

新工科背景下基于工程应用能力的案例式教学改革

——以“材料腐蚀与防护”课程的设计、组织与实施为例

伍秋美¹, 李昆¹, 雷永鹏¹, 周永华²

(1. 中南大学粉末冶金研究院, 湖南长沙, 410083;

2. 中南大学化学化工学院, 湖南长沙, 410083)

[摘要] 基于“新工科”工程教育的内涵与要求, 结合“材料腐蚀与防护”课程综合性与实践性强的特点, 提出“材料腐蚀与防护”课程教学改革的核心目标为提升学生面对复杂工况时的材料防腐工程应用能力, 全面实施“基础—拓展—综合—研究”四个层次的案例式教学, 建立了相应的过程考核机制, 并对“综合型工程案例”和“研究性实验”的组织与实施过程进行详细阐述。案例式教学的改革实践拓展了课程的深度与广度, 有效提高了学生的知识储备水平、能力和素质。

[关键词] 新工科; 材料腐蚀与防护; 案例式教学; 教学改革

[中图分类号] G642.0 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1674-893X(2023)06-0141-07

一、引言

为了主动应对全球新一轮的科技革命与产业变革, 支撑“创新驱动发展战略”“中国制造 2025”行动纲领, 教育部于 2017 年提出了开展“新工科”工程教育改革的倡议, 其核心思想是以产业需求为导向, 注重创新、跨学科和实践教育, 培养具有科学精神、工程素养、国际视野和社会责任感的高级人才^[1-3]。“新工科”的建设举措中, 提出了“三个阶段、三个任务、三个突破”的行动方案, 其中“三个任务”为“学与教”“实践与创新创业”和“本土化与国际化”。“三个任务”明确指出, 现阶段高校的关键任务是重构人才知识体系、重塑人才培养质量观、创新教学方式与技术、强化实践创新创业能力。因此, 高校应针对时代要求和未来卓越工程人才应具备的核心素养和能力, 进一步加快课程教学的改革。

众所周知, 材料广泛应用于各行各业, 在使用过程中, 受环境介质的化学、电化学和物理作用, 材料易腐蚀失效。《中国腐蚀调查报告》指出, 2015 年我国的腐蚀成本为 21278.2 亿元, 约占当年国内生产总值的 4%^[4]。“材料腐蚀与防护”课程是材料类工科专业学生的重要课程, 它融合了物理化学、材料科学、电化学、热处理、金属学等多门课程的知识, 重点讲述金属化学腐蚀、电化学腐蚀的原理及相应的保护技术, 是一门金属材料腐蚀防护设计的综合性专业课。针对各个行业材料腐蚀防护的产业要求, 培养学生在面对复杂的材料腐蚀工况时, 正确合理地制订腐蚀防护措施、进行腐蚀保护设计的工程应用能力, 是该课程的主要目标。因此, 在科学技术日益进步, 材料腐蚀新理论、防护新方法不断涌现的当下, 结合“新工科”的核心思想, 科学地

[收稿日期] 2023-05-23; **[修回日期]** 2023-08-27

[基金项目] 中南大学教学改革项目“2021 年材料腐蚀与防护‘中南金课’”; 中南大学 2022 年教改项目“‘双一流’粉体材料科学与工程专业实践教学改革”(2022jy023)

[作者简介] 伍秋美, 女, 福建三明人, 中南大学粉末冶金研究院副教授, 主要研究方向: 材料电化学, 联系邮箱: wuqiumei20073@126.com; 李昆, 男, 湖南长沙人, 中南大学粉末冶金研究院教授, 主要研究方向: 粉末冶金; 雷永鹏, 男, 陕西三原人, 中南大学粉末冶金研究院教授, 主要研究方向: “仿生-能源-结构”器件、先进能源、催化粉体材料; 周永华, 女, 山西侯马人, 中南大学化学化工学院教授, 主要研究方向: 金属材料及催化

构建课程内容, 有效地开展教学活动, 更客观地评价学生的学习效果, 使课程更好地服务专业人才培养目标, 是本课程教学改革关注的重要方向。

二、“材料腐蚀与防护”课程实施案例式教学的必要性

“新工科”工程教育以产业需求为导向, 注重创新、跨学科和实践教育, 因此培养学生面对复杂的材料腐蚀工况时的工程应用能力, 就显得尤为重要。这要求我们充分认识到当前“材料腐蚀与防护”课程教学过程中存在的不足, 并提出相应的改革措施。

当前“材料腐蚀与防护”课程教学的不足之处主要表现在三个方面:

第一, 课程教学内容相对陈旧, 与新知识、新应用的融合不够。社会快速发展, 使得新知识以指数级增长, 传统产业也在不断地升级转型, 因而材料在各行各业的应用范围大大拓展, 其所面临的防护问题也随之越来越多。然而目前的课程教学内容主要来源于教材, 相对陈旧, 缺乏对相关领域最新研究动态的跟踪, 缺乏与广泛的工程实例和应用背景的融合。这导致理论和应用之间的脱节, 不利于培养学生的工程应用能力和创新能力。

第二, 工程问题与专业知识的衔接不够, 不利于培养学生解决复杂工程问题的能力。当前工科学生的实习机会、实践机会大幅减少, 缺少融合专业知识与工程问题的实践教学。因此, 工程性强的“材料腐蚀与防护”课程更应加强教学方式和内容上的设计, 弥补这一方面的不足。然而目前的课堂教学仍以讲授为主, 知识传递的方式单一。与学生的交流不够, 未能充分激发出学生将专业知识用于解决工程问题的学习热情, 无法培养学生的创新意识。虽然也有一定比例的讨论式教学, 但案例中的内容只是服务于个别的知识点, 存在系统性不高的问题。

第三, 课程的考核方式单一, 不利于正确评估卓越工程人才的培养效果。为适应“新工科”的要求, 教学方式的改革将转向案例式、讨论式、启发式等模式, 因此, 考核方式也要相应地做出

改变。而目前的考核仍以期末的卷面考试为主(成绩占比为70%), 过程之中的考核比例偏低。这导致学生不重视平时的课堂学习与课外学习, 无法让学生主动关注其他的相关学科, 不利于自主学习习惯的养成。

除了对现有的不足有所认识之外, 我们也意识到“材料腐蚀与防护”课程的显著特点是综合性强和实践性强, 而这两个特点恰恰是进行案例式教学的立足点, 为我们组织和进行案例式教学提供了基础。

具体来说, 第一, 课程的综合性强, 结合了物理化学、电化学基础、金属材料学、热处理等课程的内容。这几门课程的教学时段比较分散, 因此“材料腐蚀与防护”课程可以成为教师设计综合性案例, 学生在温故知新的过程中分析、判断和解决复杂腐蚀问题的最佳舞台。第二, 课程内容的实践性强, 而且不同行业 and 不同环境下的材料腐蚀防护需求不同。“材料腐蚀与防护”课程为学生提供了“具体问题具体分析”的良好训练机会, 学生可以在不同案例的比较学习中培养工程素养、创新意识, 养成自我学习的习惯。因此, 全面贯彻案例式教学的方式将成为改变“材料腐蚀与防护”课程教学现状、大幅度提高教学效果的关键。

案例式教学对教学内容的新颖性、课堂教学的组织效率、评价方法的科学性都提出了更高的要求。下面就这三方面, 分别阐述“材料腐蚀与防护”课程案例式教学的内容设计、组织实施及评价体系。

三、“材料腐蚀与防护”课程案例式教学的内容设计

教材是课程内容的载体, 但腐蚀学科发展日新月异, 有关腐蚀的新理论、评价测试的新方法与新标准层出不穷, “材料腐蚀与防护”案例式教学不仅要采用国家统编的优秀教材^①作为基本资源, 还要利用好课外资料、教辅资料及最新的科研成果, 建立起层次分明的案例教学体系。因此, 我们对课程内容中的知识点进行了难度分级, 形成了相应的案例层次。以“电化学腐蚀原理”这一章为例, 知识点的难度分级、相应的案

表1 以“电化学腐蚀原理”为例的案例式教学的内容设计及实施方案

难度	知识点	教学案例层次	教学资源	教学的组织及实施者
基本概念	腐蚀的本质; 微(宏)观电池; RHE 和 NHE(SHE); 平衡(稳态) 电位; 交换电流密度; 电化 学极化及其分类; 伊文思图; 腐 蚀电位; 析氢(吸氧)腐蚀等	基础知识型案例。如, 针对腐蚀的 本质(不对外做功的原电池), 以“暖 宝宝”为案例; 针对伊文思图, 以 铜在不含氧的酸性溶液中不腐蚀, 而在含络合离子的溶液中会腐蚀的 对比为案例	教材、教辅 资料	课前导学(教师), 课外 资料查阅(学生), 一般 归纳和重点解析相结 合(教师)
	金属腐蚀热力学和动力学	拓展型案例。如, 在自然环境中, 白铁皮和马口铁具有良好耐蚀性的 原因	教材、课外 资料	课前导学(教师), 课外 资料查阅(学生), 一般 归纳和重点解析相结 合(教师)
涉及因素 分析的难 点(举例)	交换电流密度(i_0)的影响因素: 材料、表面状态、温度等	拓展型案例。如, 参比电极的构造 (详见图 1)	教材、课外 资料	课前导学(教师), 课外 资料查阅(学生), 小组 讨论(学生)
	极化改变对腐蚀速度的影响	拓展型案例。镁合金的负差数效应、 存在极限电流的情况、存在钝化膜 的情况	教材、教辅资 料 ^[5-6] 、课外 资料	课外自学(学生), 小组 讨论与课内提问抢答 相结合(学生与教师)
	析氢腐蚀、吸氧腐蚀及其影响 因素	拓展型案例。如, 析氢反应、氧还 原反应催化剂研究热点	教材、教辅资 料 ^[7-8] 、科研 文献	课前导学(教师), 文献 查阅(学生), 一般归纳 和重点解析相结合(教 师)
涉及综合 应用的难 点(举例)	宏观电池和微观电池的比较; 微观电池产生的原因; 析氢腐 蚀的影响因素; 钝化对电极反 应的影响	综合型工程案例。如, 通过铝空气 电池负极材料的设计过程(详见图 2), 阐明左边单元格内的四个难点	科技文献 ^[9]	课前导学(教师), 文献 查阅(学生), 小组讨论 (学生), 总结(教师)
涉及实践 环节的难 点	通过 Tafel 曲线、钝化曲线及交 流阻抗等的测定与分析, 考察 材料的成分、组织及介质等对 材料腐蚀的影响	研究性实验。如, 以高熵合金、不 锈钢、碳钢等材料为例	教辅资料 ^[10] 、 文献	课前导学(教师), 自行 设计实验(学生), 开展 实验(学生)

例层次及教学资源如表 1 所示, 主要包括如下四个层次:

第一, 帮助学生理解基本概念的案例, 我们称之为“基础知识型案例”。该类案例具有简短性, 可以使学生迅速关联到所学的单一知识点, 有利于加深理解和记忆。如, 在讲述“腐蚀本质”这一概念时, 我们便以生活中常见的“暖宝宝”为案例。

第二, 在讲述涉及因素分析的难点内容时, 我们采用“拓展型案例”, 其作用是重要知识点的应用拓展。如: 通过探寻白铁皮和马口铁在自然环境中具有良好耐蚀性的原因, 分析金属腐蚀的热力学和动力学因素; 通过解析参比电极的构

造, 分析交换电流密度(i_0)的影响因素; 通过分析自然环境中金属腐蚀存在极限电流或钝化膜的情况及镁合金的负差数效应, 探究极化的改变对腐蚀速度的影响。

第三, 针对有明确工程应用背景的综合难点内容, 我们采用“综合型工程案例”, 融入与课程内容有关的科研成果。如: 通过引导学生查阅科研文献, 探寻铝空气电池负极材料的设计思路。在探寻该设计思路的过程中, 引发学生讨论宏观电池和微观电池的对比、微观电池产生的原因、析氢腐蚀的影响因素及钝化对电极反应的影响, 培养学生利用基础理论进行科学研究的能力。

第四,针对涉及实践环节的难点内容,我们设置了“研究性实验”,为学生提供自主设计实验和开展实验的机会。如:在学习高熵合金、不锈钢、碳钢等材料耐蚀性特点的相关内容时,学生首先要通过查阅文献,自行设计实验步骤及所考察因素的水平,然后进行 Tafel 曲线、钝化曲线及交流阻抗等的测定,研究材料基体及表面膜层的成分、组织、介质等对材料腐蚀的影响,最后提出有效防护该材料的措施。

从表 1 中可以看出,围绕基本概念、因素分析、综合应用和实践环节这四个层面设置“基础知识型案例”“拓展型案例”“综合型工程案例”“研究性实验”等四个层次的案例教学,可以兼顾基础知识的学习与创新能力的培养,为全面培养学生的创新意识、工程应用能力和自主学习精神提供保障。

四、“材料腐蚀与防护”课程案例式教学的组织与实施

除了对教学内容进行合理设计之外,案例式教学的组织与实施是保证教学效果的另一个关键。“材料腐蚀与防护”课程案例式教学的组织与实施,主要以课程内容为主线,以案例为依托,通过课前导学与课内讲解相结合、课外自学与课内提问抢答相结合、一般归纳和重点解析相结合来进行。课前导学主要是学生针对教师布置的问题,查阅或回顾相关资料,发现自己掌握的知识的局限性。课堂上的案例式教学以学生为中心建立讨论小组,在具体的案例分析中,教师可以启发学生陈述个人观点、升级思维空间,强化学生对基础理论的理解,提升学生解决复杂工程问题的能力。下面以“拓展型案例”和“综合型工程

案例”为例,对案例型教学方式的具体组织与实施过程进行展示。

(一)“拓展型案例”的组织与实施

“交换电流密度(i_0)”指的是电化学反应达到平衡时电荷交换的活跃程度,是“材料腐蚀与防护”课程中的重要知识点,也是难点之一。学习“交换电流密度”的困难主要体现在它在很多实际应用中起着关键作用,但难以被意识到,极易被忽略。为此,我们以参比电极的构造分析为例阐释“交换电流密度”。这里涉及的基本概念比较多,很多都在“物理化学”课程中出现过,如平衡电极电位、电化学极化、Tafel 公式等,但学生对这些概念的理解往往不够深入。为此,我们在课前导学环节要求学生查阅参比电极的使用要求及构造的相关资料。然后,在课内小组讨论环节,针对参比电极的要求和实际使用时的情况,提出可能的矛盾所在:一方面,参比电极的要求是电位必须稳定;另一方面,参比电极在使用时有电流通过,会有极化产生。之后进一步引导学生分析、讨论解决方案中隐藏的知识点,如过电位大小、 i_0 的影响因素等。最后,教师在总结时,强调镀了铂黑(纳米铂)的铂片是参比电极构造的关键,它能保证 i_0 足够大(大于 10^{-5} A/cm²),当通过的电流密度足够小(小于 10^{-7} A/cm²)时,极化电位是可忽略的,并从腐蚀动力学角度得出: i_0 越小,电化学极化越大,腐蚀速率就越小,金属就越不容易腐蚀了,从而说明 i_0 的大小是选择防腐(涂层)材料的重要依据之一。

在以参比电极构造为例阐释“交换电流密度”的过程中(见图 1),学生通过课前导学与课堂讨论环节,不仅可以对“既熟悉又陌生”的参比

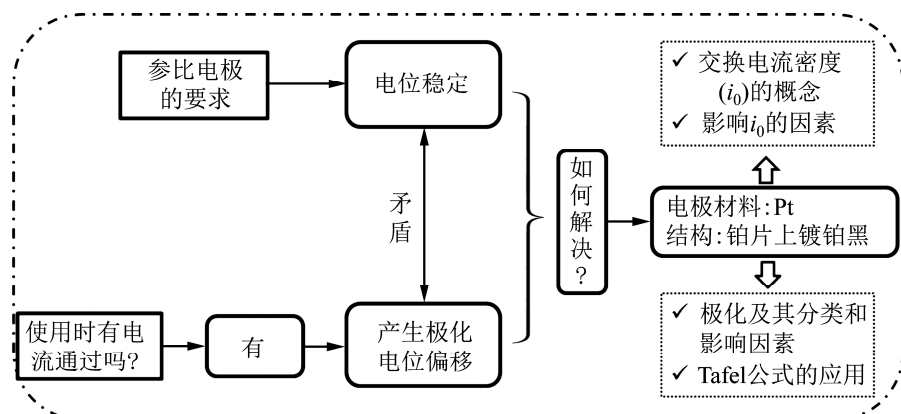


图 1 案例式教学的组织与实施示意图——以“交换电流密度”的阐释为例

电极有更深入的理解, 而且对关键概念的体会也更深刻。更重要的是, 学生发现问题(使用要求与实际情况之间有矛盾)、分析问题(谁是关键点)和解决问题(镀铂黑的铂片, 增大 i_0)的能力获得了有效的提升。

此外, 在讲解因素分析一类的难点时, 如金属在大气、水体及土壤等自然环境中主要是析氢腐蚀和吸氧腐蚀, 对这两种腐蚀机制的比较, 可结合当下的研究热点(析氢反应、氧还原反应催化剂的研究^[7-8]), 将一般归纳和重点解析相结合; 又如, 镁合金在电化学腐蚀过程中存在典型的“负差数效应”^[5-6], 即在阳极极化下镁合金的析氢速度随电位升高而增加, 与传统的电化学理论相异, 在授课时可将课外自学与课内提问抢答相结合; 在高温化学腐蚀部分, 由于氧化皮具有半导体属性, 随着氧压的升高, 金属的腐蚀速度并不一定是加速的, 有些甚至是减速的, 在授课时可将课前导学与课内讨论相结合。总之, 根据学生的认知特点及已有的知识水平, 提前设计相关的互动、交流问题, 根据不同授课内容的难易程度、不同的学习阶段, 可以让不同层次的学生有效地参与课堂教学, 既丰富了学生的课堂体验, 又提升了他们的自信心, 从而能够很好地达成课程目标。

(二) “综合型案例”的组织与实施

“材料腐蚀与防护”课程的重要目标之一是培养学生解决复杂实际工程中的腐蚀问题的

能力。那么如何面向工程应用组织“综合型工程案例”教学呢? 铝储量丰富、无毒环保, 而且铝空气电池具有较高的理论电压(2.7 V)和能量密度(8 100 (W·h)/kg)等优点, 因而备受关注^[9]。在实际应用中, 纯铝表面易覆盖钝化膜, 会降低电池的放电电压, 且自腐蚀严重, 该如何破解这一问题呢? 我们以铝空气电池负极材料的设计为例, 课堂组织与实施过程具体如下(图 2)。

第一, 在课前导学环节, 安排学生思考“铝空气电池的正负极反应”“负极材料能否用纯铝”“纯铝做负极材料可能会带来什么问题”及“这些问题该如何解决”等方面的问题并查阅相关资料。

第二, 在课堂讨论环节, 教师请同学们分组展示查阅的内容, 即铝空气电池的两个主反应: 负极($\text{Al}-3\text{e} \rightarrow \text{Al}^{3+}$), 正极($\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}+4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$); 接着展示纯铝负极存在的两个主要副反应: 一方面铝在水中会发生析 H_2 自腐蚀, 另一方面铝表面会生成致密钝化膜。两者都将降低铝的利用率, 显然不能用纯铝作为负极材料。然后教师结合课程的难点, 包括宏观电池和微观电池的概念、特点, 析氢腐蚀的特点, 提出降低副反应的解决方案背后隐藏的科学问题, 即课程涵盖的知识点。

第三, 针对第一个副反应, 教师可引导学生回顾知识点, 可知析氢腐蚀本质上是阴极反应为 $2\text{H}^++2\text{e} \rightarrow \text{H}_2\uparrow$ 的微观电池; 进而结合微观电池形

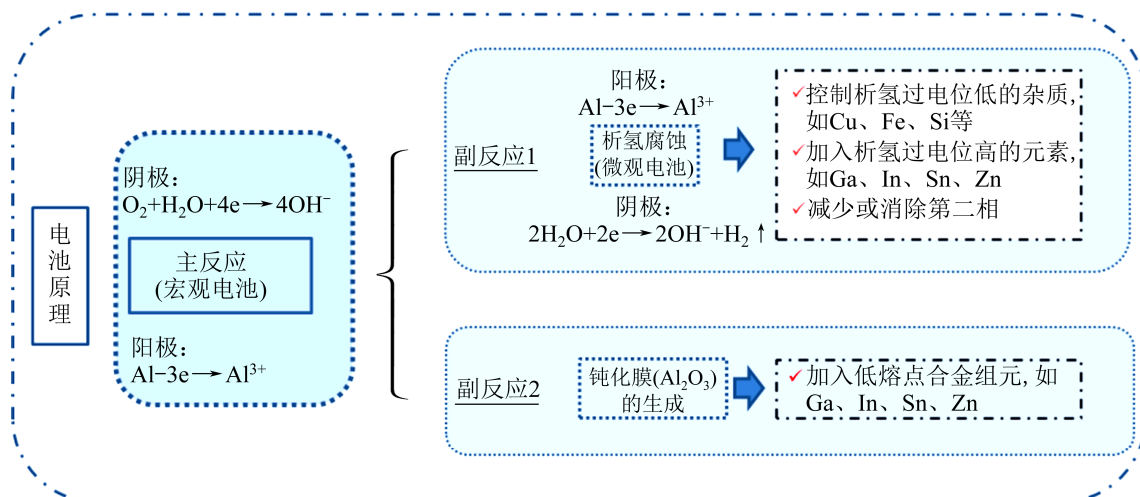


图 2 案例式教学的组织与实施示意图——以面向工程应用的“铝空气电池负极材料设计”为例

成的原因(成分、组织、受力等的不同带来的电位差)和析氢过电位大小的影响,引导学生对减缓副反应的策略进行讨论。教师对讨论内容进行提炼并总结,可知:一方面,可从源头上避免副反应,即通过热处理形成单一固溶体或加入合金组元与析氢过电位低的成分生成与基体电位接近的新相,如加入 Mn 能与析氢过电位低的杂质 Fe 形成 FeMnAl₆,加入 Mg 能与 Si 形成 Mg₂Si;另一方面,亦可直接加入析氢过电位高的合金组元,如 Ga、In、Sn、Zn 等。在此基础上,教师引导学生进一步讨论铝表面生成钝化膜的后果及如何避免生成钝化膜,从而得出相应的策略,即加入低熔点的合金组元可阻止连续致密钝化膜的生成。

以铝空气电池负极材料的设计为案例,通过课程内容与文献内容的结合,可以将当前电池材料设计中所蕴含的科学道理与课程中的相关知

识点进行关联,不仅可以使学生学习到电池材料设计的方法论,而且能够让学生获得科研能力和创新意识方面的培养。

五、“材料腐蚀与防护”课程案例式教学的效果评价

在开展案例式教学的过程中,在课前导学、课堂讨论及课后环节中,学生的有效参与尤为重要。因此,为了调动学生的积极性,让学生能有效地参与学习过程,“材料腐蚀与防护”课程实行期末考核与过程考核并重的方式(见表2)。期末考试主要考察材料腐蚀原理和防护方法的重点难点内容,有不定项选择、综合分析、计算及方案设计等题型。过程考核主要通过课前导学、课外调研、案例分析计算、随堂小测、小组互助等方式来实现。每位同学可以根据自身的实际情况,通过个人或小组协作的方式参与以上的过程考核,既可以扬长补短,又可以提高学习效率。

表2 多维度的课程考核评价体系

考核阶段	考核方式	占比/%	考核内容
过程考核	课堂讨论	10	教师提出引导性和讨论性的问题,学生参与讨论,统计学生的参与情况及其对问题的思考深度和参与热度
	课后作业	10	考察一般性作业的完成情况和开放性作业的完成情况(深度和广度)
	随堂测试	15	每2~3次课安排1次相关难点的随堂测试题,限时完成并统计成绩。通过测试检验学习目的的达成度
	文献阅读	15	教师提出导学问题,学生查找相应文献,并以小组协作的方式,在课堂上进行汇报交流
期末考核	闭卷,100分钟	50	着重考察学生对重点难点的掌握情况,考察其分析问题、解决问题的能力

六、结论

我们在对当前的“材料腐蚀与防护”课程中教学内容相对陈旧、工程问题与专业知识的衔接不够、考核方式单一等不足进行分析的基础上,结合课程综合性与实践性强的特点,围绕课程的基本概念、因素分析、综合应用和实践环节这四个层面设置了“基础知识型案例”“拓展型案例”“综合型工程案例”“研究性实验”四个层次的教学案例;以案例为依托,通过课前导学与课内讲解相结合、课外自学与课内提问抢答相结合、一般归纳和重点解析相结合组织并实施了教学,同时通过优化课程考核方式,拓展了课程的深度与广度,全面培养了学生的创新意识、工程应用

能力和自主学习精神,有效提高了学生的知识储备水平、能力和素质。“材料腐蚀与防护”课程也获评“中南大学金课建设课程”。

注释:

- ① 国家统编的优秀教材指李晓刚. 材料腐蚀与防护概论[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,2017. 此教材为普通高等教育“十三五”规划教材。

参考文献:

- [1] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究,2017(3):1-6.

- [2] 林健. 深入扎实推进新工科建设——新工科研究与实践项目的组织和实施[J]. 高等工程教育研究, 2017(5): 18-31.
- [3] 林健. 新工科专业课程体系改革和课程建设[J]. 高等工程教育研究, 2020(1): 1-13, 24.
- [4] 李晓刚. 材料腐蚀与防护概论[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [5] 侯继禹, 王保杰, 许凯, 等. 镁合金负差数效应的研究进展[J]. 材料导报, 2023, 37(12): 138-144.
- [6] BAO Tongyao, HOU Lifeng, SUN Junli, et al. Effect of indium on the negative difference effect for magnesium alloy[J]. Journal of The Electrochemical Society, 2021, 168(3): 031515.
- [7] 刘佳琪, 杨庆浩. 氧还原电催化剂的研究进展[J]. 材料导报, 2022, 36(24): 29-34.
- [8] ZHOU Jianlin, QIN ping, LIU Weiyin, et al. Application of oxygen reduction reaction, oxygen evolution reaction and hydrogen evolution reaction in electrochemical biosensing[J]. International Journal of Electrochemical Science, 2022, 17(11): 221152.
- [9] 朱伶俐, 李云, 刘慧, 等. In 对 Al-Mg-Ga-Sn-(In)铝合金阳极组织及电化学性能的影响[J]. 金属热处理, 2020, 45(7): 159-163.
- [10] LUO Hong, LI Zhiming, MINGERS A M, et al. Corrosion behavior of an equiatomic CoCrFeMnNi high-entropy alloy compared with 304 stainless steel in sulfuric acid solution[J]. Corrosion Science, 2018(134): 131-139.

Case teaching reform to increase engineering application ability in the context of new engineering—Taking the design, organization and implementation of the course “Material Corrosion and Protection” as an example

WU Qiumei¹, LI Kun¹, LEI Yongpeng¹, ZHOU Yonghua²

(1. Research Institute of Powder Metallurgy, Central South University, Changsha 410083, China;
2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Based on the connotation and requirements of “New Engineering” engineering education, as well as the highly comprehensive and practical characteristics of the “Material Corrosion and Protection” course, this paper proposes that the core goal of teaching reform in “Corrosion and protection of materials” course is to cultivate students’ engineering application ability to provide anti-corrosion measures when facing complex conditions, via implementing case teaching at the four levels of “foundation-expansion-comprehensive-research”, and establishes the corresponding process assessment. Additionally, the organization and implementation process of “comprehensive engineering” and “research experiments” case teaching were also expounded in detail. As expected, the results showed that the depth and breadth of the curriculum have been effectively improved through case teaching, and the knowledge, ability and quality of students could be effectively achieved through the education reform.

Key Words: new engineering; material corrosion and protection; case teaching; education reform

[编辑: 郑伟]