

文章编号: 1008-0562(2001)04-0414-03

# 边坡分段装药炮孔的压力变化与爆破效果

吴从师<sup>1</sup>, 齐宝军<sup>2</sup>, 刘宇峰<sup>1</sup>

(1. 长沙交通学院, 湖南 长沙 410076; 2. 首钢水厂铁矿, 河北 迁安 064405)

**摘要:** 具有分段装药结构的缓冲孔爆破是边坡控制爆破方法之一。通过对分段装药炮孔中填塞物的轴向压缩运动分析, 计算出了爆破作用初期炮孔压力随时间的变化关系。缓冲单孔和普通单孔的台阶爆破漏斗试验, 以及带缓冲孔的爆区和普通孔生产爆区爆后的坡面裂隙调查都证明了, 由于分段装药缓冲孔的初期压力较低, 减轻了对孔壁的破坏, 对边坡的完整及稳定大有好处。

**关键词:** 缓冲孔爆破; 炮孔压力; 台阶爆破

**中图分类号:** TJ 51 **文献标识码:** A

## 0 引言

露天边坡爆破中,为减少对边坡坡面的破坏,通常采用的方法之一是缓冲孔爆破。一般是沿设计边坡线打一排加密炮孔(称为缓冲孔),孔内采用径向不耦合装药,要求“药包紧贴朝向自由面的深孔壁,并用细砂之类的充填物充填孔内空隙”<sup>[1]</sup>。但实际施工中,为操作方便,若无特殊要求,往往采用轴向不耦合装药,药包径向充满炮孔,轴向分段药包之间填以细砂,以降低炮孔压力,减轻爆炸作用对开挖边坡以外的岩石的破坏。

分段装药缓冲孔的缓冲效果与分段装药结构的炮孔压力变化历程有密切关系。本文通过一个实例来分析讨论分段装药缓冲孔的压力变化及应用效果。

## 1 分段装药的炮孔压力变化计算

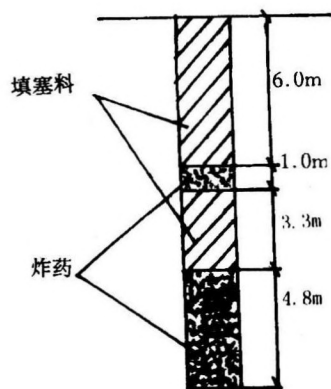


图 1 装药结构  
Fig.1 structure of exploding power

炮孔的分段装药结构见图 1,上下装药之间填

塞了岩屑(称为中间填塞段),装药上部又填塞了岩屑(称为孔口填塞段)。炸药爆炸后,与炮孔周围岩石一样,岩屑中也将产生应力波,应力波在岩屑中作轴向传播过程中,岩屑将被压缩。上下药包产生的应力波在中间填塞段相遇时,中间填塞的岩屑压缩停止,但顶部的炮孔填塞岩屑将继续压缩到应力波到达孔口为止,我们称这一过程为爆炸作用的初期过程。

严格来说,爆炸作用初期过程中,在爆轰压力作用下,炮孔壁也将向外膨胀扩大,孔中填塞物的运动应与炮孔壁膨胀运动联立求解。但考虑到填塞物压缩变形比炮孔壁变形大得多,为了简化计算,本文只讨论填塞物沿炮孔轴向的压缩运动,并假设填塞受压缩后,其密度由  $\rho_0$  增加到  $\rho_m$  以后保持不变,即比值  $\rho_m/\rho_0$  恒为常数,炸药的爆轰为瞬时爆轰,气态产物膨胀过程是绝热膨胀过程。

设中间填塞岩屑长度为  $L$ , 应力波在岩屑中的传播速度为  $C_p$ , 则上下药包同时起爆产生的应力波在中间填塞段传播的时间  $t_f$  为

$$t_f = (L/2) / C_p \quad (1)$$

根据动量守恒定律,炸药起爆  $t$  时间后 ( $0 < t \leq t_f$ ), 填塞物的运动满足下式

$$M_s v(t) = I_p - I_f \quad (2)$$

式中  $v(t)$ —填塞物沿轴向压缩速度;

$M_s$ —被压缩段填塞物的质量;

$I_p$ —爆生气体压力产生的冲量;

$I_f$ —填塞物摩擦阻力产生的冲量。

在  $t$  时间内爆生气体产生的冲量为

$$I_p = \int_0^t \frac{1}{4} \pi D^2 P(\tau) d\tau \quad (3)$$

式中  $P(\tau)$ —炮孔压力;

$D$ —炮孔直径。

先讨论上部药包爆炸作用下孔口填塞料和中间填塞料的压缩运动情况。爆生气体作用下如果忽略填塞料的内聚力<sup>[3]</sup>, 则单位长度  $dL$  的填塞料与孔壁的摩擦阻力产生的冲量<sup>[4]</sup>

$$I_f = \int_0^t 2dL\pi D \tan \varphi f \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} P(\tau) d\tau \quad (4)$$

式中  $\varphi$ —填塞物的内摩擦角;

$f$ —填塞物的动摩擦系数;

$$dL = \tau C_p$$

被压缩段填塞物的质量为:

$$M_s = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot 2t C_p \rho_0 \quad (5)$$

将 (3) - (5) 式代入 (2) 式, 整理后, 可得上药包引起的填塞料的轴向压缩速度

$$v_1(t) = \frac{1}{2t C_p \rho_0} \int_0^t P(\tau) d\tau - \frac{4f(1 - \sin \varphi)}{t D \rho_0 (1 + \sin \varphi)} \int_0^t P(\tau) \pi d\tau \quad (6)$$

对应的炮孔体积增量为

$$V_1 = \frac{1}{4} \pi D^2 \int_0^t v_1(\tau) d\tau \quad (0 \leq t \leq t_1) \quad (7)$$

同理可得下部药包引起的填塞料的轴向压缩速度  $v_2(t)$  和对应的炮孔体积增量  $V_2$

$$v_2(t) = \frac{1}{t C_p \rho_0} \int_0^t P(\tau) d\tau - \frac{4f(1 - \sin \varphi)}{t D \rho_0 (1 + \sin \varphi)} \int_0^t P(\tau) \pi d\tau \quad (8)$$

$$V_2 = \frac{1}{4} \pi D^2 \int_0^t v_2(\tau) d\tau \quad (0 < t \leq t_1) \quad (9)$$

对于爆轰气体产物的绝热膨胀有<sup>[5]</sup>

$$P \cdot V^\gamma = \text{常数} \quad (10)$$

式中,  $P, V$  分别为炮孔膨胀过程中的压力和体积;

$\gamma$  为等熵指数, 在  $t \leq t_1$  范围内  $\gamma$  取 3。

若已知填塞料的  $\varphi$ 、 $C_p$ 、 $f$  和第  $n$  阶段的炮孔压力  $P_i$ , 孔内爆生气体密度  $\rho_i$ , 取一定时间步长  $\Delta t$ , 则可由 (6) - (10) 式算得  $\Delta t$  时间的气体压力与体积, 再以此时刻的值为初始值, 重复上述计算步骤, 即可求出填塞料压缩过程中炮孔的  $P-t$ 、 $P-V$  关系。

## 2 算例与爆破试验结果

水厂铁矿边坡的某些地段采用的分段装药缓冲孔爆破工艺是: 沿设计边坡线打一排稍密且没有超深的孔, 孔径  $D$  为 250mm 或 310mm, 孔距为正常生产炮孔孔距的 0.7 倍, 采用如图 1 的两段间隔装药结构, 底部装多孔粒状铵油炸药 150-300kg, 中间间隔 2.0-3.4m 钻岩屑, 上部再装 50-100kg 同品种炸药, 上下部装药分别用同段非电导爆管雷管同时引爆, 所有缓冲孔以 2-3 个为一组, 滞后于邻近前排的生产炮孔 50-100ms 起爆。

如果多孔粒状铵油炸药的爆轰压力取 2.5GPa, 爆速为 3 500m/s, 填塞料的特征参数取:

$C_p=550\text{m/s}$ 、 $\varphi=30^\circ$ 、 $f=0.06$ 、 $\rho_0=2000\text{kg/m}^3$ , 炮孔直径为 250mm, 由上述算法可得炮孔压力的变化历程如图 2。

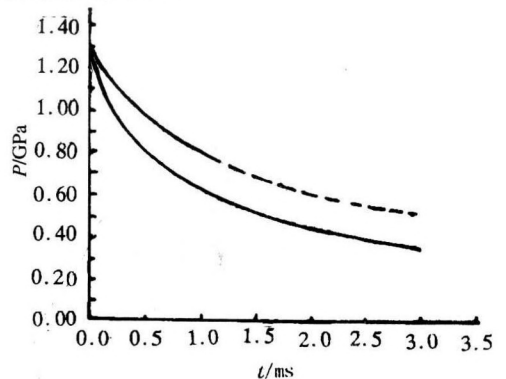


图 2 分段装药孔与连续装药孔的压力变化历程  
Fig.2 the pressure varied process of continuous and discontinuous loading power

图 2 中, 实线为分段装药炮孔的压力时程曲线, 虚线为同样药量的连续装药炮孔的压力时程曲线。可见由于中间填塞段和孔口填塞段的压

缩,分段装药炮孔的压力急剧下降,然后趋于缓和,压力最低时,只有连续装药炮孔压力的70%左右。

由于爆破作用的初期阶段炮孔压力降低,减轻了对孔壁的过度粉碎,对减少爆破后冲和爆后边坡坡面裂隙大有好处。我们对分段装药炮孔和普通连续装药炮孔作了多个台阶单孔爆破漏斗试验,分段装药孔的后冲为1.3-3.0m而普通装药孔的后冲达3.3-4.0m。据震动观测,缓冲单孔的质点震动速度比普通单孔质点震动速度低15%-50%。对10次带有分段装药缓冲孔的爆区和6次普通生产爆区爆后台阶坡面进行的裂隙统计调查结果表明,分段装药缓冲爆区的爆后台阶坡面裂隙率(单位调查面积中的裂隙面积)为0.30%-3.33%,而普通生产爆区为2.40%-3.85%。

### 3 结 论

通过对分段装药炮孔填塞物的轴向运动分

析,计算出的分段缓冲装药孔和连续装药普通孔的炮孔压力变化历程,在理论上说明了装药结构对炮孔初期压力的影响。台阶单孔漏斗试验以及带缓冲装药孔爆区和普通生产爆区爆后坡面裂隙调查,更有力地说明了由于分段装药孔的初期作用压力降低,使得孔壁破坏减少,从而有利于边坡面的完整和稳定。在无专门边坡钻机条件下,采用分段装药的缓冲孔爆破是一种操作简便,行之有效的边坡控制爆破方法。

#### 参考文献:

- [1] 陶颂霖.爆破工[M].程冶金工业出版社.1980.214-217.
- [2] 齐宝军,吴从师.水厂铁矿边坡缓冲孔爆破工艺及其震动效应[J].矿冶工程,2000,20(2):1-3.
- [3] 杨人光,史家培.建筑物爆破拆除[M].北京:中国建筑工业出版社.1985.173-188.
- [4] 卢文波,陶振宇.预裂爆破中炮孔压力变化历程的理论分析[J].爆炸与冲击,1994,2(14):140-147.
- [5] J·亨利奇 著.熊建国等译.爆炸动力学及其应用[M].北京:科学出版社,1989.63-64.

## The Pressure Variation of the Hole with Divided Charge and the Blasting Effect

WU Cong-shi, QI Bao-jun, LIU Yu-feng

(Changsha University of Communication, Changsha 410076, China)

**Abstract:** Cushion blasting with divided charge holes is one of the controlled blasting techniques near slopes. In this paper, the pressure variation in the hole with deck charge is calculated by means of analyzing the compression movement of the stemming material. The bench blasting tests of single-hole with divided charge or continuous charge are carried out. The surface cracks at the slopes after cushion blasting and normal blasting are investigated. The results of site tests and investigation show that the blast-holes with divided charge can reduce the perimeter cracking and thus increase the stability of the slopes.

**Key words:** cushion blasting; blast-hole pressure; bench blasting