

## 采矿科学与工程



移动扫码阅读

陈亚军,白晓杰,李永武,等.复杂岩体不对称V型斜线起爆网路爆破效果分析[J].煤炭科学技术,2021,49(5):135-140.doi:10.13199/j.cnki.cst.2021.05.017

CHEN Yajun, BAI Xiaojie, LI Yongwu, et al. Analysis of blasting effect of asymmetric V-shaped oblique initiation network in complex rock mass [J]. Coal Science and Technology, 2021, 49 (5): 135 - 140. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2021.05.017

j. cnki. cst. 2021. 05. 017

# 复杂岩体不对称V型斜线起爆网路爆破效果分析

陈亚军<sup>1</sup>,白晓杰<sup>2</sup>,李永武<sup>1</sup>,周立云<sup>1</sup>

(1.新疆工程学院 矿业工程与地质学院,新疆 乌鲁木齐 830091;2.新疆中岩恒泰爆破工程有限公司,新疆 乌鲁木齐 831500)

**摘要:**为减小干旱区深凹露天煤矿在复杂岩体赋存条件下爆破所产生的岩体大块和近距离爆破对到界台阶的振动影响,基于对新疆托克逊县库米什露天煤矿复杂岩体岩体结构、岩性特点、破裂面构成、形态和节理、裂隙发育变化趋势影响分析和爆破作用对边坡安全稳定分析研究,提出了:①在接近台阶坡面进行剥离作业的爆破岩石台阶,至少有1个侧向自由面和正向自由面,起爆点位于台阶上部侧向和正向自由面交汇处,爆轰由外向内沿斜线方向传爆,避免受节理、裂隙和结构面影响使爆破能量集中作用在某一爆破区域而出现的爆破病害;②优选不对称单侧向自由面非电导爆管加“四通”的V型斜线多段位单位药量毫秒微差间隔逐次起爆的爆破网路,使爆破能量沿炮区对角斜线方向分散作用并使爆破作用效果平衡,有别于直线型排间和孔间逐孔毫秒微差爆破起爆使爆破后冲效应大,对边坡产生振动危害;③采用不耦合分段或连续集中装药非电导爆管雷管加起爆药加膨化铵油炸药逐孔毫秒微差起爆技术孔内药包多点瞬发起爆,使炸药爆炸时压缩应力波峰值随装药表面到炮孔壁的距离增大而下降,减少应力波对岩壁的过度破碎而使爆破效能更加持续有效。爆破试验结果表明,所采用的爆破关键技术,使爆破岩石大块率降低5%~8%,爆堆沉降高度小于2 m,爆破能量分配更加均匀,既有利于边坡安全稳定,又便于4 m<sup>3</sup>液压反铲的采装,对于解决干旱区复杂岩体深凹露天矿爆破技术问题有借鉴之用。

**关键词:**复杂岩体;V型斜线;爆破网路

**中图分类号:**TD824.3      **文献标志码:**A      **文章编号:**0253-2336(2021)05-0135-06

## Analysis of blasting effect of asymmetric V-shaped oblique initiation network in complex rock mass

CHEN Yajun<sup>1</sup>, BAI Xiaojie<sup>2</sup>, LI Yongwu<sup>1</sup>, ZHOU Liyun<sup>1</sup>

(1. College of Mining Engineering and Geology, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830091, China; 2. Xinjiang Zhongyan Hengtai Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi 831500, China)

**Abstract:** In order to reduce the arid zone of deep concave open-pit coal mine in complicated rock mass blasting of rock mass under the condition of large and close the blasting vibration effect of the world stage, based on Xinjiang Toksun County Qomi Assorted Open-pit Coal Mine Complex Rock Mass Structure, lithologic characteristics of rock mass, the fracture surface structure, morphology and joint, fracture analysis of the influence of the change trend and the analysis of blasting effect on safety and stability of slope research, put forward: ① near the slope stripping operations of blasting rock steps, is at least one side free surface and free surface, the initiation point is located at the junction of steps and the upper lateral positive free surface explosive detonation outside-in along the diagonal direction, avoid affected by joints, fractures and structural plane the blasting energy concentrated effect in a blast disease in the blasting area and appear; ② optimizing asymmetric unilateral to a free surface conductivity tube plus "cross" V-shaped slash more paragraph a unit dose milliseconds differential

收稿日期:2020-11-12;责任编辑:郭 鑫

基金项目:新疆维吾尔自治区科技厅面上资助项目(2018D01A42)

作者简介:陈亚军(1961—),男,新疆乌鲁木齐人,教授,高级工程师。E-mail:2583703964@qq.com

between successive initiation blasting network, blasting energy along Baoqu diagonal slash direction dispersion effect and the balance of blasting effect, different from the straight line between and by differential blasting hole millisecond blasting between the holes after the blasting impact effect, vibration on slope hazards; ③coupled with piecewise or continuous concentrated charge plus the detonator and the conductance tube detonator expanded anfo explosive hole by hole of milliseconds differential blasting technology in charge more instantaneous detonation, the explosive compression stress peak value along with the loading surface increases the distance to the hole wall down, reduce the excess of the stress wave in rock fragmentation and the blasting effectiveness is more effective. Blasting experiment results show that the key technology used in blasting and the blasting rock block rate is 5%~8% lower, sedimentation height is less than 2 m, blasting energy distribution more uniform, both is advantageous to the security and stability of slope, and convenient for 4 m<sup>3</sup> hydraulic backhoe loading, to solve the problem of complex rock deep sunken open pit blasting technology in arid areas are for reference purposes.

**Key words:** complex rock mass; V-shaped inclined line; blasting network

## 0 引言

新疆是我国实施西部大开发战略的重点地区,也是我国战略资源的重要基地。新疆丰富的矿产资源,优越的成矿条件以及巨大的资源储备,促进了西部地区经济发展。然而,由于新疆大量的矿产资源都赋存在干旱、多风、少雨的荒漠戈壁,非构造裂隙岩体构造特点突出,非构造裂隙风化作用明显<sup>[1]</sup>。在进行深孔爆破作业中,会出现爆堆不规整,爆力集中,大块率高等一系列爆生灾害<sup>[2]</sup>。

针对干旱区露天煤矿,采用排间、孔间毫秒微差起爆技术和逐孔毫秒微差爆破网路<sup>[3-4]</sup>,可有效改善岩体爆破岩块不均匀,大块率高等问题。计算不同段别导爆管雷管在不同组合情况下的各炮孔孔底起爆时间,决定了爆破效果质量的好坏<sup>[5-6]</sup>。近些年,关于对非构造节理、裂隙岩体的爆破断裂损伤演化机理及破碎规律的研究,已经涉及到了爆破应力波在层状复合岩体中反射和透射的规律及微裂纹扩展规律和损伤演化过程相关内容<sup>[7]</sup>。相对而言,干旱区复杂岩体和在非构造裂隙发育条件下的深凹露天煤矿爆破网路优化设计及关键技术还需做进一步的研究和探索。基于多年对复杂岩体结构和节理、裂隙对爆破作用影响分析及现场实践工作,笔者提出复杂岩体露天煤矿爆破设计理论及关键技术,并结合露天煤矿爆破现场技术应用,解决了复杂岩体条件下的爆破大块率高的问题,确保了近距离爆破作业对边坡的安全稳定,为解决干旱区复杂岩体深凹露天矿爆破技术难题提供了技术帮助。

## 1 岩体结构分析

新疆托克逊县库米什露天煤矿位于吐哈煤田内的干旱半荒漠化地区,主要岩性为硬砂岩、中砂岩,岩石普氏系数 $f=5\sim 8$ ,覆盖层厚度20~26 m,岩层倾角8°~13°由南向北倾斜,开采参数见表1。该矿在长期多风、少雨、昼夜温差大等干旱气候条件作用下,风化

剥蚀作用强烈,均质岩体结构发生变化,岩体内产生大量的非构造裂隙,使岩体沿着非构造裂隙发育方向干缩裂开,甚至破碎,导致岩体内非构造裂隙异常发育,上覆岩层受风化剥蚀作用直接影响地表以下30 m的浅部基岩层,从而形成复杂岩体结构边坡。

表1 开采参数

Table 1 mining parameters

台阶项目	工作台阶	到界台阶
台阶高度/m	8~10	10
台阶坡面角/(°)	75	70
工作帮坡角/(°)	16	—
最终帮坡角/(°)	—	42
平盘宽度/m	32	8.3

从被揭露的采场断面和开采已形成的+980~+972 m水平爆破台阶进行岩性分析,非构造裂隙的地质条件显现的非常突出,风化裂隙对岩体影响作用最大,其裂隙影响深度26~30 m,岩体构造特征可以通过开采现状进行描述。

1) +980 m水平爆破台阶,岩体受剪节理和张节理共同作用呈复杂结构,节理、裂隙作用没有方向性,常组成共轭X型节理,节理面较平直整齐,岩体被非构造裂隙切割破碎产状不稳定,完整性受

到严重破坏,使岩体强度小于岩块强度,造成岩石最容易沿原生裂隙错动或张开,爆后易产生岩块大块,表现为不定向发育的复杂岩体如图1所示。



图1 +980 m水平复杂岩体结构

Fig.1 +980 m complex rock mass structure

2) +972 m 水平爆破台阶,形成的次生小裂隙发育,裂口时宽时窄分布零乱没有规律性,许多开裂的小岩块爆后岩块大小不一、形状有别、间距不同、交角各异、完整性很差。在局部爆破施工区域,随着开采深度加大,下部台阶裂隙相对较少,非构造裂隙作用减弱,爆破岩体块度减小,均质性有所增强如图2所示。



图2 +972 m 水平复杂岩体

Fig.2 +972 m complex rock mass structure

## 2 岩性条件与爆破作用

研究认为,岩体结构面会影响到爆破强度和爆破方式,影响到爆破漏斗的形成、岩石破碎质量和爆堆形状<sup>[8-9]</sup>,在近距离爆破作用影响下,复杂岩体边坡会沿岩体结构面出现局部的楔型体滑坡。

1) 中、小块岩石受非构造裂隙结构面作用,沿裂隙面的抗剪强度和垂直于裂隙方向的抗拉强度减少到最小,受爆破自由面影响,在径向拉应力作用下,复杂岩体沿原生裂隙错动或张开,爆生气体很容易从扩展了的裂隙中逸出,从而降低正常破碎的有效压力和压力作用时间而产生岩块<sup>[10-11]</sup>。

2) 复杂岩体原有节理、裂隙已经形成,选用波阻抗值和基岩相近的膨化铵油炸药为工业炸药,不耦合分段或连续集中装药,可加强爆生气体对岩体的破碎作用,延长爆生气体对岩石的破碎作用时间,可使爆破作用更加充分,而对于节理、裂隙影响作用减弱或逐渐趋于均质化的岩体,则应加强应力波的破碎作用,缩短炮孔之间的毫秒微差间隔时间。

3) 采用非电导爆管加“四通”的爆破网路设计和优选的爆破网路设计参数,可以实现多段位的排间、孔间毫秒微差间隔起爆和增加岩体内爆破侧向自由面<sup>[12-14]</sup>,使后爆孔受到多个邻近炮孔先期起爆所形成的破裂面影响,改变和扩散其纵波的传播方向,避免出现爆破能量集中向某一方向作用而出现爆破病害。

## 3 爆破设计方案确定

### 3.1 爆破技术要求

1) 设计要求在接近台阶坡面进行剥离作业的

爆破岩石台阶,至少有1个侧向自由面和正向自由面,起爆点位于台阶上部侧向和正向自由面交汇处,爆轰由外向内沿斜线方向传爆。

2) 由于剥离工作平盘宽度32 m,采用三角形布孔,每次布3~5排孔,每排不少于7个炮孔,使炮区沿正向自由面方向炮孔数应多于侧向自由面,不耦合分段或集中装药,孔内瞬发起爆。

3) 爆破形成的岩石大块必须符合4 m<sup>3</sup>液压反铲的采装要求即:大块尺寸不许超过1.2 m<sup>3</sup>,爆堆伸出不超过4~5 m,爆堆沉降不低于2~3 m。

4) 孔内药包采用导爆管雷管延迟起爆,延长孔内炸药起爆时间,以防止爆破飞石将后起爆孔的起爆网路炸断而产生拒爆。

5) 由于节理、裂隙的作用,岩体首先从强度最低的弱面裂开,考虑到爆后应力的持续及雷管延时参差不齐,爆破网路导爆管雷管每段间隔时间都确定为25 ms。

### 3.2 爆破参数确定

设计确定爆破台阶高度8~10 m,不耦合系数1.20,药包装药密度980 kg/m<sup>3</sup>,药包质量5 kg,炸药单耗0.34 kg/m<sup>3</sup>,选用孔径150 mm的潜孔钻机垂直打眼,按不同的炮孔深度和爆破参数计算炮孔装药量,爆破参数计算见表2。

表2 爆破参数

Table 2 Blasting parameters

台阶高度/m	10 m	8 m
孔距/m	5.0	4.0
行距/m	3.5	3.0
超深/m	2.0	1.5
底盘抵抗线/m	5.6	4.9
炮孔装药量/kg	60	32.6
上段药柱质量/kg	23.8	耦合
下段药柱质量/kg	36.2	装药

### 3.3 爆破网路设计

设计沿爆破网路对角斜线连接炮孔由外向内作为爆轰传爆方向,以对角斜线分为正向自由面和侧向自由面2个起爆区,由于正向自由面斜线炮孔和侧向自由面水平炮孔网构形态和孔间毫秒微差间隔时间不相同,为使爆轰沿对角斜线方向传爆,设计采用不对称的V型斜线多段位单位药量毫秒微差间隔逐次起爆的爆破网路,而有别于直线型排间和孔间逐孔毫秒微差爆破起爆<sup>[15-17]</sup>。与此同时,为确保爆破网路安全,炮孔内采用13段的导爆管雷管延迟

300 ms 起爆。

1) 正向自由面起爆区以斜线炮孔作为连接线,通过第1排水平炮孔连接斜线炮孔实现逐孔毫秒微差间隔起爆。

2) 侧向自由面起爆区以水平炮孔作为连接线,通过临近侧向自由面炮孔连接水平炮孔实现逐孔毫秒微差间隔起爆。

3) +980 m 水平爆破台阶,节理、裂隙发育岩体呈复杂结构,采用不耦合分段装药深孔爆破,对角斜线连接炮孔逐孔毫秒微差 100 ms,正向自由面起爆区斜线炮孔逐孔毫秒微差 75 ms,水平炮孔逐孔毫秒微差 25 ms;侧向自由面起爆区水平炮孔逐孔毫秒微差 50 ms,排间毫秒微差 0~50 ms,爆破网路如图3所示。

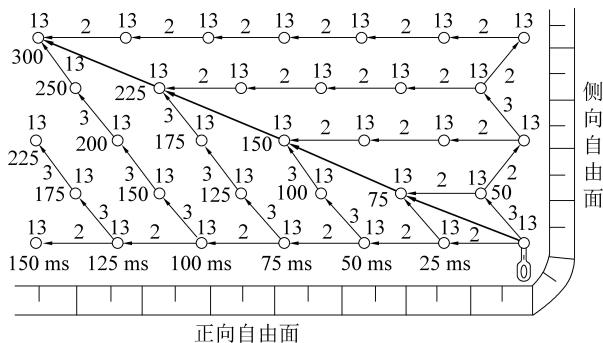


图3 +980 m 水平爆破台阶起爆网路

Fig.3 +980 m horizontal blasting step initiation network

4) +972 m 水平爆破台阶,岩体均质性逐渐增强,采用不耦合连续集中装药深孔爆破,对角斜线连接炮孔逐孔毫秒微差 75 ms,正向自由面起爆区斜线炮孔逐孔毫秒微差 50 ms,水平炮孔逐孔毫秒微差 25 ms,侧向自由面起爆区水平炮孔逐孔毫秒微差 25 ms,排间毫秒微差 25~50 ms,爆破网路如图4所示,逐孔毫秒微差间隔时间见表3,爆破技术参数见表4。

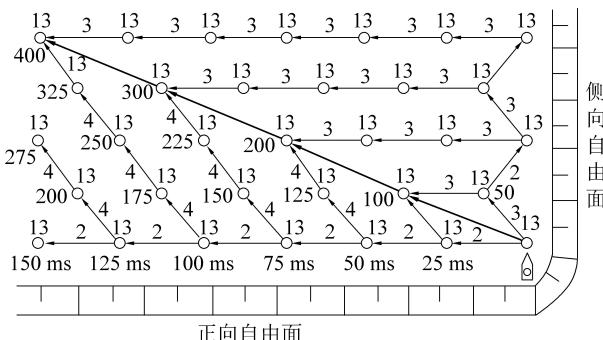


图4 +972 m 水平爆破台阶起爆网路

Fig.4 +972 m horizontal blasting step initiation network

表3 逐孔毫秒微差间隔时间

Table 3 Millisecond differential interval time per hole

类型	时间间隔/ms	
	+980 m 水平	+972 m 水平
对角斜线连接炮孔	100	75
正向自由面斜线炮孔	75	50
正向自由面水平炮孔	25	25
侧向自由面水平炮孔	50	25
侧向自由面排间微差	0~50	25~50

表4 爆破技术参数

Table 4 Blasting technical parameters

技术方案	+980 m 水平	+972 m 水平
爆破产生侧向自由面数/个	3	3
分段最大起爆孔数/个	5	5
分段最大起爆药量/kg	300	163
炮孔邻近系数	1.43	1.33
装药结构	不耦合	耦合

#### 4 破岩机理及爆破效果分析

根据对爆破现场岩体破碎效果分析,爆破岩体受结构面控制,会出现以下2种爆破情况:

1) 位于正向和侧向自由面的第1排炮孔,受剪节理和斜层理作用,爆破岩石会沿自由面方向顺层抛出,后爆孔由于推墙作用,加重了前排孔爆堆沿倾斜方向的抛出。

2) 受张节理作用的岩体,爆破后爆堆呈沉降开裂型,形成很大的裂沟,有些由台阶顶部直接开裂至底部,二次爆破量大,给清帮和采装作业带来滑坡安全危险。

受非构造裂隙的作用和影响,原设计采用的直线型排间和孔间逐孔毫秒微差深孔爆破,除少部分岩块是由爆破作用直接产生的以外,大部分岩块是因爆生气体沿岩体原有的节理、裂隙错动扩张而产生,爆破大块率高达30%以上,此外,爆破后冲效应大,爆破作用集中,对边坡产生振动危害。为避免出现以上爆破病害,在非构造裂隙作用增强的爆破区域,设计沿炮区对角斜线连接炮孔作为主要爆轰传爆方向,使岩体破碎不受节理、裂隙所控制。

1) 对于+972、+980 m 水平爆破网路设计,正向自由面起爆区的斜线起爆线炮孔毫秒微差间隔起爆时间应比侧向自由面起爆区水平起爆线炮孔延迟25 ms,分段最大起爆药量 163~300 kg,实现多段位单位药量间隔逐次起爆,使邻近炮孔的爆破作用都相互集中在某个炮孔的岩石上,实现对岩石反复破碎,爆破作用更加充分有效。

2) +980 m 水平爆破台阶,原有裂隙已经形成,裂隙分布没有规律性,相对于+972 m 水平爆破设计网路,延长+980 m 水平炮区对角斜线连接炮孔、正向自由面起爆区斜线起爆线炮孔和侧向自由面起爆区水平起爆线炮孔毫秒微差 25 ms 起爆,以增强爆生气体对复杂岩体的破碎作用。

3) 改变爆轰传爆的作用方向,将正向自由面起爆区炮孔由直线型爆轰改为斜线传爆,侧向自由面起爆区炮孔由垂直传爆爆轰改为水平传爆,减弱剪节理和斜层理沿自由面方向对岩体爆破的抛出作用,使岩块抛出距离减小 1~2 m,爆破能量向炮区中间作用并使之爆破作用效果平衡,降低爆破能量的集中效应。爆破效果如图 5、图 6 所示。



图 5 +980 m 水平爆破台阶直线型毫秒微差爆破网路爆堆

Fig.5 +980 m horizontal blasting step linear millisecond blasting network detonation reactor



图 6 +980 m 水平爆破台阶不对称 V 型斜线爆破网路爆堆

Fig.6 +980 m horizontal blasting step asymmetric V oblique line blasting the network burst heap

4) 复杂岩体中的爆破破裂面可视为岩体内的爆破侧向自由面,多由邻近炮孔先期起爆所形成的,后爆孔爆炸应力波在自由面反射产生的径向拉应力,使岩体出现环向裂缝并使岩块减小。优化设计的爆破网路,使后爆孔有 3 个侧向自由面,每增加一个爆破自由面,大块率降低 5%~8%,使爆堆集中,沉降高度小于 2 m 便于采装。

## 5 结 论

1) 根据对现场爆破试验结果勘验分析,沿炮区对角斜线连接的炮孔岩块切割严重,爆破作用增强

更具方向性,一些破裂面并不是在原有裂隙基础上扩大产生,而是在爆破作用下产生的。

2) 不对称单侧向自由面非电导爆管加“四通”的 V 型斜线多段位单位药量毫秒微差间隔逐次起爆的爆破网路,使爆破能量沿炮区对角斜线方向分散作用在炮孔四周并使爆破作用效果平衡,避免受节理、裂隙和结构面影响使爆破能量集中作用在某一爆破区域而出现的爆破病害。

3) 不耦合分段或连续集中装药非电导爆管对角起爆线逐孔毫秒微差起爆技术,在增加爆破侧向自由面基础上,可改变和扩散其纵波的传播方向,减少近距离爆破对到界台阶的振动影响。

## 参考文献(References):

- CHEN Y, CANG Z, MAO J. Blasting effect analysis of hole-by-hole millisecond minute difference initiation network along V-Shaped oblique line [J]. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 20 (13) :2533~2538.
- 廖涛,蒲传金,刘锋,等.露天矿中深孔爆破大块产生的原因及采取的措施[J].化工矿物与加,2013,42(9):37~42.  
LIAO Tao, PU Chuanjin, LIU Feng, et al. Causes of emerging large fragment by medium-depth blasting in open-pit mines and measures taken [J]. Industrial Minerals & Processing, 2013, 42 (9) :37~42.
- 于江浩,宋子岭.逐孔起爆技术在露天煤矿深孔爆破中的应用[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2015,34 (4) :438~441.  
YU Jianghao, SONG Ziling. Research on the application of deep hole blasting in open-pit coal mine with hole-by-hole blasting technique [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2015, 34 (4) :438~441.
- 张光权,吴春平,汪旭光,等.导爆管雷管起爆网路逐孔起爆设计[J].工程爆破,2016,22(3):27~30.  
ZHANG Guangquan, WU Chunping, WANG Xuguang, et al. Hole-by-hole initiation network with nonel detonator [J]. Engineering Blasting, 2016 22(3):27~30.
- 胡军,刘兴宗,钟龙.基于加卸载响应比理论的爆破动力露天矿边坡稳定性分析[J].采矿与安全工程学报,2012,29 (6):882~887.  
HU Jun, LIU Xingzong, ZHONG Long. Stability analysis of open-pit slope influenced by blasting dynamics based on theory of load-unload response ratio [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29 (6) :882~887.
- 丁小华,原文杰,解祯.基于综合赋权云模型的露天矿岩体可爆性分级识别[J].煤炭科学技术,2019,47 (10) :88~95.  
DING Xiaohua, YUAN Wenjie, XIE Zhen. Classification and identification of explosibility of rock mass in open-pit mine based on comprehensive weighted cloud model [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47 (10) :88~95.
- MA Li, LI Kemin, XIAO Shuangshuang, et al. Research on effects of blast casting vibration and vibration absorption of presplitting

blasting in Open Cast Mine [J]. Shock and Vibration, 2016, Doi: 10.1155/2016/4091732.

- [8] 杨仁树, 丁晨曦, 王雁冰, 等. 爆炸应力波与爆生气体对被爆介质作用效应研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35 (S2): 3501-3506.

YANG Renshu, DING Chenxi, WANG Yanbing, et al. Action - effect study of medium under loading of explosion stress wave and explosion gas [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 35 (S2): 3501-3506.

- [9] 何晓光, 周传波. 裂隙岩体爆破理论研究进展 [J]. 辽宁科技大学学报, 2005 (4): 1-5, 7.

HE Xiaoguang, ZHOU Chuanshuo. Research progression in blasting theory for fracture rock mass [J]. Journal of Benxi College of Metallurgy, 2005 (4): 1-5, 7.

- [10] 刘健, 刘泽功, 高魁, 等. 不同装药模式爆破载荷作用下煤层裂隙扩展特征试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35 (4): 735-742.

LIU Jian, LIU Zegong, GAO Kui, et al. Experimental study of extension characters of cracks in coal seam under blasting load with different charging modes [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 35 (4): 735-742.

- [11] 杨国梁, 杨仁树, 车玉龙. 周期性爆破振动下围岩的损伤累积效应 [J]. 煤炭学报, 2013, 38 (S1): 25-29.

YANG Guoliang, YANG Renshu, CHE Yuong. Damage accumulative effect of surrounding rock under periodic blasting vibration [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38 (S1): 25-29.

- [12] 陈亚军, 常治国, 赵斐. 干旱区露天煤矿非构造裂隙爆破技术及案例分析 [J]. 采矿与安全工程学报, 2017, 34 (6): 1162-1168.

CHEN Yajun, CANG Zhiguo, ZHAO Fei. Non-structural fracture blasting technique and case study of open pit coal mine in arid area [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2017, 34 (6): 1162-1168.

- [13] 陈亚军, 常治国, 赵斐. 干旱区露天矿爆破作用线理论与实践研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2019, 36 (3): 435-440.

CHEN Yyajun, CHANG Zhiguo, ZHAO Fei. Theory and practice of blasting action line in open pit mine in arid area [J]. Journal of mining and safety engineering, 2019, 36 (3): 435-440.

- [14] 许江鹏, 凌昊. 非均质岩体安全爆破网路设计与应用 [J]. 西部探矿工程, 2018, 30 (10): 138-140.

XU Jiangpeng, LING Hao. Design and application of safety blasting network for heterogeneous rock mass [J]. West - China Exploration Engineering, 2018, 30 (10): 138-140.

- [15] 楼晓明, 周文海. 露天微差爆破延期时间选取 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2015, 67 (4): 82-88.

LOU Xiaoming, ZHOU Wenhai. Selection of delayed time in millisecond blasting of open-pit mining [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2015, 67 (4): 82-88.

- [16] 刘倩, 吕淑然. 露天台阶爆破毫秒延时间隔时间研究 [J]. 工程爆破, 2014, 20 (1): 54-58.

LIU Qian, LYU Shuran. Research on the millisecond delay interval time of open - pit bench blasting [J]. Engineering Blasting, 2014, 20 (1): 54-58.

- [17] 罗开军. 孔内孔间微差爆破间隔时间的合理选择 [J]. 金属矿山, 2006, 35 (4): 4-6.

LUO Kaijun. Rational selection of delay time in in-hole and between holes microsecond blasting [J]. Metal Mine, 2006, 35 (4): 4-6.