

科学仪器自搭建实验的课程思政设计 ——以教学质谱仪的搭建、调试及应用为例

邓顺柳^{1,*}, 苏海峰¹, 朱亚先¹, 王玉枝², 翁玉华¹, 陈招斌¹, 彭淑女¹, 吕银云¹,
洪歆怡¹, 王翊如¹, 黄晓圳³, 林志敏³, 郑兰荪¹

¹厦门大学化学化工学院, 化学国家级实验教学示范中心(厦门大学), 福建 厦门 361005

²湖南大学化学化工学院, 长沙 410082

³中元汇吉生物技术股份有限公司, 重庆 400039

摘要: 培养能够开展科学仪器原理创新、设计制造、应用开发的高端人才已成为建设人才强国、科技强国的必然要求。本案例在本科实验中引入我国科学家自主研发的教学质谱仪, 采用学生亲自动手拆装、调试及应用的方式, 深化学生对质谱仪工作原理、构造和相关分析方法的认识, 破除对“高端仪器”的神秘感和畏难情绪, 激发学生研制科学仪器的兴趣, 培养敢于挑战自我、勇于自主创新的意志品质, 坚定科技报国、服务国家的家国情怀。

关键词: 教学质谱仪; 组装; 调试; 课程思政

中图分类号: G64; O6

Course Ideological and Political Design for Self-Building Experiments of Scientific Instruments: Taking the Construction, Debugging, and Application of Teaching Mass Spectrometer as an Example

Shunliu Deng^{1,*}, Haifeng Su¹, Yaxian Zhu¹, Yuzhi Wang², Yuhua Weng¹, Zhaobin Chen¹,
Shunü Peng¹, Yinyun Lü¹, Xinyi Hong¹, Yiru Wang¹, Xiaozhen Huang³, Zhimin Lin³,
Lansun Zheng¹

¹ National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Xiamen University), College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China.

² College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China.

³ Zybio Inc., Chongqing 400039, China.

Abstract: The cultivation of high-end talents capable of conducting innovative principle, design and manufacturing, and application development of scientific instrument has become an inevitable requirement for building a strong country in terms of talent and technology. In this case, a teaching mass spectrometer independently developed by Chinese scientists is introduced into undergraduate experimental course, allowing students to personally disassemble, debug, and apply it. This experiment will deepen students' understanding of the working principles, structure, and related analysis methods of mass spectrometer. This approach dispels the mystery and fear of "high-end instruments" and stimulates students' interest in developing scientific instruments. It also cultivates qualities such as the willingness to challenge oneself and the courage to innovate independently, as well as a strong sense of patriotism to serve the country through science and technology.

收稿: 2023-08-01; 录用: 2023-09-21; 网络发表: 2023-10-23

*通讯作者, Email: sldeng@xmu.edu.cn

基金资助: 基础学科拔尖学生培养计划 2.0 研究课题(20222108); 福建省本科高校教育教学研究重大项目(FBJY20230270); 国家自然科学基金重大仪器研制项目(21827801)

Key Words: Teaching mass spectrometer; Assembly; Debugging; Ideological and political education

1 引言

科学技术的进步离不开先进的科学仪器，科学仪器的创新设计、制造、维护和使用能力和水平代表着一个国家的科技实力和创新能力。在2021年两院院士大会上，习近平总书记强调，要“打好科学仪器设备、操作系统和基础软件国产化的攻坚战”。但是目前来看，我国在科学仪器方面存在明显短板，长期受制于人，尤其是高端仪器设备严重依赖进口，每年在进口科学仪器设备的购买开支占到我国科研固定资产投资的60%，而原值在50万元以上的大型仪器国产化率不足14%^[1]。培养能够开展科学仪器原理创新、设计制造、应用开发的高端人才是建设创新型国家必须着力解决的重大基础性、战略性问题。

化学作为最富活力和创造性的中心学科，在新技术、新产业、新业态、新模式形成和发展中发挥着基础性、关键性作用。教育部高等学校化学类专业教学指导委员会从国家战略发展和产业升级改造出发，积极推动化学类专业建设与新工科人才培养对接，搭建交叉复合人才培养通道，提出设置化学测量学与技术专业的构想和建议^[2-4]。2021年，化学测量学与技术被列入普通高等学校本科专业目录的新专业名单。

厦门大学化学化工学院以拔尖创新人才培养为导向，构建了高层次、多元化的人才培养体系，2021年在全国高校首设化学测量学与技术新专业。面向国家创新驱动发展的战略需求，学校充分发挥学科平台和师资优势，将高水平科研成果转化为教学内容，开发了一系列科学仪器自搭建实验，旨在培养掌握化学测量理论与技术，能够从事开发仪器测量新原理和新方法、设计制造精密仪器、开展仪器设备高效使用的创新性复合型人才，服务国家重点战略。

“教学质谱仪的搭建、调试及应用”是学院首批开设的科学仪器自搭建实验^[5]，已在中心科学实验班实践2年，未来也将作为化学测量学与技术专业实验。该实验在教学过程中引入我国科学家自主研发的教学质谱仪，通过自主学习、原理和构造讲解、案例研讨、团队实验、拓展与提升，激发学生兴趣和好奇心，加深对科学仪器构造、原理及分析方法的认识，激发研制科学仪器的兴趣，而且增强了民族自信，培养敢于挑战自我、勇于自主创新的意志品质，实现专业教育与思政教育的紧密结合。

2 课程思政案例的设计与实施

2.1 案例引入

质谱仪是物质定性和定量分析不可或缺的重要分析仪器，质谱分析具有分析速度快、化学剪性强、样品用量少的特点，在化学分析、生命科学、食品安全、环境监测、医疗卫生及反恐安全等领域具有不可替代的作用和举足轻重的地位^[6]。然而，质谱仪通常为进口仪器，由于价格昂贵，在传统本科实验教学中通常安排每组4-6人，主要由教师讲授原理、演示，学生大多时候只能在电脑屏幕上设置仪器参数、按部就班地“打一针”后再对实验结果加以分析。同时，商品化的质谱仪都是“黑箱子”模式，缺乏针对教学的软硬件设计，看不见仪器内部结构，限制了学生对仪器内部构造和原理的深入学习，这显然不能满足人才培养的需要。

为了培养面向国家重大战略需求的创新型人才，我国科学家自主研发了电子轰击-飞行时间教学质谱仪(图1)。为方便学生自主拆卸和组装，更好地了解实验原理，增强动手组装和调试仪器的能力，教学质谱仪按照离子产生→离子分离→离子检测的工作原理进行模块化设计，分为进样系统、离子源、质量分析器、检测器、真空系统、控制系统和计算机系统等主要部分；采用透明观察窗设计，内部结构完全可视化，方便质谱原理教学；参数调节采用全手动方式，学生可自主调节仪器性能；设置完善的保护电路，大大增强了仪器的耐用性和抗损坏能力。

教学质谱仪不仅有效解决了进口质谱仪不可拆卸、黑箱子操作和易损坏等问题，而且生产成本大大降低，能够很好地满足高校实验教学和人才培养需求。

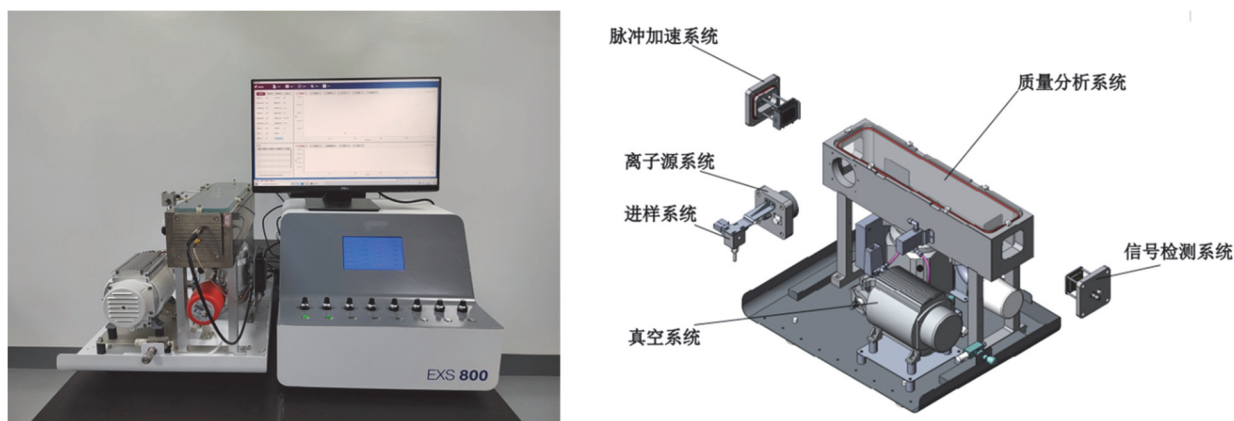


图1 电子轰击-飞行时间教学质谱仪(左)及主要部件组成(右)

2.2 实验的创新设计

为了提升实验效果,我们对单纯讲解仪器原理和“打一针”的传统仪器分析教学模式进行了改革,采用项目式学习(Project-based Learning, PBL)模式,学生通过自主学习、课堂讲解与案例研讨,并亲自动手操作,独立完成仪器拆解、组装、调试、测量、结果分析的全过程,激发学习兴趣和好奇心,破除对“高端仪器”的神秘感和畏难情绪,知其然知其所以然,增强了实践动手能力和知识综合运用能力。同时,通过邀请科学仪器研发人员与学生交流,解答学生搭建仪器过程中产生的疑惑,分享在仪器研发过程中遇到的挑战以及解决方法,激发学生原始创新的意识和能力,体会到科学探索和创新精神的重要性,激发敢于挑战自我、勇于自主创新的意志品质。课后通过完成实验报告和相关调研报告,实现知识的拓展与能力的提升。

2.3 案例的实施

(1) 自主学习:教师提前布置学习任务,安排学生2-3人为一组,利用网络教学综合平台提供的教学资源,通过查阅文献和自主学习,掌握质谱仪的工作原理、主要构成部分和应用领域等,并进行线上交流,完善和提升各组的认知,掌握实验的操作流程和注意事项,完成教师设定的预习任务。同时,学生通过高度仿真的虚拟设备模拟现实场景,在虚拟环境中进行操作和演练,完成仪器的搭建和参数测量,让学生在巩固理论知识的基础上,提前学习实验技能,通过线上考核,为顺利完成实验奠定基础。

(2) 原理和构造讲解:教师随机选取1-2组学生讲解质谱仪的基本原理、仪器构造和使用方法,检查学生课前预习情况,提升学生的课堂参与度,督导学生形成自主学习能力。学生讲解时注意说明以下关键点。

① 工作原理:样品分子(或原子)在离子源中离子化后形成各种质荷比(m/z)的离子,经脉冲加速电场作用形成离子束并进入质量分析器,经过一段无场飞行后不同质荷比的离子分别被检测器检测,通过计算机系统数据采集软件得到相应质谱图。

② 基本构造:主要包括进样系统、离子源、质量分析器、检测器、真空系统、控制系统以及计算机系统等模块。

③ 分析方法:根据待测化合物分子离子及碎片离子的质量,推测待测化合物的分子结构式及元素组成;根据质谱峰强度进行定量分析。

(3) 案例研讨:结合质谱仪原理和构造,教师组织学生进行案例研讨。比如,如何根据被分析物质的特性及分析要求选择合适的电离源?飞行时间质量分析器如何实现离子的分离?如何计算离子的动能?如何根据分子平均自由程公式求算仪器的真空度要求?检测器如何实现离子信号的放大与探测?通过研讨环节,学生可以进一步强化对知识的理解,形成发散性思维,增强对科学研究和开

拓创新精神的感悟。

(4) 团队实验：实验过程以小组为单位进行(图2)。首先完成主要模块的拆解与组装，并说明进样系统、离子源、质量分析器、检测器、真空系统、控制系统等各模块作用和工作原理。随后利用组装好的模块，完成质谱仪的搭建并进行性能参数调试，直至出现稳定、分辨率较好的质谱峰型，说明各参数及其调节方式对质谱信号分辨率、灵敏度和对分析结果的影响。之后利用自主搭建的质谱仪，对标准样品和未知样品进行测试，并完成谱图解析，得出分析结论。



图2 学生2-3人为一组进行实验

在团队实验过程中，学生可以相互提问、共同讨论、分工协作，在完成组装和调试的过程中发挥集体智慧，在培养学生实践动手和解决实际问题能力的同时，增强学生的团队合作意识。

实验过程中，指导教师随时对学生进行个性化指导，鼓励学生大胆尝试，增强学生对原理和各部件间协同关系的理解，同时评价学生操作的规范性、实验结果的科学性与准确性。

(5) 拓展与提升。

① 讨论：邀请仪器研发团队人员与学生交流(图3)，通过解答学生在搭建仪器过程中产生的疑惑，使学生理清仪器研发的来龙去脉，激发学生原始创新的意识和能力。通过分享在仪器研发过程中遇到的挑战以及解决方法，使学生了解我国科学家在当年经费短缺、科研基础薄弱的条件下如何突破技术瓶颈自主研制质谱仪，并基于这些仪器开展高水平、创新性工作，加深对老一辈科学家高尚意志品质的了解和体会，感受老一辈科学家对青年学生的殷殷期望，增强家国情怀和社会责任。



图3 研发团队人员与学生交流

同时引导学生分析讨论我国在质谱仪等科学仪器研发、生产和使用中存在的问题，找出当前国产仪器的优势与不足，分析在仪器研制过程中所面临的新的难题和挑战，明确未来改进的方向。在此基础上破除对进口仪器的迷信，增强民族自信，明确个人的义务和责任，坚定科技报国、服务国家的决心。

与研发人员进一步讨论质谱技术的拓展应用。比如，与热分析技术联用，研究材料热稳定性的可能性并进行方案设计；探讨利用质谱技术监测反应中间体，研究催化反应机理的可能性并进行方案设计等。使学生通过基于问题的学习，进一步拓展思维，增强创新能力和批判性思维能力，未来更好地应对复杂问题和挑战。

② 实验结束后，安排学生以个人或小组合作的形式调研国内外质谱仪的主要厂家、型号、价格、性能指标等，说明近年来我国在质谱仪研发和生产方面的进展，对进一步改进该仪器提出意见和建议。形成调研报告，随实验报告一同提交。

3 教学效果评价与实施建议

该实验引导学生通过自主学习、交流讨论、小组报告、实验操作、结果解析、应用拓展、撰写发展现状和未来发展分析报告等方式，积极参与实验教学过程，形成一系列可观测、可考核的成果，籍此对学生达成实验教学的知识、能力和素质目标的情况进行全方位的引导和考核，形成基于产出的多元评价机制，并对案例的思政育人效果进行评价。思政教学目标、考核环节及考核标准建议见表1。

表1 思政教学目标达成度的考核设计

思政教学目标	考核环节	考核标准
科学素养：规范严谨的实验习惯、实事求是的科学态度、分工协作的团队精神、坚韧不拔的意志品质、勇于探索的创新精神	团队实验、实验报告	熟练、规范的操作；科学严谨的实验现象与数据记录；在实验过程中分工协作；实验失败时分析原因，不断尝试和改进；具备主动学习、独立思考和批判性思维能力
关心国家：关心国家科技创新	拓展与提升	能够说明科学仪器在国家科技创新和发展中的重要性，能够说明科学仪器卡脖子问题的含义、原因和影响
民族自信：破除对进口仪器的迷信	拓展与提升、调研报告	能够说明国产仪器的优势与不足
社会责任感：科技报国，服务国家	拓展与提升	能够说明培养从事新型仪器设计与制造、分析测量新原理和新方法开发的高素质人才对国家科技创新的重要意义

结果显示，通过该案例的学习，极大地激发了学生的学习兴趣和好奇心，加深了他们对质谱仪原理及构造、分析方法的理解，培养了实践动手能力和知识综合运用能力，为未来的科技创新和应用研究打下坚实基础。此外，强化了科学家和科学家精神的引领，学生攀登科学高峰的勇气以及国家意识、责任意识和使命感得到增强。

教师在教学中可根据不同专业学生的培养需求，因材施教，并贯彻“以学生为中心”的理念，灵活调整教学方式和教学内容，以提高学生的学习效果和应用能力。例如，对于化学测量学与技术专业的学生，在掌握仪器功能、构造与测量分析基本原理的基础上，通过实践操作和项目任务，掌握机械设计与制造、信号与数据处理、自动控制等交叉学科知识点，能够开展分析仪器的设计与制造；而对于应用化学、化学生物学、能源化学等专业的学生，可引导学生结合自己的专业领域，拓展质谱仪在这些领域中的应用案例和分析方法，通过实践操作和案例分析，让学生更好地利用质谱仪解决实际问题，为日后的职业发展打下坚实的基础。

4 结语

本案例以科学仪器的自主搭建为出发点, 加深了学生对科学仪器原理、构造和应用的理解, 培养具备科学仪器自主设计、制造和高效使用能力的拔尖创新人才, 以满足当前国家战略和社会对人才的需求。通过引入我国科学家自主研发的教学质谱仪, 结合实验内容和教学方式的创新设计, 将思政教育与专业教育融为一体, 实现了价值塑造、知识传授和能力培养的三位一体教育目标, 具有较好的推广应用价值。

参 考 文 献

- [1] 张盖伦, 刘莉. 决策探索(上), **2021**, 695 (8), 76.
- [2] 张树永, 朱亚先, 郑兰荪. 大学化学, **2020**, 35 (10), 2.
- [3] 张树永, 朱亚先, 郑兰荪, 霍冀川, 宋丽娟, 徐华龙. 高等工程教育研究, **2021**, No. 3, 21.
- [4] 霍冀川, 张树永, 朱亚先, 李攻科, 杨屹, 李梦龙, 王玉枝, 郑兰荪. 大学化学, **2020**, 35 (10), 11.
- [5] 苏海峰, 邓顺柳, 李云凯, 吴迪, 林志敏, 黄晓圳, 梁曼玉, 卢文和, 邱源, 郑兰荪. 大学化学, **2023**, 38 (10), 225.
- [6] Hoffmann, E.; Stroobant, V. *Mass Spectrometry Principles and Applications*, 3rd.; John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, UK, 2007.