

基航空航天专业特色，建新质无机化学教学模式

鹿现永^{1,*}, 胡涛^{2,*}

¹北京航空航天大学化学学院, 北京 102206

²大连理工大学化学学院, 辽宁 大连 116024

摘要: 基于航空航天专业育人特色, 打通无机化学原理和无机元素课程建设的知识体系融合通道, 利用STEM教学理念打造内涵式新质无机化学教学体系, 解决目前存在的无机化学教学难点和痛点, 提高课程的两性一度, 为新时代化学人才的培养提供课程支撑。

关键词: 无机化学; 新质教学体系; STEM教学理念; 学校育人特色

中图分类号: G64; O6

Developing an Innovative Inorganic Chemistry Teaching Model Based on Aerospace Specialty Characteristics

Xianyong Lu^{1,*}, Tao Hu^{2,*}

¹ School of Chemistry, Beihang University, Beijing 102206, China.

² School of Chemistry, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning Province, China.

Abstract: Leveraging the distinctive educational features of aerospace specialties, this study establishes a comprehensive integration of knowledge systems between inorganic chemistry principles and inorganic element courses. By implementing the STEM teaching philosophy, we have constructed an innovative and substantive inorganic chemistry teaching framework. This model effectively addresses current challenges and critical issues in inorganic chemistry education, enhances the course's inclusivity and academic rigor, and provides essential curricular support for cultivating chemistry professionals in the new era.

Key Words: Inorganic chemistry; Innovative teaching system; STEM teaching concept; University educational characteristics

航空航天是国家科技水平的重要标志, 是基础科学与应用科学最新成就和工程技术的综合应用。航空航天领域对耐极端环境、高性能无机材料的需求极为迫切, 而化学学科则是此类材料设计的基础。无机化学课程作为培养化学类专业核心素养的基础课程, 因此在全国高等学校备受重视。

2023年9月习近平总书记指出要整合科技创新资源, 引领发展战略性新兴产业和未来产业, 加快形成新质生产力^[1]。新质生产力对高等学校教学中的教学手段、内容、模式提出了更高要求, 这不可避免对无机化学教学知识体系的优化产生重要影响。目前, 无机化学教学体系存在抽象概念难度大、内容繁杂、学生记忆知识点多、理论和实践脱节、课程缺乏趣味性和实用性、无机化学基本理论和无机元素化学联系不足等系列问题^[2]。针对这些问题, 有必要对采取系列改革措施, 提高教学效果,

收稿: 2024-09-06; 录用: 2024-10-28; 网络发表: 2025-04-18

*通讯作者, Emails: xylu@buaa.edu.cn (鹿现永); inorchem@dlut.edu.cn (胡涛)

基金资助: 北京航空航天大学名师培育项目(402702); 2023年教育部产学研合作协同育人项目(231100575025034)

并激发学生对于无机化学知识体系的学习兴趣。

教育部化学类专业教学指导委员会曾对国内各高校化学专业类无机化学课程群进行了系统调研,对调研结果进行分析、对比和总结,指出了无机化学课程教学存在的一些问题,并针对性对教学内容优化和教学方法改革提出了系列建议。加强学校专业特色与无机化学课程的深度融合为系列建议中的重要组成部分^[3]。北京航空航天大学作为具有明显专业特色的高等学校,无机化学教学任课教师围绕教育部化学类专业指导委员会教学建议,将航空航天应用深度融合无机化学原理和无机元素课程建设的知识体系,打造内涵式新质无机化学教学体系^[4-6]。本文基于无机化学元素在航空航天领域材料的应用,贯通化学元素性质与化学基本原理有机联系,为航空航天未来技术开发提供化学课程支撑。本文阐述航空航天专业特色构筑新质课程体系的科学性,通过航空航天应用具体实例并采用STEM(科学(Science),技术(Technology),工程(Engineering),数学(Mathematics)四门学科英文首字母的缩写)教学理念打造新质无机化学教学知识体系。希望以上做法,对全国无机化学教学同行尤其具有专业特色的高等学校的无机化学教学提供借鉴。

1 航空航天特色的新质无机化学课程体系建设的科学性

在航空航天领域,无机化学知识体系的重要性不言而喻。无机化学为航空航天工程材料科学、燃料技术、太空环境等方面提供了坚实的基础课程支撑^[7,8]。因此,针对航空航天大学专业特色,构建一套育人需求的无机化学课程体系至关重要。该课程体系需紧密贴合航空航天领域的特点,涵盖航空航天材料的结构设计等方面的知识。同时,应关注航空航天工程中的金属、陶瓷、稀土及复合材料,结合航空航天新材料,加强无机化学相关理论与实践的教学,培养学生根据材料特性分配航空航天中的应用领域的的能力。随着航空航天技术的不断进步,新材料、新技术的涌现也对无机化学教育带来了新的挑战和机遇。因此,无机化学课程体系需要保持与时俱进,及时吸纳新材料、新技术的相关知识,为学生提供最新、最全面的课程资源,培养他们适应未来航空航天发展需求的能力。为了更好地实现航空航天特色的新质无机化学课程体系建设,需要加强学科间的跨界合作与交流。与航空航天工程、材料科学等相关学科建立紧密联系,促进学科交叉融合,培养具有跨学科视野的高素质化学人才。

2 以STEM教学理念构筑新质无机化学课程知识体系的教学实践

STEM教育通过将学生置于真实情景的问题,将科学探究、工程设计、数学方法和技术实现有机结合^[9]。基于航空航天的专业特色,任课教师可以将STEM教学理念深度融入教学实践,发展学生的主体性和创造力,激发学生的学习兴趣和探索精神,同时掌握无机化学服务于航空航天支撑作用,设计教学如图1所示。具体而言,可采取以下措施:将无机化学与航空航天材料的实际应用相结合,设计跨学科的课程内容;深入讲解无机化学的基本理论和无机元素化学,强调其在实际应用中的重要性;基于学校的专业特色,开发具有代表性的教学案例。本文将结合航空航天材料的具体应用,向无机化学教学同行介绍如何使用STEM教学理念,构建闭环化的无机化学“新质”教学体系。通过上述措施,期望能够为无机化学教学提供实质性的改进思路,推动无机化学知识体系与航空航天应用的深度融合。

2.1 利用原子结构解释材料物理特性

金属铝是无机化学硼族元素代表性元素,其教学目标应着重体现其物理特性背后的化学原理。铝是一种轻质金属,具有优异的机械性能和良好的加工性,在航空航天领域被誉为“会飞”的金属。如表1所示,作者对铝和常用金属铁典型物理性质进行了对比。与铁相比,铝的密度较低,仅为2.7克/立方厘米,因此在航空器的结构中能够显著减轻自重^[10]。此外,铝具有高强度和良好的可塑性,这使其常用于航空器的机身和结构件制造^[11]。

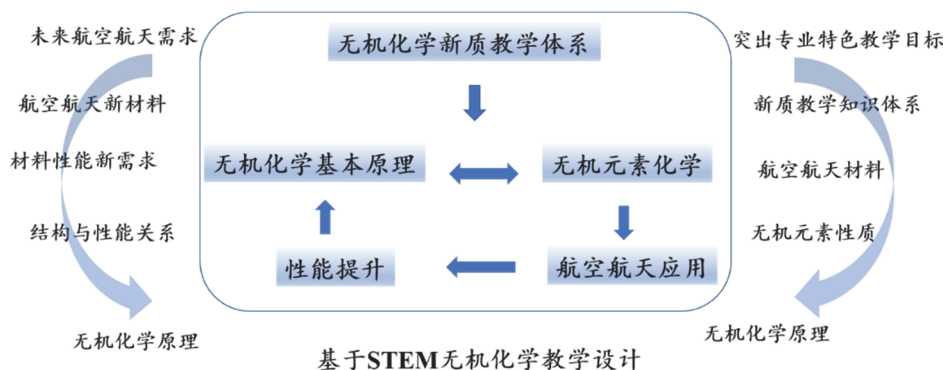


图1 利用STEM设计新质无机化学教学体系流程

表1 航空航天领域常用金属铝和铁性质对比

性质	铝	铁	化学基本原理释
原子序数	13	26	铁的原子量(55.85)约为铝
电子排列	[Ne] 3S ² 3P ¹	[Ar] 3d ⁶ 4S ²	(26.98)的两倍,且金属态铁原子
原子半径	143 pm	126 pm	半径(124pm)小于铝(143pm)。尽
熔点	933.47 K	1811 K	管铝的面心立方结构(堆积效率
沸点	2792 K	3134 K	74%)比铁的体心立方结构(68%)
密度	2.7 g·cm ⁻³	7.874 g·cm ⁻³	更紧密,但铁原子质量优势主导
晶体结构	面心立方	体心立方	了密度差异,使其密度(7.87g/cm ³)
成键类型	金属	金属	达铝(2.70g/cm ³)的2.9倍

铝表面可以形成一层致密的氧化膜,有效阻隔外界介质,延长航空器的使用寿命。同时,铝合金具有良好的导电性使其在航空器的电子设备、电力传输系统中得到广泛应用。如何从化学原理解释铝的这些物理化学特性?任课教师可以从基本化学原理角度入手,深入分析铝的晶体结构和原子排列方式对其性能的影响。铁的原子量(55.85)约为铝(26.98)的两倍,且金属态铁原子半径(124pm)小于铝(143pm)。尽管铝的面心立方结构(堆积效率74%)比铁的体心立方结构(68%)更紧密,但铁原子质量优势主导了密度差异,使其密度(7.87g/cm³)达铝(2.70g/cm³)的2.9倍。通过这样的化学原理分析,学生能够深刻了解为什么铝密度这么小,可以在航空航天领域成为重要的金属。基于STEM的教学设计,教师利用铝在航空航天的实际应用,启发学生在课堂进行思考,借助原子结构基本化学理论,深化教学内容。同时,通过结构决定性质的深度讨论,激发学生对设计未来铝质航空材料的兴趣和创意。

2.2 利用杂化轨道理论预测航空航天未来材料之星——石墨烯的性质

碳族元素是无机化学主族元素重要的组成部分,其教学内容旨在突出碳的同素异形体概念、分类及其物理性质,尤其是明星材料石墨烯的物理特性及其在航空航天的潜在应用背后的化学原理。碳的同素异形体富勒烯和石墨烯,分别在1996年和2010年获得诺贝尔化学奖和诺贝尔物理奖,因而备受科学界关注。其中石墨烯作为当前研究热点材料之一,因其在航空航天领域的重要应用前景而备受瞩目。因此有必要在本章的教学中融入石墨烯最新知识点。石墨烯是由碳原子以sp²杂化方式形成的单层二维晶格结构,呈六角形的蜂窝状排列。这种独特的结构赋予了石墨烯一系列卓越的物理性能,使其未来航天技术中具备广阔应用前景^[12]。如表2所示,石墨烯材料在航空航天领域的潜在应用已被广泛研究,并通过化学基本原理加以科学解释。首先,石墨烯具有极高的机械强度和韧性。其碳原子之间通过共价键相连,赋予石墨烯材料理论上极高的强度,单层的石墨烯能够承受巨大的

拉伸力,使其成为未来航天器结构材料的理想选择。其次,石墨烯具有优异的导热和导电性能。得益于其特殊的晶格结构,电子能够在其表面高速自由移动,使石墨烯成为出色的导电材料。石墨烯的热导率远远超过了传统金属和绝缘材料,因此在航天器的电子元件和散热系统中具有广泛的应用潜力。石墨烯可用于航天器中电子器件的基底材料,提高电子器件的工作效率和稳定性;同时也可以作为高效的散热材料,有效地控制航天器在极端环境下的温度。此外,石墨烯还具有出色的化学稳定性和抗腐蚀性,其结构的高度稳定性使其能够在各种极端环境下保持不变,且不易受到化学腐蚀。因此,石墨烯在航天器的表面涂层、防护罩等方面具有重要应用价值。通过利用石墨烯的抗腐蚀特性,可以显著提高航天器的耐久性和可靠性,延长其在太空中的使用寿命。综上所述,石墨烯凭借其独特结构和卓越性能,在推动空天未来技术的发展具有重要意义^[13]。其高强度、高导电性、高热导率以及优异的化学稳定性使其在航天器的结构、电子器件、散热系统等方面具有广泛的应用前景。基于STEM教学理念,结合最新科学进展和未来空天技术对于新型材料的需求,通过杂化轨道理论等相关化学基本理论解释石墨烯材料的物理特性,能够有效提升教学知识点的两性一度,并提高学生运用无机化学理论设计新材料的能力。

表2 石墨烯航空航天领域未来材料

石墨烯在航空航天应用领域	化学基本理论解释
轻量化材料	单层碳原子组成,结构稳定且原子尺寸厚度
导热材料(航空热管理材料)	π 电子共轭结构和紧密排列碳原子
高性能航空电子器件	电子在大 π 平面自由移动
航空航天防护材料	共价键连接
燃料电池材料	高效催化剂支撑材料提供燃料电池效率

2.3 利用电子排布解释航空航天材料的味精——稀土的磁学性质

稀土元素是周期表中的一组特殊的元素,包含第3族之镧、铈和镧系元素共17种化学元素的统称。与周期表中其它元素相比,稀土元素具有独特的化学性质:从原子结构上来看,它们之间的化学性质极为相似,几乎难以彼此分离的。然而,在电子特性和磁学性质方面,每种稀土元素在现代科技技术中都发挥着独特的作用^[14]。尤其在航空航天领域,稀土元素赋予材料耐受极端环境的性能,扮演着至关重要的角色。在无机化学稀土元素部分教学中,由于现有课程体系的局限性,存在知识性介绍多,理论内容相对偏少等问题。学生在学习本章课程知识体系中,虽然能够记住稀土元素的实用性,但难以从化学理论角度深层次地理解其背后的物理特性。因此,针对这一部分的教学改革尤为必要。以钕为例,作为航空航天领域的永磁材料,钕主要用于钕铁硼(NdFeB)合金的制备,具有优异的磁学性能。在航天器、无人机电推系统、民航飞机动力辅助装置(APU)发电机、飞行器的姿态控制系统陀螺仪以及卫星太阳能电池电磁执行器中,钕铁硼磁体发挥了重要作用^[15]。任课教师在授课中不仅要介绍这些应用,更应深入探讨背后的原理——为何钕具有如此强的磁性?钕磁铁的强磁性主要来源于其未成对的4f电子,钕电子排布[Xe]4f⁴6s²,其4f轨道上有四个未成对电子。根据Hund定律,这些电子尽可能地单独占据轨道并且自旋平行。因此,钕的未成对电子贡献一个自旋1/2,因此总自旋量子数(S)为2;而其轨道量子位3,由此多个电子的组合导致的轨道角动量(L)为6。根据Russell-Saunders耦合,总角动量子数位L-S到L+S,因此J可以是4,3,2,1。4f电子的自旋和轨道耦合形成总角动量J。在外加磁场作用下,不同方向上的能量状态不同,产生磁各向异性^[16]。对于钕-铁-硼(NdFeB)磁体而言,钕原子在Fe原子形成的晶格场中,自旋-轨道耦合和晶格场效应会进一步增强磁各向异性。由于钕的4f电子和Fe的3d电子之间的相互作用,这种磁各向异性更为显著,使得NdFeB磁体成为性能卓越的永磁材料。基于STEM教学设计理念,结合稀土元素的电子结构,解释其在航空航天领域材料的磁性调控原理,从而实现结构决定性质的材料设计目标。这不仅提升了无

机化学新质教学体系的深度，也有助于激发学生的学习兴趣，推动高阶教学目标的实现。

3 结语

本文基于STEM教学理念，融合航空航天专业特色，打造新质无机化学教学体系。该教学体系深度契合航空航天特色的人才培养目标，围绕航空航天材料的物理化学特性，建立材料特性与化学基本原理的紧密联系。同时，通过化学基本原理为新型航空航天材料的设计提供理论支持，构建一套基于无机元素在航空航天领域应用的新质无机化学教学体系，为我国培养高素质的专业人才，提供强有力的课程保障。经过化学强基计划、化学拔尖计划的多年的授课实践，参与课程的学生普遍认为新质无机化学体系具有鲜明的特色，课程内容将理论与实际应用紧密结合，有效提升了无机化学授课课堂的趣味性和课程的深度和广度。这一教学改革无疑为我国高素质化学类人才的培养提供坚实的课程支持。

致谢：衷心感谢教育部化学类教学指导委员会秘书长、厦门大学朱亚先教授为作者提供写作思路，百忙之中修改稿件，提出了很多高水平修改建议。

参 考 文 献

- [1] 习近平主持召开新时代推动东北全面振兴座谈会强调 牢牢把握东北的重要使命 奋力谱写东北全面振兴新篇章. 人民日报, 2023-09-10 (01).
- [2] 鹿现永. 大学化学, **2020**, *35* (8), 60.
- [3] 朱亚先, 周立亚, 匡勤, 王凡, 王颖霞, 郑兰荪. 大学化学, **2022**, *37* (11), 2205037.
- [4] 鹿现永. 化学教育(中英文), **2019**, *40* (5), 1.
- [5] 鹿现永. 大学化学, **2020**, *35* (8), 60.
- [6] 鹿现永, 高宁, 胡涛, 鲍浩波. 大学化学, **2022**, *37* (10), 21.
- [7] 刘维尚, 袁丽. 中国高等教育, **2021**, No. 2, 13.
- [8] 平托, 何军, 丁为. 知识就是力量, **2023**, 7, 16.
- [9] 管光海. STEM教学设计与评价. 北京: 教育科学出版社, 2022: 10.
- [10] 李卫平. 航空航天结构材料. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2022: 1.
- [11] Li, S.-S.; Yue, X.; Li, Q.-Y.; Peng, H.-L.; Dong, B.-X.; Liu, T.-S.; Yang, H.-Y.; Fan, J.; Shu, S.-L.; Qiu, F.; *et al.* *J. Mater. Res. Technol.* **2023**, *27*, 944.
- [12] Graphene's use in the aerospace industry. [2024-09-01]. <https://shop.nanografi.com/blog/graphenes-use-in-the-aerospace-industry/>
- [13] Graphene to help decarbonize the aerospace industry. [2024-09-01]. <https://www.carbon-waters.com/en/aerospace-how-does-graphene-meet-the-sectors-challenges/>
- [14] Qiao, J.; Li, L. T.; Liu, J. R.; Wu, N.; Liu, W.; Wu, F.; Zeng, Z. H. *J. Mater. Sci. Technol.* **2024**, *176*, 188.
- [15] 孙艳荣, 张志鹏, 李赛松, 肖大庆, 高双林, 李冬志. 当代化工研究, **2021**, No. 21, 117.
- [16] Chen, R.; Xia, X.; Tang, X.; Yan, A. *Materials* **2023**, *16*, 4789.