

1、项目名称

植入响应型缓蚀剂共存时聚苯胺/环氧树脂复合体防腐蚀行为研究

2、推荐奖种

滨州市自然科学奖

3、项目简介

金属材料以其优良的机械和工艺性能在材料领域占据重要地位，但金属很容易受到环境的作用发生腐蚀，本项目针对金属腐蚀与防护的问题，以纳米容器为缓蚀剂载体，开发一种具有自修复作用的功能涂料，解决涂层在防护服役过程中因环境或力学等因素产生微裂纹等缺陷而导致的涂料寿命缩短和防腐能力降低的问题，实现涂层自动对损伤部位进行检测与修复。

开发了一种缓蚀剂纳米容器。以云母为纳米容器，通过离子交换吸附技术将 8-羟基喹啉植入到云母层间，探究了此纳米容器对氯离子、温度以及 pH 的响应机理，提出高储存、多重响应纳米容器的结构性能调控机制；揭示了云母对 8-羟基喹啉的吸附机理以及可控释放机制。

开发了一种自修复功能涂层。将缓蚀剂储存器加入环氧树脂研发出一种无机/有机复合涂层，借助电化学测试（极化曲线、交流阻抗）等分析测试手段对涂层与低碳钢相界面的结构、形貌以及成分分析，揭示了涂层在服役过程中缓蚀剂对外界的响应机制与自修复机理。

开发了一种缓蚀剂保护效果的在线检测技术。采用电化学阻抗与电化学噪声(EN)技术对缓蚀剂酮康唑在 1.0 M 盐酸溶液中对 Q235 低碳钢的缓蚀行为进行了研究，并与失重法测试结果进行对比，提出一个与腐蚀速率的变化趋势相关联的腐蚀活性能量参数 CAE，用于表征电极反应速度，实现对缓蚀剂保护效果的原位无损监测。

4、客观评价

在酮康唑对 Q235 碳钢的缓蚀行为研究中 (Y.W. Liu, Y. Chen, X.H. Chen, Z.N. Yang, Y. Xie, Z. Zhang, Study on adsorption behavior of ketoconazole on Q235 mild steel in 1.0 M HCl solution with electrochemical measurement, Journal of Alloys and Compounds, 758 (2018) 184-193), 我们提出了关于缓蚀剂保护效率的评价以及吸附模型的建立等观点, 受到了诸多国际 SCI 期刊的正面引用。其中, Nahle 等 (Ech-chihbi, E, Nahle, A, Salim, R, Benhiba, F, et al. Computational, MD simulation, SEM/EDX and experimental studies for understanding adsorption of benzimidazole derivatives as corrosion inhibitors in 1.0 M HCl solution. Journal of Alloys and

Compounds.10.1016/j.jallcom.2020.155842) 认为我们的工作对于开发新型缓蚀剂和理解缓蚀剂的缓蚀机制具有非常重要的作用。Fu 等 (Shulei Fu, Shengtao Zhang, Qin Xiang, Weiya Tan, Wenpo Li, Shijin Chen, Lei Guo. Experimental and Theoretical Investigation of Corrosion Inhibition Effect of Multi-Active Compounds on Mild Steel in 1 M HCl. International Journal of Electrochemical Science, 14 (2019) 6855-6873) 研究发现缓蚀剂的添加能够同时降低阳极和阴极支的电流密度, 这与我们动电位极化曲线测试中的观点是一致的。Gou 等 (Wan Gou, Wei Wang, Wenrong Xie, Ping Zhang, Lan Wang, Jing Zhang, Yanan Shi, Bin Xie. Study on Thermal Stability and Corrosion Inhibition Effect of $[\text{Ni}(\text{s}-\text{htde})](\text{ClO}_4)_2$ for Q235 Steel in 1.0 M HCl. International Journal of Electrochemical Science, 14 (2019) 7947 -7960) 评价并对比了我们工作中的酮康唑缓蚀剂的缓蚀效率, 发现在 1 M HCl 介质中我们提供的酮康唑缓蚀剂的缓蚀效率要优于其它文献报道的缓蚀剂的缓蚀效率。Wang 等 (Dongze Wang, Xuemei Li, Xiangqun Jin, Qiong Jia. Design of cucurbit[6]uril-based hypercrosslinked polymers for efficient capture of albendazole. Separation and Purification Technology, 216 (2019) 9-15) 直接引用并评价了我们工作中酮康唑缓蚀剂在 Q235 碳钢表面优良的吸附性能。

在自修复涂层的制备与性能评价研究中 (Yuanwei Liu, Y. Chen, Anticorrosion performance of epoxy-resin coating incorporating talcum powder loaded with sodium tungstate, International Journal of Electrochemical Science, 13 (2018) 530-541), 我们提出了一种新的构建自修复涂层的详细方案并详细阐述了其自修复机理, 上述工作获得了国内外同行的多次正面引用。其中 Li 等 (Weihang Li, Bojun Song, Shirui Zhang, Fan Zhang, Chang Liu, Nan Zhang, Huiling Yao and Yuanchang Shi. Using 3-Isocyanatopropyltrimethoxysilane to Decorate Graphene Oxide with Nano-Titanium Dioxide for Enhancing the Anti-Corrosion Properties of Epoxy Coating. Polymers, 12(2020) 837) 认为环氧涂层存在着高脆性、低韧性等缺点, 并且在固化时由于溶剂的挥发引起涂层表面局部微孔的出现, 从而限制了其广泛应用, 而我们项目提出的自修复性环氧涂层的构建方案能够很好地解决这一复杂问题。Tanji, M 等 (Tanji, M, RE, Jeong, Y, Yin, ZW. Panaccione, W, Wang, MC. angstrom -Scale, Atomically Thin 2D Materials for Corrosion Mitigation and Passivation. Coatings, 9(2019) 133) 认为我们提出的自修复涂层制备方案属于当前的研究热点。Hou 等 (Hou, PM, Liu, CB, Wang, X, Zhao, HC. Layer-by-Layer Self-assembled Graphene Oxide Nanocontainers for Active Anticorrosion Application. International Journal of Electrochemical Science, 14

(2019) 3055-3069) 也认为我们提供的自修复涂层制备方案是一种很有实际应用前景的方法, 可用于解决涂层服役过程中易产生缺陷的问题。Jamshidnejad 等 (Jamshidnejad. Z, Afshar. A, RazmjooKhollari. MA. Synthesis of self-healing Smart Epoxy and Polyurethane Coating by Encapsulation of Olive Leaf Extract as Corrosion Inhibitor. International Journal of Electrochemical Science. 12(2018) 12278-12293) 则在自修复涂层的评价时引用了我们的相关工作, 认为电化学阻抗谱中出现的非完美的半弧是由金属基底表面的异质性引起的, 这也与其它的文献报道结论相同。Liu 等 (Shan Liu, Zhefeng Xu, Jianhong Yi. Effect of Curing Temperature on Corrosion Resistance of a Chromium-free Coating on Hot Dip Galvanized Steel Sheet. International Journal of Electrochemical Science, 13 (2018) 6684-6692) 赞同钨酸钠作为一种高效无毒的无机添加物, 可应用热浸锌镀层的防护层的制备, 这与我们将钨酸钠作为环氧涂层的缓蚀添加剂具有异曲同工之妙。

5、代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名（出版社）	发表时间	作者（按刊物发表顺序）	通讯作者（含共同）	第一作者（含共同）	影响因子	SCI 他引次数	他引总次数	第一完成人是否参与
1	Selective sorption of Pb(II) from aqueous	Desalination and	2016.06	刘元伟	刘元伟	刘元伟	1.272			是
2	纳米 SiO ₂ -稀土元素复合改性环氧树脂防腐	腐蚀与防护	2015.08	刘元伟	刘元伟	刘元伟	0.722			是
3	Study on adsorption behavior of ketoconazole on Q235 mild steel in 1.0 M HCl solution with electrochemical measurement1.0 M HCl	Journal of Alloys and Compounds	2018.05	刘元伟、陈宇	陈宇	刘元伟	4.65	11	8	是
4	Anticorrosion Performance of Epoxy-Resin	Int. J. electrochem.	2018.01	刘元伟、陈宇	陈宇	刘元伟	1.56	6	6	是
5	沸石负载纳米二氧化硅对 Cd ²⁺ 的吸附动力	环境工程学报	2015.05	刘元伟、张	刘元伟	刘元伟	1.387			是
6	环氧氯丙烷改性豆渣吸附剂对 Pb(II) 的吸	应用化工	2015.08	刘元伟、张凯	刘元伟	刘元伟	0.822			是
7	盐酸介质中水杨醛缩氨基硫脲对碳钢的缓	应用化学	2015.06	张红红、谢	张红红、杨仲年	张红红	0.921			是
8	一种破乳剂聚醚中间体的制备方法	发明专利	2015.06	刘元伟、霍宇	刘元伟	刘元伟				是

6、主要完成人情况

姓 名	刘元伟	性别	女	排 名	1	国 籍	中国
出生年月	1979.10			出 生 地	河北邯郸	民 族	汉
身份证号	132133197910082646			归国人员	否	归国时间	无
技术职称	副教授			最高学历	研究生	最高学位	硕士
毕业学校	河北大学			毕业时间	2005.06	所学专业	高分子化学与物理
电子邮箱	hbgfz@163.com			办公电话	0543-3190097	移动电话	13954388660
通讯地址	山东省滨州市黄河五路 391 号滨州学院					邮政编码	256600
工作单位	滨州学院					行政职务	无
二级单位	化工与安全学院					党 派	群众
完成单位	滨州学院					所 在 地	滨州
						单位性质	高校
参加本项目的起止时间	2014.12 至 2017.12						
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>1.通过吸附方法将 8-羟基喹啉植入云母层间，得到钨 8-羟基喹啉缓蚀剂储存器并将其添加到环氧涂料中得到复合改性涂层。对复合涂层附着力进行了测试，同时通过电化学方法对涂层防腐性能进行了研究，实验结果表明与云母/环氧树脂相比，改性环氧树脂涂料防腐性能更好，极化电流为可达 $1.447\text{E}-007\text{Acm}^{-2}$，极化电阻为 $4.59\text{E}13\Omega\text{cm}^{-2}$，抗腐蚀能力增强。</p> <p>2.对吸附机理进行了初步的探讨。利用溶胶-凝胶法和分子印迹技术制备了 Pb^{2+}印迹型二氧化硅复合吸附剂 (IPS)，探究了溶液温度、吸附时间、Pb^{2+}起始浓度、溶液 pH 等不同吸附条件对 Pb^{2+}吸附效果的影响；结果表明 IPS 对重金属 Pb^{2+}的选择性系数较高，其最大吸附量为非印迹二氧化硅吸附剂的 2 倍多，同时采用准一级动力学和二级动力学对实验结果进行了拟合，结果表明 IPS 对 Pb^{2+}的吸附行为符合二级动力学，为物理化学并存的吸附过程；将等温数据用 Langmuir 和 Freundlich 模型进行拟合，吸附数据符合 Langmuir 吸附等温线，表明吸附为单层吸附过程。</p> <p>3.对缓蚀剂的防腐机理进行了研究。缓蚀剂通过在金属基底表面形成保护性膜层，阻挡侵蚀性离子 (H_2O、O_2、Cl^-等) 到达金属表面，实现对金属基底的防护。采用电化学噪声技术在线监测缓蚀剂的缓蚀效率，建立表征金属基底腐蚀速率的电化学噪声参数，与金属基底微观形貌相一致。</p>							
<p>曾获市级以上科技奖励情况：</p> <p>2017.12 荣获滨州市自然科学优秀学术成果二等奖</p>							

<p>声明：本人同意完成人排名，遵守《滨州市科学技术奖励办法》的有关规定和滨州市科学技术奖励委员会办公室对提名工作的要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>	<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>
--	--

姓 名	杨仲年	性别	男	排 名	2	国 籍	中国
出生年月	1978.01			出 生 地	山东省安丘市	民 族	汉
身份证号	370102197801114512			归国人员	否	归国时间	无
技术职称	教授			最高学历	研究生	最高学位	博士
毕业学校	浙江大学			毕业时间	2006.06	所学专业	化学
电子邮箱	yangzhongnian@126.com			办公电话	0543-3190097	移动电话	15963078773
通讯地址	山东省滨州市黄河五路 391 号滨州学院					邮政编码	256600
工作单位	滨州学院					行政职务	无
二级单位	化工与安全学院					党 派	中共党员
完成单位	滨州学院					所 在 地	滨州
						单位性质	高校
参加本项目的起止时间		2017.4 至 2017.12					
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>合成了新型席夫碱缓蚀剂:水杨醛缩氨基硫脲(ST)，并考察了其在 1 mol/L 盐酸溶液中对碳钢的缓蚀性能。通过静态失重、动电位极化曲线、交流阻抗等技术手段研究缓蚀剂浓度对腐蚀速率及缓蚀效率的影响，阐明缓蚀作用机理。结果表明，ST 在盐酸介质中对碳钢具有良好的缓蚀性能。随着缓蚀剂浓度的增加，缓蚀效率逐渐增大。ST 的加入显著降低了自腐蚀电流密度，为抑制阴极反应为主的缓蚀剂。ST 在碳钢表面的吸附符合 Langmuir 吸附模型，为物理吸附与化学吸附共同作用。</p>							
<p>曾获市级以上科技奖励情况：</p>							
<p>声明：本人同意完成人排名，遵守《滨州市科学技术奖励办法》的有关规定和滨州市科学技术奖励委员会办公室对提名工作的要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: center;">本人签名：</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>					<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: center;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>		

姓 名	陈宇	性别	男	排 名	3	国 籍	中国
出生年月	1986.7			出 生 地	湖北黄冈	民 族	汉
身份证号	421102198607133218			归国人员	否	归国时间	无
技术职称	副教授			最高学历	研究生	最高学位	博士
毕业学校	浙江大学			毕业时间	2013.06	所学专业	化学
电子邮箱	chen123yu123@163.com			办公电话	0543-319009 7	移动电话	13857182346
通讯地址	山东省滨州市黄河五路 391 号滨州学院					邮政编码	256600
工作单位	滨州学院					行政职务	无
二级单位	化工与安全学院					党 派	群众
完成单位	滨州学院					所 在 地	滨州
						单位性质	高校
参加本项目的起止时间		2017.4 至 2017.12					
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>1.采用失重法和电化学阻抗谱方法研究了 1 M HCl 介质中酮康唑对 Q235 碳钢的缓蚀行为，发现随着酮康唑浓度的增大，其缓蚀效率逐渐增大。并且，在相同的酮康唑浓度下，高温下的缓蚀效率要大于低温下的缓蚀效率，这表明 1 M HCl 介质中酮康唑在 Q235 碳钢的吸附行为以化学成键吸附为主。</p> <p>2.进一步采用电化学噪声技术研究了含酮康唑的 1 M HCl 介质中 Q235 碳钢的腐蚀行为，根据腐蚀事件的发生频率各不相同，创新性地提出了表征电化学反应速率的电化学噪声活性能量参数，并与失重和缓蚀效率对比分析，发现电化学噪声活性能量与缓蚀效率具有反平行关系，可以实现工业缓蚀剂应用的保护效率的原位无损在线监测。</p>							
曾获市级以上科技奖励情况：							
<p>声明：本人同意完成人排名，遵守《滨州市科学技术奖励办法》的有关规定和滨州市科学技术奖励委员会办公室对提名工作的要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: center;">本人签名：</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>					<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: center;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>		

姓 名	谢彦	性别	男	排 名	4	国 籍	中国
出生年月	1979.01			出 生 地	山东临沂	民 族	汉
身份证号	371326197901166718			归国人员	否	归国时间	无
技术职称	副教授			最高学历	研究生	最高学位	博士
毕业学校	华南理工大学			毕业时间	2015.12	所学专业	应用化学
电子邮箱	bxuxie@163.com			办公电话	0543-319009 7	移动电话	13563079323
通讯地址	山东省滨州市黄河五路 391 号滨州学院					邮政编码	256600
工作单位	滨州学院					行政职务	无
二级单位	化工与安全学院					党 派	中共党员
完成单位	滨州学院					所 在 地	滨州
						单位性质	高校
参加本项目的起止时间		2014.12 至 2017.12					
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>合成了水杨醛缩氨基硫脲(ST)席夫碱，并利用静态失重法，电化学测试及扫描电子显微镜等技术手段考察其在 1 mol/L 盐酸溶液中对 Q235 碳钢的缓蚀性能及缓蚀机理。</p>							
<p>曾获市级以上科技奖励情况：</p>							
<p>声明：本人同意完成人排名，遵守《滨州市科学技术奖励办法》的有关规定和滨州市科学技术奖励委员会办公室对提名工作的要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: center;">本人签名：</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>						<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: center;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>	

姓 名	张红红	性别	女	排 名	5	国 籍	中国
出生年月	1982.08			出 生 地	山东滨州	民 族	汉
身份证号	372323198208101226			归国人员	否	归国时间	无
技术职称	副教授			最高学历	研究生	最高学位	博士
毕业学校	山东师范大学			毕业时间	2010.06	所学专业	物理化学
电子邮箱	zhanghong198329@163.com			办公电话	0543-3199733	移动电话	18766499800
通讯地址	山东省滨州市黄河五路 391 号滨州学院					邮政编码	256600
工作单位	滨州学院					行政职务	无
二级单位	化工与安全学院					党 派	中共党员
完成单位	滨州学院					所 在 地	滨州
						单位性质	高校
参加本项目的起止时间		2014.12 至 2017.12					
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>考察了新型席夫碱缓蚀剂其在 1 mol/L 盐酸溶液中对碳钢的缓蚀性能。通过静态失重、动电位极化曲线、交流阻抗等技术手段研究缓蚀剂浓度对腐蚀速率及缓蚀效率的影响，阐明缓蚀作用机理。</p>							
<p>曾获市级以上科技奖励情况：</p>							
<p>声明：本人同意完成人排名，遵守《滨州市科学技术奖励办法》的有关规定和滨州市科学技术奖励委员会办公室对提名工作的要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>					<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>		

7、完成人合作关系说明。

项目完成人刘元伟、杨仲年、陈宇、谢彦、张红红均为滨州学院化工与安全学院教师，是滨州市电化学重点实验室核心成员，均参与了本项目的工作，已进行了长期稳定的合作。

完成人刘元伟是本项目的负责人，为本项目的主要完成工作者，是 7 篇合著论文的第一完成人，为本项目的第 1 完成人。

完成人杨仲年是本项目的主要技术骨干，负责或参与了本项目的统筹规划，是本项目的第 2 完成人。

完成人陈宇是本项目的主要技术骨干，负责或参与了本项目实验方案的实施与理论分析指导工作，是多篇合著论文的作者以及通讯作者，是本项目的第 3 完成人。

完成人谢彦是本项目的技术骨干，参与了本项目的关于缓蚀剂对碳钢的缓蚀作用的实验考察，是本项目的第 4 完成人。

完成人张红红是本项目的技术骨干，参与了本项目的关于缓蚀剂对碳钢的缓蚀作用的实验考察，是本项目的第 5 完成人。