

文章编号: 1006-9941(2012)03-0280-06

十氢十硼酸双四乙基铵的热行为及其与推进剂主要组分的相容性

庞维强, 薛云娜, 樊学忠, 胥会祥, 石小兵, 李洋, 李勇宏, 王晓飞

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 用 DSC 和 TG-DTG 研究了十氢十硼酸双四乙基铵 $[(C_2H_5)_4N]_2B_{10}H_{10}$ (BHN) 的热行为, 并分别用 DSC 法和真空安定性法考察了 BHN 与推进剂主要组分六硝基六氮杂异伍兹烷 (CL-20)、3,4-二硝基咪唑基氧化咪唑 (DNTF)、*N*-脒基脒二硝酰胺盐 (FOX-12)、奥克托今 (HMX)、端羟基叠氮聚醚 (GAP)、黑索今 (RDX)、高氯酸铵 (AP)、3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮铅 (NTO-Pb)、端羟基聚丁二烯 (HTPB)、癸二酸二异辛酯 (DOS)、2,4-甲苯二异氰酸酯 (TDI)、异佛尔酮二异氰酸酯 (IPDI)、己二酸酮 (AD-Cu)、Al 粉和 Mg 粉的相容性。结果表明, BHN 的热分解存在一个主放热峰, $10\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 时的分解峰温为 $305.8\text{ }^\circ\text{C}$, 其与 CL-20、HMX、GAP、RDX、AP、NTO-Pb、HTPB、DOS、IPDI、AD-Cu、Al 粉和 Mg 粉等均相容, 可与上述材料混合应用于火炸药的制备, 但与 TDI 混合有中等反应现象。

关键词: 分析化学; 十氢十硼酸双四乙基铵 (BHN); 差示扫描量热法 (DSC); 热重-微商热重法 (TG-DTG); 相容性

中图分类号: TJ55; O65

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.03.003

1 引言

高能量、扩大燃速可调范围、钝感和少烟或无烟化一直是固体火箭推进剂的发展趋势。离子型硼氢化合物作为固体推进剂的高能燃烧剂, 由于具有很高的燃烧热值, 颗粒粒度分布均匀, 可大大提高推进剂中高能固体组分的含量, 从而大幅提高推进剂的能量^[1-4]。硼氢化合物主要包括开笼型的硼烷、闭笼式的聚硼烷类阴离子化合物、碳硼烷及金属碳硼烷等^[5]。离子型氢硼酸盐主要是指十氢十硼酸和十二氢十二硼酸的盐类, 它们性能稳定, 毒性较小, 从合成方便、毒性低来考虑, 它比碳硼烷具有一定的优越性。在推进剂中已大量报道使用的是十氢十硼酸盐及其与氧化剂的共沉淀物如: $K_2B_{10}H_{10}$ 、 $Cs_2B_{10}H_{10}$ 、 $(NH_4)_2B_{10}H_{10}$ 、 $Cs_2B_{10}H_{10}\cdot CsNO_3$ 和 $Cs_2B_{10}H_{10}/KNO_3$ 等, 它们能使复合和双基推进剂获得相当高的燃速^[6]。陈福泰等^[7]研究了 $[N(C_2H_5)_4]_2B_{12}H_{12}$ 对 NEPE 推进剂 (主要组分 RDX、HMX、AP) 燃烧性能的影响, 结果表明, 该物质对 AP 的热分解没有明显的催化作用, 但加速了硝胺的热分解, 从而提高了 NEPE 推进剂的燃速, 在高压时

出现“平台”现象, 而且硼氢化合物释放出氢原子的电离势很低, 极易与硝胺等发生作用, 加速硝胺等的分解^[8], 可望在固体推进剂中获得应用。离子型硼氢化合物——十氢十硼酸双四乙基铵 $[(C_2H_5)_4N]_2B_{10}H_{10}$ (BHN) 作为一种具有较高燃烧热值的燃烧剂对固体推进剂能量性能的研究报道较少, 其具有氮含量高、生成焓高、分解温度高、机械感度低等优点, 被认为是具有一定应用前景的高能推进剂用燃烧剂^[9-11]。因此, 本研究探索了硼氢化合物 BHN 的热分解特性及其与含能材料和推进剂常用组分的相容性, 为其在推进剂中的应用提供参考。

2 实验部分

2.1 原材料与试剂

原材料: 十氢十硼酸双四乙基铵 ($\bar{M} = 45000$, $n \approx 356$), 西安近代化学研究所制备, 经液相色谱测定其纯度为 99.5%; 奥克托今 (HMX), 纯度大于 99.5%; 黑索今 (RDX), 纯度大于 99.6%; 铝粉 (Al), $12.18\text{ }\mu\text{m}$, 盖州市金属粉末厂; 镁粉 (Mg), 200~250 目, 唐山金属材料有限公司; 端羟基叠氮聚醚 (GAP), 纯度大于 99.8%; *N*-脒基脒二硝酰胺盐 (FOX-12), 纯度大于 99.8%; 3,4-二硝基咪唑基氧化咪唑 (DNTF), 纯度大于 99.6%; 六硝基六氮杂异伍兹烷 (CL-20), 纯度大于 99.5%; 3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮铅 (NTO-Pb), 纯度大于 99.1%; 高

收稿日期: 2011-09-14; 修回日期: 2011-11-04

基金项目: 火炸药行业青年创新基金项目 (HZY10)

作者简介: 庞维强 (1977-), 男, 博士, 主要从事复合推进剂研究。

e-mail: nwpu_pwq@163.com

氯酸铵 (AP), 100 ~ 140 目, 大连氯酸钾厂; 癸二酸二异辛酯 (DOS), 上海凌峰化学试剂公司; 端羟基聚丁二烯 (HTPB), 纯度大于 99.2%, 黎明化工研究院; 卡托辛 (GFP), 西安宏达公司; 2,4-甲苯二异氰酸酯 (TDI), 上海试剂厂; 异佛尔酮二异氰酸酯 (IPDI), 进口; 己二酸酮 (AD-Cu), 西安近代化学研究所。

2.2 仪器及测试条件

NETSCH DSC 204 型差示扫描量热仪 (德国), 升温速率为 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, 常压静态, N_2 气氛, 试样量 1 ~ 2 mg。

2950 型 TG-DTA 仪 (美国 TA 公司), 升温速率为 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, N_2 气氛, 流速 $60\text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 试样量 1 ~ 2 mg。

2.3 相容性实验

2.3.1 DSC 法

有时把含能材料与接触材料的相容性称之为外相容性, 而含能材料混合体系组分之间的相容性称之为内相容性。还有所谓“化学相容性”与“物理相容性”之分。显然, DSC 或 DTA 及下述的 TG 方法评价相容性的原理是: 含能材料与材料混合后, 如有化学反应发生, 就会有热效应产生, 从 DSC 或 DTA 曲线上获得热分解特征温度和动力学参数, 如分解峰温 T_p 和分解表观活化能 E_a 的变化为判据来评价相容性。DSC 或 DTA 测定含能材料的分解峰温 T_p 受试验条件的影响, 因此有必要确定和规定主要的测试条件。20 世纪 70 年代美国 Honeywell 公司提出了用热分析 (DTA、DSC) 评价相容性的标准, 通过测定含能材料及其与接触材料混合体系或含能材料混合体系及其组分的分解 DSC 或 DTA 曲线, 以混合体系与含能材料两者 DSC 或 DTA 的分解峰温 T_p 之差 ΔT_p 为判据 (标准) 是 DSC 或 DTA 方法评估相容性最常用的依据^[12], 其定义如式 (1)。

$$\Delta T_p = T_{p1} - T_{p2} \quad (1)$$

式中, T_{p1} 为含能材料组分的分解峰顶温度, $^{\circ}\text{C}$; T_{p2} 为含能材料混合体系或与接触材料混合体系的分解峰顶温度, $^{\circ}\text{C}$ 。要求混合体系的质量比为 1 : 1。

表 1 给出了用 ΔT_p 评价相容性的标准或判据 (以峰温降低值计)。

2.3.2 真空安定性法

试样量: 单一试样 (2.50 ± 0.01) g, 混合试样 (5.00 ± 0.01) g, 质量比为 1 : 1, 在定容、恒温 (90.0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 和一定真空度的条件下, 将一定时间 (40 h) 内放出气体的压力换算成标准状态下的气体

体积, 以单位质量试样放出气体的体积评价相容性。

试样在标准状态下释放的气体体积为:

$$V_H = 2.69 \times 10^{-3} p (V_O - V_G) / T \quad (2)$$

式中, V_H 为试样在标准状态下释放的气体体积 (放气量), mL; 2.69×10^{-3} 为标准状态下温度与压力的比值, kPa; p 为试样释放的气体压力; V_O 为反应容器体积与测压连接管路体积之和, mL; V_G 为试样体积 (质量除以真密度), mL; T 为试验室温度, K。

净放气量为:

$$R = V_C - (V_A + V_B) \quad (3)$$

式中, R 为反应净放气量, mL; V_C 为反应容器体积与测压连接管路体积之和, mL; V_A 为 A 试样的放气量, mL; V_B 为 B 试样的放气量, mL。每种试样平行测试 3 次, 最后取平均值。

相容性评价标准: $R < 3.0$ mL, 相容; $R = 3.0 \sim 5.0$ mL, 中等反应; $R > 5.0$ mL, 不相容。

表 1 用 ΔT_p 评价相容性的标准或判据 (以峰温降低值计)

Table 1 Evaluated standard of compatibility for explosive and contacted materials

criteria $\Delta T_p / ^{\circ}\text{C}$	rating ¹⁾	
less than or equal to 2	A	compatible or good compatibility
3 - 5	B	slightly sensitized or fair compatibility
6 - 15	C	sensitized or poor compatibility
15 - above	D	hazardous or bad compatibility

Note: 1) A—safe for use in any explosive design;

B—safe for use in testing, when the device will be used in a very short period of time, not to be used as a binder material, or when long-term storage is desired;

C—not recommended for use with explosive items;

D—hazardous, do not use under any conditions.

3 结果与讨论

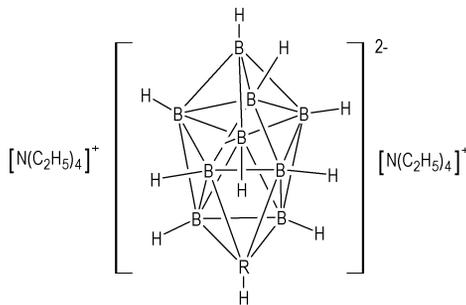
3.1 BHN 的热分解行为

BHN 分子由一个十氢十硼酸阴离子及两个季铵阳离子组成, 其中十氢十硼酸阴离子是一个封闭的十顶十六面双加帽四方反棱柱的立体笼型结构, BHN 的分子结构见 Scheme 1。为了解 BHN 的热安定特性, 我们测试了 BHN 在 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温速率条件下的 DSC 曲线 (0.1 MPa) 和 TG-DTG 曲线, 分别如图 1 和图 2 所示。

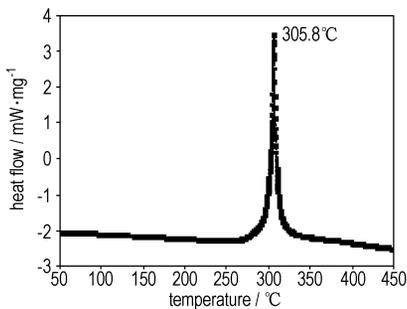
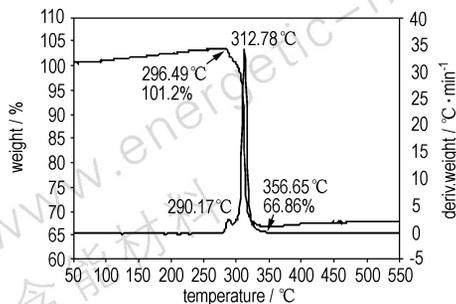
从 Scheme 1 可看出, 十氢十硼酸阴离子结构中的硼原子由于所处位置不同主要分两类, 即赤道硼与顶硼, 赤道硼为硼笼中部四方反棱柱的八个硼原子, 顶

硼为双加帽顶端的两个硼原子。从图 1 和图 2 可看出, BHN 的受热分解过程是一个主分解过程, 受热时有大量的热放出, 分解峰峰温为 305.8 °C, 在 TG-DTG 曲线中, 其分解起始温度为 296.49 °C, 结束温度为 356.65 °C, 这一阶段的质量损失为 34.34%, 分解完成后剩余约 66.8% 的残留物, 这可能由于 BHN 分子结构中无氧元素, 在氮气气氛中分解后的残留物主要是裂解后的碳骨架, 而且经多次取样进行 X 荧光衍射分析, 残留物中的成分基本是碳元素。

与硝化棉的热分解^[13] (在相同条件下, 硝化棉的第一热分解峰峰温为 202.6 °C) 比较, BHN 的分解峰温高了 103.2 °C, 表明, BHN 比硝化棉的热稳定好, 因此, 用 BHN 取代硝化棉作黏合剂可提高推进剂的耐热性。



Scheme 1

图 1 BHN 的 DSC 曲线 (0.1 MPa, 10 °C · min⁻¹)Fig. 1 DSC curve of BHN at a heating rate of 10 °C · min⁻¹ at 0.1 MPa图 2 BHN 的 TG-DTG 曲线 (10 °C · min⁻¹)Fig. 2 TG-DTG curves of BHN binder at a heating rate of 10 °C · min⁻¹

3.2 DSC 法研究 BHN 与相关材料的相容性

本试验采用 DSC 方法研究了 BHN 与含能材料如: *N*-脒基脲二硝酰胺盐 (FOX-12)、3,4-二硝基咪唑基氧化咪唑 (DNITF)、六硝基六氮杂异戊炔烷 (CL-20)、奥克托今 (HMX)、端羟基叠氮聚醚 (GAP) 和 Al 粉的相容性, BHN 单组分和含能材料及其质量比为 1/1 混合体系的 DSC 曲线结果见图 3 ~ 图 8, 表 2 是其 DSC 热分解峰温的计算结果。

从图 3 和表 2 可看出, 对于单一组分, FOX-12 的分解热峰峰温为 218.4 °C, BHN 的分解热峰峰温为 305.8 °C。BHN 与 FOX-12 混合后, BHN/FOX-12 二元体系的 DSC 热分解热峰峰温为 174.6 °C, 将 FOX-12 的分解峰提前了 43.8 °C, 因此, 可以判断 BHN 与 FOX-12 是不相容的。

从图 4 和表 2 可看出, 对于单一组分, DNITF 的分解热峰峰温为 273.6 °C, BHN 的分解热峰峰温为 305.8 °C。BHN 与 DNITF 混合后, BHN/DNITF 二元体系的 DSC 热分解热峰峰温为 307.4 °C, 将 DNITF 的分解峰推迟了 33.8 °C, 因此, 可以判断 BHN 与 DNITF 也是不相容的。这可能是由于 BHN 与 DNITF 混合后, 在受热分解时存在相互作用, 当两者同时用于推进剂配方时, 可提高易分解组分 (DNITF) 的分解峰温, 从而提高推进剂的热安定性。

从图 5 和表 2 可看出, 对于单一组分, CL-20 的分解热峰峰温为 250.8 °C, BHN 的分解热峰峰温为 305.8 °C。BHN 与 CL-20 混合后, BHN/CL-20 二元体系的 DSC 热分解热峰峰温为 248.9 °C, 将 CL-20 的分解峰提前了 1.9 °C, 由表 1 中的评价相容性的标准可判断 BHN 与 CL-20 是相容的。

从图 6 和表 2 可看出, HMX 的分解热峰峰温和 BHN 的分解热峰峰温分别为 283.7 °C 和 305.8 °C, 与单一组分的热分解曲线比较, BHN 与 HMX 混合后, BHN/HMX 二元体系的 DSC 热分解热峰峰温为 281.3 °C, 将 HMX 的分解峰提前了 2.4 °C, 将 BHN 的分解峰提前了 25.5 °C。因此, 可以判断 BHN 与 HMX 相容性较好, 但轻微敏感。

从图 7 和表 2 可看出, 对于单一组分, GAP 的分解热峰峰温为 250.3 °C, BHN 的分解热峰峰温为 305.8 °C。BHN 与 GAP 混合后, BHN/GAP 二元体系的 DSC 热分解热峰峰温为 246.7 °C, 将 GAP 的分解峰提前了 3.6 °C, 因此, 可以判断 BHN 与 GAP 相容性较好, 但轻微敏感。

从图 8 和表 2 可看出, 对于单一组分, Al 粉的热

分解曲线是一条直线,不存在放热峰峰温,BHN 的分解放热峰峰温为 305.8 °C。BHN 与 Al 粉混合后,BHN/Al 二元体系的 DSC 热分解放热峰温为 306.3 °C,将 BHN 的分解峰仅提前了 0.5 °C,因此,可以判断 BHN 与 Al 粉是相容的。

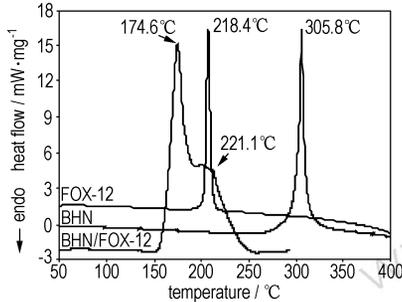


图 3 FOX-12、BHN 单组分和 BHN/FOX-12 混合物的 DSC 曲线

Fig.3 DSC curves of BHN,FOX-12 and BHN/FOX-12 mixture

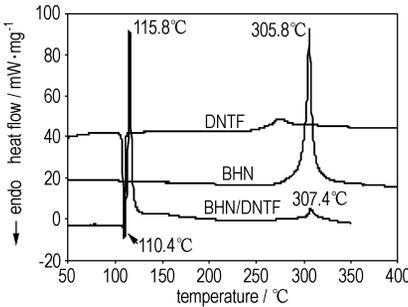


图 4 DNTF、BHN 单组分和 BHN/DNTF 混合物的 DSC 曲线

Fig.4 DSC curves of BHN,DNTF and BHN/DNTF mixture

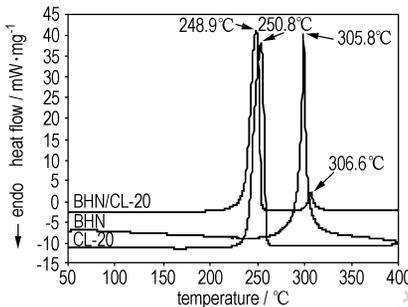


图 5 CL-20、BHN 单组分和 BHN/CL-20 混合物的 DSC 曲线

Fig.5 DSC curves of BHN,CL-20 and BHN/CL-20 mixture

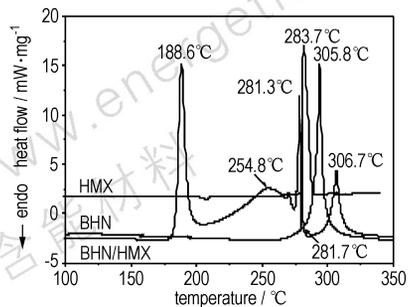


图 6 HMX、BHN 单组分和 BHN/HMX 混合物的 DSC 曲线

Fig.6 DSC curves of BHN,HMX and BHN/HMX mixture

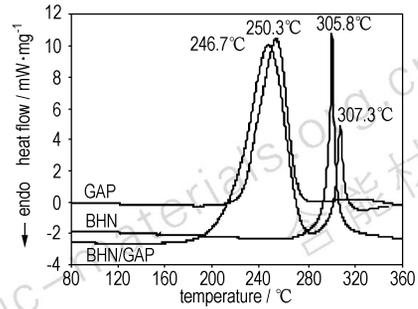


图 7 GAP、BHN 单组分和 BHN/GAP 混合物的 DSC 曲线

Fig.7 DSC curves of BHN,GAP and BHN/GAP mixture

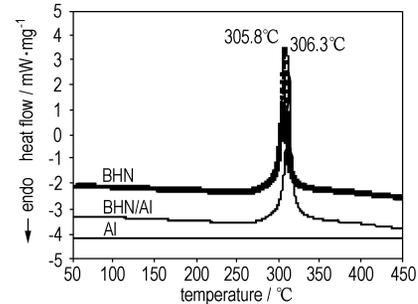


图 8 Al、BHN 单组分和 BHN/Al 混合物的 DSC 曲线

Fig.8 DSC curves of BHN,Al powder and BHN/Al mixture

表 2 单组分及其二元混合体系的 DSC 测试结果

Table 2 Data of energetic materials and binary system obtained by DSC

mixture system	single system	$T_{p1} / ^\circ\text{C}$	$T_{p2} / ^\circ\text{C}$	$\Delta T_p / ^\circ\text{C}$	rating
BHN/FOX-12	FOX-12	218.4	174.6	43.8	D
BHN/DNTF	DNTF	273.6	307.4	-33.8	D
BHN/CL-20	CL-20	250.8	248.9	1.9	A
BHN/HMX	HMX	283.7	281.3	2.4	B
BHN/GAP	GAP	250.3	246.7	3.6	B
BHN/Al	BHN	305.8	306.3	-0.5	A

最后,有一点必须强调,当采用 DSC 研究得出体系不相容时,并不能绝对肯定它们不相容;若判断其相容,则一定相容。因此,当混合物体系不相容时,可采用 DTA/TG 或者 VST 方法进行补充实验,以进一步确定其到底是否相容^[14]。

3.3 VST 法研究 BHN 与相关材料的相容性

采用 VST 方法研究了 BHN 与推进剂常用高能组分 RDX、HMX、Al 粉、Mg 粉、NTO-Pb、AP、HTPB、DOS、AD-Cu、TDI、GFP 和 IPDI 的相容性,结果见表 3。

由表 3 可看出,BHN 分别与 RDX、HMX、AP、NTO-Pb、Al 粉、Mg 粉、HTPB、DOS 和 AD-Cu 混合后,加热时放气量减少,这可能是由于 BHN 受热熔化后包覆了 RDX、Al 粉、AP 等固体颗粒,稳定性增加,从而减

少了放气量,表明 BHN 与 RDX、HMX、AP、NTO-Pb、Al 和 Mg 粉相互作用小,均有较好的相容性。BHN 与 GFP 和 IPDI 混合后,加热时放气量略有增加,但净放气量仍小于 3 mL,根据判断标准,可以判断 BHN 与 GFP 和 IPDI 相容,可以同时应用于固体推进剂配方中。当 BHN 与 TDI 混合后,放气量显著增加,表明两者混合后在加热过程中有相互作用。因此,在固体推进剂中不能将 TDI 与 BHN 同时用于推进剂配方中。

表 3 BHN 与推进剂主要组分的相容性结果

Table 3 Compatibility results of BHN with some energetic materials

No.	systems	gas evolved/mL	net gas evolution/mL	rating
0	BHN	0.62	-	-
1	RDX	0.09	-0.49	compatible
	BHN/RDX	0.27		
2	HMX	0.08	-0.37	compatible
	BHN/HMX	0.52		
3	Al	0.04	-0.36	compatible
	BHN/Al	0.53		
4	Mg	0.04	-0.42	compatible
	BHN/Mg	0.41		
5	NTO-Pb	0.18	-0.35	compatible
	BHN/NTO-Pb	0.58		
6	AP	0.03	-0.37	compatible
	BHN/AP	0.54		
7	HTPB	0.18	-0.17	compatible
	BHN/HTPB	0.35		
8	DOS	0.28	-0.46	compatible
	BHN/DOS	0.35		
9	AD-Cu	0.21	-0.44	compatible
	BHN/AD-Cu	0.37		
10	TDI	0.42	3.18	fair compatibility
	BHN/TDI	5.02		
11	GFP	0.26	0.04	compatible
	BHN/GFP	0.13		
12	IPDI	0.34	0.04	compatible
	BHN/IPDI	0.12		

4 结论

(1) BHN 的受热分解为一个热分解阶段,其分解放热峰温为 305.8 °C,此过程质量损失 33.14%,这与 TG-DTG 得到的数据相吻合,分解残渣为碳骨架。与硝化棉相比,BHN 的热分解峰温高,热安定性好。

(2) BHN 分别与 RDX、HMX、AP、NTO-Pb、Al 粉、Mg 粉、HTPB、DOS 和 AD-Cu 相容性较好,但与 TDI 混合有中等反应现象,在使用中应采取相应防范措施或改用 IPDI 做固化剂。

(3) 当采用 DSC 法研究体系不相容时,并不能绝对肯定其不相容,若判断其相容,则一定相容。因此,当系统不相容时,可采用 TG/DTA 或者 VST 方法进行补充实验,才能更加准确地表明是否相容。

致谢:感谢 204 所分析测试部的陆洪林高工在百忙中协助完成 DSC 测试。

参考文献:

- [1] 宋秀铎,赵凤起,王江宁,等. BAMO-AMMO 的热行为及其与含能组分的相容性[J]. 火炸药学报,2008,31(3): 75-78. SONG Xiu-duo, ZHAO Feng-qi, WANG Jiang-ning, et al. Thermal behaviors of BAMO-AMMO and its compatibility with some energetic materials[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2008, 31(3): 75-78.
- [2] Spielvogel. Method of production of $B_{10}H_{10}^{2-}$ ammonium salts and methods of production of $B_{18}H_{22}$: US 2005/0169828 A1 [P]. 2005, 08.
- [3] Henry C A. Thermoplastic composites rocket propellant: US 4361526 [P]. 1982.
- [4] Joseph M. Makhoul et al. Method of preparing tetraethylammonium decahydrodecaborates: US 3373202 [P]. 1968, 03.
- [5] Beach N E, Canfield V K. Compatibility of explosives with polymers (E), AD 721004 [R]. Springfield: NTIS, 1971.
- [6] 聂永, 陈海艳, 苗金玲. 闭式硼烷 $[B_{10}H_{10}]^{2-}$ 的反应性及其衍生物的应用研究进展[J]. 有机化学, 2009, 29(6): 822-834. NIE Yong, CHEN Hai-yan, MIAO Jin-ling. The reactivity of boron alkyl $[B_{10}H_{10}]^{2-}$ and its applied development of the derivative [J]. *Organic Chemistry*, 2009, 29(6): 822-834.
- [7] Slobodan M Vuga. Effects of liquid burn rate catalysts on rheological properties of high-energy composite propellants [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1991, 16: 293-298.
- [8] Adams Luqman, Hosmane Sumathy N, Eklund Jamey E. A new synthetic route to boron-10 enriched pentaborane(9) from boric acid and its conversion to anti-10 $B_{18}H_{22}$ [J]. *J Am Chem Soc*, 2002, 124: 7292-7293.
- [9] 陈福泰, 谭惠民, 罗运军, 等. $B_{12}H_{12}[N(C_2H_5)_4]_2$ 对 NEPE 推进剂燃烧性能的影响[J]. 火炸药学报, 2000, 23(3): 19-22. CHEN Fu-tai, TAN Hui-min, LUO Yun-jun, et al. Effect of $B_{12}H_{12}[N(C_2H_5)_4]_2$ on combustion property of NEPE propellant [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2000, 23(3): 19-22.
- [10] 单文刚, 孙铁刚, 张国东. 碳硼烷衍生物对固体推进剂燃烧性能影响研究[J]. 固体火箭技术, 1995, 18(3): 24-26. SHAN Wen-gang, SUN Tie-gang, ZHANG Guo-dong. Effects of carbon boron alkyl derivative for the combustion properties of solid propellant [J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 1995, 18(3): 24-26.
- [11] Adams Luqman, Tomlinson Susan, Wang Jianhui. Novel approach to boron-10 enriched decaborane(14): An important advance in synthetic boron hydride chemistry [J]. *Inorganic Chemistry Communications*, 2002(5): 765-767.
- [12] Beach N E, Canfield V K. Compatibility of explosives with polymers (III), AD 721004 [R]. Springfield: NTIS, 1971.
- [13] 刘所恩. 改性双基推进剂主要组分的高压分解特性[J]. 火炸药学报, 1998, 21(2): 27-29. LIU Suo-en. The decomposition properties of components of modified double-base propellants at high pressure [J]. *Chinese*

Journal of Explosives & Propellants, 1998, 21(2): 27-29.

[14] 严启龙, 李笑江, 廖林泉, 等. 四硝基并哌嗪(TNAD)与推进剂组分相容性的 DSC 法评估[J]. 含能材料, 2008, 16(3): 309-314.

YAN Qi-long, LI Xiao-jiang, LIAO Lin-quan, et al. Compatibility of

trans-1,4,5,8-tetranitro-1,4,5,8-tetraazadacalin (TNAD) with some propellant components evaluated by DSC method[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(3): 309-314.

Thermal Behavior of Tetraethylammonium Dodecahydrododecaborates (BHN) and Its Compatibility with Main Components of Propellant

PANG Wei-qiang, XUE Yun-na, FAN Xue-zhong, XU Hui-xiang, SHI Xiao-bing, LI Yang, LI Yong-hong, WANG Xiao-fei
(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: The thermal behaviors of tetraethylammonium dodecahydrododecaborates (BHN) were investigated by DSC and TG-DTG techniques. The compatibilities of BHN with 2,4,6,8,10,12-hexanitro-2,4,6,8,10,12-hexanitrohexaazaisowurtzitan (CL-20), 3,4-dinitrofurazanfuroxan (DNF), N-guanylurea-dianitramide (FOX-12), cyclotetramethylenetetranitroamine (HMX), glycidyl azide polymer (GAP), cyclotrimethylenetrinitramine (RDX), ammonium perchlorate (AP), lead 3-nitro-1,2,4-triazol-5-one (NTO-Pb), hydroxyl terminated polybutadiene (HTPB), di-2-ethylhexyl sebacate (DOS), 2,4-toluene diisocyanate (TDI), isophorone diisocyanate (IPDI), cupric adipate (AD-Cu), Al powder and Mg powder were examined by DSC method as well as vacuum stability test. The results indicate that there is one main exothermic decomposition stage for BHN sample, the peak temperature is 305.8 °C. The compatibilities of BHN with CL-20, HMX, GAP, RDX, AP, NTO-Pb, HTPB, DOS, IPDI, AD-Cu, Al powder and Mg powder are fair. These materials mentioned above can be used as components in preparation of propellants and explosives, whereas, the compatibility of TDI with BHN is bad.

Key words: analytical chemistry; tetraethylammonium dodecahydrododecaborates (BHN); DSC; TG-DTG; compatibility

CLC number: TJ55; O65

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.03.003



读者·作者·编者

“研究快报”征稿启事

为了更好更快地报道含能材料领域的最新成果和进展,为本领域的研究者赢得在科学共同体中的学术优先权,《含能材料》编辑部鼓励广大研究者提供“研究快报”稿件。

研究快报应简要报道含能材料领域的前沿性、创新性研究成果。编辑部鼓励研究者发表新思想、新观点、新原理和新发现,支持报道阶段性的重要研究成果的简要情况。凡被本刊以快报形式刊登的研究成果,编辑部按照国际学术惯例,允许作者以完整的研究论文的形式发表在其他国内外刊物上。

研究快报的来稿要求与投本刊的研究论文基本一致。作者投稿时需要对文章的学术价值和创新性进行简要说明。来稿要求关键数据齐备,结论明确,背景、方法和过程的介绍从简。来稿需有中英文摘要、关键词、作者简介、基金项目等信息。全文篇幅在2页(约4000字)以内。

本刊对研究快报将即审即发,以提高时效性。对有基金支持的英文稿件择优录用。

《含能材料》编辑部