

OBE-CDIO理念下的分析化学实验教学改革探究

黄旺银^{1,2*}, 夏烈文¹, 陈 俏¹, 刘 琴¹

¹乐山师范学院新能源材料与化学学院, 四川 乐山

²西部硅材料光伏新能源产业研究院, 四川 乐山

收稿日期: 2025年12月25日; 录用日期: 2026年1月27日; 发布日期: 2026年2月6日

摘 要

针对当前高校化学、环境类专业分析化学实验教学存在的验证性实验多、创新性实验少、考核模式局限以及实验内容脱离专业特点等问题, 充分依托学校各种教学科研平台, 秉持OBE理念, 探索分析化学实验课程教学改革。以“构思、设计、实施和运行”为主线, 通过实验方案构思、过程设计、实验过程实施和实验项目运行四个方面对分析化学实验课程教学进行改革。同时, 基于OBE理念构建实验课程评价指标体系, 从知识、能力和素质层面培养学生的综合能力和科学素养。

关键词

OBE-CDIO理念, 分析化学实验, 教学改革, 评价体系

Exploration of the Reform of Analytical Chemistry Experiment Teaching under the OBE-CDIO Concept

Wangyin Huang^{1,2*}, Liewen Xia¹, Qiao Chen¹, Qin Liu¹

¹School of New Energy Materials and Chemistry, Leshan Normal University, Leshan Sichuan

²Leshan West Silicon Materials Photovoltaic New Energy Industry Technology Research Institute, Leshan Sichuan

Received: December 25, 2025; accepted: January 27, 2026; published: February 6, 2026

Abstract

Addressing the current issues in analytical chemistry experiment course teaching for chemistry and

*通讯作者。

文章引用: 黄旺银, 夏烈文, 陈俏, 刘琴. OBE-CDIO 理念下的分析化学实验教学改革探究[J]. 创新教育研究, 2026, 14(2): 162-169. DOI: 10.12677/ces.2026.142109

environmental majors in universities, such as an excess of verification experiments, a scarcity of innovative experiments, limited assessment modes, and experimental content that is disconnected from professional characteristics, we fully rely on various teaching and research platforms of the school, adhere to the OBE concept, and explore reforms in analytical chemistry experiment course teaching. Taking the “Conceive, Design, Implement, and Operate” approach of the CDIO teaching model as the main thread, we have reformed the teaching of analytical chemistry experiment courses from four aspects: experimental scheme conception, experimental process design, experimental process implementation, and experimental project operation. At the same time, based on the OBE concept, an evaluation index system for experimental courses is constructed to cultivate students’ comprehensive abilities and scientific literacy from the perspectives of knowledge, ability, and quality.

Keywords

OBE-CDIO Concept, Analytical Chemistry Experiment, Teaching Reform, Evaluation System

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

分析化学是化学领域的四大基础课程之一，是研究物质化学组成的表征和测量的学科，是化学、化工、生物、医学、环境等行业领域必需的重要技术之一。分析化学实验与分析化学理论课程密切相关，有严密、系统的理论，是理论与实际密切结合的学科，具备很强的实用性。该课程旨在通过实验练习规范学生的基本操作技能，帮助学生们建立“量”的观念，促进学生形成较系统的分析化学知识体系，深化对各种分析方法及其基本原理的理解，科学记录和处理实验数据的能力，以及准确表达分析结果的能力。然而，该课程的教学目标除了基本知识的获取和实验能力培养外，还着力于发现、分析、解决问题的逻辑思维方式的培养以及动手解决相关问题能力的提升。因此，在实验课程教学过程中探索知识传授、学科素养培养、实验技能提升的有效方法途径，已成为当前分析化学实验教学改革的重要方向。

2. OBE 教育理念概述

成果导向教育(Outcome Based Education, OBE)，是一种以成果(教育产出)为目标导向，以学生为本，采用逆向思维的方式进行的课程体系的核心理念，是一种先进的教育理念。OBE 理念注重学习成果，教师可依据学生在知识、能力和素养方面的毕业要求设计教学和考核内容，保障学生完成预期成果目标。

“构思 - 设计 - 实施 - 运行”(Conceive-Design Implement-Operate, CDIO)教学模式由麻省理工学院等四所大学研究创立，是实现 OBE 理念的重要手段，可通过团队合作、主动参与和探究式学习提高学生的团队协作能力、系统控制能力和持续学习能力[1]-[3]。OBE 理念回答了“为了什么”的问题，CDIO 教学模式回答了“如何实现”的问题[4] [5]，两者相辅相成。

3. 分析化学实验课程教学中存在的问题

3.1. 教学模式存在局限性

多数院校仍以“教师讲解 - 学生模仿”为主，实验内容以验证性操作为核心。学生按教材实验步骤流程化操作，对反应机理与实际应用场景的关联性不强，导致理论与实践脱节，实验沦为“照方抓药”。

学生被动接受知识, 缺乏独立设计实验的能力。另外, 实验教学仍以大班教学为主, 学生人数普遍较多, 教师往往难以对每个人提供及时的指导, 学生操作中产生的问题难以得到及时解决, 进而影响学生实验主动参与度和实验兴趣, 实验技能未能得到充分的锻炼。

3.2. 教学内容与设计的局限

3.2.1. 理论与实验进度脱节

在本科院校实验教学中, 理论教学与实验教学进度不同步是非常常见的问题。导致该问题的主要有以下两个方面: 首先, 理论教课与实验课程任课教师不同; 其次, 理论课与实验课教学方式不同, 实验课程受实验场所等特殊条件影响明显。在当前教学安排中, 理论课程的讲授进度常常滞后于实验环节的开展, 致使学生在参与实验时对相关原理尚未形成系统、深入的理解。虽然在实验操作开始前, 教师通常会简单介绍实验所涉及的相关理论知识, 但由于总课时间的限制, 这类讲解往往较为概括, 难以覆盖关键细节。因此, 即便学生全程参与了实验操作, 也未能有效借助实践深化对理论的认识, 从而使实验教学原本应起到的巩固与拓展作用未能充分发挥, 实际教学效果受到影响。

3.2.2. 实验类型单一, 缺乏综合性与创新性

目前, 多数高校分析化学实验内容以验证性实验为主, 内容集中于经典滴定、重量分析等传统方法, 缺乏综合设计类实验[6][7]。验证型实验内容较为单一, 学生往往以被动执行流程的心态参与其中, 仅限于完成任务指标。这种模式不仅难以提升其综合能力, 也对创新思维的培养形成制约。另一方面, 现有实验所使用的样本多属理想化的模拟样品——例如在纯水体系中配置的已知组分、固定含量的标准溶液, 便于取得预期结果; 然而真实环境下的样品通常成分多样、存在干扰因素较多, 需经过必要的预处理方能准确定性、定量。日常实验教学中对这一差异的关注不足, 使学生缺少应对实际、复杂问题的训练机会, 影响了其实践能力的全面发展。

3.3. 教学评价维度单一, 重结果轻过程

当前, 分析化学课程的成绩评定主要采用过程性评价与终结性评价相结合的方式。其中, 过程性评价占总评分的 40% (含实验报告 20%、平时成绩 10%、考勤 10%), 而终结性评价占 60% (主要为期末技能考核)。然而, 现有的过程评价过于倚重实验报告、预习报告和出勤情况, 评价角度较为单一, 难以有效激发和引导学生自主学习的积极性。此外, 传统的考评内容偏重于操作规范与数据分析能力, 而对团队协作等方面的关注明显不足。该评价机制也难以实时捕捉学生在知识点掌握等方面的具体问题, 限制了教师及时优化教学策略的可能性。基于 OBE (成果导向教育) 理念, 课程评价应更加注重学习效果的反馈与促进功能。为此, 建议推动平时成绩构成的多样化, 增设阶段性考核与动态反馈环节, 从而帮助学生清晰定位学习目标, 逐步提升专业素养与实践能力。

4. 基于“OBE-CDIO”理念的“HCl 和 NH₄Cl 混合溶液实验”教学改革

结合分析化学实验课程特点, 以“HCl 和 NH₄Cl 混合溶液分析”为例, 开展基于 OBE-CDIO 理念的创新实验教学, 从实验方案构思、实验过程设计、实验过程实施和实验项目运行等四个方面出发, 切实培养学生的各种能力, 实现课程目标。HCl 和 NH₄Cl 混合溶液作为一种重要的酸性浸提溶液, 在工业生产中应用广泛, 如石英砂提纯浸提废液等[8][9]。所以通过双指示剂法测定工业废液中 HCl 和 NH₄Cl 组分含量, 不仅能够提升学生的学习兴趣, 对废液资源的循环利用及环境保护是非常必要的, 也对进一步探索滴定分析法的实际应用具有重要意义。

HCl 和 NH₄Cl 混合溶液中各组分含量实验课程共计 4 学时, 以小组的形式进行实施, 要求学生根据

已经掌握的分析化学理论、实验知识，通过查阅文献资料归纳总结出实验操作方案，具体实验教学过程见表 1。

Table 1. Arrangement of experimental teaching process

表 1. 实验教学过程安排表

CDIO 教学过程	课程形式	学生任务
实验方案构思	课前预习	查阅文献、构思实验方案、熟悉操作过程、确定实验方案
实验过程设计	课前预习	根据实验原理设计实验过程、根据已经掌握的分析化学理论、实验知识及文献资料确定实验过程重、难点，以及注意事项，形成较为完善的实验操作方案
实验过程实施	课前讲解	根据教师课前讲解继续完善实验操作方案，完成标准溶液的标定、实验样品的前处理及滴定过程
实验项目运行	课后总结	撰写实验报告，讨论分析实验结果；对实验报告存在的问题结合实验过程回顾，分析问题、解决问题；必要时寻求教师进行课堂讲解和指标

4.1. 实验方案构思

实验方案构思过程中要体现 OBE 理念，以学生为主导，教师为辅助，实验方案需要综合考虑科学性和可行性。学生需自主完成文献调研、方案比较与科学决策的全过程，以此培养其逻辑分析、科学思维与团队协作能力。学生通过查阅资料，归纳出三种可行的化学分析方法(如下表 2 所示)，并从原理、操作可行性及误差控制等维度进行综合评估：

Table 2. Comprehensive evaluation table of analysis scheme

表 2. 分析方案综合评估表

方法	核心步骤与原理	学生自主评估的关键点
方法一	酚酞指示，NaOH 滴定 HCl；KI 指示，AgNO ₃ 滴定 Cl ⁻ 总量，差减求 NH ₄ Cl	原理缺陷： 酚酞终点(pH ≈ 8.2)时，NH ₄ ⁺ (弱酸)已部分参与反应，导致 HCl 测定结果系统性正误差。
方法二	甲基红指示，NaOH 滴定 HCl；AgNO ₃ 沉淀 Cl ⁻ ，重量法测总量，差减求 NH ₄ Cl	操作误差： 沉淀的分离、洗涤、称量步骤繁琐，易因损失或吸附杂质引入较大偶然误差，且耗时较长。
方法三	甲基红指示，NaOH 滴定 HCl；甲醛强化 NH ₄ ⁺ 后，酚酞指示继续滴定 NH ₄ Cl	理论匹配： 符合混合酸分步滴定与弱酸强化原理；操作可行：步骤简捷，终点敏锐，准确度高，且与课程知识体系衔接紧密。

根据分析化学理论和实验课程进程安排，在学生已经具备酸碱中和滴定、弱酸强化的相关知识的基础上，选择方法三为最佳的实验方案。在整个实验方案构思过程中，学生以小组的形式进行讨论分析和互相借鉴，使学生的团队协作能力和科学研究能力得到了较大提升。

4.2. 实验过程设计

在整个实验过程设计中，学生们需关注实验的每个环节、每种试剂及加入后的相关反应，不断发现问题、思考问题和解决问题，经过多次的优化才能形成最终的优化方案。表 3 为学生小组的实验过程设计。

4.3. 实验过程实施

实验课堂上，学生根据实验方案分组进行操作，熟悉回顾过程设计过程中关于混合酸连续滴定的实验原理、试样量及标准溶液浓度的确定、甲醛强化法过程注意事项、1:1 中性甲醛配制等内容。在整个实

验实施过程中，由学生小组主导，教师予以必要辅助。样品分析过程中，不同的试样 HCl 和 NH₄Cl 含量不同，分析时需要根据 HCl 和 NH₄Cl 的量确定试样取样量或者稀释倍数。学生要善于观察实验现象，具体问题具体分析，善于总结及时改进实验方案。此外，学生还实施了精密度和回收率实验，对方法的稳定性和准确度进行验证，这对于提高学生的质量意识和科研创新能力具有重要意义。

Table 3. Analysis of key and difficult points in experimental process design, as well as precautions
表 3. 实验过程设计重、难点分析及注意事项

1. 实验可行性分析	<p>1. 混合酸分步滴定的可行性判断：① 混合酸离解常数差异($\Delta pK_a \geq 5$)；② 每种酸浓度满足($c \cdot K_a \geq 10^{-8}$)；③有合适的指示剂。HCl ($pK_a \approx -7$)与 NH_4^+ ($pK_a \approx 9.25$)的酸强度差异极大($\Delta pK_a > 10$)，因此第一步滴定 HCl 时，NH_4^+ 不会干扰；第二步用甲醛强化后，可准确滴定。</p> <p>2. 误差来源：NaOH 标准溶液浓度不准确、甲醛预处理不彻底、终点判断误差、空白实验遗漏等，需严格控制操作细节。</p>
2. 实验过程设计重点	<p>1. 标准溶液配制与标定：间接法配制 NaOH 标准溶液(易吸潮、变质)；用邻苯二甲酸氢钾(KHP)标定 NaOH 浓度。</p> <p>2. 分步滴定方案：第一步：甲基红指示剂滴定 HCl，终点为红色→黄色($pH \approx 4.4$，此时 NH_4^+ 未被滴定)；第二步：加入甲醛溶液，将 NH_4^+ 转化为$(CH_2)_6N_4H^+$和 H^+，$pK_a \approx 5.15$，用酚酞指示剂滴定，终点为无色→微红色($pH \approx 8.7$)。</p> <p>3. 甲醛预处理：甲醛溶液需预先中和游离甲酸：取甲醛溶液，加酚酞指示剂，用 NaOH 标准溶液滴定至微红色。</p> <p>4. 数据处理：$c(HCl) = c(NaOH) \times V_1/V_{\text{样品}}$ (V_1 为滴定 HCl 消耗 NaOH 体积)；$c(NH_4Cl) = c(NaOH) \times (V_2 - V_0)/V_{\text{样品}}$ (V_2 为滴定 NH_4Cl 消耗 NaOH 体积，V_0 甲醛空白实验消耗 NaOH 体积)。</p>
3. 难点分析	<p>1. NH_4^+ 的强化滴定：NH_4^+ 酸性弱($pK_a \approx 9.25$)，直接滴定无明显突跃，需用甲醛转化为强酸($(CH_2)_6N_4H^+$和 H^+，$pK_a \approx 5.15$)；关键是甲醛用量(过量 2~3 倍)和预处理(中和甲酸)，否则会导致 NH_4^+ 测定结果偏低或偏高。</p> <p>2. 第二步终点判断：酚酞指示剂的终点为微红色(持续 30 秒不褪色)，容易因滴定速度过快而过量(导致 NH_4Cl 结果偏高)；需严格控制滴加速度(接近终点时逐滴加入，摇匀后观察)。</p> <p>3. 干扰因素排除：样品中若含 Fe^{3+}、Al^{3+}等金属离子，会与甲醛反应生成络合物，干扰 NH_4^+ 滴定；需预先加入 EDTA 等掩蔽剂。</p>
4. 主要注意事项	<p>1. 甲醛处理：甲醛溶液需现配，并中和至微红色(消除甲酸)；避免甲醛挥发(操作在通风橱中进行)。</p> <p>2. 指示剂使用：甲基红和酚酞的用量均为 2~3 滴，过多会导致终点提前，结果偏低；第二步滴定前，需将第一步的甲基红(黄色)用少量水稀释，避免干扰酚酞变色。</p> <p>3. 滴定操作：滴定 HCl 时，速度可稍快，但需避免过量；第二步滴定 NH_4^+ 时，勤摇慢滴，接近终点时逐滴加入，确保反应完全。</p> <p>4. 空白实验：做甲醛空白实验，减去空白值，消除甲醛中杂质的影响。</p> <p>5. 样品制备：混合溶液需充分摇匀；若浓度过高，需稀释，确保滴定体积在 20~30 mL，提高精度。</p> <p>6. 温度控制：甲醛与 NH_4^+ 的反应为防止甲醛挥发，实验需在室温下进行且避免阳光直射。</p>

4.4. 实验项目运行

在实验项目运行过程中，教师需要根据学生实验报告的完成质量及相关问题及时进行必要的讲解和指导，比如：在 NaOH 的标定和混合样品滴定过程中，为了保证标定结果的准确性和精密度，在邻苯二甲酸氢钾称量环节保证称样量 $\geq 0.2\text{ g}$ ，以减少称量相对误差；在滴定环节，标定过程采取双人 4 平行(每人 2 次)的方式，排除因滴定速度、读数方式、终点控制差异引入的误差；在样品分析过程中，通过加标回收率控制样品分析结果的准确性。

引导学生对实验方案、设计、实施及运行整个实验过程进行评估总结，发现并修正实验方案、过程设计、过程实施的不足，通过问题推动的方式实现持续改进，提高实验教学效果。此实验项目的运行不仅可以使学生掌握邻苯二甲酸氢钾标定氢氧化钠、混合酸碱分步滴定、精密度与准确度的概念，还可以让学生学会数据统计整理与分析的能力。在实验项目运行阶段结合实验数据复盘实验过程，带着疑问发现问题、分析问题、最终解决问题，这不仅能培养学生严谨的科学思维做到精益求精，更让学生切实体验滴定分析技术在环境分析中的应用并进行主动探究，培养学生的自主学习方式、创新思维和理论联系实际的能力的培养。

5. 教学效果评价

根据 OBE-CDIO 理念，基于化学、环境类专业学生预期学习成果的完成度进行“HCl 和 NH₄Cl 混合溶液中各组分含量测定”设计性实验教学效果评价，并根据教学效果的反馈持续改进教学活动。教学效果评价以“知识技能输出目标、能力培养输出目标、行为态度输出目标”为中心，通过设计调查问卷的形式来评价教学效果，调查问卷包含 4 个维度 7 个关键能力培养点，每个点满分 5 分，具体调查数据见表 4。

Table 4. Special survey on the teaching effectiveness of the “Determination of HCl and NH₄Cl Mixed Solution” experiment
表 4. “HCl 和 NH₄Cl 混合溶液测定”实验教学效果专项调查

评估维度	关键能力	平均分	同意率	CDIO 环节
1. 方案构思与设计能力	基于混合物性质，独立/协作构思滴定分析组分的方案。	4.38	91.1	构思
	设计具体的实验步骤，掌握分步滴定中指示剂选择与终点确定的原理。	4.33	88.9	设计
2. 实施与问题解决能力	规范操作，准确判断甲基红、酚酞等指示剂的变色终点。	4.51	95.6	实施
	当实验结果出现偏差时，能分析原因并尝试优化。	4.29	84.4	
3. 知识整合与运行能力	综合运用酸碱平衡、分布分数等理论判定各组分含量结果的准确性。	4.42	93.3	运行
	思考该方法在工业、环境分析中的实际应用。	4.16	80.0	
4. 整体收获	相较于传统验证实验，该实验更能体现完整科研过程，提升综合素养。	4.55	97.8	CDIO 全周期

调查结果表明：在完成“HCl 和 NH₄Cl 混合溶液测定”这一典型 CDIO 设计性实验后，对方案设计、问题解决、知识整合及整体收获等关键能力的提升给予了高度认可(各维度平均分 ≥ 4.16，同意率 ≥ 80%)。但是，在高阶的问题诊断与优化能力仍有提升空间，这与 CDIO 强调在实施中深化理解的理念相符合；在实际应用环节如何引导学生将实验室技能向更广阔的环境分析场景迁移，是未来教学可深化的方向。

为此，基于 OBE-CDIO 理念，重新构建分析化学实验过程性评价和终结性评价指标体系显得尤为重要[10][11]。在原有预习报告、出勤率、实验报告和期末考试的传统考核模式基础上细化考核方式，过程性评价以学生和教师为评价主体，以教学成果为评价对象，以评价内容与预期学习成果一致为原则，教师根据教学中的反馈信息调整教学过程，帮助学生改善学习情况以达到预期学习成果。构建实验课程过程性评价指标体系，将实验教学分为课前预习、课中实践、课后总结三部分，权重分别为 25%、45%、

30% [12][13], 各项权重详细见表 5。通过权重设定使课程目标细化具有可衡量性, 既可以让 学生掌握该实验课程的学习重点, 又可以锻炼实验过程中的思考和协作能力。同时, 也有利于教师了解 学生阶段性知识掌握情况, 通过不断调整和优化教学实施环节, 达到对指标体系进行持续改进, 提高实验教学效果。

Table 5. Evaluation index system for analytical chemistry experiment courses
表 5. 分析化学实验课程评价指标体系

		一级指标	二级指标	占比	评价内容	评价工具
分析化学实验课程考核体系	过程性评价 50%	课前预习	预习活动	2%	1. 查阅实验原理、注意事项等。	/
			预习成效	8%	1. 预习报告的合理性；2. 关键问题识别。	预习报告(教师评分)
		课中实践	上课参与情况	5%	1. 出勤率；2. 主动提问/回答问题。	教师课堂记录表
			团队协作表现	5%	1. 主动承担操作任务；2. 与组员交流实验技巧；3. 提出问题解决方案。	团队互评表
			实验结果	15%	1. 原始数据完整性；2. 数据准确性；3. 操作规范性。	实验数据记录表(教师评分)
		课后总结	数据处理	10%	1. 有效数字使用；2. 公式正确性；3. 结果合理性。	实验报告数据部分(教师评分)
	课程收益		5%	1. 实验成败分析；2. 实验方案改进建议。	实验报告讨论部分(教师评分)	
	终结性评价 50%	核心技能考核	减量法称量	5%	1. 天平使用；2. 样品转移；3. 读数。	1. 操作规范(4%)；2. 读数准确(1%)。
			溶解定容	5%	1. 溶剂选择；2. 溶解方法；3. 定容操作。	1. 溶解完全(1%)；2. 操作规范(4%)。
			滴定操作	25%	1. 仪器洗涤；2. 润洗；3. 滴定速度；4. 终点判断。	1. 洗涤/润洗规范(5%)；2. 滴定速度控制(5%)；3. 终点判断准确(10%)；4. 数据记录完整(5%)。
		实验报告	综合分析	15%	1. 原始数据；2. 数据分析；3. 讨论与建议。	1. 数据真实(3%)；2. 数据分析正确(6%)；3. 讨论有深度(6%)。

6. 结语

本研究立足化学与环境类学科特色, 紧密依托校内各类教学及科研资源, 遵循成果导向(OBE)的教育理念, 推进分析化学实验课程的教学改革探索。在教学组织上, 以 CDIO 模式的四个阶段——“构思 - 设计 - 实施 - 运行”为核心线索, 突出学生主体地位, 采取小组合作学习机制, 全面培养学生的文献检索、实验方案规划、流程设计与实操技能以及数据分析等多维能力。通过确立学生的主体角色, 显著提升了其在实验过程中的主动性与创造力; 而小组协作的学习形式则有力促进了团队精神的养成, 为学生综合素质与科研素养的整体提升创造了有利条件。与此同时, 课程还围绕 OBE 理念构建了一套涵盖知识掌握、能力达成与素养发展的综合评价体系, 力求实现对学生的全方位评估。本项改革致力于为我国培养具备创新精神、实践能力强、知识结构多元的高素质专门人才贡献力量, 从而助推教育事业与科技进步协同发展, 持续增强高等人才的科技竞争力。

基金项目

乐山师范学院教改项目(JG2024-61); 乐山师范学院人才项目(801/205210009); 西部硅研院课题(801/203250006); 乐山科技局项目(24YYJC0001)联合资助。

参考文献

- [1] 黄改玲, 蒋玲, 贾巧娟, 等. 基于 OBE 理念的无机及分析化学“金课”建设探索与实践[J]. 化学教育(中英文), 2022, 43(10): 24-28.
- [2] 顾仁勇, 李运通, 滕远, 等. 基于 OBE 理念的地方高校化学化工类专业实践教学体系构建——以吉首大学化学化工学院为例[J/OL]. 大学化学, 1-8. <https://link.cnki.net/urlid/11.1815.O6.20250718.1421.002>, 2026-01-31.
- [3] 郑艳芬, 王仲旭, 方莉宁, 等. “双创”背景下基于 OBE 理念的分析化学课程改革与实践[J]. 河北环境工程学院学报, 2025, 35(4): 89-94.
- [4] 郑准, 张青. CDIO 理念下地方高校“产教创赛”融合的创新创业人才培养模式研究[J]. 创新与创业教育, 2025, 16(3): 81-87.
- [5] 许昆, 方瑶尧. 新公科视域下 OBE-CDIO 融合式教学模式探索研究[J]. 浙江警察学院学报, 2025(3): 10-21.
- [6] 李俊博, 纪伟, 牛娜, 陈立钢. 以创新能力培养为导向的“分析化学实验”教学改革与探索[J]. 创新教育研究, 2025, 13(3): 233-238.
- [7] 刘蓉, 何红艳, 傅天华, 等. 应用型人才培养模式下的“分析化学实验”教学改革[J]. 现代盐化工, 2019, 46(1): 112-113.
- [8] 张晋, 胡修权, 张立, 等. 某优质脉石英制备超高纯石英砂工艺试验研究[J]. 非金属矿, 2023, 46(2): 65-69.
- [9] 帅国胜. 自然氧化-离子液体回收钕铁硼废料中稀土与钴研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2021.
- [10] 赵明蕊, 李玉. 分析化学课程评价改革探讨[J]. 河南化工, 2025, 42(7): 64-67.
- [11] 李向军, 陈丽霞, 姚鑫, 等. 科教融合的分析化学实验课程教学与改革[J]. 化学教与学, 2024(8): 21-24.
- [12] 陈芳, 王宏, 刘敏, 等. 基于一流课程建设的分析化学实验教学改革与实践[J]. 大学化学, 2023, 38(5): 26-30.
- [13] 章文伟, 芦昌盛, 淳远, 等. 基于创新能力培养的化学专业本科实验教学新体系的构建与实践[J]. 大学化学, 2022, 37(2): 5-10.