

# 化学“101计划”引领下原子光谱法 教学的思考与实践

杨屹, 宋佳一, 苏萍, 杜振霞, 胡高飞, 魏芸, 金钰龙, 许苏英  
(北京化工大学化学学院, 北京 100029)

**摘要** 在国家实施基础学科拔尖学生培养计划2.0和化学“101计划”的战略背景下, 将新理念、新内容、新方法融入核心课程教学是提升人才培养质量的关键. 本文针对原子光谱法教学中存在的知识体系零散、概念抽象、理论与实践脱节等问题, 从教学内容重构、教学方法创新、教学资源整合及课程思政融入四个维度系统阐述了面向化学拔尖创新人才培养的原子光谱法教学改革与实践方案. 教学内容按“基础核心-高级综合-扩展前沿”三级分类, 构建模块化知识体系; 教学方法采用比较法、启发式互动、案例教学等多元模式, 强化学生自主学习与创新能力培养; 整合教材、数字资源、科研案例等多维教学资源, 拓展学习边界; 将家国情怀、科学精神等思政元素有机融入教学全过程, 实现知识传授、能力培养与价值引领的协同统一. 相关研究与实践成果有望为分析化学及相关课程教学改革提供有益借鉴.

**关键词** 化学“101计划”; 原子光谱; 教学改革; 创新人才培养

中图分类号 O657; G54 文献标志码 A doi: 10.7503/cjcu20260054

## Reflections and Practices on the Teaching of Atomic Spectrometry under the Guidance of the Chemistry “101 Plan”

YANG Yi\*, SONG Jiayi, SU Ping, DU Zhenxia, HU Gaofei,  
WEI Yun, JIN Yulong, XU Suying

(College of Chemistry, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract** Against the strategic backdrop of the implementation of the Basic Discipline Talent Training Plan 2.0 and the Chemistry "101 plan", integrating new concepts, content, and methodologies into core course teaching is the key to improving the quality of talent cultivation. To address the problems existing in the teaching of atomic spectrometry, such as fragmented knowledge systems, abstract concepts, and the disconnection between theory and practice, this paper systematically elaborated on the teaching reform and practice of atomic spectrometry for the cultivation of innovative talents in chemistry. The reform was discussed from four dimensions: reconstruction of teaching content, innovation of teaching methods, integration of teaching resources, and integration of ideological and political education into courses. The teaching content was categorized into three levels—basic core, advanced integration, and extended frontier—to construct a modular knowledge system. For teaching methods, a diversified model incorporating the comparative method, heuristic interaction, and case-based learning was adopted to strengthen the cultivation of

收稿日期: 2026-01-29. 网络首发日期: 2026-02-25.

联系人简介: 杨屹, 女, 博士, 教授, 主要从事分离富集新材料方面的研究. E-mail: yangyi@mail.buct.edu.cn

基金项目: 北京化工大学2023年本科教育教学改革研究项目(批准号: 2023BHDJGY44)、北京化工大学2024年教育教学改革研究首批委托立项资助项目(4)和北京化工大学2018年本科教育教学改革研究项目(批准号: BHDJGP10)资助.

Supported by the Undergraduate Education and Teaching Reform Research Project of Beijing University of Chemical Technology(2023), China (No. 2023BHDJGY44), the First Batch of Commissioned and Funded Projects for Education and Teaching Reform Research of Beijing University of Chemical Technology(2024), China(No.4) and the Undergraduate Education and Teaching Reform Research Project of Beijing University of Chemical Technology(2018), China(No.BHDJGP10).

students' autonomous learning and innovative abilities. Multidimensional teaching resources, including textbooks, digital resources, and scientific research cases, were integrated to expand the boundaries of learning. Ideological and political elements such as patriotism and the scientific spirit were organically integrated into the entire teaching process, so as to achieve the synergistic integration of knowledge imparting, competence development, and value guidance. The relevant research findings and practical achievements are expected to provide valuable references for the teaching reform of analytical chemistry and related courses.

**Keywords** Chemistry "101 plan"; Atomic spectrometry; Teaching reform; Cultivation of innovative talents

为深入贯彻全国教育大会精神,教育部启动了基础学科拔尖学生培养计划2.0,并在此基础上,由化学领域顶尖学者牵头制定了化学“101计划”。化学“101计划”作为我国高等教育拔尖人才培养的重要举措,旨在探索化学学科人才培养的新理念、新内容和新方法,通过凝练核心课程的核心要素与前沿要素,对课程、教材及教学方法等进行全面改革,建设一批名课、名师、名教材,引领全国高校化学人才培养质量的整体提升<sup>[1]</sup>。针对上述目标,在化学“101计划”工作组的统一部署及责任专家指导下,国内27所获批化学领域“拔尖计划2.0”基地高校的100余位分析化学骨干教师凝心聚力,完成了分析化学核心知识体系凝练、分析化学核心知识点内容和目标设计<sup>[2]</sup>,出版了《分析化学动态电子教案》,建设了分析化学智慧课程,并初步完成教材编写工作。在此背景下,如何将新理念、新内容和新方法融入核心课程教学,是提升人才培养质量的关键。

仪器分析是分析化学的重要组成部分,作为化学、化工及相关专业本科生的核心课程,是连接基础化学理论与现代科学研究和实际应用的重要桥梁。原子光谱法作为仪器分析的核心模块之一,涵盖原子发射光谱法、原子吸收光谱法、原子荧光光谱法及X射线荧光光谱法,主要用于元素的定性、定量分析,在环境监测、材料科学、生物医药、地质矿产及食品检测等领域应用广泛<sup>[3-7]</sup>。在化学“101计划”分析化学课程知识模块中,该模块占总学时的7.3%。长期以来,仪器分析(包括原子光谱法)教学面临诸多挑战:一是教学内容涉及量子力学、原子结构、光学、电子学等多学科基础知识,每一模块自成体系,知识点庞杂且抽象,学生难以建立系统性的知识网络;二是部分基本概念、仪器原理等抽象难懂,学生缺乏直观认知;三是理论教学与实际应用结合不紧密,学生解决复杂问题的能力不足;四是分析技术和知识更新速度快,知识膨胀与教学学时有限的矛盾日益突出。针对上述挑战,如何在有限的学时内,高效地完成从知识传授到能力培养的转变,是落实化学“101计划”建设目标亟需解决的问题。

本文基于北京化工大学化学学院在“仪器分析”国家精品课程、国家级精品资源共享课程和国家级一流本科课程建设中的长期探索与实践,从教学内容重构、教学方法创新、教学资源整合及课程思政融入四个维度,系统总结了面向拔尖创新人才培养的原子光谱法教学改革思路及实施方案,为化学“101计划”核心课程建设提供实践参考。

## 1 教学内容的重构

教学内容是实现教学目标的载体。依据化学“101计划”对核心课程“核心要素”与“前沿要素”的要求,对教学内容进行了系统性重构,将原子光谱法教学内容按能力培养目标分为A、B、C三级,确保教学重点突出、详略得当(见表1)。

A级(基础和核心能力,必修):指所有学生必须掌握的基础理论、核心概念和基本操作原理。这是学生构建知识框架的基石。B级(高级和综合能力,限选):指在掌握A级内容基础上,需要进一步理解和应用的综合性、实践性强的知识点,如方法优化、综合应用等。这部分内容旨在培养学生解决实际问题的能力。C级(扩展和前沿能力,选修):指反映学科最新进展、交叉融合或特定应用场景的拓展性内容,如仪器新技术、前沿应用等。这部分内容主要面向学有余力或有志于科研的学生,旨在激发其创新思维和前沿探索兴趣。

这种“聚焦核心,分层递进”的方式既保证了核心知识的有效传授,又为学生提供了个性化的学习选择,体现了“因材施教”的教学理念。

如何在有限的学时内处理好三级内容的关系,平衡经典内容与前沿内容,是许多教师面临的普遍挑战.应以经典为基础、前沿为拓展,通过结构化设计和高效教学方法实现学时优化.

Table 1 Three-level classification system of teaching contents for atomic spectrometry

Spectroscopic analysis methods	Level A (basic core, compulsory)	Level B (advanced comprehensive, restricted elective)	Level C (extended frontier, elective)
Atomic emission spectrometry (AES)	Basic principles, significance of spectral terms, instrument composition, interference elimination	Optimization of instrumental conditions, application of quantitative analysis	Miniaturized instrument design, on-site rapid detection technology
Atomic absorption spectrometry (AAS)	Basic principles, instrument composition, interference elimination, quantitative methods	Condition optimization, application of quantitative analysis	Development of continuous source atomic absorption spectrometers, application of hyphenated techniques
Atomic fluorescence spectrometry (AFS)	Basic principles, instrument composition	Instrument operation and maintenance	Hyphenation and multi-dimensional characterization, applications in environmental and life sciences
X-ray fluorescence spectrometry	Basic principles, instrument composition	Sample preparation, qualitative and quantitative methods	X-ray fluorescence spectrometry imaging technology, applications in cultural relic and material analysis

## 2 教学方法的创新

教学方法是衔接教学内容与教学目标的核心纽带.有效的教学方法有助于破解教学难点,将知识的传授转化为能力的培养,使学生从被动接受转变为主动思考<sup>[8-13]</sup>.对教学方法的科学选用与高效实施,既能充分激发教师的主观能动性,又可实现教学成效的快速显现,同时保障教学效果的长效稳定.依据著名教育学家叶圣陶提出的“教学有法,教无定法,贵在得法”的教育理念,我们采用多元融合、优势互补的教学方法组合,旨在培养学生的自学能力、研究能力、实践能力、合作能力和创新能力,充分体现“高阶性、创新性和挑战度”的“金课”要求.

### 2.1 比较法

原子光谱法各子模块虽相对独立,但在仪器结构(如光源、检测系统)、定量分析方法(如标准曲线法、标准加入法)等方面存在共性.我们采用“纵向延伸”与“横向比较”相结合的比较法,帮助学生构建清晰的知识图谱.

2.1.1 纵向延伸 针对单一分析方法,如原子发射光谱法,引导学生沿着“测定的参数是什么?→参数与物质结构及含量的关系如何?→如何实现参数的测量?→方法的应用场景?”这一逻辑主线进行深度思考,理解“识别与信号传导/检测”这一分析方法的最基本模式和分析化学的核心概念<sup>[14]</sup>.

2.1.2 横向比较 将原子发射光谱法、原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、X射线荧光光谱法乃至分子光谱(如紫外-可见分光光度法)进行对比,从产生原理、波长范围、光源、原子化器/样品池、分光系统、检测器和定量公式等多个维度归纳异同,建立各方法之间的关联.例如,在学习基本原理时,应注重引导学生区分各种分析方法所依据的基础,弄清是基于“原子或分子”、“核内电子或核外电子”,涉及“发射或吸收”过程等.在讲解光谱仪器结构时,以“光源-原子化器/样品池-分光系统-检测器”为通用框架,对比原子吸收光谱仪与紫外-可见分光光度计中各组件的差异与适配性.在讲解原子吸收光谱仪的光源时,将其与紫外-可见分光光度计的连续光源进行对比,凸显锐线光源的必要性;在定量分析部分,归纳标准曲线法、标准加入法等通用方法的适用场景与操作要点.

比较法的实施可以由教师讲解,也可以让学生制作思维导图,或采用知识图谱.鼓励学生利用 DeepSeek, ChatGPT 等智能工具辅助比较分析,但强调不可完全依赖,从而培养学生独立思考与综合分析能力.在这一过程中既能够做减法,避免相同的知识点在不同方法中反复讲解,又能使学生有效梳理零散知识点,形成系统化的认知结构,并具备知识迁移能力.

## 2.2 启发式与互动式教学

爱因斯坦曾言：“提出一个问题，往往比解决一个问题更重要。”美国教育家布鲁巴克(John S. Brubacher)也指出：“最精湛的教学艺术，遵循的最高准则就是让学生自己提出问题”。启发式与互动式教学以问题为导向，以问促思，以思促学，通过教师引导、学生提问、共同探讨的方式，激发学生的学习内驱力，强化其问题意识。教学中，从核心概念出发设计层层递进的问题链，引导学生深入思考。如，在介绍什么是原子发射光谱法时，抛出气态原子是如何获得的、激发所需要的能量是如何提供的、电子跃迁有何规律、波长由什么因素决定、如何测量光谱强度、定性定量分析基于什么方法等问题，引导学生主动思考，并在课堂上与学生深入互动，层层递进地揭示原理。在讲解原子吸收光谱的光源时，教师阐述空心阴极灯的原理后，先抛出问题：“能否用一只灯测多种元素？”以此启发学生结合原子发射光谱的相关知识，推导多元素空心阴极灯的设计原理；再进一步延伸提问：“是否存在能同时测定多元素的连续光源原子吸收光谱仪？”鼓励学生课后查阅该类仪器的相关资料，自主探究其突破传统单元素测定模式的创新要点。这种“基于问题+启发式+互动式+自主探究式”的教学模式综合运用，体现了“学生是学习的主体，教师是学习的主导”的教学理念，将经典知识与前沿进展相结合，实现了课内与课外的联动，极大地激发了学生的求知欲和探究精神，既夯实了基础，又培养了学生的自主探究与文献分析能力。

## 2.3 案例教学

案例教学是理论与实践深度融合的有效桥梁。针对原子光谱法应用广泛的特点，依托北京市高等教育教学改革项目，建设了涵盖日常生活、科学研究、国家战略等多个维度的案例库(表2)，案例设计遵循典型性、综合性、准确性、实用性与新颖性原则，并巧妙融入课程思政元素。

Table 2 Representative cases of case-based learning for atomic spectroscopy

Case name	Case type	Core issues	Related knowledge points	Ideological and political elements
Cadmium-tainted rice incident	Daily life	Determination methods and principles of cadmium content in rice	AAS; sample pretreatment	Social responsibility; professional identity
Toxic running track incident	Social hotspot	Detection of heavy metals in plastic running tracks	AES	Social responsibility; scientific spirit
Mystery of the "Daughter's village"	Daily life	Analysis of trace element differences between well water and mountain spring water	AES; AAS	Scientific inquiry spirit
Illegal additive use incident at Tianshui kindergarten	Social hotspot	Blood lead detection	AES; graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS); AFS	Legal awareness; professional ethics; scientific spirit
Lunar soil analysis of Chang'e-6	National strategy	Design of qualitative and quantitative analysis scheme for metallic elements in lunar soil	AES	National self-confidence; serving the country through science and technology

教学中通过案例导入、问题提出、思路分析、方案设计等环节，引导学生运用所学知识解决实际问题。案例可以在课堂授课、项目式学习、翻转课堂以及考试等多个环节采用多种形式加以应用。如，“镉米风波”案例，通过案例导入，引发学生对分析方法的关注，提出“镉大米是如何产生的？”、“大米中镉含量如何测定？”、“原子吸收光谱法为何适合该检测任务？”、“样品前处理需要注意哪些问题？”等问题，引导学生设计实验方案，同时增强环保意识。结合“毒跑道事件”案例，引导学生探讨塑胶跑道中重金属的检测方法，同时融入课程思政元素，培养学生的社会责任意识；针对2025年天水幼儿园因非法使用添加剂引起儿童铅中毒的事件，让学生设计多种血铅检测方案，并比较中华人民共和国国家职业卫生标准推荐性标准中涉及的原子发射光谱法、原子吸收光谱法、原子荧光光谱法等3种血铅检测的标准方法<sup>[15]</sup>，了解标准引领、检测溯源的过程，同时促进学生对比法治意识、职业担当和科学精神的深刻领悟。结合嫦娥六号月壤分析案例，让学生设计月球金属元素定性定量分析方案，同时强化民族

自信与创新精神。案例也可以作为考试题目,给出背景事件,请学生阐明测定方法及相关原理及仪器构成,考察学生对基础知识的掌握及应用能力。

案例教学不仅提升了学生解决复杂问题的能力,更让学生深刻体会到分析化学技术在保障食品安全、生态环境、国家战略中的重要作用。

#### 2.4 探究性学习与翻转课堂

翻转课堂作为一种颠覆传统教学流程的模式,将知识传授与知识内化的顺序颠倒,其核心价值在于重构“教”与“学”的关系,突出学生主体,让学生从被动接收知识转向主动建构知识,培养创新能力。

翻转课堂既可以让学生在课前自主学习基础知识,也可以针对前沿热点内容和学科发展动态进行探究性学习,课上重点讨论<sup>[16]</sup>。如,光谱项是原子光谱的核心基础,但是光谱项的概念在先修课程中已经学习过,可以通过布置课前学习(复习)任务,使学生进一步掌握光谱项的定义,会推导不同电子组态对应的光谱项;课堂上则重点强调光谱项在解释原子光谱的波长、强度规律,建立光谱与原子结构的关联中的作用。又如,在原子吸收光谱法中,塞曼效应校正背景法这一基础知识可以通过学生课前学习,课上汇报,并就其与连续光源背景校正法的对比展开讨论。而“连续光源原子吸收光谱仪的技术创新”、“小型原子发射光谱仪研发”、“原子发射光谱法在金属组学中的应用”、“天水幼儿园违规使用添加剂事件-血铅检测”等主题,可以布置探究性学习任务,学生以小组为单位进行学习与讨论,课堂上进行汇报展示,教师进行点评与引导。例如,“连续光源原子吸收光谱仪的技术创新”主题的课上环节由学生讲述连续光源原子吸收光谱仪的构成,教师重点引导学生讨论“针对连续光源,仪器的分光系统和检测系统需要如何考虑”,让学生理解“光源类型→分光要求→检测能力”的逻辑链条,同时让学生分析连续光源原子吸收光谱仪的优势及不足,引导学生技术创新的思考方向。对学生的问卷调查反馈表明,探究性学习和翻转课堂让他们对原子光谱法发展前沿和方法应用有了更多的了解,并且在自主学习、团队协作、学术交流中提升了知识应用能力与创新意识,同时也提升了社会责任感。

### 3 教学资源整合

优质的教学离不开丰富的资源支撑。我们秉持“用教材教,而非教教材”的理念<sup>[17]</sup>,打破教材的局限,整合教科书、数字资源、科研案例和社会资源等多渠道教学资源,构建了立体化、多维度的教学资源库,为学生提供全方位的学习支持。

#### 3.1 教材资源

教材是课程教学的核心资源。教学中以北京化工大学自编的《仪器分析》教材为主要教材<sup>[18]</sup>,该教材被列入“十一五”、“十二五”国家级规划教材,先后获石油和化学工业优秀教材一等奖和二等奖。教材重点阐述各种仪器分析方法的基本原理、仪器结构、实验方法和技术、实际应用及适用范围,注意归纳和比较,抽取共性,突出内在联系,培养学生自主学习和终身学习的意识,提高学生解决化学、化工、环境等领域相关复杂问题的能力。同时,参考 Principles of Instrumental Analysis<sup>[19]</sup>、Undergraduate Instrumental Analysis<sup>[20]</sup>等国外优秀教材,吸收先进的教学理念,实现中外教材的优势互补。

#### 3.2 数字资源

教学团队建设了“仪器分析”国家资源共享课(爱课程网),在此基础上,建设了仪器分析MOOC,涵盖教学视频、课件、习题库及案例库等丰富的数字资源,并出版了《仪器分析数字课程》(高等教育出版社,高等教育电子音像出版社)。仪器分析MOOC自2018年在中国大学MOOC平台上线以来,已开课16次,选课人数累计超过11万人,获批首批国家级一流本科线上课程。这些数字资源为学生自主学习提供了便捷的资源,推动了翻转课堂、混合式教学教学方法的改革。

教学团队参与建设的化学“101计划”《分析化学动态电子教案》以及多校共建的分析化学智慧课程作为辅助资源,丰富了技术前沿和学科前沿,体现了课程的高阶性。此外,“仪器信息网”的新方法、“安捷伦网络课堂”的仪器使用技巧以及学术会议直播等资源,均可拓展学生的学习边界,实现课内与课外、线上与线下的有机融合。

## 4 课程思政融入

立德树人是教育的根本任务,课程思政是落实专业育人目标的重要途径<sup>[21-24]</sup>.教学团队在原子光谱法教学中,深度挖掘并自然融入思政元素,实现知识传授、能力培养与价值引领的协同发展<sup>[25]</sup>.

### 4.1 挖掘思政元素,丰富教学内涵

结合原子光谱法的学科特点与应用场景,挖掘出民族自信、科技报国、社会责任、科学精神和创新意识等多个维度的思政元素(表3).如,通过介绍“天问一号”火星探测器中的光谱分析仪器、嫦娥六号月壤分析技术等,培养学生的民族自信与科技报国情怀;通过黄本立院士等科学家的科研经历,讲述他们攻坚克难、潜心研究的故事,培养学生的科学精神与创新意识;通过食品安全、环境监测等案例,强化学生的社会责任与专业认同.

**Table 3 Typical ideological and political elements in atomic spectroscopy**

Ideological and Political Elements	Integration carrier
National self-confidence	Application of spectroscopic analysis technology in national major projects such as Tianwen-1 and Chang'e-6
Serving the country through science and technology	The scientific research experience of academicians such as Huang Benli and the development history of domestic analytical instruments
Social responsibility	Cases such as food safety testing, environmental monitoring, and soil pollution remediation
Scientific spirit	The Development history of atomic spectroscopy and the exploration process of scientific research methods
Innovation awareness	Technology innovation cases such as continuum source atomic absorption spectrometers and miniaturized instruments

### 4.2 创新融入方式,实现润物无声

采用案例渗透、问题引导、互动讨论等方式,将思政元素自然融入教学过程,避免生硬说教.例如,在课上讲解原子光谱法发展历史时,介绍我国黄本立院士一生致力于我国原子光谱分析技术的研究及人才培养的事迹,引导学生思考“如何将个人所学与国家需求相结合”,学生通过雨课堂发表感想:“要做有用的研究,敢于创新,找到最适合的领域发光发热”、“黄先生能把自己的知识实践到对社会进步有益的的实际生产中,很幸福也很伟大”、“学成后应将所学用于祖国建设中,积极创新,响应国家的号召,做有利于人民的研究”.在案例教学中,通过“毒跑道事件”、“镉米风波”等案例,引导学生认识分析化学技术在保障公众健康中的重要作用,增强社会责任意识;在探究性学习中,设置“国产原子光谱仪器的发展与创新”等课题,让学生在研究中体会科技自立自强的重要性.此外,通过布置“我国航天之路中的分析化学”的小论文作业、组织“科学家精神”主题讨论等活动,进一步强化思政教育效果.这种融入式和互动式教学方法让学生在自主完成的过程中深化价值认知,更好地达成“润物无声”的育人效果.

## 5 教学反思与展望

教学改革是一个持续优化的过程,原子光谱法教学仍需在以下方面不断完善:一是教学内容需进一步紧跟学科前沿,及时融入人工智能、大数据等新技术与原子光谱法的交叉融合成果;二是教学方法需更加个性化,应充分应用人工智能技术,通过数据驱动的个性化服务,破解传统教学的同质化、效率低等痛点;三是实践教学需进一步强化,拓展虚拟仿真实验、跨学科实践项目等资源,提升学生的实践创新能力;四是课程思政需进一步深化,挖掘更多与原子光谱法相关的思政元素,创新融入方式,实现价值引领的常态化与长效化.

未来,将继续以化学“101”计划建设为契机,深化教学改革,不断优化教学内容、创新教学方法、整合教学资源,持续提升教学质量,为培养更多具有家国情怀、科学素养、创新能力的化学拔尖人才贡献力量.

参 考 文 献

- [ 1 ] Chen H. Y., Wei Z. X., Su C. Y., Gao S., *Univ. Chem.*, **2024**, 39(10), 1—7(陈洪燕, 韦卓勋, 苏成勇, 高松. 大学化学, **2024**, 39(10), 1—7)
- [ 2 ] Huan S. Y., Jiang J. H., Li G. K., Zhang W. Q., Li N., Yang Y., Hu B., Tian Y., Wu S., Zhang S. C., Yue Y. H., Jiang D. C., Chen Z. P., Lu Z. L., Cui C., Wang Y. Z., Tan W. H., *Univ. Chem.*, **2024**, 39(10), 22—26(宦双燕, 蒋健晖, 李攻科, 张文清, 李娜, 杨屹, 胡斌, 田阳, 吴硕, 张四纯, 岳永海, 江德臣, 陈增萍, 卢忠林, 崔承, 王玉枝, 谭蔚泓. 大学化学, **2024**, 39(10), 22—26)
- [ 3 ] Peng X. X., Wang Z., *Anal. Chem.*, **2019**, 91, 10073—100080
- [ 4 ] Hou X. D., Wang Q. Q., Shi J. B., Lv Y., Jiang G. B., *Frontiers in Analytical Atomic Spectrometry*, Science Press, Beijing, **2022**(侯贤灯, 王秋泉, 史建波, 吕弋, 江桂斌. 原子光谱分析前沿, 北京: 科学出版社, **2022**)
- [ 5 ] Yan Y. W., Jin W., Zhu D., Zhang T., Ying Y. W., Shan J., Zhagn X. C., Yu B. W., Chen T., Liu C., Jin Q. H., *Chem J. Chinese Universities*, **2018**, 39(12), 2651—2657(鄢雨微, 金伟, 朱旦, 张涛, 应仰威, 单锦, 张旭晨, 于丙文, 陈挺, 刘超, 金钦汉. 高等学校化学学报, **2018**, 39(12), 2651—2657)
- [ 6 ] Wang S. J., Li P. S., Zheng Q. Q., Chen X. L., Fu J., Su Q. C., *Chin. J. Inorg. Anal. Chem.*, **2025**, 15(10), 1670—1677(王树加, 黎佩珊, 郑巧清, 陈晓丽, 付娟, 苏秋成. 中国无机分析化学, **2025**, 15(10), 1670—1677)
- [ 7 ] Li Y. K., Xia X. H., Jiang X. M., Li Y. H., Xu Q., *Exp. Technol. Manag.*, **2025**, 42(11), 14—25(李亚可, 夏星辉, 姜晓满, 李玉环, 徐俏. 实验技术与管理, **2025**, 42(11), 14—25)
- [ 8 ] Wu S. Guo H. M., Dong X., Song B., Pan Y. Z., Yang C., *Univ. Chem.*, **2023**, 38(2), 65—70(吴硕, 郭慧敏, 董校, 宋波, 潘玉珍, 杨成. 大学化学, **2023**, 38(2), 65—70)
- [ 9 ] Zou G. Z., Sun S. Z., Xu X. W., Huang X. R., Yang G. S., Wu B., Zhang B., *Univ. Chem.*, **2022**, 37(4), 2108084(邹桂征, 孙树喆, 徐晓文, 黄锡荣, 杨国生, 吴波, 张斌. 大学化学, **2022**, 37(4), 2108084)
- [ 10 ] Bo X. J., Chen X. X., Zhang H. L., *Chin. J. Chem. Edu.*, **2025**, 46(18), 36—41(薄祥洁, 陈雪鑫, 张鸿玲. 化学教育, **2025**, 46(18), 36—41)
- [ 11 ] Pan Q. X., Wang J. Y., *Univ. Chem.*, **2018**, 33(1), 45—48(潘芊秀, 王江云. 大学化学, **2018**, 33(1), 45—48)
- [ 12 ] Zhang H. X., Ji Y. S., *Univ. Chem.*, **2021**, 36(1), 65—70(张海霞, 纪永升. 大学化学, **2021**, 36(1), 65—70)
- [ 13 ] Hu P., Zhang H. Y., Yang H. Y., Liu X., Ma W., Wang Q., Du Y. P., Li D. W., Zhang W. Q., *Univ. Chem.*, **2026**, 41(2), 65—72(胡坪, 章弘扬, 杨昊宇, 刘鑫, 马巍, 王氢, 杜一平, 李大伟, 张文清. 大学化学, **2026**, 41(2), 65—72)
- [ 14 ] Guo X. Q., *Chin. Univ. Teach.*, **2009**, (1), 32—35(郭祥群. 中国大学教学, **2009**, (1), 32—35)
- [ 15 ] GBZ/T 316. 1-2018. *Determination of Lead in Blood-Part 1: Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry Method*, Standards Press of China, Beijing, **2018**(GBZ/T 316. 1-2018. 血中铅的测定, 第 1 部分: 石墨炉原子吸收光谱法. 北京: 中国标准出版社, **2018**)
- [ 16 ] Du Z. X., Yang Y., Su P., Hu G. F., Lv C., Zhang L. J., *Chin. J. Chem. Edu.*, **2021**, 42(24), 40—43(杜振霞, 杨屹, 苏萍, 胡高飞, 吕超, 张丽娟. 化学教育, **2021**, 42(24), 40—43)
- [ 17 ] Xiao Q. M., *Chin. Univ. Teach.*, **2011**, (4), 86—87, 96(肖全民. 中国大学教学, **2011**, (4), 86—87, 96)
- [ 18 ] Dong H. R., *Instrumental Analysis (4th Edition)*, Chemical Industry Press, Beijing, **2022**(董慧茹. 仪器分析(第 4 版), 北京: 化学工业出版社, **2022**)
- [ 19 ] Skoog D. A., Holler F. J., Crouch S. R., *Principles of Instrumental Analysis (7th Edition)*, Cengage Learning, Boston, **2017**
- [ 20 ] Robinson J. W., Skelly Frame E. M., Frame II G. M., *Undergraduate Instrumental Analysis (8th Edition)*, CRC Press, Boca Raton, FL, **2023**
- [ 21 ] Guo L. L., Zhang J. J., Fan X. Z., Liu B. J., Miao C. P., *Chin. J. Chem. Edu.*, **2024**, 45(10), 25—28(郭琳琳, 张金君, 范小振, 刘博静, 苗成朋. 化学教育, **2024**, 45(10), 25—28)
- [ 22 ] Wang A. X., Tian L., Mi C. C., Wang X. M., Li G. Z., Xia Q. Y., *Univ. Chem.*, **2024**, 39(12), 327—332(王爱香, 田露, 密丛丛, 王晓蒙, 李桂珍, 夏其英. 大学化学, **2024**, 39(12), 327—332)
- [ 23 ] Huang L. L., Zhang Y., Shen X., *Chin. J. Chem. Edu.*, **2023**, 44(20), 31—35(黄璐璐, 张雨, 沈晓. 化学教育, **2023**, 44(20), 31—35)
- [ 24 ] Zhang S. Y., *Chin. Univ. Teach.*, **2021**, (8), 42—46(张树永. 中国大学教学, **2021**, (8), 42—46)
- [ 25 ] Du Z. X., Yang Y., Su P., Hu G. F., Lv C., Zhang L. J., *Chin. J. Chem. Edu.*, **2022**, 43(4), 38—42(杜振霞, 杨屹, 苏萍, 胡高飞, 吕超, 张丽娟. 化学教育, **2022**, 43(4), 38—42)

(Ed.: V, K)