

文章编号: 1003-1480 (2025) 01-0055-07

酸助剂对现场混装乳化炸药敏化速率的影响研究

黄乾悦¹, 冯章启¹, 樊保龙², 葛立芳², 方志梅³, 倪林², 吴攀宇², 魏国²

(1. 南京理工大学 化学与化工学院, 江苏 南京, 210094; 2. 安徽江南化工股份有限公司, 安徽 合肥, 230088; 3. 安徽江南化工股份有限公司宁国分公司, 安徽 宁国, 242300)

摘要: 为探讨酸助剂对现场混装乳化炸药敏化速率的影响, 本研究通过改变酸助剂的种类、浓度和添加量来优化炸药的性能和安全性, 通过测量基质发泡高度来计算乳化炸药密度。结果表明: 草酸作为酸助剂时能显著提升现场混装乳化炸药基质的敏化速率, 最大可以达到 $0.03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$, 而硝酸助剂的敏化速率最低, 最大仅为 $0.008 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$ 。研究发现: 弱酸助剂的氢离子 (H^+) 电离能力是影响敏化速率的关键因素, 而强酸与亚硝酸钠的副反应和气泡逸出效应会降低强酸助剂的敏化速率; 当选择草酸作为酸助剂时, 增大草酸的浓度和添加量可以进一步提高敏化速率。本研究为现场混装乳化炸药的定制化提供了理论支撑。

关键词: 乳化炸药; 酸助剂; 现场混装; 敏化速率

中图分类号: TJ55; TQ560.6 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2025.01.010

Study of the Effect of Acid Additives on the Sensitization Rate of On-site Mixing Emulsion Explosive

HUANG Qian-yue¹, FENG Zhang-qi¹, FAN Bao-long², GE Li-fang², FANG Zhi-mei³, NI Lin², WU Pan-yu², WEI Guo²

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094; 2. Anhui Jiangnan Chemical Industry Co. Ltd., Hefei, 230088; 3. Ningguo Branch of Anhui Jiangnan Chemical Industry Co. Ltd., Ningguo, 242300)

Abstract: In order to study the effect of different acid additives on the sensitization rate of on-site mixing emulsion explosive, the performance and safety of explosives were optimized by changing the type, concentration and amount of acid additives, and the density of emulsion explosive was calculated by measuring the foaming height of the matrix. The results show that oxalic acid can significantly increase the sensitization rate of the matrix to the maximum of $0.03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$, while the sensitization rate of nitric acid additive is the lowest, and the maximum is only $0.008 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$. It is found that the hydrogen ions (H^+) ionization ability of weak acid additives is the key factor affecting the sensitization rate, the side reaction of strong acid and sodium nitrite, and bubble escape effect will reduce the sensitization rate of strong acid additives; When oxalic acid is selected as acid additive, increasing the concentration and amount of oxalic acid can further improve the sensitization rate. The study provides theoretical support for the customization of mixed emulsion explosives in the field.

Key words: Emulsion explosive; Acid additive; On-site mixing; Sensitization rate

乳化炸药是一种乳胶状工业炸药, 它通过乳化剂的作用, 将含有氧化剂的盐类水溶液的微滴, 均匀分散在含有分散气泡或空心玻璃微珠等多孔物质的油

相连续介质中而形成^[1]。这种油包水型的乳胶炸药, 因为生产工艺简单、安全性好、生产成本低, 在工业炸药领域占据了重要地位^[1-2]。现场混装的乳化炸药相

收稿日期: 2024-08-30

作者简介: 黄乾悦 (1999-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事乳化炸药性能研究。

通讯作者: 樊保龙 (1980-), 男, 正高级工程师, 主要从事民爆器材及工程爆破技术研究。

基金项目: 中国兵器民品开发费项目 (JM2022031)。

引用本文: 黄乾悦, 冯章启, 樊保龙, 等. 酸助剂对现场混装乳化炸药敏化速率的影响研究[J]. 火工品, 2025(1): 55-61.

较于成品乳化炸药,降低了成品炸药生产、运输、储存及装药过程中的潜在危险,减少了现场操作人员,降低了安全风险,因此适用于大型露天矿山等爆破作业场合^[3-4]。

在乳化炸药的敏化过程中,通过添加特定物质或采取特定的工艺,可以提高炸药的爆炸性能和感度。敏化过程通常包括机械敏化、物理敏化和化学敏化3种方式。现场混装乳化炸药通常采用化学敏化方式,大多使用亚硝酸钠作为敏化剂^[5],利用亚硝酸钠与硝酸铵的反应产生气体,并以气泡的形式在现场混装乳化炸药基质中均匀分布。当外界能量作用于炸药时,气泡通过绝热压缩形成“热点”^[6],从而显著提升了炸药的爆炸性能^[7]。对于硝酸铵和亚硝酸钠的反应机理已有研究^[8-10],但实际上,亚硝酸钠和硝酸铵的反应是一个动态平衡过程,Rubin等^[11]从化学反应动力学角度对二者的反应机制进行过详细讨论。唐秋明^[12]通过对反应机理的分析,认为气体的生成速率与亚硝酸的生成速率有紧密联系。刘震宇等^[13]通过对硝酸铵-亚硝酸钠的发泡动力学研究,得出其反应速率和 H^+ 浓度成正比,若只依靠反应自身产生 H^+ ,反应速率会大大降低,因此可以通过添加酸助剂增加体系中 H^+ 浓度,进而提高敏化速率。

在无酸条件下,硝酸铵和亚硝酸钠的反应速度较慢,不适合现场混装乳化炸药的实际操作需求,因此通常采用添加酸助剂来促进它们的反应^[14-15],其中,磷酸和柠檬酸是常用的敏化促进剂。为了深入研究酸助剂对现场混装乳化炸药基质敏化速率的实际影响,本研究选取了不同类型的酸作为促进剂,包括强酸、中强酸和弱酸。通过比较这些酸助剂在相同浓度和pH条件下对敏化速率的影响,探索它们在现场混装乳化炸药基质中敏化效果的差异。

1 实验

1.1 试剂与仪器

硝酸铵,工业级,国药集团化学试剂有限公司;乳化剂,工业级,山西久联宏远化工有限公司;基础油,工业级,山西久联宏远化工有限公司;亚硝酸钠,

AR,阿拉丁试剂(上海)有限公司;柠檬酸,AR,阿拉丁试剂(上海)有限公司;草酸,AR,阿拉丁试剂(上海)有限公司;醋酸,AR,阿拉丁试剂(上海)有限公司;硝酸,AR,阿拉丁试剂(上海)有限公司;磷酸,AR,阿拉丁试剂(上海)有限公司。

YH-RHJ-2L型实验室恒温反应器;电子天平;电热碗;恒温干燥箱;pH计。

1.2 现场混装乳化炸药的制备

水相和油相的制备:按照表1配方,将称量好的硝酸铵和水混合加热至 $90\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$;将称量好的基础油和乳化剂加热至 $80\sim 90\text{ }^\circ\text{C}$ 。

表1 现场混装乳化炸药基质配方

Tab.1 Formula of bulk emulsion explosive matrix

组分	硝酸铵	水	基础油	乳化剂
w/%	76.5	17	4.2	2.3

制备过程与工艺:设置乳化机转速为 600 r/min ,启动乳化机,将保温备用的水相材料在 30 s 内均匀连续地加入至油相材料中。随后,逐步提高乳化机转速至 $1\ 000\text{ r/min}$,并保持该转速搅拌 30 s 以完成精细乳化。将制备好的乳化炸药基质转移至烧杯中,称量 50 g 基质,贴上标签注明信息,同样方法重复 5 次以制备 5 组试样。将已称量好的烧杯放置于恒温干燥箱中,等待基质温度恒定至 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 。

根据表2中的敏化方案,分别配制等浓度($c=0.5\text{ mol/L}$)和等pH($\text{pH}=3$)的 5 种酸助剂,对现场混装乳化炸药基质进行常温敏化。等浓度组对应的样品编号分别为样品1、2、3、4、5;等pH组对应的样品编号分别为样品6、7、8、9、10。使用注射器准确滴加酸助剂,快速搅拌均匀后再滴加亚硝酸钠溶液($w_{\text{亚硝酸钠}}=25\%$)并继续搅拌。

表2 现场混装乳化炸药基质敏化方案1

Tab.2 Sensitization formula 1 of on-site mixing emulsion explosive matrix

配方	$W_{\text{亚硝酸钠}}/\%$	$W_{\text{硝酸}}/\%$	$W_{\text{醋酸}}/\%$	$W_{\text{磷酸}}/\%$	$W_{\text{柠檬酸}}/\%$	$W_{\text{草酸}}/\%$
1	0.8	0.8	0	0	0	0
2	0.8	0	0.8	0	0	0
3	0.8	0	0	0.8	0	0
4	0.8	0	0	0	0.8	0
5	0.8	0	0	0	0	0.8

在考虑不同种类酸助剂影响的同时,还需进一步考虑酸助剂添加量和添加浓度对敏化速率的影响。通

过比较等浓度5种酸助剂对现场混装乳化炸药敏化速率的差异,选出敏化速率最快的一种酸助剂。根据表3~4中的敏化方案,对现场混装乳化炸药基质进行敏化,对应样品编号分别为11、12、13、14、15、16。

表3 现场混装乳化炸药基质敏化方案2

Tab. 3 Sensitization formula 2 of on-site mixing emulsion explosive matrix

配方	$w_{\text{亚硝酸钠}}/\%$	$w_{\text{酸助剂}}/\%$
11	0.8	0.6
12	0.8	0.8
13	0.8	1.0

表4 现场混装乳化炸药基质敏化方案3

Tab. 4 Sensitization formula 3 of on-site mixing emulsion explosive matrix

配方	$w_{\text{亚硝酸钠}}/\%$	$w_{\text{酸助剂}}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$w_{\text{酸助剂}}/\%$
14	0.8	0.3	0.8
15	0.8	0.5	0.8
16	0.8	0.7	0.8

1.3 现场混装乳化炸药敏化速度测试

将经过敏化处理的现场混装乳化炸药基质迅速转移到预先准备好的封底聚氯乙烯(PVC)管中,在转移过程中,避免空气混入导致的装药不耦合。随后,对PVC管内的基质进行一定时间的发泡测试。通过测试发泡高度来计算现场混装乳化炸药在一段时间后达到的密度^[16]。

2 结果与讨论

2.1 等浓度酸助剂对敏化效果的影响

在相同的敏化条件下,研究了5种等摩尔浓度的酸助剂(硝酸、醋酸、磷酸、柠檬酸和草酸)对现场混装乳化炸药基质敏化效果的影响。实验结果如图1所示。

由图1(a)所示的实验结果可以看出,使用等摩尔浓度的酸助剂处理后,基质中出现了肉眼可见的微小气泡,各组样品的外观特征相似。

由图1(b)可以较为直观地看出,经过60min的敏化,5组样品在高度上存在差异。对样品高度的测量结果如表5所示。等浓度5种酸助剂敏化后的乳

化炸药密度随时间的变化曲线如图2所示,敏化速率如图3所示。

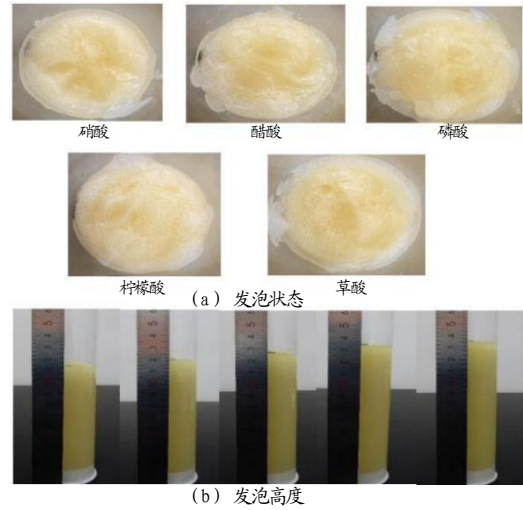


图1 等浓度的5种酸助剂敏化现场混装乳化炸药效果
Fig. 1 Effect of five acid additives with equal concentration on the sensitization of on-site mixing emulsion explosive

表5 等浓度5种酸助剂敏化不同时间后的乳化炸药发泡高度

Tab. 5 The height of emulsion explosive after sensitization for different times by five acid additives with equal concentration

敏化时间 /min	发泡高度/cm				
	样品1	样品2	样品3	样品4	样品5
1	10.7	10.7	10.8	10.8	10.9
3	10.8	10.9	11.0	11.4	11.5
5	11.0	11.2	11.3	11.9	12.1
7	11.0	11.3	11.5	12.1	12.3
10	11.2	11.4	11.8	12.4	12.7
20	11.3	11.6	12.1	13.0	13.1
30	11.4	11.8	12.3	13.2	13.4
40	11.5	11.9	12.5	13.4	13.5
50	11.6	11.9	12.6	13.4	13.6
60	11.6	12.0	12.7	13.5	13.6

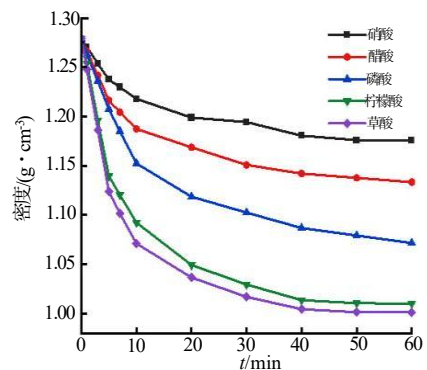


图2 等浓度5种酸助剂敏化后的乳化炸药密度随时间变化曲线

Fig. 2 The change curve of emulsion explosive density versus time after sensitization by five acid additives with equal concentration

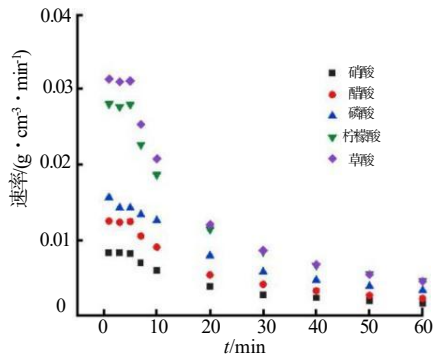
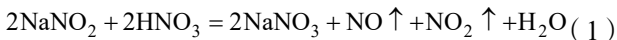


图3 等浓度5种酸助剂对敏化速率的影响

Fig.3 The influence of five acid additives with equal concentration on the sensitization rate

图2的数据分析表明,草酸作为酸助剂能够最快使基质达到现场混装乳化炸药所需的密度范围,而硝酸的敏化速率相对较慢。图3的比较结果显示,草酸的敏化速率最高,其次是柠檬酸、磷酸和醋酸,而硝酸的敏化速率最低。

草酸作为二元中强酸,电离常数为 $K_{a1}=5.9 \times 10^{-2}$, $K_{a2}=6.4 \times 10^{-5}$; 1个柠檬酸分子可以电离出3个 H^+ , 电离常数分别为 $K_{a1}=7.4 \times 10^{-4}$, $K_{a2}=1.7 \times 10^{-5}$, $K_{a3}=4.0 \times 10^{-7}$; 磷酸是三元中强酸, 电离常数分别为 $K_{a1}=7.6 \times 10^{-3}$, $K_{a2}=6.3 \times 10^{-8}$, $K_{a3}=4.4 \times 10^{-13}$; 醋酸电离常数为 $K_a=1.8 \times 10^{-5}$ 。柠檬酸分子中的3个羧基相邻, 它们之间可以形成共轭体系。当第1个 H^+ 电离后, 形成的负电荷可以通过共轭效应在3个羧基间分散, 从而降低每个羧基电离的能量障碍, 使得后续的电离更容易进行。因此, 尽管磷酸和柠檬酸都是三元酸, 但相比之下柠檬酸在敏化过程中更容易电离出 H^+ , 在作为酸助剂应用于现场混装乳化炸药的敏化过程中, 它的敏化速率高于磷酸。在弱酸的范畴内, 当摩尔浓度保持一致时, 较大的 K_a 意味着在相同浓度下释放更多的 H^+ , 从而加快了敏化速率。尽管硝酸的电离程度最高, 理论上能够提供最稳定的 H^+ 浓度, 反应速率最快, 但在敏化过程中, 部分 H^+ 会与亚硝酸钠反应生成亚硝酸, 而亚硝酸不稳定, 易分解成氮氧化合物, 反应式如下:



该反应减少了参与敏化反应的有效 H^+ 数量, 从而降低了硝酸作为酸助剂时的敏化速率。此外, 高浓度强酸加速了气泡的生成速率, 导致气泡逸出率增加,

快速生成的气泡可能在达到表面前逸出, 减少了基质内部体积, 进而增加了现场混装乳化炸药密度^[17]。因此, 强酸在敏化过程中可能因副反应或气体的逸出而对现场混装乳化炸药基质的敏化效果产生不利影响。

2.2 等 pH 值酸助剂对敏化效果的影响

在相同的敏化条件下, 研究了等 pH 值的5种不同酸助剂(硝酸、醋酸、磷酸、柠檬酸和草酸)对现场混装乳化炸药敏化速率的影响。实验结果如图4所示。由图4(a)可以看出, 等 pH 值的5种酸助剂敏化的乳化炸药均有明显的小气泡, 且外观相似。

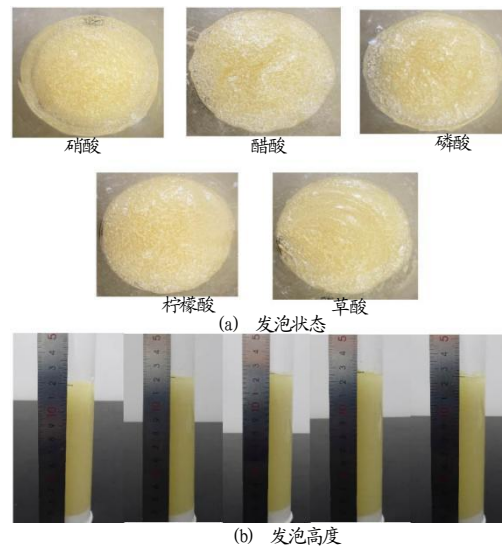


图4 等 pH5 种酸助剂敏化现场混装乳化炸药效果

Fig.4 Effect of five acid additives with equal pH value on the sensitization of on-site mixing emulsion explosive

由图4(b)可以较为直观地看出5组样品在敏化相同时间后有一定的高度差。对样品高度的测量结果如表6所示。由表6可见, 每组样品在相同敏化时间内的高度不同。等 pH 的5种酸助剂敏化后的乳化炸药密度随时间的变化曲线如图5所示, 敏化速率如图6所示。

表6 等 pH 5 种酸助剂敏化不同时间后的乳化炸药高度

Tab.6 The height of emulsion explosive after sensitization for different times by five acid additives with equal pH value

敏化时间 /min	发泡高度/cm				
	样品6	样品7	样品8	样品9	样品10
10	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
30	10.8	10.8	10.8	11.1	11.0
50	11.0	11.1	11.1	11.4	11.3
70	11.2	11.3	11.5	11.7	11.5
90	11.5	11.7	11.8	12.2	11.9
110	11.7	11.9	12.1	12.4	12.2
130	11.9	12.2	12.4	12.7	12.5

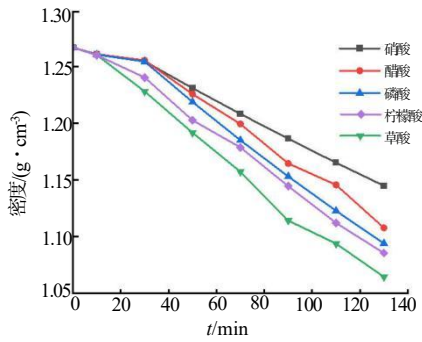


图 5 等 pH 5 种酸助剂敏化后的乳化炸药密度随时间变化曲线

Fig. 5 The change curve of emulsion explosive density versus time after sensitization by five acid additives with equal pH value

图 5 表明，草酸能够最快达到所需的密度范围，而硝酸最慢。

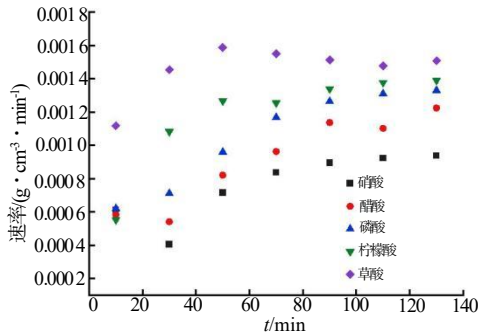


图 6 等 pH 5 种酸助剂对敏化速率的影响

Fig. 6 The influence of five acid additives with equal pH value on the sensitization rate

由图 6 可以看出，这 5 种酸助剂在等 pH 条件下的敏化速率从大到小依次为：草酸，柠檬酸，磷酸，醋酸，硝酸，与等摩尔浓度条件下的实验结果一致，表明弱酸的电离常数是影响敏化速率的关键因素。

因此，不同弱酸的电离常数导致助剂在相同 pH 条件下释放 H⁺ 的能力不同，从而影响了现场混装乳化炸药基质的敏化速率。

2.3 不同草酸添加量对敏化效果的影响

前述实验结果显示，草酸作为酸助剂能够显著提升敏化速率。在保持亚硝酸钠和草酸浓度恒定的条件下，进一步探究了不同草酸添加量对现场混装乳化炸药基质敏化速率的影响。不同草酸添加量的现场混装乳化炸药基质敏化高度如表 7 所示。由表 7 可见，随着草酸的添加量上升，相同时间段的发泡高度也逐渐上升。不同添加量的草酸敏化后的乳化炸药密度随时间的变化曲线如图 7 所示，敏化速率如图 8 所示。

表 7 不同添加量的草酸敏化不同时间后的乳化炸药高度
Tab. 7 The emulsion explosive height after sensitization for different times by different amount of oxalic acid

敏化时间 /min	发泡高度/cm		
	样品 11	样品 12	样品 13
1	10.2	10.3	10.4
3	10.5	10.5	10.9
5	10.7	10.8	11.5
7	10.9	10.9	11.7
10	11.0	11.2	12.0
20	11.3	11.6	12.4
30	11.4	11.8	12.6
40	11.5	11.9	12.7
50	11.5	12.0	12.7
60	11.6	12.0	12.8

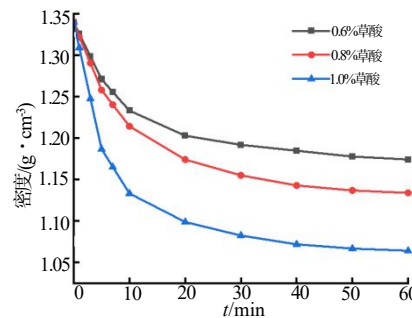


图 7 不同添加量的草酸敏化后的乳化炸药密度随时间变化曲线

Fig. 7 The change curve of emulsion explosive density versus time after sensitization by different amount of oxalic acid

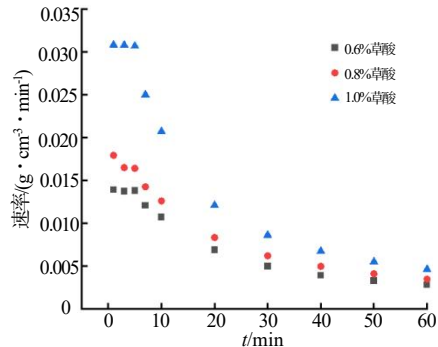


图 8 不同添加量的草酸对敏化速率的影响

Fig. 8 The influence of different amount of oxalic acid on the sensitization rate

由图 7 可见，随着草酸添加比例的增加，现场混装乳化炸药更快达到传爆临界密度。图 8 进一步证明了草酸添加量与敏化速率之间的正比关系。

2.4 不同草酸浓度对敏化效果的影响

在亚硝酸钠和草酸添加量不变的情况下，进一步研究了不同草酸浓度对现场混装乳化炸药基质敏化速率的影响。不同草酸浓度的现场混装乳化炸药基质敏化高度如表 8 所示。由表 8 可见，随着草酸的浓度增大，相同敏化时间段的发泡高度逐渐上升。不同浓

度草酸敏化后的乳化炸药密度随时间的变化曲线如图9所示,敏化速率如图10所示。

表8 不同浓度的草酸敏化不同时间后的乳化炸药高度
Tab.8 The emulsion explosive height after sensitization for different times by oxalic acid with different concentrations

敏化时间 /min	发泡高度/cm		
	样品 14	样品 15	样品 16
1	10.2	10.3	10.4
3	10.4	10.5	10.8
5	10.5	10.8	11.3
7	10.6	11.0	11.6
10	10.8	11.2	12.0
20	10.9	11.6	12.4
30	10.9	11.8	12.6
40	11.0	11.9	12.8
50	11.1	12.0	12.8
60	11.1	12.0	12.9

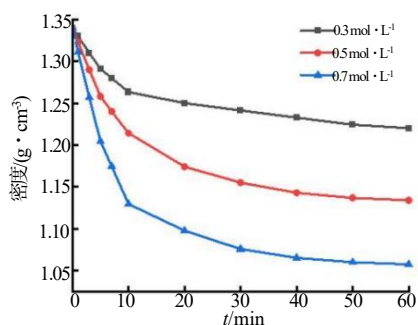


图9 不同浓度的草酸敏化后的乳化炸药密度随时间变化曲线

Fig.9 The change curve of emulsion explosive density versus time after sensitization by oxalic acid with different concentrations

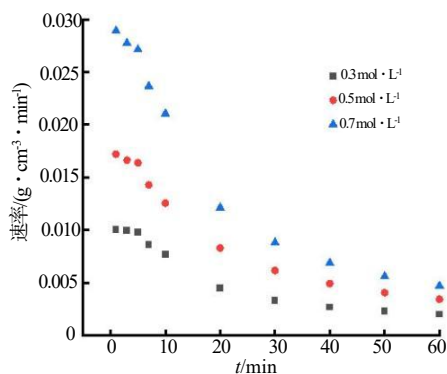


图10 不同浓度的草酸对敏化速率的影响

Fig.10 The influence of concentration of oxalic acid on the sensitization rate

从图9可以看出,草酸浓度越高,现场混装乳化炸药达到传爆临界密度的速度越快,并且图10进一步确认草酸浓度与敏化速率之间的正相关性。

Nguyen等^[18]研究表明, H⁺在反应动力学中起着重要作用,但 H⁺活度并不影响反应的机理,只是通

过改变参与限速步骤的反应物的浓度来影响反应速率。因此,酸助剂的添加量和浓度对现场混装乳化炸药的敏化速率有显著影响,增加酸助剂的添加量和浓度能够在一定程度上提高溶液中的 H⁺浓度。通过对敏化机理的分析可知,增加的 H⁺浓度促进了水相、敏化剂和敏化助剂之间的化学反应,从而加速了化学敏化过程。

3 结论

(1) 本文通过改变酸助剂的种类,在相同实验条件下调整解离出的 H⁺浓度,从而研究其对现场混装乳化炸药敏化速率的影响。实验表明弱酸的 H⁺电离能力是决定现场混装乳化炸药敏化速率的主要因素,相比于硝酸、醋酸、磷酸和柠檬酸,草酸作为酸助剂表现出了最快的敏化速率。而硝酸与亚硝酸钠发生的副反应和气泡逸出现象会降低敏化效率,影响敏化效果,导致现场混装乳化炸药的密度增大。

(2) 通过调整酸助剂的添加量和浓度,可以有效地控制现场混装乳化炸药的敏化速率。实验证明,增加草酸的添加量和提高草酸摩尔浓度均能加快敏化速率。

综上所述,选择适当电离度的弱酸、调整酸助剂的浓度和添加量可以有效调节现场混装乳化炸药的敏化速率,进而优化其爆破性能和安全性能。这种优化提高了敏化过程的可控性,为定制化生产现场混装乳化炸药提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [2] Bartłomiej K, Krystyna S, Patrycja K, et al. Emulsion explosives: a tutorial review and highlight of recent progress[J]. Materials, 2022, 15(14): 49-52.
- [3] 张东杰, 张现亭, 陆丽园, 等. 现场混装乳化炸药油相材料对乳胶基质黏度影响的研究[J]. 火工品, 2013(1): 42-45.
- [4] Bartłomiej K, Mateusz P, Piotr M, et al. Novel sensitizing agent formulation for bulk emulsion explosives with improved

- energetic parameters[J]. Materials, 2022, 15(3): 900.
- [5] 杨卫东. 乳化炸药敏化方法及应用研究[J]. 煤矿爆破, 2009 (2): 6-9.
- [6] 朱可可, 吴红波, 夏曼曼, 等. 不同敏化方式乳化炸药在静压作用下爆炸特性的研究[J]. 火工品, 2018(4): 36-39.
- [7] 黄麟, 田丰, 田惺哲, 等. 现场混装乳化基质快速敏化影响因素分析[J]. 中国矿业, 2017, 26(S2): 307-309.
- [8] Hughes E D, Ingold C K, Ridd J H, Nitrosation, diazotization, and deamination. part VI. comparative discussion of mechanisms of N- and O-nitrosation with special reference to diazotisation [J]. Journal of the Chemical Society, 1958:88-98.
- [9] 唐秋明. 质子对乳化炸药中 NaNO_2 发泡的影响[J]. 爆破器材, 1992 (3): 1-5.
- [10] 耿一评. 乳化炸药快速发泡的研究应用[J]. 爆破器材, 1997 (3): 11-13.
- [11] Rubin M B, Noyes R M, Smith K W. Gas-evolution oscillators. 9. a study of the ammonium nitrite oscillator[J]. The Journal of Physical Chemistry, 1987, 91(6): 1 618-1 622.
- [12] 唐秋明. 乳化炸药中亚硝酸钠发泡反应机理[J]. 矿业研究与开发, 1993 (2): 56-60.
- [13] 刘震宇, 谢强, 刘威, 等. 乳化炸药中硝酸铵-亚硝酸钠的发泡动力学研究[J]. 爆破器材, 2020, 49(3): 10-15.
- [14] 陆丽园, 张东杰, 王作鹏. 一种微乳液敏化剂的研制及应用研究[J]. 火工品, 2012(4): 33-35.
- [15] 杨敏会. 现场混装乳化炸药敏化的试验研究[J]. 煤矿爆破, 2019, 37(6): 1-4.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Nguyen A D, Iwaniv A M, Fogler H. Kinetics and mechanism of the reaction between ammonium and nitrite ions: experimental and theoretical studies[J]. Chemical Engineering Science, 2003, 58(19): 4 351 - 4 362.

专刊征稿：爆炸箔火工品技术

爆炸箔火工品具有窄脉冲大电流发火、不含敏感药剂、微秒级瞬发度等特点，因此被认为是目前综合性能最好的火工品之一。爆炸箔火工品技术是在电爆炸脉冲功率技术、爆炸桥丝火工品技术基础上发展起来的，爆炸箔火工品主要用于起爆传爆、点火传火序列，是实现新一代武器装备安全起爆及点火的重要途径，已成为高新火工品技术的重要研究与发展方向。

爆炸箔火工品技术涉及学科领域广泛，主要包括脉冲功率技术、微电子技术、电爆炸力学、含能材料、爆轰物理学、爆炸与冲击动力学等。近年来，在多学科发展的推动下，爆炸箔火工品不断向小型模块化、集成化、低能化、高效能、低成本以及信息融合控制等方向发展。爆炸箔火工品技术的发展将极大促进高新火工品技术进步，为提升高效毁伤及精确打击武器装备的高安全性、高可靠性、高效能、信息化及智能化提供有力支撑。

为了总结和展示我国科技工作者在爆炸箔火工品技术领域的基础性研究成果，促进本学科与相关学科领域研究团队的交流与合作，推动爆炸箔火工品技术基础理论研究和工程应用的发展，《火工品》拟在2025年正刊出版“爆炸箔火工品技术”专刊。现面向领域专家、学者征稿，包括定向约稿和自由征稿两种形式，范围包括但不限于以下方面，欢迎从事相关领域的研究学者及广大科技工作者积极投稿，对于专刊不能收录的优秀论文，可陆续在《火工品》刊物中录用出版。

自由征稿范围：

1. 爆炸箔材料设计、制备及性能研究；2. 爆炸箔火工品用含能材料设计、制备及性能研究；3. 爆炸箔火工品材料及器件集成与匹配技术研究；4. 爆炸箔火工品用高压电容、高压开关及脉冲功率技术研究；5. 爆炸箔火工品集成技术研究；6. 爆炸箔电爆炸能量匹配及等离子体测试仿真研究；7. 爆炸箔火工品先进测试技术研究；8. 其他爆炸箔火工品相关技术。

截稿日期：2025年4月30日

投稿方式：登录《火工品》官网投稿（<http://hgp.cnjournals.net/hgp/home>）

投稿备注：爆炸箔火工品技术专刊。

《火工品》编辑部

2025年01月