

高校和科研院所实验室安全管理体系的研究进展

王少丽^{1,2} 杨绪平^{1*}

1. 中国林业科学研究院华北林业实验中心, 北京 102300

2. 中国林业科学研究院保卫处, 北京 100091

[摘要]高校和科研院所实验室是国家科技创新与人才培养的核心场所,但其安全管理因风险复杂性提升、传统管理模式局限面临严峻挑战。本论文系统梳理实验室安全管理体系研究进展:阐述安全管理对人员生命健康、科研有序推进、单位形象及国家科技战略的重要意义;分析当前事故频发(化学、生物、物理类事故突出,人为操作不当为主要致因)、制度执行不力、信息化程度低等现状问题;剖析安全责任界定模糊、风险评估难、安全教育培训效果差等管理难点;探讨物联网实时监测、智能监控、大数据与人工智能等先进技术的应用路径;明确智能化与自动化、标准化与国际化、全员安全文化的未来趋势。研究为完善实验室安全管理体系、提升防控能力提供理论与实践指引,支撑教学科研安全及国家科技创新发展。

[关键词]高校;科研院所;实验室安全;管理体系;研究进展

DOI: 10.33142/fme.v6i8.17551

中图分类号: G644

文献标识码: A

Research Progress on Laboratory Safety Management Systems in Universities and Research Institutes

WANG Shaoli^{1,2}, YANG Xuping^{1*}

1. Experimental Center of Forestry in North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 102300, China

2. Security Department, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, China

Abstract: Laboratories in universities and research institutes serve as core venues for national scientific and technological innovation as well as talent cultivation. However, their safety management is confronted with severe challenges due to the increasing complexity of risks and the limitations of traditional management models. This paper systematically reviews the research progress on laboratory safety management systems: it elaborates on the significance of safety management for the life and health of personnel, the orderly advancement of scientific research, the reputation of institutions, and national science and technology strategies; analyzes current problems such as frequent accidents (with chemical, biological, and physical accidents being prominent, and human operational errors as the main cause), inadequate implementation of systems, and low informatization level; examines management difficulties including ambiguous definition of safety responsibilities, difficulties in risk assessment, and poor effectiveness of safety education and training; explores the application paths of advanced technologies such as Internet of Things-based real-time monitoring, intelligent supervision, big data, and artificial intelligence (AI); clarifies future trends such as intellectualization and automation, standardization and internationalization, and full-staff safety culture. This study provides theoretical and practical guidance for improving laboratory safety management systems and enhancing prevention and control capabilities, thereby supporting the safety of teaching and scientific research as well as the development of national scientific and technological innovation.

Keywords: universities; research institutes; laboratory safety; management systems; research progress

引言

高校和科研院所是国家科技创新核心阵地与人才培养摇篮,实验室是开展前沿科研、实践教学及技术突破的关键场所。随高等教育发展与科研投入增加,实验室规模扩张、学科领域延伸(从传统化学、生物拓展至材料科学、核技术、人工智能等交叉领域),危险化学品、放射性物质、生物制剂及大型精密设备数量激增,安全风险的复杂性与不确定性显著提升^[1]。

尽管实验室安全管理已形成一定理论与实践体系,但仍存诸多问题:部分单位安全管理理念滞后,“重科研、轻安全”现象突出,制度流于形式,如危险化学品管理流程不规范、生物安全培训不到位;传统管理依赖人工巡检与纸质记录,技术支撑不足,难以实现风险实时监测、智

能预警与快速处置,难以防范重特重大事故。近年来国内外实验室安全事故频发,造成人员伤亡与财产损失,影响科研秩序与单位声誉,凸显研究创新管理体系的紧迫性。在此背景下,系统梳理实验室安全管理体系进展具有重要价值:理论上可完善管理理论体系,推动多学科融合;实践中能为安全管理提供参考,优化制度、提升技术水平、强化风险防控,保障人员安全与科研稳定,提升单位管理水平与竞争力,支撑国家科技创新。

1 高校和科研院所实验室安全管理的重要意义

1.1 实验室安全管理是保障科研人员生命健康的必然要求

实验室存有危险化学品、高压设备、辐射源及生物病原体,事故(如化学品泄漏中毒、爆炸伤亡、生物制剂泄

露传播疾病)将直接威胁实验人员及周边人群安全。2018 年 12 月北京交通大学实验室爆炸事故致 3 名学生遇难,凸显安全管理的极端重要性^[2,3]。

1.2 安全管理是科研活动有序推进的关键

实验室是科研创新前沿,事故导致的设施损坏、数据丢失将阻碍项目推进,造成资源浪费,甚至中断重大科研项目^[4,5]。安全稳定的环境可以保障科研人员专注研究,提升效率并促进成果产出。良好安全管理是单位树立社会形象的重要因素。事故不仅影响内部秩序,还会引发社会关注、损害声誉与公信力;严格有效的管理体系可展现单位对安全的重视与严谨的科研态度,提升社会认可度。此外,实验室安全管理关乎国家科技战略实施。高校和科研院所承担国家重大科研任务,其安全稳定运行是科技创新与科技进步的基础,对提升国家科技实力与竞争力具有重要作用^[6]。

2 高校和科研院所实验室安全管理的现状

2.1 安全事故频发且后果严重

近年实验室安全事故多发,涵盖化学、生物、物理等领域:化学类实验室事故发生率最高,火灾、爆炸最为突出,如 2015 年 12 月北京某大学化学系实验楼因叔丁基锂违规存放引发火灾,氢气气瓶爆炸致 1 人死亡^[7];2022 年 6 月深圳某高校实验室因高压玻璃瓶操作不当,发生玻璃仪器爆炸致 1 名博士生受伤;

2022 年 12 月 6 日,香港某大学化学楼发生一起实验室事故,导致一博士生灼伤眼部。事故原因是学生称取药品份量有误及操作失当,导致一个装有高浓度、强碱性氢氧化钠的烧瓶突然炸裂,化学品喷出两三米外。生物类事故如 2010 年 12 月东北某大学动物实验室,28 人(27 名学生、1 名教师)实验后感染布鲁氏菌病^[8]。物理类事故如 2022 年 11 月西安某大学实验室 UPS 电源机组冒烟起火,烟气影响范围较大。

在对事故原因的统计中,操作不当和未按规定操作是引发事故的两个主要原因。例如 2016 年 9 月上海某大学三名研究生在进行氧化石墨烯制备实验时,未按规定操作,在无化学计量的情况下调整主要反应物料高锰酸钾,且使用锥形瓶进行后续加热操作,最终导致爆炸,造成一名研究生轻伤,两名研究生重伤。这些事故不仅造成了严重的人员伤亡和财产损失,也严重影响了相关单位的正常教学科研秩序,给社会带来了不良影响。

2.2 安全管理制度执行不力

虽然各高校和科研院所都制定了一系列实验室安全管理制度,包括实验室准入、设备操作规范、危险化学品管理、事故应急预案等,但在实际执行过程中,存在诸多问题。部分实验人员安全意识淡薄,对安全制度缺乏敬畏之心,违规操作现象屡见不鲜^[9]。例如,一些实验人员进行化学实验时,不按规定佩戴防护装备,随意混合化学品;在使用特种设备时,未严格按照操作规程操作^[7]。同时,部分单位对安全制度的宣传和培训不到位,导致实验人员对制度内容不熟悉,无法有效执行^[10]。此外,安全管

理制度在执行过程中缺乏有效的监督和考核机制,对于违规行为未能及时发现和纠正,使得制度执行流于形式,无法发挥应有的约束和规范作用。

2.3 安全管理信息化程度低

当前,多数高校和科研院所的实验室安全管理仍依赖传统的人工巡检、纸质记录等方式,信息化程度较低^[4]。人工巡检存在主观性强、效率低、易遗漏等问题,难以实现对实验室安全状况的实时、全面监控。纸质记录方式不仅繁琐,而且不利于数据的整理、分析和共享,无法为安全管理决策提供及时、准确的数据支持。在信息化时代,实验室安全管理面临着海量数据的处理和分析需求,传统管理方式已无法满足这一要求,难以实现对实验室安全风险的精准识别、预警和防控。

3 高校和科研院所实验室安全管理的难点和不足

3.1 安全责任界定模糊

在高校和科研院所中,实验室安全责任涉及多个主体,包括学校或院所管理层、职能部门、院系、实验室负责人以及实验人员等,但在实际工作中,安全责任界定往往不够清晰^[11]。不同部门之间存在职责交叉和空白区域,导致在安全管理工作中出现推诿扯皮现象。例如,对于实验室公共区域的安全管理,安全管理部门与院系之间可能存在责任不清的问题,使得安全检查、隐患整改等工作难以有效落实^[12]。此外,对于一些跨学科、跨部门的科研项目,实验室安全责任的划分更为复杂,容易出现管理漏洞^[13]。

3.2 安全风险评估难度大

实验室安全风险具有多样性、复杂性和动态性的特点,使得安全风险评估工作面临诸多挑战。一方面,实验室涉及的学科领域广泛,不同学科实验所使用的设备、材料和操作方法各异,带来的安全风险也各不相同,如化学实验室的化学品泄漏、爆炸风险,生物实验室的生物安全风险,物理实验室的辐射、电气风险等,需要综合考虑多种因素进行评估^[14]。另一方面,随着科研项目的推进和实验条件的变化,安全风险也在不断动态变化,传统的风险评估方法难以实时跟踪和准确评估这些变化。此外,安全风险评估需要专业的知识和技能,目前部分高校和科研院所缺乏专业的风险评估人员,导致风险评估工作的准确性和有效性受到影响。

3.3 安全教育培训效果不佳

安全教育培训是提升实验室人员安全意识和技能的重要手段^[15],但目前的安全教育培训工作存在一些问题,导致培训效果不佳。在培训内容方面,部分培训缺乏针对性,未能根据不同学科、不同岗位的需求设置个性化的培训内容,使得培训内容与实际工作脱节。在培训方式上,多以课堂讲授、观看视频等传统方式为主,形式单一,缺乏互动性和实践性,难以激发实验人员的学习兴趣和积极性。此外,部分单位对安全教育培训的重视程度不够,培训时间安排不足,培训频率较低,无法使实验人员系统、深入地掌握安全知识和技能。

4 利用先进技术提高实验室安全管理的水平

4.1 物联网技术实现实时监测与预警

物联网技术通过在实验室设备、危险化学品储存容器、消防设施等关键部位安装传感器,构建起全方位的感知网络,实现对实验室环境参数、设备运行状态、化学品存量等信息的实时采集与传输。在危险化学品管理方面,通过在储存容器上安装液位传感器、泄漏传感器和电子标签,能够实时监测化学品的存量变化,及时发现泄漏风险,并对化学品的流向进行全程追踪。例如,当危险化学品存量低于设定阈值时,系统自动提醒管理人员进行补充;一旦检测到泄漏,立即触发警报,并通过短信、APP 推送等方式通知相关人员,同时启动通风、吸附等应急处置设备,将风险控制在萌芽状态。在实验室环境监测中,利用温度、湿度、有害气体浓度传感器,实时掌握实验室环境参数,当参数超出正常范围时,自动调节空调、通风系统,确保实验环境符合安全要求。物联网技术的应用,打破了传统安全管理的时空限制,实现了对实验室安全状况的 24 小时不间断监测,为及时发现和处理安全隐患提供了有力支持^[16]。

4.2 智能监控系统提升管理效率与响应速度

智能监控系统融合了物联网、大数据、人工智能、视频监控等多种先进技术,为实验室安全管理提供了一体化、智能化的解决方案。在人员管理方面,智能监控系统采用人脸识别技术,对进入实验室的人员进行身份识别和权限验证,只有通过授权的人员才能进入实验室,同时系统自动记录人员的进出时间和活动轨迹,便于对实验室人员进行管理和追溯。在设备监控方面,通过传感器和智能分析技术,实时监测实验设备的运行状态,包括设备的启动、停止、运行参数等信息,一旦发现设备异常,如温度过高、压力过大、运行速度异常等,系统立即发出警报,并提供故障诊断信息,指导维修人员进行快速维修。在环境监控方面,智能监控系统能够实时监测实验室的空气质量、温湿度、噪声等环境参数,当环境参数超出设定范围时,自动启动相应的环境调节设备,如新风系统、空调、加湿器等,确保实验室环境适宜。此外,智能监控系统还具备事件联动功能,当发生安全事故时,能够自动触发应急预案,联动相关设备,如消防设备、紧急照明、门禁系统等,实现快速响应和协同处置,有效提升实验室安全管理的效率和应急响应速度^[17]。

4.3 大数据与人工智能助力风险预测与决策

大数据技术能够对实验室安全管理过程中产生的海量数据进行高效存储、整合与深度分析。通过收集和分析安全检查记录、事故案例、设备运行数据、人员操作行为数据等多源数据,挖掘数据背后隐藏的安全规律和潜在风险因素^[18]。利用数据挖掘算法,可以找出实验室安全事故发生的关联因素,如设备故障与操作不当之间的关系、特定时间段内安全隐患的高发区域等,为制定针对性的风险防控措施提供依据。人工智能技术在实验室安全管理中发挥着重要的预测和决策支持作用。基于机器学习算法构建

的安全风险预测模型,能够根据实验室当前的运行状态和历史数据,对未来一段时间内可能发生的安全事故进行预测,并给出风险等级评估。例如,通过分析电气设备的运行电流、温度、振动等数据,预测设备故障的发生概率,提前安排维护保养,避免因设备故障引发安全事故。此外,人工智能还可应用于图像识别和行为分析领域,通过实验室监控摄像头采集的视频数据,利用深度学习算法自动识别实验人员的违规操作行为,如未佩戴防护装备、违规使用设备等,并及时发出警报提醒,辅助安全管理人员进行决策,提高安全管理的智能化水平。

5 实验室安全管理体系的发展趋势

5.1 智能化与自动化成为主流方向

随着科技的飞速发展,智能化与自动化将成为实验室安全管理体系未来发展的核心趋势。未来,实验室中的各类安全设备和系统将实现高度智能化协同工作,具备自主感知、分析、决策和执行的能力。智能通风系统能够根据实验室的实时空气质量、人员数量和活动情况,自动调节通风量和通风模式,确保室内空气环境安全舒适。自动化的危险化学品管理系统可实现从采购申请、审批、入库、存储、使用到废弃物回收处理的全流程自动化操作,通过智能标签、传感器和自动化设备,对化学品的流向和存量进行精准监控和管理,减少人为操作失误带来的安全风险。智能消防系统将利用先进的火灾探测技术,如激光成像、多光谱分析等,实现对火灾的早期精准预警,并自动启动灭火装置进行扑救,同时根据火灾的规模和发展态势,智能调度消防资源,提高灭火效率。此外,实验室安全管理软件将具备更强大的智能分析功能,能够实时处理和分析海量的安全数据,通过建立复杂的风险预测模型,提前预测安全事故的发生概率和可能影响范围,为安全管理决策提供科学、精准的支持。智能化与自动化的实验室安全管理体系将极大地提高管理效率,降低人力成本,提升安全管理的可靠性和及时性,有效预防和应对各类安全事故。

5.2 标准化与国际化进程加速推进

为适应全球科研合作与交流日益频繁的趋势,以及提升实验室安全管理水平的迫切需求,标准化与国际化将成为实验室安全管理体系发展的重要方向。国际上,越来越多的组织和机构致力于制定统一的实验室安全标准和规范,如国际标准化组织(ISO)、世界卫生组织(WHO)等在实验室安全管理标准制定方面发挥着重要作用。各国高校和科研院所将逐渐遵循国际通行的安全标准来构建和完善自身的安全管理体系,在危险化学品分类、标识、储存与使用规范,生物安全防护等级划分,实验室设施建设标准等方面实现与国际接轨,便于国际间的科研合作与交流。同时,在安全管理理念、方法和技术方面,国际间的交流与合作也将日益紧密,各国将相互借鉴先进的安全管理经验,共同推动实验室安全管理水平的提升。在国内,相关部门和机构也将加快制定和完善符合国情的实验室

安全标准体系，并积极参与国际标准的制定和修订工作，提升我国在全球实验室安全管理领域的话语权和影响力。标准化与国际化的发展趋势将有助于消除不同国家和地区之间实验室安全管理的差异，促进科研资源的全球共享，为科研人员创造更加安全、统一的实验环境，推动科技创新事业的全球化发展。

5.3 全员参与的安全文化深度融入

未来，实验室安全管理将更加注重全员参与的安全文化建设，将安全意识深深植入每一位实验室人员的心中，使其成为一种自觉的行为习惯和价值追求。高校和科研院所将通过多种渠道和方式来培育和传播安全文化，营造浓厚的安全氛围。

在安全教育培训方面，将不仅仅局限于知识和技能的传授，更注重培养实验人员的安全意识和责任感，通过开展多样化的培训活动，如安全知识讲座、案例分析、应急演练、安全文化活动等，提高实验人员对安全重要性的认识，激发其主动参与安全管理的积极性。

建立健全安全激励机制，对在安全工作中表现突出的个人和团队进行表彰和奖励，树立安全榜样，引导全体人员积极践行安全行为。同时，鼓励每一位实验人员积极参与安全管理，发现和报告身边的安全隐患，提出改进安全管理的建议和措施，形成人人关注安全、人人参与安全管理的良好局面。

此外，将安全文化融入到实验室的日常教学、科研和管理活动中，从实验室的规划设计、建设运行到设备采购、人员管理等各个环节，都充分考虑安全因素，使安全文化成为实验室文化的核心组成部分。通过全员参与的安全文化建设，从根本上提升实验室安全管理水平，有效预防和减少安全事故的发生。

6 结论

高校和科研院所实验室安全管理体系的完善是一项长期而艰巨的任务，对于保障教学科研活动的顺利开展、维护人员生命财产安全以及推动科技创新具有不可替代的重要意义。通过对当前安全管理现状的分析，明确了存在的问题和挑战。安全管理制度、安全培训教育、安全风险评估等构成要素相互关联，共同支撑起实验室安全管理体系。先进技术如物联网、智能监控系统和大数据与人工智能的应用，为提升安全管理水平提供了强大的技术手段。未来，智能化与自动化、标准化与国际化以及全员参与的安全文化建设将成为实验室安全管理体系的重要发展趋势。各高校和科研院所应紧跟时代步伐，不断优化和完善实验室安全管理体系，适应日益复杂的安全风险防控需求，为科研创新和人才培养创造安全稳定的环境。

[参考文献]

[1]王建芳,余红宴,黄雷,等.基于 citespace 的国内实验室安全领域研究图谱分析[J].实验科学与技

术,2024,22(4):148-155.

[2]李祁.三名高材生之死——北京交通大学“12·26”较大爆炸事故值得反思[J].广东安全生产,2019(3):58-59.

[3]阳富强,邱东阳.基于相似安全系统学的高校实验室爆炸事故分析及防控[J].安全与环境工程,2020,27(2):92-103.

[4]刘莹莹,龚吉蕊,高晓飞,等.“双一流”背景下科研型实验室的安全管理探究[J].实验科学与技术,2025,23(2):149-155.

[5]丁淑荃,张云龙.高校科研实验室管理现状及提升对策研究[J].巢湖学院学报,2025,26(4):123-128.

[6]贾宝余,王建芳,王君婷.强化国家战略科技力量建设的思考[J].中国科学院院刊,2018,33(6):544-552.

[7]鲁登福,朱启军,龚跃法.化学实验室安全与操作规范[M].武汉:华中科技大学出版社有限责任公司,2021.

[8]陈永杰.生物实验中意外事故成因与预防对策——由“东北农业大学师生感染布鲁氏菌”事件引发的思考[J].潍坊高等职业教育,2011(3):68-70.

[9]Liu C F.,Wang R.Comparison and inspiration of laboratory safety culture construction in Chinese and foreign universities[J].Experimental Technology & Management,2025,42(5):243.

[10]周威,梅涛,何苗,等.高校实验室安全工作体系建设的研究和探索——以湖北大学为例[J].教育进展,2023,13(8):5357-5363.

[11]周威,何苗,李俐.基于“多维度措施+多响应机制”的实验室安全工作体系的构建与示范实践[J].现代管理,2024,14(6):1185-1193.

[12]耿兰芳.高校实验室安全管理的问题与对策[J].安徽工业大学学报社会科学版,2023,40(1):115-117.

[13]韩景芸,宋崴,王江雪,等.交叉学科实验室开放与安全的管理体系建设[J].实验技术与管理,2020,37(12):303-307.

[14]张威,张海峰,李昱颖,等.交叉学科背景下高校信息类实验室安全体系建设探索与实践[J].实验技术与管理,2023,40(4):212-216.

[15]艾德生.高校实验室安全形势与任务[J].实验技术与管理,2025,42(1):1-10.

[16]郑劲松.基于物联网云平台大数据技术的实验室安全管理[J].现代管理,2022,12(5):591-596.

[17]柳长峰,王睿.人工智能在实验室安全管理中的应用、挑战及应对策略[J].实验技术与管理,2025,42(4):239-244.

[18]李曾,王皓,李牧天,等.大数据视域下实验室安全风险感知与应对[J].实验技术与管理,2025,42(1):251-256.

作者简介:王少丽(1983.10—),毕业院校:中国科学院化学研究所,所学专业:高分子化学与物理,当前就职单位:中国林业科学研究院华北林业实验中心,职务:科学研究,职称级别:副研究员。