

未来“锌”途：离子电池技术革新与多元应用探索

孙靛盈 万千慧 郑如洁 陈静美 王雅琦

江西应用科技学院, 江西 南昌 330100

摘要: 本文就锌离子电池的环保特性聚焦其正极材料及潜在市场进行探索。锌离子电池绿色环保、无毒无害、高安全性、成本低廉以及原料丰富等诸多优点,使其在新能源存储领域应用前景广泛。综合评估其发展现状、市场潜力及环保特性,锌离子电池有望成为未来能源存储领域的重要力量,为实现绿色低碳、可持续发展提供有力支持。然而目前锌离子电池正极材料尚存不足,还未普遍推广到市面上使用,因此,进一步推广锌离子电池,攻克锌离子电池目前现存的难题,对于实现“全面绿色转型”具有重要意义。

关键词: 锌离子电池; 环保; 市场; 能源

DOI:10.63887/jeti.2025.1.3.11

研究背景

近年来在全球范围内,“节能”和“环保”问题的社会关注度越来越高,作为最大的发展中国家,我们所面临的环境保护挑战愈发严峻。为此,我国政府尤为注重“绿色化”的发展。为实现经济的可持续发展,在2024年7月18日,党的二十届三中全会通过《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》,围绕《决定》提出的“促进经济社会发展全面绿色转型”。

随着社会不断发展进步,我国经济建设取得了显著的成就,但化石燃料的使用使得环境污染、破坏等问题也日益严峻,使人们逐渐重视清洁能源,但这些能源的使用是间歇性的,因此就需要优化储能系统应对挑战。在过去几年,Chen等人的研究成果中,特别是金属离子电池在内的电化学储能系统引起了人们的广泛关注,传统金属电池会因为和有机物发生化学反应,存在产生有毒气体、易燃等弊端,对此Chen等人通过研究发现锌离子电池具备高安全性、环保、低成本等优点,对解决能源和环境问题具有重要意义。但锌离子电池由于

正极材料存在部分不足,它的使用还未普遍推广到市面上^[1-2]。

因此,进一步推广锌离子电池,攻克锌离子电池目前面对的难题,对于实现“全面绿色转型”具有重要意义。

一、当前电池市场电池的痛点及解决方案

在能源存储技术快速发展的背景下,相较于锂离子电池成本高、电解质提纯难、安全隐患及环境污染等问题,锌离子电池展现出独特竞争力。

在安全方面,锌离子电池通过智能温控技术实时监测与调节电池温度,大幅降低热失控风险,延长电池使用寿命;对于能量密度,锌离子电池虽然目前没有达到锂离子电池的顶尖水平,但其充放电效率高,且随着技术的进步,已能满足多数场景需求;成本上锌资源丰富、价格低廉,生产工艺简化,随着规模化生产,将推动成本进一步下降;环保方面,锌离子电池使用的水基电解液绿色无污染。而针对锌离子电池枝晶生长影响电池的循环寿命问题,科研团队通过导电添加剂与界面工程技术

有效抑制结晶形成，提升电池耐久性并减少资源浪费^[3]。

综合来看，锌离子电池以绿色安全、高性价比的潜力，有望推动能源转型战略，助力解决环保挑战，为未来储能市场提供更优解决方案。

二、锌离子电池构造

锌离子电池是把化学能转化为电能的一种装置，通常由正极、负极、电解液、隔膜等部件组成。锌离子最常用到的正极材料可以使

Zn²⁺可选的嵌入/脱出从而储能，从而产生电能（图1）；锌离子电池的电解液采用的是近乎中性的硫酸锌、醋酸锌等水溶液，在中性/酸性电解液中，Zn²⁺可以自由存在，锌离子电池在中性或弱酸性溶液中的四种反应机理：Zn²⁺嵌入/脱出反应机制、Zn²⁺离子和 H⁺的共嵌入/脱出、化学转化反应、溶解-沉积反应^[4]；隔膜位于正极和负极之间，防止两者直接接触，同时允许离子通过，确保电池的安全运行。电池壳用来保护电池各部件，同时使内部与外界隔离。



图 1: 锌离子嵌入/脱出反应机理

三、正极材料改性和实现高性能锌离子电池

锌离子电池因为具有高理论比容量、高离子电导率、优异的安全性以及锌负极相对较低的电位等优点，成为一种有前途的锂电替代品。然而，锌离子电池中的正极材料各有优缺，我们需要发挥他们的优势，改进他们的缺点，从而提升性能。

（一）锰基化合物

锰基化合物是一种常见的锌离子电池正

极材料，具有高容量，高电压和价格便宜、环保、安全性好等优势。然而，锰基化合物导电性能相对较差，在充放电的过程中容易发生结构坍塌的问题，影响其循环寿命。为了提升锰基化合物的性能。Li 等人将 Fe³⁺掺杂至水钠锰矿中，均匀水钠锰矿中八面体的 Mn-O 键并降低 Mn 的价态，抑制 Jahn-Teller 畸变，显著锁定晶格水，抑制循环过程中的结构坍塌^[5]。Fe³⁺和晶格水的协同作用削弱了与 Zn²⁺的相互作用，促进了 Zn²⁺传输，并提高水钠锰矿的电导率，从而增强 Zn²⁺存储动力学（图2）。

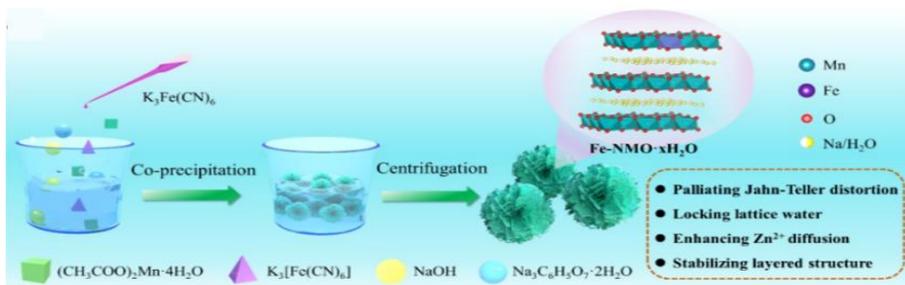


图 2 所制备的 Fe-NMO · xH2O 的合成路线示意图

(二) 钒基化合物

钒基化合物具有高能量密度和长循环寿命的特性。在充放电过程中，钒基元素容易溶解出来，从而使正极材料发生结构坍塌，让锌离子电池的性能下降。锌离子在钒基化合物中的扩散速率相对较慢，这极大限制了电池的充

放电速度和能量密度。为了克服这些挑战，Tong 等采用溶剂热法合成了一组不同层间间距，如 14.8, 15.6 and 16.5 Å 的苯胺插入的 VOPO4 · 2H2O (图 3) 材料和苯胺插入工程锌离子存储容量调节方案, 显著增加了水电解质中的疏水性, 抑制了 VOPO4 · 2H2O 的分解/溶解, 提高其结构稳定性, 延长循环寿命。

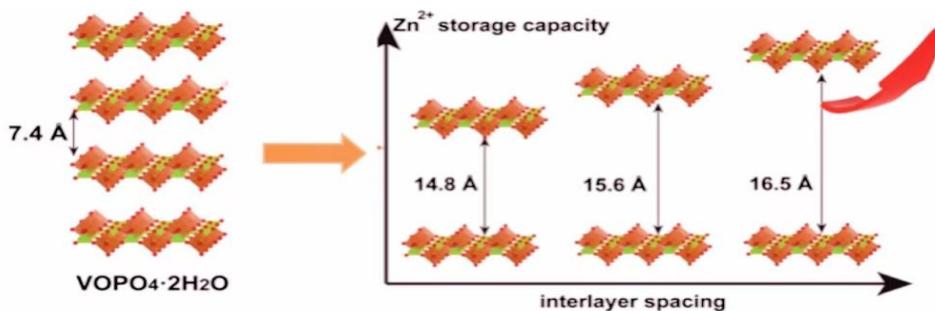


图 3 苯胺插入工程锌离子存储容量调节方案

(三) 普鲁士蓝类似物

普鲁士蓝类似物具有较大的隧道结构, 可允许离子的嵌入/脱出。同时, 能量密度高, 成本低廉。但其存在倍率性能差、热稳定性差、库伦效率低 (≤90%) 等问题。

对此 Wang 等人通过适当的阳离子掺杂、缺陷工程、表面涂层、高浓度电解质和电解质添加剂等策略提高普鲁士蓝类似物的结构稳定性和容量结构等性能, 通过优化合成条件, 如调整反应温度、时间、pH 值等, 引入其他金属离子进行掺杂或取代, 增强普鲁士蓝类似物的结构稳定性, 提高循环性能。

四、锌离子电池市场分析

(一) 锌离子电池产业现状

锌离子电池产业链上游以正极材料和金属锌(负极)为主, 锌资源储量丰富, 成本优势显著。同时, 下游应用已验证其高安全性、低成本等特点, 符合“双碳”政策下电池行业的发展需求。此外, 凭借环保、高能量密度及高性价比等优势, 锌离子电池在储能领域潜力巨大。目前, 国内部分企业已在商业化应用未来有望成为储能市场的重用上取得突破, 重要解决方案。

(二) 锌离子电池未来市场展望

锌离子电池凭借成本低、安全性高、环保等优势, 在多个领域展现巨大潜力。在高端技

术与探索设备领域，其高能量密度和耐低温性可为航空航天、深海探测等极端环境设备提供稳定电力。在储能领域，长循环寿命和高效率特性适合存储可再生能源，支撑智能电网发展。同时，高安全性和快充能力使其成为电动汽车的理想动力源。此外，环保特性让锌离子电池

有望应用于人体植入式医疗设备。对于智能手机、平板等便携电子产品，其高功率密度和长续航优势能显著提升用户体验。随着技术进步，锌离子电池将在能源、交通、医疗等领域发挥更重要作用（图4）。

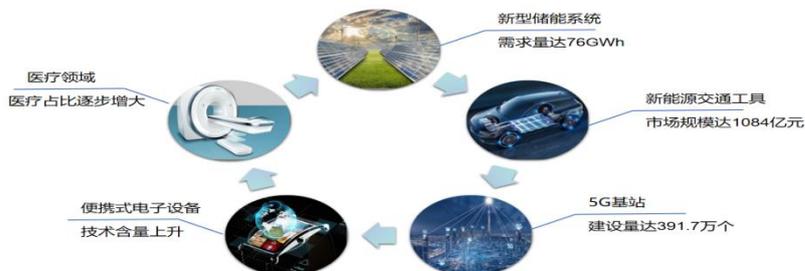


图4 未来锌离子电池可能的主要运用领域

结语

综上所述，随着全球科技革命和产业变革的不断深入推进，电池技术作为新能源领域的核心，正迎来前所未有的发展机遇与挑战。而锌离子电池凭借其独特的环保优势、较高的安全性以及不断提升的能量密度和成本效益，有

望成为新能源存储技术中的一颗璀璨新星。尽管它目前的市场占有率较低，但相信随着锌离子电池正极材料的不断改善，它将对我国的能源转型、电力安全治理、电能质量管理、“新能源+储能”新型电力系统构建等相关战略部署发挥出重要作用。

参考文献

- [1]陈兴华. 多孔碳/锰基纳米材料设计及其在水系锌基储能器件中的应用[D]. 浙江师范大学, 2023.
- [2]陈艳丽, 朱传正, 邱园, 等. 水系锌离子电池的制备与性能测试综合性实验项目设计[J/OL]. 天津理工大学学报, 1-6[2024-12-13].
- [3]杨文博, 谢孝坤, 武睿, 等. 水系锌离子电池正极材料研究现状与展望[J]. 煤炭学报, 2022, 47(09): 331-336.
- [4]全云霄. 水系锌离子电池钒氧化物正极优化设计及储能机理研究[D]. 宁夏大学, 2022.
- [5]王鹏, 张桂林, 唐晶晶, 等. 水系锌离子电池正极材料研究进展[J]. 有色设备, 2024, 38(03): 1-9.