

eVTOL商业化临近，固态电池迎来新机遇

低空经济系列报告之固态电池






分析师：张文臣 S0910523020004

申文雯 S0910523110001

周涛 S0910523050001

2024年4月3日

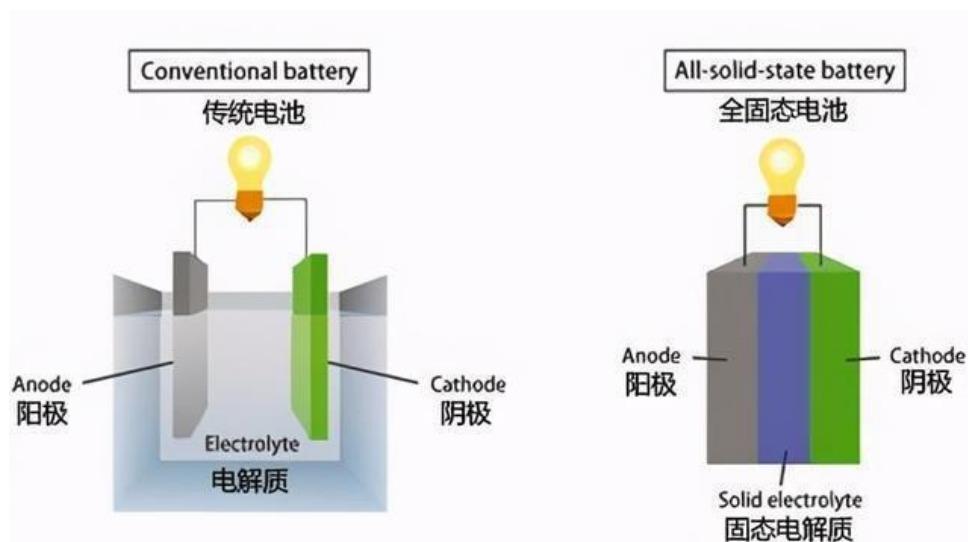
- ◆ **固态/半固态电池技术是突破锂离子电池能量密度上限的关键路径。**目前，由于液态电解质的浓度梯度问题与低电压平台局限，电容量较高的正负极材料与目前的液态电解质无法适配；固态电池使用的固态电解质，具有较高的化学稳定性，绕开了液态电解质的浓度梯度问题，同时对锂金属负极的锂枝晶的形成及硅的膨胀起抑制作用，其较高的电化学平台对富锂锰基等新型正极材料的应用提供了理论使用可行性。
- ◆ **固态电池的电解质是核心环节，主要有聚合物、硫化物和氧化物三种。**氧化物电解质商业化进程较快，硫化物潜力较大。氧化物固态电池的性能与成本相对综合，硫化物导电性最强潜力最大。欧美国家以自主研发固态电池技术的创业型公司为主，主要技术路线为氧化物与硫化物。日韩以传统车企与电池企业合作开发为主，主要技术路线为硫化物。中国企业与科研机构或院校合作，产业化进程较快，大部分国内企业主要为氧化物、部分为硫化物，聚合物较少。
- ◆ **固态/半固态电池技术快速进步，eVtoI助推产业化落地。**目前，丰田、QuantumScape、Solid Power、清陶能源等研发固态电池主流厂商的小规模量产（试产）的目标多定在2025年-2028年区间。预计2030年，量产全球锂离子固态/半固态电池商业化产能有望初见规模，届时固态锂电池对应的续航里程或可达到液态锂电池的2-3倍，追平燃油车续航力。2024年以来，国内加快eVtoI商业化落地，对高能量密度、高功率、高安全性的电池需求紧迫，且对成本不敏感，固态电池完美契合该市场需求，产业化进程有望提前。
- ◆ 我们建议关注：宁德时代、三祥新材、赣锋锂能、国轩高科、当升科技和容百科技等。
- ◆ 风险提示：技术突破不及预期；产业化进程不及预期；原材料价格波动风险；其他不可抗因素等。

-  01 固态电池能量密度高、安全性能显著
-  02 固态电池技术路线及生产工艺
-  03 eVtoI助力固态电池产业化
-  04 推荐标的
-  05 投资建议
-  06 风险提示

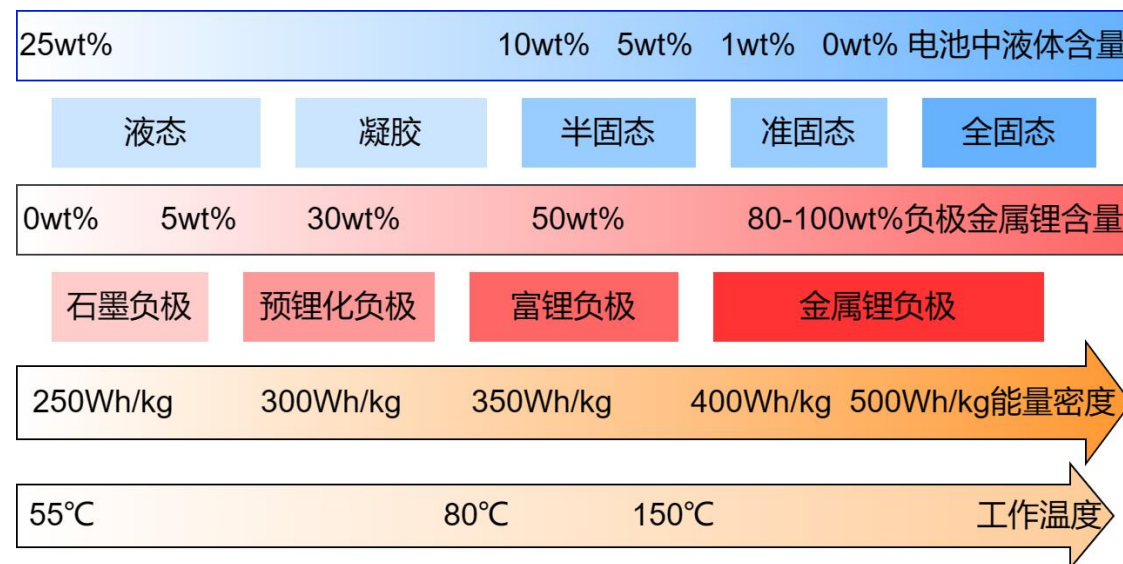
1.1 固态电池使用固态电解质替代电解液和隔膜

- ◆ 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

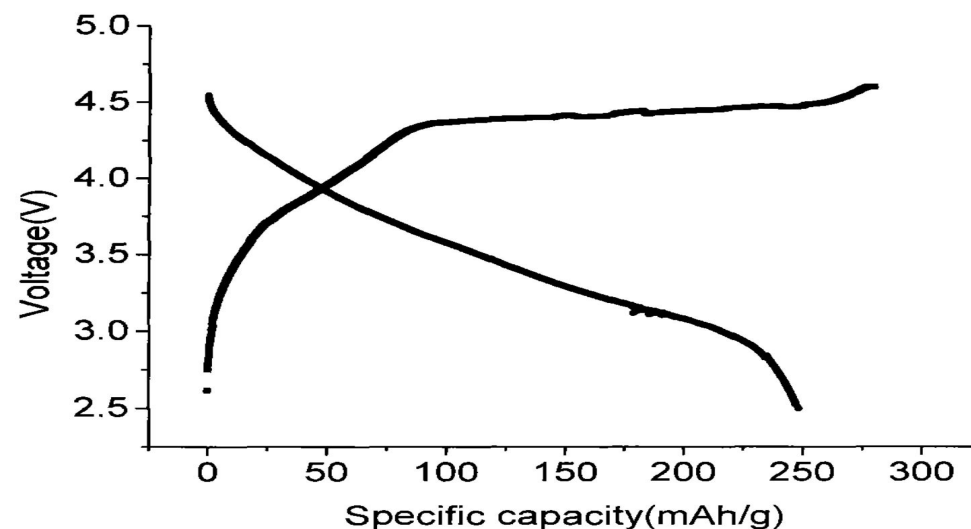
1.3 固态电池优势一：能量密度提升（正极材料升级）

◆ 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



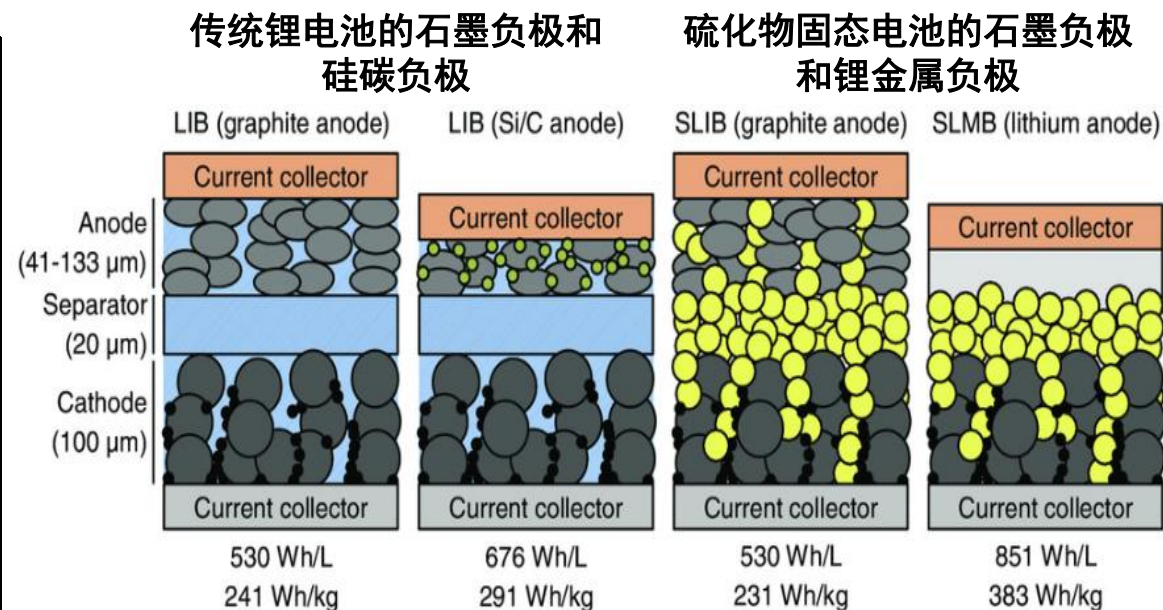
1.3 固态电池优势一：能量密度提升（负极材料升级）

- ◆ 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100μm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

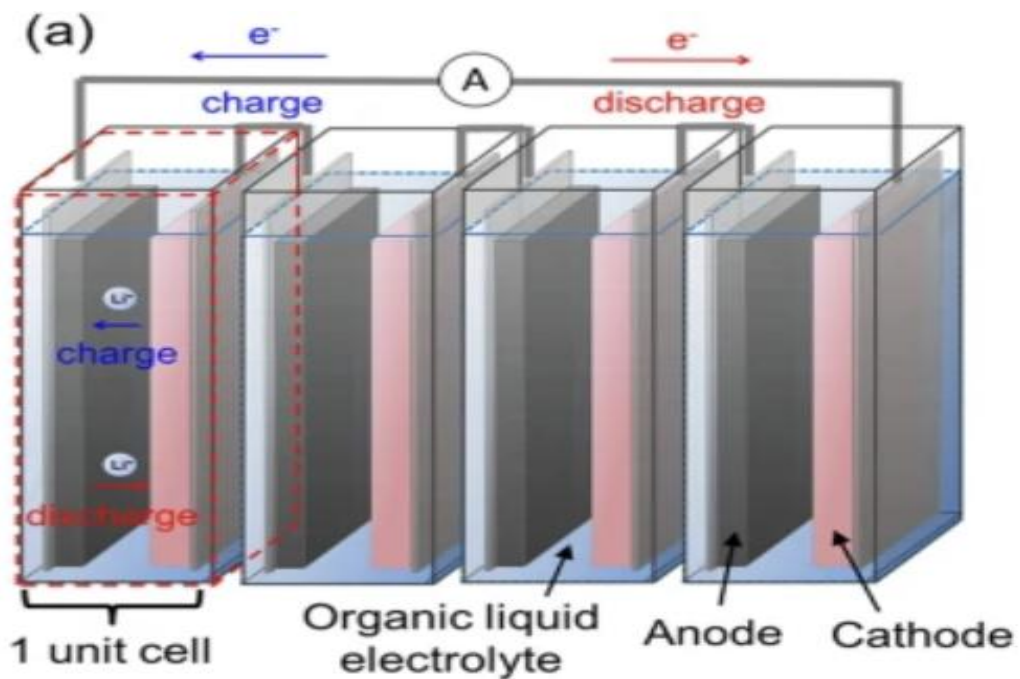


资料来源：Joscha Schnell等《Solid versus Liquid—A Bottom-Up Calculation Model to Analyze the Manufacturing Cost of Future High-Energy Batteries》

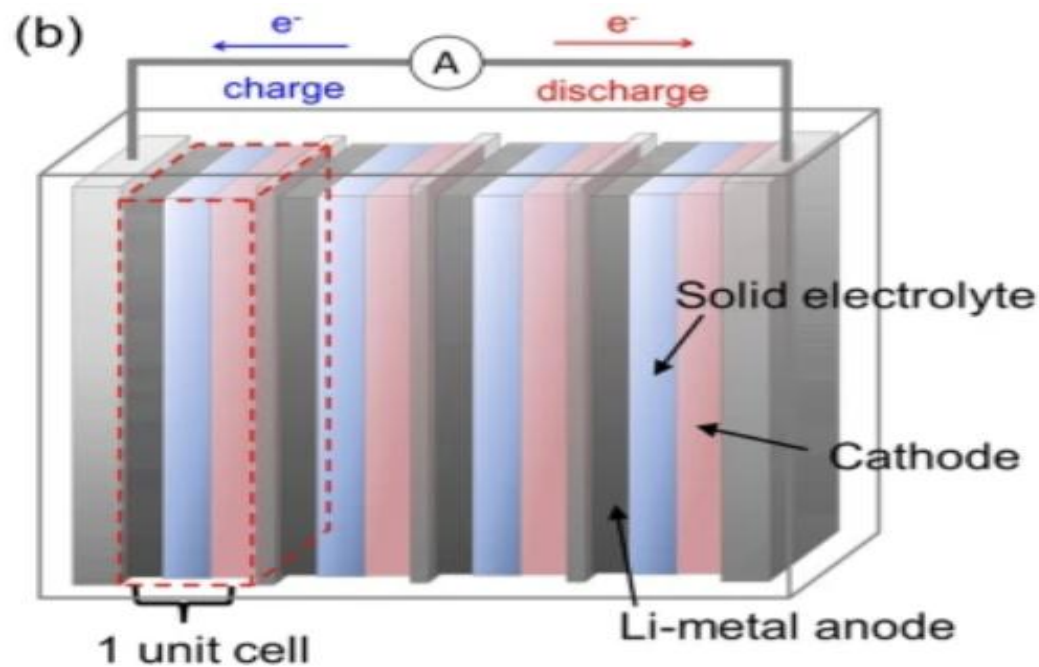
1.3 固态电池优势一：能量密度提升（内部串联）

◆ 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



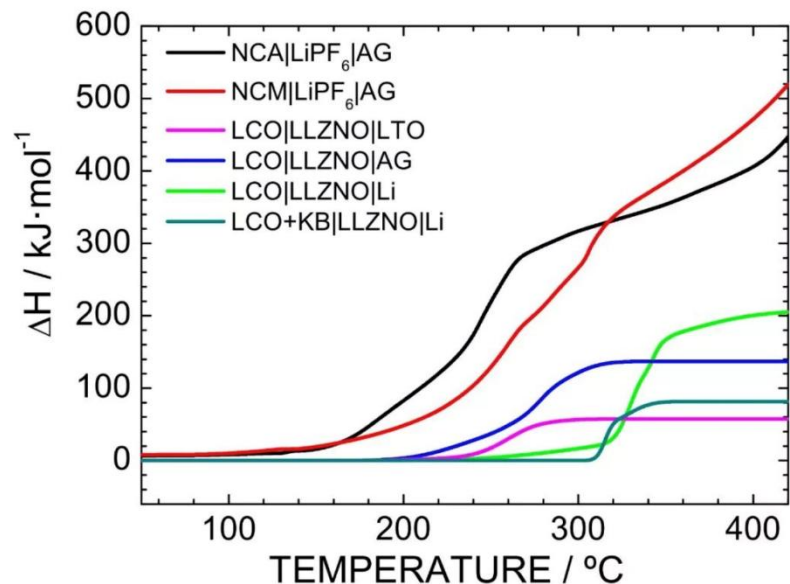
(b) 双极堆叠式全固态锂电池的示意图



1.4 固态电池优势二：安全性优势显著

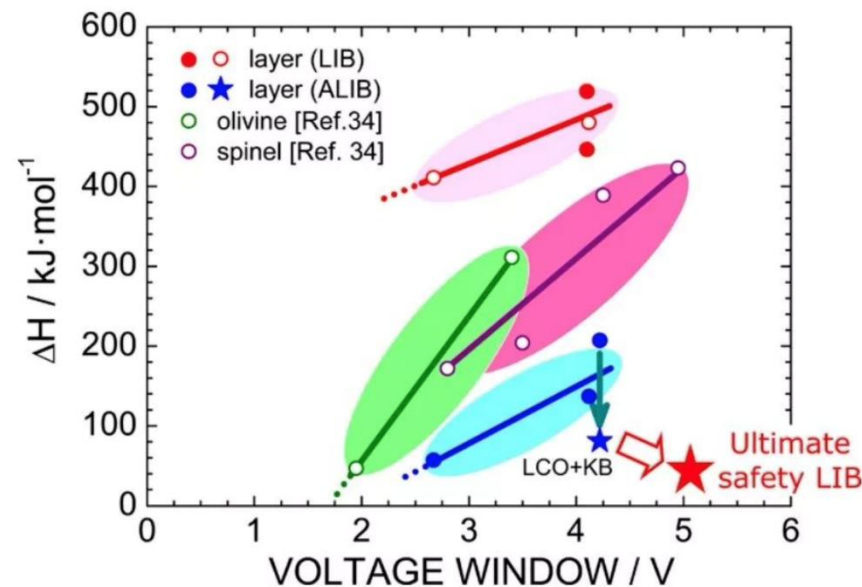
- ◆ 相比液态电池，固态电池具有较高的化学和热稳定性，能够有效抑制锂电池中发生热失控或燃烧的风险，电池在被刺破时仍可安全运行，不会泄漏或爆炸。根据丰田研发实验室的报告，通过对比研究NCA/NCM锂电池和铌掺杂锂镧锆氧（LLZNO）全固态电池的产热特性，丰田发现全固态电池产热量只有传统锂电池的25-30%，因此具有显著的安全性优势。考虑其放热量依然存在，还需进一步降低放热量，以实现真正意义的“安全”。

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

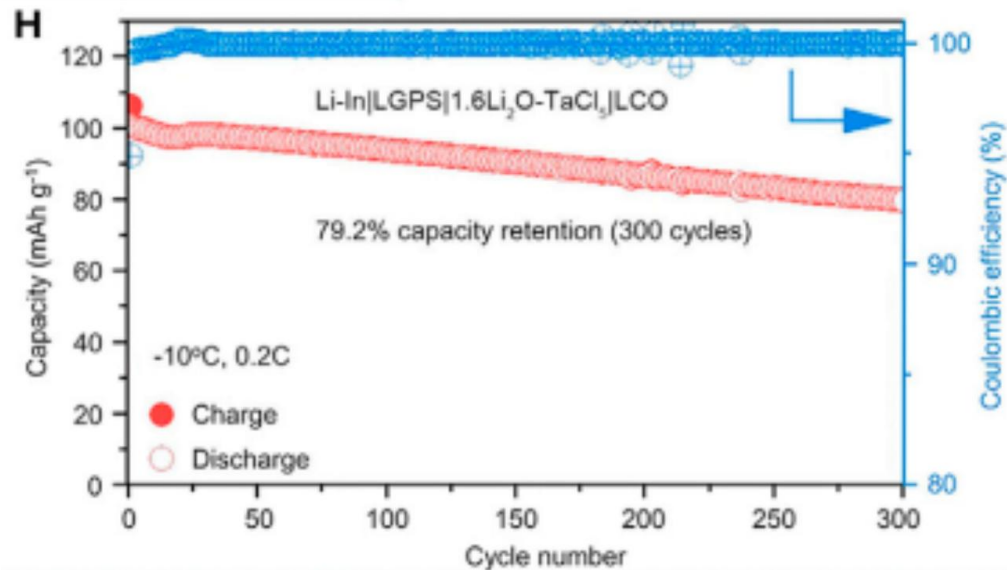
1.5 固态电池优势三：固态电池低温性能出色

- ◆ 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。近期，智己汽车宣布，全球首款搭载“超快充固态电池”智己L6将于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°C 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°C 下仍然可以展示出长循环寿命。

智己L6日内瓦车展首秀



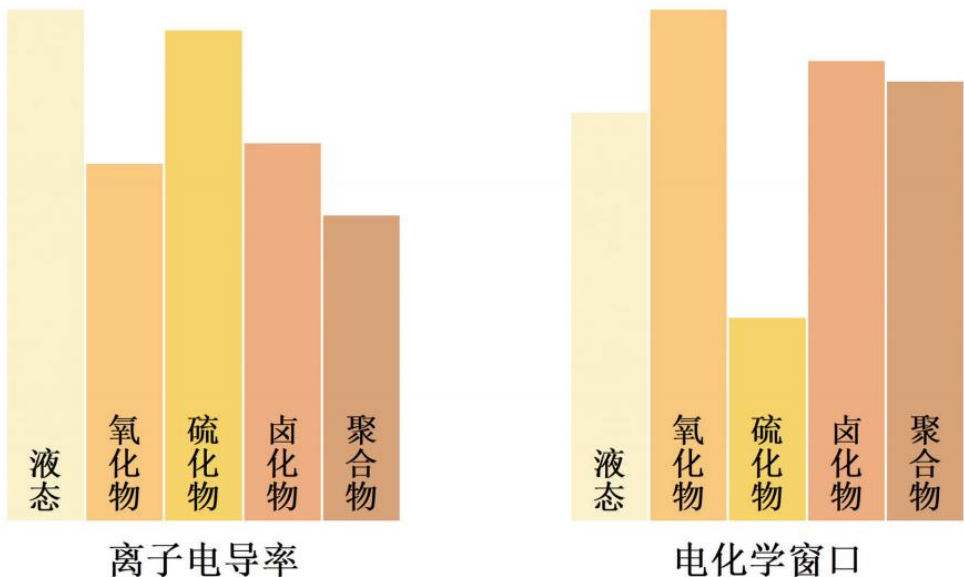
非晶态SE ASSB在 -10°C 的循环性能



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



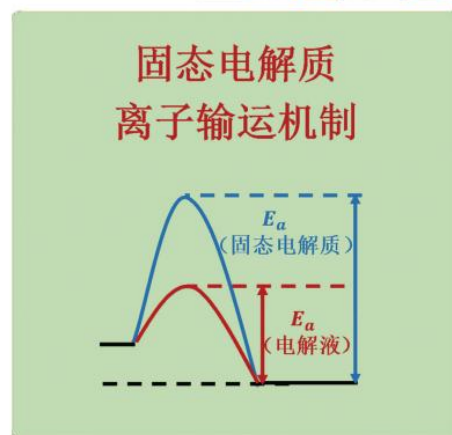
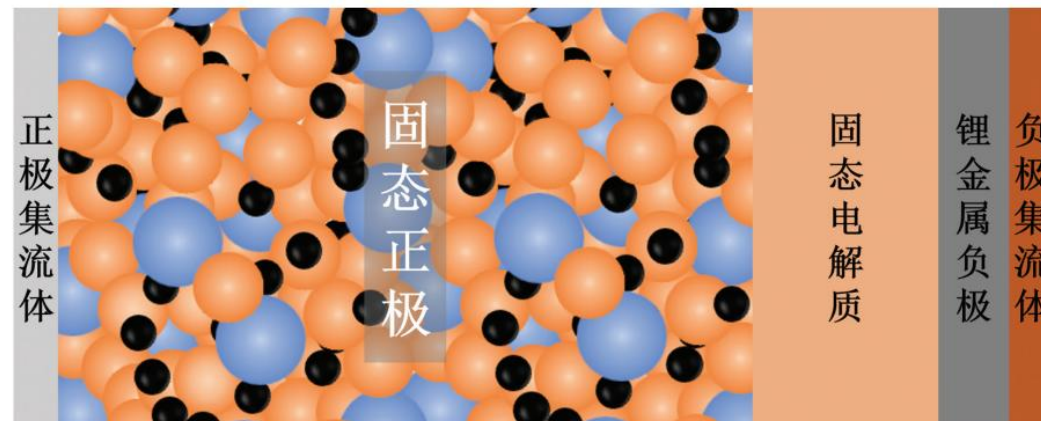
LLZO基电解质的RT离子电导率(σ)和烧结进展

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
$\text{Li}_{6.55}\text{Ga}_{0.15}\text{La}_{0.3}\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	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

全固态电池发展面临的核心科学问题

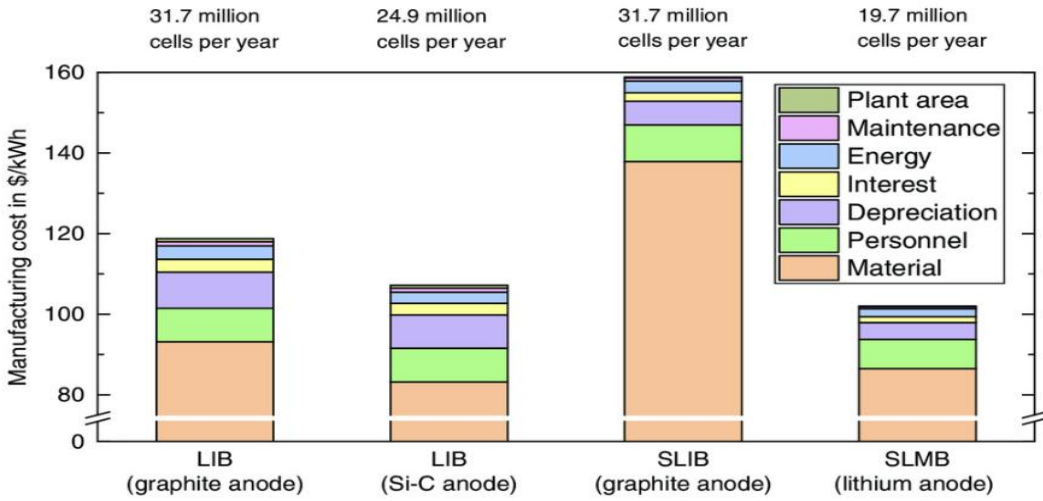
- ◆ 受技术和成本制约，固态电池量产难度大。技术上，当前固态电池工艺尚未成熟，其发展亟需解决三个核心科学问题，即固态电解质的离子运输机制、锂枝晶生长机制和多场耦合下的失效失控机制。成本上，部分材料售价昂贵，阻碍固态电池的量产。
- ◆ 解决方案：作为液态电池和固态电池的折中产品，半固态电池有望率先量产。半固态电池兼容现有传统锂电池的工艺设备，且兼具安全性、能量密度和经济性，因而有望率先进入产业化阶段。



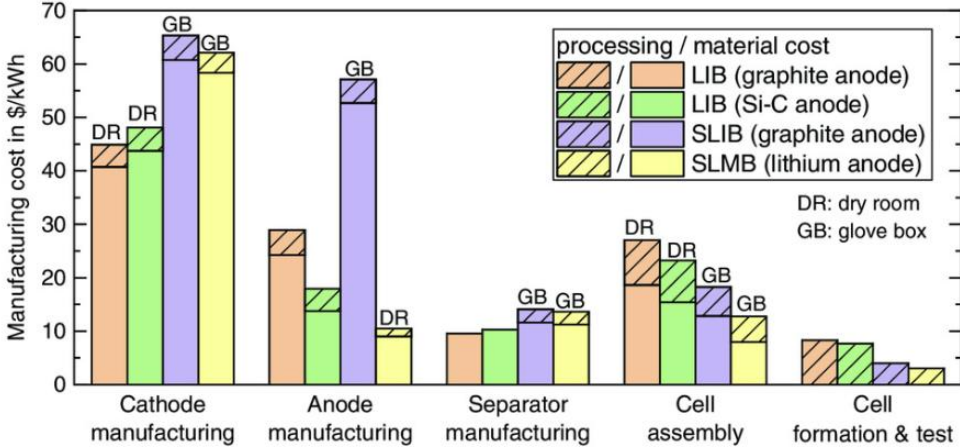
1.8 固态电池挑战三：成本高

- ◆ 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。截止2024年4月3日，方形三元电芯、铁锂电芯均价已降至0.465、0.375元/Wh，液态锂电池均价持续下降，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）



资料来源：Joscha Schnell等《Solid versus Liquid—A Bottom-Up Calculation Model to Analyze the Manufacturing Cost of Future High-Energy Batteries》

-  01 固态电池能量密度高、安全性能显著
-  02 固态电池技术路线及生产工艺
-  03 eVtoI助力固态电池产业化
-  04 推荐标的
-  05 投资建议
-  06 风险提示

2.1 固态电池有聚合物、氧化物、硫化物三种技术路线

- ◆ 根据固态电解质的不同，目前固态电池有聚合物、氧化物、硫化物三种技术路线。
- ◆ 聚合物：聚合物固态电解质以欧美企业技术最为成熟，商业化难度较小，未来有望率先实现大规模量产，但是其电导率低、能量密度低。
- ◆ 氧化物：氧化物固态电解质综合性能好。
- ◆ 硫化物：硫化物固态电解质的电导率最高，延展性更好，潜力最大。但是其机械性能差，生产工艺复杂，且硫化物固态电解质中的硫元素具有一定的活性，如何保持高稳定性是一大难题。

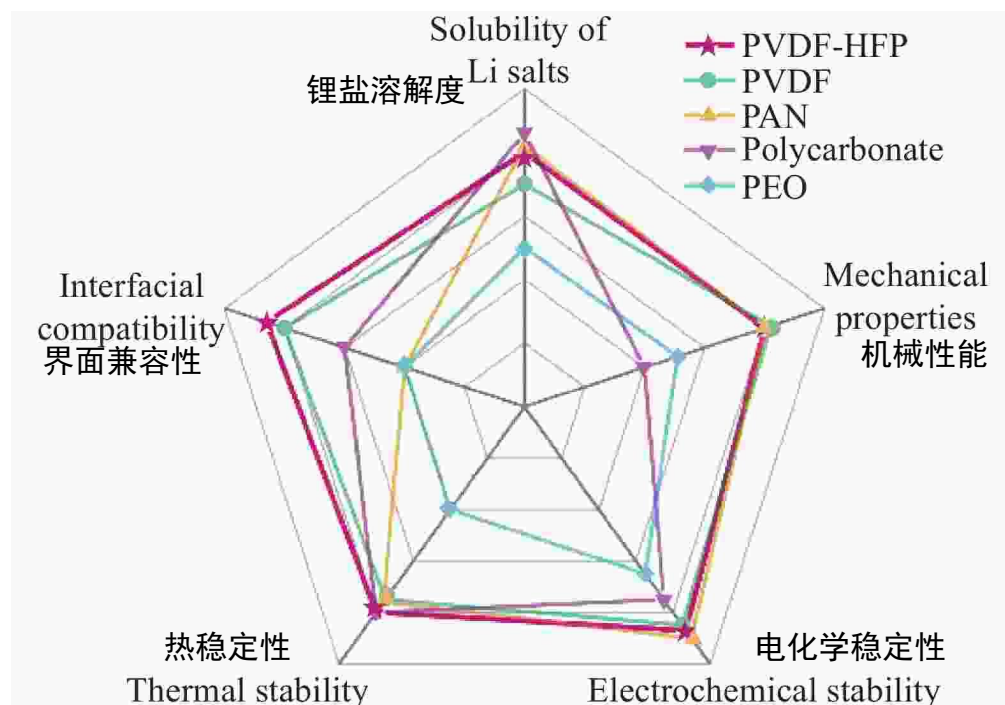
固态电解质类别对比

电解质	离子电导率	界面相容性	机械性能	电化学窗口	成本经济性
聚合物	低(约 10^{-7} S/cm)	较高	较高(黏弹性好)	较低(绝大多数<4V)	较差
氧化物	中(10^{-6} ~ 10^{-3} S/cm)	中等	中等	较高(大部分>5V)	较高
硫化物	高(10^{-3} ~ 10^{-1} S/cm)	较低	较低(硫化物硬度较低,存在一定程度可变性,需通过外加压力来提升界面物理接触)	中等(大部分<5v)	中等

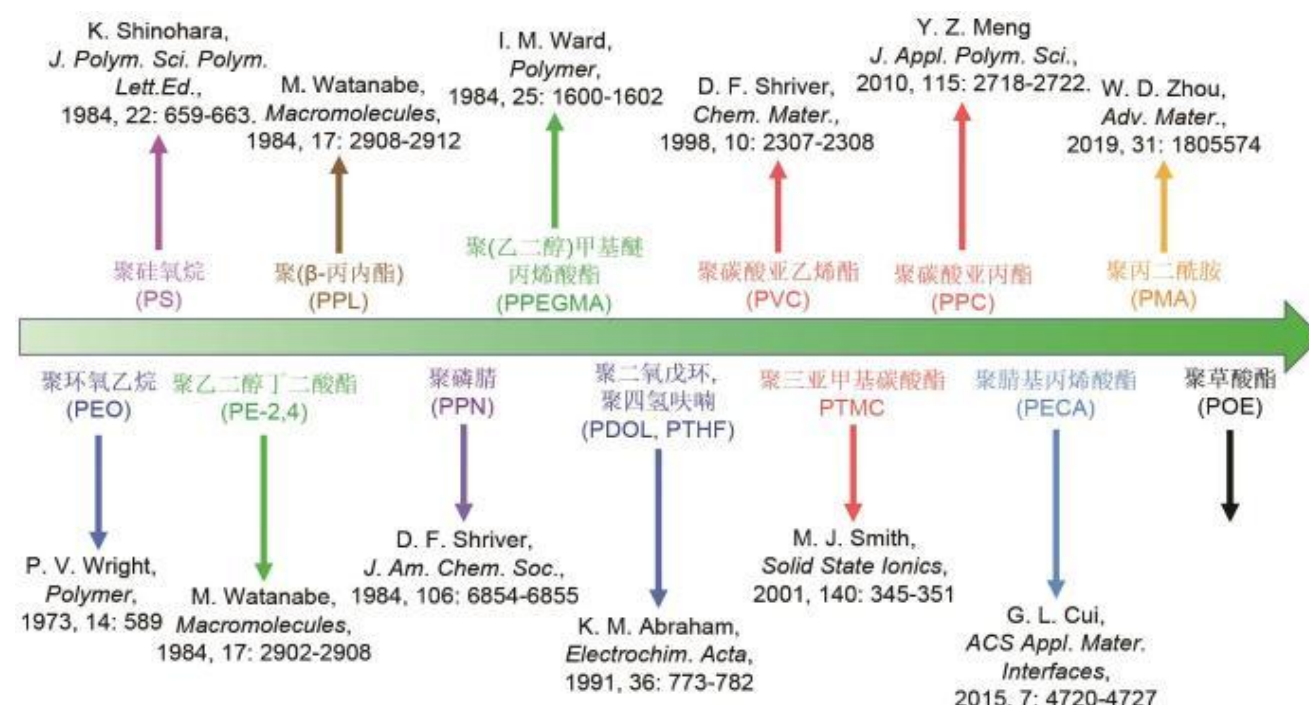
2.2 聚合物固态电解质

◆ 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 LiClO_4 、 LiAsF_6 、 LiPF_6 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 $10^{-8} \sim 10^{-6} \text{S/cm}$ ，需加热至 60°C 以上才可达到 10^{-4}S/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。

固态聚合物电解质性能对比



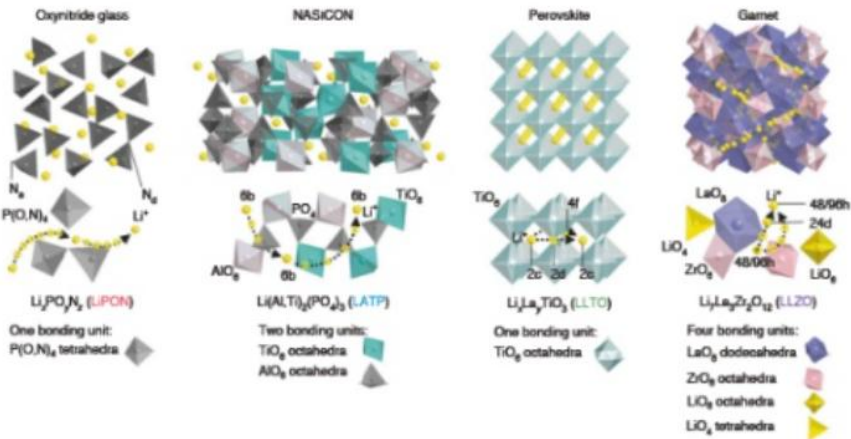
固态聚合物电解质发展简史



2.3 氧化物固态电解质

- ◆ 氧化物固态电解质的离子电导率一般在 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ S/cm之间，致密的形貌使其具有更高的机械强度，在空气中稳定性好，耐受高电压。而刚性过强、易碎，固-固界面相容性差，是其面临的主要挑战。
- ◆ 氧化物固态电解质按照形态可分为晶态和非晶态。晶态氧化物电解质空气和热稳定性较高，因此容易实现大规模生产，其中，钙钛矿型（LLTO）拥有最高的晶体电导率，对锂金属较为稳定，尽管烧结温度高带来更高成本，但业内普遍认为，从长期来看LLTO应用潜力相对较大。而非晶态固态电解质主要是 LiPON 型固态电解质，离子电导率低，是目前唯一实现商业化应用的氧化物电解质材料，多家国外企业已率先实现全固态薄膜锂电池在无线传感器、射频识别标签、智能卡、消费类电子等低容量需求电子设备上的应用。

典型的氧化物固态电解质体系



典型的氧化物固态电解质对比

	类型	主要材料	优点	缺点
晶态	NASICON型	LAGP、LATP	室温离子导电率高；对空气和水稳定，有望实现工业化生产	结构稳定性差；与金属锂反应
	石榴石型	LLZO、LLZTO	室温离子导电率高；与金属锂接触时较稳定	易与空气中H ₂ O、CO ₂ 反应导致界面电阻变大
	钙钛矿型	LLTO	拥有最高的晶体电导率，对锂金属比较稳定	对锂金属稳定性差、界面电阻高
非晶态	LiPON	LiPON	电化学窗口宽、热稳定性好	离子电导率较低，仅限于低容量需求的薄膜电池

2.4 硫化物固态电解质

- ◆ 硫化物固态电解质因其超高离子电导率 ($10^{-3} \sim 10^{-2}$ S/cm)、低加工温度和低刚性而备受关注。其主要缺点为热力学稳定性较差，易与空气中的水分反应生成H₂S气体，从而破坏电解质，因此开发难度较大，对生产环境要求严苛。
- ◆ 硫化物固态电解质按照组成可分为两类，一类是二元硫化物电解质由Li₂S和P₂S₅组成；一类是三元硫化物固态电解质由Li₂S、P₂S₅和MS₂ (M=Si、Ge、Sn)组成。锂硫银锗矿电解质，尤其Li₆PS₅X (X=Cl、Br、I)类电解质，因同时具备较高的室温锂离子电导率、在硫化物电解质中相对较低的成本和较高的稳定性和电极兼容性，是当前最具应用前景的无机固态电解质之一。

常见硫化物固态电解质材料及室温离子电导率

组成	结构状态	25℃离子电导率 /S·cm ⁻¹
70Li ₂ S·30P ₂ S ₅	玻璃态	5.4×10 ⁻⁵
75Li ₂ S·25P ₂ S ₅	玻璃态	2.0×10 ⁻⁴
80Li ₂ S·20P ₂ S ₅	玻璃态	2.0×10 ⁻⁴
80(0.7Li ₂ S·0.3P ₂ S ₅)·20LiI	玻璃态	5.6×10 ⁻⁴
95(0.8Li ₂ S·0.2P ₂ S ₅)·5LiI	玻璃态	2.7×10 ⁻³
56Li ₂ S·24P ₂ S ₅ ·20Li ₂ O	玻璃态	>1.0×10 ⁻⁴
75Li ₂ S·21P ₂ S ₅ ·4P ₂ O ₅	玻璃态	>1.0×10 ⁻⁴
67.5Li ₂ S·7.5Li ₂ O·25P ₂ S ₅	玻璃态	1.1×10 ⁻⁴
33(0.7B ₂ S ₃ ·0.3P ₂ S ₅)·67Li ₂ S	玻璃态	1.4×10 ⁻⁴
67(0.75Li ₂ S·0.25P ₂ S ₅)·33LiBH ₄	玻璃态	1.6×10 ⁻³
70Li ₂ S·30P ₂ S ₅	玻璃陶瓷	3.2×10 ⁻³
80Li ₂ S·20P ₂ S ₅	玻璃陶瓷	9×10 ⁻⁴
80Li ₂ S·20P ₂ S ₅	玻璃陶瓷	7.4×10 ⁻⁴
Li ₇ P ₃ S _{11-z}	玻璃陶瓷	5.4×10 ⁻³
Li ₇ P ₃ S ₁₁	玻璃陶瓷	1.7×10 ⁻²
Li _{3.25} P _{0.95} S ₄	玻璃陶瓷	1.3×10 ⁻³
γ-Li ₃ PS ₄	晶态	3.0×10 ⁻⁷
β-Li ₃ PS ₄	晶态	1.6×10 ⁻⁴
Li _{3.25} Ge _{0.25} P _{0.75} S ₄	晶态	2.2×10 ⁻³
Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂	晶态	1.2×10 ⁻²
Li ₁₀ SnP ₂ S ₁₂	晶态	4.0×10 ⁻³
Li ₁₁ Si ₂ PS ₁₂	晶态	>1.2×10 ⁻²
Li ₇ P ₂ S ₈ I	晶态	6.3×10 ⁻⁴

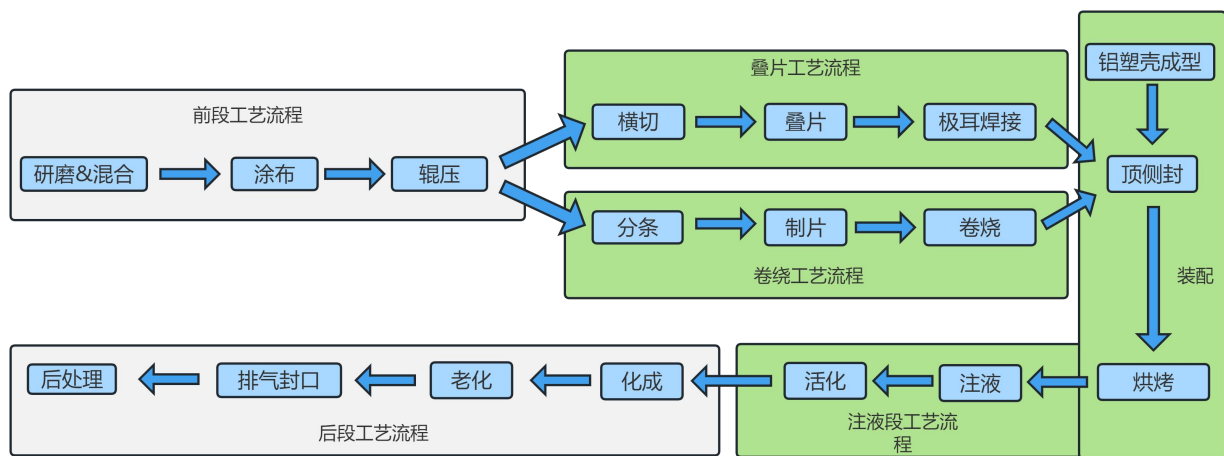
硫化物固态电解质分类



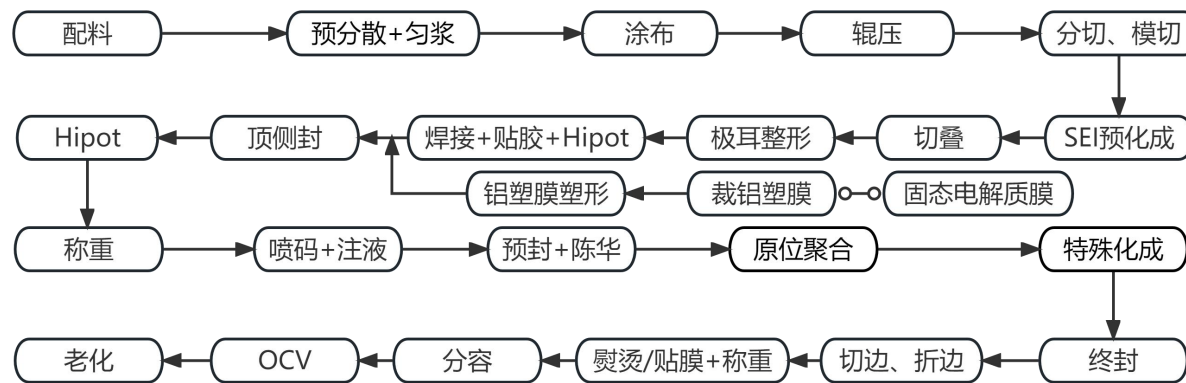
2.5 半固态电池生产设备与传统电池兼容，且仍使用隔膜

- ◆ 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



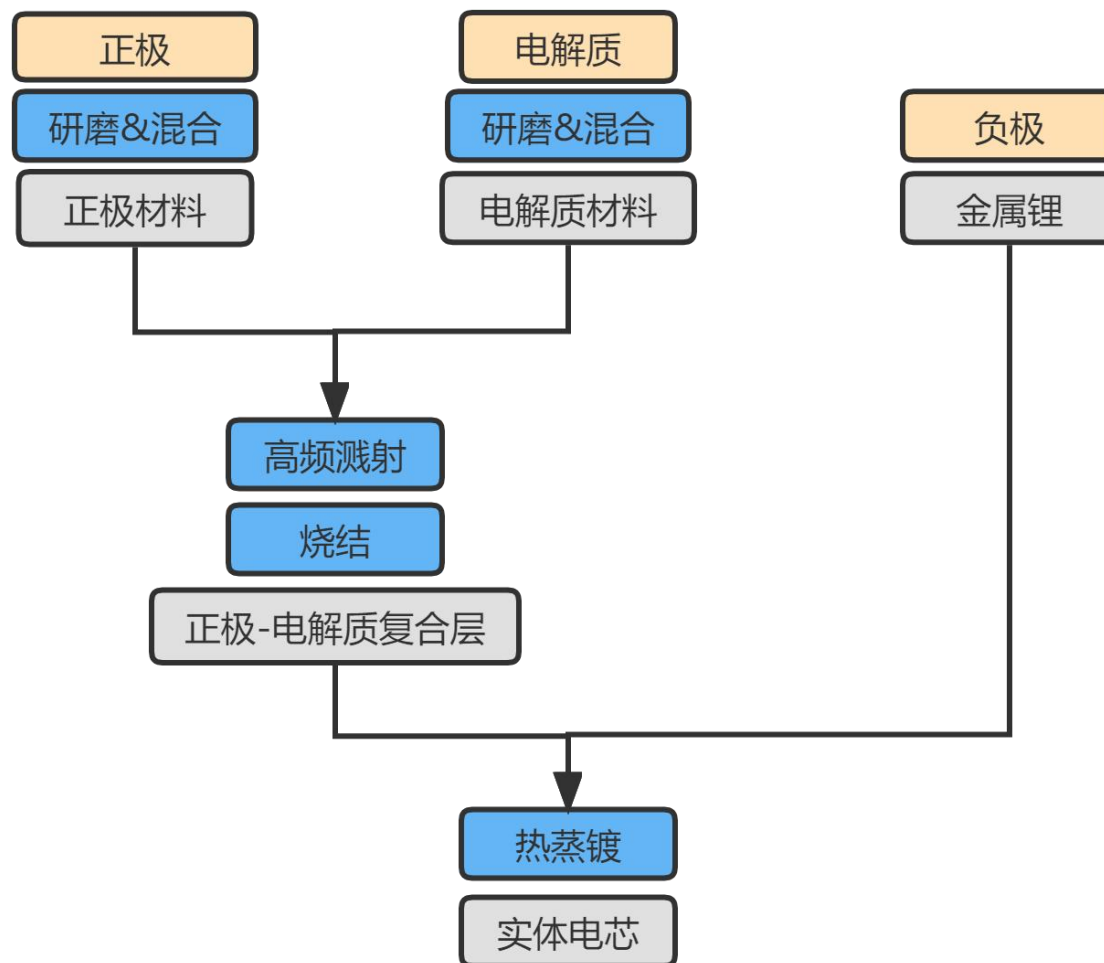
半固态生产工艺流程图



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。

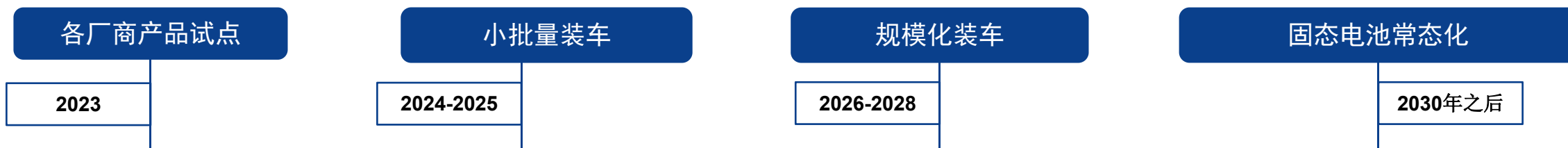
不同成膜工艺的对比







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。

2.8 瞄准2025，规模量产值得期待

- ◆ 2025年有望实现小批量量产。据高工锂电不完全统计，截止2023年底，国内半固态电池产能规划累计超过298GWh，落地产能接近15GWh；同期半固态电池出货突破GWh级别，有望在2024年实现5GWh级别出货。考虑到当前锂离子动力电池的复合增速与固态电池相对高成本的车型适配范围，预计2030年，量产全球锂离子固态/半固态电池商业化产能有望初见规模，届时固态锂电池对应的续航里程或可达到液态锂电池的2-3倍，追平燃油车续航力。

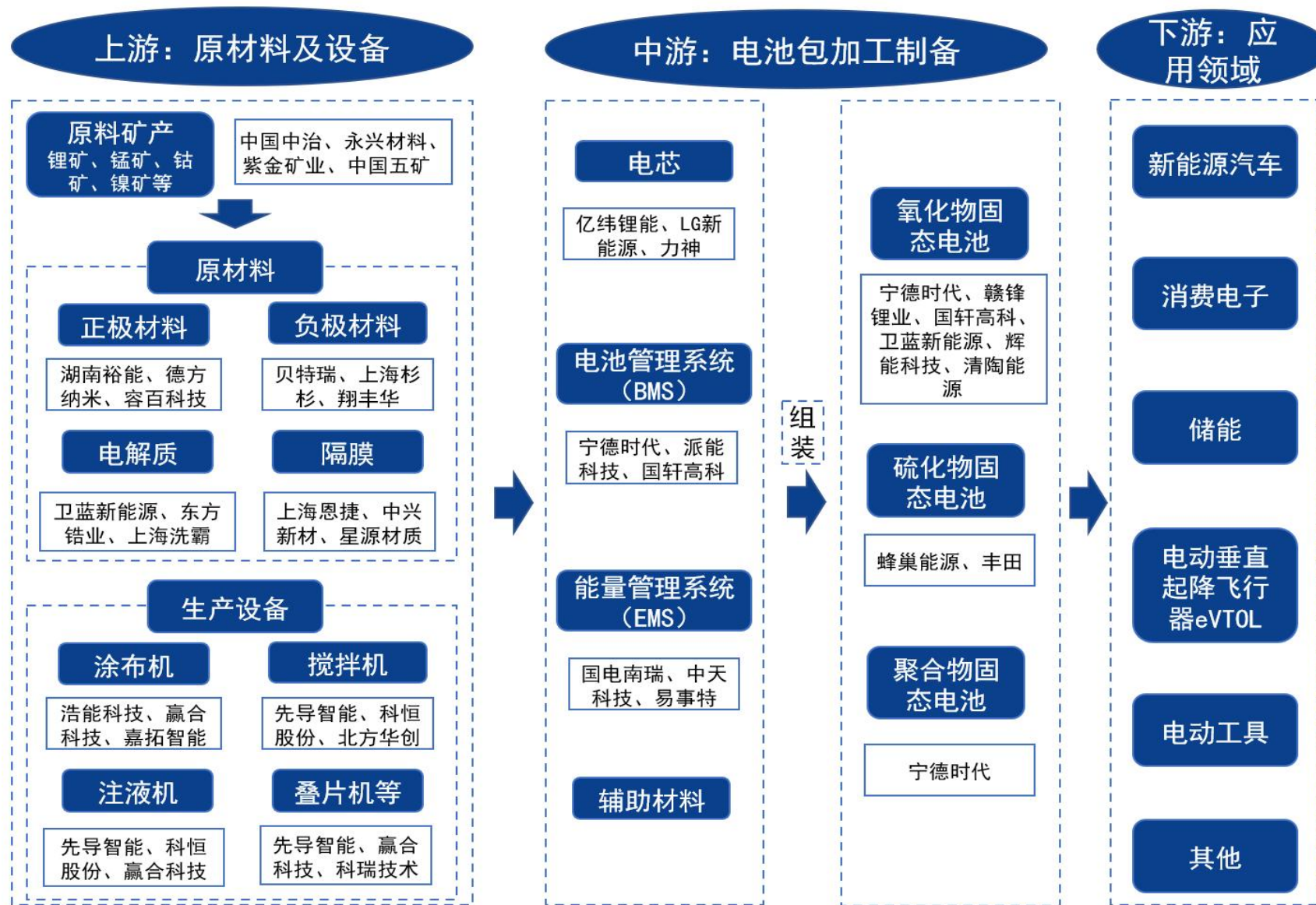
固态（半固态）电池产业化预估时间轴



-  01 固态电池能量密度高、安全性能显著
-  02 固态电池技术路线及生产工艺
-  03 eVtoI助力固态电池产业化
-  04 推荐标的
-  05 投资建议
-  06 风险提示

3.1 固态电池产业链

◆ 固态电池产业链上游为基础材料及设备，包括原料矿产、电芯材料和生产设备；中游为电池包加工制备，包括电池封装、电池管理系统等；下游为应用领域，包括新能源汽车、消费电子、储能、eVTOL等。



3.2 政策推动，eVTOL加速发展

- ◆ 作为国家五年规划中重要子领域，低空经济涉及的装备制造和服务业备受重视。2021年2月25日党中央、国务院出台《国家综合立体交通网规划纲要》，“低空经济”概念首次写入国家规划，成为“十四五”时期谋划的新兴经济形态。近两年，交通部、科技部、工信部等中央部委相关部署已经将产业政策细化到无人机、飞行汽车等具体领域，推动相关行业的商业化、规模化应用。同时，除国家级的政策法规推动外，有条件的地方政府也在加速布局无人驾驶垂直起降航空器产业的发展。
- ◆ 2024年“低空经济”首次被写入政府工作报告，带动电动垂直起降飞行器（eVTOL）引起广泛关注。

时间	部门	文件/会议	内容
2014-08-21	国务院	《关于促进旅游业改革发展的若干意见》	积极发展邮轮游艇旅游、 低空飞行旅游
2015-09-28	工信部 发改委 交通部 质检总局 旅游局 民航局	《关于促进旅游装备制造发展的实施意见》	推动 低空飞行旅游装备产业化发展 ； 加快研制适合低空飞行旅游的国产多用途小型通用飞机、直升机、特种飞行器，鼓励开发发动机等新产品，着力提高产品安全性、可靠性和经济性，打造 国产低空飞行旅游装备品牌 。 鼓励发展配套的小型涡扇发动机、涡桨发动机、活塞发动机和配套零部件，大力发展高可靠性、长寿命、环境适应性强、标准化、低成本的通用航空机载设备和地面保障设备，加强 通用航空材料和基础元器件自主化 ，构建完善的生产制造体系。 逐步建立支持低空飞行旅游发展的通用航空技术标准规范体系，制定通用飞机和直升机设计生产企业规范条件，推进实施通用飞机等产业化工程，加快完善通用航空维修、支援、保障、培训、租赁等配套服务体系，拓展产业链，打造 低空飞行旅游装备及配套专业化生产和产业化应用基地
2016-06-10	国务院办公厅	《关于发挥品牌引领作用推动供需结构升级的意见》	合理开发利用冰雪、 低空空域等资源 ，发展冰雪体育和航空体育产业，支持冰雪运动营地和 航空飞行营地建设 ，扩大体育休闲消费
2016-11-07	旅游局 发改委 民航局 体育总局	《关于做好通用航空示范推广有关工作的通知》	推进通用航空旅游，发展多类型、多功能的低空旅游产品和线路，因地制宜， 形成低空旅游环线或网络 ，并推出首批16个通航旅游试点项目
2016-12-07	国务院	《关于印发“十三五”旅游业发展规划的通知》	提出 加快培育低空旅游 ：结合低空空域开放试点，选择一批符合条件的景区、城镇开展航空体验、航空运动等多种形式的低空旅游开发连接旅游景区、运动基地、特色小镇的低空旅游线路提高航油、通信、导航、气象等保障能力出台低空旅游管理办法，强化安全监管支持低空旅游通用航空装备自主研制，建设低空旅游产业园
2017-07-06	旅游局 体育总局	全国体育旅游产业发展大会	为辽宁、吉林、江苏、浙江、山东、河南、湖北、四川、云南、新疆等省区15家“ 国家航空飞行营地示范单位 ”授牌
2017-08-18	国务院	《新一代人工智能发展规划》	研发复杂场景下的多维交通信息综合大数据应用平台，实现智能化交通疏导和综合运行协同指挥，建成覆盖地面、轨道、 低空和海上 的智能交通监控、管理和服务体系
2018-03-09	国务院办公厅	《关于促进全域旅游发展的指导意见》	积极发展邮轮游艇旅游、 低空旅游
2018-09-28	民航局	《低空飞行服务保障体系建设总体方案》	加快构建行业社会共建、军民融合发展、服务高效便捷的 低空飞行服务保障体系 ，促进通用航空业发展，保证低空空域安全高效使用
2021-01-22	交通部	《关于服务构建新发展格局的指导意见》	鼓励发展邮轮经济、水上旅游、旅游专列、 低空飞行旅游 、通用航空
2021-02-25	中共中央 国务院	《国家综合立体交通网规划纲要》	“ 低空经济 ”概念首次写入国家规划，标志着 低空经济成为“十四五”时期需要认真谋划的新兴经济形态 ；推进交通与装备制造等相关产业发展加强交通运输与现代农业、生产制造、商贸金融等跨行业合作，发展交通运输平台经济、枢纽经济、通道经济、 低空经济
2021-12-22	国务院	《“十四五”旅游业发展规划》	明确促进旅游装备技术提升，重点推进夜间旅游装备、 低空旅游装备 等自主创新及高端制造；完善邮轮游艇旅游、 低空旅游 等发展政策；选择一批符合条件的旅游景区、城镇开展 多种形式的低空旅游 ，强化安全监管，推动通用航空旅游示范工程和航空飞行营地建设；完善公路沿线、服务区、客运枢纽、邮轮游艇码头等旅游服务设施功能，推进通用航空与旅游融合发展；加强邮轮游艇、 低空飞行器 等旅游装备研发应用和产业化发展
2022-01-07	民航局	《“十四五”民用航空发展规划》	疏解非枢纽功能因地制宜引导草地、水上、土质等简易机场建设，支持引导 无人驾驶航空试验基地（试验区）建设 ，满足多场景、多主体、多层次发展需要支持高原应急救援航空基地建设
2022-01-24	发改委 商务部	《关于深圳建设中国特色社会主义先行示范区放宽市场准入若干特别措施的意见》	放宽航空领域准入限制深化粤港澳大湾区低空空域管理试点，加强粤港澳三地低空飞行管理协同， 完善低空飞行服务保障体系 ，积极发展跨境直升机飞行、短途运输、公益服务、航空消费等多种类型通用航空服务和通用航空投资、租赁、保险等业务，建设具备较强国际竞争力的基地航空公司
2022-02-16	民航局	《“十四五”航空物流发展专项规划》	探索构建通用航空物流网络， 充分发挥无人物流成本、效率优势
2022-03-25	交通运输部 科学技术部	《交通领域科技创新中长期发展规划纲要（2021—2035年）》	部署飞行汽车研发 ，突破飞行器与汽车融合、飞行与地面行驶自由切换等技术
2022-05-10	发改委	《“十四五”生物经济发展规划》	拓展卫星遥感和 无人机航空遥感技术 在生物资源监测预警中的应用
2022-12-14	中共中央 国务院	《扩大内需战略规划纲要（2022-2035年）》	加快培育海岛、邮轮、 低空 、沙漠等 旅游业新业态 释放通用航空消费潜力
2023-10-10	工信部 科技部 财政部 民航局	《绿色航空制造业发展纲要（2023—2035年）》	提出到2025年， 电动垂直起降航空器实现试点运行 ；到2035年，以无人化、电动化、智能化为技术特征的新型通用航空装备实现商业化、规模化应用
2023-12-13	中共中央	中央经济工作会议	打造生物制造、商业航天、 低空经济 等若干战略性新兴产业
2023-12-21	工信部	全国工业和信息化工作会议	壮大新能源、新材料、高端装备、生物医药及高端医疗装备、安全应急装备等新兴产业， 打造生物制造、商业航天、低空经济等新的增长点

3.3 eVTOL主要构型与应用场景

- ◆ 基于对外公开的eVTOL项目统计，目前在研的载人eVTOL项目主要面向城市通勤市场，基于货物运输需求的项目占比较低。按照推进动力方式，eVTOL可分为多旋翼型、升力与巡航复合型、倾转旋翼/机翼型和倾转涵道型四大类。其中后两类因飞行器可通过改变螺旋桨/机翼/涵道方向实现飞行器的起降和巡航，又称为矢量推进型。
- ◆ 据美国垂直飞行协会（VFS）发布的最新统计，全球超过700个eVTOL设计研发项目，其中235个倾转构型布局，124个复合翼构型布局，195个多旋翼构型布局，103个为悬停自行车和个人飞行器，47个电动旋翼机设计，涉及全球48个国家的347家公司或创新机构。

eVTOL主要气动布局与总体构型

	多旋翼型	升力与巡航复合型	倾转旋翼/机翼型	倾转涵道型
架构示意	 通过多个（通常多于4个）固定螺旋桨实现起降和巡航动作	 升力与巡航用的螺旋桨是独立的，分别实现垂直起降和巡航	 通过倾转不同螺旋桨或机翼方向实现飞行姿态控制与起降	 通过改变涵道推力方向，实现不同场景下的垂直起降于巡航
主要玩家 (举例)	 VOLOCOPTER  AIRBUS  GHANG	 VOLOCOPTER  VERTICAL  AUTOFLIGHT  GHANG	 AIRBUS  JOBY 	 PANTUO  LILIUM
载重	★★★★★ 1-3位乘客	★★★★★ 2-5位乘客	★★★★★ 2-5位乘客	★★★★★ 4-7位乘客
最大时速	★★★★★ 80-150 km/h	★★★★★ 150-200 km/h	★★★★★ 180-250 km/h	★★★★★ 200-300 km/h
最大航程	★★★★★ 20-50 km	★★★★★ 150-250 km	★★★★★ 200-250 km	★★★★★ 175-300 km
主要应用场景	<ul style="list-style-type: none"> 空中出租车（市内点对点交通） 机场接驳（市郊至市中心往返交通） 低空旅游 短途紧急救援等 	<ul style="list-style-type: none"> 空中出租车 机场接驳 城际短途航班 物流运输等 	<ul style="list-style-type: none"> 空中出租车 机场接驳 城际短途航班 物流运输等 	<ul style="list-style-type: none"> 城际中长途航班 紧急救援 观光旅游等

3.4 eVTOL 产业链

◆ eVTOL产业链上下游环节众多。主机厂主要承担整机研发和集成工作，其上游子系统供应商为主机厂提供专业模块组件。核心子系统主要包括能源系统、动力系统、飞控系统、通讯系统、导航系统以及机体六大类。

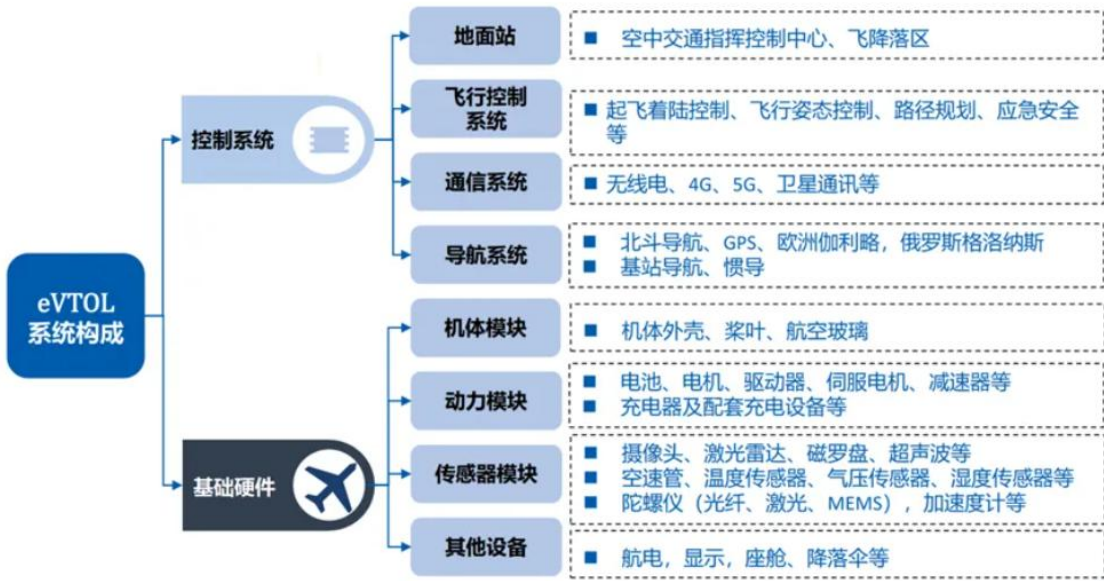
eVTOL产业链梳理



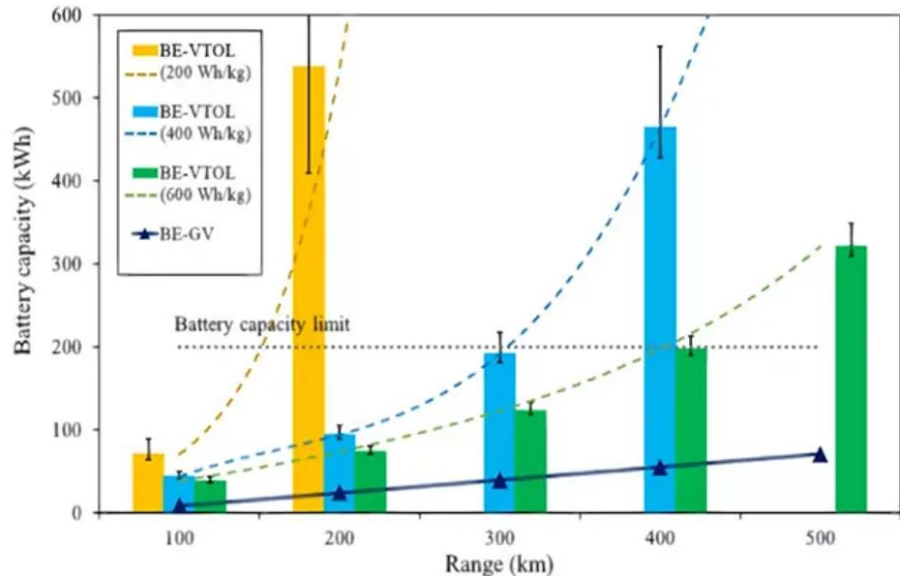
3.5 固态电池与eVTOL完美契合

- ◆ 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



3.6 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

3.7 中国固态电池行业相关政策一览

- ◆ 近年来，国家出台了一系列产业政策指引和股利固态电池发展。2020年10月国务院发布《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》，首次将固态电池研发上升到国家战略层面，将其列为行业重点发展对象；2023年工业和信息化部等六部门发布《关于推动能源电子产业发展的指导意见》，提出加快固态电池研发和标准体系研究；2024年2月工信部进一步提出固态电池新要求，单体能量密度要在300Wh/kg以上，循环寿命超过1000次。






近年中国固态电池行业相关政策

政策名称	发布主体	发布时间	相关政策内容
《锂电池行业规范条件（2024年本）》	工信部	2024年2月	固态电池要求：固态单体电池能量密度 $\geq 300\text{Wh/kg}$ ，电池组能量密度 $\geq 260\text{Wh/kg}$ ，循环寿命 ≥ 1000 次且容量保持率 $\geq 80\%$ 。
《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	工业和信息化部、教育部、科技部等六部门	2023年1月	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，加强标准体系研究。
《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》	科技部、发展改革委、工业和信息化部等九部门	2022年6月	前沿储能技术。研究固态锂离子、钠离子电池等更低成本、更安全、更长寿命、更高能量效率、不受资源约束的前沿储能技术。
《“十四五”新型储能发展实施方案》	发展改革委、能源局	2022年1月	推动多元化技术开发。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。
《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》	国务院	2020年10月	实施电池技术突破行动。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。

3.8 欧美、日韩和中国为固态电池核心产业区

- ◆ 全球核心固态电池产业区域为欧美、日韩和中国。
- ◆ 欧美：以自主研发固态电池技术的创业型公司为主，主要技术路线为氧化物与硫化物。
- ◆ 日韩：以传统车企与电池企业合作开发为主，主要技术路线为硫化物。
- ◆ 中国：以市场为主导研发投入巨大，且以科研机构或院校为支撑，产业化进程较快。大部分国内企业主要为氧化物、部分为硫化物，聚合物较少。

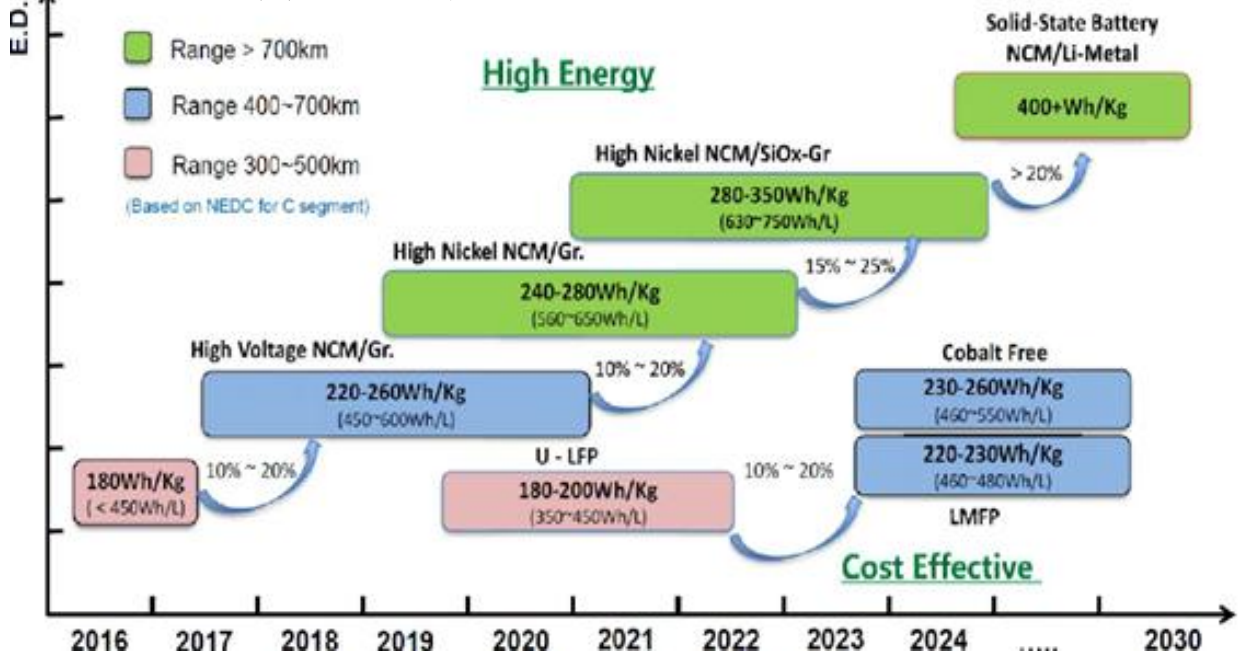
各国进驻固态电池企业概览

固态电池公司					
国家	美	美	日	韩	中
电解质/负极	氧化物/硅基或金属锂(固液)	硫化物电解质	硫化物电解质	硫化物电解质	凝聚态电解质/硫化物电解质
计划上市时期	2024年	2026年	2025年	2027年	-
上市产品性能目标	>400Wh/kg	>400Wh/kg	>300Wh/kg	>400Wh/kg	500Wh/kg
主要投资公司	大众、上汽、斯坦福大学、continental等	宝马、福特、volta、solvay等	NEDO计划23家车企、E电池及材料制造商，另有15家大学/公共研究机构参与	首尔大学、高立大学、成均馆大学、东京工业大学、大阪工业大学等日韩大学联盟	中国商飞、上海交大等

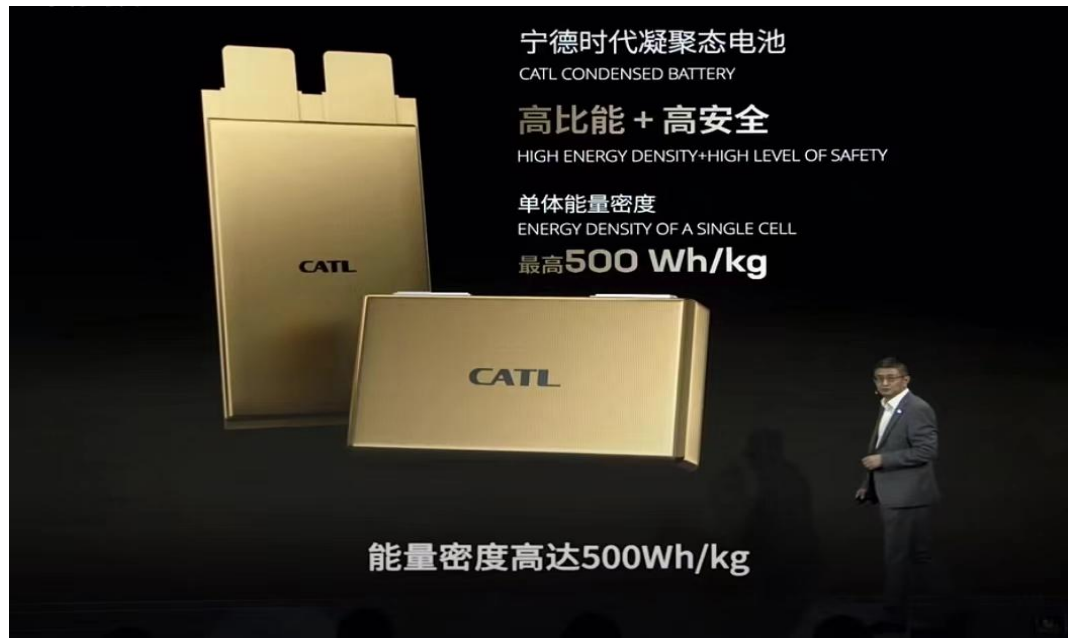
3.9 中国企业：宁德时代（半固态）

- ◆ 电池概况：凝聚态电池采用高动力仿生凝聚态电解质，通过将固态电解质颗粒填充到凝胶电解质隔膜孔隙中，并添加少量电解液，既具有液体电解质离子电导率高的特点，又拥有固态电解质安全性能高的优点；构建微米级自适应网状结构，在增强微观结构稳定性能的同时进一步提高电池动力学性能，具备优秀的充放电能力；液态电解液被限制在孔隙内，因而电池负极可采用金属锂。凝聚态电池最高能量密度可达500Wh/kg。
- ◆ 生产进度：宁德时代将推出凝聚态电池的车规级应用版本；重点布局硫化物全固态路线，目前已有高能量密度的固态电池样品，但商业化仍需5年以上。

宁德时代动力电池技术路径迭代



凝聚态电池发布会



3.10 中国企业：清陶能源（半固态）

- ◆ 电池概况：清陶能源选择氧化物路线。第一代半固态电池能量密度在240-420Wh/kg之间，2021年联合上汽完成装车实验，单体能量密度368Wh/kg，最大续航里程达到1083km。第二代准固态电池能量密度为400-500Wh/kg，已完成小试，正在中试准备阶段；第三代全固态电池能量密度超500Wh/kg，正进行产线设计和工艺开发相关工作。
- ◆ 生产进度：2018年清陶能源国内首条0.1GWh固态锂电池产线正式投产；2020年宜春一期1GWh项目建成投产；2022年10Gwh固态电池产业化项目在昆山开建，计划2024年建成；2023年投资100亿元在四川郫都建设15GWh固态电池储能产业基地，首期1GWh建成投产；2023年投资70亿元在内蒙古建设10GWh固态产能。搭载清陶固态电池的上汽智己L6将于2024年5月上市，率先实现规模化量产。

清陶一至三代固态电池构成及性能

	电解质液体含量	能量密度	电解质	正极	负极	工艺
第一代半固态	5%-10%	240-420Wh/kg	氧化物为主，辅之聚合物形成复合电解质	高镍三元	硅碳	采用纳米固态电解质涂覆及固态电解质层成型
第二代准固态	<5%	400-500Wh/kg	第一代复合IPC电解质中添加卤化物及硫化物	高镍三元、镍锰	含锂负极	隔膜、类隔膜完全消失
第三代全固态	0%	超过500Wh/kg	沿用IPC电解质体系	无锂材料	金属锂或含锂合金	无

昆山清陶新能源固态锂电池产业化项目已动工



3.11 中国企业：卫蓝新能源（半固态）

- ◆ 电池概况：公司选择氧化物技术路线。360Wh/kg固态锂电池产品于2023年底量产交付蔚来，续航突破1000公里；280Ah超高安全储能电芯于2023年下半年量产交付，主要为三峡、海博思创、国电投等储能项目供货；320Wh/kg小动力电芯为多家国内外无人机、机器人、便携电源等客户供货。同时，公司与恩捷股份和天目先导共同研发生产固态电解质隔膜、布局半固态领域；与容百科技在全/半固态电池和材料领域展开全面深度合作，约定2022-25年采购不低于3万吨的正极材料。
- ◆ 生产进度：卫蓝新能源拥有北京房山、江苏溧阳、浙江湖州和山东淄博四大基地，规划产能超过100GWh。其中，湖州基地第一颗固态动力电芯于2022年11月下线，2023年6月正式向蔚来交付半固态产品，预计2027年实现全固态电池量产。

卫蓝新能源部分产品性能

	技术路线	质量能量密度	标称容量	标称电压	工作温度范围	充电时间	循环寿命
4695大圆柱动力电芯	NCM固液混合	≥300Wh/kg	35Ah	3.58V	-20°C-60°C	≤20min (10%-80%SOC)	≥1200
280Ah储能固态电池	LFP固液混合	≥165Wh/kg	280Ah	3.2V	-20°C-60°C	-	≥6000

卫蓝新能源半固态装车蔚来ET7进行中



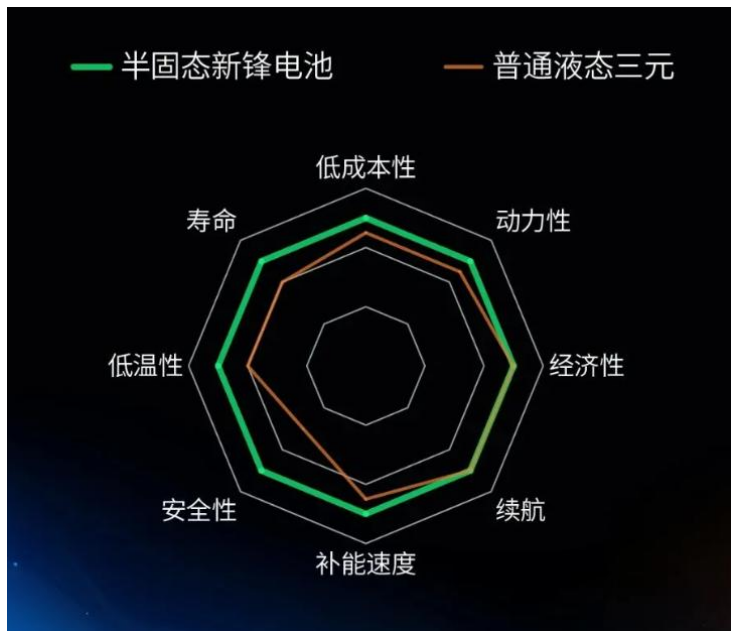
3.12 中国企业：赣锋锂电（半固态）

- ◆ 电池概况：赣锋锂电选择氧化物技术路线，正极采用高镍三元，负极采用石墨材料后改为含锂负极。公司第一代半固态产品能量密度达260Wh/kg，第二代产品可达400Wh/kg。2023年6月，半固态锂电池在赛力斯SERES-5上正式交付装车。2023年9月发布半固态新锋电池，循环寿命超过3000次，10万公里无衰减，扩展低温使用温度至-40°C。
- ◆ 生产进度：远期规划产能超40GWh。2023年固态电池4GWh产能已建成量产，后续36GWh产能正在建设中，生产基地包括江西新余、重庆两江和广东东莞。

赣锋锂电一至三代固态电池性能

	固体含量	能量密度	循环寿命	电解质	正极	负极	隔膜	已配套车型
第一代	80%	260Wh/kg +	2000+次	氧化物	高镍三元	石墨	柔性固态电解质膜	东风E70
第二代	90%	360Wh/kg +	600+次	氧化物	高镍三元	含锂负极	固态隔膜	赛里斯SERES-5
第三代	100%	-	-	氧化物	-	-	无	-

半固态新锋电池与普通液态电池性能对比



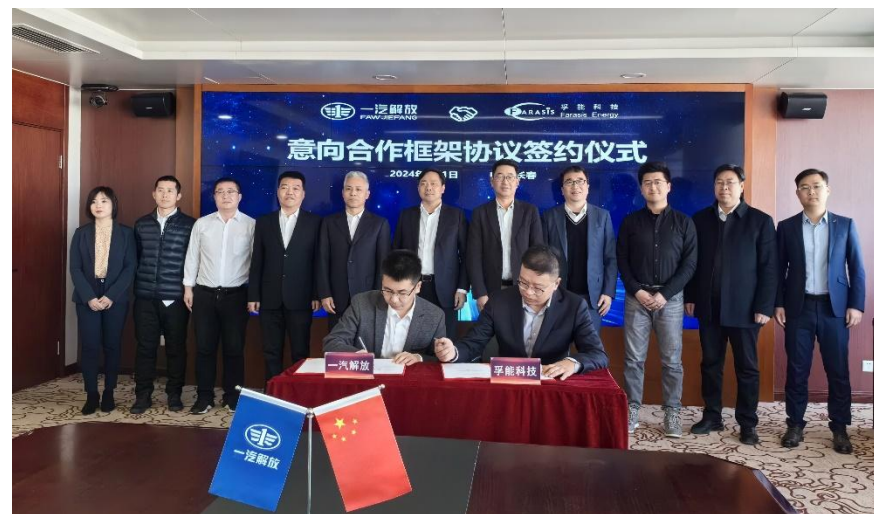
3.13 中国企业：孚能科技（半固态）

- ◆ 电池概况：孚能科技固态电池研发分为四代，第一代软包半固态电池能量密度达270-330Wh/kg，顺利通过第三方测试认证，常温循环2000次，容量保持率超过85%，于2022年顺利装车岚图追光；第二代能量密度将达到300-350Wh/kg，第三代要达到330-375Wh/kg，全固态电池将达到400Wh/kg以上。2023年11月远航Y6配套孚能科技半固态电池正式下线，续航高达720km。2024年3月孚能科技与一汽解放合作，孚能科技半固态电池将率先导入一汽解放商用车产品。
- ◆ 生产进度：第一代软包半固态电池于2022年9月成功量产；第二代已处于送样阶段，预计将于2025年投产；第三代产品技术已较为成熟，正在与国内外客户积极沟通中，预计2028年投产；最终全固态电池计划2032年投产。

远航Y6配套孚能科技半固态电池



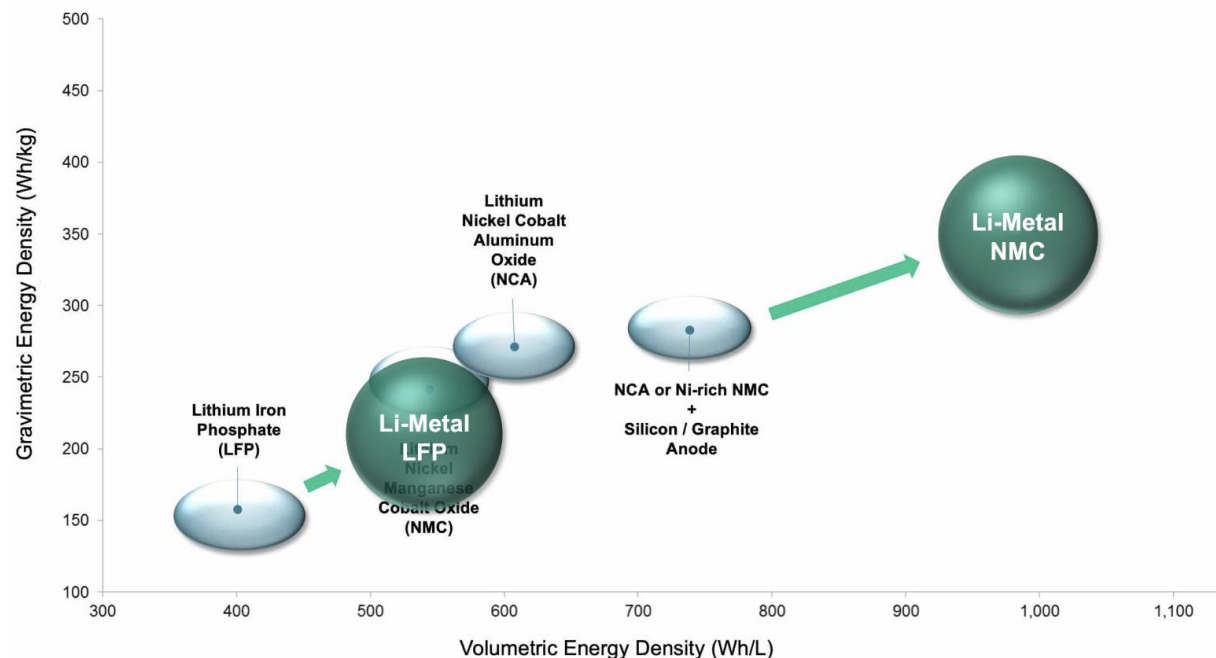
一汽解放与孚能科技签署意向合作协议



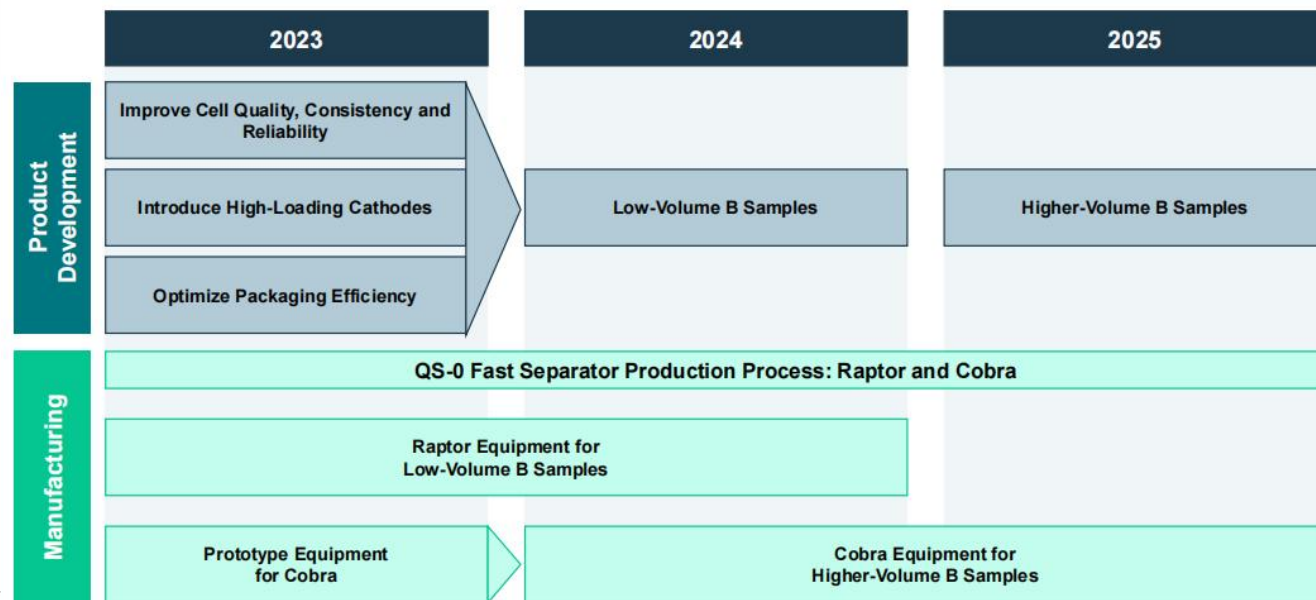
3.14 美国企业：QuantumScape（半固态）

- ◆ 技术特点：公司选择氧化物、硫化物双重材料体系，固态电解质以LLZO石榴石型氧化物为主，LGPS硫化物为辅。电池采用无锂负极设计（取消负极活性材料，采用铜箔集流体作为负极），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380-500Wh/kg，在45°C下可在15分钟充至80%。
- ◆ 生产进度：目前已向客户交付首批24层原型固态电池第一批A样，2024年1月样品电池通过大众公司严苛的50万公里耐久性测试；目标在2024年实现小批量生产QSE-5原型产品。

QuantumScape锂电池的能量密度曲线



QuantumScape未来规划



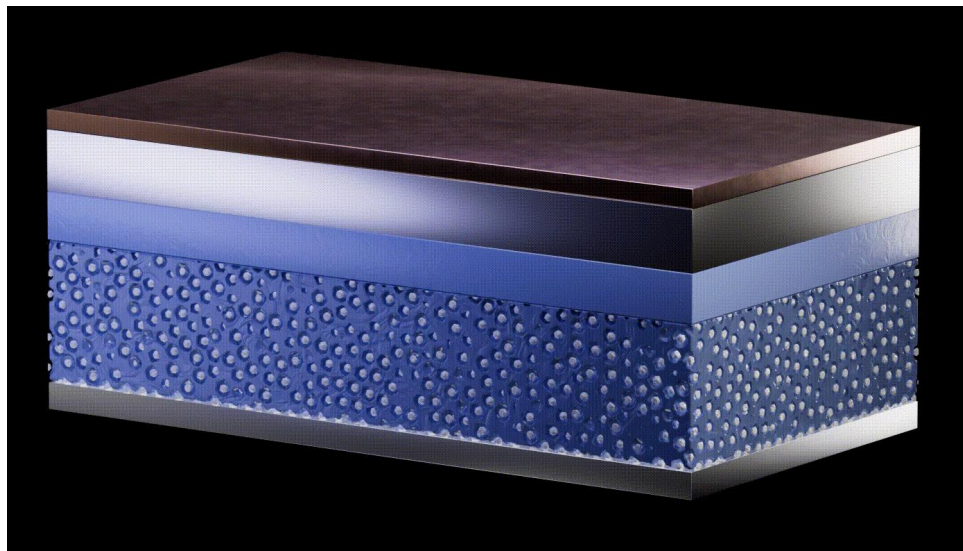
3.15 美国企业：Solid Power（全固态）

- ◆ 电池概况：Solid Power核心产品为软包全固态电池和硫化物固态电解质。公司选择硫化物路线，正极材料采用高镍三元，后发展为无镍钴材料；负极材料采用高纯度硅负极，随后发展为金属锂负极；第一代固态电池能量密度为390Wh/kg，循环寿命超1000次，可在15分钟内将电池从10%充至90%。
- ◆ 生产进度：公司2023年向宝马交付A1样品，成功投产30吨电解质，并向潜在电池厂客户提供电解质样品；2024年公司将重点改进A2电池并交付宝马；宝马将在慕尼黑建立一条基于Solid Power技术的固态电池原型生产线，并计划于2025年前推出第一辆原型车。2024年1月公司和SK On签订协议，公司将在韩国建设一条固态电池生产线并向SK On供应固态电解质。公司目标为到2028年固态电解质产能增加到4万吨，可为80万辆新能源车生产固态电池。

Solid Power的未来产品特性和规划

	正极	负极	重量能量密度	体积能量密度	循环寿命	快充性能	进程
第一代	NCM811	富硅负极	390 Wh/kg	930 Wh/l	1000+	15min以内 (10%-90%)	2021年交付2Ah电池；2022年交付20Ah电池
第二代	NCM811	金属锂	440 Wh/kg	930 Wh/l	1000+	20min以内 (10%-90%)	早期研发阶段
第三代	无镍钴正极	金属锂	560 Wh/kg	785 Wh/l	1000+	30min以内 (10%-90%)	在IARPA资助下进行早期研究

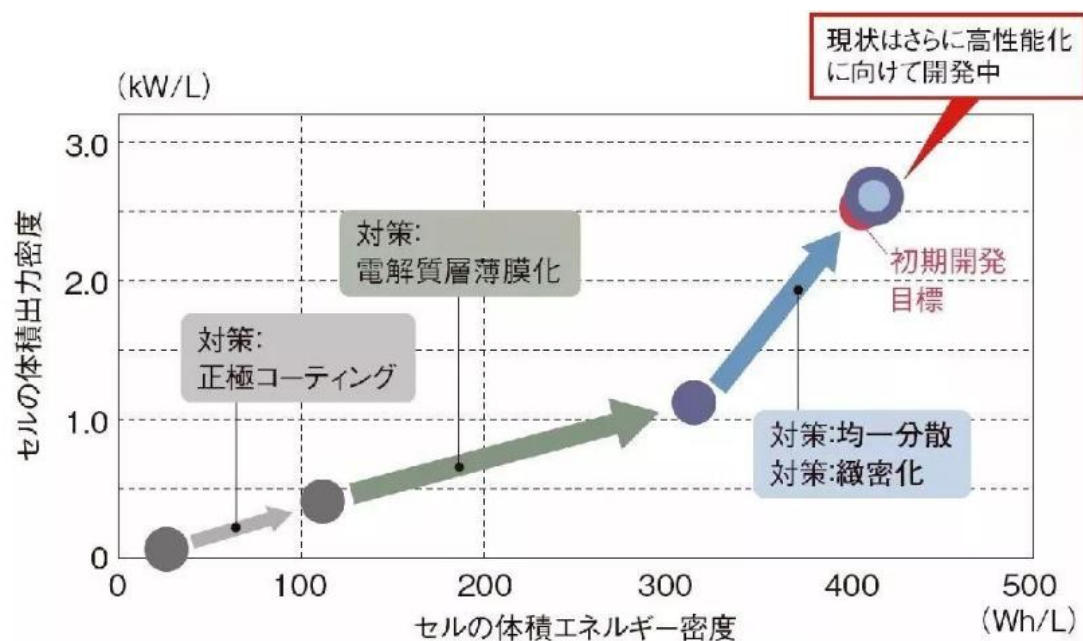
第三代Solid Power固态电池展示



3.16 日本企业：丰田TOYOTA（全固态）

- ◆ 电池概况：丰田选择硫化物的固态电解质，该电池在25°C和45°C的温度下，经过400次15分钟的快速充电，能够保留其初始能量的80%以上。成本方面，丰田预计2028年约75美元/KWh，并有望降至65美元/KWh。
- ◆ 生产进度：丰田预计在2025年前实现全固态电池小规模量产，目标2027-2028年固态电池上车。

丰田全固态电池实现商业化应用的四大基础技术



丰田全固态电池车型模型

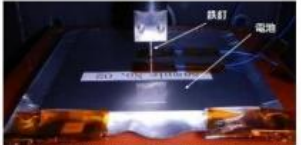
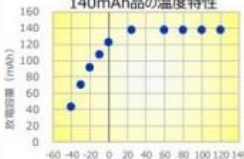

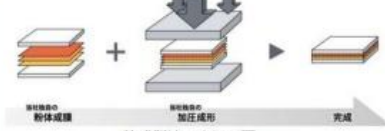


3.17 日本企业：日立造船（全固态）

- ◆ 电池概况：日立造船开发的全固态电池“AS-LiB”采用硫化物固态电解质，产品含量包括55mAh、140mAh、1000mAh、5000mAh等，成品可顺利通过针刺实验，同时稳定工作温度在-40°C-120°C之间，在真空环境下也可以稳定运行。
- ◆ 生产进度：公司主要出货样品给航天产品、芯片设备等使用；2022年日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)与日立造船实现了世界首次在太空中全固态电池充放电；2024年2月27日，日立造船宣布已从芯片设备商接获首个全固态电池订单，订单数为12个。

日立造船全固态电池性能

【AS-LiB®主な特長】

<p>高い安全性</p> <p>・液漏れがなく、発煙/発火等が発生しない</p>  <p>1Ahセルでの釘刺し試験：発煙/発火等のイベントなし</p>	<p>広い動作温度範囲</p> <p>・-40~120°Cの広い温度範囲で安定動作</p> <p>140mAh品の温度特性</p>  <p>充電：25°C、0.1C 環境：常圧 放電：各温度 0.1C 電圧：4.15-2.7V</p>
<p>優れた耐環境性</p> <p>・揮発成分を極小化し、真空環境下でも安定動作が可能</p>  <p>温度120°C、5.0×10⁻³Paのチャンパー内で電池動作</p>	<p>無加圧/無拘束での動作</p> <p>・弊社独自の乾式製法により、加圧/拘束治具なしでの安定動作を実現</p>  <p>乾式製法のイメージ図</p>

日立造船和日本宇宙航空研究开发机构JAXA合作



3.18 韩国企业：三星SDI（全固态）

- ◆ 电池概况：三星最新发布的Super-Gap固态电池选择硫化物的固态电解质，采用无阳极配置，能量密度达到900Wh/L，9分钟可将电池从8%充至80%，寿命长达20年。
- ◆ 生产进度：2023年在首尔南部水原市研发中心建立一条全固态电池试验生产线，12月份成立专门团队推动全固态电池商业化，目前正在交付原型样品；2024年3月5日三星宣布目标是在2027年量产全固态电池。

三星SDI研究所全景



三星SDI全固态电池



3.19 全球固态电池主要研发企业

◆ 国内技术路线目前氧化物为主，半固态过渡。目前仍旧主攻硫化物+全固态路线的主要代表是Solid Power、丰田、三星SDI与蜂巢能源。国外正负极材料多以锂金属负极为主，部分国内企业探索硅碳负极。

公司	已公布样品能量密度	技术路线	正负极材料
宁德时代	500Wh/kg	聚合物配比氧化物+半固态	三元+锂金属
QuantumScape	350Wh/kg	氧化物陶瓷+半固态+无负极	正极锂金属，充电时形成负极，放电时传向正极
Solid Power	硅负极390Wh/kg，锂金属负极440Wh/kg	硫化物+全固态	三元+硅碳/锂金属
丰田	>350Wh/kg	硫化物+全固态	三元+锂金属
赣锋锂业	一代260Wh/kg，二代400Wh/kg	氧化物+半固态	一代三元+石墨；二代三元+锂金属
国轩高科	一代360Wh/Kg，二代400Wh/kg	氧化物+半固态	一代三元+石墨；二代正极三元，负极未定
卫蓝新能源	一代360Wh/kg	氧化物+半固态	三元+硅碳负极
辉能科技	330Wh/kg	氧化物+半固态	三元+硅氧负极
清陶能源	368Wh/kg	氧化物+半固态	三元+硅碳负极
蜂巢能源	350Wh/kg	硫化物+全固态	三元+锂金属
三星SDI	900Wh/L	硫化物+全固态	无阳极

3.20 固态电解质产能规划

◆ 当前固态电解质商业化技术路线尚未明确，各大公司正不断增加研发投入，主要参与者包括中科固能、蓝固新能源、上海洗霸等。

企业	项目名称	投资额	产能	具体内容
上海洗霸	固态电池电解质生产基地	50亿	-	2023年12月与中国科学院上海硅酸盐研究所在上海洗霸嘉定工厂合作建成10吨级标准工业化产线。
马车动力	硫化物固态电解质中试线	-	超10吨	可批量稳定生产大粒径、中粒径、小粒径和超小粒径四类产品；硫化物固态电解质中试线正在建设中，预计2024年初投产。
瑞道科技	衢州硫化物全固态电解质生产基地项目	13亿	6000吨	预计2025年建成并达到百吨级全固态电解质生产能力，2028年实现年产6000吨全固态电解质的目标。
金启航	乐陵生产基地项目	116亿	-	2023年11月启动，一期计划建设10条隔膜产线和固态电解质核心材料生产线；二期建设30条固态电解质材料生产线。
中科固能	溧阳硫化物全固态电解质生产基地项目	60亿	-	2023年9月签约落地，预计2025-2026具备满产能力，2030年之前建成全固态电池产业园。
蓝固新能源	江苏溧阳基地	-	1000吨	22年5月固态电解质进入试产阶段，已建成行业内首条千吨级固态电解质生产线。
	浙江湖州基地	-	5000吨	22年10月具备年产5000吨原位固态电解质、混合固液电解质的生产能力，稳定出货。
	山东淄博基地	-	5万吨	5万吨原位固态化电解质、混合固液电解质、锂电池电解液和钠电池电解液即将投产。
天目先导	固态电解质涂层隔膜项目	13亿	-	21年11月签约落地。
	天目先导纳米硅基负极项目	20亿	-	一期项目投资10亿元，建成后可形成年产能为1000吨固态电池用关键材料。

3.21 中国主要企业固态电池产能规划




- ◆ 当前半固态电池仍处于产业化前夕。据不完全统计，国内固态电池产能规划已超过220GWh，赣锋锂电、辉能科技、卫蓝新能源等企业获得资本和技术双重加持，正加速推进半固态电池的产业化和商业化。

企业	产能布局	规划产能	落地产能	产品特征	合作车企
赣锋锂电	远期规划产能超40GWh。2023年固态电池4GWh产能已建成量产，后续36GWh产能正在建设中，生产基地包括江西新余、重庆两江和广东东莞。	40GWh	4GWh	氧化物电解质+高镍三元	东风汽车、赛力斯
辉能科技	2023年5月在法国投资52亿欧元建设固态电池超级工厂，产能规划48GWh，计划2024年建设，2026年底开始量产；2023年底台湾陶克工厂开始投产，产能2GWh。	50GWh	2GWh	固态锂陶瓷电池	奔驰、越南VinFast
卫蓝新能源	总产能规划50.2GWh，其中湖州基地总投资109亿元，规划产能20GWh，一期2GWh已投产；北京房山基地8GWh2023年底投产；山东淄博基地20GWh2022年底投产；江苏溧阳基地0.2GWh2020年投产。	50.2GWh	30.2GWh	氧化物电解质+半固态	蔚来、吉利
清陶能源	2020年宜春一期1GWh项目建成投产；2022年10GWh固态电池产业化项目在昆山开建，计划2024年建成；2023年投资100亿元在四川郫都建设15GWh固态电池储能产业基地，首期1GWh建成投产；2023年投资70亿元在内蒙古建设10GWh固态产能。	36GWh	2GWh	氧化物电解质+半固态	上汽、北汽
太蓝新能源	重庆一期0.2GWh满产，二期2GWh预计2024年6月投产；安徽淮南10GWh正在建设中。	12.2GWh	0.2GWh	-	-
领新新能源	2023年2月建设0.5GWh生产线，10月正式下线；2023年6月总投资106亿元建设20GWh产线，预计2024年实现5GWh规模化量产。	20.5GWh	0.5GWh	大容量凝胶聚合物固态电池	-
金启航	2023年11月20GWh固态电池乐陵生产基地项目启动，一期2GWh。	20GWh	-	-	-

3.22 全球主要新能源车企固态电池布局

- ◆ 半固态电池率先落地装车，加速全固态电池商业化。2022年以来，国内企业以半固态方案作为过渡的中间路线，率先实现半固态电池装车应用，同时加速向全固态电池转化。

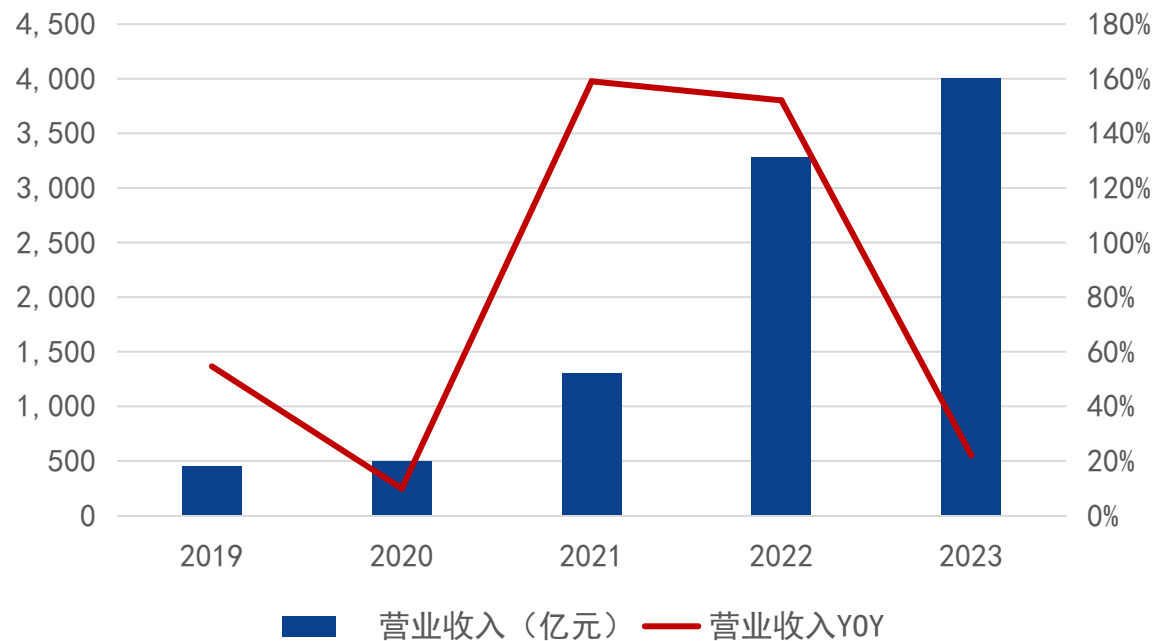
公司名称	量产进展	供应商/合作企业
上汽集团	2024H1公司旗下智己品牌将推出搭载800V超级快充半固态电池车型；2025年固态电池在智己，飞凡，荣威、MG等车型产品上量产。	清陶能源
广汽集团	2026年在昊铂车型上实现全固态电池量产。	赣锋锂业
一汽集团	2024年1月8日发布高能安全电池HPB，能量密度达260 Wh/kg；3月3日，和孚能科技共建半固态、固态电池战略联盟。	自研、孚能科技
长安汽车	2025年开始量产能量密度达到350-500Wh/kg固态电池产品；2030年实现全面普及；2035年左右实现锂金属电池，锂硫电池等装车应用。	自研、赣锋锂业
东风汽车	2022年12月搭载2022年首批搭载赣锋锂业半固态电池的50辆东风E70正式交付。2022年12月搭载孚能科技半固态电池的东风岚图追光首发。2024年东风新一代固态电芯(能量密度超405Wh/kg)有望开始量产；东风日产计划2024年启动全固态电池量产工厂建设，2028年之前量产上市。	自研、赣锋锂业、孚能科技
吉利汽车	2022年建设固态电池材料试验线，2023年建设固态电池实验室，	卫蓝新能源
北汽集团	2020年搭载清陶能源固态电池的样车下线，2022年北汽福田完成固态电池塔载测试。	清陶能源
蔚来	2023年12月搭载半固态电池的蔚来ET7实测续航超1000km: 搭载半固态电池的车型预计2024年开始量产。	卫蓝新能源
赛力斯	2023年搭载赣锋锂业半固态电池的SERES-5正式上市，	赣锋锂业
宝马	公司处于电池A样测试阶段;公司计划2025年推出一款基于Solid Power固态电池的原型车，2030年前实现全固态电池量产。	Solid Power
奔驰	公司投资辉能科技、Factorial Energy，共同开发固态电池产品，	辉能科技、Factorial Energy
大众	公司投资Quantum Scape，共同开发固态电池产品;双方合作项目预计2027年实现量产，	Quantum Scape
福特	公司投资Solid Power，共同开发固态电池产品。	Solid POWER
丰田	2019年与松下成立合资公司联合研发固态电池，2023年公司与日本石油化学公司出光兴产(供应固态电解质)达成协议联合开发固态电池，公司计划2027年开始固态电池试产，2030年前实现固态电池车型量产。	自研、松下
本田	公司投资SES联合开发固态电池产品，公司计划2024年建设全固态电池示范生产线，并在2025-2030年左右实现量产。	自研、SES、松下
现代	公司投资SES，联合开发固态电池产品;公司与LG新能源、SK On、Factorial Energy等均合作进行固态电池开发。公司预计2027年实现部分固态电池车型量产，2030年左右实现全面量产。	SES、LG新能源、SK On、Factorial Energy
通用	公司投资SES，联合开发固态电池产品:2021年进行了A样品测试。	SES
日产	公司计划2024年建设固态电地试验线，2025年交现全固态电池试生产，2028年推出全固态电池车型。	自研、松下

-  01 固态电池能量密度高、安全性能显著
-  02 固态电池技术路线及生产工艺
-  03 eVtoI助力固态电池产业化
-  04 推荐标的
-  05 投资建议
-  06 风险提示

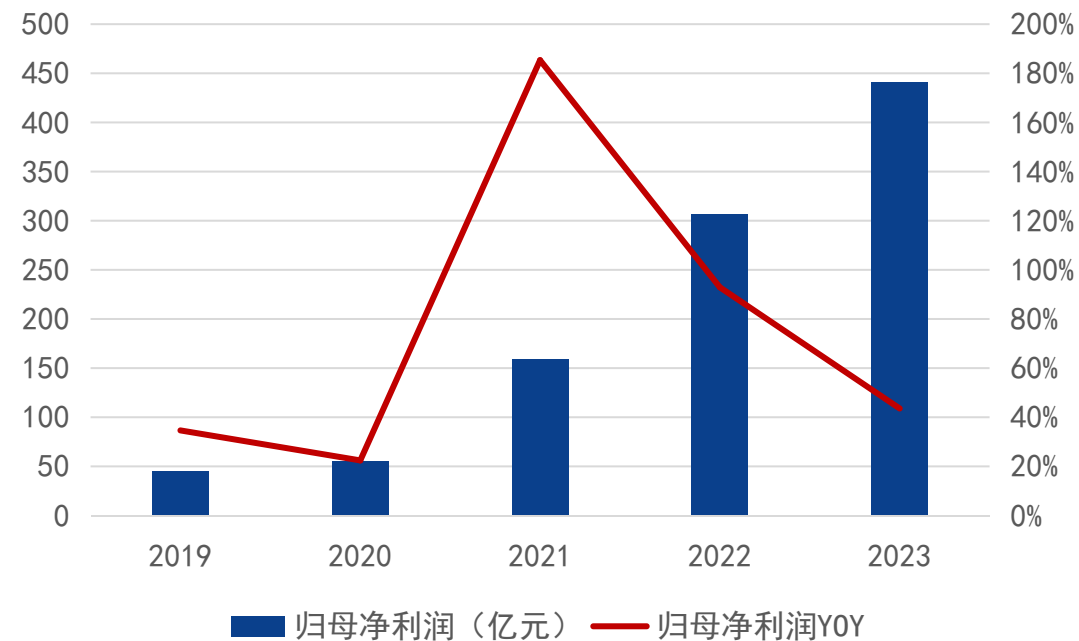
4.1 相关标的：宁德时代

- ◆ 宁德时代是全球领先的锂离子电池研发制造公司, 专注于新能源汽车动力电池系统、储能系统的研发、生产和销售。公司2023年4月发布凝聚态电池, 能量密度最高可达500Wh/kg, 正在进行民用电动载人飞机项目的合作开发, 执行航空级的标准和测试, 同时还将推出凝聚态电池的车规级应用版本; 重点布局硫化物全固态路线, 目前已有高能量密度的固态电池样品, 但商业化仍需5年以上。

营业收入 (亿元/%)



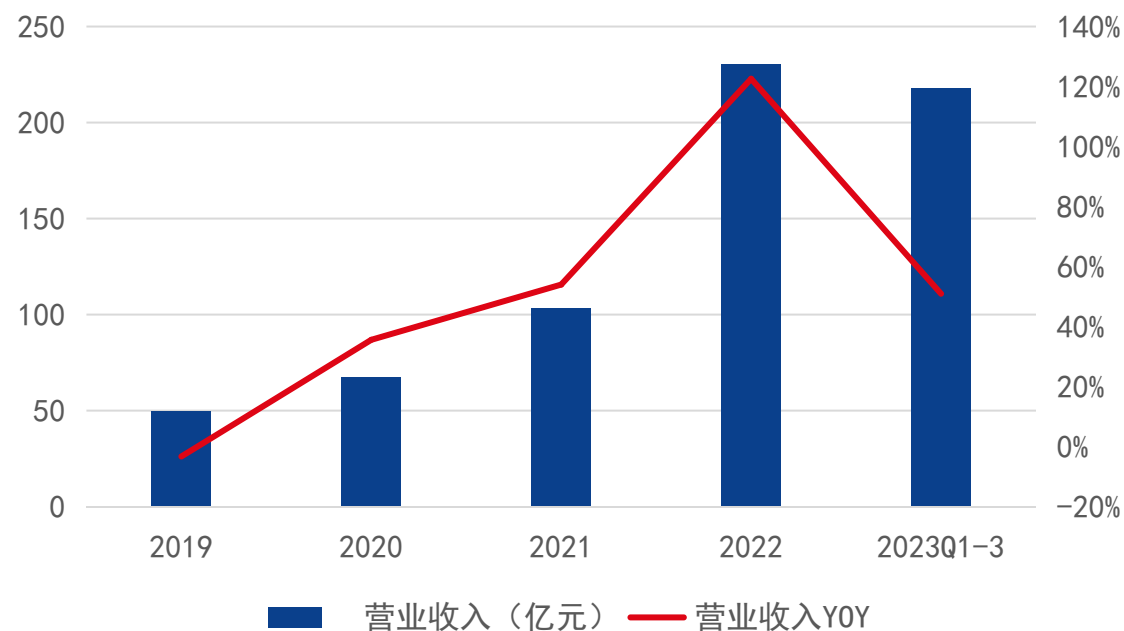
归母净利润 (亿元/%)



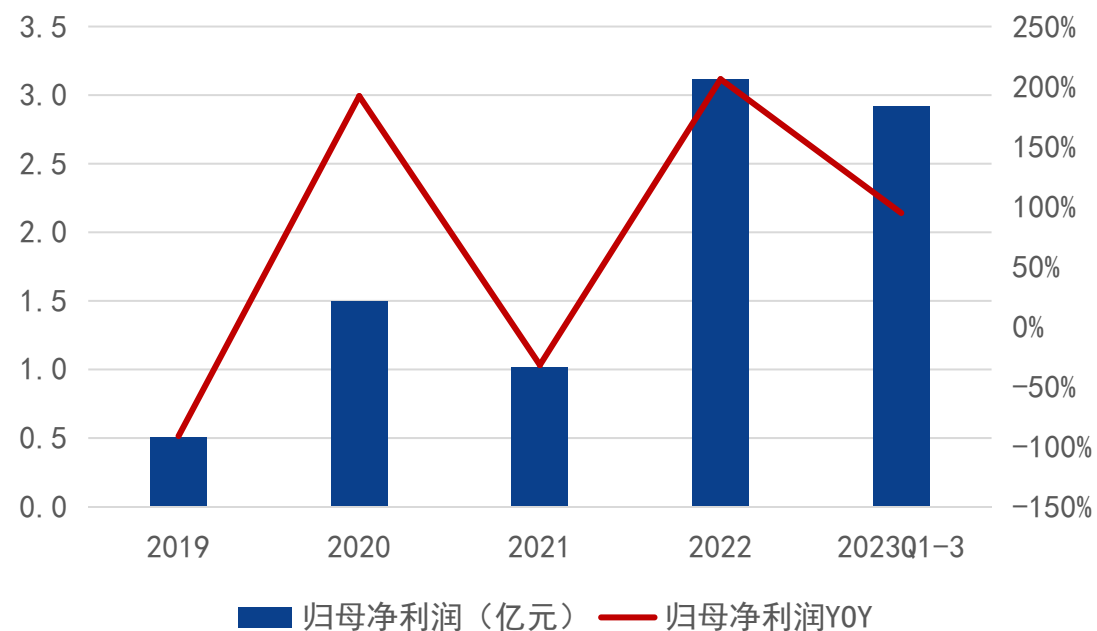
4.2 相关标的：国轩高科

- ◆ 公司系国内最早从事新能源汽车动力锂离子电池自主研发、生产和销售的企业之一，主要产品为磷酸铁锂材料及电芯、三元材料及电芯、动力电池组、电池管理系统及储能型电池组。
- ◆ 固态方面，360Wh/kg高比能三元固态电池通过新国标安全测试，进入产业化阶段，能量密度可实现实现260Wh/kg，续航里程超过1000公里；400Wh/kg三元半固态电池在实验室已有原型样品，未来将落地硅基负极和锂金属负极和预锂技术。

营业收入（亿元/%）



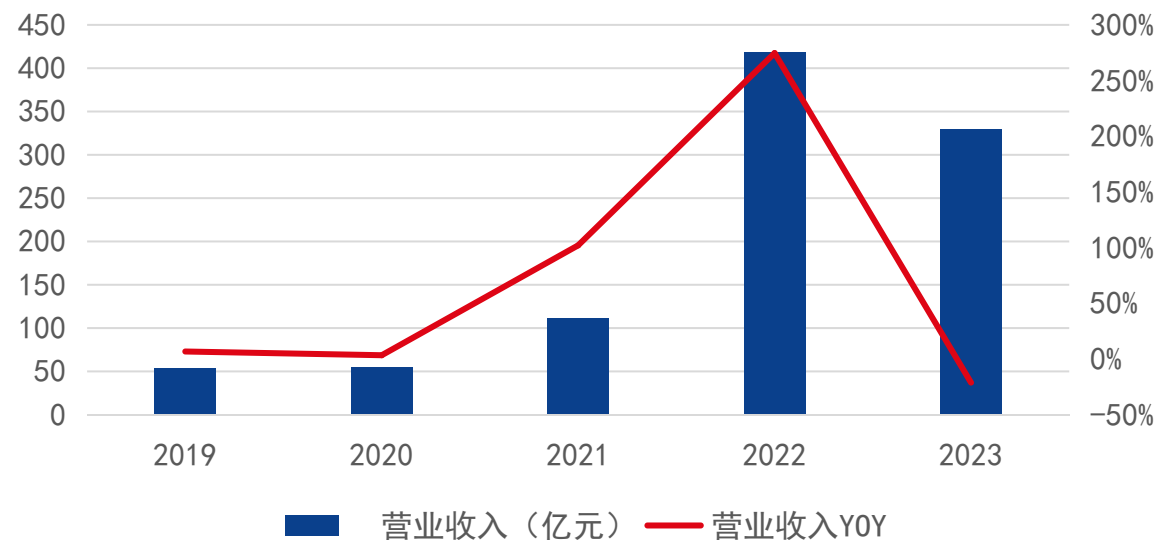
归母净利润（亿元/%）



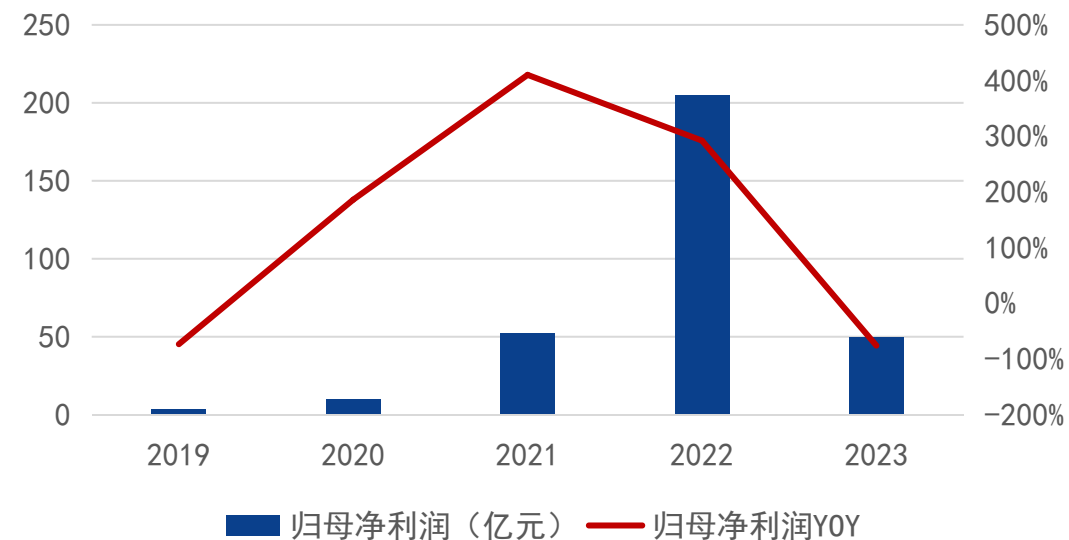
4.3 相关标的：赣锋锂业

- ◆ 赣锋锂业是全球锂行业唯一同时拥有“卤水提锂”、“矿石提锂”和“回收提锂”产业化技术的企业，拥有垂直整合的业务模式，构建打通上、中、下游的产业生态系统。
- ◆ 固态方面，2022年1月全球首批搭载第一代固态电池的东风E70已批量交付市场，能量密度超过260Wh/kg；第二代基于高镍三元正极、含锂负极材料，能量密度超过350Wh/kg；2022年7月建设新型锂电池科技产业园，拟建成国内最大的固态电池生产基地。2023年9月，发布超级半固态“新锋”电池，该电池可实现3000+循环寿命，且半固态电池CTP结构使体积效率提高8%，能量密度增加10%，零件数量减少50%，让整车更加轻量化。

营业收入（亿元/%）



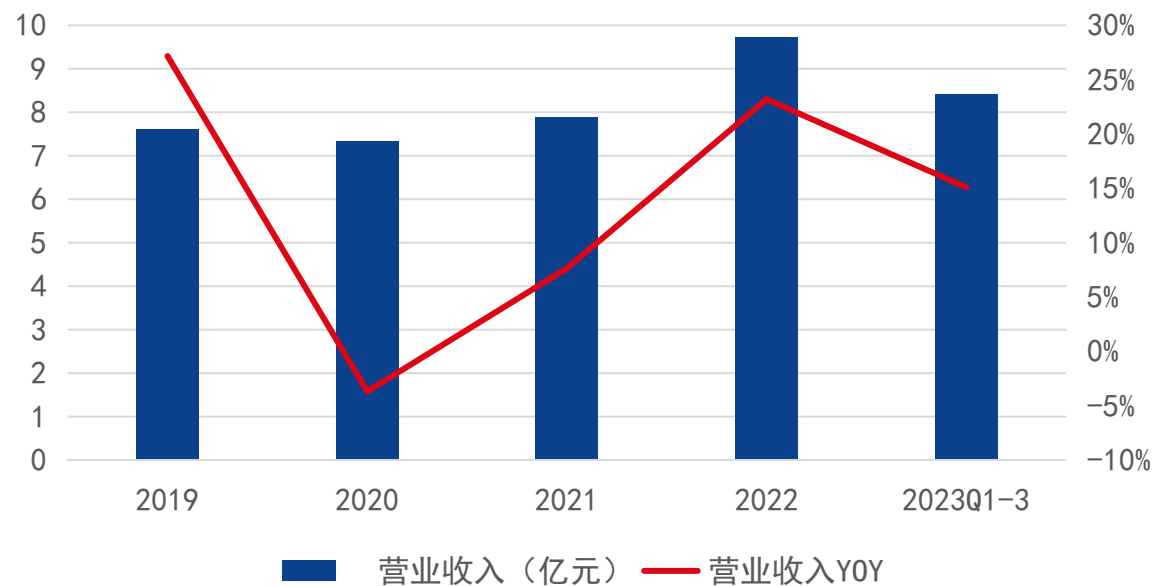
归母净利润（亿元/%）



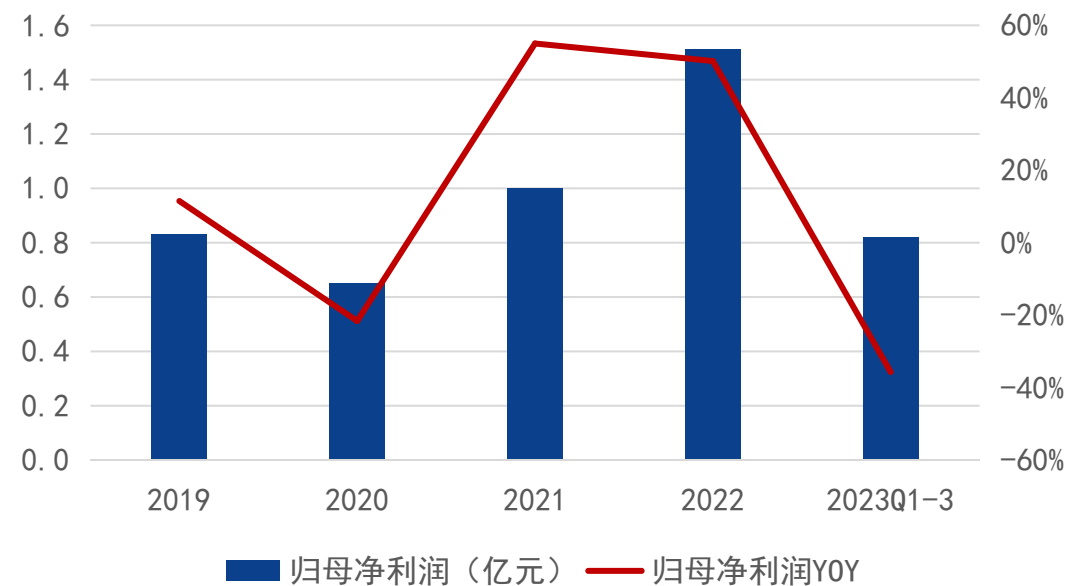
4.4 相关标的：三祥新材

- ◆ 三祥新材始建于1988年，是国内锆龙头企业，设有CNAS国家认可实验室、博士后科研工作站、省级企业技术中心、省级氧化锆材料重点实验室和省级锆材料工程研究中心。
- ◆ 公司在锆基固态电池电解质及原材料领域积极开展研究和技术攻关，目前已向清陶能源等企业送样，氧氯化锆锂总规划年产能10万吨，项目一期已全面投产。2023年6月中国科大开发出全固态锂电池电解质氧氯化锆锂，能以目前最低的成本实现和当下最先进的硫化物、氯化物固态电解质相近的性能，一旦氧氯化锆锂固态电池正式落地，公司将成为最大受益者之一。

营业收入（亿元/%）



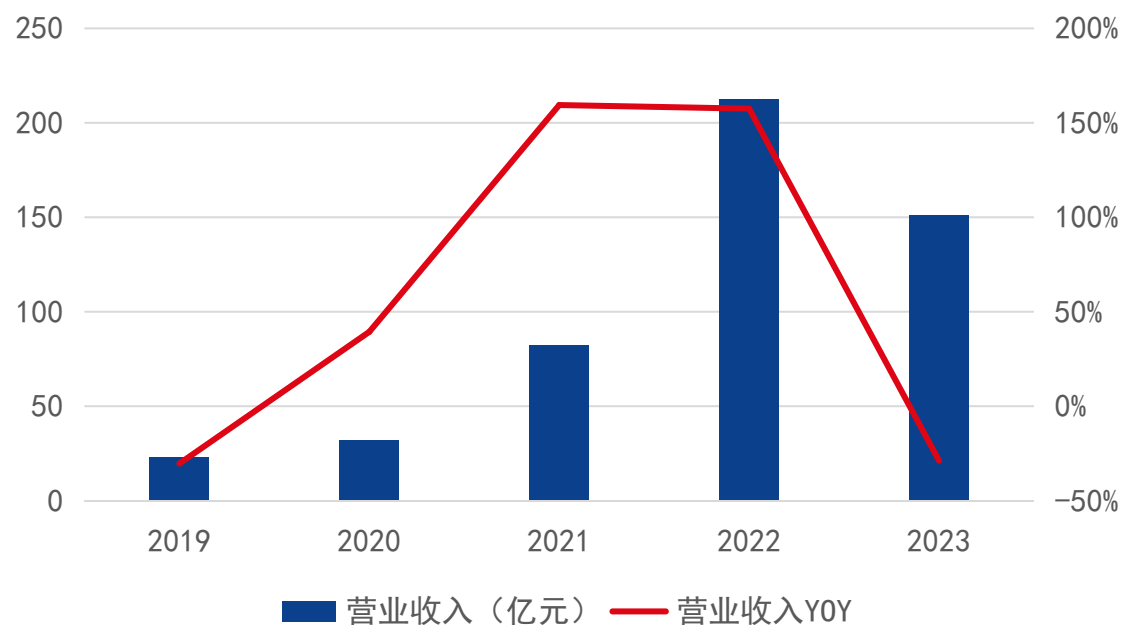
归母净利润（亿元/%）



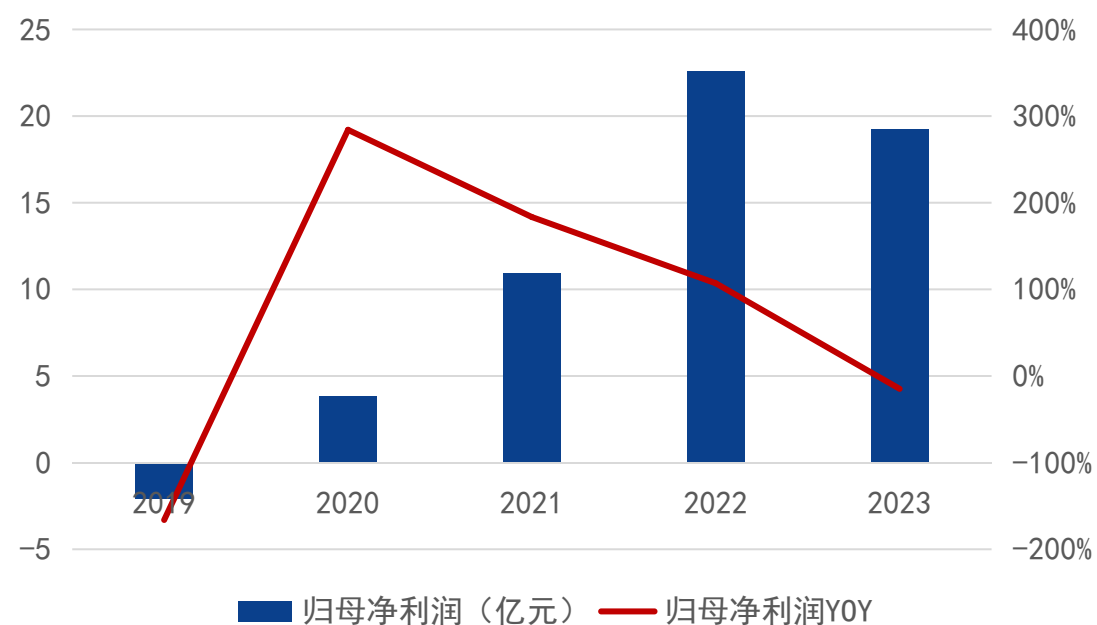
4.5 相关标的：当升科技

- ◆ 当升科技是首家以锂电正极材料为主营业务上市的中国企业，积极研发新型先进正极材料，推出超高镍无钴、新型富锰正极、磷酸锰铁锂正极材料、双相复合固态锂电正极、固态电解质全新体系材料等产品。
- ◆ 固态方面，公司目前已经完成固态锂电材料开发及批量出货，尤其在正极与固态电解质方面，与赣锋锂电、清陶、卫蓝新能源、清陶、辉能等全球主要固态电池客户开展了密切的技术和业务合作。

营业收入（亿元/%）



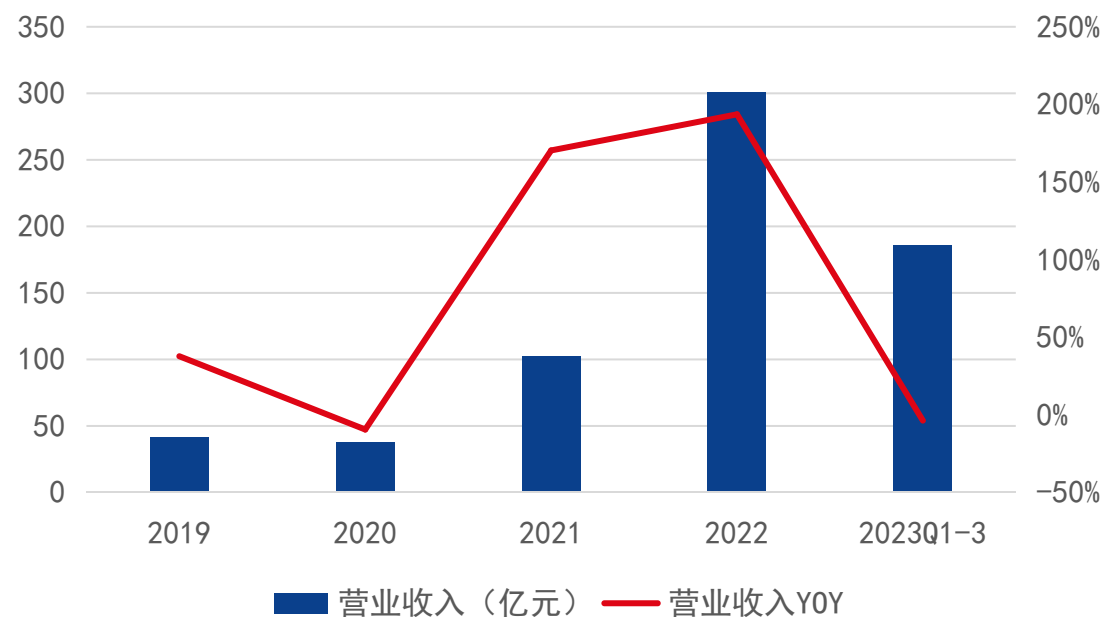
归母净利润（亿元/%）



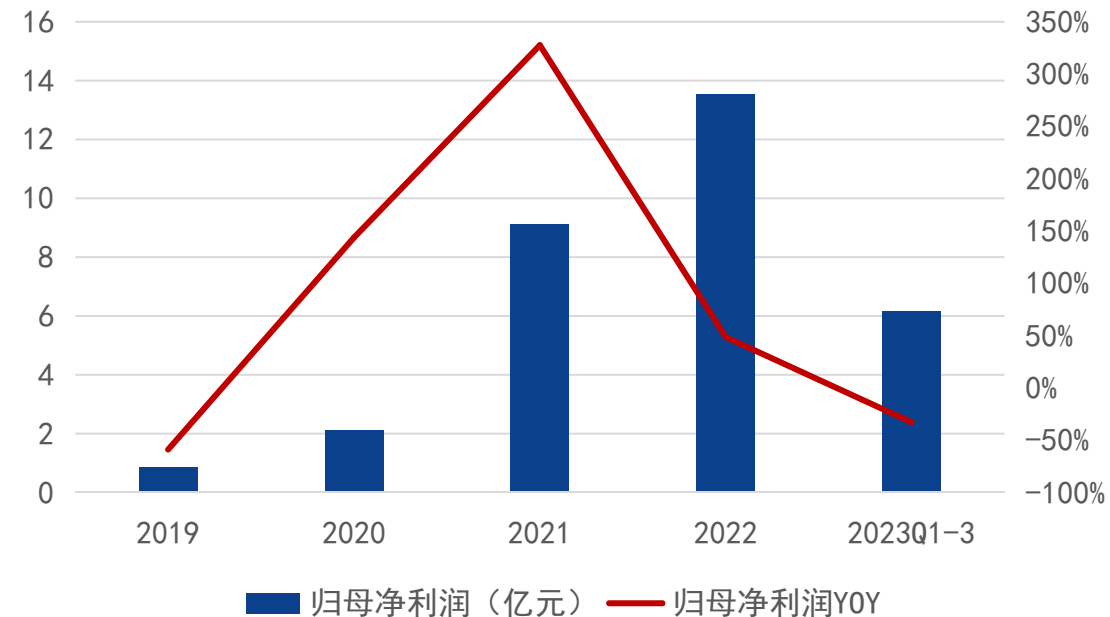
4.6 相关标的：容百科技





- ◆ 容百科技是一家高科技新能源材料行业的跨国型集团公司，专业从事锂电池正极材料的研发与经营，由中韩两支均拥有二十余年锂电池正极材料行业成功创业经验的团队共同打造。
- ◆ 固态方面，Ni90高镍产品已批量供货卫蓝新能源360Wh/kg半固态电池体系，正式应用在蔚来ET7等三款车型。在固态前沿新技术方面，富锂锰基材料通过客户认证，容量、循环等综合性能行业领先。

营业收入（亿元/%）









归母净利润（亿元/%）



-  01 固态电池能量密度高、安全性能显著
-  02 固态电池技术路线及生产工艺
-  03 eVtoI助力固态电池产业化
-  04 推荐标的
-  05 投资建议
-  06 风险提示

- ◆ 锂电池起步于消费类电子市场，大发展与新能源汽车动力和储能市场，行业仍处于发展中早期阶段，材料体系、电池外形、以及辅材等均有较大的进步空间，其中，固态/半固态电池技术是突破锂电池能量密度上限的主要途径。固态电池可以大幅提高电池的安全性，改善电池的低温性能，将进一步推动新能源汽车行业的高速发展，且会延伸出更多应用场景。
- ◆ **固态/半固态电池技术快速进步，eVtoI助推产业化落地。**目前，丰田、QuantumScape、Solid Power、清陶能源等研发固态电池主流厂商的小规模量产（试产）的目标多定在2025年-2028年区间。预计2030年，量产全球锂离子固态/半固态电池商业化产能有望初见规模，届时固态锂电池对应的续航里程或可达到液态锂电池的2-3倍，追平燃油车续航力。2024年以来，国内加快eVtoI商业化落地，对高能量密度、高功率、高安全性的电池需求紧迫，且对成本不敏感，固态电池完美契合该市场需求，产业化进程有望提速。
- ◆ **固态电池的电解质是核心环节，主要有聚合物、硫化物和氧化物三种。**氧化物电解质商业化进程较快，硫化物潜力较大。氧化物固态电池的性能与成本相对综合，硫化物导电性最强潜力最大。欧美国家以自主研发固态电池技术的创业型公司为主，主要技术路线为氧化物与硫化物。日韩以传统车企与电池企业合作开发为主，主要技术路线为硫化物。中国企业与科研机构或院校合作，产业化进程较快，大部分国内企业主要为氧化物、部分为硫化物，聚合物较少。
- ◆ 固态电池相关企业较多，参差不齐，且都处于起步阶段。我们建议关注：宁德时代、三祥新材、赣锋锂能、国轩高科、当升科技和容百科技等公司。
- ◆ 风险提示：技术突破不及预期；产业化进程不及预期；原材料价格波动风险；其他不可抗因素等。

-  01 固态电池能量密度高、安全性能显著
-  02 固态电池技术路线及生产工艺
-  03 eVtoI助力固态电池产业化
-  04 推荐标的
-  05 投资建议
-  06 风险提示

- ◆ **固态电池技术突破不及预期：**当前固态电池技术尚不成熟，电池和电池材料体系变化日新月异，固态电解质技术路线并不明确，尽管各车企和电池厂商都在积极投入研发，但从实验室走向市场仍面临不少挑战。
- ◆ **固态电池产业化进程不及预期：**当前固态电池尚未形成规模化量产，各个企业产品多处于实验室验证和装车测试阶段，商业化时间存在较大的不确定性；同时国内企业大规模扩产半固态电池产能，但半固态电池为固态电池的过渡阶段，可能存在后续升级为固态电池后大量产线面临淘汰的风险。
- ◆ **原材料价格波动风险：**固态电池主要原料矿产有锂、钴、镍、锰、磷等，这些矿产的储量和分布将对固态电池成本产生重要影响，当主要原材料价格较高时，可能导致固态电池成本难以下降，对产业化和下游需求造成不利影响。
- ◆ **新技术替代风险：**未来可能研发出新的电池技术，延缓甚或替代固态电池技术。
- ◆ **其他不可抗因素。**

行业评级体系

收益评级：

领先大市 — 未来6个月的投资收益率领先沪深300指数10%以上；

同步大市 — 未来6个月的投资收益率与沪深300指数的变动幅度相差-10%至10%；

落后大市 — 未来6个月的投资收益率落后沪深300指数10%以上；

风险评级：

A — 正常风险，未来6个月投资收益率的波动小于等于沪深300指数波动；

B — 较高风险，未来6个月投资收益率的波动大于沪深300指数波动。

分析师声明

张文臣、周涛、申文雯声明，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.com