DOI: 10.11858/gywlxb.20240712

低温环境对乳化炸药爆炸性能的影响

刘 赛,韩体飞,王 猛,陈凯强,刘广鹏,姜 鑫,孙彦臣

(安徽理工大学化工与爆破学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 在低温条件下乳化炸药爆炸性能的下降会严重影响爆破效果,研究药体温度改变后乳化炸药爆炸性能的变化规律具有一定的工程应用价值。为此,设计了一系列乳化炸药药体温度精确控制装置,对药体温度为 25、0、−5、−10、−15 ℃ 的乳化炸药的爆速、猛度、做功能力及空中爆炸冲击波超压进行测量,并观察乳化炸药的微观结构。实验结果表明:当药体温度由 25 ℃ 降至−15℃ 时,炸药的爆速由 4 227 m/s 降至 3 291 m/s,猛度由 13.0 mm 降至 5.2 mm,做功能力由 323 mL 降至 208 mL,爆炸冲击波超压由 284.9 kPa 降至 115.8 kPa。随着药体温度的降低,硝酸铵析晶量增加,乳胶粒子的局部结构被破坏,致使乳化炸药的微观结构发生变化,爆炸性能降低。低温环境对乳化炸药猛度的影响最大,对爆速的影响最小;随着温度的降低,爆炸性能的降幅增大。在工程应用中,需综合考虑爆炸性能的降幅进行爆破参数设计。

关键词: 乳化炸药;低温环境;温度控制装置;爆炸性能

中图分类号: O389; TJ55 **文献标志码:** A

乳化炸药是以氧化剂水溶液的微细液滴为分散相,悬浮在含有分散气泡、空心玻璃微球或其他多孔性材料的似油类物质构成的连续介质中,形成的一种油包水型乳化体系[1]。乳化炸药因具有抗水、安全环保、爆轰和储存稳定等优势,被广泛应用于各种爆破工程中。在特殊的施工环境如高海拔寒区以及冻结基岩、冻土层等地质条件中,爆破施工时环境温度及爆破介质温度会达到零下十几摄氏度。受低温环境或低温介质的影响,乳化炸药的药体温度降低,爆炸性能随之下降,导致爆破效果变差,半爆和拒爆率升高,严重影响爆破施工效果,从而带来安全隐患。

吴红波等[2] 通过模拟高原环境,研究了温度与气压的变化对乳化炸药爆速、猛度的影响,结果表明,随着海拔的升高,乳化炸药的爆炸性能降低。赵晓莉等[3] 通过模拟高原环境对炸药爆速的影响,得出增加海拔高度对三级煤矿许用乳化炸药的影响大于对粉状乳化炸药的影响的结论。李瑞等[4] 基于量纲分析理论和 AUTODYN 有限元软件,研究了低温、低压及海拔高度对炸药爆炸冲击波参量(峰值超压、比冲量和波阵面运动轨迹)的影响规律,建立了相应的计算公式。夏曼曼等[5] 采用空中爆炸测试系统测定了乳化炸药空中爆炸的冲击波超压,提出了描述冲击波超压峰值与比例距离关系的修正经验公式。牛余雷等[6] 基于爆炸相似理论,根据实测 TNT 超压数据,计算了冲击波超压的 TNT 当量,采用不同方法计算了炸药的爆轰参数,结果表明,炸药的爆热、爆速和爆容对空中爆炸冲击波超压的影响相同。齐秀芳等[7] 通过改进配方,探索了水含量、高分子乳化剂含量和抗冻剂种类对低温储存性的影响,得到了抗冻性能最佳的乳胶基质配方。

目前,关于乳化炸药药体温度对其爆炸性能影响的研究中,仅将低温储存的炸药进行性能测试,并未对测试时药体的实时温度进行精确控制。为此,本研究将设计一种低温保存装置和低温爆炸性能测

* **收稿日期:** 2024-01-16; **修回日期:** 2024-03-18

基金项目: 安徽理工大学研究生创新基金(20232cx2117)

作者简介: 刘 赛(2000—),男,硕士研究生,主要从事工业炸药爆炸性能研究. E-mail: 2116149277@qq.com

通信作者: 韩体飞(1983—),男,博士,高级实验师,主要从事民爆器材与爆破技术研究.
E-mail: tifeihan9797@126.com

试装置，在实验设定的低温下对乳化炸药的爆炸性能进行测试，结合乳化炸药微观结构观测，构建不同温度下微观结构的物理模型，以期为低温环境下乳化炸药的工程实践提供指导，同时为研究新型耐低温乳化炸药提供更精确的测试方法。

1　实　验

1.1　材料及仪器设备

实验材料：2 号岩石乳化炸药（淮南舜泰化工有限责任公司）、8 号工业电雷管（淮南舜泰化工有限责任公司）、国标铅墩。

实验仪器：BSW-3A 型智能五段爆速仪（湖南湘西州奇搏矿山仪器厂）、YE5853 型电荷放大器（江苏联能电子技术有限公司）、CY-YD-202 压电式压力传感器（江苏联能电子技术有限公司）、HDO4104A 型示波器（美国力科公司）、MDF-65V340 型医用低温保存箱（安徽中科都菱商用电器股份有限公司）、XSP-86 系列无限远生物显微镜（上海田疃光学科技有限责任公司）、TE124S 分析天平（赛多利斯科学仪器（北京）有限公司）。

1.2　乳化炸药爆炸性能测试

1.2.1　乳化炸药的低温爆速测试

采用测时仪法测试工业炸药的爆速，在此基础上设计低温爆速测试装置。选取直径为 32 mm、质量为 300 g 的 2 号岩石乳化炸药，安装 4 根探针，相邻 2 根探针的间距（L）为 50 mm；在药卷传爆末端底部插入温度传感器，用于监测药体实时温度，并用聚乙烯塑料膜包裹防水；将待测样品放入塑料模具中，向模具中注入一定浓度的 NaCl 溶液，放入低温冷冻箱中冷冻，冷冻至低于设定温度 3 ℃ 左右时取出待测样品，连接信号线；将雷管从模具预留口插入并安装至如图 1 所示位置，打开模具的排液口，排出 NaCl 溶液，使药卷外层无约束。测试时，观察温度显示器，待药体的实测温度稳定在设定温度时起爆，获得 3 段爆速，取平均值作为该实验温度的爆速，低温爆速测试装置如图 1 所示。

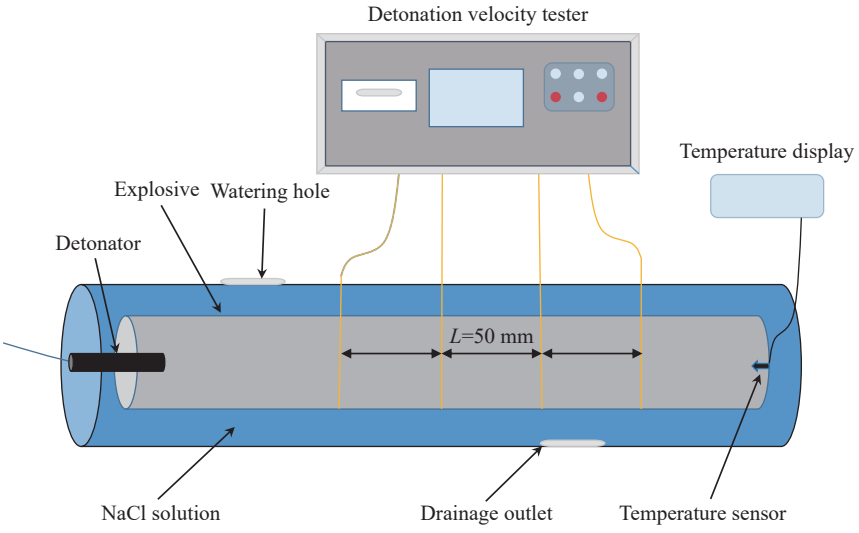


图 1　低温爆速测试装置

Fig. 1　Device for detonation velocity test at low temperature

1.2.2　乳化炸药的低温猛度测试

采用铅柱压缩法测试工业炸药的猛度，在此基础上设计低温猛度测试装置。称取 2 号岩石乳化炸药 50 g，制成测试药包，并于雷管壳侧面 2 mm 处插入温度传感器；将做好防水措施的测试药包与钢片固定在一起，放置在测试装置中部的空腔中，在钢片下部放置与国标铅柱同尺寸的钢柱，并用密封塞堵

住空腔口，向装置的保温腔体中注入 NaCl 溶液；将装置放入冷冻箱中冷冻至低于设定温度 3 ℃ 左右时，取出测试装置并安装雷管，用铅柱替换钢柱；打开排液口，排出 NaCl 溶液。测试时，观察温度显示器，待药体的实测温度稳定至设定温度时起爆，每个温度进行 2 组测试，取平均值作为该实验温度的猛度。低温猛度测试实验装置如图 2 所示。

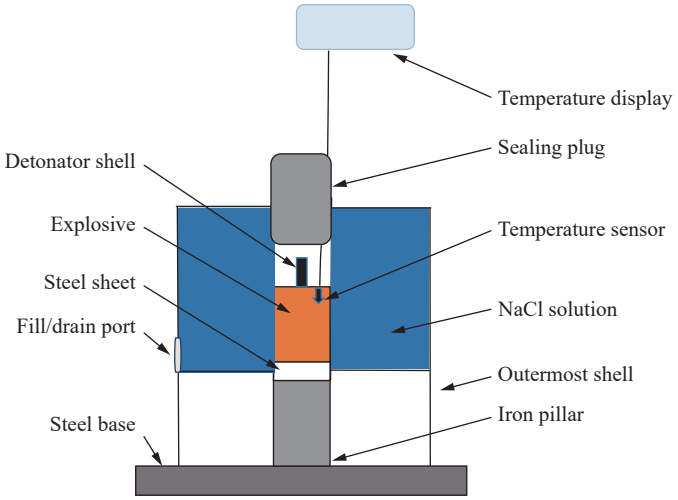


图 2　低温猛度测试实验装置

Fig. 2　Low temperature experimental setup for brisance test

1.2.3　乳化炸药的低温做功能力测试

采用铅壔法测试工业炸药的做功能力，在此基础上设计低温做功能力测试装置。称取 2 号岩石乳化炸药 10 g，制成测试药包，并在其上部插入温度传感器，对药包做好防水措施；将药包放入低温保存装置（见图 3）后放入冷冻箱中，冷冻至低于设定温度 3 ℃ 左右时取出；安装雷管，并按铅壔法测试乳化炸药的做功能力。测试时，观察温度显示器，待药体实测温度稳定至设定温度时起爆，获得该实验温度下乳化炸药的做功能力数据。

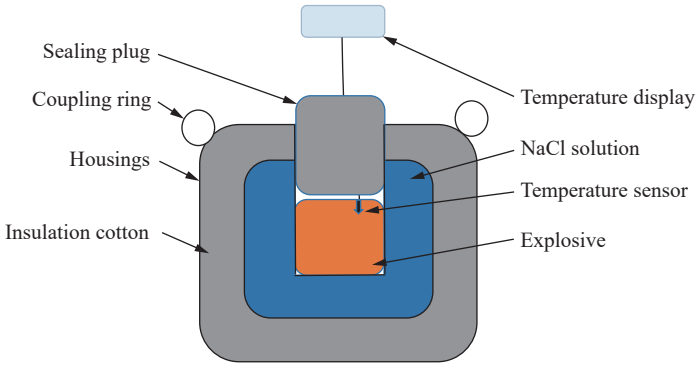


图 3　低温保存装置

Fig. 3　Cryopreservation device

1.2.4　乳化炸药的低温空中爆炸冲击波超压测试

在常温爆炸冲击波超压测试系统的基础上，设计低温测试装置。低温空中爆炸冲击波实验装置如图 4 所示。测试系统由低温保存装置、自由场压力传感器、电荷放大器、示波器等组成。实验时，称取 2 号岩石乳化炸药 50 g，制成球形药包，在药包上部插入温度传感器，并做好防水措施；将药包和低温保存装置放入冷冻箱，冷冻至低于设定温度 3 ℃ 左右时取出测试装置，安装雷管；将测试药包和低温保存装置分别固定于爆炸容器内部横梁，药包中心距传感器 50.0 cm。测试时，将固定低温保存装置的连接线断开，使装置脱落，观察温度显示器，待药体实测温度稳定至设定温度时起爆。

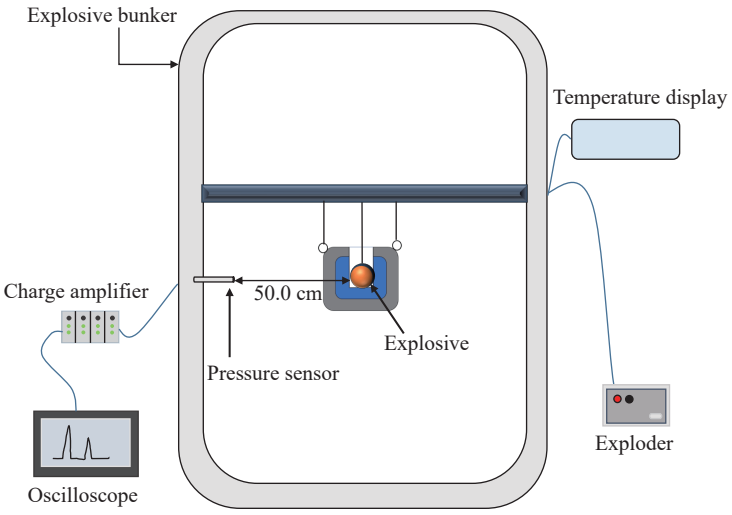


图 4　低温空中爆炸冲击波压力实验装置示意图

Fig. 4　Schematic diagram of device for air shock wave pressure test at low temperature

空中爆炸冲击波超压 Δp 的计算公式[8] 为

$$\Delta p = \frac{U_{\mathrm{m}}}{KS_{\mathrm{q}}} \tag{1}$$

式中：Δp 为爆炸冲击波超压，MPa；U_{m} 为示波器的峰值电压，mV；K 为电荷放大器增益，设置为 100 mV/pC；S_{q} 为传感器的压力-电荷灵敏度，pC/MPa，经过 2 次校准后，取平均值 362.1 pC/MPa。

2　结果与讨论

2.1　乳化炸药爆炸性能的变化及分析

采用乳化炸药药体温度精确控制装置，对不同药体温度下乳化炸药的爆炸性能进行测试。当药体温度 T 为 25、0、−5、−10、−15 ℃ 时，乳化炸药的爆速 D、猛度 ΔH、做功能力 V、空中爆炸冲击波超压 Δp 的测试结果如表 1 所示。图 5 为不同药体温度下乳化炸药的爆炸冲击波超压-时间（Δp-t）曲线。

表 1　不同药体温度下乳化炸药爆炸性能测试结果

Table 1　Test results of explosion properties of emulsion explosives with different body temperatures

T/℃	D/(m·s^{-1})	ΔH/mm	V/mL	Δp/kPa
25	4227	13.0	323	284.9
0	3994	12.1	310	265.4
−5	3752	10.3	283	255.8
−10	3509	8.1	255	216.3
−15	3291	5.2	208	115.8

从图 5 可以看出，相同比例距离条件下，25、0、−5、−10、−15 ℃ 温度下乳化炸药的爆炸冲击波最大压力上升时间分别为 22.05、20.15、20.83、21.04、20.19 μs，对应的正压区作用时间分别为 198.24、199.10、209.03、196.85 及 220.96 μs，最大压力上升时间和正压区作用时间随药体温度的变化发生小幅波动。在爆炸冲击波压力峰值随药体温度的降低而下降、正压作用时间波动较小的情况下，爆炸冲击波产生的比冲量随药体温度的降低而降低[8]。

表 1 显示，随着乳化炸药药体温度的下降，爆速、猛度、做功能力及空中爆炸冲击波超压均呈现明显的减小趋势。以 25 ℃ 时的测量结果作为参考值，获得不同药体温度下各爆炸性能参数的下降率，如图 6 所示。

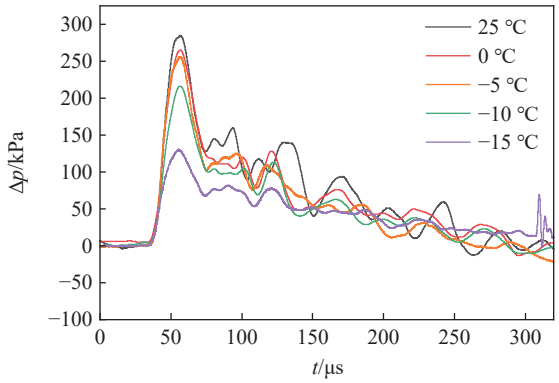


图 5　不同药体温度下乳化炸药的 Δ*p*-*t* 曲线

Fig. 5　Δ*p*-*t* curves of emulsion explosives at different body temperatures

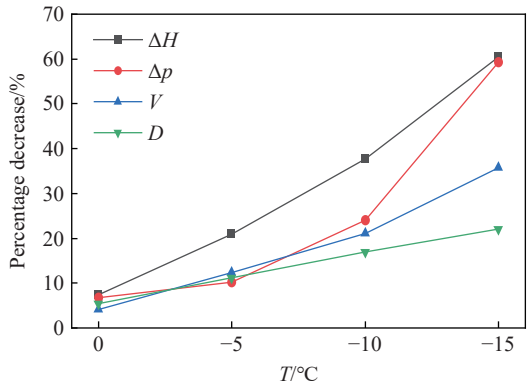


图 6　乳化炸药各爆炸性能相对于 25 ℃ 时的下降率

Fig. 6　Percentage decrease for each explosive property of emulsion explosives relative to the level at 25 ℃

从图 6 可以看出：当药体温度降至 0 ℃ 时，各参数下降 5% 左右，下降幅度较小；当药体温度降至 −5 ℃ 时，冲击波超压、爆速和做功能力分别下降 10.2%、11.2% 和 12.3%，下降率呈增大趋势，但三者的下降幅度差距并不明显，猛度下降了 20.0%，下降幅度较大；随着药体温度继续降低，爆速、猛度、做功能力及爆炸冲击波超压的下降率持续增大，并且爆炸冲击波超压的下降率最大，猛度和做功能力次之，爆速的下降率最小。

分析图 6 可知：当药体温度下降时，猛度受温度的影响最明显，并且随温度降低而下降的幅度逐渐增大；爆炸冲击波超压的下降趋势先平缓后陡峭，在本实验条件下转变温度为−15 ℃；做功能力和爆速的下降率亦呈逐步增大趋势。4 个参数中，猛度的下降幅度最大，爆炸冲击波超压和做功能力次之，爆速最小。因此，在本研究的测试条件下，爆速受药体温度的影响最小，猛度最大，而爆炸冲击波超压在药体温度降至一定温度时呈急剧下降特征。

爆速为爆轰波在炸药中稳定传播的速度，而爆轰波由化学反应区和前沿冲击波组成，反应区产生的能量向未反应区传递，并提供使前沿冲击波稳定传播的能量。随着药体温度的降低，乳化炸药组分的均匀性降低，导致爆轰波阵面化学反应剧烈程度减弱，冲击波向未反应区的能量传递减慢，水分及析出的硝酸铵晶体在相变过程中吸收一定的热量，降低了化学反应速率，从而使爆速随药体温度降低而呈现规律性降低。

对于炸药的做功能力，当药体温度降低时，炸药中析晶出的硝酸铵晶体会有少量不参与混合体系的化学反应，发生自供氧反应，因此，整个体系更趋向负氧反应，爆炸产物中双原子成分含量降低，凝聚相产物增加，等熵指数减小，致使乳化炸药爆炸时的做功能力降低。

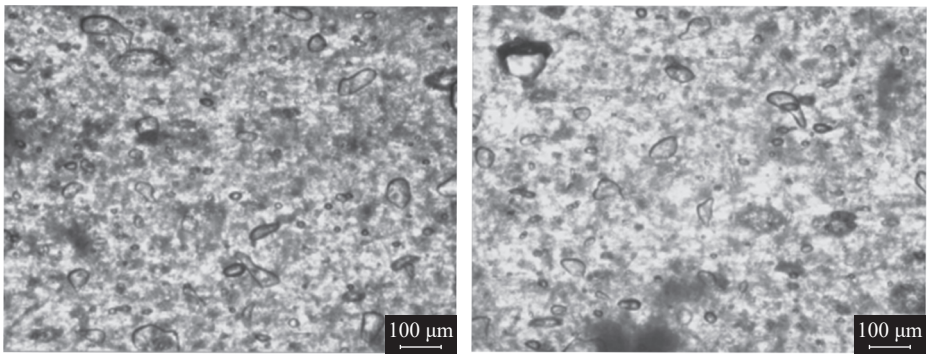
低温对炸药猛度的影响更加显著，主要原因是猛度由炸药的爆速和密度决定。低温时，爆速随着温度的降低而降低。测试猛度和爆炸冲击波超压时，随着药体温度的降低，铅柱和传感器表面残留的油污量明显增多，其原因是药包最外层的部分炸药拒爆，导致炸药侧向及传爆方向的能量损失增加，作用在传爆方向的有效能量急剧降低。爆轰反应区的化学反应速率降低，导致能量不能集中释放，也会使猛度降低。药体温度的降低使乳化炸药的总体输出能量及能量释放速率减小，导致炸药爆炸时爆轰压力降低。此外，爆轰压力与爆速的平方成正比，爆速随药体温度的降低而降低，使得炸药爆炸时的冲击波能量和速度同时降低，因此，炸药的爆炸冲击波压力随着药体温度的降低而降低[9]。

2.2　乳化炸药微观结构变化及物理模型分析

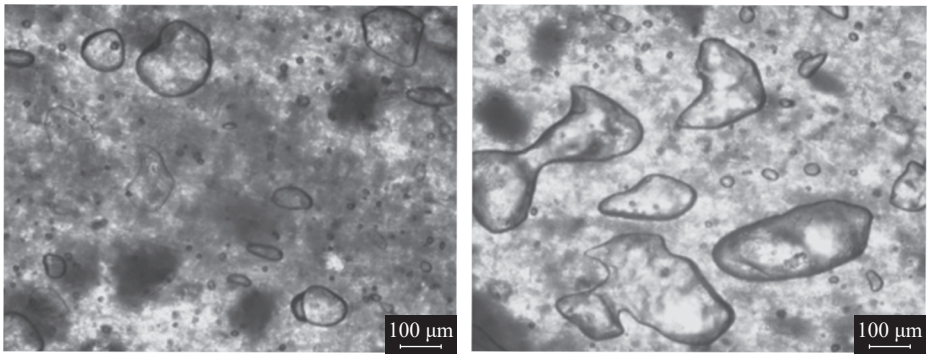
为了研究乳化炸药爆炸性能随温度降低而下降的现象与乳化炸药微观结构之间的关系，利用显微镜观察不同药体温度下乳化炸药的微观结构（放大倍率为 100），如图 7 所示。

从图 7(a) 可以看出，常温状态下乳化炸药中的析晶很少，气泡大小及分布相对均匀，组分均匀性较好。从图 7(b) 所示的低温状态下乳化炸药的微观结构可以看出，基质中有大量的硝酸铵析晶及冰晶，

有效气泡数量相对于常温状态下明显减少且分布不均匀，一部分气泡因受到挤压而呈不规则状，另一部分小尺寸气泡发生聚集，在基质表面出现因束缚能力降低而逃逸形成的孔洞，低温状态的组分均匀性相对于常温状态明显降低。根据热点理论[10]，以上微观结构变化将导致爆炸反应过程中炸药内部无法形成数量足够多、分布均匀的热点，并且所形成热点的难易程度不同，致使形成热点所需时间不同，从而影响爆轰波的稳定传播，导致爆炸反应速率降低，爆炸性能降低。



(a) Ambient temperature

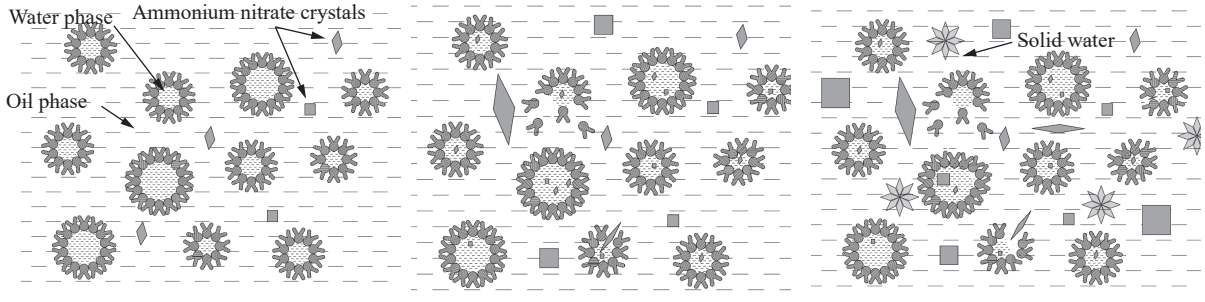


(b) Low temperature

图 7　常温和低温下乳化炸药的微观结构

Fig. 7　Microstructure of emulsion explosives at ambient and low temperature

根据乳化炸药的微观结构图像以及爆炸性能参数分析，构建出不同温度下乳化炸药的物理模型，如图 8 所示。在常温状态下，乳胶粒子呈完好的油包水结构，基质中几乎没有析出硝酸铵晶体，乳化炸药组分分布均匀。随着温度的降低，油膜强度减小，析出的针状硝酸铵晶体刺破油膜，乳胶粒子的局部结构被破坏。同时，硝酸铵晶体和固态水会挤压乳胶粒子，导致乳化炸药组分的均匀性降低。



(a) Ambient temperature　(b) −10−0 °C　(c) −15− −10 °C

图 8　不同温度下乳化炸药的物理模型

Fig. 8　Physical modelling of emulsion explosives at different temperatures

对比常温和低温状态下乳化炸药的微观结构，可以发现，低温状态下硝酸铵的析晶量明显增加。基质中局部位置的硝酸铵析晶会导致其他区域的硝酸铵含量减少，使炸药的爆轰感度下降，原本用于

做功的能量用于激发和维持炸药的爆炸反应，从而使爆炸输出能量及爆炸反应速率降低。水相与油相之间的接触面积越大，组分越均匀，越有利于爆炸反应的激发和传播，炸药的爆速就越高，猛度和做功能力也相应增大[11]。在低温环境下，硝酸铵晶体和固态水析出一方面降低了氧化剂与可燃剂接触的比表面积，另一方面，析出的不规则晶粒穿透油膜，导致爆炸反应区时间变长，能量释放相对分散，爆炸性能降低。

2.3　乳化炸药低温爆炸性能与工程应用分析

工程应用中，爆速和做功能力是选择炸药单耗的重要指标。在低温环境或介质中使用乳化炸药时，可根据低温爆速和做功能力的降低趋势，定量地提高炸药单耗。对于明显降低的猛度参数，在提高单耗的同时，炸药爆炸时对孔壁的破坏作用并不会明显增强，但是，这对于一些特殊施工（如需要保护接触介质）具有一定的实际意义。在低温条件下进行爆炸加工及爆轰夯实等特种爆破作业时，需要考虑猛度快速下降的影响，特别需要重视乳化炸药的能量密度和爆速降低所导致的炸药波阻抗降低的影响。

3　结　论

(1) 设计的低温乳化炸药爆炸性能参数测试装置能够准确地控制药体温度，模拟炸药在高寒低温环境中的使用场景，进而开展爆炸性能参数测试。当炸药的药体温度由 25 ℃ 降至−15 ℃ 时，爆速、猛度、做功能力及空中爆炸冲击波超压随着温度降低呈现不同的下降规律，其中：爆速和做功能力呈现近似线性下降的变化规律，而猛度一直处于较快的下降趋势，爆炸冲击波超压在达到一定低温区间后呈现明显的下降趋势。

(2) 低温影响乳化炸药的爆炸性能，主要包括：析出的液相晶体在爆炸反应中发生相变而吸收热量，其中析出的硝酸铵会导致体系趋向负氧反应，同时破坏界面膜，导致敏化气泡减少，气泡大小及分布不均匀，进而使热点分散；其次，基质的黏滞流动以及界面膜强度降低导致乳化炸药胶体粒子结构发生变化，外层炸药中乳胶粒子结构的变化程度最大进而发生拒爆，并且低温加剧这种变化；另外，组分间的比表面积降低，致使爆炸反应程度降低，爆炸性能下降。

(3) 在高海拔寒区、冻结基岩及冻土层等地质条件下进行爆破作业时，应根据低温做功能力的变化调整装药单耗；设计爆破参数时，应综合考虑各爆炸性能参数的变化，如炸药爆炸时对孔壁接触介质的破碎程度以及炸药波阻抗降低的影响。

参考文献：

[1] 汪旭光. 乳化炸药 [M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
WANG X G. Emulsion explosives [M]. 2nd ed. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008.

[2] 吴红波, 高郁凯, 李鹏, 等. 乳化炸药的高原环境适应性研究 [J]. 爆破器材, 2021, 50(5): 34–38.
WU H B, GAO Y K, LI P, et al. Study on adaptability of emulsion explosive in plateau environment [J]. Explosive Materials, 2021, 50(5): 34–38.

[3] 赵晓莉, 夏斌, 刘尊义, 等. 模拟高原环境对炸药爆速影响的试验研究 [J]. 爆破器材, 2015, 44(2): 36–39.
ZHAO X L, XIA B, LIU Z Y, et al. Experimental research on detonation velocity of explosive in simulated plateau environment [J]. Explosive Materials, 2015, 44(2): 36–39.

[4] 李瑞, 李孝臣, 汪泉, 等. 低温和低压环境下炸药爆炸冲击波的传播特性 [J]. 爆炸与冲击, 2023, 43(2): 022301.
LI R, LI X C, WANG Q, et al. Propagation characteristics of blast wave in diminished ambient temperature and pressure environments [J]. Explosion and Shock Waves, 2023, 43(2): 022301.

[5] 夏曼曼, 吴红波, 徐飞扬, 等. 乳化炸药空中爆炸冲击波衰减规律的研究 [J]. 爆破器材, 2017, 46(4): 21–24.
XIA M M, WU H B, XU F Y, et al. Attenuation rules of shock wave in air blasting of emulsion explosive [J]. Explosive Materials, 2017, 46(4): 21–24.

［6］牛余雷, 冯晓军, 李媛媛, 等. 炸药爆轰参数与空中爆炸冲击波超压的关系 [J]. 火炸药学报, 2013, 36(4): 42–45, 64.
NIU Y L, FENG X J, LI Y Y, et al. Relation of air explosion shock wave overpressure and detonation parameters of explosives [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2013, 36(4): 42–45, 64.
［7］齐秀芳, 王杰, 何俊蓉, 等. 耐低温乳胶基质的制备与性能测试 [J]. 火炸药学报, 2019, 42(5): 480–484.
QI X F, WANG J, HE J R, et al. Preparation and characterization of emulsion matrix with low temperature resistance [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2019, 42(5): 480–484.
［8］张立. 爆破器材性能与爆炸效应测试 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006.
ZHANG L. Test of blasting material performance and explosion effect [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2006.
［9］孙宝亮, 黄文尧, 汪泉, 等. 硅藻土为载体的低爆速乳化炸药制备与性能 [J]. 含能材料, 2023, 31(1): 26–34.
SUN B L, HUANG W Y, WANG Q, et al. Preparation and performance of diatomite emulsion explosive with low detonation velocity [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2023, 31(1): 26–34.
［10］MEDVEDEV A E, FOMIN V M, RESHETNYAK A Y. Mechanism of detonation of emulsion explosives with microballoons [J]. Shock Waves, 2008, 18(2): 107–115.
［11］闫国斌, 汪旭光, 王尹军. 乳化炸药微观结构对其宏观性能的影响分析 [J]. 工程爆破, 2016, 22(5): 40–44.
YAN G B, WANG X G, WANG Y J. Influence of microstructure of emulsion explosive on macro performance [J]. Engineering Blasting, 2016, 22(5): 40–44.

Effect of Low Temperature Environments on the Explosive Properties of Emulsion Explosives

LIU Sai, HAN Tifei, WANG Meng, CHEN Kaiqiang, LIU Guangpeng, JIANG Xin, SUN Yanchen

（*School of Chemical and Blasting Engineering*, *Anhui University of Science and Technology*, *Huainan* 232001, *Anhui*, *China*）

Abstract: The decline of explosive properties of emulsion explosives will seriously affect the blasting effect in the environment of low temperature. The study on the evolution law of explosive properties of the emulsion explosives in coordination with the temperature variation of the emulsion explosives presents a certain engineering application value. A series of precise temperature control devices for emulsion explosives were designed, and then the detonation velocity, the brisance, the working capacity and the overpressure of air shock wave were measured with various temperature of 25, 0, −5, −10 and −15 ℃. Meanwhile, the microstructure of the emulsion explosives was characterized. The experimental results showed that when the temperature of the emulsion explosives was reduced from 25 ℃ to −15 ℃, the detonation velocity of the explosive was reduced from 4 227 m/s to 3 291 m/s, the brisance of the explosive was reduced from 13.0 mm to 5.2 mm, the working capacity of the explosives was reduced from 323 mL to 208 mL, and the overpressure of air shock wave was reduced from 284.9 kPa to 115.8 kPa. With the decrease of the temperature of the emulsion explosives, the precipitation of ammonium nitrate crystal increased along with the partial structure failure of the emulsion particles, resulting in changes in the microstructure and declines in the explosive properties of the emulsion explosives. Low-temperature environment mostly affected the brisance of emulsion explosives, but slightly affected the detonation velocity. With the decrease of temperature, the decline amplitude of explosive properties would be accelerated. It is suggested that the design of blasting properties should be adjusted according to the decline amplitude of explosive properties.

Keywords: emulsion explosives; cryogenic environment; temperature control device; explosive properties