

# 教育研讨

2026年3月第8卷第3期

## 工程实践导向的“物理化学实验”项目式教学改革

谢丹 肖谷清 余松林 夏莉 龙立平 王姣亮

湖南城市学院材料与化学工程学院，益阳

**摘要** | 针对地方高校“物理化学实验”课程存在教学内容脱离实际、教学模式单一、评价体系不完善等问题，本研究以工程实践能力培养为核心，系统构建并实施项目式教学改革模式。改革以“产业融入、能力递进”为主线，通过重构“基础—综合—创新”阶梯式实验项目体系、推行“课前探究—课中协作—课后固化”三阶开放式教学流程、建立多元协同量化评价体系，将地方特色产业资源转化为教学项目，推动实验教学从传统“验证性操作”向“工程化实践”转型。实践表明，改革后认为课程“具有挑战性和趣味性”的学生比例由30%提升至80%，学生在实验设计、数据分析、团队协作等维度的量化评分较往届提升30%~40%，主动学习意愿与工程实践能力均得到显著增强。该模式形成“课程设计—教学实施—评价支持”一体化改革方案，可为新工科背景下地方高校实践教学改革提供可迁移的参考范式。

**关键词** | 工程实践；物理化学实验；项目式教学

Copyright © 2026 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



随着新工科建设的深入推进，地方高校在服务区域产业转型升级、培养高素质应用型工科人才方面的使命愈发凸显。“物理化学实验”作为工科专业的核心实践课程，是连接理论知识与工程应用的重要桥梁，课程教学质量直接关系到学生工程实践能力的培养成效<sup>[1]</sup>。

然而，调研发现，当前地方高校“物理化学实验”课程普遍存在三重教学困境：其一，教学内容陈旧模式化，多以经典验证性实验为主，缺乏与产业实际的关联；其二，教学模式单一，沿用“教师讲解—学生模仿—数据记录”的被动学习模式；其三，评价体系不完善，过分侧重实验结果准确性，忽视学生对实验设计、

问题解决等工程素养的考查<sup>[2]</sup>。这些问题导致学生“只知其然，不知其所以然”，难以满足应用型人才培养对学生综合创新能力的要求<sup>[3]</sup>。

为破解上述教学困境，本研究以项目式学习为核心方法，开展“物理化学实验”课程教学改革实践。通过系统整合地方特色产业资源、重构教学流程、创新评价方式，探索适配地方高校办学定位、具备可操作性与可迁移性的实践教学改革路径<sup>[4]</sup>。本文重点阐述改革的设计框架、具体实施举措及实践成效，为同类院校的实践教学改革提供参考。

基金项目：2023年度湖南省普通高等教育教学改革研究项目（编号：HNJG-20231009）。

作者简介：谢丹（第一作者）（1984-），女，湖南益阳人，副教授，博士，研究方向：高等教育研究；王姣亮（通讯作者）（1978-），女，湖南衡阳人，教授，博士，研究方向：教育领导与管理研究。

文章引用：谢丹，肖谷清，余松林，等. 工程实践导向的“物理化学实验”项目式教学改革[J]. 教育研讨, 2026, 8(3): 225-230.

<https://doi.org/10.35534/es.0803042>

## 1 教学改革设计与实施：构建“产业对接、能力递进”的可迁移体系

本次教学改革遵循“体系构建—过程实施—评价保障”的三阶逻辑，整体研究思路与技术路线如图1所示。改革核心围绕三大模块推进：以产业融入重构实验教学内容，以开放式教学重塑学生学习过程，以多元评价保障人才培养质量<sup>[5]</sup>。

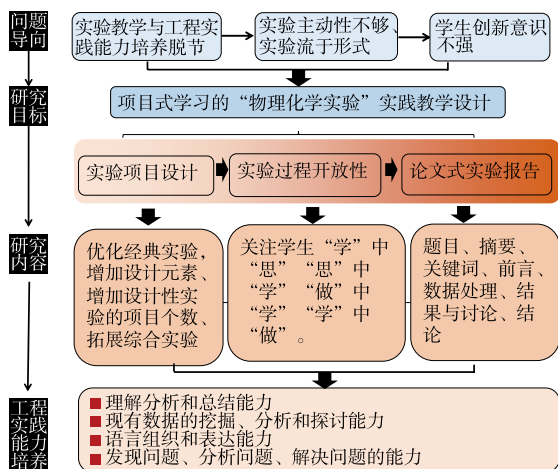


图1 本研究技术路线图

Figure 1 Technology roadmap of this study

### 1.1 阶梯式项目设计：融入地方特色产业元素，实现教学内容重构

以学生能力发展的阶段性规律为依据，按照“基础—综合—创新”的递进逻辑，设计多层次实验项目体系<sup>[6]</sup>。每个层次均设置多个具体项目，并将地方特色产业典型案例的操作细节完整呈现，便于同行直接参考使用。

在基础验证实验改造中，通过注入产业实境增强学习代入感。例如，在“燃烧热的测定”项目中，引入地方特色食品（如修山面条）燃烧热值分析任务<sup>[7]</sup>。学生不再机械操作仪器，而是从“食品加工副产物如何能源化利用”的工程视角出发，自主设计实验方案、分析数据并评估应用价值。

在设计性实验拓展中，通过增设开放环节强化方案论证能力。如将“双液体系相图绘制”升级为“基于相图分析的合金工艺优化设计”，学生需根据给定的材料性能要求，完成合金配比设计、工艺参数模拟与可行性论证<sup>[8]</sup>。

在综合性与创新性实验中，通过整合学科知识培养系统思维。例如，将“表面活性剂临界胶束浓度的测定”置于环保洗涤产品研发情境中，实验任务贯穿“原料筛选—配方设计—效能评价—成本控制—环保要求”全链条，引导学生综合运用物理化学、材料科学、环境工程等多学科知识。

表1 阶梯式实验项目体系及工程案例

Table 1 Tiered experimental project system and engineering cases

项目层次	项目名称	产业融入点	工程案例要点	核心能力训练
基础验证 (5项)	燃烧热的测定	食品加工副产物能源化利用	修山面条热值测定：不同含水量预处理→调整氧弹压力→探究热值变化→生物质燃料评估	规范操作、数据处理、工程意识
	液体饱和和蒸汽压的测定	地方特色食品干燥工艺优化	面条干燥工艺优化：测定平衡蒸汽压→计算水分活度→优化两段式干燥曲线	理论应用、数据分析、工艺优化
	电导率的测定及应用	地方水质监测与污染溯源	河流水质监测：沿程布点采样→电导率与离子浓度分析→污染溯源→水质预警方案	方案设计、综合分析、工程思维
	活性炭超级电容器的制备与性能研究	竹材资源高值化利用	竹炭制备：益阳竹子→粉碎→碳化（不同温度、时间）→活化→电极制备→组装超级电容器→循环伏安、恒流充放电测试→比电容计算→工艺优化	材料制备、电化学测试、工艺优化、创新意识
	黑茶渥堆发酵过程中表面性质与热力学研究	黑茶发酵工艺优化与品质控制	渥堆过程表面张力测定→茶多酚吸附热力学（Langmuir/Freundlich模型拟合）→发酵过程活化能计算（Arrhenius公式）→水分活度与发酵速率关联分析	表面化学、吸附热力学、化学动力学、数据分析
设计性实验 (3项)	双液体系相图绘制	电子封装材料工艺优化	Sn-Pb 焊料配比优化：查阅相图设计配比→实测冷却曲线→优化满足熔点低于220℃、成本较低的配方	文献调研、实验设计、方案优化、工程经济性能评价
	最大气泡法测定表面张力	工业清洗剂配方研发	环保清洗剂配方研发：筛选可生物降解表面活性剂→单因素+复配实验→使表面张力≤35mN/m、去油率≥95%	配方设计、复配优化、性能评价
	乙酸乙酯皂化反应速率常数测定	精细化工生产工艺设计	皂化反应器设计：测定25℃~45℃反应速率常数→计算活化能→估算反应时间→选择反应器类型	动力学研究、工程计算、工艺设计
综合性与创新性 (3项)	表面活性剂 CMC 测定	日用化工产品全流程研发	餐饮洗涤剂全流程研发：原料筛选→复配优化→添加剂筛选→成本核算→国际性能测试	全流程研发、成本控制、报告撰写
	固体比表面的测定	农业废弃物资源化利用	稻壳活性炭制备：稻壳碳化→KOH活化→酸洗→比表面测定→吸附性能评价→再生实验	材料制备、表征测试、性能评价
	原电池电动势的测定	废旧电池资源化回收	废旧电池资源化回收：酸浸出正交实验→分步沉淀回收Mn/Zn→产品纯度检测→工艺设计与经济分析	工艺设计、实验优化、经济分析
竞赛/大创 (参考选题)	地方特色产业资源高值化利用	食品加工废水处理与资源化	修山面条废水资源化：絮凝回收蛋白质→上清液发酵制乙醇→残渣制有机肥→循环利用方案	自主选题、科研能力、创新思维
	地方特色产业资源高值化利用	黑茶副产物综合利用	黑茶渣制备生物质吸附剂：茶渣预处理→改性（酸碱/微波）→表征（FTIR、SEM）→对废水中重金属离子的吸附性能研究→吸附等温线/动力学拟合→再生实验	自主选题、科研能力、创新思维

## 1.2 开放式教学过程：推行“课前探究—课中协作—课后固化”三阶开放式教学流程

打破传统教学中教师主导、学生跟从的被动格局，构建以学生为主体的三阶开放式教学流程，充分发挥学生的主观能动性<sup>[4]</sup>。

### 1.2.1 课前项目启动：自主调研，拟定方案

以真实产业问题为导向发布项目任务，学生以小组为单位开展文献查阅、资料收集与问题分析，自主拟定初步实验方案。此阶段旨在培养学生的问题识别与自主探究能力。

### 1.2.2 课中协作实施：引导探究，迭代优化

教师由知识传授者转变为学习引导者，为学生提供设备支持与方法指导。学生分组开展实验操作、数据采集与结果分析，遇到问题时通过小组讨论寻求解决方案，必要时调整实验方案并重新实施。此环节重点锻炼学生的工程实践操作能力与问题解决能力<sup>[9]</sup>。

### 1.2.3 课后成果固化：规范撰写，整合输出

引导学生按照科研论文规范格式完成实验报告，遵循“题目—摘要—关键词—前言—数据处理—结果与讨论—结论”的完整结构撰写。通过规范化写作训练，帮助学生实现知识整合、逻辑思维与学术表达能力的系统提升。

## 1.3 多元评价机制：贯穿全程、多方参与，支撑能力导向的教学改进

为保障项目式教学对学生工程实践能力的培养效果，本研究构建了“全程覆盖、多主体参与、多维度量化”的多元协同评价体系<sup>[10]</sup>。该体系摒弃“唯实验结果”的评价模式，既关注实验数据的准确性，更重视学生在项目实施过程中展现的设计思维、协作能力、创新

意识与工程素养。以下以“地方特色产业食品燃烧热值测量”项目为例，具体说明多元量化评价机制的实施过程。

### 1.3.1 评价主体多元化：教师、学生、小组协同参与

评价主体由单一教师扩展为教师、学生本人及小组成员三方，形成全方位评价视角<sup>[9]</sup>。课程总评满分100分，成绩由三部分加权构成。

教师评价（占60%）：依据项目评价量化表进行专业评分，满分60分。其中方案设计（25分）从科学性（10分）、安全性（8分）、可行性（7分）三维度评分；实验执行（20分）从操作规范性（8分）、数据记录完整性（7分）、问题解决主动性（5分）三维度评分；报告撰写（15分）从数据完整性（6分）、分析深度（5分）、工程应用讨论合理性（4分）三维度评分。

学生自评（占20%）：使用自评量表（满分20分），从知识掌握（6分）、能力提升（8分）、学习态度（6分）等维度开展自我评价，设置如“是否理解食品加工副产物热值评价的工程意义”（2分）、“是否熟练掌握氧弹量热仪操作规范”（3分）等具体评分项。

小组互评（占20%）：依据小组协作互评表（满分20分），从团队协作（8分）、贡献度（7分）、沟通能力（5分）等维度相互评分，针对“实验分工合理性”“数据记录规范性”等具体行为进行量化评分。

### 1.3.2 评价指标多维化：聚焦工程素养，实现能力全面考量

在教师60分的权重内，进一步细化对各维度工程实践能力的考核，确保所有评价指标均可观测、可量化统计（如表2所示）。

表2 工程实践能力多维评价指标及分值

Table 2 Multi-dimensional evaluation indicators and scores for engineering practice ability

能力维度	评分要点	分值
自主学习能力	文献调研的广度与深度、资料整合能力	8分
实验方案设计与优化能力	方案科学性、对比设计合理性、优化空间识别	15分
实践操作与安全意识	仪器操作规范度、安全规程遵守情况	12分
团队协作与沟通能力	分工明确性、协作效率、数据共享	10分
创新实践与工程应用意识	多维度工程评价、创新性应用建议	15分
合计		60分

### 1.3.3 评价过程全程化：覆盖项目全周期，实现过程管控

评价贯穿“项目启动—方案设计—实验执行—数据分析—成果呈现”全流程，各阶段设置明确的量化节点，并建立持续反馈机制<sup>[2]</sup>：

项目启动与方案设计阶段：考核调研报告完整性、实验方案创新性与工程设计逻辑性，针对样品干燥方式

设计、热值计算方法论证等细节进行评分。

实验执行阶段：评定考核操作规范性、原始数据记录完整性、主动问题解决能力。观察学生是否根据样品燃烧特性调整氧弹充氧压力、是否主动记录并分析燃烧残留物异常数据。

数据分析与报告撰写阶段：考核数据处理严谨度、结果讨论深度、工程应用结合度，要求定量分析不同含

水量样品的燃烧热值差异，提出固体燃料领域应用建议，并依据建议的可行性评分。

### 1.3.4 评价方式融合化：定量为主、定性为辅，强化反馈改进

采用项目总评表汇总各维度评分，总分核算公式为：教师评价（60分）+学生自评（20分）+小组互评（20分），满分100分。同时，结合定性评语形成综合评价<sup>[2]</sup>。在项目答辩、报告评阅环节，教师针对得分较低的维度提供针对性反馈，如：“你的热值差异分析得分偏低，建议进一步结合样品加工工艺，阐释含水量对燃烧效率的影响机制。”

建立“阶段性反馈—总评闭环”机制，及时公布各阶段评价结果，支持学生在后续环节实现针对性调整提升。项目总评纳入课程总成绩，权重占比40%<sup>[10]</sup>。

为方便同行参考使用，现将评价体系核心要素结构化汇总，形成标准化工具模板（如表3所示）。通过上述多元量化评价机制，学生可在贴近区域产业的项目中，完整经历“工程问题界定—实验方案设计—团队协作实施—研究成果输出”全流程训练。量化评价实现能力发展可视化，成为推动学生持续反思与能力建构的有效工具。该框架具备明确的观测点与统一评分标准，可直接迁移应用于其他实验项目。

表3 多元量化评价机制核心要素

Table 3 Core elements of multi-agent quantitative evaluation mechanism

评价维度	核心实施要点	分值构成
评价主体多元	教师评价：方案设计+实验执行+报告撰写； 学生自评：知识掌握/能力提升/学习态度； 小组互评：团队协作/贡献度/沟通能力 自主学习能力：文献调研深度（8分）	教师60分+自评20分+互评20分=100分
能力指标多维	实验方案设计与优化能力：方案合理性/对比设计/优化空间（15分）； 实践操作与安全意识：规范操作/安全规范（12分）； 团队协作与沟通能力：分工明确/协作效率/数据共享（10分）； 创新实践与工程应用意识：多维度评价/创新建议（15分）	合计60分（纳入教师评价）
过程评价贯穿	项目启动与设计阶段：调研完整性/方案创新性/工程逻辑性； 实验执行阶段：操作规范性/数据完整性/问题解决主动性； 数据分析与报告阶段：数据处理严谨性/结果讨论深度/工程应用结合度	贯穿于教师评价的60分
评价方式结合	定量评价：各主体评分加权汇总（满分100分）； 定性反馈：针对薄弱环节提供改进建议； 闭环机制：阶段性反馈支持后续调整	总评成绩=教师60%+自评20%+互评20%

## 2 实践成效与迁移应用价值

本次教学改革历经两轮教学实践，取得了显著成效，并形成了一套可供同类院校借鉴的操作范式。

### 2.1 教学实践的主要变化

#### 2.1.1 学生学习行为发生变化

问卷调查结果显示，改革后认为“物理化学实验”具有挑战性和趣味性的学生比例，由改革前的30%提升至80%。课前主动开展资料调研、文献查阅的学生比例明显增加，自主预习逐渐成为部分学生的学习常态。

#### 2.1.2 学生能力测评结果呈现正向趋势

从实验设计、数据分析、团队协作等维度的量化评分来看，参与改革班级的学生群体较往届学生提升幅度在30%~40%之间，学生在多学科知识整合、实际问题解决等能力亦有改善。

#### 2.1.3 课外延伸成果逐步积累

依托课程实验，学生成功项目申报省级大学生创新训练项目3项，参与省级学科竞赛斩获一等奖1项、二等奖2项。部分课程实验报告格式规范、内容完整，具备进

一步修改完善的基础条件。

### 2.1.4 教学资源建设持续推进

教学团队围绕改革实践撰写并发表教学论文2篇，初步形成可供后续教学持续使用的“物理化学实验”项目式教学资源包。

## 2.2 改革模式的迁移应用价值

### 2.2.1 实施路径清晰，便于借鉴

形成“地方特色产业案例导入—阶梯式能力训练—多元量化评价保障”的标准化实施流程，各环节均配套明确的操作要求与工具模板，同类院校可根据自身条件选择性借鉴、适应性改造。

### 2.2.2 资源依托务实，易于落地

改革充分利用现有实验室条件与地方特色产业特色资源，无需大规模投入硬件设备，有效降低改革实施成本，与地方高校的办学条件高度适配。

### 2.2.3 运行机制灵活，可适应性调整

团队共建共享教学资源、持续优化评价工具与教学方案的运用模式，可根据不同院校的学科特色、区域产业特点灵活调整，具有较强的可移植性。

### 3 结论与展望：构建“产教融合、开放共享”的实践教学新生态

以工程实践能力为导向的“物理化学实验”项目式教学改革，通过系统化课程设计、本土化案例融入、全程量化评价，有效激活了地方高校实践教学内生动力。实践表明，将地方特色产业资源转化为教学项目，推动实验教学从传统的验证性操作向工程化实践转型，不仅使课程更具工程性与趣味性，破解传统实验教学与工程实际脱节的问题，又让学生的学习与区域产业发展紧密结合，为其未来参与地方产业发展奠定扎实能力基础。

基于现有成果，未来将从三方面深化改革与拓展工作，构建“产教融合、开放共享”的实践教学新生态。

(1) 共建区域性教学案例库：联合地方高校、行业协会与本地企业，系统开发基于地方特色产业（如食品加工、有色金属冶炼、环保材料研发等）的实验教学项目，推动教学资源开放共享与常态化更新。

(2) 探索线上线下混合式项目学习模式：依托虚拟仿真实验平台与在线协作工具，拓展项目式教学的时空边界，为实验设备不足或教学时间有限的高校提供替代性实施方案。

(3) 建立跨校教师发展共同体：通过举办教学改革工作坊、开展教学观摩、组织跨校合作备课等形式，促进教师之间的经验交流与能力提升，形成可持续的师资支持网络。

综上，本次“物理化学实验”项目式教学改革不仅为该课程的教学升级提供了实践范本，也为新工科建设背景下地方高校推进产教融合、创新实践教学模式提供了可复制、可迁移的行动参考。下一步，教学团队将继续深化与地方产业界的合作，进一步完善教学资源与评价工具，推动形成“课程教学—产业发展—创新培养”协同共进的应用型人才育人新生态。

### 参考文献

- [1] 李小明, 王静, 张伟. 新工科背景下地方高校实践教学体系重构研究 [J]. 高等工程教育研究, 2022, 40 (3): 78-83.
- [2] 陈丽, 刘强, 王敏. 项目式学习在理工科实验教学中的应用研究综述 [J]. 实验室研究与探索, 2023, 42 (2): 112-118.
- [3] 王昊栋, 刘洋, 张敏, 等. 新工科背景下大学生工程实践能力提升机制的探索研究 [J]. 国家通用语言文字教学与研究, 2022 (152): 4-6.
- [4] 张华, 李娜, 王军, 等. 新工科背景下项目式学习的设计与实施策略 [J]. 高等工程教育研究, 2023, 41 (2): 84-89.
- [5] 赵明, 周涛. 工程教育认证视域下学生实践能力评价体系构建 [J]. 高等工程教育研究, 2021, 39 (5): 92-97.
- [6] 王小红, 李国强. 产教融合背景下地方高校实践教学路径研究 [J]. 中国高教研究, 2023 (4): 67-72.
- [7] 刘洋, 张敏, 陈华. 基于OBE理念的化学实验课程教学改革与实践 [J]. 实验室科学, 2022, 25 (6): 45-50.
- [8] 董婧, 周伟, 吴芳, 等. 以培养工程实践能力为导向的数据原理课程实验教学改革 [J]. 实验室研究与探索, 2020, 39 (8): 200-203.
- [9] 周伟, 吴芳. 项目式学习评价指标体系研究: 基于核心素养视角 [J]. 全球教育展望, 2021, 50 (8): 56-65.
- [10] 吴晓红, 陈建平. 工程实践能力导向的课程评价改革探索 [J]. 中国大学教学, 2022 (5): 62-67.

## Engineering Practice-Oriented Project-Based Teaching Reform in Physical Chemistry Laboratory

Xie Dan Xiao Guqing Yu Songlin Xia Li Long Liping Wang Jiaoliang

*School of Materials and Chemical Engineering, Hunan City University, Yiyang*

**Abstract:** Aiming at the problems of teaching content divorced from practice, monotonous teaching mode and imperfect evaluation system in the Physical Chemistry Laboratory course in local colleges and universities, this study takes the cultivation of engineering practical ability as the core, and systematically constructs and implements a project-based teaching reform model. Taking “industry integration and capability progression” as the main line, the reform reconstructs a stepped experimental project system of “basic-comprehensive-innovative”, implements a three-stage open teaching process of pre-class inquiry, in-class collaboration and post-class consolidation, and establishes a multi-agent collaborative quantitative evaluation system. It transforms local characteristic industrial resources into teaching projects, and promotes the transformation of experimental teaching from traditional “verification operation” to engineering practice. Practice shows that the proportion of students who regard the course as “challenging and interesting” has increased from 30% to 80% after the reform. Students’ quantitative scores in experimental design, data analysis, teamwork and other dimensions have increased by 30% to 40% compared with previous sessions. Their active learning willingness and engineering practical ability have been significantly improved. This model forms an integrated reform scheme of “curriculum design-teaching implementation-evaluation support”, which can provide a transferable reference paradigm for practical teaching reform in local colleges and universities under the background of Emerging Engineering Education.

**Key words:** Engineering practice; Physical Chemistry Laboratory; Project-based teaching