

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.01.018

## 浅析远程配送乳胶基质的性能要求

刘大维

(中国葛洲坝集团 易普力股份有限公司,重庆 401121)

**摘要:** 为了能够推进国内现场混装炸药高质量发展,分析了国内现场混装发展现状,认为应推行乳胶基质集中生产、远程配送、现场储存与使用模式势在必行。综述了国内外在乳胶基质适应该模式所应具备的性能方面的研究。实践表明:乳胶基质应具备划为氧化剂的条件,保证运输、储存安全;应具备可长时间储存和良好的抗颠簸、耐往复泵送能力;应具备能够解决各种应用需要的适应性,如低粘度、常温敏化、系列化解决方案。

**关键词:** 乳胶基质; 远程配送; 安全性; 稳定性; 适应性

**中图分类号:** TQ560      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-487X(2020)01-0124-07

## Performance Requirements of Emulsion Matrix for Remote Distribution

LIU Da-wei

(China Gezhouba Group Explosive Co Ltd, Chongqing 401121, China)

**Abstract:** In order to promote the high quality development of on-site mixed explosive in China, the present situation of field mixed explosive in China was analyzed. It is considered that the mode of concentrated production, remote distribution, field storage and use of emulsion matrix should be carried out. The researches on the properties of emulsion matrix suitable for this mode were reviewed. The practice shows that the emulsion matrix should be classified as oxidant to ensure the safety of transportation and storage, and have the properties of long time storage, good anti-bumping and reciprocating pumping capacity. Meanwhile, it should be adaptable to various application requirements, such as low viscosity, constant temperature sensitivity and serial solutions.

**Key words:** emulsion matrix; remote distribution; safety; stability; adaptability

### 1 远程配送模式的应用推广势在必行

1990年现场混装炸药在南芬铁矿通过冶金部鉴定后正式投产,成为我国现场混装炸药的应用起点<sup>[1]</sup>。现场混装炸药作为一种本质安全性相对更高的工业炸药<sup>[2]</sup>,以其安全、经济、高效、环保等优势成

为我国民爆行业鼓励的发展方向<sup>[3]</sup>。经过近30年发展,国内现场混装炸药年产量已达108万吨<sup>[4]</sup>,但与世界矿业发达国家相比,现场混装炸药占炸药总产量的比例还远远不足<sup>[5]</sup>。从行业公布的统计数据看,从2009—2012年,现场混装炸药占比年平均增长36.34%;2013—2018年,年平均增长6.24%,增速明显放缓。在行业形势不景气的2015—2016年,现场混装炸药的用量出现了下降,见图1。

多年以来,葛洲坝易普力公司(以下简称“公司”)一直在致力于推广乳胶基质集中生产、远程配送、现场储存与使用一体化模式<sup>[6]</sup>(以下简称远程配

收稿日期:2019-05-28

作者简介:刘大维(1988-),男,硕士研究生、工程师,主要从事工业炸药工艺研究,(E-mail)liudw@expl.cn。

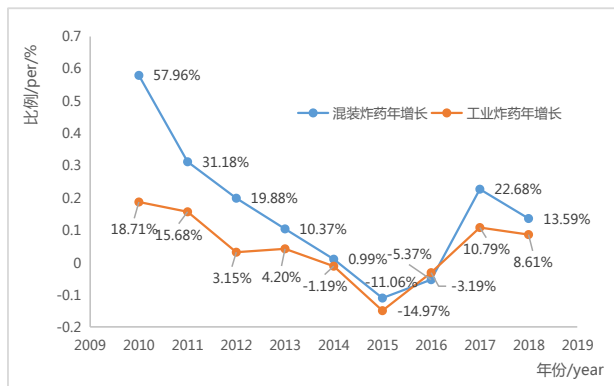


图 1 近 10 年现场混装炸药和工业炸药年增长

Fig. 1 Annual growth of on-site mixed explosive and industrial explosive in recent 10 years

送模式),以期更大规模地推广现场混装炸药。该模式实现了高度集约化生产,与现有“一站一点”模式相比,资源配置更加高效,劳动效率更高,总碳排放更低<sup>[7]</sup>,是目前国外大型民爆企业所采用的主流方式。

现场混装炸药主要用于大型矿山的露天台阶爆破<sup>[8]</sup>,目前国内大型矿山的炸药供应已趋于稳定、饱和,新增现场混装炸药市场非常有限。文献调研表明,在国内,现场混装炸药还未大规模进入小孔径浅孔矿山<sup>[9]</sup>、地下开采<sup>[10]</sup>、地下工程<sup>[11]</sup>、基建等领域<sup>[12]</sup>。从 2018 年炸药产品包装规格看,φ40 mm 以上规格的大直径包装炸药和袋装炸药合计占炸药产量 47.78%。将这两部分炸药产量转化为现场混装炸药,则现场混装炸药的潜在规模应该超过 73%<sup>[4]</sup>。根据行业的市场预测,未来国内炸药需求趋于稳定,笔者估算,未来国内现场混装炸药市场规模将达到 250~350 万吨,与现状相比,新增 150~250 万吨现场混装炸药。而国内大型矿山的现场混装用量趋于稳定,新增炸药用量将用于大型矿山之外的中小型矿山、市政工程、隧道掘进等,用户呈现明显地单次使用量小、供应周期不连续、使用点分散等特点,现在作业模式很难推行。因此,要发展现场混装炸药,推行乳胶基质集中生产、远程配送、现场储存与使用模式势在必行。

## 2 推广远程配送模式困难重重

面对巨大的市场潜力,从业单位并未做好充分的准备。目前国内研究乳胶基质远程配送的从业单位非常少<sup>[7,13-17]</sup>。这些从业单位在远程配送装备、基质方面开展了一些研究,但都未形成成熟体系。露天台阶深孔爆破之外,现场混装炸药少有实际应用,面对即将来临的市场,都没有形成“战斗力”。

远程配送模式相对于现有作业模式,增加了乳胶基质配送、乳胶基质现场暂存等环节,人力资源配置、设备物资配置等也有不同。由于能力有限,笔者尝试综述远程配送模式对乳胶基质的要求并整理公司技术团队在该领域的努力,期望能够抛砖引玉,为行业发展提供思路。

### 2.1 安全性和经济性

乳胶基质划为爆炸品还是氧化剂,既影响安全,又影响成本。氧化剂的危险等级远低于爆炸品,在操作和处置过程中,都会更加安全。根据《道路危险货物运输管理规定》规定,运输爆炸品的非罐式专用车辆核定载质量不得超过 10 t。如果乳胶基质划为爆炸品,一次不超过 10 t 的运输量,增加单位运输成本;再加上地面站、运输设备、现场储存站标准要求更严格而增加成本使企业丧失竞争力。因此用于远程配送的乳胶基质,应是氧化剂。

乳胶基质是否定义为氧化剂,应由具有相应国家级检测资质的质检机构进行分项试验,并由其出具检测报告。联合国《关于危险货物运输的建议书试验与标准手册》(第六修订版)中的试验系列 8 是用来评估待试验的“硝酸铵乳液、悬浮液、或凝胶,炸药中间物质”(本文简称“乳胶基质”)感度是否足够低,可划为第 5.1 类的系列试验,包括热安定性试验、隔板试验、克南试验。改进通风管试验是用来评估乳胶基质是否适合罐体运输试验方法。

#### 2.1.1 热稳定性试验

热稳定性试验确定乳胶基质在运输过程中可能遇到的温度条件下是否稳定。试验温度条件比较温和,乳化质量较好,材料相容性好,无在该温度范围内分解的物质的基质,认定为具有热稳定性概率高<sup>[18]</sup>。试验装置如图 2 所示。



图 2 热安定性试验装置

Fig. 2 Thermal stability test equipment

### 2.1.2 隔板试验

隔板试验用于验证乳胶基质在规定水平的冲击下的稳定性。未经敏化的,含水量不过分低的乳胶基质,相对不易被试验条件的冲击波引爆<sup>[19]</sup>。试验装置如图3所示。试验发现,敏化后的混装乳化炸药(含水量17%)能够被引爆,而该配方未经敏化的含水量10%乳胶基质未被引爆。



图3 隔板试验装置

Fig. 3 Partition test equipment

### 2.1.3 克南试验

克南试验确定乳胶基质等在高度封闭条件下对强热效应的敏感度。该试验条件非常恶劣,更低粘度、更高乳化质量、含水量更高的乳胶基质相对容易通过试验考验。试验装置如图4所示。试验发现,敏化后的混装乳化炸药(含水量17%)未能通过考验,未经敏化的含水量12%、13%、15%、17%的乳胶基质通过考验。

### 2.1.4 改进通风管试验

通风管试验(试验装置如图5所示)用于评价乳胶基质在受限制但通风的条件下遇到大火的后果。与克南试验类似,更低粘度、更高乳化质量、含水量更高的乳胶基质在试验条件下更不容易爆炸。观察试验现象,分析认为:

(1)加热不久后通风管冒烟,推测是破乳后内相水和游离水汽化<sup>[20]</sup>。水含量较大时,水汽化过程吸热,能够将管内的热量带走,延缓硝酸铵分解<sup>[21]</sup>;更长时间的蒸发过程可避免最终管内温度达到硝酸铵(乳胶基质)分解温度时硝酸铵的量不至于太大<sup>[22]</sup>;另外底部的热量能更多的传递到顶部,让顶部乳胶基质受热更多,粘度下降更多,更有利于

喷出。

(2)稳定性较差的乳胶基质,在极端条件下更容易破乳<sup>[23]</sup>。硝酸铵过早地从内相中析出并受热分解,且外相有较多游离硝酸铵,产生大量的热,进而导致更大量的破乳和硝酸铵分解。



图5 改进通风管试验装置

Fig. 5 Improved ventilation tube test equipment



图4 克南试验装置

Fig. 4 Koenen test equipment

(3)单侧加热时管内乳胶基质会翻腾,当其粘度较大时,翻腾效果较差,未能及时将热量分散到整个管内,容易局部过热而引发硝酸铵大量分解,进而爆炸。另外,粘度较大的乳胶基质不容易喷出。

## 2.2 稳定性

满足安全性要求的同时,对乳胶基质的稳定性

也提出了比较严苛的要求。在实际生产过程中,有些方面的要求会比前述试验要求更高。

### 2.2.1 储存期

苏阳明提出乳胶基质应具备 1 个月储存期<sup>[15]</sup>,祁茂福认为<sup>[17]</sup>,乳胶基质储存期应不少于 3 个月。根据国外的产品介绍,乳胶基质的储存期可达 2 年。国内潜在的现场混装炸药市场,更多地是小、零、散,不管是区域配送中心还是生产点直接配送,都需要考虑单次供应量、供应周期等问题,这些都将直接影响配送和生产成本。储存期更长意味着需要更优质的材料,需要增加成本;同时也可以减少配送频次,增加单次配送量,节约配送成本。在推行远程配送模式时,从业单位在成本与储存期之间的取舍,应从配送范围、客户分布、年需求量等多方权衡。

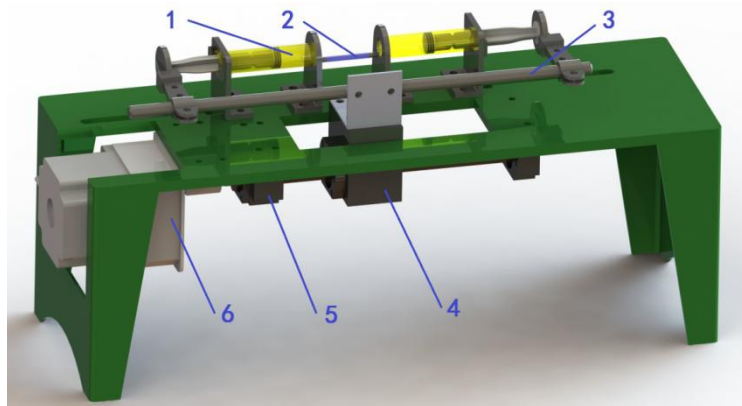
影响乳胶基质稳定性的因素很多,主要有水相析晶点<sup>[24]</sup>、油膜强度<sup>[25]</sup>、乳化质量等,国内在这方面的研究也非常多,在此不再赘述。乳胶基质储存性能最真实的检测方法是自然储存,但是费时费力,生产实践过程中常作为一个抽检指标。通常乳胶

基质的储存性能可通过测试其稳定性来佐证。常用的测定乳胶基质稳定性的方法有高速离心法(动态平衡法)、高低温循环试验法、电导法、水溶值测定法,显微镜测法、溶胀率测定法等<sup>[26]</sup>。

### 2.2.2 耐泵送性能

乳胶基质在远程配送模式下需经过 2~10 次泵送,每一次泵送都是对乳胶基质的一次破坏作用。泵的类型、泵压、温度、粘度、流量等参数都会影响乳胶基质遭受泵送破坏的剧烈程度。

公司开发了一种泵送试验装置<sup>[27]</sup>,如图 6 所示,乳胶基质在挡板推动注射作用下,在管道内部流动,注射器与连接器的管径变化形成巨大的剪切作用,在一定泵送次数条件下,乳胶基质破乳发白,经过大量数据积累,建立判断标准。公司自主开发的远程配送乳胶基质,经过 6 次泵送后,基质流通性好,外观无析晶,显微镜测析晶面积对比未见显著恶化,结果判定为该乳胶基质具有优良的耐泵送性能。另有一以 span80 为主要乳化剂的配方,经过 2 次泵送后,管内基质发白,判断严重破乳。



1-注射器 2-软管 3-推杆 4-滑块 5-滚珠丝杠 6-步进电机减速器

1- syringe, 2- hose, 3- push rod, 4- slider, 5- ball screw, 6- stepping motor reducer

图 6 模拟泵送试验仪设计图

Fig. 6 Design drawing of simulated repeated pumping test equipment

### 2.2.3 抗颠簸性能

远程配送,顾名思义乳胶基质需要远距离配送。从业单位应考虑配送距离、配送路况等因素,合理设置乳胶基质抗颠簸性能。国内的研究人员对远距离的定义也不同,从 300~700 km 不等。国外的乳胶基质陆运距离可超过 1000 km,海运距离更远。

公司采用一套颠簸振动系统如图 7 所示,可模拟水平、上下、左右三个维度的振动。乳胶基质置于平台上固定后,设置振动频率和时间,采用显微

观测法和水溶值法,检测乳胶基质前后的稳定性差异,判断乳胶基质的抗颠簸性能。公司自主开发的远程配送乳胶基质,经过模拟颠簸超 1000 km。经检测,析晶面积在未破乳水平,水溶值仍与试验前相当;而公司试验的某个配方常温粘度超过 20 万厘泊,经过 300 km 模拟颠簸后,在杯壁形成了 5 mm 左右的析晶层。分析认为更低的粘度能够减少颠簸过程中对基质的损伤。高粘度导致的低流动性,使得乳胶基质在颠簸过程中,颠簸产生的撞击集中在靠近器壁的乳胶基质,进而导致其在器壁周围

破乳。



图7 颠簸振动系统

Fig. 7 Shock vibration system

### 2.3 适应性

乳胶基质除应具备安全性、稳定性等基本要求之外,还应能够满足远程配送生产作业方式的需求,如便于泵送、常温敏化等,同时应具备适应不同作业环境的考验。

#### 2.3.1 低粘度

在危险等级分项试验过程中发现,更低粘度的乳胶基质所具备更高的流动性更有可能通过各项试验的考验。在泵送试验发现,乳胶基质具备更低的粘度还能减少泵送对其损伤<sup>[18]</sup>。同样的产能条件下,低粘度乳胶基质在泵送过程中,压力降更低<sup>[28]</sup>。李宏兵认为<sup>[7]</sup>,乳胶基质的常温粘度不应高于10万厘泊,苏明阳<sup>[5]</sup>研制的乳胶基质在5~35℃时粘度在5万厘泊以下。公司自主开发的用于远程配送的乳胶基质,20℃时粘度为2万厘泊左右,-20℃时粘度为11万厘泊左右<sup>[29]</sup>。

#### 2.3.2 常温敏化

自产自用的现场混装炸药储存时间较短,多数不超过1周,乳胶基质的温度不低于50℃,通过现有的技术手段,能够让乳胶基质的密度在15 min内下降至1.15 g/cm<sup>3</sup>左右<sup>[30]</sup>。乳胶基质经过长距离配送、长时间储存后,温度会下降明显,而储罐一般不配备保温设施,因此需要乳胶基质能够在常温(20℃),甚至在更低的温度条件下能够快速敏化。总所周知,温度是影响乳化炸药化学敏化的重要因素,如果需要快速敏化,在更低的温度条件下需要更强烈的发泡条件<sup>[31]</sup>。常用的方法包括在水相中添加硫脲<sup>[32]</sup>、有机酸、路易斯酸等,在发泡剂中配置硝酸铵、有机酸、中强酸、路易斯酸等。试验发现添加不超过2%的硫脲能够显著提高常温发泡速度,但不会改变硝酸铵析晶点,对储存性能影响亦较

小。一般所用高分子乳化剂为PIBSA系衍生物,对pH比较敏感,因此在水相中添加柠檬酸、醋酸、草酸、酒石酸等相对较弱的有机酸,且添加量应严格控制。试验发现,水相中柠檬酸的添加量超过0.2%,乳胶基质的稳定性明显下降<sup>[29]</sup>。公司自主开发的乳化炸药,能够在-20℃条件下可靠、快速敏化<sup>[28]</sup>。

#### 2.3.3 系列化解决方案

对于大规模生产作业而言,单一配方可减少材料更换,可大规模集中储存,具备更高的经济效益。但是远程配送模式下,仅用一种配方无法解决可能现场问题。因此远程配送模式的推广,离不开应用技术的深度开发。除相应配套的装备、设施外,还需要建立全套的配方解决方案。图8是澳瑞凯公司产品结构的一部分。针对不同的应用场合、不同的作业方式澳瑞凯公司都进行了相应的配方开发。

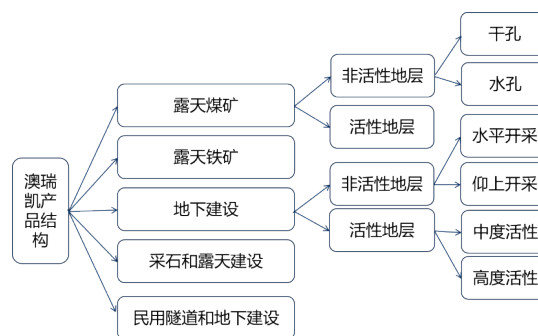


图8 澳瑞凯公司产品结构(部分)

Fig. 8 Product structure (part) of Orica

## 3 建议

国内现场混装炸药的应用领域还相对局限,为了适应远程配送模式,还有许多工作要做。

(1)应发现、发掘现场混装乳化炸药的性能极限和应用边界,拓展现场混装作业方式的试用范围。目前国内现场混装炸药的推广应用面临技术制约应用的困境。生产过程危险因素分析、临界直径、小直径传爆性能测试等技术问题需深入研究,周边孔、异温高温孔、仰上孔、水下爆破、瓦斯巷道爆破等应用领域的炸药产品需加快开发。

(2)应建立乳胶基质生产过程质量控制体系

乳胶基质生产过程中还未找到一个在线的或快速的检测方法来评判乳化质量。目前的事中控制乳化质量的方法还不够快速、直观、可重复<sup>[33]</sup>,不能即时地反映生产过程中的乳胶基质质量。以最终的爆速或爆破效果仅能作为一个验证手段,而非

检测手段。当炸药爆速或爆破效果出现问题时,为时已晚。

### 参考文献 (References)

- [1] 金校元,宫永军. 现场混装炸药车在南芬露天铁矿的应用[J]. 中国矿业,1997(S1): 107-109.
- [1] JIN Xiao-yuan, GONG Yong-jun. Application of on-site mixed explosive truck in Nanfen iron mine [J]. China Mining Magazine, 1997(S1): 107-109. (in Chinese)
- [2] 李鑫,查正清,龚兵,等. BGRIMM炸药现场混装技术新进展[J]. 有色金属工程,2015(3): 75-77.
- [2] LI Xin, ZHA Zheng-qing, GONG Bing, et al. Site mixing technology new progress of BGRIMM explosive[J]. Nonferrous Metals Engineering,2015(3): 75-77. (in Chinese)
- [3] 靳永明,冯有景,秦启胜. 现场混装炸药车的发展与应用[J]. 机械管理开发,2006(6): 1-4.
- [3] JIN Yong-ming, FENG You-jing, QIN Qi-sheng. Development and application of on-site mixed explosive charging vehicle [J]. Mechanical Management and Development,2006(6): 1-4. (in Chinese)
- [4] 中国爆破器材行业协会. 2018年民爆行业经济运行情况[Z]. 工作简报,2018(2): 11-35.
- [5] 陶华鸣,常根召,李创新,等. 现场混装炸药推广使用问题探究[J]. 煤矿爆破,2016(4):9-11.
- [6] TAO Hua-ming, CHANG Gen-zhao, LI Chuang-xin, et al. Study on the problem of promotion and application of on-site mixed explosive [J]. Coal Mine Blasting, 2016(4):9-11. (in Chinese)
- [7] 周桂松. 混装炸药一体化作业新型模式研究[R]. 工业炸药现场混装技术应用与发展工程前沿技术研究,沈阳,2015.
- [7] ZHOU Gui-song. Study on the new mode of integrated operation of on-site mixed explosive[R]. Research on the Application and Development of Mixed Charge Technology in Industrial Explosive Field,Shenyang,2015. (in Chinese)
- [8] 李宏兵. 乳胶远程配送系统相关技术研究[J]. 爆破,2010,27(2):88-91.
- [8] LI Hong-bing. Research on related techniques of long-distance delivering system of emulsion matrix[J]. Blasting,2010,27(2):88-91. (in Chinese)
- [9] 邓友祥,陈代贵. 现场混装炸药推广使用问题的分析及建议[J]. 建井技术,2015(S1):151-152,150.
- [9] DENG You-xiang, CHEN Dai-gui. Analysis and suggestion to problem of the promoting use of on-site mixed explosive [J]. Mine Construction Technology, 2015 (S1) : 151-152, 150. (in Chinese)
- [10] 孙大为,黄满贵,任斌. BCJ-3型散装乳化炸药装车敏化工艺优化及应用[J]. 中国矿业,2018,27(8): 155-158.
- [10] SUN Da-wei, HUANG Man-gui, REN Bin. Optimization and application of sensitized process for BCJ-3 bulk emulsion explosive charging truck [J]. China Mining Magazine,2018,27(8): 155-158. (in Chinese)
- [11] 王胜利,刘犀斌,任海燕. 现场混装乳化炸药在地下铁矿爆破中的应用[J]. 爆破器材,2018,47(6):49-52,58.
- [11] WANG Sheng-li, LIU Xi-bin, REN Hai-yan. Application of on-site mixed emulsion explosive in underground blasting of iron mine [J]. Explosive Materials, 2018, 47(6):49-52, 58. (in Chinese)
- [12] 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.
- [12] GUO Xiong, WANG Yi-ming, ZHOU Sheng-ping, et al. Application of on-site mixed charging emulsion explosive in high effective smooth blasting [J]. Modern Mining,2014(8): 18-21. (in Chinese)
- [13] 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]. 化工管理,2013(12): 45.
- [13] HAO Yu-qing, JIANG Qing-hong. Application of emulsion explosive technology in blasting site [J]. Chemical Enterprise Management,2013(12): 45. (in Chinese)
- [14] 李鑫,查正清. 远程配送乳胶基质专用运输车的研制[J]. 工程爆破,2014,27(4):40-42.
- [14] LI Xin, ZHA Zheng-qing. Development of special transport vehicle for long-distance distribution of emulsion matrix[J]. Engineering Blasting,2014,27(4):40-42. (in Chinese)
- [15] 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.
- [15] WEI Jin-chu, Jun-junKAI. Discussion on the techniques of long-distance delivery and storage of emulsion matrix[J]. Coal Mine Blasting,2011(4):35-36. (in Chinese)
- [16] 苏明阳. 一种适宜远程配送乳胶基质的研究[J]. 工程爆破,2014,20(6):43-46,60.
- [16] SU Ming-yang. Research on long-distance delivery emulsion matrix [J]. Engineering Blasting, 2014, 20(6): 43-46, 60. (in Chinese)
- [17] 祁茂富,程飞,刘晓明. 乳胶基质远程配送可行性研究[C]//民用爆破器材理论与实践——中国兵工学会民用爆破器材专业委员会第七届学术年会,2012: 169-172.
- [17] QI Mao-fu, CHENG Fei, LIU Xiao-ming. Feasibility study on remote distribution of latex matrix[C]//Theory and Practice of Civil Blasting Apparatus - the 7th Annual Conference of Civil Blasting Apparatus Committee of China Ordnance Engineering Society,2012:169-172. (in Chinese)
- [18] 刘林林. 乳胶基质远程配送中泄漏检测[C]//乳化炸药安全技术交流会,2013:259-261.
- [18] LIU Lin-lin. Leakage detection in remote distribution of emulsion matrix [C]// Meeting on Safety Technology of Emulsion Explosive, 2013: 259-261. in Chinese
- [19] 徐志祥,胡毅亭,刘大斌. 油相材料对乳化炸药热稳

- 定性的影响[J]. 火炸药学报,2009(4): 34-37.
- [19] XU Zhi-xiang, HU Yi-ting, LIU Da-bin. Effect of oil phase materials on thermal stability of emulsion explosives[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2009(4): 34-37. (in Chinese)
- [20] 韦锦初. 现场混装车乳剂基质性能初探[J]. 矿冶工程,2013,33(3): 39-40.
- [20] WEI Jin-chu. Preliminary exploration of emulsion matrix for in-situ mixed-loading vehicle[J]. Mining and Metallurgical Engineering,2013,33(3): 39-40. (in Chinese)
- [21] 徐志祥. 乳化炸药泵送过程热安全性研究[D]. 南京:南京理工大学,2014.
- [21] XU Zhi-xiang. Study on thermal safety of emulsion explosive in pumping process[D]. Nanjing:NUST,2014. (in Chinese)
- [22] 赵超,徐森. 乳胶基质热失控温度的研究[J]. 煤矿爆破,2013(4):24-25,26.
- [22] ZHAO Chao, XU Sen. Study on runaway temperature of emulsion matrix heat[J]. Coal Mine Blasting,2013(4): 24-25,26. (in Chinese)
- [23] 徐森,陈相,段瑞坤. 硝酸铵乳胶在持续受热条件下的热失控特性[J]. 化工学报,2014(3): 1135-1141.
- [23] XU Sen, CHEN Xiang, DUAN Rui-kun, et al. Developing process of thermal runaway for ammonium nitrate emulsion under continuous heating[J]. CIESC Journal, 2014(3): 1135-1141. (in Chinese)
- [24] 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(6): 38-42.
- [24] LIU Jie, XU Zhi-xiang, KONG Yu. Storage stability and demulsification mechanism of emulsion explosives [J]. Explosive Materials,2015(6): 38-42. (in Chinese)
- [25] 王阳,汪旭光,陶铁军,等. 乳化基质自然储存失稳机理研究[J]. 爆破,2017(2): 110-116, 126.
- [25] WANG Yang, WANG Xu-guang, TAO Tie-jun, et al. Instability mechanism of emulsion explosive matrix suffering long-time storage [J]. Blasting, 2017(2): 110-116, 126. (in Chinese)
- [26] 尹国光,尹国辉,李军. 不同乳化剂材料对乳胶基质稳定性影响的研究[J]. 煤矿爆破,2017(3): 13-15.
- [26] YIN Guo-guang, YING Guo-hui, LI Jun. Research on the influence of different emulsifying agent materials to the stability of emulsion matrix[J]. Coal Mine Blasting, 2017(3): 13-15. (in Chinese)
- [27] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 2版. 北京:冶金工业出版社,2008.
- [28] 董云,贾紫永,赵华平,等. 小型混装乳化炸药泵送模拟装置,中国:ZL 2015 2 0876942. 6[P]. 2015.
- [29] 曾开亮. 车制乳化炸药黏度对混装的影响[J]. 广东化工,2013,40(8): 39-40,33.
- [29] ZENG Kai-liang. Effects of viscosity of emulsion explosives on mixed loading [J]. Guangdong Chemistry, 2013,40(8): 39-40,33. (in Chinese)
- [30] 杨敏会,刘大维,陈曦,等. 适宜远程配送乳胶基质关键性能的研究[C]//民爆行业安全管理与技术发展论坛,深圳,2018:102-113.
- [30] YANG Min-hui, LIU Da-wei, CHEN Xi, et al. Study on the key properties of emulsion matrix suitable for remote distribution [C]// Safety Management and Technology Development of Civil Explosion Industry, Shenzhen, 2018:102-113. (in Chinese)
- [31] 简国祚,王世强,俞政洪,等. 废机油在混装乳化炸药生产中的应用研究[J]. 火工品,2017(6): 37-40.
- [31] JIAN Guo-zuo, WANG Shi-qiang, YU Zheng-hong, et al. The application research of recycled engine oil in emulsion manufacture [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2017(6): 37-40. (in Chinese)
- [32] 刘大维,杨敏会,杜华善. 现场混装乳化炸药化学敏化影响因素分析[J]. 爆破器材,2018,47(2): 1-5.
- [32] LIU Da-wei, YANG Min-hui, DU Hua-shan. Analysis of the influence on emulsion sensitization process for bulk emulsion explosive [J]. Explosive Materials, 2018, 47(2): 1-5. (in Chinese)
- [33] GABRIEL da Silva, Dlugogorski BOGDAN Z, Kennedy ERIC M. An experimental and theoretical study of the nitrosation of ammonia and thiourea [J]. Chemical Engineering Science, 2006(61): 3186-3197.
- [34] 赵瑞玺,李渊. 乳胶基质生产线破乳监测系统研究与应用[J]. 工程爆破,2019,25(1): 64-67.
- [35] ZHAO Rui-xi, LI Yuan. Research and application of demulsification monitoring system for emulsion matrix production line [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(1): 64-67. (in Chinese)