

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2018.06.010

# M 型雷管针刺感度影响因素研究<sup>\*</sup>

吴海山 王 迟

安徽红星机电科技股份有限公司(安徽合肥,231135)

[摘 要] M 型雷管在实际生产时针刺感度不稳定,通过试验排查,认定针刺药中硫化锑组分含杂质,影响了针刺药的针刺感度。通过工艺优化提高硫化锑纯度,同时对药剂粒度筛选及测定药剂粉末度的工艺过程进行优化。试验结果表明:优化后,针刺药各组分间接接触紧密,更有利于热点的形成,粒度匹配性好,针刺药针刺感度有所提高,一致性较好。

[关键词] 针刺雷管;针刺感度;针刺药;硫化锑;工艺优化

[分类号] TD235.2;TQ565.2;TJ45<sup>+</sup>2

## Study on Influence Factors of Stab Sensitivity of M-type Detonator

WU Haishan, WANG Chi

Anhui Hongxing Electrical Polytron Technologies Co., Ltd. (Anhui Hefei, 231135)

[ABSTRACT] Stab sensitivity of M-type stab detonator was found unstable during practical production. It was concluded by experimental investigation that the impurity of antimony sulfide in stab composition has affected its stab sensitivity. The purity of antimony sulfide was improved correspondingly by process optimization in cooperation with optimizing particle screening and antimony sulfide powder measurement. The results show the closer contact among the optimized components in favor of the construction of hot spots, good match of particle sizes, improved stab sensitivity and better consistency.

[KEYWORDS] stab detonator; stab sensitivity; stab composition;  $Sb_2S_3$ ; process optimization

雷管针刺感度的主要因素。

## 引言

目前,针刺雷管已经成为弹药引信中使用最多的火工品,作为武器系统中的激发系统,针刺雷管作用的成败将直接影响整个传爆序列功能的实现,系统对针刺雷管的作用可靠性提出了很高要求。尤其对小型化高敏感针刺雷管而言,在满足可靠性要求、具备适当的威力的同时兼具合适的感度,更是各种口径弹药引信结构小型化的关键<sup>[1-3]</sup>。

M 型高感度针刺雷管在生产过程调试药量时常出现瞎火及压爆等问题。通过试验测量发现,该雷管针刺感度并不稳定,同批次产品多次测量针刺感度时存在较大差异,相邻批次产品针刺感度差异明显。为确保产品一致性,根据多年设计和实际生产经验,针对各种可能导致雷管针刺感度变化的影响因素进行分析,通过大量的试验排查,确定了影响

## 1 结构设计

M 型雷管结构设计采用典型针刺雷管结构,主要由雷管壳、针刺药、起爆药、延期药及封口垫等组成<sup>[4]</sup>,产品结构如图 1 所示。

主要技术参数为:发火能量  $56\text{ g/cm}^3$ ,不发火能量  $8\text{ g/cm}^3$ ;尺寸  $\varnothing 3.73\text{ mm} \times 3.00\text{ mm}$ ;耐过载 50 000 倍重力加速度。

该型雷管为高感度针刺雷管,其厚度直接影响产品针刺感度,针刺部位厚度为  $0.03 \sim 0.05\text{ mm}$ 。为满足高过载要求,结构采用收口设计,并在口部使用密封胶封闭,雷管结构为密封结构,可很好地满足输出要求。

为满足发火能量要求,该型雷管针刺药由起爆药、可燃剂、氧化剂、敏感剂按一定比例机械混制而

<sup>\*</sup> 收稿日期:2017-05-11

作者简介:吴海山(1969-),男,硕士,工程师,主要从事火工品技术与质量管理工作。E-mail:348820391@qq.com

通信作者:王迟(1992-),男,学士,助理工程师,专业方向为武器系统与发射工程。E-mail:982623835@qq.com

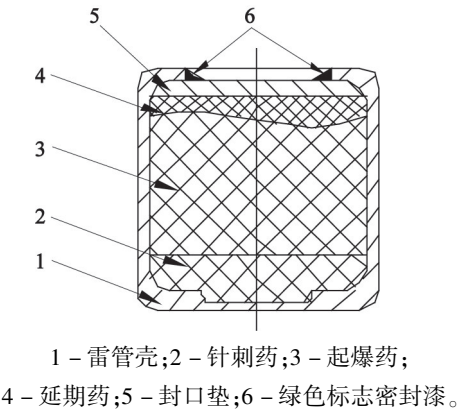


图 1 M 型针刺雷管结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of M-type stab detonator

成,敏感剂采用四氮烯<sup>[5]</sup>。通过大量试验摸索,配制的针刺药具有感度高、发火可靠性高等特点,但雷管存在发火能量散布范围大、精度差的问题。

从连续生产的多批次该型针刺雷管中每批抽取子样分成若干组,每组测一个落高的发火曲线,对雷管针刺感度进行多次测定,积累感度曲线的包围线形成一个有效范围<sup>[6]</sup>,见图 2。

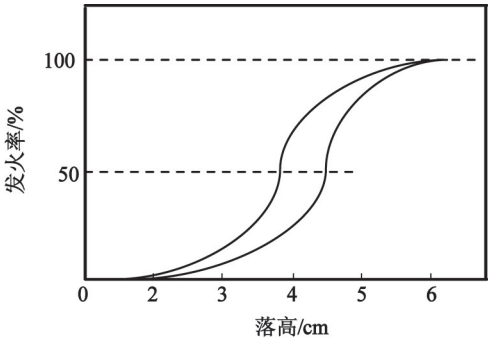


图 2 雷管针刺感度曲线

Fig. 2 Stab sensitivity curve of the detonator

生产一段时间或工艺上出现原材料换批、工装设备调整等变动时,对感度曲线进行重新测定,一般只核对上、下限及平均感度(50%发火的能量)<sup>[4]</sup>。生产实际中的感度曲线和标准感度曲线相比,有时存在曲线平行移动的情况,如图 3 所示。实线为标准感度曲线,虚线为实际生产中实测感度曲线。

雷管的感度精度的好坏直接反映了整批产品的质量水平。感度上、下限愈靠近,感度精度愈好。曲线平行移动,表明生产中出现了系统误差。

2 影响雷管针刺感度的因素

雷管的针刺感度影响因素很多,分外因和内因;外因包括针刺部位厚度和击针刺入的条件,如击针的硬度、刺入速度和深度;内因则主要是针刺药的性

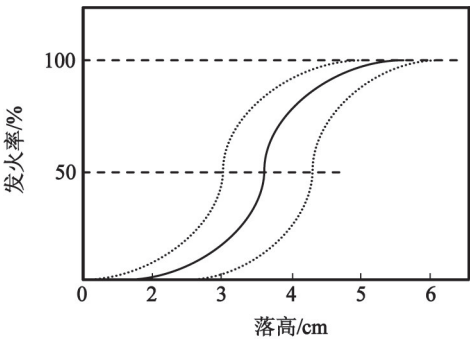


图 3 出现偏差的感度曲线

Fig. 3 Sensitivity curve with observed deviation

质,如药剂的机械感度、组分的匹配程度<sup>[7]</sup>。

通过梳理针刺类产品针刺感度的影响因素,对该型雷管针刺感度的影响因素进行排查。结合工厂实际生产情况,利用树状图对影响因素进行标识,如图 4 所示。

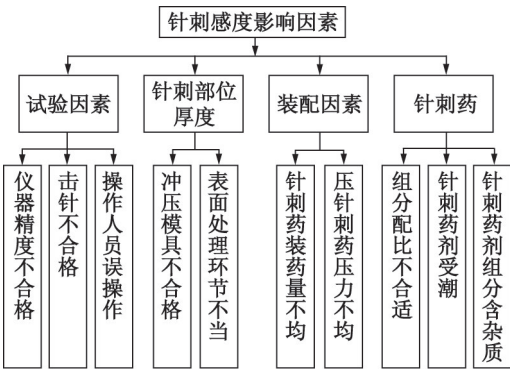


图 4 影响雷管针刺感度的主要因素

Fig. 4 Main factors affecting stab sensitivity of the detonator

2.1 试验因素

试验因素对针刺感度数据采集的有效性影响至关重要。测量针刺雷管感度的设备采用 WG 015 型落球式针刺感度试验仪,设备在检定合格期内,满足试验使用需求。抽测多批次试验仪用击针,均符合 WJ2241 平头击针(JP2)的要求。试验操作人员长期从事针刺火工品检验、验收工作,熟悉试验设备,并对设备定期维护保养,查看监控录像,在试验过程中未发现违规操作。

2.2 针刺部位厚度

针刺部位厚度是影响针刺感度的重要因素,针刺部位厚度越大,击针消耗于穿透的能量就越多,表现为针刺感度越低。如存在管壳底厚不均时,将使针刺感度产生严重偏差,不能很好地保证雷管作用的一致性。

针刺部位厚度由模具尺寸保证,管壳制造过程

中定期检测并更换冲压成型模具,可以很好地保证管壳底厚的一致性。在后续的表面处理环节,工艺中对溶液配比及作用时间做了明确规定,查看检验记录是否符合管壳加工工艺。

通过测量连续生产多批次针刺雷管管壳底厚,针刺部位厚度在 0.03 ~ 0.05 mm 设计范围内(表 1)。查看表面处理过程记录,溶液配比及处理时间,均符合工艺要求。

表 1 抽测针刺雷管管壳底厚

Tab. 1 Selective test of bottom thickness of the stab detonator shell		
管壳批号	底厚范围/mm	底厚均值/mm
6-17	0.035 ~ 0.045	0.041
7-17	0.032 ~ 0.043	0.038
8-17	0.033 ~ 0.047	0.039
9-17	0.033 ~ 0.045	0.039

2.3 装配因素

根据雷管的生产要求,结合工厂成熟的雷管装配工艺,该型雷管生产采用群模生产。利用现有管壳半成品制造、针刺药剂制造及成品装配生产线,生产线长期投产于各型号针刺(延期)雷管,生产工房采用供暖、空调、吸湿机等设施控制工房的温湿度,满足产品对生产环境的要求,危险工序、危险工作点设有安全防护装置。

雷管装配过程影响针刺感度的主要因素在于针刺药装药量以及压针刺药时的压力。

压针刺药工序主要工艺要求为:针刺药装药量为 24 ~ 34 mg;压药压力范围为 460 ~ 500 MPa;保压 2 ~ 3 s。

每日生产雷管前,对压药机压力进行测量,压力偏差控制在 8% 以内。每日生产前施工、试药时,确定装药量,生产时每半小时抽测药量。某日正常生产条件下对针刺药装药量以及压针刺药压力进行测定。表 2 为当天抽测针刺药装药量,表 3 为当天抽查压针刺药的压力。

查看现场生产记录,每批雷管生产压药机压力、装药量均在工艺范围内。

2.4 针刺药本身因素

排除试验因素、针刺部位厚度影响及针刺雷管装配过程中对针刺感度造成的影响,雷管针刺感度主要因素集中在针刺药剂。

针刺药采用各组分间按一定比例配比及粒度匹配机械混制而成,当组分配比确定后,雷管针刺感度与针刺药原材料的粒度和硬度有很大关系。当针刺

表 2 抽测针刺药装药量  
Tab. 2 Selective test of pressing stab composition charge

mg				
药量	药量	药量	药量	药量
30.2	29.8	30.4	30.6	29.8
30.4	29.9	30.2	30.4	29.6
28.9	30.2	30.6	30.2	30.1
29.4	29.6	30.5	29.7	29.7
30.1	29.9	30.8	30.5	30.6
30.5	29.8	31.2	30.2	29.6
30.2	30.4	28.4	30.4	29.8
29.9	29.8	30.2	29.9	29.9
最大值:31.2		最小值:28.4		
平均值:30.06		标准偏差:0.50		

表 3 抽查压针刺药压力  
Tab. 3 Selective test of pressure of pressing stab composition

MPa				
压力	压力	压力	压力	压力
491.4	491.4	476.4	479.8	493.7
491.4	474.0	468.3	470.6	470.6
493.7	482.1	491.4	474.0	468.3
482.1	479.8	487.9	485.6	476.4
485.6	485.6	491.4	485.6	468.3
468.3	491.4	482.1	493.7	487.9
491.4	470.6	479.8	491.4	476.4
491.4	487.9	493.7	491.4	479.8
最大值:493.7		最小值:468.3		
平均值:483.1		标准偏差:8.66		

药选用的原材料的粒度和硬度较大时,易使应力集中,容易产生热点,药剂的发火感度将明显提高,但感度精度较差。小颗粒不利于热点的形成,但组分间结合更为紧密,有利于能量的传递,使药剂的感度升高。

同一批次产品采用相同批次的针刺药,每批次针刺药在装配雷管前均进行理化分析及水分含量检测。查看药剂领用记录及药剂合格证,针刺药配比及水分含量均符合工艺要求。

为确定影响因素,对该型雷管用针刺药剂抽取多批次分成若干组,对各组药剂进行理化分析及水分含量检测,经检测各组针刺药组分配比符合工艺要求,同时水分含量在允许范围内。但理化分析时,部分组中出现难溶物,证明针刺药剂中含有杂质。随即对难溶物进行分析,杂质中含硫化物量偏高。结合工厂针刺药各组分生产过程,最终确定针刺药

中硫化锑组分含有杂质,导致硫化锑组分实际含量偏低,造成针刺药感度不稳定。

在该型雷管针刺药组分中,可燃物硫化锑熔点高、粒度大,又有尖锐棱角,所以硫化锑组分对针刺感度影响非常明显。

3 工艺优化和改进研究

3.1 硫化锑精制方法

硫化锑易溶于浓盐酸、醇、硫化钾和硫化铵溶液,不溶于水、乙酸。纯硫化锑为黄红色无定形粉末。硫化锑具有强还原性,在室温下稳定,但在空气中加热会氧化<sup>[8]</sup>。硫化锑基本性质见表 4。

表 4 硫化锑基本性质

Tab.4 Fundamental characteristics of antimony sulfide

名称	分子式	分子量	熔点/ ℃	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )
硫化锑	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	339.68	550	4.562

军工行业用硫化锑多为辉锑矿矿石粉加工而成,使用前需要提纯。提纯工艺过程为:硫化锑装在陶罐中,密封后加热至 800℃左右后会熔化成液态,杂质会积聚,冷却后硫化锑凝结成密实固体,杂质形成疏松的针状物或多孔的块状物,经破碎、挑选得到较纯的硫化锑,再通过筛选得到符合要求的粒度。

精制流程如图 5 所示。将辉锑矿矿石原料放入特制陶罐中,用黄泥填塞陶罐的密封槽封坛,压实,晾至半干,送烧制。烧制完成后的坯料破碎至块径 5 cm 左右,剔除含明显杂质的块料。随后,将块料和筛选大粒(100 目筛上物)共同球磨。球磨完成后进行机筛,用筛为木质筛框,上筛 100 目,下筛 150 目,筛选量 1.5~4.0 kg,筛选时间 5~15 min。

球磨后,机器筛选所得药剂由于颗粒形状不规则,筛选过程中一些粒度超差的细微颗粒残留在筛选物中,此时对药剂粉末再次进行精筛,剔除粒度超差颗粒物,获得粒度更佳的药剂颗粒。然后,采用人工手工过筛的方法进行精筛,取 100~150 目中间物并测定本次筛选药剂粉末度,粉末度=150 目筛下物质量÷样本质量×100%。粉末度反应出细微颗粒物占样本总量的比重,粉末度高即球磨所得药剂中所含粒度在 150 目下物偏多。当粉末度在一定范围内时,由于小颗粒与针刺药其他组分间结合更为紧密,更适宜能量传递,有利于药剂感度的提高。同时,相邻批次间粉末度偏差较小时,雷管的针刺感度

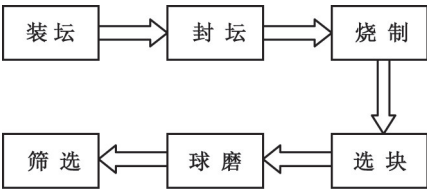


图 5 硫化锑精制流程

Fig.5 Refining procedure of antimony sulfide

一致性更好。

结合实际生产情况,这一精制方法主要存在以下两个问题:

1)封坛:采用黄泥封坛,即将黄泥和至胶泥态,填塞陶罐的密封槽,压实,晾至半干,送烧制。但黄泥在晾干和烧制过程中会出现裂纹,导致罐内硫化锑与空气中的氧接触,反应生成二氧化硫并溢出,最终使硫化锑中的硫含量降低,硫化锑纯度低,影响针刺药感度。

2)筛选:采用手工过筛的方法进行筛选,取用 100~150 目中间物。但手工过筛无法准确控制振筛频率、时间;人工操作主观影响也较大,致使每次取用的硫化锑中粉末度偏差较大,影响针刺药感度。

3.2 封坛方案优化

封坛处产生裂纹导致硫化锑纯度降低,初步选定几种常见封坛方案,见表 5。经试验选取合适方案进一步优化。

表 5 封坛初步方案

Tab.5 Preliminary jar sealing scheme

序号	方案	晾干 1 d	烧制后	结论
1 <sup>#</sup>	V(黄泥):V(砂砾)=1:1(胶泥状)	无裂纹	无裂纹	进一步优化
2 <sup>#</sup>	V(黄泥):V(棕毛)=1:1(胶泥状)	出现细小裂纹	裂纹扩大	放弃
3 <sup>#</sup>	V(黄泥):V(纸屑)=1:1(胶泥状)	出现裂纹	裂纹扩大	放弃
4 <sup>#</sup>	红土(胶泥状)	出现细小裂纹	裂纹扩大	放弃
5 <sup>#</sup>	黄泥(胶泥状)	大裂纹	大裂纹	放弃

从表 5 可以得出,用黄泥与砂砾体积比为 1:1 混合至胶泥状封坛,效果最佳。在此方案上继续优化,摸索黄泥与砂砾最佳体积比及封坛状态,优化方案见表 6。

最终确定封坛方案为:黄泥与砂砾的体积比为(1~2):1,和至胶泥状封坛。封坛效果见图 6。

3.3 粒度筛选工序优化

手工过筛无法准确控制振筛频率、时间,致使每

表 6 封坛优化方案

Tab. 6 Optimized jar sealing scheme				
序号	方案	晾干 1 d	烧制后	结论
6 <sup>#</sup>	V(泥):V(砂) = 1:1(糊状)	无裂纹	无裂纹	通过
7 <sup>#</sup>	V(泥):V(砂) = 2:1(糊状)	无裂纹	细小裂纹	放弃
8 <sup>#</sup>	V(泥):V(砂) = 3:1(糊状)	细小裂纹	裂纹	放弃
9 <sup>#</sup>	V(泥):V(砂) = 2:1(胶泥状)	无裂纹	无裂纹	通过
10 <sup>#</sup>	V(泥):V(砂) = 3:1(胶泥状)	细小裂纹	裂纹	放弃

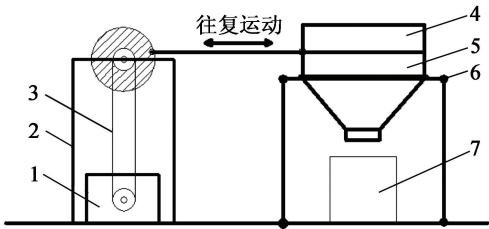


(a)封坛 (b)优化前 (c)优化后

图 6 封坛方案优化前后对照图

Fig. 6 Comparison of jar sealing scheme before and after optimization

次取用的硫化锑粉末度偏差较大。因此,设计了图 7 所示筛选设备,并用此设备进行了 6 个批次的药剂筛选,取用 100 ~ 150 目中间物,每组样本总量为 200 g,并与手工筛选结果进行对比,机器筛选与手工筛选硫化锑粉末度测定结果见表 7。



1 - 电机;2 - 支架;3 - 皮带;4 - 一层筛;  
5 - 二层筛;6 - 转轴;7 - 粉料收集。

图 7 筛选设备结构简图

Fig. 7 Structure sketch of the sieving equipment

由表 7 测定结果可知,相较于手工筛选硫化锑,采用设备筛选后的硫化锑粉末度偏差明显减小,设备筛选的硫化锑粒度更均匀,每批药剂之间的粒度偏差更小,硫化锑状态更好。

3.4 优化结果

用工艺优化后的硫化锑制备针刺药,并装配针刺雷管,对该针刺雷管输出特性进行考核,考核结果

见表 8。

表 7 机器筛选与手工筛选硫化锑粉末度测定

Tab. 7 Measurement of antimony sulfide powders sieved by machine and by manpower						
批号	机器筛选			手工筛选		
	粉末质量/g	粉末度/%	最大偏差/%	粉末质量/g	粉末度/%	最大偏差/%
1 <sup>#</sup>	9.18	4.905	1.63	15.64	7.820	6.21
2 <sup>#</sup>	6.55	3.275		7.28	3.640	
3 <sup>#</sup>	8.64	4.320		16.13	8.065	
4 <sup>#</sup>	6.93	3.465		9.52	4.760	
5 <sup>#</sup>	7.82	3.910		19.70	9.850	
6 <sup>#</sup>	7.37	3.685		16.37	8.185	

表 8 针刺雷管发火率统计

Tab. 8 Firing rate statistics of stab detonator			
发数	感度/(g·cm <sup>-3</sup> )	优化前发火率/%	优化后发火率/%
100	56	100	100
100	49	88	100
100	42	88	96
100	35	64	93

在其他装配条件相同的情况下,由表 8 可知,硫化锑优化后,针刺雷管的发火率明显提高,即针刺药感度明显提高。

由表 9 可知,硫化锑优化后,针刺雷管的压爆率明显下降,即证明针刺药感度稳定性有所提高。

表 9 优化前后针刺雷管压爆次数统计

Tab. 9 Explosion statistics of stab detonator before and after optimization					
优化前			优化后		
施工总发数	压爆发数	压爆率/%	施工总发数	压爆发数	压爆率/%
16 800	84	0.482	14 720	20	0.166
15 360	72		16 160	32	
16 320	76		15 200	26	
15 040	76		16 640	29	
16 960	80		15 680	23	

4 结论

针对实际生产中 M 型雷管针刺感度不平稳现象,对生产过程、试验过程等环节可能影响该雷管针刺感度的因素进行研究,通过试验排查,最终确定主要影响因素为:针刺药中硫化锑组分含杂质导致实际针刺药配比变化,硫化锑组分实际含量偏低影响

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,王润秦. 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 styph-nate content on the functional reliability of some detonator [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. Enigneering design and test technology of initiators & pyrotechnics [M]. Beijing:Na-tional 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 fac-tors for site mixed emulsion explosive blasting by im-proved analytic hierarchy process [J]. Explosive Mate-rials, 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 simulta-neous 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.