

高校土木工程专业规划教材

GAOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

土力学

钱德玲 主编

T U L I X U E

中国建筑工业出版社

高校土木工程专业规划教材

土 力 学

钱德玲 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学/钱德玲主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009
高校土木工程专业规划教材
ISBN 978-7-112-10918-0

I. 土… II. 钱… III. 土力学-高等学校-教材 IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 058604 号

本书为高等学校土木工程专业规划教材之一。根据高等学校土木工程专业教学大纲, 为了适应新世纪土木工程教学要求和人才培养, 本教材在书写时力求语言精炼、重视学科基础理论以及强调新技术和新方法在工程中的应用。

本书内容包括: 绪论、土的物理性质及工程分类、土的渗透性和渗流、土体中应力的计算、土的压缩性和固结理论、地基最终沉降量的计算、土的抗剪强度及参数确定、土压力与挡土墙、地基承载力和土坡稳定性分析, 各章后均附有思考题和习题。

本书适用于高等学校土木工程: 建筑工程、岩土工程、道桥工程、地下工程和水利工程等专业的教学, 也可作为土木和水利工程科研人员和工程技术人员的参考书。

* * *

责任编辑: 郭 栋 吉万旺

责任设计: 赵明霞

责任校对: 陈晶晶 孟 楠

高校土木工程专业规划教材

土力学

钱德玲 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 378 千字

2009 年 7 月第一版 2009 年 9 月第二次印刷

定价: 26.00 元

ISBN 978-7-112-10918-0
(18164)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

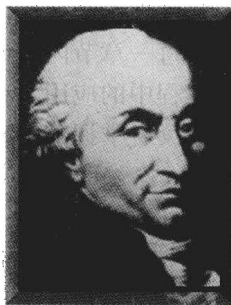
本书具有系统性、可读性、连贯性和实用性等特点，结合材料力学、结构力学和弹性力学的知识，着重介绍土力学的三大理论和四大应用：即渗透理论、强度理论和变形理论，挡土墙设计、承载力计算、土坡稳定性分析和基础设计方面的应用。每一章节内容或每个知识点都针对实际工程问题，阐述了土的应力、变形、强度及其在工程中的应用。在编写过程中，注重概念准确和明晰、语言精炼和通畅，例题和习题有助于读者掌握书中理论知识和复杂的计算过程，力求易读、易懂。

《土力学》由合肥工业大学教授钱德玲（博士）主编，全书一共有 10 章，第 1、第 4 和第 6 章由钱德玲编写，第 2 章由安徽工业大学谢胜华（博士）编写、第 3 章由合肥工业大学姚华彦（博士）编写、第 5 章由合肥工业大学郭建营（博士）编写、第 7 章由安徽理工大学林斌（博士）编写、第 8 章由合肥工业大学朱林老师编写、第 9 和第 10 章由合肥工业大学卢坤林老师编写。

本书组织了三个大学一些具有丰富教学经验又有实际工程经验的教师参与了编写，他们在编写过程中除了完成繁重的教学和科研任务外，利用宝贵的休息时间，集中精力完成了各章的编写任务，在此向他们表示衷心的感谢！

由于时间紧和限于作者水平，书中难免出现不妥或错误之处，敬请读者指出，我们尽快改正和不胜感谢。

土力学名人录



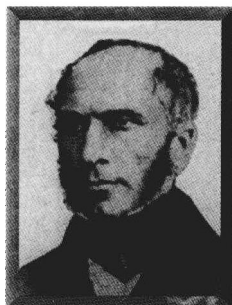
(1736—1806)

Charles Augustin de Coulomb

1736年6月14日生于法国 Angoul, 1806年8月23日卒于法国巴黎。

Coulomb 对土木工程(结构、水力学、岩土工程)以及自然科学和物理学(包括力学、电学和磁学)等都有重要的贡献,如物理学中著名的库仑定律就是他提出的。1774年当选为法国科学院院士。

在巴黎期间, Coulomb 为许多建筑的设计和施工提供了帮助,而工程中遇到的问题促使了他对土的研究。1773年, Coulomb 向法兰西科学院提交了论文“最大最小原理在某些与建筑有关的静力学问题中的应用”,文中研究了土的抗剪强度,并提出了土的抗剪强度准则(即库仑定律),还对挡土结构上的土压力的确定进行了系统研究,首次提出了主动土压力和被动土压力的概念及其计算方法(即库仑土压理论)。该文在3年后的1776年由科学院刊出,被认为是古典土力学的基础,他因此也称为“土力学之始祖”。



(1803—1858)

Henry Philibert Gaspard Darcy

Henry Darcy 1803年6月10日出生于法国第戎(Dijon)。Darcy 少年时期正值国内政局动荡,因此其学业也不很稳定。1821年,18岁的 Darcy 进入巴黎工艺学校(Polytechnic School)学习,2年后入巴黎路桥学校(School of Bridges and Roads),该校属法国帝国路桥工兵团,法国许多世界级的科学家如皮托(Pitot)、圣文南(Saint-Venant)、科里奥利(Coriolis)、纳维叶(Navier)等都出自该校,其中一些还在该校任教。

Darcy 的一项杰出成就是第戎供水系统的建造。19世纪上半叶,大多数城市都没有供水和排水系统,供水依靠马车从城市附近的河流、井、泉运送。1839~1840年, Darcy 设计和主持建造了第戎镇的供水系统,它甚至比巴黎的供水系统早了20年。为了感谢 Darcy 对家乡的贡献,人们将该镇的中心广场以他的名字命名。Darcy 拒绝了镇上欲付给他的高额补偿,他最终得到的好处是他本人及亲属可免费用水。

1856年, Darcy 在经过大量的试验后,于第戎发表了他对孔隙介质中水流的研究成果,即著名的 Darcy 定律。



(1820—1872)

William John Maquorn Rankine

1820年7月2日生于苏格兰的爱丁堡，1872年12月24日逝世于苏格兰的格拉斯哥(Glasgow)。

Rankine 被后人誉为那个时代的天才，他在热力学、流体力学及土力学等领域均有杰出的贡献。他建立的土压力理论，至今仍在广泛应用。

Rankine 的初等教育基本是在父亲及家庭教师的指导下完成的。进入爱丁堡大学学习2年后，他离校去做一名土木工程师。1840年后，他转而研究数学物理。1848~1855年间，他用大量精力研究理论物理、热力学和应用力学。1855年后，Rankine 在格拉斯哥大学担任土木工程和力学系主任。1853年当选为英国皇家学会会员。他一生论著颇丰，共发表学术论文154篇，并编写了大量的教科书及手册，其中一些直到20世纪还在作为标准教科书使用。



(1835—1918)

Christian Otto Mohr

Mohr 1835年生于德国北海岸的 Wesselburen，16岁入 Hannover 技术学院学习。毕业后，在 Hannover 和 Oldenburg 的铁路工作，作为结构工程师，曾设计了不少一流的钢桁架结构和德国一些最著名的桥梁。他是19世纪欧洲最杰出的土木工程师之一。与此同时，Mohr 也一直在进行力学和材料强度方面的理论研究工作。

1868年，32岁的 Mohr 应邀前往斯图加特技术学院，担任工程力学系的教授。他的讲课简明、清晰，深受学生欢迎。作为一个理论家和富有实践经验的土木工程师，他对自己所讲的主题了如指掌，因此总能带给学生很多新鲜和有趣的东西。1873年，Mohr 到德累斯顿(Dresden)技术学院任教，直到1900年他65岁时。退休后，Mohr 留在德累斯顿继续从事科学研究工作直至1918年去世。

Mohr 出版过一本教科书并发表了大量的结构及强度材料理论方面的研究论文，其中相当一部分是关于用图解法求解一些特定问题的。他提出了用应力圆表示一点应力的方法(所以应力圆也被称为 Mohr 圆)，并将其扩展到三维问题。应用应力圆，他提出了第一强度理论。Mohr 对结构理论也有重要的贡献，如计算梁挠度的图乘法、应用虚位移原理计算超静定结构的位移等。



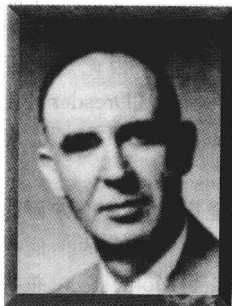
(1883—1963)

Karl von Terzaghi

Terzaghi 于 1883 年 10 月 2 日出生于捷克的首都布拉格，1904 年毕业于奥地利的格拉茨(Graz)技术大学，之后成为土木工程领域的一名地质工程师。1916~1925 年期间，他在土耳其的伊斯坦布尔技术大学和 Bogazici 大学任教，并从事土的特性方面的研究课题，这也最终导致了他的举世闻名的《Erdbaumechanik》(土力学)于 1925 年在维也纳的问世，该书介绍了他所提出的固结理论以及土压力、承载力、稳定性分析等理论，标志着土力学这门学科的诞生。1925 年，他被派往麻省理工学院担任访问教授，四年后回到维也纳技术大学任教授。1938 年德国占领奥地利后，Terzaghi 前往美国，并在哈佛大学任教，直到 1956 年退休。在此期间的 1943 年，他还出版了《Theoretical Soil Mechanics》。在这部不朽的著作中，Terzaghi 就固结理论、沉降计算、承载力、土压理论、抗剪强度及边坡稳定等问题进行了阐述，为便于工程技术人员使用，书中使用了大量的图表。1963 年 10 月 25 日，Terzaghi 在马萨诸塞州的温彻斯特逝世。

Karl Terzaghi 被誉为土力学之父。他的开创性工作于 1936 年在哈佛大学召开的首届国际土力学大会上为大家普遍了解后，土力学广泛出现在世界各地土木工程的实践中及各大学的课程中。Karl Terzaghi 是一个理论家，更是一个享誉国际土木工程界的咨询工程师，他是许多重大工程的顾问，这其中包括英国的 Mission 大坝。1965 年，为表示对 Terzaghi 的敬意，该坝被命名为 Terzaghi 大坝。毫无疑问，Terzaghi 对土力学理论的贡献是巨大的，但人们评价说，也许他更大的贡献是向人们展示了用理论解决工程问题的方法。

Terzaghi 是第一届到第三届(1936~1957) ISSMFE (国际土力学与基础工程学会)的主席，曾 4 次荣获 ASCE (美国土木工程师协会)的 Norman 奖(1930, 1943, 1946, 1955)，并被 8 个国家的 9 所大学授予荣誉博士学位。为表彰 Terzaghi 的杰出成就，美国土木工程师协会还设立了 Terzaghi 奖。



(1900—1955)

Donald Wood Taylor

Taylor 1900 年生于美国马萨诸塞州的 Worcester，1955 年逝于马萨诸塞州的 Arlington。

Taylor 于 1922 年毕业于 Worcester 技术学院，在美国海岸与大地测量部和新英格兰电力协会工作了 9 年，之后到麻省理工学院土木工程系任教，直到去世。

Taylor 积极参加 Boston 土木工程协会及美国土木工程师协会的工作，曾任 Boston 土木工程师协会的主席。自 1948~1953 年，他一直担任国际土力学与基础工程学会的秘书。

Taylor 在黏性土的固结问题、抗剪强度和砂土剪胀及土坡稳定等领域均有不少建树。其论文“土坡的稳定”获得 Boston 土木工程师协会的最高奖励——Desmond Fitzgerald 奖。他编写的教科书《土力学基本原理》多年来一直得到广泛应用，是一部经典的土力学教科书。



(1902—1981)

Arthur Casagrande

Arthur Casagrande 1902年8月28日生于奥地利, 1926年到美国定居, 先在公共道路局工作, 之后作为 Terzaghi 最重要的助手在麻省理工学院从事土力学的基础研究工作。1932年, Casagrande 到哈佛大学从事土力学的研究工作, 此后的40多年中, 他发表了大量的研究成果, 并培养了包括 Janbu、Soydemir 等著名人物在内的土力学人才。他是第五届(1961~1965)国际土力学与基础工程学会的主席, 是美国土木工程师协会 Terzaghi 奖的首位获奖者。

Casagrande 对土力学有很大的贡献和影响, 如在土的分类、土坡的渗流、抗剪强度、砂土液化等方面的研究成果, 黏性土分类的塑性图中的“ A 线”即是以他(Arthur)命名的。



(1912—)

Ralph Brazelton Peck

Ralph Peck 1912年6月23日出生于加拿大 Manitoba 的 Winnipeg, 6岁时移居美国。1934年毕业于 Rensselaer 工学院土木工程专业, 1937年6月获土木工程博士学位。Peck 起初的志向是结构工程, 后转而研究岩土工程。他早期曾与 Terzaghi 有过几次合作, 并受到 Terzaghi 的影响, 还共同出版了专著《 Soil Mechanics in Engineering Practice 》(1948年)。

Peck 一生共计发表了 200 篇(本)论著, 为土力学及基础工程的发展作出了重要的贡献。他将土力学应用在土工结构的设计、施工建造和评估中, 并努力将研究成果表述为工程师容易接受的形式, 他是世界上最受人尊敬的咨询顾问之一。在 Illinois 大学任教 30 多年, 他影响了难以计数的青年学生。

Peck 曾在 1969~1973 年间担任国际土力学与基础工程学会主席, 曾荣获美国土木工程师协会颁发的 Norman 奖章(1944)、Wellington 奖(1965)、Karl Terzaghi 奖(1969), 并在 1975 年获得由福特总统颁发的国家科学奖章。



(1914—2001)

Alec Westley Skempton

Skempton 1914年出生于英格兰的 Northampton, 是英国伦敦大学帝国学院的著名教授, 他的学士学位(1935)、硕士学位(1936)及博士学位(1949)也是在该校获得的。

Skempton 的研究兴趣主要在土力学、岩石力学、地质学、土木工程史等领域。在土力学方面, 他对有效应力、黏土中的孔隙水压、地基承载力、边坡稳定性等问题的研究作出了突出的贡献, 他具有从复杂的问题中提取出重要而关键的部分的杰出本领, 由他所创立并领导的伦敦帝国大学土力学研究中心是国际顶尖的土力学研究中心。

Skempton 是第四届(1957~1961)国际土力学与基础工程学会主席, 1961年当选为英国皇家学会会员。

Skempton 于 2001 年 8 月 9 日在伦敦逝世。



(1914—1970)

K H Roscoe

Roscoe 1914 年 12 月出生于英国，1934 年在剑桥大学的 Emmanuel 学院接受本科教育。

二战后，Roscoe 返回剑桥大学读研究生，毕业后留校从事土力学的研究，并建立了土力学实验室。他致力于土性及其力学原理的研究，这是当时剑桥学派研究的热门课题。他于 1958 年所提交的论文《关于土体的屈服》奠定了临界状态土力学的基础，被英国土力学学会授予成就奖。他的研究成果主要包括：所设计的剪切仪成为以后土力学平面剪切仪的先驱；提出了确定土体临界状态时孔隙比的方法；提出的剑桥模型创建了临界状态土力学，为现代土力学的诞生和发展作出了重要贡献。他在捷克、丹麦、法国、德国等地进行了广泛的交流和演讲，在他的领导下，剑桥大学关于土力学机理的研究成果得到国际岩土工程界的普遍认可。以 Roscoe 为奠基者的剑桥学派在现代土力学的发展历史中占有重要的地位。

Roscoe 不幸于 1970 年 4 月 10 日因车祸遇难。



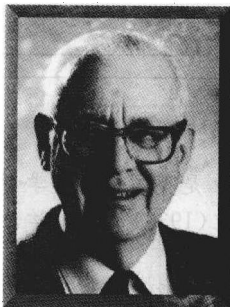
(1918—1973)

Laurits Bjerrum

Laurits Bjerrum 1918 年 8 月 6 日生于丹麦。他在丹麦技术大学接受本科教育，而在瑞士苏黎世的联邦技术学院接受研究生教育。

Laurits Bjerrum 在丹麦和瑞士工作一段时间后，于 1951 年到挪威，并成为挪威岩土工程研究所(Norwegian Geotechnical Institute)的首任所长。在他的带领下，NGI 成为国际著名的岩土工程研究所。Bjerrum 及其在 NGI 的同事发表了大量的学术论文，内容主要包括抗剪强度机理、灵敏土的特性研究和边坡稳定等。

Laurits Bjerrum 是第六届(1965~1969)国际土力学与基础工程学会的主席。



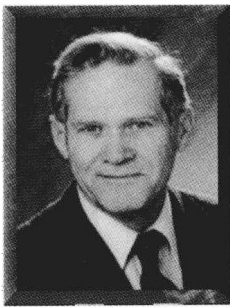
(1921—1996)

George F Sowers

Sowers 从事土木工程专业服务和教育 50 年，很少有人能像他那样将岩土工程及工程地质的实践与其研究及教育结合得如此完美。他被称为工程师的工程师，同时又是一个国际知名的教育者。

Sowers 于 1942 年获得 Case 学院土木工程专业学士学位，作为 Terzaghi 和 Casagrande 的学生，于 1947 年获得哈佛大学的硕士学位。在以后 50 年的生涯中，Sowers 一生共发表学术论文 130 余篇，出版专著 8 本，所编写的土力学及基础工程教材被美国国内高校广为采用。他一直同时保持着两个令人羡慕的职位：法律高级工程顾问和佐治亚工学院的教授。同时，还活跃于美国土木工程师协会、美国材料试验协会、国际土力学与基础工程学会、美国全国职业工程师协会、地震工程研究院、美国大坝委员会、美国地震协会等十多个学术团体，并曾担任国际土力学与基础工程学会的副主席。

由于贡献突出，Sowers 曾获得美国土木工程师协会的中 Brooks 奖(1977, 1994)、Terzaghi 奖(1995)等多个奖项。



(1921—1997)

Gerald A. Leonards

Leonards 1921年4月29日出生于加拿大魁北克(Quebec)的蒙特利尔(Montreal),后加入美国国籍,1997年2月1日逝世。

Leonards 于1943年获得 McGill 大学(蒙特利尔)土木工程学士学位,并分别于1948年和1952年获普渡(Purdue)大学土木工程硕士学位及博士学位,其博士论文的题目是“压实黏土的强度特征(Strength Characteristics of Compacted Clays)”。他于1944~1946年间在 McGill 大学任教,1946年后在普渡大学任教,并曾任该校土木工程学院的院长,他所开设的高等基础工程和应用土力学课程深受学生欢迎,曾被学生评为最佳土木工程教师。所编写的《基础工程》一书1962年由 McGraw-Hill 出版后,迅速成为世界范围的标准参考书。

Leonards 的研究兴趣十分广泛,在压实黏土的强度及压缩性、软土的强度和固结、土坝开裂、冻土行为、边坡稳定、软土上筑堤、砂土液化、桩基础、岩土工程事故调查方法学等方面都有开创性的研究工作。

1989年,Leonards 当选为美国国家科学院院士。他还曾获得包括美国土木工程师协会 Terzaghi 奖(1989)在内的无数专业和技术协会的奖励。

Aleksandar Sedmak Vesic

(1924—1982)

Vesic 1924年8月8日生于南斯拉夫,1950年毕业于贝尔格莱德大学土木工程专业,1956年获该校博士学位。

20世纪50年代早期,他主要从事桥梁和大坝的设计工作。后来去比利时工作,以扩展在土力学及基础工程方面的知识。1964年,Vesic 成为 Duke 大学的教授,并组织 and 领导了该校在土力学方面的研究工作。且先后担任该校土木工程系的主任和工程学院的院长。

Vesic 的研究工作主要集中在浅基础和深基础的破坏,他论证了无黏性土地基的破坏方式不仅与其相对密度有关,还与基础的相对埋深有关。他阐明了地基的整体剪切破坏、局部剪切破坏以及冲切破坏形式。Vesic 对地下核爆炸引起地表沉陷这一问题十分感兴趣,与其他科学家一起对这一问题进行了理论推导,并对土在高压作用下的表现进行了小比例的试验。他是在研究破坏时考虑土的压缩性的第一人,并引入了相应的刚性系数指标。此外,他的论文还澄清了筏形基础下基底反力的分布中的许多问题。

杰出的成就也为他带来许多荣誉,他曾获得美国土木工程师协会的 Middlebrooks 奖(1974)等奖项。1982年5月3日,Vesic 不幸英年早逝,这是岩土工程界的一个重大损失。



Nilmar Janbu

Nilmar Janbu 是挪威技术大学的教授,它在土的压缩性研究、边坡稳定性等方面为土力学的发展作出了杰出的贡献。人们对 Janbu 的评价是:半个世纪以来,无论是在挪威还是在全世界,他都是岩土工程领域前进的推动力,深厚的理论造诣、对工程实践强烈的兴趣以及出色的指导能力已成为他永久的标志,他以自己强烈而友好的个性征服了許多人。

目 录

前言	
土力学名人录	
第1章 绪论	1
1.1 土及土力学的概念及其意义	1
1.2 土力学的历史沿革	1
1.3 与土力学相关的工程事故	2
1.4 本课程的特点	3
1.5 学习内容、方法和学习要求	4
第2章 土的物理性质及工程分类	6
2.1 概述	6
2.2 土的生成	6
2.2.1 土的搬运和沉积	6
2.2.2 风化作用和土的主要特征	7
2.3 土的组成和土的结构与构造	9
2.3.1 土中固体颗粒	9
2.3.2 土中水	12
2.3.3 土中气体	15
2.3.4 土的结构与构造	15
2.4 土的物理性质指标	17
2.4.1 土的三相比例关系图	17
2.4.2 指标的定义	18
2.4.3 指标的换算	20
2.5 土的物理状态指标	22
2.5.1 无黏性土的密实度	22
2.5.2 黏性土的稠度	24
2.5.3 黏性土的灵敏度和触变性	27
2.6 土的压实性	28
2.6.1 击实试验及土的压实特性	28
2.6.2 影响压实效果的因素	29
2.6.3 击实特性在现场填土中的应用	30
2.7 土的工程分类	31
2.7.1 土的分类原则和标准	31
2.7.2 建筑地基土的分类	34
2.7.3 公路路基土的分类	36
思考题	38
习题	38

本章参考文献	39
第3章 土的渗透性和渗流	40
3.1 概述	40
3.2 土的渗透性	40
3.2.1 渗流模型	40
3.2.2 饱和渗流的基本定理-达西 (H. Darcy) 定律	41
3.2.3 渗透系数确定方法及其影响因素	44
3.2.4 成层土的平均渗透系数	48
3.3 土中二维渗流及流网简介	50
3.3.1 二维渗流的基本方程	50
3.3.2 流网及其性质	51
3.3.3 流网的绘制	52
3.3.4 流网的应用	53
3.4 渗透力及渗透稳定性	54
3.4.1 渗透力	54
3.4.2 渗透变形	56
思考题	59
习题	59
本章参考文献	60
第4章 土体中应力的计算	61
4.1 概述	61
4.2 土体的自重应力的计算	61
4.3 基底压力的计算	64
4.3.1 基底压力的简化计算	64
4.3.2 基底压力的分布规律	65
4.3.3 基底附加压力	67
4.4 地基附加应力	68
4.4.1 竖向集中力作用下的地基附加应力	68
4.4.2 矩形荷载和圆形荷载下的地基附加应力	71
4.4.3 线荷载和条形荷载下的地基附加应力	79
4.4.4 非均质和各向异性地基中的附加应力	83
思考题	85
习题	85
本章参考文献	86
第5章 土的压缩性和固结理论	87
5.1 概述	87
5.2 固结试验和土的压缩性指标	87
5.2.1 固结试验和压缩曲线	87
5.2.2 侧限压缩性指标	89
5.2.3 土的回弹与再压缩	91
5.3 土的变形模量与弹性模量	92

5.3.1	土的变形模量	92
5.3.2	以载荷试验测定土的变形模量	92
5.3.3	旁压试验测定土的变形模量	94
5.3.4	变形模量与压缩模量的关系	96
5.3.5	土的弹性模量	97
5.4	应力历史对土的压缩性的影响	97
5.4.1	应力历史的概念	97
5.4.2	原始压缩曲线及压缩性指标	99
5.5	饱和土的单向固结理论	100
5.5.1	饱和土的有效应力原理	101
5.5.2	单向固结理论	104
5.5.3	地基固结度及其应用	107
	思考题	109
	习题	110
	本章参考文献	110
第6章	地基最终沉降量的计算	111
6.1	概述	111
6.2	弹性理论计算公式	112
6.2.1	柔性荷载下的地基沉降	112
6.2.2	刚性基础的地基沉降	115
6.2.3	刚性基础的倾斜	116
6.3	分层总和法计算公式	118
6.3.1	基本假定	118
6.3.2	计算原理	118
6.3.3	计算方法与步骤	118
6.3.4	问题讨论	121
6.4	《建筑地基基础设计规范》法计算沉降量	122
6.4.1	《建筑地基基础设计规范》法沉降计算公式的推导	123
6.4.2	地基沉降计算深度 z_n	129
6.4.3	《地基基础规范》法与分层总和法的比较	130
6.5	应力历史对地基沉降的影响	132
6.5.1	土的回弹曲线和再压缩曲线	132
6.5.2	考虑应力历史影响的地基最终沉降量计算	132
6.6	地基最终沉降量的组成	134
6.6.1	瞬时沉降	134
6.6.2	固结沉降	135
6.6.3	次固结沉降	135
6.7	地基最终沉降量的进一步讨论	136
6.7.1	相邻荷载的影响	136
6.7.2	利用沉降观测资料推算后期沉降量	137
6.7.3	沉降计算应注意的几个问题	138
	习题	138

本章参考文献	139
第7章 土的抗剪强度及参数确定	140
7.1 莫尔-库伦强度理论	140
7.2 土的极限平衡条件	141
7.2.1 土中一点的应力状态	141
7.2.2 砂土的极限平衡条件	142
7.2.3 黏土的极限平衡条件	143
7.3 抗剪强度指标的测定方法	143
7.3.1 直接剪切试验	143
7.3.2 土的三轴压缩试验	146
7.3.3 土的抗剪强度试验成果整理	150
7.3.4 无侧限抗压强度试验	153
7.3.5 十字板剪切试验	154
7.4 抗剪强度指标与选用	155
7.5 土的孔隙压力系数	160
7.6 土的应力路径	163
7.7 无黏性土的抗剪强度	165
习题	166
第8章 土压力与挡土墙	167
8.1 概述	167
8.1.1 土压力的类型	167
8.1.2 静止土压力	168
8.2 朗肯土压力理论	169
8.2.1 朗肯主动土压力的计算	169
8.2.2 朗肯被动土压力计算	171
8.2.3 几种常见情况的主动土压力计算	173
8.3 库伦土压力理论	176
8.3.1 主动土压力计算	176
8.3.2 被动土压力的计算	177
8.3.3 朗肯和库伦土压力理论的讨论	178
8.4 重力式挡土墙设计	179
8.4.1 挡土墙的构造	179
8.4.2 挡土墙计算	181
8.4.3 增加挡土墙稳定性的措施	187
思考题	189
习题	189
本章参考文献	190
第9章 地基承载力	191
9.1 概述	191
9.2 地基破坏形式	192
9.2.1 地基的三种破坏形式	192

9.2.2 破坏形式的影响因素和判别	193
9.3 地基临界荷载	194
9.3.1 临塑荷载 p_{cr}	194
9.3.2 临界荷载 $p_{1/3}$ 、 $p_{1/4}$	196
9.4 地基极限承载力	198
9.4.1 普朗德—瑞斯纳极限承载力理论	198
9.4.2 太沙基极限承载力理论	201
9.4.3 魏锡克极限承载力理论	205
9.4.4 影响极限承载力的因素	208
9.5 按规范方法确定地基承载力	209
思考题	211
习题	212
本章参考文献	212
第10章 土坡稳定性分析	213
10.1 概述	213
10.2 无黏性土坡稳定性分析	214
10.2.1 均质的干坡和下水坡	214
10.2.2 有稳定渗流均质土坡	215
10.3 黏性土坡稳定性分析	216
10.3.1 整体圆弧滑动法	216
10.3.2 条分法的基本原理	218
10.3.3 瑞典条分法	218
10.3.4 毕肖普条分法	221
10.3.5 普遍(简布)条分法	223
10.3.6 不平衡推力传递法	225
10.3.7 稳定数法	226
10.4 复杂条件下的土坡稳定性分析	228
10.4.1 成层土与有堆载作用下土坡的稳定性分析	229
10.4.2 稳定渗流作用下土坡的稳定分析	229
10.4.3 地震作用下土坡的稳定分析	230
思考题	230
习题	231
本章参考文献	232

第 1 章 绪 论

1.1 土及土力学的概念及其意义

土，地之生万物者也。由土所构成的广袤大地是人类居住的场所，也是人类工程经济活动的基地—建筑物和构筑物的地基、地下空间开发的围岩、土工构筑物的填筑材料等。因此，土是人类赖以居住和生存的必备条件之一。

土是岩石经崩解、破碎、变质等风化作用后，又经过各种大自然营力的搬运，在新的环境下堆积或沉积下来的颗粒状松散或松软物质。而这些松散物质又是所有建筑物和构筑物的地基。建筑物的建造使地基中原有的应力状态发生变化，这就必须运用力学方法来研究在荷载作用下地基土的变形和强度问题，以便使地基基础设计满足两个基本条件：①要求作用于地基的荷载不超过地基的承载能力，保证地基在防止整体破坏方面有足够的安全储备；②控制基础沉降使其不超过允许值，保证建筑物不因地基沉降而损坏或者影响其正常使用。因此，研究土的应力、变形、强度和稳定以及土与结构物相互作用等规律的一门力学分支称为土力学。

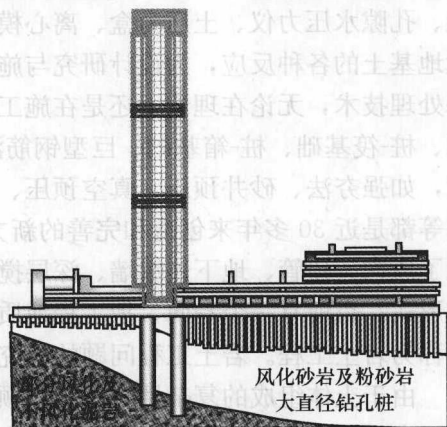


图 1-1 上部结构、地基及基础示意图

1.2 土力学的历史沿革

远在古代人们就懂得利用土进行工程建设，如我国东汉时的郑玄在注释战国时的《考工记》时，就认识到了作用力和变形之间的弹性定律，这比胡克（Hooke）定律要早 1500 多年，但直到 18 世纪，基本上还处于感性认识阶段。土力学的研究始于 18 世纪工业革命时期，由于工业发展的需要，建筑规模的扩大，更由于铁路的修筑出现了一系列路基问题。因此，最初的土力学理论多与解决路基问题有关。1773 年法国的 C. A. 库仑（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。90 余年后，英国的 W. J. M. 朗金（Rankine, 1869）又从不同途径提出了挡土墙土压力理论，对后来土体强度理论的发展起了很大的作用。此外，法国的 J. 布辛奈斯克（Boussinesq, 1885）求得了弹性半空间在竖向集中力作用下应力和变形理论的解答；瑞典的 W. 费兰纽斯（Fellenius, 1922）提出了土坡稳定分析法。这些古典理论，对土力学的发展起到了极大的推进作用，至今仍不失其理论和实用价值。

系统地归纳和总结以往成就的是 K·太沙基（Terzaghi, 1925），他撰写了第一本内

容广博的著作——《土力学》，在这本书中他阐明了土工试验和力学计算之间的关系，其中用于计算沉降的方法一直沿用至今，被认为是一种有效的计算方法。这本系统完整的科学著作的出现，带动了各国学者对本学科各个方面的探索。从此，土力学及地基基础就作为独立的学科而取得不断的进展。因此，太沙基被公认为土力学的奠基人。

近数十年来，由于土木工程建设的需要，特别是电子计算机和计算技术的引入，使土力学与基础工程得到了迅速的发展。目前已经可以把变形和强度问题统一起来进行分析，并可以考虑土的非线性应力和应变的性状；基础分析已从过去的单独计算发展到考虑地基基础与上部结构共同工作的整体分析；在土工试验方面，开创了许多新的测试技术和仪器设备，原位测试技术正日益受到重视。例如静力触探、十字板剪切仪、分层沉降仪、测斜仪、孔隙水压力仪、土压力盒、离心模型试验等量测手段的出现，使人们能够更直观地掌握地基土的各种反应，为设计研究与施工技术提供了较正确的数据和资料。基础工程和地基处理技术，无论在理论上还是在施工技术方面，都有了高度的发展，出现了如补偿式基础、桩-筏基础、桩-箱基础、巨型钢筋混凝土浮运沉井等新颖的基础形式；在地基处理方面，如强夯法、砂井预压、真空预压、振冲法、施喷法、深层搅拌法、树根桩、压力注浆法等都是近 30 多年来创造和完善的新方法；另外，由于深基坑开挖支护工程的需要，出现了盾构、顶管、地下连续墙、深层搅拌水泥土挡墙、锚杆支护等施工方法和新型支护结构形式。目前有一个趋向，把工程地质勘察、基础工程和地基处理三方面工作结合起来，统称为岩土工程。岩土工程问题的研究，在我国正方兴未艾。

由于土体组成的复杂性（由固体颗粒、水和空气组成的三相体），再加上其形成历史的巨大差异，使土力学这门学科变得十分复杂。目前研究的理论虽比几十年前有了突飞猛进的进步，但仍然还不是尽善尽美的，要很确切地模拟和概括地基的受力条件和施工过程，还存在一定的困难。而且在很大程度上，土力学计算还依赖于土工测试技术。因此，土力学仍是一门发展中的学科，还有许多值得研究和探讨的问题。土力学未来的发展趋势可归结为：一个模型，三个理论，四个分支。一个模型，即本构关系模型；三个理论，即非饱和土固结理论、土的液化破坏理论、土的渐进破坏理论；四个分支，即理论土力学、计算土力学、实验土力学、应用土力学。今后，新的理论、新的基础形式、新的测试技术和施工方法，必将日趋完善。

1.3 与土力学相关的工程事故

土力学与基础工程密切相关，土力学的理论广泛应用于基础设计、土压力、土坡稳定性和地基承载力等方面，解决土的渗透、变形和强度以及与此有关的工程问题。

“万丈高楼平地起”。所有建筑物、构筑物、桥梁、道路和堤坝等，均建立在地球表面地层上。图 1-2 是建于 1941 年加拿大特朗斯康谷仓地基破坏的情况，该谷仓由 65 个圆柱形筒仓组成，高 31m，其下为片筏基础，由于事前不了解基础下埋有厚达 16m 的软黏土层，建成后初次储存谷物，使基底平均压力（ $32\text{t}/\text{m}^2$ ）超过了地基的极限承载力。结果谷仓西侧突然陷入土中 8.8m，东侧则抬高 1.5m，仓身倾斜 27° ，这时地基发生了整体滑动破坏，从而引起建筑物失去稳定。由于该谷仓的整体性很强，筒仓完好无损，事后在下面做了 70 多个支承于基岩上的混凝土墩，使用 388 个 50t 千斤顶以及支撑系统，才把仓