

# 从化学视角探索超级工程背后的安全秘密\*

## ——“港珠澳大桥的腐蚀与防护”教学设计

段金伟<sup>1\*\*</sup> 王其召<sup>2\*\*</sup> 李佳佳<sup>3</sup> 王莹<sup>1</sup> 王康<sup>1</sup>

(1. 长安大学理学院 陕西西安 710064; 2. 长安大学水利与环境学院 陕西西安 710064;

3. 陕西中医药大学药学院 陕西咸阳 712046)

**摘要** 为解决工科大学生难以运用化学知识理解和解决工程实际问题的难题,以交通建造案例中“港珠澳大桥的腐蚀与防护”作为教学切入点,揭示超级工程中蕴含的化学原理和化学创新。探索将工程案例、课程思政、化学理论教学相融合的普通化学课程教学新模式。教学实践表明,新模式不但能有效提升学生学习化学的兴趣,而且有利于培养学生运用理论知识思考、分析和解决问题的能力,为新工科背景下培养能够适应甚至引领未来工程需求的人才奠定基础。

**关键词** 普通化学 工化融合 港珠澳大桥 腐蚀防护 教学设计

**DOI:** 10.13884/j.1003-3807hxjy.2022070130

普通化学是为工科大学生开设的一门重要学科基础课,主要面向道路桥梁与渡河工程、交通运输、交通工程、汽车工程、给排水科学与工程、矿物加工工程、地质学、资源勘查工程等多个专业的一年级新生,旨在帮助学生建立对化学知识和原理的基本认识,初步掌握自然科学研究思维和方法,为后续相关课程的学习奠定基础。2022年选课人数达2417人。然而,由于教学理念、学科背景等原因使不同学科教学设计之间存在隔离,导致即便学生掌握了专业课程与化学的相关知识后,却仍然难以运用所学化学原理、方法、思维去解释实际应用,这在工科专业的教学中尤为突出<sup>[1-2]</sup>。新工科背景下,要求注重多学科交叉和跨学科人才培养,关注学生创新创业能力养成,工科专业的基础课教学正在向跨学科交叉、跨领域合作转变<sup>[3-5]</sup>。由此可见,实现化学教育与工程教育融合可以满足新工科背景下教学发展对学科相互交叉、融合的要求,不但能够实现化学作为基础学科对新工科人才培养服务的要求<sup>[6]</sup>,有效提升学生学习化学的兴趣,而且有利于培养学生运用化学知识、思维和方法思考、分析和解决问题的能力<sup>[7]</sup>,为新工科背景下培养能够适应甚至引领未来工程需求的人才奠定基础。

课程团队以交通运输大类工科学生的专业认知需求为导向,探索将知名工程案例、课程思政、化

学理论教学有机融合,注重为学生后续学习交通运输类专业课程奠定基础,着力培养学生发现问题、独立分析及解决问题的能力,引导学生为将来从事交通运输等工程专业掌握更多的思路和方法,培育学生的科学态度和科学精神,提升科学素养。同时,工程案例中不仅包含大量的化学知识,还蕴含丰富的思政元素,可以提升学生的专业兴趣、培养学生的社会责任感、使命感和爱国精神等,对实现新工科背景下培养“德才兼备、能力卓越、自觉服务国家”和“工程基础厚、工作作风实、创业能力强”特色的交通行业领军人才培养目标具有重要意义。基于此,以“港珠澳大桥的腐蚀与防护”为例,阐述交通运输类专业工程案例、思政元素与化学知识融合的新教学模式在课堂教学设计中的具体应用。

### 1 教学设计案例

“金属腐蚀的原理及防护”选自高等教育出版社引进的国外著名化学教材 *General Chemistry: Principles and Modern Applications*<sup>[8]</sup> 的第19章第6节。本节课阐述了金属腐蚀的原理、危害以及金属防护的方法。课前组织学生观看视频“金属腐蚀的危害”及查阅《中国腐蚀调查报告》,了解金

\* 2021年长安大学高等教育教学改革研究项目(BY202140);教育部产学合作协同育人项目——2021年第二批(202102448002);长安大学2021年一流本科课程建设项目(2021-14);长安大学2021年第二批本科课程思政示范课程建设项目(2021-38);长安大学2022年国际化课程建设项目(中外合作办学一流本科课程)(2022-12)

\*\* 通信联系人, E-mail: duanjw@chd.edu.cn; wangqizhao@163.com

属腐蚀的基本概念及危害。采用“基于工程案例的深度参与教学策略”为切入点,通过观看“走近科学——超级工程的防腐奥秘”,以港珠澳大桥防腐中存在的问题为驱动,在教师的讲解下深入理解金属腐蚀的成因和危害。通过分析港珠澳大桥所在伶仃洋海域海水含氧量较高的特点,让学生分析海水中的含氧量是影响海水腐蚀钢筋的主要因素,总结得到由于一定量氧的存在,决定了大多数金属在海水中为电化学腐蚀的特征。然后,结合视频、PPT展示及板书为学生讲解金属腐蚀的机理、防护方法及港珠澳大桥中的防腐技术创新<sup>[9-10]</sup>。课后,让学生自行查找资料找到金属腐蚀防护在其他超级工程中的应用及腐蚀对人类有益的地方,达到学以致用、拓展知识面和提升专业自信的目标。

## 1.1 教学目标

### 1.1.1 知识目标

了解金属腐蚀的机理;掌握电化学腐蚀的原理和防护方法;会运用常见防护方法解决超级工程中的金属腐蚀难题。

### 1.1.2 能力目标

(1) 借助《走近科学》视频引出超级工程金属防护问题,通过分析实际工程条件引导学生主动探索影响大桥安全和寿命的关键因素,培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力;

(2) 通过电化学腐蚀原理的讲解,引导学生从原理上思索并给出防护措施,培养学生的科学思维及推理能力;

(3) 通过运用金属防护的原理解决超级工程中的腐蚀问题,提高学生学以致用意识与能力。

### 1.1.3 思政目标

(1) 通过本知识点教学,让学生认识到化学与工程学交叉融合对解决实际工程难题具有重要作用,引导学生关注工程难题并意识到建设工程强国的重要性,在激发学生学习兴趣的同时激励学生投身本专业知识,为祖国的繁荣富强而努力奋斗;

(2) 通过分析讲解防护措施在港珠澳大桥中的实际应用和技术创新,让学生感受化学在工程案例中的广泛应用和重要作用,通过科学家团队对金属防护的技术攻关,帮助学生树立正确的科学观、方法论及增强民族自豪感,让学生在探索过程中体会成功的快乐并通过分享著名校友的事迹增强专业自信;

(3) 通过本知识点教学,让学生主动关注工程前沿和“卡脖子”难题,培养学生的科技认知力、

运用力,引导学生紧盯战略性、前沿性、颠覆性技术发展,鼓励学生努力在基础理论创新、前沿技术创新上寻求突破,科技强国。

## 1.2 学情分析

### 1.2.1 授课对象

普通化学主要面向道路桥梁与渡河工程、交通运输、交通工程、汽车工程、给排水科学与工程、矿物加工工程、地质学、资源勘查工程等专业一年级新生开设,授课时间一般为第一学年。

### 1.2.2 知识技能基础

大学一年级新生已经学习了高中化学,初步掌握了化学的基本知识、原理和方法,但普遍欠缺科技认知能力、逻辑分析能力和知识运用能力。关于本讲授章节,学生已初步掌握金属腐蚀的基本知识和防护方法,但缺乏深入地认识和理解。普遍欠缺将化学知识运用到实际问题中去的能力,更谈不上针对具体工程难题将所学知识进行迁移和创新。

### 1.2.3 学习风格和特点

“00后”大学生有强烈求知欲和探索欲,不愿全盘接受别人的观点而是参考他人观点协助自己得出结论,对教学内容、形式和质量有很高的期望<sup>[11]</sup>;大部分学生对学习充满好奇,但对自身专业和前景认识模糊,缺乏远大理想且自信心不足;信息全球化对“00后”的价值观带来了一定的影响与冲击。本课程作为学科基础课,要引导学生通过探索得到问题的答案,培养学生自我获取知识、进行自主学习的能力;要鼓励学生意识到自身专业的重要性,提升学生的专业兴趣和自信;要帮助学生树立正确的“三观”,具备抵御外来冲击的能力。

## 1.3 教学重难点

### 1.3.1 教学重点

(1) 金属腐蚀;(2) 金属防护。

### 1.3.2 教学难点

(1) 电化学腐蚀机理;(2) 金属防护在工程案例中的应用与创新。

## 1.4 解决方法和处理措施

### 1.4.1 难点一: 电化学腐蚀机理

#### (1) 难点分析

电化学腐蚀是金属在特定条件下构成原电池,从而发生的电化学反应。然而,工科大学生对于金属在自然环境下发生电化学腐蚀的成因尚难以理解,更难以联系工程实际条件去解释电化学腐蚀的形成及危害,尤其是对吸氧腐蚀的理解。

## (2) 教学策略

教师以学生感兴趣的“港珠澳大桥”为例,通过介绍港珠澳大桥的施工条件,强调海洋环境多盐多湿且有溶解氧的特点。港珠澳大桥的海中桥梁由近1500根钢管复合桩支撑,钢管桩作为深埋在水面下数十米的桥梁根基,在120年的全寿命周期中无法更换且维护困难,因此必须确保万无一失。通过营造专业共情,激发学生学习兴趣。引导学生思考,对于大桥安全来说,最大的威胁是什么?学生回答:腐蚀。

其次,作为大桥最坚硬的钢管桩,它的安全与电化学腐蚀有什么必然联系呢?海水中溶解有大量盐类,导电率高,含氧量也比较高。引导学生思考在 $O_2$ 存在时,钢铁会如何发生电化学腐蚀?学生可推导出阴极 $O_2$ 会与 $H_2O$ 作用产生 $OH^-$ ,使 $OH^-$ 浓度增大。

最后,教师分析 $OH^-$ 浓度增大,意味着阳极Fe放电越多,金属Fe转换成 $Fe^{2+}$ ,从而发生了电化学腐蚀,破坏大桥的钢管复合桩,影响大桥的使用寿命。引导学生总结:海水中的含氧量是影响大桥钢管桩腐蚀的主要因素,由于一定量氧的存在,也决定了大桥钢管桩在海水中发生腐蚀的电化学特征。整个教学过程与工程案例紧密结合,在激发学生兴趣的同时很好地提升学习的积极性,可以有效地加深学生对电化学腐蚀机理和危害的认识,帮助学生掌握电化学腐蚀的机理。

### 1.4.2 难点二:金属防护在工程案例中的应用与创新

#### (1) 难点分析

防止金属腐蚀具有非常重要的现实意义,然而金属防护方法看似简单,但从其原理到解决工程实际问题,涉及到金属腐蚀与防护原理的延伸、拓展与创新,学生较难理解且缺乏对知识进行迁移的能力。

#### (2) 教学策略

首先,采用引导式教学,课前安排学生通过查阅资料了解腐蚀的危害及相关数据,并要求学生在课前预习时找出金属防护的常用方法?(学生答案:合金化法、涂层法、缓蚀剂法和电化学保护法等)。此时,学生已经认识到金属腐蚀带来的严重危害以及防护的重要性,教师在教学过程中对几种常见的金属防护方法进行解释和分析。

其次,讲解现实困境:目前,我国的重大海洋工程越来越多,但海洋重腐蚀防护技术却由国外垄断,在港珠澳大桥的防腐建设中就遇到“卡脖子”

难题。学生会不由自主产生疑问,金属防护的原理不是很简单吗,咋还会被“卡脖子”呢?教师引导学生根据每一种防护方法的机理,思考并运用已有知识解决问题,实现从理论知识到工程技术的迁移。

最后,教师讲解金属所科研人员在港珠澳大桥防护技术方面的创新<sup>[12]</sup>,采用“高性能防腐涂层+阴极保护”的联合防护法来确保钢管桩的服役可靠性<sup>[13]</sup>。让学生意识到解决工程实际问题并不仅仅依靠单一方法,而需要结合实际情况具体分析、多种方法并举解决问题。通过教学过程引导、启发和师生协作,学生不仅实现了自主获取知识,同时还完成了从理论知识到工程技术的迁移和创新的升华,在攻克教学难点的同时提升了教学效果。

## 2 教学流程

教学设计如图1所示。

## 3 教学思想

### 3.1 教学理念

坚持“以学生为中心”和“学以致用”的教学理念,将工程案例与化学教学相融合,在教师引导下鼓励学生开展探索性学习,通过使用校内Tron-Class平台、翻转课堂、融入工程案例等教学方法,唤醒学生的认知内驱力和自我提高的内驱力,从而实现从“满堂灌”的被动学习到“我爱学”的自主学习。

### 3.2 课堂教学创新

(1) 化学理论与工程案例融合:以“学以致用”理念为指导,将化学的理论知识与工程案例融合,让学生意识到化学知识在工程建设中的广泛应用和解决工程难题中发挥的重要性;

(2) 融入课程思政:将“学以致用”、知名校友榜样力量、工匠精神等思政元素融入到教学过程中,达到知识传授与思政育人的有机统一;

(3) 教学模式创新:将BOPPPS教学模式和PBL教学法高效结合,提高教学效果;

(4) 教学方法多样化:根据课程内容,灵活运用线上线下互动、翻转课堂互动、小组讨论及联系实际应用等多种教学方法,活跃了课堂氛围且实现了课堂教学的充分互动。

## 4 课程教学过程

### 4.1 创设情境,导入新课

【视频情境】观看视频了解港珠澳大桥建设中面临的“金属腐蚀与防护”难题。2018年10月23日港珠澳大桥的顺利开通,不但标志着我国在跨海

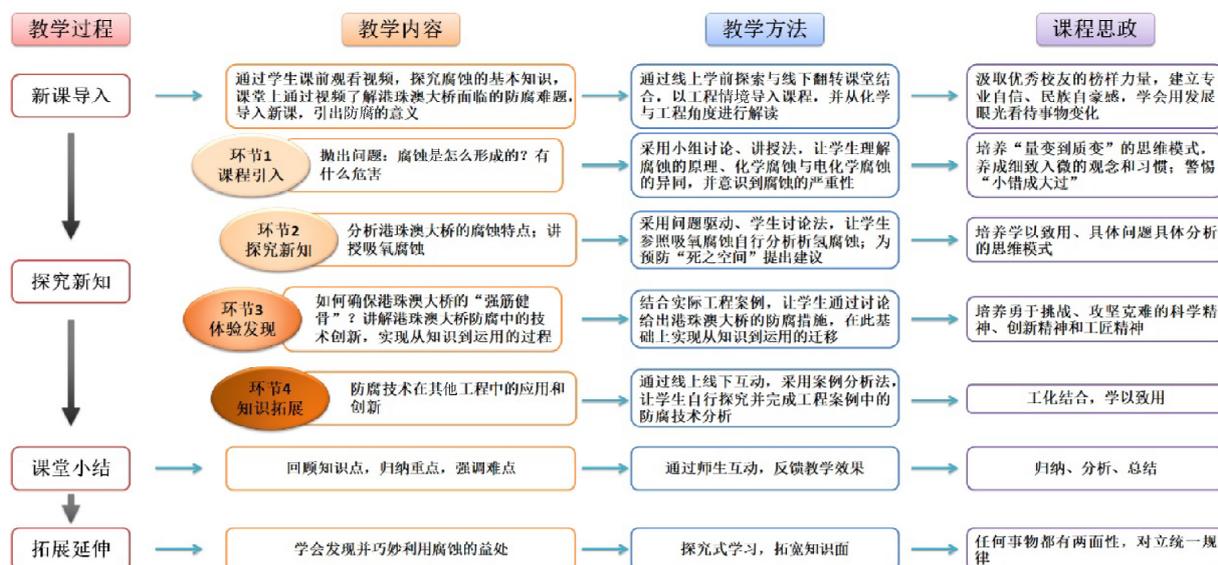


Fig. 1 Instructional design

图1 教学设计

桥梁建设方面填补了空白,也标志着我国在金属防护技术领域取得了巨大突破。教师要鼓励工科学生热爱自身专业,增强专业自信和民族自信心,关注自身职业规划及发展。

【**学前预习——引入课程**】安排学生在“Tron-Class”校内平台上观看视频“金属腐蚀的危害”,同时查阅《中国腐蚀调查报告》,思考并回答:金属腐蚀是如何形成的?金属腐蚀有哪些类型?如何预防金属腐蚀?

【**翻转课堂**】通过线上线下结合方式,对学生掌握的金属腐蚀相关知识和掌握程度进行摸底分析。通常情况下,学生会习惯性地从化学角度分析腐蚀问题,然而由于专业知识积累不足,很少有学生结合工程案例分析并揭示其中蕴含的化学原理。因此,教师要在港珠澳大桥案例基础上重点引导学生理解大桥金属防护技术中的化学原理与技术创新。

#### 【**腐蚀的定义**】

化学视角:金属腐蚀是指在周围介质的化学或电化学作用下,并且经常是在和物理、机械或生物学因素的共同作用下金属产生的破坏。一般可分为2类:化学腐蚀和电化学腐蚀。

工程视角:在外界因素作用下,在金属的界面上发生化学或电化学多相反应,使金属转入氧化或离子状态,从而使金属材料的强度、塑性、韧性等力学性能显著降低,破坏金属构件的几何形状,缩短金属的使用寿命等,甚至造成安全事故。

#### 【**思政思想**】

港珠澳大桥蕴含的工匠精神及校友苏权科的榜

样力量,鼓励工科大学生要增强专业自信和民族自豪感,用发展的眼光看待事物的变化。

#### 【**港珠澳大桥情况**】

港珠澳大桥是世界上里程最长、沉管隧道最长、寿命最长、钢结构最大、施工难度最大、技术含量最高、科学专利和投资金额最多的跨海大桥。港珠澳大桥全长近50 km,其中长度约为23 km的海中桥梁由近1500根钢管复合桩支撑。然而,伶仃洋海域气温高、湿度大、海水含盐度高,在海水、海风、盐雾、潮汐、干湿循环等诸多因素的影响下,要确保钢管桩作为深埋在水面下数十米的桥梁根基,在120年的全寿命周期中无法更换且维护困难,必须确保万无一失。引导学生从化学视角思考应如何保障大桥的安全和寿命,学以致用。

#### 4.2 提出问题,分析解答

采用“基于工程案例的深度参与教学策略”为切入点开展本节课内容,通过问题驱动,激发学生学习兴趣,让学生深度参与课堂学习,以4个问题串联全部教学活动。

##### 4.2.1 问题1:腐蚀是怎么形成的,有什么危害

【**学生讨论**】金属材料在使用过程中,由于受周围环境的影响,发生化学或电化学作用,而引起金属材料损坏的现象称为金属腐蚀。金属腐蚀现象非常普遍且危害巨大,除了造成巨大的经济损失、严重影响安全、污染环境外,还会阻碍新技术发展和加速自然资源的损耗。

【**教师补充**】金属腐蚀现象无时无刻不在,腐蚀的机理也不完全相同,通常可分为化学腐蚀和电

化学腐蚀等2大类。腐蚀是世界各国共同面临的问题,曹楚南曾在《悄悄进行的破坏:金属腐蚀》一书中指出了金属腐蚀的严重危害<sup>[14]</sup>,而据柯伟与侯保荣的统计数据显示:我国每年因为材料腐蚀付出的经济代价占GDP的3.4%~5.0%,主要集中在高速公路、桥梁、建筑等领域。桥梁等工程受腐蚀影响,可能导致桥梁断裂等问题,从而酿成重大事故,直接威胁到人们的安全。采用问题驱动法引起学生学习兴趣,通过讨论意识到腐蚀的严重性,尤其是意识到和自己将来从事的专业密切相关,提升使命感和责任感。

#### 【重点知识】

- (1) 当金属和干燥气体接触引起腐蚀,或在无导电性的非水溶液中的腐蚀,属于化学腐蚀;
- (2) 当金属与电解质溶液接触时,由电化学作用引起的腐蚀称为电化学腐蚀;
- (3) 化学腐蚀和电化学腐蚀的区别在于有没有电解质溶液的参与;
- (4) 通常情况下,电化学腐蚀比化学腐蚀速率更快,更为普遍,危害也更大。

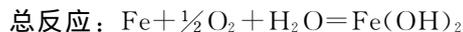
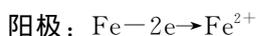
#### 【思政思想】

金属腐蚀,是一个通过量变积累到质变,从渐变到突变的过程,让学生体会“勿轻小事,小隙沉舟”“夫祸患常积于忽微”的道理,在工程设计和建设中,一定要养成细致入微的观念和习惯,警惕“小错成大过”。

#### 4.2.2 问题2:大桥的腐蚀具有什么特点

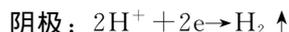
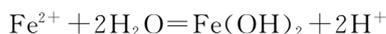
**【教师提问】**港珠澳大桥的钢管桩腐蚀具有什么特点呢?这部分内容涉及到吸氧腐蚀。教师提醒:伶仃洋海域的海水中溶解有大量盐类,导电率很高且含氧量也比较高。引导学生独立思考并分析问题,实现知识的迁移及应用。学生回答:因为海水中存在一定量的氧气,所以大桥钢管桩在海水中的腐蚀为电化学腐蚀。

**【教师补充】**当钢铁处于弱酸性(潮湿空气中的钢铁表面的水膜常因溶有 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 等气体而呈弱酸性)或者中性介质中,Fe容易从单质变为离子,从而发生腐蚀。该反应是如何发生的呢?究竟是和氢离子作用发生置换反应,还是和 $\text{O}_2$ 作用发生氧化反应呢?引导学生根据之前所学的电极电势的相对大小判断钢铁是如何发生腐蚀的。由于海水中 $\text{O}_2$ 含量较高, $\varphi(\text{O}_2/\text{OH}^-) > \varphi(\text{H}^+/\text{H}_2)$ ,所以溶解在海水中的 $\text{O}_2$ 作为氧化剂在阴极发生还原反应,而铁在阳极被氧化。具体反应如下:



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ 最终会氧化成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 并部分脱水形成铁锈。很显然,钢铁发生腐蚀过程中吸收并消耗了氧气,因此该类腐蚀被称为吸氧腐蚀(图2(a))。

**【学生讨论】**如果钢铁处于酸性介质中,会发生什么样的腐蚀?学生思考并回答:酸性条件下,由于 $\varphi(\text{H}^+/\text{H}_2)$ 较大, $\text{H}^+$ 在阴极发生还原反应,与此同时,铁在阳极被氧化。具体反应为:



**【教师补充】** $\text{Fe}^{2+}$ 会进一步氧化生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 并部分脱水形成铁锈。钢铁发生腐蚀过程中放出了氢气,称为析氢腐蚀(图2(b))。引导学生思考并得出结论:港珠澳大桥的腐蚀是以吸氧腐蚀为主。

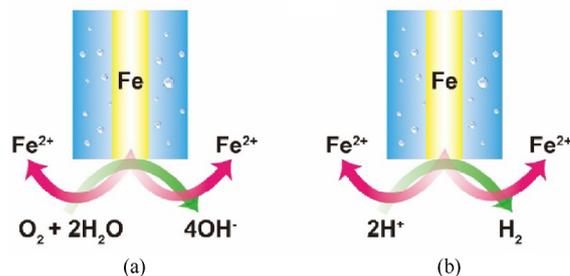


Fig 2 Schematic diagram of corrosion process

图2 腐蚀过程示意图:(a)吸氧腐蚀;(b)析氢腐蚀

#### 【思政思想】

讲解港珠澳大桥腐蚀的特点,通过对比并结合施工具体条件,让学生意识到在运用知识解决实际问题的过程中,一定要做到具体问题具体分析,在矛盾普遍性原理的指导下,具体分析矛盾的特殊性,并找出解决矛盾的正确方法。

#### 【预防“死亡空间”】

仅2020年一年,我国就发生过6起船员进入密闭舱室窒息死亡的安全事故,共有13名船员因此失去生命。请观看2007年发生在一艘英国救援船上检修舱的安全事故动画,思考并分析所谓“铁锈杀人于无形”“死亡空间”的说法是否科学?通过所学知识进行判断并给出正确的处理建议。

提示1:密闭舱室中由于航行空气湿度大且空气无法流通;

提示2:铁发生吸氧腐蚀后导致空气中的氧气

浓度降低;

提示3:当氧含量低于10%时会恶心呕吐,无法行动,失去意识,死亡。

4.2.3 问题3:腐蚀无时无刻不在且悄无声息,那么如何在设计寿命内尽可能地防止港珠澳大桥被腐蚀

【学生分组讨论】根据已有知识和课前调研,学生给出的防护措施如下:(1)耐蚀合金法;(2)覆盖保护法;(3)电化学保护法;(4)缓蚀剂法。

【教师讲解】普通钢板在伶仃洋海域,当天就会生锈。而经过普通防锈漆处理,防锈时间也就半年到一年。如何确保港珠澳大桥“强筋健骨”呢?如何保障世界最长的跨海大桥——港珠澳大桥达到120年耐久性设计要求呢?中科院金属所提供的桥基钢管复合桩防护方案功不可没。

(1)耐蚀合金法:港珠澳大桥是内地第一个采用不锈钢钢筋(2304不锈钢钢筋)的工程<sup>[15]</sup>。

(2)牺牲阳极法:“牺牲阳极法”就是以比被保护金属更容易失去电子的活泼金属作为阳极,而被保护金属作为阴极的方法(图3)。理想情况下,在活泼金属被完全腐蚀之前,被保护的阴极构件不会发生腐蚀。在海水、土壤等环境中,比钢铁材料更容易失去电子的金属有很多,铝、锌、镁等都可以作为牺牲阳极。综合考虑防护效果及材料成本,港珠澳大桥最终选用铝作为牺牲阳极。

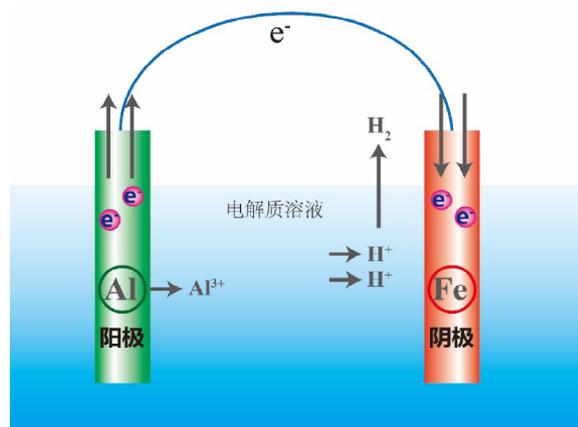


Fig 3 Schematic diagram of sacrificial anode to protect cathode

图3 牺牲阳极保护阴极法示意图

(3)涂层防护法:既然海泥中存在各种易产生腐蚀的因素,只要用涂层将它们与钢管桩本身隔离开来,就可以极大地避免腐蚀的发生。中科院金属所的科研人员研发了以SEBF(超强熔融结合环氧粉末涂料)和SLF(双组份高分子复合材料)为核心的高性能防腐涂层,为港珠澳大桥钢管桩提供了世界顶级的防腐涂层。

(4)预留腐蚀余量:考虑到腐蚀因素,在工程设计中通常采用较大的安全系数,港珠澳大桥也预留了足够的腐蚀余量保证材料的机械强度和使用寿命。

【教师补充】港珠澳大桥120年设计寿命仅仅依靠防腐涂层是远远无法满足的,必须与阴极保护技术联合使用。港珠澳大桥最终采用“高性能防腐涂层+阴极保护”的联合防护方法来确保钢管桩的服役可靠性。在钢管桩120年的设计寿命中,前70年将采用高性能涂层防护为主、牺牲阳极式阴极保护为辅的联合防护进行腐蚀抑制。后50年则以“牺牲阳极保护+钢管预留腐蚀余量”为主、高性能涂层防护为辅的联合防护方式保证耐久性。

#### 【思政思想】

港珠澳大桥采用的金属防护技术,是通过化学前沿研究与创新解决工程难题的典型案列。面对诸多世界级难题,中国科研工作者勇于挑战、攻坚克难,自主研发、创新实践,在教学中弘扬这种克服世界级难题、攀登新高峰的创新精神和“工匠精神”。

4.2.4 问题4:各类金属防护技术的创新和应用是保障重大工程实施、降低腐蚀损失和节约资源的重要手段。除港珠澳大桥外,其他超级工程中有哪些防护技术和创新

【线上线下互动】请学生搜集并整理金属腐蚀现象及防护技术在工程案列中的应用,以图文并茂的形成完成作业。

【学生解答】学生通过校内“TronClass”平台在线提交作业,然后以预先分组为单位,每组选派一名学生结合所学知识对本组案列以翻转课堂的形式进行讲解分析。

【教师补充】金属腐蚀的破坏力极强,却因悄然无息,容易被人忽视。每1.5min,全世界就有2吨钢铁被腐蚀成铁锈。金属腐蚀危害几乎遍及所有行业,如基础设施、交通、机械、航空航天、海洋开发等。通过线上线下互动翻转课堂模式,让学生充分理解金属腐蚀现象的严重危害,挖掘防护技术在各行业的应用,让学生体会到化学与工程的紧密融合,达到学以致用目的。

【课程思政】课堂教学中融入环保和生态文明理念是很好的创新教育,符合新工科背景下培养大工程师的要求,教师引导学生思考“双碳目标”下我国钢铁行业面临从碳排放强度的“相对约束”到碳排放总量的“绝对约束”,低碳转型势在必行。作为本校优势专业的交通运输、桥梁等,均属于

钢铁行业的关联行业,需要在新形势下从材料使用全生命周期的资源消耗和碳排放评价出发,开展钢铁产品绿色设计,其中金属防护的应用将发挥重要作用。4月24日“世界腐蚀日”的设置便是为了促进政府、企业与民众认识腐蚀、关注腐蚀,提高防腐意识,从而保护资源、减少污染及保障安全。

#### 4.3 课程内容小结

- (1) 金属腐蚀——电化学腐蚀的机理(重点);
- (2) 金属防护——在港珠澳大桥中的应用与创新(难点);
- (3) 腐蚀及防护在其他工程案例中的应用。

##### 【课后线上拓展】

腐蚀并不是百害而无一利,巧妙利用腐蚀也可以发挥益处。如工业上可以利用铜刻蚀技术来制作电路板;医学中可利用腐蚀技术制作可降解的骨内固定器件等;热水器内加入镁棒,会保护热水器内胆不被腐蚀。通过研发创新和应用合适的防护技术,既可以提高产品质量为经济发展服务,也可以为实现“双碳目标”做出重要贡献。大家要做的就是趋利避害,既要找到合适的办法抑制有害的腐蚀,又要善于利用腐蚀的有益之处。

##### 【思政思想】

通过教学引导,让学生理解金属腐蚀并不是都有害的。让学生意识到任何事物都有两面性,在对立统一中发展,只看事物的一面而忽视另一面都是偏颇的。

#### 4.4 多维度全过程评价

学生通过在校内“TronClass”平台参与课前预习、课堂讨论互动、课后作业拓展等学习活动并完成学习任务后,系统会自动记录学生的学习习

惯、互动参与度和任务完成度,对学生的学习进行全过程记录、分析、评价及打分,形成学生评价基础分;从课堂表现、互评作业和参与互动讨论等角度进行学生互评,形成表现分;教师根据学生出勤、课前作业、课堂互动和课后作业情况给出完成分,从3个维度对学生形成综合评价。同时,对教师的教学情况分别从教师自评、学生评价和教师互评等3个维度形成基础分、表现分和完成分,对教师的教学活动进行综合评价(图4)。对学生和教师的综合评价将有利于促进教学活动的完善,提升教学效果,达到“以评促教,以评促学”的目的。

#### 5 教学反思与评价

“金属化学腐蚀及防护”作为普通化学教学大纲中的重点章节,是培养工科大学生学以致用、进行知识拓展与迁移的最佳结合点之一。在学习本知识点之前,学生已经初步掌握了金属腐蚀成因、电化学腐蚀机理和常见防护方法等。本节通过介绍“金属腐蚀及防护”,使学生进一步加深对金属腐蚀及防护的理解,运用化学知识对工程案例中的应用进行解释和创新,能够解释其他工程领域中出现的腐蚀现象并给出防护建议。本节课的教学内容中,电化学腐蚀的原理及在工程案例中的应用创新对学生而言尤其重要,教师结合“港珠澳大桥”,以工程案例分析法引导学生对照已知防护手段分析“港珠澳大桥”中的防腐技术,配合视频讲解,帮助学生更好地理解金属腐蚀及防护在工程建设中的应用和意义。最后,引导学生进一步探索金属防护在工程建设及相关领域的应用及腐蚀对人类有益的一面,采用在TronClass平台互动、翻转课堂等模式保持学生学习化学的兴趣,助力学生实现从理论知识到工程实践能力的迁移。将典

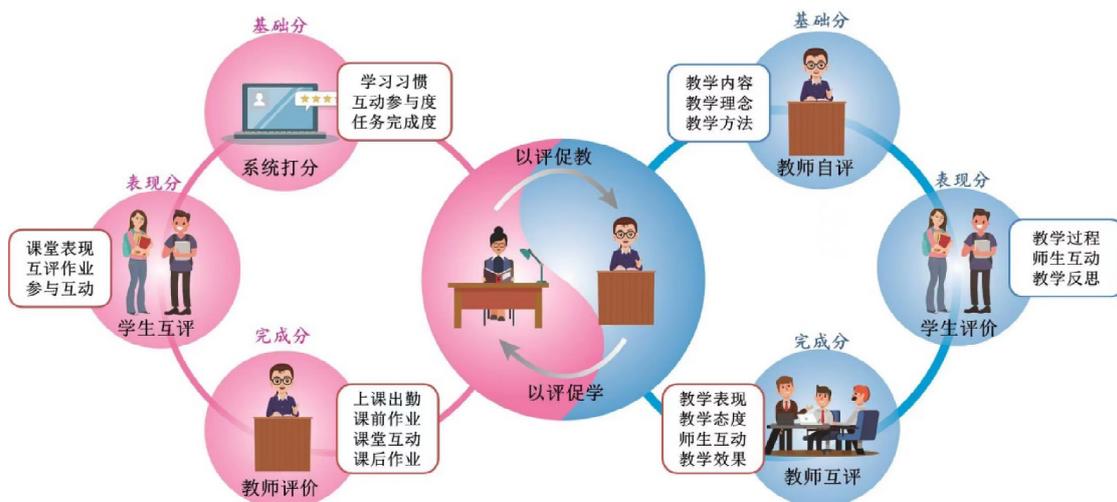


Fig. 4 Schematic diagram of teaching evaluation

图4 教学评价示意图

型工程案例与化学知识结合,让学生体验到学以致用收获的获得感。在整个教学过程中,灵活运用多种教学方法实现了工程案例、课程思政元素与化学教学内容的有机融合,有效地激发学生专业自信,达到了理想的教学效果,学生反响较好。

## 6 结语

在普通化学课程教学中,尝试将化学知识、思政元素与工程案例有机融合,借助工程案例唤醒学生的认知内驱力,不仅可以赋予抽象枯燥的化学理论一些实际应用,增加课程的趣味性,而且能充分提升学生自我提高的内驱力,使学生认识到化学对工程学的重要作用,从而保持学习化学的持久兴趣和动力,这对提升工科院校中化学教育的地位和教学效果起到很好的示范作用。注重在授课过程中融入学以致用、知名校友榜样力量、工匠精神、安全环保意识等课程思政元素,让学生在教师引导下探索并获得知识的同时,实现了思政育人功能的“润物细无声”。最终,通过教学活动实现了传授知识、提升能力与育人成才的有机统一,达到学以致用、拓展知识面和专业的目的,为培养新工科背景下的大工程师奠定坚实基础。

## 参 考 文 献

- [1] 周萍,蔡政,朱荔,等. 高等理科教育, 2021 (4): 118-123
- [2] 李李佳,杨慧娟,王其召,等. 化学教育(中英文), 2022, 43 (12): 102-108
- [3] 吴岩. 高等工程教育研究, 2018 (6): 1-3
- [4] 顾佩华. 中国大学教学, 2019 (9): 10-14
- [5] 吴爱华,杨秋波,郝杰. 高等工程教育研究, 2019 (1): 1-8
- [6] 章云,李丽娟,杨文斌,等. 高等工程教育研究, 2019 (2): 50-56
- [7] 袁振东,乔腾,葛丽丽,等. 化学教育(中英文), 2018, 39 (11): 28-33
- [8] (美)拉夫佩特鲁奇. 普通化学:原理和现代应用. 11版. 北京:高等教育出版社, 2020
- [9] 毕然,李一冉,郑非凡,等. 化学教育(中英文), 2022, 43 (10): 1-6
- [10] 王胜年,李克非,范志宏,等. 水运工程, 2015 (3): 78-92
- [11] 李敏,颜吾俱. 华北电力大学学报:社会科学版, 2021 (6): 114-124
- [12] 中科院金属所. 表面工程与再制造, 2016, 16 (5): 68
- [13] 袁鹏园,冯立明,刘宇,等. 山东建筑大学学报, 2019, 34 (3): 68-73
- [14] 曹楚南. 悄悄进行的破坏:金属腐蚀. 北京:清华大学出版社, 2000
- [15] 景强,方翔,倪静姁,等. 公路交通科技, 2017, 34 (10): 51-56

## Exploration of the Safety Secrets Behind Super Engineering from a Chemical Perspective: Teaching Design of “Corrosion and Prevention of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge”

DUAN Jin-Wei<sup>1\*\*</sup> WANG Qi-Zhao<sup>2\*\*</sup> LI Jia-Jia<sup>3</sup> WANG Ying<sup>1</sup> WANG Kang<sup>1</sup>

(1. College of Sciences, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Water and Environment, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 3. College of Pharmacy, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, China)

**Abstract** It is difficult for engineering college students to understand and solve practical engineering problems by using chemical knowledge, in order to solve this problem, here “corrosion and prevention of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge” in traffic construction is taken as the cut-in point of teaching to reveal the chemical principle and chemical innovation lied in the super engineering. Exploring the new lecture mode of general chemistry, which integrates engineering cases, curriculum politics and chemistry theory teaching. The teaching practice indicates that this new mode not only enhance students' interests in learning chemistry effectively, but also help raise students' ability to think, analyze and solve problems by using theoretical knowledge. It lays a foundation for training talents who can adapt to and even lead the future engineering needs under the new engineering background.

**Keywords** general chemistry; integration of engineering and chemistry; Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge; corrosion and prevention; teaching design