

基于集中供气系统的实验室安全防护机制研究

朱娜¹

(上海交通大学 分析测试中心, 上海 200240)

摘要: 分析测试中心作为大型仪器设备共享平台, 拥有大型质谱光谱类设备, 需要多品种、大用量的气体供应。为了保障气体稳定、持续和高纯度的供应, 分析测试中心设计建立了基于集中供气系统的实验室安全防护机制, 并健全了规章制度和安全责任体系。在集中供气系统完备的硬件基础和系统化的管理保障下, 确保了实验室大型设备的安全、连续、稳定运行。

关键词: 集中供气系统; 实验室安全; 监控报警; 安全管理

中图分类号: G482

文献标识码: A

文章编号:

Research on laboratory safety protection mechanism based on centralized gas supply system

Zhu Na

(Instrumental Analysis Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: As an open-sharing platform for large-scale instruments and equipment, the instrumental analysis center has large-scale mass spectrometry equipment, which needs a variety of gas supply with large amount. In order to ensure the stable, continuous and high-purity gas supply, the instrumental analysis center has designed and set up a laboratory safety protection mechanism based on the centralized gas supply system, and established the rules and regulations and safety responsibility system. Under the complete hardware foundation and systematic management guarantee of centralized gas supply system, the safe, continuous and stable operation of large-scale laboratory equipment is ensured.

Key words: centralized gas supply system; laboratory safety; monitoring and alarming; safety management

¹作者简介: 朱娜(1976 —), 女, 江西九江, 硕士, 高级工程师, 主任助理, 主要研究方向为实验室管理。
E-mail: nzhu@sjtu.edu.cn

1 分析测试中心概况

上海交通大学分析测试中心(以下简称“中心”)自 1983 年成立以来,经过 30 年的建设,目前拥有 140 台(套)开放设备,资产约 3 亿元, 24 h 对校内外开放预约,科研测试服务覆盖全校理、工、农、医等 19 个学院、9 个附属医院。2019 年校内外测试样品数为 171 294 个,是学校实验室建设与管理的示范窗口。中心建有电镜—影像中心、表面与物性分析平台、光谱波谱质谱平台、元素分析平台等 4 个分析平台,其中电镜—影像中心含 7 台透射电镜、8 台扫描电镜、1 台 X 射线显微镜和配套样品前处理设备。大部分的扫描电镜需要配备氮气,为取放样品时提供惰性气体保护,以维持电镜腔体的高真空。光谱波谱质谱平台拥有各类气相色谱质谱、液相色谱质谱和同位素质谱,共计 20 套台,如傅里叶变换质谱仪、四极杆飞行时间质谱、基质辅助解离飞行时间质谱等,这些设备通常需要持续的氮气作为载气,部分情况下氦气作为碰撞气,而气相色谱质谱多采用氦气作为载气,同位素质谱需要氮气、氢气、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫等作为参比气体,用于 ^{15}N 、 ^2H 、 ^{13}C 、 ^{18}O 、 ^{34}S 值的测定;元素分析平台的电感耦合等离子体发射光谱、电感耦合等离子体发射光谱质谱仪需要大量的氩气以产生等离子体,元素分析仪则需要氦气作为载气、氧气以助燃。总体而言,中心使用的气体种类多、使用量也非常大,如何降低气体使用风险,是中心安全管理的工作。

2018 年前,中心通过在仪器周边放置气瓶持续供应气体。当一个实验室有多个用气设备时,就存在气瓶较多以及管路杂乱等多种问题。而一旦易燃易爆气体、有毒气体、强腐蚀气体、甚至是惰性气体的泄漏,都将严重危害实验室的安全^[1-4]。2018 年,整体移至转化医学大楼后,中心全面汇总了用气需求,包括气体纯度要求、用气流量、使用端压力、以往气体用量(以 2 周计)、使用方式(连续使用还是间歇使用)等。考虑到大部分的用气需求具有通用性,中心全盘统筹协调,结合用气点、气体种类及用气区域合理配置主管道位置、气路数,基于管路尽量短、穿越空间尽量少的原则,设计实施了全新的实验室集中供气系统,并为未来安装的设备预留管道接口方便日后的扩容。新系统将大部分气瓶集中到气瓶间,通过各类供气管路为各实验室供气,自动切换盘面的配备,使得更换钢瓶时无需切断气体,从而真正保障了气体连续、稳定、无杂质的供应。此外,因钢瓶的集中化管理,钢瓶数量大幅减少,从而可采用专人管理的方式,实现专业性的维护,减少事故的发生概率,最终全面提升实验室的安全保障能力。

2 集中供气系统的构成

中心的集中供气系统由气源、切换装置、调压装置、终端用气点、监控报警装置组成。

实验室用气由位于主体建筑内的气瓶间和主体建筑外的液氮储槽通过主管道和分支管道引入大楼，供给终端用气点^[5-6]。同时，根据实验室的用气情况安装泄漏、低压报警装置，将信号传送至中央监控室，以便工作人员迅速处理。该系统的相关图片如图 1—6 所示，主要包括以下组成单元。

（1）液氮站。液氮站是利用低温储罐储存液氮，并将其连续汽化，源源不断输出符合设定压力的氮气的供气系统。该系统主要由 10m³ 低温储罐、汽化器、调压阀组以及连接管线和阀门组成。

（2）空压机。为满足中心空气使用要求，建立了空压机系统，主要由无油涡旋式空压机、0.99m³ 不锈钢储气罐、冷冻干燥器、过滤器（可除水、除油、除颗粒物）以及连接管线和阀门组成。

（3）气瓶间。气瓶间区分为惰性气瓶间、助燃性气体气瓶间等，为大楼供应多种气体。根据气体的不同类别，配备了智能气瓶架和智能气瓶柜等，柜体的顶部触摸屏实时可显示钢瓶压力等数据。根据气体的用气量，气瓶柜/气瓶架安装了一用一备或二用二备的自动切换盘面，盘面含排空系统，防回火装置和泄压阀等。此外，气瓶间加装气体侦测器，可以 24 h 实时检测房间内气体浓度。

（4）气体管路。气路管道主要采用了 316L BA 级的不锈钢管道。根据使用端气体的流量和压力需要，采取了不同尺寸的管径。不同规格管道的连接采用专用连接管，相同规格管道的连接则尽可能采用全自动数码无缝焊接。在每层楼主管道处，预留控制阀门和接气口，以便后续扩展。

（5）终端用气点。在需要用气的仪器设备间和前处理间，设置了调压阀、压力表，在仪器桌的台面配备球阀，并在球阀旁的管路上以不同颜色标注气体种类和名称，以方便开关气体，满足仪器设备和相关实验的使用需求。

（6）监测报警系统。为了提升集中供气系统的安全水平，中心在设计之初就考虑了监控报警系统，分为控制层、通讯层和显示层。其中控制层主要包括氧气和可燃气体（如一氧化碳和二氧化硫等）的侦测器、质量流量计、压力传感器、自动切换盘面和紧急切断阀等，通讯层主要包括通讯电缆和控制柜，显示层则包含三色报警灯、控制主机等，可远程实时监控压力、流量等。一旦发生低压、泄漏和故障等问题，手机客户端和短信都能做到实时提醒，甚至是紧急切断气体。



图1 液氮站



图2 空压机



图3 气瓶间



图4 气体管路



图5 终端用气点

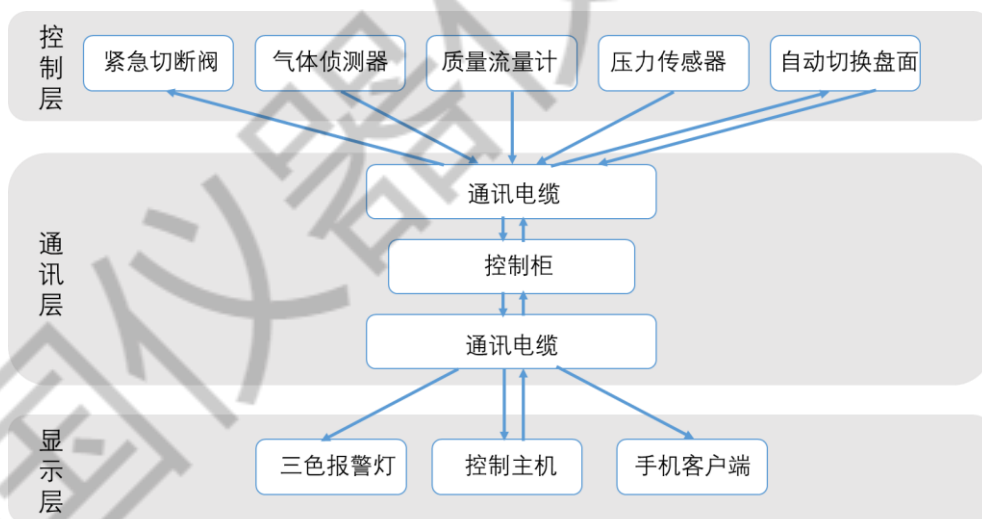


图6 监控报警系统

3 集中供气系统安全防护的硬件基础

实验室集中供气系统的气源主要来源于工作区外的气瓶间或开扩地带的液氮站,通过不

锈钢无缝钢管送至使用端，在气瓶间配备自动切换阀和压力传感器，在使用端配备泄漏检测探头，最终可以远程实时了解使用状况。紧急状况下，可以通过配备的远程切断系统切断气体供应。部分用气量偏少的气体，通过在实验室配备气瓶柜，提升局部排气换气效率，保护气瓶不受柜子外面火灾及保护周围仪器设备免受内部火灾影响，有效地降低事故发生概率或减少事故损失。所有这些硬件设施都是集中供气系统的安全防护基础。

（1）安全经济的气瓶间。集中的气瓶间可以节省实验室空间，仪器附近的高压设备大幅减少，气体泄漏的潜在危险也被有效降低。通过惰性气瓶间、助燃性气体气瓶间的合理布置可以保持可燃性气体和助燃性气体的安全间距，而在气瓶间设置排风和报警装置，也大大提高了安全水平。同时，因为使用同一气体的所有使用点的气体来源可以合并，气体钢瓶的利用率更高，更换钢瓶的频率相应降低，整体工作效率可以随之提升。

（2）自动化的切换装置。气体的自动切换通过双侧式气体汇流排的设计实施，即采用含主供气瓶组和备用气瓶组的双气源结构，在主供气瓶组的压力降低至设定压力时，自动关闭主供气组阀门，同时打开备用气瓶组开始供气，从而实现不间断供气，不影响仪器的正常使用。在该侧管路封闭的情况下，更换空瓶，在钢瓶使用压力至临界点时，又可以自动切换，如此循环保证了仪器供气的稳定性和持续性。

（3）洁净密闭的管路系统。气体管路采用 316L BA 等级的不锈钢无缝钢管，所有气体管路的连接采用全自动无缝焊接技术，管道穿墙及出地面处设套管保护。管道敷设完毕后，管内充入高纯氮气使压力达到使用压力的 1.15 倍，密闭 24 小时，无压降为合格；未接受试压部份，如安全阀、控制阀、压力计等，则通过气密试验进行验证。气密试验的压力以不超过该组件的最大许可操作压为限^[7]。

（4）实时在线的监测报警。集中供气系统含有多台可燃气和氧气的监测器，压力传感器、流量计、三色报警灯、紧急切断阀等各类配件，从而可以通过压力传感器实时监控供气端压力，通过流量计远程监测记录气体流量，通过气体监测器监控危险气体和氧气浓度，所有信号通过内部网连接至中控系统等，最终在控制终端和手机上实时观测相关数据，实现远程监控甚至是远程操控等功能。此外，提前在该监测报警系统中设置低压阈值、泄漏阈值、低压报警和泄漏报警短信后，一旦出现相应问题，系统会自动发送到指定手机上。

4 集中供气系统安全防护的核心保障

通过以上硬件建设，集中供气系统实现了气体连续、稳定和安全的供给，而全流程、全方位的管理则是集中供气系统安全防护的核心保障。通过建立责任体系、完善规章制度，加

强安全培训，落实每日巡查，做好安全记录等方式，真正改善了气瓶安全管理防护，提升了实验室用气安全。

（1）完善安全体系，落实安全责任。明确安全管理职能，形成分工明确、职责明晰、全员参与的管理体系，使安全职责“纵向到底，横向到边，不留死角”。中心党政领导是集中供气系统安全工作的第一责任人，实行党政同责、一岗双责制度。根据“谁主管，谁负责”“谁使用，谁负责”的原则，测试老师作为气体使用端的安全责任人，负责相关气体使用端的检查和维护工作，中心安全员负责集中供气系统的日常管理、监督和巡查等各项安全工作。逐级签订安全责任书，强化安全责任，落实安全责任制，将安全责任到人、到实验室，强化每个实验室工作人员的安全责任心，从体制上完善实验室安全管理工作。

（2）健全规章制度，规范安全操作。集中供气系统运行伊始，管理人员就开始制定集中供气安全细则和应急预案等制度，系统规范流程和操作，做到按章办事、有据可依，从组织和制度上确保实验室安全运行。集中供气系统安全细则主要包括液氮站、气瓶间、空压机等相关系统的操作指南、注意事项、巡检要求、接收更换气瓶、维护保养设备等各个方面的内容；应急预案规定了异常情况（如泄漏和超压）时的紧急处理措施。

（3）强化安全教育，提升安全意识。实验安全管理人人有责。只有做好安全教育和使用培训，才能真正提高安全防范意识和自我保护能力^[8-9]。中心分层次、分类别地多次组织集中供气系统的培训。作为集中供气系统的主要管理者，安全员的培训内容集中在液氮站、空压机系统、气瓶间、监控报警系统的理论介绍和实操培训，安全员可以充分了解集中供气系统的组成单元以及各单元在系统中的用途和功能，提升实际操作管理水平。作为集中供气系统的使用者，测试老师的培训集中在使用端的概况介绍、阀门切换顺序、日常注意事项等，安全责任老师可以掌握使用端的规范操作，提高气体安全使用意识，从而全面提升安全应对能力。除了内部培训，安全员还需通过专业的特种设备管理或操作的培训和考核，成功通过后方可持证上岗。

（4）落实每日巡查，消除安全隐患。根据集中供气系统的管理办法和实施细则，安全员每天进行巡检，定时对系统进行维护保养。安全员每天定时对液氮站、空压机房和气瓶间等进行巡查，做好气瓶间巡检记录、液氮站空压机房检查记录、气瓶更换记录和气瓶接收记录、设备维护维修记录等的填写，客观、如实地反映当时的真实情况。表格注明所检查项目的正常阈值或范围，安全员一旦发现读数有偏离，立即进行相应调整。如果不能立即解决，则需做好记录并尽快上报安全领导，最终做好相应的解决工作。中心通过这种人工巡查和自

动报警相结合的工作方式，真正把各种隐患问题发现在早、处置在小，全面提升集中供气系统的安全水平^[10]。

5 结语

在集中供气系统的安全防护方面，硬件建设是基础，系统管理是核心。通过自动切换，低压报警、泄漏报警等硬件基础保证集中供气系统的安全可靠，通过完善的管理体系，持续深入探索规范化、科学化的管理制度，强化安全培训，着重实施安全巡查，从而全面提升实验室的用气安全水平。目前，因集中供气系统的安全系数大幅提高，已经获得实验室人员的广泛认可，校内大量相关项目已经或即将启动建设。中心通过不断积累在运行中的经验和能力，最终形成可复制可推广的运行管理机制。

参考文献(References):

- [1]林文, 张晓生, 李丽蓉. 分析测试实验室集中供气系统的设计应用[J]. 现代科学仪器, 2010(4):152-156.
- [2]孙志强, 白向玉, 吴冬梅. 高校实验室集中供气系统的应用与管理[J]. 实验技术与管理, 2018,35(10): 10-14.
- [3]丁立,郭英姿,江永亨,等.从风险管理的角度促进实验室气瓶安全管理[J]. 实验技术与管理, 2017,34(12):264-267.
- [4]程世红,马旭灵,白德成.高校实验室气体钢瓶的安全管理探讨[J].实验技术与管理, 2012,29(4):216-218.
- [5]柯丁宁,王凯,高尚,况婷,宋琳琳.高校实验室安全供气系统设计与探索[J].实验技术与管理,2020,37(03):235-238.
- [6]张永春,常臻,袁晓鹰,林令海,李兴业,鲁强.实验室集中供气系统设计探讨[J].实验室科学,2018,21(06):152-154+158.
- [7]郝明.农检实验室集中供气系统的检查与验收[J].农业科技与装备,2020(04):84-85.
- [8]张银珠,金海萍,阮俊,等. 规范高校实验气体管理保障实验室安全[J]. 实验技术与管理, 2016,33(2):205-207.
- [9]盛英卓,王心华,马智琨,等.高校实验室气体钢瓶的使用与管理: 以兰州大学物理学院为例[J].高校实验室工作研究,2017(1):77-80.
- [10]程世红,马旭灵,白德成.高校实验室气体钢瓶的安全管理探讨[J].实验技术与管理

理,2012,29(4):216-218.

中国仪器仪表杂志