

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.03.010

利用延时爆破降低矿石贫化的应用研究

梁冰

(中铁十九局集团矿业投资有限公司,北京 100176)

摘要: 随着深度增加,乌努格吐山铜钼矿的矿体互侵性严重,矿体线位置不准确,导致矿岩混爆,使矿石损失贫化率加大,爆破参数对露天采矿过程中矿石损失与贫化有较大的影响。针对乌努格吐山铜钼矿现场爆破施工情况,利用标记物法监测爆破位移来选取合理的起爆位置,通过爆破后排延时时间实验确定延期时间,控制炮孔起爆时序,使爆区起爆过程中的瞬间自由面发生变化,进行了4次矿岩分离爆破试验,并开展了根底率及粗碎功耗统计对比分析。结果表明:爆破网路的最优方案为孔间9 ms、排间25 ms、后排65 ms、矿岩分离界线处100 ms延期间隔。该方案使矿岩两侧爆堆顶部距离矿岩分界线底部的垂直距离在2~3 m,实现了岩石运动方向的有效控制,基本实现了矿岩分离目的。研究结果对优化爆破参数、降低破碎成本、降低矿石损失与贫化具有重要意义。

关键词: 延时爆破;爆破参数优化;现场试验;效率评价

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2021)03-0058-04

Application Study on Reducing Ore Dilution by Delayed Blasting

LIANG Bing

(China Railway 19th Bureau Group Mining Investment Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: With the increase of depth, the ore body in Wunugetushan Cu-Mo Mine has serious interpenetration, and the position of ore body line is not accurate, which leads to the mixed explosion of ore and rock, and increases the ore loss and dilution rate. Blasting parameters have great influence on ore loss and dilution in open-pit mining. According to the on-site blasting construction situation of the Wunugetushan Cu-Mo mine, the marker method was used to monitor the blasting displacement to select a reasonable initiation position. The delay time was determined by the blasting delay time experiment, and the blasting sequence was controlled to change the instantaneous free surface in the process of blasting. Four separate blasting tests of ore and rock were carried out, and a comparative statistical analysis of blasting toes rate and the power consumption of the coarse crushing was carried out. The results show that the optimal blasting network design plan is 9 ms between holes, 25 ms between rows, 65 ms in the back row and 100 ms delayed interval at the separation boundary of ore and rock. The vertical distance between the top of the blasting pile on both sides of the ore and rock and the bottom of the boundary between the ore and rock is 2~3 m, which achieves the effective control of the movement direction of rock and realizes the purpose of the separation of ore and rock. The research results are of great significance for optimizing blasting parameters, reducing crushing costs, and reducing ore loss and dilution.

Key words: delay blasting; optimization of blasting parameters; field test; efficiency evaluation

收稿日期:2021-04-24

作者简介:梁冰(1976-),男,高级工程师、本科,主要从事工程安全管理, (E-mail) liang229@163.com。

矿石损失与贫化控制是伴随着露天开采始终的一个长期性研究难题,也是评价露天开采技术的重要因素之一^[1]。它体现矿山资源的高效利用效果,

还与矿山生产总体经济效益息息相关。利用延时爆破技术改善破碎效果是爆破技术进步的主要方向。目前在露天台阶爆破中,受到地质勘查和成矿条件的复杂性的影响,矿石和岩石的分界线很难清楚的划分,露天矿产资源开采始终伴随着损失贫化,对矿山企业的经济效益产生直接影响。因此,研究矿岩爆破分离技术,利用延时爆破技术控制并降低矿产损失率具有重要的经济价值。

合理的延时爆破能改善爆破效果、降低成本。因此,众多学者基于矿石破碎的延时爆破进行大量研究^[2-5]。如刘翔宇等对理论推导模型进行实验验证^[2],探究最佳延期控制时间;杨仁树等模拟了冲击荷载作用下复合岩体破坏过程及损伤演化规律^[3];Johansson 等研究了延时爆破冲击波相互作用造成对矿石更好破碎效果的影响^[4];赵凯等实现了包含毫秒延时爆破荷载输入和有限元-无限元耦合边界的地层-爆源体系三维精细化有限元模型^[5]。然而,利用延时爆破技术改善破碎效果是减少矿石损失和贫化有效手段。现在露天台阶爆破中,受到地质勘查和成矿条件的复杂性的影响,矿和岩的分界不容易清晰的划分,露天矿的开采从头到尾伴随着损失贫化,对矿山企业的回收利润产生严重影响^[6-10]。

以往矿石爆破块度优化研究中,对指导其露天爆破参数的选择有一定参考价值。然而,专门针对延时爆破降低矿石贫化的应用研究还鲜有报道。因此,以乌努格吐山铜铅矿岩分界现场施工项目为依托,通过现场试验、爆破参数优化、根底率及粗碎功耗统计对比,开展了不同延时爆破条件下矿石贫化试验研究,其研究结果对优化爆破参数、降低破碎成本及提高经济效益具有重要意义。

1 试验方案

1.1 试验矿区爆破工程概况

乌努格吐山铜铅矿区爆破形式为深孔爆破,台阶高度 15 m,采用潜孔钻机,平均钻孔深度 17 m,孔网参数 6 m×4.5 m,特殊区域为 5 m×4 m。采用梅花形布孔,起爆方式为逐孔起爆。该矿区矿岩分爆主要根据矿体预估矿体线位置设计穿孔位置,进行矿岩分别爆破。随着深度增加,矿体互侵性严重,矿体线位置不准确,导致矿岩混爆。混爆只能根据实际圈定矿岩品种进行现场放线,用以区分矿岩,便于铲装,造成矿岩的损失与贫化,使损失贫化率加大。

1.2 现场实验

基于经济性和实用性考虑,采用钢管作为标记物来对台阶内部的矿岩爆破位移进行监测^[9],钢管

直径 60 mm、壁厚 1 mm 及长度 80 cm。

在试验爆区不同位置加凿监测孔,每次爆破试验加凿 2~4 个监测孔,每个监测孔里放置 3 个标记物以监测台阶爆破内部矿岩爆破位移,标记物的埋设深度分别为 3.5 m(上部)、7.5 m(中部)和 12.5 m(底部),炮孔孔口堵塞处理设竹竿用以监测台阶爆破表面的矿岩爆破位移,如图 1 所示。

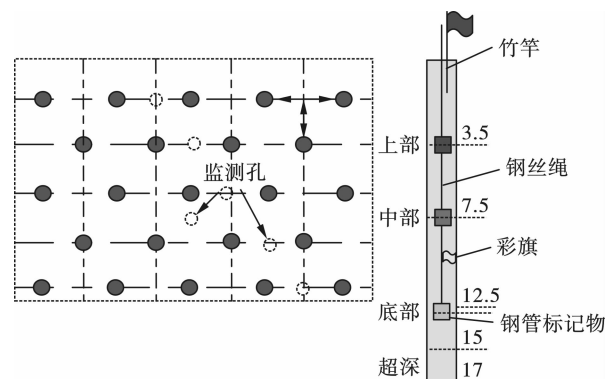


图1 矿岩移动标记物法监测方案(单位:m)

Fig.1 Monitoring scheme of mine and rock moving marker method(unit:m)

分别在 0828 爆区(孔间 17 ms、排间 42 ms、后排 65 ms、分离拉沟 100 ms 延期间隔)、0904 爆区(孔间 17 ms、排间 42 ms、后排 65 ms、分离拉沟 100 ms 延期间隔)、0921 爆区(孔间 9 ms、排间 25 ms、后排 65 ms 延期间隔)及 0925 爆区(孔间 9 ms、排间 42 ms、后排 65 ms 延期间隔)进行 4 次矿岩分离爆破试验。

2 结果与分析

2.1 爆破位移监测结果

表 1 给出了乌努格吐山露天矿台阶爆破平均爆破位移图。从表 1 中发现,第 4 排表面矿岩体平均爆破位移极小,几乎在原地不动,在爆破现场,第 4 排表面矿岩体有向炮孔后方移动的,这是由于沉降沟的原因,第 4 排表面矿岩体滚落,塌落在沉降沟处。

表 1 可得,在露天台阶爆破实践中,延长最后排炮孔的延期时间,第 4 排孔中上位置矿岩水平爆破移动一改逐排减小趋势,反而超过第 3 排相应位置达到 8.2 m,说明第 4 排向前运动趋势增大,为后排孔留下充足移动空间,有利于沉降沟的形成和减少爆破后冲破坏作用。

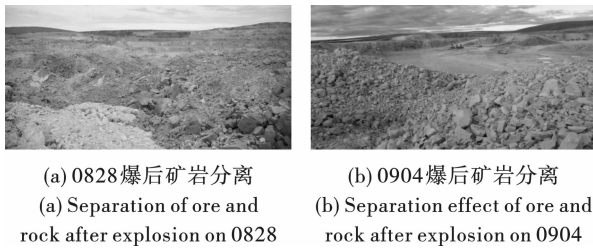
2.2 爆破网路设计实验结果

0828、0904 爆区均采用孔间 17 ms、排间 42 ms、后排 65 ms、分离拉沟 100 ms 延期间隔进行爆破。现场如图 2 所示,矿岩界线拉沟效果有所起伏,沟深 2~3 m。

表1 乌努格吐山露天矿台阶爆破矿岩爆破位移平均值(单位:m)

Table 1 Average blasting displacement of bench blasting ine in Wunugetushan open pit mine (unit: m)

位置	第1排		第2排		第3排		第4排		第5排	
	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直
表面	15.7	-8.3	10.6	-4.3	2.9	-0.01	0.04	-1.8	1.1	-2.0
上部	18.5	-6.9	13.1	-3.5	7.4	1.50	8.20	-3.5	2.0	-4.2
中部	18.4	-4.3	11.8	-1.1	10.8	-0.80	8.30	0.7	3.3	-2.0
底部	4.5	-0.6	3.4	-0.2	2.6	1.40	1.50	1.1	1.7	0.1



(a) 0828爆后矿岩分离
(a) Separation of ore and rock after explosion on 0828

(b) 0904爆后矿岩分离
(b) Separation effect of ore and rock after explosion on 0904

图2 爆后矿岩分离情况

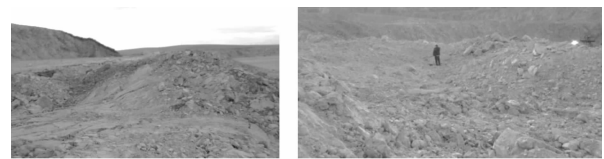
Fig. 2 Separation of ore and rock after explosion

现场爆破效果表明,孔间17 ms、排间42 ms、后排65 ms、分离拉沟100 ms延期间隔相较于乌努格吐山矿应用于正常生产的孔间17 ms、排间65 ms、后排100 ms延期间隔不能明显改善爆堆聚拢效果。爆后爆堆形状发现爆堆并非常规的抛物线型,而是爆堆顶部平坦,爆堆坡面中上部有明显凸起,这种现象是由孔内两发中继起爆具位置导致的。地表管同时起爆两发孔内管后,两发起爆弹被同时引爆,孔内乳化炸药开始在上下两个产生稳定爆轰,药柱内形成两个相互独立的爆轰波,当两个爆轰波阵面传至药柱中部时产生叠加,此时产生的能量最大,传至岩体中导致此处岩块快速向自由面隆起。

通过观察现场爆堆形态,认为孔间17 ms、排间42 ms、后排65 ms延期间隔对改善爆堆形态,增加爆堆隆起高度,减少前摊效果不明显,故利用孔间9 ms、排间25 ms、后排65 ms延期间隔(0921爆区)和孔间9 ms、排间42 ms、后排65 ms延期间隔(0925爆区),考察短延期间隔对爆堆形态的影响效果。

在0921爆区采用孔间9 ms、排间25 ms、后排65 ms、分离拉沟100 ms间隔延期,0925爆区采用孔间9 ms、排间42 ms、后排100 ms、分离拉沟100 ms间隔延期,中继起爆具均采用18 m孔内管,垂直位置相距1.5~2 m。现场试验矿岩分界处拉沟效果和整体爆堆形态明显改善,爆堆前摊减小(0921爆区有常规生产爆区对比),爆堆隆起明显,最后排装药量减少5%,台阶面后冲裂隙带基本消失(如图3)。针对矿区火山成脉,采用孔间9 ms、排间25 ms、后排65 ms、分离拉沟100 ms间隔延期地表

管,400 ms孔内管的矿岩分离爆破效果最佳。



(a) 0921爆堆形态
(a) 0921 Detonation form

(b) 0925爆堆形态
(b) 0925 Explosion configuration

图3 爆后矿岩分离情况

Fig. 3 Separation of ore and rock after explosion

2.3 根底率对比分析

分别对6次实验爆区和6次非实验爆区的根底标高数据进行统计整理,见表2。根底标准为超过 ± 0.5 m和 ± 1 m。

表2 根底率数据对比

Table 2 Comparison of the root-bottom rate data

类别	实验爆区		非实验爆区	
	平均值	标准差	平均值	标准差
> +0.5 m 占比/%	31.06	24.230	41.29	30.02
< -0.5 m 占比/%	1.52	4.286	2.01	4.64
± 0.5 m 根底率/%	32.58	23.070	43.30	28.83
> +1 m 数据占比/%	10.50	14.360	13.20	21.70
< -1 m 数据占比/%	0.51	1.430	0.00	0.00
± 1 m 根底率/%	11.00	14.060	13.20	21.70

从表2中实验爆区和非实验爆区根底率数据对比中可以得出:(1)实验爆区>+0.5 m数据占比、<-0.5 m数据占比、 ± 0.5 m根底率的平均值和标准差均小于非实验爆区;(2)实验爆区的>+1 m数据占比、 ± 1 m根底率的平均值和标准差小于非实验爆区,实验爆区<-1 m数据占比的平均值和标准差大于非实验爆区。在 ± 0.5 m根底率的控制上,相对非试验爆区实验爆区减少10.7%,在 ± 1 m根底率的控制上,实验爆区减少2.2%。并且在标准差中可以看出实验爆区的 ± 0.5 m和 ± 1 m根底率数值较非试验爆区波动较小,更接近均值,稳定性较好。

2.4 粗碎功耗对比分析

一期粗碎站非实验爆区单位时间处理量为

2047.71 t/h,二期粗碎站非实验爆区单位时间处理量为2247.89 t/h。一期粗碎站实验爆区单位时间处理量为2213.76 t/h,二期粗碎站实验爆区单位时间处理量为2642.01 t/h。一期粗碎站提高约8.11%,二期粗碎站提高约17.53%,实验爆区的粗碎效率比非实验爆区的粗碎效率有明显提高,提高的原因是因为延期时间方案使矿岩分界明显,爆破参数优化,破碎能耗大量降低。

3 结论

为了减低矿石贫化率,通过理论分析与现场实验,确定了合理的矿岩分离爆破方案,开展了爆破位置监测实验和矿岩分离延时爆破试验,得到如下结论:

(1)根据爆破区块自由面条件及矿岩分布状态,爆破网路设计方案为孔间9 ms、排间25 ms、后排65 ms、矿岩分离界线处100 ms延期间隔,使矿岩两侧爆堆顶部距离矿岩分界线底部的垂直距离在2~3 m,基本达到了矿岩分离的目的。

(2)现场调研的爆堆分布形态为非常规抛物线型,爆破施工中起爆弹放置于距孔底1~3 m,相对位置间隔1.5~2 m,达到了改善爆堆聚拢效果,实现了爆堆的良好分布形态。

(3)延时爆破矿岩分离技术实现矿与岩分离、提高初碎效率、降低根底率和损失贫化率等。相比于非实验爆区:一期初碎站效率提高约8.11%,二期初碎站效率提高约17.53%; ± 0.5 m范围的根底率减少约10.7%, ± 1 m范围的根底率减少约2.2%;降低贫化率约0.875%。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [1] CHANG Jian-ping, ZHANG Peng-fei, DUAN Jun, et al. Determination of millisecond blasting parameters and analysis of blasting effect in high-step hole [J]. Metal Mine, 2020(12):81-87. (in Chinese)
- [2] 刘翔宇,龚敏,吴昊骏,等.多因素耦合影响下隧道电子雷管爆破参数的计算与实践[J].振动与冲击,2021,40(5):24-32.
- [2] LIU Xiang-yu, GONG Min, WU Hao-jun, et al. Calculation and practice of blasting parameters of electronic detonator in tunnel under the influence of multi-factor coupling [J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(5):24-32. (in Chinese)
- [3] 杨仁树,李炜煜,方士正,等.层状复合岩体冲击动力学特性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2019,38(9):1747-1757.
- [3] YANG Ren-shu, LI Wei-yu, FANG Shi-zheng, et al. Experimental study on impact dynamic characteristics of layered composite rocks [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2019, 38(9):1747-1757. (in Chinese)
- [4] JOHANSSON D, OUCHTERLONY F. Shock wave interactions in rock blasting: the use of short delays to improve fragmentation in model-scale [J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2013, 46(1):1-18.
- [5] 赵凯,赵丁凤,张东,等.地铁隧道毫秒延时爆破环境振动特性研究[J].爆炸与冲击,2020,40(10):134-143.
- [5] ZHAO Kai, ZHAO Ding-feng, ZHANG Dong, et al. Characteristics of environmental vibration induced by millisecond-delay blasting in metro tunnel excavation [J]. Explosion and Shock Waves, 2020, 40(10):134-143. (in Chinese)
- [6] 张小军.台阶爆破振动高程效应理论及应用[D].北京:北京科技大学,2021.
- [6] ZHANG Xiao-jun. Theoretical study and application of vibration elevation effect of bench blasting [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2021. (in Chinese).
- [7] 蒋复量,郭锦涛,杨文超,等.某地下矿山顶板诱导崩落最佳爆破延时时间取值研究[J].金属矿山,2020(9):80-86.
- [7] JIANG Fu-liang, GUO Jin-tao, YANG Wen-chao, et al. Study on the determination of optimal blasting delay time of inducement dilapidation of the roof in an underground mine [J]. Metal Mine, 2020(9):80-86. (in Chinese)
- [8] 陈建龙,卢文波,孙鹏昌,等.毫秒延时爆破作用下岩体的受迫振动分析[J].岩土工程学报,2019,41(2):397-404.
- [8] CHEN Jian-long, LU Wen-bo, SUN Peng-chang, et al. Forced vibration analysis of rock mass under millisecond delay blasting [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019, 41(2):397-404. (in Chinese)
- [9] 王韶辉.露天煤矿煤岩爆破块度分布规律及爆破参数优化研究[D].徐州:中国矿业大学,2020.
- [9] WANG sao-hui. Study on fragmentation distribution and optimization of blasting parameters in open-pit coal mines [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2020. (in Chinese).
- [10] 夏志远.自然崩落法矿底部结构失稳机理及防治措施研究[D].北京:北京科技大学,2021.
- [10] XIA zhi-yuan. Study on instability mechanism and prevention measures of mine bottom structure by natural caving method [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2021. (in Chinese).