

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2018.01.011

露天台阶爆破水雾降尘技术及效果评价^{*}

郝成磊^① 李宏伟^① 俞正洪^② 刘敬智^③ 王洪强^① 潘 峰^①

①北方爆破科技有限公司(北京,100089)

②北京奥信化工科技发展有限公司(北京,100040)

③万宝矿产(缅甸)铜业有限公司(北京,100053)

[摘 要] 根据露天台阶爆破粉尘的产生和扩散机制,提出了适用于大型露天台阶爆破的水雾和泡沫降尘技术。通过现场试验,完善了水雾和泡沫发生装置,获得了爆炸成雾合理的爆炸能及延期时间等参数。该技术在缅甸莱比塘矿山大规模露天爆破中得到应用,测得露天台阶爆破粉尘的质量浓度降低了43.0%~49.5%,炮烟体积降低了50%,露天矿台阶爆破降尘效果非常明显。这对减少爆破雾霾、降低环境污染具有重要的作用。

[关键词] 台阶爆破;粉尘;爆炸水雾;降尘效果

[分类号] TD235.4

Dust Suppression Technology by Blasting Spray and Its Effect in Open Beach Blasting

HAO Chenglei^①, LI Hongwei^①, YU Zhenghong^②, LIU Jingzhi^③, WANG Hongqiang^①, PAN Feng^①

① North Blasting Technology Co., Ltd. (Beijing, 100089)

② Beijing Auxin Chemical Technology Co., Ltd. (Beijing, 100040)

③ Myanmar Wanbao Mining Copper Co., Ltd. (Beijing, 100053)

[ABSTRACT] According to the generation and diffusion mechanism of explosion dust in open-pit beach blasting, a dust suppression technology with spray and foam used in large-scale open bench blasting was proposed. Spray and foam generator was improved by field test. Reasonable parameters, such as explosion energy and delay time, were characterized. This technology was applied in large-scale open bench blasting of LPD mines. Results show that the dust concentration has been reduced by 43.0%~49.5%, and the volume of cannon was 50% lower than before. Dust reduction of this technology used in beach blasting of open-pit mine is obvious. And it has an important role in reducing blasting haze and reducing environmental pollution.

[KEYWORDS] bench blasting; dust; blasting spray; dust suppression effect

引言

露天台阶爆破会产生大量的粉尘,不仅对周边环境造成破坏,还对工作人员的身体健康带来危害。因此,降低爆破粉尘是当今环境保护面临的重要课题。随着爆破技术的发展,水雾和泡沫降尘技术被应用于地下隧道爆破、城市拆除爆破等工程中;但是,在大型露天矿台阶爆破中应用水雾和泡沫降尘技术却非常少见。对于大型露天矿台阶爆破,目前并没有一套完整高效且快速降尘的爆破降尘技术。

传统的高压水喷洒或水雾炮降尘措施不适用于大型露天矿台阶爆破。在当今环保理念不断被重视的形势下,急需研制出一套经济、高效的露天爆破降尘技术。

爆炸水雾并产生泡沫的降尘技术首次在大型露天台阶爆破中试验。本文中,根据试验成果提出了一套适用于大型露天台阶爆破的爆炸水雾并产生泡沫的降尘技术,在缅甸莱比塘矿山数十吨级炸药爆破中得到应用和实施,并通过反复改进施工方法,能切实有效地降低爆破粉尘浓度,保护工作人员的身体健康。这一技术对保护环境、开发水雾泡沫降尘

^{*} 收稿日期:2017-07-01
作者简介:郝成磊(1990-),男,硕士,主要从事露天爆破方面的技术研究。E-mail:1275484567@qq.com

装置有实际指导意义^[1-5]。

1 爆破粉尘产生部位及云雾泡沫降尘机理

通过现场实际爆破观察,露天台阶爆破产生的粉尘主要集中在 3 个位置:炮孔孔口、炮区临空面及炮区向前推移中的裂缝。炮孔孔口岩屑填塞不密实,一旦产生冲炮,大量粉尘会远距离扩散;炮区临空面方向产生爆堆前冲,气浪将携带大量粉尘以卷云状向前扩散;随后,岩体内发生的爆炸冲击粉碎圈携带大量粉尘,随炮烟在大气中向下风向扩散^[3]。根据爆破粉尘的产生和扩散特点,必须设计相应位置的水雾和泡沫发生装置。

水雾和泡沫能够捕集露天爆破产生的粉尘,不仅与水珠或泡沫本身所具有的良好比表面张力有关,还与水珠或泡沫及粉尘的相互作用路径密切相关。降尘作用主要有截留效应、惯性碰撞效应、扩散效应、凝聚效应和重力沉降效应等^[6-11]。

研究发现^[9-12],水雾和泡沫降尘的机理对于不同粒径下的粉尘各不相同:粉尘粒径大于 100 μm 时,速度不高的情况下,重力沉降效应起主要作用;粉尘粒径为 10 ~ 50 μm 时,速度很高的情况下,截留和惯性碰撞效应起主要作用;粉尘粒径小于 10 μm 时,扩散效应起主要作用;而黏附效应一直都存在。在水雾和泡沫降尘过程中,4 种效应是同时作用的,4 种方式的结合使得爆破粉尘在泡沫未降落之前被泡沫吸附而被除去。

2 泡沫降尘工艺

2.1 工艺原理

在现场铺设水袋^[13-14]。利用导爆索的爆炸能将水袋里的溶液喷发扩散,形成水雾和泡沫,相当于传统泡沫降尘中的泡沫发生装置。

针对露天矿台阶爆破粉尘产生的主要部位,在炮区内进行水袋铺设,确保精确的时空对接。在临空面侧铺设一条或多条水袋(根据粉尘量而定),水袋之间存在一定距离,作用是形成水幕,阻挡临空面方向卷云状扩散的粉尘;根据炮区的孔排数,可在地表长排铺设和斜排铺设水袋,通过爆炸水雾阻挡地表和爆堆前移时裂缝中扩散的粉尘^[15];在保证堵塞质量的前提下,堵塞段部分采用水封堵塞,可消除冲炮产生的大量粉尘,同时中和了炮孔内部爆炸产生

的粉尘。

2.2 工艺流程

水袋铺设在炮区的 3 个位置:炮区地表、炮孔、炮区临空面。施工工艺流程如图 1 所示。

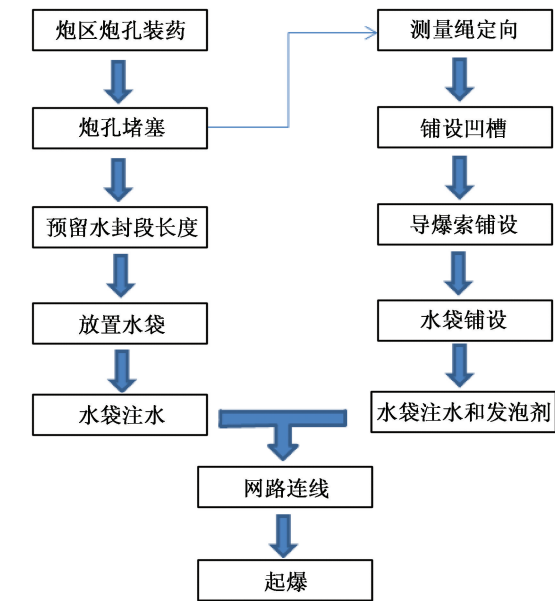


图 1 施工工艺流程图

Fig. 1 Construction process flow chart

1)测量绳定向。主要作用是导向,保证下一步操作铺设的凹槽顺直,确保爆炸水雾在设计的空间位置形成。

2)铺设凹槽。铺设凹槽的材料可以选择细砂或者岩粉,主要作用是用来固定水袋,防止水袋在注满水后滚动和保证导爆索处于水袋正下方。

3)导爆索铺设。导爆索的规格可根据现场实际使用的型号而定,导爆索铺设在凹槽内,导爆索使用量(含炸药量)以水袋尺寸和台阶高度来确定。

4)水袋铺设。水袋尺寸根据粉尘量的大小来选取,一般选取水袋的直径为 200 ~ 300 mm,铺设时注意使水袋处于之前铺设好的凹槽内,且导爆索处于水袋正下方。

5)水袋注水和发泡剂。水袋注水和发泡剂之前要注意地表起伏情况,如果地表不平整,水袋注水和发泡剂较困难,可根据地表起伏情况截断水袋,分段注水和发泡剂,形成的水溶液中发泡剂质量分数取 1% ~ 3%^[16]。注水和发泡剂的过程中,要时刻检查导爆索情况,保证导爆索处于水袋正下方。

6)炮孔内放置水袋和注水。在炮区装完药后,堵塞炮孔时由测量人员监测预留水封段长度,完毕后向孔内放置水袋和注水,不需要发泡剂,作用只是来阻挡炮孔产生的粉尘。

7) 网路连接。炮区正常网路连线,导爆索与炮区地表管相连,且导爆索与炮孔起爆有一定的延期时间。

2.3 水雾和泡沫发生装置的控制

此工艺实施最重要的一点就是水雾和泡沫发生装置的控制,即导爆索爆炸能及起爆时间的控制。此控制均是采用现场试验的方法来确定的。试验中,水袋直径 300 mm,导爆索的规格为 13 g/m。

2.3.1 导爆索爆炸能控制试验

导爆索爆炸能以线装药密度来衡量。试验是在天气无风的条件下进行的。现场试验见图 2。在一条直线上布置了 2 条水袋,每条水袋长 10 m,起爆水袋的线装药密度分别设为 39 g/m 和 26 g/m。起爆过程通过高速摄影仪拍摄并通过 ProAnaiyst 软件分析处理;爆后现场实际测量水雾和泡沫的喷洒高度和覆盖宽度。试验数据见表 1。



图2 导爆索爆炸能控制试验

Fig.2 Explosion energy control test of detonating cord

表1 试验数据

Tab.1 Test data

线装药密度/(g·m ⁻¹)	39	26
喷洒高度	16~20	10~15
覆盖宽度	11~15	10~14

起爆药量的公式为:

$$Q = kV. \tag{1}$$

式中:Q 为起爆药量,kg;k 为单位体积水的用药系数,kg/m³;V 为水的体积,m³。

薛里等^[17]研究表明,k 取 0.2~0.3 kg/m³ 时雾化程度效果最好,药量加大,雾化效果变化不大,此时线装药密度为 14~21g/m。结合式(1)和表 1 数据可看出,随着线装药密度的增大,水雾喷洒高度和覆盖宽度也变大。所以,对于不同台阶段高、炮孔孔排距选择线型爆炸能时,在考虑水雾化效果的同时,还要考虑水雾的喷洒高度和覆盖宽度。

2.3.2 导爆索起爆时间控制试验

导爆索的起爆时间要延后于炮孔内导爆管雷管的起爆时间,以便于爆破粉尘与爆炸水雾的结合。具体最优延期时间均是通过现场试验确定的。

临空面侧水袋底部导爆索起爆时间试验参数

有:水袋靠近临空面坡底水平距离 L_1 ,m; 两条水袋之间水平距离 L_2 ,m; 导爆索与对应炮区前排孔的最后炮孔延期时间 t_1 ,ms; 两排导爆索之间延期时间 t_2 ,ms。

起爆过程通过高速摄影仪拍摄,并通过 Pro-Anaiyst 软件分析处理,通过几次试验确定了 L_1 的最佳取值为 10~15 m; L_2 的最佳取值为 4~6 m; t_1 的取值为 1 000~1 500 ms; t_2 的取值为 500 ms。现场试验见图 3(a)。

地表水袋底部导爆索起爆时间试验参数主要是导爆索与水袋覆盖区最后炮孔延期时间 t_3 。起爆过程通过高速摄影仪拍摄并通过 ProAnaiyst 软件分析处理。试验结果:地表水袋用来捕集地表和炮区前移过程中裂缝产生的粉尘,在保证水袋不被起爆过程破坏和泡沫能够覆盖、捕捉爆破粉尘的前提下, t_3 取值为 0~300 ms。现场试验见图 3(b)。



(a)临空面水袋底部



(b)地表水袋底部

图3 导爆索起爆时间控制试验

Fig.3 Initiation time control test of detonating cord

3 现场应用

缅甸莱比塘矿山位于缅甸联邦西北部实皆省(Sagaing)南部,其气候条件为旱季高温干燥,容易产生大范围粉尘污染。由于矿区台阶爆破产生大量的粉尘,对矿区周边的缅甸村民产生了极大影响,所以采用适合于露天台阶爆破的水雾和泡沫降尘技术来控制爆破粉尘。

3.1 现场应用水雾和泡沫降尘工艺

水雾和泡沫降尘工艺首次应用在莱比塘矿山西山 L150-2019 爆区,爆区参数见表 2。

炮区临空面铺设 2 条水袋,水袋距离爆区临空面坡底距离分别为 15 m 和 20 m;爆区地表共铺设 6

条水袋,为避免与起爆网路产生交叉,水袋斜排铺设;炮孔堵塞水封段长度为 4 m。水袋直径均为 300 mm。详情见图 4。

表 2 爆区参数

Tab. 2 Parameters in blasting area							
排数	炮孔总数	孔排距/ m	孔径/ mm	台阶高度/ m	孔深/ m	装药长度/ m	堵塞长度/ m
4	42	9×7	250	15	17	8	9

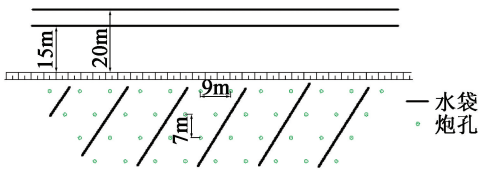


图 4 爆区水袋布置图

Fig. 4 Water bag arrangement in blasting area

3.2 水雾和泡沫降尘工艺的网路连接

水雾和泡沫降尘工艺的泡沫发生装置,是利用导爆索的爆炸能将水袋里的溶液瞬间扩散形成水雾和泡沫。炮区临空面侧水袋设计线装药密度为 39 g/m,地表水袋线装药密度为 26 g/m,孔内地表管延期 450 ms,地表水袋底部导爆索与水袋覆盖区最后爆破孔相连接,起爆延期时间 50 ms;临空面侧距离坡底近处的导爆索与对应爆区前排孔的最后爆破孔的起爆延期时间为 1 050 ms,两排导爆索的延期时间为 500 ms。详情见图 5。

4 降尘效果评价

通过 FCC-25 型防爆型粉尘采样仪器,对未采用任何降尘措施的不同炮区(炮区大小和炮孔装药量基本相同)进行粉尘浓度采集,采集地点在炮区

的下风侧,风速 2~3 级,距离爆区分别为 50、75 m 和 100 m。共采集了 10 组数据,如表 3 所示。

表 3 爆破粉尘的质量浓度

Tab. 3 Concentration of explosion dust			
序号	采样点与爆区的距离/m		
	50	75	100
1 [#]	397	189	105
2 [#]	386	183	95
3 [#]	395	190	97
4 [#]	358	171	90
5 [#]	371	177	103
6 [#]	392	193	93
7 [#]	368	181	96
8 [#]	376	173	85
9 [#]	381	185	99
10 [#]	375	169	89

通过表 3 的数据可看出,距离炮区 50 m 处的粉尘质量浓度在 358~397 mg/m³ 之间;75 m 处,粉尘质量浓度在 169~193 mg/m³ 之间;100 m 处,粉尘质量浓度在 85~105 mg/m³ 之间。

在同等条件下,采用水雾和泡沫降尘工艺,通过 FCC-25 型防爆型粉尘采样仪器所测得的粉尘质量浓度为:距离炮区 50 m 处的粉尘质量浓度为 192 mg/m³;75 m 处,粉尘质量浓度为 103 mg/m³;100 m 处,粉尘质量浓度为 51 mg/m³。通过计算可得,爆破粉尘质量浓度降低了 43.0%~49.5%,露天台阶爆破降尘效果非常明显。

由表 3 数据拟合出了粉尘质量浓度随采样距离的关系,见图 6。通过图 6 可看出,露天台阶爆破粉尘质量浓度随着风速移动会慢慢扩散和沉降,粉尘质量浓度逐渐降低,降低到一定浓度后趋于稳定。

在同等条件下,通过直观观察,对比了未采用任

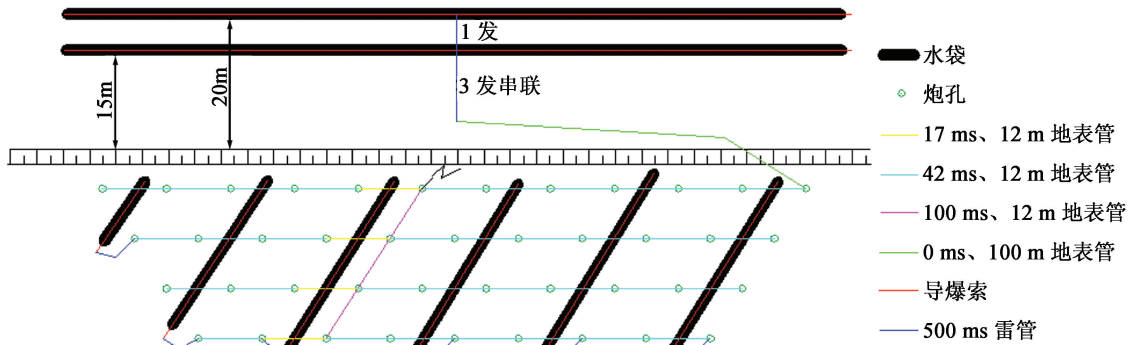


图 5 爆破网路连线图

Fig. 5 Blasting network connection

何降尘措施条件下的爆破炮烟体积和采用此工艺爆破后的炮烟体积(图7)。炮烟体积降低了50%以上,降尘效果非常明显。

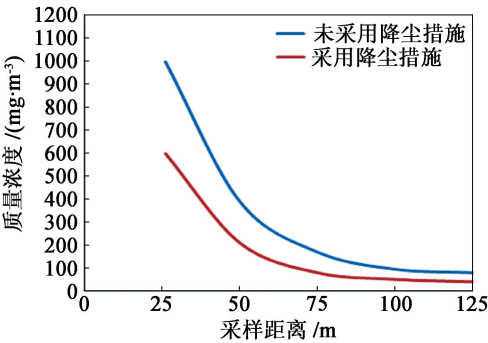


图6 粉尘质量浓度随采样距离的变化
Fig.6 Dust concentration changing with sampling distance



(a) 未采用降尘措施



(b) 采用泡沫降尘



(c) 捕获粉尘的泡沫

图7 炮烟体积对比图

Fig.7 Comparison of cannon volume

散规律设计了水雾和泡沫发生装置,适用于大型露天矿台阶爆破的大面积降尘。

2)通过现场试验,确定了新型水雾和泡沫发生装置的合理爆炸能和延期时间。

3)通过实测数据,拟合出了露天矿台阶爆破粉尘浓度随距离变化的关系,粉尘浓度随着风速移动会慢慢扩散和沉降,粉尘浓度逐渐降低,相当远距离范围内趋于稳定。

4)水雾和泡沫降尘工艺能够使露天矿台阶爆破粉尘质量浓度降低43.0%~49.5%,炮烟体积降低50%以上。

参 考 文 献

[1] 王和堂,王德明,任万兴,等. 煤矿泡沫除尘技术研究现状及趋势[J]. 金属矿山,2009(12):131-134.
WANG H T, WANG D M, REN W X, et al. Research status and development trend for foam dust control technique in underground coal mines[J]. Metal Mine, 2009 (12):131-134.

[2] 韩方伟,王德明,任万兴. 泡沫降尘技术的发展及关键问题[J]. 煤矿安全,2013, 44(10):78-81.
HAN F W, WANG D M, REN W X. Development and crucial problems of foam dedusting technology[J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(10):78-81.

[3] 许秦坤,陈海焱. 爆破粉尘及炮烟控制现状[J]. 爆破, 2010, 27(4):113-115.
XU Q K, CHEN H Y. Current situation of controlling blast dust and fume[J]. Blasting, 2010, 27(4):113-115.

[4] 李德文,郭胜均. 中国煤矿粉尘防治的现状与发展方向[J]. 金属矿山,2009(增刊):747-752.
LI D W, GUO S J. Situation and development direction of dust prevention and treatment for China coal mine[J]. Metal Mine, 2009(suppl.):747-752.

[5] 蒋仲安,李怀宇. 泡沫除尘技术的研究与应用[J]. 中国安全科学学报,1997, 7(3):53-57.
JIANG Z A, LI H Y. Study on forth dusting technology and its application[J]. China Safety Science Journal, 1997, 7(3):53-57.

[6] 薛里. 爆炸水雾降尘机理的实验研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2005.

[7] 黄本斌,王德明,时国庆,等. 泡沫除尘机理的理论研究[J]. 工业安全与环保,2008, 34(5):13-15.
HUANG B B, WANG D M, SHI G Q, et al. Study on mechanism of froth dedusting[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2008, 34(5):13-15.

[8] 奚志林,王德明,陆伟,等. 泡沫除尘机理研究[J]. 煤

5 结 论

1)水雾和泡沫降尘工艺是根据粉尘产生和扩

矿安全,2006(3):1-4.

XI Z L, WANG D M, LU W, et al. Study of mechanism aspirating with foam[J]. Safety in Coal Mines, 2006(3): 1-4.

[9] 戴永禄,杨树军. 泡沫降尘新技术在官地矿掘进工作面的应用初践[J]. 中国矿业, 2012, 21(6): 83-87.

DAI Y L, YANG S J. Practice and application on newly dust control technology with foam in fully mechanized workplace of Guandi mine[J]. China Mining Magazine, 2012, 21(6): 83-87.

[10] 陆新晓. 泡沫碎尘技术发泡效果实验[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(3): 223-225.

LU X X. Experiment on dedusting foam in underground coal mines [J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science & Technology, 2011, 21(3): 223-225.

[11] 陆新晓,王德明,任万兴,等. 泡沫降尘技术在枣庄滨湖煤矿的实验研究[J]. 煤炭技术, 2012, 31(11): 72-74.

LU X X, WANG D M, REN W X, et al. Study of forth dedusting expernment in Binhu Coal Mine [J]. Coal Technology, 2012, 31(11): 72-74.

[12] 刘杰,杨胜强,张仁贵. 岩巷综掘工作面泡沫除尘技术研究[J]. 工业安全与环保, 2013, 39(4): 40-42.

LIU J, YANG S Q, ZHANG R G. Bubble dust removal study for rock roadway comprehensive heading face[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2013, 39(4): 40-42.

[13] 胡涛,刁伟,崔正辉,等. 水袋在爆破水雾除尘技术中的应用[J]. 水科学与工程, 2012(4): 52-54.

HU T, DIAO W, CUI Z H, et al. Application of water bag in the blasting mist dust suppression technology[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2012(4): 52-54.

[14] 池恩安,温远富,罗德丕,等. 拆除爆破水幕帘降尘技术研究[J]. 工程爆破, 2002, 8(3): 25-28.

CHI E A, WEI Y F, LUO D P, et al. Research on water-curtain dust-reduction technology for demolition blasting [J]. Engineering Blasting, 2002, 8(3): 25-28.

[15] 李战军,汪旭光,郑炳旭. 水预湿被爆体降低爆破粉尘机理研究[J]. 爆破, 2004, 21(3): 21-23, 39.

LI Z J, WANG X G, ZHENG B Q. Mechanism of blasting-dust control by prewetting demolished buildings [J]. Blasting, 2004, 21(3): 21-23, 39.

[16] 蒋仲安,李怀宇,杜翠凤. 泡沫除尘机理与泡沫药剂配方的要求[J]. 中国矿业, 1995, 4(6): 61-64.

JIANG Z A, LI H Y, DU C F. Mechanism of froth dedusting and prescription of froth agents [J]. China Mining Magazine, 1995, 4(6): 61-64.

[17] 薛里,颜事龙. 爆炸水雾降尘在拆除爆破中应用的探讨[J]. 采矿技术, 2004, 4(3): 65-67.