

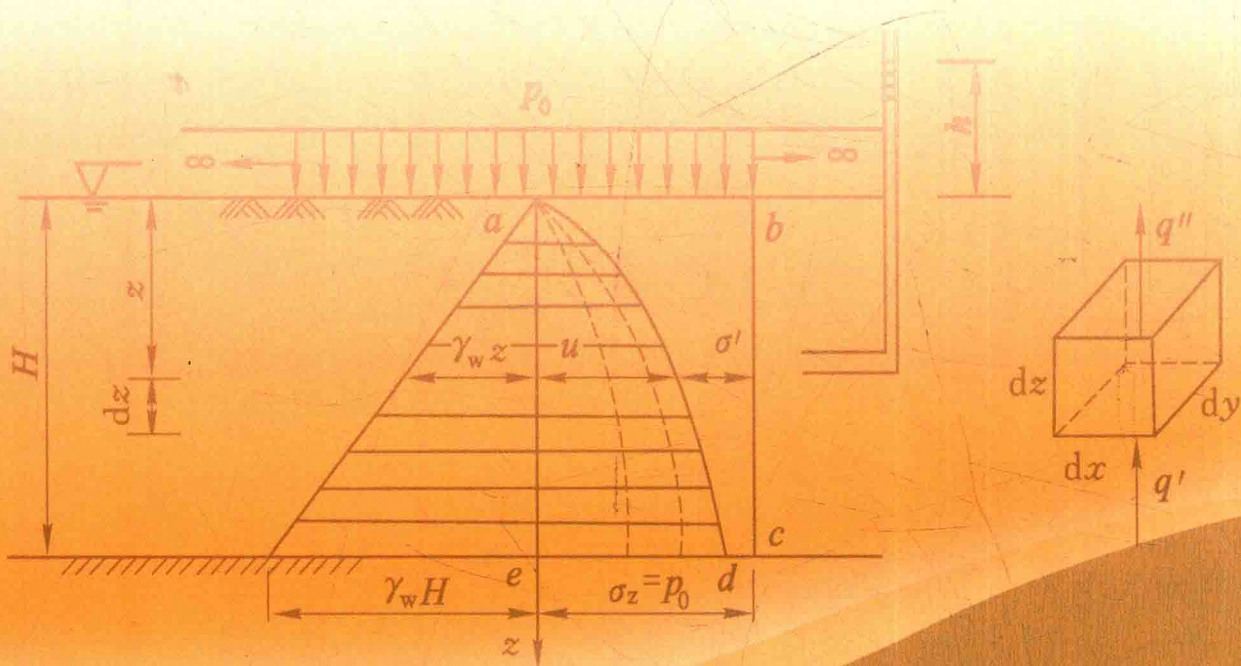
高等教育“十二五”规划教材

土力学原理

主 编 刘希亮

副主编 郭佳奇 于广云 张向东

主 审 刘汉东 周同和



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等教育“十二五”规划教材

土力学原理

主 编 刘希亮

副主编 郭佳奇 于广云 张向东

主 审 刘汉东 周同和

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本教材是高等教育(矿业)“十二五”规划教材之一,根据高等学校土木工程专业指导委员会推荐的《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》和《高等学校土木工程本科指导性专业规范》对专业基础课土力学的有关要求,并结合强化基础的教学理念而编写。本书共9章内容:绪论、土的物理性质及工程分类、土的渗透性与渗流、土体中的应力计算、土的压缩性和地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力、土坡稳定性分析、地基承载力,各章后附有相应的讨论与思考、习题。

本书可作为土木工程专业(包括岩土工程、结构工程、地下工程、交通土建、城市地下空间工程、矿井建设等专业方向)以及交通运输、地质工程、矿业工程等专业本科生教材,也可作为攻读建筑与土木工程硕士学位的相关研究生教材,也可供土木工程等行业的研究、设计和施工人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学原理 / 刘希亮主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2015.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2779 - 9

I. ①土… II. ①刘… 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(2015)第 180773 号

书 名 土力学原理

主 编 刘希亮

责任编辑 杨 洋

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 26.75 字数 668 千字

版次印次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

随着社会的发展、城市(镇)化进程的加快,大量的居住建筑、公共设施、铁路和公路网需要兴建。同时,开发和利用地下空间已成为许多国家城市发展的基本策略。这些工程的勘探、设计和施工,都需要具备丰富的土力学知识。在土木工程建设中,土被广泛用作各类建筑物、构筑物的地基或组成部分;对土的各种性质的研究源于土木工程实践,并在实践中得到丰富和发展。

土力学课程是土木工程专业重要的专业基础课程之一。土力学理论与知识是土木工程师知识结构中重要的组成部分之一,土力学课程内容的教学对学生专业能力的培养起到重要作用。土力学在土木工程专业人才培养方案的课程设置中往往是由基础理论课向专业基础课和专业课过渡的先期课程之一,课程知识的传授和学习方法由系统性、条理性向分散性、跳跃性转变。掌握土力学课程内容的学习方法,对后续课程的学习具有引领作用。

本教材以高等学校土木工程专业指导委员会推荐的《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》和《高等学校土木工程本科指导性专业规范》对土力学课程的有关要求为依据,并根据授课内容的关联性进行了适度调整;同时结合学生就业趋向和知识储备,兼顾岩土工程、结构工程、地下工程、交通土建、矿井建设等专业方向的要求,增加了一些相关的选修内容(用※表示),在授课中可根据课时、学生的能力进行选用。此外,在章节内容编写过程中为了强化理论基础,对一些基本公式的推导过程进行了详细的阐述,以便于学生对理论知识的理解。

土力学的课程内容具有较强的理论性和实践性。在编写中注重了课程的基础性、应用性,并吸取了国内外多种教材的优点和现行有关规范的最新研究成果。每章都给出了导读、讨论与思考、习题,以培养学生分析与解决实际问题的能力;同时,为便于学生对课堂知识的理解、掌握和拓展,每章都列出了相应的参考文献。鉴于本书理论内容较系统、全面的特点,冠以土力学原理书名,课程仍沿用土力学名称。

本书由河南理工大学刘希亮担任主编,河南理工大学郭佳奇、中国矿业大学于广云、辽宁工程技术大学张向东担任副主编,华北水利水电大学刘汉东、郑州大学周同和担任主审。

本书编写单位及编写人员分工如下:第1章、第2章由河南理工大学刘希亮和中国矿业大学于广云编写;第3章由太原理工大学王梅编写;第4章由辽宁工程技术大学张向东和河南理工大学于建新编写;第5章中5.5由河南理工大学于建新编写,其余部分由西安科技大

学高丙丽编写;第6章由河南理工大学郭佳奇编写;第7章由河南理工大学王光勇编写;第8章由太原理工大学曾国红编写;第9章由河南理工大学任连伟编写。刘希亮、于广云、郭佳奇进行了统稿、审校及修改。华北水利水电大学刘汉东和郑州大学周同和在主审过程中提出了许多宝贵的建议,在此表示诚挚的感谢。

限于编者的水平,书中难免有不当或疏漏之处,恳请各位同行专家和广大读者不吝指正。

编 者

2015年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 土力学的特点	1
1.2 土力学发展历史概况	1
1.3 土力学及岩土工程学会及重要刊物简介	6
1.4 土力学课程内容、要求和学习方法	11
讨论与思考	13
参考文献	13
第 2 章 土的物理性质及工程分类	14
2.1 概述	14
2.2 土的成因和组成	15
2.3 土的物理性质指标	32
2.4 土的物理状态指标	40
2.5 土的结构性	51
2.6 土的压实性	55
2.7 土的工程分类	60
讨论与思考	70
习题	71
参考文献	72
第 3 章 土的渗透性与渗流	73
3.1 概述	73
3.2 土的渗透性及 Darcy 定律	74
3.3 渗透系数的测定方法	78
3.4 土体的渗流理论※	92
3.5 渗透力与渗透破坏	101
讨论与思考	106
习题	107
参考文献	108
第 4 章 土体中的应力计算	110
4.1 概述	110

4.2 土中自重应力的计算	112
4.3 基底压力	116
4.4 土中附加应力计算	120
讨论与思考	156
习题	157
参考文献	158
第5章 土的压缩性和地基沉降计算	160
5.1 概述	160
5.2 土的压缩特性	161
5.3 地基沉降的计算方法	178
5.4 有效应力原理	193
5.5 土体的固结理论	196
5.6 地基沉降随时间的变化规律	214
5.7 地基允许变形及预防措施※	216
讨论与思考	219
习题	219
参考文献	221
第6章 土的抗剪强度	223
6.1 概述	223
6.2 土的抗剪强度理论和极限平衡条件	224
6.3 土的抗剪强度指标测定方法	232
6.4 应力路径※	249
6.5 砂土的抗剪强度特征	256
6.6 黏性土的抗剪强度特征	258
6.7 土的抗剪强度影响因素	266
讨论与思考	269
习题	270
参考文献	271
第7章 土压力	272
7.1 概述	272
7.2 土压力的分类及相互关系	273
7.3 静止土压力	274
7.4 Rankine 土压力理论	278
7.5 Coulomb 土压力理论	297
7.6 土压力的有关讨论	305
7.7 挡土结构的设计计算※	309

7.8 埋管土压力※	315
讨论与思考	319
习题	319
参考文献	320
第8章 土坡稳定性分析	322
8.1 概述	322
8.2 无黏性土土坡的稳定性分析	323
8.3 黏性土土坡的稳定性分析	329
8.4 边坡稳定性分析的几个问题	351
8.5 滑坡的防治※	357
讨论与思考	369
习题	369
参考文献	370
第9章 地基承载力	372
9.1 概述	372
9.2 地基的破坏模式	373
9.3 地基的临塑荷载和临界荷载	376
9.4 地基极限承载力	382
9.5 地基承载力特征值	410
讨论与思考	415
习题	416
参考文献	417

第1章 绪 论

【本章导读】 土力学是土木工程专业的一门必修课,属专业基础课范围。课程内容既是土木工程专业学生须掌握的专业知识,又是后续专业课程学习所需的基础知识。本章主要介绍土力学的特点、土力学发展概况、土力学及岩土工程学会及有关重要刊物、土力学课程内容、要求和学习方法等。通过本章的学习,使学生了解土力学的特点、发展历史概况、发展动态以及与土力学相关的学术组织、重要学术期刊;熟悉课程的学习内容和要求;掌握土力学的学习方法。

1.1 土力学的特点

土是地球表面的各种岩石经物理、化学及生物风化后,经搬运、沉积等作用形成的松散堆积物,由土颗粒和土颗粒孔隙间的水、气体形成的三相体组成,具有松散性、孔隙性、多相性以及区域性等特征。同一类土如三相组成比例不同,性质会出现差异;母岩成分和风化类型的不同,导致土体成分的差异;矿物成分及粒径决定土的基本物理、化学和力学性质。搬运和沉积过程中的自然条件和各种随机因素的作用,致使土体具有不同的结构和构造。土粒间的连续孔隙,使土体具有渗透性;土中水的存在对土的性质特别是对黏性土的物理力学性质产生较大的影响。由此可见,土的工程性质与母岩的成分、风化的类型以及搬运沉积的环境条件等有密切关系。土的工程性质通常是从宏观的表征单元体(有时需要结合微观特点)、地质历史的角度来研究分析。

土力学主要研究土的物理、化学和力学性质以及土体在外力、水流等作用下的应力、变形和稳定性等问题。它既是工程力学的一个分支学科,又是土木工程学科的一部分,属于技术科学的范畴。由于它所研究对象的三相性,其力学性质与刚体、弹性体及流体等有明显差异。它既服从连续介质力学的一般规律,又有其特殊的应力—应变关系和强度、变形规律,从而形成了土力学不同于一般固体力学的分析、计算方法。在土力学中理论、试验、实践三者互为因果、相辅相成,土工试验对土力学的发展具有支撑作用。

土力学的基础研究涉及弹性力学、塑性力学、流变学、地质学、矿物学、化学等众多知识领域;土力学的应用研究涵盖城乡建筑、铁路、公路、港口、机场、水利、电力等各项基本建设工程。

1.2 土力学发展历史概况

土力学与其他技术科学一样,是人类长期生产实践的产物。由于生产发展和生活需要,人类很早就开始利用土作为建筑物的地基和建筑材料。河南省新密市古城寨村 4 000 多年

前的古城址考察发现:该城址东南部原为低洼地带,筑城时采用大面积填土夯实以构筑墙基,最大深度达 10 m、宽度大多数在 60~100 m 之间;工程之浩大,在我国筑城史上罕见。有记载的历史告诉我们,古代文明是沿着河岸蓬勃发展的,如尼罗河、底格里斯河和幼发拉底河、黄河、印度河。大约从公元前 2750 年开始,在不到一个世纪的时间里埃及修建了五个最重要的金字塔(Saqqarah, Meidum, Dahshur South and North, Cheops),这对基础、边坡的稳定性以及地下洞室的建造提出了严峻的挑战。约在公元前 2000 年,人们就在印度河流域的盆地修建河堤来保护 Mohenjo Dara 城镇的安全。我国在商朝、周朝时代(公元前 1600 至公元前 249 年),建立了许多堤坝用来进行农业灌溉。在古希腊(公元前 800 年至公元前 146 年)已将垫层地基和条筏基础用于建筑结构中。我国公元前 2 世纪修建的万里长城,以及随后修建的南北大运河、黄河大堤等,都应用了丰富的土的基本知识;建于公元 605 年(隋朝时期)的赵州石拱桥,其桥台砌置在密实粗砂层上,1400 多年来沉降很小;至今保存完好的建于隋朝的河南郑州超化寺塔,是在淤泥中打入木桩形成塔基的;建于五代(公元 10 世纪)的山西太原晋祠圣母殿也支承在木桩上;建于公元 989 年(北宋时期)的开封开宝寺木塔,在建造时预见到塔基土质不均会引起不均匀沉降,施工时特意做成倾斜塔,使其沉降稳定后自动复正,这说明当时人们对地基的变形问题已有了相当成熟的施工经验。

关于土的承载力问题,最著名的例子要数意大利的比萨斜塔。该塔动工于公元 1173 年 9 月 8 日,至 1178 年建至第 4 层中部(高度约 29 m)时,因塔明显倾斜而停工;94 年后(即 1272 年)复工建设,经 6 年时间建完第 7 层(高 48 m)后,再次停工中断 82 年;于 1360 年再复工,至 1370 年竣工;全塔共 8 层,地面到塔顶为 55 m。该塔总重约 14 453 t,由一个直径 20 m 的圆形基础支撑;地基持力层为粉砂、下面为粉土和黏土层,在地表面以下深度约 11 m 处存在软弱的黏土层,正是该层土的压缩导致了塔的倾斜。该塔在过去曾向东面、北面和西面倾斜,最终向南部倾斜;塔身基础南北两端沉降差曾达到 1.80 m、塔顶偏离中心线 5.27 m、倾斜 5.5° ,1990 年 1 月 14 日被封闭。该塔拯救工程于 1999 年 10 月开始,采用斜向钻孔方式从斜塔北侧的基础下缓慢向外取土约 70 t,使北侧地基高度下降,斜塔重心在重力的作用下逐渐向北侧移动,塔身被扶正 44 cm;现在该塔倾斜 5° ,倾斜角度回到了安全范围之内。关闭了十年的比萨斜塔于 2001 年 12 月 15 日再次向游人开放。

由此可见,在漫长的历史进程中,随着生产力发展和人类生产生活范围的扩大,从建造居屋到简单工程再到大型工程,人们在自觉不自觉地应用着对土性质的感性认知和代代相传的经验,创造了灿烂的古代文明。但由于社会生产力和技术条件的限制,在 18 世纪中叶以前相当长的历史阶段中,人们没有土力学理论的概念,对土力学的知识仍停留在经验积累的感性认识阶段。

18 世纪的欧洲工业革命,导致了工业厂房、城市建筑、铁路、码头等基础设施的大规模兴建,面对出现的许多土力学课题,工程师和科学家们开始用更理性的方式来研究土的性质。有关土力学发展阶段的划分,目前还没有形成统一的看法。本绪论根据时间的先后序列和此领域重要研究成果的时间点,将 1700 年至今的时间跨度分为六个主要发展阶段。

(1) 公元 1700~1776 年

这一时期主要集中于自然边坡、不同类型土的重度以及半经验的土压力理论的研究。1717 年法国皇家工程师 Henri Gautier(1660—1737 年),在制定挡土墙设计规程时对土的天然坡度进行了研究,得到了净干砂和普通土壤的自然休止角为 31° 和 45° 。1729 年

Bernard Forest de Belidor(1671—1761年)为法国军事和民用工程师出版了一本教科书,书中结合 Gautier 在 1717 年的最初研究成果,提出了挡土墙的侧向土压力理论;他还给出了按重度对土进行分类的方法。1746 年法国工程师 Francois Gadoy(1705—1759 年)从墙后充填砂土、高 76 mm 挡土墙的实验室模拟试验中,观测到了土体破坏过程中滑移面的存在。

(2) 公元 1776~1856 年

在这一时期,土力学的发展成果大部分来自法国的工程师和科学家。在此之前的挡土墙侧向土压力的确定,都是建立在土体的破坏面随意假定基础上的。1776 年 Charles Augustin Coulomb(1736—1806 年)用微积分中的最大值和最小值原理,确定了挡土墙背后土体中真正滑动面的位置,并将摩擦力和黏聚力概念应用到了土体中。1820 年法国工程师 Jacques Frederic Francais(1775—1833 年)和应用力学教授 Claude Louis Marie Henri Navier(1785—1836 年)对倾斜回填土以及挡土墙背部有载荷的 Coulomb 问题的特殊情况进行了研究。1840 年军队工程师和力学教授 Jean Victor Poncelet(1788—1867 年)扩展了 Coulomb 理论,采用图解法来确定多边形地表情况下垂直和倾斜挡土墙侧向土压力的大小,并首先用符号 φ 来表示土的内摩擦角。1846 年工程师 Alexandre Collin(1808—1890 年)提出了黏土边坡、路堑和路堤的深层滑动问题,还观测到土体的真实破坏面可能是近似的摆线形状。这一时期结束的标志一般认为是 Glasgow 大学土木工程教授 William John Macquorn Rankine(1820—1872 年)在 1857 年发表的著名土压力和土体平衡理论。

(3) 公元 1856~1910 年

这一时期,有关砂土的室内实验成果出现于文献中。其中,最重要的成果之一是法国工程师 Henri Philibert Gaspard Darcy(1803—1858 年)在 1856 年发表的有关砂土的渗透性研究,Darcy 定义的渗透系数在今天的岩土工程中仍是一个非常有用的参数。另一个显著的贡献是 Joseph Valentin Boussinesq(1842—1929 年)于 1885 年提出的均匀、各向同性半无限弹性体表面在竖直集中力作用下的位移和应力分布理论。1892 年 Flamant 提出了均匀、各向同性半无限弹性体表面在线荷载作用下的位移和应力分布理论。迄今为止,它们仍为地基中应力计算的主要方法。

(4) 公元 1910~1925 年

这一时期,人们发表了对黏性土的研究结果,提出了黏性土的基本性质和相关参数。大约在 1908 年,瑞典化学家和土壤科学家 Albert Mauritz Atterberg(1846—1916 年)根据粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒质量百分比定义了黏粒组的概念,认识到了黏土颗粒在土体中的重要作用及其可塑性。1911 年,他定义了土的液限、塑限和缩限,据此解释了黏性土的稠度,并定义了塑性指数。

法国工程师 Jean Fontard(1884—1962 年)对 1909 年 10 月法国 Charmes 一个 17 m 高的土坝(建于 1902~1906 年)发生的破坏进行了调查,通过恒定垂直压应力作用下黏土试样(面积为 0.77 m^2 ,厚 200 mm)的不排水剪切试验,确定了土的抗剪强度参数(1914 年)。

英国土木工程师 Arthur Langley Bell(1874—1956 年)在从事 Rosyth 造船厂外海堤的设计和施工中,发现了黏土的侧压力和阻抗力之间的关系;通过剪切盒实验,测得了原状黏土试样的不排水抗剪强度。

瑞典工程师 Wolmar Fellenius(1876—1957 年)在假设边坡的临界滑动面为圆弧状的前提下,对饱和黏土边坡进行了稳定性分析,其研究成果发表于 1918 年和 1926 年的论文中;

在 1926 年的文章中,给出了穿过边坡脚趾的圆弧滑动面稳定系数的数值解。

Karl von Terzaghi(1883—1963 年)在 1919~1924 年对液限为 36%~67%、塑性指数为 18~38 的 5 种不同的黏性土进行了研究,提出了有效应力原理和黏性土的固结理论。

1921 年 Ludwig Prandtl(1875—1953 年)根据塑性平衡原理,研究了坚硬物体压入较软、均匀、各向同性材料的过程,导出了著名的地基极限承载力公式。

早期土力学的发展大约在 1913 年左右发生了一个转折点。当时瑞典、美国、德国等国相继发生的重大滑坡坍方事故表明,已有的一些分析方法已不能满足工程实践的要求,于是纷纷成立了专门委员会或委托专家进行调查研究。例如,瑞典为处理铁路沿线不断出现的坍方问题,在国家铁路委员会内设立岩土委员会;美国土木工程师协会设立了研究滑坡的特别委员会;德国为处理 Kieler 运河施工中的滑坡事故设立了调查委员会。此外,瑞典由于 Stigberg 码头的破坏,成立了港口特别委员会;对该码头滑动原因的分析,导致了著名的瑞典圆弧滑动法的产生。瑞典国家铁路委员会岩土分委员会于 1920 年成立了一个岩土实验室,它可能是世界上第一个岩土实验室。

(5) 公元 1925~1963 年

1925 年 Terzaghi 在维也纳出版了举世闻名的 *Erdbaumechnik*(土力学),首次系统地论述了土力学的若干重要课题;书中介绍了他所提出的有效应力、渗透固结以及土压力、承载力、稳定性分析等理论。该书的出版标志着土力学这门学科的诞生。1934 年他在美国 *Engineering News Record* 期刊上以“土力学原理”为题发表了系列文章介绍其研究成果。

此后,随着弹性力学的研究成果被大量引入,变形问题的研究越来越成为重要的内容,但是土体的破坏问题始终是当时土力学研究的主流。这一时期在土体破坏理论研究方面的主要成就有:① W. Fellenius(1927)、D. W. Taylor(1937)、A. W. Bishop(1955)等建立和完善了圆弧稳定分析方法;② K. Terzaghi(1943)、G. G. Meyerhof(1951、1953、1956、1963、1965)、A. S. Vesic(1973)和 J. B. Hansen(1970)等分别对 Prandtl 地基承载力公式进行了修正、补充和发展;③ B. B. Соколовский(1942)建立了散体静力学;④ R. T. Shield(1953)和沈珠江(1962)等关于土体破坏的运动方程和极限平衡理论的建立。而在变形理论方面则有:① 地基沉降计算方法的建立与完善;② 弹性地基梁板的计算;③ R. A. Barron(1948)提出了砂井固结理论;④ M. A. Biot(1941、1956)发表了三维固结理论和动力方程,有效应力原理得到了广泛的推广应用。在这个阶段有关土体变形和破坏的理论还局限于弹性介质模型和刚塑性模型。

这一时期主要的土力学著作有 *Theoretical Soil Mechanics*(Karl Terzaghi, 1943)、*Soil Mechanics in Engineering Practice*(Karl Terzaghi 和 Ralph Peck, 1948)、*Fundamentals of Soil Mechanics*(Donald Wood Taylor, 1948)。同时,土力学的国际期刊 *Geotechnique* 于 1948 年在英国创刊。此外,这一时期在土力学的发展中有三件具有里程碑意义的事情:① A. W. Bishop 提出在饱和黏土中 $\varphi=0$ 的概念;② Alec Westley Skempton(1914—2001 年)发表的关于孔隙压力系数 A 和 B 的论文使得有效应力的计算更符合各类工程实际;③ 1957 年 A. W. Bishop 和 B. J. Henkel 出版了 *The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test*。

到 20 世纪 50 年代初,有限差分法和有限元计算方法应用到了各类岩土工程问题中。目前它们仍然是这一专业领域内重要且有用的计算工具。

(6) 公元 1963 年至今

虽然在 20 世纪 50 年代已有人对塑性理论应用于土力学的可能性进行过探索,但只有到 1963 年剑桥大学的 Kenneth Harry Roscoe(1914—1970 年)提出了状态界面概念并据此创立了著名的剑桥弹塑性模型,才突破了先前弹性介质模型和刚塑性模型的局限;该模型是第一个可以全面考虑土的压硬性和剪胀性的数学模型,标志着人们对土性的认识和研究有了质的飞跃,使土力学进入了崭新的发展阶段。50 多年来,土力学在下列几方面取得了重要进展:① 土体非线性模型和弹塑性模型的深入研究和大量应用;② 土结构渐进破坏理论与损伤力学模型研究;③ 非饱和土渗流固结变形与强度理论的研究;④ 土液化理论与动力固结模型的研究;⑤ 特殊土(淤泥及淤泥质土、黄土、膨胀土、红黏土、冻土、垃圾土等)性质的研究与利用;⑥ 土的细观力学研究;⑦ 土与结构相互作用的研究;⑧ 数值分析与模拟方法的研究等。另外,在土工试验仪器方面制造了真三轴仪、大型三轴仪、流变仪、振动三轴仪、离心模型试验机等新型仪器,使室内试验更好地模拟原位应力状态、固结条件及应力路径;原位测试技术也不断完善和普及,如动力和静力触探仪、十字板剪切仪、旁压仪等均已广泛使用,测试手段由以前的人工记录读数,发展为传感器测量、数据自动采集、远程监控,计算机的应用和新计算技术的渗入,使土力学发展进入了一个全新的阶段。

新中国成立以来,我国的土力学研究得到了迅速发展。著名的土力学专家黄文熙教授是我国研究土力学最早的学者之一。早在 20 世纪 50 年代,黄文熙教授就提出了非均质地基的应力分布和考虑侧向变形的沉降计算方法;研制出了第一台振动三轴仪,探讨了饱和砂土地基和土坝的抗液化稳定问题。陈宗基教授提出了黏性土的流变模型及次固结理论,已被后来电子显微镜的观测结果所证实。刘祖典等对黄土湿陷特性的研究、魏汝龙对软黏土强度变形特性的研究、汪闻韶对砂土动力特性的研究、钱家欢应用李氏比拟法求解黏弹性多孔介质的固结问题、谢定义关于砂土液化理论的研究、沈珠江关于有效应力动力分析方法的研究等,都引起了国际土力学界的重视。近几年来,一批基础扎实、思想活跃的青年学者投身于土力学的研究,作出了不少的贡献。总的来说,我国的土力学研究水平在理论分析和工程应用方面,与世界各国相比并不逊色,但在测试技术方面尚需提高。

综上所述,土力学的发展是紧紧围绕土木工程建设中出现的土工问题而发展的。随着国民经济的发展和人们需求的不断提高,大规模基本建设工程的兴建,土力学今后的研究中将会涉及以下主要研究方向:

(1) 土中微观层次的相互作用问题

土三相之间的相互作用决定了土的力学性质区别于其他材料。要想透彻地了解土的力学特征的机理、合理地反映和描述这些关系,应进行细观研究,建立相应的理论。加强土力学的基础性研究,应注意宏观和微观的结合、工程地质学与力学的结合,运用数学、力学、物理、化学等领域的最新理论成果来研究土的力学特性的本质。

(2) 土的本构关系研究

目前已提出的本构关系数以百计,除少数在某些条件下较接近实际外,其他基本上未获得验证。满足工程要求、解决工程问题的本构关系应具备基本上能反映实际情况、规律性较好、概念清晰、计算简单的特点。数值计算分析方法虽已克服了求解复杂土力学问题的数学困难,但是否得到符合实际情况的结果关键在于土的本构模型和计算参数的选取。

(3) 复合地基和复合土体的研究

随着新材料、新工艺的出现,各种新的软弱地基处理和增强土体强度的方法被广泛用于工程实践并取得了成功。但如何合理地计算这种复合地基或复合土体的稳定性和变形尚缺乏合理的理论,如软弱地基中插入各种柔性或半刚性桩体、永久性土锚杆支挡、填土中铺合成材料等。此外,其参数的检测方法和选用标准也有待进一步研究。

(4) 原位测试技术和原型监测技术

由于现场取样的代表性、取土运土的扰动以及试验边界条件与实际受力情况的不同等原因,使室内试验结果与土体的实际性状出现差异。因此,应大力发展原位测试技术和原型监测技术,以使测试结果更符合实际情况。模型试验和现场观测是验证理论计算和实际工程设计正确性的有力手段,是建立和修正土本构模型的重要依据。随着工程建设逐渐向高、深、重的方向发展,适应于高应力、粗粒径、大位移、多因素和复杂应力组合的设备和方法应得到研发。此外,土工离心模型试验将成为验证以重力为主的细粒土土工建筑物计算方法和解决土工问题的强有力手段。声波法、射线法、CT 识别法等测试技术也将为土材料受荷损伤的研究助一臂之力。

(5) 岩土工程中的相互作用问题

随着地下空间的开发和利用,多层地下大空间框—筏结构已代替了箱形基础,建筑上要求裙房与主楼之间不设沉降缝,因此如何考虑大面积筏基的反力分布、主体建筑与裙房之间的变形协调计算以及地震力作用下地下结构计算等已成为当前急需解决的课题。在深基坑开挖工程中,一方面许多支护结构内力远远低于设计值、存在巨大浪费,而另一方面又有相当多的基坑施工发生事故、造成很大损失,其主要原因还是对于支护结构与土体之间的相互作用问题的认识存在不足。此外,很不规则的基坑形状对土压力分布的影响也没有引起足够的重视。

(6) 计算技术的研究

计算技术的应用为复杂的土工问题进行数值计算或模拟试验提供了新途径,它将从当前以洞察内涵为主的计算,发展为以数值预估为主;从当前以检验设计施工方案为主,发展为优化和提供设计施工方案为主。人工智能在优化方案中的应用,近年来虽有不少应用和进展,但尚有待做进一步的提升。在软土筑堤、深基坑开挖、边坡变形、地下工程掘进等方面的信息化施工,需要做进一步的完善和提高。

1.3 土力学及岩土工程学会及重要刊物简介

1.3.1 土力学及岩土工程学会简介

1936 年,Arthur Casagrande 鉴于当时土工方面研究和实践的进展情况,向 Terzaghi 提出了召开一次会议来进行总结的建议,这次会议 International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering(ISSMFE)后来被称为国际土力学与基础工程学会第一届会议;有 21 个国家的近 200 名代表出席了此次会议。会议议题涵盖有效应力、抗剪强度、圆锥贯入试验、固结问题、离心机试验、弹性理论与应力分布、预压沉降控制、膨胀性黏土、冰冻作用、地震与土的液化、土压力下的拱效应等领域。

经第二次世界大战短暂中断之后,1948 年,国际土力学与基础工程学会第二次会议在荷兰鹿特丹举行,约 600 人参加了会议。之后,ISSMFE 会议约每四年在世界不同地方举办

一次。

1997 年,ISSMFE 更名为 International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering(国际土力学及岩土工程学会,ISSMGE),以反映其真实的研究范围。这些国际会议为岩土工程界的新进展和正在进行的研究提供了良好的信息平台。表 1-1 是 ISSMFE/ISSMGE 会议举行的地点和时间,表 1-2 是各次会议主席列表,表 1-3 为 ISSMGE 部分技术委员会的名称。

表 1-1 ISSMFE(1936~1997 年)和 ISSMGE(1997 年至今)的会议详情

会议	地点	年份
I	美国波士顿,哈佛大学	1936
II	荷兰鹿特丹	1948
III	瑞士苏黎世	1953
IV	英国伦敦	1957
V	法国巴黎	1961
VI	加拿大蒙特利尔	1965
VII	墨西哥墨西哥城	1969
VIII	苏联莫斯科	1973
IX	日本东京	1977
X	瑞典斯德哥尔摩	1981
XI	美国旧金山	1985
XII	巴西里约热内卢	1989
XIII	印度新德里	1994
XIV	德国汉堡	1997
XV	土耳其伊斯坦布尔	2001
XVI	日本大阪	2005
XVII	埃及亚历山大	2009
XVIII	法国巴黎	2013

表 1-2 ISSMFE(1936~1997 年)和 ISSMGE(1997 年至今)主席

时间/年	主席
1936~1957	K. Terzaghi(美国)
1957~1961	A. W. Skempton(英国)
1961~1965	A. Casagrande(美国)
1965~1969	L. Bjerrum(挪威)
1969~1973	R. B. Peck(美国)
1973~1977	J. Kerisel(法国)
1977~1981	M. Fukuoka(日本)

续表 1-2

时间/年	主席
1981~1985	V. F. B. deMell(巴西)
1985~1989	B. B. Brams(新加坡)
1989~1994	N. R. Morgenstern(加拿大)
1994~1997	M. Jamiolkowski(意大利)
1997~2001	K. Ishihara(日本)
2001~2005	W. F. Van Impe(比利时)
2005~2009	P. S. Sêcoe Pinto(葡萄牙)
2009~2013	Jean-Louis Briaud(法国)

表 1-3 1997~2001 年 ISSMGE 技术委员会

技术委员会代码	技术委员会名称
TC-1	Instrumentation for Geotechnical Monitoring
TC-2	Centrifuge Testing
TC-3	Geotechnics of Pavements and Rail Tracks
TC-4	Earthquake Geotechnical Engineering
TC-5	Environmental Geotechnics
TC-6	Unsaturated Soils
TC-7	Tailing Dams
TC-8	Frost
TC-9	Geosynthetics and Earth Reinforcement
TC-10	Geophysical Site Characterization
TC-11	Landslides
TC-12	Validation of Computer Simulation
TC-14	Offshore Geotechnical Engineering
TC-15	Peat and Organic Soils
TC-16	Ground Property Characterization from In-situ Testing
TC-17	Ground Improvement
TC-18	Pile Foundations
TC-19	Preservation of Historic Sites
TC-20	Professional Practice
TC-22	Indurated Soils and Soft Rocks
TC-23	Limit State Design Geotechnical Engineering
TC-24	Soil Sampling, Evaluation and Interpretation
TC-25	Tropical and Residual Soils
TC-26	Calcareous Sediments
TC-28	Underground Construction in Soft Ground

续表 1-3

技术委员会代码	技术委员会名称
TC-29	Stress-Strain Testing of Geomaterials in the Laboratory
TC-30	Coastal Geotechnical Engineering
TC-31	Education in Geotechnical Engineering
TC-32	Risk Assessment and Management
TC-33	Scour of Foundations
TC-34	Deformation of Earth Materials

由表 1-3 可知:土力学及岩土工程研究的领域非常广泛,其研究方向涉及与土有关的各个领域,是土木工程专业设置的分支之一,因此,成千上万的土木工程师宣称岩土工程专业是他们的首选专业。

从 1958 年至 1999 年,中国土木工程学会已召开了八次全国土力学及基础工程学术会议,并成立了土力学及基础工程学会。第八届全国会议改名为全国土力学及岩土工程学术会议,每四年一届。最近的一次会议为第十一届全国土力学及岩土工程学术会议,于 2011 年 8 月在兰州举行,来自高校、设计单位、施工单位的 1 200 多人参加了会议,国际土力学及岩土工程学会(ISSMGE)主席 Jean-Louis Briaud 受邀出席了会议并作了学术报告,香港、新加坡、日本、法国、英国等地也有代表参会。会议交流包括:地基处理、浅基础与桩基础、土工测试、深基坑与地下工程、特殊土与边坡、土的工程性质、环境土工与土工合成材料、土动力学与土工抗震、大坝工程中的土力学和岩土工程等。

1.3.2 土力学及岩土工程重要刊物简介

下面对在土力学及岩土工程界有重要影响的国内外 10 个期刊做简要介绍,旨在使学生在 学习过程中根据 需要和兴趣查阅有关资料。

(1) *Geotechnique*

该刊于 1948 年创刊,刊登国际学术组织在岩土工程领域的研究精华,是世界一流的 ICE(*The Institution of Civil Engineers*)岩土工程杂志。该刊刊登经严格验证的、当前的、创新性和权威的研究及实践文章,涉及土和岩石力学、工程地质和环境岩土工程领域,涵盖土壤和岩石力学、工程地质学、基础工程、土工用织物、土质工程领域的理论与实践研究论文、技术札记和专题文章。该刊具有英文版和法文版,每年发刊 10 期(2 月~6 月,8 月~12 月),每期只刊登数篇文章。

(2) *Canadian Geotechnical Journal*

该刊始于 1963 年,为月刊,以刊登岩土工程、环境岩土工程及应用科学新进展的有关文章、实录和讨论为特色。文章的主题涵盖土与岩石力学、材料特性和基本性质、场地评价、基础、巷道、隧道、大坝和堤坝、坡地、山体滑坡、地质和岩石工程、地基处理、水文地质和污染物水文地质、地球化学、废弃物处理、土工合成材料、近海工程、冰川、冻土、风险评估和可靠性应用以及物理实验与数值模拟等。

(3) *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*

该刊源于 *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* (1956~1973 年)、