



“学生自主设计”仪器分析实验课程教学的研究

种瑞峰, 常志显, 冯彩霞, 张 凌, 李德亮

(河南大学 化学化工学院, 开封 475004)

摘要: 该文针对传统仪器分析实验教学中学生参与度低、教学效果差等问题, 提出开展以学生为主体的自主设计仪器分析实验, 并以电感耦合等离子体原子发射光谱法为例, 介绍了自主设计实验教学的实施过程, 强调自主设计实验的开展需要建立在充分的基础知识数据库、实验过程学生的完全自主及有效的课程考核之上。通过自主设计仪器分析实验, 加深学生对基础理论知识的理解和掌握, 锻炼学生基本实验技能和仪器操作能力, 提高学生从事科研工作的实践能力, 培养适应时代发展的科技人才。

关键词: 自主设计实验; 仪器分析; 课程教学; 原子发射光谱

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20200269](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20200269)

Research of the Students' Self-designed Instrumental Analysis Experimental Course Teaching

CHONG Ruifeng, CHANG Zhixian, FENG Caixia, ZHANG Ling, LI Deliang

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: Aiming at solving the problems of students' low participation and poor teaching effect in the traditional teaching of instrumental analysis experiment, the self-designed instrumental analysis experiment with students as the main body is proposed in this paper. Taking the inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy as an example, the detailed implementation process of the self-designed experiment teaching is introduced. It emphasizes that the development of the self-designed experiment should be based on a sufficient basic knowledge database, complete autonomy and effective course assessment of students in the whole experiment process. The students' self-designed instrumental analysis experiment can enhance students' understanding and mastery of basic theoretical knowledge, exercise their basic experimental skills and instrument operation ability, and improve their practical ability in scientific research to cultivate scientific and technological talents of the times.

Key words: self-designed experiment; instrumental analysis; course teaching; atomic emission spectroscopy

仪器分析实验是高等学校化学、化工、生物、环境、材料、医药、食品等学科的专业基础必修课程^[1-3]。通过仪器分析实验教学, 使学生掌握仪器分析方法的基本原理、仪器结构及工作特点、实验方法及数据处理, 将会极大地提高学生的科研和实践能力, 以适应未来工作的岗位要求。然而, 传统的仪器分析实验教学多以教师讲授—教师操作仪器, 学生少量参与—学生撰写报

告为教学过程, 部分实验项目开展早于理论课教学, 导致学生参与度低、教学效果差, 严重影响了学生创新思维和科研实践能力的培养, 难以满足当今世界科技迅速发展的要求^[4-7]。自主设计实验以学生为主体, 启发学生根据实验目标, 理论联系实际, 通过文献调研、自主设计、自主准备、自主操作、自主数据处理等完成整个实验过程, 有利于加深学生对基础理论知识的理解和应

收稿日期: 2020-06-06; 修回日期: 2020-09-02

基金项目: 河南省高等学校优秀基层教学组织河南大学分析化学教研室(2018); 河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(2020GGJS036); 河南大学本科教学改革研究与实践项目(HDXJG2018-39)。

作者简介: 种瑞峰(1984-), 女, 博士, 副教授, 主要从事分析化学与仪器分析实验的教学工作。

通信作者: 常志显(1982-), 男, 博士, 高级实验师, 主要从事大型仪器设备管理、日常维护和实验教学工作。E-mail: chzx19@henu.edu.cn

用、激发学生的学习兴趣、培养学生独立开展科研的实践能力,从而促进学生综合素质的提升^[8-11]。本文以电感耦合等离子体原子发射光谱实验教学为例,从教学目标、实施过程、课程考核角度,探讨自主设计仪器分析实验课程教学的实施过程,以期对仪器分析实验课程的教学改革提供参考,进一步提升高校本科生的培养质量。

1 教学目标

仪器分析实验是借助大型仪器设备获取试样组成及结构信息的实践教学课程,是学生了解各种仪器设备的结构、原理,熟悉仪器操作的重要途径^[12-14]。笔者认为,除了要求学生掌握相关仪器分析方法的基础知识外,还必须要求学生对大型仪器设备的结构特点和基本操作有一定的掌握和认识,要让学生能够理解和掌握所涉及的仪器分析方法“能够做什么”“为什么能做”“要怎么做”、“如何分析实验结果”等。以电感耦合等离子体原子发射光谱实验为例,可以设置如下4个教学目标:

- 1)理解原子发射光谱法的基本原理及定性、定量分析的依据;
- 2)了解电感耦合等离子体原子发射光谱仪的结构、工作原理及基本操作;
- 3)了解电感耦合等离子体原子发射光谱的应用范围及试样要求;
- 4)掌握电感耦合等离子体原子发射光谱定性、定量分析的基本方法。通过教学目标,让学生了解实验教学的重点,有的放矢地开展相关知识的自主学习和方案设计。

2 教学实施过程

自主设计实验要求以学生为主体,由学生来完成整个实验过程。然而,由于学生知识水平及操作技能有限,自主设计实验的开展必须要在教师的指导下进行。整个教学实施过程及对象参与如图1所示,包括教师设置的基础知识数据库及参考实验项目—学生开展方案设计—教师和学生进行方案讨论与修订—学生进行方案实施(教师辅助)—学生进行数据分析并撰写实验报告—教师审阅并向学生反馈实验效果。

2.1 学习资料准备阶段

自主实验方案设计是建立在对基础知识理

解和掌握的基础上,因此教师前期的基础知识数据库和参考实验项目的设定在整个教学过程中起着非常重要的作用。教师应围绕教学目标,建立详细的基础资料数据库。以电感耦合等离子体原子发射光谱法为例,基础知识数据库的内容应包括:原子发射光谱分析法的基本原理、定性和定量分析的依据、分析对象、常见激发光源及特点、电感耦合等离子体原子发射光谱仪的结构和工作原理、试样的基本要求、定量分析的方法(标准曲线法和标准加入法)、影响原子发射光谱强度的主要因素、数据统计及处理、文献检索(中国知网、万方数据库、Web of Science)、实验室工作条件及仪器操作规程等。为使能够较为准确地把握实验内容,教师应该初定部分实验选题作为参考。这些选题要尽可能贴近生活,突出分析方法的实用性,从而调动学生实验研究的主动性、激发学生的学习兴趣^[15-16]。可选实验题目如表1所示。除了上述选题,也可鼓励学生从学院教师的科研课题中选择分析对象开展实验设计。通过备选实验项目的设定,让学生了解到电感耦合等离子体原子发射光谱法主要用于金属及部分非金属元素的分析,更重要的是可以对多种元素同时进行测定。同时,也可以让学生了解到电感耦合等离子体原子发射光谱在水质、食品、药物、生物、土壤、矿物、材料等微量成分分析方面的应用优势。

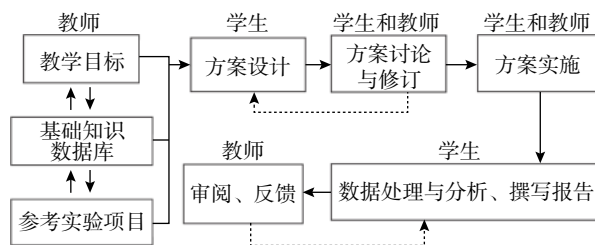


图1 教学实施过程及参与对象示意图

表1 自主设计实验参考选题

序号	实验题目	应用
1	自来水(河水)中常见矿物元素(Na、K、Ca、Mg、Si)的测定	环境
2	油条(面包、馒头等)中Al、Zn的测定	食品
3	多种维生素中微量元素(Ca、Fe、Zn、Se、Cr、Mn等)的测定	药品
4	植物茎叶中微量元素(K、Na、P)的测定	生物
5	NaOH中杂质(Fe、Al、Cu)的测定	化工
6	土壤重金属元素(Pd、Cd、Cr等)的测定	环境
7	岩石中金属元素(Ni、V、Co等)的测定	矿物
8	电路板中金属元素(Cu、Sn等)的测定	材料
9	学院教师科研课题中***的测定	科研

2.2 实验方案自主设计阶段

自主实验方案设计是加深学生对实验技术理解、锻炼学生科研素质的关键环节,可以让学生进一步明确实验目的、技术的原理、方法的选择、分析条件的选择、数据的记录和处理、注意事项和突发问题的处理等。为使学生在方案设计时对上述内容有较好把握,教师需要设计对应的模板供学生参考。传统的实验设计格式是较好的参考,但是为了提升学生对仪器设备结构及功能的认识,在方案设计中应将仪器的基本结构、功

能和操作作为附加内容予以体现。以电感耦合等离子体原子发射光谱法为例,方案设计模板可以参考如图2(a)的格式,包含实验题目、目的、基本原理、试剂及仪器、实验方法、数据记录与处理、仪器设备的结构及特点、仪器的操作流程、参考文献等。为了突出学生的参与度,在实验方案中添加制定人和审定人的基本信息,使学生在完成方案设计后体会到个人成果的获得感,激发学生的学习兴趣。

电感耦合等离子体原子发射光谱测定×××中×××× 一、实验目的[参考教学目标] 1. ×××××××× 2. ×××××××× 3. ×××××××× 二、基本原理[参考基础知识数据库或文献调研] 三、实验试剂及仪器[参考基础知识数据库、文献调研] 四、实验方法[文献调研、基础知识数据库] 1. ×××××××× 2. ×××××××× 3. ×××××××× 五、实验数据记录[实验条件、实验结果—自行设计表格] 六、电感耦合等离子体原子发射光谱仪的结构与工作原理[文献调研、基础知识数据库] 七、×××型电感耦合等离子体原子发射光谱仪操作规程[基础知识数据库] 【参考文献】 (制定人 ××× 审定人 ×××) (××大学××学院××级××专业)	××××中××××的测定 ——电感耦合等离子体原子发射光谱法 姓名: _____ 日期: _____ 天气: _____ 温度: _____ 一、实验目的 1. ×××××××× 2. ×××××××× 3. ×××××××× 二、背景与意义[为什么分析×××中×××, 都有哪些可选方法] 三、基本原理[参考基础知识数据库或文献调研] 四、试剂及仪器[依据实验记录] 五、实验步骤[依据真实实验操作过程详细描述] 1. ×××××××× 2. ×××××××× 3. ×××××××× 六、数据记录与结果处理[依据实验记录, 重新进行数据处理] 七、注意事项[为获得理想分析结果, 需要注意的操作、条件等] 八、思考与总结[实验方法、仪器设备改进建议, 实验体会] 【参考文献】
--	--

(a) 方案设计模板

(b) 实验报告参考模板

图2 自主设计仪器分析实验

实验方案是学生在个人对教师所提供资料,围绕教学目标,结合文献调研的基础上产生的。由于学生知识水平和理解水平的差异,以及对实验室仪器设备和工作条件的不了解,通常会造成自主设计实验内容实施困难。为此,在实验方案形成后,教师必须要进行审阅,并结合实际与学生进行方案修订,以保证方案能够顺利实施。电感耦合等离子体原子发射光谱法的典型特点是能够实现多元素同时测定。为检验这一特点,就需要配制混合标准溶液,而标准溶液中每一种元素的浓度梯度都要根据实际样品的特点进行设置。例如,当对水中Ca、Mg含量进行测定时,如果待测样为自来水,通常选择较高浓度梯度(Ca: 0~80 mg/L, Mg: 0~40 mg/L)的标准系列,而当待测样为市售矿泉水时,则需要选择较低浓度梯度(Ca: 0~10 mg/L, Mg: 0~5 mg/L)的标准系列。特

别地,当试样中待测元素的含量无法确定时,还需要进行预对比实验,再配制标准系列进行分析。指导教师具有较多的实际经验,且对仪器设备及工作条件熟悉,对样品的特性及应采取的测试方法通常会有较好的把握,经过与学生反复讨论,最终能够形成在实验室条件下实现的实验方案。

2.3 实验方案实施阶段

方案实施是提高和锻炼学生动手能力、积累实践经验的重要过程。在这一环节中,除了要求学生自主完成实验所需试剂的配制及样品的预处理外,还必须要求学生能够在大型仪器操作说明书的指导下独立完成条件的选择、方法的编辑和样品测试等。学生选题可能涉及多个不同的实验项目,且每个实验项目可能有不同的实验方案,较少的大型仪器设备未必能够满足实验的需求。因此,方案实施过程中的试样预处理应尽可能地

利用单位教师的资源,鼓励学生在相关科研实验室完成样品的预处理。另外,虽然仪器操作过程要求以学生为主体,但仍要求教师在一些环节进行重点指导:

- 1) 向学生介绍试样和雾化气(氩气)的引入方式及雾化试样向等离子体系引入的过程;
- 2) 打开仪器视窗,让学生近距离观察等离子体炬管、感应线圈的结构,阐述等离子体产生的过程、结构及试样在等离子体中发生的物理化学过程;
- 3) 解释三路气体(载气、辅助气、冷却气)的运动及设计理念;
- 4) 展示元素的特征谱线,介绍定性、定量分析谱线选择的原则;
- 5) 解释数据异常(如结果出现负值)的原因;
- 6) 展示采集到的元素光谱图,引导学生思考“引起谱线变宽的因素”,以及在定量分析时选择峰高度和峰面积的差异;
- 7) 介绍光谱仪的类型、结构和作用,通过学生的自主操作及教师的辅助引导,不仅能够锻炼学生的实践能力,加深学生对基础知识的理解掌握,而且能够了解仪器的结构和设计理念,从而激发学生的创新思维和科学研究素养。

规范的数据记录及结果处理是开展实验研究的最基本素质。随着现代仪器分析表征技术的发展,大多数情况下能够直接获得试样的待测信息。尽管如此,我们还是应该让学生理解并掌握相关实验数据的来源、意义及计算方法。例如,对于电感耦合等离子体原子发射光谱定量分析来说,常常会出现标准曲线线性相关系数差的问题,这时就要求学生必须学会自主处理实验数据。根据分析化学中“误差分析和数据处理”的方法,确定标准曲线及试样结果中数据的取舍等,重新绘制标准曲线,并对试样数据进行再处理。另外,对于仪器分析来说,仪器工作条件是影响分析结果的重要因素,必须要求学生认真记录仪器的工作条件,如载气流速、冷却气流速、辅助气流速、进样速度、特征分析谱线、射频功率等。从近几年的实验教学来看,尽管在课堂教学时多次强调实验条件的记录,但在实验报告中能够有所体现的学生仍少之又少。为了减少此类现象的发生,教师要在实验方案设计环节开始引导学生设计相应的数据记录项目,并严格要求学生根据实验数据手工绘制或采用 excel、origin 等

绘图软件重新对数据进行处理和分析。

2.4 课后总结与评价反馈阶段

撰写报告是实验教学的关键环节,通过实验报告撰写能够进一步加深学生对基础知识的理解,提升和锻炼学生对实验过程和实验结果的归纳总结能力和科技写作水平,使学生真正理解“一个完整的科学研究过程”^[17]。实验报告不是实验方案的简单重复,而是对实验过程的回顾和总结,应充分体现学生对实验方法的理解、所选方案的优缺点、实验数据的合理性及获得理想结果需要注意的事项等,参考实验报告格式如图 2(b)所示,同时还要注意与其他分析方法的比较。例如,与原子吸收光谱法、滴定分析法(Ca、Mg)、重量分析法(Ba)、分光光度法(Fe、Mn)等进行比较,探讨不同试样中待测元素比较适宜的分析方法。另外,在实验报告中尽可能要求学生对实验项目选题的背景、实验中所涉及大型仪器设备的结构和工作原理进行阐述,提出实验及仪器改进的设想和建议等。实验报告的完成并不意味着整个实验的结束,学生提交实验报告后,教师要从实验报告内容的整体性、规范性、科学性、技术性等方面进行评价,并及时将意见反馈给学生,使学生认识到实验过程中存在的问题和不足,并根据反馈意见进一步对实验报告进行修订。目前,大部分的实验教学都将实验报告作为课程成绩的主要依据,并将其作为原始材料留存于设课单位,导致课程教学缺乏反馈过程,大大降低了实验课程的教学效果。

3 实验考核

自主设计仪器分析实验以学生为主体,因此实验过程中凡是涉及学生参与的过程都应该作为课程成绩的组成部分。关于仪器的基本操作、功能和用途,应作为重点考核内容,以达到“让学生掌握一种分析技术”的教学目的。目前,多数自主设计实验课程的成绩是基于方案设计、实验操作和实验报告 3 个方面综合设计的^[18]。如文献[9]从预习报告、操作、结果、实验报告等方面列出了详细的考核指标和分值,可以为实验课程的考核提供参考。然而,对于有“分组”参与的自主设计实验,则可能出现多人雷同的预习报告、实验结果和实验报告,从而无法准确地掌握每一个学生在自主设计实验过程中的实际参与和完成情

况。为此,将考试纳入课程考核是非常必要的。通过考试让被动学习变得主动,主动学习变得更加主动。考试形式可以是笔试或口试。考试内容应以基本原理、方案设计、仪器结构和功能、数据处理为主^[4]。这些内容实际上是对学生是否参与了自主设计、自主操作、自主完成实验报告的一个检验。针对这些考核内容,如果学生能够在较短的时间内独立完成考试,则说明在自主设计的实验过程中,学生本人确实参与并进行了独立思考。相反,如果学生不能顺利完成或完成结果与

实验设计内容不符,则说明学生本人未真正参与到自主实验设计的过程中。针对这部分的学生,实验指导教师以及理论课老师,甚至是辅导员老师,要进一步深入了解学生的学业及思想状况,重点关注,并帮助他们掌握正确的学习方法,树立正确的价值观念。如表2所示,从实验设计、实验操作、实验报告、考试4个方面列出了自主设计仪器分析实验成绩的构成,并针对不同选题内容确定了难度系数,形成了自主实验设计的最终成绩。

表2 自主设计仪器分析实验成绩分配及评价标准

项目	配分	评分标准
难度系数(A)	0.8	自来水、河水等样品中两种以上元素含量的测定
	0.9	实验室废水、污水等样品中两种以上元素含量的测定
	1.0	植物、塑料、土壤、岩石、食品中两种以上元素含的测定
实验设计(B1)	25分	初步实验设计内容是否完整(6分)
		原理、设备结构及操作描述是否准确(10分)
		实验方案选择是否合理(4分)
		讨论后是否对方案进行了正确的修订(5分)
实验操作(B2)	25分	样品处理、标准曲线配制是否准确(5分)
		仪器开机、关机流程是否规范(4分)
		定性、定量分析方法编辑是否正确(4分)
		是否能够根据结果适时调整实验方案(10分)
		数据记录是否完整(2分)
实验报告(B3)	20分	实验报告内容是否完整、叙述是否准确(6分)
		数据处理是否正确(6分)
		结果描述是否科学(4分)
		是否对实验进行了科学反思(4分)
考试(B4)	30分	原子发射光谱法定性、定量分析的基本依据(2分)
		电感耦合等离子体光源的形成、结构及特点(6分)
		电感耦合等离子体发射光谱仪的结构组成及其作用(6分)
		电感耦合等离子体发射光谱定量分析时需要注意的事项(6分)
		是否能够准确并清晰地描述自主实验方案内容(6分)
实验总成绩		(B1+B2+B3+B4)×A

4 实验效果

电感耦合等离子体发射光谱实验已在学院开设多年,主要以演示为主,学生参与度低,无法调动学生的学习兴趣,严重影响了实验教学效果。为提升实验教学质量,电感耦合等离子体发射光谱室在原有仪器分析实验教学项目的基础上,根据仪器分析实验教学目的及仪器特点,结合学生自愿原则,于2018—2020年度进行了自主设计实验项目的“试开展”,内容主要包括基础知识数据库建设(教师)、课题自主选择、方案自主设计、自主仪器操作和测试、自主实验数据处理等。两年来,共有60余位本科生参与了此项教学研究。从教学效果来看,所有学生均能围

绕选题内容完成样品的预处理、标准溶液的配制等,并且能够在仪器操作说明书的指导下完成仪器的开机、预热、方法编辑、测试、冲洗、关机等,也能够对实验和结果进行了较为准确的分析、处理和描述。不足之处在于当测试出现异常时(如标准曲线未显示、样品光强超出标准曲线范围等),未能适时调整实验方法或进一步处理样品,或者未能根据获得的光谱图或光强数据进行合理的数据分析,需要实验指导老师进一步指导和说明,帮助学生分析并找到相应的原因。从实施效果来看,自主设计的电感耦合等离子体发射光谱实验基本完成该实验课程的教学目标。特别地,学生普遍反映,通过自主设计实验,进一步理解了理论与实践的差距,锻炼了自身的科研工

作和仪器设备操作的能力,增强了个人操作大型仪器设备的自信心,提高了从事科学研究的兴趣,建议进一步增加自主设计实验项目并扩大学生的参与规模。

5 结束语

对于一名理工科大学生来说,掌握一定的仪器分析实验知识和操作技能是最基本的素质要求。在仪器分析实验课程教学中,开展学生自主设计实验项目,学生根据个人兴趣,将所学知识应用于实践,不仅能够提高学生的专业知识技能,而且能够激发学生的探索精神、培养学生的科学研究素养,同时也可以为学生思考、发现和创新提供自由空间。然而,由于自主设计实验实施过程的复杂性,目前自主设计实验的项目仍然较少,且多数情况无法自主操作相关仪器设备,教学效果仍有待进一步提高。其次,科学技术日新月异,仪器设备不断发展和丰富,仪器分析课程教学内容也应不断发展和更新。教师应充分利用所在单位的设备条件,不断发展实验教学内容,拓宽学生视野。例如,将 X-射线衍射、扫描电子显微镜、X-射线光电子能谱、热重分析等未包含在仪器分析理论课程的分析技术纳入到仪器分析实验教学中。

本文以电感耦合等离子体原子发射光谱法实验教学为例,介绍了学生自主设计实验的教学实施过程,以期与同行进行探讨。该教学过程通过基础知识数据库的建立,让学生无论是否已经学习了相关知识都能通过自主学习的方式,根据课程目标,从中找到解决方案。学生自主方案实施、自主仪器操作,能够有效提高学生的实践能力。实验方案设计和结果总结环节,则能够锻炼和培养学生的科学研究素养。总之,为提高教学质量,培养适应时代发展的科技人才,应大力提倡在仪器分析实验教学中开展学生自主设计的实验项目。

参考文献

[1] 种瑞峰,张凌,常志显. 仪器分析实验课程教学改革的

思考[J]. *实验室科学*, 2017, 20(6): 88-91.

- [2] 种瑞峰,常志显,冯彩霞,等. 学生自主设计仪器分析实验的思考[J]. *安阳师范学院学报*, 2020(2): 148-151.
- [3] 周立敏,杨桂朋,高先池,等. 仪器分析实验教学的思考与实践[J]. *实验科学与技术*, 2016, 14(1): 148-149.
- [4] 郭明,楼丹,夏琪涵,等. 全媒体时代仪器分析实验课程的教学改革研究[J]. *大学化学*, 2019, 34(5): 19-26.
- [5] 张玮玮,邱丽娜,郭丽芳. 仪器分析综合性实验设计与探索[J]. *实验室研究与探索*, 2018, 37(5): 216-218.
- [6] 吴晓娟. 《仪器分析》实验课程教学改革的思考[J]. *教育现代化*, 2019, 6(48): 85-86.
- [7] 张坤,徐静,陈长宝,等. 基于微信平台的仪器分析实验教学改革研究[J]. *实验科学与技术*, 2020, 18(6): 66-70.
- [8] 张建蓉,廖家耀,张娜,等. 科研前沿研究热点纳入基础化学自主设计型实验的探索与实践[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 43(5): 158-161.
- [9] 周祖新,王爱民,黄莎华,等. 基础化学综合实验中“自主设计”的教学实践[J]. *大学化学*, 2016, 31(9): 33-37.
- [10] 李荷,刘彩红,李春梅,等. 生物化学实验自主课堂设计培养模式的探索与实践[J]. *基础医学教育*, 2016, 18(6): 467-469.
- [11] 高涛,周彩新,刘显明,等. 自主设计实验在高师有机化学实验教学中的应用探索[J]. *湖北科技学院学报*, 2016, 36(12): 120-122.
- [12] 廖晓燕,姜鹏,梁淑彩,等. 药学专业仪器分析实验教学改革与探索[J]. *实验室科学*, 2019, 22(2): 116-118.
- [13] 王春霞,齐悦,阳萌,等. 研究生仪器分析实验教学的问题分析与对策研究[J]. *实验科学与技术*, 2020, 18(4): 124-128.
- [14] 于涛,孙晓东,杨轲. 高校仪器分析实验教学探索与改革[J]. *高校实验室工作研究*, 2018(4): 25-26.
- [15] 吴抒遥,张鹏,佟健,等. 应用型人才培养背景下仪器分析实验教学改革探讨[J]. *新课程研究*, 2019(29): 73-74.
- [16] 马品一,魏士刚,王兴华,等. “产、学、研、用”一体化仪器分析实验教学改革探索与实践[J]. *化学教育(中英文)*, 2018, 39(4): 25-28.
- [17] 周炎. 通过化学实验报告改革提升大学生科技写作水平[J]. *化学教育(中英文)*, 2018, 39(18): 41-45.
- [18] 倪庆婷,汪雨,刘丹,等. “仪器分析实验”课程教学改革研究[J]. *江苏理工学院学报*, 2019, 25(6): 122-124.

编辑 钟晓