

## Optimization Control Analysis of Mine Bench Blasting Parameters Based on KUZ-RAM Model

Zechao HU<sup>1</sup> Qingwei BU<sup>2</sup>

1. Sichuan Yahua Industrial Group Co., Ltd., Ya'an, Sichuan, 625000

2. College of Mining and Coal, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia, 014010

### Abstract

The optimization of design parameters of mine bench blasting is very important for the technical and economic benefits of mining mineral resources. In view of this practical problem, this paper takes Shibao Iron Mine step blasting as the engineering background, and carries out optimization analysis through field engineering practice and blasting technology theory. Based on the KUZ-RAM model to optimize the design parameters of the step blasting, the paper proposes the "optimal adjustment of the blasthole diameter and the charge structure, the 'wide hole narrow row' hole pattern, and at the same time coordinate and match other blasting parameters" step blasting parameters optimization strategy, and then guide Engineering practice to improve the technical and economic effects of mining.

### Key Words

Mine Bench Blasting, Blasting Parameter Optimization, KUZ-RAM Mode, Blasting Effect Analysis

DOI:10.18686/jzsggl.v1i4.343

## 基于 KUZ-RAM 模型的矿山台阶爆破参数优化控制分析

胡泽超<sup>1</sup> 卜庆为<sup>2</sup>

1.四川雅化实业集团股份有限公司, 四川雅安, 625000

2.内蒙古科技大学 矿业与煤炭学院, 内蒙古包头, 014010

### 摘要

矿山台阶爆破设计参数优化对矿产资源开采的技术经济效益影响至关重要, 针对这一现实问题, 本文以石宝铁矿台阶爆破为工程背景, 通过现场爆破工程实践、爆破技术理论展开优化分析, 基于 KUZ-RAM 模型优化台阶爆破设计参数, 提出了“适当调整炮孔直径和装药结构, ‘宽孔窄排’布孔方式, 同时协调匹配其他爆破参数”的台阶爆破参数优化对策, 进而指导工程实践以提高矿山开采的技术经济效果。

### 关键词

矿山台阶爆破; 爆破参数优化; KUZ-RAM 模型; 爆破效果分析

### 1. 引言

矿山台阶爆破技术是矿产资源开采利用普遍采用的凿岩开采技术<sup>[1-4]</sup>, 其爆破参数设计对矿山开采的技术经济效果影响显著和成本管理关系紧密, 当今矿山台阶爆破技术优化受到广大工程技术人员及其相关企业高度重视<sup>[5-8]</sup>。为此, 针对矿山台阶爆破设计参数

优化的现实问题, 本文从现场矿山台阶爆破工程实践、爆破技术理论优化的角度出发, 以石宝铁矿台阶爆破为工程背景, 分析矿山台阶爆破设计参数优化对策, 进而指导工程实践以提高矿山开采台阶爆破技术经济效果。

### 2. 石宝铁矿台阶爆破工程概况

石宝铁矿位于内蒙古自治区包头市达茂联合旗石宝乡境内, 海拔标高一般在 1650 m~1655 m, 石宝铁矿共

形成了两个相互独立的露天采场；设计 1620 m 标高以上台阶高度为 10 m, 1620 m 标高以下台阶高度为 12 m。矿山生产过程中，边坡岩石组合与分布如表 1 所示，石

宝铁矿矿石硬度系数  $f$  值位于 8~16 之间，岩石硬度系数  $f$  值位于 6~10 之间，岩矿石整体稳固性较好，局部片岩及砂岩抗压抗剪强度较小且稳固性较差，上部局部岩石风化严重，节理较发育。深孔爆破采用铵油炸药及乳化炸药，孔间微差爆破，非电网路起爆。

表 1 边坡岩石赋存条件

岩段	结构构造	矿物成分	分布
下角闪岩 (Pt15-1)	鳞片、纤状变晶结构，片理不甚发育，具块状构造	以角闪石为主，次卫量黑云母，含少量磁铁矿及石榴子石	矿体底板围岩。分布在西采区东、西及北帮和中、东采区北帮
磁铁石英岩 (Pt15-2)	花岗变晶结构，矿物定向排列明显，具条带构造。	以石英为主，次卫磁铁矿 主要矿物卫透闪	含矿层。采场局部岩体中分布
片岩 (Pt15-5)	花岗、纤状、鳞片变晶结构，矿物定向排列明显，具片状构造。	石、黑云母、石英，次为石榴子石，含少量磁铁矿。	矿体顶板围岩。分布在西采区及中、东采区南帮。
中角闪岩 (Pt15-4)	鳞片、纤状变晶结构，片理不甚发育，具块状构造。	以角闪石为主，次为量黑云母。	分布在西采区及中、东采区南帮。

根据已掌握的爆区现场工程概况，并根据现场爆破工程试验反馈情况来看，石宝铁矿台阶岩石介质硬度高且节理较发育，导致对爆破效果控制难度较大，当前采取微差孔径间微差爆破，尽管破碎块度较小且便于挖运，但爆破施工工作量偏高，作业时间长，台阶爆破单耗偏高，当前现场需要一种可以在满足矿山挖运要求的前提下能够提高爆破作业效率和技术经济效果的爆破设计对策，以适应当今的矿山爆破工程技术经济发展要求。

### 3. 台阶爆破参数优化控制分析

#### 3.1 基于 KUZ-RAM 模型的台阶爆破参数计算

如图 1 所示，台阶爆破参数主要包括：台阶高度  $H$ 、炮孔长度  $L$ 、填塞长度  $h_0$ 、孔底超深  $h_1$ 、装药长度  $h_2$ 、炮孔直径  $\phi$ 、炮孔孔距  $a$ 、炮孔排距  $b$ 、单孔负担面积  $S$ 、最小抵抗线  $W$ 、炸药密度  $\rho$ 、炮孔装药系数  $q_2$ 、炮孔装药量  $Q$ 、炸药单耗  $q$ 。

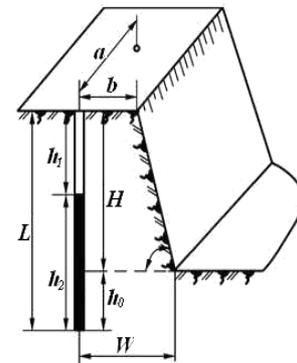


图 1 台阶爆破主要参数示意图

令：  $h_0 = c\phi$ ，  $h_1 = d\phi$ ；其中：  $c$ —填塞长度系数；  
 $d$ —超深长度系数；  $j$ —装药耦合系数。

于是，有：

$$L = H + h_1 = H + d\phi; \quad h_2 = j[L - h_0] = j[H - (c - d)\phi]$$

由相关台阶爆破工程理论<sup>[9-10]</sup>可知，台阶爆破的抵

抗线计算公式:  $W = \sqrt{2q_2} - 0.5$  (1)

由台阶爆破设计与施工的经验公式, 可知:  $b = rW$  和  $a = mb$ , 其中:  $r$ —炮孔排距经验系数, 一般取 0.6~0.7;  $m$ —炮孔孔距经验系数, 一般取 1.0~1.25。整理, 可知单孔负担面积:

$$S = ab = mr^2W^2$$
 (2)

台阶爆破炸药单耗:

$$q = \frac{Q}{SH} = \left[ \frac{\rho\pi\phi^2}{4} j [H - (c-d)\phi] \right] / \left[ mr^2 \left( \sqrt{2 \frac{\rho\pi\phi^2}{4}} - 0.5 \right)^2 H \right]$$
 (3)

应用 KUZ-RAM 模型<sup>[9-10]</sup>进行爆破效果评价与爆破参数优化设计, 描述爆破破碎情况的 RAM 曲线方程, 即:

$$R = e^{-\left(\frac{x_m}{x_e}\right)^n} \times 100\%$$
 (4)

式中:

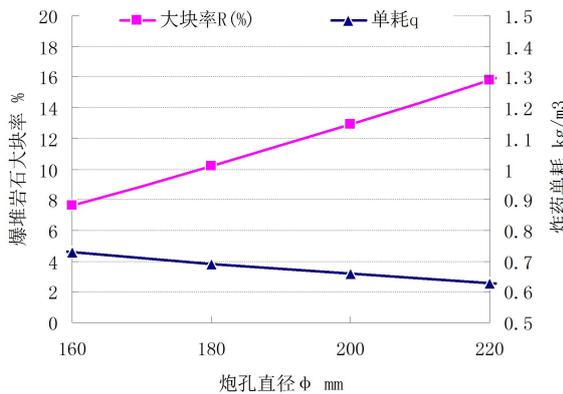


图2 炮孔直径对爆堆岩石大块率及炸药单耗的影响

基于 KUZ-RAM 模型的台阶爆破参数计算爆堆大块率和单耗变化, 如图 2~3 所示, 炮孔直径增加, 相应的也提高了炮孔的负担面积, 提高了单孔的装药量和对岩石破碎做功机械能, 同时增加炮孔直径可以减小钻孔数目, 进而总体上降低炸药单耗; 炮孔装药耦合系数越高, 说明炮孔装药越充足, 爆堆岩石大块率必然显著降低, 但主要影响是炸药单耗增加明显且爆破成本增加, 所以, 通过调整炮孔直径和耦合装药系数能够降低炸药单耗进而降低台阶爆破技术经济成本, 但总体炸药量的

$$n = 1.1 \left[ \left( 2.2 - \frac{14W}{\phi} \right) \left( 1 - \frac{\Delta W}{W} \right) \left( 1 + \frac{a/b-1}{2} \right) \left( \frac{h_2}{H} \right) \right];$$
 钻孔

精度  $\Delta W = 0.03H$ ;  $x_m$ —爆堆块度的允许最大尺寸;

$\bar{x}$ —平均块度, 由 KUZ 经验方程得:

$$\bar{x} = Kq^{-0.8} Q^{\frac{1}{6}} \left( \frac{115}{E} \right)^{\frac{19}{30}}; \quad x_e = \frac{\bar{x}}{0.693^n}$$

### 3.2 台阶爆破参数对爆破效果影响的算例分析

结合台阶爆破工程概况及其以往的爆破设计方案, 初始假设爆破设计参数如下: 台阶高度  $H=10$  m、炮孔直径  $\phi=160$  mm、填塞长度系数  $c=25$ 、孔底超深系数  $d=12$ 、炮孔排距经验系数  $r=0.67$ 、炮孔孔距经验系数  $m=1.15$ 、炸药密度  $\rho=1250$  kg/m<sup>3</sup>。通过上文理论计算进行台阶爆破效果影响算例分析, 为台阶爆破参数优化对策分析提供理论依据。

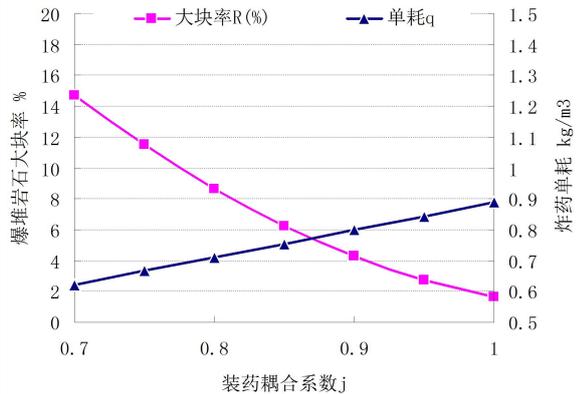


图3 装药耦合系数对爆堆岩石大块率及炸药单耗的影响

降低必然导致爆堆岩石大块率增加, 因此还需要将二者与其他爆破参数进行“协调”匹配, 在保证爆堆岩石大块率可接受范围内调整优化炮孔直径和耦合装药系数。

如图 4~5 所示, 炮孔填塞长度系数增加, 炸药单耗可以降低明显, 并保证炮孔浅部避免飞石和冲炮损害, 但导致对岩石破碎做功机械能不足, 爆堆岩石大块率明显增加; 炮孔超深系数越高, 不仅可以避免孔底水平高于正常台阶水平, 同时超深长度越大则炮孔装药量越多, 爆堆岩石大块率必然显著降低, 但炸药单耗有所增

加,提高了爆破成本;在进行台阶爆破设计时对于炮孔填塞长度系数调整需要结合炮孔直径、炮孔装药耦合系数、单孔药量等因此综合考虑,合理选择炮孔直径,并

同时确定合理的填塞长度系数,然后调整炮孔超深系数并协同调整装药耦合系数,以保证爆破方案的爆后效果不受台阶高度变化影响,合理控制平均块度尺寸和降低炸药单耗。

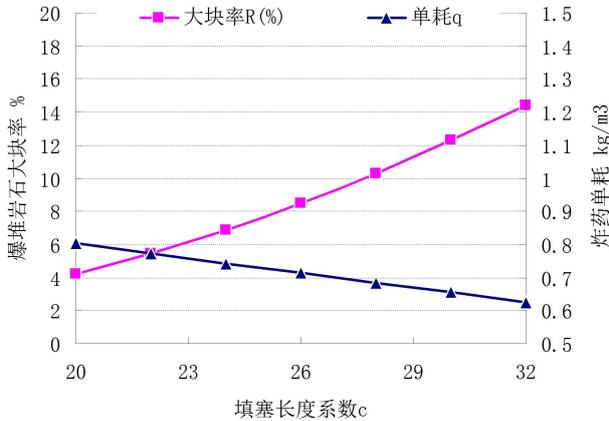


图4 填塞长度系数对爆堆岩石大块率及炸药单耗的影响

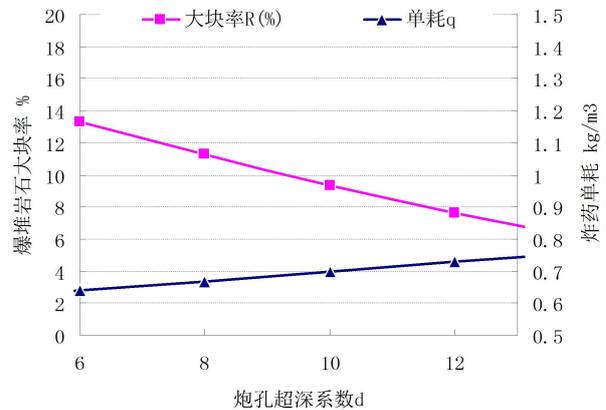


图5 炮孔超深系数对爆堆岩石大块率及炸药单耗的影响

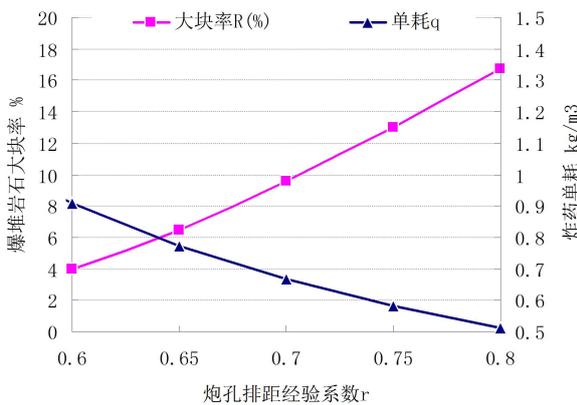


图6 炮孔排距经验系数对爆堆岩石大块率及炸药单耗的影响

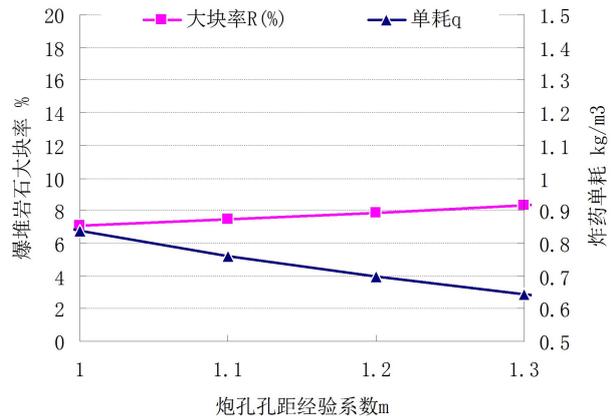


图7 炮孔孔距经验系数对爆堆岩石大块率及炸药单耗的影响

如图6~7所示,炮孔排距经验系数和炮孔孔距经验系数的增加,都导致爆堆岩石大块率的增加,但可以降低炸药单耗,其中炮孔排距经验系数对爆堆岩石大块率的增加和炸药单耗的降低尤为明显,而炮孔孔距经验系数对爆堆岩石大块率的增加不明显,仅是炸药单耗的降低相对明显,因此可以通过相对显著增加炮孔孔距经验系数,以及协同调整炮孔排距经验系数,即“宽孔窄排”的布孔方式对实现爆破效果优化是正确和有效的。

#### 4. 台阶爆破效果控制对策探讨及参数优化措施分析

结合揭示爆破各参数调整对台阶爆破破碎效果影响变化的特征,进而为台阶爆破参数优化分析,提出台阶爆破参数优化对策,即:适当调整炮孔直径和装药结构,“宽孔窄排”布孔方式,并“协调”匹配其他爆破参数的台阶爆破参数优化。具体台阶爆破参数优化措施如下:当前工程条件下的台阶高度普遍为10m~14m, H=10

m; 炮孔直径 $\phi=160$  mm 调整为 180 mm; 堵塞长度系数  $c=25$ 、孔底超深系数  $d=12$  应调整为 13.4; 炮孔排距经验系数  $r=0.67$  调整为 0.642、炮孔孔距经验系数  $m=1.15$  调整为 1.36; 炸药密度 $\rho=1250$  kg/m<sup>3</sup>、装药耦合系数  $j=0.82$  调整为 0.8; 根据调整前和调整后的爆破参数, 分别代入 KUZ-RAM 模型计算爆堆岩石大块率  $R$  和及炸药单耗  $q$ , 计算爆堆岩石大块率变化率  $s_R$  和炸药单耗

变化率  $s_q$ 。

调整前, 台阶爆破炸药单耗,

$$q = \frac{Q}{SH} = \frac{163}{22.4 \times 10} = 0.728 \text{ kg/m}^3$$

通过 KUZ-RAM 模型计算平均块度:

$$\bar{x} = Kq^{-0.8} Q^{\frac{1}{6}} \left( \frac{115}{E} \right)^{\frac{19}{30}} = 10 \times 0.728^{-0.8} \times 163^{\frac{1}{6}} \times \left( \frac{115}{100} \right)^{\frac{19}{30}} = 32.92 \text{ m}$$

$$n = 1.1 \left[ \left( 2.2 - \frac{14W}{\phi} \right) \left( 1 - \frac{\Delta W}{W} \right) \left( 1 + \frac{a/b-1}{2} \right) \left( \frac{h_2}{H} \right) \right] = 1.1 \times \left[ \left( 2.2 - \frac{14 \times 6.59}{0.16} \right) \left( 1 - \frac{0.3}{6.59} \right) \left( 1 + \frac{1.15-1}{2} \right) \left( \frac{6.494}{10} \right) \right] = 1.3$$

$$x_e = \frac{32.92}{0.693^{\frac{1}{1.3}}} = 44 \text{ cm}; \text{取爆堆块度的允许最大尺寸,}$$

$$x_m = 100 \text{ cm}$$

计算爆堆岩石大块率为:

$$R = e^{-\left(\frac{x_m}{x_e}\right)^n} \times 100\% = e^{-\left(\frac{100}{44}\right)^{1.3}} \times 100\% = 5.33\%$$

调整后, 台阶爆破炸药单耗,

$$q = \frac{Q}{SH} = \frac{201}{31.3 \times 10} = 0.653 \text{ kg/m}^3$$

通过 KUZ-RAM 模型计算平均块度:

$$\bar{x} = Kq^{-0.8} Q^{\frac{1}{6}} \left( \frac{115}{E} \right)^{\frac{19}{30}} = 10 \times 0.653^{-0.8} \times 201^{\frac{1}{6}} \times \left( \frac{115}{100} \right)^{\frac{19}{30}} = 37.657 \text{ m}$$

$$n = 1.1 \left[ \left( 2.2 - \frac{14W}{\phi} \right) \left( 1 - \frac{\Delta W}{W} \right) \left( 1 + \frac{a/b-1}{2} \right) \left( \frac{h_2}{H} \right) \right] = 1.1 \times \left[ \left( 2.2 - \frac{14 \times 7.476}{0.18} \right) \left( 1 - \frac{0.3}{7.476} \right) \left( 1 + \frac{1.36-1}{2} \right) \left( \frac{6.33}{10} \right) \right] = 1.41$$

$$x_e = \frac{37.657}{0.693^{\frac{1}{1.41}}} = 49 \text{ cm}; \text{取爆堆块度的允许最大尺寸:}$$

$$x_m = 100 \text{ cm}$$

计算爆堆岩石大块率为

$$R = e^{-\left(\frac{x_m}{x_e}\right)^n} \times 100\% = e^{-\left(\frac{100}{49}\right)^{1.41}} \times 100\% = 6.48\%$$

计算爆堆岩石大块率增大变化率  $s_R$  和炸药单耗降

低变化率  $s_q$  :

$$s_R = \left( \frac{R}{R_0} - 1 \right) \times 100\% = \left( \frac{6.48\%}{5.33\%} - 1 \right) \times 100\% = 21.6\%; \quad s_q = \left( 1 - \frac{q}{q_0} \right) \times 100\% = \left( 1 - \frac{0.653}{0.728} \right) \times 100\% = 10.3\%$$

## 5. 现场台阶爆破效果评价

根据所提出的台阶爆破参数优化对策调整台阶爆破参数 (台阶高度普遍  $H=10$  m; 炮孔直径 $\phi=180$  mm; 堵塞长度系数  $c=25$ 、孔底超深系数  $d=13.4$ ; 炮孔排距

经验系数  $r=0.642$ 、炮孔孔距经验系数  $m=1.36$ ; 炸药密度 $\rho=1250$  kg/m<sup>3</sup>、装药耦合系数  $j=0.8$ ) , 通过现场台阶爆破效果来看, 如图 8 所示, 现场爆堆岩石无明显大块, 结合装运情况反映得出: 所提出的台阶爆破参数优化对策调整台阶爆破参数调整的方法应用可靠, 当前炸

药单

耗降低 10.3%，由 0.728 kg/m<sup>3</sup> 将至 6.53kg/m<sup>3</sup> 且尚有优

化空间，但需要结合爆区现场所掌握的工程实际情况以及爆堆破碎装运的实际反应情况进行进一步精细优化。



图 8 调整后台阶爆破效果

## 6. 结论

(1) 基于 KUZ-RAM 模型的台阶爆破参数计算，提出适当调整炮孔直径和装药结构，“宽孔窄排”布孔方式，并协调匹配其他爆破参数的台阶爆破参数优化对策。

(2) 通过工程反馈爆破效果看：可以有效控制并提高爆破作业效率和技术经济效果，但需要结合爆区现场所掌握的工程实际情况以及爆堆破碎装运的实际反应情况进行进一步精细优化。

## 参考文献

[1]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(05):70-73.  
[2]黄刚,周文涛,张建华,等.东沟钼矿露天台阶爆破参数优化研究[J].金属矿山,2018(08):1-6.

[3]张强,许梦国,程爱平,等.程潮铁矿采场生产成本的爆破参数优化[J].爆破,2017,34(01):61-66.  
[4]邢光武,郑炳旭.采石场爆破块度分区及块度预测研究[J].地下空间与工程学报,2009,5(06):1258-1261.  
[5]李战军,郑炳旭.台阶爆破效果预测方法及其应用[J].有色金属(矿山部分),2009,61(01):50-52+55.  
[6]吴新霞,彭朝辉,等.Kuz-Ram 模型在堆石坝级配料开采爆破中的应用[J].长江科学院院报,1998(04):40-42+46.  
[7]王凯,张智宇,高腾飞.某露天采场深孔台阶爆破空气间隔装药的应用[J].爆破,2018,35(01):80-85.  
[8]周先平,李彦坡,等.岩体爆破块度控制技术新进展[J].水利水电技术,2018,49(S1):7-13.  
[9]王德胜,龚敏.露天矿山台阶中深孔爆破开采技术[M].北京:冶金工业出版社,2007.  
[10]郑炳旭,王永庆,李萍丰.建设工程台阶爆破[M].北京:冶金工业出版社,2005.