



中国材料大会 2024  
暨第二届世界材料大会  
**CMC 2024 & WMC 2024**

July 8-11, 2024  
Guangzhou, China

**FB02-新体系电池青年论坛**  
**FB02-Youth Forum on New System**  
**Batteries**

**Organized by**

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

## FB02-新体系电池青年论坛

分会主席：方永进、张凯、黄永鑫

### 钠/钾/镁离子电池【FB02-新体系电池青年论坛】

最终交流类型：邀请报告

#### 钠离子电池层状正极材料晶格氧活性研究

郭少华\*

南京大学

传统二次电池正极通过过渡金属阳离子的氧化还原进行电荷补偿，其工作电压和能量密度受限于过渡金属离子的氧化还原电势和电荷转移数目。针对大尺寸钠离子嵌入反应所造成的反应活性不足的问题，报告人围绕钠离子电池层状正极的氧化还原机制和晶体结构演化规律开展了创新性研究。(1) 基于电荷补偿机制，提出了阴阳离子协同氧化还原，提高了嵌钠反应活性，得到了高比能量的嵌钠反应体系；(2) 基于晶体能带理论，研究了元素掺杂与阴离子氧化还原反应稳定性的构效关系，在兼顾阴离子氧化还原活性的同时，发展了高稳定性的嵌钠反应体系。通过表面增强原位拉曼光谱、软 X 射线吸收谱以及第一性原理计算等系列技术手段，发现了嵌钠反应中氧氧键的形成。该新机制丰富了氧化物材料的插层化学，为高比能钠离子电池的设计提供了新思路。

最终交流类型：邀请报告

#### 钠/镁离子电池磷酸盐电极材料晶体调控

熊方宇<sup>\*1</sup>、安琴友<sup>2</sup>、麦立强<sup>2</sup>

1. 重庆大学材料科学与工程学院/国家镁合金材料工程技术研究中心
2. 武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室

近年来，钠/镁离子电池因资源丰富、成本低廉等潜在优势在电化学储能研究领域备受关注，是极具潜力的下一代储能系统。然而，相比于锂离子，钠离子半径更大、镁离子电荷密度更高，这对钠/镁离子电池电极材料提出了更高的要求。因此，高性能电极材料的开发是钠/镁离子电池发展的关键。我们利用高能球磨非晶化处理实现了磷酸铁钠电化学活性的大幅提升，并基于 X 射线吸收近边结构谱等表征，提出了非晶态磷酸铁钠的结构模型，揭示了磷酸铁钠非晶化后电化学活性提升的结构起源；构筑了镁离子掺杂混合磷酸铁钠复合正极材料，实现了 14000 次的超长循环寿命，并揭示了其以嵌入型赝电容反应为主的储钠反应机理；发现立方相焦磷酸钛比层状焦磷酸钛具有更优异的储镁性能，循环寿命可达 5000 次，并揭示了立方相焦磷酸钛的低应变可逆储镁机制以及三维离子传输通道。这些研究结果将为高性能磷酸盐电极材料的开发提供理论借鉴。

最终交流类型：邀请报告

#### 钠电池：层状氧化物正极及少钠/无钠负极优化

骆文彬\*

Northeastern University

少钠/无钠体系成为未来钠电池的重要发展方向，作为可循环钠离子的主要供应者，O3 型层结构锰基氧化物被认为是钠最具竞争力的阴极候选材料之一。由于在钠插层/脱插层过程中存在复杂的结构转变和过渡金属迁移，特别的在高电压下，其能量密度和寿命无法满足日益增长的需求。八面体中心金属元素的轨道和电子结构在维持八面体结构完整性和通过引入异质[Me-O] (Me: 过渡金属) 化学键提高 Na<sup>+</sup> 扩散性方

面发挥着重要作用。同时，对负极金属沉积行为的有效调控也是少钠/无钠体系能否实现的关键。

最终交流类型：邀请报告

### 钾离子电池碳基电极材料结构设计及机制

李德平、慈立杰\*

哈尔滨工业大学 (深圳)

受限于锂资源的低地壳储量、不均匀的地理分布和较高的价格，锂离子电池在大型用电设施如电动汽车的发展受到了极大的限制。因此，由于地壳中具有丰富的钾资源，钾离子电池成为最具前景的锂离子电池替代品之一。然而，受限于钾离子较大的离子半径，在反复的嵌入和脱出过程中，会造成电极材料的体积膨胀和结构坍塌等问题，从而导致较差的电化学稳定性和动力学。因此，需要对电极材料进行合理有效的结构设计和改性。

碳材料，尤其是多孔碳材料，具有良好的电子导电性和发达的孔道结构，可以为钾离子的扩散提供丰富的离子扩散通路。此外，多孔碳材料还可以作为电极材料膨胀的缓冲介质，稳定电极结构。在本次汇报中，我们将主要介绍课题组在碳基电极材料的改性制备、储钾性能评价和储钾机制探究。主要包括：1、多孔碳负极材料的微纳结构调制；2、碳基复合材料的结构设计及界面优化；3、碳基电极材料的储钾行为机制研究。

#### 相关研究成果

- [1] Chem Soc. Rev., 53, 4707-4740 (2024)
- [2] Advanced Materials, 36(16), 2311256 (2024)
- [3] Energy & Environmental Science, 14 (1), 424-436 (2021). (ESI 1%)
- [4] Advanced Energy Materials, 8(34), 1802386 (2018). (ESI 1%)
- [5] Energy Storage Materials, 23, 367-374 (2019).
- [6] Journal of Materials Chemistry A, 10, 15026-15035 (2022).
- [7] Journal of Materials Chemistry A, 8, 22874-22885 (2020).
- [8] Nano Research, 14, 4502 - 4511 (2021).
- [9] Small, 8(39), 2203459 (2022).
- [10] Small, 16(45), 2005023 (2020).

最终交流类型：邀请报告

### 无氯 $\text{Mg}(\text{SO}_3\text{CF}_3)_2$ 基电解液设计及界面化学研究

谭双双\*<sup>1</sup>、李凌杰<sup>1</sup>、黄光胜<sup>1</sup>、麦立强<sup>2</sup>、潘复生<sup>1</sup>

1. 重庆大学国家镁合金材料工程技术研究中心、国家储能技术产教融合创新平台
2. 武汉理工大学材料科学与工程学院

金属镁负极具有体积比容量高、资源丰富和不易生长枝晶等特点，使镁二次电池在大规模储能领域展现出巨大的应用潜力。然而，金属镁负极在传统的简单镁盐电解液（如  $\text{Mg}(\text{TFSI})_2$ 、 $\text{Mg}(\text{SO}_3\text{CF}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$  等）中容易产生无机  $\text{MgO}/\text{Mg}(\text{OH})_2$  钝化层，导致不可逆的镁沉积/溶解。早期研究认为钝化层来源于  $[\text{Mg}-\text{阴离子}]^+$  离子对在金属镁表面的分解反应，因此如何降低简单镁盐电解液中的离子对占比并改善 SEI 膜成分是其实现应用的主要难题。本团队通过调控溶剂配位能和阴离子构型，有效改变了 SEI 膜的成分及结构，改善了界面离子输运动力学，实现了高效、均匀、快速的镁沉积/溶解。提出在无氯  $\text{Mg}(\text{SO}_3\text{CF}_3)_2$  醚类电解液中引入强配位 2-甲氧基乙胺 (MOEA) 溶剂，通过 MOEA 的优先分解构建了具有快速镁离子传导的有机/无机复合梯度 SEI。该电解液展现了高离子电导率 ( $> 4 \text{ mS cm}^{-1}$ )、高平均库仑效率 (99.3%，1000 次) 和高倍率性能 ( $7.5 \text{ mA cm}^{-2}$  下过电势为 570 mV)。此外，进一步将  $\text{SO}_3\text{CF}_3^-$  阴离子嫁接到氟化硼酸酯上，可以获得非对称、弱配位硼中心大阴离子；氟化硼酸酯中的含氟烷基基团有效地实现了  $\text{SO}_3\text{CF}_3^-$  和 B-O 平面

的电荷去局域化，抑制了离子对的独立分解和钝化反应；该策略同时改善了电解液的正负极兼容性。组装的 Mg//Mo<sub>6</sub>S<sub>8</sub> 全电池在 1 C 下循环 600 次后容量保持率为 90.2%。这些工作为高性能低成本无氯电解液的溶剂化调控及界面设计提供了理论参考。

最终交流类型：邀请报告

### 新型二次电池关键材料与应用

吴飞翔\*

中南大学

围绕新型二次电池体系（包括锂硫电池、高电压锂金属电池和水系锌离子电池等）开发出了多种关键正负极材料和新型功能电解液。报告将探讨电极材料、新型电解液组元与界面、电化学性能间的相互关系，为下一代高比能、高安全二次电池提供关键材料基础。

最终交流类型：邀请报告

### 无定形材料在钠离子电池中的应用

陆雅翔\*、代涛、李钰琦、胡勇胜

中国科学院物理研究所

高性能钠离子电池的研发离不开对先进材料的探索。晶体材料因具有稳定的结构框架、可精确调控的性能以及可预测的工作表现，在电极和固体电解质等电池及电化学装置应用中获得了广泛研究。然而，为追求更优性能并应对现有挑战，无定形材料作为潜在的优选方案，逐渐成为研究的焦点。本报告聚焦于无定形材料在钠离子电池中的应用，尤其关注无定形碳负极材料和无机玻璃固体电解质材料。在无定形碳负极的研究中，我们采取多种策略以提升其储钠容量，并深入探索储钠机制。最近，基于斜坡-平台双电压区域的硬碳负极组装的 Ah 级钠离子电池可在 9 分钟快速充放电条件下循环 3000 周，没有观察到钠沉积。通过引入锂作为“探针”解析微观结构与储钠性能的构效关系，结合第一性原理计算，揭示了 Ah 级钠离子电池快速充电的原因。就固体电解质而言，我们最近开发了一类新颖的粘弹性无机玻璃 (VIGLAS) 电解质，其不仅具备有机聚合物电解质的柔性，还兼具传统无机陶瓷电解质高离子电导率 (> 1 mS/cm) 和耐高电压 (> 4.3 V) 的优点，有效解决了高电压正极和固体电解质之间的机械和化学稳定性问题，实现了全固态电池在室温下无需外部压力下的平稳运行。

最终交流类型：邀请报告

### 钠基合金固态钠电池

薄首行\*

上海交通大学

采用不可燃固态电解质的固态钠电池有望以更低的成本实现未来电化学储能的高安全需求。然而目前固态钠电池发展仍处于起步加速阶段，技术路线仍不明确。为提高电池能量密度，固态钠电池多采用金属负极和陶瓷类固态电解质。其中，硫化物固态电解质由于其高离子电导率和良好的机械加工性能，是未来具有工业化前景的固态电解质材料。然而，在充放电过程中，固态钠电池中固-固接触难以及时耗散由电极体积变化导致的局域应力累积，且界面副反应形成混合导电界面亦引发电池容量损失。目前，负极-固态电解质界面行为主要集中于固态锂电池，固态钠电池中的研究较少，且钠金属不同于锂金属的（电）化学和力学特性亦使其具有不同的界面稳定性和沉积-剥离行为。

与传统实验室表征技术（如 XRD、SEM、TEM、CT 等）相比，同步辐射 X 射线技术的高能量、高时空分辨率和高穿透性使其能在不损坏样品的前提下实现微秒级超快时间分辨，可实时原位追踪界面形貌的演变规律。其空间信息和衬度信息可链接电化学和力学行为，为定量解构界面力电耦合提供支撑。此外，钠金属和硫化物固态电解质的高衬度差异帮助明确电极沉积-剥离过程，从而为固态钠电池界面设计提供指导。

本工作基于上海光源纳米三维成像光束线站 (BL16U2) 发展原位计算机断层扫描技术, 通过定量研究电极沉积-剥离行为明确外部保压和电流密度等因素对固态钠电池中负极-固态电解质界面演化和力电耦合行为的影响, 提出高机械和化学稳定界面的设计准则。

最终交流类型: 邀请报告

### 新型高分子及其衍生炭基二次电池关键材料

刘绍鸿\*

中山大学

大力发展风能、太阳能、核能等清洁能源, 开发高效能源储存和转化技术, 是我国实现“双碳”目标的必由之路。由于其独特的物理化学结构, 高分子及其高温衍生的炭材料具有许多其他材料无可比拟的优点, 在二次电池中发挥着不可替代的重要作用。近年来, 各种新型能源高分子与炭材料层出不穷, 已成为现代材料科学与技术的一个热门研究领域。如何多尺度、多层次精确定制能源高分子与炭材料的骨架功能组分及其表界面结构, 解决其荷质输运网络问题, 实现功能导向组装, 进而提升其在二次电池中的应用性能, 是这一领域面临的巨大挑战。有鉴于此, 我们聚焦于新型能源高分子与炭材料的设计、构筑及性能研究, 成功开发了一大批具有高功能骨架、高活性表界面和高通量能量输运网络的新型能源高分子与炭材料, 取得了一系列创新性成果: (1) 建立了多功能协同耦合碳/非碳多组分骨架结构的可控构筑新技术, 实现骨架的高功能化, 提高本征活性; (2) 提出了分子刷接枝和富孔化策略精准调控骨架表界面结构的新思路, 优化表界面反应活性, 增加活性位点利用率; (3) 发展了三维纳米网络结构组装新技术, 实现多方向高通量荷质输运网络的高效组装, 增强其反应动力学。发现并证实了高功能骨架、高活性表界面和高通量能量输运网络的创新设计可显著提升这类材料在新型二次电池中的应用性能。

最终交流类型: 邀请报告

### 高倍率赝电容储钠机制与调控策略

魏湫龙\*

厦门大学

钠离子储能技术具有资源丰富、可持续利用、低成本、高安全、能量转换效率高、环境友好等优点, 是规模化储能的理想选择之一。由于钠离子具有相比于锂离子更大的离子半径, 使得钠离子在电极活性材料中扩散缓慢, 且在嵌入/脱出过程中伴随电极材料的结构劣化, 导致传统储钠电极材料倍率性能差、循环寿命短。为解决上述问题, 具有快速充放电速率及高比容的赝电容材料引起广泛关注, 有望实现兼顾高能量、高功率密度与长循环稳定的性能。已报道的赝电容研究多数集中在水系、锂离子方面, 基于赝电容储钠反应机制亟需进一步探索。钠离子电容器作为一种新型的化学电源, 通过引入法拉第反应电极提高器件的容量与工作电压, 结合电池高能量密度和超级电容器高功率密度的优点, 兼顾实现高功率密度与高能量密度, 是下一代高功率钠离子电化学储能器件的发展方向。本报告将重点介绍赝电容储钠机制探究与相关电极材料的性能优化, 兼具高能量密度与高功率密度的钠离子电容器构建思路[1-5]。为推进发展钠离子储能技术在高功率储能领域的应用提供新思路。

最终交流类型: 邀请报告

### 钠离子电池层状正极体相结构及表界面调控研究

金婷\*、邓雨雨、焦丽芳

南开大学

层状氧化物正极因成本低廉、合成简单等优势被认为是最具应用潜力的一类钠离子电池正极材料。然而, 其发展仍面临不可逆结构相变、表界面稳定性差等挑战。针对上述问题, 我们主要开展了以下三个方面工作: (1) 通过离子靶向掺杂策略构建了高钠含量的  $P2-Na_{0.85}Li_{0.12}Ni_{0.22}Mn_{0.66}O_2$  ( $P2-NLNMO$ ) 正

极材料。该材料的电化学反应为无相变全固溶体反应，脱嵌钠前后晶胞体积变化仅有 1.7%，其展现出高的可逆比容量 (0.1 C, 123 mA h g<sup>-1</sup>)、高的工作电压 (3.4 V) 以及优异的倍率性能 (20 C, 79.3 mA h g<sup>-1</sup>)；

(2) 构筑了一种晶格强化的 P2-Na<sub>0.66</sub>Ca<sub>0.03</sub>[Li<sub>0.24</sub>Mn<sub>0.76</sub>]O<sub>2</sub> (NCLMO) 正极，通过在 Na 层中引入 Ca<sup>2+</sup> 使得 TMO<sub>2</sub> (TM: 过渡金属) 层收缩并增强了 TM-O 键 (TM = Li/Mn)。此外，Ca 的引入有效减缓了 Li 的面外迁移，从而抑制了 Mn 的面内迁移。离子迁移的减少缓解了 O 周围局部环境的变化，并且阻碍了 TM 空位簇的形成，显著抑制了晶格氧的损失。基于此，NCLMO 在 1 C 下经过 200 次循环后表现出 76.04% 的高容量保持率；

(3) 利用乙酸将层状正极表面残碱原位转化为补钠剂乙酸钠。乙酸钠作为补钠剂具有约 300 mA h g<sup>-1</sup> 的高比容量以及合适的氧化电位 (~ 4.1 V)，容量利用率高达 ~92%。基于此，我们构筑了钠离子软包全电池 (P2-NLNMO||硬碳)，其能量密度可达 130 Wh/kg。

最终交流类型：邀请报告

### 镁二次电池正极材料设计

李真酉\*

中国科学院青岛生物能源与过程研究所

镁金属二次电池是一种资源丰富型后锂离子电池体系，具有原材料价格低廉、可持续性好、电池体系本征安全性高等技术特征，有望在大规模储能、分布式储能和极端环境储能等领域得到应用。自 2000 年以色列科学家 Doron Aurbach 教授提出镁电池原型以来，镁二次电池技术得到快速发展，尤其是镁离子电解液的离子电导率和正负极界面兼容性得到极大提升。尽管如此，镁电池的技术成熟度仍然较低

(TRL3-4)，与锂离子电池相比在能量密度和循环性能等方面还存在较大差距。目前，正极材料成为制约镁体系全电池性能的决定性因素，其中的关键是如何克服镁离子的强极化作用，减弱载流子与宿主之间的相互作用，从而实现嵌镁反应热力学路径的优化和动力学性能的提升。

本报告将介绍课题组近年来在镁二次电池正极材料方面的研究进展，所有研究均采用自主研发的硼中心弱配位电解质材料，即四(六氟异丙氧基)硼酸镁 Mg[B(hfip)<sub>4</sub>]<sub>2</sub>。主要内容包括以下三部分：(1) 新型镁基共嵌入电化学的设计；(2) 过渡金属硫族化合物价电子结构调控；(3) 镁-硫体系动力学提升策略。

#### 参考文献

- [1] Z. Li, X. Mu, Z. Zhao-Karger, T. Diemant, R. J. Behm, C. Kübel, M. Fichtner, Nat. Commun. 2018, 9: 5115.
- [2] A. Roy, M. Sotoudeh, S. Dinda, Y. Tang, C. Kübel, A. Groß, Z. Zhao-Karger, M. Fichtner, Z. Li, Nat. Commun. 2024, 15: 492.
- [3] Z. Li, B. P. Vinayan, P. Jankowski, C. Njel, A. Roy, T. Vegge, J. Maibach, J. M. G. Lastra, M. Fichtner, Z. Zhao-Karger, Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59 (28): 11483-11490.
- [4] Z. Li, A. Welle, S. Vincent, L. Wang, S. Fuchs, S. Riedel, A. Roy, D. Bosubabu, J. M. García-Lastra, M. Fichtner, Z. Zhao-Karger, Adv. Energy Mater. 2023, 13: 2302905.
- [5] Z. Li, J. Häcker, M. Fichtner, Z. Zhao-Karger, Adv. Energy Mater. 2023, 13: 2300682.
- [6] H. Shi, G. Wang, Z. Wang, L. Yang, S. Zhang, S. Dong, B. Qu, A. Du, Z. Li, X. Zhou, G. Cui, Adv. Sci. 2024, 2401536. <https://doi.org/10.1002/advs.202401536>

最终交流类型：邀请报告

### 碳耦合界面的调控设计及储钠/钾性能研究

魏锡均\*

西南科技大学

针对钠/钾离子电池负极所面临的低容量、动力学过程缓慢和循环可逆性差等问题，借助碳材料优异的

物理化学性质，通过对储钠负极材料进行表面碳层设计及调控，研发了系列具有独特碳耦合结构的过渡金属硫族化合物材料，研究了材料微观结构与储钠性能间的“构效关系”并借助第一性原理计算和原位/非原位表征技术深度阐述了相应电极材料的储钠/钾机制。通过合理的碳耦合修饰、孔结构和相界面设计，实现了具有高储钠/钾容量和优异倍率性能、库伦效率及循环稳定性的过渡金属硫/硒化合物的有效构建。

最终交流类型：邀请报告

### 钾离子电池负极材料设计

宾德善\*

暨南大学

钾离子电池资源丰富，契合国家对可持续性电化学储能技术的重大需求。高比容量长寿命负极材料是发展先进钾电技术的关键。报告围绕如何减小负极嵌钾引发的严重体积形变并加快  $K^+$  扩散以实现高性能储钾的科学问题展开讨论，主要介绍两方面的成果：1) 调控碳前体化学属性（分子量、官能团、结晶度等），获得精确合成多级空腔碳负极新方法；利用多级空腔结构缓冲电极膨胀并加快  $K^+$  扩散，实现碳负极大倍率储钾的比容量倍增，并显著提升寿命。2) 利用高活性共轭分子构筑低应变多孔聚合物负极，大幅提升了储钾比容量和稳定性，即使在  $60^\circ\text{C}$  下循环 1600 次仍可获得 97% 的容量保持率，提出孔内储钾实现低应变的稳定新机制。

最终交流类型：邀请报告

### 储钾负极材料性能提升策略和机理解析

张桥保\*

厦门大学

发展高能量密度、高功率密度和长循环寿命二次电池是当前国内外前沿研究热点，也是能源电化学材料研究的核心。先进电极材料开发是实现高比能二次电池的关键前提，这迫切需要对现有电极材料进行优化并探索新型高性能电极材料，同时借助清晰、精确的先进实验表征手段对新机理、新材料和新设计进行深入探讨，以形成系统的科学认识；特别是采用先进原位表征手段精准解析电极材料在工况下的动态演化行为与劣化失效机制，从而在更深层次上理解电池中各类构效关系和电化学反应机制，为电极材料和化学电源的设计与优化提供科学依据。

本报告将重点针对储钾关键负极材料在工况下的微观结构动态演化与宏观电化学性能间的构效机制这一关键科学问题，以原位显微与谱学表征为研究手段，结合理论模拟，深入解析关键电极材料在工况下化学、物理特性的动态演化机制，阐明材料微观结构与宏观电化学性能间的构效关系，进而“自下而上”地指导多种高性能复合负极材料的构筑，以期为解决目前钾离子电池中存在的瓶颈问题提供新的研究思路。

最终交流类型：邀请报告

### NASICON 型钠离子电池正极材料设计

周亮\*

武汉理工大学

钠超离子导体(Natrium Super Ionic Conductor, NASICON)材料具有稳定的框架结构和快速的离子扩散通道，是一类有潜力的钠离子电池正极材料。然而，NASICON 型材料的导电性较低、可逆容量较低，导致其能量密度和倍率性能不佳。基于 Mn、Fe、Ti 等廉价、环境友好的过渡金属元素，报告人团队设计了一系列具有多电子氧化还原特性的 NASICON 型磷酸盐钠离子电池正极材料，如  $\text{Na}_{3+x}\text{MnTi}_{1-x}\text{V}_x(\text{PO}_4)_3$ 、 $\text{Na}_4\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{1.5}(\text{PO}_4)_2(\text{P}_2\text{O}_7)$  等。这些材料兼具高能量密度和优异的循环稳定性。

最终交流类型：邀请报告

钠离子电池的层状氧化物正极：相转变机制、空气稳定性、高能量密度

肖遥\*

温州大学化学与材料工程学院

钠资源丰富且分布广泛,钠离子电池在智能电网以及大规模储能等领域中具有广阔的应用前景,其经济价值和战略意义重大。相比于其他钠离子电池正极材料,层状过渡金属氧化物具有制备工艺简单、比容量高、离子电导率高的优势,是当前最具有应用前景的正极材料之一。然而,在实际应用中,层状氧化物正极材料仍存在一些关键性的基础科学问题:钠空位有序重排,复杂的多相转变以及空气稳定性等。本报告主要从相转变机制、空气稳定性和高能量密度三个方面展开,借助先进的原位光学与谱学表征技术以及集成力学、电学和热学手段探究钠离子存储机制以及反应特性。重点探讨钠离子电池在实验室研究与大规模生产中的融合问题以及未来钠离子电池的水系涂布及回收,旨在进一步降低生产成本、提升电池性能,推动其在智能电网、工业储能以及低速电动汽车等领域的商业化和规模化应用,助力实现碳达峰碳中和目标。

最终交流类型:邀请报告

### 面向长寿命钠离子电池的电极材料开发及界面设计

陈重学\*

武汉大学

钠离子电池是大规模储能电池的理想选择之一。虽然国内外在钠离子电池关键材料方面的研发取得了一些突破,但目前电池的循环寿命普遍在 5000 次以下,不及商品化的磷酸铁锂电池,距离规模储能电池 >10000 次的寿命指标也相隔甚远。

近期,我们提出以  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  和柠檬酸的混合溶液处理碳钢表面的铁锈,并将处理液进一步通过喷雾干燥法制取  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  正极的新思路,工艺流程简单可控、绿色环保、具有极高的原子经济性,正极具有多孔中空球形形貌,10 C 下 10000 次长循环容量保持率高达 87.5%,在 100 C 的超高倍率下仍保持有 57.1 mAh  $\text{g}^{-1}$  的比容量,3 Ah 硬碳 ||  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  软包全电池 1000 次循环后容量保持率为 93.3%。

针对高电压  $\text{Na}_{2+2x}\text{Fe}_{2-x}(\text{SO}_4)_3$  材料空气稳定性差的应用障碍,提出利用阴离子  $\text{PO}_4^{3-}$  掺杂,获得了高循环稳定性和空气稳定性的  $\text{Na}_{2.9}\text{Fe}_{1.7}(\text{SO}_4)_{2.7}(\text{PO}_4)_{0.3}$  储钠正极材料,具有 100.4 mAh  $\text{g}^{-1}$  和 3.57 V 的平均工作电压,循环 6000 次容量保持率为 76.3%,800 mAh 软包全电池循环 800 次容量保持率为 75.5%。

针对硬碳负极在传统碳酸酯类溶剂中形成的 SEI 不稳定、易溶解的问题,提出基于亲电子溶剂特异性吸附设计的富氟界面,引入具有特殊电子受体性质的溶剂 TFEP,使其优先吸附到负电平面屏蔽负电场,并通过阴离子的特异性吸附将阴离子拉入内亥姆赫兹层,MD、AFM、TOF-SIMS、XPS 等均证实了富氟 SEI 良好的稳定性和机械性能,硬碳负极循环 400 次容量保持率超 90%,2.8 Ah 硬碳 ||  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  软包电池循环 600 次容量保持率大于 90%, $-40^\circ\text{C}$  仍能释放 65% 的容量,安全性测试表明电池完全不燃,针刺无鼓包现象。

以上工作证实通过对正极材料组成、结构和形貌的设计,结合电极/电解液界面的调控有望大幅提升现有钠离子电池的寿命。

最终交流类型:邀请报告

### 电解液设计与电池性能

潘慧霖\*

浙江大学

电解液对二次电池技术的性能至关重要。通常情况下,电解液被视为一种无序或各向同性的液态混合物,我们对其结构的认识主要集中在局部配位结构上。最近的研究发现,电解液成分的空间分布可以通过溶剂分子之间的相互作用显著调控。本报告将详细讨论电解液中弱相互作用(如溶剂-溶剂相互作用)对电解液局部和长程结构的影响和调控作用。同时,我们还将探讨电解液的微观结构与其宏观物理化

学性质及离子输运机制之间的关系，并讨论提升电解液电化学稳定性和离子扩散输运性能的方法。通过结合系统谱学和机器学习辅助分类方法，我们提出并展示了由溶剂-溶剂分子间相互作用调控的电解液设计图，以及一种半定量的电解液设计标准，用于预测电池的电化学性能。

最终交流类型：邀请报告

### 镁电池正极材料的性能优化研究

安琴友\*、龙俊材、何泽

武汉理工大学

二次镁电池被广泛认为是一种兼具低成本、高安全性和高能量密度的新型储能器件，且我国镁资源居世界首位，具有开发镁电池独特的优势。但是，二价镁离子的电荷密度大，与溶剂作用力强，导致镁离子的脱溶剂化过程和正极材料中的扩散动力学都十分缓慢。因此，研发可以快速去溶剂化的电解液和可以高效嵌入/脱出镁离子的正极材料是镁电池研究的关键。本团队针对镁离子电池正极材料的问题进行了深入的研究，围绕多价离子储能材料的可控合成、性能优化、反应机理和固态扩散动力学形成了持续性的科学研究思想。通过分子置换的方式将苯胺分子嵌入到 VOPO<sub>4</sub> 材料层间，使材料层间距增大近一倍，实现了电化学性能的显著优化。通过阴阳离子共掺杂，在 MoO<sub>3</sub> 材料中引入了阳离子空位和扩大层间距，实现了二维材料中镁离子的三维快速扩散，改性后电极材料的镁离子固态扩散速率得到了明显提高，低电流密度下容量提升到 3 倍。此外，还提出了脱卤二聚-路易斯酸碱反应和优化电解液溶剂化结构等策略，从电解液测改善了与电极材料界面的亲和性，实现了高效的镁离子去溶剂化过程。这些设计与合成策略为高性能镁电池储能器件的发展提供了新思路。

最终交流类型：邀请报告

### 高选择透过性金属有机框架基隔膜在二次电池中的应用

柏松延\*

福州大学化学学院

摘要 在下一代新型二次电池体系中，正极材料会经历明显的形态变化；负极上则会面临锂离子不均匀沉积形成的有害锂枝晶，造成电池容量和循环寿命的快速衰减和安全问题[1-2]。金属-有机框架化合物(MOF)因其具有超大的比表面积、可调的孔道、灵活的自组装特性，而在气体吸附、存储与分离、催化等领域备受关注[3]。而利用 MOF 的超微孔结构作为离子通道选择性筛目标产物的新思路，使“分子/离子筛”MOF 基隔膜在电池体系中显示出高选择透过性[4-5]。

#### 参考文献

- [1] Zhao, M.1, Li, B.-Q.2, ACS Central Science 2020, 6, 1095.
- [2] Kalnaus, S.1, Wang, Y. L.2, J Power Sources 2017, 348, 255.
- [3] Li, X.-X.1, Zhao, D.2, Coordin Chem Rev 2019, 397, 220.
- [4] Fan, L.1, Li, M.2, Joule 2019, 3, 361.
- [5] Jang, J.1, Oh, J.2, Materials (Basel) 2020, 13, 4625.

最终交流类型：邀请报告

### 转化型电极材料与自旋极化电容

李洪森\*

青岛大学

在“双碳”背景下，人们对高能量密度储能电池需求与日俱增。研发高存储能力的电池电极材料已成为能源领域的研究热点。相比于传统的基于摇椅式嵌入脱出机制的锂离子电池材料，转化型材料放电容量高，种类丰富，是实现能量密度突破的理想电极材料。在锂离子电池中，存储化学通常基于氧化还原机

制，如果电极的氧化还原机制是已知的，根据法拉第定律，则可以计算其理论容量。然而，许多已知的转化型电极材料的工作容量远超其理论极限，预示着有新的存储机制未被认知。报告人一直致力于转化型电极材料与自旋极化电容的研究，针对转化型电极材料反常的超出理论的额外容量问题，开展了以下两个方面的工作：(1) 发现了自旋极化电容并实现了精确量化，提出了新的能量存储形式，揭示了其普适性规律，设计制备了基于自旋极化电容存储机制的高性能电子导体/离子导体复合电极材料；(2) 提出了“电子超压”的理论，揭示了涉及自旋极化电子转移的过渡金属界面催化储能现象，阐明了过渡金属催化锂盐分解机制及过渡金属催化聚合物膜生长机制，为解析诸多能量转换和存储系统中重要电催化机制提供了解决方案。

## 碱金属电池【FB02-新体系电池青年论坛】

最终交流类型：邀请报告

### 无负极钠电池技术

王海燕\*

中南大学

相比锂离子电池，钠离子电池在资源、成本、安全、功率性能、低温性能等方面都具有较大优势，且生产工艺兼容，可与锂离子电池形成互补，在两轮车、短程动力、混合动力、储能领域、工程装备领域应用前景广阔。但是钠离子电池能量密度偏低，为了开拓更广阔的应用空间，开发高比能钠电池是目前学术界和产业界关注的热点。因石墨和硅碳不能作为储钠负极，且主流硬碳材料仍面临成本较高，首次库伦效率和动力学性能较低，电芯胀气等问题，负极被认为是目前制约钠电产业发展的关键瓶颈。采用钠金属负极可构建高比能钠电池，但目前缺乏成熟的超薄钠箔生产工艺及相关电池制造技术，传统钠金属电池不具备商业前景。无负极钠电池直接使用改性的集流体，不需要负极活性材料，钠在集流体上直接沉积剥离，该技术可解决传统钠金属电池的痛点，能量密度更高，安全性更好，是非常有潜力的下一代电池技术[1]。然而，无负极钠电池负极界面存在严重的钠枝晶生长、死钠残留和不可逆 SEI 形成等问题，导致容量快速衰减。构建稳固的亲钠负极界面有望解决无负极电池存在的低沉积/剥离效率和钠枝晶等难题。我们团队近年来围绕集流体界面和电解液调控，致力于长寿命高比能无负极钠电池的开发。采用磁控溅射技术构建了亲钠且稳定的合金化界面，深入探究了亲钠界面的合金化程度、可逆性和体积变化等因素对钠沉积/剥离过程的影响规律，表征了合金化亲钠界面衍生的 SEI 膜的化学组分、微观结构和空间分布信息，建立了亲钠界面层结构-钠沉积行为及其衍生的 SEI 之间的相互关系，揭示了无负极钠电极集流体界面的稳定化机制。

最终交流类型：邀请报告

### 新一代高比能锂离子电池材料与电极研究

朱智\*

东南大学

“高氧离子”（氧化态  $O^{\alpha-}$ ,  $\alpha < 2$ ）极具得电子能力，在电化学及储能等领域有着极大的研究价值和应用潜力。近年来，我们潜心于“高氧离子”材料研究，通过构建独特的晶体结构，首次在固体材料中实现了稳定可逆的“高氧离子”电化学氧化还原过程。我们提出了利用“高氧离子”存储电子及能量的全新机制，并基于此开拓了新一代高能量锂离子电池材料体系。由于打破了常规锂电正极材料基于分子量重的“过渡金属离子”储能旧机制，“高氧离子”储能新机制实现了超高能量密度存储。我们率先开发了理论容量大于 1300Ah/kg 的基于纯“高氧离子”氧化还原对的纳米复合氧化锂正极材料，将正极的理论容量提高至 5 倍以上，从而将电池能量密度（从目前最高 260Wh/kg）推向了 500Wh/kg 的新高度。我们还将“高氧离子”应用到高容量富锂(LXMO)及商用 LiCoO<sub>2</sub> 材料中：通过激活材料中的“高氧离子”氧化还原对实现更高容量；同时通过构建特殊的“高氧离子”梯度单晶，有效阻止了“高氧离子”在晶格中的全局迁徙及高氧化物结构的不可逆相变，首次将高能量密度富锂和钴酸锂正极材料(>900Wh/kg)在与石墨负极匹配的商用软包全电池中实现了前所未有的长寿命循环。

最终交流类型：邀请报告

### 锂电池高安全电解液的设计与开发

曾子琪\*、谢佳

华中科技大学

规模储能是构建新型电力系统的基础装备，是实现双碳目标的重要支撑，锂离子电池储能是发展最迅

速的规模储能技术之一。然而，近十年来，锂离子电池热失控引发的储能电站安全事故达 30 余起，极大限制了其大规模应用。当前锂离子电池使用的碳酸酯电解液具有易燃性和化学不稳定性，是锂离子电池热失控的潜在隐患。但高电化学兼容性、高安全电解液的设计与开发仍然是一个巨大挑战，亟需开拓新的设计思路。针对锂电池的高安全需求，我们从同步提升电化学储能本体安全性和电化学性能的角度出发，重点探索了高安全电解液电化学兼容性改善的途径及其原理，以及功能型电解液添加剂的设计新策略，发展了高电化学兼容的不易燃有机电解液和热失控阻断型电解液，并在安时级电芯中验证了其作用效果。力求在不损失锂离子电池电化学性能和成本的前提下，提高锂离子电池的安全性。

最终交流类型：邀请报告

### 金属空气电池多物种传输与能量转化机制研究

谈鹏\*

中国科学技术大学

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。本工作针对新型电池中的输运问题展开研究。对于锌空气电池，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；对于锂空气电池，探究了从多孔电极传质规律和全电池设计优化。工作加深了对电池中多孔电极上多物种传输的科学认识，为金属空气电池的结构设计和运行条件优化提供有效指导。

最终交流类型：邀请报告

### 复合固态电解质界面结构调控策略

陈楠\*、杨斌斌、陈人杰

北京理工大学

固态电池采用固体电解质替代液态电解质和隔膜，具有本质安全性和高能量密度的优势，是当前研究的热点。复合固态电解质不仅保留了聚合物电解质的柔韧性、可加工性和良好的接触界面性能，还因引入了促进离子传输的填料，提高了离子电导率。然而，复合固态电解质的发展面临两个关键挑战：(1) 室温下的离子电导率仍远低于全固态电池应用的要求；(2) 电解质与金属锂界面的稳定性较差。

本报告重点介绍了复合固态电解质界面结构调控策略，包括构建梯度结构、垂直通道结构、双网络结构等，以形成高效的离子输运通道；通过调节聚合物-盐-陶瓷的相互作用，增强离子输运能力，降低界面阻力；并探讨超离子导体软填料在促进离子输运方面的机制及其在一体化电极构筑中的应用。这些策略旨在提升复合固态电解质的整体性能，推进全固态电池技术的发展。

## 电池表征技术【FB02-新体系电池青年论坛】

最终交流类型：邀请报告

### 高比能锂电池电解液设计及机理研究

范修林\*

浙江大学

目前的商用的 EC 基电解液在 4.3 V 以上极易在正极表面被氧化, 无法形成稳定的正极电解质膜 (CEI), 严重阻碍了高电压、高能量密度锂电池的发展。另外, 限制于锂离子电池电解液的液相区、高的界面阻抗、SEI/CEI 的界面稳定性等, 目前的电池工作温度区间偏窄 (-20°C -60°C)。另外, 在所有的可能的负极材料中, Li 金属、石墨、Si 各具特色, 但与电解液界面反应的机理各不相同, 故影响了全电池的电化学性能。本报告拟从电解液的成分、组成、微观结构以及界面反应等角度出发, 试图解析这一系列电化学反应的内在机理, 进而实现电池能量密度和工作温度的大幅拓宽。

最终交流类型：邀请报告

### 金属基二次电池的电极及电解液研究

孙洁\*

天津大学

发展高比能负极材料是实现提高续航里程、增程时间的关键举措之一。锂金属、锌金属等负极具有高比容量和较好的应用潜力。但是, 锂金属负极受限于不均匀且 不稳定的电极/电解液界面, 与电解液兼容性差、副反应多, 枝晶生长与粉化问题 严重导致活性锂大量损失, 致使库伦效率低、循环寿命短, 阻碍了其实用化进程。团队围绕金属电极的结构和电解液体系的理性设计与调控开展研究。

最终交流类型：邀请报告

### 基于原位电化学表征技术的高能电池构建

唐伟\*

西安交通大学

电池的能量密度提升很大程度上取决于大容量复合电极材料的开发。然而现阶段大容量锂电池复合电极材料性能提升所面临的主要挑战之一是材料容量衰减与材料结构劣化、载流子传输受限之间的内在规律还不明确, 对其缺乏有效的原位表征技术, 致使复合材料的结构设计难以在性能提升、结构稳定、离子扩散以及电子传导强化之间实现有机的耦合, 大容量的反应体系得不到有效的利用。报告人将介绍如何利用课题组开发的多种原位电化学研究平台, 如原位核磁共振技术-电化学研究平台、原位透射电镜技术-电化学研究平台以及原位光学显微技术-电化学研究平台等, 实现对于大容量电极材料电化学过程中的结构相变以及转化机制的多尺度、多维度理论研究, 揭示大容量电极材料如锂硫电池正负极材料等容量衰减机制。在此基础上, 通过复合材料的优化设计, 提升复合材料在电化学过程中的结构稳定性以及载流子传输特性, 最终实现大容量复合电极材料的多电子体系完全利用以及高容量可逆输出。

#### 参考文献

- [1] W.Tang, et al Adv. Mater. 2024, 2309019.
- [2] W Tang, et al Mater. Today, 2022, 57, 180.
- [2] W Tang, et al J. Am. Chem. Soc., 2017,139,10133
- [3] W Tang, et al J. Am. Chem. Soc., 2015, 137, 2600.

最终交流类型：邀请报告

### 基于同步辐射表征的先进电池材料研究

李宁\*

北京理工大学

层状富锂正极材料由于其高容量 ( $\geq 250$  mAh/g)、低成本和环境友好等优点, 受到了广泛的关注, 是锂离子电池正极研究的热点方向。随着研究的深入, 学界对其高容量来源-阴离子活性以及在循环过程中的压降问题开展了大量的研究, 层状富锂氧化物呈现出动力学差且电压滞后的阴离子活性与难以解决的压降问题成为制约其商业化应用的主要阻碍。本报告将介绍报告人近期发表的多项基于先进同步辐射表征技术的层状氧化物材料相关机理与结构设计研究成果, 着重报告高性能共生结构正极材料设计, 同步辐射光源与中子源表征揭示材料独特结构优势和电化学活性。

最终交流类型: 邀请报告

### 锂二次电池表面化学

张伟\*

苏州大学

区别于传统消费电子产品的温和运行条件, 电动汽车、电动飞机、智能电网及航空航天等新的储能应用领域, 要求锂离子电池能适应各种极端工作条件, 如极端低温、快速充电、高电压等。电极材料表面性质对界面反应和电池性能产生重要影响, 通过电极表界面可控设计与构筑, 有效调控界面反应的热力学和动力学行为, 有望解决锂离子电池在极端条件下的生存和工作问题。

最终交流类型: 邀请报告

### 金属锂负极改性调控新策略探究

王任衡\*

深圳大学

针对锂金属负极界面的稳定性的研究, 研究了多种类型的局部高浓度电解液 (LHCEs, 如酯类、醚类、砜类及磷酸酯类) 对锂金属负极与电解液的相互作用机制, 发现传统对醚类电解液与金属锂良好的兼容性来源于醚类溶剂较好的还原稳定性这一解释并不适用于局部高浓度电解液, 从 SEI 膜的角度阐述了醚类局部高浓度电解液与金属锂负极优良兼容性的机理, 由此开发出了高浓度电解液和新型高效含卤素有机功能电解液; 设计和研究了亲锂  $Cu_xO$  修饰改性金属锂负极, 通过简单且可规模化的煅烧工艺原位形成  $Cu_xO$  纳米纤维网络构筑稳定的锂金属负极, 与磷酸铁锂 (LFP) 正极组装的软包电池初始容量达到  $131.5$  mAh g<sup>-1</sup>, 在长期循环稳定性和电压滞后方面都表现出优越性。

最终交流类型: 邀请报告

### 无机填料体系设计及其复合固态电解质性能调控

潘龙\*

东南大学

国家“双碳”战略对锂离子电池等电化学储能系统提出了更高的要求, 即具有更高的能量密度和更好的安全性。用固态电解质取代传统的隔膜和电解液而得到的固态锂电池, 具有能量密度高、安全性好等优势, 有望解决上述问题。在众多固态电解质材料中, 聚合物固态电解质具有良好的柔性和可加工性, 可解决固态电池存在的固-固接触界面问题和规模化生产问题, 因此得到了学术界和产业界的高度关注。然而, 目前固态电解质的主要问题是离子电导率低 ( $\sim 10^{-5}$  S/cm at 25°C), 无法满足实际应用要求 ( $> 10^{-3}$  S/cm at 25°C)。本课题组基于无机填料体系设计策略, 成功制备了高室温离子电导率的聚合物基固态电解质材料 ( $1.35 \times 10^{-3}$  S/cm at 25°C), 并初步探讨了其离子传导机制。以磷酸铁锂为正极, 锂金属为负极, 制得的

聚合物膜为固态电解质，成功组装了固态锂金属电池。其表现出优异的室温电化学性能：在 3C 高电流密度下循环 300 圈后具有 92.9%容量保持率 (25°C)。本工作为高室温离子电导率聚合物的设计和开发提供了新的思路，为其实际应用奠定了一定的理论和实验基础。

最终交流类型：口头报告

### 不燃氟化磷酸酯电解液助力高电压、高安全钠金属电池

李惠\*

武汉纺织大学

武汉大学

金属钠因其高理论容量 ( $1166 \text{ mA h g}^{-1}$ ) 和低电极电势 ( $-2.71 \text{ V vs. SHE}$ ) 被认为是钠基电池中最有前景的负极材料。然而，金属钠沉积/剥离的低库仑效率 (CE)、应用过程中引发的安全性和醚基电解液高压易分解等问题阻碍了钠金属负极的进一步发展。针对此问题，我们通过使用不燃氟化磷酸酯电解液实现了金属钠高度可逆沉积/剥离，并提高了钠金属电池的安全性。氟化磷酸酯降低了溶剂的极性和溶剂在  $\text{Na}^+$  溶剂化壳中配位数，从而形成了具有高还原稳定性的阴离子诱导离子-溶剂络合 (AI-ISC) 结构。此外，氟化处理还增强了磷酸酯溶剂的抗氧化性，使其与高压  $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$  正极兼容。研究表明， $\text{Na@Al}/\text{NVPF}$  全电池在 0.9M NaFSI/三(2,2,2-三氟乙基)磷酸酯 (TFEP) 电解液中在循环 200 周后的容量保留率为 83.4%，平均库仑效率为 99.6%。

最终交流类型：邀请报告

### Cell Press 物质科学期刊阵容及 Cell Reports Physical Science 简介

张甜甜、马秋鸣\*

细胞出版社

摘要：

从 2016 年 Chem 创刊开始，Cell Press 的期刊阵容正式扩展到了物质科学领域。本报告将简要介绍 Cell Press 旗下物质科学相关主要期刊的信息和整体层次结构，并重点介绍物质科学宽领域期刊 Cell Reports Physical Science 的收稿情况，期刊定位，编辑团队，发展现状等信息。

报告人简介：

Dr. Qiuming Ma (马秋鸣) 于 2023 年 6 月加入 Cell Press 细胞出版社，全职担任高水平定位的物质科学综合期刊 Cell Reports Physical Science 的科学编辑，主要负责处理工程和物理领域的相关稿件，以及 Joule 和 Device 等期刊的稿件咨询和支持。在此之前，他在上海交通大学积累了 2 年的科研工作经验，并在 Wiley 出版社担任过 1 年半的科学编辑和出版人。Dr. Qiuming Ma 对各个工程领域的应用研究及其背后的理论支撑十分关注，特别是系统优化和能耗层面的突破性进展。

最终交流类型：邀请报告

### 材料智能设计助力新体系电池材料的研发进展

许立芳\*

北京迈高材云科技有限公司

材料智能设计助力新体系电池的研发进展显著，通过数据驱动的方法、机器学习模型、AI 驱动的设计实验、高通量计算和实验、多尺度建模等技术，研究人员可以加速新材料的发现和优化过程，为电动汽车、储能系统和便携式电子设备等领域提供更高效、更安全和更持久的能源解决方案。

## 锂离子电池体系【FB02-新体系电池青年论坛】

最终交流类型：邀请报告

### 欠配位化学在锂硫电池开发中的应用研究

王新\*

浙江万里学院

锂硫电池由于具有高理论比容量和低成本的优势而受到广泛关注，但是硫反应过程中可溶性多硫化锂的“穿梭效应”及迟滞的硫反应动力学阻碍了其进一步的实用化发展[1]。硫催化剂的引入可以针对性地抑制多硫化锂溶解并提升其转化效率[2]。本次报告将重点阐述高性能硫催化剂设计中的欠配位化策略，通过调节催化剂微观结构欠配位化实现催化剂晶格对称性、电子排布、轨道杂化、自旋态等性质优化[3]。进一步分析欠配位硫催化剂与硫氧化还原反应之间存在的构效关系，从三维形貌构筑到纳米限域催化，从宏观电化学行为差异到微观分子原位重构，总结欠配位化对硫催化剂吸附能力、催化活性及离子/电子运输速率的影响，梳理其底层系统脉络，探究其功能性起源，为后续锂硫电池大规模应用提供有效指导及数据参考[4]。

#### 参考文献

[1] G. Li, F. Lu, X. Dou, X. Wang\*, D. Luo, H. Sun, A. Yu, Z. Chen\*, J. Am. Chem. Soc. 2020, 142, 3583.

[2] X. Wang\*, D. Luo, J. Wang, Z. Sun, G. Cui, Y. Chen, T. Wang, L. Zheng, Y. Zhao, L. Shui, G. Zhou, K. Kempa, Y. Zhang, Z. Chen\*, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 2021, 60, 2371.

[3] D. Luo, C. Li, Y. Zhang\*, Q. Ma, C. Ma, Y. Nie, M. Li, X. Weng, R. Huang, Y. Zhao, L. Shui, X. Wang\*, Z. Chen\*, Adv. Mater. 2021, 34, e2105541.

[4] X. Wang, X. Zhang, Y. Zhao, D. Luo\*, L. Shui, Y. Li, G. Ma, Y. Zhu, Y. Zhang, G. Zhou, A. Yu, Z. Chen\*, Angew. Chem. Int. Edit. 2023, 62, e202306901.

最终交流类型：邀请报告

### 锂-有机电池中的原位分子重构

郭玮\*

郑州大学

有机材料源自地球丰富的元素，如碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)和硫(S)，只需经过成熟且经济的合成技术，即可被广泛使用。有机电极材料最显著的特点是，通过调节功能团可以实现其电化学性能的调控。此外，有机分子间存在的弱相互作用力也能对它们的电化学行为产生奇妙的效果。由于官能团对有机电极材料的电化学行为有深远的影响，因此，通过原位分子重构，合理设计和合成具有特殊官能团的有机材料有助于实现具有高循环稳定性、优异动力学性能和高工作电压的有机电极。本报告将介绍基于秋兰姆材料在电池中的原位电化学分子重构，实现优异的电化学性能。

最终交流类型：邀请报告

### 黏土基二维纳流体膜的设计及盐差能发电研究

张倩倩\*

北京工业大学

海/河盐差能是一种储量广泛的清洁“零碳”能源。理论上，全球江河入海盐差能总量可达到 2.6 TW，相当于全球用电量的 17%，但是如何高效地利用盐差能则是一项富有挑战的课题。以离子选择膜为核心组件的反向电渗析 (RED) 技术被认为是最具工业化前景的一种盐差能发电技术，其利用离子选择膜传输单一电荷离子，将跨膜盐差能直接转换为电能输出。因此，高性能离子选择膜是实现高效盐差发电的基础。

本工作选用天然层状黏土为原料, 设计了具有负电纳米通道结构的二维纳流体膜, 实现了阳离子选择功能, 获得了  $0.15 \text{ W m}^{-2}$  的盐差能输出[1]。尽管初步验证了黏土可用于盐差发电, 但是其能量输出远不能满足实际应用需求 (工业化标准  $5 \text{ W m}^{-2}$ ), 且黏土膜机械强度不足, 长周期发电稳定性受限。针对上述问题, 利用芳纶纳米纤维插层黏土片构筑典型仿贝壳“砖-泥结构”, 有效提升了黏土膜的机械强度和孔道电荷密度, 获得了盐差能输出功率 ( $5.16 \text{ W m}^{-2}$ ) 的实质性提升, 且长周期发电稳定性也得到了改善[2]。进一步地, 通过天然纤维素纳米纤维改性, 制备出了均一稳定的大面积纯天然层状黏土膜 ( $700 \text{ cm}^2$ ), 并实现了高效盐差能发电 ( $\sim 8 \text{ W m}^{-2}$ ) 和长周期发电稳定性 (30 天)。此外, 膜材生命周期评价及技术经济分析显示, 黏土膜的资源消耗降至主流二维膜材料的  $1/14$ 、温室气体排放降至  $1/9$ 、生产成本降至  $1/13$ , 展示出重要的经济、资源和环境效益[3]。本工作为开发可规模化制备的二维膜材提供了新思路, 为高效盐差能量收集和利用提供了绿色、便捷、经济的新策略, 有望推动膜基新能源技术的发展和应

#### 主要参考文献:

- 1) Congrong Wu, Qianqian Zhang\*, et al. Nano Energy, 2020, 76, 105113.
- 2) Runan Qin, Qianqian Zhang\*, et al. Nano Energy, 2022, 100, 107526.
- 3) Jiadong Tang, Qianqian Zhang\*, et al. Nat. Commun., 2024, 15, 3649.

最终交流类型: 邀请报告

### 固态金属锂电池界面设计与器件试制

赵辰孜\*、张强

清华大学

面向碳中和的重大目标, 推动碳减排的新能源汽车行业的可持续快速发展亟需新一代高比能、高安全性电池, 发展下一代负极材料是新一代电池的基础。复合金属锂负极结合化学性质稳定、结构设计灵活的碳材料与高比容量的金属锂, 具有兼顾高比容量和低电位等优势, 被视为新一代电池的关键负极材料, 进一步匹配固态电解质构筑固态金属锂电池, 有望大幅提升电池系统的能量密度和安全性。理解复合锂负极/固态电解质界面的微观电化学过程, 掌握界面离子输运和化学反应调控规律, 实现锂高效稳定利用是突破固态金属锂电池发展瓶颈的关键科学问题。针对上述科学问题, 本工作提出了复合金属锂负极和固态电解质界面的设计原理和方法。针对电极表面亲锂性质不均而导致锂无序疏松形核的问题, 提出构筑在化学结构和几何位置上精准可控的亲锂位点材料, 并与三维碳材料复合, 获得离子有序输运、电子高效传导的复合锂负极, 实现锂有序致密形核。针对电池器件中循环用锂量大时活性锂利用率低的瓶颈问题, 指出其本质原因是复合锂负极与固态电解质界面出现锂空位从而导致离子输运不均, 提出构筑多元复合锂负极以强化离子均匀输运的策略, 阐明通过前驱体设计以原位构建共界面的化学原理和方法, 有效提升了电池器件中活性锂利用率和电池循环寿命, 为发展新一代高比能电池的宏观器件和应用提供了化学原理和关键材料支撑。

#### 参考文献

- [1] Zhao C. Z.\*, Zhang Q\*, et al. Joule, 2022, 6, 1172.
- [2] Zhao C. Z.\*, Zhang Q\*, et al. Sci. Adv. 2022, 8, eadd5189.
- [3] Zhao C. Z.\*, Zhang Q\*, et al. Adv. Mater. 2024, 36, 2310738.

## 水系锌离子电池【FB02-新体系电池青年论坛】

最终交流类型：邀请报告

### 高稳定性水系锌电池负极保护策略

宋卫星\*、蔡鑫鑫

首都师范大学

针对锌离子电池商业化应用面临的挑战，在高稳定锌负极方面开展了系统研究。通过控制电极-电解质界面的环境，均匀界面电场，有效抑制枝晶的生长并使  $Zn^{2+}$  沿着(002)面均匀沉积。显著提高了锌沉积的可逆性和锌负极的循环寿命。通过在电解质中引入微量次氮基三乙酸三钠以优化锌离子溶剂化结构，抑制水分子的活性；通过一步恒电位扫描在锌负极形成均匀的具有 3D 多孔骨架的异质无机保护层[2]；利用自组装技术构建具有离子导电性且结构坚固的电解质/阳极界面以稳定锌阳极构[3]。结合高负载正极材料，探究出一种具有高稳定性正极和负极的水系锌电池体系。

参考文献：

[1] Z. Jiao, X. Cai, X. Wang, Y. Li, Z. Bie, W. Song, *Adv. Energy Mater.* 2023, 13, 2302676.

[2] Z. Bie, Q. Yang, X. Cai, Z. Chen, Z. Jiao, J. Zhu, Z. Li, J. Liu, W. Song, C. Zhi, *Adv. Energy Mater.* 2022, 12, 2202683.

[3] X. Cai, X. Wang, Z. Bie, Z. Jiao, Y. Li, W. Yan, H. J. Fan, W. Song, *Adv. Mater.* 2024, 36, 2306734.

最终交流类型：邀请报告

### 高比能高安全水系电池设计与研究

陈龙\*

华东理工大学

水系金属离子电池作为电化学储能装置之一，因其具有高功率密度、长使用寿命和高安全性的优点而备受青睐。但是由于水分解电位的限制，导致其工作电压较窄，能量密度较低，阻碍了其大规模应用。在该报告中，作者介绍了一种电解液设计改性的策略，有效拓宽了水系电解液电压窗口，抑制了析氢析氧副反应，提升了电池循环稳定性与能量密度；构筑了一种全新开放式水系锂离子电池，进一步提高了水系电池的安全性；提出了利用氯的氧化还原反应来进一步提高水系金属离子电池的能量密度。

最终交流类型：邀请报告

### 水系锌金属电池界面调控策略

常智\*

中南大学材料科学与工程学院

水系锌金属电池 (AZMB) 中存在的严重水诱导副反应、析氢反应 (HER) 和不可控锌枝晶生长等问题，造成电池可逆性差和循环寿命有限。通过调控水系锌金属电池的电极-电解质界面，可有效缓解上述问题。我们发现，通过有选择性地刻蚀商业化锌箔中化学不稳定的(002) Zn，可以有效地钝化锌金属，从而抑制电池初期阶段由活性水引起的副产物。其次，获得的具有规则垂直排列 Zn 柱的独特刻蚀结构不仅能有效抑制水电解液中 ZHS 的生长，还能促进锌离子沿着垂直的锌柱成核和生长，从而消除锌枝晶，显著地提高了锌金属负极的可逆性和使用寿命。此外，我们还发现，通过选择合适的添加剂，有助于形成稳定的界面膜，抑制锌枝晶生长，提高电池的可逆性和循环寿命。

参考文献

1. Zhi Chang\* et al. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2024, DOI: 10.1002/anie.202402833.

2. Zhi Chang\* et al. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2024, DOI: 10.1002/anie.202403050.
3. Zhi Chang\* et al. *Energy Environ. Sci.*, 2024, 17, 642–654.
4. Zhi Chang\* et al. *Adv. Sci.*, 2023, 10, 2303773.

最终交流类型：邀请报告

### 高比能卤素电池

李新亮\*  
郑州大学

储能需求日益复杂化，有机锂电池存在内在的安全和成本问题，不适用于对安全性或/和 成本要求苛刻的应用场景。本征安全的水系锌卤素电池是填补安全储能市场的一种极具应用前景的储能体系。然而，当前单质型卤族正极的热动力学缺陷以及陈旧的单电子储能机制极大地禁锢了水系锌卤素电池的电化学性能和规模化应用。针对这两个关键科学问题，团队提出开发高电化学活性卤族化合物的替代策略，并在此基础上发展适用于水系电解液环境的新型两电子转化机制，激发卤族化合物正极的电化学性能，补足放电容量小、输出电压低的短板，实现能量密度的倍数级提升，最终构建高安全、低成本、高性能、可规模化应用的水系锌卤素电池。

最终交流类型：邀请报告

### 低成本水系 Zn-MnO<sub>2</sub> 电池关键材料结构设计

吕玮\*  
华北电力大学

采用廉价环保的  $\gamma$ -MnO<sub>2</sub> 为原料制备了含预嵌 K<sup>+</sup>和 O 空位的  $\delta$ -MnO<sub>2</sub>，克服了传统基于 KMnO<sub>4</sub> 合成 MnO<sub>2</sub> 存在的成本高、毒性大、工艺复杂等方面缺陷，正极在 1.0 A g<sup>-1</sup> 循环 1500 圈容量保持率~92%。利用 NMP 改性 ZnSO<sub>4</sub> 电解液与 K<sup>+</sup>预嵌  $\delta$ -MnO<sub>2</sub> 正极匹配，正极的比能量密度为 425.66 Wh kg<sup>-1</sup>，1 A g<sup>-1</sup> 下的库伦效率接近 99.9%。首次以葡萄柚果皮为碳源合成了 N 掺杂生物质碳负载  $\gamma$ -MnO<sub>2</sub> 复合正极，5 A g<sup>-1</sup> 大电流密度下循环 3000 圈的寿命高达 92.17%，体外细胞毒性试验结果表明该复合锰基正极材料具有优良的生物兼容性和安全性，未来有望应用于可植入医疗电子设备（如心脏起搏器等）的供电电源。

最终交流类型：邀请报告

### 基于多电子反应机制的有机-无机复合正极材料构筑先进水系锌电池

赵逸\*  
北京化工大学

具有氧化还原活性位点的有机物和具有优异比容量和高工作电压的二氧化锰/卤素均为水系锌电池最具潜力的正极材料。然而，单电子储能机制、不可逆的结构崩溃和缓慢的离子扩散，导致现有正极材料具有较低的容量、差的倍率性能和循环稳定性。本文通过合理结构设计构筑稳定且高能量密度的有机-无机正极材料。结合原位分析和理论计算证明，C=O 和 C=N 基团在放电过程中既可作为强电子供体提高导电性，也可作为 Zn<sup>2+</sup>宿主提高比容量。更重要的是，复合正极材料中新形成的 Mn-N 界面键以及金属单原子催化位点，能有效促进离子扩散，增强氧化还原动力学和结构完整性。因此，在有机或有机/无机复合材料中引入多氧化还原中心将为设计先进锌电池提供新思路。

参考文献：

1. Yueyang Wang, **Yi Zhao\***, Xiaoming Sun\*, et al. Ultra-stable electrolytic Zn-I<sub>2</sub> batteries based on nanocarbon wrapped by highly efficient single-atom Fe-NC iodine catalysts. *Advanced Materials* 2024, <https://doi.org/10.1002/adma.202404093>
2. Yajun Zhao, **Yi Zhao\***, Xiaoming Sun\*, et al. Activating the redox chemistry of MnO<sub>2</sub>/Mn<sup>2+</sup> in aqueous Zn

batteries based on multi-ions doping regulation. *Energy Storage Materials* 2024, 67, 103268.

3. Kovan Khasraw Abdalla, Xiaoming Sun, **Yi Zhao\***, et al. Rational design and prospects of better aqueous Zn-organic batteries enabled by multi-electron redox reactions. *Sci China Mater* 2024. DOI: 10.1007/s40843-023-2772-5

4. Yueyang Wang, **Yi Zhao\***, Xiaoming Sun\*, et al. Design strategies and challenges of next generation aqueous Zn-organic batteries. *Next energy* 2023;4:100061.

5. **Yi Zhao**, Renjie Chen\*, Li Li\*, et al. Interfacial Designing of MnO<sub>2</sub> Half-Wrapped by Aromatic Polymers for High-Performance Aqueous Zinc-Ion Batteries. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2022, 61(49), e202212231

6. **Yi Zhao**, Yongxin Huang\*, Renjie Chen\*, Li Li\*, et al. Tailoring double-layer aromatic polymers with multi-active sites towards high performance aqueous Zn-organic batteries. *Mater Horiz* 2021;8:3124-3132.

7. **Yi Zhao**, Renjie Chen\*, Li Li\*, et al. High-performance aqueous zinc batteries based on organic/organic cathodes integrating multi-redox centers. *Adv Mater* 2021;33:2106469.

最终交流类型：邀请报告

### 水系锌离子电池金属锌负极界面设计

朱智强\*

湖南大学

水系锌离子电池因其高安全性、低成本和环境友好等优点而备受关注。但是，金属锌负极在弱酸性电解液中具有较高的电化学活性和热力学不稳定性，导致了电极表面大量副反应的发生；加之，锌离子的不均匀沉积导致枝晶的生长，极大降低其使用寿命和利用率。值得注意的是，金属锌负极面临的问题不是孤立的，而是相互作用的。因此，综合考虑多种因素，探索和开发高效稳定的锌负极保护策略对推进水系锌离子电池走向实用化具有重大意义。在我们的工作中，通过电解液结构调控及电极界面修饰，降低了水的活性，加速了锌离子的传导过程，提高了电极表面的亲锌性，最终有效抑制了界面副反应，实现了锌离子的均匀沉积。同时，通过对锌负极界面作用机理的深入研究，进一步拓展金属锌负极保护策略，为高性能水系锌离子的设计提供有意义的参考。

最终交流类型：邀请报告

### 高容量长寿命水系锌钒电池设计与体系优化

方国赵\*

中南大学

新型钒基水系锌电池具有安全性好、钒基正极材料理论容量高等优点，但由于受到钒溶解及服役过程电池体系兼容性的制约，难以实现高容量下的长循环寿命。因此，亟需在钒基正极材料结构稳定性及体系电解液适配性上获得技术突破。本报告主要包括：通过结构调控与改性，获得高电化学活性的钒基材料；设计与优化电解液，协助电化学原位相转变制备具有疏松层状稳定结构的钒基正极材料；优化电池体系，实现高比容量、长循环稳定性的钒基锌离子电池制备。

最终交流类型：邀请报告

### 水系锌离子电池关键材料及界面

韩翠平\*

深圳理工大学

水系锌离子电池具有安全性高、锌储量丰富、制备工艺简单、锌负极电位低 (-0.763 V vs. SHE) 和锌

理论容量高 ( $820 \text{ mA h g}^{-1}$ ) 等优势, 是一种具有很大应用前景的新型储能电池。但是  $\text{Zn}^{2+}$  具有高电荷密度, 同时水合锌离子具有较大的半径 ( $\sim 4.2 \text{ \AA}$ ), 导致与宿主电极材料产生强烈的静电相互作用, 诱发严重的电极极化、容量衰减等问题, 现有电极材料的储锌性能仍不理想; 此外, 锌负极的枝晶生长和相关的副反应是其在商业化应用中面临的巨大挑战。

我们围绕锌离子电池关键材料及其界面开展了系列研究工作, 发展了高离子电导、高机械强度的锌离子凝胶电解质, 将凝胶网络中的自由水转化为结合水, 突破了水系锌离子电池电压窗口低的应用瓶颈; 提出了锌负极诱导的氧化还原聚合技术, 构筑了化学键合的锌负极/凝胶电解质界面, 实现了锌离子/电子的跨界面高效传输, 获得了稳定的锌负极; 发展了氮杂芳环有机正极材料的共轭结构调控技术, 合成出高活性的有机分子晶体和交联导电高分子材料, 实现了锌离子在有机体相材料中的快速迁移, 构筑出高能量密度锌离子电池。

最终交流类型: 邀请报告

### 高安全、高比能锌基电池

马龙涛\*

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) 水分子极性高、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、致密接触的电极/电解质界面和基于“转化”型正极材料的高比能水系锌电池。

最终交流类型: 邀请报告

### 有机液流电池关键材料的研究

张长昆\*

中国科学院大连化物所

有机液流电池采用元素丰度比较丰富的有机活性分子作为能量存储介质, 在材料来源、分子结构多样性及可调节性等方面相比传统无机材料具有优势, 是下一代液流电池储能技术的重要研究方向。电解液中活性组分的浓度和氧化还原电位是构建高能量密度电池的两大关键因素。报告将介绍“共熔电解液”用于提升液流电池的能量密度的新策略及其研究进展; 此外还将介绍耐空气氧化型活性分子的设计研究工作。

最终交流类型: 邀请报告

### 水系锌电池与热电池的电解质设计

刘卓鑫\*

深圳大学

对于锌电池, 本研究设计了一种含有醚基共溶剂的水系温度自适应电解质, 使电池在极端条件下依然表现出色。该温度自适应电解质在低温下促进了富无机物 SEI 的形成, 有效促进了界面载流子输运; 而在高温下, 可诱导形成含无机盐和无定形有机相的 SEI, 有利于抑制 HER 和电极腐蚀。基于该电解质的  $\text{Zn} // \text{Zn}$  对称电池在室温下可稳定循环超过 16800 小时 ( $>700$  天), 所制备的 PANI//Zn 全电池在  $-35$  至  $75^\circ \text{C}$  的宽温度范围内也表现出优异的循环稳定性。对于热电池, 本研究采用一石二鸟策略, 通过向水凝胶电解质中

引入甜菜碱两性离子，实现了其在机械强度和热电化学性能上的协同增强。甜菜碱两性离子通过霍夫梅斯特效应显著提升了传统明胶水凝胶电解质的力学性能，并显著改变了 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 离子的溶剂化结构，增大了反应熵差，从而将热电化学塞贝克系数从  $1.47 \text{ mV K}^{-1}$  提高至  $2.2 \text{ mV K}^{-1}$ 。本研究还设计了一款集成多个热电池单元的自供能手套，能够同时监测所触摸对象不同部位的温度，展现了其在可穿戴设备中的应用潜力。

## 碱金属离子电池【FB02-新体系电池青年论坛】

最终交流类型：邀请报告

### 二维硫属化物量子片材料及能源应用

陈文书\*

东南大学

二维材料因其特殊的性质已在超导、催化、储能、场效应晶体管等方面获得了重要的应用。然而，当前研究的二维材料的横向尺寸通常较大 ( $> 100 \text{ nm}$ )，如能将其横向尺寸进一步缩减至量子尺寸 ( $< 10 \text{ nm}$ )，将在材料的三维方向上产生量子限域效应，可产生新的物、化性质并促进相关应用的发展。本研究以第 6 族过渡金属硫属化物为研究对象，基于电化学近饱和嵌锂机制，结合液相剥离手段，成功量化制备获得了高 1T 相含量 (92%–97%) 的二维硫属化物量子片材料 (厚度:  $\sim 0.8 \text{ nm}$  (单层), 横向尺寸:  $3.0\text{--}5.4 \text{ nm}$ )。基于所得量子片材料，本研究进一步对其能源应用进行了探索。研究发现，量子片材料是一种优良的水分解电催化剂，其边缘位点是催化活性位点，可基于其丰富的边缘位点特性进行界面设计进一步提升催化活性和稳定性。在能源存储应用方面，本研究提出了以二维量子片材料为结构基元通过自组装构建量子片薄膜材料用于实现可面向实际应用的超快、超小体积储能的策略，发展了量子片膜电极的制备和转移方法，并深入探究了其超快储能机制。相关研究为二维量子片材料的基础物性研究、性能提升及应用拓展奠定了基础，可进一步推动二维材料的发展。

最终交流类型：口头报告

### 多价态金属离子电池正极材料的固溶化设计及其机理探究

曹峻鸣\*

东北师范大学

面向“后锂离子电池”时代对新型电池技术发展的迫切需求，包括铝离子与钙离子电池在内的多价态金属离子电池得益于地壳丰度方面的优势，具有一定的应用潜力。虽然高价态载流子在进行氧化还原反应时能够实现更多的电子转移过程，但其与宿主结构之间更强烈的静电相互作用会对电极材料的结构稳定性以及脱嵌反应可逆性带来更为严峻的挑战，从而导致电化学储能容量与循环稳定性方面的局限性。因此，我们提出对新型多价态载流子宿主结构的活性中心进行固溶化设计制备，以实现脱嵌反应可逆性与循环稳定性的协同提升，为高性能多价态金属离子电池的电极材料的发展提供参考。

最终交流类型：口头报告

### 亚毫秒瞬态合成超高功率高石墨化微介孔碳

张慧敏、张浩\*

军事科学院防化研究院

高度石墨化的微介孔碳材料由于其高的比表面积和电导性而引起了人们的极大兴趣。但是传统方法制备多孔碳常受限于碳产量较低或品质较差而不具实用前景。本研究首次提出利用“锂热法”，即通过聚四氟乙烯粉末和熔融锂金属发生自蔓延超高温反应，自下而上合成高度石墨化微介孔碳。受益于锂热反应的超高反应温度，前驱体可瞬间分解成碳原子/团簇，直接获得具有高度石墨化结构和发达孔结构的多孔碳材料 ( $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ )。所得多孔碳组装得到的对称型超级电容器，具有超高倍率性能 (在  $10.0$  和  $200.0 \text{ A/g}$  的电流密度下，比容量分别高达  $121$  和  $110 \text{ F/g}$ ) 和优异的循环稳定性 (在  $10 \text{ A/g}$  的电流密度下循环  $100,000$  次后容量保持率为  $97.7\%$ )。“锂热法”制备得到的多孔碳材料性能优异，且合成工艺简单，为高功率、长寿命的储能设备开发提供了重要参考。

最终交流类型：口头报告

### 表面电场调控策略实现高性能水系锡金属电池和锌金属电池

王能泽<sup>1,2</sup>、贾春阳\*<sup>1,2</sup>

1. 电子科技大学电子薄膜与集成器件国家重点实验室， 集成电路科学与工程学院
2. 电子科技大学（深圳）高等研究院

金属锡（Sn）因其理论容量高、氧化还原电位低、耐腐蚀性强等特点，是一种极具吸引力的水性电池阳极材料。然而，锡的不均匀沉积和严重的界面副反应限制了其广泛的应用。在此，我们通过物理蒸发沉积技术开发了 Sn 阳极上的纳米级富勒烯涂层以消除复杂的副反应。该涂层改善了 Sn 阳极表面电场的均匀性并减少了“死锡”的形成。因此，得到的水系 Ni-Sn 电池在电流密度为 1.5 A/g 时可以实现 79.3 mAh/g 的最大比放电容量。该工作提出了一种具有成本效益和高可靠性的界面工程策略，促进了 Sn 金属电极的进一步应用，将该策略用于水系锌金属电池阳极优化能够得到类似功效，为水系电池电极材料的设计提供了新思路。

最终交流类型：口头报告

### 钠/钾离子电池合金型负极材料稳定机制

张晶\*

扬州大学，碳中和技术研究院，电气与能源动力工程学院，江苏省扬州市邗江区华扬西路 196 号，225127

钠/钾离子电池具有资源丰富、价格低廉、安全、环境友好的特点，有望在规模化、高功率储能应用领域取代锂离子电池。然而，钠/钾离子半径大、质量重，在电极材料中的嵌入和脱出比较困难，导致电池材料容量较低且电动力学较差。因此，具有较高理论比容量的合金型电极材料成为了钠/钾离子电池负极材料的研究重点。针对红磷材料 SEI 膜不稳定的难题，开发了原位和非原位相结合的方法改性电极/电解液界面，调控了 SEI 膜结构，增强了红磷材料储钠稳定性；针对金属磷化物材料离子/电子传导差、循环稳定性差等问题，设计了用作钠离子电池的 CoP 无粘结剂自支撑电极，提出了金属磷化物自支撑电极结构设计新方法，建立了保护自支撑电极结构的双功能包覆策略；针对纳米化抑制钾化/去钾化时电极材料的机械退化原理不明的问题，发现了纳米铋材料的钾化遵循逐步固溶体路径，其相转变过程是由扩散控制反应主导，所产生的各向同性膨胀应力抑制了颗粒破裂，揭示了纳米化合金型负极材料机械退化的内在机制。

## 墙报

最终交流类型: 墙报

FB02-P01

### 室温下超离子导体软填料促进固态电池一体化正极-电解质中 Li<sup>+</sup> 的传输

杨斌斌、陈楠、陈人杰\*

北京理工大学

刚柔并济的复合聚合物固态电解质(CPEs)是开发具有超强界面相容性的固态锂金属电池的理想选择。填料可以有效降低聚合物的结晶度,促进了锂盐的离解,可能为快速离子传输创造了新的途径。然而,传统的无机和有机填料显著阻碍了锂离子在CPE中的迁移。无机填料的高界面能易于引起团聚,而有机填料的高结晶度阻碍了其固有的离子导电性。此外,未固定的Li盐阴离子导致迁移过程中Li<sup>+</sup>的浓度梯度,引起局部浓差极化,导致Li<sup>+</sup>迁移数降低和不均匀的Li<sup>+</sup>沉积。液体电解质的引入解决了固态电池中阴极和阴极-电解质界面处的离子传导问题,但它也可能引入诸如泄漏和集流体腐蚀的问题。值得注意的是,使用填料来解决CPE中以及固态电池的电解质-阴极界面和阴极中的快速Li<sup>+</sup>传输问题的潜力尚未得到彻底研究。

在本文中,我们提出了一种超离子导体软填料的新概念,采用Li<sup>+</sup>导电性纳米纤维素(Li-NC)作为模型,研究了Li<sup>+</sup>在韧性双通道Li<sup>+</sup>传输电解质(TDCT)中的传输机制,该电解质包含Li-NC和PVDF。使用<sup>6</sup>Li固体核磁共振示踪和分子动力学模拟,我们发现Li-NC中的-OH基团作为Li<sup>+</sup>的配位位点,显著增强了TDCT中Li<sup>+</sup>的转运能力。原位电化学FT-IR光谱和DFT进一步证实,Li-NC通过固定TFSI和与PVDF配位(通过PVDF的-CF基团和Li-CN的-OH质子),形成Li<sup>+</sup>配位转移机制,有效地促进了Li<sup>+</sup>在TDCT中的快速传输。TDCT在30°C时具有高的离子电导率( $2.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ )、高的Li<sup>+</sup>迁移数(~0.79)和宽的电化学窗口(5.3 V)。

通过软填料的分子工程和创新的集成电极设计,我们利用Li-NC作为有效和稳定的Li<sup>+</sup>导体,在阴极-电解质界面建立稳定的离子传输通道,无需额外的液体电解质添加剂。LiFePO<sub>4</sub>/Li、LiNi<sub>0.5</sub>Co<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.3</sub>O<sub>2</sub>/Li和Li<sub>1.2</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>Mn<sub>0.54</sub>O<sub>2</sub>/Li电池,以及LiFePO<sub>4</sub>/Li软包电池都能在室温稳定循环,都展示了超离子导体软填料在高能量密度固态电池中的实际应用潜力。

最终交流类型: 墙报

FB02-P02

### 基于有机物催化转化的高性能电解型水系锌-碘电池

刘梦瑶、赵逸\*

北京化工大学

水系锌碘电池具有安全性高、成本低等优点,是一种很有前途的电化学储能系统。采用碘化钾溶液作为电解液,在阳极和阴极分别发生Zn<sup>2+</sup>/Zn和I<sub>2</sub>/I<sup>-</sup>氧化还原反应。然而水系锌碘电池存在聚碘化物穿梭和碘转化动力学慢等问题,影响电池的性能和寿命。本文通过电极和电解质的协同调节来提高水系锌碘电池的库伦效率和性能。采用有机物(二硝基苯)作为电池的正极材料,它含有带正电荷的氮位点,允许通过静电吸引掺杂和有效结合多碘阴离子。同时电解液中的碘离子实现碘的氧化还原反应,同时调控水系锌碘电池的库伦效率。优化后的水系锌碘电池由于易于固液反应以及二硝基苯提供的高容量而使电池具有优异的倍率性能。并且它在电流为10 A时的容量为300 mAh g<sup>-1</sup>,库伦效率在95%以上,并且在长期循环后实现了30000次循环后73.3%的优异容量保持。该研究为实现水锌卤素电池的稳态储能提供了一条潜在途径。

最终交流类型: 墙报

FB02-P03

### V 掺杂 Na<sub>4</sub>Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 的制备及其储钠性能

张润景、刘黎\*

湘潭大学

湘潭大学化学学院, “新型储能电池及关键材料制备技术” 国家地方联合工程实验室, “新能源装备及储能材料与器件” 国家国际科技合作基地, 湘潭, 41110 \*通讯作者邮箱 liuli@xtu.edu.cn

$\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  (NFPP) 作为一种极具吸引力的新型混合聚阴离子材料, 通过  $\text{PO}_4^{3-}$  和  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$  的混合, 使其具有坚固的开放框架, 在充放电过程中能提供 3D  $\text{Na}^+$  扩散路径。NFPP 具有结构稳定、制造成本低且没有毒性等优点, 被认为是一种很有前途的钠离子电池正极材料。虽然 NFPP 显示出巨大的潜力, 但由于电导率较差, 其实际电化学性能并不理想<sup>[1-4]</sup>。

本研究采用柠檬酸溶胶凝胶法制备了 V 掺杂的 NFPP 材料。通过钒离子掺杂的改性策略, 提高了材料的导电性和稳定性, 掺杂后的材料显示出更优异的电化学性能。在 0.1C 下可释放 119mAh/g 的比容量。在 1C (130mAh/g) 下循环 100 圈后容量保持率为 97%。在 5C (650mAh/g) 下循环 700 圈后容量保持率为 96%。

关键词: 钠离子电池; 正极材料;  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$

参考文献:

[1] A. Zhao, T. Yuan, P. Li, C. Liu, H. Cong, X. Pu, Z. Chen, X. Ai, H. Yang, Y. Cao, *Nano Energy* 2022, 91, 106680.

[2] X. Li, Y. Zhang, B. Zhang, K. Qin, H. Liu, Z.-F. Ma, *J. Power Sources* 2022, 521, 230922.

[3] Y. Cao, X. Xia, Y. Liu, N. Wang, J. Zhang, D. Zhao, Y. Xia, *J. Power Sources* 2020, 461, 228130.

[4] X. Ma, X. Wu, P. Shen, *ACS Appl. Energy Mater.* 2018, 1, 6268.

最终交流类型: 墙报

FB02-P04

### Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>-VO<sub>x</sub>/CNFs 纳米纤维的制备及其储钾性能研究

雷坤婷、刘黎\*

湘潭大学

湘潭大学化学学院, “新型储能电池及关键材料制备技术” 国家地方联合工程实验室, “新能源装备及储能材料与器件” 国家国际科技合作基地, 湘潭, 411105\*通讯作者邮箱 liuli@xtu.edu.cn

钾离子电池 (PIBs) 具有与锂离子电池相似的储能机制, 因其成本低, 安全性高和较低的氧化还原电位而备受关注。过渡金属硫族化物具有较高的理论容量, 是富有潜力的钾离子电池负极材料之一, 然而过渡金属硫族化物的低电导率和在钾化/脱钾过程中的严重体积变化限制了其实际应用<sup>[1-4]</sup>。基于转化反应储钾的硫化铁因其理论容量高、原料来源丰富、环境友好等特点而受到广泛关注。但是, 循环过程中转化反应的较大不可逆性导致其实际比容量较低和效率低。此外, 较大的体积变化限制了其循环寿命。最近研究表明非晶态氧化钒 (VO<sub>x</sub>) 具有独特的短程有序和长程无序特性, 可提供额外的碱金属离子存储位点, 同时提高反应活性并抑制应力诱导的结构崩塌<sup>[5]</sup>。

本文通过静电纺丝和退火处理设计了一种氮掺杂碳包覆的 Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>-VO<sub>x</sub> 纳米纤维 (Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>-VO<sub>x</sub>/CNFs)。该方法合成的纳米纤维表面光滑且直径分布均匀, 得益于复合结构和碳纤维骨架的协同作用, Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>-VO<sub>x</sub>/CNFs 复合材料表现出优异的电化学性能。在 100mA/g 下循环 150 次后仍有 333.0 mAh/g 的可逆容量, 在 1000mA/g 下经过 1000 次的长循环, 容量保持在 138.1 mAh/g。

关键词: 钾离子电池; 负极材料; 硫化铁; 氧化钒; 静电纺丝

参考文献:

[1] Q. Luo, J. X. Wen, G. Z. Liu, Z. Q. Ye, Q. F. Wang, L. Liu, X. K. Yang, *Journal of Power Sources*, 2022, 545: 231917.

[2] Y. Liu, Q. Luo, K. T. Lei, S. X. Liu, X. X. Li, J. J. Xia, S. W. Zhong, *Applied Surface Science*, 2024,

657: 159826.

[3] M. Yang, D. Su, W. Zhang, J. X. Wen, W. Liu, Q. Luo, L. Liu, *Electrochimica Acta*, 2021, 400: 139461.

[4] Z. Q. Ye, W. Zhang, G. Z. Liu, Li Liu, *Journal of Solid State Electrochemistry*, 2023, 27: 1373-1381.

[5] T. Liu, Q. G. He, L. Li, H. K. Wang, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2022, 624: 362-3