

# 岩体稳定性声发射预测预报新方法

刘 威,王 宁

(西南科技大学土木工程与建筑学院,四川 绵阳 621010)

**摘 要** 岩体声发射技术是地下工程中监测围岩稳定性的重要手段。根据大量的现场岩体稳定性声发射信号参数,提出了评价地下工程岩体稳定性声发射相对强弱指标,综合考虑了岩体失稳过程的声发射事件率或能率的时间序列,可以消除测点布置方式及地质构造等因素对声发射信号参数的影响,更准确地进行围岩稳定性评价。

**关键词** 岩体声发射;岩体稳定性;相对强弱指标

中图分类号: TU452 文献标识码: A 文章编号: 1008-193X(2006)01-0102-03

## The new method of AE on prediction of rockmass stability

LIU Wei, WANG Ning

(School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

**Abstract** Rock acoustic emission is an important way in supervise rockmass stability in underground engineering. According to a lot of rock acoustic emission parameter on site, we evaluated criterion of Relative Strength-Weakness Characteristic. The time sequence of the acoustic emission parameters in rockmass failure process is considered in the evaluating criterion, it can eliminate the effect of the environment factors. So, the evaluating criterion on rockmass stability are more exactly.

**Key words** rock acoustic emission; rockmass stability; evaluating criterion of relative strength-weakness characteristic

## 0 前 言

材料或结构受外力或内力作用产生变形或断裂,或材料内部缺陷及潜在缺陷在外部条件作用下改变状态时,以弹性波的形式迅速释放出能量的现象称为声发射(Acoustic Emission),简称 AE。岩体声发射技术是根据岩体在外荷载作用下发生变形、破坏的同时发出的应力波来判断内部损伤程度的一种动态无损检测方法,不仅能对材料内部缺陷进行检测,而且还能反映材料内部缺陷形成、发展和失稳破坏的整个动态过程,因而在实际工程中受到广泛应用。声发射信号的强弱多寡与岩体特征及受力状况关系密切,随着岩体变形和破坏的发展,声发射信号也相应的发生变化。因此,对这些信号加以监测、采集,就可以对岩体活动进行全程动态监测并对岩体的最终破坏做出预测。早在 20 世纪 30 年代初,美国矿山局工程师 L. Obort 和 W. Du Vall 在矿井中应用超声波测试受力的矿柱时,就发现了声发射现

象,并在实验室和现场研究中证实了是岩体材料结构不稳定性的反映<sup>[1]</sup>。

现代声发射技术的开始以 20 世纪 50 年代初凯瑟(Kaiser)在德国所做的研究工作为标志。大规模的研究是在 20 世纪 60 年代开始,美国和日本的许多学者在实验室中做了大量工作,研究了各种材料声发射源的物理机制,并初步应用于工程材料无损检测领域<sup>[2,3]</sup>。

声发射现象的观测起源于地震监测,现今广泛应用于岩体的监测和地质与石油钻探的应力测定。在地下工程中,岩体声发射(AE)技术是预测预报岩体稳定性的一种重要手段。地下工程中的围岩失稳是造成人员伤亡、设备损坏等安全事故的主要原因。利用岩体受荷载时所辐射的声发射信号的能量、振幅、波长和频度等特性,可以研究它们的破坏过程和机理,判断岩体的抗断裂性能,使得岩体声发射技术成为研究岩体稳定性及预测预报地下工程岩爆、崩塌等灾难性事故的一种重要手段。

各国的研究人员所采用的参数有:

- (1) 音源位置;
- (2) 振铃计数;
- (3) 事件计数(总数或频度);

收稿日期: 2005-05-30

作者简介: 刘 威(1980-),男,吉林辉南人,硕士研究生,主要从事岩土工程方向的研究。

基金项目: 四川省教育厅自然科学基金项目资助(2004A121)

E-mail: liuwei5551@163.com

- (4) 上升时间—达到幅度峰值的时间;
- (5) 振幅;
- (6) 能量;
- (7) 频谱—傅立叶分析法;
- (8) 事件间隔时间(代替频度)。

其中,音源位置、振铃计数和事件计数是最常用的<sup>[4]</sup>。

实际工作中,通常采用 AE 事件率( $C$ )、能率( $E$ )、AE 事件变化率( $CIR$ )、能量增变化率( $EIR$ )来对受压岩体进行分析。其中 AE 事件率( $C$ )是指每单位时间内观测到的声发射次数,它是反映声发射突发波的频度的一类参数;能率( $E$ )是指单位时间内观测到的全部事件的发射能量的总和与所观测到的事件所在波形的幅度值的平方成正比,它是反映声发射信号能量的脉冲信号,二者是所有用声发射或微震评价岩体状态最常用的参数。

## 1 声发射监测岩体稳定性存在的问题

岩体声发射技术作为当前判断结构内部损伤程度的一种常用检测方法,也存在一定的弊端。岩体声发射基本参数(事件率、能率)与岩体稳定状态密切相关,基本上反映了岩体的破坏现状。因此,目前主要根据声发射事件率(或能率)和大事件率来评价岩体稳定性。地下工程地质条件十分复杂,由于岩体本身的非均质性<sup>[5]</sup>,内部存在节理面<sup>[6]</sup>以及外部围压变化<sup>[7]</sup>或历史载荷情况<sup>[8]</sup>不同,岩体声发射信号会受到严重影响。另外,岩体开挖空间状况、测试位置的差异等因素同样会影响声发射信号。以上因素导致接收到的声发射信号与岩体实际信号的特征参数之间可能出现较大差异,给岩体稳定性预测预报带来一定困难。同一声发射事件在不同位置的测点所接收到的声发射信号由于离发射源的距离不同以及声波传递介质的状态不同也会存在很大差异。因此,仅凭岩体声发射事件率和大事件率来评价岩体的稳定性,其结果的准确程度受到一定限制。

在试验研究过程中以及在实际工程施工过程中,都会遇到这样的情况,有时候岩体声发射事件率发生异常变化,而结构构件本身并没有发生破坏;有时候没有明显的前兆信息,如声发射事件率突然变大,而结构构件就发生了破坏。以上这些严重影响了声发射监测技术对岩体稳定性评价的可靠程度,在研究过程中必须加以解决。

针对上述存在问题,在对实验室和现场声发射大量数据的分析基础上,作者提出了岩体声发射(事

件率或能率)相对强弱指标( $CR$ 或 $ER$ ),并结合声发射事件率( $C$ )、能率( $E$ ),能更准确地评价岩体的稳定性。

## 2 岩体稳定性声发射相对强弱指标

地下工程中的岩体在外围压发生变化时,内部结构开始发生破坏,声发射事件率(能率)等参数也相应提高,储存在岩体中的变形能也以声波的形式释放出来。岩体破坏范围越大,声发射事件率(能率)越高,释放出的能量也越多。当储存在岩体内部的能量全部释放之后,岩体重新达到稳定状态,这时声发射事件率(能率)等参数也逐渐减小。因此,仅根据某一时刻测得的岩体声发射事件率(或能率)的大小来判断岩体结构的稳定性或作为岩体破坏的前兆现象,其准确度有一定的局限性。岩体声发射相对强弱指标正是根据岩体声发射的这一特性设计的,它直接利用某一时期的岩体声发射事件率(或能率)变化来评价岩体的稳定性,以此预测预报地下工程岩体的失稳事件。

由于岩体的声发射信号受诸多因素的影响<sup>[5]</sup>,因而任何一次的信号参数都带有一定的随机性,并均能反映该岩体的破坏过程。因此,用岩体某一时期(前 $N$ 次)的声发射事件率或能率进行计算,以此来反映岩体的稳定程度及稳定现状,并预测今后岩体性态变化趋势。

将 $N$ 次测试过程中的上升事件率(或能率)相对值的总和定为 $A_1$ (或 $E_1$ ),将下降事件率(或能率)相对值的总和定为 $A_2$ (或 $E_2$ ),声发射事件相对强弱指标 $CR$ 计算方法:

设某一时期岩体声发射数据序列为: $C_0, C_1, \dots, C_i, \dots$ ,其中, $C_0$ 为当日数据; $C_i$ 为前第 $i$ 次数据。

对声发射事件系列求一次差,得序列

$$\Delta C_0 = C_0 - C_1, \Delta C_1 = C_1 - C_2, \dots, \Delta C_i = C_i - C_{i+1}。$$

上升序列 $\Delta C_{1+} = \max\{\Delta C_i, 0\}$

下降序列 $\Delta C_{2-} = -\min\{\Delta C_i, 0\}$

$$A_1 = \sum \Delta C_{1+}, A_2 = \sum \Delta C_{2-}$$

$$A = (A_1 - A_2) / (A_1 + A_2)$$

$A$ 在 $+1$ 与 $-1$ 之间变化,其进行标准化处理,则得岩体声发射事件率相对强弱指标:

$$CR = 50(1 + A) = 100(A_1 / (A_1 + A_2))$$

同理,能量相对强弱指标:

$$ER = 100(E_1 / (E_1 + E_2))$$

经标准化处理后,声发射相对强弱指标  $CR$  和  $ER$  的值在  $0\sim 100$  之间变化。指标值越大,表示声发射事件率(能率)的上升率越大,岩体发生破坏的范围越大,破坏速率越快。从定量方面为岩体的稳定性评价提供了一条有效途径。

以对小铁山矿、金川二矿等矿山采场岩体声发射监测得到的大量数据、岩体的多次失稳事件为依据,得出了岩体各阶段的声发射相对强弱指标( $CR, ER$ )的变化趋势,如图 1 所示。

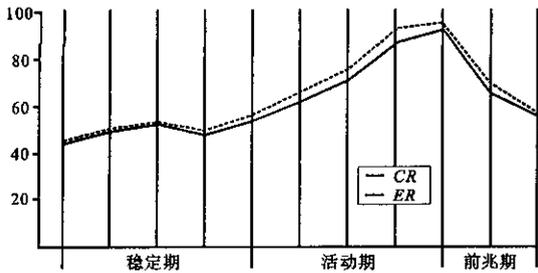


图 1 岩体失稳过程  $CR, ER-T$  关系曲线

Fig.1 The curve about  $CR, ER-T$  in rockmass failure process

岩体声发射事件可分为 3 个时期,即事件稳定期、活动期和前兆期,分别同岩体破坏过程中的稳定状态、局部破坏状态和整体破坏状态相对应。随着岩体破坏的不断进行,岩体声发射相对强弱指标也发生相应的变化。

(1)稳定期。此期间声发射相对强弱指标数值较低,一般在  $0\sim 50$  之间变化,表明声发射事件率提

高程度低于或接近于下降程度。这时,岩体处于稳定状态,信号可以认为是由于岩体原有细微裂隙闭合或出现新生微小裂隙而产生。

(2)活动期。这个期间岩体释放的能量以及声发射信号都大幅度提高,相对强弱指标迅速上升,数值在  $50\sim 100$  之间持续递增。岩体破坏不断发展,信号来源于细小裂缝逐渐扩展贯通成为宏观裂缝以及岩体内部拉力过大而出现的张拉裂缝。当声发射相对强弱指标大于 75 时,岩体就已经接近失稳破坏,这时需密切关注岩体的稳定状态。

(3)前兆期。岩体迅速破裂、失稳,并可能出现较大的冒顶片帮事件。由于在前一期间岩体发生大面积的变形、破坏,已经彻底地释放了储存在内部的变形能,因此,该期间岩体声发射相对强弱指标开始降低,重新回到 50 左右。

### 3 矿场稳定性预测

某矿区 5#~9# 矿体顶板为大理岩,底板为花岗岩及风化、半风化花岗岩,矿体大部分直接底板为矽卡岩,由于矿岩节理、断层发育,以及长期的大范围矿山开采造成了很大的人工开采空间,并发生过许多采场冒顶灾害,主要表现在采场的浮石冒落、松散状氧化矿体脱落和软弱夹层的局部离层冒顶。针对该情况,为保证地下采矿工作的安全及顺利进行,应用岩体声发射监测技术,对该矿部分采场实施冒顶片帮监测预报。测试结果见表 1。

表 1 岩体稳定性评估

Table 1 The form of estimate about rockmass stability

测试日期	C	E	CR	ER	测试日期	C	E	CR	ER
10-11	1.60	171.88			11-05	0.60	63.65		
10-14	1.00	121.55			11-07	0.40	43.59		
10-17	1.40	160.00	39.99	43.3	11-09	0.80	81.00	66.66	65.09
10-20	3.80	395.09	100	100	11-11	0.40	43.59	50	50
10-23	1.20	120.71	48	46.14	11-13	0.60	65.44	33.33	36.87
10-26	1.20	123.83	0	1.12	11-15	1.60	158.37	100	100
10-29	0.80	97.82	0	10.71	11-17	1.40	149.11	83.33	90.93

在此监测期间共发生 2 次冒顶事件,均有较明显的冒顶前兆反映,并作出了较准确的冒顶预报。在 10 月 17 日测点声发射参数较低(数值见表),20 日各参数急速上升(见表),3 d 后发生第 1 次较大冒顶事件。11 月 7 日测得各参数数值较低,9 日则有较大幅度的上升,但  $CR$  及  $ER$  均未达到 75,矿体并没有发生冒顶事件。11 月 15 日测点测得参数出现急剧上升现象(见表), $CR$  及  $ER$  均超过 75,17 日各参数开始回落,但总体水平仍然很高, $CR$  及  $ER$  均

仍超过 75,不久出现冒顶事件。通过对该矿监测过程中 10 余次冒落事件分析,前兆期一般不超过 3 d,而冒顶片帮事件则一般发生在声发射参数下降后的 36 h 以内。

### 4 结 论

(1)岩体声发射信号与岩体发生破坏的状态有关,随着不同的破坏阶段,其参数也相应地发生变

(下转第 176 页)

钱。而还款数目的差异是源于借用资金占用的时间存在差异,整付本利和方式全部资金占用时间最长,因此还款数目最大,其余依次为每期付利息到期时付本金,在债务期间均匀偿还本和息以及到期还本付息。由此可知,不同的偿还方式还款的快慢不同,到期还本付息是最快的还款方式,整付本利和是最慢的还款方式。

## 4 结 语

借贷与偿还债务是经济活动中的两件大事,它是投资的核心问题之一,一定要用资金时间价值的观点进行分析。从以上分析可得出以下结论:

(1)企业在进行还款方式选择时,通常将企业的收益率与银行贷款利率进行比较,当企业的投资收益率大于银行利率,慢还的方式对企业有利。

(2)当企业的投资收益率小于银行贷款利率时,

则应尽快冲销银行债务,故可采用快还的方式。

(3)偿还时还要考虑通货膨胀率的影响。当在债务期间存在通货膨胀,尤其是存在着不断增长的通货膨胀率,那么实际上长期债务比短期债务对借款人更有利。

总之,只要充分掌握资金等值和资金时间价值的内涵,选择合适的债务偿还方式是完全可能的,对于提高建设项目本身的经济效益也将是巨大的。

## 参 考 文 献:

- [1] 贾春霖. 技术经济学(修订版) [M]. 南京:中南工业大学出版社,1998.
- [2] 游达明. 技术经济与项目经济评价 [M]. 长沙:湖南人民出版社,2001.
- [3] 王才,王南. 借款偿还方式及计算 [J]. 煤炭工程,2002,(3):61-64.
- [4] 梁小勇,陈宪. 项目借款偿还方式的分析与确定 [J]. 化工技术经济,2003(12):41-46.

(上接第 104 页)

化。因此,通过对声发射各参数随时间的变化情况进行分析,可以对地下工程岩体破坏的发展趋势以及岩体的稳定性做出预测预报。

(2)声发射相对强弱指标以事件率和能率的变化率为基础,并考虑了岩体声发射参数的时间序列,有效地消除了测点布置、地质构造等因素对声发射信号的影响。冒顶事件发生前夕,即使在声发射信号较弱情况下,该值仍能作出较明显的预兆反应。

(3)综合考虑岩体声发射事件率、能率及其相对强弱指标等参数,进行岩体稳定性趋势分析,可以更准确地预测采场围岩的稳定状态。

(4)利用声发射相对强弱指标评价岩体稳定性,其结果与实际情况具有较好的一致性。

## 参 考 文 献:

- [1] 吴壮军. 声发射技术在采场冒顶中的应用研究 [J]. 云南冶金,

2000,29(6):1-3.

- [2] Drouillard T. Acoustic Emission - the first half century [A]. Progress in Acoustic Emission VII [C]. Sapporo, Japan: The Japanese Society for NDI, 1994.
- [3] Drouillard T. Acoustic Emission: A Bibliography with Abstracts [M]. Frances Laner, ed. New York: IFI Plenum Data Company, 1979.
- [4] 尹贤钢,李庶林. 声发射技术在岩土工程中的应用 [J]. 采矿技术,2002,2(4):39-42.
- [5] 孙吉主,周健,唐春安. 影响岩石声发射的几个因素 [J]. 地壳形变与地震,1997,17(2):1-5.
- [6] 刘东燕,朱可善,胡本雄. 含裂隙岩石受压破坏的声发射特性研究 [J]. 地下空间,1998,18(4):210-216.
- [7] 蒋海昆,张流,周永胜. 不同围压条件下花岗岩变形破坏过程中的声发射时序特征 [J]. 地球物理学报,2000,43(6):812-826.
- [8] 傅鹤林. 岩石声发射的 Kaiser 效应及其在地应力场测试中的应用 [J]. 化工矿物与加工,2002(5):20-22.

# 岩体稳定性声发射预测预报新方法

作者: [刘威](#), [王宁](#), [LIU Wei](#), [WANG Ning](#)  
 作者单位: [西南科技大学土木工程与建筑学院, 四川, 绵阳, 621010](#)  
 刊名: [四川建筑科学研究](#) **ISTIC** **PKU**  
 英文刊名: [SICHUAN BUILDING SCIENCE](#)  
 年, 卷(期): 2006, 32(1)  
 引用次数: 1次

## 参考文献(8条)

1. 吴壮军 [声发射技术在采场冒顶中的应用研究](#) 2000(06)
2. Drouillard T [Acoustic Emission-the first half century](#) 1994
3. Drouillard T, Frances Laner [Acoustic Emission:A Bibliography with Abstracts](#) 1979
4. 尹贤钢, 李庶林 [声发射技术在岩土工程中的应用](#)[期刊论文]-[采矿技术](#) 2002(04)
5. 孙吉主, 周健, 唐春安 [影响岩石声发射的几个因素](#) 1997(02)
6. 刘东燕, 朱可善, 胡本雄 [含裂隙岩石受压破坏的声发射特性研究](#)[期刊论文]-[地下空间](#) 1998(04)
7. 蒋海昆, 张流, 周永胜 [不同围压条件下花岗岩变形破坏过程中的声发射时序特征](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2000(06)
8. 傅鹤林 [岩石声发射的Kaiser效应及其在地应力场测试中的应用](#)[期刊论文]-[化工矿物与加工](#) 2002(05)

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 [王宁](#), [雷劲松](#), [韩志型](#), [WANG Ning](#), [LEI Jin-song](#), [HAN Zhi-xing](#) [岩体声发射量化指标在采场稳定性监测中的应用](#) -[有色金属](#)2008, 60(1)  
 基于岩体破裂过程中的岩体声发射事件率和能率等测试参数, 研究评价地下采场岩体稳定性的声发射相对强弱量化指标, 以更有效地进行围岩稳定性评价. 岩体声发射相对强弱指标可消除声发射测试参数受工程布置和地质构造等环境因素的影响, 综合考虑事件率及其变化率和相对强弱指标, 可以更准确地预测采场围岩的稳定性. 利用声发射相对强弱指标评价岩体稳定性, 结果与实际情况具有较好的一致性.
2. 期刊论文 [陆富龙](#) [岩体声发射技术在露天采空区管理中的应用](#) -[采矿技术](#)2004, 4(4)  
 通过岩体声发射仪对采空区上覆岩体进行的稳定性监测, 可以为地采转露采空区处理提供安全保障. 实践证明了声发射技术在该工程中应用的可行性及优越性.
3. 学位论文 [刘威](#) [岩体稳定性声发射预测预报新技术](#) 2006  
 岩体声发射(AE)技术是地下工程中监测围岩稳定性的重要手段. 在地下工程中, 围岩失稳是造成人员伤亡、设备损坏等事故的主要原因. 利用岩体受荷载时辐射的声发射信号参数, 可以研究其破坏过程和机理. 岩体声发射基本参数(能率、事件率)与岩体稳定状态密切相关, 反映了岩体的破坏状态, 因此目前主要根据声发射事件率、能率和大事件率来评价岩体稳定性. 但由于采场工程地质条件的复杂性, 导致接收到的信号与实际信号之间存在较大误差, 影响了监测结果的准确性.  
 本文基于岩体破裂过程中的岩体声发射事件率和能率等测试参数, 提出了评价地下采场岩体稳定性的声发射相对强弱指标, 该指标综合考虑了岩体失稳过程的声发射参数(声发射事件率或能率)时间序列, 并将该序列分为上升相对值序列和下降相对值序列, 用以计算声发射参数相对强弱指标, 该指标经标准化处理后, 其值在0~100之间变化, 这从定量方面为采场围岩的稳定性评价提供了一条有效途径. 通过分析对比可以看出, 强弱指标评判法更具有优越性, 可消除声发射测试参数受工程布置和地质构造等环境因素的影响, 能更有效地进行围岩稳定性评价.
4. 会议论文 [张银平](#) [岩体声发射与微震监测定位技术及其应用](#) 2002  
 岩体在破坏之前, 都会出现声发射和微震现象. 通过仪器监测声发射和微震, 就可以判定岩体的失稳状态及其位置. 文中论述了监测和定位原理, 简介了专门开发的单通道监测仪和多通道监测定位系统的结构和功能. 该系统的绝对定位误差为8.6m, 相对误差小于10%. 在4个有色金属矿山的实际应用表明, 利用该系统的监测结果, 可对采场或空区的稳定性作出及时、准确的评价, 对岩体的失稳状态作出预报.
5. 会议论文 [李长洪](#), [蔡美峰](#), [乔兰](#), [王双红](#) [声发射技术和分形理论在采场稳定性研究中的应用](#) 1999  
 该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.
6. 期刊论文 [张星星](#), [ZHANG Xing-xing](#) [岩体声发射智能监测设备及矿山安全预报技术](#) -[矿业研究与开发](#)2000, 20(2)  
 对岩体声发射智能监测设备进行了完善和改进研究, 并且应用灰色系统理论, 系统地分析和评估了评价岩体稳定性的声发射参数及岩体冒顶临界值的确定方法;建立预测模型, 对岩体冒顶的数列预测及矿山大规模灾害预测进行了探讨. 实践证明, 上述方法和采取的措施是切实可行的.
7. 期刊论文 [刘建东](#), [LIU Jiandong](#) [基于声发射与微震技术的新型岩体稳定性监测系统及应用](#) -[有色金属\(矿山部分\)](#) 2008, 60(4)  
 岩体在受力破坏过程中, 会产生声发射与微震现象. 通过监测获取岩体声发射与微震信号, 并对其特征进行分析, 可以判断岩体的稳定状况. 本文介绍了新开发的岩体声发射监测系统的组成、功能以及现场应用情况, 并结合现场监测数据, 对岩体破坏过程中声发射与微震信号特征和事件频度变化特征进行了分析和探讨.
8. 学位论文 [陈宏](#) [地下工程岩体稳定性及地应力测量的计算机系统及其应用](#) 1999  
 地下矿山巷道、采场中个别结构体的冒顶、片帮, 其特点是没有明显的先兆, 发生的范围较小, 偶然性、随机性强, 且不易为人们所察觉, 但其危害性极大, 道、采场中这种结构体的冒顶、片帮将直接威胁作业人员的生命安全, 给矿山的安全生产带来隐患, 是矿山安全生产中不容忽视的重要问题

。因此如何对地下矿山巷道、采场中结构体的稳定性进行分析, 实现其稳定性的预测、预报工作就成为矿山安全生产亟待解决的问题。80年代以来, 声发射技术在地下工程中的成功应用, 特别是将其用于岩爆的预报以及大面积冒顶的预报成功, 使作者们坚信对个别危岩的冒顶、片帮, 用声发射技术预报也是可以成功的。针对巷道、采场结构体冒顶、片帮的特点, 作者以岩体结构分析方法和岩体声发射技术为手段, 使结构体的稳定性预测有了实质性的进展, 从某种意义上说, 用岩体结构分析与岩体声发射技术相结合的研究方法使地下矿山巷道、采场中结构体稳定性的预测可以达到定量的程度。此外, 在利用声发射的Kaiser效应测定原岩应力方面, 两种技术的有机结合更是独具特色。因此, 岩体结构分析方法和岩体声发射技术虽各有其自身的特点, 但岩体结构分析与岩体声发射技术两种手段、方法的有机结合使用, 一方面可以让两种技术充分发挥各自的特长, 另一方面还可以真正做到优势互补。出于这样的基本思想, 作者在国家“八·五”科技攻关课题《大厂铜坑矿细脉带地压及充填体稳定性监测》和《云锡老厂14-5矿体采场结构尺寸及回采顺序的优化研究》课题研究的基础上, 结合科研和生产工作中的实际需要, 用Microsoft/C++7.0设计和、开发和完成了“岩体结构分析计算机系统”, 该系统不仅能够对地下矿山的巷道、采场顶板和帮墙上结构体的稳定性进行判别分析, 从而确定顶板、帮墙上结构体的冒落、滑移状态, 对冒落、滑移结构体求出其体积, 重量, 并对滑移结构体确定其滑动面及滑动的方向, 而且还能够对节理面按层面方位进行旋转以确定共轭X型节理, 并利用共轭X型节理或断层对主应力场方位进行分析, 以确定主应力场的方位。该系统可直接用于地下矿山巷道、采场围岩稳定性的分析和矿区主应力场方位的分析, 一方面为矿山的生产提供安全保障, 另一方面主应力场方位的分析结果可为矿山现代化科学生产设计与施工提供依据。

## 9. 期刊论文 李夕兵, 刘吉祥. LI Xi-bing, LIU Zhi-xiang 岩体声发射混沌与智能辨识研究 -岩石力学与工程学报

2005, 24(8)

对岩石试件加载及破坏过程的声发射进行了试验, 对工程岩体声发射进行了监测. 采用混沌动力学研究了岩体声发射活动规律, 计算了工程岩体在变形与破坏过程中不同阶段声发射混沌吸引子. 用混沌与神经网络相结合, 建立了岩体声发射预测模型. 根据岩体声发射各阶段特征, 建立了工程岩体稳定性智能辨识模型. 研究表明, 岩体声发射活动存在4个不同的阶段: 稳定期、声发射活动初期、声发射活动加剧期和活动反转期. 岩体破坏出现在声发射活动反转期, 声发射出现反常, 混沌吸引子减小, 破坏特征呈现. 工程应用实践证明, 混沌动力学能较好地反映岩体的声发射特征, 所建立的预测与智能辨识模型能较好地预测和分析工程岩体稳定性.

## 10. 期刊论文 刘吉祥, 李夕兵 岩体声发射混沌动力学 -中南大学学报(自然科学版)2004, 35(4)

采用混沌动力学研究了岩体声发射活动规律, 并提出了岩体声发射时间序列确定性检验方法: 计算了在岩体变形与破坏过程中不同阶段声发射混沌吸引子, 分析了各阶段混沌吸引子变化规律; 将混沌与神经网络相结合, 建立了岩体声发射预测模型. 此外, 对工程岩体声发射进行监测, 对测量数据进行了自适应滤波去噪处理. 研究表明: 工程岩体声发射活动存在4个不同的阶段: 声发射稳定期, 声发射活动初期, 声发射活动加剧期和活动反转期. 岩体破坏出现在声发射活动反转期, 在此阶段声发射出现反常, 混沌吸引子D减小; 混沌动力学能反映岩体的声发射活动特征, 所建立的模型能预测和分析工程岩体稳定性.

### 引证文献(1条)

## 1. 戴光 声发射检测技术在中国——庆祝中国机械工程学会无损检测分会成立三十周年[期刊论文]-无损检测

2008(7)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_scjzkxyj200601030.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_scjzkxyj200601030.aspx)

下载时间: 2010年5月31日