

## 山西省自然科学奖提名项目公示材料

**项目名称：**高比能锂金属电池用固态聚合物电解质的结构功能化设计与界面稳定化机制

**提名者：**太原理工大学

### 提名意见：

该项目面向高比能锂金属电池安全性与能量密度协同提升的重大需求，聚焦固态聚合物电解质离子传导效率低、界面稳定性差等核心难题，取得四项科学发现：

1. 揭示了复合聚合物电解质无机-有机界面从物理分散到化学键合的逐级强化规律，为其界面失效问题提供了根治方案。

2. 打破传统聚合物电解质单一尺度优化思路，建立了多尺度结构解耦设计准则，实现其离子电导率与力学性能协同提升。

3. 揭示了非共价键驱动下离子溶剂化团簇在聚合物基体中化学锚定的微结构演化机制，消除了液相传质失稳的固有隐患。

4. 攻克了原位聚合过程中聚合度与界面状态难以协同调控的长期难题，为固态电池固-固界面稳定化提供了全新思路。

项目材料真实有效，相关栏目填写符合要求，对于推动储能电化学学科发展和山西省新能源产业升级具有重要战略价值。

### 项目简介：

本项目属于材料科学储能电池领域。

锂金属电池被视为下一代高比能储能体系的核心方向，但传统液态电解质存在易燃泄漏等问题，且与锂金属负极界面副反应严重。固态聚合物电解质虽具备本征安全优势，却长期受困于离子电导率低、力学性能差、固-固界面阻抗高等科学难题。基于此，本项目围绕聚合物电解质开展了系统性研究，具体如下：

**1. 聚合物电解质拓扑结构与多尺度解耦调控。**从聚合物分子拓扑结构出发，建立了贯通分子、纳米至介观尺度的三级结构解耦设计准则，实现了离子传导与力学支撑的空间分离。

**2. 离子溶剂化团簇-聚合物桥接的凝胶电解质微结构调控。**提出了离子-偶极相互作用的离子液体固定化策略与溶剂-聚合物弹性桥接的无氟凝胶电解质设计策略，将电解液以化学键合方式锚定于聚合物基体中，消除了相分离与溢出失效隐患。

**3. 基于聚合反应调控与界面设计的原位聚合界面锚定。**针对原位聚合体系中聚合度难以精准调控、界面化学难以定向构筑两大核心难题，提出了富 F 界面原位构筑与聚合度精准调控策略、分子功能化界面工程策略等核心思路，实现了固-固界面从物理接触到化学键合锚固。

#### **科学价值：**

本项目创建了聚合物多尺度结构解耦设计准则，破解了离子电导率与力学性能此消彼长的技术瓶颈；揭示了固态聚合物电解质的跨尺度离子传导新机制；攻克了原位聚合界面化学不可控难题；对推动固态电化学储能学科发展具有重要学术价值。

#### **同行评价情况：**

本项目研究成果被陈立泉院士、成会明院士等国内外著名团队正面引用；如：成会明院士在其发表的 *Electrochem. Energy Rev.* 2023, 6, 15 中原图引用，并大篇幅评价：“Wang et al developed a……of Li dendrite growth”。

#### **对科学发现点的评价：**

科学发现点 1 被本领域专家成会明院士在 *Electrochem. Energy Rev.* **2023**, 6, 15 中原图引用，并大幅评价：“Wang et al……growth”；科学发现点 3 被陈立泉院士在其发表的 *J. Mater. Chem. A*, 2024,12, 33362 中原图引用，并大幅评价：“Chen et al. reported the preparation of……demonstrated superior cycling stability and rate performance”；科学发现点 4 被 *Nano Lett.*, *Energy Environ. Sci.*, *Adv. Energy Mater.*, 等顶级期刊引用；科学发现点 2，围绕聚合物电解质超薄和分子拓扑结构超支化设计，被 *ACS Nano.*, *Nano Lett.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *Adv. Mater.*, 等顶级期刊引用，引领了聚合物电解质领域的发展。

#### **代表性论文目录**

1. Wang, H.; Wang, Q.; Cao, X.; He, Y.; Wu, K.; Yang, J.; Zhou, H.; Liu, W.; Sun, X. Thiol-Branched Solid Polymer Electrolyte Featuring High Strength, Toughness, and Lithium Ionic Conductivity for Lithium-Metal Batteries, *Advanced Materials* 2020,

32, 2001259.

2. Zhang, L.; Wang, S.; Wang, Q.; Shao, H.; Jin, Z. Dendritic Solid Polymer Electrolytes: A New Paradigm for High - Performance Lithium - Based Batteries, *Advanced Materials* 2023, 35, 2303355.
3. Chen, T.; Kong, W.; Zhang, Z.; Wang, L.; Hu, Y.; Zhu, G.; Chen, R.; Ma, L.; Yan, W.; Wang, Y.; Liu, J.; Jin, Z. Ionic liquid-immobilized polymer gel electrolyte with self-healing capability, high ionic conductivity and heat resistance for dendrite-free lithium metal batteries, *Nano Energy* 2018, 54, 17-25.
4. Zhang, L.; Gao, H.; Xiao, S.; Li, J.; Ma, T.; Wang, Q.; Liu, W.; Wang, S. In-Situ Construction of Ceramic–Polymer All-Solid-State Electrolytes for High-Performance Room-Temperature Lithium Metal Batteries, *ACS Materials Letters* 2022, 4, 1297-1305.
5. Wang, Q.; Wang, S.; Lu, T.; Guan, L.; Hou, L.; Du, H.; Wei, H.; Liu, X.; Wei, Y.; Zhou, H. Ultrathin Solid Polymer Electrolyte Design for High-Performance Li Metal Batteries: A Perspective of Synthetic Chemistry, *Advanced Science* 2022, 10, 2205233.

#### 主要完成人情况及排序如下

1. 王骞（太原理工大学）
2. 王师（南京邮电大学）
3. 金钟（南京大学）
4. 刘文（北京化工大学）
5. 侯利锋（太原理工大学）

## 完成人合作关系说明

完成人王骞，王师，金钟，刘文，侯利锋共同协作完成了“高比能锂金属电池用固态聚合物电解质的结构功能化设计与界面稳定化机制”。五位完成人具有多年的合作研究基础，团队人员的分工各有侧重，相关专利和论文等按照具体工作贡献署名。

完成人王骞，第一完成人，为本项目学术思想的提出、大部分研究内容的完成者，是代表性论文 1 的共同第一作者，代表性论文 2 的共同第一作者及共同通讯作者，代表性论文 4 的共同通讯作者，代表性论文 5 的第一作者。

完成人王师，第二完成人，负责本项目部分研究内容的设计和表征。是代表性论文 2 的共同第一作者及共同通讯作者，代表性论文 4 的共同通讯作者，代表性论文 5 的共同一作者及共同通讯作者。

完成人金钟，第三完成人，负责本项目在聚合物电解质与溶剂的相互作用调控方面。是代表性论文 2 的共同通讯作者，代表性论文 3 的通讯作者。

完成人刘文，第四完成人，负责本项目超支化聚合物电解质的设计并参与提供了部分关键性思路，是代表性论文 1 的共同通讯作者，代表性论文 4 的共同通讯作者。

完成人侯利锋，第五完成人，负责本项目聚合物界面设计及表征部分工作，并参与提供了界面设计的关键思路，是代表性论文 5 的共同通讯作者。

**承诺：**本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

**第一完成人签名：**