰编写,第 6、7、8 章由刘建周编写。第 4、5 章由段永辉编写。

限于编者的水平,书中难免有欠妥之处,请读者不吝指正。

编 者

2005 年 11 月 于郑州

## 出版者的话

---

尊敬的读者：

为适应国家建设发展的需要，为及时反映有关“新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法”，为有志于在土木工程领域传播和推广科学技术知识的人士构筑学术出版平台，为渴求知识的读者在工作实践中的学习交流和继续教育创造机会，由中国水利水电出版社和知识产权出版社与清华大学土木工程系联手，倾力推出的“简明土木工程系列专辑”中的第一批出版物正式与您见面了。

在此，我们特别感谢您对本套专辑的热切关注。

为使您对本套专辑有更多的了解，以下一并列出2006年和2007年两年内本套专辑即将陆续出版的图书。如果您有什么要求，有什么意见和建议，真诚地希望和欢迎您随时与我们取得联系。具体联系方式详见版权页上的E-mail地址。

再次感谢您对本套专辑的支持与厚爱！

# “简明土木工程系列专辑”

## 系列出版物

伟大的土木工程

原位测试

客运站设计

建筑消防系统

土坡稳定分析

建筑装饰材料

建筑结构荷载学

品味钢筋混凝土

轻钢结构新技术

土力学与地基基础

空间钢结构新技术

高性能膨胀混凝土

水泥混凝土及外加剂

水电站设计的新进展

建筑抗震鉴定与加固

多高层钢结构住宅设计

浅基础设计及程序设计

弹性地基梁板实用计算

建筑的灾害与安全设防

钢-混凝土组合梁设计

自密实混凝土技术手册

城市生活垃圾处理工程

框架结构的计算与构造

房屋改造工程原理与应用

火灾后建筑物鉴定与加固

基础隔震设计及施工手册

剪力墙结构的分析与设计

钢筋混凝土圆容器设计

结构原理与结构概念设计

桥梁施工技术及质量控制

城市污水处理及回用技术

预应力加固法理论与实践

土力学与地基基础应试要点

高层建筑基础实用设计方法

新型建筑防水材料实用手册

预应力混凝土圆池结构设计

拱坝整体地质力学模型试验

建筑施工常见质量问题及对策

混凝土结构加固实用技术手册

抗氯离子侵蚀混凝土设计手册

区域性特殊土的地基处理技术

计算机程序在土木工程中的应用

结构工程师常用计算数据速查手册

房屋建筑加固实用方法及其新技术

高层建筑结构地震反应的时程分析法

公路桥涵钢筋混凝土受弯构件的计算

工程事故分析与工程安全抗裂机理

工程事故分析与工程安全后桩基时代

工程事故分析与安全加固技术

工程事故分析与工程安全实例

工程事故分析与工程安全结构方案

在役桥梁检测、可靠性分析与寿命预测

平面结构弹塑性地震响应分析软件

NDAS2D 及其应用

.....

# 目 录

总序

前言

**第 1 章 绪论**..... 1

第 1 节 土力学与地基基础的研究对象与目的 / 1

第 2 节 土力学与地基基础的发展简介 / 2

第 3 节 土力学与地基基础的学习方法和基本要求 / 3

**第 2 章 土的物理性质和分类**..... 5

第 1 节 土的组成 / 5

第 2 节 土的结构和构造 / 15

第 3 节 土的三相指标的定义及其换算 / 18

第 4 节 无粘性土的密实度 / 24

第 5 节 粘性土的物理特征 / 27

第 6 节 地基土的分类方法 / 31

思考题与习题 / 38

**第 3 章 土的渗透性与渗流** ..... 49

第 1 节 土的渗透性 / 49

第 2 节 土中的渗流 / 50

第 3 节 渗透系数的测定 / 52

第 4 节 流网的特征 / 57

第 5 节 渗透变形与控制 / 59

思考题与习题 / 65

**第 4 章 地基的应力和变形** ..... 69

第 1 节 土的自重应力 / 70

第 2 节 基底压力与基底附加应力 / 72

第 3 节 地基中的附加应力 / 76

|              |                            |            |
|--------------|----------------------------|------------|
| 第 4 节        | 饱和土的有效应力原理/ 84             |            |
| 第 5 节        | 土的压缩性及其指标/ 85              |            |
| 第 6 节        | 地基的沉降计算方法/ 90              |            |
| 第 7 节        | 应力历史对地基沉降的影响/ 94           |            |
| 第 8 节        | 一维固结理论基本概念以及地基变形与时间关系/ 96  |            |
|              | 思考题与习题/ 102                |            |
| <b>第 5 章</b> | <b>土的抗剪强度与地基承载力</b> .....  | <b>110</b> |
| 第 1 节        | 土的抗剪强度概念及抗剪强度指标/ 110       |            |
| 第 2 节        | 莫尔-库仑强度理论和土的极限平衡条件/ 112    |            |
| 第 3 节        | 土的抗剪强度指标的测定方法/ 115         |            |
| 第 4 节        | 饱和粘性土在不同排水条件下的试验/ 123      |            |
| 第 5 节        | 无粘性土的抗剪强度/ 128             |            |
| 第 6 节        | 地基临塑荷载、临界荷载和极限荷载/ 131      |            |
| 第 7 节        | 规范法确定地基承载力/ 140            |            |
|              | 思考题与习题/ 143                |            |
| <b>第 6 章</b> | <b>挡土墙土压力和土坡稳定分析</b> ..... | <b>150</b> |
| 第 1 节        | 概述/ 150                    |            |
| 第 2 节        | 静止土压力计算/ 152               |            |
| 第 3 节        | 朗肯土压力理论/ 154               |            |
| 第 4 节        | 库仑土压力理论/ 164               |            |
| 第 5 节        | 边坡稳定性分析/ 171               |            |
|              | 思考题与习题/ 178                |            |
| <b>第 7 章</b> | <b>建筑场地工程地质勘察</b> .....    | <b>185</b> |
| 第 1 节        | 建筑场地分级/ 185                |            |
| 第 2 节        | 第四纪沉积物类型及其工程特点/ 186        |            |
| 第 3 节        | 工程地质勘察的任务和内容/ 188          |            |
| 第 4 节        | 岩土工程勘察的方法/ 190             |            |
| 第 5 节        | 工程勘察报告的阅读/ 194             |            |
| <b>第 8 章</b> | <b>天然地基浅基础设计</b> .....     | <b>196</b> |
| 第 1 节        | 概述/ 196                    |            |

|               |                           |            |
|---------------|---------------------------|------------|
| 第 2 节         | 天然地基上的浅基础设计/ 196          |            |
| 第 3 节         | 独立基础/ 206                 |            |
| 第 4 节         | 条形基础/ 209                 |            |
| 第 5 节         | 十字交叉基础/ 213               |            |
| 第 6 节         | 筏形基础/ 215                 |            |
| 第 7 节         | 箱形基础/ 217                 |            |
|               | 思考题与习题/ 222               |            |
| <b>第 9 章</b>  | <b>桩基础</b> .....          | <b>225</b> |
| 第 1 节         | 桩基础的分类/ 226               |            |
| 第 2 节         | 受力特征分析、破坏模式及质量检测/ 233     |            |
| 第 3 节         | 单桩竖向承载力的计算/ 236           |            |
| 第 4 节         | 群桩效应/ 239                 |            |
| 第 5 节         | 桩基承载力和沉降验算/ 245           |            |
| 第 6 节         | 桩的水平承载力的确定/ 247           |            |
| 第 7 节         | 桩基础的设计/ 250               |            |
|               | 思考题与习题/ 254               |            |
| <b>第 10 章</b> | <b>软土地基和特殊土地基处理</b> ..... | <b>256</b> |
| 第 1 节         | 地基处理的对象和目的/ 256           |            |
| 第 2 节         | 地基处理方法的分类/ 258            |            |
| 第 3 节         | 地基处理方案的选择/ 258            |            |
| 第 4 节         | 地基处理方法分述/ 263             |            |
|               | 思考题与习题/ 281               |            |
|               | <b>主要参考文献</b> .....       | <b>284</b> |
|               | 出版者的话                     |            |

# 第 1 章 绪论

## 第 1 节 土力学与地基基础的 研究对象与目的

随着科学技术的进步，国内外高层建筑、大型桥梁等工程的大量兴建，土力学与地基基础学科得到了迅速的发展。土力学与地基基础是一门研究地基与基础等工程问题的学科，具体包括两大部分：第一部分是土力学；第二部分是地基基础。土力学是研究土的物理性质以及在荷载作用下土体内部的应力变形和强度规律，从而解决工程中土体变形和稳定问题的一门学科，而地基基础是研究基础或包含基础的地下结构设计与施工的一门学科。两部分内容紧密相关，地基基础设计是以土力学为基础，同时又相对独立，因此两部分内容可形成两门独立学科。

土是一种自然环境下生成的堆积物，在不同地区不同位置土的性质会存在差异，有的甚至差异很大。各类建筑物的地基是岩、土体，土石坝（堤）也是由土体筑成的。土是一种材料，具有强度，在荷载作用下产生应力变形甚至破坏。土的性质极为复杂，远不同于常用的钢材、木材或其他人工合成材料。

建造各类建筑物几乎都会涉及土力学与地基基础课题，从而保证建筑物施工期的安全、竣工后的安全和正常使用。土力学与地基基础学科需研究和解决工程中的两大类问题：一是土体稳定问题，这就要研究土体中的应力和强度，例如地基的稳定，当土体的强度不足时，将导致建筑物的失稳或破坏；二是土体变形问题，即使土体具有足够的强度能保证自身稳定，然而土体的变形尤其是沉降（竖向变形）或不均匀沉降不应超过建筑物的允许

值, 否则轻者导致建筑物的倾斜、开裂, 降低或失去使用价值, 重者将会酿成毁坏事故。此外, 需要指出的是, 对于土工建筑物(如土坝、土堤、岸坡)、水工建筑物地基, 或其他挡土挡水结构, 除了在荷载作用下土体要满足前述的稳定和变形要求外, 还要研究渗流对土体变形和稳定的影响。为了解决上述工程问题, 必须研究土的物理性质及应力变形性质、强度性质和渗透性质等, 找到它们的内在规律, 作为解决土体稳定和变形问题的基本依据。

土力学与地基基础是岩土工程学科的基础, 是水利水电工程、土木工程、地质工程、环境工程、路桥及港口工程等专业的专业基础课程, 是解决许多工程问题必要的工具。

## 第 2 节 土力学与地基基础的发展简介

土力学与地基基础是岩土工程学科的基础课程, 是一门既古老而又年轻的应用学科。我国古代劳动人民创造了灿烂的文化, 留下了令世人叹为观止的工程遗产, 如恢宏的宫殿寺院、灵巧的水榭楼台、巍峨的高塔、蜿蜒万里的长城、大运河等, 这些工程无不体现出能工巧匠的高超技艺和创新智慧。然而这些还仅局限于工程实践经验, 受到当时生产力水平的限制, 未能形成系统的土力学与地基基础理论。

土力学与地基基础逐渐形成理论始于 18 世纪兴起工业革命的欧洲, 当时为满足资本主义工业化的发展和市场向外扩张的需要, 工业厂房、城市建筑、铁路等大规模的兴建, 提出了许多与土力学与地基基础相关的问题, 例如铁路路基问题。1773 年, 法国 C. A. 库仑 (C. A. Coulomb) 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; 1869 年, 英国 W. J. M. 朗肯 (W. J. M. Rankine) 又依据强度理论从另一角度推导了土压力计算公式; 1885 年, 法国 J. 布辛内斯克 (J. Boussinesq) 求得了弹性半无限空间在竖向集中力作用下的

应力与变形的理论解；1922年，瑞典 W. 费伦纽斯 (W. Fellenius) 提出了土坡稳定分析方法。这些古典的理论和方法影响着后人。许多学者前赴后继的努力，为本学科的系统发展做出了贡献。1925年，K. 太沙基 (K. Terzaghi) 归纳了以往的研究成果，提出了一维固结理论，阐述了有效应力原理，发表了第一本《土力学》专著，标志着近代土力学学科的形成。1963年，罗斯科 (Roscoe) 等人创建发表了著名的剑桥弹塑性模型，标志着人们对土性质的认识和研究进入了一个崭新的阶段。

回顾新中国成立后的50多年，围绕着解决工程建设中提出的问题，土力学与地基基础学科在我国得到了广泛的传播和发展。尤其是改革开放以后，国家大规模的建设促进了本学科的发展。在土力学与地基基础理论和工程实践方面均取得了令世人瞩目的进步，为国民经济发展做出了巨大贡献，许多大型水利水电工程、绵延万里的高速公路、大型桥梁、林立的高楼大厦以及地下空间开发利用等都呈现了本学科理论和实践的巨大成就。工程建设需要学科理论，学科理论的发展更离不开工程建设。21世纪人类将面对资源和环境这一严酷生存问题的挑战，有各种各样岩土工程问题需要解决，这恰恰是岩土工程工作者所肩负的使命。

### 第3节 土力学与地基基础的学习方法和基本要求

土是由固态、液态、气态物质组成的三相体系。土不同于其他材料，与各种连续材料相比较，天然土体的物理力学性质十分复杂，受土的生成条件、环境变动因素影响很大。土力学已形成一定的理论体系，但现有的土力学理论还难以全面客观地概括天然土体的各种力学性能。一方面，要通过实践，尤其是通过室内实验及现场测试研究来揭示土的力学性能，丰富和完善土力学理论；另一方面，人们要应用土力学与地基基础理论指导实践。