

doi: 10.7690/bgzdh.2013.01.013

# DNAN 基高威力钝感熔铸炸药装药工艺应用

王春光, 魏敏, 刘学柱, 刘永峰

(晋西集团技术中心第三研究所, 太原 030041)

**摘要:** 针对 TNT 熔铸炸药不能满足钝感弹药标准的问题, 提出一种以 2,4-二硝基苯甲醚 (DNAN) 为熔融介质配制钝感熔铸炸药的装药工艺。基于国内外的研究成果, 分析 DNAN 基炸药相比于 TNT 基炸药的主要优点, 从可行性、安全性、工艺路线及关键技术出发进行研究, 并进行了装药工艺应用性能指标检测试验。试验及应用结果表明: 试制的 RBUL-2 高威力熔铸炸药装药密度高, 水下爆炸能量大于 2 倍 TNT 当量, 提高了战斗部爆炸载荷和毁损威力, 并已在 XX 新型产品研制中得到应用。

**关键词:** 2,4-二硝基苯甲醚 (DNAN); 熔铸炸药; 装药工艺

**中图分类号:** TJ410.5<sup>+</sup>2 **文献标志码:** A

## Charging Technology Application of High Power Insensitive Melt-Pour Explosive Based on DNAN

Wang Chunguang, Wei Min, Liu Xuezhu, Liu Yongfeng

(No. 3 Research Institute, Technical Center, Jinxi Group, Taiyuan 030041, China)

**Abstract:** A charge process of insensitive melt-pour explosive based on 2,4-Dinitroanisole (DNAN) was proposed, due to TNT based melt-pour explosive can't meet the standard of insensitive ammunition. Based on the research results at home and abroad, first, the main advantages of DNAN based explosive was analyzed compared to TNT based explosive. Then, the feasibility, safety, process route and key technology were researched. At last, the application performance of charge technology was tested. The test and application results show that the charge density of trial-produced RBUL-2 high power melt-pour explosive is high. The underwater explosion energy is greater than 2 times TNT equivalent. The warhead explosion load and damaged power is improved, and it has been used to the XX product development.

**Key words:** 2,4-dinitroanisole (DNAN); melt-loading explosive; charging process

### 0 引言

20 世纪早期, 以 TNT 为基的熔铸炸药得到了世界范围的认可, 被广泛应用于工业炸药和军用炸药中。然而 TNT 生产中含有红色的硫酸酯化硝基甲苯的废物流, 对工人健康和环境都有危害<sup>[1]</sup>。另外, TNT 类炸药存在渗油、收缩、空洞、发脆和膨胀, 对弹药的感度、易损性和运输都会产生影响<sup>[2]</sup>, 不能满足钝感弹药标准的要求<sup>[3]</sup>; 因此, 人们一直在寻找它的替代物。2,4-二硝基苯甲醚 (DNAN) 是最有前景的替代物, 因为 DNAN 含有 2 个硝基, 相对于 TNT, 能量和密度损失最小, 并且它已经商业化<sup>[4]</sup>; 另外, DNAN 感度较低, 作为熔铸介质配制的炸药比 TNT 为基的熔铸炸药感度更低, 如 PAX-21 的冲击波感度就比 B 炸药低<sup>[5]</sup>。进入 21 世纪以后, 迫于钝感熔铸炸药的强烈需求, 国内外重新重视以 DNAN 为熔融介质的熔铸炸药, 经验证, 利用工业原料 DNAN 配制出低成本的钝感熔铸炸药是完全

可行的; 为此, 笔者详细介绍 DNAN 为基的熔铸炸药的研究进展和装药工艺应用研究。

### 1 国内外研究进展

2000 年后, 在钝感熔铸炸药的强烈需求下, 美国 Picatinny Arsenal 的研究者们重新审视 DNAN。最初他们配制试验用的 DNAN 是从我国购买的, 2004 年左右启用闲置的 TNT 设备生产熔铸炸药所用的 DNAN。他们对这种以 DNAN/MNA 为基的低成本降感熔铸炸药进行了深入研究, 配制出了 PAX-21、PAX-24、PAX-25、PAX-26、PAX-28、PAX-40 和 PAX-41 等配方<sup>[6]</sup>, 其中 PAX-21 虽然能量比 B 炸药低 5%, 但是杀伤力比 B 炸药还高 25%; 再者, PAX-28 由于含 RDX 的量相对较少, 已经满足钝感炸药 (IM) 的要求。由于熔铸炸药的密闭性, 烤燃试验最难通过 IM 测试, 但近两三年美国又提出了一些新的烤燃机理, 使得 PAX-21 等以

收稿日期: 2012-09-03; 修回日期: 2012-11-12

作者简介: 王春光(1984—), 男, 山西人, 大学本科, 工程师, 从事战斗部装药工艺、高效毁伤研究。

DNAN/MNA 为熔融介质的配方达到了 IM 的要求。

近两三年, 美国还对含有 DNAN 和 NTO 的熔铸炸药进行过研究, 配制出了 IMX-101 炸药, 用于 M795 武器系统<sup>[7]</sup>。澳大利亚也定型过 DNAN/MNA 为基的熔铸炸药 ARX-4027(39.75%DNAN, 60%RDX, 0.25%MNA)用于评估 DNAN/MNA 炸药的性能, 并指出 RS-RDX 在该熔融介质中没有降低冲击波感度的作用<sup>[8]</sup>。

在国内, 中国工程物理研究院、北京理工大学、兵器 204 所和兵器 763 厂等科研机构对 DNAN 基熔铸炸药也进行了一系列的研究。

## 2 DNAN 基炸药

相比于 TNT 基炸药, DNAN 基炸药主要有以下优点:

1) DNAN 对皮肤和眼睛无过敏作用, 对皮肤渗透也低于 TNT, 呼吸吸入毒性很小, 熔融下挥发相当小, 因此用 DNAN 配制熔铸炸药对工人是安全的。对工人的健康影响低于 TNT 类的熔铸炸药<sup>[9]</sup>。

2) DNAN 的密度和能量比 TNT 低, 氧平衡也低于 TNT(表 1)。为了不使配方的能量过低, 可以在 DNAN/MNA 的配方中加入氧化剂高氯酸铵(AP)等, 使 DNAN/AP 的混合密度接近 TNT 的密度, 能量大于 TNT 的能量<sup>[9]</sup>。

表 1 DNAN 和 TNT 的部分性能对比

名称	密度/(g/cm <sup>3</sup> )	氧平衡/%
DNAN	1.34	-97
AP	1.95	+34
TNT	1.65	-74

3) DNAN 的熔点 94~96 °C, 单独作为熔铸介质, 熔点比 TNT 略微偏高, 但它可与复合钝感剂(MNA)形成低共熔物, 添加质量比为 0.5:33.75 的 MNA 就能使 DNAN 的熔点降低约 10 °C; 因此, 配制配方时, DNAN 总是和少量的 MNA 搭配使用, MNA 在炸药中用量一般不会超过 DNAN 的 1.5%。这类熔铸炸药的冲击波感度会明显低于 B 炸药, 另外, 其它组分也可以添加到熔铸介质中, 如铝、镁、硼、钛、锆和硅等。

4) DNAN/MNA 为基的熔铸炸药粘度很低, 可采用现行的炸药加工设备, 收缩率明显优于 TNT 类的熔铸炸药, 如 RBUL-2 的收缩率大约只有 B 炸药的一半。DNAN/MNA 为基的熔铸炸药最明显的优点在于其杀伤力较高, 如虽然小规模板痕深度比 B

炸药略低, 但是杀伤力比 B 炸药提高了很多。

## 3 装药工艺应用研究

### 3.1 可行性分析

DNAN 外观为无色(或黄色)针状或单斜晶体, 微溶于水, 溶于乙醇、乙醚、丙酮、苯等多数有机溶剂, 熔点在 94~96 °C, 密度 1.34 g/cm<sup>3</sup>, 低于 TNT(1.654 g/cm<sup>3</sup>), 属于易燃固体, 在精细化工领域有应用, 用于染料中间体和杀虫卵剂。我国康达化工有限公司有其产品出售<sup>[10]</sup>。DNAN 是高缺氧的含能材料, 氧平衡  $OB_{CO_2} = -96.9\%$ ,  $OB_{CO} = -40.4\%$ , 含能量只有 TNT 的 90%, 这些因素限制了其单独作为炸药应用。2000 年后, 在钝感熔铸炸药的强烈需求下, 美国 Picatinny Arsenal 的研究者们重新审视 DNAN, 研制出如 PAX-21 等炸药。

2008 年, 北理工和 763 厂通过对 RBUL-2 炸药(一种 DNAN 基高威力熔铸钝感炸药)的应用研究, 并开展了该炸药装填某种型号产品装药工艺应用研究。研究表明: RBUL-2 炸药工艺性良好, 适合大装药量战斗部装药, 装药质量易于控制, 与弹壁结合牢固, 能有效提高生产效率。且该炸药与 RS211 炸药装药工艺流程基本相同, 不同点是二硝基苯甲醚的熔点比梯恩梯高, 混药时间需延长 15 min 以上, 药温高对护理要求也高。RBUL-2 装药在常温下自然冷却凝固, 工艺周期略短。用某型号产品装填 RBUL-2 炸药工艺试验表明, 该炸药装药工艺性良好。

### 3.2 安全性分析

二硝基苯甲醚的感度及粘度低于 TNT, 起始分解温度高于 TNT, 与复合钝感剂混合后降低了混合物熔点, 提高了流动性, 易于包覆固相材料铝粉、高氯酸铵及黑索金, 阻断了三者表面接触, 不仅提高了混合工艺性、安全性, 也提升了产品使用安全性。二硝基苯甲醚的毒性低于以 TNT 为基混合炸药, 其挥发速率低于梯恩梯, 改善了劳动环境。

RBUL-2 炸药已经通过了 13 项安全性试验, 其安全性的鉴定结果表明: 它的热安定性、内相容性、外相容性、安全贮存期、热感度低和冲击波感度低等都是良好的, 说明它的化学性能稳定, 与接触材料反应性低, 这些都是 RBUL-2 炸药装药、使用安全的重要基础。

### 3.3 工艺路线

由于产品战斗部装药量较大,且属异性结构,因此该战斗部装药确定采用注装工艺。针对熔铸型炸药的特点,选择感度和粘度低于 TNT 的 DNAN 作为低熔点主体物质,其熔点在 94~95℃,通过复合钝感剂使混合物质的熔点调节到 86.0℃左右,满足注装工艺要求,并可以添加高含量的固体物质。根据 RBUL-2 高威力钝感熔铸炸药配方原材料物化性质,以最大地提高工艺技术质量保证能力和重点工序安全性水平为出发点和归结点,通过论证和实验验证,确定了工艺流程如下:

原材料准备→投液相材料→投固相材料→投料→混药→恒温浇注→冷却凝固→修药面

该注装工艺有如下优点:

1) DNAN 和复合钝感剂对铝、氧化剂和黑索今的包覆性能好,能有效地防止铝氧化,并阻隔了 3 种固相物质表面的直接接触,钝感效果明显;

2) 混合均匀,装药质量易于控制;

3) 无工艺性废水污染;

4) 由于新型熔铸型炸药不含 TNT,采用民用行业使用的染料中间体 DNAN,毒性远低于以 TNT 为基的熔铸型炸药,在 95℃、2000 cm<sup>2</sup>的面积上,其蒸发速率只有 0.002 g/min,明显低于常用的 TNT 炸药,因而有效改善工人劳动条件;

5) 由于采用熔铸装药工艺,装药及冷却凝固过程无化学反应,因而装药周期短。

### 3.4 关键技术控制

1) 炸药混制技术。

通过逐步放大药量混药试制,积累了大药量组分预处理、组分预混、投料方法以及时间、温度、转速等数据,总结出既能适应后续工序需要又能够满足装药质量的炸药混制工艺技术条件。

加料顺序:首先进行高分子混合液的熔化混制,分次加入 AP,混合均匀湿润后,依次加入 RDX、Al,出料。

混合时间与混药量多少相关,药量少时可以适当减少时间。水套温度是混制过程物料流动性及混制均匀性不可少的条件,可以明显降低物料间及与装置面间的磨擦。以上工艺方法及技术参数的确定遵循了以下原则:依据组分的物理状态及化学特性,在给定的条件下,最大程度降低组分的机械磨擦危险因素,保持理想的物料混合流动性,尽量提高工艺效率,满足后续工序装药需要和最终质量。

2) 振动装药技术。

因水中兵器外形尺寸大,装药量多,要求配套的负压装置及振动台的尺寸要大,静载荷大,动载荷则更大,对装置的加工、装配和安装质量要求较严格。

根据十年来振动装药实践经验,经过认真分析炸药的组分结构、物理状态、工艺技术条件后,最终确定了振动装药装置的整体设计技术要求。装置构成:料斗、导管、产品保温罐等条件,三组件连接为一个密闭体,安装在振动台面上,垂直上下振动,水平晃动不大于 5 mm。振动强度视物料组分构成、流动性、装药速度、装药密度综合考虑,并通过实际装药来确定。

3) 保温护理成型技术。

笔者经过工艺试验,发现在水中兵器等大型弹药的保温冷却护理时,可以通过对温度、冷却速度、时间等参数的合理匹配及优化控制,进一步消除疏松、气泡、脱壳等装药疵病,提高密度均匀性。

由于水中武器对装药口部结构要求不同,使得口部成型在装药工艺技术显得尤为重要,通过加压装置以及排气系统完成装药口部成型。

### 3.5 装药工艺研究

装药工艺研究经历 3 个阶段:工艺摸底试验、大药量工艺试验和模拟雷装药试验,确定产品装药基本工艺。

1) 工艺摸底试验。

按照 RBUL-2 炸药配方制备技术条件,进行小药量装药工艺摸底试验,装药密度达到了技术指标。初步确定混药温度、混药时间及注药温度等技术参数。针对注药过程中表面凝固较快情况采取了工艺措施,装药质量水平好于梯黑铝热塑装药。

2) 放大药量试验。

进行放大药量混药、装药工艺试验,药件 10~30 kg 装药密度均达到技术指标。进一步验证混药和注药工艺技术参数正确性,重点考核装药工艺、装药体积变化量,形成混药注药工艺;

3) 模拟雷装药试验。

按照大药量混药注药工艺,在产品热塑炸药装药生产线上,进行 RBUL-2 炸药混药、模拟雷装药试验。模拟雷借用××空投产品战斗部壳体,口部直径  $\Phi 100$  mm,雷体在竖直状态下注药并振动,采用保温护理成型技术凝固。检测结果表明,装药质量能满足技术要求。

### 3.6 性能试验情况

进行了一系列 RBUL-2 炸药装药工艺应用性能指标检测试验

#### 1) 爆热。

定容爆热平均值  $> 8\ 200\ \text{J/g}$ 。

#### 2) 水下爆炸威力试验。

水下爆炸威力试验检测如图 1。

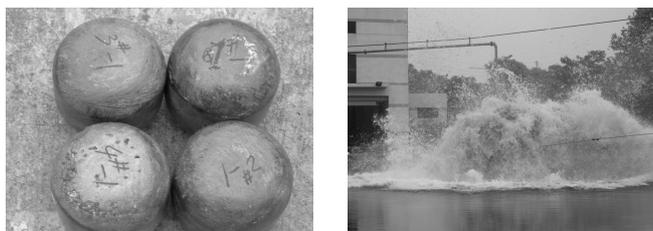


图 1 爆炸威力

试验结果: 平均值 2.0(TNT 当量), 满足技术指标。

#### 3) 装药密度。

经过多次工艺试验, 手工装药密度达  $1.87\ \text{g/cm}^3$ , 振动装药密度  $1.92\ \text{g/cm}^3$ , 满足技术指标。

#### 4) 装药内部质量检测。

通过 3 个小试验批 20 kg 装药, 对装药内部质量进行了工业 CT 检测。检测结果如图 2 所示。

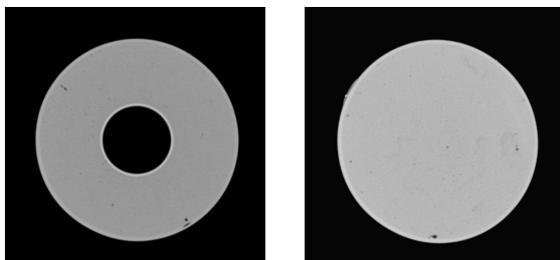


图 2 CT 内部检测结果

在保护筒处切片, 有 3 个不大于 5 mm 的缩孔, 在圆柱段处切片, 有 2 个不大于 3 mm 的缩孔。

#### 5) 稳定爆轰直径。

该炸药稳定爆轰直径  $\geq \Phi 90\ \text{mm}$ 。

#### 6) 爆炸完全性试验。

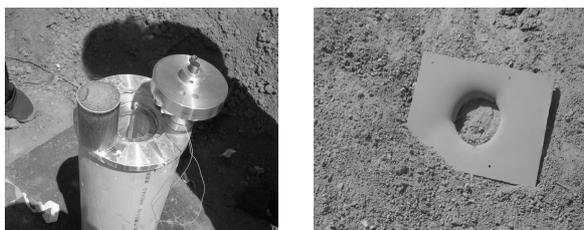


图 3 爆轰试验效果

装药直径  $\Phi 150\ \text{mm}$ , 密度  $1.90\ \text{g/cm}^3$ , 长度 500 mm, 起爆装置联接  $\Phi 50\ \text{mm} \times 60\ \text{mm}$  JH-14 传爆药柱起爆条件下多次试验, 被试药均可靠起爆、爆轰稳定、

爆炸完全, 如图 3。

#### 7) 高低温冲击试验。

药柱规格  $\Phi 78\ \text{mm} \times 101\ \text{mm}$ , 3 个循环试验, 每个循环温度为  $20 \sim -45 \sim 20 \sim 70 \sim 20\ ^\circ\text{C}$ , 升降温速率  $0.2\ ^\circ\text{C}/\text{min}$ ; 试验结果: 高温时直径变化率 0.51% 高度变化率: 0.58%; 低温时直径变化率 -0.24%, 高度变化率 -0.38%。药柱完好(参考数据: PBX 药柱  $\Phi 60\ \text{mm} \times 30\ \text{mm}$ , 高温  $50\ ^\circ\text{C}$  直径变化率 0.35%, 高度变化率 0.31%; 低温  $-40\ ^\circ\text{C}$  直径变化率 -0.53%, 高度变化率 -0.27%)。

#### 8) 爆速测试。

先后完成二轮炸药爆速测试试验, 试验结果  $> 5\ 500\ \text{m/s}$  (密度  $1.89\ \text{g/cm}^3$ ), 如图 4。



图 4 爆速测试

## 4 应用和推广情况

1) 试制的 RBUL-2 高威力熔铸炸药水下爆炸能量大于 2 倍的 TNT 当量, 装药密度高, 可以提高战斗部爆炸载荷和毁损威力, 满足  $\times\times$  新型产品研发要求;

2) 已形成 RBUL-2 炸药装药工艺技术, 并经过  $\times\times$  空投产品装药实际验证;

3) 经过工艺应用的合理设计及优化, 水中兵器热塑炸药装药生产线工艺设备和安全设施条件完全可以满足该炸药装填  $\times\times$  产品装药科研及生产;

4) 通过配方相容性对比装药试验及爆炸能量试验, 在保持良好的工艺性的前提下, 小幅度调整了二硝基苯甲醚含量, 水下爆炸能量处于同等水平。

## 5 结束语

随着 DNAN/MNA 为基的钝感熔铸技术日趋成熟, 再加上近年以增塑蜡为熔融介质的低感熔铸炸药的出现, 已经表明钝感熔铸炸药的时代已经来临。今后, 笔者将进一步开展 DNAN 基熔铸炸药装药工艺应用研究工作。

## 参考文献:

- [1] Daniel W Doll, Jami M Hanks, Alan G Allrend, et al. Reduced sensitivity melt-pourable TNT replacements: US2003/0005988[P]. 2003.