

# 开放式创新设计性实验模式在应用化学专业综合实验中的应用

——以自清洁性溴氧铋涂层的制备及其油水分离性能研究为例

苏春平, 章颖, 赵慧平

武汉工程大学化学与环境工程学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年7月11日; 录用日期: 2025年8月12日; 发布日期: 2025年8月21日

## 摘要

基于应用化学专业综合实验的教学现状和社会各行业对应化类实践创新型复合人才的需求, 本文以“自清洁性溴氧铋涂层的制备及其油水分离性能研究”综合实验为实例, 对开放式创新设计性实验模式在应用化学专业综合实验教学中的应用进行了实践探索。该教学模式的实施有望提升学生的主观能动性, 激发学生的求知欲和探索精神, 有效提升学生的创造性思维、实践探究能力、团队协作能力以及理论和实践结合的能力, 以期为高等学校化学类相关专业课程的实践教学改革和创新实践型复合人才的培养提供有益借鉴。

## 关键词

开放创新设计, 综合实验, 应用化学, 实验教学模式

# Application of Open Innovation and Design-Oriented Experimental Mode in the Comprehensive Experiment of Applied Chemistry

—Taking Comprehensive Experiment of Preparation of Self-Cleaning Bismuth Oxybromide Coating and Its Oil-Water Separation Performance as an Example

Chunping Su, Ying Zhang, Huiping Zhao

School of Chemistry and Environmental Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan Hubei

文章引用: 苏春平, 章颖, 赵慧平. 开放式创新设计性实验模式在应用化学专业综合实验中的应用[J]. 职业教育发展, 2025, 14(8): 294-300. DOI: 10.12677/ve.2025.148383

Received: Jul. 11<sup>th</sup>, 2025; accepted: Aug. 12<sup>th</sup>, 2025; published: Aug. 21<sup>st</sup>, 2025

## Abstract

Based on the current teaching situation of comprehensive experiments in the Applied Chemistry and the demand for corresponding practical and innovative compound talents in various industries of society, this paper takes the comprehensive experiment of “preparation of self-cleaning bismuth oxybromide coating and its oil-water separation performance” as an example to conduct practical exploration on the application of the open innovative design experimental mode in the comprehensive experiment teaching of the Applied Chemistry. The implementation of this teaching model is expected to enhance students’ subjective initiative, stimulate their thirst for knowledge and spirit of exploration, effectively improve their creative thinking, practical inquiry ability, teamwork ability, and the ability to combine theory with practice, with the aim of providing useful references for the reform of practical teaching in chemical-related courses in higher education institutions and the cultivation of innovative and practical compound talents.

## Keywords

Open Innovation Design, Comprehensive Experiment, Applied Chemistry, Experimental Teaching Mode

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

应用化学是一门理论与实践并重的学科。随着国内就业形势的发展，各行业除了关注大学毕业生的专业基础素质，对创新和实践能力的重视程度也日益凸显。培养学生运用理论知识、独立思考以及解决实际问题的能力成为当前本科教育的重要研究内容之一。对应用化学专业而言，综合实验作为实践教学课程，是实现综合型人才培养的有效手段和重要途径[1]。应用化学专业综合实验的高效开展对于培养“具备良好科学素养、强烈社会责任感、扎实专业素质、敏锐创新精神和解决复杂问题能力的新型理工交叉融合创新人才”具有重要意义[2]。然而，传统的实验教学过程存在理论与实践分离、实验内容单一且缺乏创新性和设计性等问题，不利于学生创造性思维和实践探究能力的培养，严重影响了高等教育人才的培养质量[3]。因此，如何通过优化改进实践教学来充分调动学生的学习积极性，更好地培养学生的创新思维、创新能力以及解决问题能力以适应社会对复合型人才的要求尤为重要[4]。开设开放式创新综合设计性实验是培养创新型应用型人才的重要途径，也是新时期实验教学改革的结果[5][6]。当前基于课程的本科生科研体验(CUREs)和问题导向学习(PBL)的教学模式的先进研究亦为我们教学方式的改革指引了方向[7][8]，同时根据高等教育法中“培养具有创新精神和实践能力的高级专门人才”和新一轮“高等学校化学实验室建设和实验教学改革”对学生培养的要求，本文以我校应用化学综合实验课程中的一个实验项目教学为例，从我校应用化学专业综合实验目前存在问题、开放式创新设计性实验模式的探索和实施过程等方面探讨了综合创新设计性开放实验模式在应用化学专业综合实践教学中的应用，以期为高等学校化学类相关专业课程的实践教学改革和实践创新型复合人才的培养提供有益借鉴。

## 2. 应用化学专业综合实验目前存在问题

我校应用化学专业综合实验是以“创新引领、特色导向、理工融合、协同育人”的人才培养理念为指导,结合“强实践、重创新”的人才培养目标,为应用化学专业高年级学生开设的核心实验课程。其目的是培养学生串联、组装和应用所学的各个理论知识点以及各种实验技能来解决具体问题的创新实践能力。经过多年的建设和积累,应用化学专业教研室在综合实验内容编排和教学方式优化等方面取得了一定成效。但是随着时代和学科快速发展,传统的综合实验教学模式明显不能满足社会各行业对创新实践型人才的需求[9]。目前应用化学专业综合实验在教学过程中凸显出一些问题,主要表现在:(1)教学内容创新性不足,多数实验比较单一,综合性和设计性的广度和深度不够,学生很难拓宽视野在更高层次上感受科研魅力,培养学生创新思维和创新能力的目的很难达到。(2)实验教学方法单一,实验教学偏离了实践创新能力的培养目标,目前,实验教学目标仍然以验证理论知识和掌握实验技能为主,教学大多数采用教师讲学生听的模式,忽略了学生的主体地位,学生的参与度低,积极性差。学生基本上按照实验讲义中的固定实验方法完成实验,这种照搬的模式使学生缺乏创新思维,学生创新意识、学习能力和实践能力很难得到提高[10]。(3)实验时间不够灵活开放,每个实验的教学课时过于固定且课时偏少,由于受实验时间限制,学生无法加入自己的想法并及时验证自己的科研思路,甚至有时学生为了在规定时间内完成实验,不得不精简步骤,更没有重做实验或深入研究的机会,严重制约了学生应用实践能力和自主创新能力的培养。(4)传统的实验课程考核评价体系单一,只注重结果而忽视了过程,目前,实验报告在实验课程成绩中占比很大,课前准备以及实验操作过程重视度不够,而且缺乏关于实验室安全的考核,导致考核成绩不够客观全面,学生的综合实力得不到体现,导致学生的积极性和主动性下降,影响实验教学质量。

## 3. 开放式创新设计性实验模式探索和实践

根据应用化学专业对人才创新能力的培养要求及国家科技强国战略的要求,以设计理工学科交叉、科学研究与基础教学相结合、综合性强的实验内容为目标,建立应用化学开放式创新设计综合实验教学体系。主要围绕选题内容的开放创新、教学方法的优化改进、实验时间的灵活开放、考核评价体系的多元化以及增设实践拓展训练环节等几个方面开展探索工作。并结合专业综合实验中的一个项目“自清洁性溴氧铈涂层的制备及其油水分离性能测试”综合实验为例,探讨开放式创新设计性实验模式在应用化学专业综合实验中的具体实施过程。

### 3.1. 选题内容的开放创新

在选题内容上,考虑到综合实验串联多学科知识的特点,本着实验教学内容完全是综合性、设计性和探索性的原则,将基础知识和专业知识、理论知识和实际应用有机融合,注重基本化学原理与实践的结合,培养学生应用所学知识分析和解决有关理论和实际问题的能力。选题范围可从身边的实际问题出发,结合最新科研成果,实现内容上的创新,同时还要注意选题的可操作性和难易程度,要保证学生在充分查阅文献的基础上,能够运用已有的理论知识和实验技能确定实验方案,否则会挫伤学生的学习积极性。再就是开放性方面,所选题目要有较多的设计思路和空间,能让学生自主创新设计的能力得到充分发挥,从而调动学生自主学习的积极性,使其创新意识和创新能力得到培养和提高。例如“自清洁性溴氧铈涂层的制备及其油水分离性能测试”这一综合实验项目,该选题是基于目前环境污染和能源危机的大背景下,针对含油废水的治理以及膜分离材料在使用过程中存在的膜污染问题,将教师的最新科研成果引入实验教学,凝练出该创新综合设计性实验项目。该选题的创新之处体现在将润湿性理论和光催化技术进行耦合,利用二者的协同效应实现膜材料的自清洁和油水分离效率的提升;综合性更强,知识

点涵盖范围更广,将多种仪器设备巧妙地融合到一个实验项目中,要求学生综合理解和掌握纳米材料的制备原理、润湿性理论、多相催化、光化学反应、化学动力学、及现代分析测试技术(X射线衍射仪,扫描电子显微镜,能量色散谱仪,X射线光电子能谱仪,接触角测量仪,气相色谱仪,光催化反应系统,紫外可见分光光度计,傅立叶变换红外光谱仪等)的相关知识。开放性方面,该实验可设计的空间更多,比如在合成方法上,不在拘泥于一种制备方法,利用多种合成方法像水热、溶剂热、旋涂、滴涂以及原位生长法均可制备得到溴氧铋涂层,学生可自行设计选择合成方法;在油水分离装置设计方面,学生可根据文献调研和自己的想法设计并自主搭建油水分离装置,锻炼学生的自主创新实践能力。

### 3.2. 实验教学方法的改进

确立以“学生为实验主体、以教师为辅助引导、提高综合科学素养、培养创新实践能力”的教学理念[11],在CUREs和PBL等先进教学模式的指导下,通过调整实验教学的要求和步骤,使学生的实验研究更具有目的性和方向性,同时教师要掌握一定的教学艺术和技巧去启发和引导学生的创新思维,为学生创建一个发现问题、分析问题和解决问题的平台,在明确学生是实验的主体地位的同时达到提升学生创新思维,学生创新意识、学习能力和实践能力的目的,实现以探究机制为目的的创新性实验教学方法的改进。以“自清洁性溴氧铋涂层的制备及其油水分离性能测试”这一综合实验项目为例,教师首先从当代大学生颇感兴趣的环境污染、能源危机问题这一全社会关注的焦点问题切入,引出含油废水的危害、目前的处理方式、常见的膜分离材料以及目前存在的问题。引导学生针对问题、分析问题,并找寻解决方案。比如针对含油废水中其他共存污染物(染料、细菌、抗生素)等引起的膜污染问题,引出铋基光催化材料在环境污染领域降解染料、抗生素和光催化杀菌等方面的内容。引导学生联想到用光催化技术赋予涂层自清洁的能力,进而解决膜污染问题。对于油水分离效率的测定方面,除了最基本的根据体积比来评定分离效率,还启发式地引导学生利用所学的理论知识和现代测试技术对水中油的含量进行测定,比如可以采用气相色谱内标法测出残油率,进而评估分离效率等。

### 3.3. 实验时间的灵活开放

应用化学专业综合实验作为一门综合设计性实验,实验内容涉及多门课程,课程覆盖范围较广,比如无机化学、有机化学、物理化学、分析化学等基础类课程,及有机合成、有机波谱分析、现代测试技术、化学实验安全与技术等专业类课程。所以开课时间应放在基础课和专业课结课后开课。在时间安排上,要秉着灵活开放的原则,采取定时开放和预约开放相结合的开放模式。允许学生根据自己的实验方案设计和实验安排在课余时间预约进入实验室,进行创新性研究,自主实验,给学生试错的时间成本,以激发学生的科研兴趣,培养学生独立组织安排能力和应用创新实践能力[12]。“自清洁性溴氧铋涂层的制备及其油水分离性能测试”这一综合实验项目的实验安排是在大四上学期,所有课程学完之后。在时间上学生更有自主性,学生不仅可以提前进入实验室练习相关仪器设备操作,还可以进去设备拆装室,对相关仪器设备进行拆卸组装,在实验正式开始前熟练掌握仪器设备的操作要领,从而保障实验的顺利高效进行。

### 3.4. 考核评价体系的多元化

随着信息化时代的不断发展,传统的教学模式和传统的实验教学考核方式已经不适应时代的发展要求,因此,教师应根据应用化学开放式创新设计实验课程的特点,对传统的实验教学考核方法和标准实行一定的改进措施,对学生全面的测评[13]。建立多元化考核考评体系,引入实验安全方面的考核,比如需通过相关实验安全方面的考试才能进入实验室开始试验,实验过程中对学生实践能力、创新能力、设计能力、提出问题和解决问题能力等进行全面评价。摒弃传统的以实验报告为单一依据的考核方式,

突出过程评价机制。学生的最终成绩主要有实验前的准备阶段(30分),具体包括安全准入考试(5分)、前期的文献调研和汇报(10分)、实验方案的设计及团队组建(10分)以及预习作业(5分);实验项目实施过程中的表现(35分),具体包括实验操作技能(10分)、仪器实操与装置自搭建(10分)、实验数据和实验现象记录(5分)、团队协作和独立思考以及创新探究能力(10分);实验结束后的结果呈现方面(35分),具体有实验数据处理分析(10分)、实验报告撰写(10分),项目成果 PPT 汇报及对教学合理化建议(10分)、分析梳理和总结反思能力(5分)组成。该考核方式不仅能够调动每个学生的积极性、参与度和贡献度,有效提高学生交流汇报和团队协作等能力,其过程突出评价机制还让学生更加注重实践、创新和设计能力的自我提升。另外通过学生之间的相互评价以及对教师教学的合理化反馈,不仅可以培养他们发现问题、勇于质疑的批判精神,还能对教师的教学方法的精进和课程教学体系的完善起到良好的促进作用。

### 3.5. 增设实践拓展训练环节

实际教学过程中,受学校硬件条件和空间与时间的限制,学生实际能使用的仪器数量往往不足,学生实际使用仪器的时间很少,对仪器结构和性能也不甚了解,大部分学生自己动手时很容易出现操作错误或不规范等情况,影响实验的进程,对实验的真正目的理解不透,掌握不了操作技巧,更谈不上综合技能的训练和创新能力的提高。因此,开放性实验中,增设实践拓展训练环节,学生可提前预约进入实验室练习仪器操作,掌握操作要领,保证实验的高效进行;此外,对淘汰的化学类相关设备进行合理利用,发挥其剩余价值。淘汰仪器可放心、放手让学生拆卸、组装,帮助学生理解仪器的内部结构和工作原理以及测量过程,不仅满足了学生的好奇心,激发学生的探索欲,也符合社会对复合型实践创新人才的培养需求。在“自清洁性溴氧铋涂层的制备及其油水分离性能测试”综合实验项目中,安排了仪器操作提前预约练习环节,并将淘汰的光化学反应系统、紫外可见分光光度计等相关仪器设备用于学生的拆卸组装,帮助学生了解仪器的内部结构,助于学生对实验原理的理解,同时也有利于学生实践动手能力的提升。

### 3.6. 教学实施过程

以“自清洁性溴氧铋涂层的制备及其油水分离性能研究”综合实验为例,探讨开放式创新设计性实验模式在应用化学专业综合实验中的具体实施过程。开放式创新设计性综合实验“自清洁性溴氧铋涂层的制备及其油水分离性能研究”的实施过程主要分实验前、实验中、实验后三个阶段进行,并对每个阶段进行细化,明确师生各自的任务,并建立多元化考核体系,对实验过程和结果的关键性指标进行全面评价,并突出过程评价,具体如表 1 所示。在教学预期成效方面,这种以学生为教学主体,教师为辅助指导的实验模式,有望极大地提高学生的主观能动性,创新性的实验内容可以激发学生的学习兴趣 and 探索热情。该开放创新设计性综合实验的探索开展,有望使学生的自主创新能力、独立科研思维、操作技能、以及发现问题、分析问题和解决问题的能力、团队协作与表达交流的能力、理论和实践结合的能力得到全面提升。

## 4. 挑战与反思

虽然开放式创新设计性实验模式在应用化学专业综合实验中得到应用,但如何高效顺利地实施开展仍具有挑战性。在实施过程中遇到一些问题,比如,在方案设计上,高年级学生的专业知识水平不高,学生方案设计可行性差,设计内容较单一,且操作性不强;在大型仪器预约方面,受限于实验室管理模式以及学校硬件设施不足等造成仪器预约困难;团队协作方面,因高年级学生需要准备考研,导致小组协作中出现分工不明确和时间安排不合理的矛盾;实验室安全方面,随着学生人数的增多和实验时间的灵活性,对于实验室安全的管理有待进一步加强等。对此,后期可采用贯穿式培养模式,在大大二二期

间结合课程内容设置课内训练项目，提升学生专业基础知识掌握度的同时强化培养学生的沟通能力、团队协作能力、方案设计能力等；同时进一步完善实验室的开放制度、共享制度、安全管理制度等，构建实验室开放管理平台，实现实验室管理科学化，保障实验教学计划的顺利进行，促进具有实践创新能力人才的培养。

**Table 1.** The implementation process of the open innovation design comprehensive experiment “preparation of self-cleaning bismuth oxybromide coating and its oil/water separation performance”

**表 1.** 开放式创新设计性综合实验“自清洁性溴氧铋涂层的制备及其油水分离性能研究”的实施过程

阶段	教学过程	教师任务	学生任务	考核指标
实验前 (30分)	选题发布 实验分组 文献调研 方案设计	① 项目选题背景介绍(含油废水的危害、常见处理方式、膜分离材料以及目前存在的问题现状分析),确定研究方向和实验内容; ② 要求学生掌握润湿性理论,光催化基本原理,半导体纳米涂层材料的制备方法与表征技术,掌握油水分离和光催化降解有机污染物的实验方法; ③ 教师协助指导,提出修改建议,确定实验方案的可行性; ④ 预习作业:与课题相关的理论知识点的提炼。	① 明确实验内容和要求后,自由组队,以小组为单位进行文献调研和实验方案设计,并以文献汇报的形式向老师展示实验方案,在教师的指导下确定最终实验方案; ② 学生利用线上资源或是虚拟仿真资源提前了解相关仪器设备的基本结构、原理以及基本操作。并根据实验方案提前预约进入实验室练习相关仪器设备的操作,熟练掌握操作要领以保证实验的顺利实施; ③ 通过实验室安全平台考试,以提高学生的实验安全意识; ④ 归纳总结相关理论知识点,并梳理知识点和实验项目之间的关联性,强化理论和实践相结合的能力。	① 实验室安全准入平台考试合格证书(5分) ② 文献调研和PPT汇报(10分) ③ 团队组建和实验方案设计(10分) ④ 理论知识的归纳总结能力(5分)
实验中 (35分)	实验实施	① 教师采用启发式、引导式和讨论式的授课方式对实验目的、实验原理、实验内容和步骤、实验中的注意事项进行讲解和讨论,向学生演示相关仪器的基本操作,并向学生提出与基础理论知识和基本操作相关的普遍性问题; ② 教师辅助指导,实时观察监督学生的试验进展情况并记录,及时发现问题,引导学生自主解决,并有针对性地提出一些探究性的问题来激发学生的求知欲和探究问题的热情。	① 学生主体实验,自主独立思考,在保证实验操作的规范性,仪器设备的操作熟练的情况下,按顺序分阶段模块化进行实验,第一阶段是超润湿性溴氧铋涂层的构建,第二阶段是溴氧铋涂层结构表征与表面分析,第三阶段是溴氧铋涂层的油水分离性能测试,第四阶段是溴氧铋涂层的光致自清洁能力测试; ② 认真如实记录实验原始数据和实验现象; ③ 根据老师建议实时调整实验方案,并带着问题去思考、探究以寻求更科学的解决方案,实现创新实践能力的进阶式提升。	① 实验操作技能(10分) ② 仪器实操与自搭建装置的科学合理性(10分) ③ 实验数据和实验现象记录(5分) ④ 团队协作能力,独立思考能力,创新探究能力(10分)
实验后 (35分)	数据分析 处理 实验报告 撰写 成果PPT 汇报 教学合理化 建议	① 教师辅助指导学生数据处理和分析; ② 要求学生按照科技论文的格式完成实验报告的撰写,并以PPT形式进行实验过程及相关实验数据分析讨论的报告交流; ③ 教师对答辩情况评估学生表现; ④ 根据学生建议,进行教学反思和改进。	① 学生根据自己的实验结果进行数据处理,并对实验结果进行讨论和分析,每位学生以科技论文的形式撰写实验报告; ② 以小组为单位根据实验项目制作PPT并进行汇报答辩,小组之间互相提问,对每组的实验结果进行比较分析,讨论,探究,并针对实验中存在的问题提出改进意见; ③ 对老师的教学方法、实施细节提出教学改进意见。	① 实验数据处理分析的正确性、详细程度和合理性(10分) ② 实验报告撰写的规范性和完整性(10分) ③ 成果PPT汇报和对教学合理化建议(10分) ④ 文字表达、分析梳理、总结反思的能力(5分)

## 5. 结束语

本文以培养学生自主创新思维和专业综合技能为目标, 针对目前我校应用化学专业综合实验在教学过程中凸显出的一些问题, 对应用化学开放式创新设计性综合实验教学体系进行了探索和实践。预期通过该开放式创新设计性综合实验的实施, 可以有效培养学生的自主创新思维和专业综合技能, 充分调动学生学习的积极性和主动性, 激发学生的求知欲和探索精神, 提高学生理论和实际相结合的应用实践能力以及团队协作能力, 以期具备良好科学素养、强烈社会责任感、扎实专业素质、敏锐创新精神和解决复杂问题能力的新型理工交叉融合创新人才的培养起到引领和示范作用。

## 基金项目

武汉工程大学教学研究项目(X2023017); 湖北省自然科学基金青年项目(2023AFB332); 安徽省古建筑智能感知与高维建模国际联合研究中心开放课题(GJZZX2024KF02)。

## 参考文献

- [1] 雷琳, 陈亚举. 应用化学专业综合实验中体验式学习模式的构建[J]. 山东化工, 2020, 49(12): 162-163, 165.
- [2] 刘琼, 唐佳乐, 章颖, 赵慧平. 线上线下混合式教学模式在应用化学专业综合实验中的应用[J]. 实验科学与技术, 2024, 22(5): 80-83.
- [3] 徐金瑞, 郑传进, 王志江, 黄建蓉. 开放式综合设计性实验模式在食品类专业实践教学中的应用——以食品加工与质量控制综合实验课程为例[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(8): 275-276.
- [4] 王琨琦, 纪晓娜, 张培旭, 邹广玉, 左妍, 崔振峰. 新工科背景下应用化学专业化学综合设计实验课程的改革与实践[J]. 创新创业理论研究与实践, 2024, 7(5): 50-53, 87.
- [5] 刘君侠. 基于创新能力培养的环境工程实验室开放模式探索[J]. 广东化工, 2017, 44(21): 173-174.
- [6] 徐小春, 马文平, 纳鹏军, 等. 《食品分析实验》课程综合性设计性实验教学改革探索与实践[J]. 教育教学论坛, 2018(49): 269-270.
- [7] 吴忭, 李凤鸣, 胡艺龄. 生成式人工智能赋能本科生科研能力培养[J]. 现代远程教育研究, 2024, 36(3): 3-10, 28.
- [8] 霍彦雄, 牛永旺, 郭妍, 李桂峰, 张亮亮, 冯赛赛, 崔娜, 徐建国. OBE理念融合PBL模式的“食品分析检测技术”课程教学改革探索[J/OL]. 农产品加工: 1-4. <https://link.cnki.net/urlid/14.1310.S.20250725.0900.006>, 2025-07-27.
- [9] 何丽雯, 孙东亚. 应用化学开放性实验教学模式浅析[J]. 实验科学与技术, 2015, 13(1): 109-111, 197.
- [10] 尹成杰, 胡劲松, 杨萍, 李亚男, 李智. 面向应用化学专业“综合实验”课程的项目式教学改革探索[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2023, 36(3): 71-75.
- [11] 黄健涵, 陈立妙, 李亚娟, 等. 凸显特色与优势, 建设应用化学国家一流本科专业[J]. 大学化学, 2021, 36(11): 18-24.
- [12] 陈立妙, 唐俊涛, 王海燕, 黄健涵. 应用化学综合实验课程的教学改革与实践[J]. 广州化工, 2023, 51(13): 233-235.
- [13] 孜力汗, 杨君, 袁文杰, 贾凌云, 高晓蓉. 生物工程专业实验自主学习开放教学改革[J]. 实验科学与技术, 2018, 16(5): 139-144, 169.