

乙醚和苯乙醚制备的实验教学改革与创新

袁 羽, 吴 端, 向玉成, 陈 宇, 张俊俊, 陶 丹, 吴云英*

玉溪师范学院化学生物与环境学院, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年2月11日; 录用日期: 2025年3月4日; 发布日期: 2025年3月12日

摘 要

为了更好地满足创新型人才培养的教学需求, 本文以分子间脱水法制备乙醚和Williamson合成法制备苯乙醚为实验主体, 将延长式恒压滴液漏斗引入到乙醚和苯乙醚的反应装置中, 并对其反应条件、反应装置和纯化方法进行优化与改良, 有效提高反应产率和成功率。教学实验的改进增加了实验的创新性和综合性, 提升了学生的学习深度和创新能力, 进而提高有机化学实验课程教学质量和人才培养质量。

关键词

乙醚, 苯乙醚, 实验装置, 实验方法, 实验教学

Improvement and Innovation of Experimental Teaching for the Preparation of Diethyl Ether and Phenylethyl Ether

Yu Yuan, Duan Wu, Yucheng Xiang, Yu Chen, Junjun Zhang, Dan Tao, Yunying Wu*

College of Chemistry, Biology and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi Yunnan

Received: Feb. 11th, 2025; accepted: Mar. 4th, 2025; published: Mar. 12th, 2025

Abstract

In order to better meet the teaching needs of innovative talents training, this paper takes the preparation of ether by the intermolecular dehydration method and phenylethyl ether by the Williamson synthesis method as the experiment main body, and introduces the extended constant pressure dropping funnel into the reaction device of ether and phenylethyl ether. In addition, the reaction conditions, reaction device and purification methods are optimized and improved to effectively improve the reaction yield and success rate. The teaching experiment improvement increases the

*通讯作者, 副教授, 研究方向: 有机合成及实验教学研究, E-mail: wuyy@yxnu.edu.cn。

文章引用: 袁羽, 吴端, 向玉成, 陈宇, 张俊俊, 陶丹, 吴云英. 乙醚和苯乙醚制备的实验教学改革与创新[J]. 交叉科学快报, 2025, 9(2): 99-107. DOI: 10.12677/isl.2025.92014

innovation and comprehensiveness of the experiment, enhances the learning depth and innovation ability of the students, and further improves the teaching and talent training quality of the organic chemistry experiment course.

Keywords

Diethyl Ether, Phenylethyl Ether, Experimental Device, Experimental Method, Experimental 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

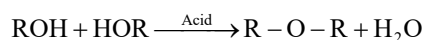
乙醚的制备是众多高校有机化学实验课程中常开实验，虽然在有机化学实验教材[1]中制备乙醚的产率为35%，但在实际教学时中学生所做的实际产率一般只有10%~30% [2] [3]。乙醚的制备虽为常开实验，但沸点低易挥发，实际产率较低，有时粗产物会因含乙醇太多不分层，而无法得到乙醚。苯乙醚的制备则为不常开实验，投料量大但产率低，沸点高且易挥发，纯化时需高温精馏，损耗太多，无法得到苯乙醚。基于以上现状分析，本文以改进与创新乙醚和苯乙醚制备实验的方案为研究思路，重点从改进实验装置和优化实验方法等方面展开研究。针对原实验方案[4]-[6]的不足，改进实验装置，优化粗产物后处理方法，以提高实验的产率。同时，改进 Williamson 合成法制备经典芳基醚类化合物——苯乙醚，增加了有机化学实验与有机化学理论教学的一致性和综合性。此外，教学过程中注重深挖思政教育元素，精选思政案例，乙醚的制备以牙科医生 Morton 开创了麻醉史，最早将乙醚作为麻醉剂用于外科手术作为课程思政切入点开展教学，发挥有机化学实验课程教学的双重育人功能。

2. 实验部分

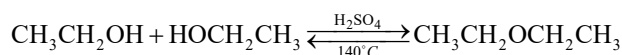
2.1. 实验原理

联系理论有机化学教学，引入同类有机物的合成，增加实验的对比性与综合性。实验原理由原来单一的醇脱水法制备对称醚延伸至 Williamson 合成法制备不对称醚，以经典的烷基醚乙醚和芳基醚苯乙醚为实验主体，其结构简单、易于合成，同时可实现对比教学，提升学生学习的深度和高度。实验原理具体如下：

(1) 醇脱水合成醚：合成对称醚

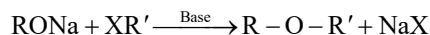


乙醚的制备：

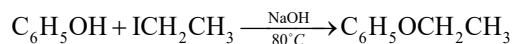


醇脱水合成醚是制备单醚的一种方法，是由酸催化使醇分子中的羟基与另一个醇分子中的氢离子发生缩合反应而得，是一种单分子亲核取代反应(S_N1)。100~130℃时，醇羟基在酸性条件下形成硫酸氢乙酯，在140℃时进攻另一分子的乙醇，脱水缩合形成乙醚；若在170℃时硫酸氢乙酯自身脱水缩合形成乙烯。由于乙醇沸点(78.5℃)低于反应所需温度，反应时乙醇会因挥发而损耗过多，从而降低反应产率。

(2) Williamson 合成醚：合成对称醚和不对称醚



苯乙醚的制备：



Williamson 合成醚是制备混合醚的一种方法，是由卤代烃与醇钠或酚钠作用而得，是一种双分子亲核取代反应(S_N2)。醇羟基在碱性条件下形成醇负离子，进攻卤代烃的碳正中心，卤代烃脱去卤素形成醚键。反应条件为碱性，高浓度碱，高温对反应有利，但由于碘乙烷沸点较低(72.8℃)，故加热温度不可设置过高，否则碘乙烷因挥发而损耗过多，而降低反应产率。

2.2. 仪器与试剂

2.2.1. 实验仪器

改进的恒压滴液漏斗、微型有机实验装置、层析柱、电子天平、电热套、磁力搅拌器、旋转蒸发仪、阿贝折光仪、暗箱式紫外分析仪、傅立叶红外光谱仪、核磁共振波谱仪。

2.2.2. 实验试剂

无水乙醇、浓硫酸、苯酚、碘乙烷、石油醚、氢氧化钠、无水氯化钙、无水硫酸钠、氯化钠、柱层析硅胶。

2.3. 实验的改进

2.3.1. 延长式恒压滴液漏斗

在有机化学实验中，许多有机反应需要用到恒压滴液漏斗滴加反应物，当所滴加的反应物沸点低于反应温度时，会引起反应物直接受热挥发，反应不充分，降低反应产率。虽然普通滴液漏斗[1]可以减少反应物未与反应液接触而蒸出的情况，但反应瓶内的蒸气压较大时，不易控制滴加速度，使反应物无法正常滴入，甚至引起反应液倒吸至滴液漏斗内，影响实验操作。针对上述问题，结合反应原理，将恒压滴液漏斗进行延长，如图1所示，可对滴嘴直接进行延长或对磨口进行延长，延长长度可根据实际需求进行定制，滴液时起引流和隔热作用，防止反应物未与反应体系接触而直接受热挥发。此外，这两种改进的恒压滴液漏斗的制作工艺相同，成本相近，但改进后更适用于滴加易挥发、沸点低于反应温度的实验中，可有效提高滴加液的利用率，便于观察滴加速度，应用范围广。

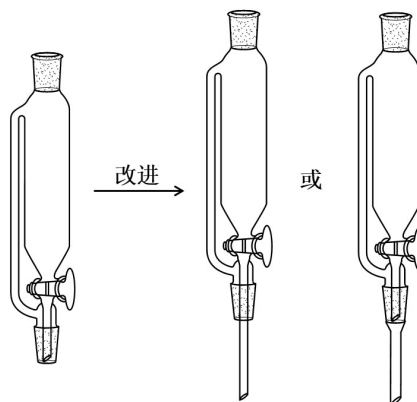


Figure 1. Constant pressure dropping funnel

图 1. 恒压滴液漏斗

2.3.2. 乙醚制备实验装置的改进

乙醇在浓硫酸催化作用下制备乙醚[7]时, 反应温度需控制在 140°C 左右, 而乙醇沸点为 78.5°C 。在反应过程中, 若采用普通滴液漏斗, 不易控制滴加速度, 从而影响反应温度的控制, 操作时经常会引起反应液倒吸, 乙醚的产率较低。当乙醇从恒压滴液漏斗[8]的下端滴出时, 恒压滴液漏斗与蒸馏头之间的距离较近, 导致部分乙醇未与反应液其他组分接触反应, 就直接被蒸出, 致使乙醚的产率不理想。基于问题分析, 本文对实验装置进行了改进与创新, 如图 2 所示, 引入延长式恒压滴液漏斗, 在三颈烧瓶和蒸馏头之间增加一个球形冷凝管, 并采用鱼泵通冰水循环冷凝, 节约用水。优化实验装置实现边滴加边反应, 边回流边蒸馏。反应结束后, 纯化时的改进之处在于, 用氢氧化钠溶液洗涤时, 加入酚酞指示剂有利于判别有机相和水相, 观察分层情况。精制时采用鱼泵通入冰水循环冷凝, 减少乙醚的挥发; 检验时不再单一测沸点, 采用了测定沸点、折光率及红外光谱三种方法进行检验, 增加了实验的综合性。

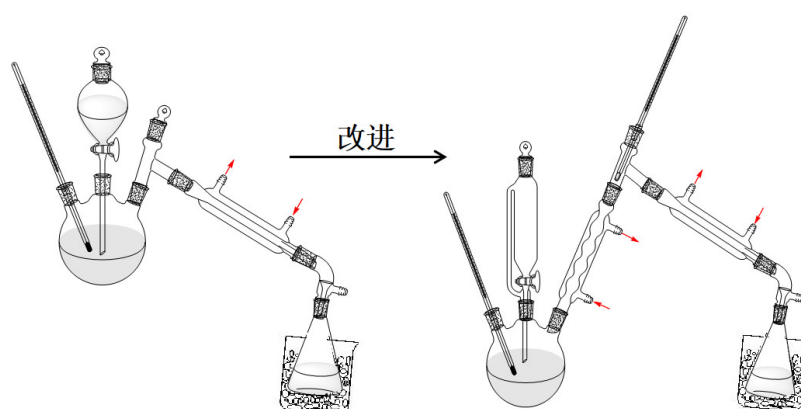


Figure 2. Experimental setup diagram of diethyl ether preparation

图 2. 乙醚制备的实验装置图

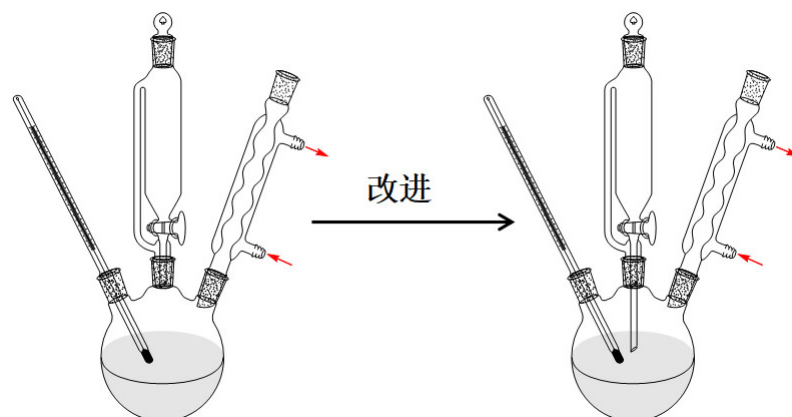


Figure 3. Experimental setup diagram of phenylethyl ether preparation

图 3. 苯乙醚制备的实验装置图

在氢氧化钠催化作用下, 苯酚与溴乙烷反应制苯乙醚时[5][6], 反应温度需控制在 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$, 而溴乙烷沸点为 38.2°C , 极易挥发。在反应过程中, 采用恒压滴液漏斗时, 滴入的大部分溴乙烷未与瓶内反应物接触就直接挥发至体系外, 导致苯乙醚的产率非常低。本文将沸点更高的碘乙烷(沸点为 72.8°C)作为反应物, 如图 3 所示, 反应装置同样使用延长式恒压滴液漏斗代替原恒压滴液漏斗, 让滴加液碘乙烷直接引流到反应液中, 减少碘乙烷的挥发, 提高其利用率。同时, 采用鱼泵通冰水循环冷凝优化实验装置,

边反应边滴加。反应过程中通过薄层色谱法实时监测反应，判断终点。待反应完全后，原实验方案[5]是依次进行分液、水洗，干燥后，直接进行高温蒸馏纯化，该方法产品耗损大，产率不理想。基于此，优化实验方法为直接水浴蒸馏除去未反应的碘乙烷，便于洗涤时分层。分液除去水相后，饱和氯化钠洗涤，干燥，过滤，过柱，柱层析降低了苯乙醚因挥发而耗损的量，可显著提高产率。检验时通过折光率、红外光谱及薄层色谱三种方法来检验产品的纯度，增加了实验的高阶性。

2.4. 实验步骤

2.4.1. 乙醚的制备

(1) 合成

向三颈烧瓶内依次加入沸石和 6 mL 无水乙醇，冰水浴的条件下缓慢加入 6 mL 浓硫酸，边加边震荡，使其混合均匀。再向恒压滴液漏斗中加入 12.5 mL 无水乙醇，如图 2 连接好反应装置。检查无误后，通水，加热。当反应液温度达到 140℃时，开始滴加乙醇，控制滴加速度与馏出液速度相同(滴/s)。始终维持反应温度在 140℃左右，待无水乙醇滴加完后继续加热反应 10 min，直至温度升到 160℃且无馏出液时停止反应。

(2) 纯化

将馏出液转至分液漏斗中，依次用等体积 5% NaOH 溶液(滴入 2 滴酚酞)洗涤 1 次，等体积饱和氯化钠溶液洗涤 1 次，等体积饱和氯化钙溶液洗涤 2 次。分出乙醚层，冰水浴条件下用一定量的无水氯化钙干燥，过滤，备用。

(3) 精馏

过滤得到的乙醚倒入圆底烧瓶中，加入沸石，组装好蒸馏装置，打开冷凝水，水浴加热蒸馏，收集 30-34℃馏分，得到产品乙醚，称重，计算产率。

(4) 产品检验及表征

折光率的测定：恒定温度为 20℃，采用阿贝折光仪测定实验所得乙醚及分析纯乙醚的折光率，重复测定 3 次，取平均值与文献值对比分析。

红外光谱的测定：采用傅立叶红外光谱仪(ATR 模式)液样法测定实验所得乙醚及分析纯乙醚的红外光谱，对比分析实验所得乙醚与分析纯乙醚的红外光谱。

核磁表征：委托测试公司完成核磁表征，用(CH₃)₄Si 作内标物，CDCl₃ 作溶剂，测定实验所得产品乙醚的核磁氢谱(600 MHz)和碳谱(151 MHz)。

2.4.2. 苯乙醚的制备

(1) 合成

向三颈烧瓶内依次加入小磁子，4.40 g 苯酚和新配氢氧化钠溶液(2.30 g 氢氧化钠溶于 4.0 mL 蒸馏水)，混合均匀。按照图 3 从下而上，从左往右连接反应装置，依次在三颈烧瓶上放入温度计，恒压滴液漏斗，球形冷凝管。检查无误后，通水，打开电源，调节搅拌速率和温度，加热。当反应液温度升高至 80℃时，开始缓慢滴加碘乙烷(1 滴/2~3 s)。始终维持反应温度在 80℃左右，待碘乙烷滴加完后，继续加热反应 1 h 左右，通过薄层色谱法(TLC)监测反应进行程度，反应完全后停止加热。

(2) 纯化

反应液冷却后，直接将反应装置改为蒸馏装置，除去未反应的碘乙烷，控制温度在 70℃左右，直到无馏出液时，停止蒸馏。冷却后，转移至分液漏斗中(滴入 2 滴酚酞)分出水层，有机层继续用等体积饱和氯化钠溶液洗涤 2 次。洗涤后用一定量的无水氯化钙干燥，过滤，备用。

(3) 精制

采用柱层析分离纯化，向 15 g 硅胶粉中倒入一定量的石油醚，搅拌混合均匀后湿法上柱，并用石油醚反复冲洗至层析柱填充紧密，备用。将粗苯乙醚加入到填充好的层析柱中，并加入一定量的无水硫酸钠，以石油醚为洗脱剂洗脱，通过薄层色谱法(TLC)跟踪监测，收集洗脱溶液。旋蒸除去洗脱液中的石油醚，得到产品苯乙醚，称重，计算产率。

(4) 产品检验及表征

折光率的测定：恒定温度为 20℃，采用阿贝折光仪测定实验所得苯乙醚及分析纯苯乙醚的折光率，重复测定 3 次，取平均值与文献值对比分析。

红外光谱的测定：采用傅立叶红外光谱仪(ATR 模式)液样法测定实验所得苯乙醚及分析纯苯乙醚的红外光谱，对比分析实验所得苯乙醚与分析纯苯乙醚的红外光谱。

核磁表征：委托测试公司完成核磁表征，用(CH₃)₄Si 作内标物，CDCl₃ 作溶剂，测定实验所得产品苯乙醚的核磁氢谱(600 MHz)和碳谱(151 MHz)。

3. 结果与讨论

3.1. 实验数据结果与分析

Table 1. Refractive index of diethyl ether and phenylethyl ether
表 1. 乙醚和苯乙醚的折光率

化合物	数据		折光率数据					
	实验产物的质量/g	产率/%	平均产率/%	实验所得测定值	实验所得平均值(20℃)	分析纯测定值(20℃)	平均值(20℃)	文献值(20℃)
乙醚	4.64	39.50	40.20	1.3525	1.3528	1.3527	1.3528	1.3538
	4.71	40.12		1.3529		1.3529		
	4.80	40.90		1.3530		1.3530		
	4.68	39.86		1.3528		1.3527		
	4.77	40.63		1.3527		1.3528		
苯乙醚	2.18	38.18	39.65	1.5058	1.5060	1.5074	1.5074	1.5075
	2.27	39.75		1.5060		1.5075		
	2.30	40.30		1.5062		1.5075		
	2.26	39.58		1.5059		1.5073		
	2.31	40.46		1.5060		1.5074		

乙醚和苯乙醚的制备投料减半，使用改进的实验装置进行实验，有效解决了滴加反应液体过程中滴速不易控制的问题且使学生实验的产率提高至 40%左右(相同情况下，原实验装置产率一般为 30%左右[1])。常压下，乙醚精馏时测得沸点为 30℃与分析纯乙醚精馏所测沸点(31℃)接近。如表 1 所示，折光率测定时，恒定水浴温度为 20℃，对实验所得样品与分析纯试剂进行折光率测定，再对产品所得数据、分析纯所得数据与文献值进行对比分析，实验数据显示实验所得乙醚和苯乙醚与分析纯乙醚和苯乙醚结果一致。

3.2. 红外光谱的测定结果与分析

实验所得乙醚与分析纯乙醚的红外光谱完全重合，如图 4(左)所示，2977.00 cm⁻¹ 为-CH₃ 的不对称伸

缩振动特征吸收峰； 2868.07 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2-$ 的对称伸缩振动特征吸收峰； 1381.07 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 中 C-H 的弯曲振动特征吸收峰； 1119.74 cm^{-1} 为 C-O-C 的不对称伸缩振动特征吸收峰； 1015.16 cm^{-1} 为 C-O-C 的对称伸缩振动特征吸收峰。

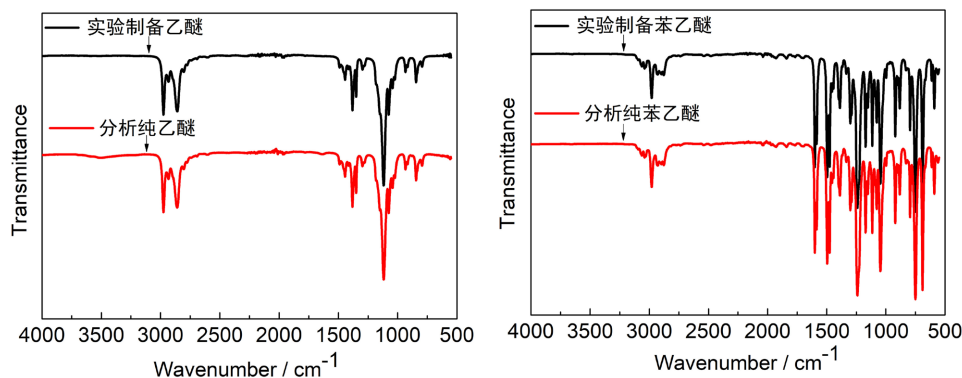


Figure 4. Infrared spectra of diethyl ether (left) and phenylethyl ether (right)
图 4. 乙醚(左)和苯乙醚(右)红外光谱图

同样，实验所得苯乙醚与分析纯苯乙醚的红外光谱完全重合，如图 4(右)所示， $3200\sim 3000\text{ cm}^{-1}$ 为苯环上 C-H 的伸缩振动特征吸收峰； 1600.45 cm^{-1} 、 1585.55 cm^{-1} 和 1496.18 cm^{-1} 为苯环碳骨架伸缩振动特征吸收峰； 750.39 cm^{-1} 、 690.14 cm^{-1} 为苯环的单取代特征吸收峰。 1241.07 cm^{-1} 为苯乙醚中 C-O-C 的不对称伸缩振动特征吸收峰； 1046.53 cm^{-1} 为苯乙醚中 C-O-C 的对称伸缩振动特征吸收峰； 1475.35 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2-$ 的弯曲振动特征吸收峰； 1388.32 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 中 C-H 的对称弯曲振动特征吸收峰。综上所述，本实验制备的乙醚和苯乙醚红外光谱图与分析纯样品红外光谱图一致，表明成功制备出了乙醚和苯乙醚。

3.3. 核磁氢谱和碳谱的表征结果与分析

3.3.1. 乙醚的 ^1H NMR 和 ^{13}C NMR

实验所得乙醚通过核磁表征，实验结果与理论教材一致[1]，说明合成得到了纯品乙醚，核磁数据均符合苯乙醚的结构。 ^1H NMR (600 MHz, CDCl_3) δ : 3.49~3.36 (m, 4H), 1.18~1.10 (m, 6H). ^{13}C NMR (151 MHz, CDCl_3) δ : 65.73 (s, 2C), 15.13 (s, 2C)。

3.3.2. 苯乙醚的 ^1H NMR 和 ^{13}C NMR

实验所得苯乙醚通过核磁表征，实验结果与理论教材一致[9]，说明合成得到了纯品苯乙醚，核磁数据均符合苯乙醚的结构。 ^1H NMR (600 MHz, CDCl_3) δ : 7.34~7.31 (m, 2H), 7.00~6.90 (m, 3H), 4.10~4.02 (m, 2H), 1.47~1.44 (m, 3H). ^{13}C NMR (151 MHz, CDCl_3) δ : 159.02 (s, 1C), 129.46 (s, 2C), 120.57 (s, 1C), 114.55 (s, 2C), 63.32 (s, 1C), 14.89 (s, 1C)。

由以上检验方法得到的实验数据可知，产品所得数据与分析纯所得数据均说明合成得到纯品乙醚和苯乙醚，验证了实验方案可行，也增加了实验结果的可靠性。

4. 实验教学

以提高学生综合能力为核心，全面提升学生专业水平、创新能力和应用能力。围绕实验创新，改进实验装置或仪器，采取双方案对照实验，让学生体验获得实验的条件探索与创新，提高学生实验的效率和成功率，操作时实验减量化以保护环境。对已有有机化学实验——乙醚的制备进行改进创新，具体包括：

- (1) 改进仪器易购置，适用范围广，可优化实验装置提高实验的产率和成功率。
- (2) 对经典有机化学实验进行改进与创新，教学成本低，推广性及应用性强。
- (3) 联系理论教学，引入同类有机物的合成，增加实验的对比性与综合性。
- (4) 开展基于翻转课堂的线上线下混合式对照实验教学，注重思政育人。

实验教学注重实验创新、课程建设与人才培养相结合。将实验创新引入课程教学，开展双方案或多方案线上线下混合式实验教学，注重知识、能力与素质的全面提升，推进课程思政融入教学。课程思政的融入以乙醚的制备为例进行详细说明，如表 2 所示：

Table 2. Teaching links and ideological and political elements
表 2. 教学环节与思政元素

理论知识点	具体实例	思政元素融入点	思政教学目标
引入	牙科医生 Morton 开创麻醉史	世界著名的医学事件	让学生体会创新源于生活，回归于生活，培养学生善于分析与独立思考的科研思维意识和洞察力，以及多学科知识基础融会贯通的能力，激发学习兴趣。
实验原理	醇脱水法 Williamson 合成法	世界重要有机反应	通过有机化学名人反应，让学生了解经典有机反应，学习科学家善于钻研、严谨细致的科研作风。
实验仪器与药品	仪器：微型化 药品：微量化	绿色化学理念	操作时实验减量化、微量化以保护环境，提倡绿色化学，践行环保精神。
实验装置	多方案改进装置	创新精神	新方法、新技术、新观点的融入培养学生敢于开拓、勇于创新、勇于担当的精神。
实验步骤	合成、纯化、精制、检验	科学方法论	1978 年 5 月 11 日，《光明日报》：实践是检验真理的唯一标准，实践出真知，培养学生扎扎实实、潜心钻研的态度和学习作风。
实验注意事项	实例：实验室安全事故	新闻：安全知识教育	培养学生树立行业安全理念，加强学生的专业安全意识，建立学生的法制意识与社会责任感。
小结	知识扩展	自然认识规律	前后呼应，激发学生自学，保持对新知识的好奇心和求知欲。 求真务实，激励学生一步一个脚印，踏踏实实地学习、勤勤恳恳工作。

由表可以看出，实验教学各环节注重知识、能力和思政培养目标相统一，将思政教育有机融入课程教学，达到润物无声的育人效果。

乙醚制备教学需 3 学时，苯乙醚制备教学需 6 学时，可根据需求进行实验教学，时间灵活便于教学安排，1~3 次课即可完成实验。综上所述，通过对醚类化合物合成的理论和制备过程的深度学习，有利于训练学生的有机化学实验技能和综合学习能力，有利于拓宽学生的知识面，有利于激发学生对创新研究的兴趣，可作为本科教学实验进行推广。

5. 结语

本文通过优化实验条件合成了烷基醚(乙醚)和芳醚(苯乙醚)，实验原理分别为醇分子间脱水和 Williamson 合成醚，涵盖了醚类化合物的重要合成手段。所用原料便宜易得，延长式恒压滴液漏斗与普通恒压滴液漏斗价格相近，可直接定做。减少实验原料可有效降低对环境的污染，实验过程进一步优化反应条件、反应装置和纯化方法，有效提升学生的有机化学实验技能和综合学习能力。将改进的恒压滴

液漏斗应用于装置改进,薄层色谱对反应进程进行监测和柱层析对产物进行纯化等改进增强了实验的综合性,使学生实验的实际产率提升至 40%左右。通过测定实验所得产品与分析纯样品的折光率和红外光谱,可快速对比分析,预判实验所得产品的纯度,使实验结论更具说服力,从而进一步提升学生对实验成果的幸福感。通过核磁共振波谱对实验制备样品的结构进行表征,大大提升了实验的综合性 and 结论的准确性,显著提升了学生的学习深度。

基金项目

云南省教育厅本科教育教学改革研究项目(No. JG2023092); 云南省一流本科课程《有机化学实验》; 云南省高等教育“121”工程项目-应用生物科学; 玉溪师范学院大学生创新创业训练计划项目(No. 2023A020; S202411390012)。

参考文献

- [1] 曾和平, 王辉, 李兴奇, 赵蓓, 潘英明. 有机化学实验[M]. 第 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2020: 110.
- [2] 陈满生, 邓奕芳, 邝代治, 张春华, 李薇. 乙醚制备实验装置的新改进[J]. 衡阳师范学院学报, 2005, 26(6): 51.
- [3] 汤青云, 钟桐生, 龙立平, 雷存喜, 谢志美. 乙醚制备实验仪器装置改进探讨[J]. 化学教育, 2002(11): 38.
- [4] 段佳才. 乙醇分子间脱水制乙醚[J]. 化学教育, 1992(2): 33.
- [5] 陈关惠, 刘石安. 新法合成苯乙醚初报[J]. 云南化工, 1978(5): 15.
- [6] 张春艳. 半微量法制备苯乙醚[J]. 实验室研究与探索, 2007, 26(9): 149.
- [7] 冯露, 杨颖. 一步合成乙醚实验新装置的探讨[J]. 广东化工, 2018, 45(15): 140.
- [8] 张金水. 化学实验常用的滴液漏斗和分液漏斗[J]. 化学教学, 2017(3): 63.
- [9] 李景宁, 杨定乔, 潘玲, 汪朝阳. 有机化学[M]. 第 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2018: 328.