

片状镍 MOFs 掺杂的 松香基醇酸树脂清漆的制备研究

谭政亮¹, 余会成^{1,2,*}, 石展望¹, 文新萍¹, 雷福厚¹, 苏东荣³

(1. 广西民族大学化学化工学院, 广西林产化学与工程重点实验室, 广西南宁 530006;
2. 广西民族大学化学化工学院, 广西高校食品安全与药物分析化学重点实验室, 广西南宁 530006;
3. 广西梧州龙鱼漆业有限公司, 广西梧州 543001)

摘要: 采用水热法合成了一种片状 Ni-MOFs (Ni-金属有机框架) 材料, 利用扫描电镜及 X 射线粉末衍射对 Ni-MOFs 的形貌及结构进行表征。以丙烯海松酸(乙三胺)酰胺 (APAA) 及长油度醇酸树脂 (LAK) 为成膜物质, Ni-MOFs 为掺杂剂, 制备了一种 (Ni-MOFs/APAA-LAK)/醇酸树脂清漆。将制备的清漆分别涂于碳钢电极及马口铁片上, 采用 Tafel 极化曲线、电化学交流阻抗、盐雾腐蚀试验及硬度实验测试涂层的性能。结果表明, 添加 Ni-MOFs 质量分数为 0.3% 的清漆防腐性能最好, 腐蚀电流密度为 $4.53 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$, 而未添加 Ni-MOFs 材料的清漆腐蚀电流密度为 $67.2 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$; 与未加 Ni-MOFs 的清漆相比, Ni-MOFs 杂化材料显著改善醇酸树脂清漆的性能。

关键词: Ni-MOFs; 松香; 醇酸树脂清漆; 盐雾; 腐蚀阻力

中图分类号: TQ631

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2022)08-0118-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2022.08.024

Preparation of flake-like nickel MOFs doped rosin alkyd resin-based varnish

TAN Zheng-liang¹, YU Hui-cheng^{1,2,*}, SHI Zhan-wang¹, WEN Xin-ping¹,
LEI Fu-hou¹, SU Dong-rong³

(1. Guangxi Key Laboratory of Chemistry and Engineering of Forest Products, School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China;
2. Key Laboratory of Guangxi Colleges and Universities for Food Safety and Pharmaceutical Analytical Chemistry, School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China;
3. Guangxi Wuzhou Dragon-Fish Paint Industry Co., Ltd., Wuzhou 543001, China)

Abstract: Flake-like Ni-based metal-organic framework materials (Ni-MOFs) are synthesized through hydrothermal method, and their morphology and structure are characterized by SEM and XRD, respectively. A kind of rosin-based alkyd resin varnish is prepared by using acrtlicpimaric acid(ethylenetriamine) amide (APAA) and long alkyd resin (LAK) as the film-forming substances, and the as-prepared Ni-MOFs as a dopant. The as-prepared varnish are coated onto carbon steel electrode and tinplate, respectively. The properties of the coating are investigated by Tafel polarization curve, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), salt spray test and hardness test. The results show that the varnish with 0.3% of Ni-MOFs has the best anticorrosion performance, with a corrosion current density of $4.53 \times 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$. As a comparison, the corrosion current density of the varnish without Ni-MOFs is $67.20 \times 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$. Furthermore, Ni-MOFs hybrid materials help to improve greatly the performance of the varnish.

Key words: Ni-MOFs; rosin; alkyd resin-based varnish; salt spray; corrosion resistance

金属腐蚀对人类生命产生巨大的危害, 如油管泄露、桥梁坍塌等严重事故^[1-2]。目前金属材料防腐的主要方法有电化学保护、使用耐腐蚀性能好的材料及涂覆防腐涂料等。其中, 涂覆防腐涂料是金属防腐最常用的方法之一, 该方法是将防腐涂料涂覆在金属基底表面, 经固化后形成保护膜, 从而保护金属基底。常用的防腐涂料有环氧树脂、酚醛树脂、

聚氨酯、醇酸树脂等^[3]。

醇酸树脂因其良好的附着力、低廉的成本和丰富的来源, 被广泛应用于防腐涂料^[4]。但是传统醇酸树脂也存在漆膜干燥时间长、耐水性差且大多含有挥发性有机物 (VOC) 等缺陷。松香是一种天然可再生能源, 松香用于醇酸树脂中可以减缓物料的胶化, 还可以使漆膜的干燥时间缩短、涂层的硬度增

收稿日期: 2021-09-05; 修回日期: 2022-06-06

基金项目: 广西重点研发计划(桂科 AB18281024)

作者简介: 谭政亮(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向为防腐涂料, email.19961121@qq.com; 余会成(1968-), 男, 博士, 副教授, 主要从事高分子防腐涂层研究, 通讯联系人, doyh@126.com。

大、耐水性提高^[5-6]。但单一的松香基醇酸树脂固化后仍存在交联密度小、弯曲强度低和阻燃性差等问题^[7]。金属有机框架材料(MOFs)可能是解决这一问题的有效方法。

金属有机框架材料是由有机配体和金属离子或团簇通过配位键自组装形成的具有分子内孔隙的杂化材料,近年来受到了广大学者的关注^[8-9]。MOFs材料因具有显著的比表面积、可调的孔径和可控的微孔结构,可广泛应用于储能、催化、分离、气体储存和药物输送等领域^[10]。MOFs分子中的有机配体一般为含O、N、S和P等原子的供电子基团,能连接金属离子形成完整的二维或三维结构和富含 π 键的独特拓扑结构,有利于分子吸附在金属表面上,从而隔绝了金属基底表面与外界腐蚀介质接触,所以MOFs材料在防腐涂料中的应用具有很大的潜力^[11-13]。镍元素作为典型的过渡金属元素之一,将其作为金属源合成的MOFs材料均表现出优良的稳定性,将其加入到涂层中可以提高涂层的阻隔性,从而提高涂层的防腐能力^[14]。目前国内外还未见添加Ni-MOFs做掺杂剂改善醇酸树脂涂层的防腐性能的报道。

笔者选用Ni-MOFs作掺杂剂,制备了醇酸树脂涂层(Ni-MOFs/APAA-LAK)。利用扫描电子显微镜(SEM)、X射线衍射仪(XRD)对Ni-MOFs材料进行表征;通过Tafel极化曲线、电化学交流阻抗技术及盐雾试验,研究了不同添加量的Ni-MOFs的松香基醇酸树脂涂层的耐腐蚀性能及其物理性能。

1 实验方法

1.1 实验材料

丙烯酸海松酸(乙三胺)酰胺、干性长油度醇酸树脂,南通方鑫化工有限公司生产;N,N-二甲基甲酰胺(DMF)、正丁醇,天津市富宇精细化工有限公司生产;环烷酸钴催干剂,无锡汉德森化工制品有限公司生产;天那水,南宁景达化工有限公司生产;六水合硝酸镍 $[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$,西陇科学股份有限公司生产;均苯三甲酸,上海麦克林生化科技有限公司生产。

1.2 金属有机骨架材料(Ni-MOF)的合成

参照Du等^[15]报道的方法并稍作修改用来制备Ni-MOFs。称取0.436 g $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和0.315 g均苯三甲酸溶解在30 mL DMF中,搅拌1 h后,将得到的淡绿色溶液转移到50 mL聚四氟乙烯内胆的不

锈钢反应釜中,置于180℃烘箱中加热10 h,待自然冷却至室温后,分别用DMF、乙醇对产物进行洗涤。最后,将产物放在真空干燥箱中干燥24 h,得到镍基金属有机骨架粉末材料Ni-MOFs。

1.3 Ni-MOF/松香基醇酸树脂涂层的制备

在容器中分别加入一定量的干性长油度醇酸树脂、溶剂正丁醇、丙烯酸海松酸(乙三胺)、催干剂环烷酸钴、掺杂剂Ni-MOF,搅拌8 min后得到涂料,涂料中Ni-MOF的质量分数分别为0%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%。

分别用280目和600目砂纸打磨马口铁板(12 mm×5 mm×1 mm)和Q235碳钢电极(直径1 mm),用乙醇清洗表面,干燥后备用。往上述制备的涂料中添加一定量的天那水稀释并搅拌均匀,用移液枪取一定量的涂料滴在Q235碳钢电极表面,制得涂层厚度为 (50 ± 5) μm的工作电极;剩下的涂料刷涂在马口铁板上,常温干燥20 h,得到的涂层厚度为 (100 ± 10) μm。用上海HCC-24磁阻法测厚仪测量干燥后的涂层厚度。

1.4 Ni-MOF的表征

利用X射线衍射仪(XRD, D8 ADVANCE with DAVINCI DESIGN)对涂层进行物相分析,在射线源Cu K α 辐射下,以1°/min的速度在角度为10~60°内进行扫描;利用扫描电子显微镜(SUPRA 55 Sapphire)观察样品表面形貌。

1.5 复合涂层的防腐性能测试

电化学测试:在上海华辰CHI660D电化学工作站上,采用Tafel极化曲线、电化学交流阻抗研究不同质量分数的Ni-MOF松香基醇酸树脂清漆的防腐性能。采用三电极体系(参比电极为饱和甘汞电极,辅助电极为铂电极,工作电极为滴有涂层的Q235碳钢电极,暴露面积为1 cm²),在质量分数为3.5%的NaCl溶液中进行实验。电化学阻抗谱测试频率为0.01 Hz~100 kHz,振幅为5 mV,测试电压为开路电压。极化曲线扫描范围为-1.8~0 V,扫描速度为1 mV/s。

盐雾实验:实验在上海实验仪器厂FQY 015盐雾腐蚀试验箱中进行,测试温度为35℃,用质量分数为5%的NaCl溶液喷雾168 h,并定时观察涂层表面的锈蚀、脱落、起泡等现象。

硬度测试:利用划痕法测量涂层硬度,参考的国家标准是GB/T 6739—2006。

2 结果与讨论

2.1 SEM 分析

采用水热法制备镍基金属有机框架 (Ni-MOFs), 其制备过程如图 1 所示。Ni-MOFs 晶体 SEM 图如图 2 所示。由图 2 中可以看出, Ni-MOFs 晶体整体形貌呈现片状结构, 表面十分平整光滑, 晶体具有不同尺寸且呈不规则分布, 每个晶体尺寸约为 12~20 μm 。

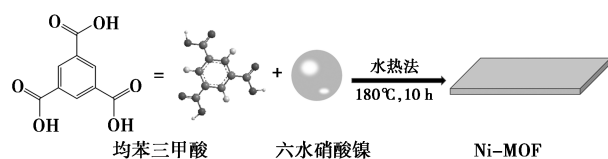
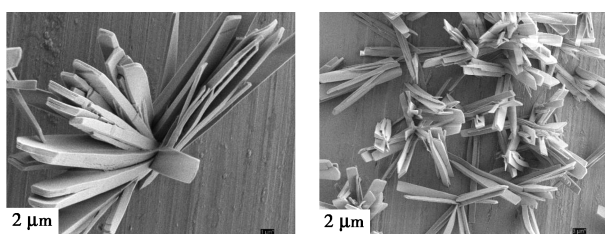


图 1 Ni-MOF 合成过程



(a) Ni-MOFs (5 k 倍)

(b) Ni-MOFs (2 k 倍)

图 2 Ni-MOFs 的 SEM 图

2.2 XRD 分析

利用 X 射线衍射仪对 Ni-MOFs 进行 XRD 分析, 结果如图 3 所示。由图 3 中可以看出, Ni-MOFs 在 2θ 为 10、20° 均出现特征衍射峰, 对应 Ni-MOFs 结构的 (011) 晶面和 (110) 晶面, 这与文献 [15] 中的报道基本一致, 证实通过水热法成功地制备了 Ni-MOFs 材料。

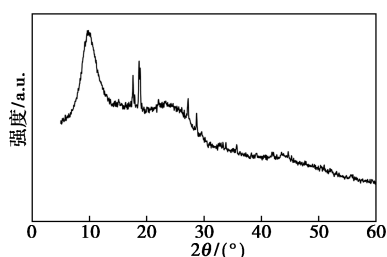


图 3 Ni-MOFs 的 XRD 图

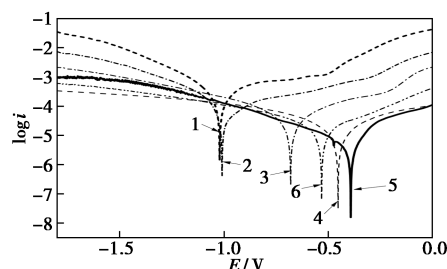
2.3 复合涂层的电化学分析

添加不同质量分数 Ni-MOFs 松香基醇酸树脂涂层在 3.5% NaCl 溶液中测试的极化曲线如图 4 所示。通过 Tafel 外推法, 用电化学软件 chi660d 对图 4 中的极化曲线进行拟合, 所得数据如表 1 所示, 其

中 E_{corr} 为涂层腐蚀电位, I_{corr} 为涂层腐蚀电流密度, 保护效率 (PE) 计算式为:

$$PE = (i_{\text{corr}} - i_{\text{corr}}^*) / i_{\text{corr}} \quad (1)$$

式中: i_{corr} 为 Q235 碳钢裸电极的腐蚀电流密度; i_{corr}^* 为涂有涂层的 Q235 碳钢电极的腐蚀电流密度。



1—未涂敷; 2—0% Ni-MOF; 3—0.1% Ni-MOF;

4—0.2% Ni-MOF; 5—0.3% Ni-MOF; 6—0.4% Ni-MOF

图 4 不同 Ni-MOFs 质量分数涂层的极化曲线

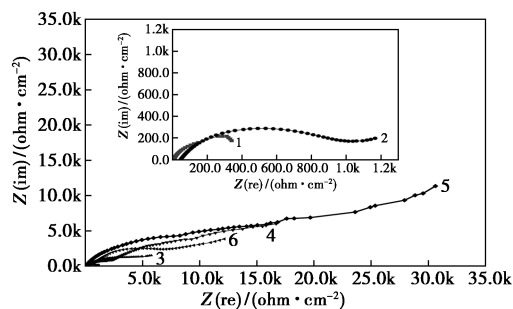
表 1 极化曲线拟合所得腐蚀参数

$w(\text{Ni-MOFs})/\%$	$E_{\text{corr}}/\text{mV}$	$i_{\text{corr}}/(\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2})$	$PE/\%$
裸电极	-1020	184.20	—
0	-997	67.20	63.5
0.1	-679	24.10	86.9
0.2	-452	10.20	94.4
0.3	-390	4.53	97.5
0.4	-531	15.05	91.8

从图 4 和表 1 中可以看出, 随着 Ni-MOFs 质量分数的增加, 复合涂层的腐蚀电流密度呈先减小后增大的趋势, 而腐蚀电位呈先往正方向偏移后往负方向偏移趋势, 其中 Ni-MOFs 质量分数为 0.3% 的松香基醇酸树脂涂层腐蚀电位最高 ($E_{\text{corr}} = -0.390 \text{ V}$)、腐蚀电流密度最小 ($I_{\text{corr}} = 4.53 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$), 保护效率达到 97.5%, 因此 Ni-MOFs 质量分数为 0.3% 的松香基醇酸树脂涂层防腐性能最佳。这是因为适量的 Ni-MOF 与松香基醇酸树脂的相容性较好, 涂层表面形成的微孔较少, 复合涂层具有较好的致密性和交联度, 具有较好的屏蔽效果。但加入过量的 Ni-MOFs 时, 体系分散性变差, 破坏了涂层的致密性, 腐蚀粒子 (水、氧气、氯离子等) 进入到基底的速率将大大增快, 使得涂层的防腐性能下降。

Ni-MOFs 质量分数对涂层电化学阻抗的影响如图 5 所示。Nyquist 曲线半径越大, 电极表面转移电阻越高, 涂层可以有效阻碍电极表面电子的扩散, 减缓金属腐蚀的速率 [16]。从图 5 中可以看出, 添加 Ni-MOFs 的涂层阻抗值明显比未添加 Ni-MOFs 的

涂层高,说明 Ni-MOFs 的添加可以提高松香基醇酸树脂涂层的防腐性能,且添加 Ni-MOFs 质量分数为 0.3% 时,涂层的阻抗曲线半径最大;但继续添加 Ni-MOFs 时,涂层的阻抗半径开始减小。表明适量的 Ni-MOFs 与松香基醇酸树脂能有序地交联结合,使腐蚀介质更难渗透到金属基底,涂层的防腐性能更好,而过量的 Ni-MOFs 会破坏这种有序性,使得涂层结构松散,因此涂层的防腐蚀性能有所下降。



1—未涂敷;2—0% Ni-MOF;3—0.1% Ni-MOF;

4—0.2% Ni-MOF;5—0.3% Ni-MOF;6—0.4% Ni-MOF

图5 不同 Ni-MOFs 质量分数涂层的交流阻抗谱 Nyquist 图

2.4 盐雾实验分析

为了更直观地分析含 Ni-MOFs 松香基醇酸树脂的防腐性能,采用盐雾加速腐蚀试验方法对涂覆有 Ni-MOFs (添加质量分数为 0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%) 涂层的马口铁板的耐腐蚀性能进行评价,结果如图 6 所示。由图 6 中可以看出,在同样时间内,各涂层表面都发生了腐蚀现象,但腐蚀程度不同。未添加 Ni-MOFs 的松香基醇酸树脂涂层表面出现了明显生锈痕迹和起泡现象;添加质量分数为 0.1% 的松香基醇酸树脂涂层表面腐蚀也比较严重,出现明显锈迹,但腐蚀程度要比未加丙烯酸海松酸(乙三胺)的涂层低;添加质量分数为 0.3% 的松香基醇酸树脂涂层表面几乎看不出腐蚀现象,耐腐蚀效果最佳。说明加入适量的 Ni-MOFs 可以促进松香基醇酸树脂的交联反应,提高分子间的键合力和表面的粘结性。另外 Ni-MOFs 材料具有较强的疏水性,降低了水分通过漆膜渗透至基底的可能性,从而提高了松香基醇酸树脂的防腐性能;添加质量分数为 0.4% 的松香基醇酸树脂涂层也是轻微腐蚀,但腐蚀程度要比添加质量分数为 0.3% 的涂层大。所以, Ni-MOFs 对松香基醇酸树脂涂层的防腐性能明显改善,且质量分数为 0.3% Ni-MOFs 松香基醇酸树脂涂层的防腐性能最佳。盐雾试验结果与电化

学测试结果完全一致。

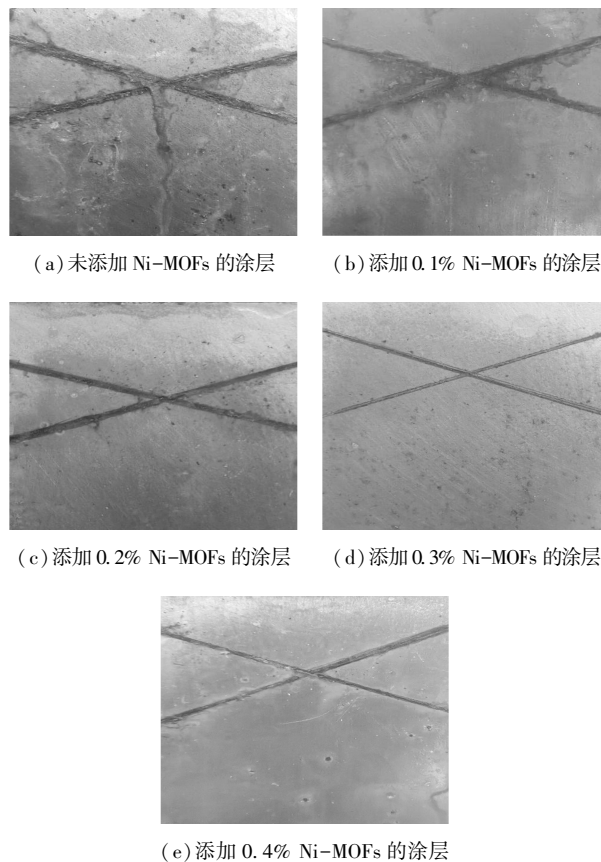


图6 168 h 盐雾试验后不同 Ni-MOFs 质量分数涂层的表面形貌

2.5 复合涂层其他物理性能分析

取不同 Ni-MOFs 添加质量分数的松香基醇酸树脂涂层进行表干、实干和硬度物理性能检测,结果如表 2 所示。实验方法参考国家标准 GB/T 1728—1979(1989) 和 GB/T 6739—2006。

表2 Ni-MOFs 质量分数对涂层性能的影响

w(Ni-MOFs)/%	表干时间/h	实干时间/h	硬度
0	10	20	B
0.1	8	18	HB
0.2	6	16	HB
0.3	6	16	H
0.4	7	18	HB

由表 2 可知,添加了 Ni-MOFs 的松香基醇酸树脂涂层的表干、实干时间明显缩短,且添加质量分数为 0.2%、0.3% 时的表干及实干时间最短;从表 2 中还可以看出,随着 Ni-MOFs 质量分数的增大(从 0 至 0.3%),涂层的硬度逐渐增大,继续加入 Ni-MOFs,涂层硬度开始下降。这是由于 Ni-MOFs 结

构具有一定的刚性和良好的力学性能,适量的添加 Ni-MOFs 有利于提高涂层的硬度。

3 结论

(1) 利用 SEM 和 XRD 对 Ni-MOFs 进行了表征,结果证明成功制备了 Ni-MOFs 片状材料。

(2) 电化学测试结果表明,添加了 Ni-MOFs 的松香基醇酸树脂涂层的电化学性能明显高于未添加 Ni-MOFs 的松香基醇酸树脂涂层,其中 Ni-MOFs 添加质量分数为 0.3% 的松香基醇酸树脂涂层的耐腐蚀性最佳。说明 Ni-MOFs 材料在松香基醇酸树脂中分散性较好,从而提高涂层的防腐性能。

(3) 盐雾实验结果表明, Ni-MOFs 添加质量分数为 0.3% 的松香基醇酸树脂涂层的防腐性能最佳。盐雾试验结果与电化学测试结果完全一致。

(4) 通过涂层物理性能测试可知,加入一定量的 Ni-MOFs,提高了涂层的硬度,缩短了表干、实干时间,对涂层的物理性能有很大程度的提高。

参考文献

- [1] 李文,唐星华,张爱琴,等.松香基水性聚氨酯施胶剂的制备及其应用[J].现代化工,2015,35(10):118-121.
- [2] 付琬璐,史胜南,葛晶,等.环氧涂层防腐填料研究进展[J].现代化工,2020,40(5):56-57,62.
- [3] 汪威,步明升,吕秋生,等.环境友好型高耐腐蚀改性环氧底漆的研制[J].中国涂料,2020,35(8):38-41.
- [4] Necolau Mă dă lina Ioana, Pandele Andreea Mă dă lina. Recent advances in graphene oxide-based anticorrosive coatings: An over view [J]. Coatings, 2020, 10(12): 1149-1149.
- [5] Sumi V S, Arunima S R, Deep M J, et al. PANI-Fe₂O₃ composite for enhancement of active life of alkyd resin coating for corrosion protection of steel [J]. Materials Chemistry and Physics, 2020, 47(6): 12281.
- [6] Hadzich A, Ispas A, Gro G A. Effect of polyalcohols on the anticorrosive behaviour of alkyd coatings prepared with drying oils [J]. Progress in Organic Coatings, 2020, 145(8): 105671.
- [7] 胡宗贵,朱桂生,高延敏,等.锆离子交联剂固化水性环氧树脂涂层防腐性能的研究[J].现代化工,2019,39(7):167-169.
- [8] Arul P, Abraham John S. Size controlled synthesis of Ni-MOF using polyvinylpyrrolidone; New electrode material for the trace level determination of nitrobenzene [J]. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2018, 829(11): 168-176.
- [9] Wu H P, Li M, Wang Z, et al. Highly stable Ni-MOF comprising triphenylamine moieties as a high-performance redox indicator for sensitive aptasensor construction [J]. Analytica Chimica Acta, 2019, 1049(2): 74-81.
- [10] Stanislaw Tarnowicz-Ligus, Adam Augustyniak, Anna M. Trzeciak, Incorporation of PdCl₂P₂ Comp; exes in Ni-MOF for catalyzing Heck Arylation of Functionalized Olefins [J]. European Journal of Inorganic Chemistry, 2019, 19(8): 4282-4288.
- [11] Xiao B L, T Y, K Q, et al. Probe into metal-organic framework membranes fabricated via versatile polydopamine-assisted approach onto metal surfaces as anticorrosion coatings [J]. Corrosion Science, 2020, 177(12): 108949.
- [12] Zhang M, Ma L, Wang L L, et al. Insights into the use of metal-organic framework as high-performance anticorrosion coatings [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2018, 10(3): 2259-2263.
- [13] Mohammad Ramezanzadeh, Bahram Ramezanzadeh, Mohammad Mahdavian, et al. Development of metal-organic framework (MOF) decorated graphene oxide nanoplateforms for anti-corrosion epoxy coatings [J]. Carbon, 2020, 161(5): 231-251.
- [14] Matin E, Attar M M, Ramezanzadeh B. Evaluation of the anticorrosion and adhesion properties of an epoxy/polyamide coating applied on the steel surface treated by an ambient temperature zinc phosphate coating containing Ni²⁺ cations [J]. CORROSION 1 January, 2015, 71(1): 4-13.
- [15] Du P C, Dong Y M, Liu C, et al. Fabrication of hierarchical porous nickel based metal-organic framework (Ni-MOF) constructed with nanosheets as novel pseudo-capacitive material for asymmetric supercapacitor [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2018, 518(2): 57-68.
- [16] Wu Y, Wen S, Chen K, et al. Enhanced corrosion resistance of waterborne polyurethane containing sulfonated graphene/zinc phosphate composites [J]. Progress in Organic Coatings, 2019, 132: 409-416. ■
- [17] 吴娜娜,郑璐,李亚峰.三维电极法处理有机废水的研究进展[J].工业水处理,2016,36(8):11-15.
- [18] 林文鹏.电化学法处理工业有机废水新技术研究进展[J].当代化工,2016,45(11):2638-2641,2645.
- [19] 宋晓晓,张晓臣,任滨侨.三维电极技术处理废水研究进展[J].黑龙江科学,2015,6(6):34-35.
- [20] Kumar S G, Devi L G. Review on modified TiO₂ photocatalysis under UV/visible light; Selected results and related mechanisms on interfacial charge carrier transfer dynamics [J]. Journal of Physical Chemistry A, 2011, 115(46): 13211-13241.
- [21] 李飞贞,解迪,赵远,等.活性炭负载 TiO₂ 电催化氧化处理酸性红 B 的研究[J].环境科学与技术,2017,40(1):17-23. ■

(上接第 117 页)

- [12] 叶延超,游少鸿,陈浩.三维电极材料在电化学处理废水中的应用[J].轻工科技,2021,37(9):88-89,161.
- [13] 余健.活性炭填料三维电极法处理垃圾渗滤液的研究[D].绵阳:西南科技大学,2021.
- [14] 李健,闫龙,亢玉红,等.三维电极电化学动态循环处理氨氮废水研究[J].现代化工,2017,37(3):133-136,138.
- [15] 汤梓仟,曾玉彬,巩北凡,等.三维电极法处理含汞有机废水的研究[J].应用化工,2020,49(7):1751-1755.
- [16] 仇鑫.三维电芬顿处理高浓度难降解有机废水实验研究[D].扬州:扬州大学,2018.