

课题完成单位：深圳校区

完成人：高尚，黄梦诗，马清，刘海星

多元化教学在电镜教学中的探索和实践

课题来源：校级 2023 年面上研究课题

扫描电镜是材料表征与分析的重要研究工具，其实验教学对研究生科研能力的培养具有重要意义。然而，传统的教学模式面临着教学资源不系统、实践指导不充分、学习效果不理想等问题。本研究针对这些问题，构建了“线上+线下”深度融合的多元化教学模式，开展创新性改革实践。具体包括：编制适应研究生培养需求的自有特色教材，开发贴近科研实践的精品课件资源，搭建微信公众号教学平台，建设动态更新的教学案例库，研制实验教具等系统举措。改革实践取得显著成效，形成了一套可推广的研究生电镜实验室教学体系，对提升研究生专业实验教学水平具有重要的借鉴意义。

关键词

扫描电镜；研究生教育；实验教学；教学模式；教学改革

随着科技的快速发展，扫描电子显微镜（简称为扫描电镜）作为现代科学研究中不可或缺的表征与分析手段，在材料、化学、生物、医学等领域发挥着关键作用^[1-3]。其超高分辨率成像能力、多样化分析功能以及无损检测特性，使其成为跨学科研究的重要支撑平台。

研究生阶段是科研创新人才培养的关键期，其实验教学具有鲜明的特殊性^[4]。与本科实验教学侧重基本技能训练不同，研究生实验教学更加注重科研思维的培养、研究方法的掌握和创新能力的提升。研究生不仅需要熟练操作仪器设备，更要具备实验方案设计、数据分析处理、结果综合解释等高阶能力。这就要求实验教学必须突破传统的示范性教学模式，建立起符合研究生培养规律的新型教学体系。

进入新时代，科技创新步伐加快，学科交叉融合日益深入，对实验教学提出了更高要求。首先，仪器设备向着智能化、自动化方向发展，操作更加复杂，要求使用者具备更全面的知识储备；其次，科研课题的综合性增强，需要学生掌握多种表征手段的协同应用；再次，科研竞争日益激烈，对实验数据的质量和效率提出了更高标准。这些变化都对研究生实验教学模式的创新提出了迫切需求。特别是在扫描电镜等大型仪器设备的教学中，如何提高教学效率、保证教学质量、促进学科交叉已成为亟待解决的重要课题。

当前，多数研究生扫描电镜实验教学仍沿用传统模式，在实践中暴露出诸多问题^[5-7]。首先，教学资源建设滞后，缺乏系统性和针对性。现有教材多是本科层次的工具书，难以满足研究生科研创新能力培养需求；教学案例陈旧，与前沿科研实践脱节；实验指导以经验传授为主，缺乏标准化的实验流程和规范。其次，教学方法单一，以“师傅带徒弟”式的一对多，或“师兄带师弟”式的一对一培训为主，培训效率低下，且易受指导教师个人水平限制。再次，设备开放管理机制不完善^[8]，预约难、等待时间长等问题突出，影响了研究生实验效率和科研进度。此外，考核评价体系不健全，难以客观评价学生的实际操作能力和综合素质。

总之，国内学者进行了多种教学改革尝试。但总体而言，许多教改尝试集中于本科教育阶段，国内研究生电镜实验教学改革尚处于起步阶段，缺乏系统性解决方案。

综上所述，电镜实验教学是材料类研究生培养的重要环节，对提升学生科研能力具有关键作用。然而，传统教学模式难以满足新时代研究生培养需求，亟需探索创新性教学方法。本文基于一系列研究成果，系统总结了电镜实验室教学改革实践，提出了“线上+线下”深度融合的多元化教学模式，为提升研究生实验教学质量提供了新思路。

通过与同行的交流以及查阅文献可以发现，国内外学者一致认为研究生的电镜教学存在诸多问题。在教学手段上，缺乏合适的教材，而且手段单一。因学时少、台套数少，加之理论抽象，导致学生缺乏互动、学习效率不高、成效不显著。在后续的科研工作中，研究生不了解操作背后的原理，更不能按需更改参数得到更优化的结果。针对这些问题，国内外学者就电镜教学做了很多研究。

1.电镜教学的国内外研究现状

国内学者开展了非常多的研究尝试去解决这些问题。在教学方法上，有人建立了“三层次”培训体系，有人引入了课后交流和“操作-交流-操作”的循环过程，还有人采用了“观摩-实操-指导”教学办法。这些都提高了电镜教学效果。

在教学手段上，大多还是依赖于多媒体、实机操作。也有很多研究者借助网上资源，让学生充分预习，甚至通过网上的模拟装置进行模拟，然后再实机操作。这样不仅能保证学生的参与度，还能够激发学生的探索欲望。

随着虚拟仿真VR技术的进展，近年来许多高校开发了虚拟仿真实验项目并建立了虚拟实验室。运用VR，使学生便捷直观地了解仪器内部结构，并能进行交互式体验，又不用占用电镜机时。然而，VR技术方大多不具备专业背景，且由于建设经费有限，导致虚拟实验中人机交互能力不足，最终结果只是加强版演示动画，难以真正达到加强理论学习和工程实践能力的目标。

教具可直观地演示工作原理和内部的结构，然而鲜有文献报道，目前仅有一例使用光学方法来模拟透射电镜，还没有针对扫描电镜教具的报道。

国外的电镜教学较有体系，培训体系规范。在技术手段上，很多大学开发了远程电镜，利于培训工作不分时间和地点。也有些大学引入了VR，开发了基于网络的远程虚拟电镜，用模拟器来代替真实的扫描电镜。此外，还有专门的电镜学习网站，供大众学习甚至模拟操作。这些都值得我们借鉴和尝试。

在扫描电镜的教材或著作方面。近年来的教材对新技术的反映较少，对原理的讲解不成体系。最近，主持人出版了《扫描电镜与显微分析的原理、技术及进展》，系统阐述了当代扫描电镜及其显微分析的原理、技术和进展，克服了之前著作的不足。

2.多元化教学的研究现状

为激发学生的学习兴趣 and 主动性，一些教学改革者顺应现代教育理念，逐步在实验教学中采用多元化教学方法，即在传统讲授式学习法基础上，融入案例式学习法、团队学习、项目式学习等等手段，并进行线上和线下结合的教学方法。线上线下教学都有自身的缺陷：线上教学资源丰富，但考验学生自我管理能力；线下教学周期长、见效慢，但互动性更高。许多改革者已经在很多课程中积极探索线上线下多元混合教学模式，比如汽车、病理学、生物医学、土木工程、环境工程、化学、流体力学、交通运输等专业课程。这些改革者结合当代大学生互联网的学习特点，分别从课堂教学、实践教学和线上教学进行教学改革，开展线上线下多元混合教学模式。结果表明多元化教学法能充分激发学生学习兴趣，提高教学满意度，实施效果较好，值得推广。仅就申请人所知，在电镜教学中还未见此方法的论文发表。但是这些课程的经验非常值得借鉴和尝试。

有很多研究发现，由于学生更易接受图形视觉动态化信息，充分借助互联网技术拓展课堂非常必要。最近许多改革者尝试使用微信公众号作为补充手段，把讲义、课件和案例发布上传，充分整合起新媒体的教学资源，使学生能自由、自主地去获取有用信息，在有效提升教学效果的同时开拓学生的眼界与知识面，为创新人才培养做出积极的贡献。就微信公众号建设而言，仅据申请人所知，国内还未见将扫描电镜和显微分析作为系列内容进行讲解。

总之，针对国内外的研究现状，在教学手段、教学方法和教学体系上有许多可以借鉴之处。结合自身实际，借鉴成熟经验，开拓创新，借助多元化教学方法，从课件建设、案例教学、开发微信公众号、制作教具、建立培训体系等处着手，使我们完善现有实验室的电镜教学方法，提高研究生的电镜教学效果。还可以顺便调研虚拟仿真和VR用于电镜教学的可行性和实施路线。



1. 改革思路

为了构建“线上+线下”深度融合的多元化实验教学模式，需要着力解决研究生电镜实验教学中的突出问题。具体目标包括：建立系统化的教学资源体系，创新多元化的教学手段，优化实验教学流程，最终借助研究生电镜实验教学体系提升培训效率和质量。多元化教学策略如图1所示，包括：（1）优化线下教学环节，编写符合现代设备特点的专业教材和案例教材，开发生动直观的实验教学课件；（2）研发专业教具，通过实物演示加深学生对电镜工作原理的理解；（3）设计典型案例，有效衔接理论知识与实验操作；（4）构建系统化培训体系，完善实验操作指导规范，提升研究生独立操作能力；（5）建设专业微信公众号平台，整合讲义、课件、案例等教学资源，实现新媒体教学资源共享等。



图1 多元化教学手段

2. 总体设计

总体设计为线上线下混合式教学，策略具体包括：课前环节，新生通过线上的资源库（包括但不限于上传的各种视频、公众号内容、多媒体资源）进行学习，并利用虚拟仿真系统熟悉基本操作；课中环节，首先开展线上理论讲座，通过课件和动画讲解原理及安全要点，随后进行线下分组实操训练，配合教具演示和案例分析；课后环节，线上要求提交实验报告，开展网络答疑，推送公众号专业知识，线下则建立分级操作权限制度，根据学生表现进行证书授予、权限升降和再培训，实现精细化培养和过程管理。

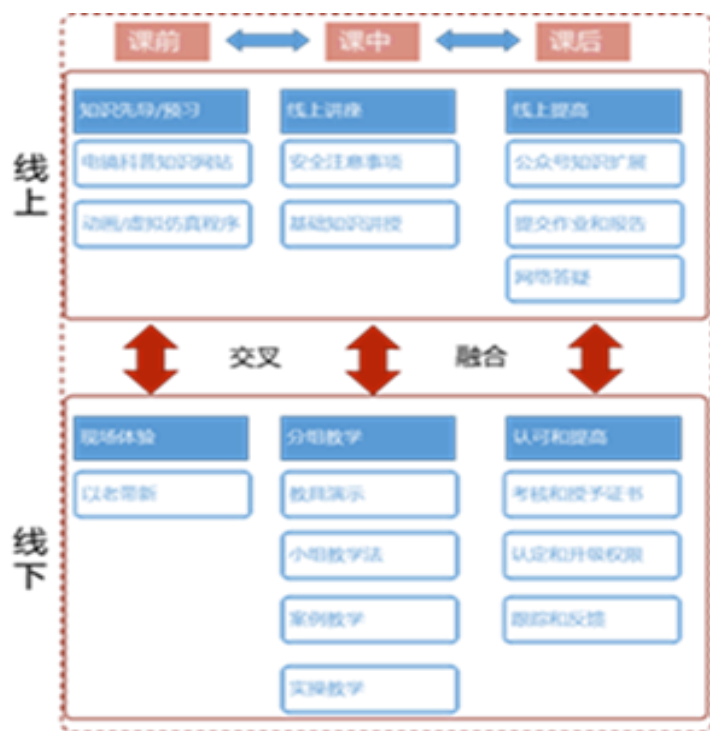


图2 线上线下混合式教学思路

1.教学资源建设

在资源保障体系建设方面，在2023年建设数字化教学资源，包括搭建微信公众号教学平台提供便捷学习渠道，采用专业电镜模拟器系统Myscope增强实践训练机会，开发线上学习资源库支持自主学习。开发特色教材体系，基于已出版专著编写案例教材确保内容专业性，开发配套多媒体课件提升教学效果，编制实验指导书规范操作流程。



图3 教学资源建设中的微信公众号及其他资源

获得2项电镜教具发明专利授权，并制作了教具用于教学。围绕扫描电镜与显微分析专题，开设微信公众号专栏，保持每周更新，截至申报时已发布23期内容。专栏文章平均阅读量超1000人次，读者普遍反映内容深入浅出、逻辑清晰、图文并茂，既能讲清原理本质，又保持生动有趣。



图4 教学资源建设中撰写的专著、教具和获授权的专利

2.教学模式创新

本研究设计的线上线下混合式教学策略具体包括：课前环节，新生通过线上的资源库（包括但不限于上传的各种视频、公众号内容、多媒体资源）进行学习，并利用虚拟仿真系统熟悉基本操作；课中环节，首先开展线上理论讲座，通过课件和动画讲解原理及安全要点，随后进行线下分组实操训练，配合教具演示和案例分析；课后环节，线上要求提交实验报告，开展网络答疑，推送公众号专业知识，线下则建立分级操作权限制度，根据学生表现进行证书授予、权限升降和再培训，实现精细化培养和过程管理。

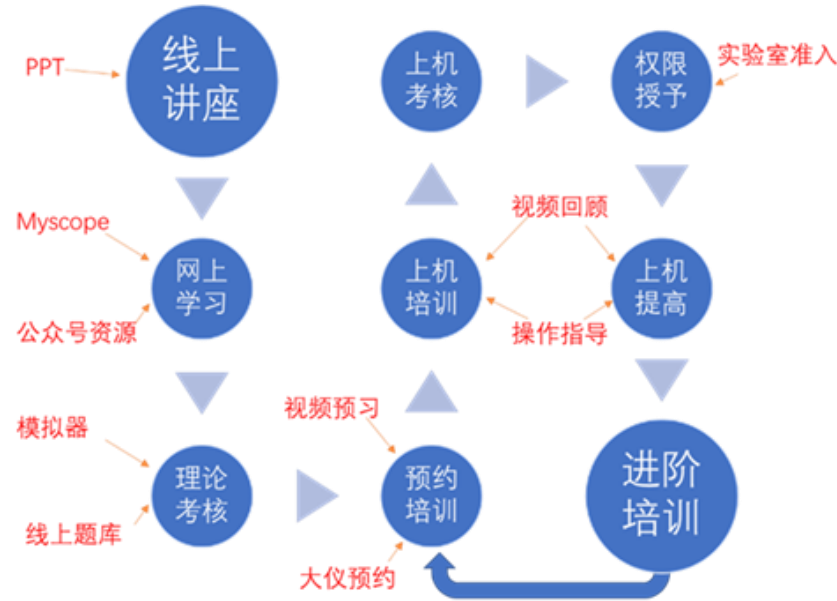


图5 线上-线下教学模式的实施流程

3.管理机制优化

为保障教学质量和实验安全，制定安全操作规程和应急处理流程，定期开展安全培训。同时借助开放共享平台，实施预约制度，促进跨学科服务和资源共享。实验室建立了基于能力分级的开放共享机制，通过科学的权限管理体系实现设备资源的高效利用，见表1。依据学生实验技能水平，设置差异化操作权限，并建立动态调整机制。这种"以用促学、学用结合"的管理模式，既保障了设备安全运行，又为学生提供了充分的实践机会，有效提升了实验教学效果和设备使用效率。

表1 权限管理类别和可预约的时段

权限类别	权限对应操作范围	对应预约时段
权限1	拍摄和保存图片，普通EDS。未经允许，不能私自倾斜、旋转样品台或设置低于5 mm的工作距离。	可以约一般的上班时间
权限2	设置参数、制放样和拍摄，普通EDS，可以预约晚上时间。未经允许，不能私自倾斜、旋转样品台或设置低于5 mm的工作距离。	可以约工作日的晚上时间
权限3	设置参数、制放样和拍摄，普通EDS外，还可以进出BSD探测器，或者可以倾斜、旋转样品台、设置低于5 mm的工作距离。	可以约工作日的晚上时间，可以约周末（未来开放）

1. 培养效果

学生培养成效显著：通过标准化实验流程的建立，培养了学员全过程独立操作能力，使其能够规范完成从样品制备到数据采集分析的完整实验过程。年均完成200名来自4个学院、20余个课题组研究生的系统化实验培训，为高水平科研论文的产出提供了有力的实验技术支持，充分体现了显著的学科交叉特色。权限1的学生使用上班时间自行测试，权限2等学生可以使用晚上和周末等时间熟练测试。

2. 运行效益

通过科学管理和合理调度，电镜运行稳定可靠，年均机时量达3800小时，服务了8个学院，40余个课题组。不仅实现了仪器设备资源的高效利用，还有效满足了教学科研需求，形成了资源共享、高效运转的实验室管理模式。在图6中，主要服务了材料学院，但是也兼顾了其他7个学院的使用需求，而且服务较多的课题组科研成效也非常显著。

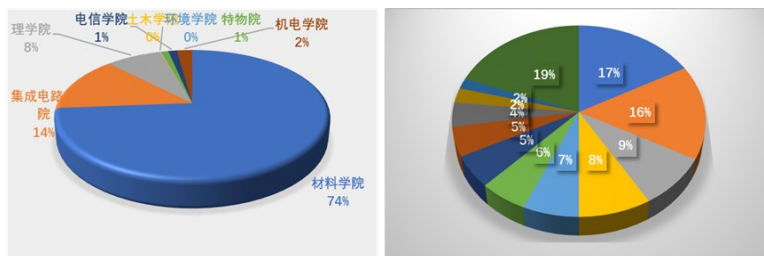


图6 服务的学院和课题组使用频率

3. 推广应用

通过系统化微信公众号专栏建设，取得了显著的社会效益，扩大专业知识传播范围。专栏内容覆盖扫描电镜完整的知识体系，平均阅读量超1000人次，在同类专业教学号中表现突出，有效扩大了专业知识的受众面和影响力。

指导书和教材的推广应用：校区实验中心姚兆月老师将指导书用于EDS/EBSD培训，华南理工大学材料学院孙千老师采纳教材进行研究生培训，蔡司中国显微镜部门将其列为新员工入职必读，有效促进了电镜知识在高校和企业间的推广与应用。

在教学改革方面实现多项创新突破：首创扫描电镜专业教具及其教学方法，开发了功能完善、操作便捷的教学工具，有效解决电镜教学中的抽象理论展示问题；基于自有教材开发实践导向型课件，结合实验室设备特点，提升教学针对性。依托教学改革，构建了理论学习、技能培训、考核反馈的完整教学体系，并创新性地将微信公众号与案例教学相融合，实现多媒体资源的系统化应用。实践证明，这种多元化教学模式显著提升了研究生学习效果，具有较强的推广价值。

展望未来，我们将持续完善电镜实验室教学体系，着力推进实验案例教材出版和已有教材修订工作，构建更加完整的实验教学资源体系。计划加强教学资源的数字化建设，深化新媒体技术在教学中的创新应用，并通过持续优化案例库建设来丰富实践教学内容。同时，我们将着力强化研究生的跨学科应用能力培养，进一步拓展服务范围，推动实验教学质量再上新台阶。

参考文献略