

[Ni(NH₂NHCO₂CH₃)₃](NO₃)₂·H₂O 的制备、晶体结构和热分解机理

宋江闯^a 张同来^{*·a} 张建国^a 马桂霞^a 李玉锋^a 郁开北^b

(^a 北京理工大学 爆炸灾害预防控制中心国家重点实验室 北京 100081)

(^b 中国科学院成都分院分析测试中心 成都 610041)

摘要 由硝酸镍水溶液和胍基甲酸甲酯(NH₂NHCOOCH₃, MCZ)的水溶液反应,制备出未见文献报道的配合物 [Ni(MCZ)₃](NO₃)₂·H₂O. 晶体结构测定结果表明,该晶体属单斜晶系, $P2_1/n$ 空间群,晶体学参数为: $a = 1.3681(2)$ nm, $b = 0.8188(1)$ nm, $c = 1.6029(4)$ nm, $\beta = 92.16(2)^\circ$, $V = 1.7943(6)$ nm³, $D_c = 1.744$ g·cm⁻³, $Z = 4$, $F(000) = 976$, $\mu(\text{Mo K}\alpha) = 1.166$ mm⁻¹. 结构采用全矩阵最小二乘法优化,除氢原子采用各向同性热参数外,其它非氢原子均采用各向异性热参数修正,最终偏离因子 $R_1 = 0.0337$, $wR_2 = 0.0857$. 在该配合物分子中,胍基甲酸甲酯作为双齿配体,由羰基氧原子和端基氮原子与 Ni²⁺ 配位,形成五元平面螯合环,配合物分子中共有三个这样的螯合环,中心离子为六配位八面体构型. 配合物的外界是两个硝酸根离子和一个水分子,通过库仑力和氢键与内界结合在一起. 采用 TG-DTG, DSC, IR 等表征了标题化合物的热稳定性. 在程序升温条件下,该配合物的热分解过程是由一个弱的吸热过程和三个较强的连续的放热过程组成的,由 TG-DTG 和 IR 分析结果证明,在 325 °C 时的最终分解产物为 NiO,得到了化合物的热分解机理.

关键词 胍基甲酸甲酯,硝酸镍,制备,晶体结构,热分解机理

Preparation, Crystal Structure and Thermal Decomposition Mechanisms of [Ni(NH₂NHCO₂CH₃)₃](NO₃)₂·H₂O

SONG, Jiang-Chuang^a ZHANG, Tong-Lai^{*·a} ZHANG, Jian-Guo^a

MA, Gui-Xia^a LI, Yu-Feng^a YU, Kai-Bei^b

(^a State Key Laboratory of Prevention and Control of Explosion, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

(^b Center of Analysis and Test of Chengdu Branch, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041)

Abstract The title compound [Ni(MCZ)₃](NO₃)₂·H₂O was prepared by reaction of the aqueous solutions of nickel nitrate and methylcarbazate (MCZ). The crystal structure of [Ni(MCZ)₃](NO₃)₂·H₂O was determined by using single crystal diffraction techniques and crystalline was in monoclinic system with space group $P2_1/n$. The unit cell parameters are as follows: $a = 1.3681(2)$ nm, $b = 0.8188(1)$ nm, $c = 1.6029(4)$ nm, $\beta = 92.16(2)^\circ$, $V = 1.7943(6)$ nm³, $Z = 4$, $F(000) = 976$, $D_c = 1.744$ g·cm⁻³, $\mu(\text{Mo K}\alpha) = 1.166$ mm⁻¹. Positional and thermal parameters were refined by the full-matrix least-squares method. All the non-hydrogen atoms were refined anisotropically but the hydrogen atoms were refined isotropically with the final factor values of $R_1 = 0.0337$ and $wR_2 = 0.0857$. In the title compound, methylcarbazate serves as a bidentate ligand coordinating to the nickel cation with oxygen atom from carbonyl and the nitrogen atom from hydrazine group so that a five-membered chelating ring is formed. There are three rings in the molecular structure. The coordination number is six and the configuration is octahedral. In the environment of the molecule there are two NO₃⁻ and one crystal water molecule, which are linked with the inside by electrostatic force and hydrogen bonds. Thermal decomposition mechanisms of the compound were characterized by using TG-DTG, DSC and IR techniques. It was confirmed that decomposing processes of the compound include one endothermic and three continuous exothermic stages, residue is NiO at 325 °C, finally.

Keywords methylcarbazate, nickel nitrate, preparation, crystal structure, thermal decomposition mechanism

* E-mail: ztlbt@public.bta.net.cn.

Received December 31, 2002; revised April 8, 2003; accepted April 30, 2003.

胍基甲酸甲酯是一种重要的有机合成中间体,在农药、医药、精细化工、石油化工等方面都有重要的作用,而且其合成工艺简单、污染小,属环保型化工原料^[1-3],因此,对它的研究备受重视。胍基甲酸甲酯是胍的衍生物,具有很强的还原性,可用作含能材料的组分。分子中的两个氮原子和一个氧原子都可作为配位原子与中心离子配位,作为多齿配体能与硝酸盐、高氯酸盐反应形成含能配合物,但目前还没有这方面的研究报道。本文用胍基甲酸甲酯制备出了标题化合物的单晶,测定了晶体结构,研究了它的热分解机理,为进一步开发应用这类配合物奠定了基础。

1 实验

1.1 仪器与试剂

Carlo Erba 1106 型全自动微量有机元素分析仪; Bruker EQUINOX 55 型红外光谱仪(KBr 压片); Siemens P4 型全自动四圆衍射仪; Perkin-Elmer Pyris 1 型热重分析仪; Perkin-Elmer Pyris 1 型差示扫描量热仪。

硝酸镍(分析纯,北京双环化学试剂厂),胍基甲酸甲酯按文献^[1]制备,熔点为 72~73 °C,与文献值一致。

1.2 标题配合物的合成

将 0.04 mol 的胍基甲酸甲酯配成饱和溶液加入反应器作底液,加热至 65 °C 备用。将 0.01 mol 的硝酸镍配制成 15% (质量分数) 的溶液作为滴加液,在搅拌条件下缓慢滴加到底液中,保温反应 20 min,自然冷却至室温得到深蓝色透明溶液,过滤后将滤液放入培养皿中,置于 25 °C 恒温箱中,20 d 后可得 3.5 g 深蓝色方块状单晶,产率 70%, m. p. 210~211 °C。IR (KBr) $\nu_{\text{NH-H}}$: 3241 cm^{-1} , $\nu_{\text{C=O}}$: 1676 cm^{-1} , $\nu_{\text{O-CH}}$: 1383 cm^{-1} , 结晶水: 3473 cm^{-1} 。Anal. calcd for $\text{C}_2\text{H}_{20}\text{N}_8\text{NiO}_{13}$: C 15.32, H 4.26, N 23.83; found C 15.30, H 4.30, N 23.84。

1.3 结构测定

选取尺寸为 0.52 mm × 0.50 mm × 0.44 mm 的单晶,在 Siemens P4 全自动四圆衍射仪上,用 Mo K α 射线,石墨单色器, $\lambda = 0.071073$ nm, 在 296(2) K 温度下, $2.97^\circ < \theta < 14.82^\circ$ 范围内以 34 个衍射点精确测定取向矩阵和晶胞参数。用 ω 方式扫描,数据收集范围为 $1.92^\circ < \theta < 25.00^\circ$, h : 0~16, k : 0~9, l : -19~19,共收集 3684 个衍射点,独立衍射点 3160 个,其中 $I > 2\sigma(I)$ 的 2609 个用于结构测定和修正,所得晶胞参数为: $a = 1.3681(2)$ nm, $b = 0.8188(1)$ nm, $c = 1.6029(4)$ nm, $\beta = 92.16(2)^\circ$, $V = 1.7943(6)$ nm³, $D_c = 1.744$ g·cm⁻³, $Z = 4$, $F(000) = 976$, $\mu(\text{Mo}, \text{K}\alpha) = 1.166$ mm⁻¹。晶体属单斜晶系,空间点群为 $P2_1/n$ 。全部数据均经半经验吸收校正。Ni 原子坐标由 Patterson 函数求出,其它原子坐标由差值 Fourier 合成法得到。结构采用全矩阵最小二乘法优化,除氢原子采用各向同性热参数外,其它非氢原子均采用各向异性热参数修正,最终偏离因子 $R_1 = 0.0337$, $wR_2 = 0.0857$, $w = 1/[\sigma^2(F_o)^2 + (0.0466P)^2 + 0.7905P]$, $\sigma = 1.071$, $P = (F_o^2 + 2F_c^2)/3$ 。

2 结果与讨论

2.1 晶体结构

由分析得到的配合物的晶体结构和晶胞堆积分别见图 1, 2, 非氢原子坐标和等效温度因子列于表 1, 部分键长和键角数据列于表 2, 3, 氢键的数据见表 4。

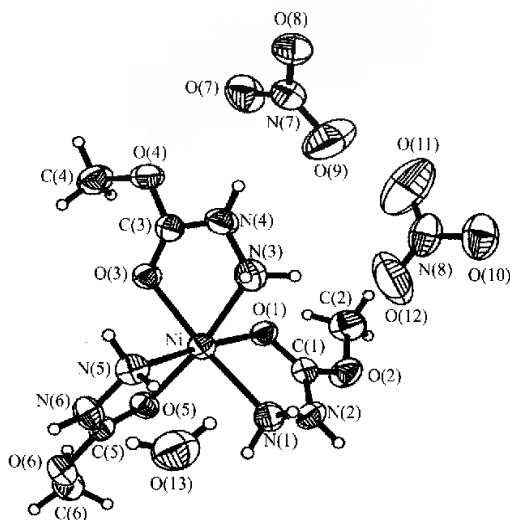


图 1 $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的晶体结构

Figure 1 Crystal structure of $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

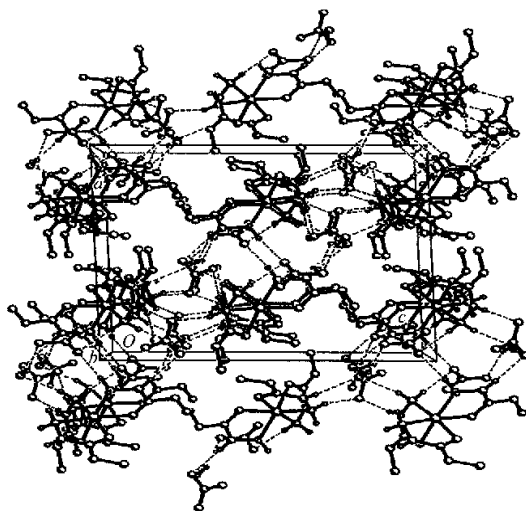


图 2 $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的晶胞堆积

Figure 2 Crystal cell packing of $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

表 1 非氢原子坐标 ($\times 10^4$) 与等效温度因子 ($\times 10^5 \text{ nm}^2$)Table 1 Atomic coordinates ($\times 10^4$) and equivalent isotropic displacement parameters ($\times 10^5 \text{ nm}^2$)

Atom	x	y	z	U(eq)	Atom	x	y	z	U(eq)
Ni	7485(1)	7007(1)	5177(1)	32(1)	N(1)	7655(2)	8548(3)	6215(1)	45(1)
O(1)	8275(1)	8895(2)	4667(1)	35(1)	N(2)	8273(2)	9841(3)	5989(2)	46(1)
O(2)	9041(2)	11242(3)	5034(1)	53(1)	N(3)	6221(2)	8024(3)	4615(2)	42(1)
O(3)	7466(1)	5785(2)	4055(1)	36(1)	N(4)	6174(2)	7448(3)	3788(2)	44(1)
O(4)	6675(2)	5824(3)	2795(1)	49(1)	N(5)	6805(2)	5077(3)	5780(2)	41(1)
O(5)	8712(1)	5722(2)	5612(1)	36(1)	N(6)	7555(2)	4089(3)	6133(2)	43(1)
O(6)	9102(1)	3581(2)	6446(1)	44(1)	N(7)	3969(2)	8655(3)	2924(2)	44(1)
O(7)	4589(2)	7857(3)	2551(2)	64(1)	N(8)	5927(2)	12433(4)	4150(2)	63(1)
O(8)	3083(1)	8535(3)	2730(1)	49(1)	C(1)	8511(2)	9927(3)	5191(2)	38(1)
O(9)	4241(2)	9595(4)	3478(2)	99(1)	C(2)	9225(3)	11561(4)	4171(2)	62(1)
O(10)	5430(2)	13542(3)	4419(2)	76(1)	C(3)	6811(2)	6307(3)	3580(2)	35(1)
O(11)	5888(3)	12177(5)	3385(3)	133(2)	C(4)	7357(2)	4630(4)	2495(2)	55(1)
O(12)	6465(3)	11678(4)	4587(3)	154(2)	C(5)	8479(2)	4542(3)	6037(2)	33(1)
O(13)	5693(2)	5656(5)	7340(2)	74(1)	C(6)	10133(2)	3859(4)	6331(2)	51(1)

$U(\text{eq}) = 1/3(U_{11} + U_{22} + U_{33})$. 其中 O(11) 和 O(12) 的温度因子比其它原子的大, 这是因为这两个原子的热振动幅度比较大的缘故.

表 2 部分键长 (nm)

Table 2 Selected bond lengths (nm)

Bond	Bond length	Bond	Bond length
Ni—O(3)	0.2058(2)	O(6)—C(6)	0.1448(3)
Ni—O(1)	0.2072(2)	O(7)—N(7)	0.1243(3)
Ni—O(5)	0.2079(2)	O(8)—N(7)	0.1244(3)
Ni—N(5)	0.2089(2)	O(9)—N(7)	0.1221(4)
Ni—N(3)	0.2092(2)	O(10)—N(8)	0.1222(4)
Ni—N(1)	0.2093(2)	O(11)—N(8)	0.1243(5)
O(1)—C(1)	0.1227(3)	O(12)—N(8)	0.1173(5)
O(2)—C(1)	0.1328(3)	N(1)—N(2)	0.1411(3)
O(2)—C(2)	0.1438(4)	N(2)—C(1)	0.1333(4)
O(3)—C(3)	0.1231(3)	N(3)—N(4)	0.1407(3)
O(4)—C(3)	0.1325(3)	N(4)—C(3)	0.1328(4)
O(4)—C(4)	0.1446(4)	N(5)—N(6)	0.1409(3)
O(5)—C(5)	0.1231(3)	N(6)—C(5)	0.1332(3)
O(6)—C(5)	0.1317(3)		

表 3 部分键角 ($^\circ$)Table 3 Selected bond angles ($^\circ$)

Bond	Bond angle	Bond	Bond angle
O(3)—Ni—O(1)	90.40(7)	O(1)—C(1)—O(2)	124.0(3)
O(3)—Ni—O(5)	91.73(7)	O(1)—Ni—N(1)	79.65(8)
O(1)—Ni—O(5)	94.77(7)	O(5)—Ni—N(1)	88.55(9)
O(3)—Ni—N(5)	92.59(9)	N(5)—Ni—N(1)	97.27(9)
O(1)—Ni—N(5)	174.25(8)	N(3)—Ni—N(1)	99.65(1)
O(5)—Ni—N(5)	80.24(8)	C(1)—O(1)—Ni	111.76(2)
O(3)—Ni—N(3)	80.45(8)	C(1)—O(2)—C(2)	116.5(2)
O(1)—Ni—N(3)	88.19(9)	C(3)—O(3)—Ni	110.90(2)
O(5)—Ni—N(3)	171.67(8)	C(3)—O(4)—C(4)	116.7(2)
N(5)—Ni—N(3)	97.15(9)	C(5)—O(5)—Ni	111.10(2)
O(3)—Ni—N(1)	170.04(9)	C(5)—O(6)—C(6)	117.2(2)

续表

Bond	Bond angle	Bond	Bond angle
C(1)—N(2)—N(1)	117.1(2)	N(2)—N(1)—Ni	107.36(2)
N(4)—N(3)—Ni	106.29(2)	O(1)—C(1)—N(2)	123.6(3)
C(3)—N(4)—N(3)	117.7(2)	O(2)—C(1)—N(2)	112.3(2)
N(6)—N(5)—Ni	106.85(2)	O(3)—C(3)—O(4)	123.8(3)
O(9)—N(7)—O(7)	19.1(3)	O(3)—C(3)—N(4)	123.9(3)
O(9)—N(7)—O(8)	120.0(3)	O(4)—C(3)—N(4)	112.3(2)
O(7)—N(7)—O(8)	120.9(3)	O(5)—C(5)—O(6)	124.7(2)
O(12)—N(8)—O(10)	121.7(4)	O(5)—C(5)—N(6)	123.3(3)
O(12)—N(8)—O(11)	120.2(4)	O(6)—C(5)—N(6)	112.0(2)
O(10)—N(8)—O(11)	118.0(4)		

表 4 氢键的键长(nm)和键角(°)

Table 4 Bond lengths (nm) and angles (°) of hydrogen bonds

Atom (D)	Atom (H)	Atom (A)	D—H/nm	H···A/nm	D···A/nm	D—H···A/(°)
O(13)	H(13A)	O(11)	0.083(2)	0.225(2)	0.300(6)	151.0(4)
O(13)	H(13B)	O(7)	0.082(2)	0.211(3)	0.291(4)	163.0(8)
N(1)	H(1B)	O(8)	0.090	0.214	0.301(3)	161.6
N(1)	H(1A)	O(9)	0.090	0.218	0.306(4)	165.7
N(2)	H(2)	O(13)	0.086	0.234	0.306(4)	140.2
N(3)	H(3B)	O(12)	0.090	0.211	0.301(4)	174.4
N(3)	H(3A)	O(10)	0.090	0.218	0.307(4)	167.7
N(4)	H(4)	O(7)	0.086	0.208	0.291(3)	159.8
N(5)	H(5A)	O(13)	0.090	0.215	0.301(4)	160.9
N(5)	H(5B)	O(10)	0.090	0.220	0.309(4)	169.1
N(6)	H(6)	O(8)	0.086	0.213	0.297(3)	165.9

由图 1, 2 可知, 配合物为空间网状结构, 在 1 个晶胞中, Ni^{2+} 位于分子中心, 胍基甲酸甲酯作为双齿配体, 由羰基氧原子与端基氮原子形成配位键, 分子中共有 3 个这样的胍基甲酸甲酯与 Ni^{2+} 配位, 形成了八面体构型的配合物. 由分析结果可知, 标题配合物的分子式应表示为: $[\text{Ni}(\text{NH}_2\text{NHCO}_2\text{CH}_3)_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. 在该配合物中, Ni^{2+} 以 sp^3d^2 杂化轨道与配体形成配位键, 配位数为 6, 与通常表现是一致的^[4, 5]. 分子中, $[\text{Ni}, \text{N}(1), \text{N}(2), \text{C}(1), \text{O}(1)]$ 所在平面(1)的方程为

$$11.331x - 4.109y + 3.493z = 7.3796$$

平均偏差为 0.00398 nm; $[\text{Ni}, \text{N}(3), \text{N}(4), \text{C}(3), \text{O}(3)]$ 所在平面(2)的方程为

$$8.160x + 2.942y - 5.853z = 7.1994$$

平均偏差为 0.00168 nm; $[\text{Ni}, \text{N}(5), \text{N}(6), \text{C}(5), \text{O}(5)]$ 所在平面(3)的方程为

$$-0.420x + 4.461y + 13.441z = 9.7561$$

平均偏差为 0.00168 nm. 可见在每个五元环中, 成环的 5 个原子基本处于同一平面内. 这三个平面之间的夹角分别为: 平面(1)和(2)之间为 87.5°, 平面(2)和(3)之间为 95.2°, 平面(1)和(3)之间为 84.9°, 基本上相互垂直, 这使得配体间的空间位阻最小. 五元环的外面是处于半游离状态的甲氧基, 这就决定了其结构上的柔韧性. 由于分子中具有多个稳定的整合环, 这就决定了其结构上的稳定性. 配合物分子的外界是 2 个硝酸根离子和 1 个结晶水分子, 以静电引力和氢键与内界结合在一起.

从图 2 的晶胞堆积图中可以看出该分子中存在着大量的氢键(氢键的数据见表 4), 这是由于胍基甲酸甲酯分子中存在着大量的 N—H 体系, 再加上配合物分子中含有结晶水的缘故. 结晶水中的 $\text{O}(13)—\text{H}(13\text{A})$ 与外界硝酸根离子中的 $\text{O}(11)$ 形成较强的氢键 $\text{O}(13)—\text{H}(13\text{A})\cdots\text{O}(11)$. 胍基甲酸甲酯的非端基 $\text{N}(2)—\text{H}(2)$, $\text{N}(4)—\text{H}(4)$ 和 $\text{N}(6)—\text{H}(6)$ 分别与结晶水中的 $\text{O}(13)$, 硝酸根中的 $\text{O}(7)$, $\text{O}(8)$ 形成氢键 $\text{N}(2)—\text{H}(2)\cdots\text{O}(13)$, $\text{N}(4)—\text{H}(4)\cdots\text{O}(7)$ 和 $\text{N}(6)—\text{H}(6)\cdots\text{O}(8)$. 同样, 端基上的 N—H 也与外界硝酸根离子形成了氢键, 这些氢键的键长和键角都分别近似相等, 它们形成了空间网状结构, 提高了分子的熔点, 也增加了分子的稳定性.

2.2 热稳定性

在氮气(流速为 20 mL/min)气氛、10 °C/min 升温条件

下, $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 热分解过程的 DSC 曲线和 TG-DTG 曲线如图 3, 4 所示. 由图 3 的可知, 在 40 ~ 400 °C 范围内, 该配合物的热分解过程由一个弱的吸热过程和三个较强的连续放热过程组成^[6,7]. 该吸热过程始于 65 °C, 终于 125 °C, 峰顶温度为 84 °C. 相应地, 在 TG-DTG 曲线上该过程为缓慢的失重过程, 始于 66 °C, 最大失重率为 2.9%/min 出现在 75 °C, 至 129 °C 该失重结束, 全程失重为 3.2%, 与从 $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 中失去一个水分子的理论值 3.8% 基本一致. 此时分解产物的红外光谱图中水分子在 3473 cm^{-1} 处的吸收峰消失. 因此, 可以认为该吸热失重过程为标题配合物的脱水过程.

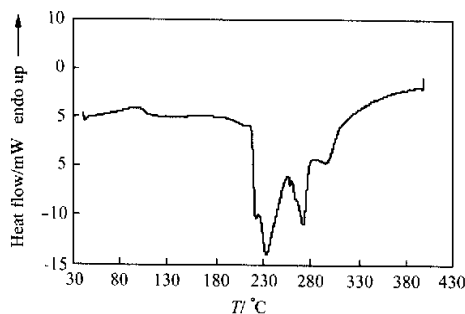


图 3 $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的 DSC 曲线

Figure 3 DSC curve of $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

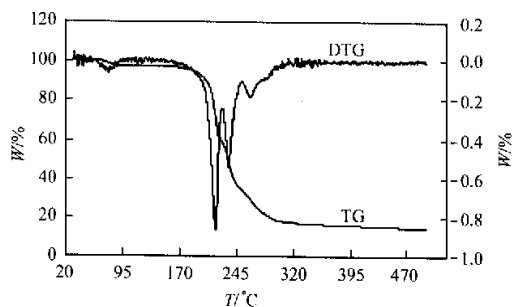
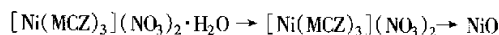


图 4 $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的 TG-DTG 曲线

Figure 4 TG-DTG curves of $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

DSC 曲线上在 200 ~ 330 °C 间是三个连续剧烈的放热过程. 第一个尖锐的放热峰, 始于 226 °C, 终于 247 °C, 峰顶温

度为 234 °C, 相应地 TG-DTG 曲线上最大失重速率 49.3%/min 出现在 216 °C, 终于 229 °C, 此过程失重量为 39.6%. 第二个尖锐的放热峰始于 256 °C, 终于 277 °C, 峰顶温度为 272 °C, 相应地, 在 TG-DTG 曲线上该失重过程始于 229 °C, 终于 252 °C. 其最大失重速率 31.7%/min 出现在 234 °C, 相应的失重量为 22.8%. 第三个平缓的放热峰始于 283 °C, 终于 310 °C, 峰顶温度为 298 °C. 在此温度区间, TG-DTG 曲线上同样表现为缓慢的失重过程, 始于 254 °C, 终于 298 °C, 失重速率为 18.9%/min. 经过这三个连续的失重过程, 分解残渣量为 14.9%, 与最终分解产物为 NiO 的理论残余量 15.7% 基本一致. 325 °C 分解残渣的红外光谱与氧化镍的标准谱图的特征峰相对应. 因此, $[\text{Ni}(\text{MCZ})_3](\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的热分解过程可表示为:



References

- Li, G.-X. *Fine Chem.* **2002**, *19*, 336 (in Chinese).
(李贵贤, 精细化工, **2002**, *19*, 336.)
- Pan, H.-L.; Tian, H.-S.; Song, X.-J. *Synth. Chem.* **1999**, *7*, 142 (in Chinese).
(潘鹤林, 田恒水, 宋新杰, 合成化学, **1999**, *7*, 142.)
- Xiang, B.-Q. *Develop. Chem. Engineer.* **1997**, *6*, 24 (in Chinese).
(向本琴, 化工进展, **1997**, *6*, 24.)
- Xu, G.-X. In *Chemistry Structure*, 2nd Edn., High Education Press, Beijing, **1987** (in Chinese).
(徐光宪, 物质结构, 第二版, 高等教育出版社, 北京, **1987**.)
- Dai, A.-B. In *Coordinate Chemistry*, Science Press, Beijing, **1987** (in Chinese).
(戴安邦, 配位化学, 科学出版社, 北京, **1987**.)
- Zhang, J.-G.; Zhang, T.-L.; Yu, K.-B. *Acta Chim. Sinica* **2001**, *59*, 88 (in Chinese).
(张建国, 张同来, 郁开北, 化学学报, **2001**, *59*, 88.)
- Zhang, J.-G.; Zhang, T.-L. *Acta Chim. Sinica* **2000**, *58*, 1563 (in Chinese).
(张建国, 张同来, 化学学报, **2000**, *58*, 1563.)

(A0212314 SHEN, H.)

机理

作者: [宋江闯](#), [张同来](#), [张建国](#), [马桂霞](#), [李玉锋](#), [郁开北](#)

作者单位: [宋江闯, 张同来, 张建国, 马桂霞, 李玉锋 \(北京理工大学, 爆炸灾害预防控制中心国家重点实验室, 北京, 100081\)](#), [郁开北 \(中国科学院成都分院分析测试中心, 成都, 610041\)](#)

刊名: [化学学报](#) ISTIC SCI PKU

英文刊名: [ACTA CHIMICA SINICA](#)

年, 卷(期): 2003, 61 (9)

被引用次数: 5次

参考文献(7条)

1. [向本琴](#) [查看详情](#) 1997 (06)
2. [潘鹤林](#); [田恒水](#); [宋新杰](#) [查看详情](#) 1999 (07)
3. [李贵贤](#) [水处理剂碳酰肼的合成](#) [期刊论文] - [精细化工](#) 2002 (06)
4. [张建国](#); [张同来](#) [查看详情](#) 2000 (58)
5. [张建国](#); [张同来](#); [郁开北](#) [查看详情](#) 2001 (59)
6. [戴安邦](#) [配位化学](#) 1987
7. [徐光宪](#) [物质结构](#) 1987

引证文献(5条)

1. [郑秋雨](#), [乔小晶](#), [邵风雷](#), [张建国](#), [杨利](#) [高氯酸碳酰肼盐与硝酸碳酰肼盐系列化合物的晶格能与感度性能关系](#) [期刊论文] - [含能材料](#) 2009 (2)
2. [郑秋雨](#), [乔小晶](#), [杨利](#), [邵风雷](#) [高氯酸碳酰肼盐和硝酸碳酰肼盐的晶格能研究](#) [期刊论文] - [含能材料](#) 2007 (6)
3. [蒋琪英](#), [沈娟](#), [钟国清](#), [李金山](#) [含能配合物的研究进展](#) [期刊论文] - [现代化工](#) 2006 (4)
4. [孙远华](#), [张同来](#), [张建国](#) [用T-jump/FTIR研究MnCP、NiCP和PbCP的快速热分解](#) [期刊论文] - [无机化学学报](#) 2005 (1)
5. [乔小晶](#), [宋江闯](#), [张同来](#), [张建国](#), [马桂霞](#), [郁开北](#) [\[Mn \(NH₂NHCO₂CH₃\)₃\] \(NO₃\)₂的晶体结构和热分解机理](#) [期刊论文] - [无机化学学报](#) 2004 (2)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hxxb200309020.aspx