

文章编号: 1006-9941(2013)06-0711-06

ANPyO 及其 Cr(III) 和 Zn(II) 含能配合物的制备及催化性能

刘进剑¹, 刘祖亮¹, 成健¹, 方东²

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏南京 210094; 2. 盐城师范学院, 江苏盐城 224002)

摘要: 合成了 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物(ANPyO) Cr(III) 和 Zn(II) 两种过渡金属配合物。用 FT-IR 光谱和元素分析表征了这两个配合物。用 DSC 和 TG-DTG 研究了这两种配合物对 RDX、HMX 和 AP 热分解反应的影响。结果表明, Cr(III) 配合物的热分解只有一个剧烈的放热过程, 残渣量为 10.79%。Zn(II) 配合物的热分解有两个连续的放热过程, 残渣量为 12.68%。两种配合物对 RDX 和 HMX 的催化效果不明显, 但使 AP 高温分解峰的峰温分别提前 42.40 °C 和 122.32 °C, 分解反应的放热量分别增加 849.5 J·g⁻¹ 和 971.35 J·g⁻¹, 对 AP 分解反应有好的催化效果。

关键词: 无机化学; 吡啶氮氧化物; 含能配合物; 热分析; 催化性能

中图分类号: TJ55; O61

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.06.004

1 引言

以含能化合物为配体合成有一定爆炸性能的含能配合物, 可用作军用、民用火工品、爆破器材的起爆药及含能催化剂^[1-3]。Ritter 和 Licht^[4] 以 2,6-二氨基吡啶为原料, 通过硝化和氧化得到 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物(ANPyO), 结构与 TATB 相似, 是一种新型的高能钝感炸药, 具有含氮量高、稳定性好、感度低、能量高等优点, 可以与铜、镍、钴等过渡金属形成含能配合物^[5-7]。

目前, 对炸药热分解或推进剂燃烧性能的催化剂主要为惰性催化剂, 常用的有铜、铅、铁、铬、钛、铋、锡的氧化物, 它们虽能起着有效的催化作用, 却降低了推进剂体系的能量密度。含能催化剂本身具有较高能量, 催化作用的同时也为系统提供一定能量。可拓宽推进剂燃速范围、降低压力指数及特征信号, 是今后新型高效含能燃烧催化剂的一个主要发展方向^[8-9]。黑索今(RDX)、奥克托今(HMX) 和高氯酸铵(AP) 为发射药和固体推进剂的重要组分, 其热分解特性直接影响推进剂的燃烧性能^[10-14]。因此研究催化剂对 RDX、HMX 和 AP 热分解的催化作用具有重要意义。

本研究以 ANPyO 为配体, 选择铬、锌过渡金属为中心离子合成出两种含能配合物, 通过红外、元素分

析、DSC、TG-DTG 分析了两种配合物的组成及热分解性能, 研究了目标配合物对固体推进剂主要组分 RDX、HMX 和 AP 热分解的影响, 初步测试了其用作推进剂含能催化剂的可能性。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

ANPyO 为实验室合成^[15], 为黄色粉末状小颗粒, 密度为 1.888 g·cm⁻³, 熔融分解点大于 340 °C。N,N-二甲基甲酰胺(DMF)、CrCl₃·3H₂O、无水乙醇、Zn(CH₃COO)₂·2H₂O, 均为市售化学纯或分析纯产品。RDX、HMX 和 AP, 南京东诺工业炸药高科技有限公司。

DSC823e 差示扫描量热仪(瑞士 METTLER-TOLED 公司), 试样量约为 1.0 mg, 升温速率为 20 K·min⁻¹, 测试温度区间 50~500 °C, N₂ 流量为 30 mL·min⁻¹; 热重分析仪(瑞士 METTLER TOLEDO TGA/SDTA851e 热分析仪), 试样量约为 1.0 mg, 升温速率为 20 K·min⁻¹, 测试温度区间 50~800 °C, N₂ 流量为 30 mL·min⁻¹; MAGNA-760 型傅里叶变换红外光谱分析仪(KBr 压片)(美国 NICOLET 公司); 德国 Vario EL III CHNOS 元素分析仪。

2.2 实验过程

2.2.1 Cr(III) 配合物的合成

取 0.215 g(1.0 mmol) 三氟乙酸重结晶的 ANPyO 加入 25 mL DMF 中, 搅拌, 直接升温至 90 °C, 得到澄清的黄色溶液; 取 0.09 g(0.33 mmol) CrCl₃·3H₂O 溶

收稿日期: 2013-01-11; 修回日期: 2013-05-02

作者简介: 刘进剑(1986-), 男, 博士, 主要从事含能配合物合成及应用研究。e-mail: jinjianliu@163.com

于 20 mL 无水乙醇中, 然后逐渐加入溶 ANPyO 的 DMF 溶液中, 搅拌, 回流, 1 h 后溶液变为黑色澄清溶液。冷却, 转移至烧杯中静止, 一周后烧杯底部有黑褐色晶体析出, 用蒸馏水清洗三次, 烘干, 得到 0.102 g 黑褐色晶状固体, 收率为 44.16%。

2.2.2 Zn(II) 配合物的合成

将 0.215 g (1.0 mmol) 三氟乙酸重结晶的 ANPyO 固体粉末分散在 30 mL DMF 中, 悬浮液体呈光亮的黄色。搅拌下, 将 0.11 g (0.5 mmol) 固体乙酸锌 $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ 加入其中, 升温至 80 °C, 回流 1.5 h, 得到黄色澄清溶液。将其加入 100 mL 冰水中, 有大量乳黄色粉末析出, 过滤, 用蒸馏水清洗三次, 烘干, 得到 0.252 g 乳黄色粉末固体, 收率为 78.87%。

3 结果与讨论

3.1 配合物组成分析

ANPyO 及 Cr(III) 和 Zn(II) 两种配合物的红外曲线如图 1 所示, 元素分析结果见表 1。

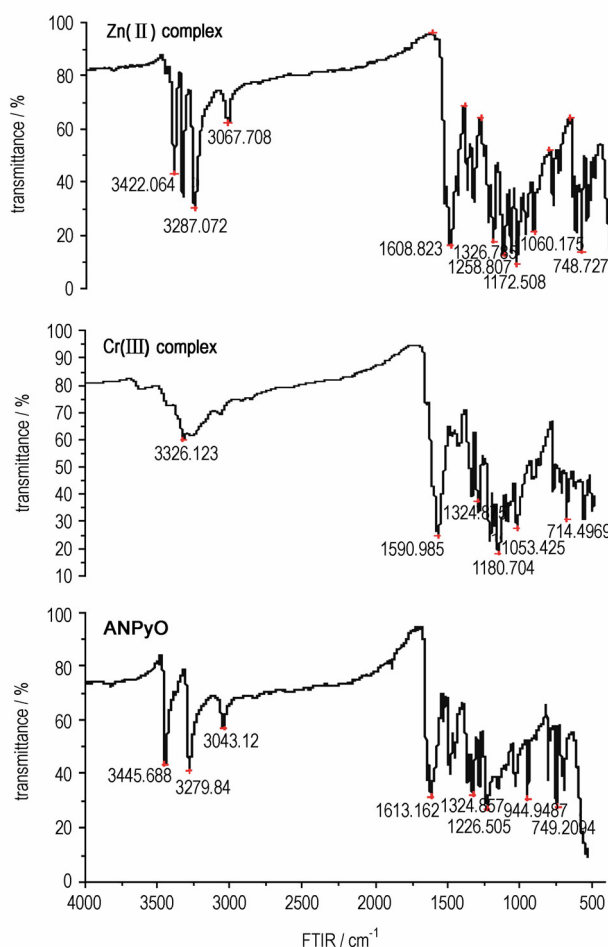


图 1 ANPyO 及其配合物的 FT-IR 谱

Fig. 1 FT-IR spectra of ANPyO and its complexes

表 1 ANPyO 及其配合物的元素分析

Table 1 Elemental analysis of ANPyO and its complexes %

| sample | C | | H | | N | |
|-----------------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| | cal. | exp. | cal. | exp. | cal. | exp. |
| ANPyO | 28.13 | 28.22 | 2.43 | 2.37 | 31.78 | 32.16 |
| Cr(III) complex | 25.35 | 25.83 | 1.91 | 1.86 | 29.73 | 30.01 |
| Zn(II) complex | 30.37 | 30.22 | 3.62 | 3.58 | 25.52 | 26.09 |

由图 1 可知, 两种配合物的红外光谱相对 ANPyO 吸收峰强度和吸收频率发生了变化, 其中氨基 ($-NH_2$) 的主要特征吸收峰变化表现得尤为显著, 由原先 ANPyO 中氨基的双强峰, 变为配合物中的单峰和三重峰。这就说明, 配体中的氨基参与了配位, 从而减弱了氨基 N 原子上的电子密度, 红外光谱发生了重要改变, 形成了配位化合物。

由表 1 可见, 配体和配合物元素分析的计算值与实测值吻合。由文献[5]的单晶晶体结构可知, 作为双齿配体, ANPyO 以分子中氮氧基的 O 原子和邻位的一个氨基 N 原子与金属离子配位, 其中参与配位的氨基失去了一个 H 原子, 生成的配合物中没有外接阴离子。根据金属配位方式, Cr(III) 和 Zn(II) 大都为六配位, 再由元素分析和 TG 实验结果, 推断出配合物的分子式: Cr(III) 配合物的分子式为 $Cr(C_5N_5O_5H_4)_3$; Zn(II) 配合物的分子式为 $Zn(C_5N_5O_5H_4)_2(DMF)_2$ 。

3.2 热分解分析

ANPyO 及 Cr(III) 和 Zn(II) 两种配合物在 $20 K \cdot min^{-1}$ 线性升温条件下的 DSC 和 TG-DTG 曲线如图 2 所示。

图 2a 表明, 配体 ANPyO 有一个缓慢的吸热过程和一个剧烈的放热分解过程, 吸热过程始于 200 °C, 终于 345 °C, 峰温为 338.32 °C, 为 ANPyO 的熔融吸热峰; 分解放热峰温为 356.46 °C, 终于 500 °C。在其 TG-DTG 曲线(图 2d)上同样显示为一急剧的质量损失过程, 始于 200 °C, 终于 360 °C, 最大失重速率出现在 338.14 °C, 最后无残渣剩余。

图 2b 表明, Cr(III) 配合物在 50 ~ 500 °C 主要有一个放热峰, 始于 200 °C, 终于 400 °C, 峰温为 326.93 °C。由其 TG-DTG 曲线(图 2e)可知, Cr(III) 配合物的热分解失重过程分为两个阶段, 第一阶段为剧烈失重阶段, 开始于 150 °C 左右, 结束于 390 °C, 质量损失达 57.69%, 最大失重率发生在 321.02 °C。推测这一阶段为配合物骨架断裂, 配体 ANPyO 受热分解, 生成新的中间混合物。第二阶段为一缓慢失重阶段, 由 390 °C 开始, 结束于 750 °C, 失重率为 31.52%,

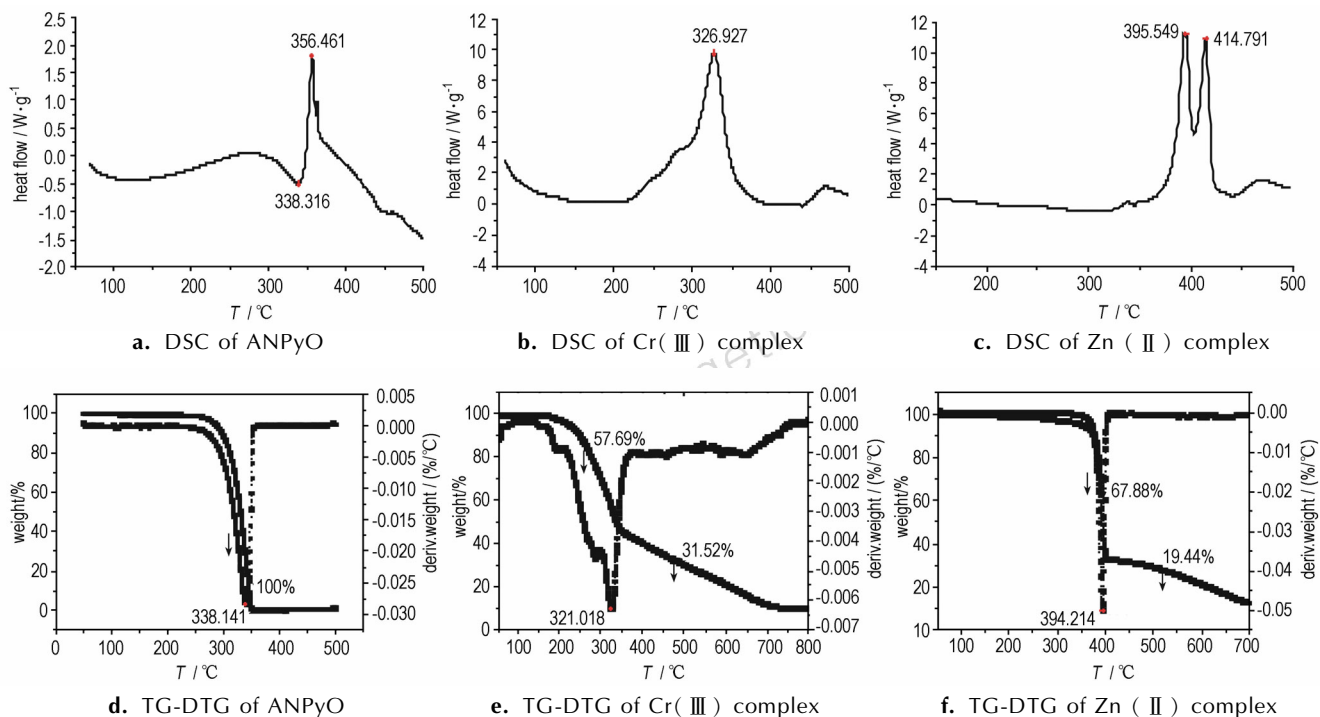


图2 ANPyO 及其配合物的 DSC 和 TG-DTG 曲线($\beta = 20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$)

Fig.2 DSC and TG-DTG curves of ANPyO and its complexes at $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$

推测这一阶段为生成的中间体混合物受热继续分解,最终生成金属氧化物。第一、二阶段的最终失重率达 89.21%, 剩余残渣的质量分数为 10.79%, 与计算得到的最终产物为 Cr_2O_3 的理论值 10.95% 相符, 因此推测剩余残渣为 Cr_2O_3 。

图 2c 表明, Zn(II) 配合物的热分解过程有两个连续的放热峰, 发生在 $360 \sim 450 \text{ }^\circ\text{C}$, 峰温分别为 $395.55 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $414.79 \text{ }^\circ\text{C}$ 。其 TG-DTG 曲线(图 2f)表明, Zn(II) 配合物于 $100 \sim 700 \text{ }^\circ\text{C}$ 的热分解质量损失过程分为两个阶段, 第一阶段为剧烈质量损失过程, 失重率为 67.88%, 终于 $400 \text{ }^\circ\text{C}$, 最大失重率发生在 $394.21 \text{ }^\circ\text{C}$, 推测这一阶段为配合物骨架断裂, 配位的 ANPyO 与 DMF 分子受热分解, 生成新的中间混合物; 随着温度的升高, 配合物继续失重, 直至 $700 \text{ }^\circ\text{C}$, 失重率为 19.44%, 剩余残渣的质量分数为 12.68%, 与计算得到的最终产物为 ZnO 的理论值 12.67% 符合, 因此推测剩余残渣为 ZnO 。

3.3 催化性能研究

3.3.1 对 RDX 热分解催化作用

将 RDX 与两种配合物均按 3 : 1 的质量比混合, 测定 RDX 混合物前后的 DSC 曲线, 结果如图 3 所示。

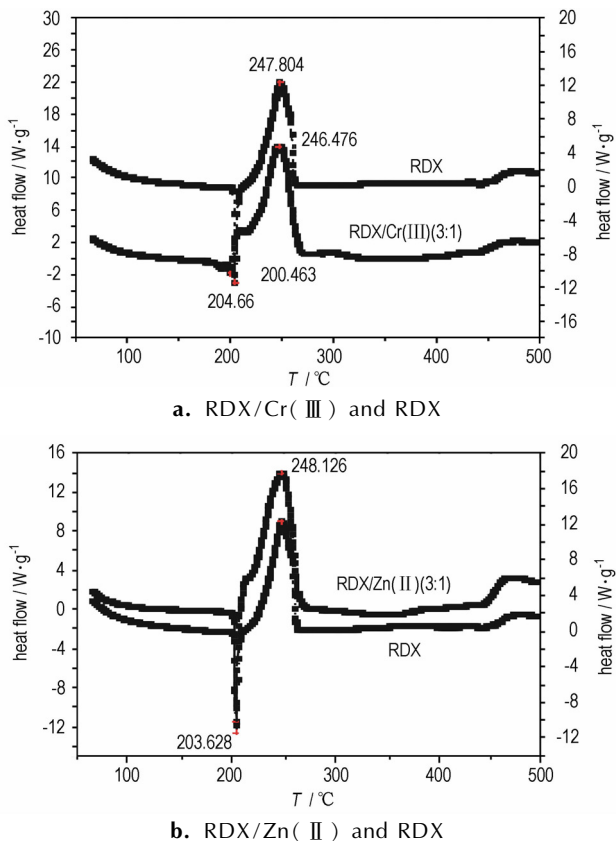


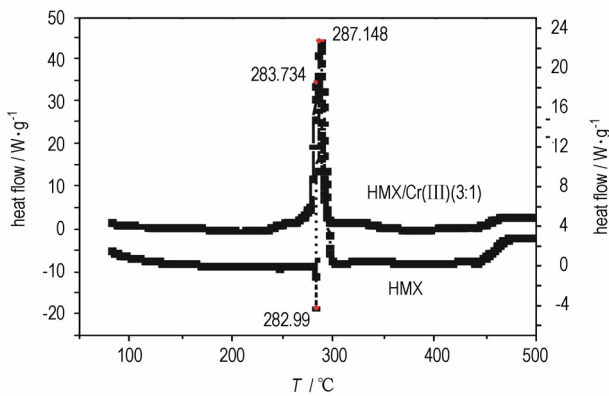
图3 RDX 与 RDX/配合物的 DSC 曲线($\beta = 20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$)

Fig.3 DSC curves of RDX and RDX/complexes with mass ratio of 3 : 1 at $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$

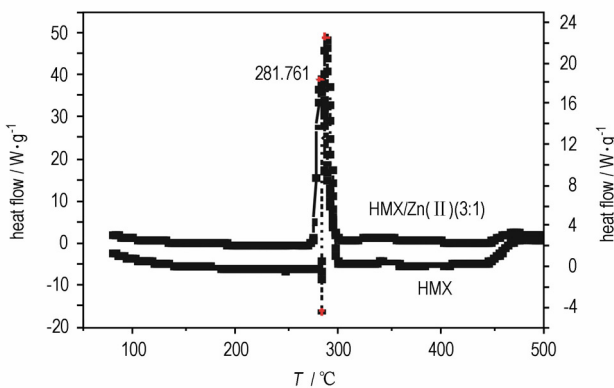
由图3可见,纯品RDX的热分解主要包括1个吸热过程和1个放热过程。吸热峰发生在195~215℃,峰温为204.66℃,熔化吸热焓为143.73 J·g⁻¹;随着温度的升高,出现一个较剧烈的放热分解峰,发生在215~270℃,峰温为247.80℃,对应的RDX的分解放热量为1362.67 J·g⁻¹。RDX与配合物混合后,其吸热峰和放热峰的峰形和峰温基本没有变化,其中Cr(III)配合物与RDX混合物吸热峰峰顶温度(200.46℃)比纯RDX的吸热峰提前4.20℃,放热峰峰顶温度(246.48℃)比纯品RDX放热峰提前1.32℃,分解放热量从1362.67 J·g⁻¹增至1669.02 J·g⁻¹;Zn(II)配合物与RDX混合物吸热峰峰顶温度与放热峰峰顶温度比纯品RDX相比基本没有变化,仅分解放热量从1362.67 J·g⁻¹增至1771.81 J·g⁻¹。由此可见,两种配合物对RDX的高温分解峰温影响较小,仅能使RDX放热量增加,对RDX热分解影响不大。

3.3.2 对 HMX 热分解催化作用

将 HMX 与两种配合物均按 3 : 1 的质量比混合,测定 HMX 混合物前后的 DSC 曲线,结果如图 4 所示。



a. HMX/Cr(III) and HMX



b. HMX/Zn(II) and HMX

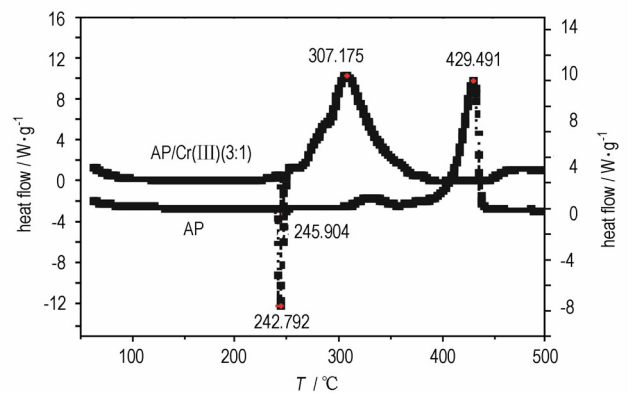
图4 HMX与HMX/配合物的DSC曲线($\beta = 20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$)

Fig.4 DSC curves of HMX and HMX/complexes with mass ratio of 3 : 1 at $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$

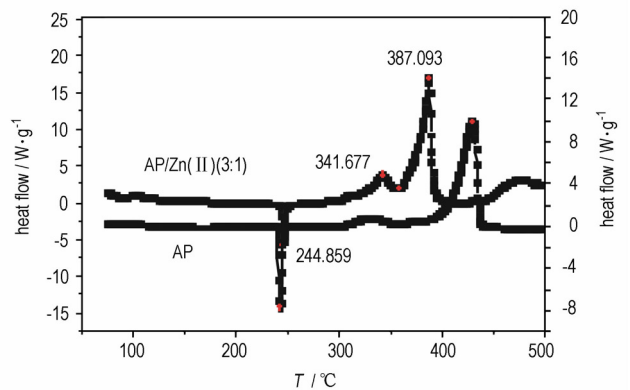
由图4可见,纯品HMX的热分解主要包括1个吸热过程和1个剧烈的放热过程。吸热峰发生在275~285℃,峰温为282.99℃,熔化吸热焓为33.59 J·g⁻¹;随着温度的升高,出现一个非常剧烈的放热分解峰,发生在285~310℃,峰温为287.15℃,对应的HMX的分解放热量为1729.37 J·g⁻¹。HMX与两种配合物混合后只有一个剧烈的放热峰,其中Cr(III)配合物与HMX混合物分解放热峰峰温(283.73℃)比纯品HMX放热峰提前3.42℃,分解放热量从1729.37 J·g⁻¹降至1259.04 J·g⁻¹;Zn(II)配合物与HMX混合物放热峰温(281.761℃)比纯HMX的放热峰提前5.39℃,分解放热量从1729.37 J·g⁻¹降至1685.42 J·g⁻¹。因此,两种配合物可以使HMX的高温分解峰温提前,使热分解速度加快,但是放热量却降低了,对HMX热分解催化效果不明显。

3.3.3 对 AP 热分解催化作用

将 AP 与两种配合物均按 3 : 1 的质量比混合,测定 AP 混合物前后的 DSC 曲线,结果如图 5 所示。



a. AP/Cr(III) and AP



b. AP/Zn(II) and AP

图5 AP与AP/配合物的DSC曲线($\beta = 20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$)

Fig.5 DSC curves of AP and AP/complexes with mass ratio of 3 : 1 at $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$

由图 5 可见, 纯品 AP 的热分解主要包括 1 个吸热过程和 2 个放热过程。吸热峰发生在 240 ~ 250 °C, 峰温为 242.79 °C, 为 AP 的晶型转变温度; 随着温度的升高, 出现一个缓慢的放热分解峰和一个剧烈的放热分解峰, 发生在 300 ~ 450 °C, 峰顶温度分别为 329.99 °C 和 429.49 °C, 对应的 AP 的分解放热量分别为 45.93 J · g⁻¹ 和 486.33 J · g⁻¹。AP 与配合物混合后吸热峰基本没有变化, 即配合物对 AP 的晶型转变温度基本没有影响。随后出现的放热过程为两物质的交叉放热过程, 两种混合物的放热峰差别较大。其中 Cr(III) 配合物与 AP 混合物只有一个放热峰, 峰顶温度为 307.17 °C, 比 AP 的高温分解峰温(429.49 °C) 提前了 122.32 °C, 分解放热量从 486.33 J · g⁻¹ 增至 1457.68 J · g⁻¹; Zn(II) 配合物与 AP 的混合物有一个剧烈的放热峰, 峰形尖锐, 峰顶温度为 387.09 °C, 比 AP 的高温分解峰温(429.49 °C) 提前了 42.40 °C, 分解放热量从 486.33 J · g⁻¹ 增至 1335.83 J · g⁻¹。因此, 两种配合物都可以使 AP 的高温分解峰温大幅提前, 使分解速度加快, 分解放热量增加, 对 AP 热分解具有非常显著的催化作用。

4 结 论

以 ANPyO 为含能配体, 合成两种含能配合物 Cr(C₅N₅O₅H₄)₃ 和 Zn(C₅N₅O₅H₄)₂(DMF)₂。DSC 分析表明, 两种配合物对 RDX 和 HMX 热分解影响不大, 然而可使 AP 的高温分解峰温分别提前 42.40 °C 和 122.32 °C, 分解放热量增加 849.5 J · g⁻¹ 和 971.35 J · g⁻¹, 对 AP 热分解催化效果显著, 说明两种配合物用作 AP 系固体推进剂含能催化剂具有一定可行性。

参考文献:

[1] Kulkarni P B, Reddy T S, Nazare J K, et al. Trinitroanilino benzoic acid (TABA): potential energetic ballistic modifiers [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, 123(1-3): 54-60.

[2] Fyfe D W, Fmnabarger J W, Bickes T R W. BNCP prototype detonator studies using a semiconductor bridge initiator [C] // Proceedings Twentieth International Pyrotechnics Seminar, 1994, Colorado, USA.

[3] Singh G, Felix S P. Studies on energetic compounds 25. An overview of preparation, thermolysis and applications of salt of 5-nitro-2,4-dihydro-3H-1,2,4-triazol-3-one(NTO) [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2002, A90: 1-17.

[4] Licht H H, Ritter H. 2, 4, 6-trinitropyridine and related com-

ound, synthesis and Characterization [J]. *Propellants Explosives Pyrotechnics*, 1988, 13: 25-29.

- [5] 刘进剑, 刘祖亮, 成健. 含能配合物 Ni(C₅N₅O₅H₄)₂(by)₂ 的晶体结构和热分解性能[J]. *火炸药学报*, 2012, 35(2): 36-39.
- LIU Jin-jian, LIU Zu-liang, CHENG Jian. Crystal Structure and thermal Decomposition Properties of Energetic Complex Ni(C₅N₅O₅H₄)₂(by)₂ [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2012, 35(2): 36-39.
- [6] Liu J J, Liu Z L, Cheng J. Synthesis, crystal structure and properties of a novel tetra-nuclear Cu complex of ANPyO [J]. *Journal of Solid State Chemistry*, 2013, 197C: 198-203.
- [7] Fiederling Nikolaus, Ruloff Cornelius. Die Erfindung betrifft neue Metallkomplexeverbindungen der allgemeinen Formel Me(DADPyOx)_x worin Me für ein Übergangsmetallion und x für 1, 2, 3 oder 4 steht, Verfahren zu deren Herstellung, sowie deren Verwendung: DE19525265A1 [P], 1995.
- [8] 张同来, 胡荣祖, 李福平, 等. [Pb(NTO)₂(H₂O)₂] 的制备, 分子结构和热分解机理研究[J]. *化学学报*, 1994, 52(6): 545-550.
- ZHANG Tong-lai, HU Rong-zu, LI Fu-ping, et al. Preparation, molecular structure and thermal decomposition mechanism of [Pb(NTO)₂(H₂O)₂] [J]. *Acta Chimica Sinica*, 1994, 52(6): 545-550.
- [9] 樊学忠, 李吉祯, 张腊莹, 等. NTO 铅铜衍生物对 AP-CMDB 推进剂燃烧性能和热分解的影响[J]. *含能材料*, 2007, 15(4): 316-319.
- FAN Xue-zhong, LI Ji-zheng, ZHANG La-ying, et al. Influence of lead(II) and copper(II) salts of NTO on the combustion characteristics and thermal decomposition of AP-CMDB propellant [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2007, 15(4): 316-319.
- [10] Trzcinski W A, Cudzilo S, Paszula J. Studies of free field and confined explosions of aluminum enriched RDX compositions [J]. *Propellants Explosive Pyrotechnics*, 2007, 32: 502-506.
- [11] Liu Y F, Chen Y, Shi L, et al. Synthesis of three novel laurylamine-derived long-chain ALKYL bonding agents and their interactions with RDX [J]. *Propellants Explosive Pyrotechnics*, 2012, 37: 69-73.
- [12] Liu H B, Jiao Q Z, Zhao Y, et al. Mixed oxides derived from Cu-Co layered double hydroxide nanorods: Preparation, characterization and their catalytic activities [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2010, 496(1-2): 317-323.
- [13] Xia Z Q, Chen S P, Wei Q, et al. Syntheses and characterization of energetic compounds constructed from alkaline earth metal cations (Sr and Ba) and 1,2-bis(tetrazol-5-yl) ethane [J]. *Journal of Solid State Chemistry*, 2011, 184(7): 1777-1783.
- [14] DUAN H Z, LIN X Y, LIU G P, et al. Synthesis of Co nanoparticles and their catalytic effect on the decomposition of ammonium perchlorate [J]. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2008, 16(2): 325-328.
- [15] 成健, 姚其正, 刘祖亮. 2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-N-氧化物的合成新方法[J]. *有机化学*, 2008(11): 1943-1947.
- CHENG Jian, YAO Qi-zheng, LIU Zu-liang. Novel synthesis of 2,6-diamino-3,5-dinitropyridine-N-oxide [J]. *Chinese Journal of Organic Chemistry*, 2008(11): 1943-1947.

Synthesis and Catalytic Properties of ANPyO Cr(III) and Zn(II) Energetic Complexes

LIU Jin-jian¹, LIU Zu-liang¹, CHENG Jian¹, FANG Dong²

(1. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Yancheng Teachers College, Yancheng 224002, China)

Abstract: Two transition metal complexes as 2, 6-diamino-3, 5-dinitropyridine-1-oxides (ANPyO) with Cr(III) and Zn(II) were synthesized and characterized by FT-IR spectroscopy and elemental analysis. The effects of Cr(III) and Zn(II) complexes on the thermal decomposition of RDX, HMX and AP was studied by DSC and TG-DTG. Results show that thermal decomposition of the Cr(III) complex only consists of one violent exothermic process with 10.79% residues and the Zn(II) complex consists of two consecutive exothermic processes with 12.68% residues. Two complexes have little catalytic effect on the thermal decomposition of RDX and HMX. However, two complexes make the peak temperature of the higher thermal decomposition of AP decrease by 42.40 °C and 122.32 °C, and the exothermic quantity of decomposition reaction increase by 849.5 J · g⁻¹ and 971.35 J · g⁻¹, respectively.

Key words: inorganic chemistry; pyridine *N*-oxide; energetic complex; thermal analysis; catalytic property

CLC number: TJ55; O61

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.06.004



向审稿人致谢

2013年,在各级领导的关心和各位同行专家的帮助下,本刊得以顺利出版发行,为此,编辑部特向在2012年12月6日~2013年11月12日为本刊审阅稿件的各位审稿人(以汉语拼音为序)致谢!

安立超 白颖伟 蔡华强 曹端林 常双君 陈捷 陈朗 陈鹏万 陈树森 陈网桦 褚思义 丛昱 杜志明
 段晓惠 段卓平 高大元 葛红光 葛忠学 贡雪东 顾文彬 顾晓辉 郭朋林 韩勇 何卫东 胡荣祖 黄亨建
 黄靖伦 黄明 黄正祥 黄志萍 贾宪振 蒋道建 蒋建伟 蒋小华 解立峰 居学海 李洪珍 李加荣 李金山
 李敬明 李伟兵 李战雄 刘少武 刘亚青 卢芳云 卢先明 陆明 罗军 罗运军 马中亮 孟子晖 米镇涛
 潘功配 庞爱民 庞思平 庞维强 彭其先 钱立新 钱新明 沈瑞琪 沈兆武 宋锦泉 宋浦 孙杰 孙占峰
 谭碧生 唐承志 唐维 王伯周 王海福 王晗 王军 王树山 王晓峰 王新德 王新锋 王焯军 王玄玉
 王志军 魏光辉 魏学涛 魏智勇 温茂萍 温玉全 文尚刚 吴文辉 吴耀国 武双章 肖正刚 熊鹰 胥会祥
 徐抗震 徐涛 严楠 杨利 杨毅 杨宗伟 姚维尚 易文斌 郁卫飞 曾贵玉 曾庆轩 张朝阳 张建国
 张江波 张领科 张奇 张蕊 张同来 张为华 张伟斌 张炜 张先锋 张晓玉 张亚军 张玉成 张志忠
 赵凤起 赵省向 赵孝彬 钟发春 周彬 周伟良 周遵宁 朱朋 朱顺官 朱卫华

向作者致谢

近年,《含能材料》得到了广大作者的大力支持,为表达我们深深的谢意,特向2012~2013两年来发表两篇以上论文的作者(第一作者)赠送2014年全年《含能材料》。本刊期望在新的一年里能继续得到广大作者更多的关心!欢迎赐稿!

毕福强 陈玲 代晓淦 郭长平 何志勇 侯可辉 胡岚 胡荣祖 胡松启 黄文尧
 纪晓唐 晋苗苗 李辉 李亚南 刘冬梅 刘进剑 刘林林 刘所恩 卢先明 马卿
 满田田 庞海燕 齐秀芳 涂小珍 王伯周 王惠娥 王军 王守旭 肖鹤鸣 肖啸
 杨荣极 杨威 杨宗伟 姚月娟 臧立伟 张光全 张伟斌 周小清 左玉芬

《含能材料》编辑部
 二〇一三年十二月