



现代科技赋能大型仪器室安全管理

陈睿

(南开大学材料科学与工程学院, 天津 300350)

摘要: 对于价格昂贵、设备精密、维修成本高、开放程度高、送样人员流动性强的大型精密设备, 如何实现其高效且安全的管理一直是值得高度重视的工作。南开大学材料科学与工程学院大型仪器平台(以下简称大仪平台)针对大型仪器室“设备高精尖、维护贵繁琐”的特点, 经过多年的不断摸索和循序执行, 在规范传统大型仪器管理方式的基础上, 利用现代信息化手段, 在实践中逐渐探索出具有普适性的大型仪器室管理方案, 即“区域协同, 虚实结合、远程协助、联防联控”。基于以上安全管理实践, 数年来该平台高效开放共享, 为高素质人才培养、高水平科学研究和“双一流”学科建设提供了有力支持。

关键词: 大型仪器; 安全管理; 现代科技; 区域协同; 虚实结合

中图分类号: G482

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230552

Modern Technology Empowering the Construction of Safety Management for Large-scale Instrument Laboratory

CHEN Rui

(School of Materials Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300050, China)

Abstract: Large-scale instrument is featured as expensive and sophisticated, and a highly careful operation and high maintenance cost are required. Furthermore, high openness of the large-scale instruments and strong mobility of persons delivering sample make the safety management for large-scale instrument laboratory much more complicated. In order to ensure the security of laboratory with above mentioned characteristics, a series of steps has been taken by School of Materials Science and Engineering, Nankai University in recent years. They did a great progress on standardizing the traditional management modes, moreover, a lot of new appearing technology and scientific programs have been innovatively, gradually explored and performed. After a couple of years' practice and implementation, a general large-scale instrument room safety management scheme has been established, that is, "collaboration of different regions, combination of virtual and real, remote assistance, joint prevention and control". Based on the above management practices, the platform has been operating efficiently and openly for several years, providing strong support for the cultivation of high-quality talents, high-level scientific research, and the construction of "Double first-class" disciplines.

Key words: large-scale instrument; safety management; modern technology; collaboration of functional regions; combination of virtual and real

大型仪器室是开展科学研究, 突破科学前沿、进行原始创新和培养创新型人才的重要场所^[1-4]。近年来, 在持续推进“双一流”大学的建设中, 国家对高校实验教学和科研创新的投入不断增大, 大型仪器设备在固定资产中所占比例逐

渐上升, 覆盖学科领域和人员使用范围不断扩大。南开大学材料科学与工程学院自 2015 年建院以来新增大型精密仪器十余台, 总价值近 8000 万元^[5]。主要有聚焦离子束扫描电子显微镜、场发射透射电子显微镜、X 射线光电子能谱仪、固体核

收稿日期: 2023-11-22; 修回日期: 2024-04-16

基金项目: 2021 年南开大学大型仪器实验技术开发项目(21NKDYJS01); 教育部 2021 年产学研合作协同育人项目(202102095017); 2024 南开大学本科实验教学改革项目(24NKSYJG18)。

作者简介: 陈睿(1985-), 女, 博士, 高级实验师, 主要从事过渡金属氧化物的原位表征和大型仪器管理工作。

E-mail: mse-chenr@nankai.edu.cn

磁共振谱仪、磁性测量系统、场发射扫描电子显微镜、X 射线粉末衍射仪、X 射线单晶衍射仪、X 射线断层分析仪，低能电子衍射仪，显微共聚焦拉曼光谱仪、元素分析仪、气质联用、原位红外光谱等。测量范围包括无机物和有机物的元素组成、晶体结构、微观形貌、表面价态以及其他物化性质等。

随着科研工作和科研课题的动态变化和不断深入，大型仪器室也呈现出新的安全隐患，如仪器设备和配套设施(高压气瓶，循环冷却水，不间断电源等)剧增，测试样品数量大，种类繁多，进入仪器室的人员流动性大，开展的测试活动和教学任务频繁，承载的工作内容日益繁重，以上问题为其开放共享和安全运行带来诸多困扰^[6-11]。南开大学材料学院大仪平台在完善传统安全管理措施的基础上，以现代科技支持的信息技术为手段，通过信息化建设、可视化技术、远程通信等技术的应用，为实现大型仪器实验室的安全管理提供了新的技术支持，也为提升大型仪器实验室的服务和管理能力提供了新方式和新形态。

1 完善传统安全管理措施

1.1 动态更新管理制度

南开大学材料学院大仪平台成立初期，为规范仪器管理和开放共享，学院出台了一系列的细则和管理制度，包括仪器与经费管理、人员配置及要求、仪器运行模式、仪器维修与维护等，为更好地服务教学科研奠定了基础。经过 3 年的运行测试和开放共享实践积累，2019 年，材料学院新建了更有针对性的、适合大型仪器的规章制度《材料学院仪器管理章程》，建立从学院顶层到实验室具体使用人不同级别的安全管理体系，如图 1 所示。每间实验室设置专人管理，明确大仪室安全管理的工作范围、职责分工；除了对进入大仪室的人员进行常规的安全教育外，还需要对上机人员进行大仪理论培训和操作专项培训，详细说明各仪器的安全操作流程和规范标准，保证大型仪器的安全平稳运行；同时设立安全巡查制度，实现对潜在危险因素的查疏补漏；最后，建立明确的奖惩制度，如机时奖励，培养学生的安全意识，激励学生主动促进大仪室安全建设。通过建立和不断完善、创新安全管理方案，使得仪器室的各项安全管理措施能够有效实施。

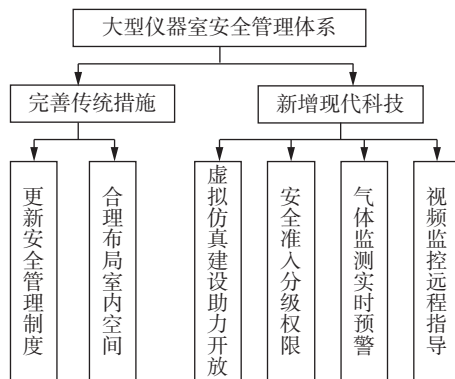


图 1 大型仪器室安全管理体系示意图

1.2 安全合理的空间布局

大型仪器室对室内的要求比一般实验室的要求要高，涉及通风、用电、防尘防水、防磁减震等，还会用到高压钢瓶、易燃易爆气体等多种危险源，其设计装修是一项专业的系统工程，室内布局需要进行合理的规划，在满足行业规范要求的基础上，重视危险源的安全防护，同时需要留有扩容余地。因此，大型仪器室内合理的空间布局对其安全管理至关重要。材料学院大仪平台以仪器操作测试区为核心区域，同时配置 5 个辅助区域，紧紧围绕核心区实行了“区域协同、联防联控”的大型仪器室安全管理方式，实现了大型仪器实验室的合理空间布局，如图 2 所示。



图 2 大型仪器室“区域协同、联防联控”安全管理示意图

1.2.1 以仪器为中心的测试区，根据各个仪器特点有效布局

1) 张贴具有警示性的高压、高磁、辐射、激光标识，以提醒送样测试学生远离危险辐射源，保障仪器和师生人身安全^[12]。

2) 大型仪器室实行培训考核准入制度，仅对

经过实验室安全培训、理论学习和上机操作的学生指纹授权,保证仪器测试区域的人员可控。

3) 张贴醒目的测试指南和温馨提示,保证助教同学能够顺利完成辅助测试工作。

1.2.2 围绕中心测试区,配置 5 个辅助区

1) 配件区

大型仪器核心组件的平稳运行需要多种附件配置,其中包含水、电、气、油等,涉及多种危险源。因此需要设置单独的区域,分别对以上危险源进行隔离,并请专业团队进行水路、电路、气路等的设计规划,符合消防安全管理规定,实行每周不少于两次的配件区巡检制度,及时发现隐患,消除隐患。

2) 准备区

材料学院大型仪器面向全校开放,服务范围广,服务人员多。因此预约送样人员实行区域分流,最大限度减少由于人员复杂给大型仪器带来的潜在隐患。同时在准备区域内为学生们张贴详细制样送样说明,提供高效快捷的样品准备方法。

3) 应急区和工具区

针对大型仪器运行必备的水、电、气、油等危险源,为防止意外发生,应急区主要配备了消防、急救、紧急喷淋和烟感/气体报警器等较为完善的应急措施,并在相应位置辅以使用说明,明确室内救援方案。工具区主要摆放了各种仪器日常维护需要使用的典型工具,工具分类归放,摆放整齐,一目了然。

4) 功能开发区

在保障仪器平稳运行的基础上,实验老师致力于提供高水平测试服务,在测试时与学生自由探讨,以期通过技术创新或者硬件升级为师生解决测试难题,为学院和学校科学研究和人才培养助力。

2 新增现代科技助力安全管理

2015 年《国务院关于国家重大科研基础设施和大型科研仪器向社会开放的意见》提出,要加快科研设施和仪器的开放共享,充分释放服务潜能,提高专业化服务能力。目前,材料学院的大型仪器使用频率非常高,有 70% 的大型仪器需要夜间测试,甚至有些仪器 24 小时不间断工作,纯粹依靠人工很难满足科研需求。随着虚拟仿真、

物联网、大数据、移动通信等现代先进技术的快速发展,学院大仪平台利用计算机、智能传感、视频监控等信息化建设手段为大型仪器实验室的安全开放提供了强有力的支撑。

2.1 虚拟仿真项目建设

面对国家和用户提高开放共享的需求,材料学院大仪平台 2017 年便开始投入大量精力和时间展开大型仪器操作培训,将非工作时间用于研究生开放测试。但是,大型仪器设备精密,操作复杂,培训周期长,对于用户需求高、资源紧张的仪器,真实场景的线下培训不仅会降低仪器的使用效率,浪费仪器的宝贵机时,甚至会对仪器造成磨损消耗。此外,线下培训空间上受限于大型仪器室空间,时间上高度依赖培训教师,很难实现随时随地自由参与、反复练习。

自 2020 年开始,为了降低线下培训带来的潜在风险,提高用户学习的自由度和参与感,材料学院大仪平台逐渐将虚拟仿真技术应用于用户较多、培训较难、资源紧张的大型仪器培训,如图 3 所示。该技术的实施完全不受培训空间的影响,教师可完成线上教学和培训工作,学生用户也不受时间和地点的限制,可随时登录虚拟仿真系统学习大型仪器的安全操作和日常维护管理。在虚拟仿真项目建设中,通过趣味性动画设计,将看似枯燥的大型仪器培训切换为人机互动游戏学习方式,以较为轻松愉快的可视化方式使新用户了解了大型仪器的工作原理和操作注意事项^[13],在关键、易错、重大事故点发布提示和设置考核,有效避免了一些高风险、不可逆的操作培训风险。通过虚拟仿真软件的建设,不仅明显降低了大型仪器故障率,而且在提升培训效果的基础上,显著降低了培训占用机时,提高了机时利用率。同时,充分激发了学生学习的积极性、主动性和创造性,培养了创新性和实践性人才。虚拟仿真软件辅助的大型仪器培训,减少了上机实操人员的不安全行为,减少了实操练习对仪器的磨损,促进了大型仪器设备的安全运行和安全开放共享。

2.2 智能安全管理系统

2.2.1 安全准入分级权限

随着仪器开放共享程度的不断提高,进入大仪实验室的人员数量剧增,人员流动性越来越大;而且进入大仪室的人员类别不同,主要包括

仪器负责人、上机操作人员和日常送样人。不同类别的人员安全等级不同，授权级别不同。其中仪器负责人具有最高权限；经过严格培训，通过强制性考核，签署安全承诺书的上机操作人员具有指纹权限进入大仪测试区，并具有电脑登录权

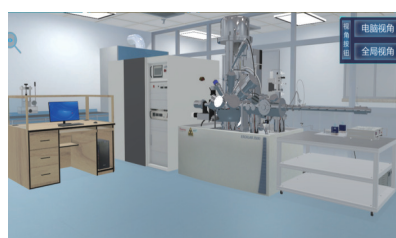
限上机操作；日常送样人员无任何权限，仅可在工作时间由授权人员陪同进入大仪室完成送样。通过将安全准入系统与个人指纹融合，将登录权限与学号信息结合，实现了大仪室内不同区域人员的分流控制和安全等级划分。



(a) 扫描电镜虚拟仿真界面



(b) 透射电镜虚拟仿真界面



(c) X射线光电子能谱虚拟仿真界面

图3 用于教学和培训的大型仪器虚拟仿真软件场景图

2.2.2 气体实时监测系统

大部分大型仪器运行时都会用到众多惰性气体用于驱动阀门或保护器件，如高纯氮、高纯氦、液氮等，如不慎发生泄漏容易造成工作人员窒息。有些仪器如气质联用、元素分析等会用到氢气、甲烷、乙炔等易燃易爆气体；另外随着原位表征测试的需求量不断增大，CO混合气、VOCs等也常出现在大仪室中，导致大仪室的钢瓶存量和气体种类日益增多。因此平台高度重视大仪室内气体的安全管理^[14-15]。基于学校 Zigbee 无线传输技术^[16]，材料学院大仪平台率先配备了气体浓度探测器、泄漏报警装置和排风系统，实现了对室内气体的实时监测、预警、报警和紧急排风，保障了仪器安全用气和大仪室内人员的人身安全。

2.2.3 视频监控远程指导

视频监控系统是大仪室安全管理信息化建设的主要组成部分，也是发生安全事故后过程追溯、原因分析和责任划分的原始依据^[17-18]。实时动态监测的监控系统有利于及时发现安全隐患，同时工作人员也通过远程在线联机软件或者微信在线指导，在非工作时间及时连线现场排除和解决正在发生的故障。远程指导大大降低了大型仪

器使用期间的故障率，保障了大型仪器设备的长期平稳运行。

3 结束语

随着科学研究工作的不断深入，大型仪器实验室正在朝更加开放、多元、智能化的方向发展，其规范化、精细化、信息化的安全管理和建设也势在必行。材料学院大仪平台在更新和完善传统安全管理措施的基础上，以现代科技支持的信息化技术为手段，通过虚拟仿真技术、大型仪器培训信息化建设、智能软件等辅助开放共享，通过物联网、大数据、远程指导为大型仪器室的人员分流、危险源管理、仪器维护等安全管理提供有力支撑，实现了大型仪器的长期安全运行，运行6年来少故障，零事故。通过动态加固传统安全措施，开创现代化信息手段进行安全维稳，以上模式使得大型仪器实验室的安全管理得到持续改善。

参考文献

- [1] 潘伟, 聂洪港, 陈明星, 等. 高校大型仪器实验室安全管理探讨[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(7): 231-233.

- [2] 汤海峰, 刘艳, 闫国栋, 等. 开展线上线下混合式教学助推大型仪器面向本科生开放[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(11): 174-177.
- [3] 姚青倩, 卢媛, 陈翠红, 等. 新工科背景下利用大型仪器平台的实验教学实践[J]. *实验室研究与探索*, 2022, 41(5): 226-229.
- [4] 陈建珍, 穆麒麟, 蔡威威. 地方高校大型仪器设备开放共享模式研究及实践[J]. *实验科学与技术*, 2022, 20(1): 123-127.
- [5] 陈睿, 陈铁红, 胡宁. 大型仪器多人交叉管理模式的实践和成效[J]. *实验技术与管理*, 2021, 38(4): 279-281.
- [6] 王娜, 吴洋, 卿大咏, 等. 高校院级平台大型仪器设备年度使用报告的建立及作用研究[J]. *实验科学与技术*, 2023, 21(6): 1-5.
- [7] 易力力, 陶桂宝. 高校实验室安全管理系统敏捷协同开发[J]. *实验科学与技术*, 2023, 21(2): 138-141.
- [8] 于川茗, 赵盈盈. 高校大型仪器设备开展科普教育的探索与实践: 以电子显微镜为例[J]. *化学教育*, 2021, 42(18): 140-143.
- [9] 孟国忠, 农春仕. 基于 PDCA 循环的大型仪器实验室安全管理体系建设与实践[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(12): 299-302.
- [10] 于川茗, 田晶, 李海霞. 基于独特性的大型仪器实验室安全管理体系研究[J]. *实验技术与管理*, 2019, 36(12): 260-263.
- [11] 韩景芸, 宋崑, 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.
- [12] 宁信, 张锐, 王满意, 等. 高校辐射安全管理的实践与探索[J]. *实验室研究与探索*, 2019, 38(12): 312-315.
- [13] 刘强, 刘霖, 袁勇, 等. 基于严肃游戏的网络空间安全基础虚拟仿真教学系统[J]. *实验技术与管理*, 2022, 39(4): 190-198.
- [14] 李冰洋, 黄开胜, 艾德生, 等. 高校实验室用气安全主要问题与解决方案[J]. *实验室研究与探索*, 2021, 40(6): 295-300.
- [15] 高玉坤, 王树祎, 张英华, 等. 高校实验室气瓶安全标准化管理研究[J]. *实验技术与管理*, 2017, 34(5): 259-262.
- [16] 宁信, 虞俊超, 张锐, 等. 高校实验室气体实时监测系统的开发与应用研究[J]. *实验技术与管理*, 2021, 38(6): 269-272.
- [17] 任佳, 朱国典, 刘永刚, 等. 高校实验室安全综合管理信息系统的开发与应用[J]. *实验技术与管理*, 2021, 38(11): 303-307.
- [18] 宋志军, 房升, 蔡美强, 等. 高校实验室安全闭环管理的实现路径探索[J]. *实验技术与管理*, 2021, 38(3): 288-293.

编辑 钟晓