

固态电池展望：理想照进现实

——技术路线与商业化展望

证券分析师： 刘强

分析师登记编号： S1190522080001

报告摘要

固态电池材料呈多路径分化，相较液态电池在安全、寿命等方面优势显著。其以固态电解质替代液态电解质实现“本质安全”，能量密度超 500Wh/kg；电解质中硫化物性能最优，正极高镍三元与 LFP 并行，负极硅基为主要方向，锂金属潜力大但挑战多。

产业化面临界面阻抗、锂枝晶及制造工艺瓶颈，干法成膜和等静压工艺为突破方向。固-固界面接触不良、锂枝晶生长影响性能与安全，需通过界面涂层、材料匹配等解决；制造中膜层均匀性很关键，干法成膜成主流，等静压工艺助力高致密化。

2026年为产业化关键节点，政策多维度支持，头部企业加速中试与量产布局。政策明确固态电池为攻关方向，提供资金与标准支持；清陶能源、宁德时代、国轩高科等企业推进中试，计划 2027 年后量产，国际企业同步发力。

产业链相关公司：

- 1) 下游电池以及应用：宁德时代、亿纬锂能等；
- 2) 中游材料（包括固态电解质）：厦钨新能、贝特瑞、璞泰来、当升科技、容百科技、恩捷股份等；
- 3) 上游原料以及配套（包括设备）：天齐锂业、纳科诺尔、华自科技等。

风险提示：固态电池产业化面临技术研发、量产进度、产业链协同及成本控制不及预期的风险，技术突破滞后、量产延期、产业链配套不足或成本高企可能制约其进程。

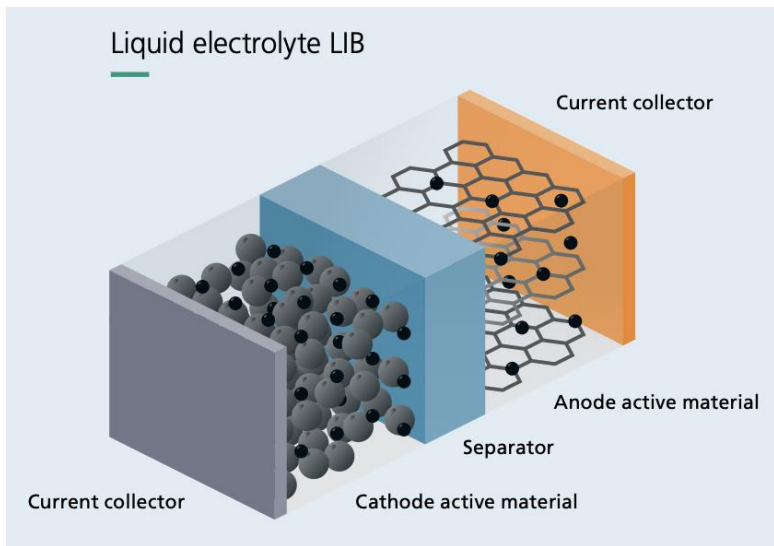
目录

- 1、**固态电池路径选择决定性能与趋势：硫化物是核心**
- 2、产业化突破的关键：干法、等静压等工艺
- 3、政策+产业链共振推动产业化落地
- 4、风险提示

1.1 传统锂电困局：易燃体系埋隐患

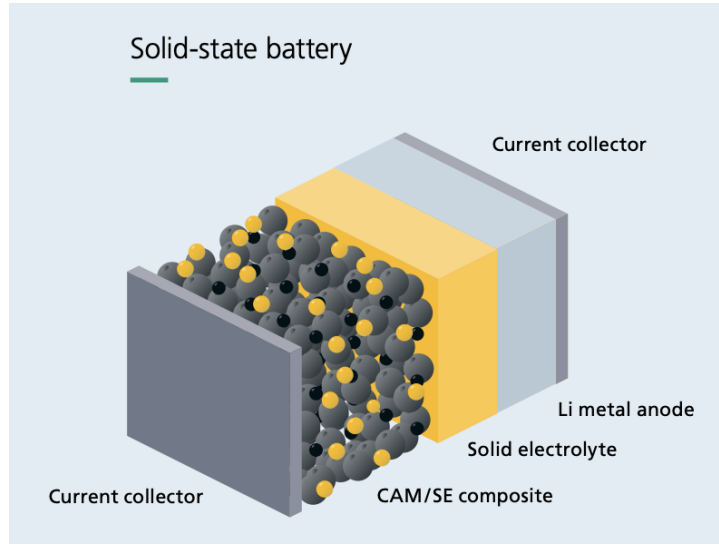
传统液态锂电池内部含有大量易燃的液态电解质和多孔有机隔膜，这些材料容易引发热失控。当电池内部短路或温度过高时，液态电解质可能会燃烧甚至爆炸，对使用者的生命和财产安全构成严重威胁。而“固态电解质”作为替代方案被提出，其初衷正是为了追求更高的安全性与能量密度。将可燃的有机材料变为不可燃的无机材料，把低硬度、低耐热的有机隔膜变为高硬度、高耐热的固态电解质层，从本质上解决了安全隐患，实现“本质安全”。

图表1：液态锂离子电池结构示意图



资料来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、太平洋证券

图表2：全固态电池结构示意图



资料来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、太平洋证券

1.2 固态电池核心优势：循环寿命长、快充性能优、安全性显著提升

安全性能大幅提升：固态电解质不可燃、耐高温、热稳定性强，本质规避液态体系中的起火、泄漏与爆炸风险；彻底消除热失控与电解液腐蚀等核心痛点，适用于航空航天、人形机器人、军事装备等极端工况场景。

循环寿命更长：固态电解质具备优异的界面稳定性，可有效抑制锂枝晶生长、降低副反应并延缓容量衰减。相比传统液态锂电池，固态电池或可实现跨循环寿命突破至10000次以上，尤其适用于新能源汽车、储能系统等高耐久场景。

图表3：固态电池与液态锂电池核心性能对比

	液态电池	固态电池
电解质	有机溶剂 + LiPF_6 + 添加剂	聚合物、氧化物、硫化物
充电次数	2000次	10000次
热稳定性	上限 100°C	上限 800°C
能量密度	$<300\text{Wh/kg}$	$>500\text{Wh/kg}$

资料来源：《北京市固态电池产业发展研究》、太平洋证券

1.3 固态电池核心结构：由多材料组合构成，路径选择决定性能与趋势

固态电池是一种以固态材料代替液态电解质的新型电池体系，其结构由五个核心单元组成：正极材料、电解质（阴极侧与阳极侧）、隔膜、负极材料与电流收集体。相比传统液态电池，固态电池本质上是一个“材料系统工程”。材料系统的选择不仅影响能量密度、安全性、寿命与快充性能，也决定了产业链上下游的技术协同难度与成本控制路径。多路径并存的结构决定了其高度可调性，也带来了验证周期长、量产难度高等挑战，是当前研究与产业博弈的关键起点。

图表4：固态电池结构组成与主要材料体系概览

	Anode active material	Anolyte	Separator	Catholyte	Cathode active material	
Current collector	▪ Lithium metal	▪ Solid	▪ Solid	▪ Solid	▪ LFP	Current collector
	▪ Silicon	▪ Oxide	▪ Oxide	▪ Oxide	▪ NMC	
	▪ Graphite	▪ Sulfide	▪ Sulfide	▪ Sulfide	▪ NCA	
	▪ LTO	▪ Polymer	▪ Polymer	▪ Polymer	▪ Sulfur	
		▪ (Liquid)		▪ (Liquid)	▪ High-voltage cathode, e.g. LMNO	

资料来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、太平洋证券

1.4 固态电解质技术路线对比

固态电解质是固态电池的核心功能单元，目前主要技术路径包括硫化物、氧化物、聚合物三类主流体系，以及近年来兴起的卤化物新兴体系。各类体系在离子电导率、安全性、界面稳定性与制造难度等方面表现各异，决定了其整体性能表现与产业化进程差异。从整体性能维度看，硫化物路线在离子电导率、高电压适配性等方面表现突出，是当前性能最优的固态电解质技术路径之一。

图表5：四类固态电解质性能维度对比

性能维度	氧化物	硫化物	聚合物	卤化物
离子电导率	较高	高	一般	高
锂金属兼容性	高	一般	高	较高
长期运行稳定性	一般	较高	较高	高
高电压适配性	高	一般	较高	高
作为隔膜适配性	高	较高	较高	高
作为正极侧电解质适配性	一般	高	较高	一般

资料来源：B. Tao et al., *Chemical Science*, 2023, 14, 8693. | 《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、太平洋证券

1.5 硫化物固态电解质：性能最优路径，亦是产业化难点集中地

硫化物固态电解质可分为玻璃态、玻璃陶瓷态和晶体态三类。根据结构和性能的差异，主要包括以下四个子类：

- LPS 类 (Li_3PS_4 系列)：结构简单，常用于玻璃或玻璃陶瓷电解质，工艺成熟，界面兼容性良好。
- LGPS 类 ($\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ 系列)：典型晶体态电解质，具有超高离子电导率 ($>10^{-2}$ S/cm)，但成本高、稳定性差。
- Argyrodite 类 (如 $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$)：结构多样、空气稳定性较好，是当前研究热点之一。
- Thio-LISICON 类：LISICON 的含硫衍生结构，具有良好的电导率与可调结构潜力。

图表6：硫化物固态电解质四大体系性能与应用对比

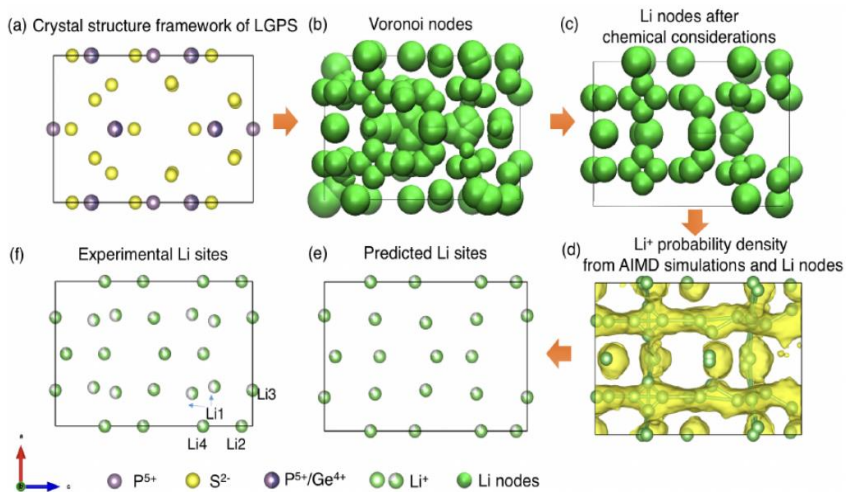
材料类别	状态类型	代表化合物	离子电导率 (S/cm)	特点	适用方向	市场潜力
LPS 类	玻璃态 / 陶瓷态	Li_3PS_4	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	制备成熟，界面友好	分离膜、阴极/阳极电解质	中等
LGPS 类	晶体态	$\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$	$>10^{-2}$	电导率高，成本高	阴极电解质	中等
Argyrodite 类	晶体态	$\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$	$\sim 10^{-3}$	稳定性好，可调性强	阴极/阳极电解质、分离膜	高
Thio-LISICON	晶体态	Li_4SiS_4	$\sim 10^{-3}$	潜力型材料	暂未大规模商用	低

资料来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、太平洋证券

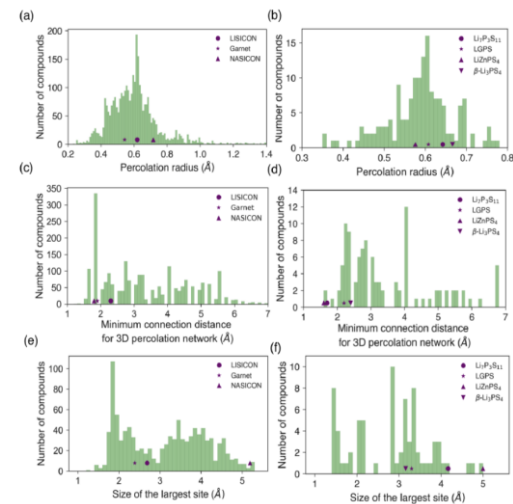
1.5 硫化物固态电解质：性能最优路径，亦是产业化难点集中地

LGPS 是硫化物固态电解质的重要代表，其离子电导率高达 12 mS/cm，接近液态电解质水平。其高导电性来源于其三维晶体结构中锂离子可沿 c 轴方向的一维通道快速迁移，并辅以 ab 面的二维扩散路径，共同构成三维导通网络。研究者通过 Voronoi 分析与动力学模拟进一步可视化锂离子的扩散路径，从而印证其高离子电导率的结构来源。尽管 LGPS 在性能上具有显著优势，但在产业化过程中仍面临两大挑战：1) 成本问题：LGPS 含有昂贵锗元素，限制其大规模量产；2) 稳定性问题：与锂负极反应生成副产物，形成持续生长的界面层，导致界面阻抗升高，降低整体电解质性能。

图表7: LGPS 晶体结构与锂离子扩散路径可视化



图表8: 硫化物晶体结构在扩散路径上的优势体现



资料来源: He, X. et al. Crystal Structural Framework of Lithium Super-Ionic Conductors, *Adv. Energy Mater.*, 2019, 9(43), 1902078. DOI: 10.1002/aenm.201902078、太平洋证券

1.6 高电压正极：能量密度与界面稳定性的双重博弈

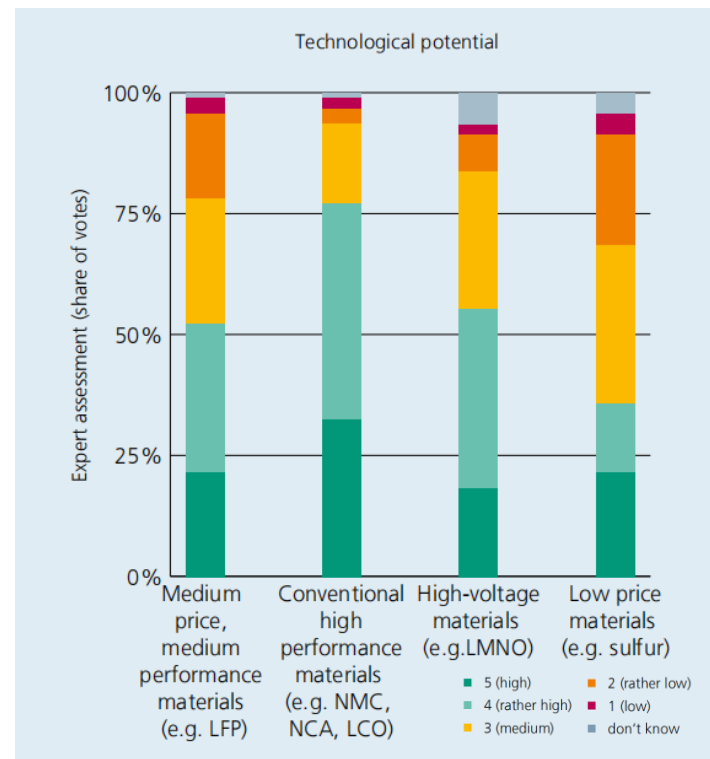
固态电池正极材料的选择对电池的能量密度、安全性、循环寿命与界面稳定性具有决定性影响。当前正极材料的研发正沿三类主要技术路径并行推进：

(1) 高能量密度型：以高镍三元材料（如 NMC811, NCA）为代表，具有高达 275 mAh/g 的理论容量与较高电压平台，适用于高续航乘用车。但其结构稳定性差、成本高、与锂负极界面副反应显著，产业化仍需攻克材料调控与界面匹配难题。

(2) 高稳定性型：如尖晶石型锰酸锂（LMO）具备良好的热稳定性与结构稳定性，适合大倍率循环与特殊工况使用。当前已作为 NMC 材料的添加剂广泛应用，未来有望通过颗粒结构优化进一步提升性能窗口。

(3) 低成本型：以磷酸铁锂（LFP）及其改性材料（如LMFP）为代表，具备成本低、安全性高、资源可持续性强的优势。尽管能量密度略低（约 160 mAh/g），但在中低端市场具有广阔前景，已成为固态电池量产导入的优选正极路线。

图表9：不同正极材料的技术潜力专家评估对比



资料来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、太平洋证券

1.7 固态电池负极材料：多路径并存，锂金属最具能量潜力但挑战显著

固态电池负极材料技术路径多元，各类材料在能量密度、安全性、循环稳定性与成本等维度表现不同，适用于差异化场景：

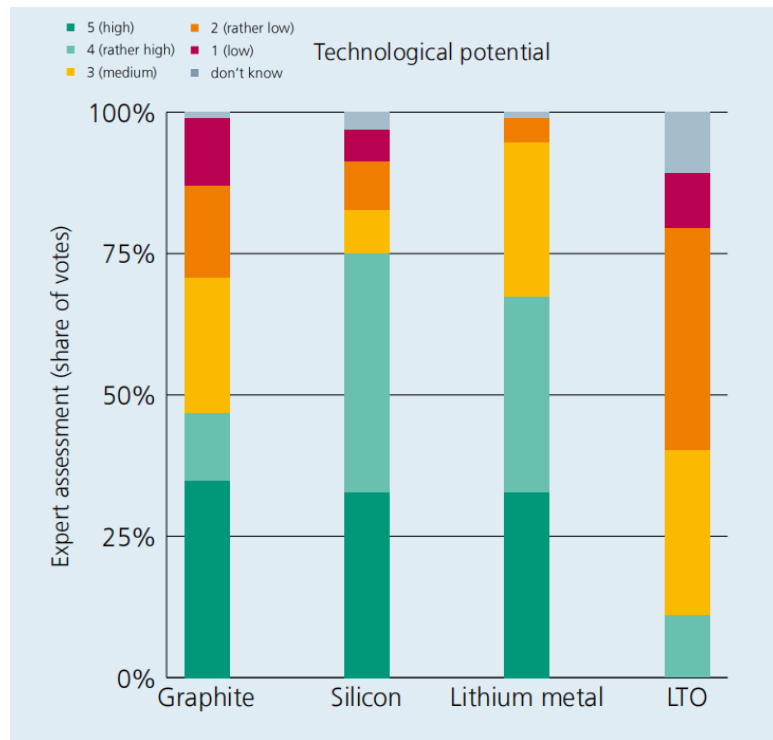
(1) 石墨：石墨负极具备成熟的工艺基础与良好的电化学稳定性，是当前锂离子电池的主流路线，容量可达 360 mAh/g，但体积膨胀控制仍需依赖粘结剂，固态电池中易形成不稳定的SEI界面。

(2) 硅基负极理论容量超 3500 mAh/g，具备高能量密度潜力，但存在体积膨胀 (>300%) 与界面稳定性差等问题。通过石墨/碳包覆 (如SiNP) 可改善其循环稳定性，在固态电池中被视为重要下一代负极材料。

(3) 锂钛氧具备出色的结构稳定性与快充性能，循环寿命超 1000 次，适合高倍率场景，但低比容量 (~175 mAh/g) 与低电压平台限制其能量密度，难以满足主流电动车需求。

(4) 锂金属为能量密度最高的负极材料 (理论容量 3860 mAh/g, 电压平台 -3.04 V vs. Li)，被视为固态电池的终极负极路线。但其化学活性高，易产生枝晶引发短路，对固态电解质界面稳定性要求极高，目前面临界面调控与安全性两大技术瓶颈，量产难度较大。

图表10：固态电池负极材料技术潜力专家评估对比



资料来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、太平洋证券

1.8 固态电池核心材料趋势总结：技术分化与产业路径初现

1) 固态电解质：硫化物为主流攻坚方向，氧化物具备工程化优势

当前固态电解质路线中，硫化物材料（如LPS类）因具备高离子电导率和界面适配性优势，被视为实现高性能固态电池的最优选，但面临空气稳定性与制备工艺挑战。氧化物材料（如LLZO）具有较好稳定性和安全性，在汽车场景下工程落地路径清晰。聚合物电解质则主要面向中低温场景，量产路径最为成熟。

2) 正极材料：高镍三元占据高端路线，LFP为固态导入优选

三元材料（如NMC811、NCA）具备高能量密度潜力，是高端乘用车固态路线首选；但界面稳定性与成本仍为关键挑战。低成本型正极如LFP具备资源可持续、安全性高等优势，已成为当前固态量产导入的主流选择。

3) 负极材料：硅基路线最具兼容性，锂金属仍面临工程瓶颈

负极材料中，石墨路线成熟但能量密度受限，锂金属具备最高理论容量但安全性差、界面控制难度大。硅基负极凭借高容量与石墨复合适配性，正成为固态负极发展的主攻方向。

各家企业固态电解质材料路线逐步分化，硫化物因导电性好、界面匹配佳，成为当前主流选择。正负极材料仍呈多元探索态势，尚未形成统一路径。

1.8 固态电池核心材料趋势总结：技术分化与产业路径初现

图表11：主流企业固态电池材料路径与量产进展对比

公司	技术路线	进展
宁德时代	硫化物、凝聚态聚合物	2027年有望实现小批量生产，目标是实现500Wh/kg的能量密度。
孚能科技	硫化物、硅碳负极	全固态电池已由实验室进入中试生产交付阶段，第一代硫化物全固态电池400Wh/kg已送样，第二代500Wh/kg已完成技术开发，计划2027年推出第三代超过500Wh/kg。
中创新航	多种材料复合的电解质技术	计划在2027年实现该款全固态电池的小批量装车验证，2028年量产。
欣旺达	硫化物、高镍正极、硅基负极、锂金属负极	第一代400Wh/kg全固态电池已完成方案设计与工艺验证，计划2027年推出第二代500Wh/kg全固态电池。
比亚迪	高镍三元(单晶)、硅基负极(低膨胀)、硫化物电解质(复合卤化物)	计划于2027年启动固态电池的批量示范装车应用，2030年实现大规模量产。
亿纬锂能	硫化物复合卤化物	预计在2026年实现生产工艺的突破，2028年进一步推出具有400Wh/kg高比能量的全固态电池。
国轩高科	微纳化固体电解质、超薄膜包覆单晶正极、三维介孔硅负极	自主研发的“金石”全固态电池已进入中试量产阶段，同时启动了2GWh级量产线的设计工作。
丰田	硫化物	2023年宣布在固态电池制造工艺取得突破，计划2027-2028年实现商业化量产。
三星SDI	硫化物	计划2027年量产，2029年之前开发并量产可持续使用20年以上的电池解决方案。
Solid Power	硫化物	与宝马的试制线正式投产，预计2030年实现量产。

资料来源：各公司公告、太平洋证券

目录

- 1、固态电池路径选择决定性能与趋势：硫化物是核心
- 2、产业化突破的关键：干法、等静压等工艺
- 3、政策+产业链共振推动产业化落地
- 4、风险提示

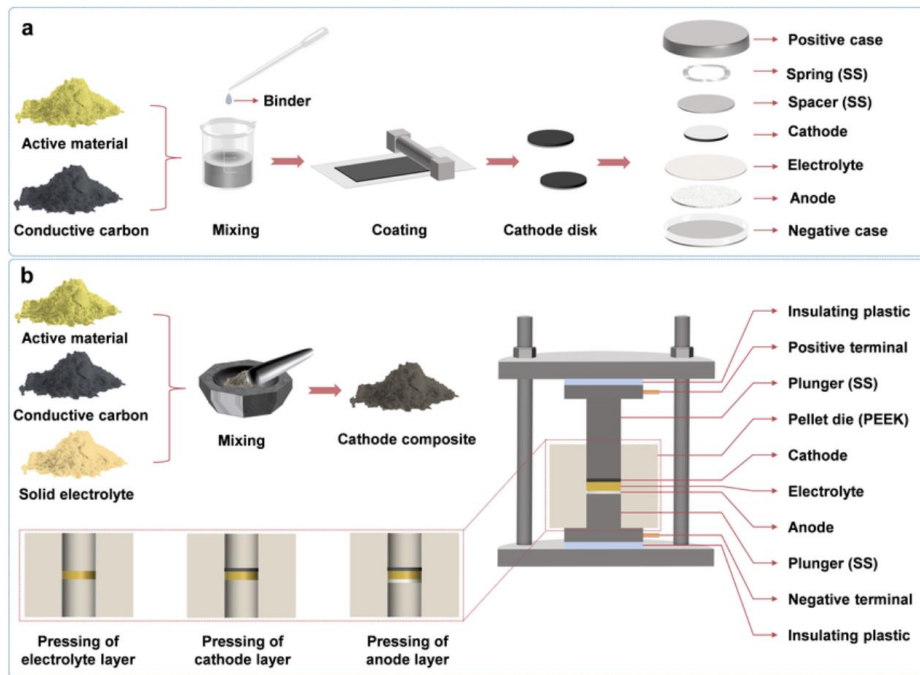
2.1 固态电池产业化的两大核心挑战

固态电池虽具备高安全性与高能量密度等显著优势，但在大规模商业化落地前，仍面临两大核心挑战：材料与界面难题以及制造与工艺瓶颈。

在材料与界面方面，固-固界面接触不良、离子传输阻滞、副反应及锂枝晶穿透电解质等问题，可能引发短路与安全风险，严重制约电池性能的发挥。

在制造与工艺环节，产业化仍受制于关键设备依赖进口、生产良率偏低等因素。现有干法/湿法、等静压等工艺在一致性与规模化能力上均有待提升，且高压压制、烧结等环节对工艺稳定性要求极高，不同批次间性能波动较大。上述问题不仅推高了生产成本，也使得工艺的产业化效率和柔性适配能力受到限制。

图表12：固态电池实验室典型制备工艺示意



资料来源：Batteries & Supercaps (2023)、太平洋证券

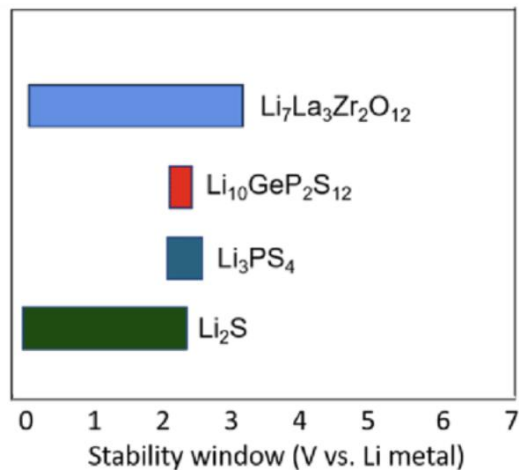
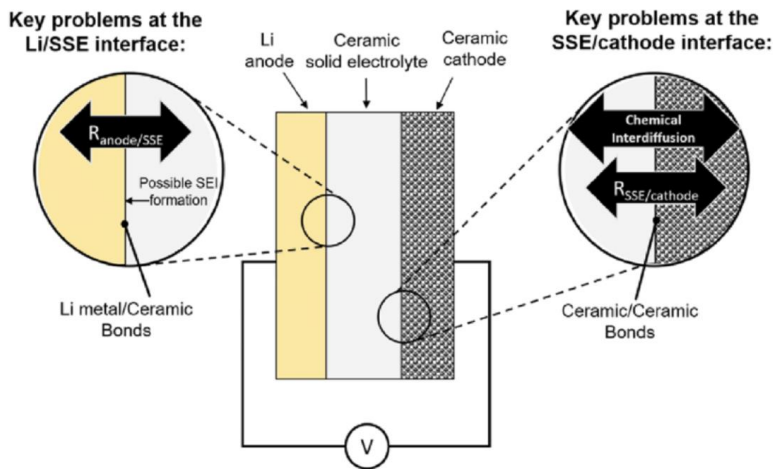
2.2 固-固界面阻抗问题：影响循环性能的核心瓶颈

固态电池在实际应用中面临的核心挑战之一是固-固界面问题。由于固态电解质与正、负极材料在化学性质、热膨胀系数、机械模量等方面存在差异，界面处易产生以下问题：

- 1) **接触不良**：固体材料无法像液态电解质那样充分浸润电极，导致离子传输路径增加、界面阻抗上升。
- 2) **化学/电化学反应与副产物层形成**：当材料的电化学稳定窗口与工作电位不匹配时，会发生副反应，如锂金属与固态电解质间生成 SEI 层、正极界面发生元素互扩散，导致界面阻抗进一步升高。
- 3) **结构失稳**：充放电循环过程中，电极体积膨胀/收缩引起界面开裂或剥离，进一步加剧接触不良与阻抗增长。

图表13：固态电解质界面挑战：界面阻抗升高

图表14：不同固态电解质与锂金属接触时的稳定性差异。



资料来源：Mahbub et al., *Electrochemistry Communications*, 2020、太平洋证券

2.2 固-固界面阻抗问题：影响循环性能的核心瓶颈

固态电解质与正/负极材料在物理接触过程中存在界面不连续、孔隙率高等问题，导致离子传导路径受阻、界面阻抗显著增加。长时间循环中，界面易发生副反应生成绝缘产物（如 Li_2S 、 Li_2CO_3 ），进一步恶化界面接触，降低倍率性能与循环寿命。

主流解决策略：

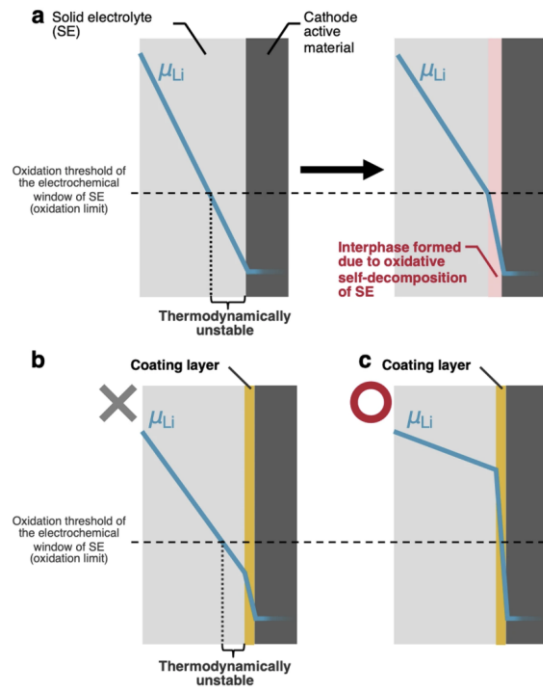
1) 界面涂层技术：在正极颗粒或负极表面包覆一层稳定材料（如 LiNbO_3 、 Li_3PO_4 、 Li_2ZrO_3 ），可：

- 提高界面热力学稳定性，抑制副反应发生；
- 优化离子传导路径，降低界面阻抗；
- 提高循环寿命与倍率性能。

2) 界面材料匹配优化：调整固态电解质的化学组成（如调节硫化物中P/S比），提升与电极材料的化学兼容性。

3) 机械预压与热处理：通过外部压力或热压烧结方式增强界面致密度，降低初始接触阻抗。

图表15：界面涂层在抑制固-固界面副反应中的作用机制



- 无涂层：固态电解质在高电压下热力学不稳定，发生氧化分解，生成高阻抗界面层；
- 涂层不合适：仍存在副反应与阻抗上升；
- 合适涂层：有效抑制固态电解质分解，稳定界面结构

资料来源：Yuta Kimura et al., *Communications Materials* (2024)、太平洋证券

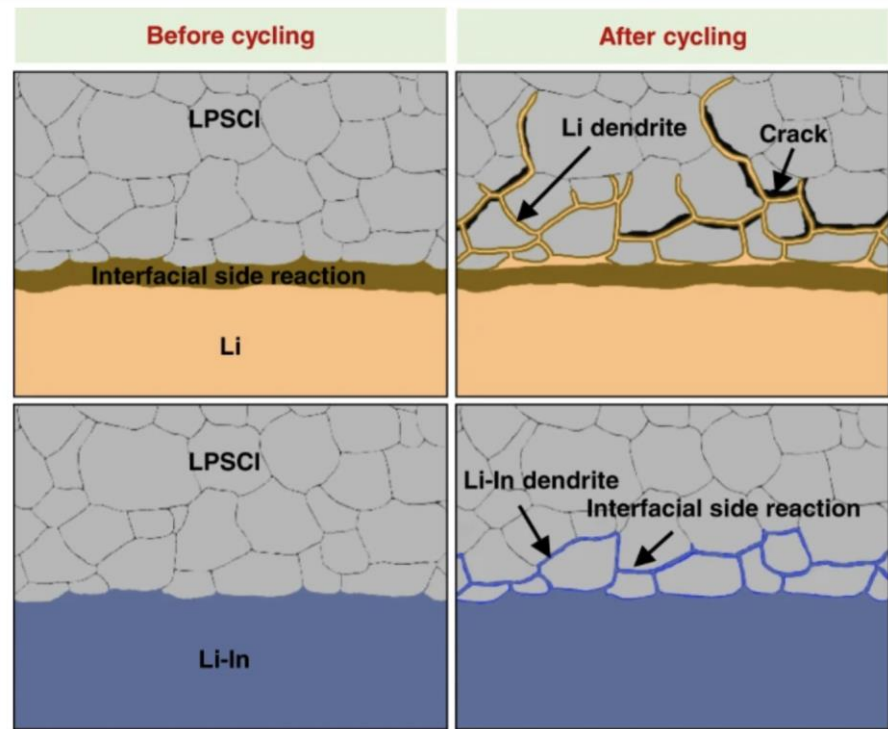
2.3 锂枝晶形成与控制：固态电池安全性与寿命的关键瓶颈

固态电池在充放电过程中，锂枝晶的形成与穿透是影响电池安全性与寿命的关键挑战之一。由于固态电解质与锂金属在界面接触、力学性能等方面存在差异，枝晶易在局部区域快速生长，导致短路甚至热失控。其主要问题包括：

- 1) 局部电流密度过高：界面接触不均匀，局部区域电流集中，诱发枝晶从缺陷处萌发。
- 2) 固态电解质力学强度不足：杨氏模量偏低时，枝晶沿裂纹或孔洞扩展，穿透电解质。
- 3) 循环应力与结构缺陷：充放电引起体积变化，产生应力集中与裂纹，为枝晶提供通道。

如右图所示，循环后界面处出现锂枝晶穿透与裂纹，伴随明显的副反应层生成，严重影响电池安全性。

图表16：循环前后锂枝晶与界面副反应的演变示意图



资料来源：Luo et al., Nature Communications, 2021、太平洋证券

2.3 锂枝晶形成与控制：固态电池安全性与寿命的关键瓶颈

枝晶一旦贯穿固态电解质，将引发内部短路，甚至导致热失控和起火。因此，在材料设计、界面工程及充放电策略中有效抑制枝晶生长，是实现固态电池规模化应用的关键方向。

1) 提升固态电解质强度：在保证高离子导率的同时，提高材料的机械强度，增强抗穿刺能力。

- 聚合物电解质可加入氧化物、硫化物填料，构建“刚柔并济”体系。无机相提供刚性支撑（目标杨氏模量 >10 GPa），抑制枝晶“尖端穿刺”；
- 无机电解质通过单晶化或纳米结构优化，减少晶界缺陷。

2) 稳定锂/电解质界面：界面是枝晶萌生的主要区域，需要改善接触和抑制副反应。

- 采用氧化物涂层、离子液体等修饰界面，提高润湿性、均匀电流分布；
- 构建功能缓冲层，如 Li_3N 或 LiF ，阻断电子传导并稳定界面相。

3) 优化充放电策略：结合固态电池特性，通过参数调抑制局部枝晶生长。

- 限制过高充电倍率，结合温度管理促进离子均匀迁移；
- 采用脉冲充电、预锂化或自适应调控，延缓枝晶贯穿。

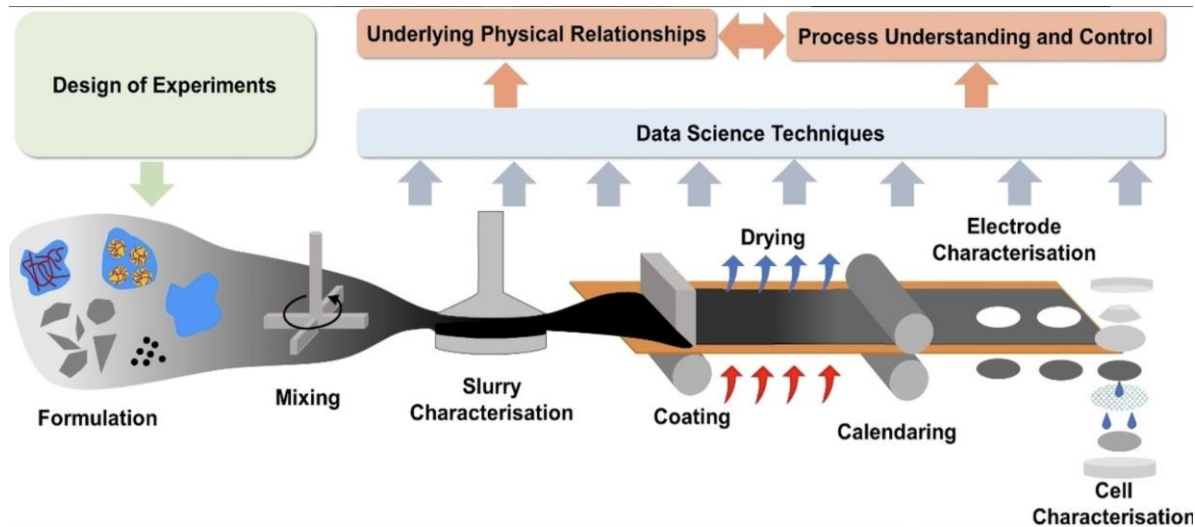
4) 分散应力与结构优化：循环应力集中易诱导裂纹与枝晶，需通过结构设计实现“应力缓冲”。

- 梯度结构设计：设计软-硬梯度结构过渡层，减少裂纹产生。
- 弹性应力缓冲：在电极 / 电解质间引入弹性聚合物或3D多孔骨架（如石墨烯 / 碳纳米管网络），吸收循环应力。

2.4 膜层均匀性与致密化：固态电池性能与安全的前道挑战

在固态电池前道制造中，膜层的均匀性与致密化程度是决定电池性能稳定性与安全性的关键。当前大面积涂布和压制工序中，膜层厚度一致性难以完全保障，尤其在固态电解质与电极材料界面处，易产生孔洞、裂纹和密度分布不均等缺陷。这些缺陷不仅影响离子传输效率，还可能在循环过程中诱发局部应力集中与安全风险。此外，在追求高致密化的过程中，过度压制或不均匀压制会导致内部微裂纹生成，从而加速性能衰减。因此，提升涂布与压制过程的精度控制、实现膜层致密且均匀，是当前产业化的首要挑战之一。

图表17：固态电池膜层制备流程及关键工序示意



资料来源: Reynolds C. et al., Batteries & Supercaps, 2023.、太平洋证券

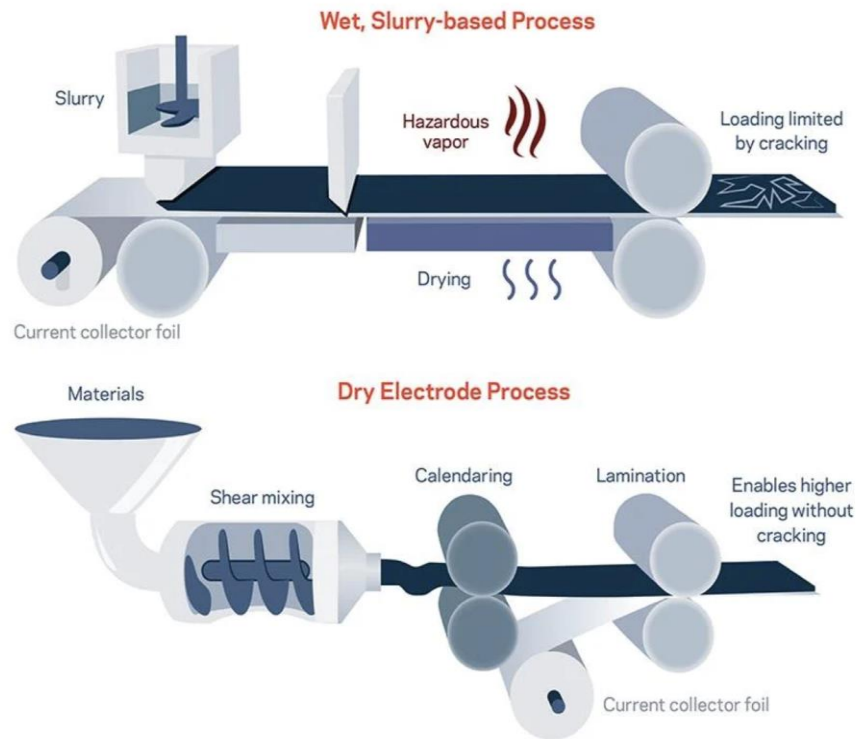
2.5 干湿法成膜对比：干法有望引领未来主流

固态电池前道成膜可分为干法和湿法，两者均存在瓶颈。

- 湿法工艺：在浆料均匀性和涂布厚度一致性方面表现较好，但额外的干燥与溶剂回收步骤会增加能耗与成本，并在高负载条件下易出现沉降、分层等问题。
- 干法工艺：可减少溶剂使用、降低成本，具备环保、节能、流程简化等优势，但在高压实密度和大面积一致性方面仍有不足，难以完全满足高能量密度电池要求。

凭借显著的环保与成本优势，干法正成为未来行业主流方向，后续需在粘结体系与过程控制方面持续优化，以实现更高一致性与产能。

图表18：湿法与干法电极制造工艺对比示意图

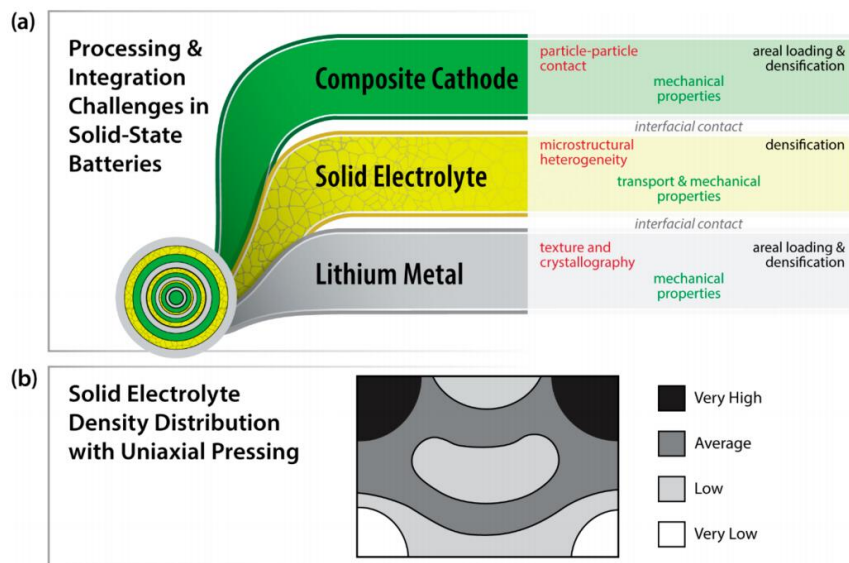


资料来源：Chemours, White Paper: The Advantages of Dry Electrode Coating in Lithium-ion Battery Production、太平洋证券

2.6 等静压工艺：固态电池高致密度成形的核心环节

等静压工艺利用液体介质在高压下对粉末或坯体施加各向均匀压力，使成形体在各个方向上具有一致密度和微观结构，显著降低孔隙率、提升机械强度与尺寸稳定性。这对于固态电池至关重要，因为固态电解质和高压实电极的致密性直接影响离子电导率、界面接触性能和电化学稳定性。

图表19：固态电池层状结构的致密化挑战与单轴压制的局限



(a) 固态电池各层在加工与集成中的致密化及界面接触挑战

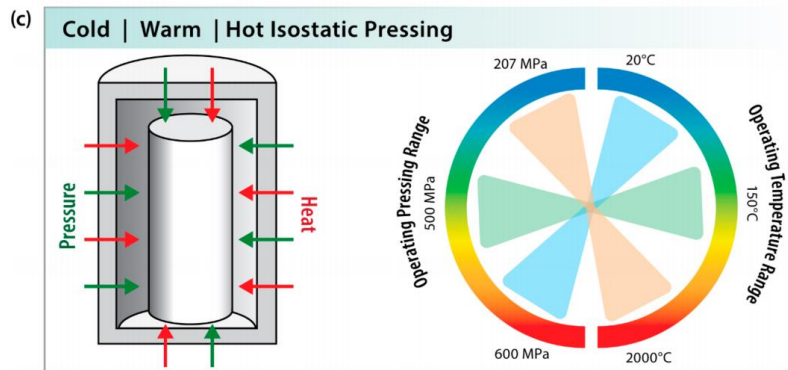
(b) 单轴压制下固态电解质密度分布不均的示意

资料来源：《The Role of Isostatic Pressing in Large-Scale Production of Solid-State Batteries》、太平洋证券

2.6 等静压工艺：固态电池高致密度成形的核心环节

等静压工艺主要分为三类：冷等静压（CIP）：室温下压实，适用于先压制再烧结的模式，设备成本低、效率高；热等静压（HIP）：高温高压下同步压实与烧结，致密度高但设备投资大；温等静压（WIP）：中温压制，改善可压性并增强界面结合。在固态电池应用中，技术经济分析表明 WIP 在大规模生产中最具潜力，因其能显著降低孔隙率、优化微观结构，且成本适中。相比之下，CIP 虽成本低但致密化有限，HIP 适用于高温稳定材料但成本高、周期长。然而，等静压在固态电池产业化中仍面临工艺参数优化不足、材料兼容性受限、技术应用范围有限、设备投资与周期成本高，以及微观结构调控不充分等挑战，需在效率、成本与性能平衡方面持续改进。

图表20：三类等静压工艺的加压与加热方式示意



三类等静压工艺的加压与加热方式及其压力、温度范围对比。CIP在室温下以液体介质均匀加压，可达最高约600MPa；WIP在中温（~150°C）下加压，压力约500MPa；HIP在高温（~2000°C）下以气体介质施压，压力约207MPa。

资料来源：《The Role of Isostatic Pressing in Large-Scale Production of Solid-State Batteries》、太平洋证券

图表21：三类等静压工艺的压力介质、温度与压力范围及适用性对比

ISP technique	CIP	WIP	HIP
pressure medium	liquid - water	liquid - oil/water	gas - argon/nitrogen
standard temperature rating (°C/°F)	20/68	150/302	2000/3632
standard pressure rating (MPa/ksi)	600/87	500/72.5	207/30
cycle time	o	+	+++
equipment cost	o	+	+++

^aQualitative values are represented by o, +, and +++, where o < + < ++.

目录

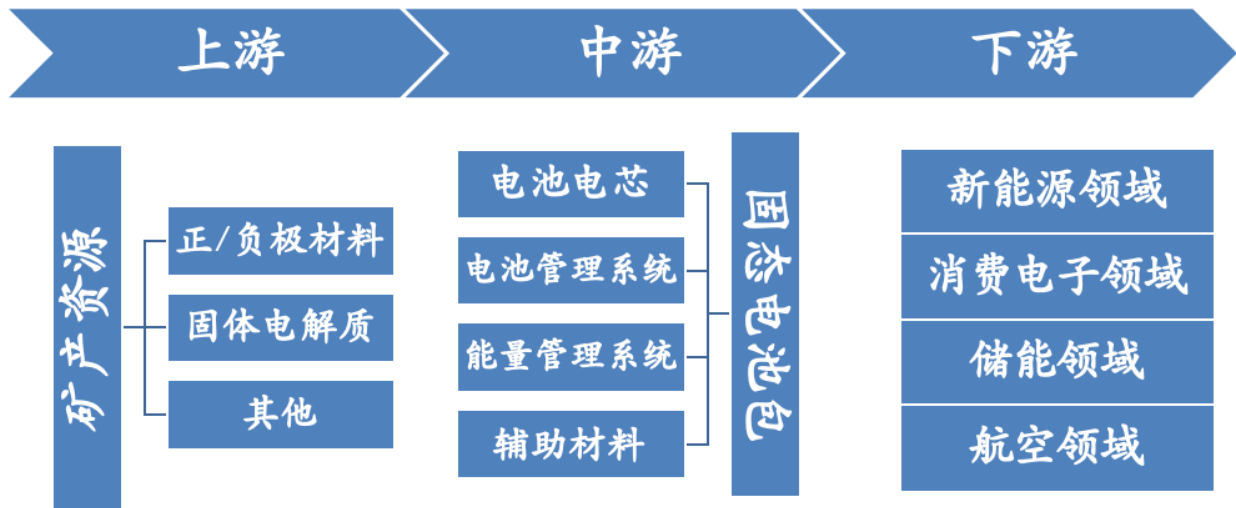
- 1、固态电池路径选择决定性能与趋势：硫化物是核心
- 2、产业化突破的关键：干法、等静压等工艺
- 3、政策+产业链共振推动产业化落地
- 4、风险提示

3.1 政策驱动的产业化路径

国家级政策从研发支持、标准制定、资金扶持等多维度入手，推动固态电池从上游材料到下游应用的全链条协同发展。

- 上游：重点扶持高性能正/负极材料、固态电解质等关键材料的研发与产业化，并推动矿产资源保障与设备国产化进程。
- 中游：加快统一工艺与质量标准的制定，支持规模化电池制造和系统集成能力建设，降低单位成本。
- 下游：通过试点示范、补贴政策和市场准入引导，加速固态电池在新能源汽车、消费电子、储能和航空等领域的商业化落地。

图表22：固态电池全产业链路径



资料来源：太平洋证券

3.2 2025年已为固态电池产业化奠定政策基础

固态电池作为下一代电池技术，研发周期长、成本高，亟需政策端的持续引导与投入，形成技术突破与产业链协同。国家级政策从方向引领、标准规范、资金扶持等多维度，为固态电池产业提供了强有力支撑，加速推动技术突破与产业化进程。随着政策端系统性引导逐步显现，固态电池产业链各环节正在形成从材料研发、标准制定，到示范验证、产业投资的协同推进格局。政策对产业技术路径的锚定作用尤为关键，不仅提升了企业中长期战略的确定性，也吸引更多资本与资源提前布局，逐步构建起“技术—标准—资金”三位一体的政策驱动生态。

图表23：固态电池相关政策梳理

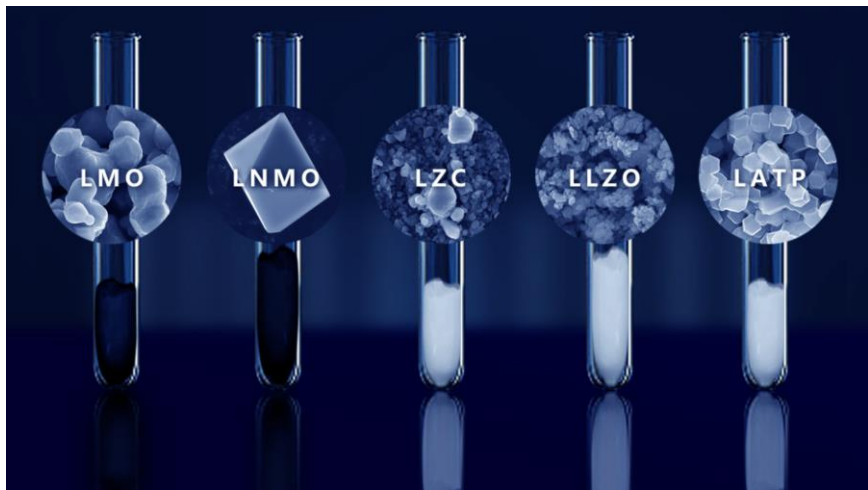
政策引领，奠定产业发展基调	标准先行，助力产业规范发展	资金支持，激发产业创新活力
2025年2月，工信部等八部门印发《新型储能制造业高质量发展行动方案》，明确将固态电池列为重点攻关方向，支持锂电池、钠电池向固态化升级，为产业技术路线锚定核心方向。	2025年4月，工信部《2025年汽车标准化工作要点》提出，加快推动固态电池标准子体系的制定与发布，以统一技术规范助力产业从研发向商业化有序过渡。	2024年推出60亿元固态电池专项刺激计划，定向支持企业技术研发；2025年国家发改委进一步出台15%投资补贴政策，加速技术成果转化与规模化应用。

资料来源：工信部、发改委、太平洋证券

3.3 清陶能源 — 硫化物固态电解质领跑者

上海清陶能源发展集团（清陶能源）于2016年成立，由中科院院士南策文教授团体发起，是国内首批实现兆瓦时级固态电池产业化验证的先锋企业。技术路径以硫化物固态电解质为核心，搭配高压实片材与界面处理技术，已验证量产级电池可搭载 SAIC 智己 L6，单体电芯能量密度达约 368 Wh/kg、续航逾 1083 km，且通过钉刺安全测试。清陶已成为 SAIC 等主机厂的重要合作伙伴，并推进多车用示范项目。该企业拥有自主设备、完整工艺链与样车落地能力，产业化路径清晰。随着硫化物固态电解质的生产成本逐步下降及规模化生产的推进，清陶能源有望在中高端动力电池与储能市场进一步扩大市场份额，并在固态电池产业化竞争中保持领先优势。

图表24：固态电池核心材料布局



资料来源：公司官网、太平洋证券

图表25：全产业链布局的固态电池企业

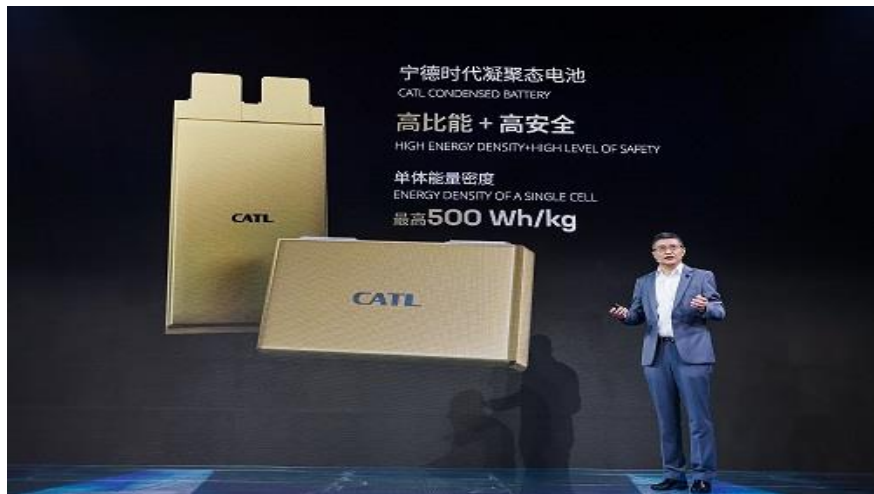


资料来源：公司官网、太平洋证券

3.4 宁德时代 — 从凝聚态到全固态的技术领航

自 2024 年组建千人研发团队以来，宁德时代持续加大对全固态电池的投入专注于实现关键技术突破；根据公开信息，宁德时代计划于 2027 年实现全固态电池的小批量生产，已建成中试生产线并在优化工艺与验证性能。虽然董事长曾毓群强调全固态目前仍存耐久性与成本等挑战，短期仍以“凝聚态电池”（半固态电池）作为过渡路径，但从中试到装车验证，宁德时代在产业化节奏的掌握方面仍处行业领先地位。

图表26：宁德时代凝聚态电池性能



资料来源：公司官网、太平洋证券

3.5 国轩高科 — 全固态路线的技术先锋

国轩高科建成的首条全固态实验中试线已投产并完成内部装车验证，设计产能达 0.2 GWh，实现包括高精密涂布在内的关键技术国产化，良品率达 90%，并启动 2GWh 量产线设计，计划 2027 年实现小批量装车。其“金石”全固态电池材料创新显著：硫化物电解质电导率提升 60%、单体容量增长 150%、预紧力下降 90%，通过针刺、热箱、过充等严苛测试，安全性能显著增强。结合自主设备与高良品率产线，以及安全性能与能量密度双提升，国轩高科在全固态电池领域具备不俗“突围能力”，有望成为行业的重要竞速者。

图表 27：国轩高科金石全固态电池

金石电池

国轩高科第一代全固态电池技术

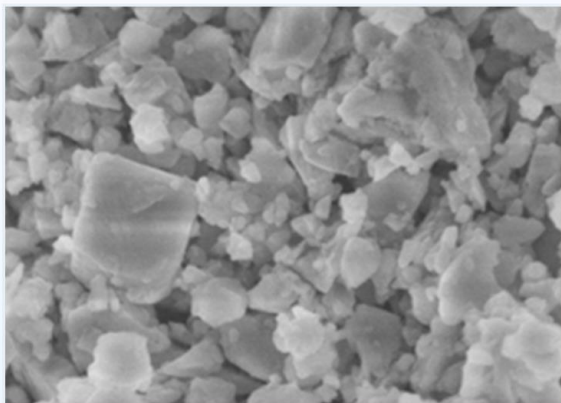


资料来源：公司微信公众号、太平洋证券

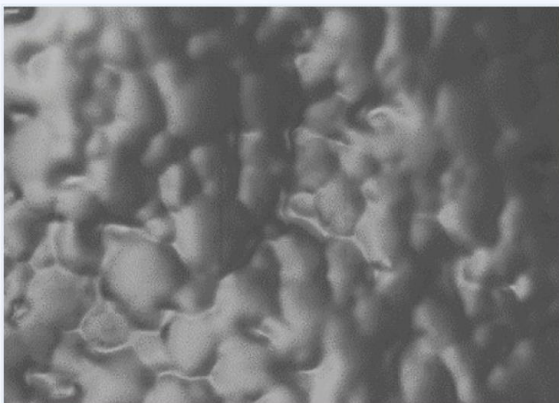
3.6 贝特瑞 — 固态电池材料全链领跑者

贝特瑞早在 2017 年即开始布局固态电池关键材料，并在 2025 年推出了“贝安 FLEX”半固态和“GUARD”全固态系列，覆盖高镍正极、硅基负极、固态电解质与锂碳复合负极等多个关键环节。其硅碳负极产品已发展至产业领先的第六代，具备高压实、低膨胀特性，量产能力达 5,000 吨/年，且已导入国际头部客户供应链与圆柱电池项目中。在 2025 年欧洲先进汽车电池大会上，贝特瑞亮相“BTR SAFE”固态电池材料整体解决方案，充分展示其全球化战略与材料样板能力。公司指出硅基负极已实现量产，且认为锂碳负极将成为未来固态电池负极的重要发展方向。此外，其“全链新生”材料回收体系也在推进正/负极材料的闭环循环，有助于可持续发展。

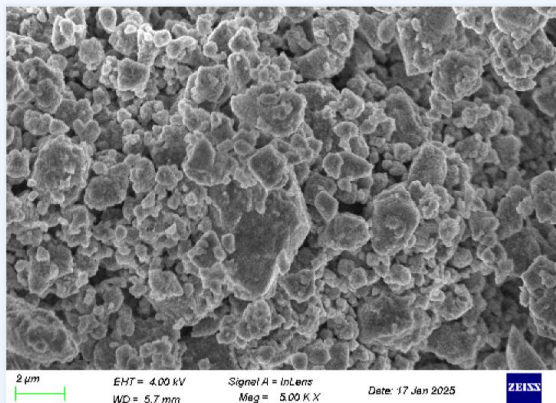
图表28：贝特瑞固态电池材料



磷酸钛铝锂无机固态电…



聚合物有机固态电解质



硫化物固态电解质

资料来源：公司官网、太平洋证券

3.7 清研纳科 — 固态电池干法电极设备先锋

清研纳科智能装备科技（深圳）有限公司由清研电子与纳科诺尔于2023年联合成立，深耕干法电极设备多年，率先围绕干法电极工艺构建系统化、智能化、工程化装备体系，打通了从实验验证到规模量产的完整制造路径。清研纳科推出的多辊双面成膜符合一体化设备，在性能上达到行业领先水平。设备幅宽最高可达1200mm，有效成膜宽度1000mm，负极成膜速度可达到80m/min，正极成膜速度突破60m/min，成功实现了干法负极的量产。其干法电极装备方案在粉体成膜均匀性、压实密度控制、连续化生产稳定性、智能化控制管理等方面领先行业，并已通过实际应用验证。2025年，公司成功搭建了国内首条0.1GWh锂电池干法电极全自动贯通线，并为国内首条大容量全固态电池产线提供了核心装备支持。随着固态电池对高效制造设备需求的急速增强，全球电池制造迎来新技术革命，清研纳科以技术引领和产能优势持续赋能固态电池产业发展，力争成为全球干法电极装备市场的领军者，助力中国在全球竞争中占得先机。

图表29：十辊双面成膜复合一体机



资料来源：公司官网、太平洋证券

图表30：清研纳科赋能全固态生产线（高速宽幅干法电极设备）



资料来源：公司官网、太平洋证券

目录

- 1、固态电池路径选择决定性能与趋势：硫化物是核心
- 2、产业化突破的关键：干法、等静压等工艺
- 3、政策+产业链共振推动产业化落地
- 4、风险提示

风险提示

- 固态电池技术研发不及预期
- 固态电池量产进度不及预期
- 产业链协同配套滞后
- 成本控制不及预期

投资评级说明

1、行业评级

看好：预计未来6个月内，行业整体回报高于沪深300指数5%以上；

中性：预计未来6个月内，行业整体回报介于沪深300指数-5%与5%之间；

看淡：预计未来6个月内，行业整体回报低于沪深300指数5%以下。

2、公司评级

买入：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅在15%以上；

增持：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于5%与15%之间；

持有：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于-5%与5%之间；

减持：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于-5%与-15%之间；

卖出：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅低于-15%以下。

太平洋证券股份有限公司

云南省昆明市盘龙区北京路926号同德广场写字楼31楼



投诉电话： 95397

投诉邮箱： kefu@tpyzq.com

免责声明

太平洋证券股份有限公司（以下简称“我公司”或“太平洋证券”）具备中国证券监督管理委员会核准的证券投资咨询业务资格。

本报告仅向与太平洋证券签署服务协议的客户发布，为太平洋证券签约客户的专属研究产品，若您并非太平洋证券签约客户，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息；太平洋证券不会因接收人收到、阅读或关注媒体推送本报告中的内容而视其为太平洋证券的客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何机构和个人的投资建议，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的书面或口头承诺均为无效。

本报告信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价或询价。我公司及其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。我公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。本报告版权归太平洋证券股份有限公司所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、刊登。任何人使用本报告，视为同意以上声明。