

基础无机化学“f区元素”课程设计的新认识和重构

徐玲^{1,*}, 刘冰², 焦宝娟³, 胡满成¹, 高胜利^{1,*}

¹ 陕西师范大学化学化工学院, 西安 710062

² 陕西科技大学化学化工学院, 西安 710021

³ 西安文理学院化学工程学院, 西安 710065

摘要: 基于对基础无机化学“f区元素”课程内容的重新认识, 探索了课程设计的重新构建: (1) 重构并完善教学课程新体系, 充实知识、能力、素质三个模块, 最终做到三者之间的有机融合; (2) 客观处理“镧系元素”和“锕系元素”的异同, 强调两个系列并非“双胞胎”, 注重“锕系元素”内容的完整性; (3) 强化“专业与思政同向同行”的理念, 充分展现教材的教育功能, 突出中国科学家对世界科学进步的贡献。

关键词: 镧系元素; 锕系元素; 课程设计; 有机融合; 人才培养

中图分类号: G64; O6

New Insight and Reconfiguration in the Course Design of “f-Zone Elements” in General Inorganic Chemistry

Ling Xu^{1,*}, Bing Liu², Baojuan Jiao³, Mancheng Hu¹, Shengli Gao^{1,*}

¹ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China.

² College of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China.

³ School of Chemical Engineering, Xi'an University, Xi'an 710065, China.

Abstract: With new insights into the course content of “f-zone elements” in general inorganic chemistry, this study explored the reconfiguration of the course design, which includes: i) A new system of teaching the course was reconfigured and improved, and three modules of knowledge, ability, and quality were enriched, thus achieving integration between the modules. ii) The similarities and differences between lanthanides and actinides were objectively handled, and the two series were emphasized to no longer appear identical. Meanwhile, the content integrity of actinides was more focused. iii) The idea of major going with ideology politics within the same direction was strengthened. The educational function of teaching materials was fully displayed, and the contribution of Chinese scientists to the world's scientific progress was highlighted.

Key Words: Lanthanide; Actinides; Course design; Integration; Personnel training

基础无机化学教学中“f区元素”是元素化学中一个特殊的区, 包含镧系与锕系元素两个系列, 共30种元素。纵观过往教材, 虽然是单列讲授, 但其内容与新时代课程“高阶性、创新性和挑战度”的要求相比尚有差距, 需要进行较大更新。近年来, 我们以立德树人为导向、以专业引领为中心、思政教育为重, 对该课程已有教学体系进行了重构和完善, 使之更有利于实践“以学生发展为中心”

收稿: 2022-08-05; 录用: 2022-09-07; 网络发表: 2022-10-14

*通讯作者, Emails: xuling@snnu.edu.cn (徐玲); gaoshengli729@126.com (高胜利)

基金资助: 陕西师范大学 2021 年度校级一流本科课程研究项目

的教学理念, 提高基础无机化学的教学质量。

1 对f区元素内容的重新认识

无机化学课程中最重要的内容之一是元素知识^[1,2], 早期的无机化学课程完全按照元素周期系设计^[3,4]。大一无机化学课程中的元素化学教学一直是基础课教师关注的焦点之一, 对此徐光宪、申泮文、郑兰荪等中国科学院院士也给予了关注^[5-7]。然而, 随着科学研究的深入, 过往无机化学在f区元素内容上的处理尚有待商榷。

(1) 课时安排。f区元素包含镧系元素与锕系元素两个系列, 共30种元素, 独立地构成了两大平行系列, 按排满七个周期的周期表计算元素总数(共计118种), 镧系元素与锕系元素的总数占总元素的四分之一; 按电子结构分区(s区, p区, d区, ds区, f区), f区占到五分之一。然而, 课时安排往往只有2学时。随着科学研究的不断发展, 两系元素化学内容的不断丰富, 显然课时是不够的。

(2) 知识层面。课程设计框架中: ① 重点内容通常放在镧系元素, 将锕系元素作为附带, 不予展开, 或者不讲; ② 可能基于两系元素都在f区“上下对称”, 大体性质的规律性相似, 类似“双胞胎”, 因而往往没有明确其异同点和各自特点, 从而会出现厚此薄彼, 导致学生对于锕系元素的相关内容, 收获甚微。事实上, 两个系列元素有较大的相异性, 例如, 镧系只有61号元素钷具有放射性, 而锕系元素皆为银灰色有光泽的放射性金属^[8]; 镧系元素的氧化态比较单一(图1), 锕系元素的氧化态却比较复杂^[9,10](图2), 从1967年以来, 陆续发现了七价状态的镱、铪和镱^[11]和一价钷的存在^[12]。

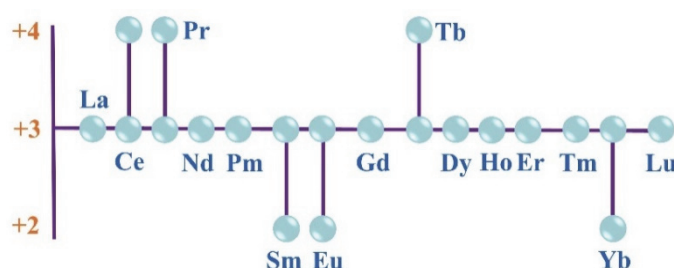


图1 镧系元素氧化数的规律性^[2]

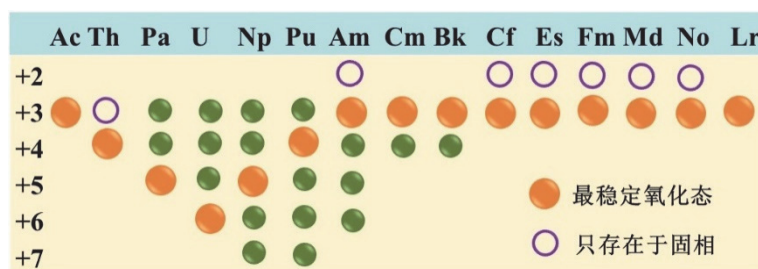


图2 锕系元素的氧化态示意图^[2]

(3) 能力培养。课程设计中所学知识与工业生产、社会经济发展的联系不足。① 内容往往停留在“证据推理与模型认知”维度^[13], 落脚在提高认知能力、注意力和记忆力方面, 无法完全达到当今大学教学的根本目的——培养学生的理解力、思考力和判断力以及激发创造能力, 即“启智”; ② 不能有效将原理、概念和基础知识与实际应用关联, 突出应用性不够; 例如, 两系列元素的矿物提取、元素分离等技术, 严重缺少, 以至于学生不能做到学以致用, 生产实习中看不懂工厂的生产流程; 不能将元素性质与结构相联系(即探究构效关系), 无法联系原理和性质, 达到在工业生产中的应用。所以在课程中, 添加相关材料简介, 如单分子磁体材料、荧光材料、激光材料、储氢、超导等材料^[14-18]是必要的(图3)。

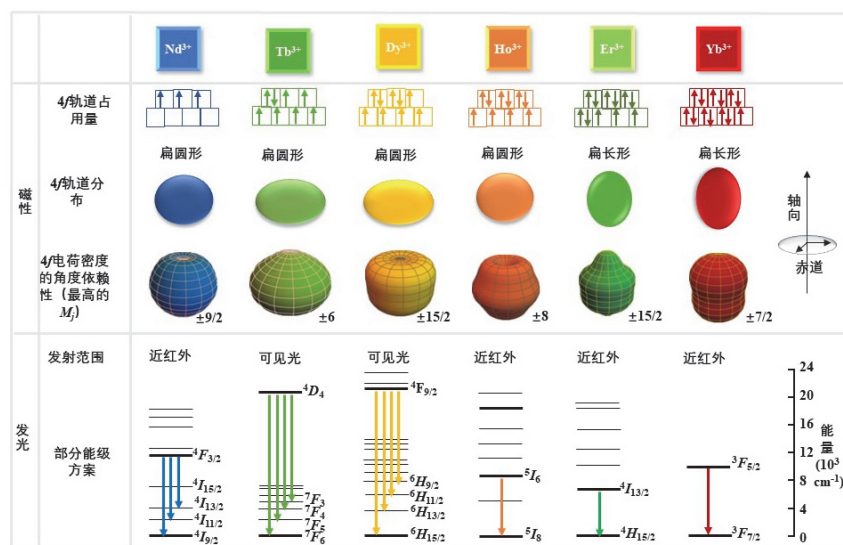


图3 发光分子磁体材料制备中最相关的Ln³⁺离子(从磁学和光谱的角度) [18]

(4) 素质培养。课堂设计的教育功能不足。① 学生应用哲学思想和批判性思维不明显、培养学生建立起科学研究方法不够突出。科学的最高境界是哲学思想的体现，哲学可为自然科学家提供研究的思维和准则。例如，缺乏镧系理论^[19]和锕系理论^[20]的建立背景；“f区元素定义争论”同样是典型的教例^[21-23]。② 课程中的思政教育元素、科学家的献身精神、中国科学家对世界科学发展的巨大贡献等因素挖掘得不够充分，没有很好地体现“专业与思政同向同行”的理念。在镧系元素的课程设计中，没有体现中国稀土矿储量大、用途广等特点，特别是没有充分体现徐光宪院士及其团队克服巨大艰辛，经过半个多世纪的努力，实现串级萃取理论在工业实践中的成功应用^[24-29]。该理论不仅解决了稀土分离的核心技术，更是打破了美国对稀土的垄断，形成了对国际稀土界的“中国冲击”，把我国从稀土资源大国发展为稀土生产和应用强国。在锕系元素的课程设计中，同样没有充分展示中国核工业的发展及中国科学家做出的杰出贡献^[30-35]。

显而易见，过往f区元素课程内容设计中存在一定的不足，可以进行相应的更新。

2 对f区元素课程设计的重构探索和建议

2.1 重构和完善教学课程新体系的基本思想

突出“高阶性、创新性和挑战度”，做好“知识-能力-素质有机融合”是实现“以学生发展为中心”理念，提高课程设计质量的基本思想。建议以实施“高阶性”作为重点突破方向，将知识模块做到完整、系统、科学；内容做到实、深、厚，把最新研究成果引入教学内容；能力训练做到“知其然又知其所以然”，进而达到“学以致用”。强调“启智”，突出培养学生解决复杂问题的综合能力 and 高级思维，强调科学素质养成、道德素质增长，强调具有哲学思想和批判性思维、懂得并明白如何建立自己的科学研究方法，具有科学家的献身精神，树立起社会主义的世界观、价值观、人生观。

如何做到以及如何实现上述目标，关键是新的课程设计如何能在教学中体现出“学习化、多样化、个性化、现代化”4个特征，能给学生一个先进的、厚实的、宽松的、朝气蓬勃的“想学、爱学、善于学”的空间和平台，注重培养科学思辨能力，做好“最后一公里”。

2.2 建议“f区元素”课程设计结构重组

教学中能否重建起教学课程的新体系，关键在于教师对“细微之处”的认识是否到位。我们提倡“像搞科学研究那样搞教学研究”^[36]的理念，并用该理念进行了探索。为此，我们在原有内容基础上，进行了较大幅度调整，安排为7个模块单元，共计5学时进行讲授(表1)。

表1 f区元素教学模块的建议内容

模块单元	内容布局及核心点	讲授设计策略	主要设计特点
1. 稀土元素概述(1学时)	内容: 稀土元素和镧系元素的概念; 稀土元素的发现和命名; 稀土元素在自然界中的存在; 稀土元素资源的分布及我国的稀土资源; 稀土元素的一般性质 核心点: 稀土元素和镧系元素的概念; 我国的稀土资源及特点; 稀土元素的一般性质 历史事件回顾1): 混合稀土的分组命名 历史事件回顾2): 有关f区元素定义的争论仍在继续	前三个内容为线上提供资料学生自学; 略讲我国的稀土资源及特点; 详讲稀土元素的一般性质(从电子结构及成键讲述价态、原子半径和离子半径、离子的颜色等规律性或周期性特点); 全面介绍稀土元素一般性质的规律性、典型化学反应、晶体结构的多样性、制备技术 专题讲座 专题讲座	线上线下混合; 依据课时安排张弛有度; 有例题、思考题启发学生思考、交流; 尽量精制表、彩图穿插, 利于科学解析和阐释及课件制作; 提供充足的参考文献, 注重及时引入最新研究成果 提高科学思辨能力, 吸收化学史的营养
2. 稀土元素的光谱性质和磁性(0.5学时)	内容: 稀土元素的光谱性质; 物质的磁性 核心点: 镧系离子的电子构型及基态光谱项; 稀土金属的磁性特性	线上提供资料, 课堂明晰概念: 从镧系离子的电子构型及基态光谱项, 引出有重要用途的镧系三价离子的能级和吸收光谱; 从稀土元素离子的磁矩引出稀土金属的磁性及其与d过渡元素磁性的对比。目的在于讲清楚“构效关系”	不是基础课核心内容, 将光谱性质和磁学性质放在一起, 注重概念和特点, 为后面应用打基础, 保持知识的连续性和科学性。目的使学生清楚“学以致用”
3. 镧系元素的重要化合物(0.5学时)	内容: 氧化数为+3的化合物; 氧化数为+2和+4的化合物; 纳米稀土氧化物 核心点: 重要稀土化合物(卤化物、硝酸盐、硫酸盐、草酸盐、碳酸盐、磷酸盐、高氯酸盐); 氧化物及氢氧化物; 几种重要的纳米稀土氧化物	重点知识详讲: 物理性质、化学性质的某些规律性、制备及应用基础。提倡“发散思维”	注重从表、图中获得信息, 理出头绪; 提供充足的参考文献
4. 稀土元素配位化学简介(1学时)	内容: 稀土元素结构化学; 稀土元素配位化学简介; 稀土配合物的一般合成; 稀土配合物的热力学性质; 稀土与无机配体生成的配合物; 稀土与大环配体及其开链类似物生成的配合物; 稀土生物配合物 核心点: 稀土元素结构化学; 稀土元素配位化学简介	重点知识讲解保持张弛有度; 尝试将结构和配位化学放在一个模块, 基本内容偏重基础, 适当扩充知识深度和宽度; 稀土元素配位化学是在学生已有“配位化学知识基础”上学习, 扩充应用范围, 体现“高阶性”	不是基础课核心内容, 注重概念和特点, 为后面应用打基础, 保持知识的连续性和科学性。注重利用结构数据和热力学数据对问题的阐释
5. 稀土元素的提取(0.5学时)	内容: 提取稀土元素的概况; 提取稀土元素的工业原料; 稀土精矿的分解; 稀土元素的化学法分离; 稀土元素的离子交换法分离; 稀土元素的溶剂萃取法分离 核心点: 稀土精矿的分解; 稀土元素的主要分离方法概述 历史事件回顾3): 徐光宪发展串级萃取理论	重点知识详讲: 我国稀土不光是资源储量世界第一, 而且在资源开发和工业生产中的理论、工程技术也是独占鳌头。尽力突出中国科学家对世界科学进步的贡献, 利于体现一个国家、一个民族的价值观体系功能, 激起学生的爱国情怀 线上提供资料+专题讲座: 突出中国稀土20世纪70年代对国际稀土界形成“中国冲击”, 是北京大学徐光宪院士等提出的串级萃取理论及工业实践	重点以典型的稀土矿为例讲解矿物分解原理、工艺、生产; 以无机元素分离方法为基础, 突出工业离子交换法和溶剂萃取法分离应用; 提高学生的知识应用能力 突出中国科学家的贡献, 学习老一辈科学家的敬业精神和爱国情怀, 学习理论联系实际的研究作风、科学研究方法; 将专业与思政有机结合, 提高教材质量

(待续)

(续表1)

模块单元	内容布局及核心点	讲授设计策略	主要设计特点
6. 稀土元素的应用简介(0.5学时)	内容: 磁性材料; 荧光、激光材料; 玻璃陶瓷材料; 贮氢、超导材料; 在冶金工业、催化、农业、医药中的应用 核心点: 光、电、磁性质在先进功能材料中的应用	线上提供丰富资料, 学生自学; 提示注重构效关系、新型材料应用	以文献索引引导学生自主学习、认真思考(设置思考题)
7. 铜系元素简介(1学时)	内容: 铜系元素的概念; 铜系元素的一般性质; 铜系元素的几种重要反应; 铜系元素的几种重要化合物; 铜系元素的分离; 铜系元素的应用和毒性 核心点: 一般性质; 重要反应; 重要化合物; 铜系元素的分离、应用	线上提供丰富资料, 学生自学; 课堂重点知识详讲, 构架铜系元素知识的完整性	以对照铜系元素特征规律的方式揭示铜系元素与铜系元素的异同和特点

建议整体课程设计内容应注意:

1) 在知识的饱满性、系统性、科学性上进行“知识-能力-素质有机融合”是关键。首先要给学生提供一个获得知识“实、深、厚”的平台, 创造一个能够实现“以学生发展为中心”的游泳池。因此, 适当扩充知识宽度和深度, 全程引入最新研究成果于教学内容, 强调知识的相关性和学科融合作用, 争取做到“高阶性、创新性和挑战度”, 引导学生“想学、爱学、善于学”, 激发学生强烈求知欲。

2) 促进综合能力和高级思维活动必须采用让学生线上线下共同学习的学习方法(提供直接相关的足量彩色教学用图和文献), 教师主导、学生为主体, 课堂上采用启发式、讨论式、范例式等多种教学方法展开学习。这种互动性的方式会让课程更有灵气, 师生之间出现闪光点。闪光点的出现说明大家都在真正地思考, 从而会产生出创新点, 是促进学生自主学习的好方法。与学生互动产生“闪光点”, 才能体现“知识-能力-素质有机融合”。

3) 虽然建议课时为5学时, 但可根据具体教情在3-5学时完成。关键是讲述和引导相结合, 线上和线下相结合, 充分发挥学生主动学习的积极性。

4) “专题讲座”可与授课、学生学术沙龙互动、补充, 深化知识结构、促进实现“知识-能力-素质融合”, 实现“通过基础课提升学生的科研素质”^[37]。例如, 在专题讲座“徐光宪发展串级萃取理论”中, 通过中国稀土分离问题的提出^[38]、工业实践^[39,40]、奔向顶峰^[41-48]三部分内容展示和讨论, 凸显中华民族风, 激发学生强烈的爱国情怀和民族自豪感。

3 结语

1) 出于对过往基础无机化学f区元素内容的剖析, 对课程设计提出了内容重构建议。总体内容丰富, 能够体现“高阶性、创新性和挑战度”的要求, 有利于教师备课和学生自主学习。

2) 在内容结构的重新构建中, 注意体现设计中“专业与思政同向同行”的理念, 充分挖掘典型范例: 化学史和背景的了解、科学家献身精神的学习、科学思维、方法和哲学思想培养、中华民族爱国情怀增强和社会主义三观的建立, 都与专业水平提升相交融。

3) 以这样的研究思路编写的《f区元素》教材, 已作为“无机化学探究式丛书”一个分册正在科学出版社加工出版。

参 考 文 献

- [1] 曹锡章, 宋天佑, 王杏乔. 无机化学(下册). 第3版. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [2] 宋天佑, 程鹏, 徐家宁, 张丽蓉. 无机化学(下册). 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [3] Некрасов, B. B. 普通化学教程. 北京大学化学系, 南开大学化学系, 北京工业学院化工系的无机化学教研室, 合译. 北京: 高等教育出版社, 1952.
- [4] 格林卡, H. Л. 普通化学. 殷恭宽, 张志炳, 潘秉智, 译. 北京: 商务印书馆, 1952.
- [5] 徐光宪. 大学化学, **2001**, *17* (1), 1.
- [6] 申泮文, 车云霞. 大学化学, **2002**, *17* (4), 9.
- [7] 郑兰荪. 中国大学教学, **2015**, No. 11, 4.
- [8] Theodore, G. *The Elements: A Visual Exploration of Every Known Atom in the Universe*; Black Dog & Leventhal Publishers: New York, NY, USA, 2009.
- [9] 邓翀, 苏一茂, 黄闻亮. 核化学与放射化学, **2020**, *42* (6), 443.
- [10] 邓翀, 苏一茂, 黄闻亮. 核化学与放射化学, **2021**, *43* (1), 1.
- [11] Несмеев, A. H. 放射化学. 何建玉, 魏连生, 赵月民, 译. 北京: 原子能出版社, 1985.
- [12] Runder, W. H.; Schulz, W. W. Chapter 8: Americium. In *The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements*, 4th ed.; Morss, L. R., Edelstein, N. M., Fuger, J. Eds.; Springer: Dordrecht, Netherlands, 2010.
- [13] 成迎春. 化学教与学, **2020**, No. 2, 45.
- [14] Ma, Z. H.; Tian, H.; Cong, L. Y.; Wu, Q.; Yue, M.; Sun, S. H. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 14509.
- [15] Zheng, H. W.; Wang, X. M.; Wei, H. W.; Zhen, Y.; Yin, C. L.; Yang, Z. P.; Jiao, H. *Chem. Commun.* **2021**, *57*, 3761.
- [16] Li, H.; Liu, B.; Xu, L.; Jiao, H. *Dalton Trans.* **2021**, *50*, 143.
- [17] Shen, M. L.; Liu, B.; Xu, L.; Jiao, H. *J. Mater. Chem. C* **2020**, *8*, 4392.
- [18] Marin, R.; Brunet, G.; Murugesu, M. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 1728.
- [19] Kramers, H. H. *The Atom and the Bohr Theory of Its Structure*; Gyldendal: London, UK, 1923.
- [20] Seaborg, G. T. *Chem. Eng. News* **1945**, *23*, 2190.
- [21] Lavelle, L. J. *Chem. Educ.* **2008**, *85*, 1482.
- [22] Chandrasekar, A.; Joshi, M.; Ghanty, T. *Chem. Sci.* **2019**, *131*, 122.
- [23] 徐玲, 刘保健, 刘冰, 焦桓, 高胜利. 化学教育, **2021**, *42* (22), 106.
- [24] 徐光宪. 北京大学学报(自然科学版), **1978**, No. 1, 51.
- [25] 徐光宪. 北京大学学报(自然科学版), **1978**, No. 1, 67.
- [26] 李标国, 徐献瑜, 徐光宪. 北京大学学报(自然科学版), **1980**, No. 2, 66.
- [27] 李标国, 严纯华, 乔书平, 徐光宪. 中国稀土学报, **1985**, *6* (3), 20.
- [28] 李标国, 严纯华, 乔书平, 徐光宪. 中国稀土学报, **1986**, *7* (4), 1.
- [29] 程福祥, 吴声, 廖春生, 严纯华. 中国稀土学报, **2021**, *39* (3), 490.
- [30] 应浙聪, 赵胜洋. 核化学与放射化学, **2020**, *42* (4), 242.
- [31] 刘耀阳, 刘志斌, 赵闯, 周羽, 高杨, 何辉. 化学进展, **2020**, *32* (Z1), 219.
- [32] 池哲鑫, 罗爽, 田景林, 姜春雪, 周江林, 邓煜, 潘茜. 应用化工, **2019**, *48* (3), 656.
- [33] 黄昆, 毛国淑, 丁有钱, 张生栋, 杨志红, 杨磊, 宋志君. 核化学与放射化学, **2020**, *42* (4), 249.
- [34] 李波, 马利建, 罗宁, 李首建, 陈云明, 张劲松. 化学进展, **2020**, *32* (9), 1316.
- [35] 蒋德祥, 何辉, 朱文彬, 李峰峰, 唐洪彬. 核化学与放射化学, **2012**, *34* (3), 142.
- [36] 杨奇, 陈三平, 谢钢, 高胜利. 中国大学教学, **2016**, No. 4, 31.
- [37] 李晓光, 杨仁茂. 化学教育, **2022**, *43* (13), 42.
- [38] 北京大学络合物及萃取化学组. 北京大学学报(自然科学版), **1973**, No. 1, 91.

- [39] 马鹏起. 稀土, **2016**, 37 (6), 108.
- [40] 李标国, 严纯华, 高松, 徐光宪. 稀土, **1986**, 7 (6), 8.
- [41] 徐光宪, 袁承业. 稀土的溶剂萃取. 北京: 科学出版社, 1987.
- [42] Cheng, F. X.; Wu, S.; Liu, Y.; Wang, S. L.; Zhang, B.; Liao, C. S.; Yan, C. H. *Sep. Purif. Technol.* **2014**, 131, 8.
- [43] Cheng, F. X.; Wu, S.; Wang, S. L.; Zhang, B.; Liu, Y.; Liao, C. S.; Yan, C. H. *Adv. Mater. Phys. Chem.* **2015**, 5, 325.
- [44] Cheng, F. X.; Wu, S.; Wang, S. L.; Zhang, B.; Liu, Y.; Liao, C. S.; Yan, C. H. *Chin. J. Chem.* **2014**, 32, 1022.
- [45] 廖春生, 程福祥, 吴声, 严纯华. 中国科学: 化学, **2020**, 50 (11), 1730.
- [46] 廖春生, 程福祥, 吴声, 严纯华. 中国稀土学报, **2017**, 35 (1), 1.
- [47] 严纯华, 吴声, 廖春生, 贾江涛, 程福祥, 王嵩龄, 张玻. 无机化学学报, **2008**, No. 8, 1200.
- [48] 吴声, 廖春生, 严纯华. 中国稀土学报, **2012**, 30 (2), 163.

欢迎订阅《大学化学》

《大学化学》是由教育部主管, 北京大学和中国化学会共同主办的教育研究性学术刊物。以促进深化大学化学教育改革为宗旨, 为提高我国化学教学水平服务。读者对象为高等学校化学教师、研究生、本科生, 中学化学教师, 对化学有浓厚兴趣的中学生, 以及化学教育领域的各级管理人员和其他岗位上的化学工作者。主要栏目有: 今日化学、教学研究与改革、知识介绍、化学实验、师生笔谈、自学之友、大学化学先修课程、竞赛园地、未来化学家、科普、国外化学教育、化学史以及专题讨论等。

《大学化学》现为月刊, 大 16 开本, 亚光铜版纸印刷。2023 年每本定价 30.00 元, 全年出版 12 期, 共 360.00 元。

全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 82-314。为方便读者订阅, 本刊编辑部全年办理邮购业务。

地址: 北京大学化学学院《大学化学》编辑部

邮编: 100871

电话: +86-10-62751721

邮箱: dxhx@pku.edu.cn

网址: <http://www.dxhx.pku.edu.cn>

《大学化学》编辑部