

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2020.04.007

一种上向深孔现场混装用乳胶基质的研究^{*}

熊言涛^① 魏善太^① 吴继昌^② 李建真^②

①安徽江南化工股份有限公司(安徽合肥,230088)

②安徽江南化工股份有限公司宁国分公司(安徽宁国,242310)

[摘 要] 针对国内地下矿山上向孔深孔装药仍采用人工装药,存在返粉率高、爆破效果不稳定及工人劳动强度大等问题,基于理论机理分析及批量装药试验,生产了可用于地下矿的上向深孔用乳胶基质,系统研究了该乳胶基质的抗颠簸试验、泵送试验、储存期试验、黏度试验、爆炸性能等。结果表明,在试验条件下,该乳胶基质储存期可达6个月以上,可在道路500 km内长距离运输不破乳,20℃乳胶基质黏度为90~100 Pa·s,不掉药,经敏化装药后爆破效果较好,符合GB/T 14372—2013、GB 50089—2018及GB 28286—2012行业标准要求。为发展地下矿山混装乳化炸药一站多点的模式提供性能可靠的混装产品。

[关键词] 上向孔;乳胶基质;混装乳化炸药;远程配送

[分类号] TD235.2⁺1;TQ560

Study on an Emulsion Matrix Used for Upward Deep Hole

XIONG Yantao^①, WEI Shantai^①, WU Jichang^②, LI Jianzhen^②

① Anhui Jiangnan Chemical Industry Co., Ltd. (Anhui Hefei, 230088)

② Ningguo Branch, Anhui Jiangnan Chemical Industry Co., Ltd. (Anhui Ningguo, 242310)

[ABSTRACT] Manual charging for upward deep holes is still being used in domestic underground mines where some problems such as high powder return rate, unstable blasting effect and high labor intensity were observed. Based on theoretical mechanism analysis and batch charging test, an emulsion matrix used for upward holes was produced and studied in view of its anti-bumping, pumping, storage period, viscosity and blast performance. Results show that the matrix has a storage period of over 6 months; can be transported for a long distance within 500 km without demulsification and has a viscosity of 90~100 Pa·s at 20℃, which ensures the absence of fall-off from charge. Meanwhile, the matrix has a good blasting effect after sensitization, which meets the industry standards of GB/T 14372—2013, GB 50089—2018 as well as GB 28286—2012, providing a reliable mixing agent for the deployment of one station, multi-locations mode.

[KEYWORDS] upward holes; emulsion matrix; mixed emulsion explosive; remote distribution

引言

《工信部关于推进民爆行业高质量发展的意见》、《民用爆炸物品行业技术发展方向及目标(2018年版)》均提出供给结构调整优化,要逐步提高现场混装炸药在工业炸药中的占比,积极推进井下现场混装作业方式;同时,政策要求在2020年底需置换固定包装产能为混装产品产能,使混装产品产能占企业总产能的30%以上,即在未来,现场混装技术的应用将作为民爆行业的重点发展方向^[1]。

目前,相比地下矿现场混装技术的应用,国内露天现场混装技术应用已成熟可靠,并已广泛运用露天矿山装药施工。例如,现场混装多粒孔铵油炸药车、露天现场混装乳化炸药的的应用等。而地下矿装药施工分不同工艺种类,除部分使用装药台车外,其他均采用人工装成品药方式。其中,采用垂直深孔落矿阶段矿房法(VCR)的上向孔深孔装药基本仍采用装药器装重铵油炸药,存在人员数量多、作业环境恶劣(如高温、粉尘等)、劳动强度大及安全隐患较多等诸多问题。因此,大力发展地下现场混装产品的应用已迫在眉睫。

^{*} 收稿日期:2020-03-11
第一作者:熊言涛(1988-),男,硕士,工程师,主要从事民爆器材的研究。E-mail:xiongyt@dunan.cn

表1 乳化剂参数对比情况
Tab.1 Comparison of emulsifier

名称	HLB	氧平衡值	运动黏度(100 ℃)/ (mm ² ·s ⁻¹)
Span80	4.3	-2.39	33~60
EX-9126		-3.30	80~250
LZ-2731	2.8	-2.85	34(目标值)
LZ-2820		-3.10	142(目标值)
XP-1320	3.6	-3.20	60~310

表2 XP-1320 乳化剂生产的乳胶基质粒径情况
Tab.2 Particle size of emulsion matrix produced
by XP-1320 emulsifier

平均值	标准差	中间值	最小值	最大值
0.99	0.85	0.88	0.14	17.72

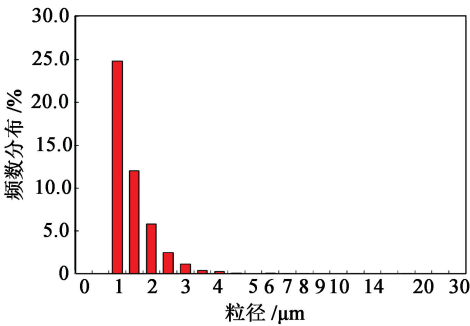


图2 XP-1320 乳化剂生产的乳胶基质粒径分布图
Fig.2 Particle size distribution of emulsion
matrix produced by XP-1320 emulsifier

胶粒子颗粒小且分布集中,表明 XP-1320 乳化剂具备较好的油溶性质和优良的微乳化性能,可形成均匀微细的乳胶粒子。

综上,XP-1320 乳化剂可从多方面提高乳胶基质的稳定性。另外,通过说明书获悉 XP-1320 乳化剂有效期和使用寿命较长(3 a),进一步保障了乳胶基质的长期储存稳定性。

1.3 黏度分析

为解决上向深孔装药,该乳胶基质应具有一定的黏度并应满足泵送要求,常规露天现场混装乳胶基质黏度为 15~30 Pa·s^[2],同时,要求乳胶基质在(20±5)℃时黏度低于 100 Pa·s^[3],可确保乳胶基质在常温下的可泵性。

首先,通过 80 mm 的 PVC 管模拟现场装药方式进行研究;在满足 PVC 管不返药或整体下滑情况下,可进行实际炮孔装药。

通过多批次 PVC 管试验确定,30℃左右乳胶基质黏度为 50~60 Pa·s (Brookfield 黏度计 7#转

子,20 r/min,下同)时,通过混装装药设备可稳定装药。在与 PVC 管成功装药相同的工艺配方下,进行了上向孔实际装药试验,试验结果大量落药。分析原因,炮孔壁含有不同程度石灰渣及裂隙水,显著影响黏附力,随后对末端喷射装置及黏度进行了调整。其中,工艺配方进行了 9 次调整,主要针对油相增稠方面进行了 20 多批次实际上向孔装药,直至成功装药不落药,其装药情况见表 3。

表3 XP-1320 乳化剂生产的乳胶基质装药参数
Tab.3 Charging parameters of emulsion matrix
produced by XP-1320 emulsifier

孔号	实际装药量/kg	装药压力/MPa	掉药
W5 [#]	75	1.38	无掉药
W6 [#]	140	1.55	无掉药
W7 [#]	90	1.35	无掉药
E8 [#]	160	1.57	无掉药
E9 [#]	90	1.33	无掉药
E10 [#]	137	1.56	无掉药
E11 [#]	103	1.49	无掉药
E12 [#]	145	1.52	无掉药

对该批乳胶基质的黏度进行检测,并与 Span80 生产的乳胶基质进行对比,见表 4。

表4 黏度测试结果

Tab.4 Results of viscosity test

乳胶基质的 乳化剂	温度/℃		
	30	60	75
Span80	30	17	11
XP-1320	89	68	62

多批检测显示,当 75℃时,乳胶基质初始黏度为 60~65 Pa·s;冷却至 28℃时,黏度为 85~92 Pa·s;通过混装设备输药管末端喷射增黏后取样检测,黏度可达 190 Pa·s 以上,即表明应用混装设备使用的乳胶基质 20℃时黏度在 90~100 Pa·s 之间可稳定装药。

1.4 配方及生产工艺

地面制乳采用高温生产工艺技术,工艺配方比例见表 5;工艺流程见图 3。表 5 中,机油与柴油质量比为 5:1。

工艺参数:水相溶液温度为 85℃;水相析晶点为 68~70℃;水相 pH 值为 2.5~3.0;水相密度为 1.40 g/cm³;油相溶液温度为 65℃。粗乳器转速 550~570 r/min;精乳器 1"内芯 2 节;螺杆泵出口压力 1.25~1.30 MPa。

表5 配方比例(质量分数)

Tab.5 Proportion of formula (mass fracture)

%						
硝酸铵	硝酸钠	水	乳化剂	外加酸	机油柴油	石蜡
73.3 ~ 73.8	5.0 ~ 5.2	15.0 ~ 16.0	1.4 ~ 1.8	0 ~ 0.2	4.0 ~ 4.7	0 ~ 0.5

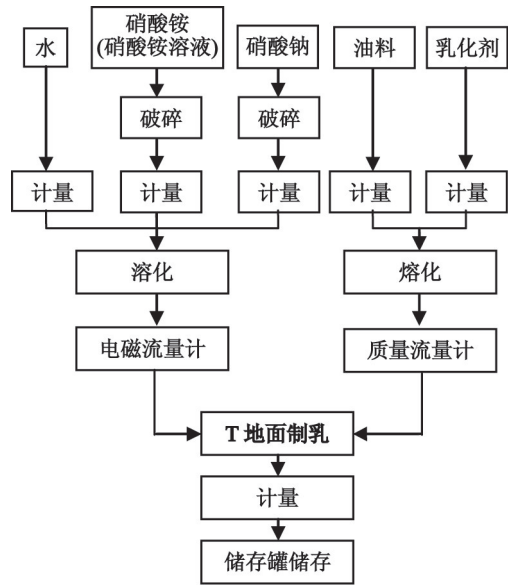


图3 生产工艺图

Fig.3 Production process

2 上向深孔混装用乳胶基质的性能

2.1 GB/T 14372—2013 第 8 组系列试验

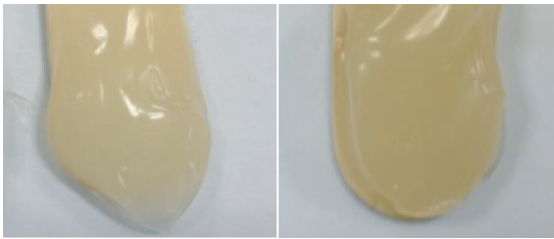
经国家民用爆破器材质量监督检测中心抽检检测,所检项目中乳胶基质(ANE)的热稳定性试验、乳胶基质(ANE)隔板试验和克南试验符合标准规定的要求,可划入 5.1 氧化剂项;样品在改进的通风管试验中未发生爆炸,根据试验标准的规定,样品可用罐体进行运输,满足行业标准规范要求。

2.2 储存期试验

乳胶基质储存期试验采用高低温循环试验及自然储存试验两种方式验证。

1)高低温循环试验。在塑料螺旋盖容器中称量 80 g 乳胶基质,旋紧盖子后放入自动环境模拟箱中。编程设置每一个循环为: -30 ℃ 储存 6 h,50 ℃ 储存 6 h。运行结束后,除去最上层乳胶基质样品,取样,测量样品的析晶面积和析晶数量。高低温循环前、后乳胶基质的外观见图 4。高低温循环前、后析晶情况见表 6;显微镜图见图 5。

在析晶面积和析晶数量测试中,数值越小越好;



(a)新制 (b)10 个循环后

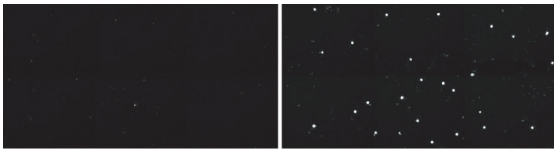
图4 乳胶基质外观对比

Fig.4 Appearance contrast of emulsion matrix

表6 高低温循环前、后乳胶基质的析晶情况

Tab.6 Results of high and low temperature cycling test

乳胶基质	析晶面积占比/%	析晶个数
新制	0.01	1
10 个循环后	0.11	26



(a)新制 (b)10 个循环后

图5 高低温循环前、后乳胶基质的显微镜图

Fig.5 Microscope picture after high and low temperature cycling test

在样品表面已被放大 100 倍情况下,观察样品涂片,面积固定且较小;同时,结合不同面积比例下实际观察,将析晶面积占比 <5% 的结果判断为通过;5% ~ 10% 的结果判断为临界;析晶面积占比 >10% 的结果判断为失败,即出现析晶。表 6 数据表明,10 个循环后乳胶基质未析晶破乳。

2)自然储存试验。采用 4 个烧杯,每个烧杯分别放入 2 kg 乳胶基质,放置在 20 ℃ 恒温装置内 150、180、210、240 d 后,观察乳胶基质外观,刮去上层基质,抽取 20 g 样品检测游离硝酸铵质量(国标甲醛法),结果见表 7。

表7 自然储存测试结果

Tab.7 Results of natural storage test

储存时间/d	外观	游离硝酸铵/g
150	未见破乳、析晶	0.013
180	未见破乳、析晶	0.014
210	未见破乳、析晶	0.016
240	未见破乳、析晶	0.018

试验结果表明,该工艺配方生产的乳胶基质储存稳定性良好,储存期可达 6 个月以上。

2.3 抗颠簸性能试验

乳胶基质抗颠簸性能试验采用运输模拟试验(低剪切试验)及实际一定距离道路颠簸试验验证。

1) 运输模拟试验(低剪切试验)。在 50 mL 螺旋盖容器中装入 50 mL 样品,抹平杯口。将样品杯放入重载油漆摇匀器中,设定运行时间 4 h。在 20 ℃ 环境下,运输模拟 4 h 后,除去最上层乳胶基质样品,取样测量结果见表 8、图 6。

表 8 运输模拟试验结果

Tab. 8 Results of transit test

乳胶基质	析晶面积占比/%	析晶个数
新制	0.01	1
运输模拟 4 h 后	0.02	4



(a)新制 (b)运输模拟 4 h 后

图 6 运输模拟试验前、后乳胶基质的显微镜图

Fig. 6 Microscope picture after transit test

表 8 数据表明,运输模拟 4 h 后乳胶基质未析晶破乳。

2) 实际道路颠簸试验。采用塑料桶,每桶装入 50 kg 乳胶基质,放置在定点运输车内,通过运输至不同矿山,模拟实际路况,观察在运输距离 300、400、500、600 km 后乳胶基质外观和检测游离硝酸铵质量,结果见表 9。

表 9 道路颠簸试验结果

Tab. 9 Results of road bump simulation test

运输距离/km	外观	游离硝酸铵/g
300	未见破乳、析晶	0.012
400	未见破乳、析晶	0.012
500	未见破乳、析晶	0.013
600	未见破乳、析晶	0.014

试验结果表明,该工艺配方生产的乳胶基质抗颠簸性较好,运输配送距离可达 500 km 以上。

2.4 泵送试验

乳胶基质泵送性能采用泵送模拟试验(高剪切试验)及实际泵送试验验证。

1) 泵送模拟试验(高剪切试验)。在 5 mL 一次性注射器中装入 4 mL 乳胶基质,进气管压力设置为 0.69 MPa,打开开关后,乳胶基质从注射器前端冲出并收集至棕色玻璃小瓶中,结果见表 10。

表 10 泵送模拟试验结果

Tab. 10 Results of pumping simulation test

乳胶基质	析晶面积占比/%	析晶个数
新制	0.01	1
剪切后	10.00	2 008

表 10 数据表明,在设定进气压力下,乳胶基质处于临界状态,若压力再提高,存在析晶、破乳的风险。

2) 实际泵送试验。基于现有设备,通过基质泵进行泵送试验,分别记录乳胶基质在常温下泵送 1 次、2 次、3 次后的外观,抽样检测游离硝酸铵质量,具体结果见表 11。

表 11 实际泵送模拟试验结果

Tab. 11 Results of actual pumping simulation test

泵送次数	外观	游离硝酸铵/g
0(新制)	未见破乳、析晶	0.012
1	未见破乳、析晶	0.012
2	未见破乳、析晶	0.012
3	未见破乳、析晶	0.013

试验结果表明,该工艺配方生产的乳胶基质泵送安全性好,在实际基质泵输送过程可泵送且未破乳、析晶;同时,配送储存罐至混装设备采用气动隔膜泵,泵送压力 0.1 ~ 0.2 MPa,无任何机械剪切作用,安全性更高。

2.5 性能指标检测

产品性能经过国家安全生产淮北民用爆破器材检测中心、煤炭工业淮北爆破器材产品质量监督检验中心检测,结果见表 12。

表 12 产品检测报告

Tab. 12 Testing report of product

项目名称	技术要求	实测数据
炸药密度/(g · cm ⁻³)	1.00 ~ 1.35	1.20
爆速/(m · s ⁻¹)	≥4 200	4 950
有毒气体/(L · kg ⁻¹)	≤50	20

结合报告表明,该工艺配方生产的乳胶基质经敏化后的混装乳化炸药所检项目均满足企业标准及 GB 28286—2012《工业炸药通用技术条件》的要求。

3 实际爆破应用

在某地下矿进行了多批次上向拉槽中深孔装药爆破试验,装药最大孔深大于 30 m,孔径在 80 mm,装药参数见表 13,爆破效果见图 7。

表 13 爆破参数
Tab. 13 Blasting parameters

孔号	设计倾角/°	设计孔深/m	装药量/kg
W5 [#]	81	28.7	64
W6 [#]	86	29.3	121
W7 [#]	90	29.2	79
E8 [#]	85	29.3	153
E9 [#]	81	29.6	81
E10 [#]	76	30.2	125
E11 [#]	71	30.9	93
E12 [#]	66	28.3	139

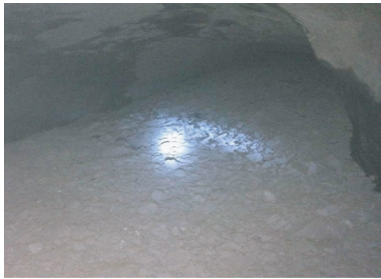


图 7 爆破效果图
Fig. 7 Blasting outcome

图 7 表明,爆堆松散,块度均匀,易于铲装;铲装运送后,未见残孔,爆破效果较好。

4 结论

1)研制的上向深孔混装用乳胶基质各项性能稳定可靠,储存期达 6 个月以上,满足国家标准要求,可按 5.1 级进行罐体运输,耐颠簸,泵送安全,试验条件下,可远程配送。

2)研制的上向深孔混装用乳胶基质通过混装设备装药可达孔深 30 m 左右不掉药;爆破效果良好,解决了上向深孔人工装药问题,本质安全水平大幅度提升,可在地下矿推广使用。

参 考 文 献

[1] 夏光. 工业炸药现场混装技术的应用与发展趋势[J]. 煤矿爆破,2019,37(1):27-30.

XIA G. Application and development trend of mixed technology site for industrial explosives[J]. Coal Mine Blasting,2019,37(1):27-30.

[2] 刘杰,徐志祥,孔煜. 乳化炸药稳定性及其破乳机理研究[J]. 爆破器材,2015,44(6):38-42.

LIU J,XU Z X,KONG Y. Storage stability and demulsion mechanism of emulsion explosives[J]. Explosive Materi-

als,2015,44(6):38-42.

[3] 张续,吴红波,张洪,等. 油相材料对现场混装乳化炸药性能的影响[J]. 安徽化工,2019,45(5):65-67.

ZHANG X,WU H B,ZHANG H,et al. Effect of oil phase materials on the performance of field mixed emulsion explosive[J]. Anhui Chemical Industry,2019,45(5):65-67.

[4] 卢文川,孟昭禹,马军,等. 乳化剂和油相材料对现场混装乳化炸药基质稳定性的影响[J]. 爆破器材,2019,48(6):7-13.

LU W C,MENG Z Y,MA J,et al. Effect of emulsifier and oil on the stability of bulk emulsion explosive matrix[J]. Explosive Materials,2019,48(6):7-13.

[5] 黄铁飞. 乳化剂对混装乳化炸药质量性能的影响及实践应用[J]. 爆破器材,2010,39(2):14-16.

HUANG T F. Effect of emulsifier on the quality performance of emulsion explosive and its practical application[J]. Explosive Materials,2010,39(2):14-16.

[6] 马平,谭本岭,叶辉,等. 乳胶基质黏度影响因素研究[J]. 工程爆破,2015,21(3):9-12.

MA P,TAN B L,YE H,et al. Study on the influence factors of emulsion matrix ciscosity[J]. Engineering Blasting,2015,21(3):9-12.

[7] 刘晓文,李建彬,龚兵,等. 现场混装乳化炸药敏化速度控制的试验研究[J]. 煤矿爆破,2017(2):18-20.

LIU X W,LI J B,GONG B,et al. Experimental study on sensitization rate control of site mixed emulsion explosive[J]. Coal Mine Blasting,2017(2):18-20.

[8] 冯有景. 现场混装炸药车[M]. 北京:冶金工业出版社,2014:246-247,265.

[9] 韦锦初,开俊俊. 乳胶基质远程配送及储存技术的探讨[J]. 煤矿爆破,2011(4):35-36.

WEI J C,KAI J J. Discussion on the techniques of long-distance delivery and storage of emulsion matrix[J]. Coal Mine Blasting,2011(4):35-36.

[10] 吴秋洁,谭柳,吴鹏,等. 环境冲击对车载乳胶基质破乳的影响[J]. 爆破器材,2017,46(1):17-23.

WU Q J,TAN L,WU P,et al. Influence of environmental shock on the demulsification of vehicle-mounted emulsion[J]. Explosive Materials,2017,46(1):17-23.

[11] 黄麟,花宝玲,查正清,等. 上向深孔装填混装乳化炸药工艺技术的开发及应用[J]. 矿冶,2017,26(4):15-18.

HUANG L,HUA B L,ZHA Z Q,et al. Development and application of the mixed emulsion explosive loading technology in deep up-hole[J]. Mining & Metallurgy,2017,26(4):15-18.

[12] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 北京:冶金工业出版社,2008:653-654.