

Impact Analysis on the Control Effect of Blasting Lump Size by Bench Blasting Parameters in Mines

Zechao HU¹ Qingwei BU²

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

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

Abstract

The purpose of fine optimization of bench blasting parameters in mines is to realize that the bench blasting effect meets the requirements of loading and the engineering economic benefits are optimal. This paper applies the theory of bench blasting, taking the bench blasting of ShiBao Iron Mine as the engineering background, the effect of fragmentation distribution in bench blasting and its control measures are analyzed and discussed, it is concluded that: by matching the hole diameter, ultra-deep length, filling length and coupling charge with the step height reasonably, then the idea of optimization of bench blasting parameters based on KUZ-RAM model is applied, and good bench blasting effect can be achieved, the feedback effect is good through engineering practice. It provides meaningful engineering practice reference for optimization of bench blasting in mines.

Key Words

Mine Bench Blasting, Blasting Parameter Optimization, Blasting Lump Size, Influencing Factors of Blasting Parameters

DOI:10.18686/mkaqhb.v1i2.595

矿山台阶爆破参数对爆堆块度控制效果的影响分析

胡泽超¹ 卜庆为²

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

矿山台阶爆破参数精细优化目的是实现台阶爆破效果符合装运要求且工程经济效益最优。为此, 本文运用台阶爆破相关理论, 以石宝铁矿台阶爆破为工程背景, 对台阶爆破爆堆块度分布效果及其控制对策进行分析和探讨, 分析得出: 通过将炮孔直径、超深长度、填塞长度和耦合装药情况与台阶高度的合理匹配, 进而运用 KUZ-RAM 模型的台阶爆破参数优化思路, 可以取得良好的台阶爆破效果, 通过工程实践反馈效果良好, 为矿山台阶爆破优化提供有意义的工程实践参考依据。

关键词

矿山台阶爆破; 爆破参数优化; 爆堆块度; 爆参影响因素

1. 引言

台阶爆破合理爆堆块度既可以符合矿山设备装运的要求, 又可以达到最优的台阶爆破工程技术经济效果^[1~5]。因此, 爆堆块度是评价矿山台阶爆破效果好坏的重要综合指标, 但该指标受到爆破区域地质条件、爆破方案设计参数、炸药性能和施工工艺等诸多方面影响

^[6~9]。为此, 本文运用相关台阶爆破理论, 结合石宝铁矿台阶爆破工程设计与施工, 从爆破区域地质条件、爆破方案设计参数两方面对台阶爆破爆堆块度分布效果及其控制对策进行分析和探讨, 进而提出对有效的矿山台阶爆破工程爆堆块度控制对策, 为矿山台阶爆破工程技术经济效果提高提供有意义的工程实践参考依据。

2. 台阶爆破工程主要参数构成

如图 1 所示, 以石宝铁矿台阶爆破为工程背景, 如图 2 所示, 台阶爆破工程主要参数构成包括有: ①爆破区域地质条件参数 (台阶高度 H 、坡面角 α 、介质可爆性系数 K); ②布孔设计参数 (炮孔排距 a 和 b 、最小抵抗线 W 、单孔负担面积 S); ③炮孔装药结构设计



图 1 现场矿山台阶爆破图

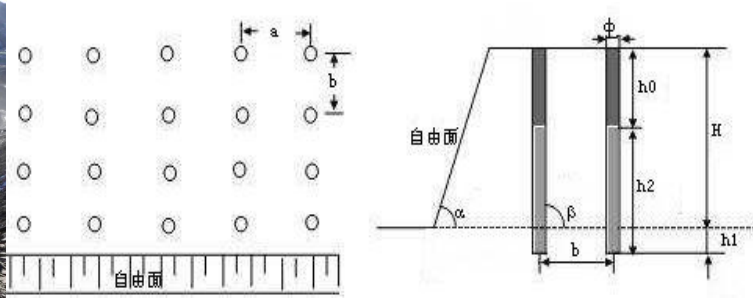


图 2 台阶爆破参数构成示意图

对以上关联参数进行整合求解, 装药结构参数方面通过相关系数得:

$$h_0 = c\phi;$$

$$h_1 = d\phi;$$

$$L = H + h_1 = H + d\phi;$$

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

$$q_2 = \frac{\rho\pi\phi^2}{4}$$

由相关台阶爆破工程理论^[8-9]可知, 台阶爆破的最小抵抗线计算公式: $w = \sqrt{2q_2} - 0.5$

由台阶爆破设计与施工的经验公式^[8-9], 可知: $b = rW$; $a = mb = mrW$ (根据工程经验, r 一般取 0.6~0.7, m 一般取 1.0~1.25), 整理得:

单孔负担面积 $S = ab = mr^2W^2$; 单孔装药量

$$Q = q_2 h_2 = \frac{\rho\pi\phi^2}{4} j [H - (c - d)\phi]$$

于是, 台阶爆破炸药单耗可求解为:

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

台阶爆破工程设计中, 地质条件和炸药参数往往不能依据工程情况进行微调, 所以通过调整炮孔直径 ϕ 、填塞长度系数 c 、超深长度系数 d 、炮孔排距系数 r 等进而实现对台阶爆破的爆堆效果控制; 调整台阶爆破工

参数 (炮孔直径 ϕ 、孔底超深 h_1 、填塞长度 h_0 、装药长度 h_2 、炮孔长度 L 、单孔装药量 Q 、炸药单耗 q); ④使用主炸药参数 (炸药密度 ρ , 相对威力 E); 其它设计参数 (为便于台阶爆破参数设计, 取 c 为填塞长度系数; d 为超深长度系数; j 为装药耦合系数; q_2 为炮孔装药系数、 r 为炮孔排距系数、 m 为炮孔距系数)。

程设计参数不仅需要考虑符合矿山设备装运的要求, 同时还要最求最优的台阶爆破工程技术经济效果。工程实践中一般认为: 通过增加单孔装药量, 减小孔排距布置进而实现对台阶爆破爆堆大块率效果改善, 但过于盲目最求爆破效果将导致施工成本增加, 工程效益降低, 如何合理优化爆破参数以获得符合要求的台阶爆破爆堆大块率仍需要进一步分析。

3. 台阶爆破参数对爆堆块度分布的影响分析

为了能够反映出台阶爆破参数对爆堆块度控制效果的影响, 本文应用 KUZ-RAM 模型^[8-9]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:

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

式中: $n = 1.1 \left[\left(2.2 - \frac{14W}{\phi} \right) \left(1 - \frac{\Delta W}{W} \right) \left(1 + \frac{a/b-1}{2} \right) \left(\frac{h_2}{H} \right) \right]$; x_m — 爆堆块度的允许最大尺寸大块; 钻孔精度 $\Delta W = 0.03H$;

\bar{x} — 平均块度, 由 KUZ 方程给出经验方程

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

— 岩石系数; E — 炸药的相对重量威力, 铵油炸药取为 100, TNT 取为 115。

将上面的单孔炸药量和单耗方程代入 KUZ 经验方程，得平均块度 \bar{x} 表达式：

$$\bar{x} = K \left(m r^2 \left(\sqrt{2 \frac{\rho \pi \phi^2}{4}} - 0.5 \right)^2 \right)^{\frac{4}{5}} \left(\frac{\rho \pi \phi^2}{4} \right)^{-\frac{19}{30}} \left(\frac{11.5}{E} \right)^{\frac{19}{30}} H^{\frac{4}{5}} (j[H - (c - d)\phi])^{-\frac{19}{30}}$$

$$\text{同时, } n = 1.1 \left[\frac{14 \left(\sqrt{2 \frac{\rho \pi \phi^2}{4}} - 0.5 \right)}{2.2 - \phi} \right] \left[1 - \frac{0.03H}{\left(\sqrt{2 \frac{\rho \pi \phi^2}{4}} - 0.5 \right)} \right] \left(1 + \frac{m-1}{2} \right) \left(\frac{j[H - (c-d)\phi]}{H} \right)$$

对平均块度 \bar{x} 表达式做 H 自变量求导，得平均块度的最小极值关系特征方程：

$$\left(H^{\frac{4}{5}} (j[H - (c-d)\phi])^{-\frac{19}{30}} \right)' = \frac{4}{5} H^{-\frac{1}{5}} (j[H - (c-d)\phi])^{-\frac{19}{30}} - \frac{19}{30} H^{\frac{4}{5}} j (j[H - (c-d)\phi])^{-\frac{49}{30}} \geq 0$$

通过对 KUZ-RAM 模型的推导分析台阶爆破参数对爆堆块度控制效果的影响分析来看，炮孔排距减小则降低单孔负担面积 S，进而提高破碎效果但导致单耗增加；炮孔直径、孔底超深、装药长度的增加，则是通过增加单孔装药量而提高破碎效果，但仍会导致单耗增加，而填塞长度和不耦合装药则可以降低单耗，但牺牲了爆破破碎效果；但从平均块度的最小极值关系特征方

程分析，则发现：平均块度 \bar{x} 与台阶高度、孔径、超深、填塞长度、装药耦合系数等爆破参数之间存在联系，所有参数中仅台阶高度 H 的变化呈非线性且在平均块度 \bar{x} 影响上存在拐点（最小极值点），如图 3（a）所示；而且对于一个已确定爆破方案，其对应的爆堆大块率 R 在某一台阶高度以上将会不受台阶高度影响或影响很小，如图 3（b）所示。

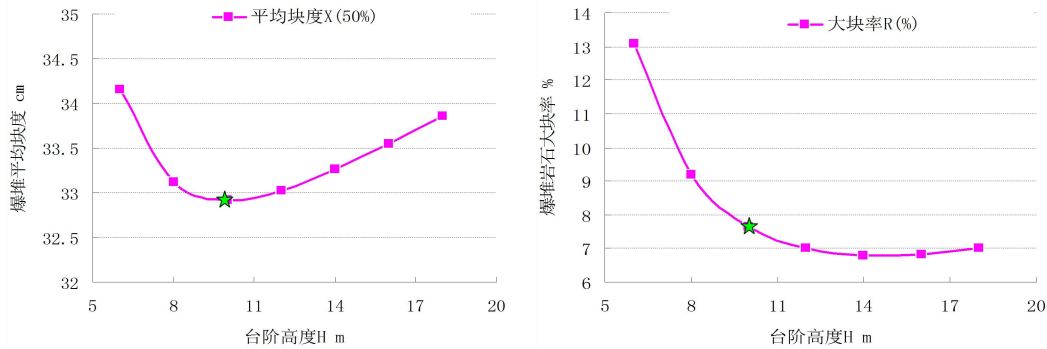


图 3 不同台阶高度条件下爆后岩石破碎大块率 R 及平均块度变化情况

这就说明：在已知台阶高度的变化情况的前提下，根据如上公式首先设定合理匹配台阶高度的孔径、超深、填塞长度，就可以有助于保证后续台阶高度变化增加对爆后岩石破碎大块率的影响降到最低，进而有利于爆破效果稳定和设计参数的进一步微调精细优化。基于该思路这就可以避免盲目的台阶爆破效果的不合理优化，进一步指导合理优化爆破参数以获得符合要求的台阶爆破效果和兼顾台阶爆破工程技术经济效果。

4.考虑爆堆块度控制的台阶爆破方案设计思路探讨

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“优先结合台阶高度匹配装药结构，进而设计布孔参数，结合 KUZ-RAM 模型计算爆堆大块率 R 及炸药单耗 q”的台阶爆破参数优化思路。具体思路如下：

① 根据当前矿区台阶爆破工程条件确定岩石系数 K、台阶高度 H、主炸药密度 ρ 及其相对重量威力 E（铵油取 E=100）；

② 首先根据平均块度最小极值关系特征方程，以爆区普遍台阶的最小高度 H 为“稳定临界值”，代入平均块度的极值关系特征方程，进而协调设计合理匹配台阶

高度的孔径 ϕ 、超深长度系数 d 、填塞长度系数 c ;

③选取爆堆装运所允许的块度最大尺寸为 x_m 代入, 同时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增大变化率 s_R 和炸药单耗降低变化率 s_q ;

④选择合适的布孔方式, 合理考虑并利用炮孔对岩石爆破效果的有效负担面积, 进而设计炮孔孔距系数 m 、炮孔排距系数 r ;

⑤通过现场工程爆破进行验证爆破效果, 根据反馈效果调整炮孔直径 ϕ 、超深长度系数 d 、填塞长度系数 c 、炮孔孔距系数 m 、炮孔排距系数 r , 进而重新优化爆破设计方案。

5. 矿山台阶爆破参数设计与现场效果反馈评价

对石宝铁矿西坑 1640 台阶爆破进行优化设计, 当前爆区的台阶高度 $H=10.7\text{ m}$, 拟采取炮孔直径 $\phi=180\text{ mm}$, 填塞长度系数 $c=25$, 孔底超深系数 $d=13.4$, 炮孔排距系数 $r=0.66$, 炮孔孔距系数 $m=1.2$, 炸药密度 $\rho=1250$

kg/m^3 , 采取不耦合装药; 根据调整前和调整后的爆破参数, 分别代入爆堆级配 KUZ-RAM 数学模型计算爆堆岩石大块率 R 和及炸药单耗 q 。

$$h_0 = c\phi = 25 \times 0.18 = 4.5\text{ m}$$

$$h_1 = d\phi = 13.4 \times 0.18 = 2.4\text{ m}$$

$$h_2 = j[L - h_0] = 0.8 \times [12.4 - 4.5] = 6.33\text{ m}$$

$$L = H + h_1 = 10 + 2.412 = 12.4\text{ m};$$

最小抵抗线,

$$W = \sqrt{2q_2} - 0.5 = \sqrt{2 \frac{\rho \pi \phi^2}{4}} - 0.5 = \sqrt{2 \times \frac{1250 \times 3.14159 \times 0.18^2}{4}} - 0.5 = 7.476\text{ m}$$

炮孔排距, $b = rW = 0.66 \times 7.47 = 4.9\text{ m}$,

$$a = mb = 1.2 \times 4.9 = 5.9\text{ m}$$

炮孔负担面积, 炮孔装药量:

$$S = ab = 4.9 \times 5.9 = 29.2\text{ m}^2, Q = q_2 h_2 = 31.81 \times 5.8 = 185\text{ kg}$$

台阶爆破炸药单耗, $q = \frac{Q}{SH} = \frac{185}{29.2 \times 10} = 0.6\text{ kg/m}^3$

通过爆堆级配 KUZ-RAM 数学模型计算平均块度:

$$\bar{x} = Kq^{-0.8} Q^{\frac{1}{6}} \left(\frac{115}{E} \right)^{\frac{19}{30}} = 8 \times 0.6^{-0.8} \times 185^{\frac{1}{6}} \times \left(\frac{115}{100} \right)^{\frac{19}{30}} = 31.72\text{ m}$$

$$\Delta W = 0.03H = 0.3\text{ m}$$

$$n = 1.1 \left[\left(2.2 - \frac{14W}{\phi} \right) \left(1 - \frac{\Delta W}{W} \right) \left(1 + \frac{a/b-1}{2} \right) \left(\frac{h_2}{H} \right) \right] = 1.1 \times \left[\left(2.2 - \frac{14 \times 7.476}{0.18} \right) \left(1 - \frac{0.3}{7.476} \right) \left(1 + \frac{1.2-1}{2} \right) \left(\frac{5.8}{10} \right) \right] = 1.12$$

于是, 得: $x_e = \frac{31.72}{0.6^{1.12}} = 44\text{ cm}$; 结合现场装运取允许

最大块度尺寸为: $x_m = 100\text{ cm}$

计算爆堆岩石大块率, 得:

$$R = e^{-\left(\frac{x_m}{x_e}\right)^n} \times 100\% = e^{-\left(\frac{100}{44}\right)^{1.12}} \times 100\% = 8.2\%$$

如图 4 所示, 现场工程爆破反馈爆堆效果来看, 现场爆堆岩石无明显大块, 台阶爆破整体岩石破碎块度分

布变化比较均衡, 并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, 当前该爆区的炸药单耗降低至 6 kg/m^3 。通过工业实践反馈效果来看, 台阶爆破效果符合要求且爆破单耗得以有效降低, 优先设计台阶高度匹配装药结构, 进而结合 KUZ-RAM 模型的台阶爆破参数优化思路是具有相对更好地工程效用。



图 4 台阶爆破效果及其装运情况

6. 结论

(1) 台阶爆破参数设计过程中, 通过炮孔直径、超深长度、填塞长度和耦合装药情况与台阶高度的合理匹配, 这有利于台阶爆破爆堆块度效果控制稳定和设计参数的进一步精细优化。

(2) 通过工业实践反馈效果来看, 台阶爆破效果符合要求且爆破单耗得以有效降低, 优先设计台阶高度匹配装药结构, 进而结合 KUZ-RAM 模型的台阶爆破参数优化思路是具有相对更好地工程效用。

参考文献

- [1] 王国标, 何维, 胡少华, 王福缘. 紫金山金铜矿露天采场爆破参数优化[J]. 现代矿业, 2018, 34(08): 80-85.
- [2] 胡涛, 王明君. 某露天矿爆破参数优化及块度预测[J]. 露天采矿技术, 2015(06): 39-42.
- [3] 黄志辉. 台阶爆破块度分布测定及其优化研究[D]. 华侨大学, 2005.
- [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] 冯春, 李世海, 郑炳旭, 等. 基于 CDEM 的露天矿三维台阶爆破全过程数值模拟[J]. 爆炸与冲击 2019(04): 1-12.
- [8] 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.
- [9] 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.