

# 乳化炸药油相材料选择对成品与混装乳化炸药性能影响的研究

甘德淮

宏大民爆集团有限公司 广东 广州 511300

**【摘要】**：乳化炸药作为一种油包水型胶体体系，其爆轰性能、储存稳定性以及混装工艺中的可泵性与油相材料的选择密切相关。本文通过理论分析与系统实验，研究了油相成分、油相黏度及含油量对乳化炸药爆速、猛度、敏化效果和流变性能的影响。实验中重点调整油相含量为 5.8%、6%、6.5%和 7%，对成品乳化炸药的爆轰参数、混装乳化炸药在常温（20℃-30℃）下的流变性能以及界面膜稳定性（采用电导率测量法）的测试数据进行了详细统计分析。结果显示：适宜的油相含量及复配方案能形成致密的界面膜（电导率低），降低乳胶体系的析晶风险，优化体系氧平衡，提高了爆轰性能；在混装体系中，通过机油与柴油 1:1 复配及共聚物的辅助，使乳化基质在常温下表现出良好的流动性，同时敏化效果得到改善。

**【关键词】**：乳化炸药；油相材料；界面膜稳定性；电导率；混装工艺

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.050

## 1 引言

乳化炸药是一种由油相和水相构成的胶体体系，其微观结构决定了炸药在储存、运输和爆破过程中的综合性能。油相材料不仅为体系提供可燃剂成分，还通过乳化剂在水油界面形成保护膜，起到抑制水相析晶和提高炸药稳定性的作用。近年来，随着混装乳化炸药在矿山爆破工程中的推广，其现场泵送、敏化和爆轰性能备受关注。传统油相材料（如石蜡、地蜡）在低温条件下易出现老化，导致乳化炸药析晶、分层，严重影响体系稳定性和爆轰性能。因此，探索新型油相材料及复配技术，优化油相含量和流变性能，成为当前研究的热点问题。

本文旨在系统探讨油相材料的选择与复配对成品乳化炸药爆轰性能以及混装乳化炸药的泵送性、敏化效果和传爆性能的影响。为此，我们在实验设计中重点将油相含量调整为 5.8%、6%、6.5%和 7%，并在混装体系中采用机油与柴油的复配技术。与此同时，为了更直观地评价乳化基质界面膜的稳定性，本研究采用电导率测量法替代传统的离心析晶法，通过监测体系中离子迁移情况来反映界面膜的致密程度。本文的研究不仅为理论体系的完善提供了新数据，同时对工程应用具有实际指导意义。

## 2 理论分析

### 2.1 乳化炸药的微观结构与反应机理

乳化炸药由油相和水相构成，油相通过乳化剂在界面上形成连续的保护膜，将含有硝酸铵等氧化剂的水相分散为微小液滴。起爆时，外界能量使得界面膜迅速破裂，油相中的燃料与水相中的氧化剂在高温高压下发生剧烈反应，释放出大量能量，形成爆轰波。该过程可划分为激发阶段、反应扩散阶段及气体膨胀阶段。油相的燃烧热值、黏度及含油量直接影响热量传递和反应速率，因此对爆轰参数具有决定性作用。

### 2.2 油相材料的物理化学特性

油相材料主要由碳氢化合物组成，其分子结构、分子量及

分子链构型决定了材料的黏度、流变性及其燃烧性能。理论上，较高油相黏度有助于形成致密且稳定的乳化剂界面膜，从而降低低温条件下析晶的风险；而油相中碳氢比例的变化会直接影响体系燃烧时的氧平衡。通过白油与环烷油的合理复配，可在保证低温流动性的同时，实现燃料供应与氧平衡的动态调节，从而使得体系在起爆过程中能更充分地燃烧，达到优化爆轰性能的目的。

### 2.3 混装乳化炸药流变性能调控原理

混装乳化炸药的现场制备过程中，泵送系统对乳化基质的流动性要求较高。采用机油与柴油复配的策略能够在常温（20℃-30℃）下调控体系黏度，使其稳定在 10000~40000cp 之间，从而保证现场泵送顺畅。柴油的加入有助于降低体系整体黏度，而机油则提供必要的润滑和稳定性。进一步通过添加共聚物（如甲基乙烯基醚—马来酸酐共聚物），可在常温下改善体系黏度稳定性，防止敏化气泡聚并现象，确保爆轰反应的均匀性和高效传爆效果。

## 3 实验方法与数据分析

### 3.1 材料与配方设计

本研究用油相材料包括白油、环烷油、复合蜡、机油及柴油。乳化剂选用聚甘油-3-双异硬脂酸酯，并辅以硬脂醇磷酸酯和 0.5% 的甲基乙烯基醚—马来酸酐共聚物。水相为符合国家标准硝酸铵水溶液。为系统研究油相材料对乳化炸药性能的影响，设计了以下两类配方：

#### （1）成品乳化炸药配方

水相采用硝酸铵、硝酸钠水溶液，其中水在乳化炸药配方中比例为 11%，油相中固定白油与环烷油的复配比例为 1:1，并将油相含量分别调整为 5.8%、6%、6.5%和 7%。在配方中，根据油相含量的变化，适量调整复合蜡的添加量，以确保体系稳定且具有理想的爆轰性能。

#### （2）混装乳化炸药配方

在上述成品乳化炸药体系基础上，取消硝酸钠，将水的比例调整至20%，油相采用机油与柴油按照1:1体积比进行复配，同时加入共聚物，旨在改善乳化基质在常温（20℃-30℃）下的流变性能和现场泵送效果。

### 3.2 实验装置与测试方法

#### (1) 界面膜稳定性测试（电导率测定法）

为评价乳化基质中乳化剂界面膜的稳定性，本研究采用电导率测定法。刚生产出的乳胶基质电导率测量值几乎都为零。为了考察界面膜的稳定性，采用冷藏法，具体方法为：各配方样品在-30℃条件下存放30天后，取样进行电导率测试。理论上，界面膜越致密，乳化剂在界面上形成的保护层越完整，限制了离子在体系中的迁移，故电导率值越低。实验结果表明，随着油相含量从5.8%增加到7%，体系电导率呈显著下降趋势，表明界面膜稳定性得到明显改善。

表1：不同油相含量下（-30℃）30天电导率测试结果

油相含量 (%)	电导率 (us · s-1)	
	成品乳化炸药	混装乳化基质
5.8	4.10	5.19
6	4.04	5.07
6.5	2.10	4.02
7	1.0	3.01

#### (2) 流变性能测试（常温下20℃-30℃）

流变性能测试在常温（20℃-30℃）下进行，采用转子粘度计对各配方乳化基质的黏度进行测定。混装体系中，通过机油与柴油1:1复配及共聚物辅助，各配方在常温下的黏度均稳定在10000~40000cp范围内，满足现场泵送要求。多次测量的平均数据显示，各配方的流变性能均表现出较好的重复性和稳定性。

#### (3) 爆轰参数测试

爆轰实验采用密闭爆轰室，测量其爆速及猛度。其中猛度测试仪测试了成品乳化炸药。所有数据均为多次试验的平均值，误差控制在±3%。实验数据见下表

表2：不同油相含量下成品乳化炸药爆轰参数测试结果

油相含量 (%)	爆速(m/s)		猛度(mm) 成品
	成品	混装	
5.8	4200	4000	14.3
6	4545	4348	16.8
6.5	4673	4424	17.5
7	4762	4545	18.9

#### (4) 敏化效果测试

敏化效果测试利用图像分析软件对气泡直径进行统计。数据统计结果表明，随着油相含量的增加，敏化气泡的平均直径

逐步减小，同时气泡分布更趋均匀。虽然未以图形形式呈现直径分布图，数据统计结果如表3所示，为评估炸药敏化效果提供了重要数据支持。

表3：不同油相含量下敏化气泡直径统计结果

油相含量 (%)	平均气泡直径(um)	气泡直径范围(um)
5.8	32	30 - 34
6	29	27 - 31
6.5	26	24 - 28
7	22	20 - 24

### 3.3 实验数据讨论

通过对不同油相含量（5.8%、6%、6.5%、7%）配方在界面膜稳定性、流变性能、爆轰参数及敏化效果方面的综合测试与数据分析，可得出以下结论：

#### (1) 界面膜稳定性

电导率测试结果表明，油相含量越高，乳化剂在油水界面形成的保护膜越致密，限制离子迁移，从而使电导率值显著下降。油相含量为7%的样品电导率最低，说明体系界面膜稳定性最佳，储存过程中析晶风险明显降低。

#### (2) 流变性能

常温下（20℃-30℃）的流变测试数据显示，机油与柴油1:1复配及共聚物添加能使各配方乳化基质黏度稳定在10000~40000cp范围内，满足现场泵送要求。油相含量较高的配方在保持流动性的同时，能保证敏化过程中气泡分布均匀，有利于提高传爆效果。

#### (3) 爆轰性能

爆轰参数测试显示，随着油相含量的增加，体系爆速和猛度均呈逐步上升趋势。具体而言，油相含量为5.8%时体系爆速约4200m/s，6%时为4545m/s，6.5%时为4673m/s，7%时达到4762m/s；相应的猛度也从14.3mm提高到18.9mm。这表明，适宜的油相含量有助于优化体系爆轰成长反应，改善氧平衡，使爆轰更加充分。

#### (4) 敏化效果

敏化气泡直径数据表明，油相含量提高使敏化气泡平均直径由32um降低至22um，且气泡直径分布范围逐步缩小。这有助于在起爆过程中形成更稳定、均匀的燃烧前沿，从而提高炸药的传爆成功率。

综上所述，各项实验数据均证明，优化油相含量和复配方案对提高乳化炸药的各项性能指标具有显著作用，为实际工程应用提供了可靠的数据支撑。

## 4 讨论

### 4.1 油相含量对体系性能的综合影响

本研究表明,在乳化炸药中,油相含量是调控界面膜稳定性、流变性能和爆轰参数的重要因素。较低油相含量(5.8%)时,界面膜形成不充分,电导率较高,爆轰性能和敏化效果均较差;而油相含量提高至7%时,界面膜致密性显著提高(电导率明显下降),体系爆轰参数达到最佳状态,敏化气泡直径也明显减小,整体性能表现优异。因此,在实际应用中,应综合考虑储存稳定性与爆轰性能,选择最优油相含量。

### 4.2 混装乳化炸药的流变性能与敏化效果

在混装乳化炸药的现场应用中,流变性能直接影响泵送效率和敏化效果。通过机油与柴油1:1复配,并辅以共聚物,本研究在常温下取得的乳化基质流变性能数据表明,各配方均满足泵送要求。同时,敏化效果数据证明,油相含量的增加有助于生成更细小、均匀的敏化气泡,为爆轰成长过程提供了更稳定的传爆前沿,有效提高了整体炸药的传爆成功率。

### 4.3 测试方法改进及未来研究方向

本研究采用电导率测定法替代传统的离心析晶法来评价乳化基质界面膜稳定性,能更直观地反映界面膜形成质量。未来研究中,可结合激光散射、动态成像等新技术,对乳化基质微观结构的实时变化进行监测,以获得更精确的微观数据。此外,针对混装乳化炸药在不同环境下的应用效果,还应进一步开展现场试验,综合考虑温度、湿度及其他环境因素,对油相材料复配方案进行优化。

## 5 结论

本文通过理论分析与大量实验研究,系统探讨了乳化炸药油相材料选择对成品乳化炸药及混装乳化炸药性能的影响。主

要结论如下:

(1) 界面膜稳定性。采用白油与环烷油1:1复配方案,在油相含量从5.8%到7%的范围内,电导率测试结果显示,随着油相含量增加,体系电导率逐渐降低,表明乳化剂界面膜更致密,析晶风险降低,储存稳定性显著提高。

(2) 爆轰性能改善。爆轰参数测试数据显示,油相含量的增加使体系爆速和猛度均呈上升趋势。这表明,适宜的油相含量能够优化爆轰成长反应、保持良好的氧平衡,进而提高整体爆轰性能。

(3) 混装乳化炸药流变性能与敏化效果。在混装乳化炸药中,通过机油与柴油1:1复配及共聚物的添加,乳化基质在常温(20℃-30℃)下黏度稳定在10000~40000cp范围内,满足现场泵送要求。敏化效果数据则表明,油相含量提高使敏化气泡直径逐步减小且分布更均匀,为提高爆轰性能提供了有力支持。

(4) 综合意义。优化油相材料的选择与复配比例不仅提高了成品乳化炸药的储存稳定性和爆轰性能,也在混装乳化炸药中改善了流变性能和敏化效果,为实际工程应用提供了可靠的理论依据和实验数据支持。未来研究应进一步探索新型油相复配方案及改进测试方法,以满足不同环境下乳化炸药的工程需求。

综上所述,本文的研究为乳化炸药配方设计和混装工艺优化提供了系统、详细的理论与实验依据。通过对油相含量在5.8%、6%、6.5%和7%条件下的体系性能进行深入研究,本文不仅验证了油相材料对界面膜稳定性、流变性能、爆轰参数和敏化效果的显著影响,还为后续新型复配方案的开发和实际应用中的工艺改进提供了宝贵的数据支持。

## 参考文献:

- [1] 高海松.散装乳化炸药现场混装工艺与装置试验研究[D].长沙:长沙矿山研究院,2012.
- [2] 孙明,王强.混装乳化炸药工艺及其传爆性能的实验研究[J].工程爆破,2019,42(2):88-93.
- [3] 赵磊,陈刚.乳化炸药油相材料对炸药性能影响的研究[J].化工进展,2020,39(5):102-108.
- [4] 李国华,刘一兵.低温条件下乳化炸药储存稳定性研究[J].化工安全与环保,2021,50(4):67-72.
- [5] 张红兵,李四光.乳化炸药配方设计与应用研究[J].爆破技术,2018,38(3):45-50.