

## 创新设计类化学实验课程思政设计与实践 ——以催化制氢实验为例

刘永梅<sup>1,\*</sup>, 孙立森<sup>1</sup>, 郝永梅<sup>1</sup>, 刘占祥<sup>2</sup>, 张树永<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 复旦大学化学系, 上海 200433

<sup>2</sup> 浙江大学化学系, 杭州 310058

<sup>3</sup> 山东大学化学与化工学院, 济南 250100

**摘要:** 以催化制氢实验为例, 说明创新设计类实验如何系统设计, 引导学生全程自主参与实践, 让学生体验如何运用催化技术和动力学表征技术解决绿氢生产中的实际问题, 提高学生学以致用能力, 引导学生关心国家绿色能源的可持续发展, 培养学生的创新意识和解决实际问题的能力。本文旨在展示实验方案设计、实践过程和效果考核中融入思政内容的路径, 对化学类专业创新设计类实验开展课程思政建设, 培养具有创新精神和实践能力的人才具有借鉴意义。

**关键词:** 创新设计实验; 课程思政设计; 思政教学目标; 思政教学效果考核

中图分类号: G64; O6

## Innovative Design of Chemistry Experiment Courses with Ideological and Political Education: A Case Study of Catalytic Hydrogen Production Experiments

Yongmei Liu<sup>1,\*</sup>, Lisen Sun<sup>1</sup>, Yongmei Hao<sup>1</sup>, Zhanxiang Liu<sup>2</sup>, Shuyong Zhang<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China.

<sup>2</sup> Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China.

<sup>3</sup> School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China.

**Abstract:** This article utilizes the catalytic hydrogen production experiment as a case study to demonstrate the systematic design of innovation-oriented experiments that encourage students to engage autonomously in practical activities. It provides students with opportunities to apply catalytic technology and kinetic characterization techniques to address real-world challenges in green hydrogen production, thereby enhancing their ability to translate theoretical knowledge into practical application. Furthermore, the study emphasizes the importance of fostering awareness of sustainable development in national green energy initiatives, while also cultivating students' innovative thinking and problem-solving skills. The article aims to present effective strategies for integrating ideological and political content into experimental design, practical execution, and outcome evaluation. It serves as a valuable reference for incorporating ideological and political education into innovation-oriented experiments within chemistry-related disciplines, ultimately contributing to the development of talent with both innovative spirit and practical capabilities.

**Key Words:** Innovative design experiment; Course ideological and political design; Ideological and political teaching objective; Evaluation of ideological and political teaching effect

收稿: 2024-12-31; 录用: 2025-02-21; 网络发表: 2025-04-10

\*通讯作者, Email: ymliu@fudan.edu.cn

基金资助: 2024年教育部实验教学和教学实验室建设研究项目“化学实验课程思政建设的系统研究与实践”(SYJX2024-068); 复旦大学课程思政教育教学改革研究课题(KT23033)

## 1 引言

化学作为一门理论与实验并重的学科，化学实验在培养学生的科学精神和创新能力方面扮演着至关重要的角色。2013–2017年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会制订的《化学类专业本科教学质量国家标准》将实验教学目标调整为：通过实验教学，使学生掌握化学实验的基础知识、基本理论和基本技能，并在此基础上培养学生的动手能力、科学素养、综合解决复杂问题的能力和创新能力<sup>[1]</sup>。从事化学实验一线教学的教师，一直努力通过各类课程改革和教学设计实现上述培养目标。然而，如何通过实验教学设计和实验教学组织，提升实验教学对于学生能力培养的效能，仍是实验教学建设的关键课题<sup>[2]</sup>。

自2014年上海市教委率先启动“课程思政”建设以来，随着人们对课程思政建设认识的不断深化<sup>[3–5]</sup>，国内各高校教师普遍开展了课程思政教学，“立德”与“树人”有机统一是课程思政教育的本质<sup>[3,6]</sup>也被普遍接受。为了推进化学实验课程思政建设，《大学化学》期刊还专门设立了“化学实验课程思政建设”专刊。但目前的化学实验在课程思政教学实施和成效考核方面，仍有很大不足。笔者统计已发表的创新设计类实验教学论文160余篇，教学目标中均提及增强实验课程思政教学效果，但课程教学实施仍以“教师讲授”为主<sup>[6]</sup>，这容易导致课程思政教学流于说教，效果难以保障。同时因“没有基于产出导向的理念设计效果考核过程和方式”，致使课程思政考核低效甚至无效，也就无法实现基于思政理念对学生思考和解决问题能力进行系统有效考核，更难评价学生是否达到“知行合一”的教学目标<sup>[6]</sup>。因此，规范和引导创新设计实验的课程思政教育建设显得尤为重要。

本文从化学创新设计类实验课程思政教学目标出发，对创新设计类实验课程思政建设的思路和方法，如何落实课程思政教学内容，以及对于思政教学效果进行评价给出了一些建议，对推进创新设计类化学实验建设有一定的借鉴意义。

## 2 化学创新设计类实验课程思政建设

创新设计类实验的核心教学目标是培养学生的创新实践能力。这一目标的达成应建立在学生自主学习，独立完成实验设计、方案评估、数据分析至实验论文撰写的全过程。创新类实验更应突出学生自己发现问题，针对所提出的问题，独立完成方案设计和评价，按照科学研究的方式完成实验<sup>[1]</sup>。实验的考核需关注学生能否运用正确的世界观、人生观、价值观及科学的思维方式和方法来分析解决问题，即能否利用所学化学知识与技术手段应对国家和社会发展中面临的重大挑战。可见，创新设计类实验教学，不仅能有效提升学生的专业技能，还能增强学生的社会责任感和使命感，为国家和社会培养具有创新精神和实践能力的高素质人才。

为了示范如何在创新设计类实验中开展课程思政建设，我们以关系国家能源安全的催化制氢实验为例，展示如何开展课程思政的系统设计、实施与考核。

本实验设计的目的，是激发学生深入了解不同国家对氢能的需求和氢能发展战略，实际生产-发展氢能经济中所面临的挑战，以及催化技术和动力学测试技术为解决这些问题所能提供的支撑作用。

### 2.1 实验课程思政的系统设计

为了达到预期的教学目标，本实验以学生发展为中心进行了系统设计，采用问题引导式为主的教学模式，引导学生针对问题自主完成各项教学活动。表1给出了催化制氢实验课程思政教学模式设计。

### 2.2 问题的提出与分析

能源是人类社会发展的重要物质基础。在全球加快能源绿色转型的背景下，氢能因其清洁、可再生且高效的特性，被认为是一种理想的能源形式，可望在应对气候变化挑战、实现可持续发展目标中发挥重要作用。

表1 落实课程思政教学目标的教学模式设计

思政目标	教学活动	思政元素的挖掘与融入途径
理想信念、责任感使命感,担当意识、职业理想	提出问题	氢能作为绿色能源,在能源消耗占比中比例仍旧很低,原因何在?引导学生关注国家能源战略、氢能发展战略
总结归纳能力、批判精神、探索精神、学科视野	分析问题	开展制氢产氢用氢现状调研、催化制氢前沿研究调研,归纳总结氢能战略发展中的科学问题与挑战,分析已有方法对解决上述问题的有效性与局限性
科学世界观与方法论、创新意识、学科思维;环保意识、法律意识、可持续发展意识	设计解决问题的方案	综合运用物理化学中的多相催化技术、动力学测试技术、样品表征技术解决上述问题的方案;对方案的合理性、可行性进行研讨;预测评判方案实施效果以及可能遇到的新问题
科学方法的灵活运用、严谨求实的科学态度、勇于探索的科学精神、团队合作意识、评判思考解决问题的能力	实践验证/研讨	根据设计方案,开展制备催化剂、催化剂活性评价、催化剂表征等实验,规范操作,实事求是地记录实验数据,并初步分析评判催化活性结果的合理性、可重复性、稳定性,及时发现异常数据,分析原因并及时调整实验方案
数字化处理实验数据的能力,辩证思维、学术体系、学科思维	评判解决方案	用数字处理软件处理实验结果,进行结构性质与活性数据关联分析,总结归纳影响催化性能的反应因素、结构因素,提出提升催化剂性能的策略
逻辑表达、学科思维、批判意识、学术体系;创新意识、科学伦理	总结与反思、论文撰写(汇报)	引导学生对实验结果进行深入思考与辨析,评判实验结果与预期的差距;对比分析文献中的研究结果,评判本实验方案对解决实际氢能生产的可行性与局限。比较不同技术生产制氢的可行性及面临的局限,全面评判各类制氢技术的优劣,使用规范的学术语言撰写报告或论文或汇报

本部分要求学生通过查阅文献,说明以下5方面问题:(1)什么是灰氢、蓝氢、绿氢?(2)我国制氢的年产量、国际地位和各类制氢的占比如何?(3)绿色制氢的主要方法有哪些?试举例说明。(4)何谓储氢媒介?储氢媒介产氢的主要方式有什么?(5)催化分解甲酸-甲酸盐混合储氢体系制氢的优势如何?

通过文献查阅、集体讨论,学生说明以下事实:(1)灰氢是通过化石燃料(如石油、天然气、煤炭)转化产生的氢气,这种制氢过程会排放大量的二氧化碳;蓝氢是在灰氢的基础上,通过碳捕捉和碳封存技术(CCS)降低碳排放量,是一种技术过渡方案;绿氢也称为“零碳氢气”,是指通过绿电电解或者光化学等方法制得的氢气,制氢过程中基本实现零碳排放。(2)我国是世界上最大的制氢国,年产氢量高达 $3.3 \times 10^{10}$  kg,占全球氢气总产量的30%左右。我国的制氢,依赖于化石能源的灰氢、蓝氢仍是工业产氢主渠道。其中,煤制氢产量占比高达62%;天然气制氢和工业副产氢分别占比19%、18%;电解水制氢仅占1%<sup>[7,8]</sup>。而电解水制氢的成本较高,通常为化石能源制氢成本的2-3倍。(3)绿色制氢是使用其他可再生能源制氢的方法,如生物质制氢、光催化制氢、催化化学储氢物质分解制氢等,这些技术仍处于研究阶段,离商业化应用还有一段距离。(4)储氢媒介是氢能的载体,可以通过催化分解的方式,可逆地存储和释放氢气的物质,如氨、甲酸、甲醇等。(5)催化分解甲酸-甲酸盐体系能实现温和条件下制氢受到广泛关注,尤其是固体甲酸盐便于运输,其水溶液在适当催化剂作用下可以释放氢气,副产物碳酸氢盐又可以再生形成甲酸盐,理论上可以构建制氢-储氢的可逆循环。

## 2.3 具体实验方案

### 2.3.1 钨碳催化剂的制备

采用液相还原法制备负载钨催化剂。室温下,称取0.5 g科琴黑碳置于500 mL烧杯中,加入200 mL纯净水,搅拌至均匀分散。用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液调节pH值为9-10,继续搅拌30 min。加入 $11 \text{ mL } 4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钨溶液,再次调节pH值到9。称取约0.267 g硼氢化钠溶解于5 mL水中,缓慢滴加到上

述溶液中, 室温下继续搅拌1 h, 过滤, 洗涤至滤液无氯离子, 80 °C烘箱中干燥待用。

为了探索制备条件对催化剂性能的影响, 可以改变Pd为Au, Ag; 氯化钯溶液量6.6 mL, 17.6 mL; 碳纳米管, 活性炭等条件, 安排不同实验小组制备不同催化剂进行比较。

### 2.3.2 催化剂的活性测试

在50 mL茄形瓶中加入10 mL  $3.6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的甲酸钾溶液, 置于25 °C水浴中搅拌恒温。检漏并快速加入钯碳催化剂, 反应生成的气体先通过球形冷凝管, 通入盛满饱和碳酸氢钠溶液的试剂瓶, 用天平称量排出的碳酸氢钠溶液质量, 换算为相应的氢气体积。记录质量随时间变化曲线。【也可以用气法测生成气体体积, 记录气体体积-时间变化曲线】

可以调变反应温度分别为30、35或40 °C, 调变甲酸钾浓度分别为1.8、4.8或 $6.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 等进行动力学测试。

### 2.3.3 催化剂的表征

为了理解催化剂的结构性质对催化性能的影响, 选取代表性催化剂进行相应的结构性质表征, 包括氮气吸附脱附测试、XRD (X-ray Diffraction)表征、扫描电镜分析、透射电镜分析、EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)分析等。

### 2.3.4 实验数据处理与分析

1) 时间-氢气的产量数据: 将所得排除的碳酸氢钠质量数据转化为氢气的产量, 绘制时间-氢气产量图, 评价催化剂的产氢性能。

2) 根据所测样品的比表面积、吸脱附等温线、XRD图、活性金属测粒径分布、EDX分析等指标对所制备催化剂进行评价。

3) 根据上述指标分析载体种类、负载量、活性金属种类对催化性能影响规律及原因。

4) 根据上述指标分析反应温度、底物浓度对催化制氢性能影响规律及可能机制。

5) 通过催化剂的构效关联, 尝试探讨影响催化制氢性能的本质原因, 提出优化解决方案。

## 2.4 实验方案的实施

### 2.4.1 学生自主学习与实验方案设计

学生根据教师发布的实验主题, 课前完成能源发展战略需求以及氢能发展需求的资料检索和信息归纳总结, 感受氢能对人类社会发展的战略地位, 提出开发利用绿色氢能所面临的挑战。

综合运用已掌握的催化剂活性评价技术、动力学测试技术、样品表征技术, 设计解决绿氢生产中问题的方案。通过学习课程网站(<http://fudan.mooc.chaoxing.com/>)提供的图文和视频等资源, 强化催化剂活性评价、动力学测试、样品表征的实验原理、仪器及其操作, 明确实验相关要求和操作规范, 完成并提交实验方案和实验预习报告。

### 2.4.2 验证设计实验方案可行性

本实验综合性强, 3-4名同学一组进行平行实验。实验开始前, 进行小组讨论, 辨析实验方案的可行性, 每位同学发表自己的见解并给出文献依据, 通过讨论, 对实验方案设计进行评价和完善, 促使学生自主学习、主动思考。

学生按照2.3.1小节分别完成不同载体、不同金属负载量、不同金属活性组分催化剂的制备。再根据2.3.2小节, 完成自己所制备催化剂的活性测试, 对数据进行共享。选取典型的催化剂, 分工完成反应温度、底物浓度等因素的动力学测试。在此基础上, 分工开展催化剂的性质表征。

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, 理解在设计解决催化制氢方案时全面考察各影响因素的重要性, 并强化科学研究思维模式的培养和团队协作合作的能力。

### 2.4.3 实验方案有效性的评价

实验完成后, 引导学生正确处理实验数据, 对不同载体、活性组分负载量、不同活性组分对催化制氢性能影响进行分析, 总结归纳制备条件对负载催化剂催化制氢性能的影响规律。结合催化剂

比表面积、吸脱附等温线、XRD图、活性金属粒径分布和EDX等结构性质和动力学测试结果，解释影响催化制氢性能的内在机制。学生形成分析和综合评价实验结果，进行科学思维的能力，以及对实验数据和文献数据，客观评价实验方案的有效性，强化信息加工能力。对实验结果进行深入分析探讨，提高报告的逻辑性、条理性、科学性，以科研论文形式完成实验报告的撰写，在论文中根据前沿研究文献大胆推测，对自己设计实验方案的有效性进行客观评判并提出合理改进措施，强化创新思维能力。

## 2.5 课后拓展

课后学生还需要完成以下内容：

(1) 说明除了催化化学储氢物质制氢外，还有哪些绿氢生产技术，阐述不同绿氢制取技术之间的区别和联系，加深对绿氢生产技术的了解。

(2) 对课前设计的实验方案进行拓展讨论，总结提高催化剂的活性和稳定性的方法，从而更好地应用于绿氢生产，提高其商业应用价值。

(3) 结合实验结果和相关文献，总结什么样的催化剂活性成分适合商业化生产制备，阐述负载金属催化剂在绿氢生产领域应用的进展并预测发展趋势，提升综合评价、批评创新的能力。

## 3 课程思政教学效果的考核

教师可以通过多个维度来综合评估学生在绿色氢能生产领域的学习成果及其相关素养能力的提升。这些维度可包括资料查阅、实验方案设计、实验方案研讨、团队内的实验分工与实施情况、实验操作流程、结果分析讨论以及论文或报告的撰写等。具体来说，教师应关注学生对于绿色氢能生产重要意义的理解，考察他们能否运用已掌握的技术方法实现绿氢能制备，以及对催化制氢方案复杂性的认知。此外，还需要评估学生在设计方案时是否能综合考虑经济性、安全性及环保因素，以及实验操作的规范性，实验结果的准确性，以及团队成员之间在实验分工协作和结果分析方面的情况。这种全方位的考核方式不仅能够全面反映学生在知识、能力和个人素质方面的进步，还可以作为衡量实验课程思政教育目标达成效果的重要参考(见表2)。具体成绩占比如图1所示。通过这种方式，教师可以更准确地判断学生是否达到预期学习目标，同时也能为未来的教学改进提供宝贵的反馈信息。

表2 实验课程思政实施效果的考核

课程思政要素	考核目标	考核标准
学科视野：催化制氢的前沿进展、目前我国能源需求面临的问题	课前文献归纳 总结报告，实验 设计方案	能否正确说明开展催化制氢研究的重要性；能否正确评述催化制氢研究的进展与局限；能否考虑相关因素的影响，设计实验方案
科学素养：严谨规范的探究实践能力、坚忍不拔的意志品质、信息化处理数据能力、影响活性因素规律总结能力、勇于探索的创新精神、学术话语	实验过程、实验 论文撰写、拓展 问题思考	能否选择合适的器材与技术方法开展实验；能否熟练规范开展实验；能否正确分析处置实验中遇到的问题；实验失败能否重做；能否规范准确记录实验数据；能否科学规范地完成数据图表处理；能否合理科学地归纳总结实验规律；能否按照科学规范完成论文撰写
社会责任：安全环保意识、可持续发展意识、知行合一、学以致用	实验方案设计、 实验过程、实验 论文	实验方案设计中是否考虑绿色环保安全要求；实验方案设计是否符合绿色可持续发展要求；实验过程中废液废弃处理是否符合安全环保要求；能否评判实验方案是否有助于解决催化制氢问题
道德修养：团结协作、分工合理、取长补短、良好的实验卫生习惯	实验过程、实验 方案讨论辨析、 数据分析讨论	实验设计方案分工的是否合理；实验过程中是否有效协作；实验操作是否规范；物品、药剂取用归置是否规范

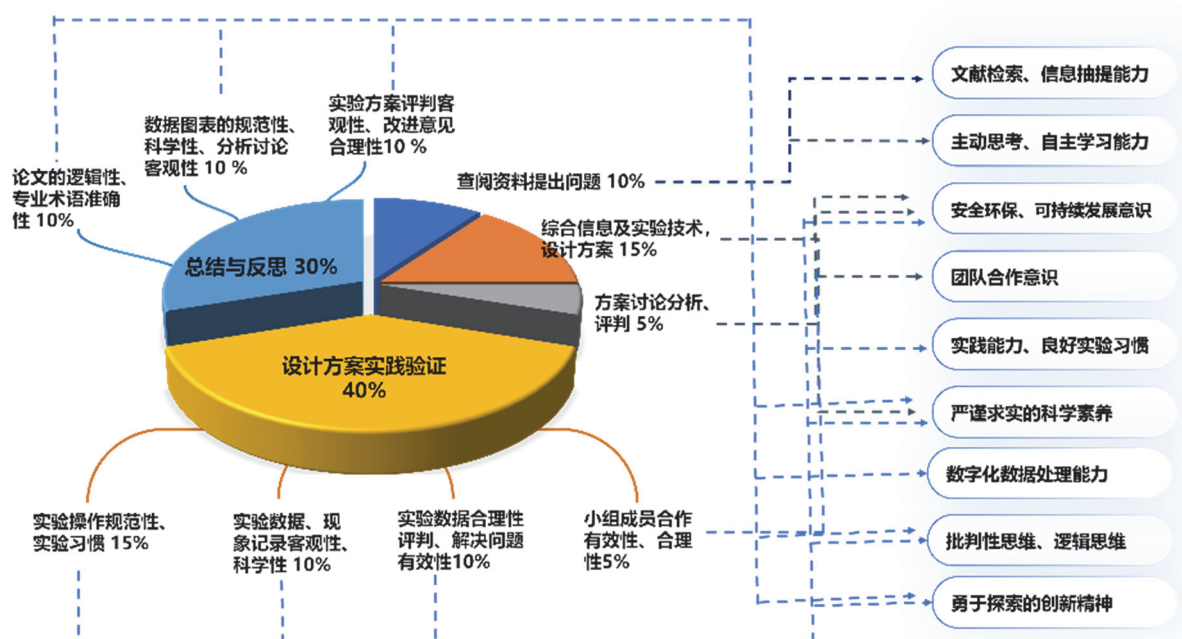


图1 课程思政教学效果考核量表

#### 4 结语

本实验体现了物理化学原理对国家能源战略的支撑作用，能够提高学生的学习兴趣和专业自豪感，培养团队意识、可持续发展意识和科学创新意识，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，学生对催化制氢的研究方法有了比较全面的认识，对温和高效催化制氢方案设计的复杂性有了更深刻的理解，对开发可推广应用的催化制氢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, 朱亚先, 张剑荣. 大学化学, 2018, 33 (10), 1.
- [2] 张树永, 侯文华, 刁国旺. 大学化学, 2017, 32 (9), 1.
- [3] 张树永. 大学化学, 2019, 34 (11), 4.
- [4] 高宁, 张梦. 中国大学教学, 2018, No. 10, 59.
- [5] 李凤. 中国大学教学, 2018, No. 11, 43.
- [6] 张树永. 中国大学教学, 2021, No. 8, 42.
- [7] 胡诗雨, 叶子豪, 武凯枫, 刘永梅. 大学化学, 2023, 38 (8), 145.
- [8] M2觅途咨询氢能研究组. 汽车与配件, 2024, No. 24, 64.