

文章编号: 1006-9941(2015)10-0930-06

P(BAMO/AMMO)基含能热塑性聚氨酯弹性体的性能研究

王刚, 葛震, 罗运军

(北京理工大学材料学院, 北京 100081)

摘要: 分别采用基团加和法和燃烧热法得到含不同聚(3,3'-双(叠氮甲基)氧杂环丁烷)(PBAMO)和氨基甲酸酯硬段含量P(BAMO/AMMO)基含能热塑性聚氨酯弹性体(ETPE)的生成热。研究了PBAMO、氨基甲酸酯硬段的含量对ETPE生成热的影响。采用最小自由能法优选出一组P(BAMO/AMMO)ETPE基推进剂配方。计算了理论比冲。测试了P(BAMO/AMMO)ETPE基推进剂的静态拉伸强度、断裂延伸率、摩擦感度、撞击感度和燃速压力指数。结果表明,随着PBAMO质量的增加、氨基甲酸酯硬段含量的降低,P(BAMO/AMMO)ETPE的生成热增加。优选的15/5/20/38.5/18/3.5-P(BAMO/AMMO)/Bu-NENA/RDX/AP/Al/催化剂推进剂的理论比冲为 $2699.51 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$ (燃烧室压强为10 MPa)。此推进剂的静态拉伸强度为1.22 MPa,断裂延伸率为11.37%。包覆固体填料可显著降低推进剂预混物料的机械感度,使特性落高 H_{50} 增加37 cm,摩擦感度下降36%,6~15 MPa压力范围内的燃速压力指数 $n=0.37$ 。

关键词: 固体推进剂; 叠氮聚合物; 含能热塑性弹性体; 推进剂; 能量; 燃烧性能

中图分类号: TJ55

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.10.003

1 引言

含能热塑性弹性体(energetic thermoplastic elastomers,ETPE)是指在热塑性弹性体中引入含能基团,从而兼具能量特性与优异加工性能的一类弹性体。常见的含能基团包括硝酸酯基($-\text{ONO}_2$),硝基($-\text{NO}_2$),硝胺基($-\text{NNO}_2$),叠氮基($-\text{N}_3$),二氟胺基($-\text{NF}_2$)等。其中引入叠氮基团的ETPE由于其具有正的生成热、放热大、能量高、感度低等优点,成为近年来ETPE研究的热点^[1-2]。而聚(3,3'-双(叠氮甲基)氧杂环丁烷/3-叠氮甲基-3'-甲基氧杂环丁烷)(P(BAMO/AMMO))具有较高的能量水平,良好的力学性能以及加工性能,被喻为下一代固体推进剂和发射药首选含能黏合剂^[3-4]。

推进剂能量特性的理论研究对推进剂配方的设计具有指导意义,裴江峰等^[5]对P(BAMO/AMMO)基推进剂的能量特性进行计算,研究了不同增塑剂、氧化剂等对推进剂能量特性的影响。吕勇等^[6]采用基团加和

法对GAP基ETPE的生成热进行估算,研究固化剂种类、硬段含量等因素对ETPE生成热的影响,为其进一步在推进剂中的应用奠定理论基础。P(BAMO/AMMO)ETPE是一种含能钝感黏合剂,通过调节PBAMO与PAMMO的质量比、氨基甲酸酯硬段的种类及含量,可以控制P(BAMO/AMMO)ETPE的力学、能量等性能,使其满足不同的应用^[7-8]。但是,目前关于P(BAMO/AMMO)ETPE的研究主要集中在弹性体的合成优化、力学、热分解等基本性能的研究^[1-2, 9-18],关于其应用研究尤其是在固体推进剂中应用研究较少。因此,本研究首先对P(BAMO/AMMO)ETPE的生成热进行计算,采用基团加和法^[6]以及摩尔燃烧热法^[19],对不同氨基甲酸酯硬段含量、不同PBAMO与PAMMO质量比的ETPE生成热进行计算,然后以推进剂的能量、感度为基准进行配方设计,采用平辊压延法^[20]制备具有一定厚度的推进剂样品,并对其力学、机械感度、密度、爆热、燃速等相关性能进行研究,为其在推进剂中的应用奠定基础。

2 实验部分

2.1 实验原料

P(BAMO/AMMO)ETPE: 数均分子量为 $30100 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,采用溶液聚合法,根据文献[20]合成,固化剂为甲苯

收稿日期: 2015-01-23; 修回日期: 2015-04-07

作者简介: 王刚(1987-),男,博士研究生,主要从事含能高分子材料的研究。e-mail: wanggangbit@163.com

通信联系人: 罗运军(1964-),男,教授,博士生导师,主要从事含能材料及功能高分子材料的研究。e-mail: yjluo@bit.edu.cn

二异氰酸酯(TDI),分析纯,北京化学试剂厂;扩链剂为1,4-丁二醇(BDO)BDO:化学纯,北京化学试剂厂,使用之前在60℃的真空干燥箱内烘干2h;溶剂四氢呋喃(THF):化学纯,北京化学试剂厂,催化剂二月桂酸二丁基锡:分析纯,北京化工厂,使用前配制成质量分数为0.5%的邻苯二甲酸二丁酯溶液;邻苯二甲酸二丁酯(DBP),分析纯,北京化工厂;环三次甲基三硝胺(RDX),国营805厂;高氯酸铵(AP),国营805厂。

2.2 仪器与测试条件

燃烧热与爆热: Parr 6200 型氧弹式量热仪,美国Parr公司。测试方法:按照GJB770B-2005火药试验方法701.1进行。

静态力学拉伸试验: AGS-J 电子万能试验机,日本Shimadzu公司。测试方法:按照GB/T 528-1998规定方法,制备哑铃型样条,测试温度为25℃,拉伸速率为100 mm·min⁻¹。

密度测试: DCAT21 型表面界面张力仪,德国Dataphysics公司。测试方法:样品池内液体为正己烷,天平平衡时间为5s。

机械感度: 那辰落锤式撞击感度仪;那辰WM-1型摆式摩擦感度仪。测试方法:按照GJB772A-1997炸药试验方法601.2进行,撞击感度通过测定特性落高(H₅₀)进行表征,即爆炸百分数为50%时相对应的落高;摩擦感度测试条件为表压2.45 MPa,摆角66°,药量为(20±1) mg,用爆炸百分率(P)表示摩擦感度。

燃速测试: 采用靶线法,根据GJB770A-1997方法706.1测试,将药块切成5 mm×5 mm×150 mm的药条,药条侧面用限速剂包覆两次,每次晾干时间12 h以上,测试压力为6~15 MPa,山西太原兴安化学有限公司测试。

2.3 实验过程

首先对弹性体进行造粒,按计量比将物料混合均匀,在平板硫化机上预压成型,温度为85~100℃,压强为3~4 MPa。将得到的样品在开炼机上反复开炼使物料混合均匀并最终得到具有一定厚度的推进剂样品,温度为65~90℃。

2.3 生成热的计算

2.3.1 基团加和法^[6]

基团加和法的原理是根据不同基团对生成热的贡献加和求解生成热的方法,不同基团对生成热的贡献见文献^[15],P(BAMO/AMMO)ETPE结构式如图1所示。当 r (异氰酸酯基与羟基的摩尔比)= $[-NCO]/[-OH]=1.0$ 时,P(BAMO/AMMO)ETPE

氨基甲酸酯硬段(TDI+BDO)含量 HS 与 n 值之间的关系为: $n = \frac{3910HS+90}{264(1-HS)}$,将图1中A、B、C三部分加和求解P(BAMO/AMMO)ETPE的生成热(PBAMO、PAMMO的相对分子质量为4000 g·mol⁻¹)。

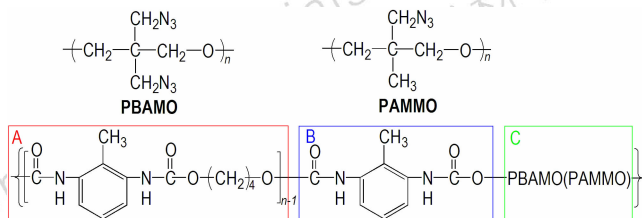


图1 PBAMO、PAMMO、P(BAMO/AMMO)ETPE结构式

Fig. 1 The chemical structure of PBAMO, PAMMO and P(BAMO/AMMO)ETPE

2.3.2 摩尔燃烧热法^[19]

摩尔燃烧热法的计算如式(1)所示,首先测量样品的燃烧热,然后根据下式计算出样品的生成热。

$$\Delta_f H_m(C_x H_y O_z N_n) = x \Delta_f H_m(CO_2) + y \Delta_f H_m(H_2O) + (n/3) \Delta_f H_m(NO_2) + \Delta_c H_m(C_x H_y O_z N_n) \quad (1)$$

3 结果与讨论

3.1 P(BAMO/AMMO)ETPE的生成热与燃烧热

分别采用基团加和法和摩尔燃烧热法得到P(BAMO/AMMO)ETPE的生成热。采用基团加和法得到的结果如图2所示,随着PBAMO的质量分数的增加、氨基甲酸酯硬段(BDO+TDI)质量分数的减少,弹性体的生成热增加。但是随着PBAMO含量的增加,弹性体的相对分子质量偏低,影响其强度和延伸率,而随着BDO与TDI含量的增加,弹性体的强度增加但是断裂延伸率降低^[20],为了满足P(BAMO/AMMO)ETPE在

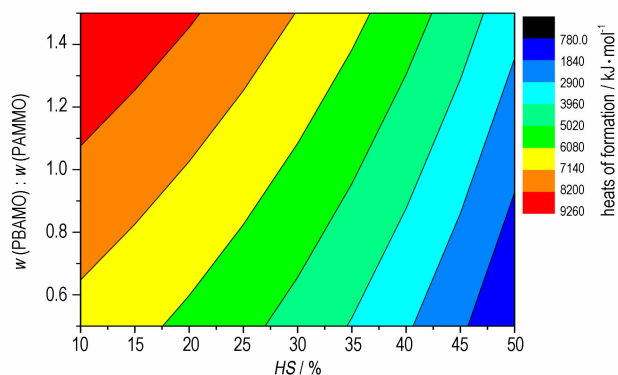


图2 P(BAMO/AMMO)ETPE的摩尔生成热

Fig. 2 The molar heats of formation for P(BAMO/AMMO)ETPE

推进剂中的应用,选择 PBAMO 与 PAMMO 质量比为 1 : 1, BDO+TDI 质量分数为 20% 的弹性体。

采用摩尔燃烧热法对 P(BAMO/AMMO) ETPE 的摩尔生成热计算,将燃烧热带入到式(1)计算生成热,得到的结果列于表 1 中。对比两种方法计算得到的生成热,相差不大,说明两种方法均可以很好的估算 P(BAMO/AMMO) ETPE 的生成热。

表 1 PBAMO、PAMMO、P(BAMO/AMMO)的燃烧热及生成热

Table 1 The heats of combustion and heats of formation for PBAMO, PAMMO and P(BAMO/AMMO) ETPE

sample	$\Delta_c H_m^{(1)}$ /kJ · g ⁻¹	$\Delta_f H_m^{(2)}$ /kJ · g ⁻¹	
		heat of combustion method	group additivity method
PBAMO	24.18	6.51	5.87
PAMMO	26.96	2.39	2.01
P(BAMO/AMMO)	21.24	3.75	3.44

Note: 1) the heat of combustion; 2) the heat of formation.

3.2 推进剂能量计算

采用怀特最小自由能法^[21-22]计算得到的

P(BAMO/AMMO) ETPE 基推进剂不同配方的能量性能,包括理论比冲(I_s)、燃烧室温度(T_c)、特征速度(C^*)、燃气平均分子量(M_g)以及爆热(Q),结果如图 3 所示。其中,配方中的氧化剂为 RDX、AP,燃料为 Al 粉,少量燃速催化剂,黏合剂为 P(BAMO/AMMO),含量(质量分数)为 15%,增塑剂为 Bu-NENA,含量为 5%,固体填料(RDX、AP 以及 Al 粉等)含量为 80%,其中燃速催化剂含量为 3.5%;计算采用的燃烧室压强为 10 MPa。

由图 3a 可以看出,随着 RDX 含量的增加、Al 含量的增加,推进剂的理论比冲(I_s)呈先上升后下降的趋势,并在 Al 粉含量为 18% 时达到最大值 275.46 s。RDX 是环状销胺炸药,分解放出大量的热,随着 RDX 逐步替代 AP,推进剂的比冲不断提升,但是随着 RDX 进一步提高,推进剂体系的氧系数下降,造成推进剂燃烧不完全,因此,推进剂的比冲反而下降。燃烧室温度(T_c)主要由推进剂的燃烧程度决定,随着 RDX 含量的增加,AP 含量不断减少,推进剂的氧系数不断减小,燃烧室温度也不断减小,如图 3b 所示。由图 3c 可以

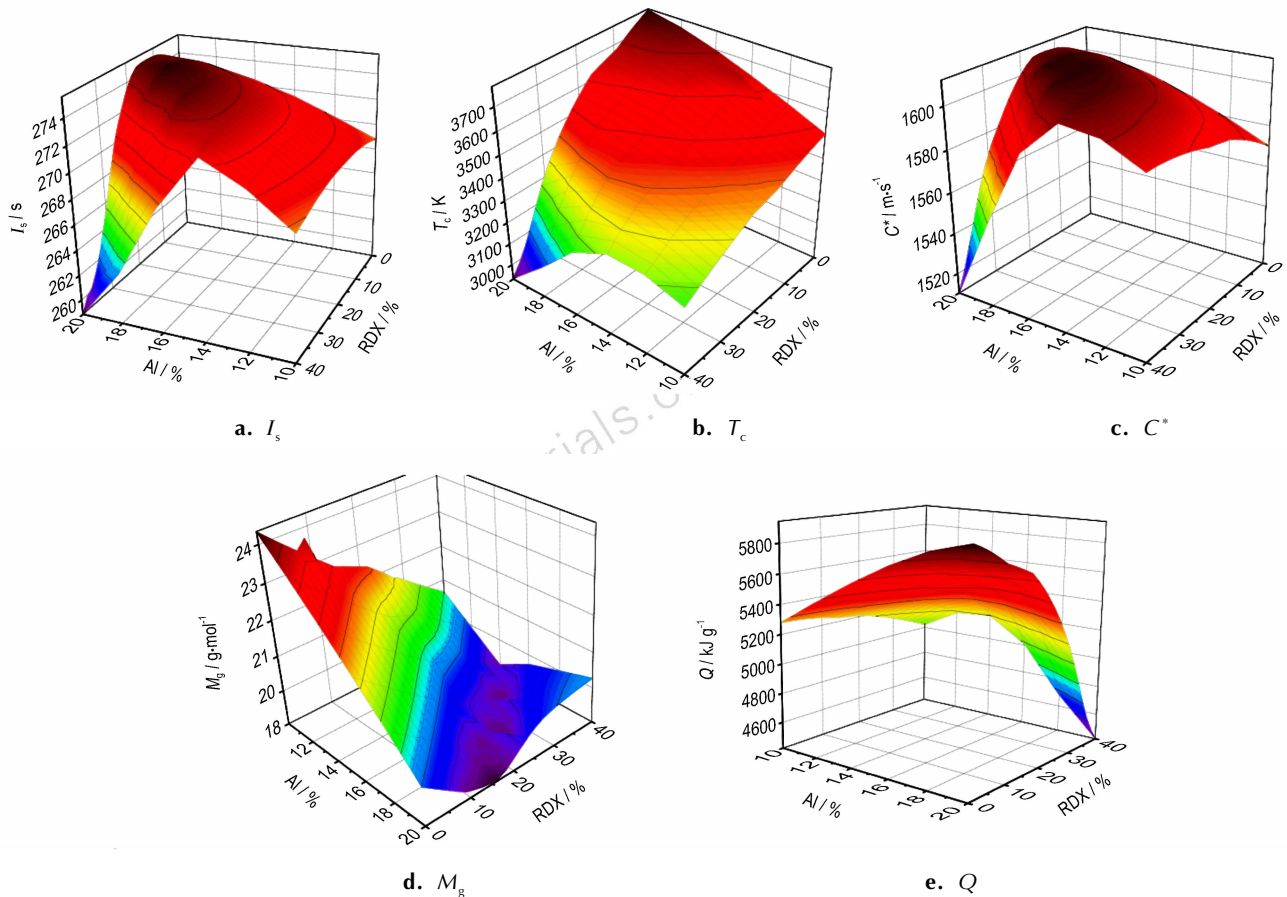


图 3 P(BAMO/AMMO)基推进剂的能量性能随 Al、RDX 含量的变化

Fig. 3 Changes in energy characteristics of the P(BAMO/AMMO) based propellant with the content of Al and RDX

看出,特征速度(C^*)与理论比冲具有相同的趋势,主要是因为特征速度的大小由喷管性能决定。燃气平均分子量(M_g)以及爆热(Q)的变化规律与燃烧室温度及氧系数的变化规律基本一致(见图3d与图3e),主要是氧系数的降低造成推进剂的不完全燃烧导致的。根据比冲最大化原则,确定推进剂的最终配方为P(BAMO/AMMO)的含量为15%,增塑剂Bu-NENA为5%,RDX为20%,AP为38.5%,Al为18%,燃速催化剂为3.5%。

表2列出了此推进剂的能量性能、力学性能、密度及爆热测试结果。该推进剂具有较高的能量水平,其

理论比冲高达275.46 s,氧系数(φ)为0.47。同时,该推进剂具有较优的力学性能,其最大拉伸强度(σ_m)为1.22 MPa,断裂延伸率(ε_b)为11.37%。密度测试结果表明,此推进剂的实测密度($1.76 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)低于其理论密度($1.85 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$),这是由于推进剂的实际密度与推进剂的加工工艺、组分的密集堆积等因素有关,导致实测密度低于理论密度,在后续的研究中可以采用螺杆挤出等工艺来提高推进剂的实际密度。而实测爆热($5.26 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)与理论爆热($5.61 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)相差不多,说明此推进剂的氧系数较为合理,燃烧比较完全。

表2 15/5/20/38.5/18/3.5-P(BAMO/AMMO)/Bu-NENA/RDX/AP/Al/催化剂为基的推进剂能量特性及力学性能

Table 2 Energy characteristics and mechanical properties of the 15/5/20/38.5/18/3.5-P(BAMO/AMMO)/Bu-NENA/RDX/AP/Al/catalyst propellant

I_s/s	$\varphi^1)$	$\rho_{\text{theory}}/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$Q_{\text{theory}}/\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$	$\sigma_m^{2)}/\text{MPa}$	$\varepsilon_b^{3)}/\%$	$\rho_{\text{measured}}/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$Q_{\text{measured}}/\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$
275.46	0.47	1.85	5.61	1.22	11.37	1.76	5.26

Note: 1) Oxygen coefficient; 2) the maximum stress; 3) the breaking elongation.

3.3 固体填料的包覆对推进剂机械感度的影响

由于高能固体组分直接暴露在空气中,物料预混过程有较高的风险,为此需要对高能固体组分进行钝感处理。对固体填料的包覆是一种快速、有效的钝感处理方法。水-悬浮液法工艺简单、易于操作,是目前较为常用的包覆方法。但是,由于AP能够溶解于水中,不适合采用水-悬浮液法进行钝感包覆,因此,本研究采用水-悬浮液法对RDX进行包覆、采用溶剂-反溶剂法对AP进行包覆,所用包覆材料为P(BAMO/AMMO),并对比包覆前后推进剂预混物料的机械感度,结果如表3所示。可以看出,对RDX、AP进行包覆可以明显降低推进剂预混物料的机械感度,使撞击感度 H_{50} 增加了37 cm,摩擦感度降低了36%,可以显著降低推进剂加工过程的危险性。这可能是因为,P(BAMO/AMMO)是一种含能钝感黏合剂,采用P(BAMO/AMMO)对RDX、AP进行包覆,不仅使其能量不致损失很多,而且P(BAMO/AMMO)包覆在

表3 固体填料包覆前后推进剂的机械感度

Table 3 Mechanical sensitivity of the propellant before and after coating solid filler

sample	H_{50}/cm	$P/\%$
uncoated	45	76
coated	82	40

Note: 1) H_{50} represents impact sensitivity. 2) P represents friction sensitivity.

RDX、AP表面,降低了热点形成的概率,吸收撞击或摩擦过程中的能量,起到缓冲作用,因此显著的降低了推进剂预混物料的机械感度,从而降低了推进剂加工过程的危险性。

3.4 燃速及燃速压力指数

采用靶线法测试了6~15 MPa下推进剂的燃速,每个压力下测试3次取其平均值,结果见表4。根据燃速方程 $u = u_0 \times p^n$ (u_0 为燃速系数, $\text{mm} \cdot (\text{s} \cdot \text{MPa}^n)^{-1}$; p 为燃烧时的压力,MPa; n 为燃速压力指数)。以 $\ln u$ 对 $\ln p$ 作曲线,根据拟合直线的斜率可以得到燃速压力指数 n 。

表4 不同压力下推进剂的燃速

Table 4 Burning rate of the propellant at different pressure

p/MPa	$u_{\text{average}}/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
6	10.88
8	11.78
10	13.80
12	14.28
15	15.23

Note: u is burning rate.

推进剂的燃速-压强对数关系曲线如图4所示,拟合直线的相关系数为0.985,燃速方程为 $u = 5.67 \times p^{0.37}$,燃速压力指数 $n = 0.37$ 。 n 是表示推进剂燃速和压力关

心的重要参数, n 的大小不仅与推进剂的种类、组成有关, 而且与压力大小有关系。在推进剂的应用中, 一般要求 n 越小越好, 这样能保证发动机稳定工作的可靠性。此次研究中的推进剂压力指数 n 为 0.37, 表明该推进剂具有较低的燃速压力指数, 在燃烧过程中可以较为平稳地燃烧。

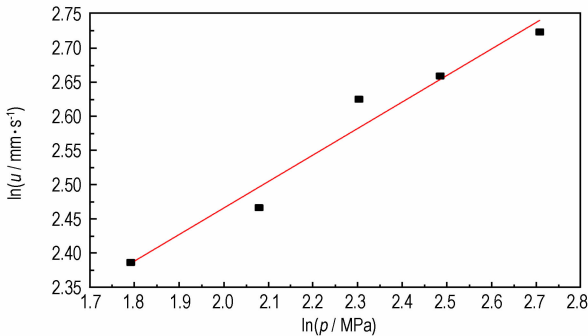


图 4 推进剂的 $\ln u$ - $\ln p$ 曲线

Fig. 4 A plot of $\ln u$ vs. $\ln p$ of propellant

4 结论

分别采用基团加和法和摩尔燃烧热法得到了 P(BAMMO/AMMO)ETPE 的生成热, 两种方法均可以较好地估算 P(BAMMO/AMMO)ETPE 的生成热。随着 PBAMO、氨基甲酸酯硬段含量的增加 P(BAMMO/AMMO)ETPE 的生成热增加。

推进剂配方设计表明燃速催化剂为 3.5% 时, P(BAMMO/AMMO)的含量为 15%, 增塑剂 Bu-NENA 为 5%, RDX 为 20%, AP 为 38.5%, Al 为 18% 的推进剂理论比冲可达 275.46 s。

感度测试表明, 固体填料经过包覆后, 可以显著降低推进剂预混物料的机械感度, 从而降低其加工过程的危险性。燃速测试表明该推进剂具有较低的燃速压力指数 (0.37)。由此说明 15 P(BAMMO/AMMO)/5Bu-NENA/20RDX/38.5AP/18Al/3.5 燃速催化剂推进剂具有较高的能量水平、较低感度以及平稳的燃烧性能, 是一种十分有潜力的推进剂。

参考文献:

[1] Kanti Sikder A, Reddy S. Review on energetic thermoplastic elastomers (ETPEs) for military science[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2013, 38(1): 14-28.

[2] Ampleman G, Brousseau P, Thiboutot S, et al. Evaluation of gim as a greener insensitive melt-cast explosive[J]. *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion*, 2012, 11(1): 59-87.

[3] 罗运军, 葛震. 叠氮类含能粘合剂研究进展[J]. *精细化工*, 2013, 30(04): 374-377, 438.

LUO Yun-jun, GE Zhen. Progress in the research into azide energetic binders[J]. *Fine Chemicals*, 2013, 30(4): 374-377, 438.

[4] 罗运军, 王晓青, 葛震. 含能聚合物[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 180-181.

LUO Yun-jun, WANG Xiao-qing, GE Zhen. *Energetic polymers* [M]. Beijing: National Defense Industry Press. 2011: 180-181.

[5] 裴江峰, 赵凤起, 宋秀铎, 等. BAMO/AMMO 共聚物基高能固体推进剂能量特性计算和分析[J]. *含能材料*, 2015, 23(1): 37-42.

PEI Jiang-feng, ZHAO Feng-qi, SONG Xiu-duo, et al. Calculation and analysis on energy characteristics of high energy propellants on BAMO/AMMO copolymers[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2015, 23(1): 37-42.

[6] 吕勇, 罗运军, 葛震. 基团加和法估算含能热塑性聚氨酯弹性体的生成焓[J]. *含能材料*, 2009, 17(2): 131-136.

Lü Yong, LUO Yun-jun, GE Zhen. Estimation of enthalpy of formation for energetic thermoplastic polyurethane elastomers by group additivity method[J]. *Chinese journal of energetic material (Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(2): 131-136.

[7] 张弛, 罗运军, 李晓萌. BAMO/AMMO 三嵌段共聚物的合成、表征及热分解动力学[J]. *火炸药学报*, 2010, 33(6): 11-15.

ZHANG Chi, LUO Yun-jun, LI Xiao-meng. Synthesis, characterization and thermal decomposition kinetics of BAMO/AMMO tri-block copolymer[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2010, 33(6): 11-15.

[8] 张弛, 李杰, 罗运军, 等. BAMO-AMMO 三嵌段共聚物的间接法合成及表征[J]. *高分子材料科学与工程*, 2012, 28(6): 5-7, 11.

ZHANG Chi, LI Jie, LUO Yun-jun, et al. Indirect synthesis and characterization of BAMO-AMMO tri-block copolymer[J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2012, 28(6): 5-7, 11.

[9] Barbieri U, Keicher T, Polacco G. Homo- and copolymers of 3-tosyloxymethyl-3-methyl oxetane (TMMO) as precursors to energetic azido polymers[J]. *E-Polymers*, 2009, 9(1): 565-575.

[10] Nair J K, Reddy T S, Satpute R S, et al. Synthesis and characterization of energetic thermoplastic elastomers (ETPEs) based on 3,3-Bis(Azidomethyl) oxetane (bamo)-3-azidomethyl-3-methyl-oxetane (ammo) copolymers[J]. *J Polym Mater*, 2004, 21(2): 205-212.

[11] Kucukpinar R E, Kalyon D M. Viscoelasticity and processability of a BAMO/AMMO thermoplastic elastomer[C]//Proceedings of the 1997 55th Annual Technical Conference, ANTEC. Part 3 (of 3), Toronto, Canada, April 27, 1997-May 2, 1997: 3411-3417.

[12] Reddy T S, Nair J K, Satpute R S, et al. Rheological studies on energetic thermoplastic elastomers[J]. *J Appl Polym Sci*, 2010, 118(4): 2365-2368.

[13] Boldyrev V V. Thermal decomposition of ammonium perchlorate[J]. *Thermochim Acta*, 2006, 443(1): 1-36.

[14] Mohan Y M, Raju K M. Synthesis and characterization of low molecular weight azido polymers as high energetic plasticizers[J]. *Int J Polym Anal Charact*, 2004, 9(5-6): 289-304.

[15] Kimura E, Oyumi Y. Thermal decomposition of BAMO copolymers[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1995, 20(6): 322-326.

- [16] Lee Y J, Tang C J, Kudva G, et al. Thermal decomposition of 3, 3'-bis-azidomethyl-oxetane[J]. *J Propul Power*, 1998, 14(1): 37-44.
- [17] Farber M, Harris S P, Srivastava R D. Mass spectrometric kinetic studies on several azido polymers[J]. *Combust Flame*, 1984, 55(2): 203-211.
- [18] Chen J K, Brill T B. Thermal decomposition of energetic materials 54. Kinetics and near-surface products of azide polymers AMMO, BAMO, and GAP in simulated combustion[J]. *Combust Flame*, 1991, 87(2): 157-168.
- [19] Diaz E, Brousseau P, Ampleman G, et al. Heats of combustion and formation of new energetic thermoplastic elastomers based on GAP, PolyNIMMO and PolyGLYN[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2003, 28(3): 101-106.
- [20] 张弛. BAMO-AMMO 含能粘合剂的合成、表征及应用研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2011.
- ZHANG Chi. Synthesis, characterization and application of BAMO-AMMO energetic binders[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2011.
- [21] White W B, Johnson S M, Dantzig G B. Chemical equilibrium in complex mixtures[J]. *The Journal of Chemical Physics*, 1958, 28(5): 751-755.
- [22] 刘晶如, 吕勇, 辛伟. 含能热塑性聚氨酯推进剂的能量计算与分析[J]. 固体火箭技术, 2012, 35(3): 376-381.
- LIU Jing-ru, Lü Yong, XIN Wei. Calculation and analysis on energy characteristics of energetic thermoplastic polyurethane propellant[J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 2012, 35(3): 376-381.

Performance of P(BAMO/AMMO) based ETPE

WANG Gang, GE Zhen, LUO Yun-jun

(School of Materials Science & Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The heats of formation for poly(3,3'-bisazidomethyl oxetane-3-azidomethyl-3'-methyl oxetane) (P(BAMO/AMMO)) based energetic thermoplastic polyurethane elastomers (ETPE) with different content of poly(3,3'-bisazidomethyl oxetane) (PBAMO) and hard segment were estimated by group additivity method and combustion heats method. The effect of contents of PBAMO and hard segment on the heat of formation of ETPE. A group of P(BAMO/AMMO) ETPE-based propellants were selected by the least free energy method. The theoretical specific impulse was calculated. The maximum static state tensile stress, breaking elongation, impact sensitivity, friction sensitivity, burning rate of P(BAMO/AMMO) ETPE based propellant formulation were measured. Results show that the heat of formation of P(BAMO/AMMO) ETPE decreases as the mass of PBAMO increases or the content of hard segment decreases. The theoretical specific impulse of the preferred 15/5/20/38.5/18/3.5-P(BAMO/AMMO)/Bu-NENA/RDX/AP/Al/catalyst propellant is $2699.51 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$ under the combustion chamber pressure of 10 MPa. The maximum tensile stress of the propellant is 1.22 MPa. The breaking elongation is 11.37%. The coated-solid filler can significantly reduce the mechanical sensitivity of premixed materials, making impact sensitivity H_{50} increase by 37 cm, friction sensitivity P decrease by 36%, and burning rate pressure exponent (n) be 0.37 in the pressure range of 6 to 15 MPa.

Key words: solid propellant; azido polymers; ETPE; propellant; energy; combustion performance

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.10.003