

---

# FIE Review：西北工业大学王磊教授等——铂基 ORR 催化剂形貌控制进展

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/29869.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

FIE Review：西北工业大学王磊教授等——铂基 ORR 催化剂形貌控制进展。论文标题：Recent advances in morphology control of platinum catalysts toward oxygen reduction reaction

期刊：Frontiers in Energy

作者：Shun CHEN, Yanru LIU, Xiaogang FU, Wanglei WANG

发表时间：15 Jun 2024

DOI：10.1007/s11708-024-0929-5

微信链接：[点击此处阅读微信文章](#)

Front. Energy >> 2024, Vol. 18 >> Issue (3) : 330-355. DOI: 10.1007/s11708-024-0929-5

REVIEW ARTICLE

## Recent advances in morphology control of platinum catalysts toward oxygen reduction reaction

Shun CHEN<sup>1</sup>, Yanru LIU<sup>2</sup>, Xiaogang FU<sup>1</sup>✉, Wanglei WANG<sup>1</sup>✉

### 文章亮点

(1) 形貌控制的关键性：揭示了优化铂基催化剂性能的关键，通过拓展活性位点和调节晶格应变，显著提升催化效率。

(2) 多样化调节策略：系统性总结了包括核-壳结构、空心结构、纳米笼、纳米线和纳米片等创新形态调控方法，展示了催化剂设计的前沿进展。

(3) 展望了铂基催化剂形貌控制的潜在方向，强调合理设计、先进表征技术及人工智能在推动技术创新中的重要作用。

## 研究背景及意义

随着传统能源开发的持续推进，能源危机和环境问题愈加严重，促使对可再生能源（如太阳能、氢能和风能）的关注日益增加。氢能作为一种具有高热值和高利用率的可再生能源，应用广泛，尤其在新能源汽车和氢能发电领域展现出巨大潜力。然而，氢能转化效率仅为40%-60%，亟需改进。质子交换膜燃料电池（PEMFC）因其快速启动、高功率密度和操作简便，成为提升氢能转化效率的理想解决方案。氧还原反应（ORR）在燃料电池中起着关键作用，催化剂的选择和设计直接影响反应动力学。尽管非贵金属催化剂在活性上表现出良好潜力，但其稳定性不足，贵金属催化剂则具备耐腐蚀性，但成本高昂。因此，发展高效、经济的ORR催化剂显得尤为迫切。形貌控制作为一种灵活的催化剂设计策略，能够优化催化性能和稳定性，推动燃料电池技术的进步，并为能源与环境保护提供重要解决方案。

## 研究内容及主要结论

### 一、形貌控制对铂基 ORR 催化剂的影响

探讨了ORR的复杂过程，尤其是在PEMFC中的挑战。重点分析了ORR的四电子转移路径及其在酸性环境下的反应机理，强调了中间体（\*OOH、\*O、\*OH）对反应速率的影响。研究指出，催化剂的吸附强度与反应中间体的结合能呈线性关系，合适的结合能有助于提高催化活性。此外，通过调节催化剂的组成、形态和表面结构，可以优化电子结构，从而提升催化性能。特别是高指数晶面和形貌控制对ORR活性有显著影响，如Pt-NW相较于Pt纳米颗粒表现出更高的催化活性。总体而言，改善催化剂的形貌和设计可以有效提升ORR催化性能，是未来研究的重要方向。

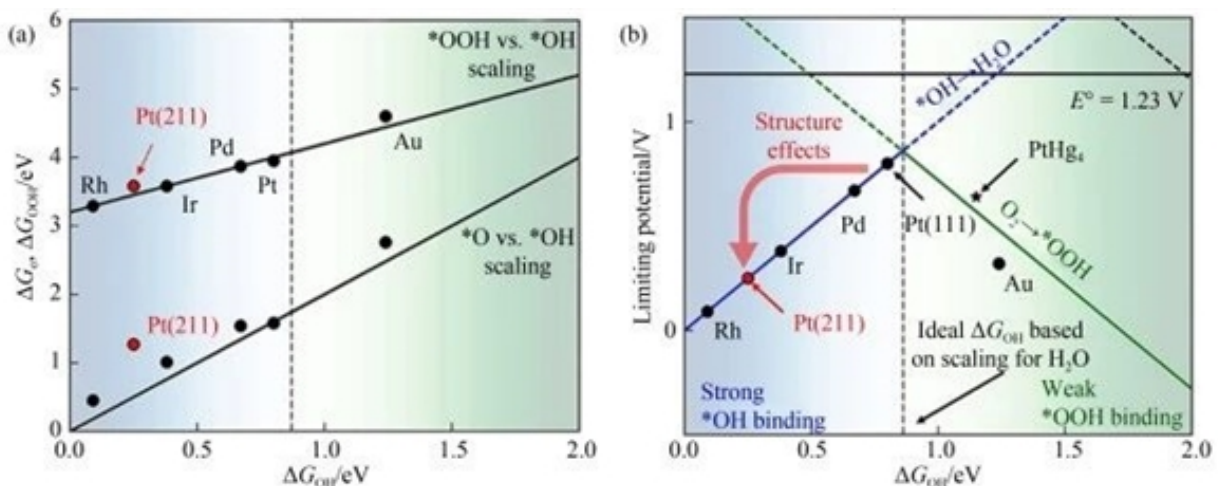


图1 (a) 结合能关系图 (b) ORR 火山图

### 二、纳米棒、纳米线和纳米管

探讨了一维纳米材料（如纳米棒、纳米线和纳米管）在ORR中的重要性，强调其独特的物理化学特性和大比表面积。这些材料的线性结构不仅提供了更多的催化活性位点，还增强了电荷传导能力，提升了催化效率。

研究指出，催化剂的晶体结构和颗粒尺寸的优化对提高ORR性能至关重要。此外，表面缺陷（

---

如晶界)对催化剂性能的影响显著,合理控制这些特性有助于改善催化剂的活性和耐久性。

### 三、纳米片

讨论了纳米片(NSs)在ORR中的重要性,强调其独特的层状结构带来的优越物理化学特性。NSs的大比表面积、良好的导电性和活性位点分布使其在催化效率和耐久性方面表现优异。

研究表明,NSs能够通过调节表面原子取向和电子结构,增强催化活性。掺杂异质原子(如氮)可显著改善催化性能,因其能优化反应中间体的吸附和解离。利用低配位数和高指数表面来降低吸附强度,进一步提高了催化效率。此外,构建核-壳结构和多孔形态的催化剂有助于促进反应物的运输,从而提升ORR性能。

### 四、纳米多面体

讨论了纳米多面体(如立方体、八面体、十二面体和二十面体)在电催化中的应用。纳米多面体具有独特的几何形状和晶体结构,能够提供丰富的活性位点,提高催化效率。不同的合成方法(如还原法、模板法和配体控制)可以调节其形态和性能。

研究显示,立方体和八面体结构的催化剂通常具备较高的比表面积和多种缺陷,使其在催化反应中表现出色。尤其是PtNi八面体,展现了优异的ORR活性(MA可达1.45 A/mgPt)。此外,核壳结构和空心结构的引入有助于改善催化剂的活性和稳定性。通过调节Pt的原子层数和表面应变,可以显著优化催化性能。选择合适的纳米粒子形态应考虑应用需求、合成复杂性和成本,确保催化剂的高效性和经济性。不同形态的纳米催化剂在电化学反应中的表现存在显著差异,强调了催化剂设计的精细化和针对性。

### 五、核壳结构

探讨了非贵金属与贵金属催化剂的核-壳结构的应用,旨在调节电子结构并提高催化稳定性。通过在非贵金属表面涂覆贵金属,形成的核-壳结构不仅保护了内部的非贵金属核心,还改善了催化活性。密度泛函理论计算表明,合适的应变和配体效应优化了催化剂的界面结构,从而增强了催化活性。此外,核-壳结构的稳定性与催化性能密切相关。通过流动合成法等创新制备技术,可以提高核-壳纳米颗粒的产量,进而推动工业应用。

### 六、中空多孔结构

分析了纳米催化剂表面吸附强度的调节,强调了空心和多孔结构对催化活性和选择性的影响。这些结构显著提高了催化剂的总表面积,增加了活性位点数,从而加速催化反应。然而,空心和多孔结构也可能导致团聚和脱落,降低催化剂稳定性。1D纳米结构在减少团聚方面表现更佳。优化纳米框架的结构和原子排列可有效增强催化性能,突显了纳米催化剂设计在提高电催化活性中的重要性。

### 七、展望

本文最后讨论了控制ORR催化剂形态的重要性,旨在通过调整晶体结构、形貌和活性表面位点来增强催化剂的活性和稳定性。纳米级催化剂显示出巨大的潜力,特别是贵金属催化剂的成本较

---

高，因而低成本、高效的催化剂需求越来越迫切。研究指出，通过调节催化剂的形态，如纳米线、纳米片和纳米多面体，能够有效增加催化剂表面积，增强分子与催化剂的相互作用，提升活性。此外，表面修饰、杂化结构、控制晶核和选择适当晶面等方法可以优化结构，提高催化剂的性能和稳定性。随着纳米材料合成技术的进步，ORR催化剂形态调控取得了显著进展。其他材料如MXene和二维过渡金属也被广泛用于催化剂形貌调控，因其具有丰富的表面活性位点和可调节的结构，显示出广泛的应用前景。

在未来的研究中，应关注形貌调控策略的创新，开发新型合成方法，如电化学沉积和模板法，以制备更加复杂多样的催化剂形态。此外，先进的原位表征技术可以帮助分析ORR动态过程，深入研究形态对催化性能的影响，揭示催化剂形貌与性能之间的关系。人工智能和机器学习为催化剂形态调控提供了更智能高效的手段，能够提高设计效率，降低试错成本，并帮助发现传统实验方法难以发现的新型催化剂。实验室中的形貌控制研究需要进一步考量催化剂在实际燃料电池中的表现以及低成本、大规模生产的可行性。总结而言，ORR催化剂形貌控制具有广泛的应用前景，通过合理的设计策略、先进的表征技术、创新的人工智能应用以及考虑实际成本和生产规模，催化剂设计将实现进一步的突破，为可持续能源的发展作出重要贡献。

#### 原文信息

Recent advances in morphology control of platinum catalysts toward oxygen reduction reaction

Shun CHEN<sup>1</sup>, Yanru LIU<sup>2</sup>, Xiaogang FU<sup>1\*</sup>, Wanglei WANG<sup>1\*</sup>

Author information :

1. State Key Laboratory of Solidification Processing, Atomic Control and Catalysis Engineering Laboratory, School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi ' an 710072, China
2. State Key Laboratory of Oral and Maxillofacial Reconstruction and Regeneration, National Clinical Research Center for Oral Diseases, Shaanxi Key Laboratory of Stomatology, Department of Dental Materials, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi ' an 710032, China

Abstract :

Exploring advanced platinum (Pt)-based electrocatalysts is vital for the widespread implementation of proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs). Morphology control represents an effective strategy to optimize the behavior of Pt catalysts. In this work, an attempt is made to comprehensively review the effect of morphology control on the catalytic behavior of catalysts in the oxygen reduction reaction (ORR). First, the fundamental physicochemical changes behind morphology control, including exposing more active sites, generating appropriate lattice strains, and forming different crystalline surfaces, are highlighted. Then, recently developed strategies for tuning the morphologies of electrocatalysts, including core-shell structures, hollow structures, nanocages, nanowires, and nanosheets, are comprehensively summarized. Finally, an outlook on the future development of morphology control of Pt catalysts is presented, including rational design strategies, advanced in situ characterization techniques, novel artificial intelligence, and mechanical learning. This work is intended to provide valuable insights into designing the morphology and technological innovation of efficient redox electrocatalysts in fuel cells.

---

Keywords :

morphology, platinum catalysts, electrocatalysis, ORR, PEMFC

Cite this article

Shun CHEN, Yanru LIU, Xiaogang FU, Wanglei WANG. Recent advances in morphology control of platinum catalysts toward oxygen reduction reaction. *Front. Energy*, 2024, 18(3): 330?355  
<https://doi.org/10.1007/s11708-024-0929-5>

通讯作者简介

王磊：西北工业大学材料学院教授、博士生导师。现任职于西北工业大学凝固技术国家重点实验室。专注于催化剂的设计与制备，致力于开发用于水循环催化和塑料循环催化的纳米催化剂。在催化剂合成方法方面具有丰富经验，特别是在高活性、稳定性及商业化可行性催化剂的研发上。王教授积极参与推动氢基可再生能源的发展，并致力于解决塑料污染问题，创造高效的回收路径。

详情

<https://teacher.nwpu.edu.cn/person/2019010184>



**Frontiers *in*  
Energy**

- 中国工程院院刊
- 国际化投审稿和发布平台
- 免费语言润色, 无版面费
- 在线优先出版, 快速进入SCI数据库
- 全方位宣传推广, 提升论文可见度

---

欢迎了解期刊更多信息

主编团队

## 主 编



**黄 震**  
中国工程院院士  
上海交通大学



**周守为**  
中国工程院院士  
中海油集团



**苏义脑**  
中国工程院院士  
中石油集团工程  
技术研究院



**彭苏萍**  
中国工程院院士  
中国矿业大学

## 副 主 编



**张久俊**  
加拿大三院院士  
福州大学



**Radenka Maric**  
美国科学促进会会士  
美国康涅狄格大学



**Nicolas Alonso-Vante**  
法国普瓦捷大学



**巨永林**  
上海交通大学

期刊特点

1. 国际化投审稿平台ScholarOne方便快捷。
2. 严格的同行评议(Peer Review)。

- 
3. 免费语言润色，有力保障出版质量。
  4. 不收取作者任何费用。
  5. 不限文章长度。
  6. 审稿周期：第一轮平均30天，投稿到录用平均60天
  7. 在线优先出版(Online First)。
  8. 通过Springer Link平台面向全球推广。

#### 在线浏览

<http://journal.hep.com.cn/fie> (国内免费开放)

<https://link.springer.com/journal/11708>

#### 在线投稿

<https://mc.manuscriptcentral.com/fie>

#### Twitter

---

搜索@FIE\_Journal

链接[https://twitter.com/FIE\\_Journal](https://twitter.com/FIE_Journal)

联系我们

FIE@sjtu.edu.cn, (86) 21-62932006

qiaoxy@hep.com.cn, (86) 10-58556482



小提示：Frontiers in Energy为国产英文刊，不属于瑞士Frontiers系列。瑞士Frontiers系列相关期刊为Frontiers in Energy Research。



## 《前沿》系列英文学术期刊

由教育部主管、高等教育出版社主办的《前沿》（Frontiers）系列英文学术期刊，于2006年正式创刊，以网络版和印刷版向全球发行。系列期刊包括基础科学、生命科学、工程技术和人文社会科学四个主题，是我国覆盖学科最广泛的英文学术期刊群，其中12种被SCI收录，其他也被AHCI、Ei、MEDLINE或相应学科国际权威检索系统收录，具有一定的国际学术影响力。系列期刊采用在线优先出版方。

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发