

附表：

2025 年度海南省科学技术奖提名公示内容

|                |  |
|----------------|--|
| 项目名称           | 高倍率钒系电极材料的设计制备、离子输运调控及应用   |
| 提名奖项及等级        | 海南省自然科学奖一等奖  |
| 提名者            | 三亚市人民政府  |
| 项目简介（1200 字以内） | <p>该项目属特种功能无机非金属材料学科。功率密度和能量密度难以兼顾，是制约储能电池进一步发展的关键科学难题。储能过程涉及电子-离子转移并在电极-电解质界面耦合，同时伴随晶格内迁移过程。因此，高功率不仅受界面过程限制，还受固相扩散控制。为解决这一科学难题，项目在国家自然科学基金和湖北省自然科学基金等的持续支持下，围绕富电极-电解质界面设计与调控、原位界面化学过程研究、微观材料结构设计与系统器件组装等方面开展了全面深入研究，取得重要科学发现如下：</p> <p>1) 发现了离子与电子双连续输运及耦合控制的储能机制，通过二维面上富电极-电解质界面和垂直短距离离子迁移路径设计实现高倍率储能。项目团队设计合成了两种层层堆叠电极材料，合成的 <math>\text{VS}_2</math> 层层堆叠材料在超高电流密度 <math>20 \text{ A g}^{-1}</math> 下（放电/充电仅需 27 秒）比容量可达 <math>150 \text{ mAh g}^{-1}</math>；<math>\text{NVP}@\text{rGO}</math> 层层堆叠纳米复合材料在 <math>200 \text{ C}</math> (<math>22 \text{ A g}^{-1}</math>) 下具备 <math>41 \text{ mA h g}^{-1}</math> (6.7 秒完成放电) 的高倍率容量。这两种材料堆叠层间存在大量二维间隙，形成丰富的电极-电解质界面，离子可快速扩散至界面处与电子耦合，同时快离子通道确保了体相内离子的高效输运，因此该离子-电子双连续快速耦合及体相内快速离子输运实现了高倍率电化学储能过程。</p> <p>2) 提出界面“吸附-转化-嵌入”热-动力学控制的离子演化、迁移与存储机制，通过离子-界面耦合作用调控离子嵌入实现高倍率储能。项目团队通过离子-界面耦合控制显著提高了储能电池的倍率性能，以具有富含表面悬挂氧的代表性隧道材料 <math>\text{VO}_2(\text{B})</math> 为研究对象，通过原位和非原位表征技术及理论计算揭示了离子在电极-电解质界面处“富集-水解转化-质子嵌入”热-动力学控制的嵌入/脱出理论，实现了质子的快速共嵌入与储能过程。</p> |

|             |   |
|-------------|---|
|             | <p>3) 提出纳米线结构设计, 利用离子径向短距离迁移进行快速电化学储能, 构筑和实现了高倍率储能器件与应用。项目团队设计组装了单根纳米线器件并证明径向短距离离子迁移对高倍率储能器件制造有效, 并综合以上理论设计组装了高性能水系锌离子电池 (ZIBs), 在 <math>5.0 \text{ A g}^{-1}</math> 高倍率下容量可达<math>\sim 150 \text{ mAh g}^{-1}</math>; 设计组装的 NVP//NTP NIBs 在 <math>50 \text{ C}</math> 下容量可达 <math>80 \text{ mA h g}^{-1}</math>, 两个钠离子电池 (NIBs) 串联可驱动 LED 灯正常工作, 说明项目团队设计的储能器件系统能够有效兼顾高倍率和高能量密度, 对下一代高性能储能器件的发展与应用起到重要指导作用。</p> <p>该项目 8 篇代表性论文包括 <i>Angew. Chem. Int. Ed.</i> 1 篇(VIP)、<i>Adv. Energy Mater.</i> 1 篇、<i>Nano Lett.</i> 1 篇、<i>Nano Energy</i> 2 篇, 相关工作受到南开大学陈军院士、中国科学技术大学钱逸泰院士、重庆大学潘复生院士、阿德莱德大学郭再萍院士、新加坡国立大学 John Wang 院士等国内外同行的广泛关注和认可, 被 <i>Nat. Rev. Mater.</i>、<i>Nat. Commun.</i>、<i>Chem. Rev.</i>、<i>Adv. Mater.</i> 等学科顶级期刊 SCI 他引 2700 余次, 单篇最高 SCI 他引 630 次, 其中 3 篇为 ESI 高被引论文。基于 3 个科学发现, 第一完成人应邀在 <i>Mater. Today</i>、<i>eScience</i> 等期刊撰写相关综述论文 8 篇, 入选国家级青年人才计划, 获湖北省自然科学基金杰出青年项目资助。项目相关成果已在布鲁克、贝特瑞、瀚为科技等多家企业实现产学研合作, 产生了显著的经济与社会效益。</p>  |
| 提名书<br>相关内容 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 代表性论文 1: Sun, R., Wei, Q., Sheng, J., Shi, C., <b>An, Q.</b>, Liu, S., Mai, L., Novel layer-by-layer stacked VS<sub>2</sub> nanosheets with intercalation pseudocapacitance for high-rate sodium ion charge storage. <i>Nano Energy</i> 2017, 35, 396-404.</li> <li>2) 代表性论文 2: Xu, Y., Wei, Q., Xu, C., Li, Q., <b>An, Q.</b>, Zhang, P., Sheng, j., <b>Zhou L.</b>, Mai, L., Layer-by-layer Na<sub>3</sub>V<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> embedded in reduced graphene oxide as superior rate and ultralong-life sodium-ion battery cathode. <i>Adv. Energy Mater.</i> 2016, 6(14), 1600389.</li> <li>3) 代表性论文 3: <b>Hu, P.</b>, <b>Yan, M.</b>, Zhu, T., Wang, X., Wei, X., Li, J., <b>Zhou, L.</b>, Li, Z., Chen, L., Mai, L., Zn/V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aqueous hybrid-ion battery with high voltage platform and long cycle life. <i>ACS appl. Mater. interfaces</i> 2017, 9(49), 42717-42722.</li> <li>4) 代表性论文 4: Dai, Y., Li, J., Chen, L., Le, K., Cai, Z., <b>An, Q.</b>, <b>Zhang, L.</b>, Mai, L., Generating H<sup>+</sup> in catholyte and OH<sup>-</sup> in anolyte: an approach to improve the stability of aqueous zinc-ion batteries. <i>ACS Energy Letters</i> 2021, 6(2), 684-686.</li> <li>5) 代表性论文 5: <b>Huang, M.</b>, Wang, X., Wang, J., Meng, J., Liu, X., He, Q., Geng, L., <b>An, Q.</b>, <b>Yang, J.</b>, Mai, L., Proton/Mg<sup>2+</sup> co-insertion chemistry in aqueous mg-ion batteries: From the</li> </ol> |

|                           |  |
|---------------------------|--|
|                           | <p>interface to the inner. <i>Angew. Chem. Int. Ed.</i> 2023, 62(37), e202308961.</p> <p>6) 代表性论文 6: <b>Hu, P.</b>, Zhu, T., Wang, X., Wei, X., <b>Yan, M.</b>, Li, J., Luo, W., Yang, W., Zhang, W., <b>Zhou, L.</b>, Zhou, Z., Mai, L., Highly durable <math>\text{Na}_2\text{V}_6\text{O}_{16} \cdot 1.63\text{H}_2\text{O}</math> nanowire cathode for aqueous zinc-ion battery. <i>Nano lett.</i> 2018, 18(3), 1758-1763.</p> <p>7) 代表性论文 7: <b>He, P.</b>, Quan, Y., Xu, X., <b>Yan, M.</b>, Yang, W., <b>An, Q.</b>, He, L., Mai, L. High-performance aqueous zinc-ion battery based on layered <math>\text{H}_2\text{V}_3\text{O}_8</math> nanowire cathode. <i>Small</i> 2017, 13(47), 1702551.</p> <p>8) 代表性论文 8: Ren, W., Zheng, Z., Xu, C., Niu, C., Wei, Q., <b>An, Q.</b>, Zhao, K., <b>Yan, M.</b>, Qin, M., Mai, L., Self-sacrificed synthesis of three-dimensional <math>\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3</math> nanofiber network for high-rate sodium-ion full batteries. <i>Nano Energy</i> 2016, 25, 145-153.</p> |
| 主要完成人<br>(排序、工作单位和<br>贡献) | <p>1) 安琴友, 武汉理工大学, 是主要学术思想提出与总体研究方案制定者, 对《重要科学发现》中所有发现点有突出贡献。在发现点 1 中发现了离子与电子双连续输运及耦合控制的储能机制, 通过二维面上富电极-电解质界面和垂直短距离离子迁移路径设计实现高倍率储能; 在发现点 2 中提出界面“吸附-转化-嵌入”热-动力学控制的离子演化、迁移与存储机制, 通过离子-界面耦合作用调控离子嵌入实现高倍率储能; 在发现点 3 中提出纳米线结构设计, 利用径向离子短距离迁移进行快速电化学储能, 构筑和实现了高倍率储能器件与应用。是代表性论文 1、2、5、8 的共同通讯作者, 是代表性论文 4 和 7 的第六作者。</p> <p>2) 周亮, 武汉理工大学, 是《重要科学发现》中发现点 2 和 3 的贡献者。在发现点 2 中提出界面“吸附-转化-嵌入”热-动力学控制的离子演化、迁移与存储机制, 通过离子-界面耦合作用调控离子嵌入实现高倍率储能; 在发现点 3 中提出纳米线结构设计, 利用径向离子短距离迁移进行快速电化学储能, 构筑和实现了高倍率储能器件与应用。是代表性论文 3 和 6 的共同通讯作者, 是代表性论文 2 的第八作者。</p> <p>3) 晏梦雨, 武汉理工大学, 是《重要科学发现》中发现点 2 和 3 的贡献者。在发现点 2 中提出界面“吸附-转化-嵌入”热-动力学控制的离子演化、迁移与存储机制, 通过离子-界面耦合作用调控离子嵌入实现高倍率储能; 在发现点 3 中提出纳米线结构设计, 利用径向离子短距离迁移进行快速电化学储能, 构筑和实现了高倍率储能器件与应用。是代表性论文 3 的共同第一作者, 是代表性论文 7 的共同通讯作者, 是代表性论文 6 的第五作者, 是代表性论文 8 的第八作者。</p> <p>4) 胡平, 湖北大学, 是《重要科学发现》中发现点 2 和 3 的贡献</p>   |

|                   |  |
|-------------------|--|
|                   | <p>者。在发现点 2 中提出界面“吸附-转化-嵌入”热-动力学控制的离子演化、迁移与存储机制，通过离子-界面耦合作用调控离子嵌入实现高倍率储能；在发现点 3 中提出纳米线结构设计，利用径向离子短距离迁移进行快速电化学储能，构筑和实现了高倍率储能器件与应用。是代表性论文 3 的共同第一作者，是代表性论文 6 的第一作者。</p> <p>5) 杨金龙，深圳大学，是《重要科学发现》中发现点 2 的贡献者。在发现点 2 中提出界面“吸附-转化-嵌入”热-动力学控制的离子演化、迁移与存储机制，通过离子-界面耦合作用调控离子嵌入实现高倍率储能。是代表性论文 5 的共同通讯作者。</p> <p>6) 黄孟，武汉理工大学三亚科教创新园，是《重要科学发现》中发现点 2 的贡献者。在发现点 2 中发现了界面“吸附-转化-嵌入”热-动力学控制的离子演化、迁移与存储机制，通过离子-界面耦合作用调控离子嵌入实现高倍率储能。是代表性论文 5 的第一作者。</p> <p>7) 张磊，武汉理工大学，是《重要科学发现》中发现点 2 的贡献者。在发现点 2 中提出界面“吸附-转化-嵌入”热-动力学控制的离子演化、迁移与存储机制，通过离子-界面耦合作用调控离子嵌入实现高倍率储能。是代表性论文 4 的共同通讯作者。</p> <p>8) 何攀，武汉理工大学，是《重要科学发现》中发现点 3 的贡献者。在发现点 3 中提出纳米线结构设计，利用径向离子短距离迁移进行快速电化学储能，构筑和实现了高倍率储能器件与应用。是代表性论文 7 的第一作者。</p> |
| 主要完成单位<br>(排序和贡献) | <p>1) 武汉理工大学三亚科教创新园，是本项目的第一完成单位，参与了本项目的立项及研究方案的制定与组织实施，并按相关规定进行科研过程管理；对本项目给予了人力、物力和财力等支持，提供了开展本项目的多项实施条件；是发现点 1-3 的贡献单位。</p> <p>2) 武汉理工大学，是本项目的第二完成单位，为项目的完成和完成人的研究工作提供了先进的学术平台和智库支持，包括为项目提供 800 平方米的试验场和办公场地，配备了一系列先进的复合材料制备、表征与电化学特性测试的仪器；是代表作 1,2,3,4,6,7 和 8 的第一署名单位；是发现点 1-3 的主要贡献单位。</p> <p>3) 深圳大学，是本项目的第三完成单位，参与了本项目的立项及研究方案的制定与组织实施，并按相关规定进行科研过程管理；对本项目给予了人力、物力和财力等支持，提供了开展本项目的多项实施条件；是发现点 2 的贡献单位。</p>   |

说明：涉及国外的人和组织科学技术合作奖可不用公示，其余奖项必须公示至少  
7 日。