



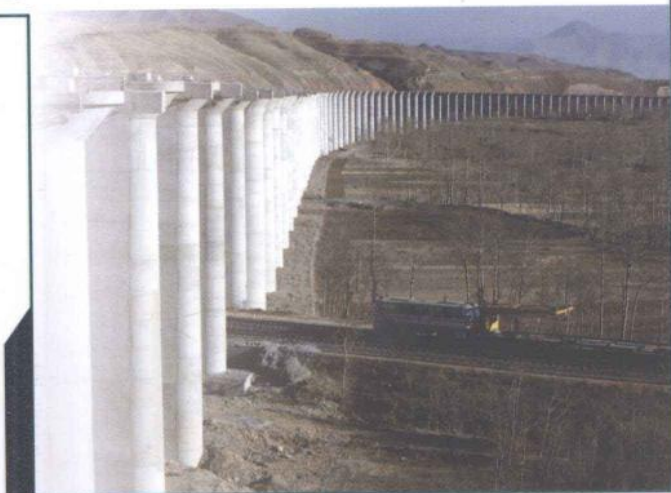
21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

土力学

主 编 曹卫平
副主编 罗少锋 张文杰

赠送电子课件

- 融合最新科研成果，开拓学生视野
- 增加专业名人简介，展现人文气息



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

土 力 学

主 编	曹卫平		
副主编	罗少锋	张文杰	
参 编	余 闯	赵 敏	骆亚生
主 审	陈仁朋		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了土的基本特性以及土力学的基本原理和分析方法。全书共9章, 主要内容包括土的物理性质及工程分类、土体的渗透性及渗流分析、土体中的应力、土的压缩性及地基沉降计算、土的抗剪强度、土质边坡稳定分析、土压力与挡土墙、地基承载力等。

本书可作为普通高等学校土木工程专业本科教材, 也可作为土木工程研究人员和工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/曹卫平主编. —北京: 北京大学出版社, 2011. 8

(21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19333-4

I. ①土… II. ①曹… 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(2011)第 157891 号

书 名: 土力学

著作责任者: 曹卫平 主编

策 划 编 辑: 吴 迪 卢 东

责 任 编 辑: 卢 东

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-19333-4/TU·0170

出 版 者: 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> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.75 印张 411 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 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

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

土力学是普通高等学校土木工程专业的一门专业必修课，该课程与基础工程课程一起，直接担负着培养学生解决与土有关的工程问题能力的责任。为适应普通高等学校土木工程专业教学改革的需要，我们组织编写了本书。本书注重土力学基本概念的阐述和基本原理的工程应用，主要介绍土力学的成熟理论及其运用，并提及一些当代最新的科研成果，力图反映该学科发展的最新水平。

本书由西安建筑科技大学曹卫平任主编，西安建筑科技大学罗少锋和上海大学张文杰任副主编。具体编写分工如下：第1章、第4章、第5章由曹卫平编写，第2章由罗少锋编写，第3章、第7章由张文杰编写，第6章由罗少锋和西北农林科技大学骆亚生共同编写，第8章由温州大学余闯编写，第9章由西安工业大学赵敏编写。承蒙浙江大学陈仁朋教授审阅了全书，并提出了不少宝贵建议，在此谨表谢意。在本书编写过程中参阅了许多资料，在此向有关作者表示诚挚的感谢！

限于编者水平，疏漏不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年6月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.8.1 细粒土的压实性	41
1.1 土力学的研究对象	1	2.8.2 粗粒土的压实性	42
1.2 与土有关的典型工程案例	1	2.8.3 压实效果评价	42
1.3 土力学的发展历史	3	小结	42
1.4 土力学课程的内容及学习方法	4	习题与思考题	43
第 2 章 土的物理性质及工程分类	7	第 3 章 土体的渗透性及渗流分析	45
2.1 概述	9	3.1 概述	46
2.1.1 土的搬运沉积	9	3.2 达西定律	47
2.1.2 风化作用和土的主要特征	11	3.3 土的渗透系数	50
2.2 土的三相组成	11	3.3.1 土渗透系数的影响因素	50
2.2.1 土的固体颗粒	12	3.3.2 饱和土渗透系数的测定	51
2.2.2 土中水	18	3.3.3 成层土的等效渗透系数	53
2.2.3 土中气体	20	3.4 渗透力及渗透破坏	55
2.3 土的物理性质指标	21	3.4.1 渗透力	55
2.3.1 土的实测物理性质指标	21	3.4.2 渗透破坏	56
2.3.2 土的换算物理性质指标	22	3.4.3 渗透破坏的防治	58
2.3.3 土的物理性质指标换算	24	3.5 二维渗流及其求解	59
2.4 土的结构与构造	26	3.5.1 二维渗流的基本微分方程	59
2.4.1 土的结构	26	3.5.2 二维渗流图解法	60
2.4.2 土的构造	28	3.5.3 渗流数值计算的有限单元法	63
2.5 无粘性土的特性	28	小结	67
2.6 粘性土的特性	30	习题与思考题	68
2.6.1 粘性土的塑性	30	第 4 章 土体中的应力	70
2.6.2 土的粘性与粘聚力	34	4.1 概述	71
2.6.3 粘性土的灵敏度和触变性	34	4.2 土体中的自重应力	72
2.6.4 土的膨胀、收缩和崩解	35	4.2.1 基本假设	72
2.7 土的工程分类	35	4.2.2 土体中自重应力的计算	73
2.7.1 建筑工程系统的分类法	36	4.3 土体中的附加应力	78
2.7.2 《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007) 分类法	37	4.3.1 竖向集中力作用下弹性半空间中一点的应力与位移——布西奈斯克解	78
2.8 土的压实原理	40		

4.3.2 均布线荷载作用下弹性半空间中一点的应力——弗拉曼解	82	5.3.1 土的应力历史及前期固结压力	118
4.3.3 矩形面积均布荷载作用下弹性半空间中一点的应力	83	5.3.2 前期固结压力的确定	119
4.3.4 矩形面积竖向三角形荷载作用下任意点的竖向附加应力计算	88	5.3.3 室内压缩曲线的修正	119
4.3.5 圆形面积均布荷载作用下弹性半空间中一点的应力	92	5.4 地基沉降计算	121
4.3.6 任意形状有限面积分布荷载作用下弹性半空间中一点的应力计算——等代荷载法	93	5.4.1 地基瞬时沉降的计算	121
4.3.7 条形面积竖向均布荷载作用下弹性半空间中一点的应力计算	93	5.4.2 地基主固结沉降的计算	123
4.3.8 条形面积竖向三角形荷载作用下弹性半空间中一点的应力计算	99	5.4.3 地基次固结沉降的计算	131
4.3.9 弹性半空间内部竖向集中力引起的附加应力	100	5.5 饱和土中的应力及有效应力原理	132
4.3.10 影响土中应力分布的因素	101	5.6 太沙基一维固结理论	133
4.4 基底压力	102	5.6.1 饱和土体的固结	134
4.4.1 基底压力的分布	103	5.6.2 太沙基一维固结理论介绍	135
4.4.2 基底压力的简化计算	104	5.6.3 固结系数的确定	146
4.4.3 基底附加压力	107	小结	149
小结	107	习题与思考题	150
习题与思考题	108	第6章 土的抗剪强度	152
第5章 土的压缩性及地基沉降计算	110	6.1 概述	154
5.1 概述	112	6.2 土的抗剪强度理论	155
5.2 土的压缩性	113	6.2.1 库仑理论	155
5.2.1 土的室内压缩试验及压缩性指标	113	6.2.2 莫尔-库仑强度理论	156
5.2.2 土的室内回弹再压缩试验	117	6.2.3 莫尔-库仑破坏准则	157
5.3 应力历史对土压缩性的影响	118	6.3 土的抗剪强度试验方法	160
		6.3.1 直接剪切试验	160
		6.3.2 三轴压缩试验	161
		6.3.3 无侧限压缩试验	163
		6.3.4 十字板剪切试验	164
		6.4 孔隙压力系数	165
		6.4.1 三轴试验中土样应力状态分析	166
		6.4.2 等向压缩应力 $\Delta\sigma_3$ 作用下孔压 Δu_B 的计算	166
		6.4.3 偏应力 $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$ 作用下孔压 Δu_A 的计算	167
		6.4.4 轴对称三维应力状态下孔压 Δu 的计算	169
		6.5 应力路径	169
		6.5.1 应力路径的概念	169

6.5.2 破坏主应力线	170	8.1.2 挡土墙的类型	212
6.5.3 总应力路径与有效应力 路径	170	8.1.3 土压力的类型	214
6.6 土的排水和不排水抗剪强度	173	8.2 静止土压力	216
6.6.1 总应力强度指标与有效应 力强度指标	173	8.3 朗肯土压力理论	217
6.6.2 砂土的排水和不排水 强度	174	8.3.1 朗肯土压力理论的基本 原理	217
6.6.3 粘性土的排水和不排水 强度	176	8.3.2 朗肯主动土压力	218
6.6.4 土的抗剪强度指标的 选用	182	8.3.3 朗肯被动土压力	219
小结	184	8.3.4 特殊情况下朗肯土压力的 计算	221
习题与思考题	185	8.4 库仑土压力理论	224
第7章 土质边坡稳定分析	187	8.4.1 库仑土压力理论的基本 假设	224
7.1 概述	188	8.4.2 库仑主动土压力	224
7.2 直线滑动面边坡稳定性分析	189	8.4.3 库仑被动土压力	233
7.3 圆弧滑动面边坡稳定性分析	190	8.4.4 特殊情况下库仑土压力的 计算	235
7.3.1 圆弧条分法的 基本原理	190	8.5 朗肯理论与库仑理论的比较	238
7.3.2 瑞典条分法	192	8.5.1 朗肯理论和库仑理论基本 假设的区别	238
7.3.3 简化的毕肖普法	196	8.5.2 朗肯理论和库仑理论的 计算误差	238
7.4 任意形状滑动面边坡稳定性 分析	200	8.5.3 计算土压力与实际土压力 分布的差异	239
7.4.1 简布的普遍条分法	200	8.5.4 破裂面的实际形状	239
7.4.2 不平衡推力传递法	202	8.5.5 墙背倾斜度	240
7.5 水对边坡稳定性影响分析	204	8.6 填埋式管涵上的土压力计算	240
7.5.1 稳定渗流时的边坡稳定性 分析	204	8.6.1 管涵敷设方式	240
7.5.2 有效应力法和 总应力法	205	8.6.2 填埋式管涵土压力的 特点	241
7.5.3 土条间水作用力与 替代容重法	205	8.6.3 沟埋式刚性管涵土压力 计算	242
7.6 边坡稳定分析方法讨论	207	8.6.4 上埋式刚性管涵土压力 计算	243
小结	208	小结	246
习题与思考题	209	习题与思考题	246
第8章 土压力与挡土墙	210	第9章 地基承载力	248
8.1 概述	211	9.1 概述	249
8.1.1 挡土墙的功能	211	9.2 地基破坏形式	250
		9.2.1 地基的3种破坏形式	250

9.2.2	地基破坏形式的 影响因素	252
9.3	地基的临塑荷载及临界荷载	252
9.3.1	临塑荷载	252
9.3.2	临界荷载	254
9.4	按半理论半经验方法确定地基 极限承载力	257
9.4.1	普朗德尔-瑞斯纳极限承载 力理论	257
9.4.2	太沙基极限承载力 理论	258
9.4.3	迈耶霍夫极限承载力 公式	262
9.4.4	汉森地基极限承载力计算 理论	264
9.4.5	地基极限承载力计算理论 的讨论	265
9.5	按规范方法确定地基承载力	266
9.5.1	地基承载力特征值	266

9.5.2	按土的抗剪强度指标计算 地基承载力特征值	266
9.5.3	按规范承载力表确定地基 承载力特征值	267
9.6	按现场载荷试验确定地基承 载力	268
9.6.1	浅层平板载荷试验 装置	268
9.6.2	浅层平板载荷试验 过程	269
9.6.3	浅层平板载荷试验结果 分析	269
9.6.4	地基承载力特征值的 修正	270
	小结	272
	习题与思考题	273

参考文献	274
------------	-----

第1章 绪论

1.1 土力学的研究对象

土是由地壳表层的岩石经过风化、搬运、沉积形成的大小不等、形状各异的颗粒状物质，与混凝土、钢材等一般的固体材料相比，土的力学性状要复杂得多。土是由土颗粒骨架及充填于其中的水、气组成的三相材料，这三相本身的性质以及它们之间的相互作用和相对含量对土的物理、力学性质有重要的影响。土是一种松散的材料，土颗粒之间的胶结力很弱并存在大量的孔隙，这使得土几乎不能承受拉力，但可以承受一定的压力和剪切力。在球应力作用下，土的体积逐渐减小，而体积压缩模量逐渐增大，土体体积的减小量取决于土中孔隙体积的大小，体积减小的速率取决于土颗粒之间的粘结性状及土中孔隙水的排出速率。在应力水平较低的压剪荷载作用下，当孔隙比较大时，土体体积会缩小，当孔隙比较小时，土体体积会增大。在应力水平较高的压剪荷载作用下，土体体积会缩小。土中孔隙为水、气在土中的存在提供了空间，土中水在大多数情况下会劣化土的工程性质，土中水-气之间的相互作用会使土的性质更加复杂。在漫长的地质历史过程中，由于形成时的自然条件不同，土的性质千变万化。同一场地不同深度处土的性质存在差异，即便是同一位置的土，其各个方向的性质也不相同。土的物理构成和力学性质十分复杂且具有很强的个性，这决定了以土作为主要建筑材料的岩土工程师所面对的问题的复杂性。

土力学是利用力学的一般原理研究土的物理、力学特性及其作为一种特殊的建筑材料在各种荷载作用下的强度、变形性状的一门学科。20世纪20年代，太沙基(Terzaghi)《土力学》专著的问世标志着土力学这门学科正式诞生。经过一代又一代学者的不懈努力，土力学的理论体系逐渐完整。随着现代生产发展的需要，土力学的研究领域也在不断扩大。土力学在建筑、市政、交通、能源、水利、港口、采矿等工程建设中发挥了重要作用，土力学理论也在指导实践的过程中不断丰富。

1.2 与土有关的典型工程案例

到目前为止，土力学与基础工程理论几乎涉及了一切与土有关的工程问题，但土力学这门学科毕竟还很年轻，而研究的对象又复杂多变，人们在与土打交道的过程中，既有成功的案例，也有失败的教训，这些都为土力学的发展积淀了宝贵的财富。

1. 中国的万里长城

横亘在中国北方辽阔土地上的万里长城是人类文明史上最伟大的建筑工程之一,如图 1.1 所示。长城平均高度为 7.8m,底部平均宽度为 6.5m,顶部平均宽度为 5.8m,长城大部分建在山岭最高处,沿着山脊蜿蜒延伸。山区工程地质、水文地质条件恶劣,地基复杂多变,软硬不均,容易产生较大的不均匀沉降,两千年前的古代中国人民就已经在直观经验的基础上较好地解决了这一问题,这也是长城历经千年依然屹立山巅的重要原因。明代以前的长城多用土夯筑而成,为了保证夯土具有较高的强度,除了分层夯填外,还在土中插上柳条,这说明那时的人们不仅掌握了填土夯实的基本原理,而且已经有了土工加筋的概念。正是这些在生产实践中总结出来的直观经验保证了长城历经千年不倒,使之成为我们中华民族的象征和宝贵财富。

2. 加拿大特朗斯康谷仓

1913 年建于加拿大的特朗斯康谷仓由 65 个圆柱形筒仓组成,高 31.0m,南北向长 59.44m,东西向宽 23.47m,下部为 61cm 厚的钢筋混凝土筏板基础。由于设计时并不知道地基土层中有厚达 16m 的软土层,谷仓建成后初次储存谷物时就发生了地基整体剪切破坏,整个筒仓结构西侧陷入土中 7.32m,而东部则上抬 1.52m,仓身倾斜达到 $26^{\circ}53'$,如图 1.2 所示。后来采用托换顶升的方法才将筒仓扶正,但其位置比原设计降低了近 4.0m,造成了巨大的经济损失。



图 1.1 中国的万里长城

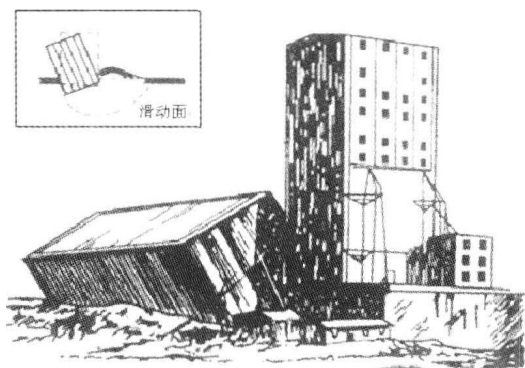
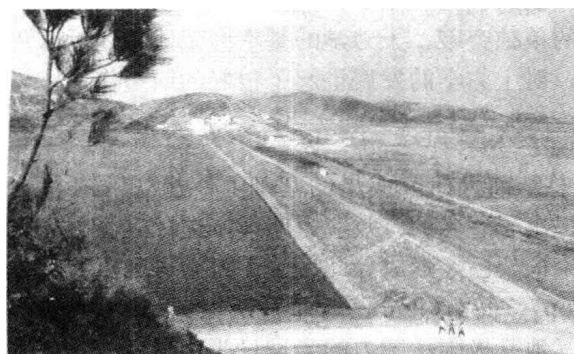


图 1.2 特朗斯康谷仓地基整体剪切破坏

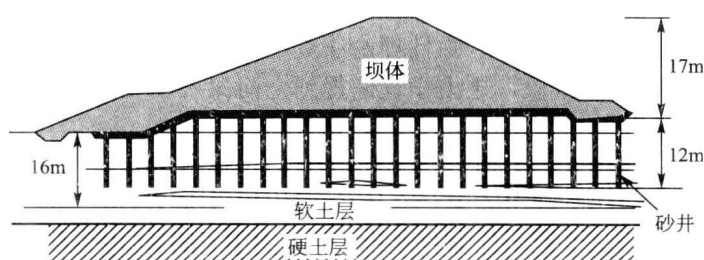
3. 杜湖水库

浙江宁波慈溪镇的杜湖水库始建于 1969 年,水库大坝为斜墙式上坝,最大坝高为 17.5m,坝顶宽 4m,坝底宽 80m,平均坝长为 440m,有效库容 1700 万 m^3 ,如图 1.3 所示。地基中有厚约 16m 的淤泥质粘土层,其十字板抗剪强度平均值 c_u 约为 17.8kPa,天然地基承载力约为 91.5kPa,远小于坝体底面平均压力 180kPa。经过方案论证采用砂井进行软基处理。砂井在平面上呈三角形布置,砂井中心距为 3m,砂井直径为 0.42m,砂井长度为 12~14m,共布置砂井 2997 根。从 1969 年 11 月开始填筑坝体,到 1979 年 11 月坝体达到设计高程。在填筑过程中,一方面不间断监测地基软土层中的超静水压力,为坝体填筑速度提供依据;一方面逐渐蓄水,使水库早日发挥作用。据统计,杜湖水库有效灌溉农田面积约为 16 万亩,为浙东农业发展作出了重要贡献。杜湖水库工程在国内首次采

用砂井联合堆载预压法处理软土地基，并获得了成功，从理论和实践上为砂井处理软基在国内大面积应用奠定了坚实的基础。



(a) 水库大坝



(b) 软基处理剖面

图 1.3 杜湖水库

土力学的发展历史

按照沈珠江院士的观点，土力学的发展历史可以分为萌芽期、古典土力学、现代土力学 3 个阶段。

1. 萌芽期(1773—1923)

伴随着欧洲工业革命如火如荼地进行，大量的工业厂房、铁路、公路、码头及城市地下工程在建设过程中遇到了许多与土有关的问题，而这些问题需要从理论上进行分析，从实践上加以解决。1773 年，法国科学家库仑(Coulomb)在试验的基础上建立了砂土抗剪强度理论，并根据极限平衡理论提出了计算挡土墙土压力的滑楔体理论。1869 年，英国科学家朗肯(Rankine)从弹性半空间中一点的应力状态出发，建立了土压力计算的另外一套方法。库仑和朗肯建立的土压力理论不仅解决了当时一大批工程问题，至今仍是挡土结构物上土压力计算的主要方法。1856 年，法国科学家达西(Darcy)在试验的基础上建立了反映水在砂土中渗流的达西定律。1885 年，法国科学家布西奈斯克(Boussinesq)建立了半空间表面点荷载在半空间内引起的应力和位移的解析解，正是由于布西奈斯克的杰出工作才使得土体中附加应力的计算成为可能，这为地基沉降计算奠定了坚实的基础。1922 年，

瑞典工程师彼得森(Petterson)提出了土坡稳定分析的圆弧滑动法,后经费伦纽斯(Fellenius)等人改进为瑞典条分法,简称瑞典法。现在看来,瑞典法比较简单,但许多复杂边坡稳定分析的方法都是在瑞典法的基础上衍生而来的。在这一阶段,科学家的工作是孤立的,大多是局部理论的单独突破,土力学的基本框架体系还远未形成,但这些工作不仅解决了一大批工程问题,对土力学的发展也起了很好的铺垫作用。

2. 古典土力学阶段(1923—1963)

1923年,太沙基在总结前人研究成果的基础上,建立了饱和土的一维固结理论,接着又在另外一篇文献中提出了著名的有效应力原理,这标志着土力学作为一门学科正式诞生了,土力学的基本理论框架已经形成。此后,土力学得到了快速发展。费伦纽斯、泰勒(Taylor)、毕肖普(Bishop)、简布(Janbu)、摩根斯坦(Morgenstern)等人完善了滑坡稳定分析方法;太沙基提出了地基极限承载力的半理论半经验计算方法;比奥(Biot)基于严格的弹性力学方程及水流连续方程建立了真三维固结理论;巴隆(Barron)提出了砂井地基固结理论;明德林(Mindlin)建立了弹性半空间内部点荷载在半空间内部引起的应力和位移的解析解,这为桩基工程沉降计算的弹性理论法奠定了基础。与此同时,地基沉降计算理论也逐步得到完善。在这一阶段,土力学理论得到全面深入发展,但土仍被视为理想弹性体或理想刚塑性体,这与土的真实性状相差甚远。

3. 现代土力学阶段(1963—至今)

1963年,英国剑桥大学的罗斯科(Roscoe)教授领导的研究小组建立了第一个土的弹性模型,即剑桥模型,这标志着现代土力学的开端。剑桥模型第一次较为客观地描述了土在复杂应力状态下的行为模式,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有了质的飞跃。经过四十多年的发展,现代土力学已渐趋成熟,在许多方面取得了重要进展,如土的非线性模型及弹塑性模型层出不穷,土的损伤力学模型以及考虑土结构性的模型近年来得到大力发展,非饱和土固结理论、砂土液化理论也在逐步完善,剪切带理论及边坡渐进破坏理论的发展使人们对边坡破坏过程有了更深刻的认识。随着计算机技术的发展,土工数值分析方法也得到长足发展,使得大型复杂岩土工程问题的数值模拟得以实现。除此之外,土工测试技术也得到大力发展,特别是土工离心模拟试验技术,使得在室内采用小比例尺模型对大型岩土工程进行物理模拟成为可能。迄今为止,土力学理论已经空前丰富,但随着工程实践的发展,还会有更多的土力学与岩土工程问题浮现出来,需要土力学工作者继续努力,从理论和实践两方面继续丰富土力学的知识宝库。

土力学课程的内容及学习方法

1. 课程内容

土力学学科的内容博大精深,并且还在不断丰富之中。本书作为普通高等院校本科教学用书,在编写时考虑到需要提及一些当代最新的科研成果,以开拓学生的知识视野,避免只见树木不见森林的现象,但介绍的仍旧是经典土力学的内容。在章节编排上注意从简

到难,从现象到本质,再抽象出理论。这样,一方面符合人类认识事物的一般过程,更使土力学理论指导实践、实践不断丰富理论的客观规律显现出来,便于培养学生学习认识事物的正确方法。

本书的主要内容如下。

第2章首先介绍土的三相组成、物理性质指标及其测定方法,在此基础上介绍土的结构和构造、无粘性土和粘性土的特性,最后介绍土的工程分类方法。

第3章主要介绍达西定律、土的渗透系数及其室内外测定方法、渗透力及其对土的影响、渗透破坏类型及其工程防治措施、二维渗流及其求解的流网法和数值方法。

第4章首先介绍土中自重应力的计算、布西奈斯可解和弗拉曼解,在此基础上介绍半无限体表面作用矩形面积均布荷载、矩形面积三角形荷载、圆形面积均布荷载、条形面积均布荷载、条形面积三角形荷载时半无限体内应力的计算,最后简要介绍了明德林解及基底压力和基底附加压力的计算。

第5章介绍土的压缩性及相应的评价指标、应力历史对土压缩性的影响、室内压缩曲线的修正方法。在介绍地基沉降组成的基础上,主要介绍地基主固结沉降计算的分层总和法和应力面积法、饱和土的有效应力原理及太沙基一维固结理论、地基固结系数的室内测定方法。

第6章介绍土的莫尔-库仑抗剪强度理论、破坏准则及其应用、土抗剪强度的室内外测定方法、斯开普顿孔压系数、应力路径对抗剪强度的影响、土的不排水及排水抗剪强度。

第7章首先介绍直线滑动面边坡稳定分析方法,然后介绍圆弧滑动面边坡稳定分析方法,包括瑞典圆弧滑动法、简化的毕肖普法,最后介绍任意形状滑动面边坡稳定性分析方法,包括简布普遍条分法、不平衡推力传递法,并分析了水对边坡稳定性的影响。

第8章介绍土压力的类型及产生条件、静止土压力的计算、朗肯土压力理论、库仑土压力理论及埋管土压力计算方法。

第9章简要介绍地基承载变形机理及3种破坏模式、地基承载力的确定原则,重点介绍地基极限承载力确定的半理论半经验方法,包括普朗德-瑞斯纳法、太沙基方法、梅耶霍夫方法、汉森方法,详细介绍了我国《地基基础设计规范》推荐的地基承载力确定方法及现场浅层平板荷载试验方法。

2. 学习方法

土力学是一门理论性和实践性都很强的课程,它在一系列假定下利用连续介质力学的方法研究土的工程力学性质。对于土性的认识,需要从3个不同的尺度去理解分析。第一是微观尺度,即通过电镜扫描等手段分析土的微观结构特征。土的微观世界是非常丰富的,土颗粒、孔隙流体和气体三者之间及其自身都存在各种各样的物理化学相互作用,了解这种物理化学相互作用就可以对土的宏观性状做出深入合理的解释和预测。第二是单元体尺度,即从现场取有代表性的土样进行室内试验以了解土的特性,如室内直剪试验、三轴试验等。单元体试验是研究土性最便捷的手段,也是掌握和理解土的工程特性的最重要手段。第三是宏观尺度,根据土的微观性状及单元体试验得到的认识及抽象出的相关理论是否正确,其适用性如何等,都需要通过现场宏观试验和监测来验证,现场宏观试验和监测也是检验理论模型可靠性的主要手段。只有在上述3个不同层次上来认识、了解土的性

状，才能对土性做到切合实际的把握，才能应用土力学的基本理论更好地服务于工程实践。

在学习土力学的过程中，不仅要重视基本理论的学习，更要重视从工程实践中去学习，只有通过土工试验、通过对岩土工程实例的学习才能对土力学的基本原理有深刻理解。卡萨格兰德(Casagrande)曾经说过，太沙基具有伟大的物理学家的**大胆洞察力、明快的分析能力以及不厌倦的好奇心，同时还具有高明的地质学家所不可缺少的对自然现象坚强而敏锐的观察能力和热情。太沙基这些非凡的特点，示范性地说明了一个土力学工作者应有的业务修养和应遵循的学习工作方法。

第2章

土的物理性质及工程分类

【教学目标与要求】

● 概念及基本原理

【掌握】土的颗粒级配及级配曲线；粘土矿物；土的物理性质指标；界限含水量；塑性指数；液性指数；土的结构与构造；土的压实原理

【理解】土的成因及分类；风化作用；土的三相组成；粘土矿物的带电性；自由水；结合水；双电层；灵敏度、触变性；塑性图；土的工程分类方法

● 计算理论及计算方法

【掌握】土的各种物理性质指标计算方法

● 试验

【掌握】颗分试验；含水量试验；土的密度试验；稠度试验

【理解】土颗粒的相对密度试验



导入案例

关于土的目力鉴别

根据我国的土分类标准，粘性土和粉土是细粒土的两大类，其物理力学性质有较大的差别。关于粘性土和粉土的分类界限，存在不同的分类定名的标准。在塑性图分类系统中，在A线以上的土名定为粘土，在A线以下的土定名为粉土。在按塑性指数分类的系统中，塑性指数等于或小于10的土定名为粉土，塑性指数大于10的定名为粘性土。

土的分类系统之间，常常不可能是完全对应的，特别在两种土类的搭接边界上，采用不同分类系统划分的结果可能出现矛盾的现象，这也是很正常的。此时，有经验的工程师就要根据自己的经验对分类结果的正确性进行判断，目力鉴别是一种非常有效的手段。目力鉴别可以在野外工作中进行，也可以在开土时进行，在出现矛盾和分歧时还可以做进一步的目力鉴别，为最后判断土类提供依据。

野外工作的目力鉴别，是一种重要的工作方法，也是野外勘探工作的组成部分。但是我国习惯采用的描述内容，比较侧重于观察了解土的物理性质，如湿度、状态、包含物等，而缺乏对土的力学性状的观察了解。粘土和粉土的颜色和湿度可能没有太大的差异，除了用手感颗粒粗细的通常方法外，就没有更多的办法来做有效的判断。

光泽反应、摇振反应、干强度、韧性这4个描述的项目可以弥补已有鉴别方法的不足，可以有效地将粘土和粉土区别开来。

工业发达国家的技术术语中，粉土的主要特征几乎可以用目力鉴别的结果来概括：

低干强度、快速的摇振反应和没有韧性。只要符合这些特征的土，应当定名为粉土，这是验证粉土的分类系统是否恰当的最好标准。

光泽反应、摇振反应、干强度、韧性 4 个目力鉴别项目的依据是粉土和粘土在土质学意义上有本质的区别，包括矿物学和土胶体化学方面的差异。

粘土由于含有大量的活动性粘土矿物，颗粒非常细，比表面积大，与土中水的物理化学作用强烈。在干燥失水时颗粒之间的吸附力强而形成很高的干强度；在潮湿状态下，切口有油脂光泽，颗粒越细，光泽越明显。油脂光泽和干强度是粘土区别于粉土的主要特征指标。

粉土的矿物成分主要是云母，颗粒呈片状，含粘粒很少，粒径大多在 $0.05 \sim 0.005\text{mm}$ 之间，土颗粒与水的吸附能力比较弱，虽在饱水的静止状态具有一定的持水作用和形成结构性，但在动力作用下，水即从孔隙中逸出，颗粒出现悬浮状态。在被挤压时，由于剪胀作用而吸水，水又从表面消失。在比较潮湿时可以搓成土条，但由于缺乏粘聚力而没有保持已有形状的能力，也不能重复成形。

G. A. Leonards 对粘土和粉土的目力鉴别的特征作了精辟的分析：“粉土：在潮湿状态的无机粉土可以搓成细的土条，但将 2~3 英寸长的土条提起来的时候在自重作用下就会断裂。在塑限含水量的时候，土条是软的和非常容易碎裂的。掺水使粉土成为膏状，并将薄饼状的土膏放在手掌中摇晃，土膏的表面变湿而且有光泽，用手挤压土膏时，表面立即变干且失去光泽。对粘土如用同样方法处理，则不会有任何的变化。在某一含水量范围内出现的这种现象是一种衡量孔隙水流动性和剪胀性的尺度。对干的粉土团块，很容易用手指碾成粉末，手指之间有粗糙的感觉。”“粘土：粘土呈现塑性，如油膏状。在很大的含水量范围内可以搓成很细的土条而不断裂，搓成很长的土条，将一头提起来的时候不会因自重作用而断裂。当处于塑限含水量的时候，粉质粘土是比较软的，中等塑性的粘土比较硬些，塑性越高，感觉越硬。因此，塑限含水量不仅用于区分粘土和粉土，而且也是用于评价各种类型粘土内部特征的简易方法。粘土的风干团块是比较硬的，塑性越高，土越硬，这样的团块甚至用手难以压碎。”

在国内的资料中，1979 年出版的《土质学及土力学》对土的目力鉴别方法作了比较详细的说明。

光泽反应：用小刀切开稍湿的土，并用小刀抹过土面，观察土面有无光泽以及粗糙的程度。粉土土面粗糙，粉质粘土土面光滑但无光泽，粘土土面有油脂光泽。

摇动试验：用含水量接近饱和的土搓成小球，放在手掌上左右摇晃，并以另一手振击该手，如土球表面有水渗出并呈现光泽，但用手指捏土球时水分与光泽很快消失，称为摇振反应。反应迅速的表示粉粒含量较多，反之粘粒含量较多。

韧性试验：将土调成含水量略高于塑限、柔软而不粘手的土膏，在手掌中搓成约 3mm 的土条，再搓成土团二次搓条，根据再次搓条的可能性，分为低韧性、中韧性和高韧性 3 种。粉土土条不能在搓成土团后重新搓条；粉质粘土可以再搓成土团，但手捏即碎裂；粘土能再揉成土团后再次搓条，用手指压不碎。

干强度试验：按将风干的小土球用手指捏碎的难易程度来划分。粉土易于捏碎和碾成粉末；粉质粘土用力才能捏碎，容易折断；粘土捏不碎，抗折强度大，断后有棱角，断口光滑。

问题:

(1) 在塑性图分类系统中, 粘土和粉土是如何区分的? 按塑性指数分类的系统中, 粘土和粉土又是如何区分的?

(2) 在进行野外勘探工作时, 可根据什么样的指标区别粘土和粉土? 如何区分? 其理论依据是什么?

(3) 土分类的意义何在?

资料来源: 高大钊. 关于土的目力鉴别. 工程勘察, 2003 年, 第 1 期: 1-4.

2.1 概 述

地表的岩石在大气中经受长期风化作用破碎后, 形成了形状各异、大小不一的颗粒, 这些颗粒经过搬运, 在自然环境下堆积下来, 形成各种碎散的、没有胶结或胶结很弱的颗粒状沉积物, 在土木工程中称之为“土”。由于成土过程各环节的交错反复、成土的自然地理环境的复杂多样, 所以土的类型与性质是千差万别的, 但是在大致相同的地质年代及相似的沉积条件下形成的土往往在成分及性质上比较接近, 因此有必要了解土的形成原因。

2.1.1 土的搬运沉积

按照成因, 土可分为残积土和运积土两大类。残积土是指母岩表层经风化作用破碎后, 未经搬运而残留在原地的堆积物, 如图 2.1 所示。残积土的矿物成分与母岩一致, 无层理, 均质性差, 颗粒表面粗糙, 多棱角, 粗细不均, 孔隙大。运积土是指风化所形成的土颗粒受自然力的作用, 搬运到远近不同的地点所沉积的堆积物。由于颗粒经过滚动和相互摩擦, 因而具有一定的浑圆度。运积土在搬运、沉积过程中受水流、重力、风等自然力的分选作用而形成颗粒粗细不同的层次, 粗颗粒下沉快、细颗粒下沉慢, 从而形成粗细不同的土层。根据搬运方式, 运积土可分为坡积土、洪积土、冲积土、湖泊沼泽沉积土、海相沉积土、冰积土、风积土等。

1. 坡积土

坡积土指高处岩石风化产物顺斜坡向下逐渐移动、沉积在较平缓的山坡上而形成的沉积物。坡积土中粗细粒混杂, 土质不均, 上薄下厚, 土质疏松, 如图 2.2 所示。

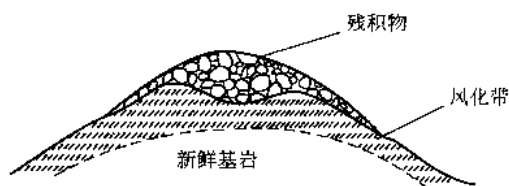


图 2.1 残积土

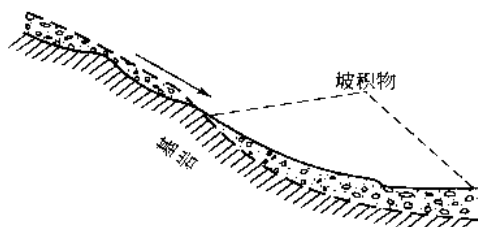


图 2.2 坡积土