

中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7 月 5-8 日, 2025

福建 厦门

A08-水系电池
A08-Aqueous Batterie

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



A08. 水系电池

分会主席：麦文杰、赵灵智、晁栋梁、范红金、支春义、康飞宇

A08-01

待定

李先锋¹

1. 中国科学院大连物化所

A08-02

介观尺度储能材料的创制与应用——高性能水系锌离子电池关键材料设计及优化

熊胜林¹

1. 山东大学

该报告主要针对当前水系锌离子电池正极材料存在的模糊的电荷存储机制及储锌效率、备受困扰的正极溶解等问题，选择具有不同阴离子构型的钒基氧化物等作为水系锌离子电池正极材料，为高能量密度储锌正极材料设计提供理论基础；其次，探究不同电解液添加剂对电化学性能、电压窗口及负极可逆性等关键指标的影响；再次，对锌负极进行界面改性及结构设计，通过探究改性材料对锌定向沉积的影响规律，得到低成本高效的负极保护策略。最后对正极、负极及电解液进行优化匹配，进行全电池的电化学性能测试及其影响因素，然后通过制备软包电池对其应用性能进行评估。为高性能水系锌离子电池体系的构筑提供有效思路和解决方案。

A08-03

卤素基水系锌离子电池正极材料

李成超¹

1. 广东工业大学

A08-04

电解液探索突破硫基水系电池低温性能

林紫锋¹

1. 四川大学

可充电水基电池在大规模储能领域具有广阔前景，但其实际应用受限于较低的能量密度和低温环境下的性能劣化。现有低温水基电池多依赖离子嵌入型正极，这类电极存在容量受限的固有缺陷。基于硫化学的水基电池虽具备高理论比容量，但在低温环境下性能表现欠佳。当前提升低温性能的策略通常需引入非电化学活性添加剂，导致室温性能受损。本报告提出一种基于 $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$ 电解质体系的低温硫基电池，该电解质具有 $-119.8\text{ }^\circ\text{C}$ 的超低凝固点，且在 $-60\text{ }^\circ\text{C}$ 时仍保持 5.16 mS/cm 的离子电导率。相较于传统 CuSO_4 基体系，该电解质能实现更快的反应动力学和更高的整体能量密度。基于正负极总质量计算，所构建的锌-硫电池在 $-50\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下展现出 348 mAh/g 的超高放电容量和 339 Wh/kg 的能量密度，这一性能指标显著优于现有水基电池体系

A08-05

水凝胶电解质设计及电池构建

杨培华¹

1. 武汉大学

随着电子设备的快速发展，电池性能需求持续提升。水凝胶由于其本征的力学、电学和化学等优势，为电解质设计提供了新的机会。尽管基于水凝胶电解质的水系电池取得了进展，但水凝胶的功能设计与电

池的性能预期之间仍存在差距。我们将简要介绍水凝胶的基本性质,重点讨论其内部水分和离子结构特征,以及聚合物凝胶材料对电极稳定性和反应动力学的影响,并进一步阐明相关调控策略与发展潜力,为高性能水系电池研究和设计提供参考。

A08-06

面向生物医用的廉价水系锌电核心材料研究

吕玮¹

1. 华北电力大学

采用廉价 γ - MnO_2 为原料制备的 K^+ 预嵌 δ - MnO_2 与 NMP 改性 ZnSO_4 电解液匹配,电池库伦效率接近 100%。合成以果皮垃圾为碳源的 N 掺杂生物质碳负载 γ - MnO_2 复合正极,循环 3000 圈 (5 A g^{-1}) 容量保持率为 92.17%,体外细胞毒性试验结果表明该复合正极具有优良的生物兼容性和安全性,未来有望应用于心脏起搏器等可植入医疗电子设备的供电电源。原位合成含 O 空位的 C 包覆 δ - MnO_2 正极在 10 A g^{-1} 大电流密度下循环 4000 圈容量保持率为 90.88%,该正极材料可以有效抑制女性宫颈癌细胞和卵巢癌细胞增殖并促进肿瘤细胞凋亡,为新一代以患者为中心的药物抗癌提供了新思路。

A08-07

非共价键调控的高倍率长寿命水系锌离子电池

柴国良^{*1}、李建伟²、杨梓民¹、邓思婷¹、吴铭强¹、佟昊¹

1. 中国科学院福建物质结构研究所

2. 中国科学院青海盐湖研究所

水系锌离子电池因其低成本、高安全性和环保性,已成为储能应用中最有潜力的技术之一。然而,电池负极面临着腐蚀、析氧/析氢反应以及枝晶生长等一系列问题。这些问题会降低电池的使用寿命并产生安全隐患,从而严重阻碍了锌离子电池的发展。通过非共价键调控,报告人和合作者在负极方面进行了系列研究:

(1) 引入两亲性小分子 3-羟基苯基氧磷基丙酸 (HPA) [1] 作为电解液添加剂,实现了水系锌离子电池的锌负极界面高可逆性和长循环寿命性能。HPA 具有多个锌离子配位位点并在溶液中通过非共价键构建了球形胶束分子网络,定向吸附/转移水系电解液中的 Zn^{2+} ,从而起到离子稳流器的作用。此外,HPA 的疏水基团构筑了界面局域疏水结构,进一步抑制了界面析氢和腐蚀。因此,在 4 mA cm^{-2} 的条件下,在长达 2100 次循环后,锌沉积/剥离过程的平均库伦效率高达 99.91%。并且,添加 HPA 的 $\text{Zn}||\text{Zn}$ 对称电池在 0.5 mA cm^{-2} 的电流密度下的循环寿命超过 7000 小时,并在 120 mA cm^{-2} 的高电流密度下表现出卓越的可逆性。

(2) 进一步采用聚合物甲氧基聚乙二醇磷酸酯 (mPEG-P) [2] 作为电解液添加剂,实现了水系锌离子电池优异的抗日历老化和高倍率性能。mPEG-P 的聚阴离子通过非共价作用自组装并在界面形成聚醚型阳离子通道和原位有机-无机混合固体电解液界面相层,从而促进了 Zn^{2+} 的快速传质并抑制了界面副反应。含有添加剂的 $\text{Zn}||\text{Zn}$ 对称电池在 120 mA cm^{-2} 和 200 mA cm^{-2} 的超高电流密度条件下,寿命分别超过 9000 次和 2500 次循环。在长期的静态腐蚀过程中 ($4\text{h} \rightarrow 30\text{days}$),添加剂调控锌负极表面形成平整多孔的钝化层,使锌负极具有较强的抗腐蚀能力。并且,经过 15 天日历老化处理后,含有添加剂的 $\text{Zn}||\text{Cu}$ 电池的库伦效率 (88.21%) 远高于不含添加剂电池的库伦效率 (36.4%)。此外,采用原位电化学微分质谱仪验证了添加剂的加入显著抑制了锌负极界面的产气副反应,从而减缓了锌的腐蚀和副产物的形成。

(3) 采用具有高偶极矩的二甲基 (3,3-二氟-2-氧庚基) 膦酸盐 (DP) [3] 作为电解液添加剂,高永久偶极矩的添加剂分子 (DP) 可以通过较强的离子偶极相互作用有效地取代 H_2O 与载流子的配位,从而形成溶剂化 Zn^{2+} 的贫水环境。同时,氧的孤对电子和 DP 的氟化特性也增强了金属锌的界面亲和性,有利于锌的可逆平面化沉积。 $\text{Zn}||\text{Zn}$ 对称电池在梯度倍率测试中可以承受 25 mA cm^{-2} 和 25 mAh cm^{-2} 的高电流密度和面积容量。同时,在低电流密度下具有 3800h 的长循环寿命。

(4) 提出了一种使用两性离子添加剂的 Zn^{2+} 溶剂化结构。引入甘油磷酰胆碱 (CGP) [4] 作为代表性的

两性离子添加剂，塑造两性离子分离离子对（ZSIP）结构。带正电荷和带负电荷的两性离子可以通过非共价键相互作用与 Zn^{2+} 及阴离子相互作用。具有空间位阻效应的大尺寸添加剂可以在离子对之间产生相对较少的 H_2O 分子。CGP 分子将传统的 SSIP 结构重新配置为 ZSIP，导致 Zn^{2+} 溶剂化壳内的 H_2O 分子减少，并且由于强氢键网络的断裂而增强了 H_2O 的分子内 O-H 共价键，减少了 Zn 脱溶剂化过程中容易释放的活性 H_2O 分子。ZSIP 使 $\text{Zn}/\text{NH}_4\text{V}_4\text{O}_{10}$ 电池在较高的 5 A g^{-1} 电流密度下，在 14000 次循环后的容量保持率达到 85%。

A08-08

水系有机液流电池：从材料到过程研究

梁振兴¹

1. 华南理工大学

水系有机液流电池因具容量/功率解耦内禀特征，为本征安全长时储能技术，目前面临着容量、稳定性、功率、能效等系列技术挑战。围绕水系有机液流电池“有机分子创制、溶液介观结构及传递-反应耦合规律”核心科学问题进行报告，主要包括：1. 开展面向技术需求的有机储电分子工程研究，提升电池储电容量和电位；2. 开展基于化工热力学的溶液介观结构与调控研究，创新工程研究方法，揭示浓度-荷电态依赖的分子聚集态及调控机制；3. 开展多孔电极内流动-传递-反应耦合机制及过程强化研究，提出有机储电体系溶液变粘度特征及其对传递与反应过程的影响规律，发展新型孔隙梯度微纳结构电极强化多子传递过程，显著提升电池性能。

A08-09

新型反应电对赋能下一代水系电池

晁栋梁¹

1. 复旦大学

近来手机、电动汽车、储能电站自燃、爆炸等事故连连，电池本身的安全性受到了高度关注。另外，我国 70% 的锂电池资源都依赖进口，开辟新赛道，保障国家能源安全的新型安全电池技术至关重要。面向国家对新一代安全电池技术的迫切需求，积极响应总书记发展新质生产力的号召，晁栋梁所带领的 eAB 团队致力于发展具有本征安全、低成本特性的新型水系电池。跳出现有电池体系及方案，该报告将从水系电池面临的瓶颈——能量密度（ $<50 \text{ Wh/kg}$ ）出发，以电化学反应的基本单元——氧化还原反应电对的精细调节为核心，以设计制备稳定可逆的多电子转化反应为手段，发展电化学反应路径可控定制与追踪方法、创制高容量高电压反应电对、构筑新型水系电池体系，最终为高比能水系电池（ $>150 \text{ Wh/kg}$ ）的设计提供系统的器件化解决方案。

A08-10

面氢气二次电池

陈维¹

1. 中国科学技术大学

可充电电池在高能量密度和大规模储能应用方面起到至关重要的作用。然而，对低成本、长循环和日历寿命的严格要求限制了大多数电池化学在储能领域的广泛应用。近年来，我们利用氢气氧化还原反应作为电极开发了新一代氢气二次电池，该电池具有安全、高能量和稳定的电化学性能。在本次报告中，我将介绍一类氢气二次电池新体系，包括水系镍-氢气电池、质子-氢气电池、卤素-氢气电池和非水系锂-氢气电池。我还将讨论氢气电池的一些扩展应用，包括自充电电池、解耦电解水制氢和金属介导的氮气还原制氨。氢气二次电池在大规模和高能量储能应用中展现出优异的前景。

A08-11

水系卤素正极电池设计与性能研究

黄燕¹

1. 哈尔滨工业大学（深圳）

最近几年来，依靠多级化学转化反应同时获得高容量和高电位，实现高能量密度的可充电卤素电池引起了人们的关注。然而缺乏有效固定卤素物种的材料，限制了上述优势的充分发挥。通过氢氟酸选择性刻蚀层间 Al 元素和层内 Y 元素，制备出了具有传统非电化学活性端基的 $\text{Mo}_{4/3}\text{B}_{2-x}\text{T}_z$ 二维材料，该二维材料对碘物种 (I^- 、 I_3^- 、 I_2) 的吸附能明显高于之前报道的传统碳基碘物种吸附材料[1]；通过熔融盐刻蚀合成了具有电化学活性端基 ($-\text{Br}$) 的 $\text{Mo}_{4/3}\text{B}_{2-x}\text{T}_z$ 二维材料，并作为碘物种的宿主材料应用于水系锌电池，该电池在 0.4 – 2.1 V 的电压范围内，分别发生 I^-/I 和 Br^-/Br 的转化反应机制[2]；设计了以对各种碘阴离子物种惰性的有机材料（PTCDI：3, 4, 9, 10-茚四甲酰二亚胺）为负极的新型碘正极电池，利用电解液中的碘，在正负极上增加了一对 $\text{I}^-/\text{I}||\text{I}/\text{I}^+$ 的氧化还原反应，使正极容量进一步提升了 75%[3]。

参考文献：

- [1] Zishuai Zhang, Wei Ling, Ninggui Ma, Jiaqi Wang, Xiaoyang Chen, Jun Fan, Miao Yu*, Yan Huang*. Ultralong cycle life and high rate of $\text{Zn}||\text{I}_2$ battery enabled by MBene-hosted I_2 cathode. *Advanced Functional Materials*, 2024, 34, 2310294.
- [2] Zishuai Zhang, Yi Li, Funian Mo, Jiaqi Wang, Wei Ling, Miao Yu*, Yan Huang*. MBene with redox-active terminal groups for an energy-dense cascade aqueous battery. *Advanced Materials*, 2024, 36, 2311914.
- [3] Zishuai Zhang, Yilong Zhu, Miao Yu*, Yan Jiao*, Yan Huang*. Development of long lifespan high-energy aqueous organic||iodine rechargeable batteries. *Nature Communications*, 2022, 13: 6489, 1~11.

A08-12

Failure Mechanisms of Layered Vanadium Oxide Cathodes in Aqueous Zinc Ion Batteries

李智¹

1. 阿尔伯塔大学

Aqueous zinc ion batteries (ZIBs) attract increasing attention as alternative energy storage technologies due to their merits of safety and low cost. However, the continuous dissolution of active materials in vanadium oxide-based ZIBs has posed an unavoidable challenge. Here, we systematically analyzed the dissolution mechanism using both ex-situ and in-situ methods. Experimental data revealed an excessive reduction in vanadium valence following H^+ insertion above 1.0 V (vs. Zn^{2+}/Zn), primarily attributed to vanadium dissolution rather than Zn^{2+} insertion. Theoretical calculations indicated that protons inserted both in the layered structure and surface preferentially form monodentate coordination with oxygen, resulting in a significant increase in local electron density around V atoms and leading to a pronounced reduction in V valence and subsequent dissolution. Consequently, dissolved V will precipitate with Zn^{2+} under the remained OH^- ions in electrolytes, further exacerbated by net OH^- generation due to H_2 evolution at the zinc anode. Meanwhile, surface-inserted H^+ exhibits an easily de-insertion feature due to the lower binding energy compared to Zn^{2+} and the layer-inserted H^+ . As a proof of concept, without additives or cathode modifications, electrochemical improvement in $\text{Zn}/\text{NH}_4\text{V}_4\text{O}_{10}$ and $\text{Zn}/\text{V}^{2+}\text{O}_5$ batteries was achieved by simply reducing the cut-off voltage or increasing the current density at high voltage to directly inhibit H^+ insertion or promote the favorable surface-dominant H^+ insertion. We contend that gaining insight into the thermodynamic properties and understanding the chemistry and electrochemistry-related failure mechanisms are crucial for designing advanced materials and ensuring their practical applicability.

A08-13

基于共轭碳材料的柔性储能

赵扬¹

1. 北京理工大学

新型储能器件的开发正朝着尺度多样化、轻质柔性化及微纳集成化等方向不断探索。具有共轭结构的碳纳米材料可为该类器件的进一步发展提供理想的材料平台。然而以共轭碳基材料为基元构筑电极结构时，组装结构内各组分力学性能差异会引发内应力，造成共价分子骨架断裂、分子构象转变（如弯曲、拉伸或扭转）或分子间有序结构崩坏等问题，使分子内和分子间电子传输路径受阻，进而导致储能器件性能降低甚至失效。因此，精准调控共轭碳组装结构的内部应力并揭示应力耗散对储能性能的影响机制对提升储能性能、稳定性及开发下一代柔性储能器件具有十分重要的意义。为此，我们针对共轭碳材料，在分子内、分子间、组装体微结构和宏观界面的不同尺度下对电极材料进行结构设计，发展了力学适配电极界面、内应力动态耗散微结构、常态化内应力模型，实现了共轭分子内、分子间以及界面的电子运输特性的精确调控，阐明了应变原位活化机制，成功实现了高导电、柔性电极材料的构筑，并探索其在智能、生物兼容等柔性储能领域的应用。该报告将介绍我们在碳基材料的多维加工方法、图案化制备，以及新型柔性储能器件领域所取得的进展。

A08-14

基于电化学原位谱学的水系二次电池表界面机理研究

余小雨¹

1. 厦门大学

采在分子水平原位表征金属离子电沉积过程中电极/电解液表界面性质是水系电池领域的长期挑战，对理解界面物种调控的本质、指导设计高效的功能性电解液具有重要的科学意义。本报告将电化学原位红外光谱和理论计算结合，解耦电极/电解液界面的电场和浓度场，在水系电池领域建立起电化学原位谱学可视化金属离子动态去溶剂化过程浓度场演化的表征方法。研究发现，在基础的硫酸锌电解液中，锌沉积/溶出过程存在两个关键的变化阶段，即在瞬时电位下初始双电层建立形成水富集的界面，和随后界面氢键的动态演化。锌沉积/ Zn^{2+} 去溶剂化过程形成 diluted 界面（氢键数量增加，强度减弱），导致大量氢气产生（竞争 HER）；相反，锌溶出/ Zn^{2+} 溶剂化过程形成 concentrated 界面（氢键数量减少，强度增加），产生少量氢气（腐蚀 HER）。而且，浓度的增加和共溶剂的引入会通过提高界面平均去溶剂化程度而改变物种浓度场分布，有利于促进 Zn^{2+} 对电子的竞争并同时抑制 HER。本报告明确多物种间多场耦合的构效关系和协同效应的本质，归纳出表界面反应机理的部分共性与特性，建立对应的量化指示符，以此为导向优化反应过程并为电解液设计提供理论指导，推动下一代高能量密度水系二次电池的发展。

A08-15

取向沉积调控助力稳定的锌金属负极

杨先中¹

1. 上海理工大学

水系锌离子电池凭借其高安全性、低成本、环境友好性及高理论容量等优势，被视为下一代大规模储能系统的理想候选者。但是枝晶生长和析氢反应等问题严重制约着负极的稳定性，限制了锌离子电池的商业化进程。采用合适的策略诱导锌沿着特定的晶面取向沉积，可以有效抑制枝晶生长，同时由于致密的排列也降低了电极的表面积，减缓副反应的发生，这将显著提升负极的循环稳定性。

A08-16

长循环寿命水系电池的开发

陆俊¹

1. 浙江大学

水系电池因为其本征安全性，低成本等优势受到大规模储能需求的青睐，但其实际应用由于其衰减迅速而

严重受限。因此，我们通过先进结构表征和可视化成像，率先揭示了传统隧道状二氧化锰的工作机理，并观测锌沉积过程中电流密度与沉积方式相关性，阐明正负极的不同衰减机理以及水系锌电循环衰减迅速的本征性原因。再通过离子支撑二氧化锰隧道，层状结构引入氧缺陷，调控层间水含量等电极结构设计，优化传统锰基，钒基正极材料循环性能。并利用人工构建 SEI，电解液添加剂，3D 打印设计集流体等技术，成功制备具有稳定循环的锌负极。对水系锌电探索过程中，还研究了质子的贡献作用，并基于此开发出了具有超快倍率性能的普鲁士蓝正极，以及超低温质子全电池。为传统水系电池研发提供理论指导的同时开发水系新体系以满足不同储能需求

参考文献:

[1] Nat. Sustain., 2022, 5, 890-898

A08-17

在 Cell Press 发表材料科学研究

林宇卿¹

1. Cell Press 出版社

本讲座旨在向大家介绍 Cell Press 细胞出版社的物质科学期刊阵容，尤其是材料学科刊物 Matter 的期刊宗旨与定位，并向大家介绍 Matter 的文章发表现状与遴选过程，让投审稿流程更清晰透明。同时简单介绍 Matter 最近主办和参与的一些学术活动，期望有机会和老师同学们多多交流。

A08-18

一体化水系柔性储能器件

刘金平¹

1. 武汉理工大学

一体化水系柔性储能器件由凝胶聚合物电解质与薄膜型正负极一体化构成，具有能量密度高、安全、轻薄等特点，在未来可穿戴/柔性电子以及微电子应用等领域具有极大的潜力。本报告首先汇报本课题组在三维阵列薄膜电极及凝胶聚合物电解质方面的进展；进一步设计 3D 电极-凝胶聚合物电解质一体化器件结构，通过凝胶聚合物电解质的原位成膜，极大增加了电极-电解质界面接触面积、减小了界面势垒、增强了界面稳定性，显著提高了器件性能。所得储能器件的比容量和倍率性能均明显优于传统三明治结构的器件，并基本趋近液态电解质情况。本研究为设计高性能一体化水系柔性储能器件提供了全新思路。

A08-19

锌基电池电解质研究

马龙涛¹

1. 华南理工大学

储能是实现“碳达峰”、“碳中和”目标的重要支撑技术之一。可充电锌金属电池由于高安全、低成本、活性物质来源广泛、易规模化生产和应用的特点，被认为下一代储能系统最具竞争力的候选者之一。锌金属电池体系广泛使用水系电解质。虽然水系电解质具有高安全、无污染、低成本的优势，但是（1）水分子极性太强、水系电解质电压窗口窄和冰点高，表现出水分子易分解产氢、锌枝晶生长、锌金属电极腐蚀、能量密度低和工作温度范围窄的瓶颈。其次，（2）双价锌离子穿梭于正负极之间、嵌入/脱出层状和隧道型正极材料动力学迟滞以及电极材料晶体结构易坍塌。针对上述金属锌电池领域关键问题，我们聚焦锌电池的电极/电解质界面微观结构、锌离子传输动力学以及高效“转化”型电极材料研究。先后设计和开发了高离子传导率的聚合物电解质、具有高活性材料利用率和快速反应动力学的“转化”型正极材料、致密接触的一体化电极/电解质界面、基于二氧化氮氧化还原新电化学反应的高比能水系锌电池。

A08-20

水系电池锌金属负极的界面材料研究

杨剑*、汪冬冬

1. 山东大学

水系锌离子电池 (AZIBs) 因其优异的安全性、成本效益和生态友好性而备受关注, 因此被认为是大规模储能最有前途的候选者之一。具有高重量/体积容量的锌金属负极对于高性能的水系锌离子电池来说是必不可少的。然而, 锌金属在实际应用中遇到了严峻的挑战, 包括枝晶生长、析氢反应、自腐蚀和副产物形成等等。因为所有这些反应都与电解质/锌界面密切相关, 所以对于这个界面的调控非常重要。截止目前已经有很多这方面的研究和报道。本报告聚焦界面层材料的选择、构筑和优化, 改善电解液/锌负极的界面, 抑制副反应促进锌的均匀沉积, 从而提高其电化学性能。

A08-21

水系锌基电池关键材料的快速制备技术与电池界面机制研究

田华军¹

1. 华北电力大学

高性能可充电水系锌电池越来越受到能源存储领域的广泛关注。一方面, 金属锌负极具有较低的氧化还原电位 (-0.76 V), 较高的理论比容量 (820 mAh g^{-1}) 以及可回收性等优点, 使得可充电水系锌电池更具吸引力。然而, 水系锌电池存在系列科学问题亟需解决, 其中包括: (1) 在水系锌离子电池充放电过程中, 由于锌负极表面不均匀的电场分布和吸附在锌表面的锌离子不受限制地二维扩散, 造成不均匀锌沉积, 从而形成枝状沉积物, 并且随着循环次数的增加, 锌负极表面形成枝晶。进一步地, 锌枝晶的形成容易刺破隔膜, 引起电池短路。同时, 锌枝晶的形成使得锌电极厚度不均, 造成电极变形, 部分枝晶会从锌表面断裂, 导致“死锌”的产生, 使电池整体的电化学性能降低。(2) 充放电过程中, 锌负极在水系电解液中容易发生自腐蚀和电化学腐蚀现象。同时, 锌腐蚀过程伴随着析氢反应。而在密封电池内, 由于氢气的不断产生使得电池内压不断增加, 会导致电池胀裂及电解液的泄露等问题。因此, 如何解决以上提及的系列问题, 是实现水系锌基电池实用化应用的关键。

本研究团队通过系列低成本、快速合成技术制备了系列具有功能表面结构的三维锌基合金界面材料, 正极材料等关键材料, 并详细探讨了基于不同电解液体系下锌的沉积/溶解等反应机制。1-4 研究结果表明, 优化后的三维结构锌基合金负极表面有利于高效调节锌沉积/溶解过程的反应动力学, 抑制锌枝晶的形成。所开发的界面材料在不同的水系电解质体系中具有优异的电化学性能, 可以实现高安全、长循环、高性能水系锌离子电池。该工作为抑制金属基负极枝晶生长, 稳定电极/电解液界面提供新的有效策略。本团队研发的系列关键材料快速制备技术为高性能水系锌基电池的实用化应用发展提供了有价值的参考。

参考文献

- [1] B. He, F. Zhang, Y. Xin*, C. Xu, X.Hu, X.Wu, Y.Yang*, H.Tian*, Nature Reviews Chemistry 2023, 7, 826–842
- [2] H. Tian, G.Feng, Q.Wang, Z. Li, W.Zhang, M.Lucero, Z.Feng, Z.Wang, Y.Zhang, C. Zhen, M.Gu*, X. Shan*, Y.Yang*, Nature Communications, 2022, 13, 7922.
- [3] H.Tian, Z.Li, G.Feng, Z.Yang, D.Fox, M.Wang, H.Zhou, L. Zhai, A. Kushima, Y.Du, Z. Feng*, X. Shan*, Y.Yang*, Nature Communications, 2021, 12, 237.
- [4] G. Feng†, J.Guo†, H.Tian†, Z. Li, Y. Shi, X. Li, X. Yang, D. Mayerich*, Y. Yang*, X. Shan*, Advanced Energy Materials, 2022,12(3), 2103484

A08-22

水系锌电池的高性能化策略与电池设计应用研究

刘宇

1. 中国科学院上海硅酸盐研究所

具有高比能应用潜力的水系锌电池的发展受限于界面副反应、枝晶生长及温域适应性等关键挑战。通过多尺度电解质工程创新,提出系统性解决方案:基于亲/疏水微区协同调控,重构电极/电解质界面环境,有效降低离子去溶剂化能垒并锚定腐蚀性物种,提升负极累计沉积容量至 12 Ah cm^{-2} ;创新构建仿生动态网络电解质,利用致密化结构与自适应化学键抑制自由水活性、强化机械-电化学耦合,实现 $>330 \text{ Wh kg}^{-2}$ 级能量密度;通过阴/阳溶剂化鞘层设计,引入多功能分子配体协同优化离子传输路径与界面反应动力学,突破传统水系电池的温域极限至 $-60 \sim 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 极端区间。进一步围绕高密度极片的工程化设计与制备,包括粉体工艺、集流体设计等,结合电芯设计,开发面向功率型和能量型应用的不同规格电池。会议将汇报团队在上述方面的相关工作。

A08-23

Electrolyte design for Zn-halogen aqueous batteries

范红金

1. 南洋理工大学

Rechargeable aqueous batteries are being widely studied for their potential application in static energy storage as a high-safety alternative to the current lithium based batteries. The key challenges are relatively low energy density due to limited thermodynamic voltage window and short cycle life due to metal anode instability. Despite the tremendous progress in fundamental understanding and battery performance, mitigating the formidable challenges of metal dendrites, corrosion, and electrolyte's stability is still the holy grail. In this talk, I will focus on aqueous Zn batteries and discuss the strategies for stabilizing Zn anode and conversion-type cathode materials (such as iodine and sulfur). This is achieved primarily by multimodal electrolyte architecting. I will also showcase our recent results on other aqueous batteries.

Ref: <https://personal.ntu.edu.sg/fanhj/pub.html>

A08-24

水系锌电池的界面调控和性能优化

吴超

1. 上海理工大学

水系锌电池因其丰富的原材料、环境友好性、高安全性在大规模能源存储领域表现出巨大应用潜力。然而,水系锌电池的实际应用仍然面临一些挑战性问题,如锌枝晶的生长、析氢反应、腐蚀反应等。本研究拟通过合理地调控和优化与锌金属电极相邻的两个关键的上、下界面层,揭示界面层的微结构对锌沉积/剥离行为的影响机制。针对上述问题,通过物理热蒸发法在不锈钢基层上构建一层极薄的铜或银金属表面层(Cu@SS 或 Ag@SS) [1];利用一种非离子的表面活性添加剂(PEGTE)在锌金属表面原位构建一层具有分级纳米结构的 SEI 保护层(H-ZnO) [2];在锌电极的上界面设计和构建了由聚合物/二维纳米片组成的人工 SEI 保护层[3]、COF 膜保护层[4]以及二维纳米片原位沉积形成的保护层[5]。以上研究结果为水系锌电池的研发提供新的视角和途径,也为未来水系锌电池的改进提供理论指导。

参考文献:

[1]Y. J. Zhang, C.Wu, Chem. Eng. J., 2021, 416, 128062,ESI 高被引论文

[2]Y. J. Zhang, C. Wu, Nano Lett.,2022,22, 8574.

- [3]Y. Zhang, C. Wu, Small Methods, 2021,5,2100650.
[4]K. Wu, C. Wu, Energy Storage Mater, 2020,51, 391.
[5]Y. J. Zhang, C. Wu, Chem. Eng. J., 2020,430,133042.

A08-25

锌离子电池阳极结构设计及其电化学机理研究

赵景新

1. 湘潭大学

可充电水系锌离子电池由于具有较高的安全性和耐用性，一直被认为是一种很有前途的储能设备[1]。锌箔是最常用的锌离子电池负极材料，但其利用效率低，制备过程相对复杂，限制了其在工业上的实际应用。与锌箔相比，锌粉因其成本低廉、优异的可加工性和可调性而备受研究者们青睐[2]。然而，由于以下具有挑战性的问题，锌粉不能直接用作电极。首先，具有三维结构的锌粉具有较长的锌离子重分布路径和较大的成核面积，容易引发锌离子在上尖端区域不均匀沉积，进一步促进锌枝晶过度生长，最终导致电池失效[3]。同时，锌粉不可避免的体积膨胀是由于锌离子在不断溶解/沉积过程中在锌粉表面形成腐蚀产物，加速了锌负极的破坏[4]。因此，开发稳定且耐用的锌粉基负极材料对于提高锌离子电池的能量密度和循环性能至关重要。在本报告中，我们设计并构建了一系列锌粉基负极，其缓冲层改善了锌金属电镀/剥离的可逆性，最终实现了高性能的锌金属电池。并且对锌沉积形貌、电镀/剥离机制探索、原位检测、有限元模拟和电池电化学性能进行了分析。

参考文献：

- [1] J. X. Zhao*, et al., Advanced Materials, 2023, 35, 2209886.
[2] J. X. Zhao*, et al., Advanced Materials, 2023, 35, 2303336.
[3] J. X. Zhao*, et al., Advanced Materials, 2024, 36, 2309753.
[4] J. X. Zhao*, et al., Angewandte Chemie International Edition, 2025, 64, e202421217.

A08-26

凝胶电解质助力高性能锌电池

张千玉

1. 四川大学

共晶网络可以抑制电解质中的活性 H_2O 分子，抑制阳极/电解质界面的副反应和阴极/电解质界面的穿梭效应。此外，功能界面吸附层引导 Zn^{2+} 的成核行为，抑制枝晶的生长，并使锌阳极不与活性 H_2O 分子和多碘离子直接接触，从而抑制腐蚀。理论计算、原位紫外-可见光谱和拉曼表征以及可视化实验表明，水合共晶电解质有效抑制了穿梭效应，提高了锌沉积/汽提行为的可逆性。因此， Zn^{2+} 电池在 5C 下循环 5000 次后可以保持 133 mAh g^{-1} 的容量。这种高效的协同策略为开发先进的锌碘电池提供了一种实用的方法。

小分子有机材料因其低成本、环保和可持续性生产而被认为是水系锌离子电池 (AZIBs) 阴极的有希望的候选材料。然而，快速的容量衰减和缓慢的动力学限制了它们的实际应用，特别是在极低的温度下 (-50°C)。本文通过八水合己基环己烷 (HKCO) 和 1,2-二氨基蒽醌 (DQ) 的缩合，制备了一种完全共轭的有机分子——蒽醌-喹啉衍生物 (HATAN)。HATAN 具有全共轭结构， π -电子离域增强，分子间相互作用强，保证了优异的电子导电性和物理化学/电化学稳定性。此外，引入多个氧化还原活性位点 ($\text{C}=\text{O}$ 和 $\text{C}=\text{N}$) 可以提高 HATAN 的理论容量。因此，用于 AZIBs 的 HATAN 阴极具有显著的容量，长寿命和高倍率能力。即使在 -50°C 下，也可以保持 75.4 mAh g^{-1} 的卓越容量和超过 1500 次循环 98% 的容量保持率。该研究为先进 AZIBs 的小分子有机阴极的结构设计提供了有价值的见解，该阴极可以在 -50°C 下有效地工作。

这些富有意义的工作希望能引起水系锌碘电池的研究者乃至所有水系储能领域的研究人员的参考兴趣！

A08-27

水系锌金属电池中的界面调控

郭玮

1. 郑州大学

水系锌金属电池具有安全性高、环境友好和成本低等诸多优势，已成为大规模可再生能源存储领域中极具前景的候选体系之一。作为负极关键材料，锌金属具有储量丰富、电化学电位低（ -0.76 V vs. 标准氢电极 ）和理论容量高（ 820 mAh g^{-1} ）等优点，然而其在实际应用中面临析氢、腐蚀以及锌枝晶生长等严峻挑战。尽管已有电极表面修饰、高浓电解液和基底结构设计等多种解决策略，但其保护效果仍显不足，且往往以牺牲成本、动力学性能和可操作性为代价。在众多已提出的应对措施中，通过界面调控重构亥姆霍兹平面是提高锌负极可逆性的关键策略。亥姆霍兹双电层的动态协同是优化锌离子均匀沉积的关键，而现有策略对其协同调控机制尚未充分阐明。基于上述研究背景，我们引入吡啶氮氧化物（PNO）作为电解液添加剂，实现了对外亥姆霍兹平面（OHP）和内亥姆霍兹平面（IHP）的协同重构，从而优化锌负极/电解液界面环境。实验探究表明，微量 PNO 添加剂不仅能够显著改变锌离子的配位环境，重组 OHP 中的溶剂化鞘结构。同时，PNO 分子竞争吸附在负极表面，有效取代 IHP 中的活性水分子。这种内外亥姆霍兹平面协同调控机制促使锌离子沿 $\text{Zn}(\text{OO}2)$ 晶面实现致密沉积，并抑制由活性水分子引发的副反应。本报告将介绍重构亥姆霍兹平面对界面化学的调控作用，实现锌负极的高可逆性和长循环稳定性。

A08-28

水系锌离子电池近期研发进展

康飞宇

1. 清华大学深圳国际研究生院

报告人团队于 2012 年率先发现了中性电解质水溶液中锌离子在二氧化锰隧道内可逆的嵌入/脱出机制，发明了水系锌离子电池，提出了高安全储能电池的解决路径。相关成果“高安全性二次电池关键材料研究”获 2019 年广东省自然科学一等奖。报告人作为项目负责人还承担了国家重点研发项目“本征安全、宽温域水系金属离子储能电池”。团队获美国和中国发明专利 10 件，已转化于全球首家专门从事水系锌离子电池研发生产的深圳市寒暑科技有限公司，完成了千瓦时级储能系统样机验证。报告将结合团队近年研究，详细介绍水系锌离子电池的近期研发进展和产业化难点。

A08-29

柔性锌离子电池用的多功能凝胶电解质

姚亚刚

1. 南京大学

可充电的锌离子电池在低成本的大规模储能中具有重要的应用前景。然而锌负极在水系电解液中存在的枝晶生长、析氢腐蚀和钝化等问题，严重限制了锌离子电池的实际应用。采用含有锌盐的凝胶电解质取代锌盐水溶液一定程度上能缓解锌负极的这些问题，但是较差的机械强度、较低的离子电导率、易盐析和易结冰的性质制约着凝胶电解质在高性能锌离子电池中的应用。南京大学姚亚刚课题组设计了几种多功能凝胶电解质来提升锌离子电池的性能。

A08-30

水系电池电解液结构和电池性能

潘慧霖

1. 浙江大学

由于水系电解液电化学稳定窗口窄且缺乏兼容的关键电极材料，水系离子电池在循环寿命和能量密度方面仍面临重大挑战。为抑制水分子的高反应活性，打破原有氢键网络并构建增强型氢键结构，研究者提出了一系列策略，包括“水包盐”电解质、引入辅助盐、熔融盐水合物、分子拥挤电解质以及混合水系电解质等。然而，这些体系在实际应用中仍存在诸多问题，如盐类成本高、离子迁移率下降及负极电位稳定性不佳等。从根本上看，水系电解质的热力学与动力学性能高度依赖于其中水分子的微观结构。当水溶液与低极性有机溶剂混合时，适度的溶剂化竞争可引发水分子的分离与聚集行为。我们发现，通过引入极性可调的有机溶剂与高极性水混合，可有效调控局域微水簇的结构特征，同时保留连续的阳离子迁移动力学通道。这种调控策略不仅显著拓宽了电解液的电化学稳定窗口，还维持了快速的阳离子传输能力。此外，我们系统研究了该类微相分离电解液体系的形成机制，并揭示了其微观结构与电化学性能之间的内在联系。相关发现为高能量密度水系可充电电池的电解液设计提供了新的思路与理论依据。

A08-31

水系锌离子电池有机复合电解质设计及界面调控研究

周栋

1. 清华大学深圳国际研究生院

水系锌金属电池（ZMB）因其成本低及环境友好等优点而受到广泛关注。然而，由于电解液的持续消耗，在 Zn 金属负极上产生的析氢反应（HER）和腐蚀等副反应极大地缩短了 ZMB 的日历寿命，不可控的 Zn 枝晶生长严重危害循环稳定性。同时，正极侧过渡金属离子的串扰对正负极性能的影响尚未被提及。报道了一种用于安全耐用 ZMB 的自相分离电解液（SPSE），使软包电池在反复翻转过程中保持稳定循环。根据 Hildebrand 溶解度参数和介电常数合理筛选，确定 N,N-二甲基三氟乙酰胺来构建 SPSE 的非水相。其一方面能够调节 Zn 沉积并形成 SEI，有效抑制 HER 和枝晶的生长。同时，SPSE 内的水相有效地激活了正极的晶格，加速了电极反应动力学。采用 SPSE 制备的 $\text{Zn}||\text{V}_2\text{O}_5$ 全电池具有超过 3000 次的超长循环寿命。设计了一种由非水相和水相电解液组成的解耦电解液体系（DCE），以防止 Mn^{2+} 的串扰。磷酸三甲酯不仅能与 NH_4Cl 协同作用，阻止 Mn^{2+} 向 Zn 负极的串扰，有效改善 Zn^{2+} 的溶剂化结构，抑制枝晶和腐蚀，水相电解液加速正极反应动力学。 $\text{Zn}|\text{DCE}|\text{MnO}_2$ 电池循环 900 次后容量保持率超过 80%。此外，该解耦电解液设计适用于其他过渡金属氧化物正极，为开发稳定的 ZIBs 开辟了一条新途径。提出了一种微相分离策略，以构建“油包水”（W/O）电解质提高 ZMB 耐用性。电解液中独特的反向胶束结构不仅破坏了水分子间氢键，有效抑制了 Zn 负极的腐蚀，且在电场下发生定向运动和可逆破乳，从而增强了负极脱溶剂化动力学，抑制界面副反应。基于 W/O 电解液的半电池实现了 99.76% 的高库仑效率，且 $\text{Zn}||\text{V}_{10}\text{O}_{24} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 电池可稳定循环 1800 圈。

A08-32

水系锌电池电解液与负极研究

孙筱琪

1. 东北大学

二次水系锌电池具有高安全性及低成本优势，但锌负极的枝晶生长和副反应问题严重影响其可逆性和循环稳定性。本文利用多种电解液添加剂策略提升锌负极在水系锌电池中的稳定性。通过系统筛选，揭示了高效界面调节剂的分子特性，并提出磷酸胺添加剂对梯度溶剂化结构及负极动力学性能的调控。以表儿茶素分子作为一体化添加剂，通过分子拆分，系统研究了单个官能团对负极表面锚定及界面处溶剂化结构的调节作用。引入了大分子胶作为添加剂，实现了对锌电极界面的脱溶剂过程及氢键的规律调节。利用具有强氢键和螯合能力的赤藓糖醇添加剂，基于其自身与锌离子螯合后引入硫酸根，在二者的共同作用下于锌负极表面构建了由 ZnS 和有机组分梯度分布的 SEI。以上策略导向了锌的均匀沉积并抑制了副反应，提

高了锌电极及全电池的循环稳定性。[1-4]

参考文献

- [1] Wang, K.; Zhan, H.; Liu, X.-X.; Sun, X. *Adv. Funct. Mater.* 2025, 35: 2418993.
- [2] Wang, K.; Luo, Y.; Zhan, H.; Liu, X.-X.; Sun, X. *ACS Nano* 2024, 18: 27672.
- [3] Wang, K.; Zhan, H.; Su, W.; Liu, X.-X.; Sun, X. *Energy Environ. Sci.* 2025, 18: 1398.
- [4] Wang, K.; Qiu, T.; Lin, L.; Zhan, H.; Liu, X.-X.; Sun, X. *ACS Energy Lett.* 2024, 9: 1000.

A08-33

大分子对水系电池电解液和界面的稳定策略

王欣

1. 松山湖材料实验室

水系锌离子电池是下一代大规模储能中极具潜力的电化学储能器件。但锌负极的枝晶和副反应和活性物质在正极上的溶解制约了其商业化。我们致力于通过亲疏水平衡（HLB）聚合物的设计和制备来解决上述问题。利用非离子型两亲高分子作为电解液改性和负极涂层来降低了自由水的比例和活性，极大降低了锌负极的副反应和枝晶生长。实验表征和理论计算表明，调控 HLB 平衡后的高分子涂层相比于纯亲水的聚丙烯酰胺等高分子涂层能更好地实现离子的迁移，并同时带来局部疏水效果，提升锌负极的沉积均匀性，在较大电流密度下更好地稳定循环，这归因于该涂层在亲水和高粘接性（疏水）两方面的完美结合。通过调控亲疏水的平衡，可以进一步改变高分子的溶解性来作为添加剂改性电解液，在仅 1 wt% 的微量添加下极大稳定了锌负极，使得其对称电池稳定循环超过 1 年（8800 小时），并且具有 -30 到 50 °C 的宽运行温域。该工作包含的功能高分子添加剂和现有主流电池体系工艺匹配，效果显著，为下一代高安全电化学储能器件提供了极具价值的参考。

A08-34

水系电池宽温域研究

张朝峰

1. 安徽大学

为实现我国“双碳”战略目标，构建以可再生能源为主导的新型能源体系势在必行。太阳能等可再生能源的高效利用是实现能源结构转型的关键路径，但其固有的间歇性与波动性严重制约了其大规模并网应用。储能技术作为解决可再生能源并网稳定性与智能电网建设的关键支撑技术，已成为国家战略性新兴产业发展的核心研究方向。水系锌离子电池契合高安全、低成本的规模化储能并网应用。然而，当前水系锌电的循环寿命、极端环境下的能量密度及倍率性能难以满足并网实际需求。针对以上挑战，我们课题组围绕高安全储能电池的需求，开展宽温域高能量密度水系锌离子电池技术研究。一方面通过水系锌离子电池电解质调控与负极优化技术解决电池组元失活与界面失稳；另一方面，调控水系电解质氢键实现极端环境高适配性电解质。进一步结合电化学微天平和同步辐射红外等技术，阐明关键组元失活与界面失稳机制，建立了以材料动态稳定为指标的评估体系，实现了高性能水系锌离子电池。

A08-35

水系锌离子电池功能电解质设计及界面工程

陈仕谋

1. 北京化工大学

传统锂离子电池由于采用易燃易爆的有机电解质，导致近年来电动汽车、储能电站的安全事故频发，开发高安全二次电池储能新体系已成为学术界和产业界亟待突破的难题。针对该挑战，本课题组以攻克电

解质技术瓶颈、提高电池安全性为目标，从电极-电解质界面膜组分/结构调控，电解质体相离子传输，电解质材料创新及工程放大，二次电池器件集成及产业化推广等方面开展了系统研究，打通了“微观机理解析-材料设计-产业应用”的创新链条。在基础研究方面，建立了基于离子液体（一类完全由正负离子构成的室温熔融盐）的均匀致密纳米界面膜新方法，解决了传统电解质在高电压、高温等条件下易分解，安全性差的难题；进一步通过电解质体相组分-微结构协同调制，开发了本征安全的离子液体、固态、水系电解质新体系，为发展高安全、高倍率、长循环二次电池奠定了理论基础。

水系锌离子电池因具有高安全性，高理论容量，低还原电位和环境友好等特点而被认为最有前途的二次可充电电池之一。然而，锌负极表面枝晶生长、副反应和腐蚀等问题严重影响了锌离子电池的循环稳定性。尤其是在高低温环境下，影响更加严重。本文设计了一种新型的水合共晶电解质，可实现在较宽温度条件下的超长循环。由于共晶分子和 SnI_4 的解离还原，在锌表面形成了具有亲锌梯度的有机-无机杂化固体电解质界面相（SEI）层，这种特殊的 SEI 可以有效抑制副反应，调节均匀的 Zn^{2+} 沉积，延长电池循环寿命。得益于这种特殊界面层的作用，由该电解质组装的 Zn/Zn 对称电池在室温下的循环时间超过 7800 小时，即使在 $-30\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 的条件下也能稳定循环 6000 小时和 2500 小时。由该电解质组装的 $\text{Zn}/\text{NH}_4\text{V}_4\text{O}_{10}$ 全电池在 10 A g^{-1} 下具有 10000 次循环的超长寿命，其容量保留率为 79.0%。该策略为研发在宽温域下高稳定的水系锌离子电池提供了新思路。

A08-36

高性能锌金属电池的电解液设计与机制研究

杨诚

1. 清华大学深圳国际研究生院

锌金属电池由于安全环保和成本低廉等特点受到广泛关注。然而，受限於常规电解液热力学性质不稳定，金属锌负极面临严重的副反应，极大制约了锌金属电池的实际应用。针对金属锌负极面临的电化副反应问题，本团队 1. 通过季铵阳离子的特征官能团设计，提出基于两性离子的添加剂策略：疏水的阳离子端静电吸附于金属锌负极表面，通过改善电场分布促进锌均匀沉积剥离；亲水的阴离子端通过氢键与电极/电解液界面的溶剂水相互作用，抑制锌沉积过程中的电化副反应。2. 针对金属锌负极面临的腐蚀问题，通过非质子型弱配位溶剂的理性设计，实现高利用率无腐蚀锌金属电池。非质子型溶剂通过避免 H^+ 的产生，赋予了金属锌负极优异的热力学稳定性；得益于独特的弱配位溶剂化结构，赋予了锌金属电池在高利用率条件下优越的电化学性能。3. 揭示了水系电解液优越的动力学性能可能源于电解液体相更快的传质过程，而非电极/电解液界面更低的脱溶剂化能垒。针对非质子型溶剂面临的正极 H^+ 容量贡献不足的问题，提出贫水电解液策略。4. 利用化学计量比固定的水合锌盐和非质子型溶剂直接形成贫水可控的电解液环境，在保证金属锌负极热力学稳定性的同时，显著改善了正极 H^+ 容量贡献不足的问题。

A08-37

水系锌电池中的多物种输运研究

谈鹏

1. 中国科学技术大学

水系锌二次电池具有容量高、绿色环保等优点，近年来引起了学界的广泛关注。作为一个集多个物理化学过程于一体的复杂系统，电池性能的提升需要研发高效的电极材料以及深入理解和提升电池内部的多物种输运与能量转化特性。本工作针对锌基电池中具有共性的多物种输运问题展开研究，探索了锌电极上的枝晶、钝化等现象、空气电极三相界面变化和空气电极上的气体析出现象。工作加深了对电池中多孔电极上多物种传输的科学认识，为电池的结构设计和运行条件优化提供有效指导。

A08-38

水系锰金属电池电解液设计与负极保护

姜珩

1. 吉林大学

水系电池以低成本、高安全性和环境友好的水溶液为离子传输媒介，同时电解液离子电导率要高出有机电解 2 个数量级，在对接可再生能源与电网的“削峰填谷”方面更具优势，成为规模化电化学储能的热点和前沿。然而，水系电解液的电化学稳定窗口较窄，工作温区有限，亟需开发新型电解液实现高能量密度、宽温区、长循环水系电化学储能。针对上述问题，我们通过功能化电解液设计，选取新型载流子、改变载流子溶剂化结构和形成液固界面膜，破坏了水分子的氢键网络并增强了水分子的 O-H 键强度，实现电池性能的突破。首先，我们开发了一种新的表征方法来确定酸性电解液的载流子及其溶剂化结构，并通过相图分析提出了改变质子溶剂结构的新设计策略，所构筑的“酸包水”电解液 (WiAE) 表现出优异的倍率和低温性能。此外，我们将 WiAE 限域于粘土的多孔结构中，实现了一系列具有高电化学稳定性和低温性能的“泥包酸”准固态电解质。为了进一步提升全电池能量密度，我们采用了锌金属负极，并提出了一种通用的电解液设计策略：通过添加剂优化，同步调控 Zn^{2+} 的溶剂化结构和原位形成液固界面膜。所设计的“超卤化物”电解液在低电流密度 (0.2 mA/cm^2) 下实现了高可逆的锌沉积/剥离 (99.95 %) 库伦效率，并且没有检测到氢气析出 (HER)。在高电流密度 (10 mA/cm^2) 下，沉积 120 分钟后锌负极表面并无枝晶生成，该电解液的开发为水系锌金属电池的商业化提供便利并推动其在不久的将来的商业化应用。

A08-39

Pressurized organic electrodes enable practical/extreme batteries

王晓磊

1. 阿尔伯塔大学

Organic batteries hold promise for sustainable development due to their natural abundance, tunable structures, low emissions, and potential cost-effectiveness. Over recent decades, numerous organics (comprising C, O, N, and S moieties) have been explored as battery electrode materials, spanning lithium, sodium, and zinc-ion batteries. Strategies have emerged to enhance battery performance via molecular design, polymer engineering, carbon hybridization, micro-/nanosstructure construction, and electrolyte/separator modification. However, their practical applications still face grand challenges due to impractical testing conditions and elevated costs.

Here, we report pressurized organic electrodes tailored for practical applications. Far surpassing prior organic electrodes, pressurized organic electrodes excel under challenging/extreme condition including high mass loadings ($50\text{-}150 \text{ mg cm}^{-2}$), active material fraction (up to 95 %), low N/P ratio (0.8-2), and lean electrolyte, delivering one of the highest areal/volumetric capacity in full cells. Moreover, pressurized organic electrodes exhibit broad applicability, thriving in diverse battery systems ($\text{Li}^+/\text{NH}_4^+/\text{H}^+/\text{Na}^+/\text{Zn}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ion batteries) and organic materials (molecule, polymer, salt), consistently demonstrating enhanced performance compared with unpressurized ones. The improved capacity, rate, and cycling performance of pressurized electrodes result from pressure-induced structural and property changes in organics including crystal orientation, enhanced π - π interaction, favorable electrode porosity/tortuosity, accelerated chemical reactivity, and boosted electronic conductivity. Along with simple, efficient, green, and cost-effective manufacturing features, pressurized organic electrodes would open new pathways towards organic battery application.

A08-40

水系锌离子负极界面改性研究及柔性器件应用

贾浩

1. 江南大学

水系锌离子电池因其高安全性、低成本及环境友好等优势，在可穿戴电子设备、柔性储能等领域展现出巨大应用潜力。然而，锌金属负极在水系电解液中易遭受枝晶生长、析氢腐蚀等问题，严重制约了其循环稳定性和库仑效率。本研究聚焦于水系锌离子负极界面改性，通过构建人工固体电解质界面层，功能性基底以及功能性电解液等策略，有效调控锌离子的沉积/溶解行为，抑制枝晶生长和副反应发生。实验结果表明，改性后的锌负极在对称电池中展现出显著延长的循环寿命，且在与不同正极材料组装的全电池中，实现了更高的能量密度和更稳定的循环性能。进一步，将改性锌负极应用于柔性水系锌离子电池器件，借助其独特的结构设计和界面优化，使柔性器件在不同弯曲状态下均能保持良好的电化学性能和机械稳定性，为柔性可穿戴电子设备的高效、稳定供电提供了一种可行的储能方案。本研究不仅深入探究了水系锌离子负极界面改性的关键机制，还为高性能柔性水系锌离子电池的开发提供了理论依据和实验指导，推动了其在实际应用中的发展进程。

A08-41

水系锌电池稳定性优化及工作温区拓宽机制

孙鹏

1. 暨南大学

近年来，随之电动车等领域的爆炸、起火事故频繁发生，以水系锌电池作为代表的高安全水系储能电池受到广泛关注和研究。然而，其循环寿命很大程度上受到锌金属负极在水溶液中的本征不稳定特性限制，亟需从源头上通过创新设计思路解决。电解液体系中的活性自由水对界面处的副反应具有决定性作用，因此通过优化电解液组分实现自由水含量和状态的控制有望改善锌离子电池的稳定性。我们主要从电解液设计的思路入手，通过自由水活度控制、“阴离子阱”构筑以及体相/界面锌离子运输优化等策略提升锌金属负极的循环稳定性、沉积/剥离库仑效率等关键性能，显著改善了锌离子电池的循环寿命。此外，我们也尝试从电解液体系的特征热力学熵的角度出发，通过优化水分子四面体熵、组分二体对熵以及溶剂化构型熵等，突破传统水系电池难以在较为极端的高、低温稳定运行的瓶颈问题，可望在未来作为一种具有强温度适应性的高性能新型电池备选。

A08-42

介孔 MOFs 和 COFs 的可控设计和介微孔电化学研究

卜凡兴

1. 上海大学

金属有机框架材料（MOFs）和共价有机框架材料（COFs）因其独特的组成和结构，成为水系锌离子电池的正负极的理想候选材料。通过介微孔工程，可在宏观与微观层面调控 MOFs 和 COFs 的纳米结构和电子结构，创造独特的化学环境，从而促进正负极的电化学反应，显著提升其电化学性能。本报告将介绍我们近期在介孔 MOFs 和 COFs 的可控设计方面的研究进展，重点探讨其介微环境电化学对水系锌离子电池性能的影响。主要包括：开发了动力学调控的胶束组装、界面能驱动的乳液组装、串联组装和刻蚀化学等多种策略，实现了介孔 UiO-66 单晶、介孔孔沸石咪唑酯框架（ZIFs）单晶以及多种介孔 COFs 的可控合成；同时揭示了这些介孔材料独特的几何效应、边缘化学、配体化学等介微环境电化学，并利用这些性质实现了“促进 ORR”、“促进 I₂ 转化抑制水分解”、“消枝晶”和“加速 Zn²⁺还原动力学”的效果，为高能水系锌电体系提供了潜在的关键功能材料。

A08-43

凝胶电解质基水系储能器件的研究

靳绪庭

1. 郑州大学

柔性电子器件因其在人体活动监测和个人健康管理方面的潜在应用而受到广泛关注，主要包括植入式医疗设备、智能电子皮肤、可折叠显示器、无线传感器和共形人机界面等。目前，微型化、便携式、轻量化和集成化是柔性电子器件的主要发展趋势，这也推动了与之相匹配的水系柔性储能器件的发展。然而，现有水系柔性储能器件体系仍面临着宽温域存储能力差、工作电压相对较低、能量密度不足等问题。针对这些问题，本研究主要从凝胶电解质的结构设计出发，匹配合适的电极材料，构筑了高性能水系柔性储能器件包括锌基电池和微型储能器件。具体如下：首先，本研究通过调控凝胶电解质中水分子间氢键作用，制备了系列具有耐温性的水凝胶电解质，构筑了系列具有优异的宽温域存储能力的水系储能器件。其次，通过研究有机溶剂极性对电解液的溶剂化结构的影响，创新性提出极性诱导策略来拓宽电解液的电化学窗口，进而构筑了具有高工作电压和高电压平台的水系锌基电池。最后，从锌基电池的运行机理出发，通过结构设计制备了具有氧化还原增强功能的凝胶电解质，进而构筑了具有超高能量密度的水系微型储能器件。本研究通过凝胶电解质的结构设计和组分调控，实现了水系储能器件的宽温域高效能量存储，同时使器件的工作电压和能量密度也得到了有效提升，为构筑高性能水系柔性储能器件提供实验基础和理论支持。

A08-44

高性能水系锌离子电池锌负极界面设计及优化

刘焕岩

1. 四川大学

水系锌离子电池 (AZIBs) 具有低成本、高安全性和无环境污染等优点，是未来大规模储能系统的有力候选体系。得益于高理论比容量 (820 mAh g^{-1} , 5854 mAh cm^{-3}) 和合适的氧化还原电位 (-0.76 V vs. SHE)，金属锌被视为 AZIBs 负极的理想材料。然而，在反复的电化学沉积和剥离过程中，不均匀的锌离子沉积会造成不可控的锌枝晶生长，导致隔膜被刺穿并造成电池短路失效。此外，金属锌在水系电解液中存在严重的副反应问题，严重影响着电池的库伦效率和循环寿命。因此，如何构筑稳定的锌-电解液界面以获得无枝晶和无副反应的锌负极是一个至关重要且极具挑战的问题。报告人通过开发不同的表面改性策略，对锌-电解液界面进行设计构筑，以获得高稳定的锌金属负极。研究金属氧化物、金属-有机络合物中间相、亲锌聚合物分子刷三种不同界面层的构筑方法，系统探讨界面层对调节锌的沉积和剥离行为的影响规律，阐明其抑制锌枝晶和副反应的作用机制，获得了具有高库伦效率和长循环寿命的水系锌负极。相关成果发表在 *Energy & Environmental Science*、*Materials Today*、*Energy Storage Materials*、*Advanced Science* 等期刊，多篇论文先后入选 ESI 高被引论文、热点论文。

A08-45

锌离子电池的水凝胶电解质

支春义

1. 香港城市大学

Common aqueous electrolytes with extended electrochemical stability windows (ESWs) possess low water content so that water molecules can be well confined. On the other hand, the confinement to metal cations of these aqueous electrolytes with widened ESW has been long ignored, which leads to poor compatibility of these electrolytes to available metal ion charge carriers. Here, we demonstrate that hydrogel electrolytes with high water content and low salt concentration may exhibit a wide ESW through effective water interactions. Meanwhile, they have well-suppressed confinement to metal cations, leading to high battery performance and excellent compatibility with various charge carriers. The fabricated amphiphilic hydrogel electrolyte features trace amounts of hydrophobic moieties, which disperse evenly in the hydrophilic hydrogels. The hydrophobicity in the vicinity of hydrophilic groups enhances their hydrogen bond strength with water molecules, resulting in a wide ESW of 3.3 V at a high-water concentration of $68 \text{ wt\%}$. The water content is higher than all reported aqueous electrolytes with wide ESWs. A 2.3 V high discharging plateau was obtained in the aqueous $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}||\text{LiMn}_2\text{O}_4$ batteries and

can be stably cycled 2000 times without capacity decay. Employing $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ as cathode materials, a discharge plateau of 2.65 V was obtained. The universal applicability of the developed hydrogel electrolyte is further demonstrated in Zn metal batteries. Even with a 0 mg cm^{-2} mass loading of cathode materials in a neutral $\text{Zn}||\text{MnO}_2$ battery, the high discharging plateau of 1.9 V, large areal capacity of 2 mAh cm^{-2} , and long lifespan of more than 2290 h were achieved. The developed amphiphilic hydrogel electrolytes also endow aqueous K ion batteries with a flat discharging plateau and high Coulombic efficiency of $\sim 99\%$. Our research paves a new way to high voltage aqueous electrolytes with hydrogel electrolytes with high water content.

A08-46

待定

索鏊敏

1. 中国科学院物理研究所

A08-47

生物启发激素电解质的负反馈机制实现超稳定锌负极

官操

1. 西北工业大学

受血液系统中动态凝血/抗凝过程的启发,提出了一种自调节的负反馈“激素”电解质。仿生“激素”重塑 Zn^{2+} 配位微环境,动态吸附在初始不均匀的锌尖端上,自发排斥 Zn^{2+} 并屏蔽 H_2O 分子,从而形成负反馈回路,优化副反应问题和 Zn^{2+} 沉积过程。与以往报道的基于静态修饰的电解质策略相反,负反馈电解质动态感知和调节出现的不均匀锌尖端,显著提高高电流密度/容量条件下的锌负极稳定性。采用“激素”电解质的锌电极可以在 $20 \text{ mA cm}^{-2}/10 \text{ mAh cm}^{-2}$ (85.5% DOD) 和 $50 \text{ mA cm}^{-2}/20 \text{ mAh cm}^{-2}$ (68.3% DOD) 条件下稳定循环 240 小时,累积容量高达 6000 mAh cm^{-2} 。此外,该电池具有高能量/功率密度 ($252.63 \text{ W kg}^{-1}/101.05 \text{ Wh kg}^{-1}$),为开发长时稳定的实用化金属电池提供新颖的策略。

A08-48

新一代高安全性水系电池材料与器件

胡林峰

1. 东南大学

水系电池兼具安全性高、成本低、易于装配等优点,成为下一代安全储能系统的重要备选。近年来层状磷酸盐由于其独特的结构特征和高电位特性,在水系锌电领域引起广泛的重视,然而其缓慢的离子输运动力学和有限的存储容量成为限制其应用的瓶颈问题。本报告介绍我们近年来在锌离子的输运与沉积动力学调控领域所开展的研究工作:通过磷酸根诱导阳离子活度、金属离子预插层、导电聚合物可控嵌入、高浓度氧空位引入、Mn和V活性元素共掺杂等策略,显著提升了层状水合磷酸氧钒的锌离子输运与存储性能,实现了高的能量密度和优异的长循环稳定性。在此基础上,我们通过一种双盐/双溶剂电解液的设计,利用其特有的“内助盐与外助溶剂”效应,调控了锌负极侧的锌离子沉积动力学,消除了锌枝晶和锌腐蚀现象,提升了锌负极的利用率和可逆性。在此基础上,将上述思路拓展到水系铵离子电池和铁离子电池,总结归纳了不同载流子对于水系电池性能的影响规律。

A08-49

水系锌电池锌金属阳极表界面调控

万厚钊

1. 湖北大学

水系锌金属电池由于其高安全性和可靠性、极低的成本和环保性，已成为有前景的储能设备，而成为当前研究热点。但锌阳极在充放电过程中不可避免地会出现一些严重的问题，如枝晶形成、腐蚀、析氢和钝化。为了解决上述问题并提高锌阳极的可逆性，已经提出了包括电解质添加剂、电解质成分和表/界面工程等策略。尽管界面工程保护锌阳极免受电解质腐蚀，但阳极表面/界面上受抑制的动力学过程限制了它们的循环稳定性，特别是离子浓度梯度引起的树枝状生长。本工作在锌金属阳极表面构筑亲锌纳米流体通道（ZNC）保护层，实现可逆循环过程中 Zn^{2+} 的快速传输动力学。由于毛细效应，ZNC 在离子和通道表面之间表现出很高的分离压力，使 Zn^{2+} 能够沿着通道壁快速迁移（ Zn^{2+} 迁移数高达 0.72）。因此，独特的通道模块减轻了 Zn^{2+} 快速消耗引起的浓差极化，并保持了 Zn 离子的均匀沉积。因此，ZNC 保护层阳极的循环寿命显著提高，是裸锌的 30 倍以上（在 1mA cm^{-2} 下超过 4000 小时）。全电池具有稳定的循环性能，在 5000 次循环后具有优异的容量保持率（约 100%）。本工作为纳米流体在提高锌阳极稳定性方面的作用提供了创新的见解，为长循环寿命的锌基电池提供了新思路。

A08-50

待定

周伟东

1. 北京化工大学

A08-51

追求卓越，打造国家品牌——NSR 系列期刊介绍

张冰姿

1. 《中国科学》杂志社

National Science Review（《国家科学评论》，简称 NSR，<https://academic.oup.com/nsr>）创刊于 2014 年，是由中国科学院主管，科学出版社主办的一份自然科学综合性学术期刊，致力于全方位、多角度地展示中外自然科学各领域的代表性研究成果，追踪报道重大科技事件，深度解读热点研究和重要科技政策等。NSR 的报道范围涵盖数理科学、化学科学、生命科学、地球科学、材料科学、信息科学等六大领域，发表的所有论文开放获取。基于科睿唯安 2024 年发布的期刊引证报告，NSR 的 5 年影响因子达到 18.6，位列全球多学科综合类期刊前 5%。创刊十年来，NSR 连续两次入选“卓越行动计划”领军期刊项目支持，并于 2021 年荣获中国出版政府奖。2022 年 7 月，NSR 姊妹刊 National Science Open（《国家科学进展》，简称 NSO，<http://nso.scichina.com/>）创刊。本报告将介绍 NSR 系列期刊的发展历程和现阶段的基本情况，并讲解 NSR 的稿件定位、投审稿流程以及未来发展的新举措等。

A08-52

面向高比能电池材料的表界面工程

于乐

1. 北京化工大学

电化学能源转换技术可以完成电能和化学能间的互相转化，是实现清洁能源存储、转运及应用的一项关键技术。其中，水系锌离子电池以其低成本、高功率密度和高安全性等优点成为最具有竞争力的储能系统之一。然而，锌枝晶生长和表面析氢副反应等问题极大降低了锌负极的库伦效率（CE）和循环稳定性，阻碍了水系锌离子电池的实际应用。本报告总结归纳了汇报人在金属锌负极界面保护中的代表性工作，并对其研究前景进行了展望。

A08-53

水系电池的仿生固液界面调控传统水系锌离子电池

李猛

1. 重庆大学

新能源转换及储存系统中的界面问题是一些光、电化学能源器件或装置的核心问题，而固液界面上的传质过程将直接影响器件的性能。在当前的水系储能器件的固液界面离子传输动力学差，传输过程不稳定以及大量寄生的副反应严重制约着该技术的进一步应用。而自然界中生物离子通道能够以极低的能耗进行高效的界面调控。报告人近年来通过理解生物离子通道作用机制，聚焦于水系储能固液界面中的离子溶剂化调控机制和离子的选择性传输，通过关键材料的仿生设计协同多尺度理论分析的方法开展了系列研究工作，近年来取得了系列成果 (*J. Am. Chem. Soc.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *ACS Nano*, 2025, *Advanced Science*, *Chem. Sci.*)。该研究采用学科交叉的研究思路，模仿细胞膜的传质行为发展了基于仿生离子通道的可控制备及其功能电极的调制，探讨了离子通道中的限域传质和加速离子传输的作用机理，并结合机器学习为水系储能界面的稳定与调控提供了新的研究思路。

A08-54

MnO₂ 电极反应机理的重新审视——Zn²⁺嵌入/脱嵌反应发生的可能性和可逆性辨析

甘阳

1. 哈尔滨工业大学

水系锌离子电池具有安全性高和成本低等优势，但是水溶液体系中电极材料和溶液中的电化学及化学反应复杂，对厘清反应机理和开发提升电池性能的策略带来了很大挑战。具有隧道结构的 α -MnO₂ 和层状 δ -MnO₂ 是两种被广泛研究的正极材料，尽管已提出了多种模型解释其电荷储存机理和容量衰减机理，但是对于关键过程—Zn²⁺—的嵌入/脱嵌反应—能否发生以及反应的可逆性的认识方面，仍然存在争议甚至误解。我们采用原位 operando XRD 等多种表征和分析方法并结合理论计算[1-3]，(1)首次揭示了 δ -MnO₂ 电极中的 Zn²⁺嵌入反应不是电化学过程，而是 Zn²⁺离子交换反应介导的化学过程，该过程不可逆且对容量无贡献；(2)确认了 α -MnO₂ 电极中发生 H⁺的电化学嵌入/脱嵌反应，并非 Zn²⁺的嵌入/脱嵌反应；(3)发现 α -MnO₂ 和 δ -MnO₂ 电极的容量均来源于 H⁺的电化学嵌入/脱嵌、MnO₂ 的电化学溶解和生成的 Vernadite 的电化学溶解-沉积过程，电池长循环容量衰减的原因是 MnO₂ 的逐渐溶解和 Vernadite 的不完全溶解。上述对反应机理和容量衰减机理的辨析和理解，将帮助重新思考某些提升 MnO₂ 电极性能提议（如预嵌入阳离子）的可行性，也有助于设计合理有效的水系电池性能提升策略。

发表的相关论文

[1] S. Cui, D. Zhang, Y. Gan*, Traditional Electrochemical Zn ions Intercalation/Extraction Mechanism Revisited: Unveiling Ion-Exchange Mediated Irreversible Zn ions Intercalation for the δ -MnO₂ Cathode in Aqueous Zn Ion Batteries, *Adv. Energy Mater.*, 14 (2024) 2302655. (入选 ESI 高被引论文)

[2] S. Cui, D. Zhang, Y. Gan*, The effect of Mn ions additives on the capacity of aqueous Zn/ δ -MnO₂ batteries: Elucidating the Mn ions concentration dependence of the irreversible transformation of δ -MnO₂, *J. Power Sources*, 579 (2023) 233293.

[3] S. Cui, D. Zhang, G. Zhang, Y. Gan*, Reaction Mechanism for α -MnO₂ Cathode in Aqueous Zn Ion Batteries Revisited: Elucidating Irreversible Transformation of α -MnO₂ to Zn-vernadite, *J. Mater. Chem. A*, 10 (2022) 25620-25632.

A08-55

宽温域水系电解质的设计研究

焦玉聪

1. 东华大学

水的本征物理化学性质限制了水系电解质的应用温度范围。在本报告中我们通过调节聚合物电解质内

部分分子间相互作用及分子与离子间的相互作用，有效调节了水系锌离子电池中锌离子的传输以显著提高电化学性能。同时，通过构建聚合物、离液序列高的电解质盐阴离子和水之间的三元氢键，同步实现了对体系力学、电化学性能及抗冻性能的调节以得到了宽温域下具有高性能的水系电池。在上述基础上，我们进一步研究了阳离子与水分子间的相互作用机制，实现了在更宽温域范围内电池性能的优化。我们相信分子与离子间相互作用调控技术将有助于加速高性能电池的实际应用进程。

A08-56

双电镀策略构建平面微型水系电池研究

代春龙

1. 四川大学

微型电池作为微型电子器件（如微型机器人、植入式医疗设备和物联网节点等）的核心能源组件，近年来受到广泛关注。然而，传统微型电池制备工艺存在流程繁琐、耗时较长等问题，通常需要分别制备正负极材料并精确涂覆在叉指集流体上，这一过程在微尺度操作中仍面临重大技术挑战。本研究提出了一种基于双电镀法的创新性微型电池构建策略，其核心突破在于采用含有氧化还原活性阴阳离子的特殊电解液体系。通过施加外电压，电解液中的阴阳离子可分别在正负集流体上发生定向氧化还原反应，实现电极材料的原位沉积，从而一步形成正负极结构。该方法具有以下显著优势：（1）制备过程简单高效，可实现微型电池的快速构建；（2）通过双电镀过程的电荷平衡特性，自然实现正负极材料的电量匹配；（3）良好的普适性，可拓展应用于锌-卤素、锌-二氧化锰等多种电池体系。本研究为微型能源器件的设计制备提供了新的思路和方法。

A08-57

水结构与熵调控策略：低温水系电解液研究

邱美佳、麦文杰*

1. 暨南大学

水分子构成非常简单，但其科学问题却极具挑战性。水有很多独特甚至反常的物性，如低温下的各种复杂相变和反常扩散行为。当盐引入水中形成盐水系统，其液固转变问题和水合动力学将变得更加复杂，需要从多体关联的视角深入研究。本报告重点聚集研究盐水系统中的低温液固转变及水合动力学调控问题，并将相关理论思路应用于水系电池电解液提升器件性能和提高海水蒸发速率等领域。通过不同阴离子锌盐的综合考量，初步建立盐水溶液中水分子四面体熵等特征熵影响抗冻性能的关键热力学统计物理模型。进一步地，通过分析高溶解度 CsAc_2 盐不同浓度下的抗冻性质以揭示盐水溶液水分子结构序及离子相关结构序共同影响深过冷能力的基本规律。此外，还通过考察盐水溶液中的溶质-溶质，溶质-溶剂多体间亚分子尺度界面的键合作用（氢键、静电吸引、离子-偶极作用），分析离子水合结构演化及建立溶液粘度、电导率、扩散系数、离子传输数等物性与注入溶质种类及浓度的关联。

A08-58

高比能水系电池电极/电解质界面调控机制

赵瑞正

1. 郑州大学

高比能蓄电池是新能源汽车、分布式储能等国家战略新兴产业的“心脏”，而高安全性则是任何电池体系实际应用的先决条件。近年来，备受青睐的高比能有机系锂离子电池（LIBs）所带来的安全隐患日益突显。例如，采用 LIBs 的手机、电动车、储能电站等频发自燃、自爆事故，这些已危及人们的生命财产和人身安全。相比之下，水性电池（ABs）具有天然的高安全性、低成本、快充特性及制造工艺简易等优势，是下一代安全电源及大规模储能器件的重要候选。但是，相比于已广泛应用的有机锂离子电池，当前商用

水系电池面临的巨大挑战是比能低。要想提升水系电池的能量密度，一是提升电极的比容量，二是拓宽电化学窗口。跳出现有电极体系及方案，该报告将系统介绍其团队通过构建新型高容量/高电压反应电对、电解液溶剂化结构调控、稳定水-金属界面等水系电化学策略，最终为高比能水系电池设计提供系统的器件化解决方案。

A08-59

电解液工程驱动氢键重构与自修复界面协同：实现锌电池宽温长循环性能

唐晶晶

1. 中南大学

锌金属负极具有高理论容量 (820 mAh g^{-1})、低氧化还原电位 (-0.762 V vs. SHE) 及环境友好等特性，是新型水系锌离子电池的关键材料。然而，该体系面临锌负极枝晶不可控生长引起的结构性失稳以及固-液界面析氢腐蚀与副反应 (如 $\text{Zn}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) 引起的化学失稳两大界面科学挑战，这些问题显著降低库伦效率并缩短循环寿命，成为制约其产业化应用的关键瓶颈。在水系锌离子电池中，电解液的氢键调控与界面结构优化是提升电池性能的关键方向。通过电解液添加剂可增强体系内的氢键网络，改变水分子间的相互作用强度与质子传输路径，从而抑制析氢等副反应的发生，减少水对锌金属阳极的侵蚀。同时，利用添加剂在电极表面构建稳定的界面结构 (如固体电解质界面膜)，可有效阻隔电解液与锌金属的直接接触，调控锌离子的沉积行为并抑制枝晶生长。这种从氢键调控 (电解液本体性质优化) 和界面结构 (电极/电解液界面保护) 双维度的调整，能够协同提升锌电池的循环稳定性、宽温适应性及安全性，为解决水系锌电池的水管理难题提供了重要思路。

A08-60

面向高锌利用率负极的界面化学调控

张隆

1. 中山大学

水系锌金属电池 (AZMBs) 凭借其环境友好性、低成本和本征安全性等优势，在大规模储能及柔性可穿戴设备等领域展现出重要应用前景。作为负极材料的金属锌具有高理论容量、低氧化还原电位及地壳储量丰富等特性，为构建高能量密度储能系统提供了理想选择。然而在锌沉积/剥离过程中，不可控的枝晶生长和持续的水致副反应 (析氢、腐蚀及钝化等) 导致电极/电解液界面环境持续恶化，严重制约了锌负极在高锌利用率条件下的循环稳定性[1, 2]。

针对上述挑战，本研究基于电解质工程和界面工程，精准调控电解液-电极界面化学环境并构建高稳定性高锌利用率负极体系，深入解析其作用机制：(1) 电解质工程。利用吡哆醇等多功能电解质添加剂的质子化效应与多羟基配位特性实现锌沉积动力学调控与析氢/腐蚀副反应同步抑制[3]。(2) 界面工程。采用超分子主客体相互作用定向调控(002)晶面择优取向[4]；创新设计多孔氟化 COF/全氟聚醚固液协同保护层，开发 20 nm 氟化硅氧烷超薄界面层和氟化石墨/ ZnF_2 异质界面，利用疏水氟化微区一方面限制水分子渗透，显著提升负极抗日历老化能力，另一方面优化 Zn^{2+} 去溶剂化路径及界面离子通量分布，实现负极在高锌利用率下的无枝晶沉积[5-7]。

本研究建立的界面化学调控理论框架，揭示了界面微环境调控对锌沉积行为的作用机制，为推进高锌利用率负极设计及水系锌金属电池实用化提供了重要的理论与技术支撑。

参考文献

[1] Zhang, L. et al., Adv. Energy Mater. 2021, 11(13), 2003823.

- [2] Zhang, X. et al., Nano-Micro Lett., 2024, 16(1), 75.
- [3] Yang, X. et al., Energy Storage Mater., 2025, 78, 104268.
- [4] Wang, L. et al., Energy Environ. Sci., 2025, 18, 4859.
- [5] Wang, L. et al., Energy Storage Mater., 2023, 62, 102920.
- [6] Meng, Y. et al., Chin. Chem. Lett., 2024, 35(12), 110025.
- [7] Wang, L. et al., Sci. China Mater., 2023, 66, 4595.

A08-61

高能量密度水系锌碘电池的界面调控策略

杨阳

1. 厦门大学

水系锌电池具有高安全性、低成本、环境友好等优势，但是常用的过渡金属基正极材料受到地壳储量和环境因素的严重制约。碘在水溶液中可以发生可逆的氧化还原反应 (0.54 V vs. SHE)，理论容量为 211 mAh g^{-1} ，是一种新兴的、丰产元素正极材料（海水中含碘量为 $50\sim 60\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ ）。而且碘正极的储锌机制基于快速的转化反应机理，不涉及离子在无机晶格框架内的嵌入（脱出）过程，在反应动力学方面具有天然的优势。针对锌碘电池锌负极不稳定、碘正极反应动力学受限和多碘化物穿梭效应的关键科学问题，我们聚焦于水系锌碘电池电解质的开发，立足正负极反应界面的协同调控，力争同时实现 I_3^- 穿梭效应的抑制、碘正极电化学反应动力学的增强和锌负极的稳定化，推动高能量密度水系锌碘电池的发展。

A08-62

水系离子电池电极及界面的虚拟开发与改性研究

郑玉杰

1. 重庆大学

随着化石能源的日益枯竭和“碳达峰”、“碳中和”的双碳战略目标持续推进，全球能源格局正在发生由依赖传统化石能源向追求清洁高效能源的深刻转变。储能技术是促进我国乃至全球能源结构调整的核心支撑技术。作为近年来新兴的储能器件，以水系锌离子电池为代表的水系离子电池因具有高能量密度、低成本、绿色环保、价格低廉、安全无污染和安全性好等特性吸引了极大研究兴趣，被认为是最具前景的下一代电池候选者之一。然而，传统的开发模式涉及包括材料合成、物理表征、器件组装和电化学测试等环节，整个研发过程耗时、耗力、效率较低。数据驱动研究方式的出现为储能机制的认识和寻找有潜力的新型水系离子关键材料提供了新的机遇。本报告将汇报本组基于数据驱动、密度泛函理论等计算方法对水系离子电极、添加剂筛选及其结构稳定性、储能反应机理、离子输运动力学等物性研究的一些初步探索，为候选开发新型高性能水系离子关键材料提供理论参考。

A08-63

高安全、长寿命水系锌离子电池的研究

朱前程

1. 河北大学

目前，商业化锂离子电池占据了主要市场，但锂和钴等资源稀缺、制造成本昂贵、有机电解液有毒、易燃等问题阻碍了其在大规模储能系统中的应用。近年来，本征安全的水系锌离子电池具有安全环保、成本低、容量高等优点，被认为是极具前景的储能体系。但目前水系锌离子电池面临两大挑战：第一，锌离子在正极材料中的反复脱嵌以及和水的共同副反应作用下使得正极材料在循环过程中存在溶解与衰退问题；第二，负极锌在锌离子沉积/剥离循环过程中由于“尖端效应”导致锌负极出现枝晶生长现象，从而导致电池短路失效，此外，水的分解会引起锌金属的腐蚀以及副产物的产生。这些问题严重限制了水系锌

离子电池寿命。因此，解决正极材料的溶解和负极锌枝晶、腐蚀等问题是实现高安全、长寿命水系锌离子电池的必然所在。课题组针对水系锌离子电池存在的挑战性难题，开展了以下研究工作：

1) 高容量、长循环水系锌离子电池正极的研究：合成了 3 个原子层的氧化钒材料，该原子级厚度的类石墨烯氧化钒 (GAVOH) 能够实现超过 700 mAh g^{-1} 的高容量；另一项典型工作指出传统丹尼尔 Cu-Zn 电池不可逆在于二价铜离子的溶解，课题组基于“溶度积”的理论依据，通过调控 Cu^{2+} 溶解度实现了可逆的 Cu-Zn 电池，解决了传统铜锌电池不可逆的难题。

2) 高稳定性抗枝晶、抗腐蚀锌负极研究：通过引入磷酸单十二烷基酯钠盐 (DLP) 作为电解液添加剂，利用 DLP 中磷酸基团的强极性，选择性吸附于 (002) 晶面，屏蔽 (002) 晶面生长，从而促进了锌在 (100) 晶面的择优生长，抑制锌枝晶的产生。该工作实现了超高的锌沉积/剥离电流密度和高沉积容量；另一项工作通过引入三乙二醇 (TEG) 分子作为添加剂，占据溶剂化壳中水分子的位置来调节溶剂化结构，降低去溶剂能垒，从而促进溶剂化水分子的解离，抑制水的分解和相关副产物的生成。

3) 高性能水凝胶锌离子全电池的设计：兼顾正负极挑战问题，研发了系列凝胶电解质，实现了长寿命、低成本的水系锌离子电池。如在水凝胶电解质基础上提出了多层凝胶电解质的设计，该多层凝胶电解质在靠近正极材料和锌负极侧具有离子和电子双通道快速传导功能，基于此机制，该一体化水系准固态电池实现了超过 4000 次的循环寿命，为商业化应用奠定了基础。

参考文献：

- [1] Zhu, Q., Sun, G., Qiao, S., Wang, D., Cui, Z., Zhang, W., & Liu, J.* *Adv. Mater.* 2024, 36, 2308577.
- [2] Zhu, Q., Zhao D., Cheng M., Zhou J., Owusu K., Mai L.* and Yu Y.* *Adv. Energy Mater.*, 2019, 9, 1901081.
- [3] Wang, D., Zhang, N.*, Zhang, Y., Chang, L., Tang, H., Zhang, W.*, and Zhu, Q.* *Adv. Energy Mater.* 2025, 2404090.
- [4] Zhu, Q., Cheng M., Zhang B., Jin K., Chen S.*, Ren Z.* and Yu Y.* *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29, 1905979.
- [5] Zhao D., Wang X., Zhang W.*, Zhang Y., Lei Y., Huang X.*, Zhu, Q.*, and Liu J.* *Adv. Funct. Mater.* 2023, 33, 2211412.
- [6] Wang, D., Zhao, D., Chang, L., Zhang, Y., Wang, W., Zhang, W.*, and Zhu, Q.* *Energy Storage Materials*, 2025, 74, 103903.

A08-64

溶解沉积型水系锌离子电池研究

赵洪洋

1. 西安交通大学

水系锌离子电池是近年来备受关注的高安全、低成本电化学储能技术之一。开发具有高能量密度，高稳定性的正极材料以及锌金属负极材料是锌离子电池走向实用化的关键。溶解-沉积循环是锌离子电池中的关键过程，我们以锌-卤素电池为例，分别阐释卤素正极以及锌负极在溶解-沉积过程中制约电池稳定性，比容量等关键指标的作用机制。我们针对卤素正极稳定性差，电导率差的问题，设计并开发了一类具有高电导率的离子液体型碘正极材料，在抑制了多碘离子穿梭效应的同时，将碘正极的电导率提升了四个数量级，实现了高容量、高稳定的碘正极材料设计。我们随后受此策略启发提出高活性液态导电网络概念，并由此构筑了具有高面容量、高碘负载的锌-碘全电池，实现了在接近实用化工况条件下 (7 mAh cm^{-2} , 500 mAh) 软包电池的的稳定循环。此外，我们通过对锌负极的溶解-沉积作用探究，首先阐释了含氟 SEI 的溶解是 ZnOTF 电解液中锌负极失效的重要原因，并开发了一种抑制含氟 SEI 溶解的电解液添加剂以及具有级联效应的锌负极保护层材料。同时，我们也证明了在高电流密度下，浓差极化是锌负极失效的关键因素，并通过构建高锌离子通量的超流体涂层，实现了 100 mA cm^{-2} , 100 mAh cm^{-2} , 91% DoD 的苛刻条件下稳定镀锌。

A08-65

苯胺基聚合物的水系电池性能研究

吕海明

1. 香港城市大学

水系电池因其极致高安全性、低成本和环保性等特点，在大规模储能领域受到广泛关注。然而，传统的水系电池金属负极材料缺乏酸碱共耐性，甚至在循环过程中存在枝晶、钝化和腐蚀等问题。苯胺基聚合物具有良好的电化学性能，同时具有耐酸甚至耐碱的性能，是一类很有前景的电极材料，其结构由可设计的活性基团（ $\text{N}=\text{N}$ ， $\text{C}=\text{N}$ ， $-\text{N}=\text{N}$ 等）和精细拼接的有机分子结构组成。可以通过改变分子结构，调节 HOMO 和 LUMO 能级，实现对氧化还原电势的调控，设计出既可以做水系电池的正极材料又可以作为电池的负极材料。本文主要是以苯胺为原料制备各种用于水系电池的电极材料，包括正极和负极材料，实现电池的长寿命，高容量性能。

A08-66

锌负极界面计算模拟与理性设计

张宝

1. 电子科技大学

材料界面和反应是电化学储能器件的核心，其中一个关键科学问题是界面电化学过程微观认识与调控。然而，常规表征的时间和空间分辨率不足，难以表征动态、微区的界面电化学反应过程，极大地制约了先进电化学储能器件研究。本报告围绕锌负极界面的计算模拟，探究界面相互作用以及界面电场对双电层结构的影响机制，并利用界面微区设计解耦反应动力学与体相物理化学特性，实现负极电化学过程的定向调控。

A08-67

离子的溶剂化环境与可逆电化学

窦青云

1. 中山大学

电解液中金属离子与周围组分存在着复杂相互作用，这与离子传输和电极反应动力学存在密切关系。本报告将首先汇报调控 Al^{3+} 和 Mn^{2+} 的溶剂化环境实现金属负极可逆沉积/剥离的研究。选择与 Al^{3+} 作用力弱的有机溶剂促进去溶剂化过程，或以两性离子为添加剂解离 Al^{3+} 与溶剂分子，并结合 Zn 基底，实现了高度可逆的 ZnAl 合金负极；在 Mn^{2+} 周围构建非对称、强配位的溶剂化环境，能够降低去溶剂化过程的重组能，并改变 Mn^{2+} 的高电子自旋状态，从而提升 Mn^{2+} 的反应动力学和 Mn 金属负极的循环寿命。本报告还将简单汇报双相锌溴电池的研究进展，讨论离子溶剂化环境与电解液的两相物质分配及离子跨界传输的关系，并提出该技术在大规模长时储能领域应用的见解。

A08-68

水系储能器件关键电极材料微纳结构设计与应用

谭华

1. 济南大学

以微/纳材料结构设计及多维荷/质传输通道构建等关键科学问题为核心，促进其储能活性位点容量输出能力与快速反应动力学过程，并应用于安全、高效的水系储能器件领域。首先利用 N 元素钉扎富氧空位（Ov）层状 MnO_2 耦合金属离子 Mo^{6+} 钉扎层间双重耦合效应与强配位作用在层状 MnO_2 中实现缺陷-掺杂联锁网络。提升层状 MnO_2 结构稳定抑制其 Jahn-Teller 畸变效应，并促进其荷/质传输动力学过程。获得了长

循环寿命下兼具高比容量的水系锌离子电池层状 MnO_2 基正极材料。其次, 针对水系锌基储能器件锌负极材料在可逆剥离/沉积过程中界面能分布位点不均引起的锌枝晶形成及析氢等副反应, 借助激光等离子激元效应构筑三维锌基外延生长基底, 促进锌在剥离/沉积过程中均匀形核位点, 抑制锌枝晶的形成及锌自腐蚀。并将上述微纳电极材料应用于水系储能器件, 同时, 通过将电化学性能测试与结构表征及理论计算相结合, 阐明微纳材料在储能器件中的反应机理、储能位点及其与储能器件的构效关系。

A08-69

水系可充电氢气电池在超低温方面的研究

朱正新

1. 南华大学

水系电池具有绿色环保、安全可靠、价格低廉等诸多优势, 在大规模储能领域引起了广泛的关注。然而, 在超低温环境下, 水系电池通常面临着容量快速衰减、充放电速度慢等问题, 原因在于低温下电极反应缓慢和电解液低温性能差。氢气作为目前已知相对分子质量最轻的物质, 具有高理论容量、绿色环保、资源丰富等特点。另外, 基于析氢反应和氢气氧化反应 (HER/HOR) 的电催化型氢气电极具有极低的过电位 (~ 0 V)、快速的反应动力学和高的循环稳定性等优点。因此, 将电催化型氢气电极用于电池可以实现高能量密度、高功率密度和长寿命的目标, 并有望应用于超低温储能领域, 对其实际应用具有重要意义。基于此, 我们课题组主要围绕氢气电池的超低温储能应用, 系统性地开发了三种新型的水系可充电氢气电池体系, 即氢气-质子电池、电催化型氢气电容和氢-氯气电池。这些研究为在极端低温条件下构建高性能的电池体系提供了新思路与新方法。

A08-70

高能硫基水系电池开发及机制研究

冯宇通

1. 内蒙古大学

高能量密度、低成本与高安全性的水系储能技术是实现可再生能源高效利用和大规模应用的关键。硫基水系电池因其丰富的资源储量和较高的理论容量而受到广泛关注。然而, 传统低价态多硫化物氧化还原反应存在输出电压低、反应动力学缓慢等问题, 同时短链多硫化物在水系电解液中的高溶解性导致活性物质的不可逆损失。围绕上述关键科学问题, 本研究构建了新型高价态硫氧化还原体系, 并揭示了水迁移对硫电极不可逆反应的影响机制, 为发展高能量密度、高电压、长寿命的水系储能体系提供了理论基础与技术支撑。

A08-71

极端条件下电极材料的界面反应探索

罗浩*、郭恒瑞、苏雪颖

1. 厦门理工学院

金属离子电池 (Metal-Ion Batteries, MIBs) 作为新一代高效、安全的储能技术, 在能源存储和电动交通等领域展现出广阔的应用前景。然而, 在极端环境条件下, 特别是低温、高温、高电流密度以及高负载等工况中, MIBs 的电极-电解质界面反应会出现显著变化, 诱发一系列异常的电化学现象, 从而严重限制其性能发挥与可靠性。为此, 我们系统研究了 MIBs 在极端条件下的界面反应机制及其对电池性能的影响。首先, 针对钠离子电池在亚零度条件下出现的电压振荡现象, 结合理论模拟与实验表征, 揭示了其与 PC/EC 基电解质之间的相关性。进一步研究发现, 在放电过程中, 钠离子脱嵌诱导的电极局部相变与电压振荡密切相关, 该发现为理解低温下 MIBs 电压异常提供了新的理论依据。其次, 面向水系锌离子电池在低温环境中面临的锌枝晶生长与副反应问题, 提出构建一种低浓度高氯酸锌 ($\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2$) 电解质体系,

具有低凝固点和高离子电导率的双重优势。多尺度模拟与界面表征结果表明,在该电解质体系中,五氧化二钒(V_2O_5)正极与锌负极之间的“逆温效应”显著:即低温条件下钒元素的溶解与穿梭行为被有效抑制,进而抑制了由电化学串扰引发的锌枝晶生长,显著提升了电池的低温稳定性。此外,我们还探讨了在高负载、高倍率条件下电极材料结构稳定性与界面演化的耦合机制,发现界面副反应不仅与温度密切相关,还受到电流密度和极化程度的调控。这些工作对于深入理解极端条件下 MIBs 的界面化学行为提供了新的见解,也为开发高性能、宽温区金属离子电池提供了新的思路和策略。

A08-72

高稳定锌离子电池电解液和固液界面设计

杨成武

1. 燕山大学

近年来,水系锌离子电池(AZIBs)因其安全性高、环境友好且具有较高的理论能量密度(820 mAh g^{-1})而备受瞩目。随着可再生能源的迅猛发展,对高效且可持续的储能系统的需求持续攀升,这使得水系锌离子电池成为了一个关键的研究方向。然而,水系锌离子电池的商业化仍面临诸多挑战,这些挑战源于锌金属负极在水系电解质体系中具有较高的反应活性。这些问题严重影响了电池的性能和循环寿命,主要包括锌枝晶的无序生长、水引发的副反应以及电极-电解质界面的不稳定性。解决这些技术难题对于提升水系锌离子电池的实际性能至关重要。因此,我们开展了以下工作,旨在通过重构电极-电解质界面来解决上述问题:(1) $ZnO(002)$ 阳极保护层: $ZnO(002)$ 与 $Zn(002)$ 晶面具有较低的错配度,呈现出半共格界面,因而可以优先沉积 $Zn(002)$, 同时抑制阳极表面腐蚀和析氢等副反应;(2) 多功能聚合物电解质:我们基于聚丙烯酸钠和纳米纤维素纤维开发了一种新型多功能类固态聚合物电解质。该电解质减少了自由水含量,构建了锌离子运输通道,提高了锌离子运输动力学,增强了锌阳极的稳定性。

A08-73

弱氢键电解液助力高性能四电子锌碘电池

刘婷婷^{1,2}、赵灵智¹、梁宵^{*2}

1. 华南师范大学

2. 湖南大学

碘正极通过激活氧化还原反应构建多电子转移储能机制,实现锌碘电池能量密度的显著提升。依托这一独特储能机理及环境友好特性,多电子碘电池体系已成为极具前景的新型水系储能系统之一。然而,高价碘化合物(I^+)的化学不稳定性及其反应动力学迟缓引发的碘化合物穿梭效应,对正负极均造成不可逆影响,严重制约四电子锌碘电池(4eZIBs)的实用化进程。

报告人通过加入能和水形成弱氢键的低成本聚合物以解决 4eZIBs 中面临的挑战。结果表明聚合物与 H_2O 作用形成的弱氢键可以破坏水的强氢键、增强水的 O-H 共价键并增强了与 Zn^{2+} 的配位能力。这种协同作用降低了水的活性、抑制了 I^+ 水解、提高了 $I^-/I_2/I^+$ 氧化还原动力学,减缓了 I_3^- 的形成,并诱导锌离子的均匀沉积。使用优化的复合电解质组装的 4eZIB 不仅具有优异的循环稳定性,而且低温下依然能表现出优异的电池性能。

A08-74

水系锌离子电池锌金属负极抑制析氢行为研究

王子婧

1. 西安科技大学

本工作通过材料设计开发一种抑制析氢反应(HER)的策略,以应对锌阳极上析氢反应这一长期存在的挑战。与以往的策略不同,我们利用第一性原理计算筛选出了低配位的 $Nb_2C \text{ MXene}$ 作为抑制介质。利用其较高的 $|\Delta G^*H|$ 值(1.03 电子伏特)和优异的结构稳定性这双重优点,设计出了抑制析氢反应的

Nb₂C@Znp 层, 该层展现出了以下关键的进展: (1) 实现了 1.97 伏特 (相对于 Zn²⁺/Zn) 的析氢起始电位, 与裸锌阳极相比正向移动了 0.51 伏特, 这是一个显著的提升。(2) 它表现出了优异的循环稳定性, 在 2 毫安每平方厘米的电流密度下能够持续运行 2000 小时, 在 10 毫安每平方厘米的电流密度下能够持续运行 700 小时。(3) 通过对界面电子结构的调控, 实现了对析氢反应的同时抑制以及对枝晶生长的缓解。机理研究表明, Nb₂C 基体削弱了 M-H 键的键能, 同时为 Zn²⁺ 创造了优先迁移通道, 实现了抑制氢吸附和使锌沉积均匀化的协同效应, 极大地提高了库仑效率和循环稳定。

A08-75

路易斯酸金属盐诱导多孔碳纳米纤维的构筑及储锌性能研究

张苒

1. 徐州工程学院

开发高性能锌离子混合电容器亟需可控合成多孔碳电极材料。针对传统碳化方法对孔结构和功能调控的不足 (如孔径受限、产率低、活化腐蚀), 本研究通过引入 ZnCl₂/NaCl 共晶熔融体模板, 成功合成出具有分级多孔碳质电极。该共晶熔融体能够发挥双重作用: 1) 作为高极性液体介质促进前驱体缩合与芳构化; 2) 作为结构导向剂, 在宽范围 (微孔、中孔、大孔) 内精细调控孔径分布。其中, ZnCl₂ 作为路易斯酸催化剂, 可以显著加速热化学过程中的反应动力学。通过优化金属熔融体与前驱体质量比, 成功制备出孔径集中分布 (~ 1.0 nm) 的杂原子掺杂多孔碳电极。使用该电极材料组装的锌离子混合超级电容器其能量密度可达 135 Wh kg⁻¹, 同时具有优异的循环稳定性 (10,000 次循环后容量保持率达 99.8 %)。本工作为熔融体模板法可控合成分级多孔碳质电极提供了新策略。

A08-76

摇椅式水系锌离子电池负极: Te-CuS/Cu₂S 复合材料构筑及储锌机制

黄灿、刘铁忠、赵灵智*

1. 华南师范大学

转换型 CuS 用作负极并构建摇椅式水系锌离子电池, 可有效避免因锌金属负极枝晶生长和自腐蚀所造成的储锌性能衰退问题, 但 CuS 在实际应用中面临反应动力学缓慢、储锌容量低等限制。在研究中, 我们通过引入 Te 阴离子掺杂, 成功构筑出具有丰富 S 空位和异质界面的 Te-CuS/Cu₂S 复合材料。研究表明, 异质界面的生成, 一方面通过调节 d 带中心促进对 Zn²⁺ 的吸附, 另一方面通过形成内建电场加速电荷传输; 同时, S 空位的存在能够削弱宿主对 Zn²⁺ 的静电吸引, 有助于 Zn²⁺ 快速扩散; 此外, Te 掺杂能够降低 Cu-S 键强度, 进而促进转换反应。基于此, 提升的 Zn²⁺ 吸附-插层-转化反应动力学, 促使 Te-CuS/Cu₂S-20 实现高储锌比容量 (0.1 A g⁻¹, 229.5 mAh g⁻¹) 和优异的倍率性能 (5.0 A g⁻¹, 2000 次循环后容量保持率为 95.4 %)。本研究为高容量转换型负极设计提供了新的思路, 对高性能摇椅式水系锌离子电池发展具有重要意义。

A08-77

MXene/PANI 复合材料赝电容激活用于高性能铵离子电池

李业盈、杜垒溪、秦磊强、蒋剑霞*

1. 江西科技师范大学

水系铵离子电池 (AAIBs) 作为一种新型非金属离子电池体系, 因其本质安全性、环境友好性和资源可持续性, 近年来受到广泛关注。然而, 目前高效正极材料的开发仍面临巨大挑战, 这在很大程度上限制了其实际应用。MXenes 作为一类新兴的二维材料, 凭借其优异的导电性、快速的赝电容行为以及可调控的层间距结构, 在水系金属离子电池和铵离子电池领域表现出巨大潜力。然而对于 NH₄⁺, 其独特的四面体构型以及与材料框架之间的强氢键作用使其呈现出与传统金属离子显著不同的扩散动力学行为。因此, 理想

的 NH_4^+ 储能材料不仅应具备丰富的氢键结合位点，还需拥有较大的层间距以利于离子脱溶剂化和快速扩散。

基于此，本文设计并构建了一种基于金属空位 MXene ($\text{Mo}_4/3\text{CTz}$) 与聚苯胺 (PANI) 复合的高性能铵离子储能材料。在 $\text{Mo}_4/3\text{CTz}$ 与 PANI 质量比为 5:1 的条件下，聚苯胺纳米片以垂直方式均匀排列于 MXene 表面，该结构不仅有效拓宽并稳定了 MXene 的层间结构，还在垂直方向构建了有利于 NH_4^+ 扩散的高速离子传输通道。此外，本文通过在常规 1 M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 电解液中引入 0.1 M H_2SO_4 ，实现了质子协同激发的赝电容行为。研究表明，质子的引入一方面显著提升了 PANI 的电子导电性，另一方面诱导了 MXene 中 Mo 原子的可逆价态调控，从而降低了 NH_4^+ 的吸附能垒，促进了 $\text{NH}_4^+/\text{H}_3\text{O}^+$ 的共插层行为。相比之下，在未引入质子的 1 M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 电解液中并未观察到明显的插层行为，进一步验证了质子在激发复合材料赝电容行为中的关键作用。综上所述，本研究通过结构设计与电解质调控的协同策略，构建了具有高电导性、强界面相互作用和优异插层能力的 $\text{Mo}_4/3\text{CTz}/\text{PANI}$ 复合材料，为开发高性能、可持续的非金属离子储能材料提供了新的研究视角，并为高效 AAIBs 的发展奠定了基础。

A08-78

基于电解液优化提升水系锌离子电池稳定性的研究

邓强^{1,2}、赵灵智¹、杨成浩^{*2}

1. 华南师范大学
2. 华南理工大学

近年来，商业化锂离子电池储能系统安全事故频发，提升电池的安全性能已成为研究的焦点。在众多储能电池中，水系锌离子电池 (AZIBs) 由于具有高安全、低成本和环境友好的优势，在大规模储能领域极具应用前景。然而，锌负极易遭受不可控的枝晶生长、析氢和腐蚀等副反应，且水系电解液在低温条件下易结冰，导致电池无法正常运行，进一步阻碍了 AZIBs 的实际应用。水系电解液作为 AZIBs 的重要组成部分，其组成和性质对电池的稳定性有很大影响。因此，本研究以电解液优化为切入点，合理引入一系列功能性添加剂解决上述难题。首先，在电解液中引入一种非离子型添加剂吐温 20，通过构建亲锌疏水层来稳定锌负极/电解液界面，并诱导 $\text{Zn}(002)$ 晶面的取向生长，进而提升 AZIBs 的电化学性能。此外，为进一步探索适用于低温环境的高稳定 AZIBs，在超低浓度的电解液中引入四氢呋喃添加剂，对 Zn^{2+} 的溶剂化结构进行调节，大大降低电解液中游离水的活性，赋予了电解液优异的低温性能。上述研究成果为推动未来 AZIBs 的发展提供理论基础和实践经验。

A08-79

原位电化学再生策略赋予退役水系电池多重生命周期

焦一丁¹、李方琰¹、茆伟¹、陈虹莉²、李伟¹、何儿¹、李丹³、王列¹、李录河¹、杨朔¹、白辰昱¹、张振杰¹、高睿¹、宋杰¹、叶婷婷¹、卢江¹、陈昊¹、栗乾明¹、李亦冉¹、王嘉诚¹、王远贞¹、任俊辉¹、何平¹、邓昱¹、王鹏⁴、张晔^{*1}

1. 南京大学
2. 华东理工大学
3. 南京中医药大学
4. University of Warwick

水系电池因其本征安全性、低成本及环境友好性，正成为下一代储能系统的重要发展方向。其中，水系锌离子电池 (aqueous zinc-ion batteries, ZIBs) 凭借高理论容量、高体积能量密度和资源丰富性而受到广泛关注。然而，其实际应用仍面临循环寿命短和电化学性能衰减等挑战，严重制约了其在大规模储能场景中的推广应用。针对这一问题，我们提出了一种原位电化学再生策略 (nondestructive electrical activation, NEA)，通过对退役 $\text{Zn}-\text{MnO}_2$ 电池施加可控的“恒流-恒压”激活过程，实现容量的非破坏性恢复，并赋予单个电池多重生命周期。研究表明，该策略可在无需拆解电池的条件下，有效重建 Zn^{2+} 的扩

散动力学，将单体电池的使用寿命延长至原始的 22 倍，总放电能量提升达 78 倍。机制研究显示，NEA 诱导电化学惰性的 Zn-Mn-O 副产物转化为电化学活性的 Mn-O 纳米带，恢复 $\text{Zn}^{2+}/\text{H}^{+}$ 扩散通道；同时，锌负极表面枝晶在低电流条件下均匀再沉积，实现表面平整化，显著提升电池的安全性与循环稳定性。该策略具有良好的通用性与拓展性，已在多种锰基、钒基水系锌离子电池体系中验证其有效性，并可扩展至锂离子电池和可植入电池的原位无创再生。相较传统回收工艺，NEA 在能耗、碳排放和经济性方面表现出显著优势，为退役水系电池的高效绿色利用提供了全新解决路径，推动其向可持续实用化迈进。

A08-80

Entropy-Driven Hydrated Eutectic Electrolytes with Diverse Solvation Configurations for All-Temperature Zn-ion Batteries

梁宇轩

1. 暨南大学

Batteries always encounter uncontrollable failure or performance decay under extreme temperature environments, which is largely limited by the properties of electrolytes. Herein, an entropy-driven hydrated eutectic electrolyte (HEE) with diverse solvation configurations is proposed to expand the operating temperature range of Zn ion batteries. The HEE possesses over 40 types of Zn^{2+} solvation structure with uniform distribution, contributing to its much higher solvation configurational entropy compared to the conventional aqueous counterpart (only 6 types). These effectively promote its anti-freezing ability under ultralow temperatures, with a high ionic conductivity of 0.42 mS cm^{-1} even at a low temperature of -40°C . Moreover, the entropy-driven property can simultaneously enhance the thermal stability under a high temperature over $+140^\circ\text{C}$. Therefore, the HEE can enable full cells stably working over a wide temperature range of $-40\sim+80^\circ\text{C}$, performing over 1500 cycles with 100% capacity retention at -40°C and 1000 cycles with $\sim 72\%$ capacity retention at $+80^\circ\text{C}$. This inspiring concept of entropy-driven electrolyte with quantized solvation configurational entropy value has charming potential for designing future special batteries with excellent adaptability towards extreme temperature environments.

A08-81

基于 $\text{g-C}_3\text{N}_4@\text{Zn}$ 电极的长循环寿命水系锌离子电池

谢继伟、贾政刚*、钱明芳、张学习

1. 哈尔滨工业大学

水系锌离子电池 (AZIBs) 因高安全性和低成本成为储能领域的研究热点，但锌阳极的枝晶生长、腐蚀及副反应严重制约其性能。石墨相氮化碳 ($\text{g-C}_3\text{N}_4$) 纳米片作为稳定的锌阳极保护层，通过优化涂层策略提升电池循环稳定性。 $\text{g-C}_3\text{N}_4$ 纳米片通过液相剥离技术制备，该技术以水-乙醇溶液为介质，室温下超声剥离块体材料获得超薄纳米片 (厚度 2-3 nm)，具有高比表面积 ($33.65 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) 和丰富的孔隙结构 (孔径 2-10 nm)。 $\text{g-C}_3\text{N}_4$ 涂层通过以下机制显著改善锌阳极性能：(1) 表面丰富的吡啶-N、吡咯-N 等官能团与 Zn^{2+} 形成 Zn-N 键，促进离子均匀沉积，抑制枝晶生长；(2) 高介电常数 (7-8) 诱导极化电场，排斥电解液中阴离子，减少腐蚀和析氢反应 (HER)；(3) 多孔结构提供充足成核位点，降低成核过电位 (5 mA cm^{-2} 时仅为 58.5 mV)。 $\text{g-C}_3\text{N}_4@\text{Zn}$ 对称电池在 0.2 mA cm^{-2} 和 5 mA cm^{-2} 电流密度下分别实现了 2500 小时和 1300 小时的长循环寿命，极化电压低于裸锌电极。并且以 MnO_2 为阴极组装的全电池在 1 A g^{-1} 下循环 800 次后容量保持率达 97%，库仑效率超 99%，并成功驱动计时器连续工作 24 小时。

A08-82

水系锌离子电池 SPEEK 聚合物基功能隔膜稳定锌阳极研究

吴娟

1. 云南大学

水系锌离子电池 (AZIBs) 凭借高安全性、低成本和环保性, 成为最具潜力的大规模储能理想替代技术之一。然而, 随着循环次数增加, 锌枝晶不断生长, 将穿透隔膜, 造成电池内部短路, 严重影响电池的循环寿命和安全性, 限制了 AZIBs 的产业化发展。在充放电过程中, 由于 Zn^{2+} 离子在电极表面的不均匀沉积, 会逐渐形成尖锐的锌枝晶。同时, 锌阳极还存在腐蚀和析氢等副反应。功能隔膜作为 AZIBs 的关键组件, 对于优化锌阳极性能起着至关重要的作用。SPEEK 聚合物膜中亲水基团 $-\text{SO}_3\text{H}$ 与疏水主链苯环形成独特的亲/疏水结构, 这种特殊结构能够均匀锌阳极界面的电场分布, 有效抑制锌枝晶的生长。本工作围绕构筑 SPEEK 与 COF 复合隔膜 (SPEEK/DBSA-COF) 代替传统的 GF 膜, 首次通过高机械强度的致密隔膜实现锌枝晶的抑制, 并对其进行系统性研究。结果表明, 功能隔膜超高的机械强度避免了因枝晶刺破隔膜而造成的短路, 致密结构有效抑制了阴极活性物质的穿梭。除此之外, 功能隔膜的引入引导了均匀的锌离子流, 加速载流子传输, 均匀锌阳极界面处电场, 从而实现均匀平滑的锌沉积, 有效抑制了锌枝晶的生长。

A08-83

Improving the Oxygen Evolution Reaction Kinetics in Zn-Air Battery by Iodide Oxidation Reaction

Jiaqi Ran, Daqiang Gao*

1. 兰州大学

Zinc-air batteries (ZABs) have garnered considerable attention as a highly promising contender in the field of energy storage and conversion. Nevertheless, their performance is considerably impeded by the proliferation of dendrites on the Zinc anode and the slow kinetics of the redox reaction on the air cathode. Herein, taking $\text{Ag30\%@LaCoO}_3$ ($\text{Ag30\%@LCO}$) heterojunction catalyst as the cathode, it is demonstrated that adding KI additives to the alkaline electrolyte can not only enhance the oxygen electrocatalytic reaction but also inhibit the formation of zinc anode dendrites, thereby achieving a comprehensive improvement in the performance of ZABs. Under the action of the KI additive, the optimized $\text{Ag30 \%@LCO}$ catalyst shows a decreased overpotential from 460 to 220 mV at $j = 10 \text{ mA cm}^{-2}$, while the assembled ZAB shows reduced charging potential (1.8 V), and long cycle stability (180 h). Furthermore, the morphology characterization results indicate a reduction in dendrites on the Zn anode. Both experimental and calculated results indicate that the presence of I^- as a reaction modifier alters the trajectory of the conventional oxygen evolution reaction, resulting in a more thermodynamically favorable pathway. The introduction of KI additives as electrolytes provides a straightforward approach to developing comprehensively improved ZABs.

A08-84

全聚合物柔性水系电池的开发及应用研究

贾康康、何思斯*

1. 哈尔滨工业大学 (深圳)

柔性全聚合物水系电池以其本征安全及柔性的优势, 在可穿戴电子等柔性供能场景中展现出良好的应用潜力[1, 2]。然而, 柔性全聚合物水系电池仍面临电压窗口限制导致能量密度低、聚合物电极稳定性差以及电极与电解质作用机制不明等问题[3-6]。基于聚苯胺开发出一种全新的柔性全聚合物水系电池。该研究提出了一种环境友好的聚合物-水系电解液, 首次实现了聚苯胺在水系电解液中通过稳定存储钠离子作为负极材料的应用, 并验证了其作为对称电极的可行性, 从而简化了电池的结构设计。该全聚合物电池可实现高达 139 mAh/g 可逆容量, 经过 4800 次循环后电池仍能保持 92.0% 的容量, 平均库仑效率为 99.5%, 最终可实现 153 Wh/Kg 的能量密度, 是当时已报道水系钠离子电池能量密度的最高值。这种柔性全聚合物水系电池具有优异的加工性, 可以满足纤维状和平面柔性器件的制备需求, 有效地满足了多样化场景应用。此外, 该电池在保证优异电化学性能的同时, 展现出高度的柔性及形变稳定性, 为实现高性能柔性储能提

供了有力支撑，该体系有望为可持续柔性储能技术的发展提供新的思路与动力。

参考文献:

- [1] Hong, Y.#, Jia, K.#, Zhang, Y. et al. Energetic and durable all-polymer aqueous battery for sustainable, flexible power. *Nat. Commun.* 2024,15, 9539. [2] Jia, K., Zhang, J., Hu, P. et al. Adjusting morphological properties of organic electrode material for efficient Sodium-ion batteries by isomers strategy. *J. Colloid Interface Sci.* 2022, 623, 637-645.
- [3] Jia, K., Liu, H., Huang, G. et al. Highly efficient phenanthroline-based organic anode materials with a three-electron redox mechanism. *J. Mater. Chem. A* 2022, 10, 14917-14922.[4] Jia, K., Zhu, L., Wu, F. .Phenylpyridine Dicarboxylate as Highly Efficient Organic Anode for Na-Ion Batteries. *Chemsuschem* 2021, 14, 3124.[5] Tang, M.#, Jia, K.*#, Ma, G. et al. Isomers of terephthalate derivatives as anodes for sodium-ion batteries. *Inorg. Chem. Front.*, 2024,11, 5103-5110.
- [6] Luo, Y.#, Jia, K.#, Li, X. et al. Tetrathiafulvalene carboxylate-based anode material for high-performance sodium-ion batteries. *Chemsuschem* 2024, 17, e202301847.

A08-85

First-Principles Investigations of Aqueous Sodium and Potassium Hydroxide Solutions at various Concentrations

Jiajia Huang¹, Yilin Ma², Qing Chen^{2,4}, Ding Pan^{*1,2,3}

1. The hong kong university of science and technology

2. Department of Chemistry, The Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Hong Kong, P. R. China

3. HKUST Shenzhen-Hong Kong Collaborative Innovation Research Institute, Shenzhen, China

4. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Hong Kong, P. R. China

The formation of ion pairs influences the mobility of electrolytes. In this study, we conducted extensive first-principles molecular dynamics simulations of sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide (KOH) solutions at various concentrations (1 M, 6 M, and 15 M). The results show significant differences in the properties of KOH solutions compared to NaOH solutions, primarily due to the presence of ion pairs in NaOH solutions. Additionally, by calculating electronic polarization on the fly, we obtained Raman and infrared spectra from first principles. The calculated Raman spectra show notable changes in the frequencies and intensities of key vibrational modes, reflecting variations in solvation environments and hydrogen bond dynamics across different concentrations and in response to different cations. Our result provides valuable insights into evaluating ion pair formation in aqueous basic solutions, with potential implications for their electrochemistry and industrial applications.

墙报

A08-P01

Clay Electrolyte for Aqueous Zn Ion Battery with Wide Temperature Operation

陈金国、邱美佳、梁宇轩、孙鹏、麦文杰*

1. 暨南大学

AZIBs still face tremendous challenges including narrow electrochemical window, dendrite growth and rampant side reactions on the electrode/electrolyte interface, which were closely related to the content of active water inside the electrolyte. When facing extreme temperatures, issues related to ion transport (mainly at low temperature) and side reactions (mainly at high temperature) become even severe.

In this work, inspired by the ion transport behavior of biological protein channels, we present a series of clay electrolytes (CYE). The Zn^{2+} transport number of one typical sepiolite system can achieve a much higher value of 0.97 compared to common aqueous systems (0.37), which can greatly improve the rate performance of the fabricated PANI||Zn full cells (showing an 83.5% capacity retention from 1 A g⁻¹ to 20 A g⁻¹). In addition, the reduced free water content in the electrolyte allows the full cell system to broaden the operating temperature. The fabricated PANI||Zn full cells can operate stably across the temperature range from -60 °C to +60 °C, delivering a ultralong cycle life of 17,000 times at -40 °C with negligible capacity degradation.

A08-P02

Balancing Tetrahedral and Cation Entropies for Long-lifespan Low-temperature Zn-ion Batteries

刘永涛、邱美佳、孙鹏、麦文杰*

1. 暨南大学

In this study, we propose a hybrid electrolyte system composed of 1,3-butanediol (BDO), zinc perchlorate ($\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2$), and H_2O , to systematically investigate the role of organic additives in entropy regulation and their effect on improving the antifreeze properties and interfacial stability. The hydroxyl functional group in the BDO molecule, combined with the chaotropic anion ClO_4^- with strong structure-destroying ability, can effectively break the HB network among water molecules and weaken the local tetrahedral order. This disruption can increase the S_{Qtet} to impel the hybrid electrolyte to encounter the glass transition at low temperatures instead of the crystallization process. Meanwhile, BDO can also participate in the Zn^{2+} solvation shell and regulate the cation entropy ($S_{\text{Zn}^{2+}}$, the two-body pair entropy associated with the Zn^{2+} , including the two-body pair entropy with the anion (S_2^{ip}) and water (S_2^{iw}) of Zn^{2+} by replacing some of the solvated water molecules, thus affecting the dynamic ion migration and desolvation energy of Zn^{2+} in the bulk electrolyte and electrode/electrolyte.

A08-P03

高液阴离子增强 MXene 在稀电解液中的锌离子存储性能

杜垒溪、张丽萍、李业盈、秦磊强、蒋剑霞*

1. 江西科技师范大学

水系锌离子混合超级电容器 (ZHSCs) 因其高理论容量、安全性及低成本而受到广泛关注[1]。然而, 其应用仍受限于较低的电压窗口, 进而导致能量密度不足。目前, 高电压电解液的开发主要集中于“水中盐”体系, 虽然该策略有效拓展了电化学稳定窗口 (ESW), 但仍面临成本高、离子传输效率低及低温性能差等挑战[2-5]。

为此, 本研究提出了一种新型稀电解液调控策略[6]: 在 1 M ZnSO_4 电解液中引入强液阴离子 ClO_4^- , 以提升电解液性能并拓展 ESW。理论模拟与实验结果共同表明, 高疏水性的 ClO_4^- 离子不仅显著提高了电解液的离子电导率, 促进了 Zn^{2+} 的扩散, 还能削弱体系中氢键的形成, 减少电极表面的自由水含量, 有效促进水合锌离子的脱溶剂化行为, 从而实现了更宽的电化学稳定窗口与更优的储能性能。在 0.005 M

$\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2$ 与 1 M ZnSO_4 组成的复合电解液体系中, $\text{Zn}/\text{Mo}_2\text{ScC}_2\text{Tz}$ 水系 ZHSC 的电压窗口由 1.0 V 成功拓展至 1.3 V, 并在 0.2 A g^{-1} 电流密度下实现高达 692.3 F g^{-1} 的比电容。进一步构建的非对称超级电容器在 1.8 V 下运行, 表现出 98.1 Wh kg^{-1} 的能量密度 (功率密度为 180 W kg^{-1}), 即便在 9000 W kg^{-1} 的高功率下仍保持 17 Wh kg^{-1} 的能量输出。值得强调的是, 该复合电解液设计策略在其他 MXene 材料体系中亦展现出良好的适用性, 为开发兼具高电压与高性能的低成本水系电解液提供了新的设计思路与重要参考。

参考文献:

- [1] Zhang L, Li Y, Liu X, et al. MXene-Stabilized VS_2 Nanostructures for High-Performance Aqueous Zinc Ion Storage. *Advanced Science*, 2024, 11, 2401252.
- [2] Javed M S, Najam T, Hussain I, et al. Fundamentals and scientific challenges in structural design of cathode materials for zinc-ion hybrid supercapacitors. *Advanced Energy Materials*, 2023, 13, 2202303.
- [3] Chen S, Zhang M, Zou P, et al. Historical development and novel concepts on electrolytes for aqueous rechargeable batteries. *Energy & Environmental Science*, 2022, 15, 1805-1839.
- [4] Wang Y, Sun S, Wu X, et al. Status and opportunities of zinc ion hybrid capacitors: focus on carbon materials, current collectors, and separators. *Nano-Micro Letters*, 2023, 15, 78.
- [5] Zhang Y, Wan G, Lewis N H C, et al. Water or anion? Uncovering the Zn^{2+} solvation environment in mixed $\text{Zn}(\text{TFSI})_2$ and LiTFSI water-in-salt electrolytes. *ACS Energy Letters*, 2021, 6, 3458-3463.
- [6] Zhang L, Qin L, Li Y, et al. Dilute Electrolyte with Chaotropic Anion Addition for Enhanced Zn-Ion Storage Performance in MXenes. *Energy Storage Materials*, 2025, 104116.

A08-P04

废弃多层复合塑料薄膜的升级回收及其在水系锌离子电池的应用

刘治东、郭武、李莉*

1. 四川大学

多层复合塑料薄膜结合不同组分间优异性能, 在食品、药品等包装领域发挥重要作用, 但由于成分复杂、分离困难, 废弃后难通过传统回收方法实现有效回收, 绝大部分仍采用填埋或焚烧等方式处理, 造成极大资源浪费及环境污染。针对多层复合塑料薄膜尤其是组分极性差异大的聚乙烯/尼龙 6 (PE/PA6) 薄膜废弃后高值化回收再利用难题, 本文开发了一种基于甲酸定向溶解和路易斯酸络合调控的创新工艺, 成功实现了 PE/PA6 复合膜中 PE 和 PA6 组分的高效分离, 以及 PA6 组分在水系锌离子电池的功能化应用。由 PA6 组分修饰商用玻璃纤维隔膜 (GF) 并经相转化工艺制备得到的 GFPACa 复合隔膜, 通过表面极性官能团的电荷调控作用和三维多孔结构的离子筛分效应, 有效实现了锌离子流的均一化传输, 显著改善了 Zn^{2+} 的沉积行为。同时, PA6 可将 GF 中松散的玻璃纤维包覆、捆扎在一起, 显著改善了隔膜机械性能, 有助于提高抗枝晶穿刺能力, 降低电池短路的风险。基于 GFPACa 隔膜组装的 $\text{Zn}/\text{GFPACa}/\text{Zn}$ 对称电池展现出优异的循环稳定性, 在 0.5 mA cm^{-2} 电流密度 (0.5 mAh cm^{-2}) 条件下, 可稳定循环 2114 小时以上, 较传统 GF 隔膜提升 40 倍。GFPACa 隔膜的优势在 $\text{Zn}/\text{V}_2\text{O}_5$ 全电池体系中同样得到验证, 表现出显著增强的循环稳定性和抑制自放电性能。以上结果充分证明 GFPACa 隔膜在调控锌离子沉积行为和提升电池性能方面的独特优势。本研究不仅为多层复合塑料薄膜的高值化回收提供了新思路, 同时也为废弃多层复合塑料薄膜在新能源电池领域的资源化应用提供了切实可行的方案。

A08-P05

在具有硫空位和异质界面的 Te 掺杂 $\text{CuS}/\text{Cu}_2\text{S}$ 负极中激活 Zn^{2+} 吸附-插层-转换行为实现高容量和长寿命锌离子电池

黄灿、刘铁忠、赵灵智*

1. 华南师范大学

锌离子电池因其低成本和高安全性在大规模储能领域具有广阔应用前景，但锌枝晶和自腐蚀问题限制了其发展。开发用于构建摇椅式锌离子电池（RCZIBs）的转换型 CuS 负极是解决锌金属电池中枝晶生长和自腐蚀问题的一种很有前途的方法。然而，实际应用中容量低、循环稳定性差以及插层过程与转换反应之间的关系不明确等限制因素阻碍了其发展。本研究通过 Te 掺杂诱导策略，提出了具有硫空位和异质界面的 Te-CuS/Cu₂S-20 负极。理论计算证实，异质表面可以调整 d 带中心以实现高效 Zn²⁺ 吸附，并产生内置电场以实现快速电荷转移。硫空位可以减少静电相互作用，从而实现 Zn²⁺ 的快速扩散，而 Te 掺杂则可以削弱 Cu-S 键，从而实现高效的转化反应。此外，Zn²⁺ 界面吸附-插层-转化机理被揭示，增强的插层过程可提高后续转化反应的深度。这些特点赋予了 Te-CuS/Cu₂S-20 高容量（0.1 A g⁻¹ 时为 229.5 mAh g⁻¹）和卓越的长期循环稳定性（5.0 A g⁻¹ 时循环 2000 次后容量保持率为 95.4 %）。MnO₂/Te-CuS/Cu₂S-20 全电池实现了出色的容量保持率（在 5.0 A g⁻¹ 条件下循环 5000 次后，容量保持率为 100 %），在替代传统的锌金属负极方面显示出巨大的潜力。这项研究为 RCZIB 开发高性能转换型负极材料提供了一个新的视角。

A08-P06

碳化聚合物点原位区分构建 AZIB（水系锌离子电池）碳核聚合物双层结构

李荣、孙海珠*

1. 东北师范大学

碳化聚合物点广泛应用于生物，发光，储能等领域。但到目前为止，CPDs 在储能领域中的尤其是作为电解液添加剂的研究较少。我们通过微波法制备一种以高石墨化碳核为中心，周围包裹发光小分子及交联高分子的碳化聚合点，将其作为电解液添加剂。在充放电循环过程中原位分离出碳核及聚合物团簇，其中碳核吸附在锌片负极的 IHz（内亥姆霍兹）上提高离子传输，抑制负极腐蚀。聚合物团簇吸附在碳层外围与锌离子配位加速锌离子从溶剂化结构脱出。这种独特的区分结构构建使得 Zn||Cu 电池在 5 mA cm⁻², 5 mAh cm⁻² 循环 4000 圈，CE 效率高达 99.85 %。Zn||I₂ 电池循环超 60000 圈，容量保持率 88 %。

A08-P07

Metal-organic ligand cooperation enables stable high-capacity vanadium-based cathodes for low-temperature zinc-ion batteries

黄翰、孙鹏、麦文杰*

1. 暨南大学

Aqueous zinc-ion batteries (AZIBs) represent a highly promising next-generation battery technology. Vanadium oxide-based cathodes have garnered significant attention due to their optimal working potential, high theoretical capacity, and rich electrochemical interactions with Zn²⁺. However, while conventional metal ion intercalation enhances the structural stability of vanadium-based cathodes, it simultaneously increases the Zn²⁺ diffusion barrier within vanadium oxide interlayers. This study developed a one-step hydrothermal method to co-incorporate both metal ions and organic ligands into vanadium oxide. The metal ions act as structural pillars to stabilize the framework, while the organic ligands effectively reduce Zn²⁺ diffusion barriers through electrostatic effects, leading to remarkable improvements in both capacity and low-temperature performance. The resulting metal-organic co-doped vanadium-based cathode demonstrates exceptional performance, delivering a high

specific capacity of 314.4 mAh/g at room temperature with outstanding cycling stability (~88% capacity retention after 5300 cycles). Notably, it maintains a substantial capacity of 155.6 mAh/g at 3 A/g even under extreme conditions (-40 °C), showcasing its potential for practical applications in harsh environments.

A08-P08

基于隔膜构建的截留-吸附-催化策略提升锌-卤素电池的抗自放电能力

杨洁

1. 华南师范大学

水系锌-卤素电池（如 Zn-I₂/Br₂ 电池）存在严重的自放电行为，导致活性阴极材料发生不可逆损失以及锌阳极的严重腐蚀，最终导致电池快速失效。在此，本研究报道了一种基于锌—锰原子对修饰的玻璃纤维隔膜（命名为 ZnMn-NC/GF）的截留-吸附-催化策略，以有效缓解自放电现象。原位拉曼光谱和紫外光谱实验以及理论计算证实，单原子锰位点负责多碘化物的吸附，而锌—锰原子对则促进了反应中间体的转化。因此，通过使用这种 ZnMn-NC/GF 隔膜，阴极活性物质的利用率得到了提升。采用 ZnMn-NC/GF 隔膜组装的 Zn-I₂ 电池在充满电后静置 120 小时后，库仑效率（CE）仍保持在 90.1%，且在 5 A g⁻¹ 的电流密度下经过 30000 次循环后，容量保持率仍高达 95.3%。此外，采用 ZnMn-NC/GF 隔膜设计的 Zn-Br₂ 电池能够承受溴物种更严重的自放电问题，在 0.5 A g⁻¹ 的电流密度下，平均放电电压平台为 1.75 V。这种截留-吸附-催化策略显著抑制了水系锌-卤素电池的自放电问题，为高性能水系锌-卤素电池的发展可提供重要参考。