

产业链技术持续突破，固态进入中试关键期

--固态电池深度系列三

电新首席证券分析师：曾朵红
执业证书编号：S0600516080001
联系邮箱：zengdh@dwzq.com.cn

电动车首席证券分析师：阮巧燕
执业证书编号：S0600517120002
联系邮箱：ruanqy@dwzq.com.cn

锂电证券分析师：朱家佟
执业证书编号：S0600524080002
联系邮箱：zhujt@dwzq.com.cn

联系电话：021-60199793
2025年6月10日

- ◆ **产业链进展超预期，固态进入中试关键期。** 固态电池在国家大力支持下，近半年产业链发展迅速。从电芯端看，比亚迪、国轩高科、一汽集团60Ah车规级电芯已下线，能量密度可达350-400Wh/kg，充电倍率1C，循环寿命1000次，节奏时间早于预期半年左右。工信部项目预计25年底前进行中期审查，目前电池材料体系已定型，原材料性能已达量产要求，核心难点在于电池制造工艺，预计25H2-26H1进入中试线落地关键期，第一波设备陆续到位调试优化，第二波设备预期年底升级改造，固态电池有望进入测试+设备迭代关键期。
- ◆ **硫化物为主流量产趋势，30年有望突破100GWh。** 头部企业+产业链加码后，设备和材料端均有突破，设备干湿法路线并行，并有新方案持续开发，前中后段都有长足进步，硫化物已突破千米级大卷，加压条件可降至1-2Mpa，量产进度好于此预期。硫化物电解质价格目前在千万级/吨（硫化锂几百万/吨），根据项目指引，26年需降至250万/吨（硫化锂几十万/吨），后续降至几十万/吨（硫化锂20万/吨），若实现，30年部分固态电池成本有望降至接近液态电池水平，在低空、动力和机器人领域开启规模放量，规模有望突破100GWh。
- ◆ **投资建议：** 第一条线推荐壁垒最高的电池环节，首推**宁德时代**，其次**比亚迪**，**亿纬锂能**，关注**国轩高科**等；第二条线推荐设备端，推荐**纳科诺尔**，**璞泰来**，**曼恩斯特**，关注**宏工科技**，**先惠技术**，**德新科技**，**利元亨**等；第三条线推荐材料端，推荐**天奈科技**，**容百科技**，**当升科技**，**赣锋锂业**，**天赐材料**，**恩捷股份**，**星源材质**，关注**厦钨新能**，**英联股份**，**甬金股份**，**有研新材**，**三祥新材**，**天铁科技**，**海辰药业**，**上海洗霸**，**金龙羽**等。
- ◆ **风险提示：** 新技术进度不及预期。

一、国内政策支持力度持续，固态电池步入中试关键期

- ◆ 国家多部门重点支持固态电池，技术聚焦硫化物全固态，剑指27年装车示范性运营，小批量节奏有望提前至26-27年。
- ◆ **节奏预判：**25年小试完毕+车规级电芯下线，26年中试线优化+样车路试，27年小规模量产+装车示范运营。
- ◆ **关键节点：**工信部项目预计25年底前进行中期审查。

图：固态电池政策端梳理



国务院国有资产监督管理委员会

State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council

国资委项目：23年12月，固态电池产业创新联合体成立，由中国一汽牵头，有研广东院、国联研究院、东风汽车、长安汽车等27家单位联合组建，目标26年实现硫化物全固态装车示范应用，能量密度400wh/kg，循环寿命1000次。

中华人民共和国工业和信息化部

Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China

工信部重大研发专项：24年2月，开始组织申报，4月进行答辩，4月底出评审结果，5月份进行公告，资金体量共60亿，12月开启发放。每个项目8亿，其中硫化物三家（宁德时代、比亚迪、一汽集团），聚合物三家（卫蓝新能源、清陶能源、吉利汽车），凝聚态一家（宁德时代），此外，含知识产权体系的构建2亿，表征体系的构建2亿。目标27年单项目实现1千辆示范性装车应用。25年年底前，工信部项目预计进行中期审查，对车规级电芯性能进行阶段性测试。



中华人民共和国国家发展和改革委员会

National Development and Reform Commission

发改委超长期国债：目前对布局固态电池的企业和机构给予实际投资额15%的资助，企业自行进行申报，需当地发改委推荐至国家发改委审核。

- ◆ 中国电动汽车百人会相关负责人表示，全固态电池预计27年开始装车，30年是完全可以实现量产的，国内主要汽车电池企业聚焦硫化物全固态，目标实现动力电池能量密度400wh/kg+。
- ◆ 从企业端看，比亚迪、国轩高科、一汽集团60Ah车规级电芯已下线，能量密度可达350-400Wh/kg，充电倍率1C，循环寿命1000次，节奏时间早于预期半年左右（此前预期25年年底），我们预计26年进入车企全固态路试的密集期。

图：固态电池车企端进展



国轩高科（25年5月17日）：公司发布金石全固态电池，采用硫化物体系，电芯尺寸70Ah，能量密度350Wh/kg，循环寿命超1000次，公司首条全固态电池中试线已建成，设计产能0.2GWh，良品率高达90%，全固态已搭载星纪元ET开启装车测试。



比亚迪（25年2月17日）：13年启动全固态电池研发；16年进行技术可行性验证，低于1Ah软包、钢制夹具圆形电池；23年启动产业可行验证，电芯、系统、产线、材料技术；24年20Ah、60Ah电芯已中试下线，能量密度高达400Wh/kg；27年启动批量示范装车应用，30年大规模应用。



一汽集团（25年2月17日）：全固态电池容量达66Ah，200℃热箱滥用试验不起火、不爆炸，已开发正极材料比容量>220mAh/g，1C循环寿命达到1000次，基本满足400Wh/kg的需求，离子电导率硫化物达6.2mS/cm，卤化物达4.6mS/cm，正极侧80%硫化物+20%卤化物，目标计划27年实现小批量应用。



后续展望：奔驰、宝马已开启全固态装车路试，长安、上汽、广汽、吉利已更新固态进展，此外，赛力斯、小米、东风、江淮、丰田、大众、本田、日产预计在25年更新量产进展。

- ◆ **头部企业+产业链加码后，设备和材料端均有突破。**设备端看，电解质成膜设备干湿法路线并行，等静压设备实现连续化生产，并有新方案新工艺持续开发，前中后段都有长足进步；材料端看，硫化锂材料性能已达标，硫化物已突破千米级大卷，加压条件可降至1-2Mpa，锂金属开发蒸镀新工艺。全固态技术进展好于此此前预期，目前电池材料体系已定型，原材料性能已达量产要求，我们预计25H2-26H1进入电池厂中试线落地的关键期。

图：固态电池设备+材料端进展

中科固能

中科固能（25年4月23日）：成功研发全球首款可连续成卷生产的硫化物全固态电解质膜，厚度仅15-25微米，较传统湿法工艺减薄40%，离子电导率达3.82mS/cm，较去年同类产品提升91%，接近液态电解液水平，幅宽拓展至400毫米，单卷长度超1000米，纯度提升至95%以上，大幅突破行业量产瓶颈。



TSING YAN
Electronic Technology
清研电子

清研电子（25年4月）：国内首条0.1GWh干法电极全自动贯通产线投产，在前段混合均质环节，与宏工科技将核心指标物料排料率提至了99.5%，混合均质一体机性能达到行业先进水平，在后段粉体成膜环节，与纳科诺尔研发的装备已迭代至第二代，将膜片最薄做到30μm，幅宽800mm。



Cnpack | 英联股份

英联股份（25年3月18日）：公司依托蒸镀工艺的技术储备优势，开发应用于固态电池的锂金属/复合集流体负极一体化材料，并与头部汽车公司开展相关的技术合作，预期在1年内向客户交付上述新型材料。

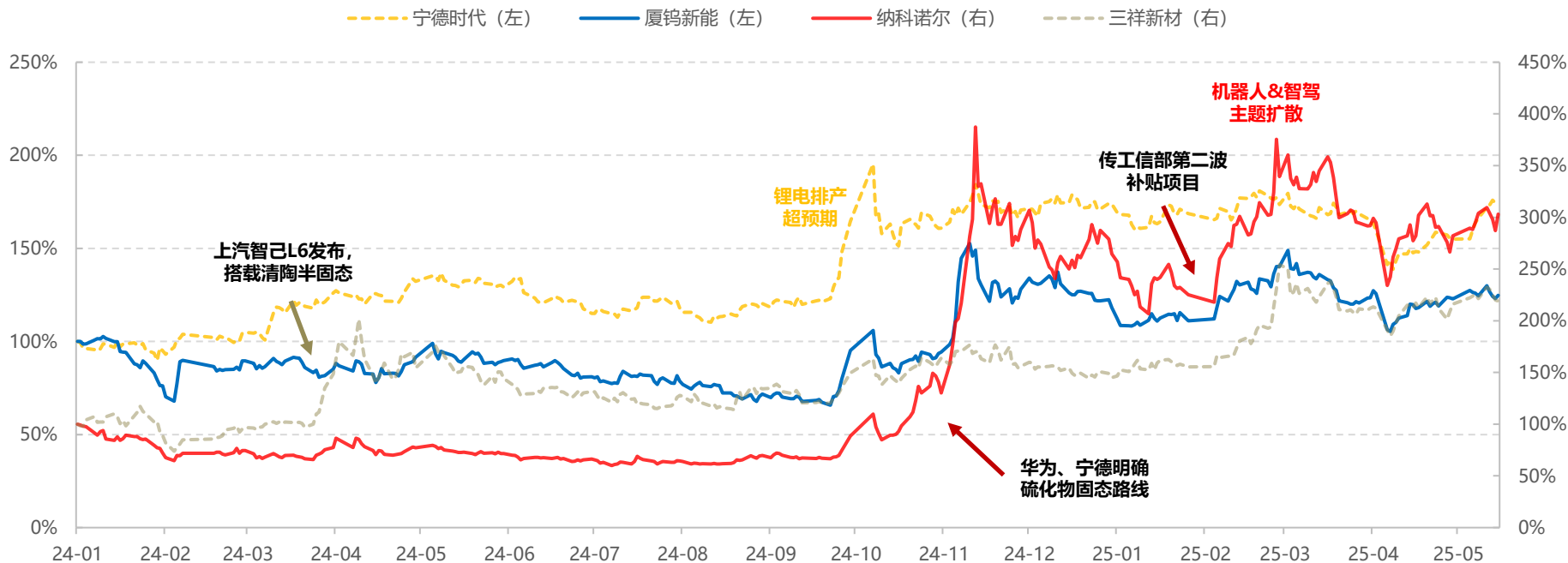


包头科发（25年）：专注于高压技术设备的研发与生产，技术指标涵盖600MPa工作压力，参与制定《固态电池等静压技术应用指南》团体标准，应用于全固态电池的卧式等静压设备已实现连续化生产。

关键节点：产业链持续突破，后续中试线落地为关键节点

- ◆ **关键点一（政策驱动）**：23年年底，国家防止固态海外弯道超车，走访各大电池企业调研，推出了24年中的工信部项目，叠加上汽智己L6发布，搭载清陶能源半固态，推动24年3月-24年4月行情，主线为三祥新材（+107%）、东方锆业（+69%）、当升科技（+60%）、翔丰华（+60%）；
- ◆ **关键点二（产业响应，研发加速）**：宁德全固态扩大至千人团队、华为发布硫化物固态专利，明确聚焦于硫化物路线，推动24年11月行情，本轮主线为纳科诺尔（+382%）、有研新材（+187%）、厦钨新能（+132%）、天奈科技（+141%）；
- ◆ **关键点三（中期审查+中试线落地）**：工信部项目预计25年底前进行中期审查，电池厂的60Ah电芯已完成初步开发，相关材料体系已大体定型，原材料性能已达量产要求，核心难点在于电池制造工艺，预计25H2-26H1进入中试线落地关键期，第一波设备陆续到位调试优化，第二波设备预期年底升级改造，固态电池有望进入测试+设备迭代关键期！

图：固态电池行情复盘



二、硫化物为主流量产趋势，30年有望突破100GWh

- ◆ 固态电解质为固态电池的核心增量，其中硫化物为主流量产趋势，正极沿用高镍三元，负极可选硅碳/锂金属。全固态电池中，固态电解质为核心增量，其中硫化物为主流量产路线，主要采用锂磷硫氮材料；正极仍沿用液态电池的三元高镍材料，电压或者镍含量略有提升；负极选用硅碳/锂金属材料，目前主流为硅碳材料，量产成熟度较高，电芯能量密度可达350-400Wh/kg，锂金属（含无负极）为未来潜力方向，目前技术仍不成熟，电芯能量密度可达500Wh/kg+。

图：固态电池结构变化



◆ **电池材料体系已基本定型，硫化物全固态为量产趋势，负极短中期选用硅碳路线，长期向锂金属迭代。**硫化物固态电解质未来最具潜力，具备极高的离子电导率，此外具备相对较好的界面接触性能、柔韧可加工性，成为主流厂商重点布局的路线。目前来看，**国内**宁德时代、比亚迪、华为，**日本**的丰田、松下，**韩国**的三星SDI、LG新能源、SK on，**美国**的Solid Power等均重点布局硫化物体系。负极方面，技术能力强的电池厂突破锂金属/无负极路线，二线厂商布局硅碳负极路线，后者为短中期量产主流路线，而前者具备更强的商业化意义。

表 部分国家地区全固态电池路线

国家	公司	正极	固态电解质	负极	进展
中国	宁德时代	三元高镍	硫化物、卤化物	硅碳、锂金属、无负极	进入20Ah样品试制阶段，能量密度500wh/kg，27年小批量量产
	比亚迪	三元高镍	硫化物、卤化物	硅碳	20Ah、60Ah电芯已下线，能量密度400Wh/kg，27年小规模量产
	国轩高科	三元高镍	硫化物	硅碳	70Ah电芯已下线，能量密度350Wh/kg，中试线已建成，27年小规模量产
	一汽集团	三元高镍	硫化物	硅碳	66Ah电芯已下线，能量密度400Wh/kg，27年小规模量产
日本	丰田	三元高镍	硫化物	硅碳、锂金属	能量密度400Wh/kg，10分钟即可充满，续航里程1000-1200km，26年小规模量产
	本田	三元高镍	硫化物	硅碳、锂金属	25年试生产，30年量产装车
韩国	三星SDI	三元高镍	硫化物	Ag-C、无负极	27年小批量量产，能量密度500wh/kg
	LG新能源	三元高镍	聚合物、硫化物	硅碳、锂金属	能量密度350Wh/kg，在30年前推出成熟产品
	SK on	三元高镍	聚合物+氧化物、硫化物	硅碳、锂金属	25-26年试生产，28-29年商业化
美国	QuantumScape	三元高镍	氧化物、硫化物	无负极	进入B样测试阶段，能量密度301Wh/kg
	Solid Power	三元高镍	硫化物	锂金属	搭载宝马i7开启路试，30年小规模量产
	ION	三元高镍	氧化物	锂金属	能量密度500Wh/kg，25年产能1MWh，28年产能500MWh

- ◆ **硅碳路线可达中试阶段，锂金属路线仍处小试阶段，二者装车仍需加压运行。** ①采用硅碳路线的硫化物全固态电池，能量密度可达350-400Wh/kg，充电倍率0.5-1C，循环寿命1000次，运行加压条件为几十到几百兆帕，成熟度相对较高，目前可达中试阶段；②采用锂金属路线的硫化物全固态电池，能量密度可达450-500Wh/kg，充电倍率1-2C，循环寿命300-500次，运行加压条件为几十到几百兆帕，目前仍处于小试阶段。

图 全固态电池-硅碳/锂金属路线-产业化性能

全固态电池（硫化物-硅碳）

能量密度：350-400Wh/kg

充电倍率：0.5-1C

循环寿命：1000次

加压条件：几十Mpa

量产阶段：中试

预估成本：2-3元/Wh

成熟度相对较高

全固态电池（硫化物-锂金属）

能量密度：450-500Wh/kg

充电倍率：1-2C

循环寿命：300-500次

加压条件：几十Mpa

量产阶段：小试

预估成本：5元/Wh

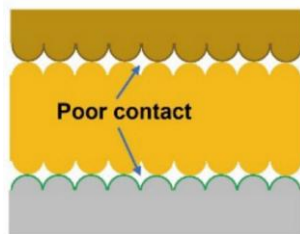
成熟度相对较低

- ◆ **全固态量产难点**在于改善固-固界面接触，导致电池循环寿命差，运行压力较高，未来预计通过设备+工艺实现突破。此外，固态电池不含稀有金属，规模化降本空间较大。
- ◆ **技术问题**：核心为固-固界面的接触，即消除颗粒之间的缝隙，进而提升循环寿命+快充性能。核心壁垒在于电池制造，对设备的精度和能力要求大幅提升，对电池制造工艺的要求大幅提升。
- ◆ **成本问题**：大头主要为硫化锂+锂金属，目前二者单吨价格均为几百万元，但固态电池不含稀有金属，未来规模化后具备较强的降本能力，有望与液态电池成本接近。

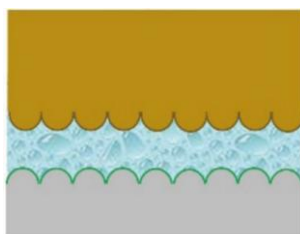
图 全固态电池商业化难点（未来均可解决）

技术问题

固态电池



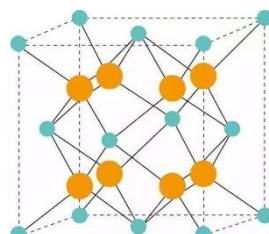
液态电池



固态电池无电解液浸润，需解决固-固界面接触问题，对电池制造的精度和能力要求大幅提升

成本问题

硫化锂



锂金属



固态电池目前成本昂贵，大头为硫化锂+锂金属，主要为不成熟所致，规模放量后具备较大降本空间

◆ 产业链降本路径相对清晰，核心在于硫化锂+锂金属，未来有望降至液态电池水平。硫化物电解质价格目前在千万级/吨（硫化锂几百万/吨），根据工信部项目指引，26年需降至250万/吨（硫化锂几十万/吨），未来降至10-20万/吨（硫化锂10-20万/吨）；锂金属负极价格目前接近千万级/吨，若采用热蒸镀方案有望大幅降本。我们预测27年全固态电池（硫化物-硅碳）成本约1元/Wh，全固态电池（硫化物-锂金属）成本约2元/Wh，30年成本有望降至接近液态电池水平。

表：固态电池规模化后成本预测（硅碳）

电芯原材料	单位用量	单位	单位价格 (万元)	单位成本 (元/wh)	成本占比
高镍三元	1500	t	15	0.23	25%
硅碳负极	750	t	15	0.11	12%
固态电解质	1000	t	50	0.50	55%
碳纳米管	26	t	100	0.03	3%
其他材料 (元/wh)			0.05		
电芯材料成本合计 (元/wh)			0.91		
折旧 (元/wh)			0.05		
成本合计 (元/wh)			0.96		
合格率			95%		
实际成本合计 (元/wh)			1.01		
毛利率			15%		
价格			1.19		

表：固态电池规模化后成本预测（锂金属）

电芯原材料	单位用量	单位	单位价格 (万元)	单位成本 (元/wh)	成本占比
高镍三元	1500	t	15	0.23	21%
锂金属负极	50	t	500	0.25	24%
固态电解质	1000	t	50	0.50	48%
碳纳米管	23	t	100	0.02	2%
其他材料 (元/wh)			0.05		
电芯材料成本合计 (元/wh)			1.05		
折旧 (元/wh)			0.05		
成本合计 (元/wh)			1.10		
合格率			50%		
实际成本合计 (元/wh)			2.20		
毛利率			15%		
价格			2.58		

13 注：规模化增量级突破10GWh，锂金属负极假设使用蒸镀方案

数据来源：东吴证券研究所

◆ **27年开启小规模量产，30年有望突破100GWh。**我们预计全固态电池27年开启小规模量产，行业出货有望突破1GWh，率先应用于示范性装车，28-29年在低空、机器人、消费等领域开启放量，30年在动力领域开启放量，规模有望突破100GWh。

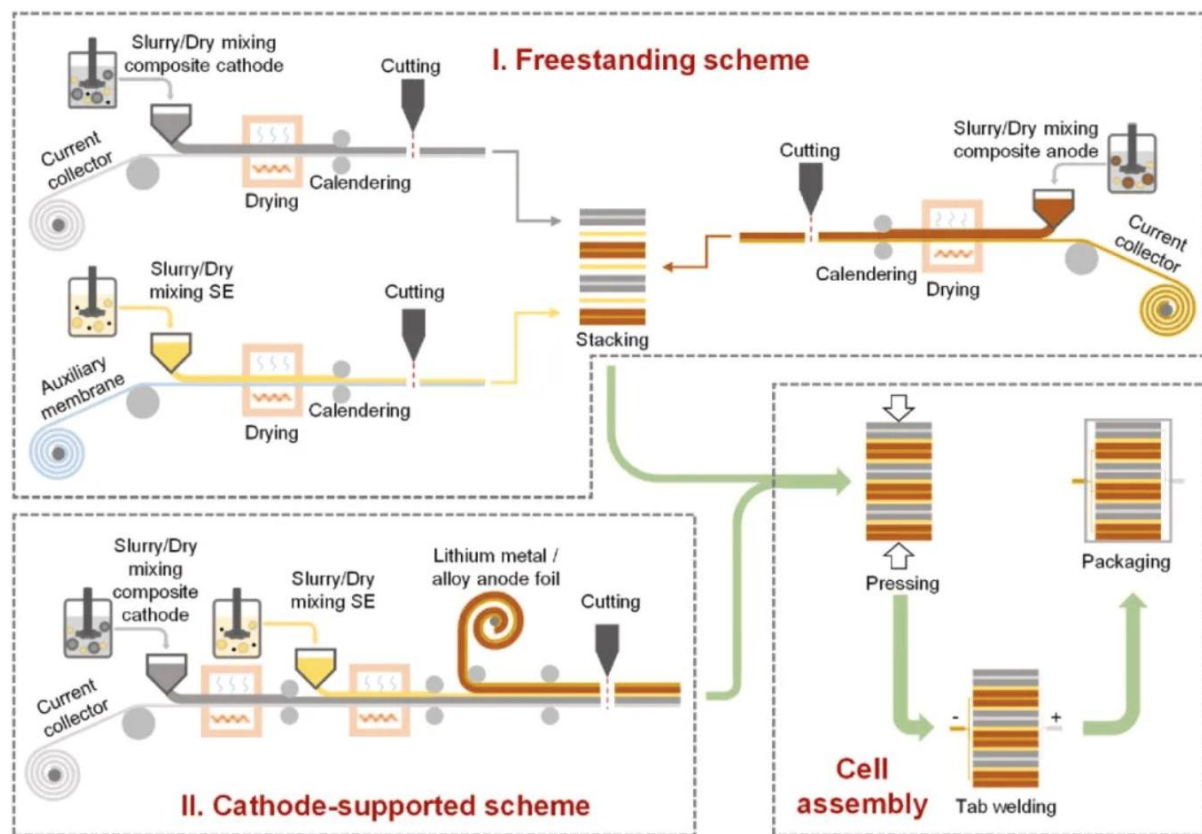
表：固态电池出货量及市场空间预测

	2027E	2028E	2029E	2030E	2035E
全固态电池出货量 (GWh)	1.0	5.0	30.0	100.0	3000.0
全固态电池价格 (元/Wh)	5.0	2.5	1.5	0.8	0.7
市场空间 (亿元)	50.0	125.0	450.0	800.0	21000.0
固态电解质 (万吨)	0.10	0.50	3.00	10.00	300.00
固态电解质价格 (万元/吨)	200	100	50	25	10
固态电解质市场空间 (亿元)	20.0	50.0	150.0	250.0	3000.0
硫化锂 (万吨)	0.04	0.22	1.29	4.30	129.00
硫化锂价格 (万元/吨)	100	80	50	20	10
硫化锂市场空间 (亿元)	4.3	17.2	64.5	86.0	1290.0
硅碳负极 (万吨)	0.07	0.34	1.80	5.25	67.50
硅碳渗透率	95%	90%	80%	70%	30%
硅碳负极价格 (万元/吨)	30	20	18	15	10
硅碳负极市场空间 (亿元)	2.1	6.8	31.5	78.8	675.0
锂金属负极 (万吨)	0.00	0.00	0.03	0.15	10.50
锂金属渗透率	5%	10%	20%	30%	70%
锂金属负极价格 (万元/吨)	800	500	400	300	100
锂金属负极市场空间 (亿元)	0.2	1.3	12.0	45.0	1050.0
碳纳米管 (万吨)	0.00	0.02	0.09	0.30	9.00
碳纳米管价格 (万元/吨)	500	300	250	200	100
碳纳米管市场空间 (亿元)	1.5	4.5	22.5	60.0	900.0
设备端价格 (亿元/GWh)	3.0	2.5	2.2	2.0	1.5
设备端市场空间 (亿元)	3.0	10.0	55.0	140.0	4275.0

三、新技术新工艺涌现，设备+材料持续迭代

- ◆ **固态电池新技术新工艺涌现，设备端前后道有较大改进空间。** 固态电池生产对于设备的精度大幅提升，在均匀程度的要求上是微米级甚至纳米级。前道成膜设备仍无法达到要求，湿法和干法路线均有优劣势；中道极片胶框印刷、叠片机需解决Overhang的相互切断问题；后道高压化成分容需使用等静压设备，目前已从立式迭代至卧式，可实现连续化生产。固态电池设备壁垒大幅提升，目前生产设备仍不成熟，需进行特定化开发升级，预计后续持续涌现新方案和新技术。

图：全固态电池生产工艺



液态电池（湿法）

匀浆→涂布→烘干→辊压→分切→卷绕→注液→化成分容

全固态电池（湿法）

匀浆→涂布→烘干→辊压→分切→叠片→高压化成分容

全固态电池（干法）

混料→纤维化→成膜→辊压→分切→叠片→高压化成分容

- ◆ **固态电解质成膜为制造核心工艺，湿法路线相对成熟，干法路线潜力更大，为未来发展大趋势。**全固态电池中，硫化物电解质对极性有机溶剂较为敏感，此外金属锂负极容易与溶剂反应，主流思路为切换干法电极工艺，但目前干法工艺不成熟，难点在于厚度、压实、幅宽、跑速等，主流厂商仍以湿法工艺为主，选取特定溶剂，实现较薄的固态电解质膜厚度，但干法仍为未来发展大趋势。干法电极方面，主要变化在于混料、纤维化和成膜，混料+纤维化相关标的**宏工科技、曼恩斯特**等，成膜相关标的**纳科诺尔、先惠技术、利元亨**等。

图 湿法电极工艺

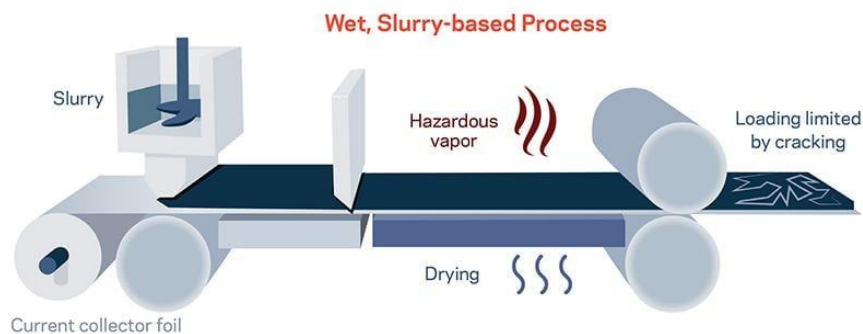


图 干法电极工艺

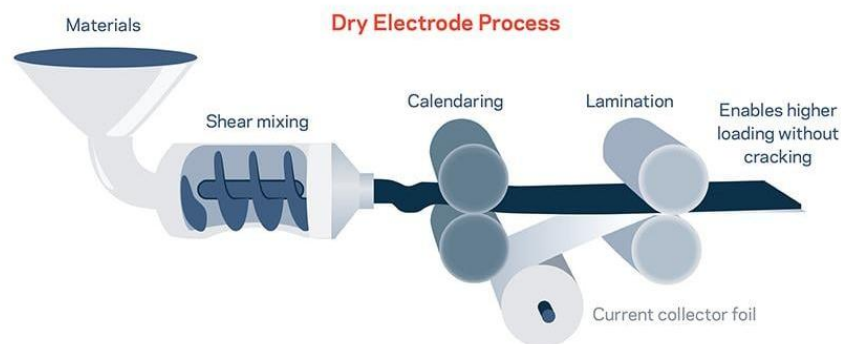
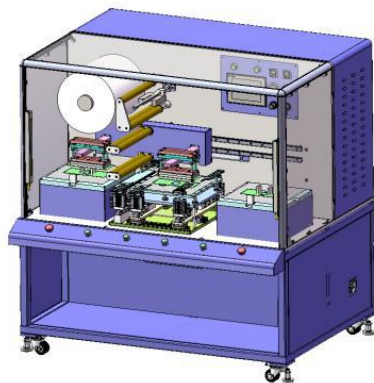


图 干法电极工艺相关设备

干法工艺的重点环节为混料、纤维化和成膜，混料使用**搅拌机**将正极、固态电解质、导电剂、粘结剂混合，纤维化使用**气流粉碎机、蜜炼机、双螺杆挤出机**将PTFE网状结构打开闭合，成膜使用**复合成膜一体机**，制作干法正极膜、干法负极膜、固态电解质膜。

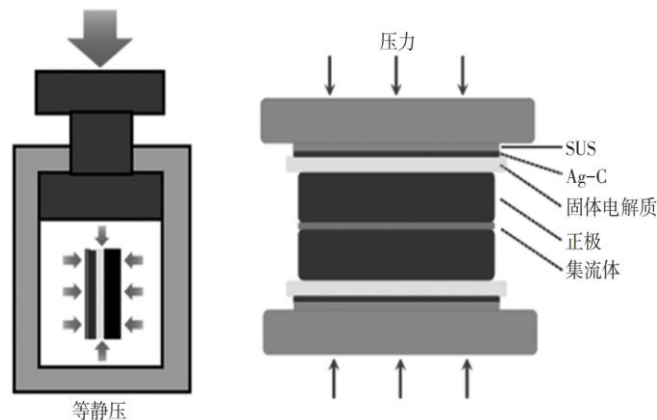
- ◆ **中道叠片机需升级改造，新增极片胶框印刷。**全固态电池为防止短路，正极、负极、电解质面积不同，极片会在高度致密化后成为锋利的刀片，如果有错位或者面积不同，会产生相互切断的情况。因此叠片机需改造升级，精度提升几个数量级，此外新增极片胶框印刷，减少气流扰动等工序，相关标的**先导智能、德新科技、赢合科技**等。
- ◆ **后道等静压设备仍无法替代，迭代至卧式实现连续化生产。**全固态电池一体化叠片存在固-固界面接触问题，需通过施加压力等手段来进行改善，主要采用等静压设备，一般温度在80-120℃，压力在500MPa左右，从各个方向对试样进行均匀加压，进而获得坚实的坯体，等静压设备已迭代至卧式实现连续化生产，相关标的**包头科发（非上市）、利元亨、纳科诺尔**等。

图 极片胶框印刷&叠片一体机



全固态电池只能使用叠片工艺，叠片机精度要求大幅提升，需新增极片胶框印刷等工序，避免Overhang的相互切断问题。

图 高压化成分容设备

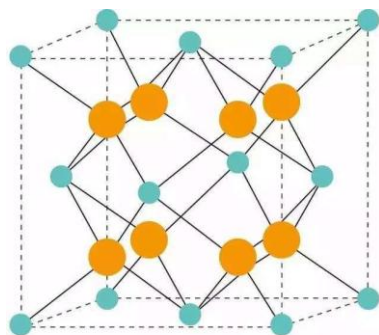


全固态电池必须使用等静压设备，解决固-固界面接触问题，目前等静压设备需使用军工的炮筒钢铁材料制造，生产或需要相关资质。

- ◆ **硫化锂/锂金属为降本关键，相关生产工艺持续突破，未来具备较大降本空间。** 固态电池原材料中，价值量较高的为固态电解质+锂金属负极。固态电解质（锂磷硫氯）具备生产壁垒，核心在于产品稳定性，目前仅少量企业可实现，目前价格在300-500万元/吨，**硫化锂**为量产降本核心，因为其活泼性较高，目前众多企业开启布局，胜出关键在于找到有效的降本方式。**锂金属负极**也具备制造壁垒，核心在于产品减薄和平整，目前价格500-1000万元/吨，新工艺为量产降本的关键，蒸镀PVD具备降本+改性的双重优势，有望推动锂金属电池实现产业化。近期看，硫化锂/锂金属的生产工艺均在持续突破，未来具备较大降本空间。

图 全固态电池的关键降本材料

硫化锂（固态电解质的前驱体）



目前价格：300-500万元/吨

未来价格：10-20万元/吨

锂金属（负极）



价格：500-1000万元/吨

未来价格：100万元/吨

- ◆ **硫化物主流合成工艺有四种，其中碳热还原法和液相法具备成本优势，此外CVD法等新工艺也有较大潜力，未来待工艺、设备突破后，有望大幅降低硫化锂成本。**硫化锂为固态电池降本的核心，目前行业合成主流为锂硫燃爆法（直接固相法），厂商反馈性能较好，但生产成本较高，主要为**有研新材、赣锋锂业、凯亚达**等；未来具备降本潜力的为溶剂法和CVD法，其中溶剂法为**容百科技、恩捷股份、天赐材料**等，细分为碳热还原法和液相法，生产成本相对较低，但溶剂难以去除，烧结后成炭大幅影响性能，厂商反馈性能待进一步优化；CVD法为新工艺，厂商反馈性能较好，但生产成本相对较高，主要为能耗和生产效率问题，未来待工艺、设备突破后，成本有望实现大幅改善，相关厂商为**厦钨新能**等。

图 锂磷硫氯（硫化物）固相法合成工艺

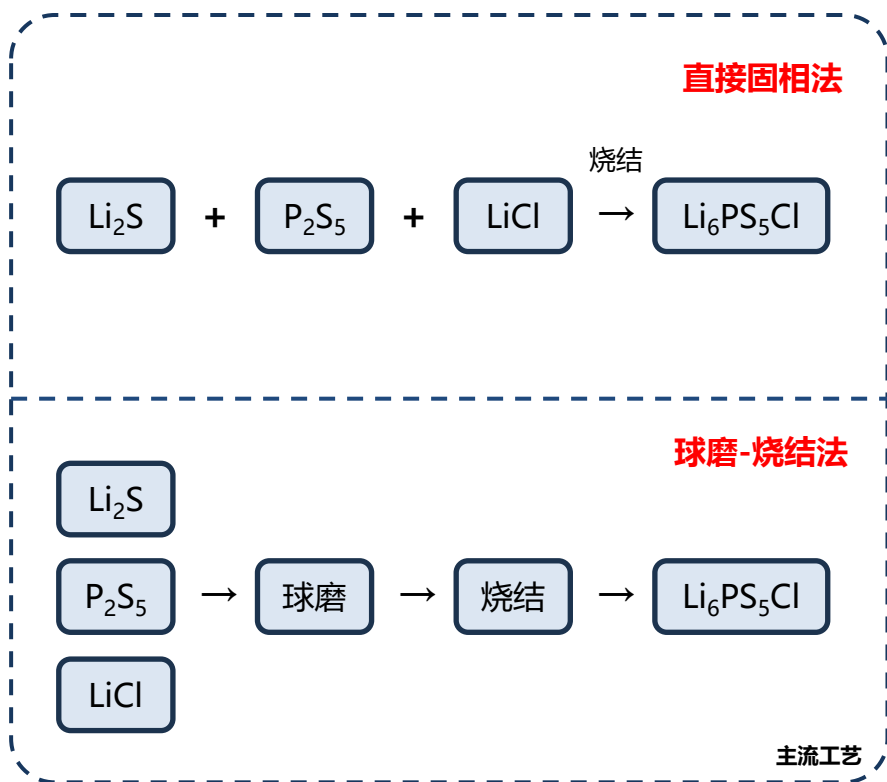
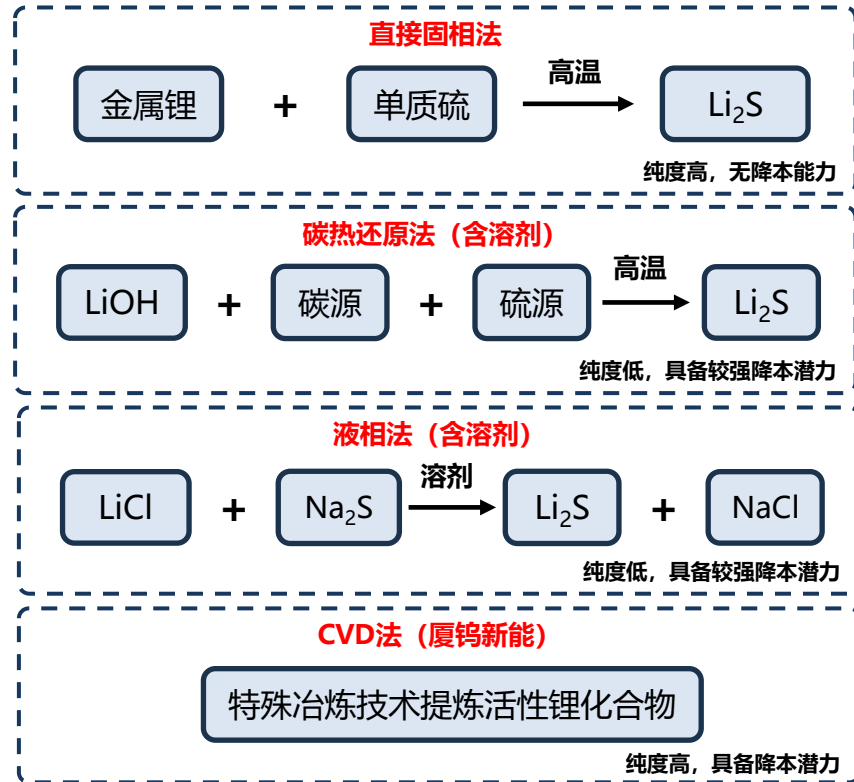


图 硫化锂（硫化物前驱体）主流合成工艺



- ◆ **蒸镀锂金属技术实现突破，具备降本+提升循环双优势。** 锂金属负极传统采用轧制工艺，无法解决减薄和平整问题，限制锂金属电池的应用发展。蒸镀锂金属工艺实现突破，具备的优势有：1) 锂带厚度可降至 $2-3\mu\text{m}$ （传统轧制 $15-20\mu\text{m}$ ），可显著降本和提升能量密度；2) 原子级沉积工艺，可精准控制蒸发量，表面形貌可制造极其均匀，并可掺杂合金元素，改善锂金属负极性能，最终提升电池的安全性+循环寿命。因此，蒸镀锂金属具备降本+提性的双优势，有望大幅提升锂金属固态电池性能，进而推动锂金属电池的应用发展，相关厂商为英联股份等。

图 锂金属生产工艺

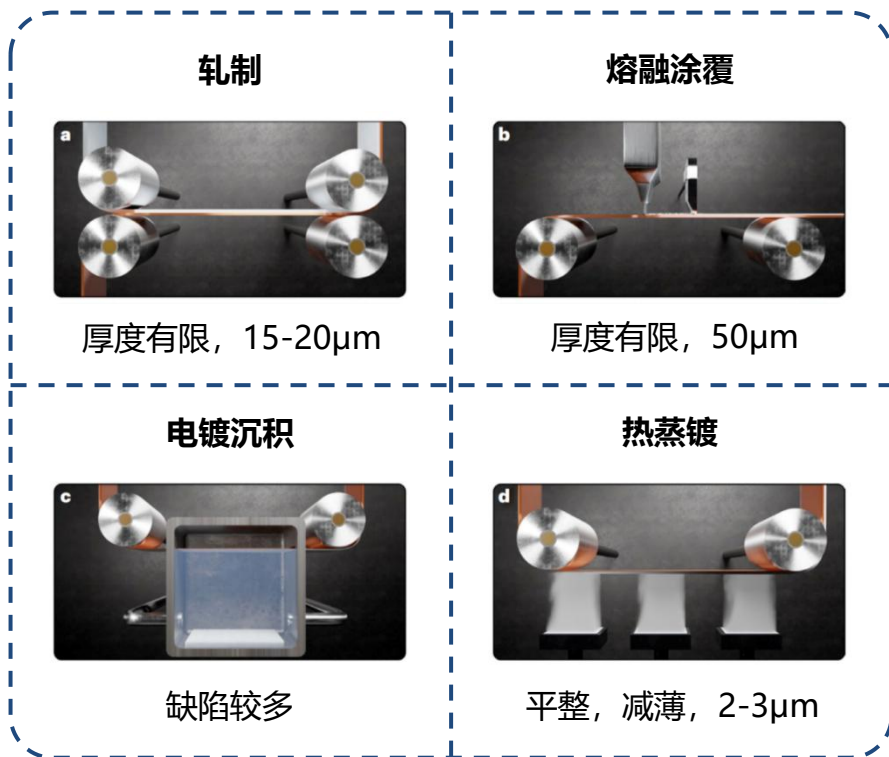
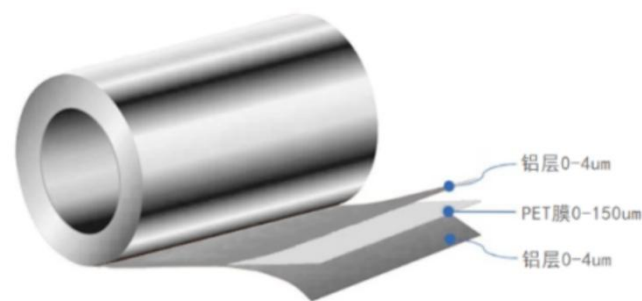


图 蒸镀锂金属与复合铝箔生产工艺具备相通性

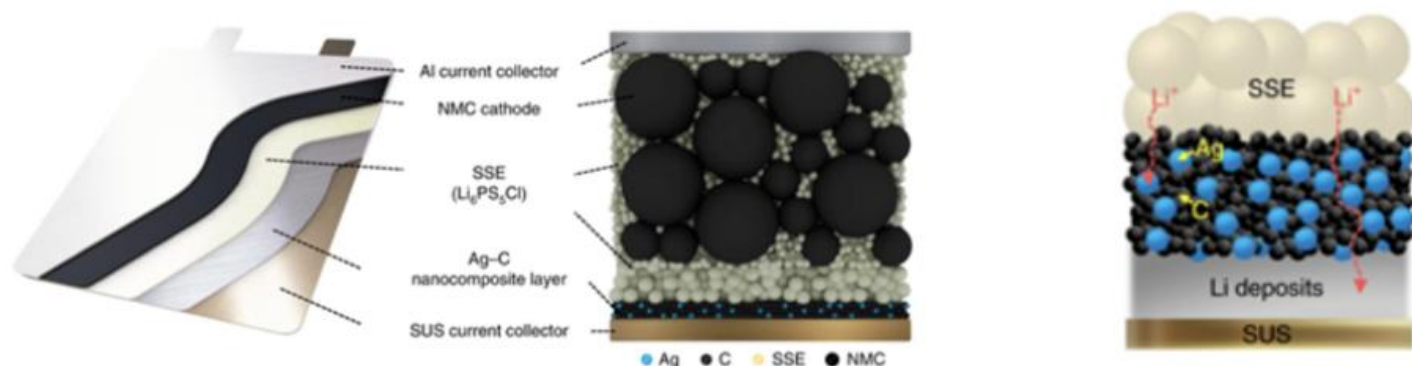
蒸镀工艺（此前应用于复合铝箔）



采用物理气相沉积(PVD)方法在负极集流体铜箔表面依次沉积金属锂基负极材料沉积层和保护金属层，保护金属层能够在空气中稳定存在，增强了全固态锂离子电池生产中的安全性，蒸镀工艺已在复合铝箔产品实现商业化。

- ◆ **铜集流体易被硫化物腐蚀、后续或迭代至不锈钢集流体。** 固态电池中，在无水环境下，硫化物电解质对铜箔几乎呈惰性，但实际工况下，存在痕量的水（即使是ppm级）也会导致铜箔被硫化物电解质腐蚀，界面处产生大量的腐蚀副产物，铜箔机械强度迅速降低，导致全固态电池性能严重下降。因此在实际应用中，铜表面需进行严苛的防腐蚀处理，进而减少硫化物电解质的腐蚀，但实际操作难度较大，更优的方案是更换不锈钢集流体。
- ◆ **三星SDI已推出相关产品、难点在于极薄化+提升导电性。** 24年7月，三星SDI展出固态电池产品，引入锂磷硫氯+银碳负极+不锈钢集流体，能量密度实现900Wh/L（约450Wh/kg），循环寿命超过1000次，计划27年前进行正式量产。因此，不锈钢集流体相关产品已达小试阶段，并对循环寿命提升有重要意义。但不锈钢箔与铜箔相比，虽耐腐蚀性大幅提升，导电性大幅下降，并且机械性能差，因此目前制造仍不成熟，目标生产出7-10 μ m、表面无褶皱、导电性较好的产品。因此不锈钢集流体具备较高壁垒，核心难点在于减薄和改性，价值量预计高于传统铜箔2-3倍，相关厂商为**甬金股份**等。

图 三星SDI全固态电池生产工艺



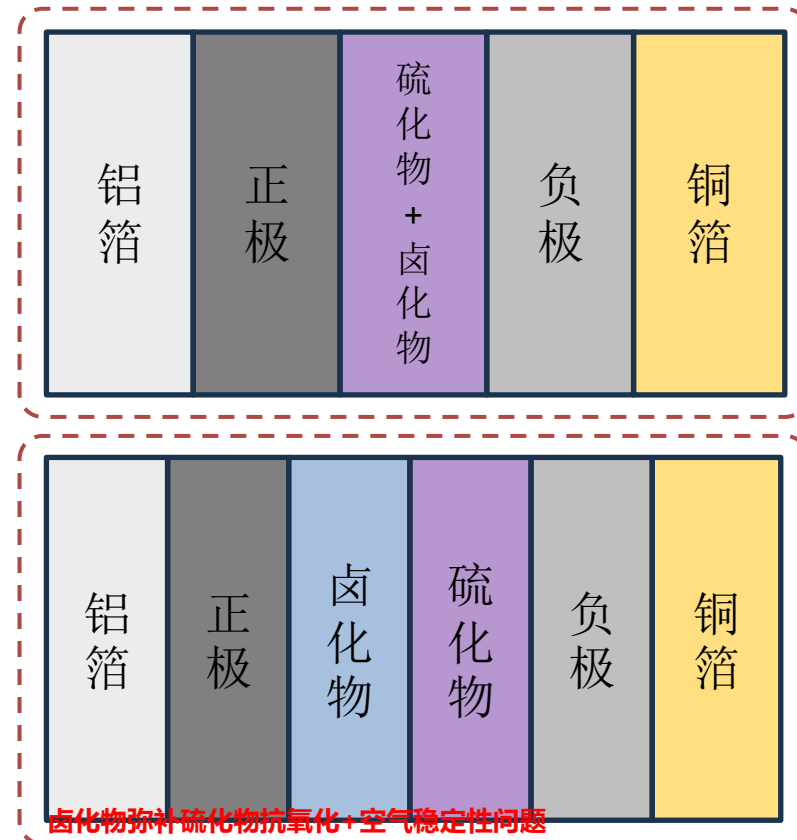
锂磷硫氯 (Li₆PS₅Cl) + 银碳负极 (Ag-C) + 不锈钢集流体 (SUS)

◆ 卤化物介于氧化物与硫化物之间，近一年进展相对较快，但实际应用效果仍待验证。理论上，卤化物固态电解质既具有高于氧化物固态电解质的氧化电位，又具有与硫化物接近的易变形性和接近的离子电导率，但卤化物的还原电位不够低，无法与金属锂负极匹配，需要包覆等方式解决，整体成本、性能处于硫化物和氧化物之间。近一年，国内对于卤化物的热度快速提升，尤其含锆的 Li_2ZrCl_6 材料，其具备低成本的优势，成为宁德时代、清陶能源等公司尝试突破的方向之一，未来有望与硫化物复合应用，稳定正极界面层，并实现降本的效果，但技术难度预计较高，实际应用效果仍待验证。

表 卤化物电解质类型及对应性能

类型	简称	化学式	代表材料	电导率	优势	劣势
Li_aMX_4 类	正尖晶石结构	Li_aMX_4	Li_2MnCl_4 、 Li_2ZnCl_4 、 LiAlF_4	10^{-3}S/cm	成本较低	离子电导率较低，常温下无法稳定
Li_aMX_6 类	三方、正交、单斜晶系结构	Li_aMX_6	Li_3InCl_6 、 Li_2ZrCl_6	$10^{-3}\text{-}10^{-2}\text{S/cm}$	离子电导率较高	还原电位不够低
Li_aMX_8 类	suzuki晶格	Li_aMX_8	Li_6CoCl_8	10^{-4}S/cm	成本较低	离子电导率较低

图 硫化物+卤化物固态电池复合方案



四、产业链标的进展更新

- ◆ 根据公开信息，宁德时代布局硫化物路线，目标27年小批量量产。宁德时代在全固态电池已投入7-8年的时间进行研究，布局最具潜力的硫化物全固态电解质。曾毓群在24年世界动力电池大会表示，如果用技术和制造成熟度作为评价体系（1-9打分），宁德时代的全固态电池目前处于4的水平，对比全世界的情况，研究算是“领先一大步”，或者英文叫做“Second to none”，目标是27年达到7-8的水平，实现小批量生产。据晚点Auto，宁德时代在今年增加了对全固态电池的研发投入，已将全固态电池研发团队扩充至超1000人，目前主攻硫化物路线，25年60Ah车规级电芯实现下线。

图 凝聚态电池产品性能

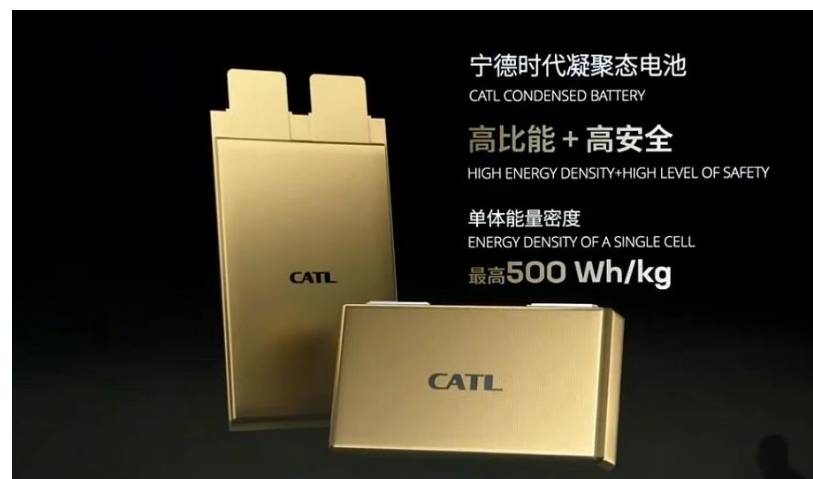
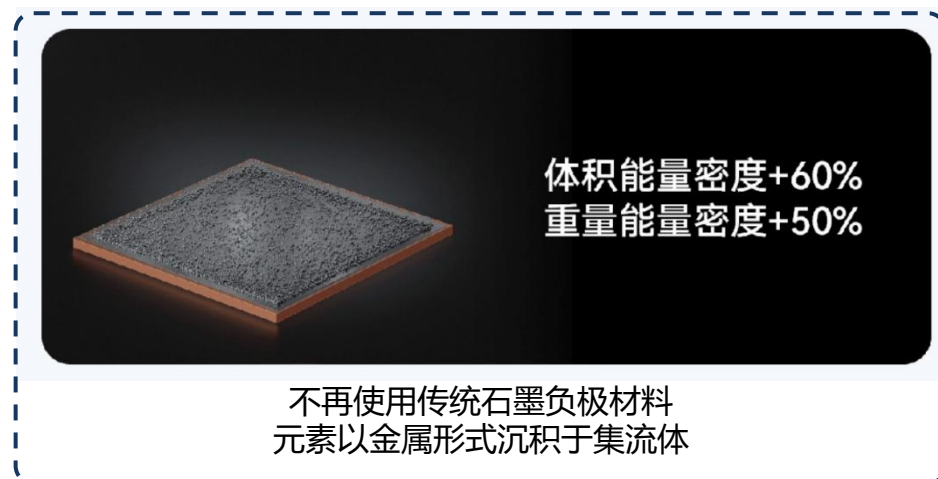


图 自生成负极创新设计



宁德时代23年4月推出凝聚态电池，能量密度可高达500Wh/kg，24年已具备车规级量产能力，同时进行航空级合作开发，已成功试飞4吨级民用电动飞机，8吨级飞机预计27-28年发布，今年底搭载宁德时代电池的eVTOL预计能够首次飞行。

- ◆ **研发历程**：13年启动全固态电池研发，进行材料路线探索；16年进行技术可行性验证，低于1Ah软包、钢制夹具圆形电池，材料体系的探索；23年启动产业可行验证，电芯、系统、产线、材料技术；27年启动批量示范装车应用，30年大规模应用。
- ◆ **设计方案**：60Ah电芯，400wh/kg，800wh/L，材料选用硫化物为主，正极单晶高镍三元，负极硅碳材料；正极活性物质占比85%（目标90%），负极活性物质占比较低。
- ◆ **进展**：20Ah、60Ah电芯去年已中试下线。目前高温下实现快充，27年室温开始快充。公司表示，此前国内技术落后于日本韩国，在本次国家战略引导后，产业链发展会非常快。
- ◆ **成本**：未来不是问题，规模化上来后，固液可以实现同价。

图 比亚迪固态电池体系介绍

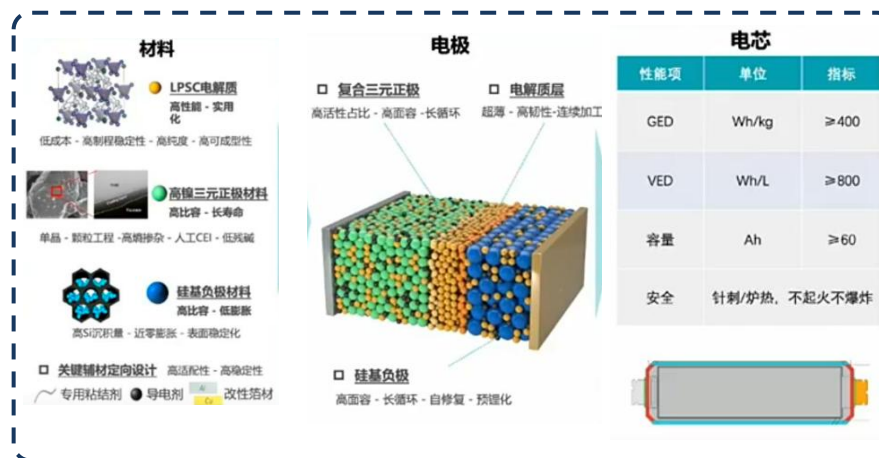
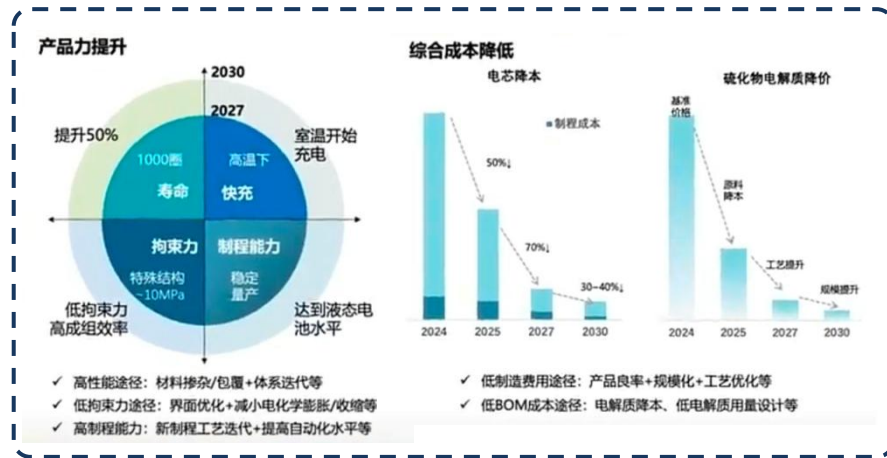


图 比亚迪固态电池进展预期



◆ ①G恒准固态电池（氧化物+聚合物复合体系）

- **电池性能：**作为一款197Ah的方形电池，其电芯能量密度可达300Wh/kg以上，系统能量密度可达235Wh/kg以上，较同体积液态电池系统能量提升超36%，续航超1000km
- **应用场景：**主要包括eVTOL、新能源汽车、人形机器人三个方面
- **产业化进度：**国轩高科G恒准固态电池年产能约为12GWh，且已完成超5家客户电芯送样测试，超4家客户上车测试，搭载G恒准固态电池的“001”号样车总里程已经超过1万公里。

◆ ②金石全固态电池（硫化物体系）

- **电池性能：**电芯容量70Ah，质量能量密度达350Wh/kg，体积能量密度800Wh/L，循环寿命超1000次
- **材料体系：**正极采用高镍三元材料（比容量 > 240mAh/g），耐高压至4.4V；负极使用复合硅碳材料（比容量1800mAh/g），膨胀率较传统硅基材料降低40%
- **系统集成：**配套增程式车型的电池包系统电量51.1kWh，系统能量密度220Wh/kg；纯电车型版本系统能量密度可提升至280Wh/kg，续航突破1000km
- **产业化进度：**公司首条全固态电池中试线已建成，设计产能0.2GWh，实现100%线体自主开发，核心设备国产化率100%。当前，公司正在不断优化设备工艺，已全面启动第一代2GWh全固态电池量产线设计工作。前述全固态电池已开启装车测试（星纪元 ET）

图 国轩高科金石全固态电池



图 国轩高科全固态电池开始装车测试



- ◆ **①固态电池**：24年与头部客户签订数千万元订单，主要聚焦于物料前道环节，难点为粉尘零泄漏+隔绝氧气，其中小试线设备已交付，并已签署中试线设备订单（预计百兆瓦时级），正负极湿法+硫化物干法，各项性能指标已经达成要求，技术储备在整体解决方案领先。此外，公司已与卫蓝新能源、清陶能源等厂商签署合同，覆盖国内主流固态客户。
- ◆ **②干法电极**：与清研电子成立合资公司（持股49%），共同开发混合均质一体机，解决PTFE纤维化问题，产品在部分客户已实现销售。固态干法设备难点为全自动化，公司提前3年预判布局，目前产品性能行业领先，固态电解质相关设备单GWh价值量我们预计达1000万元，若正极+负极+硫化物均用干法，单GWh价值量有望达2000-3000万元。

图 宏工科技物料自动化解决方案

图 清研宏工混合均质一体机



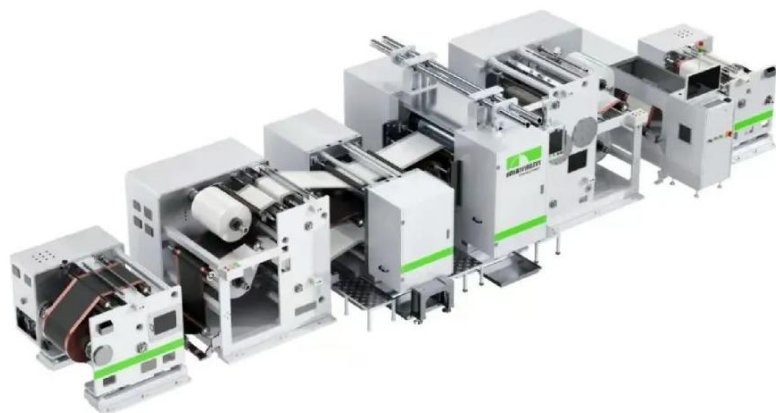
- ◆ 公司23年与清研电子合资设立清研纳科（持股40%），共同开发干法电极新工艺、新产品。已推出的干法电极成型复合一体机，实现了电极膜成型以及与集流体复合的一体化，大大加快了产业化进程，并已获得国内头部客户的订单。我们预计单GWh传统湿法设备700万/gwh，干法相关设备2000-3000万/GWh。此外，公司后续布局等静压设备以及固态电解质材料。

图 纳科诺尔干法成膜覆合一体机



轧辊宽度MAX-1200mm，设备速度MAX-100m/min，配置厚度面密度一体机，可实现各辊缝、膜体宽度闭环控制，保证膜体均匀性和覆合对齐度。

图 纳科诺尔转印覆合机



设备可以实现固态电解质膜同步转印到极片的A/B面，辊缝控制可达到1um控制精度，纠偏系统、加热/冷却系统、视觉检测系统等可提升转印覆合的精度控制，保证转印后的极片质量。

- ◆ 公司主营各类智能制造装备的研发、生产与销售，已申请12项固态电池设备专利，覆盖干法电极涂布、固态电解质封装等核心环节，技术精度达到 $\pm 1\mu\text{m}$ 。24年7月，先惠技术与清陶能源签署合作研发协议，围绕全固态电池核心关键装备的研发和产业化开展工作。25年3月，公司与清陶能源签署全固态电池核心装备研发合作框架协议，计划在25年底实现工业化量产设备交付，预计交付正负极干法辊压设备。

图 先惠技术智能制造装备



图 先惠技术与清陶能源战略合作



- ◆ 公司涂布成膜工艺经验丰富，布局干法整线解决方案，通过陶瓷双螺杆纤维化技术杜绝金属异物、预成膜机构与14辊双面成膜工艺保障成膜质量、狭缝涂布结合砂磨机处理实现固态电解质均一性涂布，构建起全产线连续生产模式。为固态电池量产提供了一套更高效、安全、稳定的解决方案，可实现能耗减少50%以上、厂房面积减少20%以上、设备投资减少20%以上，电池制造成本降低超10%。公司已为国内外多家企业提供了干法工艺的测试验证试验，而且其混合、双螺杆纤维化、多辊成膜等多款干法核心新设备均已斩获订单。

图 曼恩斯特14辊压膜复合一体机

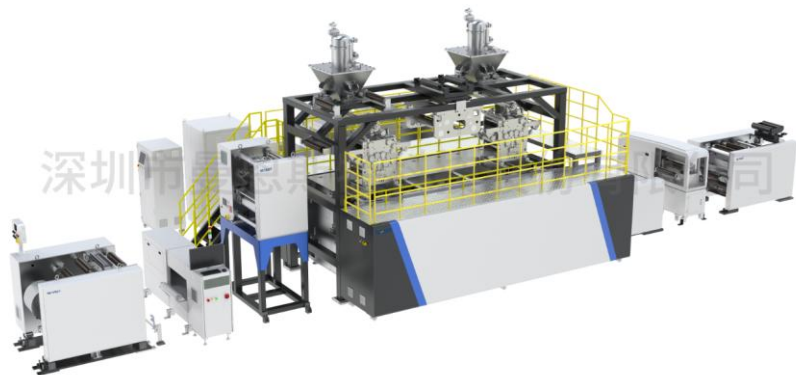


图 曼恩斯特粉体原材料制备解决方案



- 在固态电池设备方面，利元亨已实现全固态电池量产全线工艺覆盖，包括干法设备、电解质热复合设备、胶框印刷和叠片一体机、高压化成设备等核心环节，并针对硫化物电池的防爆、防毒需求设计了三级防护体系，技术领先性显著。24年，利元亨中标国内首个硫化物固态电池整线项目，这标志着其在固态电池装备制造领域的领先地位。利元亨与广汽埃安展开合作，联合开发全固态电池整线装备，为固态电池的量产提供了有力支持。

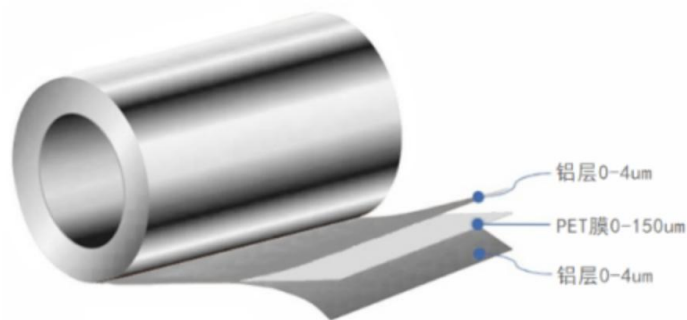
图 利元亨固态整线解决方案



关键设备包含电极干法涂布设备，辊压热复合双轧一体机，极片胶框印刷&叠片一体机，高压化成分容设备

- ◆ 公司23年布局蒸镀锂金属技术，目前与头部汽车公司技术合作，客户反馈测试性能超预期，循环寿命有望提升超3倍，预计1年内交付新型材料。公司蒸镀技术深度绑定爱发科，此外采购北方华创磁控设备，具备PVD设备较深厚的经验。固态电池方面，公司不仅布局蒸镀锂金属，此外布局蒸镀SEI膜，甚至拓展至固态其他环节，有望在PVD制造经验基础上，拓展固态以及更多新兴领域。

图 英联股份为国内核心绑定爱发科材料厂商

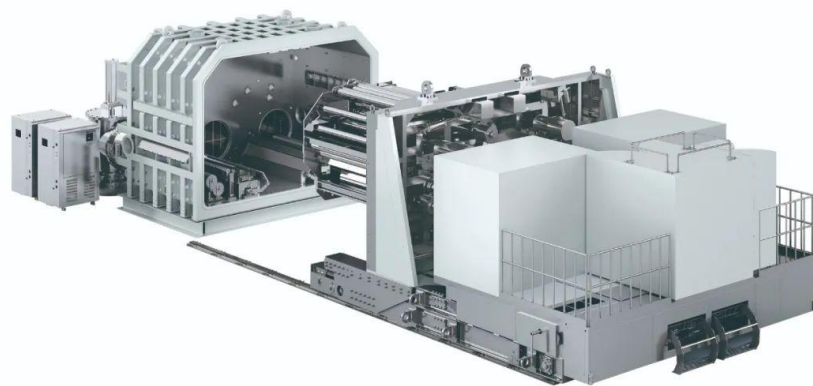


复合铝箔已配备5条日本爱发科生产线

与日本爱发科成立联合研究院

预计1年内交付蒸镀锂金属产品

图 爱发科一次性蒸镀卷绕设备



25年2月13日，爱发科宣布成功研发EWK-030真空沉积系统，用于在金属箔上沉积锂，计划5月上市。该系统应用了公司的薄膜沉积技术，能在真空环境中形成高质量锂薄膜，抑制杂质污染和氧化，提高锂材料使用效率，并具成本和环境优势。作为日本NEDO“绿色创新基金项目”成果，EWK-030有望推动全固态电池的开发和生产。

- ◆ 公司2017年就开始布局固态电池相关材料，重点在正极材料和电解质方面布局。
- ◆ ①**新型NL层状正极**：材料结构更稳定，层状间距更高，能量密度更高，快充性能更好，电导率也更高，适配钴酸锂+三元体系，25年预计千吨级出货；
- ◆ ②**硫化锂**：公司依托自身技术积淀，叠加母公司厦门钨业金属冶炼工艺，开发出新的硫化锂合成工艺，利用特殊冶炼技术（CVD）提炼活性锂化合物，具备较好的纯度和形貌性能，目前从小试、中试结果来看，技术指标良好，后续成本有望大幅降低。

图 厦钨新能NL正极+硫化锂产品



NL正极

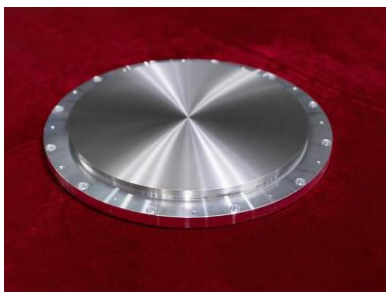
+



硫化锂

- ◆ 有研新材是由北京有色金属研究总院独家发起，以募集方式设立的股份有限公司，控股股东为中国有研科技集团有限公司，其最终控制人为国务院国资委。这种央企背景为公司提供了强大的资源支持和市场信誉。
- ◆ 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，是我国有色金属新材料行业的骨干企业。
- ◆ 公司下属控股子公司有研稀土与国联汽车动力电池研究院合作开展了固态电池电解质材料技术开发，固态电解质用高纯硫化锂项目处于研发有一定突破后的小试阶段，同时配合国内外客户进行验证或小批量供货。

图 有研新材靶材+硫化锂产品



靶材（半导体）

+



硫化锂

- ◆ 海辰药业将医药行业积累的纳米材料制备经验被迁移到固态电解质研发中，布局固态粘结剂+硫化锂材料。
- ◆ ①**固态电池粘合剂**：与清华大学欧阳明高院士团队合作，与其团队旗下赛科动力投资设立四川洛辰，聚焦于包括固态电池在内的新能源电池相关粘合剂材料的开发、优化及产业化，目标替代PTFE的新型材料，目前已进入中试阶段。
- ◆ ②**硫化锂**：采用液相法工艺，具备低成本、高纯度的优势，规划26年产能达百吨级。

图 海辰药业粘接剂+硫化锂产品



粘接剂

+



硫化锂

◆ **投资建议：**第一条线推荐壁垒最高的电池环节，首推**宁德时代**，其次**比亚迪**，**亿纬锂能**，关注**国轩高科**等；第二条线推荐设备端，推荐**纳科诺尔**，**璞泰来**，**曼恩斯特**，关注**宏工科技**，**先惠技术**，**德新科技**，**利元亨**等；第三条线推荐材料端，推荐**天奈科技**，**容百科技**，**当升科技**，**赣锋锂业**，**天赐材料**，**恩捷股份**，**星源材质**，关注**厦钨新能**，**英联股份**，**甬金股份**，**有研新材**，**三祥新材**，**天铁科技**，**海辰药业**，**上海洗霸**，**金龙羽**等。

表 固态电池产业链标的盈利预测（时间截止25年6月10日）

	名称	总市值 (亿元)	股价	归母净利润 (亿元)			PE			PB现值
				2025E	2026E	2027E	2025E	2026E	2027E	
电池	宁德时代	11,134	244	661	802	966	17	14	12	4.0
	比亚迪	10,968	200	531	651	781	21	17	14	4.8
	亿纬锂能	895	44	53	73	93	17	12	10	2.5
	国轩高科	457	25	15	21	28	31	22	17	1.8
设备	纳科诺尔	67	43	2	3	3	33	25	23	0.0
	璞泰来	366	17	25	31	40	15	12	9	1.8
	曼恩斯特	80	56	1	2	3	67	38	24	2.8
	宏工科技	65	81	-	-	-	-	-	-	0.0
	先惠技术	58	47	3	5	6	17	12	10	3.1
	德新科技	41	18	-	-	-	-	-	-	3.4
	利元亨	54	32	-	-	-	-	-	-	2.4
	天奈科技	159	43	5	7	9	35	24	17	0.0
材料	容百科技	135	19	8	10	13	17	13	10	1.7
	当升科技	202	40	6	7	10	34	28	20	1.5
	赣锋锂业	579	29	8	16	25	71	37	24	1.5
	天赐材料	332	17	11	17	24	30	20	14	2.6
	恩捷股份	271	28	2	8	18	130	33	15	1.1
	星源材质	138	10	4	5	7	34	27	20	1.4
	厦钨新能	214	51	7	9	11	30	24	20	0.0
	有研新材	154	18	-	-	-	-	-	-	0.0
	英联股份	57	14	-	-	-	-	-	-	4.0
	甬金股份	71	20	9	10	11	8	7	7	1.2
	三祥新材	102	24	2	2	3	63	43	34	0.0
	天铁科技	81	7	1	1	2	102	58	38	3.4
	海辰药业	51	42	-	-	-	-	-	-	4.8
	上海洗霸	64	37	-	-	-	-	-	-	0.0
	金龙羽	124	29	-	-	-	-	-	-	6.1

- ◆ **下游应用进展低于预期：**半固态电池技术仍不成熟，循环次数、倍率性能较差，同时未形成规模量产，成本价格较高，因此下游应用进展存在低于预期的风险。此外固态电池多数仍处于实验室阶段，商用化时间存在较大不确定性。
- ◆ **上游原材料价格波动风险：**固态电池产业链与技术尚未发展成熟，电解质、更高比能正负极等关键材料采用贵金属，其中锆、锗、锂等金属原材料价格较高，价格波动时，对下游需求影响较大，因此存在价格上涨后，下游需求放缓的风险。
- ◆ **新技术替代风险：**电池技术日新月异、迭代较快，半固态电池仍为到全固态电池的过渡方案，企业大规模扩产，可能存在后续技术升级到全固态电池后，大量产线被淘汰的风险，因此多数企业目前产能规划存在不及预期的可能。此外存在其他电池新技术替代的风险，进一步影响固态电池的产业化进程。

免责声明

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“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客户。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，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。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。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也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报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

资评级基于分析师对报告发布日后6至12个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（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，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），北交所基准指数为北证50指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

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应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所

苏州工业园区星阳街5号

邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园