

固态电池发展方向探讨：详解硫化物电解质路线

——新技术系列报告（三）

核心观点

- 全固态电池新技术方向确定，硫化物路线获头部企业青睐。**能量密度更高以及安全性更好的全固态电池吸引了来自各界的重点关注及大力投入：一方面主流企业加速入场，从车企到电池、材料，全产业链形成合力，新技术趋势明确；另一方面，面对全球化竞争与锂电池追求高质量发展的背景，发展固态电池具战略意义有望受到政策支持。全固态电池的核心是固态电解质材料，其中硫化物固态电解质因其室温电导率高，可加工性强等特点被认为是最满足电动车需求并可能实现商业化的固态电解质材料，因而获得了丰田、三星、宁德时代等海内外头部企业的青睐，有望成为全固态电池主流技术路线。
- 硫化物电解质价值量占比较高，硫化锂为核心原材料降本空间可观。**在不同晶体结构的硫化物电解质中，综合热安全特性、成本、工艺成熟度等因素来看，硫银锗矿型电解质 LPSCI 是硫化物全固态电池较好的技术路线选择。硫化锂是合成 LPSCI 电解质的关键原料，目前主要生产方法有机械球磨法、高温还原法、溶剂法等。这些制备工艺对温度、水分、能耗要求较高，因此受技术制约，硫化锂价格居高不下，占据硫化物固态电解质成本的近 80%，同时也是硫化物全固态电池价值链的核心所在。长期来看，硫化锂合成工艺优化将成为硫化物全固态电池降本路径上的重要一环，若硫化锂价格从当前约 480 万元/吨降至 30 万元/吨，电池 BOM 成本有望下降超 70%至 0.61 元/Wh。
- 全固态电池长期空间广阔，硫化物有望迎来发展机遇。**全固态电池作为真正意义上的革命性新技术，量产应用仍面临一系列的挑战。从主要企业的固态电池研发和量产计划来看，我们认为全固态电池有望于 2027 年实现量产，并于 2030 年起开启降本通道起点。我们预计全固态电池早期有望率先应用于消费电子、航空航天和高端电动车市场，到 2030 年在动力电池和消费电池中的渗透率分别达到 2%和 10%，对应 85.8GWh 出货量，届时硫化物将为全固态电池主要技术路线，从 0 到 1 有望孕育跨越式发展机遇。

投资建议与投资标的

- 全固态电池作为最具前景的下一代电池技术之一，获得全产业链的共同关注与合力布局，面对全球范围内的竞争态势，与锂电行业谋求高质量发展的新要求，其产业化发展具有双重战略意义，新技术方向性明确。从学术界泰斗与产业界龙头不约而同的路线选择来看，硫化物固态电池或成为率先实现量产落地的全固态电池技术路线。硫化物电解质及其关键原材料硫化锂，开发与制备均面临较大技术与工艺挑战，将成为全固态电池的价值链核心环节，长期降本空间巨大。
- 建议关注前瞻布局硫化物固态电池路线的企业：宁德时代(300750，买入)、容百科技(688005，未评级)、恩捷股份(002812，未评级)、天齐锂业(002466，未评级)、有研新材(600206，未评级)。

风险提示

- 固态电池产业化进度不及预期、技术路线革新风险、政策支持力度不及预期、下游需求不及预期、假设条件变化影响测算结果。

行业评级

看好（维持）

国家/地区

中国

行业

新能源汽车产业链行业

报告发布日期

2024 年 07 月 22 日



证券分析师

卢日鑫

021-63325888*6118

lurixin@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860515100003

李梦强

limengqiang@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860517100003

林煜

linyuy1@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860521080002

联系人

杨雨浓

yangyunong@orientsec.com.cn

朱洪羽

zhuhongyu@orientsec.com.cn

相关报告

正力新能发布半固态电池，关注固态电池在车用与低空的应用潜力 2024-04-22

固态电池进展连连，关注新技术窗口期机会 2024-04-03

半固态装车元年已至，下一代电池技术蕴藏机遇：——新技术系列报告（二） 2024-02-27

目录

全固态电池趋势明确，硫化物路线潜力值得关注	5
硫化物固态电池材料与工艺详解.....	8
硫化物电解质分类	8
硫化物电解质制备工艺及难点	9
硫化锂：电解质关键原料，合成难度大	12
硫化物固态电池价值链拆解：硫化锂为核心降本点	15
市场空间：2030 年全固态电池需求预计达 85GWh	17
硫化物固态电池相关公司	19
电池企业	19
宁德时代	19
比亚迪	20
恩力动力	20
高能时代	22
马车动力	23
材料企业	24
容百科技	24
恩捷股份	24
天齐锂业	25
上海屹锂	26
有研新材	26
投资建议	27
风险提示	28

图表目录

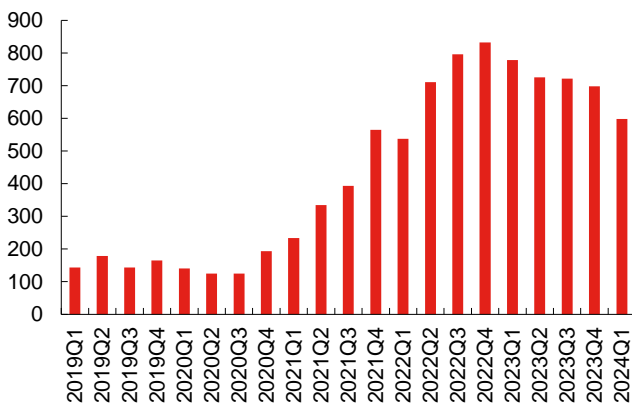
图 1：锂电池产业链上市公司资本开支（单位：亿元）	5
图 2：锂电中游产业链季度归母净利润（单位：亿元）	5
图 3：2024 年国内半固态电池装机（单位：MWh）	5
图 4：固态电解质对比	6
图 5：全球固态电池企业技术路线	7
图 6：硫化物全固态电池在过去十年中的重要工业进展	7
图 7：欧阳明高院士团队高安全高比能固态电池研发技术路线图	7
图 8：三种晶态硫化物固态电解质结构	8
图 9：固相法制备硫化物固态电解质工艺流程	9
图 10：固态电解质膜湿法制备工艺流程	11
图 11：固态电解质膜干法制备工艺流程	12
图 12：硫化锂晶体结构	12
图 13：机械球磨法工艺流程	13
图 14：高温还原法工艺流程	14
图 15：溶剂法工艺流程	14
图 16：硫化物固态电池材料成本拆分	15
图 17：普通三元电池材料成本拆分	15
图 18：硫化锂价格对硫化物固态电解质与固态电池的成本影响	15
图 19：硫化物固态电池降本路径	16
图 20：全球主要企业固态电池规划情况	17
图 21：宁德时代全固态电池技术和制造成熟度时间表	19
图 22：弗迪电池固态电池发展阶段	20
图 23：恩力动力固态电池推广路径：IoT→无人机→EV	21
图 24：恩力动力全固态电池	21
图 25：高能时代硫化锂产品规格	22
图 26：马车动力硅基全固态电芯体结构及电芯化成曲线	23
图 27：硫化物固态电解质产品矩阵	23
图 28：上海屹锂产品迭代历程	26
表 1：硫化物电解质的分类与对比	9
表 2：硫化物固态电解质原材料理化性质	10
表 3：全球固态电池出货量预测（单位：GWh）	17
表 4：湖南恩捷研发平台布局	24
表 5：湖南恩捷产品布局	25

表 6：天齐锂业研发投入	25
表 7：有研新材硫化固态电解质相关专利申请	26

全固态电池趋势明确，硫化物路线潜力值得关注

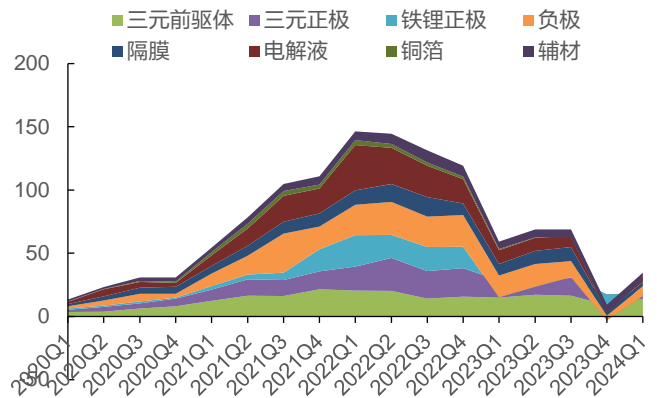
锂电产业链逐步走向复苏，新技术有望强化增长趋势。2020年以来随着新能源汽车高速增长，产业链各个环节出现供不应求情况，锂电产业链各环节产能随之大幅增长，这也导致产能过剩现象日益凸显，价格出现剧烈波动，最终导致锂电产业链进入产能过剩困境，全产业链盈利大幅恶化。而随着下游新能源车销量持续增长以及相关企业变得更为理性，企业资本开支有所收缩，产能过剩情况将开始得到缓解。而从盈利趋势看，经过前期价格竞争后，价格及盈利已经处于历史底部，随着供需格局改善叠加优质产品脱颖而出，产业链整体盈利有望在 Q2 迎来趋势性拐点。在行业走出底部趋势向上的过程中，新技术方向更容易受到关注，与行业反弹叠加，强化增长趋势。

图 1：锂电池产业链上市公司资本开支（单位：亿元）



数据来源：Wind，东方证券研究所
注：据 57 家锂电上市公司数据统计

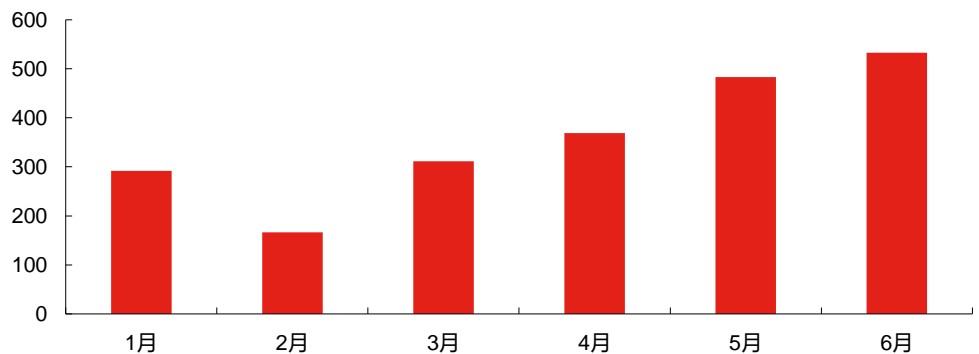
图 2：锂电中游产业链季度归母净利润（单位：亿元）



数据来源：Wind，东方证券研究所

固态电池是被产业和政策选定的锂电新技术方向。产业端，年初以来国内半固态电池产业化进展连连，以上汽、广汽为代表的车企成为推动半固态电池装车的中坚力量，2024 年上半年半固态电池实现装车量 2.15GWh；锂电产业链主流企业加速入场，电池厂或披露研发进展，或发布固态新品，材料厂布局电解质开发，积极送样配套供货。从车企到电池、材料，全产业链形成合力，大大提高了固态电池新技术趋势的确定性。政策端，一方面工信部行业新规范引导企业加强技术创新、提高产品质量，另一方面有官媒消息称国家将投入约 60 亿元用于全固态电池研发，项目会由相关部委牵头实施，六家企业或获得政府资金支持；全球化竞争下，为巩固和维系我国在锂电池领域的优势地位，发展固态电池具有很高的战略意义，有望获得国家层面的鼓励与支持。

图 3：2024 年国内半固态电池装机（单位：MWh）



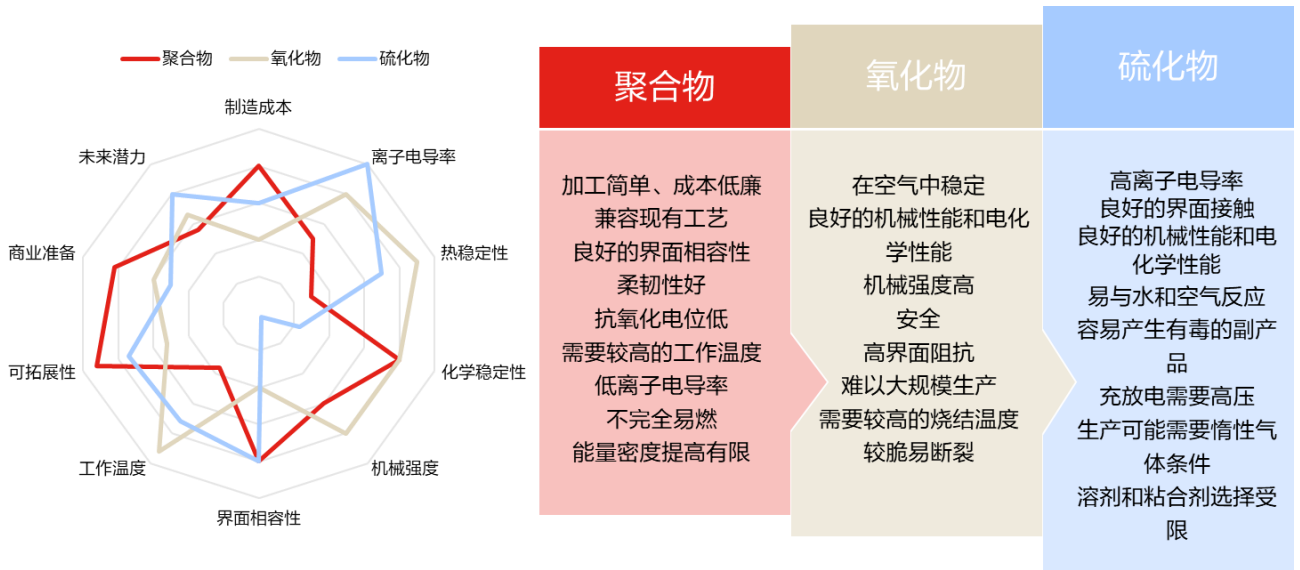
数据来源：中国动力电池产业创新联盟，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

目前，主流的固态电解质分为聚合物、氧化物、硫化物三大路线。其中，聚合物固态电解质拥有良好的成膜性，但室温下离子电导率过低，单独使用无法满足需求。氧化物固态电解质对水氧不敏感且电导率适中，过去在热稳定性与电化学窗口高、而材料价格低的优势加持下，成为国内团队的主流选择，并搭载半固态电池实现率先上车。但其与电极材料的界面接触问题成为不可忽视的短板，离子电导率也对电池快充性能构成较大限制，如上汽清陶推出的第一代半固态电池即是一款 2C 快充电池，通过在电解质中保留 5-10%的液体含量、在氧化物电解质中添加聚合物形成复合电解质，将纳米化的复合固态电解质膜涂覆在电极片上，最终达到提高离子电导率的目的。在传统液态电池开始向 6C 突破的当下，氧化物电解质的发展路径尚不明朗。

硫化物固态电解质由于其具有很好的加工性能以及极高的离子电导率，被认为是全固态锂电池中的有利竞争者。与氧化物固态电解质相比，硫化物固态电解质合成温度较低，杨氏模量低，更易加工和致密化，与正负极材料的界面接触性更好，粉末冷压成片后便能获得较高的离子电导率。不过，硫化物电解质也面临着在空气中不稳定、合成成本高的问题。由于硫化物遇空气会迅速水解生成毒性气体，因此电解质合成需在惰性气氛环境下进行，造成研发、制造、运输及储存成本高昂。

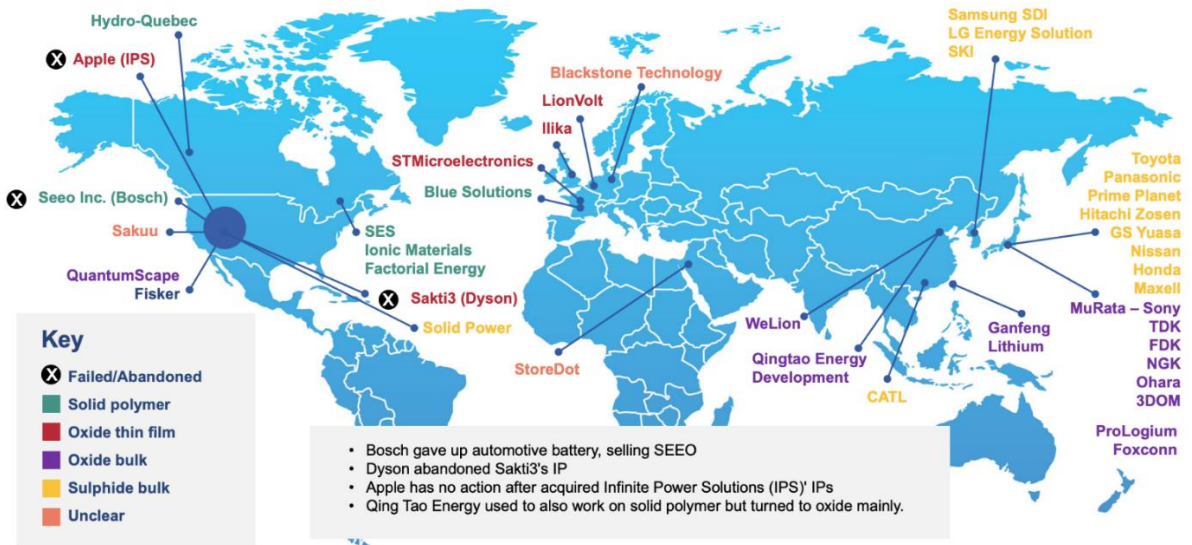
图 4：固态电解质对比



数据来源：IDTechEx，东方证券研究所

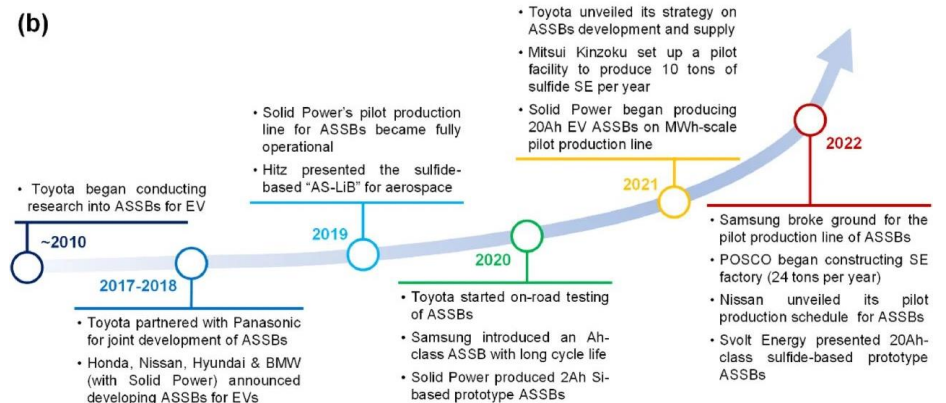
离子电导率优势突出，龙头路线向硫化物倾斜。2024 年 4 月 28 日，宁德时代首席科学家吴凯在 CIBF2024 先进电池前沿技术研讨会上首次详细公布了其全固态电池的研发进展，采用硫化物固态电解质。在此之前，硫化物路线主要为海外企业所青睐，既包括丰田、三星等日韩企业，也包括部分欧美企业，如 Solid Power 和 Svolt Energy，已成功制造了 20 Ah 硫化物全固态电池，Solid Power、Samsung 和 Nissan 已开始建设硫化物全固态电池试制线。同时，硫化物路线同样受到学界关注，四川新能源汽车创新中心背靠欧阳明高院士团队，走在全固态电池的研发前沿，也将硫化物全固态电池作为下一代电池的技术方向。

图 5：全球固态电池企业技术路线



数据来源：IDTechEx，东方证券研究所

图 6：硫化物全固态电池在过去十年中的重要工业进展



数据来源：Challenges and Opportunities of Practical Sulfide-based All-Solid-State Batteries，东方证券研究所

图 7：欧阳明高院士团队高安全高比能固态电池研发技术路线图



数据来源：四川新能源汽车创新中心，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

硫化物固态电池材料与工艺详解

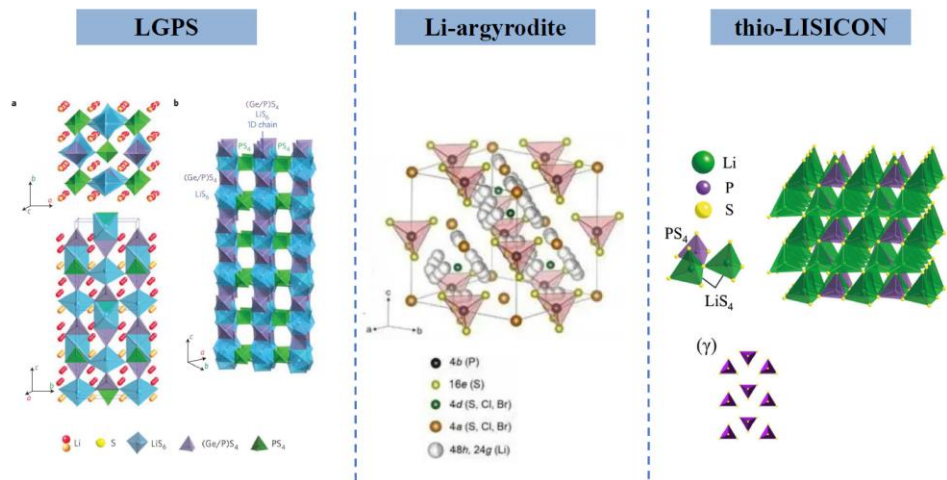
硫化物电解质分类

硫化物固态电解质通常以晶体结构划分为玻璃态、玻璃陶瓷态和晶态，其中， $\text{Li}_{3.25}\text{Ge}_{0.25}\text{P}_{0.7}\text{S}_4$ 属于 thio-LISICON 型硫化物固态电解质， $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{X}$ (X=Cl, Br, I) 属于 Li-argyrodite 型固态电解质， $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ 属于 LGPS 型固态电解质。

玻璃态硫化物固态电解质通过机械球磨或高温熔融后快速冷却的方法获得，在 XRD 表征下没有明显的峰。玻璃陶瓷类硫化物固态电解质通常为球磨后经过一步低温烧结后获得，属于玻璃态和晶态混合的亚稳相，在 XRD 表征下有少量的峰。研究表明，玻璃态固态电解质主要由正硫代磷酸盐，焦磷酸盐，偏硫代磷酸盐，次硫代磷酸盐四类微小晶体构成，其传导离子的机理尚不十分明确。

晶态的硫化物固态电解质通常经过高能球磨后高温烧结获得，也有部分研究采用高能球磨、研磨后烧结及液相法制备得到。晶态的硫化物固态电解质按晶体结构主要分为 thio-LISICON 型、Li-argyrodite 型和 LGPS 型。这三种类型的电解质都有具体的晶体结构和锂离子传输通道，其结构组成和离子迁移机理都较为明确。

图 8：三种晶态硫化物固态电解质结构



数据来源：A lithium superionic conductor, $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{X}$: A Class of Crystalline Li-Rich Solids With an Unusually High Li+ Mobility, Crystal structure and phase transitions of the lithium ionic conductor Li_3PS_4 , 东方证券研究所

LPSCI 型硫化物电解质低成本量产潜力相对较大。在晶态硫化物固态电解质中，thio-LISICON 型硫化物固态电解质的离子电导率相对较低，通常被认为较难实现商业化应用。LGPS 型电解质具有很高的离子电导率，但由于含有贵金属锗，规模化应用受到限制；有部分研究尝试用硅或者钛对锗进行替代，可以实现超越电解液的离子电导率，但其电化学稳定性差，同样难以应用。而硫银锗矿型电解质 LPSCI 具有优异的力学延展性和较高的离子导电性，同时规避了贵金属的使用从而更具成本竞争力，综合热安全特性、成本、工艺成熟度等因素来看，是硫化物全固态电池较好的技术路线选择。

表 1：硫化物电解质的分类与对比

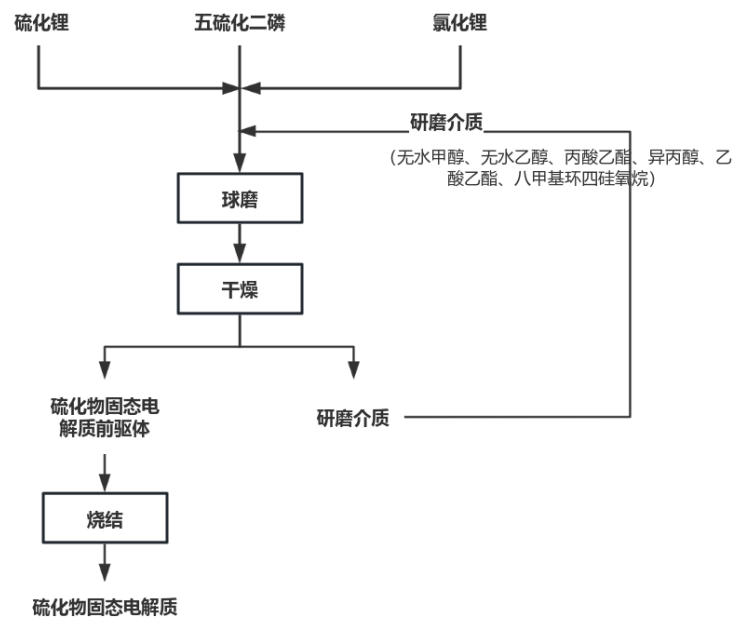
晶体结构	类型	典型材料	离子电导率	优点	缺点	市场前景
玻璃态、玻璃陶瓷	LPS 型	75:25 LPS, Li ₇ P ₃ S ₁₁	0.28mS/cm, 17mS/cm	成本低、热稳定性好、电化学窗口宽	电导率较低、空气中不稳定	中
	Thio-LISICONs 型	Li _{3.25} Ge _{0.25} P _{0.75} S ₄	2.2mS/cm	电化学稳定性好、电化学窗口宽	离子电导率较低、成本高	低
晶态	LGPS 型	Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂	12mS/cm	电导率高、与液态相当	对锂金属不稳定、成本高	中
	硫银锗矿型	Li _{5.5} PS _{4.5} Cl _{1.5}	12mS/cm	热稳定性好、成本低	电化学窗口窄、空气中不稳定	高

数据来源：《Solid State Battery Roadmap 2035+》，东方证券研究所

硫化物电解质制备工艺及难点

硫化物固态电解质可采用固相法或液相法进行合成。其中，固相法以高能球磨后热处理的方法为主，主要工艺流程包括：（1）球磨：将硫化锂、五硫化二磷、氯化锂按照一定的比例混入球磨介质中，将混料加入到球磨机中机械研磨后得到浆料；（2）干燥：将球磨后得到的浆料在保护气氛中干燥，得到硫化物固态电解质前驱体；（3）烧结：将硫化物固态电解质前驱体置于惰性气体保护下的烧结炉中，高温烧结得到硫化物固态电解质；（4）破碎：将硫化物固态电解质加入到气流粉碎机中经过气流破碎，得到所需粒度的硫化物固态电解质，气流粉碎机单独置于手套箱内，全程密闭运行。球磨过程中原材料的化学键被打断，实现原子级别的混合，因此制备的材料可实现较高的离子电导率。但是高能球磨本身设备要求高、研磨时间长、产率低，仍需要改进以适用大规模生产。

图 9：固相法制备硫化物固态电解质工艺流程



数据来源：湖南恩捷环评，东方证券研究所

液相法通过将材料放入极性有机溶剂中搅拌，之后对溶剂蒸干、热处理得到固态电解质，可减少生产成本。但由于 Li_2S 、 P_2S_5 等原料较难溶解，往往需要较长反应时间来得到沉淀；并且所得沉淀为含有溶剂分子的结晶物，在热处理过程中溶剂挥发及结晶溶剂分子的分解逸出，会在电解质颗粒内部产生多孔结构，从而降低离子电导率。

稳定性为制约硫化物固态电解质规模应用的重要瓶颈。晶态的硫化物固态电解质拥有很高的离子电导率，赶上甚至超过液态电解液，因此对于硫化物电解质来说，离子电导率不再是应用于固态电池的关键制约因素，空气稳定性和电化学稳定性才是制约其规模应用的瓶颈。如合成硫化物电解质的原材料 Li_2S 和 P_2S_5 ，均存在空气稳定性较差的问题，需要在充满惰性气体、无水无氧的环境中生产，设备要求大幅提升。此外，生产过程中将产生有毒的硫化氢，必须进行回收处理，以防止泄漏造成安全风险。

表 2：硫化物固态电解质原材料理化性质

原材料名称	分子式	外观性状	燃烧爆炸性	毒性毒理
硫化锂	Li_2S	白色至黄色晶体。具有反萤石结构，在空气中极易潮解。易溶于水，可溶于乙醇，溶于酸，不溶于碱	不燃	LD50: 240mg/kg(大鼠经口)
五硫化二磷	P_2S_5	淡黄或黄绿色晶体。有似硫化氢臭味，有毒。干燥时稳定，但是遇水水解成磷酸和硫化氢故在空气中有臭鸡蛋味道。	遇湿易燃，有害燃烧产物：硫化氢、氧化硫等	LD50: 389mg/kg(大鼠经口)
氯化锂	LiCl	白色立方结晶或粉末，易潮解，溶于水、乙醇、丙酮、氨水。	不燃	LD50: 526mg/kg(大鼠经口)

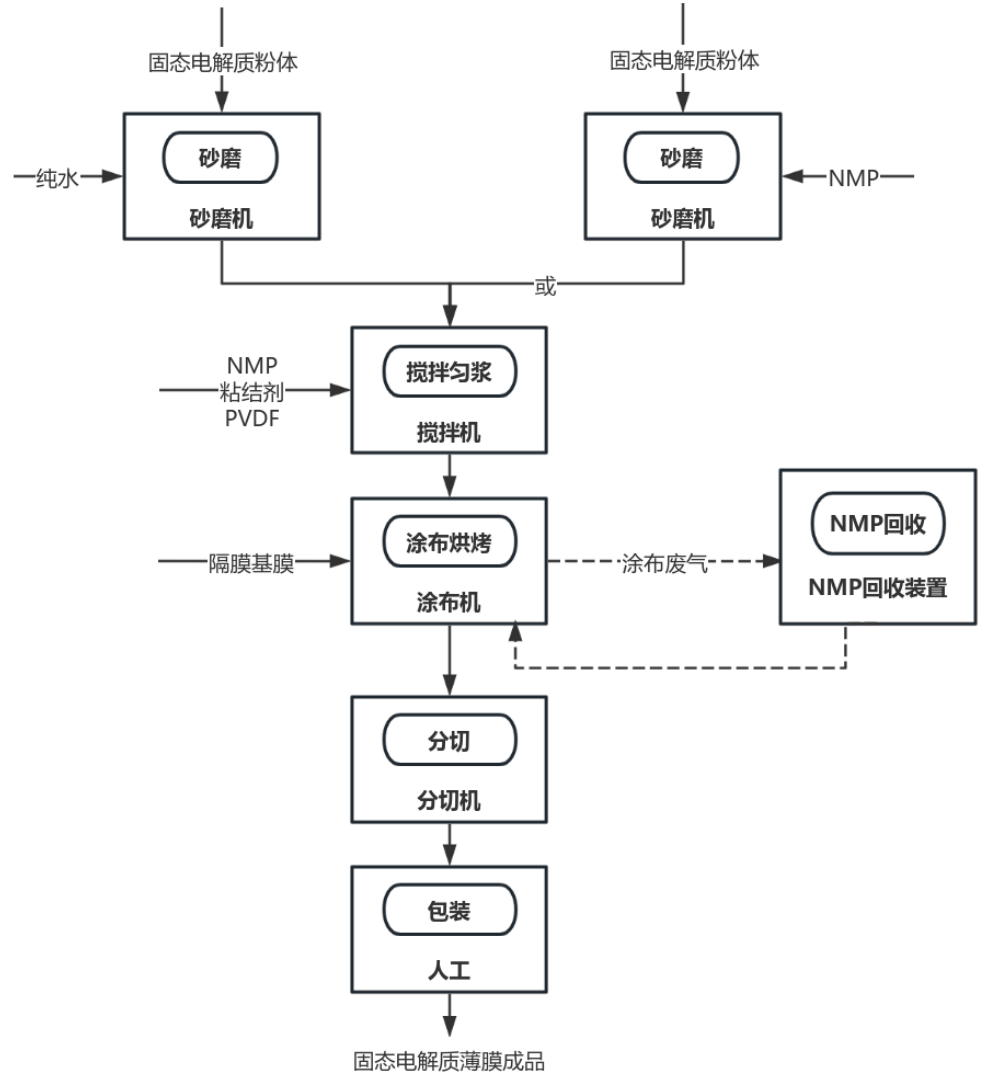
数据来源：蓝固新能源环评，东方证券研究所

固态电解质薄膜制备是提高电池能量密度的关键。固态电解质多以薄膜形态进行制备，而薄膜厚度的控制是核心，瓶颈在于如何在批量制造过程中避免产生裂纹和缺陷，最终达到一定良率的要求。受到电解质材料力学性能受限等的影响，目前业内能够实现的电解质膜厚度为 20-40 微米。若考虑到能量密度的要求，接下来还需要进一步降低。

与极片制备方法类似，硫化物电解质膜的制备方法主要分为干法和湿法两种。

湿法工艺是利用溶剂将粘结剂溶解，添加入固态电解质粉末进行匀浆混合，经过涂布烘干工序形成膜材，其厚度由浆料固含量和涂布缝隙宽度决定。对于湿法涂布，溶剂-粘合剂对和工艺参数对于硫化物电解质膜的离子电导率和可加工性至关重要。

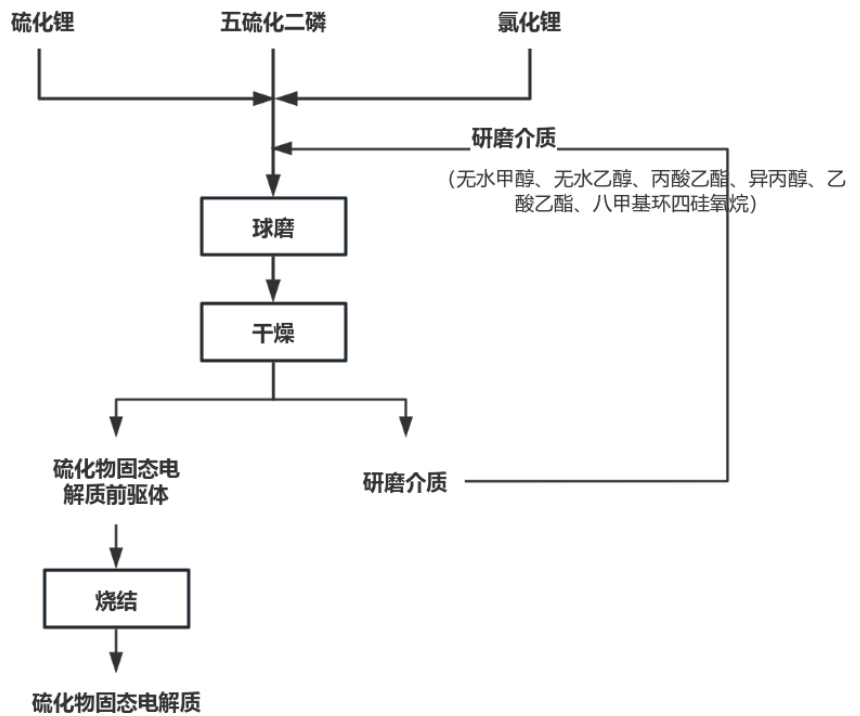
图 10：固态电解质膜湿法制备工艺流程



数据来源：蓝固新能源环评，东方证券研究所

干法工艺主要通过将电解质粉末和粘结剂进行干混和纤维化，然后通过粉体辊压或挤压成膜，膜的厚度由辊压或挤压设备的缝隙宽度决定。干法制膜可以解决溶剂残留的问题、并省去了湿法工艺后烘干的环节，因此具备提高电导率（粘结剂以纤维状态存在，方便电子和离子通过）、降低成本的双重优势，但相较湿法工艺对于设备的工作压力、精度以及均匀度也提出了更高的要求，工艺参数和放大设备有待进一步研究。

图 11：固态电解质膜干法制备工艺流程

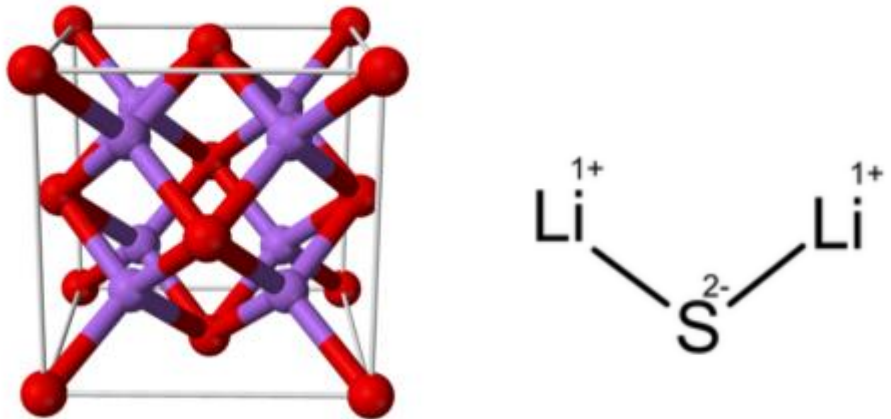


数据来源：蓝固新能源环评，东方证券研究所

硫化锂：电解质关键原料，合成难度大

硫化锂为合成硫化物固体电解质的重要原料。硫化锂是硫化物固体电解质的关键原材料之一，其纯度会直接影响硫化物固体电解质的性能。硫化锂为锂的硫化物，分子式是 Li_2S ，白色至黄色晶体，具有反 CaF_2 型晶体结构，可溶于乙醇，溶于酸，不溶于碱。

图 12：硫化锂晶体结构



数据来源：恩力动力官网，东方证券研究所

目前硫化锂的制备基本上采用下面几种方法：

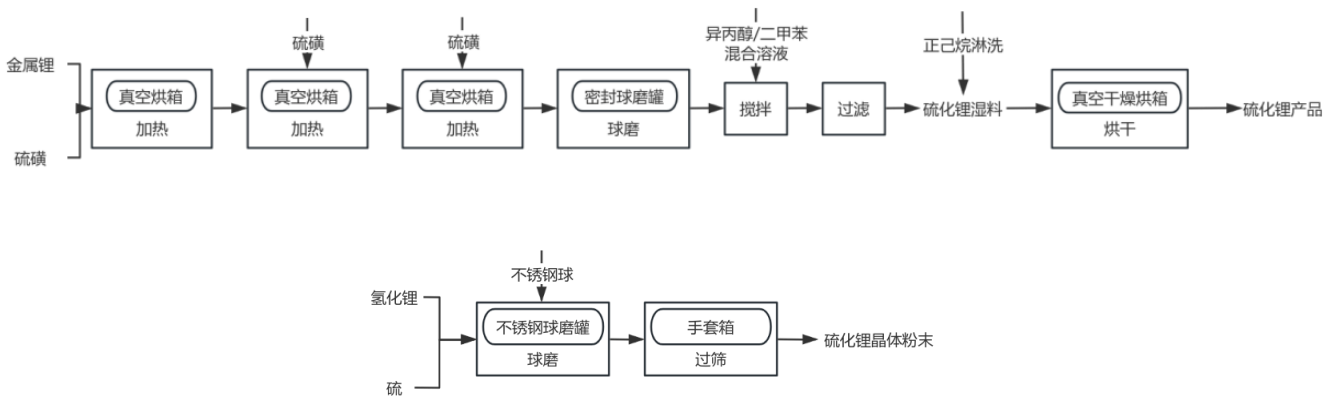
(1) 机械球磨法

机械球磨法是在惰性气氛下，将单质硫和金属锂/氯化锂按比例混合后进行机械球磨反应，最终得到硫化锂产品。

若采用金属锂作为锂源，则需要通过高温高压促使硫单质和锂单质发生化合反应，其反应方程式为 $2\text{Li}+\text{S}\rightarrow\text{Li}_2\text{S}$ 。制备过程如下：①将金属锂和硫磺按照质量比 1:0.8 加入到惰性高压容器中，将高压容器放入 $250^\circ\text{C}\sim 300^\circ\text{C}$ 真空烘箱中 2~3h，再加入第一次等量的硫磺保温 2~3h，最后再加入等量的硫磺保温 2~3h。②将高温灼烧得到的硫化锂粗产品放入密封的球磨罐中，室温下在转速为 100~500r/min 条件下球磨 12~24h。③球磨后的硫化锂加入到质量比 1:5 的异丙醇/二甲苯混合溶液中搅拌 1~2h。④将硫化锂浆料过滤，后加入一定量的正己烷淋洗，得到硫化锂湿料，将硫化锂湿料放入 205°C 真空干燥烘箱烘干 8~12h，得到硫化锂产品。该方法的优点是原料便宜且常规，制备过程简单，且不产生任何废气废液。但是这种制备硫化锂的方法成本高昂，生产过程存在高温高压，对设备的选型要求很高，而且工况不易控制，同时也为后续的处理带来了挑战，在经济和工艺上均不易实现规模化的制备。

也可采用氯化锂和单质硫球磨反应，其反应方程式为 $\text{LiH}+\text{S}\rightarrow\text{Li}_2\text{S}+\text{H}_2\uparrow$ 。其制备过程如下：①将 LiH 和 S 按照摩尔比 2:1 装入带泄气阀的不锈钢球磨罐中，再加入适量直径为 10mm 的不锈钢球，球料比 20:1 螺钉固定密封后在行星式球磨机中进行球磨 2.5 小时。②在手套箱中放出氢气，过筛 200 目，即可获得硫化锂晶体粉末。该方法同样具备工艺简单、无废液产生的优点，但由于反应放热剧烈，球磨罐容易炸裂，而且容易产生局部的高、低温，高温部生成结晶性的硫化锂、多硫化锂，而低温部生成非晶质的硫化锂和含有未反应的原料，结果得不到纯度高、结晶性好的硫化锂材料。

图 13：机械球磨法工艺流程



数据来源：马车动力专利，东方证券研究所

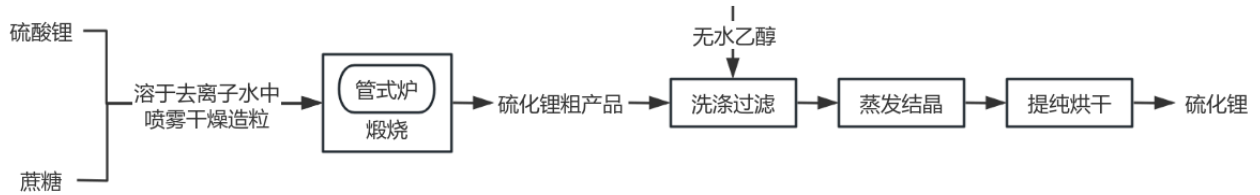
(2) 高温还原法

该方法的主要思路为将含硫锂盐和还原剂混合后高温烧制制备硫化锂，又可以称为固相烧结法。含硫锂盐通常为硫酸锂，还原剂可选蔗糖，反应方程式为 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}\rightarrow 12\text{C}+11\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{Li}_2\text{SO}_4+2\text{C}\rightarrow\text{Li}_2\text{S}+2\text{CO}_2$ 。其制备过程如下：①将硫酸锂和蔗糖按比例溶于去离子水中，然后喷雾干燥造粒；②造粒得到的粉末在管式炉中 750°C 煅烧 15h，得到硫化锂粗产品；③硫化锂粗产品用无水乙醇洗

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

涤过滤不溶的硫酸锂和碳粉，然后将滤液蒸发结晶提纯后烘干，即得到硫化锂，纯度 99.4%。该方法所采用的原材料便宜且常规，工艺流程简单，无有害气体产生，且有效利用了高温高压密闭反应的优势，避免有害溶剂泄漏。但高温高压同样增加了工况控制和设备选型的难度，并且在生产过程中会有大量的副产物 Li_2O 产生，导致 Li_2S 产品不纯，最终影响使用 Li_2S 的硫化物固态电解质的性能。

图 14：高温还原法工艺流程



数据来源：马车动力专利，东方证券研究所

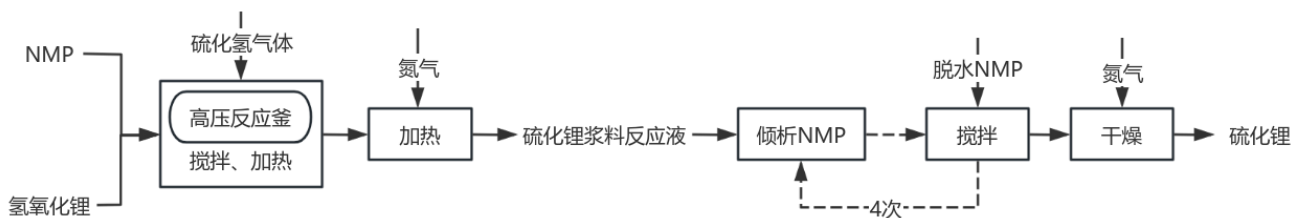
（3）溶剂法

溶剂法是将锂盐混合在有机溶剂中，同时通入硫化氢气体，在加热状态下反应后除杂得到高纯硫化锂，又可以称为液相法，其反应方程式为 $\text{LiOH} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Li}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ 。有机溶剂多选用脂肪烃、芳香烃或醚溶剂等，比如乙醇、己烷、甲苯、乙醚、四氢呋喃、氮甲基吡咯烷酮等。

其制备过程如下：①在具有搅拌桨的高压反应釜中加入 NMP 和氢氧化锂，边搅拌边升温到 130°C ，向液体中通入恒定流速的硫化氢气体。接着该反应液在氮气流下升温去除多余的硫化氢。随着升温，反应的副产物水开始蒸发排到系统外。到达 180°C 时停止升温，保持恒温，制备得到硫化锂浆料反应液。②将硫化锂浆料反应液中的 NMP 倾析后，加入脱水的 NMP 在 105°C 搅拌 1 小时，在该温度下将 NMP 倾析，重复相同的操作共计 4 次。③倾析结束后，在氮气流下在 230°C 下将硫化锂在常压下干燥 3 小时得到硫化锂。

该方法中液相反应充分完全，不易残留杂质，产品提纯容易；避免了高温的烧结过程，可减少能耗；工艺相对简单，适合大规模连续制备。但是由于使用了易燃、易爆、易挥发的有机溶剂，反应中也用到了有毒的硫化氢气体，不论是有机溶剂还是硫化氢的泄露都容易造成环境污染和人员伤亡，提高了工况的危险性，增加了设备选型和后续回收处理的难度。

图 15：溶剂法工艺流程



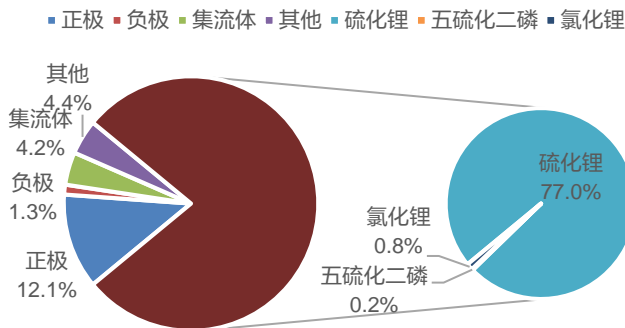
数据来源：马车动力专利，东方证券研究所

硫化物固态电池价值链拆解：硫化锂为核心降本点

硫化锂价值量突出，长期降本空间巨大。现有的生产工艺尚无法实现低成本、大规模的高品质硫化锂制备，因此当前硫化锂的市场售价较高，报价可高达 650 美元/公斤（约 480 万元/吨），产量也非常低，成为硫化物全固态电池走向商业化的重要掣肘。

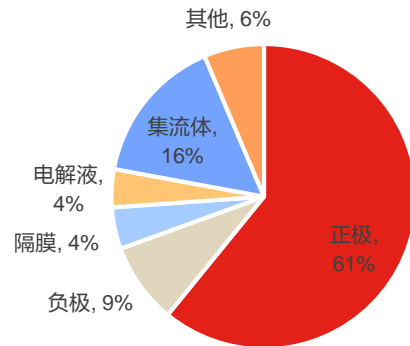
根据高能时代环评报告，其全固态锂电池研发实验室项目生产 5Ah 硫化物全固态电芯硫化锂的用量约为三元正极材料的 1/5，对应单 GWh 电池所需的硫化锂在 350 公斤以上。根据我们测算，在当前硫化锂售价高达 480 万元/吨的情况下，硫化物电解质的成本将超过 200 万元/吨，全固态电池的材料成本约为 2.2 元/Wh，单 GWh 中硫化锂价值量高达 16.8 亿元，在所有原材料成本中占比达 77%。作为参照，目前普通三元电池中碳酸锂的价值量约为 5700 万元/GWh。

图 16：硫化物固态电池材料成本拆分



数据来源：高能时代环评报告，百川盈孚，生意社，Wind，同花顺，东方证券研究所测算

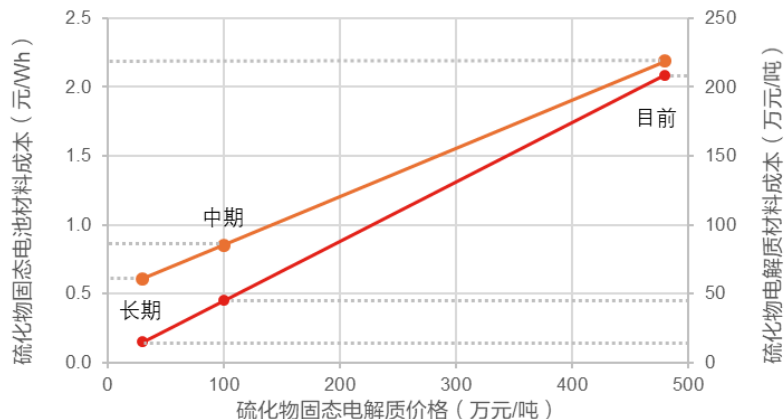
图 17：普通三元电池材料成本拆分



数据来源：百川盈孚，Wind，同花顺，东方证券研究所测算

根据欧阳明高院士年初的演讲内容，自制硫化锂较外购可实现 80%成本节降，因此我们认为若硫化物固态电池实现量产装车，硫化锂价格有较大可能降至 100 万元/吨左右，则硫化物电解质成本降低至约 45 万元/吨，电池成本降低至 0.85 元/Wh，对应单 GWh 电池硫化锂价值量约 3.5 亿元，依然为成本占比最高的电池材料。长期来看，考虑锂金属构成一定刚性成本支撑，假设规模化应用后，硫化锂的量产价格降低至 30 万元/吨，则硫化物电解质成本可降低至约 15 万元/吨，电池成本降低至 0.61 元/Wh，对应单 GWh 电池硫化锂价值量约 1.1 亿元，占比仅次于三元材料。

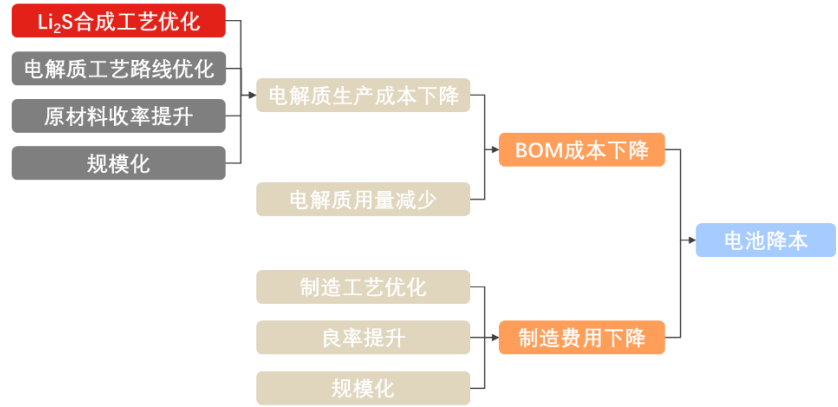
图 18：硫化锂价格对硫化物固态电解质与固态电池的成本影响



数据来源：高能时代环评报告，百川盈孚，生意社，Wind，同花顺，东方证券研究所测算

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

图 19：硫化物固态电池降本路径

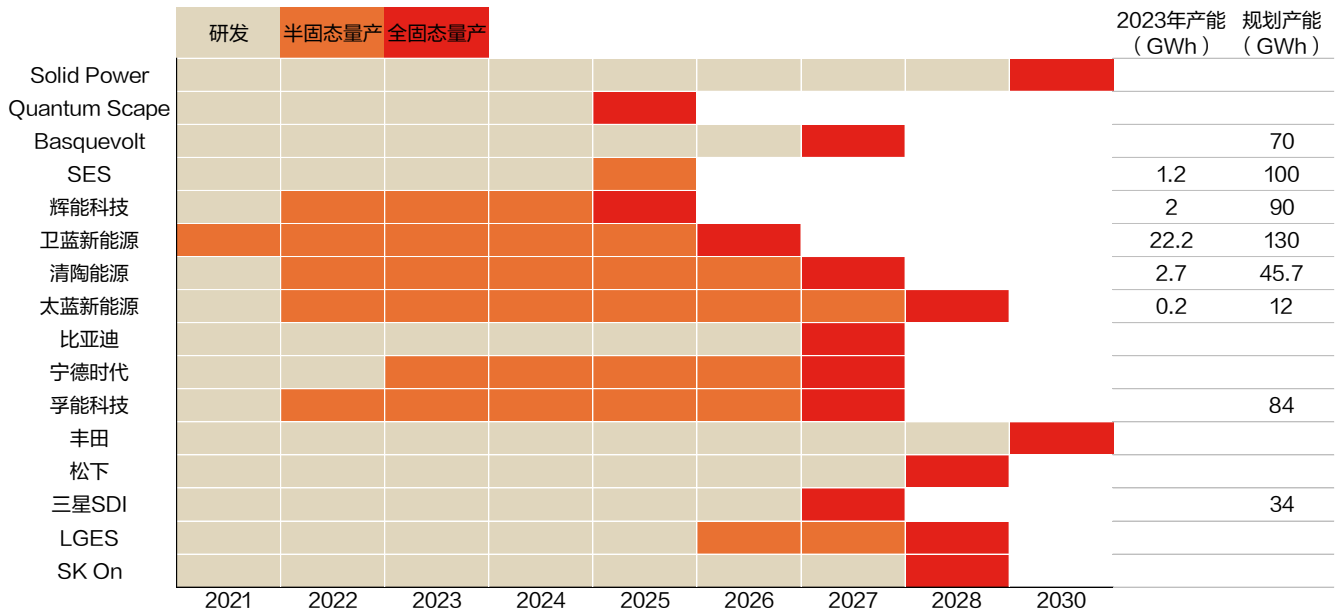


数据来源：东方证券研究所绘制

市场空间：2030 年全固态电池需求预计达 85GWh

全固态电池量产节点或于 2027 年到来。当前只有半固态电池在国内实现了装车应用，全固态电池作为真正意义上的革命性新技术，量产应用仍面临一系列的挑战。但结合近期政策层面对全固态电池研究的大力扶持、产业资本对固态电池企业大规模投资以及主要企业的固态电池研发和量产计划来看，我们预计全固态电池有望于 2027 年实现量产，电解质路线将以硫化物为主。

图 20：全球主要企业固态电池规划情况



数据来源：EV Tank，东方证券研究所

2030 年固态电池出货量有望接近 400GWh，其中全固态电池出货量达 85GWh。在全固态电池实现规模化量产之前，半固态电池的渐进式路线将率先走向商业化。由于短期内材料与成本依然较高，我们预计车规领域一些高端或特定需求的电动车型会接受一定溢价，搭载（半）固态电池，到 2030 年动力电池中固态电池渗透率达到 10%，其中主要为半固态电池；而在消费电子、航空航天等领域，下游市场对价格的敏感度较低，能够包容较高的新技术溢价，因此我们预计固态电池的渗透率提升将快于车用市场，2030 年固态电池渗透率达到 20%，其中全固态电池渗透率为 10%。因此，我们预计 2030 年全球固态电池出货量将达到 396GWh，其中全固态电池出货量超 85GWh。

表 3：全球固态电池出货量预测（单位：GWh）

	2023	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
动力电池出货量	865	1202	1574	2078	2521	2943	3361	3738
固态电池渗透率	0.1%	0.7%	1.5%	2.5%	4.1%	6.5%	8.0%	10.0%
固态电池出货量	0.8	8.5	23.6	52.0	103.4	191.3	268.9	373.8
yoy		963%	178%	120%	99%	85%	41%	39%
其中：半固态	0.8	8.5	23.6	52.0	100.8	176.6	235.3	299.1
全固态					2.5	14.7	33.6	74.8
3C+小动力	113	110	110	110	110	110	110	110

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

固态电池渗透率	0.5%	1.0%	2.0%	4.0%	10.0%	15.0%	18.0%	20.0%
固态电池出货量	0.6	1.1	2.2	4.4	7.7	11.0	16.5	22.0
yoy		94%	100%	100%	75%	43%	50%	33%
其中：半固态	0.6	1.1	2.2	4.4	6.6	8.8	11.0	11.0
全固态					1.1	2.2	5.5	11.0
固态电池出货量预测	1.4	9.6	25.8	56.4	111.1	202.3	285.4	395.8
yoy		603%	169%	118%	97%	82%	41%	39%
其中：半固态	1.4	9.6	25.8	56.4	107.4	185.4	246.3	310.1
全固态					3.6	16.9	39.1	85.8

数据来源：EV Tank，东方证券研究所测算

2030年硫化物全固态电池市场空间或超700亿元，远期空间广阔。我们认为全固态电池将以硫化物为主要技术路线，假设2030年实现中期降本愿景，即硫化物全固态电池BOM成本降至0.85元/Wh，则对应超700亿元市场空间。并且随着技术进步和规模效应显现，我们认为2030年同时有望成为全固态电池开启降本通道的起点，随着成本下降市场竞争力增强，全固态电池将打开更广阔的应用市场，渗透率加速提升。

硫化物固态电池相关公司

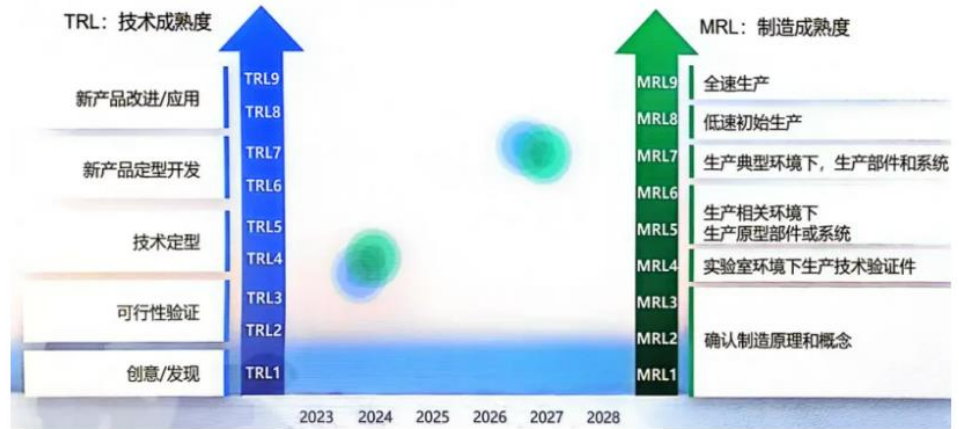
从需求端向中上游推导，在硫化物固态电解质技术、材料、制备工艺等有所布局的企业，既包括了孵化自科研院所的初创团队，也有较多锂电产业链主流企业，除电池厂之外，也不乏正极、电解液、隔膜等材料企业的身影。

电池企业

宁德时代

2027 年可实现全固态电池小批量生产。宁德时代首席科学家吴凯在 CIBF2024 先进电池前沿技术研讨会上称，如果用技术和制造成熟度作为评价体系（以 1-9 打分），宁德时代的全国态电池研发目前处于 4 分的水平。吴凯称，宁德时代的目标是到 2027 年达到 7-8 分的水平，意味着届时可以小批量生产全固态电池。未来 3 年，全固态电池技术和制造或将进入成熟期。

图 21：宁德时代全固态电池技术和制造成熟度时间表



数据来源：CIBF2024，东方证券研究所

宁德时代认为硫化物有望率先突破量产，四大挑战需逐个攻破。吴凯博士表示，全固态电池要想最大限度提高能量密度，必须基于金属锂负极搭配固态电解质，在评估三种电解质的性能优劣及其与锂金属的兼容性后，选择了硫化物路线，但需要解决四大核心难题：包括固固界面，空气稳定性&成本，制造工艺，以及锂金属本身的问题。

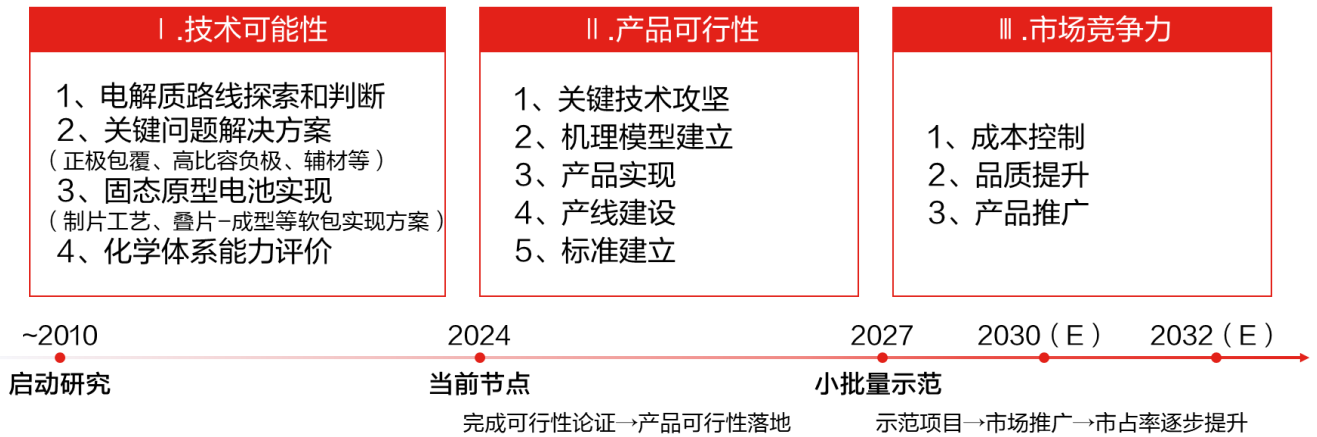
在正极材料方面，宁德时代研发了单晶正极多层级全包覆技术，增强界面结构的稳定性，并结合多功能复合粘接剂构建高效的极片导电网络。针对硫化物电解质的环境稳定性问题，宁德时代采用了可逆双亲性分子疏水层包覆设计和新型合成路线，这些措施显著提高了电解质的空气稳定性并降低了成本。面对锂金属负极存在的问题，公司通过相变自填充技术和亲锂性界面层设计，抑制了锂枝晶的生长，提升了电池的安全性和性能。宁德时代在固态电池的制造工艺上也取得了重要突破，打通了干/湿法极片制备和电芯一体化成型工艺，并建立了 10Ah 级全固态电池验证平台。

比亚迪

专利布局领先，电解质或为硫化物-卤化物复合电解质。比亚迪(002594，未评级)早在 2016 年即开始了固态电池领域的专利布局，在专利数量上处于国内领先地位。从技术路线选择上看，弗迪电池极有可能选用了高镍三元（单晶）+硅基负极（低膨胀）+硫化物-卤化物复合电解质的全固态电池材料体系。电芯容量可以做到 60Ah 以上，质量比能量密度达到 400Wh/Kg，体积比能量密度达到 800Wh/L，针刺或热箱不起火不爆炸，同时在考虑热管理、安全、快充等性能要求下的电池系统及整车高效集成技术，电池包能量密度超过 280Wh/Kg。

计划 2027 年于高端车型推广全固态电池。量产时间表方面，弗迪电池计划 2027 年小批量生产，搭载于比亚迪高端车型，规模约 1000 台。到 2030 年为市场推广期，预计有 4 万辆车装载全固态电池。到 2033 年，预计有 12 万辆车规模化装机，市场占有率逐渐提升。

图 22：弗迪电池固态电池发展阶段

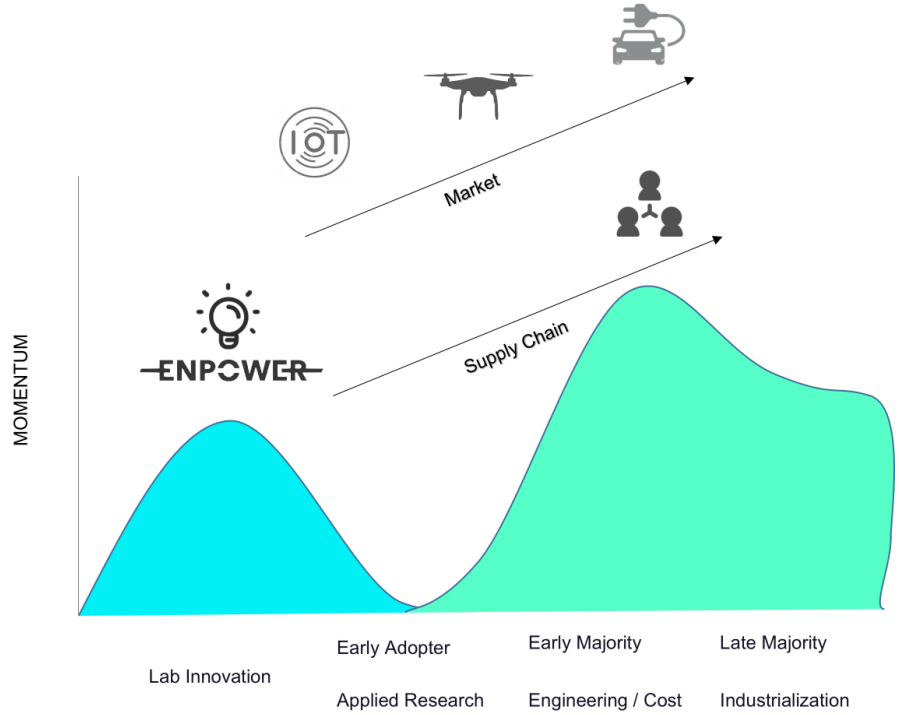


数据来源：弗迪电池，东方证券研究所

恩力动力

承接国际先进技术，专注新一代电池及其核心材料研发和产业化。恩力动力创始人戴翔博士师从“锂电池之父” John Goodenough 教授，联合创始人兼 CTO 车勇则在东京工业大学结识了 LGPS 型硫化物固态电解质的发明人、世界领先的全固态电池科学家菅野了次。以二人分别在美国和日本新能源材料和电池产业的长年深耕为基础，恩力动力自 2017 年起便致力于硫化物全固态电池研发，包括全固态电解质和锂金属负极等核心技术的研发工作，在中国、美国、日本三地设有研发和制造中心。通过推进对固态电池的产业化及应用，恩力动力在锂金属电池，硫化物固态电解质，全固态电池设备和工艺等方面，从底层原理，工艺设备到整包设计均积累了丰富的经验。公司过去几年在半固态电池方面已得到客户认证，产品已经进入量产阶段，应用在高端飞行器、潜水器、无人机等设备上。

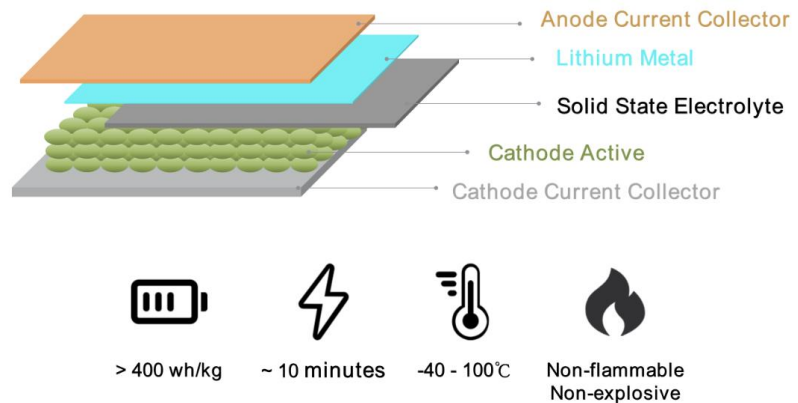
图 23：恩力动力固态电池推广路径：IoT→无人机→EV



数据来源：恩力动力官网，东方证券研究所

恩力动力与软银紧密合作，在固态电池技术研发上进展不断。恩力动力及软银联合开发团队一直致力于研究和开发具有高能量密度的新一代电池，旨在为平流层的高空平台站（HAPS）、无人机等领域提供持久而轻便的电信服务电源解决方案。2023年8月，恩力动力与软银公司联合发布了1-10Ah的全固态锂金属电芯，采用硫化物电解质和锂金属负极，其能量密度达到300Wh/kg。今年7月3日，软银宣布联合开发团队成功开发出能量密度高达350Wh/kg的全固态电池。团队将持续深化全固态电池技术的研发，力求在2024财年内将电池的能量密度提升至400Wh/kg，并在2026财年内实现电池寿命超过1000次循环的目标。这将为航空、物联网、汽车等多个领域提供更高效、更稳定的电源解决方案。

图 24：恩力动力全固态电池



数据来源：恩力动力官网，东方证券研究所

多方合作，共推固态电池的研究、开发与量产。在学术界，恩力动力与东京工业大学菅野了次长期合作，研发硫化物固态电解质材料，以及使用硫化物固态电解质材料的全固态电池。在产业界，恩力动力不仅与软银合作，已在半固态高比能锂金属电池领域取得了一系列突破性的技术成果，近日还与上游企业璞泰来达成围绕固态电池技术的战略合作，璞泰来将提供先进的相关材料和设备技术支持，恩力动力将负责具体的电芯开发工作。

高能时代

深耕研发创新，坐拥国内最大的硫化物全固态电池实验室。高能时代成立于 2021 年，专注于硫化物全固态锂电池的研发和制造。公司总部位于中国珠海，先后设立日本横滨、中国珠海、深圳三大研发基地，总面积超过 4000 平方米，汇聚了来自中日两国的顶尖专家团队，先后与东京大学、东京工业大学、吉林大学达成战略合作，共同推动相关科研成果的试验、示范、应用，加速全固态电池研发关键技术创新。

全固态锂电池研发进展顺利，预计年内实现小电芯量产。电芯研发方面，基于材料创新改性的技术优势，高能时代完成了 20mAh~20Ah 多种规格全固态电芯开发，Ah 级硫化物全固态电芯（满足 3C 产品电容量规格）取得突破进展，1.46Ah 全固态电芯 300 圈循环保持率 84%，5Ah 全固态电芯循环近 200 圈，性能仍维持 90% 以上。同时高能时代正在搭建中试线，预计 2024 年底可以实现 5Ah 以内小电芯量产。

电解质材料方面，通过材料改性突破，在成本可控的前提下，高能时代已具备吨级硫化锂原材料量产能力，且物相 XRD 检测结果显示材料纯度高；硫化物电解质（LiPSCI）离子电导率性能检测结果足以对标世界顶尖水平。

产业化方面，高能时代自研攻关核心界面改善等工艺技术，包含创新型正极包裹技术（解决固固界面反应问题）、特殊粘接剂和电池弹性化设计、干法电极技术应用、超薄电解质成型技术等。基于成熟材料制备及电芯工艺，高能时代目前已完成硫化物全固态电池自动化产线设计，专用设备也正在导入中。

图 25：高能时代硫化锂产品规格



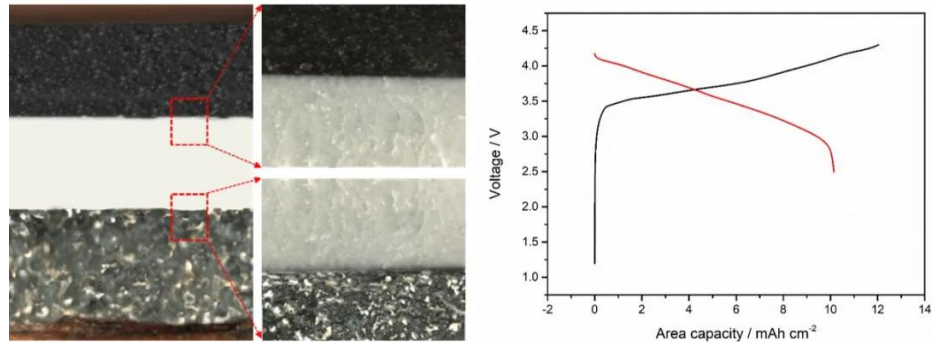
纯度高	>99.9%
晶型好	XRD 图谱单一纯相
颗粒小	D50<200nm, D90<1μm

数据来源：高能时代官网，东方证券研究所

马车动力

马车动力硫化物全固态电池研产坚持稳健的技术路线。2022 年，马车动力先后发布 Ah 级与 20 Ah 级硫化物全固态电芯样品，为第一代全固态电池，采用高镍三元+碳系负极，在达到常规锂离子电池能量密度前提下，以高安全性和优异的高温性能为特色，满足特定市场需求；2023 年推出 25Ah 硫化物全固态电芯样品、硅基高能量密度全固态电池样品，标志着第二代全固态电芯体系开发和软包电芯试制的完成，第二代产品采用硅基、锂金属等高能量密度负极，在保持高安全性优势的基础上，实现更高的能量密度，将产品市场开拓至特种设备、新能源汽车等领域。

图 26：马车动力硅基全固态电芯体结构及电芯化成曲线



数据来源：马车动力，东方证券研究所

核心电解质材料自研自产，具备吨级量产能力。马车动力自主开发了一套高效稳定的电解质生产工艺技术路线，目前已实现批次稳定生产大粒径，中粒径，小粒径，超小粒径四类产品，稳定产能超过 10kg/日，初步具备吨级量产能力，不仅可以满足公司自身研发需求，并且可对外供货满足不同客户的使用需求。其中纳米级超小粒径产品，离子电导率大于 4mS/cm。2023 年底，马车动力再扩全固态电池电解质产能，启动了硫化物固态电解质中试线建设，预计 2024 年实现超 10 吨级年生产能力，标志着公司在全国范围内率先开启全固态电池硫化物电解质材料的规模化生产。

图 27：硫化物固态电解质产品矩阵

产品规格 Product Specification	产品编号 Serial Number	离子电导率 Ionic Conductivity	粒径分布 Distribution
大粒径 Large Particle	MCP-SM-M-P01	>7 mS/cm (28°C)	2.6-5.8 μm (53.59%)
中粒径 Medium Particle	MCP-SM-M-P02	>5 mS/cm (28°C)	1.3-3.9 μm (81.14%)
小粒径 Small Particle	MCP-SM-M-P03	>4 mS/cm (28°C)	0-1.2 μm (89.74%)
超小粒径 Super Small Particle	MCP-SM-M-P04	>3 mS/cm (28°C)	0-0.6 μm (83.41%)
大粒径-高电导率 Large Particle - High conductivity	MCP-SM-H-P01	>10 mS/cm (28°C)	4.6-11.8 μm (72.88%)
中粒径-高电导率 Medium Particle - High conductivity	MCP-SM-H-P02	>7 mS/cm (28°C)	1.2-3.6 μm (47.66%)
小粒径-高电导率 Small Particle - High conductivity	MCP-SM-H-P03	>5 mS/cm (28°C)	0.8-1.6 μm (65.6%)
超小粒径-高电导率 Super Small Particle - High conductivity	MCP-SM-H-P04	>4 mS/cm (28°C)	0-0.6 μm (84.14%)

数据来源：马车动力，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

材料企业

容百科技

超高镍三元批量供货半固态电池客户。2022年4月，公司与卫蓝新能源签署战略合作协议，明确在全/半固态电池和材料领域的深度合作。2023年，容百科技成功开发了多款适用于硫化物全固态电池的高镍/超高镍三元正极材料，其中半固态电池正极材料配套的电池产品已应用于终端客户1000公里超长续航车型，全固态电池的三元正极材料具备容量高、界面稳定、循环寿命长等特点，获得行业头部客户充分认可。目前公司半固态电池正极材料已实现批量稳定出货，一季度9系固态电池正极材料出货近百吨，与宁德时代、卫蓝新能源等国内外40余家电池及整车企业建立了合作关系。同时，公司通过正极材料表面快离子导体构筑技术，显著改善了正极材料与电解质材料的界面兼容性，突破了全固态电池中界面阻抗高、界面副反应强、只能使用单晶正极材料等一系列问题。此外，容百科技研发的高电压镍锰二元材料、富锂锰基正极材料性能亦行业领先，未来有望为固态电池提供更高效、更安全的能源解决方案。

推进硫化物电解质量产，具高纯硫化锂制备技术。公司拥有湿法、干电极制备固态电解质膜技术储备，已成功开发多种固态电解质材料，硫化物系固态电解质计划今年实现中试，明年进行试生产，固态电解质与固态电解质膜已与海外重点客户建立合作开发关系，并获得客户好评。同时，国家知识产权局公告显示，公司一项申请中专利涉及硫化锂制备方法，通过添加有机硫源，促进碳源与硫酸锂的反应，减少杂质 Li_2O 的产生，提高 Li_2S 的纯度。

恩捷股份

以湖南恩捷为主体布局硫化物固态电解质及相关核心材料。从硫化物电解质性能特点而言，对比氧化物电解质柔韧性更好，热膨胀系数更低，更适合被制备成膜形态，因此隔膜企业在硫化物电解质领域具备一定工艺优势。公司作为隔膜行业龙头，于2021年底成立湖南恩捷前沿新材料科技有限公司，与中南大学等国内外领先的高校及科研机构展开深度合作，突破了包括全固态电池核心原材料高性能硫化物固态电极质及其关键原材料硫化锂的低成本规模化验证与制造技术。目前湖南恩捷已经具备全固态电解质吨级量产能力，且已与国内外重要下游厂商建立广泛交流，目前处于样品验证阶段，预计今年9月份完成百吨级硫化物电解质材料产线的调试和正常出料。

表 4：湖南恩捷研发平台布局

研发平台	技术能力
固态电解质制备平台	<ul style="list-style-type: none"> · 公斤级硫化锂制备 · 公斤级硫化物电解质制备 · 硫化物电解质微纳化处理
新型材料及原型电池验证平台	<ul style="list-style-type: none"> · 新型正极及材料包覆技术 · 新型硫卤化物电解质开发 · 功能性粘结剂开发 · 高容量、高稳定负极开发
全固态软包电池验证平台	<ul style="list-style-type: none"> · 正负极极片湿法涂覆、干法成膜 · 超薄硫化物电解质膜制备 · 高负载电极结构设计 · 固态电池内串技术 · 电芯压制、成型技术

数据来源：先进电池材料，东方证券研究所

硫化锂、电解质、电解质膜三大产品已初步形成销售。湖南恩捷硫化锂小试产品纯度可达 99.7%，粒度可细化至 1-3 微米，拥有百吨级硫化锂中试生产线并已实现调试出料。在硫化锂自产的情况下，硫化物电解质成本具备优势，电导率最高可达到 10 mS/cm，基本满足头部电池企业的需求，正从克级放大到公斤级生产中，预计 7 月左右实现超小粒径产品公斤级出料。电解质膜方面，公司积极推进卷对卷湿法电解质膜小试产线建设，生产 60×45mm~100×80mm 的电解质膜片材，压实厚度 50 μm，电导率 1mS/cm 以上。

表 5：湖南恩捷产品布局

产品品类	产品特点
硫化锂 Li ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> · 高纯度（>99.7%） · 白度 > 80，低杂质含量 · 粒度可控（D50 可细化至 1~3 μm） · 结晶度好，无明显杂质峰
固态电解质 LPSC	<ul style="list-style-type: none"> · 高纯度（>99%） · 高电导率（>10 mS/cm） · 低水分（<150ppm） · 粒度可控（小粒径产品 D50 可细化至 3 μm，亚微米超小粒径产品工艺定型） · 结晶度好，无明显杂质峰
固态电解质膜	<ul style="list-style-type: none"> · 高电导率（>1 mS/cm） · 超薄（<50 μm，400MPa 压实后），低孔隙（孔隙率 < 8%） · 尺寸可定制（典型片材 60mm×45mm，最大 100mm×80mm） · 柔韧性好，可 180° 弯曲折叠

数据来源：先进电池材料，东方证券研究所

天齐锂业

依托锂资源和锂加工产能优势，推进硫化锂产业化。公司掌握全球范围内优质锂矿资源，同时也是全球领先的锂化工产品生产商，与多家锂电材料、锂电池制造企业建立长期战略合作关系，在锂电产业链中占据重要的一席之地。在硫化物电解质关键原材料方面，公司目前在四川射洪基地具备年产 4500 吨氯化锂产能，并已完成硫化锂产品公斤级示范线搭建和调试，实现电池级硫化锂产品的稳定制备并完成多批次的客户打样工作，目标客户对该产品给予了较高的评价。目前硫化锂产品已实现小批量对外销售，并且在技术路线和成本上具备较强竞争力。

表 6：天齐锂业研发投入

研发项目名称	项目目的	项目进展	拟达到的目的	预计对公司未来发展的影响
硫化锂制备扩试	在已完成小试的基础上进行 Li ₂ S 扩大试验及示范线建设形成单批次公斤级的硫基锂材料制备能力。	已完成项目结题，产品获得核心客户认可	<ol style="list-style-type: none"> 1. 搭建公斤级示范线； 2. 硫化锂产品纯度达到 99.9% 以上； 3. 产品综合性能获核心客户认可。 	硫化锂作为硫系固态电解质及锂硫电池正极的关键原材料未来市场应用潜力巨大，本项目有利于公司提前布局下一代锂电池核心原材料，拓展新赛道，提高市场竞争力。
硫化锂产业化工艺包	通过本项目完成硫化锂产业化设备、工艺开发，形成具有技术先进性、落地转化及时性的工艺数据包。	实施中	<ol style="list-style-type: none"> 1. 硫化锂产业化难题； 2. 硫化锂产品质量不稳定的问题； 3. 硫化锂生产成本高的问题。 	公司布局下一代高比能全固态电池的切入点和关键里程碑，本项目的实施将有利于解决全固态电池关键原材料卡脖子的难题，助推全固态电池产业链的发展。

数据来源：天齐锂业 2023 年度报告，东方证券研究所

上海屹锂

上海屹锂科技孵化自上海交大，专注研究硫化物全固态电池核心技术。上海屹锂科技成立于2021年，综合关键原材料供应商及设备制造商能力，自主设计研发了产线设备，并对硫化物固体电解质材料的成分与合成工艺进行调控。目前电解质产品已实现50 kg/周的产能，室温离子电导率16 mS/cm，为制备高性能硫化物全固态锂电池奠定了重要基础。

硫化物固态电解质产能达2.5吨。2022年，屹锂科技在上海临港新片区建成硫化物全固态电池的研发及中试基地，启动了中试基地一期100MWh/年产能建设，同年2Ah硫化物固态电池产品研发成功；2023年，完成5Ah硫化物全固态电芯制备开发，自研全固态电解质离子电导率突破17mS/cm，电解质产品产能达50kg/周，以国内TOP2动力电池厂商为主要客户已可实现吨级出货。

图 28：上海屹锂产品迭代历程



数据来源：上海屹锂官网，东方证券研究所

有研新材

国内靶材龙头，具备硫化锂制备能力。有研新材主要从事稀土材料、微光电子用薄膜材料、生物医用材料、稀有金属及贵金属、红外光学及光电材料等新材料的研发与生产。公司对于核心技术持续高投入，在主业各细分领域保持领先地位，同时积极开展“0-1”技术新突破，在动力电池用固态电解质材料方面取得技术突破，公司固态电解质用高纯硫化锂项目处于持续研发阶段，已具备在-45℃干燥间环境中制备30 μm硫化物电解质膜的能力，可实现产品小批量稳定制备。

表 7：有研新材硫化固态电解质相关专利申请

申请号	专利名称
CN202211516347	固态电解质复合材料及其应用与锂电池
CN202211708216	一种硅负极活性物质及其制备方法和在全固态电池中的应用
CN202310413938	一种固态电解质用硫化锂粉体及其制备方法
CN202311740704	一种固态电解质材料、制备方法、电解质层和锂离子电池

数据来源：国家知识产权局，东方证券研究所

投资建议

全固态电池作为最具前景的下一代电池技术之一，获得全产业链的共同关注与合力布局，面对全球范围内的竞争态势，与锂电行业谋求高质量发展的新要求，其产业化发展具有双重战略意义，新技术方向性明确。从学术界泰斗与产业界龙头不约而同的路线选择来看，硫化物固态电池或成为率先实现量产落地的全固态电池技术路线。硫化物电解质及其关键原材料硫化锂，开发与制备均面临较大技术与工艺挑战，将成为全固态电池的价值链核心环节，长期降本空间巨大。建议关注前瞻布局硫化物固态电池路线的企业：宁德时代(300750, 买入)、容百科技(688005, 未评级)、恩捷股份(002812, 未评级)、天齐锂业(002466, 未评级)、有研新材(600206, 未评级)。

风险提示

固态电池产业化进度不及预期：全固态电池目前仍然面临着尚未完全解决的离子电导率问题、固固界面问题和循环性能问题等，现阶段成本高昂也阻碍其走向大规模应用，产业化时间节点存在较大不确定性。

技术路线革新风险：动力电池主流技术路线及其迭代方向可能发生变化，如果出现更具应用潜力的技术方向，固态电池的研发及应用均会受到影响。

政策支持力度不及预期：固态电池在技术推广初期需要政策的方向性指引与支持，若政策支持力度与落地程度不及预期，会影响固态电池产业化进度。

下游需求不及预期：固态电池能否规模应用最终取决于下游需求，从推广难度来看，消费电子、飞行器等市场有望率先接受新技术，但从需求量来看，车用市场仍将占据主要部分，若新能源车尤其是高端新能源车销量不及预期，将影响固态电池推广进程。

假设条件变化影响测算结果：文中测算基于设定的前提假设基础之上，存在假设条件发生变化导致结果产生偏差的风险。

分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内行业或公司的涨跌幅相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅为基准（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数）；

公司投资评级的量化标准

- 买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；
- 增持：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15%；
- 中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
- 减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

行业投资评级的量化标准：

- 看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；
- 中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
- 看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

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，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。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投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

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，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

电话：021-63325888

传真：021-63326786

网址：www.dfzq.com.cn

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。