

# 三维蜂窝状配位聚合物 $\{ [Ni(tn)] [Ni(CN)_4] \cdot 2H_2O \}_n$ 的合成、 晶体结构及磁性质

袁爱华<sup>a, b</sup> 汪萍<sup>b</sup> 李逵<sup>b</sup> 杨绪杰<sup>a</sup>

汪信<sup>a</sup> 陆路德<sup>\* a</sup> 郁开北<sup>c</sup>

(<sup>a</sup> 南京理工大学材料化学实验室 南京 210094)

(<sup>b</sup> 华东船舶工业学院材料科学与工程学院 镇江 212003)

(<sup>c</sup> 中国科学院成都有机化学研究所 成都 610040)

**摘要** 将  $[Ni(tn)(ClO_4)_2]$  的水溶液和  $K_2[Ni(CN)_4] \cdot H_2O$  的水溶液在 U 形管中通过扩散反应, 得到了一种结构新颖的三维蜂窝状配位聚合物  $\{ [Ni(tn)] [Ni(CN)_4] \cdot 2H_2O \}_n$  ( $tn$  为 1,3-丙二胺). 该化合物属单斜晶系, 空间群为  $C2/c$ , 晶胞参数为  $a = 1.2014(2)$  nm,  $b = 0.8942(2)$  nm,  $c = 1.2645(3)$  nm,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 108.76(2)^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$ ,  $V = 1.2863(5)$  nm<sup>3</sup> 和  $Z = 4$ . 该化合物由四配位 Ni 与六配位 Ni 通过氰根离子桥联而形成三维无限伸展的蜂窝状结构, 其中四配位的  $Ni(2)$  离子为 C 配位平面四方构型, 六配位的  $Ni(1)$  离子为 N 配位八面体构型. 变温磁化率测定表明, 在分子内部存在弱的反铁磁相互作用.

**关键词** 配位聚合物, 氰基桥联, 晶体结构, 磁性质

## Synthesis, Crystal Structure and Magnetic Properties of a New Three-dimensional Cyanide-bridged Coordination Polymer, $\{ [Ni(tn)] [Ni(CN)_4] \cdot 2H_2O \}_n$

YUAN, Ai-Hua<sup>a, b</sup> WANG, Ping<sup>b</sup> LI, Kui<sup>b</sup> YANG, Xu-Jie<sup>a</sup>

WANG, Xin<sup>a</sup> LU, Lu-De<sup>\* a</sup> YU, Kai-Bei<sup>c</sup>

(<sup>a</sup> Material Chemistry Laboratory, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

(<sup>b</sup> School of Material Science and Technology, East China Shipbuilding Institute, Zhenjiang 212003)

(<sup>c</sup> Analysis Center, Chengdu Branch of Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610040)

**Abstract** A new three-dimensional cyanide-bridged coordination polymer,  $\{ [Ni(tn)] [Ni(CN)_4] \cdot 2H_2O \}_n$  (where  $tn = 1,3$ -diaminopropane), has been prepared from the reaction of  $[Ni(tn)(ClO_4)_2]$  with  $K_2[Ni(CN)_4] \cdot H_2O$  in water. The compound crystallizes in the monoclinic space group  $C2/c$  with the cell dimensions of  $a = 1.2014(2)$  nm,  $b = 0.8942(2)$  nm,  $c = 1.2645(3)$  nm,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 108.76(2)^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$ ,  $V = 1.2863(5)$  nm<sup>3</sup> and  $Z = 4$ . The compound assumes a three-dimensional honeycomb-like structure. Magnetic susceptibility measurements indicate the presence of a weak intramolecular antiferromagnetic interaction.

**Keywords** polynuclear complex, cyanide-bridged, crystal structure, magnetic property

分子基磁性材料是近年来新兴的热门课题<sup>[1]</sup>, 其中氰根桥联配位聚合物是一类重要的分子基磁体, 人们对氰根桥联配位聚合物进行了广泛的研究, 并取得了令人振奋的进展<sup>[2~4]</sup>. 氰基桥联配位聚合物的合成设计是基于所谓的砖块与泥灰的办法, 通常以包含过渡金属中心原子的配合物为砖

块, 以氰基配合物阴离子为泥灰, 通过自组装反应获得 1D, 2D, 3D 氰基桥联配位聚合物. 平面四方结构的  $[Ni(CN)_4]^{2-}$  离子虽是抗磁性离子, 但它也可作为基块用来合成分子磁性材料, 主要用于探讨磁交换作用机理. 人们已对四氰合镍配位聚合物体系进行了大量的研究, 报导了一系列化合物, 如

\* E-mail: Yah888@public.zj.js.cn

Received October 10, 2003; revised December 15, 2003; accepted February 20, 2004.

江苏省教育厅自然科学基金(No. 01KJB150010)资助项目.

一维的  $[\text{Ni}(\text{en})_2][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{en} = 1, 2$ -ethanediamine)<sup>[5]</sup>,  $[\text{Ni}(\text{pn})_2][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{pn} = 1, 2$ -diaminopropane)<sup>[6]</sup>,  $[\text{Ni}(\text{hmt})_2][\text{Ni}(\text{CN})_4]$  ( $\text{hmt} = N$ -meso-5, 7, 7', 12, 14, 14'-hexamethyl-1, 4, 8, 11-tetraazacyclotetradeca-4, 11-diene)<sup>[7]</sup>等; 二维的  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_3\text{Ni}(\text{CN})_4]$ <sup>[8]</sup>,  $[\text{Mn}(\text{salen})_2][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ <sup>[9]</sup>,  $[\text{Fe}(\text{salen})][\text{Ni}(\text{CN})_4]$ <sup>[10]</sup>等; 三维结构的四氰合镍配位聚合物非常罕见. Černák 课题组以  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{tn}$  和  $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$  反应制得了两种结构、组成截然不同的化合物  $[\text{Cu}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4]$ <sup>[11]</sup> 和  $[\text{Cu}(\text{tn})_2 \cdot \text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ <sup>[12]</sup>, 其中  $[\text{Cu}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4]$  有两种同分异构, 蓝色晶体为二维结构, 紫色晶体为三维结构, 而  $[\text{Cu}(\text{tn})_2 \cdot \text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  则不是配位聚合物. 最近, 我们以  $\text{Ni}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  代替  $\text{CuSO}_4$  通过自组装反应得到了一个结构新颖的三维蜂窝状配位聚合物  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 本文报道其合成、结构和磁性质.

## 1 实验部分

### 1.1 试剂及仪器

实验中所用试剂均为分析纯, 所用蒸馏水为二次蒸馏水. 元素分析(C, H, N)采用 Perkin-Elmer 240 C 型元素分析仪. 镍的分析使用 Jarrell-Ash 1100 + 2000 电感耦合等离子体直读光谱仪(ICP). 红外光谱采用 Nicolet FT-1703X 红外光谱仪(KBr 压片). 热分析采用美国 Perkin-Elmer 公司的 DSC-2C 示差扫描量热仪, 测试在氮气气流中进行, 升温速度  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ . 磁化率测量在 1 T 的外场中,  $5 \sim 300\text{ K}$  温度范围内使用 MPMS-5 SQUID 磁强计测量. 抗磁性校正使用 Pascal's 常数, 有效磁矩通过方程  $\mu = 2.828(\chi_m \times T)^{1/2}$  计算, 其中  $\chi_m$  是摩尔磁化率.

### 1.2 $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的制备

#### 1.2.1 $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{ClO}_4]_2$ 的合成

称取 0.3657 g  $\text{Ni}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  溶于少量水中得蓝色溶液, 并与 0.074 g 1, 3-丙二胺溶于少量水而形成的溶液反应得深蓝色  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{ClO}_4]_2$  溶液.

#### 1.2.2 $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的制备

将  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{ClO}_4]_2$  溶液置于 U 型管的一端, 另一端加入  $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$  冰溶液, 以琼脂为填料, 通过扩散, 约半个月后析出大量蓝色块状晶体  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . IR  $\nu_{\text{C}=\text{N}(\text{氰基})}$ :  $2158(\text{vs})\text{ cm}^{-1}$ . Anal. calcd for  $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{N}_6\text{Ni}_2\text{O}_2$ : C 25.35, H 4.26, N 25.35, Ni 35.39; found C 25.34, H 4.25, N 25.37, Ni 35.42.

## 2 结果与讨论

### 2.1 $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的红外光谱分析

配位聚合物  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  的红外光谱测定范围在  $400 \sim 4000\text{ cm}^{-1}$ , 在  $2000 \sim 2200\text{ cm}^{-1}$  范围有一强的氰基特征吸收峰 ( $2158\text{ cm}^{-1}$ ) 这与  $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$  中的氰基吸

收峰 ( $2122\text{ cm}^{-1}$ )<sup>[5]</sup> 相比向高波数方向移动了, 这表明与其它氰基桥联配合物相类似. 配位聚合物  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  中的氰基已发生了桥联. 一般, 氰基是一个强的  $\sigma$ -给体和弱的  $\pi$ -受体, 故结果使氰基的键强增强, 氰基中的伸缩频率  $\nu_{\text{C}=\text{N}(\text{氰基})}$  向高频方向移动. 红外光谱中氰基吸收峰为尖单峰, 说明  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]$  结构单元中的四个氰基是等价的, 均发生了桥联, 这已为晶体结构所证实.

### 2.2 $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的差热分析

图 1 为  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  的热重-差热曲线, 由图可见, 该化合物在室温至  $120\text{ }^\circ\text{C}$  为失水过程, DTA 曲线有一宽的吸收峰, TG 曲线失重为 11%, 与理论值一致. 无水化合物  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4]$  在  $120 \sim 350\text{ }^\circ\text{C}$  温度区间稳定存在,  $350\text{ }^\circ\text{C}$  以后开始分解,  $350 \sim 600\text{ }^\circ\text{C}$  为样品的多步分解过程, 分解情况比较复杂, 由图可见在此温度区间未能形成稳定的中间产物, 最终分解产物有待粉末衍射进一步确证.

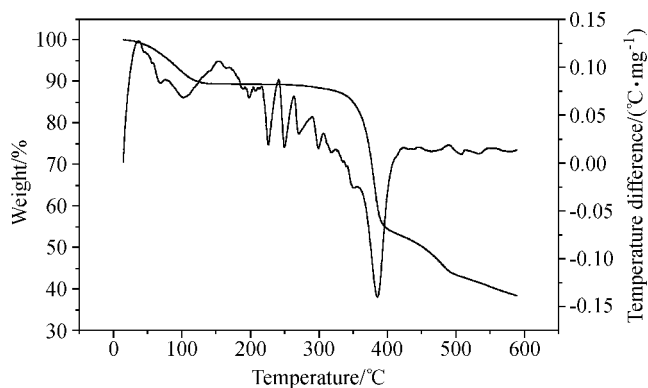


图 1  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  的 TG-DTA 曲线

Figure 1 Curve of TG-DTA for complex  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

### 2.3 $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的单晶 X 射线四圆衍射分析和结构确定

将尺寸为  $0.40\text{ mm} \times 0.32\text{ mm} \times 0.30\text{ mm}$  的  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  单晶置于 Siemens P4 X 射线四圆衍射仪上, 用经过石墨单色器单色化的  $\text{Mo K}\alpha$  ( $\lambda = 0.071073\text{ nm}$ ) X 射线作为入射射线, 用 Bruker XSCANS 程序测定, 在  $2.9^\circ \leq \theta \leq 26^\circ$  的范围内, 以  $\omega$  扫描方式共收集衍射强度数据 1475 个, 其中独立衍射点 1260 个 [ $R(\text{int}) = 0.0335$ ]. 全部强度数据均经过 LP 因子和经验吸收因子校正. 晶体结构由直接法解出. 配合物的所有非氢原子的坐标用矩阵最小二乘法进行各向异性温度因子修正. 氢原子坐标按理想几何位置插入. 这些氢原子的坐标和各向同性温度因子参加结构计算, 但不参加修正. 全矩阵最小二乘精修基于  $F^2$ , 精修参数数目为 102 个. 最终偏离因子  $R_1 = 0.0317$ ,  $wR_2 = 0.0726$ . 所有计算在 PC-586 微机上用 SHELXTL 结构解析程序进行.

### 2.4 $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的晶体结构

配合物  $[\text{Ni}(\text{tn})][\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  的晶体学数据见表 1, 主要键长和键角见表 2.

表 1 配位聚合物  $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$  的晶体学数据

Table 1 Crystal data of coordination polymer  $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$

化学式	$C_7H_{14}N_6Ni_2O_2$	$\gamma/(\circ)$	90
式量	331.66	$V/nm^3$	1.268(5)
晶系	单斜	$Z$	4
空间群	$C2/c$	$D_c/(g \cdot cm^{-3})$	1.713
$a/nm$	1.2014(2)	$F(000)$	680
$b/nm$	0.894(2)	$R_{int}$	0.0335
$c/nm$	1.264(3)	$R_1$	0.0317
$\alpha/(\circ)$	90	$wR_2$	0.0726
$\beta/(\circ)$	108.7(2)	GOF	0.8780

配位聚合物由基本单元  $[Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O$  构成, 单元结构图见图 2, 由图可见中心  $Ni(1)$  离子与一个 1,3-丙二胺中的两个 N 原子配位, 另有四个氰根离子的四个 N 氮原子与其配位, 因此  $Ni(1)$  离子是六配位的八面体结构; 另一中心离子  $Ni(2)$  分别与四个氰根离子中的四个 C 原子配位, 为四配位的平面四方结构。

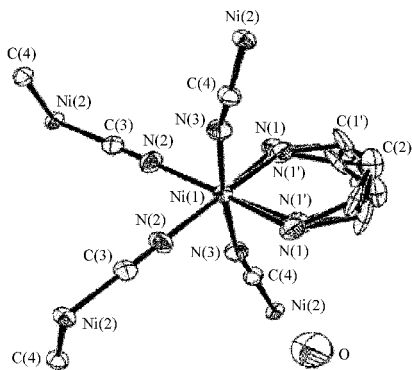


图 2 配位聚合物  $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$  的单元结构图

Figure 2 Molecular structure of the complex  $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$

图 3 是标题化合物沿  $b$  轴方向的俯视图, 由图可见, 四配位的  $Ni(2)$  离子与六配位的  $Ni(1)$  离子通过氰根离子桥联交替排列而形成二维网络结构, 其中四配位  $Ni$  离子所连接的四个氰根离子位于同一平面内, 而六配位  $Ni$  离子所连的四个氰根离子不在同一平面。图 3 还标出了水分子, 每四个水分子组成一个菱形四边形。

图 4 是标题化合物沿  $c$  轴方向的俯视图。由于六配位的  $Ni$  离子所连四个氰根离子不在同一平面, 其无限伸展导致整个结构呈现比较复杂的三维交错立体结构。为了清晰可见, 图 4 中省去了 1,3-丙二胺分子。从  $c$  方向俯视, 整个分子呈菱形网格结构, 每个菱形的四条边由  $Ni(1)-N-C-Ni(2)-C-N$  构成, 且为交错排列。菱形网格的中间包含一个蜂窝状分子通道, 该通道由两个六配位  $Ni$ 、四个四配位  $Ni$  通过氰根离子桥联交错排列而成, 蜂窝通道的最短距离(两

个六配位  $Ni$  原子之间的间距)为 0.8827 nm, 蜂窝通道的最长距离(两个 N 原子之间的距离)为 0.9061 nm, 1,3-丙二胺对称分布在蜂窝通道的两侧。由于 1,3-丙二胺为单键组成的大环, 而且蜂窝通道的孔径较大, 故六配位  $Ni$  所连的一个 1,3-丙二胺由于热运动而处于无序震荡状态(见图 3)。该化合物的结构非常新颖, 至今尚未发现类似的报道。

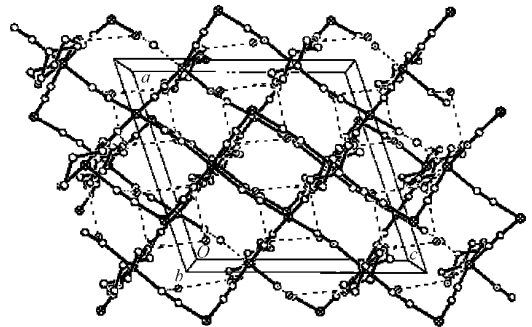


图 3 配位聚合物  $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$  沿  $b$  轴方向的俯视图

Figure 3 Projection of the complex  $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$  (view from  $b$  axis)

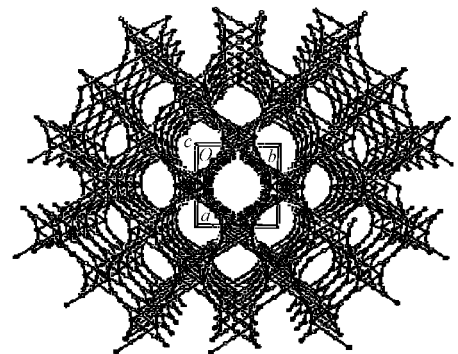


图 4 配位聚合物  $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$  沿  $c$  轴方向的俯视图(图中省去了 1,3-丙二胺分子)

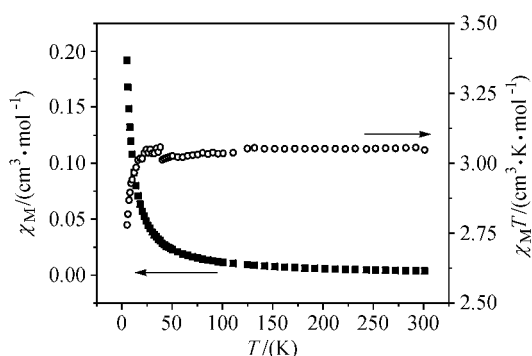
Figure 4 Packing of the complex  $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$  (view from  $c$  axis)

### 2.5 $\{ [Ni(tn)]Ni(CN)_4 \cdot 2H_2O \}_n$ 的磁性质

标题化合物的变温磁化率(5~300 K)在 SQUID 仪上测定, 外场为 1 T, 其  $\chi_M \sim T$  及  $\chi_M T \sim T$  曲线见图 5。配合物在 300 K 时的  $\chi_M T$  值为  $1.17 \text{ cm}^3 \cdot \text{K} \cdot \text{mol}^{-1}$  (有效磁矩  $\mu_{\text{eff}} = 3.05 \mu_B$ ), 该值比磁稀释  $Ni(S=1)Ni(S=0)$  单元对应的纯自旋  $\chi_M T$  值 1.0 ( $\mu_{\text{eff}} = 2.83 \mu_B$ ) 稍大(计算值设  $g_{Ni} = 2.00$ )。当温度降低时,  $\chi_M T (\mu_{\text{eff}})$  值基本保持不变, 直至 14 K 后  $\chi_M T (\mu_{\text{eff}})$  逐渐减小, 5 K 时降至  $0.97 \text{ cm}^3 \cdot \text{K} \cdot \text{mol}^{-1}$  ( $2.78 \mu_B$ )。根据居里-外斯定律  $\chi_M = C/(T-\theta)$  利用  $1/\chi_M \sim T$  直线可拟合得到外斯常数  $\theta = -0.79 \text{ K}$  ( $R = 0.99999$ ), 表明配合物中存在弱的反铁磁相互作用。由于  $[Ni(CN)_4]^{2-}$  是抗磁性的, 由氰基桥联的  $Ni(S=1)-Ni(S=0)$  之间的磁交换相互作用可

表2 配位聚合物  $[\text{Ni}(\text{tn})\text{I}[\text{Ni}(\text{CN})_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}]_n$  的主要键长 (nm) 和键角 ( $^\circ$ )Table 2 Selected bond lengths (nm) and bond angles ( $^\circ$ ) of coordination polymer  $[\text{Ni}(\text{tn})\text{I}[\text{Ni}(\text{CN})_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}]_n$ 

N(1)—N(1')	0.2085(4)	N(1)—N(2)	0.2088
N(1)—N(1)	0.2088(4)	N(1)—N(3)	0.2103(3)
N(2)—C(4)#2	0.1861(4)	N(2)—C(4)#3	0.1861(4)
N(2)—C(3)	0.1875(4)	N(2)—C(3)	0.1143(5)
N(3)—C(4)	0.1153(5)	N(1)—C(1)	0.1482(5)
C(1)—C(2)	0.1535(5)	C(2)—C(1')	0.1534(5)
C(1')—N(1')	0.1474(5)	C(4)—N(2)#5	0.1861(4)
N(1')—N(1)—N(1)#1	89.2(6)	N(1')—N(1)—N(2)	175.8(5)
N(1')#1—N(1)—N(2)	91.2(3)	N(2)—N(1)—N(2)#1	88.74(19)
N(1')—N(1)—N(1)#1	6.0(6)	N(2)—N(1)—N(1)#1	173.1(4)
N(1')—N(1)—N(1)	95.0(2)	N(1')#1—N(1)—N(1)	6.0(6)
N(2)—N(1)—N(1)	85.3(3)	N(1)#1—N(1)—N(1)	100.9(6)
N(1')—N(1)—N(3)#1	85.5(5)	N(2)—N(1)—N(3)#1	90.38(13)
N(1)—N(1)—N(3)#1	89.3(5)	N(1')—N(1)—N(3)	90.0(5)
N(2)—N(1)—N(3)	94.16(13)	N(1)—N(1)—N(3)	86.7(5)
N(3)#1—N(1)—N(3)	173.65(19)	C(4)#2—N(2)—C(4)#3	180.00(17)
C(4)#2—N(2)—C(3)	87.37(16)	C(4)#3—N(2)—C(3)	92.63(16)
C(3)#4—N(2)—C(3)	180.0	C(3)—N(2)—N(1)	179.7(3)
C(4)—N(3)—N(1)	166.4(3)	C(1)—N(1)—N(1)	116.4(7)
N(1)—C(1)—C(2)	111.8(10)	C(1')—C(2)—C(1)	111.3(8)
N(1')—C(1')—C(2)	112.6(10)	C(1')—N(1')—N(1)	123.8(9)
N(2)—C(3)—N(2)	177.4(3)	N(3)—C(4)—N(2)#5	176.8(3)

图5 配位聚合物  $[\text{Ni}(\text{tn})\text{I}[\text{Ni}(\text{CN})_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}]_n$  的变温磁化率 ( $\chi_M \sim T$ ) 和磁矩 ( $\chi_{MT} \sim T$ ) 图Figure 5 Temperature-dependence of magnetic susceptibility  $\chi_M \sim T$  and the effective magnetic moment  $\chi_{MT} \sim T$  for complex  $[\text{Ni}(\text{tn})\text{I}[\text{Ni}(\text{CN})_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}]_n$ 

以忽略不计,但  $\text{Ni}(S=1)$  之间可通过  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$  桥联而发生反铁磁偶合作用. 由于相邻的  $\text{Ni}(S=1)$ — $\text{Ni}(S=1)$  间距离较大,故反铁磁相互作用较弱. 该配合物在较低温度下有效磁矩减小,其原因主要有二:一是八面体的  $\text{Ni}(II)$  离子之间通过  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$  传递极弱的反铁磁耦合,二是八面体的  $\text{Ni}(II)$  离子 ( $S=1$ ) 的零场分裂(D),而后者可能是主要原因,

这方面的工作有待进一步研究.

## References

- Cheng, P.; Liao, D.-Z. *Chin. J. Chem.* **2001**, *19*, 208.
- Ohba, M.; Okawa, H. *Coord. Chem. Rev.* **2000**, *198*, 313.
- Verdaguer, M.; Bleuzen, A.; Marvaud, V.; Vaissermann, J.; Seuleiman, M.; Desplanches, C.; Sculler, A.; Train, C.; Grade, R.; Gelly, G.; Lomenech, C.; Rosenman, I.; Veillet, P.; Cartier, C.; Villain, F. *Coord. Chem. Rev.* **1999**, *190* ~ *192*, 1023.
- Čerňák, J.; Orendac, M.; Potočník, I.; Chomi, J.; Orendáčová, A.; Skořšepa, J.; Feher, A. *Coord. Chem. Rev.* **2002**, *224*, 51.
- Yuan, A. H.; Yang, X. J.; Liu, X. H.; Yu, K. B.; Lu, L. D. *Chin. J. Inorg. Chem.* **2003**, *19*, 865 (in Chinese). (袁爱华, 杨绪杰, 刘孝恒, 郁开北, 陆路德, 无机化学学报, **2003**, *19*, 865.)
- Zhan, S. Z.; Guo, D.; Zhang, X. Y.; Du, C. X.; Zhu, Y. *Inorg. Chem. Acta* **2000**, *298*, 57.
- Gainsford, G. J.; Curtis, N. F. *Aust. J. Chem.* **1984**, *37*, 179.

- 8 Janiak, C.; Wu, H. P.; Klufers, P.; Mayer, P. *Acta Crystallogr., Sect. C* **1999**, C55, 1966.
- 9 Yuan, A. H.; Shen, X. P.; Wu, Q. J.; Huang, Z. X.; Xu, Z. J. *Corrd. Chem.* **2002**, 55, 411.
- 10 Yuan, A. H.; Shen, X. P.; Yu, K. B.; Lu, L. D.; Zhou, W.; Zhong, J. J. *Acta Chim. Sinica* **2003**, 61, 1603 (in Chinese).
- 11 Čerňák, J.; Lipkowski, J. *Monatsh. Chem.* **1999**, 130, 1195.
- 12 Čerňák, J.; Lipkowski, J.; Potočňák, I.; Hudák, A. *Monatsh. Chem.* **2001**, 132, 193.
- (袁爱华, 沈小平, 郁开北, 陆路德, 周伟, 钟娟娟, 化学学报, **2003**, 61, 1603.)

(A0310103 PAN, B. F.; ZHENG, G. C.)