

产教融合背景下药学专业物理化学实验教学改革探索与实践

申明金, 张成华, 钱兴灿, 杨永胜

川北医学院药学院化学教研室, 四川 南充

收稿日期: 2026年7月2日; 录用日期: 2026年7月30日; 发布日期: 2026年8月7日

摘要

产教融合是新时代高等教育培养高素质应用型人才的重要路径。药学专业物理化学实验作为连接基础理论与药物研发实践的关键环节, 传统教学模式存在内容与产业脱节、缺乏工程思维、教学手段单一、评价简单等弊端。为此, 基于OBE理念与CDIO工程教育理念, 从重构实验内容、问题导向 + CDIO工程教学模式、多元评价、协同教学等方面进行了产教融合的物理化学实验教学的改革探索。教学实践结果表明, 该改革在一定程度上深化了学生对物理化学知识在药学领域应用价值的认知, 对提升学习兴趣与自主学习能力具有积极作用。同时, 学生的质量意识和工程观念亦有所增强。从学习成效来看, 参与改革学生的考核成绩呈现出一定程度的提升, 学习效果总体向好。上述改革实践为药学应用型人才培养目标的实现提供了初步的实证支持, 并为药学专业基础实验课程推进产教融合改革积累了可参考的实践经验。

关键词

药学专业, 评价体系, 产教融合, 物理化学实验, 教学改革, CDIO工程教育模式

Exploration and Practice of Teaching Reform in Physical Chemistry Experiments for Pharmacy Majors under the Background of Industry-Education Integration

Mingjin Shen, Chenghua Zhang, Xingcan Qian, Yongsheng Yang

Department of Chemistry of the School of Pharmacy, North Sichuan Medical College, Nanchong Sichuan

Received: July 2, 2026; accepted: July 30, 2026; published: August 7, 2026

Abstract

The integration of industry and education is a crucial pathway for cultivating high-quality applied talents in higher education in the new era. As a key link connecting fundamental theory with pharmaceutical R&D practice, the physical chemistry experiment in the pharmacy major faces drawbacks in traditional teaching methods, such as content disconnected from industry, lack of engineering thinking, monotonous teaching approaches, and simplistic evaluations. To address this, guided by the OBE (Outcome-Based Education) concept and the CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate) engineering education model, reforms were explored in physical chemistry experimental teaching through restructuring experimental content, adopting a problem-oriented + CDIO engineering teaching model, implementing diversified evaluations, and fostering collaborative teaching. The results of teaching practice indicate that the reform has, to some extent, deepened students' understanding of the applied value of physical and chemical knowledge in the field of pharmacy, positively contributing to enhanced learning interest and self-directed learning abilities. Additionally, students' awareness of quality and engineering concepts has also been strengthened. In terms of learning outcomes, the assessment scores of students involved in the reform show a certain degree of improvement, with an overall positive trend in learning effectiveness. This reform practice provides preliminary empirical support for achieving the goal of cultivating applied pharmaceutical talents and accumulates referential practical experience for advancing the integration of industry and education in foundational experimental courses for the pharmacy major.

Keywords

Pharmacy Major, Evaluation System, Integration of Industry and Education, Physical Chemistry Experiment, Teaching Reform, CDIO Engineering Education Model

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

2017 年国务院办公厅印发《关于深化产教融合的若干意见》(国办发〔2017〕95 号),首次从国家层面系统部署产教融合,明确指出“产教融合”不仅是职业教育的发展之路,也是应用型本科院校建设和发展的必经之路[1]。在此背景下,高等药学教育已从单纯的“学术型”培养向“应用型、复合型、创新型”转变。药学专业作为应用性极强的学科,要求学生不仅具备扎实的理论基础,更需要具备运用理论知识解决涉及药品的研发、生产、质检及储存等生产中实际问题的能力。物理化学是药学专业的基础课程,其原理(热力学、动力学、电化学、表面化学、胶体化学)贯穿于药物设计、制剂制备、质量控制和储存运输的全过程。物理化学实验所涉及的基本研究技术和方法是后续药学专业课程,尤其是药剂学和药物分析的技术基础。通过物理化学实验学习,可以培养学生具备开展药物分析、药物有效期、药物的溶解度与油水分配系数、表面活性剂的临界胶束浓度及对药物的增溶作用、乳状液的稳定性等实验的能力。而这些实验所解决的问题均是一线药企必须面对的问题。同时,物理化学实验教学也是培养学生科学思维和创新能力的环节。

尽管产教融合理念深入人心,但在具体的物理化学实验教学中,由于内容抽象、实验对象与药品实物及生产场景关联弱以及其他实验教学弊端,导致学生产生“与药无关”和“学物化无用”的错误认识。

因此,探索产教融合背景下物理化学实验的改革路径势在必行。

2. 现行物理化学实验教学体系存在的问题与分析

2.1. 实验内容与药学专业和制药工业联系薄弱

物理化学实验内容“重理轻药”:验证物理化学原理的实验占比较大。物理化学实验普遍设置以下经典项目:燃烧热测定、丙酮碘化反应速率常数及活化能测定、原盐效应、蔗糖水解速率常数测定、乙酸乙酯皂化反应速率常数测定、最大泡压法测表面张力等。这些实验虽然能有效验证热力学、动力学及表面化学原理,但其实验试剂均为普通化学物质(如丙酮、蔗糖、乙酸乙酯),与药品实物毫无关联。且实验内容没有充分结合药学和药物生产的特点和需求。导致学生认知割裂,难以建立起“物理化学原理”与“药物制剂、药品质量控制”之间的意义联结。也难以将物理化学实验方法转化为在药物研究和生产中的应用。

2.2. 教学模式缺乏“问题导向”与“工程思维”

教学模式单一,当前习惯采用“四步法”教学流程:教师讲授原理及步骤-教师示范操作-学生按步骤重复操作-学生处理数据并提交实验报告。这种模式本质上是“操作技能训练”,而非“解决复杂问题能力培养”。学生按步骤“照方抓药”,只关注操作是否正确,而不是从系统、约束、成本、可靠性等工程角度去思考实验设计原理、数据异常与哪个环节有关、参数优化在生产中的应用、这项实验技术在药物研发和生产中的用途等问题。由于验证性实验结果已知,缺少真实、开放的问题导向情境,学生体会不到通过实验解决问题的能力需求,丧失探究兴趣。

2.3. 评价体系单一化,缺乏 GMP 指标考核

目前的物理化学实验成绩评价存在评价维度低、重结果轻过程的现象。实验报告和期末操作考核是决定实验成绩的主要依据,且实验报告的评价指标较少。没有将实验预习、方案设计、仪器操作、安全规范、团队协作、数据记录、实验分析等纳入评价指标,导致评价指标维度低。无法全面反映学生的知识和能力建构过程,成绩存在失真现象。在考核中,没有将与制药生产中“生产质量管理规范”(Good Manufacturing Practices, GMP)密切相关的仪器操作规范、安全规范、数据记录规范的指标纳入成绩考核,这显然不符合产教融合的要求。

2.4. 设备与师资局限:校内实践与企业需求不对等

实验室设备多为常规教学型(如旋光仪、电导率仪),缺少企业常用的高效液相色谱(HPLC)联用设备或稳定性试验箱,导致学生无法进行高精度的药物稳定性研究。大部分物理化学实验指导教师为物理化学专业出身,缺乏药学(尤其是药剂学)背景或药企工作经历,对行业生产研发的最新发展动态和企业的实际需求缺乏全面了解,在教学过程中难以将制药案例与教学内容有机结合,导致教学内容与实际应用脱节。此外,教师与企业之间的交流合作较少,这些局限影响了课程产教融合教学效果的提升。

3. 产教融合改革的理论基础

3.1. OBE (成果导向教育)理念

OBE 理念强调以学生最终获得的能力(成果)作为教学设计的起点[2]-[4]。对于药学专业,在产教融合背景下的物理化学实验的“成果”不是提交一份完美报告,而是能独立设计验证药物稳定性、能正确解释表面活性剂增溶机理并优化剂型设计,具有 GMP 素质能够适应药物研发和生产岗位能力的人才。药学

专业物理化学实验的教学应根据这个能力要求反向设计教学内容与方法。

3.2. CDIO 工程教育理念

CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate)工程教育理念是以产品研发到产品运行的生命周期为载体,让学生以主动的、实践的、课程之间有机联系的方式学习工程,包括构思(Conceive)、设计(Design)、实现(Implement)和运行(Operate)四个步骤[5]-[7]。CDIO 教育模式强调“做中学”和项目导向学习,引导学生参与实验的构思、设计、实施和运行。该种教育模式已经被广泛应用于工程技术类专业的教学活动中,帮助学生更好地适应社会经济发展需要,培养符合市场需要的人才。药学专业虽非传统工程学科,但其培养目标与 CDIO 理念高度契合。药物研发本身就是从“问题构思→处方设计→工艺实施→质量运行”的完整工程链条。物理化学实验作为连接基础理论与制剂实践的关键桥梁,尤其适合引入 CDIO 模式进行实验教学的重构,可实现从“验证性实验”向“设计性、综合性实验”的转变。

4. 教学改革的具体策略与实施路径

4.1. 做好实验开课之前的培训工作

在物理化学实验开课前,邀请制药企业工作人员和药物化工、药剂专业的教师对物理化学实验带教老师进行 GMP 质量标准、生产管理规范、标准作业程序(SOP)操作规范、评估数据可靠性的基本原则(ALCOA 原则)、超出检验标准的调查(OOS 调查)、国际协调会议(ICH)药品注册技术要求与分析方法验证等进行培训,使带教老师了解、熟悉药物研发、生产流程和管理要求。教师将这些要求制成 PPT 或微视频放在课程学习通平台上要求学生学习并进行测试。

4.2. 修订物理化学实验教材, 引入药企生产要求

即在物理化学实验教材中引入药企生产要求,是一项具有工程教育特色和产教融合价值的改革措施。具体的做法有以下几项:对基础验证型实验明确其“工业场景映射”、在实验目的中增加“GMP 与工业关联”、在实验原理中嵌入“质量属性与过程分析技术”、在实验操作中融入“SOP 与 GMP 规范”、在数据处理部分引入“ICH 与验证”、在实验基础知识中给出“对标药企的实验报告模板”。

例如:燃烧热测定实验明确其工业映射为“原料药的能源核算与工艺安全风险评估”,活性炭比表面积测定实验明确其工业映射为“药物生产废水吸附剂的选择”。表面张力测定实验的实验目的由传统写法的掌握最大泡压法测定表面张力的原理,增加两方面①与 GMP 关联:理解表面张力对注射液澄清度的影响②工业目标:了解以表面张力为指标筛选难溶性药物口服液的最佳增溶剂浓度。电导法测定弱电解质的解离常数的传统原理是:给出 Ostwald 稀释定律,计算解离常数 K。改写时嵌入:纯化水电导率是制药用水的关键质量属性,在线电导率监测是制水车间的必备手段。在实验操作中将普通操作步骤改造为符合 GMP 规范的 SOP 片段。增加“清洁与防交叉污染”,模拟药厂清洗验证。在操作前,用纯水清洗三遍,再用待测液润洗。在操作后,规定“一洗一用”,不允许不同样品公用未清洁的容器。在数据记录部分增加“记录规范”,强调 ALCOA + 原则,要求数据即时、真实地记录,严禁涂改。

4.3. 重构实验内容, 引入制药场景化实验项目

打破传统“热力学-电化学-动力学-表面化学-胶体化学”的模块划分,以药品生产和质控为线索,围绕药物制剂、药物分析进行实验内容重组。将偏于普通化学化工的实验内容转变为与药学相关、符合产教融合的实验内容。实验层次从“单一验证”向“综合设计+探索”转变,构建“基础型→综合型→设计创新型”三个层次递进的实验体系。削减基础验证型实验,整合多学科知识点,设计“模块化”

综合实验。将分散的实验技术整合为完整的药物生产技术流程，例如“表面活性剂综合实验”，涵盖表面活性剂表面张力测定、临界胶束浓度测定、亲水亲油平衡值测定、对药物的增溶作用的完整流程。增加研究创新型实验，在综合设计型实验和创新探究实验中增加现代药物分析技术模块，使学生增加接触现代药物分析技术的机会。部分改造后的实验内容见表 1。

Table 1. Reconstruction comparison table for physical chemistry experiment sections in pharmaceutical science major
表 1. 药学专业物理化学实验部分内容重构对照表

传统模块	传统实验项目	产教融合重构后项目	对接制药场景
热力学	燃烧热测定	难溶性药物的溶解度与油水分配系数测定	药物 BCS 分类、处方前研究
电化学	电导法测弱酸解离常数	注射剂电导率监控与含量测定	药物生产质控
动力学	蔗糖水解	药物稳定性加速试验与有效期预测	药品有效期确定、包材选择
表面化学	最大泡压法测表面张力	表面活性剂的筛选与难溶药物增溶	口服液、注射剂增溶工艺
胶体化学	胶体的制备与净化	混悬剂的絮凝与 Zeta 电位优化	炉甘石洗剂、混悬型注射剂

4.4. 以“问题导向” + “工程模式”进行实验教学

以双波长加速法测定阿司匹林稳定性及有效期推算实验的教学过程为例，为便于课堂操作，将 CDIO 四阶段细化为五步教学流程。

1) 问题发布。教师在课程学习通平台上发布任务情景：“某药企生产的阿司匹林片剂在留样观察中发现，加速试验 6 个月后含量下降超出标准限度。作为 QC 部门，需要你设计实验方案，查明降解原因并推算该批次药品的有效期。”思考引导：① 阿司匹林降解的主要产物是什么？② 为什么选择加速实验而非室温放置？③ 如何从动力学角度推算有效期？④ 双波长分光光度法测定阿司匹林稳定性是否可行？预习任务清单：① 查阅《中国药典》2020 年版二部“阿司匹林”项下有关含量测定的方法② 理解双波长分光光度法的原理及消除干扰的数学依据③ 了解药品稳定性研究指导原则对加速试验的要求。

2) 构思(C)。学生根据文献查阅和预习问题思考，构思提出初步实验方案。

3) 方案设计与论证(D)。课前与课中进行。教师在课前学习通平台上组织实验小组讨论与实验相关的问题。如：研究对象选择什么剂型？原料药还是片剂？；加速条件设置哪几个温度？如何确保恒温？取样设计 取几个时间点？间隔多久？教师在讨论中引导要点：片剂更贴近产业实际，但辅料可能有干扰；温度一般设置 50℃、60℃、70℃、80℃，需控制温差±0.5℃。取样设置 5~7 个时间点，能覆盖 50%以上降解。在讨论的基础上，教师对实验小组再次提交的优化实验方案进行审核并确定最终方案。在课中，教师对方案中的关键技术进行讲解，尤其对为什么双波长测定的吸光度差值 ΔA 能够消除水杨酸干扰以及如何判断反应级数和求反应速率常数 k 和反应活化能 Ea 进行解释。

4) 实施(I)。课中进行。教师活动进行示范操作、巡回指导、指导学生进行异常处理。学生按按设计方案实施实验、按 GMP 规范记录原始数据。教师对实验结束后学生提交的实验数据检查确认。

5) 运行(O)。课后进行。学生根据 lnC-t 图求降解速率常数 k，再外推室温下的有效期。与企业提供的真实有效期数据进行比对，分析误差来源。将数据处理和结果分析撰写成报告作为成果提交，教师对报告进行评阅。

4.5. 利用学习通平台进行“仪器操作技能包”线上教学

传统的物理化学实验教学模式遵循较为固定的流程，通常先由教师讲解实验原理，随后教师演示实验操作，学生模仿操作。这种教学模式造成学生参与度偏低，尤其一些学生仅凭观看教师示范仪器操作

后就进行实验,造成学生对仪器操作不熟悉、仪器操作不规范,不符合产教融合要求的 SOP 操作规范。为解决这一问题,在线下开展实验室常规教学的基础上,利用超星学习通平台,将物理化学实验的基本操作技能,如电子天平称量、玻璃仪器洗涤以及恒温水浴箱、离心机、气流恒温振荡器、分光光度计、电导率仪等仪器的规范化操作拍摄成短视频“技能包”。学生可以利用课余时间通过手机或电脑学习认识常用的实验设备,学习实验操作技能,正确搭建实验装置并规划实验步骤。还可以针对自己不熟悉的操作反复学习观看,提高课堂实验操作的熟练度和规范性。

4.6. 开展虚拟仿真实验教学

物理化学实验往往面临仪器台套数有限、学生操作机会不足、难以反复试错等困境。虚拟仿真实验教学为解决上述问题提供了有效路径。在物理化学实验课程中嵌入虚拟仿真模块,能够构建“以虚补实、虚实结合”的教学新形态。依托国家虚拟仿真实验教学平台和与相关公司合作,逐步开发了“电导率法测定食品和药品含量”和“药物制剂的稳定性预测(涉及化学动力学参数测定)”虚拟仿真实验项目。高度仿真的实验场景与仪器设备,使学生在沉浸式交互中掌握操作要点。让学生在校内即可体验接近企业研发与质控场景的实验流程,实现专业课程链与医药产业链的对接。由于虚拟仿真实验教学的优势,增强了学生的学习动机和学生自信心[8]。

4.7. 开展跨课程协同实验教学

产教融合需要培养解决复杂问题的能力,药企更关注药物合成、质量控制、制剂工艺和 GMP 规范等完整的药物研发和生产流程。物理化学实验侧重化学原理,缺乏药物制备、分析、制剂和药效评价等核心内容。因此,单靠物理化学实验推行药学专业产教融合存在不足。开展跨课程实验协同是解决问题的有效方法。在物理化学实验的开设内容和模块实验设置上,事先调研药剂学课程和药物分析学课程开设实验内容,在物理化学实验学时内选择与药剂、药分实验衔接配合的实验项目。开发“物化-药剂-药分”跨课程综合实验项目,让学生在一学期内完成从处方设计、稳定性考察到质量标准的建立全流程。

4.8. 将 GMP 要求纳入指标考核,构建多维评价体系

GMP (药品生产质量管理规范)主要针对药品的生产过程,但其原则和要求同样可以为化学实验提供指导,尤其是在涉及药品或相关化学品的实验中。GMP 对确保化学实验质量、减少人为错误和污染、规范实验环境和设备管理、实验数据记录和追溯性以及提升实验结果的可信度等方面具有促进作用。将 GMP 要求纳入评价指标的考核,尤其将其渗透入仪器操作的规范性、数据记录与处理的规范性考核是对实施产教融合的实验教学的具体体现,可以让学生从思想上认识 GMP 的重要性[9][10]。

传统物理化学实验成绩评价以实验报告为主,难以全面反映学生在适应药企生产方面的表现。在新的物理化学实验成绩评价中引入药企 GMP 要求,构建覆盖 CDIO 模式下四阶段以及实验预习和实验考核的多维度的过程性评价加终结性评价的复合评价体系。评价体系的具体构成见表 2。

Table 2. Experimental assessment and evaluation system in the context of industry-education integration
表 2. 产教融合背景下的实验考核评价体系

评价维度	占比	评价要素	对标 CDIO 能力
实验预习	10%	观看视频完成度、线上测验(物化原理 + GMP 常识)	自主学习
构思能力	10%	文献调研质量、初步方案的合理性	系统思维
设计能力	15%	方案可行性、条件优化合理性、对照设计科学性	实验设计

续表

实施能力	20%	操作规范性、仪器熟练度、数据记录完整规范性、异常处理能力、团队协作	实践操作
运行能力	15%	实验报告(数据处理正确性、结果分析深度(对误差的合理解释)、与生产的相关性讨论、反思与改进建议)	综合分析
实验理论考核	15%	实验原理与化学基础、仪器与试剂知识、操作规范与流程环节知识、安全与环保知识、误差分析与数据处理、综合设计与方案评价	技术知识和推理
实验操作考核	15%	正确规范安装、调试、使用仪器、试剂取用规范、安全规范执行、核心操作的规范与精准度、数据记录与处理的规范性、实验习惯与流程的正确性	实践技能与职业素养

评价主体多元化，学生观看视频和线上测验由系统记录完成，协作表现和组内贡献由实验小组成员互评，设计能力、实施能力和运行能力由教师根据设计方案、课堂观察记录和最终报告进行评价。实验理论考核和操作考核由教师根据考试结果进行评价。

5. 改革初步效果分析

5.1. 考核成绩的比较

选取 2023 级药学专业 33 人作为实验班，按工程模式进行教学，实施上述改革方案；以 2023 级药学专业 30 人作为对照班，沿用传统教学模式。实验周期为一学期(14 周)。采用 spss 26.0 软件进行统计分析，计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)。组间比较采用 t 检验， $P < 0.05$ 视为差异有统计学意义。实验班的期末实验理论和实验操作考试成绩都高于对照班，差异有统计学意义。其结果见表 3。

Table 3. Comparison of final exam scores in medical chemistry experiments between the experimental class and the control class/example (score)

表 3. 实验班和对照班医用化学实验期末考试成绩比较/分

项目	实验班(n = 33)	对照班(n = 30)	t 值	P 值
实验理论考试成绩	87.62 ± 5.68	78.25 ± 10.86	2.327	0.021
实验操作考试成绩	91.17 ± 6.83	83.24 ± 9.47	2.610	0.025

5.2. 问卷调查结果

针对学习兴趣、实验与药学关联认知、提高自主学习能力、药品质量分析能力、分析思考问题的能力、GMP 意识培养等采用 Likert 五点量表设置问卷调查表，选项分别为非常同意、同意、一般、不同意和非常不同意。向实验班 33 人和对照班 30 人共 63 位同学发放问卷 63 份，回收有效问卷 63 份，有效回收率为 100%。同意率按(非常同意数 + 同意数)/总学生数 × 100%计算。各项指标统计结果见表 4。从调查问卷的反馈结果可见，以工程教学模式推动物理化学实验产教融合的探索性改革具有较好的效果。

5.3. 质性访谈结果与分析

采用目的性抽样和滚雪球抽样相结合的策略，选取 18 名 2023 级药学专业参与物理化学实验产教融合教学改革的学生作为研究对象。其中，深度访谈 12 人，焦点小组 2 组共 6 人，样本量以信息饱和为原

则确定。深度访谈采用半结构化提纲,围绕“实验学习体验变化”、“能力成长感知”和“对产教融合的看法”等主题展开,每人时长 40~70 分钟。焦点小组讨论:每组 3 人,以“理想中的实验课”和“最有收获的一次实验”为引导话题,时长约 60 分钟。所有访谈全程录音并转录为逐字稿,共获得约 2 万字文本资料。运用扎根理论对访谈记录进行编码分析[11]。运用 NVivo 12 软件进行编码管理,遵循 Strauss 和 Corbin 的三级编码程序:开放式编码——逐句编码,提炼初始概念;主轴编码——建立范畴之间的语义关系;选择性编码——凝练核心范畴,构建理论模型。编码过程中持续进行比较分析,直至理论饱和。

Table 4. Comparison of learning effect satisfaction [n (%)]
表 4. 学习效果满意度对比[n (%)]

调查项	实验班(非常同意 + 同意) n = 33	对照班(非常同意 + 同意) n = 30
实验提升了学习兴趣	30 (90.9%)	20 (66.7%)
实验加强了与药学专业联系	31 (93.9%)	14 (46.7%)
实验提高了自主学习能力	29 (87.9%)	19 (63.3%)
实验提升了药品质量分析能力	27 (81.8%)	13 (43.3%)
实验提升了分析思考问题的能力	28 (84.8%)	16 (53.3%)
实验培养了 GMP 意识	25 (75.7%)	8 (26.7%)

5.3.1. 开放式编码

对原始文本进行逐句编码,剔除频次低于 3 次的初始概念,聚拢为 10 个初始范畴。编码结果见表 5 所示。

Table 5. Open coding
表 5. 开放式编码

初始范畴	初始概念(频次)	代表性原始语句
任务认知转变	实验目的感知变化(12)、对“实验有用性”重新定义(9)	“以前觉得物理化学实验就是做实验、写报告,现在知道这些实验数据真的能决定一个药能不能做出来,物理化学实验对药学很重要。” [S-07]
能力效能感	独立操作信心(14)、解决问题的成就感(11)	“第一次独立完成表面活性剂 CMC 测定那次,虽然不够完美,但最后跑通的时候,特别有成就感” [S-03]
思维方式变化	从“照单抓药”到主动思考(16)、数据敏感度、异常判断能力提升(8)	“以前抄实验步骤就行了,现在需要自己设计,才意识到每个参数都是有意义的” [S-05]
产教融合认知	对行业实践的重新想象(10)、理论与实践的“差距”感(7)	“去企业参观了解之后才知道,学校学的只是基础,真正的质控体系复杂、严谨得多” [FG-02]
评价方式影响	过程性评价的压力(8)、多元评价的激励效应(6)	“老师现在不光看报告,还看你操作过程、分析思路,压力大了,但确实逼着自己认真” [S-11]
虚实结合体验	虚拟仿真、网络教学降低试错成本(13)、仿真与实操的“落差”(5)	“虚拟仿真里做错了可以重来,但真做的时候一次就完了,这种转换其实挺锻炼人的” [S-09]
小组协作体验	同伴学习的启发效应(9)、分工带来的责任意识 and 协作效用(6)	“小组做的时候,有人擅长这个、有人擅长那个,互相学习,比自己闷头做效率高” [FG-01]

续表

教师角色认知	从“指导者”到“引导者”(7)、教师企业经历、药学相关经历的可信度(5)	“有企业背景或对药学生产了解程度深的老师讲案例特别有说服力,你知道他真的做过,对药物研发生产比较熟悉”[S-02]
自主学习行为	课前预习行为变化(8)、课外延伸学习(4)	“现在做实验之前会自己查资料,想知道这个参数到底怎么来的,还有哪些实验方法”[S-06]
职业认同萌芽	对药学职业的具体想象(6)、对“实验价值”的重新理解(5)	“做制剂稳定性实验的时候,觉得手上的工作质控工作与药厂是通的,有点职业感了”[FG-03]

5.3.2. 主轴编码

通过范式模型(因果条件→现象→脉络→中介条件→行动策略→结果)梳理范畴间关系,提炼出 5 个主范畴,其编码结果见表 6。

Table 6. Axial coding
表 6. 主轴式编码

主范畴	下属概念(来自开放编码)	范畴内涵
认知唤醒	“任务认知转变”与“思维方式变化”	学生对实验课价值的重新理解,是从“被动完成”到“主动追问”的认知跃迁。其触发条件是产教融合场景中“真实问题”的引入——当实验任务从“验证公式”变为“解决制剂稳定性问题”时,学生产生了认知冲突,进而驱动认知重构。
能力生成	“能力效能感”与“自主学习行为”	学生动手能力、分析解决问题能力的实质性提升。研究发现,能力生成并非线性积累,而是通过“试错-反思-再实践”的循环实现。虚实结合技术在这一过程中扮演了“低成本试错空间”的角色。
意义锚定	“产教融合认知”与“职业认同萌芽”	学生将实验学习与未来职业实践建立意义联结的过程。这一过程具有强烈的情感色彩——学生对“学有所用”的感知越强,学习投入度越高。
情景支撑	“评价方式影响”与“教师角色认知”	教学环境要素对学生转变的支撑或阻滞作用。多元评价制度被反复提及为“倒逼认真”的制度设计,而教师的企业经历则被视为“可信度信号”。
技术中介	“虚实结合体验”与“小组协作体验”	教学手段对学生学习体验的调节作用。虚拟仿真的非预期效应尤其值得关注——它不仅降低了试错成本,更改变了学生对“失败”的认知。

5.3.3. 选择性编码(提炼核心)

从所有主范畴中,提炼出一个核心范畴,它能统合所有其他范畴。在本研究中,核心范畴可归纳为:“问题锚定的能力生成”。其核心意涵是:当物理化学实验教学以“真实药学问题”为锚点组织学习活动时,学生经历“认知唤醒-实践冲击-意义重构”三阶段演化,实现从“实验操作者”到“问题解决者”的角色身份转变。其理论模型可概括为:产教融合情境通过“真实问题锚点”触发学生的认知冲突(认知唤醒);在虚实结合技术与过程性评价的支撑下,学生进入“试错-反思-再实践”的能力生成循环

(实践冲击);最终通过将实验学习与职业实践建立意义联结,完成学习动机与自我认同的重构(意义重构)。其中,“技术中介”与“情境支撑”构成调节变量,影响转变的速度与深度。

5.3.4. 机制分析与讨论

研究发现,“真实问题锚点”对认知转变的驱动经历了“符号感知→亲身体验→意义内化”的递进过程。多数学生在接触产教融合教学之前,对“物理化学实验有什么用”的回答停留在“做实验、写报告、拿学分”的表层。当实验任务被重新设计为“测定某药物制剂的表面活性剂临界胶束浓度以评估其稳定性”时,学生开始将实验数据与“药物能不能稳定存放”、“患者用药安全”等临床或药物生产问题建立关联。这一发现印证了 OBE 理念的核心逻辑:以学习成果为导向设计教学,能增强教学的“目标性和指向性”。但更值得关注的是其心理机制——真实问题触发的不是简单的“兴趣提升”,而是认知结构的根本性调整:学生从“关注操作正确性”转向“关注数据的意义与价值”,从“执行者”转变为“判断者”。

研究过程中也出现了非预期发现:评价制度的“倒逼效应”与“工具化风险”。过程性评价和多元化考核被多位学生提及为“促使认真对待实验”的关键因素。但同时也出现了“为评价而学习”的工具化倾向:“现在做实验会想着老师会在哪个环节打分,有点表演性质”。这一发现提醒我们:教学改革中的制度设计可能产生“预期效应”与“非预期后果”并存的现象。多元评价的初衷是促进深度学习,但若执行中过于强调“可观测指标”,学生可能将注意力从“学习本身”转移到“考核应对”,导致“表面化参与”而非“深层认知投入”。这一矛盾可能源于评价制度与学习文化之间的错位。制度设计改变的是外部激励结构,而深度学习依赖的是内部动机的培育。

5.4. 改革中遇到的挑战与对策

但改革实践也存在一些挑战和不足。主要表现在以下几方面。由于物理化学实验教师多为化学背景,药学工程背景不足,对药物生产的规范化了解不够。产教融合与工程模式教学的推进需要教师开发微视频、设计探索性问题、审阅学生的实验设计方案和增强学习互动活动,这些使教师的工作量明显增加。个别学生对自主学习尤其是按照药企生产的规范化要求进行实验不能适应。实验学时紧张,导致开设实验数量不够。部分综合设计与探索性实验对仪器设备要求较高,先进仪器数量不足,这些实验开设困难。此外,由于企业管理制度约束,学生和教师到相关药企参访较为困难。面对以上这些挑战,需要学校教学管理部门进行协调和提供配套制度保障。学校层面应设立教改专项经费、提供教学能力培训。建设数字化评价工具分析学生在实验过程中的操作轨迹,提供个性化反馈与预警,以降低教师的过程性评价工作量。改进实验教学工作量的认定办法,激励教师参与产教融合教学改革。对于学生,应通过宣讲引导学生理解产教融合对培养药学专业学生适应企业岗位要求、有利于就业的意义,避免因“不适应”而产生抵触情绪。由学校管理部门出面协调争取教师和学生到相关药企研学,实地感受药企生产流程并协调推进校企协同教学。

5.5. 研究的局限性

本研究作为一项阶段性教改探索,虽在实验教学效果方面呈现出积极趋势,但在样本代表性、研究周期、测量工具与评价指标、混合式教学方法的具体实施层面等方面仍存在一些局限性,需在后续研究中予以关注与修正。

在样本代表性方面,本研究所涉教学实践仅在药学专业的物理化学实验教学中实施,参与学生总体规模有限,且受试对象集中于特定年级与特定培养阶段。该样本构成在学科背景、前期知识储备及学习动机等方面可能存在一定偏向性,由此所获得的成效评估结果是否可以推广至其他专业或其他培养层级,

尚缺乏充分的比较验证。在研究周期方面,本次教改实践的实施与效果追踪时间跨度相对较短,主要聚焦于课程教学周期内的即时性变化,尚未对学生在后续专业课程学习、实习实训环节及毕业后的职业胜任力等中长期维度进行系统跟踪。因此,该模式对学生综合能力发展的持续性影响及其长期效应,目前难以作出确切判断。

在测量工具与评价指标方面,本研究所采用的评价工具,包括学习效果测试、自主学习力量表和教学满意度问卷等,部分为自编或基于现有量表修订而成,其信度与效度虽经初步检验,但在不同教学场景下的稳定性与区分度仍有待进一步验证。此外,学生对产业标准的认知水平及生产规范意识的提升,主要依赖主观自陈报告,缺乏行为层面的直接观测数据与外部评价标准,这可能在一定程度上高估或低估实际变化幅度。在混合式教学方法的具体实施层面。虚拟仿真模块与实体实验教学之间的衔接机制、融合深度及其对不同学习风格学生的适配性差异,未作为本研究的重点变量加以系统考察,因此,目前难以精确区分各教学要素在整体效果中的独立贡献与交互效应。

上述局限性表明,本研究所得结论应视为初步探索性的阶段性判断,而非确定性结论。后续研究拟在扩大样本范围、延长追踪周期、完善多维评价工具及引入外部行为观测指标等方面持续加以改进,以进一步增强研究结论的稳健性与外部效度。

6. 结语

产教融合为药学专业物理化学实验教学改革注入了新的活力。在产教融合背景下,对药学专业物理化学实验教学进行了系统的改革与探索。通过重构“基础-综合-设计”三位一体的实验内容体系,强化实验内容的制药场景性、以问题驱动+工程模式教学、多课程协同和建立多元化的评价机制,较好地解决了传统实验中“学用脱节”的问题。基于改革实践的阶段性评估表明,该教学模式在强化学生对物理化学实验基本原理的理解与实验操作规范方面呈现出积极成效;同时,产业标准的引入为实验教学环节提供了可参照的实践框架,学生在学习兴趣、自主性实验设计能力及生产规范认知水平等方面均显示出一定程度的提升。后续工作中,拟结合医药产业发展的趋势,进一步探索实验项目与GMP规范的系统性衔接路径,审慎推进虚拟仿真与实体实验相结合的混合式教学体系建设,并对现行动态评价方案进行持续修正与优化,以期逐步将物理化学实验课程建设成为药学专业创新人才培养中具备参考价值的支撑平台。

基金项目

南充市社科联社会科学研究“十五五”规划2026年度项目(编号:NC26B276);南充市社科联社会科学研究“十四五”规划2025年度项目(编号:NC25B202)。

参考文献

- [1] http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-12/19/content_5248564.htm
- [2] 徐博,胡云虎,佟玲,等.基于OBE理念的“大学化学实验”课程教学探究[J].宁波工程学院学报,2025,37(1):92-98.
- [3] 元雪,徐一新,唐迪,等.基于OBE理念的“对分课堂+学习通”在药学分析化学中的教学应用[J].药学教育,2025,37(1):106-110.
- [4] 郭自涛.OBE理念下食品化学实验教学设计改革研究[J].现代食品,2024,30(21):107-109.
- [5] 侍雯婧,严朗,任丽君,等.CDIO理念在卫生化学实验教学中的探索[J].中国继续医学教育,2022,14(5):5-8.
- [6] 何刚,张丽芳,刘文波,等.基于CDIO理念的“药剂学”实验混合式教学探究[J].教育教学论坛,2023(3):101-104.
- [7] 刘维富.CDIO教学模式在医用化学教学改革中的应用[J].化工管理,2024(25):54-57.
- [8] 林丹,戎有和,孙蓉,等.基于动机理论的老年人气道异物梗阻救护虚拟仿真实验教学设计与实践[J].中华护理

- 教育, 2023, 20(4): 415-420.
- [9] 古丽巴哈尔·卡吾力, 郭伟, 常占瑛, 等. GMP 实训课在药学专业中的开设与实践效果[J]. 中国当代医药, 2020, 27(32): 189-192.
- [10] 赵莹, 杨宇辉, 聂华, 等. 药剂学多维实验教学体系的构建[J]. 中国中医药现代远程教育, 2024, 22(7): 203-205.
- [11] 蒋佳东, 郭俊杰. 在线协作学习环境下学习者群体感知的发生机制研究——基于扎根理论的质性分析[J]. 远程教育杂志, 2025, 43(2): 62-73.