

doi: 10.7690/bgzdh.2014.02.005

## ANPyO 和 8701 的冲击波感度对比研究

程波, 李文彬, 郑宇, 陈伟, 刘华宁

(南京理工大学智能弹药技术国防重点学科实验室, 南京 210094)

**摘要:** 为对比一种单质钝感炸药 ANPyO 和 8701 炸药冲击波感度方面的优劣, 以小隔板试验为手段对 2 种炸药进行冲击波感度试验研究。以 2 种炸药的见证板的反应状况作为判定标准, 得到冲击起爆时临界隔板厚度值, 并结合试验结果对 2 种炸药的临界冲击起爆压力进行了理论计算。分析结果表明: ANPyO 的临界起爆压力比 8701 大 2 个数量级, 所以 ANPyO 炸药具有很低的冲击波感度, 更值得引起炸药合成研究工作者的关注。

**关键词:** 炸药; 冲击波感度; 冲击起爆; 小隔板试验

**中图分类号:** TJ410.6 **文献标志码:** A

## Study on Shock Sensitivities of ANPyO and 8701

Cheng Bo, Li Wenbin, Zheng Yu, Chen Wei, Liu Huaning

(National Defense Key Laboratory of Smart Ammunition Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** To compare the shock sensitivities of elementary insensitive explosive ANPyO and 8701, the shock sensitivities experiment of these two explosives were proceed based on gap test. Use the state of witness plate of two explosives as the criterion and get the shock initiation critical thickness with which the calculation of critical initiation pressure ensued. The results show that, compared with 8701, the critical pressure value of ANPyO is two orders of magnitude bigger, so ANPyO has very low shock sensitivity, and it is worth paying attention to.

**Keywords:** explosive; shock sensitivities; shock initiation; gap test

### 0 引言

20 世纪 60 年代以来, 弹药在安全性方面的系列重大事故是催生不敏感弹药的主要因素。

不敏感弹药技术从广义上来说是指一种抗外界刺激能力强, 稳定性好, 当外界刺激强度在一定阈值范围内时, 其响应不得超过可接受程度的弹药技术。而弹药的起爆机理决定了不敏感技术的实现方式。对于所有弹药, 从起爆机理上来说, 包括热爆炸和冲击波起爆 2 大类<sup>[1]</sup>, 所以炸药的热感和冲击波感度是衡量弹药安全性的重要指标。

2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物 (ANPyO) 是一种性能优良的耐热单质炸药, 其结构与 TATB 相似。何志伟、刘祖亮等<sup>[2]</sup>以 ANPyO 为基, 加入氟橡胶 F<sub>2311</sub>、氟橡胶 F<sub>2603</sub> 及其 2 种混合物黏结剂和增塑剂组成的 3 种耐热混合炸药, 进行了耐热性能测试。结果表明: 3 种以 ANPyO 为基的炸药有良好的耐热性能, 可以在 200~250 °C 温度条件下使用; 何志伟、成健等<sup>[3]</sup>分别以三氟乙酸 (CF<sub>3</sub>COOH)、二甲基亚砜 (DMSO) 和 N,N-二甲基甲酰胺 (DMF) 为溶剂, 采用重结晶法精制 ANPyO, 对精制后样品性

能进行比较研究, 结果表明: 撞击和摩擦感度分别为 20% 和 18%; 从上述研究可见, ANPyO 具有良好的热安定性和机械感度。然而对于特定的某种炸药, 其热感度、机械感度以及冲击波感度不一定成正相关性, 所以对 ANPyO 进行冲击波感度方面的研究是不可或缺的。

基于此, 笔者以 ANPyO 和 8701 炸药为对象, 以小隔板试验为手段, 试验对比分析了 2 种炸药的冲击波感度, 并基于爆炸与冲击动力学理论和冲击波在密实介质中的衰减规律, 计算了 2 种炸药的临界冲击起爆压力, 为后续的深入研究奠定了基础。

### 1 8701 和 ANPyO 的冲击波感度试验

#### 1.1 实验样品参数与条件

将 22.9 g 和 28.6 g 8701 样品按照药柱成型工艺制成直径均为 (30±0.1) mm, 高度分别为 20<sup>+0.1</sup> mm 和 25<sup>+0.1</sup> mm, 密度均为 (1.62±0.02) g/cm<sup>3</sup> 的药柱。药柱测准至 0.01 g/cm<sup>3</sup>, 药柱之间密度级差不超过 0.04 g/cm<sup>3</sup>。药柱应无裂纹、缩孔或其他疵病, 表面应光滑平整。同理将 22.9 g ANPyO 样品制成直径为 (30±0.1) mm, 高度为 20<sup>+0.1</sup> mm, 密度为

收稿日期: 2013-08-20; 修回日期: 2013-09-18

基金项目: 国家自然科学基金资助 (51278250)

作者简介: 程波 (1986—), 男, 重庆人, 土家族, 硕士, 从事弹药安全技术研究。

(1.62±0.02) g/cm<sup>3</sup> 的药柱。

### 1.2 试验装置与设置

试验装置见图 1。

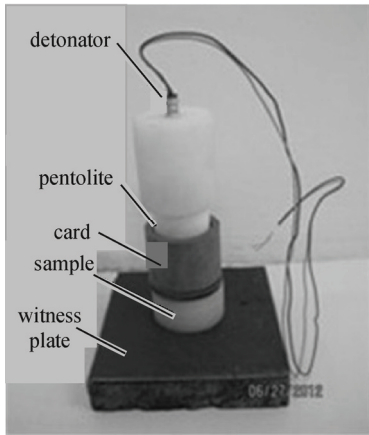


图 1 试验装置

试验以高 25 mm 的 8701 药柱作为主发药，高 20 mm 的 ANPyO 和 8701 药柱依次作为被发炸药，隔板材料为酚醛树脂。采用升降法<sup>[4]</sup>。目前，我国主要应用升降法进行隔板试验<sup>[5]</sup>：1) 假设主装药的感度分布为正态分布，具有形式  $\Phi[(x-\mu)/\sigma]$ ， $\mu$  是样品以 50% 概率发生爆轰的隔板厚度， $\sigma$  表示感度分布的标准差；2) 根据经验确定初始隔板厚度  $\delta_1$  和试验步长  $d$ ；3) 以  $\delta_1$  为初次试验的隔板厚度进行预备试验，用来确定以恒定步长  $d$  进行升降试验的起始隔板厚度。预备试验中，用  $5d$  值作为步长，当相邻的 2 次试验出现相反结果时，步长减小一半继续试验，直至步长变为选定的  $d$  值，停止预备试验。然后按 GJB/Z 337A 以恒定步长  $d$  进行试验。

### 1.3 试验结果与小结

试验结果以见证板的反应状况作为判定标准，即见证板有明显穿孔，判为爆轰，否则判为未爆轰。为验证见证板的有效性，笔者进行了一发没有被发药柱的验证试验。结果表明：没有被发药柱的爆轰不能使见证板出现穿孔，而只有轻微的放射性痕迹。

ANPyO 作为样品时，典型隔板厚度对应的见证板的反应状况见图 2。

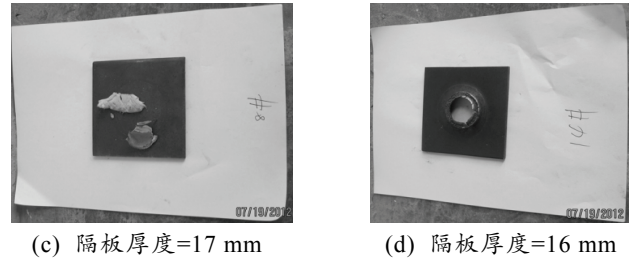


图 2 ANPyO 的见证板状况

由图 2 可知，当隔板厚度等于 38 mm 或 30 mm 时，见证板平整，被发药柱存有较多或较少的残留炸药，原被发药柱下面的纸垫完整，表征被发药反应未能持续；当隔板厚度为 17 mm 时，见证板有小凹坑，无残留药粉，原被发药柱下面的纸垫有燃烧的痕迹，表征炸药发生了燃烧反应；当隔板厚度值为 16 mm 时，见证板被冲穿，但有撕裂的现象，表征被发药柱爆轰。因此可知，ANPyO 炸药被冲击起爆时临界隔板厚度试验值为 16 mm。

8701 作为样品时，典型隔板厚度对应的见证板的反应状况见图 3。

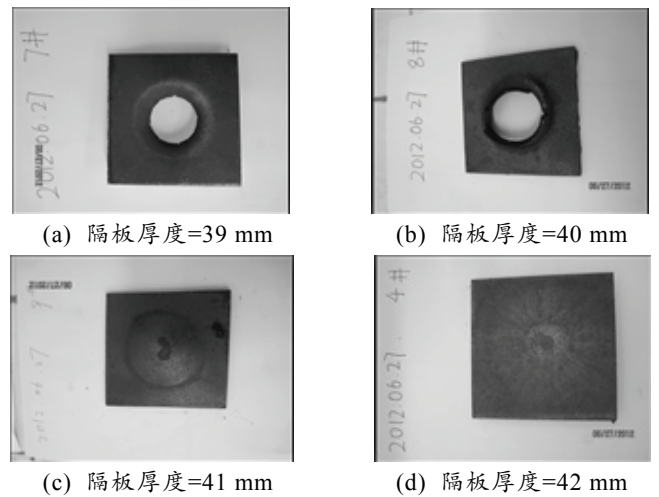
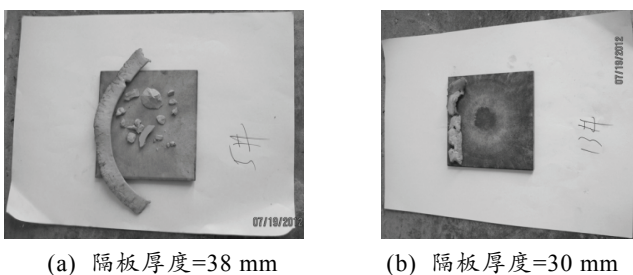


图 3 被发炸药为 8701 时见证板状况

由图 3 可知，隔板厚度值小于或等于 40 mm，见证板被冲穿，且断口较齐整，冲孔直径大于 ANPyO 的孔，表征被发药柱完全爆轰；当见证板厚度值等于 41 mm 时，见证板不能被击穿，但表面出现较大凹坑，表征被发药柱爆燃；当隔板厚度等于 42 mm 时，见证板基本平整，有冲压痕迹和放射性的痕迹，表征药柱出现燃烧反应。因此可知，8701 被冲击起爆时临界隔板厚度试验值为 40 mm。

## 2 临界冲击起爆压力计算

冲击起爆的过程可大致描述为：主发药柱的爆炸冲击波在主发炸药-隔板界面产生一道初始冲击



(a) 隔板厚度=38 mm

(b) 隔板厚度=30 mm

波, 此冲击波经隔板衰减后, 作用于被发炸药并引发 SDT 反应。对于初始冲击波, 其参数与隔板材料的冲击阻抗有关, 当隔板的冲击阻抗低于炸药的冲击阻抗时, 爆轰产物中的反射波是膨胀波; 当隔板冲击阻抗高于炸药冲击阻抗时, 爆轰产物中的反射波是冲击波<sup>[6]</sup>。而当反射波的类型不同时, 界面处的初始压力也会截然不同。笔者研究的主发炸药与隔板的冲击阻抗参数见表 1。

表 1 主发炸药和隔板的冲击阻抗参数

材料名称	密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	冲击波波速 $/( \text{km/s})$
8701 <sup>[7]</sup>	1.62	8.425
酚醛树脂 <sup>[8]</sup>	1.19	2.850

由参数显见: 爆轰产物中将反射膨胀波。

根据凝聚炸药爆轰产物状态方程, 炸药与介质在界面处的连续条件, 以及冲击载荷作用下介质的状态方程<sup>[9]</sup>, 可得炸药在界面处产生的初始压力的参数。

$$u_x = \frac{D}{k+1} \left\{ 1 + \frac{2k}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_x}{p_h} \right)^{\frac{k-1}{2k}} \right] \right\} \quad (1)$$

$$u_m = [p_m (v_{m0} - v_m)] \quad (2)$$

$$p_x = p_m \quad (3)$$

$$u_m = u_x \quad (4)$$

$$p_m = \frac{a^2 \left( 1 - \frac{v_m}{v_{m0}} \right)}{v_{m0} \left[ 1 - b \left( 1 - \frac{v_m}{v_{m0}} \right) \right]^2} \quad (5)$$

式中:  $u_x$  为主发炸药-隔板界面处爆轰产物的质点速度;  $p_x$  为界面处爆轰产物的压力;  $p_h$  为主发炸药的 C-J 爆轰压力, 文中为 8701, 其值为 29.6 GPa;  $u_m$  为界面处介质的质点速度;  $p_m$  为界面处介质的初始压力;  $v_{m0}$ 、 $v_m$  为隔板的初始密度和瞬时密度, 文中为酚醛树脂,  $v_{m0}$  值为  $0.84 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

对于冲击波在密实介质中的衰减过程, 实验表明, 密实介质中冲击波波峰压力随传播距离具有指数衰减的特征:

$$p = p_m e^{-\alpha x} \quad (6)$$

王海福等<sup>[10]</sup>根据高压下介质的 Hugoniot 方程及能量守恒方程推导了密实介质中冲击波的衰减系数  $\alpha$ , 笔者将酚醛树脂的材料参数<sup>[9]</sup>代入得:  $\alpha = 0.119 \text{ 1}$ 。表 2 为主发炸药和隔板的冲击阻抗参数。

将临界隔板厚度  $x_1 = 16 \text{ mm}$ ,  $x_2 = 40 \text{ mm}$  带入方程 (6), 并解上述方程组得 ANPyO 和 8701 炸药的

临界起爆压力分别为: 15.1 GPa, 0.87 GPa。根据章冠人等<sup>[11]</sup>的研究结果 TNT 的临界起爆压力为 10.4 GPa, 这可以进一步证明 ANPyO 的冲击波感度确实是很低的。

表 2 主发炸药和隔板的冲击阻抗参数

介质名称	密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	材料常数 $a/(\text{km}\cdot\text{s})$	$b$	Gruneisen $\Gamma_0$	Debye 温度 $\theta/\text{K}$
酚醛树脂	1.19	2.847	1.404	0.5	309

### 3 结论

1) 当以 8701 作为主发炸药, 酚醛树脂作为隔板时, ANPyO、8701 的临界隔板厚度值分别为 16 mm、40 mm, 前者比后者降低了 60.9%。由理论并结合试验结果计算所得 ANPyO、8701 的临界起爆压力分别为 15.1 GPa, 0.87 GPa, 前者临界压力值比后者大了 2 个数量级。但这与隔板值的降幅并不矛盾, 因为压力在隔板中的衰减不是线性的。

2) 由试验和理论计算结果知: ANPyO 炸药具有很低的冲击波感度。这类炸药是值得引起炸药合成研究工作者的关注。

### 参考文献:

- [1] Л.Д.奥尔连科. 爆炸物理学[M]. 3版. 孙承纬, 译. 北京: 科学出版社, 2011: 190-226.
- [2] 何志伟, 刘祖亮. 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物为基的耐热混合炸药性能[J]. 含能材料, 2010, 18(1): 97-101.
- [3] 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.
- [4] 国防科学技术工业委员会. GJB/Z377A-94 感度试验用数据统计方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [5] 王典朋, 田玉斌, 刘柳. 冲击波感度临界隔板厚度的优化试验方法[J]. 兵工学报, 2012, 33(9): 1088-1094.
- [6] 张守中. 爆炸与冲击动力学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1993: 145-153.
- [7] 世界弹药手册编辑部. 世界弹药手册[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990: 1186-1187.
- [8] 王礼立. 应力波基础[M]. 2版. 北京: 国防工业出版社, 2010: 205-206.
- [9] 北京工业学院. 爆炸及其作用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979: 222-288.
- [10] 王海福, 冯顺山. 密实介质中冲击波衰减特性的近似计算[J]. 兵工学报, 1996, 17(1): 79-81.
- [11] 章冠人, 陈大年. 凝聚炸药起爆动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991: 108-109.