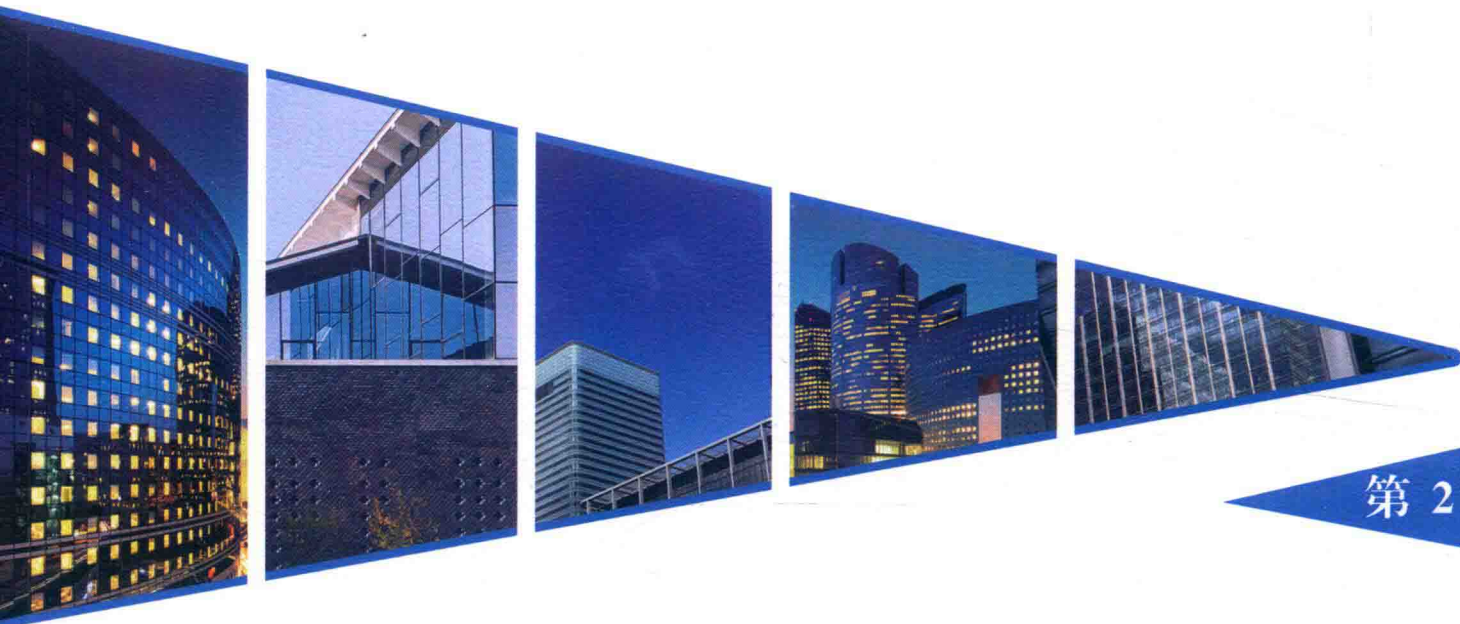




“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校土建类专业“互联网+”创新规划教材



第2版

土力学

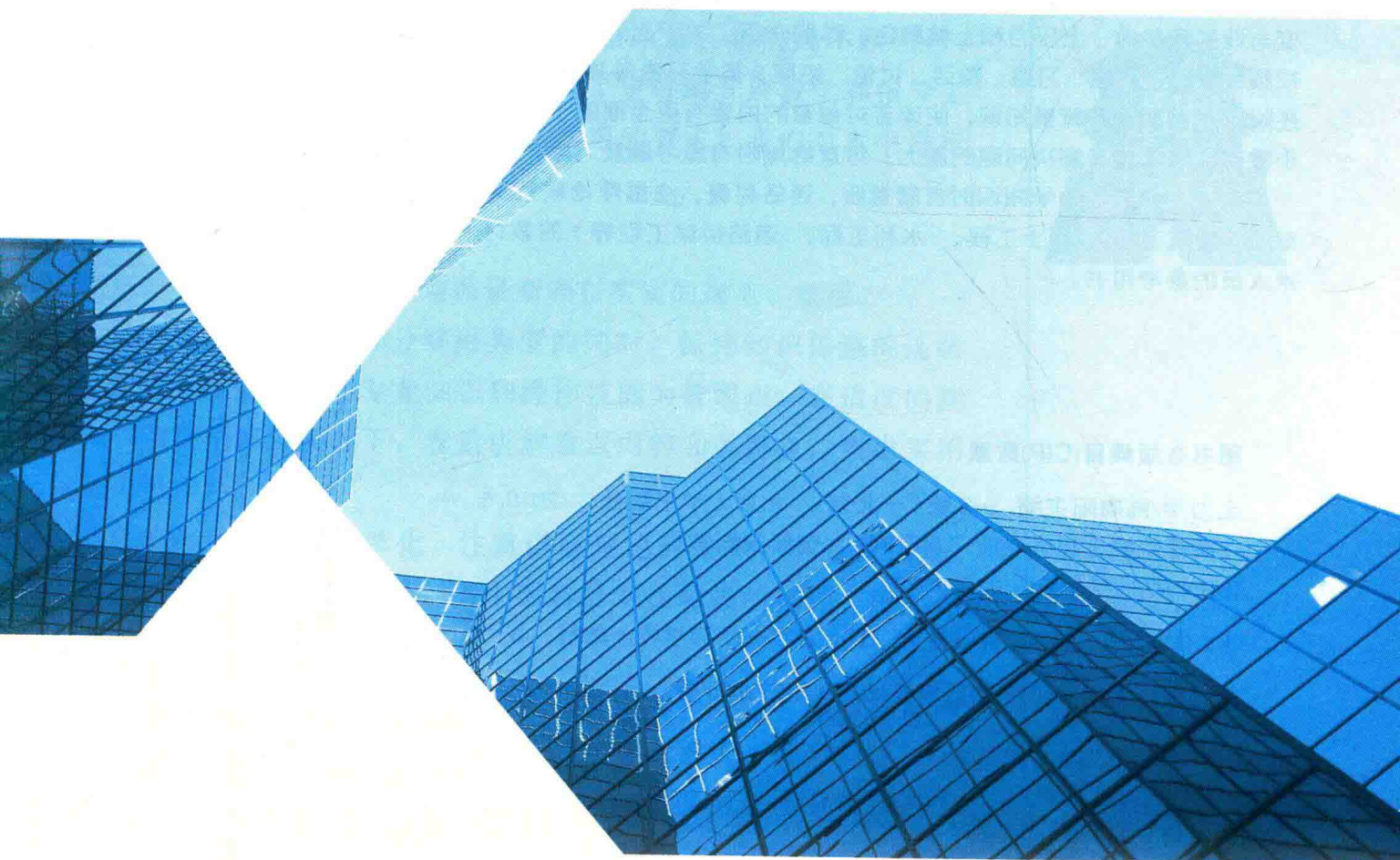
主编◎高向阳

- 20个动画展现受力、变形、破坏详细过程
- 24个视频演示试验操作步骤及注意事项
- 14个模型模拟重要理论及抽象知识点
- 62个图文链接拓展内容及关联知识点



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校土建类专业“互联网+”创新规划教材



土力学(第2版)

主 编 高向阳
副主编 杨艳娟 翟聚云



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书内容包括土的物理性质及工程分类、土的应力、土的压缩变形、土的渗透性与固结、土的抗剪强度与地基承载力、土压力和土坡稳定,详细介绍了关于土的基本知识,包含约120个二维码,涵盖动画、视频、案例、答疑、习题、趣话、讨论、拓展8类学习资料并提供了丰富的工程实例图片。本书每章前后还附有导入案例和背景知识,使读者对每章的内容有更全面的了解;每章均附有大量的例题,详细的解题步骤可以培养读者解决问题的能力;每章结尾附有思考题及习题,可供学生自修时使用。

本书在介绍土力学知识时言简意赅,通俗易懂,注重理论联系实际。本书可作为高等院校土木工程专业(建筑工程、岩土工程、水利工程、道路桥梁工程等)的教材,也可作为相关专业师生和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/高向阳主编. —2版. —北京: 北京大学出版社, 2018. 1

(高等院校土建类专业“互联网+”创新规划教材)

ISBN 978-7-301-28977-8

I. ①土… II. ①高… 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(2017)第 299995 号

书 名 土力学(第2版)

TU LIXUE

著作责任者 高向阳 主编

策划编辑 卢东 吴迪

责任编辑 刘 翥

数字编辑 贾新越

标准书号 ISBN 978-7-301-28977-8

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印 刷 者 北京大学印刷厂

经 销 者 新华书店

889 毫米×1194 毫米 16 开本 15.75 印张 504 千字

2010 年 7 月第 1 版

2018 年 1 月第 2 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价 45.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

《土力学》自2010年出版以来,经有关院校教学和工程技术人员使用,反映良好。随着近年来国家的新政策、新法规不断出台,一些新的规范、规程陆续颁布实施,为了更好地开展教学和指导工程实际,适应大学生和工程技术人员学习的要求,我们对本书进行了修订。

这次修订主要做了以下工作。

(1) 各章节内容的调整遵循最新颁布实施的规范、规程。

(2) 竭力做到理论部分够用为度的同时,保持知识体系的连续性,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解重点内容和关键点,突出实用性和可操作性。

(3) 将理论讲解简单化,注重讲解理论的来源、出处及用处,不进行过多的、烦琐的推导。书中附有针对性较强的例题、思考题和习题,习题设计具有启发性。

(4) 以“互联网+”思维对教材进行了升级,也是这次修订的核心。本书针对课程常见难点、重点等方面设置了二维码,通过手机扫描二维码,即可读取相对应的内容(包括受力动态分析图、变形破坏视频、案例介绍等),极大地方便了学生的理解学习。

全书由徐州工程学院高向阳修订并担任主编,黑龙江科技大学杨艳娟和河南城建学院翟聚云担任副主编。

由于编者的学识有限,能否达到预期的目标尚无把握,恳切希望广大读者和土木、教育界同人对书中谬误之处予以指正。

在本书的出版工作中,得到了北京大学出版社的大力协助,在此表示衷心感谢!

编者

2017年8月



【资源索引】

目 录

第 0 章 绪论	1	小结	69
0.1 土力学的重要性及其发展概况	2	思考题及习题	69
0.2 土力学的学科特点	4	第 2 章 土的应力	71
0.3 与土有关的工程问题	6	2.1 土的自重应力	73
0.3.1 变形问题	6	2.1.1 均质土的自重应力	73
0.3.2 强度问题	7	2.1.2 成层土的自重应力	73
0.3.3 渗透问题	7	2.1.3 地下水位以下土中自重应力	73
0.4 土力学学习的重点内容、基本要求和		2.1.4 水平向自重应力计算	74
学习方法	8	2.2 基底压力计算	75
0.4.1 学习的重点内容	8	2.2.1 基底压力的分布	75
0.4.2 学习的基本要求	9	2.2.2 基底压力的简化计算	76
0.4.3 学习方法	9	2.2.3 基底附加压力	78
第 1 章 土的物理性质及工程分类	11	2.3 土的有效应力原理	79
1.1 土的形成、组成、结构和构造	13	2.3.1 土的有效应力原理	79
1.1.1 土的形成	13	2.3.2 毛细水上升时土中有效应力计算	80
1.1.2 土的组成	18	2.3.3 渗流时土中孔隙应力与	
1.1.3 土的结构和构造	33	有效应力计算	81
1.2 土的三相比例指标	36	2.4 土中附加应力	82
1.2.1 土的质量特征指标	37	2.4.1 竖向集中力下的地基附加应力	82
1.2.2 土的含水特征指标	39	2.4.2 矩形荷载和圆形荷载下的地基	
1.2.3 土的孔隙特征指标	40	附加应力	85
1.2.4 基本物理性质指标间的相互关系	42	2.4.3 线荷载和条形荷载下的地基	
1.3 土的水理性质	44	附加应力	91
1.3.1 黏性土的稠度和塑性	44	2.4.4 非均质和各向异性地基中的	
1.3.2 黏性土的胀缩性及崩解性	50	附加应力	95
1.4 土的击实性	52	背景知识	97
1.4.1 土的击实性及其本质	52	小结	98
1.4.2 影响土的击实性的主要因素	54	思考题及习题	98
1.5 土的工程分类和特殊土的工程地质特征	55	第 3 章 土的压缩变形	100
1.5.1 土的工程地质分类及物理状态	57	3.1 土的压缩性及其指标	101
1.5.2 特殊土的工程地质特性	64	3.1.1 概述	101
背景知识	68	3.1.2 压缩曲线和压缩指标	101
		3.1.3 土的回弹曲线和再压缩曲线	104

3.1.4	现场载荷试验及变形模量	104	4.6.1	地基沉降与时间关系的理论 算法	155
3.1.5	弹性模量	106	4.6.2	地基沉降与时间关系的 经验估算法	157
3.1.6	压缩性指标间的关系	106	背景知识		158
3.2	基础最终沉降计算	107	小结		159
3.2.1	地基沉降的弹性力学公式	107	思考题及习题		160
3.2.2	单向压缩分层总和法	110	第5章 土的抗剪强度与地基承载力		161
3.2.3	规范法计算地基沉降	113	5.1	概述	162
3.2.4	考虑不同变形阶段的沉降计算	119	5.2	土的抗剪强度理论及测定方法	163
3.3	应力历史对地基变形的影响	120	5.3	土的极限平衡理论	165
3.3.1	地层应力历史	120	5.4	不同固结和排水条件下土的抗剪强度	168
3.3.2	前期固结压力	120	5.4.1	直接剪切试验	168
3.3.3	现场压缩曲线	121	5.4.2	三轴压缩试验	169
3.3.4	考虑应力历史的地基沉降计算	122	5.4.3	无侧限抗压强度试验	170
3.4	建筑物沉降观测与地基容许变形值	124	5.4.4	十字板剪切试验	171
3.4.1	建筑物沉降观测	124	5.4.5	强度试验方法与指标的选用	172
3.4.2	地基变形验算	125	5.4.6	应力路径的概念	172
3.4.3	地基变形特征	126	5.5	土的动力特性	174
3.4.4	地基容许变形值	127	5.5.1	土在动荷载作用下的变形和 强度性质	174
背景知识		128	5.5.2	砂土和粉土的振动液化	177
小结		129	5.6	浅基础地基的临塑荷载和塑性荷载	181
思考题及习题		129	5.7	地基破坏模式与极限承载力	184
第4章 土的渗透性与固结		131	5.7.1	地基破坏模式	184
4.1	概述	132	5.7.2	极限承载力计算	185
4.2	土的渗透规律	133	背景知识		192
4.2.1	渗流模型	133	小结		193
4.2.2	土的层流渗透定律	134	思考题及习题		194
4.2.3	土的渗透系数	135	第6章 土压力和土坡稳定		195
4.2.4	影响土的渗透性的因素	138	6.1	挡土墙及土压力的类型	197
4.3	二维渗流与流网	140	6.1.1	挡土结构类型	197
4.3.1	二维渗流基本方程	140	6.1.2	墙体位移与土压力类型	198
4.3.2	流网的性质和应用	142	6.1.3	影响土压力的因素	199
4.4	渗透力及渗透破坏	144	6.1.4	研究土压力的目的	200
4.4.1	渗透力	144	6.2	静止土压力	200
4.4.2	临界水头梯度	145	6.2.1	产生条件	200
4.4.3	渗透变形(或渗透破坏)	146	6.2.2	计算公式	200
4.5	太沙基一维固结理论	148	6.2.3	静止土压力的应用	202
4.5.1	固结与固结过程	148	6.3	朗肯土压力理论	202
4.5.2	固结理论解	149			
4.5.3	固结度	152			
4.6	地基沉降与时间的关系	155			

6.3.1	基本原理	202	6.6.1	墙后回填土的选择	219
6.3.2	水平填土面的朗肯土压力计算	203	6.6.2	回填土指标的选择	220
6.3.3	特殊条件下的土压力	208	6.6.3	墙后排水措施	220
6.4	库仑土压力理论	210	6.7	土坡稳定分析	220
6.4.1	方法要点	210	6.7.1	概述	221
6.4.2	数解法	211	6.7.2	无黏性土坡稳定性分析	222
6.4.3	黏性土应用库仑土压力公式	214	6.7.3	黏性土坡稳定性分析	224
6.4.4	库仑理论与朗肯理论的比较	215	背景知识		240
6.5	几种常见土压力计算问题	216	小结		242
6.5.1	成土层的压力	216	思考题及习题		242
6.5.2	墙后填土中有地下水位	217	参考文献		244
6.5.3	填土表面有荷载作用	217			
6.6	填土的处理	219			



第0章

绪论

本书包括土质学和土力学两部分。

1. 土质学

土质学是一门属于地质学范畴的科学，是从工程地质观点(即从工程建筑物与自然地质体相互作用、相互制约角度出发的观点)去研究土，它是地质学观点和力学观点的有机结合，其理论性和实践性很强。土质学研究的内容主要包括以下几个方面。

- (1) 土的工程地质性质，包括物理性质、水理性质和力学性质，如干密度、干湿状况、孔隙特征、与水相互作用表现出的性质及在外力作用下表现出的变形和强度特征。
- (2) 土的工程地质性质的形成和分布规律；土的物质组成、结构构造对土的工程地质性质的影响。
- (3) 土的工程地质性质指标的测试方法和测试技术。
- (4) 土的工程地质分类。
- (5) 土的工程地质性质在自然或人为因素作用下的变化趋势和变化规律，预测这种变化对各种建筑物的危害。
- (6) 特殊土的工程地质特征。

2. 土力学

土力学属于工程力学范畴的科学，是运用力学原理，同时考虑到土作为分散系特征来求得量的关系，其力学计算模型必须建立在现场勘察和实测土的计算参数(即工程地质性质指标)的基础上，因此土力学也是一门理论性和实践性很强的学科。它研究的内容主要包括以下几个方面。

- (1) 土的应力与应变的关系。
- (2) 土的强度及土的变形和时间的关系。
- (3) 土在外荷作用下的稳定性计算。

土质学与土力学虽各属不同学科范畴，但彼此间关系十分密切。随着科学的不断发展，这两门学科的相互结合已成为必然的发展趋势。土质学某些问题的研究与土力学的研究正在互相渗透。土质学需吸取土力学中运用数学、力学等的最新理论去研究土的工程地质性质的本质；土力学将吸取土质学从成因及微观结构等认识土的性质本质的研究成果去研究与工程建筑有关的土的应力、应变、强度和稳定性等力学问题。土力学中常引用土质学的研究结果，以解释土的宏观工程性质，对理解土力学内容很有帮助。

本课程把土质学与土力学结合在一起,统称为土力学,显示了学科发展的完整性和系统性,更好地解决实际工程中有关土的问题。

0.1 土力学的重要性及其发展概况

土力学是土木工程的一门基础学科,其研究对象是地球表面地层中的土体,目的是解决工程建设中有关土的工程技术问题,它是研究土体的工程地质特性及其在工程活动影响下的应力、变形、强度和稳定性等力学问题的学科,是地基基础设计的理论依据。

它的主要内容包括渗透理论、变形理论和强度理论。

土的渗透理论揭示了水在土中的渗流速度与水力坡度的关系,其最主要的实际应用之一就是计算建筑物沉降和时间的关系。土的变形理论揭示了土中压力与孔隙比变化的关系,这对预估建筑的沉降具有重要意义。土的强度理论揭示了土中正应力与土的抗剪强度的关系,这对验算建筑物地基的承载力和稳定性等问题具有重要意义,也是计算作用在挡土墙上的土压力时所必须知道的关系。

从土力学研究的对象——土的作用来看,无论是作为土木建筑物本身的构筑材料,还是作为支承建筑物荷载的地基或作为建筑物周围的赋存介质,都具有十分重要的作用。土的形成经历了漫长的地质历史过程,它是地质作用的产物,是一种矿物集合体,是由多种物质组成的多相分散系统,其主要特征是分散性、复杂性和易变性,极易受外界环境(温度、湿度等)的变化而发生变化。由于土的形成过程不同,加上自然环境的不同,使土的性质有着极大的差异,而人类工程活动又促使土的性质发生变异。因此在进行工程建设时,必须密切结合土的实际性质进行设计和施工,预测因土性质的变异所带来的危害,并加以改良,使其不致影响工程的经济合理性和安全使用。

土是自然历史的产物,地基中土成分都不均匀,即使是同一层土,其物理力学性质也存在不均匀性。

而且同一类土,分布地区不同,其工程性质也有差异。这就要求工程师根据工程具体情况,应用土力学知识处理好地基基础问题。所有的建(构)筑物,包括房屋、桥梁、道路、堤坝等,均坐落在地球表面地层上。除少数直接坐落在岩层上外,大部分坐落在土层上。在上述荷载作用下,地层土体性状对建(构)筑物的安全及正常使用有直接影响。不仅要求地基土体保持稳定,还要求地基土体的变形在允许的范围内。

【古代工程中的土力学原理】

对国内外土木工程事故原因统计分析表明,因地基原因造成的土木工程事故所占比例较高。这里地基原因主要指在荷载作用下地基失稳、地基沉降或沉降差过大等,这些都与土的强度特性、变形特性和渗透特性有关。

另外,地基基础部分在土木工程建设中所占投资比例不少,以软土地基上多层建筑为例,地基基础部分投资占总投资的25%~40%,甚至更多,而且该部分节约潜力大。应用土力学知识搞好地基基础设计和施工显得更加重要。

- ◆ 1773 Coulomb(后Mohr发展): 摩尔-库仑强度理论 → 有关土力学的第一个理论
- ◆ 1776 Coulomb: 库仑土压力理论
- ◆ 1856 Darcy: 达西渗流定律
- ◆ 1857 Rankine: 朗肯土压力理论
- ◆ 1920 Prandtl: 普朗特极限力承载公式
- ◆ 1921~1923 Terzaghi: 有效应力原理及固结理论
- ◆ 1925 Terzaghi: 出版《土力学》
→ 土力学成为一门独立学科的标志
- ◆ 1936 第一届国际土力学及其基础工程会议
- ◆ 20世纪60年代后现代土力学

萌芽时期
↓
古典时期
↓
现代

以土体作为研究对象的土力学,在土木工程学科中具有重要的地位。土木工程师必须掌握土力学的理论知识和实际技能,才能正确解决土木工程中的地基基础技术问题。与其他经验科学一样,土力学是人类在工程实践的成功与失败中,不断总结与积累经验而逐步发展起来的一门学科,目前已形成了系统的理论体系。土力学的发展可以划分为3个阶段:1925年以前,1925—1960年,1960年至今(图0.1)。

有关土体运动和作用力的第一个数学理论,是由法国科学家库仑(C. A. Coulomb, 1773年)根据试验建立的,提出的库仑强度理论及随后发展的库仑土压力理论,是有文字记载的最早

图 0.1 土力学发展的历史

的理论贡献。两百多年来,该理论在挡土墙的设计中证明是实用而可靠的。达西(Darcy, 1856年)研究了砂土的渗透性,发展了渗透公式,对以后研究渗流和固结理论打下了理论基础。朗肯(Rankine, 1856年)研究的半无限体的极限平衡,有关粒状土中的应力理论奠定了挡土墙上土压力分布的基础。布辛奈斯克(J. Boussinesq, 1885年)求得了弹性半空间在竖向集中力作用下应力和变形力的解答,形成有关线性弹性理论的公式,为计算地基变形建立了理论基础,至今还用于计算土体中的应力。

土力学发展史上重要人物如图 0.2 所示。



图 0.2 土力学发展史上重要人物

到 20 世纪初叶,土力学取得长足的进展。为了解决地基破坏和土坡坍塌等课题,学术界在瑞典提出了滑裂圆法,之后费伦纽斯(Fellenius, 1926年)在处理铁路滑坡问题时建立了极限平衡法,提出的理论至今还在继续用于土坡稳定分析。太沙基(Terzaghi, 1925年)提供了第一本内容广博的教科书,其中用于计算沉降的方法多次被证明是有效的。太沙基阐明了各种建筑课题中的土工试验和力学计算之间的关系,他所提出的有效应力理论、一维固结理论以及一系列的研究成果把土力学推进到一个新的高度,使土力学成为一门系统的学科。他在 1936 年主持成立了国际土力学基础工程学会,并举行了第一次国际学术会议,推动了这门学科在世界范围的发展。因此,太沙基被认为是一门独立学科——土力学的奠基人。

继太沙基后,卡萨格兰德(Casagrande)、泰勒(Taylor)、斯肯普顿(Skempton)以及世界各国许多学者对土的抗剪强度、土的变形、土的渗透性、土的应力-应变关系和破坏机理进行了大量研究工作,并逐渐将土力学的基本理论,普遍应用于解决各种不同条件下的工程问题。

直到 20 世纪五六十年代,计算机技术、计算技术以及现代测试技术的发展大大促进了土力学的发展。土力学的研究基本上是对原有理论与试验的充实与完善,具体表现在:基本理论方面如土的本构关系的研究,建立了各种应力-应变-时间的非线性数学模型,以计算土的弹塑性变形和应力、应变随时间变化的流变过程,对土的抗剪强度进行深入研究,了解强度指标的变化规律;在计算方法方面,广泛采用计算机,把数值计算方法,如差分法、有限元法等直接用到地基和土工的计算中,使以往无法解决的复杂边界和初始条件以及不均匀土层等问题都能用计算方法来解决;在室内试验方面,改进了试验设备,广泛用计算机程序控制试验过程,并自动采集和加工试验数据;在原位测试方面,进一步改进各种原位测试仪器,如静力触探仪、十字板剪力仪、旁压仪等。

土的基本特性、有效应力原理、固结理论、变形理论、土动力特性、流变学在土力学中的进一步研

究、完善与应用是这一阶段研究的中心问题。在这一阶段中,我国的陈宗基、黄文熙在土力学方面也有很好的研究成果。

这些古典理论对土力学的发展起了极大的推动作用,至今仍不失其理论和实用价值。

古典土力学可以归结为一个原理(有效应力原理)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)]。前一理论随着1956年Biot动力方程的建立而划上一个完满的句号;后一理论则于20世纪60年代初完成了基本的理论框架。

但是,真实的土体决不是理想弹性体,也不是理想刚塑性体。可以考虑土体两个基本特性(压硬性和剪胀性)的现代土力学理论在20世纪50年代初已开始酝酿。一方面,随着认识的深化,人们已越来越不满足于理想弹性介质和理想刚塑性介质这样简单化的描述,另一方面,现代电子计算技术的发展为采用复杂的模型提供了手段,从而为现代土力学的建立创造了客观条件,而Roscoe的工作则直接导致现代土力学的诞生。

目前的研究着重于新的非线性应力-应变关系,即应力-应变模型的建立,并以此为基础建立新的理论。许多学者提出各种应力-应变模型,如J. M. Duncan与C. Y. Chang提出了著名的Duncan-Chang模型、剑桥模型,以及我国南京水利科学研究院模型、清华模型等。这些模型都是对土的非线性应力-应变规律提出的数学描述。通过进一步的研究,一定会对土的应力-应变关系提出更符合土的实际情况的模型,从而摆脱古典弹性理论,建立新的近现代土力学理论。

现代土力学可以归结为“一个模型”“三个理论”和“四个分支”。

“一个模型”即本构模型,特别是指结构性模型。这是因为迄今为止所提出的本构模型都是从重塑土的变形特点出发的,并把颗粒之间的滑移看作塑性变形的根源,而包括砂土在内的天然土类都具有内部结构,变形过程必然伴随着结构的破坏和改变。因此发展新一代的结构性模型是现代土力学的核心问题。

“三个理论”即一个变形理论和两个破坏理论。非饱和土固结理论,这是饱和土固结理论的推广,必须建立在合理的本构模型的基础上,并用于分析黄土、膨胀土和冻土的变形问题。液化破坏理论,即描述由于孔隙压力升高而导致土体破坏的理论,其核心是要建立一个能反映复杂应力路线下变形规律的本构模型,研究对象既可以是饱和砂土,也可以是饱和黏土。渐进破坏理论,即描述荷载增加情况下土体真实破坏过程的理论,它的建立可能要运用损伤力学、细观力学和分叉理论等现代力学分支,最后要完成对应变软化问题和剪切带形成过程的数学模拟。

“四个分支”即理论土力学、计算土力学、实验土力学和应用土力学,后者也可以称为土工学。理论土力学包括非饱和土固结理论、液化破坏理论、渐进破坏理论,计算土力学包括确定性分析、非确定性分析、反分析,实验土力学包括土样试验、模拟试验、离心模拟试验、原位测试,应用土力学包括原位测试、地基处理、专家系统。

如果说有效应力原理是古典土力学的核心,曾经发挥过巨大作用,那么现代土力学的核心问题必定是本构模型。在某种意义上,古典土力学只能称为弹性土力学,它的大部分成果只是借用弹性力学中已有的解答,而真正的土力学必须建立在符合土本身特性的本构模型的基础上,因此,一个优秀的土工工程师必须对土的本构模型有基本的了解,掌握常用的本构模型的适用性与局限性,并善于选用适应实际工程特点的模式。

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。

0.2 土力学的学科特点

土力学就是研究土体的工程地质特性及其在工程活动影响下的应力、变形、强度和稳定性的学科,它是土木工程的一门基础学科。

土是由不同的岩石在物理的、化学的、生物的风化作用下,又经流水、冰川、风力等搬运、沉积作

用而形成的自然历史产物。土的组成及其工程性质与母岩成分、风化作用性质和搬运沉积的环境条件有极其密切的关系。

土是多相体,由固相、液相和气相3部分组成。只有固相和液相两部分的称为饱和土。土中水形态也很复杂,有自由水、弱结合水、强结合水、结晶水等形态。土的种类很多,按沉积条件可分为残积土、坡积土、洪积土、外积土、湖积土、海积土和风积土等。按土体中的有机质含量可分为无机土、有机土、泥炭质土和泥炭等。按颗粒级配或塑性指数可分为碎石土、砂土、粉土和黏性土等。根据土的工程性质的特殊性又可分为软黏土、杂填土、冲填土、素填土、黄土、红黏土、膨胀土、多年冻土、盐渍土、垃圾土、污染土等。

土是一种在形成期间经受过一系列复杂过程的天然材料,因而大多不是均质的和各向同性的。在任一地点,一般都会存在若干由完全不同类型的材料组成的地层,甚至在每一层土里,土的性质也会有一定程度的变化。土的工程性质的指标值变化幅度很大。强度和刚度的变化范围至少在2个数量级以上,而渗透性的变化范围超过10个数量级。所以土的鉴别、分类和试验是非常重要的。

经典土力学的学科体系是建立在海相黏性土和石英砂的室内试验基础上的。由此建立的土力学原理具有一般性,也具有一定的特殊性。学习土力学应该了解这一点,土类不同,土的工程性质有时差异很大。特别是一些称为特殊土,其工程性质有较大的特殊性,如湿陷性土、膨胀土、盐渍土等。应用土力学基础知识去研究其他土的工程性质和处理与其有关的工程问题时,一定要重视其特殊性。

最近数十年,土力学得到了迅速发展,提出了大量的论文成果。从事实际工作的土木工程师在大量技术文献面前几乎应接不暇。对于某一特定的土力学课题往往有许多解决方法可供选择,但是对其可行性和可靠性不易理解。

基于下述3个原因,土力学的预估是有缺点的。

- (1) 在一些情况下土的构造和组成大多是未知的。耗费昂贵的地基勘测只能为若干点的情况提供解释,人们只能借助于估计而完成一幅完整的分布图。
- (2) 在采取土样和试验时,不能完全避免扰动和不均匀性。
- (3) 研究对象是非常复杂的。在力学计算中包含着简化的、在数学上往往不易完全理解的假设,忽略一些次要因素。

这些误差来源常常不能明确地划分。任何理论都不具有永恒的持久性而一再被迫对新的试验成果做出改进。何况迄今为止土力学的假说还没有组成为公理体系。

有学者给出了一个框架,在这个框架中提出了“土力学三角形”的概念(图0.3)。

上述土力学三角形关系中有3方面的内容:土的柱状图(它是通过场地勘察得到的)、土的性质(它是通过室内外试验和现场监测而了解到的)、应用力学(它包括抽象和理想化后建立模型,然后进行分析)。

这3方面内容是通过经验(这里所谓的经验是经过鉴别、筛选后具有共性的经验)连接在一起的,它们应被包括在岩土工程的全部课程中,并且还应该使学生了解到土力学与岩土工程是一门很不完善的学科,是一门半经验、半科学的学

科。在这里,经验主义是不可避免的,并且还是土力学的基本部分,当然,也应防止把经验表达式当作或假扮成基本的自然规律。岩土工程仅依赖于一些现场勘察的数据和某些规范是过于自信和危险的,它必须建立在研究过去类似的工程和典型案例以及学习已有经验的基础上,且要亲自检验土的性质并到现场观察,以获得直观的第一手资料。



【岩土材料的复杂性
与工程问题】

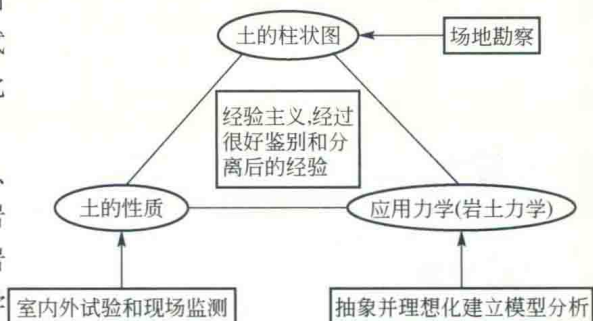


图0.3 土力学的三角关系

土力学的研究方法与其他工程学科基本类似。材料的性质,除了根据比较简单的试验确定外,还要用有关材料力学性质的物理模型来研究。这种模型一方面应该简单得可用来解决实际工程问题,另一方面又应该精确地反映土的复杂的实际性状。在这个简单性和精确性之间,究竟如何综合考虑,应随工作的重要性来定,因此当把理论用于实际的土时,都需要小心加以判断。

0.3 与土有关的工程问题

0.3.1 变形问题



【与土有关的工程问题】

1. 意大利比萨斜塔

举世闻名的意大利比萨斜塔就是一个典型实例(图 0.4),1590 年伽利略在此塔做了自由落体实验。比萨斜塔于 1173 年动工建筑;1178 年建筑至 4 层时,高约 29m,因倾斜停工;1272 年复工,经过 6 年,至 7 层时,高 48m,再停工;1360 年再复工,至 1370 年竣工,全塔共 8 层,塔高 56.7m。

因地基土层强度差,塔基的基础深度不够,再加上用大理石砌筑,塔身非常重,约 1.42 万 t,500 多年来以每年倾斜 1cm 的速度向南倾斜,斜度达到 8° ,塔顶离开垂直线的水平距离已达 5.27m。比萨斜塔的倾斜归因于它的地基不均匀沉降。其基础建立在有一半是软黏土一半是砂卵石的地基上,由于次固结作用产生倾斜。

【领导讲话中的“夯实基础”】

治理措施及结果:1838—1839 年挖环形基坑卸载;1933—1935 年基坑防水处理,基础环灌浆加固;1992 年 7 月,在比萨斜塔北侧的塔基下码放了数百吨重的铅块,并使用钢丝绳从比萨斜塔的腰部向北侧拽住,还抽走了比萨斜塔北侧的许多淤泥,并在塔基地下打入 10 根 50m 长的钢柱,纠偏校斜 43.8cm。除遇自然因素影响外,可确保 3 个世纪内不发生倒塌危险。

2. 上海工业展览馆

1954 年兴建的上海工业展览馆中央大厅(图 0.5),因地基约有 14m 厚的淤泥质软黏土,尽管采用了 7.27m 的箱形基础,建成后当年就下沉 600mm。1957 年 6 月展览馆中央大厅四角的沉降最大达 1465.5mm,最小沉降量为 1228mm。1957 年 7 月,经苏联专家及清华大学陈希哲教授、陈梁生教授的观察、分析,认为对裂缝修补后可以继续使用(均匀沉降)。

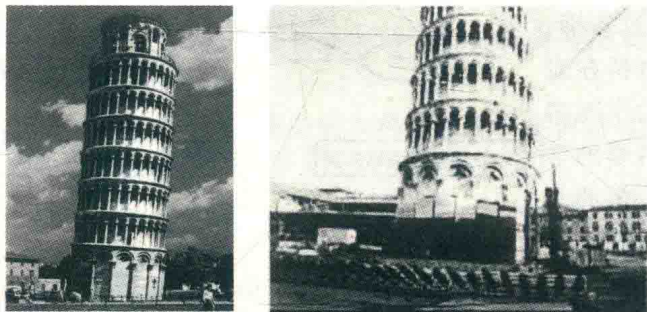


图 0.4 比萨斜塔全景及纠偏过程

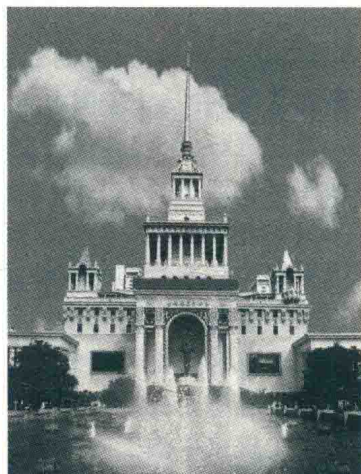
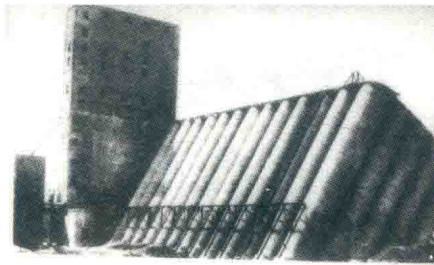


图 0.5 上海工业展览馆中央大厅

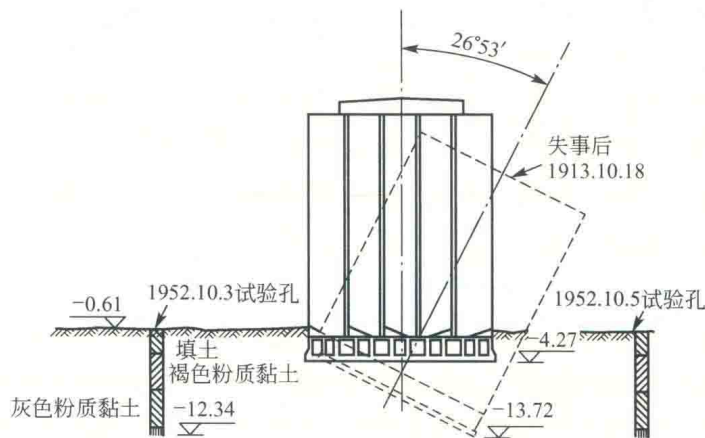
0.3.2 强度问题

加拿大特朗斯康谷仓严重倾倒，是地基整体滑动强度破坏的典型工程实例(图 0.6)。

1913 年建成的加拿大特朗斯康谷仓，谷仓自重 20000t。由于事前不了解基础下埋藏厚达 16m 的软黏土层，据邻近结构物基槽开挖取土试验结果，计算地基承载力应用到此谷仓。初次储存谷物时，就倒塌了，地基发生了强度破坏而整体滑动，建筑物失稳。1913 年 9 月开始装谷物，至 10 月 17 日共装入 3 万多吨谷物，此时发现 1h 内竖向沉降达 30.5cm，并在 24h 内结构物向西倾斜 $26^{\circ}53'$ ，谷仓西端下沉 7.32m，东端上抬 1.52m。谷仓倾倒，但上部钢混筒仓完好无损。1952 年经勘察试验与计算，地基实际承载力远小于谷仓破坏时发生的基底压力。因此，谷仓地基因超载发生强度破坏而滑动。



(a) 破坏现场



(b) 破坏后的基本数据

图 0.6 特朗斯康谷仓破坏情况

好在谷仓整体性强，谷仓完好无损，事后在主体结构下做了 70 多个支承在基岩上的混凝土墩，用了 388 个 500kN 的千斤顶，才将谷仓扶住，但其标高比原来降低了 4m。

0.3.3 渗透问题

1. Teton 坝(美国 Idaho)

Teton 坝高 90m、长 1000m，建于 1972—1975 年，1976 年 6 月失事。原因为地震引发的渗透破坏——水力劈裂(图 0.7)。损失：直接损失 8000 万美元，被起诉 5500 起共赔偿 2.5 亿美元，死亡 14 人，受灾 2.5 万人，60 万亩土地、32km 铁路被毁。



【地基承载力破坏】

1976年6月5日上午10:30左右,下游坝面有水渗出并带出泥土;11:00左右洞口不断扩大并向坝顶靠近,泥水流量增加;11:30洞口继续向上扩大,泥水冲蚀了坝基,主洞的上方又出现一渗水洞,流出的泥水开始冲击坝趾处的设施;11:50左右洞口扩大加速,泥水对坝基的冲蚀更加剧烈;11:57坝坡坍塌,泥水狂泻而下;12:00坍塌口加宽,洪水扫过下游谷底,附近所有设施被彻底摧毁。

2. 长江九江大堤

1998年长江全流域特大洪水时,万里长江堤防经受了严峻的考验,一些地方的大堤垮塌(图0.8),大堤地基发生严重管涌,洪水淹没了大片土地,人民生命财产遭受巨大的威胁。仅湖北省沿江段就查出4974处险情,其中重点险情540处中,有320处属地基险情;溃口性险情34处中,除3处是涵闸险情外,其余都是地基和堤身的险情。



图 0.7 Teton 坝破坏过程

图 0.8 1998年8月7日13时左右,长江九江段4号闸和5号闸之间决堤30m

0.4 土力学学习的重点内容、基本要求和学习方法

土力学与其他经验科学一样,起源于观测、试验和直观。土力学是人类在工程实践的成功与失败中,不断总结与积累经验而逐步发展起来的一门学科,目前已形成了系统的理论体系。但是土力学还是一门比较年轻的学科,再加上土的复杂性,所以对许多较复杂的情况需要做近似处理,因而应用土力学理论去解决实际问题时,常带有较多的条件性。

0.4.1 学习的重点内容

学习本课程时,每个章节都有重点需要掌握。

第1章土的物理性质及工程分类,是本课程的基础。对土力学中的专门术语要理解它们的物理意义;熟练掌握土的三项比例指标的换算,会判断土的物理状态,了解土的分类依据并准确定名。土的三相性是理解和掌握土的其他物理力学特性的基础。

第2章土的应力,是本课程的重点。要求掌握地基中自重应力和附加应力的计算,理解它们在土中的分布特性。

第3章土的压缩变形,也是重点之一。学会常用的沉降计算方法,包括分层总和法和规范公式法;了解地基容许变形值的概念和影响因素,以及防止有害沉降的措施。

第4章土的渗透性与固结,理解水在土中的渗透规律,掌握达西渗透定律,学会使用太沙基有效应力原理。

第5章土的抗剪强度与地基承载力，是重点之一。掌握土的抗剪强度测定的各种方法和工程应用，掌握土的极限平衡概念和条件；掌握3种界限荷载的物理意义和工程应用。

第6章土压力和土坡稳定，了解影响土压力的因素，掌握土压力的计算方法和工程应用；会对简单土坡进行稳定分析。

0.4.2 学习的基本要求

土力学的学习包括理论、试验和经验。

理论：掌握理论公式的意义和应用条件，明确理论的假定条件，掌握理论的适用范围。

试验：了解土的物理性质和力学性质的基本手段，重点掌握基本的土工试验技术，尽可能多动手操作，从实践中获取知识，积累经验；试验的目的不仅是让学生熟悉试验的整个操作过程以及如何获取相应的参数，更重要的是通过试验结果和理论分析的比较，加深对土力学理论认识和理解（尤其是对土力学不确定性的认识），知道土力学理论为什么不可能准确地预测土的工程性质和行为。

经验：在工程应用中是必不可少的，工程技术人员要不断从实践中总结经验，以能切合实际地解决工程实际问题。为什么在岩土工程中要强调工程经验和工程判断力的重要性呢？这是由岩土材料的表现所决定的。土与其他建筑材料不同，它是不均匀的三相体，其不确定性非常大。产生这种情况的根本原因在于它是长期自然风化与沉积的产物，分布很不均匀，难以像其他材料那样进行控制以保证获得其稳定的力学性质；仅采用空间场中几个点的样品得到的力学性质去预测整个空间场的性质，必然会产生不确定性；另外，由于取样的扰动，土的力学性质已经发生了变化，这也会带来很大的不确定性。由于这些不确定性的存在，土力学的计算结果只能是精度较差的大致的估计，而这些不确定性只有通过经验才能得知。因此，理论与现实的差距也只能通过经验来估计和判断。Terzaghi在《工程实用土力学》（1963年第二版）的序言中指出，土力学的理论只有在工程判断的指导下才能被有效地使用，除非已经具有这种判断能力，否则不能成功地应用土力学理论。

0.4.3 学习方法

学习本课程时，一般应注意如下学习方法。

(1) 注意根据本课程的特点，牢固而准确地掌握土的三相性、碎散性等基本概念。

(2) 注意土力学所引用的其他学科理论，如一般连续力学基本原理本身的基本假定和适用范围。分析土力学在利用这些理论解决土的力学问题时又新增了什么假定，以及这些新的假定与实际问题相符合的程度如何，从而能够应用这些基本概念和原理搞清楚土力学中的原理、定理和方法的来龙去脉，弄清研究问题的思路。

(3) 注意在土力学中土所具有的区别于其他材料的特性，应该了解土力学是通过什么方法发现的，以及用什么物理概念或公式去描述土区别于其他材料的特性。

(4) 注意综合利用土性知识和土力学理论解决地基实际问题。学习中即便是做练习题，也应该注意习题中约定的条件在实际工程中会具体怎样体现，改变这些条件可能导致哪些工程后果。

(5) 在学习土力学过程中，要善于转变对问题求解的思维方式。在土力学中，许多问题的解答都有必要的简化假定，因而必然带来一定的误差；对同一问题的求解，往往会因为假定不同，因而方法不同、结果不同。用习惯于高等数学求唯一解的思维方式往往不适于解决土的工程力学问题，要逐渐接受和掌握多种方法求解一个问题、对多种解答做综合评判的思维方式。

(6) 土力学问题除试验部分外，多是根据土的基本力学性质、应用数学及力学计算，得出最后使用结

果。学习这一部分时应避免陷于单纯的理论推导,而忽略了推导中引用的条件和假设,只有这样才能正确地将理论应用于工程实际。

(7) 重视土工试验方法。土力学计算和基础设计中所需的各种参数,必须通过室内及原位土工试验,掌握每种测试技术与现场的模拟相似性。

(8) 重视地区经验。土力学是一门实践性很强的学科,又由于土的复杂性,目前在解决地基基础问题时,还带有一定的经验。土力学中存在大量的经验公式,尤其在土体力学参数选择、地基基础的设计中,应该充分重视地区经验。只有通过土工试验,通过工程实例的分析,才能加深对土力学理论的认识,才能不断地提高处理地基基础的能力。

在本课程的学习中,必须自始至终抓住土的变形、强度和稳定性问题这一重要线索,并特别注意认识土的多样性和易变性等特点。学习土力学不仅要重视理论知识的学习,还要重视土工试验和工程实例的分析研究。只有通过土工试验和工程实例分析,才能逐步加深对土力学理论的认识,不断提高处理地基基础问题的能力。必须掌握有关的土工试验技术及地基勘察知识,对建筑场地的工程地质条件做出正确的评价,才能运用土力学的基本知识去正确解决基础工程中的疑难问题。

土的种类很多,工程性质很复杂,重要的不是一些具体的知识,不要死记硬背某些条文和数字,而是要搞清土力学中的一些概念,土力学是一门技术学科,重要的是学会如何应用基本理论去解决具体工程问题。例如,学习一种分析土坡稳定分析的方法,不仅要掌握计算方法本身,而且要搞清分析方法所应用的参数以及参数的测定方法,还要搞清它的适用范围。应用土力学解决工程问题要重视理论、室内外测试和工程师经验三者相结合,在学习土力学基本理论时就要牢固建立这一思想。

土力学是一门偏于计算的学科。因而,数学、力学是建立土力学计算理论和方法的重要基础。土力学作为力学计算问题,与理论力学有所不同,不能用纯数学力学的观点,必须根据实际的地质调查、现场和室内的试验资料来进行分析研究,然后才能对研究所得的资料进行力学计算。电子计算机技术和新的计算技术的飞速发展,为土力学理论计算提供了重要手段。

土力学是一门技术基础课。学习土力学之前应具有材料力学、弹性理论、水力学、工程地质等方面的知识。土力学知识是学习土木工程各种专业方向所不可缺少的。本书在涉及这些学科的有关内容时仅引述其结论,要求理解其意义及应用条件,而不把注意力放在公式的推导上。此外,基础工程几乎找不到完全相同的实例,在处理基础工程问题时,必须运用本课程的基本原理,深入调查研究,针对不同情况进行具体分析。因此,在学习时必须注意理论联系实际,才能提高分析和解决问题的能力。