

文章编号: 1006-9941(2015)08-0766-05

## TATB 基 PBX 的单轴主特征破坏参数识别研究

唐维<sup>1,2,4</sup>, 颜熹琳<sup>2</sup>, 李明<sup>2</sup>, 温茂萍<sup>2</sup>, 刘彤<sup>3,4</sup>, 章定国<sup>1</sup>

(1. 南京理工大学理学院, 江苏 南京 210094; 2. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900; 3. 西南科技大学, 四川 绵阳 621010; 4. 中国工程物理研究院研究生部, 四川 绵阳 621999)

**摘要:** 高聚物粘结炸药 (Polymer Bonded Explosive, PBX) 的主特征破坏参数识别是强度准则建立和结构强度评估的基础。以 TATB 基 PBX 为研究对象, 基于单轴拉伸和单轴压缩两种加载方式, 考虑 20 °C、35 °C 及 50 °C 三个温度点, 设计了系列的直接破坏和不同初始应力水平的蠕变后破坏试验。依据获得的破坏参数数据, 对比分析了环境温度、初始应力水平对破坏应力/破坏应变这两个典型破坏参数的影响。结果表明, 不论是直接破坏还是蠕变后破坏, 破坏应力随环境温度的升高而降低, 破坏应变体现为拉伸时的增大和压缩时的减小; 相同的环境温度下, 初始应力水平的增加会导致破坏应力的降低和破坏应变的增大。进一步分析表明, 破坏应力受环境温度、初始应力水平的影响较大, 且无临界值, 不宜作为主特征破坏参数; 破坏应变作为主特征破坏参数则较为简便, 可认为当一点应变达到临界应变时破坏, 而不论该应变是载荷直接引起的还是时温诱发蠕变引起的, 直接破坏的破坏应变可作为该温度点的临界破坏应变, 20 °C、35 °C 及 50 °C 单轴拉伸临界破坏应变分别为 0.1330%、0.1452% 和 0.1675%, 单轴压缩时临界破坏应变分别为 -1.4206%、-1.4159% 和 -1.1731%。

**关键词:** 高聚物粘结炸药; 破坏应力; 破坏应变; 主特征破坏参数

中图分类号: TJ5; O346.4

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.08.011

## 1 引言

炸药材料除了是能量材料外, 使用过程中还需作为结构材料承受装配、服役环境变化等产生的力学载荷。美国 Los Alamos 的研究<sup>[1]</sup>表明炸药构件的结构完整性, 不仅关乎武器系统的战场表现, 对于服役过程的安全性也至关重要。高聚物粘结炸药 (Polymer Bonded Explosive, PBX) 模量低 (不超过 12 GPa), 强度低<sup>[2]</sup> (单轴拉伸强度不超过 8 MPa), 常温下便可体现出明显的粘弹性<sup>[3-4]</sup>, 载荷作用下存在直接破坏/蠕变破坏<sup>[5-6]</sup>等风险。庞海燕等<sup>[7-8]</sup>对比分析了某 PBX 直接拉伸破坏和巴西圆盘间接拉伸破坏的异同, 并获取了基于应力描述的强度数据; 涂小珍等<sup>[9]</sup>在 20 ~ 70 °C 的较宽温度范围内研究了 TATB 基 PBX 的拉伸/压缩破坏应力等力学性能; 林聪妹等<sup>[10]</sup>则对 TATB 基 PBX 拉伸/压缩/三

点弯曲时的蠕变及破坏进行了研究。上述研究中均采用破坏应力作为主特征破坏参数, 实际上目前的研究工作在论及破坏时几乎都惯性地采用破坏应力 (强度), 而没有系统讨论过破坏应变作为主特征参数的适应性; 现已知 PBX 炸药的破坏应力与载荷作用时间及环境温度密切相关, 如文献[9]中描述的 TATB 基 PBX 的单轴压缩破坏即可描述为 20 °C 时的 27.61 MPa (达到即破坏)、55 °C 时的 17.56 MPa (达到即破坏) 以及 65 °C 时的 13.57 MPa (达到即破坏), 又可描述为 60 °C 时的 12 MPa (作用约 10 min), 还可描述为 70 °C 时的 10 MPa (作用约 12 min), 因此严格意义上讲, 采用破坏应力描述炸药材料的破坏, 需同时给出载荷作用时间和环境温度。破坏应变作为主特征参数, 或许可以忽略环境温度、初始应力水平等载荷历程因素而只看结果, 认为当达到临界应变材料即破坏; 同时在实验力学领域应力属于不可直接测试量, 往往需通过应变测试来间接获得。本研究通过设计开展不同温度下的单轴拉伸/压缩直接破坏、不同初始应力水平的蠕变后破坏试验, 研究环境温度、蠕变初始应力水平对破坏参数的具体影响, 识别破坏应力和破坏应变各自作为破坏主特征参数的优劣, 为后期建立 PBX 强度准则和评估结构强度奠定基础。

收稿日期: 2014-04-16; 修回日期: 2014-07-18

基金项目: 国家自然科学基金 (11372292、11302198、11102189), 中物院发展基金 (2013A0203006、2014B0201020) 资助

作者简介: 唐维 (1981-), 男, 博士生, 助理研究员, 主要从事炸药及其部件的热力学行为研究。e-mail: Will\_ton@126.com

通信联系人: 刘彤 (1964-), 男, 研究员, 武器系统中的工程力学问题研究。e-mail: Tliu@swust.edu.cn

## 2 试 验

### 2.1 试验原料与仪器

研究对象为某 TATB 基 PBX 炸药, 试验在 Instron5582 型材料试验机上进行, 试验分为单轴拉伸和单轴压缩两大类, 拉伸试样为直径 15 mm 长度 65 mm 的哑铃, 压缩试样为  $\Phi 20$  mm $\times$ 20 mm 的圆柱, 样品满足 GJB772A-1997 要求。

### 2.2 试验方法

考虑 20、35  $^{\circ}$ C 和 50  $^{\circ}$ C 三个温度点, 分别开展直接破坏试验和蠕变后破坏试验, 共计拉伸试验 36 发, 压缩试验 36 发, 试验方法满足 GJB772A-1997 要求。首先开展各温度下的直接破坏试验, 然后依据获得的破坏应力和破坏应变设计蠕变后破坏试验的初始应力水平, 其中拉伸蠕变试验按 30%、50% 和 70% 的直接破坏应力, 压缩蠕变试验按 40%、60% 和 80% 的直接破坏应力, 结合直接破坏数据, 蠕变后破坏的试验方案如表 1, 试验过程为先加载至预设初始应力, 然后保持应力不变使样品蠕变 2 h, 最后加载直至样品破坏, 试验时的载荷-时间示意曲线如图 1 所示。

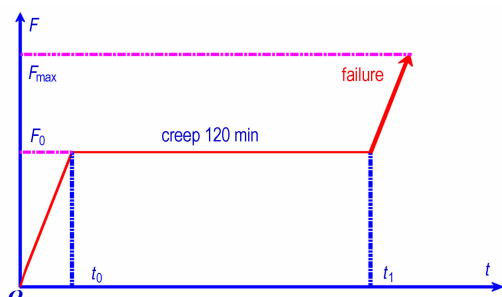


图 1 蠕变后破坏试验的载荷-时间曲线示意

Fig.1 Load-time curve of failure tests after creep

表 2 不同温度下单轴直接破坏的应力与应变

Table 2 Failure stresses and failure strains of direct failure tests at different temperature

specimen No.	temperature / $^{\circ}$ C	uniaxial tension failure stress/MPa	uniaxial tension failure strain/%	uniaxial compression failure stress/MPa	uniaxial compression failure strain/%
1 <sup>#</sup>	20	8.846	0.1305	-27.635	-1.4449
2 <sup>#</sup>	20	8.806	0.1347	-27.717	-1.3748
3 <sup>#</sup>	20	8.540	0.1339	-27.396	-1.4423
average	-	8.731	0.1330	-27.583	-1.4206
1 <sup>#</sup>	35	8.044	0.1464	-22.110	-1.4054
2 <sup>#</sup>	35	7.734	0.1436	-22.403	-1.4313
3 <sup>#</sup>	35	8.086	0.1454	-22.550	-1.4110
average	-	7.955	0.1452	-22.354	-1.4159
1 <sup>#</sup>	50	6.812	0.1586	-17.558	-1.1803
2 <sup>#</sup>	50	6.710	0.1794	-17.698	-1.1641
3 <sup>#</sup>	50	6.811	0.1645	-17.493	-1.1749
average	-	6.778	0.1675	-17.583	-1.1731

表 1 蠕变后破坏试验方案

Table 1 Plan of failure tests after creep

temperature / $^{\circ}$ C	creep time /min	tension stress /MPa	compression stress /MPa
20	120	3.50	-11.00
20	120	5.25	-16.50
20	120	7.00	-22.00
35	120	2.39	-8.94
35	120	3.98	-13.41
35	120	5.56	-17.88
50	120	2.03	-7.03
50	120	3.39	-10.55
50	120	4.75	-14.06

## 3 结果与讨论

### 3.1 试验结果

表 2 为 20、35  $^{\circ}$ C 和 50  $^{\circ}$ C 时的直接破坏应力和直接破坏应变, 包括单轴拉伸和单轴压缩两个加载方式。依据上述直接破坏数据, 按 30%、50% 和 70% 破坏应力的梯度设计了不同初始应力水平的拉伸蠕变后破坏试验, 九种工况下的破坏应力和破坏应变如表 3 所示; 同理, 按 40%、60% 和 80% 破坏应力的梯度设计了不同初始应力水平的单轴压缩蠕变后破坏试验, 表 4 是获得的蠕变后破坏应力和破坏应变, 表中星号数据代表试样在蠕变过程中破坏。

### 3.2 分析讨论

图 2 图 3 是不同载荷历程下的单轴拉伸破坏应力和破坏应变的比较情况, 由图可知: 不论是直接破坏, 还是蠕变后破坏, 破坏应力随环境温度的升高均体现出下降趋势(图 2 中同组数据比较), 破坏应变随环境温度的升高则逐渐增大(图 3 中同组数据比较); 在相

表 3 单轴拉伸蠕变后破坏的破坏应力与破坏应变

Table 3 Stresses and strains of uniaxial tension failure tests after creep

specimen No.	temperature /°C	initial stress /MPa	failure stress /MPa	failure strain /%	initial stress /MPa	failure stress /MPa	failure strain /%	initial stress /MPa	failure stress /MPa	failure strain /%
1#	20	3.50	8.696	0.1311	5.25	8.524	0.1388	7.00	8.524	0.1423
2#	20	3.50	8.933	0.1453	5.25	8.239	0.1280	7.00	8.677	0.1451
3#	20	3.50	8.479	0.1296	5.25	8.787	0.1518	7.00	8.278	0.1395
average	-	-	8.703	0.1353	-	8.517	0.1395	-	8.493	0.1423
1#	35	2.39	7.704	0.1449	3.98	7.685	0.1591	5.56	7.425	0.1592
2#	35	2.39	8.051	0.1598	3.98	7.729	0.1478	5.56	7.493	0.1431
3#	35	2.39	7.686	0.1391	3.98	7.842	0.1593	5.56	7.940	0.1705
average	-	-	7.813	0.1479	-	7.752	0.1554	-	7.619	0.1576
1#	50	2.03	6.224	0.1664	3.39	6.751	0.1658	4.75	6.302	0.1687
2#	50	2.03	6.760	0.1755	3.39	6.325	0.1732	4.75	6.474	0.1754
3#	50	2.03	6.766	0.1708	3.39	6.473	0.1756	4.75	6.679	0.1838
average	-	-	6.583	0.1709	-	6.517	0.1715	-	6.485	0.1760

表 4 单轴压缩蠕变后破坏的破坏应力与破坏应变

Table 4 Stresses and strains of uniaxial compression failure tests after creep

specimen No.	temperature /°C	initial stress /MPa	failure stress /MPa	failure strain /%	initial stress /MPa	failure stress /MPa	failure strain /%	initial stress /MPa	failure stress /MPa	failure strain /%
1#	20	-11.00	-27.405	-1.4179	-16.50	-27.655	-1.4804	-22.00	-26.900	-1.5186
2#	20	-11.00	-27.778	-1.4493	-16.50	-27.420	-1.5002	-22.00	-26.820	-1.5332
3#	20	-11.00	-27.513	-1.4761	-16.50	-27.314	-1.4883	-22.00	-26.675	-1.4954
average	-	-	-27.565	-1.4477	-	-27.463	-1.4896	-	-26.798	-1.5157
1#	35	-8.94	-22.207	-1.4432	-13.41	-22.375	-1.5311	-17.88*	-17.881	-1.5093
2#	35	-8.94	-22.058	-1.4309	-13.41	-21.921	-1.4309	-17.88*	-17.887	-1.5155
3#	35	-8.94	-22.600	-1.4415	-13.41	-22.224	-1.4629	-17.88*	-17.882	-1.4978
average	-	-	-22.288	-1.4385	-	-22.173	-1.4750	-	-17.883	-1.5075
1#	50	-7.03	-17.556	-1.1741	-10.55	-17.581	-1.2330	-14.06*	-14.062	-1.1943
2#	50	-7.03	-17.418	-1.1810	-10.55	-16.568	-1.1880	-14.06*	-14.065	-1.2343
3#	50	-7.03	-17.277	-1.1945	-10.55	-17.566	-1.1781	-14.06*	-14.061	-1.2479
average	-	-	-17.417	-1.1832	-	-17.238	-1.1997	-	-14.063	-1.2255

同的环境温度下,初始应力水平的增加,会导致破坏应力的逐渐降低(图 2 中同色数据比较)和破坏应变的逐渐增大(图 3 中同色数据比较),且直接破坏应变可作为该温度点的临界破坏应变。

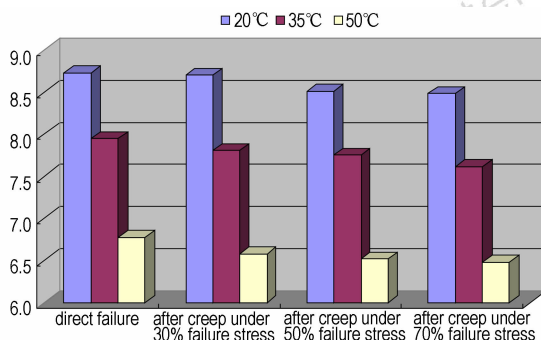


图 2 不同载荷历程的单轴拉伸破坏应力比较

Fig. 2 Comparison of uniaxial tension failure stresses under different loading histories

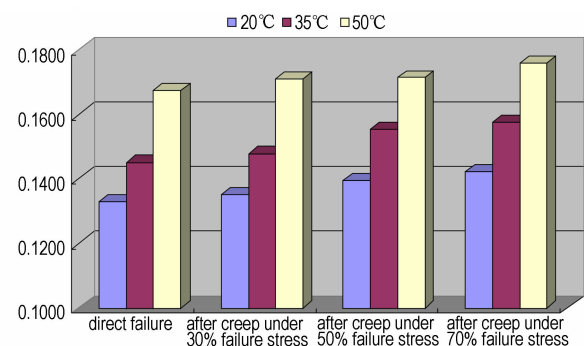


图 3 不同载荷历程的单轴拉伸破坏应变比较

Fig. 3 Comparison of uniaxial tension failure strains under different loading histories

具体来讲,20 °C 的直接破坏应力为 8.731 MPa,不同初始应力水平的蠕变后破坏应力分别为 8.703 MPa、8.517 MPa 和 8.493 MPa,最大降幅 2.73%; 35 °C 的

直接破坏应力为 7.955 MPa, 对应蠕变后的破坏应力为 7.813 MPa、7.752 MPa 和 7.619 MPa, 最大降幅 4.22%; 50 °C 的直接破坏应力为 6.778 MPa, 对应的蠕变后破坏应力为 6.583 MPa、6.517 MPa 和 6.485 MPa, 最大降幅 4.32%, 降幅随环境温度升高逐渐增大。

与破坏应力的变化规律相反, 20 °C 的直接破坏应变为 0.1330%, 不同初始应力水平的蠕变后破坏应变分别为 0.1353%、0.1395% 和 0.1423%, 最大升幅 6.99%; 35 °C 的直接破坏应变为 0.1452%, 对应蠕变后的破坏应变为 0.1479%、0.1554% 和 0.1576%, 最大升幅 6.56%; 50 °C 的直接破坏应变为 0.1675%, 对应的蠕变后破坏应力为 0.1709%、0.1715% 和 0.1760%, 最大升幅 5.07%, 升幅随环境温度升高逐渐减小。

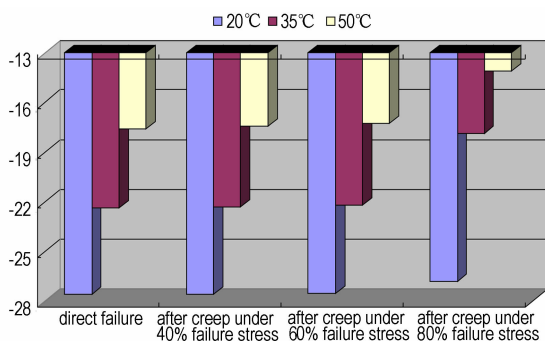


图 4 不同载荷历程的单轴压缩破坏应力比较

Fig. 4 Comparison of uniaxial compression failure stresses under different loading histories

上述是对拉伸破坏数据的分析, 压缩破坏应力方面, 不论是直接破坏还是蠕变后破坏, 破坏应力随环境温度的升高数值降低(图 4 中同组数据比较, 负号表示压缩, 讨论仅针对数值)。具体体现为: 直接破坏的压缩破坏应力由 20 °C 的 27.583 MPa 下降到 50 °C 的 17.583 MPa, 最大降幅 36.3%; 40% 梯度初始应力水平的蠕变后破坏应力从 27.565 MPa 下降到 17.417 MPa, 最大降幅 36.8%, 60% 和 80% 梯度初始应力水平的蠕变后破坏应力的最大降幅分别为 37.2% 和 47.5%。相同的环境温度下, 随着初始应力水平的增加, 破坏应力数值也逐渐下降(图 4 中同色数据比较)。

压缩破坏应变方面, 不论直接破坏还是蠕变后破坏, 35 °C 与 20 °C 的数据基本相当, 略有下降, 50 °C 的破坏应变远低于 20 °C 的数据, 直接破坏的降幅为 17.4%, 40%、60% 和 80% 梯度初始应力水平的数据

降幅分别为 18.3%、19.5% 和 19.1% (图 5 同组数据比较), 分析认为粘结剂热物理性能随温度的变化是造成 50 °C 时破坏应变明显下降的主要原因, 本研究中 PBX 粘结剂的玻璃化转变温度为 53.2 °C<sup>[11]</sup>, 试验温度接近该温度。相同的环境温度下, 破坏应变随着蠕变时初始应力的增加逐渐增大(图 5 同色数据比较), 直接破坏时的应变可作为该温度的临界破坏应变。

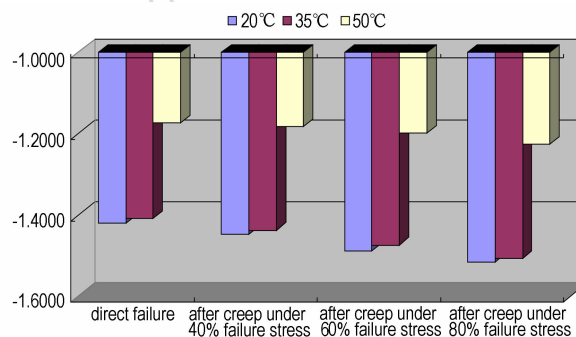


图 5 不同载荷历程的单轴压缩破坏应变比较

Fig. 5 Comparison of uniaxial compression failure strains under different loading histories

综上, 在 20 ~ 50 °C 的试验温度范围内, 不论是拉伸还是压缩, 随环境温度和初始应力水平的变化, 破坏应力的变化幅度远大于破坏应变, 试验获得了相同温度下破坏应力最大 20% 的降幅(35 °C 下 17.88 MPa 的蠕变破坏较之于直接破坏), 不同温度下破坏应力的最大降幅为 47.5% (50 °C 下 14.06 MPa 的蠕变破坏较之于 20 °C 下 22 MPa 的蠕变后破坏), 而此时的破坏应变变化幅度为 6.47% 和 19.1%; 从变化的方向来看, 破坏应力随初始应力水平的升高和加载时间的累积而逐渐降低, 破坏应变则逐渐增大, 这导致了相同温度下破坏应力没有临界值可供选择, 而可选择直接破坏应变作为判断破坏的临界值( $[\varepsilon]$ ), 不论该应变是载荷直接引起的( $\varepsilon_{load}$ )还是时温诱发蠕变引起的( $\varepsilon_{creep}$ ), 如式(1)式(2)所示。

$$[\varepsilon] = \varepsilon_{load} + \varepsilon_{creep} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{creep} = f(T, t, \sigma_0) \quad (2)$$

较之于破坏应力, 采用破坏应变作为主特征破坏参数的最大优势在于不仅可以考虑载荷的直接影响, 还可以考虑时温诱导蠕变产生的应变, 当总应变达到许用应变, 即可判定破坏, 这是破坏应力描述中无法实现的; 单轴强度是复杂应力下强度研究的基础, 基础该认识有助于建立 PBX 的粘弹多轴强度准则, 只是直接应用单轴蠕变数据于复杂应力状态存在局限性, 需予以验证和优化。

## 4 结 论

20~50℃, 不论是单轴拉伸还是单轴压缩, 也不论是直接破坏还是蠕变后破坏, 破坏应力均随环境温度的升高而降低, 破坏应变则在拉伸时的增大和压缩时减小; 相同的环境温度下, 蠕变初始应力水平的增加会导致破坏应力的降低和破坏应变的增大。

不论是拉伸还是压缩, 随环境温度和蠕变初始应力水平的变化, 破坏应力的变化幅度远大于破坏应变; 从变化的方向来看, 破坏应力较之于直接破坏应力逐渐降低, 破坏应变则逐渐增大, 致使破坏应力没有临界值, 而选破坏应变为主特征破坏参数, 则可选直接破坏应变为临界值, 认为当一点应变达到临界即破坏, 而不论该应变是载荷直接引起的还是时温诱发蠕变引起的, 这是破坏应力作为主特征破坏参数在描述中无法实现的。

### 参考文献:

- [1] Jackson Scott I, Larry G. Runaway reaction due to gas-dynamic choking in solid explosive containing a single crack[J]. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2009, 32(2): 2307-2313.
- [2] 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.
- [3] 唐维, 李明, 温茂萍, 等. 基于修正时间硬化理论的 PBX 蠕变模型[J]. 含能材料, 2008, 16(1): 34-37.  
TANG Wei, LI Ming, WEN Mao-ping, et al. PBX creep model based on modified time hardening theory [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(1): 34-37.
- [4] 唐维, 李明, 庞海燕, 等. 修正时间硬化理论的 PBX 蠕变模型及其应用[J]. 火炸药学报, 2007, 30(6): 1-4.  
TANG Wei, LI Ming, PANG Hai-yan, et al. Creep model based on modified time hardening theory of PBX and its application [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2007, 30(6): 1-4.
- [5] Cunningham Bruce J, Gagliardi Franco J. Confined creep testing of plastic-bonded explosives[C] // Proceedings of the SEM Annual Conference, USA, Society for Experimental Mechanics, 2009: 2499-2506.
- [6] LIU Zhan-wei, XIE Hui-min, CHEN Peng-wan, et al. A study of creep properties of polymer bonded explosives [J]. *Advanced Materials Research*, 2008, (33-37): 407-412.
- [7] 庞海燕, 李明, 温茂萍, 等. 不同加载形式的 PBX 炸药巴西试验[J]. 含能材料, 2012, 20(2): 205-209.  
PANG Hai-yan, LI Ming, WEN Mao-ping, et al. Different loading methods in brazilian test for PBX [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(2): 205-209.
- [8] 庞海燕, 李明, 温茂萍, 等. PBX 巴西试验与直接拉伸试验的比较[J]. 火炸药学报, 2011, 34(1): 42-44, 58.  
PANG Hai-yan, LI Ming, WEN Mao-ping, et al. Comparison on the brazilian test and tension test of the PBX [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2011, 34(1): 42-44, 58.
- [9] 涂小珍, 张波, 韦兴文, 等. TATB 基高聚物粘结炸药高温力学性能[J]. 含能材料, 2013, 21(3): 306-309.  
TU Xiao-zhen, ZHANG Bo, WEI Xing-wen, et al. Mechanical properties of TATB based PBX at high temperature [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(1): 34-37.
- [10] 林聪妹, 刘世俊, 涂小珍, 等. TATB 基 PBX 及其改性配方的蠕变性能[J]. 含能材料, 2013, 21(4): 506-511.  
LIN Cong-mei, LIU Shi-jun, TU Xiao-zhen, et al. Creep properties of TATB-based polymer bonded explosive and its modified formulation [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2013, 21(4): 506-511.
- [11] 周红萍, 庞海燕, 温茂萍, 等. 3 种粘结剂材料的力学性能对比研究[J]. 材料导报, 2009, 23(12): 34-36, 52.  
ZHOU Hong-ping, PANG Hai-yan, WEN Mao-ping, et al. Comparative studies on the mechanical properties of three kinds of binders [J]. *Materials Review*, 2009, 23(12): 34-36, 52.

## Identification of Uniaxial main Characteristic Failure Parameter on TATB-based PBX

TANG Wei<sup>1,2,4</sup>, YAN Xi-lin<sup>2</sup>, LI Ming<sup>2</sup>, WEN Mao-ping<sup>2</sup>, LIU Tong<sup>3,4</sup>, ZHANG Ding-guo<sup>1</sup>

(1. School of Sciences, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China; 3. Southwest University of Science and Technology Mianyang 621010, China; 4. Graduate School of CAEP, Mianyang 621999, China)

**Abstract:** Main characteristic parameter identification of polymer bonded explosive (PBX) failure is the basis for establishing strength criterion and evaluating structural strength. A series of uniaxial tension and compression-induced direct failure tests, and also failure after creep tests under different initial stresses, were designed within the temperature range of 20-50℃ on a type of TATB-based PBX. Based on the acquired failure data, effect of environment temperature and initial creep stress on the failure stress and strain was analyzed. Results demonstrate that for both direct failure and failure after creep: 1) With the increase of environment temperature, failure stress reduces both under tension and compression. Failure strain increases under tension but decreases under compression. 2) Given the same environment temperature, failure stress reduces and failure strain increases as the initial creep stress increases. This reveals that failure stress isn't an appropriate main characteristic failure parameter, because it fluctuates violently when environment temperature and initial creep stress change and has no critical value. On the contrary, failure strain is relative simpler as a main characteristic failure parameter. When strain reaches the critical strain, failure is generated no matter how loading history changes and what causes this strain (load or creep). Direct failure strain can be viewed as the critical failure strain at one temperature point. The critical failure strains at 20℃, 35℃ and 50℃ under uniaxial tension are 0.1330%, 0.1452% and 0.1675% respectively, and it changes to -1.4206%, -1.4159% and -1.1731% respectively under uniaxial compression.

**Key words:** polymer bonded explosive; failure stress; failure strain; main characteristic failure parameter

**CLC number:** TJ55; O346.4

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.08.011