

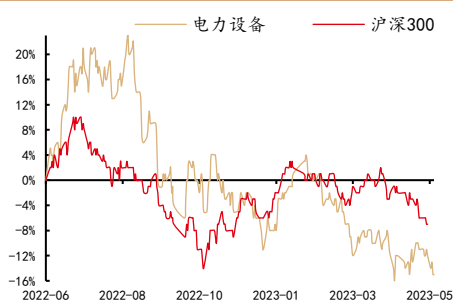
行业投资评级

强于大市|维持

行业基本情况

| | |
|-------|----------|
| 收盘点位 | 8659.08 |
| 52周最高 | 12512.49 |
| 52周最低 | 8517.05 |

行业相对指数表现（相对值）



资料来源：聚源，中邮证券研究所

研究所

分析师:王磊
SAC 登记编号:S1340523010001
Email:wanglei03@cnpsec.com
分析师:虞洁攀
SAC 登记编号:S1340523050002
Email:yujiepan@cnpsec.com

近期研究报告

《光伏产业链加速降低，5月电动车销量同环比双增》 - 2023.05.28

固态电池行业深度：产业化按下加速键，技术突破进行时

● 投资要点

相比液态电池，固态电池具备更高能量密度、更高安全性、更长循环寿命、更好低温性能等多种性能优势。能量密度方面，固态电池可做到 400wh/kg 以上，是现有液态电池的两倍。由于没有了液态的电解液，固态电池的材料体系可以有更多的可能性，比如负极采用金属锂；液体漏液漏气等安全问题也可进一步规避，电池的热稳定性更好；pack 层面可以简化非必要器件，从而提高体积利用率。

固态电池材料体系端最大变化在于电解质。通常我们将电池内液体含量 10%作为区分半固态电池和液态电池的分界线，因此固态电池和液态电池最大区别在于电解质，现有三种路线：聚合物、氧化物、硫化物。正极和负极材料端，主要诉求还是进一步提升能量密度，正极有望采用高镍三元、富锂锰基等材料，负极有望采用硅负极、锂金属等材料。另外，固态电池的封装形态将采用软包形式，有望增加铝塑膜应用。

全球技术路线百花齐放，国内以氧化物为主。全球固态电池技术研发主要集中在欧、美、日、韩、中，其中日韩致力于硫化物路线，以传统车企和电池厂主导；美国技术路线多元，初创企业较多，典型代表为 Solid Power；欧洲近几年转为投资为主，以传统车企大众宝马等为代表在全球投资入股技术创新企业；国内以氧化物路线居多，主要参与者既包括宁德、国轩等传统电池企业，也有以学界领军者入局产业化为代表的初创企业，如卫蓝新能源、江苏清陶等。从进度来看，国内半固态电池已量产装车，全固态电池技术突破进行时，固态电池有望接棒引领技术新潮。

● 风险提示

产业化进程不及预期；技术路线变更风险；海内外政策变化。

重点公司盈利预测与投资评级

| 代码 | 简称 | 投资评级 | 收盘价 (元) | 总市值 (亿元) | EPS (元) | | PE (倍) | |
|-----------|------|------|------------|-------------|---------|-------|--------|-------|
| | | | | | 2023E | 2024E | 2023E | 2024E |
| 300750.SZ | 宁德时代 | 增持 | 228.4 | 10042.9 | 10.6 | 14.2 | 21.6 | 16.1 |
| 603659.SH | 璞泰来 | 买入 | 35.5 | 716.5 | 2.0 | 2.9 | 17.4 | 12.3 |
| 300073.SZ | 当升科技 | 增持 | 50.2 | 254.3 | 2.8 | 3.5 | 18.0 | 14.4 |
| 688005.SH | 容百科技 | 增持 | 60.1 | 271.2 | 0.6 | 0.8 | 98.6 | 78.1 |
| 688567.SH | 孚能科技 | 增持 | 22.0 | 267.3 | 1.0 | 1.4 | 21.3 | 16.3 |

资料来源：iFinD，中邮证券研究所（注：未评级公司盈利预测来自 iFinD 机构的一致预测）

目录

| | |
|----------------------------------|----|
| 1 固态电池有望是下一代电池技术制胜关键 | 5 |
| 1.1 固态电池定义 | 5 |
| 1.2 基础研究历史悠久，产业化落地进行时 | 6 |
| 1.3 固态电池具备高能量密度、高安全性等性能优势 | 7 |
| 2 固态电池会带来哪些材料体系的变化？ | 11 |
| 2.1 固态电解质：是固态电池相比液态电池最大的区别 | 11 |
| 2.2 正极：向高镍、无钴、富锂等高能量密度方向发展 | 16 |
| 2.3 负极：硅负极、锂金属有望成为未来选择 | 18 |
| 2.4 隔膜：作为半固态电池过渡阶段选择 | 21 |
| 2.5 电芯：串联能有效提升固态电池电压 | 22 |
| 2.6 封装：采用软包封装形态，有望增大铝塑膜用量 | 23 |
| 3 固态电池产业化进度到哪了？ | 24 |
| 3.1 各国积极布局固态电池，技术突破持续加速 | 26 |
| 4 相关标的 | 33 |
| 4.1 半固态/固态电池相关标的 | 33 |
| 4.2 固态电池材料相关标的 | 37 |
| 5 风险提示 | 38 |

图表目录

| | |
|---|----|
| 图表 1: 液态锂电池向固态电池发展进程 | 5 |
| 图表 2: 固态电池与液态电池结构对比 | 5 |
| 图表 3: 固态电池研究发展历史 | 6 |
| 图表 4: 中美欧政策设立电池远期目标 | 7 |
| 图表 5: 电池能量密度发展路线 | 8 |
| 图表 6: 固态电池电化学窗口示意图 | 9 |
| 图表 7: 电池正极材料工作电压对比 (单位: V) | 9 |
| 图表 8: 固态电池与液态电池正负极材料对比 | 9 |
| 图表 9: 液态电池安全隐患 | 10 |
| 图表 10: 液态与固态电池在电池组层面比较 | 11 |
| 图表 11: 三类固态电解质优缺点 | 12 |
| 图表 12: 三类固态电解质性能比较 | 13 |
| 图表 13: 三类固态电池制造工艺比较 | 14 |
| 图表 14: 固态电解质机械稳定性比较 | 14 |
| 图表 15: 电解质/电极界面接触示意图 | 15 |
| 图表 16: 固态电池中正极和负极界面处的化学势变化接触示意图 | 16 |
| 图表 17: 正极材料性能比较 | 16 |
| 图表 18: 2021 年三元材料市场份额占比 | 17 |
| 图表 19: 2022 年三元材料市场份额占比 | 17 |
| 图表 20: 富锂锰基能量密度与电压示意图 | 18 |
| 图表 21: 电池正极材料克容量对比 (单位: mAh/g) | 18 |
| 图表 22: 各负极材料性能指标对比 | 19 |
| 图表 23: 负极材料性能发展趋势 | 19 |
| 图表 24: 2015-2025 年硅基负极出货量及预测 (吨) | 19 |
| 图表 25: Quantumscape 锂金属负极性能 | 20 |
| 图表 26: 液态锂电池与固态电池成本对比 | 20 |
| 图表 27: 锂金属仍需解决锂枝晶的问题 | 21 |
| 图表 28: 涂覆前后图示 | 22 |
| 图表 29: 涂覆与干法、湿法隔膜工艺对比 | 22 |
| 图表 30: 电池串联图示 | 23 |
| 图表 31: 电池并联图示 | 23 |
| 图表 32: 半固态电池密封串联图示 | 23 |
| 图表 33: 三种电池封装方式比较 | 24 |
| 图表 34: 2022-2030 年中国固态电池出货量预测 (单位: GWh) | 25 |
| 图表 35: 2022-2030 年中国固态电池市场空间预测 (单位: 亿元) | 25 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 图表 36: 相关车企布局推动固态电池产业化进程 | 26 |
| 图表 37: 全球主要固态电池企业 | 27 |
| 图表 38: Quantumscape 产品循环寿命 | 28 |
| 图表 39: 博洛雷电动汽车 | 29 |
| 图表 40: 日产汽车固态电池“2030 愿景” | 30 |
| 图表 41: 各公司固态电池指标对比 | 30 |
| 图表 42: 公司固态电池产品架构 | 31 |
| 图表 43: 国内外电池企业布局进展情况 | 32 |
| 图表 44: 全球固态电池企业布局路线 | 32 |
| 图表 45: 固态电池相关标的 | 33 |
| 图表 46: 公司固态电池发展历程 | 34 |
| 图表 47: 公司固态电池核心技术 | 34 |
| 图表 48: 原位固态化技术 | 35 |
| 图表 49: 复合金属锂技术 | 35 |
| 图表 50: 公司固态电池产品指标 | 36 |
| 图表 51: 公司固态电池 ASM 技术 | 36 |
| 图表 52: 公司半固态电芯开发进展 | 37 |
| 图表 53: 公司半固态电池图示 | 37 |
| 图表 54: 固态电池相关体系材料标的 | 38 |

1 固态电池有望是下一代电池技术制胜关键

1.1 固态电池定义

固态电池指使用固态电解质代替传统电解液的锂电池，按照固态电解质用量可分为半固态电池和全固态电池。通常我们将电池内液体含量 10%作为区分半固态电池和液态电池的分界线，而全固态电池将完全使用固态电解质，液体含量将降为 0%。

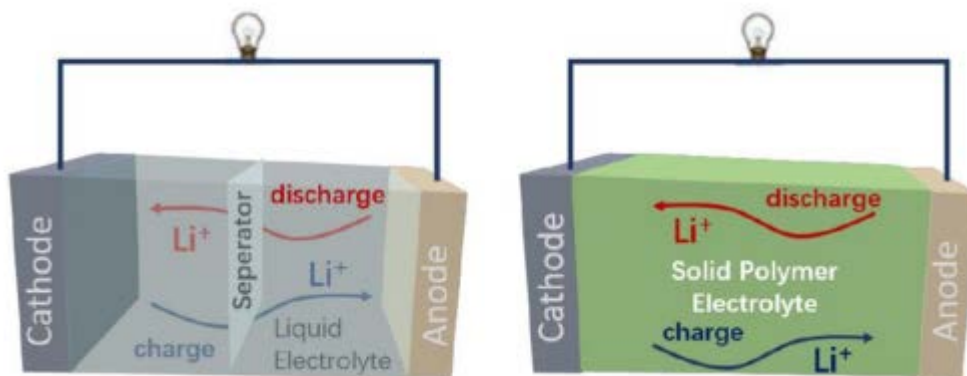
图表1：液态锂电池向固态电池发展进程



资料来源：《卫蓝新能源—固态电池的开发现状及应用思考》，中邮证券研究所

液态电池使用液态电解质来传递离子并产生电流。充放电过程中，锂离子在正、负极之间往返嵌入/脱嵌和插入/脱插，中间的隔膜用于隔离正负极从而避免出现短路。而固态电池则使用固体电极和固体电解质，从而避免了正负极接触导致短路等安全隐患发生。

图表2：固态电池与液态电池结构对比

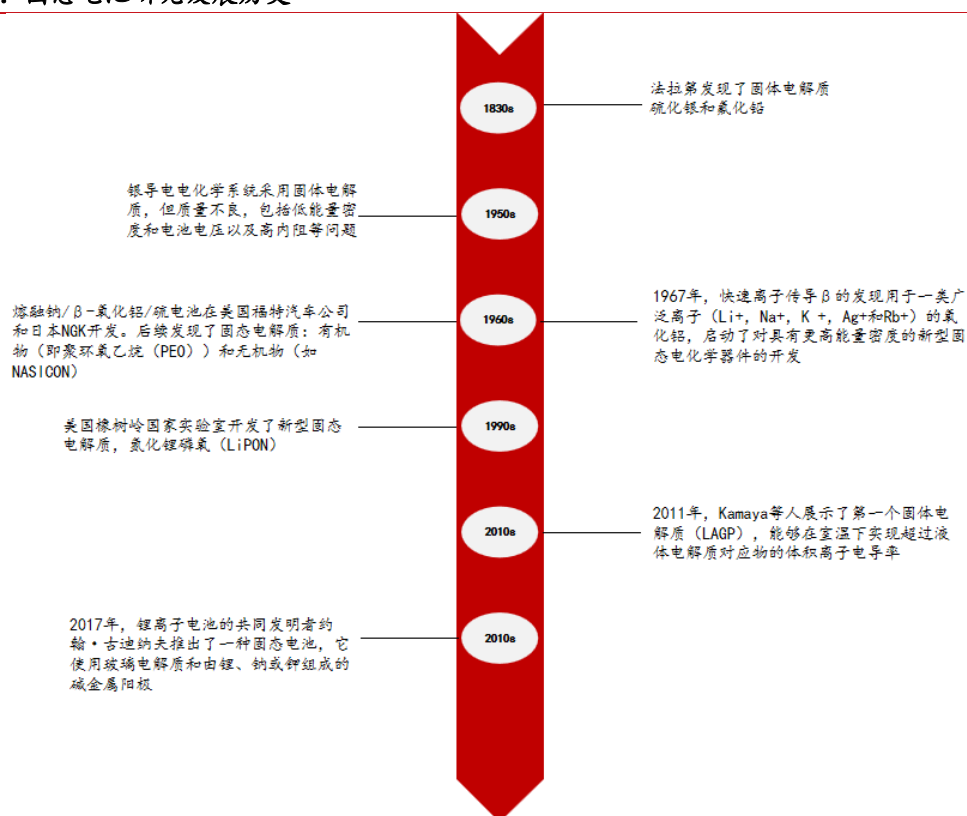


资料来源：《基于聚合物电解质的固态锂电池研究》，中邮证券研究所

1.2 基础研究历史悠久，产业化落地进行时

固态电池基础研究历史悠久。1831 年-1834 年，迈克尔·法拉第发现了固体电解质硫化银和氟化铅，为固态离子学奠定了基础。1950 年代后期，科学家发现了采用固体电解质的银导电电化学系统。1967 年，科学家发现快速离子传导 β ，该离子可用于氧化铝，启动了对具有更高能量密度的新型固态电化学器件的开发，例如熔融钠/ β -氧化铝/硫电池在美国福特汽车公司和日本 NGK 开发。在系统开发中，有机物固态电解质（聚环氧乙烷（PEO））和无机物固态电解质（NASICON）被发现。1990 年代，美国橡树岭国家实验室开发了新型固态电解质：氮化锂磷氧（LiPON），可用于制造薄膜锂离子电池。2011 年，Kamaya 等人展示了第一个固体电解质（LAGP），能够在室温下实现超过液体电解质对应物的体积离子电导率。2017 年，锂离子电池的共同发明者约翰·古迪纳夫推出了一款固态电池，它使用玻璃电解质和由锂、钠或钾组成的碱金属阳极。

图表3：固态电池研究发展历史



资料来源：维基百科，中邮证券研究所

基础技术研发深度沉淀，固态电池逐步迈向产业化。锂电池作为目前最广泛使用的动力电池产品，其性能指标要求也将不断提升。固态电池在性能方面具有更大的优势，是电池技术发展的远期目标，各个国家也制定了相关政策文件指引：

- **中国：**2017 年和 2021 年中国分别发布固态电池相关政策方案，旨在推动固态电池比容量达 500Wh/kg、超过 600Wh/kg；
- **美国：**发布锂电池国家蓝图（2021-2030），将远期目标定为动力电池能量密度达 500Wh/kg 并实现 100%去钴化和去镍化；
- **欧盟：**发布相关政策文件将电池实现 400Wh/kg 能量密度作为远景目标。

图表4：中美欧政策设立电池远期目标

| 国家 | 电池发展目标 |
|----|---|
| 中国 | 2017年工信部发布《促进汽车动力电池产业发展行动方案》，到2025年，新技术取得突破性进展，单体比能量达500Wh/kg 2021年《“新能源汽车”重点专项2021年度项目申报指南建议》发布，推动全发展，比能量>600Wh/kg |
| 美国 | 《美国锂电池国家蓝图（2021-2030）》发布：（1）近期目标（2025年）包括降至60美元/kWh，提出并完善便于回收利用的电池组设计，优先开发无钴电池 远期目标（2030年）包括将电动车电池组制造成本进一步降低50%，将消费电-储能电池的回收率提升至90%，实现包括固态电池和锂金属电池在内的前沿电产，能量密度达到500Wh/kg，实现100%电池去钴化和去镍化 |
| 欧盟 | 欧盟发布《用于电动汽车的固态锂离子电池》文件，计划于2025年推出200Wh/电池、2030年推出250Wh/kg镍锰钴混合氧化物电池，远景为实现400Wh/kg的性 |

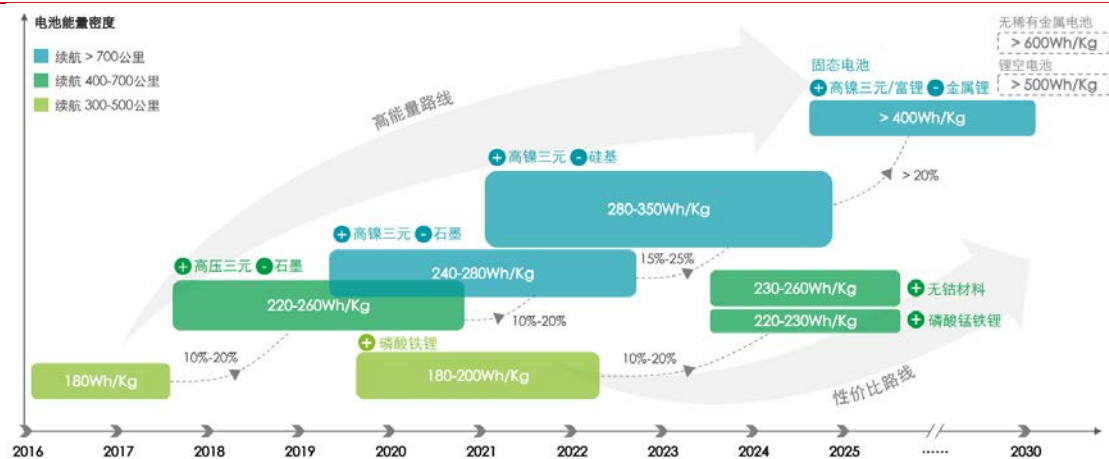
资料来源：工信部，美国能源局，欧盟官网，中邮证券研究所

1.3 固态电池具备高能量密度、高安全性等性能优势

新能源车长续航诉求强烈，要求锂电池能量密度要求持续提高。根据公式：
续航能力=可用电量/能耗。在相同能耗不变，电池包体积和重量不变都受到严格限制的情况下，新能源汽车的单车最大行驶里程主要取决于电池的能量密度。因此，近年来锂电池材料不断向更高能量密度方向发展。

固态电池优势之一：能量密度高。固态电池能量密度有望超 400wh/kg，是目前铁锂电池的 2 倍。目前磷酸铁锂电池的能量密度在 200wh/kg 左右，对应续航在 300-500km。三元电池的能量密度在 250wh/kg 左右，对应续航 500-700km。而固态电池若采用高镍三元+金属锂的材料体系，能量密度有望超过 400Wh/kg，续航将获得重大提升。

图表5：电池能量密度发展路线

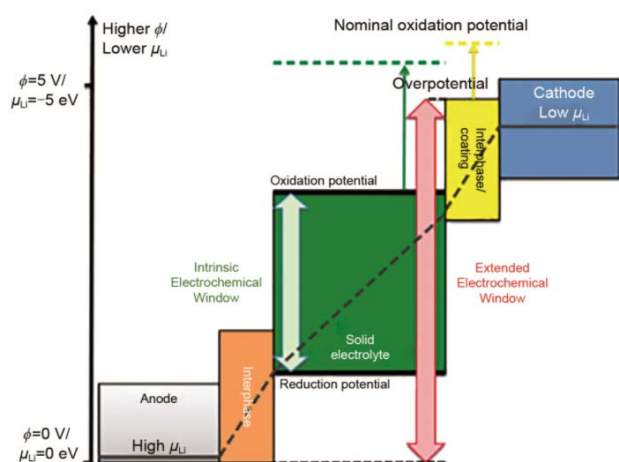


资料来源：《德勤锂电白皮书系列之二：电池“风云”》，中邮证券研究所

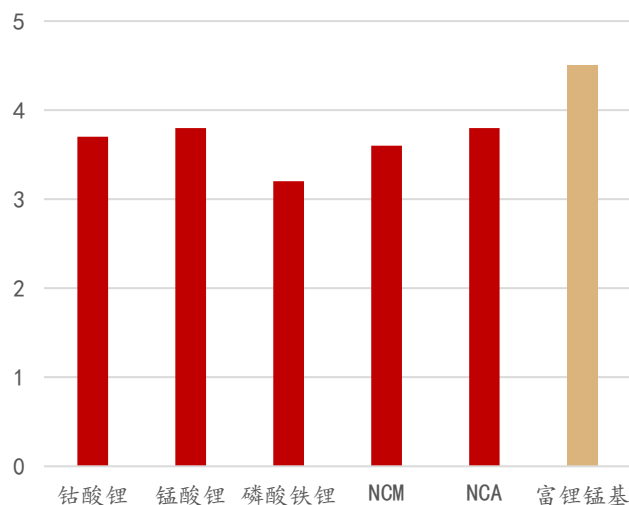
固态电池可搭配更高活性及克容量的正负极材料和高压电极材料。电池能量密度主要取决于两个因素：工作电压和正负极材料克容量。当锂电池在工作，电池电压会随着电量的降低而下降。若其他条件不变，同等电流下高电压的工作时间明显比低电压长，因此相应具备更高容量。材料克容量指每克锂电池材料所含电量，克容量越大使得能量密度越大。

(1) 固态电池电化学窗口宽，可适配高能电极。电解质的电化学窗口等于其在负极发生还原反应和在正极发生氧化反应所限定的电压范围。固态电解质的电化学窗口大，其抵抗负极还原和正极氧化的能力强，能够匹配更高正极和更低负极的电极材料，从而实现更高的电池能量密度。理论上固态电池所用材料工作电压可以达到 5V。目前市场主流正极材料工作电压均位于 3.2-3.8V 区间，而固态电池所用正极材料富锂锰基则可以达到 4.5V。

图表6：固态电池电化学窗口示意图



图表7：电池正极材料工作电压对比（单位：V）



资料来源：《石榴石型 Li7La3Zr2012 固态锂金属电池的界面问题研究进展》，中邮证券研究所

资料来源：振华新材招股书，《德勤锂电白皮书系列之二：电池“风云”》，中邮证券研究所

(2) 由于电池化学反应场所主要在正负极，因此电池能量密度与正负极材料有密不可分的关系。锂电池能量密度已进入瓶颈期，其负极材料多以石墨为主，石墨的理论克容量 370mAh/g，正极材料三元材料镍钴锰 (NCM) 约为 200mAh/g。目前市场较为成熟的液态电池正负极搭配是高镍三元+人造石墨，克容量极限可达 357mAh/g。而固态电池则可以搭配更高容量的富锂锰基+硅碳负极材料，克容量极限可超过 500mAh/g。

图表8：固态电池与液态电池正负极材料对比

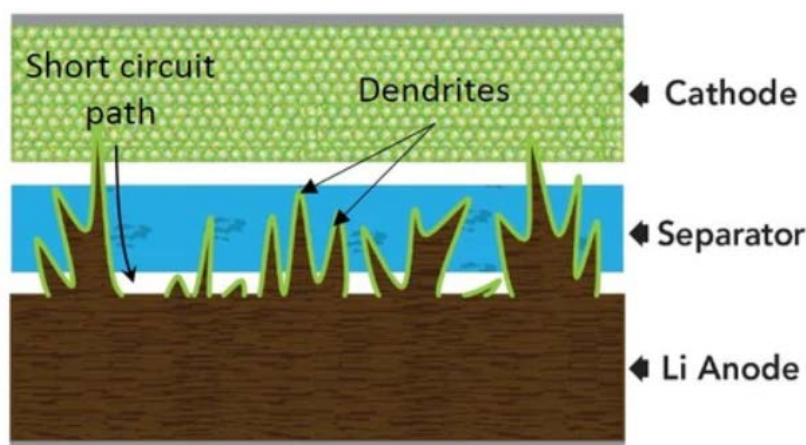
| 材料类别 | 液态电池 | 固态电池 |
|------|--|---|
| 正极材料 | 理论克容量 | NCM&NCA: $\geq 200\text{mAh/g}$ & 210mAh/g |
| | 容百科技NCM811S8303克容量: $\geq 198\text{mAh/g}$ | 富锂锰基: $260\sim 340\text{mAh/g}$ |
| | 当升科技NCA克容量: $\geq 215\text{mAh/g}$ | 宁波富锂: $\geq 300\text{mAh/g}$ |
| 负极材料 | 理论克容量 | 人造石墨负极: 370mAh/g |
| | 贝特瑞AS: $\geq 357\text{mAh/g}$ | 硅碳负极: $\geq 400\sim 4200\text{mAh/g}$ |
| | 凯金AML830: $\geq 357.5\text{mAh/g}$ | 贝特瑞硅碳负极DXB8: $650\pm 10\text{mAh/g}$ |

资料来源：锂电联盟会长，中邮证券研究所

固态电池优势之二：安全性高。固态电解质相比液态电解液可以解决漏液挥发等安全问题。由于固态电解质燃点非常高，因此将液态电解液更换为固态

电解质材料，将有效提升安全性。目前最先进的液态锂电池由多孔电极和一个隔板组成。电极涂覆在集流体上，集流体由导电活性材料、试剂和粘合剂组成。离子转移需要经过液体电解质，其主要由非质子有机溶剂和导电盐组成。目前面临的诸多安全问题都可归咎于液态电解质溶剂的可燃性。用固态电解质代替传统有机液态电解液，可以从根本上解决漏液以及电解液挥发导致的安全问题。

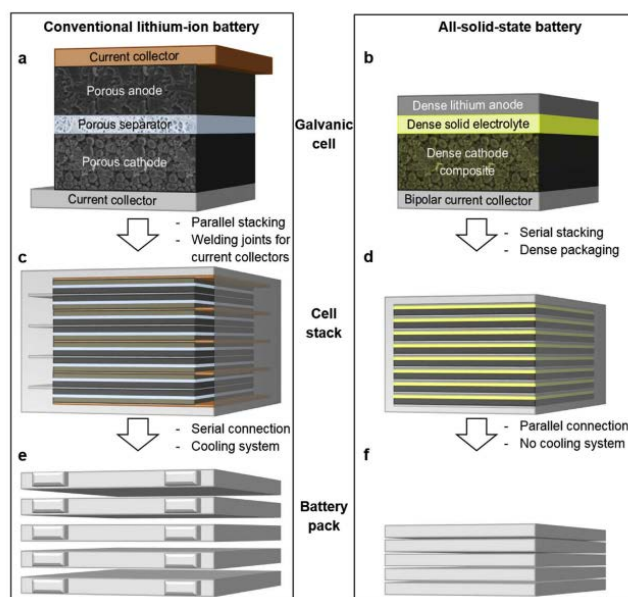
图表9：液态电池安全隐患



资料来源：MSE Supplies，中邮证券研究所

固态电池优势之三：重量轻。固态电池不需要电解液和隔膜，其可以实现多层正极、固态电解质和负极材料堆积。先串联后再封装焊接，有效简化封装，使得整体电池包的重量和体积得以缩减从而提升续航能力。

图表10：液态与固态电池在电池组层面比较



资料来源：《All-solid-state lithium-ion and lithium metal batteries – paving the way to large-scale production》，中邮证券研究所

固态电池优势之四：循环寿命更长。 固态电解质为单离子导体，副反应少，循环寿命更长。由于固体电解质不具有流动性，因此不会出现 SEI 膜反复生长与溶解脱落的问题，有助于实现稳定循环。此外，全固态电池中过渡金属不易发生溶解，可以避免由过渡金属溶解导致的正极容量衰减以及过渡金属在负极侧沉积进而催化 SEI 膜分解的问题。

2 固态电池会带来哪些材料体系的变化？

2.1 固态电解质：是固态电池相比液态电池最大的区别

固态电池主要分为三条路线：聚合物、氧化物及硫化物，由其采用的电解质来做区分。氧化物与硫化物属于无机固态电解质，其架构为正极活性材料、固体电解质的颗粒以及导电碳组成复合正极，匹配氧化物或硫化物固体电解质层及金属锂负极组成全固态电池。聚合物电解质由溶解锂盐的固体聚合物电解质 (SPE) 构成。

离子电导率、界面相容性、机械性能及电化学稳定性为核心衡量指标，理想的固态电解质应具有高电导率、宽电化学窗口及良好的电化学和机械性能。目前聚合物最早实现商业化但存在缺陷，氧化物体系目前产业化进度较快，而硫化物处于开发进度早期但未来发展空间巨大。

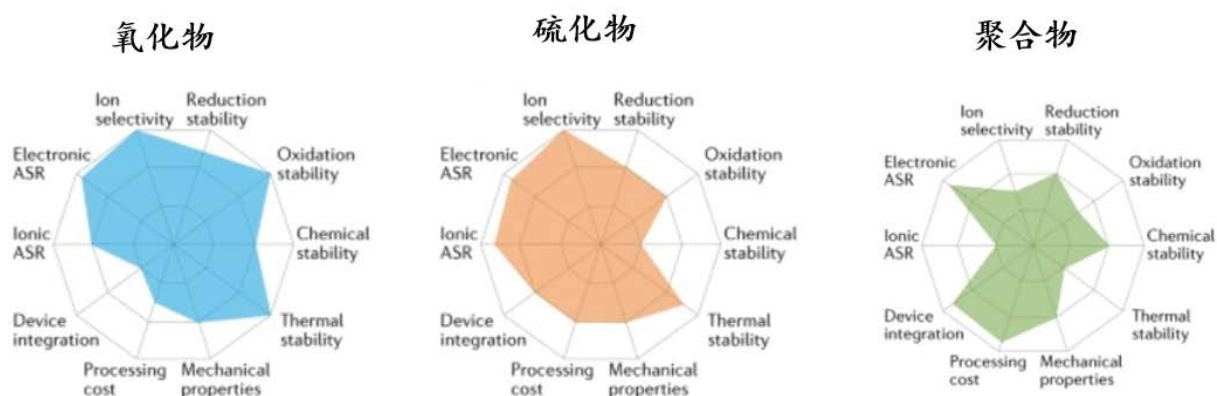
- 聚合物黏弹性好因此机械性能较强，但其存在高成本及基体高度结晶导致电导率低的缺点；
- 氧化物氧化电位较高因此电化学窗口宽，但制约其发展因素是电解质与电解质阻抗大，界面反应会造成电池容量衰减；
- 虽然硫化物界面稳定性较差，但其电导率最高（ 10^{-4} - 10^{-2} S/cm），因此开发潜力最大。但其复合正极中界面机械性能差且硫化物硬度较低，存在一定程度可变性，需通过外加压力来提升界面物理接触。

图表11：三类固态电解质优缺点

| | 聚合物 | 氧化物 | 硫化物 |
|-------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 优点 | 容易加工，可制备大容量电芯 | 安全，循环性能良好，电化学稳定性高 | 电导率高，适应高电压 |
| 缺点 | 常温下电导率低，电化学窗口窄，容易短路 | 界面接触差，电解质容易断裂，大容量电芯很难制备 | 易氧化，界面稳定性较差 |
| 离子电导率（S/cm） | 常温： 10^{-7} - 10^{-5} | 10^{-5} - 10^{-3} | 10^{-4} - 10^{-2} |
| 成本 | 高 | 低 | 低 |

资料来源：《卫蓝新能源—固态电池的开发现状及应用思考》，《固态锂电池十年(2011—2021)回顾与展望》，中邮证券研究所

图表12：三类固态电解质性能比较

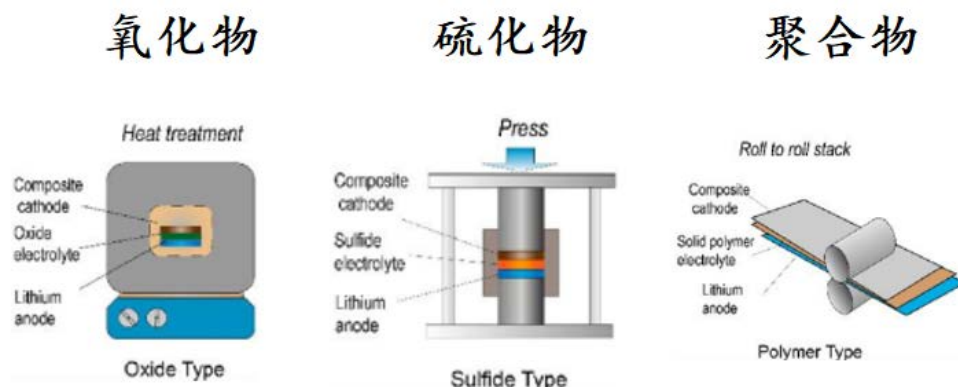


资料来源：nature review materials，中邮证券研究所

固态电池与液态电池制备工艺差异主要在中后段，固态电池制备需要加压或烧结而不需要注液化成。

- **氧化物电池制备需要烧结回火。**氧化物固态电池制造工艺为通过球磨的方式制备正极和固态电解质，后将固态电池溅射至正极。因为正极材料会和固态电解质发生反应从而导致其锂离子大量消耗、电池容量衰减，所以需要将正极-电解质材料进行高温煅烧来改善固-固接触从而提高电导率。
- **硫化物电池制备需要加高压且对空气很敏感，成本较高。**硫化物电解质层厚度较厚，需要较高压强来压实。此外，硫化物电解质化学性质不稳定，易被空气氧化。
- **聚合物电池通过电极与电解质的卷对卷组装来实现。**卷对卷工艺原理简单，适合大规模生产，但受醚类聚合物电解质材料限制需在高温下工作所以面临容易短路的问题。此外，由于难以兼容高电压正极材料，因此能量密度不高。

图表13：三类固态电池制造工艺比较



资料来源：锂电联盟会长，《固态锂电池关键材料表界面稳定性研究》，中邮证券研究所

当前固态电解质发展仍面临不少技术上的痛点：

(1) **固态电解质机械稳定性：**固态电池的主要特性为凭借其高强度抑制锂枝晶的生长，从而匹配金属锂负极，因此电解质材料的强度至关重要。根据 Newman 与 Monroe 预测，当固体电解质的剪切模量足够大（临界值为 9GPa），可以抑制锂枝晶的生长，避免由锂枝晶刺穿导致的短路等安全问题。**聚合物电解质**通常无法抑制锂枝晶的生长；**硫化物电解质**有望抑制锂枝晶；**氧化物电解质**在抑制锂枝晶生长方面表现最优。

图表14：固态电解质机械稳定性比较

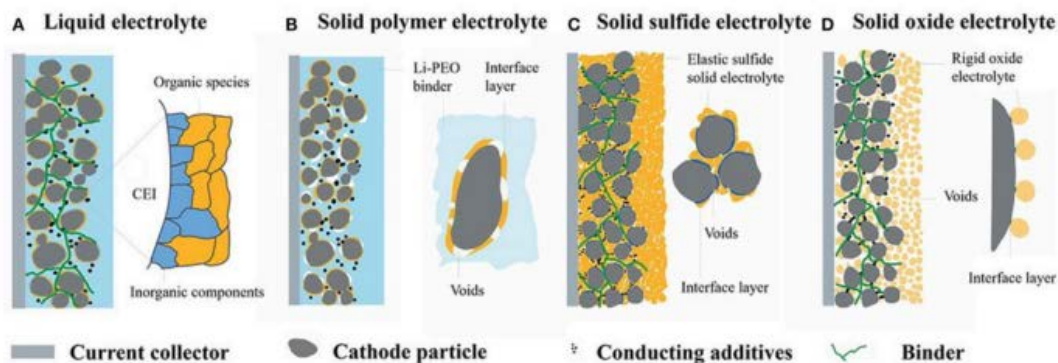
| 指标 | 聚合物 | 硫化物 | 氧化物 |
|------|-------|---------|----------|
| 剪切模量 | <5GPa | 7-11GPa | 60-80GPa |

资料来源：《固态锂电池关键材料表界面稳定性研究》，中邮证券研究所

(2) **固态电解质/电极固-固界面稳定性：**传统锂电池的电极活性材料颗粒完全浸泡在电解液中，因此，其电极和电解质之间可以保持良好接触。但在固态锂电池中，界面接触不良会导致活性颗粒利用率低，极化大，甚至在循环过程中失去接触。聚合物具有弹性和可变形性，电解质与正极颗粒之间具有较好的接触。由于具有一定可变形性。硫化物颗粒与正极材料颗粒在压力下可形成较高的压实密度与界面接触。因此，通过外加压力可大幅改善活性物质颗粒与硫化物电解质之间的接触。氧化物硬度最高、脆性最大，室温冷压获得的复合

电极中与活性物质的接触通常为点接触。点接触会导致容量不完全发挥及引起电流和应力不均匀分布。

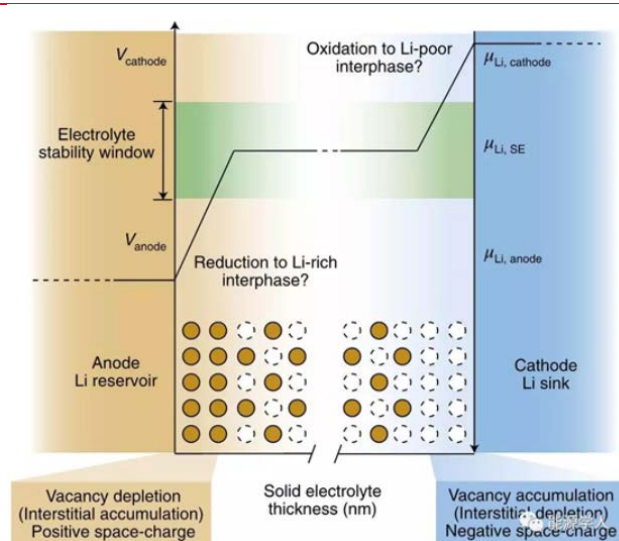
图表15：电解质/电极界面接触示意图



资料来源：《固态锂电池关键材料表界面稳定性研究》，中邮证券研究所

(3) 电化学稳定性：当固态电解质与电极接触时，界面处会发生电化学反应，主要为电解质本身的氧化还原分解反应，包括电子或载流子的嵌入或脱出。这两种反应可以单独或同时发生，共同决定了电解质的电化学窗口。电解质的电化学窗口是指没有氧化还原分解反应的电压范围。**氧化物**具有在负极侧最好的耐还原能力，因此电化学稳定性较好。**硫化物**的电化学稳定区间较窄，会发生氧化还原分解反应，这说明在正极与负极侧硫化物均会发生电化学反应导致的副反应，从而导致电化学稳定性不佳。**聚合物**电解质在高电压的正极一侧稳定性较差，易发生氧化分解，引起电池的性能急剧衰减。

图表16：固态电池中正极和负极界面处的化学势变化接触示意图



资料来源：北极星储能网，中邮证券研究所

2.2 正极：向高镍、无钴、富锂等高能量密度方向发展

固态电池对能量密度要求高，正极向高镍、无钴和富锂等方向发展。目前市场主流正极材料包括钴酸锂（LCO）、锰酸锂（LMO）、磷酸铁锂（LFP）以及三元正极材料（NCM 及 NCA）。三元材料具备高能量密度的特点，其中，中高镍（5系、6系）和高镍三元材料（8系、9系）比容量上限分别可以达到 205mAh/g、220mAh/g。

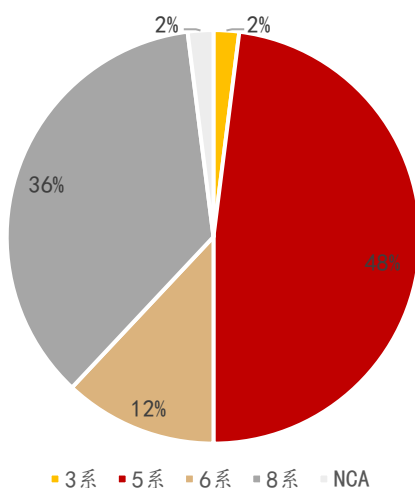
图表17：正极材料性能比较

| 项目 | 钴酸锂（LCO） | 锰酸锂（LMO） | 磷酸铁锂（LFP） | 镍钴铝酸锂（NCA） | 镍钴锰酸锂（NCM） | |
|------------|----------|-------------|-----------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | | 中镍、中高镍（镍5系、镍6系） | 高镍三元（镍8系、镍9系） |
| 工作电压（V） | 3.7 | 3.8 | 3.2 | 3.7-3.8 | 3.6-3.8 | 3.7-3.8 |
| 比容量（mAh/g） | 140-200 | 100-120 | 135-145 | 190-220 | 150-205 | 190-220 |
| 循环性能 | 中 | 低 | 高 | 中 | 高 | 中 |
| 成本 | 高 | 低 | 低 | 较高 | 中 | 较高 |
| 安全性能 | 差 | 良好 | 好 | 较差 | 较好 | 较差 |
| 优势总结 | 体积能量密度高 | 价格低 | 安全性高、价格较低 | 能量密度高 | 能量密度高、循环寿命长、安全性好 | 高能量密度 |
| 劣势总结 | 成本高、安全性差 | 能量密度低、循环寿命短 | 能量密度低 | 成本较高、安全及循环性能有待提高 | 成本较高 | 成本较高、安全及循环性能有待提高 |

资料来源：振华新材招股说明书，中邮证券研究所

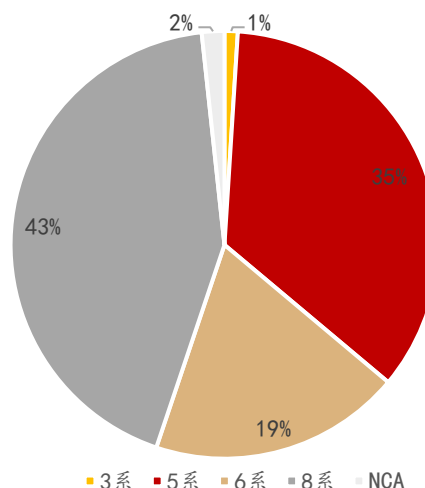
固态电池高能量密度要求驱动，高镍化趋势得以加强。8系三元市场占比从2021年的36%增长至2022年的43%，5系三元市场占比从2021年的48%下降至2022年的35%，主要系海内外中高端车型多采用高镍路线带动包括宁德时代、松下、LG能源、三星SDI、SKI等中日韩头部电池企业的高镍电池在国际市场装机大幅增长。长期来看，随着半固态/固态电池产业化提速，三元材料能量密度高、循环寿命好的优势依旧可以保证其在高端电池市场竞争中占优，因此预计高镍化将持续深入发展。

图表18：2021年三元材料市场份额占比



资料来源：鑫椏资讯，中邮证券研究所

图表19：2022年三元材料市场份额占比



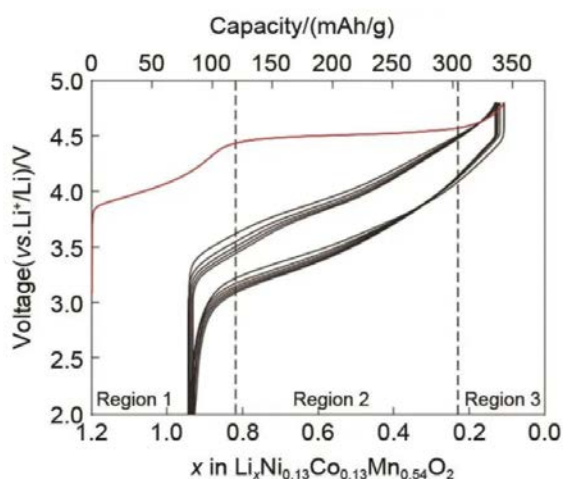
资料来源：鑫椏资讯，中邮证券研究所

富锂锰基作为新兴正极材料具有更高能量密度上限，有望成为固态电池未来正极材料最优选择。富锂锰基正极材料是由 Li_2MnO_3 与 LiMO_2 (M=镍钴锰) 两种组分构成的层状氧化物，其高容量的形成原因是源于两种机理共同作用：过渡金属的氧化还原反应和氧离子的氧化还原反应。

- **过渡金属氧化还原反应：**传统三元正极材料 NCM 和 NCA 是基于过渡金属离子的氧化还原反应贡献容量，在嵌锂过程中 $\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}/\text{Ni}^{4+}$ 和 $\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{4+}$ 会被氧化，而 Mn^{4+} 是非活性的，其可逆容量为 130~220mAh/g。富锂锰基材料在 2~4.8V 电压范围内可逆容量可达 300mAh/g 以上，远高于基于 $\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}/\text{Ni}^{4+}$ 和 $\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{4+}$ 的氧化还原反应机理的理论值；

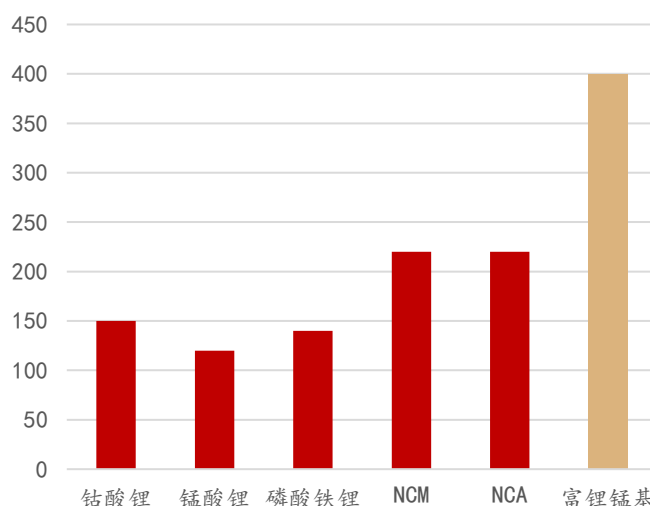
- **氧离子的氧化还原反应：**在 4.5V 出现一个充电长平台，这一阶段 Li^+ 脱出，氧离子发生氧化反应维持电荷守恒。在大于 4.5 V 时，电压沿倾斜曲线继续升高，伴随着氧离子被氧化为氧气逸出。

图表20：富锂锰基能量密度与电压示意图



资料来源：北极星储能网，中邮证券研究所

图表21：电池正极材料克容量对比（单位：mAh/g）



资料来源：容百科技招股书，振华新材招股书，德勤，中邮证券研究所

2.3 负极：硅负极、锂金属有望成为未来选择

若要满足高能量密度固态电池的需求，高容量低电压平台的硅基材料具有极大应用潜力：

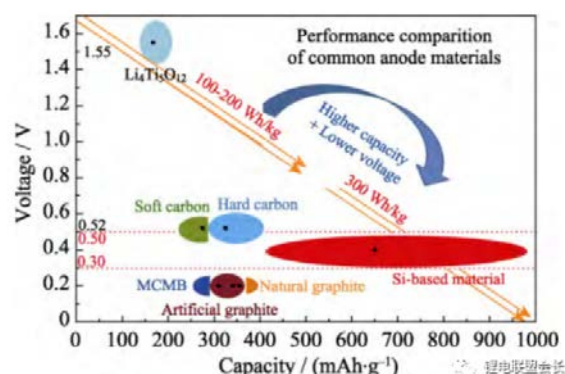
- 硅在常温下与锂合金化，理论比容量高达 4000mAh/g，是目前石墨类负极材料的十倍以上；
- 与石墨相比，硅元素在地壳中含量丰富，分布广泛，为地壳质量的 25.8%，是地壳中储量第二丰富的元素；
- 硅的电压平台为 0.3-0.5 V，不存在析锂隐患，大幅提高安全性能；
- 硅基负极材料的低温性能比石墨优良；
- 能从各个方向提供锂离子嵌入和脱出的通道，快充性能优异。硅负极有望成为石墨负极的理想替代品。

图表22：各负极材料性能指标对比

| 指标 | 天然石墨负极 | 人造石墨负极 | 硅基负极 |
|--------------|---------------|-------------|-----------------|
| 理论容量 (mAh/g) | 340-370 | 310-360 | 400-4000 |
| 首次效率 | >93% | >93% | >77% |
| 循环寿命 | 一般 | 较好 | 较差 |
| 成本 | 较低 | 较低 | 较高 |
| 优点 | 能量密度高、加工性能好 | 膨胀低、循环性能好 | 能量密度高 |
| 缺点 | 电解液相容性较差，膨胀较大 | 能量密度低，加工性能差 | 膨胀大、首次效率低、循环性能差 |

资料来源：储能前沿，中邮证券研究所

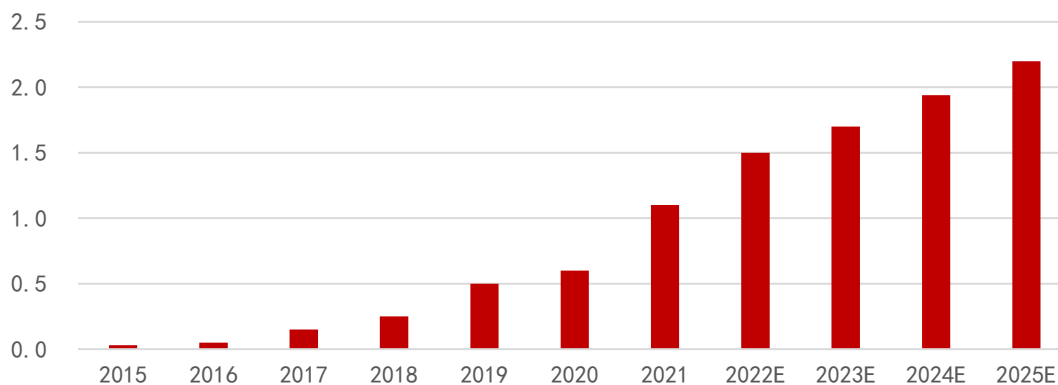
图表23：负极材料性能发展趋势



资料来源：电池中国，中邮证券研究所

随着国内外头部电池供应商跟进布局，预计将带动硅基材料爆发式增长。2021 年硅基负极材料出货量达 1.1 万吨，同比增长 83%，占负极材料出货量的 1.5%，预计 2022 年将达 1.5 万吨。此外，国内多家头部公司已开始加速硅基负极应用进程。杉杉股份已实现批量供货，主要应用在 3C 等领域，动力电池已经通过主流车企的多轮评测；璞泰来在江西和溧阳均建设有硅基负极中试线，已通过部分客户认证；翔丰华硅基负极已具备产业化基本条件。

图表24：2015-2025 年硅基负极出货量及预测（吨）

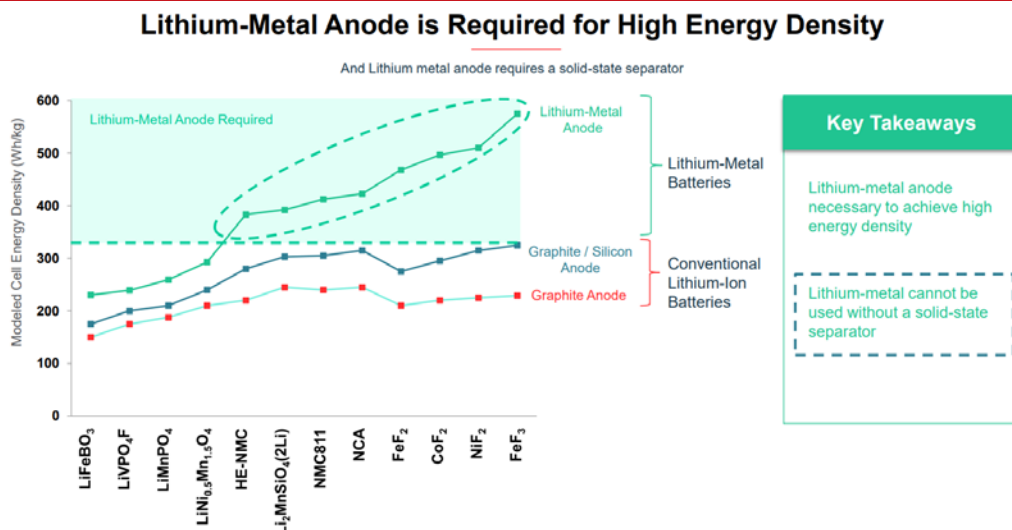


资料来源：凯金能源招股书，中商情报网，中邮证券研究所

远期来看，锂金属负极有望成为未来固态电池负极最优选择。根据固态电池头部厂商 QuantumScape 产品数据，使用锂负极后能量密度最高可接近

600mAh/g，而使用硅负极则为 300mAh/g。尽管锂金属负极理论比容量（3860mAh/g）仍低于硅基材料（4200mAh/g），然而硅材料存在一定缺陷，其在充放电过程中体积膨胀系数达 300%（商业化石墨负极膨胀系数为 5-10%）。因此，预计锂金属负极将成为未来固态电池负极选择。

图表25：Quantumscape 锂金属负极性能



资料来源：Quantumscape，中邮证券研究所

锂金属有望在固态电池降本方面发挥巨大作用。根据四类锂电池对比，采用锂负极材料的固态电池总成本最低。锂单价显著低于硅价且通过简化制造工序大幅降低了制造成本使得锂金属负极具有明显的成本优势。

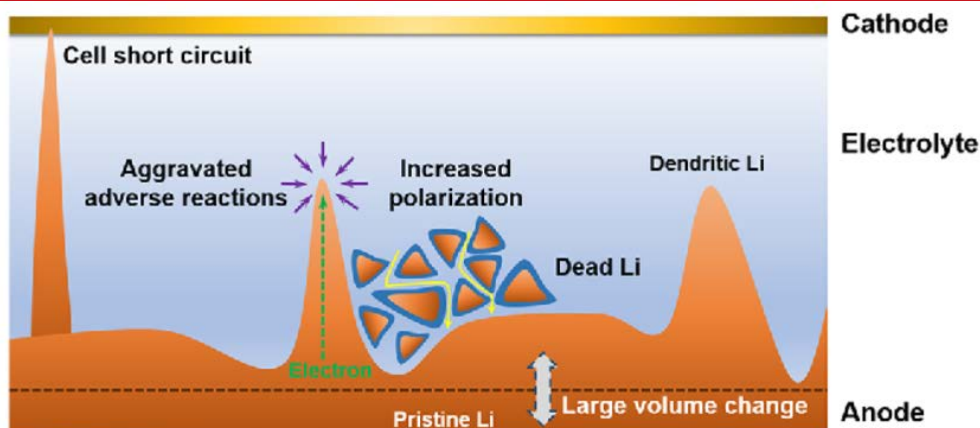
图表26：液态锂电池与固态电池成本对比

| 指标 | 液态锂电池 | | 固态电池 | |
|-----------------|------------|------------|-------------|------------|
| | 石墨负极 (LIB) | 硅碳负极 (LIB) | 石墨负极 (SLIB) | 锂负极 (SLMB) |
| 电池材料成本 (\$/KWh) | 93.2 | 83.2 | 137.9 | 86.5 |
| 电池生产成本 (\$/KWh) | 25.5 | 24 | 20.9 | 15.5 |
| 电池总成本 (\$/KWh) | 118.7 | 107.2 | 158.8 | 102 |

资料来源：Energy Technologies，中邮证券研究所

锂金属负极应用于半固态/固态电池仍面临锂枝晶的威胁。技术上锂金属仍存在树枝状晶形生长，将可能出现短路（导致热失控）和低库仑效率、循环寿命差的问题。

图表27：锂金属仍需解决锂枝晶的问题



资料来源：《Toward Safe Lithium Metal Anode in Rechargeable Batteries: A Review》，中邮证券研究所

2.4 隔膜：作为半固态电池过渡阶段选择

全固态电池或将取代隔膜应用，而作为过渡选择的半固态电池仍对隔膜安全性要求较高。固态电池采用固态电解质，可以保证锂离子在正负极之间自由移动，因此代替了电解液和隔膜。而半固态电池仍需要电解液进行离子传导，因此需要隔膜绝缘阻隔以免正负极直接接触。半固态/固态电池所带来的高镍化会导致正极材料活跃从而致使电池不安全，因此隔膜需要结合涂覆工艺来应用于半固态电池。

一方面，涂覆有效提升隔膜性能。由于湿法和干法工艺拉伸强度和低穿刺强度，因此隔膜稳定性较差。而通过涂覆的隔膜大幅提升了隔膜的热稳定性和穿刺强度，防止隔膜收缩而导致的正负极大面积接触，有效提升了产品良率及安全性。以陶瓷涂覆为例，涂覆隔膜由于陶瓷层存在抗收缩性大幅提升，机械性和安全性更好。

图表28：涂覆前后图示



资料来源：动力电池网，中邮证券研究所

另一方面，涂覆工艺对高能量密度要求形成冲击，仍需结合湿法应用于半固态电池。涂覆材料隔膜厚度高于干法和湿法工艺，离子通过率低导致能量密度受影响。因此，湿法+隔膜涂覆将是半固态电池未来主要选择。涂覆材料分为无机和有机两大类，无机涂覆材料主要分为勃姆石和氧化铝，是当前市场主要应用的涂覆材料。

图表29：涂覆与干法、湿法隔膜工艺对比

| 指标 | 干法工艺 | 湿法工艺 | 有机涂覆材料 | 复合材料 | 无机涂覆材料 | |
|-----------------------------|---------|---------|-----------|----------|----------|----------|
| | PP干法 | PE湿法 | PVDF | 陶瓷+PVDF | 氧化铝 | 勃姆石 |
| 厚度 (um) | 20-40 | 5-20 | 11.0±2.0 | 10.0±2.0 | 12.0±2.0 | 11.0±2.0 |
| 孔隙率 (%) | 30-40 | 35-45 | 42±5 | 40±5 | 42±5 | 43±5 |
| 拉伸强度 (kgf/cm ³) | 130-160 | 140-160 | ≥1000 | ≥1000 | ≥1200 | ≥1300 |
| 穿刺强度 (gf) | 200-400 | 300-500 | ≥250 | ≥200 | ≥300 | ≥300 |
| 比重 (g/cm ³) | / | / | 1.77-1.80 | 1.9-2.5 | 3.05 | 3.9 |
| 成本 (万元/吨) | 0.7-1.0 | 1.1-1.5 | 13-20 | 9-15 | 1.8-2.4 | 2.2 |

资料来源：中科华联招股书，头豹研究院，中邮证券研究所

2.5 电芯：串联能有效提升固态电池电压

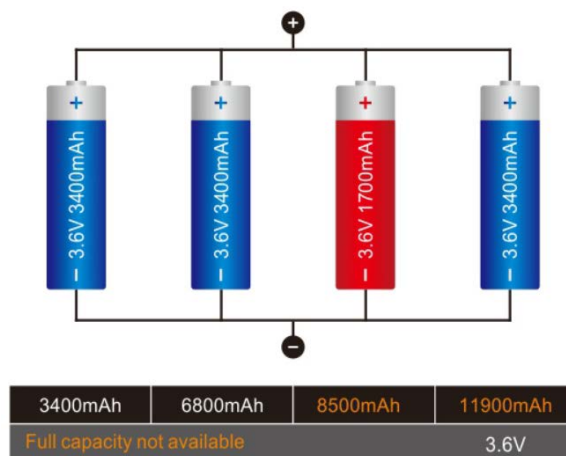
电芯能量密度提升对固态电池性能影响巨大。传统锂电池由于单体电池内部使用液态电解液，并且承载电压超过 5V 后可能会出现易分解甚至爆炸的情况，

所以只能实现外部串联而无法进行内部串联。但固态电池可以在电池内部实现串联，使单体电池电压远高于传统动力电池。以4颗额定电压为3.6V的电芯为例，通过串联可实现13.6V电压，而通过并联则只能实现3.6V电压。

图表30：电池串联图示



图表31：电池并联图示

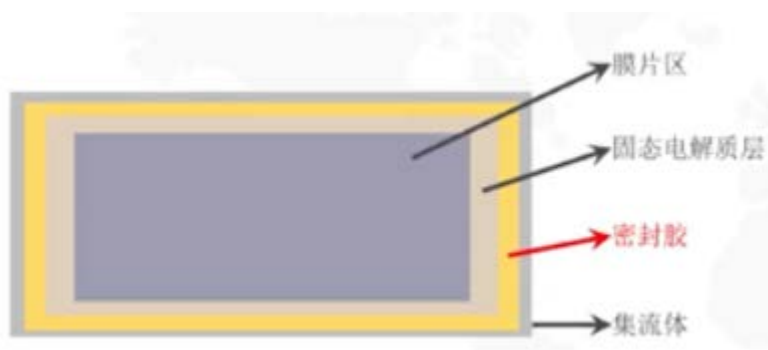


资料来源：钜大锂电，中邮证券研究所

资料来源：钜大锂电，中邮证券研究所

在半固态电池中使用密封胶，将单片电芯两边封装起来。当电解液不能四处流动，电芯内部实现串联，可以减少非必要结构件的使用，大幅度提升固态电池的存储效率，从而提高电芯的能量密度。

图表32：半固态电池密封串联图示

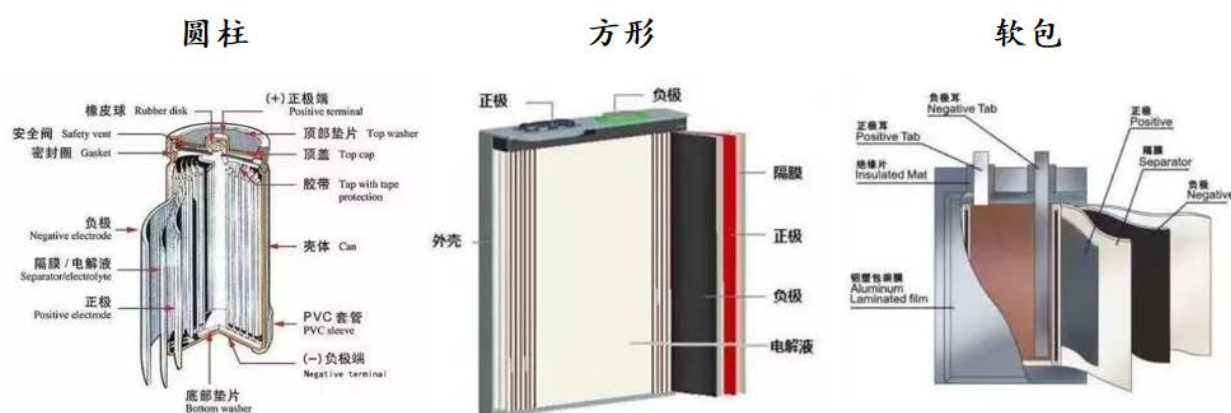


资料来源：电子工程世界，中邮证券研究所

2.6 封装：采用软包封装形态，有望增大铝塑膜用量

固态电池有望采用软包封装体系，将增大铝塑膜需求。根据外壳的不同，锂电池电芯的封装主要分为硬壳和软包两大类。硬壳封装的材料主要为钢壳和铝壳，根据其内部正负极的排列方式不同，又分为圆柱形和方形，而软包封装主要采用铝塑膜。当固态电池采用固态电解质时，电芯不需要硬壳的封装保护。因此软包也许是未来最适合的固态电池包装形式，会受益于固态电池的产业化而大幅发展。

图表33：三种电池封装方式比较

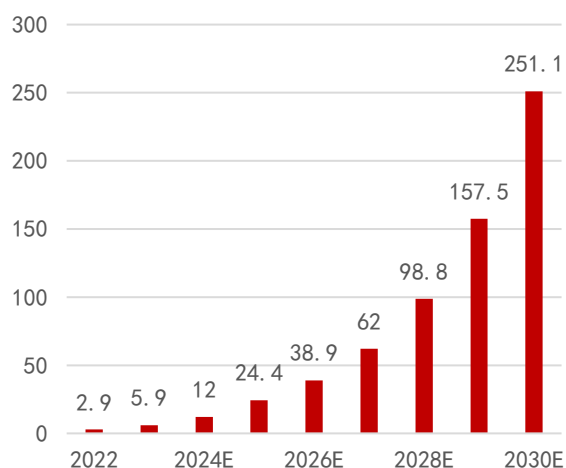


资料来源：中国粉体网，中邮证券研究所

3 固态电池产业化进度到哪了？

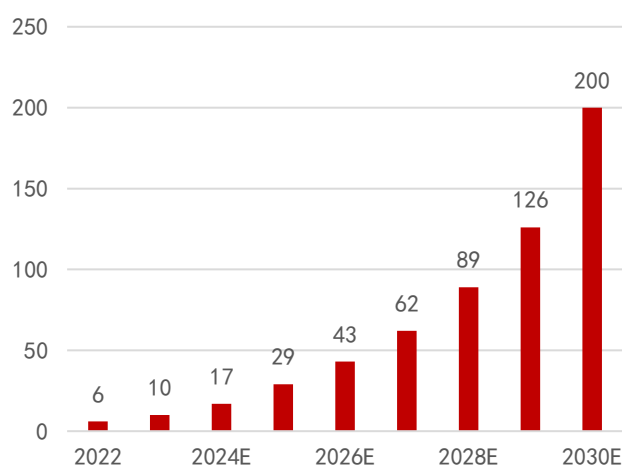
固态电池当前处于起步阶段，产业化仍需时间。预计 2030 年中国固态电池出货量将达 251.1GWh，2030 年市场空间有望达 200 亿元。

图表34：2022-2030 年中国固态电池出货量预测(单位：GWh)



资料来源：中商情报网，中邮证券研究所

图表35：2022-2030 年中国固态电池市场空间预测(单位：亿元)



资料来源：中商情报网，中邮证券研究所

国内外多家新能源车企宣布了半固态电池装车规划，2023 有望成为“装车元年”。宝马、奔驰、大众和丰田等海外巨头均计划于 2025 年前后推出搭载固态电池的电动汽车。东风、蔚来、赛力斯已宣布将于今年实现半固态电池装车，长安深蓝、智己、埃安、高合等车企普遍规划 2025 年前装车半固态电池。

- 清陶能源与北汽福田联合开发的首套量产商用车固态电池系统已正式下线；
- 搭载赣锋锂电三元固液混合锂电池的赛力斯纯电动 SUV 车型 SERES5 规划于 2023 年上市；
- 搭载 150 度半固态电池的蔚来 ET7 已推出；
- 东风岚图的追光系列采用自研“云母”电池系统，搭载的 82kWh 电池包采用了行业首个量产装车的半固态电池。

图表36：相关车企布局推动固态电池产业化进程

| 规划装车时间 | 搭载电池 | 车企 | 动态 | 电池供应商 |
|------------|------|-----------|---|-----------------------|
| 2021年1月 | 半固态 | 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 | 半固态 | 东风岚图 | 1月13日，东风岚图“追光”首批量产车型下线、搭载82度电池包，采用能量密度为170Wh/kg的半固态电池，“追光”首月订单超1万 | 孚能科技 |
| 2023年 | 半固态 | 蔚来 | 蔚来150度的半固态电池将于2023年上半年推出，搭载ET7车型，采用能量密度为360Wh/kg的半固态电池，该电池将于今年上半年完成量产 | 卫蓝新能源 |
| 2023年 | 半固态 | 赛力斯 | 纯电动SUV赛力斯SERES-5规划于2023年上市，搭载赣锋锂电三元半固态电池，最大续航里程为530KM，主攻欧洲市场 | 赣锋锂电 |
| 2025年 | 半固态 | 长安深蓝 | 目前进入半固态电池工程化研发阶段，预计将于2025年搭载整车应用 | / |
| 2025年 | 全固态 | 大众 | QuantumScape在2022年交付第一批A样原型固态电池测试，计划于2025年简历固态电池量产线 | QuantumScape |
| 2025年 | 全固态 | 宝马 | 2023年1月宝马与SolidPower启动下阶段全固态电池联合研发，计划第一辆全固态电池搭载的原型车在2025年之前推出，2030年前实现量产 | Solid Power |
| 2028年 | 全固态 | 奔驰 | 2023年1月27日，奔驰投资中国台湾省固态电池厂商辉能科技，此前已投资Factorial Energy，计划于2028年实现固态电池量产 | 辉能科技、Factorial Energy |
| 2028年 | 全固态 | 日产 | 日产计划于2024年建设固态电池试点工厂，2028年推出搭载全固态电池的量产车。2023年2月日产欧洲已成功开发出全固态电池，目标是2025年开始试生产，2028年生产第一款固态电池搭载的电动车 | / |
| 2026-2030年 | 全固态 | 丰田 | 计划于2025年推出全固态电池混合动力汽车，2030年前推出全固态纯电动汽车。2022年丰田投资约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年推出的车型 | 投资QuantumScape |
| / | 半固态 | 北汽蓝谷 | 前期对第一代、第二代半固态电池研究 | / |
| / | 全固态 | 越南VinFast | 越南VinFast投资辉能科技数千万美元，约定自2024年起，辉能科技向VinFast提供固态电池，两家公司在越南建立合资企业，建设固态电池工厂 | |
| / | / | 比亚迪 | 在2016年前已开始研发固态电池，其中的氧化物和硫化物路线固态电池已完成生产，进行装车试验 | / |

资料来源：高工锂电，中邮证券研究所

3.1 各国积极布局固态电池，技术突破持续加速

全球核心固态电池产业区域为欧美、日韩和中国。欧美国家主要以自主研发固态电池技术的创业型公司为主；日韩以传统车企与电池企业合作开发为主；中国企业研发投入巨大，且以科研机构或院校为支撑，产业化进程较快。

图表37：全球主要固态电池企业



资料来源：钜大锂电，中邮证券研究所

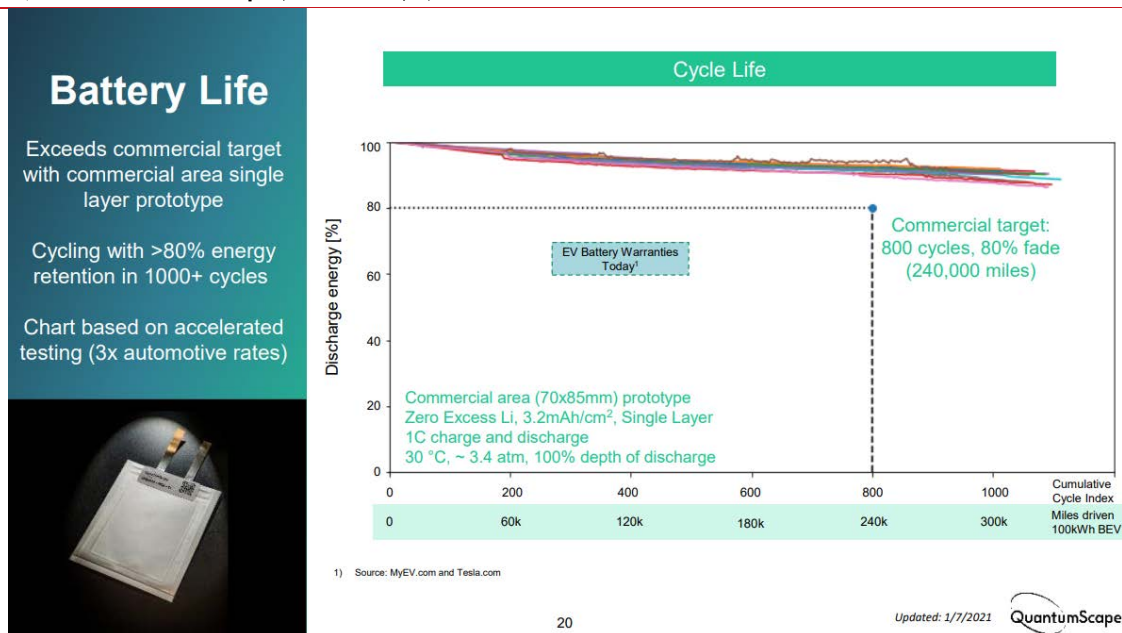
欧美、日韩、中国代表企业均积极推进固态电池布局。其中，美国初创企业众多，QuantumScape、Solid Power 等企业通过与科研机构合作已成为行业主力军。欧洲企业以车企投资初创企业为主，大众汽车投资 1 亿美元与 QuantumScape 组建一家新的合资企业。宝马携手 Solid Power 共同研发全新的固态电池。日韩企业多抱团合作，三菱、日产、松下等日本企业在保有独立研发团队的基础上，组建共同研发中心。韩国领先的三大电池企业—LG 化学、三星 SDI 和 SKI 也组成联盟，合作研发固态电池。中国企业起步较晚，但市场参与者多，同时车企与电池企业密切合作。

(1) 美国：代表企业 QuantumScape 成立于 2010 年，由斯坦福大学科学家 Jagdeep Singh、Fritz Prinz 和 Tim Holme 三人创立，拥有超过 200 项固态电池专利技术。公司得到了比尔盖茨、大众集团、德国马牌集团和上汽集团的投资，目前市值超过 400 亿美元，目前已成为固态电池技术研发头部企业。

- **产品性能：**1) 相较传统锂电池，公司产品续航里程提高 80%，最高续航接近 2000 公里；2) 充电时间大幅缩短，相较传统锂电池需 40 分钟充至 80%，公司产品仅需 15 分钟即可；3) 此外，产品循环 1000 次后仍保持 80%以上的容量。

- **研发进度：**公司已开始建设生产工厂，计划于 2023 年开始试产部分固态电池，2025 年实现大规模量产。

图表38: Quantumscape 产品循环寿命



资料来源：Quantumscape，中邮证券研究所

(2) **欧洲：**代表企业博洛雷是第一家将固态电池规模商业化运作的公司，但该固态电池能量密度仅 100Wh/kg。其自主研发的电动汽车 Bluecar 搭载了子公司 Batscap 生产的 30kWh 金属锂聚合物电池，续航 120km。约 2900 辆 Bluecar 投放至巴黎汽车共享服务项目 Autolib，是国际第一个采用固态锂电池的电动汽车案例。BatScap 选择聚合物技术路线，正极材料采用 LFP，负极材料采用金属锂，电解质采用聚环氧乙烷（PEO）。

图表39：博洛雷电动汽车



资料来源：公开资料整理，中邮证券研究所

(3) 日韩：代表企业日产提出“日产汽车 2030 愿景”，计划到 2024 年建造固态电池试点工厂。到 2026 年，共投入约 1128 亿人民币加快电动技术转型。同时，日产计划在 2028 年实现固态电池大规模量产，并在同年推出首款搭载公司全固态电池的电动车型。此外，公司于 2022 年 4 月 9 日宣布与 NASA 合作开发新型全固态电池，作为 2028 年产品发布和 2024 年试点工厂采用的电池。

- **产品性能：**公司固态电池能量密度接近传统锂电池的两倍，充电时间为锂电池的三分之一，并且减少了昂贵的稀有金属用量，有效降低电池成本。该款全固态电池体积只有目前电池的一半大小，充满电仅需 15 分钟。根据规划，2028 年公司全固态电池能够将电池成本降至 75 美元/KWh，并在未来进一步降低至 65 美元/KWh。

图表40：日产汽车固态电池“2030 愿景”



资料来源：公开资料整理，中邮证券研究所

(4) 中国：目前国内固态&半固态电池厂商主要有清陶能源、卫蓝新能源、赣锋锂电、孚能科技及国轩高科等，均已实现半固态电池产业化。以卫蓝和国轩高科为例，卫蓝已规划北京房山、江苏溧阳、浙江湖州和山东淄博 4 大生产基地，目前推出了 350Wh/kg 的半固态电池。国轩高科 22 年 5 月发布首款半固态电池产品，单体能量密度达 360Wh/kg。

图表41：各公司固态电池指标对比

| 厂商 | 能量密度 (Wh/kg) | 循环次数 (次) | 产能 | 进度 |
|-------|--------------|----------|--|--------|
| 卫蓝新能源 | 360 | / | 山东20GWh (规划) 湖州2GWh (22A) +20GWh (规划) 房山8GWh (23E) 江苏0.2GWh (中试线) | 22Q4装车 |
| 赣锋锂电 | 350 | 600+ | 2GWh (22A) | 22Q1装车 |
| 孚能科技 | 330 | 2000次 | 镇江一期8GWh可转产半固态电池 | 22Q3装车 |
| 国轩高科 | 360 | / | / | 22Q4装车 |
| 清陶能源 | 368 | 1200次 | 宜春1GWh (21A) 昆山10GWh (23E) | 22Q3装车 |

资料来源：锂电派，中邮证券研究所

代表企业清陶能源率先实现了产业化，建有国内首条固态锂电池产线和全球首条固态动力电池规模化量产线。

- **技术路线：**目前公司已量产的半固态第一代产品采用氧化物电解质，预估能量密度上限达 420Wh/kg。而公司二代固态产品正在中试，三代全固态产品仍在规划中，尚未有实验室样品。
- **产品架构：**目前公司开发出四类固态锂电池产品，主要用于智能穿戴、电源系统、电动汽车及飞行工具等。

图表42：公司固态电池产品架构



资料来源：中国粉体网，中邮证券研究所

国内外电池厂商积极推动布局，固态电池产业化按下“加速键”。当前半固态电池处于产业前夕，但我国主流厂商已提前积极布局固态电池相关研发生产线，如清陶能源于 2018 年建成国内第一条固态电池生产线，后于 2022 年投资 50 亿元在昆山固态电池项目。然而，国内外企业对于固态电池路线的选择均不同。日韩企业多采用硫化物固态电解质技术路线，中国企业选择氧化物和硫化物并重路线。而欧美企业则在三种路线的选择上更为均衡，如宝马和福特投资的 Solid Power 主要研发基于硫化物的全固体电池，大众投资的 Quantum Scape 固态电池走的是氧化物路线。

具体来看，各家企业选择路线为：

- **聚合物领域：**博世/Seeo、Ionic Materials、Medtronic、Blue Solutions/Bollere 等；
- **氧化物领域：**卫蓝新能源、台湾辉能、清陶能源、TDK、NGK Insulators、Fujitsu、Murata、Hitachi、Toshiba、Quantumscape、Dyson/Sakti3 等；
- **硫化物领域：**Solid Power、Toyota、Panasonic、出光兴产、CATL、中科院物理所、卫蓝新能源、中科院宁波材料所、浙江锋锂、日立造船、LG 化学、PolyPlus 等。

图表43：国内外电池企业布局进展情况

| 国内外 | 企业 | 技术路线 | 开始时间 | 进展情况 |
|--------|---------------|---------|-------|--|
| 国外电池企业 | 博洛雷 | 聚合物 | 2008年 | 2020年获得欧洲109辆全固态大巴Bluebus订单 |
| | Quantum Scape | 氧化物 | 2018年 | 获大众集团1亿美元投资，计划2024年建立1GWh试生产线 |
| | 松下 | 卤化物 | / | 与丰田合作研究生产全固态电池，在中国投资9.1亿美元创办Prime Planet Energy & Solutions公司开发全固态电池 |
| | LG | / | / | 计划在2025-2027年实现全固态电池商业化 |
| | 富士通 | 氧化物 | / | 2920万美元投资FDK开发全固态电池，已启动超小型全固态电池样品供货 |
| | OHARA | 氧化物 | / | 开发基于玻璃陶瓷LiClO ₄ 的全固态电池 |
| | 三洋化成工业 | 聚合物 | / | 已布局全树酯固态电池，于2021年投产 |
| | 出光兴产 | 硫化物 | / | 2021年量产全固态电解质，2023年全固态电池实用，硫化物电解质专利全球第二 |
| | 三星SDI | 硫化物/聚合物 | / | 2022年3月14日宣布全固态电池试验线“S-Line”动工 |
| | 清陶能源 | / | 2022年 | 2018年建成国内第一条全固态电池生产线，2022年2月26日总投资50亿元的全固态电池产业化项目在昆山动工，预计投产后将达100亿瓦时装机容量 |
| 国内电池企业 | 赣锋锂业 | / | / | 2017年56Ah、10Ah全固态电池；2022年交付东风汽车 |
| | 辉能科技 | / | 2013年 | 2022年获得奔驰数百万欧元投资，共同开发下一代电动汽车全固态电池电芯 |
| | 蜂巢能源 | / | 2018年 | 原型样品能量密度达350Wh/kg，循环寿命超过1000次；基于果冻电池技术的NCM组刀L600电池能量密度达230Wh/kg |
| | 宁德时代 | 硫化物 | / | 可以做出全固态电池样品，但商业化还很远 |
| | 比亚迪 | 氧化物、硫化物 | / | 2022年全固态电池在重庆生产，即将装机 |
| | 孚能科技 | / | / | 2022年9月推出半固态电池 |
| | 国轩高科 | 硫化物 | / | 高安全半固态电池，单体能量密度达360Wh/kg，配套电池包达160KWh，续航里程超过1000KM |
| | 中汇 | 聚合物 | / | 2022年获得春花资本天使轮融资 |
| | 深蓝汇泽 | 聚合物 | / | 2022年启动“2+10”亿瓦时全固态电池生产线建设，第一条2亿瓦时产线将于年内实现批量生产，同步启动10亿瓦时产线建设。初代产品实现350Wh/kg |
| | 太蓝新能源 | 氧化物 | 2018年 | 成功制造出1.2Ah/3.6Ah/10Ah级软包型和多种圆柱混合锂金属电芯，能量密度达520Wh/kg，其硫化物全固态电解质的锂金属负极全固态原型电池实现1000次以上放电循环 |
| | 恩力动力 | 硫化物 | 2019年 | 在硫化物电解质制备技术上取得突破，用于消费电子、新能源车等运载工具 |
| | 屹锂新能源 | 硫化物 | / | 近期将在珠海建设世界领先的全固态电池及相关材料，并同步在美国和欧洲建设基地 |
| | 高能时代 | 硫化物 | / | 2021年获得蓝源资本10亿元战略投资 |
| | 绿源动力 | / | 2018年 | 2022年4月获得永智资产C轮融资、2022年7月获得深圳天使母基金、英格智能的C轮融资 |
| | 合全新能 | 硫化物、聚合物 | 2019年 | 2021年完成天使轮融资、2022年4月完成A轮融资（由海松资本领投） |
| | 蓝图新能源 | 氧化物 | / | 2021年完成天使轮融资、2022年4月完成A轮融资（由海松资本领投） |

资料来源：锂电联盟会长，中邮证券研究所

图表44：全球固态电池企业布局路线



资料来源：高工锂电，中邮证券研究所

4 相关标的

4.1 半固态/固态电池相关标的

国内固态电池竞争者众多，产业化布局加速推进。以清陶能源、卫蓝新能源等为代表的新兴电池厂商正 all in 到固态电池研发，而比亚迪、赣锋锂电、宁德时代等为代表的传统龙头电池厂商也在积极推进相关产业化布局。

图表45：固态电池相关标的

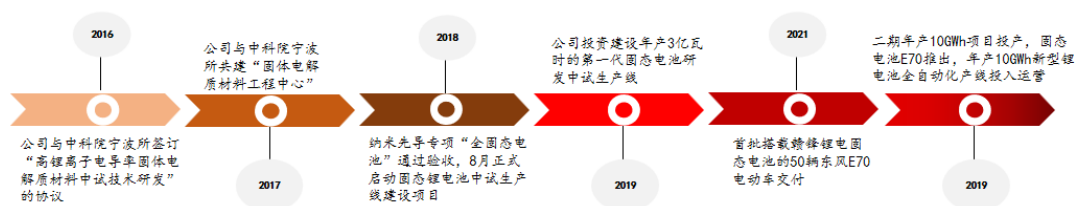
| 电池 | |
|-----------------|--|
| 清陶能源 | 第一代电池：半固态，正极三元高镍，负极碳硅负极，电解质中液体含量5—10%，氧化物电解质为主，添加了聚合物形成复合电解质（IPC），工艺上：纳米固态电解质涂覆以及固态电解质层成型——所谓的隔膜。能量密度目前360Wh/kg，最高420Wh/kg，第二代电池：美国态，正极三元高镍，镍锰，负极含锂的复合负极，电解质中液体含量小于5%，基于第一代氧化物与聚合物的复合IPC电解质中添加卤化物及硫化物。工艺上隔膜，类隔膜完全消失。能量密度400—500Wh/kg，第三代电池：全固态，正极无锂缺锂材料，负极金属锂或含锂合金，固态电解质沿用IPC电解质体系。能量密度超过500Wh/kg |
| 辉能科技 | 第一代美国态电池：沿用液态电池正负极，同时正极从NCM622升级到NCM811，负极从石墨转向高SiOx含量（14%以上）的石墨复合物；第二代固态电池：减少活性材料的使用量，正极为HNCA/HNMC，负极为金属锂或纯硅。目前其PLCB和BLCB固态电池均为第一代产品。正考虑投资80亿美元新建超级工厂，2023年年初完成选址。项目内容包括建设2GWh、5GWh固态锂电陶瓷电池芯产业化项目，并将考虑与车企合资建产线等。南都电源已与辉能科技达成固态锂电池合作共识，共同推进固态锂电产业化；参股新源动力，布局燃料电池行业。 1) 与奔驰：22年1月，梅赛德斯奔驰与辉能科技签署了共同开发下一代电池的技术合作协议，奔驰投资金额达数百万欧元。首款搭载全新的固态电池车型预计将在未来几年推出，并将逐渐在未来五年搭载在一系列乘用车当中 2) 与FEV：22年6月，FEV宣布与辉能科技签订合作意向书，将基于辉能科技独家的固态电池技术，结合双方的专业知识携手开发固态电池能源储存方案。（FEV集团是一家独立的国际领先、拥有自主整车及动力总成软硬件开发能力的服务供货商，总部位于德国亚琛） |
| 太蓝新能源 | 公司于2022年10月建成的国内首条半固态电池生产线正在有序生产。2023年7月生产线即可达到满产状态 |
| 卫蓝新能源 | 公司车规级的固态电芯已经下线，预计2023年初要装车，配套蔚来ET7。 |
| 宁德时代（300750.SZ） | 公司目前容量为325 mAh的聚合物锂电金属固态电池能量密度能量密度达300 Wh/kg，可实现300周循环以容量保持率82% |
| 国轩高科（002074.SZ） | 公司高安全半固态电池单体能量密度达360Wh/kg，配套车型的电池包电量达160KWh，续航里程超过1000km，预计2023年批量交付。公司单体能量密度400Wh/kg的三元半固态电池也已经有了实验室原型样品 |
| 赣锋锂电（002460.SZ） | 公司采用氧化物厚膜技术路线，第一代混合固液电解质电池产品以三元为正极，采用柔性固态电解质，以石墨为负极，能量密度达235~280Wh/kg，已实现装车应用，第二代固态锂电池采用三元正极、固态隔膜和含金属锂负极材料，目前该产品能量密度超过350Wh/kg，循环寿命接近400次 |
| 比亚迪（002594.SZ） | 2017年，公司申请了全固态锂离子电池正极复合材料及全固态锂离子电池的发明专利，2018年1月，公司正在积极推进固态电池项目商用，并将固态电池作为下一步研发重点，推进相关产品的产业化研发应用 |
| 孚能科技（688567.SH） | 公司已有半固态产品实现量产装车。专注于三元软包技术路线的孚能科技为东风岚图追光的半固态电池提供了电芯和模组。第一代产品：引入半固态凝胶电解质；第二代产品：对固态电解质材料和电解质膜进行优化；公司计划推出第三代半固态电池产品，具体性能未透露 |
| 德尔股份（300473.SZ） | 全资子公司德尔日本专注于全固态电池和燃料电池的研发。2022年9月固态电池样品正在下游客户验证 |
| 天齐锂业（002466.SZ） | 2017年12月，天齐锂业使用自有资金1250万美元参与了SolidEnergy的C轮优先股融资，布局固态电池，公司参股公司美国SolidEnergy主要开发和生产具有超高能量密度、超薄锂金属电池，开发电解液和负极材料 |
| 鹏辉能源（300438.SZ） | 公司固态电池处于研发阶段，计划在未来2-3年内推出固态电池产品 |
| 高乐股份（002348.SZ） | 准备投入20亿量产2GWh固态电池项目。项目分两期建设，一期和二期各1GW，预计建设周期如下： 1期计划：2023年1月-6月完成电池产品下线，2023年7月到2024年6月，完成生产线优化 2期计划：2023年7月-12月完成电池产品下线，2024年1月到2024年6月，完成生产线优化 |

资料来源：北极星储能网，公司公告，中邮证券研究所

1、赣锋锂电

赣锋锂电固态技术领先，持续推动固态电池产线建设。公司 2014 年进入动力电池行业下游，2017 年建成了第一代固态锂电池中试线。公司半固态电池专注于氧化物厚膜技术路线，一代半固态电池已经量产（搭载东风 E70 车型）；二代于 2021 年一季度完成 B 样开发，2022 年一季度完成 C 样开发。而全固态电池采用硫化物体系，仍需 5-6 年才能实现商业化应用。

图表46：公司固态电池发展历程



资料来源：公司官网，中邮证券研究所

2、卫蓝新能源

卫蓝新能源围绕固态电池核心技术布局。公司目前已掌握原为固态化、复合金属锂等行业核心技术。目前公司通过原位固态化技术进行固液和全固态电池开发，有效缩短上线时间并压缩成本。

图表47：公司固态电池核心技术

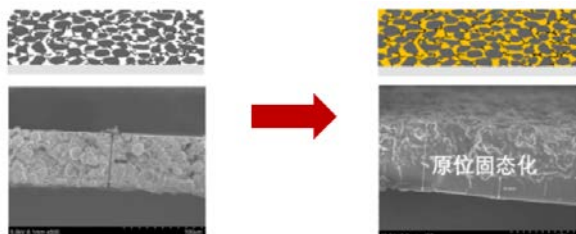


资料来源：《卫蓝新能源——固态电池的开发现状及应用思考》，中邮证券研究所

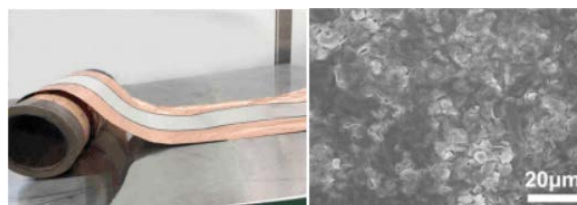
卫蓝新能源具有代表性的两项核心技术为原位固态化及复合金属锂技术。

原位固态化可兼容现有锂离子电池工艺，生产成本较低。复合金属锂负极可提高固态电池能量密度及循环稳定性，也是制备下一代 400、500Wh/kg 电池研发的关键技术。

图表48：原位固态化技术



图表49：复合金属锂技术



资料来源：《卫蓝新能源——固态电池的开发现状及应用思考》，中邮证券研究所

资料来源：《卫蓝新能源——固态电池的开发现状及应用思考》，中邮证券研究所

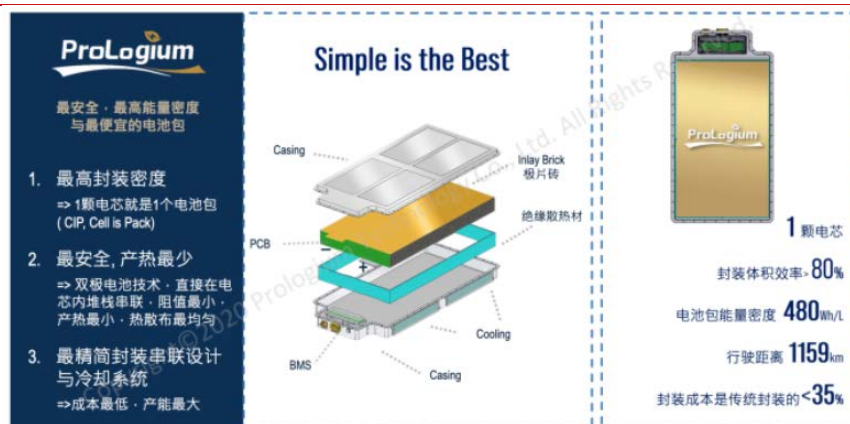
3、辉能科技

辉能科技成立于 2006 年，当前已与多家龙头车厂合作建设固态电池项目并计划在欧洲投资 80 亿美元+建设固态电池生产基地。

- 1) 工厂总产能将达到 120GWh，预计在未来十年内全部建成；
- 2) 奔驰：2022 年 1 月，梅赛德斯-奔驰与辉能科技签署了共同开发下一代电池的技术合作协议，奔驰投资金额达数百万欧元。首款搭载全新的固态电池车型预计将在未来几年推出，并将逐渐在未来五年搭载在一系列乘用车当中；
- 3) FEV：2022 年 6 月，FEV 与辉能科技签订合作意向书，将基于辉能科技独家的固态电池技术，结合双方的专业知识携手开发固态电池能源储存方案。

辉能科技的固态电芯已经通过所有安全测试，包括欧洲车厂针对固态电池提出的严苛测试项目，并在 Pack 环节最新推出 CIP (cell is pack) 技术。CIP 使得一颗电芯成为一个电池包。其具有最高封装密度、高度安全和产热量少等优势。其基于辉能的双极电池技术，直接在电芯内堆栈串联，阻值最小，产热量小，热散步均匀。此外，其通过精简封装串联设计与冷却系统，可以实现成本极大降低，产能效率高等特点。从数据来看，基于 CIP 的产品体积成组效率达 80%，可实现电池包能量密度达 480wh/L，可支持电动续航达到 1159 公里，同时，CIP 的成本可以比传统封装成本降低 35%。

图表50：公司固态电池产品指标



资料来源：GGII，中邮证券研究所

公司还推出 **ASM 技术**，有效降低安全隐患。基于 ASM 主动安全技术，即使因滥用而发生热失控，也能自我隔断高温产热及钝化正负极，从而使得各式高能材料在高密集的封装下无安全隐患。通过主动和被动安全技术的结合，可以实现完全热失控不发生。

图表51：公司固态电池 ASM 技术



资料来源：GGII，中邮证券研究所

4、国轩高科

国轩高科半固态电芯开发进展迅速。2022 年公司首次公开展示了半固态电池产品——长度 580mm，宽 120mm，厚 9mm，容量 136Ah，重量 1341 克，能量密度 360Wh/kg。目前这款电池能够通过高于国标的 180°C30min 热箱测试。第一

代半固态电池可以通过 1mm 的贯穿针刺，第二代产品则可以通过 5mm 的贯穿针刺测试。

图表52：公司半固态电芯开发进展

| 项目 | 当前状态 | 测试条件 |
|---------------------------------|--|---------------------------|
| 针刺 nail penetration (GB/T31485) | 一代半固体电芯：1mm贯穿针刺通过 二代半固体电芯：5mm贯穿针刺通过 | 1mm、0.1mm/s 5mm、25mm/s |
| 过充（新国标） | 通过 | — |
| 过放（新国标） | 通过 | — |
| 短路（新国标） | 通过 | — |
| 挤压（新国标） | 通过 | 2mm/s,形变达到100kN或形变量达到15% |
| 热箱 heat box（高于新国标） | 通过 | 180°C 30min |

资料来源：公开资料整理，中邮证券研究所

公司半固态电池性能优良。该车电池电量 160kWh，续航里程 1000 公里，电池包能量密度 260Wh/kg，百公里加速时间达 3.9 秒。

图表53：公司半固态电池图示



资料来源：公开资料整理，中邮证券研究所

4.2 固态电池材料相关标的

各环节材料受益于固态电池产业化发展。全固态电池产业化仍需很长时间，而当前朝着固态电池发展过程中，各环节材料均有受益。正负极都向更高能量密度材料发展，固态电解质逐渐取代电解液，隔膜工艺也不断优化。

图表54：固态电池相关体系材料标的

| 相关材料体系标的 | | |
|----------|------------------|---|
| 正极 | 容百科技 (688005.SH) | 与卫蓝新能源合作，为卫蓝新能源高镍三元正极材料第一供应商。公司投建新能源技术研究院将聚焦于固态电池材料及其他新能源体系等新产业应用研究 |
| | 当升科技 (300073.SZ) | 供应卫蓝+清陶2.5~3万吨；与清陶签订战略合作协议，拟在2022~2025年向当升科技采购总量不低于3万吨固态锂电正极材料 |
| | 格林美 (002340.SZ) | 具备多款固态电池用前驱体储备技术，可随时量产 |
| | 杉杉股份 (600884.SH) | 从全固态电池钴酸锂正极材料开始研发，逐步对全固态电池材料全面布局 |
| | 多氟多 (002407.SZ) | 高纯纳米硅粉项目200吨/年产能，正在扩建500吨/年的产能 |
| 硅基负极 | 杉杉股份 (600884.SH) | 拟建硅碳负极4万吨/年 |
| | 杰瑞股份 (002353.SZ) | 拟建1.8万吨硅基负极 |
| | 翔丰华 (300890.SZ) | 与清陶能源签署战略合作协议，约定在半固态/固态电池高比容负极材料关键技术研发，供应等全方面合作 |
| | 璞泰来 (603659.SH) | 拟建设1.2万吨硅负极 |
| | 贝特瑞 (835185.BJ) | 现有硅基负极产能3000吨/年，新建产能2000吨/年，2022年下半年投产，之前启动的4万吨硅基负极一期项目，预计在23年底投产1.5万吨/年 |
| 电解质 | 硅宝科技 (300019.SZ) | 制作硅碳负极的材料纳米硅粉为公司自产，拟建硅碳负极1万吨 |
| | 博迁新材 (605376.SH) | 目前公司硅粉供应杉杉，璞泰来和贝特瑞，目前需求十几公斤，国外供应LG和三菱，准备在整车试验 |
| | 胜华新材 (603026.SH) | 拟建硅碳负极2万吨/年，2023年底投产 |
| | 东方锆业 (002167.SZ) | 生产氧化锆系列产品，产能3000吨 |
| | 三祥新材 (603663.SH) | 宣布与合作方共同出资1亿元成立纳米氧化锆项目 |
| 隔膜 | 珈伟新能 (300317.SZ) | 聚合物电池龙头，但未来不再将锂电池生产作为未来发展方向 |
| | 金龙羽 (002882.SZ) | 公司固态电解质中试研发平台进入试生产阶段，路线为氧化物。固态电解质、电芯的中试线已建好；硅碳负极材料的小试线已建好，中试线正在建设；正极材料的研发已经立项，尚未建设中试线 |
| 铝塑膜 | 恩捷股份 (002812.SZ) | 公司已与北京卫蓝、溧阳天目先导成立合资公司江苏三合，进行半固态电池隔膜的研发和生产 |
| | 美联新材 (300586.SZ) | 子公司已覆盖动力电池、储能电池、3C数码电池、半固态电池所需的湿法隔膜 |
| | 新纶新材 (002341.SZ) | 铝塑膜产品可以用于半固态和固态电池，铝塑膜设计产能达9600万平方米 |

资料来源：北极星储能网，公司公告，中邮证券研究所

5 风险提示

- **产业化进程不及预期：**当前固态电池产业化仍需较长时间，尽管各车企和电池厂商都在积极研发布局，但产业化仍面临不少挑战；
- **技术路线变更风险：**电池及电池材料体系革新变化较快，技术路线并不确定，可能存在新的电池技术出现替代或者延缓固态电池开发落地的情况。
- **海内外政策变化：**各国政策可能会影响固态电池产业化进程。

中邮证券投资评级说明

| 投资评级标准 | 类型 | 评级 | 说明 |
|---|-------|------|----------------------------|
| 报告中投资建议的评级标准： 报告发布日后的 6 个月内的相对市场表现，即报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数、可转债价格）的涨跌幅相对同期相关证券市场基准指数的涨跌幅。 市场基准指数的选取：A 股市场以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指为基准；可转债市场以中信标普可转债指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。 | 股票评级 | 买入 | 预期个股相对同期基准指数涨幅在 20%以上 |
| | | 增持 | 预期个股相对同期基准指数涨幅在 10%与 20%之间 |
| | | 中性 | 预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%与 10%之间 |
| | | 回避 | 预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%以下 |
| | 行业评级 | 强于大市 | 预期行业相对同期基准指数涨幅在 10%以上 |
| | | 中性 | 预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%与 10%之间 |
| | | 弱于大市 | 预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%以下 |
| | 可转债评级 | 推荐 | 预期可转债相对同期基准指数涨幅在 10%以上 |
| | | 谨慎推荐 | 预期可转债相对同期基准指数涨幅在 5%与 10%之间 |
| | | 中性 | 预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%与 5%之间 |
| | | 回避 | 预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%以下 |

分析师声明

撰写此报告的分析师（一人或多人）承诺本机构、本人以及财产利害关系人与所评价或推荐的证券无利害关系。

本报告所采用的数据均来自我们认为可靠的目前已公开的信息，并通过独立判断并得出结论，力求独立、客观、公平，报告结论不受本公司其他部门和人员以及证券发行人、上市公司、基金公司、证券资产管理公司、特定客户等利益相关方的干涉和影响，特此声明。

免责声明

中邮证券有限责任公司（以下简称“中邮证券”）具备经中国证监会批准的开展证券投资咨询业务的资格。

本报告信息均来源于公开资料或者我们认为可靠的资料，我们力求但不保证这些信息的准确性和完整性。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价，中邮证券不对因使用本报告的内容而导致的损失承担任何责任。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策。

中邮证券可发出其它与本报告所载信息不一致或有不同结论的报告。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且不予通告。

中邮证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者计划提供投资银行、财务顾问或者其他金融产品等相关服务。

《证券期货投资者适当性管理办法》于 2017 年 7 月 1 日起正式实施，本报告仅供中邮证券客户中的专业投资者使用，若您非中邮证券客户中的专业投资者，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司不会因接收人收到、阅读或关注本报告中的内容而视其为专业投资者。

本报告版权归中邮证券所有，未经书面许可，任何机构或个人不得存在对本报告以任何形式进行翻版、修改、节选、复制、发布，或对本报告进行改编、汇编等侵犯知识产权的行为，亦不得存在其他有损中邮证券商业性权益的任何情形。如经中邮证券授权后引用发布，需注明出处为中邮证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节或修改。

中邮证券对于本声明具有最终解释权。

公司简介

中邮证券有限责任公司，2002 年 9 月经中国证券监督管理委员会批准设立，注册资本 50.6 亿元人民币。中邮证券是中国邮政集团有限公司绝对控股的证券类金融子公司。

中邮证券的经营经营范围包括证券经纪、证券投资咨询、证券投资基金销售、融资融券、代销金融产品、证券资产管理、证券承销与保荐、证券自营和与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问等。中邮证券目前已经在北京、陕西、深圳、山东、江苏、四川、江西、湖北、湖南、福建、辽宁、吉林、黑龙江、广东、浙江、贵州、新疆、河南、山西等地设有分支机构。

中邮证券紧紧依托中国邮政集团有限公司雄厚的实力，坚持诚信经营，践行普惠服务，为社会大众提供全方位专业化的证券投、融资服务，帮助客户实现价值增长。中邮证券努力成为客户认同、社会尊重，股东满意，员工自豪的优秀企业。

中邮证券研究所

北京

电话：010-67017788

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：北京市东城区前门街道珠市口东大街 17 号

邮编：100050

上海

电话：18717767929

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：上海市虹口区东大名路 1080 号邮储银行大厦 3 楼

邮编：200000

深圳

电话：15800181922

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：深圳市福田区滨河大道 9023 号国通大厦二楼

邮编：518048