



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13-5” GUIHUA JIAOCAI

现代岩土测试技术

主编 王春来 刘建坡 李佳洁



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

现代岩土测试技术

主 编 王春来 刘建坡 李佳洁
副主编 杨胜利 朱斯陶 徐世达

北 京
冶金工业出版社
2019

内 容 提 要

本书详细介绍了岩土体的测试方法和测试步骤,主要包括:岩石应力应变测试、岩体应力及变形测试、岩体声波测试、岩体振动测试、围岩松动圈测试、采空区探测、微震监测及预警、工程岩体质量评价、土体测试、岩土测试数据分析等。

本书为高校采矿工程、岩土工程、城市地下工程、地质勘探工程、土木工程等专业本科生的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代岩土测试技术/王春来,刘建坡,李佳洁主编. —北京:
冶金工业出版社, 2019. 4

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-8116-2

I. ①现… II. ①王… ②刘… ③李… III. ①岩土工程—
测试技术—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第077275号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹 蕊

责任校对 郑 娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-8116-2

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2019年4月第1版,2019年4月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.5印张; 347千字; 219页

35.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

“现代岩土测试技术”是高等学校采矿工程专业本科生的专业选修课，是对矿山岩土力学有关知识的扩充及应用，注重实践性。本书结合采矿工程专业学生培养要求进行编写，详细介绍了岩土体相关参数测试的方法与技术，覆盖了实验室测试和现场测试，主要针对已经具备基本专业基础，并希望获得实践、应用指导的本科生以及研究生。

本书主要内容为岩土的基础参数测试，重点阐述了岩土体的测试方法和测试步骤，而没有对试验结果有关计算公式进行详细推导，读者想要了解更完整的理论推导过程，可以参考其他书籍。本书侧重于对岩土测试基本概念和相关测试方法的描述，故在编写的时候略去了较为陈旧的测试方法，增加了一些工程测量应用的前沿成果，例如无人机变形监测等。本书内容精练、合理，可供采矿工程、岩土工程、城市地下工程、地质勘探工程、土木工程等专业本科生使用，也可供相关专业的研究生、教师及工程技术人员参考。

本书由王春来、刘建坡、李佳洁担任主编，杨胜利、朱斯陶、徐世达担任副主编。

本书在编写过程中，得到中国矿业大学（北京）、东北大学和北京科技大学等单位和部门的大力支持与帮助，在此表示感谢！

书中可能存在某些不妥之处，行文中的疏漏也在所难免，诚恳希望有关专家和广大读者批评指正。

编 者

2019年2月

目 录

1 岩石应力应变测试	1
1.1 应力应变基本概念	1
1.2 应力测试方法	2
1.2.1 压应力测试	3
1.2.2 拉应力测试	4
1.2.3 剪应力的测试	8
1.3 应变测试方法	10
1.3.1 引伸计	10
1.3.2 虚拟引伸计	12
1.3.3 数字散斑应变测量	13
1.3.4 三轴试验岩石应变测试技术	14
1.4 岩石电阻应变片测试仪器	15
1.4.1 应变片工作原理和构造	15
1.4.2 应变片分类	17
1.4.3 应变片主要参数	18
1.4.4 应变片的选择及粘贴工艺	18
1.4.5 电阻应变仪简介	19
1.5 岩石应力测试仪器	20
1.6 其他应力应变测试方法	21
1.6.1 伺服液压压力机测试方法	22
1.6.2 LVDT 局部应变传感器测试方法	22
1.6.3 图像处理技术	24
习题	24
2 岩体应力及变形测试	25
2.1 概述	25
2.2 应力解除法	25
2.2.1 方法简介	25
2.2.2 孔底应力解除法	26
2.2.3 孔壁应变法	28
2.2.4 孔径变形法	30
2.3 应力恢复法	32

2.3.1 测试方法	32
2.3.2 应用条件	32
2.4 水压致裂法	33
2.4.1 测量仪器设备	33
2.4.2 测量过程	34
2.4.3 应力计算	34
2.4.4 应用条件	35
2.5 Kaiser 效应法	35
2.5.1 测量仪器设备	36
2.5.2 测试步骤	37
2.5.3 注意事项	37
2.6 岩体变形测试	37
2.6.1 表面位移测量	37
2.6.2 深孔位移测量	39
习题	40
3 岩体声波测试	41
3.1 基本原理	41
3.2 弹性波传播理论基础	42
3.2.1 岩体的声速	42
3.2.2 声速与弹性力学参数的关系	43
3.2.3 声速与岩体性质的关系	43
3.2.4 声波探测设备	44
3.2.5 岩体声波的检测方法	44
3.3 超声波检测	46
3.3.1 超声波的特点	46
3.3.2 超声波声速测量	46
3.3.3 超声波探伤	51
3.4 微震、声发射监测	53
3.4.1 概述	53
3.4.2 测量仪器设备	53
3.4.3 测试步骤	55
习题	57
4 岩体振动测试	58
4.1 振动测试原理	58
4.1.1 振动信号分类	58
4.1.2 振动测量方法分类及简单原理	59
4.2 测振仪响应特性	59

4.3 振动测试参数选择与处理	61
4.3.1 振动的测试参数选择	61
4.3.2 振动基本参数的测量	66
4.3.3 结构动力特性参数测量	67
4.4 爆破振动测试	68
4.4.1 爆破振动测试的意义	68
4.4.2 爆破振动测试仪的原理	68
4.4.3 爆破振动测试仪	69
习题	72
5 围岩松动圈测试	73
5.1 围岩松动圈变形特点	73
5.2 松动圈应力与位移测算	76
5.2.1 应力测试	76
5.2.2 位移测试	78
5.3 松动圈围岩应变测试	81
5.3.1 振弦式应变计	81
5.3.2 工程实例	82
5.4 松动圈范围确定	84
5.4.1 声波法	84
5.4.2 地震波法	87
5.4.3 地质雷达	89
5.4.4 钻孔摄像方法	91
习题	94
6 采空区探测	95
6.1 采空区	95
6.1.1 采空区概况	95
6.1.2 采空区灾害及常用探测方法	95
6.2 重力勘探法	96
6.2.1 实测工作布置和数据采集	96
6.2.2 资料处理	97
6.2.3 工程实例	97
6.3 三维地震测试	101
6.3.1 地震勘探的基础理论	101
6.3.2 地震采集技术	103
6.3.3 工程实例	105
6.4 三维激光扫描测试	108
6.4.1 三维激光扫描技术的基本原理	109

6.4.2 三维激光扫描技术特点	110
6.4.3 CMS 洞穴测量系统及其后处理软件	111
6.4.4 CMS 工作数据流程及现场探测方法	112
6.4.5 工程实例	113
习题	115
7 微震监测及预警	116
7.1 微震监测系统的组成	116
7.1.1 微震监测系统的构建	116
7.1.2 微震监测系统的设计	117
7.2 微震监测系统布置与定位精度	123
7.3 微震系统的参数确定	126
7.4 预警模型的建立	127
7.4.1 模型建立的原则	127
7.4.2 动力灾害预警关键点识别研究	127
7.4.3 微震监测预测模型研究	132
7.5 微震监测预警模型研究	134
7.5.1 基于微震事件时空分布特征研究	135
7.5.2 基于微震监测事件参数位移变化的预警研究	138
7.5.3 基于微震事件参数视应力变化的预警研究	139
7.5.4 基于微震事件活动率的预警研究	140
7.5.5 基于微震活动性参数 b 值的预警模型研究	141
习题	145
8 工程岩体质量评价	146
8.1 概述	146
8.1.1 分类的目的	147
8.1.2 分类原则	147
8.1.3 分类的控制因素	147
8.1.4 分类方法	148
8.2 工程岩体的单因素分类	148
8.2.1 按岩石的单轴抗压强度分类	148
8.2.2 按巷道围岩稳定性分类	149
8.2.3 按岩体完整性分类	150
8.3 岩体综合指标分类	153
8.3.1 富兰克林岩石工程分类	153
8.3.2 岩体的岩土力学分类	153
8.3.3 巴顿岩体质量 (Q) 分类	156
8.4 我国工程岩体分级标准 (GB 50218—94)	157

8.4.1 确定岩体基本质量	157
8.4.2 岩体基本质量指标 (BQ) 分级	157
习题	160
9 土体测试	161
9.1 含水率测试	161
9.1.1 概述	161
9.1.2 烘干法含水率测试	161
9.1.3 酒精燃烧法含水率测试	162
9.1.4 其他含水率测试	163
9.2 渗透测试	163
9.2.1 概述	163
9.2.2 常水头渗透测试	164
9.2.3 变水头渗透测试	166
9.2.4 加荷式渗透测试	168
9.3 固结、击实测试	170
9.3.1 概述	170
9.3.2 标准固结测试	170
9.3.3 快速固结测试	174
9.3.4 击实测试	175
9.4 抗剪强度测试	177
9.4.1 概述	177
9.4.2 直接剪切测试	177
9.4.3 三轴压缩 (剪切) 测试	179
9.5 静止侧压力系数测试	183
9.5.1 概述	183
9.5.2 静止侧压力系数测试	184
9.6 变形监测	185
9.6.1 概述	185
9.6.2 沉降监测	185
9.6.3 地表位移监测	186
9.6.4 内部监测	193
习题	193
10 岩土测试数据分析	194
10.1 岩土测试数据基本性质	194
10.2 数据分析	195
10.2.1 误差的基本概念	195
10.2.2 误差分析	196

10.2.3	偶然误差的分析方法	197
10.2.4	过失误差的发现及剔除	203
10.2.5	系统误差的发现及消除	204
10.3	频谱分析	205
10.3.1	频谱的概念	205
10.3.2	富氏谱	207
10.3.3	功率谱	208
10.3.4	响应谱	210
10.3.5	频谱分析的应用	211
10.4	误差处理	212
10.4.1	直接测量的误差处理	213
10.4.2	间接测量的误差处理	213
10.4.3	随机误差的处理	214
10.4.4	系统误差的处理	214
10.5	经验公式的建立	215
10.5.1	回归方程数学形式的确定	215
10.5.2	回归方程的相关性分析	216
	习题	217
	参考文献	218

岩石应力应变测试,是现代岩土测试技术的一个重要分支,包含两大部分,即岩石的应力测试和应变测试。研究岩石应变的目的,是建立岩石自身特有的本构关系和本构方程,并确定相关系数。研究岩石应力的目的,是建立适应岩石特点的强度准则,并确定相关系数。此外,岩石应力应变的性质是岩石分类的重要依据之一,而岩石分类与生产安全管理、支护设计和施工设备选型有密切关系。由此可见,岩石应力应变测试的研究,是整个岩石力学研究的最重要的基础。

随着岩石力学近二十年来的迅速发展,岩石应力应变测试技术得到了快速的发展,主要表现在试验方法的标准化和国际上的统一,以及测试方法与现场工程更密切的配合。总的来说,岩石应力应变测试虽然发展很快,但这门学科远非成熟,现有的理论和方法还远不能满足精确解决工程实际问题的要求。因此,大力加强岩石应力应变测试方法研究,更快推动这门科学的发展,是工程实践的客观要求。

1.1 应力应变基本概念

岩石由于外因(载荷、温度变化等)而变形时,在它内部任一截面的两方出现的相互作用力,称为“内力”。内力的集度,即单位面积上的内力称为“应力”。应力可分解为垂直于截面的分量,称为“正应力”或“法向应力”(用符号 σ 表示);相切于截面的分量,称为“剪应力”或“切应力”(用符号 τ 表示)。应力的单位为Pa。应力是反映物体一点处受力程度的力学量。在外力作用下物体内部产生分布内力。应力会随着外力的增加而增长,对于某一种材料,应力的增长是有限度的,超过这一限度,材料就要破坏,这个限度称为该种材料的极限应力。对于岩石而言,破坏时所能承受的极限应力称为岩石强度。岩石的破坏形式如图1-1所示。

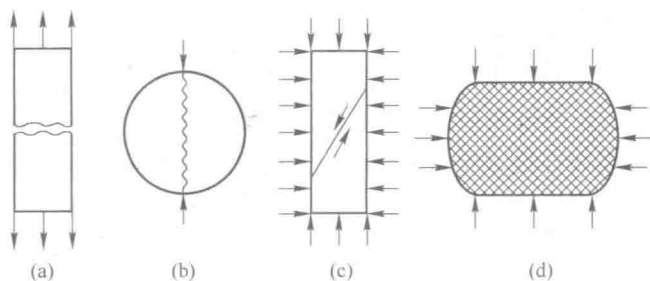


图1-1 岩石破坏形式

(a) 拉伸破坏; (b) 劈裂破坏; (c) 剪切破坏; (d) 塑性流动

需要注意的是,应力方向在材料力学中拉伸为正,压缩为负;在岩石力学中,拉伸为

负, 压缩为正, 各种应力如图 1-2 所示。

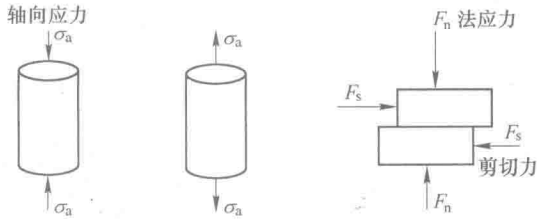


图 1-2 各种应力示意图

岩石应变又称“相对变形”, 是描述由于外因(载荷、温度变化等)使它的几何形状和尺寸发生相对改变的物理量, 应变的一般情况如图 1-3 所示。

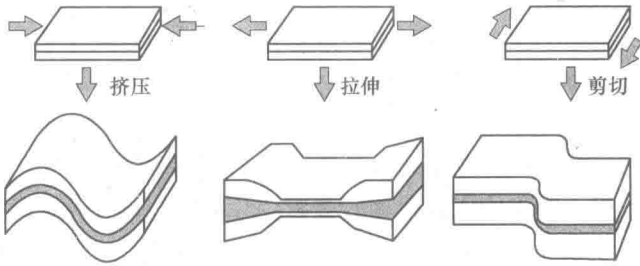


图 1-3 应变的一般情况

物体某线段单位长度内的形变(伸长或缩短), 即线段长度的改变与线段原长之比, 称为“正应变”或“线应变”, 通常用符号 ε 表示。其中, 正应变公式为:

$$\varepsilon = \lim_{L \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \quad (1-1)$$

式中, L 为变形前长度, ΔL 为其变形后的伸长量(一般把伸长时的应变取正值, 缩短时的应变取负值)。

两相交线段所夹角度的改变, 称为“切应变”或“角应变”, 用符号 γ 表示。在变形前为六面体形状的单元体, 其形变可分解为六个独立的分量, 故应变也有六个独立的分量, 即三个线应变分量 (ε_x 、 ε_y 、 ε_z) 和三个角应变分量 (γ_x 、 γ_y 、 γ_z)。变形后单元体积元素的改变值与原单元体积的比值称为“体积应变”。

在均匀变形条件下, 通过变形内部任意点总是可以截取一个体积微小的立方体, 其三对相互垂直的表面上都只有线应变而无剪应变, 这三对相互垂直的截面就是该点的主应变面, 其上的线应变称为主应变, 其方向称为应变主方向和主应变轴。

1.2 应力测试方法

岩石的各种应力测试通常是采用室内试验进行。国际岩石力学学会对岩石力学试验有一定的建议, 具体见表 1-1。

表 1-1 国际岩石力学学会（ISRM）对于岩石力学试验的建议

项 目		单轴压缩	单轴拉伸		双轴压缩	三轴压缩
			直接拉伸	间接拉伸		
试件形状		圆柱体	圆柱体	圆柱体	圆柱体	圆柱体
试件直径/mm		≥54	≥54	≥54	≥54	≥54
高径比		2.5~3.0	2.5~3.0	2.5~3.0	2.5~3.0	2.5~3.0
试件直径与最大粒径比		10 : 1	10 : 1	10 : 1	10 : 1	10 : 1
试件数量		≥5	≥5	≥10	≥5	≥5
含水量		天然	天然	天然	天然	天然
保存天数/d		30	30	30	30	30
加工精度	断面磨平度/mm	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	轴线垂直度	0.01 弧度或 3.5", 或每 50mm 不超过 0.005mm		0.25°	同单轴压缩	同单轴压缩
	侧面不平度/mm	≤0.3	≤0.1	≤0.3	≤0.3	≤0.3
加载速度/MPa·s ⁻¹		0.49~0.98	0.49~0.98	>200N/s	0.49~0.98	0.49~0.98
加载时间/min		5~10	5~10	>15~30s	5~10	5~10

1.2.1 压应力测试

压应力测试通过试验进行，即在压力机上对岩石试样（件）进行压缩试验。具体试验步骤如下：

- （1）将岩石按标准制作成规则试样，试件可用岩芯或岩块加工制成，试件在采取、运输和制备过程中应避免产生裂缝。
 - （2）将试件置于试验机承压板中心，调整球形座，使试件两端接触均匀。其中，试件应采用防油措施。
 - （3）以特定的速度（通常为 0.5~1.0MPa/s）加荷直至破坏，记录破坏荷载及加载过程中出现的现象。
 - （4）记录岩石压缩过程中的应力变化。
- 岩石压缩试验示意图如图 1-4 所示。

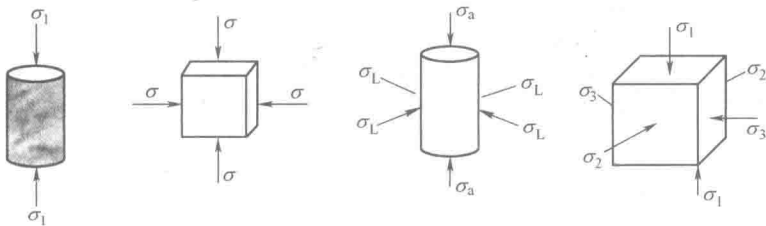


图 1-4 岩石压缩试验示意图

岩石试样在无侧限和单轴压力作用下，其抗压强度为：

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (1-2)$$

式中, σ_c 为单轴抗压强度, 也称为无侧限强度; P 为在无侧限条件下岩石试件的轴向破坏载荷; A 为试件的截面积。

圆柱单轴压缩有两种可能的破坏形态: 圆锥形破坏和圆柱形劈裂破坏。单轴压缩破坏形态如图 1-5 所示。

三轴压缩情况与单轴还有些区别, 按照下列方法计算不同侧压的轴向应力:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} \quad (1-3)$$

式中, σ_1 为不同侧压下的轴向应力; P 为岩石试件的轴向破坏载荷; A 为试件的截面积。

然后再根据计算的轴向应力 σ_1 及相应施加的侧压力值, 在 $\tau \sim \sigma$ 坐标图上绘制莫尔应力圆, 根据库仑-莫尔强度理论确定岩石三轴应力状态下的强度参数。

影响岩石抗压强度因素很多, 归纳起来可分为三个方面: 一方面是岩石内在因素, 如矿物成分、结晶程度、颗粒大小、颗粒联结及胶结情况、密度、层理和裂隙的特征和方向、风化特征等; 另一方面是试验方法方面因素, 如试样的形状和加工精度、端面条件、加载速度等; 第三方面就是环境因素, 如含水量、温度等。

1.2.2 拉应力测试

岩石的拉应力测量方法包括直接拉伸法和间接法两种。在间接法中, 又包括劈裂法(巴西法)、抗弯法及点载荷法等, 其中以劈裂法和点载荷法最为常用。

1.2.2.1 直接拉伸法

直接拉伸法是利用岩石试样与试验机夹具之间的黏结力和摩擦力, 对岩石试样直接施加拉力, 测试岩石抗拉强度的一种方法。岩石试样与夹具连接的方法, 见图 1-6。通过试验, 其抗拉强度按下式计算:

$$\sigma_t = \frac{P}{A} \quad (1-4)$$

式中, σ_t 为岩石的抗拉强度; P 为试件受力破坏时的极限拉力; A 为与所施加拉力垂直的横截面面积。

直接拉伸法的关键在于: 一是岩石试件与夹具间必须有足够的黏结力或者摩擦力; 二是所施加的拉力必须与岩石试件同轴心。否则, 就会出现岩石试件与夹具脱落, 或者由于偏心载荷使岩石的破坏断面不垂直于岩石试件的轴心等现象, 致使试验失败。

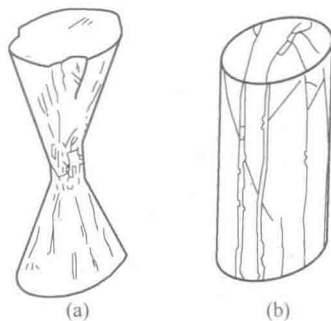


图 1-5 单轴压缩破坏形态
(a) 圆锥形破坏; (b) 柱状劈裂破坏

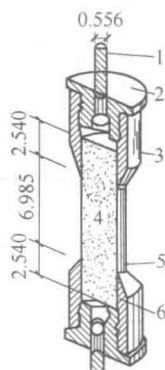


图 1-6 单轴拉伸试验用的削脚环法
1—钢索和带花饰的球; 2—螺旋连接器;
3—环; 4—岩芯试样; 5—束带; 6—黏结物

试验的缺点是试样制备困难,它不易与试验机固定,而且在试样断裂处附近往往有应力集中现象,同时难免在试件两端面产生弯矩。

1.2.2.2 抗弯法

抗弯法是利用结构试验中梁的三点或四点加载法,使梁的下滑产生纯拉应力作用而使岩石试件产生断裂破坏,间接地求出岩石的抗拉强度值,图 1-7 为岩石试样弯曲试验示意图。通过试验,其抗拉强度值可按下式求得:

$$\sigma_t = \frac{MC}{I} \quad (1-5)$$

式中, σ_t 为由三点或四点抗弯实验所求得的最大拉应力,它相当于岩石的抗拉强度; M 为作用在试件截面上的最大弯矩; C 为梁的边缘到中性轴的距离, I 为梁截面的惯性矩。

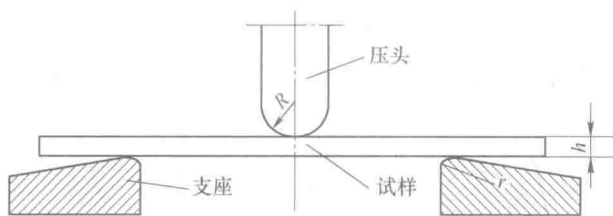


图 1-7 弯曲试验示意图

上式成立是建立在以下 4 个基本假设基础之上的: (1) 梁的截面严格保持为平面; (2) 材料是均匀的,服从胡克定律; (3) 弯曲发生在梁的对称面内; (4) 拉伸和压缩的应力-应变特性相同。

对于岩石而言,第 4 个假设与岩石的特性存在较大的差别,因此利用抗弯法求得的抗拉强度也存在一定的偏差,且试件的加工远比直接拉伸法麻烦,故此方法一般较少用。

1.2.2.3 劈裂法 (巴西法)

劈裂法的基本原理是基于圆盘受对径压缩的弹性理论解。如图 1-8 所示,厚度为 t 的圆盘受集中应力 P 的对径压缩,圆盘直径 $d=2R$,则在原盘内任意一点的应力为:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{2P}{\pi t} \left(\frac{\sin^2 \theta_1 \cos \theta_1}{r_1} + \frac{\sin^2 \theta_2 \cos \theta_2}{r_2} \right) - \frac{2P}{\pi dt} \\ \sigma_y &= \frac{2P}{\pi t} \left(\frac{\cos^2 \theta_1}{r_1} + \frac{\cos^2 \theta_2}{r_2} \right) - \frac{2P}{\pi dt} \\ \tau_{xy} &= \frac{2P}{\pi t} \left(\frac{\sin \theta_1 \cos^2 \theta_1}{r_1} + \frac{\sin \theta_2 \cos^2 \theta_2}{r_2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

观察圆盘中心线平面内 (y 轴) 的应力状态可发现沿中心线的各点 $\theta_1 = \theta_2 = 0$, $r_1 + r_2 = d$, 故

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{2P}{\pi dt} \\ \sigma_y &= \frac{2P}{\pi t} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) - \frac{2P}{\pi dt} \\ \tau_{xy} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

在圆盘中心 ($r_1 = r_2 = d/2$) 处,

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{2P}{\pi dt} \\ \sigma_y &= \frac{2P}{\pi dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

上述分析表明,圆盘中心(原点 O)处受拉应力 σ_x 及三倍于拉应力的压应力 σ_y 作用。由于岩石的抗拉强度很低,抗压强度很高,圆盘在受压应力发生断裂之前早已被拉应力 σ_x 拉断。

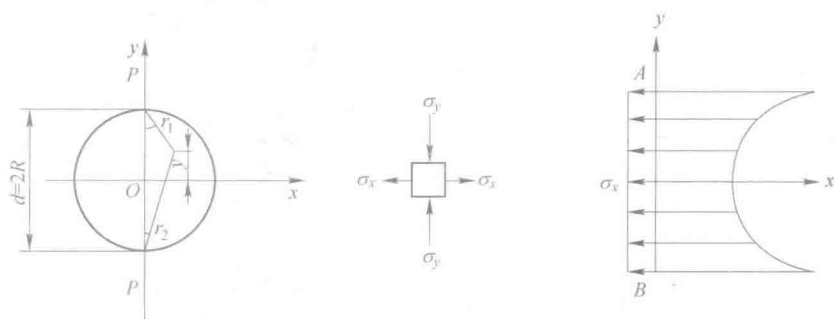


图 1-8 圆盘径向压缩时应力分布

试验应按下列步骤进行:

(1) 通过试件直径的两端,沿轴线方向划两条相互平行的加载基线,将 2 根垫条沿加载基线,固定在试件两端。

(2) 将试件置于试验机承压板中心,调整球形座,使试件均匀受荷,并使垫条与试件在同一加荷轴线上。

(3) 以 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa/s}$ 的速度加荷直至破坏。

(4) 记录破坏荷载及加荷过程中出现的现象,并对破坏后的试件进行描述。

劈裂法测定岩石抗拉强度的基本方法是:用一实心圆柱形试件,沿径向施加压缩荷载至破坏,求出岩石的抗拉强度,图 1-9 为劈裂试验加载示意图。按我国岩石力学试验方法标准规定,试件的直径 $d=5 \text{ cm}$ 、厚度 $t=1.5 \text{ cm}$,求得岩石破坏时的作用在试件中心的最大拉应力 σ_1 :

$$\sigma_1 = \frac{2P}{\pi dt} \quad (1-9)$$

式中, σ_1 为试件中心的最大拉应力; P 为试件破坏时的极限压力。

由于劈裂法试验简单,所测得的抗拉强度与直接拉伸很接近,故目前多采用此法测定岩石的单轴抗拉强度。

直接拉伸法与劈裂法两种方法的破裂面的应力状态有区别。直接拉伸时,破裂面只受拉应力,劈裂法不但有拉应力还有压应力,即不仅有 σ_x 作用还有 σ_y 的作用,试件属于受

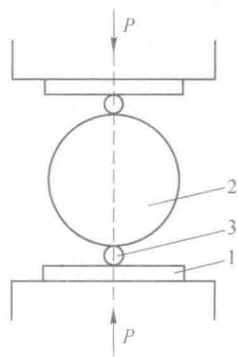


图 1-9 劈裂试验加载示意图

1—承压板; 2—试件; 3—钢丝

拉破坏,但强度略有差别。

1.2.2.4 点载荷法

该方法最大特点是可利用现场取得的任何形状的岩块进行试验,无须进行试样加工。点载荷试验是将岩石试样置于两个球形圆锥状压板之间,对试样施加集中荷载,直至破坏,然后根据破坏荷载求得岩石的点载荷强度。

试样要符合以下规定:

(1) 当采用岩芯试件作径向试验时,试件的长度与直径之比不应小于1,作轴向试验时,加荷两点间距与直径之比宜为0.3~1.0。

(2) 当采用方块体或不规则块体试件做试验时,加荷两点间距宜为30~50mm,加荷两点间距与加荷处平均宽度之比宜为0.3~1.0,试件长度不应小于加荷两点间距。

(3) 同一含水状态下的岩芯试件数量每组应为5~10个,方块体或不规则块体试件数量每组应为15~20个。

试验步骤如下:

(1) 径向试验时,将岩芯试件放入球端圆锥之间,使上下锥端与试件直径两端紧密接触,量测加荷点间距,接触点距试件自由端的最小距离不应小于加荷两点间距的0.5。

(2) 轴向试验时,将岩芯试件放入球端圆锥之间,使上下锥端位于岩芯试件的圆心处并与试件紧密接触,量测加荷点间距及垂直于加荷方向的试件宽度。

(3) 方块体与不规则块体试验时,选择试件最小尺寸方向为加荷方向,将试件放入球端圆锥之间,使上下锥端位于试件中心处并与试件紧密接触,量测加荷点间距及通过两加荷点最小截面的宽度(或平均宽度),接触点距试件自由端的距离不应小于加荷点间距的一半。

(4) 稳定地施加荷载,使试件在10~60s内破坏,记录破坏荷载。

(5) 试验结束后,应描述试件的破坏形态,破坏面贯穿整个试件并通过两加荷点为有效试验。

点载荷试验是将试件放在点载荷仪(如图1-10所示)中的球面压头间,然后通过油泵加压至试件破坏。

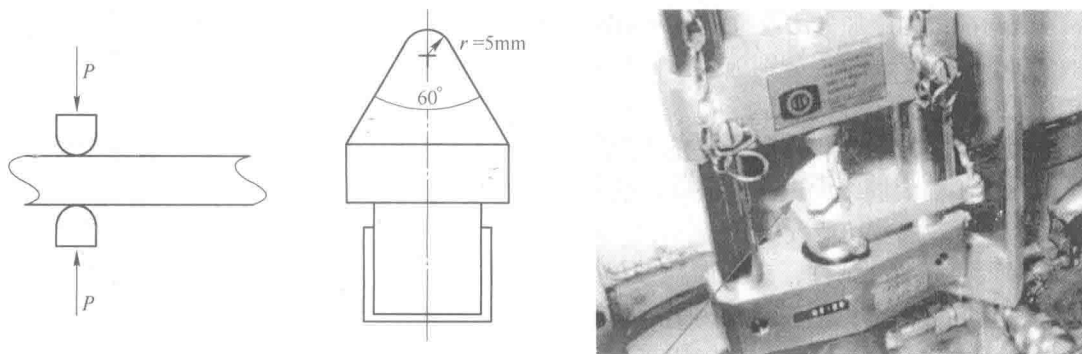


图 1-10 点载荷试验示意图

点载荷试验的优点是仪器轻便、试件可以用不规则岩块、钻孔岩芯及从基岩采取的岩石块用锤头加以修正后可用于试验,因此在野外进行试验较方便。其缺点是试验结果的离