

## 固态电池产业化加速，相关材料有望受益

行业评级：增持（维持）

核心要点：

近十二个月行业表现



| %    | 1 个月 | 3 个月 | 12 个月 |
|------|------|------|-------|
| 相对收益 | -6   | 2    | -1    |
| 绝对收益 | -7   | 1    | 11    |

注：相对收益与沪深 300 相比

分析师：王攀

证书编号：S0500520120001

Tel: (8621) 50293524

Email: wangpan2@xcsc.com

地址：上海市浦东新区银城路88号  
中国人寿金融中心10楼

### □ 固态电池兼具高能量密度和高安全性优势

固态电池用固体电解质取代液体电解质，包括半固态电池和全固态电池。固态电池可实现更高的能量密度和更宽的工作区间，解决液态锂离子电池的安全性痛点。当前半固态电池已步入产业化期，处于进一步商业化关键节点。全固态电池尚处于研发阶段，有望逐步实现量产。

### □ 固态电池核心环节之一是材料技术，正极材料有望向高镍等新型材料发展，固态电解质作为核心环节，目前多技术路线并存且各具优劣，满足固态电池需求的性能全面均衡的固态电解质仍待开发

固态电池的产业链涵盖了上游矿产资源、中游设备、材料及制造以及下游应用等各个环节。其中固态电解质、电极材料和封装技术等是产业链中的关键环节。固态电池关键材料有多种可选技术路径，正极材料目前以过渡金属基氧化物（NMC、NCA）和磷酸铁锂（LFP）为主，随着性能技术的逐步提升，未来发展方向是向高镍、富锂锰基、磷酸锰铁锂等新型材料过渡。固态电解质是固态电池的核心，氧化物、硫化物、聚合物以及卤化物固态电解质等多种技术并存，各技术路线均有优缺点，目前兼具高离子导电、高稳定性及易加工性能的技术尚未明确，其中兼具聚合物电解质和无机物电解质优势及综合性能的复合固态电解质可能是未来具有潜力满足实际应用需求的固态电解质材料。

### □ 全球出台政策促进固态电池产业化进程，各国固态电池技术路径不同，全球产业链企业积极推动固态电池量产，半固态电池有望率先实现商业化，未来五年将是全固态电池量产的关键节点

固态电池已成为各个国家重点突破的方向，近年来全球主要国家都出台相关政策支撑固态电池开发，以加速固态电池技术产业化步伐。目前固态电池的研发主要集中在中日韩美欧五国，各国发展固态电池产业的技术路线选择不同，国外大多企业选择的是全固态路线，我国动力电池厂家首先以半固态电池作为产品化技术路线，逐步过渡到全固态电池。全球各大电池和汽车企业相继发布了固态电池产品量产时间，半固态电池已先于全固态电池装车量产，有望率先实现商业化。而全固态电池有望在 2027 年前后开始进行示范性装车应用，2030 年后开始进入商业化应用阶段。

### □ 固态电池应用伴随着技术提升和成本降低将从特殊场景拓展至一般场景，2023 年整体渗透率有望达到 10%

固态电池不仅能满足现有的新能源汽车、储能及消费电子对于电池性能提升的需求，而且符合新兴行业如无人机、eVTOL、穿戴设备场景对电池的需求。由于短期内材料成本依然较高，固态电池预计由有特殊性或对高性能要求的应用场景逐步扩展到注重性价比但技术溢价包容度高的市场，最后拓展到成本敏感的工业和储能领域。近年来新能源汽车市场推动全球固态电池出货量持续增长，2023 年全球固态电池出货量约为 1GWh，主要以半固态电池为主。根据 EV Tank 数据，预计到 2030 年全球固态电池的出货量将达到 614.1 吉瓦时，整体渗透率达到 10%。根据中商产业研

# 并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

究院估计，2023-2030 年中国固态电池市场将从 10 亿元增至 200 亿元。

#### □ 投资建议

固态电池满足下游领域对电池性能不断提升的需求，其在多个新兴产业领域具备应用拓展空间。随着未来几年量产节点的到来，其市场增长空间较为广阔，有望重塑锂电池关键材料体系，在关键材料有布局或与具备核心技术优势、率先占据产业化优势企业有战略合作的相关公司有望受益，此外关键电池材料体系的变更亦有望为上游相关资源需求带来增量。建议关注在新型正极材料有研发布局先发优势、具备固态电解质核心技术、与具备固态电池量产扩张规划企业有战略合作以及上游具有锆、铜及钛资源优势的相关企业。维持对锂电材料行业“增持”评级。

#### □ 风险提示

产业化进程不及预期风险，政策变动风险，行业技术突破不及预期风险，固态电池下游需求拓展不及预期风险。

## 正文目录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1 固态电池电解质以固代液，性能及安全优势明显.....   | 3  |
| 1.1 固态电池以固体电解质取代液体电解质.....     | 3  |
| 1.2 固态电池兼具高能量密度、高安全性等多种优势..... | 4  |
| 1.3 固态电池发展历程.....              | 7  |
| 2 固态电池产业技术发展及产业化进程.....        | 8  |
| 2.1 固态电池产业链.....               | 8  |
| 2.2 固态电池的材料选择.....             | 9  |
| 2.3 固态电池材料技术发展趋势.....          | 10 |
| 2.4 全球主要国家均出台固态电池支撑政策.....     | 19 |
| 2.5 国内外固态电池技术产业化进展.....        | 23 |
| 3 固态电池应用场景拓展及市场空间.....         | 26 |
| 3.1 固态电池有望满足多种新兴产业应用场景.....    | 26 |
| 3.2 固态电池落地场景拓展路线.....          | 26 |
| 3.3 固态电池市场空间广阔.....            | 28 |
| 4 投资建议.....                    | 29 |
| 5 风险提示.....                    | 29 |

## 图表目录

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 图 1 根据电池中的液体和固态电解质百分比分类的主流锂离子电池.....     | 3  |
| 图 2 固态电池与传统液体锂电池结构对比.....                | 4  |
| 图 3 每月电动车火警事故数目.....                     | 5  |
| 图 4 不同类型 LIB 造成的事故比例.....                | 5  |
| 图 5 从液态锂电池 (a) 到固态电池 (b) 时电池本质安全的变化..... | 7  |
| 图 6 半固态电池发展历程.....                       | 8  |
| 图 7 固态电池产业链结构.....                       | 9  |
| 图 8 固态电池材料各组件材料有多种选择.....                | 9  |
| 图 9 锂电池正极材料发展历程.....                     | 12 |
| 图 10 单晶高镍三元层状正极材料优势.....                 | 13 |
| 图 11 不同类型电解质结构和性能对比.....                 | 14 |
| 图 12 聚合物电解质材料发展历程.....                   | 14 |
| 图 13 近年来硫化物固体电解质发展的重要进展.....             | 16 |
| 图 14 卤化物固态电解质发展历程.....                   | 17 |
| 图 15 卤化物固态电解质分类.....                     | 18 |
| 图 16 几种代表性卤化物固态电解质的离子电导率.....            | 18 |
| 图 17 不同应用场景对固态电池性能和成本敏感度.....            | 27 |
| 图 18 固态电池应用场景拓展路线.....                   | 27 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 图 19 2024 年 1-6 月我国半固态电池月度装车量及环比增速(单位:MWh) ..... | 28 |
| 图 20 2023-2030 全球固态电池出货量 .....                   | 28 |
| 图 21 2023-2030 年中国固态电池市场空间 .....                 | 29 |
| 表 1 液态电池、半固态和全固态电池对比.....                        | 5  |
| 表 2 硫化物固态电解质类型及其性能.....                          | 17 |
| 表 3 固态电池三大类固态电解质特点.....                          | 19 |
| 表 4 国外主要国家固态电池相关政策.....                          | 21 |
| 表 5 近年来我国固态电池主要相关政策.....                         | 22 |
| 表 6 国外主要企业的固态电池技术路线.....                         | 23 |
| 表 7 我国主代表性企业的固态电池技术路线.....                       | 24 |
| 表 8 国内外固态电池相关企业产业化进展.....                        | 24 |

## 1 固态电池电解质以固代液，性能及安全优势明显

### 1.1 固态电池以固体电解质取代液体电解质

固态电池分为半固态电池和全固态电池，其以固态电解质为主。液态锂离子电池 (LIB) 是一种利用可发生锂离子嵌入/脱嵌反应的活性物质材料制作电池的正极和负极，使用无机或有机的锂盐为电解质形成有机电解液的二次电池。其工作原理为，充电过程中锂离子在外电场驱动下由正极穿越隔膜到达负极，同时电能转化为化学能；相应地，放电过程中化学势驱动下锂离子由负极转移至正极，同时化学能转化为电能。固态电池 (SSB) 包括半固态电池和全固态电池。半固态锂电池是锂离子电池中电解质为固液混合形态，其中有机液体电解质质量占比低于 10%，既保留了液态锂电池的高离子电导率特征，又具备了固态锂电池的高安全性和结构稳定性优势。全固态锂电池是指锂离子电池的电极(正极和负极)和电解质均呈固态的锂离子电池，电池由正极材料、固态电解质和负极材料三部分组成，不含任何液态组份。

图 1 根据电池中的液体和固态电解质百分比分类的主流锂离子电池



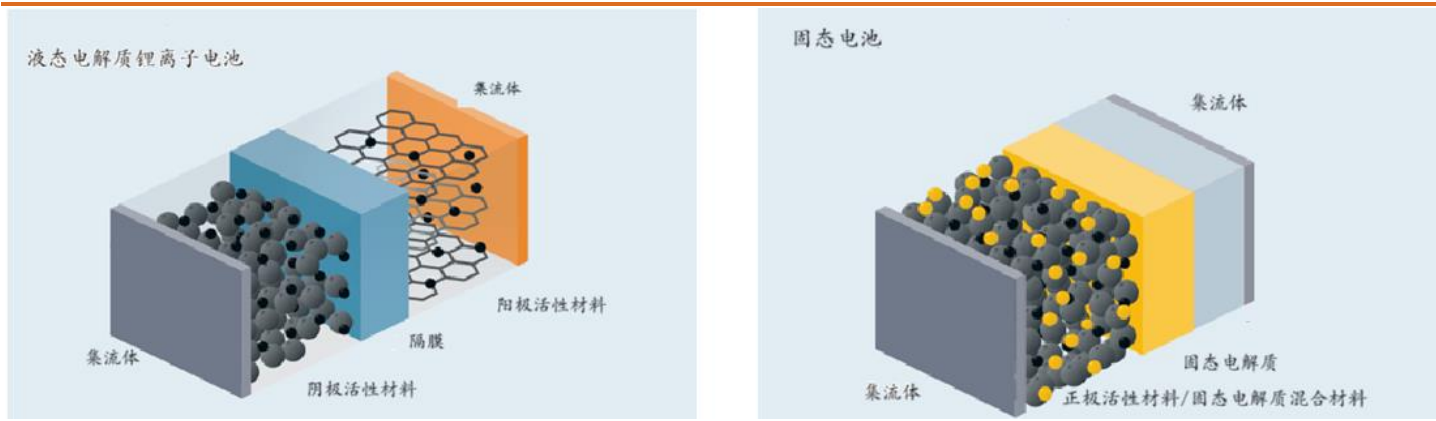
资料来源：《Approaching Practically Accessible Solid-State Batteries: Stability Issues Related to Solid Electrolytes and Interfaces》、湘财证券研究所

**传统液体锂电池的电化学结构适用于固态电池。**传统液体锂离子电池由阳极和阴极两个电极组成，每个电极由集流体、阳极/阴极活性材料 (AAM/CAM) 和非活性材料 (如粘合剂和导电剂) 组成。电极和含有锂离子的液体电解质之间的隔膜提供离子导电性并防止电子导电性。阴极 (CAM) 通常由亚微米级初级颗粒组成，这些初级颗粒聚集成微米级的次级颗粒。聚合物粘合剂提供了这些基于颗粒的层的机械稳定性，纳米到微米级的碳添加剂覆盖了 CAM 表面并形成导电网络，实现了电子导电性。CAM 应占电极组件总重量的很大一部分，以实现高能量密度。阳极 (AAM) 通常由球形或板状石墨颗粒组成。根据所需的功率能力，使用更小或更大的颗粒。与 CAM 类似，



AAM 亦添加了粘合剂和碳添加剂。电极材料混合物中的碳添加剂提供电子导电性，电解质提供离子导电性，粘合剂确保电极的机械稳定性，这三个组件都作用在 AM 粒子的表面上。在充电和放电过程中，液体电解质可确保始终与 AM 颗粒保持良好的离子接触。传统锂电池的电化学设置也适用于锂离子固态电池，区别在于固态电池用固体电解质（SE）取代液体电解质。因此，电解质和 AM 之间的离子接触必须通过产生紧密接触来建立，通过将固体电解质颗粒与电极颗粒混合和压实来实现。在全固态电池中，液体电解质被完全取代，而在半固态电池中考虑使用少量液体电解质与固体电解质混合形成固/液混合型电解质，以保证足够高的离子电导率，尤其是在电解质和活性材料之间的界面处。

图 2 固态电池与传统液体锂电池结构对比



资料来源：Solid-State Battery Roadmap 2035+、湘财证券研究所

## 1.2 固态电池兼具高能量密度、高安全性等多种优势

固态电池可实现更高的能量密度和更宽的工作区间。主流的液态锂电池的能量密度上限普遍被认为约 300Wh/kg，但实际上由于技术限制和安全性考虑，目前市场上液态电池的能量密度仅能实现约 230Wh/kg。相比之下，固态电池的能量密度在理论上可以达到 700Wh/kg，几乎是液态电池的 2 倍。固态锂电池使用固态电解质代替液态电解液，通过采用高容量(1000mAh/g)或高压(5V)的正极材料和最佳负极材料(锂金属)的 SSLB 有望获得高的能量密度(>500Wh/kg, >700Wh/L)和功率密度(>10kW/kg)。使用全固态电解质后，锂离子电池的材料体系发生改变，无需使用嵌锂的石墨负极，直接使用锂作为负极，能明显减少负极材料的用量，不仅电池的能量密度明显提高，而且可以提升电池的安全性能和使用寿命。固态锂电池电解质不同于液态锂电池的电解液和隔膜，热稳定性显著提升，由此提升了固态锂电池的高温环境适应性，减少辅助散热机构冗余，简化系统设计的同时进一步提升能量密度。

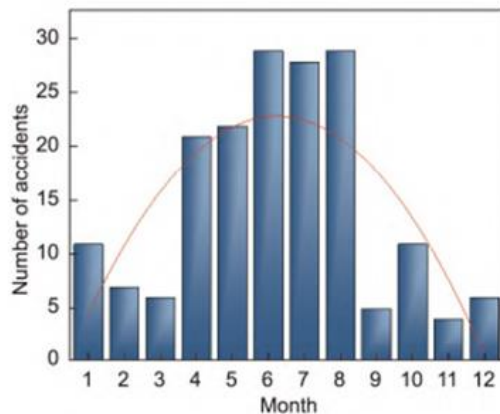
表 1 液态电池、半固态和全固态电池对比

| 电池类型         | 液态                          | 半固态                          | 全固态              |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| 液态含量/wt%     | 25                          | 5-10                         | 0                |
| 电解质          | 有机溶剂、LiPF <sub>6</sub> 、添加剂 | 复合电解质(聚合物、氧化物、溶剂、LiTFSI、添加剂) | 聚合物或氧化物或硫化物      |
| 隔膜           | 传统隔膜                        | 隔膜、氧化物涂覆                     | 无隔膜              |
| 负极           | 石墨                          | 硅、石墨                         | 硅、石墨或锂           |
| 正极           | 三元或铁锂                       | 高镍三元或铁锂                      | 高镍三元或铁锂或镍锰氧或富锂锰基 |
| 封装方式         | 卷绕或叠片、方形或圆柱或软包              | 卷绕/叠片、方形或软包                  | 叠片、软包            |
| 能量密度 (Wh/kg) | 250                         | 350                          | 500              |

资料来源:《固态锂电池应用前景分析》、湘财证券研究所

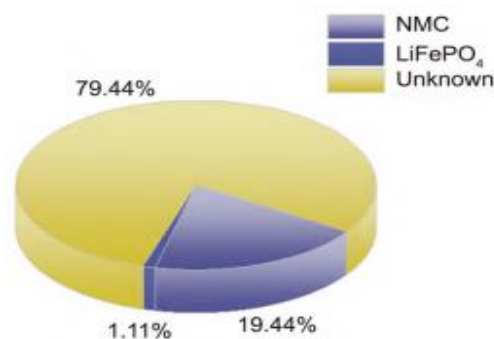
固态电池可以解决液态锂离子电池的安全性痛点。安全隐患及因电池热失控引发的安全事故是新能源汽车发展的痛点所在,锂电池在充电过程中析锂、内短路、单体电芯热失控和电池系统热扩散是导致安全问题的根源。根据禹习谦等人的相关研究,锂电池相关事故发生的概率可能会受到电池本身、热管理系统、充电装置、运行环境等多种因素的影响,其中高温环境起着突出的作用;而另一方面电池能量密度和安全性之间的矛盾,即能量密度越高其安全风险就越高,导致较高的能量密度会恶化电池安全性,这主要是因为当电极材料的化学键中储存了更多的能量时,化学性质不太稳定。

图 3 每月电动车火警事故数目



资料来源:《电池安全——从锂离子电池到固态电池》、湘财证券研究所

图 4 不同类型 LIB 造成的事故比例



资料来源:《电池安全——从锂离子电池到固态电池》、湘财证券研究所

目前商业化应用的电解液存在两方面问题:液态电解液自身容易燃烧,又具有与正负极材料发生副反应的倾向。而固态电解质材质不泄漏、不燃烧,在热失控的触发机制中可以提供本质安全,从而解决锂电池安全性问题。因此长远来看,从本质上解决电池热失控需要用固态电解质代替液态电解液。

从材料体系来看,由于固体电解质的热力学稳定性高于液体电解质,固态电池中非暴力情形下的化学反应在较高的温度才会发生,当其他主要成分相同且仅考虑每种成分在空气中恢复到最稳定状态时所释放的能量时,固体电

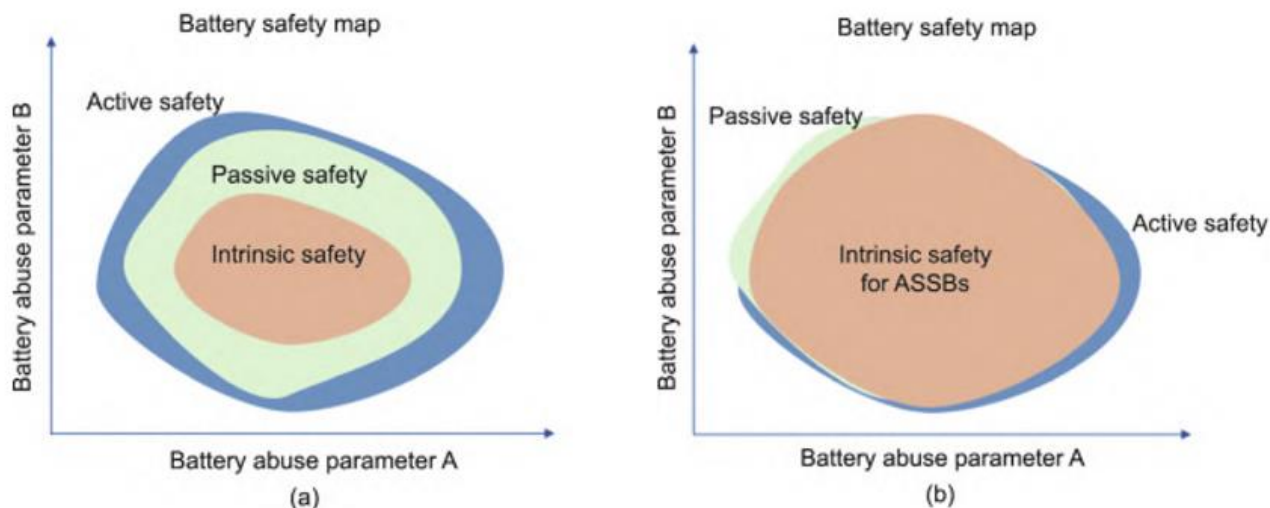


解质含量的增加和液体电解质含量的降低会降低整个电池系统完全热失控所释放的总能量，减少整体事故危险的规模。同时由于固体电解质不太可能参与燃烧反应，因此可以显著提高固态电池中界面的稳定性，从而提高自发反应和热失控阈值温度，并拓宽 SSB 的安全边界。全固态电池电极和电解质界面可能具有更高的热稳定性，即使对于锂金属负极，氧化物电解质和锂负极之间的初始反应温度也远高于液体电解质和锂阳极之间的反应温度，使得锂金属在固态电池中的安全性能优于液态锂电池。此外，固态电池中的固体电解质可能会减慢电极材料和电解质的反应，从而延缓电池系统的温度升高，避免放热反应加速热失控，并为电池安全警告提供更长的响应时间。

从电池体系来看，由于固体电解质可以致密，因此可以通过合理的电池设计来延迟或阻止阴极释放的氧气或从阳极电极产生的氢的扩散，从而避免电池内部的化学串扰并提高固态电池的本质安全特性。固体电解质的引入可以有效提高固态电池的承受热滥用的能力，其电化学稳定性窗口更宽，有利于改善抗电滥用特性。由于固体电解质或涂有固体电解质的隔膜具有高强度，当电池发生机械损坏时，可以避免严重的内部短路，并改善机械抗滥用特性。此外，固体电解质对锂金属的高稳定性可以有效降低快速充电时镀锂的风险，避免像使用液体电解质的锂离子电池时出现严重的热失控。固态电池更适用于对电解质流动性有限制的双极设计，以实现具有更好安全性的双极电池设计，减少电池运行过程中产生的热量，减少热管理系统压力。固态电池具有更高的整体电气、热和机械强度，因此它们对电极退化、过充和过放、锂枝晶、杂质短路等具有更高的安全耐受性，可以降低电池制造缺陷导致事故的风险并提高制造可靠性。

从系统层面看，由于固态电池不含或含有有限数量的液体电解质，因此电池系统中不会产生大量可燃气体，从而可以避免外燃并降低电池热失控中热量扩散的风险。此外，固态电池的产热相对较慢且较低，有利于防止电池之间的热失控传播，有效保证电池系统的整体安全。固态电池具有更高的热力学稳定性，因此可以扩展系统的安全工作温度范围。此外，界面副反应自释放的热量可能会减少，双极电池设计可以减少电池系统中的热量产生，从而更容易实现高效散热。

图 5 从液态锂电池 (A) 到固态电池 (B) 时电池本质安全的变化



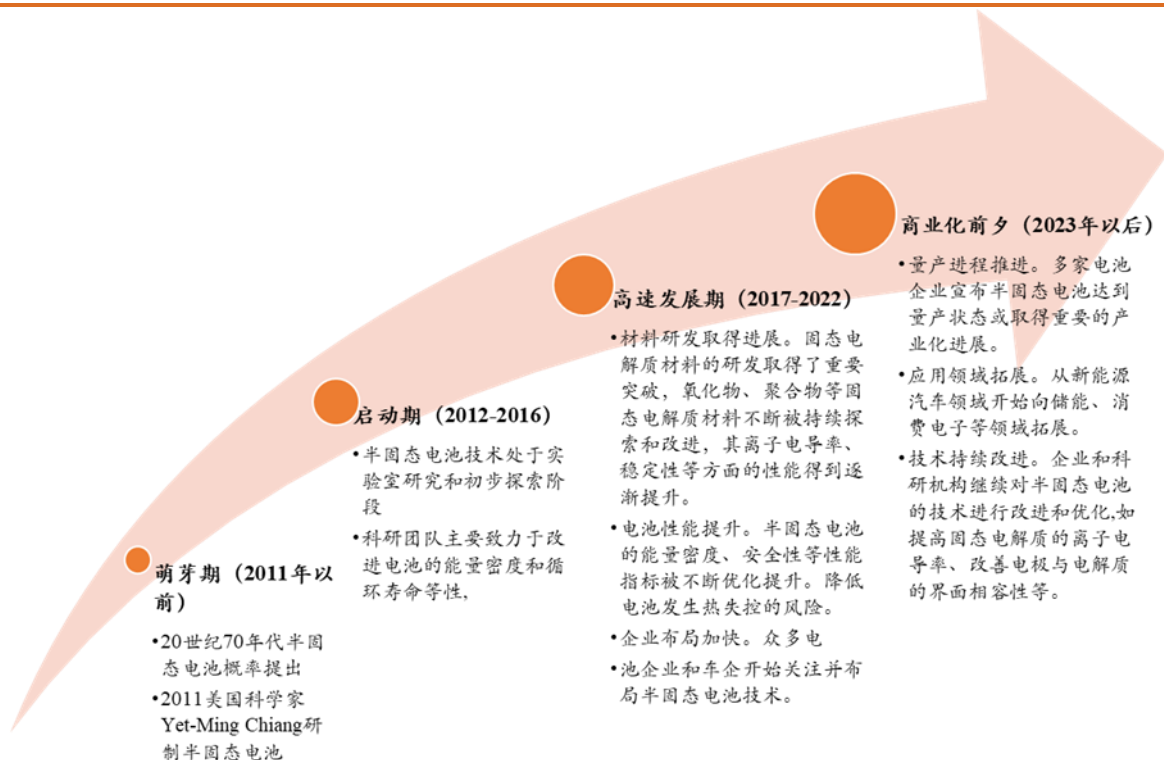
资料来源：《电池安全——从锂离子电池到固态电池》、湘财证券研究所

**固态电池能降低电池厚度，提升成组效率。**液态锂离子电池中隔膜和电解液占据了电池约 40% 的体积和 25% 的质量。若采用固态电解质，正负极之间的距离可以缩短至几到十几微米，能大幅度降低电池厚度。全固态电池轻薄化后，柔性程度明显提高，通过使用适当的封装材料（非刚性外壳），电池可以承受几百到几千次的弯曲且保证性能基本不衰减。固态电池电芯可以先串联后并联一次组装成型，减少系统热管理需求，成组效率大幅提升，更有效利用空间。

### 1.3 固态电池发展历程

**半固态电池已步入产业化期，处于进一步商业化关键节点。**半固态电池的概念最早可以追溯到 20 世纪 70 年代，2011 年美国麻省理工学院的科学家 Yet-Ming Chiang 提出“液流电池”概念，用带有细微颗粒的悬浮液作为电极研制而成半固态电池。在这种半固态电池中，电极是由微小的锂化合物粒子与液态电解液混合而成的泥浆状物质构成，这是半固态电池技术的重要起源。2012-2016 年间是半固态电池的启动期，此时尚处于实验室研究和初步探索阶段。2017-2022 年是半固态电池的高速发展期，这一阶段材料研发及电池性能提升取得进展，同时产业界开始关注并布局相关技术。2023 年以来，半固态电池逐渐步入产业化，并处于商业化前夕的关键节点。

图 6 半固态电池发展历程



资料来源：《固态锂电池技术发展白皮书》、湘财证券研究所

全固态电池尚处于研发阶段，有望逐步实现量产。在早期电化学研究阶段，英国科学家约瑟夫·汤姆逊前瞻性提出了利用固态电解质实现更稳定电池循环的概念，19 世纪中期硫化银、氟化铅等固态电解质材料的发现为固态电池的后续发展奠定了关键性的道路。1992 年，美国橡树岭国家实验室开发了一种无机固态电解质(LiPON)，并成功组装固态电池，标志着全固态电池发展的重要转折点。随后多种固态电解质材料被陆续发现，21 世纪后市场需求的推动下，全固态电池在电解质材料、电极材料以及界面工程等领域的研发取得显著发展。整体而言全球各国都在积极发展全固态电池的研发，日本丰田公司已经宣布了其全固态电池量产的时间表，韩国三星等公司已经宣布建设全固态电池生产线，全固态电池技术正加快从研发走向量产的进程。

## 2 固态电池产业技术发展及产业化进程

### 2.1 固态电池产业链

固态电池的产业链涵盖了上游矿产资源、中游设备、材料及制造以及下游应用等各个环节。固态电池产业的发展离不开相关的技术和产品，其中固态电解质、电极材料和封装技术等是产业链中的关键环节。电池制造商是主导研发、推动产业化发展的核心力量，锂电池巨头重点把控电池设计、组装和测试

等关键环节。中国动力电池厂商积极布局全固态电池的研发，部分厂商已实现全固态电池 A 样的生产与测试，并聚焦生产工艺和电池材料的进一步探索。

图 7 固态电池产业链结构



资料来源：亿欧智库、湘财证券研究所（注：图中各环节仅包括部分企业）

## 2.2 固态电池的材料选择

固态电池的主要成分是负极和阴极活性材料以及固体电解质，其每个主要组件都有多种材料的选择，形成不同类型的阳极和阴极活性材料、阳极、阴极和 SE 隔膜，它们可以通过多种方式组合。就负极活性材料而言，最有前途实现高能量密度的负极活性材料是锂金属和硅，其中锂金属阳极被认为是最有前途的，因为它在阳极侧实现了尽可能高的能量密度。对于正极活性材料，目前较多选择的是过渡金属基氧化物（NMC，NCA）和磷酸铁锂（LFP），这些材料通常用于最先进的液体锂电池，并且已经建立了供应链和加工路线。

图 8 固态电池材料各组件材料有多种选择

| 阳极活性物质                                                                                            | 阳极液                                                                                                               | 电解质                                                                                                 | 阴极液                                                                                                               | 阴极活性物质                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 锂金属</li> <li>■ 硅</li> <li>■ 石墨</li> <li>■ 钛酸锂</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 固体</li> <li>■ 氧化物</li> <li>■ 硫化物</li> <li>■ 聚合物</li> <li>■ 液体</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 固体</li> <li>■ 氧化物</li> <li>■ 硫化物</li> <li>■ 聚合物</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 固体</li> <li>■ 氧化物</li> <li>■ 硫化物</li> <li>■ 聚合物</li> <li>■ 液体</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ LFP</li> <li>■ NMC</li> <li>■ NCA</li> <li>■ 硫</li> <li>■ 高压阴极，如镍锰酸锂</li> </ul> |

资料来源：Solid-State Battery Roadmap 2035+、湘财证券研究所

敬请阅读末页之重要声明



固态电池中最相关的组件是固体电解质，近年来受到关注的固体电解质材料主要有氧化物、硫化物和聚合物三大类。氧化物固体电解质组由许多不同的材料组成，所有材料都以锂和氧为主要成分，以及各种其他元素。硫化物固体电解质基团由许多不同的材料组成，所有材料都以锂和硫为主要成分，以及其他元素，如 P、Si、Ge 或卤化物。聚合物固体电解质组目前以聚环氧乙烷 (PEO) 为主，且已在固态电池中投入商业使用。

## 2.3 固态电池材料技术发展趋势

### 2.3.1 正极材料：高镍、磷酸铁锂及富锂锰基等新型正极是未来发展方向

正极材料是制约电池能量密度提升的重要因素，目前开发的锂电池主要以正极材料作为锂源，锂电正极材料商业化应用经历了从层状  $\text{LiCoO}_2$ 、 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  到  $\text{LiFePO}_4$  与三元材料为主的历程。目前钴酸锂正极主要应用在电子产品中， $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  正极因理论容量较低主要应用于电动自行车等小型电动设备领域， $\text{LiFePO}_4$  则是目前动力电池和储能电池领域应用最为广泛的正极材料，三元材料亦是新能源车用动力电池的重要正极材料。

固态电池的发展要求对性能兼顾的新型正极材料的开发。尽管目前电动车领域中主流的正极材料是磷酸铁锂和三元材料，但其各有优劣。三元材料具有较高的能量密度，但其缺点是安全性较差、价格较高；磷酸铁锂等磷酸盐系正极材料在安全性、生产成本以及循环寿命方面具有较强的竞争优势，但能量密度已接近理论极限。固态电池技术的发展需要适用的高能量密度电极材料，同时面向高端市场、特殊应用场景，如超长续航电动汽车、电动飞机等，未来兼顾成本、安全、寿命等多种性能的高比能、高安全电池需求日益增长。而目前磷酸铁锂和三元正极材料均无法同时兼顾低成本、高安全性、长循环寿命和高能量密度。因此，新型正极材料的开发势在必行。目前普遍用于固态电池研究的正极材料除  $\text{LiCoO}_2$ 、三元材料、 $\text{LiFePO}_4$  等以外，高镍层状氧化物、富锂锰基、磷酸锰铁锂、高电压镍锰尖晶石等新型正极材料也在不断研发之中。

磷酸锰铁锂能够有效整合磷酸铁锂结构稳定好和磷酸锰锂工作电压高的优点。磷酸铁锂 ( $\text{LiFePO}_4$ ) 因其橄榄石结构具有循环寿命长、安全性好和价格成本低等优势，但其理论比容量 ( $170\text{mAh/g}$ ) 和工作电位 ( $3.45\text{V}$ , vs.  $\text{Li/Li}^+$ ) 均较低，导致其能量密度不能满足动力电池不断增长的能源需求。同为橄榄石型结构的磷酸锰锂 ( $\text{LiMnPO}_4$ ) 工作电位高达  $4.1\text{V}$ ，理论能量密度相比于  $\text{LiFePO}_4$  提升约 20%，但其缺点是更低的电子电导率和离子电导率，且  $\text{Mn}^{3+}$



的 Jahn Teller 效应会引起材料晶格变形，导致电化学性能很差。在  $\text{LiMnPO}_4$  的基础上掺杂一定的铁元素，使用 Fe 取代晶格中的部分 Mn，提高材料的电导率并抑制 Jahn-Teller 效应，最终得到具有稳定橄榄石型结构的磷酸锰铁锂 ( $\text{LiMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{PO}_4$ ,  $0 < x \leq 0.5$ ) 固溶体材料。磷酸锰铁锂是一种高电压型 (4.1 V) 磷酸盐材料，通过调整锰铁比来提高材料的电压平台，其能量密度相较于  $\text{LiFePO}_4$  的能量密度可提升 15%-20%，相比于磷酸铁锂，磷酸锰铁锂具有更好的热稳定性、化学稳定性和经济性，同时能量密度也更高。

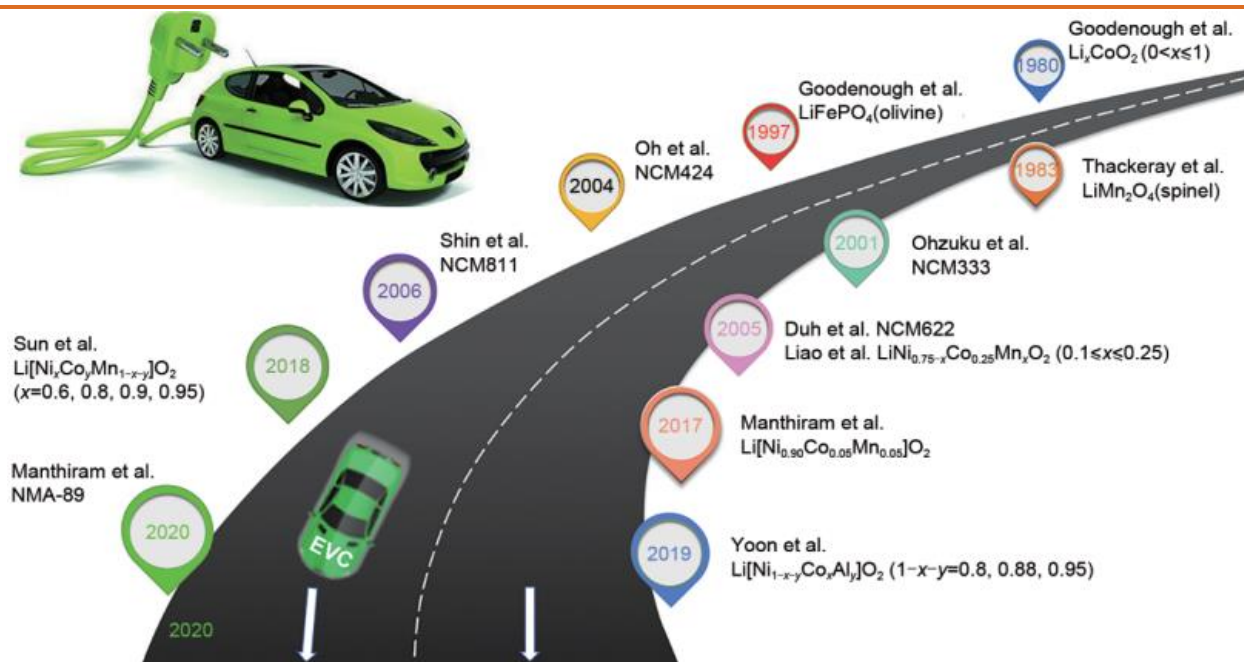
作为  $\text{LiFePO}_4$  材料的“升级版”，磷酸锰铁锂在车用动力电池和储能电池领域具有良好的应用前景。目前，磷酸锰铁锂在商业应用方面仍处于研发阶段，主要应用方向是与其他正极材料混合使用，以提高电池性能。在两轮车领域，磷酸锰铁锂已与锰酸锂和三元材料混合使用，并已投入市场应用。越来越多的企业已开始推进磷酸锰铁锂正极材料的产业化，如合肥国轩高科动力能源有限公司已成功开发出能量密度达 240Wh/kg 的以磷酸锰铁锂为正极材料的电池，超过了部分量产的三元正极材料体系电池的能量密度；孚能科技（赣州）股份有限公司实现了能量密度从 200~240Wh/kg 的磷酸锰铁锂电池产品的全覆盖；此外，中创新航研发出了高锰铁锂电池，第一代磷酸盐系高锰铁锂电池的能量密度达到了 180Wh/kg。然而磷酸锰铁锂使用过程中仍存在如导电性差、锂离子扩散速率低、Jahn-Teller 效应促进锰析出导致循环寿命衰减、双电压平台增加电池管理系统难度等问题。这些问题显著降低该材料的循环稳定性，并导致工业化生产难度大，材料性能与成本难以兼顾，严重阻碍了磷酸锰铁锂正极材料的在车用动力电池和储能电池领域的迅速推广应用。

#### 高镍/超高镍氧化物层状材料是下一代高能量密度电池的候选正极材料。

高镍/超高镍含量镍钴锰氧化物层状材料 ( $\text{LiNi}_{1-x-y}\text{Co}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ , NCM) 的开发来源于对  $\text{LiNiO}_2$ 、 $\text{LiCoO}_2$ 、 $\text{LiMnO}_2$  的掺杂改性。由于单一过渡金属层状氧化物都存在自身不可避免的缺点，如  $\text{LiCoO}_2$  层状材料的实际放电比容量较低， $\text{LiNiO}_2$  和  $\text{LiMnO}_2$  层状材料的结构稳定性及安全性能较差，因此难以在动力电池领域商业化应用，随着对正极材料研究的不断深入，单一过渡金属层状材料逐步发展到三元层状正极材料。三元层状材料中 Ni 的含量越高，材料的可逆比容量越大，为了满足锂离子电池高能量密度的需求，近年来三元层状材料中活性元素镍含量占比不断提高，钴含量逐步降低，三元正极材料的发展方向逐渐变为高镍低钴，正极材料容量提高的同时成本降低。近年来随着新能源汽车市场逐步扩大，NCM 三元材料和 NCA 三元材料都得到了很大的发展，如 NCM811 整体电化学性能表现优异，目前已经实现商业化应用，在动力电池领域的市场占比迅速扩大，其系统能量密度可以达到 180-200Wh/Kg。容百科技生产的超高镍 9 系产品也随着麒麟电池、大圆柱电池等高能量密度电池

的量产上车出货持续提升。

图9 锂电池正极材料发展历程



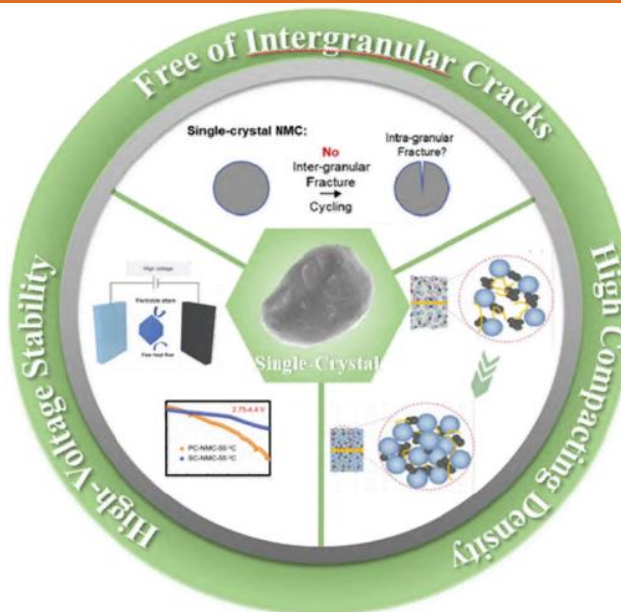
资料来源：《高镍三元层状锂离子电池正极材料：研究进展、挑战及改善策略》、湘财证券研究所

尽管高镍三元正极材料存在理论容量高、工作电压稳定等显著优势，但由于三元层状正极材料的比容量与容量保持率和热稳定性之间存在权衡关系，随着镍含量的增加和钴/锰含量的降低，高镍层状过渡金属氧化物提供了更高的比容量，但牺牲了容量保持率和热稳定性。主要原因是高镍含量会导致材料中阳离子混排程度增加，且高镍三元正极材料在电化学循环过程中更容易发生不可逆相变，体积各向异性变化程度较大，引起材料结构退化、形成微裂纹、发生副反应以及产生气体等一系列问题，导致锂离子电池的循环寿命降低。解决高镍三元层状材料存在问题和改善其电化学性能的方法主要包括表面涂层、元素掺杂、单晶结构与浓度梯度设计等。

单晶高镍三元层状材料具有高能量密度和优异循环稳定性。目前多数高镍三元层状氧化物正极材料为多晶形式，多晶高镍材料在重复的  $\text{Li}^+$  脱嵌过程中会发生晶间微裂纹且逐渐从表层向内部扩展，导致材料更多面积与电解液接触发生副反应，容量衰减，最终导致多晶 NMC 失效。单晶 NMC 具有独立的微米级颗粒，而不是像传统多晶正极材料那样由许多纳米级颗粒聚集成微米颗粒。此外，单晶形貌减少了晶间裂纹的产生，有效限制了表面副反应和持续颗粒开裂，从而极好地提高了锂离子电池循环寿命。同时单晶的无孔和高强度也使其具有更高的压实密度，极大提高了电池的能量密度。得益于特殊的形貌，SC-NMCs 与成分相同的多晶 NMCs (PC-NMCs) 正极材料相比，在长期循环稳定性方面，独立的 SC-NMCs 在颗粒表现出无晶间裂纹的现象；在高压

性能方面, SC-NMCs 高压下也具有极好的抗开裂性, 相应产生的副反应较少, 容量保持较好; 在高能量方面, 无孔和高强度 SC-NMCs 在实际应用中表现出具有竞争力的较高压实密度和体积能量密度。

图 10 单晶高镍三元层状正极材料优势



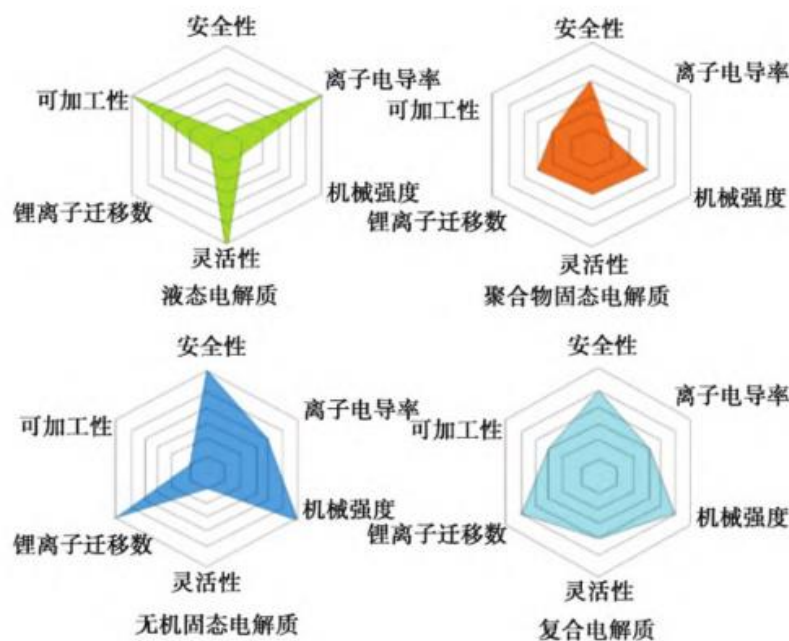
资料来源:《层状高镍正极材料单晶化研究》、湘财证券研究所

### 2.3.1 固态电解质：多技术路线并行各有优劣，性能全面符合固态电池要求的技术有待突破

固态电解质特指具有良好离子传输性能的锂离子导体。固态电解质不挥发、一般不可燃、具有较宽的工作温区和电化学窗口，因此具备更优异的安全性，可适配更高能量密度的正负极材料体系。固态电解质材料是固态电池的核心部件，其进展直接影响全固态电池的发展进程。依照材料类型，固态电解质的主要分为无机固体电解质（ISEs）、固体聚合物电解质（SPE）、复合（聚合物+无机物）固体电解质（CSE），其中无机固体电解质（ISEs）根据其结构原子主要包括氧化物、硫化物固体电解质，卤化物固态电解质近年来受到广泛关注，有望成为全固态电池的第四个研发方向。不同类型电解质各有其特点，比较而言，尽管液态电解质在离子电导率方面表现优异，但聚合物固态电解质具有较好的机械强度，无机固态电解质具有优异的离子迁移数和安全性能，复合固态电解质则性能均衡。



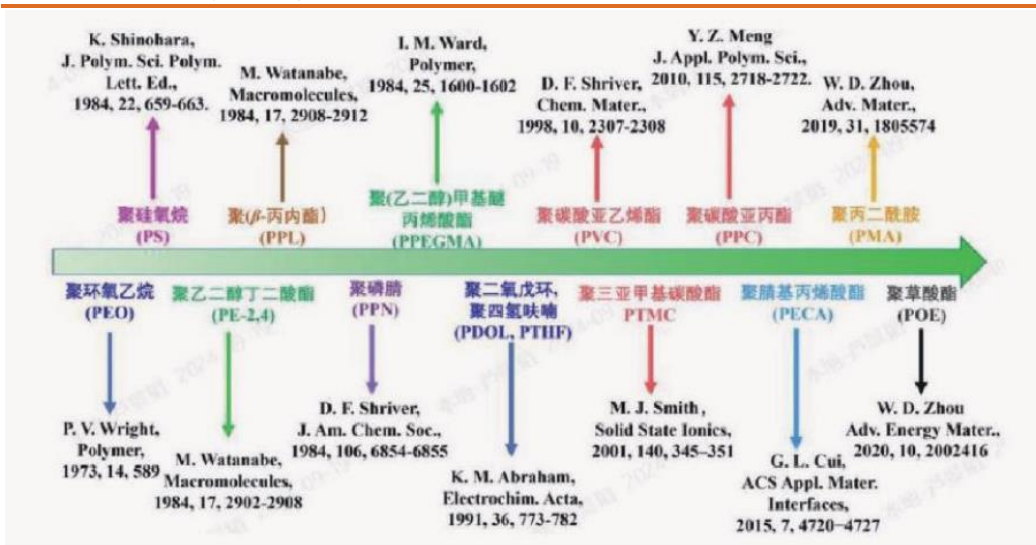
图 11 不同类型电解质结构和性能对比



资料来源：《锂固态电池研究及产业化进展》、湘财证券研究所

聚合物固态电解质是指具有能够传导锂离子的高分子材料。聚合物固态电解质中的重复单元含有特殊官能团，这种官能团能够与锂离子之间具有较强的相互作用，从而能够解离锂盐，通过高分子链段的运动传导锂离子。聚合物固态电解质起源于 1975 年，Peter Wright 教授提出了聚氧化乙烯(PEO)能够与金属阳离子形成络合物；1983 年 Michel Armand 教授报道了将 PEO 基聚合物应用于锂电池，聚合物固态电解质概念诞生。目前已有多种类型的聚合物材料被发现可用于聚合物固态电解质，例如聚羧酸酯类、聚碳酸酯类、聚腈类、聚酰胺类、聚酰亚胺类、聚硫醚类等。

图 12 聚合物电解质材料发展历程



资料来源：《固态锂电池技术发展白皮书》、湘财证券研究所

聚合物具有极高的界面相容性、制备工艺简单、加工性好、在大规模商业

化生产中具有极大优势，常用的聚合物基体为聚环氧乙烷（PEO），基于聚合物良好的柔性和可加工性，聚合物电解质特别适用于为可穿戴设备供电的全固态电池系统。但是由于大部分参与聚合物固态电解质的聚合物均为半结晶聚合物，室温下对锂离子的传导比较困难，故聚合物本身的离子电导率一般低于  $10^{-6}\text{S/cm}$ ，其室温锂离子电导率较低；由于锂盐对湿度敏感，合成过程需在干燥条件下进行，生产成本增加；此外，聚合物有限的热稳定性对电池工作温度的变化范围仍有较严格的要求；当使用锂金属作为电池负极时，一些聚合物电解质有限的机械强度往往难以阻止锂枝晶的生长。这些问题都限制了聚合物电解质的广泛应用。

受制于聚合物固态电池自身缺点在应用端的限制，未来较有前景实现产业化的技术路线是发展有机/无机复合固态电解质。复合固态电解质一般是由无机填料和聚合物固态电解质复合而成，在聚合物固态电解质中加入无机填料后得到的固态电解质综合性能较好，兼具高锂离子导电率和电化学稳定性。复合体系结合了聚合物的粘弹性以及无机材料刚性的优势，加工性能优势突出，通过引入不同性质的无机填料改变锂离子传输机制，提升聚合物基固态电解质导锂能力。同时无机固态电解质的引入可以大大增强聚合物固态电解质材料的刚性，改善电解质的机械性能。太蓝新能源对氧化物固态电解质的组成进行调控，实现氧化物固态电解质的电导率显著提升，同时改善与聚合物固态电解质的相容性，助力复合固态电解质的性能提升，通过聚合物-无机固态电解质复合实现室温离子电导率  $10^{-3}\text{S/cm}$ 。

氧化物电解质在微观水平上形成结构稳定的锂离子传输通道，其具有离子电导率高、安全性能高、稳定性良好、电化学窗口宽、机械强度高、成本低廉及环境友好等优点。氧化物电解质包括钙钛矿型、反钙钛矿型、NASICON 型（钠超离子导体）、LISICON 型（锂超离子导体）、石榴石型和 LiPON，其中钙钛矿型、NASICON 型、石榴石型这三种结构类型优势比较明显。

NASICON 型结构固体电解质制备工艺简便，易于加工处理，对空气稳定，热稳定性和力学性能良好，常见的 NASICON 型结构固体电解质有 LZP（ $\text{LiZr}_2(\text{PO}_4)_3$ ）、LTP（ $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ ）、LGP（ $\text{LiGe}_2(\text{PO}_4)_3$ ）、LATP（ $\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$ ）、LAGP（ $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$ ）等，但 NASICON 对锂的稳定性会受到含有的  $\text{Ti}^{4+}$  和  $\text{Ge}^{4+}$  与锂金属接触时极易发生氧化还原反应的影响。石榴石结构固体电解质 LLZO（ $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ ）具有良好的离子传输性能（ $10^{-3}\text{S/cm}$ ），除具有氧化物固体电解质一贯的稳定性优点外，还表现出远优于其他种类氧化物固体电解质的对锂金属和典型正极材料的稳定性。但在实际应用中，LLZO 电解质与锂金属界面存在内部锂枝晶生长和与锂金属副反应等问题。钙钛矿结构固体电解质的通式为 LLTO（ $\text{Li}_3\text{xLa}_{2/3-\text{x}}\text{TiO}_3$ ），其电导率较

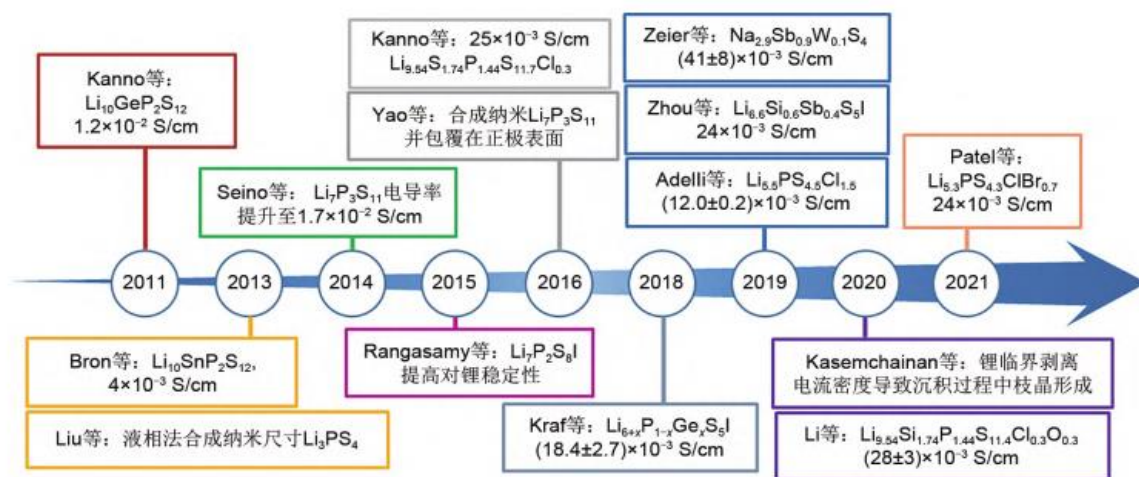


高，热稳定性和力学性能良好，但制备温度较高。LLTO 材料对锂金属阳极不稳定，在短路条件下发生反应时从而产生电子导电性，且与电极材料接触不良会产生较大的界面电阻，影响其产业化。

综合来看，氧化物电解质产业化相对易行，氧化物电解质粉体材料的制备方法相对较为成熟，工艺流程简单，生产成本低，晶态固体电解质化学稳定性高，可以在大气环境下稳定存在，有利于固态电池的规模化、连续化及自动化生产。但在全固态电池中，界面以及电化学性能等问题阻碍了其作为单一电解质的商业化应用。而氧化物固体电解质对聚合物电解质的稳定性较好，因此将其与聚合物复合的方案被行业广泛采用。

硫化物固态电解质室温下具有较高的离子电导率，范围从  $10^{-4}$  到  $10^{-2}$  S/cm。同时，硫化物固体电解质具有可忽略的电子电导率和良好的力学性能和机械加工性能，有利于全固态电池中电极/电解质形成良好的固-固接触界面，从而优化全固态电池的循环稳定性。近年来随着电解质结构和成份不断优化，硫化物固态电解质的离子电导率已提高到与液态电解液相近的水平。

图 13 近年来硫化物固体电解质发展的重要进展



资料来源：《固态锂电池十年（2011—2021）回顾与展望》、湘财证券研究所

硫化物固态电解质根据晶体结构特征可分为晶态与非晶态两大类。非晶态硫化物固态电解质以 LPS 型(即硫代磷酸盐)为代表。而晶态硫化物固态电解质则进一步细分为 Argyrodite 型(又称硫银锗矿型)、LGPS 型(锂锗磷硫型)以及 Thio-LISICON 型(硫代-锂快离子导体型)。锂硫银锗矿型和锂锗磷硫型具有卓越的离子电导率性能，2011 年制备出的  $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$  电解质，其电导率高达  $1.2 \times 10^{-2}$  S/cm，是第一种离子电导率可与液态电解液相媲美的固体电解质，其在较低的温度下也表现出高离子导电性。但 Ge 元素的高成本和对锂金属的不稳定性限制了其在全固态锂电池中的大规模应用。相比于  $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$  电解质，硫银锗矿型化合物也具有更高的锂离子电导率，同时具有更加优良的化

学和电化学稳定性，且其在成本方面相对更为经济。LPSCI 因其成本优势预计市场更加适合定位于成本敏感型或低端产品领域，而性能全面优异但原材料成本高昂的 LGPS 应用预计更加聚焦于对性能有更高要求的中高端产品线。

表 2 硫化物固态电解质类型及其性能

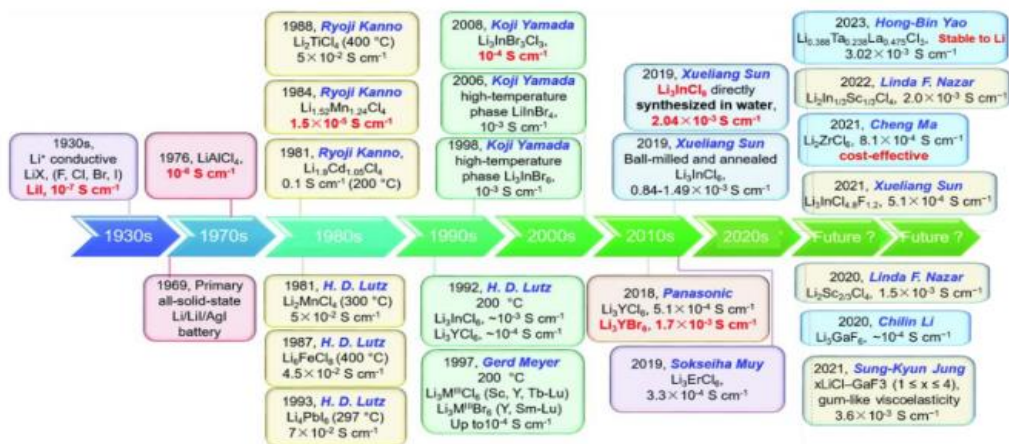
| 类型             | 简称            | 化学式                                                                                       | 代表材料                                                                 | 电导率                              | 优势                    | 劣势                    |
|----------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Li-P-S 型       | LPS           | $\text{Li}_x\text{PS}_x$                                                                  | $\text{Li}_3\text{PS}_4$ 、 $\text{Li}_4\text{P}_2\text{S}_6$         | $10^{-3}\text{S/cm}$             | 电化学窗口宽 (5V)、热稳定性好、成本低 | 离子电导率相对较低、空气中不稳定      |
| Argyrodite 型   | LPSCI/LPSI    | $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{X}$<br>(X=Cl, Br 或 I)                                        | $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$ 、 $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{I}$ | $10^{-2}$ - $10^{-3}\text{S/cm}$ | 离子电导率高、热稳定性好、成本低      | 电化学窗口窄 (<2.2V)、空气中不稳定 |
| LGPS 型         | LGPS          | $\text{Li}_x\text{MP}_x\text{S}_x$<br>(M=Ge, Sn, Si, Al)                                  | $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$                            | $10^{-2}\text{S/cm}$             | 离子电导率最高、电化学窗口宽(5V)    | 锂金属不稳定、成本较高           |
| Thio-LISICON 型 | LGPS(LISICON) | $\text{Li}_{4-x}\text{M}_{1-x}\text{M}'_x\text{S}_4$<br>M=Si, Sn, Zr;<br>M'=P, Al, Zn, Ga | $\text{Li}_{3.25}\text{Ge}_{0.25}\text{P}_{0.75}\text{S}_4$          | 10 S/cm                          | 电化学窗口宽 (5V)、电化学稳定性高   | 离子电导率相对较低、成本较高        |

资料来源：《固态锂电池技术发展白皮书》、湘财证券研究所

受高昂成本、电化学稳定性较差以及对空气敏感等问题的制约，硫化物固态电解质尚未能在高能量密度电池中广泛应用。影响硫化物基全固态电池高性能的因素之一就是界面稳定性，大部分的硫化物固态电解质对金属锂表现出热力学和动力学不稳定性，导致锂金属和硫化物固态电解质之间发生了严重的界面副反应，成为当前技术发展的主要障碍。因此，硫化物固态电解质目前仍处于深入研发与优化的阶段，尚未实现大规模商业化。

卤化锂作为离子导体被研究始 1930 年代，因其室温离子电导率低并未引发广泛的研究，直到 2018 年后氧卤化物固态电解质  $\text{LiNbOCl}_2$  被开发出来，其离子电导率甚至可以超过  $10^{-2}\text{S/cm}$ ，才使得其在固态电池具有良好的应用前景。

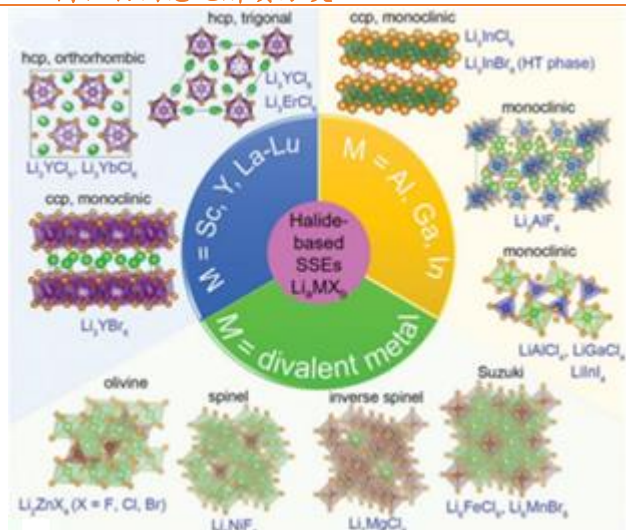
图 14 卤化物固态电解质发展历程



资料来源：《金属卤化物固态电解质的稳定性及其在全固态电池中的应用研究》、湘财证券研究所

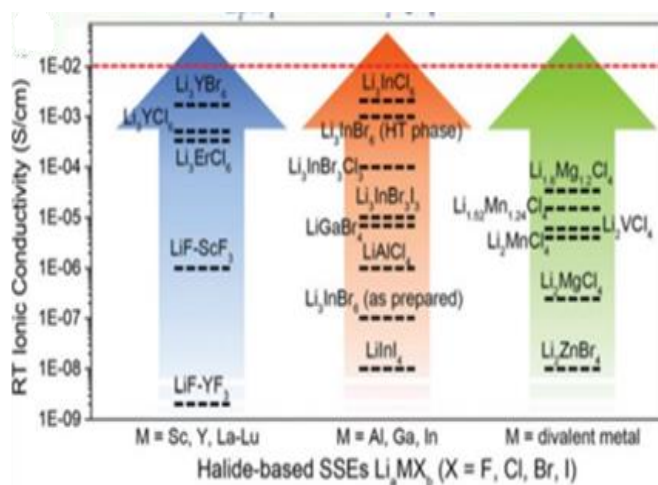
卤化物固态电解质主要分为三类体系。“第3族金属卤化物”是由第3族金属如 Sc、Y 和 La-Lu 组成的卤化物固态电解质，具有很好的固有电化学氧化稳定性和不错的离子导电性。“第4族金属卤化物”是由 Zr 和 Hf 形成的卤化物固态电解质，代表性材料为  $\text{Li}_2\text{ZrCl}_6$  及其衍生物(例如  $\text{Li}_{2+x}\text{Zr}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Cl}_6$ )，具有高离子导电性，其中基于 Zr 的卤化物固态电解质保持了优异的(电)化学氧化稳定性，并且在成本上具有优势。“第13族金属卤化物”为含有第13族元素(如 Al、Ga 和 In, 例如  $\text{Li}_2\text{InCl}$ )的卤化物固态电解质，尤其是 In 的引入赋予电解质卓越的湿度耐受性和高离子导电性。

图 15 卤化物固态电解质分类



资料来源：《固态锂电池十年（2011—2021）回顾与展望》、湘财证券研究所

图 16 几种代表性卤化物固态电解质的离子电导率



资料来源：《固态锂电池十年（2011—2021）回顾与展望》、湘财证券研究所

卤化物电解质具有高的离子电导率，良好的机械柔性、宽的电压窗口等优点。卤化物固态电解质通式为  $\text{Li}_a\text{MX}_b$ ，与二价硫或氧阴离子相比，固态电解质结构中单价卤素离子的半径比二价的硫离子、氧离子大，与锂离子的作用力相对较弱，理论上有利于锂离子的快速传输，从而导致卤化物电解质的锂离子迁移率高、机械柔软、可变形性强。与硫化物固态电解质相比，卤化物固态电解质与高电压正极材料兼容性良好，具有更优的高电压稳定性，可以直接与无包覆的正极材料制备复合正极实现良好的循环性能。因此，卤化物固态电解质可以被视为硫化物、氧化物、聚合物固态电解质之外的第四类固态电解质。

尽管卤化物固态电解质有部分指标已经初步满足在全固态电池应用方面的要求，但由于卤化物固态电解质通常含有大量稀土元素导致成本高，对锂稳定性差，与电极之间的界面兼容性差等缺点，目前仍处于实验室研发阶段。现阶段卤化物固态电解质暂未单独使用制备固态电解质膜，通常被用于固态电池复合正极片的制备，以及与其他类型固态电解质组合制备复合固态电解质膜。



总而言之,氧化物电解质的化学稳定性和热稳定性较好,然而存在刚性界面接触的问题以及严重副反应,且加工困难,兼具高离子电导率、宽电化学窗口、低成本特性的材料仍在开发之中。硫化物电解质具有极高的离子电导率,然而硫化物电解质的化学稳定性和空气稳定性较差,较难规模化生产且与电极材料间存在较大的界面阻抗,限制了广泛应用。聚合物电解质具有良好的界面相容性和机械加工性,但其室温离子电导率低,限制了其应用温度范围。卤化物电解质的室温离子电导率较高,与氧化物正极界面稳定性好,但存在与金属锂负极界面稳定性差或电化学窗口较窄等短板。单一电解质系统总是显示出一定的弱点,设计兼顾力学特性、离子电导率、宽电化学窗口的固体电解质,自然的想法是形成聚合物与无机电解质复合的电解质材料。复合电解质材料可以显著改善性能,是未来具有发展潜力的材料体系,目前已经商业化的固液混合体系锂电池采用的电解质也大多是复合固态电解质。但在实际体系中,两相或多相复合电解质与正极颗粒、电子导电添加剂的均匀分散,在工程上仍具有很大的挑战。

**表 3 固态电池三大类固态电解质特点**

| 固态电解质 | 离子电导率                                     | 锂金属兼容性                           | 长期运行稳定性                                         | 高电压兼容性              | 隔膜适用性                               | 正极电解质适用性                         |
|-------|-------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 氧化物   | 离子电导率相对适中,介于硫化物和聚合物之间。                    | 不同材料有所差异,但比硫化物和聚合物有更好的电化学和力学稳定性。 | 易碎,由于循环过程中的体积变化,界面接触减少,可能形成裂纹;电化学稳定性好,不易于分解和老化。 | 宽的电化学窗口可适配高压的正极材料。  | 对锂金属有良好的力学性能和电化学稳定性,可用作隔膜材料。        | 无法用作高容量和厚电极的正极电解质(电导率不够)。        |
| 硫化物   | 离子电导率最高。                                  | 电化学窗口相对较窄,同时会与锂金属进行反应,其兼容性略差。    | 具有延展性,通常有良好的界面接触,但电化学稳定性有限。                     | 在高电位下容易氧化,因此需要正极涂层。 | 表现出较低的晶界电阻,阻碍了锂枝晶的形成,但其电化学稳定性低于氧化物。 | 高离子导电性使硫化物成为一种有前途的正极电解质材料。       |
| 聚合物   | 在室温下离子导电性不足。通常选择大于 60℃ 的操作温度,以达到良好的离子电导率。 | 聚氧化乙烯对锂金属有高稳定度,以达到良好定性。          | 若用低电势正极和低充电率,聚合物电解质的灵活性可延长循环寿命。                 | 大多数具有有限的电化学稳定性窗口。   | 机械稳定性足以抵抗锂枝晶形成。                     | 如果电池可以在更高的温度下运行,则离子电导率足以用作正极电解质。 |

资料来源:《固态电池技术发展现状综述》、湘财证券研究所

## 2.4 全球主要国家均出台固态电池支撑政策

近年来全球主要国家都出台相关政策,支撑固态电池开发。在全球范围内,各国政府正采取一系列积极措施,包括政策导向、资金补贴以及促进产业链各环节之间的协同合作,以加速固态电池技术的产业化步伐。当前,固态电池技术的全球进展主要停留于研发探索与中试的深化阶段,下一代动力电池的商业化生产已被正式纳入发展规划之中,预示着其产业化进程即将加速推



进。欧洲和美国分别提出了《固态电池技术路线图 2035+》以及《锂电池 2021-2030 国家蓝图》，明确提出了大力发展固态电池，并逐步提升固态电池的能量密度。日本制定的“电池供应保证计划”和韩国批准的“用于环保车辆的高性能下一代二次电池技术开发项目”，都明确政府将投入资金，用于包括全固态电池、锂硫电池和锂金属电池等下一代二次电池技术开发。近年来，我国政府相关部门出台了一系列政策，支持固态电池产业的发展。

**日本对固态电池技术、研发与生产制造给予长期政策支持，并关注资源保障和人才培养。**自 20 世纪 80 年代开始，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）就对固态电池研发给予了长期稳定的支持。2018 年，NEDO 启动了全固态锂电池项目第二阶段，目标是突破固态电解质和固态锂电池生产的技术瓶颈，制造高能量密度固态电池。日本政府在 2022 年发布《电池产业战略》，计划于 2030 年前建成年产能达 150GWh 的国内电池制造基地和年产能达 600GWh 的全球电池制造基地。2023 年，NEDO 宣布下一代全固态电池材料基础技术评估和开发计划，拟在 2023-2027 年全面提高全固态锂电池性能，促进电池及材料开发，加快商业化进程。为了强化资源保障能力，日本政府已将锂、钴等关键矿产纳入高风险范畴，并推出了一系列政策以扩大对相关企业的支持；为提高电池领域的人才保障能力，日本成立了由政府、产业界和学术界组成的“关西电池人才培养联盟”，计划于 2030 年前培养 30000 名电池产业链供应链专业人才。

**美国政府加强电池产业链的顶层设计，制定国家战略、计划和扶持政策，并加大对科技的投入和创新平台建设。**包括评估产业链现状、制定先进电池长期发展规划、发布电池技术路线图和相关产业扶持政策，并通过整合国家实验室、大学和私营企业的研究力量以及研发平台的建设，设立研发项目和专项，提升美国在先进电池技术领域的技术竞争力。美国能源部、国防部、商务部等共同组建了联邦先进电池联盟，并发布《锂电池 2021-2030 年国家蓝图》，目标为 2030 年电池能量密度达到 500Wh/kg，实现无钴无镍的固态电池、锂金属电池规模量产。美国能源部还依托西北太平洋国家实验室成立了国家级储能技术研发中心。基于 2021 年发布的《基础设施投资和就业法案》，美国能源部发布了“电池材料加工和电池制造”和“电动汽车电池回收和再利用”两项计划，以推动先进电池的制造，建立美国本土电池供应链。2022 年，美国多部门联合发布了《国家创新路径》，推动新型锂电池电极和电解质关键材料研发，推动固态电池技术、新型制造工艺以及电池回收技术的发展。

**欧盟重视先进电池技术的研发和关键原材料保障。**自 2017 年以来，陆续建立了欧洲电池产业联盟、欧洲技术与创新平台以及欧洲能源研究联盟，发布了《欧洲储能技术发展路线图》、《电池战略行动计划》、《地平线 2021—2027

计划》、《欧洲共同利益重要计划》、《欧洲电池研发创新路线图》、第三版《电池 2030+路线图》以及《固态电池技术路线图 2035+》等多项联合研究计划，引导欧洲电池研究的优先发展领域，促进欧洲电池制造产量增长和持续创新发展。2023 年，欧盟通过《欧洲关键原材料法案》确保欧盟获得安全和可持续的关键原材料供应。

**韩国期望通过建立技术领先优势在 2030 年成为全球电池领军国家。**韩国政府明确将电池技术作为推动其经济发展的核心动力，制定了“2030 二次电池产业发展战略”、“二次电池产业创新战略”等一系列战略措施，规划了先进电池技术研发路线和全固态电池商业化方向。近年来，韩国持续加大固态电池技术产业的投入。韩国政府与龙头电池企业计划于 2030 年前共同投资 20 万亿韩元，开发包括固态电池在内的先进电池技术。为保障电池产业链和供应链稳定，韩国政府与电池产业链的主要企业成立了“电池联盟”，推动电池生态系统的本土化发展。在人才培养方面，韩国政府牵头成立了“电池学院”，计划到 2030 年培养 16000 名电池领域相关人才。

**表 4 国外主要国家固态电池相关政策**

| 国家 | 政策                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 日本 | <p>2007 年，新能源与产业技术开发机构(NEDO)启动“下一代汽车用高性能蓄电系统技术开发”项目，2030 年质量能量密度、质量功率密度、电价目标分别为 500Wh/kg, 1000W/kg 和每千瓦时 104 日元，远期目标分别为 700Wh/kg, 1000W/kg 和每千瓦时 5000 日元。</p> <p>2018 年 6 月，NEDO 宣布在未来 5 年内投资 <math>10^{10}</math> 日元，由丰田、本田、日产、松下等 23 家企业，以及日本理化学研究所等 15 家学术机构联合研发全固态锂电池，到 2022 年全面掌握相关技术。</p> <p>2021 年，NEDO 部署“电动汽车创新电池开发”项目(2021-2025 年)，计划投入 <math>1.66 \times 10^{10}</math> 日元，开发超越锂电池的新型电池(包括氟化物电池、锌负极电池)，增强电池和汽车行业的竞争力。</p> <p>2021 年 4 月，在日本经济产业省、NEDO 和产业技术综合研究所(AIST)的支持下，成立了锂离子电池材料评估与研究中心，负责“下一代电池材料评估技术开发”项目，成员包括丰田、本田、日产、马自达、松下等 35 家企业。</p> <p>2022 年 5 月，NEDO 宣布投入 <math>1.51 \times 10^{11}</math> 日元，用于资助包括高性能电池及材料研发和 10 个固态电池等 18 个课题，并着重开发体积能量密度为 700-800Wh/L 的高容量电池。</p> <p>2022 年 9 月，日本经济产业省发布《蓄电池产业战略》，目标为 2030 年实现全固态电池的正式商业化应用，确保卤代电池、锌负极电池等新型电池的技术优势，并完善全固态电池量产制造体系。</p> |
| 韩国 | <p>2018 年 11 月，LG 化学、三星 SDI，SK 公司创新联合成立下一代 <math>10^{11}</math> 韩元(<math>9 \times 10^7</math> 美元)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。</p> <p>2021 年 7 月，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，投资设备和投资研发最高可享 20%及 50%的税收抵免，在 2025 年推动锂硫电池和 2027 年全固态电池的实际商业化应用。具体开发：1 全固态电池：选择质量轻的硫化物全固态电池、安全性高的氧化物全固态电池，2025-2028 年具备质量能量密度为 400Wh/kg 的商用技术，2030 年完成装车验证；2 锂金属电池：2025-2028 年具备质量能量密度为 400Wh/kg 的商用技术，2030 年完成装车验证。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 美国 | <p>2016 年 7 月，发布 Battery500 计划，由美国西北太平洋国家实验室领衔，联合大学和产业界共同攻关，参与者包括斯坦福大学，IBM、特斯拉等公司。计划 5 年投资 <math>5 \times 10^7</math> 美元，目标为电芯能量密度为 500Wh/kg、循环寿命为 1000 次，包装成本为每千瓦时 150 美元，最后过渡至锂金属电池或锂硫电池。</p> <p>2019 年 8 月，能源部宣布资助通用汽车 <math>9.1 \times 10^6</math> 美元，其中 <math>2 \times 10^6</math> 美元明确用于固态电池界面问题及硫化物全固态电池的研究。</p> <p>2021 年 1 月，能源部宣布资助 <math>8 \times 10^6</math> 美元用于聚合物电解质制造工艺研究项目，目标为聚合物电解质成本降</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

低 15%，获超大容量车用固态电池第三方生产资质。

2021 年 6 月，国防部先进计划研究局宣布启动 MINT 计划支持固态电池研发，包括开展固-固界面电荷转移相关研究。能源部、国防部、商务部、国务院共建的联邦先进电池联盟(FCAB)发布《锂电池 2021-2030 年国家蓝图》，目标为 2025 年电芯成本每千瓦时 60 美元，2030 年能量密度 500Wh/kg，包装成本进一步降低 50%，实现无钴无镍的固态电池、锂金属电池规模量产。

2021 年 10 月，能源部宣布资助  $2.09 \times 10^8$  美元支持固态电池及快充等先进动力电池的技术研究。

2023 年 1 月，能源部宣布向多个大学、企业资助  $4.2 \times 10^7$  美元用于包括固态电池的新一代电池技术研究。

欧洲

2017 年 10 月，德国联邦教育和研究部出资  $3.2 \times 10^6$  欧元，发起为期 3 年的凝胶电解质和锂金属负极固态电池研究项目，由德国系统与创新研究所(Fraunhofer)承担。

2018 年 11 月，德国政府投资 10<sup>9</sup> 欧元支持固态电池技术研发与生产，并支持建立动力电池研发联盟，聚焦固态电池技术开发，瓦尔塔迈科、巴斯夫、福特德国和大众公司已加入该联盟。

2018 年 12 月，公布《电池 2030+》，明确全固态高性能锂电池、金属锂空气电池、锂硫电池迭代路线，目标为 2030 年电池实际性能与理论性能差距缩小至少 1/2，耐用性和可靠性至少提升 3 倍。

2019 年 12 月，批准欧洲共同利益重大项目(IPCEI)，由欧盟七国共同出资  $3.2 \times 10^9$  欧元，同时从私人投资商中筹集  $5 \times 10^9$  欧元，用于研发下一代创新、环保锂电池技术(包括液态电解质、固态电池等)。

2021 年，欧洲汽车和工业电池制造商协会(EUROBAT)发布《2030 电池创新路线图》，提出锂电池迭代目标为更高能量密度和更高安全性，明确固态电池技术为研发方向。

2022 年 5 月，德国系统与创新研究所发布《固态电池技术路线图 2035+》，由 100 多名专家共同参与制定，预计硅基负极+高镍三元+硫化物电解质固态电池 2025-2030 年能量密度达 275Wh/kg 和 650Wh/L，2035 年达 325Wh/kg 和 835Wh/L，锂金属负极+高镍三元正极+硫化物电解质固态电池 2030 年能量密度达 340Wh/kg 和 770Wh/L，2035 年达 410Wh/kg 和 1150Wh/L。

2022-2023 年，额外增加  $6 \times 10^6$  至  $8 \times 10^6$  欧元用于解决固态电解质相关问题，并规划更多支持政策确保欧盟电池产业竞争力。

资料来源：《固态电池技术发展现状综述》、湘财证券研究所

我国在 2020 年国务院发布的《新能源汽车产业发展规划(2021-2035 年)》，首次将固态电池列入行业重点发展对象并提出加快研发和产业化进程；2022 年下半年，工信部、科技部、能源局等多部门联合发布《关于推动新能源电子产业发展的指导意见》，提出加快研发固态电池储能技术，加强固态电池标准体系研究工作，强化应用领域的支持和引导，明确了固态电池在现代产业体系中的定位。在 2023 年 1 月，由工信部等六部门携手制定的《关于推动能源电子产业发展的指导意见》中，又进一步细化了对固态电池标准体系研究的强化要求。2024 年的《锂电池行业规范条件(2024 年本)》增加了对固态单体电池的产品性能要求。

表 5 近年来我国固态电池主要相关政策

| 发布时间        | 政策名称                       | 主要内容                                                                                                                     |
|-------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2020 年 10 月 | 《新能源汽车产业发展规划(2021-2035 年)》 | 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及产业化。                                    |
| 2021 年 10 月 | 《2030 年前碳达峰行动方案》           | 聚焦化石能源绿色智能开发和清洁低碳利用、可再生能源大规模利用、新型电力系统、节能、氢能、储能、动力电池、二氧化碳捕获利用与封存等重点，深化应用基础研究。                                             |
| 2022 年 1 月  | 《“十四五”新型储能发展实施方案》          | 开展钠离子电池、新型锂离子电池、铅炭电池、液流电池、压缩空气、氢(氨)储能、热(冷)储能等关键核心技术、装备和集成优化设计研究，集中攻关超导、超级电容等储能技术，研发储备液态金属电池、固态锂离子电池、金属空气电池等新一代高能量密度储能技术。 |

|             |                             |                                                                                 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 2022 年 6 月  | 《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022-2030)》 | 研发压缩空气储能、飞轮储能、液态和固态锂离子电池储能，钠离子电池储能、液流电池储能等高效储能技术；研发梯级电站大型储能等新型储能应用技术以及相关储能安全技术。 |
| 2023 年 1 月  | 《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、氢储能/燃料电池等新型电池。                  |
| 2023 年 12 月 | 《关于加强新能源汽车与电网融合互动的实施意见》     | 加大动力电池关键技术攻关，在不明显增加成本基础上将动力电池循环寿命提升至 3000 次及以上，攻克高频度双向充放电工况下的电池安全防控技术。          |
| 2024 年 2 月  | 《锂电池行业规范条件 (2024 年本)》       | 增加固态单体电池产品性能要求：单体电池能量密度>300Wh/kg，电池组能量密度≥260Wh/kg。循环寿命≥1000 次，容量保持率≥80%。        |

资料来源：《固态锂电池技术发展白皮书》、湘财证券研究所

## 2.5 国内外固态电池技术产业化进展

各国固态电池技术选择路线不同。从固态电池全球的发展来看，目前固态电池的研发主要集中在中日韩美欧五个国家和地区。日本的固态电池研发布局和产业发展起步最早，技术和专利全球领先，目前日本电池企业采取的固态电池主流技术路线是硫化物固态电解质。韩国选择氧化物和硫化物路线并行，固态电池产业的发展思路是研发重量轻的硫化物全固态电池以及高安全性的氧化物全固态电池。欧洲国家以聚合物路线为主，同时布局硫化物路线。美国全路线布局，由能源部出资，初创公司主导研发，并与众多车企达成合作。

表 6 国外主要企业的固态电池技术路线

| 国家 | 企业              | 技术路线 | 国家 | 企业                  | 技术路线    |
|----|-----------------|------|----|---------------------|---------|
| 日本 | 丰田汽车公司          | 硫化物  | 韩国 | LG 新能源公司            | 硫化物     |
|    | 本田技研工业股份有限公司    | 硫化物  |    | 现代汽车集团              | 聚合物/硫化物 |
|    | 三菱化学集团/日产汽车公司联盟 | 硫化物  |    | SK On 公司            | 硫化物/氧化物 |
|    | 松下电器公司          | 卤化物  |    | 三星 SDI 公司           | 聚合物/硫化物 |
|    | 富士电气化学有限公司      | 氧化物  | 法国 | 博洛雷集团               | 聚合物     |
|    | 小原股份有限公司        | 氧化物  | 英国 | Ilika 公司            | 氧化物     |
|    | 日立造船公司          | 硫化物  |    | LiNa Energy 公司      | 氧化物     |
|    | 三洋化成工业股份有限公司    | 聚合物  | 美国 | Quantum Scape 公司    | 氧化物     |
|    | 日本出光兴产股份有限公司    | 硫化物  |    | Ionic Materials 公司  | 聚合物     |
| 德国 | 宝马集团            | 硫化物  |    | Solid Power 公司      | 硫化物     |
|    | 大众集团            | 氧化物  |    | Factorial Energy 公司 | 聚合物     |

资料来源：《固态电池关键材料体系发展研究》、湘财证券研究所

我国主要企业固态电池路线侧重方向为氧化物路线，同时部分企业涉及硫化物及聚合物电解质路线。由于固态电池制造技术存在一定难度，国内部分动力电池厂家首先以半固态电池作为产品化技术路线。预计在 2025 年前推广上市，而固态电池量产的预测时间为 2030 年。



**表 7 我国主代表性企业的固态电池技术路线**

| 企业名称            | 技术路线    | 企业名称             | 技术路线    |
|-----------------|---------|------------------|---------|
| 北京卫蓝新能源科技股份有限公司 | 氧化物/聚合物 | 国轩高科股份有限公司       | 硫化物     |
| 清陶新能源材料研究院有限公司  | 氧化物/复合物 | 中科深蓝汇泽新能源有限公司    | 聚合物     |
| 赣锋锂业集团股份有限公司    | 氧化物     | 重庆太蓝新能源有限公司      | 氧化物     |
| 辉能科技股份有限公司      | 氧化物     | 上海恩力动力技术有限公司     | 硫化物     |
| 蜂巢能源科技股份有限公司    | 硫化物     | 上海屹锂新能源科技有限公司    | 硫化物     |
| 宁德时代新能源科技股份有限公司 | 硫化物     | 北京高能时代环境技术股份有限公司 | 硫化物     |
| 比亚迪股份有限公司       | 氧化物/硫化物 | 孚能科技股份有限公司       | 氧化物/硫化物 |

资料来源：《固态电池关键材料体系发展研究》、湘财证券研究所

全球参与企业积极推动固态电池技术产业化，半固态电池有望率先实现商业化。据不完全统计，截至 2023 年，全球约有 53 家规模以上企业布局和研究固态电池。除了传统的新能源企业以及车企纷纷布局固态锂电以外，众多初创公司也纷纷成立。目前半固态装车产业化进程正在加速进行，各整车企业与电池厂均已开始积极布局相关技术以促进半固态电池的产业化，2023 年卫蓝新能源、赣锋锂电等企业的固液混合态电池实现批量装车，装车量约 0.8GWh，标志着半固态电池的产业化进程大幅提速。预计半固态电池将在未来几年内实现大规模商业化应用。

全固态电池有望在 2027 年前后开始进行示范性装车应用，2030 年后开始进入商业化应用阶段。综合各相关企业的公开信息，整个产业正朝着“2027 年左右上车、2030 年实现大规模产业化”的目标规划全固态电池的商业化进程。2026-2028 年将成为国内车企固态电池集中量产期，根据相关车企规划，2026 年期间广汽昊铂、东风汽车将实现全固态电池量产装车，2027 年长安新能源汽车将实现全固态电池逐步起量，2028 年东风汽车规划实现全固态车型量产上市。

**表 8 国内外固态电池相关企业产业化进展**

| 公司名称       | 技术路线    | 政策名称 | 主要内容                                                                                                                                               |
|------------|---------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 丰田         | 硫化物     | 2008 | 2020 年 6 月开始为概念车 LQ 配备全固态电池。计划在 2025 年，实现全固态电池的小规模量产；到 2030 年，实现全固态电池持续的、稳定的量产。                                                                    |
| 本田         | 硫化物     | 2017 | 2017 年自研固态电池。计划在 2022 年 3 月底之前通过试生产线验证其全固态产品。目标在 2030 年将该产品商业化。                                                                                    |
| 雷诺-三菱-日产联盟 | 硫化物     | 2017 | 2018 年与丰田日产松下合作研发固态电池，从日本经济产业省获得了 1400 万美元的资金支持。2022 年 1 月宣布在未来五年内向电动汽车投资 230 亿欧元(合 259 亿美元)，作为已有联盟的一部分。除了投资现有技术，该联盟的目标是在 2028 年年中实现全固态电池的大规模商业生产。 |
| 现代         | 硫化物，聚合物 | 2017 | 2017 年投资固态电池初创企业 Ionic Materials。2018 年与三星 SDI 联合投资了 Solid Power。2021 年投资 solid energy systems。                                                    |
| 宝马         | 硫化物     | 2018 | 投资固态电池初创企业 Solid Power。                                                                                                                            |
| 福特         | 硫化物     | 2019 | 投资固态电池初创企业 Solid Power。                                                                                                                            |
| 大众         | 氧化物     | 2018 | 投资固态电池初创企业 1 亿美元，2020 年追加 2 亿美元投资。                                                                                                                 |
| 博洛雷        | 聚合物     | 2008 | 2020 年已获得欧洲 109 辆全固态电池大巴 Bluebus 订单。                                                                                                               |

|                         |         |      |                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------|---------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantum Scape           | 氧化物     | 2018 | 获大众集团(2018 年向该公司投资 1 亿美元)、上汽集团、比尔盖茨等的投资, 2020 年 11 月通过 SPAC 方式上市, 计划 2024 年建立 1GWh 试生产线。                                                                                                              |
| 松下                      | 卤化物     | -    | 与丰田合作研究生产全固态电池, 在中国投资 9.1 亿美元创办 Prime Planet Energy & Solutions 合资公司, 业务包含全固态电池。                                                                                                                      |
| LG                      | -       | -    | 计划 2025 年年底实现锂硫电池商业化, 并在 2025-2027 年间实现全固态电池商业化。                                                                                                                                                      |
| 富士通 FDK                 | 氧化物     | -    | 2920 万美元投资 FDK 开发固态电池, 已启动超小型全固态电池的样品供货。                                                                                                                                                              |
| OHARA                   | 氧化物     | -    | 开发基于玻璃陶瓷 LICGC 的全固态电池。                                                                                                                                                                                |
| 日立造船                    | 硫化物     | -    | 2018 财年在太空领域投入使用, 2020 年后期量产电动汽车。                                                                                                                                                                     |
| 三洋化成工业                  | 聚合物     | -    | 已布局全树脂固态电池, 福井县越前市, 将于 2021 年投产, 总建筑面积约为 8600 平方米                                                                                                                                                     |
| 出光兴产                    | 硫化物     | -    | 2021 年量产固态电池电解质, 2023 年 EV 固态电池试用, 硫化物电解质专利全球第二。                                                                                                                                                      |
| 村田制作所                   | 氧化物     | -    | 滋贺县的工厂投入数亿日元制造全固体电池。                                                                                                                                                                                  |
| Ionic Materials         | 聚合物     | 1982 | 雷诺三菱日产联盟、韩国三星、英国戴森等科技业巨头已集体向 Ionic Materials 投资超过 6500 万美元。                                                                                                                                           |
| Solid Energy Systems    | -       | 2012 | 电池制造商 SES Holdings Pte. 已同意与艾芬豪资本收购公司(Ivanhoe Capital Acquisition Corp.)合并上市, 合并后的公司估值约为 36 亿美元获得福特, A123, 宝马等投资 1.3 亿美元                                                                              |
| Solid Power Battery     | 硫化物     | 2012 | -                                                                                                                                                                                                     |
| BlueSolutions (Bolloré) | 聚合物     | 2012 | -                                                                                                                                                                                                     |
| 三星 SDI                  | 硫化物、聚合物 | -    | 投资 Solid Power, Ionic Materials, 与 LG, SK 合作投入 9000 万美元研发电池技术 2022 年 3 月 14 日分别宣布在其位于京畿道水原市 Yeongtong-gu 的一条占地 6500 平方米的全固态电池试验线“S-Line”动工                                                            |
| 清陶能源                    | 氧化物/复合物 | 2002 | 2002 年创始人团队开始研发固态电池。2018 年建成国内第一条固态电池生产线, 推出的高安全性、高能量密度、柔性化等固态电池产品, 已在特种电源、高端数码等领域成功应用, 在新能源汽车领域先行先试。2022 年 2 月 26 日上午, 总投资 50 亿元的清陶新能源固态锂电池产业化项目在昆山开发区破土动工, 预计此次开工的固态锂电池产业化项目建成投产之后, 将达到 100 亿瓦时年装机量 |
| 赣锋锂业                    | 氧化物     | 2017 | 56Ah 固态锂离子电池, 能量密度 240±5Wh/kg, 循环寿命≥1500 次 10Ah 固态锂金属电池, 能量密度 350±5Wh/kg, 循环寿命≥300 次固态锂电池模组, 能量密度≥210Wh/kg。赣锋锂电已交付东风汽车 50 辆固态电池电动汽车。                                                                  |
| 辉能科技                    | 氧化物     | 2013 | 2013 年实现固态电池量产在台湾建成 1GWh 工厂。2019 年与蔚来汽车达成合作意向。2022 年获得梅赛德斯-奔驰数百万欧元投资, 双方将共同开发下一代电动汽车固态电池电芯。                                                                                                           |
| 蜂巢能源                    | 硫化物     | 2018 | 蜂巢能源的原型样件能量密度达到 350Wh/kg, 通过针刺和 200°C 热箱实验, 预测循环寿命超过 1000 次; 基于果冻电池技术的 NCM 短刀 L600 电池已经成功通过针刺试验, 不起火, 不冒烟, 能量密度达到 230Wh/kg                                                                            |
| 卫蓝新能源                   | 氧化物/聚合物 | 2016 | 2019 年溧阳产线开工, 已于 2020 年 7 月投产。2021 年 5 月公司发明专利突破 200 件 2022 年 2 月 25 日下午, 在山东淄博市齐鲁储能谷开工建设 100GWh 固态锂电池项目, 总投资 400 亿元。                                                                                 |

资料来源:《固态锂电池十年(2011—2021)回顾与展望》、湘财证券研究所

## 3 固态电池应用场景拓展及市场空间

### 3.1 固态电池有望满足多种新兴产业应用场景

新能源汽车领域，离不开电池技术的持续进步，固态锂电池作为下一代电池技术的代表，以其高能量密度、长续航里程和高安全性，成为推动电动汽车行业发展的关键力量。电池能量密度的提升意味着电动汽车能够拥有更长的续航里程，随着技术的不断成熟与成本的逐步降低，固态电池的应用有望显著提升电动汽车的续航能力，减少用户的充电焦虑。

储能系统领域，随着可再生能源的快速发展和智能电网的建设，储能系统成为解决能源供需矛盾、提高能源利用率的关键环节，固态锂电池以其高能量密度、长循环寿命能力，也将成为储能系统的优选电池类型，无论是电网侧的大规模储能项目，还是用户侧的分布式储能系统，固态电池都能提供稳定可靠的能源支持，推动能源行业的绿色转型和可持续发展。

消费电子领域方面，固态电池凭借其高能量密度特性，可以显著提升电池的续航能力从而增加设备的使用时间，显著提升用户体验，采用新技术将成为消费电子各大厂商在激烈市场竞争中提升产品竞争力的核心方式。

航空领域的迅速崛起，特别是 eVTOL(电动垂直起降器)等创新产业的发展，为固态电池提供了更广阔的应用范围。工信部等四部门联合印发的《绿色航空制造业发展纲要(2023-2035 年)》，提出面向城市空运、应急救援、物流运输等应用场景，加快 eVTOL(电动垂直起降器)等创新产品应用，打造新经济增长。而 eVTOL 垂直起飞所需要的动力是地面行驶的数倍，需求电池有更高的能量密度，而固态电池凭借其高能量密度特性也将成为推动新型航空装备的关键力量。

无人机和机器人行业快速发展，为固态电池提供了新的应用市场。无人机和机器人对电池能量密度、安全性要求高，与常规液态电池相比，固态电池凭借其高能量密度与高安全性能，满足对应行业的需求，其市场需求潜力巨大。

### 3.2 固态电池落地场景拓展路线

不同应用场景对固态电池性能和成本的敏感度不同。新兴技术与科研领域追求电池高性能、高安全度，对成本不敏感；载人飞行器、电动汽车和传统消费电子类场景既注重电池能量密度又注重性价比；而储能和工业领域对电池成本的敏感性较高，注重高安全、长寿命、低成本。



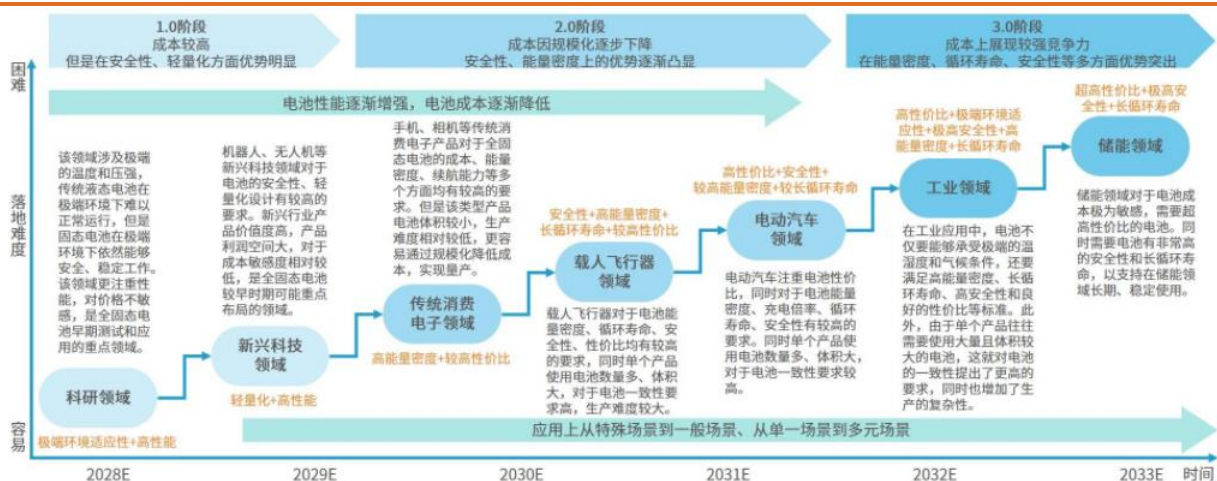
图 17 不同应用场景对固态电池性能和成本敏感度



资料来源：亿欧智库、湘财证券研究所

固态电池的落地场景有望从更加注重性能的特殊场景向成本更加敏感的一般场景拓展。由于短期内材料成本依然较高，固态电池预计最初将在科研和新兴科技领域得到应用，这些领域对电池的安全性和环境适应性有着特别的需求，随着全固态电池的规模化生产，预计其成本会降低，性能将提升，应用范围有望逐渐扩展到传统消费电子、载人飞行器等市场，这些市场对价格的敏感度较低，能够包容较高的新技术溢价，在注重性价比的同时，也对电池性能有较高要求，而在车规领域一些高端或特定需求的电动车型会接受一定溢价，也会搭载固态电池。随着全固态电池技术的成熟和规模化量产带来的成本大幅降低，固态电池将拓展至对成本敏感且安全性要求高的工业和储能领域。在全固态电池实现规模化量产之前，半固态电池的渐进式路线将率先走向商业化。

图 18 固态电池应用场景拓展路线



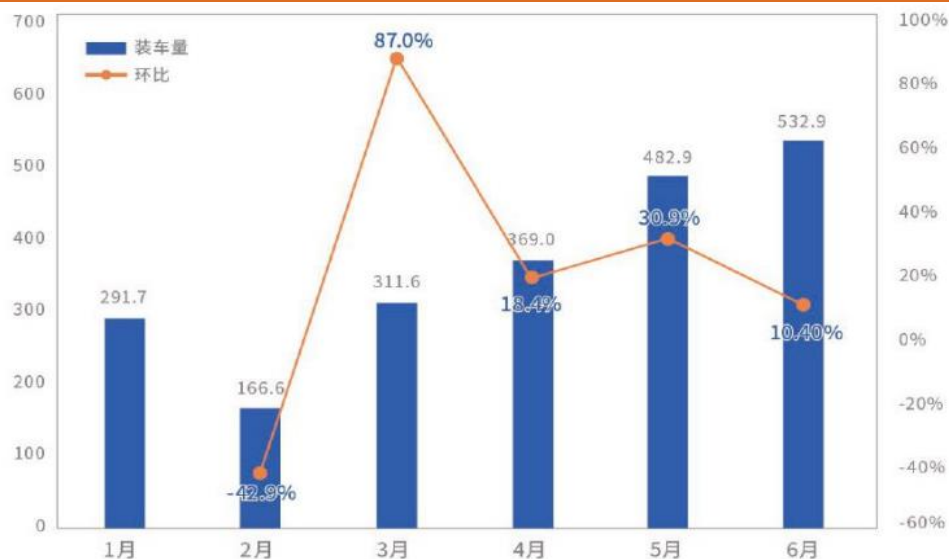
资料来源：亿欧智库、湘财证券研究所



### 3.3 固态电池市场空间广阔

近年来在新能源汽车市场的推动下,全球固态电池出货量持续增长。2023 年全球固态电池出货量约为 1GWh, 主要以半固态电池为主。根据中国汽车动力电池产业创新联盟的统计数据, 2024 年初以来, 我国半固态电池的装车量公布的数据显示, 半固态电池 6 月份的装车量为 532.9MWh, 环比增长 10.4%; 1-6 月累计装车量为 2154.7MWh, 超过 2023 年全年全球固态电池出货量。

图 19 2024 年 1-6 月我国半固态电池月度装车量及环比增速(单位:MWh)



资料来源: 中国汽车动力电池产业创新联盟、《固态锂电池技术发展白皮书》、湘财证券研究所

根据 EVTank 发布的《中国固态电池行业发展白皮书(2024 年)》预计, 2024 年全球固态电池出货量将达到 3.3GWh, 到 2030 年全球固态电池的出货量将达到 614.1 吉瓦时, 在整体理锂电池中的渗透率预计在 10%, 全球市场规模将超过 2500 亿元。

图 20 2023-2030 全球固态电池出货量



资料来源: EVTank、中商产业研究院、湘财证券研究所

根据中商产业研究院数据,2023 年中国固态电池的市场空间达到约 10 亿元,预计 2024 年中国固态电池市场空间将达到 17 亿元,2030 年将增至 200 亿元。

图 21 2023-2030 年中国固态电池市场空间



资料来源: 中商产业研究院、湘财证券研究所

## 4 投资建议

固态电池满足下游领域对电池性能不断提升的需求,其在多个新兴产业领域具备应用拓展空间。随着未来几年量产节点的到来,其市场增长空间较为广阔,有望重塑锂电池关键材料体系,在关键材料有布局或与具备核心技术优势、率先占据产业化优势企业有战略合作的相关公司有望受益,此外关键电池材料体系的变更亦有望为上游相关资源需求带来增量。建议关注在新型正极材料有研发布局先发优势、具备固态电解质核心技术、与具备固态电池量产扩张规划企业有战略合作以及上游具有钴、铜及钛资源优势的相关企业。维持对锂电材料行业“增持”评级。

## 5 风险提示

产业化进程不及预期风险,政策变动风险,行业技术突破不及预期风险,固态电池下游需求拓展不及预期风险。

## 分析师声明

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以独立诚信、谨慎客观、勤勉尽职、公正公平准则出具本报告。本报告准确清晰地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

## 湘财证券投资评级体系（市场比较基准为沪深 300 指数）

**买入：**未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；

**增持：**未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；

**中性：**未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；

**减持：**未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%以上；

**卖出：**未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上。

## 重要声明

湘财证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会核准，取得证券投资咨询业务许可。

本研究报告仅供湘财证券股份有限公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告由湘财证券股份有限公司研究所编写，以合法地获得尽可能可靠、准确、完整的信息为基础，但对上述信息的来源、准确性及完整性不作任何保证。湘财证券研究所将随时补充、修订或更新有关信息，但未必发布。

在任何情况下，报告中的信息或所表达的意见仅供参考，并不构成所述证券买卖的出价或征价，投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失书面或口头承诺均为无效。本公司及其关联机构、雇员对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。投资者应明白并理解投资证券及投资产品的目的和当中的风险。在决定投资前，如有需要，投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，我公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告版权仅为湘财证券股份有限公司所有。未经本公司事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“湘财证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。