

中国科协第二届青年学术年会
第三届全国青年岩石力学与工程学术研讨会

论文集

中国岩石力学与工程学会
青年工作委员会 编

西南交通大学出版社
• 成 都 •

305501

(川)新登字 018 号

内 容 简 介

本论文集汇集了岩石力学与工程的约 80 篇论文,分为综述与专题报告、本构模型与数值方法、工程技术与应用、监测与模型实验等四个方面,其内容充分展示了自 1993 年至 1995 年间工作在全国岩石力学与工程各领域内的青年岩石力学工作者的新成就,可供有关专业的科技工作者参考。

中国科协第二届青年学术年会
第三届全国青年岩石力学与工程学术研讨会
论 文 集

中国岩石力学与工程学会
青年工作委员会 编

*
西南交通大学出版社出版发行
(成都 二环路北一段)
铁道部第二工程局印刷厂印刷

*
开本: 787×1092 1/16 印张: 29.125
字数: 750 千字 印数: 1—325 册
1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷
ISBN 7-81022-814-5/Z·056
定价: 60 元

从理论和实践两方面

努力提高与发展岩石力学与工程技术
更好为四化建设大上服务。

贺第三届全国青年岩石力学与工程
研讨会在成都召开。

孙

钧
九五·七

序 言

对我国岩石力学和岩土工程技术的发展，青年科学家和科技工作者的作用向来是举足轻重的，“第三届青年岩石力学与工程学术研讨会论文集”又一次展示了他们的贡献。

近年来，交通、能源、市政、环保、矿山等各类岩土工程的大量兴建，为岩石力学的发展提供了极为丰富的课题。这本论文集的一个鲜明特点是针对具体工程，运用岩石力学的研究成果解决工程问题的论文有很大比重。青年同志们对工程实践表现出的兴趣和热情是十分可贵的。事实上，岩石力学作为一门应用性很强的学科，原本植根于工程的土壤中。离开了工程背景，就谈不上学科的发展。国际上的岩石力学大师和我国的一些知名科学家的成功，除了坚实的基本功和高超的理论水平以外，还由于他们始终把自己工作的基点放在工程的需求上，从而使他们的研究成果“言之有物，有的放矢”。

这样说，决不意味着可以轻视基本理论方面的工作。加强对岩石基本力学性态的研究，发展计算理论、设计方法和实验、量测技术对于更有效的解决工程问题都是绝对必要的。青年同志们要有勇气去接触岩石力学的前沿课题，努力缩短同国际先进水平的差距，作出超越前人的业绩。

有时候，从事理论工作的岩石力学家会抱怨工程师们在实际工作中很少采用反映岩石力学研究水平的先进方法，而宁愿按自己的经验，或依赖一些粗略的计算去处理问题。工程师们则感到要将岩石力学的理论成果直接用于他的具体工程，还存在着这样或那样的困难。缩短力学家与工程师的距离并不是说要降低岩石力学家们的理论水平，相反地，工程实践要求岩石力学工作者把作为地质体的岩石性态描述得更概括、更简洁，抓住本质和主要矛盾，使得能更方便、更正确地应用数学和力学工具来分析工程岩体对人为活动的反应。

与一般的地面结构工程不同，岩土工程环境条件的数量化表达比较困难。只有考虑了描述岩体性态诸参数的随机性和模糊性，才能在实际上运用连续介质力学和块体理论等对工程岩体的稳定性和支护系统的可靠度进行分析，作出切合实际的结论。近年来，一些青年学者在这方面进行了很有价值的工作。

也正是由于环境条件数量化表达方面的困难，对于岩土工程，我们很难做到像地面结构那样把力学计算作为工程设计的“定量”依据。因此，除了建立在施工监测和反演理论基础上的“信息化设计”方法以外，基于工程类比的经验方法在岩土工程设计和施工决策中居于突出的地位。借助于计算机，可以采用专家系统、神经网络理论和人工智能来发展这种经验方法。从事岩石力学和工程的青年学者们注意到这一研究方向是很有必要的。

我国经济建设的宏大规模给岩石力学和工程技术的发展提供了良好的机遇。青年人思维敏捷，敢于创新，只要抓住机遇，充分发挥“年龄优势”，一定能取得比前辈们更大的成就。

铁道部科学研究院西南分院院长
中国岩石力学与工程学会常务理事

王建宇 研究员

中国科协第二届青年学术年会
第三届全国青年岩石力学与工程学术研讨会

主 办

中国岩石力学与工程学会青年工作委员会

指导委员会

孙 钧 张 清 哈秋舫 王建宇 傅冰骏 于学馥

筹备委员会

梅志荣 李永盛 李仲奎 郭树高 高 波 黄宏伟

钟长江 肖中平 肖勤学 伍晓军 栗 建 陈丽娟

周先华 张海蓉

论文审查委员会

王建宇 傅冰骏 李永盛 梅志荣 高 波 陈丽娟

责任编辑

杨 怡 李英明

版面设计

林 贞 杨 怡

编者短语

中国岩石力学与工程学会青年工作委员会自 1991 年 11 月成立以来,建立了每两年举行一次全国综合性青年学术研讨会的制度,本届会议为第三届全国青年岩石力学与工程学术研讨会。这次会议经中国科协第二届青年学术年会执行委员会批准为中国科协第二届青年学术年会的卫星会议。

这次会议为工作在水电、煤炭、矿山、铁道、交通、建筑、石油等各部门,各领域第一线的青年岩石力学工作者创造了又一个相互交流、共同提高的机会,将为岩石力学与工程的学科发展,青年学术活动的日趋活跃,学术水平的日渐提高起到进一步的推动作用。本届会议共征集到 108 篇论文和摘要,经论文审查编辑委员会约请有关专家评审后,汇集了其中的约 79 篇论文,编成中国科协第二届青年学术年会暨第三届全国青年岩石力学与工程学术研讨会论文集。本论文集按论文内容分为综述和专题报告、本构模型和数值方法、工程技术与应用和监测与模型实验等四个篇章进行编辑,以供从事有关专业和学科的科技工作者借鉴和参考。

本论文集在征文、编辑和出版过程中,得到了张清、王建宇、李永盛、李仲奎等专家的具体指导,以及西南地区青委会成员的热情支持和帮助;铁道部科学研究院西南分院梅志荣、陈丽娟、张海蓉等同志做了大量的工作。中国岩石力学与工程学会孙钧理事长专门为本论文集题词,勉励青年岩石力学工作者顽强开拓。在此谨致谢意。

中国岩石力学与工程学会青年工作委员会对给予本届学术研讨会支持和赞助的同济大学地下工程系、铁科院西南分院、西南交通大学桥地系、重庆建筑工程学院岩土工程研究所、水利部成都勘测设计院科研所、清华大学水利水电系等单位表示衷心的感谢!

中国岩石力学与工程学会青年工作委员会
一九九五年六月

目 录

一、综述与专题报告

岩石声发射规律数值模拟的几个关键问题.....	唐春安	徐小荷	1	
基于 Hopfield 网络的泥化夹层微观结构的自适应识别 ...	冯夏庭	常 春	王泳嘉	7
隧道塌方高度的概率特性参数	赵万强	高 波	关宝树	13
地震作用下地下管道反应分析和研究综述	赵成刚	曹巧玲	22	
关于隧洞围岩自承体系的讨论	金丰年	陈志龙	30	
边坡稳定性分析中条块法的进一步探讨	张家生	刘宝琛	34	
链子崖危岩体 T_8-T_{12} 缝段稳定可靠性研究	张永兴	朱 凡	39	
Hoek-Brown 准则及其在三峡工程岩体力学参数估计中的应用 ...	李建林	哈秋龄	45	
水力压裂裂缝的自相似扩展与缝内压力分布	阳友奎	万晓燕	章勇武	51
遍有节理块体可靠性分析及其在地下工程中的应用			陈礼伟	58
高水充填材料应用特性的影响因素分析	张占海		杨彦峰	65
高压水射流破岩钻水平井技术研究	王瑞和	沈忠厚	杨永印	69
帷幕灌浆在磷石膏堆场防渗中的应用			储学群	74
攀枝花铁矿钻孔岩芯 XRF 值与其物理力学性关系的研究	李 林	王 龙	钟长江	79
用比能法判断井下钻头使用情况	徐济银		王吉东	83
机场道面疲劳方程研究	顾强康		许金余	88
地下洞室塌方高度概率分布函数的最佳拟合	陆宏轮		高 波	91
按继承蠕变理论研究井巷围岩移动特性	张向东	郑雨天	常 春	95
岩体变形的效果测度分级.....	郑永胜		王 莹	100
边坡优势面确定的效果测度分析法.....			刘连成	104
基坑变形的系统动态预报分析.....	黄宏伟		杨林德	109

二、本构模型与数值方法篇

岩土工程施工力学的仿真模型.....	李 宁	113		
岩土工程应用神经网络的学习算法.....	杨英杰	118		
FLAC 程序及其在岩土工程中的应用.....	梁海波	李仲奎	123	
岩爆活动的分形特性及其动力系统模型的重建.....	刘兴华	郑颖人	谢孝忠	128

大埋深软岩巷道围岩压力计算.....	胡玉银	133
开挖塑性效应..... 周顺华 沈中其 刘永丰 朱靖华	徐正良	139
采场直接顶块裂岩体滑移冒顶规律及其控制 何富连 李万春 赫孟合	张 斌	144
运营隧道病害的数量化综合评估..... 吴江敏	牟 力	149
地下洞室弹性分析的随机场有限元法..... 刘东升	郑颖人	155
锚杆在软土地区深基坑围护结构中的应用..... 邓文龙	龚一斌	161
论金川巷道岩体稳定性分析法..... 包四根	张 彩	165
滑坡预报的等维新息模型..... 刘汉东	杜永康	170
岩石力学在小官庄铁矿的研究与应用..... 明士祥		178
深井巷道围岩应力及变形规律的数值分析..... 李效甫	李化敏	184
随机分布节理岩体的等效力学模型..... 曹庆林		188
粘弹性地基板的瞬态动力响应分析..... 许金余 胡保安 顾强康	贾建中	193
计算机成图时的趋势面分析..... 朱家文 吴一伟	刘 影	200
放顶煤开采覆岩冒落裂隙带最大高度及空间形态..... 黄振修	张文泉	205
大朝山水电站母线洞、尾水洞围岩稳定有限元分析..... 戚 蓝	陈 晴	210
桩施工引起的邻近隧道变形半解析数值解法..... 周公佐	曹志远	217
三轴状态下岩石的双剪损伤本构模型..... 李庆斌 张 伟	郝军保	229

三、工程技术与应用

定向井的井眼系统稳定技术	陈 勉 陈治喜 金 衍 黄荣椿	233
边坡滑动及其预报..... 聂林妹	孙志恒	238
深基坑开挖地面变形影响参数分析..... 谭跃虎	郑必勇	244
煤层冲击地压潜在危险区域的预测..... 金立平		249
金川矿山二期工程 1000 米破碎洞室稳定性分析	包四根 雷 杨	255
张河湾抽水蓄能电站右岸边坡稳定性分析..... 霍润科 陈宝玉	赵建国	259
上海地铁广元路旁通道官区二重管高压旋喷加固..... 黄小许 李子生	邓天宁	264
上海首例地铁旁通道掘进支护施工综述..... 李子生 邓天宁	黄小许	269
P. I. T 在桩基工程中的应用实践..... 刘建军	秉 健	276
新奥法原理及其支护理论的再认识..... 阳友奎		282
南盘江天生桥二级水电站厂房高边坡深层位移与地下水位的相关性分析 周庆东	赵 鑫	289
挖孔桩护壁作用的分析..... 张尚根	郑必勇	297
露天矿边坡地下水渗流规律及治理措施的研究..... 杨天鸿 芮勇勤	申 力	304
微振动爆破开挖 32 米大跨度、超浅埋、偏压隧道	卢 鹏	311
太平驿电站引水隧洞岩爆特征及超前预报..... 龚培松		318
声波 CT 技术在普舍寨桥基础注浆加固检测中的应用 秉 健 柯昌俊 胡湘敏 张玉川 张可诚		324

水压爆破拆除 10" 高炉钢筋混凝土材料坑	潘常洪	程世涛	330			
天生桥二级水电站坝基渗漏分析	周庆东	赵鑫	335			
模拟井底钻头的 PDC 齿连续切削岩石受力分析	罗超	蔡镜仑	王克雄	孙宏寿	翟应虎	340

四、监测与模型实验

上海博物馆基坑围护结构的受力与变形.....	李永盛	345
分形岩石节理应力场光弹实验研究.....	谢卫红 谢和平 赵 鹏	高 峰 353
拉力型土锚高坡工程试验应用研究.....	徐 迎	郑必勇 360
岩石断裂韧性测试方法的研究.....	陈治喜 陈 勉	金 衍 黄荣椿 368
声发射效应测量地应力新方法.....	陈 勉 陈治喜	金 衍 黄荣椿 373
太平驿电站引水隧洞穿越 F ₁₇ 大断层的施工预测与监测技术	李治国	万姜林 377
隧道与地下工程减震模式的试验研究.....	高 波 王志杰	关宝树 肖中平 386
TP801 单板机多点位移监测系统		许宏发 396
用全站仪进行隧道净空三维变形非接触观测.....		宋 治 400
平行隧道及双拱连跨隧道爆破开挖振动测试分析.....		卢 鹏 405
长春的白垩纪泥岩遇水损伤特性的初步分析.....	刘玉梅	李雪梅 409
波速试验在确定长春市黄土状液限塑限方面的应用.....		段汉民 413
关于粘性土边坡稳定性分析.....		陈 治 417
模拟岩体的相似材料的研究.....	顾大钊	林 斌 422
隧道施工监测数据的时间序列组合模型分析.....	朱永全 景诗庭	张 清 428
两岩体系统声发射率规律的研究.....	陈忠辉 唐春安	孙吉主 徐小荷 434
岩石弹性模量测试结果研究.....	杨 同	王宝学 440
重庆地铁小什字车站衬砌结构自防水试验.....	肖勤学	斯孝林 444
节理力学性质研究概要.....		夏才初 450

岩石声发射规律数值模拟的几个关键问题*

唐春安 徐小荷

(东北大学 沈阳 110006)

提 要 本文提出了岩石声发射规律数值模拟的基本设想和框架,并以有限单元法为例,就具体实施的几个关键问题作了简述。包括:(1)单元的划分;(2)单元参数的赋值;(3)声发射率的计算。

关键词 岩石声发射 数值模拟 统计细观损伤力学

1 问题的提出

自从 50 年代声发射技术被用于矿山和隧道的稳定性监测和预报,几十年来,声发射技术已被广泛用于地应力测试、岩体稳定性监测以及岩石破裂机理、地震序列特征的研究等各个方面^[1-3]。然而,有关岩石声发射技术的理论研究却还很不成熟。正如李典文所指出的^[4],岩石声发射技术是理论研究落后于工程实际的少数学科之一。Holcomb^[5]在 1993 年发表的“General Theory of Kaiser Effect”一文中指出:“尽管 Kaiser 效应已经被发现了四十年,但有关它的理论却很少,甚至没有什么发展。”因此,在继续进行岩石声发射技术实验研究的同时,进一步开展岩石声发射规律的理论研究,对于更广泛地将岩石声发射技术应用于岩石工程的各个领域具有重要的实际意义。

损伤力学的发展,为人们开展岩石声发射技术的理论研究开辟了一条新的途径。1990 年,作者根据统计细观损伤力学原理和岩石声发射原理,提出了岩石的声发射与岩石的损伤具有一致性的假设^[6],即

$$N \propto D \quad (1)$$

其中, N 是岩石的声发射, D 是岩石的损伤参量。

基于这种学术思想,本文作者用解析的办法,运用统计细观损伤力学,从理论上研究了岩石的声发射规律^[7],并在解析解的基础上,通过计算机模拟岩石加载系统各种参数的变化,研究了岩石在不同加载方式下(柔性加载、刚性加载、伺服控制加载等)的声发射特征(图 1)^[8]。所给出的理论结果验证了许多前人的重要实验结果,譬如,可以通过实验参数的调整,分别得到由 Mogi^[1]通过各种脆性材料试验提出来的岩石声发射三种基本模式:(1)主震—余震型、(2)前震—主震—余震型和(3)群震型。这些结论对地震学的研究是十分重要的,因为当日本的地震学家们仔细分析了日本的许多地震资料后,他们确实发现,在地震的活动性规

* 国家自然科学基金资助项目 (19472018)。

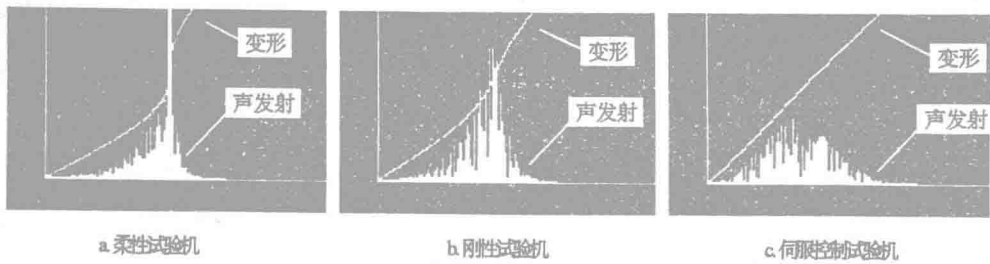


图1 不同加载方式下岩石声发射规律的计算机模拟结果

律中,至少存在着这三种基本类型^①。

尽管上述解析的办法并通过计算机模拟能给出很理想的岩石破裂过程中的声发射曲线,但毕竟解析的办法只适应于区域形状与边界条件都比较简单的情况,不能考虑更复杂的工程问题或地质条件,而且不能考虑单元之间的相互影响,在这方面,进一步的工作就要借助于数值计算的办法。

自从50年代提出处理固体力学的有限元数值计算方法以来,随着大容量计算机的迅速发展,有限元法在各个学科领域里已被广泛地采用,在岩石力学工程问题计算中,有限元方法已经发挥了巨大的作用。然而,由于声发射现象的复杂性,过去的研究大多局限于实验室试验。通过对实测数据的统计分析研究声发射的规律。因为没有涉及到声发射的细观机理,不能建立力学模型,因此无法用数学、力学方法研究或描述岩石的声发射规律及声发射参数与材料宏观力学参数的关系,从而限制和阻碍了数值计算方法诸如有限元法在岩石声发射规律研究中的应用。

本文根据作者运用统计细观损伤力学研究岩石声发射,并通过计算机模拟岩石声发射规律的工作基础上,提出用有限元方法研究岩石声发射规律的基本思路和几个需要解决的关键问题,并作一简单论述,以期与岩石力学、特别是从事岩石力学数值计算的同行们共同讨论。

2 基本思路

众所周知,岩石的声发射,是岩石内部产生局部微破裂时产生的弹性波。这说明,尽管从宏观上讲,岩石材料可能具有明显的非线性性质,但从细观上讲,局部微元体^①岩石材料的破裂性质主要呈现出弹—脆性行为^②。因为只有当微元体产生突然破坏时,它才会发射出明显的弹性波。微元体尺寸取得越小,材料越均匀,这种弹—脆性的性质也就越明显,从这种意义上说,假定细观微元体是线弹性材料是合理的。事实上,宏观非线性(如弹塑性)材料并非一定是微观非线性的,只要细观线性微元体是非均匀的,宏观力学行为就是非线性的。换言之,宏观非线性行为可能是具有弹—脆性特征的细观微元体不断破裂造成的。而造成微元体不断破裂(并非在某一个时刻同时破裂)的原因则是微元体材料性质(微元体强度、弹模等参数)的非均匀性。因此,作者认为,在有限元计算中,在考虑单元体材料性质参数具有某种统计性分布特征的前提下,只要单元体取得足够小,用线弹—脆性行为来描述微元体的

① 本文所指微元体,指的是细观尺度的岩石微元体,它对应于本文所指的单元体。

② 本文所指的脆性,是指岩石达到最大强度后,立即完全丧失承载能力。

性质，在计算上就能够达到足够的精度，图 2 是作者在岩石微元体强度具有统计分布规律的假设下，用统计细观损伤力学的办法，在微元线弹—脆性条件下求得的岩石一维应力—应变全过程曲线的解析解。显然，材料的宏观力学行为是非线性的。为了计算岩石破裂过程的声发射，采用式 (1) 的基本假设，这样，我们就可以对每个时刻的微元破坏数进行统计，并将它作为岩石声发射率的度量。图 2 中的声发射变化规律就是根据这一原则通过计算机模拟得到的。

作者认为，根据上述原理，就可以借助诸如有限元等数值计算方法来研究岩石的声发射规律。

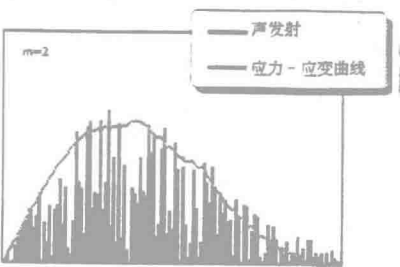


图 2 岩石的应力—应变全过程曲线

3 数值计算的实施步骤

现以有限单元法为例，具体简述岩石声发射规律数值模拟的实施步骤。

3.1 有关单元的划分

由于作者认为声发射的比率与岩石破坏的单元面积成正比，因此建议按等面积原则划分单元。图 3 是一个按等面积正方形划分单元的示例，尽管这种划分原则从通常有限元方法的意义上说是不合理的，因为它会造成在需要重点考虑的局部区域计算精度不够，而在其它不需要细划单元的区域又会造成计算机内存和机时的浪费。但本文提出所有单元都采用线弹性的本构方程，因此会大大减少计算时间，同时也就可能将单元划得更细，以满足计算精度要求。

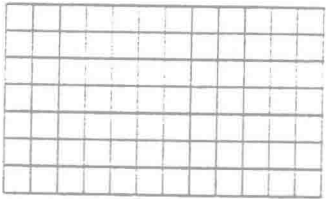


图 3 单元的划分

3.2 单元参数的赋值

有限元方法从线弹性到考虑材料的非线性，对于岩石材料来说，是个重要的发展。但过去的有限元方法模拟非线性材料主要是从引入非线性单元入手的，并没有考虑到材料抗力的非均匀性和随机性^[9]。然而，作者认为，对于地表岩石结构来说（即可以不考虑温度影响），岩石本身的性质主要是弹—脆性的，形成材料宏观非线性的主要原因并不是微观介质的非线性，而是微观介质参数的不均匀性，这种不均匀性使得岩石在承载过程中不断经历微元体的破坏，这种细观微元体的连续破坏便造成宏观介质的不断损伤。从而形成宏观的非线性变形现象。因此，在一个统一的变形场中，微破裂不断产生的原因除了载荷不均、形态不够光滑等结构因素形成应力集中之外，更主要的是微元体抗力（强度）的不均匀性，这种不均匀性可以用某种统计分布规律来描述。所以，在进行数值模拟时，单元参数的赋值方式，可以根据材料的不同性质，假定单元的参数（强度、弹模、泊松比等）服从某种统计分布规律，并在赋值过程中引入随机性因子来考虑单元分布的随机性。图 4 是材料的微元强度服从两种不同统计分布时的单元体分布图（灰度代表强度大小）。图 4 (a) 反映的是较为均质的材料，而图 4 (b) 则是非均质的材料。在这里，材料宏观的非线性行为可以通过微观参数统计分布的方差和均

值体现出来。譬如，微观介质的强度分布较为均匀的材料，其宏观表现一定是以线性性质为主的材料，反之则一定表现出明显的非线性行为。应特别注意的是，尽管相邻单元的强度可能不同，但单元的材料性质都是线弹性的，即材料是微观线性而宏观非线性的。

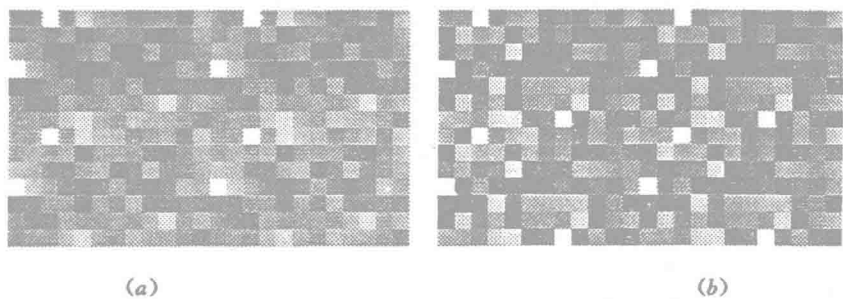


图 4 单元参数的赋值

3.3 计算声发射的时间序列特征

当按上述原则划分单元和给单元赋值以后，就可以按通常的有限元逐步加载方法进行计算。唯一不同的是在计算过程中需将每一步的单元破坏数统计下来。根据式 (1)，声发射率是与单元破坏的数量成正比的，因此，只要将每一步（即每一时刻）的单元破坏累积数画在与加载有关的时间坐标上，即可得到变形过程中的岩石声发射规律曲线。

3.4 声发射的空间分布特征

岩石声发射的空间分布特征与时间序列特征一样，对于地震、岩爆等预测预报研究是极其重要的。岩石声发射是岩石内部微破裂所产生的一种弹性波，观察这些微破裂的空间分布可以发现，在岩石初始的均匀变形中，由于单个微破裂的影响范围很小，微破裂之间的关联尺度（相互作用）是很小的。一个微破裂的产生只对其有限范围内的相邻微破裂产生影响，声发射源呈现出一种均匀、随机的空间分布。从均匀变形演化到变形的局部化，尽管单个微破裂之间仍为短程关联，但局部范围内的大量微破裂却发生了长程关联（相互影响大大增强），出现巨大数量的声发射现象和微破裂间宏观尺度上的相互贯通（图 5）。

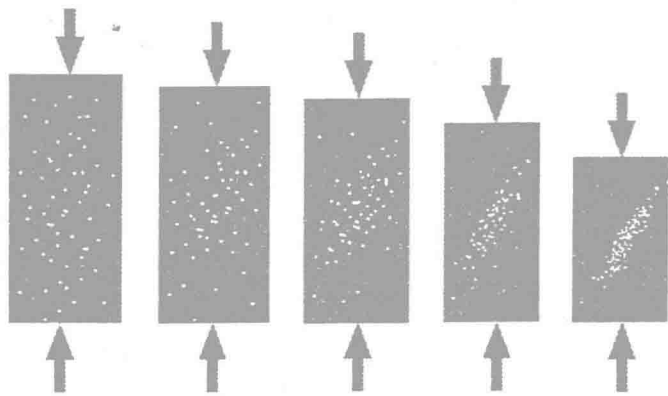


图 5 声发射源的空间分布示意图

为了用有限元方法模拟上述声发射源由无序到有序的发展过程,只要在上述记录单元破坏累积数的同时记录每个破坏单元的坐标位置,并在后处理中按计算时步一幅幅在计算机屏幕显示出来,就可以看到岩石声发射源由无序到有序的发展过程。

4 结 语

有限单元法这一数值计算方法由于计算机软硬件的迅速发展而越来越广泛地应用于工程的许多领域之中。目前,自然界中的岩石变形非稳定性问题已经引起越来越多的研究者重视。研究岩石变形非稳定性问题,目的是在于对这种非稳定性问题进行预测预报,因此,研究的关键是寻找前兆规律。而最能反映前兆规律特征的就是岩石变形过程中的声发射(微震)。从这种意义上说,用有限元方法研究岩石变形的声发射规律有着广泛的应用前景。

同时我们也应该看到,对岩石声发射规律认识的不断提高也反过来可以促进数值计算方法的发展。岩石声发射作为岩石内部微元破坏的一种信息,不管是从时间序列还是从空间分布形式来看,它都反映出岩石微元在不同程度上的不均质性,因此,在数值模拟中,即便是同一岩性的材料,其各个单元的参数不应该是同一个值,只是从整体平均效果上反映出该种岩石的主要特征。

本文建立的岩石声发射规律的数值计算模型,是一种统计细观损伤力学模型。夏蒙莽等指出^[9],统计细观损伤力学作为一种对大量细观对象(微损伤)的统计理论,应包括三个层次的描述:(1)细观描述;(2)统计描述;(3)宏观描述。

所谓细观描述,即对单个微损伤的状态进行描述。具体在有限元计算中,就是如何描述单元体的性质。在整个系统中,单元体就像是一个子系统。由于作为子系统的单个微损伤实际上仍是一个自由度非常大的系统,因为它们具有远大于微观尺度的细观尺度。这个尺度涉及大量分子原子,因此对单个微损伤作详尽无遗的描写不仅不可能,而且也不必要。正如夏蒙莽所指出的^[10],只要给出一种详略得当的描写,这种描写既要包含与问题有关的最重要的信息,又不因过于繁杂而失去可操作性。由于每个单元体所包含的缺陷不尽相同,因此本文所考虑的单元体强度、弹模等,就是反映这些性质的最重要的信息。此外,尽管本文将单元体看作线弹—脆性材料只是一种近似。但相对整体而言,它比整体更接近均质材料,而对于岩石来说,材料越均质,则越体现出线弹—脆性性质。这与本文作者强调岩石宏观的非线性性质主要是因为细观介质的不均质性造成的观点是一致的。

用细观线性模拟宏观非线性的一个重要前提就是岩石细观单元体的各种力学参数必须是非均匀的,或者说是具有某种统计性的特点。因此,上述的统计描述,就是定义能描写由大量微损伤组成的系统的概率分布函数,并导出确定该分布函数变化的统计演化方程。夏蒙莽等指出^[10],确定微损伤系统的统计分布函数应是统计细观损伤力学的基本任务,统计描述提供了连接细观与宏观现象之间的桥梁。在本文的单元参数赋值中,就是要求使单元的参数服从某种统计分布。为了使模拟结果更能反映微元体强度分布的随机性特点,每个单元参数在服从统计分布的前提下还需再考虑其取值的随机性。

数值计算的最后结果反映的是一种宏观效应,它确定了微损伤对宏观力学性能的影响。譬如说,当细观微元体较均匀(即参数较均匀),那么宏观效应主要体现为线性行为,反之,则会出现明显的非线性行为。

由于篇幅所限,本文不可能全面阐述有关岩石声发射数值计算的详细理论问题,只能就若干用数值计算方法研究声发射规律的基本思路及具体实施的几点设想作一简单论述,进一步的工作正在进行之中。

参 考 文 献

- [1] M. Mogi, Earthquake Prediction, Academic Press, Tokyo, 1985
- [2] 于小红等,岩石样品变形的声发射,地球物理学报, Vol. 27, No. 4, 392—401, 1984
- [3] 秦四清、李造鼎、张倬元等,岩石声发射技术概论,西南交通大学出版社,1993
- [4] 李典文,岩石工程中的声发射技术研究与应用现状,岩石混凝土声测技术新进展论文集,1990
- [5] D. J. Hocomb, General Theory of the Kaiser Effect, Int. J. Rock Mech. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 30, No. 7, 929—935
- [6] Tang Chun'an and Xu Xiao'he, 1990, Evolution and Propagation of Material Defects and Kaiser Effect Function, Journal of Seismological Research, Vol. 13, No. 2, 203—213
- [7] 唐春安著,岩石破裂过程中的突变,煤炭工业出版社,1993
- [8] 傅宇方、唐春安,岩石力学加载系统的计算机仿真,东北大学学报, Vol. 15, 增刊. 375—379, 1994.
- [9] 刘 宁、吕泰仁,随机有限元及其工程应用,力学进展, Vol. 25, No. 1, 114—126, 1995
- [10] 夏蒙芬、韩闻生、柯孚久等,统计细观损伤力学和损伤演化诱致突变(I),力学进展, Vol. 25, No. 1, 1—40, 1995

基于 Hopfield 网络的泥化夹层 微观结构的自适应识别

冯夏庭 常 春 王泳嘉

(东北大学 沈阳 110006)

摘 要 本文应用 Hopfield 神经网络理论,提出了泥化夹层微观结构识别的自适应新方法。该方法是先对泥化夹层微观结构的典型模式进行记忆,网络达到某种稳定状态。当新的泥化夹层数据输入时,记忆网络的状态将发生改变,达到新的稳定状态,此时,该泥化夹层微观结构的类型就被联想出来。对 7 种泥化夹层的微观结构进行了识别,识别结果与实验观测结果相符。

关键词 联想记忆 自适应模式识别 泥化夹层微观结构 Hopfield 网络

1 引 言

滑坡灾害的发生、发展和工程岩体的失稳,常常与岩层中存在性质软弱的泥化夹层有关。因此,对泥化夹层微观结构的正确识别是滑坡预报和岩体工程稳定性评价的关键。

由于影响泥化夹层微观结构的因素是十分复杂的,通常表现为多变性、模糊性和随机性,很难建立准确的数学模型。神经网络理论的问世,为此提供了一种强有力的研究方法。人工神经网络由许多非线性映射能力的神经元组成,神经元之间通过权系数相连接,这种大规模并行结构具有很高的计算速度,具有很高的容错性和鲁棒性。本文利用 Hopfield 网络理论提出了泥化夹层微观结构的自适应模式识别新方法。

2 泥化夹层微观结构的自适应模式识别 Hopfield 神经网络模型

2.1 Hopfield 网络模型

Hopfield 网络的各神经元都互相连接,如图 1 所示。神经元的特性都是线性阈值函数,从系统观点来看,Hopfield 网络是一个离散时间系统。从图论观点看,离散型 Hopfield 网络模型就可以用一加权无向图表示,权值与图的边相关联,阈值连于每一图的节点,网络的阶数对应于图的节点数。用 $N(W, T)$

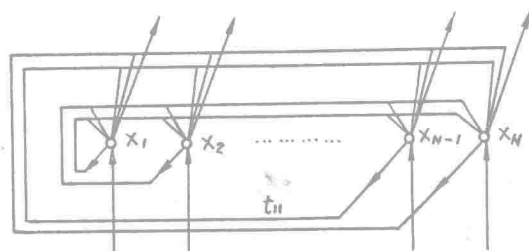


图 1 Hopfield 网络的模型