

基于虚拟教研开展有机化学实验基本操作规范建设的探索与实践

李厚金^{1,*}, 刘占祥², 郑媛³, 蔡双莲⁴, 韩杰⁵, 熊英⁶, 孙兴文⁷, 袁呈山⁸,
余广鳌⁹, 刘庆文¹⁰, 吴琳¹¹, 张奇涵¹², 杜欣¹³, 张剑荣¹¹, 张树永^{14,*}

¹ 中山大学化学学院, 广州 510006

² 浙江大学化学系, 化学国家级实验教学示范中心(浙江大学), 杭州 310058

³ 中国科学技术大学化学与材料科学学院, 化学国家级实验教学示范中心(中国科学技术大学), 合肥 230026

⁴ 湖南大学化学化工学院, 长沙 410082

⁵ 南开大学化学学院, 化学国家级实验教学示范中心(南开大学), 天津 300071

⁶ 武汉大学化学与分子科学学院, 化学国家级实验教学示范中心(武汉大学), 武汉 430072

⁷ 复旦大学化学系, 化学国家级实验教学示范中心(复旦大学), 上海 200433

⁸ 兰州大学化学化工学院, 兰州 730000

⁹ 华中师范大学化学学院, 武汉 430079

¹⁰ 吉林大学化学学院, 长春 130012

¹¹ 南京大学化学化工学院, 化学国家级实验教学示范中心(南京大学), 南京 210023

¹² 北京大学化学与分子工程学院, 化学国家级实验教学示范中心(北京大学), 北京 100871

¹³ 大连理工大学化学学院, 辽宁 大连 116024

¹⁴ 山东大学化学与化工学院, 济南 250100

摘要: 分析了当前有机化学实验操作规范教学中存在的问题及其原因, 指出了进行实验操作规范建设的重要性与制订原则, 详细介绍了目前已开展的有机化学实验基本操作规范的建设内容、方法、编写要求以及已取得的建设成效。有助于同行更全面地了解有机化学实验基本操作规范, 在教学中指导学生熟练掌握规范、安全的实验操作技能, 培养高素质化学专业人才。

关键词: 有机化学实验; 操作规范; 探索与实践

中图分类号: G64; O6

Exploration and Practice of the Construction of the Basic Operation Standard of Organic Chemistry Experiment Based in Virtual Teaching Research

Houjin Li^{1,*}, Zhanxiang Liu², Yuan Zheng³, Shuanglian Cai⁴, Jie Han⁵, Ying Xiong⁶,
Xingwen Sun⁷, Chengshan Yuan⁸, Guangao Yu⁹, Qingwen Liu¹⁰, Lin Wu¹¹, Qihan Zhang¹²,
Xin Du¹³, Jianrong Zhang¹¹, Shuyong Zhang^{14,*}

¹ School of Chemistry, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006, China.

² National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Zhejiang University), Department of Chemistry,

收稿: 2025-02-08; 录用: 2025-02-24; 网络发表: 2025-03-25

*通讯作者, Emails: ceslhj@mail.sysu.edu.cn (李厚金); syzhang@sdu.edu.cn (张树永)

基金资助: 广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目(化学实验教研室); 广东省高等教育教学改革项目; 中山大学本科教学质量工程项目; “教育部化学实验教学改革创新虚拟教研室”项目

Zhejiang University, Hangzhou 310058, China.

³ National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (University of Science and Technology of China), School of Chemistry and Materials Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China.

⁴ College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China.

⁵ National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Nankai University), College of Chemistry, Nankai University, Tianjin 300071, China.

⁶ National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Wuhan University), College of Chemistry and Molecular Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China.

⁷ National Demonstration Center for Experimental Chemistry (Fudan University), Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China.

⁸ College of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China.

⁹ College of Chemistry, Central China Normal University, Wuhan 430079, China.

¹⁰ College of Chemistry, Jilin University, Changchun 130012, China.

¹¹ National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Nanjing University), School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China.

¹² National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Peking University), College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871, China.

¹³ School of Chemistry, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning Province, China.

¹⁴ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China.

Abstract: This paper analyzes the problems and their causes in the guidance of operation specifications in current organic chemistry experiment teaching. It points out the importance of constructing experimental operation specifications, the principles for formulating experimental operation specifications. Moreover, it elaborates in detail on the content, methods, writing requirements of the basic operation specifications of organic chemistry experiments that have been carried out, as well as the achievements already obtained. This paper helps peers gain a more comprehensive understanding of the basic operation specifications of organic chemistry experiments. It also assists peers in guiding students to master standardized and safe experimental operation skills in future teaching, so as to cultivate high-quality chemistry professionals.

Key Words: Organic chemistry experiment; Standards for operation; Exploration and practice

化学实验能力是化学类专业人才的核心竞争力。通过化学实验，学生不仅可以理解化学的原理和本质，牢固掌握规范且安全的实验操作技能，还能有效提升科学分析问题和解决问题的能力，培养实事求是、严谨认真的科学态度。与此同时，在科学研究方法与创新能力层面，学生也能获得系统的训练和提高，进而激发并培养对化学的兴趣和热爱。

教育部高等学校化学类专业教学指导委员会制订的《化学类专业本科教学质量国家标准》，对化学类专业实验教学的基本内容和教学要求进行了简要阐述^[1]。在《化学类专业化学实验教学建议内容》里，列出了实验教学的各知识点，其中，与有机化学实验相关的操作与技术有：实验室安全与防护、烘干、真空干燥、蒸发、倾析、常压过滤、减压过滤、热过滤、分液、简单蒸馏、减压蒸馏、水蒸气蒸馏、分馏、溶剂萃取、固相萃取、结晶与重结晶、升华、吸附、手性拆分、回流、无水无氧操作、薄层层析、柱色谱、纸色谱；基本物理常数的测定则包含：熔点、沸点、折射率、比旋光度^[2]。

近年来，各个高校都在持续发力，致力于提高化学实验教学质量，着重培养学生的实验创新能力。然而，当前学生实验操作规范问题依旧十分突出。例如，在近些年举办的全国大学生化学实验大赛以及创新实验设计大赛中，都反映出学生的实验操作技能并未得到显著提升，很多实验操作问题(错误)长期存在。在科研实验中，不少学生的实验操作方式杂乱无章，各种奇怪、随意的操作层出不穷。实验失败、产率低、实验无法重复等状况往往都与操作不规范有关。而且，不规范操作也

是导致化学实验安全事故的主要原因之一。

导致不规范化学实验操作比较普遍的原因较为复杂,涉及多个方面:(1)目前大学的化学实验教材版本多,内容更新相对滞后于仪器设备和实验技术发展;(2)有不少实验操作在不同版本的教材中描述存在差异,另一方面,各个学校实验条件有差异,实验操作规范的标准和要求不完全相同,实际教学指导又具有多样性,导致各个学校培养的学生能力和水平有差别;(3)当前实验教学的改革重点聚焦于提高课程的“两性一度”(高阶性、创新性、挑战度),通过科教融合将科研成果转化为新创教学实验受到青睐,相对而言,针对传统实验、基础实验的改革占比较少,针对实验操作的教学研究和改革更是稀缺,实验操作规范建设长期未得到应有的重视;(4)个别教师在实验指导过程中不重视操作规范,认为这是细枝末节,无关紧要;(5)中学化学实验教学应试化现象严重,化学实验以演示实验为主,把“做实验”变成了“看实验”,导致学生实验操作能力越来越弱,在一定程度上也影响了大学化学类专业的生源质量;(6)网络上大量未经专业审查便发布的不规范的化学实验视频、图片、文字描述肆意流传,造成了一定的混乱,给实验初学者带来了不良影响。

制订实验基本操作规范,形成统一的教学要求,让学生熟练掌握规范的实验操作技能,已成为当前化学实验教学亟待解决的问题之一。教育部化学实验教学研究虚拟教研室针对这一问题,成立了实验操作规范教研组,充分利用虚拟教研可以突破时空和地域限制的优势,邀请国内多所高校的实验课程负责教师,利用形式新颖、灵活高效的虚拟教学研讨形式,各抒己见、深入研讨、凝聚共识,共同开展了化学实验操作规范建设。其中,有机化学实验操作规范建设小组于2022年4月成立,在过去的两年多时间里,团队成员齐心协力、集思广益,工作富有成效,已取得重要的阶段性成果,形成了开展虚拟教研和实验规范建设的经验。

1 实验操作规范建设的重要意义

“根深才能叶茂,本固方可枝荣。”扎实的实验基本操作是化学人才未来发展的基石,因此,化学人才的培养一定要重视基础化学实验,重视基本操作规范的养成。

当前,各高校对实验操作的规范性通常都比较关注,将之作为实验教学和实验考试(包括理论考试和操作考试)的重要内容。但由于各高校对规范的理解不同,往往存在不同高校规范要求不同的现象,甚至有的一个高校强调必须严格操作的方式,在其他高校却纳入了需要纠正的错误。而一些操作规范实际上对实验结果的影响很小,过分强调必须严格操作,反而会导致学生束手束脚,对培养学生实验兴趣、实验习惯并无益处。因此,对存在不同描述的操作规范,需进行统一。

针对当前化学实验教学面临的问题,国内同行非常有必要进一步加强交流、共同探讨,形成统一的实验操作规范标准。此举不仅是确保化学实验顺利进行、提升实验成功率的关键所在,更是有效维护师生人身安全、保护实验器材设备、严防各类实验事故发生的必要之举;同时,它高度契合落实立德树人根本任务的要求,有助于在实验教学中融入课程思政,进而培养具有敬业精神、精益求精态度、专注品质及创新思维的高素质化学人才,因此具有深远意义。

2 实验操作规范制订的原则

规范,作为社会、行业或组织内部的行为准则和标准,它们为各种活动和决策提供了明确、可操作的指导框架。化学实验操作规范要求实验者按照特定的步骤和程序开展实验,严格遵守安全规则,并对实验结果进行理性的分析和处理。通过遵守实验操作规范,人们可以确保实验技术活动的一致性和合规性,同时减少错误、风险和不确定性,更有效地实现目标。

规范不是一成不变的,而是在不断发展变化的。这种变化是社会进步、技术发展以及人们认知提升、文化提升以及实践需求等多种因素共同作用的结果。因此,在制订和执行规范时,需要保持开放和灵活的态度,以适应不断变化的环境和需求。

有机化学实验基本操作规范的建设主要遵循以下原则:

- (1) 实验安全: 提高实验安全性, 包括人员安全和设备安全, 最大程度降低事故发生的概率。
- (2) 高效率: 操作规范应有助于优化操作, 助力高质量完成实验, 提高实验成功率和结果的准确性、再现性。
- (3) 高产率: 操作规范要能够促使实验获得更高的产率。
- (4) 经济环保: 操作规范需能够降低能耗、节约实验成本以及减少环境污染。
- (5) 美观: 规范的操作应协调、舒展、美观。
- (6) 凡是不符合上述要求或者已经过时的内容, 均不纳入规范。
- (7) 规范应清晰易懂, 科学可行, 即便是初学者也看得懂、学得会、用得上、做得成。

3 有机化学实验基本操作规范建设内容

有机化学实验基本操作按照类型划分为: 回流、萃取与洗涤、常压蒸馏、低沸点易燃易爆液体的蒸馏、减压蒸馏、水蒸气蒸馏、简单分馏、重结晶与过滤、升华、薄层色谱、柱色谱、加热和冷却、无水无氧操作、沸点的测定、熔点的测定等。以使操作规范更加系统、全面, 容易查找和使用。

4 有机化学实验基本操作规范建设方法

前期, 我们对十余所高校目前使用的有机化学实验教材(表1)和有机化学实验慕课课程(表2), 进行了深入细致的调研。在调研过程中, 我们对各个实验操作在不同教材中的阐述, 以及在实际教学中的具体指导方式, 都进行了细致的分析与梳理, 为有机化学实验基本操作规范的建设提供了坚实的基础。

在规范建设过程中, 按照统一模板—分工协作—集体讨论—严格审核四个步骤扎实推进研制工作。首先, 以常压蒸馏为例精心制订了操作规范的格式样板, 为后续工作提供了清晰明确的参照标准。其次, 合理协作。每位成员负责完成1–2项操作规范的编写任务。第三, 集体讨论、集思广益。小组

表1 制订有机化学实验基本操作规范调研教材的情况(以教材名称拼音排序)

序号	高校名称	教材名称	主编	出版社	版次	出版年月
1	兰州大学	大学化学实验-基础化学实验I	兰州大学化学化工学院, 化学国家级实验教学中心	兰州大学出版社	第2版	2011年9月
2	中山大学	基础化学实验	李厚金、石建新、邹小勇	科学出版社	第2版	2015年6月
3	浙江大学	基础化学实验	徐伟亮	科学出版社	第2版	2010年6月
4	南开大学	基础化学实验	邱晓航、李一峻、韩杰、尚贞锋	科学出版社	第2版	2017年8月
5	大连理工大学	基础化学实验	孟长功	高等教育出版社	第3版	2019年9月
6	湖南大学	基础化学实验	郭栋才、蔡炳新等	科学出版社	第3版	2021年11月
7	华中师范大学	基础化学实验教程	李武克、宋丹丹	华中师范大学出版社		2014年8月
8	吉林大学	基础化学实验——有机化学 实验分册	张锁秦、张广良、宋志光	高等教育出版社	第2版	2017年1月
9	复旦大学	基础有机化学实验	李妙葵、高翔、贾瑜、李志铭	复旦大学出版社	第2版	2012年9月
10	南京大学	有机化学实验	吴美芳、李琳	科学出版社	第1版	2013年8月
11	中国科学技术 大学	有机化学实验	查正根、郑小琦等	中国科学技术大学 出版社	第2版	2019年9月
12	北京大学	有机化学实验	张奇涵、关焯弟、关玲	北京大学出版社	第3版	2015年6月
13	武汉大学	有机化学实验	武汉大学化学与分子科学学院实验中心	武汉大学出版社	第2版	2017年1月

表2 制订有机化学实验基本操作规范调研的有机化学实验慕课课程情况(以课程名称拼音排序)

序号	课程名称	课程建设单位	课程负责人	上线平台	上线时间
1	大学化学实验	北京化工大学	张丽丹	爱课程(中国大学MOOC)	2018年11月26日
2	基础化学实验	湖南大学	蔡双连	学堂在线	2020年08月05日
3	基础化学实验(有机化学)	湖南大学	郭栋才	爱课程(中国大学MOOC)	2018年04月09日
4	基础有机化学实验	中山大学	李厚金	爱课程(中国大学MOOC)	2020年09月28日
5	基础有机化学实验	浙江大学	刘占祥	智慧树、爱课程(中国大学MOOC)	2020年12月23日
6	基础有机化学实验	华中农业大学	曹敏惠	爱课程(中国大学MOOC)	2022年03月21日
7	有机化学实验	西北农林科技大学	陈淑伟	爱课程(中国大学MOOC)	2019年10月21日
8	有机化学实验	苏州大学	朱琴玉	爱课程(中国大学MOOC)	2020年02月12日
9	有机化学实验	北京交通大学	许韵华	爱课程(中国大学MOOC)	2020年03月02日
10	有机化学实验	河北工业大学	王丽华	学堂在线	2021年03月04日
11	有机化学实验	华南师范大学	王辉	爱课程(中国大学MOOC)	2021年09月06日
12	有机化学实验	北京林业大学	李莉	爱课程(中国大学MOOC)	2020年12月31日
13	有机化学实验	南京工业大学	刘睿	爱课程(中国大学MOOC)	2021年09月01日
14	有机化学实验	河南工业大学	杨亮茹	学堂在线	2020年12月18日
15	有机化学实验	青岛科技大学	王书文	学银在线	2019年04月04日
16	有机化学实验(山东联盟)	青岛科技大学	王书文	智慧树	2021年春夏
17	有机化学实验(上)	大连理工大学	徐铁齐	爱课程(中国大学MOOC)	2020年09月21日
18	有机化学实验(下)	大连理工大学	姜文凤	爱课程(中国大学MOOC)	2020年09月21日
19	有机化学实验I	华东师范大学	刘路	爱课程(中国大学MOOC)	2018年12月18日
20	有机化学实验II	华东师范大学	刘路	爱课程(中国大学MOOC)	2018年12月20日

成员频繁通过线上会议的形式(见图1),针对每项内容逐一进行深入的讨论,提出建设性的修改意见,充分发挥集体智慧,凝聚共识。随后,编写人员依据意见进行修改,再将修改后的内容分组审阅,在此基础上进行再次修改,直至最终定稿。第四,为确保内容的准确性与严谨性,整个操作规范还历经了多轮严格审核把关。

截至2022年底,小组顺利完成了操作规范初稿的编写。2023年,团队成员之间继续展开相互评审,针对每一项操作规范都进行了详尽的讨论,进一步提出修改建议。到2024年底,所有操作规范的建设工作圆满完成。

5 有机化学实验基本操作规范编写特色

有机化学实验操作规范的内容涵盖:操作原理;所需实验试剂、仪器;操作步骤;注意事项。编写的规范具有以下四方面特点:

(1) 操作描述具体精准。操作描述精确无误且具体详实,避免过于空泛和流程化。对于能够量化的指标,尽可能给出确切数值;若无法精确量化,则提供参考的量化区间,从而增强实验操作规范的实用性和参考价值。例如,在熔点测定实验中,为精确测定熔点,从初熔到全熔(此范围被称为熔程),温差(又称熔距)应控制在0.5–1.0 °C,装样高度约为3 mm,升温速度建议设定为1.0 °C·min⁻¹。在薄层层析实验里,铺板时硅胶与水或羧甲基纤维素钠(Sodium Carboxymethyl Cellulose,简称CMC)溶液的比例、活化温度与时间、展开剂的用量、液面高度、点样间距以及展开高度等,均给出具体数值。

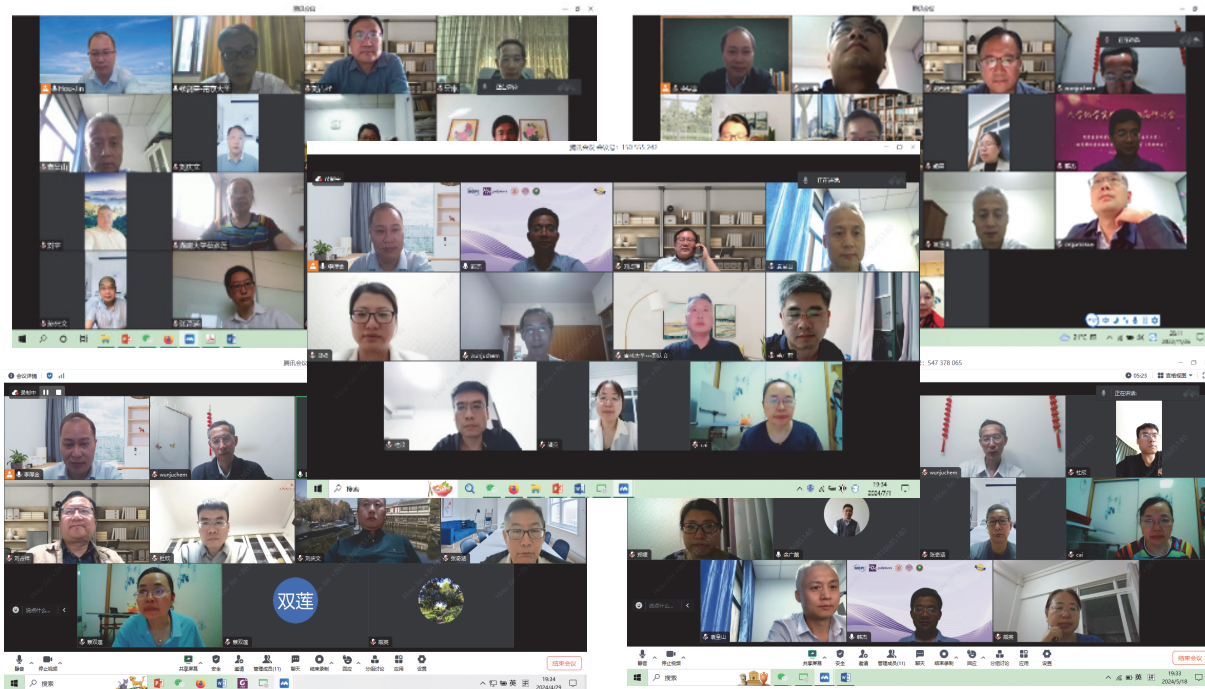


图1 团队成员定期召开线上会议对实验操作规范进行研讨修改

(2) 体现包容性、多样性。鉴于各学校办学条件存在差异，实验条件以及所用仪器设备不尽相同，我们广泛收集整理多种可行的操作方法，明确注明每种方法的适用范围，并对其优缺点进行比较分析。例如，熔点测定方法包括毛细管熔点测定法(Thiele管)、显微熔点仪测定法、数字熔点仪测定法；减压蒸馏方法有普通减压蒸馏(使用克莱森瓶、毛细管)和旋转蒸发器蒸馏；水蒸气蒸馏方式有用烧瓶装水加热产生水蒸气和使用水蒸气发生器产生水蒸气；升华操作也介绍了多种不同装置。

(3) 明确列出常见的错误操作及其可能后果。学生在每一个实验操作中都有有一些比较常犯的的错误。对这些错误操作进行归纳总结，有助于引起实验操作者的重视，从而有效避免犯错。一些常见的错误操作，比如：回流时在球型冷凝管顶部加塞，造成密闭体系；进行有机溶剂重结晶时，抽滤产物用冷水洗涤；蒸馏低沸点易燃易爆液体时未采用水浴加热等。操作规范详细说明了这些错误操作以及可能引发的后果。

(4) 写作形式图文并茂。在写作过程中，对于各种实验装置的仪器选配、安装流程、操作要求以及注意事项，不仅进行精准文字描述，还配以清晰的插图。对于个别重要操作，除了特写图(局部放大)外，还将录制小视频进行重点说明，以便实验人员更直观地掌握操作要点。

6 有机化学实验基本操作规范建设的几点体会

在研制有机化学实验操作规范的过程中，我们形成了以下几点体会：

(1) 规范建设的重要性。“细节决定成败，规范成就未来”，重视规范，有助于培养敬业、精益、专注、创新等治学精神和品质。制订有机化学实验基本操作规范，可以使实验指导更加有章可循，将强化实验教师和学生对操作规范的重视，告别错误认识和错误操作，更加严谨扎实、精益求精，教风和学风将进一步好转。

(2) 虚拟教研的优势。由于时间和空间的隔阂，之前很难将全国各地和不同类型的高校教师集中在一起，共同研讨实验操作规范，导致一些规范要求不同甚至出现相互矛盾。而虚拟教研提供了前所未有的优势，可以汇聚全国教师的智慧，通过系统的讨论达成共识，使规范更加准确和有效。

以蒸馏为例, 针对蒸馏时温度计液球与蒸馏头支管位置这一问题, 之前有的高校强调蒸馏头支管的下端应该与温度计液球的中心(二分之一处)齐平, 有的高校则要求温度计液球的上端应该与蒸馏头支管的下端齐平。经过深入的交流研讨, 最后确定第二种情况更加合理, 这样就纠正了规范本身不规范的问题, 可以确保操作规范的科学性、可行性和有效性。

(3) 明确错误操作的必要性。墨菲定律表明: “做任何一件事情, 如果客观上存在着一种错误的做法, 或者存在着发生某种事故的可能性, 不管发生的可能性有多小, 当重复去做这件事时, 事故总会在某一时刻发生。”因此, 提示各类实验常见错误操作, 能有效降低错误(乃至实验事故)发生概率。当前多数教材都忽略了对错误操作的阐述。本规范对操作描述精准详实, 并列举了常见错误操作。

(4) 推进操作规范的与时俱进。当今世界, 科学技术快速发展, 将新理论、新方法、新技术、新操作不断引入实验教学, 通过淘汰过时的规范, 保证规范与时俱进, 形成规范与科研的相互促进, 是实验教学改革的一项重要任务。开展基本操作规范建设有助于及时淘汰过时、陈旧的实验操作, 推广安全性高、环保性强、实验效率与精准度更高的规范, 更有利于培养学生创新思维和实践能力。有机化学实验基本操作规范建设可推动实验技术的进步。以测定熔点为例, 早期常用Thiele管法, 使用硅油、石蜡油、浓硫酸及质量比7:3的硫酸和硫酸钾混合物等作为加热液体介质。这种方法耗时久、结果不精准, 操作还存在危险, 需佩戴护目镜、手套等防护用具。如今在高校化学实验室已基本不再使用, 取而代之的是高效精准的数字熔点仪。再如制备薄层板的有机溶剂法, 每克吸附剂硅胶搭配3 mL低沸点有机溶剂(常用乙醇、二氯甲烷,)调成糊状物, 盖紧备用。铺板时, 把叠放的载玻片浸入糊状物, 浸没至离顶端约1 cm处后提起, 待溶剂挥发, 拆开载玻片, 干燥后即可使用, 每次浸涂后需密封广口瓶, 以免瓶内溶剂挥发。该方法制成的薄层板吸附剂附着着力差、易脱落、操作不便, 且挥发性溶剂会污染环境。目前, 该方法已逐渐被更先进、环保的制作方法所取代。因此, 在新版的操作规范中都采用了更加先进、环保、结果更精准的操作。

(5) 强化规范的推广应用。之前的规范主要依托教材进行传播, 影响面有限。此次制订的有机化学实验基本操作规范则依托虚拟教研机制和《大学化学》期刊, 强化了规范的宣传推广, 可以更好地服务于各高校的化学实验教学。目前, 部分相关成果已正式发表^[3-6], 未来还将建设相关实验视频, 必将有效提升实验操作规范的教学效果。

7 结语

有机化学实验基本操作规范建设是一个复杂且艰巨的工程。随着社会在发展、时代在进步, 实验基本操作规范也必须与时俱进。开展有机化学实验基本操作规范建设, 既要总结过去, 又要正视当前, 更要面向未来, 需要在明确建设原则的基础上, 通过多次研讨统一认识, 甚至是对个别实验细节也要进行多次反复的集体讨论, 只有这样制订出来的规范才能名符其实, 不辜负“规范”二字。

从操作规范的建设到推广实施, 应充分发挥虚拟教研室“共研、共建、共享”功能。大力推进并全面实践操作规范, 还需要更强的手段、更长的时间。我们相信, 一旦正确的规范付诸实施, 必将对教材建设、教学实践及人才培养作出重要贡献。

“道阻且长, 行则将至; 行而不辍, 未来可期。”坚信我们正在正确的道路上做正确的事情, 为我国的化学教育事业贡献自己的力量。

参 考 文 献

[1] 张树永, 朱亚先. 中国大学教学, 2018, No. 7, 55.

[2] 2013-2017年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会. 大学化学, 2017, 32 (8), 1.

- [3] 李厚金, 吴琳, 孙兴文, 郑媛, 刘占祥, 蔡双莲, 熊英, 余广鳌, 刘庆文, 韩杰, 等. 大学化学, **2025**, *40* (5), 93.
- [4] 刘占祥, 袁呈山, 韩杰, 蔡双莲, 张奇涵, 吴琳, 郑媛, 孙兴文, 刘庆文, 熊英, 等. 大学化学, **2025**, *40* (5), 55.
- [5] 李厚金, 蔡双莲, 郑媛, 刘占祥, 袁呈山, 吴琳, 余广鳌, 韩杰, 刘庆文, 杜欣, 等. 大学化学, **2025**, *40* (5), 40.
- [6] 郑媛, 李厚金, 刘占祥, 吴琳, 蔡双莲, 熊英, 余广鳌, 孙兴文, 刘庆文, 韩杰, 等. 大学化学, **2025**, *40* (5), 84.