

扫描电镜在高校教学科研中的关键角色：教育创新和科研合作

刘清朝, 刘春梅, 卢有彩*, 张宗培*, 李朝辉*

郑州大学化学学院, 郑州 450001

摘要: 本文阐述了大型仪器扫描电镜在高校实验教学以及科研中的重要作用, 并就目前存在的问题, 提出了一种综合性的教学方法和管理模式。通过线上预习和线下授课相结合的教学模式, 以及仪器设备共享平台的开放共享机制, 提高了学生实验操作技能和科学素养, 激发了科研创新热情, 提高了扫描电镜的利用率。这种模式在提高了实验教学质量的同时, 又促进了教学和科研的互动发展。

关键词: 场发射扫描电镜; 实验教学; 教学改革; 开放管理

中图分类号: G64; O6

Scanning Electron Microscopy in Higher Education: Bridging Educational Innovation and Scientific Collaboration

Qingchao Liu, Chunmei Liu, Youcai Lu*, Zongpei Zhang*, Zhaohui Li*

College of Chemistry, Zhengzhou university, Zhengzhou 450001, China.

Abstract: This study examines the critical role of scanning electron microscopy (SEM) in university-level experimental education and scientific investigation, while proposing an integrated pedagogical framework and management system to address existing challenges. Our approach combines blended learning methodologies (online preparation modules coupled with offline laboratory instruction) with an open-access instrumentation platform, demonstrating three key outcomes: enhanced technical proficiency and scientific reasoning among students, increased research innovation capacity, and optimized SEM utilization metrics. The implemented model not only elevates experimental teaching standards but also fosters synergistic development between academic instruction and scientific exploration.

Key Words: Field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM); Experimental education; Teaching reform; Open-access management

随着科学技术的不断发展, 高校教学水平和科研水平日益提高, 高校实验室已经成为高水平科研成果产出、高层次人才培养、社会服务的重要基地。作为高校实验室的重要组成部分, 大型仪器设备也是开展高水平实验教学和科技创新研究的重要物质基础, 在高校的人才培养、科技创新中发挥着举足轻重的作用。场发射扫描电镜具有分辨率高、放大倍数变化范围宽、立体感强等优点, 是观察微观世界的重要工具, 在化学、材料学、生物学以及医学等领域中广泛应用^[1-3]。然而, 扫描电镜设备因其高昂的成本、有限的数量和高使用率, 再加上维护费用的持续攀升, 如何在现有条件下最大化利用扫描电镜的潜能, 充分发挥其在人才培养和科技创新中的关键作用, 同时兼顾本科生实

收稿: 2024-08-20; 录用: 2024-10-16; 网络发表: 2025-04-15

通讯作者, Emails: yclu@zzu.edu.cn (卢有彩); Zhzp@zzu.edu.cn (张宗培); zhaohui.li@zzu.edu.cn (李朝辉)

基金资助: 郑州大学教育教学改革研究与实践项目(2022ZZUJG162, 2022ZZUJG037, 2023ZZUJGXM004, 2023ZZUJGXM165); 河南省高等教育教学改革研究与实践项目(2024SJGLX0035)

验教学和研究生科学研究的需求,已成为高校电镜管理人员面临的重大挑战^[4,5]。作者根据近年对大型仪器的教学管理经验,重点讨论了扫描电镜在实验教学以及科技创新中的角色和挑战。

1 实验教学

随着科学和工程领域的不断发展,教学大纲对学生所具备的实验技能和科学素养的要求也越来越高。扫描电镜实验的学习不仅为学生提供了亲身体验科学研究的机会,还加深了他们对仪器原理及相关知识的理解,激发了学生的学习兴趣,培养了学生的独立思考能力和科研潜力。

1.1 教学中存在的问题

扫描电镜实验教学主要面向的是化学与应用化学专业高年级本科生,这部分学生已经学习完仪器分析课程,对仪器的原理和应用有了基本的了解,但并没有实际操作过仪器设备。教学大纲要求学生掌握仪器原理,了解仪器的日常维护知识和注意事项,能够简单操作仪器并完成实际样品测试。然而扫描电镜属于精密仪器,由于其价格高、台数少、操作复杂、维修成本高,不规范的操作会造成仪器损坏,导致部分学生担心损坏仪器而不敢上机操作^[6]。同时扫描电镜采用封闭式设计,自动化程度较高,学生无法直观看到其内部构造,使得学生对仪器原理一知半解难以完全掌握。为了使学生更好地掌握仪器原理并克服对大型仪器的恐惧,提高学生的仪器操作能力和解决实际问题的能力,我们引入了线上与线下相结合的混合式教学模式,极大的提高了学生的积极性和参与感,并培养了学生的科技创新能力。

1.2 混合式实验教学设计

1.2.1 线上预习

扫描电镜仪器基本知识涉及面广、专业术语多,且采用全封闭式设计,自动化程度高,为了在有限的课时内能够达到教学大纲的要求,高质量的实验预习就显得格外重要。我们设计了详细的教学大纲:明确实验目标,详细列出学生需要掌握的仪器原理、专业术语、日常维护知识和注意事项。同时,我们将仪器的基本构造、工作原理、操作步骤以及制样方法分别做成了视频、动画以及幻灯片等多种教学资源,并利用互联网平台与学生共享,方便学生根据自己情况随时进行课前预习、课后复习。上课之前,采用线上方式向学生推送预习内容,要求学生结合共享资源,充分全面地预习仪器原理、仪器结构以及基本操作。老师根据实验的关键点预设答题环节,检查预习效果。通过线上的高效预习,学生了解了仪器的基本知识点和操作步骤,到线下的仪器操作步骤就会做到心中有数,游刃有余。

1.2.2 线下授课

经过高质量的预习,学生已经熟悉了仪器的基本原理和专业术语,线下教学将会变得轻松流畅。首先,老师将教学视频结合现场仪器设备进行实物一对一讲解,带领学生们学习扫描电镜的原理并明确其主要部件的位置及功能,加深学生对仪器的理解;在实验讲授环节,重点讲述仪器的难点、注意事项以及样品制备,分享仪器的最新功能以及一些科研热点问题,拓宽学生的视野。接下来,在仪器操作环节,由老师带领学生一起制备样品、进样,在老师示范拍照过程中,向同学们阐述“加速电压”“荷电效应”“像散”“景深”等专业术语的含义并演示这些因素对所拍照片的影响以及相应的处理方法;由于是小班教学,每组学生4-6人,每一位同学都能够亲自操作仪器并完成拍照作业。最后,学生之间互相点评拍照作业,对拍照作业不理想的分析原因并指出改善办法,老师做出总结并分享样品制备、测试参数调整以及仪器故障排除等方面经验。

1.2.3 科技创新

在培养学生科技创新能力方面,本课程实施了一系列措施,旨在将理论教学与实际科研紧密结合。除了课堂的理论教学和实验操作基础训练,我们鼓励学生参与各类课外科研项目和竞赛活动,例如大学生创新创业项目、挑战杯竞赛等。这些活动为学生提供了一个开放且实践性强的平台,促使他们将课堂知识应用到实际科研课题中。在这些项目中,学生接触到来自各领域的科研课题,并

在实验教师的指导下进行自主测试与表征,积累了丰富的经验。借助扫描电子显微镜,学生可以观察和分析样品的微观结构和表面形貌,从而掌握先进仪器的使用方法,并学会根据实验目标调整参数以获取更精准的信息。更为重要的是,学生被引导不仅局限于单一技术的应用,而是要通过多种表征手段的综合运用来解决复杂的科研问题。例如,通过将扫描电镜与能谱仪(EDS)结合,学生能够获得样品微观区域的成分信息;将SEM与拉曼光谱技术结合,则可以同时获取样品的微观形貌和分子结构信息。这种多技术联用的方式丰富了学生的样品信息,显著提升了他们的综合分析能力。通过这些实践,学生学会了如何从多角度、全方位地分析科研样品的性质与成分,进而提出创新性解决方案。这种动手实践不仅培养了他们的科技创新能力,也有效提升了科研素质和综合能力。项目执行过程中,学生逐渐从实验操作的初学者成长为独立思考的科研工作者。

我们建立了多层次评价体系,以评估学生科技创新能力的培养效果。在线下授课阶段,通过观察学生在仪器操作中的熟练程度、图像选择以及解决问题时的创新思维,可以直观评价他们在科技创新方面的进步。此外,学生定期提交的研究进展报告,有效监测他们在项目执行过程中的自主性和创新能力发展。通过定期讨论科研成果及所遇挑战,教师能够提供针对性指导,进一步协助学生完善实验设计与创新方案。这些措施不仅反映了学生对技术的掌握程度,还展示了他们面对实际科研问题时的创新思维与解决能力。最终,参与项目的学生在大学生创新创业项目和挑战杯等赛事中取得了优异成绩,验证了本课程在科技创新能力培养上的有效性。此外,学生在课后普遍反馈,他们在数据分析、实验设计与解决复杂问题方面的能力获得了极大的提高。这种反馈不仅来自学生自身的主观感受,还体现在他们后续科研工作的实际表现,证明了该培养模式的有效性。

1.2.4 理论与实践结合

在化妆品行业中,产品质量直接影响用户信任与品牌声誉,尤其在竞争激烈的市场环境下,外观与使用体验成为消费者购买决策的关键因素,即使严格质控,也难免会出现难以察觉的细微瑕疵。图1a展示了某化妆品公司提供的一款面膜,然而在日常质量检测中发现,部分面膜纸上出现了棕红色斑点。这些斑点虽然细小,却对用户整体体验产生了负面影响,进而导致销售业绩不理想。为解决这一问题,首先需要准确分析并确定这些斑点的成分。然而,由于斑点颜色较浅且范围小,传统的化学分析方法难以得出有效结果。面对这一挑战,理论与实践的结合显得尤为重要。我们采用SEM与EDS联合技术作为解决方案:通过扫描电镜可以观察到面膜纸上斑点的微观形貌(图1b),能谱仪则能确定斑点中的元素成分(图1c-f,表1)。结合生产工艺和原材料来源,通过理论与技术的综合分析,最终确认了杂质的来源,并成功识别了斑点中的具体元素成分,彻底解决了这一问题。这一过程不仅验证了分析方法的准确性,也为后续的质量控制和工艺优化提供了科学依据,同时为进一步提升产品质量奠定了坚实基础。该实例不仅让学生深入掌握了扫描电子显微镜的表征方法,还进一步加深了他们对该技术在实际应用中重要性的理解,增强了理论与实践相结合的能力。此外,学生在分析和解决复杂问题的过程中提升了自主思考与技术应用的综合能力,为今后的研究和实践奠定了坚实的基础。

这种改革使学生可以更好地理解仪器原理,利用仪器可以直观地观察到样品的微观结构,激发学生从接受性学习转变为探究性学习,提高了学生的兴趣和积极性,培养了学生分析问题和解决问题的能力。

2 扫描电镜在科研创新中的应用

2.1 传统管理模式存在的问题

扫描电镜属于精密仪器,操作复杂,使用频率高,在承担学校实验教学任务外,还承担院内外及社会的大量测试任务^[7,8]。在传统的管理模式下,由专职老师负责所有样品的测试。这种模式在一定程度上可以较好地维护仪器,降低仪器的故障率,减少仪器的维护成本。但是它存在一些不足:(1)测试老师需要花费大量的时间和精力测试样品,但是所测样品数量有限,导致大量待测样品堆

积, 实验数据不能及时地反馈给同学, 仪器的使用效率并没有达到最大。(2) 测试老师没有足够的时间和精力去追踪最新文献, 与同行交流并拓展仪器的新功能, 探索新的教学方法和实验设计, 无法给学生提供最新的思路和方法, 这在一定程度上限制了教学创新的机会, 并削弱了大型仪器辅助及推动科技创新的作用。(3) 学生不了解仪器, 不知道如何充分利用扫描电镜验证自己的研究结果, 不利于提高学生的实验技能和科学素养。传统的管理模式不符合高校创新型、应用型、技能型人才的培养要求。

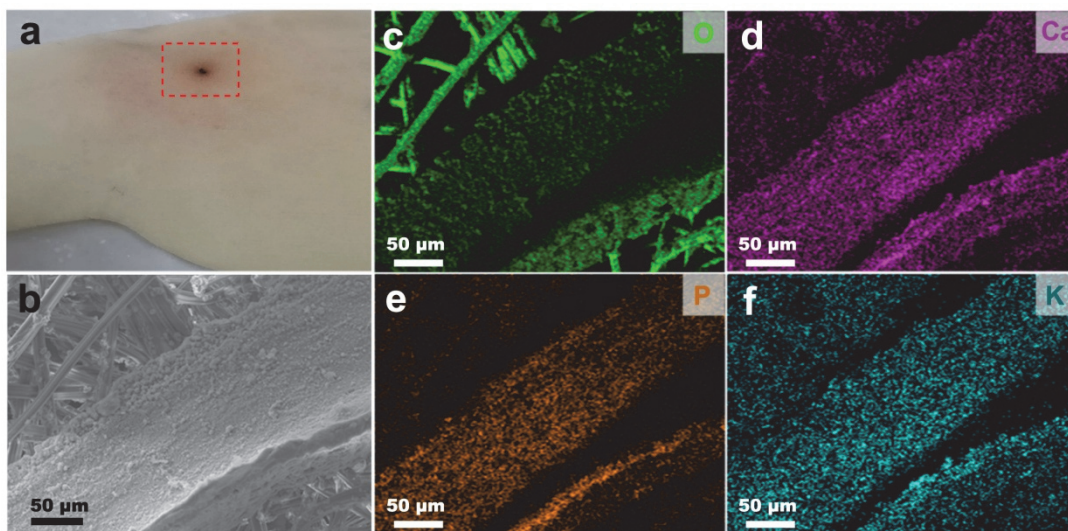


图1 (a) 面膜斑点; (b) 斑点微观形貌; (c-f) 斑点能谱图

表1 面膜斑点元素含量

元素	C	O	Ca	P	K
含量(%)	58.9	37.7	2.8	0.4	0.2

2.2 现有经验和管理方法探讨

为了充分发挥扫描电镜在科技创新中的应用, 更好地服务于师生, 在保证正常教学的前提下, 我们在传统管理模式的基础上进行了优化。

2.2.1 用户分类管理

目前扫描电镜的用户主要分为院内本科生、校内研究生以及社会科研人员。根据学校教学科研安排, 我院扫描电镜主要用于教学科研方向, 因此, 我们在做好本科生的实验教学前提下, 尽量满足研究生的科研需求, 如果还有额外机时, 会提供社会科研样品的服务测试工作。对于研究生的测试需求, 我们会根据其所在课题组的样品数量进行不同层次的分类管理。对于样品多、测试频率需求高的课题组, 根据实际情况, 选择培训并授权其中一到二名研究生负责其课题组的样品测试工作。对于样品数量少的课题组, 由测试老师和学生一起完成测试: 测试老师负责操作仪器, 学生负责样品具体信息; 或者测试老师指导协助学生操作仪器, 一起完成样品测试。对于社会科研样品, 通常由测试老师根据样品信息以及要求, 完成测试。目前我院科研任务重、测试需求多, 研究生的独立上机测试可以大幅度提高仪器的使用效率, 学生还能够在测试中更快地获取实验数据, 加速研究进展, 优化自己的研究工作。

2.2.2 自主上机

由于扫描电镜价格较高、台数较少, 使用需求高, 需要经过专业的培训才允许独立操作仪器。

大部分研究生迫切希望拥有电镜操作权限，可以独立自主操作仪器。因为这不仅可以及时获得实验数据，推进课题组的课题研究，提高科研创新能力，还能够掌握一门大型仪器的原理及操作方法，为今后科研生活中提供强有力的保障。扫描电镜操作复杂，注意事项多，不专业的操作会增加仪器的故障率，从而增大其维修成本和维修时间，影响教学科研工作的正常开展。因此，我院建立了严格的培训上岗制度，做到导师同意，责任到人，具体流程图如图2所示。

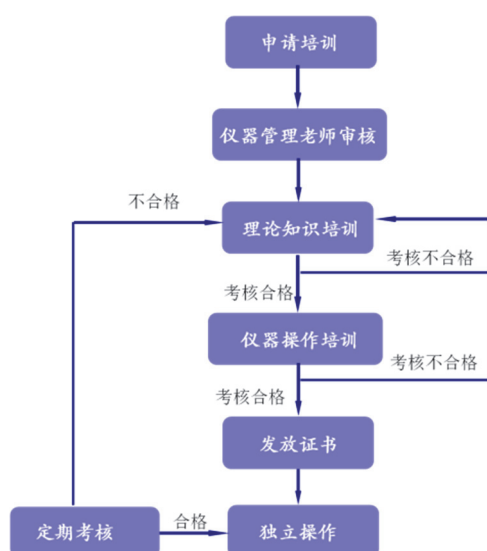


图2 扫描电镜培训流程图

为了便于与学生沟通、互动、答疑，我们建立了扫描电镜专属微信群，在群公告中分享仪器的基本构造、工作原理、操作方法、注意事项以及样品制备方法的课件和视频，让学生可以根据自身情况开展自主学习并掌握相关知识。在自主学习并掌握电镜的基本知识以后，由学生申请，经导师同意，测试老师会安排研究生电镜培训。鉴于电镜操作的复杂性和注意事项的繁多，仅通过一次培训无法完全掌握仪器操作方法。因此，测试老师通常建议研究生采用“老带新”的方式参与学习。当经验丰富的研究生进行测试时，他们会参观学习2-3次，从样品制备到样品拍摄全过程。这样，在接受老师培训时，他们能够对整个流程心中有数，并克服对大型仪器的恐惧，顺利上机。接下来，老师将对学生们进行仪器理论知识培训，从电镜的发展历史和分类开始，详细阐述电镜的工作原理、基本构造以及具体部位。当讨论仪器的基本构造时，我们能够清晰地解释为何样品需要进行干燥处理以及保持洁净。同时我们会说明，如果样品未达到标准要求，将会对仪器的特定部件产生影响。此外，还需了解如何日常维护和保养大型仪器。在培训过程中，将通过穿插提问的方式，引导学生积极思考和回答问题。同时，我们还会对一些典型的扫描图像进行分析，带领大家共同探讨优化结果，以培养学生的分析与问题解决能力。此外，我们还会与研究生分享最新的仪器扩展功能和前沿技术动态，以拓宽他们的视野，为未来的科学研究奠定坚实的基础。

在仪器实操培训过程中，老师会示范一遍具体流程，从样品制备到仪器操作以及维护，并会在操作过程中讲解注意事项和拍摄技巧。同学们可以将提前准备好的样品进行上机练习，并与大家一起讨论解决出现的问题^[9]。在电镜理论知识和仪器操作培训完成以后，同学可以申请自主上机权限，通过相应考试后即可独立上机操作。首次取得自主上机权限的同学，测试老师通常会协助其拍摄样品2-3次，直至该同学可以轻松应对课题组样品测试过程中出现的一些常见的问题。

2.2.3 实例分析

图3展示了电镜光缆对样品拍摄图片质量的影响。当电镜光缆被污染后，我们尝试通过多种方式

调整扫描电子显微镜的参数，包括改变加速电压、工作距离及像散等，但样品的图像仍然模糊不清，无法获得有效的微观信息(图3a,b)。为了解决这一问题，我们将电镜光缆更换为未被污染的20 μm 并进行分析。经过这一处理后，再次拍摄的样品图像变得清晰可辨。通过这一调整，我们成功消除了光缆污染对图像质量的影响，得到了高分辨率的样品图像。这一经验再次强调了在样品的拍照过程中，样品的前处理对仪器维护的重要性。

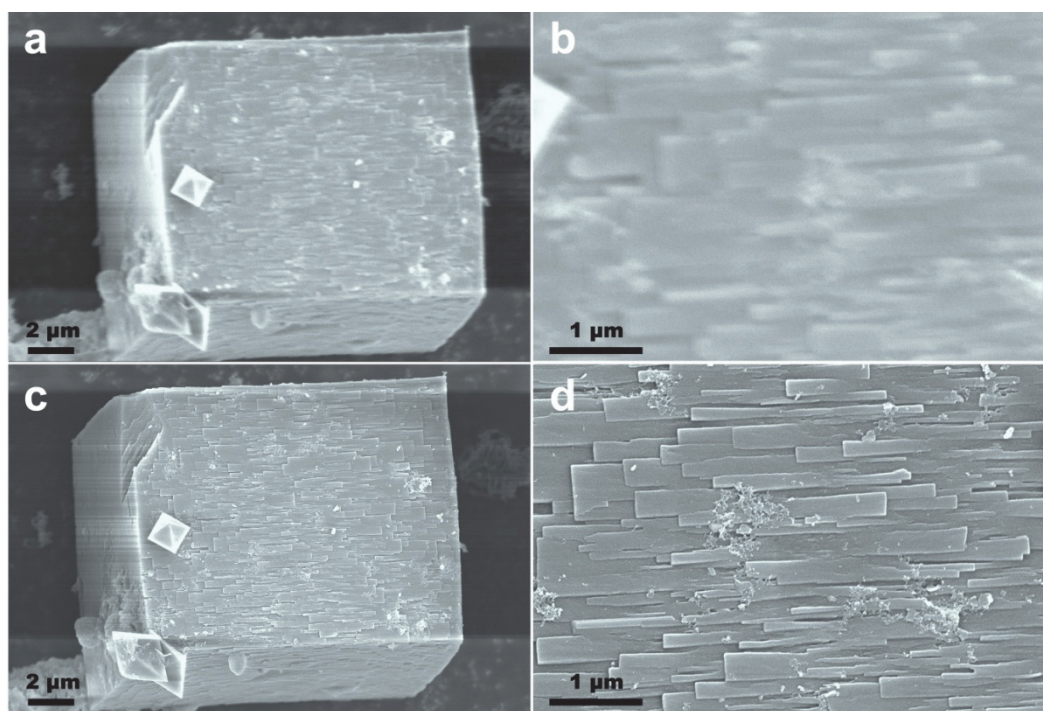


图3 (a, b) 光缆被污染的电镜图片；(c, d) 光缆未被污染的电镜图片

2.3 预约管理

扫描电镜是实验中心备受欢迎的仪器，由于用户众多且测试需求量大，仅在工作时间内进行测试会导致样品积累^[10]，因此学校开发了网上预约系统，实现了全天候开放模式。这样一来，使用扫描电镜自主上机的同学可以根据实际情况选择工作时间、晚上或周末完成测试。为了确保仪器资源均衡分配，我们规定一个课题组每周最多只能预约2次。网上预约系统的启用极大提高了扫描电镜仪器的利用率，并解决了机时不足和排队等待问题。

2.4 开展讲座、开拓视野

邀请电镜厂家应用工程师和电镜应用资深学者来实验中心进行专题讲座，重点介绍仪器最新发展的高级应用和扩展功能，并就研究生在科研学习中遇到的测试问题提供详尽具体的解决方案，以提升他们的实际操作技能和科研能力。这样既可以加深研究生对仪器基本原理的理解，又可以拓宽其视野，为自己科研项目顺利实施提供思路并奠定基础。

3 提升实验技术人员专业素质

高质量的仪器教学科研服务和高效的仪器设备使用效率，离不开实验技术人员高素质的专业技术水平以及管理经验。我院鼓励仪器管理人员积极参加高水平的学术研讨和技术交流活动^[11]，深入了解仪器在化学、材料、物理等科学技术研究中的新进展，同时向专家和同行学习新知识和新技巧，掌握仪器的新技术。此外，仪器管理人员在参与科研项目时，与研究团队紧密合作，将仪器的新技

术与教学和科研项目相融合，从而有效提升研究生的科技创新能力。在这一过程中，学生不仅能够实践最新的仪器技术，还能培养解决实际问题的能力，激发他们的创新思维，促进学科的进一步发展。通过这种互动，仪器管理人员的专业素质也得到了提升，推动科技创新的持续发展。

4 结语

本文针对高校在扫描电镜使用过程中存在的实验教学效果不理想、大型仪器维护费用高、科研样品排队时间长等现状和问题，提出了既能提高实验教学质量，又能提高大型仪器的利用率和开放性的教学方法和管理模式。在实验教学方面，引入线上预习、线下授课的教学模式，通过不同科研样品的测试，促使学生将仪器原理、仪器操作以及实际应用紧密联系起来，提升学生的操作能力、创新能力以及解决问题的能力，提高了学生的科研素养；在仪器的开放共享方面，利用仪器设备共享平台，进行预约测试、学生自主上机模式，培养了学生的实践能力和创新能力，提高了扫描电镜的利用率，促进了教学和科研的互动发展。

参 考 文 献

- [1] 逢昆, 周立明, 张家亮, 赵凯. 实验室科学, **2024**, *27* (3), 81.
- [2] 涂牧东, 黄俊峰, 周保范, 张军伟, 邓霞, 李华. 实验技术与管理, **2022**, *39* (8), 28.
- [3] 余凌竹, 鲁建. 实验科学与技术, **2019**, *17* (5), 85.
- [4] 姚丽娟, 朱满, 刘翠霞. 实验技术与管理, **2020**, *37* (6), 266.
- [5] 赵鹏, 田晶, 赵悟睿, 于川茗. 实验室科学, **2023**, *26* (5), 167.
- [6] 章建东, 吴莹, 严吉林, 姚英明, 赵蓓. 大学化学, **2022**, *37* (2), 2107050.
- [7] 李哲煜, 陈忠林, 沈吉敏, 赵晟铤, 王慧. 实验室研究与探索, **2021**, *40* (6), 183.
- [8] 刘恩涛, 吕晓霞, 陈刚, 张成. 实验技术与管理, **2021**, *38* (12), 278.
- [9] 王志秀, 杨兵超, 易文才. 分析仪器, **2020**, No. 1, 100.
- [10] 刘婷婷, 董彦达, 张磊, 钱飞跃, 吴建华. 分析仪器, **2023**, No. 1, 99.
- [11] 钱刚, 张竞成, 章天赐, 张勇. 广州化工, **2021**, *49* (22), 107.