科技情报观察

2023 年第 10 期（总第 22 期）

上海交通大学图书馆 **2023 年 12 月 15 日**

固态电池专辑

内容提要

◤国际动态

日本宣布在 2027-2028 年间实现“全固态电池”的量产实用化

美国固态电池巨头 Solid Power 宣布固态电池正式进入了装车验证阶段

欧洲陆续推出了《电池 2030 规划》及《2030 电池创新路线图》等方案

瑞典企业 Northvolt 宣布在开发钠离子电池上取得了突破性进展

韩国多家企业联合创立电池基金，用于共同研发固态电池

◤国内进展

我国重视固态电池行业发展，多部门联合推出发展规划和指导意见

2023 年上半年全球动力电池装车量排名中国企业优势显著

工信部加大电动重卡推广的相关补贴政策支持

◤热点论文

罗加严教授团队：用于高性能锌金属阳极的具有高界面能和快速动力学的原位构建界面

薄首行教授团队：与加州伯克利大学合作，研究固态电池的接口稳定性

颜徐州教授团队：与斯坦福大学合作，研究用于稳定锂金属阳极的动态、电解质阻断和单离子导电网络

马紫峰教授团队：与美国阿贡实验室合作，研究室温钠离子电池电解液设计策略及研究进展

◤产业转化

聚合物电解质技术路线企业

氧化物电解质技术路线企业

硫化物电解质技术路线企业

◤ 日本宣布在 2027 年至 2028 年实现“全固态电池”的量产实用化

丰田汽车与日本石油化工企业出光兴产 10 月 12 日宣布，双方将合作量产面向电动车的“全固态电池”，目标是在 2027 年至 2028 年实现“全固态电池”的量产实用化。丰田汽车与出光兴产进行合作被认为意在为“下一代电池革命”提前抢占主导地位。日本时事通讯社分析称，促使丰田汽车与出光兴产合作研发全固态电池的背景在于，美国特斯拉和中国比亚迪等车企在电动车领域的快速成长，两家企业寻求通过跨界的“日本联合”来挽回不利局面。

日本两家企业宣布在新一代电池研发上的联合引起了韩国的关注。韩国《今日事实》26 日报道称，在高能量高密度电池的研究赛道上，新一代电池产品正层出不穷。目前，韩国电池行业的强项在于高镍三元锂电池，日本企业在固态电池研发方面处于领先地位。但报道也认为，这种电池的研发目前仍处于早期阶段，不会对现有电池产品构成重要威胁。韩国业内人士预计，全固态电池进入商业化还有较长时间，到 2035 年电动车全固态电池的市场渗透率预计不会超过 15%。

来源：丰田中国官网，http://www.toyota.com.cn/toyotatimes/tinfo/index.php?t_id=503&lmid=2

◤ 美国固态电池巨头 Solid Power 宣布固态电池正式进入了装车验证阶段

美国固态电池技术开发商 Solid Power Inc.在公司第三季度财务报告中宣布，其首批 A 样品电池已进入装车验证阶段。Solid Power 已经向宝马公司交付了第一批 A-1 电动汽车电池，并透露宝马方面演示车项目的交付已步入正轨，这意味着公司的固态电池正式进入了装车验证阶段。其官网数据显示，硅电动汽车电池使用的是高含量硅阳极（负极）、硫化物固体电解质，以及镍钴锰（NMC）正极，能量密度能达到每千克 390Wh。与锂离子电池相比，其固态电池设计更安全、能量更高，且成本更低。在此基础上，如果阳极采用锂金属，能量密度将达到每千克 440Wh，而如果再将正极换成“转换型正极材料”，能量密度将达每千克 560Wh 且成本更低，但能量体积比会从每升 930Wh 降至 785Wh。Solid Power 计划提高 SP2 固体电解质的产量并逐步淘汰 SP1 的生产。

Solid Power 于 2011 年在美国科罗拉多大学博尔德分校及美国国防高级研究计划局的资助下成立，先后获得了美国空军、美国国家科学基金会和美国导弹防御局的资金支持。2015 年 11 月，Solid Power 与美国橡树岭国家实验室签署协议，获得了橡树岭国家实验室锂硫电池技术的特别授权。宝马汽车则是在 2017 开始与 Solid Power 在全固态电池上的合作，以推进

全固态电池在高性能纯电动汽车上的应用。2021 年，宝马与福特等公司对 Solid Power 投资约 1.35 亿美元，推动 Solid Power 当年 12 月在美国纳斯达克上市。

Solid Power 曾经在 2021 年 5 月公布，其固态电池使用传统的镍钴锰正极，结合硅基负极和硫化物固体电解质，有望制造出重量能量密度为 390Wh/kg 的电池。如果采用锂金属负极而不是硅负极，电池仍然使用镍钴锰 811 正极，电池能量密度将达到 440Wh/kg。

来源：Solid Power，https://www.solidpowerbattery.com/batteries/

◤ 欧洲陆续推出了《电池 2030 规划》及《2030 电池创新路线图》等方案

欧洲 2018 年后陆续推出了《电池 2030 规划》及《2030 电池创新路线图》，并批准了欧洲固态电池投资专项计划，由欧盟多国共同出资 32 亿欧元用于发展固态电池。德国还发布了《固态电池技术路线图 2035》，提出锂电池迭代目标为高能量密度和更高安全性，明确固态电池技术为研究方向。主要聚焦于以聚合物（电导率约为 10-7-10-5S/cm）作为固态电池的电解质。但由于聚合物电导率太低的原因，欧洲量产的固态电池，在相同电池容量下，实际续航还不如液态锂电池。

来源：国际能源署，https://www.iea.org/search/news?q=solid%20battery

◤ 瑞典企业 Northvolt 宣布在开发钠离子电池上取得了突破性进展

2023 年 11 月 22 日，由德国宝马和大众等投资的瑞典工业初创企业 Northvolt 宣布在开发钠离子电池上取得了突破性进展，这种技术可以最大限度地减少绿色转型对中国的依赖。这家企业正在撼动中国企业在纳离子电池的开发上的领先企业，目标还希望让欧洲在稀土等关键原材料领域更加独立于中国。该电池是该公司与研究合作伙伴 Altris 共同开发的，峰值能量密度超过每公斤 160 瓦时，并且不含锂、镍、钴和石墨。它比传统的镍锰钴 (NMC) 或磷酸铁 (LFP) 电池更安全、更便宜、更可持续，这两种电池都使用锂。不过到目前为止，钠离子电池其体积较大较重、能量密度较低，需要更多的空间来存储相同数量的能量，因此仅部分适合用作汽车电池。

2022 年底，Northvolt 在瑞典谢莱夫特亚开设了第一家超级工厂，使其成为欧洲第一家开发和生产电池的供应商。瑞典人还计划在德国石勒苏益格-荷尔斯泰因州建造一座超级工厂。自 2017 年以来，该公司已筹集了超过 90 亿美元的股本和债务资本。该公司已从大众、宝马、

斯堪尼亚和沃尔沃汽车等客户那里获得了价值超过 550 亿美元的订单。

德国弗劳恩霍夫研究所指出，目前近 90%与电池钠技术相关的专利来自中国。该国在这一领域已经处于显着领先地位。中国电池制造商宁德时代在钠离子电池的开发方面早已取得了成功。据媒体报道，中国品牌比亚迪和奇瑞的小型汽车原本预计今年将配备钠离子电池。德国《商报》则表示，这些电池最初将用于蓄电池，然后才用于电动汽车。 该技术在某一点上与竞争对手不同。Northvolt 没有透露这些电池何时大规模上市，2027 年或 2028 年被认为是最有可能的日期。

来源：Financial Times，https://www.ft.com/content/826fb9bb-b27f-4c68-ad4b-a54ad74713c9

◤ 韩国计划到 2030 年投资 20 万亿韩元用于固态电池等项目研发

韩国于 2018 年由 LG 化学、三星 SDI、SK 创新联合成立下一代电池基金，用于共同研发固态电池、锂金属电池和锂硫电池等下一代电池技术，并与 2021 年公布《K-Battery Development Strategy》政府协助研发固态电池等新一代电池技术并提供税收优惠。

韩国电池企业高度关注固态电池领域，三星 SDI 近期即将开始固态电池测试，LG 和 SK 也正在加快固态电池研发。但由于成本过于高昂，固态电池大规模商业化仍需时日。能源市场调研机构 SNE Research 预测，到 2027 年固态电池的市场占比仅能到达 0.2%，预计 2020 年将上升到 3%，2035 年达到 10%。

韩国工业部表示，韩国政府及其头部电池公司计划在 2030 年之前共同投资 20 万亿韩元（约 1038 亿元人民币），以开发包括固态电池在内的先进电池技术。韩国工业部表示，“这项联合投资将使韩国能够先于其他国家开始商业化生产固态电池”。韩国目前拥有全球五大电动汽车动力电池制造商中的三家 ——LG 新能源、三星 SDI 和 SK On。这三家大厂把控着全球电动汽车电池市场的四分之一以上的份额，并为包括特斯拉、大众汽车、通用汽车和福特汽车在内的主要汽车制造商供货。

来源：中国驻韩国经济商务处，http://kr.mofcom.gov.cn/article/jmxw/202307/20230703420337.shtml

◤ 我国重视固态电池行业发展，多部门联合推出发展规划和指导意见

我国非常重视固态电池行业的发展，并将其上升为国家战略，但相对日本等国起步较晚。2015 年，国务院发布《中国制造 2025》，明确动力锂电池的发展规划，在 2030 年电池能量密度达到 500wh/kg。2017 年工信部、发改委和科技部联合发布《汽车产业中长期发展规划》，规划中明确指出了动力电池单体的能量密度和成本。

2020 年国务院发布《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》，实施电池技术突破行动，要开展正负极材料、电解液、隔膜、膜电极等关键核心技术研究，加强高强度、轻量化、高安全、低成本长寿命的动力电池和燃料电池系统短板技术攻关，加快固态动力电池技术研发和产业化。

2022 年 11 月，工信部联合市监局发布《关于做好锂离子电池产业链供应链协同稳定发展工作的通知》，提出优化锂电池产业布局，鼓励锂电（电芯及电池组）生产企业、锂电一阶材料企业、锂电二阶材料企业、锂镍钴等上游资源企业、锂电回收企业，锂电终端应用企业及系统集成、渠道分销，物流运输等企业深度合作，通过签订长单、技术合作等方式建立长效机制，引导上下游稳定预期、明确量价、保障供应、合作共赢。

2023 年 1 月，工信部等六部门发布《关于推动能源电子产业发展的指导意见》，加强新型储能电池产业化技术攻关，推进先进储能技术及产品规模化应用，加快研发固态电池、钠离子电池等新型电池。主要聚焦于以氧化物（电导率约 10-6-10-3S/cm）作为电解质，该材料由于自身坚硬、孔隙率高，容易导电离子传输通道的不畅，以目前的技术只能加入电解液做成半固态电池，但这会降低电池的能量密度。

来源：中国政府网，https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-11/02/content_5556716.htm

◤ 2023 年上半年全球动力电池装车量排名中国企业优势显著

全球资讯机构 SNE research 公布的 2023 年上半年全球动力电池装车量排名中，前五位被中日韩企业包揽，其中宁德时代和比亚迪分别以超过 36%和 13%的份额占据头两位，其后依次是 LG、松下和 SK on。入围前十的还有中创新航、亿纬锂能、国轩高科和欣旺达 4 家中国电池企业。6 家中国企业的整体市占率达到了 62.6%。相较于去年的 56.7%大幅上升 5.9 个百分点。值得注意的是，宁德时代、比亚迪和 LG、SK 等中韩企业的主力产品三元锂电池和磷酸铁锂电池均属于液态电解质电池。日媒认为，若能以低成本实现全固态电池的量产，全球

电动车市场的势力范围将有可能被重新划分。

来源：国家能源局，http://zfxxgk.nea.gov.cn/2021-08/23/c_1310375854.htm

◤ 工信部加大电动重卡推广的相关补贴政策支持

工业和信息化部大力支持电动重卡的推广应用，主要开展了以下工作：一是加强规划引导。牵头编制《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》，于 2020 年 10 月由国务院办公厅印发，提出“力争经过 15 年的持续努力，公共领域用车全面电动化”的发展愿景，联合相关部门推动提高公共领域车辆电动化水平，将电动重卡试点应用作为重点任务，鼓励在短途运输、城建物流以及矿场等特殊场景应用。二是加强技术创新。组建国家动力电池创新中心，搭建跨行业的协同创新平台，在富锂锰基正极材料和新体系固态电池研发等方面取得积极进展，利用产业基础再造和制造业高质量发展专项等渠道，支持新能源汽车及关键零部件、核心材料研发及产业化。下一步，工业和信息化部将深入贯彻落实《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》，开展重点区域全面电动化城市试点，推进电动重卡在煤矿等特色领域的应用。

来源：国家能源局，http://zfxxgk.nea.gov.cn/2021-08/23/c_1310375854.htm

◤ 罗加严教授团队：用于高性能锌金属阳极的具有高界面能和快速动力学的原位构建界面

该研究用于锌阳极的多功能固体电解质界面（SEI）的原位构建有望解决水性锌离子电池中的枝晶生长和副反应（腐蚀和析氢）。然而，缺乏选择合适的 SEI 化合物的建设性方法和可行的实施路线。在这里，受锂金属电池 SEI 设计的启发，我们发现具有高界面能的 Zn-3（PO4）（2）可以有效抑制 Zn 枝晶的生长，ZnF2 可以加速 Zn2+的迁移和沉积动力学，因此构建主要由 Zn-3（PO4）（2）和 ZnF2（ZCS）组成的复合 SEI 有可能全面改善界面沉积和电极动力学。然而，Zn/Zn2+和 H-2/H+的高氧化还原电位使得难以通过传统的电化学途径在水性电解质中开发用于锌阳极的原位 SEI。考虑到这一困境，我们利用 KPF6 在水环境中的不稳定性，通过 PF6-阴离子诱导的化学策略在锌阳极上原位构建 ZCS。令人惊讶的是，ZCS-Zn 在长期循环过程中表现出增强的可逆性，具有光滑紧凑的结构。与最近的报告相比，在弱酸性条件下，应用于 ZCS-Zn 的累积容量（2020 mA h cm（-2））和最大电流密度与面容量的乘积（10 mA cm（-2）x 20 mA h cm）都达到了最高水平。这项工作为在 Zn 阳极上设计理想的 SEI 铺平了一条新的道路，也可以指导其他系统的界面工程，以克服在构建有利界面时的固有缺陷。

来源：https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/EE/D1EE00308A

◤ 薄首行教授与加州伯克利大学合作：固态电池的接口稳定性

与传统的锂离子电池相比，使用固体电解质的固态电池显示出提供改进的安全性以及更高的能量和功率密度的潜力。然而，仍然存在两个关键瓶颈：开发离子电导率与传统液体电解质相当或更高的固体电解质，以及在 SSB 成分之间建立稳定的界面，包括活性材料、固体电解质和导电添加剂。尽管第一个目标已经在几种固体离子导体中实现，但在各种固体/固体界面处的高阻抗仍然是一个挑战。最近，基于从头算的计算模型已经成功地预测了固体电解质在各种系统中的稳定性。此外，还积累了大量 SSB 中不同接口的实验数据。在这篇综述中，我们总结了各类固体电解质的实验结果，并将其与计算预测联系起来，目的是为 SSB 中界面的未来设计和工程提供更深入的界面反应理解和见解。我们发现，一般来说，电化学稳定性和界面反应产物可以用一小部分化学和物理原理来捕获。固态电池的可靠运行需要固态组件之间的稳定或钝化界面。在这篇综述中，我们讨论了界面反应的模型，并将预测与实验结果

联系起来，旨在更深入地了解界面稳定性。

来源：https://www.nature.com/articles/s41578-019-0157-5

◤ 颜徐州教授与斯坦福大学合作：用于稳定锂金属阳极的动态、电解质阻断和单离子导电网络

锂（Li）-金属阳极的实现需要开发来解决自然形成的固体电解质界面（SEI）的不均匀性和不稳定性问题。作为一种替代方案，人工 SEI 通过调节关键特征，如快速离子传输、保形保护和寄生反应缓解，实现了理想的界面。在此，我们首次将所有这些所需特性集成到单个矩阵中，即动态单离子导电网络（DSN），作为一种多功能人工 SEI。DSN 结合了四面体 Al（OR）（4）（-）（R=软氟化连接体）中心作为动态键基序和反阴离子，赋予其流动性和 Li+单离子导电性。同时，氟化连接体提供链移动性和电解质阻断能力。溶液处理的 DSN 涂层被发现可以同时阻碍电解质渗透，减轻锂和电解质之间的副反应，保持低界面阻抗，并允许均匀的锂沉积。有了这种涂层，锂金属电池在商用碳酸盐电解质中实现了长循环寿命和高库仑效率。

来源：https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435119303691?via%3Dihub

◤ 马紫峰教授与美国阿贡实验室合作：室温钠离子电池电解液设计策略及研究进展

电解质设计或功能开发在提高钠离子电池的性能方面非常有效，由于钠资源丰富且成本低，钠离子电池对电化学储能装置具有吸引力。这篇综述讨论了钠离子电池电解质的最新进展、各种材料系统的综合电解质设计策略以及功能应用。讨论分为三种电解质类型：液态、固态和凝胶态。液体电解质进一步分为不同的溶剂类型，包括有机碳酸酯、醚、离子液体和水。固态电解质还包含两种类型：固体聚合物和玻璃陶瓷复合材料。还讨论了钠离子电池电解质的挑战和前景。

来源：https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/EE/C7EE00524E

◤ 聚合物电解质技术路线企业

在聚合物电解质技术上，全球主要以法国 Bollorｅ集团和美国 Solid Energy 为代表。法国 Bollore 作为聚合物固态电解质领域领军企业，早在 2011 年 10 月，公司就开始利用自主开发的电动汽车“Bluecar”和电动巴士“Bluebus”在法国巴黎及其郊外提供汽车共享服务“Autolib”，几年来已累计投入了 3000 辆搭载 30kWh 的由 BatScap 制造的固态电池，是全球首个固态电池电动车商业化的公司。

法国 Bollorｅ集团凭借在电容器薄膜领域的全球领导者地位，将蓄电作为发展的重中之重。开发了一种独特的创新技术，其形式为 Lithuim 金属聚合物（LMP®）电池，该电池由其子公司 Blue Solutions 生产。Blue Solutions 在法国和加拿大建有两家工厂进行 Blue storage 金属锂聚合物（LMP）电池的生产，公司的固态电池产品中不含钴、镍和溶剂，并且能被回收利用，有望实现比离子电池更环保、更具社会责任感的电池解决方案。

Solid Energy 是锂金属技术和产品的全球领先研究者，开发商和制造商。公司采用超薄锂金属负极和同时拥有固态和液态部分的电解质，实现了电池能量密度提升一倍，重量减少一半。目前已经小规模试制用于原型演示和专业航空航天市场。

◤ 氧化物电解质技术路线代表企业

在氧化物电解质技术上，我国台湾辉能科技作为布局在氧化物电解质技术上的领军企业。公司自 2006 年起花费十年开发三项技术：Ceramion® 、Microcell® 与 Logithium®，并率先在 2012 年发布第一代固态氧化物的基础电解质技术平台，创造出柔性具基本导电性的电解质。

辉能科技（PLG）成立于 2006 年，截至 2020 年 1 月，公司拥有 323 件专利。公司核心产品及技术为 LCB 固态锂陶瓷电池，产品不论在外观、或在技术上都打破以往锂电池技术，大胆采用软性电路板和固态电解质，实现了锂电池超薄化（0.38mm ）、挠曲化、及安全化的可能，不再有漏液、起火或爆炸的危险，也增加了各领域新产品应用的设计弹性。

赣锋锂业作为全球最大的金属锂生产商，2017 年引入中科院团队开始布局固态电池。目前，赣锋锂业集团在固态电池氧化物电解质技术上实现了 LISCON 氧化物粉体和 Garnet 氧化物粉体研制，具备年产 100 吨的量产能力，并实现了电解质膜的量产。

锋锂目前已涵盖从混合固液电解质动力锂电池到全固态锂电池的研究开发，中试及规模制造能力。公司锂电池生产基地主要集中在江西新余地区，其中位于江西新余地区的浙江峰

锂第一代固态锂电池正在筹建当中。东莞赣锋拥有 3000 万只／年全自动聚合物锂电池生产线，赣锋电池 6 亿瓦时高容量锂离子动力电池项目也顺利生产，公司锂电池产量大幅提升。

◤ 硫化物电解质技术路线企业

在硫化物电解质技术上，全球主要以日本丰田集团为代表。2010 年，丰田就推出了硫化物固态电池，公司集中在对硫化物体系固态电解质进行研究，以提高电池的能量密度、电导率、循环寿命、安全性能等性能。目前，我国电池巨头宁德时代也以硫化物电解质为主要研发方向。

丰田进入固态电池领域极早。从 2004 年开始，丰田就已经进行了全固态电池的研发，并积累了第一手固态电池技术。2019 年 5 月，丰田展出其正处于试制阶段的全固态电池样品。2020 年日本丰田计划推出搭载硫化物固态电池的新能源汽车，并于 2022 年实现量产。

宁德时代成立于 2011 年，总部位于福建宁德。公司核心技术为动力和储能电池领域，材料、电芯、电池系统、电池回收二次利用等全产业链研发及制造能力，主营业务为新能源汽车动力电池系统、储能系统的研发、生产和销售，致力于为全球新能源应用提供一流解决方案。宁德时代专注于新能源汽车动力电池系统、储能系统的研发、生产和销售。公司锂离子动力电池产品可运用于电动客车、电动乘用车和电动物流车。公司是国内率先具备国际竞争力的动力电池制造商，动力电池系统销量保持市场领先地位。目前，公司全固态电池还在开发中，预计 2030 年后产品才能实现商品化。

来源：前瞻产业研究院，https://bg.qianzhan.com/report/detail/2009031000472423.html

编辑单位：上海交通大学图书馆研究支持中心　　**主　　编：潘卫**
地　　址：上海市东川路 800 号　　**执行主编：董珏、王兴旺**
联系方式：021-34206471　　**本期编辑：陈天天**