

基于乙酰苯胺制备实验探索有机化学实验教学改革

王 杏, 严 霜, 赵智勇, 蔡 群

武汉科技大学化学与化工学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年11月5日; 录用日期: 2025年12月10日; 发布日期: 2025年12月19日

摘要

针对传统有机化学实验教学中存在的“重操作、轻思维”“重结果、轻过程”等问题。以乙酰苯胺制备实验为核心载体, 从实验教学重结晶环节中存在的问题出发, 改进了重结晶装置, 拓展了产物熔点测定评价方式, 并应用于实验教学实践中。从教学内容优化、教学方法创新、评价体系完善及拓展性实践设计四方面展开改革探索。通过整合绿色化学理念、引入方案对比分析和结合过程评价体系三阶教学模式, 有效提升学生实验操作能力、创新思维与科学探究素养, 为有机化学实验教学改革提供实践参考。

关键词

乙酰苯胺, 有机化学实验, 教学改革, 探究式教学

Exploration of Organic Chemistry Experiment Teaching Reform Based on the Preparation Experiment of Acetanilide

Xing Wang, Shuang Yan, Zhiyong Zhao, Qun Cai

College of Chemistry and Chemical Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei

Received: November 5, 2025; accepted: December 10, 2025; published: December 19, 2025

Abstract

In view of the problems existing in the traditional organic chemistry experiment teaching, such as “heavy operation, light thinking”, “heavy result, light process” and so on. Taking the preparation experiment of acetanilide as the core carrier, starting from the problems existing in the recrystallization experiment, improving the recrystallization apparatus, expanding the melting point determination evaluation method, and applying it to the practical teaching of experiments. From the four aspects of teaching content optimization, teaching method innovation, evaluation system improvement and extensional practice design, carry out reform exploration. Through the integration of green chemical concept, introduce scheme comparison analysis and combine process evaluation system three-stage teaching mode, effectively improve the experimental operation ability, innovative thinking and scientific research quality of students, provide practical reference for organic chemistry experimental teaching reform.

文章引用: 王杏, 严霜, 赵智勇, 蔡群. 基于乙酰苯胺制备实验探索有机化学实验教学改革[J]. 创新教育研究, 2025, 13(12): 510-517. DOI: 10.12677/ces.2025.1312988

lization process of experimental teaching, the recrystallization device was improved, and the evaluation method of product melting point determination was expanded and applied to experimental teaching practice. The reform and exploration are carried out from four aspects: teaching content optimization, teaching method innovation, evaluation system improvement, and extended practice design. By integrating the concept of green chemistry, introducing comparative analysis of schemes, and combining the three-stage teaching mode of process evaluation system, students' experimental operation ability, innovative thinking, and scientific inquiry literacy are effectively improved, which provides practical reference for the reform of organic chemistry experiment teaching.

Keywords

Acetanilide, Experiment in Organic Chemistry, Reform of Teaching, Inquiry Teaching

Copyright © 2025 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

乙酰苯胺是一种应用广泛的有机化合物, 其化学式为 C_8H_9NO , 可作为退热药或镇痛药, 俗称退热冰, 在非处方药物中有着重要地位[1]; 除了医用领域, 在化工原料方面, 可当作染料中间体、合成樟脑及橡胶硫化促进剂、过氧化氢的稳定剂及分析试剂。乙酰苯胺作为医药与化工领域的核心原料, 其合成实验涵盖芳香族化合物酰化反应、重结晶和熔点测定等核心操作, 是化学类专业人才培养的重要综合性教学载体。传统教学中, 该实验多采用“教师演示-学生模仿”的被动模式, 学生仅按既定步骤完成操作, 对反应机理的理解、实验方案的优化及绿色化学原则的应用缺乏深度思考, 难以满足新时代对创新型化学人才的培养需求。因此, 以乙酰苯胺制备实验为切入点, 探索“技能训练与思维培养并重、传统方法与绿色创新结合”的教学改革路径, 具有重要的实践意义。

河南财政金融学院[2]采用自制简易精馏装置, 并改变加料方式, 将反应物逐滴滴入沸腾的过量乙酸中, 改善了分馏温度不易控制的痛点, 实现了操作简便、重现性和产率高的目标。华南理工大学[3]在实验中引入了薄层色谱来监控反应进程和判断终点, 改变了仅凭经验或时间控制的粗放做法, 从而提高了产率的稳定性和重现性。此外, 他们还采用核磁共振和红外光谱对产物进行表征, 使学生提前接触和掌握科研一线的分析技术。基于各高校对乙酰苯胺制备实验的教学改革现状, 当前有机化学实验教学正经历从单纯技能训练向综合素养培养的深刻转型[4], 并且依旧存在制备产率低, 学生科学思维与创新意识评价体系缺乏等不足。本文通过改进重结晶装置、完善详细的评分细则并扩宽实践过程, 系统阐述现阶段乙酰苯胺制备实验教学中存在的问题, 通过教学改革完成一场从教学内容、方法到理念的全面升级, 实现实验教学功能定位的战略性提升。

2. 乙酰苯胺制备实验教学的现存问题

2.1. 实验方案单一, 缺乏探究性

芳胺的酰化在有机合成中有着独特的作用, 芳胺可以使用酸酐、酰氯或与冰醋酸加热进行酰化。使用冰醋酸试剂易得, 成本较低, 但需要相对较长的反应时间。大多数高校有机化学实验均开设有乙酰苯胺的制备实验。采用的合成方法为: 将苯胺和冰醋酸以及适量锌粉(加入锌粉的目的是防止苯胺在反应中被氧化)一起加热发生酰化反应。该反应为可逆反应, 为提高产率, 加入过量的冰醋酸, 并在反应过程中

采用分馏装置，不断分离出反应生成的水。

本实验的反应式为：



反应完成后，得到热的乙酰苯胺水溶液，将热溶液快速倒入冷水中，经冷却结晶及抽滤得到粗产物。粗产物溶于水，再经重结晶、活性炭除色、真空吸滤及干燥等操作，得到较为纯净的产物。

乙酰苯胺实验过程包含了分馏、结晶、除色、重结晶、真空吸滤等操作步骤，是本科有机化学实验课程体系中重要的综合性实验[5]-[7]。该实验的目的主要有：① 掌握苯胺乙酰化的原理和操作；② 掌握分馏的原理和操作方法；③ 掌握固体有机化合物纯化方法——重结晶的原理和操作；④ 掌握减压过滤的原理及操作方法。重结晶的操作是本实验过程中十分重要的环节，也是教学重点之一，对最终产物的纯度及产率的影响也尤为重要。

目前，多数高校在乙酰苯胺的制备实验教学中，长期固守“苯胺与冰醋酸在分馏装置中回流”这一经典方案。该方案虽然成熟可靠，能将分馏、重结晶等核心操作技能训练融为一体，但其“照方抓药”式的固定流程，也暴露出方案单一、探究性不足的固有局限。这种单一化的实验设计，导致教学重心过度偏向于操作步骤的机械执行。例如，在至关重要的重结晶环节，教学指令通常直接给定溶剂选择、活性炭用量与操作流程，而未引导学生深入思考“为何选择水作溶剂？”“除色步骤的温度控制如何影响纯度？”及“冷却速率与晶体粒度、纯度的关系是什么？”等关键问题。学生只需按既定步骤完成即可，其思维被禁锢在“怎么做”的层面，而无法触及“为何这么做”以及“如何能做得更好”的科学探究本质。最终，学生虽能得到产物，却难以真正构建起通过变量调控来优化产物“纯度”与“产率”的科研思维，这与培养创新型人才的核心目标存在差距。

2.2. 绿色化学理念缺失

重结晶实验是利用混合物中各组分在某种溶剂中的不同溶解度，或在同一溶剂中不同温度时的不同溶解度将它们相互分离。基于乙酰苯胺在不同溶剂中溶解度的差异，在水中，25℃时溶解度为0.44 g/100mL，80℃时为3.45 g/100mL，100℃时为5.5 g/100mL；在甲醇中，20℃时溶解度为69.5 g/100mL；在乙醇中，20℃时溶解度为36.9 g/100mL；在氯仿中，20℃时溶解度为3.6 g/100mL，且乙酰苯胺微溶于乙醚、甘油、丙酮和苯，不溶于石油醚。在不同溶剂中溶解度差异使得通过重结晶分离提纯乙酰苯胺成为可能。乙酰苯胺在逐渐升温的溶剂中溶解度变大，在加热阶段使其充分溶解，而杂质相则部分溶解或不溶解。将溶液进行冷却处理，乙酰苯胺的溶解度随温度降低而减小，会逐渐析出结晶相，而杂质相则残留在母液中，从而实现分离。

由于乙酰苯胺在水中的溶解度随温度的升高而升高，综合考虑各类溶解的安全性、“绿色性”和成本等因素，重结晶实验的溶剂应选用环保无污染试剂。再者，冰醋酸回流反应时间长、能耗高，与绿色化学“减少污染”的要求脱节。

2.3. 实践薄弱与评价片面

在重结晶实践环节中，提纯法的一般操作过程为：选择溶剂→溶解固体(制备饱和溶液)→除去杂质→晶体析出→晶体的收集与洗涤→晶体的干燥[8]。饱和溶液的制备是重结晶操作过程中的关键步骤，欲得到较纯的产物和较高的产率，必须注意溶剂的用量。溶剂量过多，不能形成热饱和溶液，冷却时无结晶析出或结晶少。溶剂量过少，部分待结晶的物质热溶时未溶解，热过滤时与不溶性杂质一起残留在滤纸

上,造成损失。在以往的实验过程中,重结晶的操作,采用的方法为将乙酰苯胺粗品直接置于烧杯中,加入蒸馏水(视粗产品量的多少决定水的多少)后加热溶解,加热至溶液沸腾使其全溶。如仍有未溶解的油珠,再补加少量水,继续加热至沸腾直至全溶。最后额外补加10毫升水,以免热过滤时析出结晶,造成损失[9][10]。稍冷却后根据溶液颜色酌情加适量活性炭煮沸5分钟左右,随即停止加热,经热抽滤、冷却结晶再抽滤及干燥等环节,得到最终产物。经长期实验,作者发现这种操作方法存在以下弊端:①加热过程尤其是沸腾过程中有大量溶剂损失,对实验产率造成一定影响;②由于烧杯属敞口仪器,故在加热及沸腾过程尤其加活性炭沸腾过程中易溅出,对加热仪器及实验人员均存在一定安全隐患。③重结晶过程中溶剂的使用量,学生通常根据讲义的推荐量进行预估,并没有经过严格计算,由于溶剂的使用量不准确,导致实验结果参差不齐,易出现产率较低甚至无产物的极端结果。④当溶液沸腾后还有未全溶的乙酰苯胺油珠时,需再添加少量溶剂,此时溶剂的添加量较难把握,学生操作随意,极易添加过量,导致产率降低。

在教学评价方面,仅以“产率高低”“产品纯度”为核心指标,而忽视学生实验设计能力、问题解决能力及实验报告的反思深度,难以全面反映学生的科学素养。学生虽能完成操作,但对“酰化反应机理”和“重结晶溶剂选择依据”等理论知识的理解停留在记忆层面,无法将实验现象与理论逻辑关联。

3. 乙酰苯胺制备实验教学的改革与实践

3.1. 优化教学内容: 过程优化与仪器改进

基于以上潜在的负面影响,引导学生设计了一套重结晶实验装置,并投入教学实践中,丰富教学过程。具体为:将重结晶的装置改为三颈烧瓶,加热装置改为带磁力搅拌的电热套,三颈烧瓶中间的瓶口安装球形冷凝管,一侧的瓶口安装恒压滴液漏斗(备用于补加溶剂),另一侧瓶口塞上空心塞(若需要加活性炭则从此口加入)。装置如图1所示。

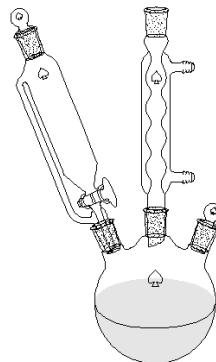


Figure 1. Improved recrystallization device

图 1. 改进后的重结晶装置

采用改进后的装置,进行乙酰苯胺重结晶实验的具体操作步骤如下:

- ① 反应完成后,经冷却结晶并抽滤和干燥后得粗品,称量粗品的质量。
- ② 根据粗品的质量,查阅乙酰苯胺在100℃水中的溶解度数据,并计算出粗品全溶于水需要的溶剂量。
- ③ 按照图1所示搭建重结晶装置,将粗品和第②步计算出需要的溶剂含量加入三颈烧瓶,打开冷凝水,开启加热和磁力搅拌。
- ④ 将溶剂加热至沸腾,观察乙酰苯胺的溶解情况,若仍有未溶油珠,从恒压滴液漏斗逐滴加入溶剂,

直至油珠溶尽，再滴入约 10 毫升溶剂。

⑤ 关闭加热，待溶液稍冷却后，根据溶液颜色，从三颈烧瓶右侧瓶口加入适量活性炭，开启加热及磁力搅拌并煮沸 5 分钟。

⑥ 停止加热，趁热减压抽滤，滤液冷却后得析出乙酰苯胺固体，再次抽滤得到乙酰苯胺终产品，经干燥后称重，计算产率。

设备使用改进后的重结晶装置，溶剂采用恒压滴液漏斗滴加方式，并增加回流冷凝管，有效减少了重结晶过程中溶剂的挥发损失，避免了在实验过程中常发生的溶剂溅出行为，提高了实验的安全性。同时，实验装置改进后，使学生的实验成功率大幅度提升，实验产率显著增加；且节省了重结晶环节试验时间，缩短了约 10 分钟，整个实验耗时缩短了约 20 分钟，实验过程更加高效。采用学生样本数 210 人，得到两种重结晶实验方案的比较如表 1 所示。

Table 1. Comparison of two recrystallization experimental schemes

表 1. 两种重结晶实验方案的比较

	原方案(平均值)	改进后的方案(平均值)
重结晶时长(min)	30 ± 2	20 ± 1.7
产量(g)	3 ± 0.3	4.2 ± 0.2
产率(%)	52%	78%

Table 2. Test report scoring criteria

表 2. 实验报告评分标准

评估维度	具体指标与描述	分值
一、实验预习与设计(20 分)	1. 实验原理：能准确阐述重结晶的原理、目的及适用条件。 2. 装置理解：能正确绘制改进后的实验装置图(含恒压滴液漏斗、回流冷凝管)，并标注各部分名称与功能。 3. 流程设计：实验步骤设计合理、逻辑清晰，能体现关键操作要点(如溶剂滴加速率控制、活性炭添加时机等)。 4. 安全预案：能识别实验中潜在的安全风险(如烫伤、火灾、溶剂挥发)，并列出预防措施。	5 5 5 5
二、实验过程与记录(25 分)	5. 操作规范：装置搭建正确、稳固；溶剂滴加速率控制得当；热过滤操作熟练、无大量损失。 6. 现象记录：实时、准确地记录了实验现象，如晶体溶解情况、颜色变化、晶体析出过程等。 7. 数据记录：原始数据(如原料质量、产品质量、溶剂体积等)记录清晰、完整、无涂改。 8. 产率计算：产率计算过程正确，结果准确。	10 10 5 5
三、结果分析与讨论(35 分)	9. 结果分析：能结合改进的装置，分析产率高低/产品质量优劣的原因。例如：“因使用了恒压滴液漏斗和冷凝管，溶剂损失少，确保了饱和溶液的形成，从而提高了产率。” 10. 现象讨论：能对实验中观察到的关键现象(如晶体析出速度、形状)进行合理解释。 11. 误差分析：能客观分析实验中可能存在的误差来源(如转移损失、称量误差等)，并与装置改进带来的效益进行对比讨论。	10 10 10
四、综合与反思(20 分)	12. 结论总结：结论明确，能概括实验核心发现，并与目标相呼应。 13. 反思与改进：能基于亲身经历，评价改进后装置的优缺点，并提出进一步优化的个人建议。 14. 报告规范性：报告书写整洁，结构完整，用语科学、规范。	5 10 5
总分		100

为进一步量化评估教学改进对学生能力提升的影响,本研究采用了细化的实验报告评分标准如表2所示,实施完善的教学评价体系。

综上所述,通过量化数据进一步评估改善效果,本次设备改进不仅在操作效率和产率上取得了立竿见影的效果,更在促进学生理论知识内化、安全意识养成以及科学探究能力提升等方面发挥了显著作用。

3.2. 完善评价体系: 构建“过程 + 能力”双维度评价

通过实验改进后学生的反馈结果显示,学生进一步提高综合运用化学原理、理论解决实际问题的能力,通过参与改进实验装置,提高实验效果,使学生有一定成就感,激励学生参与科研实践训练的热情。同时,举一反三,通过本次实验改进,培养了运用实验室现有常规仪器搭建满足其它反应要求实验装置的动手能力,为后续课程和更深层次的科研工作打下良好基础。引导了学生对比不同反应条件、能耗及产率,理解了“绿色经济性”原则。要求学生结合酰化反应机理及溶剂极性理论作答,实现了“实践-理论”闭环。如表3所示,构建了“过程 + 能力”双维度评价,过程性评价:涵盖线上预习(任务单完成质量)、课中操作(规范性、数据记录完整性),重结晶产率量化指标,关注学生实验态度与操作细节;能力性评价:包括实验报告(反思深度,如对方案优化的思考)、交流汇报(逻辑表达能力)、拓展任务(创新探索能力),全面评价学生的科学思维与创新意识。

Table 3. Two-dimensional evaluation rules of “process + ability”

表3. “过程 + 能力”双维度评价细则

评价模块	评价指标与具体描述	分值
1. 数据处理与结果分析 (40分)	(1) 产率计算: 计算过程清晰,结果准确。能写出理论产量、实际产量和产率的完整计算式。 (2) 结果呈现与表征: 能提供产品的物理状态描述(颜色、晶形)。(进阶)若能提供原料与产品的熔点测定数据及对比分析,则额外加分。 (3) 产率与质量分析: 核心指标。能结合“过程”中的操作,综合分析产率高低和产品质量优劣的原因。 - 高水平的分析示例: 本次产率较高(78%),主要得益于在合成阶段使用分馏柱,有效减少了乙酸逸出,提高了反应效率;同时在重结晶阶段溶剂用量控制得当,减少了溶解损失。 - 或: 产品颜色洁白,晶形完整,说明热过滤除杂彻底,且冷却析晶过程缓慢,有利于晶体生长。	10 10 20
2. 反思探究与误差分析 (40分)	(4) 异常现象与疑难解析: 能记录并合理解释实验中遇到的异常现象(如反应液颜色变化、热过滤时晶体析出等)。 (5) 深度误差分析: 能系统性地分析影响产率和产品质量的误差来源,并区分为“可避免误差”(如转移损失、抽滤时产品穿滤)和“不可避免误差”(如副反应、仪器系统误差),并提出改进方案。	12 16
	(6) 绿色化学与改进建议: 能基于实验,从绿色经济性、溶剂使用、能耗等角度提出一条绿色化改进建议(如“母液能否循环使用?”)。	12
3. 知识整合与迁移应用 (20分)	(7) 原理阐述与总结: 能用自己的语言清晰地阐述酰化反应和重结晶提纯的原理,结论部分能准确概括本实验的核心要点与收获。 (8) 知识迁移: 能回答拓展性问题,如“本实验的重结晶装置改进思路,能否应用于其他有机合成实验的纯化过程?”请举例说明。考查学生将具体经验抽象为通用方法的能力。	10 10

3.3. 拓展实践过程: 强化科研能力及思维转变

熔点是指物质由固态转变为液态时的温度,纯物质由固态转化为液态在某一温度完成,但由于产物

纯度的不同,实验制备所得产物的熔点通常会有熔距(熔程),产物纯度越高熔程越短。因此,熔点也指在熔化时初熔至全熔的温度范围。通过测定晶体的熔点可以粗略地鉴定晶体品种类和定性地确定化合物是否纯净等。

全国高校本科生有机化学实验教学中熔点测定实验是常做的经典实验,对培养学生掌握基础有机化学实验操作技能具有重要意义[11]。通过熔点测定实验结果可以判断产物的纯度,各校在本科熔点测定实验教学中常用方法有Thiele管法、显微熔点仪法和差示扫描量热法等。此类方法在一定程度上限制了其应用,使其普及面有待提高。而相对于传统的熔点测试方法,目前视频熔点仪更为方便和准确。视频熔点仪的操作流程简洁高效,将微量待测粉末样品填入毛细管后置于加热炉中,设定起始温度、终止温度及升温速率等关键参数,仪器将自动执行线性升温,并全程通过高清摄像头捕捉样品形态变化。智能软件实时分析图像,自动判定初熔与终熔点。输出包括熔点值、熔距和全过程视频在内的完整测试报告。

然而,熔点数据的差异仅仅是现象,其背后关联着从反应原理到纯化工艺的完整知识链条。为检测实验制备的乙酰苯胺的纯度,在改进了乙酰苯胺重结晶装置后,增加产物熔点测定部分。实验设计为标准乙酰苯胺样品(分析纯乙酰苯胺)和学生实验制备所得的乙酰苯胺样品进行对照测试,通过对比实验,一定程度反映学生合成的乙酰苯胺的纯度。为了引导大家从“操作员”向“思考者”转变,将具体的实验现象与抽象的化学原理深度融合,结合本次实验对以下问题进行探讨:①常用的乙酰化试剂有哪些?各有什么优缺点?②本实验采用了哪些措施来提高产率?③重结晶的目的是什么,实际操作过程中哪些步骤对产物的纯度以及产率会有较大影响?④根据自己的实验情况预测一下所得的乙酰苯胺熔点和标准乙酰苯胺的熔点相比是否会有较大差别?诸如此类问题。

4. 实施效果

以往的熔点测试实验,是直接测试标准乙酰苯胺(分析纯)的熔点,由于样品相对纯度较高,因此实验数据大致接近理论值,熔程<1℃。分析纯乙酰苯胺熔点测试实验虽然一定程度上锻炼学生的动手能力,但缺乏工业实践意义。学生自制乙酰苯胺样品,并亲自测定其熔点,可形成较好的实验闭环,同时,通过测定学生制备的乙酰苯胺纯度,“反向驱动”学生在合成与重结晶阶段主动关注细节、优化操作,从而在实践中有意识地培养严谨的科研思维,实现“实验-应用”的跨界关联,也为教师提供了有力的实验评价依据。

通过构建“化工与材料跨学科”实践能力培养体系,并完成“数字化赋能物理化学实验教学变革的内在机理与实践路径研究”新模式的创制,实现学生从单一思维向多维度能力的转变,使新型教学改革理念与方法在有机化学实验教学中得到了有效应用与验证。以乙酰苯胺制备等经典实验为具体载体,通过引入绿色合成、过程监控与产物表征等创新环节,显著提升了学生的综合实践能力与创新思维。这一改革成效在“湖北省化学实验技能大赛”中得到了充分印证,近年来参赛学生凭借扎实的操作功底、灵活的问题解决能力以及对实验原理的深刻理解,屡获一等、二等及三等奖项。这些成果表明,本教学改革不仅成功实现了“技能传授”向“思维培育”的转变,更有力推动了学生由“被动操作”向“主动设计与创新”的跨越,为创新型化学人才的系统化培养提供了可复制、可推广的实践范例。

5. 结语

有机化学实验教学的改进和拓展势在必行。其核心并非追求设备的尖端与理论的深奥,而是以经典实验(如乙酰苯胺制备)为载体,通过优化内容、创新方法与完善评价,推动有机化学实验教学从“机械操作”向“思维训练”转型。改革强调在传授操作的同时阐释原理,引导学生预测现象并解决问题,最终实现技能训练、思维培养、环保意识与科研素养的多元融合,为构建“创新型”有机化学实验课程体系提

供可复制的路径。

基金项目

武汉科技大学教学改革研究项目“建立创新性人才培养模式与体系——化工与材料跨学科本科生实践能力培养”(项目编号: 2024X054); 武汉科技大学大学生创新创业训练计划项目“高比表生物质衍生多级孔吸波材料制备及其吸波性能研究”(项目编号: 202410488004)。

参考文献

- [1] 王淦.《乙酰苯胺的合成》实验综述[J].当代化工研究,2006(1): 1-2.
- [2] 杨玉峰,韩春亮.乙酰苯胺合成实验的改进[J].河南教育学院学报(自然科学版),2023, 2(32): 55-58.
- [3] 梁向晖,毛秋平,钟伟强.乙酰苯胺制备实验的改进[J].化学教育,2018, 39(4): 35-37.
- [4] 李伟杰.地方高校《有机化学实验》课程的教学改革探索[J].新教育研究,2024, 12(1): 28-32.
- [5] 秦序.重结晶实验中热过滤环节的重新设计[J].牡丹江师范学院学报(自然科学版),2012(1): 20-21.
- [6] 唐贝.基于乙酰苯胺重结晶实验的过滤环节教学改进[J].实验室科学,2019, 22(3): 11-13.
- [7] 李英俊,葛丽娜,孙淑琴,等.一种新颖的重结晶装置在半微量有机实验中的应用[J].辽宁师范大学学报(自然科学版),2002, 25(3): 335-336.
- [8] 曾昭琼.重结晶提纯法[M]//有机化学实验(第三版).北京:高等教育出版社,2001: 61-66.
- [9] 伊茂聪,毛武涛,王建辉.乙酰苯胺合成新方法[J].化学与生物工程,2011, 28(12): 56-58.
- [10] 王淦.绿色合成乙酰苯胺[J].科技通报,2020, 36(7): 1-3.
- [11] 熊英,余广鳌,吴琳,等.有机化合物的物理常数测定基本操作规范建议[J].大学化学 2025, 40(5): 106-121.