

改进仪器分析化学实验教学：打造双语课堂，培养科研创新人才

李琰^{1,2}, 丁飞^{1,2}, 闫捷伦^{1,2}, 周清扬^{1,2}, 王哲^{1,2}, 石轶凡^{1,2}, 王京^{1,2}, 唐安娜^{1,2,*}

¹南开大学化学学院, 天津 300071

²化学国家级实验教学示范中心(南开大学), 天津 300071

摘要: 为适应现代教育理念及国家对创新型人才的需求, 进一步提升创新实验教学效果, 双语驱动的创新实验教学在强化仪器分析化学基础知识、掌握仪器操作技能的同时, 激发学生更加全面的自主创新意识。在教师的引导下, 学生自主学习中英文资料并将其融入到自制仪器方案的设计、元件组装、信号调试等各个环节。实验教学从传统的讲授模式, 转变为“讲授与探索学习相结合”的创新型综合模式。将“双语教学”融入其中, 拓宽学生的眼界, 提高学生自主创新能力, 为培养具备创新意识、创新思维与创新能力的科研创新人才打下坚实的基础。

关键词: 仪器分析化实验教学; 自主设计实验; 改革创新; 双语教学

中图分类号: G64; O6

Improving Instrumental Analytical Chemistry Laboratory Teaching: Developing a Bilingual Classroom to Cultivate Innovative Talents

Yan Li^{1,2}, Fei Ding^{1,2}, Jielun Yan^{1,2}, Qingyang Zhou^{1,2}, Zhe Wang^{1,2}, Yifan Shi^{1,2}, Jing Wang^{1,2}, Anna Tang^{1,2,*}

¹ College of Chemistry, Nankai University, Tianjin 300071, China.

² National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Nankai University), Tianjin 300071, China.

Abstract: Bilingual-driven innovative experimental teaching is designed to meet the demands of modern education and the country's need for innovative talents. This approach not only strengthens students' foundational knowledge in instrumental analysis and enhances their operational skills, but also fosters a more comprehensive sense of independent innovation. Under the guidance of instructors, students engage in self-directed learning using both Chinese and English resources, integrating this knowledge into various aspects of their work, such as designing self-made instruments, assembling components, and debugging signals. The teaching method has shifted from traditional lectures to an innovative, integrated approach that combines teaching with research. The incorporation of bilingual instruction broadens students' perspectives, enhances their capacity for independent innovation, and lays a strong foundation for cultivating talents in scientific research and innovation.

Key Words: Instrumental analysis laboratory teaching; Self-designed experiments; Innovation; Bilingual teaching

随着全球化的不断推进和国际交流的日益频繁, 在当今教育领域, 双语/全英文教学成为培养国际化人才的重要手段, 特别是对于自然科学学科, 掌握专业英语和国际前沿发展动态对学生的学

收稿: 2024-09-11; 录用: 2024-11-06; 网络发表: 2025-03-18

*通讯作者, Email: tanganna@nankai.edu.cn

基金资助: 南开大学实验教学改革项目(24NKZZYQ03); 天津市普通高等学校本科教学改革与质量建设研究计划项目(B231005504); 南开大学本科教育教学改革项目(NKJG2024062)

和未来职业发展至关重要。仪器分析实验课程是高等教育中一门重要的实践性课程，也是化学、环境学、材料学、生物学、食品学、医学、药学等专业的必修课程。仪器分析实验课程不仅要求学生掌握基本的仪器知识与操作方法，更重要的是培养学生自主学习探索和解决复杂问题的能力，通过教学相长充分发挥课程在人才培养过程中的作用。仪器分析实验双语教学对于促进各专业学生在跨学科、跨文化的学术交流与合作、增强国际竞争力方面具有重要的意义。

传统的仪器分析实验课程内容和教学方式存在一定的局限性，例如：实验内容和学习形式相对固定、探索设计性实验较少等。教学过程中过多依赖教材和课件讲授。随着创新探索实验的开展，学生的自主实践能力有了一定提升，但很多自主实验方案的设计，仅来源于中文资料，忽略了对英文文献、专利等的调研。特别值得关注的是，仪器分析实验课程中使用的仪器大多是进口仪器，仪器说明书、软件界面都是英文设计。因此，仪器分析实验课程的高质量提升离不开双语教学的支持。国内多所高校在开展双语课程建设过程中，积累了丰富的经验^[1-6]。

南开大学化学学院仪器分析实验课程不断深化教学改革，针对双语教学的共性问题，探索“双语混合模式”的仪器分析实验教学。通过改革实验教学模式，提高学生自主实践能力，引导学生运用专业知识，对实际问题进行思考和分析，进而提高解决实际问题的能力。实验教学从传统的讲授模式，转变为“讲授与探索学习相结合”的创新性综合模式。将“双语教学”融入其中，拓宽学生的眼界，提高学生自主创新的能力和成果质量，实现培养未来科学领航者的教学目标。

1 实验教学改革背景和目标

传统的仪器分析实验教学，涵盖了光谱、电化学、色谱、质谱、热分析、波谱等多种实验内容，学生往往被动接受知识，缺乏实际操作和思考的机会。这不仅限制了学生的学习兴趣，也影响了对学生动手能力和创新思维的培养。在增设了创新性自主设计实验后，学生的学习兴趣有了明显的改善，但从自主实验方案设计报告看，大多仅限于中文文献实验方案的调研。为了进一步提升创新实验的质量，我们将双语教学融入传统实验教学与创新性自主实验设计教学中，在强化仪器分析化学基础知识、掌握仪器操作技能的同时，提升专业英语水平、开拓学生视野、紧跟科技发展前沿，培养具备创新意识、创新思维与创新能力的科学领航人才。

2 双语创新仪器分析实验改革

在创新自主实验课程中引入双语教学，第一阶段包括学生预习报告、实验报告、教师双语教学指导。第二阶段包括中英文文献调研、自主选题、自行设计方案、师生讨论、合作完成。

2.1 教学内容与教材

目前我校仪器分析实验课程教材以我校李文友、丁飞主编的《仪器分析实验》(第二版)^[7]为主，教学辅助英文教材为Douglas A. Skoog主编的《Principles of Instrumental Analysis》(7th edition)^[8]。教材对仪器基本原理、构造、用途进行了详细介绍，涉及的仪器分析方法有：原子吸收光谱法、原子发射光谱法、分子光谱简介、紫外-可见-近红外光谱法、荧光、磷光、拉曼以及化学发光、红外吸收光谱法、红外吸收光谱法应用、核磁共振波谱法、质谱法、电化学简介、极谱法、伏安法、库伦法、基础色谱分离方法、气相色谱法、高效液相色谱法、毛细管电泳法、热分析法等，图文并茂，适用范围广。特别是英文教材《Principles of Instrumental Analysis》中详细阐述了基础电路知识、化学仪器的信号运算放大、数字电子技术和计算机、信号与噪音。这部分关于测量基础的内容与物理知识联系紧密，在国内的仪器分析实验教材中通常提及甚少。通过对英文教材的学习，有助于学生全面理解仪器测量与信号产生之间的关系。该英文教材从20世纪开始历经七次改版，内容全面，文字简明，篇幅适中，适于本科生阅读、理解。

2.2 双语创新仪器分析自主设计实验的实施

在每学期的教学计划中，实验分成两个阶段进行。

第一阶段：第2–8周、第10–15周为分小组的14个基础循环实验。与以往教学的不同之处是，学生在预习过程中，结合阅读英文教学用书，增强对分析仪器专业英语的认知。比如光谱实验中普遍存在的光源、单色器、样品单元、检测器等；色谱实验中的固定相、流动相、分离度、塔板、保留时间等。通过对专业词汇的预习，有助于实验课上学生快速掌握仪器工作站的英文操作界面。在教学环节，鼓励教师在课件中，穿插英文标识的仪器结构与实验基本操作流程。教师用双语讲解实验基本原理和内容，学生通过预习和课堂学习英文标识的课件，加深对仪器专业知识的理解。课后的实验报告部分，增加了英文简述题目，进一步巩固学生对知识的掌握。

第二阶段：在第2–8周实验课程进行的同时，根据仪器分析实验项目，学生自主选择一种仪器作为深入研究的方向，查找资料，初步完善实验方案。在查找资料环节，设计实验方案，引导学生增加对英文相关文献的调研和学习。第9–15周，学生与教师改进实验方案，并进入实验室进行实验探索。第16–17周，实验总结与展望。如果仪器有进一步完善的需求可以在假期查缺补漏。典型日程安排如图1所示。

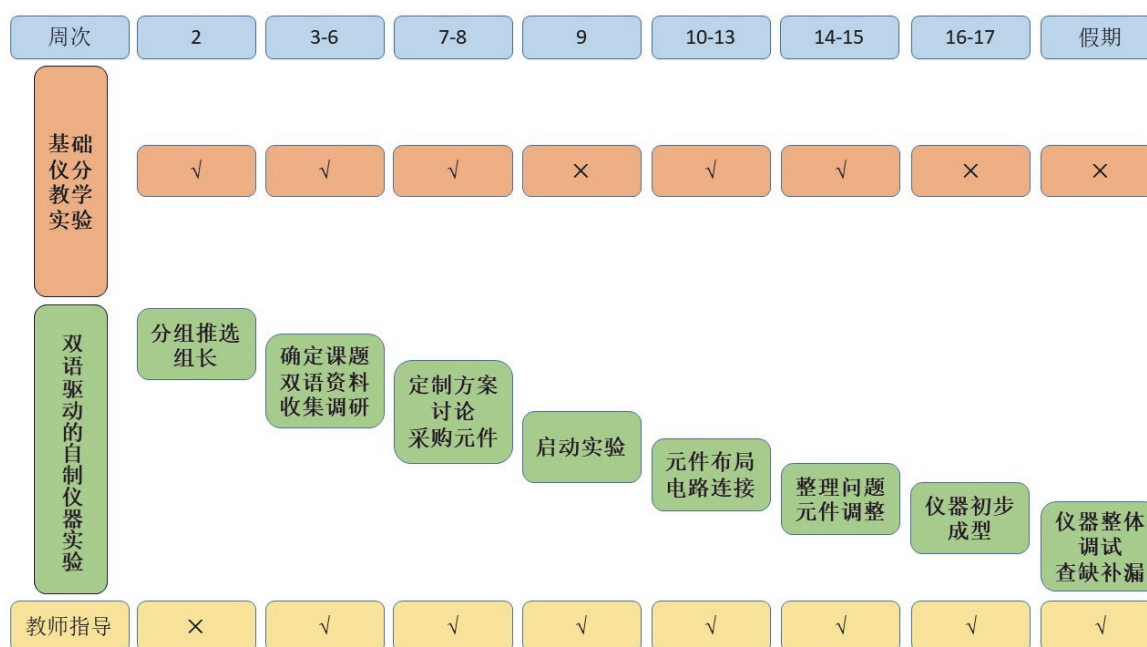


图1 典型的仪器分析实验日程安排

2.3 典型双语创新自主设计实验改革案例分享

学生善于从生活中发现科学问题，进而创新性地自主设计实验。例如痕量气体的快速识别与检测已成为国内外研究者迫切解决的重大问题。常用的易燃易爆气体如石油气、甲烷、氢气等可能会因泄露而引发爆炸、火灾等事故。甲醛气体成为室内装修后的首要污染物，接触吸入后可造成呼吸道粘膜和皮肤损伤。同时，人们日常呼出气体和疾病之间存在内在联系，如何系统地给出呼出气体的具体成分和具体量化关系，实现“呼口气，知健康”的美好愿景。基于以上问题，学生自主设计“便携式光声光谱仪在气体检测中的应用”实验。

学生根据光声光谱的原理，自主设计简易光声光谱仪。光声效应是指当物质受到周期性调制的入射光照射时，由于气体样品对光能量的吸收在其表面或内部产生热源，从而产生向外辐射的声波信号。光声光谱技术实验框图如图2所示。被调制的激励光照射至样品，样品吸收光能量后激发声信号，在光声池中声信号被加强，聚焦至声波探测单元上，探测到的声信号经由前置放大器滤波放大，最终由锁相放大器接收并传输至记录单元记录并储存，为后续信号处理做准备。

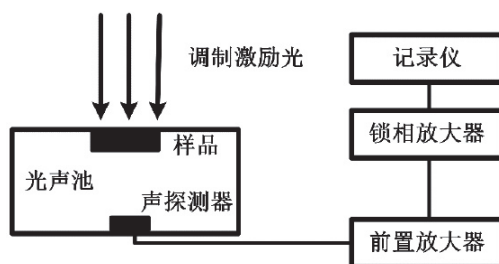


图2 光声光谱结构

自制简易光声光谱仪的难度、广度远远超出传统教学模式，课程的高阶性、创新性大幅提升。学生在调研中文文献时，发现系统介绍光声光谱的电路设计，信号解调、放大的文献较少，无从下手。由于学生前期自主学习了英文教材《Principles of Instrumental Analysis》中“Measurement Basics”章节的光声光谱仪基本结构与信号产生和输出原理的内容，对光声光谱有一定的了解。在此基础上，我们鼓励学生阅读更多英文文献，拓展思路和视野。实践证明，通过前9周英文教材的辅助学习，学生克服了阅读英文文献的恐惧感和距离感，同时，自己动手搭建仪器显著提高了学生的实验兴趣和积极性。如图3所示，学生通过阅读多篇英文综述文献，对研究任务有了基本的认识，并做了开题报告^[9-12]。

A Research Background
Brief Introduction-Usage

QEPAS: Quartz-Enhanced Photoacoustic Sensors

- Environmental Monitoring (Greenhouse Gas, Ozone)
- Industrial Process Analysis
- Combustion Processes
- Detection of Gases (Toxic, Flammable, Explosives)

Sensors 2014, 14, 6165-6206.

B Research Background
CRDS-Cavity Ring Down Spectroscopy

CRDS / CRLAS: Improvement

- Robust against instability
- Close to ICOS
- Whatever, Input & Output Amplitude Measurement

Appl. Phys. B 2006, 85, 445-452.

C Research Background
CRDS-Cavity Ring Down Spectroscopy

CRDS / CRLAS:

- Laser Illuminate High-Fitness Cavity
- Constructive Interference Build Up The Density
- Highly Reflective Mirrors: Laser Path Length

Annu. Rev. Anal. Chem. 2010, 3, 175-205.

D Research Background
Brief Introduction-QEPAS Sensors

Sensors 2014, 14, 6165-6206.

E Research Background
Brief Introduction-QEPAS Sensors

DFBQCL

If EC-QCL Applying Modulated Voltage to a Piezoelectric Translator

Sensors 2014, 14, 6165-6206.

F Research Background
Brief Introduction-MOCAM

Sensors 2014, 14, 6165-6206.

图3 开题报告中“光声光谱仪主要元件工作原理”展示内容

经过前9周的讨论,如图4所示,自制光声光谱仪的关键器件的组装方案基本成型,并对各种器件的性能特点做出了分析。

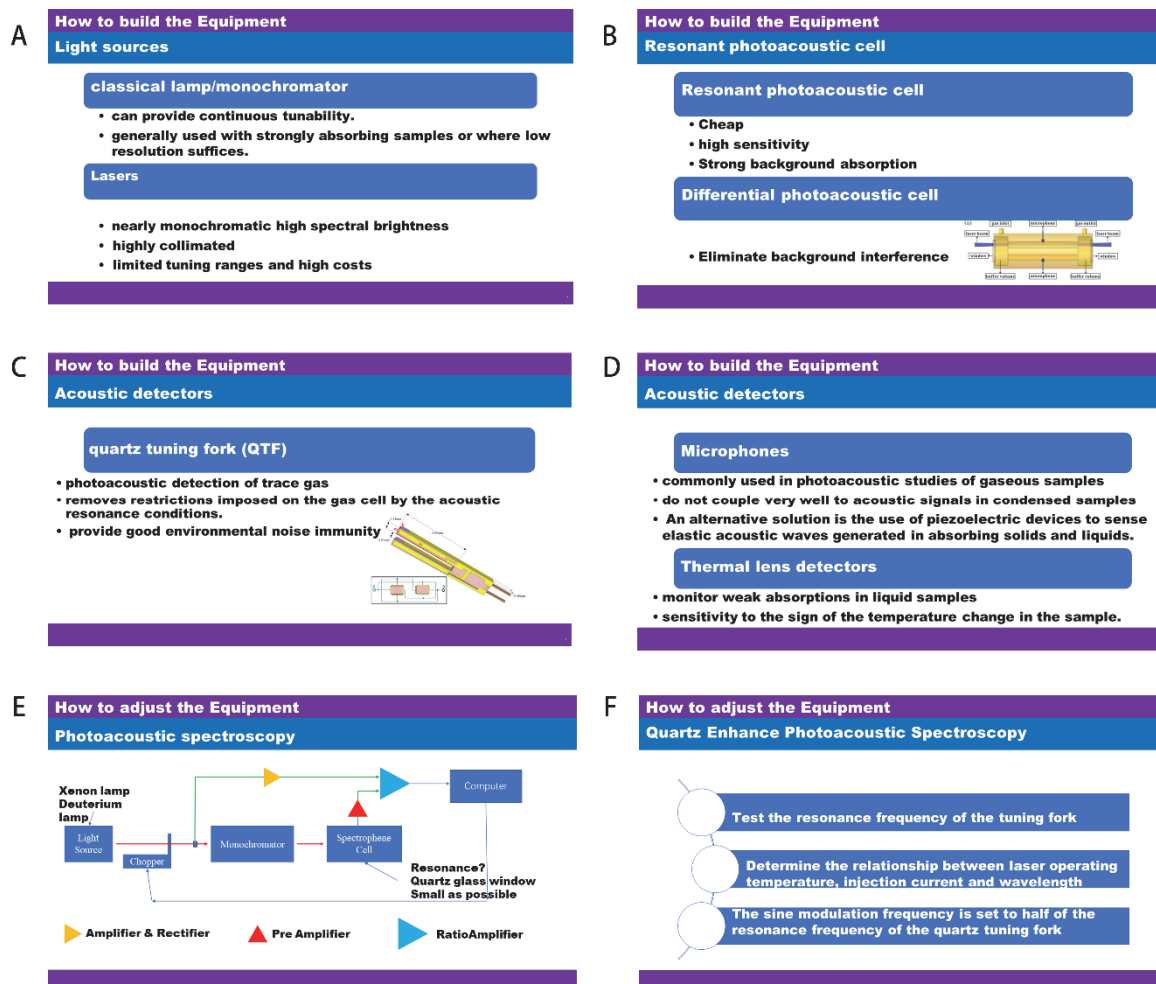


图4 开题报告中“光声光谱仪主要元件性能要求”展示内容

经过反复尝试,最终学生自制的光声光谱仪可通过压电传感器、锁相放大器和后置傅里叶变换模块实现对不同样本的光声信号测量,具有成本低、灵敏度高、扩展性好的优点。经过优化,该创新实验自制仪器实现了利用较为廉价的光源代替已有光声光谱系统中的昂贵的半导体激光器,通过精确的分光光栅达到了相似的效果。同时,我们使用高灵敏度的压电传感器代替了石英共振音叉,在节约成本、增强测量稳定性的同时,拓宽了可测量物质的范围。在信号处理方面,使用AD630模块代替了成品的锁相放大器,同时利用其自带的放大功能进一步提升了整个仪器的灵敏度。与此同时,我们采用快速傅里叶变换技术检测特征频率信号,这使得进一步简化仪器成为了可能。由于仪器元件的采购限制和组装过程中未预计的困难,经历了后面9周附加一个假期,仪器最终成型(如图5所示),学生的学习获得感无以言表。

3 课程建设探索与思考

在传统的实验教学中,学生常常面对的是一套固定、标准化的实验仪器。这些设备虽然专业且精准,但学生们很难直观地理解仪器的原理及内部结构,同时实验过程缺乏创新性和灵活性。在双

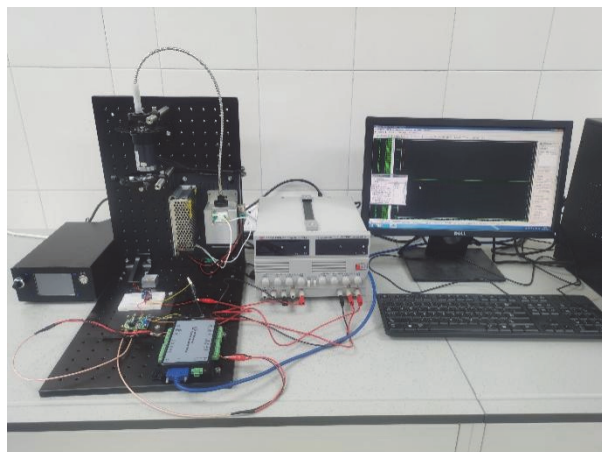


图5 学生自制的简易光声光谱仪器内部主要元件展示

语教学的引导下,自制仪器创新实验打破这一局限。起初,学生对这种实验方式的可行性持怀疑态度。他们认为,自制实验仪器可能无法达到专业设备的精确度,影响实验结果的准确性。此外,一些复杂的实验需要特定的设备才能完成,自制仪器能否满足这些需求也是一个未知数。然而,随着实验的深入进行,学生逐渐发现自制实验仪器的独特魅力。

双语教学驱动下的自制仪器实验教学改变了过去双语实验教学讲授知识的简单模式,学生不仅需要钻研各种中英文资料,了解各种元件的性能特点,掌握基本的制作技巧,还要学会运用所学的知识设计仪器。通过深入的中英文文献、书籍的学习,有效弥补了学生对仪器分析涉及的物理、数学知识的不足,克服阅读英文资料的畏惧心理,提升对专业英语的学习和应用能力。通过反复多次与老师讨论,学生对仪器有了更清晰的认识。双语创新实验教学显著提升学生学习积极性,激发学生创新思维,提高学生实践能力及解决实际问题的能力,例如:在布局仪器元件时,学生需要考虑如何增强元件固定在面板上的稳定性;如何减少外界的干扰,降低信号的衰减,从而提高信号输出的强度和稳定性等问题。仪器搭建成型后,提高自制仪器的性能和适用性是继续开展实验工作的重点。为了实现这个目标,考虑在自主创新实验过程中,邀请本学科和跨学科研究相关领域的专家现场指导,指点迷津。鼓励学生到科研实验室参观学习,深入钻研该研究领域,及时了解最新前沿进展,进一步提升自主实验的创新性和适用性。

4 结语

综上所述,双语驱动的创新仪器分析实验课程使传统仪器分析实验课程体系更加完善。双语教学引导下的自制仪器实验,激发学生创新意识,提升学生对专业英语的学习和应用能力,使实验变得更加有趣。同时,该创新实验课程为学生在未来的毕业论文设计及实际工作中,阅读英文文献、设计、开展实验及撰写论文等诸多方面,提前做好铺垫;为培养具备创新意识、创新思维与创新能力的科研创新人才打好坚实基础。

参 考 文 献

- [1] 张立新, 王宗花. 大学化学, **2007**, *22* (3), 24.
- [2] 王氢, 胡坪. 大学化学, **2008**, *23* (3), 14.
- [3] 赵韵, 李原婷, 唐意红. 广州化工, **2017**, *45* (10), 194.
- [4] 郭明, 楼丹, 吴荣晖, 周建钟, 李铭慧, 夏琪涵, 文先红. 化学教育(中英文), **2019**, *40* (18), 23.
- [5] 张国英, 容蓉. 山东化工, **2019**, *48* (18), 214.

- [6] 胡晓斌. 现代职业教育, **2019**, *35*, 295.
- [7] 李文友, 丁飞. 仪器分析实验. 第2版. 北京: 科学出版社, 2021.
- [8] Skoog, D. A.; Holler, F. J.; Crouch, S. R. *Principles of Instrumental Analysis*, 7th ed.; Cengage Learning: Boston, MA, USA, 2018.
- [9] Patimisco, P.; Scamarcio, G.; Tittel, F. K.; Spagnolo, V. *Sensors* **2014**, *14*, 6165.
- [10] Hugé, A.; Maulini, R.; Faist, J. *Semicond. Sci. Technol.* **2010**, *25*, 083001.
- [11] Adler, F.; Thorpe, M. J.; Cossel, K. C.; Ye, J. *Annu. Rev. Anal. Chem.* **2010**, *3*, 175.
- [12] McCurdy, M. R.; Bakhirkin, Y. A.; Tittel, F. K. *Appl. Phys. B* **2006**, *85*, 445.