

将腐蚀与防护实验和国家重大工程衔接的课程思政案例设计

张树永*, 宋淑娥

山东大学化学与化工学院, 济南 250100

摘要: 将胶州湾跨海大桥材料的腐蚀防护研究作为实际应用案例引入物理化学实验教学。通过结合工程实际改进实验, 增加了相关材料在不同腐蚀介质中的腐蚀行为研究等内容, 对相关材料及几类防护措施的保护效果进行了比较研究。实验将原物理化学实验中涉及的线性扫描伏安(极化曲线测量)和电化学阻抗方法进行了组合, 对Q235和Q275两种合金钢、锌合金和镁合金两种牺牲阳极材料、无涂层和有环氧涂层的钢铁在模拟海水和真实海水两种电解质溶液环境中的腐蚀性能和防护效果进行了研究。改进后的实验可以增强学生学以致用意识, 增强他们对工程问题的综合性和复杂性的认识, 还可以培养团队意识和合作能力, 通过培养腐蚀防护意识和绿色环保意识强化学生的学科素养和社会责任感。

关键词: 物理化学实验; 腐蚀速率; 腐蚀防护; 课程思政; 实验设计

中图分类号: G64; O6

Ideological and Political Case Design of Experiment of Corrosion and Protection Linking with National Major Projects

Shuyong Zhang*, Shu'e Song

School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China.

Abstract: The study on corrosion protection of Jiaozhou Bay Bridge material is introduced into physical chemistry experiment as a practical application case. By combining with the engineering practice to improve the experiment, the content of related materials and corrosion behavior in different corrosive media is added, and the protective effect of related materials and several kinds of protective measures is compared. Linear sweep voltammetry (Tafel polarization curve measurement) and electrochemical impedance spectroscopy are used in the experiment. The corrosion properties and protection effects of Q235 and Q275 steel, zinc alloy and magnesium alloy sacrificial anode materials, uncoated and epoxy-coated steel sample in simulated seawater and real seawater electrolyte solutions are studied. The improved experiment can enhance students' awareness of applying what they have learned in real applications, enhance their understanding of the comprehensiveness and complexity of engineering problems, cultivate team spirit and cooperation ability, and strengthen students' disciplinary literacy and social responsibility by cultivating their awareness of corrosion protection and green environmental protection.

Key Words: Physical chemistry experiment; Corrosion rate; Corrosion protection; Ideological and political education; Design of experiment

1 引言

不少高校在物理化学实验中都设置了与电化学和腐蚀电化学相关的实验内容^[1], 如极化曲线的

测量^[2,3]、金属钝化曲线的测量^[4-6]、金属防腐蚀行为评价^[5]、缓蚀剂和阴极保护对金属腐蚀防护行为的影响^[7]等。在这些实验中,学生主要学习电化学工作站或者恒电位仪的使用、电极的制备、三电极体系的使用和伏安曲线测量等知识,以加深学生对金属腐蚀行为和腐蚀防护方法的理解并能够完成相关的测量操作。由于相关实验内容与科技前沿和实际应用差距较大,往往难以调动学生学习的积极性,也难以落实课程思政建设要求,即使勉强开展课程思政,也往往令人感觉融入生硬、生拉硬拽、效果不佳。为了解决这一问题,我们将金属腐蚀行为实验与胶州湾跨海大桥腐蚀防护方案设计和材料腐蚀性能测试相结合,在推进基础实验与科技前沿和生产实际有效衔接的基础上凝练和提升了实验的思政教育内涵,充分体现了简单的物理化学基础实验原理和测量方法对国家重大工程的支撑和保障作用,能够很好地激发学生的学习兴趣,增强专业自豪感,提升运用所学知识解决实际问题、服务国家战略和经济社会发展的意识和能力,同时可以增强学生的社会责任意识和国家安全意识,同时在养成科学发展、绿色发展和可持续发展意识方面发挥积极作用。

2 课程思政案例的设计与实施

2.1 案例的导入

展示几张钢铁发生严重腐蚀的图片(图1),介绍全世界每年因腐蚀损耗的钢铁约占世界钢铁年产量的四分之一。中国因腐蚀造成的经济损失达2.1万亿,约占当年GDP的3.34%。腐蚀不仅造成巨大的经济损失,还会影响国家安全、社会稳定和人民幸福。



图1 (a) 锈蚀的地下暖气管道; (b) 锈蚀的美国波士顿铁路桥

胶州湾跨海大桥于2006年动工兴建,2011年建成通车。该桥全长41.58千米,总投资约95.4亿元人民币,设计使用寿命超过百年。该桥连接青岛和黄岛、红岛,是G22高速公路的重要组成部分,是山东半岛蓝色经济区及青岛市三城联动的枢纽,战略地位十分重要。该桥建成时是当时的世界第一跨海大桥,被美国《福布斯》杂志评为“全球最棒桥梁”,2013年获得了被誉为“桥梁界的诺贝尔奖”的乔治·理查德森奖。

胶州湾海域海水的含盐度为2.94%–3.26%,接近其他跨海大桥海域的2倍,且潮汐高差大、空气湿度高,对材料的耐蚀能力提出了更高要求。研究相关材料的腐蚀特征,设计安全可靠的防护手段,对于大桥的安全运行至关重要。为了保证胶州湾跨海大桥达到设计使用寿命,大桥采用了海工高性能混凝土、主桥外加电流阴极保护、部分桥墩采用复合式牺牲阳极保护、混凝土表面涂装防护等组合防护方式,并安装了腐蚀在线监测装置。在钢结构防腐方面则采用了金属表面热喷涂和重防腐涂料组合体系。

桥梁的使用寿命主要由材料的耐蚀性能和防护方法决定,同时受海水盐度、大气湿度、潮汐、海冰、海洋微生物等因素的影响。为了保证桥梁达到设计寿命,必须对桥梁材料的耐蚀性能和环境影响因素进行系统评估,并在此基础上选用适宜的材料和防护措施,同时综合考虑成本、加工和施工难易、环保等因素,是一个复杂的科学和工程问题。

2.2 案例的研讨

桥梁材料的耐蚀性能测试主要包括测量金属的极化曲线确定腐蚀速率；测量体系的pH-电势图确定材料稳定的电势范围，指导辅助阳极的阴极保护和牺牲阳极的阴极保护所应保持的电势；评价混凝土的耐久性和涂层的防护性能等。

首先安排学生通过自主学习课程网站提供的材料，加深对腐蚀危害的理解。要求学生根据相关材料和腐蚀环境，初步设计开展实验研究的体系和实验步骤。教师组织学生以小组为单位进行线上或者线下的讨论，在相互借鉴学习的基础上，修改完善各小组的实验方案，并完成小组实验分工，报任课教师备案。

2.3 实验的创新设计

为了保证相关案例的落实，需要将目前广泛使用的Ni、Cu等材料换用与跨海大桥相关的材料和体系，对传统的物理化学实验进行改造。本实验采用线性扫描伏安(Tafel曲线测量)和电化学阻抗方法，对第一组Q235和Q275两种合金钢、第二组锌合金和镁合金两种牺牲阳极材料、第三组无涂层和有环氧涂层的Q235合金钢、以及第四组Q235合金钢在模拟海水和真实海水两种电解质溶液体系的腐蚀性能和防护效果进行比较研究^[8] (表1)。

表1 各实验组开展对比研究的设计

组别	第一组	第二组	第三组	第四组
影响因素	结构材料	阳极材料	涂层	海水
研究体系	Q235	锌合金	无涂层	模拟海水
	Q275	镁合金	环氧涂层	真实海水

教师可以安排学生利用周末现场感受胶州湾跨海大桥的雄伟身姿，增强自豪感，同时现场采集胶州湾的海水样品。

教师需提前配制模拟海水，将合金制成电极，加工适宜尺寸的牺牲阳极、在电极表面制备涂层等，以保证实验的顺利进行。

2.4 案例的实施

(1) 自主学习：安排学生从网络上查找胶州湾跨海大桥的图片和相关介绍，感受大桥的宏伟身姿和重要的战略地位。安排学生通过学习课程网站提供的图文和视频等资源，自主学习极化曲线测量和交流阻抗测量的实验原理、仪器及其操作，明确实验相关要求和操作规范^[3]，通过相关操作考核，完成并提交实验方案和实验预习报告。

(2) 团队实验：本实验综合性强，可以安排4组同学进行平行实验，分别完成不同合金、不同牺牲阳极材料、不同涂层和Q235合金钢在不同水样中的线性扫描伏安和电化学阻抗谱测量(表1)，并共用数据。团队实验可以保证每位同学在独立完成实验操作的同时获得更全面的实验结果，加深对相关研究的综合性和复杂性的认识，理解在设计腐蚀防护方案时综合施策的重要性，并强化团队意识和协调合作的能力。

(3) 知识拓展：实验结束后，安排学生以小组为单位进一步查阅资料，了解各类钢材、牺牲阳极和涂层的性能和应用，并对原材料价格、加工和施工的难易、材料本身和使用过程中的环保效能等因素进行说明，形成并提交小组报告。进一步引导学生理解工程实践的复杂性和综合性，并养成对方案的经济和环保因素进行综合评价的意识。

2.5 课后拓展

(1) 要求学生在实验报告中比较Q235合金钢在真实海水和模拟海水中的实验结果，说明科学研究和工程研究的异同及其原因，说明实地采样的意义。教师可以对相关讨论的系统性和深入程度进行评价。

(2) 学生综合实验结果, 对采用复合防腐技术的必要性进行分析, 说明设计腐蚀防护方案时还应考虑哪些因素。教师对学生的分析是否全面、系统、深入进行评价。

(3) 学生结合跨海大桥腐蚀防护方案, 说明强化跨海大桥腐蚀防护以及加强金属腐蚀研究和防腐技术开发的重要意义。要求学生查阅绿色环保腐蚀防护技术的开发进展, 强化学生的腐蚀防护意识和绿色环保意识。教师对学生资料查阅、综述和评价能力进行评价。

3 实施建议与效果考核

教师可依据案例研讨、资料查阅、实验研究方案设计、实验预习报告、团队实验分工和实施情况、实验操作过程、课后拓展报告和实验报告等, 考查学生对腐蚀防护意义的认识, 对腐蚀防护方案复杂性的认识, 对在设计方案中综合考虑经济、伦理和环保等因素的能力、实验操作的规范性和结果的准确性、分工协作开展实验和结果分析的情况进行评价, 全面考核学生知识、能力和素质提升的情况, 全方位考核实验课程思政目标的达成效果。考试方式及考核标准建议见表2。

表2 实验考核的形式、考核的目标和评价标准建议

考核内容	考核目标	考核标准
小组实验方案	理解实验要求和实验原理, 正确设计实验方案	能够正确表述实验原理、设计实验方案, 综合考虑相关因素的影响, 完成小组实验的分工
线上预习考核	相关知识点和操作的重点	能够按时完成预习, 正确表述相关操作要求, 通过虚拟仿真操作测试
实验过程	熟练操作仪器设备, 顺利完成实验	操作的熟练和规范程度, 实验结果的准确性, 小组合作的有效性
实验报告/拓展报告	说明科研和工程研究的差异, 对实际工程方案进行评价, 提出创新思考	正确说明开展工程研究的重要性, 能够指出腐蚀防护方案设计时应考虑的因素, 并提出自己的观点

本实验方案设计是针对山东大学青岛校区学生的, 其他高校可以就近了解重大工程中开展腐蚀防护的情况, 因地制宜地设计实验内容, 增强实验内容与地方经济社会发展联系的程度, 提高实验的可行性。同时, 教师要及时关注绿色环保腐蚀防护技术的开发进展, 使实验内容更贴合科研前沿。

4 结语

该实验体现了物理化学原理对国家重点工程的支撑和保障作用, 能够提高学生的学习兴趣和专业自豪感, 培养团队意识、腐蚀防护意识和绿色环保意识, 提升学生运用所学知识解决实际问题、服务社会发展的能力。通过实验, 学生对金属腐蚀防护的研究方法有了比较全面的认识, 对腐蚀防护方案设计的复杂性有了更深刻的理解, 对开发绿色环保高效的腐蚀防护技术的重要性有了更加深刻的认识, 分析和解决复杂问题的能力得到了全面的强化和有效的考核。

参 考 文 献

- [1] 张树永, 范楼珍, 淳远, 刘永梅, 田福平, 白云山, 宋淑娥. 大学化学, 2022, 37 (6), 2108061.
- [2] 天津大学物理化学教研室, 冯霞, 朱莉娜, 朱荣娇. 物理化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [3] 山东大学, 山东师范大学等校, 宋淑娥. 基础化学实验(III)物理化学实验. 第3版. 北京: 化学工业出版社, 2019.
- [4] 朱万春, 张国艳, 李克昌, 徐家宁. 基础化学实验——物理化学实验分册. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [5] 贾能勤, 王秀英, 黄楚森. 物理化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [6] 复旦大学. 物理化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [7] 岳可芬. 基础化学实验III 物理化学实验. 北京: 科学出版社, 2012.
- [8] 王丽莎, 芦永红, 姬泓巍, 包木太, 李琴. 实验科学与技术, 2015, 13 (4), 103.