

基础化工

2025年01月08日

固态锂电池方兴未艾，高性能材料有望迎新发展机遇

——行业深度报告

投资评级：看好（维持）

金益腾（分析师）

宋梓荣（联系人）

李思佳（联系人）

jinyiteng@kysec.cn

songzorong@kysec.cn

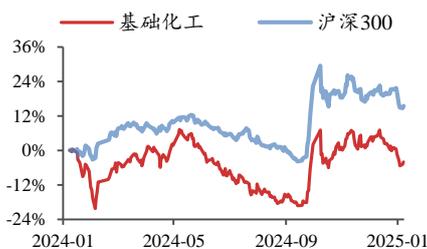
lisijia@kysec.cn

证书编号：S0790520020002

证书编号：S0790123070025

证书编号：S0790123070026

行业走势图



数据来源：聚源

相关研究报告

《下游需求投产加速，或加剧烧碱、乙二醇供需紧平衡态势——化工行业周报》-2025.1.5

《涤纶长丝供应缩减支撑价格运行坚挺，丙烯酸及酯价格延续高位——行业周报》-2024.12.29

《原材料工业优化升级行动方案出台，推动传统产业升级及新材料产业创新发展——行业周报》-2024.12.22

● 发展高比能量、长续航电池的必行之路，固态锂电池方兴未艾

液态锂离子电池中含有挥发性和可燃性高的有机溶剂基液态电解质，使得高能锂电池的使用面临着易燃易爆等潜在风险。同时据锂电产业通公众号，当前液态锂离子电池体系能量密度难以突破 350Wh/kg 的极限。全固态锂电池使用具备优异阻燃性能的固态电解质取代了电池体系中的电解液和隔膜。两者相比，固态锂电池的优势在于：比能量可达 500Wh/kg 以上、轻量化、热失控起始温度较高；主要劣势在于生产成本较高。据亿欧智库数据及我们测算，2024 年 8 月，固态锂电池的生产成本在 1.9-6.2 元/Wh，高于磷酸铁锂/石墨体系约 0.34 元/Wh 的生产成本。未来待固态锂电池技术不断发展，产业链不断成熟，固态电池有望凭借能量密度高、安全性能好等优势与液态锂电池互补发展。固态电池将优先在成本敏感性低的领域应用，包括机器人、可穿戴设备、航天设备、无人机等；之后再在对成本敏感度高且对能量密度要求高的领域应用，包括 eVTOL、电动车等。

● 未来待固态电池技术持续突破，有望带动相关材料需求持续增长。

- 1、固态电解质：**全固态电池取消原有液态电解质，选用氧化物、硫化物、聚合物等作为固态电解质，以薄膜的形式分割正负极，从而替代隔膜的作用，其中氧化物目前产业化进展较快，硫化物未来潜力最大，聚合物性能上限较低。**【硫化物固态电解质】推荐标的：**云图控股；**受益标的：**有研新材、恩捷股份、天齐锂业、厦钨新能、容百科技、天赐材料、光华科技、丰元股份、粤桂股份、司尔特、国城矿业等。**【氧化物固态电解质】受益标的：**国瓷材料、三祥新材、容百科技、璞泰来、上海洗霸等。**【聚合物固态电解质】推荐标的：**巨化股份、昊华科技；**受益标的：**奥克股份、东岳集团、联创科技、永和股份、东阳光等。
- 2、碳基填料：**MOF、COF 可获得刚性多孔结构，同时还可以提高界面兼容性和增强离子电导率；碳纳米管、导电炭黑、石墨烯等碳基材料可以显著提高电池的循环稳定性，并降低过电位。**推荐标的：**【导电炭黑】黑猫股份；**受益标的：**【碳纳米管】天奈科技、道氏技术；【MOF】岳阳兴长；【COF】宝丽迪等。
- 3、正极：**固态电池正极材料以高镍三元体系为主，富锂锰基材料具有较高的能量密度以及较低的单位成本，被认为是最具前景的锂离子电池正极材料之一。**【正极材料】受益标的：**红星发展、湘潭电化、道氏技术、丰元股份、芳源股份等。
- 4、负极：**硅基负极的优势在于具有高比容量，但缺点在于体积易膨胀。传统锂电负极企业产业化推进较快，多数企业采用硅碳负极路线。**【硅基负极】推荐标的：**硅宝科技；**受益标的：**道氏技术、新安股份、石大胜华、鹿山新材等；**【多孔碳】**圣泉集团、元力股份、道氏技术、金博股份等。
- 5、其他：**可关注铝塑膜、粘结剂相关企业。**【铝塑膜】受益标的：**道明光学、佛塑科技、璞泰来、明冠新材等；**【隔膜】推荐标的：**长阳科技；**【粘结剂】受益标的：**回天新材等。

● **风险提示：**技术推进不及预期、原材料价格大幅下跌、终端需求跟进不及预期。

目 录

1、 固态锂电池：发展高比能量、长续航电池的必行之路，固态锂电池方兴未艾.....	4
2、 固态电解质：三种主流电解质各有优劣，硫化物路线有望凭借导电性能强、界面接触性能良好等性能得到快速发展.....	10
2.1、 硫化物固态电解质：高离子电导率给予其广阔发展前景，建议关注率先进行硫化锂布局、具备硫磺或硫铁矿产能的企业.....	11
2.2、 氧化物固态电解质：氧化物固态电解质拥有适中的离子电导率，商业化进展较快.....	16
2.3、 聚合物固态电解质：建议关注 PEO、PVDF 生产企业在聚合物固态电解质中的布局.....	18
2.4、 复合固态电解质：多种材料复合可使得固态电解质优势互补.....	20
2.5、 其他：我国固态电池产业化进程较快，各类工艺方案竞相发展.....	22
3、 正极：固态电池正极材料或向超高镍、镍锰酸锂、富锂锰基等方向布局.....	23
4、 硅基负极：硅基负极有望成为新一代锂电负极材料，多孔碳的性能直接决定硅基产品性能.....	25
5、 其他：可关注铝塑膜、隔膜、粘结剂相关企业.....	28
5.1、 铝塑膜：软包铝塑膜有望凭借其柔韧性强的优势，广泛应用于固态电池封装领域.....	28
5.2、 隔膜：半固态电池保留了少量电解液，仍需隔膜.....	30
5.3、 粘结剂：非极性粘结剂可提高固态电解质的机械性质、界面相容性等性能.....	30
6、 投资建议：建议关注固态电池发展带来的相关材料的发展机会.....	30
7、 风险提示.....	33

图表目录

图 1： 固态锂电池能量密度可超过 400Wh/kg.....	4
图 2： 固态锂电池中的电解质为固态电解质.....	4
图 3： 固态锂电池通过摒弃有机液态电解质，热失控起始温度较高.....	5
图 4： 固态锂电池的电子迁移速度较液态锂电池慢.....	6
图 5： 提高固态电池性能的核心为优化固态电解液性能.....	6
图 6： 目前固态锂电池的生产成本在 1.9-6.2 元/Wh，高于液态锂电池.....	6
图 7： 全固态锂电池能量密度、工作温度等参数均较高.....	7
图 8： 固态锂电池的电子迁移速度较液态锂电池慢.....	7
图 9： 提高固态电池性能的核心为优化固态电解液性能.....	7
图 10： 硫化物固态电解质原料硫化锂的成本占总成本的 70%以上.....	12
图 11： Li ₂ O 和 P ₂ S ₅ 为原料开发的硫化物固态电解质 LPSO 具有低成本的优势.....	13
图 12： 预计第二代硫化物固态电池将于 2030 年左右实现商业化.....	14
图 13： 在聚合物电解质中添加氧化物电解质可提供其离子电导率.....	21
图 14： 为电解质提供有序通道可使锂离子通过更加容易.....	21
图 15： 富锂锰基正极材料可以看作由 Li ₂ MnO ₃ 与 LiMO ₂ 两部分组成.....	23
图 16： 固态电池负极材料主要包括碳材料、硅材料等.....	25
图 17： CVD 在多孔碳上沉积硅示意图.....	26
图 18： TitanSilicon 全硅负极 900 次循环膨胀率 < 6%.....	26
图 19： 在多孔碳上沉积纳米 Si 为硅碳生产难点.....	28
图 20： 软包锂电池内部电芯由正极片、隔膜、负极片依次层叠起来，外部用铝塑膜封装.....	29
图 21： 铝塑膜主要分为尼龙层、铝层、PP、粘合层.....	29
图 22： 添加一定量的 SBR 能提高硫化物固态电池导电率.....	30
图 23： BR、PVdF-CTFE 粘结剂的复合正极示意图.....	30

表 1: 固态电池技术逐渐向氧化物系和硫化物系过渡.....	8
表 2: 我国出台多项政策支持固态电池产业发展.....	8
表 3: 国内固态电池装车加速推进.....	9
表 4: 目前广泛应用的固态电解质类型包括氧化物、硫化物、聚合物固态电解质等,三者各有优劣.....	10
表 5: LGPS 型硫化物离子电导率较高, LPSCI 型硫化物离子电导率适中.....	11
表 6: 硫化锂的主要生产工艺包括干法、有机锂盐法、无机锂盐法,其中有机锂盐法制成的产品纯度高.....	13
表 7: 国内多数企业积极布局硫化物固态电池.....	14
表 8: 恩捷股份、天齐锂业、厦钨新能、容百科技等企业积极布局硫化锂产能.....	15
表 9: 粤桂股份、司尔特、国城矿业、云图控股等企业具有硫铁矿开采能力.....	16
表 10: 氧化物电解质拥有适中的离子电导率, 区间为 10^{-6} - 10^{-3} s/cm.....	16
表 11: 氧化物固态电解质常见的合成方式包括熔融淬火法、高温固相反应法(机械活化法)等.....	17
表 12: 比亚迪、卫蓝新能源等企业已在进行氧化物固态电池的产能布局, 电池能量密度在 300-500Wh/kg.....	17
表 13: 赣锋锂业、天目先导、清陶能源、贝特瑞、璞泰来等企业已实现氧化物固态电解质商业化生产能力.....	18
表 14: 常用聚合物材料有 PEO、PMMA、PAN、PVDF 等.....	19
表 15: 比亚迪、清陶能源、东驰能源等在布局聚合物固态电池, 能量密度在 350-450Wh/kg.....	20
表 16: 除了上述主流的三种固态电解质方案外, 力神电池推行固液融合方案、亿纬锂能发展卤化物方案等.....	22
表 17: 富锂锰基材料由于具有较高能量密度、较低单位成本, 被认为是未来最具前景的锂离子电池正极材料之一.....	23
表 18: 正极材料领域建议关注产品验证速度较快的企业、以及具有上游锰基原料的企业.....	24
表 19: 硅基负极具有高比容量, 有望成为新一代锂电负极材料.....	26
表 20: 传统锂电负极企业产业化推进较快, 多数企业采用硅碳负极路线.....	27
表 21: 圣泉集团、元力股份、道氏技术、金博股份等企业正在积极布局多孔碳领域.....	28
表 22: 国内企业积极布局铝塑膜行业, 相关原料有望逐步实现进口替代.....	29
表 23: 建议关注固态电池发展带来的相关材料的发展机会.....	32

1、固态锂电池：发展高比能量、长续航电池的必由之路，固态锂电池方兴未艾

未来待固态锂电池技术不断发展，固态电池有望凭借能量密度高、安全性能好等优势与液态锂电池互补发展。目前常用的液态锂离子电池发展至今，已具有明显的低成本、技术成熟等优势，广泛应用于消费电子、储能系统、电动汽车、电动自行车等领域。但液态锂离子电池中含有挥发性和可燃性高的有机溶剂基液态电解质，使得高能锂电池的使用面临着易燃易爆等潜在风险。同时锂离子电池一直在往体积小、质量轻、安全性高、能量密度高和循环寿命长等更优的方向进化。据锂电产业通公众号，当前液态锂离子电池体系能量密度难以突破 350Wh/kg 的极限。

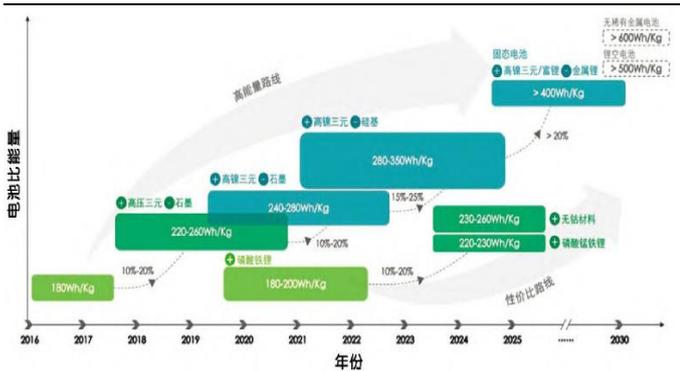
全固态锂电池使用具备优异阻燃性能的固态电解质取代了电池体系中的电解液和隔膜。两者相比，固态锂电池的优势在于：

1、能量密度高：据《金属锂固态电池在空间电源领域应用研究现状与展望》（朱晓婷等），固态锂电池可匹配高电压材料，比能量可达 500Wh/kg 以上。

2、轻量化：据中科战略新材研究院公众号，在液态锂离子电池中，隔膜与电解液合计占电池近 40%的体积、25%的质量，二者被固态电解质取代后，电池厚度大幅降低进一步提高体积利用率。

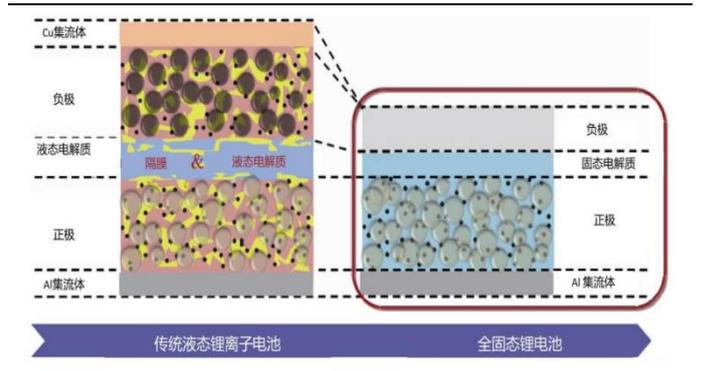
3、安全性更好：固态锂电池通过摒弃有机液态电解质，从根本上避免了易燃易爆的安全风险。据《固态电池行业研究及其投资逻辑分析》（韩熙如等），固态电解质的热失控起始温度较高，聚合物固态电解质普遍在 300~400℃，硫化物在 200~600℃，氧化物在 600℃以上，部分可达 1800℃，显著高于液态电池的 200℃热失控温度。固态电解质具有良好的稳定性，其优异的机械强度有益于抑制锂枝晶生长，而液体电解质存在电解液腐蚀、泄漏或引起内部短路的情况。固态电解质工作温度范围为-30℃~100℃宽温域，不易凝固、不易气化。

图1：固态锂电池能量密度可超过 400Wh/kg



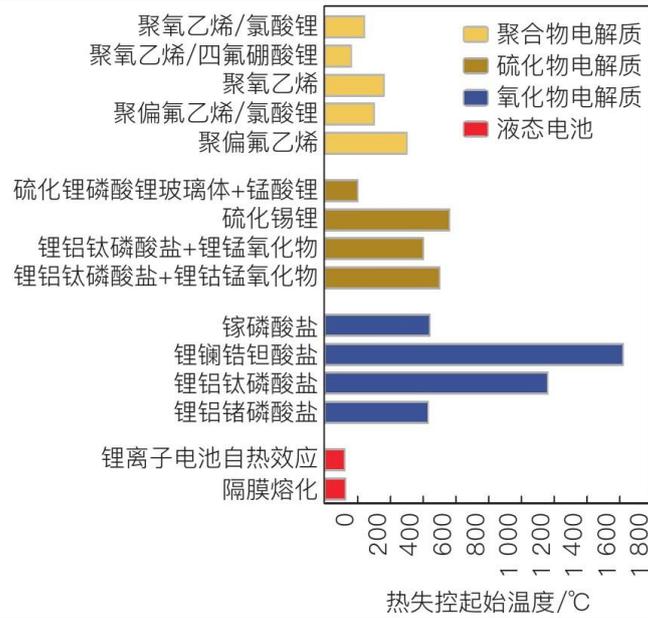
资料来源：《金属锂固态电池在空间电源领域应用研究现状与展望》（朱晓婷等）

图2：固态锂电池中的电解质为固态电解质



资料来源：中科战略新材研究院公众号

图3: 固态锂电池通过摒弃有机液态电解质, 热失控起始温度较高



资料来源:《固态电池行业研究及其投资逻辑分析》(韩熙如等)

但固态电池相较于液态电池的缺点在于:

1、充电速度慢: 固体电解质大大降低了锂离子的扩散速率和离子从负极脱嵌的速率,使得电子迁移速度较低。据元能科技公众号,液态电解质离子电导率为 10^{-2} S/cm,而硫化物、氧化物、聚合物固态电解质离子电导率分别 $\leq 10^{-2}$ 、 $\leq 10^{-3}$ 、 $\leq 10^{-4}$ S/cm。液态电解液表现出高锂离子迁移率和每单位体积的低锂含量,而硫化物固态电解质作为固态电解质中离子电导率最大的材料,仍需要多两个数量级的锂才能实现其高离子电导率。

2、循环性能差: 固态电池的界面接触为刚性接触,对电极材料体积变化更敏感。循环过程中容易造成电极颗粒之间以及电极颗粒与电解质接触变差,造成应力堆积,导致电化学性能衰减,甚至导致裂缝的出现,造成容量迅速衰减,导致循环寿命差的问题。据 3060、机电之家网公众号,液态电池中,磷酸铁锂电池可做到超 3500 次循环寿命,三元锂电池实际平均为 1000 次循环寿命;而当前半固态电池的循环寿命通常仅在 800 到 1000 次;全固态电池即便实验室样品,也往往止步于数百次循环。

3、发热量大: 固体电解质通过增加欧姆电阻和极化电阻,大大提高了电池中产生的热量。据《Comparative Study on the Thermal Characteristics of Solid-State Lithium-Ion Batteries》(Rui Yang 等),在放电过程中,固态电池产生的热量比 NMC 和 LFP 电池多,固态电池在研究条件下的平均热量为 5813.4 J,比 NMC 和 LFP 电池高 2821.2 J 和 1596 J。

4、生产成本较高。 一方面,为了实现与液态锂电池接近的离子电导率,固态锂电池中单位体积需要更多的锂,单位生产成本增加;另一方面,产业链供应尚未成熟,各个组成材料价格较贵。据亿欧智库数据及我们测算,2024 年 8 月,固态锂电池的生产成本在 1.9-6.2 元/Wh,高于磷酸铁锂/石墨体系约 0.34 元/Wh 的生产成本。

5、固态电池其他还有使用过程中正极体积发生变化、锂枝晶、电荷损失等问题。

解决上述固态锂电池问题的核心在于优化固态电解液性能,比如采用导电性能

更好的元素来降低电荷转移的阻力；添加碳纳米管、MOF、COF 等材料减少固固接触带来的电荷损失、规模化生产降低固态电解质的生产成本等等。未来待固态锂电池技术不断发展，产业链不断成熟，固态电池有望凭借能量密度高、安全性能好等优势与液态锂电池互补发展。

图4：固态锂电池的电子迁移速度较液态锂电池慢

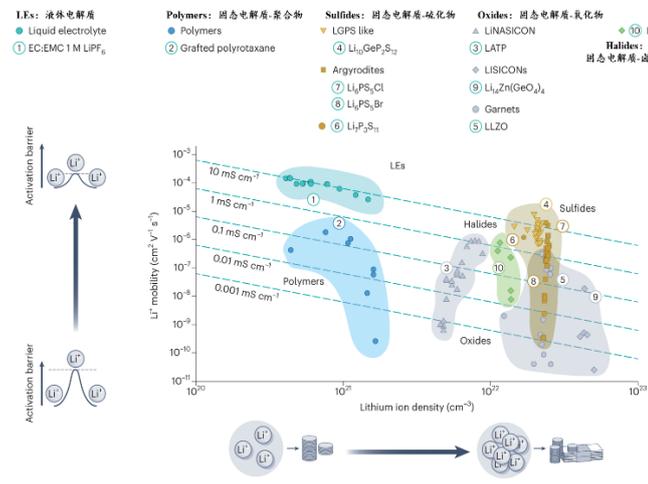
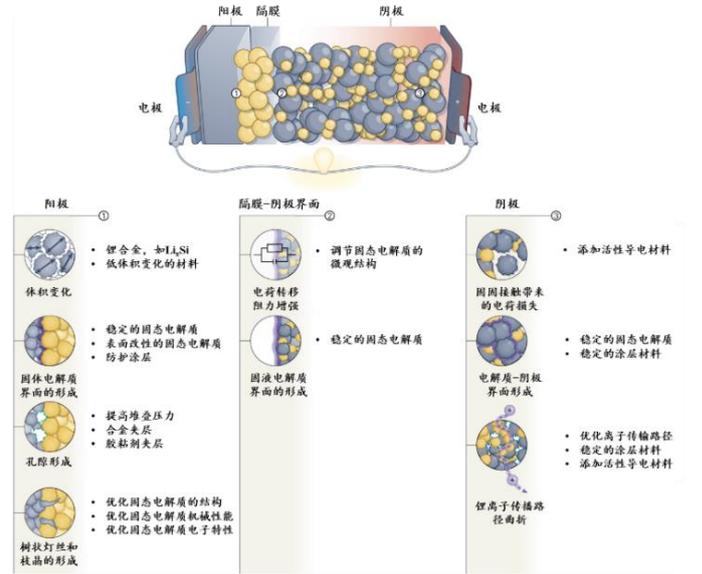


图5：提高固态电池性能的核心为优化固态电解液性能



资料来源：《Challenges in speeding up solid-state battery development》(Jürgen Janek 等)、开源证券研究所

资料来源：《Challenges in speeding up solid-state battery development》(Jürgen Janek 等)、开源证券研究所

图6：目前固态锂电池的生产成本在 1.9-6.2 元/Wh，高于液态锂电池

	聚合物复合电解质路线	氧化物电解质路线	硫化物电解质路线	磷酸铁锂/石墨体系
电芯性能	能量密度: 400-600Wh/kg 电芯电压: 3.6-5V	450-700Wh/kg 3.6-5V	450-900Wh/kg 3.6-5V	160Wh/kg 3.2V
电解质材料	材料: LLZO+PEO 成本: 50-60万元/吨	LATP (属于NASICON) /LLZO/LLTO 30-40万元/吨	LPS/LPGS 200-250万元/吨	六氟磷酸锂电解液 2万元/吨
正极材料	材料: 高镍三元, 富锂锰基, 尖晶石镍锰酸锂 克容量: 280mAh/g, 300mAh/g, 133mAh/g 成本: 16.8万元/吨, 16.8万元/吨, 16.8万元/吨	高镍三元, 富锂锰基, 尖晶石镍锰酸锂 280mAh/g, 300mAh/g, 133mAh/g 16.8万元/吨, 16.8万元/吨, 16.8万元/吨	高镍三元, 富锂锰基 280mAh/g, 300mAh/g 16.8万元/吨, 16.8万元/吨	磷酸铁锂 130-145mAh/g 1.84万元/吨
负极材料	材料: 硅碳, 硅氧, 锂金属 克容量: 610mAh/g, 300mAh/g, 3860mAh/g 成本: 12万元/吨, 9万元/吨, 70万元/吨	锂金属 3860mAh/g 70万元/吨	硅碳, 硅氧 610mAh/g, 300mAh/g 12万元/吨, 9万元/吨	石墨 350-370mAh/g 2.70万元/吨
预估成本	总成本: 1.9-3.5元/Wh 制造成本: 1.4-2.2元/Wh 材料成本: 0.5-1.3元/Wh	总成本: 2.8-4.6元/Wh 制造成本: 1.3-1.8元/Wh 材料成本: 1.5-2.8元/Wh	总成本: 3.7-6.2元/Wh 制造成本: 1.1-1.4元/Wh 材料成本: 2.6-4.8元/Wh	总成本: 0.34元/Wh 制造成本: 0.12元/Wh 材料成本: 0.22元/Wh

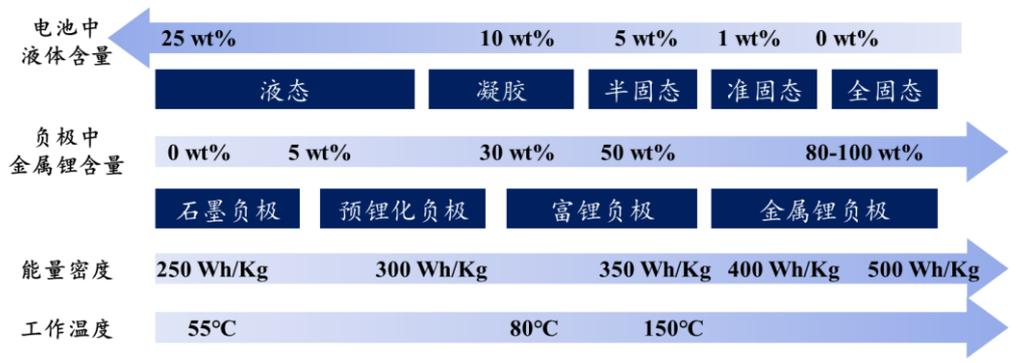
数据来源：亿欧智库、百川盈孚、爱采购官网、《钠离子电池正极材料研究进展》(游济远等)、锂电那些事公众号、SMM 石墨负极公众号等、开源证券研究所 (注：上述路线成本均根据 2024 年 8 月材料价格估算)

半固态电池没有从根本上解决安全问题，全固态电池为最终解决方案。根据液态电解质占电芯材料混合物的质量分数分类，电池可细分为液态(25%)、半固态(5%~10%)、准固态(0%~5%)和全固态(0%)四大类，其中半固态、准固态和全固态 3 种统称为固态电池。据《固态电池技术发展现状综述》(张春英等)，半固态电池方面，相比液态电池，半固态电池减少液态电解质的用量，增加氧化物和聚合物的复合电解质，其中氧化物主要以隔膜涂覆和正负极包覆形式添加，聚合物以框架网络形式

填充；负极从石墨体系升级到预锂化的硅基负极、锂金属负极，正极从高镍升级到了高镍+高电压、富锂锰基等正极，隔膜仍保留并涂覆固态电解质涂层；锂盐从LiPF₆升级为LiTFSI，能量密度可达350 Wh/kg以上。半固态电池虽然减少了液态电解质的用量，但仍存在易燃的风险。

全固态电池方面，相比液态电池，全固态电池取消原有液态电解质，选用氧化物、硫化物、聚合物等作为固态电解质，以薄膜的形式分割正负极，从而替代隔膜的作用，其中氧化物目前进展较快，硫化物未来潜力最大，聚合物性能上限较低；负极从石墨体系升级到预锂化的硅基负极、锂金属负极；正极从高镍升级到了超高镍、镍锰酸锂、富锂锰基等正极，能量密度可达500 Wh/kg。未来待全固态电池技术发展成熟，全固态电池为最终解决方案。

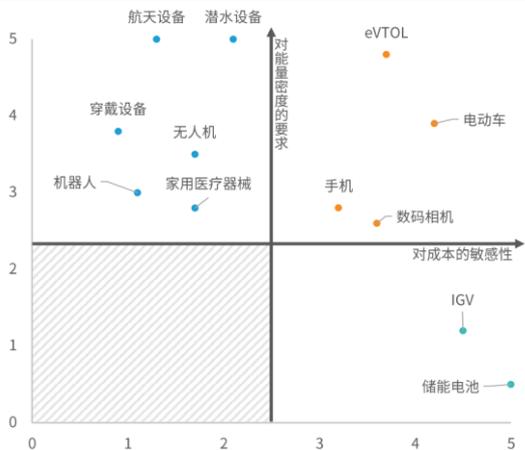
图7：全固态锂电池能量密度、工作温度等参数均较高



资料来源：《硫化物全固态电池的研究及应用》（张卓然等）、开源证券研究所

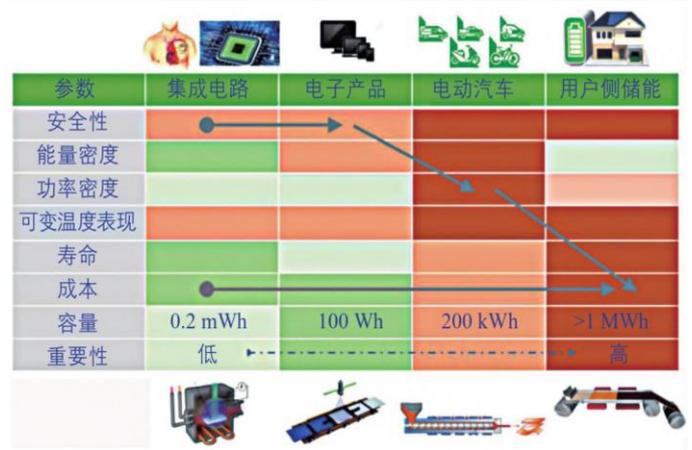
固态电池在机器人、航天设备、无人机等领域有望有限得到应用。固态电池的优势在于能量密度高、轻量化、安全性能好，未来有望在部分领域替代液态锂电池，其中，固态电池有望优先在成本敏感性低的领域应用，包括机器人、可穿戴设备、航天设备、无人机等；之后再在对成本敏感度高且对能量密度要求高的领域应用，包括eVTOL、电动车等；最后，若固态电池的成本和寿命优于其他电池技术，其有望在静态储能中广泛应用。

图8：固态锂电池的电子迁移速度较液态锂电池慢



资料来源：亿欧智库

图9：提高固态电池性能的核心为优化固态电解液性能



资料来源：《新型储能技术进展与挑战：电化学储能技术》（巨星等）

氧化物路径和硫化物路径逐步成为固态电池主要研发突破方向。固态电池技术

早期研究以聚合物电解质为主，因此聚合物体系工艺较为成熟。但由于聚合物电解质性能达到上限难以突破，固态电池技术研究逐渐向氧化物系和硫化物系过渡。目前，全球固态电池产业主要分布在中国、日本、韩国、欧洲、美国等国家和地区。其中，日本、韩国电池企业采用的固态电池技术路线以硫化物固态电解质为主，欧洲、美国的固态电池产业较多选择聚合物和氧化物固态电解质的技术路线。

表1：固态电池技术逐渐向氧化物系和硫化物系过渡

国家	企业名称	技术路线
日本	丰田汽车公司	硫化物
	本田技研工业股份有限公司	硫化物
	三菱化学集团 / 日产汽车公司联盟	硫化物
	松下电器公司	卤化物
	富士电气化学有限公司	氧化物
	小原股份有限公司	氧化物
	日立造船公司	硫化物
	三洋化成工业股份有限公司	聚合物
	日本出光兴产股份有限公司	硫化物
德国	宝马集团	硫化物
	大众集团	氧化物
韩国	LG 新能源公司	硫化物
	现代汽车集团	聚合物 / 硫化物
	SK On 公司	硫化物 / 氧化物
法国	三星 SDI 公司	聚合物 / 硫化物
	博洛雷集团	聚合物
英国	Ilika 公司	氧化物
	LiNa Energy 公司	氧化物
美国	Quantum Scape 公司	氧化物
	Ionic Materials 公司	聚合物
	Solid Power 公司	硫化物
	Factorial Energy 公司	聚合物

资料来源：《固态电池关键材料体系发展研究》（李泓，2024）、开源证券研究所

近年来，我国陆续出台一系列政策，助力固态电池产业发展。2020年，国务院发布《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》，首次将固态电池上升至国家战略层面，提出要加快固态动力电池技术研发及产业化。2023年1月，工信部等六部委联合发布《关于推动能源电子产业发展的指导意见》，再次提出加快研发固态电池，加强固态电池标准体系研究等。据华夏时报公众号2024年6月6日报道，中国或将投入约60亿元用于全固态电池研发，包括宁德时代、比亚迪、一汽、上汽、卫蓝新能源和吉利共六家企业或获得政府基础研究支持，有望加速固态电池产业化落地进程。

表2：我国出台多项政策支持固态电池产业发展

时间	发布部门	相关文件	主要内容
2015年5月	工信部	《中国制造2025》	2025、2030年，我国动力电池单体能量密度分别需达400Wh/kg、500Wh/kg。
2017年2月	工信部	《促进汽车动力电池产业发展行动方案》	积极推进固态电池等新体系电池的研究和工程化开发，2020年单体电池比能量达到400Wh/kg以上，2025年达到500Wh/kg。

时间	发布部门	相关文件	主要内容
2018年12月	工信部	《重点新材料首批次应用示范指导目录(2018年版)》	将极薄铜箔列为先进有色金属材料，将锂电池超薄型高性能电解铜箔列为新型能源材料。
2020年10月	国务院	《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》	加快固态动力电池技术研发及产业化，首次将固态电池研发上升到国家层面。
2022年8月	科技部等九部委	《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022-2030年)》	研发包括固态锂离子电池储能在内的多项高效储能技术。
2023年1月	工信部等六部委	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	加快研发固态电池，加强固态电池标准体系研究。
2024年2月	工信部	《锂电池行业规范条件(2024年本)》	固态单体电池能量密度 $\geq 300\text{Wh/kg}$ ，电池组能量密度 $\geq 260\text{Wh/kg}$ ，循环寿命 ≥ 1000 次且容量保持率 $\geq 80\%$ 。

资料来源：亿欧智库、开源证券研究所

国内全固态电池装车加速推进。据集邦固态电池公众号报道，目前国内主流电池企业公布的固态电池量产时间主要集中于2026年-2030年间，同时多家车企宣布固态电池装车计划。广汽集团提出2026年将实现全固态电池的装车使用，长安和现代预计2027年逐步量产应用固态电池，日产和东风汽车预计2028年推出全固态电池量产车型，宝马和丰田预计2030前实现全固态电池量产。

表3：国内固态电池装车加速推进

时间	电池类型	车企	预期进展
2022	半固态	东风汽车	搭载高比能固态电池的东风E70开启示范运营
2023	半固态	东风汽车	岚图“追光”首批量产车型下线，采用170Wh/kg半固态电池
	半固态	赛力斯	三元固液混合锂离子电池版纯电动SUV赛力斯SERES-5交付
	半固态	蔚来	蔚来150kWh半固态电池已经量产装车
2024	半固态	上汽集团	智己品牌推出搭载清陶半固态电池的车型
	半固态	长安深蓝	半固态电池将搭载整车应用
	固态	雷诺	旗下电动汽车规划使用钴含量为零的固态电池
2025	固态	宝马	将发布搭载全固态电池的试验车
	固态	大众	将建立固态电池量产线
	固态	比亚迪	试装全固态锂电池
	固态	日产	实现全固态电池试生产
2026	固态	比亚迪	将发布搭载全固态锂电池的新纯电平台和车型
	固态	广汽集团	昊铂车型实现全固态电池量产
	固态	福特	推出搭载固态电池的车型
	固态	东风汽车	固态电池装车
	固态	丰田	推出全固态电池
2027	固态	长安	逐步量产应用
	固态	现代	实现部分固态电池车型量产
	固态	丰田	在雷克萨斯新电动车型上搭载全固态电池
2028	固态	本田	将搭载自主研发的全固态电池的电动汽车投放市场
	固态	奔驰	实现固态电池批量生产
	固态	日产	推出全固态电池量产车
2030	固态	东风汽车	量产上市
	固态	宝马	实现全固态电池量产

时间	电池类型	车企	预期进展
	固态	丰田	全固态电池将达到大规模生产阶段
	固态	现代	实现全面量产

资料来源：集邦固态电池公众号、开源证券研究所

2、固态电解质：三种主流电解质各有优劣，硫化物路线有望凭借导电性能强、界面接触性能良好等性能得到快速发展

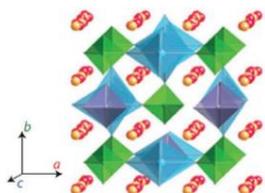
目前广泛应用的固态电解质类型包括氧化物、硫化物、聚合物固态电解质等。据《锂固态电池研究及产业化进展》（朱政峰等），理想固态电解质应满足以下要求：（1）具备较高的锂离子电导率，室温下大于 $10^{-3}S/cm$ ；（2）小于 $10^{-5}S/cm$ 的电子电导率；（3）合适且宽的电化学窗口；（4）与电极材料兼容性好，界面阻抗低；（5）高机械强度，可物理上抑制锂枝晶的刺穿；（6）无毒、不易燃，安全性高；（7）廉价，制备简单，可大规模商业化应用。目前广泛应用的固态电解质类型包括氧化物、硫化物等无机固体电解质；聚合物固态电解质；聚合物-无机复合固态电解质。

硫化物路线导电性能强、界面接触性能良好，具有广阔发展前景。聚合物固态电池方面，其具有优良的柔韧性和加工性能，制备工艺简单，便于批量生产，但离子电导率较低、机械性能差，制约了其大规模应用；**氧化物固态电解质方面**，其在空气中具有出色的化学和热稳定性、在室温下具有中等离子电导率、如果与锂金属负极结合使用，则有助于增强其适应性，但是其界面电阻较高，电导率容易衰减；容易受到锂枝晶生长的影响而造成短路；电池组装困难。**硫化物固态电解质方面**，其离子电导率最为优异，且具有较低的电化学极化，使电池具有较高的能量密度和功率密度，具有广阔发展前景，但其问题在于电化学与化学稳定性较差、空气稳定性较差、电解质与正负极界面易发生副反应，以及高成本等。

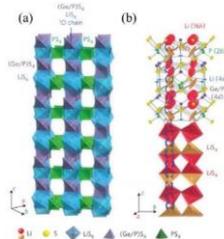
表4：目前广泛应用的固态电解质类型包括氧化物、硫化物、聚合物固态电解质等，三者各有优劣

固态电解质	氧化物	硫化物	聚合物
上游原料	碳酸锂；钛、铜、锆等金属氧化物	硫源+锂源→硫化锂，其中硫源包括硫铁矿、硫化钠、硫磺等；锂源包括氯化锂、硫酸锂、氢氧化锂等	
常用材料	主要有钙钛矿（LLTO）型：铜钛酸锂（ $La_{2/3-x}Li_{1/3+x}TiO_3$ ）体系 石榴石（LL-ZO）型： $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ 钠快离子导体（NASICON）型： $LiTi_2(PO_4)_3$ 和 $LiGe_2(PO_4)_3$ 体系	玻璃态： $60Li_2S \cdot 40P_2S_5$ 、 $80Li_2S \cdot 20P_2S_5$ 玻璃陶瓷态 $40Li_2S \cdot 28SiS_2 \cdot 30LiI$ 、 $Li_7P_2.9Mn_{0.1}S_{10.7}I_{0.3}$ 晶态： $Li_{10}GeP_2S_{12}$ 、 $Li_{10}SiP_2S_{12}$	聚合物，如聚丙烯腈（PAN）、聚甲醛（POM）、聚碳酸乙烯酯（PVC）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）、聚氟乙烯（PVDF）、聚碳酸丙酯（PPC）和聚环氧乙烷（PEO）

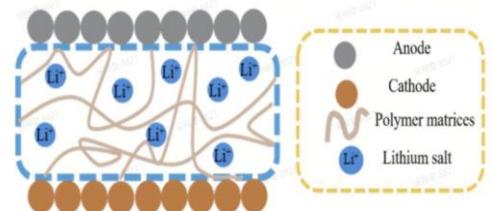
示意图



LiTi₂(PO₄)₃ 型氧化物晶体结构图



Li₁₀GeP₂S₁₂ 晶体结构图



固态聚合物电解质结构示意图

固态电解质	氧化物	硫化物	聚合物
离子电导率	离子电导率相对适中，介于硫化物和聚合物之间， 10^{-7} - 10^{-5} S/cm	离子电导率最高 ， 10^{-7} - 10^{-2} S/cm	在室温下离子导电性不足通常选择大于 60°C 的操作温度，以达到良好的离子电导率， 10^{-6} - 10^{-3} S/cm
锂金属兼容性	不同材料有所差异，但比硫化物和聚合物有更好的电化学和力学稳定性	电化学窗口相对较窄，同时会与锂金属进行反应，其兼容性略差	聚氧化乙烯对锂金属有高稳定性
长期运行稳定性	易碎，由于循环过程中的体积变化，界面接触减少，可能形成裂纹；电化学稳定性好，不易于分解和老化	具有延展性，通常有良好的界面接触，但电化学稳定性有限	若用低电势正极和低充电率，聚合物电解质的活性可延长循环寿命
高电压兼容性	宽的电化学窗口可适配高电压的正极材料	在高电位下容易氧化，因此需要正极涂层	大多数具有有限的电化学稳定性窗口
隔膜适用性	对锂金属有良好的力学性能和电化学稳定性，可用作隔膜材料	表现出较低的晶界电阻，阻碍了锂枝晶的形成，但其电化学稳定性低于氧化物	机械稳定性足以抵抗锂枝晶形成
正极电解质适用性	无法用作高容量和厚电极电池的正极电解质(电导率不够)	高离子导电性使硫化物成为一种有前途的正极电解质材料	如果电池可以在更高的温度下运行，则离子电导率足以用作正极电解质

资料来源：《固态电池技术发展现状综述》（张春英等）、《锂固态电池研究及产业化进展》（朱政峰等）、《硫化锂的低成本制备提纯及其在硫化物电解质中的应用》（赵梓翔）、《用于锂离子电池的固态聚合物电解质基质的研究进展》（张昊等）、《固态电池发展态势及研判》（杨贵永等）等、开源证券研究所

2.1、硫化物固态电解质：高离子电导率给予其广阔发展前景，建议关注率先进行硫化锂布局、具备硫磺或硫铁矿产能的企业

硫化物电解质的典型特征是具有高离子电导率。据《固态电池发展态势及研判》（杨贵永），硫化物电解质离子电导率区间为 10^{-7} - 10^{-2} S/cm，高于氧化物及聚合物固态电解质。硫化物电解质具有高离子电导率的原因为：（1）硫化物通常柔软且易变形，可通过简单的方法生产出间隙电阻相对较低的固态电解质；（2）据《硫基固态电解质的改性及其全固态电池性能研究》（李建伟），硫化物固态电解质由氧化物固态电解质衍生而来，其中 O 原子被 S 原子取代。S²⁻的半径（约 0.184nm）大于 O²⁻的半径（约 0.14nm）。因此，尽管它们具有相同的晶体结构，但硫化物具有更宽的传输通道。此外，S²⁻对 Li 的结合能小于 O²⁻，这使得锂离子的运动速度在硫化物中更快。

LPSCI 型硫化物离子电导率适中，且具有成本优势，为目前主流选择。按照结晶形态，硫化物固态电解质可分为玻璃态、玻璃陶瓷态和晶态等 3 种类型，其中前两者离子电导率率相对较低，而晶态硫化物电解质离子电导率较高。在晶态的硫化物固态电解质中，LGPS 型（如 Li₁₀GeP₂S₁₂）综合性能较高，但由于加入 Ge 元素，生产成本较高；LPSCI 型（如 Li₆PS₅Cl）具备成本优势，且工艺成熟度较高，为目前主流选择，但缺点是在空气中不稳定。

表5：LGPS 型硫化物离子电导率较高，LPSCI 型硫化物离子电导率适中

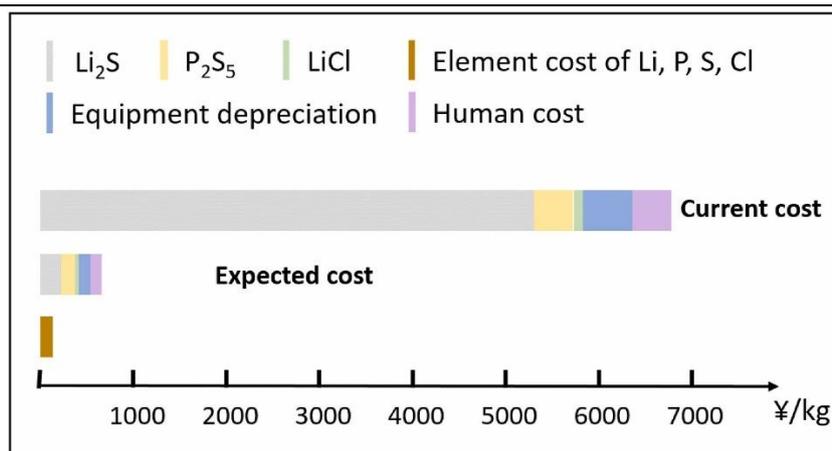
电解质	结晶形态	25°C 离子电导率 /S · cm ⁻¹
80Li ₂ S · 20P ₂ S ₅	玻璃态	1.3×10^{-4}
60Li ₂ S · 40P ₂ S ₅	玻璃态	3.2×10^{-6}
40Li ₂ S · 28SiS ₂ · 30LiI	玻璃陶瓷态	1.8×10^{-3}

电解质	结晶形态	25°C离子电导率 /S · cm ⁻¹
Li ₇ P _{2.9} Mn _{0.1} S _{10.7} O ₃	玻璃陶瓷态	5.6 × 10 ⁻³
Li ₁₀ SiP ₂ S ₁₂	晶态-Thio-LISICON 电解质	2.3 × 10 ⁻³
β-Li ₃ PS ₄ -Li ₇ La ₃ Zr ₂ O ₁₂	晶态-Thio-LISICON 电解质	2.4 × 10 ⁻⁴
Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂	晶态-硫银锗矿电解质-LGPS 型	1.2 × 10 ⁻²
Li ₆ PS ₃ Cl	晶态-硫银锗矿电解质-LPSCl 型	1.9 × 10 ⁻³
Li _{6.6} P _{0.4} Ge _{0.6} S ₁	晶态-硫银锗矿电解质-LPGSI 型	5.4 × 10 ⁻³

资料来源：《全固态锂离子电池用硫化物电解质研究进展》（郭邦军等）、开源证券研究所

硫化物固态电解质原料硫化锂生产成本较高，限制其规模化生产。硫化物固态电解质是具备实际应用潜力的材料之一，然而在大规模商业化生产前，仍面临诸多挑战，包括较差的电化学与化学稳定性、差的空气稳定性、电解质与正负极界面易发生副反应，以及高成本等。其中，在高成本方面，据高工锂电公众号数据，参照硫化锂每吨 480 万元的售价，折合成硫化物电解质的生产成本超过 200 万元/吨，折合成全固态电芯材料成本则约为 2.2 元/Wh。进一步换算，单 GWh 硫化锂价值量超过 15 亿元，在原材料成本中占比超 7 成，而目前普通三元电池中碳酸锂的价值量为 5700 万元/GWh。

图10：硫化物固态电解质原料硫化锂的成本占总成本的70%以上



资料来源：《Synthesis and structure of novel lithium-ion conductor Li₇Ge₃PS₁₂ Author links open overlay panel》（Yuki Inoue 等）、开源证券研究所

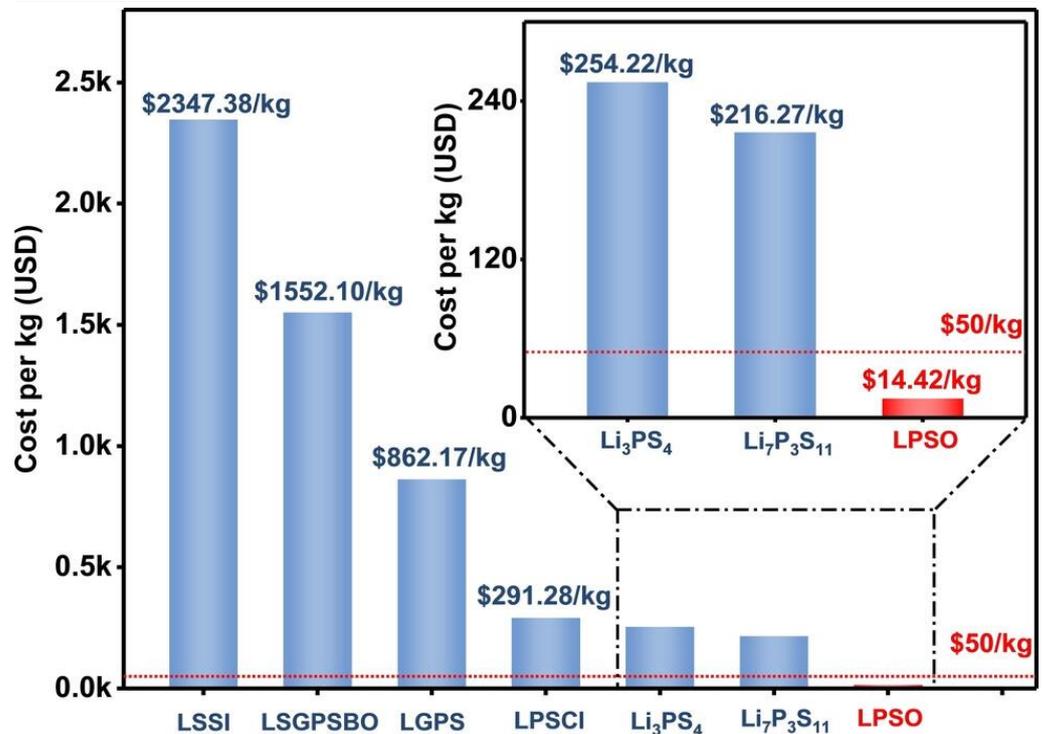
硫化物固态电解质降本路径 1：无机锂盐法生产成本较低，但副反应较多，产品纯度不高，未来仍需攻克。硫化锂生产成本较高的原因在于工艺复杂（尤其是在高纯度水平）、对空气中的水分子敏感度高、主流的有机锂盐法需用到金属锂因而成本高。硫化锂的主要生产工艺包括干法、有机锂盐法、无机锂盐法，其中有机锂盐法是将金属锂融入有机溶剂得到有机锂盐，再将硫源溶于有机溶剂中，经过加热之后得到高纯度硫化锂，制成的产品纯度高，为目前主流的工艺。但有机锂盐法使用锂金属或有机锂盐，以及溶解、洗涤过程中用到的有机溶剂价格较高，使得生产成本较高。无机锂盐法生产成本较低，或能成为未来主流发展工艺，但副反应较多，产品纯度不高，未来仍需攻克。

表6: 硫化锂的主要生产工艺包括干法、有机锂盐法、无机锂盐法，其中有机锂盐法制成的产品纯度高

生产工艺	干法		无机锂盐法	
	干法	有机锂盐法	复分解反应法	硫酸锂还原法
原料	金属锂+硫粉/含硫化物	金属锂+硫粉/含硫化物+有机溶剂 (萘、四氢化萘、联苯、四氢呋喃、二氧戊环等)	无机锂盐+硫化物反应	硫酸锂+镁粉/铝粉/碳粉
简要流程	将原料在惰性气氛下装入球磨罐，以固相球磨的方式使两者反应	将金属锂融入有机溶剂得到有机锂盐，再将硫源溶于有机溶剂中，经过加热之后得到高纯度硫化锂	比如氯化锂和硫化钠溶于无水乙醇，发生复分解反应得到硫化锂溶液，再蒸干有机溶剂得到产品	比如硫酸锂和镁粉先混合研磨，再在惰性气氛下煅烧，将产品溶于无水乙醇中，过滤掉不溶杂质
优点	操作方法简单	反应完全且条件易控制，产品纯度高	原料成本低廉	操作方法简单，适合大规模生产
缺点	使用金属锂，生产成本高；反应不完全；反应条件不易控制，反应不充分，产品纯度不高	使用锂金属或有机锂盐，以及溶解、洗涤过程中用到的有机溶剂价格较高，使得生产成本较高	各种无机锂盐和硫化物再有机溶剂中的溶解度不高，难以规模化生产，所得产品纯度不高	副反应较多，产品纯度不高

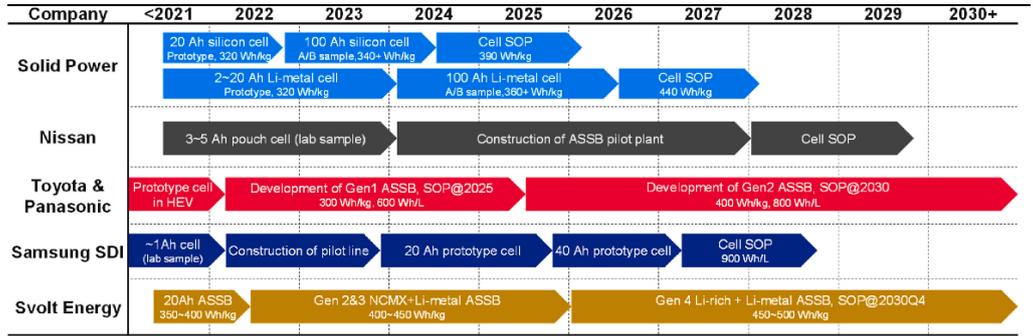
资料来源：《氢气还原硫酸锂制备高纯硫化锂的研究》（杨玉涛）、开源证券研究所

硫化物固态电解质降本路径 2：避免使用硫化锂。据《A Cost-Effective Sulfide Solid Electrolyte $\text{Li}_7\text{P}_3\text{S}_{7.5}\text{O}_{3.5}$ with Low Density and Excellent Anode Compatibility》（Li, H 等），文中利用 Li_2O 和 P_2S_5 为原料开发了一种硫化物固态电解质 $\text{Li}_7\text{P}_3\text{S}_{7.5}\text{O}_{3.5}$ (LPSO)，其原材料成本仅为 \$14.42/kg（约 10.53 万元/吨），不仅远低于其他的硫化物固态电解质（超过 \$195/kg），也远低于 \$50/kg 的商业化门槛。但论文中的性能测试仅为实验室层面的测试，后续规模化生产后的产品性能仍需进一步验证。

图11: Li_2O 和 P_2S_5 为原料开发的硫化物固态电解质 LPSO 具有低成本的优势

 资料来源：《A Cost-Effective Sulfide Solid Electrolyte $\text{Li}_7\text{P}_3\text{S}_{7.5}\text{O}_{3.5}$ with Low Density and Excellent Anode Compatibility》（Li, H 等）

尽管目前硫化锂的生产成本和生产难度较高，但得益于硫化物固态电解质较高的离子电导率，国内外多数企业仍在积极布局当中。目前行业内领先的生产硫化物固态电池的公司已经宣布了他们的生产计划，分两个阶段进行。在第一阶段（2024-2027年），将推出采用传统 NCM 正极和石墨/硅负极的第一代固态电池。预计第一代硫化物固态电池的能量密度为 300-400 Wh·kg⁻¹，接近下一代液体电解质和半固体电解质电池。第二代硫化物固态电池将于 2030 年左右实现商业化，同时应用下一代阴极（如富锂和高压阴极）、负极（如高硅负极、金属锂负极和无阳极设计）和超薄 SE 膜，以及创新的电池设计，如双极设计。第二代 ASSB 将表现出超过 450 Wh·kg⁻¹ 和 1000 Wh·L⁻¹ 的高能量密度、卓越的动力特性、循环寿命和安全性能。

图12：预计第二代硫化物固态电池将于 2030 年左右实现商业化



资料来源：《Challenges and opportunities of practical sulfide-based all-solid-state batteries》(Ren, DS 等)

表7：国内多数企业积极布局硫化物固态电池

公司名称	量产进度	电解质方案	能量密度	产能布局
宁德时代	2016 年宣布硫化物固态电池的研发路径；2023 年 4 月发布凝聚态电池；硫化物路线已进入 20Ah 样品试制阶段。	高动力仿生凝聚态电解质/硫化物	凝聚态电池超 500wh/kg	/
清陶能源	2018 年实现半固态电池量产；2020 年与北汽合作的固态电池样车下线；2022 年北汽福田商用车固态电池系统下线；2023 年与上汽集团签署协议，推动 2025 年固态电池“10 万辆级”量产落地；2024 年半固态电池搭载上汽智己车型；台州固态电池项目预计 2025 年正式投产。	氧化物+卤化物+聚合物	368Wh/kg	内蒙古(10GWh)； 成都郭都(15GWh)； 江西宜春(10GWh)； 江苏昆山(10GWh)； 浙江台州(10GWh)
国轩高科	2017 年开始固态电解质、固态电池研发；2022 年推出 20Ah 级硫系全固态原型电芯；预计 2025 年后将生产出能量密度超过 800Wh/L、超过 400Wh/kg、循环 800 次的全固态电池。	硫化物	400Wh/kg	/
蜂巢能源	2020 年发布第一代果冻电池；2023 年 7 月，蜂巢能源全固态电池实验室研发出国内首批 20Ah 级硫系全固态原型电芯；2023 年 12 月发布第二代方形果冻电池(A 样阶段)。	硫化物	350-400Wh/kg	/
恩力动力	2021 年发布了能量密度达到 450Wh/kg 和 520Wh/kg 的锂金属电池；2022 年底成功研制出能量密度为 389Wh/kg、容量为 4095mAh 的 18650 圆柱电池；2023 年 9 月初和软银成功开发出全固态锂金属电池，能量密度达到 300Wh/kg；2023 年 11 月 GWh 级先进电池智造基地建成投产；预计 2026 年实现 10GWh 级产线量产。	硫化物	450Wh/kg； 520Wh/kg； 389Wh/kg； 300Wh/kg	北京大兴
马车动力	2023 年 8 月自主研发的 4695 半固态大圆柱电芯 A 样在肇庆大圆柱	硫化物	250Wh/kg	5.5GWh

公司名称	量产进度	电解质方案	能量密度	产能布局
	电芯中试基地成功下线。			
中科固能	2024年3月获得近亿元人民币的天使轮融资；2024年2月与琥崧集团就固态电池产业化达成合作；2024年1月与高能数造携手共建全固态电池实验室。	硫化物	/	江苏常州
高能时代	2023年6月完成新一轮股权投资投资方包括渝富资本、海岚投资、七匹狼、中经经贸、凌碳新能源投资等。	硫化物	/	/

资料来源：集邦固态电池公众号、财联社公众号、开源证券研究所

关注方向 1：率先进行硫化锂布局的企业有望受益。据恩捷股份官网、天齐锂业公告、厦钨新能公告等及我们不完全统计，恩捷股份、天齐锂业、厦钨新能、容百科技、丰元股份、天赐材料、光华科技等企业积极布局硫化锂产能，其中有研新材、恩捷股份布局进展较快，全固态硫化物电解质膜产品已完成实验室技术定型，并在正广泛接受国内外头部电池企业验证中。**受益标的：有研新材、恩捷股份、天齐锂业、厦钨新能、容百科技、天赐材料、光华科技、丰元股份等。**

表8：恩捷股份、天齐锂业、厦钨新能、容百科技等企业积极布局硫化锂产能

电解质方案	公司名称	硫化锂生产工艺	量产进度
硫化物电解质	有研新材	-	公司现阶段仅专注于固态电解质原材料的研发和生产，同时配合国内外客户进行验证或小批量供货。
	恩捷股份	硫酸锂碳还原法	目前全固态硫化物电解质膜产品已完成实验室技术定型，可小批量制备8cm*10cm超薄独立自支撑电解质膜片，目前正加快向卷对卷连续化电解质膜中试生产推进。同时，该产品正广泛接受国内外头部电池企业验证中。
	天齐锂业	-	公司已完成下一代固态电池关键原材料硫化锂产业化相关支持工作，累计与十余家下游客户进行打样，持续开展产品质量提升和降本技术优化。
	厦钨新能	-	公司布局氧化物路线和硫化物路线，凭借深厚的技术沉淀，开发出新的硫化锂合成工艺，目前从小试、中试结果来看，技术指标良好，降本空间较大。
	容百科技	硫酸锂碳还原法	公司布局硫化物固态电解质、卤化物固态电解质及氧化物固态电解质等关键材料，在国内外多家整车及电芯客户的测试中均呈现性能领先。
	天赐材料	复分解反应法	公司已完成Li ₂ S、硫化物固态电解质实验室公斤级生产；预计2025年实现Li ₂ S、硫化物固态电解质百公斤级生产；2026年实现Li ₂ S、硫化物固态电解质吨级生产；2027年硫化物固态电解质千吨级产线建成。
	光华科技	干法工艺	通过工艺选择与规模化生产，有望在2025年实现降本目标。公司主要采用高纯度锂盐（提纯是关键技术难点）和硫化物原料，通过固相法高温合成高纯度硫化锂。
	丰元股份	-	公司对固态电池硫化物正极材料有一定的技术储备。此外，公司持有中科深蓝汇泽新能源约4%股权，后者专注于高比能固态锂电池的研发、制造与应用。

资料来源：有研新材公告、锂电那些事公众号、恩捷股份官网、天齐锂业公告、厦钨新能公告、容百科技公告、丰元股份公告、同花顺财经、高工锂电公众号、开源证券研究所

关注方向 2：具备硫磺、硫铁矿产能的企业有望受益。硫化锂的生产所需的硫源包括硫磺粉、硫化钠、硫酸锂等，其中硫磺价格低廉，为主要使用的硫源。

硫磺方面，我国天然硫磺矿较少，且因技术原因基本上无法开采。据《我国硫磺产业发展现状及未来趋势》(葛昶等)，国内硫磺主要来自原油加工脱硫(占比69%)、天然气净化脱硫(占比25%)和煤化工，因此，国内硫磺生产产能靠前的企业分别为普光气田(中石化)、浙江石化、恒力石化、东方盛虹等石化企业。

硫铁矿方面，硫铁矿作为非金属矿物原料，主要用于制取硫酸，部分用于炼制硫磺。据粤桂股份公告、广东国资公众号等及我们不完全统计，**粤桂股份、司尔特、国城矿业、云图控股等企业具有硫铁矿开采能力。**

推荐标的：云图控股；受益标的：粤桂股份、司尔特、国城矿业等。

表9：粤桂股份、司尔特、国城矿业、云图控股等企业具有硫铁矿开采能力

公司名称	硫铁矿生产能力	硫铁矿资源储量
粤桂股份	产能 300 万吨/年	探明硫铁矿储量 2.08 亿吨，平均品位 31.04%，是亚洲最大的硫铁矿山
司尔特	产能 38 万吨/年	硫多金属矿总量：537.11 万吨，锌金属量：60,544 吨；铅金属量：20,287 吨；铜金属量：4,872 吨；银金属量：79 吨
国城矿业	预计 2024 年硫精矿产量 53.59 万吨	公司子公司东矿采矿权内保有硫铁铅锌铜矿石量共计 1.23 亿吨
云图控股	-	硫铁矿储量 2 亿吨

资料来源：粤桂股份公告、广东国资公众号、司尔特公告、国城矿业公告、四川省商务青年企业家联合会公众号、开源证券研究所

2.2、氧化物固态电解质：氧化物固态电解质拥有适中的离子电导率，商业化进展较快

氧化物固态电解质拥有适中的离子电导率，一般保留约 5% 的电解液。据《固态电池发展态势及研判》（杨贵永），氧化物电解质拥有适中的离子电导率，区间为 10^{-6} - 10^{-3} s/cm，同时具有化学、电化学稳定性高，机械性能好等优势。氧化物固态电解质按照形态可分为晶态和非晶态电解质。晶态氧化物电解质空气和热稳定性较高，因此容易实现大规模生产。但目前氧化物固态电解质存在界面问题严重，电导率低等问题，通常保留约 5% 的电解液，以半固态形式投入使用。同时由于氧化物固体电解质陶瓷片质地脆、密度大，很少将其直接应用于高能量密度固态电池。据清新电源公众号，几种比较主流的氧化物固态电解质，例如 LLZO、LLTO、LAGP 和 LATP 的密度分别为：5.07、5.01、3.56、2.93 g/cm³。氧化物固体电解质粉体在固态电池产业化中的应用主要是作为活性填料和聚合物、电解液或正极材料进行复合。

表10：氧化物电解质拥有适中的离子电导率，区间为 10^{-6} - 10^{-3} s/cm

结构分类	典型材料	离子电导率(S/cm)	优点	缺点
NASICON 结构	$\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$ (LATP)	1.40×10^{-4}	热稳定性好、对空气不敏感	低电势下 Ti^{4+} 易被锂电还原、与电极接触的固-固界面阻抗大、生产成本高难以量产
	$\text{Li}_3\text{Zr}_2\text{Si}_2\text{PO}_{12}$ (LZSP)	3.59×10^{-3}		
	$\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ge}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ (LAGP)	2.3×10^{-4}		
石榴石结构	$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZO)	2.20×10^{-4}	高温下稳定、电化学窗口宽、对锂电极稳定	易在空气中产生钝化层、与电极接触的固-固界面阻抗大
钙钛矿结构	$\text{Li}_{0.33}\text{La}_{0.56}\text{TiO}_3$ (LLTO)	1.31×10^{-4}	离子电导率高、对空气不敏感、电化学稳定窗口宽、断裂韧性高、易加工	晶界电导率低、低电势下 Ti^{4+} 易被锂电还原、与电极接触的固-固界面阻抗大
非晶态结构	$\text{Li}_3\text{x}(\text{PO}_4)_y\text{N}_z$	4.91×10^{-6}	良好电化学窗口和热稳定性、对电极材料不敏感、界面相容性强、电子电导率极低	离子电导率有限、材料易碎裂、制备工艺复杂成本高

资料来源：《氧化物系锂离子固态电解质研究进展》（玉雅秋等）、开源证券研究所

氧化物固态电解质常见的合成方式中高温固相反应法、共沉淀法应用前景较为广阔。氧化物固态电解质常见的合成方式包括熔融淬火法、高温固相反应法（机械活化法）、溶胶-凝胶法、共沉淀法和水热法等，其中高温固相反应法、共沉淀法适用于制备的产品性能与生产成本折中的产品，应用前景较为广阔。

表11: 氧化物固态电解质常见的合成方式包括熔融淬火法、高温固相反应法（机械活化法）等

合成方法	特点	应用前景
熔融淬火法	工艺简单、致密度高、原料成本低且安全、能耗大、粉末粒径较大、易产生二次相、不易扩大规模	性能要求不高，但对成本敏感的领域
高温固相反应法	工艺简单、致密度高、原料成本低且安全、能耗适中，粉末粒径适中、相纯度适中、可实现量产	性能与成本折中的领域，市场前景广
溶胶-凝胶法	工艺复杂、致密度适中、原料成本昂贵且有毒、能耗低、粉末粒径小、相纯度高、量产难度大	生产成本较高，生产过程污染环境，大规模量产难度大
共沉淀法	工艺相对简单、致密度适中、原料成本适中且安全、能耗低、粉末粒径小、相纯度较高、可实现量产	性能与成本折中的领域，市场前景广
水热合成法	工艺相对简单、生产环境要求高、致密度适中、原料成本适中、能耗适中、粉末粒径小、相纯度高、量产难度大	适合对材料性能要求高，小规模生产或实验室研究

资料来源：《LATP、LAGP 固态电解质材料合成改性路线研究现状及展望》（陈桢等）、开源证券研究所

我国氧化物固态电解质商业化推进速度较快。从电池企业的角度而言，比亚迪、卫蓝新能源、太蓝新能源等企业已在进行氧化物固态电池的产能布局，电池能量密度在 300-500 Wh/kg。从氧化物固态电解质的生产企业而言，许多企业已经初步具备了 LATP、LLZO 和 LLTO 等具有应用潜力氧化物固体电解质的量产能力，其中赣锋锂业、天目先导、清陶能源、贝特瑞、璞泰来等企业已实现氧化物固态电解质商业化生产能力。其中，据粉体网公众号数据，石榴石结构氧化物固态电解质（LLZO）的原料 ZrO_2 约占总原料重量的 25%，据三祥新材公告，公司依托自身锆材料业务优势，战略性投资佛山陀普科技共同与下游客户开展固态电解质产品开发等工作；据国瓷材料公告，公司已完成多种氧化物固态电解质产品的研发和布局，其中包括由氧化锆合成的锆酸基固态电解质。**受益标的：国瓷材料、三祥新材、容百科技、璞泰来、上海洗霸等。**

表12: 比亚迪、卫蓝新能源等企业已在进行氧化物固态电池的产能布局，电池能量密度在 300-500Wh/kg

公司名称	量产进度	电解质方案	能量密度	产能布局
比亚迪	计划在 2025 年试装全固态锂电池；2026 年发布搭载全固态锂电池的新纯电平台和车型。	氧化物+聚合物	350Wh/kg	/
卫蓝新能源	2023 年 6 月半固态电池交付蔚来；2023 年 7 月湖州基地二期项目奠基；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；2023 年 12 月与普利特子公司海四达合作布局固态电池领域。	氧化物	300-360Wh/kg	北京房山(6GWh)； 江苏溧阳(0.2GWh)； 浙江湖州(22GWh)； 山东淄博(100GWh)
太蓝新能源	2022 年首款半固态电池量产；现半固态产品能量密度可达 350-400 Wh/kg；第二代准固态电池能量密度可达 400-500Wh/kg。	氧化物	400-500Wh/kg	重庆两江(2.2GWh)； 安徽淮南(10GWh)
清陶能源	2018 年实现半固态电池量产；2020 年与北汽合作的固态电池样车下线；2022 年北汽福田商用车固态电池系统下线；2023 年与上汽集团签署协议，推动 2025 年固态电池“10 万辆级”量产落地；2024 年半固态电池搭载上汽智己车型；台州固态电池项目预计 2025 年正式投产。	氧化物+卤化物+聚合物	368Wh/kg	内蒙古(10GWh)； 成都郭都(15GWh)； 江西宜春(10GWh)； 江苏昆山(10GWh)； 浙江台州(10GWh)
赣锋锂业	2021 年搭载固态电池的东风 E70 全球首发；2022 年与广汽埃安合作优先引入公司固态电池产品；2022 年 4 月 2GWh 的固态电池产线建成投产；2023 年半采用固态电池的赛力斯 SERES-5 开始交付；2023 年与长安汽车合作加速固态电池研发；2023 年推出半固态“先锋”电池。	氧化物	400Wh/kg	江西新余(4GWh)； 重庆两江(20GWh)； 重庆涪陵(24GWh)； 广东东莞(10GWh)

公司名称	量产进度	电解质方案	能量密度	产能布局
辉能科技	2016年开始进行车规级电芯送样；2018年威马展示搭载公司固态电池的样车；2019年与蔚来、爱驰汽车签订战略合作协议；2022年获得奔驰投资并签订技术合作协议，与Vinfast和ACC签约合作；2024年全球首条固态电池生产线正式投产。	氧化物	360Wh/kg	浙江杭州(7GWh)； 桃园(2GWh)； 法国敦刻尔克 (48GWh)
南都电源	具有多项技术储备，离子电导率达 10^{-3} S/cm，环境稳定性好，固态电池能量密度350Wh/kg，可通过国标安全测试，有量产能力。	卤化物+氧化物	350Wh/kg	/
陀普科技(三祥新材参股10%)	已经量产准固态电池，密度达到400Wh/kg,2025年量产全固态电	氧化物	400Wh/kg	池，密度达到500Wh/kg

资料来源：集邦固态电池公众号、维科网锂电公众号、DT新型储能与电池公众号、开源证券研究所

表13：赣锋锂业、天目先导、清陶能源、贝特瑞、璞泰来等企业已实现氧化物固态电解质商业化生产能力

电解质方案	公司名称	量产进度
氧化物固态电解质	上海洗霸	公司采用先进的制备技术实现多尺寸、高致密(>99%)氧化物固态电解质(LLZTO)粉体热压陶瓷片批量化生产；基于关键界面技术，实现固态锂电池循环超1250次(1C)。
	赣锋锂业	公司研发的氧化物固体电解质材料包括NASICON和石榴型结构两个系列产品。其中，NASICON产品室温离子总电导率达到 $0.6\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上，石榴型产品室温离子电导率约 $1.2\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。
	天目先导	可批量生产粒径D50为 $4\mu\text{m}$ 、离子电导率在 $0.1\text{mS}/\text{cm}$ 以上的LATP粉体，并且可提供粒径D50为 300nm 的LATP离子导体浆料以及厚度在 $15\mu\text{m}$ 的LATP涂覆隔膜。
	清陶能源	具备石榴石及NASICON结构的氧化物固态电解质、卤化物固态电解质 $\text{L}_2\text{ZrC}_{16}$ (LZC)的生产能力。
	当升科技	公司已系统布局氧化物、硫化物等固态电解质和双相复合高能量固态正极材料关键技术路线，已批量导入清陶、辉能、卫蓝、赣锋等主要固态电池客户并实现装车应用。
	贝特瑞	公司低成本、高离子电导率的LATP(磷酸钛铝锂)氧化物固态电解质已开始吨级出货，实现了商业化生产。
	国瓷材料	公司已完成多种氧化物固态电解质产品的研发和布局，包括由氧化锆合成的锆酸基固态电解质。
	三祥新材	公司依托自身锆材料业务优势，战略性投资佛山陀普科技共同与下游客户开展固态电解质产品开发等工作。
	容百科技	硫化物固态电解质、卤化物固态电解质及氧化物固态电解质等关键材料,在国内外多家整车及电芯客户的测试中均呈现性能领先。
	璞泰来	公司现已完成固态电解质LATP(磷酸铝钛锂)和LLZO(锂镧锆氧)的中试，产品离子电导率达 10^{-3} S/cm，产品粒度可控，已在四川基地建成年产200吨固态电解质中试产线，客户方面正在对接国内客户进行制样。

资料来源：上海洗霸公众号、赣锋锂业官网、清陶能源官网、当升科技公告、集邦固态电池公众号、国瓷材料公告、容百科技公告、璞泰来公告、开源证券研究所

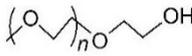
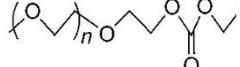
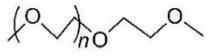
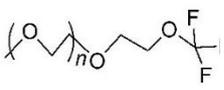
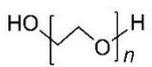
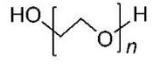
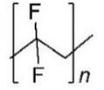
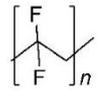
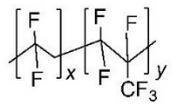
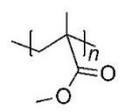
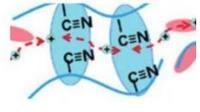
2.3、聚合物固态电解质：建议关注PEO、PVDF生产企业在聚合物固态电解质中的布局

聚合物固态电解质需与其他材料复合使用，常用聚合物材料有PEO、PMMA、PAN、PVDF等。据《固态电池发展态势及研判》(杨贵永)，聚合物固态电解质离子电导率为 10^{-6} - 10^{-3} S/cm，低于氧化物、硫化物电解质。与氧化物、硫化物电解质相比，聚合物电解质及其基固态锂电池发展最早。常应用于固态电池的聚合物电解质和聚合物材料有聚环氧乙烷(PEO)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚丙烯腈(PAN)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、聚(偏二氟乙烯-六氟丙烯)(PVDF-HFP)等。

聚合物固态电解质机械性能优异，粘弹性好，易于合成加工，可用于柔性电子产品或非非常规形状电池，价格较低。但聚合物电解质常温下聚合物分子链段运动能

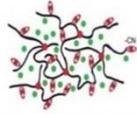
力较差，电解质电导率较低，需加热使用，有一定条件限制。为提升聚合物电解质的电化学性能，一般不将其单独使用，需要配合不同的锂盐以增大其离子电导率，如双三氟甲磺酰亚胺锂(LiTFSI)、二氟草酸硼酸锂(LiDFOB)、双氟磺酰亚胺锂盐(LiFSI)、双草酸硼酸锂(LiBOB)等，或者通过原位聚合等方式将聚合物电解质与无机电解质复合来提高电导率和能量密度上限，实现性能突破。

表14：常用聚合物材料有 PEO、PMMA、PAN、PVDF 等

聚合物电解质类型	分子式	离子电导率/(S·cm ⁻¹) (测试温度)	优点	缺点
聚乙二醇 (MPEG-OH),M=350		3.52×10^{-4} (25°C)		
聚乙二醇(MPEG-PC)		4.82×10^{-4} (25°C)		
聚乙二醇(MPEG-OCH ₃)		5.78×10^{-4} (25°C)		
聚乙二醇(MPEG-3F)		8.71×10^{-4} (25°C)		
PEO,M.=300,000		1.63×10^{-4} (25°C)	与锂金属负极间的界面稳定	紧密排列的结构会阻碍锂离子在电解质内部的移动、较窄的电化学窗口使得它非常容易被高压正极氧化。
PEO,M.=1,000,000		1.42×10^{-6} (室温)		
PVDF,M 1100kg-mol-1		2.38×10^{-4} (26°C)	具有吸电子能力强的-C-F极性基团而具有高介电常数、高温下不易变形、不易失去电子的能力	结晶度较高，降低了锂离子在电解质内部的传输速率
PVDF,M≈300kg-mol-1		1.23×10^{-4} (26°C)		
聚偏氟乙烯-六氟丙烯 (PVDF-HFP)		5.6×10^{-4} (26°C)	结晶度较低，在聚合物链端上含有更多的 F 原子，吸引电子的能力和解离锂盐的能力更强，电化学性能更稳定	仍不能满足较大锂离子快速传输的需求
聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)+丁二腈		4.9×10^{-5}	在抗还原，室温下离子电导率，抗氧化，电解质与电极之间的界面稳定性等方面有出色表现	力学性能太差以致于不能满足固态电解质在抑制锂枝晶穿透和保护电极等方面的实际需要
聚丙烯腈(PAN)		2.11×10^{-3} (30°C)	来源简单，价格便宜，热稳定较好，能适应高电压阴极(大于 5V)，电导率高	脆性比较大，不能单独作为基体；容易与锂金属负极发生反应

聚合物电解质类型	分子式	离子电导率/(S·cm ⁻¹) (测试温度)	优点	缺点
----------	-----	---------------------------------------	----	----

腈基官能化硅氧烷(PS)



3.75×10^{-2} (60°C)

-

-

资料来源：《锂离子电池用耐高压聚合物电解质的研究进展》(刘霞等)、《锂离子电池用聚合物电解质的填充改性及性能研究》(李江南)、开源证券研究所

建议关注 PEO、PVDF 生产企业在聚合物固态电解质中的布局。从电池企业的角度而言，比亚迪、清陶能源、东驰能源等在布局聚合物固态电池，能量密度在 350-450Wh/kg。从聚合物固态电解质的生产企业而言，目前商业化生产固态电解质的企业较少，多数处于前期阶段。可关注 PEO 生产企业，如奥克股份等。据奥克股份公告，奥克股份应用于固态电解质的 PEO 材料目前尚处于应用开发阶段；聚乙二醇目前尚处于应用开发阶段，暂无具体应用。另外可关注 PVDF 生产企业，如巨化股份、东岳集团、联创科技、昊华科技、东阳光、永和股份等。据联创科技公告，联创科技固态电解质处于小试阶段，子公司华安新材的 PVDF 产品给个别固态电池企业有小批量供货。**推荐标的：巨化股份、昊华科技；受益标的：奥克股份、东岳集团、联创科技、永和股份、东阳光等。**

表15：比亚迪、清陶能源、东驰能源等在布局聚合物固态电池，能量密度在 350-450Wh/kg

公司名称	量产进度	电解质方案	能量密度	产能布局
比亚迪	计划在 2025 年试装全固态锂电池；2026 年发布搭载全固态锂电池的新纯电平台和车型。	氧化物+聚合物	350Wh/kg	/
清陶能源	2018 年实现半固态电池量产；2020 年与北汽合作的固态电池样车下线；2022 年北汽福田商用车固态电池系统下线；2023 年与上汽集团签署协议，推动 2025 年固态电池“10 万辆级”量产落地；2024 年半固态电池搭载上汽智己车型；台州固态电池项目预计 2025 年正式投产。	氧化物+卤化物+聚合物	368Wh/kg	内蒙古(10GWh)； 成都郭都(15GWh)； 江西宜春(10GWh)； 江苏昆山(10GWh)； 浙江台州(10GWh)
东驰能源	已建成国内首条 0.5GWh 的聚合物基储能固态电池示范线；2024 年 1 月与冠盛股份成立合资公司布局固态电池；与运达股份签署固态锂电池关键技术部研究及应用战略合作协议；已接到 2 亿余元订单，一半来自欧洲和澳洲。	聚合物	350-450Wh/kg	/

资料来源：集邦固态电池公众号、开源证券研究所

2.4、复合固态电解质：多种材料复合可使得固态电解质优势互补

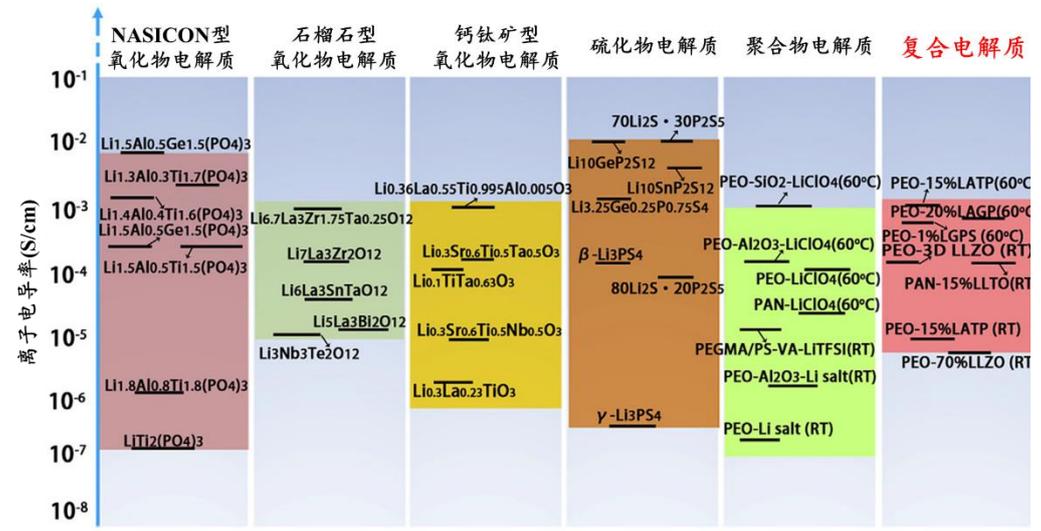
多种材料复合可使得固态电解质优势互补。单一的固态电解质具有较为明显的优劣势，而通过对多种固态电解质进行复合，可使得固态电解质满足高离子电导率的同时，具有较强的机械强度。以聚合物电解质为对象，可往其中添加惰性填料或活性填料，其中

(1) 惰性填料：包括 SiO₂、ZrO₂、Al₂O₃、Y₂O₃、LiAlO₂ 等，具体应用案例为，层状蒙脱土由夹在两片硅四面体薄片之间的八面体薄片组成，可以显著提高固态聚合物电解质的离子电导率和力学性能，有序沿着聚合物骨架排列能够形成连续的离子运输路径，从而构建更佳的 Li⁺通路；据《聚合物固态电解质离子电导率提升策略研究进展》(李少东等)，锆钛酸铅(PbZr_xTi_{1-x}O₃,PZT)添加进 PVDF 固体电解质可将后者离子电导率从 2.79×10^{-5} S/cm 增加到 1.16×10^{-4} S/cm。

(2) **活性填料**：包括石榴石型氧化物电解质、NASICON 型氧化物电解质、钙钛矿型氧化物电解质、硫化物、 Li_2N 等。比如，氧化物电解质与聚合物电解质复合，其中氧化物的刚性性质有助于提高整体电解质的机械强度并抑制树突的形成；硫化物电解质与聚合物电解质复合，其中硫化物电解质能提高整体电解质的离子电导率。

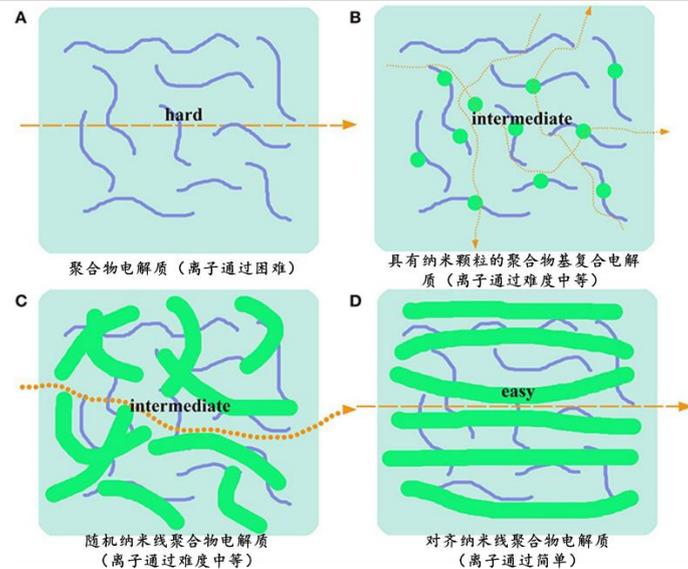
(3) **碳基填料**：包括金属有机框架 (MOF)、共价有机框架 (COF)、碳纳米管、导电炭黑、石墨烯等。其中 MOF、COF 可以呈现 2D 或 3D 类型的结构，且可以获得量身定制的刚性多孔结构，同时还可以提高界面兼容性和增强离子电导率；碳纳米管、导电炭黑、石墨烯等碳基材料可以显著提高电池的循环稳定性，并降低过电位。推荐标的：**【导电炭黑】**黑猫股份；受益标的**【碳纳米管】**天奈科技、道氏技术；**【MOF】**岳阳兴长；**【COF】**宝丽迪等。

图13：在聚合物电解质中添加氧化物电解质可提供其离子电导率



资料来源：《Developing practical solid-state rechargeable Li-ion batteries: Concepts, challenges, and improvement strategies Author links open overlay panel》(Teddy Mageto 等)、开源证券研究所

图14：为电解质提供有序通道可使锂离子通过更加容易



资料来源：《Developing practical solid-state rechargeable Li-ion batteries: Concepts, challenges, and improvement strategies Author links open overlay panel》(Teddy Mageto 等)、开源证券研究所

2.5、其他：我国固态电池产业化进程较快，各类工艺方案竞相发展

我国固态电池产业化进程较快，各类工艺方案竞相发展。总体而言，我国固态电池行业布局企业较多，主要布局者包括老牌电池企业、背靠顶级科研院所的初创企业、上游原材料企业以及汽车企业等多个领域。其中，卫蓝新能源、清陶能源、赣锋锂业、辉能科技、力神电池、山东金启航等企业主要研发方向为以氧化物材料为基础的固液混合技术路线；宁德时代、恩力动力、中科固能、高能时代等企业以硫化物技术路线为主，宁德时代硫化物路线已进入 20Ah 样品试制阶段。同时，除了上述主流的三种固态电解质方案外，力神电池发现固液融合方案、亿纬锂能发展卤化物方案、欣旺达发展复合电解质方案等等。据集邦固态电池公众号，目前国内固态电池规划产能超 400GWh，项目投资额超 2000 亿元。

表16：除了上述主流的三种固态电解质方案外，力神电池推行固液融合方案、亿纬锂能发展卤化物方案等

公司名称	量产进度	电解质方案	能量密度	产能布局
力神电池	2022年4月与当升科技签订合作协议，在固态锂离子电池等领域展开合作研发；2024年1月推出全新一代402Wh/Kg半固态电池。	固液融合	402Wh/kg	/
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。	卤化物	500Wh/kg	/
欣旺达	固态电池产品处于实验室研发阶段。	复合电解质	/	/
孚能科技	2021年量产第一代半固态电池产品；2023年1月，岚图追光首批搭载孚能科技半固态电池的车型下线；2024年3月与一汽解放开展合作，共同推动半固态、固态电池商用车市场及产业链发展。	/	330Wh/kg	/
中创新航	预计2024年半固态电池装车某外资品牌。	/	350Wh/kg	/
领新新能源	2023年11月一期凝胶聚合物固态电解质的“大圆”系列产品投产。	凝胶聚合物 半固态	三元单体 380Wh/kg	重庆(20GWh)
恒余能源	2023年12月备案通过广东东莞高端固态电池项目，总投资100亿元。	/	/	广东东莞(20GWh)
山东金启航	2023年11月，固态电池山东乐陵生产基地项目开工，总投资100亿元。	复合固态电 解质	/	山东乐陵(20GWh)
昊威新能源	2023年9月，重庆固态方形钠离子电池生产线项签约，总投资100亿元。	/	/	重庆(30GWh)
福鑫科技	2023年8月江西赣州固态锂电池项目开工，总投资100亿元。	/	/	江西(10GWh)
合源锂创	2024年2月固态电池10GWh智慧工厂开工建设，已实现350Wh/kg电芯样品制作。	/	350Wh/kg	淮安(10GWh)
鸿海科技	2023年10月与加拿大固态电池设计制造商Blue Solutions宣布签订合作备忘录，双方将针对两轮电动车市场共同开发打造的固态电池生态系。	/	/	/
鹏辉能源	有固态电池研发部门以及固态电池方面的技术储备。	/	/	/
格林美	已具备多款固态电池用前驱体储备技术，并积极与下游客户认证对接，已经实现了量产出货。	/	/	/
小米	2023年3月发布固态电池技术研发进展，能量密度突破1000Wh/L。	/	>1000Wh/kg	/
重庆大学锂电 及新材料遂宁 研究院	研发出500Wh/Kg固态电池样品。	/	500Wh/kg	/

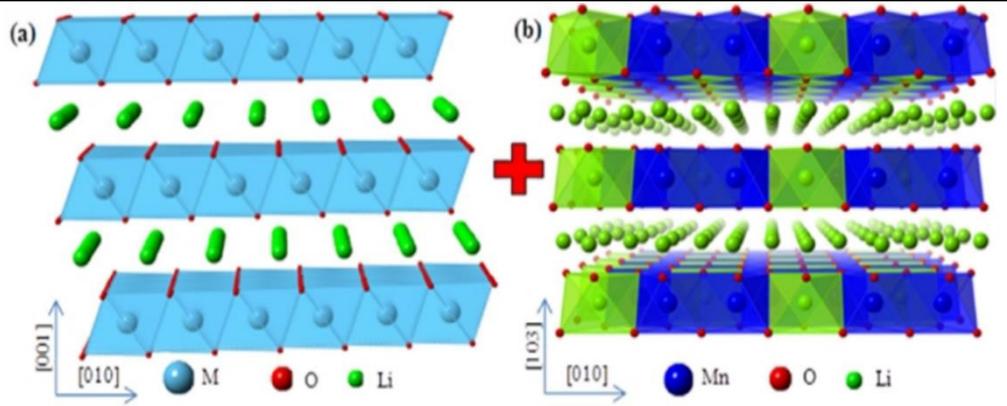
公司名称	量产进度	电解质方案	能量密度	产能布局
广汽埃安	2023年11月宣布完成固态电池的界面改性技术试验验证；2024年2月5日，广汽埃安安全固态电池再获新突破，能量密度达到350wh/kg。	/	350Wh/kg	/
上汽集团	2023年5月，上汽集团和清陶能源签署增资扩股协议和战略合作框架协议，推动2025年实现固态电池技术10万辆级大规模量产落地。	/	/	/
长安汽车	计划不晚于2027年推动重量能量密度350-500Wh/kg、体积能量密度750-1000Wh/L逐步量产应用，2030年实现普及。	/	350-500Wh/kg	/

资料来源：集邦固态电池公众号、财联社公众号、维科网锂电公众号、开源证券研究所

3、正极：固态电池正极材料或向超高镍、镍锰酸锂、富锂锰基等方向布局

固态电池正极材料或向超高镍、镍锰酸锂、富锂锰基等方向布局。正极材料是制约电池能量密度提升的重要因素之一，目前开发的锂电池主要以正极材料作为锂源。与液态电池相比，半固态电池正极从高镍升级到了高镍+高电压、富锂锰基等正极，未来全固态电池或将使用超高镍、镍锰酸锂、富锂锰基等正极材料。目前，固态电池正极材料以高镍三元体系为主，富锂锰基材料由于具有较高的能量密度以及较低的单位成本，被认为是未来最具前景的锂离子电池正极材料之一。富锂锰基正极材料可以看作是由层状 Li_2MnO_3 与层状 LiMO_2 (M=Ni、Co、Mn 等过渡金属及其组合) 按不同比例形成的固溶体。相比传统正极材料，富锂锰基正极材料具有较高的放电比容量 (>250mAh/g)，较宽的电压窗口 (2-4.8V)，并且具有价格低廉、资源丰富、安全环保等优点。

图15：富锂锰基正极材料可以看作由 Li_2MnO_3 与 LiMO_2 两部分组成



资料来源：《High-Energy Cathode Materials (Li_2MnO_3 - LiMO_2) for Lithium-Ion Batteries》(Haijun Yu 等)

表17：富锂锰基材料由于具有较高能量密度、较低单位成本，被认为是未来最具前景的锂离子电池正极材料之一

晶体结构	正极材料	化学式	实际比容量 (mAh/g)	电压范围 (V)	循环寿命(次)	热稳定性	材料成本
层状	钴酸锂 LCO	LiCoO_2	135-190	3.0-4.6	500-1000	较差	较高
	镍钴锰酸锂	$\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ ($x+y+z=1$)	155-220	2.8-4.5	800-2000	较差	中

晶体结构	正极材料	化学式	实际比容量 (mAh/g)	电压范围 (V)	循环寿命(次)	热稳定性	材料成本
NCM							
	镍钴锰酸铝 NCA	$\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ($x+y+z=1$)	210-220	2.5-4.6	800-2000	较好	较低
	富锂锰基 LMR	$x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot (1-x)\text{LiMO}_2$ ($M=\text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}$)	>250	2.0-4.8	1000-6000	较差	低
	磷酸铁锂 LFP	LiFePO_4	130-140	3.2-3.7	3000-12000	优秀	低
橄榄石	磷酸锰铁锂 LMFP	$\text{LiMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{PO}_4$ ($0 \leq x \leq 1$)	130-140	3.3-4.1	2000	优秀	低
尖晶石	锰酸锂 LMO	LiMn_2O_4	130-150	2.2-5.0	>400 (石墨) >2000 (钛酸锂)	良好	低

资料来源：储能前沿公众号、开源证券研究所

与液态电池相比，固态电池正极材料体系变化较小，部分企业已实现超高镍三元正极材料等相关技术路线布局。我们建议关注两个方向：

(1) **产品验证速度较快的企业**：道氏技术的多孔蜂窝单晶型高镍正极前驱体的技术指标目前在行业属于领先水平，可以应用于固态电池三元正极，且富锂锰基前驱体产品已有客户验证通过，且具备批量供货的条件；当升科技已布局双相复合高能量固态正极材料，解决了正极与电解质固固界面难题，已批量导入清陶、辉能、卫蓝、赣锋等主要固态电池客户并实现装车应用；容百科技全固态电池用超高镍三元正极材料得到多家海内外客户的认证；厦钨新能匹配氧化物路线固态电池的正极材料已实现供货等。

(2) **具有上游锰基原料的企业**：红星发展主要从事钽盐、铟盐和锰系产品的生产、研发和销售，锰系产品主要包括一次电池和锂电池用电解二氧化锰、高纯硫酸锰等产品；湘潭电化生产的锰系电池材料主要应用于传统一次电池领域以及新能源电池领域，太蓝新能源有战略合作。受益标的：红星发展、湘潭电化、丰元股份、芳源股份等。

表18：正极材料领域建议关注产品验证速度较快的企业、以及具有上游锰基原料的企业

类型	公司名称	相关进展
布局高镍正极材料的企业	当升科技	公司已系统布局氧化物、硫化物等固态电解质和双相复合高能量固态正极材料关键技术路线，解决了正极与电解质固固界面难题，相关固态锂电产品技术性能指标处于行业领先地位，已批量导入清陶、辉能、卫蓝、赣锋等主要固态电池客户并实现装车应用。
	容百科技	公司同步开发全固态电池正极材料、全固态电池电解质材料,以及电解质关键原料等，其中全固态电池用超高镍三元正极材料及硫化物电解质材料得到多家海内外客户的认证,全固态电池正极材料的容量与循环性能保持领先。
	道氏技术	公司专利的多孔蜂窝单晶型高镍正极前驱体的技术指标目前在行业属于领先水平，可以应用于固态电池三元正极；富锂锰基前驱体产品已有客户验证通过，且具备批量供货的条件
	厦钨新能	公司匹配氧化物路线固态电池的正极材料已实现供货；硫化物路线固态电池的正极材料方面,公司与下游客户在技术研发上保持密切的交流合作。
	丰元股份	公司的主营业务为锂离子电池正极材料业务及草酸业务，在固态电池硫化物正极材料方面有相应研发布局。
	芳源股份	公司固态电池相关电解质及正极材料前驱体处于研发阶段，高镍三元材料有望逐步放量。
	中伟股份	公司三元前驱体可以适用于固态电池，目前与境内外固态电池客户均有业务合作，且已通过相关认证并实现几十吨级以上供货。
	格林美	公司在固态电池前驱体方面开发了9系超高镍技术路线、富锂锰基技术路线与镍锰尖晶石技术路线，均取

类型	公司名称	相关进展
		得突破性进展。
具有上游锰基原料的企业	红星发展	公司主要从事钒盐、锑盐和锰系产品的生产、研发和销售，锰系产品主要包括一次电池和锂电池用电解二氧化锰、高纯硫酸锰等产品。
	湘潭电化	公司生产的锰系电池材料主要应用于传统一次电池领域以及新能源电池领域，与太蓝新能源有战略合作。

资料来源：各公司公告、Wind、开源证券研究所

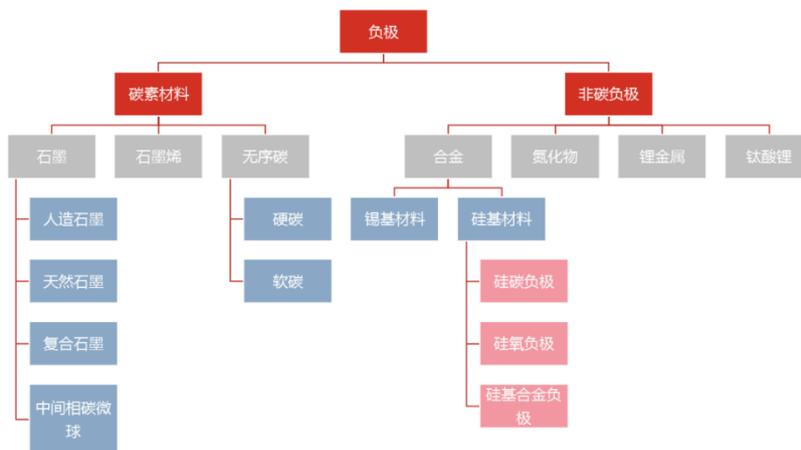
4、硅基负极：硅基负极有望成为新一代锂电负极材料，多孔碳的性能直接决定硅基产品性能

硅基负极有望成为新一代锂电负极材料。负极材料是决定锂电池性能的关键因素之一，不同的负极材料可以通过嵌入、合金化或转换反应实现储锂。目前固态电池的负极材料主要有碳族负极、硅基负极和金属锂负极 3 类。目前商业化的锂离子电池主要采用石墨作为负极材料，其能量密度已接近理论上限，而硅基材料的理论比容量高于石墨负极，被视为新一代锂电负极材料。**硅基负极的优势在于：**

(1) **具有高比容量**，据《球型 Si 基碳包覆锂离子电池负极材料研究进展》(李东霖等)、粉体圈公众号，硅基负极理论比容量可达到 4,200mAh/g，室温下可达到 3,579mAh/g，是商业化石墨负极 372mAh/g 的近 10 倍；(2) **允许在不影响整体能量密度的情况下减小电极的厚度**，从而可以降低快速充电过程产生的浓度和潜在的梯度效应。据 EV tank 统计数据，2023 年以硅基负极为代表的新型负极材料出货量增长明显，在中国整体负极材料中的出货量达到 3.4%。预计到 2027 年，全球硅基负极材料需求量或达 113.5 万吨，市场规模将达 579 亿元。

硅基负极的缺点在于：体积易膨胀。据《Fast Charging Anode Materials for Lithium-Ion Batteries: Current Status and Perspectives》、元能科技公众号，当电压降至 0.01-0.1V 时，每个 Si 原子与 4.4Li 结合，体积膨胀约 420%，而商业化石墨负极体积膨胀约 10%-15%，因此其循环寿命低于石墨负极，成为限制其大规模使用的瓶颈之一，未来有待进一步突破。

图16：固态电池负极材料主要包括碳材料、硅材料等



资料来源：云奇新材料公众号

表19: 硅基负极具有高比容量, 有望成为新一代锂电负极材料

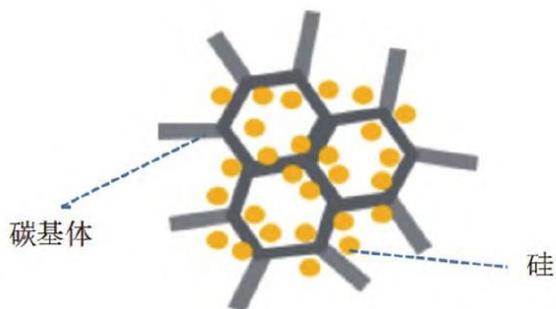
负极	负极材料	电压范围/V	电流/ mA · g ⁻¹	比容量/ mAh · g ⁻¹	优点	缺点
碳	石墨	0.5~3.0	200	300	电子电导率高;层 次结构稳定;获取 成本低	比容量低;容量 速率低;安全风 险高
合金	锡	平均电压 2.15	1000	650	比容量高;安全性 高	电子电导率低; 体积膨胀性高
	铝	平均电压 1.70	1000	730		
过渡金属化 合物	Co ₃ O ₄	0.05~3.00	100	1033	比容量高;获取成 本低	库仑效率低;循 环稳定性差
	Ni _{1.4} Co _{0.6} P	0.1~3.0	120	1320		
	MoS ₂ /Mo ₂ TiC ₂ T _x 纳米复合材料	1.3~2.3	100	554		
硅	包含 Al ₄ Cu ₉ 、AlFe 和 TiFeSi ₂ 等材料 的硅合金(Si60%、Cu15%、Al10%、 Fe7.5%和 Ti7.5%,均为质量分数)	0.005~1.500	300	1459.3	比容量高;获取成 本低,清洁	体积膨胀性高; 电子电导率低

资料来源:《锂离子电池用非石墨类负极材料研究进展》(杨迁迁)、开源证券研究所

CVD 气相沉积硅碳路线或将成为未来行业发展技术路线。目前有三条路线已经得到产业化应用:(1) 研磨法纳米硅碳路线。从已实现的性能结果来看, 研磨法硅碳的循环性能尚不达标;(2) 硅氧路线(一代硅氧和预锂化硅氧)。据石墨邦公众号, 形成 Li₂O 和锂硅酸盐的过程消耗大量锂离子, 不仅成本大幅上涨, 且材料首效很低, 仅为 40%~80%, 相比之下石墨为 90%, 远远达不到量产电池对负极材料的要求;(3) CVD 气相沉积硅碳路线。CVD 气相沉积硅所需生产流程短, 设备少, 理论成本低, 被各家电芯厂认为是硅负极的最终解决方案。

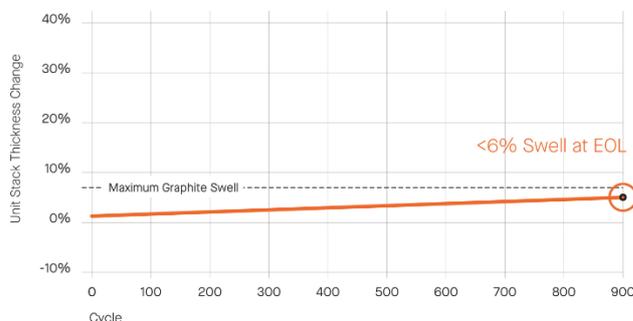
硅基负极性能瓶颈持续突破, 未来产业化进程或将提速。据 SMM 石墨负极、DT 新材料公众号, 美国企业 Group14 技术的硅基材料的比容量能达到 2000mAh/g, 首效达到 90%; 美国 TitanSilicon 全硅负极使用寿命结束时 900 次循环膨胀率 <6%, 与石墨电池相似。未来随着“负极掺硅”电池持续落地, 硅基负极产业化进程或将提速。

图17: CVD 在多孔碳上沉积硅示意图



资料来源:《化学气相沉积法制备硅碳复合负极材料的研究进展》(付祥南等)

图18: TitanSilicon 全硅负极 900 次循环膨胀率 <6%



资料来源: DT 新材料公众号

传统锂电负极企业产业化推进较快, 多数企业采用硅碳负极路线。从企业布局情况来看, 目前在硅基负极领域进展比较快的企业主要为传统锂电负极生产企业, 如翔丰华、璞泰来、杉杉股份、贝特瑞、中科电气等, 上述企业的产品已通过客户

验证。此外，硅宝科技、新安股份、道氏技术、石大胜华、滨海能源等企业也依托自身产业链优势布局硅基负极，如道氏技术具有碳纳米管产能，打造碳纳米管-硅基负极一体化产业链；硅宝科技、新安股份等以有机硅为主业的企业，前期具有相关技术积累等。从采用路线来看，多数企业会同时布局硅碳、硅氧两种路线，但更多会侧重于发展硅碳负极路线，包括翔丰华、璞泰来、道氏技术等。**推荐标的：硅宝科技；受益标的：道氏技术、新安股份、石大胜华、鹿山新材等。**

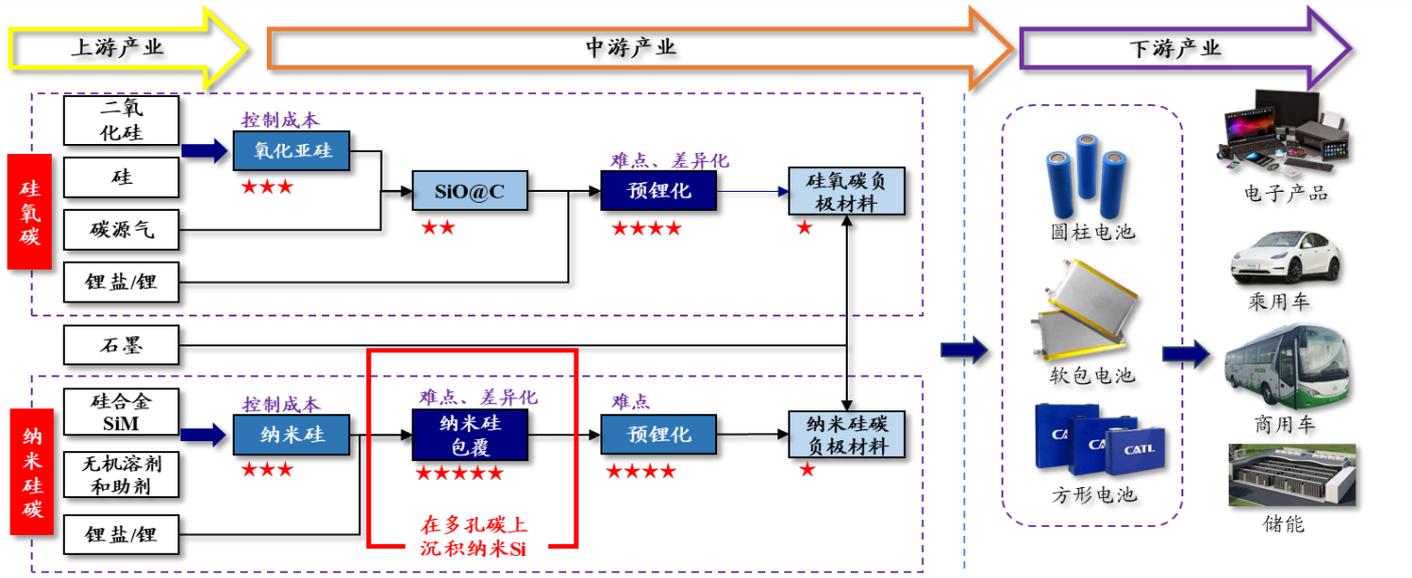
表20：传统锂电负极企业产业化推进较快，多数企业采用硅碳负极路线

所处阶段	公司名称	相关进展
传统锂电 负极企业	翔丰华	公司硅碳负极产品已移交国内外多家电池厂商进行客户测试，具备产业化基本条件，与清陶能源达成战略合作。
	璞泰来	公司硅碳负极产品已小批量出货，正积极推进在安徽芜湖投资建设的硅基负极项目的建设进度，预计2025年上半年首批硅碳负极产能有望建成投产；公司于2024年6-7月与北京恩力、中科固能签订了战略合作协议。
	杉杉股份	公司硅基负极产品不断实现技术突破，持续获得海内外客户认可，实现批量供应。
	贝特瑞	公司布局固态电池材料较早，已有产品小批量供应客户，在固态电池材料研发方面处于行业先进水平。
	中科电气	公司硅基类负极（包括面向固态电池的硅碳负极）目前已建设完成中试产线，且有产品向客户送样测试并获得认可。
新进入企 业	道氏技术	公司已建立了技术先进的硅基负极材料一体化研发生产体系，目前硅碳负极已向某固态电池厂小批量出货，也已送样太蓝、盟古利等主流固态电池厂商，测试反馈良好，且部分消费类电池厂已通过测试，实现小批量供货。
	硅宝科技	公司硅碳负极产品在3C电池、动力电池、圆柱电池固态电池均有送样和测评。
	新安股份	公司在硅基负极领域针对硅氧、新硅碳等技术路线均已有相应储备，相关中试产品已与3C、动力电池等领域客户接洽并开展产品测试，已获得部分客户认可，具备迅速实现产业化的能力。
	石大胜华	公司现有1000吨/年的硅碳负极材料生产线，产品为高首效型硅氧碳负极材料。
	滨海能源	公司布局了适用于固态电池的硅基负极材料的研发，包括硅碳和硅氧两种技术方向其中，硅碳产品经过小试，其容量与首效已达预期效果；硅氧产品已向电池客户送样，处于加速导入阶段。
其他	北京利尔	公司参股公司联创锂能现已实现硅碳负极材料吨级别的供货，目前量产项目建设正在稳步推进当中，预计2025年将投产。
	尚太科技	公司目前主要出货产品为人造石墨负极材料，在硅基负极材料方面已经有一定技术积累和布局，并拥有相关专利，未来有望实现突破。
	中一科技	公司拥有用于固态电池的锂-铜金属一体化复合负极材料等相关技术储备。
	鹿山新材	公司开发的硅碳负极功能粘接材料（PAA）能有效抑制和解决硅基负极的膨胀效应，大幅提升硅碳负极循环寿命，目前正在客户端进行测试验证。

资料来源：翔丰华、璞泰来、杉杉股份等公司公告、开源证券研究所

多孔碳的性能直接决定硅基产品性能，且占硅碳生产成本的35%。据高工锂电数据，多孔碳占硅碳生产成本的35%。CVD气相沉积硅碳的技术壁垒和产业化难点主要在于多孔碳的选型、沉积设备和沉积工艺三个主要方面。其中多孔碳的性能直接决定硅基产品性能，不同多孔碳需要和不同的石墨作为匹配，才能在电芯端表现出良好的性能。不同场景下的碳骨架孔径、孔容、孔隙率要求均不一样，性能差异极大，需要专业的电芯设计人员配合才能完成开发。圣泉集团、晖阳新能源、元力股份、金博股份等企业正在积极布局多孔碳领域，提升材料性能，加快多孔碳的商用化进程。**受益标的：圣泉集团、元力股份、道氏技术、金博股份等。**

图19：在多孔碳上沉积纳米 Si 为硅碳生产难点



资料来源：粉体圈公众号、开源证券研究所

表21：圣泉集团、元力股份、道氏技术、金博股份等企业正在积极布局多孔碳领域

公司类型	公司名称	量产进度
上市公司	圣泉集团	截至 2024 年 10 月 28 日，公司现有 300 吨硅碳负极用多孔碳产能,1000 吨产能正在建设中,预计 2025 年一季度建成
上市公司	元力股份	公司储能新材料开发起步良好，硬碳、多孔碳已实现量产
上市公司	道氏技术	公司多孔碳结构设计领先，在合成树脂时，做了孔定型，具备孔结构，所以在转换为碳时，能保持其原有大量的微晶结构，强度更高，用于配套生产硅基负极
上市公司	金博股份	公司已完成石油焦基多孔碳等系列产品的中试化开发，相关产品处于下游客户验证阶段，同时正布局开发沥青基与树脂基多孔碳产品
非上市公司	晖阳新能源	2024 年 7 月 11 日，晖阳新能源宣布新一代固态电池负极材料研发成功，这种创新的多孔硅碳材料有望实现电动汽车超过 1000 公里的长续航和高容量。

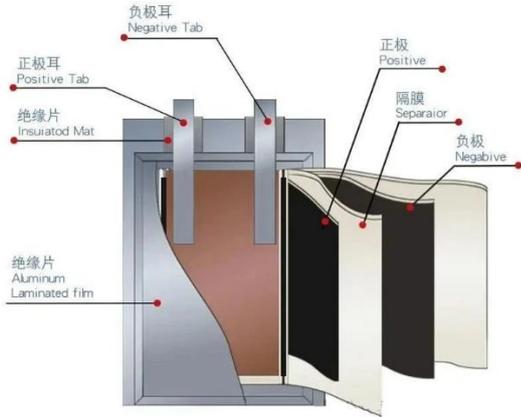
资料来源：圣泉集团公告、元力股份公告、道氏技术公告、金博股份公告、SMM 石墨负极公众号、开源证券研究所

5、其他：可关注铝塑膜、隔膜、粘结剂相关企业

5.1、铝塑膜：软包铝塑膜有望凭借其柔韧性强的优势，广泛应用于固态电池封装领域

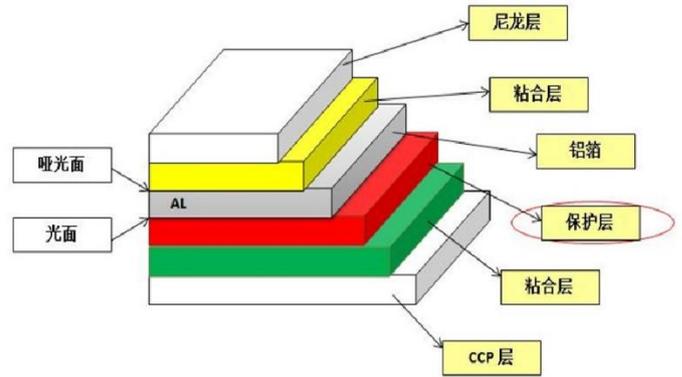
软包铝塑膜有望凭借其柔韧性强的优势，广泛应用于固态电池封装领域。锂电池按封装形式，可划分为方形、圆柱和软包三种形态。其中，方形电池通常采用金属材料作为其封装材料，如铝壳；圆柱形电池则特指外壳为圆柱形状的金属封装；软包则是采用铝塑膜作为外壳，较前两种属于软性包装。软包锂电池内部电芯由正极片、隔膜、负极片依次层叠起来，外部用铝塑膜封装，然后焊接正负极极耳，注电解液并封口。软包铝塑膜在固态电池中应用的优势在于：（1）具有重量轻、内阻小、安全性高等优点；（2）固态电池电解质为氧化物或硫化物，其柔韧性不如液态电解质，软包叠片的设计能够有效解决柔韧性问题，减少电池在受到内部压力或发生形变时破裂的风险。因此，软包铝塑膜有望凭借其柔韧性强的优势，广泛应用于固态电池封装领域。

图20：软包锂电池内部电芯由正极片、隔膜、负极片依次层叠起来，外部用铝塑膜封装



资料来源：国家新材料产业资源共享公众号

图21：铝塑膜主要分为尼龙层、铝层、PP、粘合层



资料来源：《锂离子电池铝塑复合膜发展趋势综述》(冯慧杰等)

国产铝塑膜性能较进口产品稍弱。据《锂离子电池铝塑复合膜发展趋势综述》(冯慧杰等, 2019年), 铝塑膜全球市场主要被大日本印刷(DNP)、昭和电工、凸版印刷(T&T)、韩国栗村四家日韩企业垄断, 总体市场占有率约 90%。铝塑膜的主要原材料中, 铝箔、CPP、胶粘剂等均依赖进口。3C 领域, 进口铝塑膜材料的冲深性能能达到 7~8mm, 而国产铝塑膜冲深性能仅 5~6mm; 动力领域, 铝塑膜几乎全部依赖进口, 冲深性能能达到 8~10mm。

国内企业积极布局铝塑膜行业, 相关原料有望逐步实现进口替代。国内厂家如上海紫江、道明光学、佛塑科技、东莞卓越、明冠新材和福斯特等已经积极布局铝塑膜市场。据石油和化工园区公众号 2023 年 11 月 20 日报道, 北化院研发的电池软包用流延聚丙烯(CPP)薄膜专用料开发成功, 已通过 3 家工厂的材料性能评测, 工业化生产 CPP 薄膜和铝塑膜 3 万余平, 形成了软包铝塑膜整体解决方案。近年本土铝塑膜企业通过自主研发新工艺和新设备, 在技术工艺、材料设备等方面正不断突破行业壁垒, 未来有望逐步实现铝塑膜国产替代, 同时固态电池行业的快速发展, 有望进一步推动铝塑膜需求增长。受益标的: 道明光学、佛塑科技、璞泰来、明冠新材等。

表22：国内企业积极布局铝塑膜行业，相关原料有望逐步实现进口替代

公司名称	相关进展
紫江企业	公司控股子公司紫江新材主营产品为锂电池铝塑膜, 目前已与清陶能源等国内多家固态电池企业开展多种形式的合作。
道明光学	公司铝塑膜已应用于 3C 及动力类电池封装, 未来将积极与下游客户开展技术研发和产品开发。
佛塑科技	公司拟收购金力股份, 金力股份较早布局半固态电解质膜及全固态电解质, 拥有五个隔膜生产基地, 产能超 60 亿平米/年。
璞泰来	子公司卓越新材料率先在国内实现高端热法铝塑包装膜产品的技术突破和进口替代, 并成功开发电动汽车电池用钢塑膜。
明冠新材	公司的锂电池铝塑膜客户有赣峰电池、孚能科技、清陶能源、骆驼股份、超威电池、GY 电池等, 公司铝塑膜产品在固态电池与各动力电池终端领域均有使用。
福斯特	公司是国产铝塑膜的领先企业, 目前客户包括消费电池、动力电池和储能电池等。
海顺新材	公司铝塑膜产品主要应用于 3C 软包电池和动力储能类软包电池领域, 铝塑膜样品持续发送相关厂家验证。
华正新材	公司的铝塑膜产品主要应用于软包锂电池的电芯封装, 主要应用于 3C 数码、动力、储能等领域, 目前正积极拓展和布局在固态和半固态电池的应用。

资料来源：各公司公告、国际薄膜与胶带展公众号、开源证券研究所

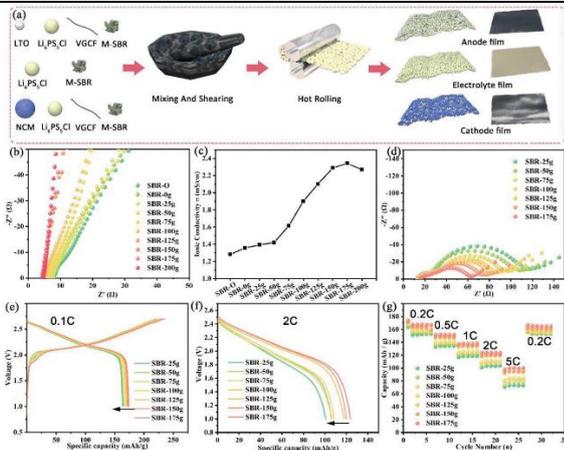
5.2、隔膜：半固态电池保留了少量电解液，仍需隔膜

半固态电池保留了少量电解液，仍需隔膜。半固态电池出于提高导电能力的需求，在加入固态电解质的同时，仍保留了少量电解液，也因此需要隔膜作为分隔正负极的结构。半固态电池中对隔膜有新的功能要求，如高孔隙率，大孔径，高回弹性能等。从短期来看，在半固态电池率先产业化的前提下，隔膜仍是电池至关重要的核心材料。长期来看，随着全固态电池的普及，隔膜是否被取代要看哪种技术路线占优。据长阳科技公告，公司独家开发的具有超高孔隙率（ $\geq 85\%$ ）、超大孔径（85~100nm）、可压缩性高（ $\geq 50\%$ ）的隔膜产品可广泛用于不同固态电池技术路线上，能够改善固态和半固态电池的循环寿命，电池的容量、使用温度、安全性和循环性能较传统隔膜有突破性的提升，且已取得该行业头部客户小批量订单，以及腰部客户的企业订单。**推荐标的：长阳科技等。**

5.3、粘结剂：非极性粘结剂可提高固态电解质的机械性质、界面相容性等性能

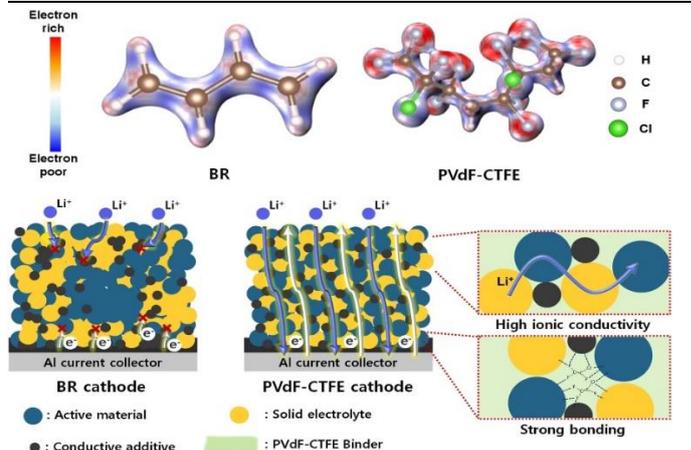
固态电解质合成过程中需要粘结剂来提高电解质的机械性质、界面相容性等性能，需要非极性粘结剂。以硫化物固态电解质合成为例，由于硫化物电解质与常规极性溶剂的高反应性，大多数在传统 LIBs 中常用的极性聚合物粘结剂，如聚偏氟乙烯（PVDF）、聚乙烯醇（PVA）和羧甲基纤维素（CMC）等，由于它们在非极性溶剂中的溶解度不足，限制了硫化物电解质的均匀性。因此，硫化物电解质的浆料浇铸制造主要限于非极性粘结剂，如丁二烯橡胶（BR）、硅橡胶（SR）、丁苯橡胶（SBR）和苯乙烯-乙烯-丁烯苯共聚物（SEBS）等。据回天新材公告，截至 2024 年 12 月，公司 SBR 已有产能 2000 吨/年。**受益标的：回天新材等。**

图22：添加一定量的SBR能提高硫化物固态电池导电率



资料来源：《Long-Life Sulfide All-Solid-State Battery Enabled by Substrate-Modulated Dry-Process Binder》（Yongxing Li 等）

图23：BR、PVdF-CTFE 粘结剂的复合正极示意图



资料来源：《Stimulating the electrostatic interactions in composite cathodes using a slurry-fabricable polar binder for practical all-solid-state batteries Author links open overlay panel》（Woo-Hyun Jeong 等）

6、投资建议：建议关注固态电池发展带来的相关材料的发展

机会

综上，相比液态电池，全固态电池取消原有液态电解质，选用氧化物、硫化物、

聚合物等作为固态电解质，以薄膜的形式分割正负极，从而替代隔膜的作用，其中氧化物目前进展较快，硫化物未来潜力最大，聚合物性能上限较低；负极从石墨体系升级到预锂化的硅基负极、锂金属负极，正极从高镍升级到了超高镍、镍锰酸锂、富锂锰基等正极，能量密度可达 500Wh/kg。未来待固态电池技术持续突破，以及产业化进程不断加快，有望带动相关材料需求持续增长。

1、固态电解质：三种主流电解质各有优劣，硫化物路线有望凭借导电性能强、界面接触性能良好等性能得到快速发展

(1) 硫化物固态电解质：硫化物固态电解质未来发展潜力最大，降本为重点推进方向，建议关注率先进行硫化锂布局的企业，或者具备硫铁矿产能的企业。**推荐标的：云图控股；受益标的：有研新材、恩捷股份、天齐锂业、厦钨新能、容百科技、天赐材料、光华科技、丰元股份、粤桂股份、司尔特、国城矿业等。**

(2) 氧化物固态电解质：氧化物固态电解质拥有适中的离子电导率，商业化进展较快，其中石榴石结构氧化物固态电解质（LLZO）等具有较大应用前景，而原料 ZrO₂ 约占 LLZO 总原料重量的 25%，建议关注依托自身锆材料业务优势布局氧化物固态电解质的企业。**受益标的：国瓷材料、三祥新材、容百科技、璞泰来、上海洗霸等。**

(3) 聚合物固态电解质：聚合物固态电解质的离子电导率太低限制了其未来发展空间，前期商业化使用主要跟其他电解质复合使用，建议关注 PEO、PVDF 生产企业在聚合物固态电解质中的布局。**推荐标的：巨化股份、昊华科技；受益标的：奥克股份、东岳集团、联创科技、永和股份、东阳光等。**

(4) 碳基填料：MOF、COF 可以呈现 2D 或 3D 类型的结构，且可以获得量身定制的刚性多孔结构，同时还可以提高界面兼容性和增强离子电导率；碳纳米管、导电炭黑、石墨烯等碳基材料可以显著提高电池的循环稳定性，并降低过电位。**推荐标的：【导电炭黑】黑猫股份；受益标的：【碳纳米管】天奈科技、道氏技术；【MOF】岳阳兴长；【COF】宝丽迪等。**

2、正极：固态电池正极材料主要以高镍三元体系为主，富锂锰基材料由于具有较高的能量密度以及较低的单位成本，被认为是未来最具前景的锂离子电池正极材料之一。建议关注产品验证速度较快的企业，或者具有上游锰基原料的企业。**受益标的：红星发展、湘潭电化、道氏技术、丰元股份、芳源股份等。**

3、负极：

(1) 硅基负极：硅基负极的优势在于具有高比容量，且允许在不影响整体能量密度的情况下减小电极的厚度，但缺点在于体积易膨胀。传统锂电负极企业产业化推进较快，多数企业采用硅碳负极路线。**推荐标的：硅宝科技；受益标的：道氏技术、新安股份、石大胜华、鹿山新材等。**

(2) 多孔碳：多孔碳的性能直接决定硅基产品性能，且占硅碳生产成本的 35%。**受益标的：圣泉集团、元力股份、道氏技术、金博股份等。**

4、其他：可关注铝塑膜、隔膜、粘结剂相关企业

(1) 铝塑膜：软包铝塑膜有望凭借其柔韧性强的优势，广泛应用于固态电池封装领域。**受益标的：道明光学、佛塑科技、璞泰来、明冠新材等。**

(2)隔膜:半固态电池仍需隔膜,未来隔膜是否被取代要看哪种技术路线占优。
推荐标的:长阳科技等。

(3)粘结剂:非极性粘结剂可提高固态电解质的机械性质、界面相容性等性能。
 硫化物电解质的浆料浇铸制造主要限于非极性粘结剂,如丁二烯橡胶(BR)、硅橡胶(SR)、丁苯橡胶(SBR)和苯乙烯-乙烯-丁烯苯共聚物(SEBS)等。
受益标的:回天新材等。

表23: 建议关注固态电池发展带来的相关材料的发展机会

板块	环节	名称	公司代码	评级	2025/1/6	2025/1/6	归母净利润(亿元)			PE(倍)		
					总市值(亿元)	股价(元/股)	2024E	2025E	2026E	2024E	2025E	2026E
固态 电解 质	硫化物 电解质	有研新材	600206.SH	未评级	127	15.0	-	-	-	-	-	-
		恩捷股份	002812.SZ	买入	293	30.2	6.4	10.2	15.6	45.93	28.59	18.82
		天齐锂业	002466.SZ	未评级	513	32.3	-47.6	24.4	36.5	-10.79	21.06	14.05
		厦钨新能	688778.SH	未评级	176	41.9	5.7	7.5	9.8	30.77	23.38	18.01
		容百科技	688005.SH	未评级	144	29.8	2.5	6.1	8.6	57.44	23.64	16.71
		天赐材料	002709.SZ	未评级	342	17.8	5.5	13.5	20.6	62.21	25.29	16.63
		光华科技	002741.SZ	未评级	72	15.4	-	-	-	-	-	-
		丰元股份	002805.SZ	未评级	31	11.0	-	-	-	-	-	-
		粤桂股份	000833.SZ	未评级	82	10.2	-	-	-	-	-	-
		司尔特	002538.SZ	未评级	46	5.4	-	-	-	-	-	-
	国城矿业	000688.SZ	未评级	128	11.4	-	-	-	-	-	-	
	云图控股	002539.SZ	买入	93	7.7	8.9	10.9	13.4	10.41	8.53	6.93	
	氧化物 电解质	三祥新材	603663.SH	未评级	70	16.6	1.2	1.8	2.3	56.40	40.14	30.43
		国瓷材料	300285.SZ	未评级	163	16.3	7.0	8.7	10.5	23.26	18.76	15.44
		容百科技	688005.SH	未评级	144	29.8	2.5	6.1	8.6	57.44	23.64	16.71
璞泰来		603659.SH	买入	312	14.6	17.6	22.5	27.3	17.76	13.85	11.44	
上海洗霸		603200.SH	未评级	42	24.1	-	-	-	-	-	-	
聚合物 电解质	奥克股份	300082.SZ	未评级	40	5.9	0.1	0.4	0.5	306.04	110.52	86.49	
	巨化股份	600160.SH	买入	668	24.8	19.6	33.5	46.7	34.02	19.98	14.32	
	昊华科技	600378.SH	买入	320	28.9	12.7	17.5	21.4	25.18	18.30	14.99	
碳基 填料	MOF	岳阳兴长	000819.SZ	未评级	57	15.4	1.2	1.4	1.7	47.54	39.61	32.78
	COF	宝丽迪	300905.SZ	未评级	43	24.2	-	-	-	-	-	-
	碳纳米管	天奈科技	688116.SH	未评级	120	34.7	2.7	3.7	4.7	44.49	32.22	25.25
		道氏技术	300409.SZ	未评级	86	12.5	2.6	5.8	7.3	33.43	14.81	11.73
	导电炭黑	黑猫股份	002068.SZ	买入	81	11.0	2.0	2.9	4.1	39.88	28.21	19.60
正极	锰基原料	红星发展	600367.SH	未评级	41	12.0	-	-	-	-	-	-
		湘潭电化	002125.SZ	未评级	63	10.0	-	-	-	-	-	-
	道氏技术	300409.SZ	未评级	86	12.5	2.6	5.8	7.3	33.43	14.81	11.73	
高镍正极	丰元股份	002805.SZ	未评级	31	11.0	-	-	-	-	-	-	
	芳源股份	688148.SH	未评级	23	4.6	-	-	-	-	-	-	
负极	硅基负极	道氏技术	300409.SZ	未评级	86	12.5	2.6	5.8	7.3	33.43	14.81	11.73
		硅宝科技	300019.SZ	买入	54	13.8	3.2	4.3	5.0	16.75	12.55	10.75
		新安股份	600596.SH	未评级	116	8.6	3.7	6.1	7.2	31.71	19.14	16.07
		石大胜华	603026.SH	未评级	66	32.7	-	-	-	-	-	-

板块	环节	名称	公司代码	评级	2025/1/6	2025/1/6	归母净利润（亿元）			PE（倍）		
					总市值（亿元）	股价（元/股）	2024E	2025E	2026E	2024E	2025E	2026E
多孔碳		鹿山新材	603051.SH	未评级	24	22.8	-	-	-	-	-	-
		圣泉集团	605589.SH	未评级	193	22.9	9.1	12.3	14.5	21.29	15.73	13.33
		元力股份	300174.SZ	未评级	52	14.3	2.7	3.4	4.7	19.34	15.56	11.19
		道氏技术	300409.SZ	未评级	86	12.5	2.6	5.8	7.3	33.43	14.81	11.73
		金博股份	688598.SH	未评级	41	19.9	0.2	2.1	3.2	221.00	19.84	12.81
其他	铝塑膜	道明光学	002632.SZ	未评级	48	7.8	-	-	-	-	-	-
		佛塑科技	000973.SZ	未评级	54	5.6	-	-	-	-	-	-
		璞泰来	603659.SH	未评级	312	14.6	17.6	22.5	27.3	17.76	13.85	11.44
		明冠新材	688560.SH	未评级	23	11.7	-	-	-	-	-	-
	隔膜	长阳科技	688299.SH	买入	39	13.4	1.6	2.0	2.5	25.04	19.21	15.34
	粘结剂	回天新材	300041.SZ	未评级	47	8.4	2.2	2.8	3.4	21.51	16.68	14.06

数据来源：Wind、开源证券研究所（上述“未评级”的公司数据来源于 Wind 一致预期；“买入”评级的公司中，巨化股份、黑猫股份、长阳科技数据来源于开源证券研究所，恩捷股份、璞泰来、云图控股、昊华科技等数据来源于 Wind 一致预期）

7、风险提示

技术推进不及预期：目前固态电池仍然存在生产成本低、固态电解质机械性能较弱、离子电导率低于液态电解质等问题，同时产业化生产尚不成熟，需要整条产业链共同进步。若技术推进不及预期，固态电池产业化进程将放缓。

原材料价格大幅下跌：若碳酸锂价格下跌，则将影响固态电池产业链中相关企业的盈利能力，或将影响其推进固态电池相关材料产业化的进程。

终端需求跟进不及预期：若固态电池生产成本较高，且供应链不成熟，终端车企对于固态电池的接受进程将较为缓慢，进而影响固态电池行业未来发展空间。

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，开源证券评定此研报的风险等级为R4（中高风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。

因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师承诺

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及开源证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

股票投资评级说明

	评级	说明
证券评级	买入（Buy）	预计相对强于市场表现 20%以上；
	增持（outperform）	预计相对强于市场表现 5%~20%；
	中性（Neutral）	预计相对市场表现在-5%~+5%之间波动；
	减持（underperform）	预计相对弱于市场表现 5%以下。
行业评级	看好（overweight）	预计行业超越整体市场表现；
	中性（Neutral）	预计行业与整体市场表现基本持平；
	看淡（underperform）	预计行业弱于整体市场表现。

备注：评级标准为以报告日后的 6~12 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅表现，其中 A 股基准指数为沪深 300 指数、港股基准指数为恒生指数、新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）、美股基准指数为标普 500 或纳斯达克综合指数。我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

法律声明

开源证券股份有限公司是经中国证监会批准设立的证券经营机构，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供开源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给开源证券客户的，属于商业秘密材料，只有开源证券客户才能参考或使用，如接收人并非开源证券客户，请及时退回并删除。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他金融工具的邀请或向人做出邀请。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告做出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的开源证券网站以外的地址或超级链接，开源证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

开源证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。开源证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

开源证券研究所

上海

地址：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号楼3层
邮编：200120
邮箱：research@kysec.cn

北京

地址：北京市西城区西直门外大街18号金贸大厦C2座9层
邮编：100044
邮箱：research@kysec.cn

深圳

地址：深圳市福田区金田路2030号卓越世纪中心1号楼45层
邮编：518000
邮箱：research@kysec.cn

西安

地址：西安市高新区锦业路1号都市之门B座5层
邮编：710065
邮箱：research@kysec.cn