

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.04.012

别矿台阶岩与煤同爆技术研究与实践

郭春阳¹, 张 力¹, 牛国庭², 池恩安^{1,3}, 孟庆浩¹

(1. 保利新联爆破工程集团有限公司, 贵阳 550025; 2. 贵州省公安厅, 贵阳 550025;
3. 保利久联控股集团有限责任公司, 贵阳 550025)

摘要: 别斯库都克露天煤矿(简称别矿)北帮台阶K2~K3段呈三角岩体覆压三角煤体状,采用岩与煤分爆分采工艺不能满足高效、经济、安全的施工要求。基于此况而提出岩与煤同爆分采方案。根据K2~K3段岩与煤厚度(孔深)走势、单孔爆破破碎半径及爆破主辅关系而将其细划为A、B、C三个区段,通过分区段设计爆破参数、严格执行爆破施工操作等方式来提升同爆效果。岩与煤同爆方案避免了机械设备在斜煤面上作业而存在的不安全状态,精简了施工流程。较分爆分采工艺而言,剥采周期由17 d降至8 d,节省炸药用量1.01 t,爆破单耗由0.37 kg/m³降至0.26 kg/m³,钻孔进尺由399 m降至374 m,煤的贫化由6.9%降至6.7%。岩与煤同爆技术偏重解决现场实际工程问题,然设计依据尚不成熟且对施工操作要求较高,尚有很大优化空间。

关键词: 岩与煤同爆; 爆破区段; 爆破参数; 爆破施工操作

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)04-0069-06

Research and Practice on Co-blasting of Rock and Coal in Beskuduk Mine

GUO Chun-yang¹, ZHANG Li¹, NIU Guo-ting², CHI En-an^{1,3}, MENG Qing-hao¹

(1. Poly Xinlian Blasting Engineering Group Co Ltd, Guiyang 550025, China;
2. Guizhou Provincial Public Security Department, Guiyang 550025, China;
3. Poly Long Joint Group Co Ltd, Guiyang 550025, China)

Abstract: The K2~K3 section at the north side of the Beskuduk open-pit coal mine contains a triangle coal body covered by rock mass with the same shape. The conventional technology is to blast and haul the rock and coal separately, which cannot meet the requirements of high efficiency, economy and safety. Based on this situation, the co-blasting of rock and coal was proposed. Three blasting areas in K2~K3 section were divided as section A, section B and section C based on the following criteria: the trend of the thickness of the rock and coal (hole depth); the crushing radius of the single hole blast; the blasting primary and secondary relationship. A superior blasting effect could then be achieved by designing blast parameters in different areas and strictly conducting blast operations. The co-blasting of rock and coal could avoid the unsafe operating situation for equipment working on inclined coal faces and streamline the construction process. Compared to the conventional blasting technology, the co-blasting of rock and coal in the K2~K3 section has reduced the stripping cycle from 17 days to 8 days, powder factor from 0.37 kg/m³ to 0.26 kg/m³, drilling footage from 399 m to 374 m, and consequently the depletion of coal from 6.9% to 6.7%. Moreover, the new technology has saved explosive charge for 1.01 t. The co-blasting technology for rock and coal is focused on solving practical engineering problems on site. However, its design basis is still not mature and has higher requirements for construction operations, which needs to be continuously explored and improved.

Key words: co-blasting of rock and coal; blasting section; blasting design parameters; practice of blasting operation

长期以来,岩与煤同爆技术较少应用于工程实践,一是缺少相关理论、工程案例、技术经验支撑;二是爆破设计与施工操作需满足一定的精细度,否则易增大煤的贫化;三是岩与煤同爆多适用于多煤层、揭岩露煤等地况条件。神华新疆某露天煤矿非主采区的薄煤层区域结合数码电子雷管和爆破设计软件实现岩与煤同爆^[1];霍林河煤田采用岩与煤同爆方案实现了多煤层复杂地质条件下高效开采;林河南露天矿岩与煤混穿、混爆解决了急倾斜煤层开采难题;平朔安家岭露天煤矿通过岩与煤同爆技术缩短了生产周期。露天多煤层复杂地质、揭岩露煤等工

况下,岩与煤同爆技术有较强的专用性。

别斯库都克露天煤矿位于哈密市巴里坤县城北西 320°方向 140 km,属巴里坤县管辖,坑下岩石剥采工程采用爆破破岩—挖掘机采装—矿卡运至排岩场、原煤松动爆破—单斗挖掘机采装—矿卡运至半固定式破碎站联合开采工艺。当前,剥采工程形成 12 个台阶,其中北帮各台阶岩与煤交接区(约 9200 m³)呈三角岩体覆压三角煤体状,岩与煤同爆技术适用于此地况条件,如图 1 是三角岩体覆压三角煤体台阶示意图与实景图。

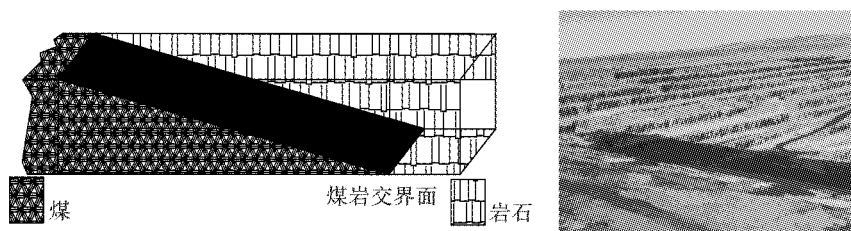


图 1 三角岩体覆压三角煤体台阶示意图与实景图

Fig. 1 The schematic and real picture of triangle rock roof and triangle coal

1 岩与煤分爆分采

1192 台阶 K2 ~ K3 段岩与煤交接共存区域:长 56 m,宽 13.5 ~ 14 m,台阶高 12 m,岩与煤总方量约 9200 m³,岩与煤各占 50% 方量。该区段岩石新鲜,以灰色的中砂岩、细砂岩为主,夹少量粉砂岩、泥岩,

整体为钙质胶结,裂隙不甚发育;该区段三角煤体为长焰煤,变质程度较低,抗碎强度为 75.0%,呈灰黑色~黑色,沥青光泽,条带状、层状构造,煤质略微坚硬,松动爆破即可开采^[2]。该区段岩与煤物理性质如表 1 所示。

表 1 北帮 1192 台阶 K2 ~ K3 段岩与煤物理性质

Table 1 Physical properties of rock and coal at K2 ~ K3 in 1192 platform

	容重/ (t · m ⁻³)	坚固 系数 <i>f</i>	单轴抗压 强度/MPa	抗拉强度/ MPa	内摩擦角 φ	凝聚力 <i>C</i> / MPa
煤顶板岩	2.5 ~ 2.6	5 ~ 7	40 ~ 60	3.5 ~ 4.8	41 ~ 45	7.88
煤	1.36 ~ 1.38	可塑性高	2.8 ~ 6.7	0.13 ~ 0.25	37.8 ~ 40.7	0.82 ~ 1.31

初期,1192 台阶 K2 ~ K3 段采用岩与煤分爆分采工艺,岩与煤在时间和空间上独立设计、两次穿孔、两次爆破,即:岩体钻孔—岩体爆破—岩体采运—煤面扫浮—煤体钻孔—煤体爆破—煤体采装;其特点是工序冗杂、组织协调工作大和剥采周期长。据矿生产统计,1192 台阶 K2 ~ K3 段实施岩与煤分爆分采工艺,炸药使用量 3404 kg,平均爆破单耗为 0.37 kg/m³,穿孔进尺 399 m,岩与煤剥采循环周期

17 d,煤的贫化为 6.9%;此外,三角煤体呈 32° 倾斜状,属倾斜煤层,挖掘机在倾斜煤面采装岩石爆块、清理煤面浮石及钻机在斜煤面钻孔等作业过程中存在爬坡困难、设备倾覆等不安全隐患。

2 岩与煤同爆技术

2.1 爆破参数设计

2.1.1 分区设计孔排距

结合表 1 中岩与煤的物理性质及该矿长期以来积累的爆破经验知:别矿钻孔孔径为 120 mm,岩体单孔破碎半径 $R_{\text{岩}} = 3.5$ m,煤体深孔松动爆破破裂半径 $R_{\text{煤}} = 5$ m。岩顶板与其毗邻的煤体力学性质差

收稿日期:2020-07-27

作者简介:郭春阳(1990-),男,爆破工程师,硕士研究生,从事矿山台阶爆破研究,(E-mail) guoc2536274503@sina.com。

通讯作者:张 力(1978-),男,爆破工程师,本科,主要从事爆破工程技术工作,(E-mail)602574716@qq.com。

异较大,随三角岩顶板与三角煤体厚度走势变化,岩与煤的孔深随之发生相应变化,由表1中岩与煤物理性质、孔深变化趋势、岩与煤单孔爆破作用范围及爆破主辅关系而将1192台阶K2~K3段岩与煤交接区划分为三个爆破设计、施工区段^[3]:A区煤体多、岩体量少,以深孔煤体爆破为主,浅孔岩体爆破为辅,三角岩体厚度为0~3.5 m,煤体厚度为12~8.5 m;B区段煤体、岩体方量相当且均含有深孔、浅孔爆破,岩体、煤体爆破同等重要,岩体厚度为3.5~8.5 m,煤体厚度为8.5~3.5 m;C区段煤体少、岩体多,以深孔岩体爆破为主,煤体不进行爆破,岩石厚度为8.5~12 m,煤体厚度为3.5~0 m。

A区段岩体孔网参数为3 m×3.5 m、3.5 m×3.5 m,通过调节单孔装药量来提高A区岩石浅孔爆破效果;B、C区段岩体以孔深大于孔距、排距且兼

顾排距 $b \leq R_{岩}$ 、孔距 $a \leq 2R_{岩}$ 为孔排距设计原则^[4],故设计B、C区岩体孔网参数为4 m×3.5 m、5 m×3.5 m、6 m×3.5 m。煤体以42号长焰煤煤为主,其中夹有气煤、不粘煤和弱粘煤,宏观煤组份主要以暗煤为主,丝炭、亮煤次之,煤体可塑性较好,松动爆破即可开挖。随三角煤体厚度变化,煤孔深亦相应变化;同理,以孔深大于孔距、排距且兼顾排距 $b \leq R_{煤}$ 、孔距 $a \leq 2R_{煤}$ 为设计原则,A区煤体孔网主要有10 m×5 m、8.5 m×5 m;B区煤体孔网参数主要有7 m×5 m、6 m×5 m、5 m×5 m、4 m×5 m;C区煤体厚0~0.35 m,借助煤岩交接线上部岩石透射的爆破压缩应力波和反射拉伸波作用于煤体可产生裂隙1.5~2 m^[5-7],因此不对C区煤体进行爆破。1192台阶K2~K3段岩与煤的孔排距设计如图2所示。

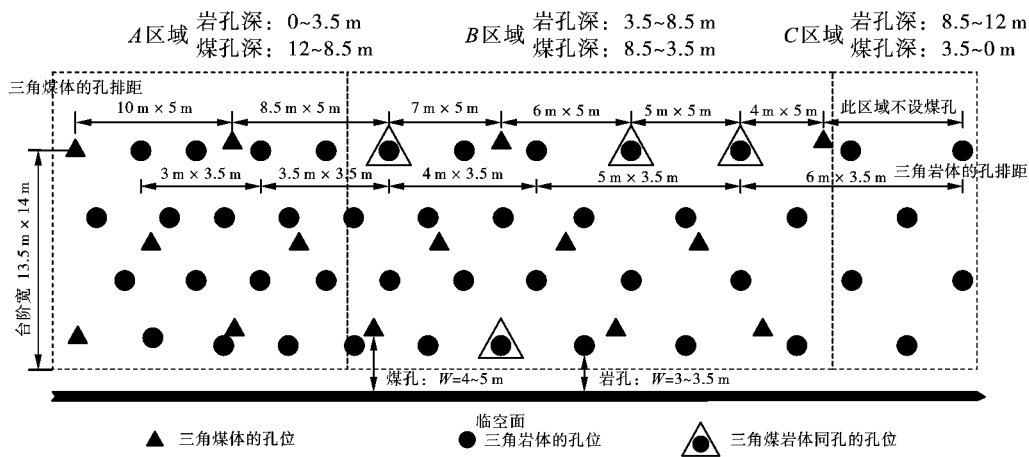


图2 1192台阶K2~K3段岩与煤同爆方案爆破参数设计图示

Fig. 2 The design diagram of blasting parameters of coal and rock in 1192 platform at K2~K3

2.1.2 孔排数及前排抵抗线

临空面岩与煤的运动能量主要受前排抵抗线影响,适当增加煤体临空面抵抗线会显著降低煤的爆破外散能量和缩小抛掷范围;而最小抵抗线方向往往是岩或煤运动速度最快且爆破作用最为聚集的区域,通过调节前排抵抗线来提高岩石爆破效果及控制煤的抛掷^[8],进而减少岩与煤的混杂。1192台阶宽13.5~14 m,由上述岩与煤孔排距可知,岩的排距为3.5 m,煤体的排距为5 m;岩体前排抵抗线 $w \leq R_{岩}$,设计岩体前排抵抗线 $w = 3 \sim 3.5$ m,故上部岩体存在4排炮孔;煤体前排抵抗线 $w \approx R_{煤}$,煤体前排抵抗线 $w = 4 \sim 5$ m,故煤体存在3排炮孔。为防止岩石爆破“气楔”遇煤孔而中止,尽量避免煤孔、岩孔在同一纵、横线上;如出现煤孔与岩孔同位或者就近(0.5 m范围内)的情况,因煤体较岩体而言,煤体爆破效果受孔排距影响小,所以移动煤孔位来形成岩与煤同孔,岩与煤

同孔亦可减少钻孔进尺。1192台阶K2~K3段岩与煤孔排数与前排抵抗线如图2所示。

2.1.3 爆破网路

由图2可见,岩体有4排炮孔,煤体有3排炮孔,第二排煤孔与第三排岩孔、最后一排煤孔与最后一排岩孔大致处于一条直线上,可视为一排炮孔来进行网路敷设,合理的岩与煤排间爆破微差延时有助于降低岩与煤混杂,孔底起爆后爆堆积高度适中,松散系数最高^[9];炸药做功推动煤与岩发生强烈相对运动,若排间间歇时间长则易增大煤岩互混程度而造成煤的贫化升高,排间微差延50 ms有助于岩石的破碎和外推;因此上部岩面有5排炮孔为孔底起爆^[10]、排间微差延时50 ms逐排起爆,为防止爆破网路损坏,设计双回路网络来保障网路传爆的可靠性。双回路排间微差延时50 ms煤与岩逐排起爆网路,如图3所示。

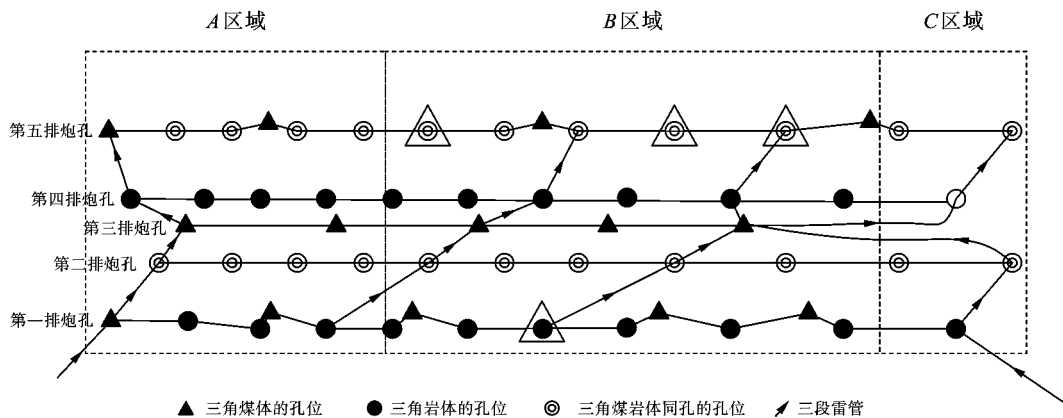


图3 双回路排间微差延时 50 ms 逐排起爆网络

Fig. 3 The double circuit with 50 millisecond delay between rows

2.2 岩与煤同爆施工操作

通过严控岩与煤爆破施工操作来实现优良爆破效果,诸如:应用 GPS-RTK 精确布孔、间隔装药、部

分区段钻机见煤粉辄停止钻孔、煤岩交接面上部岩孔预留 30 ~ 50 cm 不允许装放炸药等,岩与煤同爆施工操作要点示意图如下图 4 所示。

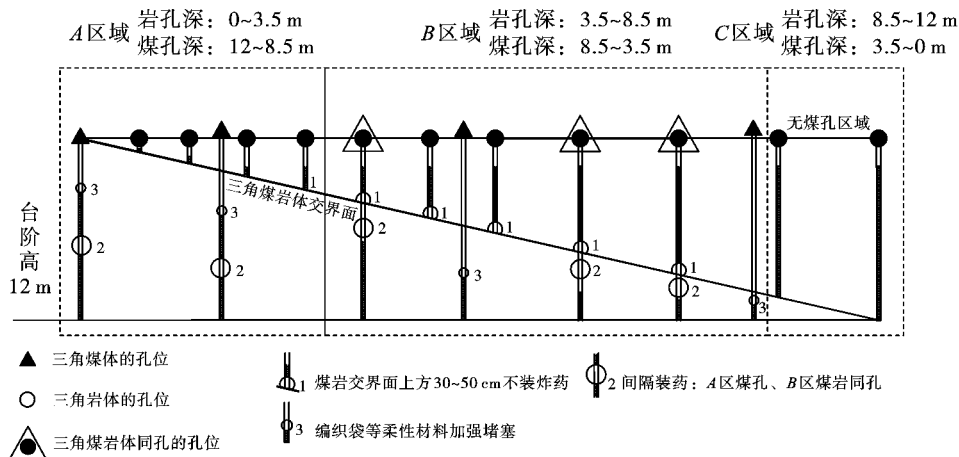


图4 岩与煤同爆施工要点示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the essentials of fine blasting construction

2.2.1 布孔方式与钻孔要点

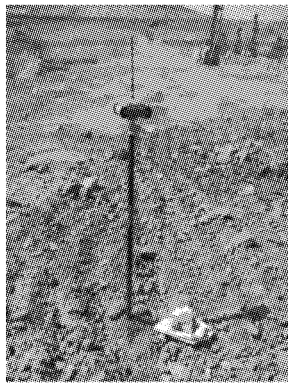
使用测量设备 GPS-RTK 空间定位,按照梅花形状孔位布设炮孔,并对每个炮孔的位置、深度和孔号等进行记录、存储,利用 CASS8.0 绘图管理。通过摆设折叠成型的白色编织袋标记钻孔位,并在白色编织袋注明煤孔、岩孔、钻孔深度等信息。钻孔主要技术要求:孔深不超欠 ± 0.3 m,排间距偏移不超 ± 0.4 m,方位角和倾角不超 10°;对不合格的炮孔采取补钻、回填、重钻等措施;距孔口中心 0.5 m 范围渣渣、石块清理干净,严防掉入孔内而发生堵孔。如图 5 所示:GPS-RTK 空间定位(a)、利用 CASS8.0 对孔位绘图管理(b)。

2.2.2 间隔装药与堵塞

岩与煤同爆技术之所以用到间隔装药,一方面通过控制装药量进而减少岩与煤混杂程度,另一方面通过控制装药量提升煤体松动爆破效果、控制煤

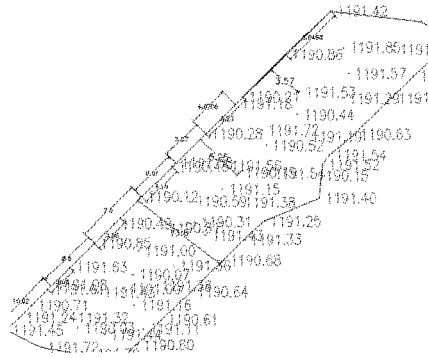
的抛掷,A 区和部分 B 区煤体中孔深超过 5 m 的煤孔采用间隔装药。岩与煤同爆实施过程中单孔装药量的多少因孔位而异,每个炮孔承担的爆破方量不同,则炮孔内装填的炸药量不同。别矿煤体松动爆破单耗约为 0.15 kg/m³,爆破员在施工过程中,根据煤的孔网参数、单孔承担的爆破松动量来控制间隔长度,间隔材料采用矿区常见易得的柔性编织带。

为降低煤岩交界面下部煤体粉碎程度、增大煤岩混杂程度进而增大煤的贫化,对于 B 区岩与煤交接面的岩孔,钻凿岩孔时见煤辄停;对煤岩交界面上部的岩孔复填 30 ~ 50 cm 后再进行装药。对于 A、B 区域煤孔,为了增大煤孔堵塞摩擦力,较少来自药柱顶部的直接压实力,通过阻塞编织袋对上端药柱进行隔离,避免堵塞物料混杂在药柱上端而造成乳化炸药不纯,影响爆破效果。



(a) GPS-RTK空间定位

(a) Spatial positioning with GPS-RTK



(b) CASS8.0对孔位绘图管理

(b) Drawing management for hole position with CASS8.0

图5 GPS-RTK空间定位与孔位绘图管理

Fig. 5 Spatial positioning with GPS-RTK and hole position mapping management

2.3 岩与煤同爆效果

岩与煤同爆方案实施步骤,即:岩与煤穿孔—岩与煤同爆—岩与煤分层采装。1192台阶K2~K3段(约9200 m³)穿-爆-采总施工周期为8 d,穿孔进尺374 m,炸药使用量为2392 kg,爆破单耗为0.26 kg/m³;爆后岩体爆块均匀,符合现场挖掘机采装要求,煤体实现了松动爆破,煤体未发生明显抛

掷。岩石采装、扫浮后,利用GPS-RTK测量,CASS8.0方格网土方算法求得保留煤体为4292.9 m³;混杂到岩石爆块而丢失的煤量为:4600-4292.9=307.1 m³,煤的贫化为:(4603-4292.9)/4603×100%=6.7%。图6(a)、(b)分别三角煤体松动开挖方量及开挖现场图貌。

	挖方					
	0.0					
	1217.2					
	2093.4					
	982.4					
总面积	269.6	0.0	0.0	0.0	0.0	填方
总填方	0.0					
总控方	4292.9					

(a) 三角煤体松动开挖方量

(a) The amount of loose excavation of triangular coal body



(b) 煤岩同爆煤体开挖现场图貌

(b) Picture of excavation site of co-explosive coal body

图6 三角煤体松动开挖方量及开挖现场图貌

Fig. 6 The loose excavation volume of triangular coal and excavation scene

3 结论

1192台阶K2~K3段实施岩与煤同爆分采方案较岩与煤分爆分采工艺而言,避免了挖掘机在斜煤面上清理浮石、钻机钻孔等不安全作业状态,减少一次煤体穿爆作业,减少一次因设备避炮而发生的设备调动;爆破单耗由0.37 kg/m³降至0.27 kg/m³,节省炸药1.01 t,穿孔进尺由399 m降至374 m,煤的贫化由6.9%降至6.7%,总剥采周期由17 d缩短至8 d。

岩与煤同爆技术在多煤层复杂地质、揭岩露煤等工况下有较强的专用性,本文主要通过精心设计爆破参数与严控爆破施工操作来实现岩与煤同爆,

然岩与煤同爆分采方案主要偏向于解决具体工程问题,其理论支撑还有待完善。

参考文献 (References)

[1] 葛 创. 露天矿薄煤层区域煤岩同爆技术[J]. 露天采矿技术,2016,31(7):31-34.
 [1] GE Chuang. Co-explosion technology of coal-rock in thin coal seam area of open pit mine [J]. Opencast Mining Technology,2016,31(7):31-34. (in Chinese)
 [2] 池恩安,赵明生. 别矿台阶深孔爆破孔排距优化试验及应用[J]. 爆破,2018,35(1):59-65.
 [2] CHI En-an,ZHAO Ming-sheng. Optimization test and application of deep hole blasting hole spacing in different

- mine steps [J]. *Blasting*, 2018, 35(1): 59-65. (in Chinese)
- [3] 曹进军, 朱 宽. 中深孔与浅孔联合布孔在煤层底板爆破中的数值模拟研究[J]. *爆破*, 2016, 33(4): 65-72.
- [3] CAO Jin-jun, ZHU Kuan. Numerical simulation of the combination of middle and deep holes and shallow holes in blasting of coal seam floor [J]. *Blasting*, 2016, 33(4): 65-72. (in Chinese)
- [4] 李继业, 郭春阳. 一次爆破成型技术在道路开挖中的应用[J]. *采矿技术*, 2018, 18(3): 91-93.
- [4] LI Ji-ye, GUO Chun-yang. Application of a blasting forming technology in road excavation [J]. *Mining Technology*, 2018, 18(3): 91-93. (in Chinese)
- [5] 高 魁, 刘泽功. 爆破应力波在构造带煤岩的传播规律及破坏特征[J]. *煤炭学报*, 2018, 43(S1): 79-86.
- [5] GAO Kui, LIU Ze-gong. Propagation law and failure characteristics of blasting stress wave in coal with structural belt [J]. *Journal of China Coal Society*, 2018, 43(S1): 79-86. (in Chinese)
- [6] 徐向宇, 姚邦华. 煤层预裂爆破应力波传播规律及增透机理模拟研究[J]. *爆破*, 2016, 33(2): 32-38.
- [6] XU Xiang-yu, YAO Bang-hua. Simulation of stress wave propagation and anti-reflection mechanism in pre-splitting blasting of coal seams [J]. *Blasting*, 2016, 33(2): 32-38. (in Chinese)
- [7] 郑吉玉, 王公忠. 低透气性煤层松动爆破增透效应研究[J]. *爆破*, 2018, 35(2): 37-40, 49.
- [7] ZHENG Ji-yu, WANG Gong-zhong. Study on anti-reflection effect of loose blasting in low permeability coal seam [J]. *Blasting*, 2018, 35(2): 37-40, 49. (in Chinese)
- [8] 凡春礼, 栾龙发. 提高小龙潭露天煤矿块煤率的爆破试验研究[J]. *爆破*, 2011, 28(2): 53-55, 82.
- [8] FAN Chun-li, QUAN Long-fa. Blasting test study on improving coal lump rate in Xiaolongtan open-pit coal mine [J]. *Blasting*, 2011, 28(2): 53-55, 82. (in Chinese)
- [9] 冷振东, 刘 亮. 起爆位置对台阶爆破爆堆形态影响的离散元分析[J]. *爆破*, 2018, 35(2): 50-55, 100.
- [9] LENG Zhen-dong, LIU Liang. Discrete element analysis of influence of initiation position on step blasting burst form [J]. *Blasting*, 2018, 35(2): 50-55, 100. (in Chinese)
- [10] 王传利. 空气间隙小耦合装药爆破作用的理论和实验研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2012.
- [10] WANG Chuan-li. Theoretical and experimental study on small-coupling charge blasting in air gap [D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)

英文编辑: 赵 亮

(上接第 35 页)

- [5] 赵章泳, 邱艳宇, 紫 民, 等. 含水率对非饱和钙质砂动力特性影响的试验研究[J]. *爆炸与冲击*, 2020, 40(2): 023102.
- [5] ZHAO Zhang-yong, QIU Yan-yu, ZI Min, et al. Experimental study on the effect of water content on the dynamic characteristics of unsaturated calcareous sand [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2020, 40(2): 023102. (in Chinese)
- [6] 徐学勇, 汪 稔, 王新志, 等. 饱和钙质砂爆炸响应动力特性试验研究[J]. *岩土力学*, 2012, 33(10): 2953-2959.
- [6] XU Xue-yong, WANG Ren, WANG Xin-zhi, et al. Experimental study on dynamic response characteristics of saturated calcareous sand explosion [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2012, 33(10): 2953-2959. (in Chinese)
- [7] 徐学勇, 汪 稔, 胡明鉴, 等. 饱和钙质砂爆炸密实动力特性试验研究[J]. *岩土力学*, 2012, 33(2): 402-414.
- [7] XU Xue-yong, WANG Ren, HU Ming-jian, et al. Experimental study on compact dynamic characteristics of saturated calcareous sands [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2012, 33(2): 402-414. (in Chinese)
- [8] 宋光明. 爆破振动小波包分析理论与应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2001.
- [8] SONG Guang-ming. Theory and application of blasting vibration wavelet packet analysis [D]. Changsha: Central South University, 2001. (in Chinese)
- [9] 谢全民, 龙 源, 钟明寿, 等. 基于小波、小波包两种方法的爆破振动信号对比分析[J]. *工程爆破*, 2009, 15(1): 5-9.
- [9] XIE Quan-min, LONG Yuan, ZHONG Ming-shou, et al. Comparative analysis of blasting vibration signals based on wavelet and wavelet packet methods [J]. *Engineering Blasting*, 2009, 15(1): 5-9. (in Chinese)
- [10] 中国生, 敖丽萍, 赵 奎. 基于小波包能量谱爆炸参量对爆破振动信号能量分布的影响[J]. *爆炸与冲击*, 2009, 29(3): 300-305.
- [10] ZHONG Guo-sheng, AO Li-ping, ZHAO Kui. Influence of explosion parameters based on wavelet packet energy spectrum on energy distribution of blasting vibration signals [J]. *Explosion and Shock Wave*, 2009, 29(3): 300-305. (in Chinese)
- [11] 何 理, 钟冬望, 刘建程, 等. 微差爆破试验及爆破振动能量的小波包分析[J]. *金属矿山*, 2014, 43(6): 10-15.
- [11] HE Li, ZHONG Dong-wang, LIU Jian-cheng, et al. Millisecond blasting test and wavelet packet analysis of blasting vibration energy [J]. *Metal Mine*, 2014, 43(6): 10-15. (in Chinese)

英文编辑: 黄 刚