

文章编号: 1002-1582(2026)02-0252-05

高校光学超净实验室安全管理模式研究

孔令琴^{1,2,3*}, 黄海琴^{1,3}, 李金梅^{1,3}, 王慧莹^{1,3}, 李翠玲^{1,3}, 董立泉^{1,2,3}, 张楠^{1,3}

(1. 北京理工大学光电学院, 北京 100081)

(2. 北京理工大学长三角研究院(嘉兴), 浙江 嘉兴, 314019)

(3. 近地面探测全国重点实验室, 北京, 100081)

摘 要: 现代光学超净实验室通常具有开放程度高、精密仪器多、化学试剂杂、环境要求精等特点, 安全风险增多, 管理难度加大。文章将通过对国内外超净实验室安全管理体系的研究, 借鉴其在安全培训机制、运行体系架构、以及日常安全管理等多方面的经验, 同时结合北京理工大学光电智能感知与精密测试技术中心光学超净实验室的管理模式, 将工程伦理引入安全体系构建, 从意识层面到安全培训体系的构建、信息化建设、实验室日常管理、安全文化建设等方面探讨现代光学超净实验室安全管理模式, 为相关超净实验室管理提供借鉴和参考。

关 键 词: 超净实验室; 安全管理模式; 日常管理

中图分类号: X925

文献标识码: A

Research on the safety management mode of optical ultraclean laboratory

KONG Lingqin^{1,2,3*}, HUANG Haiqin^{1,3}, Li Jinmei^{1,3}, Wang Huiying^{1,3},

LI Cuiling^{1,3}, DONG Liquan^{1,2,3}, ZHANG Nan^{1,3}

(1. School of Optics and Photonics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

(2. Yangtze Delta Region Academy of Beijing Institute of Technology, Jiaxing 314019, China)

(3. National Key Laboratory on Near-surface Detection, Beijing 100081, China)

Abstract: Modern optical ultra clean laboratories usually have the characteristics of high openness, multiple precision instruments, numerous chemical reagents, and high requirements for environmental conditions. However, there are increasing safety risk factors and management difficulties. This article will explore the safety management system of clean laboratories at home and abroad, drawing on their experience in safety training mechanisms, system architecture, and daily safety management in ultra clean laboratory management. At the same time, combined with the management of optical ultra clean laboratories at the Optical Technology Experimental Center of Beijing Institute of Technology, engineering ethics will be introduced into the construction of safety systems. From the awareness level to the construction of safety training systems, information construction, laboratory daily management, safety culture construction, etc., modern optical ultra clean laboratory safety management models will be explored, providing reference and guidance for relevant ultra clean laboratory management.

Keywords: ultra clean laboratory; safety management pattern; daily management

0 引 言

高校实验室是开展教学、科研和社会服务的

重要基地, 不仅是孕育高水平科研人才的摇篮, 更是推动创新性科研成果诞生的重要平台^[1]。一流实验室建设是高校综合改革和“双一流”建设的

收稿日期: 2025-12-15; 收到修改稿日期: 2026-01-08

基金项目: 北京市高等教育学会2025年课题(MS2025392); 教育部高等学校仪器类专业教学指导委员会2025年课题(2025B113, 2025C013)

作者简介: 孔令琴(1983—), 女, 高级实验师, 博士, 从事实验室管理、实验教学、非接触式生理参数检测及相关研究。

* 通讯作者: konglingqin3025@bit.edu.cn

重要内容,也是学校学科建设水平和综合实力的重要体现^[2]。随着国家科教兴国战略和“双一流”政策的实施,高等院校实验室的种类和规模迅速增加,特别是以超净实验室为代表的高端先进实验室数量迅速增长,为实验室的安全管理工作提出了较高的要求^[2-5]。不同类型的实验室所面临的安全要素差异较大,尤其是超净实验室潜在的安全风险和隐患复杂多样。虽然很多高校实验室在硬件配置、尤其是仪器设备已得到显著改善,但目前在实验室安全管理及培训方面积累的经验有限,导致高校实验室安全事故频发,这对高校师生带来了巨大的安全隐患,同时也给学校及国家造成较大的财产损失^[6-8]。因此,加强实验室安全管理,提升师生安全意识与应急能力,成为当前高校实验室安全工作亟待解决的重要课题。教育部于2024年发布《教育部高等教育司关于加强高校实验室安全工作的通知》,要求高校实验室健全责任体系、规范工作流程、落实安全隐患整改^[9]。因此,保障实验室安全高效运行,建立健全全方位的安全管理体系,营造安全稳定的校园环境,已上升为高校实验室安全管理中的重要任务。

与普通实验室相比,光学超净间不仅须考虑传统实验室常见的用电安全、化学品使用风险,还须应对超净度失衡导致的实验数据偏差、精密仪器污染损坏、以及超净环境下人员操作规范缺失引发的连锁风险等。然而,目前部分高校在实验室管理中仍存在“重硬件配置、轻安全管控”“重常规实验室管理、轻特殊场域针对性措施”等问题,导致光学超净间的安全管理未能形成适配其特性的管理模式。

强化高校实验室安全管理,尤其是针对光学超净实验室这类特殊场所构建科学、精准的安全管理体系,既是保障师生生命安全与科研资产安全的基本前提,也是维护高校科研创新活力、提升人才培养实践质量的关键,更是推动高校实验室管理从“被动防范”向“主动治理”转型的关键环节。北京理工大学光电智能感知与精密测试技术中心光学超净实验室结合学科发展于2022年初建立并运行,为学校教学、科研、创新创业教育等提供了有力服务和充分支撑。本论文聚焦高校光学超净间的安全管理痛点与特性,通过对国内外超净实验室安全管理体系的研究,吸取超净实验室日常安全管理制度、安全管理体系架构、安全培训机制等多方面的经验。结合北京理工大学光电智能感知与精密测试技术中心光学超净实验室的管理,将工程伦理引入安全体系构建,从

意识层面到安全培训体系建设、信息化建设、实验室日常管理、安全文化建设等方面探索适配现代光学超净实验室安全管理模式,为完善高校特殊实验室安全管理体系提供实践参考。

1 光学超净实验室特点

光学超净实验室是一种相对特殊的光学实验室,主要是满足光电检测与精密测量、光学器件制备、光学成像、及其他特殊光电类的科学研究^[10]。这类实验室对环境温度、湿度、压力、空气中颗粒物含量等条件均有较高要求,为高精度光学实验的实验顺利开展提供保障。相比其他类实验室,光学超净实验室是一个相对较为封闭的空间,此外光学实验室还涉及光学探测器件制备、微纳光学结构加工等相关研究工作,这类研究往往涉及材料合成与制备环节常用的化学试剂、高压气体等高危要素,致使安全隐患点显著增加。同时,该类实验室为满足多学科科研需求,日常开放频次与人员流动规模相对较大,且通常配备数量较多的高价值精密仪器设备。上述多重因素进一步提升了此类实验室安全管理的复杂度,若安全管控措施存在疏漏或执行不到位,极易诱发安全事故^[11]。

2 光学超净实验室安全管理主要内容

光学超净实验室的安全管理需覆盖环境、水电气、仪器设备、辐射、化学试剂等核心维度,各维度潜在风险、风险等级及防护措施如表1所示。

(1) 超净环境。确保实验及设备安全运行^[12]。光学超净间的超净环境是保障精密光学实验顺利开展、实验数据准确性、仪器设备安全运行的前提。

(2) 水电气安全。光学超净实验室通常配备较多的大型光学分析及检测设备,这给水电气配备带来一定挑战。

(3) 仪器设备安全。光学超净实验室为满足光学元件检测、激光特性分析、微纳材料表征等精密实验需求,普遍配备数量较多的高价值精密仪器设备,这类仪器不仅是支撑实验室核心科研活动的关键载体,其自身的精密性与高价值属性也对实验室安全管理提出了更高要求。

(4) 辐射安全。激光器是光学超净实验室的常见设备。针对激光辐射的风险认知多集中于可见波段,而对红外、紫外等不可见波段激光的辐射危害重视不足。此类激光虽无视觉警示性,却易穿透防护薄弱区域(如普通护目镜),导致皮肤灼伤、视网膜损伤等慢性伤害;另一方面,对“复合辐射风险”的识别存在盲区,如部分光学器件制备过程中,紫外固化灯与激光设备同时运行

表 1 光学超净实验室风险等级与防护措施

管理内容	潜在风险	风险等级	人防措施	技防措施
超净环境保障	颗粒物超标导致设备污染、数据偏差	中等	定期开展环境维护培训,明确清洁流程与责任分工	安装颗粒物在线监测仪、温湿度自动调控系统
水电气安全	漏水触电、高压气体泄漏/爆炸	高	岗前专项培训,定期开展气体钢瓶安全检查	安装漏水报警器、气体泄漏检测仪、钢瓶固定装置
仪器设备安全	操作不当导致仪器损坏、精度失效	中等	制定仪器专属操作规程,持证上岗操作	仪器运行状态实时监控系統,超温/超压自动停机
辐射安全	激光(含不可见波段)、复合辐射导致人身伤害	高	专项辐射防护培训,佩戴合规防护装备	辐射剂量监测仪,激光操作区红外/紫外警示装置
化学试剂安全	试剂泄漏、中毒、腐蚀	高	试剂分类使用培训,严格执行双人操作制度	通风橱、试剂泄漏应急处理装置、有毒气体报警器

注:风险等级按“高/中/低”划分,依据伤害程度、发生概率及影响范围综合判定。

时,会形成紫外与激光的叠加辐射场,而现有管理多单一管控某类辐射,未建立复合辐射剂量评估机制。

(5) 化学试剂安全。光学超净间多涵盖材料制备等方面的研究,其中涉及的部分化学品具有较强的毒性和腐蚀性,如常用的氯苯、甲苯、二甲基甲酰胺等常用制备材料均具有毒有害作用,盐酸、硝酸具有强腐蚀作用。同时化学及实验试剂在使用、存储、废弃过程中,如果安全措施不到位,极有可能引发安全事故^[9]。

3 光学超净实验室安全管理模式

3.1 构建自上而下的管理体系,责任到人,各负其责

实验室安全工作的有效落地,离不开完善的安 全管理体系。一套层级清晰、权责明确的自上而下管理模式,更是保障实验室安全的核心前提。实验室须设立专职安全负责人,该角色承担“双向衔接”职能:向上对接学院与学校安全管理部门,精准传达校级、院系层面的安全管理规范与要求;向下统筹课题组教师与学生群体,既要牵头制定符合本单位实验特点的个性化安全制度,也要牵头开展日常安全监管工作,通过流程化管控保障各项安全规章高效落地。在课题组层面,需同步配备专职安全管理教师,形成管理闭环。该教师向上对接院所安全负责人与课题组负责人,落实上级部署的各项安全规定,推动组内安全管理方案的具体执行;向下负责课题组成员学生安全管理,定期开展实验室设备安全检查,并对实验操作过程进行监督,确保学生规范参与实验。

图 1 为北京理工大学光电智能感知与精密测试技术中心光学超净间。

为进一步明确各层级管理职责与衔接机制,构建“校-院-课题组-个人”四级安全管理组织

框架(见图 2),明确校级负责制定统一安全管理规范与考核标准,院级负责统筹资源、监督落实并协调跨课题组安全事务,课题组负责制定个性化操作细则与日常风险排查,个人承担规范操作、隐患上报的直接责任,各层级均配套对应的制度支撑文件(如校级《实验室安全管理总则》、院级《安全责任考核办法》、课题组《超净实验室操作规范》),最终实现“责任到人、各尽其职”的管理目标,为实验室安全筑牢制度防线。

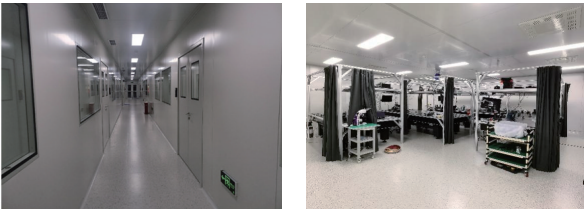


图 1 北京理工大学光电智能感知与精密测试技术中心光学超净间

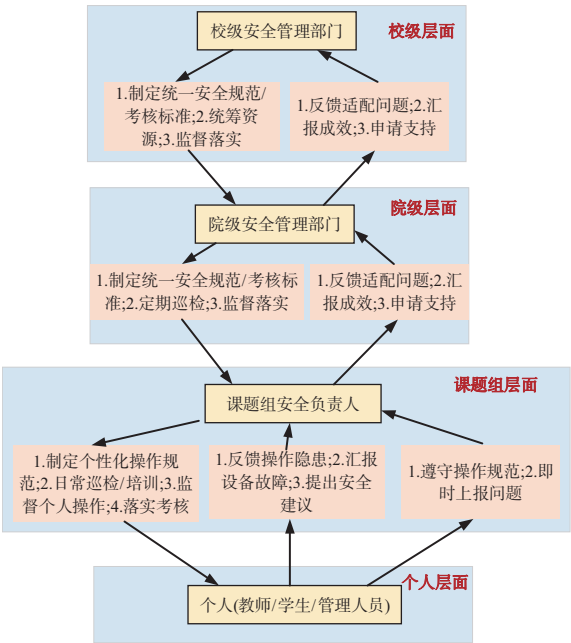


图 2 四级安全管理组织框架

3.2 建立严格全面的全员培训制度及再培训机制

光学超净实验室需构建严格的准入机制与系统化安全培训体系。该培训体系需要覆盖教师、学生、管理人员及访问学者等所有实验室参与主体。在进入实验室开展实验前,均需完成针对性安全培训并通过考核,达到预设准入标准后方可进入实验室开展研究工作。

北京理工大学光电智能感知与精密测试技术中心针对光学超净间的安全管控,构建了覆盖全员的安全培训制度,其详细培训流程如图3所示。从准入前置要求来看,使用者须先完成基础安全培训模块,具体涵盖防火安全、常规实验室操作安全、化学试剂管理安全及高压气体使用安全等内容;若实验过程中涉及激光类设备的操作,还需额外完成激光辐射安全专项培训,确保培训内容与实验操作场景精准匹配。完成上述基础及专项培训后,使用者方可提出光学超净实验室专项安全培训的申请。待超净实验室培训结束,须通过考核评估且经实验室负责人审批通过,才能正式获得光学超净间的准入权限,该权限有效期设定为一年。

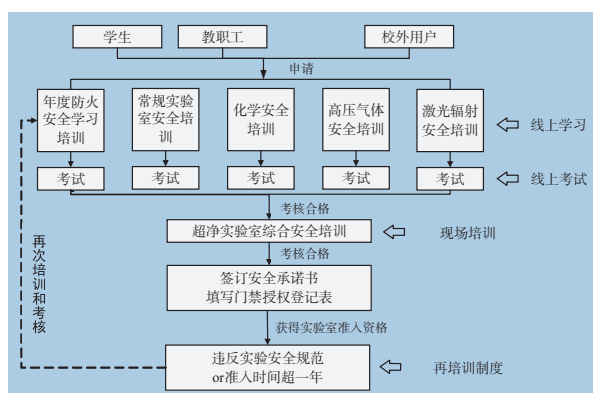


图3 安全培训机制与流程

为实现安全管理的动态化与长效性,北京理工大学光电智能感知与精密测试技术中心同步推行时间轴管理机制:一方面,当准入权限临近到期时,使用者需重新参与全套安全培训,通过周期性复训强化安全操作意识,避免安全知识弱化;另一方面,若使用者存在违反实验安全规范的行为,其准入权限将被即时撤销,需重新完成所有规定培训并通过考核,方可恢复光学超净间的使用资格。

3.3 安全责任界定及实验流程的审核

实验室应明确安全负责人,该责任人是实验室整体安全的第一责任人;对于学生群体的安全管理,导师应履行学生实验安全的直接监管职责。实验开展前需严格执行实验流程审核,实验人员完成安全培训后,进入实验室操作前须对实验方案进行系统性评估,充分识别并掌握方案中潜在的安全风险点;

同时填写实验室实验申请审批表,课题组长、导师、实验室负责人依次进行审核签字后,方可启动相关实验研究工作,确保实验全流程合规可控。

3.4 严格实行门禁权限管理,建立网络信息化安全管理平台

光学超净间应实行严格门禁管理。门禁权限的管理控制可提升实验室安全管理效率及水平。其优势主要体现在:一方面,能对所有进入实验室人员的出入行为实现全程留痕记录,确保人员进入轨迹可追溯、可核查;另一方面,可依据师生的不同身份属性(如教师、研究生、本科生等),精准限定其对应的实验室准入时段,实现准入时间的差异化管控,既保障实验室使用秩序,也提升管理针对性。

3.5 融入技术伦理,提升安全意识

当前有关实验引发的安全事故,往往被归因于实验设备、耗材的自身问题或管理制度的不完善。事实上,这类事故的核心诱因在于实验技术人员存在技术伦理意识短板,未能从伦理维度对实验进行统筹思考与方案设计。在传统实验室安全管理体系中,技术伦理视角的缺失使得实验设计与实施环节未能融入伦理考量,不仅导致安全伦理教育与实验实践之间出现脱节现象,还影响了道德价值与科学知识的有机融合,可能造成实验设计规范存在明显漏洞,而这些问题本质上都属于安全意识薄弱的范畴。

工程伦理要求技术人员有考虑周全的义务。其核心原则包括四大维度:一是“生命至上”原则,将实验人员的安全、健康与福祉置于首位,所有实验设计与操作均以规避人身伤害为首要前提;二是“责任追溯”原则,明确实验全流程的责任主体,确保每一项操作、每一个环节都可追溯、可追责;三是“风险预判”原则,从伦理视角前置识别实验潜在隐患,避免因追求科研效率而忽视安全风险;四是“可持续发展”原则,兼顾科研活动与环境安全、公共利益的协调统一。

事实上,安全状态是相对的,危险才是绝对的。在实验室安全管理工作中,应将这种防微杜渐的风险意识内化为每位实验参与者的自觉意识,从思想认知层面入手,为源头上防范安全事故发生提供保障。

3.6 制定安全指导手册,防范意外事故

安全培训的目的除了提高事前预防意识和安全责任感外,掌握事故预防及安全防范的基本操作也是其重要内容,因此安全培训中应明确事故预防及安全防范的基本操作。制定安全指导手册

就是其重要的手段,安全手册内容应覆盖水、电器安全等常规知识,还需包含事故预防、危险品、火灾等紧急事故处置方法,制定具有可操作性的应急预案。针对实验室各潜在安全风险区域,需张贴专项应急处置方案,该方案须明确涵盖突发状况下的具体处置流程,同时需完整列明应急联络人信息与联络方式,确保紧急情况发生时,相关人员能快速参照方案开展应对工作。

综上,光学超净实验室的安全性问题远不止于传统水电管理、激光防护与辐射控制的范畴,针对这些安全问题,应构建一个多维度的安全防护体系。光学超净实验室的安全管理不仅要求管理及科研人员具备深厚的专业知识,还须拥有高度的安全意识与跨学科的综合能力,通过不断管理优化构建起全面的安全防线,为光学乃至更广泛领域的科学研究保驾护航。

4 结 论

高校科研实验室作为开展人才培养与知识创新的重要场所,既承担着教书育人的重要职能,也承载着保障实验参与人员人身安全、守护环境安全的重要职责。因此,科研实验室的安全管理应以维护实验者安全及科研实验的安全开展为基本准则,构建安全、可持续的科学活动空间;同时还须立足科研活动的社会属性,在维护科技创新研究自由度的前提下,充分尊重科研创新活动的共性规律与个性特征,最终将实验室打造为具备高度开放性与包容度的知识创新、共享及传播的重要场所。

参考文献:

- [1] 教育部重点实验室建设与运行管理办法[Z],教技[2015]3号. Measures for the construction and operation management of key laboratories of the ministry of education[Z]. JiaoJi [2015] No. 3.
- [2] 余建潮,叶秉良,陈奂丞. 高校实验室安全管理体系构建[J], 实验室研究与探索, 2021, 40(7), 300—304.
Yu Jianchao, Ye Chongmin, Chen Yingcheng. Construction of a safety management system for university laboratories [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2021, 40(7): 300—304.
- [3] 陈彦彬,黄忻,郑钢勇. 基于风险评估高校实验室安全治理研究与实践[J]. 实验科学与技术, 2025, 24(1): 1.
Chen Yanbin, Huang Zhe, Zheng Gangyong. Research and practice on university laboratory safety management based on risk assessment[J]. Experiment Science & Technology, 2025, 24(1): 1.
- [4] 陆紫生. 世界一流实验室管理经验对“双一流”大学启示[J]. 实验技术与管理, 2019(6): 267—273.
Lu Zisheng. Management experience of world-class laboratories and enlightenment for "Double First-Class" universities[J]. Experimental Technology and Management, 2019(6): 267-273.
- [5] 张森,曹丽丽,张红医,等. “双创”背景下化学实验室安全建设新模式探索[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(9): 295—298.
Zhang Miao, Cao Lili, Zhang Hongying, et al. A new model of chemical laboratory safety construction based on “innovation and entrepreneurship” [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2020, 39(9): 295—298.
- [6] 李志红. 100起实验室安全事故统计分析及对策研究[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(4): 210—216.
Li Zhihong. Research in statistical analysis and countermeasures of 100 laboratory accidents[J]. Experimental Technology and Management, 2014, 31(4): 210—216.
- [7] 秦峰,黄强,袁久洪. 高校实验室安全事件的原因浅析与管理对策[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(3): 302—306.
Qin Feng, Huang Qiang, Yuan Jiuhong. Analysis on the cause of university laboratory accidents and management countermeasures [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2017, 36(3): 302—306.
- [8] 孟兆磊,白亮,马庆,等. “三全育人”背景下实验室安全教育模式探索[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(增刊1): 49—52.
Meng Zhaolei, Bai Liang, Ma Qing, et al. Exploration of laboratory safety education mode under background of “three integrity education” [J]. Experimental Technology and Management, 2023, 40(Suppl. 1): 49—52.
- [9] 教育部高等教育司关于加强高校实验室安全工作的通知[Z]. 教高司函[2024]15号.
Notice of the department of higher education of the ministry of education on strengthening laboratory safety in institutions of higher learning [Z]. GaoJiaoSi [2024] No. 15.
- [10] 张秀英. 高校光学超净实验室管理模式探讨[J]. 分析仪器, 2019(5): 71—74.
Zhang Xiuying. Discussion on the management of optical super-clean laboratories in colleges and universities[J]. Analytical Instrumentation, 2019(5): 71—74.
- [11] 刘恩涛,王华,吕晓霞,等. 昆士兰大学化学超净实验室安全管理体系及其启示[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(10): 289—294.
Liu Entao, Wang Hua, Lü Xiaoxia, et al. Safety management system of ultra-clean chemistry laboratory in University of Queensland and its inspiration[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2021, 40(10): 289—294.
- [12] 徐珺,谢尚青,熊玉新,等. 地球化学超净实验室的洁净度管理探讨[J]. 实验室研究与探索, 2025(3). 201—204.
Xu Jun, Xie Shangqing, Xiong Yuxin, et al. Exploration on cleanliness management in geochemical ultra-clean laboratories [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2025(3): 201—204.