

文章编号: 1006-9941(2013)05-0644-05

TANPyO 及其金属配合物的合成与性能

刘进剑¹, 刘祖亮¹, 蔺向阳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: 用 2,4,6-三氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物(TANPyO)作配体,合成了两种过渡金属[Ni(II)和Cu(II)]配合物,并用红外、元素分析、DSC、TG-DTG进行了表征。研究了两种配合物对高氯酸铵(AP)热分解的影响。按 GJB772A-1997 测试了 TANPyO 的感度。结果表明,配合物的热分解过程仅由 1 个剧烈放热峰组成,剩余残渣为金属氧化物。两种配合物使 AP 高温分解峰温度分别提前 47.14 °C 和 98.24 °C,分解速度加快,放热量增加,显示这两种配合物对 AP 热分解有良好的催化效果。撞击落高为 300 cm,摩擦感度和静电火花感度均为 0,表明 TANPyO 是一种非常钝感的含能材料。

关键词: 有机化学; 吡啶氮氧化物; 含能配合物; 热分析; 感度; 催化性能

中图分类号: TJ55; O62

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.05.016

1 引言

Ritter 和 Licht^[1]以 2,6-二氨基吡啶为原料,通过硝化和氧化得到 2,4,6-三氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物(TANPyO),综合性能与 TATB 相当,优于 2,6-二(苦氨基)-3,5-二硝基吡啶(PYX)和六硝基芪(HNS)^[2],但是 TANPyO 成本显著低于 TATB,是一种含氮量高、稳定性好、感度低、能量高、成本低的高能钝感炸药。

以含能材料为配体形成的具有一定爆炸性能的配合物称为含能配合物,它的出现,预示着钝感、含能、环保材料成为的一个重要发展方向。这类配合物可用于军民两用化工品,爆破器材的起爆药,起爆装药及含能催化剂,因而引起了含能材料行业的极大关注^[3-5]。高氯酸·四氨·双(5-硝基四唑)合钴(BNCP)具有光敏特性和可靠的起爆能力,已应用于激光起爆系统^[6-7]。3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮(NTO)与铜、铅形成的配合物对双基火箭推进剂的燃烧具有很好的调节作用,是一类性能优良的含能催化剂^[8-9]。研究表明:TANPyO 可以与铜、镍、钴等过渡金属形成配位化合物,是一种性能优良的含能配体^[10]。

本研究以 TANPyO 为含能配体,合成了 Ni(II)

和 Cu(II)两种含能配合物,通过红外、元素分析、DSC 和 TG-DTG 分析了 TANPyO 及其配合物的组成与热分解性能,探讨了配合物对高氯酸铵(AP)热分解催化的影响,测试了 TANPyO 感度。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

2,6-二氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物(ANPyO)为实验室合成^[11],黄色粉末状小颗粒,密度为 $1.888 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,熔融分解点大于 340 °C。其它试剂均为市售化学纯或分析纯产品,除特别说明外,不经处理直接使用。

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 $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$,升温区间为 50 ~ 500 °C, N_2 流量为 $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$;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 $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$,升温区间 50 ~ 700 °C, N_2 流量为 $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$;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 TANPyO 的合成

将 2.15 g (0.01 mol) ANPyO 加入到 150 mL (组成为 $V(\text{DMSO}) : V(\text{H}_2\text{O}) = 3 : 1$, NH_3 质量分数 7.0%) 的混合溶液中,搅拌至均匀状态,在 30 min 内加入 8.0 g (0.045 mol) KMnO_4 ,继续搅拌至均匀

收稿日期: 2012-09-03; 修回日期: 2013-01-09

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项基金(NUST2011YBXM66)

作者简介: 刘进剑(1986-),男,博士,主要从事含能配合物合成与应用研究。e-mail: jinjianliu2@163.com

状态,控制体系温度为 30 °C 并缓慢通入氨气,保持此状态反应 16 h。反应结束后往混合物中追加 50 mL DMSO 并加热至 95 °C,待产物完全溶解于 DMSO 后立即过滤,滤液用 150 mL 蒸馏水稀释并冷却至 0 °C,待产物完全析出后过滤,水洗,干燥得黄色固体 1.96 g,收率 85.4%。

2.2.2 Ni(II) 配合物的合成

将 2.30 g (0.01 mol) 三氟乙酸重结晶的 TANPyO 固体粉末分散在 100 mL 乙酸中,悬浮液体呈光亮的黄色。搅拌下,将 1.25 g (0.005 mol) 固体乙酸镍 $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 加入其中,升温至 80 °C,回流 1.5 h。冷却,抽滤,并用 20 mL 乙酸清洗三次。在空气中干燥 24 h,在真空状态下,继续干燥得到 2.34 g 土褐色粉末,收率 90.5%。

2.2.3 Cu(II) 配合物的合成

将 2.30 g (0.01 mol) 三氟乙酸重结晶的 TANPyO 固体粉末分散在 100 mL 乙酸中,悬浮液体呈光亮的黄色。搅拌下,将 1.21 g (0.005 mol) 固体硝酸铜 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 加入其中,升温至 80 °C,回流 1.5 h。冷却,抽滤,并用 20 mL 乙酸清洗三次。在空气中干燥 24 h,在真空状态下,继续干燥得到 2.34 g 黄绿色粉末,收率 89.6%。

3 结果与讨论

3.1 配合物结构推断

配体和配合物的元素分析结果见表 1。由表 1 可见,按分子式计算的数值与实验值基本吻合。

表 1 配体和配合物的元素分析

Table 1 Elemental analysis of ligand and complexes %

sample	C	H	N
TANPyO	26.32(26.09)	2.74(2.61)	37.14(36.52)
$\text{Ni}(\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_6\text{O}_5)_2(\text{H}_2\text{O})_2$	22.15(21.70)	2.45(2.53)	29.78(30.38)
$\text{Cu}(\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_6\text{O}_5)_2$	23.56(22.99)	2.08(1.92)	32.22(32.18)

Note: Theoretical values are inside brackets, experimental values outside.

配体和配合物的红外数据如下:

TANPyO 的 IR 数据, (KBr, cm^{-1}): 3480, 3363, 3261, 3171, 1581, 1476, 1258, 1177, 1079, 872, 768, 670。

Ni(II) 配合物的 IR 数据, (KBr, cm^{-1}): 3412, 3381, 3270, 3178, 1592, 1508, 1472, 1272, 1242, 1174, 1068, 868, 762, 684, 576。

Cu(II) 配合物的 IR 数据, (KBr, cm^{-1}): 3421, 3368, 3291, 3258, 1597, 1507, 1481, 1275, 1238, 1172, 1082, 1022, 914, 710, 616。

由红外数据可以看出,两种配合物的红外光谱相对 TANPyO 吸收峰强度和吸收频率发生变化,其中主要区别在于 1600 ~ 1400 cm^{-1} 之间,配合物比配体多了一个尖锐峰,为 N—H 的弯曲振动峰。配体中的氨基参与了配位,由此发生上述红外光谱的重要改变,形成了配位化合物。由参考文献[10]的单晶晶体结构可知,作为双齿配体,TANPyO 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,Cu(II) 一般为四配位,Ni(II) 一般为六配位,再由元素分析和 TG 实验结果,推断出配合物的分子式为: Cu(II) 配合物的分子式为 $\text{Cu}(\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_6\text{O}_5)_2$, Ni(II) 配合物的分子式为 $\text{Ni}(\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_6\text{O}_5)_2(\text{H}_2\text{O})_2$ 。

3.2 热分解分析

在 20 $\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$ 线性升温条件下,通过 DSC 和 TG-DTG 实验对配体和配合物的热分解过程进行了测试。典型的 DSC 和 TG-DTG 曲线见图 1。

由图 1a 可见,配体 TANPyO 只有一个剧烈的放热分解过程,发生在 316 ~ 395 °C 之间,峰顶温度为 354.81 °C,为 TANPyO 的放热分解峰。在图 1d TANPyO 的 TG-DTG 曲线上同样显示为一急剧的热失重过程,始于 250 °C,终于 490 °C,最大失重速率出现在 357.10 °C,最后无残渣剩余。

由图 1b 可见,Ni(II) 配合物在 50 ~ 500 °C 范围内的热分解过程只有一个剧烈的放热峰,峰形尖锐,起始于 350 °C,终于 410 °C,峰顶温度为 394.19 °C。图 1e TG-DTG 曲线显示,Ni(II) 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 80 °C 左右,结束于 415 °C,质量损失达 61.87%,最大质量损失发生在 394.90 °C,推测这一阶段为配合物骨架断裂,配体 TANPyO 和配位的水分子受热分解,生成新的化合物。第二阶段为一较缓慢失重阶段,由 415 °C 开始,结束于 530 °C,失重率为 24.49%,推测这一阶段为新化合物受热继续分解,生成金属氧化物。第一,二阶段的最终失重率达 86.36%,剩余残渣的质量分数为 13.64%,与计算得到的最终产物为 NiO 的理论值 13.56% 相符,推测剩余残渣为氧化镍。

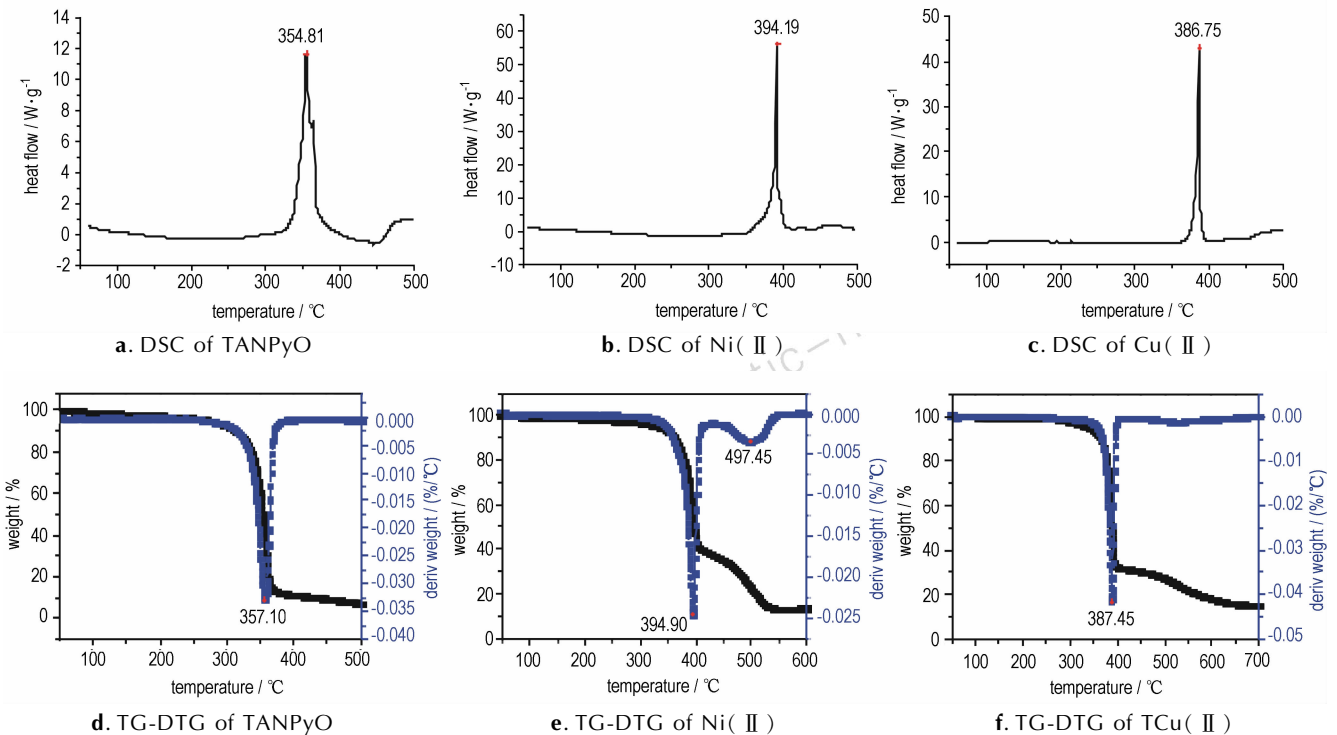


图 1 配体和配合物的 DSC 和 TG-DTG 曲线($\beta = 20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$)

Fig. 1 DSC and TG-DTG curves of the ligand and its complexes at a heating rate of $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$

由图 1c 可见, $\text{Cu}(\text{II})$ 配合物的热分解过程同样只有一个剧烈的放热峰, 峰形尖锐, 发生在 $350 \sim 400 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 峰顶温度为 $386.75 \text{ }^\circ\text{C}$ 。图 1f TG-DTG 曲线显示, $\text{Cu}(\text{II})$ 配合物于 $250 \sim 650 \text{ }^\circ\text{C}$ 的热分解失重过程分为两个阶段, 第一阶段为剧烈失重过程, 失重率为 68.15% , 终止于 $410 \text{ }^\circ\text{C}$, 最大质量损失发生在 $387.45 \text{ }^\circ\text{C}$, 推测这一阶段同样为配合物骨架断裂, 配体受热分解, 生成新的化合物; 随着温度的升高, 配合物继续失重, 直至 $650 \text{ }^\circ\text{C}$, 失重率为 16.26% , 剩余的质量分数为 15.59% , 与计算得到的最终产物为 CuO 的理论值 15.33% 相符, 因此推测分解的剩余物为氧化铜。

3.3 催化性能研究

众所周知, 高氯酸铵(AP) 是复合推进剂中最常用的氧化剂之一, AP 的热分解特性极大地影响了固体推进剂的燃烧行为, 因此研究催化剂对 AP 热分解的催化作用对预估催化剂对 AP 系推进剂的催化效果具有重要意义^[12-14]。因此, 将合成的两种配合物与 AP 按 $1:3$ 的质量比混合, 测定混合前后的 DSC 曲线, 根据特征峰的峰形和峰位变化研究配合物对 AP 热分解的影响。DSC 曲线如图 2 所示。

由图 2 可见, 纯品 AP 的热分解过程包括 1 个吸

热过程和 2 个放热过程。吸热峰发生在 $237 \sim 253 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 峰顶温度为 $243 \text{ }^\circ\text{C}$, 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 (LTD) 和一个剧烈的放热分解峰 (HTD), 发生在 $305 \sim 445 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间。LTD 的峰顶温度为 $329 \text{ }^\circ\text{C}$, 对应的 AP 的分解放热量为 $45.93 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$; HTD 的峰顶温度为 $430 \text{ }^\circ\text{C}$, 对应的分解放热量为 $486.33 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在混合物的 DSC 曲线中, 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, 混合物之间的放热过程差别较大。由图 2a 可见, $\text{Ni}(\text{II})$ 配合物与 AP 的混合物有一个宽广复杂的放热峰, 最高的放热峰顶温度为 $382.86 \text{ }^\circ\text{C}$, 比 AP 的高温分解峰温 ($430 \text{ }^\circ\text{C}$) 提前了 $47.14 \text{ }^\circ\text{C}$, 而且分解放热量从 $486.33 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ 增至 $1523.78 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ 。图 2b 中, $\text{Cu}(\text{II})$ 配合物与 AP 混合物只有一个剧烈的放热峰, 峰形尖锐, 反应剧烈, 峰顶温度为 $331.76 \text{ }^\circ\text{C}$, 比 AP 的高温分解峰温 ($430 \text{ }^\circ\text{C}$) 提前了 $98.24 \text{ }^\circ\text{C}$, 而且分解放热量从 $486.33 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ 增至 $1378.35 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ 。由此可见, 两种配合物均可以促进 AP 的热分解过程, 尤其是 $\text{Cu}(\text{II})$ 配合物对 AP 热分解催化效果显著。

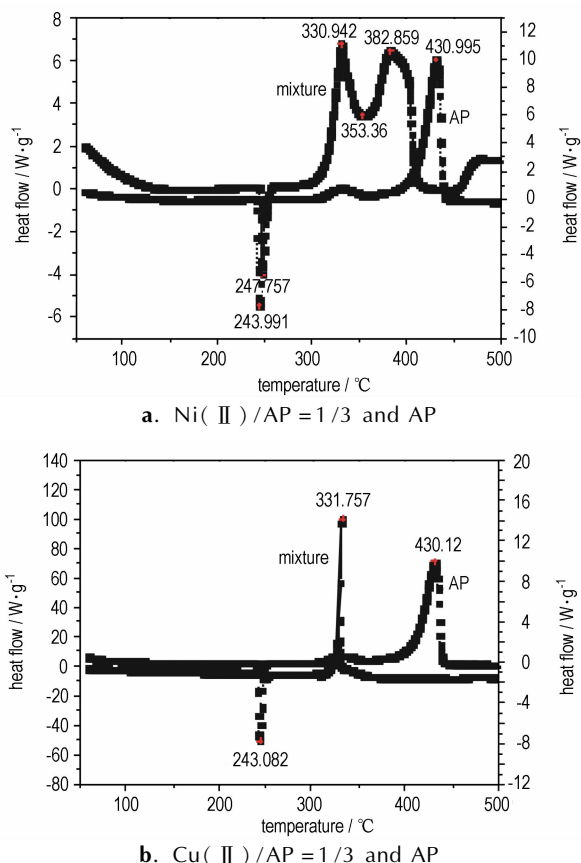


图2 AP与Complex/AP(1/3)的DSC曲线($\beta = 20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$)
Fig. 2 DSC curves of complex/AP(1/3) and AP at a heating rate of $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$

3.4 TANPyO 的感度

按 GJB772A-1997 方法 601.1 测试 TANPyO 撞击感度。试验条件: 落锤重量 (10 ± 0.01) kg, 落高 (25 ± 0.1) cm, 药量 (50 ± 1) mg, 室温 $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 相对湿度 65%; 按 GJB772A-1997 方法 602.1 测试摩擦感度。试验条件: 摆角 (90 ± 1) $^\circ$, 表压 (3.92 ± 0.08) MPa, 药量 (20 ± 1) mg, 摆锤质量 1.5 kg, 室温 $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 相对湿度 60%; 按 GJB5891.27-2005 方法测试静电火花感度。试验条件: 电极间隙 0.5 mm, 电容 30500 pF, 药量 (20 ± 1) mg, 室温 $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 相对湿度 58%。结果见表 2。

表 2 TANPyO 与其它钝感炸药的感度比较

Table 2 Comparison of the sensitivity of TANPyO and other insensitive explosives

explosives	TANPyO	TATB ^[15]	HNS ^[15]	PYX ^[15]
impact sensitivity/cm	300	>320	120	63
friction sensitivity/%	0	0	36	12
electrostatic spark sensitivity/%	0	0	28	25

由表 2 可知, TANPyO 的撞击感度, 摩擦感度和静电火花感度均较低, 感度与 TATB 相当, 优于 HNS 和 PYX, 是一种非常钝感的含能材料, 具有广阔的应用前景^[16-17]。

4 结论

以 2,4,6-三氨基-3,5-二硝基吡啶-1-氧化物(TANPyO) 为配体, 制备出含能配合物 $\text{Ni}(\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_6\text{O}_5)_2(\text{H}_2\text{O})_2$ 和 $\text{Cu}(\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_6\text{O}_5)_2$ 。DSC 结果表明, 两种配合物使 AP 的高温分解峰温分别提前了 47.14 $^\circ\text{C}$ 和 98.24 $^\circ\text{C}$, 说明制备的两种配合物对 AP 的热分解均具有非常好的催化效果。TANPyO 的撞击感度为 300 cm, 摩擦感度和静电火花感度均为 0, 与 TATB 相当, 优于 HNS 和 PYX, 是一种非常钝感的含能材料。

参考文献:

- [1] Licht H H, Ritter H. 2, 4, 6-trinitropyridine and related compound, synthesis and characterization [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1988, 13: 25-29.
- [2] 王晶禹, 黄浩, 王培勇, 等. 高纯纳米 HNS 的制备与表征[J]. 含能材料, 2008, 16(3): 258-261. WANG Jing-yu, HUANG Hao, WANG Pei-yong, et al. Preparation and characterization of high purity nano HNS [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(3): 258-269.
- [3] 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.
- [4] 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, Colorado, 25-29 July 1994; P341-344.
- [5] Singh G, Felix S P. Studies on energetic compounds 25. An overview of preparation, thermolysis and applications of salts of 5-nitro-2,4-dihydro-3H-1,2,4-triazol-3-one (NTO) [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2002, A90: 1-17.
- [6] 陈利魁, 盛涤伦, 杨斌, 等. 掺杂对 BNCP 半导体激光起爆感度的影响[J]. 含能材料, 2009, 17(2): 229-232. CHEN Li-kui, SHENG Di-lun, YANG Bin, et al. Effect of dopant on BNCP semiconductor laser sensitivity [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(2): 229-232.
- [7] 盛涤伦, 马凤娥, 孙飞龙, 等. BNCP 起爆药的合成及其主要性能[J]. 含能材料, 2000, 8(3): 100-103. SHENG Di-lun, MA Feng-e, SUN Fei-long, et al. Study on synthesis and main properties of BNCP [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2000, 8(3): 100-103.
- [8] 樊学忠, 李吉祯, 张腊, 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. PAN Xue-zhong, LI Ji-zhen, ZHANG La, 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.
- [9] 张同来, 胡容祖, 李福平, 等. $[\text{Cu}(\text{NTO})_2(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的制备, 分子结构和热分解机理研究[J]. 科学通报, 1993(6): 523–525.
- ZHANG Tong-lai, HU Rong-zu, LI Fu-ping, et al. Preparation, molecular structure and thermal decomposition mechanism of $[\text{Cu}(\text{NTO})_2(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1993(6): 523–525.
- [10] 刘进剑, 刘祖亮, 成健. 含能配合物 $\text{Ni}(\text{C}_5\text{N}_5\text{O}_5\text{H}_4)_2(\text{by})_2$ 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 $\text{Ni}(\text{C}_5\text{N}_5\text{O}_5\text{H}_4)_2(\text{by})_2$ [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*. 2012, 35(2): 36–39.
- [11] 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 (Youji Huaxue)*, 2008, 11: 1943–1947.
- [12] LIU Hong-bo, JIAO Qing-ze, ZHAO Yun, 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 Zheng-qiang, CHEN Sang-ping, WEI Qing, 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 Hong-zhen, LIN Xiang-yang, LIU Guan-peng, 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. 吡啶类钝感炸药的合成、表征和性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- CHENG Jian. Synthesis, characterize and properties of insensitive explosive about pyridine derivatives [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2012.
- [16] Agrawal J P, Hodgson R D. *Organic Chemistry of Explosives* [C]//Chichester, UK, 2007.
- [17] Eiceman G A, Preston D, Tiano G, et al. Quantitative calibration of vapor levels of TNT, RDX and PETN using a diffusion generator with gravimetry and ion mobility spectrometry [C]// Talanta. 1997:45–57.

Synthesis and Properties of TANPyO and its Metal Complexes

LIU Jin-jian¹, LIU Zu-liang¹, LIN Xiang-yang¹, 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 (Ni(II) and Cu(II)) complexes were synthesized using 2, 4, 6-triamino-3, 5-dinitropyridine-1-oxide (TANPyO) as ligand and characterized by FT-IR spectroscopy, elemental analysis, DSC and TG-DTG. Effects of the two complexes on the thermal decomposition of ammonium perchlorate (AP) were studied. The sensitivity properties of TANPyO were tested according to specifications of standardization method GJB772A–1997. Results show that the thermal decomposition processes of two complexes both consist of one violent exothermic peak with metal oxides residues. The two complexes make the higher thermal decomposition temperature of AP decrease by 47.14 °C and 98.24 °C, the decomposition reaction accelerate and the exothermic quantity increase, revealing that the two complexes have good catalytic effect on the thermal decomposition of AP. The drop height of impact sensitivity is 300 cm. The friction sensitivity and electrostatic spark sensitivity are zero, showing that TANPyO is an insensitive energetic compound.

Key words: organic chemistry; pyridine N-oxide; energetic complex; thermal analysis; sensitivity; catalytic property

CLC number: TJ55; O62

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.05.016