

远程配送型现场混装乳化炸药性能试验研究

刘 峰

宏大爆破工程集团有限责任公司 广东 广州 511300

【摘要】：现场混装炸药是当前行业的主流方向，对标国外矿业发达国家并结合当前我国矿山分布特征，开展“集中制备-远程配送”一站多点式现场混装炸药服务模式势在必行。为此进行远程配送型的现场混装乳化炸药性能试验研究，通过选择适合的乳化剂，添加阻燃剂，提升制备、运输、装药全过程的安全性；通过乳化能力试验、高低温循环试验、振动试验等方式确保远程配送型现场混装乳化炸药满足矿山爆破需求。

【关键词】：现场混装乳化炸药；远程配送；安全性

Experimental Study on the Performance of Remote Distribution Field Mixed Emulsion Explosive

Feng Liu

Hongda Blasting Engineering Group Co., Ltd. Guangdong Guangzhou 511300

Abstract: On-site mixed explosives are the mainstream direction of the current industry. It is imperative to carry out the "centralized preparation-remote distribution" one-stop multi-point on-site mixed explosives service model in accordance with foreign mining developed countries and combined with the current distribution characteristics of mines in my country. To this end, the performance test research of remote distribution type on-site mixed emulsion explosives is carried out. By selecting suitable emulsifiers and adding flame retardants, the safety of the whole process of preparation, transportation and charging is improved, vibration test and other methods to ensure that the remote distribution type on-site mixed emulsion explosives meet the needs of mine blasting.

Keywords: Field mixed emulsion explosive; Remote distribution; Security

前言

在 20 世纪 80 年代，我国在国外引进现场混装炸药技术，经过近三十年的发展，经过引进、消化吸收、自主创新，目前已经进入了一个相对成熟的阶段。在研究层面上，代表型的科研单位有北矿院、金奥博、湖南金能、奥瑞凯板桥、山西惠丰等；在应用层面上代表型企业有宏大爆破、易普力、江南化工等。在“十三五”期间现场混装炸药应用占比已经达到 30%。经过“十三五”的发展，我国大型矿山基本实现混装炸药全覆盖。对比国外，翻开美国、澳大利亚、加拿大等矿业和工业发达国家的工业炸药发展史，20 世纪 70-80 年代，现场混装炸药还只是在技术和产品层面上，在这些国家和地区获得蓬勃发展，20 多年前，这些国家混装炸药占比一直高达 90% 以上，可以说现场混装炸药已经成为全球工业炸药发展的普遍共识。我国混装炸药占比受限主要基于以下两点原因：

(1) 我国矿山规模性质的限定。我国以中小型矿山为主，很多矿山年炸药用量不足 500 吨，而且这类矿山占据了矿体量的大部份，并且分布零散。对于混装作业需求不经济导致。

(2) 我国民爆政策原因。我国民爆企业长期处于“追求产能审批指标”和追求“区域市场保护”的扭曲发展轨道，严重偏离现代企业依靠创新驱动、追求技术进步、追求产品质量、追求服务品质的正常发展道路。导致现场混装炸药推广受阻。

针对我国矿山分布特征，解决现场混装炸药推广应用难

题，重点在于发展“集中制备-远程配送”新型工业炸药技术体系和推广“科研-生产-爆破服务”一体化新型商务模式。本文主要依托公司粤西混装乳化炸药地面站开展“集中制备-远程配送”一站多点式现场混装乳化炸药性能进行研究，该地面站同时服务于粤北、粤西、粤中等 9 个项目，最远配送距离达 350km。

1 乳胶基质制备技术

现场混装乳化炸药的半成品乳化基质制备工艺流程与成品乳化炸药的半成品乳化基质雷同。都是以水相为分散相，油相为连续相通过乳化剂的乳化作用形成油包水型半透明状的胶状物质。现场混装乳化炸药的半成品乳化基质按照现行国家标准应符合《危险货物运输爆炸品认可、分项程序及配装要求》(GB 14371) 或等同采用联合国《危险货物运输建议书—试验和标准手册》第 8 系列试验危险性分项判定标准。同时结合该地面站实际情况，对项目的研究开发提出了如下要求：

- (1) 静态储存期达 30 天以上；
- (2) 满足多次泵送需求，至少经过四次泵送后，乳化基质未出现破乳现象；
- (3) 经过 350km 运输颠簸，乳胶基质泵送至项目现场储罐储存期达 7 天以上；
- (4) 适宜的黏度，在常温下现场混装装药过程中泵送压力低于 0.8MPa；
- (5) 进一步提升配方的本质安全性；

(6) 敏化时间控制在 15min 以内，最终形成的混装乳化炸药密度控制在 1.05-1.25g/cm³ 之间；爆速：≥3500m/s（内径为 90mm 的 PVC 塑料管内）。

1.1 配方设计

现场混装乳化炸药配方多数是以硝酸铵为主水相分散相，以轻质油作为油相连续相，外观状态是一种介于固体和流体之间的非牛顿体。乳胶基质的流变性影响着剪切强度、乳化温度以及泵送、敏化、装药等单元操作，对储存稳定性亦有影响。实践表明，配方组分、原材料种类、制备工艺等均可影响乳胶基质的其流变性，其中，乳化剂和油相种类对其粘度影响最大。对于混装乳化炸药的配方油相材料及配比影响相当大，所制造出的乳化基质应在常温、低温下具有低粘度，其易于流动。在配方设计中遵循如下原则：（1）零氧平衡或略微负氧平衡；（2）配方安全性提升；（3）经济效益原则；（4）不增加额外生产工艺原则。

油相材料选择。现场混装乳化炸药考虑到其流动性及可泵送性，主要的油相材料选择为柴油和机油。乳化剂采用油相加入法，乳化剂是决定乳化基质质量关键影响因素。国内主流配方中乳化剂选择 SP-80，在本次试验中选择了一种高分子乳化剂聚异丁烯丁二酸醇胺。同时考虑到，现场混装车制乳化炸药配方中，采用较低粘度的柴油作为油相材料，乳化基质稳定性相对不高，容易产生热分解现象，不易通过联合国《关于危险货物运输的建议书试验和标准手册》第五修订版试验系列 8（a）、（b）、（c）、（d）的检定。因此，兼顾安全性、低粘性及稳定性，进一步提高乳化基质的热稳定性，在油相中加入燃油阻燃剂氯化石蜡。水相材料选择。水相通用采用硝酸铵水溶液，为了提高乳化基质的储存稳定性，水相中采用添加硝酸钠降低水相析晶点。

根据上述原则及研究目的设计三种配方进行试验对比。配方中仅乳化剂采用的为不同类型乳化剂，试验 1 乳化剂为 SP-80；试验 2 乳化剂为聚异丁烯丁二酸醇胺；试验 3 乳化剂为 SP-80：聚异丁烯丁二酸醇胺=1:2（质量比）复合乳化剂。具体配方表如下。

表 1-1 试验配方

配方组成（质量百分比）						
水相			油相			
硝酸铵	硝酸钠	水	柴油	机油	乳化剂	氯化石蜡
73.5	5	15	2.7	1.5	1.8	0.5

1.2 乳化性能试验对比

采用自制的乳化搅拌装置，内径为 120mm，高为 150mm 的不锈钢筒体结构，搅拌叶片距离筒壁 20mm，搅拌轴通过可调速电机连接的简易乳化装置，乳化时间 30s，通过调整不同

转速来判定乳化剂的乳化能力。乳化温度为 80℃。

表 1-2 乳化能力以及相应的乳胶基质粘度

乳化转速 (r/min)	配方 1	配方 2	配方 3
300	不成乳	不成乳	不成乳
400	成乳，但有硝酸铵晶体	不成乳	成乳，但有硝酸铵晶体
450	成乳，有微量硝酸铵晶体，呈半透明状胶体	不成乳	成乳，有少量硝酸铵晶体，颜色较暗淡
500	成乳，呈半透明状胶体	成乳，有少量硝酸铵晶体，颜色较暗淡	成乳，外观颜色略微改善
600	成乳，呈半透明状胶体	成乳有微量硝酸铵晶体，外观颜色略微改善	成乳，呈半透明状胶体

从试验结果来看，SP-80 的易乳性较强，这是由于其分子较小的原因，形成的乳化体系的立体空间障碍较低，势垒较小，粒子间易发生碰撞、聚集，故而容易成乳。聚异丁烯丁二酸醇胺是一种高分子乳化剂，立体空间障碍高，势垒大，必须依靠高剪切的机械作用得到高度分散的体系。将两者按照不同比例混合形成的复配型乳化剂，利用 SP-80 易乳性起到快速成乳，利用高分子乳化剂的空间立体结构来提升成乳的稳定性。

1.3 储存期稳定性试验

乳化基质是一种油包水型乳液，是一种不稳定的热力学体系，环境温度的变化，必然会引起乳化基质的物理状态的改变，形成破乳，导致结晶析出，爆炸性能恶化。

本次试验采用高低温循环试验进行测试。通过高温、低温环境，使乳化基质经受反复的冷热储存试验，加速其老化，以便能在较短的时间内预测基质的存储稳定性，观测不同配方下形成的乳化基质的产品优劣。将试验样品是将三个试验配方在上述试验装置下，按照 960r/min，30s 乳化时间的条件下制出的样品，将其置于培养皿中，加盖密封，依次置于冰箱和烘箱中进行高低温试验，经过高低温循环后观察是否有硝酸铵析晶，以及乳化基质硬化程度。（注：960r/min，30s 三种乳化剂都可以形成稳定乳胶体系。）

试验条件：高温 45℃，恒温 6h；转入低温 -25℃，恒温 6h；每 12h 为一循环。实验结果如下。

表 1-3 乳胶基质高低温循环试验

样品	试验 1	试验 2	试验 3

2 循环	析出情况	无	无	无
	硬化情况	外表泛白, 硬	软	软
4 循环	析出情况	析出	无	无
	硬化情况	基质内部出现不规则白点, 外硬	软	软
6 循环	析出情况	硝酸铵明显析晶, 胶体不透明	微量析出	无
	硬化情况	较硬	略硬	软

(注: 上接表 1-3)

通过上述试验, SP80 制得的乳化基质在 6 个高低温循环下, 几乎是整体全部析出, 实质上已经完全破乳。主要是因为 SP-80 形成的乳化基质非立体空间结构, 粒子间易发生碰撞、聚集, 同时且有双键的存在, 使得该乳化剂容易被氧化, 分子结构易遭破坏, 所形成的乳化体系油膜强度较低, 故而储存期较短。

试验 2 中, 高低温循环 6 次, 仅微量析晶, 因高分子形成的立体空间结构, 存在较高的势垒, 故而产品质量相对稳定, 由于高分子乳化剂对乳化强度较高, 如果提高乳化强度可以获得良好的乳化质量。

试验 3 中, 将两种乳化剂优势进行了互补, 相当于利用了 SP-80 的易乳性形成快速成乳, 利用高分子乳化剂的大分子立体框架结构, 同时该乳化剂与水相中硝酸铵、硝酸钠等物质存在氢键作用, 形成化学吸附, 增加了连续相和分散相的吸附强度, 降低了界面张力, 大大提升了产品的稳定性。

1.4 热稳定性性能测试

为了对比热稳定性, 将配方中氯化石蜡取消用相应量的机油代替, 都采用试验 3 的乳化配方制成乳化基质。通过自制的装置, 取 20kg 乳胶基质, 隔热加热 30min。在不含氯化石蜡的样品在加热到 22min 时发生爆炸, 含有氯化石蜡的样品完全正常烧完, 未发生爆炸。

分析认为: 氯化石蜡系属卤系阻燃剂, 一是, 具有阻隔降温作用, 当初始受热的状态下, 卤系阻燃剂发生热分解, 吸收部分热量, 以达到冷却降温的目的, 同时释放出可燃气体, 它们的比重大于空气, 排走了空气, 形成屏障, 使燃油的燃烧速度减缓, 起到气相屏蔽的阻燃效果。二是, 氯化石蜡具有终止链锁反应作用。当乳化基质燃烧时释放大量的高能量的自由基 $HO \cdot$, 氯化石蜡在燃烧温度下分解出 HX, HX 与 $HO \cdot$ 发生反应产生低能量的卤系自由基 $X \cdot$ 和 H_2O , $X \cdot$ 与烃类反应再产生 HX。如此循环就起到终止链锁反应的作用。

1.5 抗颠簸性能

将试验样品置于变速振动器上, 模拟车载运输, 振动频率为 150r/min, 振动周期为 12h, 一次观测 3 个周期样品状态。

表 1-4 乳胶基质高低温循环试验

周期	试验 1	试验 2	试验 3
1	无变化	无变化	无变化
2	表面略微泛白	无变化	无变化
3	表面泛白严重	无变化	无变化
4	有明显的颗粒感	无变化	无变化
5	胶体不透明, 内部颗粒明显析晶	微量析晶, 胶体柔软	无变化
6	破乳	微量析晶, 胶体柔软	无变化

在运输过程中, 乳化基质会随着车辆的颠簸在罐体中晃动, 实质上是乳化基质在振动的外力作用下发生定向层流现象, 导致乳化基质内部产生剪切力, 导致乳化基质慢慢析晶。在实际工程应用中, 我们通常看到罐体内上部的乳胶基质表面一层白色膜状, 这是由于乳化基质在颠簸运输过程中, 由于乳化基质内部剪切导致析晶的硝酸铵在乳化基质定向层流过程中被挤压到表面形成的。根据试验情况来看, 利用高分子和复配型的乳化剂下制成的乳化基质具有一定抗颠簸性能。

2 工业化验证情况

根据上述试验情况对比, 选择试验 2 和试验 3 的条件, 在地面站组织生产, 用于工业化验证。配送到 350km 外的工程项目。为了同时进一步验证多级泵送需求, 由地面站生产完成, 泵送到基质储罐, 在由基质储罐泵送到运输车罐体内, 到达项目工程现场从运输车泵送到现场混装车上, 最后完成装药泵送, 合计完成四次泵送。

通过 BCHR-15 型现场混装炸药车进行现场装药及取样, 敏化剂采用的是亚硝酸钠, 催化剂为柠檬酸。在装完第一个炮孔进行取样, 15min 后测量密度及检验爆速。在正常装药情况下记录装药压力。留存 25kg 样品做自然储存观察。

	试验 2	试验 3
装药压力/MPa	0.78~0.90	0.56~0.65
15min 密度/ $g \cdot cm^{-3}$	1.25	1.15
爆速/ $m \cdot s^{-1}$	4098	4167
存储情况	30 天有微量析晶	30 天有微量析晶

本次爆破效果良好。从试验情况看, 两种乳化剂都可以满足工程需要, 采用纯高分子乳化剂由于粘度较大, 整体装药压力较大, 为安全生产带来隐患。从敏化角度看, 采用同样的发泡剂配方, 纯高分子生产出的乳化基质比较难以敏化, 按照试验条件, 需要加大催化剂的量, 方能将试验 2 的密度在 15min 内控制在 $1.15g \cdot cm^{-3}$ 左右, 主要是因为高分子中的胺基影响到化学敏化。由于添加了氯化石蜡的原因, 本次爆速测试情况与以往不加氯化石蜡的混装乳化炸药偏低一点, 但不影响工程

应用，而且氯化石蜡的加入提升工艺的本质安全性。

3 结论

(1) 采用复配型乳化剂有利于现场混装乳化炸药质量的稳定及降低现场混装车装药压力，有利于安全生产。

(2) 在现场混装乳化炸药配方中添加氯系阻燃剂，可以

提高产品的热稳定性，提升工艺的安全性。氯系阻燃剂中产量最大的是氯化石蜡系列，价格低廉，阻燃效果好，优化了配方成本结构。

(3) 乳化基质的长途运输是由于汽车颠簸引起罐体内乳化基质产生内剪切导致胶体析晶，影响到产品质量。

参考文献：

- [1] 汪旭光.乳化炸药(第二版)[M].北京:冶金工业出版社,2008:405-465.
- [2] 吕春绪, 刘祖亮等编著.工业炸药[M].北京:兵器工业出版社,1994:93-95.
- [3] 魏国,刘锋,吴攀宇,王锡东.振动作用对现场混装乳化炸药稳定性的影响[J].火炸药学报,2022(2).
- [4] 章磊,姚普华,耿忠宝,等.远程配送现场混装乳化炸药性能的研究[J].现代矿业,2021,(01)
- [5] 吴秋洁.乳胶基质的安全性及影响机理研究[D].南京:南京理工大学,2017.