

doi: 10.7690/bgzdh.2014.07.020

## DNAN 炸药熔铸工艺安全性分析

王红星<sup>1</sup>, 王浩<sup>1</sup>, 蒋芳芳<sup>2</sup>, 赵凯<sup>1</sup>, 徐申<sup>2</sup>

(1. 西安近代化学研究所第二事业研究部, 西安 710065; 2. 陕西应用物理化学研究所第五研究室, 西安 710061)

**摘要:** 为确保新型载体炸药 DNAN 熔铸装药过程的安全性, 着重从炸药的基本特性和装药工艺流程等方面对熔铸装药工艺进行安全分析, 并采用自行设计的一种烤燃试验装置, 对 DNAN 的热安全性进行试验研究, 得到其在不同温度下的热爆炸延滞期。结果表明: DNAN 在 220 °C 环境温度下, 放置 48 h 没有发生反应; 230 °C 发生不完全燃烧; 当温度达到 240 °C 以上时发生热分解反应; 理论计算 DNAN 在通常的熔药温度(100 °C)下的热爆炸延滞期, 表明 DNAN 的装药工艺安全可靠。

**关键词:** 物理化学; DNAN 炸药; 安全性分析; 熔铸工艺; 烤燃试验**中图分类号:** TJ410.5 **文献标志码:** A

## Safety Analysis of Melt-Cast Technology for DNAN Explosive

Wang Hongxing<sup>1</sup>, Wang Hao<sup>1</sup>, Jiang Fangfang<sup>2</sup>, Zhao Kai<sup>1</sup>, Xu Shen<sup>2</sup>(1. No. 2 Research Department, Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China;  
2. No. 5 Research Office, Shanxi Applied Physics-Chemistry Research Institute, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** In order to ensure safety in melt-cast process for the DNAN explosive, emphasize safety analysis from the explosive properties, the melt-cast technological procedure, the thermal safety of DNAN explosive was studied by cook-off test, the delay time of thermal explosion in different temperature was obtained. The results show that DNAN under the ambient temperature of 220 °C was non-flammable, DNAN was semi-burned under the ambient temperature of 230 °C, when the temperature reaches above 240 °C, thermal decomposition reaction of DNAN occurs. The delay of thermal explosion was obtained from theoretical calculation at 100 °C, results show that the DNAN explosive melt-cast technological is safe and reliable.

**Keywords:** physical chemistry; DNAN; safety analysis; melt-cast technology; cook-off test

## 0 引言

2,4-二硝基苯甲醚(DNAN)作为一种新型熔铸载体炸药, 因其具有摩擦、撞击感度较低和冲击波感度低的特点而引起广泛关注, 各国都开展了相应的研究。澳大利亚国防科技局<sup>[1]</sup>(DSTO)研究开发了用 DNAN 替代 TNT 做载体的低感度熔铸炸药配方 ARX-4027(60%RDX、40%DNAN、0.25%MNA), 并对该配方炸药的机械强度、冲击波感度和做功能力等进行了表征; 美国皮卡汀尼兵工厂<sup>[2]</sup>研发了一系列以 DNAN 为载体、RDX 或 HMX 以及 AP 为主体的低成本、低感度的 PAX 熔铸炸药。

针对新型载体炸药的熔铸工艺, 与 TNT 相似, 由于要经过高温熔化装药, 所以在大尺寸熔化装置中的熔药安全性评估显得特别重要。炸药的热安全性评估可通过热爆炸理论试验测定和理论推测<sup>[3]</sup>。通过试验可以确定小药量炸药装药的自加热爆炸临界温度, 根据热爆炸理论能够推测大尺寸装药的热爆炸危险性, 进而为熔化过程的工艺安全性分析提供指导。笔者针对熔铸炸药的装药工艺, 从炸药的

基本特性出发, 通过热安全性试验对 DNAN 的熔铸工艺过程进行安全性研究分析, 为该炸药的實際熔铸工艺操作提供参考。

## 1 DNAN 炸药基本性质安全性分析

经过对 DNAN 文献的收集、整理和相关试验测定, DNAN 炸药的基本性质如表 1<sup>[4-5]</sup>所示。

表 1 DNAN 炸药的基本性质

热化学性质	技术参数	热安全性	技术参数
熔点/°C	94.5	真空安定性 <sup>(1)</sup> /ml	1.14
燃烧热/(kJ/mol)	3 433	热分解温度/°C	365.09
生成热/(kJ/mol)	188.4	摩擦感度/cm <sup>(2)</sup>	117.5
熔化热/(kJ/mol)	16.3	撞击感度 <sup>(3)</sup> /%	0
爆热/(kJ/mol)	3 856	5 s 爆发点/°C	374.1

注测试条件: (1)为 5 g, 100 °C, 48 h; (2)为 5 kg 落锤, H<sub>50</sub>; (3)为 3.92 MPa, 90°摆角。

DNAN 炸药与传统的熔铸载体炸药 TNT 进行比较, 结果如表 2 所示。

表 2 DNAN 与 TNT 对比结果

炸药名称	撞击感度(H <sub>50</sub> )/cm	摩擦感度/%	自发热温度/°C	冲击波感度δ <sub>50</sub> 值/mm	5 s 爆发点/°C
DNAN	117.5	0	347	29.76	374.1
TNT	157.0	4~6	306	42.50	295.0

收稿日期: 2014-01-10; 修回日期: 2014-02-19

作者简介: 王红星(1981—), 男, 河南人, 硕士, 助理研究员, 从事混合炸药配方及工艺技术研究。

从表 2 可以看出, DNAN 炸药的机械感度与 TNT 相当, 但冲击波感度和热感度优于 TNT, 尤其是热安全性方面, 即 DNAN 较传统载体炸药 TNT 在热安全性方面更钝感, 在熔化工艺过程中安全系数更大。

## 2 工艺安全性分析

熔铸炸药的装药工艺过程主要包括: 药浆熔混、处理、浇铸、凝固和后处理等工序, 工艺流程图如图 1 所示。

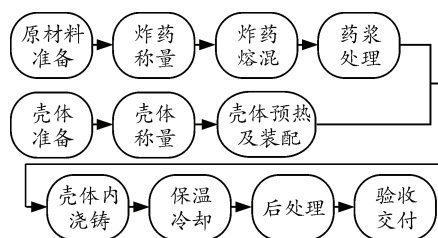


图 1 熔铸炸药装药工艺流程

在整个熔铸炸药装药工艺过程中, 由于熔铸炸药固有的特性, 经历固态—液态—固态的 3 个物态变化周期, 伴随着热量变化引起的多个温度梯度的产生<sup>[6]</sup>, 所经历的温度变化如图 2 所示。

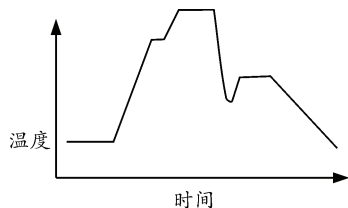


图 2 熔铸工艺温度变化曲线

由图 2 可以看出, 在这个工艺过程中, 熔铸炸药温度长时间处于高温条件, 对于大型战斗部的装填, 该时间周期会更长。在这个过程中, 炸药经历了其整个周期中最为剧烈的环境温度考验, 也是熔铸炸药装药工艺安全性最为关注的阶段, 应引起工艺研究人员的高度关注<sup>[6]</sup>。

## 3 工艺安全性试验

为验证 DNAN 炸药在装药工艺过程中的安全性, 用自行设计的一套烤燃试验装置, 模拟装药过程中炸药的受热情况, 对 DNAN 炸药在不同环境温度下的热爆炸延滞期进行试验研究, 对其热安全性作出评价<sup>[7]</sup>。

### 3.1 试验装置和条件

试验时, 将试样安装于加热炉内, 以 1 °C/min 的升温速率进行加热, 加热至设定的 220、230、240、250、260、265 °C, 在试验设定温度下保持恒温, 保持到试验设定时间或试样发生反应为止。试验装

置示意图如图 3 所示。

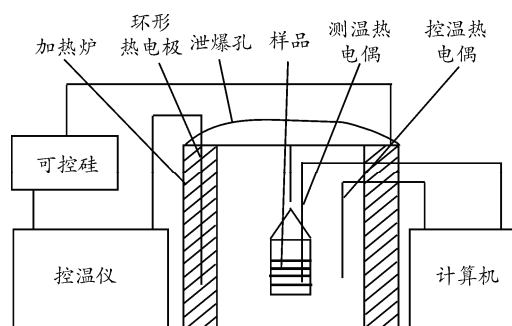


图 3 烤燃试验装置示意图

### 3.2 试验结果与分析

表 3 给出了 DNAN 炸药烤燃试验结果, 从表 3 可见, DNAN 炸药在 220 °C 恒温环境中放置 48 h 未发生反应; 在 230 °C 发生不完全燃烧现象, 而在 240 °C 以上环境温度下放置一段时间完全被烤燃。

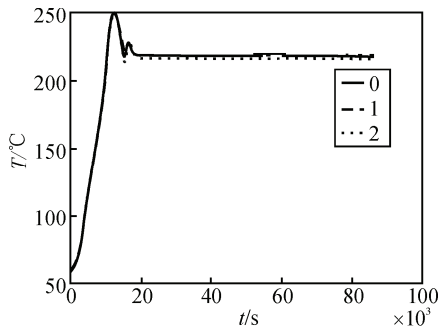
表 3 DNAN 的烤燃试验结果

试验温度/°C	延滞时间/min	试验现象
220	2 880	未燃烧
230	1 257	不完全燃烧
240	535	完全燃烧
250	222	完全燃烧
260	72	完全燃烧
265	45	完全燃烧

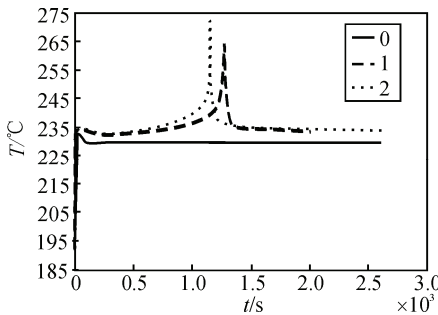
图 4 给出了 220、230、240 °C 3 种环境温度下, 药剂中心处的温度随时间变化曲线和试验结果, 可见不同温度下平行试验的一致性较好, 说明可反映该温度下 DNAN 炸药在烤燃过程中的热响应情况。

由图 4 可以看出, 试验过程中药粉内的温度从室温开始上升, 随着放入加热炉中时间的增加, 环境中的热量传入药粉, 使其温度逐渐上升。当环境为 220 °C 时, 即药剂达到 220 °C 时, 由于仪器设定的原因, 此时出现过冲现象, 即药温达到设定温度后继续上升一段, 随后回归到设定的 220 °C, 药剂在受热过程中没有明显的放热峰, 实验结束后未发现药剂有变化情况, 同时发现泄爆孔有针状的细结晶, 表明存在挥发现象, 对实验后药剂分析表明, 成分和性能几乎没有发生变化。当环境温度为 230 °C 时, 曲线存在一个温度台阶, 但没有爆响声, 实验后发现药剂已发生不完全燃烧而分解, 这是由于反应比较缓慢, 分解反应所放出的热量可以比较及时地传递到周围环境中。当温度为 240 °C 时, 曲线上有一个明显的放热峰, 因为在此温度下, 反应比较剧烈, 周围环境温度较高, 反应释放的热量不能在短时间内传递到周围环境中, 形式热积累, 出现自加速现象, 最后导致热爆炸。温度为 250 °C 以上时, 实验结果的现象与 240 °C 下的相似, 只是温

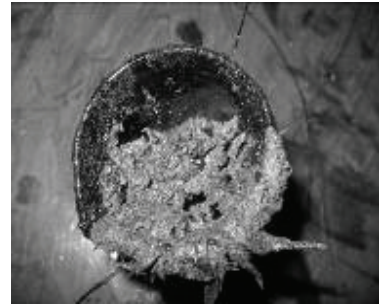
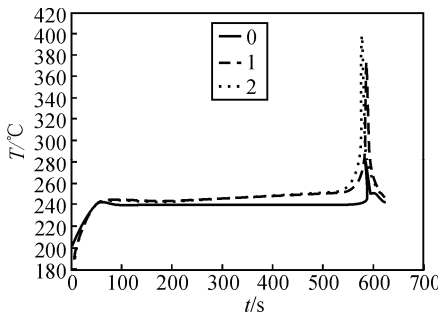
度-时间曲线略有不同。



(a) 220 °C



(b) 230 °C



(c) 240 °C

图 4 3 种不同温度下的实验曲线及结果

一般情况下，DNAN 炸药的熔药操作温度在 100 °C 左右，由试验知，DNAN 在 220 °C 的恒温环境中，可以经受较长时间的热烤(至少 48 h 以上)，由爆发点和延滞期时间的关系拟合得到的方程式可以理论计算 DNAN 在 100 °C 环境温度下的延滞期为  $4.6 \times 10^{15}$  h，这是未考虑搅拌影响的最保守估计。这些数据可以看出，在 DNAN 炸药的熔药是比较安全的；同时，DNAN 在较低的环境温度下具有良好的热安全性，可以长期贮存。

### 4 结论

通过炸药性质、工艺过程、热安全性试验等方面的安全分析可知，DNAN 炸药的熔铸装药工艺是安全可靠的。

### 参考文献:

- [1] Phil J. Davies, Arthur Provatas. Characterisation of 2,4-Dinitroanisole: An Ingredient for Use in Low Sensitivity Melt Cast Formulations[R]. Australia: Defence Science & Technology Organization, 2006.
- [2] Steven N, John N, Pamela F. Recent developments in reduced sensitivity melt pour explosives[C]//34th International Annual Conference of ICT. Karlsruhe: ICT, 2003: 255-259.
- [3] 赵省向, 胡焕性, 张亦安. EAK 基熔铸分子间炸药的熔化安全性[J]. 兵工学报, 2003, 24(2): 270-272.
- [4] Van Alphen, J. Dimorphism of 2,4-dinitroanisole[R]. Germany: European Journal of Inorganic Chemistry, 1930: 94-95.
- [5] 王昕. 美国不敏感混合炸药的发展现状[J]. 火炸药学报, 2007, 30(2): 78-80.
- [6] 罗一鸣, 王浩, 蒋秋黎, 等. 熔铸炸药热爆炸临界工艺温度的计算方法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(7): 42-44.
- [7] 王红星, 王晓峰, 罗一鸣, 等. DNAN 炸药的烤燃实验[J]. 含能材料, 2008, 16(5): 490-493.