

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.05.013

双重预裂与定向抛掷爆破相结合在露天煤矿削坡减载工程中的应用^{*}

郭可伟 宋阿青

葛洲坝易普力新疆爆破工程有限公司(新疆乌鲁木齐,830000)

[摘 要] 通过双重预裂爆破和定向抛掷爆破相结合,将高边坡危岩爆破抛掷至指定位置,起到削坡减载的作用。同时,利用双重预裂爆破稳定预留岩体。相对于传统预裂爆破,双重预裂爆破能更好地减弱抛掷爆破对预裂边坡的损坏,在主炮孔起爆前沿开口线形成一层 1.0 m 左右的破碎带;相对于传统预裂孔形成的预裂缝,保护预留岩体的作用更加明显;与目前使用预裂爆破或者抛掷爆破常规手段进行削坡减载相比,具有效率高、成型快、边坡稳定性好的优点。在黑山煤矿二期削坡减载工程中的实际运用中,一次削坡工程量达 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$,边坡成型面积达 $1 \times 10^4 \text{ m}^2$ 以上。

[关键词] 削坡减载;抛掷爆破;双重预裂爆破;预留岩体

[分类号] TD235

Combination of Double Pre-splitting Blasting and Directional Throwing Blasting in Slope Cutting and Unloading Engineering of Open Pit Coal Mine

GUO Kewei, SONG aqing

Xinjiang Blasting Engineering Branch, Explosive Co., Ltd., Gezhouba Group (Xinjiang Urumqi, 830000)

[ABSTRACT] Double pre-splitting blasting and directional throw blasting were combined in slope cutting and unloading engineering by removing dangerous rock from high slope site to the assigned area. At the same time, the reserved rock was stabilized using double pre-splitting blasting. Compared with traditional pre-splitting blasting, double pre-split blasting could reduce the damage of slope due to throwing blasting by the formation of a layer of 1.0 m broken zone around the opening line before the explosion of the main holes. Compared with pre-cracking formed by traditional pre-splitting blasting, the protection of retaining rock is much more obvious. And compared with double pre-splitting blasting or directional throw blasting used in slope cutting and unloading, this method has the advantages of high efficiency, fast forming, and the good stability of the slope. It has been used in the second phase of slope cutting and unloading engineering in Heishan Coal Mine. Results show that the engineering quantity of slope cutting is up to $30 \times 10^4 \text{ m}^3$, and the slope forming area is more than $1 \times 10^4 \text{ m}^2$.

[KEYWORDS] slope cutting and unloading; throwing blasting; double pre-splitting blasting; rock reservation

引言

自 2009 年建矿以来,黑山煤矿于北部内排土场及北外排土场共发生 2 次滑坡,滑坡时间分别为 2012 年、2014 年,滑坡区域在同一位置。2015 年 12 月 31 日,黑山煤矿技术人员在巡检过程中发现,滑坡区北部东西走向产生裂缝。

自 2016 年 1 月 3 日加强监测至今,滑坡区变形日益加剧。北部大裂缝东西走向由 700 m 增至 800 m,裂缝宽度增至 471 mm,且煤层底板出现较为明显的底鼓现象^[1](图 1)。在监测期间,于北三出车沟、北二出车沟、北一出车沟均发现不同程度的纵向裂缝,且裂缝宽度有明显增加^[2]。通过对监测数据进行位移矢量图分析(图 2),可知滑坡区变形方向与三角煤上覆排土场的排弃方向几乎一致。

^{*} 收稿日期:2017-02-08
作者简介:郭可伟(1984-),男,中级爆破工程师,研究方向为矿山爆破技术。E-mail:251968814@qq.com

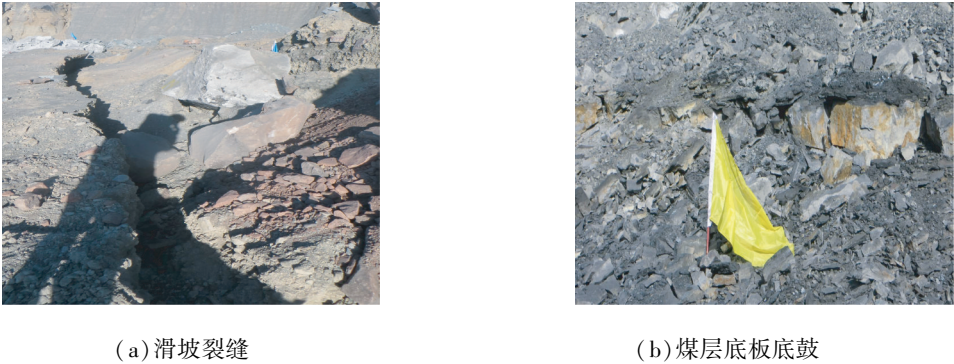


图 1 滑坡区域现场图
Fig.1 Landslide area statas

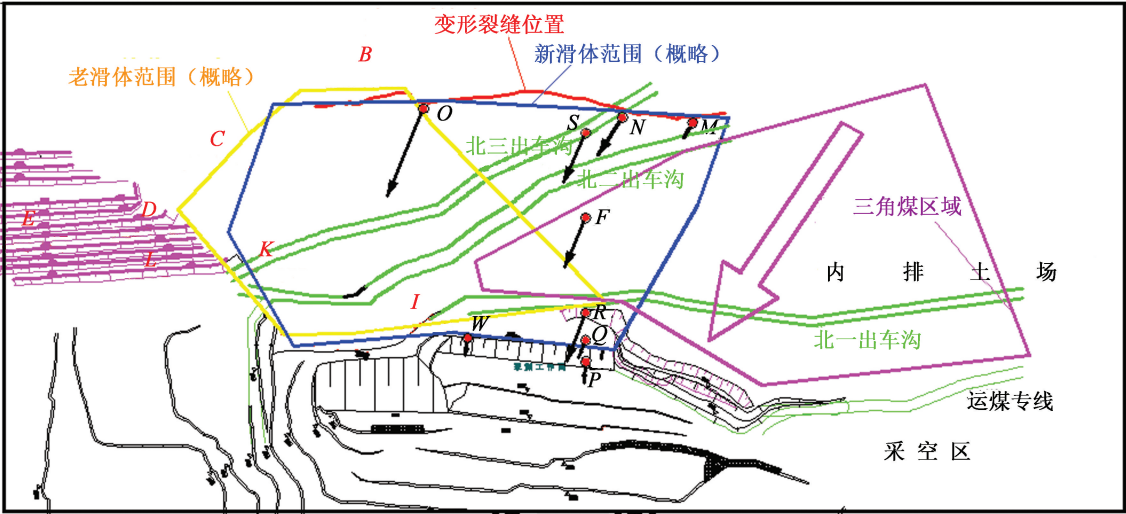


图 2 位移矢量图
Fig.2 Displacement vector diagram

1 爆破方案的确定

1.1 滑坡现状及分析

黑山煤矿岩体的物理力学性质见表 1。
图 3 为滑坡变形 3 大阶段。其中,AB 段为蠕动变形阶段,坡体上缘出现裂缝,但变形量较小;BC 段
表 1 黑山煤矿岩体的物理力学性质

Tab. 1 Physical and mechanical properties of rock and soil in Heishan Coal Mine

岩性	内聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)	密度 ρ/(g·m ⁻³)	备注
排弃物	20	24	2.10	来自原初设报告
底板泥岩	154	30	2.25	临近矿区
基岩	650	38	2.61	临近矿区
煤	100	25	14.80	临近矿区
弱层	23	12	16.70	滑坡反分析

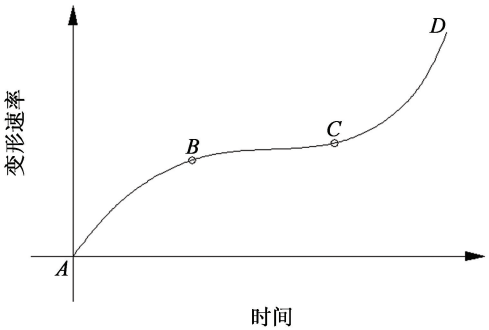


图 3 滑坡变形阶段
Fig.3 Deformation stage of landslide

为匀速变形阶段,坡体上缘裂缝增大,坡底出现底鼓现象,变形量增大,但变形速率维持在一个固定值;CD 阶段为加速变形阶段,也称突变或剧烈滑动阶段,该阶段滑动面已贯通,变形速率急剧增加^[3]。
通过对矿区现有监测资料分析,可知目前滑坡区北部裂缝变形速率约为 1~2 cm/d,边坡尚处于匀速变形阶段(即 BC 段),需立即开展滑坡区边坡

灾害治理,以保证矿山安全生产^[4]。

通过滑坡区变形原因初步分析,可知高危边坡存在弱层,地质结构是本次滑坡发生的主要原因(图4)。针对该情况,以滑坡反分析为基本依据,对三角煤以上内排土场边坡进行定向抛掷爆破,同时在边帮实施双重预裂爆破以保护未开挖边坡^[5]。

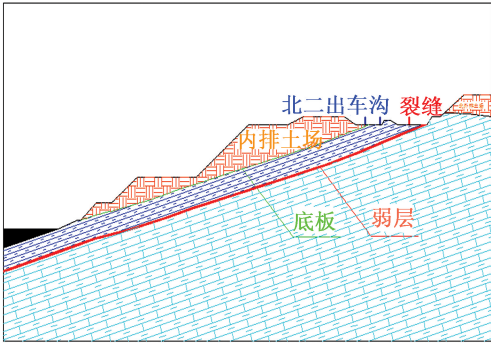


图4 地质结构剖面简化模型

Fig. 4 Simplified model of geological profile

1.2 爆破方案分析

边坡稳定系数主要按照 GB50197—2005 露天煤矿工程设计规范来确定(表2)。依据地质条件和收集到的资料,为减缓边坡变形速率,延长边坡治理时间^[6],爆破减载后边坡稳定系数暂定为 1.15。

表2 边坡稳定系数 K

Tab.2 Slope stability factor K

边坡类型	服务年限/a	K
边坡上有特别重要建筑物或边坡滑落会造成生命财产重大损失者	>20	>1.5
采掘场最终边坡	>20	1.3~1.5
	<10	1.1~1.2
非工作帮边坡	10~20	1.2~1.3
	>20	1.3~1.5
工作帮边坡	临时	1.0~1.2
外排土场边坡	>20	1.2~1.5
内排土场边坡	<10	1.2
	≥10	1.3

考虑到黑山露天煤矿出煤开采水平为 +2 210 m,深度达 200 m 以上,最终边帮边坡的坡比1.0 : 0.5,比最初设计坡比 1.0 : 0.7 时的稳定性要求更加苛刻,不允许对边坡岩体产生微小的伤害,因此,拟采用双重预裂和定向抛掷爆破相结合的方式处理危害岩体:

- 1) 岩体边坡采取双重预裂控制爆破,以保护新形成边坡的稳定性;
- 2) 主炮区采取定向抛掷爆破,将处于弱层上方

岩体抛掷至坡脚,起到压坡和减载的作用^[7]。

该方式与传统方式处理危害岩体相比,能更好地控制最终边帮不均匀岩体的成型,相对于单纯的预裂爆破,更有利于边坡的后拉控制,是在边坡爆破中对预留岩体进行保护的更加先进的爆破方式。

2 爆破相关参数的设定

2.1 双重预裂爆破参数设定

由于边坡稳定性较差,为保护高危边坡稳定性,采用双重预裂爆破保护预留岩体,其实质是通过双重预裂,使主炮孔起爆前沿边坡不仅仅是形成一条预裂缝,而是形成一层 1.0 m 左右的破碎带。双重预裂布置见图5。

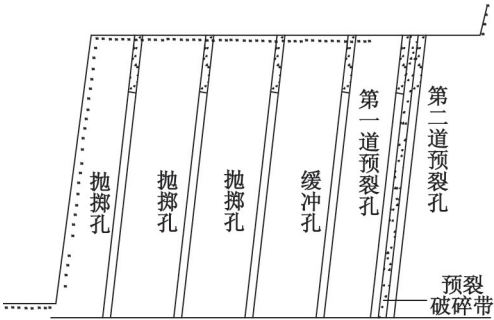


图5 双重预裂布置示意图

Fig. 5 Schematic diagram of double pre-splitting blasting

1) 孔径与孔间距。

钻孔直径 a 与钻孔间距 d 的比值可用间距系数 E 表示^[8],即

$$E = \frac{a}{d}.$$
 (1)

式中:选取钻孔直径 d 为 45 mm,当 $d \leq 60$ mm 时,炮孔间距 $a = (9 \sim 14)d$,两排预裂孔,间距 1.0 m,钻在开口线的预裂孔(后排)按照正常参数设计,此处选取 $a_1 = 500$ mm;另一排预裂孔(前排)孔距按照 $(15 \sim 20)d$,适当扩大至 $a_2 = 900$ mm。

2) 炸药选型。

采用单支直径 32 mm、长度 20 cm、质量 200 g 的 2#岩石乳化炸药。

3) 线装药密度。

根据葛洲坝预裂爆破公式^[9]

$$\Delta t = 0.304[\sigma]^{0.5}d^{0.86}.$$
 (2)

式中: Δt 为线装药密度, g/m,结合岩石性质取 350 g/m; $[\sigma]$ 为岩石的极限抗压强度, $(250 \sim 1\,500) \times 10^5$ Pa; d 为炮孔直径, 45 mm。

4) 起爆顺序。

双重预裂爆破要求在抛掷孔起爆前建立起破碎带,前排预裂孔先起爆。间隔 100 ms,后排预裂孔起爆。当后排预裂孔爆破时,其前方 1.0 m 处存在了一个前排预裂孔爆破出的粗裂缝,使后排预裂孔爆破时能量向该面偏移,从而减轻了它对边坡岩体的破坏。两排预裂孔之间形成了良好的破碎,其阻断抛掷孔裂隙和减振作用比单一的预裂缝要有利得多。

2.2 抛掷孔爆破参数的设定

在以往的爆破工程中,抛掷爆破均以硐室装药的方式实施,中深孔台阶抛掷爆破装药类似于直立或倾斜的条形药包。

在采用预裂爆破的过程中,必须采用定向抛掷爆破,将主体岩石抛掷至设计位置,达到削坡压脚的作用。黑山露天煤矿削坡减载工程中抛掷爆破参数如表 3^[10]。表 3 中, I_c 为重心抛距; I_m 为前沿抛距; W 为最小抵抗线; W_d 为底部抵抗线。

表 3 抛掷爆破相关试验参数

Tab.3 Experimental parameters of throwing blasting				
抛掷孔单耗/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	I_c/m	I_m/m	W/m	W_d/m
0.5	19 ~ 22	25 ~ 30	5	7
0.8	25 ~ 28	35 ~ 40	7	10
1.2	35 ~ 45	50 ~ 60	10	12
1.5	55 ~ 65	70 ~ 85	15	20

结合现场抛掷爆破实际情况,爆区地形坡度为 $15^\circ \sim 30^\circ$,岩石普氏系数 $f=8 \sim 12$,使用抛掷孔孔径 138 mm 进行抛掷爆破,得出结论:

1) 最小抵抗线 $W \geq 8 \text{ m}$ 时 (W 取 60 倍孔径),不能形成抛掷,爆破效果很差。 W_d 在 5 ~ 7 m 时可以取得良好的抛掷效果,爆堆呈正态分布隆起,沉降沟在 1 ~ 2 m。抛掷爆破孔分布为 3 排,最小抵抗线理论计算公式如下:

$$L_p = \frac{\gamma}{2 \cdot 100} W \sqrt[3]{K_n} (1 + \sin 2\theta)。$$

(3)

式中: L_p 为药包中心至爆堆最高水平点的水平距离^[11]; γ 为岩土介质在自然堆积状态下的密度; W 为药包的最小抵抗线; K_n 为药量系数; θ 为最小抵抗线方向与铅垂线所夹抛射角。

2) 抛掷孔角度。当抛掷孔角度为 70° , 可以取得良好的抛掷效果,建议不小于 50° 。

3) 爆破作用指数 n 的选择。根据各剖面及地形自然坡面角,前药包爆破后对后药包形成 $60^\circ \sim 70^\circ$ 坡面角,主炮孔抛掷爆破要将弱层上方岩体抛掷至坡脚,同时要考虑爆破振动对弱层的影响,防止爆

破振动造成滑坡^[12],选取爆破作用指数 $n = 1$ 。

4) 爆破网络。双重预裂和抛掷孔结合进行削坡减载,对爆破网络的要求与一般的预裂爆破网络有很大不同,具体见图 6。主炮孔前排辅助孔及后排减弱孔采用 138 mm 孔径,现场混装乳化炸药密度控制在 $1.10 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$ 之间,实际延米装药量约为 22 kg/m (根据岩石性质,扩孔系数取 1.02)。

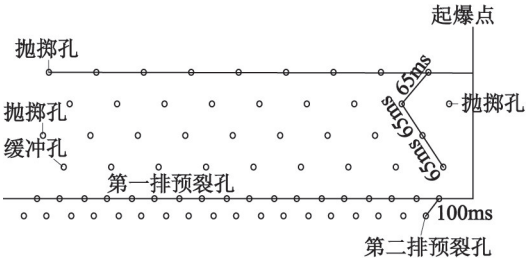


图 6 双重预裂抛掷爆破网络示意图
Fig.6 Schematic diagram of double pre-splitting blasting network

抛掷爆破容易引起危害岩体崩塌,加速危害岩体滑坡。因此,在爆破中对网络的要求较高,采用高精度雷管微差爆破严格控制同段雷管激发药量。在主炮孔抛掷爆破参数排距 10.0 m、孔距 13.5 m 的情况下,延期时间控制在 100 ms 以上,相邻炮孔的爆破振动速度叠加最大值不超过单孔起爆引起的爆破振动峰值^[13]。

3 爆破效果

两种爆破相结合的爆破示意图如图 7。

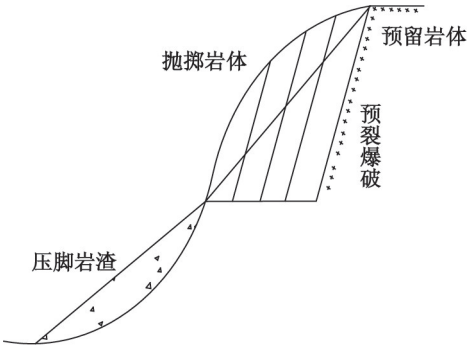


图 7 抛掷与双预裂爆破示意图
Fig.7 Schematic diagram of throwing blasting and double pre-splitting blasting

经爆破处理后边坡稳定系数 $K > 1.5$,均符合表 2 中各种边坡的要求,危害岩体得到妥善处置。爆破在削坡减载中引起的振动等次生灾害影响较小,效率较高,危害岩体经治理后成型美观,预留岩体稳

定^[14]。单次处理不稳定岩体达 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$, 成型坡面超过 $1 \times 10^4 \text{ m}^2$, 爆破效果见图 8、图 9。



图 8 爆破后效果图

Fig.8 Picture after blasting



图 9 爆破后削坡减载成型边坡

Fig.9 Formed slope after blasting

4 结论

基于工程实例,将双重预裂爆破与定向抛掷爆破相结合,在削坡减载工程中,单次处理不稳定岩体达 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$,成型坡面达到 $1 \times 10^4 \text{ m}^2$ 左右,具有成本低、效率高、边坡稳定性好的特点。通过该爆破控制技术的实例,可对类似矿山高危边坡治理提供参考指导作用。

参 考 文 献

- [1] 祝文化,涂胜,刘晓华.高边坡无马道切槽开挖控制爆破[J].爆破,2001,18(增刊1):27-29.
ZHU W H, TU S, LIU X H. Controlled blasting excavation of high slope notch[J]. Blasting, 2001, 18(Suppl. 1): 27-29.
- [2] 于亚伦.工程爆破理论与技术[M].北京:冶金工业出版社,2004.
- [3] 张正宇,刘美山,吴从清.高陡边坡开挖中的爆破及其控制技术[M]//张正宇.中国爆破新技术.北京:冶金

工业出版社,2004:98-101.

- [4] SOEJIMA M ASAKUMA Y, MORI T, et al. Analysis of the influence of crack in coke on the fracture [J]. Testu-to-Hagane, 2001, 87: 245-251.
- [5] 孙金龙.大型露天煤矿半连续工艺应用范围研究[D].徐州:中国矿业大学,2013.
SUN J L. Application range research on semi-continuous mining system in large open-pit coal mines[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2013.
- [6] 宫玉成.哈尔乌素露天煤矿单斗-卡车工艺优化研究[D].包头:内蒙古科技大学,2013.
GONG Y C. Optimization study in Harwusu surface mine single bucket excavator-truck system [D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science and Technology, 2013.
- [7] 李本平,刘聪,王双利,等.松散介质抛掷爆破试验研究[J].爆破,2010,27(1):11-13.
LI B P, LIU C, WANG S L, et al. Experimental study on cast blasting in loose medium [J]. Blasting, 2010, 27(1): 11-13.
- [8] 陈士海,王明洋,赵跃堂,等.岩石爆破破坏界面上的应力时程研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(11):1784-1788.
CHEN S H, WANG M Y, ZHAO Y T, et al. Time-stress history on interface between cracked and uncracked zones under rock blasting [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(11): 1784-1788.
- [9] 颜事龙.现代工程爆破理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007:137.
- [10] 丁小华,李克民,狐为民,等.基于非线性理论的抛掷爆破爆堆形态预测[J].中国矿业大学学报,2012,41(5):764-769.
DING X H, LI K M, HU W M, et al. Prediction of optimum muck pile casting shape during blasting: a non-linear theory[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2012, 41(5): 764-769.
- [11] 刘振华.中华人民共和国强制性条文矿山工程部分实施手册[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2003.
- [12] MOHR S H, EVANS G M. Forecasting coal production until 2100[J]. Fuel, 2009, 88(11): 2059-2067.
- [13] 刘殿中,杨仕春.工程爆破实用手册[M].北京:冶金工业出版社,1999.
- [14] OUCHTERLONY F. Prediction of crack lengths in rock after cautions blasting with zero inter-hole delay [J]. Fragblast: International Journal for Blasting and Fragmentation, 1997, 1(4): 417-444.