

中国平安 PINGAN

专业 · 价值

专业 让生活更简单

证券研究报告

固态电池全景图：方兴未艾，技术竞逐

证券分析师

张之尧 投资咨询资格编号：S1060524070005

皮 秀 投资咨询资格编号：S1060517070004

电力设备及新能源 强于大市（维持）

2025年3月11日

请务必阅读正文后免责条款

平安证券

要点总结

- **固态电池：突破电池性能瓶颈的重要技术，前景可期。** 固态电池是采用固态电解质的锂离子电池。固态电解质热稳定性和电化学稳定性优于常见的电解液，使其理论上可适配更高能量密度的正负极材料体系，并实现更高的本征安全性，因此，固态电池有望突破现有液态锂电池材料体系的性能瓶颈。根据固态电解质的不同，固态电池技术路线可分为硫化物/氧化物/聚合物/卤化物等路线；其中氧化物和聚合物路线存在“半固态”的过渡方案。固态电池前景广阔，我国政策端重视固态电池路线发展，国内电池企业在硫化物全固态电池、氧化物全固态和半固态电池方面均有布局。
- **需求端：动力、消费、低空等领域潜力出色。** 当前的技术阶段，固态电池产品能量密度和安全性优于液态电池，但循环寿命和充放倍率较差，且成本更高。全球锂电池主要用于动力、消费、储能三大场景，各场景对电池性能的要求各有侧重。动力和消费电池注重能量密度和安全性，固态电池推广潜力相对较好；储能场景更注重循环寿命和成本，固态电池的比较优势尚不明显。除三大传统场景外，低空飞行器、人型机器人等新场景正逐渐兴起。eVTOL和人形机器人面临轻量化和续航挑战，对电池能量密度的要求大幅提高，固态电池的发展有望成为其产业化的重要助力，而新应用领域的崛起也将为固态电池提供广阔的新市场。
- **供给端：技术与日俱进，产业链百舸争流。** 固态电池作为下一代锂电池技术，其材料体系将不断革新，向更高能量密度迈进，材料迭代路径大致遵循“固态电解质→新型负极→新型正极”的顺序。固态电解质多种路线并行，领先企业侧重硫化物方向；负极材料正从传统石墨向硅基负极过渡，远期将向锂金属过渡；正极材料目前以高镍三元为主，远期富锂锰基、高压镍锰酸锂等新型正极有望得到应用。**电池企业**凭借对电池系统和量产工艺的理解，成为固态电池研发和材料体系革新的牵头者，国内企业已公布的全固态电池量产规划集中于2027-2030年。**电解质环节**，材料企业布局硫化物和氧化物路线，多数处于中试阶段，计划逐步向量产过渡。**负极材料环节**，硅基负极产业化在即，有望在液态和固态电池中逐步渗透，参与者已有千吨级量产产能布局。**正极材料环节**，主要企业针对固态电池的超高镍三元产品已处于认证阶段。**导电剂环节**，碳纳米管或将成为固态电池的重要添加剂，并有望受益于液态电池快充需求和电极材料迭代趋势，前景可期。**设备环节**，固态电池量产工艺尚未定型，设备路线亦不固定，锂电设备企业积极开发干法电极设备、固态电解质成膜设备等关键设备，并力求提供整线解决方案。
- **投资建议：技术进步推动、低空等新场景拉动下，固态电池方兴未艾、前景可期。** **电池环节**，电池企业是固态电池研发和材料体系革新的牵头者，推荐技术实力领先的宁德时代；固态电池产业化稳步推进的鹏辉能源。**材料环节**，建议关注扎实布局硫化锂及硫化物电解质的恩捷股份；硅基负极技术和产能布局领先的贝特瑞；碳纳米管赛道市占率领先的天奈科技。**设备环节**，建议关注具有固态电池整线供应能力的先导智能。
- **风险提示：** 1.固态电池技术突破不及预期的风险。2.固态电池量产进度不及预期的风险。3.固态电池下游应用推广不及预期的风险。

国内固态电池产业链参与者图谱

◆ 国内固态电池产业链参与者图谱



资料来源：各公司公告、官网，平安证券研究所

橙色字体为非上市公司，黑色为上市公司。
截至2025年3月5日。



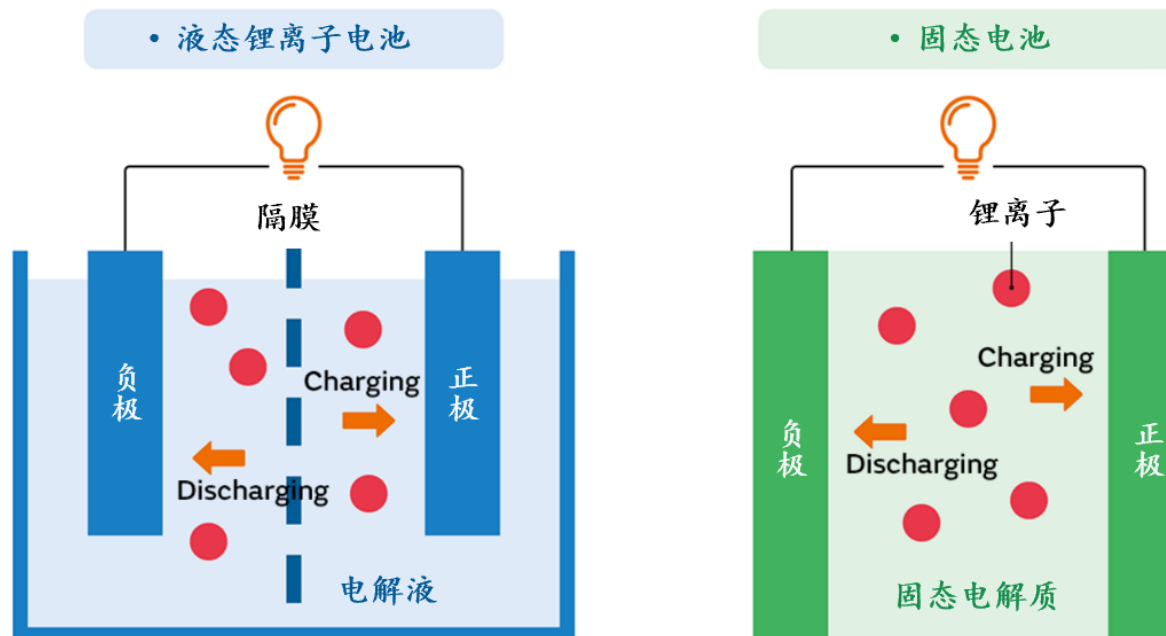
目录CONTENTS

- ① 一、固态电池概述：突破电池性能瓶颈的重要技术
- 二、需求端：动力、消费、低空等领域潜力出色
- ② 三、供给端：技术与日俱进，产业链百舸争流
- ③ 四、投资建议及风险提示

固态电池：采用固态电解质的锂离子电池

- **固态电池主要指采用固态电解质的锂离子电池。**全固态电池（All-solid-state batteries，ASSBs）是指电解质和正负电极均呈固态的锂离子电池。全固态电池由正极材料、固态电解质和负极材料组成，不含任何液态组份。传统的液态锂离子电池由正负极、电解液与隔膜构成，其中主要的液态组分是电解液，因此，全固态电池与传统锂电池的主要区别在于电解质，采用固态电解质替代了锂离子电池中的电解液和隔膜。
- **电解质（及隔膜）在锂电池中承担导通锂离子、隔绝电子的作用。**
 - 锂电池的工作原理基于锂离子在正负极之间的嵌入/脱出过程，以及电解质中锂离子的传输。充电时，锂离子从正极脱出，通过电解液与隔膜迁移到负极并嵌入；放电时则相反。
 - 电解液是锂离子在正负极之间传输的介质，隔膜则充当正负极之间的绝缘层，防止两极间短路。电解液与隔膜允许锂离子通过，并阻止电子直接通过，确保电化学反应的有序进行。
 - 固态电池中，固态电解质替代了液态锂电池的电解液与隔膜部分，起到传输锂离子、隔绝正负极的作用。

◆ 固态电池和液态电池的构成比较



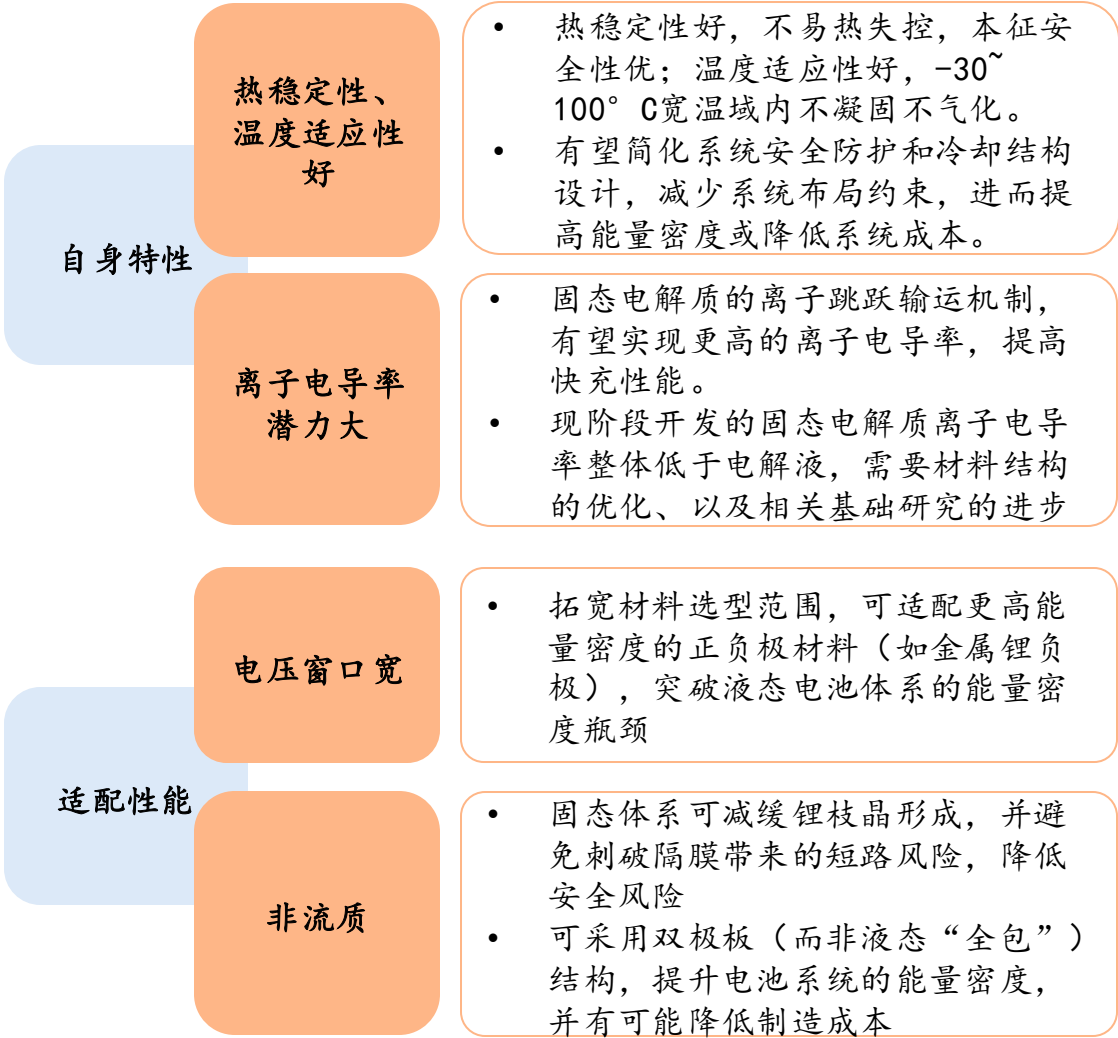
固态电池有望成为突破锂电池性能瓶颈的关键技术

- **固态电池有望成为突破锂电池性能瓶颈的关键技术。**应用端对锂电池性能的要求主要包括能量密度、安全性、循环寿命、充放倍率、环境适应性等。锂电池是一个复杂系统，各类材料选型和结构设计互相牵制，共同决定了电池性能上限。固态电解质热稳定性和电化学稳定性优于常见的电解液，使其理论上可适配更高能量密度的正负极材料体系，并实现更高的本征安全性。因此，固态电池有望突破现有液态锂电池材料体系的性能瓶颈。

◆ 锂电池的性能迭代要求及影响因素

能量密度	正负极材料比容量；工作电压； 电解质可适配的电压范围；电解质的体积和形态；电池尺寸和结构
安全性	电解液的化学稳定性；正极材料的热稳定性和化学稳定性；负极锂枝晶问题的控制；安全装置和封装设计
循环寿命	正/负极和电解质材料自身的稳定性；SEI膜的稳定性；电池结构和封装设计；温湿度等环境因素；充放电策略和BMS等使用因素
充放倍率 (快充性能)	负极材料脱嵌速度；电解液浓度和电导率；隔膜厚度和孔隙率；极耳设计和叠片结构等

◆ 固态电解质的优势及潜力



资料来源：EETimes China，中国电子企业协会，CNKI，21ic电子网，新材料在线，前瞻产业研究院，平安证券研究所

固态电池技术路线：电解质包括硫化物/氧化物/聚合物等路线

- 根据固态电解质的不同，固态电池主要可分为以下几类：
- 硫化物固态电池：**使用无机硫化物材料作为电解质。硫化物电解质锂离子电导率高，接近传统电解液的水平。硫化物固态电池理论能量密度和倍率性能最优，成为电池和材料厂商主攻的路线选择；但现阶段成本较高，且稳定性和安全性有待提升。
- 氧化物固态电池：**使用氧化物材料作为电解质，离子电导率介于硫化物和聚合物之间，化学稳定性好，但主要难点在于界面阻抗较大和加工性能差。现存的半固态电池技术方案主要采用氧化物电解质，通过保留少部分电解液，改善界面问题。此外，复合固态电解质（氧化物与聚合物复合）的技术路线也存在发展潜力，可综合两者优势，并做到扬长避短。
- 聚合物固态电池：**使用有机高分子材料作为电解质。加工性能和界面性能较好，但室温下离子电导率较低，且电化学窗口窄，推广受到限制。
- 卤化物全固态电池：**电压窗口宽、循环性能好，但离子电导率低，目前发展阶段较早，处于实验验证阶段。

◆ 固态电池分类

	硫化物固态电池	氧化物固态电池	聚合物固态电池
电解质材料	LPS体系：LiGSPS LPGS体系： LiSnPS/LiSiPS	晶态： NASICON/LLZO/LLTO 非晶态：LiPON	聚氧化乙烯(PEO)/聚丙烯腈(PAN)/聚硅氧烷(PS)/聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)等聚合物电解质+其他
电解质离子电导率	LiSnPS、LiGSPS: 10^{-3} - 10^{-2} S/cm	NASICON: 10^{-4} S/cm; LLZO: 10^{-6} - 10^{-5} S/cm; LLTO: 10^{-5} - 10^{-3} S/cm	PEO: 10^{-7} - 10^{-6} S/cm; PAN、PS: 10^{-5} - 10^{-4} S/cm
电化学窗口	较宽(0-5V)	宽(0-5.5V)	较窄(0-4V)
界面阻抗	大	很大	较大
界面相容性	低	高	高
热稳定性	高	高	高
空气稳定性	较差(水解生成H ₂ S)	高	高
能量密度	预期达900Wh/kg	预期达700Wh/kg	预期达600Wh/kg
材料优势	高离子电导率；固-固接触好；能量密度高；倍率性能好	稳定性高，安全性好	电解质软，固-固接触好；成本低；工艺设备成熟
技术难点	电解质稳定性差；成本高；电池生产环境要求高（对空气敏感）	离子电导率低；固固接触差；电池倍率性能差；机械加工容易脆裂	常温离子电导率低；循环寿命较短；热稳定性差；电化学窗口窄

资料来源：前瞻产业研究院，新材料在线，平安证券研究所

半固态电池：氧化物或聚合物固态电池的过渡路线

- 半固态电池是固态电池的过渡路线，在电池中引入固态电解质的同时保留少量电解液，主要包括氧化物、聚合物路线。常见的固态电解质中，氧化物和聚合物电解质均存在“离子电导率低”和“界面接触差”的问题，因此部分参与者推出半固态电池作为过渡路线，保留一部分电解液浸润固态电解质，以改善离子电导率和界面接触情况。硫化物电解质的离子电导率较高，接近电解液，且界面接触较好，因此通常不采用半固态路线过渡。
- 半固态电池作为介于传统液态锂离子电池和全固态电池之间的技术，具有自身的优势和劣势。半固态电池与传统工艺的兼容性较好，产业化难度低于全固态电池，产线改造等理论成本低于全固态电池（但高于液态电池）；与液态电池性能相比，半固态电池的能量密度和安全性均有提升，但固态电解质目前仍面临界面不稳定和机械应力等问题，导致循环寿命和快充性能弱于液态电池，技术和工艺仍需进一步突破。

◆ 半固态、全固态与液态锂离子电池的比较

特性	液态锂离子电池	半固态电池	全固态电池
液态含量（%）	25%	5~10%	0%
材料构成	正极+负极+隔膜+电解液	正极+负极+隔膜+复合电解质	正极+负极+固态电解质
电解质选择	电解液	氧化物/聚合物固态电解质+电解液	硫化物/氧化物/聚合物/卤化物
封装形态	卷绕/叠片+圆柱/方形/软包	叠片+方形/软包	叠片+方形/软包
优势	技术成熟，已大规模量产；循环寿命和快充性能好	能量密度、安全性较液态电池有一定提升；与传统工艺兼容性较好，产业化难度低于全固态电池	能量密度有望进一步提升；本征安全性较液态和半固态电池大幅提升
局限	能量密度可能面临发展瓶颈	循环寿命和快充性能较液态电池有所下降；成本高于液态电池；固液电解质并存导致热管理问题更复杂、难度更大；难以完全避免锂枝晶问题	尚未产业化，面临界面相容性、电解质性能、材料适配等问题，工艺有待成熟

资料来源：前瞻产业研究院，真锂研究《固态锂电池技术发展白皮书》，平安证券研究所

海外各国研发规划和技术路线

- 日韩、欧美均大力发展固态电池产业。全球固态电池产业主要分布在中国、日本、韩国、欧洲、美国等国家和地区。日韩固态电池产业起步较早，布局路线以硫化物居多；欧洲最早推动聚合物固态电池商业化应用，不同国家企业布局路线各有不同，欧洲车企主要通过美国的电池初创企业进行合作开发全固态电池技术。美国固态电池参与者以初创公司为主，各技术路线均有布局，选择氧化物路线发展的企业较多。

海外固态电池发展规划

美国	2021年6月，美国发布《锂电池国家蓝图（2021-2030）》，提出到2030年实现固态电池、锂金属电池规模化量产，能量密度达到500Wh/kg。 2023年9月，美国发布《国家实验室征求加强国内固态和液流电池制造能力的建议》，宣布为5个项目投入1600万美元，以提升国内固态电池制造能力。
欧洲	2021年，《2030电池创新路线图》发布，提出固态电池作为第四代动力电池应用于新能源汽车，并提出提前布局回收制度。 2022年，《固态电池技术路线图2035+》发布，详细讨论了固态电池各发展路线的现状和前景
日本	2020年《2050年碳中和绿色增长战略》强调了全固态电池和创新电池的应用。 2022年9月，日本发布《蓄电池产业战略》，力争在2030年左右实现全固态电池的全面商业化
韩国	2021年7月，《K电池发展战略》发布，提出要提供税收优惠，推动2027年全固态电池实际商业化应用。 2022年11月，《充电电池产业革新战略》发布，目标是2030年韩国电池全球市占率达到40%以上。

国外典型企业的固态电池技术路线

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

资料来源：前瞻产业研究院，CNKI，平安证券研究所

国内固态电池研发规划和技术路线

- 国内政策端鼓励固态电池发展。**我国是全球锂电池产业链重要的参与者，锂电池生产规模全球领先，产业链布局完整。国内重视锂电池新技术路线的发展，政策端亦多次提及固态电池产业发展。2024年5月，中国储能网等多家媒体引用中国日报报道称，我国或将投入约60亿元用于全固态电池研发，宁德时代、比亚迪、一汽、上汽、卫蓝新能源和吉利六家企业有望获得基础研究支持。
- 我国企业布局路线多样，氧化物半固态过渡路线亦有布局。**从固态电解质路线来看，我国企业三种固态电解质路线均有布局，涵盖硫化物和氧化物领域；开发全固态电池的同时，也在发展半固态电池作为过渡路线。

◆ 我国固态电池产业发展相关政策及规划

时间	名称	发布主体	内容
2020.1	《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》	国务院办公厅	首次将固态电池明确为新能源汽车产业的重点发展方向，强调加速固态电池研发与产业化进程。
2023.1	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	工信部等六部门	研究突破超长寿命高安全性电池体系、大规模大容量高效储能、交通工具移动储能等关键技术，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。
2024.2	《超越传统的电池体系重大研究计划2024年度项目指南》	国家自然科学基金委员会	将“高比能长寿命高安全的全固态电池”列为重点开发项目之一。

◆ 我国固态电池主要参与企业技术路线布局

公司名称	半固态电解质技术路线	全固态电解质技术路线
宁德时代	凝胶	硫化物等
比亚迪	-	硫化物、卤化物
亿纬锂能	聚合物	硫化物+卤化物复合
国轩高科	氧化物	氧化物
赣锋锂业	氧化物	氧化物（LLZO、LATP、LLTO）
蜂巢能源	凝胶	硫化物
太蓝新能源	氧化物	氧化物、硫化物、聚合物
清陶能源	氧化物	氧化物（LLZO、LLTO）、聚合物、卤化物
卫蓝新能源	氧化物	氧化物、聚合物
辉能科技	氧化物	氧化物

资料来源：中国政府网，真锂研究《固态锂电池技术发展白皮书》，平安证券研究所

注：右表整理自真锂研究《固态锂电池技术发展白皮书》相关内容，各参与者技术路线可能并未完全确定，在多个方向均有研发布局，实际技术路线以企业自身披露为准。



目录CONTENTS

- ① 一、固态电池概述：突破电池性能瓶颈的重要技术
- ② 二、需求端：动力、消费、低空等领域潜力出色
- ③ 三、供给端：技术与日俱进，产业链百舸争流
- ④ 四、投资建议及风险提示

固态电池需求：不同场景需求各有侧重，动力、消费和新领域应用潜力好

- 不同应用场景对锂电池的性能需求各有侧重。**现阶段，锂离子电池主要应用于动力、消费、储能三大场景。三类场景对锂电池的性能要求各有侧重，参考工信部《锂离子电池行业规范条件（2024年本）》的性能参数要求，可看出：大动力电池注重质量能量密度和功率密度；消费电池注重质量和体积能量密度；储能电池更强调循环寿命，对能量密度的要求相对放低。
- 固态电池在动力、消费和新领域有应用潜力。**与液态锂离子电池相比，固态电池在能量密度和本征安全性上有所提升，但循环寿命相应下降，因此在注重能量密度和安全性的动力和消费领域推广潜力相对较好。此外，低空飞行器、人型机器人等新场景有望逐渐兴起，这些场景对能量密度要求更高，价格敏感性相对较低，也有望成为固态电池应用的优质场景。

◆ 不同应用场景对电池性能的要求

	场景需求	电池性能要求
动力电池	续航；动力性能；快充性能；安全性	高能量密度和功率密度；高充放倍率；安全性
消费电池	电子设备轻量化和续航；快充性能；安全性	质量和体积能量密度要求最高；高充放倍率；安全性
储能电池	大容量、频繁深度充放，控制LCOE需要电池具有长循环寿命和低成本；大规模装机更需要防范热失控风险	循环寿命、容量保持率、安全性、低成本
低空飞行器	轻量化、动力性能；价格敏感度相对较低	高功率密度、高能量密度（质量和体积能量密度）
人形机器人	续航、轻量化；安全性	高能量密度（质量和体积能量密度）；安全性

◆ 《锂离子电池行业规范条件（2024年本）》对各类电池的性能要求

	指标	消费电池	动力电池	储能电池	固态电池*
单体能量密度	Wh/kg	≥260	小动力：≥140 大动力能量型（三元）：≥230 大动力能量型（其他）：≥165	≥155	≥300
电池组能量密度	Wh/kg	≥200	小动力：≥110 大动力能量型（三元）：≥165 大动力能量型（其他）：≥120	≥110	≥260
体积能量密度	Wh/L	≥650（聚合物单体）	-	-	-
功率密度	W/kg	-	大动力功率型：单体：≥1500；电池组：≥1200	-	-
单体循环寿命	次	≥800	小动力：≥1000 大动力：≥1500	≥6000	-
电池组循环寿命	次	≥800	小动力：≥800 大动力：≥1000	≥5000	≥1000
容量保持率	%	≥80	单体/电池组：≥70（小动力） 单体/电池组：≥80（大动力）	≥80	≥80

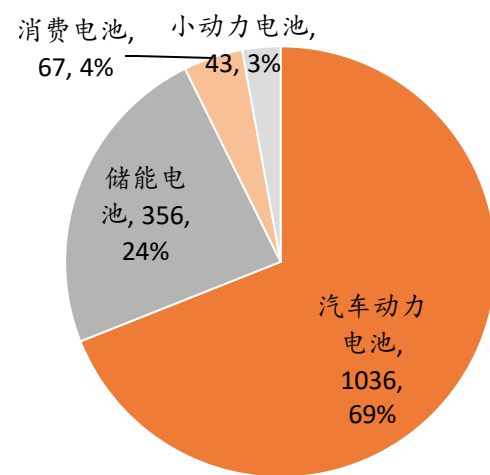
资料来源：前瞻产业研究院，工信部《锂离子电池行业规范条件（2024年本）》，平安证券研究所

*仅文件修订草稿（2024.2）中有固态电池相关内容，2024.6发布的正式稿不含此部分内容。固态电池技术仍处于研发迭代阶段，此列仅作为现阶段性能的参考，不构成现行规范。

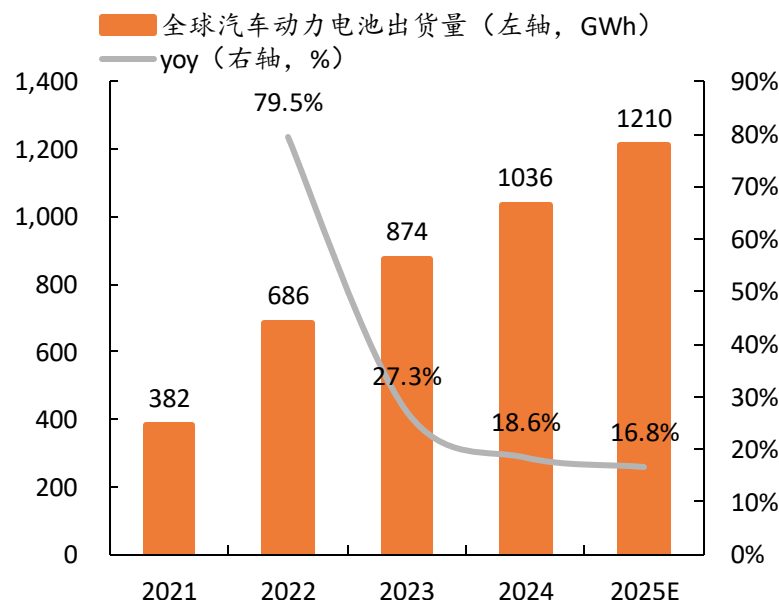
动力电池：现阶段锂电池需求规模最大的场景，固态电池有望渗透

- 汽车动力电池是全球锂电池应用的主要场景，规模较大。根据起点锂电数据，2024年全球汽车动力电池出货量1036GWh，同比增长18.6%；汽车动力电池出货量占全球锂离子电池出货量的69%，市场体量较大，固态电池应用的潜在空间广阔。
- 从终端使用的角度，全固态/半固态电池在性能方面有得有失，固态电池或将在高端车等特定场景率先渗透。车端用户对动力电池的需求主要包括续航、动力性能、循环寿命、充放倍率等。与液态锂电池相比，固态电池的能量密度（续航）和安全性有望得到较大幅度提升，但由于材料特性和技术成熟度限制，半固态/全固态电池的充放倍率和循环寿命表现可能弱于较为成熟的液态电池。固态电池在车端推广应用，需要界面问题进一步得到处理，并权衡能量密度和充放/循环性能的增减、成本的上升。高端车领域，用户对能量密度和安全性要求较高，对成本、循环寿命的敏感度相对下降，高端车或将成为固态电池率先渗透的场景。

◆ 2024年全球锂离子电池出货量结构（GWh，%）



◆ 全球汽车动力电池出货量及增速



◆ 固态电池用作汽车动力电池的性能优劣势比较

能量密度
(续航性能)

- 固态电解质电化学窗口宽，可适配能量密度更高的正负极材料，如使用硅碳负极；
- 可采用叠片和双极板结构，进一步提升能量密度。

安全性

- 固态电解质的热稳定性好，降低热失控风险；化学稳定性整体优于电解液；
- 全固态体系可减缓锂枝晶形成，并避免刺破隔膜带来的短路风险。

循环寿命

- 固态电池技术尚未成熟，界面接触问题有待解决，固-固界面接触不良和电极材料体积膨胀问题会导致电池循环性能下降，影响循环寿命。

充放倍率
(快充性能)

- 固态电解质的离子传输机制相对复杂，现阶段离子电导率低于电解液，影响充电速率。
- 固态电解质与电极材料的界面处，离子传输速度可能受到限制，导致快充性能不佳。

资料来源：起点锂电，前瞻产业研究院，真锂研究《固态锂电池技术发展白皮书》，EETimes China，平安证券研究所

动力电池：国内外车企积极布局固态电池

- 国内外车企积极布局固态电池。**固态电池作为发展潜力充足的下一代电池技术，国内外车企及电池企业均早有布局。2025年2月，中国全固态电池创新发展高峰论坛成功举行，比亚迪、一汽、广汽等企业公开了全固态电池研发进展及装车规划，引起业内对固态电池的关注。从车企规划来看，国内多家车企有望于2026-2027年装车验证全固态电池，2030年前后进入量产阶段；预计推出的电池能量密度在400Wh/kg。

◆ 国内车企全固态电池装车规划

信息发布时间	车企名称	技术路线	能量密度/(Wh/kg)	装车验证时间	量产时间	合作电池企业
2025.2	比亚迪	硫化物复合电解质+高镍三元单晶正极+硅基负极	400	2027	2030	-
2025.2	中国一汽	硫化物/卤化物电解质+高镍三元单晶正极+纯硅或硅碳负极	400	2027	2030年前后	-
2025.2	广汽集团	基于硫化物或聚合物的多元复合电解质（两条路线并进）+第三代海绵硅负极+高镍三元正极	400	2026		-
2025.2	长安汽车	氧化物电解质（LLZO）	400	2026	2027年起推动	太蓝新能源
2024.5	上汽集团	氧化物电解质	400	2025	2026	清陶能源

资料来源：前瞻产业研究院，真锂研究，NE时代新能源，电池百人会，起点锂电，平安证券研究所

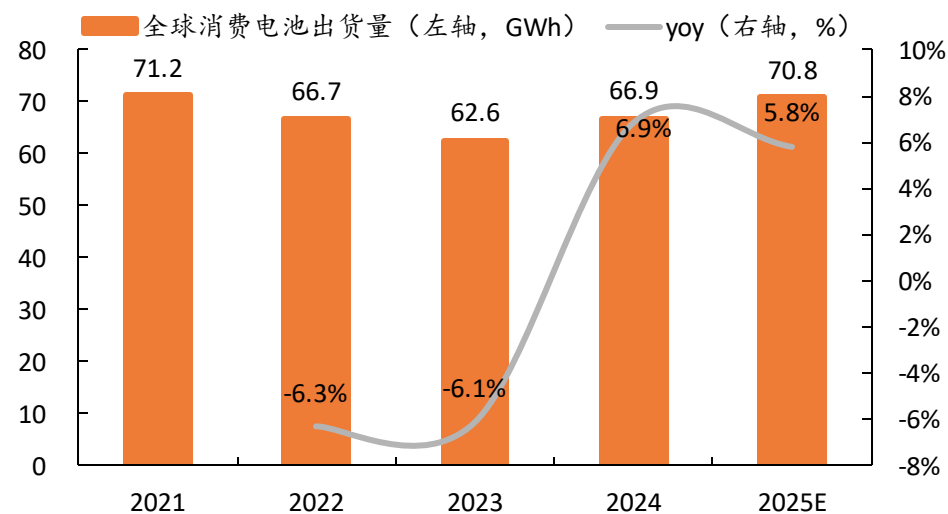
◆ 海外车企固态电池研发布局

车企名称	研发布局
丰田	2010-2014年，丰田出现了一波固态电池相关专利申请潮，主要集中在对硫化物体系固态电解质进行研究。计划在2025年推出配备先进固态电池的电动汽车，并在2026年开始实施固体电池生产
日产	2017年，宣布自研固态动力电池。计划在2025年3月开始生产全固态电池，并在2028年实现量产。
现代	2017年，宣布正在自主研发固态电池，并已建立中试生产设施。2020年7月，投资Ionic Materials公司，主要进行固态电池研发工作，预计2025年可实现固态电池量产。
通用	2019年宣布，关于固态电池的研发将在美国密歇根州通用汽车的沃伦技术中心进行。
福特	投资美国固态电池初创公司Solid Power，合作研发全固态电池。2019年投资入股，2021年扩大出资。
雷诺	雷诺-日产-三菱联盟投资电池公司Ionic Materials研发固态电池；可能在2025年试应用于旗下电动汽车。
大众	2018年投资QuantumScape，2024年，大众汽车集团旗下电池公司PowerCo和QuantumScape达成协议，以推动下一代固态锂金属的工业化电池技术。
宝马	和Solid Power在固态电池方面深度合作，同时自建电芯研发中心，研发固态电池技术，计划在2025年左右推出第一辆固态电池原型车。

消费电池：固态电池应用的潜在场景，渗透的成本阻力较小

- 消费电池是固态电池应用重要的潜在场景。根据起点锂电数据，2024年全球消费锂电池出货量66.9GWh，同比增速6.9%，2024年出货量占全球锂离子电池出货量的4%。消费电池主要用于电脑、手机等电子产品，通常采用钴酸锂电池。用户对电子设备的轻量化和续航有升级需求，对安全性能也有较高要求。固态电池能量密度高，安全性和低温性能优良，存在渗透潜力。
- 消费电池在终产品中的成本占比较小，固态电池渗透的成本阻力相对较小。固态电池的材料和工艺成本高于液态锂电池，成本或将成为短期内限制其应用的因素之一。电池成本在电子设备中的成本占比低于在汽车中的占比，固态消费电池应用的成本阻力或将小于固态动力电池。以手机为例，iPhone 16 Pro Max的BOM成本中电池约占3%（来源：TD Cowen）；而动力电池成本占电动汽车成本的比重通常在30%-40%（来源：ATC汽车技术平台）。2024年，vivo发布数款搭载半固态电池的手机产品；华为、苹果亦宣称在固态电池领域有研发布局。随着固态电池技术逐步发展、以及电子产品的更新换代，固态电池有望在消费电池领域逐步渗透。

全球消费电池出货量及增速



资料来源：起点锂电，维科网，固态芯视角，真锂研究，科技清单，平安证券研究所

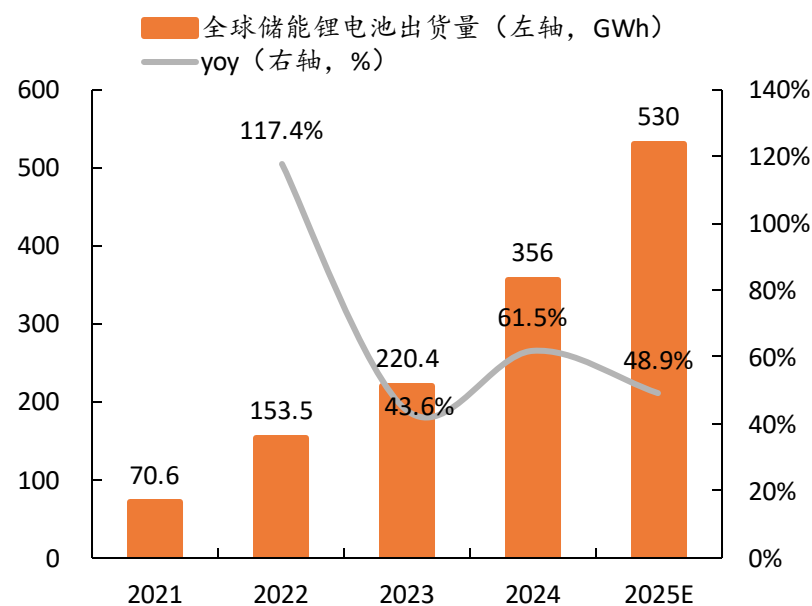
手机厂商固态电池研发或应用进展

厂商	进展
vivo	2024年3月推出vivoXFold3系列折叠屏手机，采用5500mAh（XFold3）/5700mAh（XFold3Pro）半固态电池。 2024年12月推出S20系列新机，采用6500Ah半固态电池。vivo S20采用第三代硅负极电池技术，能量密度达到838Wh/L，加之堆叠工艺的升级，7.19mm机身装入了6500mAh电池。
华为	2024年11月，华为公布最新的硫化物固态电池专利，名称为《掺杂硫化物材料及其制备方法、锂离子电池》。
苹果	早在2012年，苹果就开始积极布局全固态电池技术的专利，希望将其应用于自身电子设备中。 2024年6月，苹果主要电池供应商之一TDK宣布开发出一种全新的固态电池材料CeraCharge。这一新材料脆性较大，短期难以在手机等产品中应用，后续或将在蓝牙耳机、智能手表等小型电子设备中先行验证。

储能电池：固态电池现阶段比较优势不足，仍需性能提升和成本降低

- **储能电池是锂电池重要的需求场景，增速较高。**根据起点锂电数据，2024年全球储能锂电池出货量356GWh，同比增速61.5%，2024年出货量占全球锂离子电池出货量的24%。全球可再生能源装机占比提升的趋势下，储能系统作为电力系统的灵活性资源受到重视，储能装机仍有望呈现增势，带动储能锂电池需求增长。
- **现阶段，固态电池在储能场景下的优势尚不明显。**储能电池用于电力系统中电能的大规模存储和释放，充放成本和安全性是核心要求。参照《锂离子电池行业规范条件（2024年本）》相关规定，储能锂电池的能量密度要求往往低于消费和动力电池，而循环寿命和低成本要求更高。现阶段固态电池技术尚待成熟，界面问题有待进一步解决，因此循环寿命表现相对不佳，同时成本也有待降低。因此，与储能系统广泛使用的磷酸铁锂电池相比，现阶段固态电池在储能场景中的优势可能并不明显。

◆ 全球储能锂电池出货量及增速



资料来源：起点锂电，工信部《锂离子电池行业规范条件（2024年本）》，平安证券研究所

◆ 储能场景对锂电池的需求

购置成本	储能电池生命周期内充放电的单位成本（LCOS）需尽可能降低。LCOS由电池购置成本和循环寿命等因素共同决定。购置成本越低，LCOS越低。
循环寿命	- 循环寿命是LCOS的决定因素之一，电池循环寿命越长，LCOS越低。 - 储能电站理论上需要较频繁（每日）深度充放，且固定式电站有使用年限要求，循环寿命要求较高。《锂离子电池行业规范条件（2024年本）》要求储能电池单体循环寿命≥6000次，高于汽车动力（≥1500次）和消费电池（≥800次）的标准。
安全性	大储电站所用的锂电池单体容量大，大电芯散热相对困难，热管理问题更为严苛；同时，大储电站中电池数量庞大，单个电芯的热失控可能带来连锁反应，产生火灾的严重后果。因此，锂电池本征安全性极为重要。
能量密度	- 电池能量密度提升，有助于减少用地面积，节省储能电站建设成本。 - 但相对消费电池和动力电池而言，储能系统对能量密度的要求较低，《锂离子电池行业规范条件（2024年本）》要求储能电池单体能量密度≥155Wh/kg，大幅低于汽车动力（三元≥230Wh/kg）和消费电池（≥260Wh/kg）的标准。

储能电池：固态电池作为前瞻性技术，储能应用前景依然可期

- 从技术前景来看，固态电池存在循环寿命大幅提升的可能性。现阶段，固态电池中的界面接触问题有待解决，导致循环寿命表现并不突出。理论上，固态电解质自身理化性质稳定，可避免液态电池中出现的电解液分解或副反应等问题，从而减缓材料衰减，优化寿命表现。若克服界面问题，固态电池的循环寿命有望大幅超过液态电池。例如，北京大学庞全全团队开发的新型玻璃相硫化物固态电解质，通过引入碘元素优化界面反应，显著提高了电池的循环稳定性。这种设计使得固态锂硫电池的循环寿命超过25,000次，远高于传统液态锂离子电池的3,000次左右。
- 现阶段，固态储能电池主要作为前瞻技术储备，政策端予以重视。储能产业要实现高质量发展，技术的持续进步不可或缺。我国高度重视固态电池作为新型储能技术路线的发展潜力，已推出多项政策文件，支持固态电池作为储能技术的研发和示范应用。长远来看，随着固态电池研发持续推进，性能和成本进一步得到优化，固态电池亦有望在储能领域逐步渗透。

◆ 影响固态电池循环性能的因素

物理性质和热稳定性	相比液态电解质，固态电解质不易挥发、不易泄漏，且适应宽温域运行。液态电池在高等极端情形下寿命会出现衰减，而固态电池表现相对较好。
副反应控制	固态电解质化学稳定性高，避免了液态电解质在循环过程中因分解产生的副反应（如电解液分解、SEI膜持续生长），从而减少活性锂损失和材料损耗，提升循环寿命。
界面接触问题	现阶段，界面接触问题仍是固态电池面临的重要难题，固-固界面接触不良和电极材料体积膨胀问题会导致电池循环性能下降，影响循环寿命。

◆ 我国政策重视固态电池储能技术发展

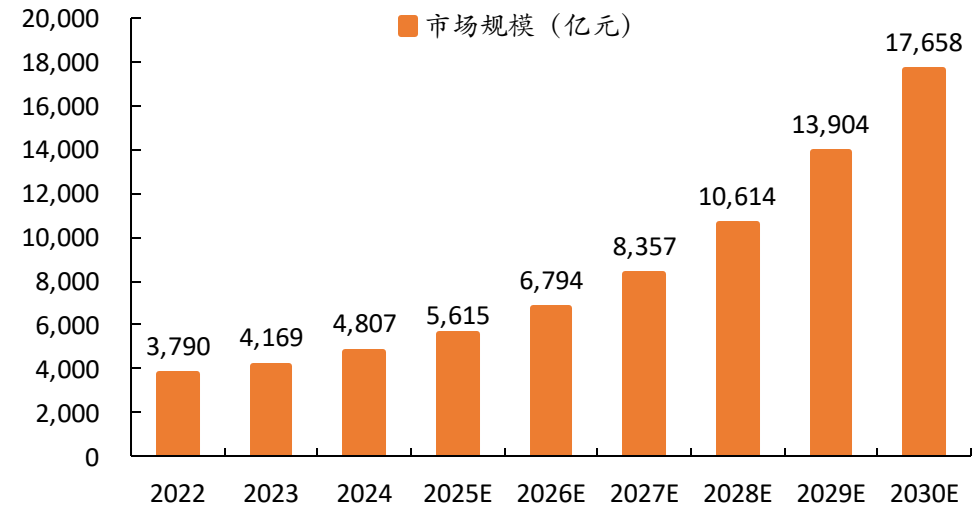
发布时间	文件名称	主要内容
2025年	《新型储能制造业高质量发展行动方案》	推动新型储能制造业高质量发展，包括固态电池在内的新型储能技术发展。
2022年	《“十四五”新型储能发展实施方案》	加快推动新型储能高质量规模化发展，支持固态电池等新型储能技术的研发和示范应用，推动储能技术性能提升和成本降低。
2021年	《“十四五”可再生能源发展规划》	推动可再生能源产业高质量发展，支持新型储能技术的研发和应用，包括固态电池在内的多种储能技术，以提升储能系统的性能和安全性。
2021年	《关于加快推动新型储能发展的指导意见》	推动锂离子电池等成熟技术商业化应用，为固态电池等新技术提供发展空间。

资料来源：欧阳明高《锂离子电池全生命周期衰减机理及应对方法》，中国政府网，平安证券研究所

低空飞行器：固态电池契合eVTOL发展需求，有望大放异彩

- 低空经济前景广阔，政策推动产业加速启动。**低空经济指以低空飞行活动为牵引、包括真高1000米以内（广义可延伸至3000米以内）空域产生的一系列经济活动。低空交通能够解决传统地面交通拥堵的问题，实现点对点可达，发展前景广阔。艾媒咨询统计，2024年我国低空经济规模达4807亿元，该机构预测，2028年我国低空经济规模将突破1万亿元。2024年3月，低空经济首次写入国务院政府工作报告；2024年12月，国家发改委低空经济发展司正式成立，负责拟订并组织实施低空经济发展战略、中长期发展规划，政策有望推动低空经济产业加速发展。
- eVTOL迎来发展机遇，固态电池有望大放异彩。**低空飞行器是低空经济的主要载体，而eVTOL（电动垂直起降飞行器）是低空飞行器的发展路线之一，融合了直升机垂直起降的灵活性和固定翼飞机的高效巡航能力，运营成本低、噪音低、安全性高，适宜城市和城际交通运行，发展潜力出色。eVTOL的研发面临轻量化、动力性能和续航等方面的挑战，固态电池作为突破锂电池能量密度瓶颈的重要技术，有望成为eVTOL产业化的重要助力，而eVTOL的发展也将为固态电池提供广阔的应用市场。

◆ 我国低空经济市场规模及预测



资料来源：艾媒咨询，高工锂电，平安证券研究所

◆ eVTOL对电池产品的性能要求

能量密度

- 工信部等四部门《绿色航空制造业发展纲要（2023—2035年）》提出，以2025年实现400Wh/kg级锂电池产品量产、500Wh/kg级产品小规模验证为攻关方向。
- 低空飞行对重量的要求极为严苛；eVTOL百公里耗电量高达65度，而汽车仅需12-18度，相同电池包下航程仅为汽车的1/4。

功率密度

- eVTOL在低剩余电量状态下仍需保持大功率输出以确保安全降落，要求30%SOC时具备12C放电能力。

放电倍率

- 起降需高于5C持续放电，飞行阶段多旋翼需1-2C，复合翼至少需0.5C。

低空飞行器：国内企业积极推动eVTOL固态电池开发

- 国内企业积极推动eVTOL固态电池开发。eVTOL等低空飞行器对电池能量密度的要求极为严苛，固态电池这一技术方向契合低空飞行器场景需求，发展潜力充足，国内eVTOL整机企业、电池企业积极开展研发与合作，推动固态电池技术突破及eVTOL装机验证。

◆ 国内企业固态电池用于低空飞行器的进展或计划

公司名称	固态电池用于低空飞行器的进展或计划
亿航智能	2024年11月完成全球首次eVTOL固态电池飞行试验。EH216-S搭载固态电池成功完成单次不间断飞行测试，达到48分10秒，续航时间提升60%—90%。亿航智能将争取在2025年底前实现固态电池在EH216-S的认证和装机量产。 - 该固态电池与欣界能源联合研发，采用氧化物电解质和金属锂负极，能量密度达480 Wh/kg。
欣界能源	- 发布全球首款高能量锂金属固态电池“猎鹰”，能量密度达480Wh/kg，已应用于亿航智能的eVTOL飞行器。 - 获得亿航智能、海目星等企业投资。 2023年率先建成全国首条200MWh锂金属固态电池产线，2024年在常州启动全球首条5GWh（分期建设，一期2GWh，二期3GWh）锂金属固态电池量产线。
宁德时代	2024年与上海峰飞航空科技有限公司签署战略投资与合作协议，共同致力于eVTOL航空电池开发。 2023年4月，公司发布凝聚态电池，单体能量密度最高可达500Wh/kg，计划首先用于航空领域（民用电动载人飞机项目）。
孚能科技	- 孚能科技第二代半固态电池采用高镍三元正极搭配掺硅负极，能量密度330Wh/kg、循环寿命超过4000圈，已向客户送样并获认可。公司已获得上海时的、零重力等国内客户定点，并与吉利沃飞达成战略合作。 - 孚能早在2023年已向美国客户交付eVTOL电池，彼时产品能量密度为285Wh/kg，支持320km/h最高时速和250km续航里程，电芯循环寿命超过10000次。
力神电池	公司2024年实现交付1万支能量密度达325Wh/kg的软包聚合物eVTOL电芯，该产品能够满足高安全性、1000次以上循环寿命、2吨级大吨位飞行器起降的需求。
中创新航	4695大圆柱形态半固态电池从300Wh/kg迭代至350Wh/kg，支持10C+持续放电，可为8吨级eVTOL提供动力。
欣旺达	Gen1、Gen2航空电池采用半固态技术，能量密度最高可达380Wh/kg。

资料来源：中国民航报，各公司官网，高工锂电，创业邦，平安证券研究所

人形机器人：固态电池有望成为解决人形机器人续航问题的关键

- 人形机器人是具身智能重要的实现形式，发展空间广阔。随着AI快速发展，“具身智能”成为令人兴奋的新概念，有望成为AI与现实世界实现物理交互的桥梁，推动其在现实世界的生产生活中创造价值。人形机器人是具身智能的具体实现形式之一，其身体结构和运动方式与真人类似（双足行走、双手协作等），能快速融入到为人类设计的各类环境中执行复杂任务，具有更强的通用性和适应性，或将成为具身智能最重要的实现形式，应用空间广阔。工信部《人形机器人创新发展指导意见》提出，人形机器人有望成为继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性产品，深刻变革人类生产生活方式，重塑全球产业发展格局。
- 续航是现阶段人形机器人的重要痛点，固态电池有望助力续航提升。人形机器人的结构和功能复杂，要在类似人的体格和重量范围内承载大量的机器运动零件、电子设备、线路和结构支撑等，可安装电池的体积和重量均受到限制。现阶段，国内外厂商公布的人形机器人续航时间通常在2-4小时，部分采用固态电池的产品续航相对更高。考虑到未来人形机器人的进一步智能化，芯片功耗进一步提升，现有的电池能量密度可能很难满足人形机器人应用的需求，有待固态电池技术持续发展，打破能量密度瓶颈。

◆ 部分厂商公布的人形机器人续航时间

产品名称	续航时间	电池容量 (kWh)
特斯拉Optimus Gen-2	2-4小时	2.3 kWh
Figure AI Figure 02	5小时	2.25 kWh
宇树科技Unitree H1	不足1小时	0.864 kWh
宇树科技Unitree G1	约2小时	未明确
广汽集团GoMate	6小时	采用全固态电池，未明确
软通天擎天鹤C1	超过4小时	采用全极耳准固态电芯，未明确
Agility Robotics	1.5-2小时	未明确

资料来源：每日经济新闻，机器人大讲堂，真锂研究，平安证券研究所

◆ 人形机器人对电池产品的性能要求

能量密度

- 体重为80千克的成年人体积约80升。目前磷酸铁锂/高镍三元电池的体积能量密度分别约为150-200 Wh/L和250-300 Wh/L，80L容积对应的电能量仅有12-24kWh。考虑四肢和大量部件，可安装的锂电池体积和重量均受到较大限制。
- 未来人形机器人进一步智能化、承载更多功能，芯片和计算机对耗电的需求将继续增加，需要电池能量密度持续提升。

放电倍率

- 在搬运物品和移动的高频作业过程中，每执行一次动作都要放电，要求电池具备2—3C以上的放电倍率，以支撑频繁的动作需求。

安全性

- 三元锂电池可能存在安全隐患。现阶段考虑到安全因素，多地居民楼禁止电动自行车或其锂电池入户。；人形机器人带电量 and 电动自行车类似，短期而言在室内和能源密集场所工作的安全性值得商榷，需要发展本征安全性更好的固态电池。



目录CONTENTS

- ① 一、固态电池概述：突破电池性能瓶颈的重要技术
- ② 二、需求端：动力、消费、低空等领域潜力出色
- ③ 三、供给端：技术与日俱进，产业链百舸争流
- ④ 四、投资建议及风险提示

固态电池技术难点

- 当前的研发阶段，半/全固态电池多种技术路线并行，不同锂电厂商的电池性能优势各有侧重，技术成熟度整体不高，各参与者仍需继续探索，推动电池综合性能提升。现阶段，固态电池研发的技术难点主要集中在以下三个方面：**固态电解质自身性能问题**；**界面相容性问题**；**电极材料适配性问题**。此外，研发阶段完成后，量产阶段生产工艺的实现、质量控制和成本控制等也存在较大挑战。

◆ 现阶段固态电池技术难点

固态电解质自身性能

- 固态电解质离子电导率整体较低。固态电解质中离子间相互作用力强，离子迁移能垒高，导致离子电导率较低，严重影响了电池的充放电速度和倍率性能。改善离子导电率表现，一方面需要基础研究对离子运输机制的进一步理解，另一方面也需要材料层面的结构设计和工艺持续优化。
- 氧化物电解质的质地硬脆，机械加工难度大。
- 硫化物电解质在空气中稳定性较差，导致制备难度和成本较高，使用中的安全性问题亦有待解决。

界面相容性问题

- 固-固接触问题。固态电解质与正负极之间的界面接触通常为硬接触、点接触，界面电阻大，充放电过程中容易产生能量损耗和发热现象，影响电池的循环寿命和安全性。
- 电极体积膨胀导致接触恶化。充放电循环中，正/负极材料会经历周期性的体积膨胀和收缩，进一步恶化接触。
- 应力积累加剧电池性能衰减。电极材料与固态电解质之间为硬接触，电极材料膨胀和收缩可能导致应力积累，导致电极和固态电解质层中产生裂纹，加剧电池性能的衰减。

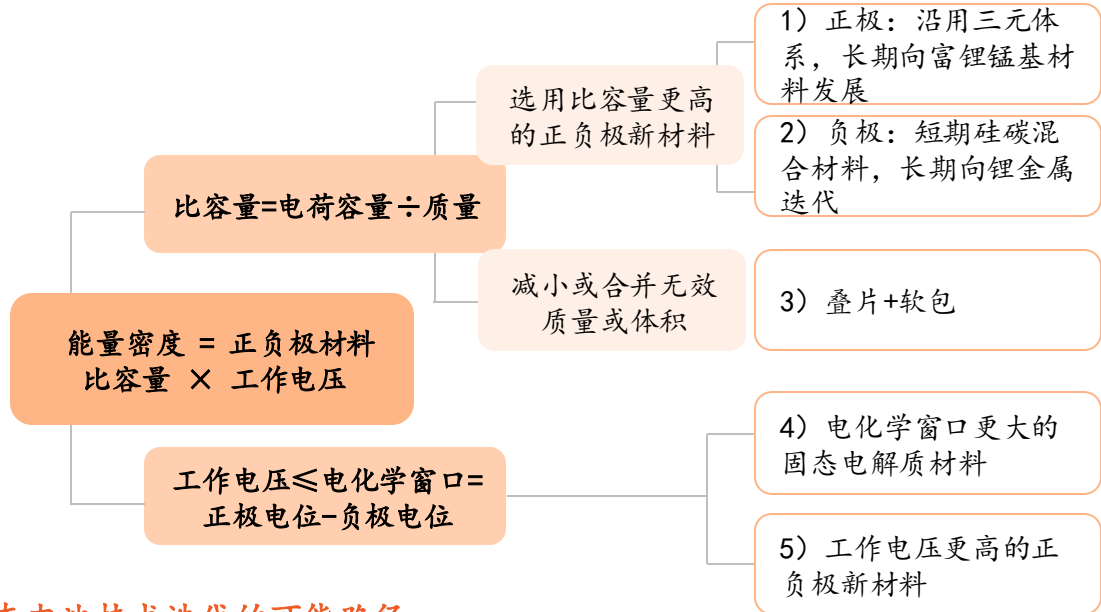
电极材料适配性问题

- 聚合物电解质电化学窗口窄，难以适配高压正极材料。
- 硫化物电解质会和金属锂反应，与锂金属负极的适配较为困难
- 现有的高镍正极材料在与固态电解质（硫化物/氧化物）搭配时，可能会发生结构变化和化学稳定性问题，导致容量衰减较快。
- 硅基负极材料具有较高的比容量，但在充放电过程中会发生较大的体积膨胀和收缩，容易导致电极结构破坏和固态电解质膜破裂，影响电池的循环性能。

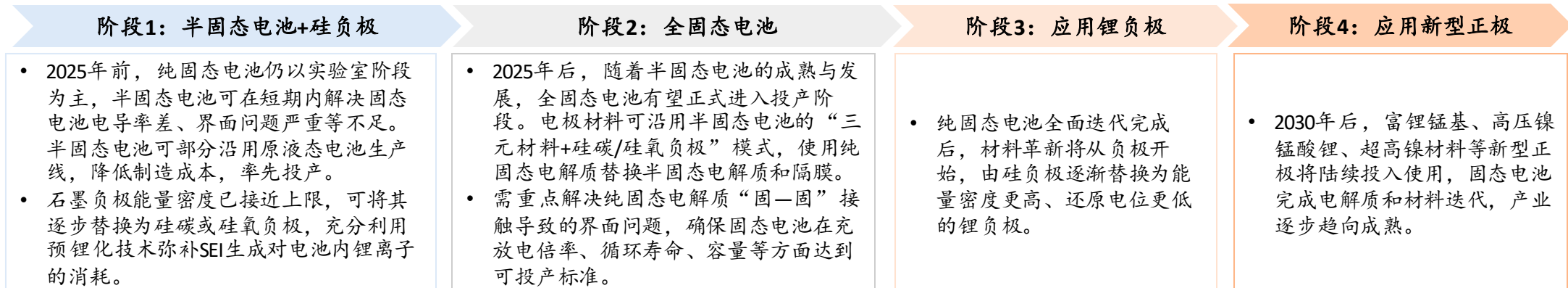
固态电池技术迭代方向

- 锂电池的能量密度由正负极材料比容量（两者中较低者）和工作电压共同决定。提高锂电池能量密度，既需要选取电化学窗口更大的固态电解质材料，也需要应用比容量更高的正负极材料，同时还需要考虑各材料之间的兼容性和产业化难度。
- 根据材料应用和产业化难度，论文《固态电池行业研究及其投资逻辑分析》（韩熙如等）提出了固态电池未来可能的技术迭代路径，分为4个阶段：**1）半固态电池+硅负极**，减少电解液含量的同时，逐步使用硅基负极替代石墨负极；**2）全固态电池**，使用纯固态电解质替换半固态电解质和隔膜；**3）应用锂金属负极**；**4）应用新型正极**（富锂锰基、高压镍锰酸锂、超高镍材料等）。

提升锂电池能量密度的思路拆解



液态电池向新型全固态电池技术迭代的可能路径

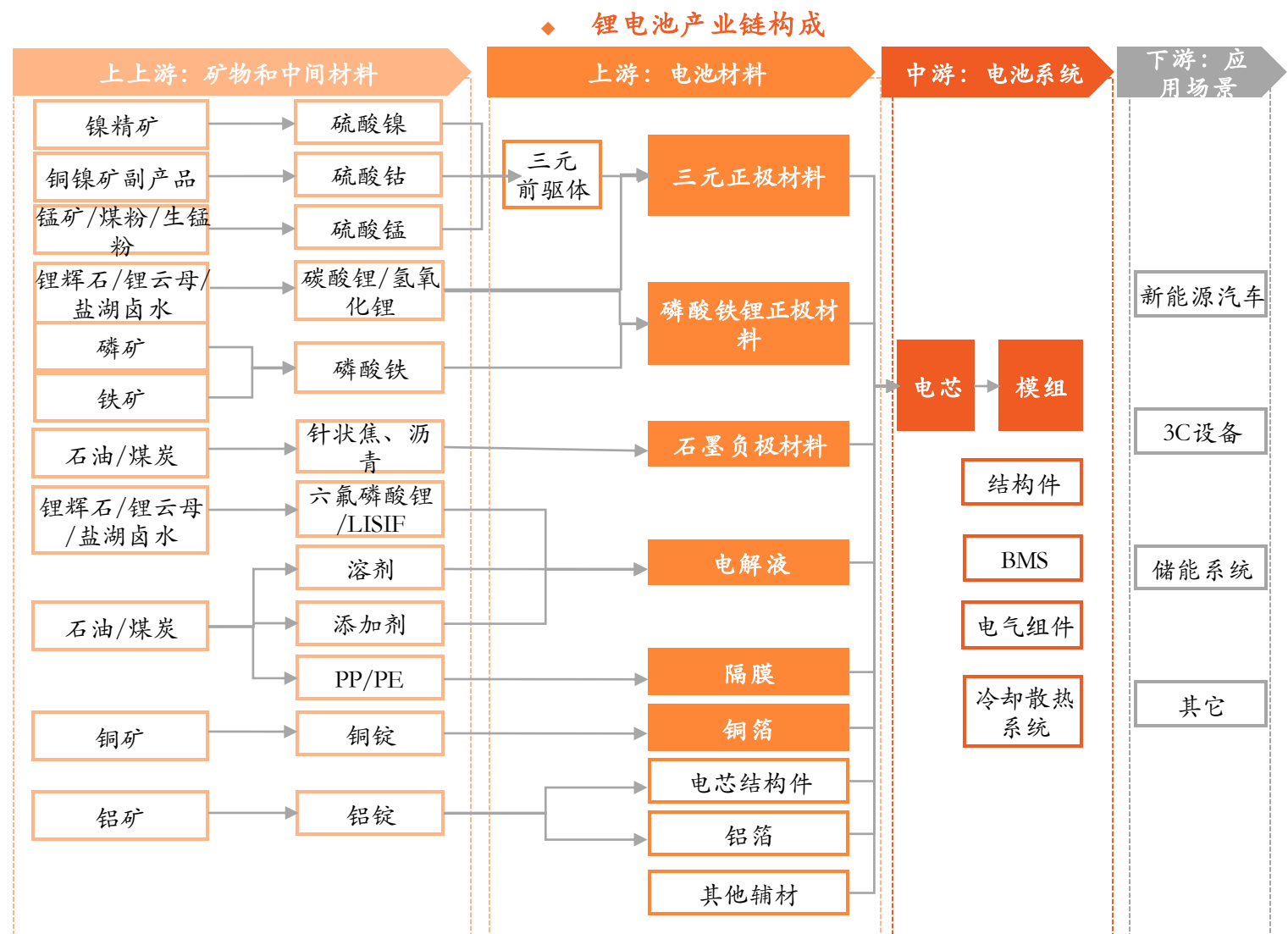


资料来源：CNKI，平安证券研究所

下图呈现的是论文《固态电池行业研究及其投资逻辑分析》（作者：韩熙如，邱日尧）中对固态电池技术迭代路径的设想，仅作参考。

锂电池产业链：体量大、产业链长，各环节发展较为成熟

- 国内锂电池产业规模庞大，结构完整。
根据工信部，2023年我国锂离子电池行业总产值超过1.4万亿元。经过多年发展，国内形成了完整的锂电池产业链，涵盖原材料、电池主材和辅材、电芯、下游应用及回收再生等环节，主要环节均有较为成熟的参与者。
- 正极、负极、隔膜和电解液是液态锂电池的四大关键材料。
- 正极：国内锂电池主要采用三元或磷酸铁锂材料。三元电池正极成本约占电池总成本（材料及制造成本，下同）的35%-40%（来源Mysteel，下同）。
- 负极：现阶段以石墨为主，负极成本约占电池总成本的10%-12%。
- 电解液：由六氟磷酸锂和有机溶剂组成。电解液和隔膜成本合计约占电池总成本的5%-8%。

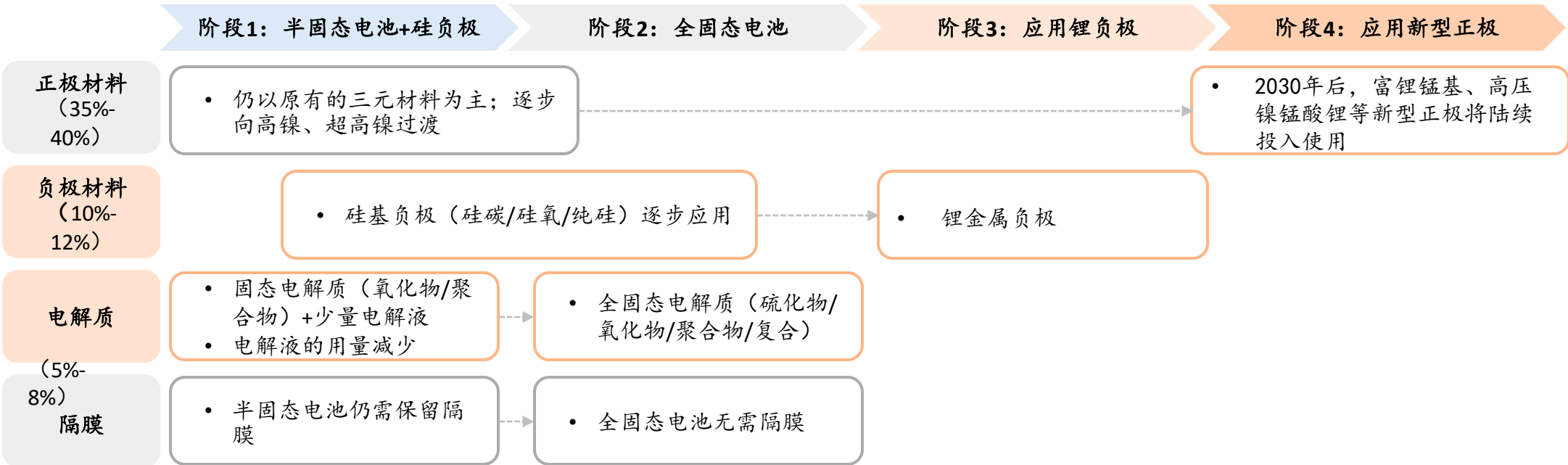


资料来源：盖世汽车，GGII，EVTank，长远锂科募集说明书，亿欧智库，Mysteel，平安证券研究所

固态电池产业链：电解质、负极先行革新，新型正极储备中

- 固态电池作为下一代锂电池技术，其材料体系将与液态电池存在显著差异，主要体现在电解质、负极和正极材料方面。**其技术迭代路径大致遵循“固态电解质→新型负极→新型正极”的顺序。**
- **固态电解质**是固态电池材料体系革新的起点，提高电池的电压窗口，为锂电池能量密度的提升提供可能。**负极材料**将呈现分阶段迭代，硅基负极有望先实现产业化，替代传统石墨负极，提高电池能量密度；后续锂金属负极有望逐步投入应用。**正极材料**的革新属于远期突破方向，各类新型正极材料有望在2030年后陆续投入使用。

◆ 固态电池材料体系迭代路径参考



资料来源：CNKI，平安证券研究所

技术迭代路径参考自论文《固态电池行业研究及其投资逻辑分析》（作者：韩熙如，邱日尧）。业内其它机构对固态电池的产业化路径判断亦与其类似，即先革新电解质和负极，负极先硅基后锂金属，而新型正极的产业化应用相对将更晚。

国内固态电池产业链参与者图谱

◆ 国内固态电池产业链参与者图谱



资料来源：各公司公告、官网，平安证券研究所

橙色字体为非上市公司，黑色为上市公司。
截至2025年3月5日。

电池环节：领先电池企业积极布局固态电池

- 锂电池领先企业积极布局固态电池，引领固态电池向产业化迈进。国内锂电池企业实力出色，积极布局下一代电池技术，推动固态电池迈向产业化。技术路线方面，硫化物路线成为领先企业主攻方向（宁德、国轩、比亚迪），氧化物因工艺成熟成为初创型企业首选（清陶、卫蓝）。量产节奏方面，半固态电池有望在2025年前后规模化装车，而全固态电池的量产或将集中于2027-2030年。产品参数方面，已公布的电池样品能量密度通常在350Wh/kg上下，未来计划实现量产和装车的电池能量密度在400Wh/kg。

国内锂电池企业固态电池研发进展和量产规划整理

企业名称	技术路线	研发进展	量产规划
宁德时代	• 硫化物电解质路线为主，同步研发氧化物体系	• 30Ah硫化物全固态电池样品达350 Wh/kg，循环2000次	• 2027年小批量生产全固态电池
比亚迪	• 高镍三元+硅基负极+硫化物-卤化物复合电解质，兼容磷酸铁锂技术	• 2024年下线60Ah全固态电池，能量密度400 Wh/kg，支持-40℃低温启动	• 2027年示范装车，2030年大规模量产
亿纬锂能	• 硫化物-卤化物复合电解质路线	• 2022年完成技术定型进入装车验证	• 2026年推出高功率固态电池，2028年实现400 Wh/kg目标
国轩高科	• 硫化物全固态电池，同步开发卤化物路线	• 30Ah“金石电池”通过200℃热箱测试，能量密度350 Wh/kg	• 2027年小批量装车测试，2030年实现量产
蜂巢能源	• 硫化物全固态电池，匹配高镍三元正极和硅碳负极	• 20Ah全固态电芯能量密度380 Wh/kg	• 2030年后覆盖800公里以上高端车型
赣锋锂业	• 金属锂负极+硫化物电解质组合	• 重庆铜梁基地金属锂产能600吨/年，第二代半固态电池能量密度400 Wh/kg	• 2030年实现全固态电池量产，重点布局储能和高端电动车
中创新航	• 硫化物电解质+高镍三元正极	• 实验室样品能量密度430 Wh/kg，容量超50Ah	• 2027年量产装车
鹏辉能源	• 氧化物复合固态电解质+硅基负极	• 第一代20Ah全固态电池能量密度280Wh/kg，-20℃~85℃稳定充放，通过针刺试验	• 计划2025年完成中试线建设，2026年量产
清陶能源	• 氧化物+聚合物复合电解质（IPC体系），正极从三元高镍向镍锰升级	• 全固态电池能量密度超400 Wh/kg，与上汽合作建量产线	• 2026年四季度量产，2027年一季度装车
卫蓝新能源	• 氧化物+聚合物路线，与蔚来合作开发半固态电池	• 150kWh半固态电池包能量密度360 Wh/kg，2024年小批量交付	• 2027年实现全固态电池量产，远期规划产能超100GWh

资料来源：电动卡车观察，上海证券报，NE时代新能，各公司公告，wind，平安证券研究所

固态电解质环节：硫化物、氧化物路线并进，领先企业侧重硫化物体系

- 国内材料企业积极布局固态电解质，硫化物路线居多。固态电解质是固态电池材料体系革新的起点，可以提高电池的电压窗口，为锂电池能量密度的提升提供可能。当前固态电解质面临的技术难点包括改善界面接触问题、提升材料自身的离子电导率和稳定性等。国内材料企业积极布局固态电解质，产品包括硫化物或氧化物固态电解质及其前驱体。硫化物电解质离子电导率较高，理论能量密度和倍率较优，成为多家领先材料企业的选择；氧化物电解质稳定性和安全性优良，也有若干企业布局。

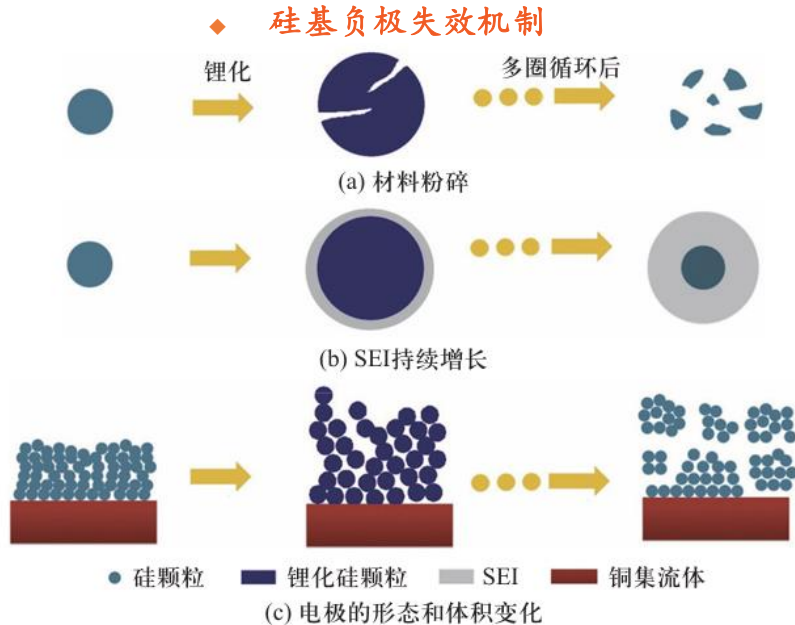
国内企业固态电解质研发进展和量产规划整理

企业名称		技术路线	研发及产业化进展
硫化物路线	容百科技	硫化物+氧化物+卤化物三线布局	硫化物固态电解质、卤化物固态电解质及氧化物固态电解质等关键材料,在国内外多家整车及电芯客户的测试中均呈现性能领先。硫化物电解质计划2025年推进量产。
	当升科技	硫化物+氧化物双路线	公司已系统布局氧化物、硫化物等固态电解质，与清陶、辉能、赣锋锂电、卫蓝新能源等国内外主要固态电池客户建立了紧密战略合作关系，实现批量出货。
	恩捷股份	硫化物（高纯硫化锂+电解质膜）	固态用高纯硫化锂已完成小试吨级年产能建设和运行，百吨级硫化锂中试正加快推进；正在搭建10吨级的硫化物固态电解质生产线。
	天赐材料	硫化物	公司利用现有的液态锂盐生产平台，开发了硫化锂路线的固态电解质，并配合硫化物固态电解质开发对应的添加剂，现阶段主要配合下游电池客户做材料技术验证，计划在2025年建设中试产线，小批量生产应用。
	瑞泰新材	聚合物-硫化物复合体系	与宁德时代合作开发硫化物前驱体，完成实验室级样品验证。公司生产的LiTFSI可作为聚合物/硫化物/氧化物固态电解质添加剂，已形成批量销售。
	中科固能	硫化物固态电解质&硫化物固态电解质膜	中科院物理所硫系全固态电池技术产业化的唯一平台，已建设世界首条百吨级固态电解质产线。预计2025-2026年具备满产能力。
氧化物路线	瑞道科技	硫化物全固态	硫化物固态电解质已实现吨级量产；位于浙江衢州龙游县的硫化物固态电解质生产基地开工建设
	三祥新材	氧化物（LLZO/LLZTO）+氯化物（锆基）双路线	氧化物电解质完成送样测试，氯化物电解质实现小批量供货；与清陶能源合作开发锆基材料
	东方锆业	氧化物（LLZO/LLZTO）为主	二氧化锆样品通过固态电池厂商验证，适配硫化物体系开发中
	上海洗霸	氧化物（LLZTO）+硅碳负极协同开发	与中科院合作研发室温电导率>1.0mS/cm的LLZTO粉体；硅碳负极循环500次膨胀率仅3%

资料来源：各公司公告、官网，wind，互动易，DT先进电池，平安证券研究所

负极环节|硅基负极：优势挑战并存，有望在液态和固态电池中逐步渗透

- **硅基负极作为下一代负极材料，理论性能优异，但研发和产业化面临一些挑战。**石墨负极是现阶段锂电池采用的主流负极材料，其比容量的发挥已接近理论值（372 mAh/g），需要开发新的负极材料。硅基负极理论比容量高，Si完全锂化至 $\text{Li}_{4.4}\text{Si}$ 时理论比容量可达到4 200mAh/g，且天然资源丰富、成本低廉，被视为下一代锂电池的重要材料。与此同时，硅基负极充放电时体积膨胀问题严重，导致较为严重的能量衰减问题，限制了其产业化应用。
- **硅基负极有望在液态电池和固态电池中逐步渗透。**硅基负极这一概念并非固态电池专属，作为新一代负极材料，硅基负极在液态和固态电池中均有渗透潜力。除了材料自身体积膨胀和导电性问题外，硅基负极在液态电池中主要面临SEI膜不稳定导致的活性材料消耗问题，固态电池中则需解决界面接触问题和电解质机械性能等问题。业内通过纳米化、与碳材料复合等方式解决硅基负极应用问题，逐步推动其走向产业化，在液态和固态电池中应用。



资料来源：白羽等《锂离子电池硅基负极研究进展》，平安证券研究所

◆ 硅基负极在液态和固态电池中的应用难点

自身特性

体积膨胀：硅材料在充放电过程中体积膨胀问题严重，导致电极材料粉碎、电极结构坍塌，循环寿命骤降。

导电性差：硅本征导电性低，需依赖导电剂（如碳材料）和纳米结构设计（如多孔硅、硅碳复合）改善。

液态电池应用

SEI膜不稳定：液态电解质中，硅表面SEI膜因反复膨胀/收缩而破裂，持续消耗电解液和活性锂，加剧容量衰减。

固态电池应用

界面接触恶化：固态电池中不存在SEI膜不稳定的问题，但固态电解质与硅负极间刚性接触，硅膨胀易导致界面剥离，离子传输受阻，内阻升高。

电解质弹性/韧性要求：固态电解质的机械强度可以部分缓解硅基负极的体积膨胀问题，但需固态电解质自身具备一定弹性。目前硫化物/氧化物等固态电解质较脆。

压力管理：固态电池需外部压力维持界面接触，硅膨胀可能破坏压力均匀性，影响电池可靠性。

*正文中石墨和硅碳负极理论比容量数据亦来自《锂离子电池硅基负极研究进展》，白羽等

负极环节|硅基负极：多家厂商已有千吨级以上产能布局

- 材料环节参与者积极推动硅基负极的研发和产业化。根据我们整理公司公告，多家企业已布局千吨级以上硅基负极产能，并在客户处测试和验证，有望逐步走向产业化，在液态和固态电池中得到应用。

国内企业硅基负极材料研发进展和量产规划整理

企业名称	布局重点	研发进展	产业化进展
贝特瑞	硅碳、硅氧、新型气相硅	布局硅碳、硅氧及新型气相硅三条技术路线，新型气相沉积法硅碳产品获全球多家主流动力客户认可，预计2025年批量供应。公司快充型硅碳负极通过领先3C电池厂商测试，已固态电池等领域小批量应用。	拥有5000吨/年硅基负极产能（2025.2调研公告），出货量行业领先，深圳在建项目将根据市场需求逐步释放产能。
杉杉股份	硅碳、硅氧	公司硅氧产品已批量供应海外客户，硅碳产品在客户测试中表现出色。公司已开发针对固态电池用的硅碳负极产品，在客户处进行多轮测试；固态电解质复合型负极材料正在开发中。	已布局宁波4万吨一体化硅基负极产能基地，一期产能建设中，预计2024年年底投试产。
璞泰来	硅碳负极	公司硅碳负极产品已小批量供应下游消费电子客户（2024.11调研公告）。	公司加快推进安徽芜湖硅基负极项目进度，预计2025年上半年，首批硅碳负极产能有望建成投产。
道氏技术	硅碳负极	公司通过创新技术完成高强度多孔碳的自制和球形球貌的控制。以公司自研多孔碳为基体制得的硅碳负极测试首效较高，半电池0.8V首效87%以上。	公司硅碳负极月产吨级产线已经建成，未来将大力扩张硅碳负极产能，预计2025年建成年产1000吨产线，供货更多客户。
硅宝科技	硅碳负极	公司自2015年布局硅碳负极材料，形成硅碳、硅氧等产品；2019年建成50吨/年中试线。2024年，公司硅碳负极产品已逐步实现销售。	2021年底，公司投资5.6亿元建设5万吨/年硅碳负极及专用粘合剂项目，截至2024年11月，该项目一期3000吨/年硅碳负极材料项目正在设备安装和调试阶段。2023年4月，公司租用厂房建成的1000吨/年硅碳负极生产线投入使用。
翔丰华	硅碳负极	公司已涉及硅碳负极、硬碳负极、B型-二氧化钛、石墨烯等新型碳材料领域，持续深化技术研发与应用探索。	公司硅碳负极正在进行客户配套中试，具备产业化基本条件（2024.11）。
石大胜华	硅碳负极	根据2024半年报，公司沉积硅碳中试线（预算0.2亿元）正在建设中。	公司现有1000吨/年硅碳负极材料生产线，产品为高首效型硅氧碳负极材料。（2024.5）根据2024半年报，公司3万吨/年硅基负极项目（预算5.7亿元）正在建设中。
尚太科技	硅碳负极	硅碳负极材料作为尚太科技2024年重点研发方向之一，已经组建了成熟的技术团队，并构建相应中试生产线	-
中科电气	硅碳负极	公司有硅基负极材料（包括面向固态电池的硅碳负极）产品布局。	硅基负极目前已建设完成中试产线，且有产品向客户送样测试并获得认可。

资料来源：各公司公告，wind，平安证券研究所

*石墨和硅碳负极理论比容量数据来自《锂离子电池硅基负极研究进展》，白羽等

负极环节|锂金属负极：性能潜力优良，发展阶段较早

- 锂金属负极：性能潜力优良的新型负极材料。** 电池能量密度由材料比容量和正负极电位差共同决定。锂金属负极理论比容量高（3860mAh/g），电化学电位低（-3.04V），同时自身密度低（0.59g/cm³），有望成为下一代高能量密度电池的理想负极材料。同时，锂金属负极允许锂直接沉积在负极上，有望大幅提升充电速度。理论高能量密度和快充性能下，锂金属负极具有优良的开发前景。电解液电压窗口较窄，高电压窗口的固态电解质对锂金属负极的兼容性更好，为其应用提供了基础。
- 锂金属负极的研发仍面临挑战，固态电池或将成为适配场景。** 现阶段，锂金属负极的应用面临以下难点：**1）锂枝晶问题：** 锂在充放电过程中易形成枝晶，导致电池短路和安全风险。**2）界面稳定性：** 锂金属与电解质之间的界面反应性强，需开发稳定的SEI膜或固态电解质。**3）体积变化：** 锂金属在充放电时体积变化大，需设计三维多孔支架或合金化以缓解。固态电解质有望抑制锂枝晶和界面反应问题，固态电池体系的发展有望为锂金属负极带来新机遇。现阶段，锂金属负极发展阶段较早，处于从实验室向产业化过渡的阶段，部分企业如赣锋锂业、宁德时代已发布基于锂金属负极的固态电池样品。未来，随着技术进步和成本降低，锂金属负极有望在全固态电池中逐步得到应用。

国内企业锂金属负极材料研发进展和规划整理

企业名称	研发进展
赣锋锂业	公司拥有全球最大的金属锂产能，公司的超薄锂带产品是固态电池负极的关键技术，公司目前该产品的生产制造在全球范围内属于领先地位。同时公司也布局了不同种类的固态电池材料体系以及技术储备。
天齐锂业	公司重庆铜梁生产基地是公司金属锂生产工厂，目前年产能600吨，对公司在固态电池领域布局具有重要意义。另外，在研发方面，公司在锂资源综合利用和固态电池关键核心材料领域有3项科技成果经权威机构认定达到国际水平。公司子公司已与卫蓝新能源合资成立天齐卫蓝固锂新材料（深圳）有限公司，开展负极预锂化和锂金属负极材料研发。
盛新锂能	公司通过子公司盛威锂业规划了年产1000吨金属锂项目。盛威锂业集金属锂系列产品的研发、生产、销售于一体，主要产品包括锂锭、锂粒（片）、及锂带等一系列金属锂及锂系合金产品，客户涵盖锂电池、航空航天、医药、冶炼等行业。项目总体规划年产1,000吨金属锂，目前已建成产能500吨，剩余产能在积极建设中。
中一科技	公司开发了应用于固态电池的锂-铜金属一体化复合负极材料等相关技术，将根据市场需求情况进行相关产品的生产和销售。

资料来源：各公司公告，wind，平安证券研究所

正极环节：正极材料持续革新，富锂锰基、高压镍锰酸锂是下一代技术

- 正极材料持续革新，超高镍三元有望逐步渗透，远期富锂锰基和高压镍锰酸锂有望投入应用。在提高锂电池能量密度的需求下，正极材料正在不断革新。目前固态电池正极材料主要沿用高镍三元路线，向超高镍方向过渡；后续富锂锰基、高压镍锰酸锂等新型正极材料也有望逐步投入使用。固态电解质电压窗口较电解液更高，可兼容更高能量密度和电压平台的电极材料，为正极材料的迭代升级打开空间。长远来看，固态电池体系和新型正极材料有望协同发展，新型正极材料有望在固态电池中逐步渗透。

◆ 新型正极材料性能和发展路径

	高镍三元材料	超高镍三元材料	富锂锰基材料	高压尖晶石镍锰酸锂
比容量 (mAh/g)	200 (NCM811)	215	>250	146.7
电压平台 (V)	3.62 (与石墨负极搭配)	3.62 (与石墨负极搭配)	2.5-4.4	4.7
优势	技术成熟度高，能量密度提升潜力大	能量密度高，适合高能量需求场景	成本低，能量密度高，循环寿命长	高能量密度，成本优势显著，倍率性能好
挑战	热稳定性差，安全性需进一步优化	界面稳定性差，循环寿命有待提升	电子电导率低，倍率性能差，首次库伦效率低 (<75%)，循环容量及电压衰减严重	界面稳定性差，电压平台过高导致正极界面不稳定
产业化路径	短期内主流应用，逐步向超高镍过渡	逐步替代高镍三元，应用于高端市场	可与现有三元、钴酸锂、磷酸铁锂混合使用，降低电压，提早商业化	通过金属掺杂、氧化物包覆及复合正极等路径解决界面稳定性问题

资料来源：CNKI，锂电中国，储能科学与技术，平安证券研究所

正极环节：国内材料企业积极布局下一代技术

- 正极环节：国内材料企业积极布局下一代技术。**我们整理了国内材料企业在新型正极材料领域的布局。多数企业已有超高镍三元产品布局，进入客户验证阶段或小批量出货，部分企业正在推动超高镍产品在固态电池中的应用。富锂锰基和高压镍锰酸锂属于下一代材料，国内企业积极推动研发和认证，后续有望逐步实现产业化。

◆ 国内企业新型正极材料研发进展和规划整理

公司名称	产品布局	研发进展或规划
容百科技	超高镍三元、富锂锰基、高压镍锰酸锂	- 重要国际客户的高镍、超高镍产品进入量产认证阶段，国内产线已通过国际客户审核，海外产线进入实质性改造阶段。公司超高容量三元正极、全固态三元正极在部分电芯客户端已进入中试验证阶段。2024年前三季度,公司半固态电池用超高镍三元正极材料保持稳定出货,同时,公司也在和下游客户、高校等合作相关项目,持续开发下一代更高能量密度的半固态电池正极材料。 - 公司富锂锰基正极材料、尖晶石镍锰酸锂正极材料的开发性能持续领先，测试规模已达吨级水平。
当升科技	超高镍三元；富锂锰基	- 固态锂电材料方面，公司研发的高电化学活性、超高镍固态专用大尺寸单晶正极材料，因其卓越的性能和可靠性，获得固态电池领先企业高度认可，在业内率先实现批量装车应用。公司与清陶、辉能、赣锋锂电、卫蓝新能源等固态电池客户建立了战略合作关系，材料产品已有批量出货。 - 富锂锰基材料方面，公司高容量高密度富锂锰基材料性能指标在行业内处于领先水平，已完成关键客户导入并逐步放量。
振华新材	超高镍三元；富锂锰基	- 针对固态电池体系的超大单晶高镍正极材料，根据客户要求进行的定制化样品制备，目前已成功送样。 - 富锂锰基材料方面，公司开发了多晶及不同尺寸的单晶正极材料，材料的结构稳定性好，首效高，容量高，已实现吨级批量生产。
格林美	超高镍三元；富锂锰基	- 公司早在2019年就开始开发针对固态电池的前驱体材料，包括高镍、超高镍以及富锂锰基正极材料，且均有吨级以上产品出货。 - 公司9系超高镍四元前驱体、9系超高镍四元核壳前驱体进入量产认证阶段，9系正极材料解决超高镍体系晶格畸变、结构坍塌、金属析出和热稳定性差等产业化难题。 - 富锂锰基前驱体绿色无氨工艺开发定型，面向超高电压应用领域，进入吨级量产认证阶段。
中伟股份	超高镍三元	公司固态电池前驱体已通过国外客户认证且实现小批量供货，高镍单晶和多晶均进入吨级供货阶段，国内国外均有覆盖；8系以上高镍前驱体将在固态电池中持续发力。公司中镍多晶高电压、超高镍多晶前驱体已通过国际核心客户认证。
厦钨新能	新路线	氧化物固态电池正极材料已实现供货；硫化物固态电池正极材料方面，公司与下游客户在技术研发上保持密切交流合作。公司与知名电池企业合作研发的NL全新结构正极材料，其结构比较稳定，层间距更宽，锂离子脱放过程中形变很小，固-固界面不易被破坏，且该全新结构正极材料在能量密度、倍率、循环等主要性能上都显著优于传统的钴酸锂、三元材料等正极产品。

资料来源：各公司公告，wind，平安证券研究所

碳纳米管（CNT）导电剂：快充、固态电池等趋势驱动渗透率提升

- **导电剂是锂电池正负极材料中使用的添加剂。**导电剂是锂电池常用的添加剂，添加在正负极材料中，提高电极导电性。正极材料（磷酸铁锂、钴酸锂、高镍三元等）中，导电剂可填充活性物质空隙，降低内阻；负极材料（石墨、硅基）中，导电剂可缓解体积膨胀问题，改善电池循环性能。导电剂材料包括炭黑类、碳纳米管、导电石墨类、VGCF（气相生长碳纤维）和石墨烯等。
- **碳纳米管（CNT）导电剂前景可期。**与炭黑等传统导电剂相比，碳纳米管材料具有优异的导电性、机械强度和柔韧性。作为导电剂中相对高端的选择，碳纳米管或将受益于下游应用端快充性能提升趋势、高镍三元正极和硅碳负极的渗透，以及固态电池产业的发展。在固态电池中，碳纳米管或将成为其导电剂的重要选择。一方面，固态电解质离子电导率较差，需要提高电极导电性作为弥补，而碳纳米管材料可以形成三维导电网络，高效提升电极导电性；另一方面，碳纳米管导电剂可以增强电极机械性能，缓冲充放电过程中的体积变化，抑制锂枝晶或硅基负极膨胀问题。
- 国内参与者中，天奈科技在碳纳米管环节市场份额领先，道氏技术、捷邦科技亦有该产品布局。

国内企业碳纳米管导电剂研发进展和规划整理

企业名称	研发进展
天奈科技	• 根据高工产研（GGII）以及起点研究院数据，2021年至2023年，公司碳纳米管导电浆料市场占有率分别为43.4%、40.3%和46.7%，三年份额均为行业第一。 • 公司是全球范围内少数可量产单壁碳纳米管产品的企业。公司单壁碳纳米管及其复合产品性能优势突出，且兼具性价比优势。 • 固态电池的研发与生产要求更高端（更高代际）、用量更大的CNT产品。国内多家固态电池厂商已成为公司客户。
道氏技术	• 公司单壁管粉体产品性能从纯度、比表、GD值与进口单壁管性能相当，甚至在杂质金属元素含量等指标上要优于进口单壁管。在单壁管浆料方面，公司采用自研分散剂，在粘度、固含量等指标上优于进口单壁管浆料。 • 公司单壁管产品已在日、韩客户端测试通过，在国内3C电池客户中软包测试通过，动力电池客户测试中。单壁管粉体产品需求旺盛，公司计划于2025年底建成10吨/月的产能，以满足客户需求。 • 公司单壁碳纳米管产品已送样太蓝、卫蓝等固态电池厂商，已获得某固态电池厂商订单并小批量出货。
捷邦科技	• 在锂电池领域，公司已开发出在力学、导电等方面有相对优势的碳纳米管产品，并已取得宁德时代、比亚迪、亿纬锂能、孚能科技、正力新能、鹏辉能源、多氟多等客户的合格供应商代码，部分客户已实现量产交货。

资料来源：各公司公告，wind，GGII，起点锂电，平安证券研究所

设备环节：固态电池生产工艺与液态锂电池区别较大，带来设备需求

- 全固态电池与液态锂离子电池生产工序有较大区别。全固态电池尚未大规模生产，生产工序并未完全定型，但与现行成熟的液态锂电池工序存在较大区别。
- 前段：电解质与电极制备环节，液态电池正极采用湿法涂布工艺，而固态电池对湿法工艺中的溶剂较为敏感，需考虑干法电极工艺和固态电解质成膜工艺，将电极与电解质粉末混合后烧结/压延，或通过CVD沉积等方法，形成稳定结合的正极层和固态电解质膜。
- 中段：电芯组装环节，固态电池因电解质脆性高，无法采用液态电池的卷绕工艺，需使用高精度叠片机实现“正极-电解质-负极”多层堆叠，且需层压步骤（引入等静压机）提升界面接触。
- 后段：化成与封装环节，固态电池生产工序相对简化：无需电解液注入和脱气步骤，且化成和老化时间缩短。
- 根据Fraunhofer《Solid-State Battery Roadmap 2035+》报告，固态电池生产工序与现行的液态锂离子电池工序相似度在20%-60%。固态电池生产工艺的改变将带来新的设备需求。

◆ 固态电池与液态锂离子电池工艺流程比较

生产工序		锂离子电池	氧化物固态 电池	硫化物固态 电池	聚合物固态 电池	长期目标
前段工序： 电解质与 电极制备	负极	湿法加工 浆料混合和涂布， 干燥，压延	挤压工艺（锂金属负极） 挤压，压延，层压			原位锂负 极形成
			湿法加工（硅基负极） 浆料混合和涂布，干燥，压延			
	复合 正极	湿法加工 浆料混合和涂布， 干燥，压延	湿法加工 浆料混合和 涂布，干燥， 低温烧结	湿法加工 浆料混合和 涂布，干燥， 压延	挤压工艺 挤压，压延	干法工艺 或绿色溶 剂工艺
	隔膜/ 电解质	挤压工艺 干法挤压工艺 （PP） 湿法挤压工艺 （PE）	湿法加工 浆料混合和 涂层，高温 烧结，层压， 低温烧结	湿法加工 浆料混合和 涂层，干燥， 压延	挤压工艺 挤压，压延	干法工艺 或绿色溶 剂工艺
中段工序： 电芯组装		卷绕/叠片， 极耳焊接与封装		叠片、层压， 无电解液注入和脱气		
后段工序： 化成与封装		电解液注入， 化成，脱气和密 封，老化		无电解液注入和脱气 化成和老化时间短于液态电池		完全省略 化成和老 化

资料来源：Fraunhofer《Solid-State Battery Roadmap 2035+》，平安证券研究所

橙色：与现有液态锂离子电池工艺完全不同；
蓝色：与现有工艺既有相似性，也有区别
灰色：与现有工艺基本相同

设备环节：设备路线尚未定型，设备企业积极布局核心工艺设备

- 固态电池大规模生产工艺尚未定型，**设备路线亦不固定**。锂电设备企业和电池企业正联合开展设备及工艺开发工作，设备存在一定程度的定制化。
- 固态电池主要工艺设备包括干法电极设备、各类固态电解质成膜设备、切叠设备和等静压机等。锂电设备领先企业积极开发固态电池关键设备，并力求提供整线解决方案。

◆ 固态电池各工艺段所需设备

前段：电解质与电极制备	• 复合电极制备：干法/湿法电极涂布机 • 电解质层制备：不同路线所需成膜设备不同，且方案多样。硫化物可采用干法纤维化一体机、高压辊压机；氧化物可采用湿法涂布设备、干法热压机、薄膜沉积设备；聚合物可使用湿法涂布机、干法挤出机等。
中段：电芯组装	• 叠片：叠片设备。固态电池不易使用卷绕设备；叠片设备需适应固态电解质的脆性特性，且精度和稳定性要求更高。 • 层压：等静压机，用于改善界面接触。
后段：化成与封装	• 化成分容：需要高压化成分容设备。常规电池化成压力要求3吨-10吨，固态电池压力要求更高，在60吨-80吨。

资料来源：电池中国，高工锂电，各公司公告，wind，平安证券研究所

◆ 国内锂电设备企业固态电池设备布局

企业	设备环节进展
先导智能	• 公司具有固态电池整线设备提供能力，固态电池设备采用高度集成化设计与设备工艺，产线最高效率可达32PPM，处于全球领先水平。 • 可提供固态电池各环节关键设备，包括固态电极制备、固态电解质膜制备及复合、裸电芯组装、除气封装、化成分容等环节。 • 公司固态电池干法剪切混料设备、成膜复合设备、固态电池切叠设备均已实现交付。
赢合科技	• 2024年，公司湿法固态极片涂覆设备发货国内领先客户。 • 固态电池辊压设备方面，2024年公司推出第三代干法搅拌纤维化+干法成膜全固态工艺，可提升极片制造效率，节约生产成本，产品具备高压实密度和高能量密度。 • 公司已为清陶能源陆续提供化成分容、激光焊接、激光模分一体机、电芯装配线等设备，主要设备已完成交付。
利元亨	• 已成功开发干法电极、固态电解质压制转印、锂铜复合设备等关键设备样机，并在极片绝缘胶框成形设备、高压化成分容设备等方面取得了阶段性成果。 • 已实现全固态电池量产全线工艺覆盖，有整线解决方案及关键工段设备供应能力。2024年，公司中标国内领先企业硫化物固态电池整线项目。
海目星	• 公司是欣界能源固态电池的生产设备整线供应商。公司在前段极片激光设备、中段特种叠片等几款关键设备上具有独特的技术和创新实力。 • 2024年8月，公司已经实现固态电池设备的量产订单签约，签约金额约为4亿元，这是行业内首家高能量锂金属固态电池设备的量产订单。
曼恩斯特	• 公司在固态电池领域初步完成“湿法+干法”工艺装备双线布局，在干法前段设备、陶瓷化材料应用、双层涂布及自动闭环控制等方面有技术沉淀。 • 2024年，公司为国内外多家企业提供了干法工艺测试实验、混合设备、双螺杆挤出设备、多辊成膜设备等产品均有订单贡献；同年12月，公司成功中标了国内领先电池企业的固态电池设备采购项目。
纳科诺尔	• 已研发高精度锂带压延、负极补锂、材料覆合一体机，在研超高压、等静压等设备。 • 公司合资设立的公司清研纳科，已推出干法电极成型复合一体机，实现了电极膜成型以及与集流体复合的一体化，获得国内领先客户的订单。



目录CONTENTS

- 一、固态电池概述：突破电池性能瓶颈的重要技术
- 二、需求端：动力、消费、低空等领域潜力出色
- 三、供给端：技术与日俱进，产业链百舸争流
- 四、投资建议及风险提示

要点总结

- **固态电池：突破电池性能瓶颈的重要技术，前景可期。** 固态电池是采用固态电解质的锂离子电池。固态电解质热稳定性和电化学稳定性优于常见的电解液，使其理论上可适配更高能量密度的正负极材料体系，并实现更高的本征安全性，因此，固态电池有望突破现有液态锂电池材料体系的性能瓶颈。根据固态电解质的不同，固态电池技术路线可分为硫化物/氧化物/聚合物/卤化物等路线；其中氧化物和聚合物路线存在“半固态”的过渡方案。固态电池前景广阔，我国政策端重视固态电池路线发展，国内电池企业在硫化物全固态电池、氧化物全固态和半固态电池方面均有布局。
- **需求端：动力、消费、低空等领域潜力出色。** 当前的技术阶段，固态电池产品能量密度和安全性优于液态电池，但循环寿命和充放倍率较差，且成本更高。全球锂电池主要用于动力、消费、储能三大场景，各场景对电池性能的要求各有侧重。动力和消费电池注重能量密度和安全性，固态电池推广潜力相对较好；储能场景更注重循环寿命和成本，固态电池的比较优势尚不明显。除三大传统场景外，低空飞行器、人型机器人等新场景正逐渐兴起。eVTOL和人形机器人面临轻量化和续航挑战，对电池能量密度的要求大幅提高，固态电池的发展有望成为其产业化的重要助力，而新应用领域的崛起也将为固态电池提供广阔的新市场。
- **供给端：技术与日俱进，产业链百舸争流。** 固态电池作为下一代锂电池技术，其材料体系将不断革新，向更高能量密度迈进，材料迭代路径大致遵循“固态电解质→新型负极→新型正极”的顺序。固态电解质多种路线并行，领先企业侧重硫化物方向；负极材料正从传统石墨向硅基负极过渡，远期将向锂金属过渡；正极材料目前以高镍三元为主，远期富锂锰基、高压镍锰酸锂等新型正极有望得到应用。**电池企业**凭借对电池系统和量产工艺的理解，成为固态电池研发和材料体系革新的牵头者，国内企业已公布的全固态电池量产规划集中于2027-2030年。**电解质环节**，材料企业布局硫化物和氧化物路线，多数处于中试阶段，计划逐步向量产过渡。**负极材料环节**，硅基负极产业化在即，有望在液态和固态电池中逐步渗透，参与者已有千吨级量产产能布局。**正极材料环节**，主要企业针对固态电池的超高镍三元产品已处于认证阶段。**导电剂环节**，碳纳米管或将成为固态电池的重要添加剂，并有望受益于液态电池快充需求和电极材料迭代趋势，前景可期。**设备环节**，固态电池量产工艺尚未定型，设备路线亦不固定，锂电设备企业积极开发干法电极设备、固态电解质成膜设备等关键设备，并力求提供整线解决方案。
- **投资建议：技术进步推动、低空等新场景拉动下，固态电池方兴未艾、前景可期。** **电池环节**，电池企业是固态电池研发和材料体系革新的牵头者，推荐技术实力领先的宁德时代；固态电池产业化稳步推进的鹏辉能源。**材料环节**，建议关注扎实布局硫化锂及硫化物电解质的恩捷股份；硅基负极技术和产能布局领先的贝特瑞；碳纳米管赛道市占率领先的天奈科技。**设备环节**，建议关注具有固态电池整线供应能力的先导智能。
- **风险提示：** 1.固态电池技术突破不及预期的风险。2.固态电池量产进度不及预期的风险。3.固态电池下游应用推广不及预期的风险。

风险提示

1. 固态电池技术突破不及预期的风险。

固态电池技术仍面临离子电导率低、界面阻抗、材料稳定性和相容性等技术瓶颈，产品性能提升需要多方面基础研究和突破。若关键技术突破的进度不及预期，可能导致研发进度延迟，影响固态电池产业化进程。

2. 固态电池量产进度不及预期的风险。

电池从实验室研发到量产面临较大挑战。固态电池的生产工艺复杂，涉及干法电极工艺、固态电解质成膜、界面处理等新工艺，量产和质量控制难度较大。若量产工艺开发进度不及预期，可能导致产品性能不足或成本过高，影响固态电池后续推广。

3. 固态电池下游应用推广不及预期的风险。

与液态电池相比，固态电池性能理论上具有全面提升的潜力。但研发和量产中，固态电池材料体系的限制、以及液态锂电池的迭代升级，可能导致固态电池在部分性能优于液态电池的同时，另一部分性能相对较差，企业需要对下游场景具体性能和成本需求有全面把握。若量产后的固态电池在性能和性价比方面难以形成明显优势，可能导致需求端的渗透不及预期。

平安证券综合研究所投资评级:

股票投资评级:

强烈推荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现20%以上）

推荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现10%至20%之间）

中性（预计6个月内，股价表现相对市场表现在±10%之间）

回避（预计6个月内，股价表现弱于市场表现10%以上）

行业投资评级:

强于大市（预计6个月内，行业指数表现强于市场表现5%以上）

中性（预计6个月内，行业指数表现相对市场表现在±5%之间）

弱于大市（预计6个月内，行业指数表现弱于市场表现5%以上）

公司声明及风险提示:

负责撰写此报告的分析师（一人或多人）就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。

市场有风险，投资需谨慎。

免责条款:

此报告旨为发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司2025版权所有。保留一切权利。