



“十三五”江苏省高等学校重点教材



iCourse·教材



高等学校土木工程专业核心课程教材

土力学

(第3版)



河海大学《土力学》教材编写组 编著

高等教育出版社



“十三五”江苏省高等学校重点教材（编号：2018-2-027）



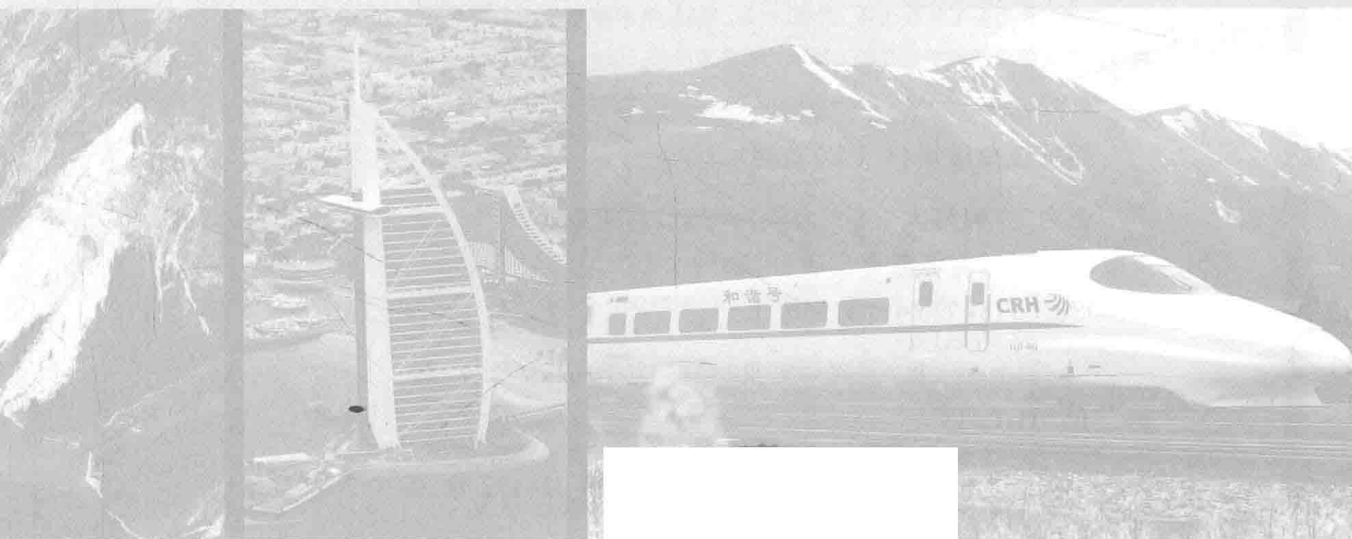
iCourse·教材



高等学校土木工程专业核心课程教材

土力学

（第3版）



河海大学《土力学》教材编写组 编著

高等教育出版社·北京

内容提要

本书由河海大学岩土工程国家重点学科师资所组成的河海大学《土力学》教材编写组完成。撰写基础为我国岩土工程学科的先驱者之一,新中国最早的土力学理论教材著写者钱家欢先生于1995年主编的《土力学》。本书保持了原书的经典体系和理论精华,并根据国家本科专业建设标准和时代发展需要进行新编。本书涉及的所有规范、标准均采用国家颁布的最新文件,适当融入了国内外土力学发展的前沿进展,并注重加强理论传授与工程应用的递进表述。

全书共八章,主要包括土的物理性质和工程分类、土的渗透性、地基中的应力计算、土的压缩性与地基的沉降计算、土的抗剪强度、土压力、土坡稳定分析,以及地基承载力。书中标有“*”的内容,可供选择性自学。各章均附有习题和答案。

本书可作为高等学校土木、交通、水利、地质、采矿等专业土力学教材,也可作为相关领域科学研究和工程设计的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/河海大学《土力学》教材编写组编著.--
3版.--北京:高等教育出版社,2019.4
ISBN 978-7-04-051356-1

I. ①土… II. ①河… III. ①土力学-高等学校-教材 IV. ①TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 024472 号

策划编辑 单 蕾 责任编辑 赵向东 封面设计 李小璐 版式设计 杜微言
插图绘制 于 博 责任校对 陈 杨 责任印制 尤 静

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	佳兴达印刷(天津)有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	19.75		
字 数	400千字	版 次	1988年3月第1版
插 页	1		2019年4月第3版
购书热线	010-58581118	印 次	2019年4月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	40.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 51356-00

土力学

(第3版)

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1257701>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1257701>

谨以此书向以钱家欢先生为代表的
河海大学土力学教材第一代编著者们致敬



钱家欢（1923 — 1995）

我国岩土工程学科的先驱者之一，杰出的岩土力学与地基工程学家，河海大学岩土工程国家重点学科的奠基人和第一代带头人。浙江湖州人，先后获浙江大学土木工程学士和美国伊利诺伊大学香槟分校土木工程硕士学位，新中国成立前夕，毅然返回祖国，任教于浙江大学。1952年调至南京，参与组建华东水利学院（河海大学原名）。河海大学教授、香港大学荣誉教授、德国汉诺威大学交换教授，我国首批博士生导师和首批国务院政府特殊津贴获得者之一。曾任第六、七届全国人民代表大会代表，国务院学位委员会学科评议组成员，《岩土工程学报》编委会主任，《中国科学》、《科学通报》联合编委等职。在软土流变理论、动力固结理论、土坝震后永久变形和土工数值分析等领域做出了众多开拓性工作，著写了新中国最早的土力学理论和实验教材。研究成果曾获国家科技进步一等奖，主编研究生教材《土工原理与计算》、本科生教材《土力学》分获水利电力部和水利部优秀教材一等奖。

第3版前言

1923年太沙基(Terzaghi)教授先后提出了土的一维固结理论和有效应力原理,标志着土力学正式成为一门新的独立学科。90多年来,土力学蓬勃发展,作为更大范畴的岩土工程学科的核心研究分支,它不仅形成了较为完整的理论体系,更在实践中发挥了重大作用,成为指导土木、水利、交通、地质、采矿等诸多领域开展科学研究和工程设计的重要理论依据。

教学和科研是推动学科发展的并行驱动力,伴随着岩土工程学科的科研进步,土力学教学工作也得到了不断的完善和发展。20世纪50年代初,河海大学前身华东水利学院创建之始,学校就设立了土力学教研室。与之同步,河海大学岩土工程国家重点学科的奠基人和第一代带头人钱家欢先生编著了新中国最早的土力学理论教材《土壤力学》(1953年,大东出版社)。随着河海大学岩土工程学科的发展壮大,土力学的教学与教材也日益成为学科的标志性特色。80年代到90年代,钱家欢先生作为主编,带领一批前辈先贤,又先后编写了在全国享有盛誉的两版《土力学》教材(河海大学出版社)。然而,因为包括钱先生在内很多原书的主要作者去世或处于耄耋之年,该书的续编工作一直未能开展。

近年,钱家欢先生的夫人王章琳女士和几位健在的《土力学》主要编著人授权河海大学岩土工程科学研究所,同意其组织学科力量在原书基础上进行新编工作。受此重托,学科决定成立“河海大学《土力学》教材编写组”,新启《土力学》教材的撰写,并由高等教育出版社出版。虽然教材内容更新,作者和出版社也发生了变化,但经典教材是学科永远的财富,基于一脉相传的河海大学土力学教学体系和理念本源,并充分体现学科文脉的继承与发扬,几经商讨,编写组决定将本书以《土力学》(第3版)的名义推出,以铭记和感怀河海大学第一代土力学教材著写者们的卓绝贡献。

本书编写力求保留原《土力学》教材的体系精华,并顺应目前国家提出的本科专业建设、认证标准要求 and 时代发展的需要,注重加强理论传授与工程应用的递进表达,同时融入近年来国内外土力学发展的前沿进展,并将相关的最新国家、行业标准条文予以结合诠释,力求提升学习者对理论的综合理解,并激发其学习热情和应用意识。教材可作为普通高校土木、水利、交通、地质、采矿等专业本科生的土力学教材,以及中国大学MOOC课程——土力学(河海大学)的辅助学习教材,同时还可作为相关专业本科生和研究生的辅导用书及从事岩土工程相关工作的科研、设计人员的参考书。书中标有“*”的章节属于拓展知识范畴,可不作为本科生的课堂教学要求,读者可根据

兴趣和工作需求选择性自学。

教材采用集体编著署名,具体工作则主要由河海大学岩土工程学科的八位教授完成:沈扬(执行负责,统稿,绪论和第一章)、余湘娟(执行负责,统稿,第五章)、王媛(第二章)、彭劼(第三章)、赵仲辉(第四章)、王保田(第六章)、朱俊高(第七章)、吴跃东(第八章)。同时,还特别邀请了河海大学岩土工程国家重点学科的第二代带头人殷宗泽先生担任主审。此外,倪小东、孙逸飞副研究员,冯建挺、施文、沈雪、芮笑曦、王钦城、葛华阳、冯照雁、王俊健、吴佳伟等研究生也参与了部分章节的编辑或绘图工作。

本书出版得到江苏省青蓝工程优秀教学团队项目(河海大学土木工程专业课程创新教学团队)、江苏高校品牌专业建设工程一期项目(PPZY2015B142)、江苏省高等教育教改研究重点项目(2017JSJG029)的资助,在此谨表谢忱。本书撰写过程中,参阅、引用了国内外相关的教材、著作、论文、新闻报道、图片等资料,在此亦对有关作者深表谢忱!

限于作者的学识水平和能力,书中可能存在疏漏、不妥之处,恳请广大读者批评指正。

河海大学《土力学》教材编写组

2019年元月

第 2 版前言

《土力学》教材第一版自 1988 年正式发行以来,受到广大读者的欢迎,并为不少兄弟院校所采用,发行量达二万余册。1992 年先后获得水利部优秀教材一等奖和能源部优秀教材二等奖,给编者以很大的鼓舞。

原教材是河海大学土力学教研室全体同志从 20 世纪 70 年代中期到 80 年代末十年中经多次试教改写而编成的,在这期间曾走访国内多所兄弟院校及相关生产机构,并吸收了校内外同行及同学们的意见。随着祖国改革开放形势的发展,经济建设突飞猛进,土力学的理论和实践也有很大的发展,特别是各项新的国家标准的颁布,在土工设计、计算、试验诸方面都有了新的准绳,原教材已不能适应当前的需要,所以决定在原教材的基础上进行修订。这次修订的原则是原教材体系保持不变,基本理论和原理尽量保持原貌,并根据近七八年来的教学实践进行修改。所有使用的规范、标准则全部改用最新国家颁布的文件。一些专业名词也按即将颁布的国家统一名称进行调整。增加了第十二章土的钻探取样和试验成果整理,以供有关专业选用,还补充了常用符号表和参考文献。

本次修订经教研室集体讨论,由原编写者分章负责完成并相互审校。本书仍由钱家欢教授担任主编,负责各章编写和修订的有:钱家欢教授(绪论、第九章),方涤华副教授(第一、五、十二章),周萍副教授(第二、三、八章),方开泽教授(第四章),姜朴教授(第六章),郭志平教授(第七章),俞仲泉教授(第十、十一章)。郭志平、方涤华负责组织工作并统校,绘图则请李一鸣副教授完成。

鉴于不少兄弟院校采用本教材,今后在使用或参阅过程中,希望专家、学者和同仁不吝赐教,以便我们继续加以修改、充实和提高。

编者

1995 年 1 月

第 1 版前言

这份教材是土力学教研室全体同志从七十年代中期到目前的十年中经过多次试教改写而编成的。在这期间曾走访国内多所兄弟院校及相关生产机构,吸收了校内外同行及同学们的意见。这些都有助于我们工作的改进。在这十年过程中,主持编写的同志已数易其人,但是目前的成果,正是历次编写主持人及教研室全体同志长期努力的结果。

本书是经教研室集体讨论,编写者分章负责完成的。这次编写,由钱家欢担任主编。负责各章编写的有:钱家欢(绪论、第九章),方涤华(第一、五章),周萍(第二、三、八章),方开泽(第四章),姜朴(第六章),郭志平(第七章),俞仲泉(第十、第十一章)。方涤华负责统校,卢廷浩担任绘图工作。

鉴于不少兄弟院校采用本教材,希望今后在使用过程中,各方面通知提出宝贵意见,以便我们继续加以修改、充实和提高。

编者

1988年3月

目 录

绪论	1
第一章 土的物理性质和工程分类	9
第一节 土的形成	9
第二节 土的组成	11
第三节 土的结构	22
第四节 土的物理性质指标	25
第五节 土的压实性	35
第六节 土的工程分类	39
习题	50
第二章 土的渗透性	53
第一节 概述	53
第二节 达西渗透定律	54
第三节 渗透系数的测定	56
第四节 二向渗流和流网的特征	61
第五节 渗流力及渗透稳定性	64
第六节 在静水和有渗流情况下的孔隙水应力和有效应力	74
习题	80
第三章 地基中的应力计算	83
第一节 概述	83
第二节 地基中的自重应力	84
第三节 基底压力的计算	86
第四节 地基中的附加应力	90
习题	109
第四章 土的压缩性与地基的沉降计算	111
第一节 概述	111

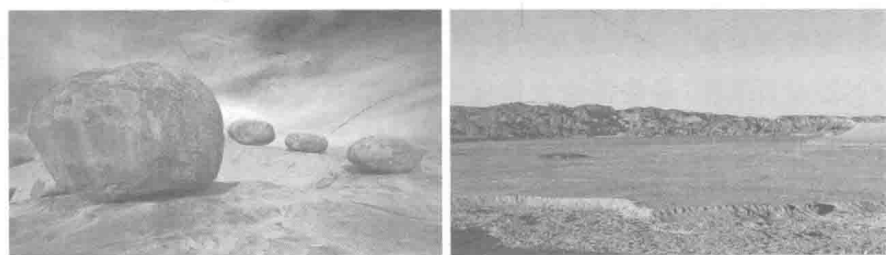
第二节	土的压缩性	112
第三节	无侧向变形条件下的压缩量公式	115
第四节	地基沉降计算的 $e-p$ 曲线法	118
第五节	地基沉降计算的 $e-\lg p$ 曲线法	124
第六节	土的单向固结理论	133
第七节	地基沉降的进一步分析	143
第八节*	固结理论的进一步分析	152
	习题	156
第五章 土的抗剪强度		159
第一节	概述	159
第二节	强度的基本概念及莫尔-库仑破坏准则	160
第三节	土的剪切试验	166
第四节	三轴压缩试验中的孔隙应力系数	173
第五节	剪切试验中土的性状	177
第六节*	试样在三轴剪切试验中的应力路径	190
第七节*	关于不排水强度的讨论	193
	习题	196
第六章 土压力		199
第一节	概述	199
第二节	兰金土压力理论	201
第三节	库仑土压力理论	209
第四节	土压力计算的讨论	218
第五节	工程中的挡土墙土压力计算	220
第六节*	板桩墙及支撑板上的土压力	227
第七节*	涵洞上的土压力	231
	习题	234
第七章 土坡稳定分析		237
第一节	概述	237
第二节	无黏性土土坡稳定分析	239
第三节	黏性土土坡的整体圆弧滑动	240
第四节	瑞典条分法	243
第五节	毕肖普条分法	248
第六节	工程中的土坡稳定计算	251

第七节* 孔隙应力的估算	257
第八节 非圆柱滑动面土坡稳定分析	260
第九节 讨论	264
习题	268
第八章 地基承载力	269
第一节 概述	269
第二节 限制塑性开展区法——按塑性开展区深度确定地基承载力	271
第三节 极限分析法——按极限平衡和滑移线理论确定地基极限承载力 ..	276
第四节 规范确定地基承载力的方法	287
第五节* 按荷载试验和静力触探试验确定地基承载力	291
第六节 影响地基承载力的因素	295
习题	298
参考文献	299

绪 论

一、土力学的内涵

欢迎读者朋友们走进土力学的课堂。要了解土力学,首先需要明白什么是土?古代中国的文学家许慎在《说文解字》中对土下的定义是:“土者,地之吐生物者也。”而古希腊的传说人物墨勒阿格亦说:“大地,你是万物之母。”剥除这些由于古人对自然无法解释而赋予的神秘注脚,在用于服务于技术工程问题的土力学中,对土这位主角是这么定义的:地球表层的整体岩石在大气中经受长期的风化作用后,形成形状不同、大小不一的颗粒,这些颗粒在不同的自然环境条件下堆积,形成了土。图 0-1 所示为岩石与土的对比图。



(a) 岩石

(b) 土

图 0-1 岩石与土对比图

由于土在各类基建工程中应用广泛,其物质组成特殊,结构特性复杂,无法单纯地用一门或几门经典力学理论来予以诠释,而需要单独设立一门新的研究土的学科对其进行研究分析,于是土力学应运而生。土力学是研究土的物理性质及在荷载作用下土体内部的应力应变和强度规律,从而解决土体变形和稳定等问题的一门学科。土力学除研究土的力学性质以外,还要综合分析其理化性质及对工程特性的影响;除了考虑一般理解的实体荷载对土的作用以外,还需考虑温度、空气等一系列可能传递力量的媒介或物质的影响。同时,土力学是一门理论与应用结合非常紧密的学科,它在大多数高校中是作为专业基础课出现的。其理论与假设并存,宏观与细观具察,在一定程度上可以看成是有别于传统经典力学的实践力学。

二、土力学的研究重点

土力学涉及领域广泛,只要世界上与土相关的基建工程,都离不开土力学的指导



或辅助。从学科分类来说,土木、交通、水利、地质、采矿乃至环境等学科问题都会用到土力学的知识。

就具体分类而言,土力学主要研究和解决三类工程问题:

(一) 渗流问题

渗流绝不仅仅反映于水利工程中,在诸如基坑开挖、地铁施工、垃圾填埋场建设等典型的土木工程中也大量存在渗流问题。管涌、流土的防治,渗滤液的防渗都是上述工程中需要基于土力学理论来解决的经典任务。

1976年6月5日,美国爱达荷州的提堂坝(Teton dam)溃决,其溃坝流量相当于密西西比河洪水期流量,直接导致了4万ha农田被淹,52km铁路被毁,11人死亡,25000人无家可归。该水坝是一座集防洪、发电、旅游、灌溉等为一体的综合利用工程。由于降雨,5月份提堂坝水位上升速率超过限定速率3倍之多。早在事发前两天,坝下游便出现清水自岩石垂直裂隙流出,但这些现象并未引起施工方的注意。事发当天早晨,该渗水点出现图0-2(a)所示的窄长湿沟,随后右侧坝趾有混水流出且具有明显增大趋势,如图0-2(b)所示。伴随着一声炸裂,新渗水点出现且迅速增大形成图0-2(c)所示的漩涡,坝体最终破坏,如图0-2(d)所示。后专家分析事故,推测原因在于两侧开挖岩坡过陡,对齿槽内填土产生支撑拱作用,进而导致了坝内局部土体出现应力释放。当库水从上游岩石裂缝流至齿槽,高压水对齿槽土体产生渗透而通向下游岩石裂隙,最终造成土体发生管涌破坏。这场由于设计问题导致的事故给工程界敲响了警钟,如果提堂坝的设计方案,经过除设计师以外的完全独立专家组的审查,也许事故就不会发生。

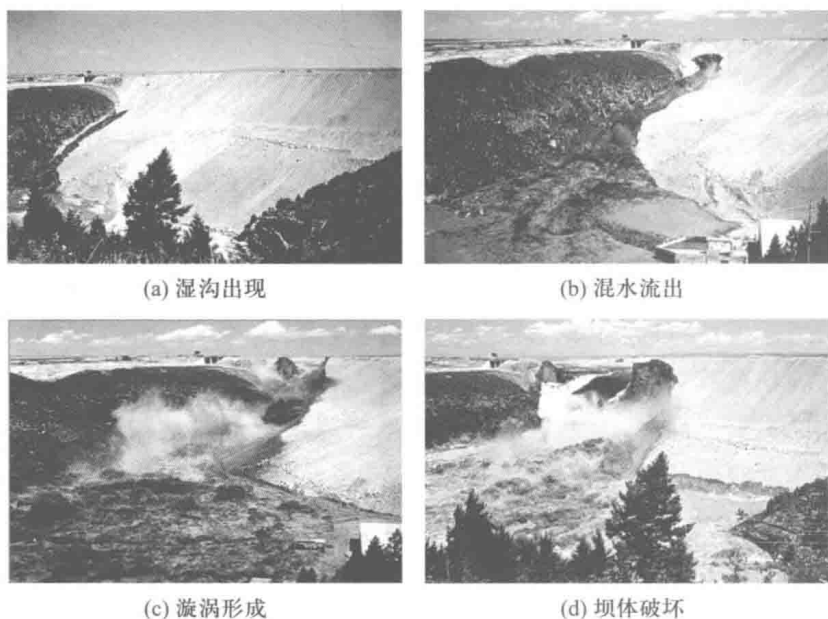


图 0-2 美国提堂坝溃决现场

(二) 强度问题

强度问题的应用包括地基承载力的确定,松散砂土地基的液化防治,山体滑坡预警与治理等。

2014年5月2日,阿富汗巴达赫尚省阿布巴里克村在1 h内连续发生两次山体滑坡,如图0-3所示,造成300户村民的房屋被掩埋,至少2 500人失踪。长时间的暴雨是导致此次滑坡的重要原因。雨水沿斜坡渗入到边坡缝隙中,使得土体的强度降低,同时还产生了明显的渗流力,使得滑动面上无法提供充足的抗滑力矩来抵抗山体的滑动,从而引发山体滑坡。

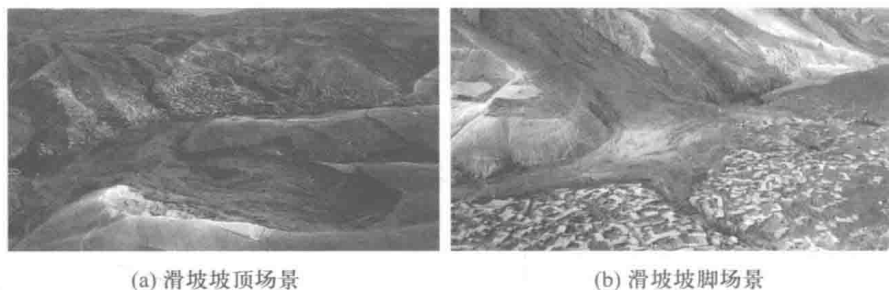


图 0-3 阿富汗阿布巴里克村山体滑坡现场

如果这片土地不是因为战争而“贫瘠”,如果当地行政部门能够重视边坡位移的监控,改善周边生态环境,以提升岩土体的强度,降低滑动势能,这样的悲剧也许就不会发生。

(三) 变形问题

即使土体强度足够且能保证自身稳定,但是土体变形尤其是由它构成的地基的平均沉降和不均匀沉降亦不应超过设计的允许值,否则建、构筑物的使用功能将会受损甚至丧失,并导致其倾斜、开裂甚至毁坏。

图0-4所示是1994年竣工的日本大阪关西国际机场,该机场是日本建造海上机场的伟大壮举,也是围海造地工程的杰作,一度被认为是土木界金字塔式的里程碑工程,然而却因为无休止的惊人沉降,20多年来一直饱受诟病。

从施工完成起,这个平均厚度为33 m的人造岛就在下沉,截至2015年,其沉降已

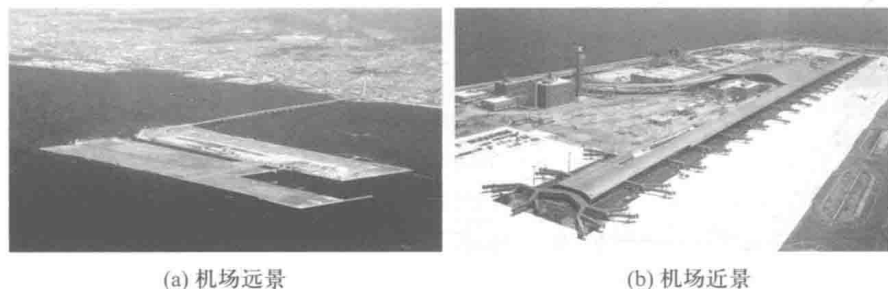


图 0-4 日本大阪关西国际机场

超过 13 m,日本政府花费了数十亿美元去加高路堤,以及建立隔水墙。这个机场之所以会无限制地沉降,远超施工前的预测,从本源上来说是由于大阪湾海底的地质条件不佳,其下部有平均厚达 22 m,压缩性巨大且难以处理的淤泥层。随着人工岛屿的填筑,淤泥地层上承受的压力日益增大,每平方米高达 40 t 的巨型堆载,对于这个被称作只比豆腐“硬”一点的海床软基而言,显然超过了填筑法施工的极限。于是,巨大且无法稳定的沉降如同梦魇一般始终伴随机场的运营,而相关的维护费用也只能是水涨船高。由于设计时未能合理估计和采取有效控制沉降的措施,这个看似带来无上荣耀的机场同样也扮演着吃钱怪兽的角色,不断地吞噬日本国民的钱袋。

三、土力学的发展历史

土力学虽是一门传统学科,但较之于数学、物理,其研究历史要短得多。一般把比较系统研究土的问题的科学历程分为 3 个阶段。

(一) 第一阶段:经典力学理论范畴下潜行的土体工程性质探索

最早比较集中研究“土”时还没有土力学,有关土的研究是在材料力学、弹性力学、水力学等经典力学理论的范畴中进行的,其在一般力学下进行思考经历的时间相对较长,比较公认的是从 1773 年到 1923 年这 150 年。

这个阶段由法国科学家库仑(图 0-5 左一)首开先河,他在 1773 年发表了论文《极大极小准则在若干静力学问题中的应用》,为今后的土体破坏理论奠定了基础;而在 80 多年后,1857 年英国科学家兰金(图 0-5 左二),发表了基于刚塑性平衡的土压力理论,从另一个角度阐释土压力的计算公式,成为与库仑理论辉映相辅的经典方法。这一阶段中的另一个重大突破是 1900 年德国科学家莫尔(图 0-5 左三)将最大主应力莫尔圆引入到库仑强度理论中,土的莫尔-库仑破坏准则随后得以提出。

传统水力学中,工程师们比较关注纯水环境的问题,而在 1856 年,法国科学家达西(图 0-5 左四)通过大量试验得到了水在岩土孔隙中渗流运动的实验定律,不仅奠定了水文地质学的基础,而且也助力于人们对渗流条件下土体的变形和稳定开展分析。

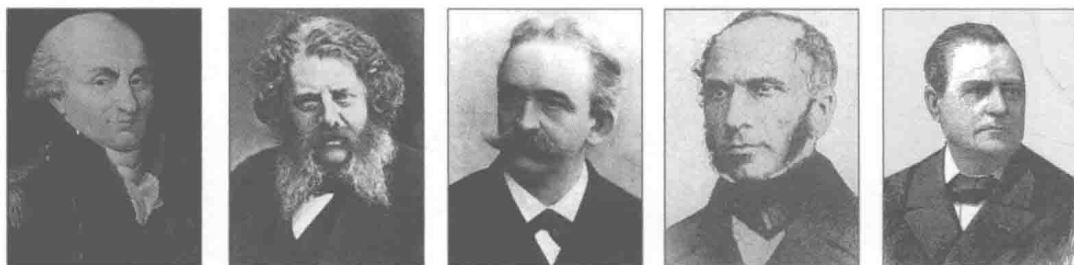


图 0-5 为土力学发展做出基础性贡献的科学家们(左起:库仑、兰金、莫尔、达西、布西内斯克)

19 世纪末 20 世纪初,高层建筑的迅速发展(如图 0-6 所示法国巴黎埃菲尔铁塔的建造),使得人们对地基中附加应力的明显增加而加剧地基沉降的关注提升到了一

个空前的高度,而与土力学紧密相关的学科——弹性力学的发展则为沉降问题的研究提供了必要手段。1885年法国科学家布西内斯克(图0-5左五)求导了弹性半无限空间表面竖向集中力作用时弹性体中应力、变形的理论解,为土中应力的求解提供了可能,至今仍是地基应力计算的重要方法。

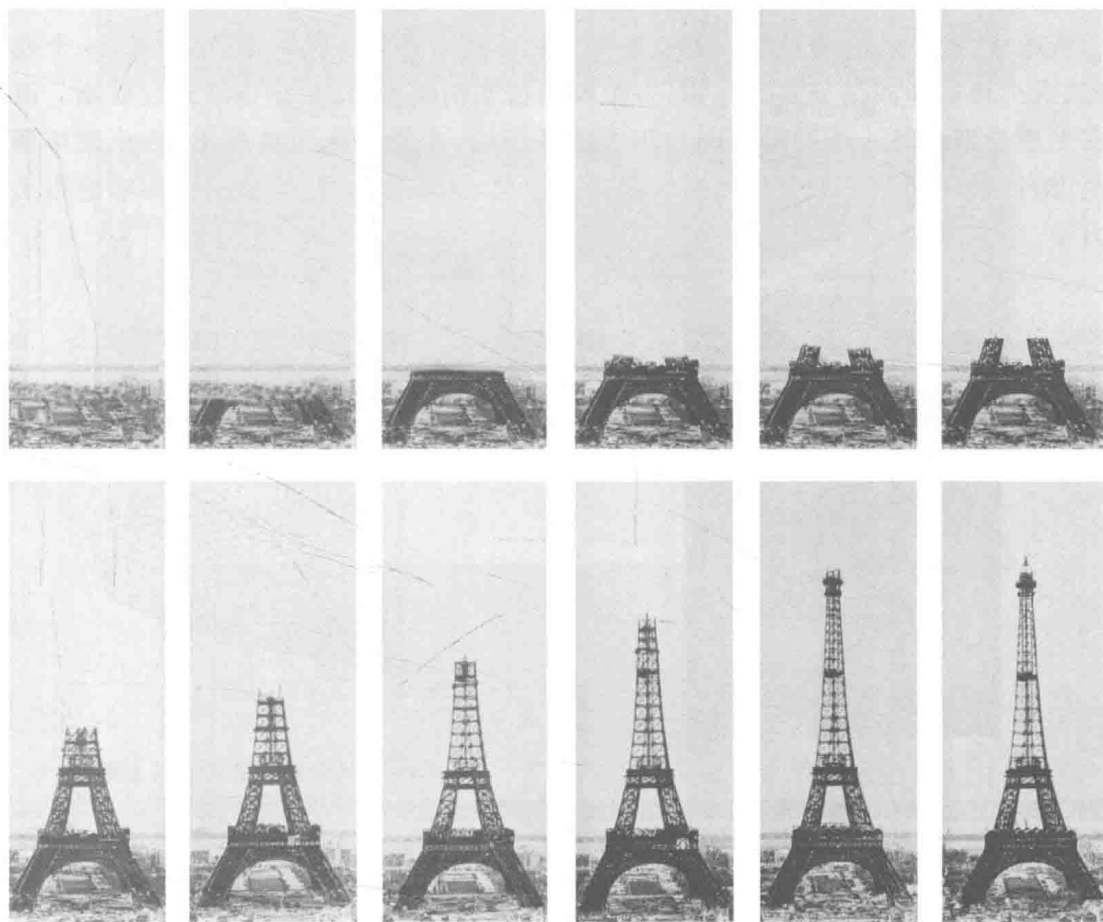


图 0-6 建造过程中的法国巴黎埃菲尔铁塔

(二) 第二阶段:古典土力学基础上专属的土体系列问题研究

1923年以后,在一大批杰出的,以地基等土体专属问题为导向开展研究的实践科学家们的努力下,土力学正式被开创。这个被称为古典土力学的时代经历了40年。之所以以1923年为时代起点,是因为国际公认的土力学之父、后任职于美国哈佛大学的太沙基教授(图0-7)于当年提出了一维固结理论和有效应力原理,划时代地将土的特殊工程性质以单独的理论提炼出来,进行分析和应用。此时的成就主要集中于土体的破坏和变形理论,其构成了今天在大众土建工程应用中有关土体问题的核心解题基础。如果要概括的话,古典土力学可以归结为:一个原理——有效应力原理(古典土力学的核心)和两个理论——以弹性介质和弹性多孔介质为出发点的变形理论,和以刚塑性模型为出发点的破坏理论(极限平衡理论)。