

基础化学实验室精细化管理的探索与实践

臧真明, 林志强, 赵修毅, 陈学文, 叶燕媚, 张再利, 陈慧珍, 邓妙明, 彭敏,
胡昌佳, 赖榕*

中山大学化学学院, 广州 510275

摘要: 大类招生背景下的基础化学实验室通常承担全校化学类基础实验教学任务, 实验教学对象复杂且实验课程项目庞大, 科学高效的管理是提高实验教学质量的重要保障。中山大学公共化学实验平台将精细化管理理念贯穿于每个实验项目的实施全过程, 以师生为中心, 以教学质量为根本, 多措并举完善实验安全管理、规范实验准备工作、强化教学过程管理, 不断持续改进, 切实提升教学质量, 提高实验室效率和实验教学经费使用效益。本文有效实践和经验对其他基础化学实验室具有普遍意义。

关键词: 基础化学实验室; 精细化管理; 实验课程项目; 教学质量

中图分类号: G64; O6

Exploration and Practice of Delicacy Management in Basic Chemistry Laboratory

Zhenming Zang, Zhiqiang Lin, Xiuyi Zhao, Xuewen Chen, Yanmei Ye, Zaili Zhang, Huizhen Chen,
Miaoming Deng, Min Peng, Changjia Hu, Rong Lai *

School of Chemistry, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China.

Abstract: Under the framework of major category enrollment, basic chemistry laboratories are typically responsible for delivering fundamental chemistry experiment instruction university-wide. Given the diverse student body and the extensive array of experimental projects, implementation scientific and efficient management practices is paramount to enhancing the quality of experimental education. The Public Chemistry Experimental Platform of Sun Yat-Sen University has systematically integrated refined management principles into every stage of each experimental project's execution. Centering on both faculty and students, with teaching quality as the cornerstone, the platform has implemented multiple strategies to improve laboratory safety management, standardize preparatory procedures, and strengthen the oversight of the teaching process. These continuous improvements have effectively elevated teaching quality, increased laboratory efficiency, and optimized the utilization of experimental teaching funds. The practical experiences and methodologies presented in this study offer valuable insights and universal applicability for other basic chemistry laboratories.

Key Words: Basic chemistry laboratory; Refined management; Experimental project; Teaching quality

中山大学2021年实施跨院系大类招生, 一年级学生进行集中培养, 各学院进行协同创新, 致力于梳理整合大类所属学科的基础知识, 并共同规划大类阶段课程方案。作为基础学科实验, 全校化

学、生物学、医学、药学、农学、环境科学等专业近3000名大一本科生的大学化学实验、基础化学实验、开放性实验等实验课程都在中山大学化学国家级实验教学示范中心公共化学实验平台(以下简称“平台”)开展^[1,2]。

目前平台开设八门实验课程共70余个不同的实验项目,每学年超20万人时数,实验教学规模大。每门课程都面临着复杂多样的教学对象和繁多的实验项目,如“大学化学实验(二)下”课程面向全校15个学院2000多名学生,分设80多个平行班开展教学,共计3000多课时。针对如此高强度、任务繁重的实验教学,平台创建了共享型实验室,设有13间学生实验室,每间120 m²,30个实验位。实验位依照有机化学实验室规格建设,采用桌上型通风橱模式,可按需同时开展无机化学、有机化学和分析化学实验。每轮实验可同时容纳390人,最大程度地提高了实验室利用率,也因教务需要,常出现同一轮实验同时开展3门课的复杂情况。因此,制定科学高效的管理制度,保证庞大的实验教学需求得到充分满足,所有教学班的教学资源与实验教学效果一致,实验教学顺利开展,切实提高实验教学质量,是化学实验室教学管理人员的永恒课题^[3,4]。提高一门实验课程乃至整个学科的实验教学质量,必须落实到每一个具体实验课程项目的实施研究上,平台将精细化管理理念贯穿于每个实验项目的实施全过程,以师生为中心,以教学质量为根本,多举措促进实验安全管理,规范实验准备工作及强化教学过程管理,优化资源配置,落实7S管理以及持续改进,抓实每个实验项目的实施,切实提升教学质量,提高实验室效率和实验教学经费使用效益。平台执行的一系列精细化管理举措带来了显著的变化及成效,其有效实践和经验对其他基础化学实验室具有普遍意义。本文以“1-溴丁烷制备”这一经典的取代反应实验为例阐述。

1 多措并举促进实验安全管理

1.1 加强师生安全意识,落实化学实验室安全准入制度

对于刚踏入大学校门的大一新生,上好新生安全第一课,筑牢实验室安全第一关至关重要^[5-8]。学院面向化学类一年级本科生开设“实验室安全与学术道德”安全必修课,占1学分、18学时,推进实验室安全教育规范化、专业化。同时,学校全面推行实验室安全准入的培训和考试工作,所有参与实验课程的学生,均须完成年度实验室安全考核,以确保具备必要的安全知识与防护能力,方可获准进入实验室开展实验活动。

1.2 完善基础化学实验室安全教育培训体系,保证安全教育落到实处

针对基础化学实验室的实际情况,并结合进入基础化学实验室的不同专业学生需求,平台着眼大处,着手小处,从实验室规章制度、实验安全隐患识别、实验课堂安全规范操作、试剂储存使用及管理、仪器设备操作规程、废液处理、应急预案等多角度,从全局安全要求到每个实验项目的细节,不断完善实验室安全教育培训体系(图1),采用授课、墙报文化、视频展播等多形式提升教育宣传实效,力求保证安全教育落到实处。

实验室安全教育培训体系以规章制度为基础,通过深入研究各专业实验项目特点与学生实际需求,制定精细化的安全管理标准及运行策略。以经典有机化学实验“浓硫酸催化下正丁醇与氢溴酸取代合成1-溴丁烷”为例,该实验涵盖基础操作训练:包括有机反应仪器使用、浓酸稀释、尾气处理、萃取分液及折光仪操作等关键安全技术要点。实验室围绕实验安全RAMP原则(Recognize hazards, Assess risks of hazards, Minimize hazards, Prepare for emergencies, 即识别危险、评估风险、监控危险、应急准备)^[9],结合学生的化学知识背景,采用清单分析法与工作危险分析法对教学实验项目进行风险识别与评估,据此编制实验安全讲义,并制定配套的实验风险检查表及实验危害分析表。该体系指导学生系统掌握实验流程,准确识别与评估风险,并针对不同实验环节实施分级管控,有效应对浓硫酸稀释放热、萃取喷溅、HBr气体泄漏、高温操作等潜在危险。

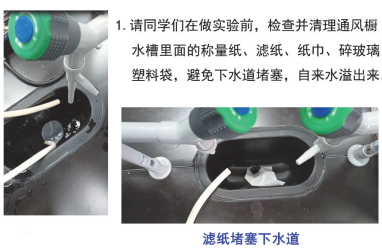
实验课堂前后,实验室都及时通过企业微信群给教师助教们通报实验安全信息和课堂问题(图

2), 有针对性地加强课堂安全引导, 规范实验操作, 提高安全防护。如挥发性、毒性或腐蚀性试剂统一放置在通风橱中, 张贴提示标签督促学生规范操作, 并配置防腐蚀的工业橡胶手套提供有效防护; 根据实验需要配置适合的容器分类收集。通过这些措施, 增强学生安全意识, 提高实验操作技能, 确保实验过程的顺利进行。同时, 实验室充分配备安全和健康防护设施和器材, 包括紧急药箱、清洁的实验服、护目镜、一次性手套、鞋套和防护裤腿等物资, 切实保障实验人员安全与健康(图3)。



图1 基础化学实验室安全教育培训体系

本次实验注意事项:

1. 请同学们在做实验前, 检查并清理通风橱水槽里面的称量纸、滤纸、纸巾、碎玻璃、塑料袋, 避免下水道堵塞, 自来水溢出来。

滤纸堵塞下水道
2. 本实验用水量, 请提醒学生尽量调小冷凝水进水量。
为了避免停水, 请大家节约用水, 开冷凝水时只需要保持胶管有一滴一滴水出来, 就好像医院点滴的流速就足够了。
点击左边视频
3. 请同学们进实验室前要配戴好护目镜, 穿好实验服和长裤。
4. 浓硫酸建议由各班助教帮助学生量取。

佩戴护目镜可有效防止液体意外溅进眼睛

非常重要

头发扎起
护目镜
实验服
手套
长裤
封闭式鞋子

本次实验注意事项:

5. 导气管插入抽滤瓶时要离开NaOH吸收液液面约1至2 cm, 防止倒吸。NaOH吸收液取50~100mL即可。
6. 加KBr进圆底烧瓶时, 要先用纸巾擦干磨口, 然后在烧瓶口上放一个纸漏斗, 用药匙把KBr粉末小心地分几次加进250mL圆底烧内, 添加完后用抹布或纸巾清洁好磨口, 确保没有KBr颗粒留在磨口, 这是要保证磨口的密封性, 避免产物在回流时跑掉。
7. 1-溴丁烷粗产物蒸出来后, 待溶液稍为降温, 可用磁力棒把搅拌子取出 (助教去帮忙), 放入清水中洗一下, 然后把含有硫酸的KHSO₄母液倒入无机废液桶里。瓶子再用自来水清洗, 但洗液不用回收, 否则整桶废液90%都是自来水。这个事项一定要提醒学生, 谢谢!
8. 过滤完的CaCl₂干燥剂和棉花可转移到250mL烧杯中, 让残余的1-溴丁烷在通风橱内尽量挥发干净, 到实验结束后再清洗。

非常重要

图2 实验安全信息与提示通报

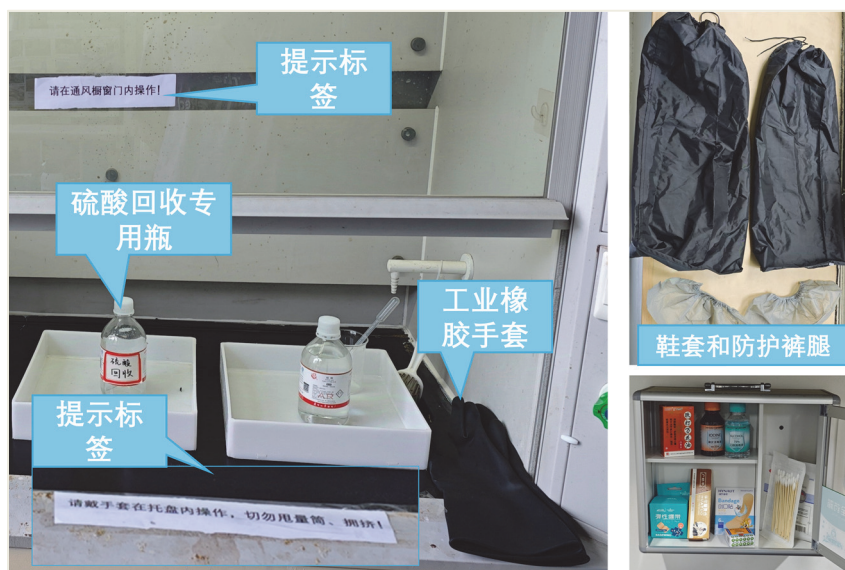


图3 实验室安全提示与防护

实验室也通过开展丰富多彩的活动,提升安全教育宣传实效,力求保证安全教育落到实处。如针对不同课程制作相应的三折页安全手册发放给每位新生,定期开展实验安全答题活动,安全月组织“实验安全海报征集活动”,优秀作品将制作放置平台进行安全海报展览等。结合活动,扩大实验室安全教育的影响,持续提升学生的安全意识和应急能力,为实验室的安全运行提供有力保障。

1.3 依托视频动态监测强化实验课堂巡查监管

实验课堂中,实验员要协助教师巡视实验室,确保学生实验操作符合安全规范和操作流程,及时解决实验中出现的问題。同时,实验员可通过实验室为了安全装配的多个摄像头从多个角度查看监控实验室情况(图4),实时查看学生操作是否规范,发现问题及时通知教师,确保实验课顺利进行。此外如果发生了危险情况也可通过监控回放寻找原因,形成安全教育案例来提醒师生增强安全防范意识。每层楼的办公室和准备室都设置了对讲机以便及时沟通、及时解决问题。



图4 1-溴丁烷制备实验监控

2 规范实验准备工作，强化实验教学管理

实验教学精细化管理必须结合实际周密设计，精心组织实施每一个实验项目，对实验准备、物资配置优化、预备实验、课堂安全与巡视、废液废渣处理、实验问题汇总探讨等都要进行详细的部署，通过细化工作流程、优化资源配置、强化实验教学管理，实现实验教学质量的持续提升。

2.1 落实7S管理办法，提高实验室效率

为了提高实验室管理的水平，平台引入7S(整理、整顿、清洁、清扫、素养、安全、节约)管理办法，贴合实验室情况制定7S管理策略(图5)，对团队、物资、实验室环境和参与实验师生等各方面进行有效管理，促进实验室整洁有序、人员管理的制度化和事务管理的规范化，加强了团队建设与管管理，保证平台各项工作有序、高效运转，为平台实现精细化管理提供了有力的支持^[10-12]。

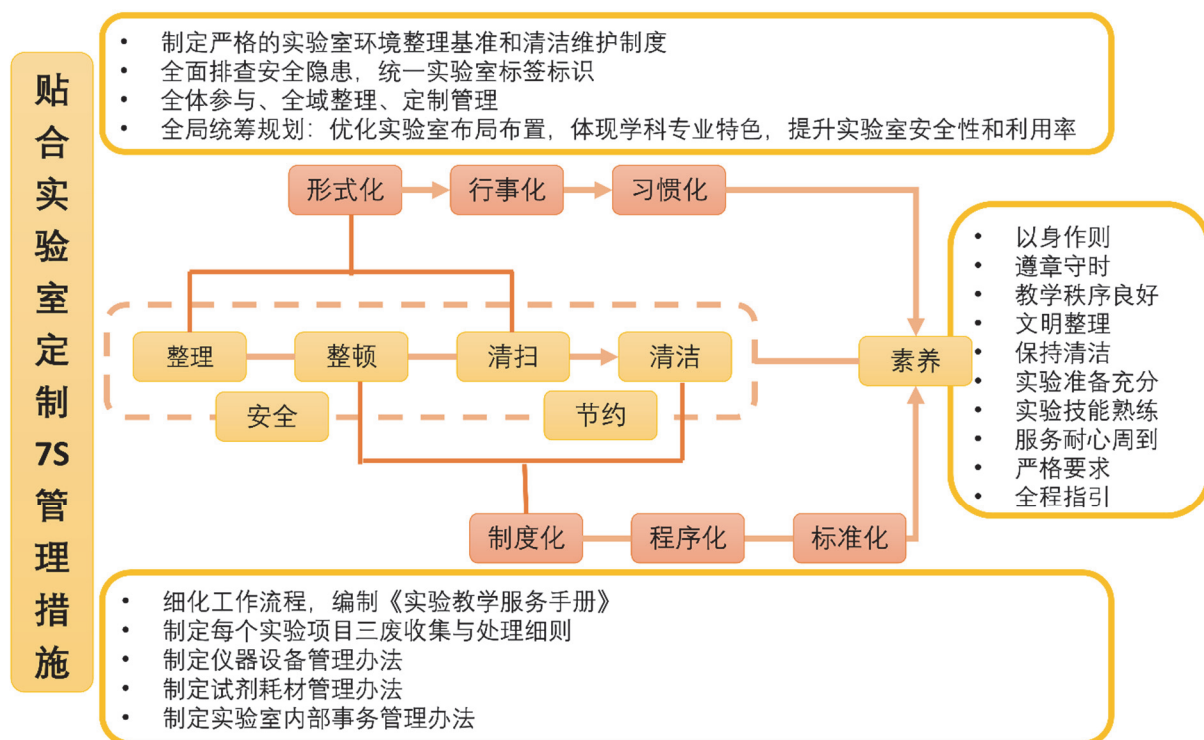


图5 实验室7S管理机制

落实7S管理，对平台2600 m²的实验室空间进行整体统筹规划布局和定置管理，有效提升空间利用率；开启全过程、全要素、全覆盖排查实验室安全隐患，统一全实验室标签标识，筑牢实验室安全防线；制定严格的环境整理基准和清洁维护制度，确保实验室持续保持清洁和美观，创造安全高效的实验环境，为建设高水平高质量实验室打下良好基础；针对实验教学、内务、仪器与试剂耗材的全程管理、三废处理及档案管理，构建全面的规章制度与高效工作流程，推动实验室管理的标准化、制度化及程序化；长期坚持与强化安全节约意识，促使实验员形成良好的规范化管理习惯。平台每学期明确并量化实验教学与实验室管理目标，细化分工、设立明确清晰的岗位职责，保障工作连贯可靠，实现人员管理制度化；编制《实验教学服务工作手册》，建立科学规范统一的实验教学服务标准和执行严格的管理制度。如开展“1-溴丁烷制备”实验有80多个平行班级，按教务安排需连续进行8-10天。平台精心规划了试剂耗材、仪器配置、实验室布局及预实验检查等环节的负责人，并根据每日课程及各班的师生情况，细致安排了每堂课值守的实验员，确保实验顺利进行。

落实7S管理，平台定期审视工作与队伍建设，及时发现问题并改进，这种全员参与、成效显著

的模式激发了工作热情,使实验员理论与实操结合,提升专业素养、工作效率。实验员团队形成了团结、和睦、进取、向上的工作气氛,和谐竞争、有序互助的良好工作氛围形成了强大的工作学习动力,近三年来团队共研提交了三项本科质量工程项目申请,拍摄多个安全视频和发表了多篇教学论文。

2.2 强调数据收集统计及分析,优化资源配置,提升实验室效益

科学的精细化管理要尽力使每一个管理环节数据化,尽量做到有依据可循,遵循严谨细致的工作作风。而通过数据总结分析来指导决策,利于优化人力、物力和财力资源的合理分配,利于资源配置优化,能最大限度地提高资源利用率,提高实验室效益。

我们秉持精细化管理理念,将管理细致到每个实验项目,注重各类数据的收集、统计与分析。借助数据统计对比,能够迅速洞察问题并制定相应改进方案。以试剂耗材管理为例,通过数据分析,能够精准掌握实验室易损耗玻璃仪器的排名,深入调研学生的使用习惯,及时发现潜在问题,并据此提出切实可行的解决办法;通过数据分析各种耗材的不同品牌、材质的优劣和性价比,选取最优货品,提高实验效益;通过数据分析各学期的试剂使用和废液回收情况,制订详细的预算编制、采购计划和废液处理方案,厉行节约、环保;通过数据分析每个实验项目中产生的每类废液废渣情况,逐一制定方案精准处理,如酸碱中和后排放,乙酸乙酯等有机试剂能回收重蒸使用的实验室也自行处理,减少废液废渣的产生量,降低教学运行费,提高实验室效益。

同时,我们每学期对每个实验项目每节课上发现的实验操作疑难点、易错点和解决办法等各类问题也进行收集,及时分析探讨,不断改进提高实验教学效果。

2.3 加强教学过程精细化管理,提升实验教学质量

为了切实提高每一个实验项目的教学质量,应用精细化管理的理念,平台在实验教学中建立PDCA循环(Plan-Do-Check-Act,计划-执行-检查-行动)持续改进机制,如图6所示。

① 计划。实验伊始,实验室做好学期计划统筹:根据教学任务做好排课排位;根据历史数据和经验预测采购准备物资材料;合理分配安排团队人员工作,同时结合集体备课会,进一步明确实验教学目标,精准把握教学大纲和实验内容,调整实验准备工作手册以达成教学要求和教学标准的高阶性和一致性^[13]。

② 执行。目标计划明确后,紧接着就是落实各项实验准备工作:配制试剂、准备耗材物资、调试仪器、布置实验室,组织工作组内部检验实验和教师助教预备实验,确保实验教学过程规范有序;实验课开展期间,实验员要以严谨之心践行细致服务,协同教师随堂巡视,发现问题及时解决,确保课堂上不出现疏漏。

③ 检查。课后通过师生反馈、实验室工作日志、实验室值堂笔记、学生的实验报告及成绩分析,以及开展师生问卷调查等方式,收集实验教学中出现的问题和师生对实验室工作的意见、需求及建议,盘点总结学期各实验项目试剂耗材损耗情况,统计各项数据,以此评估实验室工作情况并开展分析改进。

④ 行动。根据检查结果,优化改进实验细节,设计更加环保、安全、有效的实验方案,自制开发更环保实用的教学设备,更新完善实验准备工作手册,制作标识提示学生废液合理回收,制作实验室安全教育视频等,形成持续改进的闭环。

PDCA循环的应用,不仅促进了实验教学质量的稳步提升,还增强了教学活动的灵活性与适应性,为培养具有创新精神和实践能力的高素质人才奠定了坚实基础。

3 持续改进和创新,优化改进实验室工作

精细化管理是一个持续改进和创新的过程。平台以教学实践中出现的问题为导向,探索解决问题的实验教改方案与实验室管理办法,不断提高管理水平、工作效率和实验教学质量。

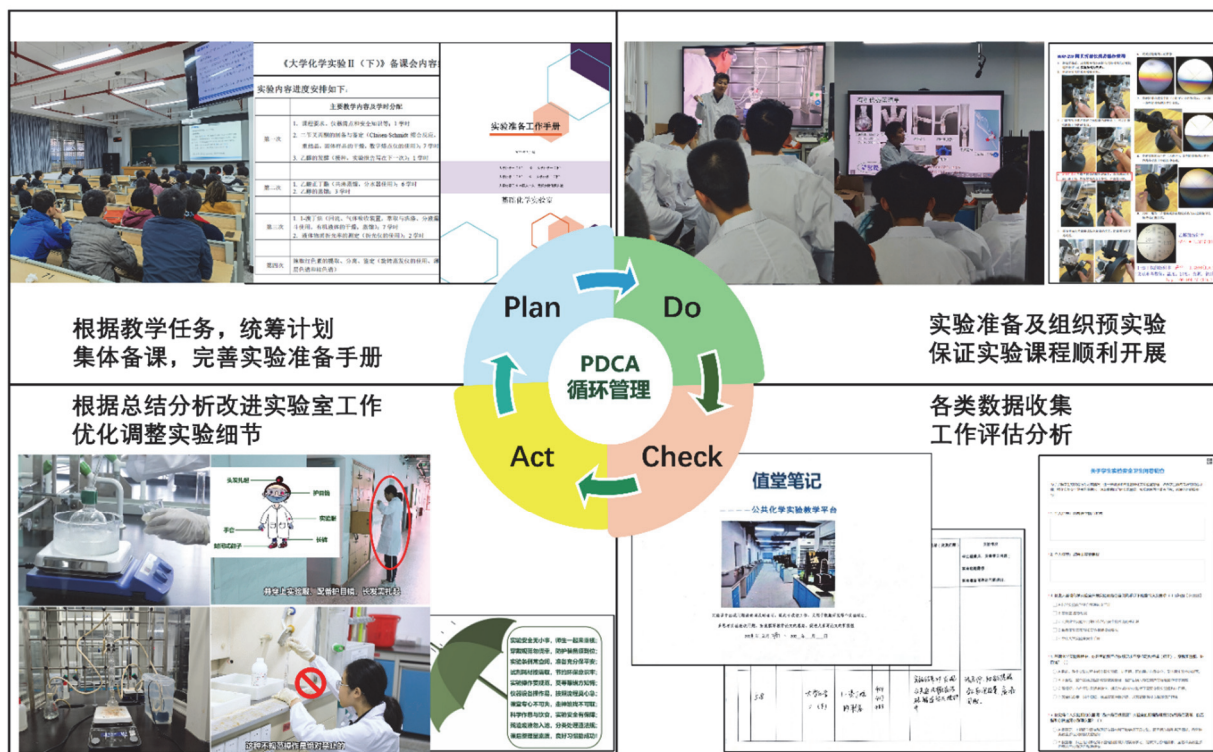


图6 PDCA循环改进机制应用于实验教学

3.1 持续实验改进与创新, 优化实验流程

平台开设了七门实验课程共计近70个实验项目, 实验室对每个实验项目实施都进行了深入探讨研究, 考察每一次实验课堂实际情况, 并与教师、助教、学生积极沟通, 及时发现问题, 不断优化改进实验方案, 提高实验课效率。在1-溴丁烷制备实验中, 我们就做了以下的实验改进(图7): ① 改进存在安全隐患的实验操作流程, 如浓硫酸稀释操作环节优化为将浓硫酸在冰水浴、搅拌的条件下在圆底烧瓶中稀释, 再加入溴化钾和正丁醇, 之后撤去冰水浴进行加热回流, 这一操作只需在同一个烧瓶中进行, 减少操作步骤, 降低浓硫酸稀释风险。② 本实验使用带有吸管的抽滤瓶代替倒置的漏斗吸收装置, 可以在反应中吸收、反应结束后抽气除去装置中剩余的HBr气体。③ 自制节水型低温冷却液循环装置。有机化学实验中在蒸馏和回流操作过程中都采用自来水冷凝, 虽方便, 但存在两个问题, 一是天气热时冷凝效果较差; 二是水资源严重浪费。平台每天会有约300人上课, 用水量极大, 甚至会出现供水不足、无法冷凝的情况, 并因此引发实验事故。于是我们自制节水型低温冷却液循环装置, 装置包括水箱、潜水泵、各进出水口等, 可用温度计时刻监控冷却水的温度, 保证冷却效果。所述装置还包括箱体, 箱体顶部为推拉结构, 可随时加冰, 箱体底部有换水龙头。装置占地面积小, 嵌入实验台的蒸馏架中不妨碍学生实验操作。

3.2 积极开展深度调研与互动反馈, 不断优化实验室管理体系

建立持续师生信息反馈机制将促进有效改善教学质量^[14]。平台每学年都开展不同形式的师生调研工作。2023年度中心党支部联合多个教师、学生党支部发起“共研共建拓思路, 凝心聚力促提升”师生党支部共建党日活动, 活动聚焦实验教学质量提升, 促进了师生间的交流沟通, 提高了平台实验教学服务质量, 活动包括前期师生问卷调研、师生交流座谈会、总结整改行动三个部分。

学生问卷调研了学生对实验室规章制度的了解程度、安全卫生环保意识、实验规范性、学生意见与建议等问题, 助教问卷调研主要了解助教课前准备、教学实施状况、工作中面临的挑战以及对实验室改进的具体建议等。共回收1072份学生问卷和60份助教问卷。为了更深层次地洞悉学生想法

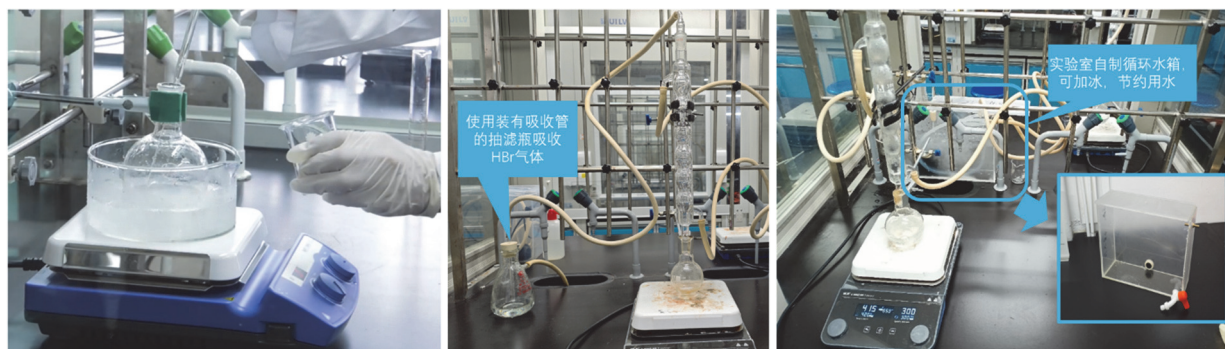


图7 冰水浴稀释浓硫酸(左); 改进的气体吸收装置(中); 自制循环冷凝水箱(右)

和助教的工作情况与实际需求, 师生座谈会邀请指导教师、部分助教和学生就实验课开展及实验室管理问题进行了深入的交流与探讨。实验教学中助教既扮演了教师的角色又同时能深刻了解学生的需求与情况, 对如何提高实验教学效果有深刻的理解, 他们既对教师、实验员提出了中肯的建议, 又对学生提出了有效的学习方法和学习要求。活动形成了《实验课程助教行为规范倡导书》, 实验室也根据师生建议落实整改工作, 致力于为学生营造一个良好的实验教学环境, 以全面培养学生的学习能力、思维能力和实践能力, 助力他们在学术探索的道路上不断前行。

4 结语

实验教学精细化管理的关键在于将管理措施落实到每个实验项目。平台将精细化管理理念贯穿于每个实验项目的实施全过程, 注重“精研、细化、做实”, 深入研究各项目实验安全、实验准备、资源配置优化、课堂教学质量与实验教学改革等方面的细节内容。制定详细的实验项目开展方案, 将工作细化、量化、具体化, 把项目实施的海量细节约束在各个岗位的职责范围内, 严格按时间按要求落实各项工作, 动态监控实验开展情况并及时反馈, 不断持续改进优化。项目的精细化管理模式使实验室运行目标明确、有的放矢, 更加游刃有余、高效安全, 同时对实验项目的深入研究也助力推动了实验教学改革。

参 考 文 献

- [1] 赖璐, 朱芳, 许先芳, 张再利, 彭敏, 李洁. 大学化学, **2023**, *38* (12), 127.
- [2] 赖璐, 李洁, 许先芳, 胡水, 陈滔, 李厚金, 胡谷平, 陈洪燕, 朱芳. 大学化学, **2024**, *39* (4), 33.
- [3] 赖璐, 李厚金, 林志强, 庞冀燕, 邵光, 赵晓丹, 朱可佳, 陈六平. 大学化学, **2020**, *35* (7), 8.
- [4] 翁玉华, 许振玲, 潘蕊, 张春艳, 吕银云, 阮婵姿, 董志强, 阮永红, 张来英, 方雪明, 等. 大学化学, **2022**, *37* (7), 2109085.
- [5] 王周, 赖璐, 彭敏, 郑赛利, 李莲云, 朱可佳, 许先芳, 陈六平, 石建新. 大学化学, **2018**, *33* (10), 39.
- [6] 杨国鑫, 杜姣姣, 张向荣, 白艳红, 郑阿群. 大学化学, **2022**, *37* (1), 2103045.
- [7] 杨玲, 吕明泉, 杨德胜. 大学化学, **2010**, *25* (6), 23.
- [8] 李芳, 刘阳, 韩杰, 邱晓航. 大学化学, **2024**, *39* (4), 48.
- [9] 赖璐, 朱可佳, 李厚金, 许先芳. 大学化学, **2020**, *35* (7), 123.
- [10] 赖璐, 许先芳, 朱可佳, 彭敏, 李莲云, 王周, 郑赛利, 陈六平. 大学化学, **2019**, *34* (2), 44.
- [11] 吴新良, 曾海泉, 刘建春. 实验科学与技术, **2015**, *13* (4), 175.
- [12] 吴茜, 刘中华, 陈旭峰, 李旭伟, 卫渊. 实验科学与技术, **2022**, *20* (1), 144.
- [13] 刘刚, 张恒, 马莹, 苑世领, 宋其胜, 徐政虎, 孙继超. 大学化学, **2024**, *39* (4), 70.
- [14] 闫瑾, 童程霞, 李雅洁, 谷月, 屈学俭, 魏士刚, 朱万春, 郭玉鹏. 大学化学, **2024**, *39* (7), 69.