

分析化学实验中设计性项目的梯度构建与实践构想

——以“混合碱的测定”为例

李俊博, 纪 伟*

东北林业大学化学化工与资源利用学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2026年7月1日; 录用日期: 2026年8月17日; 发布日期: 2026年8月26日

摘 要

传统分析化学实验教学中, 验证性实验占主导, 学生往往“照方抓药”, 导致创新意识与实践能力的培养不足。针对这些问题, 本文基于成果导向教育理念与建构主义学习理论, 构建了“三阶递进”的设计性实验梯度教学模式。该模式以混合碱组分含量测定为载体, 将实验教学划分为“基础验证-半设计-全设计”三个梯度, 通过逐级撤除学习支架, 引导学生从按图索骥逐步走向自主设计。本文系统比较了该模式与探究式教学、PBL教学等已有模式的异同, 阐述了各梯度的教学目标、实施方案与评价策略, 分析了操作层面的可行性与关键问题, 并提出了配套的教学工具与效果评估方案。该模式为分析化学实验课程的设计性改革提供了可迁移、可操作的实施框架。

关键词

分析化学实验, 设计性实验, 梯度构建, 混合碱测定, OBE理念

Gradient Construction and Practical Conception of Design-Oriented Projects in Analytical Chemistry Experiments

—A Case Study of “Determination of Mixed Alkalis”

Junbo Li, Wei Ji*

College of Chemistry, Chemical Engineering and Resource Utilization, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

*通讯作者。

文章引用: 李俊博, 纪伟. 分析化学实验中设计性项目的梯度构建与实践构想[J]. 创新教育研究, 2026, 14(8): 413-423.
DOI: 10.12677/ces.2026.148620

Abstract

Traditional analytical chemistry experimental teaching is dominated by confirmatory experiments, in which students often follow recipes mechanically, resulting in insufficient cultivation of innovative thinking and practical skills. To address these issues, this paper, grounded in Outcome-Based Education and Constructivist Learning Theory, proposes a “three-stage progressive” graded teaching model for design-oriented experiments. Taking the determination of mixed alkali composition as the instructional vehicle, the model divides the experimental course into three tiers: basic verification, semi-design, and full design. By gradually removing learning scaffolds, it guides students from executing prescribed protocols toward independent design. The paper systematically compares this model with existing approaches such as inquiry-based teaching and Problem-Based Learning, elaborating on the teaching objectives, implementation procedures, and assessment strategies for each tier. It also analyzes practical feasibility and key operational issues, and proposes supporting teaching tools and an evaluation plan for effectiveness. This model offers a transferable and actionable framework for the design-oriented reform of analytical chemistry laboratory courses.

Keywords

Analytical Chemistry Experiment, Design-Oriented Experiment, Gradient Construction, Determination of Mixed Alkalies, Outcome-Based Education Concept

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

分析化学实验是化学、化工、药学、环境等专业的重要基础实践课程,旨在培养学生的定量分析思维、规范操作技能和严谨的科学态度。然而,在传统教学中,验证性实验长期占据主导地位。学生只需按照实验教材给出的步骤“照方抓药”,完成试剂配制、滴定操作和数据计算,即可提交报告。这种“菜谱式”教学模式导致学生缺乏对实验方案的主动思考,难以理解每一步操作背后的原理依据,创新能力的培养流于形式[1][2]。近年来,诸多研究者认识到这一问题,增加综合设计性实验已成为分析化学实验教学改革的重要方向[3][4]。

针对如何有效提升实验教学的开放性与设计性,国内外已涌现出多种教学模式。在国际层面,探究式学习已被广泛应用于分析化学实验教学,学生在真实问题驱动下自主完成实验设计、数据采集与结果分析[5]。在梯度化设计方面,有研究者提出了“螺旋课程”框架,将实验决策划分为五种类型,渐进增加决策复杂性[6];另有研究者提出了分析化学实验探究水平的分析框架,将实验按不同探究层级进行分级[7]。在国内,有高校采用分层教学模式,有研究提出了模块化教学及多种三阶段递进模式,考核评价体系也日趋多元[8][9]。上述研究为实验教学改革提供了重要参考,但已有模式仍存在可拓展的空间:第一,部分模式在理论基础上的整合不够深入,缺乏对“如何逐步撤除外部支持”的操作化阐释;第二,已有梯度模型的阶段划分偏重宏观描述,各阶段之间的认知跨度不明确,学生仍面临从“完全指导”到“完全自主”的跳跃;第三,多数模式停留于框架层面,缺少配套的教学工具作为可操作化的支撑。

基于此，本文以“混合碱组成及含量测定”这一经典实验项目为载体，提出并构建了“基础验证 - 半设计 - 全设计”三阶递进的设计性实验梯度模式。与已有将混合碱测定单一实验进行改进的研究不同[10]-[12]，本文的创新之处在于：第一，构建了一个通用的“三阶递进”梯度框架，该框架不仅适用于混合碱测定，也可迁移至其他滴定分析或仪器分析实验；第二，将 OBE 理念与建构主义学习理论中的“支架式教学”策略相融合，并转化为具体的教学工具。这使得梯度之间的过渡具有明确的操作载体，通过逐级提升挑战难度，实现从配方到方案的渐进式转化，使学生在有支撑的环境中稳步发展综合实验能力。

2. 梯度构建的理论依据与设计思路

2.1. 理论基础

本梯度模式的构建以成果导向教育理念和建构主义学习理论为两大理论支柱。

1) 成果导向教育(OBE)理念

OBE 理念强调以学生最终学习成果为核心，通过反向设计教学目标与评价体系，推动教学重心从知识传授转向能力培养[13]。该理念为实验课程改革提供了方向性指引，即课程设计的出发点不是“教师要教什么”，而是“学生结课时应能做什么”。在设计性实验中，学生的学习成果不应仅限于一份完整的实验报告，还应包括多种可迁移的综合素养，如发现问题、提出假设、查阅文献、设计方案以及批判性评估实验误差的能力。本模式中，每一梯度均对应明确的成果目标，并以最终的全设计能力为终点，进行反向推演和逐级分解，这便是 OBE 理念在实验教学中的具体落实。

2) 建构主义学习理论与支架式教学

建构主义认为，知识不是被动接受的，而是学习者在已有经验基础上主动建构的[14]。这意味着实验教学不应让学生被动执行现成方案，而应为他们创设主动建构知识意义的情境。支架式教学是建构主义理论的重要教学模式之一，其核心思想是当学习者尝试解决超出当前能力水平的问题时，教师提供临时性支持结构。随着学习者能力提升，这些支架逐步撤除，最终使学习者能够独立完成任务[15]。这一思想与本模式的设计高度契合，三个梯度本质上是一个“支架搭建 → 支架撤离 → 独立完成任务”的过程。第一阶段，实验步骤和教师提问是最低层级的认知支架，帮助学生建立“操作 - 原理”的对应关系；第二阶段，“方案设计引导表”和审核追问是第二层级的支架，帮助学生经历一次“有保护的尝试”；第三阶段，所有支架撤除，学生必须综合运用前期建构的知识和经验独立设计方案。

上述两种理论形成互补，OBE 理念回答了“培养什么能力”的目标问题，建构主义与支架式教学则提供了“如何逐步培养”的方法论。二者的结合为三阶递进梯度模式提供了完整而自洽的理论基础。

2.2. “三阶递进” 梯度模型的总体架构

基于上述理论，我们将实验教学设计为三个梯度，每个梯度设有特定的培养目标、认知任务和教学模式，如表 1 所示。

Table 1. Overall architecture of the “three-stage progressive” gradient model
表 1. “三阶递进” 梯度模型的总体架构

梯度	定位	认知任务	核心教学模式	教师角色	脚手架形式
基础验证	打基础	建立“操作 - 原理”关联	伴随式提问 + 原理 - 操作对应分析	示范者与引导者	详细步骤 + 操作提问
半设计	做尝试	在引导下完成关键决策	引导表驱动 + 方案审核反馈	审核者与提问者	引导表 + 审核追问
全设计	敢创造	独立完成全流程方案构建	独立探究 + 组间互评	支持者与评价组织者	仅提供任务目标

第一阶段为基础验证。实验教材提供完整的操作步骤, 学生在教师指导下完成实验。与传统验证性实验不同, 该阶段在教学过程中穿插“为什么”环节, 即在每一步关键操作处设置提问, 引导学生将实验操作与理论知识对应。报告环节要求学生撰写“原理与操作对应说明”, 在计算之外增加对实验原理的阐释。这一阶段的本质是搭建最低层级的认知支架, 将“照方抓药”的被动操作转化为“知其然亦知其所以然”的主动思考。

第二阶段为半设计。教材不再提供完整步骤, 仅给出实验原理框架和试剂信息。学生在教师引导下, 完成查阅资料确定指示剂种类及用量、估算样品称量范围、计算所需标准溶液体积、设计平行实验次数、设定数据记录表格等任务, 方案经教师审核通过后方可实施。此阶段的关键在于“台阶要低、指导要精”, 教师提供“方案设计引导表”, 列出学生自主决策的关键参数, 并给出必要的提示和参考范围, 避免学生因信息不足而迷茫。引导表和审核追问构成第二层级的支架, 其实质是让学生经历一次“有保护的尝试”。实施过程中, 教师对共性问题集中提示, 对个性问题个别指导。实验后, 教师进行全班数据汇总, 引导学生通过统计检验分析不同方案对结果精密度的影响, 从而建立方案设计与数据质量之间的关联意识。

第三阶段为全设计。教师仅给出分析任务, 不额外提供原理提示和方法限定。学生须调动第一阶段所学的原理知识和第二阶段积累的方案设计经验, 自主完成方案构建, 包括问题解析、文献检索与方案调研、多方法比较与选型、方案撰写与可行性论证、实验实施与数据分析、结果评价与改进建议。此外, 允许学生选用不同方法学途径, 以形成方法学对比。实验结束后, 进行小组汇报, 组间就不同方案的优劣进行互评。至此, 所有外部支架均已撤除, 学生实现真正意义上的自主设计。

2.3. 与已有代表性教学模式的比较分析

为清晰地定位本模式, 将其与国内外已有代表性教学模式进行了系统比较(表 2)。

Table 2. Comparison of this model with existing representative teaching models

表 2. 本模式与已有代表性教学模式的比较

比较维度	探究式教学模式	PBL 教学模式	“基础 - 设计 - 创新” 梯度模式	“感受 - 形成 - 拓展” 三阶段模式	本模式(三阶递进)
理论基础	探究学习理论	问题导向学习理论	能力本位教育	建构主义	OBE + 支架式教学
阶段划分	基础型 → 研究型 探究 → 创新设计	问题驱动 → 方案 设计 → 实施验证	基础型 → 设计型 → 创新型	感受性 → 形成性 → 拓展性	基础验证 → 半设计 → 全设计
阶段间 跨度	两阶或三阶, 跨度 描述偏宏观	以问题为驱动, 阶段衔接依赖 问题复杂度	三阶, 描述性较强	三阶, 渐进开放 原则	三阶, 有明确的 支架撤离机制
教师角色	引导者与促进者	问题提出者与 辅助者	指导者	组织者	示范者 → 审核者 → 支持者
支架策略	未明确操作化	问题本身作为 认知支架	未明确操作化	渐进开放	“搭建 - 撤离”有 明确路径和工具
配套工具	较少提及	问题链或案例库	较少提及	较少提及	引导表 + 评分表 + 教师行为清单
适用情境	综合实验与研究型 实验	问题导向的实验 项目	各类分析化学实验	基础化学实验	滴定分析与仪器 分析

1) 与探究式教学模式的比较

探究式教学模式以探究学习理论为基础, 强调学生在真实问题情境中通过自主探究建构知识, 其典型阶段为“基础型实验 → 研究型探究实验 → 创新设计实验”。教师角色定位为引导者与促进者, 鼓励学生自主发现问题、设计方案并得出结论。然而, 该模式在操作层面存在两个不足: 其一, 阶段之间的跨度描述较为宏观, 虽然提出了从基础到创新的进阶方向, 但缺乏对过渡环节的具体设计; 其二, “探究”本身是一个内涵宽泛的概念, 从教师主导的结构性探究到学生主导的开放性探究之间存在巨大的认知鸿沟, 但该模式未对此进行精细化处理, 也未提供明确的支架撤除机制。

本模式借鉴了探究式教学“逐级提升开放度”的核心思想, 但在此基础上进一步引入支架式教学的操作逻辑, 将探究能力的培养细化为“在支架支撑下探究 → 在少量引导下决策 → 独立探究”三个可操作的梯度, 每个梯度的开放程度与支架强度均有明确界定。

2) 与 PBL 教学模式的比较

问题教学法(PBL)教学模式以问题为导向, 强调通过真实、劣构的问题驱动学生主动查阅资料、设计方案、实施验证。其主要优势在于能够激发学生的内在学习动机, 培养解决复杂问题的综合能力。然而, 该模式的应用也存在局限: 第一, PBL 的效果高度依赖问题情境的设计质量, 若问题与学生的知识储备差距过大, 反而会增加认知负荷, 引发挫败感; 第二, PBL 模式通常以一个完整问题贯穿始终, 缺少从结构化到开放化的梯度过渡设计, 学生从课堂学习直接跳入问题解决, 面临的认知跳跃较大。

本模式吸收了 PBL “问题驱动”的理念, 但在问题复杂度的引入方式上做了梯度化处理: 第一阶段通过教材步骤中的伴随式提问建立“问题意识”; 第二阶段通过引导表中的设计任务让学生面对“结构化问题”; 第三阶段才面对真正“劣构问题”。通过问题复杂度的渐进提升, 实现了 PBL 理念与梯度教学的有机融合。

3) 与梯度教学模型的比较

国内已有多种三阶段梯度模型, 如“基础实验 - 设计性实验 - 创新实验”和“感受性实验 - 形成性实验 - 拓展性实验”。这些模型与本模式共享“由易到难、由扶到放”的基本理念, 但在以下方面存在差异: 其一, 理论基础。已有梯度模型多基于能力本位教育或建构主义的一般原则, 理论视角较为单一。本模式将 OBE 理念与支架式教学策略相结合, 形成了“目标导向 + 过程支撑”的双轮驱动, 理论闭环更为严密。其二, 过渡设计。已有模式对各阶段的划分标准偏重描述性(如“感受”“形成”“拓展”), 各阶段之间的“台阶高度”不明确, 教师在实施时难以判断何时以及如何推进到下一阶段。本模式将过渡锚定在“支架撤除”这一可观察、可操作的教学行为上。第一阶段提供详细步骤和操作提问, 第二阶段撤除步骤、保留引导表, 第三阶段撤除所有外部支架。每一阶段的支架形式与撤除方式均有明确设计。其三, 配套工具。已有模式多停留于理念或框架层面, 本模式提供了方案设计引导表、结构化评分表和教师行为清单等成套工具, 使理论框架具备直接的可操作性。

综上, 本模式并非对上述任何一种模式的替代, 而是在继承探究式教学“开放度递进”理念、PBL “问题驱动”理念以及已有梯度模型“阶段划分”框架的基础上, 以支架式教学为操作内核, 通过明确的支架搭建与撤除机制和配套的教学工具, 为分析化学实验课程的设计性改革提供一个更具操作性的实施方案。

2.4. 为什么选择“混合碱测定”作为实施载体?

选择“混合碱测定”作为梯度教学的案例并非偶然, 这一经典实验具有三重优势。第一, 实验原理清晰, 便于分层设计。混合碱组分分析基于酸碱滴定中双指示剂法的应用, 涉及 V_1 和 V_2 两个特征体积的判断, 分别对应酚酞和甲基橙的滴定终点。 V_1 和 V_2 的相对大小直接决定了混合碱的组成类型(可能为

NaOH-Na₂CO₃、NaHCO₃-Na₂CO₃ 或单一组分)。这一内在逻辑使其天然具备进阶空间, 即从“按步骤执行”到“理解体积关系背后的组成推断”, 再到“自主设计测定方案”。第二, 实验材料易得且安全。试剂和耗材成本低, 无需昂贵仪器, 对实验条件要求不高, 便于在不同高校和不同规模的班级中推广。第三, 误差来源多样, 便于数据分析和方案改进讨论。从称量、溶液配制、滴定终点判断到体积读数, 每个环节都存在可能影响结果的误差因素。这为学生提供了全流程的方案优化训练空间, 非常适合作为设计性实验的培养载体。

3. 梯度模式在“混合碱测定”中的实施方案

3.1. 第一阶段：从“照方抓药”到“知其所以然”

在混合碱测定实验的传统教学中, 学生只需按照实验教材的步骤依次操作, 记录滴定体积, 代入公式计算即可完成报告。学生往往只关心实验结果是否与标准值接近, 而忽略了对实验过程的深入理解。针对这一现状, 我们在基础验证阶段进行了以下改进。一是在实验前布置预习任务, 要求学生通过教材和参考资料, 用框图的形式梳理实验流程, 并用标注的方式在每个步骤旁写清楚“这一步操作的原理是什么, 如果不做会导致什么后果”。预习报告不再只是抄写步骤, 而成为理解性预习的载体。二是在实验过程中, 教师采用伴随式提问策略。在学生操作到关键步骤时主动发问, 例如“现在滴定速度是否合适?”、“终点颜色是浅粉还是无色?”这引导学生对操作细节进行实时反思, 而非事后记忆。三是实验报告中增加“原理与操作对应分析”模块。要求学生至少选择三个关键操作步骤进行原理解读, 并分析操作偏差对结果可能产生的影响。通过这一阶段, 学生不仅“会做”实验, 而且“理解为何这样做”, 为后续的自主设计储备了必要的原理性知识和操作体感。

3.2. 第二阶段：从“执行方案”到“完善方案”

Table 3. Design guide table for mixed alkali determination
表 3. 混合碱测定方案设计引导表

设计项目	引导问题	提示与参考
1. 样品称量范围	如何根据 HCl 标准溶液浓度(约 0.1 mol/L)和预估的混合碱含量估算称样量? 称样量过大或过小分别会导致什么问题?	参考教材中双指示剂法的典型称样量范围 (0.2~0.5 g), 结合滴定体积控制在 20~30 mL 的原则进行估算
2. 指示剂选择	为何选择酚酞和甲基橙两种指示剂? 各自的变色范围是多少? 第一终点和第二终点分别对应什么化学反应?	酚酞变色范围 pH 8.0~9.6 (无色 → 浅红), 甲基橙变色范围 pH 3.1~4.4 (红 → 黄); 分别对应 Na ₂ CO ₃ →NaHCO ₃ 和 NaHCO ₃ →H ₂ CO ₃ 的计量点
3. 平行实验次数	需要做几次平行测定? 选择该数量的统计依据是什么?	至少 3 次平行测定; 可参考 Q 检验或 Grubbs 检验对可疑值进行取舍, 思考为何需要平行实验
4. 终点判断方法	第一终点(酚酞)的颜色如何判断? “半滴操作”如何执行? 若终点颜色判断出现偏差, 如何校准?	第一终点应为浅粉色(30 s 不褪色); 半滴操作需控制液滴悬挂于滴定管尖嘴处以半滴形式加入; 可设置对照色标
5. 数据记录表设计	需要记录哪些原始数据? 如何设计表格以便于后续计算和统计处理?	应包括: 称量质量、HCl 标准溶液浓度、V ₁ (酚酞终点体积)、V ₂ (甲基橙终点体积)、各组分含量、平均值、相对平均偏差
6. 误差来源分析	本实验的主要误差来源有哪些? 哪些是可以人为控制的?	称量误差、滴定读数误差、终点判断误差、试剂纯度误差、仪器校准误差等

完成基础验证实验后, 学生进入半设计阶段。教师不再提供现成的实验方案, 而是提供一份“混合碱

测定方案设计引导表”(表 3)，其中列出了需要学生自主决策的关键参数。例如，样品称取的质量范围(如何依据 HCl 标准溶液浓度和预估含量进行估算)、指示剂的选择(为何选择酚酞和甲基橙)、平行实验的组数设计(选择该数量的依据是什么)、第一终点颜色判断出现偏差时的校准方法，以及数据记录表的设计(便于后续计算和统计处理)。学生需查阅相关资料后撰写实验方案提交审核。审核时，教师不直接评判方案优劣，而是通过提问引导学生自我审视，例如，“你的称样量是否过大或过小？”“平行组数是否足以保证统计显著性？”学生根据提问修改方案后，方可进入实验室操作。实验完成后，学生提交带有误差分析报告。教师汇总全班数据并组织课堂讨论，分析不同称样量和不同终点判断方法对结果的影响，帮助学生建立对方案设计的直观认识。这一阶段的核心价值在于，学生在“引导表”这一支架的支撑下，经历了一次完整的方案决策过程，且风险可控。这种“有保护的尝试”为第三阶段的独立设计积累了信心和经验。

3.3. 第三阶段：从“被动执行”到“自主创造”

全设计阶段的任务是：学生面对一种未知组成的混合碱(可能为 NaOH-Na₂CO₃、NaHCO₃-Na₂CO₃ 或单一组分)，需独立设计并实施一套完整的含量测定方案。为此，学生必须调动第一阶段所学的混合碱滴定原理和第二阶段积累的方案设计经验，自主完成以下步骤：1) 问题解析：分析未知样品可能的组成类型，确定目标组分和含量指标。2) 文献调研：查阅相关教材、国家标准及学术论文，了解混合碱测定的常见方法和注意事项。3) 方案撰写：写出一份完整方案，内容需包含实验原理、试剂与仪器清单、详细操作步骤、数据记录与处理方案、预期结果与误差分析预案。4) 方法选型：允许学生选用不同的方法学途径。有能力者可尝试滴定分析与电位滴定法的对照实验，或引入 pH 计辅助终点判断。5) 实施与数据处理：方案经审核后独立实验，并对数据进行系统统计处理。教师仅进行安全指导和疑难技术支持，不干预具体操作和方法选择。6) 结果汇报与互评：进行小组汇报，每组重点介绍方案设计思路、主要困难及解决方法。其他组和教师从方案创新性、可行性、数据质量、报告规范性等维度进行互评。至此，所有外部引导均已撤除。学生必须综合运用前期建构的知识、技能和策略，独立完成从问题到答案的完整链路。这正是设计性实验的核心目标所在。

4. 考核评价体系的配套设计

实验教学改革需要同步调整考核方式。传统验证性实验以实验报告定成绩，而设计性实验的考核必须关注学生在方案设计、过程实施和结果反思等各环节的表现。为此，我们设计了一套覆盖整个实验链条的过程性评价体系，权重分配如表 4 所示。方案设计和操作过程两个环节合计占 50%的权重，体现了对过程性能力的高度重视。在三个梯度的教学中，各环节权重应有所侧重：第一阶侧重预习和操作过程，合计约 55%；第二阶适当增加方案设计权重；第三阶则强调方案设计和汇报答辩，二者合计超过 40%，以适应不同阶段的培养目标。具体的全设计阶段实验方案结构化评分表见表 5。

Table 4. Weight distribution of each stage in formative assessment

表 4. 过程性评价各环节权重分配

评价环节	评价内容	权重
预习	预习报告质量、预习测试成绩	10%
方案设计	方案合理性、创新性、可行性论证	25%
操作过程	操作规范性、仪器使用正确性、安全与卫生	25%
实验报告	数据质量、误差分析深度、结论合理性	25%
汇报答辩	表达清晰度、问题回答、组间互评参与	15%

Table 5. Structured scoring sheet for experimental design phase
表 5. 全设计阶段实验方案结构化评分表

评价维度	评分项目	评价标准(等级描述)	分值
一、方案准备(10 分)			
资料查阅与 方案预演	查阅相关文献及标准, 完成试剂用量估算、关键参数预判及操作预演		10
二、方案设计能力(25 分)			
2.1 问题解析	A: 准确识别未知样品的可能组成类型, 明确目标组分和含量指标 B: 基本识别样品组成, 目标组分表述基本清晰 C: 对样品组成的分析存在明显疏漏 D: 未能识别样品组成或目标组分不明确		8
2.2 方案合理性	A: 原理运用正确, 方法选择得当, 操作步骤逻辑清晰、可执行性强 B: 原理基本正确, 方法选择合理, 步骤基本可行 C: 原理或方法存在明显错误, 步骤有逻辑缺陷 D: 原理或方法严重错误, 方案不可执行		10
2.3 创新性与 方法选型	A: 在常规方法基础上提出了有价值的改进(如引入电位滴定、对照实验等) B: 方法选择合理但未体现明显的创新或改进 C: 方法选择过于单一, 未考虑替代方案 D: 未进行任何方法比较或选型论证		7
三、实验操作能力(25 分)			
3.1 操作规范性	A: 所有操作规范熟练, 仪器使用正确, 无明显失误 B: 操作基本规范, 偶有小失误但能自行纠正 C: 操作不够规范, 需教师多次提醒 D: 操作严重不规范, 影响实验结果		10
3.2 终点判断 与数据采集	A: 能准确判断终点, 半滴操作熟练, 原始记录完整规范 B: 终点判断基本准确, 记录基本完整 C: 终点判断有明显偏差, 记录有遗漏 D: 终点判断错误需重做, 记录混乱		10
3.3 安全与卫生	A: 严格遵守实验室安全规范, 台面整洁, 试剂归位 B: 基本遵守安全规范, 卫生状况良好 C: 安全意识不够, 卫生状况一般 D: 存在安全隐患或卫生问题		5
四、数据分析能力(20 分)			
4.1 数据处理的 准确性	A: 计算公式正确, 数据处理完整, 统计检验方法得当 B: 计算基本正确, 数据处理基本完整 C: 计算有错误或数据处理不完整 D: 计算严重错误或未进行数据处理		8

续表

	A: 能系统分析主要误差来源, 并提出有针对性的改进建议	
4.2 误差分析的深度	B: 能指出部分误差来源, 改进建议一般 C: 误差分析流于表面, 无具体改进建议 D: 未进行误差分析	8
4.3 结论的合理性	A: 结论与数据支撑一致, 能合理解释异常数据 B: 结论基本合理, 对异常数据的解释较简略 C: 结论与数据不完全吻合 D: 结论缺乏数据支撑	4
五、汇报答辩能力(20 分)		
5.1 方案陈述	A: 汇报逻辑清晰, 重点突出, 能完整呈现设计思路和实施过程 B: 汇报基本清晰, 但重点不够突出 C: 汇报条理不够清晰, 信息有遗漏 D: 汇报混乱, 无法有效传达关键信息	10
5.2 问题应答与互评	A: 能准确回答提问, 参与互评积极且有深度 B: 基本能回答问题, 互评参与一般 C: 回答提问有困难, 互评参与不积极 D: 无法回答问题, 未参与互评	10

在评价实施层面, 需特别关注两个关键问题。首先是大班额下的操作记录问题。教师不必记录每位学生的每一个操作, 而是聚焦关键节点(如滴定终点判断、标准溶液标定)进行观察, 对典型规范或不规范操作进行记录, 其余以随机抽查覆盖。同时可引入学生自评和小组互评作为辅助参考。其次是评分主观性问题。应制定细则化的评分标准, 将抽象指标转化为可观察的行为表现。例如终点判断一项: A 档为“能准确判断终点并保持半滴操作”, B 档为“终点判断基本准确但半滴操作不够熟练”, C 档为“终点判断出现明显超前或滞后”。期末考试中可采用结构化评分表, 由两位教师分别独立评分后取均值, 以控制评分者间信度。

5. 可行性分析与实施建议

本模式在操作层面具有较好的可行性, 但需注意以下关键环节。

课时安排。三阶递进需要至少 3 次独立的实验课时(每次 3~4 学时)。若按每学期 8~10 次实验课计算, 约占总课时的 30%~40%。建议将三阶实验分散安排: 第 3~4 周进行基础验证, 第 7~8 周进行半设计, 第 11~12 周进行全设计。这样可使学生有足够的间隔消化前序经验。若常规课时不足以支撑全设计阶段的连续操作(需 6 学时以上), 可考虑利用开放实验室时间或将其纳入期末综合实验周。

教师指导策略。三个梯度对教师角色的要求不同: 第一阶侧重示范与提问, 第二阶侧重审核与追问, 第三阶侧重支持与组织互评。教师应在课前明确各阶段的角色定位, 避免在第一阶过度讲解而剥夺学生思考空间, 或在第三阶过度干预而剥夺学生自主权。建议制定各阶段教师行为清单, 作为教学执行的参照。

学生适应性问题。部分习惯了“照方抓药”的学生可能会在半设计阶段感到不适。为此, 应强调“引

导表”的缓冲作用,并给予充分的方案修改机会。对于基础特别薄弱的学生,可在半设计阶段提供“半开放”选项,即提供部分参数的建议值范围,以便逐步过渡。

不同教学环境下的挑战与应对策略。本模式在不同教学环境下可能面临不同挑战,需采取针对性应对措施。在师资水平方面,若教师缺乏设计性实验指导经验,可能难以把握“引导”与“放手”的平衡。应对策略包括:第一,通过教研室集体备课和教学观摩,统一各阶段的教学行为标准;第二,制定详细的教师行为清单,为各阶段提供明确操作指引;第三,建立教学反思机制,每次实验课后记录指导得失,逐步积累经验。在学生基础方面,不同班级学生的理论基础和实验技能可能存在较大差异。应对策略包括:第一,每阶段开始前进行前测(如概念测试或操作摸底),根据学生水平微调支架搭建高度;第二,为学困生提供差异化辅助资源,如操作视频、原理讲解微课等;第三,分组时采用“异质分组”策略,让基础较好的学生带动基础薄弱的学生。在班级规模方面,大班教学会显著增加教师方案审核和操作指导的工作量。应对策略包括:第一,利用在线教学平台(如学习通、智慧树)实现方案预审和反馈线上化,减少面对面审核的时间成本;第二,培训研究生助教承担部分基础性指导工作,如操作规范性观察、数据初步审核等;第三,方案审核环节可采用“同伴互审+教师抽审”模式,即学生先相互审阅方案并提问,教师再对争议方案重点审核;第四,操作过程评价可采用“关键节点抽样”策略,而非全程跟踪每位学生。

推广至其他实验项目。本模式的“三阶递进”思路具有通用性,但具体实施时需根据实验项目的特征进行调整。例如,对于仪器分析实验,第一阶可侧重仪器操作规范与标准曲线制作;第二阶可让学生自主选择波长、狭缝宽度等参数并优化;第三阶可要求针对真实样品设计完整的前处理及测定方案。关键在于识别每类实验中的“关键决策点”,并将其嵌入相应的梯度中。

6. 教学效果评估构想

本模式作为一种教学改革设计方案,其实际效果有待在真实教学场景中检验。建议在后续研究中通过以下方式开展系统的效果评估:

1) 前后测对比设计。在实施三阶递进教学前后,分别对学生进行概念理解测试和实验技能考核。概念理解测试聚焦酸碱滴定原理、指示剂选择依据、误差来源分析等核心知识点;实验技能考核涵盖操作规范性、终点判断准确性、数据处理严谨性等维度。通过前后测数据的配对样本 t 检验,量化评估学生在知识理解和操作技能两方面的提升幅度。

2) 过程性档案分析。收集并分析学生在三个阶段的学习过程档案,包括预习报告、方案设计初稿与修改稿、实验原始记录、实验报告等。重点关注:方案设计稿从初稿到终稿的修改幅度与质量提升(反映支架撤除后的独立设计能力变化);误差分析的深度与准确性(反映批判性思维的发展);数据记录与处理的规范性(反映科学态度的养成)。

3) 问卷调查与半结构化访谈。在每阶段结束后开展问卷调查,了解学生的自我效能感、学习投入度、对支架支撑强度的感知等主观体验。在全部三个阶段结束后,选取不同基础层次的学生进行半结构化访谈,深入了解学生在各阶段的认知体验、困难与收获,以及对本模式的改进建议。

4) 对照实验设计。如条件允许,可设置实验班(采用三阶递进模式)与对照班(采用传统教学模式)进行对比研究。通过比较两班在期末综合性实验考核中的表现(方案设计质量、操作规范性、数据准确性、报告深度等),检验本模式的教学成效。

上述评估数据的收集与分析将为梯度设计的合理性和有效性提供实证支撑,也为进一步优化各阶段之间的衔接细节提供依据。

7. 结语

本文针对分析化学实验教学中验证性实验占主导、学生主动参与不足的问题, 基于 OBE 理念与支架式教学策略, 构建了“基础验证 - 半设计 - 全设计”三阶递进的设计性实验梯度模式, 并以混合碱测定为例阐述了实施方案与评价策略。与已有探究式教学和 PBL 教学模式相比, 本模式的核心差异在于将“支架撤除”作为贯穿三阶的操作主线——从第一阶段提供详细步骤与伴随式提问, 到第二阶段撤除步骤、保留引导表, 再到第三阶段撤除所有外部支架——使梯度过渡具有明确的教学载体和可操作的行为路径。该模式的价值体现在: 1) 通过“支架搭建 - 支架撤离”的教学策略, 学生在认知安全的条件下实现从模仿到创造的平稳过渡; 2) “三阶递进”框架具有可迁移性, 可为其他滴定分析及仪器分析实验的设计性改造提供思路; 3) 配套的过程性评价体系与行为清单体现了“以评促学、以导促教”的理念。后续研究将依据本文提出的评估方案开展教学试点, 收集过程性数据以检验梯度设计的有效性, 并进一步探索该模式在更大班额、不同层次院校中的适用性。

参考文献

- [1] 张贝. 新工科背景下“分析化学实验”课程教学改革路径探讨[J]. 当代化工研究, 2026(2): 159-161.
- [2] 刘博静, 王瑜, 于庆水. 应用型人才培养模式下分析化学实验教学改革与探索[J]. 广东化工, 2021, 48(8): 303.
- [3] 伍珍, 陈怀侠. 以问题为导向的分析化学设计性实验教学研究与实践[J]. 大学教育, 2025(10): 77-81.
- [4] 侯雯倩, 韩微莉, 张云鹤, 等. 高校化学实验课程教学改革探索——以分析化学实验课程为例[J]. 化学与纺织技术, 2025, 54(5): 221-223.
- [5] Wang, Y., He, P., Geng, J. and Zhu, Z. (2025) An Innovative Teaching Practice in Analytical Chemistry Laboratory: Merging Photoelectric Technology with Inquiry-Based Learning through Cerium Analysis. *Journal of Chemical Education*, **102**, 1245-1251. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01316>
- [6] Frederick, K.A. and Harper-Leatherman, A.S. (2022) An Inquiry-Based In-Person or Remote Laboratory Using Iron Analysis and Paper Microfluidics to Teach Analytical Method Development. *Journal of Chemical Education*, **99**, 4024-4031. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00370>
- [7] Forlano, K.M., Bernat, E., Doolittle, P., Colosi, D., Jin, S. and Buchberger, A.R. (2026) Shining Light on Halide Perovskites: Teaching Analytical Chemistry Using Flexible, Inquiry-Based Experiments. *Journal of Chemical Education*, **103**, 1480-1490. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00906>
- [8] 李炜林, 刘红瑜, 金谷, 等. 探究式教学模式在分析化学综合实验教学中的实践[J]. 大学化学, 2022, 37(4): 87-92.
- [9] 姚奇志, 金谷, 朱平平. “综合 + 探究”式、模块化分析化学实验教学——“一生一方案”, 因材施教实验教学法[J]. 大学化学, 2024, 39(3): 143-148.
- [10] 杨秀敏, 刘海燕, 李芝, 等. 双指示剂法测定混合碱实验的改进[J]. 化工管理, 2022(22): 65-67.
- [11] 杨文静, 黎学明, 李武林, 等. 混合碱滴定分析[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(8): 20-21+133.
- [12] 杨卓, 禹亚兵, 张永花. 混合碱测定方法对比研究[J]. 洛阳师范学院学报, 2023, 42(5): 14-19.
- [13] 王芬. OBE 理念下工科专业的分析化学实验教学改革[J]. 广州化工, 2022, 50(9): 208-210.
- [14] 胡乐乾, 尹春玲. 大学分析化学实验提问式教学改革探索[J]. 广州化工, 2016, 44(17): 224-226.
- [15] 何克抗. 建构主义的教学模式、教学方法与教学设计[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 1997(5): 74-81.