

岩体力学基础



# 岩体力学基础

孙广忠著

工程地质学丛书

科学出版社



# THE HISTORY OF THE UNITED STATES

BY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILL.

工程地质学丛书

# 岩体力学基础

孙广忠 著

科学出版社

## 内 容 简 介

本书是《工程地质学丛书》的一种。本书作者以地质为基础，以岩体结构为重点，阐述了岩体变形、破坏机制及其力学性质。把岩体按其结构、岩性及环境应力条件划分为三种力学介质。提出了岩体力学是由块裂介质力学、碎裂介质力学及连续介质力学构成的力学体系的观点。作者对这三种介质力学基本特点做了初步的论述，并着重对岩体力学试验设计工作，对岩体力学试验原理及方法进行了论述。

本书可供地质、土木、矿山工程技术人员和岩体力学工作者，以及有关院校师生参考。

### 工程地质学丛书编委

主 编 **谷德振**  
副主编 戴广秀 孙玉科  
编 委 张咸恭 张兴仁 李生林  
许 兵 周文辅

工程地质学丛书

## 岩 体 力 学 基 础

孙广忠 著

责任编辑 周文辅

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1983年4月第一版 开本：787×1092 1/16  
1984年12月第二次印刷 印张：15 5/8 插页：1  
印数：4,701—7,200 字数：357,000

统一书号：13031·2216

本社书号：3030·13-14

定价：2.50元

## 前 言

科学技术发展水平及速度，严格地受它们的基础理论研究状况控制着。哪个领域的基础理论研究得好一些，哪个领域的科学技术水平就高一些，发展也就快一些。今天在土木工程、矿山工程及地学研究领域内迫切地要求开展岩体力学研究。岩体力学已经成为这三大学科技术领域的基础学科。目前，它对这三大学科技术领域的进展的影响已经明显表现出来。由于岩体力学理论水平不高，已使这三大学科技术领域的某些部门的发展受到一些限制。开展岩体力学研究的呼声愈来愈高。

岩体力学的现状是“声誉很高，信誉尚低”。也就是说，都认为岩体力学很重要，对它表示关心和重视；另一方面，又对它解决问题的能力表示怀疑和不够信任。著者认为，问题的关键在于岩体力学的理论与岩体的地质实际脱节。它表现在许多方面，如岩体不仅是一种连续的力学介质，而且也有着许多不连续的力学介质；可是，许多人却习惯地采用连续介质力学观点来研究一切的岩体力学问题。这显然是不符合实际的。遗憾的是，目前从事岩体力学工作的科学技术工作者很少认真地对岩体的地质特征、岩体地质因素的力学效应、岩体力学作用规律以及岩体力学介质特点等问题进行研究。著者认为，这是岩体力学从研究的基础性课题的一个重要部分。这对提高岩体力学水平、解决岩体力学目前存在的“声誉很高，信誉尚低”问题具有重要意义。

为了探索解决上述问题的途径，著者有计划地组织了岩体力学中的地质问题，特别是结构面及岩体结构的规律及其力学效应的研究工作。在从事这项研究过程中著者对岩体力学逐渐形成了一些认识，即岩体力学的基础是岩体的地质特征及其力学效应，特别是岩体结构及其赋存条件的规律及其力学效应。它控制着岩体变形和破坏机制，影响着岩体力学性能，规定着岩体力学介质特征及岩体力学作用分析原理和方法。这也是岩体力学与其他介质力学区别之处，也是本书论述的纲。

著者在本书内论述的观点、方法和观念，是在较长的时间内与周瑞光、赵然惠、郭志、陈诗才、许学汉等同志一起参加大量的工程实践，与许多生产单位共同协作中积累的经验基础上，经过和许多同志反复讨论中形成的。在这过程中著者经常得到谷德振教授宝贵指导，对形成著者的观点、方法和观念具有重要作用。本书也可看做是谷德振教授著的《岩体工程地质力学基础》的岩体力学部分的扩写。谷德振教授曾经明确地指出过，岩体结构和岩体力学是岩体工程地质力学的基础。有关岩体结构理论，谷德振教授在《岩体工程地质力学基础》一书内已做了详细的论述，我室岩体结构组做了大量工作。本书仅就如何以岩体结构为基础开展岩体力学研究，或者说，岩体力学研究如何与地质研究相结合进行探讨。

本书是在岩体力学组集体劳动成果的基础上，根据著者的认识编写成的。在本书写作过程中，周瑞光、赵然惠等同志投入了大量的劳动，并参加了部分编写，其他同志也给予了大力支持。

本书于1979年10月完成初稿，1980年5月脱稿。稿成后，经谷德振教授、陶振宇副教授、张兴仁高级工程师等认真审查。对本书初稿提出了许多宝贵意见。有的，著者已经作了修改；有的，著者将作为问题在今后的研究工作中解决。著者在此表示衷心感谢。尽管如此，本书还会有许多缺点和错误，敬请读者给予批评、指正。来信请寄：北京德胜门外祁家豁子中国科学院地质研究所。

著 者

1981.6.于北京

# 目 录

绪论 .....	1
(一) 社会实践要求发展岩体力学 .....	1
(二) 岩体力学的发展 .....	2
(三) 岩体力学研究课题 .....	4
(四) 岩体力学研究动向 .....	6
第一部分 岩体力学的地质基础 .....	8
一、岩体的地质特征 .....	8
(一) 岩体的概念 .....	8
(二) 岩体的形成 .....	9
(三) 岩体的组成物质——岩石 .....	10
(四) 结构面及其地质力学效应 .....	13
(五) 岩体结构 .....	24
二、岩体赋存的地质物理环境特征 .....	28
(一) 地应力 .....	29
(二) 地下水 .....	35
(三) 地热 .....	40
三、岩体力学特性的形成及岩体力学介质 .....	42
(一) 结构体的力学性质特点 .....	43
(二) 结构面的力学效应 .....	45
(三) 岩体结构的力学效应 .....	53
(四) 围压效应 .....	57
(五) 岩体力学介质特征 .....	59
第二部分 块裂介质岩体力学 .....	62
一、块裂介质岩体及软弱结构面基本特征 .....	62
(一) 块裂介质岩体基本特征 .....	62
(二) 软弱结构面的地质特征 .....	65
二、软弱结构面的力学性质 .....	66
(一) 结构面力学性质一般特点 .....	66
(二) 软弱结构面试件的力学性质 .....	71
(三) 软弱结构面形态的力学效应 .....	74
(四) 软弱夹层的力学效应 .....	79
(五) 岩体结构面的力学性质 .....	81
三、块裂体力学分析方法 .....	85
(一) 赤平极射投影原理及方法 .....	85
(二) 实体投影及块裂体几何分析 .....	88
(三) 作用于块裂体上的力的分析 .....	93
四、块裂介质岩体力学原理 .....	95
(一) 概说 .....	96

(二) 块裂体的刚性假定 .....	97
(三) 摩擦圆与结构分析 .....	99
(四) 滑动面和滑动方向 .....	100
(五) 两组结构面控制下的岩体力学作用 .....	101
(六) 三组以上结构面组合的岩体力学作用 .....	102
五、块裂介质岩体稳定性分析方法 .....	103
(一) 方法和程序 .....	103
(二) 边坡稳定性分析实例 .....	104
第三部分 连续介质岩体力学 .....	114
一、连续介质岩体的地质特征 .....	114
二、连续介质岩体中应力传播的基本规律 .....	116
(一) 连续介质的一般静力学方程 .....	116
(二) 连续介质变形方程 .....	118
(三) 物理力学方程 .....	120
(四) 连续性条件 .....	120
三、连续介质岩体变形特征 .....	123
(一) 固体变形一般特征 .....	123
(二) 连续介质岩体变形的力学模型 .....	125
(三) 连续介质岩体变形实验研究 .....	130
四、连续介质岩体的破坏及破坏判据 .....	136
(一) 连续介质岩体破坏机制及其转化 .....	136
(二) 无裂隙连续介质岩体破坏判据及强度理论 .....	139
(三) 有裂隙的连续介质岩体的破坏判据及强度理论 .....	144
五、连续介质岩体稳定性分析 .....	147
(一) 基本概念 .....	147
(二) 均匀应力场内圆形洞室的稳定性分析 .....	148
(三) 二向不等应力场内圆形洞室的稳定性分析 .....	158
第四部分 碎裂介质岩体力学 .....	163
一、碎裂介质岩体的地质特征 .....	163
二、碎裂介质岩体中应力传播 .....	165
(一) 碎裂介质岩体中应力传播的力学模型——结构体单元应力传播机制 .....	165
(二) 对缝式碎裂结构的碎裂介质岩体中应力传播 .....	167
(三) 错缝式碎裂结构的碎裂介质岩体中应力传播 .....	174
三、碎裂介质岩体变形特征 .....	180
(一) 概论 .....	180
(二) 碎裂介质岩体变形机制 .....	182
(三) 层状弹性碎裂介质岩体变形特征 .....	183
(四) 层状粘弹性碎裂介质岩体变形特征 .....	184
四、碎裂介质岩体破坏及破坏强度 .....	187
(一) 碎裂介质岩体破坏机制及破坏判据 .....	187
(二) 碎裂介质岩体破坏强度的结构效应 .....	190
(三) 碎裂介质岩体破坏强度的围压效应 .....	194
(四) 碎裂介质岩体强度分析 .....	195



五、碎裂介质岩体稳定性分析方法 .....	195
(一) 某水库右坝肩工程地质条件及岩体变形破坏现象 .....	196
(二) 岩体力学介质 .....	198
(三) 破裂面深度分析 .....	198
(四) 坝基下变形量估算 .....	200
<b>第五部分 岩体力学试验原理及方法 .....</b>	<b>203</b>
<b>一、岩体力学试验原理及试验设计 .....</b>	<b>203</b>
(一) 岩体力学工作程序 .....	203
(二) 岩体力学试验工作准则 .....	206
(三) 岩体力学试验方案设计及试验大纲的编制 .....	210
(四) 试件设计问题 .....	212
(五) 加载设计问题 .....	216
(六) 试验方法选择 .....	220
<b>二、岩体力学试验方法要点 .....</b>	<b>222</b>
(一) 试块抗拉试验方法要点 .....	222
(二) 试块抗剪试验方法要点 .....	224
(三) 试块抗压试验方法要点 .....	227
(四) 岩体变形试验方法要点 .....	231
<b>三、资料整理 .....</b>	<b>234</b>
(一) 误差概念 .....	234
(二) 寻求最佳值的具体方法 .....	236
<b>参考文献 .....</b>	<b>240</b>

# 绪 论

## (一) 社会实践要求发展岩体力学

岩体力学是研究岩体在其环境应力场改变时产生变形和破坏规律的科学。人类生活在地球表层，而且依赖地球表层提供的条件得以生活。在创造生活条件过程中，特别是为了开发矿产资源进行矿山建设、开发水利资源进行水利建设、发展运输事业进行铁路建设、以及做为仓库、厂房等而修建大型地下洞室等都密切地与地球表层的岩石和岩体有关。这些关系主要表现在三个主要方面：1) 寻找矿产资源；2) 为资源开发和利用而进行的工程建设；3) 防御地震、火山等自然灾害而进行的预报、预防措施研究。矿产资源的形成与地壳的构造运动密切相关，而其赋存条件与地质构造密切相关。李四光教授创立的地质力学为研究地质构造提供了力学基础。李四光教授创立地质力学的早期是以一般的材料力学理论与地质体变形观察相结合去探索地质构造规律。而在岩体力学迅猛发展、并获得了一定的成就的今天，许多科学工作者则以岩体力学研究的成果为基础开展地质力学和构造物理研究。这方面的研究正在迅速推动地质构造研究和矿产资源探查。矿山建设、水力开发、铁路建设、地下洞室建筑等工程建设紧密地与地壳表层的岩体有关。有的则以载荷的形式作用于岩体上，有的则以岩体为工程结构或以岩体为介质进行工程建筑（如边坡及地下洞室），从而改变了岩体的原始状态，引起岩体新的运动——变形和破坏。为了保证工程建筑稳妥可靠，必须对岩体变形和破坏规律进行研究，并运用这方面研究结果对岩体运动进程进行预报，以保证修建工程稳定可靠。在工程规模比较小，地质条件比较简单情况下，工程师一般是凭经验来处理与此有关的问题。因为，一方面与岩体运动有关的岩体力学问题很少研究，运用岩体力学理论来解决问题的可靠性还不如经验可靠些；另一方面，工程规模比较小，造价比较低，采用经验的办法，安全系数取得大一些就行了。今天，工程规模急骤增加，矿山井下采深已经深达 1000—2000 米，露天采深已深达 300—500 米，水坝工程坝高已超过 300 米，不太长的远景工程中有的坝高将要达到 500 米；大跨度高边墙地下工程的跨度有的达 30 米、边墙高达 50—60 米。这些必然遇到许许多多的工程地质条件复杂的问题。过去，由于工程数量和规模较小，可以避开工程地质条件复杂的地段，选择工程地质条件简单、良好的地段进行工程建设。现在矿山深采、水库高坝、地下工程大跨度高边墙和大型露天矿边坡提出的工程地质问题凭经验去解决是行不通了。一方面没有可供参考的工程经验，另一方面，工程建筑中已出现的事故原因分析表明，大部分事故的发生与工程建筑时的工程地质和岩体力学问题没有研究清楚有关。回顾历史，展望未来，要多快好省地进行工程建筑，必须迅速开展岩体力学研究。

地震活动，特别是近十余年来，极其频繁，破坏性地震不断产生。地震灾害给人民生命财产带来了巨大损失。地震预报问题愈来愈急迫地提到日程上来了。世界上一些地震受

害比较严重的国家都在积极组织地震预报问题研究。地震预报的理论基础是地震成因理论。地震发生在地球内部,震源深度达到600—700公里,也有的浅至1—2公里。而大部分发生在地壳及谷登堡低速带范围内。要对地震成因有所了解,必须对这种范围内岩体的物理状态及力学性能进行深入的研究。地震成因及地震机制是当代地学研究的重大课题之一,岩体力学也被视为这一重大课题的基础理论。不论国内或国外对这一基本工作都在积极地组织专题研究。地震研究又推动着地学其他部门向前发展,特别是地壳运动及构造地质的研究。研究这些问题没有岩体力学的理论和基础知识是不行的。

认识来自于实践,又推动着实践向前发展。正如恩格斯指出的那样:“社会方面一旦发生了技术上的需要,则这种需要就会比十数个大学更加把科学推向前进”。上述表明,随着生产实践的不断发展和工程建设规模不断增大,地球科学研究逐步深入,人们愈益要求开展岩体力学研究。

现代科学技术发展水平和速度严格地受它们的基础理论研究状况制约着。那个领域的理论基础研究得好一些,那个领域的科学技术水平就高一些,发展就快一些。今天在广泛的工程实践和理论研究领域里都十分迫切要求开展岩体力学研究。而且以各种方式召开的专业性会议,如矿山会议、大坝会议、隧道及地下建筑会议、地质会议、固体地球物理会议、地震会议等都在交流岩体力学研究的成果。许多国家和地区组织了岩石力学学会,系统地召开了岩体力学讨论会,并出版了许多专门性的学术交流刊物。事实表明,现代的工程建设(土木工程建设和矿山工程建设)和地球科学的发展愈来愈明朗地要求迅速发展岩体力学,岩体力学愈来愈显示出是许多学科和技术发展的理论基础。

## (二) 岩体力学的发展

从岩体力学产生和发展来看,在早期岩体力学明显地具有应用基础学科的特色,它的产生和发展密切地与矿山开发和水利建设等工程活动的进展有关。随着工程建设不断发展,岩体力学知识的不断积累,岩体力学逐步形成一个分支学科。今天,它已不仅具有应用基础学科的特点,而且具有一般基础学科的特点;它不仅服务于工程建设,而且对地学研究,特别是地壳构造运动研究具有重要的指导意义。反之又推动着岩体力学研究。今天,岩体力学研究的重要成就主要反映在三个领域内,这就是以水利建设为主的土木工程建设领域、以金属矿山、煤矿采掘为主的采矿工程领域、以地壳运动和地壳构造,特别是地震活动研究为中心的地球科学领域内。其研究力量分配上具有三分天下的形势。

学科发展史的研究是有一定的目的。我们的目的是通过历史的考察,探索岩体力学发展方向。故不拟详细阐述历史,只是简略地考察一下岩体力学发展过程。

为了考察岩体力学发展,先列出如下一些事件是有意义的。

1951年,1)在奥地利的沙茨堡组织了第一个国际岩石力学协会,并形成了独具一格的奥地利学派,这个学派的基本观点是岩体的力学作用主要决定于岩体内不连续面及其对岩体的切割特点;2)国际大坝会议设立了岩石力学分会。

1956年,美国召开第一次岩石力学讨论会。

1959年,法国马尔帕塞坝因左坝肩岩体沿弱面滑动造成溃坝事件,引起了许多岩体力

学工作者的关注和研究，这一研究对认识岩体力学介质有很重要意义。

1962年，在沙茨堡召开了第十三届国际岩石力学协会，成立了国际岩石力学学会。

1963年，意大利瓦杨坝左岸山体滑动，击起250米高涌浪漫过坝顶，死亡3000人，也吸引了许多岩体力学工作者的关注。

1966年在葡萄牙的里斯本召开了第一届国际岩石力学会议，组织了八个专题讨论：①岩体的勘察；②岩石和岩体的物理力学性质研究；③岩石和岩体的性能；④岩体中的残余应力；⑤岩石破碎；⑥天然和人工边坡；⑦地下开挖和深钻；⑧建筑物地基岩体性质。

1970年在南斯拉夫的贝尔格莱德召开了第二届国际岩石力学会议，组织了八个专题讨论：①岩体基本性质；②岩石变形特性；③岩体的力学强度；④地下工程；⑤岩石破碎的物理力学基础；⑥岩体性质改良；⑦天然边坡和人工边坡稳定性；⑧岩体做为建筑物地基的性能。

1974年在美国丹佛召开了第三届国际岩石力学会议，会上组织了五个专题讨论，①完整岩石及岩体的物理性质；②构造物理学问题；③地表工程问题；④地下工程开挖问题；⑤岩石破碎技术问题等。其中第一专题占全部论文的30%，特别突出地反映了对碎裂岩体的基本力学性质引起广泛的重视。

1979年在瑞士召开了第四届国际岩石力学会议，会上组织了四个专题的学术交流：①岩石和岩体的流变性能；②试验和监测资料在岩石工程设计和施工中的应用；③关于运用现代施工方法进行地下建筑的设计问题；④地下开挖引起的地面变形。流变、原位观测及电算模拟在会议交流中受到广泛的重视。

纵观历史，大体可以看出，岩体力学发展可划分三个阶段，即①材料力学阶段；②裂隙岩体力学阶段；③岩体结构力学阶段。

岩体力学和土体力学一样，早期是被做为材料来研究，把孤立的一块岩石做为研究对象，按照评价材料质量优劣的标准，简单的测定它的比重、容重、孔隙度、含水量等物理性质及简单的测定它们的抗压、抗拉、抗切等力学性质，以及干、湿和冻融等造成的强度减损评价材料的质量。在评价工程建筑遇到的地基、边坡及地下洞室稳定性时也是把岩体看做是岩石材料，把材料力学研究中发展起来的连续介质力学理论直接加以引用。在这一阶段，岩体力学的概念是很微弱的。岩石力学是被多数人接受的概念。尽管在岩石力学内也存在有岩体的名词，但是关于岩体概念是模糊的。具有支配的概念是材料力学概念。因此，用岩石力学来概括工程技术人员处理工程建设中遇到的岩体力学问题的理论和经验也是恰如其分的。

作为一个学科发展阶段来说在时间上是很难划分的，但是作为过程来说，发展阶段确实是存在的。岩体力学发展的早期阶段以材料力学概念为基础的岩石力学特色直至七十年代仍然保留着。另一方面从五十年代开始，科学技术人员已感到直接引用材料力学的知识解决岩体力学问题是不足的。特别是在诸如马尔帕塞坝和瓦杨坝失事等惨痛事件推动下，开始注意碎裂岩体基本力学性质研究。推动着岩体力学研究进入了一个新阶段，即碎裂岩体力学阶段。这个阶段特点是认识到岩体力学是地质介质力学，这种力学介质的最大特点是大量地发育着大小不同的裂隙。裂隙岩体力学特性成为这阶段岩体力学研究中的中心课题。从而使岩体力学发展进入到第二阶段。在这一阶段内，奥地利学派起了很大的推动作

用。1974年米勒(L. Müller)主编的《岩石力学》文集代表了这一阶段的研究方法、方向和基本结果。这是岩体力学发展的第二阶段的代表著作。这些研究使人们明确了岩体不是一般的材料,而是在地质过程中形成的具有大量裂隙的地质体,岩体力学被视为裂隙介质力学。

认识岩体是裂隙体是岩体力学发展上的一次重大突破。但是对裂隙在岩体本性中的作用和对岩体本构规律的认识还是不够的。值得重视的是,以米勒(L. Müller)和谷德振教授为代表的一批工程地质工作者参加了岩体力学研究,对岩体力学发展起了很大的推动作用。他们指出,岩体不是一块岩石所能表征的。岩体是地质体的一部分,它位于一定的地质环境中,在断层、节理等不连续面切割下形成有一定的结构的地质体。岩体结构的发现对岩体力学发展来说具有十分重大的意义,是岩体力学发展的又一次重大突破。对于看起来是杂乱无章的岩体,显示出它的力学作用是有规律可循的。这种规律Brolli, L.曾归结为五条岩体力学的地质定理予以表征,即第一个定理:岩体结构对岩体力学性质影响大于岩石的影响,岩体力学可称为结构力学;第二个定理:岩体强度是不同结合程度的多块体的残余强度;第三个定理是:岩体的变形决定于组成岩体的单元的活动性;第四个定理:岩体的机械强度和变形决定于岩体的结构特征;第五个定理:岩体的技术性质决定于它的存在状态。而上述这些概念已经开始被广大的岩体力学工作者所接受。在七十年代,谷德振教授在他多年实践经验基础上进一步发展了岩体结构的观念,对裂隙在岩体本性形成中的作用做了高度概括。建立了岩体工程地质力学理论基础。这是岩体力学发展的又一次重大突破。岩体结构观念的建立和以岩体结构为基础,考虑岩性及地应力条件将岩体划分为三种力学介质,提出岩体力学系由块裂介质力学、碎裂介质力学及连续介质力学三个部分组成的岩体力学理论体系,从而推动着岩体力学进入了第三阶段,即岩体结构力学阶段,为建立完整的岩体力学理论体系迈出了一步。

### (三) 岩体力学研究课题

一个学科的形成必须具备三个条件,这就是:①有专门的研究课题;②有专门的研究方法和装备;③形成有自己的理论体系。今天,对岩体力学来说已经初步具备这三个条件,它已经形成一个学科。

实践向岩体力学提出的课题是十分广泛的。表1列示了土木工程、采矿工程及地质作用研究中提出的一些课题。

表1所示的三个实践领域提出的岩体力学课题从总的方面可以归纳为五组问题,即

- 1) 岩体稳定性问题:包括边坡岩体稳定性问题、建筑物地基岩体稳定性问题、地下洞室围岩稳定性问题。
- 2) 山体稳定性问题:包括自然或人工开挖引起山坡失稳问题、人工开挖地下洞室及天然岩溶区造成的架空山体稳定性问题。
- 3) 场区稳定性问题:包括采空区地面变形问题、场地烈度划分问题、水库地震问题。
- 4) 区域稳定性问题:包括断层活动性问题、地震活动性问题。
- 5) 地壳深部活动性问题:地震和火山活动、深部地质作用等属于这一范畴,这一课题

表 1 实践中提出来的岩体力学课题

实践领域	实践中提出来的课题	基础理论课题	力学作用特点
土木工程	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建筑区域稳定性问题</li> <li>2. 厂房地基承载力问题</li> <li>3. 坝基及坝肩变形、抗滑稳定性问题</li> <li>4. 桥基承载力问题</li> <li>5. 天然及人工边坡稳定性问题</li> <li>6. 交通隧洞围岩稳定性问题</li> <li>7. 高压引水隧洞围岩稳定性问题</li> <li>8. 大跨度地下洞室围岩稳定性问题</li> <li>9. 地下洞室群间最小间距及架空山体稳定性问题</li> <li>10. 岩体蓄能机制和疲劳条件问题</li> <li>11. 岩体加固措施问题</li> <li>12. 建筑后引起的环境工程地质问题</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工程岩体变形和破坏规律</li> <li>2. 岩体中应力状况</li> </ol>	多为永久性的
采矿工程(包括金属矿及非金属矿)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 露天边坡稳定性问题</li> <li>2. 井巷地压及支护措施问题</li> <li>3. 地下采空区地压活动及井巷最小间距问题</li> <li>4. 地下开采引起地面变形问题</li> <li>5. 竖井变形及破坏防治问题</li> <li>6. 掘进及凿岩技术</li> <li>7. 岩体加固技术措施问题</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 采矿引起的岩体变形和破坏规律</li> <li>2. 岩体中应力状况</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工程活动时间较短</li> <li>2. 在地应力及地下水作用下, 深部开采时地温及地应力作用不容忽视</li> </ol>
地质作用	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 褶皱及断裂形成条件、力学机制</li> <li>2. 断块形成的力学条件及机制</li> <li>3. 地震发生机制及前兆现象</li> <li>4. 火山形成条件及机制</li> <li>5. 地壳运动的物理过程及动力条件</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 各种地质环境中地质体变形和破坏规律</li> <li>2. 地应力状态及活动</li> </ol>	在高温高压下流变过程中发生

的核心内容为高温高压下岩体流变作用问题。

上述实践课题是相当复杂的。要正确的解决这些课题, 必须对下面三个问题做出确切的研究。这三个问题是:

- 1) 岩体的地质特征, 特别是结构特征, 这是岩体力学作用的基础。
- 2) 岩体中应力状况, 包括岩体内初应力及次应力状况。
- 3) 岩体变形和破坏的基本法则或岩体的本构规律。

这三者是复杂的岩体力学课题中的基本课题。不论土木工程、矿山工程及地质作用研究等工作中向岩体力学提出的课题如何多, 归根结蒂都是受这三个基本理论课题控制着。现在对这三个基本课题以及其它一些专业性课题不仅进行了大量的实验研究, 而且也进行了大量的综合和总结。出版了许多岩体力学方面著作。尽管如此, 作为一个学科来说, 岩体力学还是处于年轻时代。它的理论体系还刚刚在形成, 它的许多方面有的刚开始研究, 有的还未进行研究。就是对已研究的方面来说, 由于技术条件限制, 许多已取得的结果还有待于重新校核。在新的技术装备下, 特别是适应慢过程的刚性压机的利用将对岩体基本力学性质认识更加接近实际。并将使岩体力学理论与实际更加接近, 向理论与实际统一方向前进一步。

#### (四) 岩体力学研究动向

前面已指出过, 现阶段的岩体力学已经进入岩体结构力学阶段。我们知道, 结构力学包括有材料力学。岩体结构力学研究包括有岩石力学研究内容。岩体力学需要研究的领域和课题极其广泛。而当前急需研究的中心课题为碎裂岩体的变形和破坏规律。目前大家关心的有六个题目:

1) 结构面及岩体结构的力学效应, 这个问题从统计观点已做了大量的工作。已经取得了一些零散的资料。如结构面起伏差及粗糙度的力学效应、结构面产状及岩体内结构体含量的力学效应等。而这些效应实际上还缺乏实质性规律研究。结构类型对岩体的力学性质影响可以说还没有研究。这些研究对建立岩体结构力学理论具有十分重要意义。

2) 岩体中应力集中及断裂发展研究, 目前已取得的岩体力学性质基本上是在平均应力概念指导下取得的。岩体的特点是节理、裂隙纵横交错。岩体内节理可分为贯通性及不贯通的两种。在外力作用下不贯通性节理在端部形成应力集中, 而贯通性节理由于接触条件不同也形成有应力集中。这些应力集中形成了岩体起始破裂条件。在金属力学研究中形成的断裂力学对研究裂纹端部应力集中做了大量工作, 在岩体力学中除裂纹端部、几何形状拐弯处应力集中外还有大量的接触应力集中问题。这些应力集中对岩体破坏的力学效应还很少研究。这是岩体力学研究的一项重大问题, 目前已出现将金属断裂力学理论引进到岩体力学中的可喜的开端。对复杂的岩体力学说, 还需要做艰巨的努力进行创造性的研究。

3) 时间效应, 即流变性能研究, 这个课题已经做了大量的工作。需要指出的有两点, 即各种因素对流变作用的影响和流变过程中的断裂发展问题研究得还少。

4) 破坏区的形成和渐进破坏过程。岩体的破坏不是一次突然完成的。而是有变形、破坏, 脆性破裂到塑性变形的过程。而对一个破坏区形成来说, 往往是这几种成分共同组合成的渐进破坏发展过程。这是一个十分复杂的问题。并且又是一个具有十分重要实践意义的课题。已有一些研究工作者用能量分析的方法作为一个力学再平衡问题进行研究, 但只是开始。

5) 岩体或岩石变形和破坏过程研究。脆性破坏和柔性破坏不是绝对的。它们之间的关系受温度、围压、湿度、变形速度控制着。脆性破坏的特点是在载荷作用下岩石产生的自变形速度大于载荷作用下给与它的他变形速度时的变形现象。这里的控制性因素为加载速度。为此, 三十年代在材料力学研究中提出了刚性试验机的倡议。六十年代中期, 在岩石力学研究中出现了刚性试验机条件下进行岩石变形全过程的试验研究。七十年代出现了变形速度电子伺服控制压机进行岩石全变形过程研究, 这方面的研究工作对认识岩石破坏机制及建立强度理论有重要意义。

6) 岩体力学性质研究与电子数值模拟相结合。这是岩体力学研究的一个重要方面。这方面研究具有两方面的重要意义: ①可以使岩体力学研究结果有效的付诸实践。岩体是极其复杂的地质体, 靠数学解释的办法来研究岩体力学作用过程是十分困难的。电子数值模拟提供了解决这个问题的条件。但是由于岩体是复杂的结构体, 简单的力学模型或几种通用的程序是很难表达各种具体问题中的力学作用, 这里有大量的问题有待于研究; ②模

拟岩体的力学作用过程，有助于进一步认识岩体力学规律。但是这些模拟必须以直接的岩体力学试验结果为依据，它只能由小及大，由简及繁，但它不能无中生有。

上述六个题目实际上是四个对象两个手段。研究手段对研究工作是极其重要的。为了发展岩体力学理论，必须加速发展研究手段。上述两项手段将对岩体力学研究具有重大的影响，但它不是全部。



# 第一部分 岩体力学的地质基础

## 一、岩体的地质特征

岩体力学研究的中心内容有两部分：

- 1) 岩体变形和破坏机制——岩体力学作用；
- 2) 岩体抵抗变形和破坏的性能——岩体力学性质。

岩体力学工作者对此必须有清晰的认识。岩体力学作用和力学性质规律受下面四组因素的控制。

- 1) 岩体的组成成分——岩性；
- 2) 岩石及岩体结构；
- 3) 岩体赋存环境——地应力、地下水、地温；
- 4) 作用因素——作用力、速度、时间等。

所谓岩体力学作用和力学性质规律就是指岩体在上列各项因素影响下的变化过程。上列四方面因素中的前三者全部为地质因素，最后一项属于作用因素。地质因素是客观存在的，不能人为的规定它，只能去把握它。为了对岩体力学作用和力学性质有一个规律性的了解，必须对上列四组因素中的前三者，即地质因素及其力学效应有一个基本的了解。

### (一) 岩体的概念

在地质学中把具有一定化学成分及结构的化合物称为矿物。由一种或几种矿物组成的具有一定构造和结构的集合体称为岩石。由岩石组成的岩块及在结构面切割下具有一定的结构和构造、占据地球上一定空间的实体称为地质体。地质工作者把含有有用矿物的地质体做为矿床来研究时则称矿体。我们把地质体作为工程作用或力学作用对象研究时则取名为岩体。狭义地来说，我们也有时把工程作用涉及到的地质体称为岩体。显然，岩体和地质体是同一个物体的两个专用名称，它们都是地壳的一部分。当我们研究它的力学作用时则称岩体。我们所定义的岩体并不具有尺寸大小的限制，它的尺寸是相对的，视研究课题的需要来圈定。岩体和地质体的区别不是指其规模大小而言，而是在于研究目的和内容不同。就我们研究的具体问题涉及的对象规模来说，大多数情况下，岩体的规模小于地质体。在这个意义上来说，可以把岩体视为地质体的一部分。

岩体是有结构的。岩体的力学作用主要受岩体内的结构面及岩体结构控制着。岩体内的结构面及岩体结构特征，狭义地来说，可以视为岩体力学的地质基础。我们定义的岩体是与结构密切联系着的。

岩体结构是在岩体形成过程中及经过后期构造作用改造而形成的。岩体在其形成过程

• • •