

文章编号: 1006-9941(2013)05-0653-03

## 75 °C 下 TATB 基高聚物粘结炸药爆轰性能

涂小珍, 李 伟, 韦兴文, 卢孝军

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘 要:** 为研究 TATB 基高聚物粘结炸药(PBX)在高温下的爆轰性能,采用标准隔板试验、电测法、ZWB253-2008 标准方法和圆筒试验测试了其在 25 °C 和 75 °C 下的冲击波感度、爆速、爆压及比动能。结果表明,与 25 °C 相比,75 °C 下 TATB 基 PBX 的冲击波感度和比动能增大,爆速降低,爆压无明显变化。

**关键词:** 爆炸力学; 高聚物粘结炸药(PBX); TATB; 爆轰性能; 高温

**中图分类号:** TJ55; O38

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.05.018

### 1 引 言

TATB 与高分子粘结剂通过一定工艺压制成型的高聚物粘结炸药(polymer bonded explosive, PBX)具有能量高、感度低、易机械加工等优良的综合性能,被广泛应用于各种尖端和常规武器中。如美国利氟莫尔国家实验室(LLNL)和洛斯阿拉莫斯国家实验室(LANL)分别开发了以 TATB 为主炸药配方 LX-17 和 PBX-9502,并已用于美国核武器装备中<sup>[1]</sup>。但 TATB 晶体结构具有不对称性,温度变化时易发生各向异性膨胀,导致晶间空穴和晶内空穴发生变化,影响其冲击波和撞击感度。因此,了解温度对 TATB 基 PBX 爆轰性能的影响,对确定其在各种可能环境中的安全性和作用可靠性具有重要意义。

国内外很早就开展了这方面的研究,并取得了许多重要成果。如 Campbell<sup>[2]</sup> 的研究表明, PBX-9502 在 75, 24, -55 °C 下的失效直径分别为 5.85, 7.75, 10.5 mm。Dallman 和 Wackerle<sup>[3]</sup> 研究了 PBX-9502 和 LX-17 炸药在不同温度下的爆轰距离与引爆压力的关系。结果表明,在 75 °C 和 252 °C 下爆轰距离分别为常温下的 1/2 和 1/10。Urtiew 等<sup>[4]</sup> 使用锰铜计和电磁计研究了 LX-17 炸药在 -54, 25, 88 °C 下的冲击引爆压力场和粒子速度场的发展过程,并用热点点火、反应慢增长和反应快速完成三项式化学反应速率定律进行了反应流动模拟。结果表明,在 88 °C 下,热点点火

和反应增长速率均明显增加,导致冲击波感度提高。方青等<sup>[5]</sup> 采用电探针技术,观测了在常温、-30 °C 和 -54 °C 条件下 TATB 基高聚物粘结炸药中被引发的爆轰波或反应冲击波速度的增长或衰减过程。结果表明,随着温度降低,TATB 基高聚物粘结炸药的引爆性能发生了显著变化。池家春等<sup>[6]</sup> 应用锰铜压力计对含 TATB 的钝感高能炸药在常温和 -54 °C 下冲击起爆压力场的发展进行了实验研究。结果表明,在 -54 °C 下该炸药的冲击波感度比常温低得多,且该 TATB 基炸药在常温和 -54 °C 的冲击波感度均比国外 PBX-9502 炸药低。邹立勇等<sup>[7]</sup> 对不同直径 TATB 基钝感炸药在 -30 °C 下的定态爆轰速度和爆轰波形进行了测试,并与 24 °C 下的实验结果进行了比较。结果表明,该炸药在低温下爆速随药柱直径的增加而增加,且在直径相同时,温度越高,爆轰波形越平坦。而 TATB 基 PBX 在高温下的爆轰性能数据国内还未见文献报道。基于此,本研究采用隔板试验法、电测法、有机玻璃法和圆筒法对某 TATB 基 PBX 在 75 °C 下的冲击波感度、爆速、爆压及做功能力进行了测试,并与 25 °C 下的结果比较,为其在高温下的安全性及作用可靠性评估提供依据。

### 2 实验部分

#### 2.1 样品

所有样品均为等静压成型。其中,冲击波感度及爆速测试样品尺寸规格为  $\Phi 20$  mm  $\times$  20 mm,爆压测试样品尺寸规格为  $\Phi 50$  mm  $\times$  20 mm,比动能(即做功能力)测试样品尺寸规格为  $\Phi 50$  mm  $\times$  50 mm。

#### 2.2 爆轰性能测试方法

冲击波感度测试参照 GJB772A-1997 方法

收稿日期: 2012-09-06; 修回日期: 2013-05-08

作者简介: 涂小珍(1976-),女,硕士,助研,从事含能材料环境适应性研究。e-mail: z\_x\_tu@163.com

(605.1)《冲击波感度 隔板试验法》标准,按大隔板试验法,75℃和25℃下测试 $\Phi 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 药柱的冲击波感度,每组实验25发。

爆速测试参照GJB772A-1997方法(702.1)《爆速电测法》标准,75℃和25℃下测试 $\Phi 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 药柱的爆速,各3组,每组18发。

爆压参照ZWB253-2008《炸药试验方法 爆压 有机玻璃光弹板法》标准,75℃和25℃下测试 $\Phi 50\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 药柱的爆压及爆速测试。各5组,每组6发。

做功能力测试参照GJB772A-1997方法(705.3)《做功能力50 mm圆筒试验法》标准,75℃和25℃下测试 $\Phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 药柱的做功能力,各3组每组14发。高速转镜扫描相机转速为 $7.5 \times 10^3\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,扫描狭缝距圆筒尾端200 mm。

### 2.3 升温及恒温

因试验条件的限制,如测试炸药高温爆轰性能,首先需将炸药柱在恒温箱中加热到预定的高温,然后恒温,待炸药柱内外温度达到平衡状态后,快速取出进行爆轰性能测试。采用成都天宇设备有限公司的SH01的高温加热箱,参照GJB150A-2009《军用装备实验室环境试验方法 高温试验》对待测样品进行升温及恒温。

### 2.4 药柱高温恒温时间确定

采用ANSYS公司开发的ANSYS有限元分析软件,分别对尺寸为 $\Phi 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 和 $\Phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的药柱从室温25℃以 $1\text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的升温速率升到75℃的升温时间及恒温时间进行数值模拟计算。对于 $\Phi 50\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 药柱的升温及恒温时间参照 $\Phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 药柱执行。其中,该计算过程中的换热系数取 $10\text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,药柱比热及导热系数根据其在75℃测得结果分别取 $1.183\text{ J} \cdot (\text{g} \cdot \text{K})^{-1}$ 和 $0.662\text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{ }^\circ\text{C})^{-1}$ 。

图1为 $\Phi 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 和 $\Phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 药柱在升温及恒温过程中的温度变化曲线。从图1可以看出, $\Phi 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 和 $\Phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 药柱从升温到温度恒定所需时间分别约为6600 s和11200 s,远远长于烘箱内温度从25℃升温到75℃所需要的时间(3000 s)。为了充分保证药柱内外温度的均匀性,将 $\Phi 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 药柱在恒温箱中的恒温时间确定为2 h,将 $\Phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 和 $\Phi 50\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 药柱的恒温时间确定为3 h。

## 3 结果与讨论

### 3.1 高温冲击波感度

表1为采用大隔板试验法测得PBX药柱在25℃

和75℃恒温2 h后的冲击波感度,为25发结果的平均值。由表1可见,该PBX炸药在75℃恒温2 h后的冲击波感度较25℃增加。这说明温度对TATB基炸药的冲击波感度具有一定影响。分析认为,该PBX高温下冲击波感度增加的原因主要与该炸药在冲击压缩作用下的有效热点数量随温度升高而增多相关。

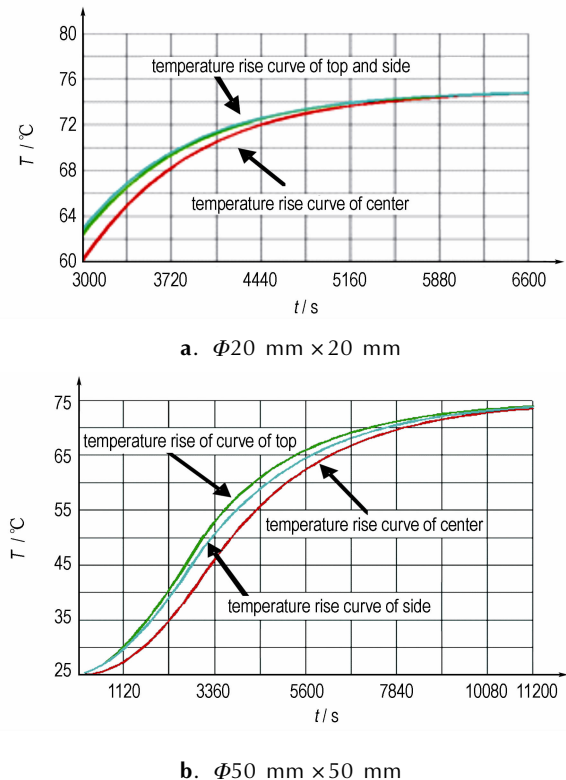


图1 炸药柱在升温及恒温过程中的温度变化曲线

Fig.1 Temperature variation curves of two kinds of PBX during heating and isothermal process

表1 不同温度下冲击波感度

Table 1 Shock sensitivity of TATB based PBX at different temperatures

temperature/ $^\circ\text{C}$	primary density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	shock sensitivity $L_{50}/\text{mm}$
75	$1.901 \pm 0.001$	$9.4 \pm 0.002$
25	$1.901 \pm 0.00$	$8.64 \pm 1.238$

### 3.2 高温爆速

表2为PBX药柱在25℃及75℃恒温2 h后的爆速结果,每组均为18发的平均结果。从表2可以看出,初始密度相同的PBX药柱在75℃的爆速较其在25℃的有所降低,与其低密度炸药在25℃下的爆速相当。这说明,温度对TATB基炸药的爆速也具有一定影响。

### 3.3 高温爆压

表3为PBX药柱在25℃及75℃下恒温3 h后

的爆压及爆速,每组为6发结果平均值。由表3可见,与25 °C相比,75 °C下,该PBX药柱爆压变化不大,而爆速比25 °C的偏低,这变化趋势与表2结果一致。

### 3.4 高温做功能力

表4为PBX药柱在25 °C及75 °C下恒温3 h后距离起爆端不同位置的比动能。由表4可见,该PBX药柱75 °C下的比动能较25 °C增大。初步分析认为,这与其爆轰传爆过程中质点运动速度随温度升高加快有关。

表2 不同温度下爆速

Table 2 Detonation velocity of TATB based PBX at different temperatures

temperature /°C	primary density /g · cm <sup>-3</sup>	mean value of detonation velocity /m · s <sup>-1</sup>
75	1.901 ± 0.000	7512 ± 4
25	1.901 ± 0.000	7539 ± 15
	1.883 ± 0.000	7519 ± 14

表3 不同温度下爆压及爆速

Table 3 Detonation pressure and detonation velocity of TATB based PBX at different temperatures

temperature /°C	primary density /g · cm <sup>-3</sup>	detonation velocity /m · s <sup>-1</sup>	detonation pressure /GPa
75	1.898 ± 0.001	7518 ± 8.18	30.81 ± 0.13
25	1.898 ± 0.00	7603 ± 4.02	30.91 ± 0.03

表4 不同温度下比动能

Table 4 Specific kinetic energy of TATB based PBX at different temperature

temperature/°C	test location/mm	specific kinetic energy/kJ · g <sup>-1</sup>
75	12	0.884
	38	1.114
25	12	0.854
	38	1.076

## Detonation Performance of TATB Based PBX at 75 °C

TU Xiao-zhen, LI Wei, WEI Xing-wen, LU Xiao-jun

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** To study the detonation performance of TATB based polymer bonded explosive (PBX) at high temperature, the sensitivity to shock wave, detonation velocity, detonation pressure and specific kinetic energy of the TATB based PBX at 25 °C and 75 °C were tested by standard gap test, electrometric method, standardization method, ZWB253-2008 and cylinder test, respectively. Results show that in comparison with those of 25 °C, the shock wave sensitivity and specific kinetic energy of PBX at 75 °C increases, whereas the detonation velocity decreases slightly and the detonation pressure does not change obviously.

**Key words:** explosion mechanics; polymer bonded explosive (PBX); TATB; detonation performance; high temperature

**CLC number:** TJ55; O38

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.05.018

## 4 结论

对TATB基PBX在75 °C和25 °C下的爆轰性能测试结果表明:(1)75 °C的冲击波感度和比动能均较25 °C有所提高;(2)电测法和有机玻璃法测得的75 °C的爆速变化趋势一致,均较25 °C爆速偏低;(3)75 °C的爆压与25 °C相比,无明显变化。

### 参考文献:

- [1] Brigitta M. Dobratz. The insensitive high explosive Triaminotrinitrobenzene (TATB): Development and characterization-1888 to 1994. LA-13014-H[R], 1995.
- [2] Campbell A W. Diameter effect and failure diameter of a TATB based explosive [J]. *Propellants, Explosives and Pyrotechnics*, 1984, 9: 183-87.
- [3] Dallman J D, Wackerle J. Temperature dependent shock initiation of TATB based high explosive [C] // Proceedings of the 10th International Detonation Symposium. Boston, MA, 1993: 130-138.
- [4] Urtiew P A, Erickson L M, Aldis D F, et al. Shock initiation of LX-17 as a function of its initial temperature [C] // Proceedings of the 9th International Detonation Symposium. Arlington, Virginia: OCNR, 1989: 112-122.
- [5] 方青, 卫玉章, 文尚刚. 温度对发散冲击波引爆塑料粘结TATB炸药的影响 [J]. *爆炸与冲击*, 2000, 4(2): 121-124.  
FANG Qing, WEI Yu-zhang, WEN Shang-gang. Temperature effects on the initiation of plastic bonded TATB by divergent shock wave [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2000, 4(2): 121-124.
- [6] 池家春, 刘雨生, 龚晏清, 等. JB-9014炸药在常温和-54 °C低温下冲击引爆压力场发展的实验研究 [J]. *高压物理学报*, 2001, 3(1): 39-46.  
CHI Jia-chun, LIU Yu-sheng, GONG Yan-qing, et al. Investigation of shock pressure evolution of initiation in IHE's JB9014 at ambient and -54 °C [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2001, 3(1): 39-46.
- [7] 邹立勇, 谭多望, 文尚刚, 等. 低温下小尺寸钝感炸药非理想爆轰实验研究 [J]. *爆炸与冲击*, 2007, 7(4): 326-330.  
ZOU Li-yong, TAN Duo-wang, WEN Shang-gang, et al. Experimental study on the nonideal detonation for JB-9014 rate sticks at -30 °C [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2007, 7(4): 326-330.