



电镜表征公共服务实验室的开放运行与实践

马晓丽, 李晓玲, 曹力军

(上海交通大学 材料科学与工程学院, 上海 200240)

摘要: “材料测试分析中心”的电镜表征实验室是依托于“双一流”建设学科的校院两级共建具有公共服务性质的校级注册实验室。经过多年的实验室开放运行, 逐渐形成了从测试分析服务、支撑实验教学到实验创新开发的高效化、标准化和规范化管理运作模式。一方面, 实验室可提供优质的测试分析服务, 保证高质量的实验数据, 有力支撑高校科研团队实验研究并助力与校外单位的技术合作; 另一方面, 实验室承担高素质人才培养的工作, 在实验技术与设备培训、实验教学建设与改革、实践技术指导与分析支持中发挥着举足轻重的作用。结合实验室开放服务的关键管理和技术问题, 创新实验管理方法、标准化实验工艺流程以及仪器设备功能开发, 提高了实验室运行的开放效率, 提升了实验技术人员的服务能力。

关键词: 公共服务; 测试分析; 实验教学; 技术开发

中图分类号: G647

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230462

Operation and Practice of the Electron Microscope Public Laboratory

MA Xiaoli, LI Xiaoling, CAO Lijun

(School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The electron microscope public laboratory of “Materials Testing and Analysis Center” is a university-level registered laboratory with public service based on the “double first-class” construction of materials science and engineering in Shanghai Jiao Tong University. After years of laboratory opening, an efficient, standardized and normalized management operation mode has been gradually formed from the testing and analysis service, supporting experimental teaching to experimental innovation and development. On the one hand, the laboratory can provide high-quality test and analysis services, ensure high-quality experimental data, strongly support the experimental research of university research teams, and help the technical cooperation of off-campus units. On the other hand, the laboratory undertakes the cultivation of high-quality talents and plays an important role in the experimental technology and equipment training, experimental teaching construction and reform, practical technical guidance and analysis support. In addition, combined with the key management and technical problems of public laboratory, innovative experimental management methods, standardized experimental process and equipment function development have improved the efficiency of laboratory opening up and the service ability of technicians.

Key words: public service; test analysis; experimental teaching; technology development

上海交通大学的公共仪器共享平台以校院两级共建为宗旨, 形成了健全的公共服务能力体系^[1-3]。其中主要包括“分析测试中心”“实验动物中心”“高性能计算平台”“先进电子材料与器件平台”“张江高等研究院公共平台”“船海工程试验中心”“转化医学国家重大科技基础实验室”共 7 个校级平台, 服务跨学科、跨学院, 支持面广, 主要涵盖功用性强的高精、超大型和

大型设备^[4-6]。而院级平台主要包括“材料测试分析中心”“化学化工学院测试分析中心”“环境学院中心实验室”“生命学院公共仪器中心”“药学院公共实验中心”“农生学院公共仪器平台”等 9 个院级平台, 设备主要为专业学科和所属学院的常用仪器群, 涉及常规性和专业性的大中型设备。通过校院两级联动的仪器设备共享模式, 实现了统筹布局、服务互补以及提质增效的

收稿日期: 2023-09-28; 修回日期: 2024-01-08

基金项目: 上海交通大学决策咨询课题 (JCZXSJB2022-09)。

作者简介: 马晓丽 (1981-), 女, 博士, 高级实验师。主要从事电镜制样和透射电镜的测试分析工作。E-mail: mxl@sjtu.edu.cn

目的^[7-9]。

1 测试与分析服务，保障高质量实验数据

1.1 测试分析建设条件

“材料测试分析中心”作为校院两级共建的公共平台，依托于上海交通大学材料科学与工程学院“双一流”建设学科，围绕支撑高质量科研提升、高素质人才培养和高水平技术创新，形成了系统的实验室开放服务体系。中心下设电镜表征公共服务实验室，设备已于2013年通过了实验室资质认定(China Metrology Accreditation, CMA)，并分别于2016年、2022年顺利通过了CMA复评审，满足了硬件设备设施和软件标准程序规范化管理的实验条件。

电镜表征公共服务实验室配备了多台电镜制样设备、扫描电子显微镜和透射电子显微镜，设备总价值超过3000余万元。作为校级注册实验室的重要分支，是学校“分析测试中心”CMA材料学院分平台的有力支撑，按照检验检测机构资质认定要求，有能力向校内外提供公正、权威的测试数据和分析报告。实验室实行网上预约管理制度，提供全天对外开放共享，服务内容包括微观组织与结构、成分定性定量分析，服务对象面向校内外的实验用户。实验室通过科学的开放服务策略，不断细化开放服务环节，形成了从测试分析服务、支撑实验教学到管理与技术开发的实验室运行与实践模式。

1.2 测试分析服务成效

通过多年的运行与实践，电镜表征实验室形成了健全的测试与分析服务体系，如图1所示。实验用户可在网上实验预约系统中选择送样检测或自主操作两种预约方式，制备扫描电镜或透射电镜样品，由实验设备辅助评定和实验技术人员经验判断评估样品制备质量。样品制备满足测试与分析要求后，在与计算机联机处理的电子显微镜中采集图像，以实现统计分析、结构分析、频谱分析和模型分析。依据《上海交通大学科研基础设施和仪器设备开放共享管理办法(2020年修订)》，电镜表征公共服务实验室为校内外用户提供了大量优质的测试与分析服务，近3年设备平均开放的有效测试总机时为19142时/年，测试样品平均为5726件/年，服务人次平均为4703人/年，服务涵盖材料、化学化工、机械、物理、环境、电子和能源等众多学科，设备使用效率较高，共享开放成绩显著。一方面，实验技术人员通过主持和参与科研项目(如国家自然科学基金项目)，服务于高校科研团队的实验研究，目前已支撑发表高质量的科研论文数百篇(文章署名或在论文中注明测试分析设备)；另一方面，按照实验室资质认定的规范化管理要求，助力校外单位的多项测试分析项目合作，为相关社会服务行业和企事业研究单位提供准确而可靠的技术和分析支持。

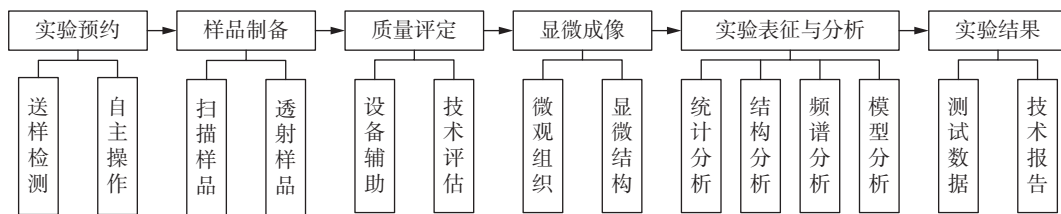


图1 电镜表征公共服务实验室的测试分析服务体系

2 实验与实践教学，支持高素质人才培养

电镜表征公共服务实验室的大型仪器设备是材料测试分析服务的前提保障，在实验教学的人才培养工作中占有不可或缺的关键地位。电镜表征实验室主要承担着设备操作与技术培训、支持实验课程与教学改革以及指导实践与分析支持工作，如图2所示。

2.1 设备操作与技术培训

采用多元化和分层次的培训模式，实验室技术人员每学期定期开展多对一的组织培训，培训内容主要包括实验技术理论、设备操作演示与用户上机指导；且根据实验客户的实际技术需求，不定时地实行一对一的个性化培训；实验室还经常邀请知名设备厂商和技术专家，介绍先进实验设备、提供免费样品测试并开展电镜相关技术讲

座; 另外, 为了更好地支撑科学研究, 通过聘请校内外相关科研领域的学术带头人介绍前沿研究动态, 开展理论进阶培训。将多种设备操作与专

业技术培训形式有机结合, 提高了设备开放利用率、扩大了测试服务范围以及提升了实验用户分析能力。

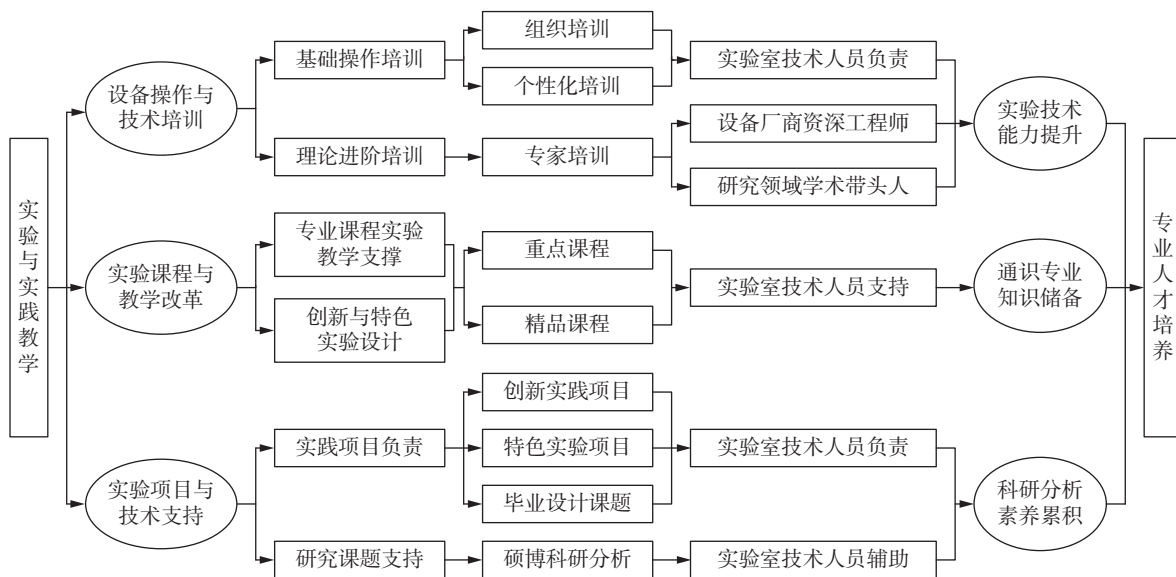


图 2 电镜表征公共服务实验室的人才培养体系

2.2 实验课程与教学改革

电镜表征实验室大力支持学院的教学课程建设, 提供实验教学场所、安排教学机时和负责实验教学指导。近年来, 融合材料科学基础和材料加工原理国家精品课程的专业理论知识, 实验室协助上海市重点课程材料组织结构的表征、上海市精品课程材料综合实验两门本科生课程、高分辨电子显微学及其应用一门研究生课程的电镜制样、扫描电镜和透射电镜的实验教学。实验技术人员参与实验教学课程改革, 支持上海市实验教学示范中心材料综合实验本科生的慕课建设, 包括电镜制样、扫描电镜和透射电镜的实验原理、设备操作和实验分析方法等教学内容。实验室技术人员协助编写实验指导书并支持实验教材建设, 相关建设内容已经纳入“中国大学慕课”体系, 并在“学习强国”的“学习慕课”模块的工学学科课程中展示。结合材料学科的专业特点, 基于材料学院的科研基地和电镜表征实验室的设备资源, 在本科生材料综合实验课程中指导学生开展“材料加工”和“材料学”专业研究方向的

多项特色类和创新类实验, 形成了从实验设计、实践操作到综合分析的拓展实验教学体系。实验室技术人员通过参与实验教学课程建设与改革, 一方面帮助学生提高专业理论的学科水平, 另一

2.3 指导实践项目与技术支持

方面辅助学生提升专业技能的应用水平。为了使低年级本科生提前有组织 and 有计划地参与科研工作, 接受科研基础训练, 电镜表征实验室提供科研场所和技术支持, 实验室技术人员负责指导多项“上海市大学生创新活动计划”和“本科生研究计划(Participation In Research Program, PRP)”, 增强学生的科研兴趣、科研意识和科研能力, 为学生将来选择研究方向和进一步开展科研工作打下坚实的基础。以上海交通大学“四位一体”为人才培养理念, 整合电镜表征实验室的设备资源和学科研究方向优势, 实验室技术人员凭借自身的专业实力和分析经验, 将科学和技术问题结合, 指导高年级本科生开展多项实验技术类的毕业设计课题, 为学生提供多样化发展研究方向, 全面提高学生的综合素质和能力; 作为科研支撑的公共服务性质平台, 电镜表征实验室为硕士、博士研究生课题提供科研测试数据和系统分析支持, 实践指导中注重学生的科研素养累积, 提升学生专业创新技能和研究分析能力。

3 管理与技术创新, 提升标准化服务能力

作为仪器设备的操作者和管理者, 电镜表征

公共服务实验室技术人员除了具备日常的电镜相关设备操作、维护和保养基本能力外，也注重新自身高阶能力的深入发展，努力挖掘实验工作的技术贡献。在上海交通大学“实验室创新研究课题”和“决策咨询课题”的支持下，结合实验管理和测试分析工作中遇到的实际问题，提出创新的管理方法、标准化测试工艺流程和仪器设备功能开发路线，以更好地支撑科学研究和实验教学的高质量发展。

3.1 改进实验管理方法

提出创新的信息化实验管理办法，开发“材料测试分析中心”信息平台 and “大型仪器设备共享”

“共享”管理系统，并与“仪器设备共享终端”控制系统联用，实现信息交互、实验预约、设备培训、运行记录的全流程设备共享管理体系。电镜表征实验室的设备在整个学院开放共享中占有比例最大，因此，对电镜表征公共服务实验室装备水平、利用水平和共享水平进行指标初选与结构设计，构建综合效率、技术效率和规模效率的共享指标评价体系，完善电镜设备共享绩效评价模型，并探讨仪器设备优化机制^[10]，如图 3 所示。通过对电镜表征实验室的设备开放共享绩效评价研究，可为实验管理提供政策性支持和建议，使设备共享资源的运行更为规范化和合理化。

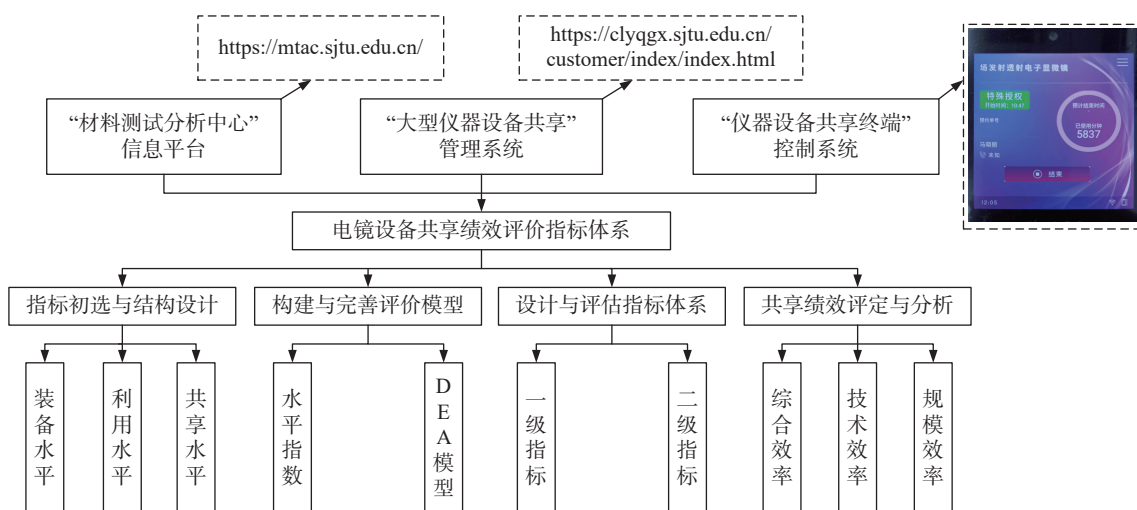


图 3 电镜设备共享绩效评价管理体系

3.2 标准测试工艺流程

针对扫描电镜和透射电镜样品制备的关键问题，制定了标准化电镜制样实验工艺流程，并形成典型的电镜制样测试分析服务案例^[11-12]，如图 4 所示。典型测试分析案例一：在扫描电镜样品制备中，优化离子抛光电镜制样的实验方案并建立实验工艺参数的回归模型，形成有借鉴和可推广的扫描电镜样品制备工艺流程，拓展扫描电镜样品制备的服务应用领域。典型测试分析案例二：在透射电镜样品制备中，选择电解双喷实验的关键影响因子，建立响应变量的工艺参数预测模型，并应用于金属材料透射电镜实验表征的定性评价和定量分析，从而提高透射电镜制样设备的使用效益。以上标准测试工艺流程的研究与方案制定，可以大大提高测试质量和分析效率。

3.3 开发仪器设备功能

电镜表征实验室的相关电镜设备已经运行多

年，部分设备面临着硬件升级和软件功能尚待拓展的问题。为了满足电镜设备的科研高、精、尖要求，电镜表征实验室技术人员探索解决大型仪器设备升级依赖进口的“卡脖子”问题，开展了仪器功能开发应用研究^[13-16]，如图 5 所示。设备应用功能开发内容主要包括：基于实验室资质认定国家标准，结合透射电镜分析理论和图像处理技术，对透射电镜现有的图像处理软件功能进行拓展。建立透射电镜图像的自动化和定量化分析封装模块，主要设计了透射电镜微观组织定量分析系统、单晶电子衍射标定与分析系统、多晶电子衍射标定与分析系统、高分辨图像频域滤波系统以及透射电镜晶面间距测量系统等。通过仪器设备功能的开发研究，减少了设备购置成本，提高了设备分析精度，具有一定的经济价值和社会效益。

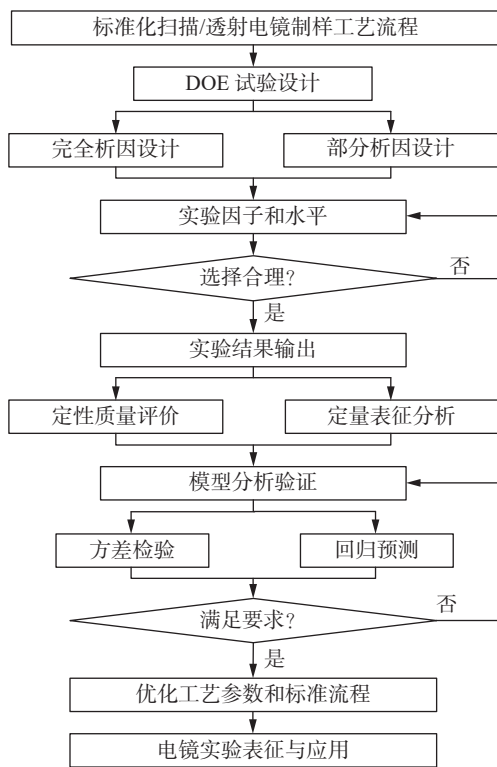


图 4 标准化电镜制样工艺流程

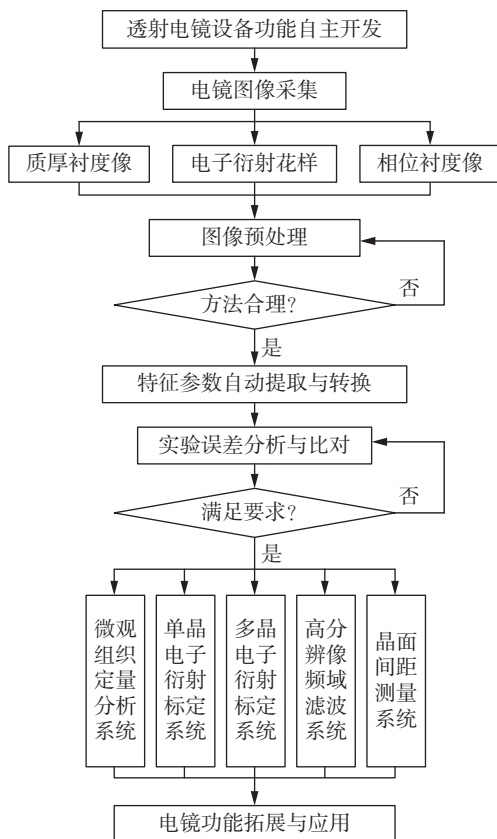


图 5 透射电镜设备功能开发应用流程

4 结束语

依托于上海交通大学材料科学与工程学院的

“双一流”建设学科, 电镜表征实验室是集测试分析服务、支持实验教学、实验管理和技术开发为一体的综合性公共服务校级注册实验室。实验室配备了多台样品制备和电子显微镜大型精密仪器设备, 肩负着支撑高质量科研发展和高素质人才培养的工作。针对多年来实验室开放服务的关键管理和技术问题, 在实验管理方法创新、标准化测试工艺流程以及仪器设备功能开发中显有成效, 形成了高效化、标准化和规范化的实验室开放运行与实践模式。

参考文献

- [1] 俞琛捷. 高校分析测试中心的开放与共享[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(6): 174-177.
- [2] 董发昕, 王振军, 孙伟, 等. 提高高等学校分析测试中心管理水平研究[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(11): 130-131.
- [3] 孙玉芳, 唐昊冶, 范巧君, 等. 科研实验室管理体系实施项目化管理的探索: 以中国科学院南京土壤研究所所级公共技术服务中心为例[J]. 分析测试技术与仪器, 2021, 27(1): 50-55.
- [4] 朱娜. 高校分析测试中心质量管理的实践探索[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(6): 26-29.
- [5] 马晓丽, 朱娜, 曹力军, 等. 基于校院两级共建的高校实验室资质认定体系[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(5): 234-236.
- [6] 赖煜东. 提高实验室管理体系运行水平的探讨[J]. 计量与测试技术, 2017, 44(1): 123-125.
- [7] 高培峰, 艾惠, 闫丽, 等. 高校分析测试中心人才培养协同管理模式探究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(9): 194-197.
- [8] 王昆仑, 赵继凤, 宋淑梅, 等. 分析测试中心实验教学模式的创新与实践[J]. 教育现代化, 2020, 7(21): 127-129.
- [9] 马晓丽, 陈秋龙, 张跃龙, 等. 焊接创新拓展实验教学的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(1): 245-248.
- [10] 马晓丽, 曹力军, 陈秋龙. 材料学院公共平台设备开放共享现状与绩效评价[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(5): 282-285.
- [11] 马晓丽, 刘礼, 王立强, 等. 基于全因子实验设计的离子抛光工艺研究[J]. 电子显微学报, 2019, 38(3): 276-280.
- [12] 马晓丽, 李郅远, 刘礼, 等. 钛基复合材料的离子抛光工艺适用性研究[J]. 电子显微学报, 2021, 40(2): 178-181.
- [13] 马晓丽, 秦瑾, 刘礼. 基于图像处理的透射电镜电子衍射标定与分析[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(2): 46-49.
- [14] 马晓丽, 秦瑾, 刘礼. 透射电镜微观组织图像处理定量分析系统设计[J]. 电子显微学报, 2022, 41(1): 20-25.
- [15] 马晓丽, 刘礼. 透射电镜图像处理的晶面间距测量系统设计[J]. 电子显微学报, 2022, 41(2): 123-127.
- [16] 马晓丽, 刘礼. 透射电镜高分辨图像频域滤波系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(6): 126-129.

编辑 葛晋