

锂电行业深度系列十三：固态电池

安全与能量密度优势明显 产业化加速发展

行业研究 · 行业专题

电力设备 · 锂电池

超配：维持评级

证券分析师：王蔚祺
010-88005313
wangweiqi2@guosen.com.cn
S0980520080003

联系人：李全
021-60375434
liquan2@guosen.com.cn

- **固态电池具有能量密度高、安全性高的优势，应用前景广阔。** 固态电池是电解质为固态或者半固态的电池产品。相对于当前主流的液态锂电池，其材料体系的核心优势为更高能量密度和安全性（电解质不易燃）。固态电池若作为动力电池，则能有效满足新能源车长续航、高安全的需要。但目前全固态电池技术尚未成熟，相关产品存在寿命短、倍率性能差等问题；半固态电池作为过渡期产品，或将率先得到批量商业化推广应用。此外，固态电池在消费电子产品、储能、民用飞机等领域均具有潜在的应用机会，产业链众多公司正加速各种应用场景的布局与开拓。
- **产业化持续加速，2024年半固态电池有望批量应用于新能源车市场。** 在新能源车领域，国内的上汽、蔚来有望在2024年批量生产半固态电池车型，长安、广汽等也计划在2025-2026年推出半固态电池车型；海外丰田、本田、现代、奔驰等则重点布局全固态电池，多计划于2025-2030年量产相关车型。我们预计2024年全球固态电池（含半固态电池）需求量为2.3GWh，2030年全球固态电池需求量有望达到220GWh，2024-2030年均复合增速达到114%。我们预计2024年全球固态电池（含半固态电池）市场空间为19.5亿元，2030年市场空间有望达到1162.3亿元，2024-2030年均复合增速为98%。
- **固态电池电解质体系变化显著，并能够带动高能量密度材料应用。** 材料领域，固态电池电解质将使用氧化物、硫化物、聚合物等体系，实现对传统电解液的替代；正极将搭载超高镍三元或富锂锰基等高能量密度材料，负极也将采用硅材料或锂金属负极，同时高导电性的碳纳米管用量也有望增加。企业布局来看，电解质领域涌现出天目先导、清陶能源、赣锋锂业、贝特瑞等一批领先企业；正负极传统龙头容百科技、当升科技、璞泰来、贝特瑞等也在加速延伸布局。在电池领域，传统优势锂电池企业宁德时代、亿纬锂能、中创新航等积极参与，同时卫蓝新能源、清陶能源、辉能科技等新兴企业亦长期深耕固态电池、并积极推动产品量产。
- **投资建议：** 固态电池（半固态电池）凭借其高能量密度和高安全性优势，在成本优化和性能不断完善的背景下，产业化有望持续推进。建议关注在固态电池和相关材料领域布局领先的企业：宁德时代、亿纬锂能、当升科技、容百科技、厦钨新能、璞泰来、天赐材料、天奈科技等。
- **风险提示：** 固态电池技术发展不及预期；固态电池产能建设不及预期；政策支持力度不及预期；原材料价格波动的风险。

- [**01**] 固态电池：能量密度与安全兼优的新技术方向
- [**02**] 固态电池市场前景展望
- [**03**] 电解质体系显著变化，高能量密度材料加速推广
- [**04**] 投资建议

图1：固态电池产业链示意图



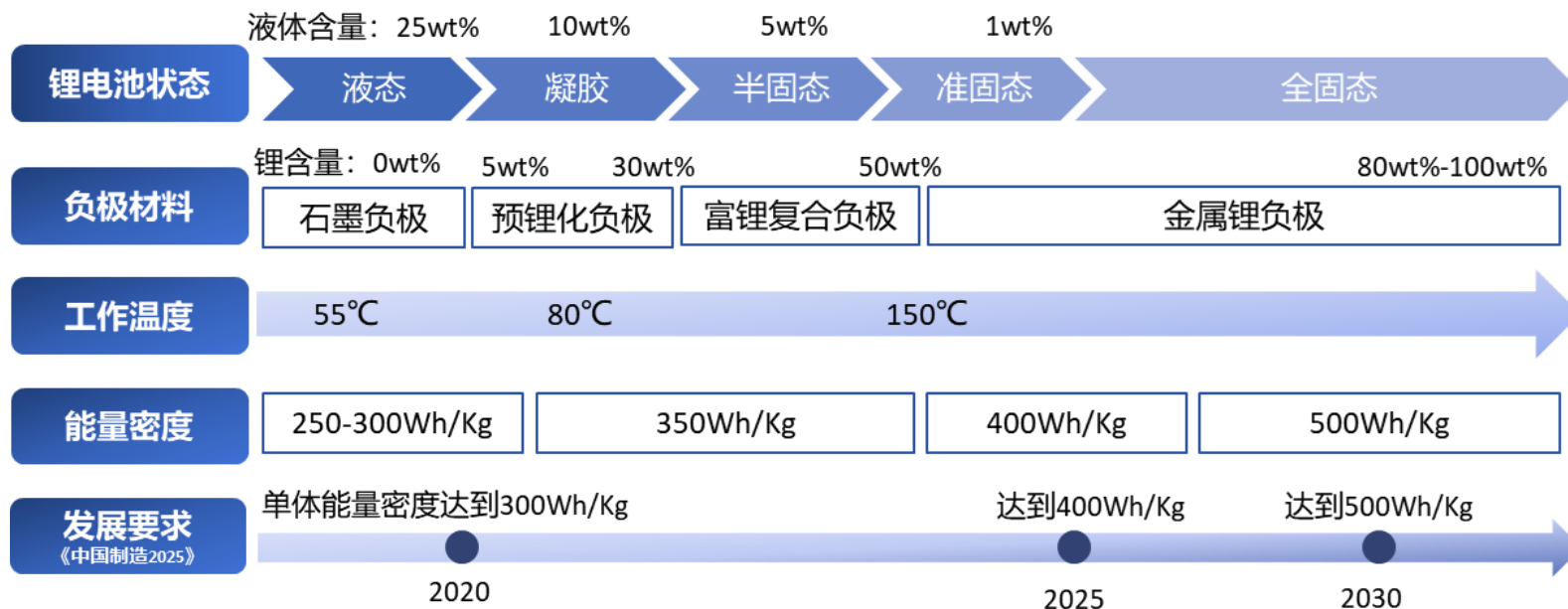
资料来源：各公司公告、各公司官网，吴敬华,杨菁,刘高瞻等. 固态锂电池十年(2011—2021)回顾与展望 [J]. 储能科学与技术. 2022, 国信证券经济研究所整理

一、固态电池：能量密度与安全兼优的新技术方向

固态电池优势：能量密度高

- 根据电解质的不同，锂电池技术体系可分为：液态电解质电池、混合固液电解质电池（半固态电池）、固态电解质电池。
- 固态电池与液态电池工作原理相同。二者工作原理均为：充电时正极锂离子从活性物质的晶格中脱嵌，通过电解质向负极迁移，电子通过外电路向负极迁移，两者在负极处复合嵌入到负极材料中；放电过程与充电相反，以此实现电能与化学能的转换。
- 固态电池能量密度更高：1) 固态电解质电化学窗口宽，能够适配更高电压的正极材料。2) 固态电解质具有良好的机械性能，能够有效抑制锂枝晶的形成，从而能够兼容更高能量密度的锂金属负极材料。3) 由于电解质的非流动性，电芯内部极片可以串联连接以此提高单体电压，实现与多电芯串联而提升电压的同等效果，从而能够在成组时减少结构件使用、提升能量密度。

图2：锂电池发展路线



资料来源：徐小明.第十四届中国汽车蓝皮书论坛主题报告.2022，国信证券经济研究所整理

固态电池优势：安全性能更高

- **固态电池在电池结构上与液态电池变化明显**：半固态电池由于仍存在部分液态电解液，故而保留了电解液和隔膜等结构。而全固态电池离子传导介质和通道由传统的电解液与隔膜变为固态电解质，电池结构实现进一步简化。
- **固态电池安全性显著高于液态电池**。液态电池多采用有机液态电解质，其与电极接触好，且能提供优良的导电性，制备技术成熟。但在循环过程中，负极产生的锂枝晶会刺穿隔膜，导致电池内部短路。此外，有机液态电解液多具有易燃易挥发特性，过度充电、内部短路极易发生热失控，并引起自燃甚至爆炸，为电池体系带来严重的安全隐患。**有机电解液是液态电池安全隐患的主要根源**。而固态电解质本身不可燃、且热分解温度高，固态特性完全避免了电解液腐蚀、挥发、漏液等问题，安全性能大幅提高。

图3：液态电池与固态电池结构示意图

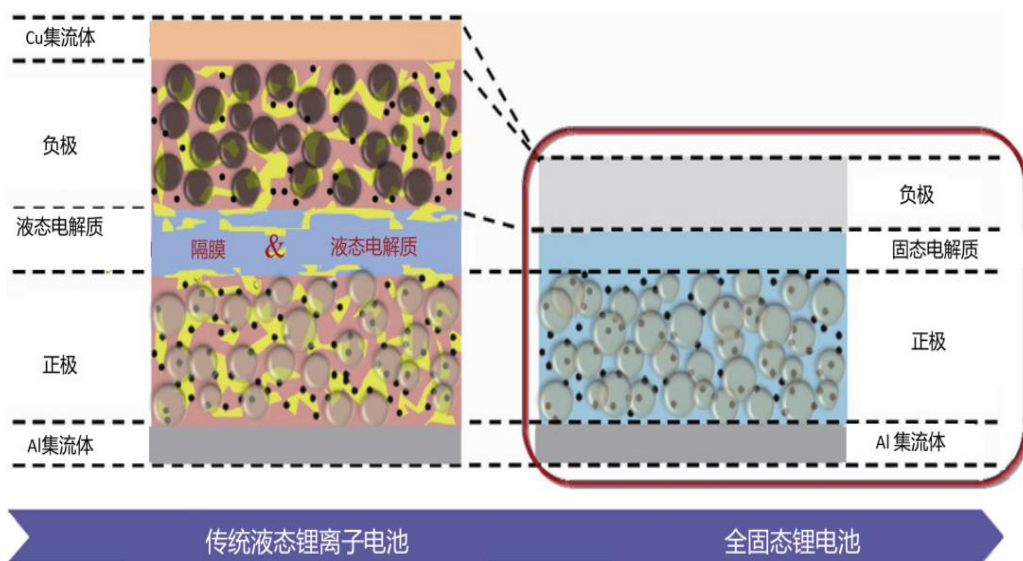


表1：各类电池性能及结构对比

	液态锂离子电池	半固态电池	固态电池
液态含量 (%)	>10%	1~10%	>1%
电芯能量密度	大多<300Wh/kg	350Wh/kg左右	500Wh/kg+
快充性能	1-6C	目前在2C以下	
电池寿命	2000次+	1000次+	
主要材料体系	正极+负极+隔膜+电解液	正极+负极+隔膜+复合电解质	正极+负极+固态电解质
封装形态	卷绕/叠片+圆柱/方形/软包	叠片+方形/软包	叠片+方形/软包

资料来源：许晓雄等《全固态锂电池技术的研究现状与展望》.储能科学与技术（2013），国信证券经济研究所整理

资料来源：许晓雄等《全固态锂电池技术的研究现状与展望》.储能科学与技术（2013），李泓.中国固态电池领域发展现状和未来挑战[J].科学观察,2023,国信证券经济研究所整理

- ❖ **界面处机械稳定性较差影响寿命。**充放电过程中，电极材料会产生体积变化，结构应力的累加会造成界面接触面积的下降、形成结构缺陷，从而影响循环寿命。
- ❖ **界面处电化学稳定性较差影响倍率性能。**传统电解液与电极的接触会产生浸润，从而有更好的接触效果，但固态电解质与电极的接触是固-固接触，接触面积小且接触面有更高的阻抗，从而影响锂离子的传输。

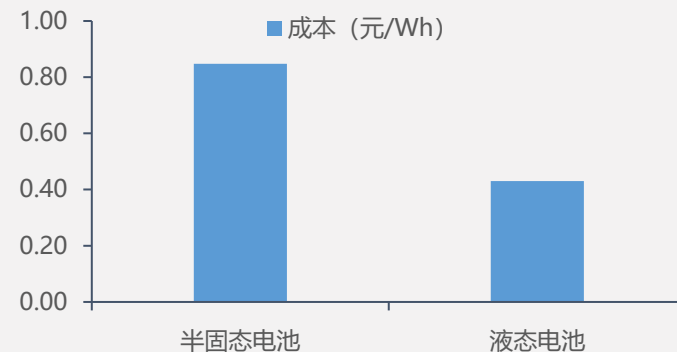
表2：部分固态（半固态）电池性能（截至2022年4月）

	氧化物	硫化物	聚合物
能量密度	350-400Wh/kg	320-340Wh/kg	255Wh/kg
快充性能	1.0-1.2C 快充版：4C	0.1-1C	0.25-1C
电池寿命	1000次		

资料来源：Fraunhofer. Solid-State Battery Roadmap 2035+. 2022，国信证券经济研究所整理

- ❖ **固态电池成本仍相对较高。**正极材料或采用高镍三元、富锂锰基等，负极或将搭载硅负极、金属锂等，正负极材料成本明显提升。同时，电解质难以轻薄化、且部分需要搭载金属元素，成本亦有提升。制造成本方面，部分电解质体系对于水分等较敏感，有些制造和后处理环节中需要依赖于惰性气体或干燥室，整体生产成本较液态电池有所提升。

图4：液态电池与半固态电池成本对比

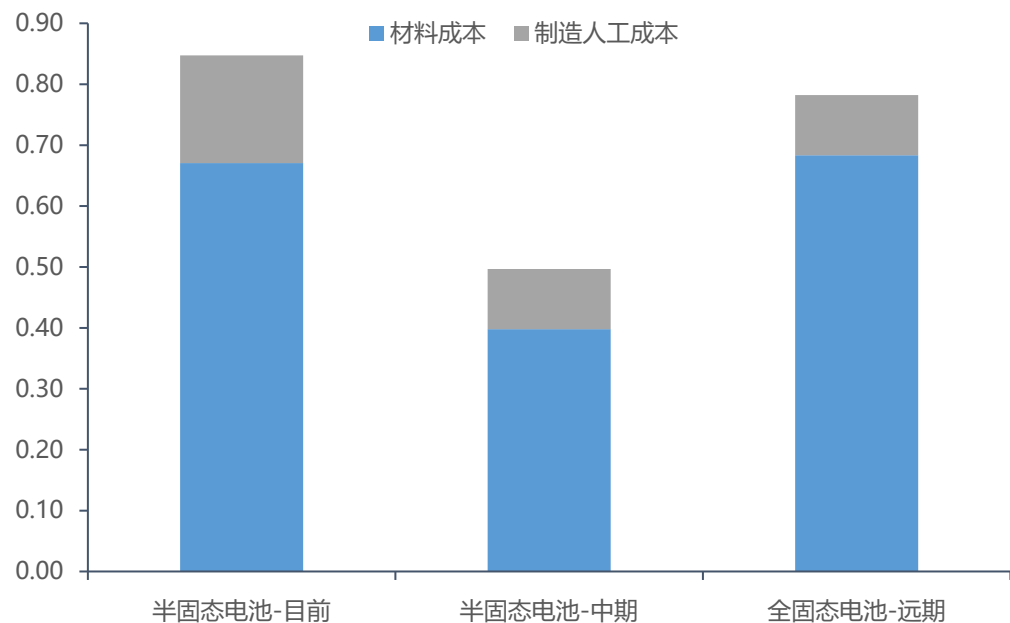


资料来源：卫蓝新能源官网、清陶能源官网、上海有色网、国信证券经济研究所整理与测算

固态电池成本与未来降本趋势展望

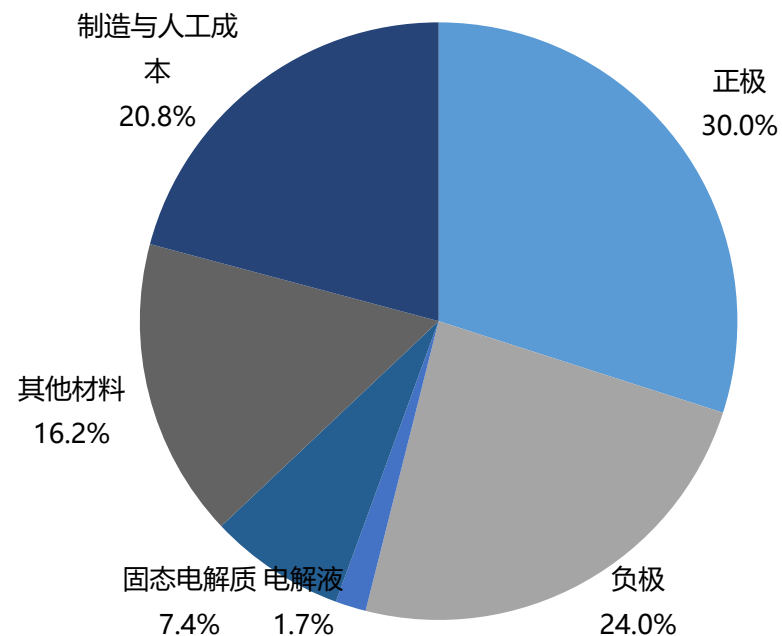
- 根据清陶能源、卫蓝新能源等企业半固态电池项目环评书，我们对各类材料用量进行相应假设；同时我们按照目前1GWh 5亿元的项目投资额对于折旧额进行计算。在假设产线良率为80%的情况下，我们测算得到半固态电芯的单位总成本为0.85元/Wh，较目前主流三元电芯成本（0.4-0.5元/Wh）仍相对偏高。
- 中期来看，伴随高性能液态电池和半固态电池行业规模持续扩大，固态电解质、硅基负极等材料价格有望加速下行，同时规模扩大后产线运行经验更为丰富、产线良率有望达到90%以上，届时我们测算得到**半固态电芯**的单位总成本约为0.50元/Wh。
- 远期来看，全固态电池有望搭载锂金属负极、电解液也将全部被替换为固态电解质，我们测算得到届时**全固态电芯**单位总成本约为0.78元/Wh。

图5：半固态/固态电池成本展望（元/Wh）



资料来源：卫蓝新能源官网、清陶能源官网、上海有色网、国信证券经济研究所整理与测算

图6：半固态电池成本结构



资料来源：卫蓝新能源官网、清陶能源官网、上海有色网、国信证券经济研究所整理与测算

国内早期政策驱动市场发展，海外前瞻布局全固态技术



中国



《中国制造2025》	2015年5月	到2025年、2030年，动力电池单体能量密度需分别达到400Wh/kg、500Wh/kg
《汽车产业中长期发展规划》	2017年4月	2025年动力电池系统比能量达到350Wh/kg。
《节能与新能源汽车技术路线图2.0》	2020年10月	动力电池能量密度目标： 2025年：普及型 > 200Wh/kg，商用型 > 200Wh/kg，高端型 > 350Wh/kg 2030年：普及型 > 250Wh/kg，商用型 > 225Wh/kg，高端型 > 400Wh/kg 2035年：普及型 > 300Wh/kg，商用型 > 250Wh/kg，高端型 > 500Wh/kg
《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》	2020年11月	实施电池技术突破行动，加快固态动力电池技术研发与产业化
《关于推动能源电池产业发展的指导意见》	2023年1月	加快研发固态电池、钠离子电池等新型电池

美国



《锂电池国家蓝图（2021-2030）》	2021年6月	2030年实现固态电池、锂金属电池规模化量产，能量密度达到500Wh/kg
《国家实验室征求加强国内固态和液流电池制造能力的建议》	2023年9月	宣布为5个项目投入1600万美元，以提升国内固态电池和液流电池制造能力，助力实现净零排放目标

欧洲



《电池2030+》	2018年12月	加速固态电池等未来电池技术研发，目标2030年电池耐用性和可靠性至少提升3倍。
《2030电池创新路线图》	2021年	路线图提出，固态电池作为第四代动力电池应用于新能源汽车，需要提前布局回收制度，做到固态电池全生命周期的经济效益
《固态电池技术路线图2035+》	2022年	该路线图基于大量的文献调研和深入的专家咨询，从宏观角度预测并详细讨论了最有前景的固态电池发展路线，并总结了固态电池在材料、组分、电芯和应用层面上的现状和前景，并与液态锂离子电池在短(< 2025)、中(< 2030)和长(> 2030)时间范围内的预期发展进行了比较。

日韩



日本《蓄电池产业战略》	2022年9月	力争在2030年左右实现全固态电池的全面商业化
韩国《K电池发展战略》	2021年7月	提供税收优惠，推动2027年全固态电池实际商业化应用
韩国《充电电池产业革新战略》	2022年11月	将与本土整车、电池及材料业者合组电池联盟，推动50万亿韩元以上的本土企业投资，确保稳定的电池供应链、建立尖端技术革新研发中心、构筑本土产业生态系，目标是2030年韩国电池全球市占率达到40%以上

二、固态电池市场前景展望



消费产品市场

固态电池具有能量密度高、安全性强等优势，能够满足无人机、便携式储能等产品对于电池长续航、轻量化的要求。

- 2022年小米推出搭载了半固态电池的米家户外电源1000Pro；
- 2023年太蓝新能源与紫建电子成立合资公司、推动消费类固态电池研发和量产；
- 松下宣布将在2025-2029年量产用于无人机的全固态电池；
- 富士康与Blue Solutions将合作生产固态电池应用于二轮车领域。



新能源车市场

固态电池能够提升新能源车安全性、助力新能源车达到1000km以上续航，2024年开始有望在国内批量装车。

目前，蔚来、上汽等均提出2024年量产半固态电池车型，广汽、长安等均提出2025-2026年量产半固态电池车型。



储能市场

固态电池应用目前多以示范性项目为主。

2023年10月，卫蓝新能源与三峡集团合作的“兆瓦时级固态锂离子电池储能系统”项目入选国家能源局第三批能源领域首台（套）重大技术装备（项目）名单。



其他场景

特种车辆（如矿业重卡等）、航空飞行器等领域。

宁德时代推出凝聚态电池，并积极推进其在民用电动载人飞机领域应用。

2024年部分电动车或将开始小批量使用半固态电池

表3：部分车企半固态/固态电池车型量产进展

公司名称	量产进展	产品性能	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，全年销量突破十万辆规模。	2024年：续航超1000km 充电10min续航400km	公司是清陶能源第一大机构投资者，与其进行产品联合研发
广汽集团	2026年在昊铂车型实现全固态电池量产。		与赣锋锂业具有合作协议
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年实现全面普及应用。 2035年左右实现锂金属电池、锂硫电池等搭载应用。		自研固态电芯；与赣锋锂业具有合作协议
东风汽车	2022年首批搭载赣锋锂业半固态电池的50辆东风风神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。	东风E70：续航超400km 东风岚图追光：CLTC续航730km（109kWh电池包）	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。		与卫蓝新能源具有合作协议
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搭载测试。		清陶能源
蔚来	2023年12月搭载半固态电池包的蔚来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。	实测续航1044km（150kWh电池包）	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年公司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年前实现全固态电池车型量产。		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年建设固态电池试验线，2025年实现全固态电池试生产，2028年推出全固态电池车型。		自研、松下

资料来源：各公司官网、各公司公告，国信证券经济研究所整理

市场规模展望 (固态/半固态电池)

表4: 全球固态电池市场规模展望

	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球动力电池需求 (GWh)	860	1022	1212	1392	1548	1679	1811	1946
其中: 全球固态动力电池需求 (GWh)		2.0	9.7	25.1	55.7	100.7	144.8	194.6
全球消费电池需求 (GWh)	120	127	135	141	147	153	158	162
其中: 全球固态消费电池需求 (GWh)		0.3	1.1	2.8	6.6	10.7	15.8	19.5
全球储能电池需求 (GWh)	200	150	220	275	310	350	380	400
其中: 全球固态储能电池需求 (GWh)			0.2	0.6	1.2	2.1	3.4	6.0
合计: 全球锂电池需求 (GWh)	1180	1299	1567	1809	2005	2182	2348	2509
其中: 合计: 全球固态锂电池需求 (GWh)	<1.0	2.3	11.0	28.4	63.6	113.5	164.0	220.1

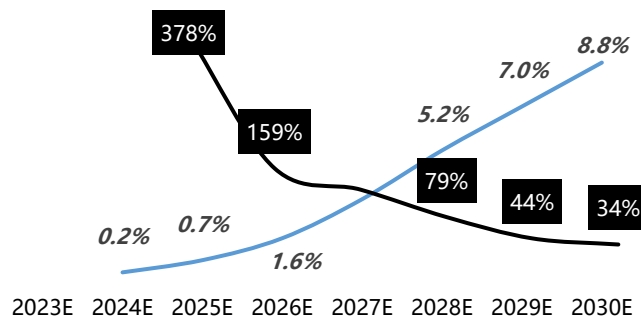
资料来源: EV Tank, SNE Research, 动力电池联盟, 国信证券经济研究所整理与预测

随着车企积极推动固态电池产业化, 并在2025-2030年陆续推动固态电池车型量产; 同时无人机、储能等场景对于长续航高安全电池需求持续提升, 固态电池进入发展快车道。

我们预计2024-2030年各环节固态电池渗透率:

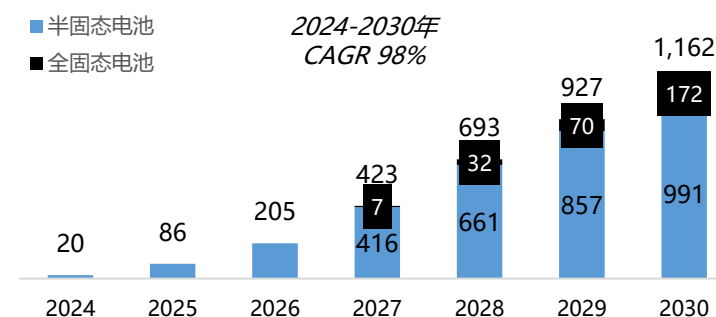
- 1) 动力电池0.2/0.8/1.8/3.6/6.0/8.0/10.0%;
- 2) 消费电池0.2/0.8/2.0/4.5/7.0/10.0/12.0%;
- 3) 储能电池: 0.0/0.1/0.2/0.4/0.6/0.9/1.5%。

图7: 固态电池渗透率 (蓝) 和容量增速 (黑)



资料来源: EV Tank, SNE Research, 动力电池联盟, 国信证券经济研究所整理与预测

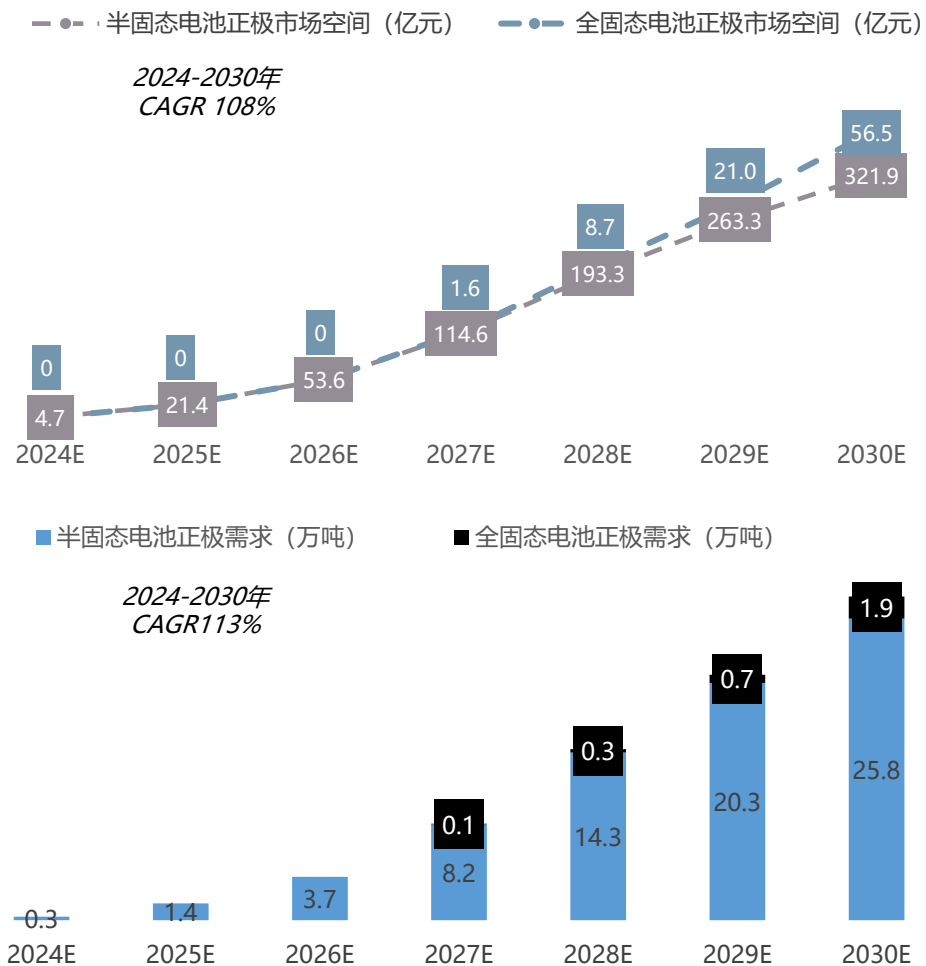
图8: 全球固态电池市场空间展望 (亿元)



资料来源: 卫蓝新能源官网、清陶能源官网、上海有色网、EV Tank, SNE Research, 动力电池联盟、国信证券经济研究所整理与测算

行业市场规模展望（正极材料）

图9：全球固态/半固态电池正极材料市场空间（亿元）及需求（万吨）



资料来源：卫蓝新能源官网、清陶能源官网、上海有色网、EV Tank, SNE Research, 动力电池联盟、国信证券经济研究所整理与测算

- 固态电池正极材料兼容性强，但需要提高能量密度。**理论上，固态电池正极仍可沿用现在的磷酸铁锂、三元材料等体系，但现有材料电池能量密度进一步提高难度较大。因此，需要选择更高容量的正极材料来提升固态电池能量密度。
- 短期内高镍三元体系有望成为主流方案。**目前，固态电池正极开发主要集中在高镍三元正极、镍锰酸锂、富锂锰基等路线。其中高镍三元正极凭借能量密度高、倍率性能好、商业化程度高等优势，成为当前主流正极材料体系。富锂锰基、镍锰酸锂等材料高能量密度优势突出，有望成为未来的主要方向。
- 当升科技、容百科技等产业化布局领先。**大多数三元正极企业均拥有高镍三元产品布局，其中容百科技、当升科技等均已经实现对固态电池企业的出货。厦钨新能、振华新材、长远锂科、贝特瑞等正极企业也有固态电池材料布局。此外，宁夏汉尧、巴斯夫杉杉、华友钴业等企业也积极布局富锂锰基等新型正极材料。

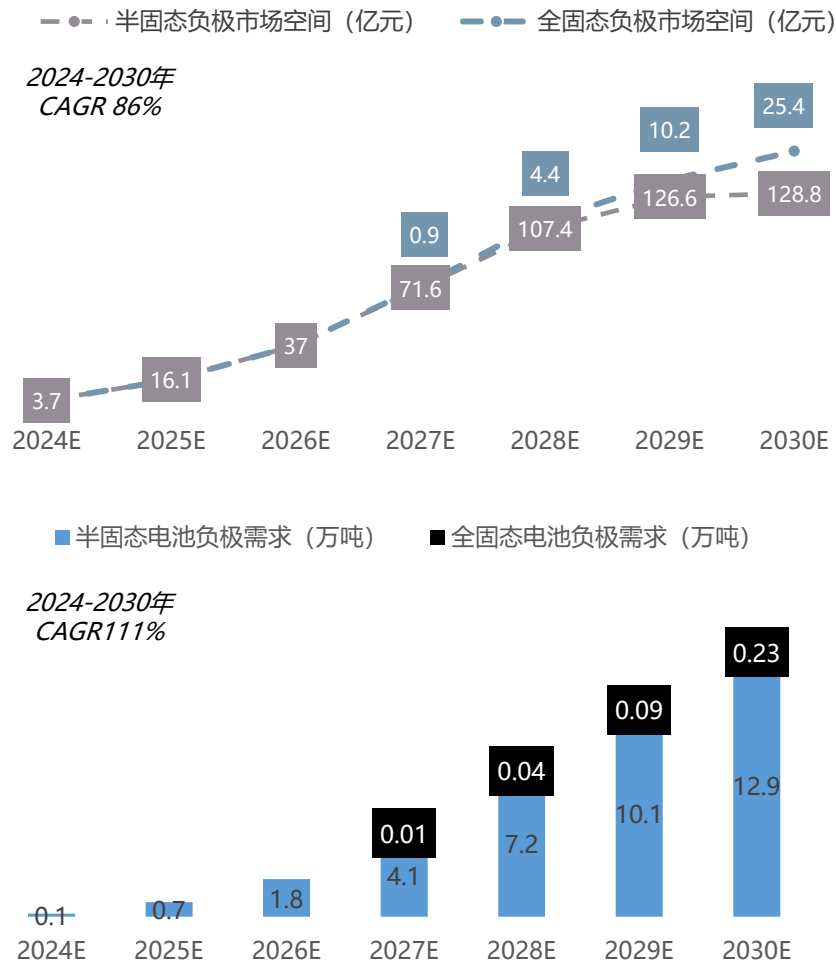
表5：部分正极材料性能对比

类型	磷酸铁锂	三元材料	富锂锰基	锰酸锂	镍锰酸锂	硫化物正极
克容量 (mAh/g, 0.1C)	155-163	150-220	130-320	100-140	130-147	800-2000
电压平台 (V)	3.2	3.7	3.7-4.6	3.7-3.8	4.7	-
压实密度 (g/cm ³)	2.2-2.7	3.4-3.7	2.9-3.1	2.9-3.2	2.8-3.3	-
循环寿命 (次)	3000-12000	1000-3000	1000-6000	400-2000	400-1000	50-1850
倍率性能	一般	较好	较差	较好	优秀	较好

资料来源：责留斌等.《一代材料,一代电池:正极材料研究推动锂离子动力电池的升级换代》.物理(2022), 谢佳等.《尖晶石镍锰酸锂全电池常温循环寿命分析》.储能科学与技术(2014), 吴强等.《高硫含量正极在锂硫电池中的研究进展》.材料导报(2023), 中国化学与物理电源行业协会, 高工锂电, 国信证券经济研究所整理

行业市场规模展望（负极材料）

图10：全球固态/半固态电池负极材料市场空间（亿元）及需求（万吨）



资料来源：卫蓝新能源官网、清陶能源官网、上海有色网、EV Tank，SNE Research，动力电池联盟、国信证券经济研究所整理与测算

- **硅基负极或成为固态电池负极材料中短期主要解决方案。** 固态电池的负极材料主要包括石墨、硅负极、合金负极、金属锂等。硅理论比容量高达4200mAh/g，是目前石墨类负极材料的十倍以上，其优势在于：1) 电位低、克容量高，能量密度高；2) 地壳中含量高，理论成本低；未来其有望成为中短期重要的负极材料方案。
- **长期来看，金属锂有望在固态电池负极实现应用。** 金属锂理论克容量高、电极电位低，是固态电池的理想负极材料。但目前金属锂产业化还存在一些挑战：金属锂电化学活性高，或与部分电解质体系发生反应，影响负极和电解质的利用率；锂金属在循环过程中容易出现枝晶生长的问题，从而影响电池的循环稳定性。未来可以通过增加锂金属表面积、掺杂等方式来改善锂金属性能、更好的适应产业化需求。
- **硅基负极方面**，贝特瑞、杉杉股份、翔丰华、璞泰来等具有明确产能规划，部分企业已与固态电池企业达成合作协议。金属锂负极方面，金属锂及锂盐公司如赣锋锂业、天齐锂业等依托自身资源优势，进行积极的产业布局。

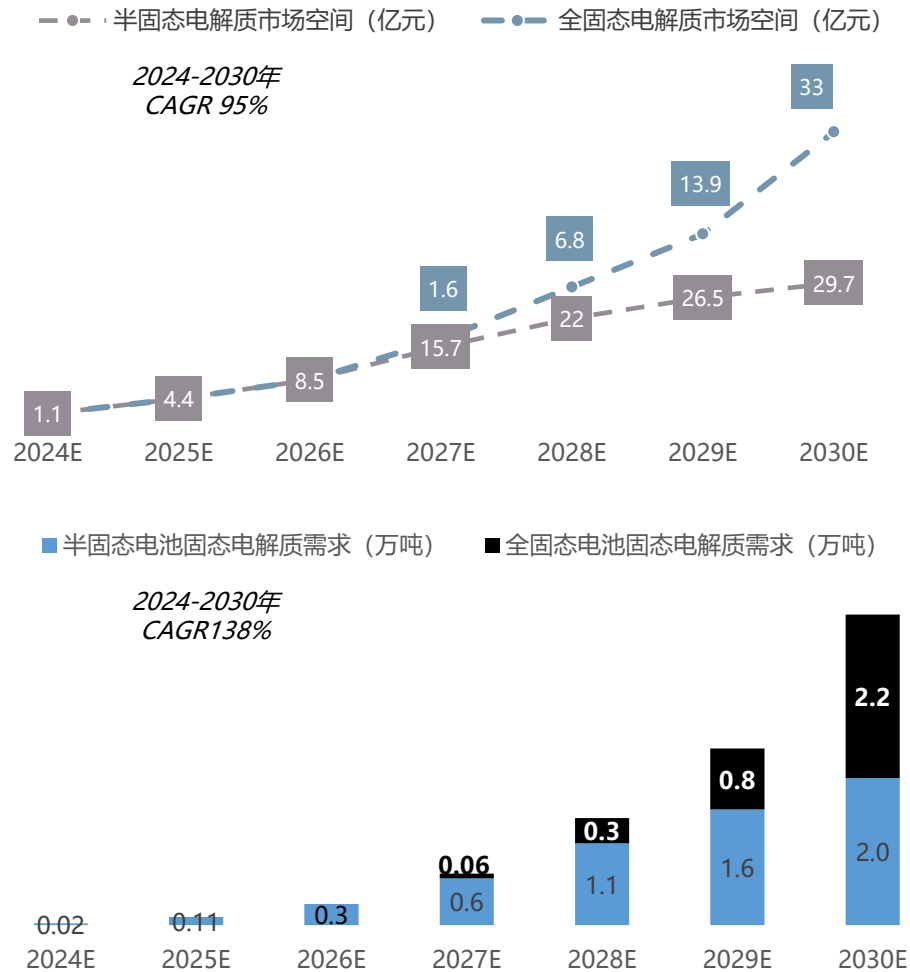
表6：部分负极材料性能对比

类型	材料	克容量 (mAh/g)	优点	缺点
石墨	天然石墨、人造石墨	310-370	成本低、储量大、商业化程度高、稳定性好	克容量小、电池能量密度小
硅基负极	硅碳、硅氧、纳米硅、微米硅等	400-4000	高理论克容量、环境友好、储量大	体积膨胀大、电子电导率低、锂离子扩散系数低、纳米硅负极成本高
合金负极	Li-Al、Li-Sn、Li-In、Li-Si	400-4000	界面润湿性好、抑制界面副反应与锂枝晶	体积膨胀率高、结构变化大、电池能量密度下降
金属锂	锂箔、锂膜	3860	高理论克容量、极低电极电位	易界面反应、体积膨胀率大、易形成锂枝晶、使用条件苛刻

资料来源：贾理男等《基于硫化物电解质的全固态锂离子电池负极研究进展》. 化工学报 (2022)，国信证券经济研究所整理

行业市场规模展望 (电解质)

图11: 全球固态/半固态电池电解质材料市场空间 (亿元) 及需求 (万吨)



资料来源: 卫蓝新能源官网、清陶能源官网、上海有色网、EV Tank, SNE Research, 动力电池联盟、国信证券经济研究所整理与测算

- **固态电解质核心功能是为锂离子在正负极之间的传输提供通道。**理想的固态电解质应当具有: 高离子电导率、高化学稳定性、优秀的机械强度、与电极材料不发生反应等优点。
- 固态电解质主要分为: 聚合物电解质、无机电解质 (常分为氧化物/硫化物/卤化物电解质等) 以及有机-无机复合电解质。
- **聚合物电解质、氧化物电解质与硫化物电解质是目前产业界主流的解决方案。**目前国内量产的半固态电池多以聚合物+氧化物复合电解质为主。复合电解质常具有更高的机械性能和良好的界面兼容性, 能够有效抑制锂枝晶的生产, 提高电池稳定性。
- 国内主流路线以氧化物为主, 天目先导、清陶能源等已经实现量产。海外有三井金属、出光兴产、AGC等企业布局固态电解质领域, 但目前量产规划多集中于2025年后。

表7: 不同固态电解质特性比较

类型	材料体系	离子电导率 (S/cm)	电化学窗口	优点	缺点
聚合物	聚环氧乙烷 (PEO)、聚甲基丙烯酸酯 (PMMA)、聚偏氟乙烯 (PVDF)	10^{-4} (65-78 °C), $10^{-5} \sim 10^{-7}$ (室温)	<4V	生产简单、加工性能好、机械性能佳	热稳定性有限, 电化学窗口窄 (<4V)、高电压耐受性差
氧化物	非薄膜: 钙钛矿型、石榴石型、钠超离子导体型 (NASICON)	$10^{-5} \sim 10^{-3}$	>5V	高化学和电化学稳定性, 高机械强度, 宽电化学窗口	在低电势下容易被还原导致锂离子电导率降低, 晶界离子电导率小
	薄膜: LiPON	$10^{-7} \sim 10^{-5}$		可选择金属锂负极, 正极材料选择面广	成本高, 难以大规模生产
硫化物	$\text{Li}_2\text{S}-\text{P}_2\text{S}_5$ 、 $\text{Li}_2\text{S}-\text{P}_2\text{S}_5-\text{MS}_x$	$10^{-4} \sim 10^{-2}$	2-5V	高离子电导率, 良好的机械强度和机械的灵活性	氧化稳定性差, 对水敏感, 与正极材料兼容性差
卤化物	Li_aMX_b (M为金属元素, X为卤素元素)	10^{-3}		高离子电导率、高氧化稳定性、宽电化学窗口	成本高、对水敏感

资料来源: 姚忠冉等《锂离子电池氧化物固态电解质研究进展》. 新能源进展 (2023), 吴敬华等《固态锂电池十年 (2011-2021) 回顾与展望》. 储能科学与技术 (2022), 国信证券经济研究所整理

三、电解质体系显著变化，高能量密度材料加速推广

正极材料：材料兼容度高，可沿用现有体系

- **固态电池正极材料兼容性强，但需要提高能量密度。**理论上，固态电池正极仍可沿用现在的磷酸铁锂、三元材料等体系，但现有材料电池能量密度进一步提高难度较大。因此，需要选择更高容量的正极材料来提升固态电池能量密度。
- **短期内高镍三元体系有望成为主流方案。**目前，固态电池正极开发主要集中在高镍三元正极、镍锰酸锂、富锂锰基等路线。其中高镍三元正极凭借能量密度高、倍率性能好、商业化程度高等优势，成为当前主流正极材料体系。富锂锰基、镍锰酸锂等高能量密度优势突出，有望成为未来的主要方向。

表8：部分正极材料性能对比

类型	磷酸铁锂	三元材料	富锂锰基	锰酸锂	镍锰酸锂	硫化物正极
克容量 (mAh/g, 0.1C)	155-163	150-220	130-320	100-140	130-147	800-2000
电压平台 (V)	3.2	3.7	3.7-4.6	3.7-3.8	4.7	-
压实密度 (g/cm ³)	2.2-2.7	3.4-3.7	2.9-3.1	2.9-3.2	2.8-3.3	-
循环寿命 (次)	3000-12000	1000-3000	1000-6000	400-2000	400-1000	50-1850
倍率性能	一般	较好	较差	较好	优秀	较好
优点	寿命长，成本较低，安全性好	能量密度较高，电压平台较高	克容量高，电压平台高，成本低	成本低，安全性好	低温性能、倍率性能和安全性性能优异，成本低	原料成本低，理论能量密度高，原料储量丰富
缺点	能量密度较低，低温性能差	循环性能较差，成本高，安全性较差	首次不可逆容量损失大，倍率性能较差，循环过程电压衰减快	克容量较低，高温性能差，循环寿命较低	首效低、高电压下有金属溶解问题、循环寿命较低	硫利用率低，循环寿命差

资料来源：贵留斌等.《一代材料,一代电池:正极材料研究推动锂离子动力电池的升级换代》.物理(2022), 谢佳等.《尖晶石镍锰酸锂全电池常温循环寿命分析》.储能科学与技术(2014), 吴强等.《高硫含量正极在锂硫电池中的研究进展》.材料导报(2023), 中国化学与物理电源行业协会, 高工锂电, 国信证券经济研究所整理

正极材料：多数三元正极企业延伸布局

表9：部分正极企业固态电池材料布局情况

公司名称	主营业务情况	固态电池相关材料布局	部分正极产品性能	固态电池领域客户
容百科技	公司主营业务为锂电正极材料生产与销售，产品涵盖三元正极、磷酸盐系材料等。公司2016年完成第一代NCM811的开发和中试，2019年完成Ni90正极开发，2021年NCMA四元材料进入产线调试阶段。	Ni 90三元正极批量供货半固态电池客户 低钴富锂锰基材料处于中试阶段 高电压镍锰酸锂正极处于中试阶段 适配于硫化物体系的全固态电池正极（改性高镍三元）处于小试阶段	NCM811：比容量≥202mAh/g Ni90：比容量≥210mAh/g Ni96：比容量≥220mAh/g NCA：比容量≥200mAh/g 富锂锰基材料：比容量≥ 225mAh/g 镍锰酸锂正极：能量密度≥250Wh/kg	2022年4月，公司与卫蓝新能源签订战略合作协议，2022年5月到2027年4月底期间卫蓝选择容百科技作为其高镍三元正极第一供应商，且2022-2025年卫蓝将向容百采购不少于3万吨固态电池正极材料。
当升科技	公司主营业务为锂电正极材料生产与销售，产品涵盖三元正极、磷酸盐系材料、钴酸锂等。公司2018年完成第一代NCM811产品量产，2022年实现Ni 90对欧美电池厂/车企的批量出货；目前公司Ni 93产品也成功导入国际高端电动汽车供应链。	公司自主研发超高镍无钴、固态锂电正极材料、新型富锂锰基等多款先进正极材料，持续加快双相复合固态锂电正极、固态电解质等技术的研发及科研成果转化。	NCM8系：比容量204-219mAh/g NCM9系：比容量215-235mAh/g	2021年12月，公司与卫蓝新能源达成战略合作，卫蓝拟在2022-2025年期间向当升采购2.5万吨以上固态锂电材料。2022年7月，公司与清陶能源达成战略合作，清陶选择公司作为固态锂电正极材料优先供应商，并在2022-2025年期间采购不少于3万吨固态电池正极材料。此外，公司固态锂电材料也对赣锋锂电、辉能实现批量销售。
华友钴业	公司主营业务为钴、铜、镍等金属以及前驱体、正极材料等生产与销售。公司9系超高镍NCMA正极在2021年实现千吨级量产，2023H1公司8系及以上正极出货占比达到83%。	公司8系与9系三元正极产品推进加速量产中；巴莫科技已经布局富锂锰基等材料专利。		
长远锂科	公司主营业务为锂电正极材料生产与销售，产品涵盖三元正极、磷酸盐系材料等。2019年公司实现NCM811量产，2023年超高镍单晶正极实现百吨级供货。	公司超高镍单晶正极材料、高镍正极材料均实现百吨级出货。 高容量高镍单晶正极处于中试阶段，功率型高镍9系正极处于小试阶段，超高镍三元正极开发处于小试阶段。	NCM8系：比容量≥210mAh/g	公司与固态电池企业保持密切合作，持续开展评估与验证。

资料来源：各公司官网、各公司公告，国信证券经济研究所整理

正极材料：多数三元正极企业延伸布局

表10：部分正极企业固态电池材料布局情况

公司名称	主营业务情况	固态电池相关材料布局	部分正极产品性能	固态电池领域客户
振华新材	公司主营业务为锂电正极材料生产与销售，产品涵盖三元正极等。公司2019年推出第一代大单晶正极产品，2023H1公司高镍销售占比超4成。	公司积极推进无钴镍锰二元材料、超高镍高容量多晶等产品研发。	Ni83：比容量≥210mAh/g Ni87：比容量≥215mAh/g Ni92：比容量≥223mAh/g	公司配合下游客户跟进半固态锂电池和固态锂电池领域的进展
贝特瑞	公司主营业务为锂电池负极材料、正极材料等生产与销售。2017年，公司NCA材料实现量产出货。2019年公司高镍正极产品开始对SK On实现供货。	公司积极布局固态电池正极材料等产品；同时进行无机固态电解质产品研发，开发匹配半固态电池的电解质产品，目前已进入中试阶段。	固态电池正极M2-G:首次容量 208±3mAh/g	
厦钨新能	公司主营业务为锂电正极材料生产与销售，产品涵盖三元正极、磷酸盐系材料、钴酸锂等。公司2018年实现Ni8系产品量产，2023H1公司NCM 9系三元材料实现百吨级交付。	公司通过采用快离子导体作为包覆材料，合成正极材料应用到固液混合电池，有机无机复合固态电池，硫化物全固态电池。 公司固态电解质已实现吨级生产，产品稳定可靠。	Ni8系：比容量≥210mAh/g	
巴斯夫杉杉	公司系巴斯夫与杉杉股份的合资公司，业务涵盖正极前驱体与正极生产与销售、电池回收等。	公司具有9系高能量密度NCA、NCM产品布局，并积极布局镍酸锂、镍锰二元材料、富锂富锰NCM等。	9系超高镍：比容量 ≥220mAh/g	
宁夏汉尧	公司主营业务为锂电正极材料、石墨烯、导电浆料等生产与销售。	公司积极在无钴二元材料、富锂锰基材料等领域布局，2009年开始启动富锂锰基的产业化，2023年在宁夏基地建成了万吨级富锂锰基材料产线。	4.45V富锂锰基：比容量220-230mAh/g 4.5-4.6V富锂锰基：比容量 ≥250mAh/g	2022年公司与宁德时代、中国科学院宁波所等共同合作富锂锰基相关国家重点专项。

资料来源：各公司官网、各公司公告，国信证券经济研究所整理

负极：硅基负极是中短期主要方案，金属锂是长期路线

表11：部分公司硅基负极、金属锂负极布局情况

公司名称	负极路线	硅基负极/金属锂负极布局情况	固态电池相关	硅基产品性能	硅基材料/金属锂产能
贝特瑞	硅基	公司2006年开始研发硅基负极材料。2013年硅碳负极产品通过三星认证，并实现批量出货。2017年公司推出第二代硅碳负极产品，切入海外头部车企体系。2020年公司推出第三代硅碳负极产品；目前硅碳负极已经开发至第五代、克容量超2000mAh/g，硅氧负极比容量已经达到1500mAh/g。	公司积极推进硅基材料量产；同时积极开发匹配半固态电池的电解质产品，首款电解质已进入中试阶段。	DXB5：比容量450±5mAh/g，首次效率≥93.0% DXB6：比容量500±5mAh/g，首次效率≥92.0% DXB8：比容量650±10mAh/g，首次效率≥91.5% DXA8-LA：比容量650±10mAh/g，首次效率≥91.0%	建成产能：0.5万吨； 在建产能：4万吨
杉杉股份	硅基	2009年公司发布首个硅基负极专利。2021年公司硅负极产品在消费类和小动力市场批量应用。2022年公司硅氧负极一代/二代产品批量供应，三代/四代硅氧产品、认证中；新一代高容量高首效的硅碳产品基础款开发完成。目前公司新一代硅基负极产品已实现海外客户的吨级销售。	公司积极推进硅基材料量产；硬碳负极在锂电、钠电和半固态电池领域均有应用。	GS50：比容量≥500mAh/g，首次效率90.0±1.0% GS45：比容量≥600mAh/g，首次效率88.5±1.0% SG43：比容量≥430mAh/g，首次效率93.5±1.0% SG45：比容量≥450mAh/g，首次效率92.5±1.0%	建成产能：0.1万吨； 在建产能：4万吨
翔丰华	硅基	公司开发的硅碳负极材料产品处于中试阶段，已具备产业化条件。	公司与清陶能源签订战略合作协议，双方将在固态/半固态电池负极材料关键技术研发、供应等方面达成全面战略合作。此外，公司还拥有固态电解质专利储备。	SCX-1:比容量450-460mAh/g XS1:比容量420-4300mAh/g	中试阶段
璞泰来	硅基	公司早期与中科院物理所合作研发；2021年完成第二代硅基负极产品研发，在溧阳建立氧化亚硅中试线。2022年公司布局新一代高首效、低膨胀硅基负极产品。公司现有部分客户硅氧负极订单，硅碳负极也处于前期小试和送样阶段。	公司已在半固态/固态电池负极领域布局，与客户合作开发。	产品1:容量450±10mAh/g，首次效率87±1.0% 产品2:容量600±10mAh/g，首次效率84±1.0%	规划产能：1.2万吨

资料来源：各公司官网、各公司公告，国信证券经济研究所整理

负极：硅基负极是中短期主要方案，金属锂是长期路线

表12：部分公司硅基负极、金属锂负极布局情况

公司名称	负极路线	硅基负极/金属锂负极布局情况	固态电池相关	硅基产品性能	硅基材料/金属锂产能
中科电气	硅基	公司2020年完成硅基负极材料中试线建设，目前部分产品向客户进行送样测试			中试阶段
胜华新材	硅基	2017年公司开始布局硅基负极材料。2022年硅基负极产品已经获得部分客户认证通过	和中国石油大学签订研发协议，成立胜华研究院，研究匹配半固态/固态电池体系的相关材料		中试产线：0.1万吨 规划产能：5万吨
天目先导	硅基	公司成立于2017年，核心技术来源于中国科学院物理所陈立泉院士、李泓研究员（公司董事长）领衔的科研团队。该团队自1996年起在国际上率先开展纳米硅基负极材料的开发和早期专利布局，2022年开始在溧阳、许昌、成都等地部署生产基地。	公司在硅基负极、固态电解质等领域积极布局产品及产能。	硅碳负极1：克容量650mAh/g，首效88% 硅碳负极2：克容量400mAh/g，首效93% 硅氧负极1：克容量500mAh/g，首效90% 硅氧负极2：克容量≥1300mAh/g，首效≥82%	实际产能：1.2万吨硅基负极、0.3万吨固态电解质 规划产能：17万吨以上硅基负极
赣锋锂业	金属锂	公司第二代混合固态锂电池使用了金属锂负极，能量密度≥400Wh/Kg。			规划产能：0.7万吨金属锂负极
天齐锂业	金属锂	公司与卫蓝新能源成立合资公司，共同从事预锂化负极材料及回收、金属锂负极及锂合金负极材料等。此外，公司还参股卫蓝新能源（持股比例3%左右）。			-

资料来源：各公司官网、各公司公告，国信证券经济研究所整理

电解质：变化最明显的核心组分，氧化物是目前主流方案

- 固态电解质核心功能是为锂离子在正负极之间的传输提供通道。理想的固态电解质应当具有：高离子电导率、高化学稳定性、优秀的机械强度、与电极材料不发生反应等优点。
- 固态电解质主要分为：聚合物电解质、无机电解质（常分为氧化物/硫化物/卤化物电解质等）以及有机-无机复合电解质。
- 聚合物电解质、氧化物电解质与硫化物电解质是目前产业界主流的解决方案。聚合物电解质加工性能好、但是热稳定性差、高电压的耐受性差；氧化物电解质综合性能佳、化学稳定性好、机械性能好，但是电导率一般。硫化物电解质离子电导率好、热稳定性好，但是对空气较敏感、制备难度大。

表13：固态电解质的关键指标

关键指标	含义	影响
离子电导率	表征锂离子在固态电解质中的迁移能力	离子电导率越高，电池内阻越小，倍率性能更好
电化学窗口	在充放电过程中，电解质不发生反应所对应的稳定电压区间	电化学窗口越宽，可选择的电极材料会更高、也可以兼容更高电压的材料
机械强度	充放电过程中，电解质抵抗外力作用下发生变形或破坏的能力	较高的机械强度能够抑制锂枝晶的生长和扩展，从而提升电池安全性能和循环寿命

资料来源：姚忠冉等《锂离子电池氧化物固态电解质研究进展》.新能源进展（2023），国信证券经济研究所整理

电解质：国内以氧化物方案作为主流路线

表14：部分公司固态电解质布局及产能情况

公司名称	公司简介	电解质类别	离子电导率	颗粒度D50	电解质产能	产业进度	客户/产业链合作	技术团队背景
天目先导	公司成立于2017年，主营产品为硅基负极、硬碳负极、石墨负极、固态电解质等。	氧化物-LATP	>1mS/cm	4.78um	3000吨	量产	卫蓝新能源等，与恩捷股份、卫蓝新能源成立合资公司	中国科学院物理所陈立泉院士、李泓研究员、罗飞博士（董事长）
上海洗霸	公司成立于1994年，主营产品为水处理化学品、人机共存数字化消毒技术解决方案等，并积极开拓固态电解质、硅碳负极、硬碳负极等业务。	氧化物-LLZTO/LLZO	>1mS/cm	0.20um	在建50吨产能	预计2024年批量供应	四家以上客户送样测试中	中国科学院上海硅酸盐研究所张涛团队
清陶能源	公司成立于2016年，主营产品为固态电池、新能源材料等。	氧化物+聚合物 氧化物-LLZTO/LLZO	无机固态电解质 >0.5mS/cm 复合固态电解质 >0.2mS/cm		千吨级产能	量产	主要自用	中国科学院院士、清华大学教授南策文团队
赣锋锂业	公司成立于2000年，主营产品为锂化合物、金属锂，并积极拓展锂电池、锂电材料领域布局。	氧化物-LLZTO/LLZO 氧化物-LATP 硫化物	LATP电解质 > 0.6mS/cm, 石榴石型电解质 > 0.8mS/cm 硫化物电解质 > 2.5mS/cm		千吨级产能	量产	主要自用	
蓝固新能源	公司成立于2021年，主营产品为锂离子/钠离子电池电解液、混合固液电解质、固态电解质等。	氧化物-LLTO&LLZO&LATP 固液混合电解质	LLTO: 0.05-1mS/cm LLZO/LATP: 0.5-1mS/cm	LLTO: 0.36um LLZO: 0.33um LATP: 0.21um	建成产能: 6000吨 在建产能: 5万吨	量产	卫蓝新能源、天目先导等	李立飞博士，毕业于中国科学院物理所，师从黄学杰研究员、李泓研究员和陈立泉院士

资料来源：各公司官网、各公司公告，国信证券经济研究所整理

电解质：国内以氧化物方案作为主流路线

表15：部分公司固态电解质布局及产能情况

公司名称	公司简介	电解质类别	离子电导率	颗粒度D50	电解质产能	产业进度	客户/产业链合作	技术团队背景
当升科技	公司成立于1998年，主营产品为锂电正极材料。	氧化物-LATP/LAGP 复合固态电解质					客户导入 卫蓝新能源、清陶能源等	-
奥克股份	公司成立于2000年，主营产品为环氧乙烷衍生精细化工新材料。	聚合物-PEO				研发阶段		-
厦钨新能	公司主营产品为锂电正极材料、储氢材料等。	氧化物-- LLZTO/LLZO	未披露		吨级量产	小批量		-
金龙羽	公司成立于1996年，主营产品为电线电缆，并积极推进固态电池和固态电解质等业务布局。	氧化物				中试		合作方为重庆大学李新禄教授团队
贝特瑞	公司成立于2000年，主营产品为锂电负极材料、正极材料等。	氧化物-LATP/LLZO 聚合物固态电解质	聚合物电解质>3.0mS/cm LATP电解质>0.5mS/cm	0.3-1.0um		小批量		
天赐材料	公司成立于2000年，主营产品为电解液、磷酸铁及日化材料、有机硅橡胶材料等	氧化物、聚合物 硫化物						
中科固能	公司成立于2022年，主营产品为硫化物固态电解质、全固态电芯等。	硫化物				在建百吨级产线 长期规划万吨级		中国科学院物理所博士生导师吴凡（董事长）

资料来源：各公司官网、各公司公告，国信证券经济研究所整理

电解质原料：锆/锆/镧等金属有望伴随行业发展需求增加

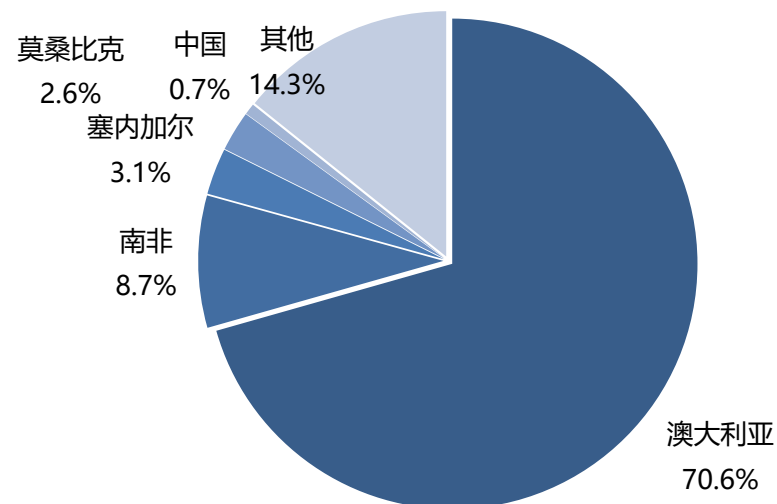
锆：氧化物固态电解质LLZO的原材料包括二氧化锆、硝酸锆、碳酸锆等。

国内锆储量低、产量较少，多依赖于进口。2022年全球锆矿储量为6800万吨，同比-3%；全球锆矿主要分布在澳大利亚和南非，占比分别为70.6%/8.7%；中国锆矿储量为50万吨，占比为0.7%。2022年全球锆矿产量约140万吨，其中国内产量仅占全球的10%。2022年国内锆矿砂及其精矿进口量为121.58万吨。

锆英砂行业处于供应紧平衡的状态。2022年全球锆英砂产量为30.27万吨，同比-7%；销售量则达到33.36万吨。陶瓷、铸造、耐火材料、锆金属及其化学制品等构成锆的主要消费领域，目前全球锆应用最为广泛的领域是传统陶瓷，占据了接近50%的需求量；随着国内经济复苏，陶瓷等锆制品主要应用的传统行业有所反弹，从而拉动锆行业的新一轮需求增长。同时，伴随3D打印、半导体、新能源电池材料、陶瓷基刹车片以及光伏等行业的发展，新兴市场对锆制品的需求持续上升。

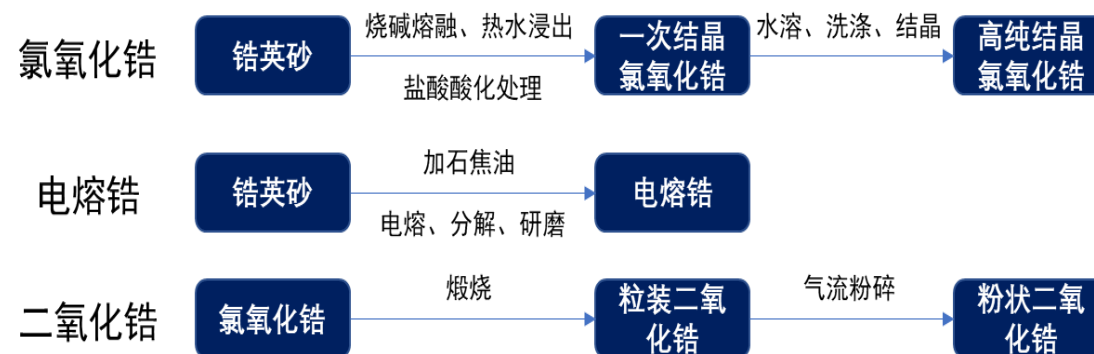
国内锆生产企业主要包括东方锆业、三祥新材、凯盛科技等。东方锆业现有2.6万吨电熔氧化锆、0.94万吨二氧化锆（国内份额40%）、5万吨氯氧化锆（国内份额20%）产能；在建电熔氧化锆产能2万吨。目前公司已供应部分锆材料样品给到下游材料客户研发。三祥新材现有2.6万吨电熔氧化锆、2万吨氯氧化锆产能；在建氯氧化锆产能8万吨。公司固态电解质材料研发处于实验室小试阶段。凯盛科技现有电熔氧化锆产能2.6万吨。目前公司正在进行固态电池材料相关研发工作。

图12：全球锆矿储量分布



资料来源：东方锆业公告，国信证券经济研究所整理

图13：部分锆产品生产流程

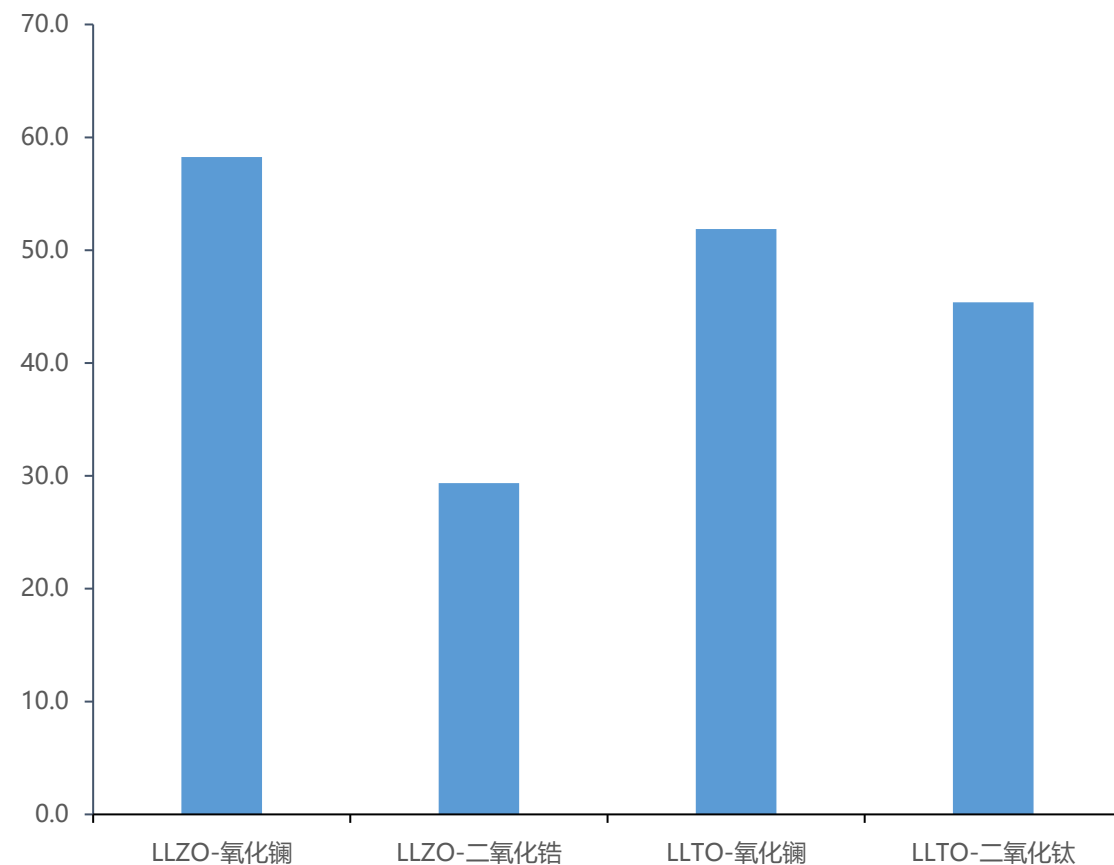


资料来源：东方锆业公告，国信证券经济研究所整理

电解质原料：锆/锗/镧等金属有望伴随行业发展需求增加

- **镧**：氧化物固态电解质LLZO/LLTO的原材料包括氧化镧、硝酸镧、氢氧化镧等。中国具有丰富的稀土资源，贡献了全球70%产量。2022年全球稀土产量约为30万吨，中国产量达到21万吨。国内企业中北方稀土、盛和资源等具有氧化镧生产能力。
- **钛**：氧化物固态电解质LLTO/LATP的原材料包括二氧化钛、焦磷酸钛等。2022年全球钛资源储量（以TiO₂计）约为7亿吨，以钛铁矿为主；国内占据全球29%的储量，位列全球第一。全球钛矿下游需求主要是钛白粉（白色颜料和功能性材料，主要成分为二氧化钛）、海绵钛等。国内主要钛白粉生产企业包括龙佰集团、中核钛白、钒钛股份等。
- **锗**：氧化物固态电解质LAGP、硫化物固态电解质LGPS等原材料包括二氧化锗、硫化锗等。2022年全球锗储量约为8600金属吨，中国储量为3500吨左右，份额为41%，是全球第二大锗矿资源国（仅次于美国45%的份额）。2022年全球金属锗产量约为182吨，其中国内产量占比近7成。锗是重要的半导体材料，主要应用场景包括红外成像领域（43%）、光纤通信领域（28%）、光伏领域（19%）等。驰宏锌锗具备金属锗年产能60吨（全球三分之一左右、国内50%左右份额）、探明锗资源量超600吨，2022年产量达到55.9吨。云南锗业具有锗资源储量超600吨，目前布局有区熔锗锭、二氧化锗、太阳能锗晶片、光纤用四氯化锗、红外光学锗镜头等产品。

图14：1GWh半固态电池对应金属氧化物用量（吨）



资料来源：GGII，国信证券经济研究所整理与测算；假设1GWh半固态电池需要100吨LLZO/LLTO

全球主要固态电池布局企业及技术路线

图15: 全球固态电池企业分布



资料来源: IDTechEx Research.Solid-State and Polymer Batteries 2023-2033: Technology,Forecasts,Players. 2023, 国信证券经济研究所整理

国内企业积极推进半固态电池量产

- 国内企业半固态电池量产进度较快，且产能布局较海外相对激进。2022-2023年，卫蓝新能源、赣锋锂业、清陶能源等企业相继量产半固态电池，并实现了动力电池装车。2024年开始伴随蔚来、上汽等车企批量搭载半固态电池，行业有望迎来快速发展。

表16：部分国内公司固态/半固态电池布局及产能情况

公司名称	量产进展	能量密度	主要客户/应用领域	电解质方案	供应商/合作企业	产能布局			
						规划产能	2023E	2024E	2025E
宁德时代	2023年4月发布凝聚态电池，同时有全固态专利布局。	凝聚态电池超500Wh/kg	民用航空，乘用车等	高动力仿生凝聚态电解质；硫化物					
卫蓝新能源	2023年6月量产半固态电池交付给蔚来；2023年10月与三峡共同研制的固态电池储能系统实现示范应用。	300-360Wh/kg	动力：蔚来、吉利等 储能：三峡集团、海博思创	氧化物+聚合物	容百科技、当升科技、蓝固新能源、恩捷股份、天目先导、天齐锂业	50.2	5.8	8.2	16.2
清陶能源	2018年实现半固态电池量产；2020年与北汽、哪吒合作的固态电池样车下线；2022年搭载于北汽福田商用车的固态电池系统下线；2024H1量产半固态电池搭载于上汽智己新车型中；2025年预计在上汽实现固态电池车型十万辆规模销售。	>368Wh/kg	动力：上汽、北汽、哪吒等 储能：智泰新能源	氧化物+聚合物；氧化物+聚合物+卤化物	当升科技、翔丰华等	45.7	2.7	2.7	16.7
赣锋锂业	2021年1月搭载公司固态电池的东风E70示范运营车全球首发；2022年8月，与广汽埃安达成合作协议、后者支持公司在固态电池等领域研发工作，并在技术、成本等具有竞争力条件下，优先引入公司固态电池产品。2023年6月搭载公司半固态电池的赛力斯SERES-5在欧洲开始交付。2023年12月，与长安汽车达成合作协议。	>400Wh/kg	动力：长安、东风、广汽、赛力斯	氧化物+聚合物		40.0	4.0	10.0	20.0
辉能科技	2016年开始进行车规级电芯送样；2018年威马展示了搭载公司固态电池的样车；2019年蔚来、爱驰汽车等与公司签订战略合作协议；2022年1月公司获得奔驰投资、并签订技术合作协议共同开发固态电池；2022年7月Vinfast投资公司、且约定2024年开始采购公司固态电池；2022年公司与ACC签署协议合作开发固态电池；2024年开始批量交付半固态电池。	>360Wh/kg	动力：蔚来、奔驰、Vinfast等 可穿戴设备等	氧化物	当升科技、浦项制铁	50.0	2.0	2.0	2.0
比亚迪	专利布局全面			氧化物、硫化物、聚合物					
亿纬锂能	2022年实现半固态电池技术定型，预计2024年发布全固态电池。	>330Wh/kg		卤化物、氧化物、硫化物					
国轩高科	2017年开始进行固态电解质、固态电池研发。2022年公司发布半固态电池产品。	>360Wh/kg		氧化物+聚合物					
蜂巢能源	2020年发布第一代果冻电池；2023年12月发布第二代方形果冻电池（A样阶段）。			聚合物；硫化物					
孚能科技	2021年量产第一代半固态电池产品；2022年开始量产交付。	>330Wh/kg	动力：东风、远航汽车	氧化物+聚合物 硫化物					
中创新航	公司预计2024Q4半固态电池装车某外资豪华品牌。	>350Wh/kg							
太蓝新能源	2022年首款半固态电池量产。	>350Wh/kg	紫建电子等	氧化物+聚合物		12.2	0.2	2.2	5.2
高乐股份	2023年4月公司公告拟在义乌投资建设2GWh纳米固态电池项目，相关技术由股东华统集团协助开发。					2.0		1.0	2.0
恩力动力	2021年第一代半固态电池中试完成。2023年公司与软银长期战略合作，开发出全固态电池产品。	300-350Wh/kg		硫化物		10.0	1.0	1.0	1.0

资料来源：各公司官网、各公司公告，国信证券经济研究所整理

海外电池企业主打全固态路线

- 海外企业多直接布局全固态电池产品，目标多为2025-2030年之间实现相应产品量产。日韩企业在固态电池上积淀较深，以硫化物方案为主；欧美以初创企业为主，技术路线相对多样。

表17：部分海外公司固态/半固态电池布局及产能情况

公司名称	量产进展	能量密度	电解质方案	供应商/合作企业
三星SDI	2022年3月公司开始建设固态电池试验线，2023年内建成投产。2023Q4公司重组了全固态电池研发布局，以推动实现2027年之前量产固态电池的目标。		硫化物	
LG新能源	公司与韩国科学技术院、首尔大学等积极进行固态电池开发。公司计划2026年前实现聚合物半固态电池（能量密度约为650Wh/L）产业化，2028年量产聚合物全固态电池（能量密度约为750h/L），2030年量产硫化物全固态电池（能量密度约为900Wh/L）。外媒报道称，2023Q3 LG新能源开始计划在梧仓工厂建设半固态电池生产线。		聚合物，硫化物	
SK On	公司计划2026年前完成聚合物氧化物复合固态电池和硫化物固态电池研发，并于2028年进行产业化。目前，公司正在忠清南道大田市建设电池研究中心。		聚合物+氧化物；硫化物	
松下	2019年，公司与丰田合资成立Prime Planet Energy & Solutions开发固态电池。公司计划2025-2029年间量产用于小型无人机的全固态电池。		硫化物	
日立造船	2023年开发出5Ah的全固态电池产品。		硫化物	三井金属
Maxell	2023年公司宣布将量产用于产业机械等用途的大容量全固态电池。		硫化物	三井金属
Quantum Scape	公司由斯坦福大学教授成立于2010年，由比尔盖茨、大众集团领衔投资。公司计划于2023年年开始试产部分固态电池，2025年量产B样产品。2022年公司与Fluence达成合作协议，推进固态电池在储能领域应用。2023Q2公司开始给客户送A0样品。公司预计2025年之前产能扩张至1GWh，长期规划超21GWh。		氧化物	
Solid Power	公司股东包括宝马、福特等。2017年公司开始与宝马合作开发固态电池。2021年SK On与公司达成联合开发协议。2022年公司完成固态电池试验线安装。2023年公司生产出A样品并交付给宝马进行测试，计划2025年开发出相应电池配套宝马原型车，2030年实现全固态电池大规模量产。2023年开始公司自产电解质，年产能可在30-60吨左右。	>390Wh/kg	硫化物	
SES	公司股东包括上汽集团、吉利汽车、天齐锂业、通用汽车、本田、现代、SK On、2021年公司与通用汽车、本田、现代签署锂金属电池A样品协议；2023年12月，公司与某车企签署锂金属电池B样品协议；2025年预计开始量产。2023-2024年产能达到1GWh+。	>399Wh/kg	聚合物	
Factorial Energy	2021年公司推出全固态电池产品。2022年公司获得奔驰、Stellantis集团投资。公司与奔驰、Stellantis、现代等都签署了固态电池联合开发协议。2023年公司200MWh固态电池工厂正式开工建设，电池产品进入A样送样阶段。			

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

图16: 液态电池与固态电池生产流程对比

固态电池与液态电池生产/制造差异在于:

- 电解质添加方式不同:** 全固态电池无需注液, 而是将正极、负极和固态电解质膜通过加热压缩等方式来实现良好的机械接触; 半固态电池生产中需进行注液来添加电解液和固态电解质。此外, 固态电池后段没有化成工序。
- 封装形式不同:** 全固态电池由于固态电解质柔韧性较差, 故而采用叠片设计方案, 辅以软包/方形的封装方式, 在入壳时更好的保护电芯的结构。液态电池则可以使用叠片或卷绕的方案, 并搭配圆柱/方形/软包等封装形态。

主要步骤	液态锂离子电池 (LIB)	聚合物固态电池	氧化物固态电池	硫化物固态电池
负极	湿法工艺 浆料混合, 涂覆, 干燥, 压延	挤出工艺 (锂箔) 挤压, 压延, 层压	挤压工艺 (锂箔) 挤压, 压延, 层压	挤压工艺 (锂箔) 挤压, 压延, 层压 湿法工艺 (硅基负极) 浆料混合, 涂覆, 干燥, 压延
正极	湿法工艺 浆料混合, 涂覆, 干燥, 压延	挤压工艺 挤压, 压延	湿法工艺 浆料混合, 涂覆, 干燥, 低温烧结	湿法工艺 浆料混合, 涂覆, 干燥, 压延
隔膜	挤压工艺 干法 (PP) 湿法 (PE)	挤压工艺 挤压, 压延	湿法工艺 浆料混合, 涂覆, 高温烧结, 层压, 低温烧结	湿法工艺 浆料混合, 涂覆, 干燥, 低温烧结
电池组装	电池组装 叠片, 极耳焊接, 预封装, 注液, 化成, 排气与二封, 陈化	电池组装 叠片, 挤压, 无注液和排气过程, 化成和陈化时间比LIB短	电池组装 叠片, 挤压, 无注液和排气过程, 化成和陈化时间比LIB短	电池组装 叠片, 挤压, 无注液和排气过程, 化成和陈化时间比LIB短

■ 与LIB不同
 ■ 与LIB相似, 但仍有差别
 ■ 与LIB相同

资料来源: Fraunhofer. Solid-State Battery Roadmap 2035+. 2022, 国信证券经济研究所整理

软包为主流封装方式

固体电池主要封装形态为软包，亦有部分企业提出方形方案。软包电池优势：

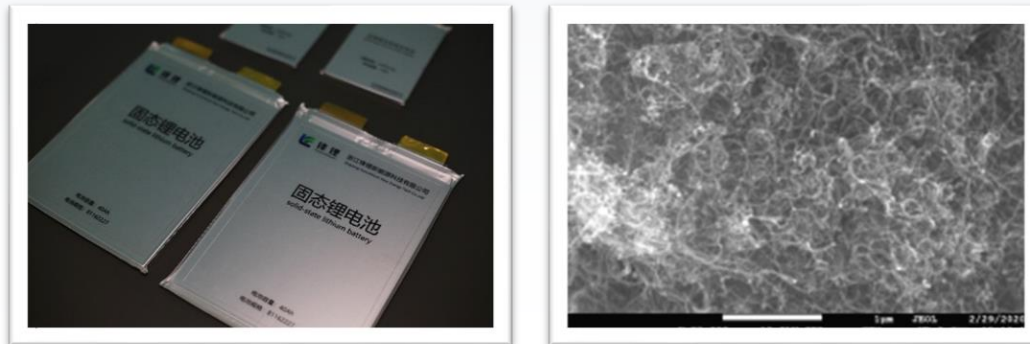
- 1) 固态电池安全性高、不易胀气，能够较好解决软包电池的潜在安全隐患；
- 2) 软包形态能量密度高能够更好的发挥固态电池材料的优势；
- 3) 固态电池材料整体相对缺乏弹性，采用软包封装形态能够在入壳时更好地保护其结构。

目前国内外铝塑膜主要生产企业包括DNP、昭和电工、新纶新材、紫江新材、明冠新材等。

固态电池或添加新型导电剂

- 固态电池方案中正极多采用超高镍、富锂锰基等方案，部分方案采用掺硅负极，这些正负极材料都具有导电性较差的特点，因而导电性好、导热性好以及机械性能较优的碳纳米管的添加量有望进一步提升，以此来优化电池的电化学性能。
- 目前国内外碳纳米管生产企业主要包括OCSiAl、天奈科技、道氏技术、捷邦科技等。

图17：软包固态电池（左）与碳纳米管（右）



资料来源：赣锋锂业官网、天奈科技官网，国信证券经济研究所整理

四、投资建议

投资建议：关注产业链布局领先企业



- 固态电池（半固态电池）凭借其高能量密度和高安全性优势，在成本优化和性能不断完善的背景下，产业化持续推进。2024年上汽、蔚来等旗下半固态电池车型的量产有望加速行业产业化进程。
- **建议关注在固态电池和相关材料领域布局领先的企业：**宁德时代、亿纬锂能、当升科技、容百科技、厦钨新能、璞泰来、天赐材料、天奈科技等。

表18：公司盈利预测及估值（2023.12.27）

股票代码	股票简称	投资评级	总市值 (亿元)	最新股价 (元)	EPS			PE		
					2022A	2023E	2024E	2022A	2023E	2024E
300750.SZ	宁德时代	增持	6789.0	154.33	12.58	9.84	11.25	12.3	15.7	13.7
300014.SZ	亿纬锂能	买入	798.4	39.03	1.72	2.45	3.52	22.7	15.9	11.1
300073.SZ	当升科技	买入	185.4	36.60	4.46	4.04	4.15	8.2	9.1	8.8
688005.SH	容百科技	增持	181.6	37.50	3.00	2.37	3.00	12.5	15.8	12.5
688778.SH	厦钨新能	增持	160.4	38.12	3.73	1.47	2.05	10.2	25.9	18.6
603659.SH	璞泰来	增持	428.5	20.04	1.54	1.14	1.39	13.0	17.6	14.4
002709.SZ	天赐材料	买入	435.4	22.63	2.97	1.17	1.27	7.6	19.3	17.8
688116.SH	天奈科技	增持	91.0	26.48	1.82	0.68	1.03	14.5	38.9	25.7

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理与测算

一、固态电池技术发展不及预期。固态电池仍存在寿命较低、倍率性能较差、成本较高等问题，若后续关键材料研发和工艺优化进展不及预期，或将造成固态电池批量生产进度不及预期。

二、固态电池产能建设不及预期。固态电池仍处于产业化的初期阶段，技术路线尚未确定、终端需求相对较弱；电池行业的重资产属性或使得企业后续在固态电池产能建设方面有谨慎态度，存在产能扩张不及预期的风险。

三、政策支持力度不及预期。新能源汽车和动力电池行业是发展的新兴行业，政策层面具有持续的激励和支持，若后续国内外新能源车和动力电池政策支持力度减弱，则存在固态电池量产不及预期的风险。

四、原材料价格波动的风险。固态电池上游原材料包括锂、钴、镍等金属及相关化合物，若上游原材料价格大幅上涨，或造成电池成本增加，产生需求放缓的风险。

国信证券投资评级

投资评级标准	类别	级别	说明
报告中投资建议所涉及的评级（如有）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，也即报告发布日后的6到12个月内公司股价（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。A股市场以沪深300指数（000300.SH）作为基准；新三板市场以三板成指（899001.CSI）为基准；香港市场以恒生指数（HSI.HI）作为基准；美国市场以标普500指数（SPX.GI）或纳斯达克指数（IXIC.GI）为基准。	股票投资评级	买入	股价表现优于市场代表性指数20%以上
		增持	股价表现优于市场代表性指数10%-20%之间
		中性	股价表现介于市场代表性指数±10%之间
		卖出	股价表现弱于市场代表性指数10%以上
	行业投资评级	超配	行业指数表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	行业指数表现介于市场代表性指数±10%之间
		低配	行业指数表现弱于市场代表性指数10%以上

分析师承诺

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。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，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我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。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构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，并向客户发布的行为。



国信证券

GUOSEN SECURITIES

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路125号国信金融大厦36层

邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路1199弄证大五道口广场1号楼12楼

邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街6号国信证券9层

邮编：100032