

基于3,4-二氯苯乙酸构筑的荧光材料的制备、结构表征及光谱性能研究

陈欣仪, 吴嘉骏, 林佳明, 古镇文, 易 龙, 谷长生*

广东海洋大学化学与环境学院, 广东 湛江

收稿日期: 2025年6月7日; 录用日期: 2025年6月30日; 发布日期: 2025年7月7日

摘 要

制备了2个含3,4-二氯苯乙酸的锌和钡金属离子具有荧光性能发光材料, 并采用X-射线单晶衍射、红外光谱及元素分析对其结构进行表征。配合物1为含锌化合物, 配合物2为含钡化合物, 两个配合物均为一维链状结构, 结构单元之间通过C-H...O、C-H...Cl氢键作用组装成三维超分子网络结构。测试了两种配合物的紫外可见吸收和荧光性质。测试结果显示, 两个配合物在不同溶剂中紫外可见吸收峰均在228 nm, 不同溶剂中荧光发射峰均在546 nm, 以及配合物1和配合物2的固态荧光发射峰分别在398 nm和452 nm。两种配合物可作为潜在的荧光材料。

关键词

锌配合物, 钡配合物, 3,4-二氯苯乙酸, 荧光性能

Synthesis, Structural Characterization and Spectral Properties of Fluorescent Based on 3,4-Dichlorophenylacetic Acid

Xinyi Chen, Jiajun Wu, Jiaming Lin, Zhenwen Gu, Long Yi, Changsheng Gu*

Faculty of Chemistry and Environmental Science, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

Received: Jun. 7th, 2025; accepted: Jun. 30th, 2025; published: Jul. 7th, 2025

Abstract

Two fluorescent materials containing zinc and barium metal ions with 3,4-dichlorophenylacetic

*通讯作者。

文章引用: 陈欣仪, 吴嘉骏, 林佳明, 古镇文, 易龙, 谷长生. 基于 3,4-二氯苯乙酸构筑的荧光材料的制备、结构表征及光谱性能研究[J]. 材料化学前沿, 2025, 13(3): 287-299. DOI: 10.12677/amc.2025.133032

acid were synthesized and characterized by X-ray crystal diffraction, IR and elemental analysis. Complex 1 is a zinc-containing compound, and complex 2 is a barium-containing compound. Both complexes have a 1D chain structure. The structural units are interconnected via C-H...O and C-H...Cl hydrogen bonds to form a 3D supramolecular network. The UV-Vis absorption and fluorescence properties of both complexes were investigated. Experimental results indicate that the UV-Vis absorption peaks of both complexes in different solvents are centered at 228 nm, with fluorescence emission peaks observed at 546 nm in solution. The solid-state fluorescence emission peaks for complex 1 and complex 2 are located at 398 nm and 452 nm, respectively. These complexes demonstrate potential as optical materials.

Keywords

Zinc Complex, Barium Complex, 3,4-Dichlorophenylacetic Acid, Luminescent Property

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由金属节点与有机或无机连接体构建的新型材料,我们通常称之为配合物,或是金属有机框架材料(MOFs) [1] [2]。MOFs的研究已成为晶体工程及配位化学领域内科研人员热衷探索的方向,这不仅仅是因为它们展现出独特的拓扑结构形态,更源于其在众多领域中的潜在应用价值,诸如气体存储与分离技术[3]、催化反应过程[4]、化学传感装置[5]、磁性材料开发[6]、药物传输系统[7]、生物活性表现[8]、阳离子识别分子设计[9]、阴离子识别分子构造[10],以及电导性能提升[11]等方面。然而,MOFs的设计和制备主要取决于金属的配位行为离子、含有N和O等供体作为超分子结构单元的有机连接体、金属与配体的比例以及多样化的实验条件[12] [13]。因此,合理选择有机配体和金属离子在金属有机框架的构建中起着至关重要的作用。羧酸是最受欢迎的功能团体,并能定向参与形成超分子网络[14]。含氯苯类羧酸配体具有多样化的配位模式,诸如末端单齿、螯合或桥接多种金属阳离子,正因其独特的配位特性,它已成为制备配合物的热门选择,相关文献多见于[15] [16]。杂环氮供体类配体,如咪唑,也被视为设计和构建配位聚合物最重要的有机配体类型之一[17],这些配体因其优异的配位能力而表现出显著的性能。但时至今日,关于以3,4-二氯苯乙酸作为配体所构筑的配合物,其晶体结构特性和性质的深入探究仍然鲜有报道。为了深入探究3,4-二氯苯乙酸作为配体在构建配合物时结构与性能之间的内在联系,本研究融合了3,4-二氯苯乙酸与杂环氮咪唑配体,旨在组装出两种分别基于Zn(II)和Ba(II)的金属配位配合物。随后,我们采用X-射线单晶衍射技术精确测定了这两种配合物的晶体架构,并系统研究了它们的光学特性。

2. 实验部分

2.1. 主要仪器与试剂

RF-6000 荧光分光光度计; Inveni-R 型傅立叶变换红外光谱仪; TU-1901 型紫外可见分光光度计; F-320 荧光分光光度计; Vario EL cube 型元素分析仪; APEX H 型 X-射线单晶衍射仪。氯化钡、硫酸锌、3,4-二氯苯乙酸(均为分析纯)。

2.2. 配合物的合成

将3,4-二氯苯乙酸配体(3.91 g, 20 mmol)溶于1.0 L 去离子水中,在持续搅拌下用60 mmol/L NaOH 溶

液调节体系 pH 至中性。

配合物 **1** 的合成, 取硫酸锌(0.56 g, 20 mmol)溶于 100 mL 水, 缓慢加入等体积的 3,4-二氯苯乙酸溶液和咪唑(20 mmol)水溶液, 并引入 10 mL 乙腈调节极性。充分搅拌至混合液澄清后静置 6 天, 最终析出 0.36 g 白色颗粒晶体, 产率为 48.1% (基于锌计算)。元素分析 $C_{19}H_{14}Cl_4N_2O_4Zn$, 实测值(计算值)%: C 42.61 (42.14); H 2.36 (2.61); N 5.31 (5.17)。IR (KBr 压片, cm^{-1}): 3137 s, 1583 s, 1544 s, 1388 s, 1278 m, 941 m, 796 m, 705 m, 619 w, 522 w。

配合物 **2** 的制备参照配合物 **1** 的合成工艺。将氯化钡(0.64 g, 20 mmol)溶于 100 mL 水后, 缓慢滴加 3,4-二氯苯乙酸溶液(100 mL), 并加入 10 mL 乙腈调节体系极性。静置 6 天后析出 0.46 g 白色针状晶体, 产率基于钡计算为 61.6%。元素分析 $C_{32}H_{22}BaCl_8O_8$, 实测值(计算值)%: C 40.46 (40.23); H 2.61 (2.32)。IR (KBr 压片, cm^{-1}): 3429 m, 2924 m, 1533 s, 1433 s, 1107 w, 936 w, 655 w, 504 w。

2.3. 测试与表征

2.3.1. 配合物的晶体结构测定

晶体数据采集使用 Bruker SMART APEX CCD 衍射仪, 以石墨单色化的 Mo-K α 射线($\lambda=0.071073$ nm)为光源, 在 296(2) K 条件下完成。结构解析通过 SHELXT 和 SHELXL 软件[18][19]实现, 其中非氢原子坐标经全矩阵最小二乘法进行各向异性修正, 氢原子位置由理论加氢法确定。配合物的晶体学参数、主要键长及键角数据详见表 1 和表 2。

配合物 **1** 的 CCDC: 1939916。配合物 **2** 的 CCDC: 1911535。

Table 1. Crystallographic data of the complex
表 1. 配合物的主要晶体学参数

Complex	配合物 1	配合物 2
项目参数	数据	数据
分子式	$C_{19}H_{14}Cl_4N_2O_4Zn$	$C_{32}H_{22}BaCl_8O_8$
相对分子质量	541.49	955.44
T/K	100.01(10)	293(2) K
晶体尺寸/mm	$0.12 \times 0.11 \times 0.08$	$0.12 \times 0.10 \times 0.08$
扫描范围/(°)	2.030 to 24.997	2.00 to 25.00
晶系	Monoclinic	Triclinic
空间群	$P2_1/c$	$P\bar{1}$
$a/(\text{\AA})$	14.1779(7)	7.8625(7)
$b/(\text{\AA})$	20.0684(9)	14.3610(9)
$c/(\text{\AA})$	7.4516(4)	15.6737(10)
$\alpha/(\text{°})$	90	86.114(5)
$\beta/(\text{°})$	95.588(4)	80.654(6)
$\gamma/(\text{°})$	90	89.607(6)
$V/(\text{\AA}^3)$	2110.13(18)	1742.2(2)
Z	4	2
吸收系数/ mm^{-1}	1.700	1.804

续表

理论密度/(g·cm ⁻³)	1.704	1.821
F(000)	1088	940
收集衍射点数目	8930	11,318
独立衍射点数目(Rint)	3702(0.0310)	6140(0.0464)
限制参数/精修参数	3702/275	6140/444
拟合度	1.044	1.056
R ₁ , wR ₂ (<i>I</i> > 2σ (<i>I</i>))	0.1012, 0.2594	0.0656, 0.1616
R ₁ , wR ₂ (全部数据)	0.1136, 0.2712	0.0782, 0.1733
(Δρ) _{max} , (Δρ) _{min} /(e·Å ⁻³)	2.199, -2.312	4.304, -1.517

Table 2. Selected bond lengths (Å) and bond angles (°) of the complex
表 2. 配合物的主要键长和键角

配合物 1			
化学键	键长/Å	化学键	键长/Å
Zn(1)-O(3)	1.982(6)	Zn(1)-O(2)	1.965(6)
Zn(1)-O(4)#1	2.002(6)	Zn(1)-N(1)	1.988(7)
化学键	键角/(°)	化学键	键角/(°)
O(3)-Zn(1)-O(4)#1	108.4(2)	O(2)-Zn(1)-O(4)#1	100.7(2)
O(3)-Zn(1)-N(1)	106.2(3)	O(2)-Zn(1)-N(1)	115.2(3)
O(2)-Zn(1)-O(3)	125.3(3)	N(1)-Zn(1)-O(4)#1	96.8(3)
用于产生等效原子的对称变换: #1 x, -y + 3/2, z - 1/2			
配合物 2			
化学键	键长/Å	化学键	键长/Å
Ba(1)-O(1)	2.686(5)	Ba(1)-O(6)#2	2.848(5)
Ba(1)-O(2)#1	2.702(5)	Ba(1)-O(3)	2.870(5)
Ba(1)-O(4)	2.740(6)	Ba(1)-O(7)	2.899(5)
Ba(1)-O(6)	2.767(5)	Ba(1)-O(7)#2	2.911(5)
Ba(1)-O(3)#1	2.777(5)	Ba(1)-C(17)	3.167(8)
化学键	键角/(°)	化学键	键角/(°)
O(1)-Ba(1)-O(2)#1	138.96(17)	O(2)#1-Ba(1)-O(7)	148.49(16)
O(1)-Ba(1)-O(4)	77.95(17)	O(4)-Ba(1)-O(7)	75.25(15)
O(2)#1-Ba(1)-O(4)	105.37(17)	O(6)-Ba(1)-O(7)	62.11(15)
O(1)-Ba(1)-O(6)	134.31(16)	O(3)#1-Ba(1)-O(7)	125.27(14)
O(2)#1-Ba(1)-O(6)	86.40(16)	O(6)#2-Ba(1)-O(7)	60.44(15)
O(4)-Ba(1)-O(6)	85.55(16)	O(3)-Ba(1)-O(7)	119.62(15)
O(1)-Ba(1)-O(3)#1	66.91(16)	O(1)-Ba(1)-O(7)#2	130.26(16)

续表

O(2)#1-Ba(1)-O(3)#1	80.32(16)	O(2)#1-Ba(1)-O(7)#2	67.55(15)
O(4)-Ba(1)-O(3)#1	126.98(16)	O(4)-Ba(1)-O(7)#2	145.88(16)
O(6)-Ba(1)-O(3)#1	147.06(16)	O(6)-Ba(1)-O(7)#2	61.20(15)
O(1)-Ba(1)-O(6)#2	71.07(17)	O(3)#1-Ba(1)-O(7)#2	85.86(15)
O(2)#1-Ba(1)-O(6)#2	122.59(16)	O(6)#2-Ba(1)-O(7)#2	61.06(15)
O(4)-Ba(1)-O(6)#2	131.47(16)	O(3)-Ba(1)-O(7)#2	142.18(14)
O(6)-Ba(1)-O(6)#2	90.18(14)	O(7)-Ba(1)-O(7)#2	93.94(14)
O(3)#1-Ba(1)-O(6)#2	72.45(15)	O(6)-Ba(1)-O(3)	117.50(15)
O(1)-Ba(1)-O(3)	79.97(16)	O(3)#1-Ba(1)-O(3)	87.87(15)
O(2)#1-Ba(1)-O(3)	74.63(15)	O(6)#2-Ba(1)-O(3)	149.54(15)
O(4)-Ba(1)-O(3)	46.58(15)	O(1)-Ba(1)-O(7)	72.50(15)
用于产生等效原子的对称变换: #1 $-x+1, -y+1, -z+1$; #2 $-x+2, -y+1, -z+1$			

2.3.2. 红外光谱测试

配合物的红外光谱测试采用 KBr 压片法。分别称取 2 mg 配合物与 120 mg 干燥 KBr 粉末于玛瑙研钵中充分研磨混合, 压制成均匀薄片后置于红外光谱仪中检测。数据采集范围为 $4000\text{ cm}^{-1}\sim 400\text{ cm}^{-1}$, 所得光谱用于后续分析。

2.3.3. 紫外光谱测试

于室温条件下, 分别测定配合物 **1** 和配合物 **2** 与乙腈、乙醇、DMF 三种溶剂的相互作用。采用紫外-可见光谱($200\sim 600\text{ nm}$)分析, 以相应溶剂为空白扣除背景, 完成基线校正后进行光谱扫描。

2.3.4. 固体荧光测试

配合物 **1** 和 **2** 的固态荧光光谱测试在室温条件下进行。将干燥研磨后的样品均匀置于固体荧光支架上, 设定激发波长为 280 nm , 扫描范围为 $200\sim 600\text{ nm}$, 完成光谱采集。

2.3.5. 液体荧光测试

取 0.001 g 配合物 **1**、配合物 **2** 和配体研磨均匀, 分别溶于 10 mL 乙腈、N,N-二甲基甲酰胺、乙醇、水四种溶剂中, 搅拌使溶质充分溶解, 配制成一系列稳定的悬浊液, 放在阴凉避光处。设置激发波长 270 nm 、发射波长 560 nm 、扫描速率 $2000\text{ nm}\cdot\text{min}^{-1}$ 、激发狭缝宽度 10 nm 、发射光谱扫描范围 $450\text{ 至 }650\text{ nm}$ 。

3. 结果与讨论

3.1. 晶体结构

图 1 显示配合物 **1** 结构单元是由两个 3,4-二氯苯乙酸(EBYS)分子、一个咪唑(MZ)分子和锌离子组成。锌离子为六配位扭曲八面体构型(O_3 、 N_1 、 O_2 和 NO_4 四原子构成赤道平面, $\text{O}1$ 和 $\text{O}4i$ 为八面体的顶点, $\text{O}1\text{-Zn-O}4i = 155.8^\circ$; $x, 1.5-y, -0.5+z$)配体中的羧基为双齿螯合和三齿螯合桥连两种配位形式。3,4-二氯苯乙酸(EBYS)分子羧基中的氧原子桥联两个锌构成一维链状结构(见图 2)。图 3 为配合物 **1** 通过分子间氢键($\text{C}17\text{-H}17\cdots\text{Cl}2 = 0.2747\text{ nm}$)沿 a 和 c 方向的二维结构。配位物 **1** 的三维层状结构由氢键($\text{C}7\text{-H}7b\cdots\text{Cl}4 = 0.2970\text{ nm}$)沿 c 方向堆积而成(见图 4)。

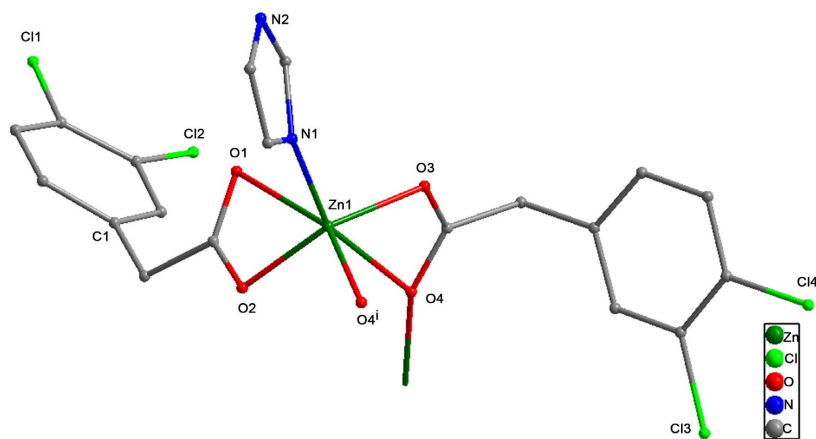


Figure 1. Molecular structure of complex 1

图 1. 配合物 1 的分子结构

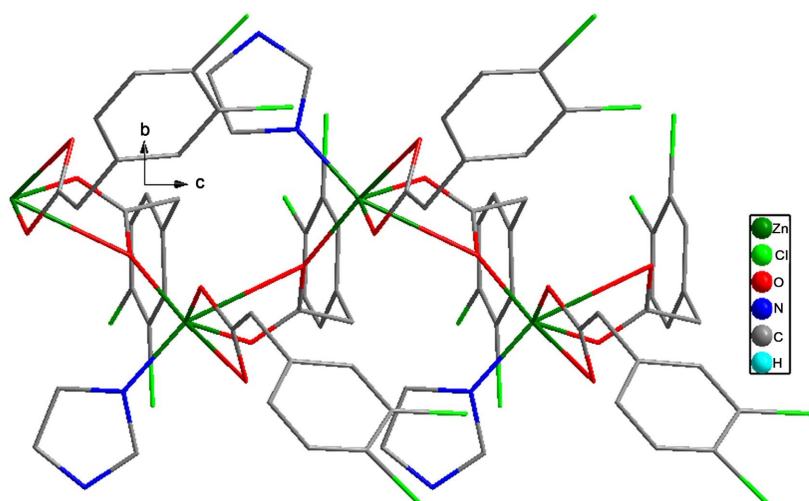


Figure 2. One-dimensional chain the *c* direction of complex 1

图 2. 配合物 1 沿 *c* 方向的一维图

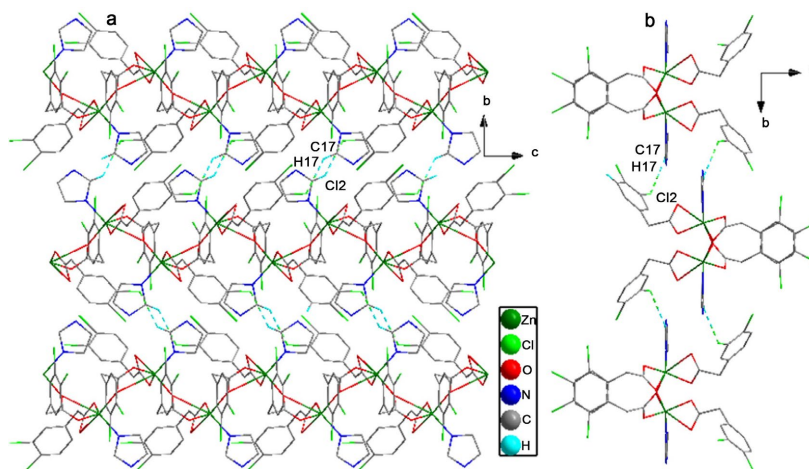


Figure 3. Two-dimensions along the *a* and *c* direction of complex 1

图 3. 配合物 1 的二维图沿 *a* 和 *c* 方向堆积

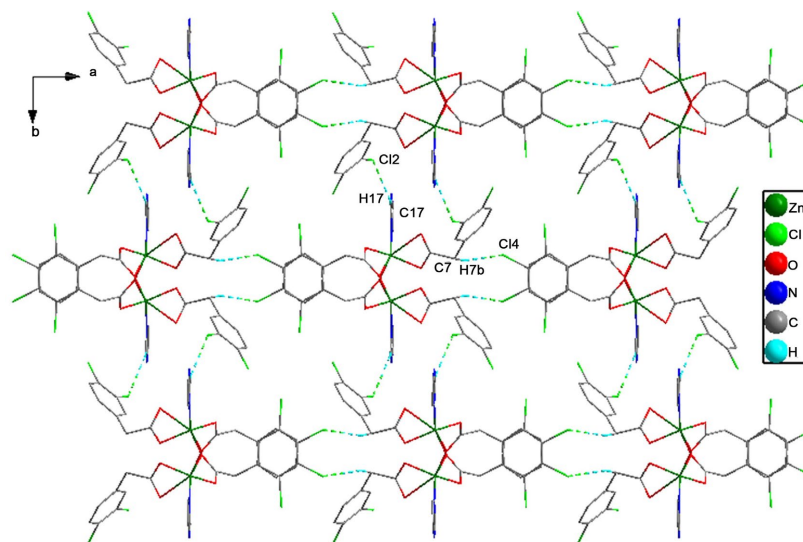


Figure 4. Three-dimensions along the *c* direction of complex 1

图 4. 配合物 1 的三维 *c* 方向堆积

图 5 表明配合物 2 结构单元是由四个 3,4-二氯苯乙酸(EBYS)分子和钡离子组成，四个 3,4-二氯苯乙酸(EBYS)分子中有一个处于游离状态，通过分子内氢键($C26-H26b \cdots O4 = 0.2446$ nm)与配位的羧酸配体链接，钡离子与配位的三个 3,4-二氯苯乙酸(EBYS)分子中氧原子构成七配位构型。配体中羧酸配位方式有单齿、双齿螯合、三齿螯合桥联和双齿桥联四种形式。通过 O3 桥联两个钡形成一维链状结构(见图 6)。图 7 为配合物 2 分子间氢键($C18-H18b \cdots Cl1 = 0.2740$ nm)沿 *c* 和 *a* 方向的二维图。配合物 2 的三维层状结构由氢键($C7-H7a \cdots Cl6 = 0.2940$ nm)沿 *a* 方向堆积而成(见图 8)。

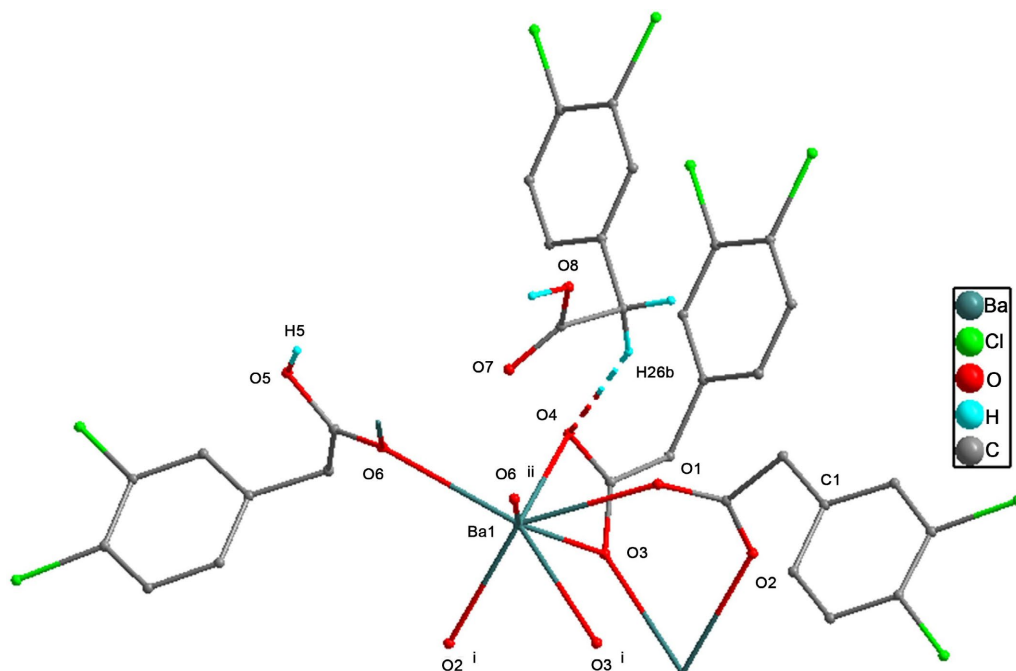


Figure 5. Molecular structure of complex 2

图 5. 配合物 2 的分子结构

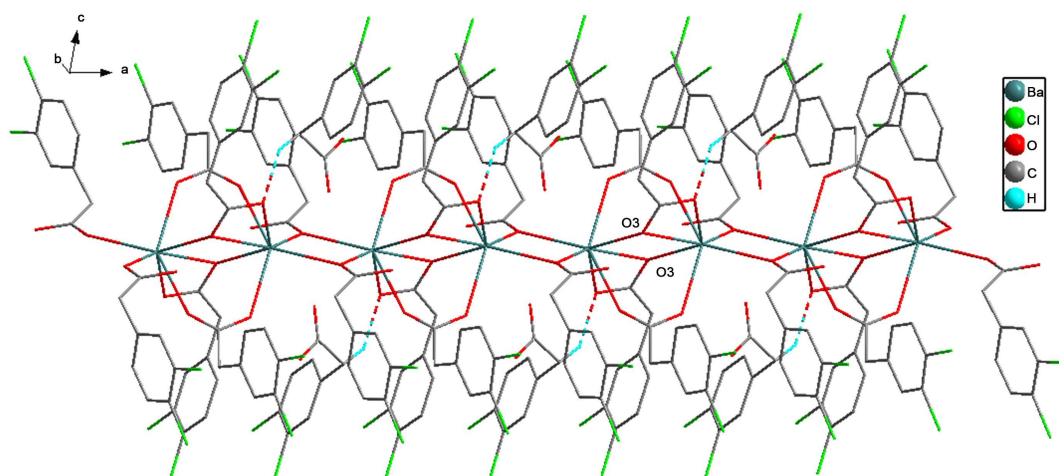


Figure 6. One-dimensional chain the *a* direction of complex 2

图 6. 配合物 2 的沿 *a* 方向的一维图

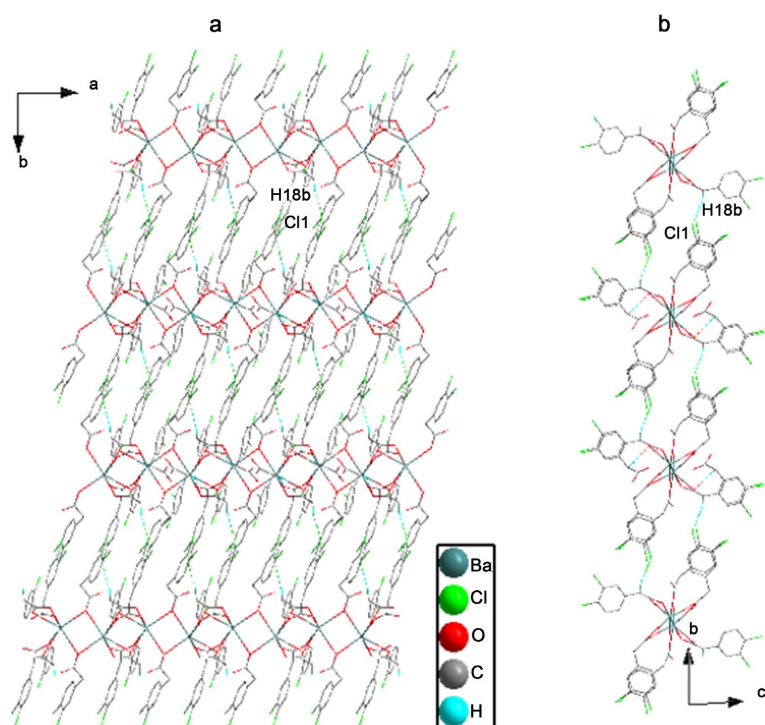


Figure 7. Two-dimensions along the *c* and *a* direction of complex 2

图 7. 配合物 2 的二维图沿 *c* 和 *a* 方向堆积

3.2. 配合物红外谱图分析

图 9 中展示了配合物 1 与 2 的红外(IR)光谱图。配合物 1 在 1562 cm^{-1} 处显现出一个宽峰, 同时在 1392 cm^{-1} 位置呈现出羧基特有的反对称伸缩振动峰和对称伸缩振动峰。而配合物 2 在 1536 cm^{-1} 与 1432 cm^{-1} 两处有振动峰, 前者可归属为配合物内羧基的反对称振动模式, 后者则对应于对称振动模式[20]。此外, 配合物 1 在 1276 cm^{-1} 处展现出 $\nu(\text{C}=\text{N})$ 的吸收峰, 这一特征揭示了金属离子与含氮配体之间的配位作用[21]。红外光谱的解析结果与单晶结构测定所得数据相吻合。

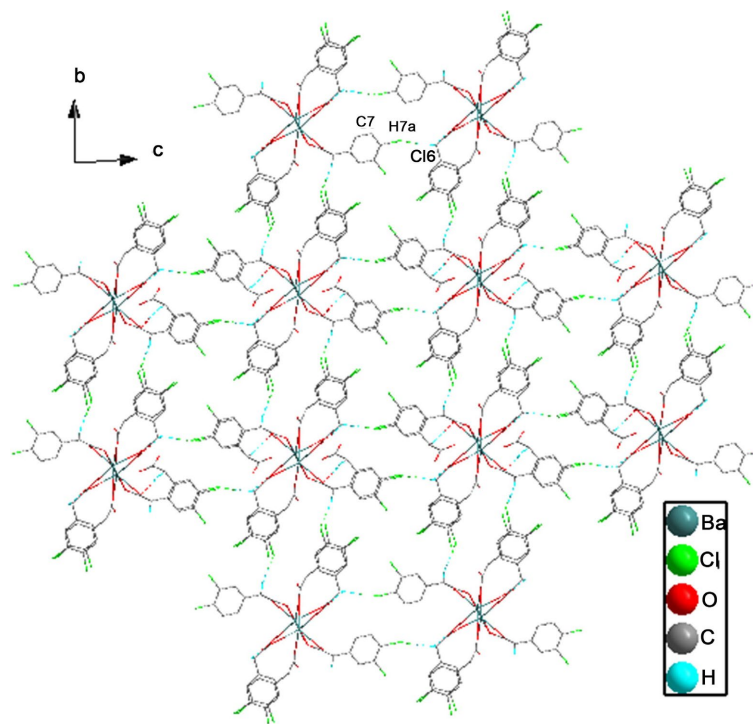


Figure 8. Three-dimensions along the *a* direction of complex 2

图 8. 配合物 2 的三维 *a* 方向堆积

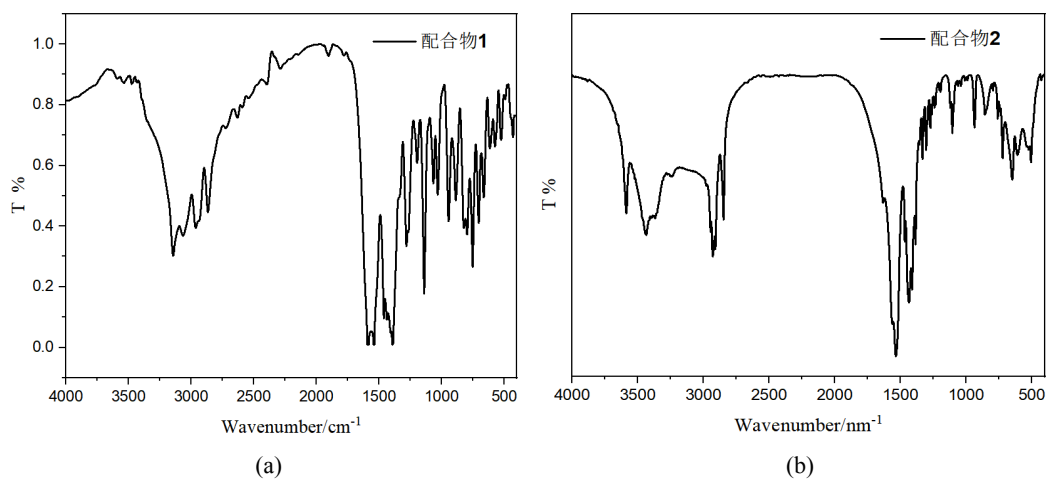


Figure 9. IR spectra of complexes 1 and 2

图 9. 配合物 1 和 2 的红外光谱

3.3. 紫外可见光谱分析

图 10 展示了配合物 1 与配合物 2 分别在不同溶剂环境下的紫外吸收光谱图。当配合物 1 和配合物 2 溶解于乙腈及乙醇这两种溶剂时，它们在 214~228 nm 波长区间内均展现出显著的吸收峰，且这些吸收峰的波长差异微乎其微。而当溶剂换为 DMF 时，这两种配合物均在 265 nm 处显现出一个吸收峰。上述实验结果或许指示着金属离子与配体之间发生了配位效应，并且，配合物在紫外光区的吸收主要归因于配体自身的吸收特性。经由分子结构的深入剖析，推测在芳香环上或许发生了位于紫外区的 π - π^* 及 p - π^* 跃

迁吸收现象[22][23]。至于特征吸收峰的产生,很可能是由于 3,4-二氯苯乙酸配体与金属离子间发生了金属至配体的电荷转移效应所致[24]。但溶剂对配合物的吸收强度也有一定的影响,特别是乙腈,能增加配合物的紫外吸收强度,这可能与乙腈的强极性有关[25]。

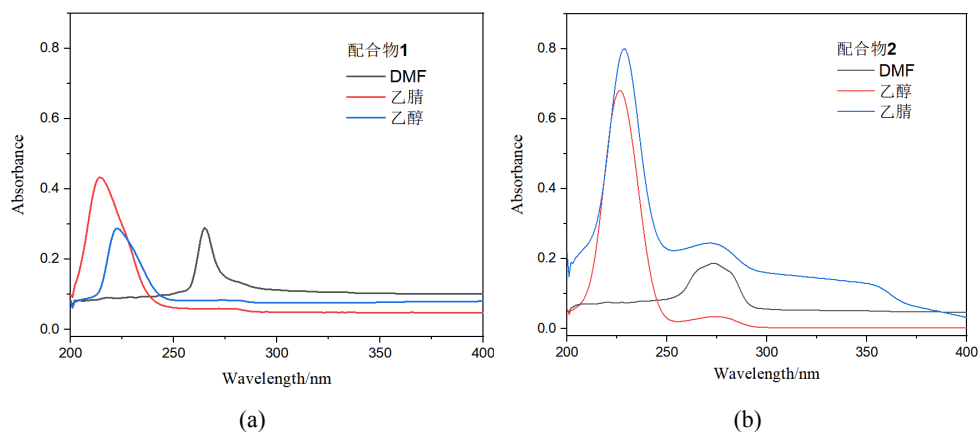


Figure 10. UV-Vis spectra of complexes 1 and 2
图 10. 配合物 1 和 2 的紫外-可见光谱

3.4. 荧光性能

3.4.1. 固体荧光性质

由富含 π 电子的有机配体和以过渡金属离子为中心组成的 MOFs 一般都具有优异的发光性能。从现有文献中发现,含锌配合物的荧光研究比较多,而含钡配合物的研究较少。本实验在室温的条件下使用荧光光谱仪对配合物 1、2 的固态荧光进行测试。配合物的荧光主要归结于 3,4-二氯苯乙酸配体的内部电荷转移,如图 11 所示,配合物 1 在波长 328 nm 的激发下,在 398 nm 处出现最大发射峰,配合物 2 在波长 356 nm 的激发下,在 452 nm 处呈现最大发射峰,得到的激发(Ex)光谱与发射(Em)光谱成完美镜像关系,这可能是由配合物结构中芳香环的共轭效应产生的,其含有的 $\pi \rightarrow \pi^*$ 跃迁有利于荧光发射[26][27]。金属锌和钡的配位增加了配体的 π 电子共轭度[28],共轭效应增加荧光物质的摩尔吸光系数,从而有利于荧光的发生。实验证明,配合物 1 和 2 固体中有很强的发光性,是一种有效的荧光材料。

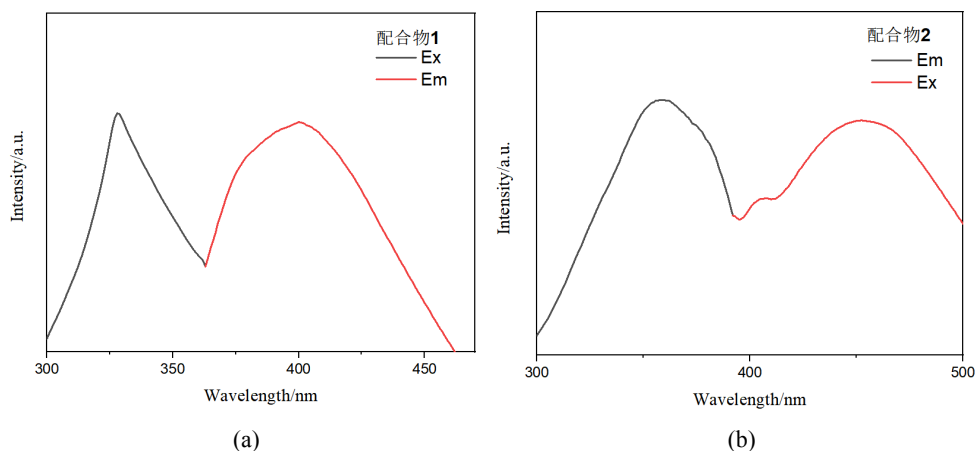


Figure 11. Fluorescence spectra of complex 1 and complex 2
图 11. 配合物 1、配合物 2 的荧光光谱

3.4.2. 液体荧光性质

测得配合物 **1** 和配合物 **2** 在不同溶剂中的发射光谱如图 12 所示, 当其溶解在不同溶剂中时, 两者均在大约 546 nm 波长处展现出显著的发射峰值, 可以推测是配体有效地将吸收的能量传递给金属离子, 进而触发了其特有的荧光效应[29]。在使用到的四种溶剂中, 配合物 **1** 和分别在溶于 DMF 和乙腈溶液中时表现出较高的荧光强度值, 由图 12 可知配合物 **2** 在乙腈溶液中的荧光强度值是其在水中的两倍多, 有力地证明了配合物 **1** 和 **2** 在有机溶液中是一种很好的荧光材料[30]。

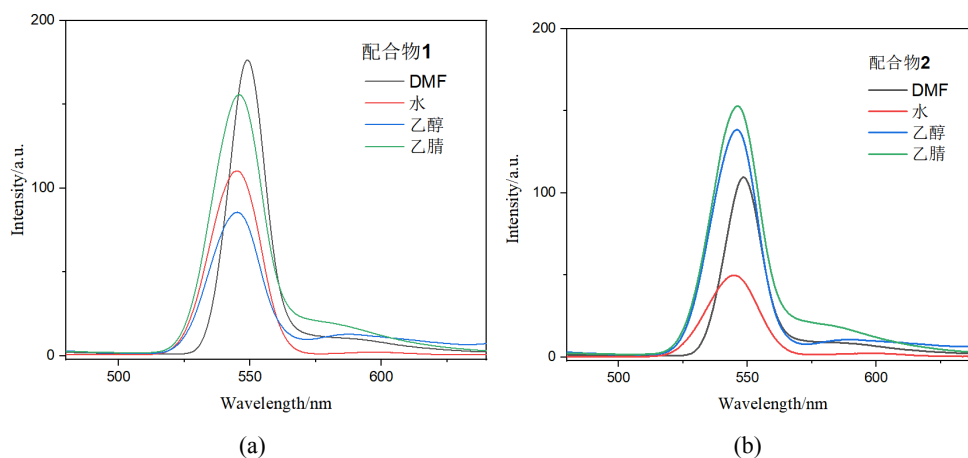


Figure 12. Emission spectra of complex 1 and emission spectra of complex 2

图 12. 配合物 1 的发射光谱和配合物 2 的发射光谱

4. 结论

本文采用了 3,4-二氯苯乙酸作为配位体, 分别与锌离子和钡离子成功合成了两种新颖的配合物, 并对它们的结构进行了详细表征。其中, 配合物 **1** 与配合物 **2** 均在波长约为 228 nm 处展现出了紫外吸收特性, 在 546 nm 波长下均达到了液体荧光发射的最大峰值。此外, 配合物 **1** 在固态下的荧光发射峰位于 398 nm, 而配合物 **2** 的则位于 452 nm, 配合物所表现出的高荧光强度, 充分揭示了它们作为潜在荧光材料的价值。

基金项目

2020 年度校级大学生创新创业训练计划项目(NO. CXXL2020300, NO. CXXL2020297); 广东海洋大学 2020 年度校级质量工程项目(NO. 580420035, NO. 580420038)。

参考文献

- [1] Sun, Z., Xu, C., Li, Z., Guo, F., Liu, B., Liu, J., *et al.* (2022) Construction of Organic-Inorganic Hybrid Photoanodes with Metal Phthalocyanine Complexes to Improve Photoelectrochemical Water Splitting Performance. *New Journal of Chemistry*, **46**, 9111-9118. <https://doi.org/10.1039/d2nj00762b>
- [2] Dhoubi, I., Ouasri, A., Guionneau, P. and Elaoud, Z. (2022) A New Organic-Inorganic Hybrid Compound Based on Sulfate: Structural Characterization, DFT Study, Hirshfeld Analysis, and Electrical, Vibrational and Thermal Properties. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **165**, Article 110654. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2022.110654>
- [3] Manna, K., Ji, P., Greene, F.X. and Lin, W. (2016) Metal-Organic Framework Nodes Support Single-Site Magnesium-alkyl Catalysts for Hydroboration and Hydroamination Reactions. *Journal of the American Chemical Society*, **138**, 7488-7491. <https://doi.org/10.1021/jacs.6b03689>
- [4] Jana, S., Karim, S., Paul, S., Zangrando, E., Fallah, M.S.E., Das, D., *et al.* (2021) Carboxylato Bridging Cu(II)

- Coordination Polymer: Structure, Magnetism and Catalytic Reduction of Nitrophenols. *Journal of Molecular Structure*, **1245**, Article 131058. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131058>
- [5] Bhunia, S., Dutta, B., Pal, K., Chandra, A., Jana, K. and Sinha, C. (2021) Ultra-Trace Level Detection of Cu^{2+} in an Aqueous Medium by Novel Zn(II)-Dicarboxylato-Pyridyl Coordination Polymers and Cell Imaging with Hepg2 Cells. *New Journal of Chemistry*, **45**, 13941-13948. <https://doi.org/10.1039/d1nj00917f>
- [6] Jana, S., Ray, A., Chandra, A., El Fallah, M.S., Das, S. and Sinha, C. (2019) Studies on Magnetic and Dielectric Properties of Antiferromagnetically Coupled Dinuclear Cu(II) in a One-Dimensional Cu(II) Coordination Polymer. *ACS Omega*, **5**, 274-280. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02650>
- [7] Wang, H., Xu, J., Zhang, D., Chen, Q., Wen, R., Chang, Z., *et al.* (2015) Crystalline Capsules: Metal-Organic Frameworks Locked by Size-Matching Ligand Bolts. *Angewandte Chemie International Edition*, **54**, 5966-5970. <https://doi.org/10.1002/anie.201500468>
- [8] Chandra, A., Dutta, B., Pal, K., Jana, K. and Sinha, C. (2021) Designing of an Adipic Acid Bridged Zn(II) Coordination Polymer: Synthesis and Biological Study. *Journal of Molecular Structure*, **1243**, Article 130923. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130923>
- [9] Wu, P., Liu, Y., Liu, Y., Wang, J., Li, Y., Liu, W., *et al.* (2015) Cadmium-Based Metal-Organic Framework as a Highly Selective and Sensitive Ratiometric Luminescent Sensor for Mercury(II). *Inorganic Chemistry*, **54**, 11046-11048. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.5b01758>
- [10] Wang, C., Xia, Y., Yao, Z., Xu, J., Chang, Z. and Bu, X. (2019) Two Luminescent Coordination Polymers as Highly Selective and Sensitive Chemosensors for Crvi-Anions in Aqueous Medium. *Dalton Transactions*, **48**, 387-394. <https://doi.org/10.1039/c8dt04230f>
- [11] Liu, H., Wang, Y., Qin, Z., Liu, D., Xu, H., Dong, H., *et al.* (2021) Electrically Conductive Coordination Polymers for Electronic and Optoelectronic Device Applications. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, **12**, 1612-1630. <https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.0c02988>
- [12] Hu, T., Wang, H., Li, B., Krishna, R., Wu, H., Zhou, W., *et al.* (2015) Microporous Metal-Organic Framework with Dual Functionalities for Highly Efficient Removal of Acetylene from Ethylene/acetylene Mixtures. *Nature Communications*, **6**, Article No.7328. <https://doi.org/10.1038/ncomms8328>
- [13] Li, X., Yang, L., Zhao, L., Wang, X., Shao, K. and Su, Z. (2016) Luminescent Metal-Organic Frameworks with Anthracene Chromophores: Small-Molecule Sensing and Highly Selective Sensing for Nitro Explosives. *Crystal Growth & Design*, **16**, 4374-4382. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.6b00482>
- [14] Yoon, M., Srirambalaji, R. and Kim, K. (2011) Homochiral Metal-Organic Frameworks for Asymmetric Heterogeneous Catalysis. *Chemical Reviews*, **112**, 1196-1231. <https://doi.org/10.1021/cr2003147>
- [15] Sun, J., Zhang, R., Zhou, X., Li, Z., Wu, D. and Zhai, B. (2021) Structure and Magnetic Properties of One Carboxylate-Bridged Linear Trinuclear $[\text{Ni}_3]$ and One Paddle-Wheel Dinuclear $[\text{Cu}_2]$ Cluster. *Inorganic Chemistry Communications*, **127**, Article 108548. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108548>
- [16] Viola Muhammad, N., Ikram, M., Rehman, S., Ali, S., Akhtar, M.N., *et al.* (2019) A Paddle Wheel Dinuclear Copper(II) Carboxylate: Crystal Structure, Thermokinetic and Magnetic Properties. *Journal of Molecular Structure*, **1196**, 754-759. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.06.095>
- [17] 石文杰, 陆凡, 陈梦薇, 等. 咪唑鎓盐功能化钴基金属有机笼的合成及其主客体性质[J]. 无机化学学报, 2025, 41(1): 105-113.
- [18] Sheldrick, G.M. (1996) SADABS. Siemens Area Detector Absorption Corrected Software. University of Göttingen.
- [19] Sheldrick, G.M. (1997) SHELXL-97, Program for the Refinement of Crystal Structure. University of Göttingen.
- [20] 黄秋萍, 曾振芳, 黄秋婵, 等. 一维链状锌配合物的合成、晶体结构及性质研究[J]. 化学试剂, 2020, 42(10): 1207-1212.
- [21] 李波, 王霏宇, 沈红, 等. 基于 4-羟基间苯二甲酸和含氮杂环配体的 Zn(II)配合物的合成、晶体结构与荧光性质研究[J]. 人工晶体学报, 2024, 53(4): 692-700.
- [22] 张泉平, 杜海燕, 孙家跃. 芳香羧酸类铈(III)三元有机配合物的合成与荧光性质[J]. 化工新型材料, 2007(11): 20-22.
- [23] 王慧娟, 蒋悦, 徐海兵. 六齿喹啉类铈配合物结构表征及其发光性能研究[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2025, 47(1): 1-7.
- [24] 陆继果, 霍延平, 方小明, 等. 含三氟苯基 8-羟基喹啉锌配合物的合成及紫外、荧光性能对比研究[J]. 分析测试学报, 2014, 33(9): 993-999.
- [25] 杨知微, 姚默臻, 黄光英, 等. $\text{Ir}(\text{p-tBu-ppy})_3$ 的晶体结构及溶剂对光物理性能的影响[J]. 贵金属, 2025, 46(2): 1-5.

-
- [26] 李波, 沈红, 毛逢银, 等. 基于混合配体的 Zn(II)/Co(II)配合物的晶体结构、荧光性能和磁性[J]. 合成化学, 2023, 31(11): 895-903.
- [27] 左镏, 冯建华, 郭莉, 等. 3,4-吡啶二酸钡配合物的合成、结构、荧光和热稳定性研究(英文) [J]. 无机化学学报, 2013, 29(9): 1979-1984.
- [28] 李丽, 陈亚苟, 赵丽芳. 稀土配合物 $\{La[o-C_6H_4(NO_2)(CO_2)]_3 \cdot (DMF)_2\}_2$ 的晶体结构及其荧光性能[J]. 高等学校化学学报, 2006(2): 199-203.
- [29] 周智华, 徐国荣, 唐安平. 苯甲酸-邻啡罗啉铜(镉)钡配合物的合成及其表征[J]. 有色金属, 2006(1): 64-68.
- [30] Zhang, X., Ge, C., Zhang, N., Duan, Y., Wang, Y., Zhao, L., *et al.* (2019) A MOF Material Based on Zinc (II) and Mixed Ligands: Synthesis, Structure and Luminescence Behavior. *Inorganica Chimica Acta*, **496**, Article 119035. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2019.119035>