

自动过柱机普及下手动柱色谱实验的教学价值探讨

张文文, 张培超, 许冰, 盖聪昊, 柴晓云, 赵庆杰, 邹燕*

海军军医大学(第二军医大学)药理学有机化学教研室, 上海

收稿日期: 2025年11月25日; 录用日期: 2025年12月24日; 发布日期: 2025年12月31日

摘要

随着自动过柱机在有机化学实验室的普及, 传统手动柱色谱技术正面临着被取代的风险。然而, 手动柱色谱以及其它色谱分析实验在化学教育中仍然具有不可替代的价值。本文一方面探讨了自动过柱机在提高化合物分离效率、精确性和重复性等方面的优势, 另一方面分析了手动柱色谱实验在培养学生基本操作技能、深刻理解实验原理及提升综合能力中的关键作用。最后, 本文提出了在现代化教学中平衡自动化设备与传统手动技术的策略, 强调通过有效整合两者, 能够帮助学生全面掌握和应用色谱技术。

关键词

自动过柱机, 手动柱色谱, 分离效率, 实验技能

Exploring the Educational Significance of Manual Column Chromatography Experiments in the Context of the Popularization of Automated Column Chromatography

Wenwen Zhang, Pei-Chao Zhang, Bing Xu, Conghao Gai, Xiaoyun Chai, Qingjie Zhao, Yan Zou*

Department of Organic Chemistry, School of Pharmacy, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai

Received: November 25, 2025; accepted: December 24, 2025; published: December 31, 2025

*通讯作者。

文章引用: 张文文, 张培超, 许冰, 盖聪昊, 柴晓云, 赵庆杰, 邹燕. 自动过柱机普及下手动柱色谱实验的教学价值探讨[J]. 教育进展, 2026, 16(1): 60-65. DOI: 10.12677/ae.2026.161009

Abstract

As automated column chromatography becomes more prevalent in organic chemistry laboratories, traditional manual column chromatography faces the risk of being replaced. However, manual column chromatography and other chromatographic analysis techniques still hold irreplaceable value in chemistry education. This paper explores the advantages of automated column chromatography in improving compound separation efficiency, accuracy, and reproducibility, while also analyzing the crucial role of manual column chromatography experiments in developing students' practical skills, deepening their understanding of experimental principles, and enhancing their overall abilities. Finally, the paper proposes strategies for balancing the use of automated equipment and traditional manual techniques in modern education, emphasizing that effectively integrating both can help students comprehensively master and apply chromatographic techniques.

Keywords

Automated Column Chromatography, Manual Column Chromatography, Separation Efficiency, Experimental Skills

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

21 世纪是科技与文化高速发展的时代,随着高新科技的不断涌现,尤其是在人工智能、大数据、自动化等领域的突破,人类和科学家的双手也在不断解放,传统的劳动方式和研究手段正被快速发展的技术所替代。然而,在教育领域,尤其是像药学和有机化学这样依赖传统实验操作的学科,传统教育方法是否仍然适应新时代的需求,成为了我们亟待思考的问题。

以色谱分离实验为例,这是药学和有机化学领域中非常基础而重要的实验内容。随着科学技术的迅猛发展,自动化设备在药物化学和有机化学实验室中的应用已逐渐成为主流,特别是自动过柱机,凭借其高效、精准和高度可重复的优势,已经在许多化学和生物实验室以及工业生产中逐渐取代了传统的手动柱色谱技术,成为主流分离工具。现有研究多集中于自动化设备的性能优化及其在提升科研效率方面的应用,却较少系统探讨其在教学情境中的适宜性与局限性。

自动过柱机通过自动化控制流动相的选择、流速和洗脱顺序,显著提高了化合物分离的效率,为研究人员节省了大量时间。然而,尽管自动化设备的优势显而易见,手动柱色谱实验在现代基础化学教育中仍然具有不可忽视的教学价值。

手动柱色谱实验不仅是一种基础的化学分离技术[1][2],也是化学教育中极具价值的教学内容[3]-[5]。在色谱分析实验中,学生通过手动操作,能够更深入地理解色谱的分离原理[6],掌握实验技能,并培养独立解决问题的能力[7]。这种将动手实践与理论相结合的学习过程,是自动化设备所无法替代的。因此,在自动化设备日益普及的背景下,如何在现代化教学中保留并优化手动柱色谱实验,成为了现代基础化学教育领域亟待解决的重要课题。

本文旨在探讨自动过柱机在化学实验室中的优势与局限性,分析手动柱色谱技术在化学教育中的独特价值(图 1),并提出在教学中平衡与整合自动化设备和手动技术的策略,以帮助学生全面掌握色谱分离

技术。通过这种综合分析,我们希望为现代基础化学教育提供有效的指导,使学生能够在现代化教学和实验环境中灵活运用这两种技术。

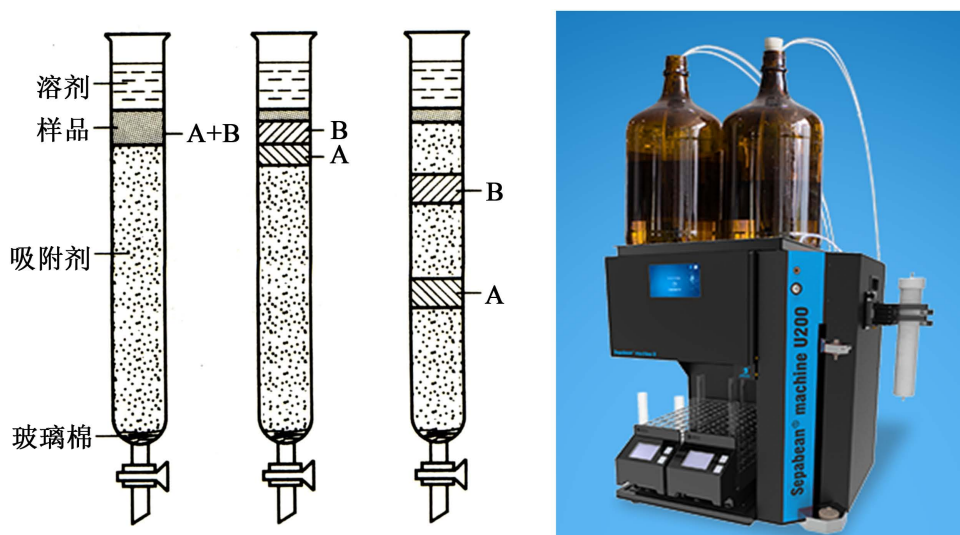


Figure 1. Comparison of manual column chromatographic separation (left) and automatic column separation system (right)

图 1. 手动柱色谱(左)与自动过柱机(右)对比图

2. 自动过柱机的优势

自动过柱机的工作原理建立在传统液相色谱分离技术的基础上,主要依靠流动相(液体)在固定相(色谱柱内的填料)中的流动实现混合物中各组分的分离。其核心理念与手动柱色谱相似,但自动过柱机融入了自动化设备和控制系统,包括泵、检测器、收集器等装置。其中泵可按照设定的二元梯度,以预设的流速和压力输送流动相至样品和色谱柱内,进而促进样品在柱内的分离过程。与此同时,检测器能实时捕捉分离信号,将结果呈现在控制面板上,并根据检测信号或预设时间段收集不同组分,最终实现精准的自动化分离过程。

2.1. 提高实验效率和精确性

在现代科学实验室中,自动过柱机的最大优势在于显著提高了化学分析实验的效率和准确性。该设备采用先进的自动化技术,精准控制流速、梯度和温度等参数,从而实现对复杂样品的快速且高分辨率的分离与纯化。这不仅节省了科研人员的宝贵时间,还提高了研究质量,降低了人为误差。此外,自动过柱机具备极高的可重复性,能够确保实验结果的重现性。这些特点使其逐渐成为药物开发、环境监测和食品安全等领域的重要工具。例如,在高通量合成实验中,自动过柱机能够同时处理多个样品,从而大幅提高分离效率以及分离实验的重现性和可靠性。

2.2. 减少对操作技能的依赖

手动柱色谱技术对实验人员的技能要求较高,操作稍有不慎便可能导致分离失败。而自动过柱机的引入显著降低了这一技术门槛,使实验人员无需精通复杂的手动色谱操作技能。这一转变使科研人员能够将更多精力集中于核心研究工作上,而不必在繁琐的技术操作上浪费时间。此外,自动过柱机的广泛应用还规范了实验室的整体工作流程,显著提高了操作的一致性与可靠性。总体而言,这些变化不仅提升了实验效率,还有效增强了研究质量与成果的可信度。

2.3. 提升数据管理与分析能力

自动过柱机通常配备数字化记录系统，能够自动生成实验数据并进行实时分析，从而使研究人员能够更加系统化地管理和监控分离过程，减少手动记录时可能出现的遗漏和错误。此外，自动过柱机的智能化设计为复杂混合物的分离提供了更加高效便捷的解决方案，进一步优化了实验操作的准确性和可控性。

2.4. 局限性：缺乏学生动手实践的机会

尽管自动过柱机带来了显著的便利，其局限性同样不容忽视。首先，对于学生而言，自动化设备的使用减少了动手实践的机会，阻碍了他们对色谱技术基本原理的深入理解。通过自动化操作，学生难以切实感受到色谱分离过程中各个步骤的细微变化，这削弱了他们对实验过程的感知和掌控能力，不利于培养他们在实验中灵活应对问题的能力。其次，自动化设备的高昂成本限制了其在许多学校中的广泛应用，尤其是在资源有限的教学环境中，手动柱色谱技术仍是不可替代的主要教学手段。

3. 手动柱色谱实验的教学意义

在大学化学教学中，色谱实验，尤其是手动柱色谱实验，作为分离和纯化化合物的关键技术，占据着不可替代的地位。色谱实验不仅可以帮助学生掌握实验室操作技能，使其更深入理解化合物分离的基本原理，同时可以增强他们对化学分析与物理化学的理解。通过动手操作与理论学习的结合，学生能够更直观地掌握色谱技术的细节和科学方法，这是自动化设备所无法完全取代的教学体验。

3.1. 培养实验操作技能

手动柱色谱实验要求学生独立完成整个分离过程[8][9]，包括色谱柱的装填 - 上样 - 流动相的选择和添加 - 洗脱和分离 - 收集组分 - 监测和分析 - 清洗与后处理。通过这一系列操作，学生能够掌握色谱实验的每个关键环节，全面提升实验操作技能。在装填色谱柱时，学生需要特别注意固定相的均匀性，避免气泡的形成；在洗脱过程中，则需手动控制流动相的比例和速度，以确保分离效果达到最佳[10]。这些操作不仅有助于提升学生的实验能力，还能有效培养他们的细心与耐心。

3.2. 理解实验原理

手动柱色谱的核心教学价值在于其直观性和可操作性。学生可以在实验中直接观察化合物在固定相和流动相中的分离过程，从而更清晰地理解分子间相互作用、分配系数以及色谱分离的基本原理。通过亲自调节洗脱溶剂的组成、极性和流速，学生能够直观感受到这些参数对分离效果的具体影响，进而加深对色谱理论的理解。这种实践体验不仅有助于学生掌握色谱分离的核心概念，也为将来的实验设计与操作奠定了坚实的基础。

3.3. 提升综合能力

手动柱色谱实验不仅能够培养学生的动手能力，还能显著提升他们的综合素质，包括问题解决能力和实验设计能力。在实验过程中，学生常常面临各种挑战，如样品未能成功分离、洗脱时间过长或溶剂选择不当等。为了解决这些问题，学生需要灵活调整实验参数并寻找合适的解决方案，这一过程充分锻炼了他们的批判性思维和应变能力。此外，手动柱色谱实验还鼓励学生独立思考、主动分析实验结果，从而有效提升他们的科学素养和研究能力。

4. 顺应时代发展的潮流——在教学中整合自动过柱机与手动柱色谱技术

教育本质是指教育的内在要素之间的根本联系和教育作为一种社会活动区别于其他社会活动的根本

特征。教育是培养人的活动,是根据一定社会的要求,传递社会生产和生活经验,促进人的发展,培养社会所需要的人才的过程。而我们作为教师的主体工作就是传道授业解惑也,其本质是要将最全面的知识、最新的前沿发展和最独到的见解传递给学生。当然,面对时代的发展与进步,教育更应当与时俱进,开拓创新。要对当下的教育模式,多思考,多反思。联系实际,作最前沿的变革。因此,从教育学与心理学视角来看,手动实验操作与认知学徒制[11] (Cognitive Apprenticeship)及情境学习[12] (Situated Learning)等理论具有高度的契合性。这些理论强调,学习者通过在实际操作中观察、模仿、实践与反思,能够逐步内化专家的思维过程与问题解决策略。手动柱色谱实验要求学生全程参与装柱、上样、洗脱及收集等环节,在此过程中,学生不仅锻炼了动作技能,更通过实时调整实验参数、观察现象变化,建构起对色谱分离原理的深层理解。这种“在手思考”的过程,促进了程序性知识与概念性知识的整合,有利于培养学生的问题解决能力与科学探究思维。

相对而言,自动化操作将实验流程简化为参数设置与结果读取,虽提升了效率与一致性,却也减少了学生直接感知物料性质、观察细微变化及应对突发情况的机会。近年来部分研究表明,过度依赖自动化设备可能导致学生产生“黑箱”思维,即对技术过程缺乏批判性理解,仅关注输入与输出[13]。这在一定程度上削弱了实验教学在培养学生系统思维、诊断能力与创新意识方面的潜在价值。

然而,这并非否定自动化技术的教育意义。相反,在数字化与智能化教育背景下,如何将自动化设备转化为促进深度学习的工具,而非替代学生认知参与的“捷径”,正是当前教育技术应用研究的前沿议题。因此,我们提出应在教学中构建一种整合自动过柱机与手动柱色谱技术的新型教学范式,旨在充分发挥两者各自优势,促进学生在掌握先进技术的同时,实现深层次认知与创新能力的发展。

4.1. 分阶段整合教学

在现代化教学中,可以通过分阶段的教学方式,有效整合手动柱色谱实验与自动过柱机的应用。初级课程中,手动柱色谱实验可以作为学生了解色谱技术基本原理和操作流程的入门课程。在这一阶段,学生将学习如何组装色谱柱、选择溶剂、调节流速等基本技能,并通过动手实验加深对色谱分离原理的理解。在高级课程或科研训练中,自动过柱机则可以用于处理更复杂的样品分离任务,帮助学生了解自动化技术的应用及其优势。这种分阶段的教学策略不仅能确保学生扎实掌握基础知识,还能培养他们对现代实验技术的全面理解与应用能力。

4.2. 通过对比实验强化学习

为了帮助学生理解自动化色谱分离设备与手动柱色谱实验的区别,教学中可以设计对比实验。学生在相同的实验条件下,分别使用自动过柱机和手动柱色谱进行分离实验,比较两者在分离效率、精确性和分离结果上的差异。通过这种对比,学生不仅能够体会到自动化设备的优势,还能认识到手动操作在特定实验环境中的重要性。这种实验设计将有效提升学生的综合理解能力和实际应用技能。

4.3. 提升学生的综合实验能力

在教学过程中,教师应引导学生在使用自动化设备时,不仅要关注实验结果,更要深入理解其背后的原理。通过鼓励学生在手动操作与自动化实验中进行深入思考与总结,学生能够全面掌握色谱技术,并有效培养他们灵活运用这项技术的能力。在科研项目或实际工作中,面对不同实验条件或特殊需求时,学生可以依托所掌握的技术与理论,制定出更加高效的实验设计和操作方案。

5. 结论

教育改革的关键在于如何将新兴科技与传统教育相结合,既保留传统教学中对学生动手能力的培养,

又充分利用现代科技手段提升教学效果。通过这种有机融合,教育可以更好地适应未来的发展,培养出具备创新能力和实践能力的复合型人才。

综上,自动过柱机和手动柱色谱实验并非对立关系,而是相辅相成、互为补充的。自动过柱技术在提高分离效率和精确度的同时,仍依赖于色谱分离的基本原理和手动柱层析中积累的实际经验。而手动柱层析不仅为自动化技术的发展奠定了基础,也在化学教育和科研中保持着不可替代的重要性。在教学中,教师可以通过分阶段教学和对比实验等策略,鼓励学生深入理解这两种技术的异同点,从而合理平衡自动过柱机与传统手动柱色谱技术的使用。这种方法不仅可以帮助学生掌握先进设备的操作,还能培养他们扎实的实验技能和理论基础,为未来的科研或工业应用奠定了坚实的基础。

参考文献

- [1] 傅若农. 色谱分析概论[M]. 第2版. 北京: 北京工业出版社, 2008: 1-310.
- [2] 邹燕, 庄春林. 有机化学实验[M]. 北京: 科学出版社, 2024: 39-44.
- [3] 尤慧艳. 启发式及研讨式教学在色谱分析课程中的应用[J]. 大学化学, 2016, 31(10): 35-38.
- [4] 孙寅璐, 姜宏月, 熊英. “课程思政”背景下的分析化学专业人才培养探究与实践——以色谱教学为例[J]. 大学化学, 2021, 36(3): 95-98.
- [5] 黄婷婷, 王若楠, 高展, 孙继超, 马莹, 张恒, 贾春江, 徐政虎, 苑世领, 刘刚. “菠菜叶中色素的提取与分离”实验改进[J]. 大学化学, 2023, 38(8): 259-267.
- [6] 左小龙, 乔秀芹. “叶绿体色素的提取与分离”实验教学[J]. 生物学通报, 2018, 53(3): 46-48.
- [7] 黄飞, 屈飞强, 任晓琼. 超声波辅助提取分离菠菜色素的工艺研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2015, 27(1): 64-68.
- [8] Zhao, J., Sun, Y. and Gao, Y. (2016) Theoretical Simulation of Chromatographic Separation Based on Random Diffusion in the Restricted Space. *Science China Chemistry*, **59**, 824-829. <https://doi.org/10.1007/s11426-016-5565-4>
- [9] 孙寅璐, 郭彦, 赵健伟. 基于随机扩散理论的色谱动力学模拟[J]. 复旦学报(自然科学版), 2016, 55(2): 189-198.
- [10] 李厚金, 吴琳, 孙兴文, 等. 有机化学色谱学实验基本操作规范建议[J]. 大学化学, 2025, 40(5): 93-105.
- [11] 岳慧兰. 认知学徒制视野下大学生专业实践能力培养研究[J]. 化工进展, 2020, 39(3): 1211.
- [12] 申超, 姚超. 本科生中的“科创英才”是如何“炼成”的?——情境学习理论的视角[J]. 复旦教育论坛, 2023, 21(5): 72-82.
- [13] 冯雪梅, 陆琴, 刘燕, 等. 培养批判性思维的开放式功能学实验教学设计与实践[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(12), 263-268.