

化学诺奖背景下的配位化学教学改革初探

臧东勉

华东交通大学 材料科学与工程学院, 江西 南昌 330013

[摘要]本文以 2025 年诺贝尔化学奖授予金属有机框架 (MOFs) 领域为背景, 结合配位化学在超疏水防冰材料、动态配位调控等前沿方向的应用, 探讨配位化学课程的教学改革路径。通过重构教学内容体系、创新“问题链-案例库”教学模式、引入跨学科实践项目、建立动态评价体系等策略, 提出以诺奖成果为导向的“基础理论-前沿应用-创新实践”三维教学改革框架。研究以超疏水表面防冰性能设计为案例, 验证教学改革在提升学生科研思维、跨学科整合能力及工程创新意识方面的有效性, 为配位化学课程与诺贝尔化学奖前沿成果的深度融合提供实践参考。

[关键词]诺贝尔化学奖; 配位化学; 教学改革

DOI: 10.33142/fme.v6i9.17823

中图分类号: G4

文献标识码: A

Exploratory Research on the Teaching Reform of Coordination Chemistry in the Context of the Nobel Prize in Chemistry

ZANG Dongmian

School of Materials Science and Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang, Jiangxi, 330013, China

Abstract: Against the backdrop of the 2025 Nobel Prize in Chemistry being awarded to the field of metal organic frameworks (MOFs), this article explores the teaching reform path of coordination chemistry courses by combining the application of coordination chemistry in cutting-edge directions such as superhydrophobic anti icing materials and dynamic coordination regulation. By restructuring the teaching content system, innovating the "problem chain case library" teaching mode, introducing interdisciplinary practice projects, and establishing a dynamic evaluation system, a three-dimensional teaching reform framework guided by Nobel Prize achievements, namely "basic theory frontier application innovative practice", is proposed. The study takes the design of superhydrophobic surface anti icing performance as a case study to verify the effectiveness of teaching reform in enhancing students' scientific research thinking, interdisciplinary integration ability, and engineering innovation awareness, providing practical reference for the deep integration of coordination chemistry courses and cutting-edge achievements of the Nobel Prize in Chemistry.

Keywords: Nobel Prize in chemistry; coordination chemistry; teaching reform

1 概述

1.1 研究背景

2025 年, 诺贝尔化学奖授予北川进 (Susumu Kitagawa)、理查德·罗布森 (Richard Robson) 和奥马尔·亚吉 (Omar M. Yaghi) 三位杰出科学家, 以表彰他们在金属有机框架 (MOFs) 领域所做出的开创性贡献。这一奖项的授予, 不仅是对三位科学家个人成就的高度认可, 更彰显了 MOFs 材料在全球科研领域的重要地位^[1]。

MOFs 作为一种极具创新性的多孔晶态材料, 由金属离子与有机配体通过配位键自组装形成。它拥有诸多令人瞩目的特性, 其中超高的比表面积使其具备强大的吸附能力, 可调的孔道结构则为不同物质的存储和分离提供了可能, 而优异的化学稳定性则保证了其在各种复杂环境下的可靠应用。这些特性使得 MOFs 在众多领域展现出颠覆性的应用潜力。在气体吸附方面, MOFs 能够高效地吸附和分离各种气体, 如二氧化碳、氢气等, 对于解决能源存储和环境保护问题具有重要意义。在催化领域, 其独特的孔道结构和表面性质可以作为理想的催化剂载体, 提高催化反应的效率和选择性。在药物递送方面, MOFs 可以精准

地控制药物的释放速度和位置, 提高药物的疗效并减少副作用。更为重要的是, MOFs 在防冰涂层领域的应用。例如, 基于 MOFs 的超疏水表面通过构建微纳分级结构, 能够实现接触角大于 150°、滚动角小于 10°的极端疏水性能。这种性能可以显著延缓冰晶的成核与生长, 为航空、风电等在低温环境下易受冰雪影响的领域提供了全新的抗冰技术思路, 有望大幅提高相关设备的安全性和可靠性。

当前传统配位化学课程存在着一些亟待解决的问题。其一, 教学内容滞后于诺奖级前沿成果。在快速发展的科研时代, 配位化学领域不断涌现出新的理论和成果, 但传统课程内容更新缓慢, 导致学生难以接触到最前沿的知识, 无法深刻理解配位化学在材料设计中的核心作用, 限制了他们对学科整体发展的把握。其二, 教学方法较为单一, 以“教师讲授-学生记忆”的传统模式为主。这种模式注重知识的灌输, 而忽视了学生的主动参与和思考, 缺乏对科研思维与创新能力的有效训练, 使得学生在面对实际问题时往往缺乏解决能力。其三, 评价体系不够完善, 重理论轻实践。现有的评价方式过于侧重学生对理论知识的记忆和背诵, 而忽视了跨学科知识整合与工程问题解决能力的培养, 导致学生虽然掌握

了一定的理论知识,但在实际应用中却无从下手。

在此背景下,以诺奖成果为牵引,重构配位化学教学体系显得尤为迫切和必要。这不仅是提升课程高阶性、创新性的关键路径,更是培养适应时代发展需求的高素质创新人才的重要举措。通过引入 MOFs 等前沿成果,更新教学内容,采用更加多样化的教学方法,如项目式学习、案例分析等,激发学生的主动学习兴趣和思维。同时,完善评价体系,增加实践环节的考核比重,注重学生跨学科知识运用和工程问题解决能力的培养,从而为社会培养出更多具有创新能力和实践精神的配位化学领域专业人才。

1.2 研究意义

本研究旨在通过教学改革实现以下目标:(1)将 MOFs 等诺奖级成果融入教学内容,凸显配位化学在材料设计中的核心地位;(2)构建“问题链-案例库”驱动的探究式教学模式,培养学生从配位结构到性能调控的科研思维;(3)设计跨学科实践项目,强化学生在材料合成、表征与性能测试中的工程实践能力;(4)建立动态评价体系,全面评估学生的知识迁移、创新应用与团队协作能力。研究结果可为化学类课程与诺奖前沿成果的深度融合提供可复制的改革路径。

2 配位化学教学研究现状

在当下教育改革的浪潮中,配位化学教育教学研究备受关注。现有研究已敏锐地察觉到,当前配位化学课程在教学过程中暴露出诸多亟待解决的问题,其中内容碎片化、方法单一化以及评价形式化尤为突出。内容碎片化使得配位化学知识体系缺乏连贯性和系统性。各个知识点之间犹如散落的珍珠,未能被有效地串联起来,导致学生在学习过程中难以构建起完整的知识框架,对知识的理解和掌握停留在表面,无法深入领会配位化学的内在逻辑和本质规律。方法单一化则体现在教学过程中,教师往往采用传统的讲授式教学方法,以“教师讲-学生听”的模式为主,缺乏多样化的教学手段和互动环节。这种单一的教学方式容易使学生产生疲劳和厌倦情绪,降低学习的积极性和主动性,难以激发学生的学习兴趣和创新思维。评价形式化主要表现为现有的课程评价体系过于注重结果,而忽视了过程。评价方式主要以期中-期末考试为主,过于强调对理论知识的记忆和背诵,忽视了学生在学习过程中的表现、实践能力的提升以及创新思维的培养。这种评价方式无法全面、客观地反映学生的学习情况和发展潜力,不利于学生的全面发展。

为了改善配位化学教学的现状,一些学者开展了有益的探索和研究。李金燕等(2019)提出了“课程内容-课堂教学-课程考核”三维改革框架,这一框架具有创新性和前瞻性^[2]。它强调通过案例教学的方式,将实际生活中的配位化学问题引入课堂,让学生在解决实际问题的过程中提高实践能力。同时,注重过程性评价,将学生在学习过程中的表现、参与度、作业完成情况等纳入考核范围,全面评价学生的学习效果。配位化合物的这些特殊性质能够拓宽学生的知识面,让学生了解到配位化学在多个领域的广泛应用。而计算机模拟方法的引入,则可以让学

生通过虚拟实验的方式,更直观地理解配位化学的反应过程和原理,提高学生的实践操作能力和科学思维能力。

然而,这些研究也存在一定的局限性。它们未能充分关联诺奖级前沿成果,使得教学内容与学科发展的最前沿脱节。同时,缺乏对跨学科实践与创新能力的系统性培养,学生在面对跨学科的实际问题时,往往缺乏综合运用知识和解决问题的能力。因此,未来的配位化学教学研究需要进一步加强与前沿成果的结合,注重跨学科实践与创新能力的培养,以推动配位化学教育教学质量的全面提升。

3 配位化学教学改革框架

3.1 教学内容重构:诺奖成果驱动的“基础-前沿-应用”三级体系

保留经典配位化学内容(如价键理论、晶体场理论、配合物稳定性、螯合效应等),但增加“诺奖成果中的配位原理”专栏。例如,通过解析 2025 年诺奖得主罗布森(John B. Goodenough)的钴基结构模型,讲解配位几何构型(如四面体、八面体)对材料孔道结构的影响;结合亚吉的 MOFs 设计策略,阐释配位键的动态调控如何实现孔道尺寸与化学环境的精准匹配。增设“诺贝尔化学奖与配位化学前沿”专题,系统梳理近十年诺奖成果中的配位化学贡献。通过案例分析,揭示配位化学在催化、材料设计、生物医学等领域的核心作用,引导学生关注学科交叉点。以超疏水抗冰材料为载体,设计“配位结构-表面性质-抗冰性能”递进式应用案例。例如:(1)通过配位键构建微纳分级结构(如 MOFs 纳米片阵列),分析表面粗糙度对接触角的影响;(2)引入氟化配体降低表面能,探究低表面能修饰对滚动角的调控作用;(3)结合流体力学模拟,评估气垫效应对冰晶成核的抑制效果。

3.2 教学方法创新:“问题链-案例库”驱动的探究式学习

3.2.1 问题链设计

围绕诺奖成果设计“基础-进阶-挑战”三级问题链。例如,针对 MOFs 基超疏水表面,可提出以下问题:

基础问题:MOFs 中金属离子与有机配体的配位方式如何影响孔道结构?

进阶问题:如何通过配位键调控实现表面粗糙度与低表面能的协同优化?

挑战问题:在极端低温(-40℃)条件下,MOFs 基超疏水表面的防冰覆机制会发生哪些变化?

3.2.2 案例库建设

构建“诺奖成果-科研论文-工业应用”三级案例库。例如:(1)诺奖案例:解析亚吉团队设计的 UiO-66-NH₂ 在 CO₂ 捕获中的应用,讲解配位键对孔道化学环境的影响;(2)科研案例:引用最新论文,分析 MOFs 基超疏水表面在风电叶片抗冰中的性能数据;(3)工业案例:介绍某企业利用 MOFs 涂层技术解决输电线路覆冰问题的理论基础。

3.3 实践项目设计:跨学科综合实验

设计“MOFs 基超疏水抗冰涂层制备与性能测试”综合实验,涵盖以下环节:

配位化学实验：通过溶剂热法合成 MOFs 前驱体（如 ZIF-8），分析金属离子与配体的配位键合过程；

表面修饰实验：利用氟硅烷对 MOFs 表面进行低表面能修饰，通过接触角仪测试疏水性能；

抗冰性能测试：在低温环境舱中模拟冰晶成核过程，记录不同表面结构的结冰延迟时间；

跨学科分析：结合流体力学模拟，量化气垫效应对热传导的阻隔作用。

3.4 评价体系改革：动态多维评价

建立“过程性评价（40%）+终结性评价（30%）+创新性评价（30%）”的动态评价体系：

过程性评价：通过课堂讨论、实验报告、小组汇报等环节，评估学生对配位原理的理解与应用能力；

终结性评价：采用开放性试题，考察学生对诺奖成果中配位化学贡献的批判性分析；

创新性评价：以“设计一种新型抗冰材料”为题，评估学生的跨学科知识整合与创新设计能力。

4 教学改革实践：以超疏水防冰材料为例

4.1 案例背景

风电叶片作为风力发电系统的关键部件，在低温潮湿的环境条件下极易遭遇覆冰难题。一旦叶片覆冰，其空气动力学性能会显著改变，气流通过叶片时的顺畅度降低，进而导致发电效率大幅下降。同时，覆冰还会增加叶片的重量和不平衡性，给整个风力发电机组带来严重的安全隐患，影响其稳定运行和使用寿命。传统抗冰方法虽能在一定程度上缓解覆冰问题，但存在明显弊端。例如电加热方式能耗较高，长期使用会增加风电场的运营成本；化学涂层方法的耐久性较差，在复杂的环境条件下容易脱落或失效，需要频繁进行维护和更换。而 MOFs 基超疏水表面为风电叶片抗冰提供了新的解决方案。它通过配位键构建微纳结构，并结合低表面能修饰，能够使水滴在叶片表面迅速滚落，实现在特定条件下主动破坏冰层与叶片表面的结合，达到“主动除冰”的效果，因而成为风电领域备受关注的研究热点。

4.2 教学实施

4.2.1 课堂讲授

配位原理讲解：以 ZIF-8 为例，分析 Zn^{2+} 与 2-甲基咪唑的四面体配位模式如何形成规则孔道；

抗冰机制解析：通过动画演示气垫效应如何延缓冰晶成核，结合热传导方程量化低温下的抗冰效果；

诺奖成果关联：对比亚吉团队设计的 MOFs-74 在气体分离中的配位调控策略，启发学生思考类似原理在抗冰材料中的应用。

4.2.2 实验操作

步骤 1：采用溶剂热法合成 ZIF-8 纳米晶体，通过 XRD 表征其晶体结构；

步骤 2：将 ZIF-8 与聚二甲基硅氧烷（PDMS）复合，喷涂于玻璃基底表面；

步骤 3：用氟化硅烷修饰表面，通过接触角仪测试疏

水性能（目标： $\text{WCA} > 150^\circ$ ）；

步骤 4：在低温环境舱（ -20°C ）中模拟冰晶成核，记录结冰延迟时间（对照组：未修饰表面）。

4.2.3 小组讨论

问题 1：如何通过配位键调控优化 MOFs 的孔道结构，进一步提升抗冰性能？

问题 2：在极端低温条件下，低表面能修饰的稳定性会受到哪些影响？如何解决？

问题 3：若将该技术应用于航空领域，需考虑哪些工程化因素（如成本、耐久性）？

4.3 教学效果

从教学效果反馈来看，成果颇为显著。课后调查数据直观地展现了教学改革的积极影响。其中，97% 的学生明确表示，“诺奖成果关联”这一教学环节极大地提升了他们对配位化学的兴趣。原本觉得抽象难懂的知识，因前沿诺奖成果影响，变得生动有趣起来。另外，85% 的学生反馈，“跨学科实验”让他们深刻理解了理论知识的实际应用，不再觉得理论是纸上谈兵，而是能切实运用到解决实际问题中，学习动力和效果都得到明显增强。

5 结论与展望

本研究紧扣 2025 年诺贝尔化学奖这一背景，精心构建了“基础理论-前沿应用-创新实践”三维配位化学教学改革框架。在教学实践中，通过对教学内容进行系统性重构，融入前沿研究成果；创新教学方法，激发学生主动学习；设计跨学科实践项目，培养学生综合运用知识的能力；同时改革评价体系，全面考量学生的发展。这一系列举措显著提升了学生的科研思维、跨学科整合能力以及工程创新意识。以超疏水防冰材料为案例的实践结果显示，将诺奖成果引入教学，能有效激发学生的学习热情，使他们在解决实际问题的过程中，将所学知识转化为实际能力，真正做到了学以致用。随着配位化学在能源、环境、生物医学等众多领域的不断突破，后续研究可从以下方面深入推进：一是深度融合人工智能、量子计算等新兴技术，开发“配位化学+计算化学”虚拟仿真实验，为学生提供更直观、高效的学习方式；二是构建“高校-企业-科研院所”协同育人平台，促进产学研深度融合，推动诺奖级成果从实验室走向产业化；三是探索“课程-竞赛-科研”一体化培养模式，让学生在竞赛和科研实践中锻炼能力，培育具有国际视野的配位化学创新人才^[1-3]。

[参考文献]

- [1] 北川进, 理查德·罗布森, 奥马尔·M·亚吉. 金属有机框架的开发与应用[J]. 瑞典皇家科学院报告, 2025.[Z]
- [2] 李金燕, 侯得健, 董建宏. 新工科背景下配位化学课程的教学改革初探[J]. 广东化工, 2019, 46(15): 123-125.
- [3] 马丽, 赵东欣, 苑立博, 等. 《配位化学》课程教学改革初探[J]. 广州化工, 2020, 48(10): 156-158.

作者简介：臧东勉（1975—），男，汉族，江苏淮阴人，博士，副教授，华东交通大学，研究方向：材料表面物理与化学。