

化学实验室废弃物安全管理和处理研究

李召虎², 王为东², 刘宇昊¹, 韩明哲¹, 魏灵灵¹, 焦桓^{1,*}

¹ 陕西师范大学化学化工学院, 西安 710119

² 陕西师范大学实验室建设与管理处, 西安 710119

摘要: 随着高等教育事业的不断发展和国家对人才培养、科技强国的大力投入, 高校实验室废弃物安全管理和规范处置已成为关乎绿色平安校园建设和人类社会可持续发展的重要保障。本文归纳了化学实验室废弃物的类别与特点, 从涉及范围广、人员流动大、废弃物杂繁多、安全环保意识不足和管理不够健全五个方面分析了目前废弃物管理和处置中的问题所在, 结合学校、学院与当地企业的实际情况探索出一套集结安全环保教育、教学科研实验规划、制度细则完善落实、信息化高效支撑于一体的闭环式管理与处置实践模式, 以期为实验室废弃物处理提供参考。

关键词: 化学实验室; 废弃物; 安全管理; 处置

中图分类号: G64; O6

Research on the Safety Management and Disposal of Chemical Laboratory Waste

Zhaohu Li², Weidong Wang², Yuhao Liu¹, Mingzhe Han¹, Lingling Wei¹, Huan Jiao^{1,*}

¹ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China.

² Laboratory Construction and Management Division, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China.

Abstract: With the continuous development of higher education and the significant investment in talent cultivation and technological advancement by the country, the safety management and proper disposal of laboratory waste in universities have become crucial for the construction of environmentally-friendly and secure campus and the sustainable development of human society. This paper categorizes and describes the characteristics of chemical laboratory waste, and analyzes the current issues in waste management and disposal from five perspectives, extensive coverage, high personnel mobility, diverse and complex waste, insufficient safety and environmental awareness, and inadequate management. By taking into account the specific circumstances of schools, colleges, and local enterprises, a closed-loop management and disposal practice model is proposed, which integrates safety and environmental education, experimental planning, implementation of institutional regulations, and efficient information support, aiming to provide a reference for the treatment of laboratory waste.

Key Words: Chemical laboratory; Waste; Safety management; Disposal

实验室是高校开展实验教学、实践训练、科学研究和社会服务活动的重要基地, 是全面实施人才培养的重要载体^[1-3]。随着科学技术的发展以及国家对高校教学科研事业的大力支持, 高校实验室

收稿: 2023-12-26; 录用: 2024-02-19; 网络发表: 2024-02-23

*通讯作者, Email: jiaohuan@snnu.edu.cn

基金资助: 教育部产学合作协同育人项目(221004650114435, 221004650113758); 2024年教育部实验教学和教学实验室建设研究项目(SYJX2024-068); 2023年度陕西本科和高等继续教育教学改革研究项目(2023099); 2023年陕西省学位与研究生教育研究项目(SXGERC2023049); 陕西师范大学2023年校级综合教改项目(23JG06)

建设与配置愈发规范和先进,为了助推高校“双一流建设”和适应教育数字化的发展需求,实验室建设和管理需要尽快从规模化发展往内涵式发展方向转型调整。高校实验室环境和条件改善、经费投入、科研人员引进,以及招生规模扩大和教育教学不断改革极大推动了人才与成果产出,但同时也带来一些亟待解决的关键问题。其中,如何管理和处置与日俱增的实验废弃物已成为高校实验室安全工作的焦点和难点之一^[4-6]。

化学类实验室废弃物具有成分复杂、种类多、范围广、物量大和毒性强等特点,处置工作稍有不慎就会引发安全事故,同时还会对环境造成严重污染^[7]。因此,建立实验室废弃物管理制度,加强安全培训,强化师生安全与环保意识,提升实验技术人员业务水平,规范实验安全操作,借助信息技术对废弃物进行全过程、全方位、全周期的闭环式精细化管控,在保障实验工作安全顺利开展的同时,对于推进平安校园和绿色校园建设具有重要意义。本文依据国家相关部门出台的各种规章制度与法规标准要求,参考兄弟院校先进的经验与方案,结合学校与学院近年来在实验室废弃物安全管理与处置方面的思路与实践工作,将教育部《高等学校实验室安全规范》中提出的“安全第一、预防为主、综合治理”方针落到实处^[8]。

1 化学实验室废弃物的类别与特点

依据《国家危险废物名录》(2021年版),化学实验室在开展实验教学、实践训练和科学研究活动中所产生的废弃物属于HW49其他废物类别,主要包括气体、液体和固体三种形态,其危险特性表现为毒性(T)、腐蚀性(C)、易燃性(I)和反应性(R)四个方面。

表1列出了化学实验室常见废弃物的类型及主要特点。其中,气体废弃物主要包括无机废气(硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物、硫化氢、氨气、卤素及其化合物等)和有机废气(烃类、醇类、醛类、酮类和胺类等),具有种类杂、分布散、不连续等特点,即使少量的排出也会对人体健康和环境质量带来不利影响,但在实际实验中由于单次产生量少且气体扩散性强,往往最容易被忽视或者未加重视而随意排出。

表1 化学实验室常见废弃物及主要特点

形态	种类	典型特点
气体	无机废气: 硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物、硫化氢、氨气和卤素等 有机废气: 烃类、醇类、醛类、酮类和胺类等 性质: 有刺激性气味气体、有毒气体、易燃气体、发火气体、化学性质不稳定气体、氧化性气体、加压气体等	分布散、不连续、 易被忽视
液体	无机废液: 酸性、碱性、含重金属离子、含硫、含氟和含氰废液等 有机废液: 油脂类、含卤素类和不含卤素类 性质: 一般液体、有毒液体、腐蚀性液体、易燃液体、自燃液体、热不稳定性液体、氧化性液体等	来源广、范围宽、物 量多,但相对恒定
固体	实验过程产生的泥状或固体物质、过滤介质、反应容器、碎玻璃、锐利器、空试剂瓶、废纸废弃包装、口罩手套、以及动物尸体等 性质: 一般固体、利器类固体、有毒固体、腐蚀性固体、易燃固体、自燃固体、热不稳定性固体、氧化性固体、遇水易反应固体等	管理和处置难度大、 不确定因素更多

液体废弃物分为无机废液和有机废液两大类。无机废液主要为酸性、碱性、含重金属离子、含高反应活性的酸根离子、含硫、含氟和含氰废液等。有机废液包括各种有机溶剂以及与有机反应相关的各种反应物、中间产物和生成物液体等。在处理的时候通常按照油脂类、含卤素和不含卤素类

进行细分^[9]。化学实验室所产生的液体废弃物具有来源广、范围宽、物量多和危险强等特点，但从其源头、种类和产生量方面来分析，无论是在教学实验还是科研实验中都呈现出相对恒定性。

固体废弃物包括实验产生的泥状或固体物、过滤介质、被药品沾染的反应容器、碎玻璃、锐利器、空试剂瓶、废纸废弃包装、口罩手套，以及生物化学实验中用到的动物尸体等。固体废弃物由于来源更多、范围更广、成分更杂，导致其管理和监控难度大、处置时面临的不确定因素也更多^[10-12]。

2 化学实验室废弃物管理与处置中的难点与问题

2.1 涉及范围广

由于承担着人才培养和科技攻关的重要使命，高校化学实验室往往分布着同一大类不同学科不同研究领域和不同研究方向的若干多个科研实验室以及实施不同实验教学任务的教学实验室。本校化学化工学院共涉及20多间教学实验室和100多间科研实验室，包含无机、有机、分析、物化、高分子、应化和化工7大类别。近年来实验室年废弃物排放总量都在80吨以上，具有种类繁多、成分杂、源头多和数量大的特点，安全工作涉及到化学化工学院的所有师生、实验技术人员、管理人员，甚至包括实验楼保洁人员，牵扯到的空间、人员和物品范围都很广泛，导致废弃物管理和处置实施“全过程、全方位、全要素、全覆盖”的难度较大。

2.2 人员流动大

每年一度的学生毕业与新生入学使得科研实验室和教学实验室都呈现出人员流动性强的问题。科研实验室参与人数众多，实验课题各不相同，而且实验任务接连不断，再加上近年来一些科研人员的持续引进以及实验室研究方向的不断拓宽，导致每个实验室所用到的原料和产生废弃物情况大有不同。教学实验室的实验内容和教学活动相对来说更具有规律性，但随着实验教学改革的深化与发展，实验教学内容也在与时俱进和不断更新，还要承担本科生的实验创新、实验竞赛与实验开发等活动，导致教学类实验室废弃物管理和处置的难度也越来越大。

2.3 废弃物种类繁多

不同种类的废弃物，其预处理、存放、转运和处置的要求各不相同。高校实验室废弃物整体表现出种类繁多、成分复杂和数量庞大等特点，如果未加处理或者处理方法不当，势必会带来严重的安全事故和环境问题。为了避免造成安全隐患和对废物后期处置带来过多的困难，废弃物管理要以精细化为抓手，尤其要对易制爆、易制毒和易燃物高度关注。同时，废弃物的杂繁多使其在正确分类、科学甄别、规范管理和安全处置等方面都给实验操作人员、实验技术人员和实验管理人员提出更专业的要求和更高的挑战性。

2.4 安全与环保意识不足

实验室安全的核心是所有人员的安全意识。例如我院某次实验教学中，尽管实验教师反复强调CO₂相对分子量测定实验中的干燥用浓硫酸要单独回收处理，碳酸氢钠溶液需要用盐酸与石灰水反应之后的含酸废液处理后再倒入无机废液桶中，但仍有一学生将浓硫酸和碳酸氢钠两种液体直接混合，造成了气体带着酸液大范围喷溅到面部的安全事故。虽然事发当时学生有佩戴护目镜，再加上及时使用实验室洗眼器冲洗，把伤害降低到最低程度，但事后仍让人心有余悸。分析其原因，主要在于学生从心理和思想上没有树立牢固的安全意识，这与他们前期受到的化学学科教育，以及所形成的化学思维和专业素养有关。教师在进行安全教育的时候往往过于强调结果或者结论而疏忽对其原因的探讨，导致学生习惯于机械式开展具体操作，而缺乏专业性和全面性的深思熟虑。在氧化型石墨烯的湿法制备实验中，高锰酸钾、浓硫酸、硝酸钠和碳粉混合很容易出现安全事故，然而实验教学不能因噎废食，我们在课堂教学中组织学生分析讨论该实验的安全隐患和具体原因，以及如何控制反应条件和反应过程从而强化全体师生的安全意识，提升实验安全操作技能，对于学生全面化培养和实验教学的顺利开展至关重要。更为关键的是，废弃物的产生、管理和处置每一个环节都离

不开人,所有人员的绿色化学和环境保护意识是落实各项安全管理规定与制度要求的核心所在。

2.5 管理不够健全

众所周知,建立系统的实验室管理制度是保障实验安全和各项工作顺利进行的唯一法宝^[13]。目前大多高校都在实行“学校-学院-实验室”三级联动管理机制。学校相关部门会根据国家制度与要求,结合学校所在地区的经济与废弃物处理工业实际情况,从整体角度宏观部署,建章立制,并落实监督检查;学院在具体环节方面进行专业性分析,制定细则,督促完成,实时监管;实验室的相关负责人则需要从实验室实际出发,完善入微,细化落实,推进人人参与,实施专人专管。但从实际执行角度来说,由于废弃物管理与处置周期长、不间断、范围广,再加上相关人员数量多、流动大、意识弱等问题,废弃物管理过程缺乏信息化辅助手段难以做到高效管控,往往会造成有查才严,有监才做,有罚才应,导致制度要求形同虚设。

3 化学实验室废弃物安全管理与处理实践

3.1 实验安全教育入心入脑、实验安全管理责任到人

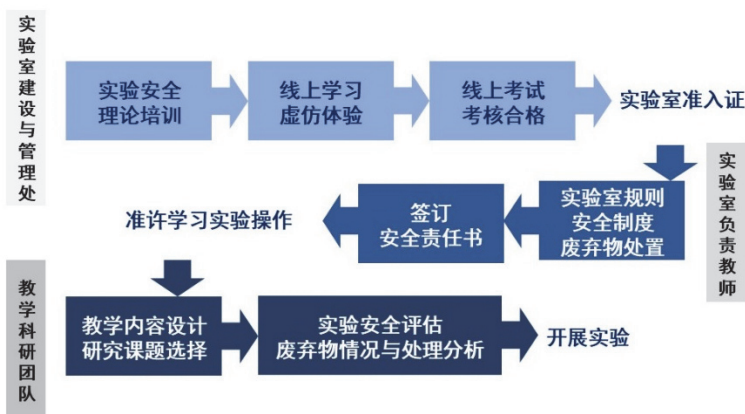
加强教育、强化培训是做好废弃物安全管理与规范处理的基本前提。增强安全意识和树立环保观念需要所有师生和相关工作人员的高度重视与积极参与。目前学校已形成由实验室建设与管理处牵头组织,各学院实验中心主要承办,相关实验室所有师生全员参与的培训与学习模式,如图1所示。每年9月初学校安排专职实验技术人员组织新入职教师、新入学本科生和研究生开展实验通识理论教育,学院结合化学学科和实验室特点组织学生完成实验安全虚拟仿真线上体验,并要求学生于规定时间在线上平台依次进行实验安全学习、仿真练习和考核测试,成绩达标(80分以上)才能获得实验室进出许可证。在进入实验室后,再由实验室具体安全责任教师进一步强调实验室安全注意事项,讲解实验室废弃物管理与处置要求,师生双方以实验室为单位签订《实验室安全管理和废弃物规范处理责任书》,将安全责任落实到个人,每个实验室实现“专人专管”。每年11月份为学校的实验安全活动月,学院都会举办多种实验安全消防演习,实验安全知识竞赛,安全微视频和实验科普海报制作比赛等相关活动,营造“人人学安全、个个守规范”的实验室安全文化氛围。

学院专设由实验安全分管领导、实验管理人员、专职实验技术人员和各科研团队指定的安全工作联络员组成的安全工作小组,于每周四下午全面开展实验室安全检查工作。其中非常重要的环节就是对各实验室废弃物安全存放和规范处置达标情况进行检查,一经发现问题,除了对实验室相关成员进行批评教育和行为曝光,还对实验室所在科研团队进行实验安全扣分,以此作为团队年终实验安全量化考核的重要组成部分,做到制度明晰、执行有力、公正公平、责任明确、奖罚分明。在教学实验室,学院要求所有实验教师在开展实验课程教学过程中强化课程思政中的实验安全与绿色化学意识教育^[14],将绿色化学12原则和可持续发展环保理念^[15]传达给每一位学生,每个实验中都要具体分析废弃物的特征和强调处理措施,要求学生在实验实施过程中严格执行,并将实验安全和废弃物处理纳入到实验过程量化考核中。

3.2 科研实验科学评估、教学实验精选设计

绿色化学的核心是从源头上减少和消除实验对环境的污染^[16]。在确保实验项目顺利高效的基础上,如何从废弃物产生的源头进行有效控制,需要从实验方案规划、实验流程设计、实验药品选取、药品用量限定等方面进行综合分析和提前部署。“减量化、资源化、无害化”是从源头上进行有效管控的三大原则^[17-19]。科研实验虽然单次产生废弃物量少,但由于实施频繁、实验数目多、人员范围广,有些实验室甚至全年无休,占学院废弃物总量的2/3以上。针对各项科研活动(包括科研项目选题、学生研究型实验和毕业设计选题、硕博研究论文选题等),科研导师除了对开展实验研究所涉及的安全风险、安全防控和安全应急等进行综合分析和预判之外,还需要指导学生运用绿色化学理念全面审视实验课题,实验是否使用到危险化学品试剂?实验过程是否安全可控?实验气氛、所用溶剂和相关产物是否易燃易爆?实验废弃物都有哪些、各有什么危险特性、以及是否容易处置?实验原

料是否可替换、药品用量如何限定？等问题，并要求所有实验操作人员在整个操作期间密切关注实验三废的产生，做到实时监控、科学规范和及时处理。对于一些高风险或高污染实验，科研导师及团队还要对其是否有必要开展实施进行科学评估。



(a) 实验安全准入流程



(b) 实验安全线上学习与准入考试



(c) 实验安全演习



(d) 实验废弃物不规范处理曝光

图1 实验安全教育主要内容

相比科研实验，教学实验在废弃物产生方面更具有灵活性和可控性。首先需要加强实验课程中

的安全内容建设,积极实践课堂思政,强化安全防护意识和绿色理念。其次是实验内容的选择,在满足实验课程教学目标的前提下,尽可能满足“减量化、资源化、无害化”原则,对于一些高风险或使用极端条件的实验,可以选择实验原理和实验技能训练接近的其他类似实验代替,也可以使用虚拟仿真实验进行辅助性教学。比如无机化学实验中,我们引入了 $\text{K}_2\text{GeF}_6\text{-Mn}$ 红色荧光粉的化学共沉淀合成、结构表征与应用实验。实验中要使用氢氟酸,考虑到实验安全和废弃物处理,我们在线上课程平台中配套提供理论讲解视频、重要操作视频以及实验过程视频,专门讲解了氢氟酸的安全操作、正确处置以及相关注意事项,学生完成视频学习之后在手机Mlabs-Pro程序中以考核方式完成该虚拟仿真实验,如图2所示,并将成绩图片提交给实验教师,最后完成实验小论文和线上实验测试。在实验内容的前后设置上,需要充分考虑到废弃物的再利用问题。比如,在学生完成软锰矿制备高锰酸钾实验后安排其进行氧化型石墨烯的制备,可以把软锰矿制备高锰酸钾的产物作为对石墨进行氧化的原料,实现了原料的资源化利用。将氯气氧化锰酸钾溶液之后尾气处理得到的 NaClO 溶液,应用于硼镁泥实验中氧化 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 的氧化剂,在解决尾气处理的同时实现对回收液进行再利用。



图2 使用氢氟酸的无机化学线上实验

3.3 校-院-室-人四方联动细化制度、明确要求、严格落实

学校实验室建设与管理处依据国家相关规定和要求,结合学校的废弃物情况与当地具有资质的处置企业能力制定了详细的《废弃物处置实施细则》,整体实施“原点处理、分类收集、定点存储、及时转运、统一处置、责任到人、节约用量”的原则,目前是按照14种类别进行收集和处置(含卤有机废液、不含卤有机废液、无机一般废液、无机重金属废液、剧毒废液、废旧化学试剂、废旧剧毒化学试剂、手套口罩、锐器、固体废弃物、空试剂瓶、罐装化学气体、放射性废弃物和实验动物尸体),图3给出了各类废弃物分别收集和处理的建议方式,以供参考。其中,剧毒类试剂属于管制品,配有专器专柜,从购买、存储、领取、使用、回收和处理各个环节都由学院实验中心安排专职实验员严格遵循“五双”制度(双人验收、双人收发、双人保管、双把锁和双本账),做到实时实量实录实态监管。各实验室划定专门的实验废弃物暂存区并设置分类,收集区上方墙面张贴实验室废弃物安全处置指南、分类标识(文字和图标)和废液废物记录单(化学性质或处理方法不相容物质不能混装混放)。收集废弃物用桶、箱、袋上必须贴有废弃物信息单和对应二维码(按要求录入系统审批完成后自动生成,一般包括废物名称、废物代码、废物形态、废物类别、危险特性、主要成分、有害成分、注意事项、数字识别码、产生实验室、收集单位、联系人、产生日期和废物重量),先置于实验室废弃物暂存区,按相关要求预留一定空间集满后及时转至学院对应废弃物暂存柜中,再由相关处理企业

统一转运和处理。具体制度和要求有对应的文件和细则可以学习，学院每个实验室指定有安全负责教师在学生获得实验室准入许可证后统一给学生讲解，每个实验室还要求每年指定两名研究生作为安全员，辅助督查实验室安全和废弃物处置，并于每周四组织安全小组检查通报相关具体情况。

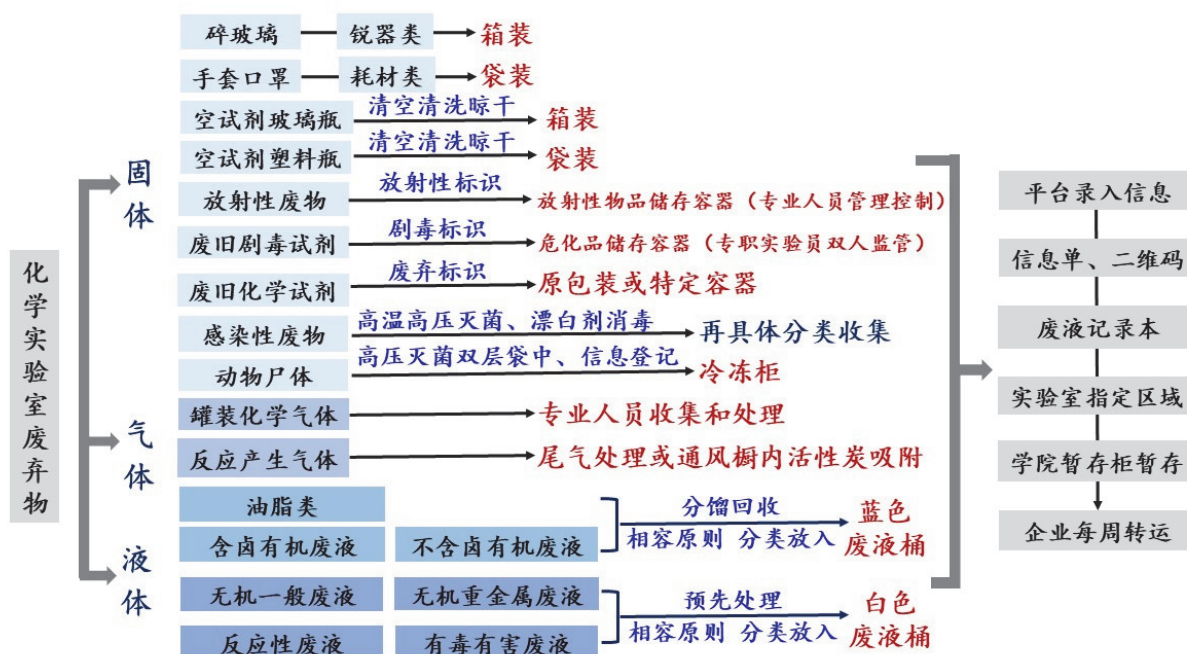


图3 各类废弃物分别收集和处理的建议

3.4 信息化助推废弃物高效管控、构建试剂耗材闭环管理

随着高等教育数字化的推进，实施实验室安全管理信息化建设已成为必然趋势^[20-22]。有效的信息化辅助手段不仅可以提高所有数据的采集、审批和汇总工作效率，而且有助于试剂耗材从采购(审批)、存储(管理)、使用、处置等环节形成可溯源、可追踪、可协调、不浪费的全过程闭环管理模式。实验室建设与管理处针对不同类型的试剂耗材制定了相应流程，在同一平台统一入库，实施线上全方位管控。每个实验室试剂耗材相应负责人员在征求相关教师同意后，首先提出采购或处置申请，学院安全管理人员审批后，再由实验室建设与管理处具体负责人员审核确认，具体过程如图4所示。其中，实验室废弃物处置模块包括提出申请(同意后领取对应包装、学院报表备案)，废弃物信息录入(审核通过后生成废弃物信息单和二维码)，申请转移至废弃物暂存柜(同意后扫描手机码开门放于指定位置)，补充信息(通过废弃物信息单中二维码录入重量和存放位置)后提交。学院和学校实验室安全管理人员可在系统中查询、汇总、统计各实验室废弃物处置情况，便于发现问题并及时解决，也为后续的改进完善提供详实的数据和技术基础。信息化平台的建设和使用可以实现对试剂耗材的实时监控，还可以辅助实现试剂耗材的院内转用，做到物尽其用，从源头上高效利用物质资源，降低了不必要的废弃物产生量，极有利于推动落实绿色环保和可持续发展理念。

4 结语

高校实验室作为开展实验教学、实践训练、科学研究和社会服务活动的重要基地，是全面实施人才培养和助力科技强国的重要载体。随着高等教育事业的快速发展和国家对教学科研事业的大力支持，实验室条件设备在愈发先进的同时，也带来了试剂耗材浪费和废弃物增多等问题，如何安全

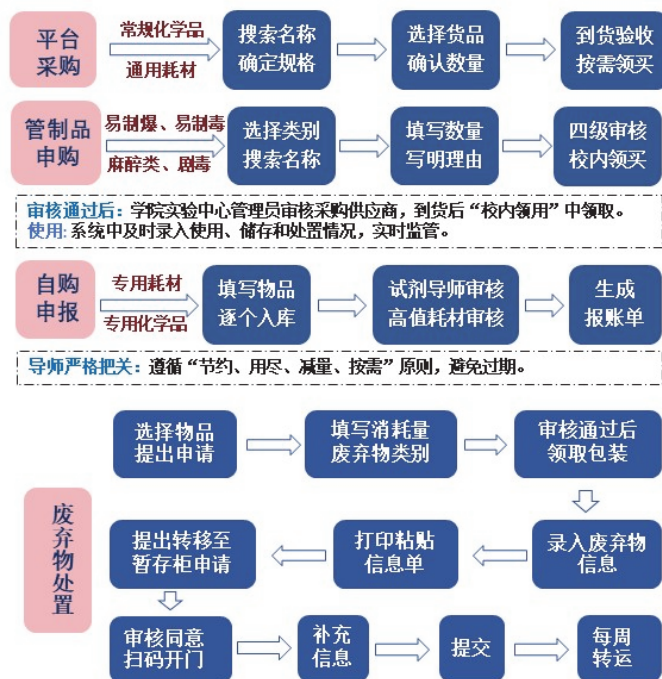


图4 实验室试剂耗材管理流程

管理和科学处理废弃物已成为众多高校实验室的关注焦点。本文所涉及的模式与方法在强化师生安全意识和可持续发展理念的同时，有助于提升专业人才的实践性与应用性，近年来，本院所培养的非师范本科生和材料与化工专业型硕士在山东京博控股集团有限公司实训基地，通过参与企业化工安全生产和安全研发实践工作，进一步深化服务社会意识和提升安全管理能力，有助于实现高校、人才与企业的顺利对接与同频共振。

作为一项长期性、有挑战性的工作，既需要财力和技术的支持，也需要学校、学院、师生、政府和企业多方协同推进，同时还要不断学习国内外的先进经验，在强化安全环保教育的同时，从思想、制度、行为、责任、信息等角度着力落实，在探索有效可行的理论和实践基础上不断完善发展，为高校“双一流”建设保驾护航。

参 考 文 献

- [1] 向丹, 白艳红, 王耿, 高培红, 张志成. 实验室科学, 2022, 25 (3), 214.
- [2] 傅志刚, 潘蕾, 王峥, 施方也. 实验室技术与管理, 2022, 36 (9), 242.
- [3] 吴中全, 李朝明, 刘峰. 实验技术与管理, 2020, 37 (11), 12.
- [4] 朱平平, 冯红艳, 金谷, 查正根, 郑媛, 兰泉, 高明丽, 盛翔. 大学化学, 2017, 32 (12), 48.
- [5] 阮俊, 汤凝, 张银珠, 金海萍, 章薇, 冯建跃. 实验室研究与探索, 2020, 39 (5), 307.
- [6] 刘雪蕾, 吕明泉, 潘锋. 大学化学, 2020, 35 (2), 75.
- [7] 徐萌, 聂小鹏, 夏泽宇. 实验室管理, 2023, 48 (5), 23.
- [8] 教育部办公厅. 教科信厅函[2023]5号. 教育部办公厅关于印发《高等学校实验室安全规范》的通知. [2024-02-23] http://m.moe.gov.cn/srcsite/A16/moe_784/202302/t20230220_1045998.html
- [9] 赵晟博, 王振兴, 吕宝刚. 实验室科学, 2022, 25 (3), 218.
- [10] 包容, 饶艳, 代明. 实验室技术与管理, 2022, 39 (11), 249.

- [11] 刘雪蕾, 李恩敬, 刘克新. 实验技术与管理, **2020**, 37 (4), 270.
- [12] 常生华, 古丽君, 张程, 吴淑娟, 侯扶江. 实验技术与管理, **2019**, 36 (2), 176.
- [13] 赵耀东, 荆晶, 陈黎, 吴淑娟. 实验技术与管理, **2019**, 36 (2), 18.
- [14] 徐玲, 魏恒伟, 魏灵灵, 马艺, 王晓明, 焦桓. 大学化学, **2021**, 36 (3), 1912042.
- [15] Anastas, P. T.; Warner, J. C. *Green Chemistry, Theory and Practice*; Oxford University Press: Oxford, UK, 1998.
- [16] 王羽, 宋阳, 李兆阳, 高子亭, 刘艳. 实验技术与管理, **2021**, 38 (1), 260.
- [17] 王吉华, 高玉梅, 阮琼. 中国现代教育装备, **2021**, No. 23, 38.
- [18] 谷静连, 王秀娟, 尤新强, 李玲, 施小芳. 教学研究, **2022**, 45(13), 135.
- [19] 李培峰, 高先池, 刘春颖. 大学化学, **2022**, 37 (2), 2109026.
- [20] 李冰洋, 黄开胜, 艾德生, 马文川. 实验技术与管理, **2018**, 35 (10), 223.
- [21] 王赞, 韩涛, 徐四平, 樊俊青. 实验技术与管理, **2019**, 36 (12), 257.
- [22] 韩光宇, 何淼, 赵明, 杨金福. 实验技术与管理, **2021**, 38 (6), 278.