

# 基于修正的萨氏公式对广东大旺塘矿山 爆破震动的安全性评估

陈建敏<sup>1</sup>, 郑 蕾<sup>2</sup>

1. 中科院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中山大学地球科学系, 广东 广州 510000

**摘 要:** 本文以广东大旺塘矿山为例, 采用修正的萨氏公式对矿山开采爆破产生的震动进行了安全性评估. 对系统测定的爆破震动数据, 分垂直速度和水平速度两种情况进行二元线性回归. 对萨氏公式作了修正, 建立了大旺塘矿区的经验公式, 并提出了安全生产的建议.

**关键词:** 爆破震动; 安全性评估; 萨氏公式; 矿山

**中图分类号:** TB532

**文献标识码:** A

在矿山岩石爆破中, 由爆破引起的震动常常会造成爆源附近的地面以及地面上的物体产生颠簸和摇晃. 当爆破震动达到一定强度时, 可能会造成爆区周围建(构)筑物的破坏、露天矿边坡滑落以及地下隧道的片帮和冒顶. 因此, 对矿山爆破震动危害的评估一直是重要的研究课题. 本文以广东大旺塘矿山为例, 采用萨氏修正公式法对矿山开采爆破的震动进行安全性评估.

## 1 现场爆破震动监测

### 1.1 爆破震动监测系统

目前, 测震仪器已由光线示波器和磁带记录仪发展为电子测试与计算机综合分析系统, 如DSVM系列测振仪、YBJ系列爆破震动自记仪、BlastMate系列震动监测仪等系统. 由于这些仪器具有操作简单、测震精确、综合分析功能强等优点而在爆破震动中得到广泛应用.

爆破震动监测系统主要由传感器、中间交换器(信号放大器)及记录装置三个部分组成.

### 1.2 爆破震动监测数据

本次震动监测, 分别在现场进行了五次爆破地

震监测. 为排除各段地震波可能产生的相互干扰, 以首响药包作为爆破监测爆源点.

测点的布置主要根据测试要求和《爆破安全规程》中有关的规定, 监测爆破地震波的测点应选在地面需要保护的建(构)筑物基础的地面上的位置.

爆破震动记录仪量程有20 V、2 V和400 mV三档, 每次测试前根据测点位置和爆心段药量预估的震速范围, 尽量准确设置记录仪的量程, 以获取准确数据和最佳震速波形图.

## 2 监测结果与分析

### 2.1 监测结果

在矿区进行了5次现场爆破震动监测, 对监测到的垂直方向和水平方向的震速数据分别进行了采集统计记录, 并据此进行系统分析.

根据大旺塘露天采场的特点, 爆破震动监测点分别在爆区采场内、爆区周边村庄、龙山景区溶洞等位置按照要求布置了8~10个测点, 其中采场内3~4个测点, 溶洞内1个测点, 其余测点设在居民区.

### 2.2 数据分析原理

由于测点与爆心之间的相对高差较大, 宜采用

收稿日期: 2012-05-14.

作者简介: 陈建敏(1973-), 男, 广东梅州人, 博士.

萨氏修正公式计算爆破地震速度<sup>[1]</sup>:

$$v = k \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{\alpha} \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right)^{\beta} \quad (1)$$

式(1)中: $v$ —爆破震动速度,cm/s; $k$ —与地质条件、爆破方法有关的系数; $\alpha$ —地震波衰减系数; $\beta$ —高程影响系数; $Q$ —段药量,kg; $R$ —测点与爆心之间的斜距,m; $H$ —测点与爆心之间的高差,m.

为了便于对式(1)进行回归分析,对式(1)两边取对数,则有:

$$\lg v = \lg k + \alpha \lg \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right) + \beta \lg \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right) \quad (2)$$

令  $\rho = \frac{\sqrt[3]{Q}}{R}$ ,  $\psi = \frac{\sqrt[3]{Q}}{H}$ , 式(2)可写为:

$$\lg v = \lg k + \alpha \lg \rho + \beta \lg \psi \quad (3)$$

在回归过程中,令:

$$y = \lg v,$$

$$x1 = \frac{1}{3} \lg Q - \lg R;$$

$$x2 = \frac{1}{3} \lg Q - \lg H;$$

$$X = [\text{ones}(\text{size}(x1)) \ x1 \ x2];$$

$$w = \frac{X}{y};$$

$$k = \exp\{w(1)\};$$

$$\alpha = w(2);$$

$$\beta = w(3).$$

按所编写的程序在MATLAB 8.0中进行多元线性回归,确定了 $k, \alpha, \beta$ 的值后,式(1)即可确定.

## 2.3 数据处理结果

### 2.3.1 垂直震动速度数据回归及分析

回归分析结果为: $k=127.0957, \alpha=1.8476, \beta=0.2202$ ,相关系数 $S=0.8758$ .因此,对于本次爆破震动监测的垂直速度的爆破震动传播规律的萨氏公式可以表示为:

$$v_{\perp} = 127.0957 \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.8476} \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right)^{0.2202} \quad (4)$$

### 2.3.2 水平震动速度数据回归及分析

回归分析结果为: $k=64.0683, \alpha=1.6474, \beta=0.1656$ ,相关系数 $S=0.8925$ .因此,对于本次爆破震动监测的水平速度的爆破震动传播规律的萨氏公式可以表示为:

$$v_{\perp} = 64.0683 \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.6474} \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right)^{0.1656} \quad (5)$$

式(4)和式(5)分别是38组和32组样本中回归得到的,样本数量充足,所得到的回归公式的相关系数分别大于0.8758和0.8925,这充分说明本监测方法的可行性,以及在5次监测中所获取数据的准确性和可靠性.

对比式(4)和式(5)可以看出,在相同的段药量 $Q$ 和爆心测点距 $R$ 的情况下,随高差的增大(测点低于爆心时),某测点的垂直震动速度呈衰减趋势,水平震动速度呈增大趋势.因此,考虑到保护的对象(房屋)距爆源有一定的距离,宜以式(5)作为控制爆破震动的依据.

## 2.4 安全性评估结果

当 $Q=365$  kg,  $H$ 分别为150, 100, 50和5 m时,根据修正的萨氏公式(4)和(5),分别计算出距离矿山边界100 m, 200 m和300 m处地面质点震动的垂直和水平峰值速度 $v_{\perp \max}$ 和 $v_{\max}$ ,计算结果列于表1.

表1 地面各测点的震动速度峰值

Table 1 Vibration peak velocity measured at different points on the ground

测点与爆心之间的高差 $H/m$	测点与矿山边界的距离 $m$	$v_{\perp \max}$ /(cm·s <sup>-1</sup> )	$v_{\max}$ /(cm·s <sup>-1</sup> )
150	100	0.50	0.50
	200	0.14	0.16
	300	0.07	0.08
100	100	0.54	0.54
	200	0.15	0.17
	300	0.07	0.09
50	100	0.63	0.60
	200	0.18	0.19
	300	0.08	0.10
5	100	1.05	0.88
	200	0.29	0.28
	300	0.14	0.14

由表1可见,随着矿山生产的不断进行,开采平台高程降低,因开采爆破而在周边产生的地面震动速度会升高.

### 3 结 论

(1)对萨氏公式进行了修正,建立了大旺塘矿区爆破震动传播规律的经验公式:

$$\begin{aligned} \text{垂直震动速度 } v_{\perp} &= 127.0957 \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.8476} \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right)^{0.2202}, \\ \text{水平震动速度 } v_{\parallel} &= 64.0683 \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.6474} \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{H} \right)^{0.1656}. \end{aligned}$$

建议采用水平震动速度公式预测矿山周边村落房屋的地面震动速度.

(2)由修正的萨氏公式(5)计算可知,在爆破中,当段药量小于400 kg时,在800 m范围内,高差

在150 m以下时,房屋和溶洞均是安全的,这样的爆破震动速度不会造成房屋的结构性损伤,也不会造成溶洞顶板和边帮产生塌落或破坏.

(3)随着矿山开采平台高度的降低,开采爆破在周边产生的震动速度会升高.根据采场周边民房的类型和所测定的地震波主频范围(4.1504~28.5645 Hz)及景区溶洞的地质特征,参照《爆破安全规程(GB6722-2003)》的相关规定,建议民房建筑物安全允许震速为1.0~1.5 cm/s,龙山景区溶洞安全允许震速为5~7 cm/s.

#### 参考文献:

- [1] 史秀志.爆破振动信号时频分析与爆破振动特征参量和危害预测研究[D].长沙:中南大学,2007.

## Safety assessment of the Guangdong Dawangtang Mine blasting vibration based on the modified Sa's formula

CHENG Jianmin<sup>1</sup>, ZHENG Lei<sup>2</sup>

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China; 2. Departemen of Earth Sciences Sun Yat-sen University, Guangzhou 510000, China

**Abstract:** Taking Dawangtang stope for example, the safety assessment of mine blasting vibration using the modified Sa's formula was evaluated. The binary linear regression method in both vertical and horizontal speeds was used to analyze the data measured from blasting vibration. The Sa's formula was modified and an empirical formula of Dawangtang stope was established. Also a suggestion of safety was proposed.

**Key words:** blasting vibration; safety assessment; the Sachs formula; mine