

2025 年
第 05 期

先进制造 与新材料

ADVANCED MANUFACTURING
& NEW MATERIALS BRIEFING



上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
技术与创新支持中心(TISC)

离子液体推动行业绿色发展

编者按

离子液体又称室温离子液体，是在室温或接近室温下呈现液态的有机盐。作为一种新型的极性溶剂，离子液体具有无味、不可燃性、蒸汽压小且很难挥发、良好的化学稳定性和热稳定性、易回收、可循环利用及对环境友好等特点，被认为是 21 世纪最有希望的绿色溶剂，是传统有机溶剂的良好替代品。此外，离子液体的高极性、疏水性及溶解性等均可以通过选用不同的阴阳离子和侧链取代基而改变，故又被称为“可设计的溶剂”。

离子液体的应用激发了化学和化学工程领域的绿色变革。目前，涉及离子液体的研究几乎涉及化学和材料科学的每一个分支，包括催化、有机合成、分离和分析、电化学、材料化学、生物质预处理、能源技术等。随着环保要求日益严格，离子液体的应用领域有望进一步扩展。

本期《先进制造与新材料》简报从政策发布、材料研发、应用研究和企业动态四个层面，介绍国内外离子液体研发现状。

目 录

政策发布.....	1
美国能源部为 12 个高能储能解决方案提供 1500 万美元.....	1
材料研发.....	4
离子液体增强透明、可拉伸、导电的有机离子凝胶.....	4
北理工团队在离子液体改性功能材料方面取得新进展.....	5
应用研究.....	7
离子液体介导的丁烷高效氧化制顺酐项目通过成果鉴定.....	7
离子液体添加剂用于高压无负极锂金属电池.....	8
企业动态.....	10
比亚迪申请离子液体聚合物及其制备方法相关专利.....	10

政策发布

美国能源部为 12 个高能储能解决方案提供 1500 万美元

2024 年 2 月，美国能源部（DOE）宣布将为 11 个州的 12 个项目提供 1500 万美元资金，以推进下一代高能储能解决方案，帮助加速航空、铁路和海运行业的电气化。通过 Pioneering Railroad、Oceanic 和 Plane ELectrification 1K 储能系统（PROPEL-1K）计划的资助，这些项目将开发具有“1K”技术的储能系统，能够达到或超过每千克 1000 瓦时（Wh/kg）或每升 1000 瓦时（Wh/L），与现有技术相比，能量密度提高四倍以上。这将支持美国政府实现 2050 年的净零气候目标。

美国能源部高级研究计划署（ARPA-E）主任 Evelyn N. Wang 说：“交通运输业是美国温室气体排放的最大来源，减少交通运输业的排放对实现政府的清洁能源和气候目标至关重要。ARPA-E 很高兴地宣布，12 个团队将为重型运输提供令人兴奋的动力和电气化新解决方案。”

由 ARPA-E 管理，选定的 12 个项目团队将致力于高能储能解决方案，能够促进航空、铁路和海事部门的广泛电气化，其中包括 Washington University 的带有离子液体的锂空气电池项目。

1、And Battery Aero（加利福尼亚州帕洛阿尔托）及其合作者正在开发使用氟化电极的电池组、电池堆和系统，以开创一种用于航空应用的新型电池材料。该团队将专注于通过电极材料优化和电解质配方来提高电池设计的能量密度。

所提出的方法还将创新电池组设计，以减少因包装而造成的能量密度损失。

(奖金数额：983445 美元)

2、Aurora Flight Sciences（弗吉尼亚州马纳萨斯市）正在开发一种铝空气储能和发电系统，为重型运输提供可持续和环保的解决方案。这项技术的新颖之处在于它能够促进铝的燃烧，从而产生氢气，为固体氧化物燃料电池提供动力。该过程产生的热量和电力随后被用于推进。该系统利用一个分离能量和电力的平台，允许可更换的能量箱或可泵送的燃料，这些能量箱或燃料可以快速无缝地从车辆设备充电和放电。（奖金数额：1499375 美元）

3、Georgia Tech Research Corporation（佐治亚州亚特兰大）将推进一种碱金属氢氧化物三相液流电池（3PFB），以实现超高能量密度电池化学物质的可逆操作。该方法的灵感来源于内燃机中的燃料喷射器和传统的液流电池。所提出的设计利用了对熔融碱金属和氢氧化物物种的创新泵送和处理，以最大限度地提高反应物相对于非活性组分的体积，从而提高能量密度。（奖金数额：1317842 美元）

4、Giner（马萨诸塞州牛顿市）将把氢气封装在糊状物中，为燃料电池提供动力，从而消除了对高压储氢罐的需求。这种能量浆料是储存在药筒中的镁和氢的混合物，当加水时会引发氢气的释放。糊状物不易燃易爆。该团队还将更新系统的燃料电池，使其在较低的湿度下运行，使该方法更通用，体积更小，从而提高设计的整体能量密度。（奖金数额：1500000 美元）

5、Illinois Institute of Technology (IIT)（伊利诺伊州芝加哥）专注于固态锂空气电池，该电池将通过几项关键创新克服锂空气技术之前的挑战。IIT 的方法具有不含液体成分的复合聚合物固态电解质、具有高活性催化剂和吸氧能力的阴

极模块、先进的气流和新的电池结构。IIT 技术中廉价的电池材料提高供应链的弹性，电池的能量密度可能是目前锂离子电池的三到四倍。（奖金数额：

1500000 美元）

6、Johns Hopkins University（马里兰州巴尔的摩）将利用甲基环己烷开发一种高能量密度的氢载体，以创建一种比传统系统具有更高比能量密度的燃料电池（FC）系统。所提出的氢 FC 使用闭环循环氢载体。FC 系统也可以通过泵送快速补充（约 10 分钟）。（奖金数额：625000 美元）

7、Precision Combustion（North Haven，CT）及其混合燃料电池系统采用电化学晶片，该晶片使用液氢作为燃料发电，再加上大功率锂离子电池，实现峰值功率运行。渐进式储能系统将高效先进的电化学设备和小型可充电电池混合在一起，并将其与高能量密度无碳燃料配对。过程强化架构有可能提供比其他正在开发的系统高得多的功率密度。（奖金数额：1221058 美元）

8、Propel Aero（密歇根州安娜堡）及其“Redox Engine（氧化还原发动机）”技术将提供可观的动力性能，并提供满足电动飞机所需的能量密度。这项技术的电力成本将与喷气燃料相当。鉴于低成本和高比能，Redox Engine 也可以解决航运和火车的电气化问题。（奖金数额：1117000 美元）

9、University of Maryland（马里兰州帕克学院）将开发一种可再充电的单氟化锂碳阴极化学物质，以达到 PROPEL-1K 的技术目标。这一新材料建立在 UMD 先前在卤素转化嵌入化学方面的工作基础上，但通过活性材料、电解质和其他电池化学修饰实现更高能量目标。该电池在放电状态下组装，相对于在充电状态下构建的高能锂金属电池（需要使用锂金属箔），显著降低成本。电池

材料工作将与多个规模的性能和成本建模相结合，以展示实现最终系统

PROPEL-1K 目标的途径。（奖金数额：1483595 美元）

10、Washington State University（华盛顿州普尔曼）及其模块化能源系统将陶瓷燃料电池技术与一种创新的液态形式的氢气封装方式相结合。该方法使用自加压热回收和氢气膨胀模块与质子传导陶瓷燃料电池相结合。高温系统通过省略用于冷却的辐射热交换器，实现能量回收和显著的重量节省。（奖金数额：803945 美元）

11、Washington University in St. Louis（密苏里州圣路易斯市）将使用带有离子液体的锂空气电池，为高能和功率应用提供高效、可靠和耐用的性能。所提出的锂-空气液流电池将以饱和氧气的循环离子液体为特征，以克服锂-空气电池开发的关键挑战，包括实现功率能力和比能量目标。该团队将合成具有高氧溶解度、低粘度、超低挥发性和高离子电导率的离子液体。初步实验结果表明，使用循环电解质的容量增加十倍。（奖金数额：1499985 美元）

12、Wright Electric（纽约州马耳他）和哥伦比亚大学正在开发一种铝空气电池，该电池具有可更换的铝阳极，可以进行机械充电。铝空气材料可以实现高能量密度，但历史上曾遇到过可再充电性和反应产物堵塞的问题。为了克服这些障碍，Wright Electric 使用 3D 设计而不是 2D 平面材料来改善阳极和阴极之间的接触。该系统还使电解质循环，防止反应产物在电池结构内积聚，以弥补静态铝空气电池的局限性。（奖金数额：1499098 美元）

这些选择代表了预期的两阶段计划的第一阶段。第一阶段预计将在合同完成后的 18 个月内完成。如果成功，PROPEL-1K 技术将使最多可容纳 100 人的区

域航班、所有北美铁路和所有仅在美国领海内运营的船只电气化，航班飞行里程可达 1000 英里（1609 公里）。

相关链接：

[1] 美国能源部为 12 个高能储能解决方案提供 1500 万美元[EB/OL]. (2024-02-26) [2025-02-10]. https://roll.sohu.com/a/760161641_121825644.

[2] U.S. Department of Energy Announces \$15 Million for 12 Projects Developing High-Energy Storage Solutions to Electrify Domestic Aircraft, Railroads & Ships [EB/OL]. (2024-02-21) [2025-02-10]. <https://arpa-e.energy.gov/news-and-events/news-and-insights/us-department-energy-announces-15-million-12-projects-developing-high-energy-storage-solutions-electrify-domestic-aircraft-railroads-ships>.

材料研发

离子液体增强透明、可拉伸、导电的有机离子凝胶

随着柔性电子设备和软体机器人的快速发展，传感器的研究进入一个前所未有的关键阶段。这些传感器能够监测各种物理参数，广泛应用于智能设备 and 人机交互中，逐渐成为人们日常生活中不可或缺的一部分。然而，随着社会对智能设备需求的不断增加，传感器的性能也面临着更高的要求，尤其是在机械性能、传感灵敏度和稳定性等方面。

鉴于此，中国科学技术大学龚兴龙教授课题组在 *Chemical Engineering Journal* 期刊上发表题为“Ionic liquid-reinforced transparent, stretchable, conductive organic ionic gel with ultra-high sensory capability and ultra-robust impact-resistance”的论文。该论文介绍一种由新型有机离子凝胶（POIG）制成的传感器材料，展示其卓越的机械性能和传感能力，为未来智能可穿戴技术的发展提供新的思路。POIG 由聚乙烯醇（PVA）和乙二醇（EG）双聚合物网络与离子液体构建而成。这种创新设计不仅赋予 POIG 优异的机械性能，还使其具备良好的传感能力。

研究人员采用加热溶解和冻融法将离子液体、乙二醇和聚乙烯醇搅拌均匀后倒入模具中冷冻得到 POIG，基于有机双网络的交联作用，离子凝胶表现出优异的力学性能，抗拉强度可达 3.01 MPa，断裂伸长率达 820%，并且具有优异的抗压性能。

离子液体的加入使得 POIG 形成稳定均匀的内部导电结构，展现出极低的应变响应（0.2%）和极快的响应时间（ ≈ 10 ms）。研究人员记录 POIG 在不同应变下的传感信号，其在微小应变范围（0.2%至 1%）、小应变范围（1%至 5%）和大应变范围（10%至 50%）均表现出优异的传感性能。此外，POIG 的超低迟滞特性赋予其显著的传感稳定性，4000 次循环下性能基本没有衰减。

POIG 具有优异的传感性能，能够实时监测应变、压力等物理参数，并将数据精确传输至智能设备。研究人员基于此利用 POIG 开发一种可穿戴袖套的实时手语识别系统，通过深度学习算法，该系统能够准确识别并翻译多种手语手势，准确率高达 98.5%。这一创新应用不仅展示 POIG 在传感技术上的优势，也为智能可穿戴设备的多样化发展提供新的方向。

在各种载荷冲击条件下，POIG 均表现出优异的能量吸收能力。在低速落锤冲击下，POIG 能够吸收超过 90%的能量，与常见的 PDMS、Ecoflex 等其他材料相比，该离子凝胶的最大冲击力显著降低，缓冲时间显著延长，表明出明显的冲击耗能能力。另外，高速弹道冲击下的能量吸收能力比商业泡沫高出五倍，充分展示了 POIG 优异的抗冲击性能。

相关链接：

[1] 中国科大龚兴龙教授课题组 CEJ：离子液体增强透明、可拉伸、导电的有机离子凝胶——具有超高的感官能力和超强的抗冲击性[EB/OL]. (2024-07-25) [2025-02-07].

http://gong.ustc.edu.cn/en_gong/2024/0725/c29225a648906/page.htm.

[2] Zhang Z, Sang M, Pan Y, et al. Ionic liquid-reinforced transparent, stretchable, conductive organic ionic gel with ultra-high sensory capability and ultra-robust impact-resistance [J/OL]. Chemical Engineering Journal. (2024-09-15)[2025-02-07].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894724057164?via%3Dihub>.

北理工团队在离子液体改性功能材料方面取得新进展

近日，北京理工大学绿色生物制造团队在离子液体改性水凝胶方面取得新进展，相关成果以“Robust and tunable hydrogels strengthened by dynamic amphiphilic ionic domains”为题发表于国际顶级期刊 *Chemical Engineering Journal*。

作为一种结构可设计的绿色溶剂，离子液体（ionic liquids, ILs）在制备和改性功能材料方面具有显著优势。基于 ILs 微环境的设计及其过程强化机制方面的长期积累，团队近年来在 ILs 制备和改性功能材料（如凝胶材料、生物基材料、光电材料等）方面取得系列研究进展。例如，ILs 在调控离子凝胶结构和性能方面发挥的独特作用，为设计高性能离子凝胶提供新机遇；中空聚合 IL 微球（PIL-x）可通过其阴离子种类调控和强化光生电子储备和传输行为，使得改性后的 g-C₃N₄ 具有优异的可见光响应和产氢性能，为进一步提高有机半导体光活性提供新思路；低成本质子型 ILs 可实现木质素在无卤素、温和条件下的高效脱甲基化制备木质素多酚，对生物质高值化利用及多酚工业发展提供新路线；ILs 在有机框架材料合成、功能和应用中的强化作用，为发展和应用多孔有机功能材料提供新策略；最后，晶体原位组装过程中 ILs 可优化晶体生长并有效降低晶体缺陷密度，制备的自清洁 MAPbI₃ 单晶具有优异的光探测功能，该工作为高质量钙钛矿单晶的研发提供一种新技术。

基于前期研究基础，团队进一步提出“动态两亲离子域（DAID）”的设计策略，采用具有两亲性结构的可聚合 IL 单体，与丙烯酰胺单体共聚，合成兼具高应变、强韧性、优异电导率和高抗裂纹扩展能力的功能凝胶。在凝胶的三维聚

合物网络中，ILs 的结构域提高聚合物的内聚强度；同时，ILs 阳离子的长疏水烷基链作为物理交联点提供良好的疏水结合以增强力学性能。因此，DAID 的引入可使聚丙烯酰胺亲水链在大变形过程中逐渐展开。

^1H 核磁共振和傅里叶变换红外光谱 (FT-IR) 等手段表明不同单体间 (即，丙烯酰胺与 ILs) 存在强相互作用。当 ILs 浓度高于临界胶束浓度时，通过非共价相互作用可自组装形成胶束。丙烯酰胺和 ILs 胶束由于相互作用而发生聚集，从而形成尺寸更大的混合单体体系。最终，DAID 的引入使凝胶呈现出致密的网络结构。

随着延伸率增加，聚合物致密骨架网络结构中的孔相应地沿着拉伸方向扩展。拉伸过程中同时伴随干涉色出现，表明拉伸后聚合物骨架向各向异性转变。此外，聚合物链间平均间距变短，表明聚合物中分子链彼此靠近，取向度增加。由于 DAID-水凝胶骨架可均匀变形，因此实现良好的高应变性能。同时，聚合物网络定向排列有效耗散能量以承受外力，从而增强凝胶韧性。

该凝胶为人体多方位健康监测提供高灵敏的基础材料。以呼吸监测为例，可将凝胶贴片置于胸腹部位，期间通过应变感应反馈信号以精确观察呼吸频率。不仅如此，凝胶贴片可根据需求贴于相关部位并进行运动实时监测，如大幅度的手指弯曲、肘部弯曲、跑步运动等和小幅度的按压、吞咽和呼吸等。此外，含有缺口的凝胶仍可灵敏检测弯腰、跑步和深蹲等运动而不断裂。总之，DAID 的设计策略为调控凝胶聚合物网络提供指导，并为非接触医用设备的研发奠定一定材料基础。

相关链接：

[1] 北理工团队在离子液体改性功能材料方面取得新进展[EB/OL]. (2024-06-26) [2025-02-07]. <https://www.bit.edu.cn/xww/xzw/xsjl1/26e619f190d64de7b79244eecb338b20.htm>.

[2] Xiao W, He T, Zhao W, et al. Robust and tunable hydrogels strengthened by dynamic amphiphilic ionic domains [J/OL]. Chemical Engineering Journal. (2024-08-15)[2025-02-07]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894724046242?via%3Dihub>.

应用研究

离子液体介导的丁烷高效氧化制顺酐项目通过成果鉴定

中国科学院过程工程研究所牵头的离子液体介导的丁烷高效氧化制顺酐新型催化剂和工艺过程及产业化应用项目，日前顺利通过中国石油和化学工业联合会组织的科技成果鉴定。

鉴定专家组评价，该成果与现行工业技术相比，顺酐质量收率提升 10%，轻酸副产物降低 90%以上，热点温度降低 20-30℃，打破国际巨头企业对顺酐技术的长期垄断，项目成果已在洛阳炼化、惠州宇新、克拉玛依金源精细化工等企业完成 10 余套工程应用，取得显著生态效益和经济效益。

该项目由中国科学院过程工程研究所、辽宁盛泽催化剂科技有限公司、洛阳炼化有限责任公司合作完成。鉴定委员会由中国科学院院士、华东师范大学教授何鸣元，中国科学院院士、中国科学院化学研究所研究员韩布兴，中国工程院院士、中国石油兰州石化公司总工程师高雄厚，天津师范大学校长、教授巩金龙等 9 名化工行业专家组成。

离子液体研发团队负责人对项目背景、科技创新、研究成果及推广应用等做了介绍。项目团队经过 10 年研究攻关的具有自主知识产权的这种丁烷氧化制顺酐新型催化剂和成套绿色低碳技术，创新性利用离子液体微环境、特殊氢键、配位络合及元素定向导入精准构筑催化剂的新方法，创制多活性位点的低酸型晶格氧催化剂（ILO），实现溶剂环境及活化氛围的有效调控，形成 ILO 催化剂规模放大制备成套技术，制备的催化剂结构可控、质量优异、性能稳定。同时

还开发新型催化剂丁烷高效氧化反应器和活化装置，突破气体分布、反应取热、催化剂级配装填等关键技术，实现丁烷高效选择性转化。

顺酐在高端不饱和树脂、电子封装、食品医药等行业有着广泛应用，利用低值燃料碳四烷烃（丁烷）和氧气生产顺酐可实现烷烃的高值转化利用，并促进负碳技术与上述产业的耦合发展。钒磷氧（VPO）系催化剂是目前正丁烷氧化制顺酐反应最有效、也是唯一实现工业应用的低碳烷烃选择氧化催化剂，但存在转化率低、选择性差等问题，且核心技术被国外垄断。

新技术的大规模产业化及推广应用，将有力促进石化资源的高效清洁利用，在助力化工行业低碳绿色发展的同时，为离子液体的应用发展提供又一成功范例。

相关链接：

离子液体介导的丁烷高效氧化制顺酐新型催化剂和工艺过程及产业化应用项目通过成果鉴定[EB/OL]. (2025-01-15)[2025-02-07].

https://www.stdaily.com/web/gdxw/2025-01/15/content_286570.html.

离子液体添加剂用于高压无负极锂金属电池

基于双（氟磺酰基）酰亚胺锂（LiFSI）的浓缩电解质已被提出作为无负极锂金属电池（AFLMB）的有效锂兼容电解质。然而在游离溶剂分子较少、FSI 阴离子显著增加的浓缩电解质中，醚溶剂氧化受到抑制，铝腐蚀加剧。因此，在使用 LiFSI 基浓缩电解质时，在不牺牲镀锂/剥离效率的情况下抑制 LiFSI 基电解质的 Al 腐蚀至关重要。其中，电解质添加剂已成为抑制 Al 腐蚀的最常用方法之一，通过配制含有适当阴离子和阳离子的离子液体添加剂，可以在 LiFSI 基电解

质中同时稳定 Li/电解质界面和 Al/电解质界面。然而，目前缺乏对含有 DFOB 或 PO_2F_2 阴离子的离子液体添加剂的研究，特别是它们对 SEI 薄膜和 Al 保护层的影响。

近日，湖南大学张世国教授团队联合通用汽车中国科学研究院刘海晶博士、李喆博士设计了一种多功能的离子液体电解液添加剂。离子液体添加剂的加入使得负极端形成坚固的富含 LiF、 Li_3N 的固体电解质界面，促进高度可逆的 Li 镀/剥离和均匀的 Li 沉积。此外，离子液体改变 Li^+ 的溶剂化结构，导致 Li^+ 快速脱溶剂动力学。同时，在正极侧，离子液体有助于形成致密的富含 LiF 和 AlF 钝化膜，以防止铝腐蚀。该工作以“Ionic Liquid Additive Mitigating Lithium Loss and Aluminum Corrosion for High-Voltage Anode-Free Lithium Metal Batteries”为题发表在 *ACS Nano*。

离子液体由有机阳离子和有机/无机阴离子组成。当离子液体用作电解质添加剂时，它们的阳离子和阴离子可能在调节负极和正极侧的界面稳定性方面发挥不同的作用。在讨论阳离子和阴离子稳定锂电解质和铝电解质界面的机理之前，研究者筛选了合适的阳离子和阴离子作为有效的离子液体电解质添加剂。选择可以同时钝化 Li 金属阳极、Al 集流体和 LMFP 阴极的 DFOB 作为 IL 添加剂的阴离子，同时考虑到双阴离子的协同效应，选择 PO_2F_2 作为第二个阴离子。通过比较 1-甲基-1-丁基吡咯烷离子 (Pyr_{14}^+)、1-丁基-1-甲酯哌啶鎓 (Pp_{14}^+) 和 1-丁基-1-甲基咪唑鎓 (BMIM^+) 加入电池后载量和循环性能的差异，选择 Pyr_{14}^+ 作为阳离子，最终由 0.28 M Pyr_{14}^+ 阳离子，0.2 M DFOB 阴离子和 0.08 M PO_2F_2 阴离子作为一种有效的添加剂。

电解质的离子电导率有效地影响电池的内阻，从而影响电池的倍率性能。因此，测量 BSE（基准电解质）、SIE（添加 $[\text{Pyr}_{14}][\text{DFOB}]$ 的电解质）和 DIE（添加 $[\text{Pyr}_{14}][\text{DFOB}]+[\text{Pyr}_{14}][\text{PO}_2\text{F}_2]$ 的电解质）的体电导率的温度依赖性。在 LMB 的常见工作温度 $10-40^\circ\text{C}$ 的范围内，SIE 和 DIE 的离子电导率都比 BSE 低。当温度低于 0°C 时，BSE 的电导率出现不连续的下降。这种现象归因于低温下的 LiFSI 沉淀。IL 添加剂可以防止这种情况，这使得电解质在低温下更可行。为了分析各种电解质中的 Li 溶剂化结构，采用拉曼光谱。除了强 Li^+ -FSI 相互作用，IL 添加剂将导致溶剂化鞘中 Li-DME 相互作用较弱，从而形成动力学上有利的 Li 脱溶剂化过程。

该研究设计一种由 Pyr_{14}^+ 、DFOB 和 PO_2F_2 组成的离子液体添加剂，以协同解决 AFLMB 的 LiFSI/DME 浓缩电解质中活性 Li 损失和 Al 腐蚀的问题。IL 添加剂的引入增强 Li^+ -阴离子相互作用，削弱 Li^+ 溶剂化结构中 Li^+ -溶剂相互作用。在负极侧 IL 添加剂的阳离子和阴离子都有助于形成富含 Li_3N 和 LiF 的 SEI 膜，具有高 Li^+ 电导率和机械强度，能够以 99.6% 的 Aurbach 效率均匀稳定地镀/剥离 Li。同时，在正极侧，Al 集流体被源自 IL 添加剂优先氧化的保护层有效钝化。因此，与 4 M LiFSI/DME BSE 相比，采用 IL 添加电解质的高压 $\text{Cu}||\text{LFMP}$ 电池 (4.5 V) 和高负载 $\text{Cu}||\text{NCM613}$ 电池 (4.0 mA h cm^{-2}) 表现出显著提高的循环稳定性和更高的平均库仑效率。该工作不仅为实现高压 AFLMB 提供一种简单有效的方法，而且除了目前强调的阴离子 SEI 层关系外，还促进对阳离子和阴离子对金属电池电解质行为影响的理解，包括本体溶液和阳极/电解质以及阴极/电解质界面。

相关链接：

[1] 湖南大学张世国教授 ACS Nano：离子液体添加剂用于高压无负极锂金属电池[EB/OL]. (2024-12-09) [2025-02-10]. <http://www.sztspi.com/archives/225506.html>.

[2] Zhou M, Liu W, Su Q, et al. Ionic Liquid Additive Mitigating Lithium Loss and Aluminum Corrosion for High-Voltage Anode-Free Lithium Metal Batteries [J/OL]. ACS nano. (2024-11-15) [2025-02-10]. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsnano.4c13203>.

企业动态

比亚迪申请离子液体聚合物及其制备方法相关专利

2024 年 9 月 29 日，比亚迪股份有限公司向国家知识产权局提出一项名为“离子液体聚合物及其制备方法、聚合物固态电解质、电池和用电设备”的专利申请。

随着智能电子设备、电动汽车和大型储能设备等装置的广泛应用，迫切需要具有更高能量密度和循环寿命的锂离子二次电池。锂金属具有极高的理论比容量（3860mAh/g）和最低的电化学势（-3.040Vvs 标准氢电极），是下一代锂离子二次电池理想的负极材料。然而，锂金属与传统的电解液的相容性差，两者之间会发生持续的副反应，导致锂金属电池的性能差。使用固态电解质替代传统的电解液可以有效地解决上述问题。其中，聚合物固态电解质由于具有较好的柔韧性和可加工性，被人们广泛的研究。

目前，市场上含有聚环氧乙烷（PEO）链段的聚合物与锂离子盐有较好的兼容性，因而，含有该 PEO 链段的聚合物作为锂金属电池的固态电解质得到广

泛应用。但是 PEO 基固态电解质作为固态电解质使用，电池的电化学性能仍有待提升。这是由于，PEO 基固态电解质在使用中存在离子电导率低、锂离子迁移数低、力学强度差等问题，导致制备的电池的倍率性能和循环性能较差。具体地，1) PEO 聚合物容易结晶，导致其可以传导锂离子的非晶相比较少，制备的固态电解质离子电导率低；2) 虽然可以通过提高温度降低 PEO 聚合物的结晶度来提高 PEO 基电解质的离子电导率，但是结晶度降低后固态电解质的力学强度也会随之降低，导致制备的锂金属电池容易短路；3) 锂离子通过与 PEO 基电解质中的氧原子作用进行传输，但是锂盐的阴离子不会与 PEO 聚合物作用，导致阴离子在电场下的传输能力比锂离子强，进而使锂离子的迁移数较低，导致锂金属电池在充放电过程中容易出现浓差极化，锂离子沉积不均匀导致短路等问题；4) PEO 基电解质的力学强度差，使用高面密度的正极制备的电池容易短路，导致电池的能量密度低。

该申请旨在至少在一定程度上解决上述技术问题。为此，该申请的一个目的在于提出离子液体聚合物及其制备方法，以及聚合物固态电解质、电池和用电设备。该离子液体聚合物应用于固态电解质中，利于进一步提升电池的化电

学性能。

该申请提供的制备方法，是将含有乙氧基重复单元的双胺基封端的化合物 A 和三胺基封端的化合物 B 通过简单的方法制备离子液体聚合物，具体地，先通过聚合物反应得到含咪唑基团的中间产物离子液态聚合物，再通过离子交换反应制备得到目标离子液体聚合物。

该申请实施例提供的离子液体聚合物用作聚合物固态电解质，具有较高的离子电导率、锂离子迁移数和力学强度。离子液体聚合物中，乙氧基重复单元在侧链上，具有较好的运动能力，可以很好地传导锂离子，使电解质具有高的离子电导率。离子液体聚合物主链具有一定的刚性，使聚合物电解质具有较高的力学强度，降低短路风险提升电池的安全性能。离子液体单元可以促进锂盐的解离，并且可以通过静电作用吸附锂盐中的阴离子，束缚阴离子，从而提高锂离子迁移数，降低浓差极化。

测试结果表明，该申请实施例提供的聚合物电解质具有较高的锂离子迁移数和离子电导率，且表现出良好的倍率性能和循环性能。这是由于锂离子迁移数与聚合物中的咪唑基团有关，离子电导率会受聚合物的交联度的影响。倍率

性能由离子电导率决定，电导率越高，倍率性能越高；循环圈数由迁移数和电导率共同决定。此外，电解质强度较低，则电池容易短路，导致循环性能较差。

通过循环性能检测可知，该申请实施例获得的电解质的强度较高，电池不易短路，表现出良好的循环性能。

相关链接：

比亚迪股份有限公司. 离子液体聚合物及其制备方法、聚合物固态电解质、电池和用电设备：CN202411376285.9 [P]. 2025-01-07.



地址：上海市永福路 265 号

邮编：200031

编辑：吴春莹

责编：崔晓文

编审：林鹤

电话：021-64455555

邮件：istis@libnet.sh.cn

网址：www.istis.sh.cn