

基于前沿动态科技视角的《光电催化材料》课程教学改革探索

张雯 徐旻轩 元勇军

(杭州电子科技大学材料与环境工程学院 杭州 310018)

摘要:近年来,在全球能源转型与“双碳”战略背景下,光电催化材料领域呈现日新月异的发展态势。针对传统课程教学中存在的知识体系滞后、理论与实践脱节、创新能力培养不足等问题,本文提出以“前沿文献追踪-案例教学重构-多维手段融合”三位一体的教学改革模式。通过构建动态知识更新机制、设计问题导向型案例库、引入虚拟仿真与项目式学习等策略,有效提升了学生的科研素养与创新实践能力,为新能源材料领域人才培养提供新范式。

关键词:光电催化材料;教学改革;前沿动态;科学思维;创新精神

1 引言

近年来,光电催化材料作为新能源与环境保护等领域的关键核心,其研究与应用日益受到关注。在大学课程教学体系中,光电催化材料课程对于材料科学、化学、环境工程等专业学生具有重要意义,培养研究生的创新能力,是目前“光电催化材料”课程改革亟需解决的重要问题。光催化技术凭借其在室温条件下实现深度化学反应的独特能力,以及能够直接利用太阳能驱动反应的显著优势,展现出广阔的应用前景,不仅为环境污染治理提供了高效手段,也为清洁能源生产开辟了新的路径。这种技术以其绿色、可持续的特性,正逐渐成为应对全球性环境与能源危机的理想选择。光电催化材料领域近五年累计发表 Nature/Science 子刊论文超 1200 篇,技术迭代周期缩短至 6-8 个月(Web of Science 数据)。光催化技术因其在解决环境与能源问题中的巨大潜力,已成为全球科学界、政府机构和产业界共同关注的焦点。近年来,各国纷纷加大投入,推动光催化领域的基础理论研究、应用技术开发以及产业化进程。这一领域凭借其跨学科特性与实际应用价值,迅速崛起为国际学术界和工业界最活跃的研究方向之一,吸引了大量科研资源和创新力量的汇聚。光催化技术不仅在实验室中蓬勃发展,更在实际应用中展现出蓬勃的生命力,成为应对全球性环境与能源挑战的重要科技支撑。

2. 光/电催化领域的重大科技问题与学科发展趋势

在众多可再生能源中,太阳能因其取之不尽、用之不竭的优势,成为最具潜力的清洁能源之一。然而,尽管地球表面每小时接收的太阳能总量已远超全球年度能源消耗,如何高效收集和储存这种分散的能量仍是技术突破的关键瓶颈。氢能作为能量载体,因其极高的能量密度和清洁燃烧特性,成为储存太阳能的理想选择之一。通过将太阳能转化为 H_2 分子中的化学键能,这一过程不仅实现了太阳能的高效转化,还为未来能源的可持续利用开辟了全新路径。在各种将水和阳光转化为 H_2 的方法中,光电化学(PEC)与半导体(SC)光电极的水分解因其优点突出而引起了人们的极大兴趣。

光催化材料的报道最早可追溯到 1972 年发现的金红石相 TiO_2 用于 PEC 电池中,由此开启了光阳极催化材料的研究。半导体光催化剂存在一些关键科学技术难题,如太阳能利用率低、量子效率低以及多相光电催化反应机理尚不十分明确以及催化剂分离回收技术和稳定性低等难题。围绕太阳能高效转化和氢能存储的科学研究,不仅有望突破光生载流子动力学、表面反应机制等基础科学瓶颈,更将为构建零碳能源体系提供颠覆性技术路径。光催化领域正通过基础与应用的双轮驱动加速产业化进程:太阳光谱全吸收与量子效率优化研究或催生半导体异质结构创新理论;氢储材料突破可能实现连续化制氢工艺。这种研究范式变革不仅推动学术进步与产业升级,更为破解能源

环境困局提供了有效线索。

随着全球经济的快速发展,在人们对清洁能源亟需的大背景下,利用电化学技术提高能源利用效率成为解决这一问题的关键路径。新能源电转化装置凭借其高效能与环境友好的双重优势,成为当前能源领域的研究焦点。这类装置的核心运行机制主要依赖一些关键电化学反应,如析氧、析氢、氧还原及二氧化碳还原反应等。这些反应的高效进行离不开催化剂的参与,而催化材料的性能直接决定了反应效率与可持续性。催化材料作为能源转化与存储技术的核心,已成为解决能源危机的关键技术之一。深入理解催化反应机理、精准调控催化活性位点、优化电子和离子传输路径,以及调控催化材料与反应物、产物分子之间的相互作用,是提升催化剂效率、选择性和耐久性的关键。这些研究不仅推动了催化科学的前沿发展,更为新能源技术的工业化应用提供了重要支撑,为构建低碳、可持续的能源体系奠定了基础。

3. 国内外前沿课题和我国光电催化学科的发展现状与发展方向

(1)光催化领域:光催化技术作为破解能源与环境难题的战略方向,其研究体系聚焦以下几个核心领域:首先是高效光催化剂研究,开发宽光谱响应的新型催化剂,通过能带调控与缺陷工程提升载流子分离效率,突破太阳能转化极限。其次是对微观反应机制探讨,这部分可结合原位表征与理论计算模拟,阐明光生电荷动力学过程及活性位点演化规律,建立催化剂构效关系的理论模型。然后是构建智能光催化膜,设计抗污染、长寿命的纳米结构功能膜,优化光-膜协同作用机制。这些研究形成基础创新-技术开发-产业落地的全链条体系,为可持续发展提供核心科技支撑。(2)电催化领域:电催化已成为国内外学者争相研究的一个热点领域,从事该领域研究的人数持续攀升,所产生的学术论文突飞猛进。近年来,国内研究学者在电催化这一领域取得了巨大发展,先后提出了研究电催化的新视角、新材料、新反应体系。电催化研究领域涉及面广,近年内非常活跃的几个体系包括新的研究视角(缺陷电催化、非贵金属催化剂)、经典反应(水分解反应)、新兴反应(二氧化碳还原、氮气还原)。

我国自 90 年代中期启动光电催化领域的系统性战略布局,通过国家自然科学基金、“863 计划”及重点研发专项等政策工具,构建了“理论突破-技术攻关-产业转化”的闭环创新体系。通过整合催化化学、半导体物理、能源材料与工程环境等学科优势,形成从分子界面调控到工程应用的垂直整合研究范式,突破传统学科边界限制。这种战略模式使我国在环境光电催化、绿氢制备及 CO_2 资源化等关键领域构建了自主知识产权体系,为全球碳中和技术路径提供了有效方案。

4. 教学改革的必要性

(一) 学科发展需求 光电催化材料领域研究成果不断涌现,新材料、新机理、新技术层出不穷。课程内容若不及时更新,将使学生知识结构陈旧,无法适应学科发展。

(二) 学生兴趣培养 前沿动态具有创新性和探索性,能激发学生好奇心和求知欲。结合前沿案例教学,可让学生感受学科魅力,增强学习动力。

(三) 综合能力提升 理解前沿知识需较强科学思维和严谨态度。教学中引导学生思考分析前沿问题,有助于提升其综合能力,为科研和职业发展打基础。

5. 前沿动态视角下的光电催化材料教学改革方法与实践

“新工科”建设要求在以工科为基础的前提下,教学理念和培养要求均需具有创新性,发展新思维、新方式是教育的重大策略。教学改革目标定位于构建“前沿动态引领-科学思维塑造-创新实践赋能”的教学闭环,如图1所示,培养具备文献追踪能力、机理分析能力与交叉创新能力的复合型人才。

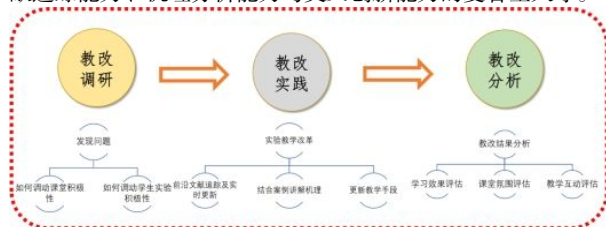


图1 教学改革具体实施方法。

(1) 前沿文献追踪及实时更新:近年来,光电催化的基础与应用研究发展非常迅速,特别是在提高光电催化过程机理研究和催化材料的功能性设计等方面都取得了重要进展。目前国内外催化剂的发展现状呈现出积极的发展趋势,尤其是在技术和市场应用方面。贵金属催化剂作为催化剂领域的重要组成部分,以其高催化活性、良好的选择性、使用安全性、耐高温、抗氧化、耐腐蚀等优良特性,在有机合成领域占据重要地位。

在教学过程中,教学内容要实时更新,使关于光电催化剂的相关信息及时与国内外最前沿科技接轨,使学生在课堂学习过程中掌握最前沿的催化剂发展动态。培养学生文献研读能力,并建立教师-研究生助教协同的文献监测小组,构建动态更新保障机制。设置“文献盲点挑战赛”,调动学生阅读文献的积极性。实施通过三级课题体系:基础阶段(主要为文献中实验重现);拔高阶段(如对实验参数进行优化);创新阶段(鼓励学生自主设计方案)。

(2) 结合案例讲解机理:在课程讲述过程中,实时结合具体文献案例,将理论与实践结合,对机理进行讲解。案例筛选标准:①时效性(筛选近三年高水平研究成果);②典型性(能反映关键科学问题,如界面电荷转移、光腐蚀抑制等);③延展性:可衔接学生实验项目(如光电化学分解水等)。

例如,在讲解光催化反应机理时,可引入赵进才院士课题组报道的一种由L-环糊精与生物活性小分子血色素构筑的金属-有机络合物,在可见光条件下可实现光活化,并展现出高效的光催化性能。该络合物能够有效降解并矿化水中的有机污染物,通过光催化氧化作用将其转化为无害的小分子物质。这一特性使其在环境净化和污染物处理领域具有重要的应用潜力,为解决水体污染问题提供了新型解决方案。此外,他们课题组在最新JACS中报道中提出,在光电化学(PEC)水分解过程中,当光阳极的pH依赖活性出现时,水氧化遵循非协同质子-电子转移(SPET),其中水氧化活性可以通过增加电解质的pH进一步

增强。一项详细的理论研究显示,在SPET途径中,质子转移(PT)具有约0.2-0.5 eV的显著活化能,而下面的电子转移(ET)几乎是无障碍的,这进一步解释了光阳极的pH依赖性活性。尽管取得了这些进展,但对光阳极表面的PCET动力学的全面理解和有效的调节策略仍有待发展。

(3) 更新教学手段

(一) 多媒体教学资源制作 制作包含动画、视频、虚拟仿真等元素的多媒体资源。动画视频等展示光电催化材料制备过程、微观结构演变、电子转移等复杂动态过程,增强学习直观性和趣味性。

(二) 线上线下混合式教学 利用网络教学平台,搭建线上课程资源库,含教学视频、课件、文献资料、习题等。组织讨论实践,线上线下结合,拓展学习空间和时间,满足个性化学习需求。

(三) 虚拟仿真实验教学 开发光电催化材料相关虚拟仿真实验项目,开发Materials Studio计算模拟模块(能带结构/吸附能计算等),如设计材料分子与性能预测、光电催化反应过程模拟与优化等。

6. 改革效果评估

(一) 学生反馈机制分析:通过问卷、访谈等方式收集学生对改革后课程的意见,结果显示学生反馈课程更有趣味性,学习积极性提高,对光电催化材料前沿知识和实际应用了解加深,文献阅读能力有提升。

(二) 教师教学反思:教师在教学实践中不断总结经验,发现改革中需改进问题,如进一步优化文献筛选整合方法、丰富案例库、完善教学手段应用策略等,持续改进教学质量,适应学科发展和学生需求变化。

7. 结语

本研究通过构建动态化、场景化、智能化的新型教学模式,有效破解了光电催化材料课程教学中的“知识老化”与“能力培养断层”难题。未来将持续推进科教融汇、产教融合,为新能源材料领域输送更多具备全球竞争力的创新人才。

参考文献:

- [1] 顾修全,陈正,欧雪梅.材料光催化产氢性能评价的实验教学改革探索[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2022, 43(3).
- [2] 周颖,王晨,王驹,等.全校性工程技术类通识选修课教学新模式探索——以《光催化材料》为例[J]. 浙江理工大学学报:自然科学版, 2013, 30(3): 456-459.
- [3] 郭芳,许俊强,陈志,等.交叉学科的新型催化材料课程建设的改革与实践[J]. 科学咨询(科技·管理), 2017, (04): 125-126.
- [4] 刘荣梅,胡磊,李传平.基于创新人才培养机制的研究生应用电化学课程创新实验设计[J]. 广东化工, 2024, 51(10): 201-204.
- [5] 郭芳,许俊强,陈志,等.交叉学科的新型催化材料课程建设的改革与实践[J]. 科学咨询, 2017(14): 125-126.
- [6] 陈文倩,孙昊宇,唐亚.减污降碳背景下《纳米功能材料》课程的教学改革与实践[J]. 科教导刊(电子版), 2024(27): 59-61.
- [7] Faraji M, Yousefi M, Yousefzadeh S, et al. Two-dimensional materials in semiconductor photoelectrocatalytic systems for water splitting[J]. Energy & Environmental Science, 2019, 12(1): 59-95.

作者简介:张雯,1987年7月,女,呼伦贝尔人,蒙古族,讲师,博士研究生,研究方向为光电催化。