OBE理念下分析化学实验教学方法改革与实践

毛慧敏 唐晓冰 翟思程 贾田芊
陕西科技大学镐京学院 医药工程学院，中国·陕西 咸阳 712046

摘要：分析化学实验是培养“定量思维”和“质量意识”的核心基础实验课。针对传统教学中目标模糊、过程缺位、评价单一等问题，本文以成果导向教育（OBE）理念为统领，按照“反向设计、正向实施”的逻辑重构课程：以毕业要求指标点为起点，反向分解课程目标、教学内容、教学活动和评价标准，形成“目标—活动—评价”一致性闭环。文章提出“四层能力递进”课程目标体系，构建“课前虚拟预学—课中双轨探究—课后数据复盘”的实施路径，并配套“过程化、多元化、可增值”的三维评价体系。以酸碱滴定、EDTA 配位滴定、碘量法、紫外分光光度法四类典型实验为载体开展两轮实践，结果显示学生在操作规范率、误差归因能力、原始记录完整性等方面均有提升。研究表明，OBE 理念能有效破解分析化学实验“重结果轻过程、重技能轻素养”的困境，为应用型高校基础实验课改革提供可复制范式。

关键词：分析化学实验；OBE 理念；成果导向；反向设计；过程性评价；课程改革

Reforming and Practicing Analytical Chemistry Teaching Methods under the OBE Concept

Mao Huimin, Tang Xiaobing, Zhai Sicheng, Jia Tianqian
College of Pharmaceutical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology Haojing College, China Shaanxi Xianyang 712046

Abstract: Analytical chemistry lab is a core foundational course for developing "quantitative thinking" and "quality awareness." To address issues in traditional teaching like unclear goals, missing processes, and single-mode evaluation, this article takes the Outcome-Based Education (OBE) concept as the guiding principle and reconstructs the course following a "backward design, forward implementation" logic: starting with graduation requirement indicators, it breaks down course objectives, teaching content, activities, and evaluation criteria in reverse to create a "goal–activity–evaluation" coherent loop. The article proposes a "four-level skill progression" system for course objectives and sets up an implementation path of "virtual pre-study before class—dual-track inquiry during class—data review after class," supported by a three-dimensional evaluation system that is "process-oriented, diversified, and value-enhancing." Using four typical experiments—acid-base titration, EDTA coordination titration, iodometry, and UV-visible spectrophotometry—for two rounds of practice, results show that students improved in operation standardization, error attribution, and completeness of original records. The study demonstrates that the OBE approach can effectively solve the problem of analytical chemistry labs focusing more on results than process and skills over literacy, offering a replicable model for reforming basic lab courses in application-oriented universities.

Keywords: Analytical chemistry experiments; OBE concept; Outcome-oriented; Backward design; Formative assessment; Curriculum reform

0 引言

分析化学被称为“化学中的数学”，其核心不是“会不会反应”，而是“能不能定量、准确定、可溯源、可解释”。对大一、大二学生而言，分析化学实验是他们第一次系统接触万分之一天平的差减法称量、移液管与容量瓶的定量转移、标准溶液的配制与标定、滴定终点的颜色判断、空白校正、相对平均偏差、标准曲线、有效数字和原始记录规范。它既是四大化学的“定量入口”，也是后续药物分析、仪器分析、临床检验、中药分析、环境监测等课程的“方法学地基”。学生在分析化学实验课上养成的称量习惯、读数方式和对待异常数据的态度，往往会影响其后三年的专业学习乃至整个职业生涯。

然而，当前分析化学实验教学普遍存在四类深层问题。第一，目标模糊：课程目标多表述为“掌握滴定操作”“熟悉分光光度法”等动作性描述，缺乏可观测、可评价的能力指标，教师不知道“教到什么程度算达成”，学

生不知道“学到什么程度算合格”。第二，过程缺位：课堂以“教师讲、学生做、交报告”为主线，预习流于抄步骤，操作靠模仿，滴定管气泡、移液枪不润洗、容量瓶烘干等低级错误反复出现。第三，评价单一：成绩依赖实验报告和出勤，过程能力看不见，会写报告但不会操作的学生反而占优。第四，标准失语：教材实验多来自综合性大学化学系，缺少药典、质量标准、检验记录和绿色化学语境，学生学完不会看中国药典、不会写检验结论、不会区分“含量合格”与“方法可靠”。

这些问题的共同根源，是把分析化学实验当成一门“技能训练课”，而非一门“能力达成课”。要破解这一困境，必须引入一种新的课程设计逻辑——成果导向教育（Outcome-Based Education，OBE）。OBE 强调“反向设计、正向实施”，以学生最终应达到的学习成果为起点，反向分解目标、内容和评价，使教学全程围绕“学生学会了什么”而非“教师教了什么”展开。

本文即以 OBE 理念为统领，系统构建分析化学实验教学改革方案，并通过两轮实践验证其有效性。

需要说明的是，OBE 并非一套全新的教学法，而是一种课程设计哲学。它不排斥项目式学习、混合式教学、翻转课堂等具体方法，相反，它为这些方法提供了统一的设计框架：无论采用何种手段，最终都要服务于预期学习成果的达成。因此，本文所提出的改革方案，本质上是用 OBE 逻辑把虚拟仿真、问题驱动、过程评价、课程思政等元素有机组织起来，使它们从零散的“教学改革动作”变成一条指向清晰的“能力达成链条”。这也正是本文与同类研究的主要区别所在。

1 OBE 理念的内涵与分析化学实验改革的契合性

1.1 OBE 的基本内涵：从“教了什么”到“学会了什么”

OBE 由美国学者 Spady 提出，其核心主张是：教学设计和实施的目标是促使学生取得特定的学习成果，而非完成规定的教学内容。它有四个基本原则：清晰聚焦最终成果、反向设计课程、提高学业期待、扩展机会。在 OBE 框架下，课程不再是教师“讲完即完成”，而是学生“达成即完成”；评价不再是“给分数”，而是“判断是否达到预期成果”。

1.2 反向设计：OBE 落地的核心逻辑

反向设计是 OBE 区别于传统教学的关键。传统教学是“内容先行”：先确定教什么，再想怎么教，最后顺便评价；OBE 则是“成果先行”：先明确学生毕业五年后应会什么（毕业要求），再倒推课程应承担的指标点，然后设计教学活动和评价方式。这一逻辑可概括为：毕业要求→课程目标→教学内容→教学活动→评价标准。对分析化学实验而言，反向设计使每一个实验、每一个环节都有了明确的指向，不再是孤立的技能训练。

1.3 分析化学实验与 OBE 的内在契合

分析化学实验具有天然的“成果可观测性”。一个学生是否会标定标准溶液、能否解释终点颜色变化、是否保留原始记录、能否归因偏差，都是可以直接观察和评价的行为表现。这种“可观测、可评价”的特征，使 OBE 理念在分析化学实验课中具备比其他理论课更强的落地条件。同时，医药、食品、环境等行业对从业者的质量意识、标准意识和数据诚信要求，恰恰与 OBE 强调的“可测量学习成果”高度一致，改革具备现实的外部驱动力。

2 基于 OBE 的分析化学实验课程体系重构

2.1 第一步：明确毕业要求与指标点支撑

课程组对照专业人才培养方案和行业需求，明确毕业要求中与实验课直接相关的指标点。以药学专业为例，“能够按质量标准完成药品检验”是毕业要求之一，分析化学实验需承担其中“标准溶液配制”“滴定分析”“数据处理与误差分析”三项支撑指标。指标点一经确定，后续的教学目标、内容和评价便有了明确依据。

2.2 第二步：制定可观测的课程目标

将指标点进一步转化为四个层次的课程目标：知识层（理解四大滴定的原理与适用条件）、技能层（独立完成称量、移液、定容、滴定、比色等规范操作）、思维层（能对异常数据提出可验证假设并完成归因）、素养层（形成数据诚信、标准意识与绿色化学观念）。每一层目标均配有可观测的行为动词，如“独立完成”“合理解释”“规范记录”。

2.3 第三步：反向选择教学内容

围绕课程目标，对原有实验项目进行“留、改、删、增”。保留酸碱、配位、氧化还原、分光光度四大经典体系作为能力训练载体；改造其呈现方式，从“按步骤验证”改为“问题导向探究”；删除纯演示性、与专业关联弱的实验；增加“检验记录册”“异常工作单”“标准曲线方法学初探”等符合行业实际的内容。内容选择的标准只有一个：是否直接服务于课程目标的达成。

2.4 课程体系重构的难点与应对

反向设计在实践中最大的难点，是教师群体长期形成

的“内容思维”惯性。许多教师习惯于从“这一章有哪些知识点”出发备课，而不习惯从“学生应达成什么成果”出发设计。为应对这一难点，课程组采取三项措施：一是组织 OBE 专题培训，系统学习成果导向的理论与方法；二是编制《课程目标—教学内容—评价任务对应矩阵》，使每项教学内容都能在矩阵中找到对应的目标与评价；三是开展同行评议，由课程组教师互相审阅教案，检查目标、活动、评价三者是否对齐。通过持续迭代，教师逐渐从“我要教什么”转向“学生要学会什么”，课程设计逻辑发生根本转变。

2.5 课程目标的可测量化表述

为避免课程目标沦为口号，本文采用“行为动词 + 内容 + 条件 + 标准”的四要素结构表述每一层目标。例如技能层目标表述为“在教师指导下，学生能独立完成标准溶液的配制与标定，且平行测定相对平均偏差≤ 0.3%”；思维层目标表述为“面对异常数据，学生能独立提出不少于三个可验证假设，并通过实验或文献验证得出归因结论”。这种表述方式使目标可观察、可测量、可评价，为后续评价设计提供直接依据，也让学生在学习之初就清楚“做到什么程度算合格”。

2.6 第四步：设计一致性评价

OBE 强调“目标、教学、评价三者对齐”。针对每一项目标设计对应的评价任务：知识层用课堂提问与预习检测，技能层用操作核查表，思维层用异常工作单与答辩，素养层用记录册批阅与反思日志。评价任务与目标一一对应，避免“教的是滴定、考的是填空”的错位。

3 基于 OBE 的教学实施路径

3.1 课前：虚拟预学与问题清单

开发或引入虚拟仿真平台，覆盖天平称量、滴定操作、分光光度计使用、标准曲线绘制等易错环节，学生线上预学并通过操作小测方可进实验室。同时发布“问题清单”，如“为什么 EDTA 滴定钙镁要加氨—氯化铵缓冲液”“为什么碘量法要避光、近终点才加淀粉”，学生带着问题进入课堂，实现从“被动听讲”到“主动探究”的转换。

3.2 课中：SOP 站与探究站双轨运行

实验室分为两个功能区域。SOP 站由教师或助教按操作核查表逐项核查称量、移液、滴定、比色等规范动作，确保基本技能达标；探究站由小组汇报实验方案、讨论异常现象、填写偏差调查单，围绕人、机、料、法、环五类因素提出验证方案。双轨制使“规范操作”与“深度思维”在同一课时内并行达成。

3.3 课后：检验记录册与数据复盘

取消传统报告本的课后誊抄，改用参照药检所格式的“检验记录册”：数据当场记录，修改需划单线、注明原因并签名，记录仪器编号、试剂批号、环境温湿度与异常现象。每周安排一次数据复盘，学生以小组为单位展示原始数据、分析偏差、汇报改进措施，教师针对共性问题进行集中讲评。

3.4 全程：课程思政内生融入

不贴标签，而从专业内涵中生发思政元素。实事求是体现在“不删异常点”；敬畏生命体现在“0.1 mL 误差可能改变临床剂量”；绿色分析体现在废液分类与减量；标准意识体现在按药典和通则办事。课程思政由此成为能力目标的一部分，而非附加环节。

4 基于 OBE 的评价体系构建

4.1 评价理念：从“给分”到“判达成”

OBE 评价的核心不是给学生一个分数排名，而是判断其是否达到预期学习成果。因此评价设计围绕三个问题展开：目标是否达成？达成到什么程度？未达成的部分如何补救？评价从终结性转向过程性，从单一分数转向多维证据。

4.2 评价结构：过程化、多元化、可增值

成绩由预习与问题（15%）、操作规范（25%）、异常探究（20%）、数据处理（20%）、反思答辩（20%）构成，并设“数据诚信”一票否决项。评价主体包括教师、助教与同伴，评价方式包括操作核查、记录批阅、口头答辩与反思日志，避免单一主体和单一方式的偏差。

4.3 达成度测算：用数据说话

对每项课程目标设定达成度阈值，如技能层操作规范率≥ 85% 视为达成。课程结束后统计全体学生的目标达成度均值，并绘制雷达图直观呈现各维度的强弱。对未达成目标的学生，安排补做实验或个别辅导，实现“评价—反馈—改进”的闭环。

4.4 增值评价：关注进步而非绝对值

除横向比较外，记录学生前后测的能力变化，用增值评价识别个体进步。一名起点较低但进步显著的学生，其评价应高于“起点高但无提升”的学生，从而激励全体学生持续投入，而非只奖励先天优势者。

5 典型实验的 OBE 化改造案例

5.1 酸碱滴定：从“求浓度”到“方法可靠性判断”

传统课以求出氢氧化钠标准溶液浓度为终点。OBE 化

改造后增加“两种基准物质对比”：用邻苯二甲酸氢钾与草酸分别标定同一溶液，讨论二者吸湿性、当量质量与终点敏锐度的差异；再延伸至阿司匹林含量测定，要求学生用标准语言写出含量限度结论。学生由此理解“方法选择本身就是分析决策”，对应思维层与素养层目标。

5.2 EDTA 配位滴定：从“水总硬度”到“钙剂质控探究”

保留水总硬度测定，同时增设钙片或模拟体液钙镁测定组。学生先预测含量范围再选择取样体积，经历缓冲液配制、指示剂加入、滴定与平行测定，最后用相对平均偏差判断精密度；对偏高或偏低结果，引导其回到取样、试剂纯度、指示剂封闭三个方向排查。对应技能层与思维层目标。

5.3 碘量法：维生素 C 含量与稳定性评价

让学生同时测定新鲜维生素 C 片与经光照、加热加速处理后的样品，计算含量保留率，并关联维生素 C 注射液为何要充氮、避光、加抗氧剂。课堂设“异常工作单”：终点返蓝究竟是碘挥发、维生素 C 氧化还是淀粉加早？学生用控制变量法验证假设。对应思维层目标与素养层目标。

5.4 紫外分光光度法：从“测铁”到“方法学意识初探”

在铁含量测定基础上增加标准加入法、吸收系数法和模拟药物样品测定，要求学生报告回归方程、线性范围、相关系数与含量判定，并讨论偏离线性的原因。教师说明紫外法适合筛查但不等同于高效液相色谱的放行结论，引导学生接触方法学验证的浅层概念。对应知识层与思维层目标。

6 实践效果

6.1 实践设计与数据来源

以本校药学、药物制剂等专业两个年级学生为对象，连续两轮实施 OBE 改革方案，并与沿用传统讲授方式的对照班级比较。评价数据来自四个方面：操作核查表得分、检验记录册抽查结果、期末操作考核成绩、匿名问卷与焦点小组访谈，采集前后均经学生知情同意。

6.2 量化结果

结果显示，改革班在容量器皿操作规范率、终点判断一致性、平行测定相对平均偏差合格率、标准曲线报告完整率四项指标上均有提升；异常数据删改率明显下降；学生“能具体说明误差来源”的自我评价显著提高。以终点判断一致性为例，传统班学生对滴定终点颜色的判断离散度较高，同一实验不同学生的终点体积差异大；改革班通过空白对照、比色卡参照和组内交叉确认，终点判断一致性明显改善。

6.3 过程性证据

过程性材料显示，改革班学生主动填写异常工作单的比例上升，报告中的原因分析由原先一句“操作失误”逐步细化为可验证的具体假设，如“指示剂加入过早导致碘被淀粉吸附”“移液枪未预润洗造成系统偏低”“标准溶液配制后放置时间过长导致浓度变化”。这些表述虽显稚嫩，但已体现出从“甩锅式归因”到“证据式归因”的转变，是分析思维形成的关键标志。

6.4 质性反馈

焦点小组访谈中，学生普遍反映“知道这课和以后药分、药检有关系了”“偏差调查单让我学会了不甩锅，而是找原因”“检验记录册让我第一次觉得数据是有法律效力的”。后续药物分析、仪器分析课程教师反馈，学生在实验设计、数据解释、标准查阅方面表现更主动，能更快适应专业实验要求。

6.5 局限与反思

需要说明的是，本研究为单校、小样本教学实践，达成度测算工具尚待标准化，长期迁移效果仍需跟踪验证。实施中也发现部分学生初期对偏差调查感到困难，需要教师提供更多脚手架；虚拟仿真平台的开发与维护也需持续投入。后续将扩大样本、引入更严格的对照实验，并开发可共享的评价量规。

7 结语

OBE 理念为分析化学实验教学改革提供了一套清晰、可操作的设计逻辑：从毕业要求出发，反向分解目标、选择内容、设计活动、构建评价，使“教、学、评”三者始终围绕预期学习成果对齐。本文构建的“四层能力目标—反向设计课程—双轨实施路径—多维评价体系”改革方案，有效破解了传统教学中目标模糊、过程缺位、评价单一的困境，使分析化学实验从“技能训练课”转向“能力达成课”。

当学生能按标准规范操作、能在出现异常时先查人、查机、查料、查法、查环，能在写完记录后问自己一句“这个数据我敢不敢签上名字”，这门课才算真正完成了从“化学实验课”到“质量文化启蒙课”的跨越。这正是 OBE 理念在分析化学实验教学中最朴素、也最深远的价值。

参考文献：

[1] SPADY W G. Outcome-based education: critical

issues and answers[M]. Arlington: American Association of School Administrators, 1994.

[2] 顾佩华，胡文龙，林鹏等. 基于“学习产出”（OBE）的工程教育模式——汕头大学的实践与探索[J]. 高等工程教育研究，2014(1): 27-37.

[3] 李志义. 成果导向的教学设计[J]. 中国大学教学，2015(3): 32-39.

[4] 李志义，朱泓，刘志军. 推动高等工程教育的范式变革——中国成果导向工程教育改革实录[J]. 高等工程教育研究，2023(4): 1-11.

[5] 武汉大学. 分析化学实验[M]. 5版. 北京：高等教育出版社，2018.

[6] 华东理工大学，四川大学. 分析化学[M]. 6版. 北京：高等教育出版社，2019.

[7] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 (2020 年版四部)[M]. 北京：中国医药科技出版社，2020.

[8] 教育部高等学校化学类专业教学指导委员会. 化学类专业教学质量国家标准[S]. 北京：高等教育出版社，2018.

[9] 陈凯，龙琪，倪娟. 基于 OBE 理念的高校化学实验教学改革[J]. 实验技术与管理，2021, 38(4): 189-193.

[10] 张明，李华，王强. OBE 理念下分析化学实验教学改革与实践[J]. 实验室研究与探索，2023, 42(5): 210-214.

[11] 赵明，孙丽，周涛. 课程思政融入分析化学实验教学的路径研究[J]. 化工时刊，2023, 37(6): 58-61.

[12] 王秀云，刘勇，张明. 无机及分析化学实验线上线下混合式教学的探索与实践[J]. 广东化工，2022, 49(3): 230-232.

[13] 陈晓红，刘伟. 新医科背景下医学检验技术专业分析化学实验教学创新[J]. 中华医学教育探索杂志，2024, 23(2): 189-193.

[14] 姜琳琳. 在实验教学的“学思”中“践悟”科学精神[J]. 复旦教育论坛，2024, 22(3): 112-116.

[15] 王凯民，李立凤，杨良竹等. 混合式教学模式下无机及分析化学实验课程思政建设的探索[J]. 广东化工，2022, 49(14): 224-226.

作者简介：毛慧敏（1990-），女，汉族，河南省柘城县人，硕士，助教，研究方向：药学。