

文章编号:1009-6825(2008)01-0115-02

灰色突变理论及声发射在监测预报中的应用

王军涛

摘要:为了克服传统岩体声发射监测边坡崩塌的不足,文中应用声发射技术并结合现代工程数学手段,对AE参数进行处理,建立边坡岩体崩塌的预测预报模型,并应用于工程实例中,实践证明应用突变模型进行预测是可行的。

关键词:声发射技术,预测预报,边坡,监测,突变理论

中图分类号:TU457

文献标识码:A

岩体在发生变形时,内部积聚的能量就释放出来,这些被释放的能量一部分以声波形式传播,这种现象称为岩体声发射(AE)。通过监测岩体声发射即可监测岩体稳定性,这也成为监测岩体工程稳定状态的常用工具。实践证明,应用声发射监测边坡崩塌也不失为一种有效手段。

AE的声学特性是声发射的基本参数,如何将所测取的参数应用于岩体破坏的预测预报依然是一重要课题。声发射参数在一定程度上反映了岩体的状况,它们在岩体破坏时的临界值,一般作为预测岩体破坏的准则。国内外较多采用的判定参数是声发射率,即在一定时间内的声发射事件率,当声发射率达到某一程度便作预报。但是,这种方法存在如下缺点:

- 1)反映岩体破坏程度的声发射参数不仅仅是事件率,还包括声发射能量及声波频率等,仅凭声发射率判定是不全面的;
- 2)声发射事件率除与岩体本身有关外,岩体声发射源与监测点之间的距离也是一重要影响因素,而在实际监测中这一因素往往被忽视;
- 3)在声发射水平较高的边坡,声发射参数也较高,单凭声发射事件率大小很难准确预报岩体破坏。

所以,尽管声发射技术是一门常用工具,但用于预测预报取得成功的例子并不是很多。为了克服传统方法的不足,文中应用声发射技术并结合现代工程数学手段,对AE参数进行处理,建立边坡岩体崩塌的预测预报模型。

1 AE参数的GM(1,1)模型及二次拟合参数法修正

1.1 GM(1,1)模型的建立^[1]

首先,对原始数据进行趋势化处理,即:

$$X^{(0)} = (X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)), n \geq 2.$$

为了弱化原始数据的随机性,对原始数据作累加生成,作1-AGO,得到相应的一次累加生成序列:

$$X^{(1)} = (X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n));$$

$$X^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k X^{(1)}(i).$$

运用 $X^{(1)}$ 建立白化方程:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u.$$

此即为GM(1,1)。记参数列为 $\hat{a} = (a, u)^T$,并按最小二乘法求解:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N;$$

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{pmatrix}.$$

$$Y_N = (X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(n))^T.$$

$$\text{求得: } \hat{X}^{(1)}(t+1) = \left(X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a}.$$

1.2 二次拟合参数法

为了提高模型的精度,对参数进行第二次拟合估计,将时间响应方程改为 $\hat{X}^{(1)}(t+1) = Ae^{-at} + B$,根据第一次估计的 a 值及原始1-AGO数列 $X^{(1)}(k)$,对 A 和 B 进行估计。令 $X^{(1)} = G \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix}$,其中有:

$$G = \begin{pmatrix} e^0 & 1 \\ e^{-a} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ e^{-a(n-1)} & 1 \end{pmatrix}.$$

再利用最小二乘法,得:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = (G^T G)^{-1} G^T X^{(1)}.$$

累加公式反推得:

$$\hat{X}^{(0)}(t+1) = \hat{X}^{(1)}(t+1) - \hat{X}^{(1)}(t) \quad (1)$$

2 崩塌的预报

突变理论是为解决边坡、滑坡、地震突发、采场坍塌等突出不连续现象的问题而创立的。崩塌呈现岩体不连续破坏现象,因此可以利用突变理论对崩塌做出预测,进而预报崩塌发生的时间。突变模型的二参函数形式为:

$$v(x) = x^4 + ux^2 + vx \quad (2)$$

其中, x 为时间序列,此函数的临界点为 $v'(x) = 0$,即:

$$4x^3 + 2ux + v = 0 \quad (3)$$

设想岩体状态由 x, u, v 为坐标的三维空间的一点来表示,并称该点为相点,则相点必定总在 $4x^3 + 2ux + v = 0$ 上(见图1),即位于顶叶或底叶,因为中叶对应于岩体不稳定状态。其判别式为:

$$\Delta = 8u^3 + 27v^2 \quad (4)$$

$\Delta = 0$ 的控制点 (u, v) 的点集称为分歧点集,控制点 (u, v) 发

收稿日期:2007-08-23

作者简介:王军涛(1975-),男,工程师,中铁十五局集团第六工程有限公司,河南 洛阳 471013

生变化,相应点在曲面 M 上相应变化,但当控制点轨迹越过分歧点集 $\Delta = 8u^3 + 27v^2$ 时,相应点必经过中叶产生跳跃,即岩体失稳,即:

$\Delta > 0$, 边坡处于稳定状态;

$\Delta = 0$, 边坡处于临界状态;

$\Delta < 0$, 边坡发生崩塌。

对于 $v(x)$ 利用泰勒级数展开,并截尾至 4 项得:

$$v(x) = \sum_{i=0}^4 a_i x^i \quad (5)$$

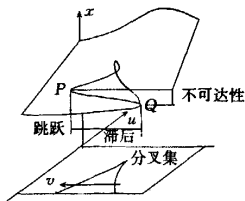


图1 尖点突变模型和分叉集

$a_i = \frac{\partial^i v(x)}{\partial x^i} |_{x=0}$, 应用微分同胚变换,得:

$$v(x) = x^4 + ux^2 + vx \quad (6)$$

$$x \rightarrow x - p, p \rightarrow a_3/4a_4, u = -6p^2 + a_2/a_4, v = 8p^3 - 2pa_2/a_4 + a_1/a_4 \quad (7)$$

式(4)为岩质边坡崩塌标准预测模型,将各时刻 AE 参数代入式(5),采用最小二乘法,求得 a_i 代入式(6),式(7),求得 u, v, Δ , 依 Δ 的情况做出预测预报。

3 边坡崩塌预测预报实例

贵州省是我国崩塌、滑坡地质灾害发生较为频繁的省份之一,每年由于崩塌、滑坡地质灾害的发生造成严重的经济损失。作为地质灾害主要类型的崩塌、滑坡,具有突发性、分布范围广和一定的隐蔽性等特点,对公路交通基础设施危害极大。320 国道贵州省普安境 K2403 + 500 山体一到雨季,崩塌事故时有发生,严重影响通行车辆的安全。

为了确保 320 国道该段的畅通和安全,开展对该段山体崩塌作监测预报,预先在崩塌山体上打下六个监测孔分别监测,每天监测一次,每个孔监测 5 min,并分别记录下特征参量:总事件、大事件和能率的值。尽管声发射参数无论事件率还是能率都是岩体及其外界因素的综合反应,但对于两类事件,表现特征存在差异。第一类事件事件率反应明显,而能率则不明显;第二类事件能率反应明显,而事件率则不大明显。此次监测也很好地验证了这一点,因此根据不同工程地质情况,采用不同声发射参数表征岩体状态是合理的。现以 2 号为例,根据其工程地质条件,采用声发射事件率作为参数考虑。如表 1 所示是 2 号一定时期内测

得的声发射参数值,对监测数据建立 GM(1,1)模型,并用二次拟合参数法进行修正,由表 1 可以看出,经过建立二次拟合灰色预测法预测的数据精度更高。将原始监测数据和灰色理论预测的数据以及经过二次拟合得到的数据绘图,见图 2。

表 1 2 号声发射监测数据与预测结果

时间/月.日	5.23	5.24	5.25	5.26	5.27	5.28	5.29	5.30
监测值/次·min ⁻¹	3.6	1.2	1.0	1.6	3.4	6.2		
预测值/次·min ⁻¹	3.6	0.45	0.79	1.38	2.42	4.23		
修正值/次·min ⁻¹	3.84	0.64	1.1	1.93	3.38	5.92	10.37	18.15

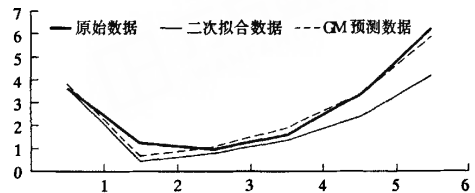


图 2 声发射的监测及预测数据

将表 1 中的声发射参数修正值代入突变模型,应用最小二乘法求出 a_i ,并由 a_i 求出 u, v ,进而求出 Δ ,建立预测预报表,如表 2 所示。

表 2 2 号崩塌预测预报表

时间/月.日	预测情况	u	v	Δ
5.28		0.45	-7.74	1 618.2
5.29		29.41	-2.52	203 676.5
5.30		-40.2	117.6	-146 314.9

由表 2 中 Δ 数值可知,5 月 30 日 $\Delta < 0$,说明可能会发生崩塌,由于事先做出了预报,因此避免了不必要的损失。实际情况是 5 月 30 日上午 10:00 左右监测点附近靠国道一侧发生局部崩塌,由此说明预测预报结果与实际情况相符,从而证明了应用突变模型进行预测是可行的。

4 结语

- 1) 声发射技术是预测预报边坡崩塌的行之有效的工具。
- 2) 在建立 GM(1,1)模型的基础上,进行二次拟合可取得非常满意的结果;应用突变理论对边坡崩塌进行预测预报很有前途。
- 3) 如何将声发射监测的人工化转变为自动化,仍是一项有待研究的课题。

参考文献:

[1] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1987.
[2] 郭立文,李海涛. 滑坡灾害预测方法研究综述[J]. 山西建筑, 2006,32(16):65-66.

The application of grey catastrophe theory and Acoustic Emission in monitoring and prediction

WANG Jun-tao

Abstract: In order to conquer the shortcomings of monitoring slope collapse by traditional rock Acoustic Emission, the author deals with AE parameter by applying Acoustic Emission technique and combining modern engineering mathematics method, sets up forecast and prediction model of slope rock mass collapse and apply it in practical engineering, and proves by practices that applying catastrophe model to carry out prediction is feasible.

Key words: Acoustic Emission technology, forecast and prediction, slope, monitoring, catastrophe theory

灰色突变理论及声发射在监测预报中的应用

作者: [王军涛](#), [WANG Jun-tao](#)
 作者单位: [中铁十五局集团第六工程有限公司, 河南, 洛阳, 471013](#)
 刊名: [山西建筑](#)
 英文刊名: [SHANXI ARCHITECTURE](#)
 年, 卷(期): 2008, 34(1)
 引用次数: 0次

参考文献(2条)

1. [邓聚龙](#) [灰色系统基本方法](#) 1987
2. [郭立文](#), [李海涛](#) [滑坡灾害预测方法研究综述](#)[期刊论文]-[山西建筑](#) 2006(16)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [余利先](#) [声发射技术在岩体冒落预测预报中的应用](#) -[采矿技术](#)2004, 4(3)
 论述了岩体声发射技术原理, 结合实例介绍了岩体声发射技术在大规模及局部冒项中的应用情况.
2. 会议论文 [张宝森](#), [郭全明](#), [张俊霞](#), [李莉](#) [黄河河道整治工程险情预测预报技术方法研究探讨](#) 2001
 本文分析了黄河河道整治工程水下基础探测技术研究的现状, 探讨了声发射技术和利用声发射技术预测预报河道整治工程险情的可行性.
3. 期刊论文 [罗建强](#), [傅鹤林](#), [郭少华](#) [崩塌的灰色 - 突变预测](#) -[采矿技术](#)2007, 07(4)
 应用声发射技术结合现代工程数学手段, 建立了边坡崩塌的预测预报模型, 并应用于实际工程中, 取得了满意结果.
4. 期刊论文 [李俊平](#), [夏伟](#), [戴海树](#) [声发射技术在采矿工程中的应用](#) -[中国铝业](#)2000, 24(2)
 论述了岩体声发射技术的基本原理, 介绍了其在采矿工程中的若干应用: 地应力测量、高应力区圈定、冒项预测预报、岩爆预测预报及稳定性评价.
5. 学位论文 [尹贤刚](#) [岩石声发射技术理论、实验与应用研究](#) 2003
 该论文评述了声发射技术国内国外的发展状况, 采用MTS液压伺服刚性压力机和DYF-2便携式声发射仪等技术手段, 对取自厂坝铅锌矿和三山岛金矿的岩石进行受力破坏过程的声发射特征室内实验和声发射Kaiser效应实验研究. 通过实验揭示岩石破裂过程中应力、应变、声发射参数与时间参数之间的关系, 进一步探讨岩石破坏的机理, 提出岩石破坏的前兆判据. 在室内实验研究的基础上, 吸取非线性科学理论的思想与方法, 运用分形理论建立声发射事件振幅和声发射累积数时间序列的数学计算模型, 对试件破坏的声发射前兆特征进行分析, 通过计算岩石破坏各阶段声发射强度维和关联维的分形维数的变化来描述岩石破坏过程的特征, 寻找岩石破坏的判据. 运用灰色GM(1, 1)预测模型和分形理论相结合, 建立现场岩体失稳声发射灰色一分形耦合预测预报的数学力学模型. 同时, 借助于VisualC++语言开发基于Windows操作系统的岩体失稳声发射灰色一分形耦合预测预报这一模型的可视化处理软件, 采用该软件来处理现场声发射监测数据, 计算分形维数, 对岩体稳定性进行综合评判, 并使这一套系统在矿山的实际声发射监测预报中得到应用.
6. 期刊论文 [杨国春](#), [徐兵](#) [应用声发射技术预测采场稳定性](#) -[铜业工程](#)2004, ""(3)
 针对地下矿山存在的问题及声发射技术的发展现状, 本文从现场调查、数据获取、数据分析等方面介绍了声发射技术在地下矿山冒落预测预报中的应用. 通过理论上的分析及现场的应用, 说明声发射技术在井下矿山安全管理中能发挥重要作用.
7. 期刊论文 [刘卫东](#), [丁恩杰](#), [LIU Wei-dong](#), [DING En-jie](#) [矿井冲压预测技术的研究](#) -[工矿自动化](#)2006, ""(5)
 针对目前矿井冲压问题以及声发射技术的发展现状, 文章总结出具有代表性的声发射特征参数和表征岩石的特性参数, 通过简单的BP网络构成多神经网络分类器进行特征参数的综合, 从而预测预报矿井冲压现象.
8. 期刊论文 [李俊平](#), [Li Junping](#) [声发射技术在采矿工程中的应用](#) -[工业安全与防尘](#)2000, ""(1)
 论述了岩体声发射技术的基本原理, 介绍了其在采矿工程中的若干应用成果: 地应力测量、高应力区圈定、冒项预测预报、稳定性评价.
9. 期刊论文 [程秀芝](#), [CHENG Xiu-zhi](#) [矿井地音监测技术的研究](#) -[中国矿业](#)2008, 17(6)
 本文针对煤岩体声发射信号的特点以及地音监测实时性的要求, 提出了一种基于DSP的地音监测系统的设计方案, 通过安装在锚杆上的地音传感器, 连续监测工作面前方的煤岩体声发射活动的变化规律和特征, 实现对矿井动力灾害的预测预报.
10. 期刊论文 [易武](#), [孟召平](#), [YI Wu](#), [MENG Zhao ping](#) [岩质边坡声发射特征及失稳预报判据研究](#) -[岩土力学](#) 2007, 28(12)
 在分析岩质边坡失稳过程中岩体力学性质和声发射产生的微观机理基础上, 通过岩石声发射试验和岩质边坡声发射监测实例, 研究了岩质边坡声发射特征, 提出了岩质边坡失稳破坏的基本力学分类及其声发射的监测预报方法和判据, 实现对岩质边坡失稳的预测预报. 研究结果表明, 边坡破坏前存在一次或多次声发射高峰, 应用AE技术可以确定边坡在变形过程中应力集中活跃区; 以抗滑力减小为主的岩质边坡, 其失稳预报判据为大事件率在15次/min以上, 预报时间为几分钟至数小时. 以下滑力增大为主的岩质边坡失稳的预报判据为大事件率在26次/min以上, 破坏时间为第一次声发射峰值期后的30~45d.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_shanxjz200801070.aspx

下载时间: 2010年6月21日