

文章编号: 1006-9941(2008)03-0309-06

四硝基并哌嗪(TNAD)与推进剂组分相容性的 DSC 法评估

严启龙, 李笑江, 廖林泉, 张晓宏, 刘子如

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 采用差示扫描量热法(DSC),研究了四硝基并哌嗪(TNAD)与奥克托今(HMX)、黑索今(RDX)、二硝基哌嗪(DNP)、1.25/1-NC/NG混合物、3-硝基-1,2,4-3-己基铅(NTO-Pb)、铝粉(13.8 μm)和吉钠(DINA)等含能组分的相容性;同时也研究了TNAD与聚乙二醇($M = 10000$)、二异氰酸酯(N-100)、2-硝基二苯胺(2-NDPA)、1,3-二甲基-1,3-二苯基脲(C_2)、炭黑(C.B.)、三氧化二铝(Al_2O_3)、2,4-二羟基苯甲酸铜($\beta\text{-Cu}$)、己二酸铜(AD-Cu)和邻苯二甲酸铅($\varphi\text{-Pb}$)等惰性材料的相容性。研究表明:TNAD与NC+NG、RDX、NTO-Pb和PET相容性较好;与DINA、HMX轻微敏感;而对2-NDPA、 $\varphi\text{-Pb}$ 、 $\beta\text{-Cu}$ 、AD-Cu和 Al_2O_3 等惰性材料敏感,与DNP、PEG、N-100、 C_2 和C.B.等不相容。由此可见,TNAD能与推进剂主要组分相容,可在NC+NG体系的改性双基推进剂中应用。

关键词: 物理化学;相容性;含能材料;差示扫描量热法(DSC);四硝基并哌嗪(TNAD)

中图分类号: V512.2

文献标识码: A

1 引言

含能材料组分之间的相互作用很复杂,它是含能材料混合体系燃烧和爆轰或爆炸研究的基础,是安定性、相容性和安全性评价的依据。有些材料,尤其是高分子材料与含能材料作用,发生裂解时不放或放出少量气体,量气法就无法判断它们的相容性。一般来说,相互作用都会有热效应产生,测定热效应正是差示扫描量热法(DSC)和差热分析(DTA)技术的主要依据,因此,热分析技术评价相容性是量气法的一种补充。同时,由于热分析方法具有快速、操作简单和试样量少且安全性高等优点,也已作为一种快速筛选相容性材料的方法被广泛应用。

四硝基并哌嗪(TNAD)是一种氮杂环的硝胺化合物,并作为含能添加剂已被学界广泛研究^[1-4],其化学结构与黑索今类似。Willer^[1]于1983年混合乙二胺(ethylene diamine)与乙二醛(glyoxal)进行反应制取了TNAD前置体1,4,5,8-四氮杂萘烷,随后又使用亚硝酸钠及盐酸混合硝化试剂初步硝化制成亚硝基化TNAD。研究表明,TNAD能量几乎是TNT的两倍,能量与RDX相当,且感度比RDX和HMX稍低,现在已经为大家广泛关注的少数几种高能炸药之一。刘敏宪等^[5-7]对TNAD的分子结构和物理化学性质等方面进行了深入理论研究;肖鹤鸣等^[8-9]也进行了理论计

算方面的研究;Prabhakaran等人^[10]研究了TNAD的等温动力学。TNAD的相容性研究对于其在生产、使用、运输和贮存等诸方面的危险性、安定性等有很大的理论和实际意义。而关于TNAD与推进剂组分的相容性研究国内外还未见文献报道。因此本工作将以固体推进剂各主要功能组分为基本线索,对TNAD与这些组分的相容性初步分析与讨论,为TNAD在改性双基推进剂中的应用可行性提供理论和实验依据。

2 实验部分

2.1 实验原理

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方法评价的相容性应属化学相容性。DSC或DTA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。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,其定义如式(1)。

收稿日期: 2007-12-04; 修回日期: 2008-01-21

作者简介: 严启龙(1983-),男,硕士,主要从事固体推进剂配方及理论计算研究。e-mail: terry.well@163.com

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

其中, T_{p1} 为含能材料组分的分解峰温; 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温。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)。

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	
≤ 2	A	safe for use in any explosive design
3 - 5	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 materials, or when long-term storage is desired
6 - 15	C	not recommended for use with explosive items
≥ 15	D	hazardous, do not use under any conditions

2.2 原材料选择

含能组分: TNAD(纯度大于 99%, 由兵器工业 204 研究所一部合成), 奥克托今(HMX, 纯度大于 99.5%), 黑索今(RDX, 纯度大于 99.6%), 二硝基哌嗪(DNP, 纯度大于 99.3%), 1,25/1-NC/NG 混合物, 3-硝基-1,2,4-三己基铅(NTO-Pb, 纯度大于 99.0%), 铝粉(13.8 μm , 尉氏县东华金属粉材有限公司), 吉钠(DINA, 纯度大于 99%), 聚乙二醇($M = 10000$, 纯度大于 99%, 上海元吉化工有限公司), 二异氰酸酯(N-100, 东方明珠化工有限公司), 2-硝基二苯胺(2-NDPA), 1,3-二甲基-1,3-二苯基脲(C_2), 炭黑(C. B.), 三氧化二铝(Al_2O_3), 2,4-二羟基苯甲酸铜($\beta\text{-Cu}$, 纯度大于 99.4%), 己二酸铜(AD-Cu)和邻苯二甲酸铅($\varphi\text{-Pb}$)等作为惰性材料分别与 TNAD 按照 1 : 1 的比例混合均匀, 制成均一的样品。以上未标明厂家的原料均由兵器工业 204 研究所合成。为了便于叙述, 现将所有样品体系进行统一编号如下:

TNAD(1); DNP(2);
 1/1-TNAD/DNP(3); RDX(4);
 1/1-TNAD/RDX(5); HMX(6);
 1/1-TNAD/HMX(7); NTO-Pb(8);
 1/1-TNAD/NTO-Pb(9); NC + NG(10);
 1/1-TNAD/NC + NG(11); 1/1-TNAD/Al(12);
 1/1-TNAD/DINA(13); PET(14);
 1/1-TNAD/PET(15); PEG(16);
 1/1-TNAD/PEG(17); 1/1-TNAD/2-NDPA(18);
 1/1-TNAD/N-100(19); 1/1-TNAD/ Al_2O_3 (20);
 1/1-TNAD/C. B.(21); $\beta\text{-Cu}$ (22);

1/1-TNAD/ $\beta\text{-Cu}$ (23); 1/1-TNAD/AD-Cu(24);
 AD-Cu(25); $\varphi\text{-Pb}$ (26);
 1/1-TNAD/ $\varphi\text{-Pb}$ (27); 1/1-TNAD/ C_2 (28).

2.3 实验仪器及条件

采用德国耐驰 DSC 204 型差示扫描量热仪(DSC)进行实验, 压力为 0.1 MPa 下采用动态氮气氛; 温度范围: 25 ~ 450 $^\circ\text{C}$; 升温速率: 10 $^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, 试样量 0.52 ~ 0.76 mg; 试样皿为铝盘。

3 结果分析与讨论

3.1 TNAD 与一些含能组分的相容性

图 1 给出了体系 1 ~ 13 的 DSC 曲线, 表 2 给出了最大放热峰温。从表 2 和图 1 可以看出: TNAD/DNP 的混合体系 DSC 曲线(见图 1a)没有出现吸热熔融峰, 只出现了一个很强的放热峰。而单一的 DNP 有很强的吸热峰, 说明 TNAD 产生巨大的能量弥补了 DNP 熔化所需的热, 因此 DSC 上没有出现明显的吸热峰。由图 1b 可见, HMX 的 DSC 曲线出现了两个吸热峰, 在 247.1 $^\circ\text{C}$ 出现吸热峰的原因可能是由于 HMX 晶体发生了多晶转变, 此时 HMX 晶型由 α 变成 δ ; 280.5 $^\circ\text{C}$ 处的第二个吸热峰是 HMX 由固相变成液相的过程, 而 282.7 $^\circ\text{C}$ 出现的放热峰是 HMX 快速热分解过程。TNAD/HMX 混合体系的放热峰比纯 TNAD 的低 12.2 $^\circ\text{C}$, 而比纯 HMX 的低 55.4 $^\circ\text{C}$ (见图 1b), 这个数据表明 HMX 的存在稳定了 TNAD, 而 TNAD 则加速了 HMX 的分解, 使得 HMX 分解反应提前。

TNAD/NTO-Pb 与 TNAD/Al(见图 1d)混合体系的放热过程比较类似, 因为它们都属于含能物质起到催化作用的过程, 相比之下, NTO-Pb 能够在放出热量的同时对 TNAD 进行活化, 使得分解反应更加容易发生, 因此体系的分解放热的温度提前的同时能量没有明显降低。Al 粉的引入也将 TNAD 的分解过程提前了, 说明 Al 对 TNAD 也起到催化作用。两者都使放热反应的峰宽变大, 说明它们延缓了 TNAD 的热分解过程, 起到了稳定 TNAD 热分解的作用。

对于 TNAD/NC + NG 体系(见图 1e), 分解释放的能量比单一物质的能量有所降低, 这可以从放热峰面积得以证实。并且混合体系出现了两重放热峰, 说明体系发生了两次放热反应, 第一个峰可以看作是 NC + NG 的放热峰, 此时 TNAD 还没有开始分解, 在 NC + NG 放出的热作用下, TNAD 的放热反应提前。这说明它们之间的相互化学作用与影响比较小, 没有形成统一的体系, 放热反应各自独立完成。

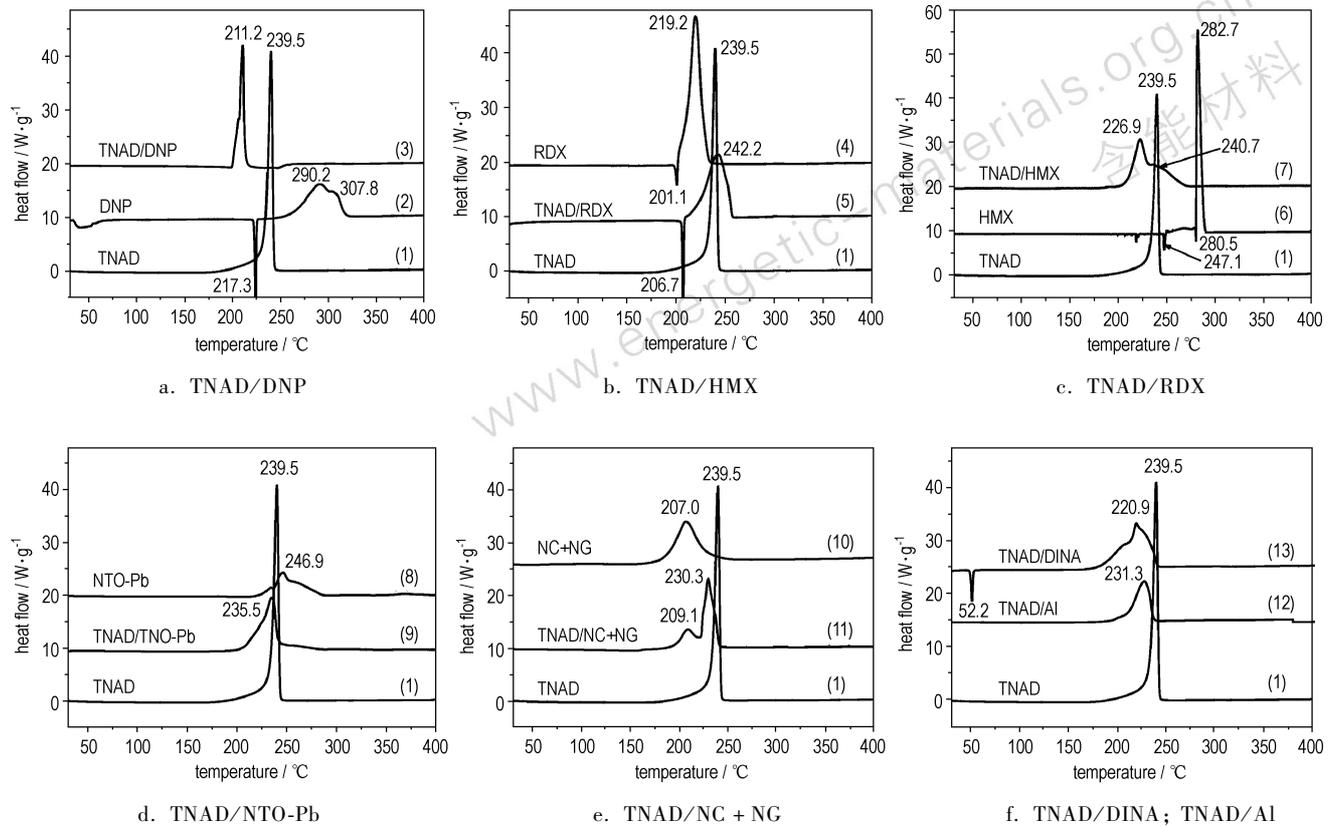


图1 TNAD与一些含能材料混合后的DSC曲线(混合比=1:1)

Fig. 1 DSC curves of TNAD with some energetic components

表2 50/50-TNAD/含能材料体系的DSC特征量

Table 2 Data of the TNAD/energetic component binary system obtained by pressure DSC^[1]

system	peak temperature				rating
	single system	T_{p2} /°C	T_{p1} /°C	ΔT_p /°C	
1/1-TNAD/DNP (3)	TNAD	211.2	239.5	28.3	D
1/1-TNAD/RDX (5)	TNAD	242.2	239.5	-2.7	A
1/1-TNAD/HMX (6)	TNAD	227.3	239.5	12.2	C
1/1-TNAD/NTO-Pb (9)	TNAD	235.5	239.5	4.0	B
1/1-TNAD/NC + NG (11)	NC + NG	230.3	207.0	-23.3	A
1/1-TNAD/Al (12)	TNAD	231.3	239.5	8.2	C
1/1-TNAD/DINA (13)	DINA	220.9	210.4 ^[11]	-10.52	A

Note: 1) mixture system, 1/1-TNAD/energetic component binary system; single system, system of the pure energetic component, which exothermic peak temperature is smaller of the two pure components; T_{p1} , the maximum exothermic peak temperature of single system; T_{p2} , the maximum exothermic peak temperature of mixture system; $\Delta T_p = T_{p1} - T_{p2}$.

TNAD/DINA体系(见图1f)在52.2°C处出现了吸热峰,可能是体系形成了低共熔化合物引起的。另外,TNAD/DINA混合物的熔点比DINA高,1MPa压力下DINA的熔点为50.87°C^[11],这进一步证明它们

形成了低共熔物。纯的TNAD加热分解时,不是没有熔融吸热过程,只是这个过程已经被迅速的分解放热所掩盖,DSC上所表现出来的只有一个强的放热峰。

TNAD和TNAD/DNP体系的DSC峰温差 ΔT_p 为28.3°C,说明TNAD的存在,稳定了DNP的热分解过程,TNAD和DNP以及RDX、HMX都是硝胺化合物,它们的热分解过程极其相似,都是以脱除硝基为分解反应的第一步。因此相互影响不是很明显,只是放热温度不相同导致它们混合后会改变放热峰的位置,但不影响能量的释放。热量基本没有变化,只改变了放热的时间。因此,从上面的分析可以看出,TNAD/含能组分组成的粘合剂体系的相容性大小排列顺序为:11>13>5>9>12>6>3;而它们的热稳定性由高到低的顺序为:5>9>12>11>6>13>3。

3.2 TNAD与一些惰性材料的相容性

图2和图3给出了体系1,14~28的DSC曲线,表3给出了它们最大放热峰温。从图2、图3和表2可看出:中定剂C₂与TNAD的混合体系和TNAD/PEG混合体系都出现了明显的吸热峰,本身TNAD的热分解过程的吸热峰是不明显的,说明引入C₂或者PEG都

使得体系分解所需要的热量不够,需要从外界摄取足够的热量才能发生分解,这样使得 TNAD 更加钝感,从图 2b 和图 2c 可以看出,混合体系的放热峰较纯 TNAD 明显降低,说明放热的剧烈程度减缓。因此, C_2 或 PEG 的加入有利于缓释 TNAD 热分解过程。TNAD/PEG 和 TNAD/ C_2 体系的吸热熔融点分别是 $61.5\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $121.1\text{ }^\circ\text{C}$, 它们比单一的 PEG ($62.6\text{ }^\circ\text{C}$) 和 C_2 ($143.2\text{ }^\circ\text{C}$) 的熔融点低,说明它们形成了低共熔物。

C_2 与 PEG 都属于不含能的添加剂,它们与 TNAD 混合后危险性不大,虽然它们的体系峰温变化大,但是不能说明它们不相容,还需要别的测试方法进行佐证。

TNAD/ C_2 , TNAD/C. B., TNAD/PEG 和 TNAD/N-100 都属于有机材料与炸药的混合体系,从峰温差异可以看出它们的 ΔT_p 大于 $15\text{ }^\circ\text{C}$, 这表明这些粘合剂体系是很不相容的。而 TNAD/PET, TNAD/2-NDPA 的 ΔT_p 分别为 $2.78, 9.2\text{ }^\circ\text{C}$, 因此这样的粘合剂体系的相容性比较好。

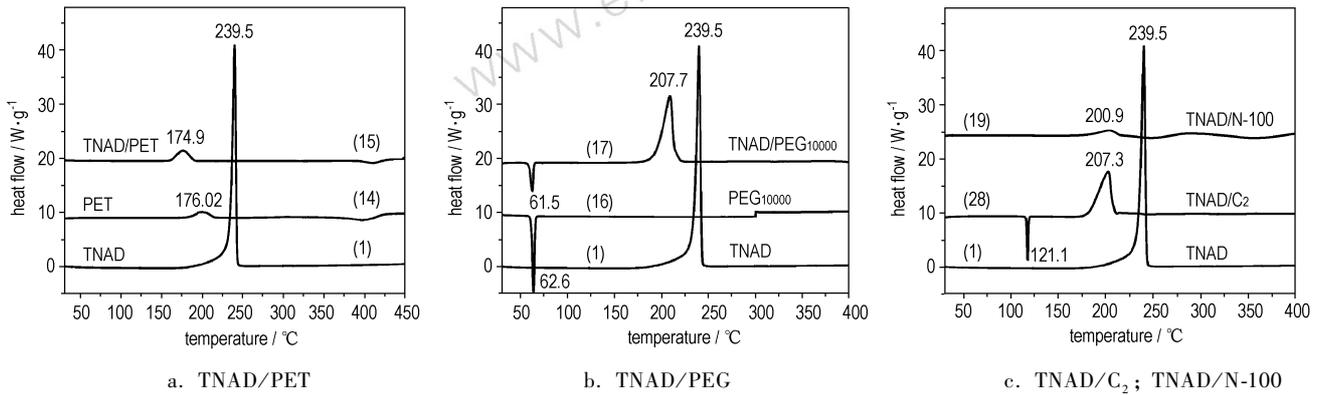


图 2 TNAD 与一些惰性材料组成的混合物 DSC 曲线 I (混合比 = 1 : 1)

Fig. 2 DSC curves of TNAD with some inert materials

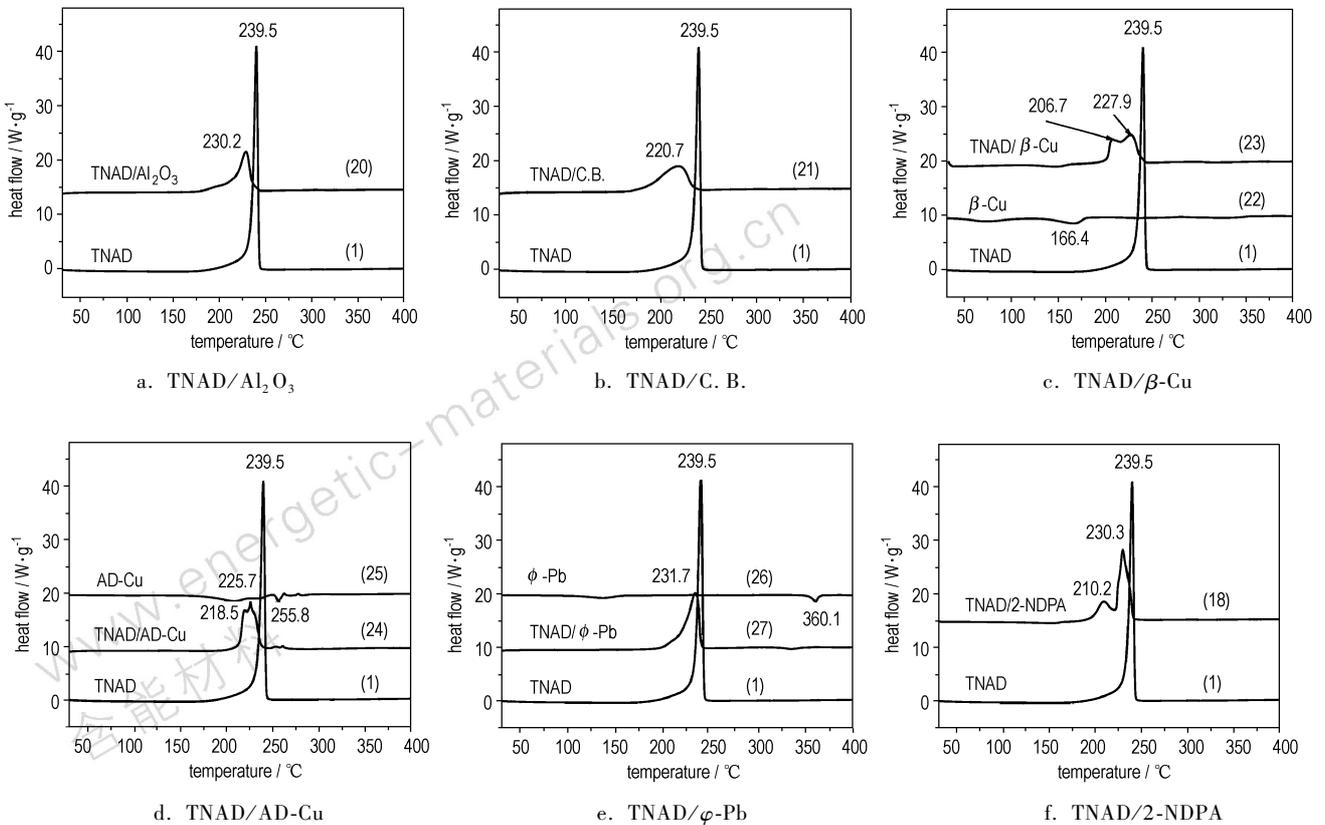


图 3 TNAD 与一些惰性材料混合后的 DSC 曲线 II (混合比 = 2 : 1)

Fig. 3 DSC curves of TNAD with some inert materials

表3 50/50-TNAD/惰性材料体系的DSC特征量

Table 3 Data of 50/50-TNAD/inert materials system obtained by pressure DSC¹⁾

mixture system	system	peak temperature			rating
		single system	T_{p2} /°C	T_{p1} /°C	
1/1-TNAD/PET (15)	PET	174.9	176.02	2.78	B
1/1-TNAD/PEG (17)	TNAD	207.7	239.5	31.8	D
1/1-TNAD/2-NDPA (18)	TNAD	230.3	239.5	9.2	C
1/1-TNAD/N-100 (19)	TNAD	200.9	239.5	38.6	D
1/1-TNAD/Al ₂ O ₃ (20)	TNAD	230.2	239.5	9.3	C
1/1-TNAD/C. B. (21)	TNAD	220.7	239.5	18.8	D
1/1-TNAD/ β -Cu (23)	TNAD	227.9	239.5	11.6	C
1/1-TNAD/AD-Cu (24)	TNAD	225.7	239.5	13.8	C
1/1-TNAD/ φ -Pb (27)	TNAD	231.7	239.5	7.8	C
1/1-TNAD/C ₂ (28)	C ₂	207.3	235.7 ^[11]	28.4	D

Note: 1) mixture system, 1/1-TNAD/energetic component binary system; single system, system of the pure energetic component, which exothermic peak temperature is smaller of the two pure components; T_{p1} , the maximum exothermic peak temperature of single system; T_{p2} , the maximum exothermic peak temperature of mixture system; $\Delta T_p = T_{p1} - T_{p2}$.

对于 TNAD/ φ -Pb, TNAD/AD-Cu, TNAD/Al₂O₃ 和 TNAD/ β -Cu 等盐类和 TNAD 的混合体系,都表现出相对较差的相容性。主要原因是这些化合物充当了催化剂的角色,使 TNAD 的热分解能更加容易地进行,但同时它们能缓和 TNAD 的放热过程。这是高温高压下实验得出的结果,事实上对于这些惰性组分采用量气法(VST)判断其化学相容性更好。这几种催化剂的加入都使得 TNAD 的热分解反应温度降低,放热峰变宽。尤其是 TNAD/ β -Cu 体系的放热峰出现肩峰,说明发生了两次不同级别的热分解过程,也就是常说的二次反应,至于其催化反应机理将在另文中作详细讨论。

因此,分析可以看出,TNAD/惰性组分组成的粘合剂体系的相容性大小排列顺序为: 15 > 27 > 18 > 20 > 23 > 24 > 21 > 28 > 17 > 19; 由于热稳定性是根据其放热峰的位置确定的,因此,它们的热稳定性由高到低的顺序为: 15 > 27 > 18 > 20 > 23 > 24 > 21 > 28 > 17 > 19。

4 结论

(1) TNAD 与 NC + NG, RDX, NTO-Pb 和 PET 相容性较好; 与 DINA 和 HMX 轻微敏感; 而对 2-NDPA, φ -Pb, β -Cu, AD-Cu 和 Al₂O₃ 等惰性材料敏感,与 DNP, PEG, N-100, C₂ 和 C. B. 不相容。

(2) TNAD 与含能组分组成的粘合剂体系的相容性大小排列顺序为: 11 > 13 > 5 > 9 > 12 > 6 > 3, 且它们的热稳定性由高到低的顺序为: 5 > 9 > 12 > 11 > 6 > 13 > 3。

(3) TNAD 与惰性组分组成的粘合剂体系的相容性大小排列顺序为: 15 > 27 > 18 > 20 > 23 > 24 > 21 > 28 > 17 > 19, 而它们的热稳定性由高到低的顺序为: 15 > 27 > 18 > 20 > 23 > 24 > 21 > 28 > 17 > 19。

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。若判断它们相容,则一定相容。因为在高温高压下能够相容,那么在常温常压一定能相容。因此,当系统不相容时,可采用 DTA/TG 或者 VST 方法进行补充实验,才能更加准确地说明到底是否相容。因此,本实验中关于 TNAD/DNP、TNAD/N-100、TNAD/PEG、TNAD/C. B. 和 TNAD/C₂ 等体系的相容性还需进一步用 VST 方法进行验证。

致谢: 感谢 204 所陈广兴研究员提供宝贵的实验经验,同时感谢 204 所分析测试部的张腊莹工程师在百忙中协助完成 DSC 测试。

参考文献:

- [1] Willer R L. Synthesis and characterization of high energy compounds TNAD[J]. *J Propellants, Explosives*, 1983(8): 65-69.
- [2] Golfier. Metal new energetic molecules and their applications in energetic materials[C]//29th ICT, Karlsruhe, 1998, Vol. 3.
- [3] 严启龙. 新型固体推进剂发展现状与趋势及其在未来国防中的作用[J]. *国防技术基础*, 2007(6): 55-58.
- [4] 严启龙, 李笑江, 张晓宏, 等. 四硝基双哌嗪(TNAD)研究进展及其在固体推进剂中的应用前景[J]. *飞航导弹*, 2007(9): 52-55.
- [5] 刘敏宪. 高能分子 TNAD 之衍生物预测及其性能分析之理论研究[J]. *化学*, 2004, 62(2): 315-324.
Min-Hsien Liu. Theoretical studies on high energy compound TNAD and the forecast of its molecular derivatives[J]. *Chemistry*, 2004, 62(2): 315-324.
- [6] Min-Hsien Liu, Cheng Chen, Yaw-Shun Hong. Theoretical study of the unimolecular decomposition mechanisms of energetic TNAD and TNAZ explosives[J]. *J Quantum Chem*, 2004, 102(4): 398-408.
- [7] Min-Hsien Liu, Cheng Chen, Yaw-Shun Hong. Theoretical study on the detonation properties of energetic TNAD molecular derivatives[J]. *J Journal of Molecular Structure (Theochem)*, 2004, 710(1-3): 207-214.
- [8] Ling Qiu, He-Ming Xiao, Wei-Hua Zhu, et al. Ab initio and molecular dynamics studies of crystalline TNAD (trans-1,4,5,8-tetranitro-1,4,5,8-tetraazadecalin)[J]. *J Phys Chem*, 2006, 110(22): 10651-10661.
- [9] Ling Qiu, He Ming Xiao, Xue Hai Ju, et al. Theoretical study of the structures and properties of cyclic nitramines: Tetranitrotetraazadecalin (TNAD) and its isomers [EB/OL].
- [10] Prabhakaran K V, Bhide N M, Kurian E M. Spectroscopic and thermal studies on 1,4,5,8-tetranitro tetraazadecalin (TNAD)[J]. *J Thermochemical Acta*, 1995. 249-258.
- [11] Jizhen L, Xuezhong F, Xiping F, et al. Compatibility study of 1,3,3-trinitroazetidone components and inert materials [J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2006, 85(3): 779-784.

Compatibility of Trans-1,4,5,8-tetranitro-1,4,5,8-tetraazadacalin (TNAD) with Some Propellant Components Evaluated by DSC Method

YAN Qi-long, LI Xiao-jiang, LIAO Lin-quan, ZHANG Xiao-hong, LIU Zi-ru

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: The compatibility of trans-1,4,5,8-tetranitro tetraaza dacalin (TNAD) with some energetic components and inert materials of solid propellants was studied by using the DSC method. Where, cyclotetramethylenetetranitroamine (HMX), cyclotrimethylenetrinitramine (RDX), 1,4-dinitropiperazine (DNP), 1,2,5/1-NC/NG mixture, lead 3-nitro-1,2,4-triazol-5-onate (NTO-Pb), aluminum powder (Al, particle size of 13.6 μm) and *N*-nitrodihydroxyethylaminodinitrate (DINA) were used as energetic components and polyethylene glycol (PEG), polyoxytetramethylene-co-oxyethylene (PET), addition product of hexamethylene diisocyanate and water (N-100), 2-nitrodianiline (2-NDPA), 1,3-dimethyl-1,3-diphenyl urea (C_2), carbon black (C. B.), aluminum oxide (Al_2O_3), cupric 2,4-dihydroxy-benzoate (β -Cu), cupric adipate (AD-Cu) and lead phthalate (φ -Pb) were used as inert materials. The results show that the binary systems of TNAD with NTO-Pb, RDX, PET and Al powder are compatible, TNAD with DINA and HMX are slightly sensitive, TNAD with 2-NDPA, φ -Pb, β -Cu, AD-Cu, and Al_2O_3 are sensitive, and TNAD with PEG, N-100, C_2 and C. B. are incompatible.

Key words: physical chemistry; compatibility; energetic component; differential scanning calorimetry (DSC); trans-1,4,5,8-tetranitro tetraaza dacalin (TNAD)

读者·作者·编者

11th International Seminar "New Trends in Research of Energetic Materials"

在捷克 Pardubice 大学召开

由捷克 Pardubice 大学化工学院含能材料研究所主办的第 11 届“含能材料研究新趋势国际研讨会”于 2008 年 4 月 9 日-11 日在捷克 Pardubice 大学召开。来自捷克、美国、俄罗斯、英国、德国及中国等 30 多个国家的 230 余名专家学者参加了会议,会议论文集择优收录论文 108 篇,多数论文被 CA 收录。

四位国际知名专家应邀作了大会特约报告。他们分别是英国的 Prof. Adam Cumming: Recent and Current NATO RTO Work on Munitions Disposal. 美国的 Dr. Ruth Doherty: A New Look at Evaluating Shock Sensitivity by Gap Test. 荷兰的 Prof. Hans J. Pasman: Basic Safety ABC 和德国的 Dr. Manfred Held: Blast-Fragment Loads. 大会报告 30 篇,中国工程物理研究院化工材料研究所王军在大会上宣讲了他的论文,涉及的 DNTF 炸药研究动态受到国际同行专家关注。

本次会议收录论文内容展现了近年来含能材料领域多个方面的研究最新进展和动态,具体涉及数字模拟;新型含能材料分子设计、构效关联、合成、表征及性能;炸药制备工艺和新方法;炸药感度和安全性;炸药钝化;爆炸反应机理探讨;爆轰过程物理和化学及工业炸药等内容,尤其是在富氮零氧平衡新型含能材料分子设计与合成方面呈现活跃研究势头。大会达到了国际同行专家学术交流预期目的。

(中国工程物理研究院化工材料研究所 王军 供稿)