

- 中国水利教育协会
- 高等学校水利类专业教学指导委员会 共同组织编审
- 中国水利水电出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
全国水利行业“十三五”规划教材

# 土力学与基础工程

## (第2版)

陈晓平 傅旭东 主编



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



● 高等学校水利类专业教学指导委员会 共同组织编审  
● 中国水利水电出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
全国水利行业“十三五”规划教材

# 土力学与基础工程

## （第2版）

陈晓平 傅旭东 主编



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

· 北京 ·

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，全国水利行业“十三五”规划教材。系统阐述了土力学的基本理论、建筑物常用基础类型的设计与分析方法、地基处理技术等，适当介绍了一些设计新理念和新方法，教材中的符号、术语和计量单位均依照新的国家规范，各章附有例题、思考题和习题。

全书共分 15 章，主要内容包括：土的物理性质及工程分类、土的渗透性、土中应力、土的压缩性和地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力、地基承载力、挡土墙设计、土坡稳定分析、天然地基上的浅基础、连续基础、桩基础、地基处理、基坑工程、特殊土地基。

本书可作为高等院校土木工程类及相关专业的教学用书，也可作为相应专业工程技术人员、研究人员的参考用书。

## 图书在版编目（C I P）数据

土力学与基础工程 / 陈晓平, 傅旭东主编. -- 2版  
— 北京 : 中国水利水电出版社, 2016.8  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 全国水利  
行业“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-5170-4690-5

I. ①土… II. ①陈… ②傅… III. ①土力学—高等  
学校—教材②基础(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第210760号

|      |                                                                                                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 普通高等教育“十一五”国家级规划教材<br>全国水利行业“十三五”规划教材<br><b>土力学与基础工程（第2版）</b><br>TULIXUE YU JICHU GONGCHENG                                    |
| 作 者  | 陈晓平 傅旭东 主编                                                                                                                     |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                   |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                |
| 刷 印  | 北京瑞斯通印务发展有限公司                                                                                                                  |
| 规 格  | 184mm×260mm 16开本 28.25印张 670千字                                                                                                 |
| 版 次  | 2008年12月第1版第1次印刷<br>2016年8月第2版 2016年8月第1次印刷                                                                                    |
| 印 数  | 0001—3000册                                                                                                                     |
| 定 价  | <b>56.00元</b>                                                                                                                  |

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

《土力学与基础工程》自2008年12月出版以来，印刷5次，颇受好评。

工程建设的持续发展需要大量专业素质高、技术能力强的专业人士。土力学与基础工程是土木工程、水利工程等专业的必修课，也是其他有关工科专业的选修课。目前一般有两种课程设置模式：一种是将《土力学》与《基础工程》作为前后两门课程，另一种是将《土力学与基础工程》或《土力学与地基基础》作为一门课程。两种课程设置所涉及的内容差别并不太大，但在内容的详略上有所不同，本教材兼顾此两种课程设置模式。

土力学是用力学的基本原理和土工测试技术，研究土体的工程性质和在力系作用下的反应，是强烈依赖于实践的科学；基础工程是以土力学作为理论基础，研究地面以下与岩土材料有密切联系的工程的设计与分析，是土力学的后继课程。因此，本教材的重要特点之一，是在介绍相关理论及适用条件的前提下，尽可能地体现理论与实践的结合，注重土力学和基础工程的整体性；之二，是基于本学科尚不是一门已经具有严密理论体系的学科的现状下，给出了相应的思考空间和工程经验，以及有些经典理论的缺陷及发展前景，以培养学生的研究兴趣，发掘专业潜质。

本教材2006年经教育部批准列为国家“十一五”规划教材，2008年正式出版，2014年获批为广东省高等学校精品教材建设项目，2014年列入全国水利行业“十三五”规划教材。在第1版5次印刷基础上，第2版对一些章节进行了修改和调整，由第1版的13章扩充至15章。其中：

第4章“土的压缩性和地基沉降计算”中将“应力历史对压缩性的影响”单独作为一节。

第5章“土的抗剪强度”中将“三轴试验中的孔隙压力系数”单独作为一节，并增加了“应力路径及在强度问题中的应用”一节。

原第6章“土压力及挡土墙”扩充为第6章“土压力”和第8章“挡土墙设计”，并在“挡土墙设计”中增加了“悬臂式挡土墙设计”“扶壁式挡土墙设计”两节，补充了完整的设计实例。

原第7章“地基承载力和土坡稳定”扩充为第7章“地基承载力”和第9章“土坡稳定”，并在“地基承载力”部分增加了“地基容许承载力”一节，在“土坡稳定”部分增加了“土坡稳定分析的若干问题”一节。

原第8章“天然地基上浅基础设计”改为第10章“天然地基上的浅基础”，并将基础底面尺寸确定单独作为一节，将“无筋扩展基础设计”和“钢筋混凝土扩展基础设计”合并为“扩展基础设计”。

原第9章“连续基础”改为第11章，并增加“地基模型”一节，将“柱下条形基础”和“柱下交叉条形基础”合并为一节，将“筏形基础与箱型基础”拆分为“筏形基础”和“箱型基础”两节。

原第10章“桩基础与其他深基础”改为第12章“桩基础”，根据新规范重新进行了编排和补充，并增加了完整的设计实例。

原第11章“软土地基处理”改为第13章“地基处理”，在地基处理分类等方面进行了修改。

原第12章“基坑工程”改为第14章，根据规范内容进行了修改。

原第13章特殊土地基改为第15章，根据规范内容进行了适当修改。

本教材的编写原则秉持第1版的体系，以土力学的基本理论为核心、以常规基础工程设计和地基处理技术为重要内容、考虑学科发展水平、适当介绍目前尚处于初步应用阶段的设计新理念和新方法，对土力学的基本概念力求严谨，对基础工程设计中不可回避的变形控制问题力求深入浅出，阐述准确。教材中的符号、术语和计量单位均依照新颁布的国家规范，各章相互衔接，前后一致，每一章都附有例题、思考题和习题，相对于第1版，在基础工程设计部分补充了完整的计算实例。在写作方法上本教材充分考虑了课堂教学的特点和需要，努力做到线条清晰，理论严谨，设计简洁，便于讲解，并与现行工程技术规范保持一致。

全书共分15章，由暨南大学陈晓平教授和武汉大学傅旭东教授担任主编，负责统稿、修改和定稿。各章编撰人员及分工如下：绪论、第2、4、5、6章由暨南大学陈晓平编写；第8、12章由武汉大学傅旭东编写；第9、14章由广东工业大学张建龙编写；第10、13章由暨南大学胡辉编写；第3、11章由暨南大学吴起星编写；第1、7章由南京大学朱鸿鹄编写；第15章由福州大学曾玲玲编写。

限于作者水平，书中难免存在疏漏之处，敬请读者不吝指正。

编者

2016年5月于广州

# 第 1 版前言

“土力学与基础工程”是土木工程、水利工程等专业的必修课，也是其他一些工科专业的选修课。目前有两种课程设置模式：一是将“土力学”与“基础工程”作为前后两门课程；另一种是将“土力学与基础工程”或“土力学与地基基础”作为一门课程。两种课程设置所涉及到的内容差别并不太大，但在内容的详略上有所不同，本教材力图兼顾此两种课程设置模式。

土力学是用力学的基本原理和土工测试技术，研究土体的工程性质和在力系作用下的反应，是强烈依赖于实践的科学；基础工程是以土力学作为理论基础，研究地面以下与岩土材料有密切联系的工程的设计、施工与管理，是土力学的后继课程。因此，本教材的重要特点之一就是尽可能地体现理论与实践的结合。但由于该学科远不是一门已经具有严密理论体系的学科，所以本教材还给出必要的工程实例和思考空间，以培养学生的兴趣，发掘专业潜质。

本教材于 2006 年经教育部批准列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在参阅大量有关文献的基础上，确定了以土力学的基本理论为核心，以常规基础工程设计和地基处理技术为重要内容，考虑学科发展水平以适当介绍目前尚处于初步应用阶段的设计新理念和新技术的编写原则，并对基础工程设计中一些不可回避的问题，如上部结构与地基基础的共同作用、深基坑支护工程计算与分析等进行了专门阐述。本教材中的符号、术语和计量单位均依照新的国家规范，各章相互衔接，前后一致，并附有例题、思考题和习题。

本教材共分 14 章，其编写人员及分工如下：绪论、第 1~6 章由暨南大学陈晓平编写；第 7、12 章由广东工业大学张建龙编写；第 8、11 章由暨南大学胡辉编写；第 9 章由暨南大学陈晓平、华南理工大学潘健编写；第 10 章由武汉大学傅旭东编写；第 13 章由福州大学刘毓川编写；第 1~6 章思考题和习题由暨南大学吴起星编写。本教材由陈晓平统稿、修改和定稿。

在写作方法上本教材充分考虑了本科教学的特点和需要，力求线条清晰，

理论准确、简洁，便于讲解，并与工程技术规范保持一致。限于水平，书中难免有不当之处，敬请读者和同行专家不吝指正。

**编者**

2008年7月

# 目录

## 前言

### 第 1 版前言

|                   |    |
|-------------------|----|
| 绪论                | 1  |
| 0.1 土力学与基础工程概念    | 1  |
| 0.2 学科的重要性        | 2  |
| 0.3 学科发展          | 3  |
| 0.4 课程主要内容及学习建议   | 4  |
| 第 1 章 土的物理性质及工程分类 | 7  |
| 1.1 土的组成          | 7  |
| 1.2 土的结构和构造       | 11 |
| 1.3 土的物理性质指标      | 13 |
| 1.4 土的物理状态指标      | 18 |
| 1.5 土的压实性         | 22 |
| 1.6 土的工程分类        | 25 |
| 思考题               | 31 |
| 习题                | 31 |
| 第 2 章 土的渗透性       | 33 |
| 2.1 渗透规律          | 33 |
| 2.2 渗透试验及渗透系数     | 34 |
| 2.3 土中二维渗流及流网     | 40 |
| 2.4 渗透破坏及工程控制     | 43 |
| 思考题               | 48 |
| 习题                | 49 |
| 第 3 章 土中应力        | 50 |
| 3.1 自重应力          | 50 |
| 3.2 基底压力          | 53 |
| 3.3 地基附加应力        | 57 |
| 3.4 地基中附加应力的有关问题  | 69 |
| 思考题               | 71 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 习题 .....                        | 71         |
| <b>第 4 章 土的压缩性和地基沉降计算 .....</b> | <b>73</b>  |
| 4.1 土的压缩性 .....                 | 73         |
| 4.2 应力历史对压缩性的影响 .....           | 78         |
| 4.3 基础最终沉降量 .....               | 80         |
| 4.4 饱和土的一维固结理论 .....            | 93         |
| 4.5 利用沉降观测资料推算后期沉降量 .....       | 102        |
| 思考题 .....                       | 103        |
| 习题 .....                        | 103        |
| <b>第 5 章 土的抗剪强度 .....</b>       | <b>106</b> |
| 5.1 土的抗剪强度理论 .....              | 106        |
| 5.2 土的抗剪强度试验 .....              | 110        |
| 5.3 三轴试验中的孔隙压力系数 .....          | 116        |
| 5.4 饱和黏性土的抗剪强度 .....            | 119        |
| 5.5 砂土的抗剪强度 .....               | 125        |
| 5.6 应力路径及在强度问题中的应用 .....        | 126        |
| 思考题 .....                       | 128        |
| 习题 .....                        | 129        |
| <b>第 6 章 土压力 .....</b>          | <b>130</b> |
| 6.1 挡土墙侧土压力 .....               | 130        |
| 6.2 朗肯土压力理论 .....               | 132        |
| 6.3 库仑土压力理论 .....               | 140        |
| 6.4 土压力计算方法讨论 .....             | 148        |
| 思考题 .....                       | 150        |
| 习题 .....                        | 150        |
| <b>第 7 章 地基承载力 .....</b>        | <b>151</b> |
| 7.1 地基的破坏模式 .....               | 151        |
| 7.2 临界荷载 .....                  | 152        |
| 7.3 地基极限承载力 .....               | 156        |
| 7.4 地基容许承载力 .....               | 163        |
| 思考题 .....                       | 164        |
| 习题 .....                        | 165        |
| <b>第 8 章 挡土墙设计 .....</b>        | <b>166</b> |
| 8.1 挡土墙类型及设计要求 .....            | 166        |
| 8.2 作用于挡土墙上的荷载 .....            | 169        |
| 8.3 重力式挡土墙设计 .....              | 171        |
| 8.4 悬臂式挡土墙设计 .....              | 181        |
| 8.5 扶壁式挡土墙设计 .....              | 189        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 思考题 .....                     | 195 |
| 习题 .....                      | 195 |
| <b>第 9 章 土坡稳定分析</b> .....     | 197 |
| 9.1 平面滑动分析法 .....             | 197 |
| 9.2 黏性土坡的稳定性 .....            | 200 |
| 9.3 土坡稳定分析的若干问题 .....         | 213 |
| 思考题 .....                     | 218 |
| 习题 .....                      | 219 |
| <b>第 10 章 天然地基上的浅基础</b> ..... | 220 |
| 10.1 浅基础类型 .....              | 220 |
| 10.2 浅基础设计原则 .....            | 223 |
| 10.3 地基计算 .....               | 225 |
| 10.4 基础底面尺寸确定 .....           | 232 |
| 10.5 扩展基础设计 .....             | 236 |
| 10.6 减少不均匀沉降危害的措施 .....       | 248 |
| 思考题 .....                     | 251 |
| 习题 .....                      | 251 |
| <b>第 11 章 连续基础</b> .....      | 253 |
| 11.1 上部结构与地基基础共同作用 .....      | 253 |
| 11.2 地基模型 .....               | 255 |
| 11.3 文克尔地基上梁的分析 .....         | 258 |
| 11.4 柱下条形基础及交叉条形基础 .....      | 267 |
| 11.5 筏形基础 .....               | 273 |
| 11.6 箱形基础 .....               | 278 |
| 思考题 .....                     | 288 |
| 习题 .....                      | 288 |
| <b>第 12 章 桩基础</b> .....       | 290 |
| 12.1 桩基础的特点、类型和设计原则 .....     | 290 |
| 12.2 单桩竖向承载力 .....            | 294 |
| 12.3 单桩的水平承载力 .....           | 308 |
| 12.4 群桩的竖向承载力及沉降计算 .....      | 317 |
| 12.5 桩顶作用效应和桩基承载力验算 .....     | 328 |
| 12.6 桩基础设计 .....              | 339 |
| 思考题 .....                     | 359 |
| 习题 .....                      | 360 |
| <b>第 13 章 地基处理</b> .....      | 364 |
| 13.1 地基处理的土类及技术分类 .....       | 364 |
| 13.2 排水固结法 .....              | 366 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 13.3 复合地基法 .....          | 375 |
| 13.4 强夯法与动力固结法 .....      | 385 |
| 13.5 其他处理技术 .....         | 390 |
| 思考题 .....                 | 392 |
| 习题 .....                  | 393 |
| <b>第 14 章 基坑工程</b> .....  | 394 |
| 14.1 基坑工程特点及支护结构型式 .....  | 394 |
| 14.2 支护结构上土压力的计算 .....    | 396 |
| 14.3 支护结构计算与分析 .....      | 400 |
| 14.4 基坑稳定分析 .....         | 407 |
| 14.5 地下水控制 .....          | 410 |
| 14.6 基坑施工与监测技术 .....      | 411 |
| 思考题 .....                 | 414 |
| 习题 .....                  | 415 |
| <b>第 15 章 特殊土地基</b> ..... | 416 |
| 15.1 膨胀土地基 .....          | 416 |
| 15.2 湿陷性黄土地基 .....        | 419 |
| 15.3 红黏土地基 .....          | 425 |
| 15.4 岩溶与土洞 .....          | 426 |
| 15.5 多年冻土地基 .....         | 430 |
| 15.6 地震区地基 .....          | 432 |
| 思考题 .....                 | 438 |
| 习题 .....                  | 438 |
| <b>参考文献</b> .....         | 439 |

# 绪 论

## 0.1 土力学与基础工程概念

土力学是用力学的基本原理和土工测试技术,研究土的物理性质及在外力发生变化时土的应力、变形、强度和渗透特性及其规律的一门学科。土力学学科可以被认为是力学学科的一个分支,但由于土是具有复杂性质的天然材料,具有不连续性,所以在运用土力学理论解决各类土工问题时,尚不能像其他力学学科一样具备系统的理论和严密的数学公式,而必须借助经验、试验辅以理论分析与计算。所以,土力学是一门强烈依赖于实践的学科。

基础工程包括地基与基础,是以土力学作为学科理论基础,研究浅基础和深基础、支挡结构、地基加固、特殊土地基等的设计与分析。该类工程的重要特点是与岩土材料有密切联系,或以岩土作为基土,如地基;或以岩土作为介质护层,如地下空间;或以岩土作为建筑材料,如堤坝。因而其分析方法既基于结构工程,又显著区别于上部结构;既要考虑其结构的特性,又要注意与其土(岩)的相互作用。基础工程与土力学互为理论与应用。

土是地壳岩石经受强烈风化的天然产物,是各种矿物颗粒的集合体。土体由固体颗粒、孔隙水和孔隙气三相组成,可分为无黏性土和黏性土,前者颗粒间无黏结,后者颗粒间虽有黏结,但黏结强度远小于颗粒本身强度。土与其他连续固体介质相区别的最主要特征就是其多孔性和散体性,由此导致了土体的一系列与连续介质不同的物理特性和力学特性。另外,由于自然地理环境和沉积条件的区域性特征,还形成了一些具有特殊性质的区域性土。

土层承担建筑物荷载之后其内部应力状态会发生变化,工程上把受建筑物影响其应力发生变化而引起物理、力学性质发生可感变化的那一部分土层称为地基,当地基由两层以上土层组成时,通常将直接与基础接触的土层称为持力层,其下的土层称为下卧层。基础则是指建筑物向地基传递荷载的下部结构,起着传递荷载的作用。基础工程的研究对象包括地基、基础结构,以及一些与岩土体有关的工程技术问题。

基础有多种型式,但从分类上,可以把相对埋深(基础埋深与基础宽度之比)不大、采用一般方法与设备施工的基础称为浅基础;而把基础埋深超过某一值,需借助于特殊的施工方法才能将建筑物荷载传递到地表以下较深土(岩)层的基础称为深基础。如果天然土层可以直接作为建筑物地基,就称其为天然地基,而需经人工加固处理后才能作为建筑物地基的称为人工地基。

建筑物的上部结构、基础与地基三部分功能各异,工作于不同环境,通过三者之间的

联系构成了一个既相互制约又共同工作的整体,合理的分析方法应同时考虑各接触部位的静力平衡和变形协调。

## 0.2 学科的重要性

土力学与基础工程课程包括土力学理论和基础工程设计两大部分。

土的种类繁多,力学特性与工程性质都十分复杂,并具有不可忽视的离散和不确定性。基础工程位于地面以下,系隐蔽工程,一旦发生质量问题,补救和处理往往非常困难,甚至完全不可能补救。因此,土力学与基础工程学科的最大特点是有较多的不知及不可知,学科的发展基于不断地发现与验证,发展过程中更多的是实践先于理论。

本门学科的重要性可以通过建筑史上若干工程的质量事故来说明。

意大利比萨斜塔,始建于1174年,竣工于1370年,高约55m,是建筑物倾斜的典型实例。该塔在建筑过程中即因地基原因造成塔身倾斜而两次停工,建成之后一直以斜塔的形式成为史上最珍贵的文物之一。据记载,几世纪以来为了保持其斜而不倒的身姿,先后对地基和塔身进行了多次加固,采用的技术包括卸荷、灌浆、堆载反压、塔基下横向取土、基础加固等,所积累的成功经验和失败教训对土力学理论与实践有重要意义。

中国苏州虎丘塔,落成于公元961年,高约47.5m,由于地基非均匀沉降导致塔身严重倾斜并开裂。至20世纪80年代开始对其进行地基加固,采用了桩排式地下连续墙围箍、钻孔注浆、树根桩基础加固的方法。

中国上海展览中心,开工于1954年,中央大厅采用框架结构、箱形基础,埋深7.27m。由于地基为高压缩性淤泥质黏土,厚约14m,所以建成当年就下沉60cm,1979年9月测得平均沉降量达160cm。由于沉降量过大,导致中央大厅与两翼展览馆部分连接断裂,严重影响了工程的正常使用。

加拿大特朗斯康谷仓,建于1941年,是建筑物失稳的典型例子。该工程由65个圆柱形筒仓组成,高约31m,平面尺寸为59.4m×23.5m,其下为筏板基础。建成后初次储存谷物便造成西侧突然下陷8.8m,东侧抬高1.5m,仓身倾斜27°。事后发现事故原因是由于基础下埋藏有厚达16m的软黏土层,储存谷物使基底平均压力达330kPa时超过了地基的极限承载力(280kPa),因而地基发生强度破坏而产生整体滑动。事后为修复筒仓,在基础下设置了70多个支承于基岩的混凝土墩,使用了388只500kN的千斤顶,才逐渐将倾斜的筒仓扶正,但修复后的位置比原来降低了4m。

大量工程事故说明,建筑物发生的事故很多与基础问题有关,涉及土力学理论和基础工程设计。没有地基及基础的安全稳定性,任何土木工程都是难以保证正常使用或安全稳定的。

学科重要性的另一个体现是其造价和施工工期在建筑总造价和总工期中所占的比例,虽然这一比例与多种因素有关,包括上部结构型式和层数、基础结构型式、地质条件、环境条件等,但就目前的建筑规模而言,都会占到一个相当大的比例。如对钢筋混凝土结构和一般地质条件,采用箱型基础或筏基的多层建筑,其基础工程的费用约占建筑总费用的20%,高的可达30%,相应的施工工期约占建筑总工期的20%~25%,一般桩基础的费

用与之相近或稍高。对于高层建筑,其地基基础工程设计要求和施工中的技术难度均会进一步提高。

随着经济建设的发展和土地资源的限制,充分利用各种不良地基、不占或少占耕地、最大限度地提高土地利用率,都将使土力学与基础工程在社会发展中占有越来越重要的地位,并对本门学科提出了越来越高的要求。

### 0.3 学 科 发 展

土力学与基础工程作为学科的发展远不如其他经典力学,但作为一门工程技术,却有着悠久的历史,古代许多宏伟工程的建筑和长久使用,都从技术水平上体现了这门学科的理论与实践。

下述几个古典理论被认为是该门学科的重要理论组成。

1773年,法国学者库仑(Coulomb)根据砂土试验成果建立了砂土的抗剪强度公式,根据刚性滑动楔体理论提出了计算挡土墙背土压力的计算方法。

1855年,法国学者达西(Darcy)根据试验创立了土的层流渗透定律。

1857年,英国学者朗肯(Rankine)提出了挡土墙土压力塑性平衡理论。

1885年,法国学者布辛奈斯克(Boussinesq)推导了弹性半空间表面竖向集中力作用时的应力、应变解答。

上述古典理论对于本学科的建立和发展起了很大的推进作用,一直被沿用至今。20世纪20年代后,有关研究有了较快的发展,其重要理论包括1915年由瑞典彼得森(Petterson)首先提出、后由费兰纽斯(Fellenius)等人进一步发展的土坡稳定分析的整体圆弧滑动面法,以及1920年由法国学者普朗德(Prandtl)提出的地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式。1925年,奥裔美国学者太沙基(Terzaghi)出版了第一部专著《土力学》(*Erdbaumechanik*),比较系统地阐述了土的工程性质和有关的土工试验成果,所提出的有效应力原理和固结理论奠基了土力学理论,将土的应力、变形、强度、时间等有机联系,使之能有效地解决一系列土工问题。《土力学》专著的问世,标志着近代土力学的开始,使土力学成为了一门独立的学科。1948年,太沙基与佩克(R. Peck)出版了《工程实用土力学》(*Soil Mechanics in Engineering Practice*),该书在土力学理论的基础上,将理论与测试技术和工程经验密切结合,不仅推动了土力学和基础工程作为一门工程学科的发展,而且强调了该门学科中实践的重要地位。

基于土力学理论的基础工程有更悠久的历史,以深基础为例,1981年在智利的蒙特维尔德附近的森林里发现一间支承在木桩上的木屋,据美国肯塔基大学的考古学家的考证,该桩基至今已有12000~14000年的历史。其他特殊深基础如沉井、沉箱和地下连续墙等也有很长的应用历史。据考证,1738年瑞士工程师查尔斯·拉贝雷(Charles Labele)在伦敦泰晤士河上建造桥梁时就采用了长80英尺、宽30英尺、深16英尺的木沉井,沉井在岸上制作,然后利用潮水拖运到位并下沉,沉井顶面设计标高高于最低潮位,以利用低潮时抽干井内水,砌筑块石桥墩。1850年又创造出气压沉箱,以达到更大的埋置深度和提供更大的承载力。历史上有许多著名的建筑物是采用气压沉箱建造的,如

1869—1872 年在美国纽约修建的布鲁克林大桥 (Brooklyn Bridge) 基础, 1885 年修建的埃菲尔铁塔 (Eiffel Tower) 基础, 以及 1901 年在纽约修建的摩天大楼 (Sky-scraper) 基础等。

我国最早的桩基础发现于浙江省河姆渡的原始社会居住遗址中, 大约出土了占地约 4 万  $\text{m}^2$  的木结构遗存, 其中有数百根尺寸不等的圆桩和方桩, 是迄今为止发现的规模最大的木桩遗层。另外, 从北宋一直保存到现在的上海市龙华镇龙华塔 (977 年重建) 和山西太原市晋祠圣母殿 (建于 1023—1031 年) 都是我国现存的采用桩基的古建筑。关于沉箱基础, 我国古代也有使用的实例, 如古代黄河上的“沉梢”和“沉排”的方法, 即将树枝扎成捆编成筏排, 抛填块石压沉到河底来护岸、护底和筑坝被认为是沉井沉箱基础的雏形; 1894 年竣工的由詹天佑主持修建的天津滦河大桥是我国最早采用沉箱基础的成功实例; 20 世纪 30 年代, 由茅以升设计的钱塘江大桥的正桥 15 个桥墩均采用了沉箱施工。

20 世纪 70 年代以后, 随着现代科技成就在该领域的逐步渗透, 试验技术和计算手段都有了长足进步, 由此将众多的未知变成了已知或正在成为已知。在理论方面, 一些标志性的研究成果, 如: 土的非线性应力-应变关系、考虑土的各种特性的本构模型、土与结构物共同作用分析方法、土的非饱和土理论、土的剪胀特性、土的加工硬化和软化特性、土的动力分析等等, 使得土力学理论逐渐成为一门包罗内容丰富的现代力学学科。在基础工程应用技术方面, 各类工程的兴建, 如超高层建筑物、复杂的高速公路路基、大和特大桥梁基础、地质条件和水文条件极为特殊的水利工程等, 使得原有的工程技术不断被改进和完善, 由此极大地推动了基础工程的发展, 特别是在桩工技术、建筑抗震技术、深大基坑开挖和支护技术、软弱土及特殊土处理技术、土工合成材料应用技术等方面取得了令人关注的成就。发展至今, 该门学科的内涵之广之深已远非传统的理论所能尽述或概括。

第一届国际土力学及基础工程会议于 1936 年在美国召开, 1999 年改名为国际土力学与岩土工程会议, 至 2013 年已经陆续召开了 18 届。中国土木工程学会于 1957 年设立土力学及基础工程委员会, 并于 1978 年成立了土力学及基础工程学会。1962 年在天津召开了第一届全国土力学及基础工程学术会议, 从第八届开始改名为土力学及岩土工程学术会议, 至 2015 年共召开了十二届。由于中国地域广大且土质多样, 加之中国建筑行业的持续多年不衰, 使得中国成为经济发展中涉及土力学与基础工程学科最深、最广、最多的国家, 通过在土木、水利、道桥、港口等有关工程中逐一解决大量复杂的问题, 为该门学科积累了丰富的理论和工程经验。

由于土的性质的复杂, 土力学与基础工程还远没有成为具有严密理论体系的学科, 需要不断的实践和研究。

## 0.4 课程主要内容及学习建议

土力学与基础工程的特点之一是理论性和实践性均较强。传统的理论构成了学科的基本框架, 不同的工程需求决定了学科的发展目标。由于形成地基土的各异的自然条件造成了土体性质的千差万别, 不同地区的土有不同的特性, 即使是同一地区的土, 其特性在水平方向和深度方向也可能存在较大的差异。所以, 不可能采用某些统一的数学的或力学的

模型来描述土的复杂特性、解决各种不同的实际问题。一个优秀的基础工程设计方案不仅需要设计与分析理论的正确,从某种意义上说,更依赖于完整的地基土资料和工程经验。所以,经验的提炼和力学理论的借鉴,永远是该学科的重要部分和发展基础。

该学科的另一特点是知识的延伸和拓展比较快,更新周期较短。随着与之有关的建设行业的迅速发展,使该学科不断面临新的问题,如基础型式的创新、地下空间的开发、软土地基的处理、新的土工合成材料的应用等等,从而导致新技术、新的设计方法不断涌现,且往往是实践领先于理论,实践促使理论不断丰富和完善。

根据学科特点,本课程的学习建议是:了解课程性质;掌握土的基本物理性质和力学特性;掌握土的常规试验理论与操作技术;掌握一般土工建筑物的计算方法;能独立分析和解决基础工程的基本问题。通过本课程的学习,学生要掌握土力学和基础工程的基本原理,学会初步解决实际问题,能在工程实践中正确地使用规范。

本书共分15章,第1~7章属于土力学部分,第8~15章属于基础工程部分。

第1章土的物理性质及工程分类是本课程的基础知识,要求了解土的物理指标的定义及变化规律、掌握基本测试方法及三相比例指标的换算关系、熟悉土的分类方法。

第2~5章是本课程的重要理论部分,其中第2章土的渗透性要求掌握土的渗透规律、渗透指标的测试方法及影响因素、渗透破坏的控制;第3章土中应力要求掌握土中自重应力、基底附加压力、地基附加应力的概念及计算方法;第4章土的压缩性和地基沉降计算要求掌握土的压缩规律、压缩性指标及测定方法、应力历史对土的压缩性的影响、地基沉降计算方法、饱和土的有效应力原理和单向固结理论以及利用沉降观测资料推算后期沉降的方法;第5章土的抗剪强度要求掌握土的抗剪强度理论、土的抗剪强度试验、抗剪强度指标选用、应力历史等对抗剪强度的影响等。

第6、7章是运用土力学理论解决工程中最常见的问题,其中第6章土压力要求了解挡土结构类型及作用于挡土墙土压力的产生条件、掌握各种情况下土压力计算方法;第7章地基承载力要求了解地基破坏模式、掌握土的极限平衡原理和条件、掌握临界荷载和地基承载力的计算方法。

第8、9章为常见土工建筑物的设计与分析,其中第8章挡土墙设计要求掌握重力式、悬臂式和扶壁式挡土墙的基本设计方法、了解新型挡土墙结构特点和应用条件;第9章土坡稳定分析要求掌握土坡稳定分析的基本方法。

第10~12章为常用的基础工程的设计与分析,其中第10章天然地基上浅基础要求能够根据现行规范进行浅基础的选型、布置及基本设计;第11章连续基础要求建立上部结构与地基基础共同作用的概念、了解有关地基模型、了解连续基础的一般分析方法;第12章桩基础要求了解桩的类型、掌握竖向荷载单桩的承载性状及承载力的计算方法、了解竖向荷载群桩的工作性状和水平荷载桩的计算方法、掌握桩基础设计方法。

第13~15章为运用土工原理对土体进行改良、加固、支挡的设计与分析,其中第13章地基处理要求掌握地基处理的基本原理、方法及适用条件、了解地基处理的新技术及应用前景;第14章基坑工程要求掌握现行规范中列出的常规基坑支护结构上作用的土压力的计算、排桩支护型式的设计方法及基坑稳定分析方法;第15章特殊土地基要求对膨胀土、湿陷性黄土等特殊土的性质有较好了解、并了解相应的工程措施。

本课程与工程地质、水力学、结构力学、建筑材料、施工技术等学科有密切关系，涉及学科领域广，综合性强，建议在学习本课程时既要注意与其他学科的联系和本课程的前后联系，又要注意紧紧抓住土体的强度和变形这一核心问题，根据土与结构物共同作用特性来分析和处理基础工程问题。