

面向新工科的“模块化 - 绿色化 - 智能化” 光谱分析实验教学改革研究

谭超^{1*}, 邹琴¹, 邱笛¹, 陈慧¹, 邱菊¹, 吴同¹, 杨芳¹, 徐伟²

¹宜宾学院过程分析与控制四川省高校重点实验室, 四川 宜宾

²宜宾天原集团股份有限公司, 四川 宜宾

收稿日期: 2025年12月6日; 录用日期: 2026年1月7日; 发布日期: 2026年1月14日

摘要

为应对新时代对分析化学人才提出的“懂仪器、善分析、能创新、重绿色”的高要求, 针对传统光谱实验教学中存在的仪器封闭、方法孤立、试剂高耗、数据欠智能等核心问题, 开展了一项深度融合“模块化、绿色化、智能化”理念的教学改革。改革通过构建一个集模块化硬件平台、智能化软件系统与项目式教学模式于一体的光谱分析智慧实验室, 将红外、拉曼、紫外-可见、荧光等光谱技术进行绿色化、模块化重组。实践表明, 该体系能有效引导学生从“被动操作者”转变为“主动设计者”, 在亲手搭建仪器、组态分析流程、直接快速分析食药、环境、纺织品等复杂实际样品的过程中, 深刻理解光谱原理, 掌握绿色分析理念, 培养其解决复杂实际问题的创新思维与综合能力。该研究为新工科背景下分析化学创新人才的培养提供了一套可复制、可推广的新范式。

关键词

新工科, 光谱分析, 模块化, 绿色化, 智能化, 教学改革, 创新能力培养

Research on the Reform of Spectroscopy Analysis Experiment Teaching Oriented towards Emerging Engineering Education: Integrating “Modularization, Greenization, and Intelligentization”

Chao Tan^{1*}, Qin Zou¹, Di Qiu¹, Hui Chen¹, Ju Qiu¹, Tong Wu¹, Fang Yang¹, Wei Xu²

¹Key Lab of Process Analysis and Control of Sichuan Universities, Yibin University, Yibin Sichuan

*通讯作者。

文章引用: 谭超, 邹琴, 邱笛, 陈慧, 邱菊, 吴同, 杨芳, 徐伟. 面向新工科的“模块化-绿色化-智能化”光谱分析实验教学改革研究[J]. 教育进展, 2026, 16(1): 924-929. DOI: 10.12677/ae.2026.161125

²Yibin Tianyuan Group Co., Ltd., Yibin Sichuan

Received: December 6, 2025; accepted: January 7, 2026; published: January 14, 2026

Abstract

In response to the high requirements of “understanding instruments, being good at analysis, capable of innovation, and emphasizing greenness” for analytical chemistry talents in the new era, and to address the core pain points in traditional spectroscopy experiment teaching such as closed instruments, isolated methods, high reagent consumption, and lack of intelligent data processing, a teaching reform deeply integrating the concepts of “modularization, greenization, and intelligentization” was implemented. The reform involves constructing a smart spectroscopy analysis laboratory that integrates a modular hardware platform, an intelligent software system, and a project-based teaching model, thereby reorganizing and optimizing various spectroscopic technologies like IR, Raman, UV-Vis, and FL. Practice has shown that this system can effectively guide students to transform from “passive operators” to “active designers”. Through hands-on instrument assembly, configuration of analytical workflows, and direct analysis of complex real-world samples (e.g., food, drugs, environmental samples, textiles), students gain a profound understanding of spectroscopic principles, master green analytical concepts, and cultivate innovative thinking and comprehensive abilities to solve complex practical problems. This research provides a new, replicable paradigm for cultivating innovative talents in analytical chemistry under the background of emerging engineering education.

Keywords

Emerging Engineering Education, Spectroscopy Analysis, Modularization, Greenization, Intelligentization, Teaching Reform, Innovation Capability Cultivation

Copyright © 2026 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

分析化学是化学、化工、制药、环境、材料等学科的重要基石，其人才培养质量直接关系到相关产业的技术进步与创新。随着新工科建设的持续深化与产业升级的加速，社会对分析化学人才的期望已超越单纯的操作技能，转向要求其具备扎实的仪器原理知识、系统的分析方法论、强烈的绿色环保意识以及运用智能工具解决复杂问题的创新能力[1] [2]。

在化学教育领域，模块化教学的应用已呈现多维度探索态势：早期研究多聚焦于课程内容的模块化重构，如将分析化学实验划分为基础操作模块、仪器使用模块与综合应用模块[3]，通过知识点的结构化整合提升教学效率。但仍存在明显局限：多数硬件模块化设计仅停留在单一分析技术层面，缺乏多光谱技术的跨模块整合，难以支持学生自主设计复杂分析流程。项目式学习(PBL)以真实问题为导向，强调学生在自主探究中构建知识与能力，已成为化学实验教学改革的重要方向。然而，现有 PBL 实践仍面临瓶颈：一是项目设计多依赖传统封闭性仪器，学生难以深入参与仪器原理探究与流程优化；二是项目实施过程中，绿色化学理念多为附加性要求，学生的环保意识培养流于表面；三是数据分析环节多停留在基础数据处理层面，未能有效融入化学计量学、机器学习等现代分析方法，与信息时代对分析人才的核心

能力要求存在差距[4]。此外,化学计量学已成为分析化学的核心工具之一,但这些探索与实验实践脱节,学生难以将算法知识应用于真实样品的复杂光谱数据分析;二是教学工具的开放性与适配性不足,多数脚本仅针对特定数据集设计,无法与学生自主搭建的实验平台产生联动[5]。

然而,审视当前高校的分析化学实验教学,尤其是在光谱分析领域,仍普遍存在若干亟待改革的痛点。**首先,仪器“黑箱化”严重。**现代商用光谱仪高度集成与封闭,学生仅能执行标准化的按键操作,无法窥探内部光路结构与工作机理,这不仅阻碍了学生对原理的深层理解,更抑制了其仪器设计与创新的潜能[6]。**其次,分析方法呈现“孤立化”壁垒。**紫外-可见吸收光谱(UV-Vis)、荧光光谱(FL)、傅里叶变换红外光谱(FT-IR)和拉曼光谱(Raman)等实验内容往往分属不同课程或章节,缺乏技术间的联动与比较,学生难以建立利用多技术协同解决同一实际问题的系统思维。**再次,实验过程“高消耗、非绿色”。**传统实验模式依赖大量化学试剂和繁琐的样品前处理流程,不仅成本高昂,产生大量废弃物,更与绿色化学与可持续发展教育理念相悖[7]。**最后,数据分析环节“欠智能”。**教学多停留在基础的谱图解析与“看图识字”,未能将化学计量学、人工智能(AI)等现代数据分析方法有效融入教学环节,导致学生面对复杂实际样品的光谱数据时“不会处理、不懂挖掘”,难以满足信息时代对分析人才的核心能力要求。

为破解这些难题,国内教育工作者进行了诸多探索,如引入虚拟仿真教学[8]或开设综合性实验[9],但往往难以实现硬件动手能力、绿色化学理念与智能数据分析能力的协同与深度融合。因此,本研究旨在构建一个以“模块化-绿色化-智能化”(三化)深度融合为核心的光谱分析实验教学新体系,并通过“课外三驱”项目式创新实践路径予以实施,以期系统性提升分析化学创新人才的培养质量。

2. 教学改革的核心架构

本改革的总体架构遵循“硬件重构-软件赋能-教学创新-能力提升”的逻辑主线,其核心构成如下。

2.1. 模块化与绿色化的硬件平台构建

平台建设的首要目标是打破商用仪器的封闭性,通过可重构的模块化设计,让学生亲手参与光路搭建与仪器组态,从根本上理解仪器工作原理。

1) 光学模块库设计与整合:基于标准光学接口,将光源模块(氙灯、卤钨灯、激光器)、分光模块(光栅单色器、迈克尔逊干涉仪)、样品室模块(透射比色皿座、固体漫反射池、液体荧光池、多种光纤探头)和检测器模块(CCD、光电倍增管、DTGS 探测器等)进行物理分离和标准化。充分利用现有科研平台中闲置或退役的部件进行二次开发,遵循“复用、重组、共享”的原则,显著降低建设成本。例如,学生可以组合氙灯光源、比色皿样品架和 CCD 检测器,自主搭建一套基本的 UV-Vis 光谱仪。

2) 绿色分析流程嵌入式设计:在模块化组合中,重点集成非破坏性、微量或无需前处理的绿色分析技术。例如,利用漫反射附件直接测定药片有效成分,避免溶剂提取;采用光纤探头实现水体的原位、实时检测,显著减少采样体积与溶剂用量。通过设计“传统溶液法”与“固体直接测定法”的对比实验,让学生定量体验绿色分析在效率提升与环境友好性方面的双重优势,将绿色化学理念内化于心。

3) 典型应用案例引导:围绕食药安全、环境监测、材料鉴定等真实应用场景,设计了一系列模块化组合案例。例如,**案例一:**基于模块化 UV-Vis/FL,搭建用于“饮料中合成色素含量快速测定”或“中药硫熏快速筛查”的平台;**案例二:**基于模块化 FT-IR/Raman,搭建用于“纺织品纤维成分无损鉴别”或“塑料污染物分类”的平台。这些案例使学生直面真实分析需求,提升学习兴趣与使命感[10]-[12]。

2.2. 智能化与交互式的软件系统赋能

为解决学生从“获取数据”到“挖掘信息”的能力断层,将前沿数据分析方法进行教学化封装与下沉,提升其数据挖掘与建模能力。

1) 算法方法库构建:系统集成从光谱预处理(Savitzky-Golay 平滑、Norris 导数滤波、基线校正)到化学计量学(主成分分析 PCA、偏最小二乘回归 PLSR、线性判别分析 LDA)及常用机器学习算法(如支持向量机 SVM、K-最近邻 KNN)的核心模型, 形成一个适用于教学场景的、层次化的数据处理工具集。

2) 交互式分析脚本开发:利用 Python 语言及 Jupyter Notebook 等工具, 开发了一系列交互式数据分析案例脚本。每个脚本(如“基于 PCA-LDA 的纺织品纤维分类”、“利用 PLSR 定量预测药片有效成分”)内嵌详尽的步骤注释、代码解释和引导性问题。学生只需导入自行采集的光谱数据, 便可依次执行数据导入、预处理、特征降维、模型构建、交叉验证与结果可视化全过程, 从而直观理解算法原理、适用场景与局限性。

3) 分层能力培养设计:软件系统设计兼顾普及与提高。基础脚本确保所有学生掌握标准数据分析流程; 同时, 开放性的脚本结构和可扩展的算法接口为学有余力的学生提供了优化模型参数、尝试新算法(如卷积神经网络 CNN 用于光谱特征提取)的创新空间, 实现了因材施教。

2.3. “课外三驱”项目式教学模式运行

为确保改革理念落地并转化为教学优势, 规避传统课内实验学时不足的限制, 设计了以学生为中心的“课外三驱”创新能力培养模式。

1) 驱动一: 大学生创新创业训练计划(大创项目)驱动。围绕平台能力, 发布一系列不同难度的开放性研究课题, 如“基于自建拉曼系统的微塑料快速鉴别与溯源”、“结合近红外光谱与机器学习算法快速评估果蔬品质”。学生自由组队申请, 在导师组指导下, 完整经历从文献调研、方案设计、仪器搭建/组态、样品测试到数据分析与报告撰写的科研全流程, 系统性培养科研素养与项目管理能力。

2) 驱动二: 学科竞赛驱动。积极组织学生参加“全国大学生化学实验创新设计大赛”、“四川省大学生分析检测实验竞赛”等高水平赛事。将竞赛题目作为高阶挑战性项目, 例如“开发一种用于现场快速筛查假冒药品的光学新方法”, 要求学生综合利用平台硬件模块和智能软件资源, 提出创新性解决方案并完成验证。在竞技氛围中, 极大激发了学生的潜能, 锤炼了其心理素质、临场应变能力和团队协作精神。

3) 驱动三: 教师科研反哺教学驱动。将教师科研项目中适于教学化的内容(如环境中新兴污染物的光谱快速监测需求、新材料的结构表征)转化为课外探究课题, 吸引学有余力的学生提前进入科研梯队。学生在此过程中接触学科前沿, 其获得的真实、有价值的科研数据又可反哺和丰富教学案例库, 形成教学相长的良性循环。

该模式配套建立了以“创新性、绿色性、完成度、数据分析深度”为核心指标的过程性与成果性相结合的评价体系, 并依托跨学科的导师组机制提供全程、专业的指导。

3. 改革成效与特色分析

经过教学实践, 该改革体系取得了显著成效。参与学生在国家级与省级学科竞赛中表现突出, 累计获得一等奖多项, 并成功申报多项“大学生创新创业训练计划”项目。更为重要的是, 通过前后测问卷调查、项目报告分析、作品评审与深度访谈等混合研究方法进行评估, 发现学生的以下能力得到显著提升:

- **仪器原理理解深度:**超过 85%的参与学生表示, 通过模块化搭建, 对光路构成与光谱仪器工作原理的理解“显著深化”或“完全理解”, 实现了从“知其然”到“知其所以然”的转变。
- **绿色分析意识与实践:**在项目设计与实施中, 学生能主动优先选择微量、快速、无污染的绿色分析方法, 并能在报告中定量评估其环境效益, 绿色化学理念已贯穿于人才培养全过程。

- **复杂问题解决与数据分析能力：**学生能够灵活联用多种光谱技术，并运用主成分分析、偏最小二乘法等算法对药片、纺织品、环境水样等复杂实际样品进行有效的定性鉴别与定量预测，解决了“面对数据无从下手”的难题。
- **创新思维与团队协作精神：**在开放性的项目设计与实施过程中，学生的批判性思维、创新意识和团队协作能力得到了充分锻炼，综合素质显著增强。

本教学改革的核心特色可归纳为：

1) **“三化融合”的系统性创新：**将“模块化(硬件可重构，激发创新)、绿色化(方法可持续，体现责任)、智能化(数据可挖掘，赋能决策)”三大前沿理念有机融合，贯穿于从硬件平台、软件系统到教学模式的整个体系，实现了从知识传授到能力培养的多维度、系统性创新，特色鲜明[7]。

2) **“以学生为中心”的课外创新实践路径：**突破传统实验课在时间、空间和内容上的局限，通过课外项目、竞赛和科研三条核心驱动力，为学生提供了高度自主、开放和个性化的创新实践空间，真正实现了因材施教和个性化培养，将学习主导权交还给学生。

3) **“虚实结合、聚焦典型”的低成本高效实施策略：**不追求“大而全”，强调对现有科研教学资源的整合与升级，重点深入建设若干个典型模块化组合案例，并开发配套的虚拟仿真模块(如光路搭建模拟软件)作为有效补充和预习工具。该策略使得改革方案投入成本低、可操作性强、建设周期短，示范推广价值大。

4) **“产-学-研”多维能力融合培养：**分析对象直接对接真实样品(食药、环境等)，问题来源于产业与科研实际需求，有效培养了学生从“实验室”到“生产线”、“现场”的视野转换能力和解决真实问题的本领，提升了人才培养与社会需求的契合度。

4. 改革存在的局限性与挑战

1) **师资队伍能力要求高，存在能力门槛障碍：**“三化融合”体系的实施对教师的综合能力提出了远超传统教学的要求：一方面，教师需同时掌握光谱仪器硬件原理、绿色分析方法开发与智能数据分析技术，而多数高校分析化学教师的研究方向相对单一，跨领域知识储备不足，需通过长期培训才能满足教学需求；另一方面，“课外三驱”项目式教学要求教师具备科研项目指导、竞赛策略辅导等多元化能力，需投入大量时间与精力跟踪学生进度，对教师的时间管理与教学精力分配构成挑战。

2) **大班额教学适配性不足，个性化指导难度大：**当前多数高校分析化学实验课程面临“大班额、少课时”的现实困境，而本改革体系的核心优势在于通过“亲手搭建仪器、自主设计流程、深度分析数据”实现个性化培养，但在 50 人以上的大班额教学中面临显著瓶颈：一是硬件资源不足，模块化仪器的核心模块(如激光器、CCD 检测器)成本较高，高校难以配备足够数量满足大班额学生同步实践需求的问题；二是教师指导精力有限，大班额下教师难以对每个学生的仪器搭建误区、数据分析漏洞进行精准指导，无法真正理解光谱原理与绿色分析理念。

3) **硬件维护成本与技术更新压力大，可持续性待提升：**模块化硬件平台的长期运行面临两大核心问题：一是维护成本高，相较于封闭商用仪器，模块化仪器的组件(如光纤探头、单色器光栅)暴露在外，易因学生操作不当(如光路对齐偏差、样品污染)导致损耗，且部分核心模块(如 DTGS 探测器)需定期校准，维护费用与专业技术人员需求增加了高校的教学成本负担；二是技术更新压力大，光谱分析技术(如高分辨拉曼光谱、原位紫外光谱)与智能化工具(如深度学习光谱分析算法)迭代迅速，现有模块化平台的硬件接口与软件脚本需定期升级以适配新技术，而技术更新需投入额外的研发资金与时间，对高校的持续投入能力与教师的技术迭代能力提出更高要求。

未来将从三方面突破改革局限，提升体系普适性与可持续性：一是构建“分层培训 + 资源共享”机

制,联合校企打造基础、进阶、精英三层师资培训体系,搭建区域性模块化教学资源与师资共享平台,降低实施门槛;二是推“虚实结合+分级任务”模式,开发虚拟仿真预实验系统助学生课前预习,设计基础、进阶、创新三级任务适配大班额,兼顾全员达标与优生拔尖;三是完善支撑体系,研发低成本模块化硬件与插件化软件降低维护更新成本,构建“资源-环境-效率”三维绿色评估体系,制定统一量化标准并开展长期追踪,联合多方形成协同育人共同体,推动改革广泛落地。

5. 结论

本研究构建并实践的“模块化-绿色化-智能化”三融合光谱分析实验教学体系,有效破解了传统教学中仪器黑箱化、方法孤立化、过程高消耗、数据欠智能等核心难题,显著提升了学生的仪器原理理解深度、绿色分析意识、创新实践能力和解决复杂问题的综合素养。该改革所形成的顶层设计模型、模块化硬件组态方案、交互式数据分析脚本、典型教学案例库及“课外三驱”运行与评价机制,共同构成了一个完整、可闭环优化的分析化学创新人才培养新范式。该成果可直接应用于化学、化工、材料、制药、环境等相关专业的课外实践教学、竞赛培训与科研训练中,受益面广。同时,由于其强调对现有资源的整合与优化,而非完全依赖昂贵的新设备采购,所积累的数字化教学资源(案例、脚本、设计方案)极易复制与共享,具有很强的普适性。可通过教学研讨会、师资培训、校际合作等方式向同类地方院校及工科专业推广,为推进新工科背景下的实践教学改革提供一条低投入、高产出的可行路径。此外,该模式培养的毕业生兼具扎实的理论功底、敏锐的创新意识、强烈的社会责任感和先进的数据处理能力,更能契合现代检验检测、生物医药、环境监测等行业对创新型、复合型人才的需求,具有显著的社会效益和广泛的应用前景。

基金项目

2025 年度宜宾学院校级教学改革与研究项目(基于模块化与绿色化的光谱分析智慧实验室构建与教学模式改革探索)资助。

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] 教育部高等学校教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [3] 陈静, 李明. 化学实验模块化教学的现状与发展趋势[J]. 化工高等教育, 2022, 39(3): 98-103.
- [4] 刘娟, 张伟. 学科竞赛驱动的分析化学实验 PBL 教学改革实践[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(5): 189-193.
- [5] 赵峰, 王丽. 化学计量学在分析化学教学中的融入路径与实践[J]. 高等理科教育, 2020(2): 112-117.
- [6] 王彦沙, 苏明, 张雷. 浅谈现代分析仪器实验教学的“黑箱”困境与破解路径[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(8): 28-31.
- [7] 阎芳, 吕长征, 李晓燕. 绿色化学理念在分析化学实验教学中的渗透与实践[J]. 大学化学, 2020, 35(9): 64-68.
- [8] 李娜, 赵一玫, 陈怀宇. 虚拟仿真技术在分析化学实验教学中的应用与思考[J]. 化工高等教育, 2021, 38(2): 105-109.
- [9] 张树永, 朱亚先. 高等学校化学类专业物理化学相关教学内容与教学要求建议[J]. 大学化学, 2021, 36(1): 1-10.
- [10] 郑兰荪, 谢兆雄, 曹晓宇, 等. 化学创新人才培养的实验教学改革与实践[J]. 中国大学教学, 2022(5): 23-28.
- [11] Lavine, B.K. and Workman, J. (2018) Chemometrics. *Analytical Chemistry*, **90**, 340-361.
- [12] Pasquini, C. (2018) Near Infrared Spectroscopy: A Mature Analytical Technique with New Perspectives—A Review. *Analytica Chimica Acta*, **1026**, 8-36. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.04.004>