

AI动力打造固态电池发展新引擎

分析师：贺朝晖 S0910525030003

周涛 S0910523050001

2025年5月27日



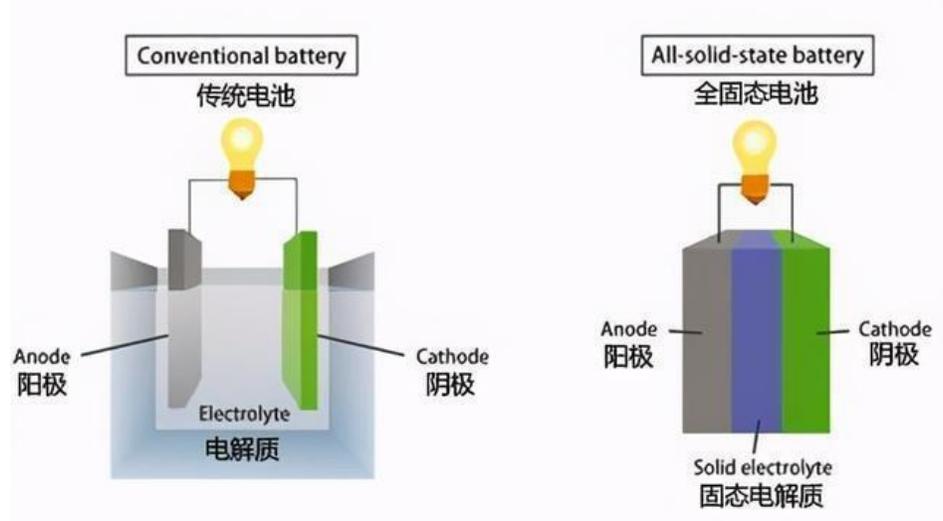
- ◆ **技术突破驱动固态电池产业升级。** 固态电池凭借突破性的能量密度（可达500Wh/kg）、本质安全特性和出色的低温性能，正加速取代传统锂电成为下一代主流技术路线。当前四大技术体系中，氧化物固态电池的性能与成本相对综合，聚合物具有加工性好、界面相容性好等优势，硫化物因高离子电导率备受青睐，而卤化物仍需突破成本与工艺瓶颈。GGII数据显示，2024年固态电池出货量预计将达7GWh，2027年将是产业从发展初期迈向快速上升期的转折点，进入快速增长期。
- ◆ **龙头布局加码，全固态进程提速。** 政策引导与资本加持双重驱动，产业化进程显著提速。目前，国内固态电池已有/在建/规划产能达数百GWh：宁德时代将于2025年推出半固态电池，2027年全固态进入装车测试；亿纬锂能预计2026年推出高功率、高环境耐受性及强安全的全固态电池；恩力动力计划于2025年年底开始供应电动汽车(EV)固态动力电池。SMM预计，到2030年，全球锂电池需求量或达约2800GWh。全固态电池渗透率或达4%左右，2035年全固态电池渗透率有望达到9%。
- ◆ **AI赋能新场景，千亿增量市场开启。** 因体积限制，对能量密度要求更高，叠加用户体验升级等因素，AI消费终端将成为固态电池商业化落地的试验田，渗透率先突破：1) eVTOL对能量密度要求极高（ ≥ 400 Wh/kg需全固态），预计低空经济电池市场规模在2030年达1500-2000亿元，固态电池将占据核心份额；2) 人形机器人电池市场中，GGII预计，到2030年需求将超100GWh，2025-2030年复合增长率超100%。看好固态电池在锂电池弱beta情景下的alpha增量。
- ◆ **投资建议。** 建议关注：1) 电池：宁德时代、亿纬锂能、国轩高科；2) 设备：纳科诺尔、曼恩斯特；3) 固态电解质及上游：三祥新材、厦钨新能、上海洗霸、有研新材；4) 硅负极相关：元力股份、天奈科技等。
- ◆ **风险提示：** 政策变动风险、技术突破不及预期风险、市场竞争加剧风险。

- 01 高能量密度+高安全性，固态电池前景广阔
- 02 生产工艺革新，多元技术路线协同发展
- 03 产业龙头布局加码，全固态电池迎来黄金发展期
- 04 AI赋能产业变革，eVTOL+人形机器人打开增量空间
- 05 投资建议
- 06 风险提示

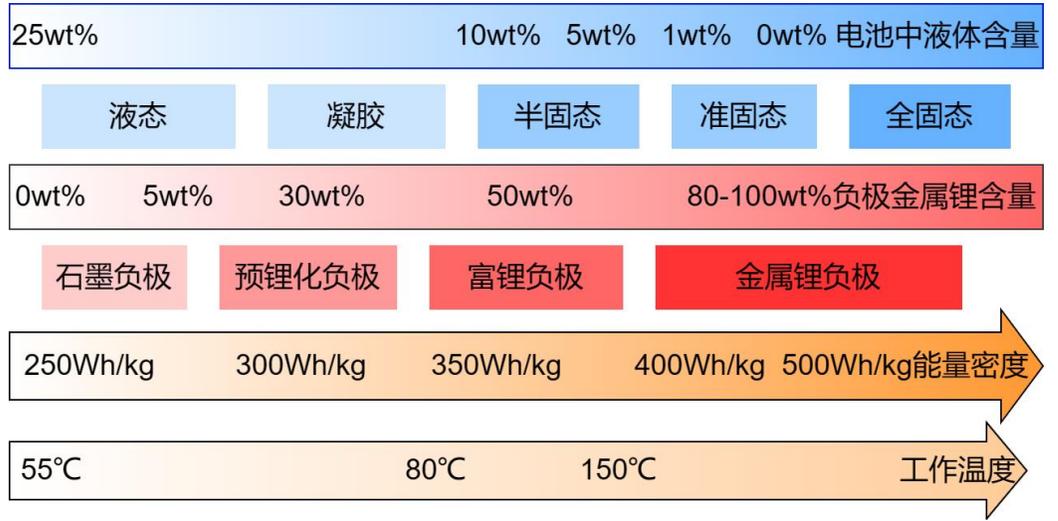
1.1 固态电池使用固态电解质替代电解液和隔膜

- ◆ 突破能量密度上限和解决安全隐患，固态电池成为下一代锂电池重要技术路线。传统锂离子电池采用液态电解质，容易引发安全隐患，同时能量密度的瓶颈为350Wh/kg，无法满足行业更高要求。为解决安全隐患并提高能量密度上限，全球范围内的科学家都在积极研发固态锂离子电池。
- ◆ 固态电池是一种使用固态电解质的电池，用固态电解质替代了传统锂电池的电解液和隔膜。固态电池在高能量密度、高安全性等方面优势明显，其理论能量密度上限为500+Wh/kg。固态电池的正极可沿用磷酸铁锂、锰酸锂、钴酸锂、三元等，有望以高镍多元、富锂锰基材料为主；负极的发展初期以硅系负极材料为主，再过渡到纳米硅碳负极，最后发展到锂金属负极材料；包装材料一般采用铝塑膜。

液态、固态电池结构对比



固态电池发展历程



1.2 高安全性与高能量密度兼备，固态/半固态电池前景坚定

- ◆ **液态电池：**液态电池的主要材料是正负极、隔膜和电解液。
- ◆ **半固态电池：**半固态锂电池是固液混合电解质电池，是液态到固态电池的过渡产物，可以被目前的液态电池生产线兼容，通常液体含量10%为半固态与液态划分临界点，仍旧需要隔膜。
- ◆ **固态电池：**全固态电池的电解质采用全固体材料，不需要隔膜。其固态电解质能够匹配电容量更大的正负极材料，实现更高的电池能量密度。而且固态电池安全性突出，可以抵抗热失控和穿刺等挤压力。

液态、固态、半固态锂电池对比

电池类型	能量密度上限	隔膜	目前生产成本	电解质化学窗口上限	对锂金属负极兼容性	液体含量	安全性（热稳定，抗针刺）
液态锂电池	较低 (<300Wh/kg)	需要	较低	较窄 (<4.3V)	差	>10%	热极限140-180°C，针刺即燃
半固态锂电池	中等 (>400Wh/kg)	需要	中等	中等	抑制锂结晶力度弱	<10%	热极限>180°C
固态锂电池	较高 (>500Wh/kg)	不需要	较高	较高 (>5V)	抑制锂结晶力度强	0	热稳定>300°C，免疫针刺甚至剪切

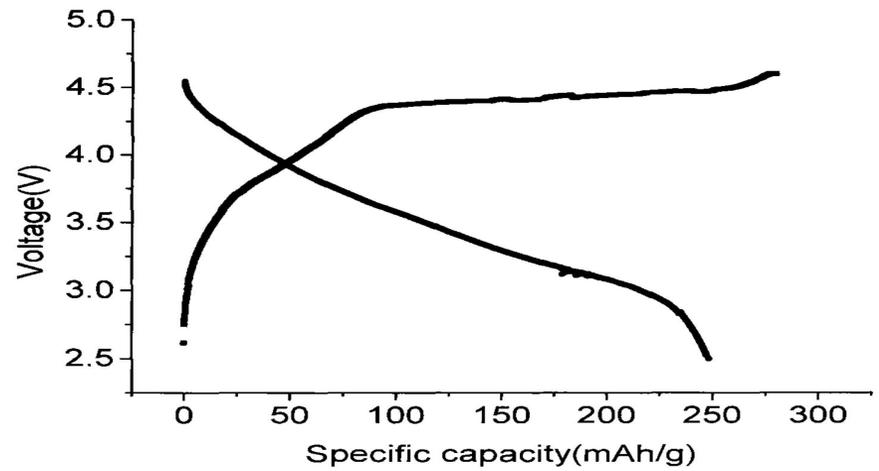
1.3 固态电池优势一：能量密度提升（正极材料升级）

◆ 正极材料向无钴靠拢，富锂锰基潜力巨大。对比液态电池，固态电池可容纳新的电极材料，譬如富锂锰基。常规电压下的富锂锰基材料在目前所有商业化的正极材料里，循环稳定性最好，45°C下充放电1700周容量保持率88%。但是，因为目前难以解决电压衰减、循环寿命低等问题，产业化进程受限。

各正极材料属性对比

主流固态电池正极材料	理论容量 (mAh/g)	实际容量 (mAh/g)	循环性能	成本	电压平台
磷酸铁锂	170	140~150	高	较低	3.4
高镍三元	280	200	中	较高	3.5
富锂锰基	>300	未商业化	较差	较低	4.5

富锰基正极材料充放电曲线
(2.5-4.6V充放电, 0.025C, AA电池)
高电压充放电容量高, 大于250mAh/g



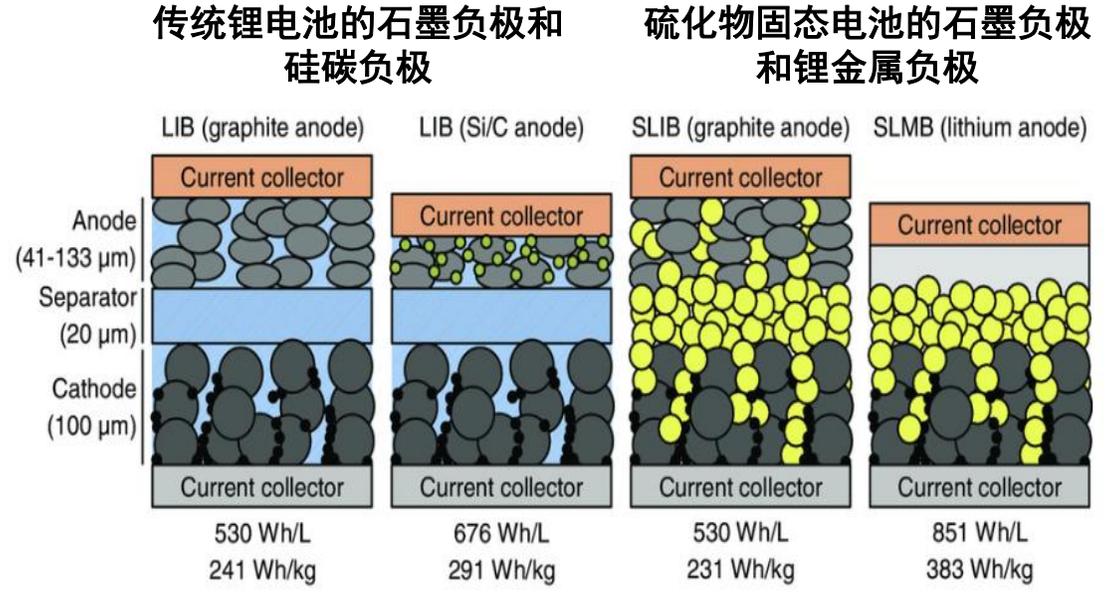
1.3 固态电池优势一：能量密度提升（负极材料升级）

- ◆ 负极方面，固态电池比传统锂电池更容易适配锂金属负极和硅碳负极，因为固态电解质由固态材料构成，具有较高的化学稳定性，对锂金属负极的锂枝晶的形成及硅的膨胀起抑制作用。
- ◆ 采用锂金属负极能量密度最高、接近400Wh/kg。右图中，正极均采用100微米厚的NCM811，4种不同电芯比较下，采用锂金属负极材料的固态电池能量密度最高。

负极材料属性对比

主流固态电池负极材料	比容量 (mAh/g)	优点	缺点
石墨	372	技术成熟，成本低，高循环稳定性	理论容量较低
硅碳负极	3590	高比容量，原材料丰富，技术进步快	循环过程中体积膨胀问题难以解决，工艺复杂，成本较高
锂金属	3860	高比容量，低电压平台	体积膨胀容易引起电极材料的破裂和损坏；活性高易化学反应，安全隐患大。

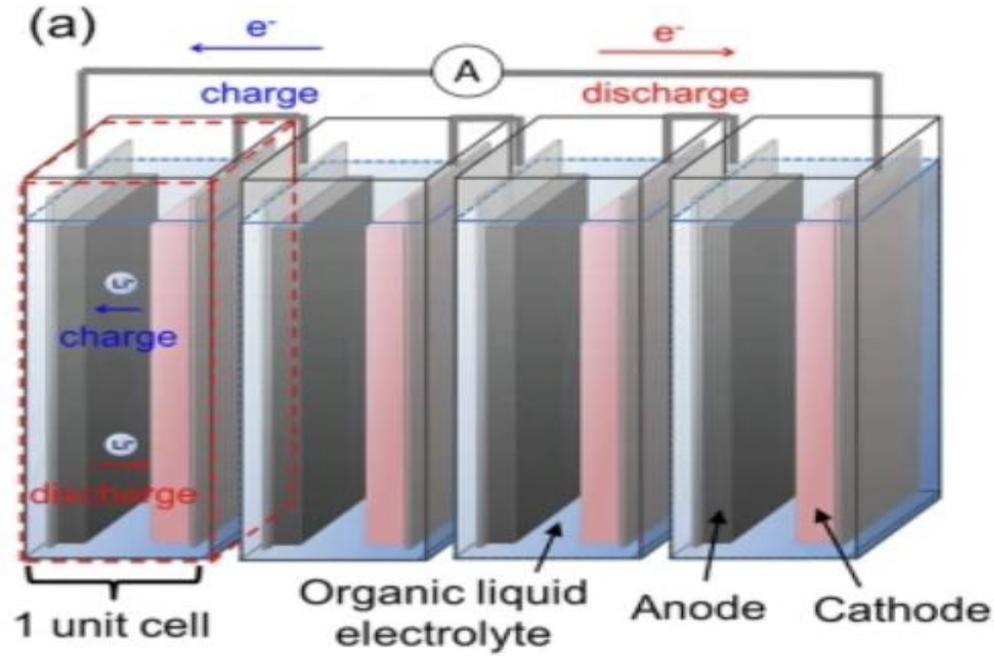
传统锂电池和硫化物固态锂电池的电芯设计对比



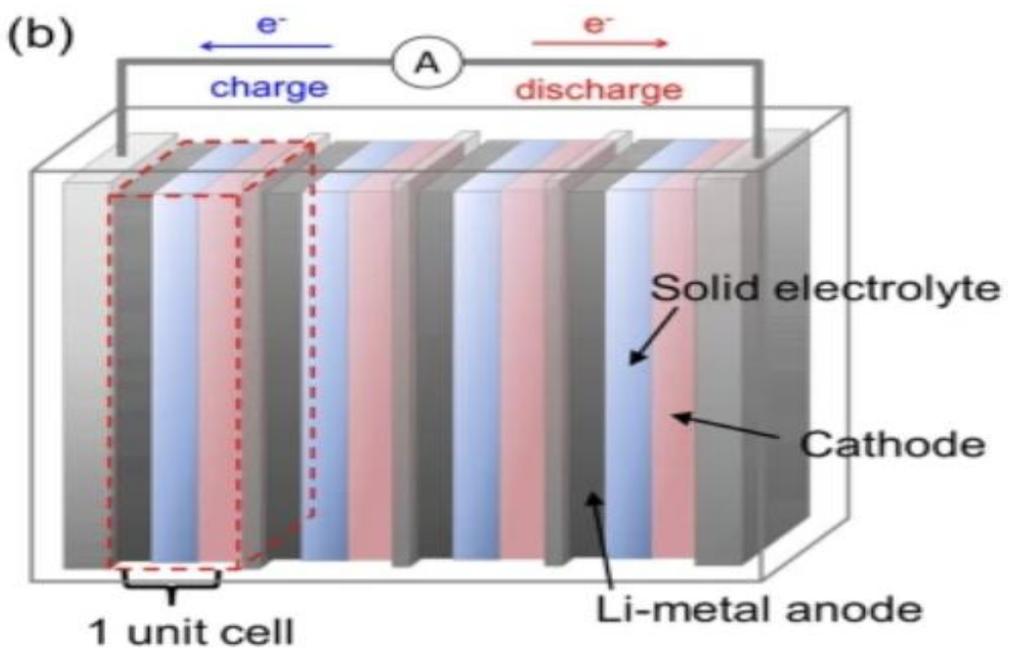
1.3 固态电池优势一：能量密度提升（内部串联）

◆ 电芯内部串联能有效提升固态电池电压，提高体积能量密度。传统锂电池承载电压超过5V后会出现易分解甚至爆炸的情况，因此只能外部串联。固态锂陶瓷电池能在电池内部形成串联，使单颗电池芯的额定电压从7.4V，最大串联叠加至60V，在单体电池电压上远高于传统动力电池，且不需要焊接集流体，体积能量密度有望进一步提升。

(a) 使用液体电解质的传统堆叠式锂离子电池



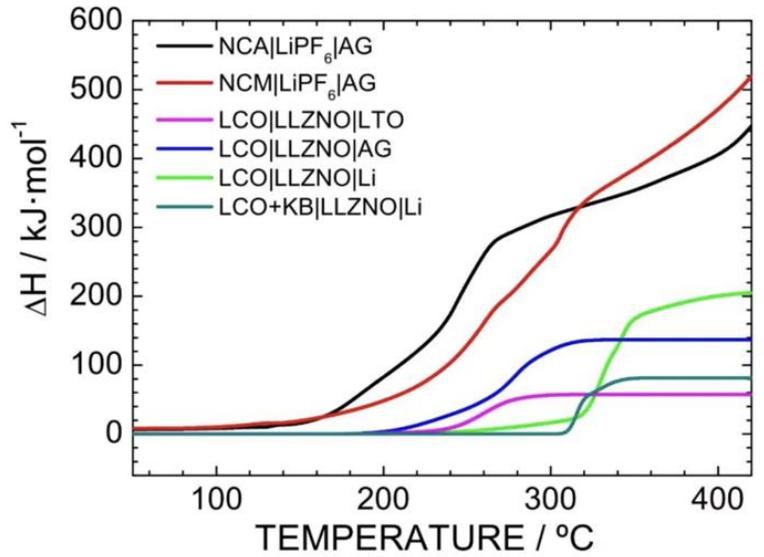
(b) 双极堆叠式全固态锂电池的示意图



1.4 固态电池优势二：安全性优势显著

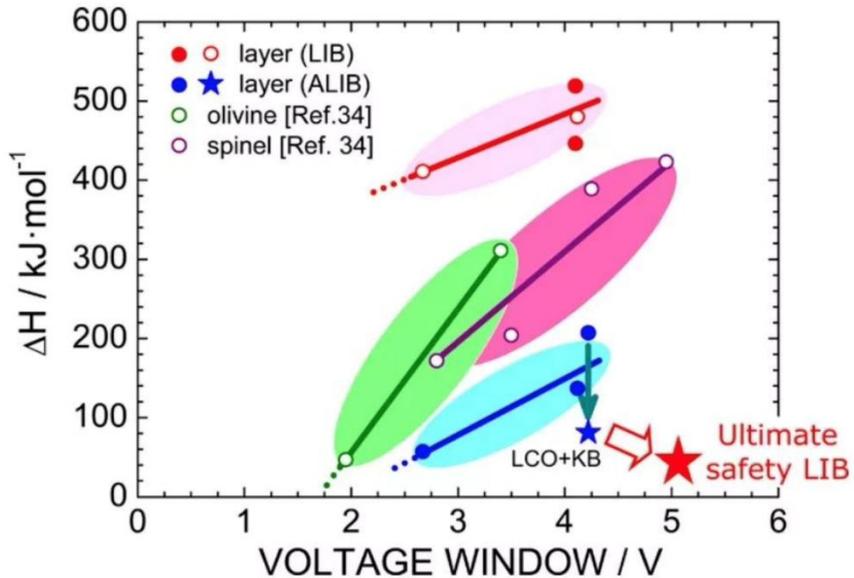
◆ 相比液态电池，固态电池具有较高的化学和热稳定性，能够有效抑制锂电池中发生热失控或燃烧的风险，电池在被刺破时仍可安全运行，不会泄漏或爆炸。根据丰田研发实验室的报告，通过对比研究NCA/NCM锂电池和铌掺杂锂镧锆氧（LLZNO）全固态电池的产热特性，丰田发现全固态电池产热量只有传统锂电池的25-30%，因此具有显著的安全性优势。考虑其放热量依然存在，还需进一步降低放热量，以实现真正意义的“安全”。

不同体系电池在不同温度下的焓变



LLZNO代表固态电解质，LiPF₆代表电解液，AG代表人造石墨，Li代表金属锂，KB为科琴黑

锂离子电池和全固态电池安全图



ALIB代表全固态电池，LIB代表传统锂电池

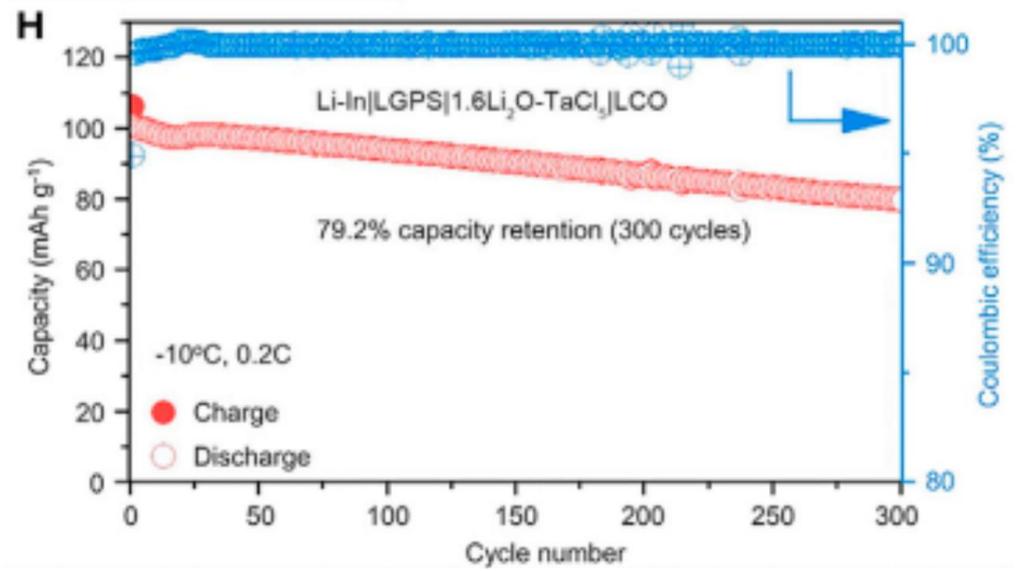
1.5 固态电池优势三：固态电池低温性能出色

- ◆ 固态电解质 (SEs) 在宽温度范围内保持固态，不完全丧失离子传导功能，是其潜在优势之一。全球首款搭载“超快充固态电池”智己L6已于2024年5月正式上市，该电池由上汽集团与清陶能源联合研发制造，可实现1000km以上超长续航，且低温性能出色。液态电池的电解液在低温下粘度大幅增加，锂离子迁移速度显著降低，因此冬季性能较差。相比之下，固态电解质在低温下电导率也会降低，但受温度影响幅度较小，即使在-30℃环境下，放电容量保持率也能达到90%以上，低温续航更好。
- ◆ 非晶态SE是实现致密固态电解质隔膜的希望材料，使用这种SE的固态电池在-10℃下仍然可以展示出长循环寿命。

智己L6日内瓦车展首秀



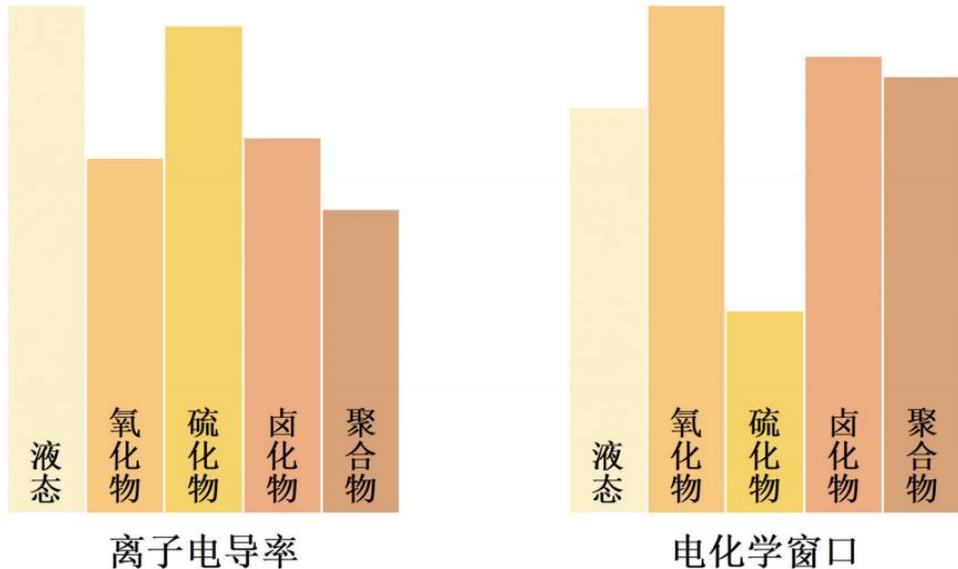
非晶态SE ASSB在-10℃的循环性能



1.6 固态电池挑战一：离子电导率低

- ◆ 固态电解质中离子间相互作用强，因此离子电导率低。
- ◆ 解决方案：从材料、工艺等方面进行改进。研究发现，基于石榴石型 $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZO) 的固态电解质表现出了高迁移数和高离子电导率。同时，采用特殊的烧结方法，如放电等离子烧结，可以生产出密度更大的LLZO颗粒，以最大限度地提高相对密度和高离子电导率。

不同电解质性能对比



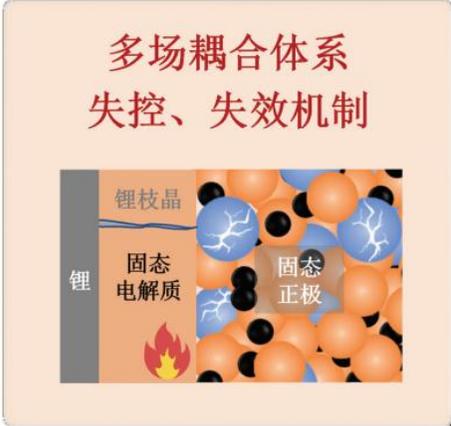
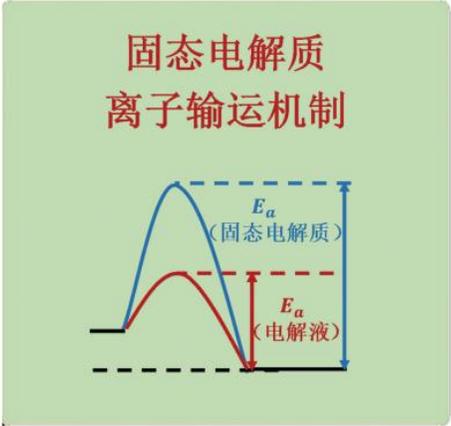
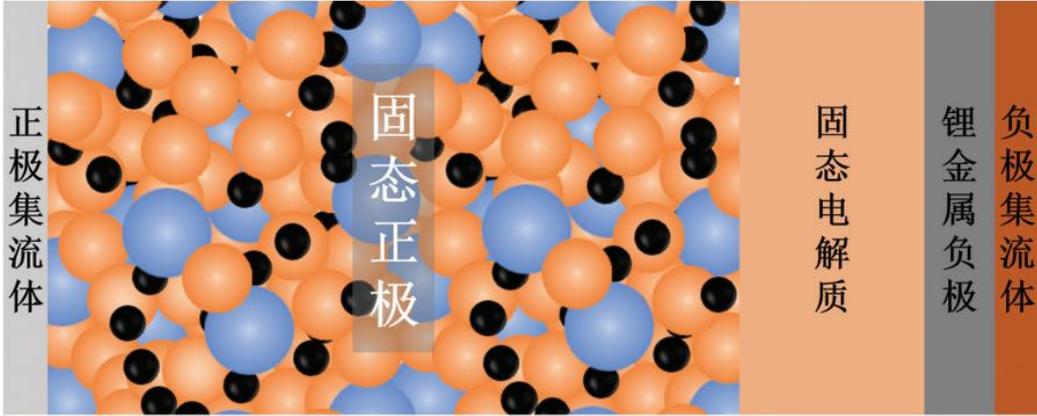
LLZO基电解质的RT离子电导率(σ)和烧结进展

Electrolyte	σ [S cm^{-1}]	Sintering progress
$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	3×10^{-4}	1230 °C, 36 h
$\text{Li}_{6.25}\text{Al}_{0.25}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	4.48×10^{-4}	1200 °C, 24 h
$\text{Li}_{6.4}\text{Al}_{0.2}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	4.5×10^{-4}	1100 °C, 6 h and 1200 °C, 12 h
$\text{Li}_{6.55}\text{Ga}_{0.15}\text{Nb}_{0.3}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	13×10^{-4}	1085 °C, 6 h, in O_2
$\text{Li}_{6.4}\text{Ga}_{0.2}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	13.2×10^{-4}	1230 °C, 6 h
$\text{Li}_{6.25}\text{Ga}_{0.25}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	14.6×10^{-4}	1100 °C, 24 h
$\text{Li}_{6.4}\text{La}_3\text{Zr}_{1.4}\text{Nb}_{0.6}\text{O}_{12}$	5.22×10^{-4}	1150 °C, 10 h
$\text{Li}_{6.6}\text{La}_3\text{Zr}_{1.6}\text{Nb}_{0.4}\text{O}_{12}$	6×10^{-4}	1250 °C, 40 min
$\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_{1.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{12}$	7×10^{-4}	1200 °C, 1.5 h
$\text{Li}_{6.8}\text{La}_3\text{Zr}_{1.8}\text{Ta}_{0.2}\text{O}_{12}$	7.3×10^{-4}	1130 °C, 24 h
$\text{Li}_{6.4}\text{La}_3\text{Zr}_{1.4}\text{Ta}_{0.6}\text{O}_{12}$	6.47×10^{-4}	1250 °C, 40 min
$\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_{1.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{12}$	8.5×10^{-4}	1360 °C, 10 min

1.7 固态电池挑战二：量产难度大

- ◆ 受技术和成本制约，固态电池量产难度大。技术上，当前固态电池工艺尚未成熟，其发展亟需解决三个核心科学问题，即固态电解质的离子运输机制、锂枝晶生长机制和多场耦合下的失效失控机制。成本上，部分材料售价昂贵，阻碍固态电池的量产。
- ◆ 解决方案：作为液态电池和固态电池的折中产品，半固态电池有望率先量产。半固态电池兼容现有传统锂电池的工艺设备，且兼具安全性、能量密度和经济性，因而有望率先进入产业化阶段。

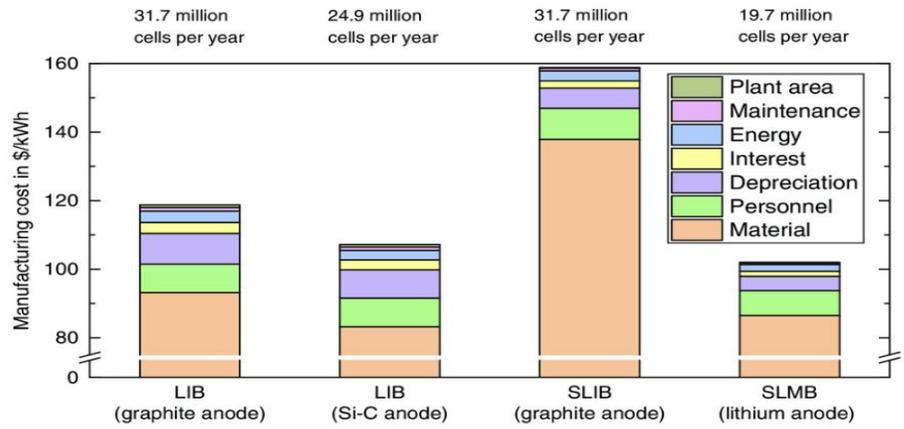
全固态电池发展面临的核心科学问题



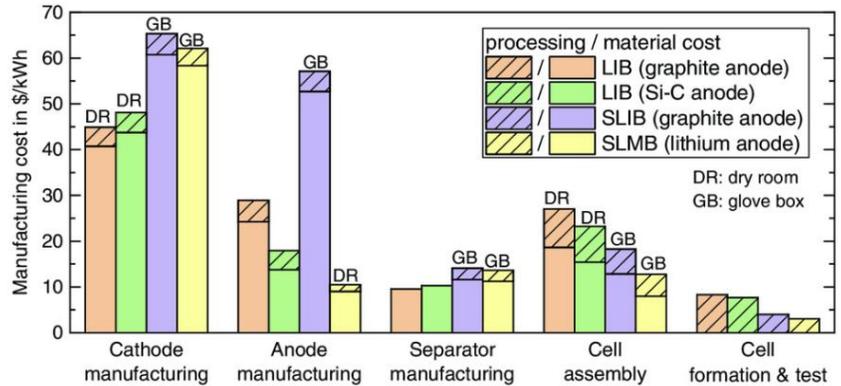
1.8 固态电池挑战三：成本高

- ◆ 成本：负极材料成本偏差最大，尤其是硅碳负极所需涂覆的额外电解质导致成本高昂，锂金属负极成本虽然较低但技术上仍存在锂枝晶反应等难关。目前固态电池已商业化销售实例少，以蔚来2023年7月上线的150kWh电池包信息测算，其半固态电池成本约为1.7-2.2元/Wh，远高于同期车用方形三元电芯、铁锂电芯均价0.73、0.65元/Wh。固态电池降本方面仍面临不小挑战。
- ◆ 降本潜力：在除材料外的层面，固态电池的成本优势凸显。据SolidPower计算，固态电池制作过程中省去了注液、化成、排气等工艺和步骤可以节约成本34%；而固态电池的高安全性，在PACK层面同样可节约相应9%的成本；而且，高安全性减少了被召回维修的概率，同样减少了潜在的维修成本。

石墨负极液态、硅碳负极液态、石墨负极固态、锂金属负极固态的制造成本的预估模型（产能：6GWh/year）



四类电池的材料和材料及加工成本预估模型（6GWh/year）

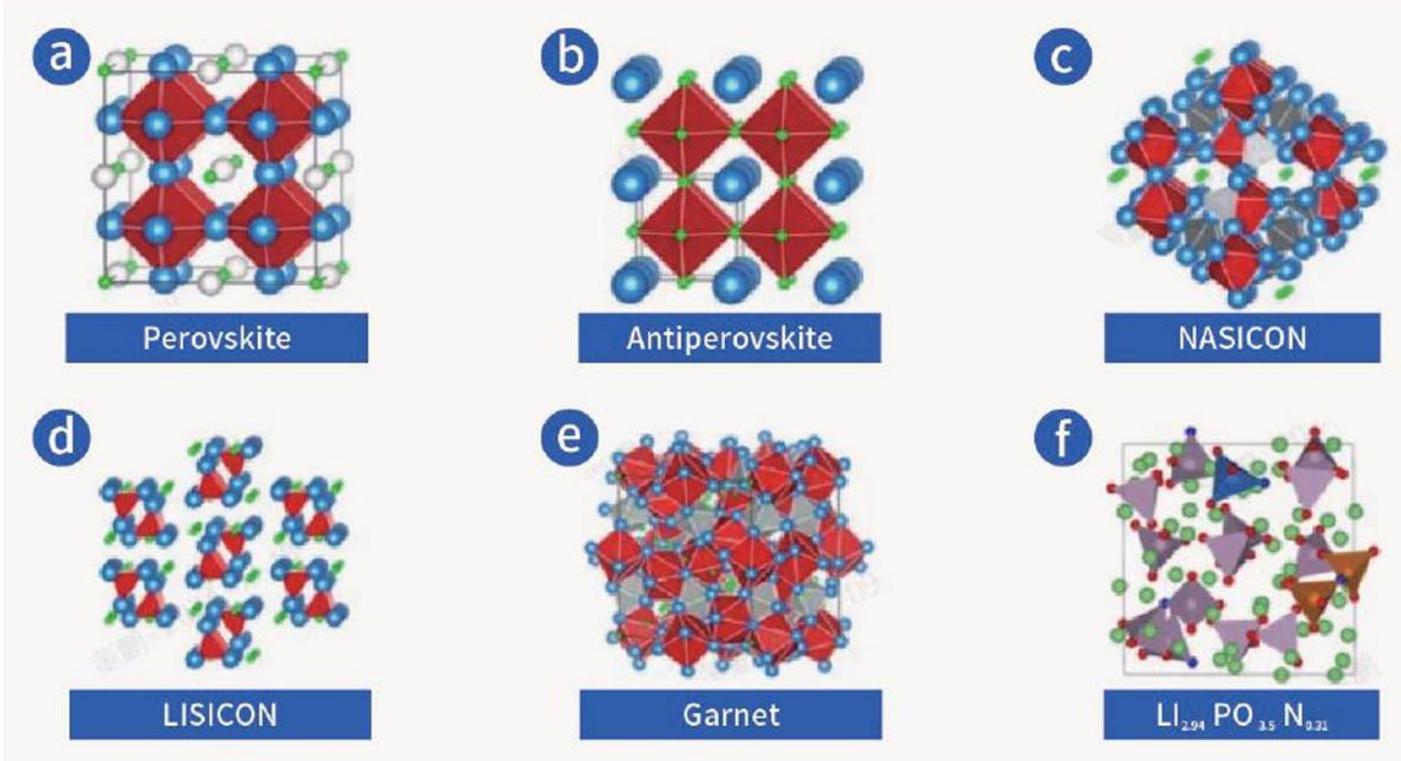


- 01 高能量密度+高安全性，固态电池前景广阔
- 02 生产工艺革新，多元技术路线协同发展
- 03 产业龙头布局加码，全固态电池迎来黄金发展期
- 04 AI赋能产业变革，eVTOL+人形机器人打开增量空间
- 05 投资建议
- 06 风险提示

2.1 氧化物电解质固态技术发展路线

- ◆ 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、机械强度高、空气稳定性好、电化学窗口宽等优点。
- ◆ 氧化物电解质包括钙钛矿型(图a)、反钙钛矿型(图b)、NASICON型(图c)、LISICON型(图d)、石榴石型(图e)和LiPON(图f)，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，受到重点关注。如：钙钛矿型LLTO电解质材料的本征离子电导率较高，但晶界阻抗高、稳定性相对较差；石榴石型LLZO电解质离子电导率较高，稳定性好，受到广泛关注；NASICON结构的LATP的电化学窗口较高，稳定性好，但离子电导率偏低。LiPON作为电解质在与金属锂接触时表现出高稳定性。

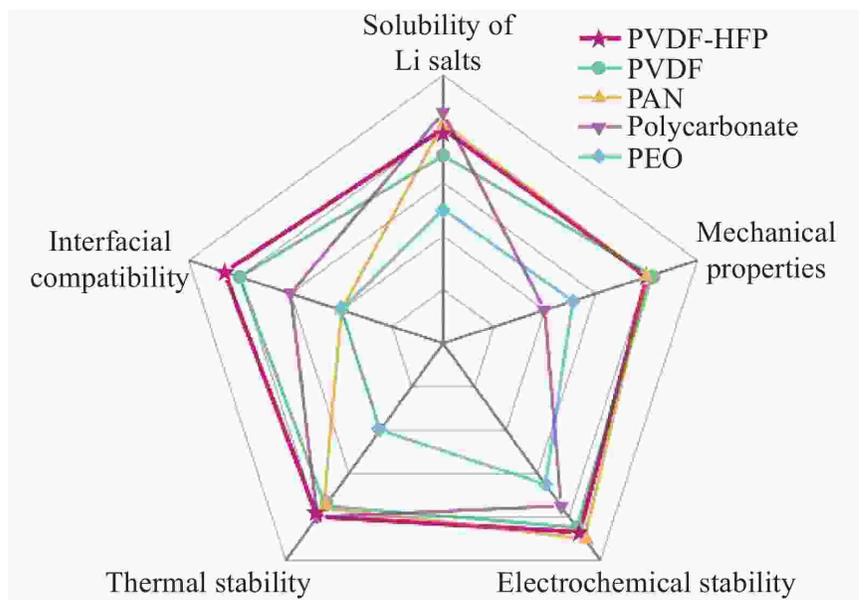
常见氧化物固态电解质结构示意图



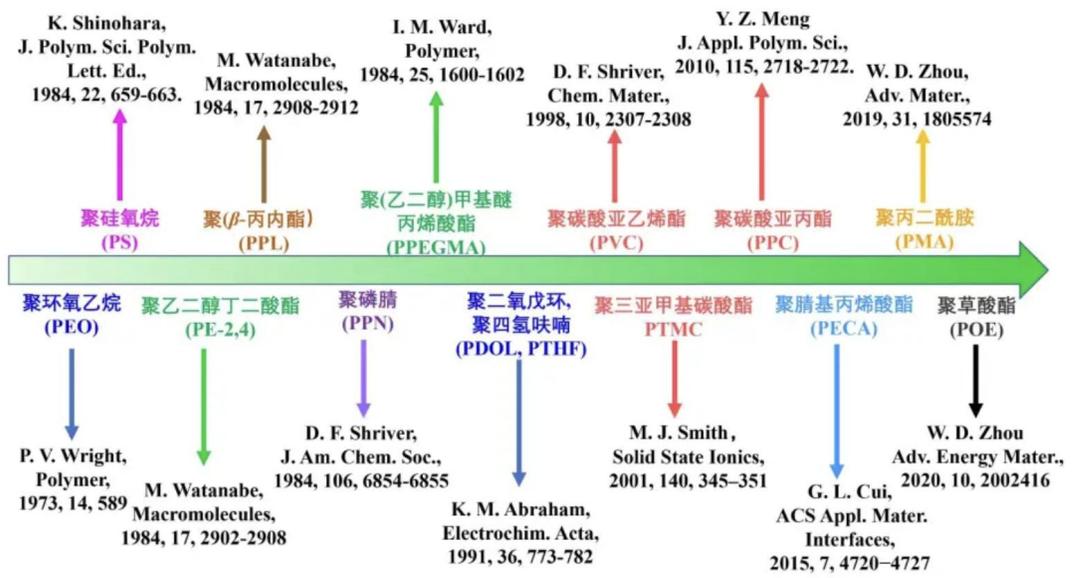
2.2 聚合物电解质固态技术发展路线

- ◆ 聚合物固态电解质，由聚合物基体（如聚酯、聚醚和聚胺等）和锂盐（如 LiClO₄、LiAsF₆、LiPF₆等）构成。聚合物固态电解质的主要优点有柔韧性高以及可加工性高，因此已经具备低成本规模生产的可能。然而聚合物电解质室温下离子电导率低，仅为10⁻⁸~10⁻⁶S/cm，需加热至60℃以上才可达到10⁻⁴S/cm。围绕聚合物的研究多集中在通过化学修饰或复合材料的方法来提高其电导率和热稳定性。
- ◆ 与其他几种固态电解质相比，聚合物具有加工性好、界面相容性好等优势，但是其室温锂离子电导率较低，机械性能较差，这些导致了其应用受到了很大的限制。

固态聚合物电解质性能对比



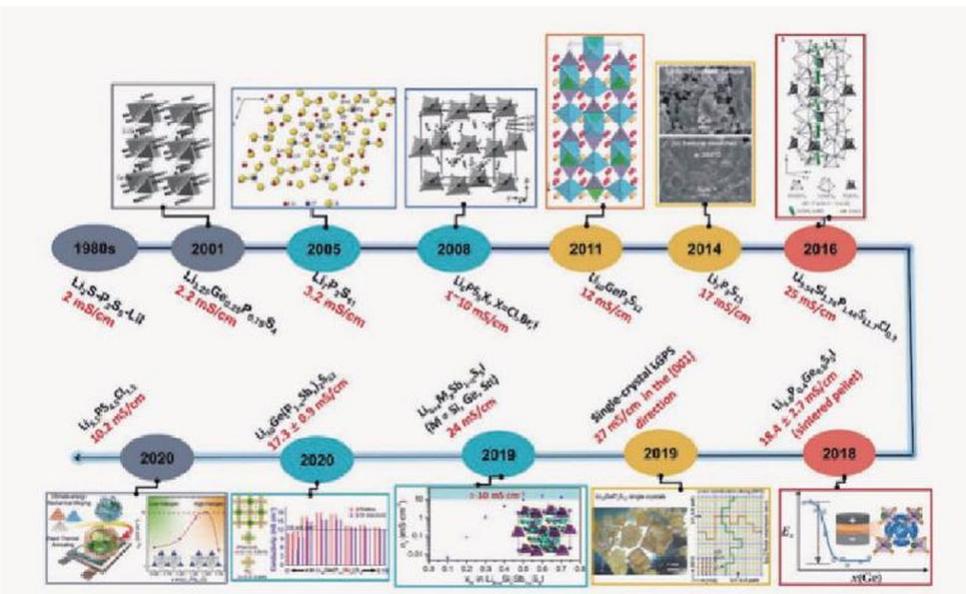
固态聚合物电解质发展简史



2.3 硫化物电解质固态技术发展路线

- ◆ 硫化物固态电解质由于其超高的室温离子电导率和良好的机械加工性能而备受关注。根据硫化物固态电解质的晶体结构特征，可以将其明确划分为晶态与非晶态两大类。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)。
- ◆ 硫化物固态电解质的制备方法涵盖了多种技术，如通过高温淬冷法、高能球磨法、液相等。在制备过程中，为了确保材料的稳定性，整个流程需在惰性气体环境中进行保护。当前，业界主要倾向于采用高能球磨法作为核心制备工艺，同时，气相合成法的引入正为实现这一材料的规模化生产提供有力支持。

硫化物固态电解质的发展趋势



硫化物固态电解质的类型及对应性能

类型	简称	化学式	代表材料	电导率	优势	劣势
Li-P-S型	LPS	Li_xPS_x	Li_4PS_4 、 $\text{Li}_6\text{P}_2\text{S}_6$	10^{-3} S/cm	电化学窗口宽(5V)、热稳定性好、成本低	离子电导率相对低、空气中不稳定
Argyrodite型	LPSC/LPSI	$\text{Li}_6\text{PS}_5\text{X}$ (X=Cl, Br or I)	$\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$ 、 $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{I}$	10^{-2} - 10^{-3} 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	$\text{Li}_x\text{MP}_2\text{S}_x$ (M=Ge, Sn, Si, Al)	$\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$	10^{-2} 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)	$\text{Li}_{4-x}\text{M}_{1-x}\text{M}'_x\text{S}_4$ (M=Si, Sn, Zr, 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	离子电导率相对低、成本较高

硫化物制备方法对比

制备方法	原料	成本	制备温度	工艺	制备特性	适合应用
高温淬冷法	$\text{Li}_2\text{S}/\text{P}_2\text{S}_5/\text{GeS}_2$	中	高温	复杂	压实密度高	非晶态
液相法	$\text{Li}_2\text{S}/\text{P}_2\text{S}_5/\text{GeS}_2$	较低	加热	简单	结晶可控	薄膜
高能球磨法	$\text{Li}_2\text{S}/\text{P}_2\text{S}_5/\text{GeS}_2$	高	加热	适中	均匀度高	小规模
气相合成法	Li_2CO_3 、 SnO_2 + CS_2	低	室温	简单	空气稳定	大规模

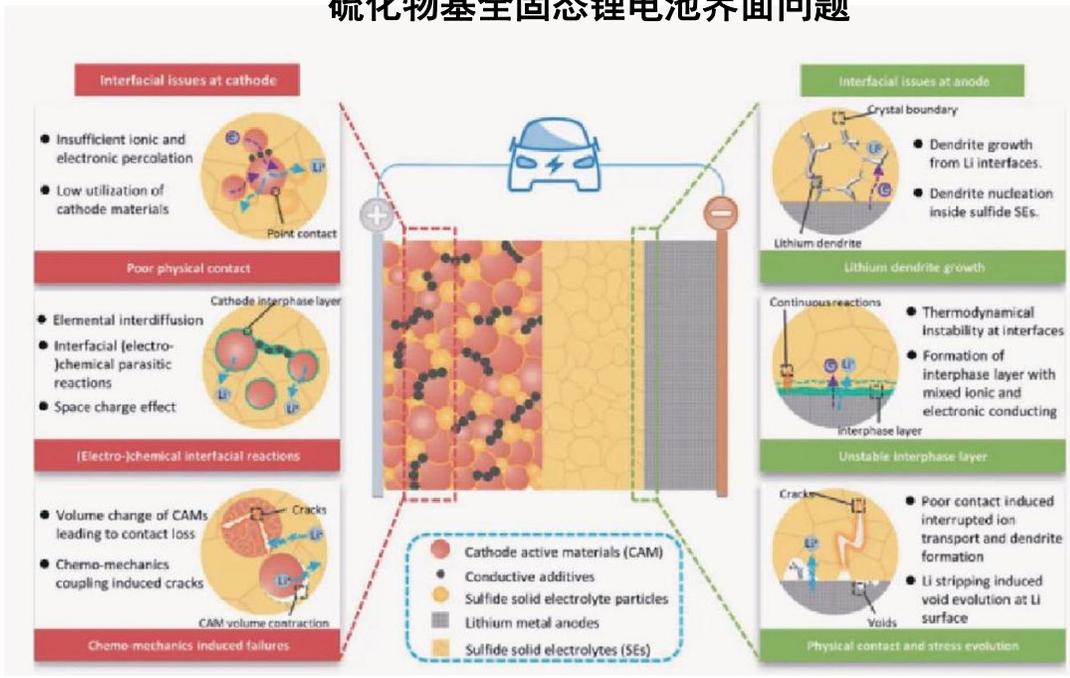
资料来源：重庆太蓝新能源有限公司等《2024年固态锂电池技术发展白皮书》，华金证券研究所

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明 17

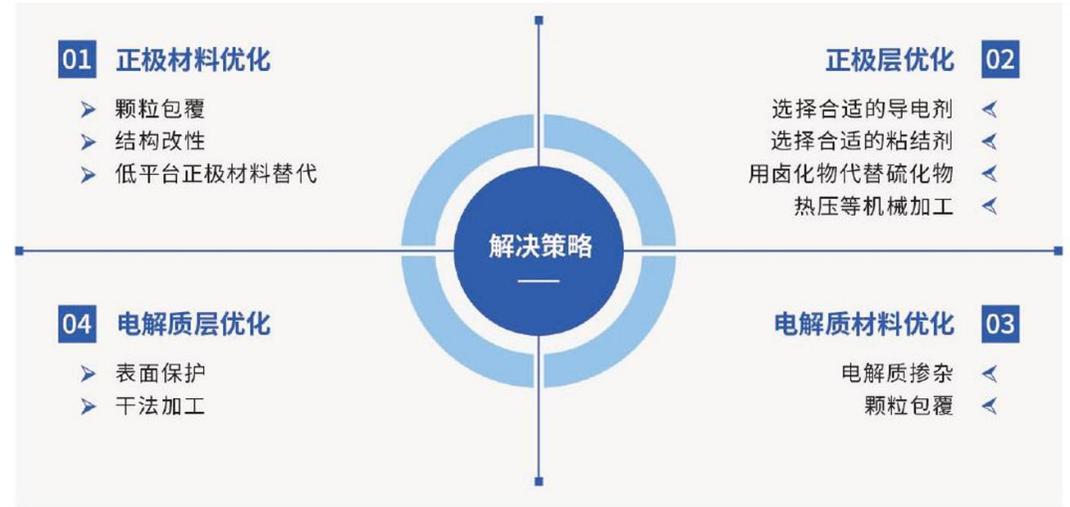
2.3 硫化物电解质固态技术发展路线

- ◆ **硫化物固态电解质当前面临多重挑战。**包括高昂的成本、不尽如人意的电化学稳定性、以及对空气敏感(遇水易生成硫化氢气体)等问题, 这些缺陷严重制约了其在高能量密度电池(特别是高电压和锂金属电池)中的广泛应用。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。
- ◆ **构建稳定的电极/固态电解质界面是实现高性能全固态锂电池的关键。**正极界面的优化策略包括改善离子导和电子导, 选择合适的导电剂或改性电解质(电解质掺杂和形貌控制等策略, 优化了本身的离子电导率、电化学窗口、Li⁺化学势), 提高正极活性物质的负载和利用率, 抑制界面反应(抑制电解质分解; 缓解正极和电解质的副反应), 改善界面接触。

硫化物基全固态锂电池界面问题



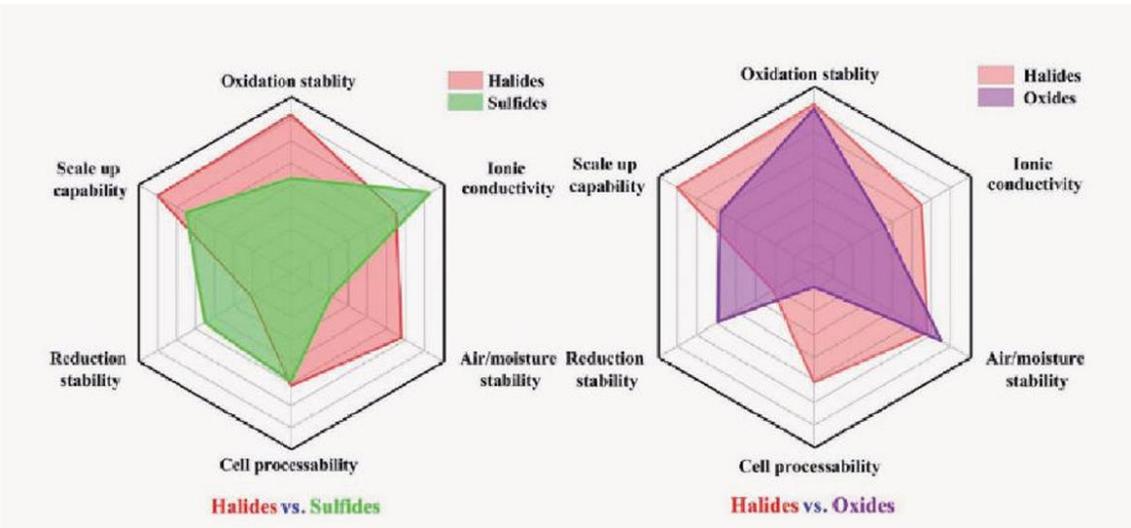
硫化物基全固态锂电池正极界面问题解决策略



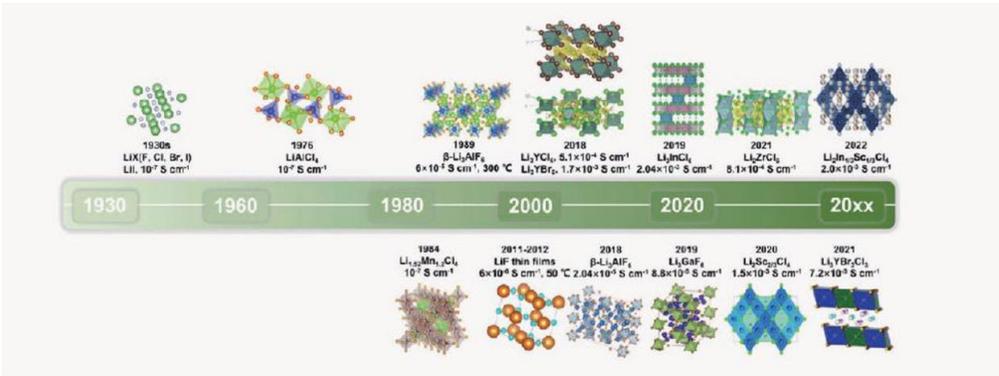
2.4 卤化物电解质固态技术发展路线

- ◆ 与硫化物固态电解质相比，卤化物固态电解质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。
- ◆ 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，例如高离子导电性和高电压稳定性。然而，由于卤化物固态电解质通常由成本较高的金属元素组成，因此它们的实用性仍然受到质疑。尽管许多卤化物固态电解质由昂贵的金属组成，但可以通过与廉价金属的等价替代来减轻这一问题，从而降低成本并增加离子导电性。
- ◆ 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。

卤化物固态电解质与硫化物和氧化物固态电解质对比



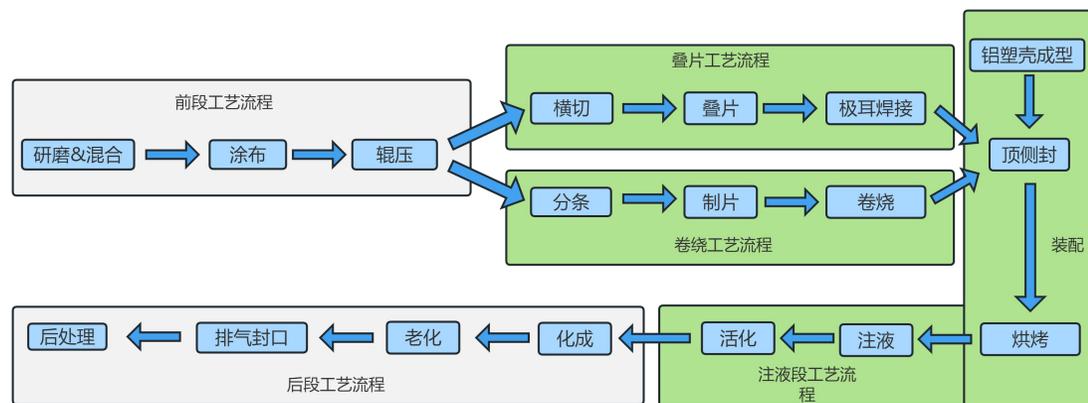
卤化物固态电解质的发展历程



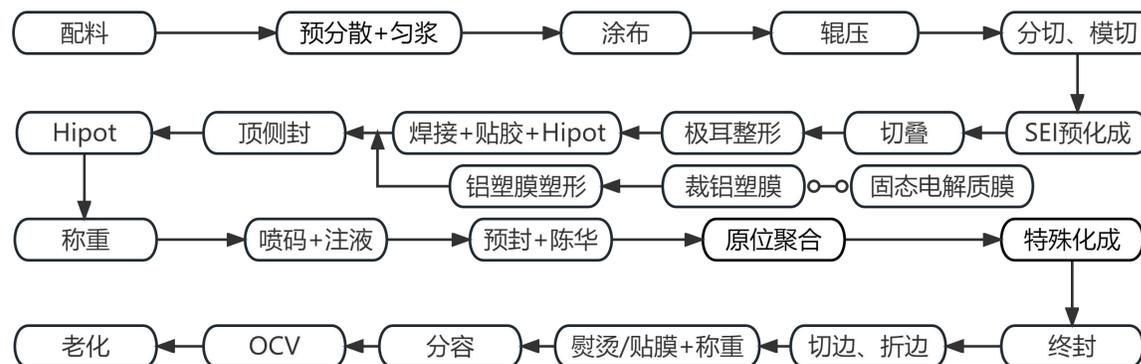
2.5 半固态电池生产设备与传统电池兼容，且仍使用隔膜

- ◆ 半固态生产工艺：半固态电池可兼容传统锂电池生产工艺，生产设备基本上可以与锂电兼容，只需新增加一条专产半固态隔膜的生产线，生产设备与液态电池隔膜的设备兼容。
- ◆ 半固态电池要求隔膜的孔径更大、强度更高，并采用湿法+涂覆的工艺。对比传统电池，半固态电池的隔膜无明显工艺改变，调整参数即可，不过因为半固态电池需要提升离子导电率，所以要求隔膜的孔径更大、强度更高，因此需要采用湿法拉伸+涂覆的工艺。另外，单位半固态电池对隔膜的需求量没有变化。

液态生产工艺流程图



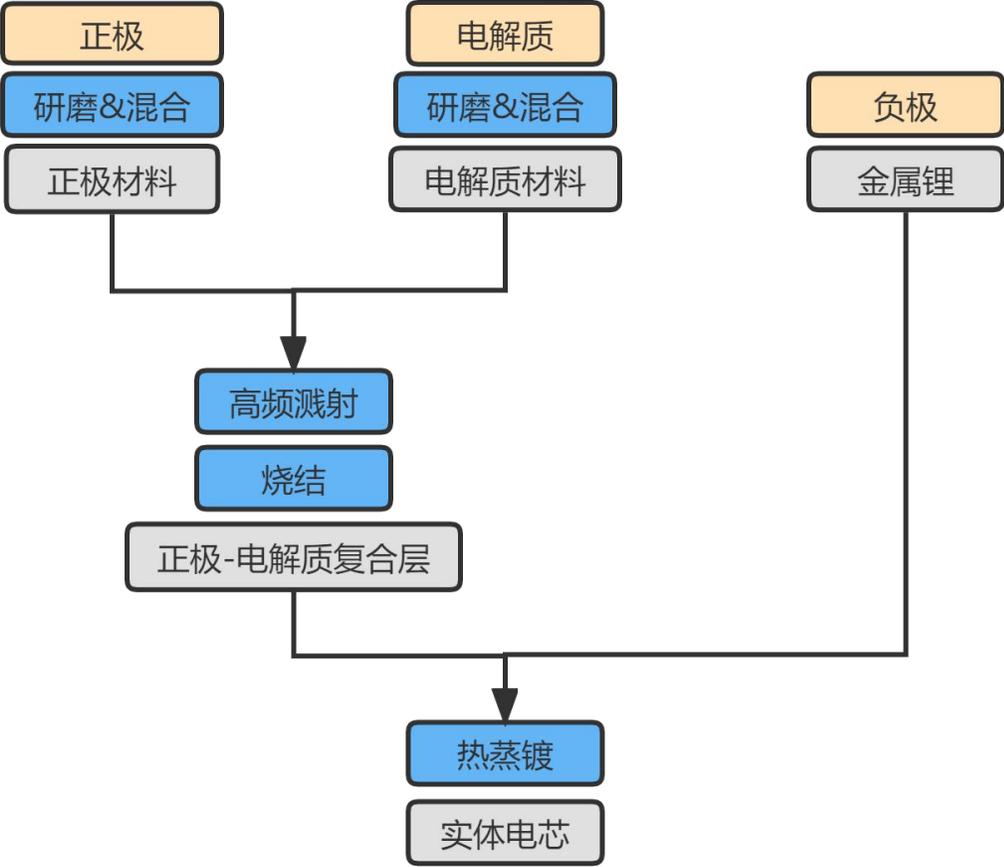
半固态生产工艺流程图



2.6 生产工艺：固态电池生产工艺

◆ 固态电池生产工艺革新：固态电池的生产工艺需要在电极、电解质、界面工程和封装技术等方面取得突破，以实现其工程化和商业化应用。与传统液态锂电池相比，固态电池在前期工序上与液态电池基本相同，在中后期工序中，固态电池需要进行加压或烧结的步骤，但无需进行注液操作。

氧化物固态电池制备流程



2.7 固态电池制造核心：固态电解质的成膜工艺

◆ 固态电解质的成膜工艺是全固态电池制造的核心。不同工艺会影响固态电解质膜的厚度和离子电导率，膜过厚会降低电池的质量和体积能量密度，过薄则会导致机械性能变差。成膜工艺主要包括湿法工艺、干法工艺和气相沉积工艺，其中干法工艺是未来电极工艺的迭代方向，也将会是全固态电池的主要使用工艺。

不同成膜工艺的对比

成膜工艺	成膜方式		优点	缺点
湿法工艺	模具支撑成膜	将电解质溶剂倾倒在模具上，蒸发溶剂后成膜，常用于制备聚合物电解质膜及复合电解质膜。	操作简单、工艺成熟，易于规模化生产。	成本高；残留溶剂可能会降低固态电解质膜的离子电导率。
	正极支撑成膜	将电解质溶剂浇到正极表面，蒸发溶剂后成膜，常用于制备无机电解质膜及复合电解质膜。		
	骨架支撑成膜	将电解质溶剂注入骨架中，蒸发溶剂后形成具有骨架支撑的膜，常用于制备复合电解质膜。		
干法工艺	将固态电解质与聚合物粘结剂分散成高粘度混合物后施加足够压力使其成膜。		不采用溶剂、无需烘干，成本低，成膜无溶剂残留、离子电导率高。	固态电解质膜通常厚度偏大，降低电池能量密度。
气相沉积工艺	在电极上形成超薄电解质膜。		-	成本较高，仅适用于薄膜型全固态电池。

- 01 高能量密度+高安全性，固态电池前景广阔
- 02 生产工艺革新，多元技术路线协同发展
- 03 产业龙头布局加码，全固态电池迎来黄金发展期
- 04 AI赋能产业变革，eVTOL+人形机器人打开增量空间
- 05 投资建议
- 06 风险提示

3.1 政策推动下的全固态电池产业加速

- ◆ 2020年10月，国务院通过《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》，首次将固态电池明确为新能源汽车产业的重点发展方向，并强调了加速其研发与产业化进程的重要性。23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。
- ◆ 国家自然科学基金委员会发布《关于发布超越传统的电池体系重大研究计划2024年度项目指南的通告》，明确指出将重点支持高比能长寿命高安全的固态电池等项目，旨在通过关键材料和技术的创新，推动技术突破。
- ◆ 2025年2月，在第二届中国全固态电池创新发展高峰论坛上，众多专家学者、研究机构及企业代表共同聚焦材料科学、新工艺与新装备的进展，与会者们深入探讨了全固态电池的创新突破与面临的挑战，众多专家认为，固态电池有望在2027年实现量产。

中国固态电池行业最新政策汇总

发布时间	政策名称	主要内容
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≥300 Wh/kg, 电池组能量密度≥260 Wh/kg。循环寿命≥1000次,容量保持率≥80%。
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,攻克高频率双向充放电工况下的电池安全防控技术。
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。
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,
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。
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。
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。

3.2 电池安全新规落地，固态电池产业再迎催化

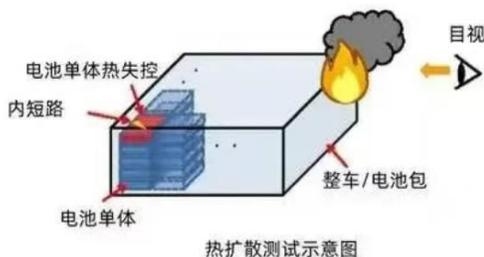
- ◆ 4月15日，工业和信息化部组织制定的强制性国家标准《电动汽车用动力蓄电池安全要求》（GB38031-2025）发布，将于2026年7月1日起开始实施。新国标聚焦的三大领域：热扩散、底部撞击和快充循环安全性，充分体现对电池设计与材料的高要求。
- ◆ 固态电池因其固态电解质的优越性，在安全性方面具备明显优势。相比于传统的液态电池，固态电池的耐高温性、不可燃性和无泄漏特性，使其更加适合在高端电动汽车中广泛应用。新国标的实施，无疑加速了固态电池从实验室走向实际量产的进程，尤其是在车企对安全性的高度关注下，预计将大力推动全固态电池的商业化进程。

新规主要变化

1. 修订热扩散测试

热扩散测试考查电池单体内短路导致热失控后的安全防护能力。

考察点



热扩散测试示意图

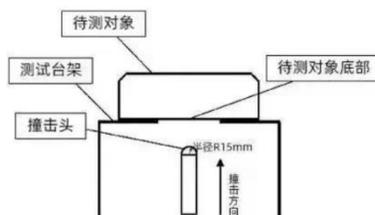
2. 新增底部撞击测试

考察点

考查电池底部受到撞击后的防护能力

测试方法

30mm直径撞击头，150J能量，撞击3次



技术要求

无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象，且满足绝缘电阻要求。

3. 新增快充循环后安全测试

考察点

考查动力电池在长期快充循环后的安全性

测试对象

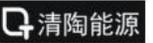
20% SOC充电至80% SOC时，总充电时间不超过15min的电池单体

技术要求

300次快充循环后进行外部短路测试，要求不起火、不爆炸

3.3 中国固态电池制造商企业布局

◆ 中国半固态电池制造商包括宁德时代、亿纬锂能、赣锋锂业、国轩高科、蜂巢能源等锂电巨头，同时还包括太蓝新能源、清陶能源、卫蓝新能源、辉能科技等固态电池企业，侧重方向主要为氧化物路线，国内固态电池已有/在建/规划产能达数百GWh，国内总体产业化进展趋势较快

硫化物路线	 CATL 宁德时代 研发比能量≥400Wh/kg全固态电池，10Ah级别的验证平台下，通过加压全电池3C倍率能实现6000次超长循环。	 国轩高科 研发比能量350Wh/kg全固态电池，电池循环寿命可达3000圈，预期2026-2027年实现小批量上车实验。	 ENPOWER 研发比能量350Wh/kg全固态电池，电池循环寿命可达1000圈，预期2026-2027年实现量产。	 弗迪科技 研发比能量280Wh/kg全固态电池，电池容量≥60Ah，2026-2027年实现小批量生产，电池预期搭载在比亚迪高端车型上。
氧化物路线	 清陶能源 研发比能量≥500Wh/kg全固态电池，积极探索通过高电压锰基正极材料提升电池单体电压的方法。	 太蓝新能源 研发比能量720Wh/kg全固态电池，电池容量达120Ah，预期使用在3C数码、无人机、汽车场景。	 ProLogium 研发比能量383Wh/kg全固态电池，电池可在室温环境下循环500次，并与梅赛德斯奔驰合作开发电动车专用固态电池。	 赣锋锂业 GanfengLithium 与长安汽车合作全固态电池研发，预期2025年量产全固态电池。
聚合物复合路线	 SUNWODA 欣旺达 研发比能量500Wh/kg的第二代全固态电池，预期2026年400Wh/kg的第一代全固态电池将实现量产。	 FZB 德尔股份 全固态电池处于测试和研发阶段，与江铃集团展开战略合作，探索固态电池应用于新能源车型。	 中自科技 积极与国内高校合作开发固态电池以及固态电池核心材料。	 卫蓝新能源 当前聚焦半固态电池的研发与生产，预计2027年实现全固态电池量产。

3.3 中国固态电池制造商企业布局

公司名称	半固态电解质技术路线	技术发展进展
宁德时代	凝胶	2023年4月19日发布凝聚态电池，能量密度500Wh/kg，2023年内实现量产能力，2027年小批量生产全固态电池，凝聚态电池突破航空应用。
亿纬锂能	聚合物	预计2026年推出高功率、高环境耐受性及强安全的全固态电池；2028年推出具有400Wh/Kg高比能量的全固态电池。
蜂巢能源	凝胶	2023年12月，发布方形半固态电池即第二代果冻电池
辉能科技	氧化物	2024年1月，在中国台湾桃园建成全球首座千兆级固态锂陶瓷电池工厂，设计产能2GWh，生产106Ah高硅阳极电池；5月，辉能科技宣布将在巴黎萨克雷地区成立首个海外研发中心，为欧洲市场提供定制化的下一代锂陶瓷电池技术，设有两个实验室，预计分别于2024年和2025年启动。
恩力动力	硫化物	2024年7月，恩力动力携手软银成功完成350Wh/kg的全固态电池的开发；同年8月，恩力动力与美国一家知名商用车制造企业签署定点信，计划于2025年年底开始供应电动汽车(EV)固态动力电池。

3.4 国外固态电池制造商企业布局

公司名称	半固态电解质技术路线	技术发展进展
Factorial Energy	聚合物	聚合物固态电解质，匹配高电压和高能量密度的电极，实现高安全的电池性能，并增加续航里程20%-50%；2024年向其合作伙伴梅赛德斯-奔驰交付固态电池B样品
QuantumScape	氧化物	电池采用无锂负极设计，隔膜材料为一种陶瓷(氧化物)与正极有机凝胶电解质(正极电解液)的结合，电池能量密度可达380-500 Wh/kg,在45°C下可在15分钟充至80%；2024年初向客户交付24层原型固态电池A样，并成功通过大众集团50万公里严苛耐久性测试
24M Technologies	氧化物	24M Technologies将在2025年开始供应EV用半固态电池，和锂离子电池相比、其制造成本最高可缩减4成，24M将通过技术授权的京瓷(Kyocera)等电池厂商，于2025年在日本、印度、中国量产半固态电池，计划供应给亚洲及欧美车厂使用
LG	聚合物	2010年，韩国现代与LG化学共同量产了第一块“半固态”电池，使用凝胶电解质，搭载于现代索纳塔混动版本中，使用的为1.4kWh的“微型”电池包，现已撤回该技术；LG新能源将原定于2026年聚合物固态电池量产推迟至2030年。

3.5 中国固态电池车企布局

◆ 国内车企以自主研发或合作方式推进半固态电池陆续装车，布局半固态电池技术的车企包括传统燃油车及新能源汽车巨头，蔚来、上汽等车企纷纷与固态电池厂商展开合作致力于半固态电池的量产装车。

品牌	全固态电池量产/布局计划	合作企业	能量密度
比亚迪	2026年发布搭载全固态锂电池的新纯电平台和车型，2027年全固态装车，2030年大规模应用，适配高端车型续航超1200公里。	弗迪科技	400Wh/kg
上汽	2026年交付量产，2027年装车量产交付	清陶科技	400Wh/kg
小鹏	2027年推出全固态电池小批量装车，2028年量产	——	400Wh/kg
奇瑞汽车	2026年全固态电池上车应用2027年批量上市	宁德时代、国轩高科、安瓦新能源	600Wh/kg
广汽	2026年在昊铂车型实现全固态电池量产	巨湾技研	400Wh/kg

资料来源：重庆太蓝新能源有限公司等《固态锂电池技术发展白皮书》，电动公社，保领点胶，华金证券研究所

3.5 中国固态电池车企布局

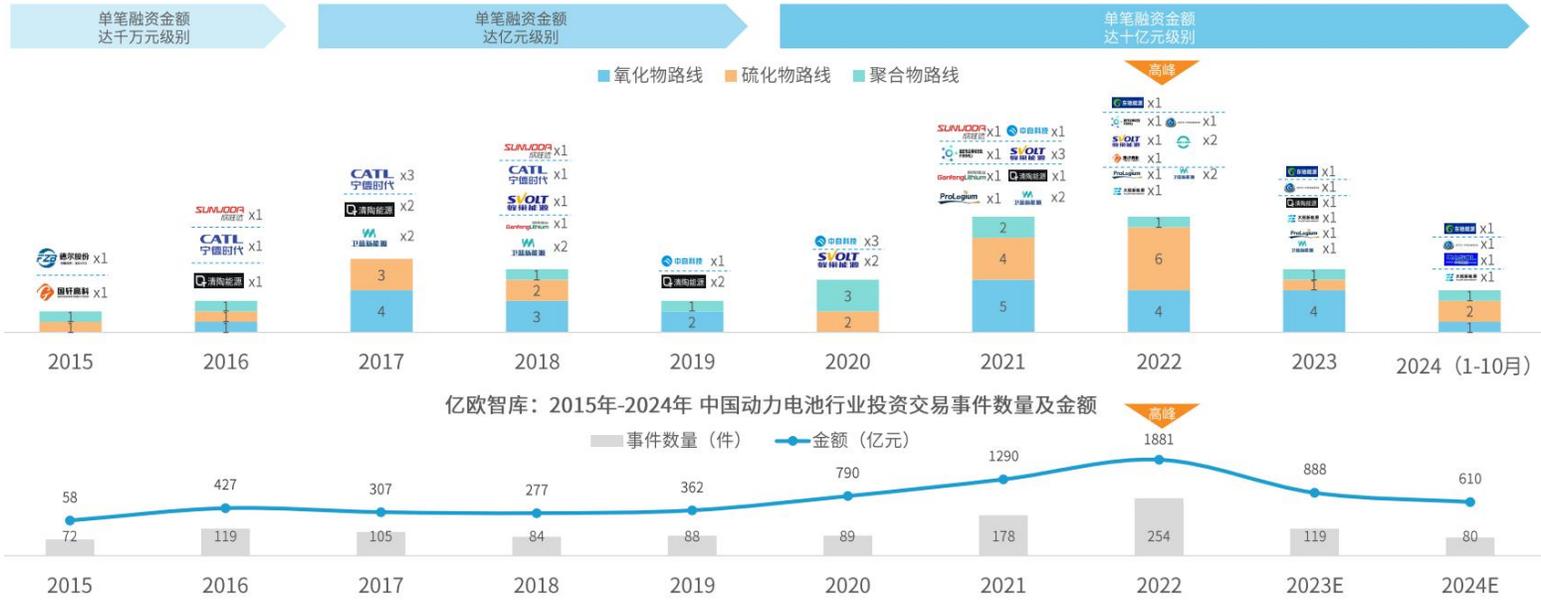
公司名称	技术发展进展
蔚来	2024年4月，蔚来宣布搭载150 kWh电池包的2024款ET7,实测续航均突破了1000km。全新ES6、ET7、ES7、ET5、EC7和ET5旅行版共6款车型的手册中都添加了关于150 kWh电池包的详细信息;蔚来使用的半固态电池，采用硅碳复合负极材料和超高镍正极材料。
上汽	2024年11月上汽集团表示，上汽全新一代固态电池计划于2026年实现量产；能量密度更高，能量密度超过400Wh/kg，体积能量密度超过820Wh/L，电池容量能够超过75Ah。2025年4月，上汽集团表示新一代固态电池将于2025年底在全新MG4上量产应用；2027年，上汽首款全固态电池“光启电池”将落地。
东风汽车	2025年4月，东风汽车宣布自研全固态电池将于2026年8月率先在奕派、纳米等车型装车测试。该电芯能量密度达350Wh/kg，同等重量（600公斤）下电池容量可提升至200千瓦时以上，续航超1000公里，循环寿命1000周（使用近20年健康度≥80%），-20℃低温放电容量仍超85%。
长安汽车	2023年11月，长安汽车发布电池规划，其半固态/固态电池能量密度达350-500Wh/kg，计划2027年前逐步量产，2030年全面普及；2030年将推出8款自研电芯（液态/半固态/固态），产能超150GWh。2024年4月称，半固态电池拟2026年底上市。
江淮汽车	2024年4月22日，江淮钇为与卫蓝新能源在合肥正式签署固态电池战略合作协议，双方将合作开发4695大圆柱半固态电芯;4695大圆柱半固态电芯应用的车型将采用原位固态技术，电芯单体容量为34Ah，能量密度高达300Wh/kg,实现整车600km-1000km的续航水平，并最早在2025年就会实现批量生产。

3.6 外国固态电池车企布局

品牌	全固态电池量产/布局计划	合作企业	能量密度
丰田	2026年开始逐步实施固态电池量产计划，2030年实现量产	松下、出光兴产	600Wh/kg
本田	2025到2029年之间实现量产固态电池	SES AI	500Wh/kg
日产	2025年全固态电池试装；2028年全固态装车量产	——	500Wh/kg
现代	2025年尝试生产搭载固态电池的电动汽车，2027年部分量产，2030年左右全面量产	SES AI、LG新能源、SK On、Factorial Energy	450Wh/kg
大众	2025年建立固态电池量产线，预计2027年实现量产	Quantum Scape	380-500Wh/kg
宝马	2025年全固态电池试装2030年前全固态电池量产 预计将在2030年前实现量产	Solid Power	390Wh/kg
奔驰	2026年之前推出配备固态电池技术的示范车队	Factorial Energy、辉能科技	450Wh/kg

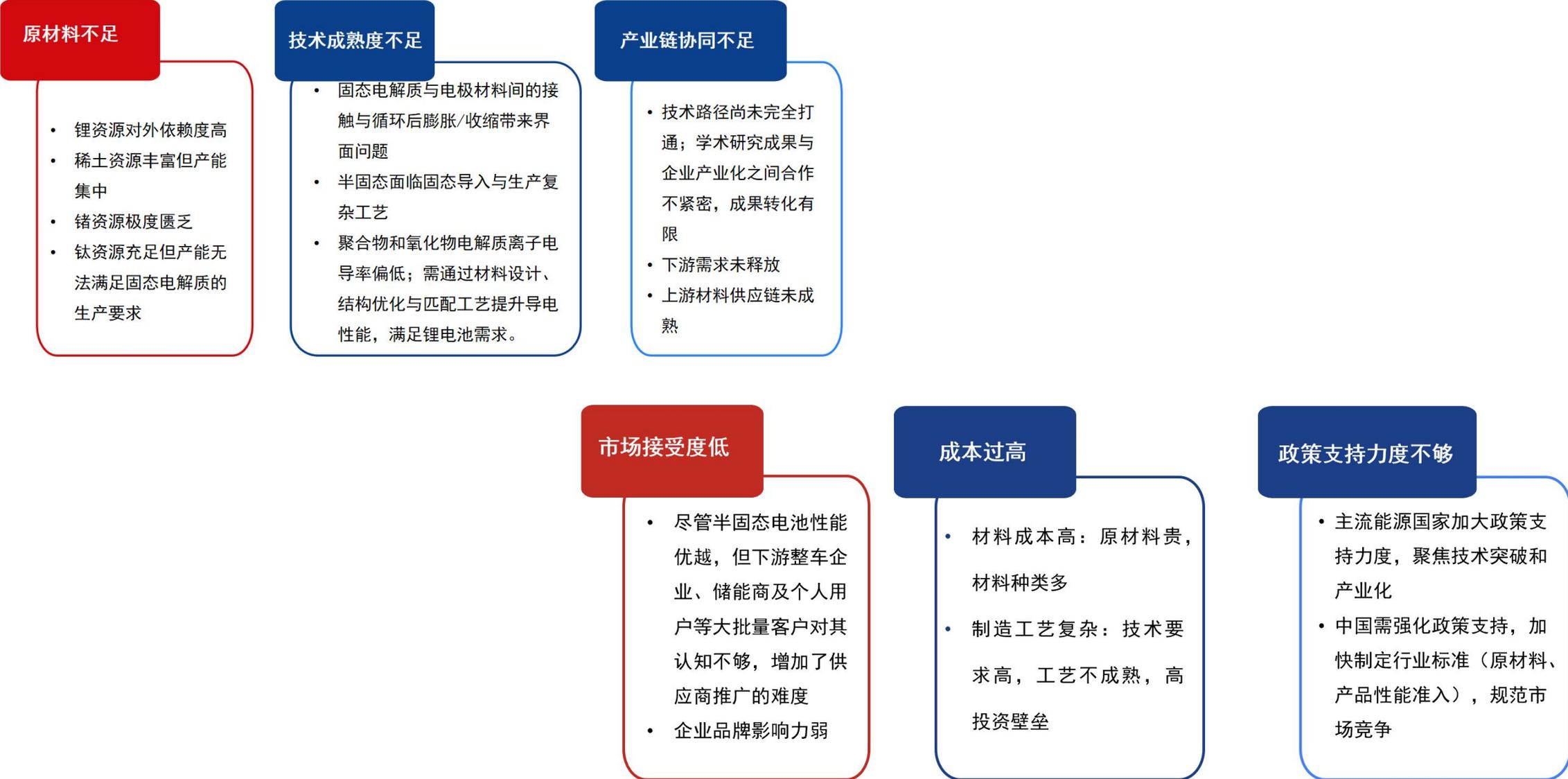
3.7 中国全固态电池产业融资趋势

◆ 中国全固态电池领域与动力电池行业的投融资趋势具有高度相关性, 融资事件聚焦具有全固态电池研发实力的动力电池厂商。从单笔融资金额上看, 全固态电池融资量级不断上升, 2020年后单笔融资量级达到十亿元级别, 头部企业与尾部企业在融资能力方面的差距逐渐拉大。从融资事件数量方面看, 2022年达到高峰, 之后相关融资事件数量逐渐下降, 融资事件聚焦具有核心技术能力的头部企业。



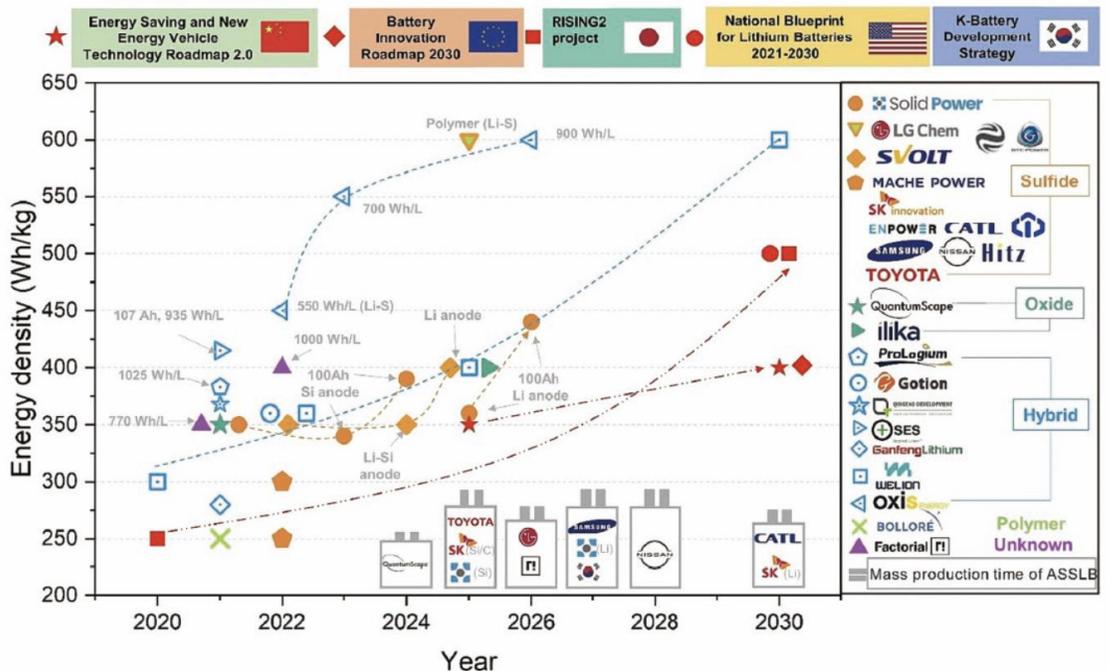
2015年1月-2024年10月 18家典型中国全固态电池厂商融资事件数量跟踪

3.8 研发及量产的挑战



3.9 部分国家/地区政策与公司研发现状及未来规划

- ◆ 近年来，包括宁德时代、比亚迪在内的国内龙头企业纷纷透露其在全固态电池领域的进展和规划，日韩方面也有相关进展披露，整体而言，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。综合公开信息，全固态电池在2027年前后开始进行示范性装车应用，2030年后全固态电池开始进入商业化应用阶段。
- ◆ 2026-2028年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。



部分国家/地区政策与公司研发现状及未来规划

3.10 三大技术路线发展策略

技术路线	发展方向
氧化物	太蓝新能源等企业开发新结构材料；采用“技术迁移”路径，从半固态向全固态过渡；针对产业线转移痛点，简化流程、降低成本；制备技术与装备持续攻关，如ISFD工业制膜技术等。
硫化物	改性材料提升空气稳定性；探索保护涂层、界面缓冲层等；与上下游合作降低原料成本；加快设备研发
聚合物	引入无机填料/新材料；化学调控+物理改性，提升电导率与稳定性；创新制备工艺，提升产线效率

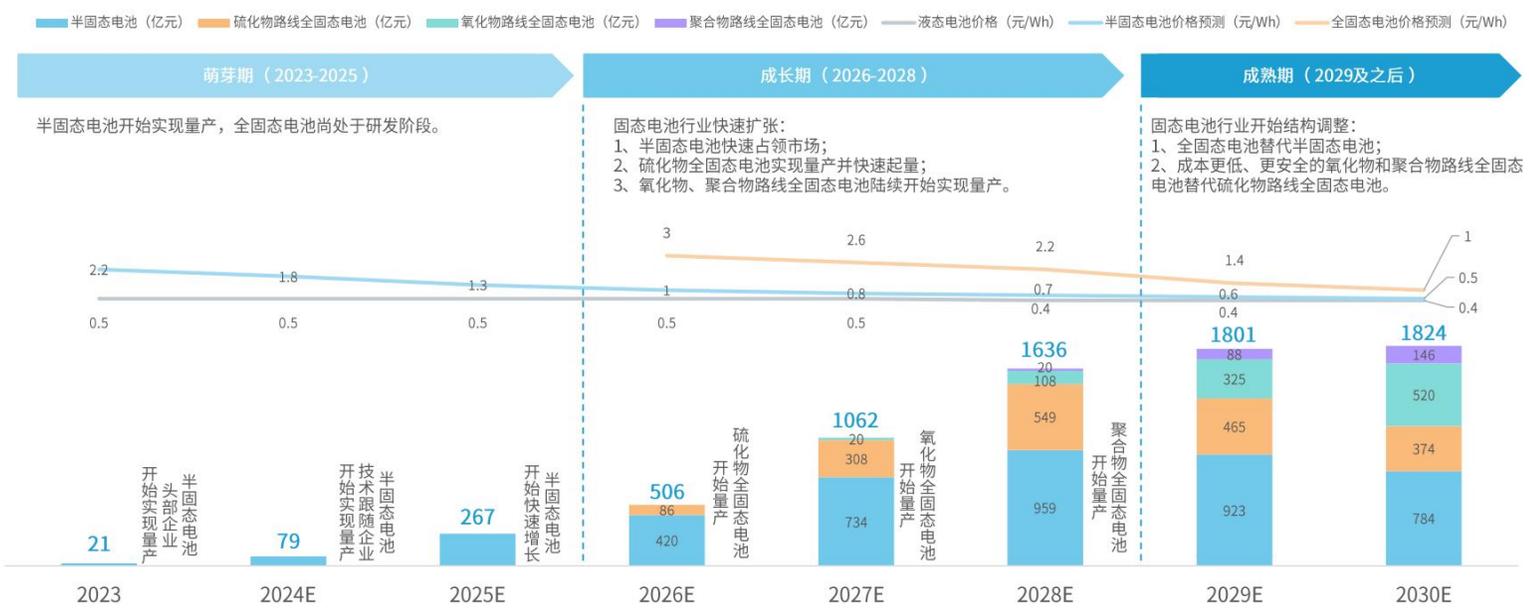
3.11 全固态电池迎来黄金发展期

◆ 固态电池因其高能量密度和安全性等优势，是未来能源技术的重要方向。目前，固态电池正处于测试阶段，出货量较少，市场普及预计还需5至10年，主要应用于无人机、智能设备、医疗和部分新能源汽车。GGII数据显示，2024年固态电池出货量预计将达7GWh，2027年将是固态电池产业从市场发展初期迈向快速上升期的转折点，固态电池将进入快速增长期。



3.11 全固态电池迎来黄金发展期

◆ 2026-2028年是不同技术路线全固态电池实现量产的关键阶段，其中硫化物路线有望在2026年率先实现量产。2029年之后，随着全固态电池价格下降，固态电池产业将进入成熟期的结构调阶段。全固态电池替代半固态电池，氧化物和聚合物路线全固态电池替代成本更高的硫化物路线全固态电池或是成熟期的调整方向。



中国固态电池产业规模

- 01 高能量密度+高安全性，固态电池前景广阔
- 02 生产工艺革新，多元技术路线协同发展
- 03 产业龙头布局加码，全固态电池迎来黄金发展期
- 04 AI赋能产业变革，eVTOL+人形机器人打开增量空间
- 05 投资建议
- 06 风险提示

4.1 产业链结构

◆ 固态电池产业链上游主要包括锂、锆、锗、钴、镍、镧等矿产原材料供应商；中游为固态电池制造企业，包括电池厂商、固态电池初创企业和锂电材料厂商，负责固态电池的设计、研发和生产，是主导研发、推动产业化发展的核心力量；下游应用领域主要包括新能源汽车、储能系统和消费电子设备，对固态电池的高安全性、高能量密度特性有较高需求。



中国全国态产业电池图谱

4.2 AI技术引领固态电池新变革

- ◆ 从“单场景”向“多场景”拓展：覆盖科研、高端消费、新兴科技、商用储能、民用交通等多个场景；满足高安全、高稳定性、高能密度等多样化需求。
- ◆ 驱动产业链重构与洗牌：固态电解质商、改性材料商、BMS商、设备商等核心环节企业价值上升；电解液、隔膜等液态电池环节绑定性弱化，话语权下降。

应用环节	AI 赋能作用	案例参考
材料发现	模拟预测材料性能与结构，加速新材料发现与验证，提升实验效率，降低研发成本	丰田通过AI进行材料筛选与性能预测
电池设计	优化电芯结构、热管理系统、电化学反应路径，提高能量密度与稳定性	麻省理工通过AI分析电化学反应数据，指导设计迭代
电池制造	构建AI驱动的智能产线与设备调度系统，提升良率与制造效率	IBM研究院开发智能制程平台，实现工艺自动优化
BMS	故障预测与热管理优化，实现电池安全监控与能效提升	辉能科技利用AI构建智能BMS系统，保障全生命周期稳定运行

4.3 AI智能终端对固态电池的需求日益增加

◆ 以eVTOL为代表的载人飞行器对于能量密度和功率密度的要求较高，同时由于电池占总成本比重较大因此要求具有较强的性价比。电动汽车要求较高的能量密度和较高的充电倍率以提升用户使用体验，同时要求电池具有性价比以提升产品价格吸引力。在传统消费电子领域，如手机，对电池容量和环境适应性的要求通常较高，电池容量多在3000mAh以上，并适应多种环境，同时对于成本具有较强的敏感性。

载人飞行器领域的主要需求点



长续航能力



快速充电能力



高安全性



良好的环境适应能力

电动汽车领域的主要需求点



长续航能力



快速充电能力



高安全性



低成本

传统消费电子领域的主要需求点



长续航能力



较大电池容量



较好的环境适应能力



较快的充电速度

典型场景——eVTOL： 尤其对电池能量密度和功率密度有很高要求

指标	参数要求
能量密度	目前：285Wh/kg 2030年目标：500Wh/kg 2040年目标：1000Wh/kg
功率密度	2030年目标：1.25kW/kg 2040年目标：2.5kW/kg
倍率	≥5C（达到商用标准）
循环次数	≥10000次
单机电池价格	约60万元， 占总成本约20%

高能量密度

eVTOL垂直起飞需要的动力是地面行驶的10-15倍，如果要实现商业化能量密度至少需要达到400Wh/kg，预期2030年能够达到500Wh/kg。

大功率密度

eVTOL的电池通常需要具有较高的放电功率，这是为了在有限的体积和重量内提供最大的推力。eVTOL对于峰值功率密度的要求通常在1.5-2.0kW/kg，预期2030年功率密度能够达到1.25kW/kg。

典型场景——电动车： 尤其对电池能量密度和电池充电倍率有较高要求

指标	参数要求
能量密度	≥500Wh/kg
倍率	≥4C
循环次数	≥1000次
电池成本	<0.8元/Wh

较高能量密度

能量密度是续航里程的基础，当前电动汽车的能量密度集中在125-160Wh/kg，车主普遍存在因续航里程不足产生的里程焦虑。需要全固态电池技术显著提升能量密度，以缓解车主里程焦虑

较高充电倍率

充电倍率决定了电动汽车充电所需的时间。当前电动汽车的充电倍率集中在2C-3C水平。4C及以上快速充电可以大大减少用户的等待时间，提高使用便利性。

典型场景——手机： 对于容量和环境适应性有较高要求

比较项	当前参数	用户期望参数
容量	3000-6000mAh	≥5000mAh
能量密度	200-250Wh/kg	≥200Wh/kg
温度区间	能够在0°C至35°C区间正常工作	能够在-20°C至50°C区间正常工作
循环寿命	500-800次	≥500次
充电倍率	1C-2C	2C-3C

较大的电池容量

截至2024年，手机电池容量已经成为用户选择智能手机时考虑的重要因素之一。随着移动应用的增多和用户对于续航时间的更高要求，各大手机品牌厂商都在不断提升电池容量，以满足市场需求。目前大多数品牌能够达到3000-6000mAh的水平。

较强环境适应性

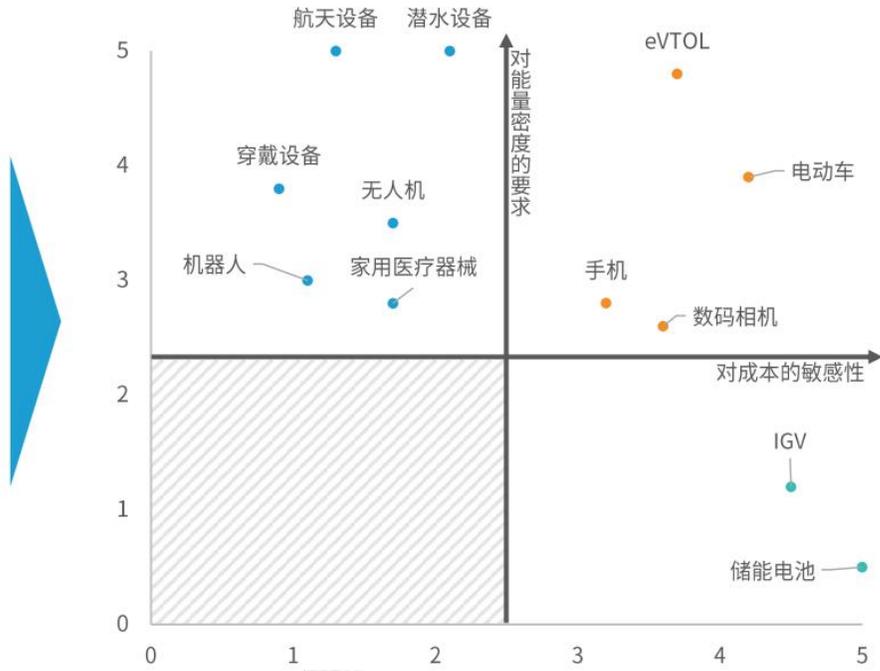
对于工作的温度区间要求较高，需要能够适用较宽的温度区间。

4.3 AI智能终端对固态电池的需求日益增加

◆ 无人机、机器人等新兴应用场景更加重视通过优良的电池性能提供给用户更优质的体验。与手机和电脑等传统消费电子产品相比，这些新兴领域能够接受全固态电池等先进电池技术所带来的较高成本，高性能和轻量化在当前阶段受到厂商重视。航天、深潜等科研领域追求极致性能，对成本不敏感，其对于能量密度和电池寿命的要求非常高，并且要求电池对于极端环境有较强的适应能力。

场景	不同场景的市场需求特点	对成本的敏感性	对能量密度要求
手机	用户期待电池具有较大的容量，能够支持更长的使用时间，具有较快的充电速度，最好能够适应多样化的环境，并期待新电池技术尽量不影响手机性价比。	3.2	2.8
数码相机	用户期待电池具有较高的能量密度，以支持长时间的拍摄和录制视频，同时希望电池能够在各种光线和温度条件下保持稳定性能。	3.6	2.6
无人机	用户需要电池具有长续航能力，以支持无人机进行长时间的飞行和数据收集，同时要求电池能够在极端天气条件下保持性能，且具有轻量化设计，以减少无人机的负载。	1.7	3.5
机器人	用户期待电池能够提供持续稳定的电力输出，以支持机器人长时间任务执行，并且期待电池体积小、容量大、重量轻、充电快，提升机器人的工作效率。	1.1	3
穿戴设备	用户需要电池具有小尺寸和轻量化设计，以适应穿戴设备的紧凑空间和佩戴舒适性。用户还期待电池能够提供足够的电量，支持设备在一天中的正常使用。	0.9	3.8
家用医疗器械	用户期待电池具有高可靠性和稳定性，以确保医疗设备在关键时刻能够正常工作。用户还希望电池能够提供足够的电量，支持设备在没有电源的情况下长时间运行。	1.7	2.8
电动车	用户期待电池具有长续航能力，以支持电动车的长途行驶。用户还希望电池能够快速充电，并在不同的气候条件下保持性能稳定。此外，用户期待电池技术的进步能够带来更安全、更环保的电动车使用体验。	4.2	3.9
eVTOL	用户需要电池具有高能量密度和高瞬时放电倍率，以支持eVTOL的起飞、巡航和降落。用户还期待电池具有良好的热管理系统和高安全性，以适应高空飞行的特殊要求。用户也希望电池的寿命周期内更换频率低减少维护成本。	3.2	4.8
潜水设备	用户期待电池能够在高压和低温的深海环境中稳定工作，提供持续的电力供应。用户还希望电池具有高能量密度，以支持潜水设备的长时间作业。此外，用户期待电池的设计能够适应潜水设备的空间限制。	2.1	5
航天设备	用户需要电池具有高可靠性和长寿命，以保证航天任务的连续供电。用户还期待电池具有高能量密度和高效率，以适应航天器的轻量化和小型化需求。此外，用户希望电池能够在极端的空间环境中保持性能。	1.3	5
IGV	用户期待电池能够提供稳定且持续的电力，以支持IGV设备的长时间运行。用户还希望电池具有快速充电和高循环寿命的特点，以减少停机时间和维护成本。	4.5	1.2
储能电池	用户需要电池具有高容量和长寿命，以实现大规模能量的存储和释放。用户还期待电池具有高效率 and 低成本，以提高储能系统的经济性。	5	0.5

在分析市场需求的基础上，根据不同场景在“对成本的敏感性”和“对能量密度的要求”维度上展现的水平，建立坐标系，对不同场景进行分类。



全固态电池潜力应用场景与打分

建立坐标系对潜力应用场景进行分类

4.4 固态电池：从动力到穿戴设备的全场景突破

动力电池市场

- 技术突破：梅赛德斯-奔驰电池能量密度达450Wh/kg，GS YUASA开发的全固态电池原型单位体积存储容量达到750瓦时，容量超传统电池1.5倍，宁德/比亚迪突破硫化物电解质技术。
- 产业化提速：预计中国2025年样品/2027年量产，丰田/本田计划2025-2026年试产，比亚迪计划配套4000+闪充站。

储能市场

- 性能突破：高安全/长寿命/宽温域，固态电解质减重提效。
- 示范加速：中电兴发研发推进。
- 场景适配：风光储一体化首选，合作模式加速产业化。

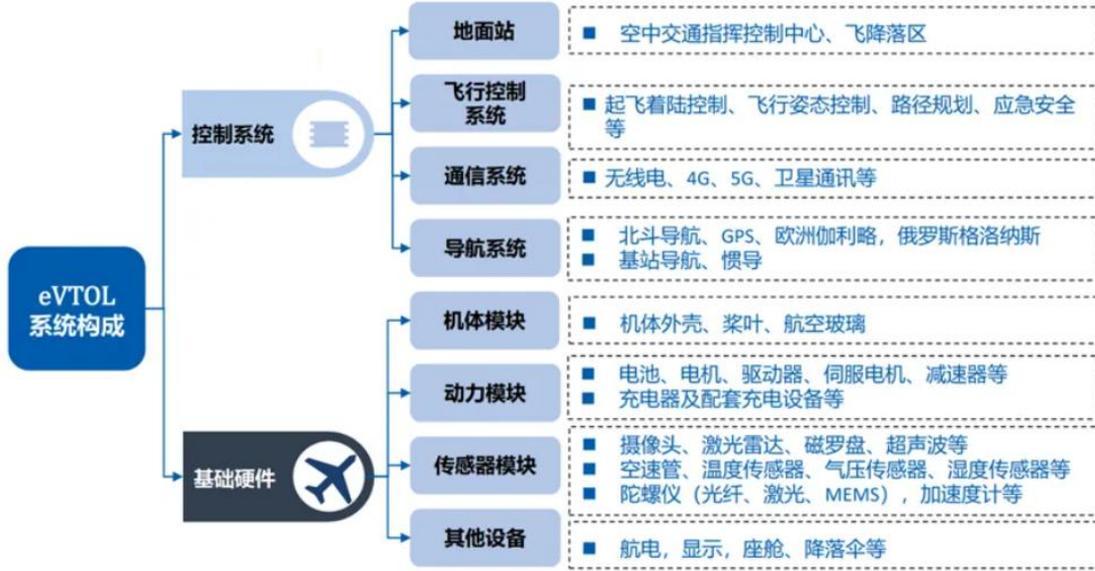
消费电子市场

- 商用落地：华为2024年首发固态电池手机，本田推进产业化，高端市场率先应用。
- 能量密度2-3倍于锂电，实现设备轻薄化+续航提升，安全性更优。
- 市场爆发：头豹研究院预计2024-2028年消费电子电池市场CAGR达6.61%，固态电池渗透率持续提升。

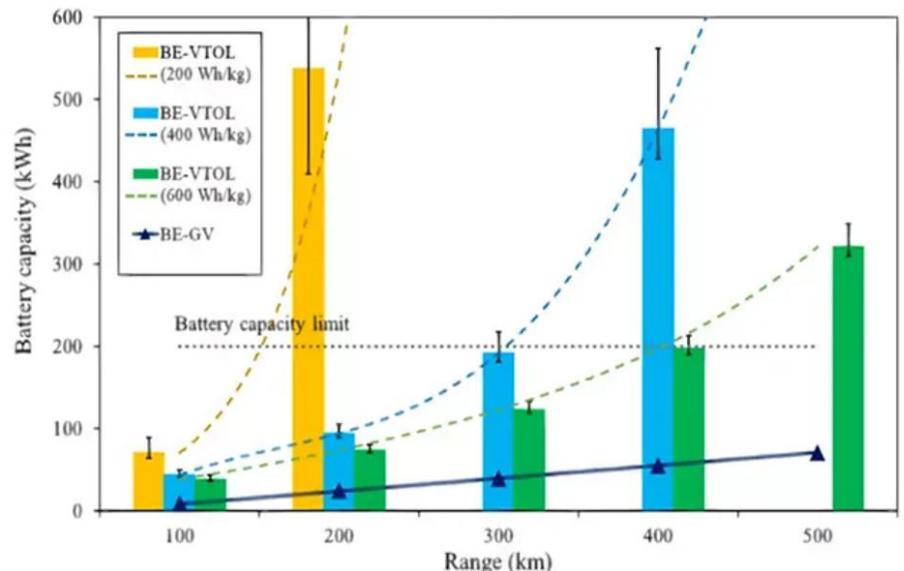
4.5 固态电池与eVTOL完美契合

- ◆ eVTOL飞行器主要由机体子系统、导航通讯与飞控子系统、动力子系统和能源子系统构成。eVTOL的动力系统采用分布式推进系统（DEP, Distributed Electric Propulsion），该设计使其能够提升动力系统的安全性冗余、有效降低本机噪音（降低约10%~15%）和最大限度提升动力系统的能源使用效率。
- ◆ 对于eVTOL飞行器来说，电池有两项关键性能指标与eVTOL综合性能紧密相关，一是能量密度，一是功率密度。相比较来说，电池功率密度（单位质量电池的放电功率大小）是eVTOL飞行器更关键的性能指标，因为它决定了eVTOL是否可以安全起飞和着陆。而另一方面，能量密度（电池平均质量所释放出的电能）大致上决定了eVTOL的航程范围，目前300Wh/Kg能保证200~300公里航程。

eVTOL系统构成



eVTOL不同容量电池和续航之间关系



4.5 固态电池与eVTOL完美契合

- ◆ 作为eVTOL技术的核心组件，电池的性能和安全性直接决定了eVTOL飞机的性能和市场接受度。能量密度方面，eVTOL垂直起飞所需要的动力是地面行驶的10-15倍，商用门槛高达400Wh/kg，且未来能量密度要求将会达到1000Wh/kg，远高于当前车用动力电池的能量密度。充放电倍率方面，eVTOL的飞行需要经历起飞、巡航、悬停等阶段，其中起降阶段要求电池的瞬间充放电倍率在5C以上。安全性能、循环寿命等方面，eVTOL对电池的要求也极为严苛。
- ◆ 政策引导，eVTOL将成为固态电池商业化的助推剂。2024年3月27日，工信部等四部门印发《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》，明确提出推动400Wh/kg级航空锂电池产品投入量产，实现500Wh/kg级航空锂电池产品应用验证。鉴于传统液态锂电池能量密度限制和eVTOL对电池性能的高要求，固态电池有望率先在eVTOL市场放量。

eVTOL对电池的参数要求

指标	参数
能量密度	目前已达285Wh/kg，2030年目标500Wh/kg，2040年目标1000Wh/kg
功率密度	2030年目标1.25kW/kg，2040年目标2.5kW/kg
倍率	≥5C
循环次数	≥10000次

充电倍率与充电时间

C-Rate	Rated Capacity	Formula	Amps	Discharge / Charge Time
10C	100 Ah	10 x 100A	1000A	6 minute
5C	100 Ah	5 x 100A	500A	12 minutes
3C	100 Ah	3 x 100A	300A	20 minutes
2C	100 Ah	2 x 100A	200A	30 minutes
1C	100 Ah	1 x 100A	100A	1 hour
C/2	100 Ah	100A / 2	50A	2 hours
C/3	100 Ah	100A / 3	30A	3 hours
C/5	100 Ah	100A / 5	20A	5 hours
C/10	100 Ah	100A / 10	10A	10 hours

4.5 固态电池与eVTOL完美契合

◆ 航空动力电池独立赛道“风起”。今年以来，随着低空场景应用的拓展与落地，相关电池企业订单及融资等动态不断，国内电池企业密集加码低空经济赛道：亿纬锂能3月18日宣布为小鹏汇天提供飞行汽车电池，其2月21日已助力AS700D载人飞艇首飞；中创新航、国轩高科分别与小鹏汇天、亿航智能展开合作；宁德时代在2月11日港股招股书中提出航空电池产能规划，并投资峰飞航空；孚能科技1月23日透露已实现全球首批eVTOL电池量产交付。珠海冠宇3月13日宣布完成9亿元增资，强化无人机业务布局，行业正加速抢占低空经济新高地。

eVTOL主要构型的动力系统设计

eVTOL构型	动力电池需求	代表企业
多旋翼技术路线	高能量密度和高放电倍率的锂离子电池	亿航智能的EH216飞行器
复合翼技术路线	要求电池既能支持垂直起降的高功率需求，又要满足高速飞行的长航程和高载重要求	珠海天空速递蓝雀系列eVTOL
倾转旋翼技术路线	注重在起飞时支持高倍率放电，同时在巡航阶段提供更高的能量密度	沃飞长空

4.5 固态电池与eVTOL完美契合

◆ 在近期CIBF2025上，固态电池成为核心展示方向之一，多家企业展示了面向低空经济场景的动力电池方案，涵盖城市空中交通、工业无人机、载人飞行器等应用方向，产品普遍强调轻量化设计、倍率输出与冗余安全体系。如赣锋锂业500Wh/kg级全固态电池，配套硫化物电解质与锂金属负极，10Ah级样品已实现小批量生产，计划年交付验证样品；亿航智能联合欣界能源推出“猎鹰”锂金属固态电池，能量密度达480Wh/kg，循环超1000次，eVTOL续航提升至48分钟以上。产业链企业亦开始介入系统集成与平台适配，如海目星联合欣界能源启动5GWh固态电池产线建设。飞行电池成为固态电池工程化验证的重要接口，也在低空经济打开新的增长预期。

CIBF2025展出的部分固态电池产品

企业名称	固态电池产品
赣锋锂业	500Wh/kg级全固态电池产品配套硫化物电解质与锂金属负极
国轩高科	G垣固态电池，能量密度达300Wh/kg
欣旺达	能量密度达400Wh/kg的固态电芯，容量为60Ah，循环寿命可达1500次
天能股份	“磐石”系列固态电池和“星辰”系列固态电池
雄韬股份	60Ah固态电池，适用于数据中心、储能及轨道交通等高安全场景
卫蓝新能源	小动力固态电池SHP265（16Ah、26Ah）、超高功率半固态电芯、高能量密度固态电池SHP270，以及314Ah储能固态电池SHS180

资料来源：集邦固态电池，科创板日报，华金证券研究所

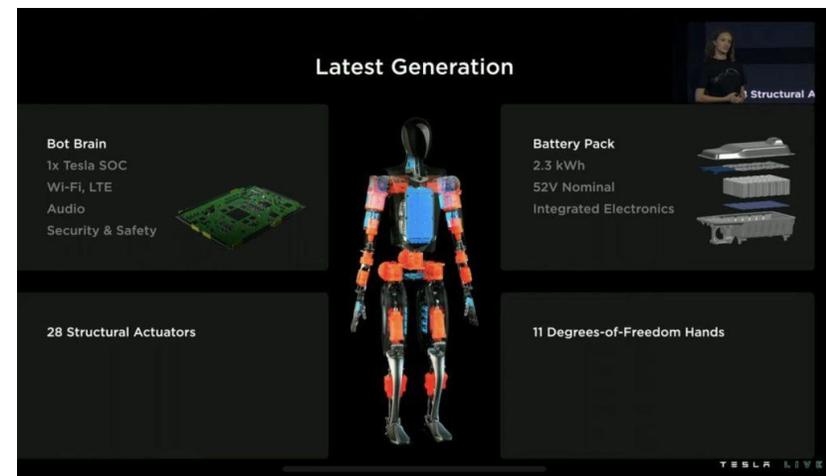
4.6 固态电池：人形机器人突破“最后一公里”的关键推手

- ◆ 在今年“两会”期间，人形机器人成为了代表委员们热议的话题之一。多位代表和委员就人形机器人的创新发展、量产应用以及相关政策支持等方面表示：人形机器人的发展紧迫性，本质上反映了人类社会向“人机共生”文明跃迁的临界状态。当劳动力缺口扩大、AI技术成熟、能源革命突破、地缘竞争加剧等多重因素形成共振，其发展已不再是“是否必要”的选择题，而是“以多快速度实现”的生存命题。
- ◆ 当前人形机器人的“能源之困”具体体现在三个方面：其一，锂电池续航能力不足导致作业中断频繁，例如特斯拉Optimus仅能支持数小时基础任务；其二，电池体积和重量占比过高，限制了机器人的灵活性与轻量化设计；其三，极端温度下的性能衰减与潜在热失控风险，阻碍了其在工业、救援等场景的应用。这些短板恰恰与固态电池的高能量密度、快速充放能力、结构紧凑性和热稳定性形成鲜明互补。
- ◆ 当固态电池与人形机器人深度融合，这场“能源革命”将改写机器人的能力边界。更高能量密度的电池可支持全天候自主作业，超快充技术让机器人像人类一样“即充即用”，而本质安全特性则拓宽了其在家庭、医疗等敏感场景的适用性。

特斯拉Optimus迭代



特斯拉Optimus构成



4.6 固态电池：人形机器人突破“最后一公里”的关键推手

◆ 2025年，随着技术迭代与应用场景扩展，固态电池未来或有望成为人形机器人能源系统的首选，主要体现在以下四方面：

能量密度与续航能力的上限突破

传统锂电池的能量密度已接近理论极限（约300Wh/kg），而固态电池通过固态电解质替代液态电解质，能量密度可提升至500Wh/kg以上，为人形机器人的高强度作业提供更持久的动力支持。

安全性：复杂场景下的核心保障

人形机器人在工业巡检、家庭服务等场景中可能面临碰撞、高温等极端环境。液态锂电池存在漏液、短路甚至爆炸风险，而固态电池的固态电解质具备更高的热稳定性，即使受外力冲击也能保持结构完整。

轻量化与结构适配性

固态电池体积更小、重量更轻，可显著优化人形机器人的机械设计。例如，特斯拉Optimus的迭代版本通过采用固态电池，整体重量减轻15%，腾出的空间用于提升关节灵活性与传感器密度。

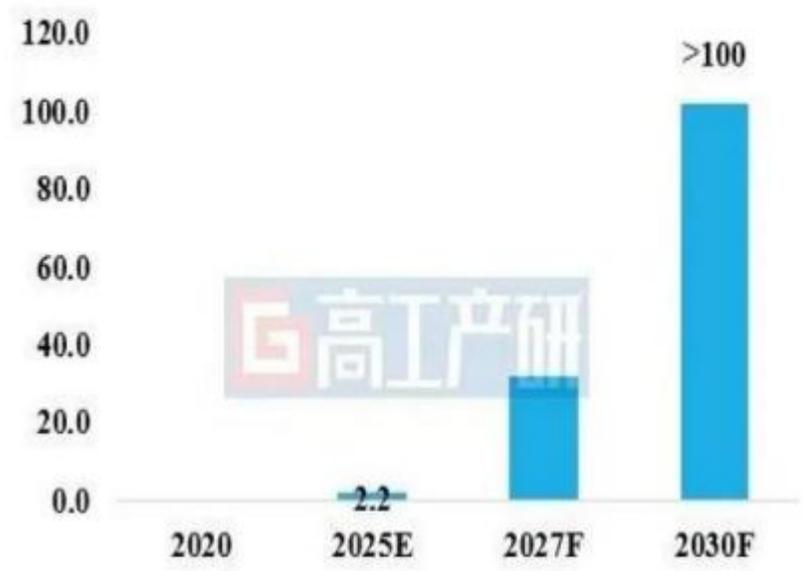
保障未来智能化需求

人形机器人需集成更多传感器与AI模块，能耗压力倍增。固态电池的高能量密度与低自放电率可为复杂算法与多模态交互提供能源保障。

4.7 人形机器人带动固态电池发展

◆ 参考特斯拉的Optimus单机带电量，如果每台具身智能机器人平均配备2kWh电池容量，GGII预计，2025年全球具身智能机器人用锂电池出货量将达2.2GWh，到2030年需求将超100GWh，2025-2030年复合增长率超100%。具身智能机器人有望成为带动锂电池需求增长的重要驱动力，并推动高能量密度、高安全性电池技术的迭代升级，重塑细分市场格局。

2020-2030年具身智能机器人用锂电池市场出货规模及预测(单位: GWh)

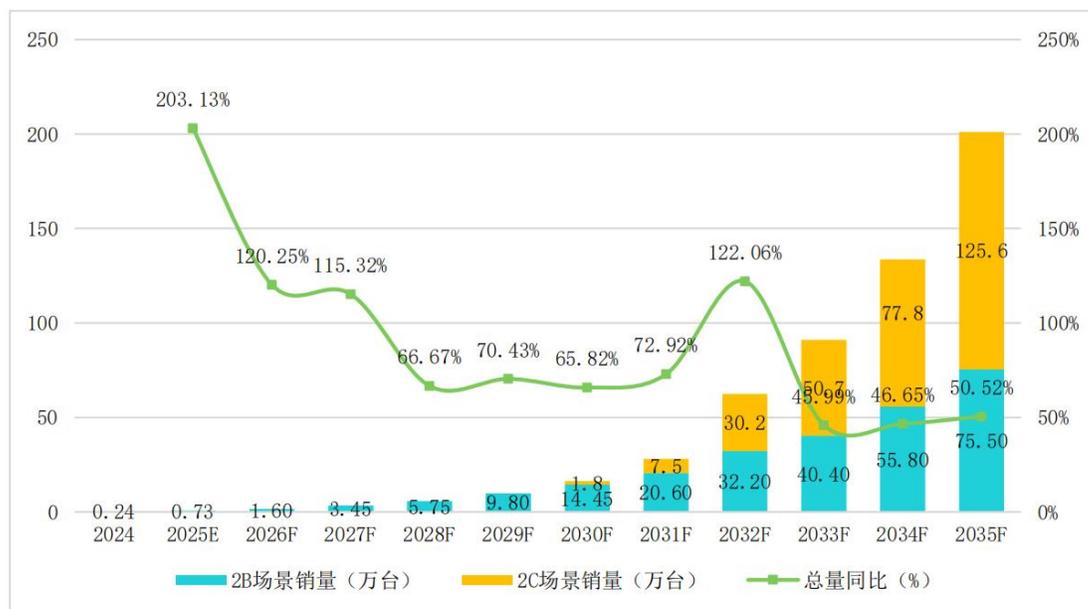


主流具身智能机器人电池类型及续航对比

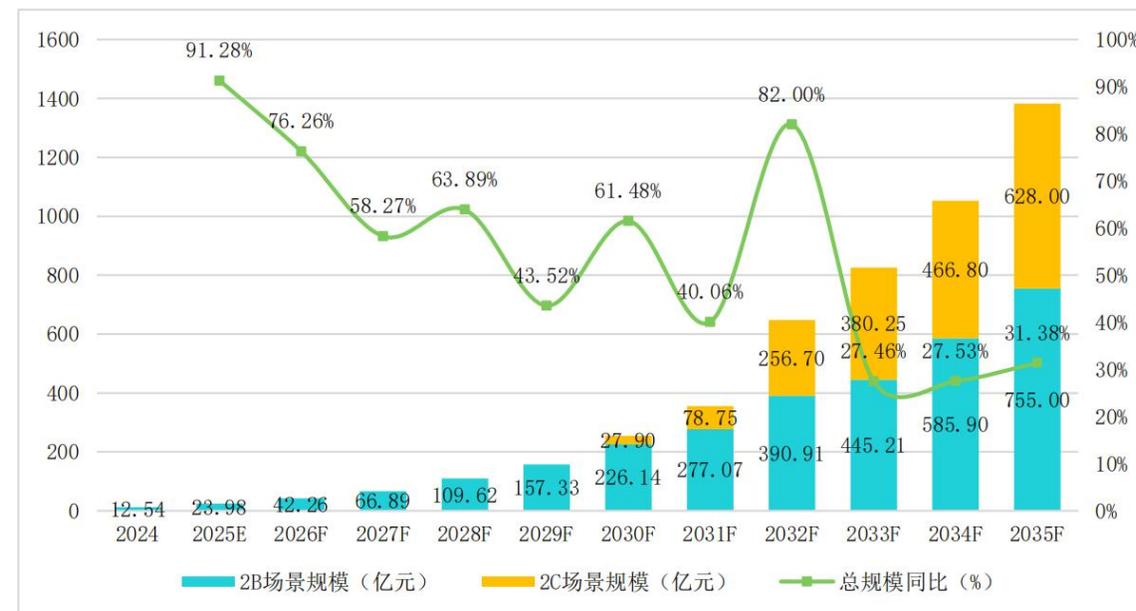
具身智能机器人	电池类型	电池容量	续航时间
特斯拉 Optimus Gen-2	磷酸铁锂圆柱电池	2.3kWh, 52V	约 4 小时
宇树科技 Unitree H1	锂离子电池	15Ah (0.864kWh), 最大电压 67.2V	约 2 小时
宇树科技 Unitree G1	锂离子电池	/	约 2 小时
Figure AI Figure 02	锂离子电池	2.25kWh	约 5 小时
广汽 GoMate	全固态电池	/	约 6 小时

4.7 人形机器人带动固态电池发展

- ◆ 高工机器人产业研究所（GGII）预测，中国人形机器人市场预估销售量在2025年将达到7300台，市场规模有望接近24亿元；到2030年，销量将达到16.25万台，市场规模将超过250亿元。预计到2031年，人形机器人进入快速起量期，到2035年销量有望达到200万台左右，届时中国人形机器人市场规模有望接近1400亿元。



2024-2035年中国人形机器人市场销量及预测(单位:万台, %)



2024-2035年中国人形机器人市场规模及预测(单位:亿元, %)

4.9 看好固态电池在锂电池弱beta情景下的alpha增量

- ◆ SMM预计，2024年全球新能源汽车行业对锂电池的需求量年均复合增长率预计在11%左右，储能行业对锂电池的需求量年均复合增长率在27%左右，消费电子板块对锂电池的需求量年均复合增长率在10%上下。预计到2030年，全球锂电池需求量或达约2800GWh。全球全固态电池渗透率方面，SMM预计，2025年全固态电池渗透率在0.1%左右，2030年预计全固态电池渗透率或达4%左右，2035年全固态电池渗透率有望达到9%上下。
- ◆ 对比新能源汽车、储能以及消费（3C数码，eVTOL等）三大领域固态电池未来的发展增速发现，预计到2030年消费电子板块渗透率有望达到12%左右，率先实现突破10%，固态电池应用在消费场景率先突破，EV潜力最大。
- ◆ AI消费终端由于体积限制，对于能量密度要求更高，叠加用户体验升级等因素，成为固态电池商业化落地的试验田，渗透率先突破10%；储能板块对电芯成本敏感度较高，仅部分价格敏感度较低且极度注重安全性的场景使用固态电芯，短期内需求量有限，预计2030年固态电池在储能板块的渗透率或在2%左右；新能源电池板块，预计到2030年渗透率有望达到5%左右，高端电动汽车对于高安全性和高续航里程的需求，固态电池是其关键选择之一。

	消费电子板块	储能板块	新能源板块
预测2030年固态电池渗透率	12%	2%	5%

- 01 高能量密度+高安全性，固态电池前景广阔
- 02 生产工艺革新，多元技术路线协同发展
- 03 产业龙头布局加码，全固态电池迎来黄金发展期
- 04 AI赋能产业变革，eVTOL+人形机器人打开增量空间
- 05 投资建议
- 06 风险提示

- ◆ 技术突破驱动固态电池产业升级，龙头布局加码，全固态进程提速。因体积限制，对能量密度要求更高，叠加用户体验升级等因素，AI消费终端将成为固态电池商业化落地的试验田，渗透率先突破。看好固态电池在锂电池弱beta情景下的alpha增量，以人形机器人、eVTOL为代表的AI动力有望打造固态电池发展的新引擎。
- ◆ 建议关注：1) 电池：宁德时代、亿纬锂能、国轩高科；2) 设备：纳科诺尔、曼恩斯特；3) 固态电解质及上游：三祥新材、厦钨新能、上海洗霸、有研新材；4) 硅负极相关：元力股份、天奈科技等。

- 01 高能量密度+高安全性，固态电池前景广阔
- 02 生产工艺革新，多元技术路线协同发展
- 03 产业龙头布局加码，全固态电池迎来黄金发展期
- 04 AI赋能产业变革，eVTOL+人形机器人打开增量空间
- 05 投资建议
- 06 风险提示

- ◆ **政策变动风险：** 固态电池行业在发展初期对政策支持依赖程度较高。当前，新能源汽车补贴政策、低空经济相关扶持政策等对固态电池的市场需求起到了重要推动作用。若未来相关政策出现调整，如政策支持力度减弱等，可能导致下游应用领域对固态电池的需求增长不及预期，影响行业整体发展速度。
- ◆ **技术突破不及预期风险：** 目前在材料体系与生产工艺上仍面临诸多难题，如固态电解质与电极间的固固界面接触阻抗较高，导致电池的充放电性能与循环寿命受到影响，且相关生产设备如干法电极设备等尚未成熟，致使产品良率较低。不同技术路线各有优劣且并行发展，若关键技术在未来无法取得有效突破，可能致使固态电池产业化进程大幅延迟，难以按预期实现大规模商业化应用。
- ◆ **市场竞争加剧风险：** 全球范围内，固态电池领域竞争愈发激烈。国内企业面临突破国外专利壁垒的巨大挑战，若无法在技术创新与专利申请上取得优势，可能在市场竞争中处于劣势，市场份额被竞争对手蚕食。

公司投资评级：

- 买入 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅大于15%；
- 增持 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在5%至15%之间；
- 中性 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在-5%至5%之间；
- 减持 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅在5%至15%之间；
- 卖出 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅大于15%。

行业投资评级：

- 领先大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数领先10%以上；
- 同步大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨跌幅介于-10%至10%；
- 落后大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数落后10%以上。

基准指数说明：

A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准，美股市场以标普500指数为基准。

分析师声明

贺朝晖、周涛声明，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据，特此声明。

本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）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。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告，是证券投资咨询业务的一种基本形式，本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向本公司的客户发布。

免责声明：

本报告仅供华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准。

在法律许可的情况下，本公司及所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发、篡改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“华金证券股份有限公司研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

华金证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

风险提示:

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。投资者对其投资行为负完全责任，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。

华金证券股份有限公司

办公地址:

上海市浦东新区杨高南路759号陆家嘴世纪金融广场30层

北京市朝阳区建国路108号横琴人寿大厦17层

深圳市福田区益田路6001号太平金融大厦10楼05单元

电话: 021-20655588

网址: www.huajinsec.cn