

YANTU LIXUE

水利水电工程(专科起点本科)专业系列教材

■ 刘汉东 主编

岩土力学



中央广播电视大学出版社

TU4/74

2003

水利水电工程（专科起点本科）专业系列教材

岩土力学

刘汉东 主编

中央广播电视大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

岩土力学/刘汉东主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2003.12
(水利水电工程(专科起点本科)专业系列教材)
ISBN 7-304-02486-0

I. 岩… II. 刘… III. 岩土力学—成人教育:
高等教育—升学参考资料 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 120061 号

版权所有, 翻印必究。

水利水电工程(专科起点本科)专业系列教材
岩 土 力 学
刘汉东 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社
电话: 发行部: 010-58840200 总编室: 010-68182524
网址: <http://www.crtvup.com.cn>
地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号
邮编: 100039
经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 旷天鑑	责任编辑: 申 敏
印刷: 北京银祥福利印刷厂	印数: 6001~9000
版本: 2003 年 11 月第 1 版	2006 年 9 月第 3 次印刷
开本: 787×1092 1/16	印张: 22.75 字数: 523 千字

书号: ISBN 7-304-02486-0/O·133
定价: 29.00 元

(本书如有缺页或倒装, 本社负责退换)

内容提要

岩土力学是中央广播电视大学水利水电工程本科专业的统设必修专业基础课。本书共分 12 章。内容包括：岩土的物理力学性质及工程分类；岩土体的渗透特性；土体的应力与变形；土的抗剪强度；土压力计算；地基承载力；岩石的基本力学性质；岩体初始应力及其测量；边坡稳定性分析；地下洞室围岩稳定性分析；坝基稳定性分析；水利水电工程中的地基处理常用方法。使用本书在于学习并掌握岩土力学的基本理论、方法和技术。

本书可作为水利水电、土木工程、地下建筑、冶金、交通以及国防工程等专业的本科生教材，亦可供高校师生和工程技术人员参考。

前 言

岩土力学 (Geotechnics) 是 1922 年瑞典岩土委员会提出的。近 80 年来, 在理论和工程实际应用方面有很大的进展。1925 年 K. Terzaghi 出版了《土力学》, 1948 年创立了国际土力学和基础工程协会, 1966 年在里斯本召开了第一届国际岩石力学会议, 可以说岩土力学是近代发展起来的一门新兴学科, 也是一门应用性的基础学科。它的理论基础涉及固体力学、流体力学、弹塑性理论、应用数学和工程地质学等学科。

岩土力学是研究岩土力学的性能和应用的科学, 也是一门边缘学科。为了能用力学的观点对自然存在的岩土体进行性质测定和理论计算, 为工程建设服务, 岩土力学的研究方法包括科学实验、理论分析及工程验证等环节, 三者是紧密结合并且相互促进的。现代土力学起源于 20 世纪初关于滑坡原因的调查, 1959 年 12 月法国 Malpassat 坝的破坏和 1963 年意大利 Vajont 坝的大滑坡造成水库失效促成了岩石力学学科的产生。岩土力学解决工程建设中存在的岩土力学问题, 大规模的工程建设又促进了岩土力学的发展。

岩土力学包括土力学和岩石力学。土力学和岩石力学研究的对象有所不同, 一个是土, 一个是岩石 (岩体), 但两者研究的方法和体系是一致的, 岩石力学大多引用了土力学的研究方法和体系, 两者同样服务于地壳表面和地壳内的工程建设。过去土力学和岩石力学是两个学科, 两本不同的教材, 作者将其合并起来是一种尝试。

2002 年 12 月中央广播电视大学教务处、水利部开放教育试点办公室邀请有关专家对《岩土力学教学大纲》进行认真的研究和审定, 通过了水利水电工程专业开放式教学层次的岩土力学课程教学大纲。2003 年 3 月对《多媒体一体化设计方案》进行审定和修改, 2003 年 6 月对本书初稿进行了讨论和修改。

参加本书编写的有华北水利水电学院的刘汉东、孙文怀、黄志全、殷淑华、吕占彪, 刘汉东任主编。黄河水利委员会勘测规划设计研究院路新景教授级高级工程师、华北水利水电学院李华晔教授、黄河水利委员会设计科研所王宝成教授级高级工程师对本书进行了审定, 路新景担任主审。审定专家对教材进行

了认真的审阅，并提出了许多宝贵的意见和建议。本书得到了河南省创新人才基金和河南省杰出青年科学基金的资助。本书编写中引用了许多学者和单位的资料和文献。中央广播电视大学出版社为本书的出版做了大量工作。对于上述单位与人员的帮助与指导，在此一并致谢，并恳请读者对本书给予批评指正。

编 者

2003 年 6 月

目 录

绪 论	(1)
一、岩土力学的概念	(1)
二、岩土力学的研究对象	(1)
三、岩土力学研究的内容	(3)
四、岩土力学在工程建设中的作用和任务	(4)
五、岩土力学的研究方法	(6)
六、岩土力学的发展简介	(7)
第1章 岩土的物理性质及工程分类	(9)
1.1 岩土体的特性	(9)
1.2 岩土的物理性质指标	(15)
1.3 土的物理状态指标	(26)
1.4 岩土的工程分类	(29)
第2章 岩土体的渗透特性	(41)
2.1 概 述	(41)
2.2 岩土体的渗透性	(42)
2.3 渗流场理论	(48)
2.4 渗透破坏的类型	(50)
2.5 坝基渗透稳定性分析	(53)
2.6 渗透变形的防治措施	(56)
第3章 土体的应力与变形	(60)
3.1 概 述	(60)
3.2 土的自重应力	(61)

3.3	基底接触应力	(64)
3.4	附加应力	(68)
3.5	有效应力原理	(83)
3.6	土的变形特征	(87)
3.7	地基最终沉降量计算	(92)
3.8	应力历史对地基沉降的影响	(99)
3.9	土的渗透固结理论	(107)
第4章	土的抗剪强度	(119)
4.1	概 述	(119)
4.2	土的抗剪强度的基本理论	(120)
4.3	抗剪强度试验方法	(125)
4.4	土的抗剪强度指标与主要影响因素	(129)
4.5	土的天然强度及强度增长规律	(130)
4.6	土的强度特性	(135)
4.7	应力路径对强度的影响	(140)
第5章	土压力计算.....	(146)
5.1	概 述	(146)
5.2	静止土压力的计算	(148)
5.3	主动及被动土压力计算的朗肯理论	(149)
5.4	主动及被动土压力计算的库仑理论	(153)
5.5	常见情况的土压力计算	(157)
5.6	非极限土压力的计算	(160)
5.7	挡土墙的设计与计算	(162)
第6章	地基承载力.....	(169)
6.1	概 述	(169)
6.2	地基的破坏模式	(170)
6.3	地基的临塑荷载和临界荷载	(173)
6.4	地基承载力的确定方法	(176)
6.5	地基承载力的特征值	(190)
第7章	岩石的基本力学性质	(192)
7.1	概 述	(192)

7.2	岩石的强度性质	(194)
7.3	岩石的强度准则	(208)
7.4	岩体强度分析	(214)
7.5	岩石的变形性质	(222)
第8章	岩体初始应力及其测量	(244)
8.1	概 述	(244)
8.2	岩体的初始应力	(245)
8.3	岩体初始应力的量测方法	(247)
第9章	边坡稳定性分析	(256)
9.1	边坡的变形与破坏类型	(256)
9.2	影响边坡稳定性的因素	(261)
9.3	边坡稳定分析与评价	(264)
9.4	边坡的处理措施	(278)
第10章	地下工程围岩稳定性分析	(282)
10.1	地下洞室开挖引起的围岩应力重分布	(282)
10.2	地下洞室围岩的变形破坏	(284)
10.3	地下工程岩体稳定性的影响因素	(290)
10.4	山岩压力与洞室围岩稳定性计算	(292)
10.5	有压隧洞围岩稳定性	(308)
第11章	坝基稳定性分析	(319)
11.1	概 述	(319)
11.2	坝基承载力	(320)
11.3	坝基岩体的稳定性分析	(325)
第12章	水利水电工程中的地基处理	(333)
12.1	土坝软基排水固结处理	(333)
12.2	水利工程中截渗墙防渗处理	(336)
12.3	高压固结灌浆	(339)

绪 论

一、岩土力学的概念

人类生存与发展过程中，不断适应自然与改造自然，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）力学与土力学二门课程组成，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。它是固体力学的一个分支。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。由于研究对象的复杂性，因此，岩石力学是一门较复杂的学科。

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。

二、岩土力学研究的对象

岩土力学研究的对象是岩石和土。

1. 土及土体的概念

土是母岩风化的产物。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，它是由固体颗粒、水和气体组成的三相体。土具有强度低、受力后压缩变形大、透水性差、不均匀及固结时间长等一系列特点。土体即土的集合体。工程上用来支承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，由于基岩埋藏很深，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的范畴。

2. 岩石(岩块)和岩体的基本概念

岩石(岩块)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(岩块)和岩体的基本概念。什么是岩石?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及结构构造的岩石。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,花岗岩主要由石英、长石和云母三种矿物组成)。按照成因,岩石可分为三大类: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试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,岩块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。

什么是岩体呢?我们所指的岩体是在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种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,曾有人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整体强度不够,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(岩块)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。

3. 岩体结构的基本概念

岩体是地质历史的产物。在长期的成岩及形变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。结构面就是上述的软弱面,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。被结构面分割形成的岩块,四周均被结构面所包围,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。

结构面是岩体的重要组成单元。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以下几种:

(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、冷却收缩面形成的张裂隙岩的接触面等;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。

结构体是岩体的重要组成部分。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结构体的强度,不能全面反映岩体强度,但也是一个不可缺少的基本参散,对于岩体强度的评价具有一定的参考价值,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,积累的散数据也多,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。

三、岩土力学研究的内容

岩土力学研究的主要内容包括:

(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试验,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,模型模拟试验;

(4) 在不同的力作用下,岩土体中应力与应变的分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。

四、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、技术可能性及经济合理性。历史经验表明:工程建筑,特别是水工建筑,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,工程处理措施跟不上,结果会给工程建筑带来严重的后果。国际大坝委员会曾在1973年对世界110个国家和地区(未包括我国在内)已建的大坝(坝高在15 m以上者),约12 900余座进行了调查。从统计资料看,发生过失事事故的有589座,其中大多数与不良的地质条件且未经合理处理密切相关。如1959年12月2日法国的马尔帕赛(Malpasset)拱坝的崩溃,曾轰动了国际水利界,该坝66 m高,由于坝基左岸岩石软弱,未经地基处理,蓄水后发生位移达210 cm,致使整个坝体全部崩溃,水库拦蓄的 $3 \times 10^7 \text{ m}^3$ 水,顿时下泄形成洪水,以8.33 m/s的速度倾泄,造成下游400余人死亡,损失达6 800万美元。印度的纳纳克萨加(Nanaksgar)坝,为一高15.9 m的土坝,1967年9月7日,由于坝基发生管涌,使坝体决口,造成32个村庄的人民流离失所,损失惨重。意大利的瓦依昂(Vajont)水库,坝高265 m,当时是世界上最高的双曲拱坝,1963年10月9日坝前左岸山体突然发生特大滑坡,2.4亿 m^3 的岩体迅速滑入峡谷水库中,产生涌浪高200多米,漫过坝顶,泻向下游,使朗格伦镇夷为平地,共死亡2 400多人,水电站工作人员也全部遇难。美国的圣·弗兰西斯(St. Francis)拱形重力坝,由于坝基砾岩为粘土质胶结并含有石膏夹层,被渗透水流浸湿、软化、溶解,导致坝体沉陷、开裂、滑移崩溃,伤亡400多人。再有,历时32年(1882—1914)凿成的巴拿马运河,耗资4亿多美元,建成后第二年在分水岭地段发生了大规模岩崩,堵塞了运河,处理此事故又用了5年的时间,多开挖了5 400万 m^3 土石方,相当于此段开挖总量的40%以上,仅停航5年,损失就达10亿美元(还有许多实例,详见国际大坝会议十一届文献资料)。这些实例说明,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。

我国从1949年以来,已建成坝高15 m以上的大坝水库12 000余座。由于党和政府非常重视岩土工程工作,因此,直接由于地质问题而产生的溃坝事故极为罕见。然而由于对工程地质条件研究不够,岩土力学分析计算不够合理,或对工程地质问题处理不当,而造成的水库或坝基漏水、水库淤积及边坡滑塌、洞室塌方等工程事故还是屡见不鲜。如北京的十三陵水库,坝基和库区存在着深厚的渗透性较强的古河道冲积层,建坝初期未作垂直防渗处理,

致使水库多年不能正常蓄水, 60 年代作了坝基防渗墙处理, 坝基不漏了, 但水库区古河道仍在渗漏, 渗漏问题仍未解决, 直到 1991 年为了兴建抽水蓄能电站, 在库区又作了一道防渗墙, 才彻底解决了漏水问题。四川陈食水库, 因坝基岩体受到渗透水流的潜蚀冲刷, 形成空洞, 造成 15.9 m 高的砌石连拱坝坍塌毁坏。江西上犹江、四川狮子滩及长江葛洲坝水电站坝基泥化夹层问题, 湖南拓溪水电站及云南漫湾水电站坝址区滑坡问题等, 都延误了工期, 造成了较大的经济损失。虽然失败的教训使我们遭受了重大的损失, 但也取得了宝贵的经验, 提高了对岩土工程问题的分析与岩土力学计算工作重要性的认识, 同时也促进了岩土力学的发展。

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。例如, 云南丘北六郎洞水电站、湖南辰溪县内湾水库等均成功地拦截地下暗河, 利用溶洞建成水库并发电; 三峡库区长江左岸新滩镇 1985 年发生大滑坡, 全镇房屋均被推入江中, 但事前进行了长期监测工作, 且预报较准, 全镇 1 371 人无一伤亡; 四川雅砻江二滩水电站, 拱坝坝高 245 m, 对坝基岩体进行了详细勘察和深入研究, 提出了最优的建基面方案, 与初步设计相比基坑开挖深度减少 7.56 m, 结果可节约投资 6 000 多万元, 并可缩短工期 11 个月; 长江三峡工程也有类似情况, 由于利用了部分弱风化岩体作为坝基, 结果建基面平均提高约 2 m 多, 节省石方开挖 50 万 m^3 , 混凝土约 43 万 m^3 。

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、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。目前, 工程建设的规模越来越大, 例如, 坝高可能超过 300 m, 隧道和矿山坑道的开挖深度已超过了 3 000 m, 杭州湾跨海大桥的兴建等等, 随之对工程建设的责任性也相应增大。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。同时, 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性尚未得到充分认识, 这就迫使我们必须进一步去探索研究。正是由于工程实践的需要, 岩土力学得到了快速发展。目前, 在试图解决各种岩土体稳定性问题的时候, 不仅要有先进的试验设备和方法——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。

综上所述, 岩土力学在工程建设中的主要任务是:

(1) 解决岩土工程问题, 诸如岩土体稳定问题、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) 根据选定场址的工程地质条件, 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。

五、岩土力学的研究方法

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。

2. 岩石(体)力学的研究方法

岩石力学是一门新兴的学科, 也是一门边缘学科。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。现在, 从事于岩石力学研究的工作者为了更好地获得第一手资料, 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武装。

必须指出, 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, 这在目前仍然是很需要的, 但这些经验(经验公式)的作用绝不是阻碍和放弃理论的发展, 而是要促进理论的发展。

还需指出, 岩体是个天然地质体, 它经历了漫长的自然历史过程。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的知识。

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。

六、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、京杭大运河以及埃及的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,使这些建筑物坚实稳定,历千百年而依然屹立。隋朝所修赵州石拱桥,把桥台砌筑在密实粗砂层上,基底压力达 500~600 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,在沉降稳定之后自动修正。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 300 m)、高层建筑、高速公路、跨海跨河大桥、海底、河底隧道、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括、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。其标志是一个原理、两个理论,即有效应力原理、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,即理论土力学、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 20 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,测试技术水平正在提高,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性的宏观判断能力。事实上,世界上许多岩体工程失事,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所造成的。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及检测技术。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。一孔多用的测试手段有了新发展，仪器设备的自动化和轻型化，以及数据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的内在联系，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性、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分析以及现场的判断，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实际问题的要求。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。