

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2018.06.009

现场混装乳化炸药在地下铁矿爆破中的应用^{*}

王胜利^① 刘犀斌^① 任海燕^②

①河北钢铁集团矿业有限公司化工分公司(河北唐山,063701)

②河北钢铁集团滦县司家营铁矿有限公司(河北唐山,063701)

[摘 要] 为了提高爆破质量,降低采矿成本,石人沟铁矿应用了现场混装乳化炸药,通过与应用成品炸药进行对比分析,对爆破参数进行了优化,取得了较好的爆破效果。落矿爆破克服了施工作业中的各种不利因素,每排减少3个炮孔,每次爆破缩短约3 h,爆破后爆堆均匀,排列整齐,大块率显著降低;切割井及拉槽爆破解决了应用成品炸药时施工速度慢、多次爆破施工难度大、危险性大、成本高的难题,一次爆破即可达到预期效果,提高了生产效率;平巷掘进爆破克服了使用2[#]岩石粉状乳化炸药时施工速度慢、断面炮孔数量多、一次爆破进尺率低等缺点,实现每个断面减少20~23个炮孔,爆破进尺率由83%提高到100%,显著提高了掘进速度。为其他地下矿山采用现场混装乳化炸药技术进行爆破作业提供了参考。

[关键词] 现场混装乳化炸药;地下矿;爆破作业

[分类号] TD235.2⁺1;TJ510.4

Application of On-site Mixed Emulsion Explosive in Underground Blasting of Iron Mine

WANG Shengli^①, LIU Xibin^①, REN Haiyan^②

① Chemical Branch, Mining Co., Ltd., Hebei Iron and Steel Group (Hebei Tangshan, 063701)

② Luanxian Sijiyang Iron Ore Co., Ltd., Hebei Iron and Steel Group (Hebei Tangshan, 063701)

[ABSTRACT] In order to improve quality and reduce mining cost, on-site mixed emulsion explosive was used in blasting of Shirengou Iron Mine. Blasting parameters were optimized by comparing with the application of finished explosive to achieve better blasting outcome. The blasting can overcome all kinds of disadvantages during the construction, reduce three blasting holes in each row, and save about three hours for each operation. The blasted pile was uniform and in order after blasting and had a significantly reduced block rate. Cut-raise and slotting blasting resolved the shortcoming of slow construction speed of finished explosives and difficult construction, high risk and cost of multiple blasting. Expected blasting effects can be achieved by one blasting, and the production efficiency can be improved. Drift blasting overcomes the shortcomings of slow construction speed, large number of cross-section boreholes and low blasting footage when using 2[#] rock powder emulsion explosive, thus reduces the borehole number to 20 to 23 per cross-section and increases the blasting footage from 83% to 100%. Driving speed is significantly improved. It can provide a reference for other underground blasting of mines to use on-site mixed emulsion explosive.

[KEYWORDS] on-site mixed emulsion explosive; underground iron mine; blasting

引言

从世界范围来看,现场混装炸药已经得到广泛应用,在北美、南美、欧洲、南非等地区 and 国家的年使用炸药总量中,现场混装炸药达到了总炸药用量的

80%以上,现场混装炸药的使用量还在持续增长。但在我国,受使用习惯、管理体制、开采条件等方面的影响,现场混装炸药的使用量占炸药总产量的比例还比较低,仅占总产量的25%左右,大多数矿山(尤其是地下矿山)仍然习惯使用传统的包装型炸药,存在着生产效率低、劳动强度大、运输储存费用

^{*} 收稿日期:2018-06-12

作者简介:王胜利(1965-),男,高级工程师,主要从事现场混装技术和露天、井下中深孔爆破。E-mail:w650608@126.com

通信作者:刘犀斌(1983-),男,工程师,主要从事现场混装技术和露天、井下中深孔爆破。E-mail:267203373@qq.com

高、安全风险大等问题,难以适应安全、高效的矿山开采需要,对矿山开采效率和经济效益造成较大影响。而现场混装炸药可以根据现场作业条件直接按需生产,生产效率高,装药密度大,爆破质量好,能显著地提高矿山开采效率和经济效益^[1-2]。

本文中,石人沟铁矿在落矿爆破和拉槽爆破中成功应用了现场混装炸药,在此基础上,对平巷掘进施工使用现场混装乳化炸药进行了试验和应用,取得了成功,进一步扩大了现场混装炸药在该矿的应用范围。石人沟铁矿全面使用现场混装炸药,相比使用传统包装型炸药,提高了装药效率,避免了炸药粉尘,改善了作业环境,取得了很好的爆破效果^[3]。

1 生产工艺及性能参数

大多数现场混装乳化炸药生产企业采用地面制乳、混装车现场混装的工艺,即地面站制备乳胶基质和混装车现场混制装填。乳胶基质是以硝酸铵、硝酸钠等水溶液为分散相(水相溶液),以特定复合蜡、矿物油和乳化剂等碳质燃料的溶液为连续相(油相溶液),经乳化形成的油包水结构的乳胶体。乳胶基质制备是水相溶液和油相溶液被泵送进入乳化器,经由乳化器剪切、混拌形成乳胶基质的过程。乳胶基质制备流程见图 1。

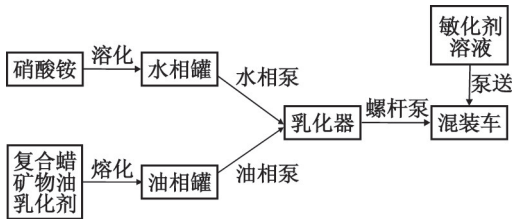


图 1 乳胶基质制备流程

Fig. 1 Flow chart of emulsion matrix preparation

现场混装车在地面站分别将乳胶基质和敏化剂溶液装满后,经斜坡道行驶到地下矿爆破现场进行现场混制装填。现场混制装填过程中,乳胶基质在重力作用下流入螺杆泵,敏化剂溶液在敏化剂泵作用下通过螺杆泵出口处进入输药胶管,经输药胶管以及前端混合装置分散均匀后装入炮孔^[4]。乳胶

基质和敏化剂溶液在输药软管出口处实现均匀混合,进入炮孔 10~20 min 后敏化,形成乳化炸药,实现炸药现场制备与装填一体化作业。每个炮孔的装药量以及乳胶基质和添加剂的配比均由车载自控系统控制,计量配比准确,可实现作业参数和安全参数在线监控,装药作业过程安全可靠^[5]。现场混制装填过程如图 2 所示。

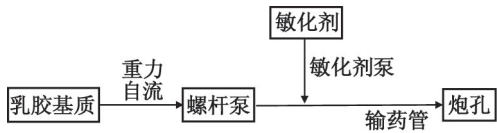


图 2 现场混装流程

Fig. 2 Field mixing flow chart

现场混装炸药避免了成品炸药运输环节,物料感度低,安全性高;物料流动性强,易于现场装药,施工速度快,效率高;现场混装炸药装药密度大,单位炮孔体积装药量多,能更充分地利用炮孔容积,提高爆破效果;装药过程中不产生粉尘,改善了作业环境,没有炸药损失浪费(粉状乳化炸药装药损失约 10% 左右);自动化程度高,减轻了工人劳动强度,降低了现场作业人数^[6]。现场混装乳化炸药技术参数详见表 1。

2 地下矿爆破中的应用

石人沟铁矿位于河北省遵化市西北部约 10 km,目前年产矿石约 250 万 t,矿岩硬度较大,矿石 $f=12\sim16$,个别部位可达 20;岩石 $f=8\sim14$ 。矿石平均密度 3.4 t/m^3 ,矿石分散系数 1.5。采用主井、副井及斜坡道辅助开拓,斜坡道规格: $4.70\text{ m}\times4.35\text{ m}$,坡度 15° ,从地表掘进至 -300 m 水平,在 -60 m 水平以下分开,各采区设有斜坡道。凿岩设备采用 7655 凿岩机和 YGZ90 凿岩机。2011 年,矿区配套建设了现场混装乳化炸药移动式地面站;2011 年 12 月,开始在落矿爆破及拉槽爆破中使用现场混装乳化炸药;2014 年初,开始在平巷掘进中探索应用现场混装乳化炸药,取得成功^[7]。

表 1 现场混装乳化炸药技术参数

Tab. 1 Technical parameters of field mixed emulsion explosive

炸药密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	运动黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	爆速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	有毒气体/ ($\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$)	做功能力/ L	撞击 感度	摩擦 感度	热 感度	雷管感度
1.25~1.30	3 300~4 800	4 500~5 000	30	270~300	无	无	无	无(需使用起爆具)

2.1 在落矿爆破作业中的应用

2001 年,石人沟铁矿开始由露天开采转入地下开采,先后分为 3 期工程:一期为南区 0 ~ -60 m 中段;二期为北区 -16 ~ -60 m 中段;三期为 -60 ~ -300 m。目前正在进行三期工程,采用分段凿岩阶段出矿嗣后充填采矿法,分段高度为 15 m,矿柱宽度 20 m,矿房宽度 30 m,采用中深孔方式进行落矿爆破,炮孔角度上向倾斜 16° ~ 25°,孔径 76 mm,炮孔长度 8.3 ~ 17.7 m。

2011 年 12 月以前,使用 2#岩石粉状乳化炸药,采用风动装药器装药,风动装药器由盛药罐体、控制阀门、压风管及一些附件组成,利用风压的引射作用把炸药带入孔内,需要人工将装药器抬至工作面,连接给风管及装药管,操作不便,装药过程中有部分炸药散落,返粉率在 10% 左右,造成浪费较大,作业环境充满炸药粉尘,易受静电影响,对安全生产不利。炸药粉尘有毒、有害,对操作人员身体健康危害较大。2#岩石粉状乳化炸药具有含水量低、爆力高(同等质量)等特点,但密度较小,一般 0.90 g/cm³ 左右,单位炮孔体积装药量小,不能充分利用炮孔,导致整体爆破效果较差,根底率和大块率较高。

2011 年,在矿区配套建设了现场混装乳化炸药移动式地面站,国家年许可产能 2 000 t,配备 3 台 BCJ-4 型地下炸药现场混装车,装载量 2 t,外形尺寸:5 910 mm × 2 140 mm × 2 520 mm,装药速度 20 ~ 40 kg/min。2011 年 12 月,使用现场混装乳化炸药用于落矿爆破,明显改善了爆破效果。混装车经斜坡道直接开至井下装药现场,避免了成品炸药支领、出库、装车、倒药等过程,减轻了工人劳动强度^[8]。现场混装车上分别装载乳胶基质和发泡剂,现场经输药软管和混药装置装入炮孔,20 min 左右形成炸药,安全性非常高。现场混装乳化炸药为膏状,不产生粉尘,作业现场空气较好,装药时经装药管直接注入炮孔,不会从炮孔掉下,不存在损失浪费炸药的情况,车制乳化炸药密度较大(1.20 ~ 1.32 g/cm³),单位炮孔体积装药量大,且为孔底起爆(先用装药管

枪头将起爆具及导爆管雷管顶入炮孔底部,然后装药),整体爆破效果良好。虽然单耗有所升高,但由于减少了炮孔数,综合成本反而降低。应用现场混装乳化炸药与 2#岩石粉状乳化炸药进行落矿爆破,爆破效果对比见表 2。

2.2 在切割井及拉槽爆破作业中的应用

切割井及拉槽爆破作业工程量虽然较小,但作业复杂,施工难度大。之前使用散装 2#岩石粉状乳化炸药进行浅孔爆破作业时,由于作业环境狭窄,落差大,需要悬空装药,非常危险,爆破后排烟不畅,通风时间较长,且需多次爆破(3 ~ 4 次)才能形成一条切割井,成井速度慢、工人劳动强度大,第二次或第三次爆破装药困难,作业过程非常危险,凿井成本高,严重制约着生产^[9]。

经过对炸药品种和凿岩设备进行研究,探索出了切割井作业应用 1254 凿岩台车掘进中深孔、填装现场混装乳化炸药的方案。天井宽度约 2.5 m,共布置 23 个炮孔,炮孔直径 76 mm,孔深 10.5 m,其中 19 个孔填装现场混装乳化炸药,每孔 50 kg 左右,靠近中心部位有 4 个孔不装药,起爆后实现一次成井。拉槽爆破每排布置 3 个炮孔,排距 1.5 m,每次爆 4 排,填装现场混装乳化炸药,一次爆破拉槽成功,解决了使用 2#岩石粉状乳化炸药时,有些部位矿体崩落不彻底,需进行第二次或第三次爆破才能形成切割槽的问题,提高了生产效率^[10]。

2.3 在平巷掘进爆破中的应用

应用现场混装乳化炸药与 2#岩石粉状乳化炸药进行平巷掘进爆破,爆破效果对比分析见表 3。2014 年之前,石人沟铁矿一直使用 2#岩石粉状乳化炸药的小药卷产品用于平巷掘进爆破,药卷规格为直径 35 mm,密度 0.90 g/cm³。巷道净断面 4.2 m × 3.8 m,每次爆破断面布孔 68 ~ 71 个,炮孔深度 3.7 m,中心孔直径 120 mm,其他为 45 mm,每次爆破装药 150 ~ 170 kg 左右,进尺 3.0 ~ 3.1 m,有 0.6 ~ 0.7 m 炮孔剩余,炮孔利用率 81% ~ 83%,12 h 左右完成一次循环^[11]。

表 2 落矿爆破爆破效果对比
Tab. 2 Comparison of blasting effect by deep hole blasting

炸药品种	排距/m	孔数	每次爆破两排孔所需时间/h	爆破单耗/(kg · t ⁻¹)	炸药损失率/%	工人劳动强度	作业环境	爆破效果
2#岩石粉状乳化炸药	1.8	21	5.0	0.36	10	大	炸药粉尘浓度大、噪音大	爆堆不均匀,大块较多,爆堆排列不整齐
现场混装乳化炸药	2.0	18	2.5	0.44	0	小	无炸药粉尘、噪音小	爆堆均匀,大块很少,爆堆排列整齐

表 3 平巷掘进爆破爆破效果对比
Tab.3 Comparison of blasting effect by drift blasting

炸药 品种	直径		炮孔深 度/m	断面炮孔 布置个数	一次爆破 进尺率/%	爆破单耗/ (kg·t ⁻¹)	完成一次循环 所用时间/h	爆破效果
	中心孔/ mm	其他/ mm						
2#岩石 乳化炸药	120	45	3.7	68~71	83	0.93	12	巷道底板有残留且不平整、 爆块不匀称、大块多、爆堆 分散
现场混装 乳化炸药	120	45	3.7	45~51	100	1.29	10	巷道底板平整无残留、爆块 匀称、爆堆集中

为了提高平巷掘进速度,改善爆破质量,在中深孔使用现场混装乳化炸药取得良好效果的基础上,2014年初,在平巷掘进爆破中探索使用现场混装乳化炸药,对混装车进行了技术改进,对爆破参数进行了优化。

首先,对混装车装药系统进行了两项改进:

1)提高装药控制精度。由于以前混装车一直为井下中深孔爆破装药,单孔装药量在几十千克,装药计量误差对单孔装药量影响不大,但掘进装药中每个孔的装药量仅5~7 kg,要求装药量控制更加精确,因此对混装车计量设备进行了改进。增加了螺杆泵转速测量点,从原来的3个,增加了6个,提高了装药计量精确度。

2)减小装药枪头直径。原有中深孔装药枪头直径32 mm,适应直径76 mm的中深孔装药;而平巷掘进炮孔直径为45 mm水平孔,炮孔内有时清理不太干净,使用32 mm枪头时,有时装不到孔底或卡在孔内,尤其是掘进最下面一排向下15°倾角炮孔时,杂物极易进入炮孔,无法使用32 mm装药枪头进行装药。经过反复试验,研制出了直径15 mm装药枪头,使用效果较好,装药顺畅。起爆方式采用孔底起爆,采用一根导爆管雷管与70 g或150 g 2#岩石乳化炸药药卷起爆。

其次,对爆破参数进行优化。断面炮孔数量减至45~51个,每个断面装药210~240 kg,爆后爆块匀称、爆堆集中、巷道底板平整无残留,断面进尺可达3.7~4.0 m,炮孔利用率100%,取得非常好的爆破效果。虽然使用现场混装炸药爆破单耗较高,但综合钻孔数量减少、一次爆破进尺率高等因素,成本降低,经济效益较大,每年可以节省费用近百万元。

对于不具备斜坡道的小型地下矿山可采用小型装药车,如BCJ-5型,不含汽车底盘和动力装置,可根据使用要求调整设备装药量和设备外形尺寸,更适合地下矿狭小空间使用。

在新建矿山进行开采设计时,应优先考虑使用

现场混装炸药,使矿山设计参数适应现场混装车效率的发挥;已投产未使用混装药的矿山应改变使用成品包装炸药的习惯;对国家许可产能不能满足矿山需求的地面站,应按需求给予产能批复;同时应推广一点建站、远程配送、多点使用的模式,提高现场混装炸药在炸药总量中的比例,提高我国矿山开采效率和经济效益。

3 结论

1)石人沟铁矿落矿爆破应用现场混装乳化炸药后,装药过程避免了炸药粉尘,明显改善了作业环境,减轻了工人劳动强度,提高了作业安全性,通过优化爆破参数,取得了较好的爆破效果。

2)切割井拉槽爆破应用现场混装乳化炸药后,方便了装药施工,提高了施工过程安全性,实现了一次爆破成井、一次爆破拉槽成功。

3)通过提高装药控制精度和减小装药枪头直径两项技术改进,在平巷掘进爆破中应用了现场混装乳化炸药,显著地提高了施工速度,综合成本明显降低。

现场混装炸药的使用实现了炸药生产和爆破作业一体化模式,是炸药生产技术和爆破技术的巨大进步,应在我国适合现场混装炸药使用条件的矿山中大力推广使用。

参 考 文 献

[1] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 2版. 北京:冶金工业出版社, 2008:405-465.
WANG X G. Emulsion explosive[M]. 2nd ed. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008:405-465.
[2] 王清华,宋领,付军,等. 改进层次分析法分析现场混装乳化炸药爆破成本影响因素[J]. 爆破器材, 2009, 38(5):14-18.

针刺药剂各组分间配合,最终导致针刺感度不稳定。

通过优化硫化锑提纯工艺,对比优化前、后硫化锑的性能指标变化、硫化锑制药并装配针刺雷管后雷管的性能变化,可知:硫化锑优化措施可行且效果明显。封坛优化后的硫化锑纯度提高,使用设备筛选优化后的硫化锑粒度更加均匀,优化工艺制备的硫化锑装配的针刺雷管性能显著提高。优化设计目前已应用于公司精制硫化锑粉末,并已推广用于其他组分粉末的优化。

参考文献

- [1] 王凯民,温玉全. 军用火工品设计技术[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- WANG K M, WEN Y Q. Design of initiator and pyrotechnics for weapon system [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2006 .
- [2] 王斌,王润森. 小型针刺雷管在引信中的应用[J]. 火工品,1998(3):33-36.
- WANG B, WANG R Q. The application of small stab detonators in fuze [J]. Initiators & Pyrotechnics, 1998

- (3):33-36.
- [3] 朱浩, 负来峰, 李盘, 等. 斯蒂芬酸铅含量对某型雷管作用可靠性的影响[J]. 爆破器材, 2016, 45(1): 43-46.
ZHU H, YUN L F, LI P, et al. Influence of lead styphnate content on the functional reliability of some detonators [J]. Explosive Materials, 2016, 45(1): 43-46.
- [4] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999.
- [5] 劳允亮. 起爆药化学与工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [6] 徐义根, 张学舜. 65 号针刺雷管感度曲线的评定[J]. 火工品, 1998(3): 12-15.
XU Y G, ZHANG X S. Assessment of sensitivity curves for No. 65 Stab Detonator[J]. Initiators & Pyrotechnics, 1998(3): 12-15.
- [7] 王凯民, 张学舜. 火工品工程设计与试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
WANG K M, ZHANG X S. Engineering design and test technology of initiators & pyrotechnics [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2010.
- [8] 项斯芬, 严宣申, 曹庭礼, 等. 无机化学丛书: 四卷 氮磷砷分族[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 448-451.

(上接第 52 页)

- WANG Q H, SONG L, FU J, et al. Analysis of cost factors for site mixed emulsion explosive blasting by improved analytic hierarchy process [J]. Explosive Materials, 2009, 38(5): 14-18.
- [3] 冯有景, 焦国庆, 吉学军, 等. BCJ-2000 型井下现场混装乳化炸药车的应用 [J]. 现代矿业, 2014(12): 173-174.
- [4] 胡燕武, 林文勇. 现场混装乳化炸药在华润红水河公司露天矿山的应用 [J]. 爆破, 2011, 28(4): 53-56.
HU Y W, LIN W Y. Application of on-site mixed emulsion explosive in China Resources Hongshuihe Cement Open Mine [J]. Blasting, 2011, 28(4): 53-56.
- [5] 郝玉庆, 姜庆洪. 现场混装乳化炸药技术在爆破现场的应用 [J]. 安全管理, 2013(12): 45.
- [6] 姚桂勋. BCJ 现场混装乳化炸药车的应用 [J]. 矿业快报, 2006(12): 65-67.
- [7] 郑磊, 于杰, 郭鹏, 等. 中小直径现场混装乳化炸药车在北洛河铁矿的应用研究 [J]. 矿业研究与开发, 2016, 36(4): 60-63.

- ZHENG L, YU J, GUO P, et al. Application research on-site mixed and charged emulsion explosive vehicle with medium-small diameter in Beiminghe Iron Mine [J]. Mining Research and Development, 2016, 36(4): 60-63.
- [8] 郭雄,王贻明,周升平,等. 现场混装乳化炸药在巷道高效光面爆破中的应用[J]. 现代矿业, 2014(8): 18-21.
- GUO X, WANG Y M, ZHOU S P, et al. Application of on-site mixed charging emulsion explosive in high efficient smooth blasting[J]. Modern Mining, 2014(8): 18-21.
- [9] 路燕泽,李成合,许长新,等. 一次成井技术在石人沟铁矿的应用[J]. 矿业工程, 2013, 11(6): 19-20.
- LU Y Z, LI C H, XU C X, et al. Application of simultaneous shaft sinking technology in Shirengou Iron Ore Mine[J]. Mining Engineering, 2013, 11(6): 19-20.
- [10] 刘伟,季志才,尹裕. 中深孔采矿技术在石人沟铁矿的应用[J]. 现代矿业, 2015(9): 26-27.
- [11] 温占国,张从军,季志才. 石人沟铁矿三期开采方法的探讨[J]. 现代矿业, 2014(9): 30-33.