

声发射技术和分形理论在采场稳定性研究中的应用

李长洪 蔡美峰 乔 兰 王双红

(北京科技大学·100083)

摘 要 本文引用了分形维数定义,通过实际采场围岩声发射监测数据与时间标度的分维研究,揭示了该采场围岩稳定性与其声发射时间标度分维变化的相关规律性。

关键词 岩体声发射 分形理论 岩体稳定性 分维 监测

1 概 述

对于岩石力学和工程问题,由于岩体受力状态、岩体介质的非均质性以及地质构造的复杂性和随机性,导致了被研究客体系统的非线性和不确定性,即岩体的破坏是一种不可逆和随机的过程。而描述基本相互作用的确定性的、可逆的定律是不能解决这类问题的,或者只是片面地反映,并没有揭示其内在的本质规律。

由于采空区自由塌落的边界及地质体性质、构造的复杂性和随机性,造成了地压计算、监测和预报的不确定性。岩体在破坏时,其内部聚集的弹性能量以弹性波形式释放的现象称为声发射(Acoustic Emission)。目前,声发射监测技术是预报冲击地压的现代化方法之一,在国内获得了广泛应用。人们在长期监测和防治冲击地压灾害中获得了大量的地压资料和经验,取得了一定的成果。但岩体破坏前后的大量声发射现象无疑隐含着许多岩体破坏的重要信息,它预示着岩体破坏的发生和发展。因而充分研究和挖掘声发射监测过程中的信息含义对预报采场稳定性具有十分重要的意义。

分形几何(Fractal Geometry)是近年来世界科学家最为关注的前沿科学,被认为是研究自然界的有效方法。本文用分形理论探讨采场围岩冒落的形成和发展规律,用分维的统计性质研究岩体破坏的这种不可逆性和不确定性的过程。

2 基本理论

2.1 分形维数的数学定义

设 A 是一个紧集,是非负实数,若存在

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(A, \epsilon)}{\ln(1/\epsilon)} \quad (1)$$

则称 D 是集合 A 的分形维数,记为 $D = D(A)$;并称 A 具有分形维数 $D^{[1-2]}$ 。

在实际应用中, ϵ 不可能取无限小,只是在某一范围内变化,若规定 ϵ 是测量中所用的尺度的缩小比例,则 $N(A, \epsilon)$ 表示用该尺度测量得到的个数,是原尺度“1”下的倍数。式(1)变为式(2):

$$D = - \frac{\ln N(A, \epsilon)}{\ln \epsilon} \quad (2)$$

2.2 声发射技术特征参数^[3-6]

声发射的能量是岩石裂纹扩展的结果,它以应力波的脉冲形式释放出来。一般着重研究声发射的数目和频度,不计其幅度。裂纹扩展一次产生一次声发射事件,它表达裂纹扩展的前进次数。一个声发射事件释放的应力波可以近似用指数衰减的余弦波来表示,见式(3):

$$V = V_p e^{-\beta t} \cos(\omega t) \quad (3)$$

式中 V : 瞬时电压; V_p : 峰值电压; β : 衰减系数; t : 时间; ω : 角频率。

若设定门栏电压为 V_t , 则门栏电压可表示为:

$$V_t = V_p e^{-\beta n_c / f_0} \quad (4)$$

$$\text{则: } n_c = \frac{f_0}{\beta} \ln \frac{V_p}{V_t} \quad (5)$$

式中 n_c : 一个事件的振铃计数; f_0 : 工作频率; β : 衰减系数; V_t : 门栏电压。

研究岩体声发射是用声发射检测仪记录岩体中声发射的总事件(NT)、大事件(NL)和能率(NE),然后对其进行各种分析研究,用以检测预报岩体稳定性。

总事件(NT): 单位时间内岩体声发射事件的累积次数(次/min),是岩体出现微观破裂或宏观破裂的重要特征参数。

大事件(NL): 单位时间内超过一定门限的岩体声发射事件的累积次数(次/min),大事件占总事件的比例揭示岩体变形破坏的程度信息。

能率(NE): 单位时间内岩体声发射能量的相对累积(能量单位/min),是岩体破裂及尺寸变化的重要标志,综合概括了事件频度、事件振幅及振时变化的总趋势。

3 应 用

某金矿一矿体地表标高 390m, 矿体以透镜状体或细脉向下延伸至 200m 水平,上部矿体产状较陡,多属陡倾斜矿体,下部变缓为中等倾斜矿体。厚度与倾角变化较大。有 310m 水平和 270m 水平

之间有一厚大矿体，厚度在 1.0~19.75m 之间，长 100m。矿体走向 30°，局部近南北，倾角 50°~55°，局部 65°，倾向南东。矿体围岩为花岗岩，岩石坚硬，节理发育，中等稳固。

310m 水平以上较薄矿体为削壁充填法开采，310m 水平至 270m 水平厚大矿体用阶段矿房法开采。为了防止冲击地压的发生，在采场两端下盘围岩中安装了 2 个声发射监测探头。为了研究采场围岩的稳定性，我们将声发射的监测结果整理分析，

并绘制了声发射时间分维图，见图 1。s 为时间标度， $s=2^{-n}$ ($n=1, 2, \dots$)，对应不同的时间标度可以得到 1 组声发射时间段数 $N(s)$ ，绘出它们的双对数曲线 $\log(1/s) \sim \log(N)$ 。其中，(a)、(b)、(c) 为南端（首采端）声发射的三个时间区段的双对数曲线，(d) 为其复合图。(e)、(f)、(g) 为北端声发射的三个时间区段的双对数曲线，(h) 为其复合图。

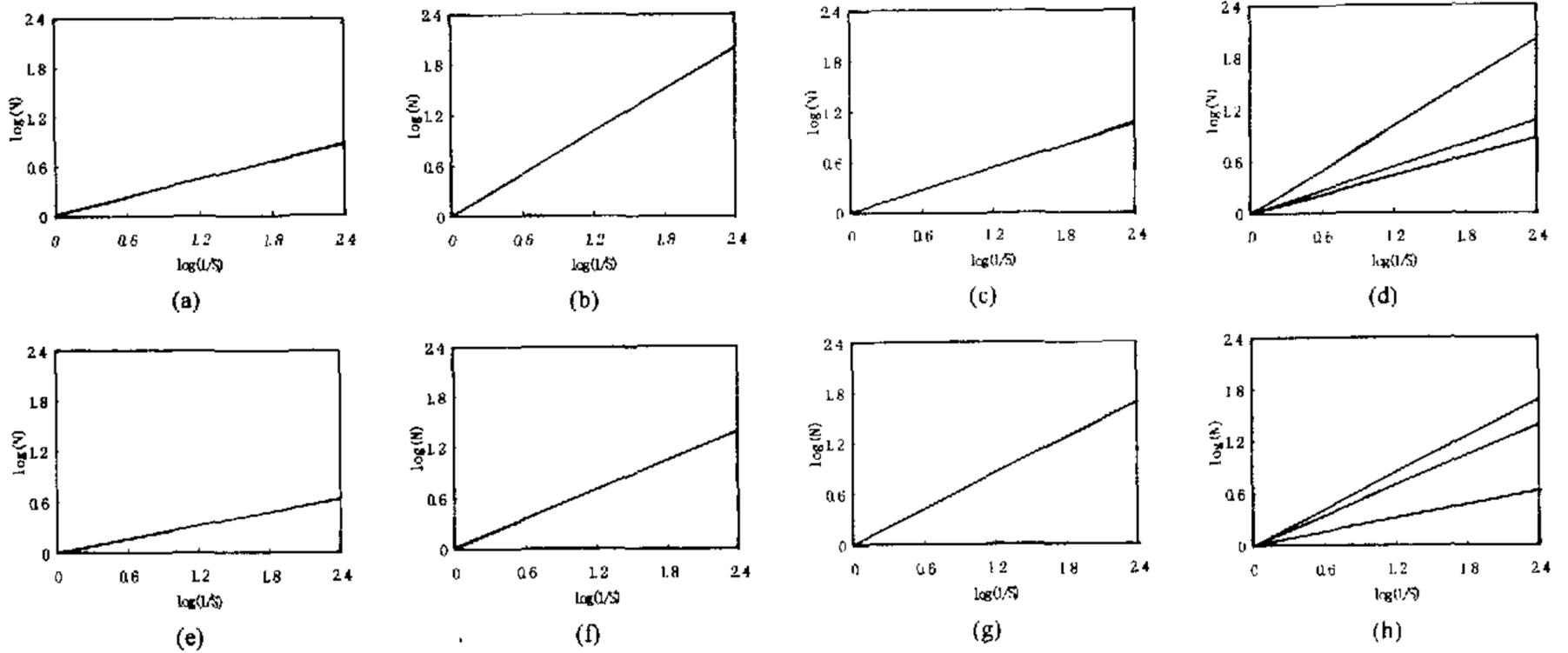


图 1 采场围岩声发射时间分维

图 1 (c) 为南端局部穿脉巷塌落前一周的声发射时间分维，图 1 (b)、图 1 (a) 分别为塌落前三周和五周的声发的时间分维。从图 1 (a)~(d) 的分维变化规律可知，随采场首采端采矿、放矿进展，围岩声发射分维由小变大，继而又变小。

图 1 (e)、(f)、(g) 所表示的声发射时间分维是一个增长的过程。实际情况是在其所监测的范围内，岩体稳定，没有塌落、垮冒现象发生。

4 结论

研究表明：岩体失稳与多种因素有关，如岩体强度、岩体结构状态、水文地质、地应力状态、采场布置、开采方法和顺序等因素。岩体声发射反映了围岩内能量积累的过程和程度以及岩体本身所能接受的能量之间的相对关系。揭示和传递岩体失稳的前兆信息。

岩体失稳前声发射时间分维的变化规律是由小→变大→变小。由小→变大揭示着岩体内能量的积累过程，由大变小说明岩体接受能量的能力下降是破坏前的预兆。如何根据每个矿山的不同围岩特性和开采具体情况，确定分维下降的最小值，是做好安全预报的重要工作。

参考文献

- (1) 谢和平、薛秀谦、分维应用中的数学基础与方法，科学出版社，1997
- (2) 谢和平，分形—岩石力学导论，科学出版社，1996
- (3) 秦四清等，岩石声发射技术概论，西南交通大学出版社，1993
- (4) 李造鼎等，岩石中超声波衰减的试验研究，煤炭学报，1987，(1)
- (5) 袁振明等，声发射技术及应用，机械工业出版社，1985
- (6) 李造鼎等，岩体测试技术，东北工学院出版社，1993

〔作者简介〕 李长洪 36 岁 副教授 硕士生导师 北京科技大学资源工程学院 先后承担国家自然科学基金和国家重点科技攻关等项目 15 项 发表论文 20 余篇 合著专著 1 部 获国家发明奖 1 项 国家专利 1 项 省部级科技进步奖 2 项 市级科技进步奖 4 项 主要研究方向 岩石力学与工程 采矿工程 岩体加固与测试

蔡美峰 55 岁 教授 博士生导师 院长 北京科技大学资源工程学院

乔 兰 36 岁 副教授 硕士生导师 副主任 北京科技大学资源工程学院

王双红 27 岁 博士 北京科技大学资源工程学院

作者：[李长洪](#)，[蔡美峰](#)，[乔兰](#)，[王双红](#)
作者单位：[科技大学](#)

相似文献(2条)

1. 会议论文 [长沙矿研究院岩体力学研究所\(长沙\)](#), [周辉](#) 基于岩体声发射参数的竖井围岩复稳定性分析 1998

摘要介绍了竖井围岩声测系统,根据竖井围岩声发射事件率和声传播速度的监测结果,采用分形理论与岩体完整性系数法评价了凡口铅锌新副井围岩的稳定性,两种分析方法的结果都表明井筒围岩在整体上尚处于稳定状态。

2. 学位论文 [张淑峰](#) [岫岩偏岭镁矿区大面积采空区失稳监测与预报研究](#) 2006

我国矿山特大型事故中,大面积采空区失稳是主要诱因之一。大面积采空区的存在,是诱发大面积采空区失稳的隐患。岫岩偏岭镁矿区大面积采空区的存在已构成重大危险隐患。鉴于此,需要对镁矿区采空区岩体失稳进行监测与预报,以预防大面积采空区失稳造成的灾害。

本次对镁矿区采空区的监测与预报,分别应用采空区失稳机理、岩体声发射技术、分形理论和灰色系统理论。在镁矿区采集岩样,对试件进行单轴压缩试验,并根据试件的岩石力学参数和声发射数据,分析该矿区岩(矿)石试件的岩石力学特性和声发射事件特征和声发射分形特征;并进行现场调查和测量,掌握镁矿区采空区的情况和地压活动的特征,并对采空区的稳定性作出初步判断。

在此基础上,采用目前国际最先进的PCI-2型声发射仪器对镁矿区采空区岩体失稳进行现场监测,通过对采集数据的分析,得出岩体失稳的声发射总事件特征和分形值特征和临界值,并根据声发射大事件数据的特征,选择合适的灰色预测模型,对岩体失稳进行了预测,并建立了镁矿区采空区岩体失稳的声发射预报指标。

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_334681.aspx

下载时间：2010年5月27日