

信义山证汇通天下

证券研究报告

新能源动力系统

固态电池深度报告

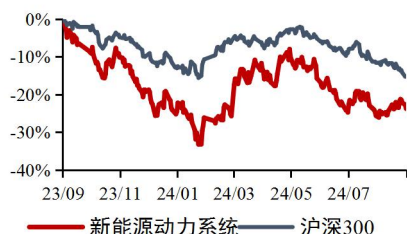
领先大市-A(维持)

聚焦性能和成本，固态电池产业化提速

2024 年 10 月 22 日

行业研究/行业深度分析

新能源动力系统板块近一年市场表现



资料来源：最闻

首选股票

评级

300750.SZ 宁德时代 买入-A

相关报告：

【山证新能源动力系统】中科院突破新型硫化锂正极材料 - 行业周报
(20240902-20240908) 2024. 9. 9

【山证新能源动力系统】鹏辉能源 280Wh/kg 固态电池发布 - 行业周报
(20240826-20240901) 2024. 9. 2

分析师：

肖索

执业登记编码：S0760522030006

邮箱：xiaosuo@sxzq.com

杜羽枢

执业登记编码：S0760523110002

邮箱：duyushu@sxzq.com

投资要点：

➤ 固态电池符合未来大容量二次电池发展方向，半固态电池已装车，高端长续航车型、e-VTOL 等方向对固态电池需求明确。固态电池理论上具备更高的能量密度、更好的热稳定性、更长的循环寿命等优点，是未来大容量二次电池发展方向。根据中国汽车动力电池产业创新联盟，2024 年 1-6 月，半固态电池装车量达 2.2GWh，已初具规模。应用方面，固态电池在高端长续航车型、e-VTOL 等方向有明确应用场景。2024 年 5 月，搭载光年固态电池的智己 L6 上市，10 月，光年固态电池将量产；2024 年 4 月，广汽埃安发布全固态电池，能量密度超过 400Wh/Kg，预计在 2026 年量产上车；在国家专项补贴推动下，宁德时代也积极推动固态电池产业化，有望于 2027 年量产。

➤ 固态电池可分为聚合物、氧化物、硫化物三种体系，我们测算固态电池 2030 年量产将降本 29%，且低于当前液态电池。氧化物综合性能好，体系制备难度适中，但电导率较低；硫化物是理论上最佳的固态电解质材料；聚合物固态电解质技术最成熟。正极材料方面，层状氧化物结构当前使用最为广泛，已代替稳定性差的尖晶石结构，富锂锰正极材料是未来的理想选择。负极材料方面，硅基材料具备超高理论容量、原料丰富，是目前各大厂商重点研究对象，锂金属负极材料有望成为全固态电池的负极材料。我们测算固态电池 2030 年量产后将降本 29%，且成本有望低于当前液态电池。

➤ 多龙头公司开始布局，宁德时代、清陶能源、卫蓝新能等布局领先。宁德时代多种技术路线并行研究，硫化物电解质已建立起 10Ah 级别的验证平台，目标 2027 年达到 7-8 分的研发水平。卫蓝新能源规划产能超过 100GWh，2023 年 6 月正式向蔚来交付 360Wh/kg 半固态产品。清陶第一代半固态电池为氧化物加聚合物的技术路径，第二代固态电池为氧化物、卤化物加聚合物的路径，上汽集团与清陶能源联合研发的光年固态电池将于今年 10 月实现量产上车。孚能科技第二代半固态电池已处于送样阶段，预计 2025 年投产。2024 年 8 月 28 日，鹏辉能源发布第一代全固态电池，2026 年量产。9 月 2 日，南都电源表示，公司固态电池将于今年 Q4 完成项目验收，同等能量密度下，成本比液态锂电池增加 10-15%。

➤ 重点推荐：宁德时代。建议关注：（1）电池厂商如鹏辉能源、南都电源、孚能科技等；（2）技术进展领先的创业型公司如清陶能源、卫蓝新能源等；（3）核心材料固态电解质环节，如三祥新材、瑞泰新材等。（4）新型正负极材料环节，如太蓝新能源、辉能科技、当升科技、翔丰华、国轩高科、容百科技等。金属锂负极关注赣锋锂业、天齐锂业。

风险提示：下游需求不及预期风险；原材料价格大幅波动风险；国内外政策风险；技术推进不及预期风险。

请务必阅读最后一页股票评级说明和免责声明

1



目录

1. 兼具安全性和高能量密度，固态电池为未来趋势.....	5
1.1 固态电池兼具安全性和高能量密度，有望成为下一代电池.....	5
1.2 固态电池逐步成熟，半固态率先产业化.....	7
1.3 固态电池在高端长续航车型、e-VTOL 等方向有明确应用场景.....	9
2. 固态电池产业链：多材料体系并行发展，成本下降有望超预期.....	12
2.1 固态电解质：多数厂商专注于氧化物和硫化物路线.....	12
2.2 新型正极：目前高镍正极为主，氧化物、硫化物、富锂锰材料或将开始应用.....	16
2.3 新型负极：目前石墨和硅碳为主，全固态将使用金属锂.....	19
2.4 固态电池成本未来有望低于液态电池.....	21
3. 从半固态到固态，多龙头公司开始布局.....	23
3.1 宁德时代：聚合物和硫化物产业化进展领先，半固态已装车验证.....	23
3.2 清陶：全固态量产仍需时间，氧化物和硫化物技术路线布局领先.....	24
3.3 卫蓝：360Wh/kg 混合固液态电池已交付.....	25
3.4 鹏辉能源：已发布第一代全固态电池，2026 年将量产.....	28
3.5 孚能科技：第一代固态电池已装车，第二代处于送样阶段.....	29
4. 投资建议.....	30
5. 风险提示.....	30

图表目录

图 1： 液态锂离子电池（左）&固态电池（右）对比.....	5
图 2： 固态电池发展历程.....	7
图 3： 半固态到全固态电池产业化趋势.....	8
图 4： 半固态电池装车量（MWh）	8

图 5: 广汽集团搭载固态电池 eVTOL.....	10
图 6: 固态电池市场规模预测 (GWh)	11
图 7: 不同固态电解质对比.....	12
图 8: 从液态到全固态电池的技术发展路线.....	17
图 9: 宁德时代固态电池进程.....	23
图 10: 清陶产能布局.....	25
图 11: 鹏辉能源第一代固态电池.....	28
表 1: 半固态/准固态/全固态对比.....	6
表 2: 液态电池和固态电池对比.....	6
表 3: 车企搭载固态电池进展.....	9
表 4: 固态电池在 eVTOL 的应用进展.....	10
表 5: 不同氧化物固态电解质对比.....	12
表 6: 硫化物电解质对比.....	13
表 7: 聚合物电解质对比.....	13
表 8: 固态电解质公司产业进展对比.....	14
表 9: 正极材料各类型对比.....	17
表 10: 正极路线对比.....	18
表 11: 固态电池负极材料优缺点.....	19
表 12: 企业固态电池用负极布局进展.....	20
表 13: 从液态到固态电池材料体系变化.....	20
表 14: 固态电池材料成本拆分.....	21
表 15: 液态三元锂电池材料成本拆分.....	22

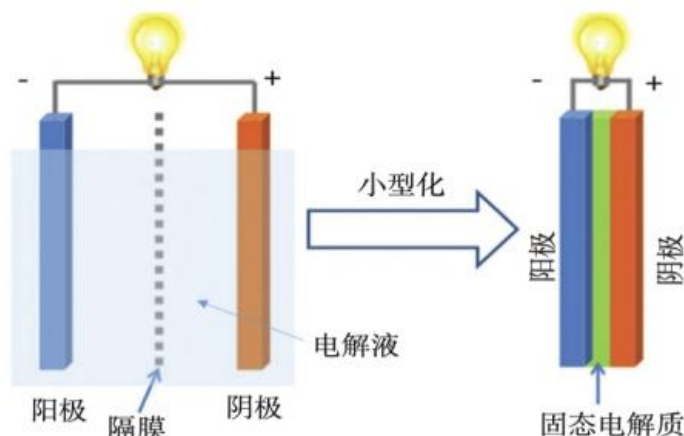
表 16: 宁德时代固态电池技术进展.....	24
表 17: 清陶技术进展.....	25
表 18: 卫蓝技术路线.....	26
表 19: 卫蓝基地布局.....	26
表 20: 卫蓝技术路线.....	27
表 21: 鹏辉能源固态电池亮点.....	28
表 22: 孚能科技 330Wh/kg 半固态软包技术特点.....	29

1. 兼具安全性和高能量密度，固态电池为未来趋势

1.1 固态电池兼具安全性和高能量密度，有望成为下一代电池

固态电池有望解决锂电池面临的比能量低、循环寿命短及安全性能差的困境，是未来大容量锂电池的发展方向。目前基于氧化物正极与石墨负极的传统锂离子电池能量密度越来越接近理论上限，同时，由于采用有机物液态电解液，锂离子电池在充放电过程中不可避免地发生副反应，以及电池循环过程中电解液挥发、泄露等现象均会导致电池容量的不可逆衰减，影响电池使用寿命。并且有机物的电解液十分易燃，短路时容易引发爆炸，电池的绝对安全性十分堪忧。而采用固态电解质替代液态有机物电解液的固态电池，有望解决传统锂离子电池面临的比能量低、循环寿命短及安全性能差的困境，是未来大容量锂电池的发展方向。

图 1：液态锂离子电池（左）&固态电池（右）对比



资料来源：《固态电池研究及发展现状》，山西证券研究所

固态锂电池是一种使用固体电极材料和固体电解质材料、不含有任何液体的锂电池。固态锂电池相比液态锂电池，改进的部分主要是固态电解质替代电解液。根据液态电解质占电芯材料混合物的质量分数分类，电池可细分为液态性能（25%）、半固态（5%-10%）、准固态（0%-5%）和全固态（0%）四大类，其中半固态、准固态和全固态三种统称为固态电池。固态电池电解质主要选用氧化物、硫化物、聚合物，电解质以薄膜的形式分割正负极，从而替代隔膜。负极从石墨体系升级到了预锂化的硅基负极或者锂金属负极，正极从高镍升级到超高镍、镍锰酸锂、富锂锰基等正极，能量密度可达 500Wh/kg 以上。当前半固态锂电池已量产，准固

态电池在小试中，预计 2024 年下半年量产，全固态预计 2027 年之后量产。

表 1：半固态/准固态/全固态对比

	定义	变化
半固态	液体电解质质量百分比<10%	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 电解质：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
准固态/类固态	液体电解质质量百分比<5%	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：从六氟磷酸锂升级为 LiTFSI，能量密度可达 350Wh/Kg 以上
全固态	不含有任何液体电解质	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 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：从高镍升级到超高镍、镍锰酸锂、富锂锰基等正极

资料来源：《固态电池技术发展现状综述》，山西证券研究所

与液态锂离子电池相比，固态电池具备更高的能量密度、循环寿命、更好的热稳定性、电化学稳定性、更宽的电化学窗口等。和液态锂离子电池相比，全固态电池具备以下优势：（1）没有液态电解液泄露风险和腐蚀的隐患，热稳定性和电化学稳定性更好；（2）稳定且较宽的电化学窗口，可匹配高电压正极材料；（3）循环寿命更长，固态电池能解决 SEI 膜持续生长、过度金属溶解、正极材料析氧、电解液氧化、析锂等问题。（4）具备更高的能量密度。传统液态锂离子电池能量密度约为 200-300Wh/Kg，固态电池能量密度可达 500Wh/Kg 以上。（5）固态电池工作温度范围可扩展至-50~200℃，充电时间缩短至液态电池的 1/3。

表 2：液态电池和固态电池对比

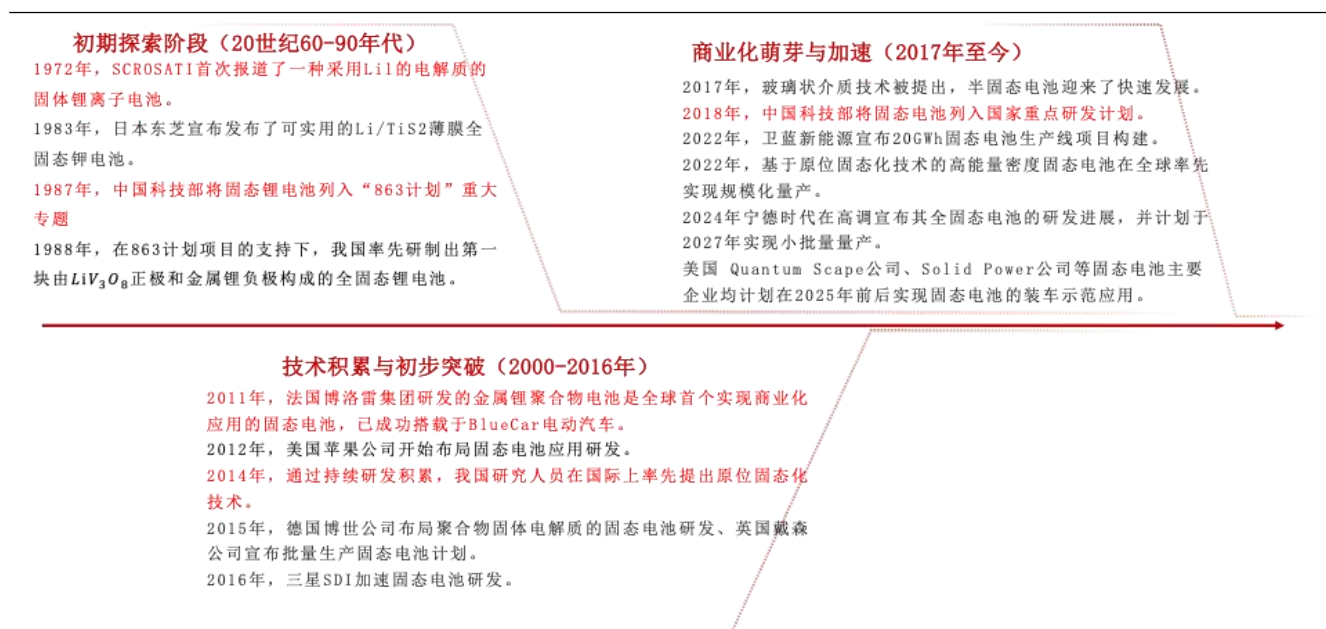
	液态电池	固态电池
能量密度	200-300Wh/kg	可达 500Wh/kg
工作温度	80℃以上存在着火风险	-50~200℃
安全性	存在泄漏、易燃、热稳定性差等安全隐患	没有液体泄漏风险，热稳定性和电化学稳定性更好
循环寿命	短	长，能解决 SEI 膜持续生长、过度金属溶解、正极材料析氧、电解液氧化、析锂等问题
电化学窗口	窄	宽

资料来源：《为全固态电池“正名”》，《固态电池研究及发展现状》，《固态电池发展态势及研判》，山西证券研究所

固态电池从 20 世纪 60 年代开始发展，目前加速商业化步伐。（1）初期探索阶段（20 世

纪 60-90 年代)：1972 年，SCROSATI 首次报道了一种采用 LiI 的电解质的固体锂离子电池，因技术障碍，固态电解质的低离子电导率和界面稳定性问题，未能实现商业化。1987 年，中国科技部将固态锂电池列入“863 计划”重大专题，1988 年，在 863 计划的支持下，我国率先研制出。(2) 技术积累与初步突破(2000-2016 年)：多家公司进行固态电池研发，2012 年，美国苹果公司开始布局固态电池应用研发；2014 年，丰田宣布开始固态电池的研发；2016 年，比亚迪启动固态电池项目。(3) 商业化萌芽与加速(2017 年至今)：2018 年，中国科技部将固态电池列入国家重点研发计划。半固态电池加速商业化，2023 年蓝新能源成功向蔚来汽车交付半固态电池；2024 年，宁德时代宣布其全固态电池研发进展，并计划于 2027 年实现小批量量产。

图 2：固态电池发展历程



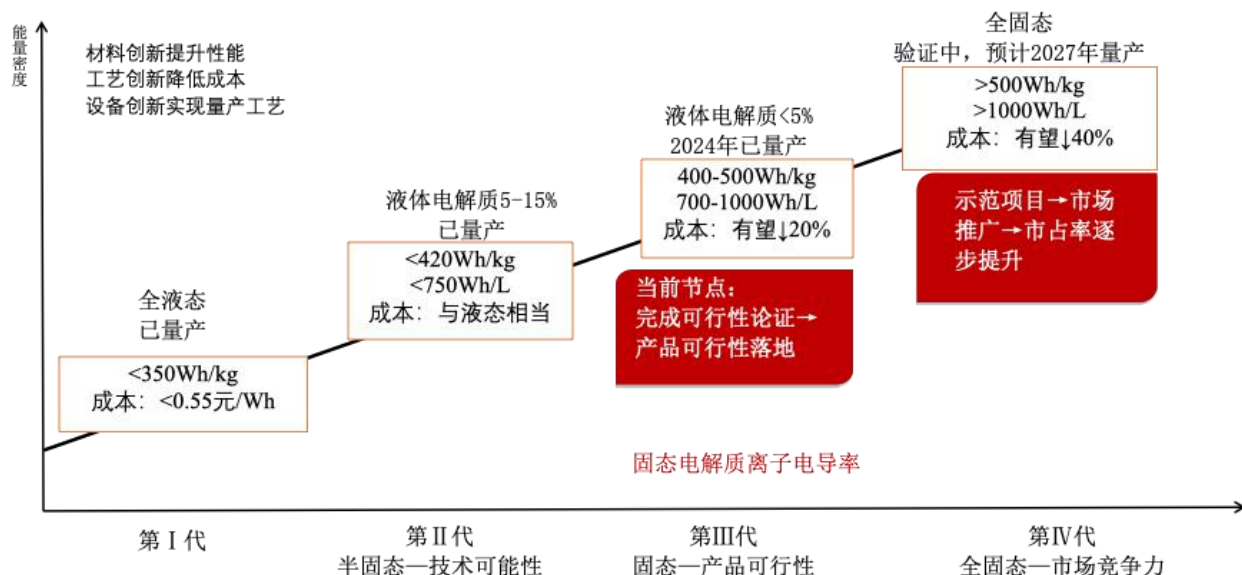
资料来源：36 氪，《固态电池关键材料体系发展研究》，高工锂电，集邦新能源网，电子发烧友，山西证券研究所

1.2 固态电池逐步成熟，半固态率先产业化

全固态电池量产仍面对挑战，半固态电池率先产业化。全固态电池研发仍面对挑战。如大多数固态电解质中的离子扩散速率与液态电解质存在数量级差异、固固界面难以始终保持良好接触等。而半固态电池安全性、倍率性能介于液态和全固态之间，相比于全固态电池，半固态

可以兼容现有液态电池工艺设备和材料，许多企业选择从液态到半固态再到全固态的渐进式发展路线。未来随着材料体系创新、工艺创新持续降本、设备创新实现量产，锂电池将逐步迈入全固态。

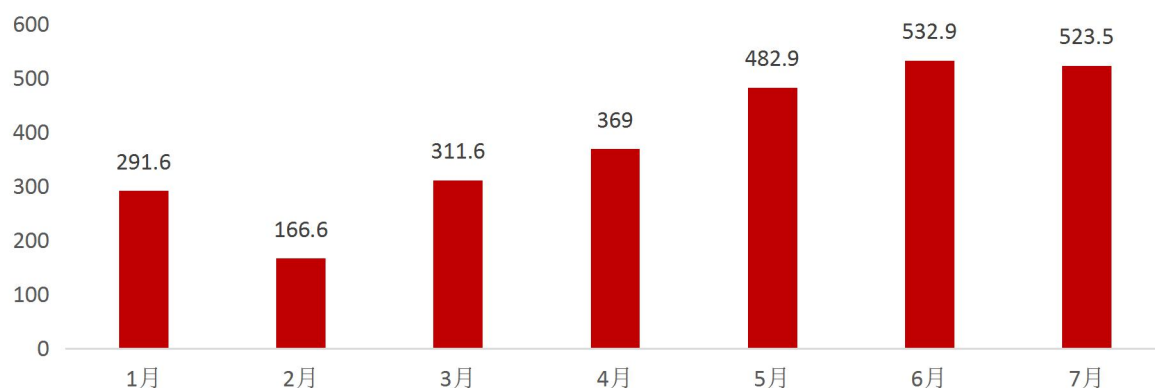
图 3：半固态到全固态电池产业化趋势



资料来源：清陶能源，北极星储能网，阳光工匠光伏网，盖世汽车，山西证券研究所

半固态电池装机逐步起量，规模化装机在即。中国汽车动力电池产业创新联盟，2024 年 1-6 月，半固态电池装车量达 2.2GWh，月度装机量逐步提升，当前已初具规模。

图 4：半固态电池装车量（MWh）



资料来源：中国汽车动力电池产业创新联盟，山西证券研究所

1.3 固态电池在高端长续航车型、e-VTOL 等方向有明确应用场景

受益于固态电池的高能量密度，其有望在高端长续航车型率先使用，目前半固态电池已在多车型配套。固态化为新能源车带来优势：提高单体电压平台、正极材料高锰化、简化工艺制程降能耗，可降低成本，提升安全、性能、耐久性。多车型已配套固态电池，2023 年 6 月，搭载三元固液混合电池的赛力斯完成欧洲首批交付；2023 年 12 月，蔚来 CEO 驾驶搭载 150 度半固态电池的 ET7 进行路试直播；2024 年 5 月，搭载光年固态电池的智己 L6 上市，10 月，光年固态电池将量产；2024 年 4 月，广汽埃安发布全固态电池，能量密度超过 400Wh/Kg，预计在 2026 年量产上车。

表 3：车企搭载固态电池进展

车企	示意图	搭载固态电池进展
赛力斯		2 月 7 日晚间，赣锋锂电发布消息称，搭载赣锋锂电三元固液混合锂离子电池的赛力斯纯电动 SUV 车型——SERES 5 规划于 2023 年上市。
蔚来汽车		2021 年，蔚来发布 150 度半固态电池，2023 年 12 月，蔚来 CEO 李斌驾驶打造 150 度电池的蔚来 ET7 进行路试直播，14 小时行驶 1044 公里，剩余电量 3%。
智己汽车		2024 年 3 月 25 日，上汽旗下智己品牌官宣，行业首个准 900V 高压超快充固态电池即将量产上车（4 月）。智己 L6 也将成为行业内首款搭载量产固态电池的新能源车型。
广汽埃安		2024 年 4 月，广汽埃安发布全固态电池，能量密度超过 400Wh/Kg，预计在 2026 年量产上车，昊铂旗下车型将率先搭载。

资料来源：每日经济新闻，腾讯网，充电头网，方得智驾，车则，智电出行，赣锋锂电微信公众号，山西证券研究所

固态电池是支持低空经济发展的关键技术。相较新能源汽车，e-VTOL 对电池的能量密度、功率、倍率、安全性、快充及长寿命等指标的要求更高，目前量产的电池能量密度尚无法达到。兼备高能量密度、高功率、高安全性的固态电池是更好的动力来源，且 eVTOL 对成本相对不敏感，固态电池契合市场需求。

低空经济是我国战略性新兴产业。8 月 3 日，国务院日前印发《关于促进服务消费高质量

发展的意见》，鼓励邮轮游艇、房车露营、低空飞行等新业态发展。2024 年全国两会，“积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎”被写入政府工作报告。

表 4：固态电池在 eVTOL 的应用进展

车企	eVTOL 合作进展
力神电池	力神电池 eVTOL、消费无人机电池能量密度分别达 325Wh/kg、340Wh/kg，下一步将开发 350Wh/kg 及 400Wh/kg 高比能高安全电池，用于提升 eVTOL 续航能力，未来还将开发能量密度 500Wh/kg、具备 9C 闪充、支持 2000+次循环的长寿命电池，以进一步提升 eVTOL、无人机续航能力及安全可靠。
宁德时代	宁德时代在互动平台上表示，公司凝聚态电池能量密度最高可达 500Wh/kg，正在进行民用电动载人飞机项目的合作开发，执行航空级的标准与测试，满足航空级的安全与质量要求，同时还将推出凝聚态电池的车规级应用版本。 8 月 3 日，宁德时代与峰飞航空签署战略投资和合作协议，宁德时代投资数亿美元，加码 eVTOL 电动垂直起降航空器赛道。
东风汽车	东风汽车飞行汽车被分为飞行模块、底盘模块和座舱模块，三个模块可拆分使用，甚至可以在未来共享底盘与飞行器，用户只需要购买一个款属于座舱。除了日常出行，这一产品对于科考方面有很大帮助。
正力新能	半固态航空电池产品具备兼顾高能量密度、高功率、高安全、超级快充于一体的“三高一快”特点，公司已与国内外多家头部 eVTOL 企业建立合作关系，为各类电动航空器动力系统提供一站式开发服务。

资料来源：人民网，力神，证券日报，Wind，集邦固态电池，新浪新闻，新京报，山西证券研究所

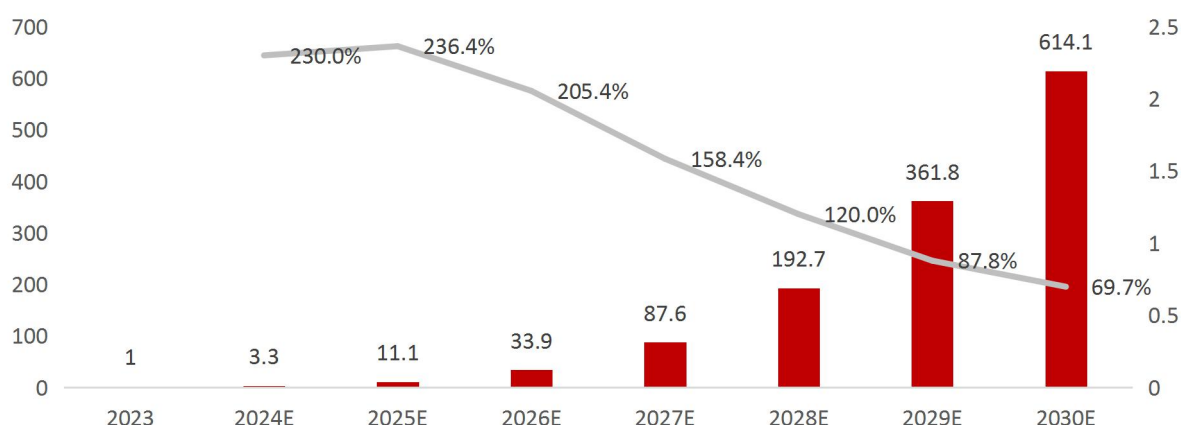
图 5：广汽集团搭载固态电池 eVTOL



资料来源：中国能源报，广汽集团微信公众号，山西证券研究所

预计 2030 年全球固态电池出货量达 614.1GWh。研究机构 EVTank 近日发布的《中国固态电池行业发展白皮书(2024 年)》指出，预计到 2030 年，全球固态电池出货量将达到 614.1GWh，在整体锂电池中的渗透率预计在 10%左右，市场规模将超过 2500 亿元，主要为半固态电池。预计全固态电池大规模的产业化时间节点将在 2030 年左右。

图 6：固态电池市场规模预测（GWh）



资料来源：EVTank，伊维经济研究院，山西证券研究所

2. 固态电池产业链：多材料体系并行发展，成本下降有望超预期

2.1 固态电解质：多数厂商专注于氧化物和硫化物路线

根据电解质材料的不同，固态电池可分为聚合物、氧化物、硫化物三种体系。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最为成熟。但随着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过渡到以氧化物系和硫化物系为主。氧化物体系分为薄膜和非薄膜类，前者开发重点在于容量的扩充与规模化生产，后者综合性能较好，是当前研发的重点方向；硫化物体系处于发展空间巨大与技术水平不成熟的两极化局面，亟需解决安全性等问题。

图 7：不同固态电解质对比



资料来源：宁德时代，山西证券研究所

氧化物综合性能好，体系制备难度适中，但电导率较低。氧化物具有较好的导电性和稳定性，热稳定性高达 1000℃，同时机械稳定性与电化学稳定性都较好。但与硫化物相比，氧化物电导率仍偏低，将限制电池容量、倍率性能进一步提升。此外，氧化物电解质孔隙率非常高，无法导锂。目前国内主要研究方向为固液混合氧化物固态电池，既有氧化物的固态电解质层，又有电解液浸润，以此填充孔隙，实现完好的导锂通道。

表 5：不同氧化物固态电解质对比

分类	优点	缺点
钙钛矿（LLTO）类型	高氧化电位、高离子电导率	在低电势下容易被还原导致锂离子传导率降低，晶

分类	优点	缺点
		离子电导率小
石榴石 (LLZO) 类型	对 Li-金属阳极具有高度化学稳定性；电化学窗口宽，可以匹配高电压正极；粉体可以在大气环境下规模化生产	氧化稳定性差，对水敏感，与正极材料兼容性差
钠超离子导体 (LATP) 类型	对空气和水稳定	成本高，难以大规模生产

资料来源：《锂离子电池氧化物固态电解质研究进展》，山西证券研究所

硫化物固态电解质是理论上最佳的固态电解质材料。硫化物固态电解质的电导率最高，并且电化学稳定窗口较宽，可以在 5V 以上，且兼具强度和加工性能、界面相容性好，是理论上最佳的固态电解质材料。诸多动力电池巨头（丰田、本田、LG、松下、宁德时代等）选择其为主要技术路径，其中丰田最为激进，拥有全世界最多的固态电池专利。但硫化物热稳定性差、热反应起始温度高达 400~500℃，与正极材料兼容性差，制备工艺复杂，因此目前尚难量产。

表 6：硫化物电解质对比

硫化物体系	特性
Li-P-S 体系	以 $Li_7P_3S_{11}$ 为例，其具备 $1.5 \times 10^{-3} S/cm$ 的高室温离子电导率
$Li_{11-x}M_{2-x}P_{1+x}S_{12} (M = Ge, Sn, Si)$	$Li_{10}GeP_2S_{12}$ 电导率高达 $1.5 \times 10^{-2} S/cm$ ，于 2011 年日本东京工业大学制出，是第一种离子电导率可以于液态电解液相媲美的固体电解质，在较低温度下也表现出高离子导电性，-45℃ 下为 $4 \times 10^{-4} S/cm$ 。一些具有成本优势的元素被用来取代 Ge 元素
$Li_6PS_5X (X = Cl, Br, I)$	相比于 $Li_{10}GeP_2S_{12}$ ，硫银锗矿相具有更加优良的化学和电化学稳定性，卤素位元素对其晶体结构和室温离子电导率有较大影响

资料来源：《固态锂电池十年（2011—2021）回顾与展望》，山西证券研究所

聚合物固态电解质当前技术最成熟、最早实现实际应用。聚合物固态电解质（SPE），由聚合物基体（如聚酯、聚醚和聚胺等）和锂盐（如 $LiClO_4$ 、 $LiAsF_6$ 、 $LiPF_6$ 等）构成。室温下离子电导率为 $10^{-8} \sim 10^{-6} S/cm$ ，65~78℃ 下离子电导率为 $10^{-6} S/cm$ 。相较于无机固体电解质，具有柔韧性好、质量轻、成本低以及易于加工等优势。SPE 工艺与现有锂电池接近，易于大规模量产，技术最成熟，也是最早实现实际应用的固体电解质。然而聚合物电解质室温下离子电导率低、需加热至约 60℃ 以上，较柔软，有锂枝晶穿透造成短路风险，热稳定性有限，耐受电压较低。

表 7：聚合物电解质对比

聚合物体系	特性
聚环氧乙烷 (PEO)	含有乙氧基链段，对锂盐具有高的溶解能力，是研究最为广泛的聚合物基体材料，但早期制备的 PEO 基聚合物电解质的室温离子电导率仅仅只有 $10^{-7} \sim 10^{-5} S/cm$ 。

聚合物体系	特性
聚偏氟乙烯 (PVDF)	PVDF 和 PVDF-HFP 因具有相对宽的电化学窗口、良好的热稳定性和较高的力学强度等优点，也是理想的聚合物电解质基体材料之一。以单一相的准离子液体/PVDF-HFP 致密型聚合物电解质为例，该电解质具有 $1.55 \times 10^{-3} S/cm$ 的高离子电导率，3.4MPa 的拉伸强度，约 1550% 的断裂伸长率，且有效提高其离子电导率 and 安全性。
丙烯酸酯单体	可以通过光固化或者热固化的形式使用原位聚合的方法制备聚合物固体电解质，并且离子电导率可达 $10^{-4} S/cm$ 级别。

资料来源：《固态锂电池十年（2011—2021）回顾与展望》，山西证券研究所

国内目前有多家厂商涉足固态电解质的生产领域，多数厂商专注于氧化物和硫化物路线。其中，一些电池企业如清陶能源和赣锋锂业，采取了一体化的布局策略，涵盖了从研发到生产的全过程。同时，还有蓝固新能源和天目先导这样的初创公司，它们通过与固态电池领域的领先企业建立紧密合作关系迅速崛起。此外，还有专注于正负极材料生产的企业，例如当升科技、容百科技、璞泰来和贝特瑞。上海洗霸、金龙羽和奥克股份，通过与科研团队合作，成功实现了从其他领域向固态电解质生产的转型。目前，多数固态电解质厂商专注于氧化物和硫化物路线，其中，氧化物电解质中 LATP 和 LLZO 竞争力较强，同时，部分厂商会研究聚合物或者尝试复合多种材料。

表 8：固态电解质公司产业进展对比

	企业名称	产品	备注
电解质	宁德时代	硫化物	性能：已建立起 10Ah 级别的验证平台
	清陶能源	氧化物：LLZO LLTO	性能：能量密度高达 320Wh/kg 和 850Wh/L，能循环使用 1000 次 量产：可以通过流延成型、薄膜制备等方法制备出全固态电解质膜。实现了对 LLZO 以及 LLTO 陶瓷粉体、复合正负极等材料的量产，并且可以生产制备不同类型的离子导体复合隔膜等
		卤化物： Li_2ZrCl_6	性能：室温离子电导率 $>4mS/cm$ ，耐压性 $\geq 4.65V$ 成本：低于 10w/t 量产：具备批量化制备能力
		聚合物	性能：复合后电导率 $>1mS/cm$ 膜厚度 20-40um 可调
	中科固能	硫化物	量产：在建百吨级产线 长期规划万吨级
	三祥新材	LLZO LLZTO LALZO	性能：表现出了良好的电化学性能，具有可靠的安全性和低成本优势 商业化：已向部分企业送样，并达到使用要求



	金龙羽	LATP	量产：已处于稳定制备阶段，同时已完成半固态电池的生产工艺和材料导入研发 性能：大部分内测性能已达到国标。
	上海洗霸	LLZTO+PAN	性能：有效均匀锂沉积，实现锂金属电池在 2C 下稳定循环 1000 次，容量保持 81%。
	赣锋锂业	硫化物：FL-LGPS FL-LPSC FL-LPS314 FL-LPS7311 氧化物：NASICON Garnet	性能：离子电导率水平达到目前行业最高等级 量产：达到行业领军水平。
	宝丽迪	COFs 共价有机材料	量产：目前已实现 COFs 产品量产 商业化：正在做相关领域的验证及推广
	蓝固新能源	LLTO LLZO LATP	量产：具备年产 56500 吨各类电解质材料的综合产能
	当升科技	氧化物：LATP 硫化物、聚合物	商业化：已与赣锋锂电、卫蓝新能源、清陶、辉能等固态电池客户建立了紧密战略合作关系，相关固态锂电产品已实现批量出货。
	厦钨新能	氧化物：LLZO LATP 卤化物和硫化物	性能：通过结构改善，成功开发出第二代低残碱、高比表的锂镧锆氧 LLZO 量产：卤化物和硫化物均实现初期量产
	奥克股份	PEO 聚环氧乙烷	尚处于应用开发阶段
	恩捷股份	硫化物：LPSC	性能：离子电导率超 10mS/cm，有效提高电池性能 量产：已完成实验室技术定型，可以小批量制备 8cm*10cm 超薄独立自支撑电解质膜片。湖南恩捷固态用高纯硫化锂产品已完成小试吨级年产能建设和运行，并搭建完成百吨级硫化锂中试生产线，处于送样阶段。
	贝特瑞	纳米无机固态电解质： SSE 聚合物：BEP 氧化物：BEO、LATP 硫化物：BSS	量产：LATP 已开始吨级出货，实现了商业化生产。
	容百科技	硫化物、氧化物、卤化物	量产：硫化锂中试线于今年完成，从 2025 年开始推进批量生产体系建设。
	璞泰来	LATP LLZO	性能：离子电导率达到 10^{-3} S/cm，粒度可控 量产：在四川基地建成了年产 200 吨固态电解质中试产线
添加剂	瑞泰新材	LiTFSI LiDFOB LiCF3SO3	量产：产能共计 487.5 吨

	多氟多	LiPF ₆ LiFSI NaPF ₆	量产：今年计划建成 2000 吨产能，预计出货千吨左右
	华盛锂电	LiFSI LiDFOB	量产：已形成小批量量产或技术储备 商业化：新型锂盐产品的推广能够与公司现有传统添加剂产生协同效应
上游材料	东方锆业	高纯超细二氧化锆产品	性能：预计可应用于固态电池中的 LLZO、LLZTO 等电解质 商业化：目前处于提供样品供固态电池材料厂家研发阶段 量产：年产能约为 1500 吨
	凯盛新材	LiFSI	商业化：已向下游潜在客户送样，质量取得好评 量产：公司 10000 吨/年 LiFSI 项目目前尚处于建设期
设备	利元亨	干法电极核心装备 具备生产固态电池整线装备研发与制造能力	2021 年 12 月，利元亨与清陶能源签订了 4 份涵盖从制片段到化成分容检测段的固态电池产线设备购销合同。从 2023 年年中开始，交付给清陶能源的产线已进入量产状态。目前，公司与广汽埃安建立了战略合作关系并共建联合创新实验室。

资料来源：高工锂电，清陶能源，中研网，高工锂电技术与应用，常州日报，财联社，上海洗霸公众号，赣锋锂业官网，每日经济新闻，恩捷股份，中国粉体网，电池中国网，证券之星，澎湃新闻，互动易，NE 时代新能源，证券时报网，Wind，格隆汇，新浪财经，电池网，上海证券报，金融界，山西证券研究所

2.2 新型正极：目前高镍正极为主，氧化物、硫化物、富锂锰材料或将开始应用

固态电池可接受更高电压，其正极材料发展经历了从传统材料到新型高能量密度材料的演进。传统正极材料主要包括聚阴离子型结构（如 LiFePO₄）、层状氧化物结构（如 LiCoO₂ 及其衍生的 NMC、NCA）和尖晶石结构（如 LiMnPO₄）。随着固态电池技术的发展，新型正极材料在固态电池中展现出更高的能量密度和更好的稳定性。

层状氧化物结构当前使用最为广泛，已代替稳定性差的尖晶石结构。层状氧化物结构材料发展较快，已广泛应用于现有锂离子电池中。这类材料包括 LiCoO₂ 及其衍生的 NMC、NCA 等，具有高能量密度和良好的循环性能，虽然面临钴资源稀缺和成本高的问题，但通过开发三元材料和调整金属元素比例等方法不断改进，在电池市场中占据主导地位。

富锂锰正极材料是未来固态电池正极材料的理想选择。虽然富锂锰材料结构稳定性仍需改善，但其展现出高容量和高电压的优势。目前，这类材料仍处于研究阶段，商业化进展相对较慢。然而，随着固态电池技术的发展，富锂锰材料是固态电池的理想选择。

多企业目前选择复合正极材料。复合正极材料通过结合高电压和高容量材料的优点，综合

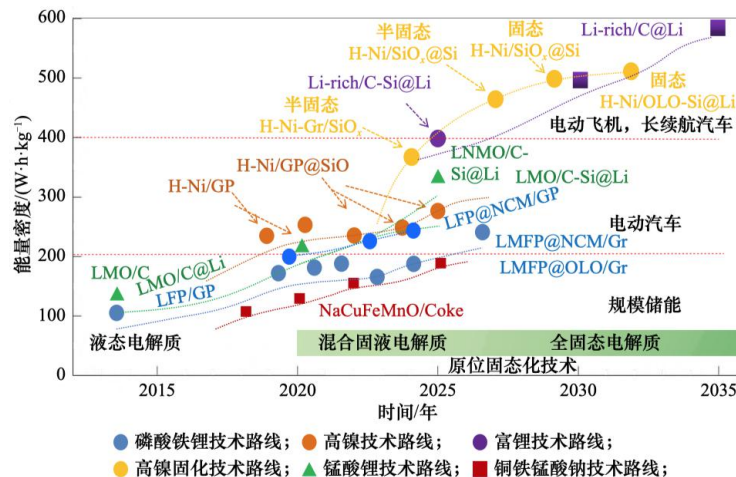
了多种材料的优势。这类材料虽然面临复杂度高和可能增加成本的挑战，但在性能方面具有显著优势。目前，复合正极材料正处于研究阶段，尚未大规模商业化，但其前景广阔，有望在未来固态电池技术中发挥重要作用。

表 9：正极材料各类型对比

正极材料类型	代表材料	优点	缺点	改进方法	应用前景
聚阴离子型结构	LiFePO_4	热稳定性好, 循环寿命长	电子导电性低	碳包覆, 离子掺杂;	电动汽车领域广泛应用
层状氧化物结构	LiCoO_2 ; NCM、NCA	高能量密度, 循环性能好	钴资源稀缺, 成本高	开发三元材料 (NCM, NCA); 调整金属元素比例	目前使用最广泛, 主导市场
尖晶石结构	LiMnPO_4	成本低, 环境友好	高温稳定性差	元素掺杂, 表面修饰	在便携式电子设备中应用
	$\text{LiN}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$	高工作电压, 高能量密度	需要匹配宽电化学窗口的电解质	研发宽电化学窗口的固态电解质, 如硫化物、氧化物类固态电解质	在固态电池中应用成为全固态锂离子电池理想正极材料之一
富锂正极材料	$\text{Li}_2\text{MnO}_3 - \text{LiMO}_2$ 固溶液	高容量, 高电压	结构稳定性需改善	晶格稳定化: 通过 Ti^{4+} 、 Zr^{4+} 等离子掺杂, 稳定 octahedra 结构	固态电池中的理想选择
复合正极材料	高电压+高容量材料组合	综合各种材料优点	复杂度高, 成本可能增加	优化材料配比: 调整高电压和高容量材料的比例, 平衡性能和成本	全固态锂电池快速商业化, 开发高能量密度、长使用寿命的储能设备具有重要意义

资料来源：《聚阴离子型钠离子电池正极材料的研究进展》，《锂离子电池三元层状氧化物正极材料的研究进展》，《新一代动力锂离子电池磷酸锰锂正极材料的研究现状与展望》，《高电压正极材料在全固态锂离子电池中的应用展望》，《高电压正极材料在全固态锂离子电池中的应用》，中国电气工程学报，《原子尺度揭示富锂和锰基氧化物正极材料中 LiMO_2 和 Li_2MnO_3 的结构分布》，《 Li_2MnO_3 的优化活化有效提高了 $x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot (1-x) \text{LiMO}_2$ 正极的倍率性能》，中国科学院，《氧离子导体表面包覆对 Li_2MnO_3 正极材料性能的影响》，《固态电池关键材料体系发展研究》，《青岛能源所开发均质化正极材料实现全固态锂电池新突破》，山西证券研究所

图 8：从液态到全固态电池的技术发展路线



资料来源：《固态电池关键材料体系发展研究》，山西证券研究所

多元化技术路线彰显企业核心竞争力，正极材料创新持续推进能量密度提升。高镍三元材料仍是主流选择，宁德时代正极材料采用双层包覆技术，实现高面容三元正极克容量 230mAh/g，循环寿命达 6000 次；清陶能源采取分代演进策略，第一代采用三元高镍，第二代采用三元高镍、镍锰，第三代聚焦无锂缺锂材料，计划在 2027 年实现量产；卫蓝新能源、辉能科技也采用高镍三元材料，如卫蓝新能源的 Ni90 高镍产品、辉能科技的 NCM955 材料。同时，新型材料如富锂锰基（太蓝新能源）和无锂缺锂材料（清陶能源）也在积极研发中。

表 10：正极路线对比

公司	技术路线	正极材料	其他信息
宁德时代	硫化物	高能量密度正极材料	
	聚合物		
	氧化物	无机氧化物	性能：第一层无机氧化物包覆层，第二层固体电解质包覆层，高面容三元正极克容量可达 230mAh/g，复合正极可以实现 6000 次循环
清陶能源	第一代：氧化物+聚合物	三元高镍	性能：液体含量 5%-15%，能量密度最高 420Wh/kg。已量产。智己汽车 L6 车型将搭载清陶能源固态电池，续航超 1000 公里
	第二代：第一代+卤化物+硫化物	三元高镍、镍锰	第二代：（液体含量<5%，能量密度 400-500Wh/kg）正处于小试，规划 2024 年量产。
	第三代：氧化物+聚合物	无锂缺锂材料	第三代全固态电池正验证中，目标 2027 年量产。
容百科技	硫化物	适配硫化物全固态电池的高镍/超高镍三元正极材料	量产：公司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获得行业头部客户充分认可，2024 年出货量稳定增长。
太蓝新能源	氧化物	富锂锰基	性能：研发出车规级单体容量 120Ah、实测能量密度

			高达 720Wh/kg 的超高能量密度体型化全固态锂金属电池，刷新了行业纪录。
亿纬锂能	硫化物+卤化物	高镍三元 NCM811	性能：采用正极 811 材料的电池在 0.5C 放电倍率下，经 400 次循环后仍能保持 90%的容量，展示出优异的高温 and 低温性能表现。

资料来源：电池中国网，中国储能网，澎湃新闻，腾讯网，NE 时代新能源，清陶，上海证券报，中国证券网，东方财富网，环球网科技，搜狐，DT 新材料，山西证券研究所

2.3 新型负极：目前石墨和硅碳为主，全固态将使用金属锂

固态电池负极材料行业正处于快速发展阶段，主要包括金属锂、碳基材料和硅基材料三大类。碳基负极材料，尤其是石墨，因其成本低、稳定性好而目前仍被广泛应用。石墨负极的理论容量为 372 mAh/g，虽然相对较低，但其成熟的技术和稳定的性能使其在近期内仍将占据主导地位。研究方向主要集中在提高首次循环效率和改善倍率性能上，如开发新型纳米碳材料和复合材料。预计到 2030 年，碳基材料在部分领域仍将保持应用，但在高能量密度应用中可能逐步被其他材料取代。

硅基负极材料因其高理论比容量（室温下约 3759 mAh/g）成为研究热点。硅负极具有容量高、安全性好、原材料丰富等优势，被认为是最有潜力的下一代负极材料。然而，硅材料在充放电过程中存在严重的体积膨胀问题，影响电池寿命和性能。目前研究主要集中在纳米化、多孔结构设计和复合材料开发等方面。在固态电池体系中，硅负极的应用前景更为广阔，预计在 2025-2027 年间可能实现在高端市场的初步应用。

金属锂负极因其高比容量和低电极电位，被认为是理想的固态电池负极材料。其理论比容量高达 3861 mAh/g，远超其他材料。然而，金属锂负极面临锂枝晶生长、循环过程中体积变化等问题，影响电池安全性和寿命。目前，研究重点集中在通过构建人工 SEI 膜、开发三维结构锂金属负极等方法来抑制锂枝晶生长和提高循环稳定性。预计在 2028 年左右，金属锂负极有望在高端应用领域实现商业化。

目前，各类材料都在积极研发中，但尚未完全实现大规模商业化应用。石墨负极在短期内仍将广泛应用，而硅基和金属锂负极被视为更具发展潜力的下一代材料。行业面临的主要挑战包括提高材料性能、降低成本和解决界面问题等。

表 11：固态电池负极材料优缺点

材料体系	代表	优点	缺点	研究方向
金属锂负极材料	金属锂	高容量、低电位	循环过程中点击体积变化大,严重时会导致电极粉化失效,循环性能大幅下降;锂是电极活性物质,相应的安全隐患仍存在。	合成新型合金材料、制备超细纳米合金和复合合金体系。
碳族负极材料	碳基、硅基、锡基材料(以石墨为例)	技术成熟,价格低,充放电效率高	碳的理论容量较低,可开发空间已不大。硅负极正在开发中,但受限于体积膨胀。	使用掺杂石墨烯、碳纳米管等纳米碳作为新型碳材料。
氧化物负极材料	金属氧化物、金属基复合氧化物和其他氧化物	理论比容量高	从电化学过程中,大量的 Li 被消耗,造成巨大的容量损失,并且循环过程中伴随着巨大的体积变化,造成电池的失效。	通过与碳基材料的复合进行改善。

资料来源:《为全固态锂电池“正名”》,山西证券研究所

表 12: 企业固态电池用负极布局进展

公司	负极材料
清陶能源	第一代半固态: 硅碳负极
	第二代准固态: 含锂的复合负极
	第三代全固态: 金属锂或含锂合金
卫蓝新能源	高容量纳米硅碳负极材料
	超薄金属锂负极
太蓝新能源	复合锂金属基材料
亿纬锂能	锂金属
国轩高科	硅负极
弗迪电池	硅负极(高比容量低膨胀)
杉杉股份	硬碳负极产品可与石墨负极产品掺混用于半固态电池
	气相沉积法硅碳负极
翔丰华	硅碳负极材料产品

资料来源: NE 时代新能源, 卫蓝新能源, 电池网, SMM 石墨负极, 杉杉股份, 山西证券研究所

综合来看, 固态电池的关键材料将不断提升革新, 以满足更高的性能要求。正极材料将由目前的三元材料向高镍三元材料、富锂正极材料过渡, 直至满足固态电池需求的高比容量新型正极材料; 负极材料将从石墨负极过渡到硅碳负极, 最后到金属锂负极; 固态电解质将由固液混合电解质、准固态电解质向全固态电解质逐步发展, 其中兼具聚合物电解质和无机物电解质优势及综合性能的复合固态电解质可能是未来最能满足实际应用需求的固态电解质材料。

表 13: 从液态到固态电池材料体系变化

材料	材料体系变化	预期容量
正极材料	镍钴锰酸锂 NCM→NCM(333, 424, 523, 613, 811), Ni90, Ni92, Ni95, Ni98	220~230 mAh/g
	锰酸锂→ 高压镍锰酸锂, 富锂锰基材料	115~350 mAh/g
	磷酸铁锂→磷酸锰铁锂	150~160 mAh/g
	钴酸锂→4.6V 高压钴酸锂	190~230 mAh
负极材料	人造石墨/天然石墨→硬碳, 钛酸锂, 铌酸钛	150~400 mAh/g
	硅→纳米硅碳, 硅氧石复合, 微米硅, 预锂化负极	450~3500 mAh/g
	锂→锂碳复合材料, 锂合金薄膜	1500~3500 mAh/g
电解质材料	六氟磷酸锂, 碳酸亚乙酯-碳酸二乙酯→锂盐 (LFSI, LITFSI, LIDFOB)	
	固体电解质界面 (SEI) 添加剂→固液混合电解质, 全固态电解质	
其他辅材	氧化铝涂覆聚乙烯隔膜, 导电炭黑导电剂, 铜箔/铝箔集流体→磷酸钛铝锂双面涂覆隔膜, 单壁碳纳米管/石墨烯混合导电剂, 复合集流体	

资料来源：《固态电池关键材料体系发展研究》，山西证券研究所

2.4 固态电池成本未来有望低于液态电池

根据图 3 清陶能源规划固态电池于 2027 年达到量产，我们假设 2030 年行业实现固态电池量产，届时预计部分原材料价格有所下降，如假设正极材料镍钴锰酸锂单吨消耗量和单吨价格下降，LiTFSI 单吨价格由 30 万元/吨下降到 15 万元/吨，LLZTO 单吨价格由 30 万元/吨下降到 15 万元/吨，预计固态电池 2030 年量产成本低于当前电池 29%左右。我们测算当前液态三元锂电池成本为 0.42 元/Wh，当前固态电池成本为 0.54 元/Wh，高于三元电池，2030 年固态电池成本有望达 0.39 元/Wh，低于当前三元电池成本。

表 14：固态电池材料成本拆分

材料		年消耗量 (t/a)	单吨价格 (万 元/吨)	合计消耗 (万元)	量产后年消耗 量 (t/a)	量产后单吨价格 (万元/吨)	降本后合计消 耗 (万元)
正极	镍钴锰酸锂	2265	15	34997	1812	13	23558
	聚偏二氟乙烯 (PVDF)	28	6	167	28	6	167
	碳纳米管浆料	417	3	1042	417	3	1042
负极匀浆	石墨	1317	2	2017	1317	2	2017
固态电解质	双三氟甲基磺 酰亚胺锂 (LiTFSI)	11	30	318	11	15	159
	锂镧锆氧粉体	18	30	534	18	15	267

	(LLZTO)						
	二甲基乙酰胺 (DMAC)	4384	1	2192	4384	1	2192
铝箔		211	4	739	211	4	739
铜箔		364	6	2183	364	6	2183
铝壳 (万个/年)		250	5	1205	250	5	1205
合计 (万元)				45141			33529
电芯单 Wh 成本 (元/Wh)				0.45			0.34
单只成本 (元/只)				239			177
单 Wh 成本 (包含其他材料及制造费用) (元/Wh)				0.54			0.39
降本幅度							-29%

资料来源：清陶环评，百川盈孚，chemicalbook，我的钢铁网，wind，震裕科技 2023 年年报，山西证券研究所

表 15：液态三元锂电池材料成本拆分

	单位用量 (t/GWh)	单位	单位价格 (万/t)	单位成本 (元/Wh)
正极材料 (三元 622)	1569	t	10.9	0.17
加工费	1569	t	2	0.03
导电剂 AB	28	t	16.2	0.00
粘贴剂 PVDF	35	t	6	0.00
分散剂 NMP	7	t	3.6	0.00
铝箔	314	t	2.3	0.01
负极材料 (石墨)	899	t	2	0.02
集流体 (铜箔)	314	t	6	0.02
粘结剂 SBR	39	t	13.97	0.01
粘结剂 CMC	39	t	3.6	0.00
电解液	894	t	1.83	0.02
湿法隔膜	1520	万平米	0.84	0.01
壳体&辊压膜及其他	1	套	0.07	0.07
电芯材料成本合计			0.36	
电费	5000	万 kwh	0.4	0.02
人工	100	人	10	0.01
折旧 (元/Wh)	2.2	亿		0.022
其他				0.01
电芯材料成本合计 (元/Wh)			0.42	

资料来源：百川盈孚，山西证券研究所测算

3. 从半固态到固态，多龙头公司开始布局

3.1 宁德时代：聚合物和硫化物产业化进展领先，半固态已装车验证

2023年4月19日，宁德时代率先发布高能量密度的凝聚态电池。凝聚态电池拥有安全性高、可靠性强、循环寿命长等特点，单体能量密度达500Wh/kg，可以快速实现量产，满足客户需求。电解液完全不同于普通液态锂离子电池的电解液呈完全100%的液态，而是一种半固态化的胶质状态，这使得凝聚态电池既能完成锂离子在正负极的传导工作，也因为电解液本身的粘性使得流动性降低，能提高动力电池整体的安全性能，避免了传统液态锂离子电池热失控的巨大风险。此外，凝聚态电池还聚合了包括超高比能正极、新型负极、隔离膜、工艺等一系列创新技术。

宁德时代凝聚态电池已实现商业化，今年内将具备量产能力。目前，宁德时代正在进行民用电动载人飞机项目的合作开发，执行航空级的标准与测试，满足航空级的安全与质量要求。同时，宁德时代还将推出凝聚态电池的车规级应用版本，可在今年内具量产能力。

多种技术路线并行研究，硫化物电解质已建立起10Ah级别的验证平台，目标2027年达到7-8分的研发水平。公司正在进行基于硫化物电解质的全固态电池的研发，目前已建立起10Ah级别的验证平台。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），宁德时代的全固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，但大批量生产仍然会面临成本等问题。

图9：宁德时代固态电池进程

2023.6.10 世界动力电池大会	2023.7.6 第13届中国汽车论坛	2024.4.28 CIBF2024先进电池前沿技术研讨会	2024.6.21 投资者调研
沿用现有液态锂电池的材料体系，负极用石墨和硅，未来也能够解决电池安全问题，那么把液态电解液换成固态电解液，如果能够降成本，那就值得。 能量密度探索的重点方向是金属锂负极，固态电解质更适合与金属锂结合。	全固态电池目前还有些行业核心问题亟待解决。 “目前全行业谁都不具备量产全固态电池的能力。至于到2027年能否量产，作为技术人员，我也很难说得准确”	解决方案进展比较快的硫化物路线，率先量产的可行性较大。 宁德时代的全固态电池研发目前处于4的水平（以1-9打分）。 宁德时代的目标是到2027年达到7-8的水平。	2027年有望实现小批量生产全固态电池。

资料来源：Wind，2024-6-21 投资者调研纪要，新浪财经，澎湃新闻，第一财经，鑫铈锂电，山西证券研究

所

表 16：宁德时代固态电池技术进展

宁德时代固态电池		
材料	技术策略	策略效果
正极	界面策略 1：单晶正极多层级全包覆技术提升界面结构稳定性	高面容三元正极克容量达到 230mAh/g
	界面策略 2：多功能复合粘接剂构筑高效稳定极片导电网络	复合正极实现 6000c1s 长循环稳定性
负极	锂金属策略 1：相变自填充技术增强电解质结构抑制锂枝晶	锂金属临界电流密度提升至 20mA/c m²
	锂金属策略 2：亲锂性界面层设计构筑界面离子传输“高速公路”	锂金属负极循环平均库伦效率>99.9%
电解质	电解质策略 1：可逆双亲性分子疏水层设计提高空气稳定性	包覆后电解质可在-40℃露点环境稳定
	电解质策略 2：开发新型合成路线和低锂含量材料降低成本，硫化锂成本占比由 94%降至 53%	规模化后电解质成本有望大幅降低
制造工艺	高柔性核壳结构粘接剂设计	打通干/湿法极片制备和电芯一体化成型工艺方案，建立 10Ah 级全固态电池验证平台
	纤维过程量化控制	
	超薄电解质转印技术	
	等静压一体成型技术	

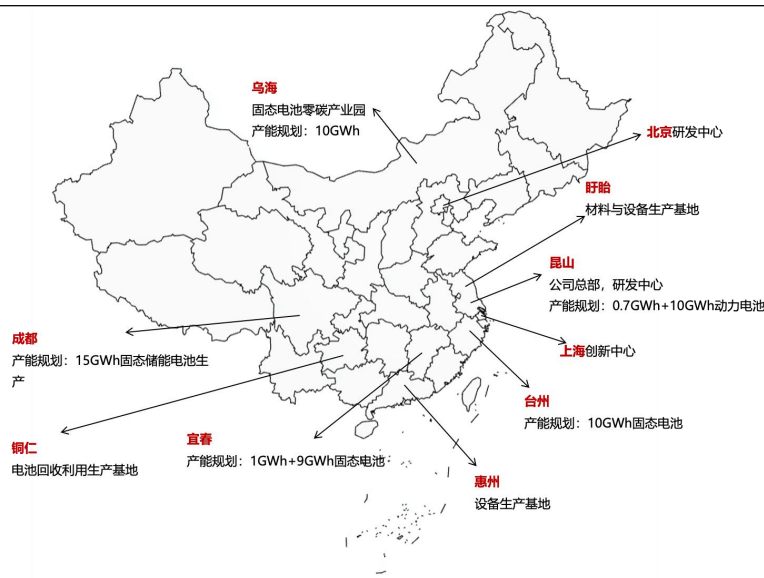
资料来源：宁德时代，山西证券研究所

3.2 清陶：全固态量产仍需时间，氧化物和硫化物技术路线布局领先

清陶积极探索多条技术路线，在多地建设固态电池生产基地。清陶第一代半固态电池为氧化物加聚合物的技术路径，第二代固态电池为氧化物、卤化物加聚合物的路径。清陶能源项目在台州正式落地，一期项目预计今年六七月份投产，2025 年全面投产。项目总投资 100 亿元，达产后年产 10GWh 固态锂电池，可适配更高充电电压，提高电池安全性和续航寿命。2 期项目计划 2025 年启动，投资 50 亿元，完成建设后，项目年产总能达 20GWh。已与上汽等车企建立合作，上汽已追加投资 27 亿元并设立合资公司。固态电池产业链已全方位布局，在多地建设了电池生产基地。

清陶联合研发的固态电池将上车。智己刘涛表示，上汽集团与清陶能源联合研发的光年固态电池将于今年 10 月实现量产上车。这款电池采用了无机氧化物固态电解质，从化学特性上不仅高温下不可燃，而且在准 900 伏高压架构下，展现出了超快充性能。其峰值充电功率高达 400 千瓦，仅需 12 分钟即可为车辆增加 400 公里的续航里程。

图 10：清陶产能布局



资料来源：清陶，央广网，山西证券研究所

表 17：清陶技术进展

清陶能源全固态电池产业化路线项目			
正极	高电压锰基正极		
负极	含锂复合负极		
电解质	有机-无机复合固态电解质		
优势	能量密度	高容量负极匹配高电压锰基正极可实现能量密度超 500Wh/Kg	
	有效解决界面问题	电化学界面适配性（超 4.5V 高电压正极加低电位负极）	基于聚合物及耐高压卤化物构建“3D+2D”复合结构
		负极侧固固界面接触（石墨负极与固态电解质结合弱）	采用含锂复合负极增强负极同固态电解质的相容性
	成本优势显著	低成本高电压锰系正极	低正极 Wh 成本、高电压下体系设计减量
		低成本、高导锂电解质	Zr 系卤化物（约合硫化物成本 3%）+聚合物
		低成本干法工艺	工艺精简、设计高兼容

资料来源：清陶，山西证券研究所

3.3 卫蓝：360Wh/kg 混合固液态电池已交付

卫蓝新能源规划产能超过 100GWh，2023 年 6 月正式向蔚来交付 360Wh/kg 半固态产品。江苏卫蓝新能源成立于 2018 年 1 月，是以固态锂电池研发与生产为主营业务的高新技术企业，

产品应用覆盖无人机、电动工具、规模储能、电动汽车等领域。卫蓝新能源已拥有北京房山、江苏溧阳、浙江湖州和山东淄博四大基地，规划产能超过 100GWh。产业进程方面，湖州基地第一颗固态动力电芯于 2022 年 11 月下线，2023 年 6 月正式向蔚来交付 360Wh/kg 锂电池半固态产品。储能方面，卫蓝新能源已通过 GB/T 36276-2018 和卫蓝新能源本质安全电池标准（企标），为储能系统提供有效的安全保障，助力我国储能技术规模化安全发展。之前在 2022 年，卫蓝新能源研发出全球首台套项目，获中国能源研究会技术创新一等奖。

表 18：卫蓝技术路线

项目	技术路线	说明
正极	超高镍三元正极材料	向容百科技采购
电解质	正极侧复合聚合物电解质层	抑制氧气产生：体相掺杂、晶界掺杂、超薄固态电解质包覆、固态电解质掺混
	聚合物填充多孔隔膜层	阻氧气、阻枝晶：固态电解质涂层、凝胶涂层
	负极侧复合无机固态电解质层	防枝晶：预锂化固态电解质掺混
隔膜	耦合界面原位固态化的固态电解质涂层隔膜	解决涂布均匀性差、含水量高、界面电阻高、锂枝晶穿刺等问题
负极	半固态：高容量纳米硅碳负极材料	第三代纳米硅碳技术
	全固态：超薄金属锂负极	稳定循环>1000 周(保持率 100%)，理论能量密度可超过 400Wh/kg
工艺	原位固态化	解决固固接触难题
	超薄固态电解质包覆高容量正极材料	提高层状氧化物正极电化学稳定性和安全性

资料来源：高工锂电，卫蓝新能源，山西证券研究所

表 19：卫蓝基地布局

卫蓝基地布局	基地布局	产能规划	投产时间	基地图片
北京房山基地	总部研发+固态电池量产基地	8GWh	2025 年	
江苏溧阳基地	低空经济动力基地	0.2GWh	2020 年 8 月	

卫蓝基地布局	基地布局	产能规划	投产时间	基地图片
湖州动力基地	汽车动力基地	2GWh+20GWh	2022 年 Q3、 2025 年 Q4	
淄博储能基地	储能基地	20GWh	2023 年 9 月(一期)	
绍兴浆料基地	固态电池关键材料及固态电池生产基地	1 万吨	2023 年底	
广东深圳坪山基地	研发基地+全固态小试基地	600MWh	2025 年 3 月	

资料来源：卫蓝新能源，山西证券研究所

表 20：卫蓝技术路线

卫蓝产品布局	产品	量产进度	应用场景
半固态	360Wh/kg	2023Q3 量产交付	汽车动力：蔚来 150kWh 电池采用卫蓝 360Wh/kg 半固态电芯进行续航测试，ET7 单块电池行驶 1,044 公里。 储能：1、（发电侧）乌兰察布源网荷储；2、（电网侧）济宁共享储能电站；3、（用户侧）众车联工商业储能；4、浙江龙泉全球首套半固态电池网侧大规模储能电站等。 工程机械：八爪科技电动化移动割草机，山东港口集团堆料机。 小动力：纵横大鹏 CW-15 工业无人机；便携电源、户外储能（全球最轻量的 2kWh 移动储能）。
	46X 系列	2025Q1 量产交付	
	280Ah 储能	2023Q3 量产交付	
全固态	氧化物全固态、硫化物全固态	预计 2027 量产	新能源汽车、电动飞机

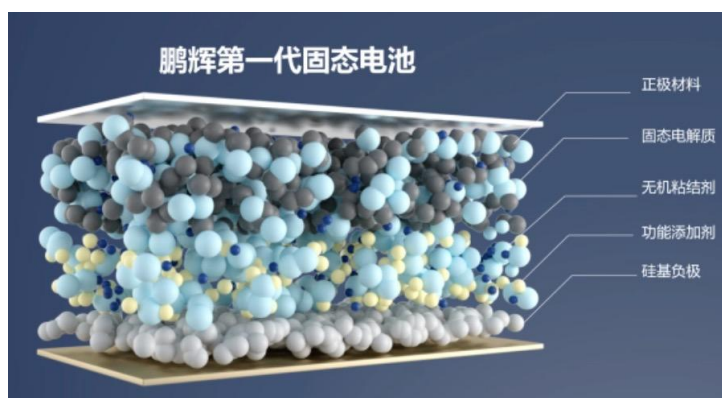
资料来源：卫蓝新能源，我的电池网，山西证券研究所

3.4 鹏辉能源：已发布第一代全固态电池，2026 年将量产

公司是全球领先的锂电池制造商，深耕储能领域十余年。公司是 2023 年中国工商储能系统出货量 Top3，2023 年中国企业全球户用储能电池出货量 Top3。公司成立于 2001 年，2011 年第一款储能产品发布，2015 年公司上市，收购日本耐克赛尔，2019 年实施储能战略，建立柳州工业园，预计 2025 年将实现产能 100GWh 以上，成为全球储能市场首选电池供应商。

公司已发布第一代全固态电池，未来有望达到与锂电池相同成本，2026 年量产。2024 年 8 月 28 日，鹏辉能源发布第一代全固态电池，公司采用氧化物技术路线，固态电池可实现能量密度 280Wh/kg，-20~85℃可稳定充放电循环，循环寿命 600 次。安全性能方面，其通过了针刺试验，在受到针刺时，不冒烟、不起火、不爆炸，能导出并抑制内部能量释放，确保固态电池各组件在极端条件下依然保持完整性。成本方面，固态电池成本较常规锂电成本高出 15% 左右，未来有望达到与常规锂电相同成本。产业化进度方面，预计 2025 年启动中试研发并小规模生产，2026 年将正式建立产线并批量生产。2025 年，在材料端搭配使用更高比例硅基负极，鹏辉能源固态电池能量密度将达 300Wh/kg 以上。预计可应用于消费电子、低空经济、动力场景等领域。

图 11：鹏辉能源第一代固态电池



资料来源：IT 之家，山西证券研究所

表 21：鹏辉能源固态电池亮点

鹏辉能源固态电池亮点	作用
无机固态电解质	替代隔膜和电解液，消除有机电解液的安全隐患



鹏辉能源固态电池亮点	作用
添加新型无机复合粘结剂	改善陶瓷弯折易脆特性，提升电解质层的粘附和塑性，减少固态电池内短路概率
添加功能添加剂	提升无机复合电解质层的离子电导率，降低电芯内阻值
添加高导热功能添加剂和安全剂	提升固态电池散热能力和安全性能
工艺：电解质湿法涂布	大幅简化工艺，绕开氧化物固态电解质高温烧结过程，成本较常规锂电成本高出 15%左右，未来有望达到与常规锂电相同成本

资料来源：IT 之家，山西证券研究所

3.5 孚能科技：第一代固态电池已装车，第二代处于送样阶段

公司是全球领先的软包动力及储能电池生产商、是中国首批实现三元软包动力电池量产的企业之一。固态电池路线方面，公司制定从液态电池，到半固态、固态电池的发展规划，公司采用软包技术路线，根据董事长王瑀，软包封装和叠片工艺最适合半固态和固态电池，孚能科技坚持的三元软包技术路线所有产线和设备无须改造就可无缝衔接半固态或固态电池的制造。半固态电池技术方面，经孚能科技实验室实测，已实现电池超 5000 次循环，SOH>70%，总行驶里程超 160 万公里（100 万英里）。产业进展方面，2022 年，公司半固态电池开始投产，并已搭载东风岚图追光和梦想家车型；2024 年 3 月，公司与一汽解放签约合作，率先导入一汽解放商用车产品；公司第二代半固态电池已处于送样阶段，预计 2025 年投产。2024 年 4 月，吉利雷达首款纯电四驱皮卡地平线正式发布，搭载的动力电池由孚能科技和吉利集团联合开发，主要技术方案是孚能科技超级软包动力电池解决方案（SPS），产品设计兼容多种化学体系电芯，包括半固态电池。公司第二代半固态电池已处于产业化开发阶段，兼顾能量密度、循环寿命和快充性能的新型正负极材已处于中试阶段，即将应用于公司的各产品体系。

表 22：孚能科技 330Wh/kg 半固态软包技术特点

高能量密度	330+Wh/kg
高安全	材料体系安全、电芯系统安全设计、国标电芯安全认证
耐低温	电池在-20℃仍能提供约 90%的容量
高功率	3C 放电容量保持率大于 98%
长寿命	1500+次循环能力
超快充	SOC 快充技术，充电从 10%-80%少于 15 分钟

资料来源：科技速递，山西证券研究所

4. 投资建议

固态电池有望解决锂电池面临的比能量、循环寿命及安全性能困境，是未来大容量二次电池发展方向。重点推荐：宁德时代，公司固态电池布局较早，企业具备雄厚的研发实力，多技术路线同时布局，有望引领固态电池行业发展。建议关注：（1）电池厂商如鹏辉能源、南都电源、孚能科技等；（2）清陶能源、卫蓝新能源等固态电池布局领先、产品率先装车的创业型公司。（3）核心材料固态电解质环节，相关公司如三祥新材、瑞泰新材等。（4）新型正负极材料环节，如太蓝新能源、辉能科技、翔丰华、国轩高科、容百科技等。

5. 风险提示

1、下游需求不及预期风险。宏观经济和消费需求不及预期，以及国内新能源汽车补贴退坡，新能源车销量可能不及预期，产业链需求可能出现下滑风险。

2、原材料价格大幅波动风险。如果原材料价格大幅波动，将会影响产业链各环节公司的利润。

3、国内外政策风险。受国际关系和地缘政治的影响，其他国家对我国产品的进口政策存在不确定性，不利的变化将会影响国内企业出口。

4、技术推进不及预期。固态电池处于产业化初期，对企业研发投入、创新能力有较高要求，如果企业不能把握技术变化趋势、市场政策变化等，则面临淘汰风险。

分析师承诺：

本人已在中国证券业协会登记为证券分析师，本人承诺，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本人对证券研究报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规，研究方法专业审慎，分析结论具有合理依据。本报告清晰准确地反映本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接受到任何形式的补偿。本人承诺不利用自己的身份、地位或执业过程中所掌握的信息为自己或他人谋取私利。

投资评级的说明：

以报告发布日后的 6--12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。

无评级：因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见的结果的重大不确定事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。（新股覆盖、新三板覆盖报告及转债报告默认无评级）

评级体系：**——公司评级**

- 买入： 预计涨幅领先相对基准指数 15%以上；
- 增持： 预计涨幅领先相对基准指数介于 5%-15%之间；
- 中性： 预计涨幅领先相对基准指数介于-5%-5%之间；
- 减持： 预计涨幅落后相对基准指数介于-5%- -15%之间；
- 卖出： 预计涨幅落后相对基准指数-15%以上。

——行业评级

- 领先大市： 预计涨幅超越相对基准指数 10%以上；
- 同步大市： 预计涨幅相对基准指数介于-10%-10%之间；
- 落后大市： 预计涨幅落后相对基准指数-10%以上。

——风险评级

- A： 预计波动率小于等于相对基准指数；
- B： 预计波动率大于相对基准指数。

免责声明：

山西证券股份有限公司(以下简称“公司”)具备证券投资咨询业务资格。本报告是基于公司认为可靠的已公开信息，但公司不保证该等信息的准确性和完整性。入市有风险，投资需谨慎。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，公司不对任何人因使用本报告中的任何内容引致的损失负任何责任。本报告所载的资料、意见及推测仅反映发布当日的判断。在不同时期，公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。公司或其关联机构在法律许可的情况下可能持有或交易本报告中提到的上市公司发行的证券或投资标的，还可能为或争取为这些公司提供投资银行或财务顾问服务。客户应当考虑到公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。公司在知晓范围内履行披露义务。本报告版权归公司所有。公司对本报告保留一切权利。未经公司事先书面授权，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，或以任何侵犯公司版权的其他方式使用。否则，公司将保留随时追究其法律责任的权利。

依据《发布证券研究报告执业规范》规定特此声明，禁止公司员工将公司证券研究报告私自提供给未经公司授权的任何媒体或机构；禁止任何媒体或机构未经授权私自刊载或转发公司证券研究报告。刊载或转发公司证券研究报告的授权必须通过签署协议约定，且明确由被授权机构承担相关刊载或者转发责任。

依据《发布证券研究报告执业规范》规定特此提示公司证券研究业务客户不得将公司证券研究报告转发给他人，提示公司证券研究业务客户及公众投资者慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

依据《证券期货经营机构及其工作人员廉洁从业规定》和《证券经营机构及其工作人员廉洁从业实施细则》规定特此告知公司证券研究业务客户遵守廉洁从业规定。

山西证券研究所：**上海**

上海市浦东新区滨江大道 5159 号
陆家嘴滨江中心 N5 座 3 楼

太原

太原市府西街 69 号国贸中心 A 座
28 层

电话：0351-8686981

<http://www.i618.com.cn>

深圳

广东省深圳市福田区金田路 3086
号大百汇广场 43 层

北京

北京市丰台区金泽西路 2 号院 1 号
楼丽泽平安金融中心 A 座 25 层

