

# 核磁共振实验室场地建设之探索实践

许文涵\*, 孟思璇, 吴彦东, 汪会玲, 鲁馨, 陈黎艳, 黄鼎铭, 吕育易,  
罗玮华, 胡润丰, 孙略韬

(华中师范大学化学学院, 武汉 430079)

**摘要:** 核磁共振波谱仪是一种用于化学研究的强大工具。为了加强学科建设, 缓解现有仪器机时紧张的压力, 核磁实验室对新仪器设备的需求十分迫切。在此背景下, 对核磁实验室场地进行合理规划, 可以保证仪器在安装后能够在良好的环境和条件下运行, 降低故障概率及潜在的安全风险。本文从场地空间、场地环境、电路及气路设置, 以及辅助设备与设施几个方面详细讨论了核磁共振实验室场地建设中注意事项以及解决方案, 以期对其他单位的核磁实验室建设提供参考与帮助。

**关键词:** 核磁共振; 实验室建设; 场地规划; 超导磁场

## 0 引言

核磁共振波谱仪是一种用于研究分子结构的重要仪器, 其背后的原理是将核磁共振现象应用于测定分子结构。作为化学科研与教学中不可缺少的工具, 核磁共振波谱仪不仅可以提供分子结构信息, 还能监测反应中间体, 帮助了解分子动力学过程, 因而在化学、生物化学、药学等领域中具有广泛的用途和重要的意义<sup>[1-5]</sup>。

华中师范大学分析测试中心原先有1台瓦里安 Mercury 400M、1台武汉中科牛津 Quantum-I Plus 400M 和1台布鲁克 AVANCE III HD 400, 三台均为液体核磁共振波谱仪。核磁共振波谱仪在化学学科中明显的优越性, 加上科学研究对分子结构信息的依赖性不断增强, 使得三台仪器平均年机时达 4500 h, 个别仪器年机时甚至达到 6500 h, 运行十分饱和。尤其是遇到仪器故障需要停机维修的情况, 全天 24 h 开放测试仍无法满足测试需求, 因而该中心迫切需要购置新仪器。

华中师范大学分析测试中心于 2023 年新购置了一台布鲁克 AVANCE NEO 400M 液体核磁共振波谱仪; 为营造良好的测试环境, 核磁共振波谱仪的实验室建设尤为重要。通过建设和改造核磁实验室, 可以改善场地条件以引入更加先进的核磁共振波谱仪, 仪器性能、分辨率和灵敏度的提升亦能更好地满足科研需求。先进的实验室设备和良好的研究环境有助于吸引高水平的科研人才, 支持多学科研究, 促进跨学科合作和交流。同时, 也能确保实验室的安全性, 降低潜在的安全风险<sup>[6-8]</sup>。总

之, 核磁实验室的建设是确保科研工作持续进行, 吸引优秀人才以及保障实验室的可持续发展的关键因素。鉴于核磁共振波谱仪强磁场、高真空、超低温的特征, 在场地建设时需要考虑的因素众多, 以下将以布鲁克 AVANCE NEO 400M 为例讨论几个重要方面。

## 1 场地空间

### 1.1 地面承重

核磁共振实验室的地面必须足够坚固, 以支撑磁体、光谱仪和其他辅助设备。以布鲁克 AVANCE NEO 400M 为例, OneBay 机柜重量为 230 kg; 在加满液氮液氦后, 标准磁体 400/54 Ascend 重量为 553 kg, 占地面积 1.38 m<sup>2</sup>。总地板负荷可以通过将磁体的总重量分布在磁体的整体占地面积上来计算。磁体由总共 9 个小垫板支撑(每个支柱 3 个垫板)。最大点载荷可以通过将磁体的总重量分布在这 9 个点的总接触面积上来计算。每个垫板是圆形的, 直径为 80 mm。在磁体安装之前, 仪器管理人员需与建筑设计单位联系, 确保地面承重万无一失。

### 1.2 天花板高度

磁体系统的组装以及液氮补充都需要满足最低的高度空间要求。不需要在整个实验室满足高度要求, 只需在磁体正上方以及在允许插入液氮传输管的区域内满足即可。标准磁体 400/54 Ascend 高度为 2.14 m, 液氮传输管的磁体端长度为 0.7 m, 升场棒长度为 0.8 m, 液氮液面高度传感器长度为 1.3 m。为了保证液氮添加时的便捷性与安全性, 以及考虑到更

基金项目: 国家自然科学基金(22305090)

\* 通信作者: 许文涵, 博士, 实验师, 研究方向为科研仪器设施的管理与维护。E-mail: wenhan.xu@ccnu.edu.cn

换液氮传输管等特殊情况, 最终磁体周围天花板高度应保证至少 3.2 m。如果是高场核磁, 由于磁体本身高度更高, 需要的空间则更大, 需要根据具体情况实地考察。因此, 华师分析测试中心核磁共振实验室采取了分级吊顶, 磁体上方区域高度为 3.5 m, 而实验室其余部分为 3.0 m(如图 1)。



图 1 核磁室吊顶布局

### 1.3 服务距离

核磁共振波谱仪的日常维护中, 最重要的一点就是液氮液氮的添加, 以维持磁体内部的超导状态。磁体与墙壁之间需要留出足够的空间, 以便服务人员能够在磁体周围走动。在注入液氮液氮时, 要确保杜瓦罐可以通过安全的路径进出核磁实验室, 不会碾过电缆, 并且磁体周围足够宽敞, 提前规划好空间。

## 2 场地环境

### 2.1 铁磁性物体

核磁共振波谱仪磁体内部存在强磁场。作为对比, 400 MHz 核磁共振波谱仪的磁场强度高达 9.3 T, 而地磁场强度仅为 30~60  $\mu\text{T}$ (即 0.3~0.6 G), 相差五个数量级<sup>[9]</sup>。磁场对其附近的设备和物体施加吸引力。这些磁力在接近磁体的位置急剧增加, 以至于可以移动大型设备, 甚至使小物体成为抛射物。为了避免这种情况, 需确保铁磁性物体都在 5 G 磁场区域以外, 1 G 线范围内不应有重量超过 250 kg 的铁磁性物体。由于磁体系统的磁场是三维的, 在规划场地时必须考虑磁体上方和下方的楼层, 以及磁体所在楼层的周围空间。

### 2.2 地面震动

一定强度和频率的地面震动可能导致振动旁带, 使谱图质量下降。可能的振动源包括发电机、压缩机、风扇、机械等。外部来源的振动, 如汽车、火车、飞机和建筑工地也可能引起问题。在场地选址时, 需注意远离上述振动因素。核磁实验室应位于地下室层或底层, 以最小化建筑振动。实验室地面震动加速度应小于 1  $\text{mm/s}^2$ 。可以请当地地震局或相关机构测量地面震动。如果震动超过容许范围, 则需要加装减震装置, 如震动隔离柱、减震气垫、磁体标准橡胶垫等<sup>[10]</sup>。

### 2.3 电磁与射频干扰

核磁谱仪应远离电磁干扰。实验室内电磁干扰的峰峰值应

小于 5 mG。常见的干扰源包括地铁、电车、电梯, 广播电台、电视台等。核磁场地规划中尤其需要注意的是, 移动的电梯是实验室最常产生的直流干扰, 距磁体距离必须保证 10 m 以上。

核磁共振波谱仪是一种非常敏感的射频接收器。可能的干扰源包括当地的无线电或电视广播, 特别需要关注的是在进行核磁实验的频率上的干扰, 射频干扰还可能发生在靠近且在同一 1 H 共振频率上运行的两台或多台波谱仪之间。新购置的布鲁克 AVANCE NEO 400 与原有的瓦里安 Mercury 400M 核磁共振波谱仪距离较近, 通过使它们的操作频率在 1 H 共振频率上相隔约 200 kHz, 可以避免射频干扰问题。

### 2.4 空气流通

超导磁体使用液氮液氮作为冷却介质, 以维持磁体内部线圈的超导性。在定期加注冷却剂时, 冷却剂可能会发生沸腾, 并且随着气化过程体积大幅增加。液气体积比大约为 740 : 1(液氮)和 680 : 1(液氮)。一旦惰性气体体积剧增, 蒸汽可能会排出封闭房间中的空气, 这种可能发生在磁体初始冷却、后续加注冷却剂或失超的情况下<sup>[11-12]</sup>。如果有人在房间里, 这可能导致窒息。因此, 核磁共振实验室必须保证门窗提供足够的通风, 确保人员安全。实验室的出口门通向室外, 磁体一旦发生失超, 房间变得有压力时, 人员也可以安全离开。

此外, 核磁共振实验室还加装了氧气检测器, 氧气水平降至安全设定点以下时将自动报警, 以便仪器管理员及时处理。

### 2.5 温湿度

如果想得到高质量谱图, 恒定的气压、温度和湿度, 以及尽可能无尘的环境至关重要。理想情况下, 应保持室温在 17~25°C 之间, 控制温度波动小于 1°C/h。此外气流, 特别是空调或暖气系统产生的气流, 可能对磁体产生负面影响, 因此在规划场地时要防止气流直接吹向磁体和机柜。

实验室的最大湿度取决于房间温度。例如当房间温度为 25°C, 湿度为 80% 时, 此空气的露点为 21.3°C。这意味着可能在磁体的温度单元或匀场线圈的地方产生冷凝。因此, 应该尽可能保证房间内湿度在 30%~70% 范围内。核磁共振实验室应安装含除湿模式的空调及除湿机。

## 3 电路及气路设置

符合规范的电路设计可以最大程度确保实验室的电气系统安全可靠, 从而减少火灾、电击及其他电气事故的风险。核磁共振实验室中, 核磁共振波谱仪的电源不能与空调、压缩机共享。安装 AVANCE NEO 系统需要一个 230 V/16 A 插座用于涡轮泵, 以及在安装和维护期间需要额外的 230 V/16 A 插座用于磁体电源。机柜周围需配备四个备用电源插座(230 V/10 A), 可用于为附属设备供电。其中两个插座用于供给工作站, 其余两个备用插座用于附件。在规划核磁共振实验室的电力需求时,

一定要考虑为可能安装的额外设备提供足够的电力,如个人计算机、空调、除湿机等。

此外核磁共振实验室中电源的所有接地部分必须连接在一起,以避免出现地电位差异。在仪器安装前,场地建设时需完成地线配置工作。为了降低核磁谱仪的电磁干扰,必须为其提供专用地线。这个专用地线需与建筑物的主地线分开,接地电阻小于  $1\ \Omega$ <sup>[13]</sup>。

核磁共振波谱仪需要压缩气体来控制样品进出磁体。如使用空压机,必须选择无油空压机,且空压机出气量需大于 200 L/min。压缩气体需配有调压阀,调压阀调节范围至少为 0~8.6 bar,并可以与 8 mm 直径气管通过快插连接。为防止磁性杂质进入磁体,只能使用铜或者不锈钢管道。压缩气体的质量也需要引起注意,尤其是颗粒物,水和油。因此从空压机排出的压缩空气需经过干燥器和适当的过滤器(如图 2),防止水分和油分长期积累,导致磁体内部探头和匀场线圈的腐蚀和损坏。



图 2 从右到左分别为:无油空压机,储气罐,干燥器

## 4 辅助设备与设施

### 4.1 不间断电源(UPS)

一般来说,实验室中意外断电难以避免,因此 UPS 对核磁共振波谱仪是必不可少的。在安装前,应根据实际情况,规划匹配足够功率和电池容量的 UPS,一般选择额定功率大于 3 kW、电池容量不小于 800 Ah 的 UPS。应该注意的是,如果停电时间过长,可能会超过 UPS 的电池供电时间,此时应提前手动关闭谱仪。

### 4.2 安全标识

强磁场会对人员产生潜在的安全风险,任何可能接近核磁共振波谱仪的人员需在系统安装和使用过程中采取周密的防范措施。必须阻止心脏起搏器携带者进入可能产生危险的强磁场区域。为了警示强磁场的存在和风险,需要在仪器安装前,在进入磁场区的每个入口张贴明显的强磁场警告标识,确保每个标识都在 5 G 范围以外<sup>[14-15]</sup>。

## 5 结束语

核磁共振波谱仪不仅包含高场强的超导磁体,还涉及众多组成模块,因此规划核磁共振的实验室场地难度较高,需要考

虑的因素千头万绪。目前华中师范大学分析测试中心核磁实验室已完成场地建设工作,仪器已安装并调试。该实验室的建设将为用户提供更加方便及时的开放测试服务,为教学和科研提供技术支撑。基于以上经验,本文详细报道了核磁共振实验室场地建设中场地空间、场地环境、电路及气路设置,同时从辅助设备与设施几个方面详细讨论了可能遇到的问题以及相应的解决方案,有助于为未来科学研究过程中引进核磁共振波谱仪时相关实验室的建设提供参考与帮助。

## 参考文献

- [1] 王展,方积年.高场核磁共振波谱在多糖结构研究中的应用[J].分析化学,2000,(02):240-247.
- [2] 高莹丽,王瑞娟,刘空,等.利用核磁共振技术研究聚苯胺纳米棒的成核机理[J].广州化工,2015,43(17):1-3,21.
- [3] 施蕴渝,吴季辉.核磁共振波谱研究蛋白质三维结构及功能[J].中国科学技术大学学报,2008,(08):941-949.
- [4] 施蕴渝,吴季辉.核磁共振波谱应用于结构生物学的研究进展[J].生物物理学报,2007,(04):240-245.
- [5] 钟军,蒋雪梅.核磁共振波谱在药物研发中的应用进展[J].光谱学与光谱分析,2015,35(01):282-286.
- [6] 左铁镛.高等学校实验室建设的作用与思考[J].实验室研究与探索,2011,30(04):1-5.
- [7] 张平,周卫平.建设开放性实验室的思考与实践[J].实验室研究与探索,2004,(12):110-112.
- [8] 黎炜.高校核磁共振波谱仪的运行管理模式与维护[J].广州化工,2022,50(01):140-141.
- [9] 越琨,朱大友.地磁场对地面核磁共振(SNMR)信号的影响研究[J].贵州工业大学学报(自然科学版),2008,37(05):11-12,16.
- [10] 张建明.核磁共振成像设备安装场地振动问题的处理[J].工程建设与设计,2009,(07):82-86.
- [11] 刘宸.磁共振成像系统失超故障的分析与处理[J].设备管理与维修,2023,(04):54-56.
- [12] 杨晓.核磁共振设备运行监控系统的研制[J].中国医疗设备,2016,31(10):101-102.
- [13] 游健华.浅谈核磁共振设备场地的电气设计[J].智能建筑电气技术,2009,3(04):31-32.
- [14] 杨世龙,马小芳,唐颖,等.高校核磁共振谱仪的管理与维护工作探讨[J].广东化工,2018,45(17):188-189.
- [15] 席艳杰,程鹏,王磊,等.Brucker 400 MHz核磁共振波谱仪的维护及常见故障探讨[J].分析测试技术与仪器,2020,26(02):109-113.