
FIE Review 上海理工大学张慧娟副教授：锌离子水电 池锰基阴极电极的研究进展

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/34786.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

上海理工大学张慧娟副教授：锌离子水电池锰基阴极电极的研究进展。论文标题：Advances in manganese-based cathode electrodes for aqueous zinc-ion batteries

期刊：Frontiers in Energy

作者：Haixiang Luo, Hui-Juan Zhang, Yiming Tao, Wenli Yao, Yuhua Xue

发表时间：15 Jun 2025

DOI：10.1007/s11708-025-0983-7

微信链接：点击此处阅读微信文章

Front. Energy
<https://doi.org/10.1007/s11708-025-0983-7>

REVIEW ARTICLE

Advances in manganese-based cathode electrodes for aqueous zinc-ion batteries

Haixiang Luo¹, Hui-Juan Zhang (✉)¹, Yiming Tao¹, Wenli Yao², Yuhua Xue¹

¹ School of Materials and Chemistry, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

² School of Materials Science and Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China

文章简介

锌离子水电池（AZIBs）因其资源丰富、环保和安全性高等优势，成为下一代储能技术的理想选择。锰基正极材料因高理论容量和低成本备受关注。然而，它们在速率性能和循环稳定性方面仍面临巨大挑战。本文系统综述了近年来锰基AZIBs阴极材料的主要进展。文章首先详细分析了锰

基阴极的储能机制。接着介绍了各种锰基氧化物，突出了它们不同的晶体结构和形态。还概述了优化策略，如离子掺杂、制备锰基金属有机框架（MOFs）、碳材料涂层和电解质优化。这些策略大大提高了锰基氧化物阴极的电化学性能。最后讨论了锰基阴极在AZIB中的前瞻性研究方向。

研究内容及结论

文章提出了四种主要反应机制来解释AZIBs的基本机理，包括 Zn^{2+} 脱嵌机制、 H^{+} 和 Zn^{2+} 共脱嵌机制、化学转化反应机制和溶解-沉积反应机制。这些机制解释了电池在充放电过程中的能量存储和转换过程。

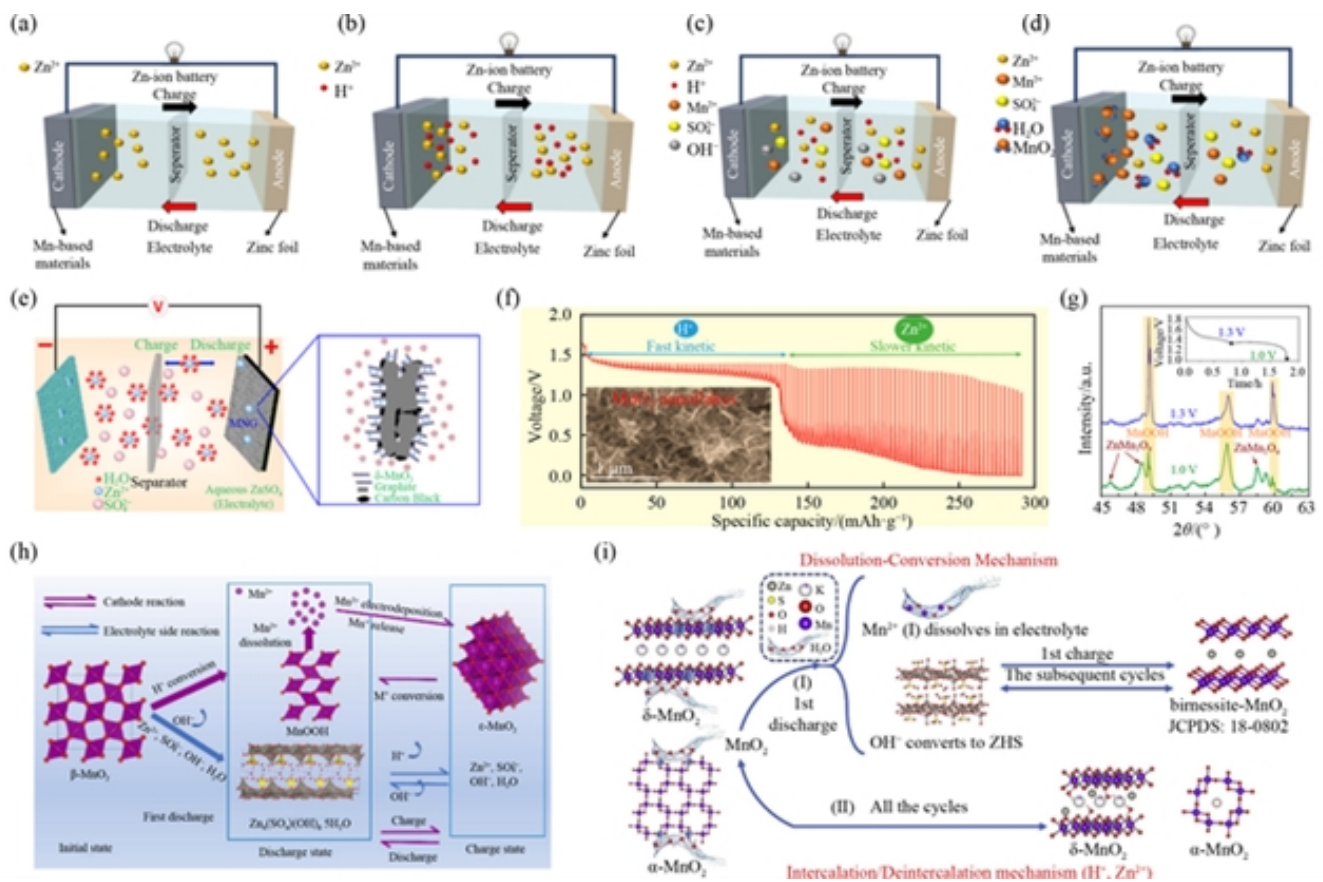


图1 (a) Zn^{2+} 脱嵌机制; (b) H^{+} 和 Zn^{2+} 的共脱嵌机制; (c) 化学转化反应机理; (d) 溶解和沉积反应机理; (e) Zn^{2+} 脱嵌机制示意图; (f) Zn/MnO₂的GITT曲线; (g) Zn/MnO₂的XRD图谱; (h) β -MnO₂的反应路径; (i) 描述Zn/MnO₂电池中储能过程的图表

锰基氧化物因其多种价态和稳定的化合物形式，在AZIBs中受到广泛研究。文章介绍了不同晶体结构的锰基氧化物，如隧道结构（ β -MnO₂、 γ -MnO₂、 α -MnO₂）通过纳米形貌调控（如纳米棒、微米花）和缺陷工程（氧空位）优化离子扩散路径，层状结构（ δ -MnO₂）通过有机/无机离子预嵌（如Na⁺、BMA⁺）扩大层间距，增强结构稳定性，尖晶石结构（ λ -MnO₂、ZnMn₂O₄、Mn₃O₄）利用复合材料和离子掺杂（如Co²⁺、Cu²⁺）提升导电性与循环寿命。并讨论了它们的合成方法。

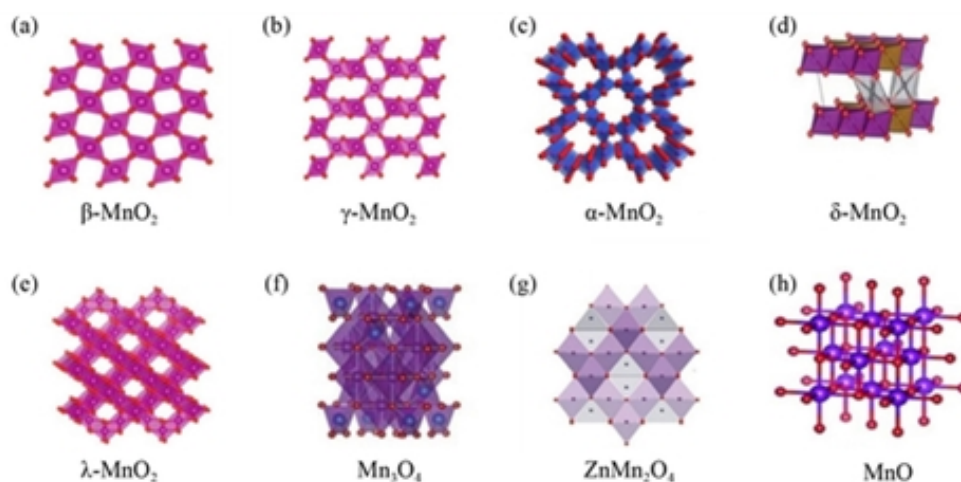


图 2 (a) β - MnO_2 ; (b) γ - MnO_2 ; (c) α - MnO_2 ; (d) δ - MnO_2 ; (e) λ - MnO_2 ; (f) Mn_3O_4 ; (g) Mn_2O_4 ; (h) MnO

掺杂离子是提高AZIBs中锰基阴极材料电化学性能的有效策略。文章介绍了单价阳离子和多价阳离子掺杂对锰基氧化物性能的影响。单价阳离子掺杂有效地扩大了锰基氧化物的层间距，促进了 Zn^{2+} 的插层和脱嵌，同时改善了电化学动力学。多价阳离子掺杂对锰基氧化物的晶体结构和电子性质进行了重大修改。并提出掺杂改善电极性能的机制可从晶体结构优化、增强离子电导率、增强结构稳定性及调节电化学反应动力学方面进行探讨。

金属-有机框架 (MOFs) 因其高孔隙率、大比表面积和可调节结构，在AZIBs中具有潜在应用。将MOF整合到AZIBs中具有增强电解质渗透、改善结构稳定性、提供丰富活性位点和可调节性等优势，但仍需要解决低本征电导率和在操作条件下可能出现的结构退化等挑战。

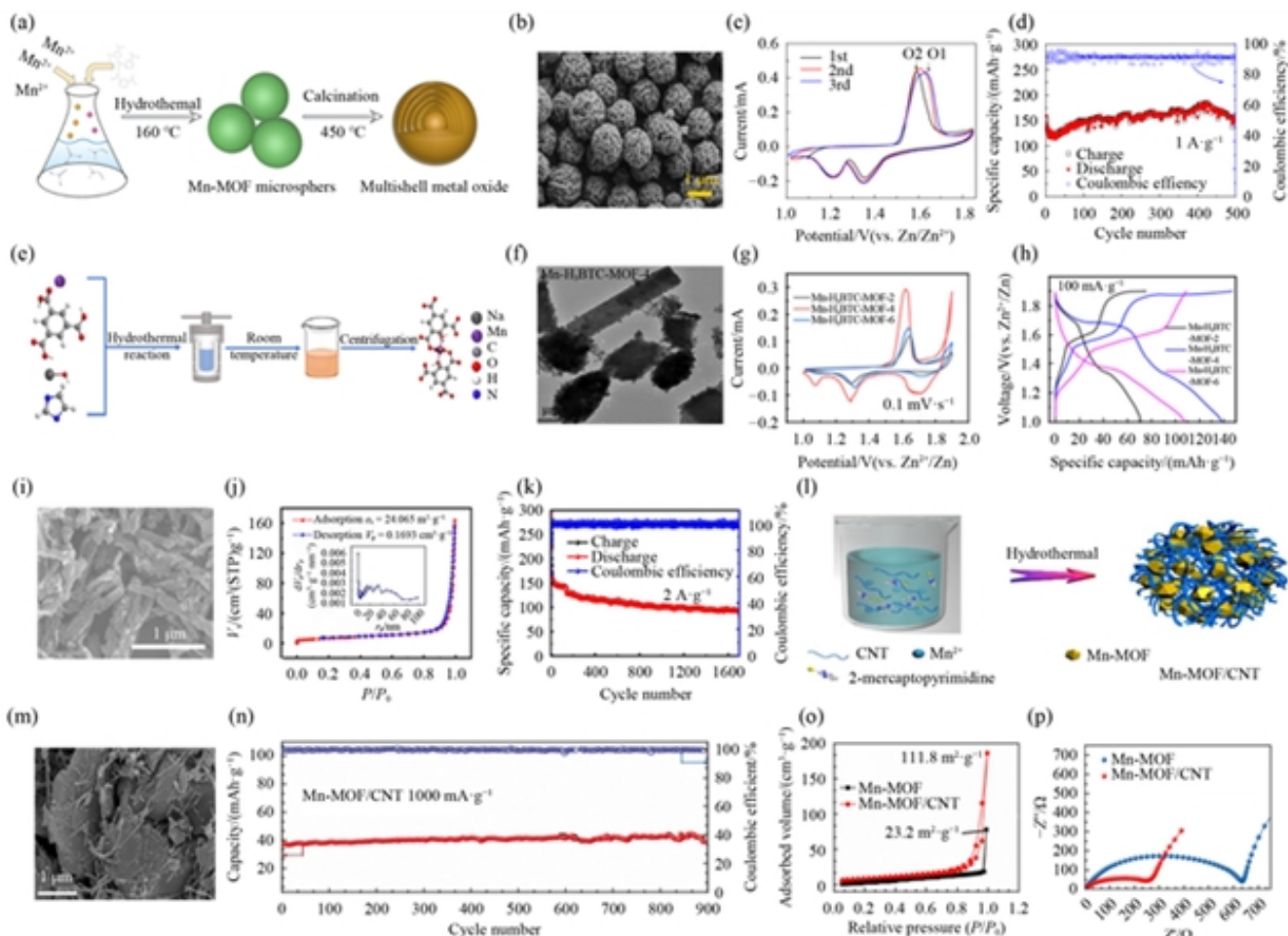


图3 (a) 合成过程示意图; (b) SEM; (c) CVs (d) Mn₂O₃ MHS的长期循环性能和CE; (e) Mn-H₃BTC-MOF中Mn(II)合成过程的示意图; (f) Mn-H₃BTC-MOF-4的HRTEM图像; (g) Mn-H₃BTC-MOF-2、Mn-H₃BTC-MOF-4、Mn-H₃BTC-MOF-6的CVs (h) 充/放电曲线; (i) SEM; (j) 吸附/解吸曲线和 (k) α -Mn₂O₃的循环性能; (l) 制备过程的示意图; (m) Mn-MOF/CNT的SEM和 (n) 循环性能; (o) Mn-MOF/CNT和Mn-MOF的N₂吸附-脱附等温线和 (p) Nyquist图

碳包覆是减轻锰基阴极材料中Mn²⁺溶解、提高电导率和改善电化学性能的有效策略。文章介绍了多种碳包覆材料的制备及其对电池性能的影响，同时指出该策略仍有进一步优化的空间。

优化电解质是提高锰基阴极材料循环稳定性和反应动力学的关键策略。通过调整电解质的组成和浓度，可以形成稳定的固体电解质界面层，抑制锰溶解，减少寄生反应，维持结构完整性，但目前对其详细机制和实际设计原则的讨论仍有限。

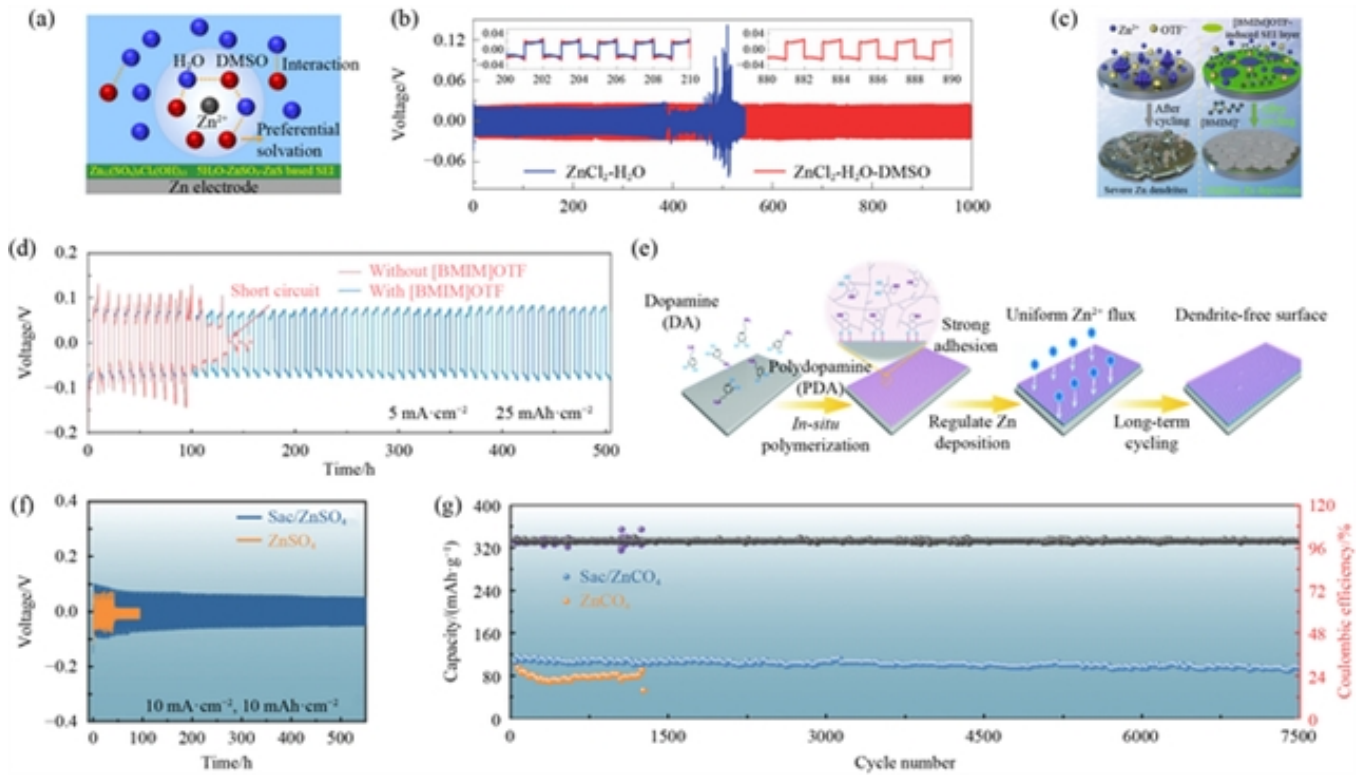


图4 (a) Zn²⁺溶剂化结构和锌表面钝化示意图; (b) Zn/Zn对称细胞; (c) [BMIM]OTf添加剂稳定Zn沉积过程的示意图; (d) Zn/Zn对称细胞; (e) 多功能PDA SEI原位形成的示意图; (f) 在Sac/ZnSO₄和ZnSO₄电解质中测试的Zn对称电池的电压曲线; (g) 使用Sac/ZnSO₄和ZnSO₄基电解质的Zn-MnO₂全电池的循环稳定性

文章总结了AZIBs中锰基阴极材料的研究进展，包括结构工程、离子掺杂、MOFs应用、碳材料掺入和电解质优化等方面的成果。同时指出，未来的研究应集中在材料性能优化、界面和结构设计以及先进测试和模拟技术的应用上。AZIB有望成为下一代能源存储系统的基石，为更可持续和更环保的能源解决方案提供强有力的支持。

文章信息

Advances in manganese-based cathode electrodes for aqueous zinc-ion batteries

Haixiang Luo, Hui-Juan Zhang, Yiming Tao, Wenli Yao, Yuhua Xue

Abstract:

Aqueous zinc-ion batteries (AZIBs) are emerging as a promising option for next-generation energy storage due to their abundant resources, affordability, eco-friendliness, and high safety levels. Manganese-based cathode materials, in particular, have garnered significant attention because of their high theoretical capacity and cost-effectiveness. However, they still face substantial challenges related to rate performance and cycling stability. To address these issues, researchers have developed various strategies. This review focuses on the key advancements in manganese-based cathode materials for AZIBs in recent years. It begins with a detailed analysis of the energy storage mechanisms in manganese-based cathodes. Next, it introduces a variety of manganese-based oxides, highlighting their distinct crystal structures and morphologies. It also outlines

optimization strategies, such as ion doping (both monovalent ions and multivalent ions), the preparation of Mn-based metal-organic frameworks (MOFs), carbon materials coatings, and electrolyte optimization. These strategies have significantly improved the electrochemical performance of manganese-based oxide cathodes. By systematically analyzing these advancements, it aims to provide guidance for the development of high-performance manganese-based cathodes. Finally, it discusses prospective research directions for manganese-based cathodes in AZIBs.

Keywords:

AZIBs; manganese-based cathode materials; manganese oxide; ion doping; carbon coating; electrolyte optimization

Cite this article:

Haixiang Luo, Hui-Juan Zhang, Yiming Tao, Wenli Yao, Yuhua Xue. Advances in manganese-based cathode electrodes for aqueous zinc-ion batteries. *Front. Energy*, <https://doi.org/10.1007/s11708-025-0983-7>

扫描二维码，阅读原文



期刊简介

Frontiers in Energy是中国工程院院刊能源分刊，高教社Frontiers系列期刊之一。由中国工程院、上海交通大学和高等教育出版社共同主办。翁史烈院士和倪维斗院士为名誉主编，中国工程院院士黄震、周守为、苏义脑、彭苏萍担任主编。加拿大皇家科学院、加拿大工程院、中国工程院外籍院士张久俊，美国康涅狄格大学校长、教授Radenka Maric，上海交通大学教授Nicolas Alonso-Vante和巨永林担任副主编。

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
上海交通大学



巨永林
上海交通大学

Frontiers in Energy已被SCIE、EI、Scopus、CAS、INSPEC、Google Scholar、CSCD、中国科技核心期刊等数据库收录。根据《期刊引证报告》，本刊2024年影响因子为6.2,在ENERGY FUELS学科分类中位列55位(55/182)，处于JCR Q2区。2024年度CiteScore为6.9，在Energy领域排名#77/299；2025年即时CiteScore为8.1（数据截至2025年7月5日）。

Frontiers in Energy出版能源领域原创研究论文、综述、展望、观点、评论、新闻热点等。选文注重前沿性、创新性和交叉性，涉及领域包括：能源转化与利用，可再生能源，储能技术，氢能与燃料电池，二氧化碳捕集、利用与封存，动力电池与电动汽车，先进核能技术，智能电网和微电网，新型能源系统，能源与环境，能源经济和政策。

Frontiers in Energy免收版面费，并为录用的文章提供免费语言润色服务，以确保出版质量。第一轮平均审稿周期30天，从审稿到录用平均60天。

更多信息请访问：

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

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

联系我们：

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

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



《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A&HCI、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式，保证文章以最快速度发表。

中国学术前沿期刊网

<http://journal.hep.com.cn>



来源：Frontiers in Energy

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](https://www.iikx.com)转发