



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校土建类专业新编系列教材

# 土力学与地基基础



(第4版)

陈书申 陈晓平 主编

武汉理工大学出版社



## 内 容 提 要

本书系统阐述了土力学的基本理论和地基基础的常用设计方法,适当介绍了该领域的最新研究成果,书内所有术语、符号和公式均依据现行规范,如《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。

全书共分 10 章,包括土的物理性质及工程分类、地基中的应力计算、土的压缩性和地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力、岩土工程勘察、边坡与基坑工程、天然地基上浅基础设计、桩基础、软弱土地基处理、区域性地基等内容。

本书可作为本科土木工程及相关专业的教学用书,也可作为相应专业工程设计人员、研究人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/陈书申,陈晓平主编. —4 版. —武汉:武汉理工大学出版社,2012. 8  
ISBN 978-7-5629-3812-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 191029 号

项目负责人:蔡德民 刘永坚 田道全

责任编辑:戴皓华

责任校对:张明华

装帧设计:湖北语新文化书籍设计工作室

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:18.5

字 数:462 千字

版 次:2012 年 8 月第 4 版

印 次:2012 年 8 月第 1 次印刷 总第 39 次印刷

印 数:274001—277000 册

定 价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

# 前 言

(第 4 版)

近年来,土木建筑工程的飞速发展迫切要求加速培养大量素质优良、技术全面的工程师。岩土工程学科是土木建筑工程师的知识体系中十分重要的一环。本教材主要是作为土木工程专业应用型本科的教学用书编写的。同时也适于作为本专业其他层次应用型人才培养的教学用书。由于本书具有联系实际紧密、技术更新及时的鲜明特点,所以也适于作为各种不同岗位的工程技术和管理人员的专业参考书。

编者认为,对应用型本科来说,作为本学科的基础,要保证土力学概念系统和理论框架的完整性,但不必涉及实践中很少应用的艰深理论和复杂的数学公式推导。岩土工程勘察一章的教学目标定为具备阅读和使用岩土工程勘察报告的能力是恰当的。地基基础一章是本学科的应用部分内容。这一部分,着重反映已经成熟而且仍被广泛采用的传统技术,适当介绍渐趋成熟且已经显示出较强生命力的新技术。新一轮规范的技术更新的大部分项目将在这一部分表达。鉴于建筑基坑以及边坡工程的重要性日益显著,所以编者将传统教材中的“土压力和挡土墙”扩编为第 6 章“基坑与边坡工程”,以期引起重视。编者认为,土力学、工程地质、地基基础本是一位一体地构成基础工程学这一有机整体。按其各自在学科中的作用与相应的教学要求,作为一本教材来编写、一门课程来讲授,相较于人为地分割为多门课程,对教学来说可能更为有利一些。

本教材编写依据的主要规范有:《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009 版)、《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)等十多本规范。教材的附录开列了 100 多本相关的国家标准、行业标准、地方标准与常用图集,是为了便于读者检索。由于教学用书要按照在一定的学时内实现规定的教学目标的要求编写,所以虽然教材应该尽可能完整地涵盖本学科的知识体系,但不必要也不可能反映相关规范的全部内容。何况教学目标本身就是旨在期望学生养成举一反三的思维和触类旁通的悟性。

根据应用型本科的教学要求,本书在内容上具有以下的特点:

(1) 绪论与 1~4 章,即理论部分:对土木建筑工程师所要求掌握的土的性质与工程分类、地基应力与沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力等土质学和土力学理论的核心内容,虽然内容简明,但就体系而言,保证了完整性,强调了实证性,突出了实用性。在压缩性指标的统计取值、沉降深度的确定、回弹变形计算等内容,针对传统教材进行了更新。

(2) 第 5 章,即岩土工程勘察:以阅读与应用勘察报告为教学目标确定编写大纲。充实工程地质概述的内容,尤其是不良地质现象。适当简化勘察技术并强调试验取样与测试。

(3) 第 6~10 章,即地基与基础部分:根据土木建筑工程发展的要求,对第 6 章“基坑与边坡工程”进行了大幅度的充实与更新,成为本书的特色。地基与基础各章是反映新一轮规范总结的新鲜经验的各章。本教材与新一轮规范有关的主要更新点如下(按教材章节的顺序):

① 地基基础设计等级中基坑工程的相关规定;

② 基于特定的水文地质和环境条件,对设计等级为甲级的基坑工程,应进行地下水控制专项设计的要求;

- ③ 地基基础设计使用年限不应小于建筑结构设计使用年限的规定;
- ④ 建筑物抗浮稳定计算的规定;
- ⑤ 扩展基础最小配筋率及一定条件下其基础斜截面受剪承载力计算要求;
- ⑥ 基桩与复合基桩承载力设计取值与计算;
- ⑦ 单桩侧阻力和端阻力经验参数;
- ⑧ 嵌岩桩嵌岩段侧阻和端阻综合系数;
- ⑨ 减少差异沉降和承台内力的变刚度调平设计;
- ⑩ 桩基耐久性规定要点;
- ⑪ 后注浆灌注桩承载力计算与施工工艺要点;
- ⑫ 软土地基减沉复合疏桩基础设计要点;
- ⑬ 抗压桩与抗拔桩桩身承载力计算要点;
- ⑭ 单桩水平荷载试验的介绍;
- ⑮ 泥炭、泥炭质土的工程定义;
- ⑯ 对地基处理工程的检验要求;
- ⑰ 复合地基变形计算方法;
- ⑱ 岩溶场地根据其发育程度进行地基基础设计的原则;
- ⑲ 特定条件下的土岩组合地基设计原则;
- ⑳ 岩石地基设计规定;
- ㉑ 抗震设防分类的定义和内涵的调整;
- ㉒ 7度(0.15g)和8度(0.30g)设防的抗震措施规定要点;
- ㉓ 土壤液化判别公式的改进等。

本书由福建工程学院陈书申教授和暨南大学陈晓平教授担任主编,河南城建学院贺瑞霞副教授和福建工程学院詹素华高级工程师担任参编。教材中各章的编撰分工如下:绪论与土力学基本理论第1~4章由陈晓平编写;第5、10章由贺瑞霞编写;第6、7章由陈书申和詹素华合作编写,第8、9章由陈书申编写。

本书编写的时间较为紧迫,编撰者水平有限,不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

2012年5月

# 目 录

<b>0 绪论</b> .....	(1)
0.1 土力学与地基基础 .....	(1)
0.2 本学科的重要性 .....	(2)
0.3 本学科发展简史 .....	(2)
0.4 本课程的主要特点、内容及学习建议 .....	(3)
<b>1 土的物理性质及工程分类</b> .....	(5)
1.1 土的组成及其结构与构造 .....	(5)
1.1.1 土的固体颗粒 .....	(5)
1.1.2 土中水 .....	(7)
1.1.3 土中气体 .....	(8)
1.1.4 土的结构 .....	(9)
1.1.5 土的构造 .....	(10)
1.2 土的物理性质指标 .....	(10)
1.2.1 土的三相图 .....	(10)
1.2.2 指标的定义 .....	(10)
1.2.3 指标间的相互换算 .....	(12)
1.3 土的物理状态指标 .....	(15)
1.3.1 无黏性土的密实度 .....	(15)
1.3.2 黏性土的稠度 .....	(16)
1.4 土(岩)的工程分类 .....	(19)
1.4.1 《地基规范》分类法 .....	(19)
1.4.2 细粒土分类法 .....	(21)
思考题与习题 .....	(23)
<b>2 地基中的应力计算</b> .....	(25)
2.1 地基中的自重应力 .....	(25)
2.1.1 竖向自重应力 .....	(25)
2.1.2 水平向自重应力 .....	(26)
2.2 基底压力 .....	(27)
2.2.1 中心荷载作用下的基底压力 .....	(28)
2.2.2 单向偏心荷载作用下的基底压力 .....	(28)
2.2.3 基底附加压力 .....	(29)

2.3	地基中的附加应力	(30)
2.3.1	竖向集中力作用下的地基应力	(30)
2.3.2	空间问题的附加应力计算	(33)
2.3.3	平面问题的附加应力计算	(38)
2.4	地基中附加应力的有关问题	(41)
2.4.1	地基中附加应力的分布规律	(41)
2.4.2	非均质地基中的附加应力	(42)
	思考题与习题	(43)
<b>3</b>	<b>土的压缩性和地基沉降计算</b>	<b>(45)</b>
3.1	土的压缩性	(45)
3.1.1	侧限压缩试验及 $e-p$ 曲线	(45)
3.1.2	压缩性指标	(46)
3.2	地基最终沉降量计算	(47)
3.2.1	分层总和法	(48)
3.2.2	规范法	(50)
3.2.3	关于计算方法的讨论	(53)
3.2.4	应力历史对地基沉降的影响	(56)
3.3	地基沉降与时间的关系	(58)
3.3.1	土的渗透性及渗透变形	(58)
3.3.2	有效应力原理	(60)
3.3.3	饱和土的一维固结理论	(61)
3.4	建筑物沉降观测与地基容许变形值	(66)
3.4.1	建筑物沉降观测	(66)
3.4.2	地基的容许变形值	(67)
	思考题与习题	(68)
<b>4</b>	<b>土的抗剪强度与地基承载力</b>	<b>(70)</b>
4.1	土的抗剪强度与极限平衡条件	(70)
4.1.1	库仑定律	(70)
4.1.2	土的极限平衡条件	(71)
4.2	土的抗剪强度试验方法	(74)
4.2.1	直接剪切试验	(74)
4.2.2	三轴剪切试验	(75)
4.2.3	无侧限抗压试验	(76)
4.2.4	十字板剪切试验	(77)
4.3	不同排水条件时剪切试验	(78)
4.3.1	总应力强度指标和有效应力强度指标	(78)
4.3.2	不同排水条件时的剪切试验方法及成果表达	(78)

4.3.3	饱和黏性土的不排水强度	(80)
4.4	地基的临塑荷载	(82)
4.4.1	地基变形的三个阶段	(82)
4.4.2	临塑荷载	(82)
4.4.3	地基承载力	(84)
4.5	地基的极限承载力	(85)
4.5.1	地基的破坏模式	(85)
4.5.2	地基极限承载力公式	(85)
	思考题与习题	(90)
<b>5</b>	<b>岩土工程勘察</b>	<b>(91)</b>
5.1	工程地质概述	(91)
5.1.1	地质作用和地质年代	(91)
5.1.2	矿物、岩石的类型及特征	(93)
5.1.3	第四纪沉积物	(93)
5.1.4	地下水	(95)
5.1.5	常见的不良地质作用	(97)
5.2	勘察的一般规定	(100)
5.2.1	勘察的任务	(100)
5.2.2	各勘察阶段的主要工作	(100)
5.3	勘探及原位测试	(102)
5.3.1	勘探	(102)
5.3.2	原位测试	(103)
5.4	岩石工程勘察报告	(108)
5.4.1	勘察报告的编制	(108)
5.4.2	勘察报告实例	(109)
	思考题	(111)
<b>6</b>	<b>边坡与基坑工程</b>	<b>(112)</b>
6.1	土压力理论	(112)
6.1.1	土压力的类型与产生条件	(112)
6.1.2	静止土压力计算	(113)
6.1.3	朗肯土压力理论	(114)
6.1.4	库仑土压力理论	(120)
6.1.5	土压力计算方法的讨论	(124)
6.2	挡土墙设计	(125)
6.2.1	挡土墙的类型	(125)
6.2.2	挡土墙设计的主要规定	(127)
6.2.3	挡土墙的计算	(127)

6.2.4	重力式挡土墙的构造	(129)
6.3	边坡工程	(130)
6.3.1	一般规定	(131)
6.3.2	边坡稳定分析	(132)
6.3.3	锚杆(索)挡墙支护设计	(134)
6.3.4	边坡工程的检测与维护	(138)
6.4	基坑支护工程	(140)
6.4.1	一般规定	(140)
6.4.2	基坑支护结构的类型及其适用条件	(142)
6.4.3	支护设计的土质参数与荷载	(144)
6.4.4	基坑支护的稳定验算	(145)
6.4.5	桩式基坑支护结构设计	(147)
6.4.6	基坑工程环境影响的控制	(149)
	思考题与习题	(155)
<b>7</b>	<b>天然地基上浅基础设计</b>	<b>(157)</b>
7.1	地基基础设计的基本规定	(157)
7.1.1	地基基础设计等级	(157)
7.1.2	设计的一般要求	(158)
7.1.3	作用效应与抗力限值	(159)
7.1.4	地基稳定性验算	(159)
7.2	基础埋置深度的确定	(160)
7.2.1	一般规定	(160)
7.2.2	基础上荷载的大小及性质	(161)
7.2.3	工程地质和水文地质条件	(161)
7.2.4	环境影响控制的要求	(161)
7.2.5	季节性冻土对埋深的要求	(161)
7.3	地基承载力的确定	(163)
7.3.1	概述	(163)
7.3.2	按地基土的载荷试验确定承载力	(163)
7.3.3	按地基土的抗剪强度计算承载力	(165)
7.3.4	岩石地基的承载力确定	(167)
7.4	基础底面尺寸的确定	(167)
7.4.1	根据持力层承载力计算基础底面尺寸	(167)
7.4.2	地基软弱下卧层承载力验算	(169)
7.4.3	地基变形验算	(172)
7.5	无筋扩展基础设计	(172)
7.5.1	台阶宽高比	(172)
7.5.2	其他构造规定	(173)



7.6	钢筋混凝土扩展基础设计	(175)
7.6.1	构造要求	(175)
7.6.2	扩展基础的计算	(177)
7.7	柱下条形基础的简化设计	(183)
7.7.1	地基、基础与上部结构共同工作的概念	(183)
7.7.2	形式及适用范围	(185)
7.7.3	构造要求	(186)
7.7.4	内力简化计算方法	(187)
7.8	高层建筑筏形基础	(192)
7.8.1	平面布置	(192)
7.8.2	筏基构造	(193)
7.8.3	平板式筏基结构设计	(194)
7.9	减轻非均匀沉降危害的措施	(196)
7.9.1	建筑措施	(197)
7.9.2	结构措施	(199)
7.9.3	施工措施	(201)
	思考题与习题	(201)
<b>8</b>	<b>桩基础</b>	<b>(202)</b>
8.1	桩基类型及成桩工艺	(202)
8.1.1	桩的分类	(202)
8.1.2	预制桩	(204)
8.1.3	灌注桩	(205)
8.2	桩的竖向承载力	(207)
8.2.1	概述	(207)
8.2.2	桩身结构的轴向承载力	(208)
8.2.3	基桩和复合基桩及其承载力特征值	(209)
8.2.4	单桩竖向极限承载力标准值 $Q_{uk}$ 确定的主要规定	(209)
8.2.5	按静载试验确定单桩竖向极限承载力标准值	(209)
8.2.6	按经验参数法确定单桩竖向极限承载力标准值	(211)
8.2.7	关于桩的承载力的若干问题的讨论	(215)
8.3	桩基础设计	(216)
8.3.1	桩型和桩的几何尺寸确定	(216)
8.3.2	估算桩数与桩的平面布置	(217)
8.3.3	桩的受力验算	(219)
8.3.4	桩身结构设计	(221)
8.3.5	承台设计	(222)
8.3.6	桩基础设计的若干问题的讨论	(230)
8.4	桩基的水平承载力	(232)

8.4.1	一般规定 .....	(232)
8.4.2	通过水平静载试验确定单桩水平承载力 .....	(232)
8.4.3	由理论计算确定单桩水平承载力特征值 .....	(233)
8.4.4	群桩基础的水平承载力确定要点 .....	(235)
8.5	桩基检测 .....	(236)
8.5.1	概述 .....	(236)
8.5.2	单桩竖向抗压静载试验 .....	(236)
8.5.3	桩基检测的其他方法 .....	(236)
8.5.4	建筑桩基检测的若干规定 .....	(237)
8.6	其他形式的深基础简介 .....	(237)
8.6.1	沉井 .....	(238)
8.6.2	地下连续墙 .....	(239)
8.6.3	小截面静压桩 .....	(239)
	思考题与习题 .....	(240)
<b>9</b>	<b>软弱土地基处理 .....</b>	<b>(242)</b>
9.1	软弱土的种类和性质 .....	(243)
9.1.1	淤泥与淤泥质土 .....	(243)
9.1.2	杂填土 .....	(244)
9.1.3	冲填土 .....	(245)
9.2	机械压实法 .....	(245)
9.2.1	土的压实原理 .....	(245)
9.2.2	压实填土地基的一般规定 .....	(246)
9.2.3	一般机械压实法 .....	(247)
9.2.4	强夯法 .....	(248)
9.3	换填垫层法 .....	(249)
9.3.1	加固作用和适用范围 .....	(249)
9.3.2	垫层的设计要点 .....	(250)
9.3.3	垫层的施工与质量检验 .....	(251)
9.4	预压法 .....	(251)
9.4.1	加固原理及适用范围 .....	(251)
9.4.2	堆载预压法 .....	(252)
9.4.3	真空预压法 .....	(253)
9.5	振冲法 .....	(254)
9.5.1	振冲法的工艺、机理与适用条件 .....	(254)
9.5.2	振冲法的设计要点 .....	(255)
9.6	化学加固法 .....	(256)
9.6.1	高压喷射注浆法 .....	(257)
9.6.2	深层搅拌法 .....	(258)

9.6.3 注浆加固法 .....	(259)
思考题 .....	(260)
<b>10 区域性地基 .....</b>	<b>(261)</b>
10.1 岩溶与土洞地基 .....	(261)
10.1.1 岩溶地基 .....	(261)
10.1.2 土洞地基 .....	(263)
10.2 湿陷性黄土地基 .....	(263)
10.2.1 湿陷性黄土的基本性质 .....	(264)
10.2.2 黄土湿陷性评价 .....	(265)
10.2.3 湿陷性黄土地基沉降计算 .....	(267)
10.2.4 湿陷性黄土地基的工程措施 .....	(267)
10.3 膨胀土地基 .....	(268)
10.3.1 膨胀土的特性 .....	(268)
10.3.2 膨胀土地基的勘察与评价 .....	(269)
10.3.3 膨胀土地基的工程措施要点 .....	(271)
10.4 山区地基 .....	(271)
10.4.1 一般规定 .....	(271)
10.4.2 土岩组合地基 .....	(272)
10.4.3 岩石地基基础设计的一般规定 .....	(273)
10.5 地震与地基基础抗震 .....	(274)
10.5.1 地震常识与抗震设防的一般规定 .....	(274)
10.5.2 地基震害 .....	(276)
10.5.3 场地与地基评价与对策 .....	(278)
10.5.4 建筑地基基础抗震设计要点 .....	(278)
思考题 .....	(280)
<b>附录 .....</b>	<b>(281)</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>(284)</b>

# 0 绪 论

## 0.1 土力学与地基基础

土是地壳岩石经受强烈风化的天然历史产物,是各种矿物颗粒的集合体。土由固体颗粒、水和空气三相组成,包括颗粒间互不联结、完全松散的无黏性土和颗粒间虽有联结、但联结强度远小于颗粒本身强度的黏性土。土与其他连续固体介质相区别的最主要特征就是它的多孔性和散体性,由此导致了土体的一系列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不同而形成的具有明显区域性的一些特殊土还具有一些特殊的性质。

土力学是用力学的基本原理和土工测试技术,研究土的物理性质以及受外力发生变化时土的应力、变形、强度和渗透等特性及其规律的一门学科,即研究土的工程性质和在力系作用下土体性状的学科。一般认为,土力学是力学的一个分支,但由于土具有复杂的工程特性,因此,目前在解决土工问题时,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、现场试验以及室内试验辅以理论计算。所以,土力学是一门强烈依赖于实践的学科。

土层受到建筑物的荷载作用以后,其内部原有的应力状态就会发生变化。工程上把受建筑物影响,应力发生变化,从而引起物理、力学性质发生可感变化的那一部分土层称为地基。基础则是指建筑物向地基传递荷载的下部结构,位于上部结构和地基之间,起着把上部结构的荷载分布开来并传递到地基中去的作用。因此,建筑物的地基为支承基础的土体,基础则为结构的组成部分。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。上部结构、基础与地基的相互关系如图 0.1 所示。

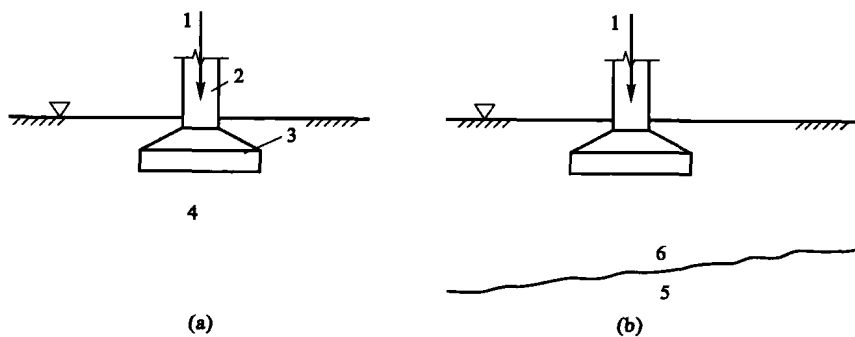


图 0.1 上部结构、基础与地基

(a) 均质地基; (b) 成层地基

1—荷载; 2—上部结构; 3—基础; 4—地基; 5—下卧层; 6—持力层

天然土层可以作为建筑物地基的称为天然地基;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。基础有多种形式,通常把相对埋深(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,如单独基础、条形基础、片筏基础、箱形基础、壳体基础等。而把基础埋深超过某一值,且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,如桩基础、墩基础、沉井基础及地下连续墙等。基础工程的设计既要考虑其结构特性,又要注意与其周围介质的相互作用。

任何建筑物的地基基础设计都需满足两个基本条件:(1) 强度条件,即要求作用于地基上的荷载不超过地基承载能力,以保证地基在防止整体失稳方面有足够的安全储备;(2) 变形条件,即控制基础沉降使之不超过容许值。而为了研究地基的变形和强度,必须掌握土的物理、力学性质,因此,土力学是地基基础工程的理论基础。

建筑物的上部结构、基础及地基三部分虽然功能各异,却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静力平衡和变形协调原则,即共同作用的分析方法。由于目前共同作用的研究与实用设计尚有一段距离,所以在现阶段采用的常规设计方法中仍是将上部结构、基础、地基三部分分开,按照静力平衡原则分别采用不同的假定进行分析计算,但在设计中已采用了共同作用研究的部分成果。

## 0.2 本学科的重要性

地基和基础位于地面以下,系隐蔽工程。它的勘察、设计和施工质量,直接影响建筑物的安全,一旦发生质量事故,补救和处理往往非常困难,甚至完全不可能补救。在土木工程史上,许多建筑工程质量事故就是发生在地基基础问题上,如著名的意大利比萨斜塔和我国苏州虎丘塔所发生的塔身严重倾斜,就是地基非均匀沉降所致。又如建于1941年的加拿大特朗斯康谷仓,由于地基强度破坏而发生了整体滑动,是建筑物失稳的典型例子。一般来说,没有地基及基础的安全稳定,任何土木工程都是难以保证其正常使用或安全稳定的。

本门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,包括上部结构形式和层数、基础结构形式、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,采用箱形基础或筏基的多层建筑,其基础工程的费用占建筑总费用的20%,高的可达30%,相应的施工工期占建筑总工期的20%~25%,一般桩基与之相近,有的稍高。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人均土地资源的有限性,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,已使地基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 本学科发展简史

作为一门学科,土力学与地基基础的发展历史远不如其他经典力学,但作为一门工程技术,却是悠久的和古老的。它的主要发展特点是伴随生产实践的发展而发展,其发展水平也被要求与社会各历史阶段的生产和科学水平相适应。

下述几个古典理论被认为是该门学科的重要组成:

1773年,法国的库仑(Coulomb)根据试验提出了砂土的抗剪强度公式和挡土墙土压力的刚性滑动楔体理论。

1855年,法国的达西(Darcy)创立了土的层流渗透定律。

1857年,英国的朗肯(Rankine)从另一途径建立了挡土墙土压力塑性平衡理论。

1885年,法国的布辛奈斯克(Boussinesq)求得弹性半空间表面竖向集中力作用时的应力、应变理论解答。

20世纪20年代后,土力学的研究有了较快的发展,其重要理论包括1915年由瑞典的彼得森(Petterson)首先提出,后由费兰纽斯(Fellenius)等人进一步发展的土坡整体稳定分析的圆弧滑动面法,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等。1925年,奥裔美国学者太沙基(Terzaghi)出版了第一部土力学专著 *Eoubakmeceanik*,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将土的应力、变形、强度、时间等有机联系起来,使之能有效地解决一系列土工问题。太沙基专著的问世,标志着近代土力学的开始,从此土力学成为一门独立的学科。

1936年在美国召开了第一届国际土力学及基础工程会议,之后陆续召开了16届。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有了长足进步,由此推动了该门学科的发展。时至今日,在土木、水利、道桥、港口等有关工程中,大量复杂的地基与基础工程问题的逐一解决,为该门学科积累了丰富的经验。当然,由于土的性质复杂性,土力学与地基基础还远没有成为具有严密理论体系的学科,需要不断地实践和研究。

## 0.4 本课程的主要特点、内容及学习建议

土力学与地基基础工程是一门实践性和理论性均较强的课程。由于地基土形成的自然条件各异,因而它们的性质是千差万别的。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,从某种意义上说,一个最优的地基基础设计方案更依赖于完整的地质、地基土资料和符合实际情况的周密分析。但这并不能忽视理论的重要性,实际上,经验的系统化和经典力学理论的借鉴,永远是该学科的重要部分和发展基础。

本课程的另一大特点是知识更新周期较短。随着与之有关的建筑行业的迅速发展,使该学科不断面临新的问题,如基础形式的创新、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,并促使理论不断更新和完善。

根据上述特点,对于本课程的学习的基本要求是:掌握土的基本物理性质和力学特性;掌握常规土工试验的理论与操作技术;掌握一般土工建筑物设计中有关土力学内容的计算理论和方法,能分析和解决地基基础的工程问题。

本教材共分10章。第1章“土的物理性质及工程分类”是本课程的基础知识;第2章至第4章是土力学的基本理论部分,也是本课程的重点内容,要求掌握土中应力分布及地基沉降的计算方法,掌握土的抗剪强度定律、抗剪强度指标的测试方法,了解土的极限平衡原理和条件,会应用公式计算地基承载力;第5章“岩土工程勘察”要求了解工程地质、勘察的一般规定、勘

探及原位测试和岩石工程勘察报告;第6章“边坡与基坑工程”要求了解作用于挡土墙土压力的产生条件,掌握各种情况下土压力的计算方法和挡土墙设计的基本方法,并对边坡稳定分析方法和基坑支护工程有较好的了解;第7~10章为基础的设计与分析、地基处理方法和区域性地基的有关知识,要求能够运用土力学理论解决工程中的主要地基基础问题,其中一般建筑物的设计方法是本课程的又一重点内容。

本课程与水力学、结构力学、弹性力学、工程地质、建筑材料、施工技术 etc 学科有密切关系,又涉及高等数学、物理、化学等知识。因此,建议在学习本课程时既要注意与其他学科的联系,又要注意紧紧抓住强度和变形这一核心问题来分析和处理地基基础问题,突出重点要求,兼顾一般内容,理论联系实际,注重提高分析问题和解决问题的能力。

# 1 土的物理性质及工程分类

地壳表层的岩石长期受自然界的风化作用,使大块岩体不断地破碎与发生成分变化,再经搬运、沉积而成为大小、形状和成分都不相同的松散颗粒集合体——土。因而,土是由固体颗粒、水和空气所组成的三相系。土中颗粒的大小、成分及三者之间的相互作用和比例关系,反映出土的不同性质,可据此对土进行分类和鉴定。同时,土的物理性质指标又与土的力学性质发生联系,并在一定程度上决定着土的工程性质。因此,土的物理性质是土最基本的工程特性。

本章主要阐述土的组成、土的结构与构造、土的基本物理性质指标及有关特征,以及土(岩)的工程分类。

## 1.1 土的组成及其结构与构造

在天然状态下,土是由固体、液体和气体三部分所组成的三相体系。固体部分即为土粒,由矿物颗粒或有机质组成,构成土的骨架。骨架间有许多孔隙,可为水、气所填充。若土中孔隙全部为水所充满时,称为饱和土;若孔隙全部为气体所充满时,称为干土;土中孔隙同时有水和空气存在时,称为非饱和土。土体三个组成部分本身的性质以及它们之间的比例关系和相互作用决定着土的物理力学性质。

### 1.1.1 土的固体颗粒

土的固体颗粒即为土的固相。土粒的大小、形状、矿物成分以及大小搭配情况对土的物理力学性质有明显影响。

#### 1.1.1.1 土的颗粒级配

自然界的土都是由大小不同的土粒组成的。颗粒的大小通常用粒径表示。工程上将各种不同的土粒按其粒径范围划分为若干粒组。表 1.1 表示国内常用的土粒粒组界限划分标准及各粒组的主要特征。表中根据界限粒径 200mm、20mm、2mm、0.075mm、0.005mm 把土粒分为六大粒组:漂石(块石)、卵石(碎石)、圆砾(角砾)、砂粒、粉粒和黏粒。

天然土体中包含大小不同的颗粒,为了表示土粒的大小及组成情况,通常以土中各个粒组的相对含量(即各粒组占土粒总量的百分数)来表示,称为土的颗粒级配。

确定各粒组相对含量的方法称为颗粒分析试验,有筛分法和比重计法两种。筛分法适用于粒径小于、等于 60mm,大于 0.075mm 的土。此法用一套孔径不同的筛子,按从上至下筛孔逐渐减小放置。将事先称过质量的烘干土样过筛,称出留在各筛上的土的质量,然后计算占总土粒质量的百分数。比重计法适用于粒径小于 0.075mm 的试样质量占试样总质量的 10% 以上的土。此法根据球状的细颗粒在水中下沉速度与颗粒直径的平方成正比的原理,把颗粒按其在水中的下沉速度进行粗细分组。在实验室内具体操作时,是利用比重计测定不同时间土粒和水混合悬液的密度,据此计算出某一粒径土粒占总土粒质量的百分数。



表 1.1 土粒粒组的划分

粒组统称	粒组名称		粒径范围(mm)	一般特征
巨粒土	漂石或块石颗粒 卵石或碎石颗粒		>200 200~20	透水性很大,无黏性,无毛细水
粗粒土	圆砾或角砾颗粒	粗	20~10	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	10~5	
		细	5~2	
	砂粒	粗中细	2~0.5 0.5~0.25 0.25~0.075	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
细粒土	粉粒		0.075~0.005	透水性小;湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时稍有收缩;毛细水上升高度较大较快,极易出现冻胀现象
	黏粒		≤0.005	透水性很小;湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著;毛细水上升高度大,但速度较慢

注:① 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状(圆形或亚圆形);块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角;  
 ② 黏粒或称黏土粒;粉粒或称粉土粒;  
 ③ 黏粒的粒径上限也有采用 0.002mm 的。

根据颗粒分析试验结果,可绘制图 1.1 所示的颗粒级配曲线。图中纵坐标表示小于某粒径的土粒含量百分比,横坐标表示土粒的粒径,以 mm 表示。由于土体中所含粒组的粒径往往相差几千、几万倍甚至更大,且细粒土的含量对土的性质影响很大,必须清楚表示,因此,将粒径的坐标取为对数坐标。

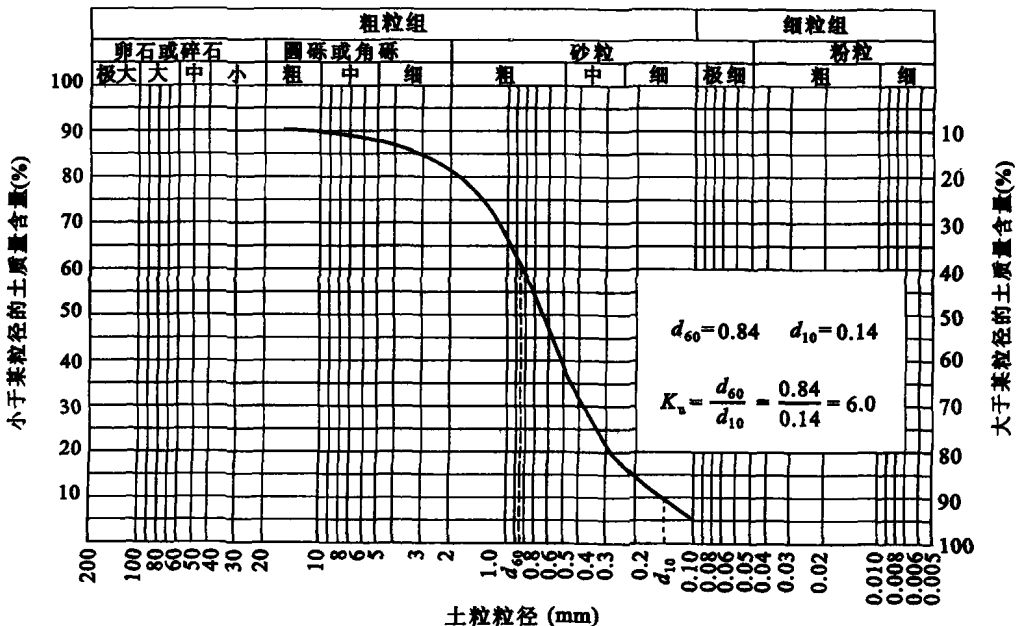


图 1.1 颗粒粒径级配曲线

由颗粒级配曲线可求得各粒组的相对含量,如图 1.1 所示土样,砂粒占 73%,砾粒