

扫描电子显微镜开放管理策略与利用率提升实践

蒋蓉蓉, 姚懿容, 管建敏, 沈佳峰, 李明

(中国科学院宁波材料技术与工程研究所 公共技术中心, 浙江 宁波 315201)

摘要: 系统总结了中国科学院宁波材料技术与工程研究所公共技术中心在提高 Quanta 250 FEG 场发射扫描电子显微镜利用率方面的经验。通过实施开放共享、网络化运行、科学预约、自主操作原则以及高效培训体系等一系列管理策略, 不仅有效缓解了设备测试压力, 提升了仪器利用率, 同时也培养了师生的自主动手能力。详细介绍了上述策略的具体实施步骤和成效, 以期同类实验室提供借鉴和参考, 共同推动科研设备管理水平的提升。实践表明, 这些管理经验对于优化设备使用、提高科研效率具有重要意义。

关键词: 扫描电子显微镜; 开放共享; 利用率

中图分类号: O6; TH742

文献标志码: B

文章编号: 1006-3757(2025)04-0263-06

DOI: 10.16495/j.1006-3757.2025.04.008

CSTR: 32263.14.j.1006-3757.2025.04.008

Open Management Strategy and Utilization Rate Improvement for Scanning Electron Microscope

JIANG Rongrong, YAO Yirong, GUAN Jianmin, SHEN Jiafeng, LI Ming

(Test Center, Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo 315201, Zhejiang China)

Abstract: The experience of the Testing Center at the Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, in improving the utilization rate of the Quanta 250 FEG field emission scanning electron microscope was systematically summarized. By implementing management strategies such as open sharing, networked operation, scientific scheduling, independent operation principles, and an efficient training system, the Testing Center has not only effectively alleviated the pressure of testing, and improved the utilization rates of instrument, but also cultivated the independent operation ability of students and staff. The specific implementation methods and outcomes of these strategies were elaborated in detail, aiming to provide reference and insights for similar laboratories, and jointly promote the management standards of scientific research equipment. These management experiences are of significant importance for optimizing equipment usage and improving research efficiency rate.

Key words: scanning electron microscope; open sharing; utilization

扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)作为一种功能强大且操作简便的微观分析仪器,已在高等院校、科研院所及企业中得到广泛应用。该设备在材料科学、生物学、物理学、化学以及地质学等多个科学研究和工业应用领域发挥着不

可或缺的作用^[1-3]。除了众所周知的高分辨率表面形貌观察和大景深成像等核心功能外,SEM还能对样品特定区域进行快速微区元素组成及分布分析。

中国科学院宁波材料技术与工程研究所公共技术中心的 Quanta 250 FEG 场发射扫描电子显微

收稿日期: 2025-05-27; 修订日期: 2025-06-17

作者简介: 蒋蓉蓉(1985—),女,高级实验师,主要从事材料的微结构研究, E-mail: jiangrr@nimte.ac.cn

通信作者: 李明(1983—),男,高级工程师,主要从事扫描电镜表征技术研究, E-mail: liming@nimte.ac.cn

镜,自 2011 年装机以来,已陆续配备了能谱仪、电子背散射衍射仪(electron backscattered diffraction, EBSD)、阴极荧光光谱仪(cathodoluminescence spectrometer, CL)、原位力学台及原位变温台等附件,成为研究所内不可或缺的重要电子显微镜设备。随着研究所的不断发展及职工与学生数量的持续增加,SEM 测试需求也日趋增长。经过公共技术中心多年的探索与实践,本单位在开放管理、缓解测试压力、提升测试效率及设备利用率等方面已形成独特优势。具体而言,通过实施常规测试的开放管理及独立上机操作,不仅有效缓解了测试压力,显著提升了设备利用率,还进一步培养了学生及员工自主操作科学仪器的能力^[4]。这种管理方式为设备管理员节省了大量的时间,使他们能够学习及开发更高端、精密的应用技术。

Quanta 250 FEG 场发射扫描电子显微镜的高利用率得益于科学、系统的管理方法^[5-7]。本文系统总结了该设备的管理经验,以期为同类实验室提供借鉴与参考,助力科研设备管理水平的提升。

1 开放共享与网络化运行

大型仪器设备的开放共享管理是近年来众多高校和科研院所重点践行推广的工作^[7-11]。为进一步推动大型仪器设备的开放共享,充分发挥平台在科研及科技创新中的支撑作用,中国科学院宁波材料技术与工程研究所公共技术中心积极融入区域协同体系,先后加入了宁波市大型仪器协作网和浙江省大型仪器协作网。同时,在中国科学院所级平台及研究所官方网站均设立了专门窗口,旨在加强对外宣传,促进用户间的技术交流。

作为中国科学院首批所级公共技术服务中心的试点单位,中国科学院宁波材料技术与工程研究所测试平台在仪器设备管理方面率先实现了网络化运行。该管理模式覆盖了用户服务全流程,包括测试项目查询、预约登记、费用结算以及仪器运行状况监控等环节,全部通过网络平台进行高效管理。这一举措不仅显著提升了服务效率,也优化了用户体验,为科研工作的顺利开展提供了有力保障。

优秀的实验室管理并非千篇一律、一成不变,而是应基于仪器的特性与实际需求,制定个性化的管理策略。Quanta 250 FEG 场发射扫描电子显微镜虽然分辨率仅处于中等水平,但其凭借简便易学的

操作入门流程以及优异的综合分析能力,在研究所众多扫描电子显微镜设备中占据了举足轻重的地位。追溯 2017 年至 2024 年的使用数据(图 1),该设备年均运行时长达 5 434 小时,利用率极高。值得注意的是,2020 年受新冠疫情影响,设备使用率大幅下降。然而,通过及时调整管理策略,设备使用率在随后两年内逐步恢复并提升。疫情期间,虽然人员出行减少,但实验需求增加,设备机时反而创下新高。

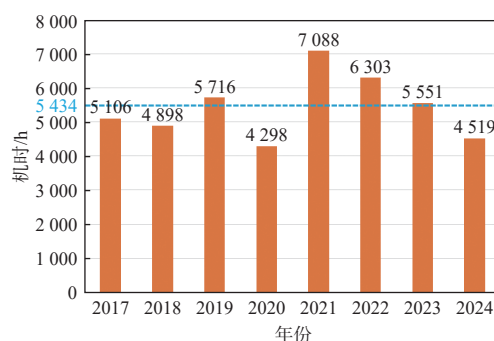


图 1 Quanta 250 FEG 场发射扫描电子显微镜运行机时
Fig. 1 Operating times of Quanta 250 FEG SEM

在设备运行期间,严格遵循科学管理原则,确保了设备的稳定运行。除少数几次因操作不当导致的背散射探头脱落(但未造成损坏)外,未发生其他人为故障。同时,充分保障各附件功能的正常运行,使设备在基础功能之外,进一步发挥高精尖技术的优势。EBSD、CL 谱仪、原位力学台和原位变温台等附件的稳定运行,为研究所内多个科研项目的顺利推进提供了有力支撑。

2 科学预约与统筹机时

使用者可通过中国科学院仪器设备共享管理平台进行预约。为确保实验室资源的合理分配与高效利用,特制定如下预约规则:每日早上 8:30,系统将开放未来一周的预约通道。此举旨在确保实验安排的周期合理,主要基于以下几点考虑:(1)确保实验周期不过长。通过将预约时间范围限制为一周,既可避免机时被过早占用,又能确保设备机时的流动性;(2)提供公平的预约机会。系统每天开放预约,即使某次预约未成功,用户次日仍可再次尝试,从而提高预约的公平性;(3)适应临时需求。限制预约时间范围,可以更好地满足用户的临时需求,避免资源过早预约而被长时间占用;(4)避免机时浪费。过长的预约时间可能会导致用户在预约后因实验

计划变动而无法按时测试,从而造成机时浪费;(5)简化管理.通过固定预约时间和范围,使得设备机时管理简单且可预测.

为了确保该规则的顺利实施,还必须考虑以下几点:(1)预约高峰期的服务器压力.在预约开放时,可能会出现大量用户同时访问预约系统,导致服务器压力激增.因此要尽可能对利用率高的设备服务器进行性能优化;(2)用户预约习惯的培养.用户可能需要一段时间来适应固定的预约规则,可以通过集中宣传、实验室口口相传等多种方式,同时对未按照规则预约的用户进行预约否决,并一对一耐心讲解规则要求,从而帮助用户了解并遵守预约规则;(3)特殊需求应对机制.对于有特殊检测需求的用户,例如需管理员亲自操作的复杂附件功能、原位功能测试等,可通过设立预留机制予以保障,具体措施为将预约时长超规一天的第八天设置为专用预约通道,以促进 SEM 高级功能的推广与应用.

针对临时取消测试申请的情况,若未能及时处理将导致 SEM 机时资源的浪费.为此,实验室建立了专门的 SEM 测试通知群组(包含一群和二群),目前已有近 1 000 名成员加入.所有具备 SEM 测试需求的所内员工及学生均可加入该群组.当出现预定时间段空闲的情况,管理员会立即在群内发布通知,确保有测试需求的成员能够及时获知并预约,从而有效避免了机时闲置与资源浪费.此外,该群组也用于发布设备的故障信息、维修进度、假期安排等相关通知.群内成员若遇到 SEM 操作或理论方面的疑问,也可在此平台上进行交流与探讨,以促进信息共享和技术支持.

3 开放管理与自主操作

设备管理员个人能力有限,即便加班加点,也难以显著缓解大量积压的测试需求,更无法从根本上提升设备的利用率.考虑到 SEM 的操作入门相对简单,且研究所内的师生普遍具备一定的设备使用技能及英语操作界面理解能力,本单位特制定了《测试中心仪器开放管理办法》.该管理办法的目的是为了提升测试中心大型仪器设备的利用效率,以便更高效地服务于科研工作,确保仪器设备的规范、有序开放,同时保障设备的安全运行.授人以鱼,不如授人以渔.培训所内师生自主使用仪器进行材料表征,不仅能显著提升设备利用率,使科研人员能

够更灵活、高效地完成对样品的检测,同时还能培养学生和员工的专业技能和自主操作能力.

根据《测试中心仪器开放管理办法》,研究所内师生在进行常规分析测试时,应当独立进行上机操作.仪器管理员负责提供定期的操作培训和不定期的现场指导.所有人员均有权预约工作时间内的机时.对于已获得非工作时间操作权限的人员,将开通非工作时间的设备使用权限,以进一步优化资源配置,提高科研效率.

4 培训体系构建与效率提升

针对传统逐一培训效率低下、易使双方倦怠,以及重复性培训造成的时间精力消耗、内容缩减和效果下降等问题,立足于前瞻性规划、系统性设计和效率优先等原则,结合集中培训与个性化辅导、标准化操作指南辅助等措施,构建一个既能保障培训质量又能提升效率的高效系统培训体系.具体措施包括:实施预先规划,避免盲目性和重复性,确保培训有序进行;建立完整的培训框架,涵盖 SEM 操作的所有关键环节,确保内容全面性;持续优化培训流程,减少不必要的时间浪费,提高培训效率.该体系不仅能使参训者熟练掌握 SEM 的操作技能,而且还能显著提升培训的整体效果.同时,设备管理员将从重复性工作中解放,拥有更多时间学习、探索 and 开发 SEM 的高端应用,从而实现个人能力与设备效能的双向提升.

4.1 关键时期增加集中培训次数

针对新员工入职高峰及新生入学等关键时期,为有效提升参训者对 SEM 的认知与操作能力,设备管理员将增加集中培训频次,形成一周多次、持续 1~2 个月的固定培训安排,并通过微信社群及时通知提醒.此举旨在为参训者提供系统的预习平台,帮助其对 SEM 的结构、原理以及操作流程形成具体且全面的初步认识.具体目标包括:

(1)结构认知:通过集中培训,帮助参训者建立对 SEM 硬件结构与操作界面的系统性认知,为后续深入学习奠定基础.

(2)原理掌握:简要介绍 SEM 的工作原理,帮助参训者建立基本的科学概念框架.

(3)流程熟悉:重点讲解 SEM 的操作流程,确保参训者能够掌握主要流程和关键步骤,为实际操作做好准备.

需要强调的是,集中培训并非追求面面俱到的全面教学,而是以激发参训者的学习兴趣为核心,为其后续深入学习和实践操作奠定坚实基础。这种分阶段、有针对性的培训模式,能够更高效地提升参训者的专业素养和操作技能。

4.2 参训者单独预约操作时的辅助培训

参训者完成集中培训后,若需要单独预约并实际操作 SEM,设备管理员将提供针对性的辅助培训。该培训旨在深化参训者对 SEM 操作细节和原理的理解,助力其将集中培训所学习的理论知识转化为实际操作技能,提升实际操作水平,确保能够熟练、安全地使用 SEM 开展科研工作。辅助培训涵盖:

(1)细节解析:对 SEM 操作过程中的关键细节进行逐一讲解,确保参训者对每个步骤都有清晰的认识。

(2)原理阐释:深入阐释电子显微镜每一步操作的原理,帮助参训者理解操作背后的科学依据。在培训中,秉承“知其然,更要知其所以然”的理念,强调要理解原理与目的,而非单纯记忆操作步骤。

通过深入浅出的讲解,参训者能够深刻理解各个关键步骤的重要性和操作特点。

(3)实践转化:通过实际操作,将集中培训中的理论转化为直观的操作体验,实现理论与实践相结合。

(4)知识融通:通过细节上的辅助培训,促进参训者将所学知识融会贯通,形成系统化的操作能力。

4.3 纸质版操作指南

步骤清晰、条理分明、逻辑通顺、语言精简且图文并茂的纸质版操作指南,是培训环节的关键要素之一。仅通过设备管理员的口头讲解,难以保证参训者获得充分的思考与消化时间。相比之下,纸质版操作指南可以帮助参训者更好地理解,还能通过自主阅读,帮助参训者充分吸收和掌握操作步骤。在此基础上,若参训者提出进一步的问题,管理员可进行详细的解答。例如,制样桌前方的制样流程图能够使制样过程的讲解更为直观且有效,如图 2 所示,而电子显微镜操作台前方的操作指南则可协助操作者确认并熟悉各项操作步骤。



图 2 制样桌前方粘贴的制样流程图

Fig. 2 Sample preparation flowchart posted in front of sample preparation table

5 非工作时间操作权限考核流程

当人员预约记录和独立操作次数达到规定的标准后,可向设备管理员申请进行非工作时间操作权限的考核。该考核流程主要包括以下 5 个环节:

上机操作考核、理论笔试考核、安全培训、签署安全责任书以及证书颁发。

(1)上机操作考核:在规定的实验时间内,对申请者进行 SEM 操作全流程的规范性及操作技能水平评估,着重考察申请者对关键步骤的掌握。考核

过程中,设备管理员将对操作者的操作进行点评和指导。若考核结果合格,申请者可进入理论笔试考核环节;若不合格,则需针对操作中存在的问题进行逐一指正和改进,直至操作熟练后方可重新申请考核。

(2)理论笔试考核:采用闭卷形式进行,考核内容涵盖 SEM 的基础理论、操作要点的科学原理以及安全知识。申请者通过笔试后,方可参加安全培训。

(3)安全培训:本环节旨在向操作人员普及实验室潜在的安全隐患及处理方法,确保操作人员了解实验室的水、电、气等安全风险,并掌握应急处理措施,如:SEM 的紧急停机、断电操作,灭火器的位置及使用方法,潜在漏水源的处理以及气瓶安全须知等。

(4)签署安全责任书:申请者需签订安全责任书,承诺在非工作时间使用实验室时,将履行安全使用和管理责任。同时,需得到团队负责人的审批和知悉。

(5)证书颁发:证书上将明确标注所授权的仪器型号、操作者姓名、权限获得日期,并加盖公共技术中心公章。

完成上述5个步骤后,申请者将获得在接下来7天内的 SEM 独立操作权限,在此期间,申请者可随时预约使用时间,并通过个人身份验证开启设备进行操作。

6 非工作时间远程指导机制

尽管操作人员已获得非工作时间的操作权限,但这并不意味着他们能够独立应对设备可能出现的所有突发状况。硬件与软件系统均可能存在不同程度的缺陷或故障。在非工作时间遇到此类问题时,操作人员可随时通过电话、微信语音或视频通话等方式,及时与设备管理员取得联系。设备管理员将保持24小时待命状态,以便提供必要的远程支持。若遇特殊情况下无法联系到设备管理员,操作人员应根据培训指导采取保守措施,暂停操作,避免因擅自处理导致设备状况恶化。

7 高级附件功能的应用管理

以上所述的7天×24小时开放管理办法仅适用于操作较为简便的常规检测项目,如形貌观察和能谱分析。对于EBSD、CL谱分析以及各类原位实验等操作复杂的高级功能,该管理办法并不适用,因此这些实验不纳入开放管理范畴。

鉴于这些高级实验的操作复杂且耗时较长,在机时分配上难以与数量众多的常规测试竞争,通常难以获得连续的长时段机时。同时,考虑到这些实验虽然使用频率相对较低,但对科学研究的前沿贡献显著,特将此类实验的预约安排在特殊预留通道,即第八天进行。此举旨在促进高级功能设备的应用推广,确保科研工作的高效性和先进性。

8 设备维护与运行保障机制

为保障 Quanta 250 FEG 场发射扫描电子显微镜的长期稳定运行,提升设备使用寿命和成像质量,建立了一套系统化、周期化的设备维护与运行保障机制,不仅有效延长了设备使用寿命,还保障了日常测试的稳定性和数据的可靠性,具体措施如下:

(1)电子束系统校准:每月至少进行一次电子束合轴操作,确保在不同电压和束斑条件下成像效果稳定,保证图像质量和测试精度。

(2)压缩机保养:每月至少进行一次压缩机排水操作,避免内部水油积聚过多对真空系统造成不良影响,从而确保设备运行环境稳定。

(3)机械泵维护:每半年至少进行一次机械泵检查与保养,重点观察泵油的颜色和油位。正常情况下,泵油应呈黄色。若呈现茶色,需立即停机更换。油位应保持在机械泵的两条红线之间,油位过低时应及时补充。同时,要保持机械泵表面洁净,避免油烟堆积。

(4)物镜光阑清洁:每年至少进行一次物镜光阑的清洁。若光阑受到污染,将导致电子束轨道紊乱,分辨率下降,影响图像清晰度。通过定期清洁,可有效维持设备的高分辨率成像能力。

9 结语

经过对 Quanta 250 FEG 场发射扫描电子显微镜管理经验的深入总结,深刻认识到科学管理在提升设备利用率中的核心作用。通过实施开放共享、网络化运行、科学预约、自主操作以及系统培训等策略,不仅有效缓解了测试压力,还显著提升了设备使用效率,同时培养了师生的专业技能和自主操作能力。

该设备在科研服务方面成效显著,不仅显著提升了机时利用率,还为研究所内80%以上的课题组提供了常规测试服务,大幅缩短了科研人员的测试

周期,有效提高了科研效率.同时其高级附件功能也有效支撑了多项国家级科研项目,助力相关成果发表在国内外高水平期刊上,显著提升了设备的科研支撑能力和使用价值.具体而言,CL谱附件在第三代半导体材料、发光陶瓷及材料带隙结构分析中展现出显著优势,能够深入揭示材料的光学特性与缺陷分布.原位变温台支持在不同温度条件下进行材料表征,已成功应用于形状记忆合金和电子芯片等领域的性能研究.原位力学台则专门用于研究液态金属柔性器件和软金属材料在加载过程中的微结构变化行为,为新型柔性电子器件的设计与优化提供了坚实的实验基础.此外,该设备还积极为外部企业单位提供测试服务,拓宽了科研设备的社会服务范围,进一步提升了设备的综合使用价值.

展望未来,本中心将继续秉承创新、高效的管理理念,对现有管理策略进行持续优化和改进.具体而言,将进一步细化预约系统,优化培训内容,加强设备维护与升级,确保设备始终处于最佳状态.同时,本中心也将积极探索新的管理模式和技术,如引入智能化管理系统、拓展远程操作功能等,以适应不断变化的科研需求.期望本文总结的管理经验能够为同类实验室提供借鉴和参考,共同推动科研设备管理水平的不断提升.

参考文献:

- [1] 刘婷婷,董彦达,张磊,等.扫描电镜类大型仪器在环境学科教学科研中的应用与管理[J].[分析仪器](#), 2023(1): 99-104. [LIU Tingting, DONG Yanda, ZHANG Lei, et al. Application and management of large-scale instruments like scanning electron microscopy in teaching and scientific research of environmental subjects[J]. [Analytical Instrumentation](#), 2023(1): 99-104.]
- [2] 岳乃琳,刘红艳,张伟.背散射探测器在场发射扫描电镜纳米尺度高分辨表面分析中的应用[J].[吉林大学学报\(理学版\)](#), 2022, 60(5): 1189-1194. [YUE Nailin, LIU Hongyan, ZHANG Wei. Application of backscattered detector in nano-scale high-resolution surface analysis of field emission SEM[J]. [Journal of Jilin University \(Science Edition\)](#), 2022, 60(5): 1189-1194.]
- [3] 于川茗,李林,蔡毅超.扫描电镜在电池材料领域的应用[J].[电子显微学报](#), 2021, 40(3): 339-347. [YU Chuanming, LI Lin, CAI Yichao. The application of scanning electron microscopy in the field of battery materials[J]. [Journal of Chinese Electron Microscopy Society](#), 2021, 40(3): 339-347.]
- [4] 刘飞,侯小虎,赵学平,等.材料类研究生扫描电镜实操创新能力提升的探索[J].[创新创业理论与实践](#), 2024, 7(6): 60-63. [LIU Fei, HOU Xiaohu, ZHAO Xueping, et al. Exploration of enhancing the practical and innovative capability of scanning electron microscopy for graduate students in materials[J]. [The Theory and Practice of Innovation and Entrepreneurship](#), 2024, 7(6): 60-63.]
- [5] 于洋,陈峰,李文洋.基于信息化平台的场发射扫描电镜实验室管理[J].[实验技术与管理](#), 2020, 37(9): 253-255. [YU Yang, CHEN Feng, LI Wenyang. Laboratory management of field emission scanning electron microscope based on information platform[J]. [Experimental Technology and Management](#), 2020, 37(9): 253-255.]
- [6] 逢昆,周立明,张家亮,等.扫描电镜“四维一体”实验教学体系构建[J].[实验室科学](#), 2024, 27(3): 81-85. [PANG Kun, ZHOU Liming, ZHANG Jialiang, et al. Construction of "four-dimensional integration" experimental teaching system of scanning electron microscope[J]. [Laboratory Science](#), 2024, 27(3): 81-85.]
- [7] 姚丽娟,朱满,刘翠霞.高校仪器 Quanta 400F 型扫描电镜的实验教学及开放共享[J].[实验技术与管理](#), 2020, 37(6): 266-268. [YAO Lijuan, ZHU Man, LIU Cuixia. Experimental teaching and opening and sharing of Quanta 400F scanning electron microscope[J]. [Experimental Technology and Management](#), 2020, 37(6): 266-268.]
- [8] 彭绍春,张继霞,史天贵.大型贵重仪器设备开放共享平台的建设与管理[J].[实验技术与管理](#), 2014, 31(3): 210-213. [PENG Shaochun, ZHANG Jixia, SHI Tianguai. Construction and management of large-scale valuable instruments and equipment opening sharing platform[J]. [Experimental Technology and Management](#), 2014, 31(3): 210-213.]
- [9] 刘小梅,江莉,庄宪骥.高校实验室仪器设备开放与共享机制研究[J].[科技信息](#), 2012(8): 8-9.
- [10] 于乐兵,尹洪峰,初士兴,等.高校大型贵重仪器设备开放共享保障体系建设:以西部地区某省属重点高校为例[J].[实验技术与管理](#), 2019, 36(5): 290-293, 297. [YU Lebing, YIN Hongfeng, CHU Shixing, et al. Construction of opening and sharing guarantee system for university large: scale precious instruments and equipment: taking key provincial university in western region as example[J]. [Experimental Technology and Management](#), 2019, 36(5): 290-293, 297.]
- [11] 伍杰,姜红燕,彭俊湘.地方型本科院校大型仪器共享平台建设现状与对策研究[J].[实验室检测](#), 2024, 2(8): 78-81. [WU Jie, JIANG Hongyan, PENG Junxiang. Research on the current situation and countermeasures of the construction of large instrument sharing platform in local undergraduate colleges[J]. [Laboratory Testing](#), 2024, 2(8): 78-81.]