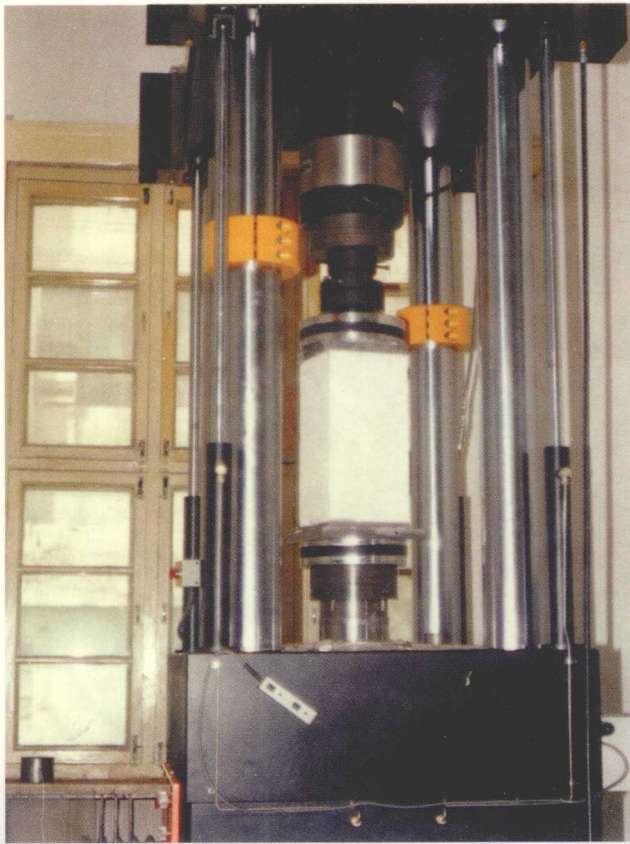


中国科学院地质研究所
工程地质力学开放研究实验室

实用岩体力学

郭志著



地震出版社

0450696

TU45
022

实用岩体力学

郭志著



石油大学 0449118

地震出版社

1996

内 容 简 介

本书作者长期从事岩体力学试验研究,在丰富的室内外岩体力学试验资料基础上,从岩体结构基本观点出发,讨论了常规试验中的岩块、岩体结构面、软弱夹层的力学性质,岩体的变形、破坏基本规律,岩体力学性质预报及补强,以及非常规试验岩爆和岩石疲劳特性。为便于读者掌握试验技术和岩体力学工作方法,除在有关章节中有重点介绍单项试验实例外,还在第八章系统介绍了一个工程岩体力学试验的实录资料。

本书可供从事岩体力学工作的水利水电、矿山、土木、交通、地质、地震科技人员和高等院校师生参考。

实用岩体力学

郭 志 著

责任编辑:商宏宽

地 震 出 版 社 出 版 发 行

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印刷厂 印刷

*

787×1092 1/16 15印张 384千字

1996年10月第一版 1996年10月第一次印刷

印数 001-500

ISBN 7-5028-1387-X/P·865

(1815) 定价: 30.00元

序

岩体力学已经成为各类工程建筑及各类工程建筑中的地质工程设计和施工的基本依据，愈来愈受到重视。在一些重大工程建设中往往花费大量资金开展岩体力学试验，研究岩体力学参数，而往往做了大量的室内取样和野外原位试验之后，在选取力学参数时产生很大争议。其原因有三个，一是岩体力学试验缺少根据工程和地质条件做出的岩体力学试验设计，二是岩体力学试验与地质脱节，三是岩体力学参数取值缺乏理论依据，也就是岩体力学理论与岩体变形破坏机制脱节。这三个问题实质上都是受岩体结构控制的，岩体结构控制论是岩体力学的基础理论，是从事岩体力学理论研究和岩体力学应用研究的基本依据。《实用岩体力学》一书明确地以岩体结构控制论为基本指导思想，对岩体变形、岩体破坏、岩体力学性质的控制作用，以大量的实际资料展开了论述，并对岩体力学应用问题进行了讨论，很有说服力，对当前存在的争议问题做了明确的回答，对从事岩体力学实际工作的同志很有参考价值。它提供了岩体力学试验理论、试验技术和方法，以及根据岩体力学试验结果，选取岩体力学参数等问题，提出了明确的意见，值得今后岩体力学试验工作的参考。本书著者从事岩体力学理论和实践研究二十余年，具有丰富的实践经验，对岩体力学理论和试验技术深有造诣。本书是著者从事岩体力学研究的基本总结。在本书中，著者不仅用大量的实际资料论述了岩体力学研究的基本观点——岩体结构控制论；还阐述了许多新鲜观点。例如，对岩体变形的围压效应、岩体强度取值、岩体结构的力学效应、加载速率对试验结果的控制作用、岩体疲劳强度、试验条件对岩体力学性质相关性影响以及岩体力学性质预测等问题，都是很深刻的。书中还利用岩体力学试验结果，对高地应力地区经常出现的岩爆问题的论述及其产生机制进行了阐述。全书以实例阐述了岩体力学实用问题，是一本很有实用价值的高水平的岩体力学专著，是岩体力学工作者的良师益友。我愿意向读者推荐本书。

孙广忠

1995.7

前 言

《实用岩体力学》这本书是著者在许多工程室内外岩体力学试验的基础上，经过长期的积累，逐步总结而成的。著者在长期的科学实验和生产实践中，从工程力学角度考虑工程岩体与相关因素之间关系，逐渐加深了对岩体的认识。如果基本概念上不清楚，势必导致盲目地进行岩体力学试验和计算分析。有时还会出现对错难分的情况。例如，直接剪试验中的法向压力取值标准问题，同一组试件不同试验人员很可能得出不同的试验结果。导致这种因人而异的原因来自于基本概念不清楚。甚至在一些专业成果审查会上，对高抗剪强度的 φ 值（摩擦角）和 C 值（内聚力）不能下结论。其原因也是基本概念不清，对试验结果不能自圆其说。

随着生产的不断发展，岩体力学研究也不断地深入，数学、力学计算方法也逐渐被引入岩体力学分析计算中来。20世纪60年代以后，以电子计算机技术为基础的当代数学、力学计算分析方法，在岩体力学各项研究中都作出了重大贡献，加速了岩体力学的发展。但是，最基础的工作仍然是对地质体、工程岩体边界条件、变形过程和破坏机理的认识。例如，用连续介质力学推导出的岩体抗拉强度，岩体 μ 值（泊松比）越高，抗拉强度越大。得出这种错误结论的原因是对岩体介质类型概念不清楚。实际上岩体的横向变形受节理裂隙的影响，一般情况下横向膨胀量都是很大的，其中主要是结构面产生相对滑移和节理裂隙开度扩大，因此，岩体的横向变形的含义不同于连续介质。用断裂力学、损伤力学研究岩体的力学特性时，其中断裂因子、损伤变量都要建立在对岩体变形、破坏机理正确认识的基础上，否则将会得出错误的结论。

由此可以看出，科学技术虽然不断地向前发展，但是，传统的决定物理本质的基础性工作不能忽视，仍然是极为重要的。这是著者为什么要写这本书以及在书中各章贯穿着用岩体结构的观点，以岩性、岩体结构、岩体赋存环境、试验条件诸因素中分析岩体的变形过程和破坏机理，甚至反复赘述的原因所在。同时也为从事岩体力学试验研究的科技人员提供一套岩体力学试验和分析问题的方法。

著者长期从事岩体力学试验研究，在大量的室内外试验中，深刻体会到试验工作量大、周期长、耗资多，能否不做或少做大型现场岩体力学试验，而仍能提供工程必用的力学参数，这是著者一直关心的问题。自80年代，著者提出以工程地质勘测和室内岩块试验资料为基础，通过相似模型试验建立模型与岩体原型之间的关系，然后用当代数学、力学进行电算及综合分析，预报岩体的变形过程、破坏机理和基本力学参数的整套方法。经过了多年的科学实验和生产实践已证明这是一条探索性的研究岩体力学新途径，对中小型工程可以进行快速预报，对大型工程可以省去可行性研究阶段的现场岩体力学试验，这个方法还有待于提高。

著者在从事岩体力学试验研究中，在此书写作过程中，都得到孙广忠教授的指导；书中所用资料是以著者多年的试验研究为主，其中有的资料是著者与程鸿鑫、谭以安、盛祝平合作结果，著者在工作中也得到赵然惠、周瑞光、许学汉、余定生、张连弟的支持；特此一并致谢。

书中有不当之处，敬请读者批评指正。

著 者
1995年

目 录

1	概述	(1)
2	完整岩块力学特性	(4)
2.1	岩块单轴压缩变形破坏机理及强度	(4)
2.2	岩块的抗剪力性质	(9)
2.3	岩块的抗拉力学特性	(13)
2.4	岩石的物质成分、胶结和结构特征对岩块力学性质的影响	(14)
2.5	环境因素对岩石力学性质的影响	(29)
2.6	加载速率对岩石力学性质的影响	(44)
3	岩体结构面的力学特性	(50)
3.1	岩体结构面对岩体稳定的影响及研究现状	(50)
3.2	岩体结构面的成因和分类	(57)
3.3	结构面力学性质的研究方法	(59)
3.4	结构面力学性质的一般特点	(63)
3.5	硬性结构面力学性质	(68)
3.6	软弱结构面力学性质	(73)
3.7	软弱夹层的流变特性	(85)
3.8	软弱夹层力学性质的可变性	(92)
4	岩体力学特性	(95)
4.1	岩体变形特性	(95)
4.2	岩体破坏的结构效应	(111)
4.3	岩体力学性质的结构效应	(115)
4.4	岩体力学性质结构效应室内模拟研究	(117)
4.5	岩体加固处理	(126)
4.6	金牛山坝址原位三轴试验实例	(134)
4.7	直剪试验法向压力对试验结果的影响	(149)
5	岩体力学性质预测	(154)
5.1	基本设想	(154)
5.2	岩体工程地质条件简化	(155)
5.3	相似条件的建立	(157)
5.4	试验模型确定	(159)
5.5	模型试件制备	(161)
5.6	试验方法简介	(162)
5.7	模型试件试验结果	(163)
5.8	室内模型试件试验结果分析	(165)

5.9	相似关系分析	(170)
5.10	岩体力学特性预报可靠性分析	(174)
6	岩石疲劳特性	(176)
6.1	岩石疲劳变形特性	(176)
6.2	岩石疲劳破坏机理	(181)
6.3	岩石疲劳力学特性	(185)
7	岩爆产生的条件和机理	(190)
7.1	岩爆类型	(190)
7.2	岩爆产生的条件	(191)
7.3	岩体产生岩爆的动力条件和岩爆机理分析	(192)
7.4	岩块(体)产生岩爆综合指数 K_{rb} 判据	(198)
8	工程实例——半坚硬岩体上建高重力坝可行性研究	(201)
8.1	前言	(201)
8.2	工程地质背景	(201)
8.3	岩体力学作用模型及试验研究方案	(203)
8.4	岩块力学性质试验结果分析与讨论	(208)
8.5	原位抗剪断试验结果分析	(213)
8.6	原位层面抗剪试验结果分析与讨论	(215)
8.7	岩体原位变形试验结果分析	(218)
8.8	岩体变形流变试验	(220)
8.9	岩体原位层面直剪流变试验	(223)
8.10	坝址区岩体力学性质评述	(225)
8.11	岩体补强措施	(226)
	参考文献	(228)

1 概述

岩体力学是研究岩体在特定条件下的变形、破坏以及力学属性的学科。广泛的讲，它是从工程力学的角度研究岩体与周围环境诸因素之间的相关性。因此，岩体力学特性不是固定不变的。全面客观地论述岩体的变形、破坏过程和基本力学性质是极为困难的工作，之所以难，不仅因岩体本身是个复杂的、极不均一的地质体，而且与其赋存环境、工程作用方式、试验技术和方法等方面有关。

岩体是地质体的一部分，它是个泛指性名词。岩体力学研究的对象是指工程位置及邻区受影响的岩体。它是由不同岩石组合而成的，它可由单一或多种岩石所构成，并受形成环境和后期改造作用的影响，导致岩石内部形成已开裂和易开裂的地质界面和被这些地质界面切割成大小不一、形状各异的块体，分别简称为结构面和结构体（谷德振，1979，孙玉科，1965）。岩体内还夹有破碎带，结构面内还有后期的充填物质。结构体虽然是个外观完整的块体，如果再仔细观察，仍然是个不连续的非均质体，其内部还有隐裂隙和穿晶、绕晶的微裂隙。构成岩块的矿物颗粒空间结构还存在着位置上的不均一性，或称之为狭隘的岩性不均一。构成岩体的结构面，在形状、起伏差、粗糙度、胶结程度、充填物质诸方面，均存在着位置上的差异性。上述有关岩体的各种因素都与岩体力学性质相关。

岩体赋存环境是影响岩体力学性质的主要因素之一。它包括地应力、地下水和地温。这三个因素均是可变因素，即便是在同一个工程范围内，地应力场和地下水的活动规律也是非均一的。岩体的赋存环境可以改变岩体结构的力学效应和岩体力学特性。对环境因素的考虑，随专业研究范围不同，也有很大的区别。例如，研究地壳深部构造的专业，要研究高温、高压条件下的岩石力学效应及其相变；可是在地质工程界，温度效应还没有提到需要研究的日程上来。

工程作用方式是附加在岩体外表面上的力学条件。由于工程特点不同，工程作用力的方式，可能是加荷，也可能是卸荷，还有可能是重复荷载。作用在岩体上力的种类，可能是压应力、拉应力和剪应力，也可能是复合应力。在加载荷时间上，也存在着静载荷和动载荷之分，以及流变（或蠕变）时间效应问题。上述任何一个工程作用力的因素，都存在着相关的岩体力学特性及其变化规律。

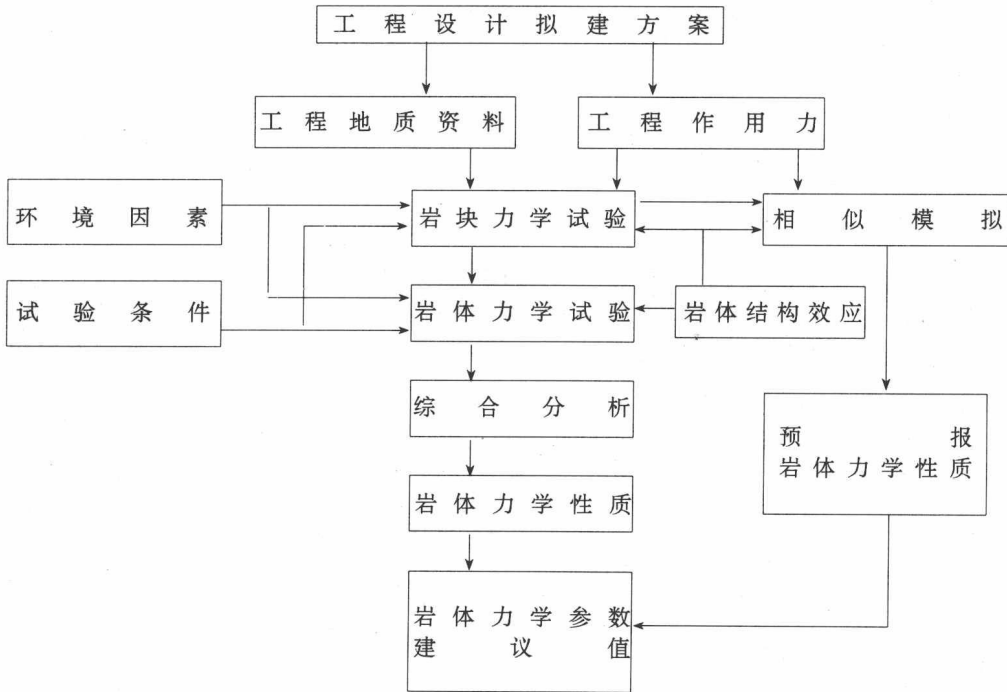
试验条件与岩体的力学性质之间也存在着相关性。所谓试验条件包括试验技术和方法的科学性。在上述诸因素都一致的前提下，试验条件不同，也会得出不同的试验结果。例如，用刚性直剪仪和用液体围压的三轴仪研究岩体的抗剪特性，在岩体结构效应方面存在着差异性。在刚性直剪仪上，由于受刚性剪力槽的制约，岩体的结构效应受到限制；而在三轴仪上，侧向围压与岩体软接触，岩体结构效应可以得到较充分地体现。因此，导致测试结果力学指标前者明显高于后者。采用先进的刚性伺服压力机与使用旧式材料试验机，会得到不同的岩体应力-应变过程曲线及破坏机理。甚至采用不同的垫块，也会导致抗压强度和破坏机理的不同。在测试过程的数据采集上，用机械测量方法与用电子仪器测试结果并不一致。用传统的工程地质力学和工程模拟方法综合分析岩体力学特性，与用现代力学和数学方法研究岩体力学特

性，往往存在着很大的差异性，有时还很难统一。当前，国内外岩体力学测试设备还没有型普化，还处在不断探索、改进阶段。国内有条件的单位采用自己研制的试验设备，国际岩石力学学会也常推荐一些新方法和测试设备。对当前的测试结果，应当说都带有因试验条件不完善所带来的误差，所揭露的岩体力学性质具有阶段性。伴随测试技术和方法的改进，测试精度也会逐年提高，所论述的岩体力学特性也就更切合实际。

综上所述，可以看出岩体的力学性质是受多方面因素制约着。再加上各行业之间研究领域不同和从事研究岩体力学性质的科技人员工作范围的局限性，要想全面地论述岩体的力学特性是不可能的。目前对岩体力学性质的论述都有一定的局限性，或者称之为狭隘的岩体力学性质。

由以上的分析也指出了研究岩体力学的基本思路。首先要熟悉拟建的工程设计方案和已有的前期工程地质勘测资料，然后再做一些试验地质工作，以便划分地质单元、确定现场试验点及室内试验取样点。这一步工作要能达到各项试验要有代表性和针对性。试验结果便于类比到未做试验的区域，满足综合分析岩体力学特性所需要的资料。第二点要结合拟建工程建立力学模型。第三点要注意岩体结构特征和赋存环境对岩体力学性质的影响。第四点要注意试验条件的科学性，尽力减少因试验条件不够完善引起的人为误差。

研究岩体力学的基本性质，主要是结合上述各个方面的影响因素，通过室内外力学试验先取得试块的力学性质。这种试验结果不能直接用到岩体稳定分析和工程设计中去。还必须考虑工程作用特点与岩体结构的关系，经过综合分析，给出岩体的力学性质。然后再根据工程的特点及建筑物的重要性，给出岩体稳定分析和工程设计所需要的参数值。这种思路可以用下面的框图表述：



随着生产的不断发展，岩体力学工作者在生产实践中也逐渐加深了对相关影响因素的认识。到了20世纪60年代，由于电子计算机技术的发展，拓宽了原来以实验为主的岩体力学

研究领域，将当代数学和现代力学引入岩体力学研究中去，它标志着现阶段的岩体力学已进入了全面而深入的崭新阶段。这个阶段最突出的问题是地质模型转化为力学模型的边界条件以及岩体的变形过程和破坏机理。这些基础性资料抓不准，再先进的计算技术、当代数学和力学也只能是个空中楼阁，这是个大家都十分关心亟待解决的，又正处于探索的复杂问题。自80年代起，著者开始考虑这个问题，并提出以工程地质勘测资料和室内岩块试验资料为基础，通过模型模拟试验建立模型与原型之间的相似关系，研究地质模型转化为力学模型的边界条件以及岩体的变形过程和破坏机理。在此基础之上再引入先进的计算技术和当代数学、力学进行深入的模拟计算分析，然后对岩体的变形过程、破坏机理和力学性质进行预报。很显然，著者提出的这条探索研究岩体力学的新途径特别强调野外工程地质工作和实验室的试验结果。著者认为，在对工程岩体的边界条件及岩体变形过程和破坏机理的认识，还没有成熟的经验的时候，把模拟计算分析工作建立在室内模型模拟实验的基础上是十分必要的。待经验成熟之时可以省去中间模型实验环节。当前预报岩体力学特性的方法还处在探索过程中。

岩体力学是一门应用性很强的学科。岩体力学的形成和发展过程是紧密与生产实践相结合的学科。因此，岩体力学研究工作必须以工程地质为基础。只有对工程岩体的特征和工程作用力特点了解清楚之后，岩体力学的室内外试验研究，以及计算分析才能有可靠的基础，并提高研究结果的可信度和使用价值。所以，著者强调岩体力学的研究方法必须坚持科学实验与生产实践紧密结合的原则。

2 完整岩块力学性质

完整岩块基本力学性质试验研究，在工程前期勘测中是一项极为重要的工作。其力学特性是定量评价岩体质量和进行岩体分类的主要依据，还可以类比岩体的力学性质，为拟建工程岩体稳定分析和工程设计提供计算参数，同时，也为现场岩体力学试验确定了岩体力学参数的上限。有关岩块的基本力学性质，在已出版的岩体（石）力学专著中都有论述，但都具有著者的行业或专业工作范围和局限性的特点。本书著者着重介绍自己多年从事试验研究的一些感受。

2.1 岩块单轴压缩变形破坏机理及强度

岩块的力学性质与试验条件有关，对同一种岩石，用旧式材料试验机与用伺服刚性材料试验机可以得出不同的试验结果，为便于各专业人员理解，仍以旧式材料试验机的试验结果为基本素材进行论述。在论述试验条件对岩石力学性质影响时，再详细论述伺服刚性试验机的应用情况。

(1) 岩石在单轴压缩状态下的应力-应变曲线类型

试验样品为圆柱形试件，其径高比为 1:2 或 1:2.5。在试验机上连续加荷，直到岩样达到破坏为止。国内外的岩石力学界，将岩样轴向的应力-应变过程曲线归纳为六种典型类别。不少专著中都引用米勒 (Miller R. P.) 的资料如图 2.1 所示。常见的类型基本上都包括在内。

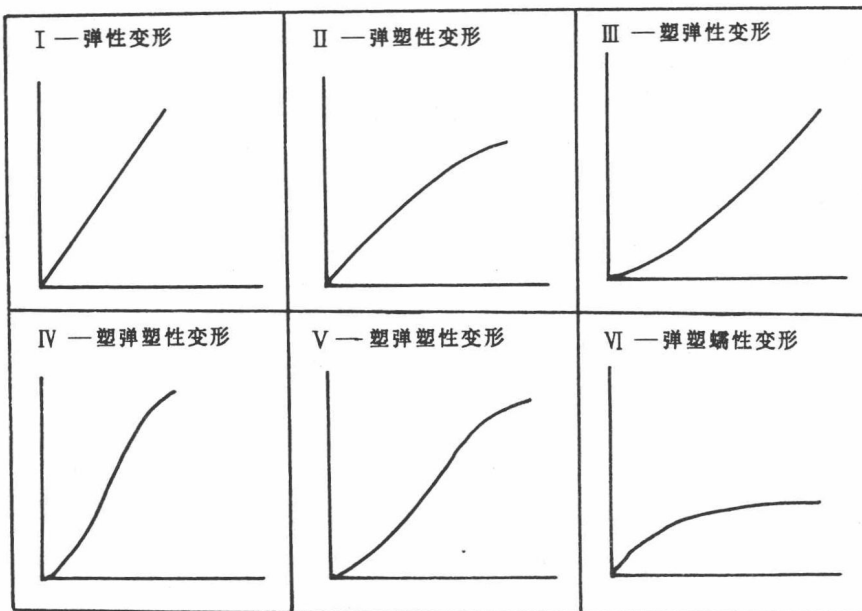


图 2.1 在单轴压缩下岩石直至破坏的典型应力-应变曲线

对试样变形的各个阶段解释上，著者有些不同看法。有人将变形曲线的初始段向上弯曲，屈服阶段向下弯曲称之为岩样塑性变形，这种解释不确切。对于坚硬的岩石，在常温条件时是不可能在外荷载压缩下进入塑性状态的。岩样处于塑性状态，又无任何约束情况下也不可能单轴压缩下转变为弹性体，然后又转变为塑性体。试样变形曲线在初始阶段向上弯曲，实质上是隐微裂隙和更微小的穿晶、绕晶裂隙的压密闭合变形与轴向应力的增加呈非线性关系。当试样的压密闭合变形完结后才进入应力-应变线性关系阶段。岩样变形进入屈服阶段，这是岩样内微裂隙扩展，导致应力-应变关系又转入非线性阶段，而且变形速率逐渐大于应力速率，直至岩样解体。

对于软岩，尤其是泥质软岩用塑性变形和蠕变的观点解释是可以的。也只限于解释第六类型。

岩块单轴压缩试验应力-应变关系曲线，可以说是多种多样，著者概括为图 2.2 所示的 9 种类型。其中 1~3、4~5 和 7~9 分别为完整、外观无可见闭合的贯通性的结构面坚硬和极坚硬岩石、半坚硬岩石和软弱岩石常见的单轴压缩情况下的应力-应变关系曲线。图 2.2 中的类型 6 有三条曲线，曲线 I~III 分别代表坚硬及极坚硬、半坚硬和软弱岩石，在试件上有处于连续或断续状中等胶结和弱胶结结构面的岩石，在单轴压缩条件下的应力-应变曲线。

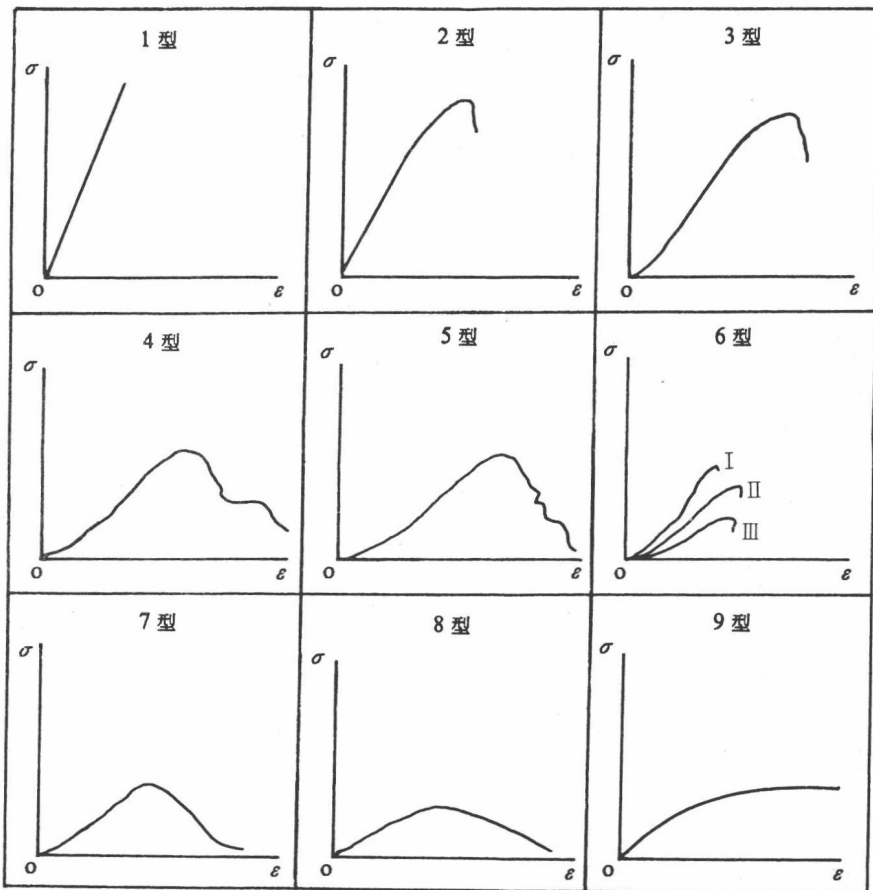


图 2.2 完整岩块单轴压缩下应力-应变关系

(2) 完整岩块在单轴压缩下的破坏机理

完整岩块在常规试验时的破坏机制，可概括为图 2.3 中的五种类型。图中所示的破坏机理并没有以岩石种类对应破坏机理，因为那种对应是毫无意义的，列出某种岩石并不能说明

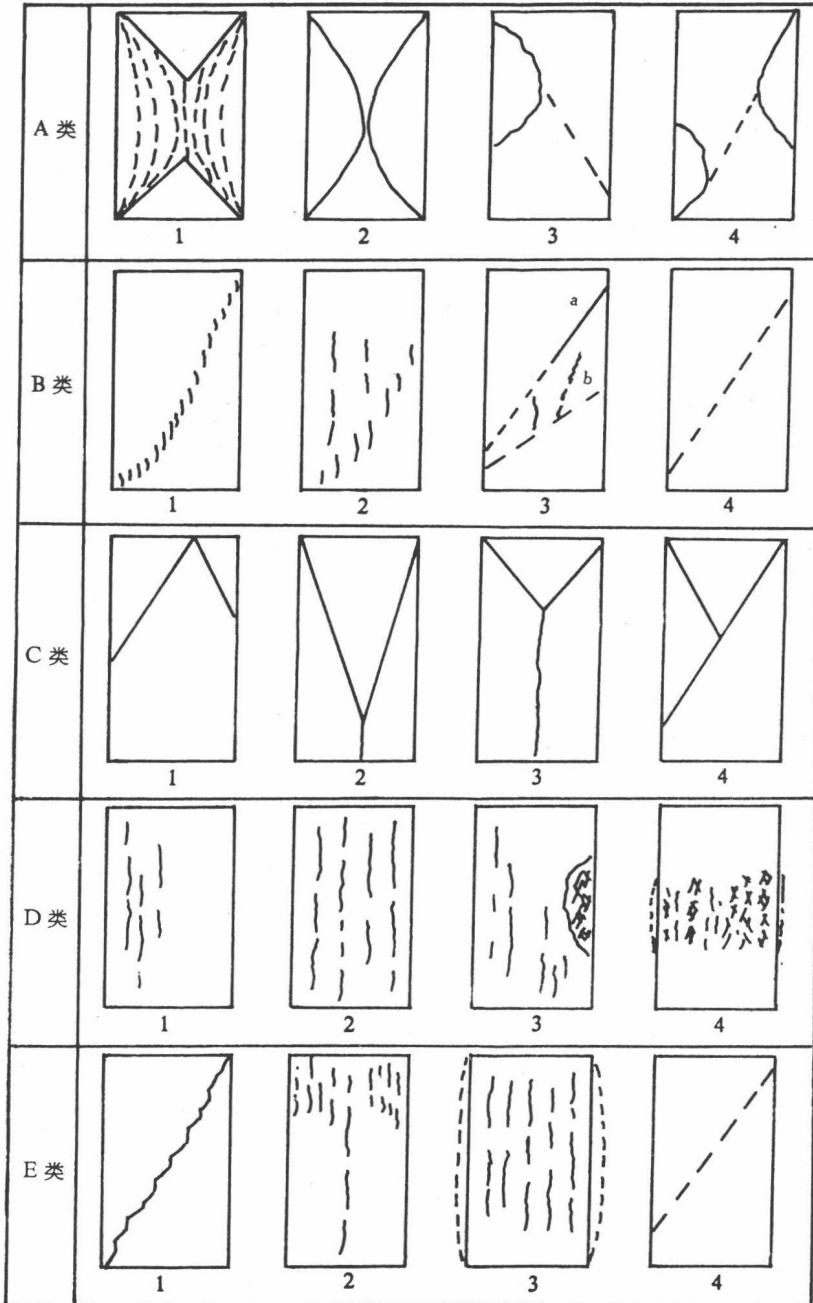


图 2.3 在单轴压缩下岩块的破坏机理

其结构特征和风化程度，然而，这两个因素又是控制破坏机制的主要原因。因此，不涉及到某种岩石，而是把大量的室内岩块常规试验所见到的破坏机理，采取相近的归一类比的办法，更便于理解某一种岩块的变形、破坏机理与岩块结构特征、风化和蚀变程度之间的关系。常见的破坏类型可分五类：A类是以张为主的脆性弹射破坏型，B类是脆性张剪破坏，C类是楔劈式脆性破坏型，D类是以张为主兼有挤压粉破柔性破坏型，E类是软岩中的柔性张破坏和剪破坏型。

A类型中的第1种，在极限荷载作用下，试块积累大量弹性变形能，并以突发式释放这些变形能，导致试块瞬间张性弹射破坏，并发出巨大的响声。试件的绝大部分呈鱼肚状条块或凸镜状小块弹射到远方，最后在原试件的两端处，只剩下两个呈轴对称状的圆锥体。这种破坏机理显示出岩样岩性均一、隐微裂隙不起控制作用。变形过程可以用图2.2中的第1种曲线来描述。

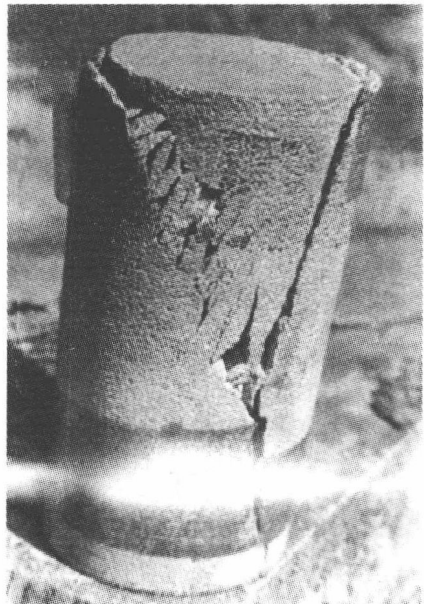
A类型的第2种与第1种很接近，其破坏机理是以某一个中性面为对称轴，有两个较大的鱼肚状岩块被弹射出去。最后在原试件两端处，只剩下两个以中性面为对称轴的曲面楔形体。该类岩样的岩性虽然均一，但隐微裂隙较发育处控制着破裂面。变形过程可以用图2.2中的第2、3种变形曲线来描述。变形曲线初始段向上弯曲与否，取决于试件的隐微裂隙的发育程度。与第1种不同之处还表现在有明显的屈服阶段，试件破坏开始逐步显示出来，变形曲线伴随小张裂纹的出现曲线开始上下跳动，直到突发性弹射出现，试件解体。

A类型的第3、4种破坏机理很接近，在极限荷载作用下，由于岩性或隐微裂隙分布不均一，在试件的外侧某处，先将鱼肚状块体弹射出去，改变了原试件的受力机制，形成偏心压缩，形成剪切受力机制，导致后期呈剪破坏机理。但导致试件破坏的根本原因是由弹射张破坏引起。变形过程可以用图2.2中的第3种曲线来描述。

B类型的第1、2种破坏机制很接近。试件在破坏过程中，均先出现试件轴向小张裂纹，在极限荷载作用下，突发性地将一系列的小张裂纹汇集成一个剪切带(照片2.1)。这两种破坏机制的区别在于隐微裂隙发育程度不同。第2种比第1种发育，第2种还有与试件轴向平行的较长的纵张裂纹，也可以说是张剪并存的破坏机制。变形过程可以用图2.2中的第3种曲线描述。

类型B的第3、4种破坏机制比较接近。第3种试件上有半贯通性裂隙，试件最终破坏是沿已有裂隙的方向扩展剪断。第4种是沿已有的裂隙面剪断。变形过程用图2.2中第3种曲线描述。

类型C是一组楔劈型破坏机理，其中第2、3种比较接近，共同点是破裂面基本上对称于某一个中性面，不同点在张变形控制下，先由一系列小纵向裂纹汇集成楔型体的两个侧面，然后试件在张变形和楔劈力的复合作用下，试件被劈裂破坏。不同点是第2种的楔劈作用不大，破坏过程主要表现为纵向小裂纹的形成过程，最后汇集的两个楔劈面，又有些类似



照片2.1 纵张裂纹汇集成剪切带

于B类的变形破裂过程。破裂面与水平面夹角越大，楔型体自然就长，尚未断开的部分也就越少，所以，楔劈机制成分也就不多。第3种破坏机理显示了明显的楔劈作用，试体不论在那一端，一旦形成这种短小的楔型体，试体尽管绝大部分还是完整体，在形成楔型体的瞬间，试体即刻被劈开。试体破坏时的极限荷载明显低于第2种。

C类型的第1种，试体完全解体后的破坏机理类似于楔劈型。如果试验人员要仔细观测试体破坏过程或用声发射仪监测，就可以发现两个破裂面的形成并不同步，破裂面形成时的响声虽然在瞬间发出，但两声巨响还是有前后之分。破坏机制介于类型B和C之间。

类型C1~3种破坏机理的试体变形过程可用图2.2中的第3种曲线描述。

类型D是半坚硬岩石和坚硬岩中较差的岩块最常见的几种破坏机理。其中第1种和第2种比较接近，均是以条柱状破坏方式破坏。两者的区别在于岩性及隐微结构的均一性上。第2种是属于均一型的，第1种是属于不均一型的。试体破坏是由条柱型破坏引起，但试体还有很多完整部分尚未破裂。试体变形过程可用图2.2中的第4种曲线描述。

类型D中的第3、4种破坏机理是以挤压破碎或张破裂和挤压破碎共存。破坏机理主要受试体风化程度和蚀变程度控制。由于风化和蚀变程度的不均一，当试件受压后试体风化严重部位先破坏，导致试件失去承载能力。该类型的第3种，虽然在局部先出现粉碎性破坏，但没有完全导致试件失去承载能力，试体最终解体要看其尚完整部分的纵向裂纹发展程度而定。变形过程可用图2.2中的第5种曲线描述。

类型D变形和破坏机理与前三种有明显的区别，脆性程度减少，柔性程度增多。用旧式材料试验机也可以测出应力-应变全过程曲线。

类型E是属于软岩范围。软岩的最大特点是强度低、变形大。该类型中的第2、3种都是张性破坏，在试体中部或一端向外侧胀，显示柔性特点，可用图2.2中的第7、8、9三种变形曲线描述。该类型的第1、4种是剪破坏类型。第1种是软岩中比较好的岩石，破坏机制多数为柔性剪破坏，可用第7种曲线描述变形过程。该类型的第4种，在试体内有贯通性结构面，局部有充填物胶结，且强度较低。变形过程可用图2.2中第6种曲线的Ⅱ型描述。

试体有贯通性结构面，破坏机制是很复杂的。即使在坚硬岩石中，若结构面胶结强度很低，变形过程曲线就不是图2.2中曲线3的形式，而是遵循图2.2中曲线6中Ⅰ的规律。若结构面胶结得很牢固，则胶结强度与岩块完整部分相当。软岩类型，其变形过程用图2.2中的曲线7描述；坚硬岩类型，其变形过程与岩性及微结构的均一性有关，变形及破坏机制与类型A相近。照片2.2展示的是一个正长岩试件的破坏机制，原试件中部有一个贯通性、倾角 40° 的可见裂隙，裂隙面胶结很牢固，试件是剪张弹射破坏型。将弹射出的块体还原后可看到原裂隙面还是较光滑的，试体破坏有剪破裂机理。裂隙面两侧均有中角度相交的由张应



照片 2.2 正长岩张剪性弹射破坏

变拖拉牵引作用形成的新裂隙产生。最后试体被剩余的弹性变形弹射解体。变形过程可以用图 2.2 中的第 2、3 种曲线描述。由上述可见,有裂隙面的岩块,破坏机制比较复杂,还有时会出现一半沿裂隙剪断,然后又转入从没有裂隙的完整部位剪断。这种闭合的裂隙面后期热液充填胶结程度控制着裂隙面的破坏机制。

(3) 岩块强度和变形参数与岩块的应力-应变特征和破坏机制类型之间的关系

就同种岩石而论,图 2.2 中应力-应变曲线所展示的岩石力学性质由好至差的变化规律,与图 2.2 中的岩块应力-应变曲线种类和图 2.3 中的岩块破坏机制类型,以及同一类型中的破坏机制种类的排列顺序基本上相一致。同种类岩石,在相同试验条件下,岩块的各项力学指标的大小,完全由岩性、微结构、隐裂隙、风化程度以及蚀变程度控制。应当强调的是裂隙面的胶结特性,在分析岩块变形和破坏机理时已指出了其特殊性。这类岩块的极限抗压强度、弹性模量和泊松比等参数值的变化幅度也是很大的。最高值可与图 2.3 中 A 类第 1 种相比;但低值也有可能接近于软弱岩体。所以,对有可见裂隙的岩块,在研究其力学特性时,要特别小心。试验之前必须做详细的岩样地质描述。

2.2 岩块的抗剪力学性质

岩块的抗剪力学特性是岩块抵抗剪切破坏的能力。工程上经常用的抗剪参数是凝聚力 C 和内摩擦角 φ , 以及剪切模量 G 。

(1) 直接剪试验法

直接剪试验方法有:变角板法(斜面剪)、剪力盒法(单面剪)、双面剪、冲孔剪等方法。我国常用的方法有变角板法、剪力盒法和双面剪法。中华人民共和国国家岩石力学试验标准规程中已不再使用变角板法,但在部级行业标准中,还是保留了这个方法。国际上使用单面和双面剪的比较多。

①变角板法:该方法最早是由普罗托季亚科诺夫(1969)提出。其优点是操作和计算简便,适合坚硬岩块。一般不重要的小型工程和规划性的勘测可以用这个方法。该方法的缺点在于法向应力伴随外荷载加大而增高,不是恒定的法向应力,而且试验过程中产生的最小法向力,有时都比实际工程需要的最大法向力还要大得多。法向应力的失真,就会直接影响到测试结果的可靠性。其次是在低角度时,试件所受的压应力更大,试体的挤压破坏成分往往大于剪破坏。若遇到软岩就更难于测出结果。这个方法要逐渐被淘汰。

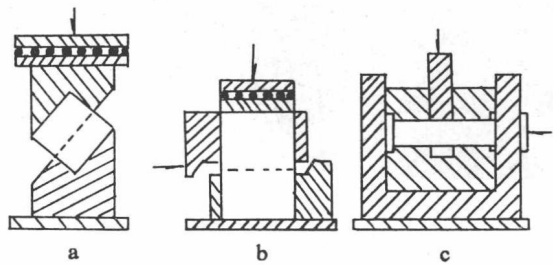


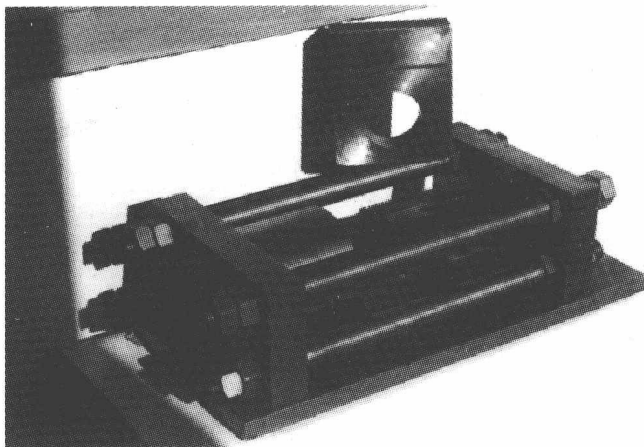
图 2.4 常用的岩块直剪仪类型

a. 变角板法; b. 剪力盒法; c. 双面剪力仪

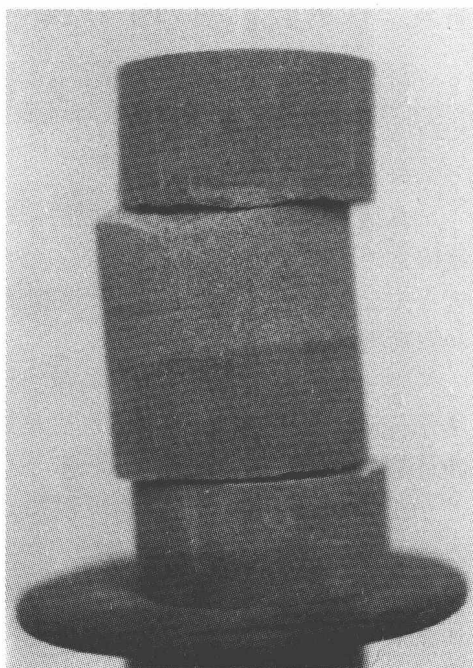
②剪力盒法:最早提出这个方法的是伯奈克斯(1969)。该方法适于软岩和半坚硬岩石。规则试件和不规则试件均可以应用。缺点在于上下剪切盒至预剪断面之间有一定距离。因此,所施加的外荷载要分解为作用在预剪断面上的剪切力和能在预剪断面上产生拉应力的力偶。即便是在上下剪切盒上设置牛腿式的传力装置,剪切力与法向力交汇于预剪断面的中心处,剪

切力对于刚性剪切盒的上盘仍然有个力偶。预剪断面是在复合应力作用下破裂。剪断机制即有剪的成分，又有张的成分。张破坏的存在，是导致该方法试验结果偏低的根本原因。该方法的另一个缺点是不适合剪岩块的强度高于在岩样上浇注混凝土（或砂浆）强度的岩块。为剪断坚硬岩块普罗托季亚科诺夫（1969）设计一个与之结构相近的剪切盒。剪切盒为刚性体，剪切盒内径与被剪岩块外径相吻合。这一改进扩大了剪切盒的使用范围；此方法对试样尺寸要求是很严格的，增加了试验工作的难度。

③双面剪切法：该方法最早是由普罗托季亚诺夫（1969）提出，同年还根据相似的设计原理设计出单面剪切仪和冲孔剪切仪。中国科学院地质研究所孙广忠（1975）根据这个工作原理设计出一台双面剪力仪（见照片 2.3）。该所工厂为国内同行加工一批，国内已有不少单位使用这种方法。该方法的优点能消除由于施加剪切力时产生的偏心荷载和弯矩，施加的剪力有效地作用在试件上。剪断面与试件柱轴垂直，没有拉应力产生的张性破坏机理。（照片 2.4）。软、硬岩块、不同尺寸的试件以及方柱体或圆柱体均可以用此剪力仪。该方法的难点是，试件外径要求与剪力仪内径吻合，若不匹配，仍有产生拉应力的可能，张性破坏成分就会出现。岩样加工满足该仪器的条件下，岩块的破坏机理为纯剪断机制，可获得很高的抗剪强度。



照片 2.3 双面剪力仪



照片 2.4 岩块剪断机理

(2) 三轴试验法

利用三轴试验法可以研究岩石多方面的力学性质，研究岩石的抗剪特性只是其中之一。该方法的优点可适用于任何一种能加工成圆柱体的岩石；用模具浇注成的模型试件；软弱夹层室内复制件。另一个特点是试件在外荷载作用下的变形、破坏过程的结构效应不受任何限制。不足之处是试验过程操作复杂；资料整理也较繁琐。

资料整理可直接做岩块三轴试验的莫尔包线，再用库伦判据求出这组岩块的内摩擦角 φ