

用高速摄影法确定大区爆破 微差时间的研究

黄政华 吴灵光 吴其苏

(冶金部长沙矿冶研究院,长沙 410012)

摘要 本文介绍了用高速摄影法研究大区微差爆破时,确定合理微差间隔时间的方法,并且提出了50~100万吨级大区多排微差爆破的合理微差间隔时间。矿山生产爆破实践证明,用高速摄影法能准确确定合理微差间隔时间。

关键词 高速摄影法 合理微差间隔时间 微差爆破

一、前言

露天矿山大区微差爆破合理微差间隔时间的选取是爆破技术研究中的一个核心问题。有关这方面的研究结果和见解归纳起来,较有代表性的有两个,一是形成新的自由面,保证先爆孔的岩石移动足够远,给后续炮孔创造新的自由面。二是地震波相互干涉,满足最大限度的降震。用高速摄影法确定合理微差间隔时间时需遵循上述两个见解。

二、试验条件

试验观测研究在矿岩中进行。矿岩的主要物理力学性质是:矿石,容重 $3.33\sim 4.5\text{ t/m}^3$,普氏系数 $f=12\sim 18$,抗压强度 $124\sim 273\text{ MPa}$;岩石,容重 $2.65\sim 2.70\text{ t/m}^3$,普氏系数 $f=8\sim 14$,抗压强度 $86\sim 163\text{ MPa}$ 。矿、岩无风化。爆区设计段高为 12 m ,孔径为 250 mm 和 310 mm 两种。炮孔装药主要有铵油炸药、重铵油炸药、乳化炸药和浆状炸药四种。一次爆破总孔数为 $300\sim 500$ 个,爆破方量 $50\sim 81$ 万吨。观测仪器为美国斑克曼公司生产的 $35\text{ mm } 4\text{ C}$ 型高速摄影机,数据分析借助 MOVIAS100分析仪和 IBM286计算机完成。

三、观测结果

1. 岩石开始移动时间 t_0 的确定

在三个矿山观测所获得的结果(350组数据)表明,岩石移动距离 s 随时间 t 变化均满足如下关系

$$s = k_0 + k_1 e^{-1/t} + k_2 t \quad (1)$$

式中: s ——岩石移动距离, m ;

k_0, k_1, k_2 ——系数。

并且

$$t_0 \leq t \leq t_c \quad (2)$$

式中： t_0 ——胶片上测出岩石移动距离为零时的时间，ms；

t_c ——胶片上测量位移的时间区，ms。

在(1)式中，令 $s=0$ 即岩石移动距离为零，可解出岩石开始移动时间 t_c ，并按下式给出的准则进行修正，

$$t_0 \leq t_c \leq t_1 \tag{3}$$

式中： t_c ——岩石开始移动时间，ms；

t_1 ——胶片上测出岩石开始移动第一个点的时间，ms。

求解过程及部分结果见图 1、2。(1)式的数值解由计算机完成，对 350 个观测点的位移值进行回归，求得在岩石爆区里 $t_c=53.9\text{ms}$ ，矿石爆区里 $t_c=47.9\text{ms}$ (以上为平均值)。

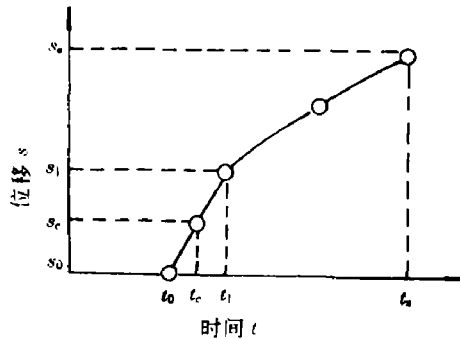


图 1 岩石移动时间 t_c 求解过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram the resolving procedure of rock moving time t_c

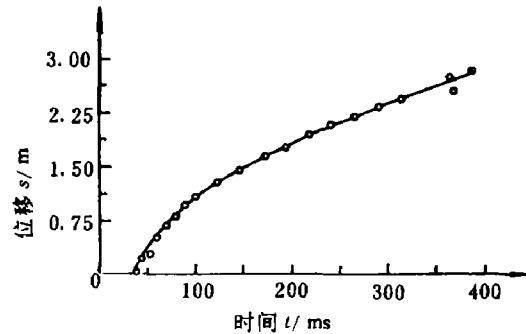


图 2 岩石移动回归结果(矿石爆区一个孔, $r=0.99$)

Fig. 2 The regression results of rock moving (for one hole in blasting zone of mineral, $r=0.99$)

2. 岩石明显移动参数的统计结果

岩石移动是爆炸气体对岩体做功的主要表现。如果把炸药的爆破作用看作是爆炸冲击波的动态效应和爆炸产物膨胀的准静态效应的综合，那么爆后岩石移动主要是准静态效应的表现。观测结果说明，岩石移动参数的变化范围和大小与岩性及爆破参数有关，观

表 1 岩石移动观测结果统计值

Table 1 The statistical results observed for rock moving

类别	岩石名称	测点特征抵抗线的平均值 \bar{W}^2/m	明显移动时间 t_c/ms		初速度平均值 $\bar{v}_0/(m/s)$	平均速度值 $v_a/(m/s)$
			平均值	范围		
岩石	云母石英岩,片麻状花岗岩,角闪岩.	5.1	48.1	48.1~72.1	14.6	6.05
		7.8	52.9			
		10.2	72.1			
矿石	磁铁石英岩 赤铁石英岩	3.9	46.7	43.3~67.3	25.3	5.65
		5.6	52.9			
		8.3	60.0			

测结果的统计值如表1。它反映出,当炮孔中心到台阶坡面特征观测点的直线距离增大时,岩石移动时间明显推迟。

3. τ 值的计算结果与明显移动时间的比较

假设岩块脱离岩体形成新裂槽的距离为 s_0 , 移动平均速度为 v_a , 则形成裂槽所需要的时间为 s_0/v_a , 合理微差间隔时间即可表示为

$$\tau = t_c + s_0/v_a \quad (4)$$

对于形成裂槽的距离,经室内模型试验和现场试验综合观测,并参阅文献[1]得出, s_0 取 10mm 是适宜的。将表1中所列的 v_a 值和通过(1)式回归计算得到的 t_c 值代入公式(4), 得到合理微差间隔时间 τ 值如表2。

表2 合理微差间隔时间与明显移动时间比较表
Table 2 The comparison between suitable elementary errors interval time and noticeable moving time

类别	岩石名称	开始移动时间 t_c/ms	形成裂槽时间 $(s_0/v_a)/ms$	合理微差 间隔时间 τ/ms	明显移动时 间平均值 t/ms	相对误差 (%)
岩石	云母石英岩,片麻状 花岗岩,角闪岩	53.9	1.7	55.6	57.7	3.8
矿石	磁铁石英岩 赤铁石英岩	47.9	1.8	49.7	53.2	7.0

对表2的说明: τ 值接近矿岩明显移动时间,其相对误差,矿石爆区为 7.0%,岩石爆区为 3.8%。因此,我们认为矿岩明显移动时间可作为合理微差间隔时间。

四、 τ 值的统计模型与半经验模型的建立

1. 计算 τ 值的统计模型

高速摄影观测结果表明, τ 值与特征抵抗线 W' 具有一定的相关性。据此,由公式(4) 计算得出的各特征点 τ 值(350个)与相应的 W' 用线性关系式表示,并进行回归得出估算大区微差爆破合理微差间隔时间 τ 的统计式($r=0.813$)

$$\begin{cases} \tau = 31.4 + 2.73W' \\ W' = b + h/\text{tg}\alpha \\ \text{tg}\alpha = H/(W_0 - b) \end{cases} \quad (5)$$

式中: W' ——特征观测点到炮孔中心的水平距离, m;

b ——炮孔中心到台阶坡顶边缘的直线距离, m;

h ——特征观测点距台阶坡顶的高度, m;

H ——台阶高度, m;

W_0 ——底盘抵抗线, m。

这里,假设孔内装药爆轰后,已经充满药室的爆炸气体作径向膨胀,把爆炸冲击波视

为柱面波,岩石移动的初期方向与炮孔轴线成 90° 指向台阶坡面。所以,炮孔中各截面到台阶坡面的水平距离视为抵抗线以 W' 表示。

2. τ 值的半经验模型的建立

基于合理微差间隔时间 τ 是岩块开始移动时,压缩波作用时间与卸载波作用时间加上岩块脱离岩体距离 s_0 的时间,则合理微差间隔时间可表示为

$$\tau = A_0 Q^{1/3} + (A_1 \alpha) Q^{1/3} + s_0 / v_a \quad (6)$$

式中: Q ——炮孔装药量, kg;

A_0, A_1 ——系数;

α ——炸药特征阻抗与岩石特征阻抗之比。

且

$$\alpha = \rho_a \cdot D_s / \rho_c \cdot c_p \quad (7)$$

式中: ρ_a ——装药密度, g/cm³;

ρ_c ——岩石容重, g/cm³;

D_s ——炸药在孔内的爆速, m/s;

c_p ——纵波传播速度, m/s。

把观测点350组数据全部代入(6)式进行验算,基本上是吻合的($r=0.82$),表达式如下

$$\tau = -19.018 Q^{1/3} + (83.031 \alpha) Q^{1/3} + 10 / v_a \quad (8)$$

(8)式的适用条件是爆破规模在 50~81 万吨/次,同段孔数 4~20 个的情况下。若装药品种不同,需考虑炸药的能量,则(8)式可改写为

$$\tau = -1.134 E'^{1/3} + (5.105 \alpha) E'^{1/3} + 10 / v_a \quad (9)$$

式中: E' 为每孔内炸药的总能量,并且

$$E' = A Q, (\text{kJ}) \quad (10)$$

式中: A 为炸药能量系数(铵油炸药为 3.461 kJ/g,重铵油炸药 3.184 kJ/g,浆状炸药 2.933 kJ/g,乳化炸药 2.665 kJ/g,供参考)。

(8)式(9)式的部分检验结果见表 3。

表 3 τ 值检验结果表

Table 3 The tested results of τ

序号	W'/m	$Q^{1/3}/\text{kg}$	$E'^{1/3}/\text{kJ}$	α	τ/ms		相对误差 (%)
					观测值	计算值	
1	10.2	7.243	109.56	0.3160	56.6	55.4	2.1
2	8.8	8.879	131.75	0.2989	57.6	52.7	8.5
3	8.2	8.794	130.30	0.3030	53.4	54.8	2.6
4	9.1	8.794	131.75	0.2989	54.7	52.9	3.3
5	9.1	8.707	129.30	0.3042	56.9	55.8	1.9
6	9.5	8.707	129.30	0.3042	53.8	56.5	5.0
7	9.0	8.897	131.75	0.2989	54.0	53.6	0.7
8	8.7	8.897	131.75	0.2989	48.5	52.5	8.2

五、结论与验证

(1) 岩石明显移动时间可作为大区微差爆破的合理微差间隔时间。并且，微差间隔时间与抵抗线具有一定的相关性，一般取 50~58 毫秒或按每米抵抗线 4.7~6.1 毫秒计取，即可达到良好的破碎效果，爆炸能量也可得到充分利用。

(2) 在相同条件下的试验观测，惯量永磁型电感速度计测量得出，大区微差爆破的合理 τ 值为 46~58 毫秒，爆破地震效应观测结果认为，取得明显降震效果的合理 τ 值为 16.3~100 毫秒。据此，可以认为，用高速摄影法确定的微差间隔时间是合理的。

(3) 高速摄影法确定的合理微差间隔时间，在三个矿山进行了 13 次中等规模的爆破试验，并且进行了 11 次 50~81 万吨/次的大区微差爆破验证，结果表明是正确的。总结出的统计式(5)和半经验式(8)、(9)可作为设计大区多排微差爆破时计算合理微差间隔时间 τ 值的依据。

参 考 文 献

- [1] 廖先葵. 微差爆破和留渣爆破机理研究. 爆破, 1985, (4): 1-4
- [2] 切尔尼高夫斯基. A A 定向抛掷爆破. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983. 67-151
- [3] 吴灵光, 黄政华. 关于土岩爆破的高速摄影和高速立体摄影观测. 土岩爆破文集. 北京: 冶金工业出版社, 1985, 363-365
- [4] 亨利奇. J 爆炸动力学及其应用. 北京: 科学出版社, 1987. 309-311

STUDY OF MILLISECOND-TIME IN LARGE AREA DIFFERENTIAL BLASTING BY HIGH-SPEED PHOTOGRAPH

Huang Zhenghua Wu Lingguang Wu Qisu

(Changsha Research Institute of Mineral and Metallurgy, Chang Sha 410012)

ABSTRACT This paper describes a way of determining the optimum differential interval time in large area differential blasting by high-speed photograph, and proposes the optimum interval time for 500000—1000000 tons large area multi-row differential blasting. Blasting production in site shows that the optimum differential interval time can be determined precisely by high-speed photograph.

KEY WORDS high-speed photograph, optimum differential interval time, Millisecond-delay blasting