

# 露天矿山深孔台阶压渣爆破参数优化研究<sup>①</sup>

崔年生<sup>1</sup>, 楼晓明<sup>2</sup>

(1.福建省新华都工程有限责任公司,福建 厦门 361002; 2.福州大学 紫金地质与矿业学院,福建 福州 350108)

**摘要:** 为了提高露天矿山深孔台阶爆破质量,通过对某矿区现有台阶爆破参数和大块率进行现场调研,提出压渣爆破技术方案,结合 LS-DYNA 软件仿真分析与理论计算,得到适宜的孔网参数和压渣厚度,并将该参数应用于现场爆破试验。结果表明,压渣厚度 5 m、孔间距 5 m、抵抗线 4 m 为适宜爆破参数,该条件下现场爆破试验平均大块率小于 7%,取得了良好的爆破效果。

**关键词:** 露天开采; 台阶爆破; 压渣爆破; 爆破参数优化; 工业试验; 数值分析

中图分类号: TD235

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2023.04.009

文章编号: 0253-6099(2023)04-0044-04

## Optimization of Buffer Blasting Parameters for Deep-Hole Bench Blasting in Open-Pit Mine

CUI Niansheng<sup>1</sup>, LOU Xiaoming<sup>2</sup>

(1. Fujian Xinhudu Engineering Co Ltd, Xiamen 361002, Fujian, China; 2. Zijin School of Geology and Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian, China)

**Abstract:** In order to improve the effect of deep-hole bench blasting in open-pit mines, a buffer blasting technique was proposed based on the on-site investigation of existing bench blasting parameters and rock fragmentation. In combination with simulation study by using LS-DYNA software and theoretical calculation, optimal borehole parameters and buffer thickness were finally determined, which were applied into the field blasting experiment. With buffer thickness of 5 m, borehole spacing of 5 m and burden of 4 m, the field blasting experiment brought an average fragmentation of less than 7%, showing a good blasting effect.

**Key words:** open-pit mining; bench blasting; buffer blasting; blasting parameter optimization; commercial experiment; numerical analysis

露天深孔台阶爆破技术在露天矿山应用广泛。爆破参数是影响露天采矿技术经济指标和爆破效果的重要因素<sup>[1-6]</sup>。爆破参数与矿岩参数合理匹配,爆破工艺才能取得好的效果<sup>[7-13]</sup>。为了改善露天矿山爆破存在的大块率较高、爆破振动较大等问题,本文以某露天矿山深孔台阶爆破为例,提出压渣爆破技术方案,通过理论计算和数值模拟得到适宜的压渣厚度和孔网参数,并在现场进行工业试验。

### 1 工程背景

某矿区露天矿矿体及其近矿围岩主要为中细粒花岗岩及隐爆角砾岩和英安玢岩,矿体抗压强度

40.2~134.9 MPa, 试验区铜矿石为花岗岩型硫化铜矿石,抗压强度 113.7 MPa,岩石可爆性为 VI 类,属难爆岩石。

目前,该矿采用深孔台阶爆破,台阶参数为:台阶高度 12 m,坡角 75°。布孔方式采用梅花形,炮孔超深 2.0~2.5 m,孔排距为  $a \times b = (7 \text{ m} \times 6 \text{ m}) \sim (6.5 \text{ m} \times 5.5 \text{ m})$ ,抵抗线 5.0~5.5 m,炸药单耗 0.35~0.45 kg/m<sup>3</sup>。采用连续装药结构、逐孔微差起爆技术。

通过对露天深孔台阶爆破效果进行调查发现:目前矿区露天爆破平均大块率达到 14.1%,存在大块率偏高问题,现有的爆破方法与现场实际不适应,需寻求更加优化的爆破方法。

① 收稿日期: 2023-02-03

基金项目: 国家自然科学基金(52109124)

作者简介: 崔年生(1969—),男,江西宁都人,高级工程师,主要从事矿山与爆破工程方面施工与研究。

通信作者: 楼晓明(1972—),男,浙江东阳人,博士,教授,主要从事采矿与爆破方面科研工作。

## 2 孔网结构参数模拟分析

### 2.1 模拟方案

为了减少后期试验次数,同时确定合理的孔间距  $A$  和抵抗线  $W$ ,利用 LS-DYNA 进行了数值仿真模拟,建立 2 个模型,分别为孔网参数  $A \times W = 4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  (模型 1)和孔网参数  $A \times W = 5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  (模型 2)。

此次数值模拟做如下假设:① 炮孔以垂直方式分布;② 岩石材料按弹塑性体考虑;③ 药包起爆方式为中间起爆。为加快计算速度、提高模拟准确性,模型采用三炮孔,以中间孔为起爆孔,另外两孔以中间孔药包为中心对称分布。

### 2.2 模拟结果

图 1 和图 2 为 2 种不同孔网参数模型炮孔起爆后不同时刻的 Von-Mises-Stress 分布情况。

由图 1~2 可知,2 种孔网参数下,炸药起爆后应力波从炮孔壁开始以圆形向四周传播, $t = 0.90 \text{ ms}$  时,近炮孔壁的有效应力超过岩石抗拉强度,裂纹开始由孔壁向周围延伸发展,应力波在  $t = 1.79 \text{ ms}$  到达岩体与渣体接触面,其中一部分发生反射,反射波与应力波的

相互叠加致使岩体发生拉裂破坏。

模型 1 模拟结果显示,中间孔起爆  $2.09 \text{ ms}$  后应力波先到达 2 个邻近炮孔,爆破周围岩石还未完全破碎,应力波的能量和爆生气体可能已经从邻近孔原有裂隙中发生逸散,造成能量的提前损失。 $t = 3.59 \text{ ms}$  时,中间孔的应力波到达两边的无反射边界。应力波传播到模型边界后,将继续向四周传播,同时不可避免地会有微弱的应力波在模型边界发生反射,与向外扩散的波相遇后叠加,使得应力波减弱,该部分的影响可以忽略。由于之前应力波能量和爆生气体的逸散,围岩未形成足够的新裂纹,从  $t = 27.9 \text{ ms}$  和  $t = 47.9 \text{ ms}$  模拟图中可以看出后爆孔起爆后爆破效果不佳。

模型 2 模拟中,中间孔起爆  $2.39 \text{ ms}$  后应力波到达邻近孔,这样就延长了爆生气体的作用时间,增加了岩石二次破碎作用,同时为后爆孔提供充足的自由空间。 $t = 4.49 \text{ ms}$  时,中间孔的应力波到达两边的无反射边界,只有微弱的反射波,影响可以忽略,中间孔的爆生气体使岩石充分破碎,为后爆孔创造有利条件,从  $t = 27.9 \text{ ms}$  和  $t = 47.9 \text{ ms}$  模拟图中可以看出,此孔网参数下裂纹数和岩石破碎程度明显优于模型 1。

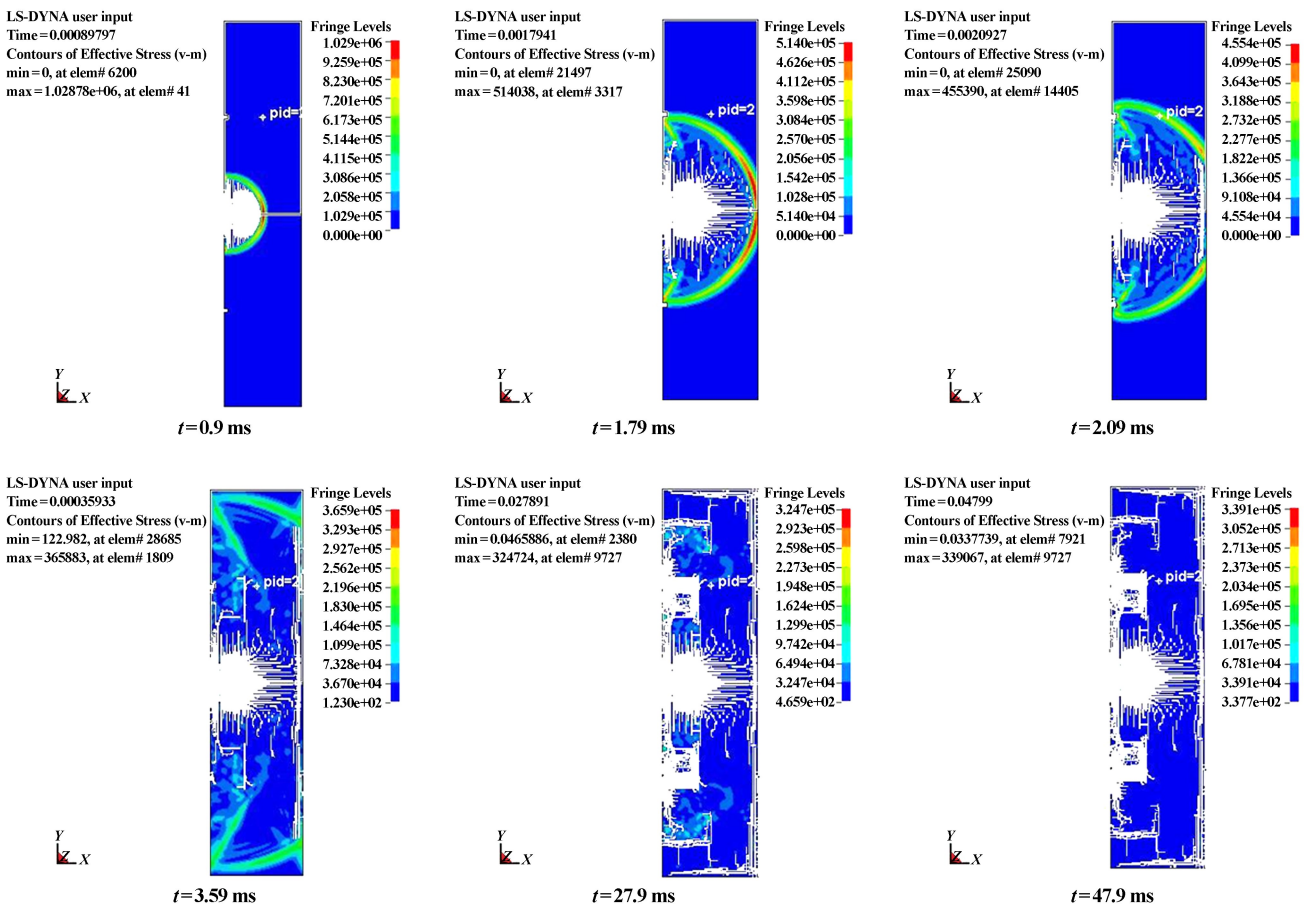


图 1 模型 1 数值模拟结果

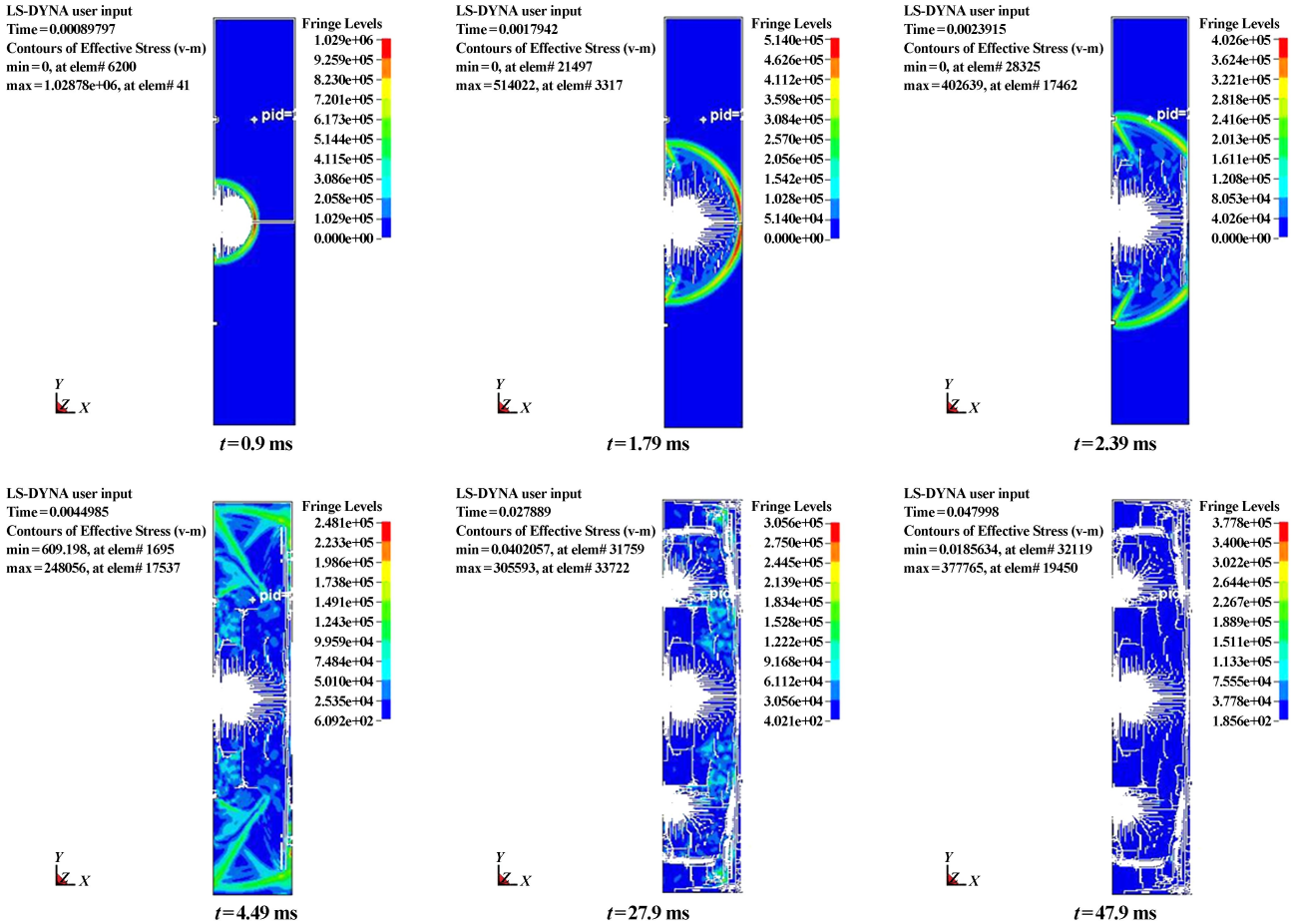


图2 模型2数值模拟结果

### 3 压渣厚度分析

#### 3.1 理论计算

为了确定合理的压渣厚度,从堆渣松散程度出发进行理论计算,再通过数值模拟验证。

堆渣松散程度极大地影响压渣爆破效果。渣体越松散,其波阻抗越小,透射波损失越少,越有利于岩石的破碎。松散系数是指岩石经爆破松散后的体积与原岩体积之比,生产过程中各种条件下形成的岩石爆堆松散系数  $K$  一般在 1.1~1.4 之间。为便于应用,渣体的松散性一般定性分为 3 个级别:好( $K=1.2\sim 1.4$ )、一般( $K=1.15\sim 1.2$ )和差( $K=1.1\sim 1.15$ )。

合理的压渣厚度是确保压渣爆破取得理想效果的重要因素。入射应力波给予爆破岩体的总动量等于折射应力波给予渣堆的总动量,导出的压渣厚度计算公式为:

$$B = \frac{W_d}{2} \left( 1 + \frac{\rho_2 C_2}{\rho_1 C_1} \right) = \frac{W_d}{2} \left( 1 + K \frac{C_2}{C_1} \right) \quad (1)$$

式中  $B$  为压渣厚度, m;  $W_d$  为底盘抵抗线, m;  $K$  为渣堆

松散系数;  $\rho_1$  为岩石密度,  $t/m^3$ ;  $\rho_2$  为渣堆密度,  $t/m^3$ ;  $C_1$  为岩体内弹性波波速, m/s;  $C_2$  为渣堆内弹性波波速, m/s。

由矿体岩石物理力学性质可得:  $W_d = 5$  m,  $C_1 = 4200$  m/s,  $C_2 = 3300$  m/s,  $K = 1.1\sim 1.26$ , 由式(1)计算得到压渣厚度  $B = 5.2\sim 5.6$  m。

#### 3.2 模拟分析

为了减少后期试验次数,同时确定合理的压渣爆破厚度,选取压渣厚度分别为 5 m 和 7 m 进行塑性应变分析,结果如图 3 所示。

由图 3 可知,压渣厚度 5 m 的模型岩石最终塑性应变比压渣厚度 7 m 模型塑性应变大,即压渣厚度 5 m 的爆破效果较好。

### 4 现场试验

现场台阶高度 12 m、台阶面坡角  $75^\circ$ , 采用倾斜钻孔, 钻孔角度  $75^\circ$ , 钻孔直径 165 mm, 布孔方式为梅花形, 布置 4 排共 29 个炮孔, 孔网参数为  $A \times W = 5$  m  $\times$  4 m, 第 1 排炮孔数 10 个, 第 2、3、4 排炮孔数分别为 7、7、5 个。

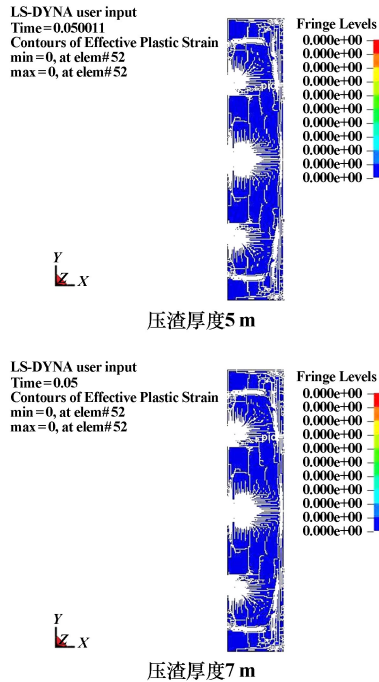


图3 不同压渣厚度模型塑性应变图

炮孔超深 2 m, 填塞长度 4.5~5.0 m。采用连续装药结构, 炮孔全长均装乳化炸药, 采用逐孔起爆方式起爆, 根据模拟推荐压渣厚度为 5 m。在爆破现场北侧安全区内观察, 台阶起爆之后较快落下, 爆破过程中后排存在冲孔现象, 灰尘较大, 炸药的能量利用率高。爆破后现场查看, 发现爆堆表面较为破碎; 爆堆较其他生产爆堆高; 后排存在拉裂现象, 前排零星分布少量大块, 最终统计平均大块率为 6.9%。证实爆破参数合理。

## 5 结 论

1) 根据数值模拟结果, 在与当前矿岩条件相似的情况下, 推荐深孔台阶爆破参数为: 孔间距 5 m、抵抗线 4 m。

2) 通过理论计算结合数值分析, 确定压渣厚度 5 m

较为理想, 可达到良好的爆破效果。

3) 现场工业试验结果表明, 采用本文推荐的相关参数, 矿石块度均匀, 平均大块率为 6.9%。

4) 受岩性及爆破振动等因素的影响, 在后续生产过程中需不断调整优化爆破参数, 以确保较佳的爆破效果。

## 参考文献:

- [1] 杨超. 露天矿山台阶深孔爆破大块成因及解决措施[J]. 工程爆破, 2019, 25(6): 32-37.
- [2] 张世琛, 苟瑞君, 马震宇, 等. 露天深孔台阶爆破参数优化设计[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 166-171.
- [3] 戴林, 李思维. 黑山露天矿爆破参数优化数值模拟研究[J]. 爆破, 2021, 38(4): 101-107.
- [4] 常建平, 张鹏飞, 段军, 等. 高台阶孔内微差爆破参数的确定与爆破效果分析[J]. 金属矿山, 2020(12): 81-87.
- [5] 杨懿全, 许永权, 郭其林, 等. 刚果(金)某铜钴矿露天台阶爆破参数优化研究[J]. 矿业研究与开发, 2019, 39(4): 69-72.
- [6] 保天才, 罗非非, 朱根华. 大孔径高台阶爆破技术在高海拔露天矿山的应用[J]. 有色金属(矿山部分), 2018, 70(5): 70-73.
- [7] 黄尘, 李江腾, 赵远, 等. 基于 PFC<sup>2D</sup> 的冬瓜山铜矿爆破参数优化[J]. 矿冶工程, 2022, 42(1): 1-4.
- [8] 罗红. 中深孔高台阶爆破在某露天铁矿开采中的应用[J]. 采矿技术, 2018, 18(3): 1-3.
- [9] 陈清运, 余少平, 彭静波, 等. 金鼎钨钼矿露天台阶深孔爆破参数优化[J]. 爆破, 2018, 35(1): 75-79.
- [10] 贾晓敏. 爆破振动作用下台阶边坡的动力响应及稳定性分析[J]. 矿冶工程, 2018, 38(3): 35-39.
- [11] 文兴, 赵亮, 郭晓强. 爆破振动在充填体中的传播规律研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(5): 32-35.
- [12] 汪高龙, 王潇, 李跟, 等. 复杂环境爆破参数优化及控制技术[J]. 工程爆破, 2020, 26(4): 48-52.
- [13] 张袁娟, 孔德增. 不同岩性对爆破振动效应影响研究[J]. 矿冶工程, 2019, 39(5): 6-8.

引用本文: 崔年生, 楼晓明. 露天矿山深孔台阶压渣爆破参数优化研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(4): 44-47.

(上接第 43 页)

- [8] 李桂臣, 张农, 曹鹏, 等. 含软弱夹层顶板巷道安全状况可拓评价模型[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(1): 24-30.
- [9] 丁文智, 史秀志, 石勇. 基于改进未确知测度的充填管道磨损风险性评价模型[J]. 矿冶工程, 2022, 42(1): 10-14.
- [10] WANG Sheng, LI Liping, CHENG Shuai, et al. Risk assessment of water inrush in tunnels based on attribute interval recognition theory[J]. Journal of Central South University, 2020, 27(1): 517-530.
- [11] 石勇, 史秀志. 基于未确知测度的岩体稳定性多元联系度评价模型[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(11): 125-130.
- [12] 柯丽华, 黄畅畅, 李全明, 等. 尾矿库安全态势分析及其敏感因素研究[J]. 金属矿山, 2021(11): 165-172.

- [13] 严雅静, 顾水杰, 于祥, 等. 基于未确知测度理论的巷道围岩稳定性研究[J]. 金属矿山, 2019(11): 20-26.
- [14] YANG Shan, XU Zitong, SU Kaijun. Variable Weight Matter-Element Extension Model for the Stability Classification of Slope Rock Mass[J]. Mathematics, 2021, 9(21): 2807.
- [15] 陈雪锋, 苗永春, 陈文涛, 等. 基于模糊集对分析法的底板突水危险性评价研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(2): 218-223.

引用本文: 任家苇, 左宇军, 林健云, 等. 基于改进未确知测度的含软弱夹层巷道围岩稳定性评价[J]. 矿冶工程, 2023, 43(4): 39-43.