

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.04.011

多排孔大区块爆破压渣厚度 对电铲铲装效率的影响研究

谢 烽¹, 刘玉龙², 常 剑¹, 黄 磊², 李小龙¹

(1. 北方爆破科技有限公司, 北京 100097; 2. 中广核铀业发展有限公司, 北京 100029)

摘要: 为探索压渣厚度对电铲铲装效率的影响,我们在炮孔直径为 251 mm,台阶高度为 7.5 m 的生产区块爆破中设计了厚度分别为 8 m、10 m、12 m 和 15 m 的压渣。通过对爆后电铲铲装效率的统计,同时分析爆破块度分布及爆堆高度,确定了最佳的压渣爆破厚度。试验结果显示:当压渣厚度为 10 m 时,不同开挖纵深处,其块度分布均为最佳,尤其是 400~600 mm 的块度区间比例最高;爆堆隆起高度达到 12.6 m,在所有测试中最接近电铲的最佳铲装高度,此时电铲铲装效率最高;区块排数对压渣爆破效果有很大影响,最佳的炮孔排数为 10 排,超过 10 排后,爆破效果不佳,电铲铲运效率降低,在进行多排孔大区块压渣爆破时,10 排之后的爆破参数需要调整;采用压渣爆破后,有效作业时间增加了 1 h,矿石贫化率降低了 3%,在湖山铀矿全寿期内累计可以累计创造 4.5 亿美元的经济效益。该项研究首次将压渣爆破技术推广至多排孔大区块(20~30 排)爆破中,这既符合大型矿山生产的客观需求,也是设备大型化后的必然趋势。可以使得湖山矿爆破更为精细化的同时,也可以为国内外类似的矿山爆破提供重要的现场数据。

关键词: 爆破工程; 压渣爆破; 铲装效率; 块度分布; 隆起高度

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)04-0085-07

Study on Influence of Buffer Thickness in Large Block Blasting with Multiple Rows of Holes on Loading Efficiency of Rope Shovel

XIE Feng¹, LIU Yu-long², CHANG Jian¹, HUANG Lei², LI Xiao-long¹

(1. North Blasting Technology Co., LTD., Beijing 100097, China;

2. CGNPC Uranium Resources Co., LTD., Beijing 100029, China)

Abstract: In order to explore the influence of buffer thickness on the production efficiency of rope shovel in a blast, buffer thickness values of 8 m, 10 m, 12 m and 15 m are respectively designed with a hole diameter of 251 mm and a bench height of 7.5 m in the production blasting block. Based on the statistical analysis of the rope shovel production efficiency, the blasting fragmentation distribution and the blasting muck pile height, the best buffer thickness is determined. The results show that when the buffer thickness is 10 m at different excavation depths, there is the best fragmentation distribution with the largest proportion of 400~600 mm. Moreover, the height of the blast muck pile can reach 12.6 m, which conforms to the optimal height range and loading efficiency of the rope shovel. Meanwhile, the optimum number of blast hole rows is 10, for it has a significant impact on the buffer blasting effect. If there are more than 10 rows of blast holes, the blasting effect and the loading efficiency of the rope shovel will be affected. At this time, the blasting parameters of the blast holes after the 10 rows should be adjusted. Last but not least, buffer blasting improves the effective operation time by 1 hour and reduces the ore dilution rate by 3%, which can create an economic benefit of 450 million US dollars during the full life of Husab uranium mine. It is the first time to promote

收稿日期:2022-07-17

作者简介:谢 烽(1988-),男,高级工程师、博士,主要从事工程爆破研究,(E-mail)xf@beifangmining.com。

buffer blasting technology to large block blasting with multiple rows (20 to 30 rows), which is not only in line with the objective needs of large-scale mine production, but also an inevitable trend after large-scale equipment is used. Meanwhile, it promotes the refined blasting of Husab Mine more, and can also provide important field data for similar mine blasting at home and abroad.

Key words: blasting engineering; buffer blasting; loading efficiency; fragmentation distribution; muck pile height

湖山铀矿位于西南非洲纳米比亚境内的沙漠地区,其铀储量位列世界第三,年开采剥离量约为1.4亿t。目前湖山铀矿生产区块爆破的炮孔排数一般在20~30排,如何在不降低现有单次爆破规模的情况下,合理应用压渣爆破技术,发挥压渣爆破在控制爆破位移,提高爆破质量及提升铲装效率等方面的优势,是湖山铀矿降本增效、实现精益运营的重要方向。

压渣爆破在国内大型矿山已有成熟运用,在德兴铜矿、霍林河南露天矿^[1]、后布连露天煤矿^[2]、白云鄂博铁矿等大型露天矿已得到应用并取得很好的效果^[3],压渣爆破的炮孔排数在3~7排^[4-11]。曹茂欣发现压渣爆破可增加破碎岩块的相互碰撞和挤压补充破碎^[12],提高爆炸能量的利用率,减少爆破移位,而且堆渣体厚度一般在10m左右,在难爆区、出矿区或压渣较厚区域布孔排数一般控制在4排以内。赵博发现压渣爆破在爆破后可有效保持原始的矿岩边界^[13],便于爆后的分采分装,从而有效降低矿石的损失和贫化,另外,还可以提高预爆量,均衡生产。张生善等系统介绍了压渣爆破的作用过程^[14],以及合理压渣厚度的确定,同时说明了压渣爆破经济效果显著。

通过上述矿山的应用实践可以发现,目前国内压渣爆破的排数相对较少,对于超过10排及以上的压渣爆破,尚未看到相关文献报道。为此,拟从湖山铀矿实际情况出发,开展复杂矿体大型压渣爆破关键技术研究,首先的关键在于压渣厚度的确定。

1 试验方案

为了满足矿山巨大的生产需求,湖山铀矿采用了CAT7495电铲,电铲斗容为60m³,理论装载效率为4000t/h,理论最佳铲运最佳高度16.3m,其实物照如图1所示。对于矿山生产而言,挖运效率始终是最为重要的指标。因此,以电铲铲装效率作为衡量最佳压渣厚度的标准符合生产需要。



图1 CAT7495电铲

Fig. 1 CAT7495 rope shovel

为研究湖山铀矿爆破最佳压渣厚度,在现场选取了炮孔直径为251mm,台阶高度为7.5m的生产区块进行试验,压渣厚度分别为8m、10m、12m、15m。所选试验区块炮孔排数为24~28排,孔网参数如表1所示,试验区块爆前、爆后现场如图2所示。

表1 孔网参数

Table 1 Blasting parameters

类型	直径/mm	台阶/m	超深/m	孔距/m	排距/m	填塞长度/m	压渣厚度/m	炸药单耗/(kg·m ⁻³)
生产区块	251	7.5	1.5	6.8	6.5	4	8/10/12/15	0.90

2 最佳压渣厚度的确定

以两个排距为间隔,即13m,对电铲的挖运效率进行统计,其统计结果如表2所示,并将结果绘制于图3中。

从表2可以看出,当压渣厚度为10m时,电铲铲装效率最高。这是因为当压渣厚度为8m时,爆破能量有一部分从自由面散失。当压渣厚度为10m时,能量利用率最佳,既能向自由面有一定位移,又能为后排创造合适的自由面;当压渣厚度大于

10 m后,由于压渣过大,前排爆后无法为后排创造合适的自由面,爆破效果不佳,从而导致电铲铲装效率下降。从图3可以看出,爆破区域前九排,即开挖纵深至65 m处,电铲的铲装效率基本维持在高位。当开挖至第十排后(91 m处),电铲铲装效率有明显

的下降,且之后保持在一个基本相同的铲装效率上。通过数次相同类型的试验最终确认,对于炮孔直径为251 mm的生产区块爆破,最佳的压渣厚度为10 m,此时电铲铲装效率最高。

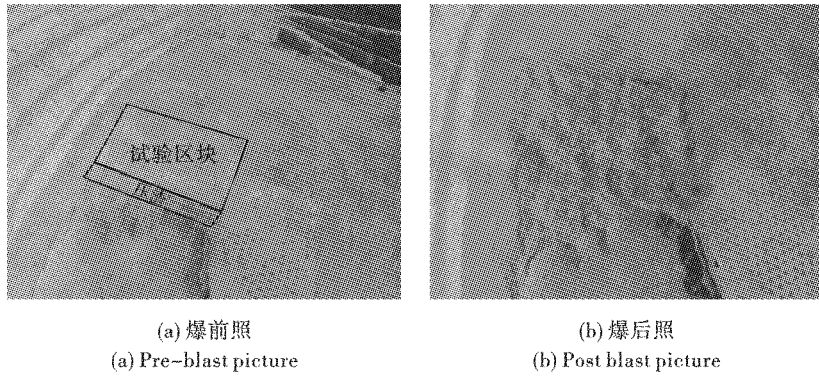


图2 爆前爆后照片
Fig. 2 Pre-blast and post blast pictures

表2 电铲铲装效率统计
Table 2 Rope shovel loading efficiency statistics

孔径/mm	压渣厚度/m	挖运效率/(t·h ⁻¹)						
		13 m	26 m	39 m	52 m	65 m	78 m	91 m
251	8	3703	3698	3722	3708	3624	3519	3284
	10	3821	3795	3854	3823	3747	3638	3302
	12	3651	3702	3622	3658	3628	3525	3292
	15	3506	3582	3497	3528	3475	3424	3241

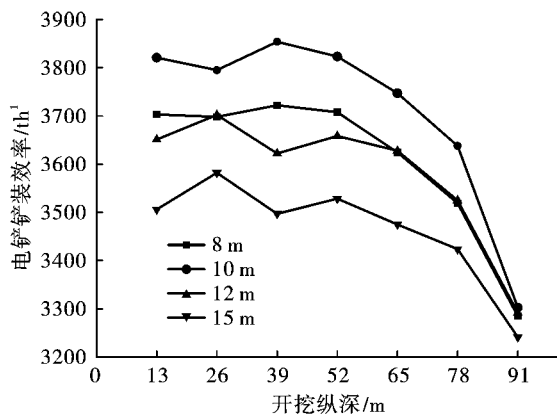


图3 不同压渣厚度条件下各位置电铲铲装效率的变化
Fig. 3 Variations of shovel loading efficiency in various positions under different buffer thickness

3 试验结果分析

从上一节内容可知,压渣爆破在10排之后,电铲铲装效率有明显下降。本节将会从块度分析及爆堆隆起两个方面对造成这一结果的原因进行分析。

3.1 块度分析

利用软件 Desktop64 进行爆后块度分析,每一个挖运排班结束后,选取新暴露的开挖面拍摄5张照片,分析如图4所示。

将块度分析结果统计于表3,并将结果绘制于图4中。

从表3中可以看出不同压渣厚度下的爆破块度分布规律,当压渣厚度为10 m时,爆破块度0~1.2 m比例最高,平均值达到了100%,大块率最低。其次,在爆破块度为0~1.0 m到0~0.6 m的范围内,不同压渣厚度下块度分布差异很小。主要区别出现在0~400 mm与0~250 mm范围内,压渣厚度为10 m时该区间的爆破块度占比最高,此时电铲铲装效率也最高。将爆破块度0~400 mm和0~250 mm区间的的数据绘制如图5所示。

从图5中可以看出,当压渣厚度为10 m时,不同开挖纵深处,其块度分布均为最佳。这说明此时炸药爆炸能量利用率最高,400 mm到250 mm块度分布占比最大,使得电铲铲装效率最高。当开挖纵

深达到 91 m 后,无论是块度小于 400 mm 还是小于 250 mm,不同块度占比会有明显的下降,这说明压渣爆破的适用范围为 10 排炮孔时较为合理,如果进

行多排孔大区块压渣爆破,10 排之后的爆破参数需要调整。

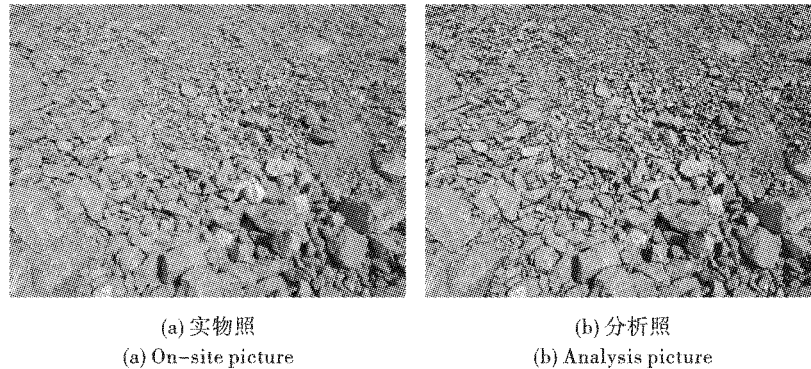


图 4 块度分析实例

Fig. 4 Fragmentation analysis example

表 3 块度分析结果

Table 3 Fragmentation analysis result

压渣厚度/m	块度/m	占比/%						
		13 m	26 m	39 m	52 m	65 m	78 m	91 m
8	1.20	100.00	100.00	99.70	99.60	100.00	100.00	99.90
	1.00	97.30	98.20	97.90	98.30	98.40	97.70	98.10
	0.60	94.60	95.10	93.30	94.90	89.70	88.20	89.00
	0.40	81.70	83.00	81.30	81.20	79.30	78.90	79.30
	0.25	72.90	71.00	71.60	70.40	69.40	68.00	61.30
10	1.20	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	1.00	98.30	99.20	98.90	99.30	99.40	98.70	99.10
	0.60	95.50	96.10	94.20	95.90	90.60	89.10	89.90
	0.40	82.50	83.80	82.10	82.00	80.10	79.70	80.10
	0.25	73.60	71.70	72.30	71.10	69.10	68.60	62.00
12	1.20	98.30	100.00	99.70	99.60	100.00	99.20	100.00
	1.00	96.40	97.20	96.90	97.30	97.40	96.70	97.10
	0.60	93.60	94.20	92.30	94.00	88.80	87.30	88.10
	0.40	80.90	82.10	80.50	80.40	78.50	78.10	78.50
	0.25	72.20	70.30	70.90	69.70	68.80	68.30	61.70
15	1.20	100.00	100.00	99.70	99.60	100.00	100.00	99.90
	1.00	94.40	95.30	95.00	95.40	95.50	94.80	95.20
	0.60	91.70	92.30	90.50	92.10	87.00	85.60	86.30
	0.40	79.30	70.50	78.90	78.80	76.90	76.50	76.90
	0.25	70.70	68.90	69.40	68.30	67.50	66.10	59.30

3.2 爆堆隆起分析

爆堆的隆起高度能表明爆后料堆的松散程度,松散度过大或者过小,均不利于电铲的铲装效率,因此必然有最佳的隆起高度使得电铲铲装效率最高。利用无人机对爆后爆堆形态进行拍摄,将拍摄后的照片放入 Pix4D 软件中处理,效果如图 6 所示,分析结果如图 7 所示。

隆起高度的处理结果统计于表 4 中,并将其绘制于图 8 中。

从表 4 中可以看出,当压渣厚度为 8 m 时,区块总体隆起最低,这是由于压渣厚度偏少从而导致爆破时区块向自由面方向位移偏大,而垂直方向位移偏少,从而导致隆起偏低。当压渣厚度为 15 m 时,区块总体隆起最高,这是因为前排压渣厚度过大,导

致爆破时区块向自由面方向位移减少,而垂直方向 上位移偏大,从而导致隆起偏大。

表 4 隆起测试结果

Table 4 Blasting heave processing results

压渣厚度/m	平均隆起高度/m							总体平均/m
	13 m	26 m	39 m	52 m	65 m	78 m	91 m	
8	3.61	4.02	4.01	4.17	3.97	4.47	4.53	4.11
10	4.21	5.06	5.10	5.25	5.02	5.58	5.48	5.10
12	4.12	5.12	4.93	4.85	5.12	5.07	5.06	4.90
15	4.46	5.18	5.23	5.34	5.08	5.63	5.59	5.22

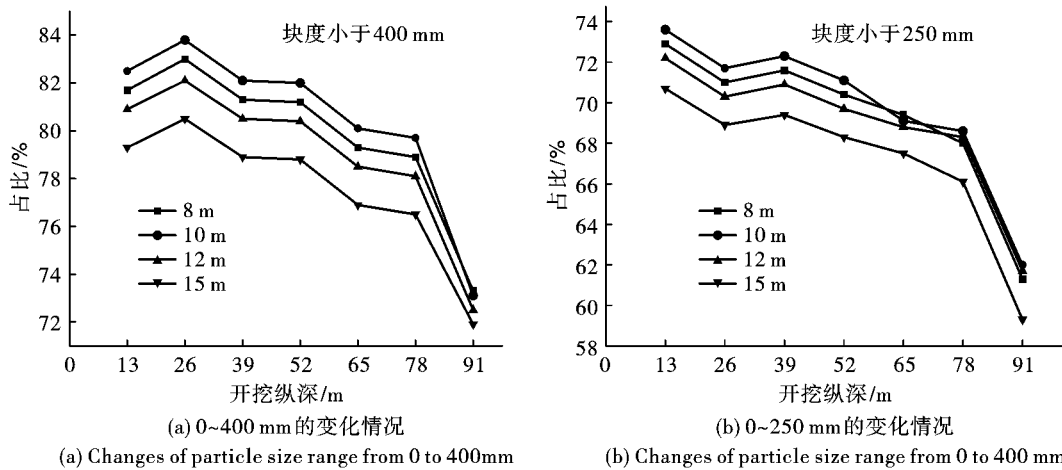


图 5 不同开挖纵深下不同粒径区间爆后块度分布

Fig. 5 Fragmentation distribution under different particle size range with different excavation depth

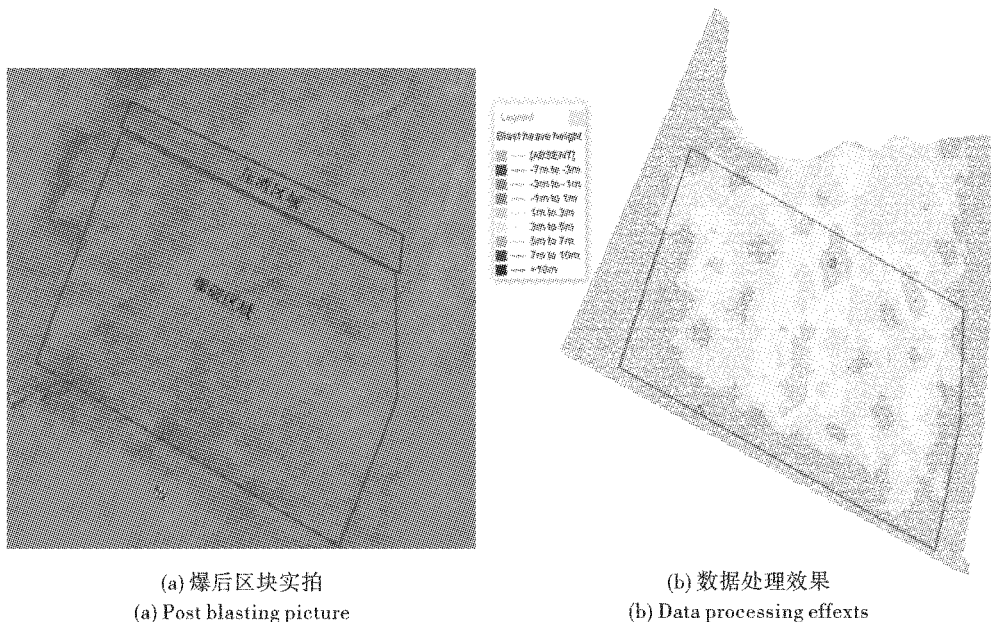


图 6 无人机实拍图片及数据处理效果

Fig. 6 Pictures from the drone and data processing results

从图 8 中可以看出,当压渣厚度为 10 m 时,爆堆隆起高度适中。对于 CAT7495 电铲其最佳铲运高度为 16.3 m,所以当压渣厚度为 10 m 与 15 m

时,相应的爆堆高度分别为 12.60 m、12.72 m,此时最接近电铲最佳铲运高度,因此使得电铲铲运效率最大化。

3.3 经济分析

矿岩混爆条件下,矿石和岩石容易发生互混,造成矿石损失和贫化。根据测算,湖山铀矿贫化率每降低1个百分点,可为项目创造约5000万美元的经济效益。在全寿期内损失率每降低1%,可增加约932.8 t金属铀,即增加产品价值约1.5亿美元。压

渣爆破的应用,使设备移动减少,场地清理工作量减少,从而导致爆破结束到生产开始的间隔时间缩短。同时,爆破后区块位移减少导致矿石的贫化率降低。有效生产时间增加以及矿石贫化减少,使得经济效益增加,采用清渣爆破与压渣爆破的各项指标对比其数据如表5所示。

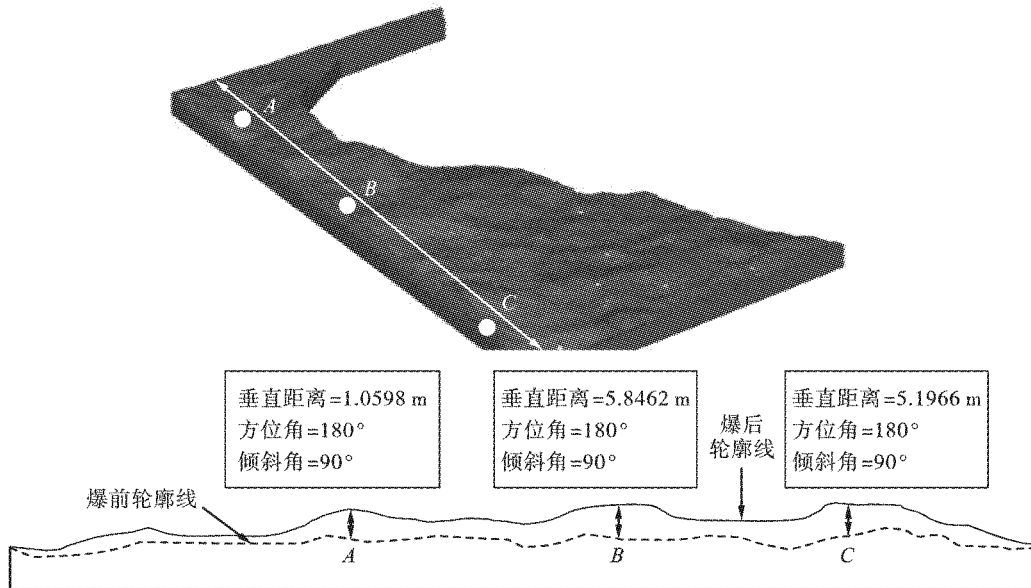


图7 爆堆高度处理结果示意

Fig. 7 Blasting muck pile data processing results

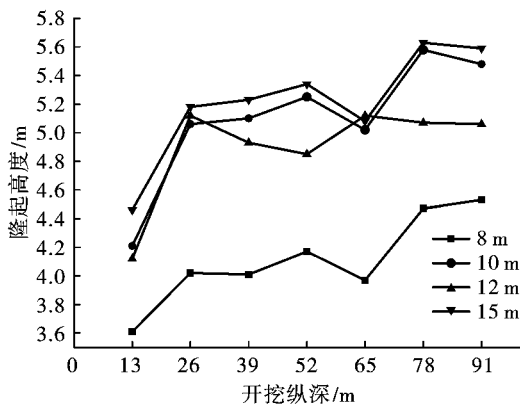


图8 不同压渣厚度下的隆起

Fig. 8 Muck pile under different buffer thickness

表5 清渣爆破与压渣爆破各项指标对比
Table 5 Comparison of various indexes of blasting with and without buffer

类别	设备移动距离/m	场地清理/h	矿石贫化率/%	经济效益增加/亿美元
清渣爆破	350	2	10	-
压渣爆破	200	1	7	4.5

4 结论

(1)对于炮孔直径为251 mm的生产区块压渣

爆破,最佳的压渣厚度为10 m,此时,不同开挖纵深处,600 mm到400 mm块度分布占比最大,其块度分布均为最佳,爆堆隆起高度达到12.6 m,最接近电铲铲装的最佳高度,电铲铲装效率最高。

(2)区块排数对压渣爆破效果有很大影响,对于炮孔直径为251 mm的生产区块爆破,最佳的炮孔排数为10排。超过10排后,爆破效果不佳,电铲铲运效率降低,此时应该对10排后的爆破参数进行调整以适应生产。

(3)采用压渣爆破,提高了生产效率,降低了矿石贫化率,在湖山铀矿全寿期内累计可以创造1.5亿美元的经济效益,这对于同类型大型矿山爆破工程具有非常重要的意义。

参考文献 (References)

[1] 林超,赵富强,吴晓平. 挤压爆破在霍林河南露天矿的应用[J]. 露天采矿技术,2008(5):25-28.
[1] LIN Chao,ZHAO Fu-qiang,WU Xiao-ping. Application of buffer blasting in huolinhe south open-pit mine[J]. Open-pit Mining Technology,2008(5):25-28. (in Chinese)

- [2] 王文才. 露天矿合理挤压爆破参数的确定与应用[J]. 中国矿业, 2000(3):45-47.
- [2] WANG Wen-cai. Determination of reasonable squeeze blasting parameters in open-pit mine [J]. China Mining, 2000(3):45-47. (in Chinese)
- [3] 盛晓雅, 张 飞, 梁浩然. 挤压爆破在白云鄂博铁矿的应用实践[J]. 包钢科技, 2016, 42(2):1-3.
- [3] SHENG Xiao-ya, ZHANG Fei, LIANG Hao-ran. Application practice of squeeze blasting in Bayan Obo Iron Mine [J]. Baotou Steel Technology, 2016, 42(2):1-3. (in Chinese)
- [4] 尹岳降, 朱子晗, 陈 明, 等. 长九神山灰岩矿开采爆破试验研究[J]. 爆破, 2020, 37(4):43-47.
- [4] YIN Yue-jiang, ZHU Zi-han, CHEN Ming, et al. Experimental study on mining blasting of Chang-jiu Limestone-Mine [J]. Blasting, 2020, 37(4):43-47. (in Chinese)
- [5] 赵春艳, 常 春, 张继春, 等. 台阶压渣爆破效果遗传神经网络预测[J]. 沈阳大学学报, 2003(2):62-73.
- [5] ZHAO Chun-yan, CHANG Chun, ZHANG Ji-chun. Prediction of bench tight blasting effects by genetic neural network [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 16(2):62-73. (in Chinese)
- [6] 熊 亮, 郑文强. 压渣爆破在建龙矿业马剑子沟采区的应用[J]. 露天采矿技术, 2018, 33(3):69-71.
- [6] XIONG Liang, ZHENG Wen-qiang. Application of extrusion blasting in Majianzigu of Jianlong Mining Area [J]. Opencast Mining Technology, 2018, 33(3):69-71. (in Chinese)
- [7] 岳志坤, 李瑞泽, 李福千, 等. 爆破方法对岩石爆破块度分布影响的试验研究[J]. 爆破, 2019, 36(3):9-15.
- [7] YUE Zhi-kun, LI Rui-ze, LI Fu-qian, et al. Experimental study on influence of excavation method on rock blasting fragmentation distribution [J]. Blasting, 2019, 36(3):9-15. (in Chinese)
- [8] 汪高龙, 王 潇, 李 跟, 等. 压渣爆破技术在路堑边坡治理中的应用[J]. 爆破, 2021, 38(1):75-79.
- [8] WANG Gao-long, WANG Xiao, Li Gen, et al. Application of buffer blasting technology in road cutting slope treatment [J]. Blasting, 2021, 38(1):75-79. (in Chinese)
- [9] 刘维信, 王劲翔, 王其杰, 等. 多排孔微差松动挤压爆破陷落柱技术研究[J]. 煤炭工程, 52(10):61-65.
- [9] LIU Wei-xin, WANG Jin-xiang, WANG Qi-jie, et al. Millisecond delay loose and squeeze blasting with multi-row blast hole for subsided column [J]. Coal Engineering, 2021, 38(1):61-65. (in Chinese)
- [10] 李洪彦, 郁华嘉. 中深孔无井拉槽挤压爆破工艺参数优化[J]. 现代矿业, 2020, 18(10):52-56.
- [10] LI Hong-yan, YU Hua-jia. Optimization of process parameters of medium-deep hole extrusion slotting blasting without cutting well [J]. Modern Mining, 2020, 18(10):52-56. (in Chinese)
- [11] 王雪强, 丁 科, 马国栋, 等. 白云鄂博铁矿矿岩交界区混爆技术方案研究[J]. 有色金属, 2018, 12(1):64-67.
- [11] WANG Xue-qiang, DING Ke, MA Guo-dong, et al. Technology and scheme of mixed blasting in the zone of ore and rock in Baiyunebo iron mine [J]. Non-ferrous Metals, 2018, 12(1):64-67. (in Chinese)
- [12] 曹茂欣, 张成良, 唐 海. 微差挤压爆破技术在路堑开挖中的应用[J]. 爆破, 2002(2):41-42.
- [12] CAO Mao-xin, ZHANG Cheng-liang, TANG Hai. Application of millisecond compression blasting in excavation of fault trough [J]. Blasting, 2002(2):41-42. (in Chinese)
- [13] 赵 渤. 压渣爆破在降低某矿损失贫化率中的应用[J]. 现代矿业, 2017(2):92-93.
- [13] ZHAO Bo. Application of buffer blasting in reducing the loss and dilution rate of a certain mine [J]. Modern Mining, 2017(2):92-93. (in Chinese)
- [14] 张生善, 徐金汉. 压渣爆破方法与经济效果[J]. 爆炸与冲击, 1985(1):72-77.
- [14] ZHANG Sheng-shan, XU Jin-han. Method of buffer blasting and its economic effects [J]. Explosion and Shock Waves, 1985(1):72-77. (in Chinese)

英文编辑:陈东方