

新能源汽车行业固态电池专题报告

半固态装车引领，全固态未来可期

袁健聪/拜俊飞（金属）/吴威辰/汪浩/柯迈/黄耀庭/李鹤

中信证券研究部 新能源汽车组/金属组

2023年12月11日

■ 固态电池：突破安全与能量密度瓶颈，半固态电池先行提升经济性。

- 固态电池与液态电池核心区别在于固态电解质取代隔膜与电解液，实现锂电池本质安全与能量密度提升；
- 与液态电池相比，固态电池循环寿命与快充性能不足，核心问题：1) 成本高；2) 高电导率和加工性能难以兼顾；3) 界面接触问题；
- 解决思路：1) 半固态产业化规模效应降低电解质材料成本；2) 电解质复合，优势互补；3) 优化材料体系、材料表面包覆、增大电解质成膜压力、原位凝固等技术方式改善界面问题。

■ 欧美日韩中路线各异，中国半固态产业进程领先。

- 1) 日韩专利全球领先，头部车企与电池厂集中硫化物全固态电池研发产业化；2) 欧美路线各异，奔驰、大众、宝马、福特等老牌车企投资QuantumScape、Solid Power等固态电池厂商合作开发；3) 国内侧重氧化物半固态电池，锂电厂与固态电池厂商共同发力；
- 装车进展：据卫蓝新能源官方微信公众号，其于2023年6月向蔚来正式交付半固态电池。据Solid Power公司公告，Solid Power于2023年10月向宝马交付A-1固态动力电池。据上汽集团全景网投资者互动平台，上汽智己将于2024年装载清陶能源半固态电池。我们认为2023年固态电池获重要进展，将引领后续发展；
- 出货量：中商产业研究院预测，2030年国内固态电池出货量251.1GWh，对应2022-2030年增长近86倍，A期间CGR为75%；中研普华产业研究院报告预测，2030年全球固态电池出货量超500GWh。

■ 正极由高镍三元向富锂锰基转变，负极由碳硅负极向金属锂过渡。

- 半固态电池高镍三元+硅碳负极更能发挥性能优势；全固态电池正极可用高电压平台的低成本高容量富锂锰基，负极采用金属锂。

■ 风险因素：

- 新能源汽车技术路线超预期变化；新能源汽车产业国内外政策变化不及预期；半固态电池量产装车进展不及预期；固态电池技术发展及落地不及预期；固态电池降本不及预期；半固态/固态电池产能释放不及预期。

■ 投资策略：

- 1) 正极/负极/电解质的原材料/前驱体：重点推荐三祥新材、格林美、中伟股份、帕瓦股份、华友钴业，建议关注芳源股份、中国石墨、博迁新材、东方锆业、北方稀土、云南锆业、驰宏锌锗；
- 2) 正极材料环节：重点推荐容百科技、当升科技、振华新材、长远锂科；
- 3) 负极材料环节：重点推荐赣锋锂业、天齐锂业（A+H）、贝特瑞、璞泰来、杉杉股份、硅宝科技，建议关注翔丰华；
- 4) 固态电解质环节：重点推荐三祥新材、上海洗霸，建议关注金龙羽；
- 5) 导电剂材料环节：建议关注捷邦科技、天奈科技；
- 6) 电池环节：重点推荐宁德时代、比亚迪（A+H）、赣锋锂业、国轩高科，建议关注亿纬锂能、孚能科技、Solid Power（美股）、QuantumScape（美股）；
- 7) 应用端：重点推荐实现/计划固态电池装车的蔚来、赛力斯、上汽集团、广汽集团（A+H）

CONTENTS

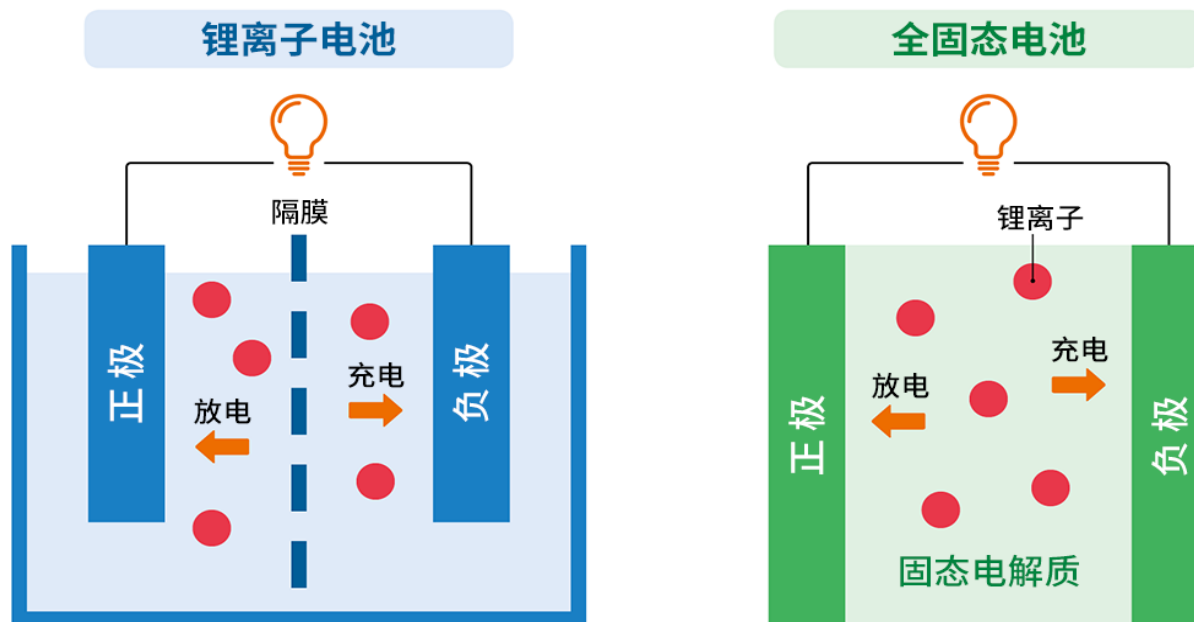
目录

1. **固态电池：突破安全与能量密度瓶颈**
2. 产业化：半固态元年将至，产业化齐头并进
3. 锂电池材料体系的影响：正负极材料高性能化
4. 产业链梳理
5. 风险因素
6. 投资建议

固态电池：电解质变革，本质安全与高能量密度并存敏感性

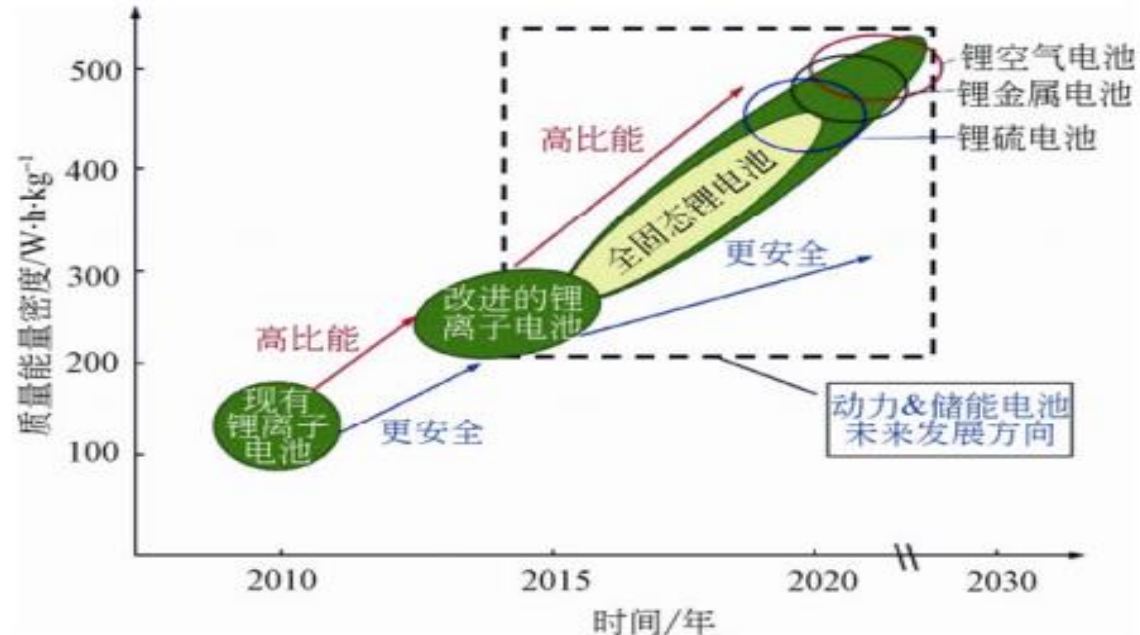
- 固态电池与液态锂电池的核心区别是固态电解质取代隔膜和电解液
 - 1) 传统液态锂离子电池以液态电解质作为离子迁移通道，用隔膜隔绝正极和负极以防止短路，固态电池的基本原理即带电离子在正极和负极之间来回移动实现充放电过程，因此固态电池的正极和负极相比于液态电池没有变化
 - 2) 液态电池中用于传导离子的电解液与隔绝正负极以防止内部短路的隔膜，可由固态电解质实现替换，离子的迁移场所从电解液转到固态电解质中，同时起到隔绝电极的作用。

液态、全固态电池工作原理示意图



- 固态电池的优势在于本质安全和高能量密度。
 - 1) 在安全性方面，液态锂离子电池发生热失控或因隔膜刺穿引发短路时，其内部有机电解液可能发生燃烧，从而产生安全问题，而固态电池中没有有机电解液，其发生安全问题的可能性大幅降低；
 - 2) 在能量密度方面，液态锂离子电池能量密度在过去十年从150Wh/kg提升至250Wh/kg；据能源电力说微信公众号，固态电池能量密度有望超过500Wh/kg，能量密度可实现大幅提升；
 - 3) 总体来看，相比于液态离子电池，固态电池具有高能量密度、高可靠性等优势，有望实现广泛应用。

锂电池发展趋势是更安全与更高能量密度

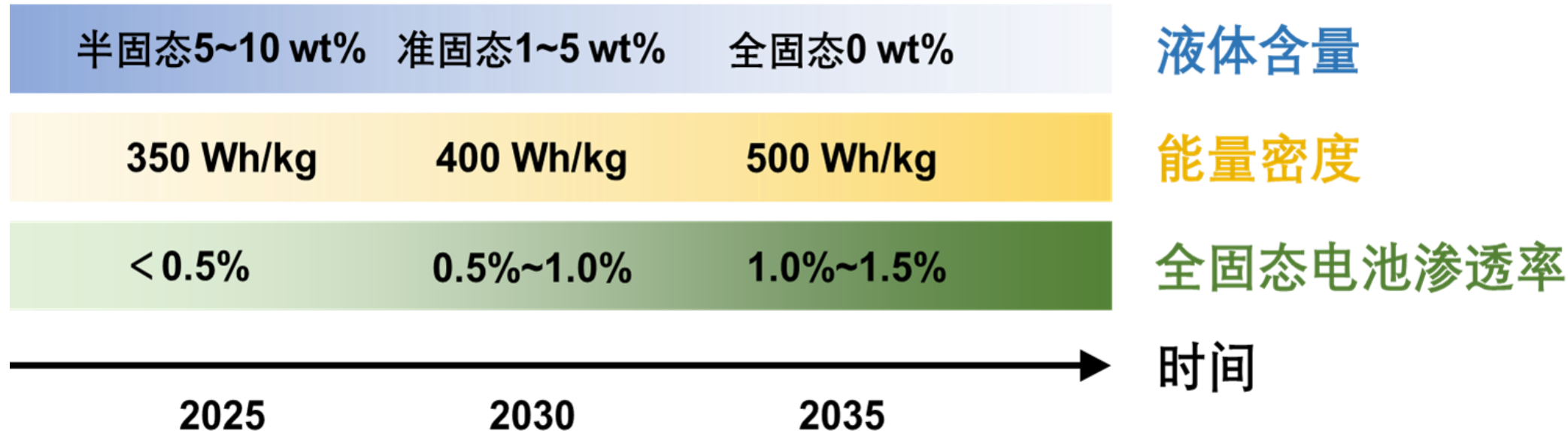


固态电池：电解质变革，本质安全与高能量密度并存敏感性

- 从液态电解质含量演变来看，固态电池将产生半固态、准固态、全固态三种形态，半固态、准固态为过渡，全固态是最终目标。

根据OFweek锂电，液态锂离子电池与固态电池分界线是电池液体含量10%，当液体含量5%~10%时为半固态电池，电池中液态电解质质量占电池的比例为1%~5%的划分为准固态电池，不含有液态电解质的为全固态电池。几类电池开发难度依次为：半固态<准固态<全固态。

固态电池发展示意图

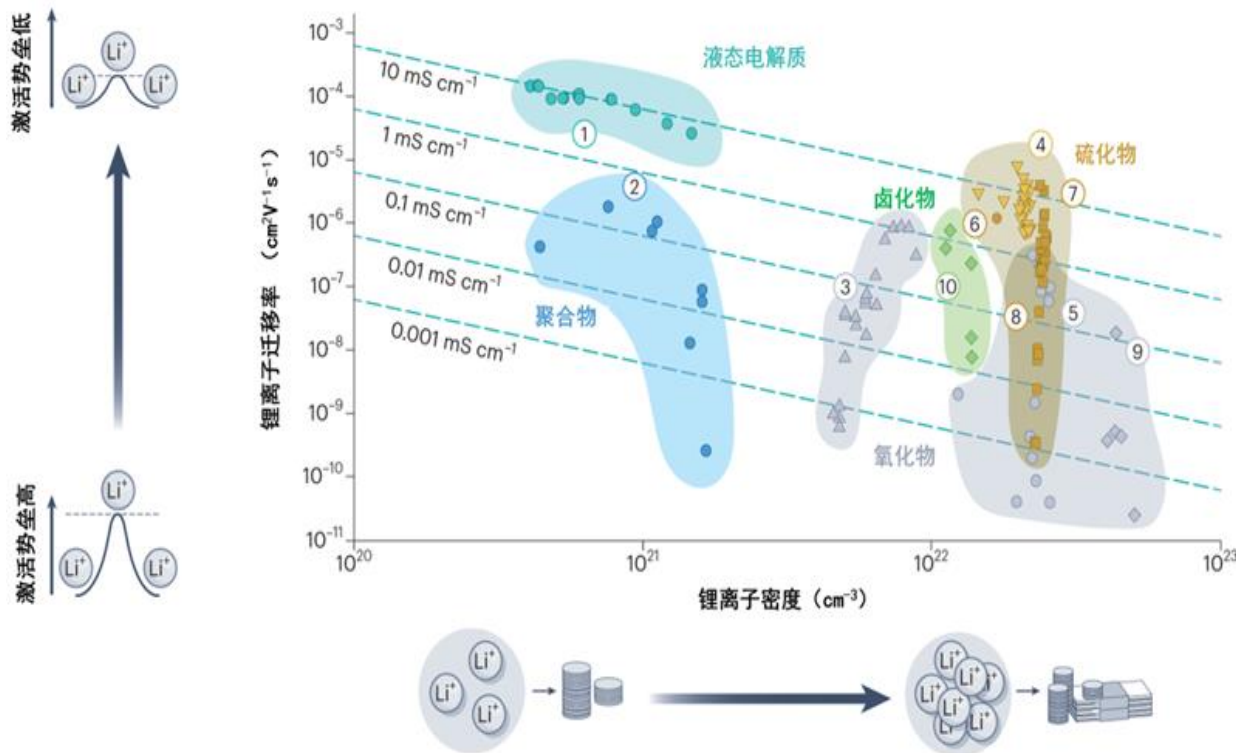


固态电池分类：四大电解质材料体系，各有优势

■ 固态电解质可分为聚合物、氧化物、硫化物、卤化物四大体系。

- 1) 聚合物电解质成本较低、加工性能好、灵活性高，技术相对成熟，但离子电导率和氧化电压较低，难以抑制锂枝晶的形成；
- 2) 氧化物电解质具有较高的机械、化学、温度、电化学稳定性，但存在脆性较大、加工性能差、界面接触差等问题；
- 3) 硫化物电解质具有高于氧化物和聚合物的电导率，加工性能较好，但易氧化、化学稳定性差、制备难度较高、和Li金属负极相容性差；
- 4) 卤化物固态电解质具有高离子电导率，同时其电化学稳定性良好、与正极材料相容性高，但是其材料与制备成本较高，并且存在容易吸水潮解的核心缺陷

固态电解质分类以及与液态电解质的对比



固态电池分类：四大电解质材料体系，各有优势

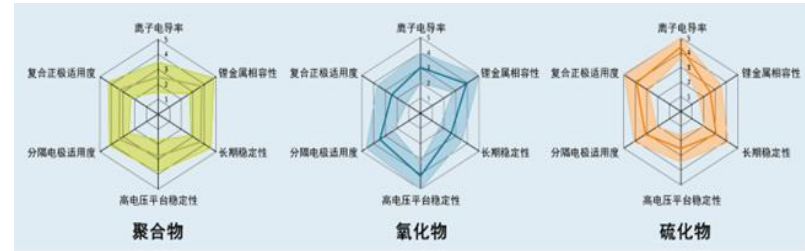
- 聚合物易于加工/成本较低，氧化物安全性更高，硫化物能量密度更高。

聚合物具有良好的工艺成熟度和较低的成本，是目前成熟度最高的固态电解质，氧化物稳定性最高，因此安全系数较高，由于其与电极界面接触较差，目前主要用于添加部分电解液的半固态电池中，硫化物固态电池的能量密度最高，同时具有较好的离子电导率和加工性能，是具有未来发展潜力的固态电解质。

四种固态电解质体系优缺点对比及布局企业

电解质类型	主要材料体系	优点	缺点	离子电导率(S/cm)	改进方向	主要布局企业
聚合物	聚合物基体+锂盐+添加剂 聚合物: PEO、PPC、PCL、PTMC、SN、PAN、MEEP 锂盐: LiBF4、LiPF6、LiClO4、LiAsF6 添加剂: Al2O3、SiO2、TiO2、ZrO2、γ-LiAlO3、Li3N、LiAlO2	●低成本 ●易加工 ●高灵活性	●离子电导率低 ●氧化电压低 (<4V) ●难以抑制锂枝晶形成	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁴	●抑制锂枝晶: 人造SEI膜、薄锂电极 ●增强离子电导率并提高电流电压耐受: 电解质复合化、单离子导体	SEEO、Solid Energy、SolidPower、Bollere
氧化物	LiPON型、NASICON型、石榴石型(LLZO)、钙钛矿型(La0.51Li0.34TiO2.94)	●机械稳定性 ●化学稳定性 ●温度稳定性 ●氧化电位高	●高烧结温度 ●材料脆性 ●复合正极离子电导率低 ●薄膜制备困难 ●锂金属稳定性低	10 ⁻⁶ ~10 ⁻³	●提高材料韧性: 与聚合物复合、添加剂或元素掺杂 ●提高离子电导率: 添加剂或元素掺杂、与凝胶电解质混用	卫蓝新能源、辉能科技、清陶能源、赣锋锂业、SONY、SAKTI3、QuantumScape
硫化物	LPS型、Thio-LISICONs型、LGPS型、Li-Argyrodites型	●高离子电导率 ●加工性能较好	●锂金属稳定性低 ●空气敏感易氧化 ●制备难度较高	10 ⁻⁴ ~10 ⁻²	●提高电解质稳定性: 涂层和表面处理 ●降低成本: 扩大规模	丰田、松下、LG化学、出光兴产、日立造船、宁德时代
卤化物	三元氯化物 Li3MX6 *M为过渡金属、X为卤素 F Cl Br I	●电化学稳定性 ●高离子电导率 ●与正极材料相容性高	●成本高昂 ●对水高度敏感(易潮解)	~10 ⁻³	●抗潮解: 优化元素构成	—

聚合物、氧化物、硫化物的性能参数对比及关键指标排序



	安全性	工艺成熟度/价格	能量密度
1	氧化物	聚合物	硫化物
2	聚合物	氧化物	氧化物
3	硫化物	硫化物	聚合物

资料来源: 能源电力说微信公众号, 《Toward better batteries: Solid-state battery roadmap 2035+》(Dengxu Wu, Fan Wu, 2023), 《Prospects of halide-based all-solid-state batteries: From material design to practical application》(Changhong Wang, Jianwen Liang, Jung Tae Kim等, 2022), 《Solid-State Battery Roadmap 2035+》(Fraunhofer, 2022), EnergyTrend, 德勤, 中国粉体网, QuantumScape官网, 中信证券研究部

资料来源: 《Solid-State Battery Roadmap 2035+》(Fraunhofer, 2022), 《百篇科普系列(115)——固态电池的原理及其进展》(许长发, 华中科技大学, 2020), 中信证券研究部

固态vs液态：固态电池能量密度与安全性占优，快充与循环性能不足

■ 固态电池能量密度与安全性能优于液态锂离子电池

总体来看，固态电池能量密度优于液态锂离子电池。在安全性方面，液态锂离子电池电解液可燃，存在热失控风险，固态电池因部分选用金属锂作为负极存在一定风险，但电解质不可燃，总体安全性能较高。

■ 固态电池快充、寿命等方面弱于液态锂离子电池

总体来看，在快充、循环寿命等方面，固态电池相比液态锂离子电池仍有明显不足。

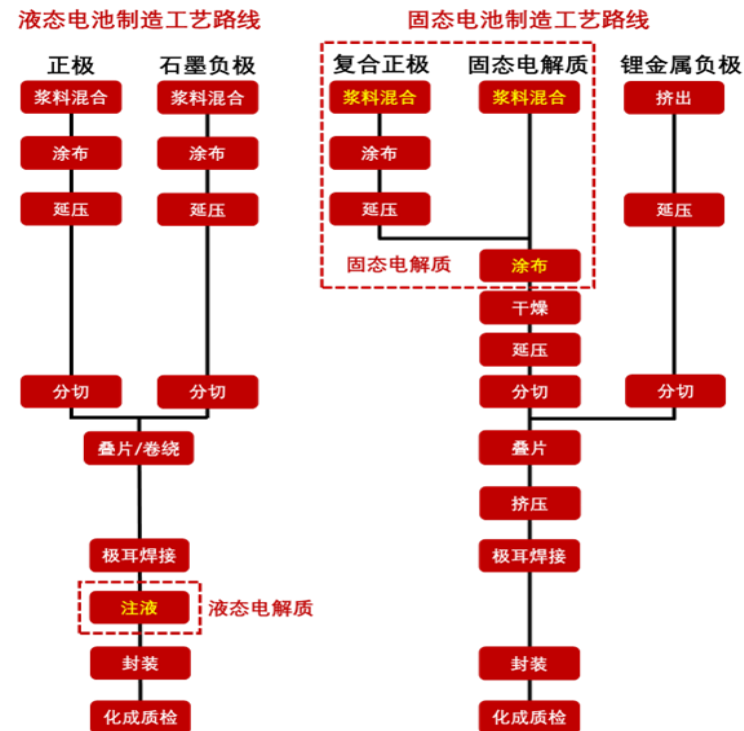
固态电池与液体锂离子电池性能指标对比

指标	单位	液体锂离子电池	锂金属负极/氧化物/三元+凝胶	锂金属负极/硫化物/三元+凝胶	硅负极/硫化物/三元+凝胶	锂金属负极/聚合物/三元+凝胶
能量密度	Wh/kg	230-300	350-400	320	320	255
	Wh/L	600-750	1000	942	740	380
价格	欧元/kWh	90-175	65	初期成本高于液体锂电池	初期成本高于液体锂电池	长期看与液体锂电池接近
快充性能	高能量型	1-1.5C	1-1.2C	0.1C	2C	0.25C
	快充型	8C	4C	>1C无法实现，目标2C		1C
寿命	——	>3000	>1000	——	——	——
安全性	——	可燃，可能热失控	电解质不可燃，凝胶和锂金属可燃	电解质不可燃，可能生成H ₂ S，有活性金属Li	不可燃，可能生成H ₂ S	有活性金属Li，总体热稳定较高

固态电池制造工艺：与液态锂电池部分兼容，叠片为主，成膜是关键

- 固态电池使用复合正极、电解质添加方式与液态电池不同，以叠片为主
- 固态电池与液态电池在制造工艺上具有诸多相似性，最核心的区别有三点。
- 1) 固态电池正极材料复合化，即固态电解质与正极活性物质的混合物作为复合正极；
- 2) 电解质添加方式不同；
- 3) 液态锂离子电池极片可用卷绕或者叠片的方式组合，而固态电池由于其固态电解质如氧化物和硫化物韧性较差，通常使用叠片形式封装。

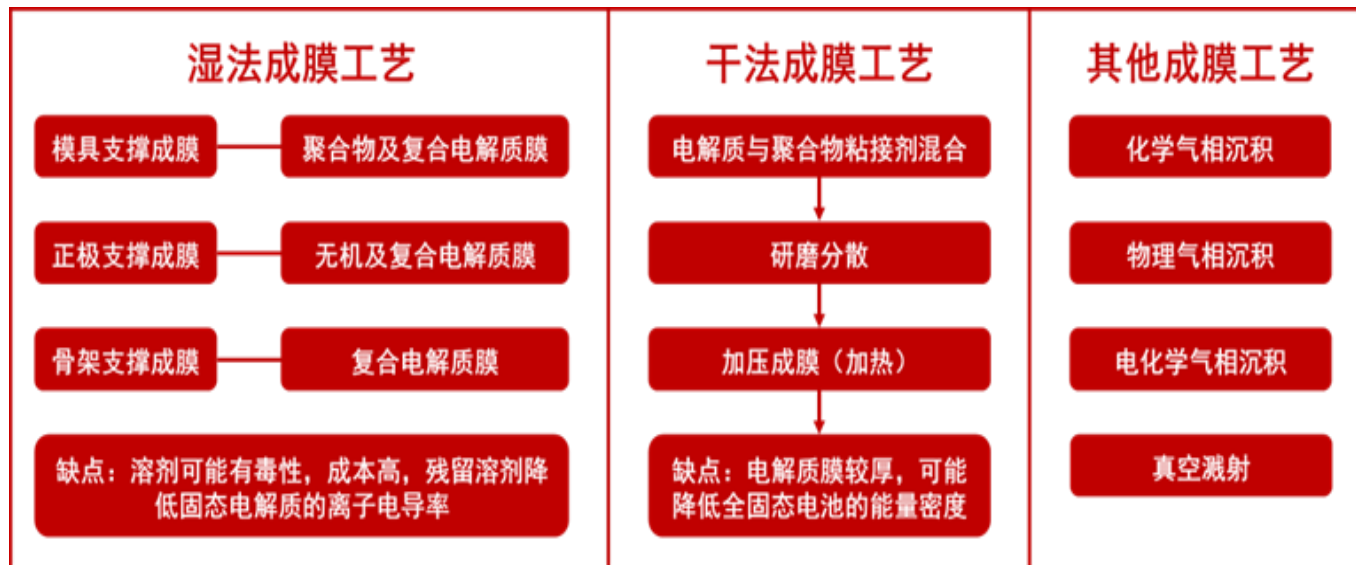
液态电池与固态电池制造工艺路线图（固态电池以硫化物体系为例）



固态电池制造工艺：与液态锂电池部分兼容，叠片为主，成膜是关键

- 固态电解质核心工艺在于成膜，可分为干法、湿法和其他工艺。
 - 1) 湿法成膜工艺：核心是粘接剂与溶剂选取，溶剂便于蒸发、并对电解质有良好的溶解和化学稳定性。缺点是溶剂可能有毒，总体成本相对高，若溶剂蒸发不完全，可能降低电解质的离子电导率。
 - 2) 干法成膜工艺：该方法不使用溶剂，无溶剂残留，干法的缺点在于电解质膜相对较厚，由于其内部不含活性物质，会降低固态电池的能量密度。
 - 3) 其他成膜工艺：成本较高，适合于薄膜型全固态电池

固态电解质成膜工艺



资料来源：《全固态电池生产工艺分析》（翟喜民，孙笑寒，姜涛等，2022），中信证券研究部绘制

固态电池制造工艺：与液态锂电池部分兼容，叠片为主，成膜是关键

- 聚合物可兼容更多工艺，硫化物对环境要求较高，氧化物适用于沉积与流延成型法。
- 1) 聚合物固态电解质因为其加工性能最优，具有最强的工艺兼容性；
- 2) 硫化物因空气稳定性较差，不适合高温条件的挤出法和小尺寸的沉积法；
- 3) 氧化物因具有陶瓷特性，脆性高，需结合颗粒沉积+烧结的方式成膜，或者在溶液共混条件下流延成型

三种主流固态电解质成膜工艺适配示意图

	无溶剂路线				湿法路线	
	干法延压	干法喷涂	挤出	沉积法	流延成型	浸润
氧化物	⊗	⊗	⊗	✓	✓	⊗
聚合物	✓	✓	✓	⊗	✓	✓
硫化物	✓	✓	⊗	⊗	✓	✓

固态电池价值量拆分：材料成本占主导

半固态电池与全固态电池价值量测算

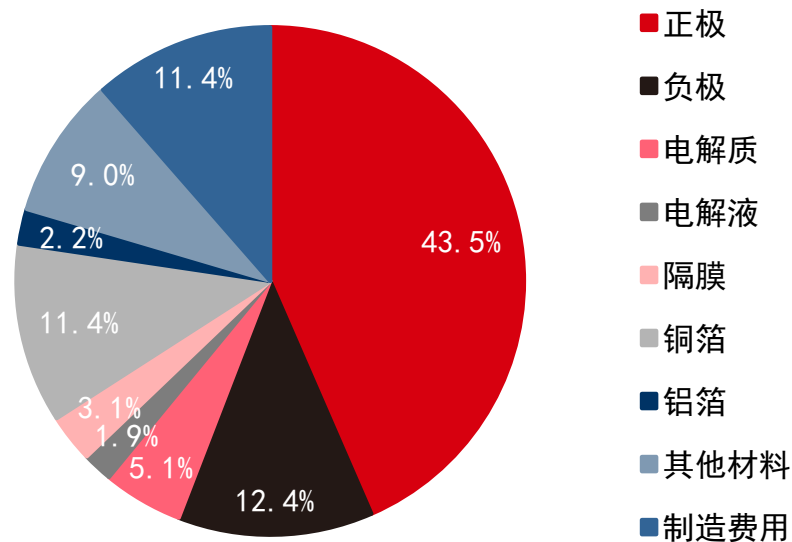
半固态电池						
项目	单 GWh 消耗	单位	单价	单位	单位成本(元/Wh)	成本占比
NCM 正极	1800	吨	19	万元/吨	0.342	43.5%
LLZO 电解质	100	吨	40	万元/吨	0.040	5.1%
碳硅负极	650	吨	15	万元/吨	0.098	12.4%
电解液	500	吨	3	万元/吨	0.015	1.9%
隔膜	2000	万平	1.2	万元/万平方米	0.024	3.1%
铜箔	1000	吨	9	万元/吨	0.090	11.4%
铝箔	500	吨	3.5	万元/吨	0.018	2.2%
粘接剂 PVDF	100	吨	19	万元/吨	0.019	2.4%
导电剂	100	吨	3.7	万元/吨	0.0037	0.5%
铝塑膜	200	万平	20	万元/万平方米	0.04	5.1%
其他辅材					0.008	1.0%
人工、能源、折旧					0.09	11.4%
合计					0.787	100.0%
良率					90%	
成本 (元/Wh)					0.87	
全固态电池						
项目	单 GWh 消耗	单位	单价	单位	单位成本(元/Wh)	成本占比
NCM 正极	1800	吨	19	万元/吨	0.342	30.8%
LLZO 电解质	1000	吨	40	万元/吨	0.400	36.0%
碳硅负极	650	吨	15	万元/吨	0.098	8.8%
铜箔	1000	吨	9	万元/吨	0.090	8.1%
铝箔	500	吨	3.5	万元/吨	0.018	1.6%
粘接剂 PVDF	100	吨	19	万元/吨	0.019	1.7%
导电剂	200	吨	3.7	万元/吨	0.0074	0.7%
铝塑膜	200	万平	20	万元/万平方米	0.04	3.6%
其他辅材					0.008	0.7%
人工、能源、折旧					0.09	8.1%
合计					1.111	100.0%
良率					90%	
成本 (元/Wh)					1.23	

- 为拆分半固态电池与全固态电池的价值量构成，我们的核心假设为：
 - ①半固态电池材料体系为三元锂/LLZO/电解液/隔膜/碳硅负极，全固态电池材料体系为三元锂/LLZO/碳硅负极；
 - ②根据GGII数据，LLZO电解质在半固态电池中单耗量100吨/GWh，根据《Solid-State Battery Roadmap 2035+》（Fraunhofer, 2022），LLZO等固态电解质在全固态电池中单耗量为500-1500吨/GWh，我们取中值1000吨/GWh，且全固态电池不使用隔膜与电解液，其他原材料单耗用量假设参考GGII、鑫椏锂电、iFind，列于下表（11月29日数据）。
 - ③根据清陶能源宜春1GWh固态电池环评报告，其固定资产投资5.5亿元，年均电力消耗7000万kWh以上，工人220人，我们假设工人工资为6万元/年，据此假设我们测算折旧、人工及能源单耗约为0.09元/Wh。

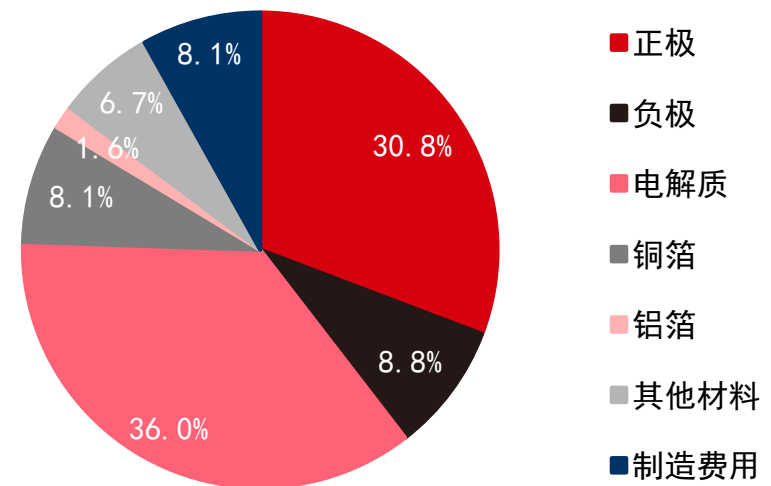
固态电池价值量拆分：材料成本占主导

- 固态电池主要成本以原材料占主导，全固态约比半固态成本高41%。据我们估算：
 - 1) 从理论价格上来看，半固态电池考虑良率90%的情况下成本为0.87元/Wh，全固态电池在相同良率下成本为1.23元/Wh，全固态电池比半固态电池高41%左右，当下实际成本高于理论测算值；
 - 2) 从价值量分布上来看，半固态电池中正极材料占比43.5%，电解质占比5.1%，总体原材料成本占比88.6%，全固态电池正极材料占比30.8%，电解质占比36.0%，总体原材料成本占比91.9%，原材料成本占比较高，电解质材料为成本的主要构成部分。

半固态电池价值量分布（2023）



全固态电池价值量分布（2023）



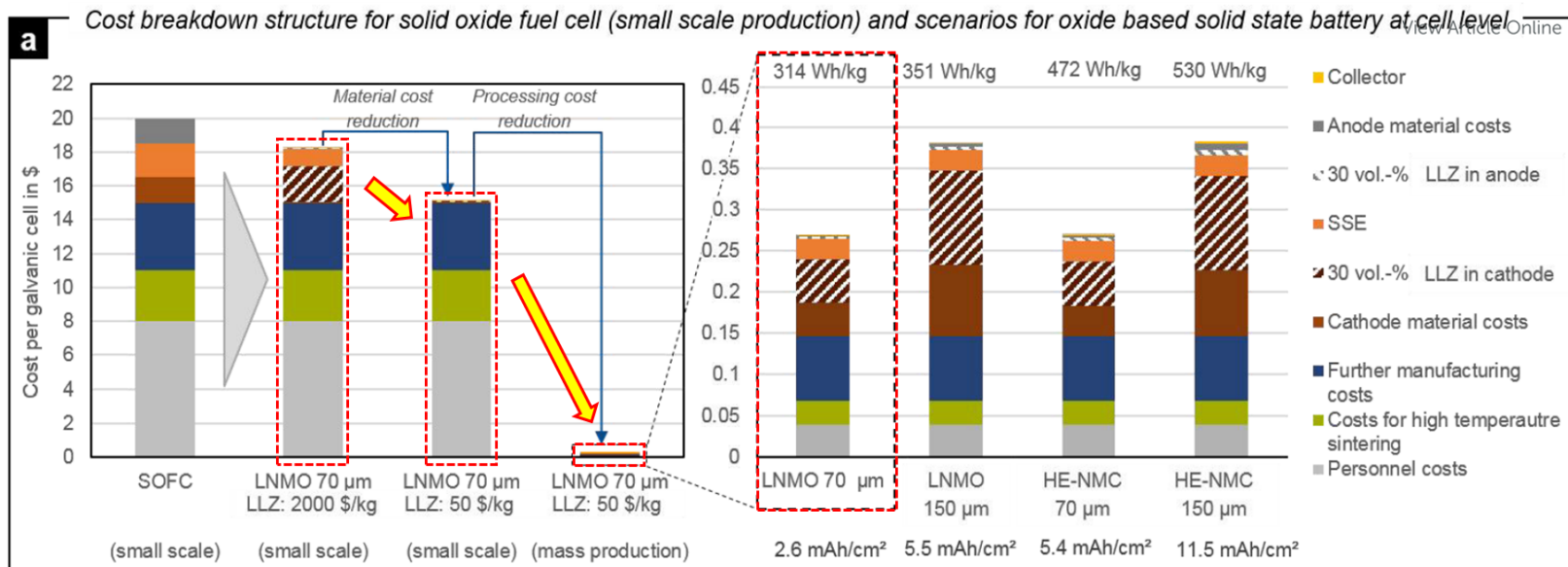
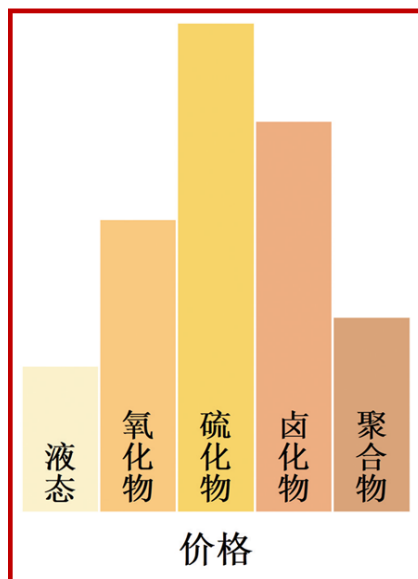
- 固态电池成本、工艺、材料等诸多问题限制其发展与产业化应用。
- 尽管固态电池具备本质安全特性，以及更高的理论能量密度，然而其发展与产业化应用仍然受到多方面因素的限制，如固态电池成本高昂，氧化物电解质加工性能差导致制备困难，部分固态电解质的电导率低下导致倍率性能，相变、电极膨胀、锂枝晶等因素会导致电解质与电极间接触变差，从而增大阻抗、降低循环性能，影响电池的服役性能。
- 我们梳理固态电池目前面临的核心问题主要有：1) 成本居高，经济性差；2) 高电导率和良好加工性能难以兼顾；3) 固态电解质与电极材料之间界面接触差。

固态电池发展面临的问题



- 成本问题，解决思路——半固态先行，规模化拉低材料成本
- 半固态电池因为技术相对成熟，并且更加接近液态锂离子电池，如能实现半固态电池产业化，则随着相应固态电解质产能放量、原材料成本降低，工艺优化，则原材料与生产成本有望降低；
- Joscha Schnell, Frank Tietz, Célestine Singer等在《Prospects on production technologies and manufacturing cost of oxide-based all-solid-state lithium batteries》中以氧化物体系固态电池为例，对产能分别为1 MWh和10 GWh的条件下进行了生产成本测算：量产电池的成本相比于未量产时降低了65倍，具有更理想的价格

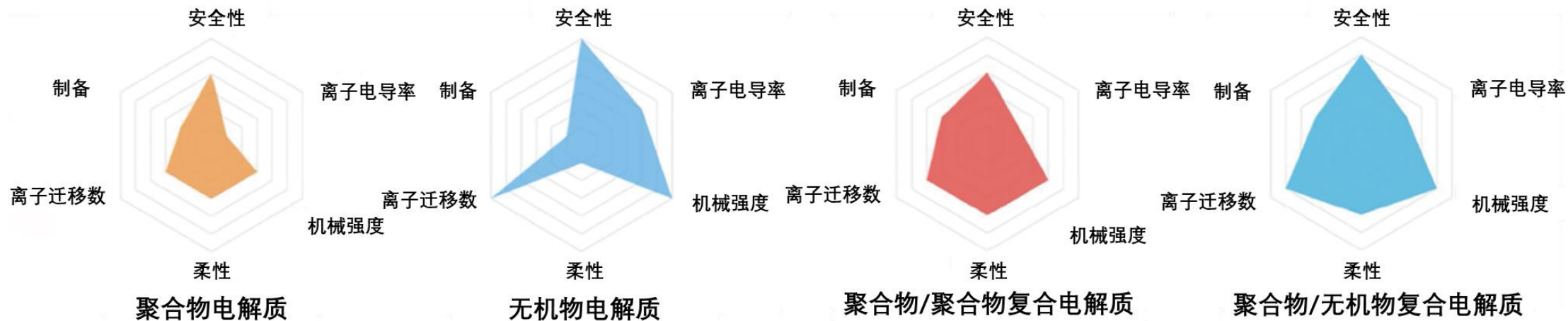
不同电解质价格对比（左）不同产能规模下的氧化物固态电池成本测算（右）



资料来源：《全国固态电池的研究进展与挑战》（周静颖，胡晨吉，郜一蓉等，2023），《Prospects on production technologies and manufacturing cost of oxide-based all-solid-state lithium batteries》（Joscha Schnell, Frank Tietz, Célestine Singer等）（含测算），中信证券研究部

- 高电导率与加工性能难以兼顾，解决思路——复合电解质融合多种材料优势
- 聚合物、氧化物还是硫化物各有优缺点，但是难以兼顾高电导率和良好的加工性能
- 复合材料的思路是将不同种材料结合使用，聚合物/聚合物复合电解质材料，可制备性更强，机械强度与离子电导率均有所提高，对于聚合物/无机物（氧化物/硫化物）复合电解质材料，其结合了聚合物与氧化物/硫化物的特性，实现了高强度与较好的柔性、电导率和易制备等多重优势的综合。

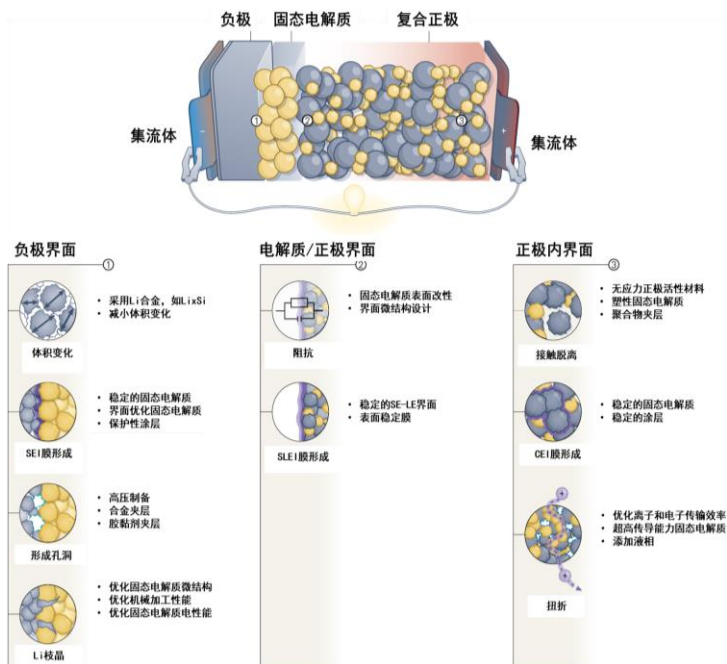
单一与复合固态电解质材料的性能雷达图



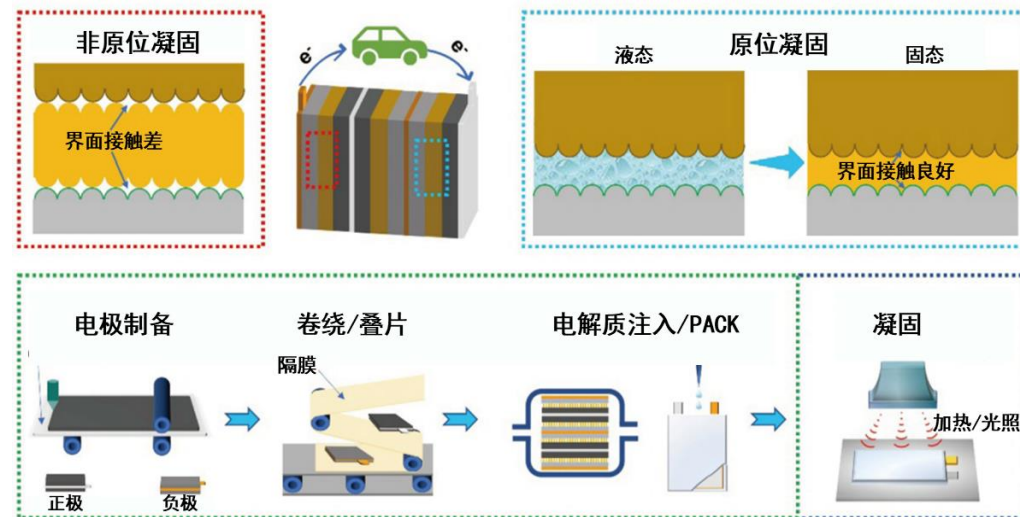
资料来源：《Recent advancements in polymer-based composite electrolytes for rechargeable lithium batteries》（Shuang-Jie Tan, Xian-Xiang Zeng, Qiang Ma等，2018），中信证券研究部

- 电解质与正负极界面接触差引发性能问题，解决思路——界面工程与改性，通过材料与工艺两个维度实现改善
- 1) 固态电解质与负极的界面问题；2) 固态电解质与复合正极的界面问题；3) 复合正极内部的正极活性物质与固态电解质之间的微观界面问题；
- 界面工程与改性，通过材料与工艺两个维度实现改善。1) 材料维度：选择体积变化更小的Li金属负极和包覆复合正极。2) 工艺维度：宏观界面问题，通过增大制备过程中的压力，以消除孔隙、增强界面接触，或通过原位凝固的方式，向固态电池中注入液体，在封装完成后，通过加热等形式让液体凝固，从而增强固态电解质与电极之间的界面接触。

固态电池存在的界面问题和潜在解决方案



原位凝固工艺优化固态电解质与电极的界面接触特性



CONTENTS

目录

1. 固态电池：突破安全与能量密度瓶颈
2. 产业化：半固态元年将至，产业化齐头并进
3. 锂电池材料体系的影响：正负极材料高性能化
4. 产业链梳理
5. 风险因素
6. 投资建议

区域：技术各有侧重，产业化齐头并进

- **日韩集中于硫化物全固态电池方向，固态电池专利方面居垄断地位。**日韩具有大量锂离子电池厂商，松下、LG新能源、三星等，汽车头部企业，丰田、本田、日产、现代等，具备雄厚研发基础，主要集中于硫化物全固态电池的研发；
- **欧美各企业路线各异，头部车企与初创固态电池企业强强联合。**欧美老牌车企投资新兴固态电池厂商Quantumscape（氧化物半固态电池）和Solid power（硫化物全固态）等联合开发固态电池及产业化装车；
- **中国固态电池厂与车企合作密切，集中氧化物半固态电池，量产及装车进程较快。**国内侧重方向主要为氧化物路线，据各公司（比亚迪宁德时代、赣锋钾业、孚能科技、蜂巢能源等钾电巨头以及清陶能源、卫蓝新能源、辉能科技等固态电池企业）官网或官微等披露，国内固态电池已有/在建/规划产能达数百GWh，清陶能源将在2024年装车上汽智己，国内总体产业化进展较快。

全球各个国家地区固态电池产业化路线及特点

国家地区	主要技术路线	产业化优势
日韩	硫化物全固态电池为主	<ul style="list-style-type: none"> ●传统车企与电池厂研发基础雄厚 ●固态电池相关专利居于垄断地位
欧美	多种路线并行	<ul style="list-style-type: none"> ●头部车企与电池厂商强强联合 ●法国Bolloré及其子公司Blue Solutions全球最早实现聚合物固态电池商业化装车
中国	氧化物半固态电池为主	<ul style="list-style-type: none"> ●已有/规划产能达数百GWh ●半固态电池量产装车进展较快

车企：以自主研发或合作方式推进装车，半固态陆续装车

- 布局固态电池技术的企业主要包括各国传统燃油车及新能源汽车巨头。日本丰田、本田、日产，韩国现代，自行布局固态电池技术，奔驰参股美国固态电池公司Factorial Energy、投资中国固态电池企业辉能科技，宝马与福特共同投资Solid Power，合作开发固态电池并致力于量产装车，大众投资美国固态电池企业QuantumScape。

布局固态电池技术的相关车企

公司	国家	产业化情况	技术路线	关键时间节点	现有+规划产能	电池类型
丰田	日本	<ul style="list-style-type: none"> ●2020年夏季，全球首次配备全固态电池的车辆获得车牌，并进行了行驶测试 ●最早将于2027年向市场投放配备全固态电池的纯电动汽车 	硫化物	2027~2028年实现实用化	—	全固态电池
本田	日本	<ul style="list-style-type: none"> ●10年基础研究积累，已有测试模型开发目标 ●投资430亿日元于2024年春季启动试制量产，应用于2025年至2030年上市的车型中 	硫化物	2024年试制量产 20年代后半期装车	—	全固态电池
日产	日本	<ul style="list-style-type: none"> ●2024财年在日本横滨建造试点工厂 ●2028财年电池成本降至每千瓦时75美元（合人民币477元），推出搭载日产独创全固态电池电动车型 	硫化物	2024年建试点工厂 2028财年装车	—	全固态电池
现代	韩国	<ul style="list-style-type: none"> ●2017年开始自主研发固态电池 ●2018年投资Solid Power ●2025年试生产配备固态电池的电动车 ●2027年部分批量生产 ●2030年左右实现全面批量生产 	聚合物	2025年试装车 2030年批量生产	—	全固态
奔驰	德国	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年11月宣布参股美国固态电池公司Factorial Energy，并与其以及联合开发，计划将其应用于小批量生产车辆 ●2022年1月宣布对辉能科技投资及联合开发，旨在应用于量产车型 ●辉能2023年发布100%硅负极LLCB固态电池 	聚合物/氧化物	与Factorial Energy合作，2026年前量产 与辉能科技合作，2025年后量产	—	半固态/全固态
宝马	德国	<ul style="list-style-type: none"> ●与Solid Power合作研发固态电池 ●2023年在CMCC采用Solid Power的全固态电池中试生产线 ●Solid Power计划在2023年向宝马集团交付用于测试的全尺寸汽车电芯 ●第一辆采用全固态电池技术的BMW原型车计划在2025年前问世 ●2030年之前将实现全固态电池的量产 	硫化物	2023全尺寸汽车电芯 2025年BMW原型车问世 2030年前实现全固态电池量产	—	全固态
大众	德国	<ul style="list-style-type: none"> ●2019年投资QuantumScape ●QuantumScape2024-2025年量产 	氧化物	2024-2025年量产	—	半固态
福特	美国	<ul style="list-style-type: none"> ●与宝马共同投资Solidpower 	硫化物	2026年后量产	—	全固态

资料来源：日经中文网（含丰田产业化时点），本田官网（含本田产业化时点），日产官网（含日产产业化时点），中国质量新闻网（含现代产业化时点），MARKLINES（含奔驰、大众、福特产业化时点），宝马公司公告（含宝马产业化时点），OFweek，卫蓝新能源微信公众号（含蔚来装车时点），每经新闻，中证网（含赛力斯装车时点），据上汽集团投资者互动平台（含上汽装车时点），中信证券研究部

车企：以自主研发或合作方式推进装车，半固态陆续装车

- 布局固态电池技术的企业主要包括各国传统燃油车及新能源汽车巨头。中国新能源汽车巨头比亚迪自研布局固态电池技术专利，包括氧化物与硫化物路线，已完成生产，可进行装车试验，蔚来、赛力斯、上汽等企业，与固态电池厂商合作致力于量产装车，如蔚来与卫蓝新能源，赛力斯与赣锋锂电，上汽与清陶能源等。

布局固态电池技术的相关车企（续）

公司	国家	产业化情况	技术路线	关键时间节点	现有+规划产能	电池类型
比亚迪	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●2016年起自研固态电池，发布多项固态电池相关专利 ●氧化物固态锂电池，以及硫化物固态锂电池均已完成生产，可进行装车试验 	氧化物/硫化物	——	——	全固态
蔚来	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●卫蓝新能源在2023年6月交付半固态电池包 ●150kWh半固态电池包已装车 	氧化物	——	——	半固态
赛力斯	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●与赣锋锂电合作，预计2023年装车赛力斯纯电SUV 	氧化物	2023年装车	——	半固态
上汽	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●2023年5月31日，与清陶能源签署战略合作协议，成为其最大投资者，并成立合资公司 ●预计2024年在上汽智己车型完成固态电池装车 	氧化物	2024年装车	——	半固态

电池厂：格局未定，中企规划领先

- 日韩以传统电池巨头引领固态电池产业化进程
- 欧美以新兴固态电池公司为主
- 中国传统电池企业和固态电池新势力共同发力

固态电池产业化进程（电池端）

公司	国家	产业化情况	技术路线	关键时间节点	现有+规划产能	电池类型
松下	日本	●与丰田合作成立合资企业Prime Planet Energy & Solutions开发固态电池	——	——	——	——
富士通（FDK）	日本	●2017年开发出高能量密度全固态电池正极材料 ●2023年内量产全固态电池，应用于工厂设备	氧化物	2023年内量产	满产30万件/月	全固态
日立造船	日本	●2021年开发出1000mAh全固态电池（世界最大） ●2022年开始与宇宙航空研究开发机构共同证实了全固态锂电池“AS-LiB”电池在全球首次实现了宇宙空间充放电性能 ●2023年开发出容量5000mAh的全固态锂电池“AS-LiB”	硫化物	——	——	全固态
三洋化成工业（APB）	日本	●2021年在福井县越前市建立了世界首家“全树脂电池”量产工厂	聚合物	——	——	全固态

资料来源：green car reports（网站），富士通中国官网（含富士通产业化时点），DIGITIMES，国家科技部官网，亚洲化学产业信息，人民网，Marklines（含村田制作所批量生产时点），2023年世界动力电池大会（孙权男，含LG新能源产业化时点），三星官网（含三星SDI规划时点），汽车测试网（含Quantum Scape产业化时点），OFweek（含BlueSolutions、辉能科技产业化时点），宝马官网（含Solid Power交付及产业化时点），中国石化新闻网，宁德时代官方微信公众号（含宁德时代凝聚态电池量产时点），第二届新能源汽车及动力电池（CIBF2021深圳）国际交流会，国轩高科公司公告，孚能科技投资者互动平台，常州市人民政府官网，中国经济网（含赣锋锂电装车规划），上海证券报（含清陶能源装车及产业化时点），昆山市人民政府（含清陶能源装车及产业化时点），卫蓝新能源公司官网，电池网，中国粉体网（含卫蓝新能源产能规划），中国储能网（含恩力动力产业化时点），高乐股份公司公告（含高乐股份产业化时点），德尔股份全景网投资者关系平台回复，红豆股份公司公告，新华网，富鑫产业科技微信公众号，金龙羽公司公告，中信证券研究部

电池厂：格局未定，中企规划领先

固态电池产业化进程（电池端）（续）

公司	国家	产业化情况	技术路线	关键时间节点	现有+规划产能	电池类型
村田制作所	日本	<ul style="list-style-type: none"> ●2022年上半年小批量生产，目标月产10万块电池 ●2023年，野州事业所小批量生产，郡山事业所量产 	氧化物	2022年小批量生产	120万块/年	全固态
Maxell	日本	<ul style="list-style-type: none"> ●2023年全球首次面向工业设备量产大容量全固态电池 ●将在京都事业所投资20亿日元建立产线，目标是2030年实现300亿日元销售额 	硫化物	2030年实现300亿日元销售额	——	全固态
LG新能源	韩国	<ul style="list-style-type: none"> ●2026年前实现聚合物半固态电池商业化 ●同步研制基于硫化物的全固态电池 	硫化物/聚合物	2026年前半固态商业化	——	全固态/半固态
三星SDI	韩国	<ul style="list-style-type: none"> ●2022年开始建造固态电池试生产线“S-Line” ●2023年年底完成所有固态电池的试验生产线并开始原型生产 	硫化物	——	——	全固态
QuantumScape	美国	<ul style="list-style-type: none"> ●超过200项固态电池专利技术 ●2023年开始试产部分固态电池 ●2025年实现大规模量产 	氧化物	2023年开始试产部分固态电池 2025年实现大规模量产	——	半固态
Solid Power	美国	<ul style="list-style-type: none"> ●与宝马、福特、现代等合作研发固态电池 ●2023年在宝马CMCC建设全固态电池中试生产线 ●2023年向宝马集团交付用于测试的全尺寸汽车电芯 ●2028年电解质材料产能增至每年4万吨，相当于为80万辆电动汽车生产固态电池 	硫化物	2023年向宝马交付测试用全尺寸汽车电芯 2028年电解质产能增至4万吨	4万吨电解质	全固态

资料来源：green car reports（网站），富士通中国官网（含富士通产业化时点），DIGITIMES，国家科技部官网，亚洲化学产业信息，人民网，Marklines（含村田制作所批量生产时点），2023年世界动力电池大会（孙权男，含LG新能源产业化时点），三星官网（含三星SDI规划时点），汽车测试网（含Quantum Scape产业化时点），OFweek（含BlueSolutions、辉能科技产业化时点），宝马官网（含Solid Power交付及产业化时点），中国石化新闻网，宁德时代官方微信公众号（含宁德时代凝聚态电池量产时点），第二届新能源汽车及动力电池（CIBF2021深圳）国际交流会，国轩高科公司公告，孚能科技投资者互动平台，常州市人民政府官网，中国经济网（含赣锋锂电装车规划），上海证券报（含清陶能源装车及产业化时点），昆山市人民政府（含清陶能源装车及产业化时点），卫蓝新能源公司官网，电池网，中国粉体网（含卫蓝新能源产能规划），中国储能网（含恩力动力产业化时点），高乐股份公司公告（含高乐股份产业化时点），德尔股份全景网投资者关系平台回复，红豆股份公司公告，新华网，富鑫产业科技微信公众号，金龙羽公司公告，中信证券研究部

电池厂：格局未定，中企规划领先

固态电池产业化进程（电池端）（续）

公司	国家	产业化情况	技术路线	关键时间节点	现有+规划产能	电池类型
Bolloré	法国	<ul style="list-style-type: none"> ●全球最早实现聚合物电解质固态电池商业化装车 ●累计投入3000辆搭载30kWh固态电池的电动汽车 	聚合物	——	——	全固态
BlueSolutions (Bolloré子公司)	法国	<ul style="list-style-type: none"> ●2018年起为戴姆勒大巴提供固态电池（需加热使用） ●已开发出能够在室温下应用的全固态电池。预计2026年交付给某主机厂 	聚合物	——	1.5GWh	全固态
宁德时代	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年1月公开固态电池相关专利 ●2021年5月表示已可以做出固态电池样品 ●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 ●2023年7月，与商飞合资设立商飞时代，拟将凝聚态电池用于载人航空 	凝胶/硫化物	2023年内实现凝聚态电池量产	——	半固态
亿纬锂能	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●半固态电池已完成设计定型，并装车验证中 ●第一代产品是聚合物类固态电池的研究，目前已初步实现室温下稳定运行，将在微型电子产品中实现应用 ●第二代产品将进一步开发固态化界面技术，实现在高端消费类产品的应用 ●第三代产品，继续提升界面的稳定性，最终实现动力储能市场的应用 	聚合物	——	——	半固态
国轩高科	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●半固态电池，单体能量密度360Wh/kg，配套车型电池包电量160KWh，续航里程超1000km ●400Wh/Kg的三元半固态电池目前在公司实验室已有原型样品 ●2022年底小批装车 	氧化物	——	——	半固态
孚能科技	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●自主研发的第一代半固态电池已顺利量产装车，电池的安全性能和单体电芯能量密度得到提升 ●将加快下一代电池产品的研发及产业化进程，逐步提升单体电芯的能量密度 	——	——	——	半固态

资料来源：green car reports（网站），富士通中国官网（含富士通产业化时点），DIGITIMES，国家科技部官网，亚洲化学产业信息，人民网，Marklines（含村田制作所批量生产时点），2023年世界动力电池大会（孙权男，含LG新能源产业化时点），三星官网（含三星SDI规划时点），汽车测试网（含Quantum Scape产业化时点），OFweek（含BlueSolutions、辉能科技产业化时点），宝马官网（含Solid Power交付及产业化时点），中国石化新闻网，宁德时代官方微信公众号（含宁德时代凝聚态电池量产时点），第二届新能源汽车及动力电池（CIBF2021深圳）国际交流会，国轩高科公司公告，孚能科技投资者互动平台，常州市人民政府官网，中国经济网（含赣锋锂电装车规划），上海证券报（含清陶能源装车及产业化时点），昆山市人民政府（含清陶能源装车及产业化时点），卫蓝新能源公司官网，电池网，中国粉体网（含卫蓝新能源产能规划），中国储能网（含恩力动力产业化时点），高乐股份公司公告（含高乐股份产业化时点），德尔股份全景网投资者关系平台回复，红豆股份公司公告，新华网，富鑫产业科技微信公众号，金龙羽公司公告，中信证券研究部

电池厂：格局未定，中企规划领先

固态电池产业化进程（电池端）（续）

公司	国家	产业化情况	技术路线	关键时间节点	现有+规划产能	电池类型
蜂巢能源	中国	●2022年7月，我国首批成功研发20Ah级硫系全固态原型电芯，量产后，新能源汽车可实现续航里程1000公里以上	硫化物	——	——	全固态
赣锋锂电	中国	●2016年，赣锋锂电设立固态电池研发中心 ●2021年已装车东风E70电动车 ●2023年江西新余已具备2GWh固态电池产能 ●2023年供应赛力斯固态纯电SUV即将上市	氧化物	2023年装车赛力斯	2 GWh	半固态
清陶能源	中国	●2018年在昆山建成国内首条固态锂电池生产线 ●2020年建成全球首条固态动力锂电池规模化量产线 ●现有宜春1 GWh产能，昆山10GWh固态电池项目已经开工 ●2023年2月投资100亿元在成都建设15 GWh半固态电池产线，首条生产线设计产能1GWh，正在调试，近期下线 ●2023年5月与上汽签署协议，推动2025年实现固态电池技术“10万辆级”大规模量产落地 ●2024年应用于上汽智己车型中，续航或达千公里	氧化物	2024年装车上汽智己	27 GWh	半固态
辉能科技	中国台湾	●目前在台湾桃园G1工厂年产能达40GWh，以消费性电子和穿戴式电子产品为主 ●G2工厂将生产固态动力电池，2023年底投产首条大型示范线 ●计划2023年投资52亿欧元在法国建设48GWh固态电池工厂，2024年开建，2026年底开始量产	氧化物	2023	88 GWh	半固态
卫蓝新能源	中国	●2022年11月正式下线第一颗固态动力电芯 ●2022年在山东淄博建设产能100 GWh固态电池项目，其中一期102亿元，20GWh ●2023年6月把360Wh/kg半固态电池交付蔚来 ●2023年7月湖州二期项目奠基，总投资109亿元，年产20GWh，湖州基地项目一期已达产	氧化物	2023	120 GWh	半固态

资料来源：green car reports（网站），富士通中国官网（含富士通产业化时点），DIGITIMES，国家科技部官网，亚洲化学产业信息，人民网，Marklines（含村田制作所批量生产时点），2023年世界动力电池大会（孙权男，含LG新能源产业化时点），三星官网（含三星SDI规划时点），汽车测试网（含Quantum Scape产业化时点），OFweek（含BlueSolutions、辉能科技产业化时点），宝马官网（含Solid Power交付及产业化时点），中国石化新闻网，宁德时代官方微信公众号（含宁德时代凝聚态电池量产时点），第二届新能源汽车及动力电池（CIBF2021深圳）国际交流会，国轩高科公司公告，孚能科技投资者互动平台，常州市人民政府官网，中国经济网（含赣锋锂电装车规划），上海证券报（含清陶能源装车及产业化时点），昆山市人民政府（含清陶能源装车及产业化时点），卫蓝新能源公司官网，电池网，中国粉体网（含卫蓝新能源产能规划），中国储能网（含恩力动力产业化时点），高乐股份公司公告（含高乐股份产业化时点），德尔股份全景网投资者关系平台回复，红豆股份公司公告，新华网，富鑫产业科技微信公众号，金龙羽公司公告，中信证券研究部

电池厂：格局未定，中企规划领先

固态电池产业化进程（电池端）（续）

公司	国家	产业化情况	技术路线	关键时间节点	现有+规划产能	电池类型
恩力动力	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年底第一代半固态产品中试完成 ●已成功制造出1.2Ah/3.6Ah/10Ah级软包型和多种圆柱型半固态电池能量密度520Wh/kg ●2022年半固态电池进入中试，新能源车企业A样阶段，全固态硫化物正在开发 ●2024年完成GWh级产线建设 ●2030年前陆续实现200+GWh的全球产业基地布局 	硫化物	2024年完成GWh级产线建设 2030年前陆续实现200+GWh的全球产业基地布局	200 GWh	半固态/全固态
高乐股份（股东华统集团协助）	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●2023年4月宣布拟于义乌投资建设2GWh纳米固态电池项目，投资总额约20亿元，2024年试生产 	氧化物	2024年试生产 2026年达产	2 GWh	半固态
德尔股份	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●2018年开始布局全固态电池等产品 ●2022年已完成样件，进行客户端测试 ●2023年正在推进固态电池产品的全面测试的相关研发工作 	氧化物	——	——	全固态
红豆股份	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●控股子公司红日风能与超壹动力共同建设3GW大功率固态锂电池智能制造生产线 	——	——	2 GWh	半固态
太蓝新能源	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●2023年完成数亿元Pre-B轮融资 ●太蓝新能源第二代准固态电池液态电解质含量降至5%以下，能量密度400Wh/kg-500Wh/kg ●重庆二期2GWh工厂于2023年11月21日开工投产 ●安徽淮南10GWh动力电池产业园区项目建设中 	氧化物	——	12 GWh	准固态
江西巨电	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●年产10GWh固态锂电池及PACK制造生产一期项目开工，总投资100亿元，固投65亿元，一期项目总产能为年产2GWh单体大容量固体锂电池及2GWh PACK， 	聚合物	——	10 GWh	半固态
金龙羽	中国	<ul style="list-style-type: none"> ●2022年在重庆建立了固态电池研发中心 ●固态电解质和碳硅负极材料中试、小试产品已经生产，目前正在测试相关指标以及改进工艺和材料性能研究 ●固态电芯中试线已经完成设备测试，计划开展下一步的中试研发工作 	氧化物	——	——	半固态

资料来源：green car reports（网站），富士通中国官网（含富士通产业化时点），DIGITIMES，国家科技部官网，亚洲化学产业信息，人民网，Marklines（含村田制作所批量生产时点），2023年世界动力电池大会（孙权男，含LG新能源产业化时点），三星官网（含三星SDI规划时点），汽车测试网（含Quantum Scape产业化时点），OFweek（含BlueSolutions、辉能科技产业化时点），宝马官网（含Solid Power交付及产业化时点），中国石化新闻网，宁德时代官方微信公众账号（含宁德时代凝聚态电池量产时点），第二届新能源汽车及动力电池（CIBF2021深圳）国际交流会，国轩高科公司公告，孚能科技投资者互动平台，常州市人民政府官网，中国经济网（含赣锋锂电装车规划），上海证券报（含清陶能源装车及产业化时点），昆山市人民政府（含清陶能源装车及产业化时点），卫蓝新能源公司官网，电池网，中国粉体网（含卫蓝新能源产能规划），中国28储能网（含恩力动力产业化时点），高乐股份公司公告（含高乐股份产业化时点），德尔股份全景网投资者关系平台回复，红豆股份公司公告，新华网，富鑫产业科技微信公众号，金龙羽公司公告，中信证券研究部

成本可行性：半固态理论成本提升有限，只待规模起量

■ GGII测算，半固态电池与液态锂离子电池成本差异不大

- 经GGII计算，半固态电池与液态电池BOM成本差值小于0.1元/Wh，叠加考虑设备产线建设及折旧成本后，理论上总体制造成本差仍小于0.1元/Wh。

半固态电池与液态锂离子电池成本对比

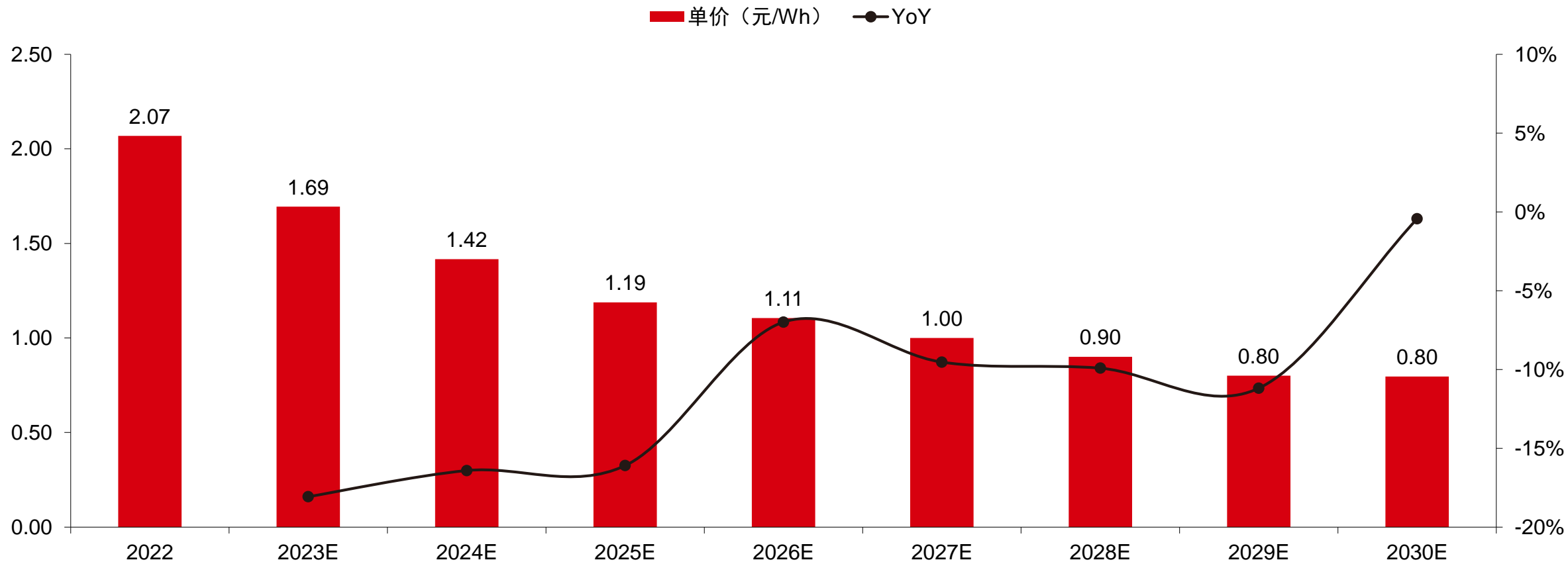
材料	半固态电池	液态锂电池
正极材料（高镍三元）		1200-1500吨
负极材料（碳硅负极）		500-800吨
电解质/电解液	电解液400-600吨；电解质50-100吨	电解液800-1100吨
湿法隔膜用量	1400-1800万平米	1400-1800万平米
导电剂（CNT）	70-120吨	20-30吨
BOM成本	半固态BOM-液态BOM<0.1元/Wh	
设备成本	产线兼容性高（超90%），设备折旧成本差异<0.005元/Wh	
理论总成本	半固态-液态<0.1元/Wh	

资料来源：GGII测算，中信证券研究部注：假设1）假设电解质成本在30-50万元/吨；2）假设液态锂电池、半固态电池良率均为93-95%

成本可行性：半固态理论成本提升有限，只待规模起量

- 固态电池价格持续降低，中商产业研究院预测2022年至2030年约降62%
 - 我国固态电池成本价格将从2022年的2.07元/Wh降低至2030年的0.8元/Wh，降幅达到62%。

2022-2030年国内固态电池成本价格



产业化时间表：半固态临近装车，全固态尚需等待

- 装车应用方面：半固态电池元年将至，蔚来、宝马等陆续获得固态电池交付
- 全固态电池发展仍需时日，行业专家预计产业化在2030年前后
 - 根据我们梳理的全球各家固态电池厂商规划情况，目前已有的产能或较为成熟的产能规划，除富士通、村田的小规模量产，法国BlueSolutions的聚合物固态电池，Solid Power向宝马交付的A样为全固态电池外，其他的已有、在建和规划中产能均为半固态电池产能，全固态电池的产业化应用仍需时日

固态电池装车应用情况

车企	车型	装车进展	固态电池厂商	电池类型
蔚来	ET7、全新ES6、ES7等	2023年6月30日已完成交付，蔚来已更新用户手册	卫蓝新能源	半固态电池 360kWh/kg
宝马	样车	2023年交付A样	Solid Power	全固态电池
上汽	智己	宣布将于2024年装车	清陶能源	半固态电池

行业专家对全固态电池产业化时间的观点

姓名	身份	发表观点场合	发表时间	预计产业化时间
欧阳明高	中国科学院院士、清华大学教授	第八届动力电池应用国际峰会（2023年11月）	2023年	2030年
张久俊	加拿大国家工程院院士、加拿大皇家科学院院士	2023中国（新余）锂电新能源材料科技大会（2023年5月）	2023年	5年困难，10年内没有问题
肖成伟	中国电子科技集团第十八研究所研究员	中国电动汽车百人会论坛（2023年4月）	2023年	2030年前

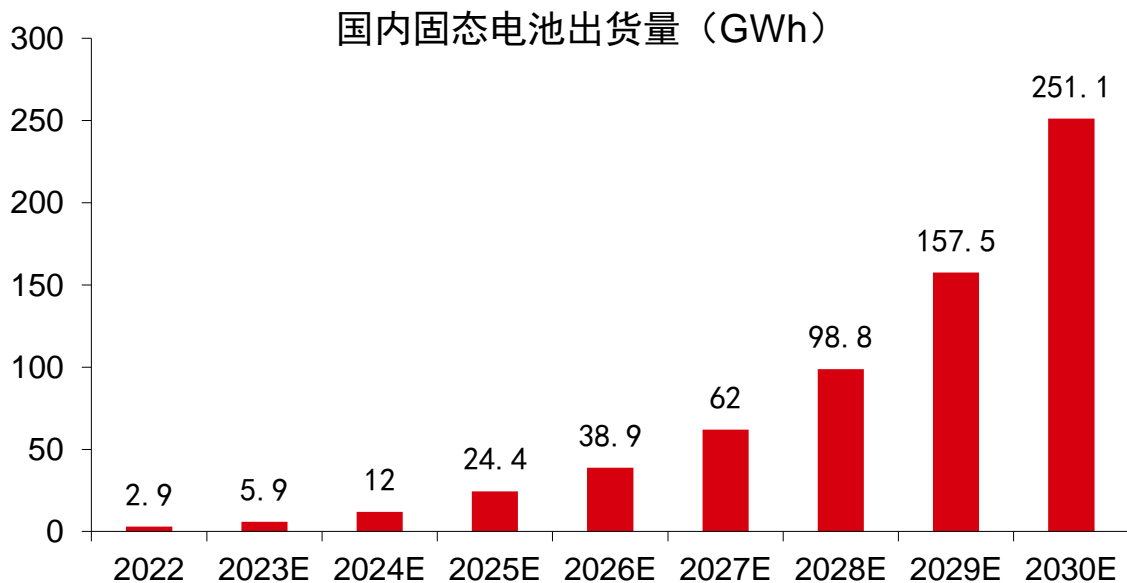
产业化时间表：半固态临近装车，全固态尚需等待

- 根据报告《Solid-State Battery Roadmap 2035+》（Fraunhofer, 2022），全固态电池发展路径梳理如下：
- 1、政策目标 2、全固态电池市场空间 3、固态电池的应用 4、固态电芯组合使用注意事项 5、固态电池材料体系与性能指标演变

固态电池发展路径图								
	2021/22	短期	2025	中期	2030	长期	2035	远期
政策目标			欧盟目标：第三代 350-400Wh/kg, 750-100 Wh/l 电池包成本 < 100 €/kWh		欧盟目标：第四代 400-500+Wh/kg, 800-1000+ Wh/l 电池包成本 < 75 €/kWh			
LIB市场	400GWh		0.5-2TWh		1-6TWh		2-8TWh	
SSB市场			0-1GWh		5-10GWh		10-20GWh	
			0-5GWh		5-10GWh		20-50GWh	
	<2GWh		2-15Wh		5-30GWh		10-50GWh	
SSB应用					工业重型设备&极端环境设备			
					乘用车			
					飞行器(无人机)			航空客运
					乘用车		卡车	
	公共汽车	工业应用, 例如AGV	储能		乘用车和卡车			
电芯组合使用	需考虑事故情况下高活性锂金属以及硫化物形成H ₂ S等安全问题							
	高体积变化补偿 → 较高的外部压力（氧化物/硫化物）/较小的外部压力（聚合物）							
	聚合物电池需加热至50-80° C使用							
LIB关键指标	能量密度： 230-300Wh/kg, 600-750Wh/l	能量密度： 250-330Wh/kg, 650-850Wh/l	能量密度： 310-350Wh/kg, 750-950Wh/l	能量密度： 320-360Wh/kg, 800-960Wh/l				
	价格：90-175 €/kWh	价格：60-130 €/kWh	价格：45-105 €/kWh	价格：45-90 €/kWh				
固态电池材料体系与性能指标	锂金属/氧化物/凝胶&三元复合正极 能量密度：315Wh/kg, 1020Wh/l		锂金属/氧化物/硫化物 &三元复合正极		350Wh/kg, 1140Wh/l			
	碳硅/硫化物/硫化物&三元复合正极 能量密度：275Wh/kg, 650Wh/l				325Wh/kg, 835Wh/l			
	锂金属/硫化物/硫化物&三元复合正极 能量密度：340Wh/kg, 770Wh/l				410Wh/kg, 1150Wh/l			
	锂金属/聚合物/聚合物&磷酸铁锂复合正极 240Wh/kg, 360Wh/l		锂金属/聚合物/聚合物&三元复合正极 能量密度：440Wh/kg, 900Wh/l		500Wh/kg, 1150Wh/l			

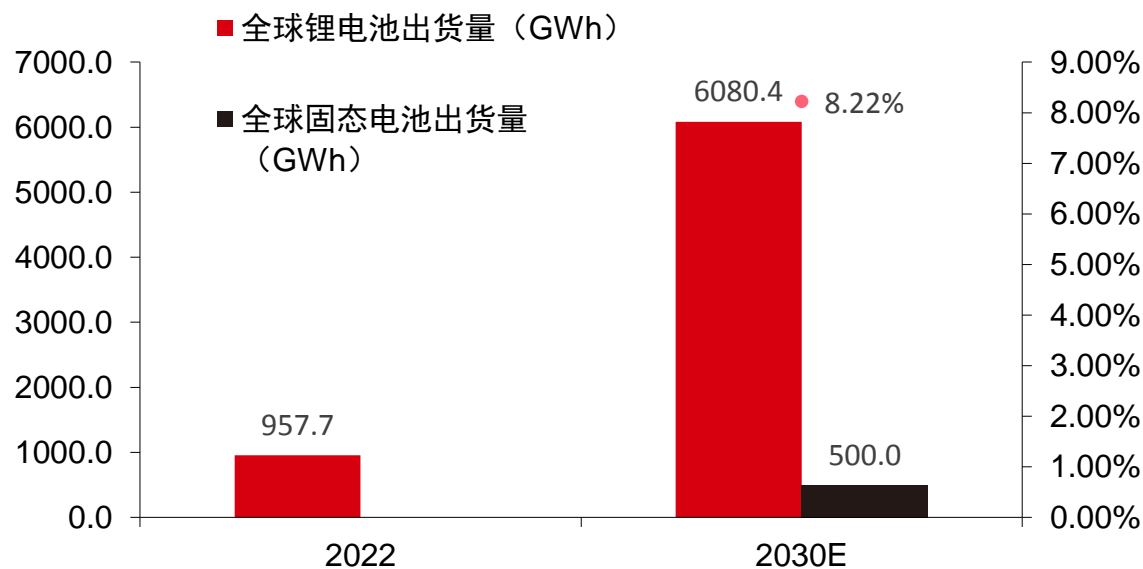
- 中商产业研究院预计2030年国内固态电池出货量达250GWh，全球渗透率8.22%
 - 预计国内2022/2025/2030年半固态+全固态电池出货量2.9/24.4/251.1GWh，对应期间CAGR为75%。中商产业研究院统计、预测，国内2022/25/30年固态电池出货量2.90/24.4/251.1GWh，折合2022-2030年将增长接近86倍，对应期间CAGR为75%，增长迅速。
 - 2030年全球固态电池渗透率约为8.22%，全固态电池占比较小。EVTank预测全球2022/30年锂离子电池出货量分别为957.7/6080.4 GWh；中研普华产业研究院预测，2030年全球固态电池出货量达500GWh，对应渗透率为8.22%，对应液态锂离子电池占比为91.8%。

2022-2030年国内固态电池（半固态+全固态）出货预测（GWh）



资料来源：中商产业研究院（含预测），中信证券研究部

2022/25/30年全球锂离子电池及固态电池出货量和渗透率预测



资料来源：中研普华产业研究院（含全球固态电池出货量预测），EVTank（含全球锂电池出货量预测），中信证券研究部

CONTENTS

目录

1. 固态电池：突破安全与能量密度瓶颈
2. 产业化：半固态元年将至，产业化齐头并进
3. 锂电池材料体系的影响：正负极材料高性能化
4. 产业链梳理
5. 风险因素
6. 投资建议

固态电池可选材料体系丰富

- 固态电池与液态锂离子电池主要区别在于固态电解质代替隔膜与电解液。根据Solid-State Battery Roadmap 2035+ (Fraunhofer, 2022)，分环节来看，固态电池可选材料体系较为丰富，电解质方面，固态电解质可选氧化物、聚合物、硫化物等体系，对于半固态电池还可添加液态电解质。正极材料方面，除磷酸铁锂和三元锂电池，可选硫正极与高压无钴尖晶石（富锂锰基）。负极材料方面，除石墨负极外，固态电池还可使用锂金属、硅、钛酸锂等负极材料。

固态电池的正负极与电解质的可选材料体系					
	负极活性材料	负极/电解质复合体	电解质	正极/电解质复合体	正极活性材料
负极集流体	锂金属负极	固态	固态	固态	磷酸铁锂
	硅负极	氧化物	氧化物	氧化物	NCM三元锂
	石墨负极	硫化物	硫化物	硫化物	NCA三元锂
	钛酸锂负极	聚合物	聚合物	聚合物	硫正极
		液态		液态	高压正极
					无钴尖晶石
					正极集流体

资料来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》（Fraunhofer, 2022），中信证券研究部

正极材料演变：高镍三元与高电压富锂锰基将成为优选

- 据GGII，全固态与半固态电池相比液态锂离子电池安全性能更佳，高镍三元更能够发挥出性能优势；GGII预测，2030年国内固态电池对高镍材料需求将超40万吨；此外，对于全固态电池，由于固态电解质的电压耐受能力更高，因此可选择具有更高电压平台的正极材料。据GGII，磷酸铁锂电压平台3.2V，三元锂达到3.7V，而富锂锰基正极材料的电压平台最高可达到4.6V，同时其具有更高的克容量，更低的成本，因此我们认为富锂锰基正极材料是未来全固态电池正极材料的理想选择。

富锂锰基、磷酸铁锂与三元锂正极材料对比

材料类别	富锂锰基	磷酸铁锂	三元锂
克容量 (mAh/g, 0.1C)	130-320	155-163	150-220
电压平台 (V)	3.7-4.6	3.2	3.7
压实密度 (g/cm ³)	2.9-3.1	2.2-2.7	3.4-3.7
循环寿命 (次)	1000-6000	3000-12000	1000-3000
倍率性能	较低	一般	较好
成本	低	较低	高

资料来源：GGII，中信证券研究部

■ 1) 半固态电池方面，碳硅负极更加成熟。

据GGII，由于半固态电池与液态锂离子电池相近，成熟度相对较高，目前锂电池中硅碳负极体系成熟，可沿用液态锂离子电池的成熟产业链与技术配套，因此半固态电池产业化将带动硅碳负极应用；

■ 2) 全固态电池方面，金属锂负极更有前景。

据国家纳米科学中心，锂金属负极理论克容量为3860mAh/g，相当于商业化锂电池石墨负极的十倍，然而在液态锂离子电池中，其表面易形成锂枝晶，导致隔膜刺穿形成短路与热失控，这是制约其实际应用的重要原因。而在全固态电池中，因其不含可燃电解液、固态电解质机械性能较强，电池安全性能得到大幅提升，对易形成锂枝晶的锂金属负极有更高的包容度。因此，我们认为在固态电池的本质安全前提下，通过对负极与电解质界面接触问题的优化解决，锂金属负极在固态电池中将有广阔的应用前景。

导电材料演变：碳纳米管导电剂用量增加

- 据捷邦科技在2023年2月13日在全景网投资者关系平台上对投资者的回复，固态电池中，除了锂负极导电能力良好外，其余大部分正负极材料都存在电子导电性低的问题，需要添加具有化学惰性的碳类导电剂，碳纳米管在力学、电学、热学和化学稳定性等方面较传统导电剂有明显优势，在固态电池上有较大应用潜力。据GGII，固态电池中碳纳米管导电剂用量增加，对于半固态电池，其单GWh碳纳米管导电剂用量为70-120吨，远高于液态锂离子电池的20-30吨，随着固态电池渗透率提升，碳纳米管导电剂用量将随之增长。

液态向固态电池正负极与导电材料演变			
	负极材料	正极材料	导电材料
液态锂电池	石墨负极 碳硅负极	磷酸铁锂 三元锂 高镍三元	碳纳米管
半固态电池	碳硅负极	高镍三元	碳纳米管 (用量增加)
全固态电池	锂金属	富锂锰基	碳纳米管 (用量增加)

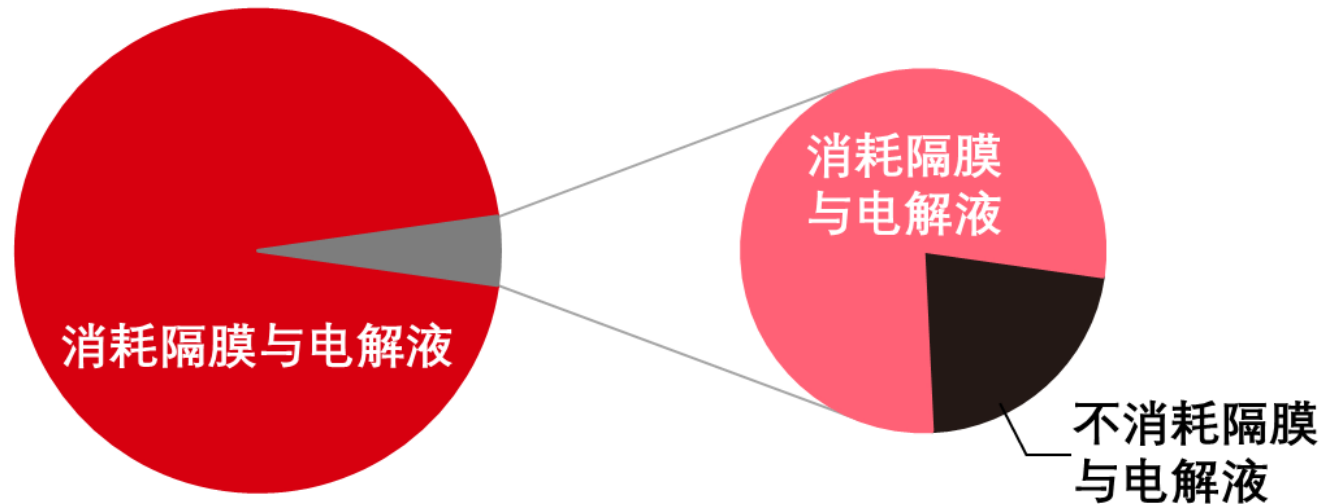
资料来源：中信证券研究部绘制

隔膜与电解液应用空间仍在

- 2030年全固态电池渗透率不足1%，固态电池中绝大部分仍为消耗隔膜和电解液的半固态电池，对隔膜和电解液影响环节不大。** 欧阳明高在2022年电动汽车百人大会上预测，2030年全固态产品渗透率不超1%。据EVtank数据，全球2030年锂离子电池出货量为6080.4 GWh，据此我们测算，2030年全球全固态电池出货量不超60.8GWh，这与《Solid-State Battery Roadmap 2035+》（Fraunhofer, 2022）预测的全固态电池不超过55GWh大致相符，因此我们预计2030年约500GWh固态电池出货量有接近440GWh为半固态电池，仍需消耗隔膜与电解液。

2030年全球液态、半固态、全固态电池渗透率预测

■ 液态锂电池 ■ 全固态电池 ■ 半固态电池



隔膜与电解液应用空间仍在

- 预计2030年电解液与隔膜受固态电池影响量仅为4.6%和0.9%，应用空间仍在。
- 1) 从量上来看，我们取《Solid-State Battery Roadmap 2035+》（Fraunhofer, 2022）预测，则我们预计不需消耗电解液和隔膜的全固态电池不超过55GWh，占比0.9%，消耗部分电解液与隔膜的半固态电池约为445GWh，占比约为7.3%
- 2) 从单耗上来看，全固态电池不消耗隔膜与电解液，我们假设半固态电池的电解液用量是液态锂离子电池的50%，隔膜用量不变。据此我们测算，2030年在0.9%的全固态电池和7.3%的半固态电池渗透率条件下，电解液用量会相比于液态锂离子电池降低4.6%，隔膜用量降低0.9%，影响相对较小。

2030年固态电池渗透率及电解液和隔膜用量预测

	出货量 (GWh)	占比	电解液用量 (以液态电池为 100%)	隔膜用量 (以液态电池为 100%)
液态锂离子电池	5580	91.8%	100.0%	100.0%
半固态电池	445	7.3%	50.0%	100.0%
全固态电池	55	0.9%	0.0%	0.0%
合计	6080	100.0%	95.4%	99.0%
受影响用量	——	——	4.6%	0.9%

资料来源：电动汽车百人大会（欧阳明高，2022；含全固态电池渗透率预测），中研普华产业研究院（含全球固态电池出货量预测），Evtank（含全球锂电池出货量预测），中信证券研究部（含受影响用量预测）注：以液态电池为100%基准，假设半固态电池的用量是液态电池的50%，隔膜用量与液态电池相同，全固态电池不使用电解液与隔膜

CONTENTS

目录

1. 固态电池：突破安全与能量密度瓶颈
2. 产业化：半固态元年将至，产业化齐头并进
3. 锂电池材料体系的影响：正负极材料高性能化
4. 产业链梳理
5. 风险因素
6. 投资建议

- 固态电池产业链与液态锂离子电池产业链类似。主要分为上游原材料、正极、负极、固态电解质、固态电池、应用端。



资料来源：各公司公告，Wind，GGII，中信证券研究部

CONTENTS

目录

1. 固态电池：突破安全与能量密度瓶颈
2. 产业化：半固态元年将至，产业化齐头并进
3. 锂电池材料体系的影响：正负极材料高性能化
4. 产业链梳理
5. 风险因素
6. 投资建议

- 1) **新能源汽车技术路线超预期变化。**当前新能源汽车以动力电池为主要能量来源，并且逐步向着高安全、高能量密度趋势发展，若新能源汽车技术路线发生超预期变化，可能对固态电池产业造成不利影响。
- 2) **新能源汽车产业国内外政策变化不及预期。**新能源汽车是成长型新兴产业，易受政策变化影响，若国内或海外政策发生不利于新能源汽车产业发展的变化，可能影响固态电池产业的应用进程。
- 3) **半固态电池量产装车进展不及预期。**目前蔚来已经变更用户手册，显示可选150kWh半固态电池包，Solid Power已向宝马交付全固态动力电池A样，上汽智己预计于2024年实现装车，若实际装车进展不及预期，可能对固态电池产业进程产生负面影响。
- 4) **固态电池技术发展及落地不及预期。**固态电池存在加工性能、电导率、界面接触等问题，仍然需要通过复合化、界面改性等技术进行优化，若技术发展和落地不及预期，将不利于固态电池的实际应用进展。
- 5) **固态电池降本不及预期。**固态电池中固态电解质成本较高，需要通过扩大生产规模、优化制备工艺等方式实现降本，若成本下降不及预期，将影响固态电池的应用范围与市场规模。
- 6) **半固态/固态电池产能释放不及预期。**半固态与固态电池产能相比液态锂离子电池较小，当前欧美、日韩、国内均有相关企业布局固态电池产能，若固态电池产能释放不及预期，将影响固态电池产业化发展速度。

CONTENTS

目录

1. 固态电池：突破安全与能量密度瓶颈
2. 产业化：半固态元年将至，产业化齐头并进
3. 锂电池材料体系的影响：正负极材料高性能化
4. 产业链梳理
5. 风险因素
6. 投资建议

- 固态电池具有广泛的应用前景，2023年以来半固态电池装车引领下，全固态电池未来可期，随着未来固态电池产业化程度不断推进，我们认为固态电池产业链各环节将充分受益。具体投资建议如下：
 - 1) 正极/负极/电解质的原材料及前驱体：重点推荐三祥新材、格林美、中伟股份、帕瓦股份、华友钴业，建议关注芳源股份、中国石墨、博迁新材、东方锆业、北方稀土、云南锆业、驰宏锌锗；
 - 2) 正极材料环节：重点推荐容百科技、当升科技、振华新材、长远锂科；
 - 3) 负极材料环节：重点推荐赣锋锂业、天齐锂业（A+H）、贝特瑞、璞泰来、杉杉股份、硅宝科技，建议关注翔丰华；
 - 4) 固态电解质环节：重点推荐三祥新材、上海洗霸，建议关注金龙羽；
 - 5) 导电剂材料环节：建议关注捷邦科技、天奈科技；
 - 6) 电池环节：重点推荐宁德时代、比亚迪（A+H）、赣锋锂业、国轩高科，建议关注亿纬锂能、孚能科技、Solid Power（美股）、QuantumScape（美股）；
 - 7) 应用端：重点推荐实现/计划固态电池装车的蔚来、赛力斯、上汽集团、广汽集团（A+H）。



感谢您的信任与支持！

THANK YOU

袁健聪（首席新能源汽车分析师）

执业证书编号：S1010517080005

拜俊飞（金属分析师）

执业证书编号：S1010521070006

吴威辰（新能源汽车分析师）

执业证书编号：S1010521060001

汪浩（新能源汽车分析师）

执业证书编号：S1010518080005

柯迈（新能源汽车分析师）

执业证书编号：S1010521050003

黄耀庭（新能源汽车分析师）

执业证书编号：S1010521060003

李鹞（新能源汽车分析师）

执业证书编号：S1010521070005

分析师声明

主要负责撰写本研究报告全部或部分内容的分析师在此声明：（i）本研究报告所表述的任何观点均精准地反映了上述每位分析师个人对标的证券和发行人的看法；（ii）该分析师所得报酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来均不会直接或间接地与研究报告所表述的具体建议或观点相联系。

一般性声明

本研究报告由中信证券股份有限公司或其附属机构制作。中信证券股份有限公司及其全球的附属机构、分支机构及联营机构（仅就本研究报告免责条款而言，不含CLSA group of companies），统称为“中信证券”。

本研究报告对于收件人而言属高度机密，只有收件人才能使用。本研究报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。本研究报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。中信证券并不因收件人收到本报告而视其为中信证券的客户。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断并自行承担投资风险。

本报告所载资料的来源被认为是可靠的，但中信证券不保证其准确性或完整性。中信证券并不对使用本报告或其所包含的内容产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他损失承担任何责任。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可跌可升。过往的业绩并不能代表未来的表现。

本报告所载的资料、观点及预测均反映了中信证券在最初发布该报告日期当日分析师的判断，可以在不发出通知的情况下做出更改，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与中信证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。中信证券并不承担提示本报告的收件人注意该等材料的责任。中信证券通过信息隔离墙控制中信证券内部一个或多个领域的信息向中信证券其他领域、单位、集团及其他附属机构的流动。负责撰写本报告的分析师的薪酬由研究部门管理层和中信证券高级管理层全权决定。分析师的薪酬不是基于中信证券投资银行收入而定，但是，分析师的薪酬可能与投行整体收入有关，其中包括投资银行、销售与交易业务。

若中信证券以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构为此发送行为承担全部责任。该机构的客户应联系该机构以交易本报告中提及的证券或要求获悉更详细信息。本报告不构成中信证券向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议，中信证券以及中信证券的各个高级职员、董事和员工亦不为（前述金融机构之客户）因使用本报告或报告载明的内容产生的直接或间接损失承担任何责任。

评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：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；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准；韩国市场以科斯达克指数或韩国综合股价指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅20%以上
		增持	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于5%~20%之间
		持有	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%~5%之间
		卖出	相对同期相关证券市场代表性指数跌幅10%以上
	行业评级	强于大市	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅10%以上
		中性	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%~10%之间
		弱于大市	相对同期相关证券市场代表性指数跌幅10%以上

特别声明

在法律许可的情况下，中信证券可能（1）与本研究报告所提到的公司建立或保持顾问、投资银行或证券服务关系，（2）参与或投资本报告所提到的公司的金融交易，及/或持有其证券或其衍生品或进行证券或其衍生品交易，因此，投资者应考虑到中信证券可能存在与本研究报告有潜在利益冲突的风险。本研究报告涉及具体公司的披露信息，请访问<https://research.citics.com/disclosure>。

法律主体声明

本研究报告在中华人民共和国（香港、澳门、台湾除外）由中信证券股份有限公司（受中国证券监督管理委员会监管，经营证券业务许可证编号：Z20374000）分发。本研究报告由下列机构代表中信证券在相应地区分发：在中国香港由CLSA Limited（于中国香港注册成立的有限公司）分发；在中国台湾由CL Securities Taiwan Co., Ltd.分发；在澳大利亚由CLSA Australia Pty Ltd.（商业编号：53 139 992 331/金融服务牌照编号：350159）分发；在美国由CLSA（CLSA Americas, LLC除外）分发；在新加坡由CLSA Singapore Pte Ltd.（公司注册编号：198703750W）分发；在欧洲经济区由CLSA Europe BV分发；在英国由CLSA（UK）分发；在印度由CLSA India Private Limited分发（地址：8/F, Dalamal House, Nariman Point, Mumbai 400021；电话：+91-22-66505050；传真：+91-22-22840271；公司识别号：U67120MH1994PLC083118）；在印度尼西亚由PT CLSA Sekuritas Indonesia分发；在日本由CLSA Securities Japan Co., Ltd.分发；在韩国由CLSA Securities Korea Ltd.分发；在马来西亚由CLSA Securities Malaysia Sdn Bhd分发；在菲律宾由CLSA Philippines Inc.（菲律宾证券交易所及证券投资者保护基金会）分发；在泰国由CLSA Securities (Thailand) Limited分发。

针对不同司法管辖区的声明

中国大陆：根据中国证券监督管理委员会核发的经营证券业务许可，中信证券股份有限公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

中国香港：本研究报告由CLSA Limited分发。本研究报告在香港仅分发给专业投资者（《证券及期货条例》（香港法例第571章）及其下颁布的任何规则界定的），不得分发给零售投资者。就分析或报告引起的或与分析或报告有关的任何事宜，CLSA客户应联系CLSA Limited的罗鼎，电话：+852 2600 7233。

美国：本研究报告由中信证券制作。本研究报告在美国由CLSA（CLSA Americas, LLC除外）仅向符合美国《1934年证券交易法》下15a-6规则界定且CLSA Americas, LLC提供服务的“主要美国机构投资者”分发。对身在美国的任何人士发送本研究报告将不被视为对本报告中所评论的证券进行交易的建议或对本报告中所持任何观点的背书。任何从中信证券与CLSA获得本研究报告的接收者如果希望在美国交易本报告中提及的任何证券应当联系CLSA Americas, LLC（在美国证券交易委员会注册的经纪交易商），以及CLSA的附属公司。

新加坡：本研究报告在新加坡由CLSA Singapore Pte Ltd.，仅向（新加坡《财务顾问规例》界定的）“机构投资者、认可投资者及专业投资者”分发。就分析或报告引起的或与分析或报告有关的任何事宜，新加坡的报告收件人应联系CLSA Singapore Pte Ltd，地址：80 Raffles Place, #18-01, UOB Plaza 1, Singapore 048624，电话：+65 6416 7888。因您作为机构投资者、认可投资者或专业投资者的身份，就CLSA Singapore Pte Ltd.可能向您提供的任何财务顾问服务，CLSA Singapore Pte Ltd.豁免遵守《财务顾问法》（第110章）、《财务顾问规例》以及其下的相关通知和指引（CLSA业务条款的新加坡附件中证券交易服务C部分所披露）的某些要求。MCI（P）085/11/2021。

加拿大：本研究报告由中信证券制作。对身在加拿大的任何人士发送本研究报告将不被视为对本报告中所评论的证券进行交易的建议或对本报告中所载任何观点的背书。

英国：本研究报告归属于营销文件，其不是按照旨在提升研究报告独立性的法律要件而撰写，亦不受任何禁止在投资研究报告发布前进行交易的限制。本研究报告在英国由CLSA（UK）分发，且针对由相应本地监管规定所界定的在投资方面具有专业经验的人士。涉及到的任何投资活动仅针对此类人士。若您不具备投资的专业经验，请勿依赖本研究报告。对于英国分析员编纂的研究资料，其由CLSA（UK）制作并发布。就英国的金融行业准则，该资料被制作并意图作为实质性研究资料。CLSA（UK）由（英国）金融行为管理局授权并接受其管理。

欧洲经济区：本研究报告由荷兰金融市场管理局授权并管理的CLSA Europe BV 分发。

澳大利亚：CLSA Australia Pty Ltd（“CAPL”）（商业编号：53 139 992 331/金融服务牌照编号：350159）受澳大利亚证券与投资委员会监管，且为澳大利亚证券交易所及CHI-X的市场参与主体。本研究报告在澳大利亚由CAPL仅向“批发客户”发布及分发。本研究报告未考虑收件人的具体投资目标、财务状况或特定需求。未经CAPL事先书面同意，本研究报告的收件人不得将其分发给任何第三方。本段所称的“批发客户”适用于《公司法（2001）》第761G条的规定。CAPL研究覆盖范围包括研究部门管理层不时认为与投资者相关的ASX All Ordinaries 指数成分股、离岸市场上市证券、未上市发行人及投资产品。CAPL寻求覆盖各个行业中与其国内及国际投资者相关的公司。

印度：CLSA India Private Limited，成立于1994年11月，为全球机构投资者、养老基金和企业提供股票经纪服务（印度证券交易委员会注册编号：INZ000001735）、研究服务（印度证券交易委员会注册编号：INH000001113）和商人银行服务（印度证券交易委员会注册编号：INM000010619）。CLSA及其关联方可能持有标的公司的债务。此外，CLSA及其关联方在过去12个月内可能已从标的公司收取了非投资银行服务和/或非证券相关服务的报酬。如需了解CLSA India“关联方”的更多详情，请联系 Compliance-India@clsa.com。

未经中信证券事先书面授权，任何人不得以任何目的复制、发送或销售本报告。

中信证券2023版权所有，保留一切权利。