

2024年05月15日

华鑫证券
CHINA FORTUNE SECURITIES

锂电终局技术，产业加速落地

—固态电池行业专题报告

推荐(维持)

投资要点

分析师：黎江涛 S1050521120002

lijt@cfsc.com.cn

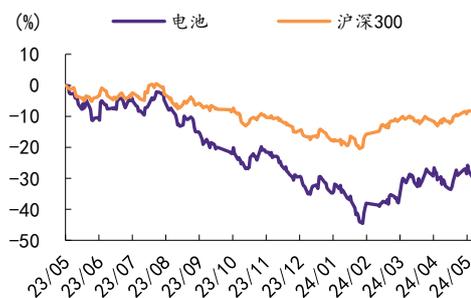
联系人：潘子扬 S1050122090009

panzy@cfsc.com.cn

行业相对表现

表现	1M	3M	12M
电池(申万)	-0.4	13.4	-29.7
沪深300	3.0	8.7	-8.5

市场表现



相关研究

- 《新能源汽车行业周报：年报季接近尾声，汽车以旧换新政策印发》2024-04-29
- 《新能源汽车行业周报：小米汽车订单火爆，低空经济政策频出》2024-03-31
- 《新能源汽车行业周报：小米汽车发布在即，关注供应链投资机会》2024-03-24

安全及高能量密度，固态电池优势尽显

新能源汽车行业快速发展，但安全事故频发，能量密度瓶颈呈现，是亟待解决的核心问题。固态电池以固态电解质替代易燃的电解液，可实现电池本征安全，同时兼容更好性能的正负极材料，可大幅提升锂电池能量密度，兼具高安全与高能量密度，成为全面提升锂电池性能的必然选择。

多方势力引领，产业化进程加速

全固态电池性能全面，但存在成本高、固-固界面导电性差等问题，限制其大规模商业化应用。半固态电池作为过渡技术，目前已在蔚来、东风岚图、上汽智己等品牌批量上车。此外，eVTOL行业高速发展，其对电池能量密度、安全性、倍率性能等提出更高要求，现有电池技术无法满足其要求，固态电池有望在eVTOL迎批量应用，产业发展有望受益。

全球主要国家均对固态电池行业积极布局，海外主要企业如Solid Power、丰田、三星SDI等均选择硫化物路线作为固态电池技术方向，并以研发全固态电池为主；国内企业如卫蓝、清陶等均选择氧化物路线，并先行研制、生产半固态电池。在海内外车企、电池厂共同推动下，产业化进程有望持续提速。

材料体系升级，创造产业新机遇

锂电池技术向固态电池转变过程将带动材料体系升级，主要包括：1) 固态电解质：固态电池以固态电解质替代电解液及隔膜；氧化物体系下锆、钽等材料有望受益；硫化物体系下则锆或将迎新机遇；2) 正负极材料：正极将更广泛的应用高镍三元，并逐渐向富锂锰基转变；负极将向硅基负极、锂金属负极演化；3) 多孔铜箔：对比传统电解铜箔，多孔铜箔可改善固态电池锂离子传输效率，提升循环，进一步增强固态电池安全性，与固态电池更适配；4) 铝塑膜：软包叠片可以改善固态电池柔韧性，或为最适用于固态电池的装配方式，有望带动铝塑膜需求。

行业评级及投资策略

固态电池兼具高安全性与高能量密度，或将成锂电池终局技术选择。国内车企、电池厂共同推动半固态电池产业化先

行，固态电池行业有望提速，给予行业“推荐”评级。建议重点关注宁德时代、当升科技、上海洗霸、金龙羽、三祥新材、东方锆业等。

■ 风险提示

下游需求不及预期；固态电池产业化进程不及预期；推荐公司业绩不及预期；推荐公司固态电池研发进展不及预期；其他系统性风险。

重点关注公司及盈利预测

公司代码	名称	2024-05-14 股价	EPS			PE			投资评级
			2023	2024E	2025E	2023	2024E	2025E	
300750.SZ	宁德时代	199.01	11.79	11.09	13.28	17	18	15	买入
300073.SZ	当升科技	42.07	3.80	2.26	2.76	11	19	15	买入
603663.SH	三祥新材	16.48	0.19	0.35	0.46	87	47	36	未评级

资料来源：Wind，华鑫证券研究（注：未评级盈利预测取自万得一致预期）

正文目录

1、 锂电技术终局，海内外加速推进	6
1.1、 优势显著，固态电池或将成锂电技术终局	6
1.2、 多技术路径并存，终局路径尚未明晰	9
1.3、 海内外企业共同推进，产业化进程加速	13
1.4、 eVTOL 等场景打开固态电池成长空间	18
2、 材料体系革新，创造产业新机	19
2.1、 固态电解质：革新变化，多方势力争相布局	19
2.2、 正极材料：高镍三元渗透率提升，富锂锰基有望应用	21
2.3、 负极材料：短期向硅基发展，长期锂金属有望应用	23
2.4、 铜箔：多孔铜箔有望获渗透率提升	24
2.5、 铝塑膜：软包叠片或为固态电池最优选，铝塑膜有望加速应用	25
3、 行业评级及投资策略	27
4、 重点推荐个股	28
4.1、 宁德时代	28
4.2、 当升科技	28
4.3、 上海洗霸	30
4.4、 金龙羽	31
4.5、 三祥新材	32
4.6、 东方锆业	33
5、 风险提示	34

图表目录

图表 1：动力电池技术发展趋势	6
图表 2：液体/固态电池结构示意图	6
图表 3：固态、半固态及液态电池对比	7
图表 4：锂电池热失控成因	7
图表 5：主流正极材料对比	8
图表 6：主流负极材料对比	8
图表 7：液态电池与聚合物固态电池在-20℃的对比表现	8
图表 8：全固态电池发展面临的核心科学问题	9
图表 9：主流固态电解质对比	9
图表 10：各类氧化物与硫化物固态电解质金属成本	9
图表 11：各类型氧化物固态电解质对比	10
图表 12：代表性硫化物电解质的离子电导率及活化能	11
图表 13：各类型聚合物固态电解质对比	12
图表 14：海内外主流固态电池企业技术路线选择	12

图表 15: 海外全固态电池产业化路线图	13
图表 16: 全球固态电池产业布局	13
图表 17: 部分车企固态电池布局动态	14
图表 18: Solid Power 固态电池规划	15
图表 19: Solid Power 产能情况	15
图表 20: QS 固态电池进展及规划	15
图表 21: QS 固态电池商业化路径图	15
图表 22: 丰田固态电池产业化路径图	15
图表 23: 中国固态电池企业产能规划	16
图表 24: 中国企业固态电池技术进展及上车规划	17
图表 25: 中国低空经济国家层面政策	18
图表 26: eVTOL 对电池参数要求	18
图表 27: 固态电解质成膜工艺	20
图表 28: 清陶能源台州项目固态电解质各组分耗量	20
图表 29: LLZTO 固态电解质对铜/钴/钽氧化物需求	20
图表 30: 国内部分企业固态电解质产业化进程及产能布局情况	21
图表 31: 主流正极材料性能对比	22
图表 32: 主要正极材料企业固态电池布局情况	22
图表 33: 液态电池到固态电池负极材料变化图谱	23
图表 34: 主流负极材料性能对比	23
图表 35: 国内企业硅基负极布局	24
图表 36: 国内企业金属锂负极布局	24
图表 37: 泡沫铜具备诸多优势	25
图表 38: 泡沫铜用量低于复合铜箔及电解铜箔	25
图表 39: 固态电池一体化叠片工艺	26
图表 5: 重点关注公司及盈利预测	27
图表 41: 宁德时代凝聚态电池单体能量密度可达 500Wh/kg	28
图表 42: 宁德时代凝聚态电池使用创新材料	28
图表 43: 当升科技与固态电池企业披露合作情况	29
图表 44: 清陶与卫蓝公司概况	29
图表 45: 清陶与卫蓝固态电池装车对比	29
图表 46: 卫蓝新能源产能	30
图表 47: 清陶能源产能	30
图表 48: 公司固态电池产业合作情况	30
图表 49: 公司固态电池产业链布局进展	31
图表 50: 公司固态电解质相关专利	32

图表 51：公司固态电池相关研发项目 33

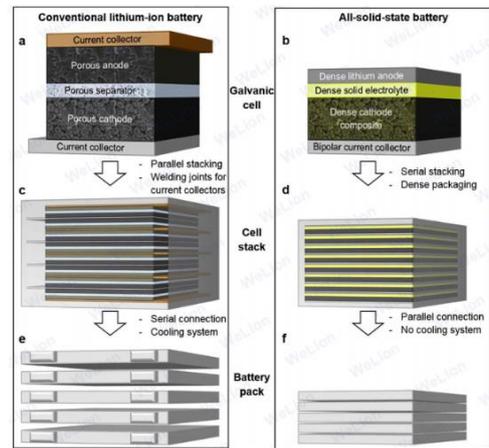
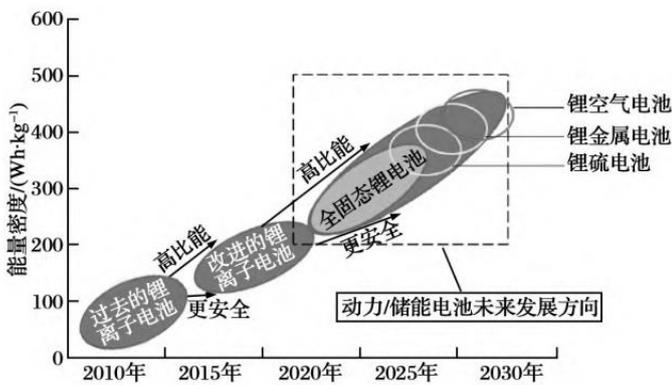
1、锂电技术终局，海内外加速推进

1.1、优势显著，固态电池或将成锂电技术终局

高安全、高能量密度的固态电池为锂电池发展必由之路。全球电动化快速发展，锂离子电池凭借高能量密度、长循环寿命等优势成为消费电子、新能源汽车、储能等诸多下游行业主要供能载体，支撑全球电动化进程。但随着新能源汽车渗透率持续提升，由于电池热失控导致的新能源车安全事故成为新能源车行业面临的一大挑战；此外，随着液态锂电池技术愈发成熟，其能量密度提升愈发困难，限制新能源车续航提升，里程焦虑成为限制新能源车渗透率进一步提升另一大瓶颈。全固态电池使用固体电解质替代易燃易爆的电解液，实现电池本征安全，同时可以应用更高比容量的正负极材料，打开锂电池能量密度天花板，成为全面提升锂电池性能的必然选择。

图表 1：动力电池技术发展趋势

图表 2：液体/固态电池结构示意图



资料来源：《固态电池技术发展现状综述》，华鑫证券研究

资料来源：锂电前沿，华鑫证券研究

液态电池为目前全球锂电池主流技术，工艺及供应链成熟，成本低，但电池本征安全问题及能量密度限制其进一步发展。半固态电池安全性及能量密度较液态电池有所提升，且产线与液态电池可以较好的兼容，成为液态与固态电池之间的过渡方案；固态电池可以解决电池本征安全问题，并可大幅提升锂电池能量密度，此外具有更好的宽温性能，是锂电池发展终局之选，但目前仍有制造成本高、固固界面导电性差等问题，限制其大规模商业化应用。

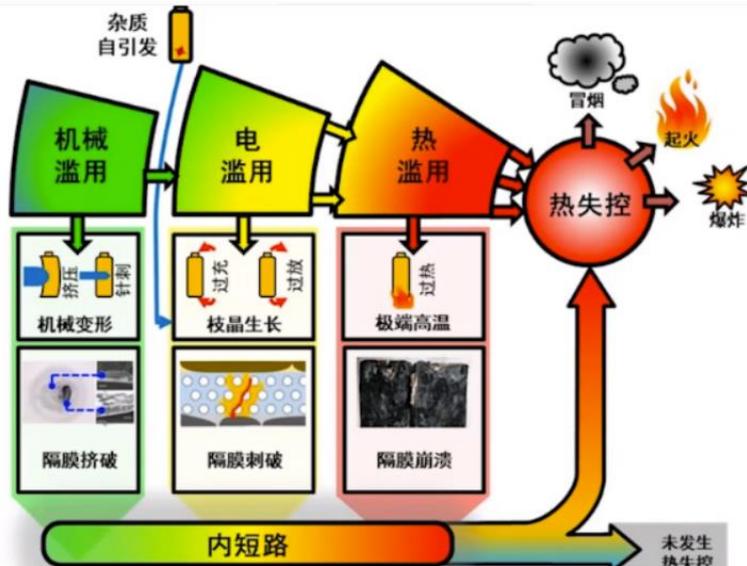
图表 3：固态、半固态及液态电池对比

	固态电池	液态电池	半固态电池
优点	-高安全/热稳定性 -电解质/电极界面稳定 -高能量密度 -无需依赖SEI膜稳定性	-工业化自动化程度高 -电解质电导率高 -制造成本相对较低	-安全性提升 -能量密度较高 -制造工艺与液态电池兼容性好
缺点	-制造成本高昂 -固-固界面导电性差 -制造工艺复杂	-安全/热稳定性差 -界面应力大，稳定性差 -依赖SEI膜稳定性 -离子电导率低	-仍含液态电解质，非完全固态 -电导率可能低于全固态 -长期稳定性待验证

资料来源：亿欧智库，华鑫证券研究

固态电池核心优势之一为其具有高安全性，主要由于其以热稳定性强、不易燃的固态电解质，替代易燃的液态电解液，大幅降低电池自燃、爆炸风险。此外，固态电解质具有更高的机械强度，能更好地抵抗电池内部的机械应力，防止锂枝晶穿透隔膜导致短路。同时，其化学稳定性强，不易与电极材料发生反应，进一步增加电池稳定性。因此，机械滥用、电滥用、热滥用三大锂电池热失控主要成因，在固态电池的应用下均得到良好的解决，固态电池安全性较液态电池大幅提升。

图表 4：锂电池热失控成因



资料来源：当宁消防网，华鑫证券研究

固态电池另一大核心优势为能量密度大幅提升。其提升能量密度主要通过：1) 以固态电解质替代液态电解质与隔膜，减少电池内部非活性材料，增加有效储能空间；2) 固态电解质不易燃，不挥发，也不易引起电池内部短路，使电池可以承受更高电压，使用更广泛的电极材料，如金属锂负极、富锂锰基等，同时提升正负极材料比容量及电压平台，进而

提升能量密度；3) 结构优化，由于没有液态电解质，固态电池结构设计可以更紧凑，减少电池组件之间的空间，从而提高体积能量密度。

图表 5：主流正极材料对比

主流正极材料	理论容量 (mAh/g)	实际容量 (mAh/g)	成本	电压平台
磷酸铁锂	170	140 -145	较低	3.2
高镍三元	280	175	较高	3.5
富锂锰基	>350	>250	较低	4.5

图表 6：主流负极材料对比

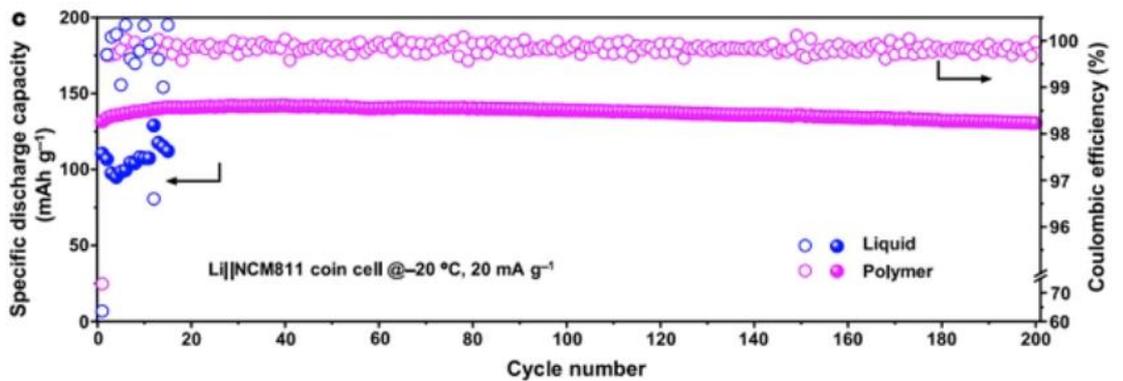
主流负极材料	理论容量 (mAh/g)	实际容量 (mAh/g)	优势	劣势
石墨	372	300-345	电导率高；化学性能稳定；锂离子嵌入容量高	嵌锂容量较低，限制锂电池能量密度
硅碳负极	4200	400-650	比容量高；电化学嵌锂电位低；快充性能优异；硅元素储量丰富；环境友好	体积膨胀率高；导电性差；循环寿命低；首次效率低
锂金属	3860	-	比容量高；电极电位极低	金属锂化学稳定性差，易与氧气、水发生反应；锂枝晶的存在可能导致：太长刺穿隔膜导致短路；电流强度较大导致断裂

资料来源：《富锂锰基正极材料研究进展》，《高容量富锂正极材料的挑战与最新进展》，《磷酸铁锂电池及其发展现状》，鑫椏锂电，华鑫证券研究

资料来源：《蓬勃发展的金属锂负极》，华经产业研究院，锂电池技术知识平台，贝特瑞官网，华鑫证券研究

除高安全性及能量密度，**固态电池具有更好的低温性能**。液态电池在低温下，由于电解液粘度增加，锂离子电导率降低，电池内阻上升，容量损失较大，甚至可能因电解液凝固导致电池无法正常工作。固态电池由于使用固态电解质，避免了液态电解质的这些问题，根据《Tailoring polymer electrolyte ionic conductivity for production of low-temperature operating quasi-all-solid-state lithium metal batteries》，聚合物固态电池在-20°C的表现远优于液态电池，且在-50°C条件下仍能正常工作。

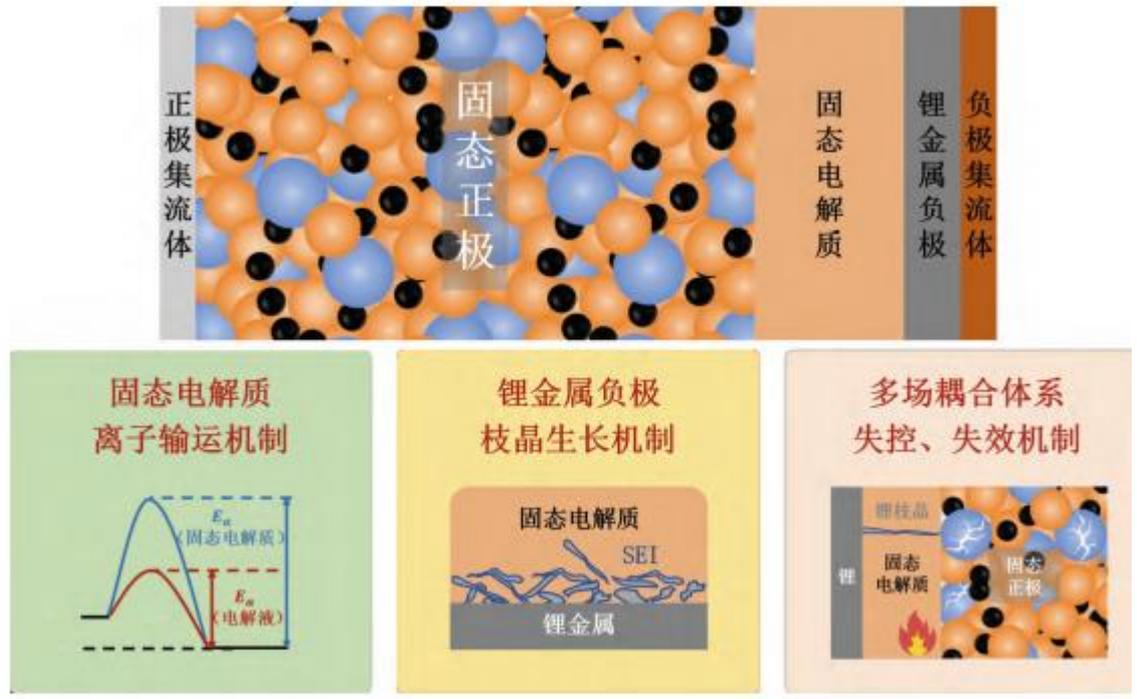
图表 7：液态电池与聚合物固态电池在-20°C的对比表现



资料来源：《Tailoring polymer electrolyte ionic conductivity for production of low-temperature operating quasi-all-solid-state lithium metal batteries》，华鑫证券研究

纵使固态电池具有高安全、高能量密度、优秀的低温性能等一系列优势，其产业化进程仍存一定阻碍，一方面由于生产工艺复杂、成本高，另一方面由于固态电池仍然存在科学问题，根据《全固态电池的研究进展与挑战》，固态电解质离子运输机制、锂金属负极枝晶生长机制、多场耦合体系失控/失效机制为固态电池三大核心科学问题，先进表征技术、原理机制创新、新型材料创制成为固态电池进一步发展重要途径。

图8：全固态电池发展面临的核心科学问题



资料来源：《全固态电池的研究进展与挑战》，华鑫证券研究

1.2、多技术路径并存，终局路径尚未明晰

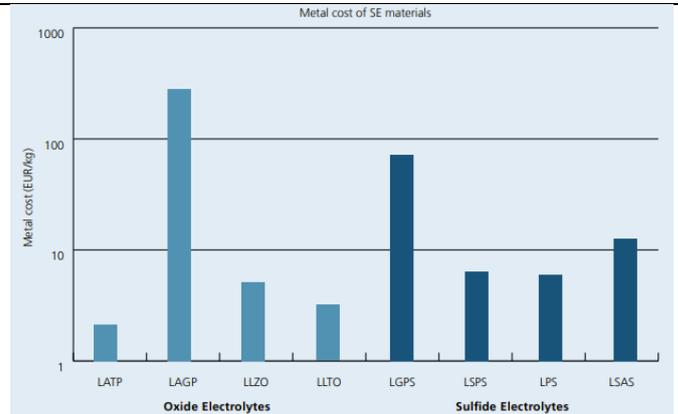
根据不同的电解质类型，固态电池主要包括聚合物、氧化物、硫化物三种技术路线。其中聚合物固态电池具有良好的机械性能，但常温下离子电导率较低；氧化物固态电池离子电导率较高，热稳定性好，适合大规模生产，但界面接触差，为目前半固态电池主要技术路线；硫化物电解质离子电导率最高，电化学窗口宽，柔度和可塑性好，或最终为全固态电池主要路径，但其生产要求高，且硫化锂前驱体昂贵，短时制约其商业化。

图9：主流固态电解质对比

分类	特点	当前问题	现有发展水平
氧化物全固态电池	稳定性高，安全性好，较高能量密度	离子电导率低，固-固接触差，电池倍率性能差	研发重心转向固液混合
聚合物全固态电池	电解质软，固-固接触好，成本低，工艺设备成熟	离子电导率低，热稳定性差，电化学窗口窄，安全问题	研发重心转向固液混合
硫化物全固态电池	高离子电导率，固-固接触好，能量密度高，倍率性能好	电解质稳定性差，成本高，电池生产环境要求高	材料开发电池原型验证全球范围加速推进产业化

资料来源：锂电前沿，华鑫证券研究

图10：各类氧化物与硫化物固态电解质金属成本



资料来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》，华鑫证券研究

氧化物电解质主要包括石榴石型、钙钛矿型、NASICON、LISICON 等，其中 LLZO 为代表的石榴石型氧化物固态电解质与锂负极接触稳定性高，同时拥有较宽的电化学窗口，但空气中不稳定，界面相容性较差；NASICON 型固态电解质对空气环境稳定性更高，但在固态电池循环中 Ti^{4+} 与锂金属负极接触易被还原，导致对锂金属电化学稳定性较差。目前石榴石型电解质为氧化物半固态电池主流选择。

图表 11：各类型氧化物固态电解质对比

种类	离子电导率 ($mS\ cm^{-1}$)	优点	缺点
石榴石型	$10^{-1}\sim 1$	离子电导率高、对锂负极稳定	空气中不稳定、界面相容性差
钙钛矿型	1	体相电导率高	立方相结构不稳定、晶界阻抗高
NASICON	$10^{-1}\sim 1$	离子电导率高、空气中稳定	对锂不稳定
LISICON	10^{-4}	高温下稳定	室温下离子的电导率低
硫化物型	>1	离子电导率高	制备条件苛刻、成本高

资料来源：《LATP@聚合物固态电解质的制备及性能研究》，华鑫证券研究

硫化物固态电解质中的 S^{2-} 半径比氧化物固态电解质中的 O^{2-} 大，且极化用强，用硫元素代替氧元素，可以增加电解质内部的晶胞体积、扩大 Li^{+} 的传输路径，提高离子电导率，但硫化物固态电解质对生产环境要求极高，导致了工艺成本升高。

硫化物固态电解质主要包括玻璃、玻璃陶瓷、Thio-LISICON 型、LGPS 型和硫银锗矿型。玻璃态硫化物电解质是最早被研究的快离子导体之一，由于玻璃态电解质没有晶粒，有效消除了晶界阻抗，使玻璃态硫化物电解质比相同组分的晶态硫化物电解质离子电导率高 1-2 个数量级，且玻璃态硫化物电解质合成工艺与当前多种技术兼容，有扩展到商业应用的潜力；玻璃陶瓷相是通过对玻璃态硫化物电解质进行高温析晶而得，析出的微晶超离子导锂晶相可以通过非晶态玻璃基体连接而形成连续的传导网络，是玻璃陶瓷具有较强的离子传导能力；Thio-LISICON 型材料具有较好的电化学稳定性，但离子电导率较低，在固态电池中的应用受到限制；LGPS 型硫化物电解质离子电导率高，但其中的 Ge 元素成本高且对锂金属不稳定，Sn、Si、Al 等元素对 Ge 的替代可有效降低成本，并进一步提升离子电导率；硫银锗矿型电解质在高温下具有高离子电导率，但热稳定性较差。

图表 12：代表性硫化物电解质的离子电导率及活化能

类别	组成	离子电导率 (S cm ⁻¹)	活化能 (eV)
玻璃	50Li ₂ S-50GeS ₂	4×10 ⁻⁵	0.5
	60Li ₂ S-40SiS ₂	5×10 ⁻⁴	0.25
	75Li ₂ S-25P ₂ S ₅	2×10 ⁻⁴	0.35
	57Li ₂ S-38SiS ₂ -5Li ₄ SiO ₄	2×10 ⁻³	0.37
	30Li ₂ S-26B ₂ S ₅ -44LiI	1.7×10 ⁻³	0.30
玻璃陶瓷	70Li ₂ S-30P ₂ S ₅	1.7×10 ⁻²	0.18
	Li ₇ P ₃ S ₁₁	9.7×10 ⁻⁴	0.32
	Li ₇ P _{2.9} Ce _{0.2} S _{10.9} Cl _{0.3}	3.2×10 ⁻³	0.22
	Li ₇ P _{2.9} Mn _{0.1} S _{10.7} I _{0.3}	5.6×10 ⁻³	0.22
	70Li ₂ S-29P ₂ S ₅ -1Li ₃ PO ₄	1.87×10 ⁻³	0.19
Thio-LISICON型	Li _{3.25} Ge _{0.25} P _{0.75} S ₄	2.2×10 ⁻³	0.21
	Li _{3.325} P _{0.935} S ₄	1.5×10 ⁻⁴	0.23
	Li _{3.4} Si _{0.4} P _{0.6} S ₄	6.4×10 ⁻⁴	0.29
	0.4LiI-0.6Li ₄ SnS ₄	4.1×10 ⁻⁴	0.44
LGPS型	Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂	1.2×10 ⁻²	0.25
	Li ₁₀ SnP ₂ S ₁₂	4×10 ⁻³	0.60
	Li ₁₀ SiP ₂ S ₁₂	2.3×10 ⁻³	0.20
	Li ₁₀ GeP ₂ S _{11.4} O _{0.6}	8.4×10 ⁻³	0.22
	Li _{9.54} Si _{1.74} P _{1.44} S _{11.7} Cl _{0.3}	2.5×10 ⁻²	0.24
硫银锗矿型	Li ₆ PS ₅ Cl	1.9×10 ⁻³	0.22
	Li ₆ PS ₅ Br	6.8×10 ⁻³	0.27
	Li ₆ PS ₅ I	4.6×10 ⁻⁷	0.32
	Li _{5.5} PS _{4.5} Cl _{1.5}	9.4×10 ⁻³	0.29
	Li _{6.75} Si _{0.75} Sb _{0.25} S ₅ I	1.31×10 ⁻²	0.17

资料来源：《硫化物基全固态锂电池材料设计及其性能研究》，华鑫证券研究

聚合物固态电解质具有良好的柔性和可加工性，适用于可穿戴设备等应用的固态电池。但其室温离子电导率低，导致电池倍率性能及功率密度均较低。此外，由于锂盐对适度敏感，合成过程须在干燥条件下进行，其生产成本有一定增加。另一方面，聚合物热稳定性

较差，使其对电池工作温度的变化范围有较严格的要求。部分聚合物固态电解质机械强度较低，因此当使用锂金属负极时，难以阻止锂枝晶生长。由于以上问题，聚合物固态电解质在固态电池中的应用受到限制。

图表 13：各类型聚合物固态电解质对比

材料	电导率	优势	劣势
PEO	10^{-7} S/cm 修饰后可达 10^{-4} S/cm	锂离子传输能力强，负极兼容性好，电极界面阻抗小	离子电导率低，电压窗口低，机械强度差，粘性大影响成膜
PS	10^{-6} S/cm 修饰后可达 10^{-4} S/cm	热稳定性高，化学稳定性高，负极稳定性高，易加工成膜	离子电导率低，机械强度差，大规模制造难度大，电化学窗口窄
PAN	修饰后可达 10^{-3} - 10^{-4} S/cm	化学稳定性好，耐热性强，电化学窗口宽	离子电导率低，力学性能差
PMMA	修饰后可达 10^{-3} - 10^{-4} S/cm	与锂电极界面阻抗低，锂离子传输能力强，制造成本低，易合成	成膜后硬脆、柔韧性差、机械强度差

资料来源：锂电前沿，华鑫证券研究

目前海外主要企业如 Solid Power、丰田、三星 SDI 等均选择硫化物路线作为固态电池技术方向，并以研发全固态电池为主；国内企业如卫蓝、清陶等均选择氧化物路线，并先行研制、生产半固态电池。虽各企业技术路径选择具一定差异，但从现有趋势来看，氧化物与半固态、硫化物与全固态成为主流搭配，硫化物或成为全固态电池终局技术路径。

图表 14：海内外主流固态电池企业技术路线选择

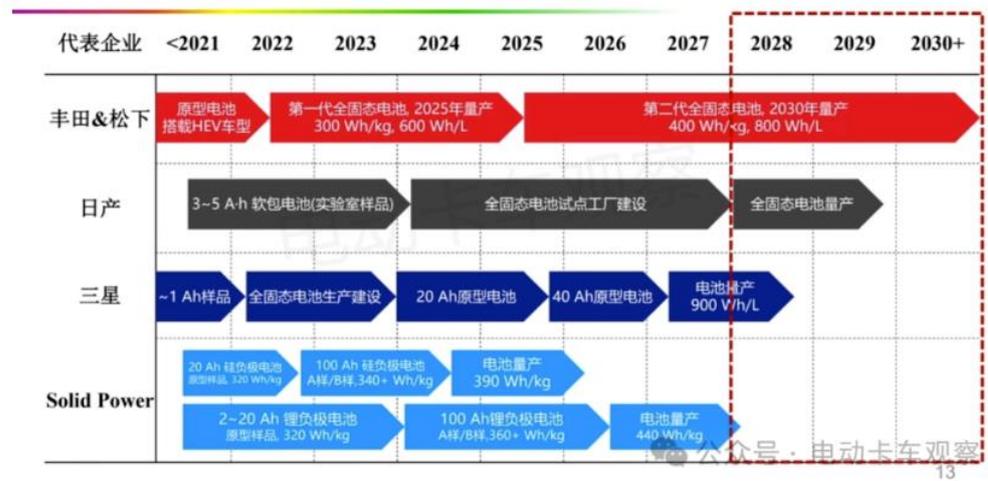
企业	能量密度	技术路线	正负极材料
QuantumScape	350Wh/kg	氧化物陶瓷+半固态+无负极	正极锂金属，充电时形成负极，放电时传向正极
Solid Power	硅负极390Wh/kg, 锂金属负极440Wh/kg	硫化物+全固态	三元+硅碳/锂金属
丰田	>350Wh/kg	硫化物+全固态	三元+锂金属
赣锋锂业	一代260Wh/kg, 二代400Wh/kg	氧化物+半固态	一代三元+石墨；二代三元+锂金属
国轩高科	一代360Wh/Kg, 二代400Wh/kg	氧化物+半固态	一代三元+石墨；二代正极三元，负极未定
卫蓝新能源	一代360Wh/kg	氧化物+半固态	三元+硅碳负极
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

资料来源：固态电池 SSB，芝能科技，经纬创投，IT 之家，集邦固态电池，太平洋号，华鑫证券研究

1.3、海内外企业共同推进，产业化进程加速

全球企业共同推动固态电池商业化进程，各企业规划固态电池量产时间点普遍在 2027-2030 年。全球固态电池势力主要包括中国传统电池厂、中国新势力企业、韩国传统电池厂、日本主机厂、美国新势力企业等。其中日本对固态电池布局时间早、布局力度大，日本政府推出《日本蓄电池产业战略》，举国家之力推动固态电池产业化，试图在固态电池领域弯道超车，目前丰田具有全球最多的固态电池专利；韩国主要由三星 SDI、LG 等龙头电池企业布局固态电池；美国固态电池布局以 Solid Power、Quantum Scape 等初创企业为主，其与欧洲龙头主机厂大众、宝马等深度合作；中国则由传统电池厂、固态电池新势力厂商共同推进。

图表 15：海外全固态电池产业化路线图



资料来源：锂电前沿，华鑫证券研究

图表 16：全球固态电池产业布局



资料来源：锂电前沿，华鑫证券研究

车企端来看，由于国内企业采用半固态电池作为过渡方案，东风 E70、东风岚图、蔚来、

赛力斯、上汽智己等已实现半固态电池量产上车；海外企业多采用全固态电池路线，其中宝马与 Solid Power 合作，预计 2025 年推出固态电池原型车，2030 年量产固态电池车型；大众与 QS 合作，预计 2025 年建立固态电池量产线；奔驰与辉能、Factorial Energy 等合作，计划 2028 年批量生产固态电池；丰田计划 2025 年推出全固态电池混动汽车，2030 年推出全固态电池纯电汽车。

图表 17：部分车企固态电池布局动态

规划装车时间	车企	动态	电池供应商
2021年1月	东风汽车	2022年1月，50辆搭载赣锋锂电高比能固态电池的东风E70开启示范运营	赣锋锂电
2023年1月	东风岚图	1月13日，东风岚图“追光”首批量产车型正式下线，搭载82度电池包，采用能量密度为170wh/kg的半固态电池，配套岚图自研的“云母”电池系统	孚能科技
2023年	蔚来	蔚来150度的半固态电池将于2023年上半年推出，搭载于ET7车型。采用卫蓝新能源研发的半固态电池，这款能量密度360 wh/kg的电池延期至今年上半年完成量产	卫蓝新能源
2023年	赛力斯	纯电动SUV赛力斯-SERES-5规划于2023年上市，搭载锋锂电三元半固态电池。SERES 5搭载的半固态电池为90度电，最大续航里程(WLTP) 530km，主攻欧洲市场	赣锋锂电
2023年	上汽智己	2023年4月，上汽智己L6举行新车发布会，准900V超快充固态电池将量产上车，该固态电池能量密度达368Wh/kg，续航超1000km，充电12分钟续航可增加400km	清陶能源
2025年	长安深蓝	2022年年底，长安深蓝在第二十届广州车展表示，公司从1年多前就开始加速半固态电池研发，目前已经进入工程化研发阶段，预计2025年将载整车应用	/
2025年	大众	大众集团已向QuantumScape累计投资3亿美元，QuantumScape在2022年向大众交付了第一批A样原型固态电池供测试。按照大众的计划，2025年将建立固态电池量产线	Quantum Scape
2025年	宝马	2023年1月，宝马集团公告，将与Solid Power启动下一阶段全固态电池的联合研发。Solid Power将向宝马授权电池设计和制造工艺，帮助宝马在慕尼黑附近的工厂建设中试线。宝马计划，第一辆采用全固态电池的原型车在2025年之前推出，2030年实现全固态电池的量产	Solid Power
2026-2030年	丰田	丰田汽车计划2025年推出全固态电池混合动力汽车，2030前推出全固态纯电动汽车。2022年，丰田汽车决定投资约430亿日元(约22亿人民币)，建设全固态电池示范生产线，预计2024年春季启动，并希望将全固态电池搭载在2026~2030年间推出的车型上	自产
2028年	奔驰	2023年1月27日，奔驰投资了中国台湾省固态电池研发公司辉能科技(ProLogium)，此前，奔驰已投资了美国固态电池公司FactorialEnergy。奔驰计划2028年实现固态电池批量生产	辉能科技、Factorial Energy
2028年	日产	2022年，位于日本神奈川县的日产研究中心正式启动原型电池的开发工程，按计划，日产将于2024年在横滨建设固态电池试点工厂，2028年推出配装全固态电池的里产车。2023年2月，日产欧洲表示已经成功开发出全固态电池，目标是2025年开始试生产，2028年生产一款由固态电池驱动的全新电动汽车	/
/	Vinfast	2022年7月，辉能科技官宣，越南汽车品牌vinFast对辉能科技投资数千万美元。双方约定，自2024年起，辉能科技将为VinFast供货固态电池。未来，两家公司还会规划在越南成立合资企业，建立固态电池工厂	辉能科技
/	比亚迪	比亚迪早在2016年以前就开始投入固态锂电池的研发工作，目前在国内的相关专利数里众多，位列国内第一。其两种技术路线，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	/

资料来源：GGII，华鑫证券研究

海外电池企业来看，美国 Solid Power 及 QS、日本丰田固态电池进展较快。其中 Solid Power 2022 年完成硫化物全固态电池试生产线安装，周电池产能达 300 个，并于 2023 年 11 月向宝马交付第一批 A 样产品，固态电池正式进入装车验证阶段，其计划 2024 年完成 B 样和 C 样开发，2025 年完成 D 样开发并进入 SOP 阶段。产品方面，Solid Power 计划 2024 年测试锂金属负极+八系三元正极固态电池产品，能量密度可达 440Wh/kg，并计划 2026 年量产锂金属负极+下一代正极固态电池产品，能量密度预计将达 560Wh/kg。

图表 18: Solid Power 固态电池规划

产品	硅负极+电解质+NCM811	锂金属负极+电解质+NCM811	锂金属负极+电解质+下一代正极
能量密度	390Wh/kg	440Wh/kg	560Wh/kg
体积能量密度	930Wh/L	930Wh/L	785Wh/L
循环周期	1000+循环	1000+循环	1000+循环
快充	15min 10%-90% SOC	20min 10%-90% SOC	30min 10%-90% SOC
量产计划	22年测试 25年量产	24年测试 26年量产	26年量产

资料来源：固态电池 SSB，华鑫证券研究

图表 19: Solid Power 产能情况

SP1 EV cell manufacturing line

- Installed 2022 and now in production
- Capable of producing 300 EV-scale cells per week
- EV cell deliveries targeted in 2023
- Intended to drive initial automotive qualification activities with R&D focus longer term



SP2 electrolyte production facility

- Production started early 2023
- Intended to meet automotive qualification electrolyte needs
- Targeted capacity of 30 - 60 metric tonnes per year
- Electrolyte sampling to new customers occurring in 2H 2023



资料来源：Solid Power，华鑫证券研究

QS 固态电池主要与大众合作，2024 年初，大众 PowerCo 证实 QS 固态电池充放电 1000 次后仍可保持 95%容量，意味着固态电池产业在循环方面取得重大进展。QS 计划 2024 年首次小批量试产 B 样固态电池产品，并于 2025 年底开始批量化生产固态电池。

图表 20: QS 固态电池进展及规划

2023 Milestones Achieved

Product Development
Shipped Unit Cells With Higher-Loading Cathodes
Shipped high cathode-loading unit cells to automotive OEM partners

Improved cell packaging efficiency
Finished integrating several packaging improvements, including tighter internal margins, thinner current collectors, and a slimmer frame.

Introduced QSE-5, our planned first commercial product
Working closely with a prospective launch customer in the automotive sector for the QSE-5

Manufacturing Scale Up
Deployed fast separator production: Raptor
Deployed higher throughput separator process required for low-volume QSE-5 prototype samples

Improved production quality and consistency
Increased cell reliability by improving the cathode-separator interface, reducing particle contamination, improving the components and processes that go into cell assembly, and made advances across our entire production flow

2024 Goals

Product Development

- Ship Alpha-2 sample
- Begin low-volume QSE-5 prototype production

Manufacturing Scale Up

- Ramp Raptor process
- Prepare for Cobra production in 2025

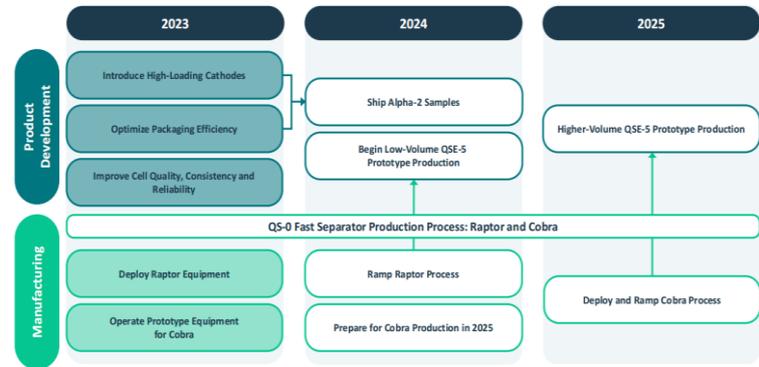
Future Goals

Product Development
Produce Higher-Volume QSE-5 prototype samples
Higher-volume QSE-5 prototype samples in 2025

Manufacturing Scale Up
QS-0 Fast Separator Production: Cobra
Develop manufacturing tools, equipment and processes to scale production and produce higher-volume QSE-5 prototype samples

资料来源：QS，华鑫证券研究

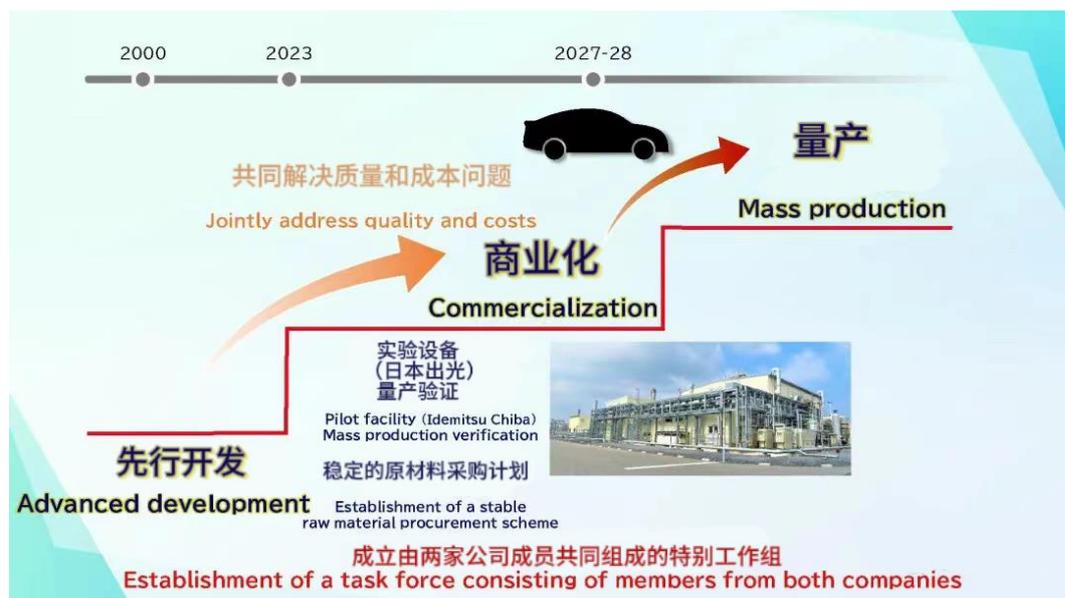
图表 21: QS 固态电池商业化路径图



资料来源：QS，华鑫证券研究

丰田是全球最早布局固态电池的车企之一，其与石化巨头出光合作研发固态电解质，共同解决质量与成本问题，出光 2001 年便开始固态电池基础研究工作，丰田则 2006 年开始研发固态电池，相关专利数量超过 1000 件。根据丰田规划，第一代全固态电池将于 2027-2028 年问世，续航里程将达 621 英里（993 公里）以上，预计可以 10 分钟内将电池电量由 10%充电至 80%；第二代固态电池预计续航将达到 745 英里（1192 公里）。

图表 22: 丰田固态电池产业化路径图



资料来源：芝能科技，华鑫证券研究

中国布局固态电池的企业包括宁德时代为代表的电池厂、卫蓝为代表的新势力、金龙羽为代表的其他行业转型、赣锋锂业为代表的上游企业一体化布局。宁德时代 2023 年 4 月发布凝聚态电池，能量密度达 500Wh/kg，可用于电动载人飞机；孚能科技第一代半固态电池能量密度达 330Wh/kg，已在东风岚图量产装车；卫蓝半固态电池能量密度达 360Wh/kg，已批量交付蔚来 150kWh 车型。根据中国汽车动力电池产业创新联盟，2024 年前 4 月国内半固态电池装车量达 1.1GWh，主要由上述三家企业贡献。其他企业中，清陶能源半固态电池已在上汽智已上车，2025 年有望装车上汽飞凡、MG、荣威等；赣锋锂业 2023 年上车赛力斯 SERES-5，12 月与长城汽车达成合作协议，并预计 2026 年上车广汽；辉能科技与奔驰、Vinfast 等合作进行固态电池研发。整体来看，国内企业半固态电池企业与主机厂合作顺利，正有序上车，产业化进程提速。

图表 23：中国固态电池企业产能规划

企业	产能规划 (GWh)	生产基地	落地产能
赣锋锂电	58.3	江西新余、重庆、东莞等	2023年产能4GWh, 在建产能30.3GWh
清陶能源	55	江西宜春、江苏昆山、成都郫都、内蒙古乌海、浙江台州等	2023年产2.7GWh, 在建产能10GWh
卫蓝新能源	128.2	北京房山、江苏溧阳、浙江湖州、山东淄博等	2023年产能5.8GWh, 在建产能46GW
辉能科技	50	欧洲、中国台湾等	2023年产能2GWh, 在建产能48GW
太蓝新能源	12.2	安徽淮南、重庆等	2023年产能0.2GWh, 在建产能12GW
恩力动力	10	北京大兴GWh级先进电池智造基地	2023年产能1GWh
领新新能源	20	大容量凝胶聚合物固态电池项目	预计2024年规模化量产
巨电新能源	10	江西省赣州“年产10GWh固态锂电池及PACK制造生产一期”项目	在建2GWh, 规划10GWh
中机建设&巨电新能源	-	江苏南通国机巨电半固态电池项目	建设中
富鑫科技	10	江西巨电固态锂电池一期项目	建设中
高乐股份	2	浙江义乌固态电池项目	建设中
金启航	22	山东乐陵固态电池生产基地一期	建设中
昊威新能源	30	重庆固态钠电池项目	建设中
中科深蓝汇泽	1	江苏常州固态锂电项目	建设中

资料来源：深圳市电池行业协会，华鑫证券研究

图表 24：中国企业固态电池技术进展及上车规划

企业	产品	单体能量密度 (Wh/kg)	最新进展	量产规划	其他进展
宁德时代	凝聚态电池	500	可应用于电动载人飞机	车规版本量产在即	全固态电池方面，在硫化物路线固态电解质上有多项专利
亿纬锂能	固液混合的半固态软包电池	330	已完成技术定型，进入装车验证阶段	/	循环寿命超过1000次
	基于卤化物电解质的全固态	500	/	预计于2024年正式发布	可实现在弯折条件下正常充放电；在高镍体系实现150°C稳定运行
蜂巢能源	二代果冻电池 (方形半固态)	300-350	已达到量产状态，正洽谈百亿级合作	/	采用了二代果冻电解质技术和一体化复合正极技术，突破方壳中高镍掺硅体系膨胀瓶颈
	20Ah级硫系全固态原型电芯	350-400	/	/	/
国轩高科	半固态电池	360	已通过新国标安全测试，开始量产	预计2025年后将生产出能量密度超过400Wh/kg的电池	与上汽、高合等车企有合作
	半固态电池	400	已开发出原型样品		
中创新航	半固态电池	350-450	完成技术开发，寿命可以做到450-500圈，安全性通过国标测试	2024Q4装车某外资豪华品牌	/
	全固态电池	600	/	/	/
孚能科技	半固态电池	330	2023年3月，第一代半固态电池量产装车；11月在远航Y6首批装车下线	/	与东风岚图、奔驰、广汽、吉利等有合作
辉能科技	半固态电池	>360	分别与奔驰、Vinfast、ACC等合作研发固态电池	2024年开始批量交付	与奔驰、Vinfast、ACC、FEV、Gogoro、蔚来、北汽、一汽等有合作
清陶能源	半固态电池	>368	2023年，与上汽联合开发的第一代半固态电池完成装车实验，最大续航里程达1083公里；产品成本与液态锂电池相当	<ul style="list-style-type: none"> 24年上半年装车上汽智己，二代半固态电池量产，电解液含量小于5%，成本较液态锂电池低20%； 2025年，产品装车智己、非凡、荣威、MG等，销售规模突破10万辆； 2027年，全固态电池实现量产，能量密度将超500Wh/kg成本较液态锂电池减少四成。 	<ul style="list-style-type: none"> 核心生产设备和电解质材料均为自研自产 与上汽、北汽、广汽、蔚来、哪吒等车企有合作
卫蓝新能源	半固态电池	360	<ul style="list-style-type: none"> 2023年6月首批电芯交付蔚来汽车，累计出货量超0.4GWh； 10月，与三峡共同研制的固态电池储能系统实现示范应用 	量产爬坡中，2024年4月开始向蔚来批量供货	动力电池领域客户蔚来、吉利等，储能电池领域客户三峡集团、海博思创等
太蓝新能源	半固态电池	350-400	2022年首款半固态电池量产，产品成本与液态电池成本相当；已为多家主机厂进行送样测试	2024年批量出货	全周期可实现平均40快充，循环寿命达到1000-1500圈
金龙羽	半固态电池	/	固态电解质、半固态电芯处于中试阶段	/	/
赣锋锂业	半固态电池	260-400	<ul style="list-style-type: none"> 2022年搭载50辆东风风神E70并交付； 2023年上车赛力斯SERES-5，进军欧洲市场并交付； 12月与长安汽车达成合作协议 	2026年上车广汽昊铂；全固态电池产品实现量产	与大众、东风、广汽、赛力斯、长安等车企有所合作

资料来源：GGII，华鑫证券研究

1.4、eVTOL 等场景打开固态电池成长空间

2024年3月，工信部等四部门联合印发《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》，提出到2027年新型通用航空装备在城市空运、物流配送、应急救援等领域实现商业应用；到2030年形成万亿级市场规模。低空经济2023年12月在中央经济工作会议中被列为战略性新兴产业，近两年利好政策频出，此外，深圳、广州等地出台地方性扶持政策，对低空经济进行补贴。在国家和地方政策支持下，低空经济有望进入发展快车道，续接新能源车，带动锂电池等产业持续高速增长。

图表 25：中国低空经济国家层面政策

日期	文件名称	机构	核心要点
2024年3月	通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）	工信部、科技部、财政部、民航局	到2030年，以高端化、智能化、绿色化为特征的通用航空产业发展新模式基本确立，形成万亿级市场规模。支持依托长三角、粤港澳等重点区域，以eVTOL为重点开展应用示范
2024年2月	民用无人驾驶航空器运行安全管理规则	民航局	从法律层面对eVTOL正式进入商业运营过程中必须面对的操控员、适航管理、运行管理、运营资格等问题制定了基本规则。涵盖了eVTOL正式商业运营将面临到的大部分问题
2023年12月	国家空域基础分类方法	国家空管委	将空域划分为管制空域和非管制空域，非管制空域的划分为eVTOL的试点运行以及商业化落地奠定基础
2023年10月	绿色航空制造业发展纲要（2023-2035年）	工信部、科技部、财政部、民航局	力争到2025年电动通航飞机投入商业应用，eVTOL实现试点运行，鼓励珠三角、长三角、环渤海、成渝等优势地区，设立低空经济示范区，开展轻小型电动飞机规模化示范运营，eVTOL商业示范运营
2023年6月	无人驾驶航空器飞行管理暂行条例	国务院、中央军委	规范无人机生产、注册、运行管理，无人机及操控员的管理、空域和飞行活动管理、监督管理和应急处置、法律责任等

资料来源：九派资本，华鑫证券研究

eVTOL 对电池能量密度、安全性、倍率性能等具较高要求，有望助推固态电池产业化进程。作为 eVTOL 核心组件，电池的性能决定了 eVTOL 的性能和市场接受度，其中高能量密度、高比功率、高安全性等为其对电池的核心要求，这几项要求恰为固态电池核心优势所在，因此 eVTOL 的快速发展将对锂电池性能升级形成助推作用，有望加速固态电池产业化进程。

图表 26：eVTOL 对电池参数要求

指标	参数
能量密度	目前已达285Wh/kg, 2030年目标500Wh/kg, 2040年目标1000 Wh/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

资料来源：GGII，华鑫证券研究

2、材料体系革新，创造产业新机

锂电池技术向固态电池转变过程将带动材料体系变动，主要包括：1) **固态电解质**：固态电池以固态电解质替代电解液及隔膜，由于固态电池最终技术路径未定且目前技术尚不成熟，最终对于各细分材料的弹性拉动尚无法给出明确结论，若氧化物最终成为主流路线，则对锆、铜等金属元素需求将有较大拉动，若硫化物成为最终路线，则锗元素或将迎来大规模应用；2) **正负极材料**：固态电池可以承受更高电压，进而使用更广泛的电极材料，此外固态电池安全性大幅提升，对活性高、安全性差的正负极材料具有更高包容度，故正极将更广泛的应用高镍三元，并逐渐向富锂锰基转变；负极将向硅基负极、锂金属负极演化；3) **多孔铜箔**：可改善固态电池锂离子传输效率、进一步增强固态电池安全性，与固态电池更适配，有望替代传统电解铜箔；4) **铝塑膜**：软包叠片可以改善固态电池柔韧性，与固态电池更适配，有望带动铝塑膜需求。

2.1、固态电解质：革新变化，多方势力争相布局

固体电解质膜为全固态电池独有结构，取代了液态电池的隔膜和电解液，主体为固体电解质。固体电解质的成膜工艺是全固态电池制造的核心。不同的工艺会影响固体电解质膜的厚度和离子电导率，固体电解质膜过厚会降低全固态电池的质量能量密度和体积能量密度，同时也会提高电池的内阻；固体电解质膜过薄机械性能会变差，有可能引起短路。

根据对全固态电池的性能要求选择合适的成膜工艺，得到所需厚度和离子电导率的固体电解质膜。固体电解质的成膜工艺根据是否采用溶剂分为湿法工艺和干法工艺。湿法工艺成膜操作简单，工艺成熟，易于规模化生产，是目前最有希望实现固体电解质膜量产的工艺之一，按照载体不同，湿法工艺可分为模具支撑成膜、正极支撑成膜以及骨架支撑成膜。湿法工艺中采用的溶剂可能存在毒性大，成本高的缺点，且残留的溶剂会降低固体电解质膜的离子电导率。干法工艺不采用溶剂，直接将固体电解质和粘结剂混合成膜，不需要烘干，在成本上更具优势，同时干法成膜无溶剂残留，可获得更高的离子电导率。但干法工艺形成的固体电解质膜通常厚度偏大，会降低全固态电池能量密度。除干法、湿法工艺，还有化学气相沉积、物理气相沉积、电化学气相沉积等工艺，但气相沉积法生产固态电解质膜成本过高，短期商业化难度较大。

图表 27：固态电解质成膜工艺

工艺		优点	缺点
湿法	模具支撑成膜	操作简单，工艺成熟，易于规模化生产	中采用的溶剂可能存在毒性大、成本高的缺点，且残留的溶剂会降低固体电解质膜的离子电导率
	正极支撑成膜		
	骨架支撑成膜		
干法	-	不采用溶剂，直接将固体电解质和粘结剂混合成膜，不需要烘干，在成本上更具优势；无溶剂残留，可获得更高的离子电导率	固体电解质膜通常厚度偏大，会降低全固态电池的能量密度
其他	化学气相沉积		成本高，仅适用于薄膜型全固态电池
	物理气相沉积		
	电化学气相沉积		
	真空溅射		

资料来源：《全固态电池生产工艺分析》，华鑫证券研究

固态电池的商业化应用将显著提升对固态电解质相关材料的需求，根据清陶能源台州项目环评报告，1GWh 半固态电池需 106 吨 LiTFSI 及 178 吨 LLZTO，相应需 101 吨氧化镧、45 吨氧化锆、11 吨五氧化二钽。

图表 28：清陶能源台州项目固态电解质各组分耗量

名称	形态	单 GWh 消耗量 (t/GWh)
LiTFSI	粉状	106
LLZTO	粉状	178
DMAC	液态	4384
NMP	液态	130

资料来源：清陶能源环评，华鑫证券研究

图表 29：LLZTO 固态电解质对镧/锆/钽氧化物需求

分子式	单位分子量	单位耗量 (t/t)	单 GWh 耗量 (t/GWh)
La ₂ O ₃	325.82	0.57	101
ZrO ₂	123.22	0.25	45
Ta ₂ O ₅	441.9	0.06	11
Li _{6.75} La ₃ Zr _{1.75} Ta _{0.25} O ₁₂	860.4475	1	178

资料来源：基于锂镧锆钽氧聚合物复合固态电解质的制备和优化研究，华鑫证券研究

国内各方势力纷纷布局固态电解质产能，其中清陶能源、瑞道科技、天目先导产能布局领先，清陶能源布局 1300 吨产能，主要用于自供；瑞道科技布局 6000 吨产能，主要为硫化物全固态电解质；天目先导布局 3000 吨产能，主要供应卫蓝新能源。

图表 30：国内部分企业固态电解质产业化进程及产能布局情况

企业	主营业务	产业化进程/客户	产能布局
清陶能源	固态电池	自供	产能1300吨
赣锋锂业	锂产品及锂电池	自供/出售	产能超200吨
天目先导	硅基负极、固态电解质	供应卫蓝新能源	产能3000吨
蓝固新能源	固态电解质	目前有江苏溧阳(1千吨)、浙江湖州(5千吨)、山东淄博(5万吨),供应卫蓝新能源	规划5.6万吨原位固态化电解质,7000吨固态电解质粉体,1万吨固态电解质浆料,已部分量产
厦钨新能	正极材料	固态电解质成功研发,固态电解质包覆正极处于小试阶段	固态电解质实现吨级量产
当升科技	正极材料	推出纳米级固态电解质+固态电解质包覆正极,固态锂电材料实现批量供货	-
贝特瑞	正负极材料	固态电解质获小批量订单	-
上海洗霸	水处理	固态电解质送样客户	吨级至10吨级产线投产;规划50吨产能预计2年建成
瑞道科技	固态电池及相关材料	2023年9月硫化物全固态电解质生产基地项目签约落地浙江衢州	产能6000吨

资料来源：深圳市电池行业协会，华鑫证券研究

2.2、正极材料：高镍三元渗透率提升，富锂锰基有望应用

固态电池正极材料相较于传统液态锂离子电池变化较小，材料体系可继续沿用，关键在于向高比能、高能量密度的方向进行革新。由于固态电解质与电极材料的界面反应时几乎不存在电解液面对超过 4V 高电压时开始分解的副反应，能承受更高电压（5V），因此可以在固态电池中使用具有较高电压平台的正极材料，通过提升工作电压以获得更高的能量密度。目前市面上清陶能源、卫蓝新能源装车交付的半固态电池，仍以高镍三元材料为主。富锂锰基被业内一致认为是全固态电池可选用的理想正极材料，其高电压和高放电比容量具有先天优势，理论克容量可达 350mAh/g，电压平台可达 4.5V，均显著高于传统正极材料。此外，富锂锰基材料以较便宜的锰元素为主，贵重金属含量少，成本更低、安全性更好。

图表 31：主流正极材料性能对比

主流正极材料	理论容量 (mAh/g)	实际容量 (mAh/g)	成本	电压平台
磷酸铁锂	170	140 -145	较低	3.2
高镍三元	280	175	较高	3.5
富锂锰基	>350	>250	较低	4.5

资料来源：《富锂锰基正极材料研究进展》，《高容量富锂正极材料的挑战与最新进展》，《磷酸铁锂电池及其发展现状》，鑫椏锂电，华鑫证券研究

国内高镍三元正极材料供应商均积极布局固态电池正极材料，其一方面延续原高镍路线，并向超高镍方向发展，另一方面布局富锂锰基材料，典型企业包括容百科技、当升科技。容百科技 2022 年 4 月与卫蓝新能源签订战略合作协议，约定 2022 年 5 月-2027 年 4 月卫蓝选择容百作为高镍三元正极第一供应商，2022-2025 年向容百采购不少于 3 万吨固态电池正极材料。当升科技分别于 2021 年 12 月、2022 年 7 月与卫蓝新能源、清陶能源达成战略合作，分别约定采购量 2.5 万吨、3 万吨。此外，宁夏汉尧对富锂锰基材料投入较早，目前已建成万吨级富锂锰基材料产线，并于 2022 年与宁德时代、中国科学院宁波所共同合作富锂锰基相关国家重点专项。

图表 32：主要正极材料企业固态电池布局情况

企业	产品布局	客户合作
容百科技	公司在固态电池适用的改性高镍/超高镍三元正极材料、氧化物固态电解质、富锂锰基正极材料、尖晶石镍锰酸锂等新材料开发领域持续取得技术突破	2022年4月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。Ni90高镍产品已批量供货卫蓝新能源360Wh/kg半固态电池体系
当升科技	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	2021年12月与卫蓝新能源达成战略合作，卫蓝拟在在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月与清陶能源达成战略合作，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。此外固态锂电材料也对赣锋锂电、辉能实现批量销售
厦钨新能	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。固态电解质已实现吨级生产，产品稳定可靠	
宁夏汉尧	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	2022年与宁德时代、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：锂电前沿，华鑫证券研究

2.3、负极材料：短期向硅基发展，长期锂金属有望应用

固态电池负极材料发展路径较为清晰，将遵循从石墨到硅基，最终迈向金属锂负极的路径。硅基负极理论比容量可达 4200mAh/g，达石墨负极的十倍，但硅负极嵌锂时体积膨胀明显，导致硅颗粒破裂从集流体上脱落，且伴随 SEI 重复生成，不断消耗锂离子，导致库伦效率低，电池容量持续衰减，制约其大规模应用。固态电池体系可以较好的抑制硅负极的缺点，例如在硫化物体系中，电解质具有较高的离子电导率，可以有效促进硅负极极片中离子扩散，同时硫化物电解质具有优良的机械延展性，可以缓冲硅负极的体积变化，因此，硅基负极固态电池中的应用有望逐步扩大。

金属锂因具有高比容量（3860mAh/g）、最低的电化学势（-3.04V 相对于标准氢电极）和较小的密度（0.534g/cm³），被认为是用于下一代高比能和可充电电池最理想的负极材料。但金属锂负极存在一定应用瓶颈，主要包括锂枝晶穿刺隔膜引起的短路、循环过程中体积变化带来的断路现象以及不稳定的 SEI 膜造成的性能衰减等问题。而固态电解质具有较高的机械强度和较高的锂离子迁移数，可以抑制锂枝晶生长，可以有效解决锂金属负极固有问题，因此长期来看金属锂负极或成为固态电池最佳负极材料。

图表 33：液态电池到固态电池负极材料变化图谱



图表 34：主流负极材料性能对比

主流负极材料	理论容量 (mAh/g)	实际容量 (mAh/g)	优势	劣势
石墨	372	300-345	电导率高；化学性能稳定；锂离子嵌入容量高	嵌锂容量较低，限制锂电池能量密度
硅碳负极	4200	400-650	比容量高；电化学嵌锂电位低；快充性能优异；硅元素储量丰富；环境友好	体积膨胀率高；导电性差；循环寿命低；首次效率低
锂金属	3860	-	比容量高；电极电位极低	金属锂化学稳定性差，易与氧气、水发生反应；锂枝晶的存在可能导致：太长刺穿隔膜导致短路；电流强度较大导致断裂

资料来源：头豹研究院，华鑫证券研究

资料来源：《蓬勃发展的金属锂负极》，华经产业研究院，锂电池技术知识平台，贝特瑞官网，华鑫证券研究

国内主要负极材料企业均对硅基负极进行前瞻布局，其中贝特瑞硅碳负极材料已开发至第五代产品，硅碳负极、硅氧负极比容量分别达 2000、1500mAh/g，截至 2023 年底其已具备 5000 吨硅基负极产能；杉杉股份硅氧负极产品已披露供应海外客户并实现装车，其在宁波规划 4 万吨硅基负极一体化产能基地，一期项目预计于 2024 年中投产；璞泰来硅碳负极产品可满足负极材料长循环、低膨胀性能需求，已启动 1.2 万吨硅基负极项目建设，预计 2025 年开始分期投产。

锂金属负极方面，国内参与者一方面为赣锋锂业等锂矿企业，另一方面为化工企业转型。目前赣锋锂业正在建设 7000 吨金属锂项目，中盐化工已有 500 吨金属锂生产线，悦安新材产能正在筹建。

图表 35: 国内企业硅基负极布局

企业	硅基负极布局
贝特瑞	是国内最早量产硅基负极材料的企业之一,出货量行业领先,其中硅碳负极材料已经开发至第五代产品,比容量 2,000mAh/g 以上,硅氧负极材料已完成多款氧化亚硅产品的技术开发和量产工作,比容量达到 1,500mAh/g 以上。截至2023年底具5000吨硅基负极产能
杉杉股份	硅氧产品已批量供应海外头部客户,并实现装车,同时攻克了二代硅氧低温循环难题,相关产品已导入海外头部电动工具企业;硅碳产品不断迭代,新一代硅碳产品在头部客户测试中保持领先,相关核心技术已获得美国、日本的专利授权。产能方面,布局宁波 4万吨一体化硅基负极产能基地,其中一期产能建设中,预计 2024 年年中投产
璞泰来	新一代纳米硅碳产品已完成技术定型,CVD 沉积技术和硅碳复合技术能有效满足未来负极材料长循环、低膨胀的性能需求,动力学性能行业领先。公司于 2023 年 7 月设立安徽紫宸,启动年产 1.2 万吨硅基负极材料(单体)的项目建设,计划 2025 年开始逐步分期投产
硅宝科技	2023 年建成 1000 吨/年硅碳负极材料中试生产线并顺利投产,产品在 19 家动力电池厂及圆柱电池客户、7 家 3C 电池厂客户送样测评,已实现订单突破,目前正在根据客户需求进行批量供货
翔丰华	硅碳及硅氧负极产品均处于客户测试阶段,其中硅碳产品比容量 >460mAh/g,首效88%;硅氧产品比容量>450mAh/g,首效82%;此外公司下一代气相沉积硅碳负极产品比容量达1900mAh/g
胜华新材	在眉山规划3万吨硅基负极产能

资料来源:各公司公告,华鑫证券研究

图表 36: 国内企业金属锂负极布局

企业	金属锂布局
赣锋锂业	正在江西、青海两地分期投资建设年产7000吨金属锂项目
天齐锂业	与卫蓝新能源合作,共同研发金属锂负极材料
中盐化工	拥有500吨/年金属锂生产线
悦安新材	参股公司江西悦锂科技计划生产氯化锂,用于生产金属锂

资料来源:各公司公告,华鑫证券研究

2.4、铜箔：多孔铜箔有望获渗透率提升

固态电池与多孔铜箔有较高适配度,有望助力多孔铜箔渗透率提升。固态电池采用多孔铜箔有多点优点:1) 固态电池采用固态电解质,多孔铜箔的孔隙可以增加固态电解质与电极材料的接触面积,促进电解质的浸润,从而改善锂离子的传输效率,提高电池的充放电性能;2) 泡沫铜集流体可抑制枝晶生长,缓解电极在充放电过程中的体积变化,并可通过提高亲锂性工艺的复合金属锂电极以实现负极与集流体的一体化,有利于实现金属锂负极应用,进而加快固态电池产业化;3) 多孔铜箔的孔隙结构减少了集流体的重量,但保持了良好的导电性,有助于提升电池模组的能量密度,同时,孔隙可以被负极活性材料填充,增强负极材料的附着力,进一步提高电池能量密度;4) 多孔铜箔的结构在承受冲击时有缓冲作用,可以提升电池整体的抗冲击性能。

整体而言,多孔铜箔可改善固态电池锂离子传输效率,促进金属锂负极应用,并可有效提升固态电池能量密度及安全性,与固态电池极为契合,有望成为固态电池发展过程中重要的材料创行,在固态电池中获更多应用。

图表 37: 泡沫铜具备诸多优势



资料来源：三孚新科，华鑫证券研究

图表 38: 泡沫铜用量低于复合铜箔及电解铜箔

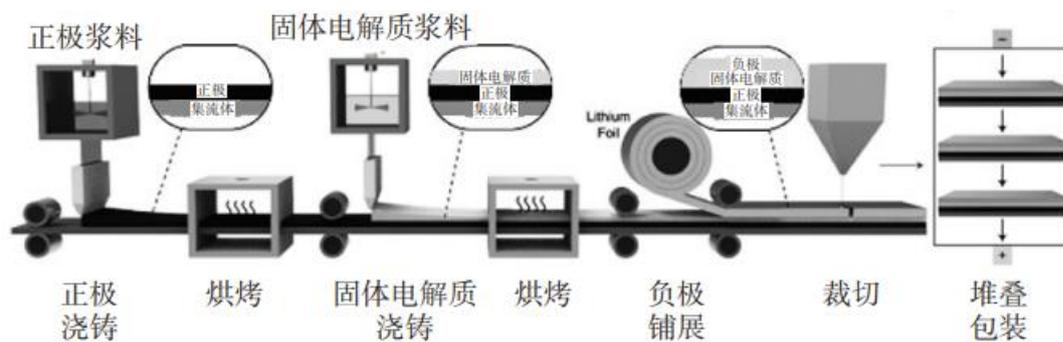


资料来源：三孚新科，华鑫证券研究

2.5、铝塑膜：软包叠片或为固态电池最优选，铝塑膜有望加速应用

从工艺成熟度、成本、效率等方面考虑，叠片软包或为最适用于固态电池的装配工艺。首先，固态电池电解质为氧化物或硫化物，相比液态电解质柔韧性较差，叠片软包设计可以更好地解决柔韧性问题，防止电池在使用过程中因内部压力或变形导致的破裂；其次，固态电池制造过程不需要电解液注入和化成工序，软包封装的叠片工艺简化了生产流程，减少了对传统液态电池工艺的依赖；此外，软包叠片与全固态电池的固-固界面处理相匹配，可以更精确的控制和优化固态电解质与电极的接触。固态电池的商业化应用有望提升软包电池渗透率，进而带动铝塑膜需求。

图表 39：固态电池一体化叠片工艺



资料来源：《全固态电池生产工艺分析》，华鑫证券研究

3、行业评级及投资策略

本征安全+高能量密度，固态电池优势尽显。新能源汽车行业快速发展，但安全事故频发，能量密度瓶颈呈现，是亟待解决的核心问题。固态电池以固态电解质替代易燃的电解液，可实现电池本征安全，同时兼容更好性能的正负极材料，可大幅提升锂电池能量密度，兼具高安全与高能量密度，成为全面提升锂电池性能的必然选择。

多方势力引领，产业化进程加速。全固态电池性能全面，但存在成本高、固-固界面导电性差等问题，限制其大规模商业化应用。半固态电池作为过渡技术，目前已在蔚来、东风岚图、上汽智己等品牌批量上车。此外，eVTOL 行业高速发展，其对电池能量密度、安全性、倍率性能等提出更高要求，现有电池技术无法满足其要求，固态电池有望在 eVTOL 迎批量应用，产业发展有望受益。

全球主要国家均对固态电池行业积极布局，海外主要企业如 Solid Power、丰田、三星 SDI 等均选择硫化物路线作为固态电池技术方向，并以研发全固态电池为主；国内企业如卫蓝、清陶等均选择氧化物路线，并先行研制、生产半固态电池。在海内外车企、电池厂共同推动下，产业化进程有望持续提速。

材料体系升级，创造产业新机。锂电池技术向固态电池转变过程将带动材料体系升级，主要包括：**1) 固态电解质：**固态电池以固态电解质替代电解液及隔膜；氧化物体系下锆、镧等材料有望受益；硫化物体系下则锆或将迎新机遇；**2) 正负极材料：**正极将更广泛的应用高镍三元，并逐渐向富锂锰基转变；负极将向硅基负极、锂金属负极演化；**3) 多孔铜箔：**对比传统电解铜箔，多孔铜箔可改善固态电池锂离子传输效率，提升循环，进一步增强固态电池安全性，与固态电池更适配；**4) 铝塑膜：**软包叠片可以改善固态电池柔韧性，或为最适用于固态电池的装配方式，有望带动铝塑膜需求。

行业评级及投资策略。固态电池兼具高安全性与高能量密度，或将成锂电池终局技术选择。国内车企、电池厂共同推动半固态电池产业化先行，固态电池行业有望提速，给予行业“推荐”评级。建议重点关注宁德时代、当升科技、上海洗霸、金龙羽、三祥新材、东方锆业等。

图表 40：重点关注公司及盈利预测

公司代码	名称	2024-05-14 股价	EPS			PE			投资评级
			2023	2024E	2025E	2023	2024E	2025E	
300750.SZ	宁德时代	199.01	11.79	11.09	13.28	17	18	15	买入
300073.SZ	当升科技	42.07	3.80	2.26	2.76	11	19	15	买入
603663.SH	三祥新材	16.48	0.19	0.35	0.46	87	47	36	未评级

资料来源：Wind，华鑫证券研究（注：未评级公司盈利预测取自万得一致预期）

4、重点推荐个股

4.1、宁德时代

宁德时代 2023 年 4 月推出凝聚态电池，单体能量密度可达 500Wh/kg。宁德时代凝聚态电池电解液不同于传统液态锂电池的电解液呈 100% 液态，而是一种半固态化的胶质状态，这使得凝聚态电池既能完成锂离子在正负极的传导工作，也因为电解液本身的粘性使得流动性降低，能提高动力电池整体安全性能，避免了传统液态锂电池热失控的巨大风险。此外，凝聚态电池还聚合了包括超高比能正极、新型负极、隔离膜、工艺等一系列创新技术。宁德时代凝聚态电池将率先用于民用电动载人飞机，并于 2023 年 7 月与中国商飞成立合资子公司商飞时代，合资子公司的成立或将加速公司凝聚态电池的商业化应用。

除凝聚态电池外，宁德时代保持对硫化物全固态电池的前瞻研究，并预计将于 2027 年小批量生产全固态电池，目前公司已建立 10Ah 级全固态电池验证平台。

图表 41：宁德时代凝聚态电池单体能量密度可达 500Wh/kg

图表 42：宁德时代凝聚态电池使用创新材料



资料来源：宁德时代，华鑫证券研究



资料来源：宁德时代，华鑫证券研究

4.2、当升科技

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。公司固态电池正极材料进展行业领先，2021 年 12 月与卫蓝新能源达成战略合作，卫蓝拟在在 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 月与清陶能源达成战略合作，清陶预计 2022-2025 年期间向公司采购不少于 3 万吨固态电池正极材料。

图表 43: 当升科技与固态电池企业披露合作情况

公告时间	合作企业	合作协议
2021年12月	卫蓝新能源	2022-2025年卫蓝向当升采购2.5万吨以上固态锂电材料
2022年7月	清陶能源	2022-2025年清陶向当升采购不少于3万吨固态电池正极材料

资料来源: 公司公告, 华鑫证券研究

卫蓝与清陶均为国内固态电池新势力翘楚, 其中清陶能源脱胎于清华大学新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室, 由中科院院士、清华大学教授南策文团队创办, 与上汽深度绑定, 上汽参与公司多轮融资。公司第一代半固态电池产品能量密度约 420Wh/kg, 已在上汽智己量产上车, 二代产品能量密度将达 400-500Wh/kg, 预计将于年内量产, 三代全固态电池产品预计将于 2027 年量产。清陶共在宜春、昆山、郟都、台州、乌海等地合计规划产能 65GWh, 目前宜春一期、郟都一期各 1GWh 产能均已投产。

卫蓝新能源是中科院物理所固态电池技术唯一的产业化平台, 由“中国锂电第一人”陈立泉院士联合发起, 目前产品已上车蔚来 150kWh 车型。卫蓝江苏溧阳及浙江湖州一期项目已投产, 其中湖州基地主要负责目前对蔚来的车型出货, 未来淄博基地、房山基地有望陆续投产。

图表 44: 清陶与卫蓝公司概况

	清陶能源	卫蓝新能源
成立时间	2016年	2016年
总部位置	江苏昆山	北京房山
公司背景	脱胎于清华大学新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室	中科院物理所固态电池技术唯一的产业化平台
核心成员	中科院院士、清华大学教授南策文团队领衔创办, 董事长冯玉川、总经理李峥, 均毕业于清华大学材料学院, 师从南策文	“中国锂电第一人”/中国工程院院士陈立泉(宁德时代曾毓群的导师)、中科院物理研究所研究员李泓、原北汽新能源总工程师俞会根发起
技术路线	第一代半固态电池为氧化物+聚合物, 能量密度约420Wh/kg, 现已量产; 第二代固态电池为氧化物+卤化物+聚合物路径, 能量密度400-500Wh/kg, 小试中, 预计年内量产; 第三代全固态电池能量密度高于500Wh/kg, 预计2027年量产	基于原位固化技术, 聚焦氧化物与聚合物电解质复合的混合固液和全固态锂电池
合作车企	上汽、北汽、广汽	蔚来、吉利、小米

资料来源: 集邦固态电池, 华鑫证券研究

图表 45: 清陶与卫蓝固态电池装车对比

	清陶能源	卫蓝新能源
合作车企	上汽智己	蔚来
供货车型	L6光年版	ET7
能量密度	368Wh/kg	368Wh/kg
容量	超130kWh	150kWh
续航	超1000公里	1000公里
正极材料	专利自研的纳米尺度固态电解质包覆超高镍材料	超高镍正极材料
负极材料	新一代高比能复合硅碳材料	硅碳复合负极材料
电解质材料	“超高离子电导率复合固态电解质”以及行业首创的“干法固态电解质一体成型”工艺技术	固液混合电解质

资料来源: 集邦固态电池, 华鑫证券研究

图表 46: 卫蓝新能源产能

生产基地	产能 (GWh)	投产进度
北京房山	6	预计2025年6月完工
江苏溧阳	0.2	已投产
浙江湖州	22	一期已达产, 二期于2023年7月开工
山东淄博	100	一期20GWh项目于2022年1月开工

资料来源: 卫蓝新能源官网, 华鑫证券研究

图表 47: 清陶能源产能

生产基地	产能 (GWh)	投产进度
江西宜春	10	一期1GWh已于2020年投产, 二期9GWh2020年起开工建设
江苏昆山	10	将于2024年6月投产
四川郫都	15	2023年5月, 首条1GWh产线投产, 其余产能预计2025年投产
浙江台州	20	一/二期各10GWh产能, 一期2023年启动, 二期2025年启动
内蒙古乌海	10	项目分三期建设, 涵盖5万吨固态电池专用正极材料产能

资料来源: 清陶能源官网, 华鑫证券研究

4.3、上海洗霸

上海洗霸主业为水处理服务, 公司董事长王炜博士技术出身, 为中国科学院上海硅酸盐研究所研究生导师。在董事长专业背景下, 公司与硅酸盐所共同进行固态电解质研发, 双方成立合资子公司科源固能, 上海洗霸持股 70%, 硅酸盐所持股 30%, 双方合作建设的固态电解质粉体先进材料吨级至拾吨级工业化标准产线已于 2023 年 1 月一次性试产成功, 产品经硅酸盐所测试, 各项指标均达到设计标准。公司拟募资投建 50 吨氧化物电解质粉体, 项目已于 2024 年 2 月结构封顶, 预计 2024 年二季度进入设备安装调试阶段。

此外, 公司与复旦大学赵东元院士团队合作进行硅碳负极研发及产业化, 赵院士团队是在国际上处于领先的介孔造孔技术团队, 因介孔科技成果获得中国国家自然科学奖一等奖。采用赵院士团队原创介孔技术的硅碳负极均孔碳基材料产线已于 2024 年初实现生产, 产品测试与验证均达到预期目标, 后续放大产线已开始进行非标设计, 目前进展符合预期。

图表 48: 公司固态电池产业合作情况

合作方	合作方式	合作进展
硅酸盐所张涛团队	1) 共建固态电池先进材料联合实验室 2) 签署固态电解质材料技术相关知识产权转让协议 3) 成立合资子公司科源固能, 上海洗霸控股70%, 硅酸盐所张涛参股30%	已启动并完成了吨级至拾吨级工业化标准产线建设工作。2023年1月首釜产品成功产出, 产品经测试达到设计标准, 进入产线工艺优化阶段, 现已进行下游送样; 50吨级氧化物电解质粉体募投项目已于2024年2月结构封顶, 预计2024年二季度完成基础设施建设并尽快进入设备安装调试阶段
复旦大学赵东元团队	控股山东复元52.5%股份(赵东元持股47.5%)	采用赵东元院士团队获得国家自然科学奖一等奖的原创介孔技术的硅碳负极均孔碳基材料产线于2024年初实现生产, 产品测试与验证均达到预期目标, 后续放大产线已开始进行非标设计, 目前进展符合预期

资料来源: 公司公告, 上海洗霸公众号, 华鑫证券研究

4.4、金龙羽

公司 2021 年 8 月与重庆锦添翼签署《关于共同开发固态电池相关技术及产业化的框架协议》，公司拟在五年内投入不超过三亿元人民币与锦添翼共同进行固态电池及其关键材料相关技术的研究开发，并推动研究成果产业化。重庆锦添翼为李新禄教授全资控股公司，李新禄教授为清华大学材料科学与工程专业博士、博士后，重庆大学材料学院教授、博士生导师，在固态电池领域具丰富研究经验及成果。自公司第一笔经费支付之日起，双方共同持有所有新申请的研究成果（专利或技术诀窍），李新禄先生及其团队将协议签署前已取得的授权专利 7 项、已申请并处于公开阶段的专利申请 8 项、拟申请专利项目 5 项以合计 2 万元价格转让 15% 份额给甲方，形成双方共有该部分专利权。

双方在固态电解质、硅碳负极材料、正极材料、固态电芯等方面开展技术开发及产业化研究，截至 2022 年底，公司固态电解质、固态电芯中试线已建好，硅碳负极小试线已建好，正极材料研发已立项，固态电池相关研发进展顺利。

图表 49：公司固态电池产业链布局进展

产品	进度
固态电解质	中试线已建成
固态电芯	中试线已建成
硅碳负极	小试线已建好，中试线正在建设
正极材料	研发已立项

资料来源：公司公告，华鑫证券研究 注：数据截至 2022 年底，最新进展以上市公司为准

4.5、三祥新材

公司围绕新材料领域进行战略布局，已形成“锆系、镁系和先进陶瓷系”三大业务板块，并持续延链拓展，产品主要涵盖氧化锆、纳米氧化锆、金属锆、氧氯化锆、铸改新材料、单晶电熔铝、锆基非晶合金（液态金属）、镁铝合金等 150 多个品种。固态电池方面，公司以自产氧化锆为原料，进行固态电解质粉体研发，目前已进行 LLZ0、LLZT0 等系列含锆氧化物固态电解质粉体材料合成试验，氧化物电解质正在送样供下游客户组装成固态电池进行相关性能测试；氯化物电解质开发方面，公司已建设环境温度及湿度可调控的锆基氯化物材料制备工艺小试开发线，制备出适用于氯化物电解质合成所需的锆基氯化物材料，并提供给下游客户及相关科研院所进行氯化物电解质合成及组装固态电池验证，整体性能表现优良。公司 2023 年申报 3 项氧化物固态电解质专利，专利产品可提升固态电解质分体使用性能及稳定性，产品品质更稳定可控。

图表 50：公司固态电解质相关专利

专利名称	摘要
一种制备氧化物固态电解质粉体的方法	通过高温加机械球磨双能量驱动法一步法工艺合成氧化物固态电解质粉体，借助机械球磨提供机械能配合外温加热能量为电解质合成反应提供驱动能量同时在同一设备内实现产品高效冷却收集，设备内即可实现高效冷却至室温即可获得成分、粒径均一，表面活性高的电解质粉体。工艺流程简单，有效降低反应温度，单一设备工序一步法完成混料-研磨-烧结-冷却等多道繁琐工序，生产成本低，可实现连续化、自动化生产，减少对环境氛围接触，产品品质更趋于稳定可控
一种氧化物固态电解质的制备方法	采用本发明的高温熔体均相反应加高压喷吹工艺制备固态电解质超细粉体，先对氧化锆和氧化镧进行高温熔体反应，之后适当降低温度，再在体系中加入氧化锂再次进行液相均化反应，可以避免氧化锂的超沸点温度损失，从而提升锂镧锆氧固态电解质超细粉体的品质。以上工艺具有流程短、生产成本低、环境污染少的优点，生产得到的产品粒度一致性好、分散性好、表面活性高。使得固态电解质粉体的均一性、表面能和电导率等性能得到极大的改善，电解质电导率可以达到 $\geq 10^{-3}S/cm$ ，提升了氧化物固态电解质超细粉体在新能源电池材料等领域的使用性能和稳定性
一种氯氧化物固态电解质粉体的制备方法	通过设计 $Li_7La_3Zr_2O_{1+x}Cl_{12-2x}$ 氯氧化物电解质材料体系并通过沸腾氯化工艺制备氯氧化物固态电解质材料，制造工艺简单，反应稳定性好，一步法炉内工艺实现氯氧化物电解质粉体制备，制备得到的氯氧化物固态电解质材料成本低，成分均匀性好，表面活化能高，材料柔韧性好，电解质电化学性能优良为制备更薄的电解质膜提供可能

资料来源：国家知识产权局，华鑫证券研究

4.6、东方锆业

公司主业聚焦锆系列制品的产业链，产品涵盖锆英砂、钛精矿、独居石、硅酸锆、氯化锆、电熔锆、二氧化锆、复合氧化锆、氧化锆陶瓷结构件九大系列，共一百余个品种规格。公司积极拓展锆系列产品在固态电池中的应用，在研项目包括石榴石型固态电解质的制备技术研究，为公司在氧化物固态电解质方面做技术支撑及产业化研究。此外，公司积极推动锂电池正极材料用纳米氧化锆研发，纳米氧化锆作为推动锂电池正极材料性能提升的添加剂，有望在固态电池中具更大应用体量，公司该产品已发货下游客户进行样品试验。

图表 51：公司固态电池相关研发项目

主要研发项目名称	项目目的	项目进展	拟达到的目标	预计对公司未来发展的影响
石榴石型固态电解质的制备技术研究	固态电解质在固态电池中发挥着至关重要的作用，固态电解质包含无机固态电解质、有机聚合物固态电解质、有机-无机复合固态电解质等。其中 LLZO 作为无机固态电解质的代表，室温下离子电导率为 $3 \times 10^{-4} \text{S/cm}$ ，激活能大约为 0.3eV 。该固态电解质具有良好的化学稳定性，与电极材料具有良好的化学相容性和宽的电化学窗口，同时其对熔融锂稳定，在空气中也能够保持相对稳定。LLZO 固态电解质成为一种极具应用前景的材料。为了提高离子电导率、得到稳定的立方相 LLZO，元素掺杂是一种有效的方式。通过掺杂取代不同位置上的元素，提高锂空位浓度、调控骨架结构，提高离子电导率，目前主要针对 Li、La、Zr 位进行掺杂	研发中	进行石榴石型固态电解质的制备技术研究，为固态电解质的产业化提供借鉴	为公司在氧化物固态电解质方面做技术支撑及产业化研究
锂离子电池正极材料用纳米氧化锆的研发	纳米氧化锆作为添加剂用于镍基三元正极材料，可显著提高锂离子电池的循环性能，倍率性能等。开发此产品有利于提高公司产品核心竞争力，扩大公司产品在新能源市场的应用范围，增加企业经济效益	进行中。样品制备正在发货给客户试验，如 P40\P20 等样品	BET=20-40m ² /g 水分<0.76%，磁性总量<100ppb	提升公司产品在新能源市场的应用范围

资料来源：公司公告，华鑫证券研究

5、风险提示

- (1) 下游需求不及预期；
- (2) 固态电池产业化进程不及预期；
- (3) 推荐公司业绩不及预期；
- (4) 推荐公司固态电池研发进展不及预期
- (5) 其他系统性风险。

■ 新能源组介绍

黎江涛：新能源组长，上海财经大学数量经济学硕士，曾就职于知名 PE 公司，从事一级及一级半市场，参与过新能源行业多个知名项目的投融资。2017 年开始从事新能源行业二级市场研究，具备 5 年以上证券从业经验，2021 年加入华鑫证券，深度覆盖电动车、锂电、储能、氢能、锂电新技术、钠电等方向。

潘子扬：伦敦大学学院硕士，2021 年加入华鑫证券。

■ 证券分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

■ 证券投资评级说明

股票投资评级说明：

	投资建议	预测个股相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	买入	> 20%
2	增持	10% — 0%
3	中性	-10% — 10%
4	卖出	< -10%

行业投资评级说明：

	投资建议	行业指数相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	推荐	> 10%
2	中性	-10% — 10%
3	回避	< -10%

以报告日后的 12 个月内，预测个股或行业指数相对于相关证券市场主要指数的涨跌幅为标准。

相关证券市场代表性指数说明：A 股市场以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以道琼斯指数为基准。

■ 免责条款

华鑫证券有限责任公司（以下简称“华鑫证券”）具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。本报告由华鑫证券制作，仅供华鑫证券的客户使用。本公

司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告中的信息均来源于公开资料，华鑫证券研究部门及相关研究人员力求准确可靠，但对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。我们已力求报告内容客观、公正，但报告中的信息与所表达的观点不构成所述证券买卖的出价或询价的依据，该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时结合各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就财务、法律、商业、税收等方面咨询专业顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，华鑫证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露。

本报告中的资料、意见、预测均只反映报告初次发布时的判断，可能会随时调整。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。在不同时期，华鑫证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。华鑫证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本报告版权仅为华鑫证券所有，未经华鑫证券书面授权，任何机构和个人不得以任何形式刊载、翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若华鑫证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，华鑫证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成华鑫证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。如未经华鑫证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。华鑫证券将保留随时追究其法律责任的权利。请投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的华鑫证券研究报告。