

质谱实验室建设与管理的方案探讨

张 灿, 李晓林, 李 蓓*

(上海交通大学系统生物医学研究院, 上海 200240)

摘要: 质谱技术在现代科学研究中扮演着不可或缺的角色, 其高精度性、高特异性和高通量的特点, 使其广泛应用于众多领域。质谱实验室建设、管理和运行方面缺乏统一的管理规范, 部分质谱平台存在运转困难、使用效率低、仪器故障频繁、检测不灵敏等问题。本文对质谱的基本原理、应用领域和现状进行总结, 提出质谱实验室建设与管理的新建议, 通过优化质谱实验室场地设计、合理化人员配置、加强安全管理和新增智慧化建设来完善质谱实验室建设, 以期提升质谱实验室的运行效率, 促进科研、教学及生产的创新与发展。

关键词: 质谱实验室; 实验室建设与管理; 智慧化管理

0 引言

根据工信部的《产业关键共性技术发展指南》, 质谱分析技术被明确列为具有基础性应用特点的关键共性技术^[1], 这反映了其在多个行业中的应用广度与深度。近年来, 质谱技术经历了显著的升级换代, 仪器性能不断提高, 对质谱仪的需求也在持续增长^[2-3]。然而, 质谱仪的价格昂贵、维护成本高、运行环境要求严格, 并对技术人员的专业水平有较高要求。因此, 如何合理设置质谱实验室, 保障其平稳高效运行, 如何做好开放使用管理, 使其在科研、教学和生产中发挥更大的作用, 成为众多高校和科研机构面临的重要课题。本文对质谱的基本原理、仪器分类以及实验室合理建设与管理进行探讨, 提出了质谱实验室场地设计、人员管理、安全管理和智慧化建设的优化建议, 以期为更多质谱类实验室提供参考。

1 实验室设计

1.1 合理分区

实验室的空间设计应合理划分, 包括样品处理操作区、质谱检测区、数据分析区, 各区应实现空间上的分隔, 避免影响质谱仪器正常运转^[4]。样品处理操作区通常设置在实验室的入口附近或通风良好、采光充足的位置, 用于对样品进行预处理, 如样品的采集、运送和实验室内传递等。质谱检测区即质谱仪器放置房间, 也是实验室的

核心区域, 需要洁净、防尘、无污染源、防潮、防震、弱磁场的环境, 还应留出适当空间便于日常操作、定期维护保养和检修。数据分析区根据实验室实际场地情况进行选配, 通常位于质谱检测区附近, 与其他实验区域保持一定的分隔, 确保数据处理环境的安静和整洁。有氮气发生器的质谱仪还需额外设置独立房间, 避免氮气发生器运作时产生的热量无法及时散出造成室内温度升高。钢瓶放置区应通风良好, 以防气体泄漏导致危险, 要确保钢瓶竖直放置, 并使用支架或者绑带固定(见图1)。

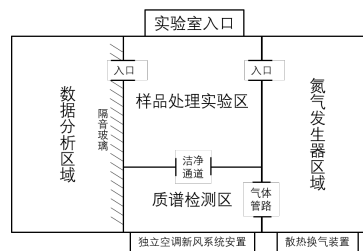


图1 实验室分区示意图

1.2 空气质量要求

(1) 温度与湿度。温、湿度不适宜可能会影响仪器的性能、结果的准确性和可重复性, 适宜的温、湿度可优化离子化过程和信号检测, 提高分析的灵敏度和精度, 因此要严格控制质谱实验室的温度和湿度。应设计匹配室内面积的空调数量和功率保持质谱实验室温度适宜。此外, 南方的质谱实验室, 应配备除湿机以防机器受潮。北方的质谱实验室, 应设置加湿器以防静电或样品干燥。质谱房温

基金项目: 上海交通大学 2024 年度决策咨询课题 (JCZXZGB2024-35)。

第一作者: 张灿, 硕士, 助理实验师, 研究方向为蛋白质组学。

* 通信作者: 李蓓, 硕士, 实验师, 研究方向为实验室安全与管理。libei_shjd0502@sjtu.edu.cn

度应保持在 20~25 °C, 湿度保持在 40%~60%, 最佳状态以 45%~55% 为宜^[5]。

(2)空气洁净度。质谱分析需要检测极低浓度的离子, 如果实验室环境中的尘埃、化学物质或其他污染物较多, 会引入额外的背景信号, 影响结果分析的准确性和灵敏度。应安装新风系统保证空气中的尘埃、化学物质和挥发性有机化合物最低限度, 以避免对质谱分析结果产生干扰^[6]。

(3)空气流通。质谱实验室检测区要求保持负压环境, 确保空气不会外泄, 控制有害气体的排放, 同时应配备良好的通风系统和排气系统。此外安装负压监测设备, 实时监控实验室压力状态, 确保负压稳定。样品处理区和数据分析区做正压设计。通过正压送风系统向特定区域送入清洁空气, 防止外部污染物的进入。可使用高效过滤器对进入实验室的空气进行净化, 确保洁净度。

1.3 低振动环境

质谱仪对环境振动敏感, 质谱房应具备隔音和减震设计, 尽量减少外部震动的影响, 隔离振动。

1.4 不间断电源

不间断电源(UPS)系统能在停电或电压波动时为质谱仪提供临时电源, 防止数据丢失和仪器损坏。质谱实验室应根据质谱仪功率选择容量合适且响应时间短的 UPS, 确保在电力中断时能快速切换至电池供电^[7]。UPS 应安装在通风良好的地方, 避免过热, 同时便于定期维

护和检查。

1.5 管路设计

气路设计时, 确保气体的纯度和稳定性至关重要。实验室气路要采用具备优良耐腐蚀性和机械强度的医用级不锈钢材料, 有效防止气体在输送过程中的污染。管路上不应有焊接接头或铜焊接合, 以避免气体受到氧化锡或氧化铅的污染。所有接头均采用压力接头设计, 确保气体连接的密封性与稳定性, 防止漏气现象的发生。此外, 管路上要为各路气体配置二级减压器。

2 人员设置与培训

质谱平台除了配备必要的平台负责人和各类研究人员外, 对上机操作和安全管理也有较高要求。应配备独立的技术支持人员, 技术支持人员数量可依据平台质谱仪器数量具体配置, 建议一人负责三台质谱仪器, 专人专岗。

技术支持人员主要负责仪器的正常运转、上机操作、样品质量监控、数据处理和实验室安全管理, 需具备基本的理论知识、实践技能和机器操作能力, 对仪器参数调节和设置以及仪器经常出现的基本故障排查具备一定了解。每日要按照《质谱实验室安全监测表》(见表 1)内容观察并填写, 还需按照《质谱仪器维护表》(见表 2)定期对质谱仪器进行清洗和维护^[8]。此外, 及时登记仪器使用情况, 并定期对质谱数据进行备份保存。

表 1 质谱实验室安全监测表

日期	时间	温度 /°C	湿度 /%	空气流通情况	进样系统状态	质谱仪状态	钢瓶状态	房间清洁情况	废液回收情况	有无异常	记录人

表 2 质谱仪器维护表

	气体检查	流动相换新	仪器真空状态	离子传输管清洁	定期校准	检查电压	清洗管路	泵油更换	气瓶更换
频次	每日	每日	每周	每周	每月	每月	每半年	每半年	剩余 1/3 时
完成时间									
操作人									

部分质谱实验室具有教学科研任务, 但质谱仪器贵重且学生操作水平不一, 不宜直接操作。可交由技术人员上机操作或对学生培训考核。培训包括实验室安全等规章制度、质谱相关理论以及上机演示等, 以确保在操作前具备必要的知识与技能, 降低人为操作风险。

3 安全管理

3.1 加强人员安全培训

人员培训是安全管理的基础。所有操作人员必须经过系统的安全培训, 了解安全注意事项。培训内容应涵盖紧急情况处理、个人防护装备的使用及实验室规章制度等。

此外, 应定期组织安全演练, 帮助相关人员熟悉应急响应流程。实验过程中操作人员必须穿戴防护装备, 包括实验室外套、防护眼镜、手套和防护鞋等。使用易挥发的有毒试剂时, 还需使用防护面具或呼吸器等额外防护装备。

3.2 仪器设备的安全

实验室应制定详细的仪器管理制度, 包括定期维护和检查, 以确保设备正常运行。建立设备使用记录和故障报告机制, 确保每一次操作都在可控范围内。对于发现的任何故障或潜在风险, 及时进行修复和更换, 以避免在实验过程中发生意外。同时, 确保实验室环境符合标准, 定期检查通风设备和电力系统, 降低安全隐患。

3.3 化学品管理

所有化学品必须标记清晰, 包括药品名称、危害信息和使用说明。实验中常用的有机试剂如甲醇、乙腈、异丙醇、丙酮等应进行严格管理, 放置在通风橱中。建议安装空气质量监测设备, 实时监控室内空气参数, 确保实验室环境处于理想状态。

3.4 废物回收处理

实验室必须建立完善的废物处理制度。样品分析产生的废液和固体废物应进行分类和标识, 确保其在安全条件下存放和处理。固废设置医疗垃圾桶、利器盒。废液容器应符合安全标准, 定期清理和更换, 避免废物堆积引发的安全问题。

3.5 应急措施

应配备急救箱、灭火器、洗眼器和安全淋浴设备, 并定期检查其有效性。制定并张贴紧急撤离路线图, 确保所有人员了解撤离程序。

4 质谱平台智慧化管理

质谱平台共享需求日益增长, 质谱实验室的管理与维护面临更多挑战。为了有效提升资源利用率, 建设一个智慧化共享平台显得尤为重要。以下是一些具体的建设方法。

4.1 信息化系统开发

开发一个基于云计算的信息系统, 支持数据存储、共享和实时访问, 从而搭建共享平台, 该平台不仅方便用户查询信息和上传数据, 还可以提供一个全面的实验数据和样品数据库, 便于科研人员进行数据挖掘和分析, 并高效地获取所需数据, 从而提升研究效率。

4.2 远程操作与监控

引入远程操作功能, 允许用户处于不在实验室的情况下控制质谱仪器, 极大地提高实验的灵活性和效率^[9]。同时, 配备实时监控系统, 通过传感器监测实验室的环境参数(如温度、湿度和气体浓度), 确保实验条件符合仪器使用要求。

4.3 线上预约与资源管理

建立线上预约系统, 允许科研人员预约设备使用时间, 避免资源冲突。此外, 通过数字化管理实验室仪器和耗材, 实时更新设备使用状态和可用性, 优化资源配置。此管理方法可有效减少用户的等待时间, 提升整体工作效率^[10]。

4.4 故障报警与维护管理

引入智能故障检测与报警系统, 实时监控仪器状态, 故障发生时自动发出警报, 以减少停机时间。同时, 建立设备维护记录系统, 跟踪设备保养和校准历史, 确保仪器始终处于最佳工作状态。

4.5 用户培训与支持

仪器生产商应提供在线培训课程和操作指南, 帮助科研人员快速掌握仪器的使用, 提高操作的规范性。同时, 建立在线支持系统, 及时解答用户在使用过程中的疑问, 确保其获得必要的技术支持。

4.6 数据安全与隐私保护

对平台上的敏感数据进行加密处理, 确保数据的安全性。此外, 通过权限管理, 控制用户的访问和操作范围, 保护实验室数据的完整性。

5 总结

质谱技术作为现代分析技术的重要工具, 展现出广泛的应用潜力。随着质谱技术的不断进步, 实验室的建设与管理显得尤为重要。本文通过合理的实验室建设与管理, 对专业人员的培训和对仪器的有效维护, 有效保障了质谱平台正常运转, 通过搭建智慧化管理系统可以有效提高质谱平台的运作效率, 为科研、教学及生产提供坚实的技术支持, 推动科学研究的发展与创新。通过本文的探讨, 希望能为质谱类实验室的建设与管理提供有价值的参考。

参考文献

- [1] 杨丽, 岳琦, 类淑霞, 等. 我国大型质谱仪器发展现状与展望[J]. 实验技术与管理, 2024, 41(7): 1-8.
- [2] 于承新, 王举铎, 黄泽建, 等. 便携式质谱仪的研究进展[J]. 分析试验室, 2021, 40(12): 1480-1488.
- [3] 李明, 马家辰, 李红梅, 等. 静电场轨道阱质谱的进展[J]. 质谱学报, 2013, (3): 185-192.
- [4] 王倩倩, 胡宁, 孙经纬, 等. 液相色谱质谱实验室建设与开放使用管理[J]. 实验室科学, 2022, 25(5): 191-194.
- [5] 赵垠莹, 薛艳清, 袁颖. 以液相色谱-串联质谱法为例从临床试验监管角度探讨临床实验室自建项目的质量管理[J]. 临床检验杂志, 2024, 42(8): 603-606.
- [6] 马超, 倪洪星, 戚羽霖. 超高效液相色谱-傅里叶变换离子回旋共振质谱法解析溶解性有机质的化学多样性[J]. 色谱, 2023, 41(8): 662-672.
- [7] 张聪. UPS不间断电源概述[J]. 电工技术, 2017, (7): 110-111.
- [8] 林志銮, 金晓怀, 张传海, 等. 气相色谱质谱联用仪分析实验室的建设与流程管理[J]. 广州化工, 2020, 48(9): 154-156.
- [9] 赵丽妮. 智能化质谱联用仪虚拟实验室的初步探索[D]. 大连: 大连理工大学, 2018.
- [10] 宋妮, 张秀丽, 王聪, 等. 质谱实验室大型仪器设备开放共享的实践与探索[J]. 分析测试技术与仪器, 2018, 24(1): 57-60.