

六氟历史经验映射下的硫化锂降本路径与投资机会

——新技术系列报告（四）

核心观点

- 硫化物凭借理论性能优势成为全固态电池主流路线，成本高企既是挑战也是机会。**在产业链多方合力推进下，固态电池产业化近期取得长足进展，技术路线趋于收敛，硫化物路线凭借理论性能优势占据上风。而全固态电池要想实现规模化应用，成本仍是主要制约因素，离“固液平价”的终极目标距离尚远。但也正因如此，当材料合成路径突破、设备进入加速迭代、工艺 know-how 完成积累三重拐点叠加时，成本曲线有望开启陡峭下行阶段。所以从长远视角审视，现阶段的高成本也意味着降本周期中蕴含的空间与红利。当边际成本下降曲线与市场需求增长曲线交汇时，具备技术与产能护城河的企业将迎来非线性增长机遇。
- 六氟磷酸锂与硫化锂具有共性，其产业化历程及投资逻辑演绎具有重要参考价值。**从“液态电池-电解液-六氟磷酸锂”和“固态电池-固态电解质-硫化锂”的产业链对比来看，六氟磷酸锂和硫化锂地位共通，且在产业化初期均面临技术难度大、国产能力弱、成本高的挑战。复盘六氟磷酸锂的产业发展历史，先后经历国产化-规模化-新技术三个降本阶段，长期视角下从产业化初期到成熟阶段的折旧成本降本空间高达 95%。从投资视角来看，六氟磷酸锂两轮周期中分别走出了多氟多和天赐材料两代龙头，投资主线也跟随降本驱动因素发生切换，第二轮周期中新工艺带来的成本优势，相较于第一轮周期中的产能规模优势，展现出更强的阿尔法属性。
- 硫化锂降本或可移植六氟磷酸锂的历史经验。**硫化锂在硫化物固态电池材料成本中的占比超过 70%，长期来看将成为硫化物全固态电池降本路径上的重要一环。电池级硫化锂材料纯度要求高，量产难度大，工艺路线尚存分歧，但已有企业试图通过超前产能建设抢占先机，国内领先企业 25 年处于吨级到百吨级产线建设阶段，海外出光兴产计划 2027 年实现千吨级量产规模领先。而参考六氟磷酸锂的国产化历程，装置放大带来的规模效应将成为硫化锂降本的首要驱动因素，生产规模率先做到国际先进水平的企业，有望成为初代国产龙头。跨越过千吨门槛后，与六氟磷酸锂类似，工艺路线的选择可能导致硫化锂成本的分化，更具成本竞争力的企业有望脱颖而出。而周期波动中，需求放量叠加供需阶段性偏紧导致价格上涨，可能造就量价齐升的增长机会。

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，方向性与趋势性明确。材料成本高企是当前固态电池产业化面临的核心难题之一。在 2027 年量产装车的目标指引下，2025-2026 年或为战略配置窗口期。
- 硫化锂作为固态电解质关键原材料，技术壁垒高、价值占比大，参考六氟磷酸锂国产突破→成本下降→供需波动的发展路径，在国内实现量产初期以及阶段性供给短缺的阶段，有望孕育较大投资机会。材料端建议关注具备高纯硫化锂合成技术，有望实现量产的材料企业：有研新材(600206，未评级)、容百科技(688005，未评级)、厦钨新能(688778，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

2025 年 03 月 27 日



证券分析师

李梦强

limengqiang@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860517100003

杨雨浓

yangyunong@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860524090005

朱洪羽

zhuhongyu@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860525010001

相关报告

固态电池发展方向探讨：详解硫化物电解 2024-07-22

质路线：——新技术系列报告（三）

半固态装车元年已至，下一代电池技术蕴 2024-02-27

藏机遇：——新技术系列报告（二）

目 录

路线探讨：理论最优与产业共识或殊途同归	4
硫化锂与六氟磷酸锂的可比性	6
Li ₂ S 之于固态电解质 vs. LiPF ₆ 之于电解液	6
共性挑战：高纯度制备的工艺复杂性	6
价值量：占据材料体系核心地位	9
六氟磷酸锂的产业化发展历史与行情复盘	11
第一阶段：国产化降本	11
第二阶段：规模化降本	11
第三阶段：新技术创新降本	12
从龙头股价复盘解析行业投资逻辑	14
硫化锂降本路径推演	16
投资建议	18
风险提示	19

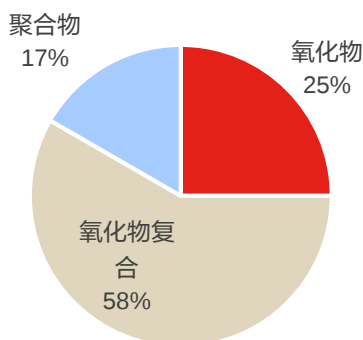
图表目录

图 1：半固态电池技术路线划分.....	4
图 2：全固态电池技术路线划分.....	4
图 3：固态电解质对比.....	5
图 4：全固态电池与传统锂离子电池的电池结构与电解质对比.....	6
图 5：硫化锂晶体结构.....	7
图 6：六氟磷酸锂 CR3（2021-2024 年）.....	9
图 7：硫化物固态电池材料成本拆分（2025 年 3 月）.....	9
图 8：普通三元电池材料成本拆分（2025 年 3 月）.....	9
图 9：电解液成本拆分（2025 年 3 月）.....	10
图 10：六氟磷酸锂和硫化锂产业化初期的共性问题.....	10
图 11：2010 年全球六氟磷酸锂主要产能（单位：吨）.....	11
图 12：国产化带动六氟磷酸锂价格大幅下降（单位：万元/吨）.....	11
图 13：多氟多各代工艺对应单线产能与固定资产投资.....	12
图 14：2021-2024 年全球六氟磷酸锂供需（单位：万吨）.....	13
图 15：2016 年以来六氟磷酸锂价格走势（单位：万元/吨）.....	13
图 16：天际股份（新泰材料）六氟磷酸锂销售均价与毛利率.....	13
图 17：2015 年全球六氟磷酸锂主要产能（单位：吨）.....	14
图 18：2024 年全球六氟磷酸锂主要产能（单位：万吨）.....	14
图 19：多氟多总市值（单位：亿元）.....	15
图 20：天赐材料总市值（单位：亿元）.....	15
图 21：硫化物固态电池降本路径.....	16
图 22：国内外硫化锂产线单吨投资（单位：万元）.....	16
表 1：全固态电池产品电解质路线及其能量密度.....	4
表 2：硫化锂合成工艺对比.....	7
表 3：硫化锂研发进度及产能规划.....	8

路线探讨：理论最优与产业共识或殊途同归

技术路线收敛，氧化物和硫化物双轨演进。近期固态电池产业化进程不断推进：半固态电池已量产装车，产能布局显著加速；全固态电池量产时间表逐渐明确，国内外主流企业多计划在 2027-2030 年陆续实现固态电池商业化。产业协同发力下，技术路线也趋于清晰：从主要车企、电池厂发布的半固态/全固态电池产品来看，半固态电池以氧化物或氧化物复合电解质为主，已经形成车规级大容量电芯产品，并正在快速迭代；而在全固态电池路线选择上则出现一定分歧，其中硫化物占据上风。

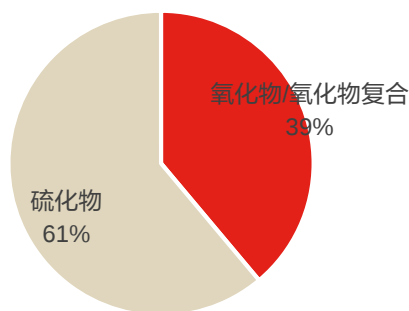
图 1：半固态电池技术路线划分



数据来源：GGII，东方证券研究所

*基于 12 家企业公开电解质路线的半固态电池产品

图 2：全固态电池技术路线划分



数据来源：GGII，东方证券研究所

*基于 18 家企业公开电解质路线的全固态电池产品

产业实践进展印证了硫化物路线的理论性能优势。尽管当前全固态电池仍处于样品开发阶段，但从公开发布的性能参数结果来看，硫化物路线全固态电池现阶段可实现的性能指标整体优于氧化物，在能量密度方面展现出了向 400Wh/kg 以上的突破潜力。我们在报告《半固态装车元年已至，下一代电池技术蕴藏机遇》中对各路线固态电解质的性能进行过详细对比，氧化物与硫化物均存在各自的优劣势，因此我们尝试从第一性原理的角度探寻全固态电池电解质路线的可能走向。固态电池相较于传统锂离子电池的本质变化在于固态电解质对电解液的替换，因此电解质的核心功能仍是作为离子传输的载体。离子电导率上 2-3 个数量级的差距决定了氧化物在全固态电池中将面临更大的应用挑战：半固态电池中仍有少量电解液能够弥补氧化物在离子电导率方面的不足，但全固态电池中硫化物才是理论最优解。从理论到实践当然仍有工艺、成本等一系列难题需要攻克，但在过去一段时间内产学研界的共同努力下，我们已经可以看到硫化物电解质应用的部分关键问题已经有了可行的解法，比如通过复合卤化物，拓宽电压窗口的同时优化与正极材料的界面匹配。随着产业关注与研发投入日益增多，未来可能发展出更多类似的优化策略，最终构建起具有产业化竞争力的全固态电池技术体系。

表 1：全固态电池产品电解质路线及其能量密度

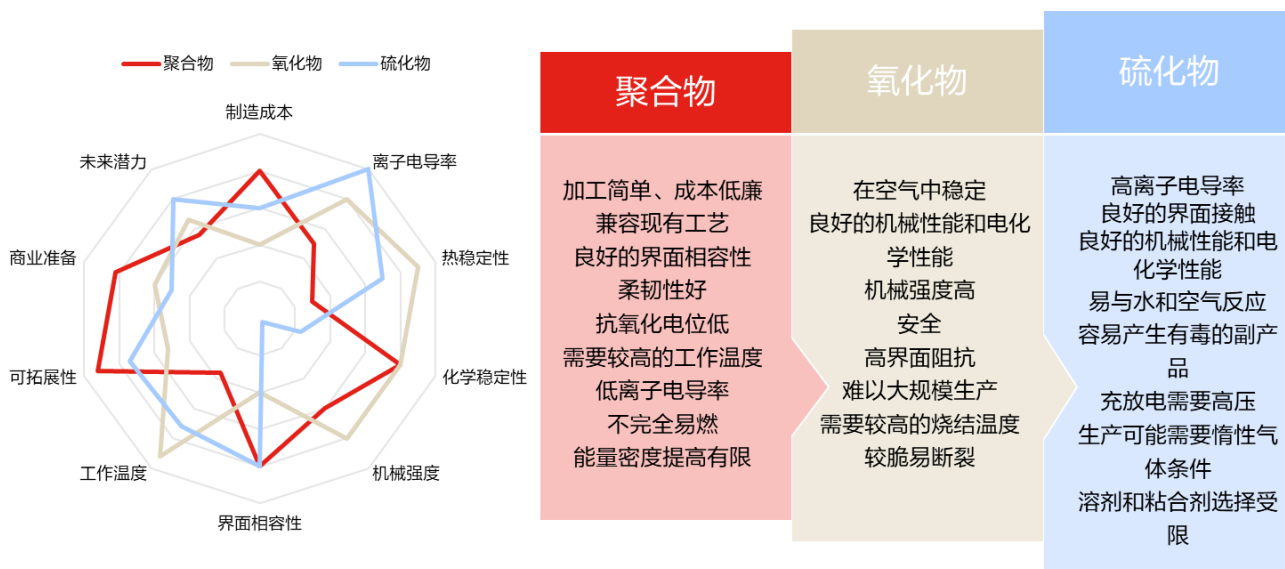
企业名称	固态产品	电解质路线	电芯能量密度（Wh/kg）
丰田	全固态	硫化物	——
比亚迪	全固态	硫化物	400
广汽集团	全固态电池	硫化物	400
吉利集团	全固态	硫化物	400
宁德时代	全固态	硫化物	500

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。

国轩高科	“金石”全固态电池	硫化物	350
欣旺达	第一代全固态	硫化物	400
孚能科技	全固态	硫化物	400
Solid Power	全固态	硫化物	——
Factorial	Solstice	硫化物	450
恩力动力	Kosmos 全固态电池	硫化物	350
奇瑞汽车	全固态电池	氧化物	400
长安汽车	金钟罩	氧化物复合	400
南都电源	全固态	氧化物	350
鹏辉能源	第一代全固态	氧化物复合	280
Quantum Scape	QSE-5 B Sample	氧化物	301
卫蓝新能源	高能量密度固态电池	氧化物复合	270
辉能科技	第四代锂陶瓷电池	氧化物	380

数据来源：GGII，东方证券研究所

图 3：固态电解质对比



数据来源：IDTechEx，东方证券研究所

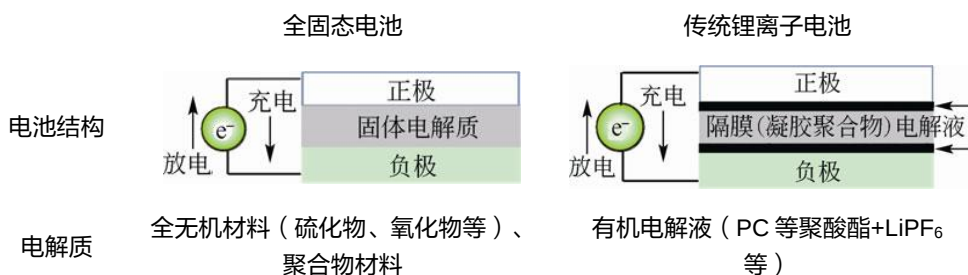
龙头企业的技术路线选择与战略卡位具有一定指向性。过去的 2024 年是半固态电池商业化发展的重要拐点，也是行业技术迭代的关键节点。此前从学术界到产业界，国内对于电解质路线的研究探索呈现百家争鸣的局面，而随着头部企业竞相公开路线选择，硫化物在全固态电池中的主流地位正逐渐被认可。在 2025 中国全固态电池产学研协同创新平台年会上，欧阳明高院士发表了对全固态电池技术路线的研判：当前要聚焦以硫化物电解质为主体电解质匹配高镍三元正极和硅碳负极的技术路线，以比能量 400 瓦时/公斤、循环寿命 1000 次以上为性能目标，确保 2027 年实现轿车小批量装车，2030 年实现规模量产。而在产业端，以宁德时代、比亚迪为首的龙头企业的发力方向也纷纷指向硫化物。值得注意的是，在新技术研发阶段，主流电池厂一般不会孤注一掷，而是多路线并举，如宁德时代、国轩高科、欣旺达、孚能科技在半固态电池产品中均采用的是氧化物或聚合物体系，而在全固态产品中转向了硫化物，或从另一侧面印证其应用潜力。

硫化锂与六氟磷酸锂的可比性

Li_2S 之于固态电解质 vs. LiPF_6 之于电解液

固态电解质和电解液都是锂离子传输的通道。固态电池中，固态电解质取代电解液承担传导锂离子的功能，使得锂离子能够在正负极之间顺利迁移，从而实现电能的储存和释放。电池的容量、内阻、倍率、充放电性能、操作温度、循环寿命、安全性等诸多特性与电解质密切相关。电池循环过程中电解质参与电极材料的嵌锂和脱锂过程，所以电解质对电极材料内部结构和界面有较大影响，进而影响电池容量。电化学极化程度与电解质和电极表面的状态、锂离子在电解质中存在的状况、电解质之间的相互作用有关，因此电解质对电池的极化内阻有一定影响。电极材料的稳定性及集流体的腐蚀均与电解质相关，都会影响电池的使用寿命。此外随着电池的循环使用，电解质由于其自身的不稳定性等因素会不可避免地发生分解，会缩短循环使用寿命。

图 4：全固态电池与传统锂离子电池的电池结构与电解质对比



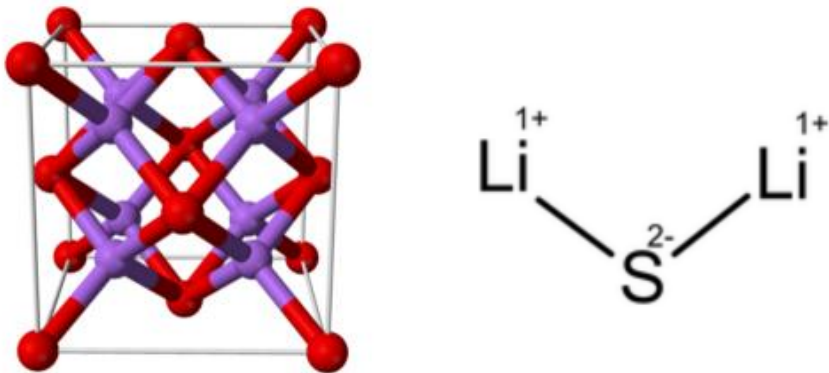
数据来源：许晓雄等《全固态锂电池技术的研究现状与展望》，东方证券研究所

硫化锂是固态电解质关键原材料，而六氟磷酸锂是电解液主流溶质。根据电解质的晶体结构与元素组成，可以将硫化物固体电解质分为 $\text{Li}_2\text{S}-\text{P}_2\text{S}_5$ 二元硫化物固体电解质， $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ 和 $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{X}$ ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) 三元体系，而无论哪一类型的电解质，硫化锂均为其结构/元素组成部分也是关键原材料。而电解液的重要组成之一是电解质盐，六氟磷酸锂比其它锂盐在电导率、电化学稳定性和耐氧化性等方面整体综合性能最优，且具有对环境友好、钝化正极集流体阻止电极腐蚀、利于在负极上形成 SEI 膜、电化学稳定窗口较宽等优点，是综合性能最好、用量最多的电解液溶质盐。

共性挑战：高纯度制备的工艺复杂性

硫化锂性质活泼，合成工艺复杂。硫化锂是一种具有反萤石结构的白色至黄色晶体，具有较高的熔点（938℃）。硫化锂材料本身具有活泼的化学性质，在空气中易水解产生剧毒的硫化氢气体，所以不能直接存在于自然界中。在空气中加热至约 300℃ 时被氧气氧化生成硫酸锂，因此一般需要在隔绝水氧的环境下生产、储存及运输。

图 5：硫化锂晶体结构



数据来源：恩力动力官网，东方证券研究所

电池级材料纯度要求高，量产难度大。硫化锂用作硫化物固态电解质合成的关键原材料，其纯度、颗粒大小、形貌等性质对于电池的电化学性能都起着至关重要的作用。目前实验室制备硫化锂的方法主要包括球磨法、溶剂法、高温高压法和碳热还原法，对比各合成路线的原料、机理和反应条件可以发现，高纯产品、低廉原料与可控流程难以兼得。硫化锂生产的主要难点在于：

（1）原材料获取难度：硫化锂的合成原料中，普遍要用到金属锂/氢化锂、硫化氢气体、有机溶剂等。其中金属锂/氢化锂不易获得且价格昂贵，而 H_2S 属于剧毒气体，运输、使用和存储存在极大的风险隐患，有机溶剂绝大部分属于易燃或易爆危险化学品。因此硫化锂在原材料的采购及存储端即存在较大的不确定性。

（2）产品分离与提纯：为了满足固态电解质材料对硫化锂的纯度要求，部分硫化锂生产厂商（如采用碳热还原法，则合成过程中碳残留会引入杂质）必须对硫化锂进行纯化处理，进一步增加了工艺的复杂性。尤其是后端纯化难度较大，受限于硫化锂对水氧敏感的原因，目前均以有机溶剂进行洗涤，但随之而来的问题是溶剂残留，导致硫化锂电化学性能降低。

（3）生产设备与工艺：硫化锂生产需要在隔绝空气的前提下进行，且过程中涉及到一些有毒气体或环境污染物的产生，设备密封性要求高，否则可能面临产品接触空气变质或有毒气体泄露的风险。部分工艺路线中设备选型与开发难度大，如以金属锂和硫粉为原料的生产工艺，反应过程中无序放热、温度可达 $1500^{\circ}C$ ，极大地限制了反应设备使用寿命；以硫化氢、氢氧化锂为原料则可能涉及对流式传导设备，反应温度 $> 300^{\circ}C$ ，对材质的耐高温性能和耐冲刷性能要求较高。

（4）生产安全性：硫化锂的制备过程伴随着多种安全隐患，在原料端、工艺合成端、产品包装处理及物流端均存在危及人员健康安全。因此，硫化锂的开发不像常规的化学品，即使在实验室进行探索性实验，也需要具备干燥通风的环境，高危原料的储备、耐高温耐腐蚀的设备备用以及尾气吸收处理的前提保障等。

表 2：硫化锂合成工艺对比

合成方法	原材料	反应原理	优点	缺点
球磨法	金属锂/氢化锂、硫粉	金属锂或氢化锂与硫粉在惰性气氛下机械球磨反应生成硫化锂	工艺简单、环境友好、无废液产生	原料成本高且对储存环境要求高，反应时间长，转化率低，产业化设备不易选型

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。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

溶剂法	金属锂/氢氧化锂、硫粉/硫化氢、有机溶剂或液氨	锂源与硫源在有机溶剂中溶解后反应生成硫化锂	液相反应充分，产品纯度高，能耗小	有机溶剂易燃易爆，环境污染严重，工况危险性高
高温高压法（气相法）	金属锂/氢氧化锂/碳酸锂、硫化氢（气体）	氢氧化锂与硫化氢在高温高压下反应生成硫化锂	工艺流程简单，密闭反应避免有害物质泄漏	高温高压，工况控制难，设备要求高，反应风险大
碳热还原法	硫酸锂、碳材料（如葡萄糖、硬炭）	硫酸锂在高温下被碳还原生成硫化锂	原料成本低，工艺简单，适合大规模生产	产品中碳含量高（约 4000 mg/kg），需进一步提纯，产品质量不稳定

数据来源：孙家乐等《全固态电池关键材料-硫化锂制备研究进展》，东方证券研究所

硫化锂产业化进程加速，纯度提升与吨级放量成为突破重点。硫化锂在此前的研究应用中多用作锂硫电池的正极材料，而作为固态电解质前驱体，硫化锂产业化在技术层面的首要问题是纯度提升。据光华科技披露，下游固态客户对电解质用硫化锂的核心要求集中在纯度、粒径（D50）及比表面积三方面，其中纯度最低需达到 4N（99.99%），是最核心参数，而 2023 年 75% 的硫化锂供应仅能达到 3N（99.9%）水平。当前高纯度硫化锂产品正从实验室迈向中试及小批量生产阶段，尽管合成工艺路线尚存分歧，但部分企业正试图通过超前产能建设抢占先机。国内中科固能、光华科技、瑞道科技及湖南恩捷等企业预计 2025 年完成百吨级产线建设；海外方面，日本石油巨头出光兴产计划 2027-2028 年实现年产千吨硫化锂的全固态电池量产。

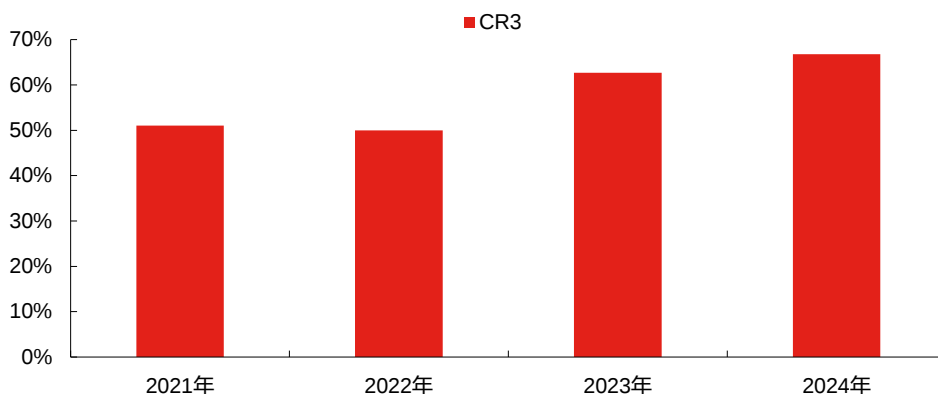
表 3：硫化锂研发进度及产能规划

企业	工艺路线	研发进度及产能规划
出光兴产	气相法	建设年产 1000 吨硫化锂量产线，计划 2027 年 6 月完成
光华科技	固相法	硫化锂相关固态电池材料产品目前产能为 300 吨/年，公司可根据市场需求，在现有厂区通过购置反应釜等生产设备将产能扩至 3000 吨/年
汉普高新	碳热还原法	据报道 2024 年高纯硫化锂产能达 50 吨，并可根据市场情况扩大产能
凯亚达	球磨法	规划建设 2 吨硫化锂产能
瑞福锂业	球磨法	计划建设一条全密封、连续化电池级硫化锂年吨级生产线，产品转化率 99% 以上，纯度高于 99.8%，与国内外同类电池级硫化锂相比，成本降低 30% 以上，效益提升 50% 以上
湖南恩捷	碳热还原法	已完成小试吨级年产能建设和运行，建成高纯硫化锂百吨级中试线，正在试生产；预计 2026 年-2027 年底进入量产阶段，建成千吨级硫化锂量产线
天赐材料	液相法	已完成硫化锂实验室公斤级生产；预计 2025 年实现百公斤级生产，2026 年实现吨级生产
容百科技	碳热还原法	完成硫化锂中试线建设，计划从 2025 年开始推进批量生产体系建设
厦钨新能	气相法	采用特殊冶炼技术提炼活性锂化合物，与含硫化合物反应，从源头控制反应活性和反应环境，保护硫化锂的存在形式；全套设备自研。产品纯度高，成本较低，原材料常见，且反应一步到位，工艺简单
有研新材	——	高纯度硫化锂目前处于研发有一定突破后的小试阶段，并正配合国内外客户进行验证或小批量供货
天齐锂业	均相还原法	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
赣锋锂业	球磨法	采用自产的优级硫化锂原料，向行业提供硫化物固态电解质产品
深圳研一	——	产品纯度高，结晶度高，已获得国内头部企业及高校科研团队的认可，同时已获得主流企业的小批量订单

数据来源：GGII，孙家乐等《全固态电池关键材料-硫化锂制备研究进展》，粉体网，北极星储能网，各公司公告，东方证券研究所

六氟磷酸锂规模生产门槛高，工艺复杂性构成技术壁垒。六氟磷酸锂的合成对原材料氟化锂和氢氟酸的纯度要求极高，并且对反应条件控制（如温度、压力、湿度）及副产物处理技术要求严苛，生产工艺涉及高温、无水无尘操作、高纯精制、高毒强腐蚀、环境污染等难题。且制备过程涉及氟化工，属危险化工行业，生产条件苛刻、工艺难度极大、安全生产控制难。另外，投资较大、周期长、下游客户认证时间长等也是 LiPF_6 生产的主要壁垒。因此新进入者突破技术瓶颈需要很长周期，而能够通过长期技术积累实现工艺稳定性的企业数量并不多。据 EVTank 数据显示，2021-2024 年全球出货量前三名一直由天赐材料、多氟多、天际股份三家企业占据，且 CR3 从 2021 年的约 51% 已提升至 2024 年的 66.8%，行业格局趋于集中。

图 6：六氟磷酸锂 CR3（2021-2024 年）

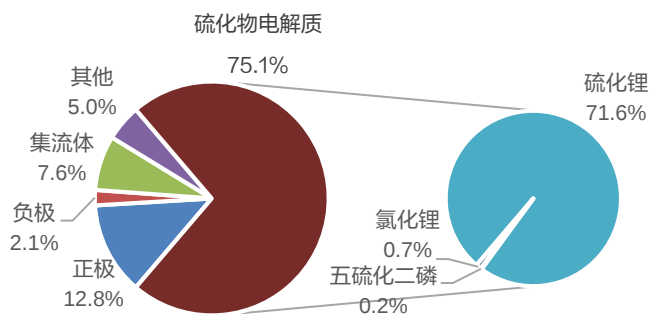


数据来源：EV Tank，东方证券研究所

价值量：占据材料体系核心地位

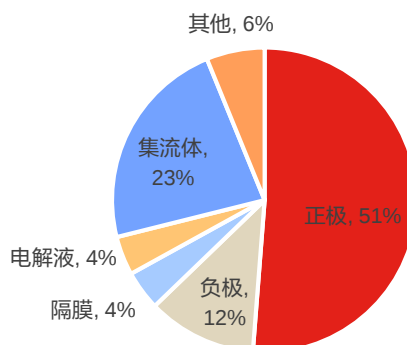
硫化锂价格高昂，价值量占比突出。在材料端，硫化锂作为电解质核心原材料，仍缺乏低成本、大规模、高品质的制备工艺，单吨价格高达百万元级别。若按照硫化锂单价 400 万元/吨进行测算，硫化物电解质的成本将达到约 140 万元/吨，其中硫化锂占比高达 99%。仍沿用三元正极和石墨负极体系的全固态电池材料成本约为 1.9 元/Wh，单 GWh 中硫化锂价值量高达 14 亿元，在所有原材料成本中占比超过 70%。而对比之下，目前普通三元电池中碳酸锂的价值量不到 5000 万元/GWh。

图 7：硫化物固态电池材料成本拆分（2025 年 3 月）



数据来源：高能时代环评报告，百川盈孚，生意社，同花顺，东方证券研究所测算

图 8：普通三元电池材料成本拆分（2025 年 3 月）

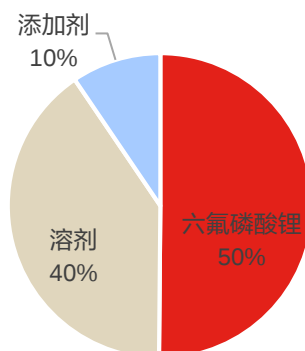


数据来源：百川盈孚，Wind，同花顺，东方证券研究所测算

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。

六氟磷酸锂是电解液成本重心，其价格波动主导电解液价格走势。尽管在电解液中六氟磷酸锂作为溶质的质量占比只有 12% 左右，但成本占比却很高，即便按 6 万元/吨的单价计算，六氟磷酸锂在电解液材料成本中的占比也达到 50%。因此，六氟磷酸锂价格的波动会直接影响电解液的生产成本，进而影响电解液的售价。

图 9：电解液成本拆分（2025 年 3 月）



数据来源：同花顺，东方证券研究所

今日的硫化锂与彼时的六氟磷酸锂相似，六氟磷酸锂的产业化经验可为硫化锂提供发展路径参考。固态电解质在固态电池中取代电解液承担锂离子传输通道的角色，因而硫化锂和六氟磷酸锂分别作为固态电解质和电解液的核心原材料，具有一定可比性。如在产业化初期，二者均面临极高的技术难度，锂离子电池对六氟磷酸锂产品纯度、一致性要求苛刻，而六氟磷酸锂易潮解，制备涉及低温、强腐蚀、无水无尘工况，要求原料超纯、工艺精准，与硫化锂当前面临的问题相似。同时由于六氟磷酸锂的生产工艺技术门槛较高，其在电解液中的成本占比较高，对电解液的整体成本有显著影响，早期依赖海外高价进口的情形也与硫化锂类似，因此二者均具有较强的国产动力和较大的降本空间。因此，六氟磷酸锂的国产化历程和周期性波动，某种程度上可以为硫化锂的产业化路径和市场空间提供参考。

图 10：六氟磷酸锂和硫化锂产业化初期的共性问题



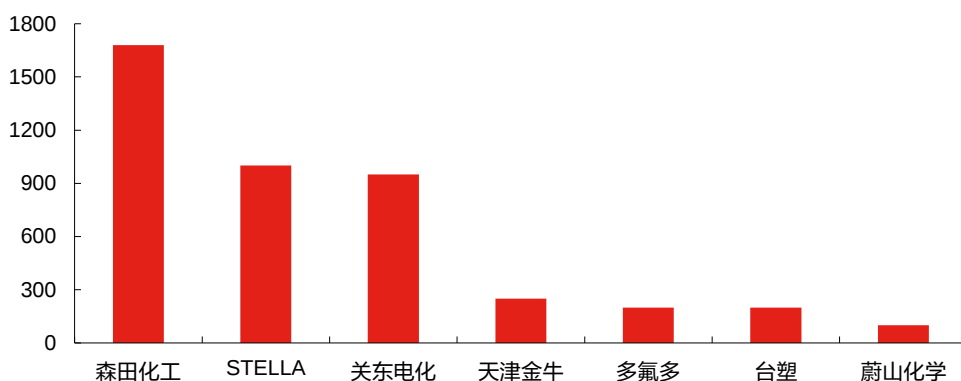
数据来源：东方证券研究所绘制

六氟磷酸锂的产业化发展历史与行情复盘

第一阶段：国产化降本

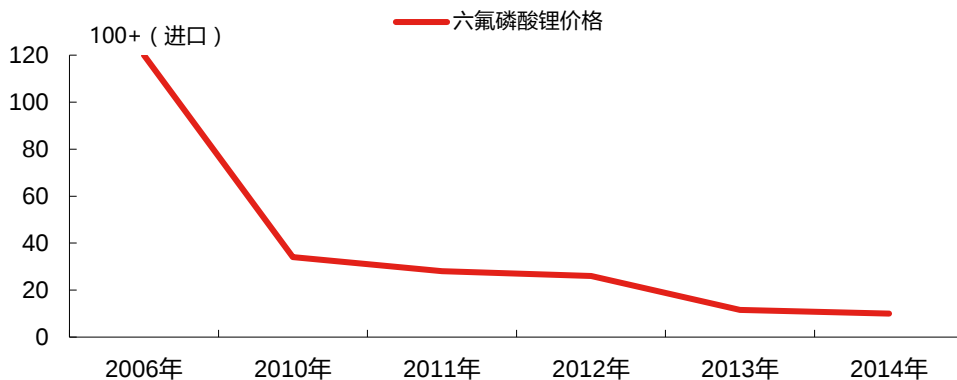
在 2010 年以前，六氟磷酸锂的生产技术主要掌握在日本企业手中，全球市场几乎被日本的森田化学、关东电化和瑞星化工三家企业垄断。这三家企业凭借先进的技术和成熟的生产工艺，占据了全球大部分市场份额，六氟磷酸锂的供应格局高度集中。当时的六氟磷酸锂价格极高，国内进口价格高达 100 万元/吨，且市场供应紧张。由于技术封锁，中国企业难以获取相关生产技术，只能依赖进口，严重制约了中国锂电池行业的发展。直到 2010 年后，随着多氟多、天津金牛等中国企业成功突破六氟磷酸锂的生产技术，这一局面才逐渐被打破。国产化替代带动六氟磷酸锂价格快速下降，2014 年已降至 10 万元/吨。

图 11：2010 年全球六氟磷酸锂主要产能（单位：吨）



数据来源：第一电动，东方证券研究所

图 12：国产化带动六氟磷酸锂价格大幅下降（单位：万元/吨）



数据来源：SMM，GGII，东方证券研究所

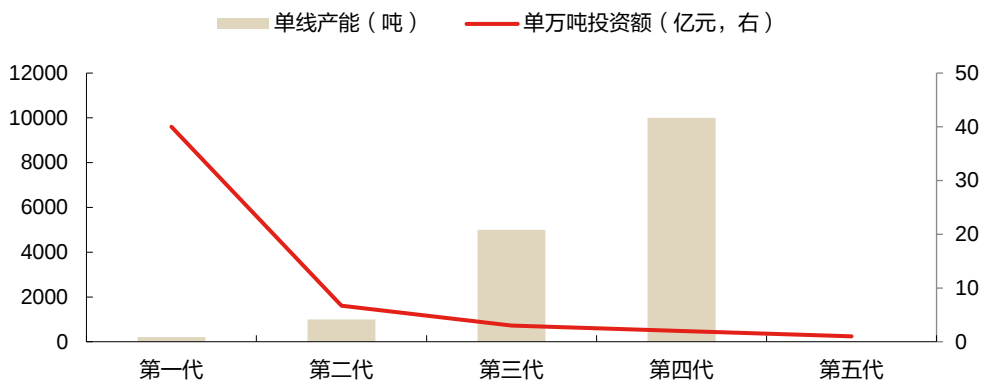
第二阶段：规模化降本

复盘六氟磷酸锂的产业化历程，规模效应的降本作用极为可观。多氟多自 2006 年开始进行六氟磷酸锂产品研制开发，针对产品易吸潮、热稳定性差、纯度要求高、生产工艺难度大、工程条件苛刻、设备耐腐蚀和传热要求高等技术难题进行攻关，开发出以工业碳酸锂、工业氟化氢为原料

制备晶体六氟磷酸锂的生产工艺。2008 年建设完成年产 2 吨实验装置，2010 年建成年产 200 吨生产线，2011 年产量达到 1000 吨，成为国内第一家自主研发并且产业化的六氟磷酸锂供应商。2013 年，多氟多年产 2000 吨晶体六氟磷酸锂生产线投产。这一阶段，以多氟多为领先代表的国产六氟磷酸锂产线规模从百吨放大到千吨，万吨投资额从最初的 40 亿元大幅下降至 6-7 亿元，对应单吨折旧（假设十年折旧期）成本减少 3 万元以上，大大推动了国产六氟磷酸锂的降本进程。因此尽管在国产化替代阶段六氟磷酸锂价格快速下降，成本的同步下降使得六氟厂商仍能取得较为可观的利润水平，以新泰材料为例，2015 年六氟磷酸锂销售均价仅 9.4 万元，而毛利率仍达 35.8%。

长期视角看，新材料从产业化初期到成熟阶段的折旧成本降本空间或高达 95%。当单线产能突破千吨门槛后，工艺升级与装置放大周期显著缩短，驱动成本阶梯式下降。多氟多第四代工艺万吨投资已降至 2 亿元以内，第五代目标单万吨投资 1 亿元，即折旧成本较产业化初期下降 95%以上。

图 13：多氟多各代工艺对应单线产能与固定投资

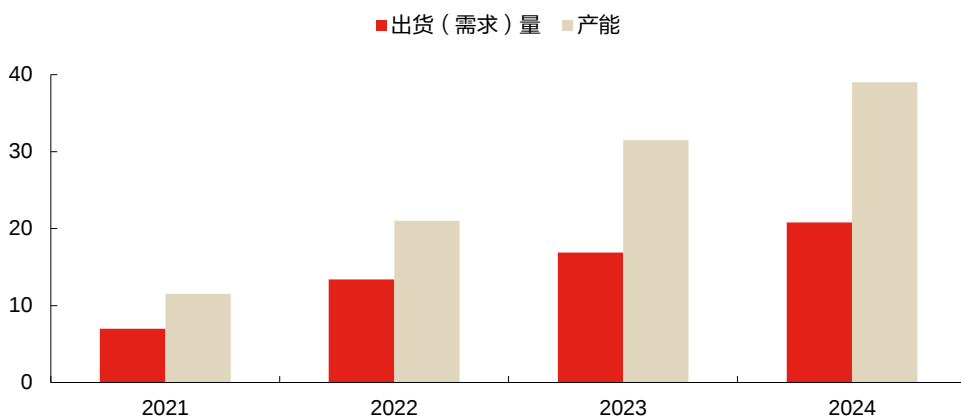


数据来源：公司公告，东方证券研究所

第三阶段：新技术创新降本

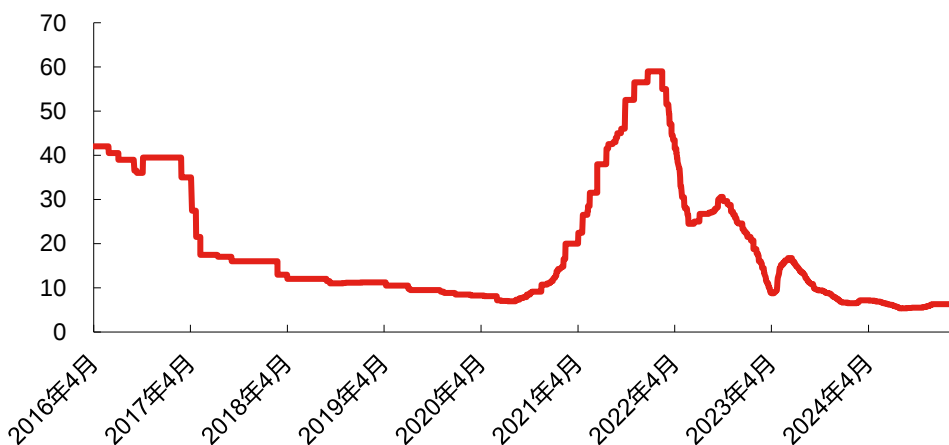
六氟磷酸锂经历两轮供需周期。随着新技术蔓延，国产六氟磷酸锂逐步形成规模供给，截至 2015 年底，国内主要企业已经具备约 7000 吨产能，基本能够实现国内市场需求的内自给自足。此后六氟磷酸锂经历了两次较为集中的行业性扩产，引发两轮价格与盈利周期。第一轮周期起始于 2015 年，六氟磷酸锂因供不应求而快速涨价，2016 年一度突破 40 万元，带动六氟企业盈利水平大幅提升，当年天际股份完成对新泰材料收购，六氟磷酸锂毛利率高达 78%。丰厚的利润吸引众多资金涌入，厂商大幅扩产，同时还不断有新入局者，截至 2017 年底，国内主要企业名义产能合计达 2.3 万吨，供需关系扭转，导致六氟磷酸锂价格急转直下，2019 年已跌回 10 万元以内。第二轮周期中，2020 年下半年起国内新能源汽车市场的快速发展使得六氟再度陷入预期供需紧缺局面，叠加原材料碳酸锂涨价，助推六氟磷酸锂价格水涨船高，量价齐升推动六氟磷酸锂 2022 年全球市场规模达到峰值 420 亿元。供给端新增产能于 2022 年起快速释放，当年产能同比接近翻倍达到 21 万吨，截至 2024 年底，全球六氟磷酸锂实际有效产能 39.0 万吨，中国六氟磷酸锂实际有效产能为 37.1 万吨/年。产能过剩状态下，六氟磷酸锂的平均价格由 2022 年最高峰的接近 60 万元/吨下降到 2024 年四季度的 5.5 万元/吨左右。

图 14：2021-2024 年全球六氟磷酸锂供需（单位：万吨）



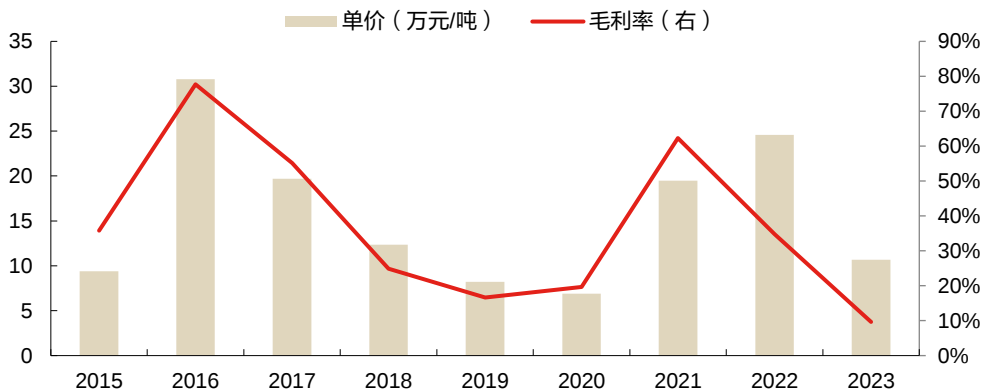
数据来源：EV Tank，东方证券研究所

图 15：2016 年以来六氟磷酸锂价格走势（单位：万元/吨）



数据来源：同花顺金融，东方证券研究所

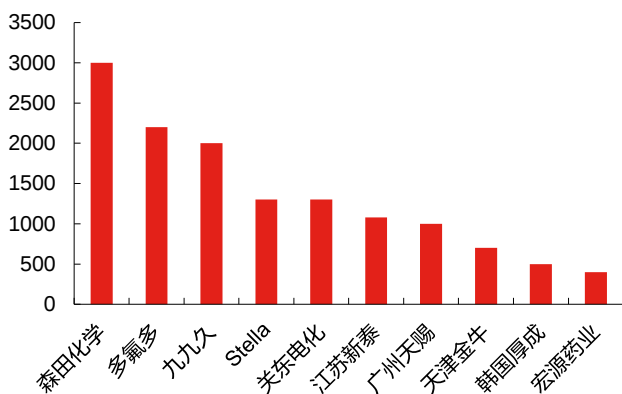
图 16：天际股份（新泰材料）六氟磷酸锂销售均价与毛利率



数据来源：公司公告，东方证券研究所

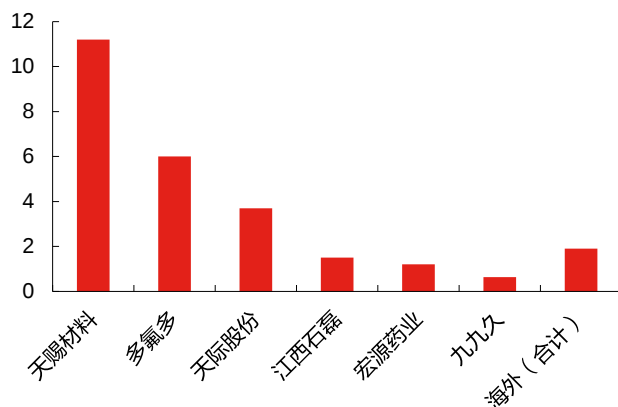
创新性工艺突破改写行业格局。对比六氟磷酸锂十年前后的行业格局，除了国内企业崛起占据市场主导地位之外，行业龙头归属也发生了显著变化，天赐材料凭借液体六氟磷酸锂合成工艺的成本优势、上下游一体化的产业链布局，在第二轮周期中市占率大幅提升至市场第一。液体六氟工艺通过连续化生产提高生产效率，同时由于工序减少，原材料收率能达到 99%以上，综合成本低于固体六氟磷酸锂。与传统固体六氟磷酸锂相比，液体六氟磷酸锂单位产能投资成本大幅降低，以公司池州 15 万吨液态锂盐项目为例，折固后单吨投资额约 1.4 万元，而同期固体六氟磷酸锂的单吨投资额在 5 万元以上，为液体六氟投资强度的 3 倍左右。新工艺带来的成本竞争力在六氟价格下行阶段得以凸显，也加速了全行业成本曲线的下移。

图 17：2015 年全球六氟磷酸锂主要产能（单位：吨）



数据来源：第一电动，东方证券研究所

图 18：2024 年全球六氟磷酸锂主要产能（单位：万吨）



数据来源：各公司公告，EV Tank，东方证券研究所

从龙头股价复盘解析行业投资逻辑

第一轮周期龙头为多氟多，投资主线为量产能力。第一轮周期（2014-2019）中，六氟磷酸锂价格自 2015Q2 起上涨，2016Q2 达到 42 万元/吨的高点。当时国内产能规模靠前的企业主要为多氟多（3000 吨，拟扩 3000 吨）、九九久（2000 吨，拟扩 3000 吨）、天赐材料（1000 吨，拟扩 4000 吨（折固））。其中九九久由于上市公司必康股份业务多元复杂，六氟磷酸锂业务收入占比相对较小，其股价走势与六氟磷酸锂相关度较弱。多氟多和天赐材料的周期市值高点则均出现在 2016 年 6 月，分别为 284 亿元和 249 亿元，若以 2015 年初作为参照，涨幅分别约 650%和 550%，实际包含了市场对产能兑现后六氟磷酸锂盈利贡献的预期。

第二轮周期龙头为天赐材料，投资主线为新工艺。第二轮周期（2020-2024）中，六氟磷酸锂价格高点出现在 2022Q1，最高达 59 万元/吨，天赐材料与多氟多单季度业绩也在 2022Q1 达到历史峰值，扣非归母净利润分别达 15.0 亿元和 7.4 亿元。而二者本轮周期市值最高点均出现在 2021 年 10 月，前置实际的盈利高点，实际包含了单吨盈利见顶的预期。天赐材料和多氟多的市值最高分别达到 1576 亿元和 493 亿元，若以 2020 年初作为参照，涨幅分别为 1288%和 450%。期间天赐材料成为领涨龙头的核心逻辑，既得益于六氟磷酸锂上行周期的行业 Beta，更源自其液体六氟工艺构建的 Alpha 护城河。

图 19：多氟多总市值（单位：亿元）



数据来源：同花顺，东方证券研究所

图 20：天赐材料总市值（单位：亿元）

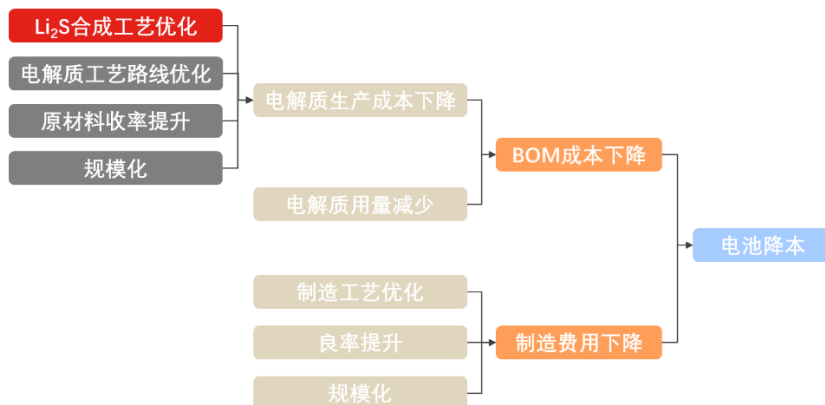


数据来源：同花顺，东方证券研究所

硫化锂降本路径推演

硫化锂是全固态电池材料端降本关键，有望孕育投资新机遇。对于处于产业化早期的新兴技术或创新产品，短期的高成本困境是必经之路，从长远视角审视，降本的空间及可能性才是决定其能否实现规模化的关键要素。从光伏 PERC 电池到锂电隔膜，无数产业案例证明，重大的投资机遇往往孕育在技术成本曲线的陡峭下行阶段。对于全固态电池而言，产业化降本过程中需着重关注三大降本驱动力：核心材料成熟量产（如高纯硫化锂实现低成本量产）、制造工艺迭代与设备优化（如辊压工艺突破降低电解质层厚度至微米级）、政策或新兴市场需求催化下市场加速扩容（如 eVTOL、无人机、人形机器人、高端消费电子等领域的需求爆发）。当边际成本下降曲线与市场需求增长曲线交汇时，具备技术与产能护城河的企业将迎来非线性增长机遇。根据对全固态电池潜在降本路径的拆解，硫化锂是其中的重要一环，是全固态电池规模化应用的必要条件。

图 21：硫化物固态电池降本路径



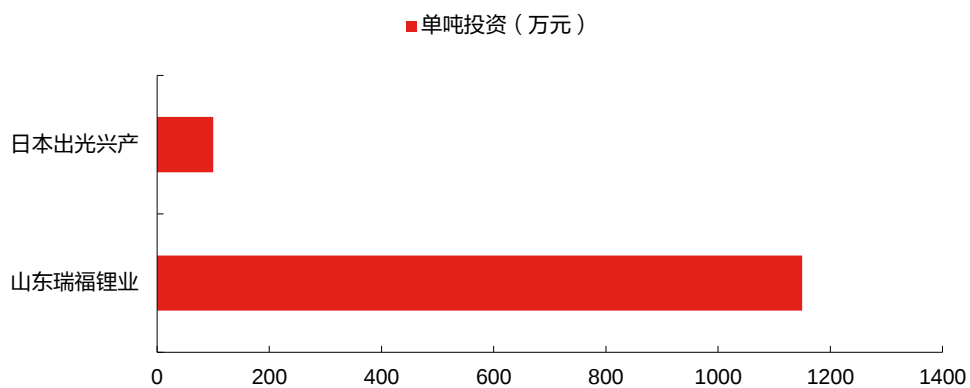
数据来源：东方证券研究所绘制

硫化锂降本或沿循六氟路径：规模效应驱动转向先进工艺突破。根据对不同工艺路线下硫化锂的成本拆分，在碳酸锂价格 7.5 万元/吨的前提下，不同工艺路线的理论 BOM 成本不会产生显著差异，锂源、硫源的成本合计约 12-14 万元。原材料成本相对刚性，除了奠定长期价格基础之外，未来形成规模生产后可能带来的结果还包括：（1）不同企业的原材料采购价差异主要源于规模议价能力，而非技术路线选择，规模在某些阶段可能成为评价成本竞争力的重要指标；（2）工艺优化使得收率提升、纯度提高等，从而带来的技术溢价弹性可能是突破成本束缚，实现超额利润的重要手段。

而根据不同工艺路线反应条件和装置大小的不同，包含能耗、折旧等在内的制造费用可能成为影响成本竞争力的关键。如山东瑞福锂业连续化电池级硫化锂年吨级产线投资额 1150 万元，按十年折旧计则单吨折旧成本超百万元。近日日本出光兴产宣布将建设年产 1000 吨硫化锂工厂，投资额约 10 亿元人民币，按十年折旧计则单吨折旧成本约 10 万元，与多氟多第二代工艺的单线产能类似，固定资产投资也在同一量级。

因此我们判断产业化初期，装置放大带来的规模效应将成为硫化锂降本的首要驱动因素，生产规模率先做到国际先进水平的企业，有望成为初代国产龙头；跨越过千吨门槛后，与六氟磷酸锂类似，工艺路线的选择可能导致硫化锂成本的分化，更具成本竞争力的企业有望脱颖而出。

图 22：国内外硫化锂产线单吨投资（单位：万元）



数据来源：泰安工信，IT 之家，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，方向性与趋势性明确。材料成本高企是当前固态电池产业化面临的核心难题之一。在 2027 年量产装车的目标指引下，2025-2026 年或为战略配置窗口期。

通过观测六氟磷酸锂的国产化历史与周期性演绎，我们认为硫化锂作为固态电解质关键原材料，技术壁垒高、价值占比大，有望借鉴六氟磷酸锂国产突破→成本下降→供需波动的发展路径。参考两轮周期中六氟磷酸锂龙头的股价表现，在国内实现量产初期以及阶段性供给短缺的阶段，有望孕育较大投资机会。建议关注具备高纯硫化锂合成技术，有望实现量产的材料企业：有研新材(600206，未评级)、容百科技(688005，未评级)、厦钨新能(688778，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。