

露天矿山爆破振动特性与边坡高度关系的研究

王玉平 刘同亮 金小龙 李宏林
 宁夏天宏爆破有限公司 宁夏 银川 750001

摘要: 根据该矿山岩石的性质、地质构造和爆破规模大小,采用TC-4850爆破振动测试仪器及系统自带的爆破振动分析软件系统,在不同高度的边坡布置测试点,采集爆破振动信号,收集相关数据,基于最小二乘法原理,采用线性回归方法确定出适合本矿山大理岩地质的K和 α 值,研究露天矿山爆破振动特性与边坡高度关系,进一步有效控制露天矿山爆破振动对矿山边坡的有害影响。

关键词: 爆破振动; 边坡高度; 线性回归; 矿山边坡

引言: 目前我国露天矿山开采通常采用高效经济的爆破开挖方式。爆破振动是不可避免的有害因素之一,不仅会对矿区周边的建筑物、构筑物、设备设施造成破坏,还是造成矿山边坡滑坡、失稳等地质灾害的诱发因素。露天矿山爆破作业有效控制爆破振动,以减少露天矿山爆破作业中发生滑坡的可能性,防止人员伤亡和财产损失。研究如何有效控制和减少露天矿爆破作业产生的爆破振动,减少爆破振动对矿井周围建筑物、构筑物的有害影响,对稳定矿山边坡具有重要意义。本文结合露天矿山的实际工程收集爆破过程中爆破振动测试信号进行分析研究,得出矿山爆破振动特性与边坡高度关系,为本矿山边坡防护和安全管理提供理论依据。

1 振动衰减系数 K 和 α 值选取存在的问题

目前露天爆破实际施工以及进行爆破设计时,预测爆破质点振动速度的公式是萨道夫斯基经验公式($V = K(Q^{1/3}/R)^{\alpha}$),但K和 α 在一定的范围内取值存在很大的误差。事实上,K和 α 的值与爆破条件及地形地质条件等诸多因素有关,严重地影响计算精度与爆破安全^[1]。因此对爆破区域进行爆破振动测试,并根据实际爆破振动数据回归分析得到比较准确的K和 α 值。

2 爆破振动数据监测

爆破数据监测每次使用三台测振仪,测振仪呈对数比例距离布置,具体数据见下表1所示。

表1 爆破振动数据监测汇总表

序号	测点	单段药量 (kg)	爆心距 (R/m)	计算爆破振速 (V计/cm/s)	实测爆破振速 (V测/cm/s)		
					X	Y	Z
1	1	630	74	5.914	3.794	4.315	4.689
	2	630	120	2.864	2.441	2.331	2.824
2	1	875	74	6.970	2.920	6.630	5.670
	2	875	90	5.196	3.184	4.248	3.032
	3	875	100	4.437	2.860	3.190	4.400
3	1	170	55	4.790	1.060	2.490	1.570
	2	170	80	2.733	1.196	2.310	2.205
	3	170	126	1.383	0.799	1.047	0.970

3 爆破衰减系数 K 和 α 值回归计算

萨道夫斯基公式^[2]:

$$V = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{\alpha}$$

令 $\rho = \frac{\sqrt[3]{Q}}{R}$, 则 $V = K\rho^{\alpha}$, 上式对数得: $\lg V = \lg K + \alpha \lg \rho$

再令 $y_i = \lg V$, $a = \lg K$, $b = \alpha$, $x_i = \lg \rho = \lg \frac{\sqrt[3]{Q}}{R_i}$

得: $y_i = a + bx_i$,

求:

$$\textcircled{1}、\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg \rho = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\lg \frac{\sqrt[3]{Q}}{R_i} \right)$$

$$\textcircled{2}、\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg v_i$$

$$\textcircled{3}、\sum_{i=1}^n x_i y_i = \sum_{i=1}^{n=3} (\lg \frac{\sqrt[3]{Q}}{R_i} \times \lg v_i)$$

$$\textcircled{4}、\sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^{n=3} (\lg \frac{\sqrt[3]{Q}}{R_i})^2$$

$$\text{则: } \hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad \hat{a} = \bar{y} + \hat{b} \bar{x}$$

$$a = \lg K, \quad \alpha = b$$

综上所述可得: $K = 10^a = 144, \alpha = 1.5$

表2 爆破衰减系数K和α值回归计算成果表

序号	y = lgv	x = lg(Q ^{1/3} /R)	x ²	xy	x平均	y平均	∑ _{i=1} ⁿ x _i y _i	∑ _{i=1} ⁿ x _i ²	b	a	K	α
1	0.6711	-0.9361	0.8763	-0.6282	-1.005	0.622	-1.850	3.045	1.52	2.15	142.01	1.52
	0.7443	-0.9700	0.9409	-0.7219								
	0.4509	-1.1083	1.2283	-0.4997								
2	0.8215	-0.8885	0.7894	-0.7299	-0.960	0.698	-1.997	2.776	1.47	2.11	130.52	1.47
	0.6282	-0.9736	0.9479	-0.6116								
	0.6435	-1.0193	1.0390	-0.6559								
3	0.5315	-1.0347	1.0705	-0.5499	-1.184	0.305	-0.999	4.256	1.60	2.20	158.73	1.60
	0.3636	-1.1596	1.3447	-0.4216								
	0.0199	-1.3569	1.8411	-0.0271								

4 爆破振动特性与边坡高度关系

4.1 爆破振动速度数据收集汇总

影响爆破振动传播规律的因素比较复杂，而高程放大效应通常受爆破荷载、振动传播介质特性等因素，

因此在爆破振动信号收集前，为减少地质、地形等因素变化在爆破施工中对爆破振动的影响^[3]，所以将收集爆破信号的每次爆破作业施工安排在榆树沟矿山1928m-1956m平台实施，该平台地质、地形条件简单，岩体性质、产装等因素基本变化不大，这样可以减少一些地质因素对爆破振动的影响。

爆破振动测试结合榆树沟矿山正常生产开采进行，

收集数据每次爆破位置在矿山的1928m-1956m平台，台阶高度为14m，每次爆破炮孔直径为152mm，孔网参数为孔距为6.2m，排距为5.2m，钻孔深度为15.5m（包含1.5m钻孔超深），爆破测试采用操作简单的连续装药结构，二号岩石乳化炸药作为起爆药包，主装药采用改性铵油炸药，数码电子雷管逐孔起爆网路（孔间延期时间17ms，排间延期时间42ms），保持最大单响药量为152kg，在总装药量不同，单响药量不变的情况下，进行爆破振动信号进行收集分析，共收集五次爆破作业振动信号数据作为试验的分析依据。数据收集汇总见表3。

表3 数据收集汇总表

测试序号	测点号	最大单响药量/kg	测点水平距离R/m	高差/m	延期时间	实测振动速度 V (cm/s)	推算振动速度 V (cm/s)	相对误差	备注
1	1	152	73	+14	孔间17ms	坡顶2.73	2.85	0.12	
	2	152	73	0	排间42ms	坡底2.42	2.85	0.43	
2	1	152	54	+14	孔间17ms	坡顶4.14	4.47	0.33	
	2	152	54	0	排间42ms	坡底4.43	4.47	0.04	
3	1	152	78	+14	孔间17ms	坡顶2.52	2.58	0.06	
	2	152	78	0	排间42ms	坡底2.71	2.58	0.13	
4	1	152	126	+28	孔间17ms	坡顶2.13	1.25	0.88	
	2	152	126	0	排间42ms	坡底1.04	1.25	0.21	
5	1	152	80	+28	孔间17ms	坡顶3.97	2.48	1.49	
	2	152	80	0	排间42ms	坡底2.31	2.48	0.17	

4.2 爆破振动速度特性分析

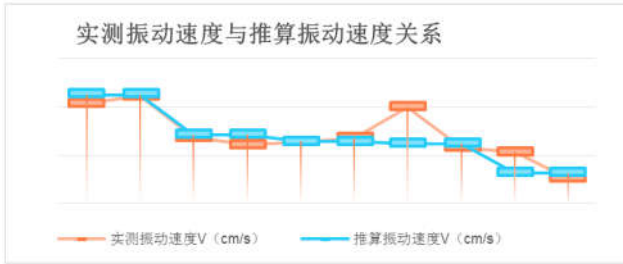


图1 实测振动速度与推算振动速度关系图

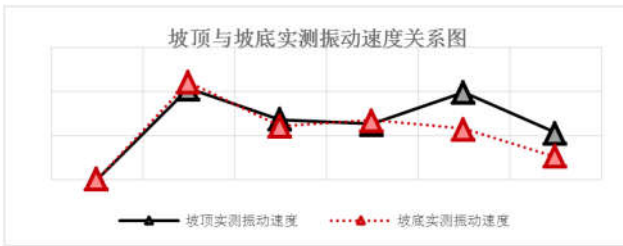


图2 坡顶与坡底实测振动速度关系图

爆破振动速度随测点的距离总体呈下降趋势。通过实测爆破振动速度和萨道夫斯基公式推算振动速度对比,如图1、图2所示,除个别数据出现误差,基本确定通过线性回归 K 和 α 值的准确性。通常认为本矿山大理岩为中硬岩石 K 的取值为150, α 取值1.6。通过实验确定本矿山 K 的值为144, α 值为1.5,偏向坚硬岩石取值。

高差在14m时,坡顶的实测爆破振动速度与推算爆破振动速度差值在0.3~0.06之间,坡底的实测爆破振动速度与推算爆破振动速度的差值在0.04~0.43之间。高差28m时,坡顶的实测爆破振动速度与推算爆破振动速度差值在1.49~0.88之间,坡底的实测爆破振动速度与推算爆破振动速度差值在0.17~0.21之间。高差在28m时,坡顶的实测爆破振动速度与推算爆破振动速度差值明显突然变大,详见表3。

爆破振动坡顶和坡底的实测振动速度对比,相对误差约0.07%~13%,出现逆差为数据测量误差,不影响

数据整体变化趋势。高差28m时,相对误差约0.72%~105%,坡顶实测爆破振动速度突然增大,高陡边坡质点振速会出现高程放大效应。坡顶振动速度为坡底振动速度的两倍左右,如下表4所示。随着本矿山开采深度不断增加,后续会不断研究高程28m以上,坡顶与坡底振动速度相对变化情况。

表4 坡顶与坡底实测振动速度

高程 (m)	坡顶实测振动 速度V (cm/s)	坡底实测振动 速度V (cm/s)	坡顶与坡底振动速度 相对误差 (%)
14	4.14	4.43	7
14	2.73	2.42	-13
14	2.52	2.71	7
28	3.97	2.31	-72
28	2.13	1.04	-105

5 结语

榆树沟大理岩矿山基于萨道夫斯基公式回归出 K 、 α 取值为今后爆破设计与工程实践提供数据支撑;爆破振动速度随测点的距离总体呈下降趋势,呈现非线性关系,高程在28m时,坡顶爆破振动速度明显增大,出现边坡质点振速高程放大效应,放大倍数较平地爆破振动速度的两倍左右;随着矿山开采深度的不断增加,继续研究本矿山振动速度高程放大效应的上限值与放大倍数,为爆破设计与施工提供数据依据,确定边坡允许振动速度的临界值,减小爆破振动对对边坡的影响;通过不断试验,总结出对28m以上边坡安全监测与管理经验。

参考文献

- [1]王海亮.工程爆破[M].北京:中国铁道出版社,2008.
- [2]全国安全生产标准技术委员会非煤矿山安全分技术委员会.爆破安全规程:GB6722-2014,北京:中国标准出版社,2014.
- [3]郭飞,侯克鹏.考虑高程放大效应的边坡动力稳定性分析[J].有色金属(矿山部分),2023,75(2):71-78.