



普通高等教育“十二五”规划教材

岩土力学

主 编 龚成勇 韩 伟
副主编 何香如 李琪飞 赵廷红
主 审 李仁年



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

岩土力学

主 编 龚成勇 韩 伟

副主编 何香如 李琪飞 赵廷红

主 审 李仁年



中国水利水电出版社 /
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

《岩土力学》是水利水电工程、土木工程、地下建筑、冶金、交通以及国防工程等专业的主干专业基础课程。本书主要内容包括土力学、岩石力学和岩土工程技术三个部分的内容,基本做到将三者有机整合。

本书共计15章,各章采用模块式设计,其基本构架模式为:本章摘要—阅读指南—内容讲解—思考题与习题,增加了学习的引导性和本书的实用性,便于读者使用。本书章节设置具体为:绪论;第1章岩土的物理性质及工程分类;第2章岩土体的渗透特性及其研究理论;第3章土体的应力与变形;第4章土的抗剪强度与测定试验;第5章土压力计算;第6章地基承载力;第7章岩石的基本力学性质;第8章岩石本构关系与强度分析;第9章岩体初始应力及其测量;第10章边坡稳定分析;第11章挡土墙结构与基坑围护;第12章水工地下工程围岩稳定性分析;第13章坝基稳定性分析;第14章水利水电工程中的地基处理;第15章岩土工程数值模拟。读者可以根据本专业培养计划对内容进行选择使用,其余内容作为学生选学。

本书可以作为水利水电工程、土木工程、地下建筑、冶金、交通以及国防工程等专业教材,也适用于相关领域科研人员、设计人员和工程管理人员参考资料,可作为工程技术人员的学习材料。

图书在版编目(CIP)数据

岩土力学 / 龚成勇, 韩伟主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015.9
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-3670-8

I. ①岩… II. ①龚… ②韩… III. ①岩土力学—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第226177号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 岩土力学
作 者	主编 龚成勇 韩伟 副主编 何香如 李琪飞 赵廷红 主审 李仁年
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 31印张 735千字
版 次	2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	59.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

《岩土力学》是水利水电工程、土木工程、地下建筑、冶金、交通以及国防工程等专业的专业基础课程，可作为本科生教材，亦可供高校师生和工程技术人员参考书籍。岩土力学伴随大型工程的新建而成长，其理论和实践也有了很大的进步，加之目前国家或行业颁布了相关标准，为了更好地满足专业培养方案的调整，本书以水利水电工程、土木工程、地下建筑、冶金、交通以及国防工程等专业所需的岩土力学为准绳，适当吸收国内外比较成熟的新理论、新工艺、新技术，并注重水利水电工程专业特点，尽量兼顾其他专业知识进行设计内容。

由于水利水电工程、土木工程、地下建筑、冶金、交通以及国防工程等专业具有共同的学科特点，均需要学生掌握到土力学、岩石力学及其工程等相关知识，有一些比较经典的教材可以选用，如《土力学》《土力学与基础》《土力学与地基基础》《岩石力学》《岩体力学》《岩石力学与工程》《地基与基础工程》等，这些教材采用也比较广泛。但是这些教材的涵盖面比较单一，要么注重土力学及其工程技术，要么注重岩石力学及其工程技术，知识面受到了限制，不能满足新时期的专业发展要求。例如长期以来部分学校培养计划将《土力学》作为专业基础课，也起到了培养学生的能力的效果。但是在后续的专业课学习过程中，学生对岩石工程（岩石边坡、岩石基础、基础设计等）的相关基础知识的学习相对比较薄弱，对与此类问题相关的专业课学习比较困难，以水利水电工程为例，主要包含：岩基上的重力坝、拱坝、灌浆、水工高边坡、水工隧洞、水电站与坝基处理、水利工程爆破等都内容，学习起来都比较吃力，最值得指出的是这些内容是本专业的重点知识点。部分学校将上述专业的培养计划中设置了《土力学》《岩石力学》和《地基与基础工程》等课程，这虽然解决了知识的完备性问题，但是课时量较大，且难免存在内容上的重复，因而降低了授课效果。编者考虑这个原因，编著本书，并取名为《岩土力学》。

本书共计 15 章，各章采用模块式设计，其基本构架模式为：本章摘要→阅读指南→内容讲解→思考题与习题，增加了学习的引导性和本书的实用性，

便于读者使用。本书章节设置具体为：

绪论；第1章岩土的物理性质及工程分类；第2章岩土体的渗透特性及其研究理论；第3章土体的应力与变形；第4章土的抗剪强度与测定试验；第5章土压力计算；第6章地基承载力；第7章岩石的基本力学性质；第8章岩石本构关系与强度分析；第9章岩体初始应力及其测量；第10章边坡稳定分析；第11章挡土墙结构与基坑围护；第12章水工地下工程围岩稳定性分析；第13章坝基稳定性分析；第14章水利水电工程中的地基处理；第15章岩土工程数值模拟。

读者可以根据本专业培养计划对内容进行选择使用，其余内容作为学生选学。

本书由兰州理工大学副校长李仁年教授规划、主审，能源与动力工程学院龚成勇和韩伟共同主编，主要参编人员：何香如（第5章）、李琪飞（第8章）、赵廷红（第2章）。本书的编著得到能动学院教师的大力支持，得到水利水电工程和流体机械及工程两个系教师的鼎力帮助，得到甘肃省流体机械及系统重点实验室重点支持，尤其得到编者的导师兰州理工大学副校长李仁年教授的悉心指导。编写过程中引用了一些相关资料，对其著者深表谢意。与此同时给中国水利水电出版社武丽丽主任和魏素洁编辑为本书的出版发行付出辛勤劳动表示感谢。

由于编者学识和水平有限，书中难免有错误和不妥之处，望读者批评指正。

编者

2015年3月于兰州理工大学

目 录

前言

绪论	1
0.1 岩土力学的概念	1
0.2 岩土力学研究的对象	1
0.3 岩土力学研究的内容	3
0.4 岩土力学在工程建设中的作用和任务	3
0.5 岩土力学的研究方法	4
0.6 岩土力学的发展简介	5
0.7 岩土力学学习方法	7
第1章 岩土的物理性质及工程分类	9
1.1 岩土体的特征	9
1.2 岩土的物理性质指标	26
1.3 土的物理状态指标	36
1.4 土的压实性	40
1.5 岩土的工程分类	43
思考题与习题	50
第2章 岩土体的渗透特性及其研究理论	52
2.1 概述	52
2.2 土体的渗透性及土体渗流场理论	55
2.3 平面渗流的控制方程与流网绘制及其应用	67
2.4 渗透力和渗透变形	76
2.5 岩石水力学问题	91
2.6 在冻融过程中土中水分的迁移与积聚	113
思考题与习题	115
第3章 土体的应力与变形	119
3.1 概述	119
3.2 土的自重应力	120
3.3 基底接触应力	123

3.4	地基中的附加应力计算	126
3.5	有效应力原理	147
3.6	土的变形特征	150
3.7	地基最终沉降量计算	153
3.8	应力历史对地基沉降的影响	159
3.9	土的渗透固结理论	166
	思考题与习题	171
第4章	土的抗剪强度与测定试验	174
4.1	概述	174
4.2	土的抗剪强度的基本理论	175
4.3	抗剪强度试验方法	181
4.4	土的抗剪强度指标与主要影响因素	184
4.5	土的天然强度及强度增长规律	185
4.6	土的强度特性	189
4.7	应力路径对强度的影响	193
	思考题与习题	196
第5章	土压力计算	198
5.1	概述	198
5.2	静止土压力的计算	200
5.3	主动及被动土压力计算的朗肯理论	200
5.4	主动及被动土压力计算的库仑理论	204
5.5	常见情况的土压力计算	206
5.6	非极限土压力的计算	209
	思考题与习题	211
第6章	地基承载力	212
6.1	概述	212
6.2	地基的破坏模式	213
6.3	地基的临塑荷载和临界荷载	215
6.4	地基承载力的确定方法	218
6.5	地基承载力的特征值	229
	思考题与习题	230
第7章	岩石的基本力学性质	231
7.1	岩石力学性质概述	231
7.2	岩石强度性质	233
7.3	岩石强度准则	245
	思考题与习题	250

第 8 章 岩石本构关系与强度分析	252
8.1 综述	252
8.2 岩石弹性本构关系	255
8.3* 岩石塑性本构关系	261
8.4 岩石流变理论	266
8.5 岩体强度分析	281
8.6 岩石的变形性质	287
思考题与习题	299
第 9 章 岩体初始应力及其测量	300
9.1 岩体初始应力概述	300
9.2 岩体初始应力	301
9.3 岩体初始应力的量测方法	304
思考题与习题	313
第 10 章 边坡稳定分析	314
10.1 概述	314
10.2 土质边坡的稳定分析	316
10.3 岩质边坡与基础稳定性分析	344
思考题与习题	367
第 11 章 挡土墙结构与基坑围护	369
11.1 挡土墙	369
11.2 基坑围护概述	373
11.3 支护结构的类型和特点	374
11.4 挡土墙的设计与计算	379
11.5 重力式水泥土围护结构设计	381
11.6 板式支护机构设计	385
11.7 井点降水及土方开挖	391
11.8 基坑监测与环境监护	393
思考题与习题	394
第 12 章 水工地下工程围岩稳定性分析	395
12.1 地下洞室开挖引起的围岩应力重分布	395
12.2 地下洞室围岩的变形破坏	397
12.3 地下工程岩体稳定性的影响因素	401
12.4 山岩压力与洞室围岩稳定性计算	403
12.5 有压隧洞围岩稳定性	416
思考题与习题	423

第 13 章 坝基稳定性分析	425
13.1 概述	425
13.2 地基稳定性分析	426
13.3 岩基承载力	435
13.4 岩基稳定性与稳定性分析方法	439
思考题与习题	446
第 14 章 水利水电工程中的地基处理	447
14.1 概述	447
14.2 土坝软基排水固结处理	447
14.3 水利工程中截渗墙防渗处理	450
14.4 高压固结灌浆	452
14.5 深层搅拌法技术(水泥土加固法)	464
14.6 基岩处于强透水带破碎岩体的灌浆处理	465
思考题与习题	468
第 15 章 岩土工程数值模拟	469
15.1 岩土工程数值计算方法简介	469
15.2 工程地质问题及数值分析方法	474
15.3 计算模型建立与边界条件分析	479
15.4 计算与分析	480
15.5 水工岩土工程数值模拟分析框架	481
15.6 基于 ANSYS workbench 挡土墙结构仿真	482
思考题与习题	485
主要参考文献	486

绪 论

0.1 岩土力学的概念

人类生存和发展过程中,不断适应自然和改造自然,在改造自然的过程中,兴建了许多大型土木工程、水利水电工程等,提出了许多岩土工程问题,诸如地下洞室围岩稳定性问题、边坡稳定性问题、坝基稳定性问题、水库渗透变形破坏问题等。解决这些问题需要许多知识与理论,其中岩土力学是解决此类问题的基本的、必备的知识。

岩土力学由岩石(体)力学与土力学两门课程组成,是研究地壳表层岩土性态的科学。

土力学是研究土的物理性质、水理性质及力学性质的,重点是研究地壳表层土体在受力后的变化特征,包括土的压缩性、渗透性、变形、强度等特征的一门学科。它是一门技术基础科学,是力学的一个分支。学习土力学是为了能正确进行建筑物的地基与基础设计以及合理地进行土坝、堤防、挡土墙、路堤等构筑物的设计与计算。

岩石力学是研究岩石的力学性态的理论和应用的科学,是探讨岩石对其周围物理环境中力场反应的学科,即研究岩石在荷载作用下的应力、变形和破坏规律以及工程稳定性等问题,属于固体力学的一个分支。由于岩石力学中许多研究对象是岩体,所以岩石力学也称为岩体力学。建筑工程所作用的地壳表层的岩体是一个复杂的地质体,含有节理、裂隙、断层等不连续结构面,它赋存于一定的地质环境之中,并随着地质环境的变化和地质作用的持续,仍在不断地变化着。因此,岩石力学是一门较复杂的交叉学科。

0.2 岩土力学研究的对象

岩土力学研究的对象是岩石和土。工程上用来支撑上部结构物全部重量的那部分土体通常称为地基。在丘陵地带及山区,由于基岩埋藏较浅甚至裸露于地表,因此结构物通常建造在岩石地基上;在平原地区,由于岩石埋藏很深,因此结构物通常建造在土体地基上。解决岩石地基的工程问题属于岩石力学的任务,而解决土体地基的工程问题则属于土力学范畴。

0.2.1 土及土体的概念

土是母岩风化的产物。土体即土的集合体。地表土层是岩石经过漫长的地质年代风化、剥蚀、搬运、沉积后形成的,它是有固体颗粒、水和气体组成的三相体。土具有强度低、受力后压缩变形大、渗水性强、不均匀及固结时间长等一系列特点。

0.2.2 岩石(块)和岩体的基本概念

岩石(块)和岩体是岩体力学的直接研究对象。要学习和研究岩体力学,首先要建立

岩石（块）和岩体的基本概念。

由工程地质学可知，岩石是组成地壳的基本物质，它是由矿物或岩屑在地质作用下按一定的规律聚集而成的自然体。例如，我们通常所见到的花岗岩、石灰岩、片麻岩等都是指一定成因类型的具有一定矿物成分结构构造的岩石。岩石可由单种矿物组成（例如，纯洁的大理石由方解石组成），而多数的岩石则是由两种以上的矿物组成（例如，花岗岩主要有石英、长石和云母三种矿物组成）。按照成因，岩石可以分为三大类：岩浆岩、沉积岩和变质岩。

岩石的物理力学性能的指标通常是在实验室内用一定规格的试件进行试验而测定的。这种岩石试件是由钻孔中获取的岩芯或是在工程范围内用爆破以及其他方法所获得的岩石碎块经加工而制成的。这种所采集的标本或岩芯仅仅是自然地质体中间的岩石小块，称为岩块，岩石就成了相应岩石的代表，我们平时所称的岩石，在一定程度上都指的是岩块。

我们所指的岩体是一定工程范围内的自然地质体，它经历了漫长的自然历史过程，经受了各种地质作用，并在地应力的长期作用下，在其内部保留了各种永久变形的形象和各式各样的地质构造形迹，例如假整合、不整合、褶皱、断层、层理、节理、劈理、细微裂隙等，所以都把岩体称之为多裂隙岩体。由此可见，岩体是受到各种性质的软弱面切割而形成的综合体。由于软弱面的存在，岩体的强度要远低于岩石的强度，因而对于设置在岩体上或岩体中的各种工程所关心的岩体稳定问题来说，起决定作用的是岩体强度，而不是岩石强度。例如，在以往的围岩压力研究中，曾有学者错误地认为洞室的稳定是取决于岩石强度与围岩应力之间的矛盾，但许多工程实践表明，在某些岩石强度很高的围岩中，仍然会产生大规模的变形和破坏，分析其原因这是由于围岩的主体强度不够，即由于岩体中存在着软弱面而造成强度不足。由此人们逐渐认识到，影响洞室稳定的矛盾，不是岩石强度与围岩应力之间的矛盾，而是岩体强度与围岩应力之间的矛盾。所以岩体与岩石（块）是既有联系又有区别的两个概念。岩块是组成岩体的基本单元；而岩体则是指天然条件下由岩块组成的通常包含一种以上软弱面的复杂地质体。因此，我们不仅要深入研究岩石的物理力学性能，而且要深入研究岩体的物理力学性能。

0.2.3 岩体结构的基本概念

岩体是地质历史的产物。在长期的成岩及变形过程中形成了特有的结构。岩体结构包括两个基本要素：结构面和结构体。结构面就是软弱面，即岩体存在具有一定方向、延展较大、厚度较小的地质界面，包括物质的分界面和不连续面。它是在地质发展历史中，尤其是地质构造变形过程中形成的。被结构面分割成的岩块，四面均被结构面所包围，这种由不同产状的结构面组合切割而形成的单元块体就称为结构体，也称为岩块。

岩体的好坏与结构面的性质有密切的关系，结构面成因类型不同，其结合力就大不相同。结构面按其成因可分为下列几种：

（1）原生结构面。包括沉积结构面，如层面、层理、假整合面、不整合面等；岩浆结构面，如岩浆岩的流面、流纹、冷却收缩而形成的胀裂隙岩的接触面等；变质结构面，如片理、板理、剥理等。

（2）构造结构面。指在不同构造应力作用下所产生的各类张性、压性、扭性、压扭性

等结构面，如断层、裂隙等。

(3) 次生结构面。如风化裂隙、冰冻裂隙、重力卸荷裂隙等。

结构面的强度取决于它的特性，即它的粗糙度及充填物的性质。其中，构造结构面在岩体结构类型划分时，起着主导作用。在研究结构面时，一方面要注意结构面的强度、密度及其延展性，另外，还需注意结构面的规模大小和它们相互之间的组合特性。

在研究结构体时，首先要弄清结构体的岩石类型及其物理力学属性，然后根据结构面的组合确定结构体的几何形态和大小，以及结构体之间的镶嵌组合关系等。结构体的不同形态称为结构体的形式，常见的单元结构体有块状、柱状、板状体以及菱形、楔形、锥形体等。

岩体结构是由结构面的发育程度及组合关系或结构体的规模及排列形式所决定的。岩体结构类型的划分反映出岩体的不连续性和不均匀性特征。常见的结构体类型有块状结构、镶嵌结构、层状结构、碎裂结构、层状碎裂结构以及松散结构等。

岩体强度就是指岩体结构的强度。它是包含结构体强度和结构面强度的一个综合指标。通常需要通过现场原位测试而确定，但这种测试工作较为复杂，费用高，时间长。岩石强度虽然只是反映了机构体的强度，不能全面反映岩体强度，但也是一个不可缺少的基本参数，对于岩体强度的评价有一定的参考价值，特别是当岩体中仅有稀少的不连续面时，也即岩体的完整性良好时，岩体强度就与岩石强度接近。此外，岩石强度测定较为方便，积累的数据也多，所以目前工程设计中仍广泛应用，把它作为评价岩体稳定性的标准之一。

0.3 岩土力学研究的内容

岩土力学主要的研究内容包括：

- (1) 熟悉地质因素，对工程地质研究所得的定性成果的定量分析和计算。
- (2) 岩土体的物理力学性质的研究。
- (3) 岩土体稳定性所需要的各种参数的测试方法的研究，现场岩土体的大型力学实验，岩土体中应力和应变的监测技术的长期观测技术，包括岩土体的物理力学性能测试，模型模拟实验。
- (4) 在不同作用下，岩土体中应力与应变的发布规律以及岩土体与工程建筑物相互作用的研究。
- (5) 影响岩土体稳定性的各种因素和作用力，定量评价岩土体稳定性的理论以及科学计算方法的研究。
- (6) 关于加固岩土体的工程措施与处理技术的研究，并对岩土体安全评估预报。

0.4 岩土力学在工程建设中的作用和任务

生产实践证明，解决岩土工程问题，主要是应用岩土力学的知识来分析、计算、评价建筑物地基（土体或岩体）变形、强度及稳定性问题等。岩土力学计算与分析必须贯穿在

整个工程建设的规划、设计、施工及管理运行的全部过程之中。岩土力学计算与分析工作质量的好坏，直接或间接地关系着工程建筑的安全可靠性、技术可靠性及经济合理性。历史经验表明，工程建筑，特别是水利水电工程建筑物或构筑物，不怕工程地质条件复杂，也不怕工程地质问题繁多，怕的是对于工程地质条件的勘察研究不重视和不充分，工程地质分析不清楚，岩土力学计算不完善、不精确，且工程处理措施跟不上，结果会给工程建筑带来严重后果。

不仅高坝大库会造成严重事故，即使是中小型水利工程，也会由于设计计算不合理，地质问题处理不当，而带来生命财产的巨大损失。因此，岩土力学的分析计算工作，对于水库、大坝的安全可靠性起着重要作用。

忽视岩土工程问题分析与岩土力学计算工作可能造成重大经济损失甚至灾难，重视岩土工程问题分析与岩土力学计算工作，则可能将不利的、复杂的地质条件妥善处理或避开，从而保证建筑物的安全稳定，甚至可巧妙地使其转化为有利因素以节约投资。

在对自然界能源的开采和利用以及在各项工程建设中，例如水利水电工程、土木工程、采矿、铁路交通以及国防建设等，都提出了各种有关岩土体稳定性的课题。由于对岩土体稳定性认识不足，在一定程度上带有盲目性，一些大型水坝和岩土边坡、大型的地下洞室以及深部采矿等工程，都出现了重大的工程事故。甚至某些重大工程由于岩土体稳定性问题没有解决，迫使工程不能进行下去。究其原因，那是与各种受力状态下的岩土体失稳分不开的，这就引起了人们对岩土力学的重视。为使工程建设安全可靠、经济合理，就必须对岩体稳定性问题做出定量的评价。岩土力学对工程实践所起的作用正在逐步被人们更深刻地理解。

岩土力学毕竟是一门年轻学科，尤其是岩石力学在很多方面不够成熟，特别是由于岩体是自然地质体，影响岩体稳定性的各种因素之间的关系很复杂；自然界本身又是千变万化的，他们中间的很多规律尚未得到充分认识，这就迫使我们进一步去探索研究。正是由于工程实践的需要，岩土力学得到了很快发展。目前，在试图解决各种岩土体稳定性问题的时候，不仅要有先进的实验设备和方法——这是取得有关岩土体第一手资料的必要手段，而且还要有先进的理论指导和现代化的计算方法，才能有效地综合各种成果，求得接近于实际的答案。

岩土力学在工程建设中的主要任务有：

- (1) 解决岩土工程问题，诸如岩土体稳定性问题、地基承载力问题、渗透破坏问题、地基土变形问题、洞室围岩稳定问题、边坡稳定问题等。
- (2) 根据选定厂址的工程地质条件，经必要的岩土力学分析计算，提出建筑物的布置、建筑物结构类型、施工方法及运营使用中应注意的事项。
- (3) 提出改善和防治不良地质条件，解决岩土工程问题的方案和措施。

0.5 岩土力学的研究方法

0.5.1 土力学的研究方法

土力学是一门工程应用性很强的学科，因此，在学习土力学时，要使理论、室内外土

工试验和工程实践相结合,使理论计算与工程经验并重,不能轻理论重实践或轻实践重理论。

0.5.2 岩石(体)力学的研究方法

岩石力学是一门新兴学科,也是一门边缘交叉学科。为了能用力学的观点为具体的工程建设服务,岩石力学必须采用对自然存在的岩体进行性质测定、理论计算、科学试验与理论分析紧密结合的方法。

岩石力学中的科学实验是岩石力学研究工作的基础。进行岩石和岩体的物理力学参数测定,以及进行各项现场和室内的模型和原型试验,是建立有关岩石力学概念和理论的物质基础。从事于岩石力学研究的工作者为了获得更好的一手资料,广泛地采用现代探测新技术。事实证明,每当采用新的技术对岩体进行科学实验而获得成功时,我们对于岩体性能的基本认识也就前进了一步。因此,岩石力学的科学实验必须用最先进的测试手段来支撑。

显然,我们现在所应用的理论是建立在前人基础上的,例如弹性理论、塑性理论、松散介质力学理论等。这些理论对于岩体的适用性要受到实践的检验。由于一定的理论是在一定的假设条件下建立的,它与复杂多变的自然岩体之间总是存在一定的差距,理论的适用性总是要受到一定的限制,因此,在应用理论时就要注意它的适用性。目前在岩石力学中尚有不少问题应用现有理论知识仍然不能得到完善的解答,还只能凭借实践中所获得的经验来进行处理,这在目前仍然是很重要的,但这些经验(经验公式)的作用绝不会阻碍和放弃理论的发展,而是要促进理论的发展。

各类岩体有它的地质成因,也经受了各种地质构造运动过程,各种结构面就是在这个过程中形成和演变的。岩石力学的研究离不开工程地质的定性研究,研究岩石力学还要求具备一定的工程地质和地质学知识。

岩石力学又是一门应用性很强的学科,因此,在应用岩石力学知识解决具体工程问题的时候,必须与工程的设计与施工保持密切联系和相互配合。岩石力学既应该为设计与施工提出有利于岩体稳定的方案,又能为新的设计和施工方法提出岩体稳定性的理论根据,尽管要完全做到这一点是困难的,但是应该向这方面努力。

0.6 岩土力学的发展简介

岩土力学是随着人类工程建设的发展而逐渐形成的。人类的工程活动,早在公元前就开始了,我国的万里长城、都江堰工程、江杭大运河以及埃及金字塔都是古代伟大工程的代表。许多古代桥梁、宫殿、庙宇、楼阁、院塔的修建,还考虑到了地震和地下水的问题,选定了良好的基础,进行了合理的地基处理,采用了各种坚固美观的石料,使这些建筑物结实稳定,历千年而依然屹立。隋朝所建赵州石拱桥,把桥台砌筑在密实粗砂层上,基地压力达 $500\sim 600\text{kPa}$,1300年来沉降量很小;公元989年建造开封开宝寺木塔时,预见塔基土质不均匀,会引起不均匀沉降,施工时特意做成倾斜,在沉降稳定后自动修正。古代的劳动人民在工程建设中虽然积累了一定的岩土力学知识,但是直到20世纪20年代以后,岩土力学才得以快速发展,1925年美国土力学家太沙基发表土力学专著,使土力

学形成一门独立的学科。岩石力学是一门新兴的学科,它在 20 世纪 50 年代才开始发展起来。

近年来,世界各国高坝(坝高大于 300m)、高层建筑、高速公路、跨海跨河大桥、海底、海底隧道、长距离引水工程等巨型工程的兴建和多次强烈的地震破坏,为岩土力学的研究提出了许多课题。对区域地壳稳定性的研究、滑坡、泥石流、地裂缝、喀斯特地表塌陷、地面沉降及水库诱发地震等地质灾害的研究得以重视,并取得了较大的进展,产生了大批专著及研究成果。我国著名学者、中科院院士卢肇均及沈珠江在展望 21 世纪的学术论文中,对土力学的发展均作了很好的概况、总结与展望。

沈珠江院士将土力学的发展划分为两个阶段:

(1) 古典土力学阶段:时间为 1923—1962 年,其标志是一个原理,即有效应力理论;两个理论,即饱和土固结理论和土体极限平衡理论。

(2) 现代土力学阶段:时间为 1963 至今,其标志是一个模型,即本构模型;三个理论,即非饱和土固结理论、液化破坏理论和逐渐破坏理论;四个分支,即理论力学、计算土力学、实验土力学和应用土力学。其中理论土力学是龙头,它包括非饱和土固结理论、液化破坏理论和逐渐破坏理论;计算土力学是动脉,它包括确定性分析、非确定性分析及反演分析;实验土力学是基础。它包括土样室内试验、原位测试、模拟试验及离心模型试验;应用土力学是动力,它包括原位观测、工程实录、地基处理及专家系统等。

岩石力学近 50 多年来发展迅速,学术交流活动频繁,探讨问题的深度和广度都有新的突破,测试技术正在提高,与工程勘探和设计施工的结合日趋紧密。分析国内外的资料来看,有以下的进展和动向:

(1) 重视工程地质宏观研究。岩石力学工作者在大量工程实践中,日益认识到发展岩石力学,一定要具备工程地质方面的知识,并借此来加强对岩体特征的宏观判断能力。事实上,世界上许多工程失事,大都不是由于计算错,而是由于对工程地质条件、岩体条件的宏观判断错误多造成的。因此在岩石力学研究中应加强工程地质实践,使两者紧密地结合在一起。

(2) 大力发展岩体及岩石测试机检测技术。主要方法有:①试验方法的标准化和国际上的统一;②岩石力学的测试方法与地质勘探和设计施工配合更密切。一空多用的测试手段有了新发展,仪器设备的自动化和轻型化,以技术及采集处理的计算机程序化等都有很大的提高;③岩石(体)物理力学试验。地质力学模型、原位观测和数值分析三者之间有机地内在联系,愈来愈被人们所认识,因而通过工程实例的研究和根据监测资料的反分析来寻求岩体变形、破坏规律的分析方法也有了很大的发展。

(3) 加强对岩石(体)基本性质的研究。大范围岩体及结构面的几何特征、本构关系以及破坏准则方面的研究有所进展。如在弹性模型、弹塑性模型、低温及最小主应力条件下的时间相关模型、大的天然不连续面的力学性状的模拟等方面均有不少成果。

(4) 数值分析在岩石力学中的广泛应用。有限元法、边界元法、离散元法节理岩块模型、关键块体理论等已成为解决岩石力学问题的有力工具。

(5) 强调岩石力学在工程上的应用。研究的重点转向地下工程。

(6) 重视工程实例的总结以及现场的判断, 加强专家系统的建立工作。

总的来说, 岩石力学虽然发展很快, 但这门学科远非成熟, 现有的理论和方法还远不能满足解决工程设计问题的需要。因此, 加强岩石力学研究, 更快地推动学科的发展, 是工程实践的客观要求。

实验、测试技术日新月异, 利用计算机进行数值仿真计算, 实时、动态、自动化监控建筑物的稳定性和变形, 使岩土力学的研究更加活跃。

总之, 岩土力学的应用, 已深入到各行各业的工程中, 以解决工程实际问题为目的岩土力学的发展之路。

0.7 岩土力学学习方法

岩土力学课程涉及工程地质学、土力学、岩石力学、渗流力学、裂隙岩石水力学(岩石水力学)、结构设计、基础处理等学科, 内容广泛, 综合性强。由于岩土是自然历史的产物。在学习过程中除了运用基础力学的基本原理外, 还应该密切结合实际情况进行研究。学习过程既应该注重基本原理的学习, 牢固掌握岩土的性质、应力、变形和强度等基本理论, 也应该加强与交叉相近学科的补充学习, 拓展范围。

本课程学习方法与研究岩土力学方法相对应, 主要表现在下列四个方面:

(1) 工程地质研究方法。着重于研究与岩土的力学性质相关的地质特征。例如用矿物鉴定的方法了解岩土体的类型、矿物组成及其构造特征; 用地层方法、构造地质学方法及工程勘探方法等了解岩体的成因、空间分布及岩土体的各种分界面的特征; 用水文地质方法了解岩土体中地下水的形成与运移规律。因此, 在学习本课程过程中利用好水文地质等相应学科知识。

(2) 科学实验方法。科学实验(或试验)是岩土力学的发展基础, 包括实验室实验、模型试验、现场的原位试验及检测技术, 地应力的测定、岩土体的构造等。实验结果可以为岩土体的变形和稳定性分析计算提供必然的物理力学参数。同时还可以用某些试验结果(如原位应力、位移等)直接评价岩土体的变形和稳定性。所以学习岩土力学课程时应该学习岩土体的科学实验方法和实验数据分析处理。在理论课讲解的同时, 安排了相应的实验实践课程。

(3) 数学力学分析方法。数学力学分析是研究岩土力学的重要方法, 它通过建立工程岩土体的力学模型和利用相当的分析方法, 研究岩土体在各种力场作用下的变形特性和稳定性分析, 为岩土工程设计与水工建筑物等基础设计和工程施工提供定量分析, 其中建立符合实际的力学模型和选择合适的分析方法就是关键。因此在学习本课程时应该认真学习岩土力学的相关公式的推导和应用条件的学习, 用数学和力学的方法来分析岩土体的力学特性和破坏机理。

(4) 整体综合分析方法。就整体工程进行多种方法并以系统工程为基础的综合分析。这是研究岩土力学与工程研究的常用方法。由于岩土力学研究中每一个环节都是多因素, 且信息量大, 因此必须采用多种方法并考虑多种因素(地质的、工程及其施工的因素等)进行综合分析和综合评价, 特别注重理论与经验相结合, 进而得出符合

实际情况的较为科学合理的结论。因此在学习本课程时，同样要采用整体综合分析的方法来完成学习任务。

总之，本课程的学习方法有很多，针对不同的内容要采用不同的学习方法。从教学环节上讲，必须课前预习，课程讲解过程中抓住学习重点，课后要完成课后习题，课余要阅读相关文献和资料，学习各环节要求做到眼到、手到和心到。