

文章编号: 1006-9941(2014)03-0337-06

新型炸药 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物的射流冲击感度实验研究

刘华宁¹, 郑宇¹, 邱从礼², 王晓鸣¹, 李文彬¹, 程波¹

(1. 南京理工大学智能弹药技术国防重点学科实验室, 江苏南京 210094; 2. 中国华阴兵器试验中心, 陕西华阴 714200)

摘要: 为分析新型高能钝感炸药 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物 (ANPyO) 的射流冲击感度, 在口径为 56 mm 的聚能装药和炸高为 80 mm 条件下, 进行了 45# 钢隔板覆盖下无围压炸药冲击起爆感度实验。用“Langlie 法”获得了 ANPyO 临界起爆隔板厚度, 用 AUTODYN 计算了临界头部速度和射流直径, 标定了 ANPyO 的临界起爆阈值, 并与 8701 炸药的试验结果作了比较。结果表明: 临界爆轰时, 8701 炸药覆盖的 45# 钢隔板临界厚度约 160 mm, ANPyO 炸药的临界隔板厚度约为 68 mm, 比 8701 降低了约 57.5%。ANPyO 炸药的临界速度为 $3.7 \text{ mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$, 射流头部直径为 4.8 mm, 临界冲击起爆阈值约为 $32.3 \text{ mm}^3 \cdot \mu\text{s}^{-2}$, 8701 为 $7.16 \text{ mm}^3 \cdot \mu\text{s}^{-2}$, ANPyO 为 8701 炸药的 4.5 倍, 可见 ANPyO 钝感于 8701, 是一种低射流起爆感度炸药。

关键词: 爆炸力学; 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物 (ANPyO); 聚能射流; 冲击起爆; 敏感度

中图分类号: TJ55; O64; O389

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.03.012

1 引言

现代战争中, 聚能装药战斗部的广泛使用对车载、舰载弹药系统的安全造成了严重威胁, 传统炸药射流感度低, 易起爆, 已经无法满足要求, 高能量、低感度含能化合物成为研究的热点^[1]。近年, 新型高能钝感炸药 ANPyO 因其具有起爆感度低、耐高温的优点受到国内外广泛关注^[2-7], 成健等^[8-10]研究了 2,6-二氨基(4-氨基)吡啶的二硝化反应以及 ANPyO 炸药的合成新方法与性能。何志伟等^[11-14]提出了 ANPyO 炸药的精制工艺方法, 研究了包覆对 ANPyO 炸药的降感作用, 并分析了其热分解性能及在耐热、机械撞击和摩擦等弱刺激下的优势。然而, ANPyO 炸药在强烈射流刺激下的性能目前是未知的, 通过射流冲击起爆试验评估其感度、猛度等, 是不敏感弹药试验^[15]的重要组成部分之一, 且试验程序与射流头部剩余速度和直径的确定较为复杂^[16-18], 因此, 进行相关试验研究对于分析 ANPyO 炸药在射流不敏感度上的优势与应用前景均具有重要意义。为得到 ANPyO 的临界爆轰的隔板厚

度并分析该炸药的射流感度, 本课题组设计了带挡板和锡箔靶的隔板试验, 研究了 ANPyO 在不同厚度隔板下射流冲击的响应规律, 考虑了主发药柱爆轰产物对评估被发炸药射流冲击起爆感度的影响, 测得了射流侵入隔板平均速度, 为验证 AUTODYN 模拟射流侵入靶板的可靠性提供实验数据, 进而借助于 AUTODYN 仿真得到了临界速度与直径, 标定了 ANPyO 的射流冲击起爆临界阈值, 为进一步研究不同材料和结构壳体覆盖下的 ANPyO 炸药的射流冲击起爆规律提供参考。

2 试验部分

2.1 试样

被发炸药: ANPyO 炸药, 参照文献[9-12]实验室自制, 呈黄色粉末状小颗粒, 粒径 2~70 μm , 熔点大于 340 $^{\circ}\text{C}$ 。采用 $\Phi 40 \text{ mm}$ 的压药模具, 通过压药机施加 5 t 左右的压力, 保压 10 s, 将炸药粉末压制形成 $\Phi 40 \text{ mm} \times 26 \text{ mm}$ 的圆柱形被发药柱, 试样的密度为 $1.62 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 如图 1a 所示; 对照试样: 8701 炸药, 采用上述相同的方法压制, 保持与前者相同的尺寸与密度, 如图 1b 所示; 主发炸药: 8701 炸药与铜药型罩形成的 56 mm 口径的标准聚能装药, 如图 1c 所示。

2.2 试验设计

为了解新型炸药 ANPyO 的射流冲击感度, 设计了 45# 钢隔板覆盖下的无围压炸药的冲击起爆试验, 测试

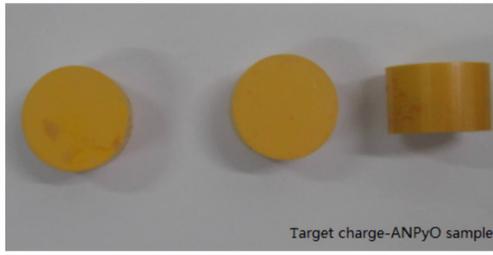
收稿日期: 2013-09-09; 修回日期: 2013-12-17

基金项目: 国家自然科学基金资助(11302108); 中国博士后科学基金(20100480686)

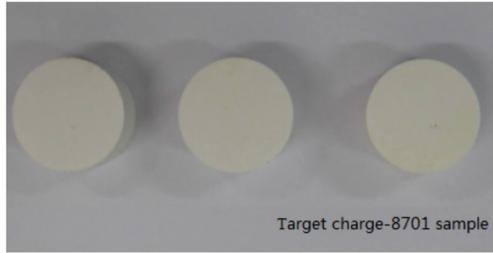
作者简介: 刘华宁(1989-), 男, 硕士, 主要从事不敏感弹药研究。
e-mail: lhnnjust@gmail.com

通信联系人: 郑宇(1981-), 男, 副研究员, 主要从事弹丸的终点效应研究。
e-mail: david9989@126.com

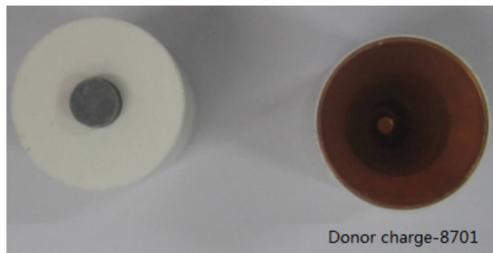
ANPyO 和 8701 炸药在不同厚度隔板下的反应特性。



a. ANPyO explosive sample



b. 8701 explosive sample



c. 8701 shaped charge

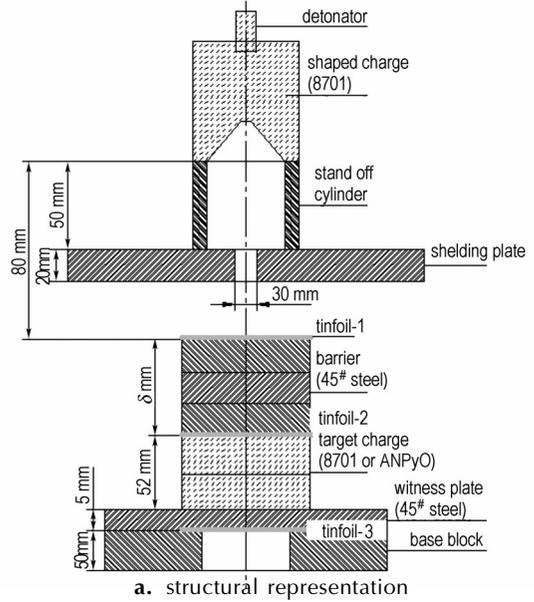
图 1 被发炸药与主发炸药试样

Fig.1 Donor charge and target charge samples

测速仪器: 锡箔靶若干, 设置在隔板不同位置; NLG202G-2 型六路电子测时仪 1 台(最小时间分辨率为 $1 \mu\text{s}$), 记录射流穿过每两个锡箔靶之间的时间。测量射流侵彻隔板平均速度采用“锡箔靶测速法”^[19]。

试验初始条件: 炸高筒高度 $H_0 = 50 \text{ mm}$; 主发药为 8701 聚能装药, 口径 $d_0 = 56 \text{ mm}$; 被发装药为 ANPyO 炸药或 8701 炸药, 口径为 40 mm , 高度为 26 mm ; 见证板厚度 $t_1 = 5 \text{ mm}$, 隔板材料 45#钢, 密度 $7.89 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

射流冲击起爆 45#钢隔板覆盖下的无围压被发药柱试验布局如图 2 所示, 图 2a 为结构示意图, 图 2b 为实物布局。试验时通过开有中心孔为 $\Phi 30 \text{ mm}$ 的 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 的挡板, 阻挡聚能装药爆炸产生的爆轰波以及爆轰产物对射流冲击起爆被发药柱的影响, 由此评估被发药柱抗射流冲击起爆的能力。反应强度可以从试验现场残留的炸药粉末、见证板的冲塞与凹陷情况以及隔板底部的爆炸印痕来判断。



a. structural representation



b. physical layout

图 2 炸药的射流冲击起爆感度试验布局

Fig.2 Experimental layout of jet impact initiation sensitivity test for explosives

2.3 试验方法与步骤

根据 STANAG 4526 试验程序^[20], 要求用于试验的空心射流具备以下典型性质, 即炸高为 $70 \sim 100 \text{ mm}$, 穿透能力为 $127 \sim 229 \text{ mm}$ 。本试验选用 56 mm 口径的聚能装药, 射流头部速度 $6600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 长度约为 115 mm , 炸高 80 mm 时侵彻 45#钢的能力约为 200 mm , 从射流头部到最大直径处速度与直径近似为线性递增分布, 因此满足试验的要求。试验过程中, 通过改变隔板的数量来调节厚度, 进而调整射流的出

射速度与直径。为了减少 ANPyO 炸药的试验次数,采用“Langlie 法”^[21]测试隔板临界厚度,即若隔板厚度为 a 时,被发炸药发生完全爆轰;当隔板厚度增至 b 时,没有任何反应;那么,接下来以 $(a+b)/2$ 进行试验,若不发生反应,则临界厚度介于 a 与 $(a+b)/2$ 之间,反之则介于 $(a+b)/2$ 与 b 之间。依次类推,不断地缩小试验范围,直到找到临界点为止。

ANPyO 炸药与 8701 炸药的试验步骤如图 3 所示。以仿真所得隔板临界厚度为依据,从 40 mm 的厚度开始试验,最大厚度取 80 mm;作为参照比较,8701 炸药对应隔板的厚度以 ANPyO 不爆时的最大隔板厚度 80 mm 为初始值,以 20 mm 间隔递增,最大厚度达到 160 mm。

3 结果与讨论

3.1 反应强度与猛度分析

ANPyO 炸药的试验共进行 6 组,其中包括 1 组

(No. 4)验证挡板隔爆效果的试验(主发炸药不含药型罩)和 5 组(No. 1, No. 2, No. 3, No. 5, No. 6)不同隔板厚度的冲击起爆试验。根据 STANAG4439^[22]对刺激响应等级的分类(I ~ V),从 V 类到 I 类反应剧烈程度增强,反应特征分别为燃烧、爆燃、爆炸、局部爆轰与完全爆轰。对 ANPyO 炸药试验后,得到见证板冲孔、炸药粉末残留等响应情况,结果见表 1。

explosive 8701		explosive ANPyO	
non initiation	detonation	non initiation	detonation
test 1	80 mm	test 1	40 mm
test 2	100 mm	test 2	80 mm
test 3	120 mm	test 3	60 mm
test 4	140 mm	test 4	60 mm (no-liner charge)
test 5	160 mm	test 5	70 mm
incremental method	langlie method	test 6	langlie method 65 mm

图 3 ANPyO 与 8701 炸药的试验步骤

Fig. 3 Test steps for ANPyO and 8701 explosive

表 1 ANPyO 的试验结果

Table 1 Test results of ANPyO

No.	thickness of barrier/mm	explosive residues (0/1)	plugging aperture /mm	jet perforation /mm	response characteristics	response level
1	40	0	45	-	detonation	I
2	80	1	-	6.4	burning	V
3	60	0	43	-	detonation	I
4	60	1	-	-	-	no reaction
5	70	1	-	15	deflagration	IV
6	65	0	40	-	partial detonation	II

试验结果表明,隔板厚度为 40 mm (No. 1) 时, ANPyO 发生 I 级响应,爆轰后现场无残留炸药粉末或药块,如图 4a,且见证板上形成冲塞,与 ANPyO 接触的隔板底部有明显的爆炸印痕,如图 4b。当隔板厚度为 80 mm (No. 2) 时, ANPyO 发生 V 级响应,反应的剧烈程度明显下降,通常情况下,现场还残留有被发炸药的粉末,如图 4c,见证板未发生冲塞,仅留有射流的穿孔,如图 4d,隔板底部也没有明显的爆炸印痕。当采用 40 mm 和 80 mm 平均值 60 mm (No. 3) 时, ANPyO 又发生 I 级响应,因此,设计了相同口径的不含药型罩的炸药作主发炸药而其余条件与 No. 3 完全相同的实验组 No. 4,结果 ANPyO 未发生任何反应,隔板也无明显变化,由此可见 No. 3 的测试结果主要由射流引起的,挡板起到了隔爆的作用。采用 70 mm (No. 5) 的试验, ANPyO 仅发生 IV 级响应等级。最后一组 (No. 6) 在 60 mm 与 70 mm 的试验基础上,选择

了中间厚度 65 mm,观察到见证板冲孔减小, ANPyO 发生了 II 级响应。因此,65 mm 与 70 mm 的平均厚度约 68 mm 为 ANPyO 爆轰与不爆轰的界限。



图 4 不同响应等级下目标特征的对比

Fig. 4 Comparison of target features under different response levels

一般采用炸药完全爆轰时见证板上的冲孔孔径来评价炸药的猛度,为了比较两种炸药的猛度,试验后回收了见证板,统计了冲孔孔径,ANPyO 的试验结果见表 1,8701 炸药完全爆轰时得到的见证板冲孔孔径试验结果见表 2。

表 2 8701 炸药试验后的见证板冲孔孔径结果

thickness of barrier/mm	80	100	120	140
plugging aperture/mm	50	49	47.5	45

由表 1 和表 2 可知,ANPyO 完全爆轰时与之相接触的见证板形成孔径介于 43 ~ 45 mm,而 8701 炸药完全爆轰时,见证板形成孔径介于 45 ~ 50 mm。两种炸药的试验结果相差较小,故 ANPyO 与 8701 炸药的猛度相差甚小。

3.2 感度分析

由于采用 X 光很难确定厚隔板与炸药交界面处

的射流速度与直径^[16-18],因此,需要辅助 AUTODYN 数值仿真来确定射流到达隔板与炸药交界面处的剩余速度与直径。本实验采用锡箔靶测速得到了两组射流侵彻隔板的平均速度,并将试验后的隔板剖开测量侵彻孔径的大小,目的在于验证文献[23]提供的射流侵彻靶板数值模拟方法以及模型参数的可靠性。仿真结果与实验值的对比见表 3。

分析表 3 可知,仿真得到的射流的平均侵彻速度值 v_c 与锡箔靶测速得到的实验值 v_e 吻合较好,射流侵彻隔板入口直径 Φ_0 与出口直径 Φ_1 的仿真值与实验值吻合得也较好,误差均在 10% 以内,表明借鉴文献[23]方法模拟射流侵彻靶板是可靠的。因此,通过模拟也能够较可靠地确定射流到达隔板与炸药交界面处的头部剩余速度 v 与直径 d 。

根据实验选取的隔板厚度,辅助 AUTODYN 仿真计算了剩余速度 v 与直径 d ,并给出了 ANPyO 和 8701 炸药起爆时的射流头部剩余速度与隔板厚度变化趋势,如图 5 所示。

表 3 仿真结果与实验值对比

Table 3 Comparison of simulation and experimental results

thickness of barrier /mm	v_c /mm · μs^{-1}	v_e /mm · μs^{-1}	Δv /%	Φ_{0c} /mm	Φ_{0e} /mm	$\Delta \Phi_0$ /%	Φ_{1c} /mm	Φ_{1e} /mm	$\Delta \Phi_1$ /%
140	1.959	2.029	3.45	32.6	33.7	3.26	11.4	11.0	3.63
160	1.828	1.928	5.19	32.0	32.3	0.93	15.8	15.0	5.30

Note: v is a verage penetration velocity, Φ_0 is inlet diameter, Φ_1 is outlet diameter, the subscript c is the value by calculation, the subcripti e is the value by experiment.

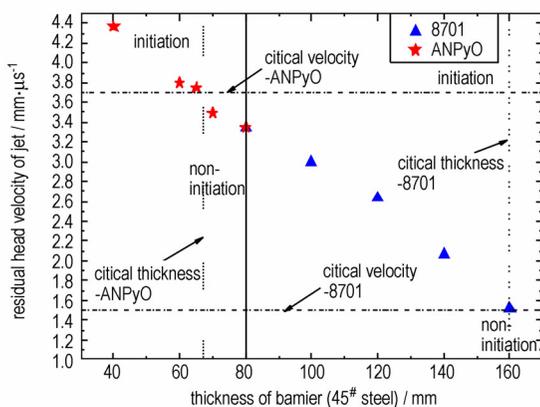


图 5 射流头部剩余速度与隔板厚度关系

Fig. 5 Residual velocity vs thickness of barriers plot

由图 5 可知,新型 ANPyO 炸药临界起爆时的隔板厚度 68 mm 对应的临界速度约为 $3.70 \text{ mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$,当隔板厚度减小时,射流的剩余速度增加,被发炸药均能被起爆;而 8701 炸药的临界隔板厚度为 160 mm,比

ANPyO 增加了 57.5%,临界速度约为 $1.52 \text{ mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$,比 ANPyO 降低了 58.9%。

根据 M. Held 基于坑底的驻点压力定义的高能炸药起爆阈值的 $u^2 d$ 判据^[24],进行了 ANPyO 与 8701 炸药临界起爆阈值标定,判据的具体形式如下:

$$I_{cr} = u^2 d = [v_{cr} / (1 + \sqrt{\rho_e / \rho_j})]^2 d$$

式中, I_{cr} 为炸药的射流冲击起爆临界阈值, $\text{mm}^3 \cdot \mu\text{s}^{-2}$; u 为射流在炸药中的开坑速度, $\text{mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$; v_{cr} 为临界速度, $\text{mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$; ρ_e 和 ρ_j 分别为被发炸药和射流的密度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; d 为射流头部直径, mm 。

本研究中, ρ_e 为 ANPyO 或 8701 炸药试样的密度, ρ_j 为射流(铜药型罩)的密度^[23],临界速度 v_{cr} 和直径 d ,即为仿真计算的临界隔板厚度下,射流头部剩余速度 v (图 5 所示)和相应的直径 d 。参数和临界起爆阈值 I_{cr} 的计算结果见表 4。

由表 4 可见,ANPyO 临界起爆时对应的射流临界速度为 $3.70 \text{ mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$,比 8701 炸药对应的速度

高,且 ANPyO 的临界阈值 I_{cr} 也大得多,临界起爆所对应的射流刺激更加强烈,ANPyO 比 8701 炸药对射流刺激更钝感。

表 4 参数与计算结果

Table 4 Parameters and calculation results

sample	ρ_e /g · cm ⁻³	ρ_j /g · cm ⁻³	V_{cr} /mm · μs ⁻¹	d /mm	I_{cr} /mm ³ · μs ⁻²
ANPyO	1.62	8.93	3.70	4.8	32.3
8701			1.52	6.3	7.16

4 结 论

新型炸药 ANPyO 的聚能射流冲击感度试验研究表明: ANPyO 的临界隔板厚度为 68 mm,相对于 8701 炸药而言,减小了 57.5%,相同条件下 ANPyO 反应强度较弱;两种炸药的猛度比较接近,ANPyO 比 8701 略低; ANPyO 临界起爆阈值 I_{cr} 为 32.3 mm³ · μs⁻²,是相同密度的 8701 炸药阈值的 4.5 倍,可见,ANPyO 炸药钝感得多。因此,ANPyO 是一种射流冲击敏感度很低的高能炸药,可作为射流冲击不敏感战斗部的炸药。

参考文献:

[1] 张春海. 不敏感弹药,让士兵和武器更安全[J]. 现代军事, 2006 (2): 54-59.
ZHANG Chun-hai. Insensitive ammunition, making the soldiers and weapons more secure[J]. *Conmilit*, 2006(2): 54-59.

[2] 李金山, 黄亦刚, 董海山. 多硝基吡啶及其氮氧化物性能的理论预测[J]. 含能材料, 2002(增刊): 576-579.
LI Jin-shan, HUANG Li-gang, DONG Hai-shan. Theoretical prediction of properties of polynitropyridines and their N-oxides[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2002 (Supplement): 576-579.

[3] 李金山, 黄奕刚, 董海山, 等. 多硝基吡啶的密度泛函理论研究[J]. 含能材料, 2003, 11(4): 178-181.
LI Jin-shan, HUANG Yi-gang, DONG Hai-shan, et al. Density functional theory study on polynitropyridines[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2003, 11(4): 178-181.

[4] 赵建民, 李加荣, 魏筱洁, 等. 三硝基吡啶及其 N-氧化物的合成[J]. 火炸药学报, 2006, 29(3): 73-76.
ZHAO Jian-min, LI Jia-rong, WEI Xiao-jie, et al. Synthesis of trinitropyridine and its N-oxide[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2006, 29(3): 73-76.

[5] Hollins R A, Merwin L M, Nissan R A. Aminoni-tropyridines and their N-Oxides[J]. *Heterocycl Chem*, 1996, 33: 895-904.

[6] Ritter H, Licht H H. Synthesis and reactions of dinitrated amino and diaminopyridines[J]. *Heterocycl Chem*, 1995, 32(2): 585-590.

[7] Licht H H. Performance and sensitivity of explosives[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2000, 25(3): 126-132.

[8] 成健, 刘祖亮, 姚其正, 等. 2,6-二氨基(4-氨基)吡啶的二硝化反应[J]. 火炸药学报, 2009, 32(3): 9-11.
CHENG Jian, LIU Zu-liang, YAO Qi-zheng, et al. Dinitration of 2,6-diamino(4-amino) pyridines[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2009, 32(3): 9-11.

[9] 成健, 姚其正, 刘祖亮, 等. 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物的合成与性能[J]. 含能材料, 2008, 16(6): 672-675.
CHENG Jian, YAO Qi-zheng, LIU Zu-liang, et al. Synthesis and properties of 2,6-diamino-3,5-dinitropyridine-1-oxide[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(6): 672-675.

[10] 成健, 姚其正, 刘祖亮. 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物的合成新方法[J]. 含能材料, 2009, 17(2): 166-168.
CHENG Jian, YAO Qi-zheng, LIU Zu-liang, et al. Synthesis of 2,6-diamino-3,5-dinitropyridine-1-oxide[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(2): 166-168.

[11] 何志伟, 成健, 刘祖亮. 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物的精制及其性能研究[J]. 含能材料, 2009, 17(4): 392-395.
HE Zhi-wei, CHENG Jian, LIU Zu-liang. Refining and Properties of 2,6-diamino-3,5-dinitropyridine-1-oxide[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(4): 392-395.

[12] 周心龙, 刘祖亮, 成健. 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物的精制[J]. 含能材料, 2013, 21(4): 392-395.
ZHOU Xin-long, LIU Zu-liang, CHENG Jian. A Refining Method of 2,6-diamino-3,5-dinitropyridine-1-oxide[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2013, 21(4): 392-395.

[13] 何志伟, 高大元, 刘祖亮. 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物及其黏结炸药的热分解动力学[J]. 火炸药学报, 2009, 32(2): 32-36.
HE Zhi-wei, GAO Da-yuan, LIU Zu-liang. Thermal decomposition kinetics of 2,6-diamino-3,5-dinitropyridine-1-oxide and its formulation explosives[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2009, 32(2): 32-36.

[14] 何志伟, 高大元, 方东, 等. 包覆对新型炸药 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物某些性能的影响. 含能材料, 2009, 17(3): 299-303.
He Zhi-wei, GAO Da-yuan, FANG Dong, et al. Effect of coating on some properties of a new explosive 2,6-diamino-3,5-dinitropyridine-1-oxide[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(3): 299-303.

[15] Department of Defense Test Method Standard. MIL-STD-2105C. Military standard; Hazard Assessment Tests For Non-Nuclear Munitions (AMSC N6037)[S]. Indian Head, MD, NSWC, 2003.

[16] 姜春兰. 射流引爆炸药的机制及临界判据[J]. 含能材料, 2013, 21(4): 392-395.
JIANG Chun-lan. Mechanism and critical criterion of jet initiation explosives[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 1993, 1(2): 23-27.

[17] 朱鹤荣, 陶钢. 关于射流引爆薄钢板覆盖炸药临界条件的实验测定和分析[J]. 兵工学报弹箭分册, 1992(2): 10-23.
ZHU He-rong, TAO Gang. Experiment and analysis of the critical condition of jet igniting covered explosives[J]. *Journal of China Ordnance*, 1992(2): 10-23.

[18] Held M. Experiments of initiation of covered, but unconfined high explosive charges by means of shaped charge jets[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1987, 12(2): 35-40.

- [19] 王儒策, 赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京:北京理工大学出版社,1993: 250-253.
WANG Ru-ce, ZHAO Guo-zhi. Terminal ballistics[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press,1993: 250-253.
- [20] STANAG 4526 Ed.2(2004), Shaped Charge Jet, Munitions Test Procedure[S].
- [21] Langlie H J. A Reliability Test Method for One-Shot Items[R]. Publication U-1792, Aeronutronic (Div. of Ford Motor CO.), Newport Beach, CA, 1962.
- [22] STANAG 4439 Ed.3(2010), Policy For introduction And Assessment Of Insensitive Munitions[S].
- [23] 郑宇, 王晓鸣, 李文彬. 模型参数对射流侵彻半无限靶板的影响研究[J]. 计算机仿真, 2009, 26(1):39-41.
ZHENG Yu, WANG Xiao-ming, LI Wen-bin. The effect of finite element model parameters on jet penetration into semi-infinite target[J]. *Computer Simulation*, 2009, 26(1): 39-41.
- [24] Held M. Initiation criteria of high explosives attacked with projectiles of different densities[C]//27th Int. Annual Conference of ICT,1996:1-10.

Experimental Study on Jet Impact Sensitivity of a New Explosive 2, 6-Diamino-3, 5-dinitropyridine-1-oxide

LIU Hua-ning¹, ZHENG Yu¹, QIU Cong-li², WANG Xiao-ming¹, LI Wen-bin¹, CHENG Bo¹

(1. ZNDY of Ministerial Key Laboratory, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Huayin Ordnance Test Center of China, Shannxi Huayin 714200, China)

Abstract: To analyze the jet impact sensitivity of the new high-energy insensitive explosive 2, 6-diamino-3, 5-dinitropyridine-1-oxide (ANPyO), the jet initiation sensitivity test of unconfined explosive ANPyO and 8701 covered by 45# steel barrier under the conditions of shaped charge with diameter of 56 mm and stand off of 80 mm was performed. The critical thickness of barrier was obtained by Langlie method, the critical head velocity and diameter of jet were calculated by AUTODYN, the critical initiation threshold I_{cr} was calibrated and comparison of the test results of ANPyO with the test ones of 8701 explosive was carried out. Results show that under the critical detonation, the critical thickness of 45# steel barrier covering 8701 explosive is about 160 mm and for ANPyO explosive is about 68 mm, which reduces by about 57.5%. The critical velocity of ANPyO is $3.7 \text{ mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$. The head diameter of jet for ANPyO is 4.8 mm. The initiation threshold I_{cr} of ANPyO is about $32.3 \text{ mm}^3 \cdot \mu\text{s}^{-2}$, which is four times than 8701 explosive; revealing that ANPyO is much more insensitive than 8701 explosive, and it is a kind of explosive with low jet initiation sensitivity.

Key words: explosion mechanics; 2, 6-diamino-3, 5-dinitropyridine-1-oxide (ANPyO); shaped charge jet; shock initiation; sensitivity

CLC number: TJ55; O64; O389

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.03.012