

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.02.011

别矿斜坡面爆破孔网参数优化试验与应用*

吴永祥¹, 赵明生^{1,2}, 王基禹¹, 杜炼¹, 何桃¹, 钱至桥¹

(1. 贵州大学 矿业学院, 贵阳 550025; 2. 保利新联爆破工程集团有限公司, 贵阳 550025)

摘要: 在露天矿山开采过程中, 爆破效果的优良与否是露天矿山生产效益好坏的关键。针对别斯库都克露天煤矿外坡道出现根底多、大块率高、爆挖率及采装率低等突出问题, 基于别矿目前现有的施工工艺、机械条件条件下, 通过工程试验法调试最佳孔网参数, 分别在+1240~+1228西外坡道、+1240~+1228东外坡道, +1216~+1204西外坡道、+1144~+1132西外坡道进行5组爆破试验, 每组试验方案做3次, 取3次试验的平均值作为最后的分析依据。结果显示: 通过与其他试验方案组进行一一对比分析, 发现在外坡道采用试验方案5爆破效果最佳, 其中根底率为3.83%、大块率为4.22%、爆挖率为97.76%、炸药单耗为0.54 kg/m³及采装率为6.0车/h。综合分析试验, 发现试验方案5的爆破效果均优于其它方案组, 充分发挥了机械设备和人员的合理配合, 在很大程度上减少了根底的产生, 降低了大块率。同时还提高了爆挖方量和采装效率, 通过现场实际进行了改善前、后对比, 发现优化后的方案大大改善了外坡道爆破效果不佳问题, 在一定程度上改善了别矿爆破开挖成本。

关键词: 爆破; 孔网参数; 炸药单耗; 采装率

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)02-0075-06

Optimization Test and Application of Blasting Hole Network Parameters on Slope of Beskuduk Open Pit Coal Mine

WU Yong-xiang¹, ZHAO Ming-sheng^{1,2}, WANG Ji-yu¹, DU Lian¹, HE Tao¹, QIAN Zhi-qiao¹

(1. Mining College of Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Bao Li Xin Lian Blasting Engineering Group Co., Ltd., Guiyang 550025, China)

Abstract: In the process of open-pit mining, blasting effect is the key to the production benefit of the mine. There are some prominent problems in the external ramp of Beskuduk open-pit coal mine, such as excessive toe rock, high bulk rate, low blasting and loading rate. This paper aims to adjust the optimum hole network parameters by engineering tests based on the existing construction technology and mechanical equipment conditions of Beskuduk mine. Five groups of blasting tests were carried out at +1240~+1228 west outer ramp, +1240~+1228 east outer ramp, +1216~+1204 west outer ramp and +1144~+1132 west outer ramp, respectively. Each group of test plan was repeated three times, and the average value of the three tests was taken as the final analysis basis. The results show that compared with other test plan groups, it is found that test plan #5 has the best blasting effect on the outer ramps, with the toe rock rate of 3.83%, the bulk rate of 4.22%, the blasting rate of 97.76%, the powder factor of 0.54 kg/m³ and the loading rate of 6.0 car/h. In addition, test plan #5 gives full play to the reasonable cooperation of mechanical equipment and personnel, reduces the generation of toe rocks and bulk rate to a large extent, and improves blasting and loading rates. Through the comparison between before and after improvement, it is found that the optimized scheme greatly improves the poor blasting effect of the outer ramp, and reduces the blasting and excavation cost of Beskuduk mine to a certain extent.

Key words: blasting; blast hole network parameters; powder factor; loading rate

目前,在露天煤矿开采中,主要以爆破开采为主,但是在露天煤矿中,平盘与平盘之间是通过斜坡面连接,它是供运输车辆、采掘设备通行,影响采煤作业进度的重要部位,我们通常把这种斜坡面称为“外坡道”,随着剥离进度的推进,需要对外坡道进行爆破剥离,对爆破孔网的参数、装药结构等都有严格要求,外坡道爆破效果的好坏直接影响煤矿的生产、设备的合理利用,对提高煤矿经济效益、降低生产成本具有极其重要的意义。

孙盛等在露天矿斜坡路采用精细化爆破方法^[1],改善穿孔深度降低对路基原岩的损害,提高了斜坡路的稳定性。张阳光等为探索孔间延时对露天深孔爆破岩体破碎效果的影响规律^[2],利用 ANSYS/LS—DYNA 对排、孔间延时进行模拟,结果表明:当排间延时为 50 ms、孔间延时为 19 ms 时,则不利破碎区域的最大等效应力平均值达到最大,此时可获得良好的爆破效果。杨东兵等针对金属矿山的斜坡道采用光面爆破技术^[3],改进了常规的掘进爆破方式,取得了良好的爆破效果。翟清翠认为露天矿大块和根底的产生不仅与地质环境有关^[4],还与炸药性能有关。张光雄、欧阳天云等为了解决露天煤矿台阶爆破大块和根底过多等问题^[5],采用乳化与铵油并敷装药结构形式,结果表明:全部使用乳化装药结构时的裂纹扩展明显优于并敷装药结构,并敷装药结构优于全铵油装药结构。李志鹏等为了改善露天矿岩石爆破效果^[6],采用了深孔之间布设浅孔的方式有效改善了爆破效果。李辰发等在对炸药单耗进行选取时综合考虑各种因素影响后加入修正系数^[7],在提高爆堆松散度的同时,有效控制了炮脚。赵珂勃、池恩安等人通过对参数进行优化处理来控制爆破后大块率和根底率等问题^[8],结果表明:当孔深取 13.5 m、孔、排距取 3.5 m×6.5 m、最小抵抗线取 2.5 m,装药结构采用中部空气间隔装药结构且间隔比例为 15% 时,大块率和根底率大大降低,获得了良好的爆破效果。

以别斯库都克露天煤矿为基础,在北帮众多的外坡道中选择几个比较具有代表性的外坡道进行参数优化研究,分别选取 +1240 ~ +1228 西外坡道、+1240 ~ +1228 东外坡道, +1216 ~ +1204 西外坡

道、+1144 ~ +1132 西外坡道进行研究,这几个外坡道节理裂隙发育,产生根底、大块较多,是该煤矿一直以来比较棘手的难题。再结合工程试验法对产生的根底率、大块率、爆挖率、采装率及炸药单耗等指标进行分析评价,综合评价外坡道的爆破效果,找到适合现场实际可以采用的最佳孔网参数。

1 工程概矿

别斯库都克露天煤矿(简称“别矿”),隶属于哈密市巴里坤县大红柳峡乡管辖区域内,距离县城大约 150 km。总体地形较为复杂,主要分布呈现东高西低。北高南低的态势,地貌形态主要是以为残丘状剥蚀平原为主,区域内没有明显的地表水流,随着开挖深度增加,某些平台会出现地下水现象。

矿坑的最高处标高为 +1300 m,截至 2021 年 9 月,矿坑底部煤层的标高为 +1120 m,台阶的高度为 12 m,共有台阶 15 个,开采的深度为 180 m,外坡道标准长度为 150 m,纵向坡度 $\leq 8\%$,宽度 ≤ 16 m,按孔深范围把外坡道分为 3 个区段, $H \geq 8$ m、 $3 \sim 8$ m、 $H < 3$ m,北帮是主要的剥离区,北帮的主要岩质大多数是呈浅灰色的细沙岩石,同时也掺杂有少量的中砂岩以及泥岩,岩石的裂隙较为发育,岩石的平均单轴抗压、抗剪强度分别为 45 MPa、6 MPa 左右,炮孔孔径 120 mm。

2 现场设备及施工技术

2.1 设备的选取

在爆破试验过程中所应用的设备如下:沃尔沃挖掘 2 台,斗容量分别为 4 m³、5 m³,矿卡采用临工 MT86、同力 TL885A 两种设备,临工 MT86 主要运输普通散料,额定容量为 32 m³/车,同力 TL885A 主要运输大块,额定堆装容量 36 m³/车,矿卡车数记录仪 1 台,每台班以 8 h 计算,双班时长为 16 h。RTK、GPS 定位仪,以及 CASS7.0 绘图等设备。布孔采用梅花形布孔,打孔钻机有古河-HCR1200-ED、露天潜孔钻机 JK730/440、B6A。这些钻机均装有 120 mm 钻杆,爆破孔验收要求;孔深误差为 ± 20 cm,间距误差为 ± 20 cm,方位角和倾角为误差为 $\pm 1^{\circ}30'$ 。

2.2 爆破技术

根据露天煤矿现场实际情况,孔径为 120 mm,外坡道原有的设计爆破参数如表 1 所示,岩石爆破单耗取 0.45 ~ 0.55 kg/m³ 之间,采用孔间 30 ms、排间 50 ms 毫秒延期爆破。实际施工当中,可根据岩石的硬度、节理裂隙发育情况等条件适当调整炮孔

收稿日期:2022-01-11

作者简介:吴永祥(1995-),男,贵州遵义人,硕士研究生,主要从事爆破工程与安全技术研究工作,(E-mail)2865557689@qq.com。

通讯作者:赵明生(1982-),男,黑龙江双城人,博士、研究员,主要从事爆破工程与安全技术研究,(E-mail)99113294@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52064003)

的孔距、排距。当岩石硬度系数比较小、风化程度高时,孔排距参数值可适当增大;当岩石硬度系数较大

时,即岩石保存比较完整,未经风化或微风化,孔排距参数值可适当减小。

表1 原始设计参数

Table 1 Original design parameters

孔深范围/m	孔、排距/ (m×m)	超深/m	堵塞长度/m	超深对应的高度范围/m
10~13	4.5×6	1	5.5	9~13
8~10	4.2×5.5		4.5	
6~8	3.8×5	0.8	3.5	4~9
4~6	3.5×4.5		2.5	
<4	3×3	0.5	1.2~2	<4

3 爆破试验研究

3.1 进行孔网参数优化方案设计

苟倩倩等通过对不同装药结构进行对比^[9],结果表明采用水不耦合装药爆破能有效降低岩石大块率及粉尘危害。徐顺心等针对别矿内坡道爆破后产生的根底、大块较多问题^[10],提出调成孔距、排距以及孔深范围来降低根底、大块等问题。本次试验中大块的判断依据:把介于两种不同型号沃尔沃挖掘机配斗容量4~5 m³之间的爆破岩块称之为“大块”。李杰等通过数值模拟与现场试验对比分析^[11],发现当台阶面与岩层倾向夹角逐渐增大时,发现爆破产生的大块率有逐渐减小的趋势。汪高龙等针对复杂环境爆破进行参数优化^[12],使得石料开采大块率下降50%,装运效率提高15%。

许多专家和学者对深孔台阶爆破进行了大量研究,但是对外坡道的研究甚少,但这是现场一直存在的一个比较棘手的问题,所以对外坡道进行研究非常有必要,现在基于前人研究的基础上,结合别矿已有的爆破设计参数,从以往对外坡道进行爆破的效果来分析,外坡道的爆破效果并不理想,外坡道爆破后产生的根底率高、大块率多,爆挖率(爆破挖方率简称“爆挖率”)、采装率低,在本次试验设计中:根底率、大块率、爆挖率、采装率及炸药单耗的计算如式(1)、(2)、(3)、(4)、(5)所示,现在针对以上难题进行参数优化,设计5组试验,分别在+1240~+1228西外坡道、+1240~+1228东外坡道,+1216~+1204西外坡道、+1144~+1132西外坡道进行爆破试验。此次对外坡道进行的参数优化设计主要以别矿原有的孔网参数为基础,针对孔深范围、孔、排距、超深、堵塞长度、超深对应的高度范围等这5个指标进行优化,优化孔网参数试验分为5组,如表2所示。

$$\zeta = \frac{m}{M} \quad (1)$$

式中: m 为根底实际累计钻孔长度,m; M 为炮区实际累计钻孔长度,m; ζ 为根底率,%。

$$\Gamma = \frac{V_1}{V} \quad (2)$$

式中: V_1 为双班运输大块方量,m³; V 为双班采装总方量,m³; Γ 为大块率,%。

$$\eta = \frac{V_{\text{实}}}{V_{\text{设}}} \quad (3)$$

式中: $V_{\text{实}}$ 为实际挖方量,m³; $V_{\text{设}}$ 为设计爆破挖方量,m³; η 为爆破挖方率,简称爆破率,%。

$$\psi = \frac{X}{Y} \quad (4)$$

式中: X 为双班采装总车次数,车; Y 为双班总时长,此处取16 h; ψ 为采装率,车/h。

$$q = \frac{Q}{V_{\text{实}}} \quad (5)$$

式中: Q 为爆破平台炸药单耗消耗量,t; $V_{\text{实}}$ 为实际挖方量,m³; q 为炸药单耗,kg/m³。

3.2 对优化后的参数进行试验

结合现场具体情况,将上述5组优化后的参数分别在预先选定的外坡道上进行试验,每组优化后的孔网参数应用于一个对应的独立的爆破区,每次只改变一个变量,控制其它变量不变的原则,为了降低爆破质量的偶然性,在这里针对每组优化后的孔网参数进行3次试验,5组优化孔网参数总共需要进行15次试验,每组取3次爆破试验的平均值进行爆破效果分析,在试验区控制打孔的质量,排除因钻机打孔质量影响爆破质量。图1是爆破前的图片,图2、图3、图4、图5、图6分别是对应各试验组1、试验组2、试验组3、试验组4、试验组5爆破以后的局部现场图片情况。

表2 各参数优化后对应的试验方案组

Table 2 The test schemes corresponding to the optimization of each parameter

试验组号	孔深范围/m	孔、排距/ (m×m)	超深/m	堵塞长度/m	超深对应的高度范围/m
试验方案1	11~13	4.5×6	1	5.5	9~13
	9~11	4.2×5.5		4.5	
	7~9	3.8×5	0.8	3.5	4~9
	5~7	3.5×4.5		2.5	
	<5	3×3		0.5	
试验方案2	11~13	4.5×5.5	1	5.5	9~13
	9~11	4×5.2		4.5	
	7~9	3.8×5	0.8	3.5	4~9
	5~7	3.5×4		2.5	
	<5	3×3		0.5	
试验方案3	11~13	4×5.5	1	5.5	9~13
	9~11	3.8×5		4.5	
	7~9	3.5×5	0.8	3.5	4~9
	5~7	3×4		2.5	
	<5	3×3		0.5	
试验方案4	11~13	4×5.5	1.2	5.5	8~13
	9~11	3.8×5	1	4.5	3~8
	7~9	3.5×5		3.5	
	5~7	3×4	0.5	2.5	<3
	<5	3×3		1.2~2	
试验方案5	11~13	4×5.5	1.2	5.8	8~13
	9~11	3.8×5	1	4.8	3~8
	7~9	3.5×5		3.8	
	5~7	3×4	0.5	2.8	<3
	<5	3×3		1.2~2.5	

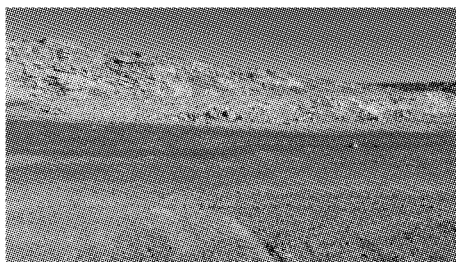


图1 坡道爆破前示意图

Fig. 1 The ramp before blasting

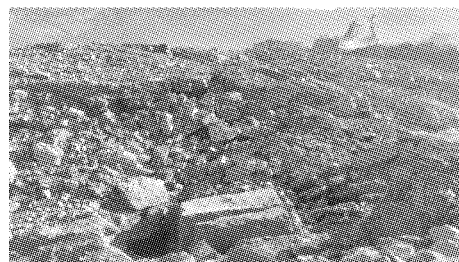


图3 试验组2 爆破局部示意图

Fig. 3 Partial view of blast test group 2



图2 试验组1 爆破局部示意图

Fig. 2 Partial view of blast test group 1



图4 试验组3 爆破局部示意图

Fig. 4 Partial view of blast test group 3

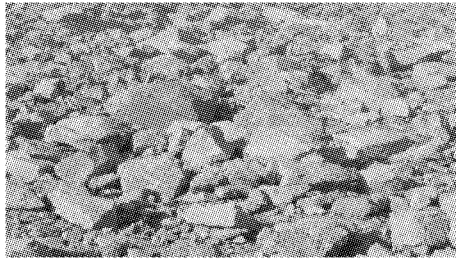


图 5 试验组 4 爆破局部示意图
Fig. 5 Partial view of blast test group 4

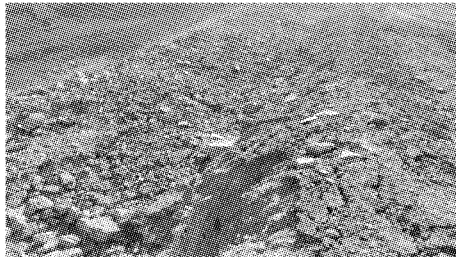


图 6 试验组 5 爆破局部示意图
Fig. 6 Partial view of blast test group 5

从现场图片的角度分析,以上是各个试验组爆破后的局部图片,图 2 可以看出,试验方案 1 在原始设计参数的基础上对孔深范围进行优化,爆破效果并不理想,局部出现特大快现象,实验中把超过现场最大挖机斗容 5 m³ 量的大块称为“特大块”,特大块还需要二次破碎,阻碍剥离工作的推进。图 3 可以看出,试验方案 2 相对试验方案 1,保持孔深范围

不变,对孔、排距进行适当的调整,爆破效果有所改善,但是并不显著,偶尔有特大块。图 4 可以看出,试验方案 3 在试验方案 2 的基础上依然保持孔深范围不变,继续对孔、排距进行适当优化,爆破效果相对前两次有一定的改善,采装率也有明显的提升,但是在采装的过程中,还是有少量大块和根底出现,需要破锤进行破碎作业。图 5 可以看出,试验方案 4 和试验方案 3 对比,在前一组的基础上,保持其他参数不变,对超深和超深对应的台阶高度范围进行优化,取得了良好的爆破效果。大大提升了采装效率,同时也很大程度上降低了大块率和根底率,爆挖效果明显,但是也还有少量不足。继续进行参数优化,从图 6 可以看出,试验方案 5 在试验方案 4 的基础上,保证炸药单耗在合理的取值范围内,适当增加堵塞的长度,通过分析岩石性质、岩石结构面、块度要求、炮孔排数、台阶高度、炮孔直径、装药结构、钻孔质量等因素变化对炸药单耗选取的影响。规定了别矿的最大炸药单耗量不宜超过 0.55 kg/m³,在此前提下,取得显著的爆破效果,机械设备的配合完美,大大提高了外坡道的爆破质量。

3.3 优化试验结果分析

结合现场对优化的孔网参数进行试验研究,将现场优化后的孔网参数在进行爆破试验后所得到的有关数据进行统计,统计结果如表 3 所示,然后对统计的数据进行对比分析。

表 3 爆破试验数据统计
Table 3 Data Statistics of blast tests

试验方案	试验序号	根底实际累计 钻孔长度/m	实际爆破 方量/m ³	双班采装 车总数/次	双班大块 方量/m ³	双班采装 总方量/m ³	根底 率/%	大块 率/%	爆挖 率/%	采装率/ (车·h ⁻¹)	炸药单耗/ (kg·m ⁻³)
	1	108.52	20 991.24	49	320.42	3120.26	8.54	10.27	86.92	3.1	0.42
1	2	110.46	22 880.40	56	318.36	3248.14	8.87	9.80	89.20	3.5	0.45
	3	105.70	23 557.14	53	307.44	3156.20	8.45	9.74	85.33	3.3	0.41
	4	96.45	24 487.67	67	310.50	3480.31	7.79	8.92	92.48	4.2	0.46
2	5	93.55	26 992.20	70	297.42	3398.02	7.60	8.75	92.24	4.4	0.47
	6	94.62	25 489.64	72	285.31	3382.14	7.58	8.44	93.16	4.5	0.45
	7	82.57	20 164.26	85	278.16	4221.25	6.78	6.59	94.38	5.3	0.49
3	8	80.66	22 076.58	86	270.14	4350.78	6.52	6.21	93.17	5.4	0.51
	9	78.73	19 683.83	83	269.08	4490.56	6.43	5.99	95.44	5.2	0.48
	10	68.16	24 221.12	94	260.54	5989.17	5.66	4.35	96.36	5.9	0.52
4	11	65.70	23 321.06	91	262.76	5874.38	5.31	4.48	96.73	5.7	0.50
	12	67.22	23 598.84	93	265.24	6169.29	5.53	4.30	95.60	5.8	0.49
	13	50.28	20 988.70	94	254.65	6268.72	4.08	4.22	97.81	5.9	0.56
5	14	46.54	21 862.08	96	249.88	5800.64	3.79	4.31	97.01	6.0	0.53
	15	44.66	20 664.02	97	235.76	5709.80	3.66	4.13	98.46	6.1	0.54

3.4 优化试验结果综合分析

在试验中,为了保证数据的可靠性,采用控制单

一变量法进行研究,每组试验做3次,取其平均值作为最后的评价依据,统计结果如表4所示。

表4 不同孔网参数下的综合爆破结果

Table 4 Comprehensive blasting results under different hole network parameters

试验方案	根底率/%	大块率/%	爆挖率/%	炸药单耗/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	采装率/ ($\text{车} \cdot \text{h}^{-1}$)
1	8.62	9.94	87.15	0.45	3.3
2	7.66	8.70	92.63	0.46	4.4
3	6.58	6.26	94.44	0.49	5.3
4	5.50	4.38	96.23	0.50	5.8
5	3.83	4.22	97.76	0.54	6.0

综合对比分析,试验方案5的根底率、大块率、爆挖率、炸药单耗、采装率分别比方案组1增加-55.6%、-57.5%、+12.1%、+20%、+81.8%。且试验方案5的整体爆破效果均优于试验方案,由于规定,别矿在坡道中爆破炸药最大单耗不宜超过 0.55 kg/m^3 ,在露天矿台阶深孔爆破中,孔距和排距成反比关系^[13]。如果再继续对孔网参数进行优化,那么必定会使得炸药单耗超过临界值,在试验方案5中的平均单耗是 0.54 kg/m^3 ,已经快接近临界值,所以综合考虑,方案5的参数优化最佳合理。

4 结论

深孔台阶爆破的参数优化主要还是依据工程实际情况而定,基于现场的机械设备、人员经验及现有技术,运用工程试验法,为别矿探索出适合深孔台阶爆破的最佳爆破孔网参数,在很大程度上提高爆破效果,降低工程运行成本。在外坡道采用孔深范围在11~13 m、9~11 m、7~9 m、5~7 m、<5 m,孔、排距为4 m×5.5 m、3.8 m×5 m、3.5 m×5 m、3 m×4 m、3 m×3 m,超深为1.2 m、1.0 m、0.5 m,堵塞长度为5.8 m、4.8 m、3.8 m、2.8 m、1.2~2.5 m时,根底率为3.83%、大块率为4.22%、爆挖率为97.76%、炸药单耗为 0.54 kg/m^3 ,而且不大于别矿规定的临界值 0.55 kg/m^3 ,采装率为6.0车/h,充分发挥机械设备和人员的合理配合,综合对比分析,试验方案5效果最佳,为别矿外坡道台阶爆破提供了良好的工程试验基础。

参考文献 (References)

[1] 孙盛,闫永富,王文才,等. 露天矿斜坡路精细化爆破方法[J]. 内蒙古煤炭经济,2020(19):1-3.
 [1] SUN Sheng, YAN Yong-fu, WANG Wen-cai, et al. Fine blasting method of slope road in open pit mine[J]. Inner Mongolia Coal Economy,2020(19):1-3. (in Chinese)
 [2] 张阳光,林飞,赵彭,等. 延时时间对露天深孔爆

破破碎效果的影响研究[J]. 工程爆破,2021,27(4):69-75.

- [2] ZHANG Yang-guang, LIN Fei, ZHAO Peng, et al. Study on the effect of delay time on crushing effect of exposed deep hole blasting [J]. Engineering Blasting, 2021, 27(4):69-75. (in Chinese)
 [3] 杨东兵. 金属矿斜坡道深孔光面爆破技术研究[J]. 能源技术与管理,2016,41(3):134-136.
 [3] YANG Dong-bing. Study on deep hole smooth blasting technology in inclined ramp of metal mine[J]. Energy Technology and Management 2016,41(3):134-136. (in Chinese)
 [4] 翟清翠. 露天煤矿深孔台阶爆破降低大块率和根底率措施探讨[J]. 煤矿爆破,2019,37(4):31-35.
 [4] ZHAI Qing-cui. Discussion on measures to reduce Block rate and Root floor rate by Deep Hole bench blasting in Open-pit Coal Mine [J]. Coal Mine Blasting, 2019, 37(4):31-35. (in Chinese)
 [5] 张光雄,欧阳天云,尚文凯,等. 基于数值模拟的并敷装药爆破效果[J]. 工程爆破,2020,26(4):42-47.
 [5] ZHANG Guang-xiong, OUYANG Tian-yun, SHANG Wen-kai, et al. Blasting effect of parallel charge based on numerical simulation [J]. Engineering Blasting, 2020, 26(4):42-47. (in Chinese)
 [6] 李志鹏,王园园,张光雄,等. 利用浅孔改善深孔台阶爆破孔口块度技术研究[J]. 爆破,2021,38(4):75-80.
 [6] LI Zhi-peng, WANG Yuan-yuan, ZHANG Guang-xiong, et al. Study on improving hole size of deep hole bench blasting by shallow hole [J]. Blasting, 2021, 38(4):75-80. (in Chinese)
 [7] 李辰发,张中雷,何勇芳,等. 大型露天深孔台阶爆破炸药单耗选取的影响因素[J]. 工程爆破,2019,25(3):17-21.
 [7] LI Chen-fa, ZHANG Zhong-lei, HE Yong-fang, et al. Influencing factors of unit consumption selection of explosive in large open pit deep hole bench blasting [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(3):17-21. (in Chinese)