

文章编号: 1006-9941(2013)03-0306-04

TATB 基高聚物粘结炸药高温力学性能

涂小珍¹, 张波², 韦兴文¹, 王维欣¹

(1. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900; 2. 海军装备部驻重庆地区军事代表局, 重庆 400042)

摘要: 为分析 TATB 基高聚物粘结炸药(PBX)在高温状态下的性能变化,对该高聚物粘结炸药在不同温度下的压缩性能、拉伸性能、蠕变性能及泊松比进行了测试,并采用扫描电子显微镜对其高温蠕变断面形貌进行了观察。结果表明,该高聚物粘结炸药的压缩强度、拉伸强度、抗蠕变持久应力及持久时间均随温度升高而降低,其泊松比随温度升高无明显变化;在高温 70 °C、拉伸应力为 3 MPa 下,该 PBX 拉伸蠕变破坏模式主要为炸药颗粒与粘结剂脱粘,而在相同拉伸应力、温度为 50 °C 和 60 °C 下,其拉伸蠕变破坏模式还表现为炸药颗粒断裂。

关键词: 固体力学; 高聚物粘结炸药(PBX); TATB; 力学性能**中图分类号:** TJ55; O34**文献标识码:** A**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.03.006

1 引言

1,3,5-三氨基-2,4,6-三硝基苯(TATB)是一种钝感炸药,机械感度和热感度较低,具有良好的安全性和稳定性^[1]。TATB 在温度到达其熔点前才开始升华/分解,温度约为 250 °C;而在 200 °C 以下,TATB 在一定时间内非常稳定,没有任何分解的迹象^[2]。同时,因 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等,被广泛应用于各种尖端和常规武器中。但由于 TATB 晶体结构的不对称,在一定温度下,将发生各向异性膨胀,使成型高聚物粘结炸药尺寸长大、密度降低。因此,一些研究人员也对 TATB 基高聚物粘结炸药的相关性能开展了研究。如黄奕刚等^[3]对 TATB 基 PBX 在低温下的老化性能研究表明,PBX 炸药经低温贮存后分子结构没有发生改变,热稳定性较好。李敬明等^[4]采用温度循环试验,对 TATB 基高聚物粘结炸药在温度冲击过程中的性能变化进行了研究,结果表明,TATB 基高聚物粘剂炸药经热循环后尺寸出现了长大,随着循环次数的增加,其尺寸长大的速率明显放缓,且由于 TATB 基与粘结剂界面脱粘,PBX 模量、强度和蠕变性能在循环后也出现了一定程度的下降,但

经热循环 11 轮和 20 轮后的爆速却无明显变化。韦兴文等^[5]采用高温加速老化试验,对 TATB 基高聚物粘结炸药经热老化后的力学性能进行了研究,结果表明,长期高温贮存后,TATB 基高聚物粘结炸药晶体与粘结剂仍具有良好的粘界面,其模量、破坏强度、破坏应变和稳定蠕变速率等力学性能均未发生明显的变化。这些工作的共同特点均是在室温环境条件下研究 TATB 基高聚物粘结炸药的性能。然而在实际使用过程中,因受外部环境的影响,炸药温度会升高,其在作用(或响应)时的温度状态已发生了改变,处于一定的高温。因此,为了掌握 TATB 基高聚物粘结炸药在高温环境下的性能变化情况及其在高温环境下的适应性,本论文对某 TATB 基高聚物粘结炸药在高温下的力学性能进行了研究。

2 实验部分

2.1 样品

压缩试验和拉伸试验用 TATB 基 PBX 样品尺寸规格分别为 $\Phi 20$ mm \times 20 mm 药柱和 $\Phi 25$ mm \times 65 mm 哑铃。除蠕变试验样品为每组 3 发外,其余样品均为每组 5 发。

泊松比试验 TATB 基 PBX 样品尺寸规格为 25 mm \times 25 mm \times 60 mm 药柱,每组样品 5 发。

2.2 仪器及试验方法

拉伸及压缩应力应变性能测试采用带有温控箱的 INSTRON-5582 电子万能材料试验机,分别参照

收稿日期: 2012-04-25; 修回日期: 2012-10-26

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

GJB772A-1997 方法(417.1 和 418.1)《拉伸应力-应变曲线 电子引伸计法》和《压缩应力-应变曲线 电子引伸计法》标准执行,横梁速度为 $0.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

拉伸及压缩蠕变性能测试采用带有温控箱的 INSTRON-8862 电子万能材料试验机,参照 GJB772A-1997 方法(419.1 和 420.1)《拉伸蠕变 电子引伸计法》和《压缩蠕变 电子引伸计法》标准执行,横梁速度为 $0.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

泊松比测试采用带有温控箱的 INSTRON-5582 电子万能材料试验机,参照 GJB772A-1997 方法(414.1)《泊松比 电阻应变仪法》标准执行。动态力学性能采用 DMA-Q800 动态热机械分析仪,参照 GB/T9870.1-2006《硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定》测试。

表面形貌采用中科科仪公司 KYKY-2800B 扫描电子显微镜进行观测。

3 结果与讨论

3.1 高温拉伸及压缩应力应变性能

表 1、表 2 分别为 TATB 基高聚物粘结炸药在室温 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 及高温 $55 \sim 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 每隔 $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 状态下的拉伸及压缩应力应变性能结果。由表 1、表 2 可以看出,在高温状态下,除破坏应变无显著性规律外,该高聚物粘结炸药的拉伸强度、压缩强度及拉伸模量、压缩模量均随温度升高而降低。这说明,该高聚物粘结炸药所处的温度状态对其拉伸及压缩强度、模量具有很大的影响。

表 1 不同温度下 PBX 拉伸力学试验结果

Table 1 Results of tensile test at different temperatures

temperature / $^{\circ}\text{C}$	tensile strength /MPa	tensile modulus /GPa	failure strain /%
20	7.42	5.94	0.146
55	5.26	5.41	0.146
60	4.65	4.52	0.174
65	4.28	4.45	0.169
70	4.20	4.20	0.194

表 2 不同温度下 PBX 压缩力学试验结果

Table 2 Results of compression test at different temperatures

temperature / $^{\circ}\text{C}$	compressive strength /MPa	compressive modulus /GPa	failure strain /%
20	27.61	7.37	1.49
55	17.56	5.66	1.13
60	14.16	4.28	1.92
65	13.57	6.02	0.94
70	12.61	4.50	1.53

图 1 为采用 DMA-Q800 动态热机械分析仪测得的该高聚物粘结炸药用粘结剂在加载频率为 1 Hz 、不同温度范围的温度谱图。从图 1 可以看出,在加载频率为 1 Hz 条件下,该高聚物粘结炸药所用粘结剂的玻璃化转变温度较低。而对于高聚物粘结炸药,在配方已经确定的前提下,炸药颗粒与粘结剂两相间的界面结合状况是影响 PBX 炸药力学性能的关键因素。因此,该高聚物粘结炸药在高温下拉伸及压缩强度下降的原因主要是其粘结剂玻璃化温度较低,随着温度升高,粘结剂软化,降低了对炸药颗粒的“粘合力”,从而导致其力学性能随温度升高而下降。

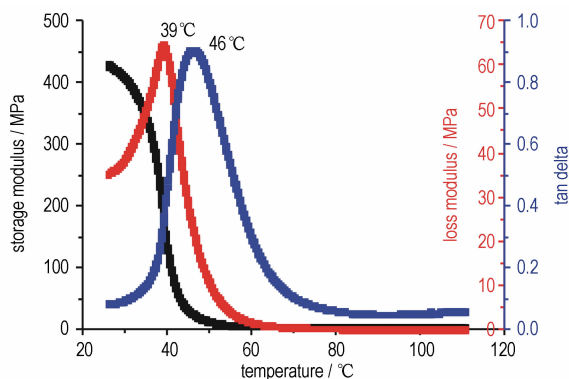


图 1 高聚物粘结剂 DMA 曲线

Fig. 1 DMA curves of PBX binder

3.2 泊松比

表 3 为该高聚物粘结炸药在不同温度下的泊松比测试结果。从表 3 可以看出,无论是在室温状态还是高温状态下,该高聚物粘结炸药沿横向方向和纵向方向的变形比值都是相当的。这说明,该高聚物粘结炸药横向应变和纵向应变受温度影响是一致的。

表 3 不同温度下 PBX 泊松比

Table 3 Poisson ration of PBX at different temperatures

temperature / $^{\circ}\text{C}$	mean value	standard deviation
20	0.36	0.01
55	0.36	0.01
60	0.36	0.01
65	0.37	0
70	0.36	0.01

3.3 高温蠕变性能

图 2 为该高聚物粘结炸药在不同高温、恒定应力分别为 $5, 10, 12 \text{ MPa}$ 下的压缩蠕变曲线。表 4 为试验件在不同温度及压缩应力下的蠕变速率。

表 4 不同温度及应力下的压缩蠕变速率

Table 4 The compression creep rates of TATB based PBX at different temperatures under different stresses

test conditons	5 MPa			10 MPa			12 MPa	
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	60 °C	50 °C
creep rate/% · min ⁻¹	1.33e-4	1.86e-4	2.13e-4	6.25e-4	9.0e-4	8.04e-2	8.08e-4	5.47e-2

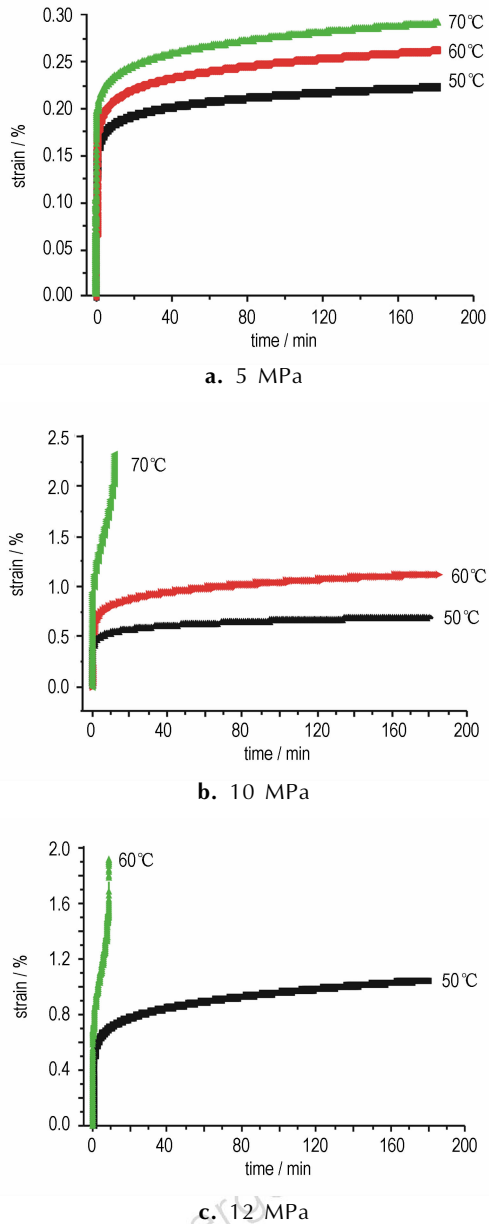


图 2 不同温度、恒定应力下的蠕变曲线

Fig. 2 Compression creep curves of TATB based PBX at different temperatures under different stresses

从图 2 中的蠕变曲线及表 4 中蠕变速率可以看出,在相同压缩应力(或相同温度)条件下,温度(或应力)越高,该 PBX 发生蠕变的蠕变速率越大,在 70 °C/10 MPa 和 60 °C/12 MPa 条件下,均在很短的时间内

出现了蠕变破坏。这说明,该高聚物粘结炸药在高温下存在明显的蠕变现象,且温度越高,蠕变速率越大,抗蠕变破坏时间越短。

图 3 为该 TATB 基 PBX 在 50,60,70 °C、拉伸应力为 3 MPa 条件下的拉伸蠕变曲线。从图 3 可以看出,该高聚物粘结炸药在 50 °C/3 MPa 下,很快就发生了蠕变破坏,在蠕变曲线上,可以明显地观察到加载时的瞬时弹性应变以及稳态蠕变和加速蠕变阶段,而在 60 °C 和 70 °C 状态下,蠕变曲线上没有出现稳态蠕变阶段,在应力加载几分钟就出现了破坏。

陈鹏万^[6]等指出,PBX 在压缩载荷作用下,炸药晶体将起主要作用,而在拉伸载荷作用下,粘结剂与炸药的界面将起决定作用。因此,为了更进一步分析该 TATB 基高聚物粘结炸药在高温应力下发生蠕变破坏原因,对该 TATB 基高聚物粘接炸药在高温 50 °C、60 °C 及 70 °C、恒定应力为 3 MPa 下发生蠕变破坏断面形貌进行了观察,结果见图 4。

由图 4 可见,在高温 70 °C、拉伸应力为 3 MPa 条件下,该 TATB 基高聚物粘结炸药断面形貌主要表现出炸药颗粒完全从粘结剂中拔出;而在高温 50 °C 和 60 °C、拉伸应力为 3 MPa 下,断面形貌除了表现为炸药颗粒从粘结剂中拔出外,还表现为 TATB 基颗粒被拉断。分析认为,随着温度升高,粘结剂软化,其与炸药颗粒间作用力下降,从而导致该 PBX 炸药在高温下的抗拉能力减弱。

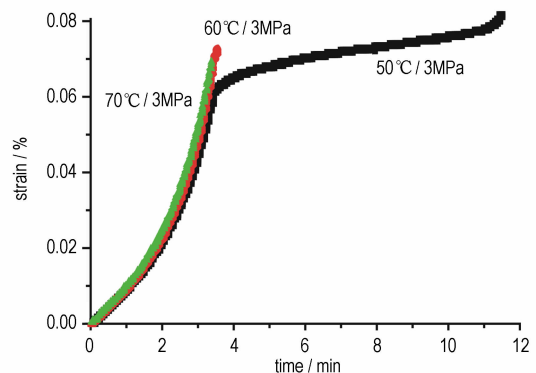


图 3 不同温度、恒定应力 3 MPa 下的拉伸蠕变曲线

Fig. 3 Tensile creep curves of PBX at different temperatures under 3 MPa stress

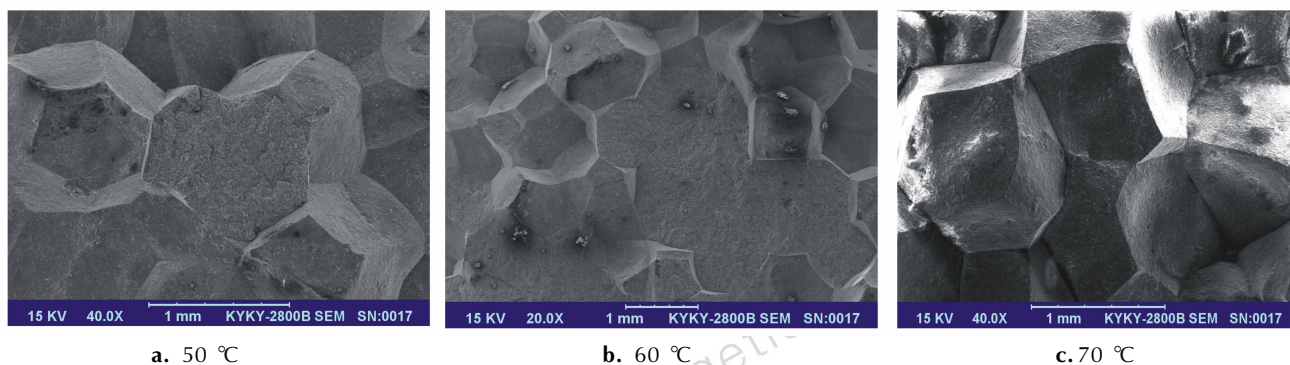


图4 不同温度、恒定应力 3 MPa 下的蠕变破坏断裂形貌

Fig.4 SEM photograph of PBX tensile failure section at different temperatures at 3 MPa

4 结论

对 TATB 基高聚物粘结炸药高温力学性能研究的结果表明:在高温下,因该 TATB 基高聚物粘结炸药粘结剂软化,炸药颗粒与粘结剂间界面作用减弱,其拉伸强度、压缩强度以及抗拉及抗压蠕变性能均随温度升高而降低,并在拉伸蠕变中,其断面失效模式表现为炸药颗粒断裂、炸药颗粒与粘结剂脱粘,且温度越高,炸药颗粒与粘结剂脱粘现象越明显。但是,无论在室温状态还是高温状态,该高聚物粘结炸药泊松比随温度升高却无明显变化。

参考文献:

- [1] 董海山,周芬芬.高能炸药及相关物性能[M].北京:科学出版社,1989.
- [2] Burgess C E, Woodyard J D. Literature review of the lifetime of DOE materials: Aging of plastic bonded explosives and the[R]. DE99000895 September,1998
- [3] 黄奕刚,王晓川,郑敏侠,等. TATB 基高聚物粘结炸药低温老化

后的结构与热性能研究[J].含能材料,2002,10(2):81-83

HUANG Yi-gang, WANG Xiao-chuan, ZHENG Min-xia, et al. Structure and thermal performance study of PBX based on TATB aged by low temperature[J]. *Chinese Journal Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2000,10(2): 81-83.

- [4] 李敬明,温茂萍,黄毅民.热循环对 TATB 基高聚物粘结炸药的性影响研究[J].含能材料,2005,13(4):208-210.
LI Jing-ming, WEN Mao-ping, HUANG Yi-min. Effect of the thermal cycling test on the properties of TATB based PBX [J]. *Chinese Journal Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005,13(4): 208-210.
- [5] 韦兴文,李敬明,涂小珍,等.热老化对 TATB 基高聚物粘结炸药力学性能的影响[J].含能材料,2010,18(2):157-161
WEI Xing-wen, LI Jing-ming, TU Xiao-zhen, et al. Effect of thermal ageing on mechanical properties of PBX based on TATB [J]. *Chinese Journal Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010,18(2): 157-161.
- [6] 陈鹏万,丁雁生.高聚物粘结炸药的力学行为及变形破坏机理[J].含能材料,2000,8(4):161-164.
CHEN Peng-wan, DING Yan-sheng. Mechanical behavior and deformation and failure mechanisms of polymer bonded explosives [J]. *Chinese Journal Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2000,8(4): 161-164.

Mechanical Properties of TATB Based PBX at High Temperature

TU Xiao-zhen¹, ZHANG Bo², WEI Xing-wen¹, WANG Wei-xin¹

(1. Institute of Chemical Materials, CAEP, Mian Yang 621900, China; 2. Military Representative Office of Naval Equipment Department in Chong Qing, Chong Qing 400042, China)

Abstract: In order to analyze the properties of TATB based polymer bonded explosive (PBX) at high temperature, the mechanical properties were measured at high temperature. The morphology of rupture section was observed by scanning electric microscopy (SEM). Results show that the PBX compressive strength, tensile strength, creep rupture strength and endurance time decrease with temperature increasing, while the Poisson ration keeps constant. The tensile creep failure model of PBX under 70 °C at 3 MPa is debonding between explosive crystals and binder, the failure model is fracture of the PBX crystals at 50 °C and 60 °C.

Key words: solid mechanics; polymer bonded explosive (PBX); TATB; mechanical property; high temperature

CLC number: TJ55; O34

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.03.006