

基于全生命周期视角下化学实验室危化品管控机制的探索

吴树国

山东航空学院化工与材料学院，山东滨州

DOI: 10.62836/jer.v4n10.1461

摘要：针对目前高校化学实验室危化品管理短板，需要构建一体化闭环管控体系，达到系统性化解实验室各类安全风险的目的，为此以全生命周期管理、全过程风险防控理论为支撑，围绕危化品采购、仓储、实验使用、废弃处置、台账溯源五大流转环节梳理现存管理痛点，从制度、信息化、人员、监督四个维度剖析问题深层诱因，搭建五位一体闭环管控机制并配套完善落地保障体系。该管控机制依托“一物一码”实现危化品全生命周期动态追溯，打通校、院、实验室三级数据壁垒，统一规范试剂流转与危险废物处置全流程操作标准。此管控模式能够有效弥补传统碎片化管理的漏洞，持续推动高校化学实验室危化品管理走向标准化、精细化与智能化，为新时代高校实验室安全治理体系建设提供可行的实践方案。

关键词：全生命周期；危险化学品；闭环管控；实验室安全；风险防控

Exploration on Hazardous Chemicals Management Mechanism of Chemical Laboratories Based on Full Life Cycle Perspective

Shuguo Wu

College of Chemical Engineering and Materials Science, Shandong Aviation University, Binzhou, Shandong

Abstract: To address the shortcomings in the management of hazardous chemicals in university chemistry laboratories, it is necessary to establish an integrated closed-loop control system to systematically mitigate various safety risks. Supported by the theories of full life-cycle management and comprehensive risk prevention, this approach focuses on identifying existing management pain points across five key stages: procurement, storage, experimental use, disposal, and record-keeping. By analyzing the root causes from four dimensions—regulations, informatization, personnel, and supervision—a five-pronged closed-loop control mechanism is designed, accompanied by a robust implementation support system. This control mechanism relies on the “one-item-one-code” system to enable dynamic tracking of hazardous chemicals throughout their entire life cycle, breaking down data barriers at the

*基金项目：山东航空学院实验技术研究项目：基于“全生命周期”视角的化学实验室危化品管控机制研究（项目编号：SHYSYXM202504）。

作者简介：吴树国，男，硕士，高级实验师，主要从事高校实验室安全管理、危化品全流程管控研究，发表实验室安全相关论文多篇。

university, college, and laboratory levels and standardizing operational procedures for reagent circulation and hazardous waste disposal. This management model effectively fills the gaps of traditional fragmented approaches, continuously advancing the standardization, refinement, and intelligence of hazardous chemical management in university chemistry laboratories, providing a practical solution for building a safe governance system in modern university laboratories.

Keywords: full life cycle; hazardous chemicals; closed-loop control; laboratory safety; risk prevention and control

1 引言

随着高校化学类专业教学、科研项目规模持续扩容,实验室易燃、易爆、高毒、强腐蚀类危险化学品使用总量逐年攀升。因试剂存储不规范、操作流程失管、危废处置不合规引发的泄漏、火灾、人员中毒事故时有发生,校园安全防护压力持续加大。近年来,教育部、应急管理部门持续开展常态化实验室安全专项督查,明确要求各高校要建立覆盖危化品全流转链条的长效安全管理体系[1]。

当前多数高校仅针对危化品单一环节出台管理制度,采购审批、库房存储、现场实验、废弃物处置各环节相互独立,监管数据割裂不通,试剂盲目囤积、禁忌化学品混存、实验废液私自倾倒等顽疾长期未能根治,传统分段式被动管理模式已无法适配现代化实验室安全治理需求[2]。现有实验室危化品安全相关研究多聚焦仓储优化、危废处理等单一模块开展改进,缺少覆盖危化品从采购入库到报废销毁全周期的一体化闭环解决方案。

在此背景下,本文以全生命周期闭环管理理论为核心依托,系统梳理高校化学实验室危化品各环节现存管理问题与内在成因,构建“源头准入-过程监管-末端处置-全程溯源”五位一体化管控机制,同步配套制度、信息化、人员、监督四维保障体系,为高校实现危化品规范化、智能化长效管控提供清晰可行的实施路径。

2 化学实验室危化品管控现状、突出问题及成因剖析

2.1 管控整体现状

国内各大高校均已建立基础危化品安全管理规范,普遍落实专人负责制、出入库登记、化学品分区存放等基础管控举措;伴随数字化转型推进,部分院校逐步采用电子台账替代传统纸质记录,危化品规范化管理水平得到一定提升。但从整体治理成效来看,绝大多数高校仍停留在分段管控、事后整改的被动管理阶段,尚未搭建覆盖危化品全生命周期的一体化闭环管理框架,各管理环节信息断层,大量隐性安全隐患长期留存,精细化、主动式风险防控能力存在明显短板。

2.2 全生命周期各环节典型管理问题

2.2.1 采购准入环节源头管控力度不足

危化品采购审批制度落地执行宽松,部分实验室存在无审批私自采购、超出实验需求过量采购等违规行为;校方对供应商资质审查流于形式,部分入库试剂缺少完整规范的化学品安全技术说明书(MSDS),试剂危险属性、应急处置信息缺失,源头追溯基础薄弱。采购需求未结合课程教学、科研项目阶段性用量精准测算,大量试剂长期闲置堆放,大幅提升库房安全负荷与事故发生概率。

2.2.2 入库存储环节分类管控标准落实不到位

试剂入库核验登记流程简化,批次编号、生产

有效期、存储温湿度要求、危险分类等级等关键信息录入不全、更新滞后；酸碱试剂、氧化剂与还原剂等禁忌化学品混存现象普遍；易制毒、易制爆等高风险管制试剂未严格执行专用防爆保险柜存放、双人双锁、24小时专人值守的硬性管理要求。多数试剂库房通风、恒温恒湿、有毒气体泄漏报警等硬件配套不完善，定期盘点、过期闲置试剂清理机制流于形式[3]。

2.2.3 实验使用环节现场动态监管存在空白

实验操作人员分层分类安全培训体系不完善，部分师生、新进科研人员对危化品风险识别、标准操作、泄漏应急处置掌握不扎实；实验现场普遍存在超量取用试剂、台面无序堆放化学品、实验剩余试剂未当日归还登记等违规操作。实验全过程缺少智能监控与风险预警手段，多人共用、跨项目交叉取用试剂场景下，试剂消耗、剩余余量核对模糊，责任划分难以界定，形成大量监管盲区。

2.2.4 废弃处置环节合规化管理水平偏低

实验室危险废物未按照有机废液、无机酸碱废液、重金属废液、固体废弃试剂分类收纳，不同类型危废混装存放极易发生化学反应，诱发起火、腐蚀泄漏风险；少数实验室为简化流程，直接将实验废液倒入下水管道、普通生活垃圾桶，既违反生态环保法规，也埋下了安全隐患。危废暂存区域防渗、通风、防爆防护设施配置不足，处置台账记录简略缺失，无法实现废弃物从产生到无害化销毁的完整溯源。

2.2.5 台账溯源环节数据体系割裂失效

采购、入库领用、实验消耗、危废处置四类台账分属不同管理端口，数据无法互联互通，电子台账与纸质台账更新不同步、数据错漏、信息滞后问题突出。多数高危管制化学品未配置唯一识别溯源编码，一旦发生试剂丢失、泄漏、起火等安全事件，管理人员无法快速定位风险节点、明确责任主体，溯源追责机制难以发挥实效。

2.3 问题深层成因剖析

第一，制度体系缺乏整体性与执行刚性。现有管理规范多针对单一环节单独制定，缺少覆盖危化品全生命周期的统一管控标准，各环节衔接配套机制缺失；针对私自采购、违规混存、私自倾倒废液等行为的惩处条款模糊，约束震慑力度不足，高风险管制化学品专项管理细则实操性较弱。

第二，信息化智能管控平台建设滞后。现有管理系统仅具备基础出入库登记功能，缺少智能盘点、实时风险预警、多维度数据联动分析等核心模块；学校、二级学院、独立实验室三级监管数据相互独立，物联网传感监测设备覆盖率偏低，风险隐患发现存在明显滞后性。

第三，从业人员专业素养参差不齐。实验室安全培训以线下理论宣讲为主，缺少实操演练、事故案例警示教育、现场应急实训，培训实效性不足；实验室危化品管理员多为实验教师、研究生兼职，缺少系统化专业管理培训，工作连续性、管理专业性难以保障，部分师生安全防范意识淡薄，存在侥幸心理。

第四，常态化监督考核长效机制尚未建立。日常监管主要依靠季度、年度突击专项检查，覆盖全生命周期各环节的动态巡查机制缺失；考核体系未完整纳入采购、仓储、实验、危废全流程指标，奖惩标准模糊，隐患排查缺少整改、复查、销号闭环流程，同类安全隐患反复出现。

3 基于全生命周期的五位一体闭环管控机制构建

针对当前高校危化品碎片化管理、流程脱节、溯源失效等核心痛点，依托全生命周期管理与闭环风险防控思路，搭建覆盖危化品流转全过程的一体化管控机制，实现从采购到报废销毁全流程标准化、精细化管控。

3.1 源头准入管控：分级审批，推行按需定量采购

建立四级分级审批流程：实验人员提交采购申

请→实验室负责人真实性审核→二级学院安全管理办公室复核→学校实验室管理职能部门备案审批,无审批单据、超出审批品类与用量一律禁止采购。校方建立合规供应商准入名录,定期复核供货企业危化品经营资质、运输许可、产品检测报告,要求同步提供完整MSDS文件,剔除无资质、不合规供货渠道。严格遵循“少量多次、随用随采”的定量采购原则,结合实验课程规模、科研项目周期精准核算采购总量,从源头减少试剂囤积,降低仓储安全压力。

3.2 入库存储管控:一物一码,落实分区动态防控

试剂到货后完成全维度核验,核对批次、规格、数量、有效期、危险等级、存储条件等信息,同步录入智能管控平台,为每一批次试剂生成专属溯源二维码,实现“一物一码、流转全程留痕”,关键信息缺失的试剂不予入库。严格按照化学品风险属性划分独立存储区域,设置物理隔离屏障,严禁禁忌化学品混存;易制毒、易制爆试剂单独存放于防爆保险柜,落实双人双锁、出入同步登记、库房视频实时监控。库房配套恒温恒湿系统、强制通风设备、泄漏收集托盘、气体泄漏报警器;建立管理员每日巡查、学院每月全面盘点制度,及时隔离、统一清理过期变质闲置试剂,形成隐患排查、整改、复核销号闭环操作。

3.3 实验使用管控:持证上岗,强化现场全过程监管

所有操作危化品的教师、学生、科研人员必须完成分层专项安全培训,内容涵盖试剂风险识别、标准取用流程、泄漏、火灾、中毒应急处置、危废分类收集,培训后通过线上理论考核与线下实操考核方可获得实验操作资格;每学期组织安全复训与典型事故案例警示教育,持续更新人员风险认知。标准化试剂领用归还流程,严格执行按需限量领取、台面少量存放、剩余试剂当日归还、扫码登记规则,试剂消耗数据实时同步至信息化平台。实验室管理员分时段巡回检查,及时纠正各类违规操作;高风险实验区域加装智能视频监控、有毒气体检测设

备,出现试剂泄漏、气体浓度超标自动向管理人员推送预警信息。构建学校、学院、实验室负责人、指导教师、操作人员五级安全责任体系,签订年度安全责任书,将试剂管理责任精准落实到人。

3.4 末端处置管控:分类收纳,实施合规统一转运处置

按照有机废液、无机酸碱废液、重金属废液、固体废弃试剂、沾染危化品废渣划分收纳类别,使用耐腐蚀密封专用容器盛装,容器外壁张贴清晰标识,标注危废类型、产生实验室、产生时间,严禁不同类别危险废物混装。学校统一对接具备正规危险废物处置资质的第三方机构,定期集中申报转运,完整记录危废种类、重量、暂存时长、转运车辆、处置机构信息,全程留存转运单据,严禁任何实验室私自倾倒、丢弃危废。设置独立封闭危废暂存间,配套防渗地面、防爆照明、通风系统、应急吸附棉、消防器材;严格压缩危废暂存周期,达到储存上限立即申报转运,减少长期堆积带来的安全隐患。

3.5 全程溯源管控:数据互通,实现全流程精准追溯

依托专属二维码串联采购申请、入库核验、领用登记、实验消耗、剩余返还、废弃处置全部流转节点,每一次试剂流转均扫码记录,系统自动留存操作人、操作时间、试剂余量等信息,单批次试剂完整流转轨迹可一键查询。打通校、院、实验室三级数据共享平台,管理部门可实时调取各实验室试剂库存、领用记录、危废产生总量,实现跨实验室动态监控、精准风险研判。落实电子台账与纸质台账双向核对、每日同步更新机制,系统设置试剂无故损耗、超量领用、长期闲置等数据异常预警功能,便于管理人员快速核查定位问题,形成隐患溯源、责任认定、整改落实完整闭环。

4 管控机制落地配套保障体系

4.1 制度保障:搭建系统化、可落地的标准化制度体系

以《危险化学品安全管理条例》《高等学校

实验室工作规程》为法规依据，结合本校教学科研实际，出台《化学实验室危化品全生命周期管理办法》，统一采购、仓储、使用、危废、溯源全流程管控标准、操作规范与岗位权责。配套制定《易制毒易制爆管制化学品专项管理细则》《实验室危险废物处置管理规定》《实验室安全培训与应急演练制度》《安全监督考核奖惩办法》等专项文件，补齐细分领域制度短板[4]。建立制度年度动态更新机制，结合最新安全法规、全国高校实验室安全事故案例、本校管理痛点优化条款；明确各类违规操作分级惩处标准，强化制度执行刚性，杜绝制度流于纸面，为全生命周期管控提供坚实制度支撑。

4.2 信息化保障：搭建物联网一体化智能管控平台

融合物联网、大数据、二维码识别、智能传感技术升级现有管理系统，搭建一体化智能管控平台，集成线上采购审批、智能库存盘点、实时风险预警、试剂溯源查询、危废全流程登记、数据统计分析六大核心功能。将库房温湿度传感器、有毒有害气体报警器、防爆柜门禁、实验区域视频监控全部接入平台，温度超标、气体泄漏、高危试剂保险柜异常开门等情况发生时，系统自动向管理员、学院安全负责人推送预警信息。破除各部门数据孤岛，实现资产、安全、教务、科研数据互联互通，依托平台数据开展试剂囤积风险、高频违规操作智能分析，以数字化技术赋能精细化闭环管控[5]。

4.3 人员保障：构建分层分类常态化安全培育体系

打造专职化、专业化实验室安全管理队伍，定期组织管理员参加危化品管控专业培训、行业交流学习，提升仓储管理、风险排查、应急处置专业能力。针对实验教师、研究生、本科实训学生实施分层分类培训：面向教师侧重试剂风险评估、实验安全管控、应急组织管理；面向学生侧重基础操作规范、个人防护、简单泄漏处置。丰富培训形式，常态化开展火灾、试剂泄漏、化学灼伤、有毒气体扩散实景应急演练，搭配典型实验室安全事故案例警

示教育，全面提升全员风险防范意识与实操处置能力；逐步减少兼职管理模式，稳定专职管理员队伍配置，保障危化品日常管控工作持续落地。

4.4 监督保障：建立多层级常态化监督考核长效机制

构建“实验室每日自查、学院每月排查、学校季度专项督查、年度综合考核”四维一体监督体系。日常巡查重点核查试剂分区存放、领用登记、危废分类收纳情况；专项督查聚焦易制毒易制爆试剂双人双锁、仓储硬件防护、安全培训落实情况。建立量化考核评价体系，将危化品全生命周期管控成效纳入实验室年度安全考核、实验教师岗位绩效考核、学生评优评价指标，细化考核打分标准，设置明确奖惩机制，对管理规范、零安全隐患实验室予以表彰，对违规频发、隐患整改滞后的实验室予以通报、缩减试剂采购额度。落实隐患整改闭环管理，对排查发现的安全隐患明确整改责任人、整改时限，安排专人跟踪复查，验收合格后方可销号，实现安全隐患动态清零。

5 结论与展望

5.1 结论

化学实验室危化品安全管控是高校校园安全治理的核心关键环节，传统分段式、被动化管理模式存在流程割裂、风险隐蔽、溯源困难、责任模糊等多重短板，难以匹配现代化高校实验室规模化、多元化科研教学发展需求。本文立足全生命周期管理视角，系统梳理当前国内高校危化品采购、存储、使用、废弃处置、台账溯源五大环节现存典型安全问题，深入剖析制度不完善、信息化建设滞后、人员专业能力不足、监督考核机制缺失四大深层诱因，构建包含源头准入、存储管控、过程监管、末端处置、全程溯源的五位一体闭环管控机制，同步配套制度、信息化、人员、监督四大落地保障体系。

该一体化管控机制打破传统单一环节管理壁垒，实现危化品从采购到销毁全流程系统化、精细化管控，能够精准堵塞各环节安全漏洞、提前化解

潜在安全风险，形成完整安全管理闭环，为高校构建长效稳定的实验室危化品安全治理体系提供具备可操作性的实践方案。

5.2 展望

伴随物联网、人工智能、数字孪生等智能化技术持续迭代，高校实验室危化品安全管理正朝着智能自动风控、无人化实时监测、精准风险预判方向转型。后续研究可进一步深化AI智能识别、数字孪生技术在危化品仓储与实验场景的落地应用，实现安全风险自动识别、智能研判、预警处置一体化；探索多实验室、跨院校危化品共享调剂协同管控模式，通过试剂流转共享减少重复采购与长期囤积，优化试剂资源配置。同时，针对化工、生物医药、

材料等不同类型化学实验室差异化风险特征，细化分级分类管控标准，持续迭代完善全生命周期管控体系，全面推进高校实验室安全治理体系与治理能力现代化。

参考文献

- [1]中华人民共和国国务院.危险化学品安全管理条例[Z].2013.
- [2]教育部.高等学校实验室工作规程[Z].2016.
- [3]李娟.地方高校化学实验室全生命周期管理的探索与实践[J].实验室研究与探索,2025,44(08):278-282.
- [4]张敏.数字化赋能高校实验室危化品全周期管理体系构建[J].实验技术与管理,2025,42(05):210-214.
- [5]刘阳.高校实验室危险化学品安全管控长效机制研究[J].实验科学与技术,2024,22(03):156-160.

