

中国岩石力学与工程学会
第三次大会
论文集

中国岩石力学与工程学会 编

中国科学技术出版社

中国岩石力学与工程学会第三次大会
论文集

北京·1994年5月24日—27日

中国岩石力学与工程学会编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国科学技术出版社

北京·(1994)第0151号

(京)新登字 175 号

图书在版编目 (CIP) 数据

中国岩石力学与工程学会第三次大会论文集 / 中国岩石力学与
工程学会编. — 北京 : 中国科学技术出版社, 1994.6

ISBN 7-5046-1681-8

I.中…

II.中…

III.岩石力学-工程地质-文集

IV.TU45-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 03371 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码: 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

石油勘探开发科学研究院印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 39 $\frac{1}{2}$ 插页: 3 字数: 700 千字

1994 年 5 月第 1 版 1994 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—600 册 定价: 55.00 元

主办单位: 中国岩石力学与工程学会

论文审查编辑委员会: 王武林 于学馥 张清 张有天

刘天泉 周维垣 朱维申 孙宗颀

梁炯鋈 傅冰骏 白武明 李仲奎

责任编辑: 关兵

封面设计: 赵一东

正文设计: 白武明

中国岩石力学工程学会

内容提要

本论文集共收集 85 篇论文，反映了近年来全国各行业岩石力学与工程科技工作者在科研和工程实践中取得的最新成果，对推动岩石力学与工程学科的发展将起到积极作用。主要内容包括：岩石的基本性质及其在工程中的应用，岩石地下工程设计与施工，岩石边坡、地基的稳定，以及岩石中物理数据模拟计算等。

关 关：...
本一：...
即：...

面向经济建设主战场，大力提
高岩石力学水平，攀登世界顶
峰，为振兴中华作出跨世纪
的贡献！

为岩石力学与工程学会三大论文集题

潘家铮

一九九〇年一月北京

序 言

热烈祝贺中国岩石力学与工程学会第三次学术大会在北京召开！预祝大会圆满成功！这次大会由中国岩石力学与工程学会主办，会务工作由铁道部第16工程局承办，并得到学会挂靠单位中国科学院地球物理研究所的大力帮助和支持。

我国正在进行大规模经济建设，岩石力学与国民经济建设息息相关，它是一门新兴的、密切结合工程实际的学科，广泛涉及水利水电、核电、煤炭、石油、采矿、地质、地震、铁道、交通、环境保护、国防工程等各个行业和部门。我国幅员辽阔、地质构造复杂，又是一个地震灾害频繁的国家，在基本建设中常常遇到许多复杂的岩石力学问题。近年来我们成功地运用近代岩石力学原理解决了或正在解决诸如葛州坝、二滩、小浪底、李家峡等水利水电工程，大瑶山、军都山、秦岭、南昆铁路隧道工程，金川镍矿、大同煤矿井巷工程等在建设中存在的一系列问题，引起国际岩石力学界的关注。举世瞩目的三峡工程正在加紧施工，它的兴建必将把我国岩石力学学科推向一个更新、更高的水平。

为了及时总结交流经验，中国岩石力学与工程学会多次召开学术会议。1993年召开的两次国际会议：《计算机方法在岩石力学中的应用国际学术讨论会》及《三峡工程岩石力学与工程国际科学技术讨论会》，把我们的学术活动提高到一个新的水平。我国在岩石力学理论和实践方面取得的成就得到国际上的公认和赞扬。

本次大会的主题是《岩石力学与工程》，论文集集中选登85篇正式出版。令人欣慰的是：不少论文作者是青年科技工作者，他们顽强开拓，乘风破浪，奋力拼搏在第一线，提出了许多有价值的成果，这是我国岩石力学与工程界兴旺发达、后继有人的重要标志。

我们深信，这次大会将对提高我国岩石力学总体水平、缩小与国外的差距、促进学科发展起到积极作用。我们感谢为大会做出贡献的各方人士，再一次向会务承办单位表示由衷的感谢。

论文审查编辑委员会

1994年4月

一、岩石的基本性质及其在工程中的应用

岩石的基本性质及其在工程中的应用

作者：[模糊姓名]

单位：[模糊单位]

摘要：本文主要介绍了岩石的基本性质及其在工程中的应用。首先，从岩石的成因、分类、物理力学性质等方面进行了详细阐述。其次，重点讨论了岩石在工程中的各种应用，如地基工程、边坡工程、地下工程、水利水电工程等。最后，总结了岩石工程中的主要问题及发展趋势。

关键词：岩石、工程、应用

正文内容：[模糊正文内容，包含大量文字，因图像模糊无法准确转录]

目 次

一、岩石的基本性质及其在工程中的应用

有边裂纹砂岩的压剪断裂试验研究	朱可善	刘东燕	张永兴 (1)
北京地铁西单车站工程的环境维护	谢量瀛	黄长江 (10)	
岩体破坏后损伤特性及其力学描述	凌建明	孙 钧 (18)	
压剪应力作用下多裂隙雁行破坏机制及强度判定准则	徐靖南	朱维申 (23)	
岩爆模拟材料失稳时的声发射特征	费鸿禄	徐小荷	唐春安 (29)
含波纹度节理的形貌和剪切性质研究	夏才初	孙宗颀	潘长良 (34)
中国东部膨胀岩的地质分类及其分布规律的研究	曲永新 (43)		
岩石介质应力波衰减因子的研究	章克凌	陶振宇 (52)	
岩石冲击作用下的裂纹发展	邢 军	徐小荷	宋守志 (63)
用应力-应变曲线估测岩体地应力的初探	谷明成	陈成宗 (70)	
论岩体特性随深度的变化	李铁汉 (78)		
锚固岩体蠕变特性的模型试验	张玉军 (85)		
横观各向同性岩体中确定原岩应力的尝试	姜增国	徐长佑 (98)	
承压水上采煤的理论研究与实践	王作宇	刘鸿泉 (102)	
关于岩石裂隙连通率的探讨	任茂昆 (111)		
循环加卸围压对岩样破裂的影响	孔园波 华安增 赵 鹏 李玉寿	茅献彪 (116)	
大同坚硬顶板煤层扫描电镜观察与工程应用	张占海 (119)		
岩石抗剪强度指标的可靠性分析	光耀华 (125)		
孔壁应变测量的精确结果	吴振业 (132)		
利用矿山岩石力学研究成果合理改进采矿方法	黄泽键 (138)		
岩石类脆性材料的压剪断裂分析	王元汉 (144)		
真三轴应力状态下拉西瓦花岗岩的强度、变形及破裂特性试验研究	李小春 许东俊 刘世煜 安 民 (153)		
软弱夹层的流变模型及长期强度研究	王在泉 余 峰 陆文兴 (160)		
改变膨胀岩土工程地质特性的化学处理方法初探	罗 逸 李 平 匡 健 郭稚弧 冯晓腊 聂良佐 张 慧 (166)		
地层岩芯抗压强度实验研究	徐济银 李祖奎 臬传良 (172)		
岩石填充节理的动直剪试验及其本构模型	吴德伦 张 平 叶晓明 (180)		
岩石断裂韧度测试系统开发与应用	刘大安 徐纪成 张静宜 (191)		
孔隙富含水的岩石中弹性波的传播特征	王中言 于智海 石泽全 任爱华 张 永 (198)		

二、岩石地下工程设计与施工

矿山采动影响学及特殊开采技术的新进展	刘天泉 (205)		
隧道支护经验设计系统	张 清 田伟涛 (212)		
北京地铁西单车站粉细砂地层注浆固结技术与工艺	胡发甫 付 强 (219)		
论软岩矿井开发工程总体布置的优化	王同良 阮书期 (229)		

重庆轻轨小什字车站设计研究	郑颖人	谢孝忠	张乃基	(239)			
锚拉支架	李先炜		范欣荣	(246)			
预测岩体强度的结构效应	成彬芳		周瑞光	(252)			
两组锚杆桁架支护作用的设计计算	朱浮声		郑雨天	(260)			
煤矿顶板断裂过程的损伤分析	谭云亮		宋 扬	(265)			
煤层底板岩体控制问题的一个重要进展	潘立有		王春秋	(271)			
煤矿巷道底鼓分类及其控制的研究	姜耀东		陆士良	(277)			
某隧道现场量测资料分析	冯卫星		徐大均	(283)			
浅埋暗挖地下结构可靠度分析	吴康保		景诗庭	(292)			
三、岩石边坡、地基的稳定							
√三峡工程船闸陡高边坡施工过程模拟的有限元分析	李建林		哈秋舛	(299)			
“南钢”山体滑坡的成因及其综合治理	宦祥林		赵佩胜	(309)			
采矿地表的大工业建筑决策	颜荣贵		贺跃光	(317)			
高地应力断层破碎区巷道围岩变形特征与支护对策	范广勤	王 越	夏建中	卢益民	罗述君	郑景明	(324)
刚体极限平衡法的一些基本假定对分析拱坝坝肩稳定问题的影响	王 宙		陈兴华	(331)			
综合监测在边坡治理中的应用研究	史永胜	许东俊	李小春	王川婴	(337)		
岩体工程中关键块体的稳定性分析及应用	孙长寿		方祖烈	(346)			
鞍钢露天铁矿边坡工程特征及边坡研究与评价工作	杜连懿			(352)			
锚喷支护在云锡马矿塘子凹坑松散风化花岗岩巷道掘进中的应用	李治平			(363)			
滑坡预报新方法及其初步应用	肖 远		丁恩保	(372)			
√灌浆现状与三峡工程灌浆研究的设想	许书俊			(381)			
岩体破坏时是如何利用其中弱面的	徐嘉谟			(387)			
链子崖危岩体变形机理地质力学模拟试验研究	吴玉庚	刘竹华	杜永廉	陈月娥	(393)		
永平铜矿岩质边坡中的滑坡治理	许东俊	任伟中	任清平	李 炼	刘晓巍	(402)	
边坡位移的时间序列分析方法研究	吴定洪			刘 雄	(412)		
高坝洲坝基岩体结构及岩体水力学结构划分研究	徐卫亚			韩国权	(420)		
大斜度油井的井壁坍塌与破裂	陈 勉	陈治喜		黄荣樽	(424)		
四、岩石中物理数据模拟计算							
岩石力学数值计算及模型试验专业委员会工作概况及有关的研究进展	周维垣			(431)			
岩体动态施工力学与人工智能方法在工程方案优化中的应用	朱维申	王 平		徐靖南	(440)		
隧洞衬砌外水荷载问题	张有天			(447)			
二维粘弹性问题反分析计算的统一模型	杨林德	荆 华		李德洪	(455)		
铜头电站双曲拱坝稳定及加固基础有限元分析	杨若琼			周维垣	(463)		
洞间岩体 CT 分析及结果	周瑞光	陈 静	吴玉庚	杨计申	(473)		
露天矿地表移动的有限元和随机介质理论分析	马明军			方祖烈	(479)		

节理岩体的等效连续弹性模型	保长汉	陶振宇	(484)
节理概率模型应用于块体理论的分析	赵文	林韵梅	(492)
位移反分析算法的稳定性分析		蒋斌松	(496)
采场顶板岩层破断中的分形特征	徐志胜	杨列连	张金侠 (501)
粘土类岩石遇水损伤的特性分析		康红普	(508)
岩体变形的效果测度关联分析		郑永胜	(514)
薄矿脉开采条件下竖井变形三维不连续位移边界元法分析			
.....	曹平	潘长良	李立明 (520)
利用室内台架试验建立钻速预测方程	徐济银	李祖奎	王吉东 (525)
岩体力学参数预报		郭志	(532)
零位移和应力边界组合下塑性问题应力场求法		李铀	(539)
拉西瓦水电站原位试验洞对岩体弹脆性损伤本构模型反分析研究			
.....	周维垣	剡公瑞	杨若琼 (543)
机场道面体系的 FEM-BEM 动力分析.....	许金余	吴彰春	冷培义 (552)
复杂岩体极限平衡理论与应用		阮怀宁	(557)
抚顺西露天煤矿北邦边坡稳定性的流变分析		陈祖安	(564)
矿岩设计参数神经网络预报	冯夏庭	张奇志	林韵梅 (571)
软岩巷道位移量测与粘弹塑性分析		韩黎明	(577)
大冶铁矿 A 区边坡加固的二维弹塑性有限元评价		夏远发	(584)
脆性煤体失稳破坏的特征	李玉	赵国景	步道远 张连城 关杰 (591)
天湖水电站高水头衬砌井道工程地质探讨		莫家荣	(596)
一种模拟节理化岩体的新方法—边界搜索法		莫勋涛	(602)

① 意大利巨大地震(65), 1200m(max)

有边裂纹砂岩的压剪断裂试验研究

朱可善 刘东燕 张永兴

(重庆建筑工程学院 重庆 630045)

提要 本文利用含斜向边裂纹砂岩的单轴压缩试验, 测试并分析了试件压剪断裂过程中的声发射及强度特性. 借助于有限元计算, 分析了裂纹尖端应力场的演变规律. 结论表明: 受砂岩层理、裂纹方向、岩桥几何特征的影响, 含边裂纹砂岩的强度和破坏均表现出自身特有的性质.

关键词: 压剪断裂、劈裂破坏、岩石、应力集中、声发射

前言

当前, 人们在研究岩石断裂力学中认识到, 压剪断裂是岩石类脆性材料所特有的破坏现象. 由于裂纹开度、闭合应力以及闭合后裂纹面的摩擦阻力对裂纹尖端应力场将产生不同的影响, 使得岩石的压剪断裂与拉剪断裂在破坏机理和强度特性上都有明显的区别. 线弹性断裂力学的复合断裂理论虽然适用于拉剪断裂, 但不能直接套用来计算压剪断裂力学问题. 而要建立岩石压剪断裂的强度理论, 首先必须弄清压剪断裂的破坏机理.

以 Griffith(1921, 1924)^[1, 2] 固体破裂理论为基础的岩石断裂理论, 多重视含中心裂纹体的压剪断裂研究. 封闭的内含裂隙和临空的边裂隙在受力特征和破坏机制上都有所不同, 受工程荷载扰动的岩体, 如洞室围岩、边坡和基础开挖面多出现边缝裂隙. 可见含边缝岩体的强度特性及破坏机制有必要进行的专门的研究.

周群力等人通过含水平边缝大理岩和混凝土与基岩胶结面的直剪试验, 研究了岩石的压剪断裂破坏特性, 得出了有益的结论^[3, 4]. T. Savilahi 等人利用模型试验和数值计算, 定性分析了压剪荷载作用下岩桥的破坏, 以及节理间的相互串通形式^[5].

这些研究都以直剪试验为主要依据, 重点反映剪切荷载的作用效应, 对于裂纹方向、排裂方式, 以及裂纹开度对压剪断裂及其裂纹尖端应力场的影响没有深入揭示. 为此, 我们用斜向边裂纹岩石试件, 通过轴向压缩试验测定其压剪断裂过程中的声发射事件曲线和荷载

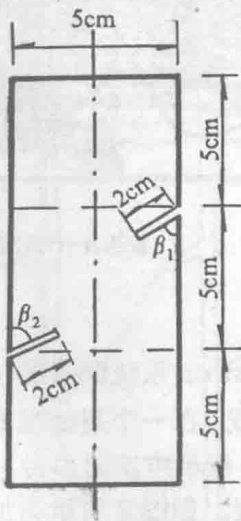


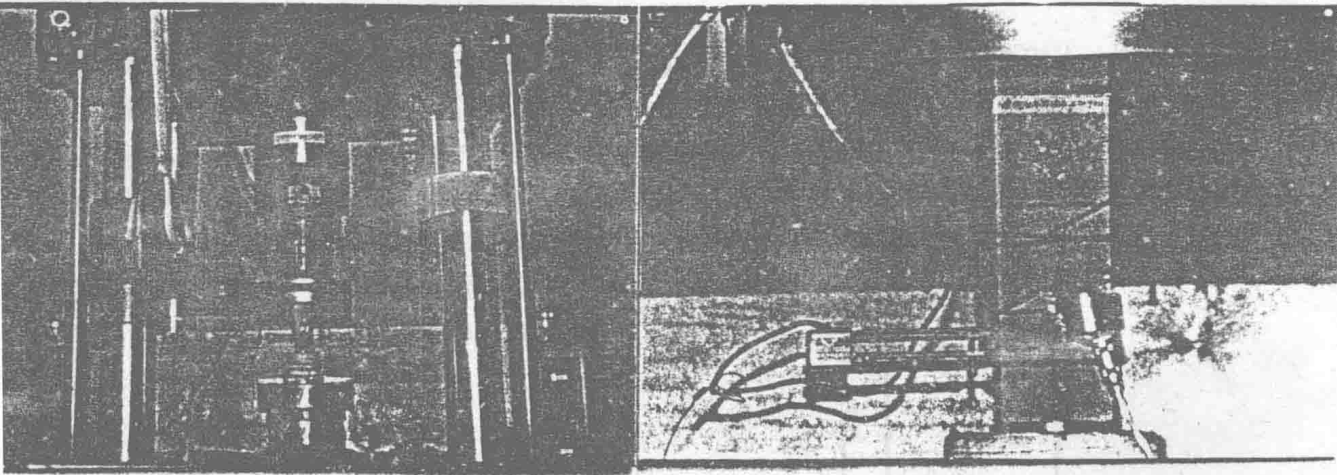
图1 试件尺寸

位移曲线,进一步探讨岩石边裂纹的压剪断裂破坏机理及其强度的特性,并分析岩桥几何特征对强度及其破坏的形态的影响.

1 试验设计及其加载测试系统

为了避免偏心受压的影响,我们采用含双边裂纹的砂岩试件.砂岩为层状岩石,考虑其各向异性的影响,分别设置了加载方向垂直、平行以及 45° 、 45° 、 60° 三种交角.试件尺寸如图1所示,裂缝用日本产便携式石料切割机沿厚度方向透切成长2cm,宽0.2cm的边缝.为比较岩桥的受力特征,分别考虑了两裂缝的不同组合条件.

加载设备采用 Instron-1346 电液伺服刚性压力机,为消除试件端部噪声及液压油缸噪声对声发射测试效果的影响,在靠近液压作动头的端部设置了排噪装置,并在试件受压两端设置垫铁铺以聚四氟乙稀薄片,减少端部摩擦的约束效应.



加载装置

探头及引伸计设置

图2 加载及测试系统

加载过程采用位移控制,速率为 $0.1\text{mm}/\text{min}$,利用 Instron 系统配置的位移引伸计测定包括一个裂缝在内的轴向应变,绘制应力—应变关系曲线.在一个裂缝端部设置声发射探头,测定声发射事件数随时间(轴向位移)的变化关系.分析单声发射事件、累积声发射事件随位移的变化过程,从而判定裂纹的初裂及其发展过程,如图2所示为加载及测试系统.

2 破坏形态及强度特征

重庆砂岩的抗压强度较高,具有明显的脆性特征.因为破坏是突发性脆性断裂,强度

曲线多获得峰值以前的线性部分。新裂纹的发生都是从预制裂缝的端部开始，沿主压应力方向发展。由于层理的影响，造成强度和变形的各向异性，使得破坏和强度都有新的特征。

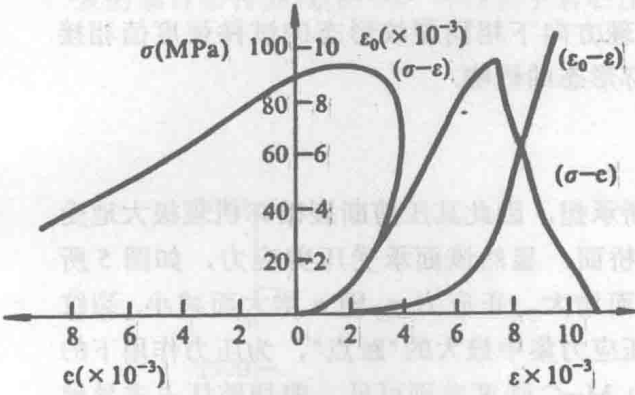


图3 砂岩的全应力应变曲线

2.1 砂岩的强度和变形

利用标准的圆柱形试件，在刚性压力机上我们测得砂岩在平行层理方向受轴压的全应力应变曲线如图3。可以求得：

$$E = 1.923 \times 10^4 \text{ MPa}; \mu = 0.09$$

无裂纹试件的破坏几乎都是沿纵向劈裂。无论层理方向与主应力方向的相对位置如何，其破坏形态几乎一样。说明这类岩石的破坏形态受层理方向影响不显著。

但强度和变形则受层理面影响表现出一定的各向异性。

2.2 裂纹对强度及破坏形态的影响

当试件有人工切割的裂缝之后，其破坏形态发生了显著的变化，新生裂纹的发生和发展不仅受裂缝本身方向的控制，岩石层理的不同方向也使破坏形态发生改变。

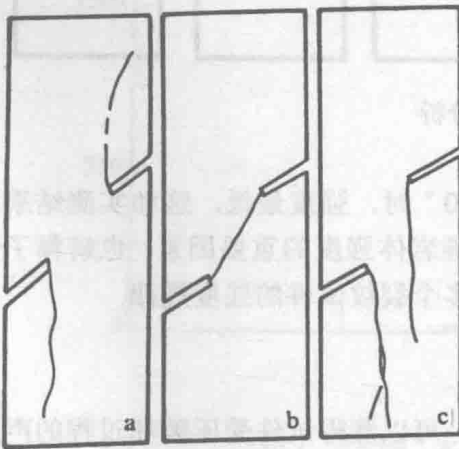


图4 试件破坏形态

边裂纹砂岩试件的强度值

φ	边裂纹砂岩试件的强度值		
σ_c	90°	0°	45°
β			
30°	41.9MPa	50.6MPa	36.2MPa
45°	30.3MPa	30.4MPa	27.7MPa
60°	19.05MPa	23.15MPa	21.2MPa

裂纹由预制缝的尖端开始朝最大主压应力方向发展，和一般中心裂纹情况相反，断裂多是由压应力集中处开始。拉应力集中处有裂纹但发展很有限，如图4(a)所示，显现出边

裂纹试件的破坏属压应力集中下的劈裂破坏. 和无裂纹试件相比, 强度曲线虽仍为直线, 但相应弹模减小, 强度值也随裂纹走向不同而异. 如表 1 所示, 由裂纹端部发展的破坏裂纹也有不同方向, 这和层理方向、轴压力方向与岩桥面的相对关系相关. 当层理面与裂纹方向呈小交角或主压应力与裂纹面成大交角时, 会出现剪切破坏或楔型劈裂破坏, 反映了层理对压剪断裂破坏形态的影响. 但是不同层理方向下相同裂纹形态的试件强度值相接近, 说明层理对压剪断裂强度的影响次于对破坏形态的影响.

2.3 岩桥的破坏形态

含双边裂纹试件均为开缝, 轴向压力由岩桥承担, 因此其压剪断裂破坏机理极大地受岩桥破坏形态的控制. 取两裂纹端点连线为岩桥面, 显然该面承受压剪应力, 如图 5 所示. 设 α 为岩桥面倾角, 则剪应力 τ_b 随 α 增大而增大, 正应力 σ_b 随 α 增大而减小. 裂纹尖端则为压剪应力集中点, 所以最先破坏多为压应力集中最大的“趾点”, 为压力作用下的劈裂破坏. 当剪应力很大, 而压应力较小时, 由 M-C 强度准则可见, 剪切破坏占主导地位, 如 $\beta = 60^\circ$ 时, 就出现了沿岩桥面的剪切破坏. 当然上述破坏方式都与层理面的位置密切相关, 如果压力方向平行于层理面, 则压应力集中下的劈裂破坏首先发生.

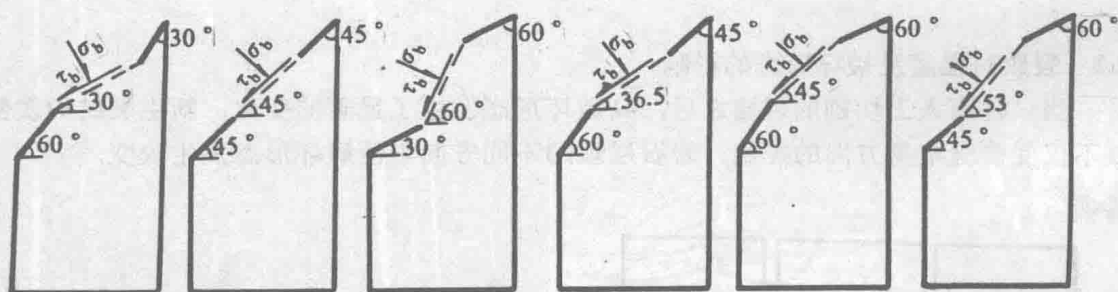


图 5 岩桥面受力分析

岩桥的方位取决于两裂纹端点的位置, 当 $\alpha = 60^\circ$ 时, 强度最低, 这和实测结果相吻合. 由此可见, 裂纹的组合排列方式是影响断续节理岩体强度的重要因素. 也解释了为什么裂纹倾角相同的单一裂纹试件强度规律不同于含多个裂纹试件的强度规律.

2.4 声发射特性分析

通过靠近一条裂缝端部设置单通道声发射探头, 可以测得试件受压破坏过程的声发射事件. 建立声发射事件随加载时间(轴向位移)的变化关系, 如图 6、7 所示, 分析声发射发展过程, 可看到含边裂缝岩石试件压剪断裂的强度及破坏特征.

声发射累积曲线可划分为几个特征段. 第一段在初裂以前, 几乎没有声发射事件, 因为岩石很致密, 压密过程中声发射能量很小; 第二阶段为直线段, 声明声发射事件开始出现, 发展稳定; 第三阶段由初裂发展到强度峰值, 为一曲线段, 其中无裂纹体该段非常

短，初裂几乎接近峰值强度，表明纵向劈裂破坏的脆性特征，如图 6 所示。对于含裂纹体由初裂到峰值有一明显的非线性过渡段，表明裂纹压剪断裂发展的稳定性，如图 7 所示。最后声发射事件突发性猛增，声发射累计曲线表现为很陡的直线。随轴向压力值变化的声发射累计事件曲线(图 8)，也表明了岩石压剪断裂的阶段性。

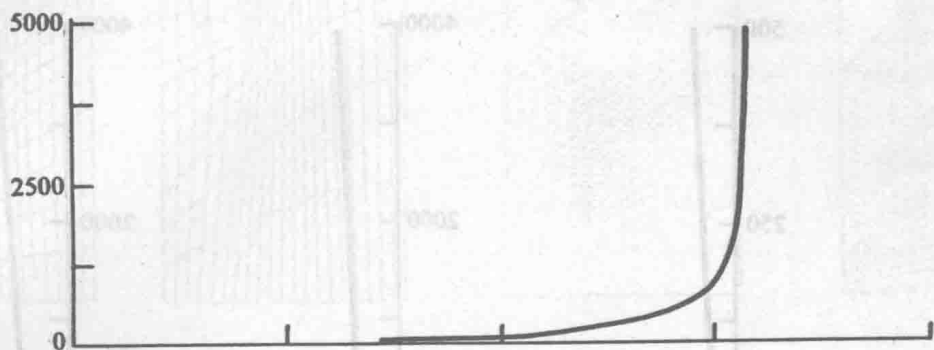


图 6 $\varphi=0^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\beta_2=30^\circ$ 试件声发射曲线 TE~T(δ)

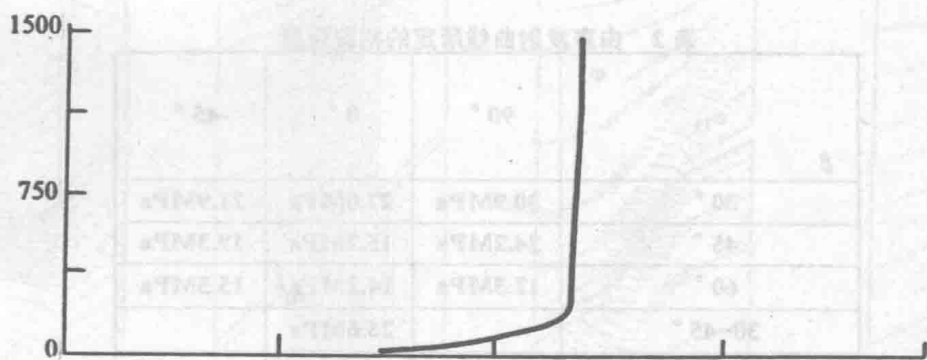


图 7 $\varphi=90^\circ$ 无裂纹试件声发射曲线 TE~T(δ)

由声发射曲线的各特征点，可定出相应的强度特征值——初裂强度和峰值强度。初裂强度如表 2 所示，比较可见初裂强度为峰值强度的 50% 以上，主应力垂直于层理时，初裂强度为峰值的 65-80%；主应力与层理面斜交时，初裂为峰值的 60-73%，由此可见强度特性受层理各向异性的影响显著。

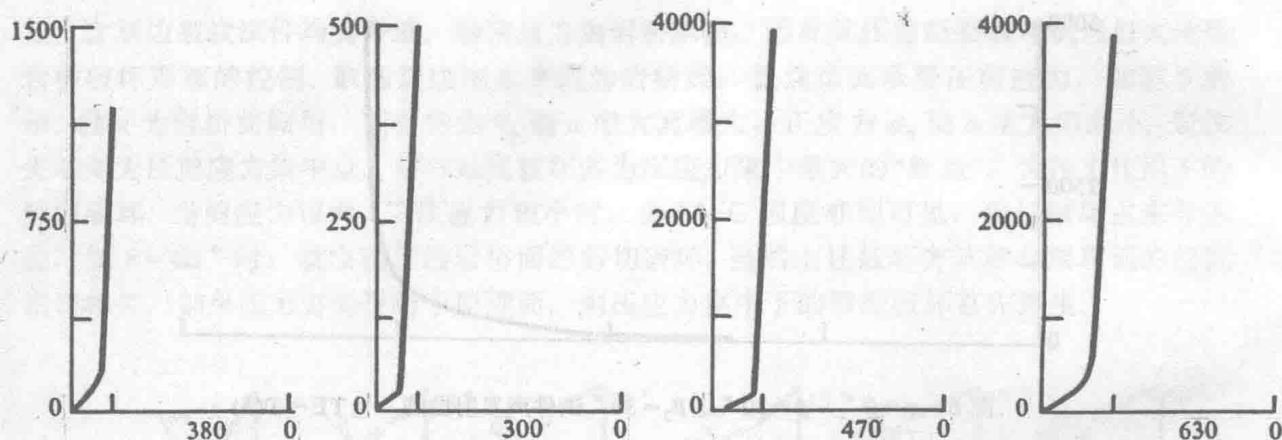


图 8 声发射随轴压力变化曲线

表 2 由声发射曲线所定的初裂强度

β	σ_{12}	φ		
		90°	0°	45°
30°		30.9MPa	27.0MPa	21.9MPa
45°		24.2MPa	15.2MPa	19.3MPa
60°		12.3MPa	14.2MPa	15.5MPa
$30-45^\circ$			26.6MPa	
$30-60^\circ$			22.7MPa	
$45-60^\circ$			18.6MPa	

3 有限元计算与试验结果对比分析

3.1 计算模型及参数确定

用 ADINA-84 程序, 按平面应力问题, 我们计算了含边裂纹岩石试件. 逐级施加轴向位移荷载, 裂纹按实测方向纵向劈裂. 重点分析裂纹扩展过程中裂纹尖端及岩桥面的应