

# 锂电设备行业深度报告：乾坤未定竞角逐，产业趋势渐明晰 ——固态电池专题系列1

评级：推荐(维持)

张钰莹(证券分析师)  
S0350524100004  
zhangyy03@ghzq.com.cn

## 最近一年走势



## 沪深300表现

表现	1M	3M	12M
专用设备	9.2%	5.8%	26.1%
沪深300	0.7%	-1.7%	10.8%

# 重点关注公司及盈利预测

重点公司代码	股票名称	2025/03/10	2023	EPS		2023	PE		投资评级
		股价		2024E	2025E		2024E	2025E	
300450.SZ	先导智能	23.13	1.13	0.17	0.74	20.47	136.06	31.26	增持
301325.SZ	曼恩斯特	79.50	3.18	0.52	1.30	25.00	152.88	61.15	增持
832522.BJ	纳科诺尔	62.51	1.85	1.72	2.08	33.79	36.25	30.03	未评级
300457.SZ	赢合科技	21.27	0.85	1.21	1.61	21.69	17.53	13.23	未评级
688155.SH	先惠技术	49.30	0.52	2.25	3.45	106.98	21.95	14.31	未评级

- ◆ **为什么是全固态电池？**
- ◆ 1) 传统液态锂电池在电极材料、能量密度、安全性等方面的发展进入瓶颈，**固态电池**凭借高能量密度、高安全性、循环寿命长等优势，或将成为下一代“革命性”电池技术。
- ◆ 2) 固态电池可分为**半固态电池**和**全固态电池**。据起点固态电池公众号，半固态电池液体含量一般在5%–10%，是从液态向全固态的过渡型技术。硫化物在离子电导率的关键性能最为突出，有望成为全固态电池主流技术路线。
- ◆ **全固态电池产业化进程如何？**
- ◆ 1) 目前我国多数企业全固态电池聚焦高镍三元+硫化物电解质+硅碳负极的技术路线，根据欧阳明高院士，2027年左右将实现400Wh/kg的全固态电池量产目标。
- ◆ 2) 从成本角度看，全固态电池量产初期综合成本偏高，但随着原材料降本、工艺优化、良率提升、制造规模的扩大，TrendForce集邦咨询预计2030年后全固态电池电芯价格将降至1元RMB/Wh左右，2035年有望降至0.6–0.7元RMB/Wh。其中比亚迪认为硫化物固态三元电池和液态三元电池理论上可实现“固液同价”。
- ◆ **全固态电池设备的变量及增量（特别是硫化物路线）？**
- ◆ 1) **干法电极设备**：**a.纤维化**：粘结剂纤维化法成本低、产品性能高，有望成为干法工艺的主流方案。**b.辊压**：在干法电极工艺下，可应用于电极成膜和热复合，应用场景得到拓宽；干法工艺对辊压机的工作压力、辊压精度及均匀性提出更高要求。
- ◆ 2) **固态电解质制膜设备**：干法工艺优势明显，亦为干法设备增量环节。其中干法压延与干法喷涂技术更匹配硫化物电解质膜的大规模量产。
- ◆ 3) **等静压机**：从设备或工艺上解决固固界面问题的关键设备。等静压工艺致密化均匀性、一致性优势明显，且尤其适用于硫化物固态电解质层的成型，当前多被用于固态电芯堆叠后的一体化压制和固态电解质膜的制备。
- ◆ 4) **叠片机**：从工艺成熟度、效率、成本等方面考虑，叠片是最适合全固态电池的装配工艺，电池封装方式适用软包。**a.叠片机**单GWh价值量高于卷绕机，叠片效率为关键竞争因素；**b.全固态电池**对叠片机精度和稳定性的要求有所提升。
- ◆ **行业评级与投资建议**：全固态电池产业化进程加速，材料端重点关注硫化物路线，设备端核心增量在于“干”“压”“叠”。1) **前段**：变化最为明显，干法电极设备及固态电解质干法成膜设备有望逐步替代传统湿法设备，**主要包括：纤维化设备、辊压机**；2) **中段**：仅可用**叠片机**（搭配软包），且对叠片机的精度和稳定性要求提升，此外无需注液机，新增**等静压机**核心致密化设备；3) **后段**：固态电池要求大压力化成，常规电池化成压力在3~10吨，固态电池化成压力要达到60~80吨，由此产生**高压化成分容设备**需求。我们维持锂电设备行业“推荐”评级，重点推荐**先导智能、曼恩斯特**；建议关注**纳科诺尔、赢合科技、先惠技术**等。
- ◆ **风险提示**：固态电池研发进展不及预期，下游需求应用不及预期，上游原材料价格波动影响固态电池降本，重点公司业绩不及预期，研究报告使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。

## 近期催化：

- ◆ 2月15日，2025中国全固态电池产学研协同创新平台（CASIP）年会暨第二届中国全固态电池创新发展高峰论坛在北京举行。
- ✓ 中国科学院院士欧阳明高在演讲时提到，2025年，全固态电池的发展将确定主攻技术路线。并预测以硫化物为主体电解质的车用第一代全固态电池将于2025-2027年实现量产；第二代全固态电池将于2027-2030年实现量产。
- ✓ 比亚迪锂电池有限公司CTO孙华军指出，比亚迪计划2027年左右启动批量示范装车应用，预计在2030年前后实现大规模量产。在成本控制上，孙华军表示，长期来看，规模化生产后，液态的三元电池跟固态的三元电池理论上可实现“固液同价”。
- ✓ 中国一汽首席科学家王德平也表示，全固态电池当前处于原型样件阶段，预计2-3年实现小批量应用，3-5年实现规模化应用。一汽计划以整车需求为指引，2027年进行小批量应用。
- ◆ 2月13日，广汽集团宣布，其采用第三代海绵硅负极与高面容量固态正极技术的全固态电池研发进展顺利，计划2026年实现装车搭载。
- ◆ 2月9日，长安汽车推出能量密度达400Wh/kg的全固态电池“长安金钟罩”，宣称可实现1500公里纯电续航。长安汽车董事长明确量产时间表：2025年底完成功能样件开发，2026年启动装车验证，2027年实现规模化量产。

## 后续催化：

- ◆ 现代汽车“梦想”全固态电池试点产线将于2025年3月建成并启动试产，年底将推出首款搭载该电池的原型车。
- ◆ 2025年3月26-28日，2025年中国固态电池技术创新与产业化研讨会；2025年4月16-18日，CLNB全固态电池前瞻技术论坛。
- ◆ 2025年4月23日-5月2日，2025年上海车展将于国家会展中心（上海）举办。2023年上海车展期间，宁德时代曾发布凝聚态电池。2025年上海车展有望释放部分固态电池增量信息。
- ◆ 上汽名爵将于2025Q2推出全系标配半固态电池车型，售价亲民。此前上汽品牌半固态电池装车聚焦于智己L6，上汽名爵或将成为扩大半固态电池装车的起点。

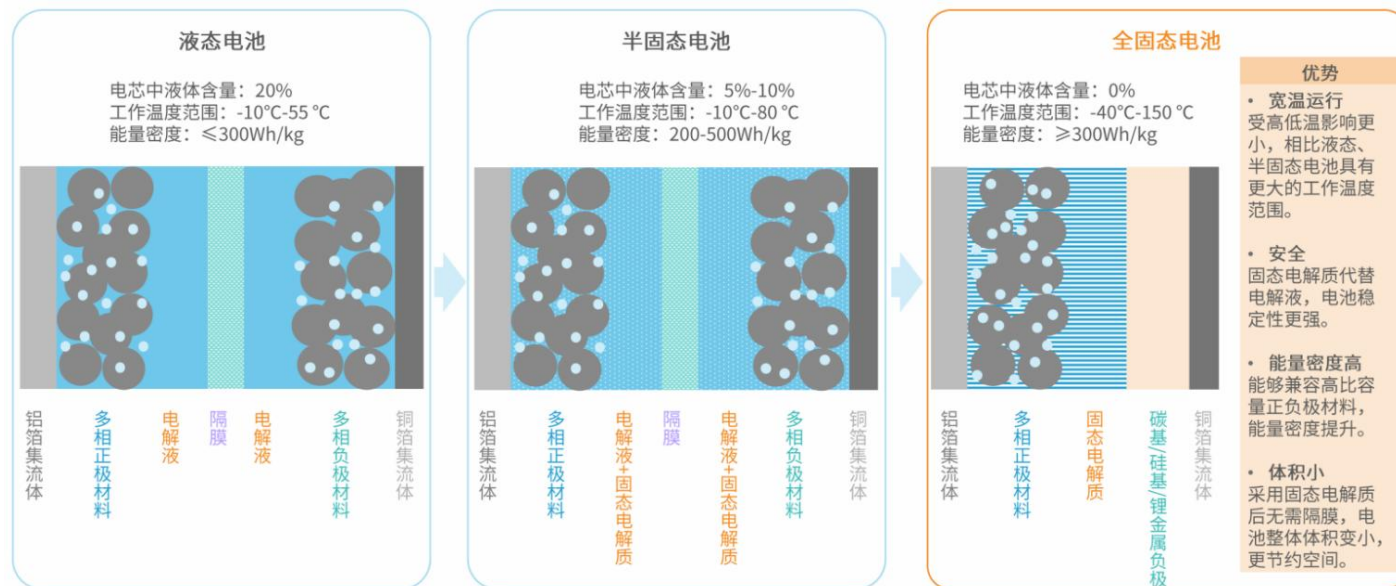
# 1、全固态电池：产业进程加速，硫化物路线或为趋势



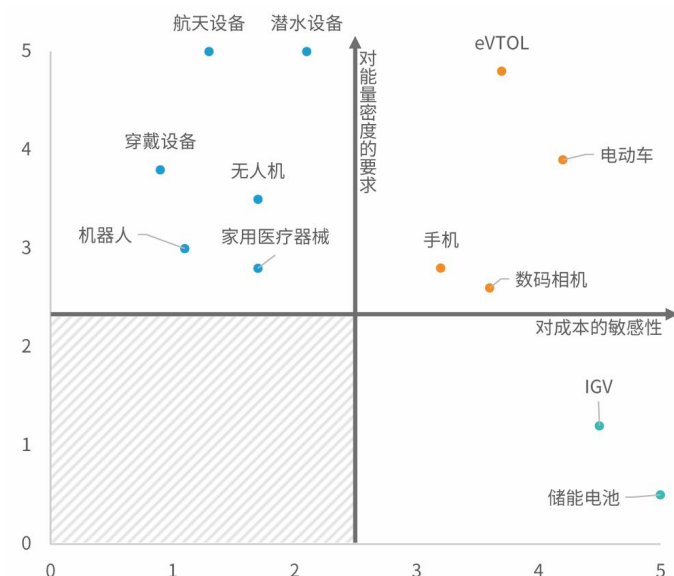
# 1.1 固态电池：有望成为下一代“革命性”电池技术

- ◆ 传统液态锂电池在电极材料、能量密度、安全性等方面的发展进入瓶颈，固态电池凭借高能量密度、高安全性、循环寿命长等优势，有望成为下一代“革命性”电池技术。按照固态电解质含量，固态电池可分为半固态电池和全固态电池。据起点固态电池公众号，半固态电池液体含量一般在5%-10%，是从液态向全固态的过渡型技术。根据《固态电池行业研究及其投资逻辑分析》韩熙如等，全固态锂电池使用固态电解质完全替代液态及半固态锂电池的电解液和隔膜，其优势具体体现在：1) 电化学窗口更宽，可匹配电极电位更高的正极材料，工作电压更高、工作温度范围更大；2) 外包破损不会造成电池液外漏，电解质热分解温度更高，电池本征安全更好；3) 可兼容高比容量电极材料，能量密度更高；4) 结构更简单，可通过多层堆垛技术实现内部串联，输出电压更高，无效质量或体积更少。
- ◆ 从实际应用场景看，全固态电池被视为低空经济和人形机器人等前沿领域实现突破的关键动力来源。从终端市场来看，固态电池场景应用边界明显拓宽，除新能源汽车、消费电子、电动工具等传统领域以外，随着eVTOL、人形机器人等新兴行业高速发展，其对电池能量密度、安全性、倍率性能等提出更高要求，未来固态电池有望在新兴领域率先迎来批量应用。

图：全固态电池与液态电池、半固态电池对比



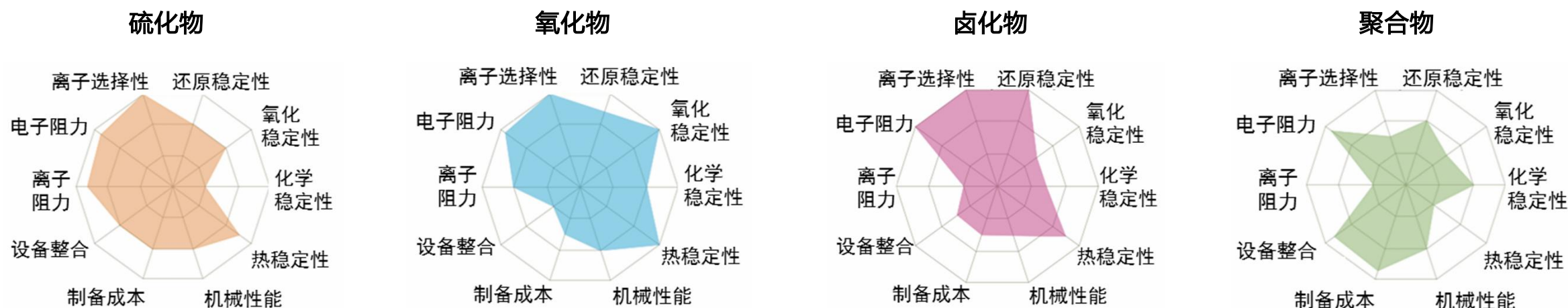
图：全固态电池的潜在应用场景



# 1.1 固态电池：有望成为下一代“革命性”电池技术

- ◆ 按照固态电解质分类，目前固态电池分为氧化物、硫化物、卤化物、聚合物和复合固态电解质（聚合物+无机物）等技术路线。判断固态电解质是否可行，需要从离子电导率、耐氧化还原性、制造安全及工艺便捷性、成本等角度综合判断。
  - ✓ 聚合物电解质：离子电导率低，性能提升有限，难以大规模应用；
  - ✓ 氧化物电解质：离子电导率尚可，耐氧化还原性良好，但制造加工难度较大；
  - ✓ 卤化物电解质：室温离子电导率较高，质地柔软，在一定压力下可以实现与电极材料良好的界面接触，且电化学窗口宽，能够匹配高压正极材料，但多数卤化物存在对水汽敏感、易发生结构相变、对锂金属负极稳定性差等问题；
  - ✓ 硫化物电解质：离子电导率最高，机械性能较出色，具有良好的延展性和较低的硬度，但化学稳定性和空气稳定性较差，材料和制造成本较高。
- ◆ 硫化物和复合电解质较具商业化应用潜力，有望成为全固态电池主流技术路线。综合来看，单一固态电解质体系性能各有短板。但硫化物仍被认为是单一固态电解质中最有望实用化的材料之一，因其不仅在离子电导率的关键性能上具有优势，在可加工性、对负极材料稳定性等方面不构成短板，且在合成成本、对正极材料稳定性上等劣势领域已有实用性解决方案。此外，未来固态电解质也有望从单一组分向多组分复合体系发展，主要系多组分复合固态电解质的成本和综合性能更优。

图：四种固态电解质性能对比

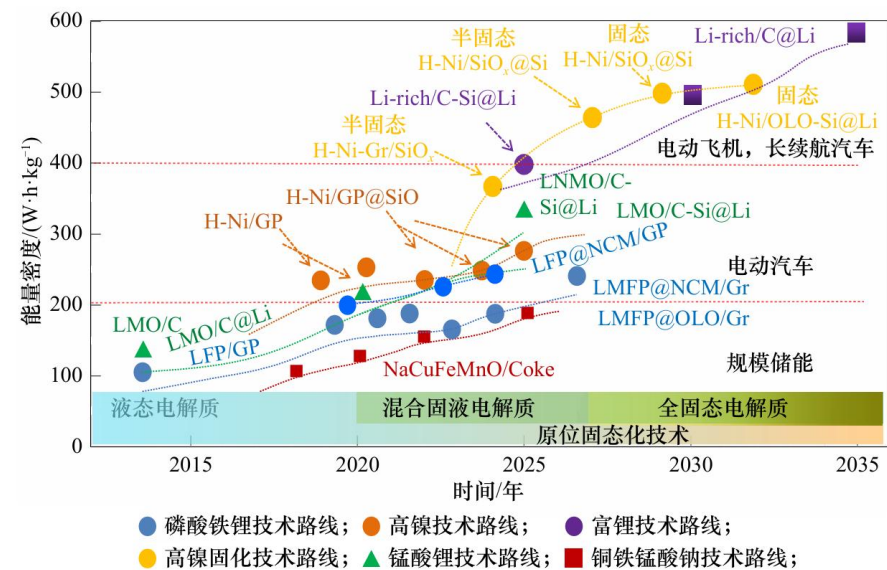




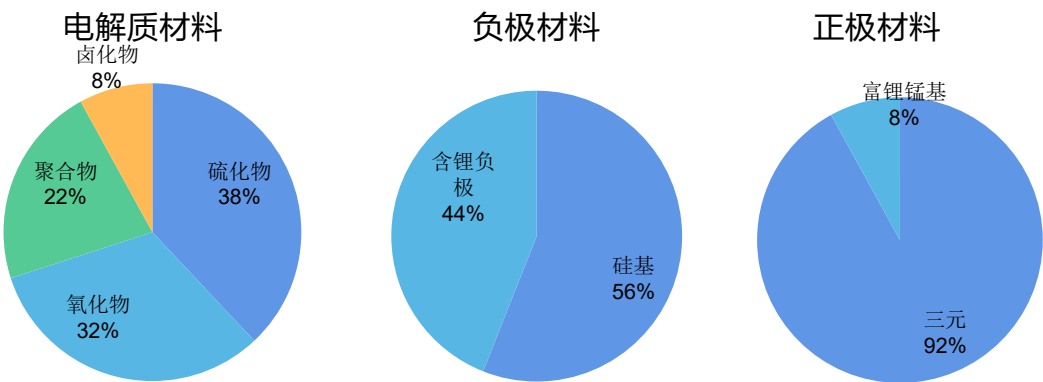
# 1.1 固态电池：有望成为下一代“革命性”电池技术

- ◆ 目前为商业化前期，正极、负极、电解质材料百家争鸣，但为追求更大应用前景，高能量密度已然成为学界和业界第一性目标。根据欧阳明高院士对于全固态电池技术路线的预测（2025.02）：
- ◆ 第一代全固态电池以硫化物为主体电解质，采用高镍三元正极和石墨/低硅负极，以200~300Wh/kg为目标，将于2025~2027年实现量产；
- ◆ 第二代全固态电池为现阶段主攻目标，采用高镍三元正极和高容量硅碳负极，以400Wh/kg和800Wh/L为目标，将于2027~2030年实现量产；
- ◆ 第三代全固态电池以500Wh/kg和1000Wh/L为目标，重点攻关锂负极，逐步向复合电解质(主体电解质+补充电解质)、高电压高比容量正极(高镍、富锂、硫等)发展，将于2030~2035年量产。

图：中国科学院物理研究所对于全固态电池技术路线的预测

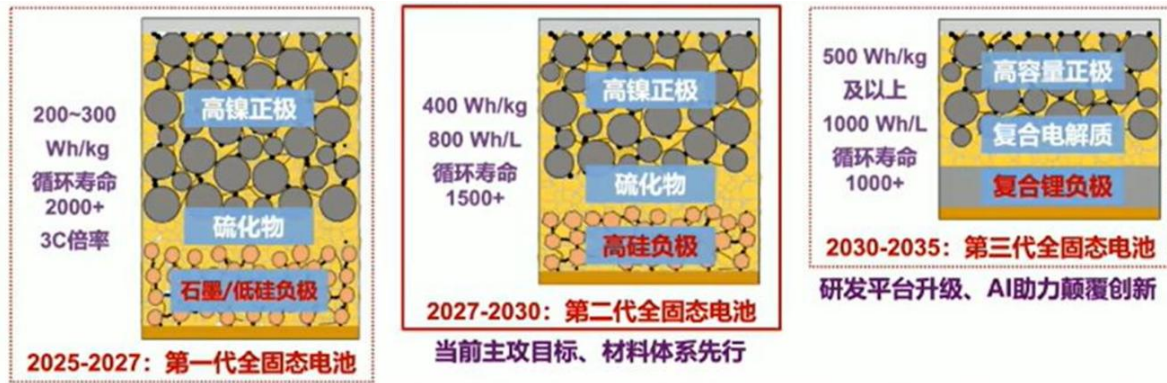


图：全球固态电池企业技术路线选择（截至2024.12）



注：跟据企业现公布情况统计；电解质包括复合电解质。

图：欧阳明高院士对于全固态电池技术路线的预测（2025.02）



## 1.2 全固态电池：量产渐近，2027年或为国内400Wh/kg关键量产之年

- ◆ 海外企业全固态电池计划量产时间集中在2026–2030年，技术路线以硫化物为主要方向。日韩和欧美在全固态电池方面布局早、研发力度大。
- ◆ 日本整车厂：重点布局硫化物路线，本田明确将于2025年1月开始试生产全固态电池；丰田最新宣布2026年开始量产全固态电池，到2030年产能计划达到9GWh。
- ◆ 韩国电池厂：三星SDI和LGES均布局硫化物技术路线，SK On布局聚合氧化物复合材料、硫化物双路线，三家均计划在2027–2030年实现量产或商业化。
- ◆ 美国电池厂：Factorial、Quantum Scape（QS）和Solid Power三大固态电池初创公司分别与奔驰、大众和宝马三家欧洲车企建立起合作关系，目前全固态电池均处于送样测试阶段，技术路线相对多元。

表：目前国际主要车企和电池企业均逐步聚焦到硫化物全固态电池，主流技术路线基本清晰

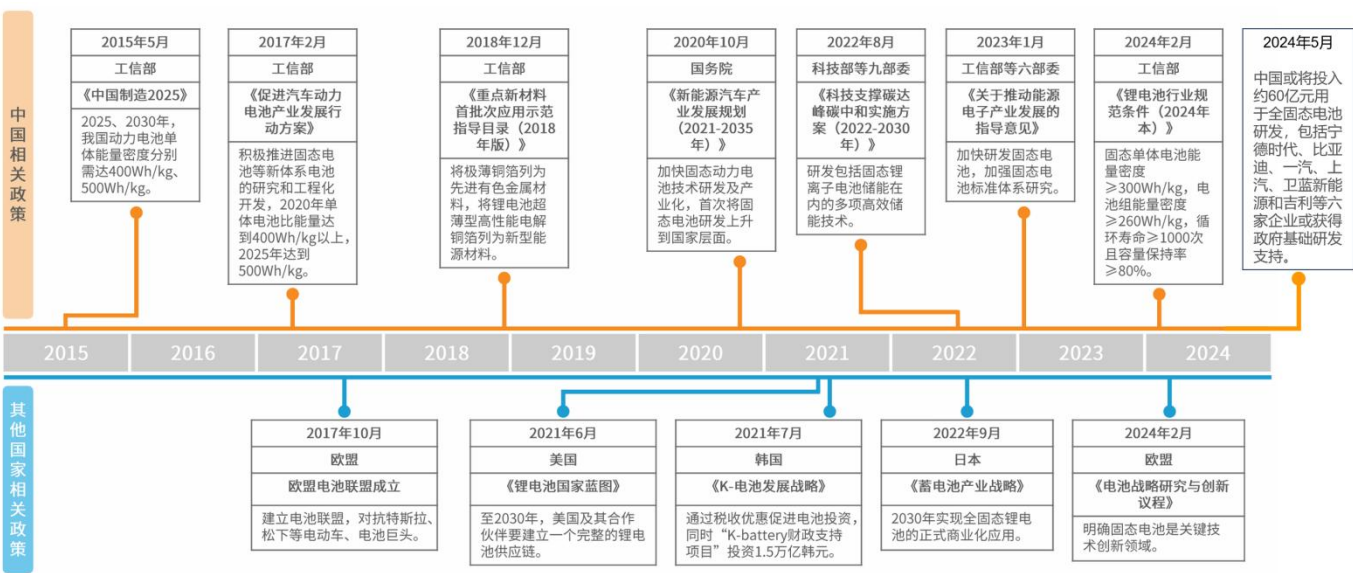
企业	技术路线	2024年至今关键进展
丰田	三元正极 硫化物 石墨负极	2024年9月，全固态电池生产计划获得日本经济产业省的认证，2026年开始逐步量产
本田	单晶三元 硫化物	2024年11月，首次公开自研全固态电池示范生产线，2025年1月开始试生产 将采用单晶正极，用辊压工艺替代等静压工艺，通过分段控制降低环境控制成本
日产	三元正极 硫化物 金属锂负极	2024年4月，公开在日本横滨建设的全固态电池试验线照片，将于2025年开始生产首批全固态电池
出光兴产	硫化物固态电解质	2024年10月，开始设计固态电解质大规模中试装置，年产能数百吨，将在2027–2028年实现商业化
三星SDI	三元正极 硫化物 银碳/硅碳负极	2024年5月，发布了super-gap固态电池技术，采用Anode-less设计，能量密度将达到900 Wh/L，在韩国水原市建立了试生产线，将于2027年开始量产
SK On	三元正极 硫化物 硅碳负极/金属锂负极	与Solid Power达成协议，将在研发许可、产线安装和电解质供应三方面开展合作，预计于2025在韩国大田市建设试生产线，并在2030年前至少采购8吨硫化物固态电解质
LGES	三元正极 硫化物 硅碳负极/金属锂	原计划2026年量产聚合物全固态电池，调整为2030年量产硫化物全固态电池
Solid Power	三元正极 硫化物 硅碳负极/金属锂负极	2023年11月，向宝马交付了第一批A样全固态电池，进入装车验证阶段 2024年9月，扩大硫化物电解质生产，现有产能30吨/年，将扩展至75吨/年(2026年)、140吨/年(2028年)
Quantum Scape	三元正极 氧化物 无锂负极	2024年5月，开始交付固态电池原型样品，为六层软包电池；7月，与大众旗下电池企业PowerCo达成合作，授权其大规模生产；10月，开始小批量生产首批原型B样固态电池(5Ah)
Factorial Energy	干法正极 硫化物 金属锂负极	2024年9月，与梅赛德斯–奔驰合作研发450Wh/kg级全固态电池，工作温度可在90℃以上，启动B样测试 2024年12月，发布40Ah级A样硫化物全固态电池，采用干法工艺提升能量密度 2025年2月，梅赛德斯–奔驰已经开始在英国路测搭载Factorial Energy固态电池的纯电动汽车，该车型续航里程有望提升25%，续航近1000公里。 Factorial Energy固态电池将在2030年之前实现大规模生产。



1.2 全固态电池：量产渐近，2027年或为国内400Wh/kg关键量产之年

- ◆ 中国在固态电池领域政策的发布时间较早、支持态度明确。2020年，我国国务院发布的《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》，首次将固态电池列入行业重点发展对象并提出加快研发和产业化进程。
- ◆ 根据亿欧汽车微信公众号，2024年5月，中国宣布计划投入约60亿元用于全固态电池研发，包括宁德时代、比亚迪、一汽、上汽、卫蓝新能源和吉利等六家企业或获得政府基础研发支持。政策端明显发力，叠加我国传统锂电池产业链完整、技术积累深厚等优势，我国全固态电池产业化进程有望赶超国外。

图：中国也在积极出台政策推动固态电池技术发展，抢占技术制高点



图：我国全固态电池产业有望在大规模量产(MP)阶段赶超国外



图：中国全固态电池产业链完整



## 1.2 全固态电池：量产渐近，2027年或为国内400Wh/kg关键量产之年

◆ 我国多数企业全固态电池聚焦高镍三元+硫化物电解质+硅碳负极的技术路线，目标2027年左右实现400Wh/kg的全固态电池量产。目前宁德时代、比亚迪、国轩高科、中创新航、卫蓝科技等国内头部电池厂或整车厂均已布局全固态电池，且普遍预计于2027-2028年进入小批量生产或装车验证阶段，2028-2030年迈入正式量产阶段，2030-2032年有望实现大规模装车上市。从技术路线角度来看，宁德时代、比亚迪、国轩高科等大厂均选择硫化物路线。近期比亚迪表示其2024年已实现60Ah全固态电芯的中试下线，能量密度达到400Wh/kg (800Wh/L)，表明部分硫化物技术难题已得到突破。

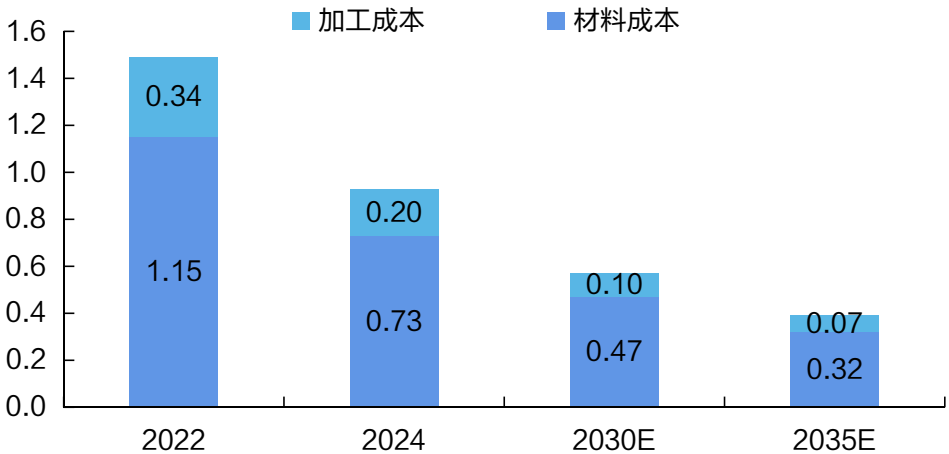
表：国内头部企业全固态电池布局及量产规划

公司		正极材料	负极材料	全固态路线	能量密度	小批量生产时间	正式量产时间	备注
电池厂	宁德时代	高镍三元	锂金属/硅碳	硫化物	400Wh/kg	2027年	\	目前全固态电池处于4等级，即技术定型及实验室环境下生产技术的验证阶段，预计2027年提高到7-8级实现小批量生产。
	国轩高科	高镍三元	硅碳	硫化物	350Wh/kg	2027年	2030年	国轩全固态电池预计会在2027年进行小批量上车试验；预计2030年会瞄准350Wh/kg全固态进行量产。
	卫蓝新能源	高镍三元	硅碳	氧化物/聚合物	400Wh/kg	2027年	2030年	2027年产能规划2GWh并实现量产装车，未来山东淄博/江苏溧阳等基地共布局100GWh。目标到2030年有望把全固态电池的售价控制在0.5元/Wh以下。
	亿纬锂能	高镍三元	硅碳	硫化物/卤化物/聚合物	400Wh/kg	2028年	\	计划于2026年取得工艺突破，推出高功率、高环境内耐受性和绝对安全的全固态电池，主要用于混合动力领域；于2028年实现技术突破，推出400Wh/kg高比能全固态电池。
	中创新航	高镍三元	硅碳	硫化物复合	430Wh/kg	2027年	2028年	计划于2027年小批量装车，2028年量产。
整车厂	比亚迪	高镍三元	硅碳	卤化物/硫化物	400Wh/kg	2027年	2030年	2024年已实现60Ah全固态电芯的中试下线，能量密度达到400Wh/kg (800Wh/L)。2027-2029年是示范期，主要用在中高端电动车上，规模在千辆左右；2030-2032年是市场拓展期，有望渗透到主流电动车型，规模可达12万辆。
	上汽清陶	猛基	锂金属/硅碳	卤化物/聚合物	406Wh/kg	2025Q4	2026Q4	已布局全固态量产线，计划2025年底完工，一期产能规划0.5GWh，2026Q4实现全固态电池量产，2027Q1装车上市。
	广汽埃安	高镍三元	硅碳	硫化物/聚合物	400Wh/kg	2026年	\	采用第三代海绵硅负极与高面容量固态正极技术的全固态电池研发进展顺利，计划2026年实现装车搭载。
	一汽	高镍三元	硅碳	硫化物	375Wh/kg	2027年	\	全固态电池当前处于原型样件阶段，预计2-3年实现小批量应用，3-5年实现规模化应用。计划以整车需求为指引，2027年进行小批量应用。
	吉利	高镍三元	硅碳	聚合物/硫化物	400Wh/kg	2027年	\	
	长安汽车	高镍三元	硅碳	硫化物	400Wh/kg	2027年	\	2025年2月9日推出能量密度达400Wh/kg的全固态电池“长安金钟罩”，宣称可实现1500公里纯电续航。计划2025年底完成功能样件开发，2026年启动装车验证，2027年实现规模化量产。

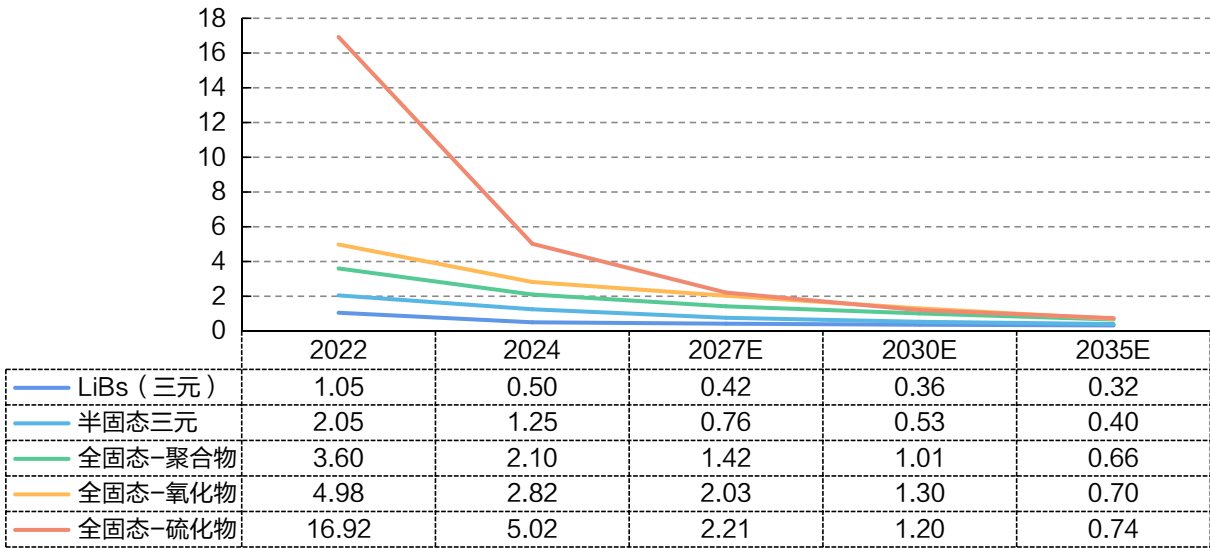
# 1.3 综合成本下降→产业化进程加速：半固态 vs. 全固态

- ◆ 半固态电池已进入量产，远期成本将低于0.4元RMB/Wh。据TrendForce集邦咨询，截至2024年11月，从成本角度看，半固态电池已扩大到GWh级别量产，但量产初期综合成本偏高，主要在于：1）量产制造经验不足，尤其是电解液的原位固化工艺环节难以有效控制固化的均匀性，导致生产良率较低（行业领先企业良率仅50%-80%）；2）半固态电池生产规模小，尚未形成规模效应。目前半固态电池出货规模正在扩大，TrendForce集邦咨询预计2025年将超过10GWh。随着技术成熟度的提升，中期（2030年）当半固态电池制造良率高于90%，预计电芯综合成本将降至0.6元RMB/Wh以下；远期（2035年）成本有望低于0.4元RMB/Wh。
- ◆ 全固态电池正处于从样件电芯向工程化转化的阶段，量产初期（2027-2028年）预计成本较高，电芯价格将落在1-3元RMB/Wh，EV市场应用规模≤1GWh。2030年后当全固态电池形成一定规模时（≥10GWh），预计电芯价格将降至1元RMB/Wh左右，到2035年经过市场大规模的快速推广后，TrendForce集邦咨询预计全固态电芯价格有望降至0.6-0.7元RMB/Wh。

图：半固态电芯成本趋势（元RMB/Wh，不含税）



图：固态电芯价格预测（元RMB/Wh）

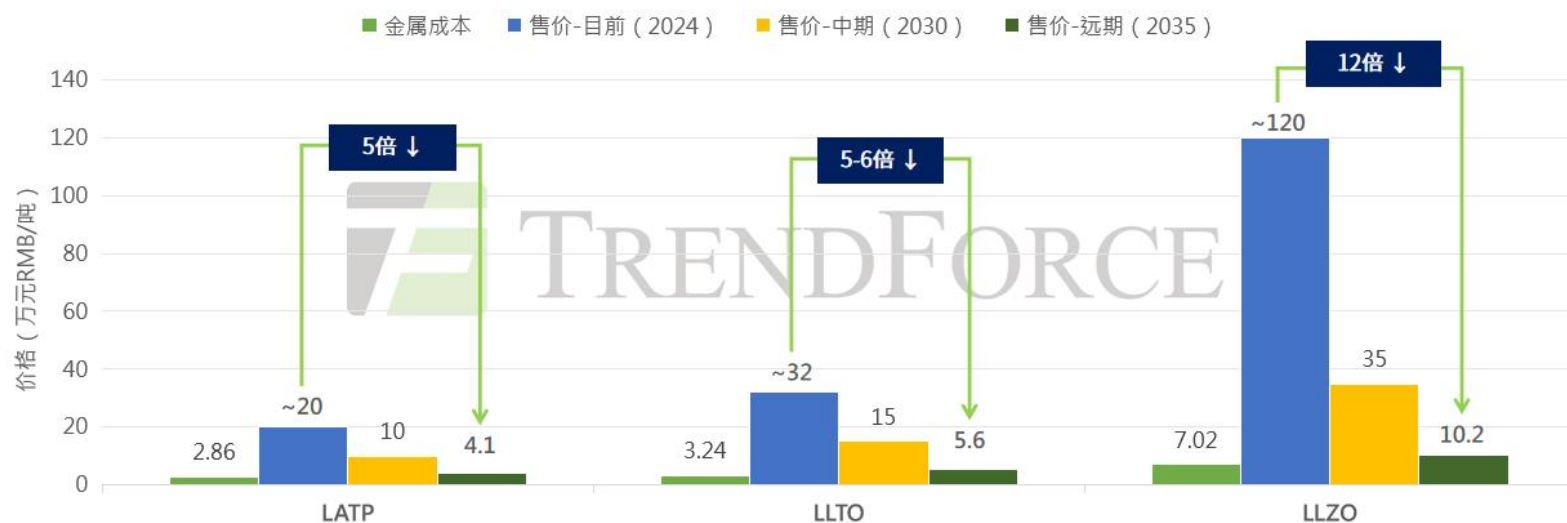




### 1.3.1 综合成本下降→产业化进程加速：聚合物 vs. 氧化物 vs. 硫化物

- ◆ **聚合物**：制造工艺发展较早，相对成熟，与现有锂电池制造工艺较为接近，具有较大成本优势，尤其以PEO基聚合物锂金属固态电池为例，据TrendForce集邦咨询，其2024年电芯总成本（不含税）约0.5元RMB/Wh，与液态电池相当，法国Blue Solutions已在前十年（2011–2020年）将此路线固态电池在欧洲地区推向商业化应用。但还需设计电化学窗口更宽、离子电导率更高的聚合物电解质复合材料，以提升电池性能。
- ◆ **氧化物**：综合成本介于聚合物和硫化物固态电池之间，但氧化物固态电解质存在如下缺点：1）**加工难度大**：尤其是超薄型氧化物固态电解质隔膜（ $<30\mu\text{m}$ ），因此其隔膜厚度通常较厚，不利于电池能量密度的提升和单位瓦时成本的降低。2）**材料售价高**：目前常用的几种氧化物电解质，如LLTO、LATP、LLZO等，虽然已有部分企业具备千吨级量产能力，但市场应用层面该材料还未规模化放量，材料实际售价接近其金属总成本的10倍左右，未来还有较大降本空间。

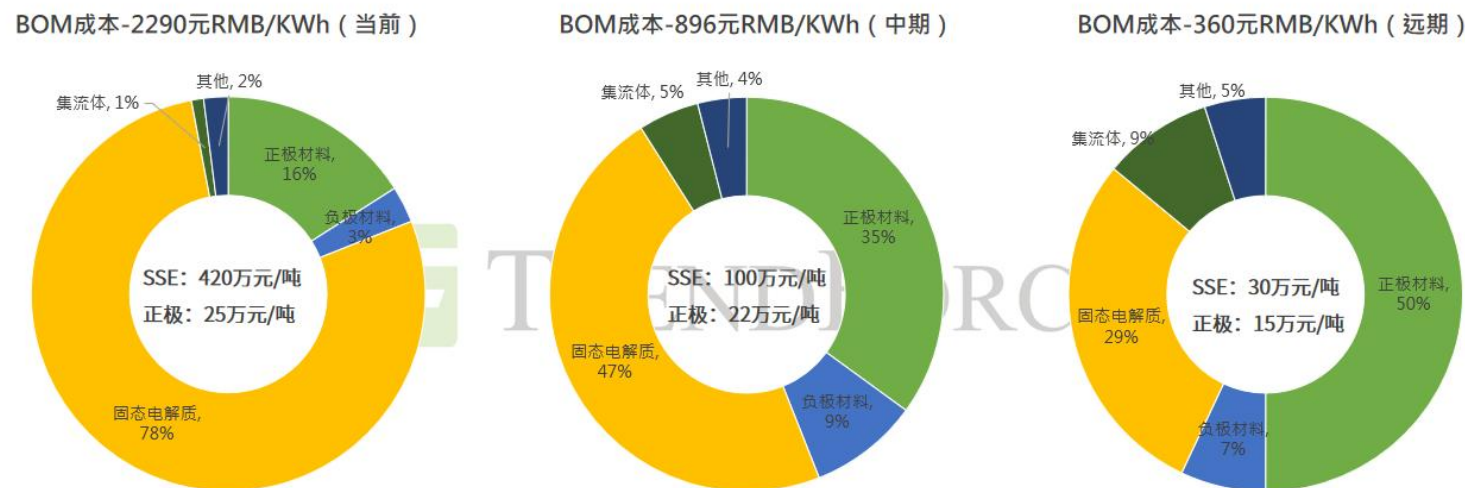
图：固态电池氧化物电解质材料成本趋势（万元RMB/吨）



### 1.3.1 综合成本下降→产业化进程加速：聚合物 vs. 氧化物 vs. 硫化物

- ◆ **硫化物**：性能潜力大，降本空间较大，远期电芯BOM成本有望降至0.4元RMB/Wh以下。目前硫化物固态电解质及其前驱体硫化锂材料尚未实现工业化批量制备，且硫化物电解质空气稳定性差、对水分非常敏感，因此对电池制造的环境要求较高，最终导致硫化物固态电池成本高。TrendForce集邦咨询预估硫化物基固态电池产业化初期电芯BOM成本在1-2元RMB/Wh，硫化物电解质规模量产后，中期（2030年）电芯BOM成本预计在1元RMB/Wh以内，远期（2035年）当固态电解质成本降至30万元RMB/吨以内时，电芯BOM成本有望降至0.4元RMB/Wh以下。
- ◆ 近期比亚迪表示，硫化物固态三元电池和液态三元电池理论上可实现“固液同价”。比亚迪测算结果表明，未来一方面可从工艺优化，良率提升等方面降低制造成本；另一方面，随着硫化物固态电池的规模化应用，活性物质占比的提升（降低电解质用量），以及硫化物电解质成本的下降，固态三元电池和液态三元电池理论上可实现“固液同价”。

图：硫化物固态电芯BOM成本趋势（元RMB/Wh）



注：SSE指硫化物固态电解质，BOM成本核算基于超高镍正极（Ni90）+硅基负极+硫化物电解质（LPSC），电芯能量密度初期360Wh/kg，中期400Wh/kg，远期500Wh/kg

图：比亚迪硫化物固态电池综合成本下降节奏展望



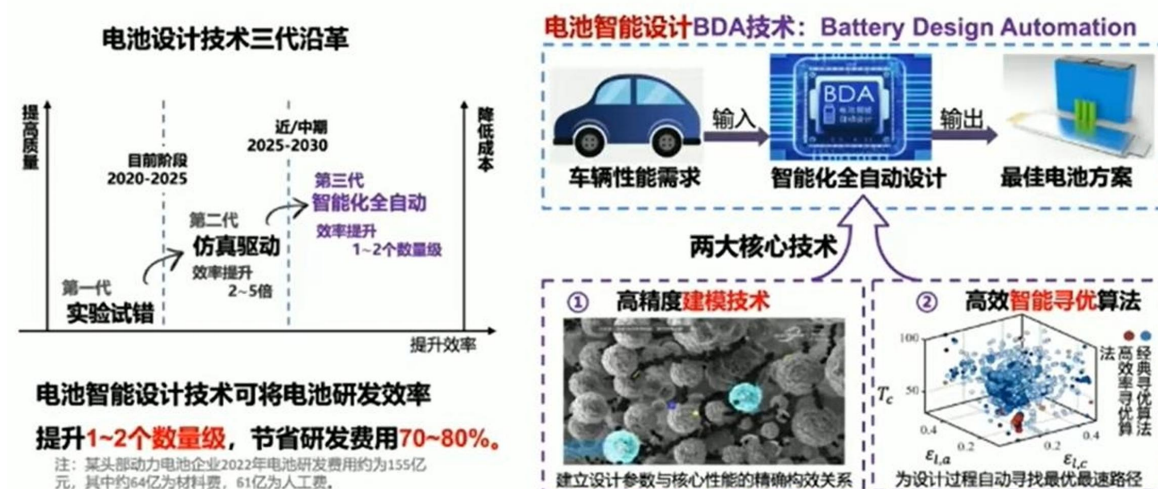
## 1.3.2 研发成本下降→产业化进程加速

- ◆ AI正成为全固态电池研发进程的重要加速器，将在材料筛选、设计工艺以及性能管理等方面发挥关键作用。AI大模型将会改变研究范式，文献阅读、报告撰写、模型计算、优化设计等方面都能借助AI，AI赋能下将缩短原有科研实验试错模式下的时间周期，并大幅降低研发成本，加速全固态电池的研发及产业化进展。中国科学院院士欧阳明高表示，通过全固态电池研发智能公共服务平台，能实现材料体系智能匹配、设计参数智能选优，制备工艺智能推荐等研发服务，电池研发效率可提升1~2个数量级，节省研发费用70%~80%。
- ◆ 目前多家锂电池企业或车企正推进AI研发平台的建设。宁德时代已开发电池材料智能化设计平台，基于AI材料智能设计算法，90天内可完成材料筛选与闭环验证。广汽埃安也在推进人工智能的开发平台，加速全固态电池技术开发进度。

图：基于AI，电池设计和材料研发方法从实验试错、正向仿真逐步过渡为智能化全自动研发新模式



图：电池设计正从第二代仿真驱动向第三代基于AI的电池智能设计技术方向发展



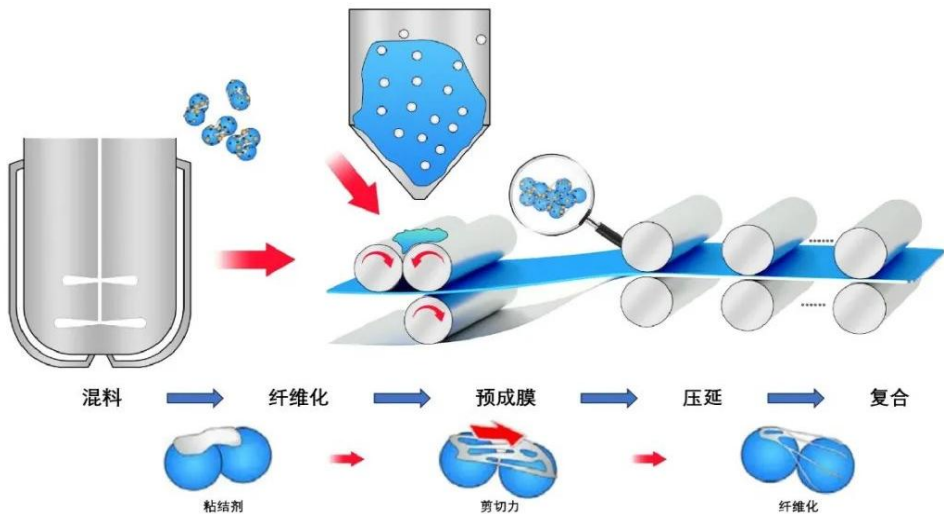


## 2、全固态电池设备：核心增量在于“干” “压” “叠”

## 2.1.1 干法电极工艺：全固态电池潜在主流路线

- ◆ 在生产制造端，干法电极工艺优势明显，有望成为全固态电池量产的主流路线。极片及固态电解质膜的制备工艺是全固态电池制造的核心。
- ◆ 传统湿法电极工艺：把正极或负极活性材料、导电剂及粘结剂按一定比例在溶剂中混合得到电极浆料，再把电极浆料涂覆在集流体上经过烘干得到电极。
- ◆ 干法电极工艺：通过干法混合粘结剂、活性材料和导电剂，再将其压制在集流体上形成电极。干法电极工艺成本低、性能高，且对于硫化物全固态电池是刚需。根据《高离子电导率硫化物固态电解质的空气稳定性研究进展》吕璐等，硫化物电解质遇溶剂会发生化学反应进而产生毒气，离子导电率将急剧下滑。而干法电极工艺下的极片制造过程完全干燥，从而避免湿法工艺烘干后溶剂残留对电解质造成影响。

图：干法电极制备的工艺流程图（粘结剂纤维化方法）



表：干法电极工艺与湿法工艺技术对比

	干法电极	湿法电极	原因
制作工艺			
制成工艺	粘结剂纤维化、静电粉末喷涂	涂布烘烤	
工艺步骤	少	多	干法无需烘干回收溶剂，生产效率可提升至原湿法的7倍
制造成本	低	高	不使用溶剂NMP，无电极干燥和溶剂回收相关成本，生产成本综合下降18%
能源消耗	低	高	无溶剂，能耗更低，每生产10kWh电池，当量二氧化碳排放量减少1吨
电池性能			
压实密度	大	小	磷酸铁锂压实密度提升32.61%，三元材料压实密度提升8.38%，石墨负极压实密度提升11.04%
面容量	大	小	干法无需溶剂，活性物质和导电剂之间的空隙率降低，单位面积内能有更多的活性物质
可实现能量密度	大	小	干法电极能量密度可以超过300Wh/kg，具备500Wh/kg的实现路径；湿法目前最大能量密度未突破300Wh/kg
实验室循环性能	高	低	
耐久性	高	低	PTFE原纤化后，原纤维能让活性物质间粘连更紧密，且能防止活性物质在循环过程中脱落
交流阻抗	低	高	PTFE纤维构成的粘结剂钝化网在锂离子来回脱嵌过程中会被逐步冲破，形成更好的导电网络
电压平台	无差异	无差异	
水分含量	低	高	干法电极生产无需溶剂，全程采用干湿的方式
其他			
预锂化	更适配	一般适配	干法生产环境迎合预锂化对于干燥环境的需求；湿法粘接剂CMC-SBR和溶剂与预锂化合物不兼容；预锂化合物可能与溶剂反应
环境友好程度	高	低	NMP有毒，对环境不友好；湿法溶剂的干和回收需要消耗大量电能
可应用领域	固态电池、4680、普通电池、超级电容	普通电池	



## 2.1.2 干法电极工艺：粘结剂纤维化有望成为主流方案

- ◆ 干法电极工艺可分为粘结剂纤维化法、粉末压片法、粉末喷涂法等。在特斯拉收购Maxwell后，粘结剂纤维化法得到广泛关注。行业普遍认为，粘结剂原纤化法在性能稳定性和可加工性上表现更优，有望成为主流方案。粘结剂纤维化法下：
- ◆ 设备方面：新增气流粉碎机、螺杆挤出机、辊磨机等纤维化设备需求。
- ◆ 辅材方面：常用的原纤化粘结剂包括PTFE、ETEF、FEP，PTFE是最优粘结剂选择，主要系PTFE聚合分子量较大，可形成更长的原纤维，机械性能良好。

表：六种干法电极技术对比

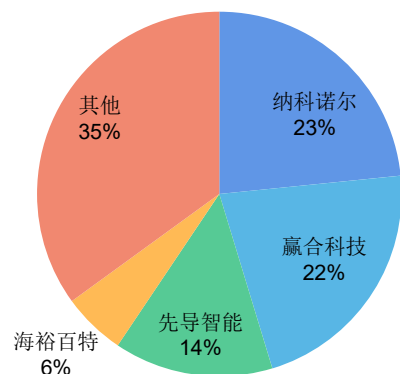
干法技术	技术原理	优势	劣势	应用领域	所需设备	代表电池企业	代表设备企业
粘结剂纤维化	利用可纤维化的PTFE，在高剪切力的作用下进行纤维化以生成PTFE纤维。由此获得的PTFE纤维可将活性材料颗粒连接在一起，但是不会覆盖活性材料，再经热压后形成自支撑的电极薄膜。最后通过热轧将电极薄膜压在涂碳集流体上，得到最终的电极	与现有产线兼容，可大规模生产	对于负极不稳定；目前只能采用PTFE作为粘结剂	正极，碳负极，全固态电池电极	<b>纤维化设备：</b> 气流粉碎机、螺杆挤出机、辊磨机等 <b>压延成膜及复合设备：</b> 辊压机	Maxwell（已被特斯拉收购）	纳科诺尔（及其参控股子公司清研纳科）、曼恩斯特、利元亨、先导智能
干法喷涂沉积	利用高压气体预混合活性物质、导电剂和粘结剂PTFE/PVDF，然后在静电喷枪的作用下使粉末带电并喷涂到接地的集流体上，之后通过热轧将粉末粘合并固定在集流体上，得到最终的电极	电极厚度和密度可控，可用于柔性电极；技术成熟度较高	设备昂贵，生产环境要求高；目前仍处于实验室阶段，与现有的锂电池产线设备不兼容；在粉末厚度控制和均匀性方面存在更多局限性	正极、负极	静电喷枪	日本丰田、美国AMB	
气相沉积	材料先蒸发汽化再沉积	多种汽化方法可选择	生产设备昂贵，规模扩大较难实现	小尺寸电极	PVD、CVD、ALD		
热熔挤压	颗粒混合、挤出、脱粘和烧结	可制备厚电极	工艺复杂，能耗高，需要牺牲粘结剂	用于大规模生产的正极，碳负极	双螺杆挤出机等		
直接压制	活性材料充分混合后直接压制为电极	操作简单，粘结剂用量小	生产规模小，需要活性材料可压缩	正极，负极，全固态电池电极	压力机、液压机等		
3D打印	材料熔融后逐层打印	电极厚度和形貌可定制	设备昂贵，生产规模小，活性材料含量低	微电子和可穿戴设备用电极	3D打印机		

资料来源：《干法电极技术在超级电容器和锂离子电池中的研究进展》徐桂培等，高工锂电微信公众号，国海证券研究所

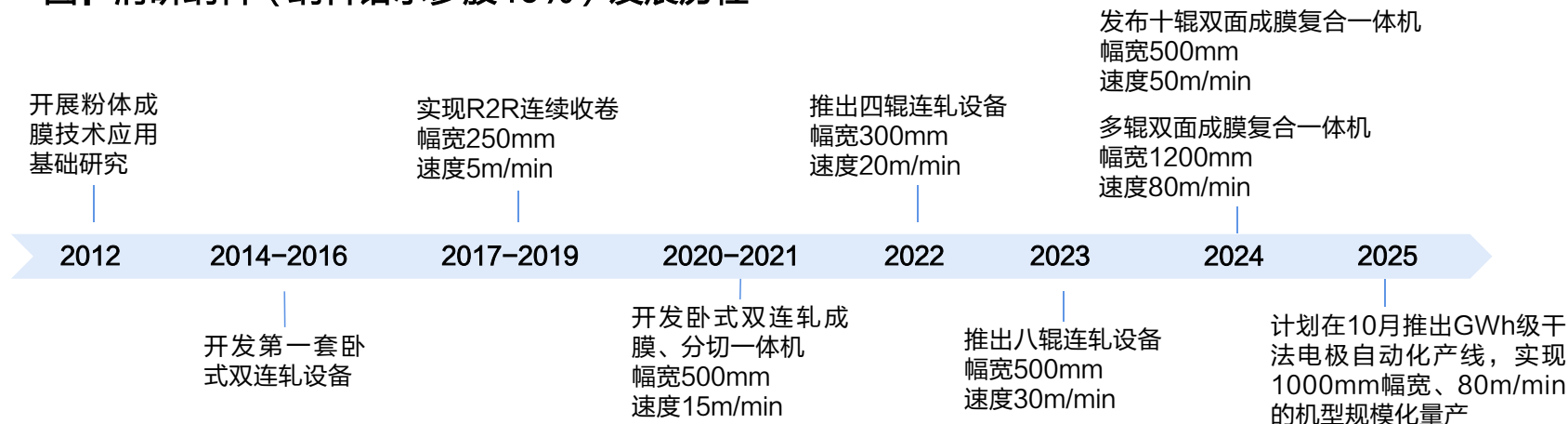
## 2.1.3 干法电极工艺：辊压设备重要性及价值量凸显

- ◆ 目前干法电极工艺尚未完全成熟，性能和成本是制约其大规模应用的两大前置条件。干法电极工艺面临主要的挑战包括混料均匀性、自支撑膜成型的稳定性、连续制造的效率、高速制备下粘结剂含量的控制，以及与湿法电极的成本竞争力。此外，干法工艺常用的PTFE粘结剂对于固态电池负极稳定性不足，因此负极目前主要采用湿法工艺。
- ◆ 针对干法电极工艺规模化的挑战，在高速制备与粘结剂含量控制方面，根据高工锂电微信公众号，清研纳科提出将负极粘结剂控制至0.7%，正极粘结剂含量低于1.5%的目标，以在干法工艺中实现更高效的低成本成膜性能；粉体直接成膜速度与湿法涂布相当，负极大于80m/min的双面复合成膜速度，正极速度达到50m/min。
- ◆ 干法工艺的推广将显著提升辊压机等前段设备在整线设备中的价值量占比，为设备厂商带来新的增长机遇。在干法电极工艺下，一方面辊压机可应用于电极成膜和热复合，应用场景得到拓宽；另一方面干法工艺对辊压机的工作压力、辊压精度以及均匀性提出更高要求。展望未来，纳科诺尔等头部辊压设备厂商有望率先受益于干法电极对于辊压机的增量需求。
- ◆ 清研纳科已于2024年建成首条锂电池用干法电极全自动化贯通线，并计划在2025年10月推出GWh级干法电极自动化产线，实现1000mm幅宽、80m/min的机型规模化量产，预示着干法电极设备正加速迈向大规模应用。

图：2022年中国锂电辊压机市场竞争格局



图：清研纳科（纳科诺尔参股40%）发展历程



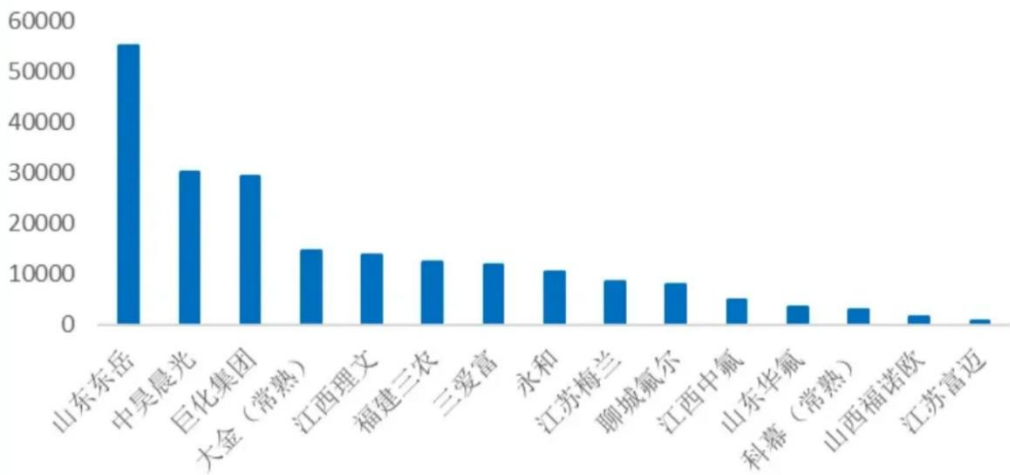
## 2.1.4 干法电极辅材：高端PTFE需求有望大幅增长

- ◆ 未来，干法电极技术在固态电池领域的大规模渗透有望带动高端PTFE需求大幅增长。以1GWh所需正负极材料3000吨来衡量，按照1%的PTFE添加量来测算（根据高工锂电微信公众号，清研纳科提出将负极粘结剂控制至0.7%，正极粘结剂含量低于1.5%的目标），需要150吨PTFE。EVTank预计，全球锂离子电池出货量在2025年和2030年将分别达到1899.3GWh和5127.3GWh。假设2025年和2030年全球锂电干法电极渗透率分别达到3%、15%，对应全球锂电行业对PTFE的需求分别约0.17万吨、2.31万吨，CAGR达68%。
- ◆ 东岳集团、中昊晨光、浙江永和、巨化集团是国内前四大PTFE生产商，行业竞争格局较为稳定。国产PTFE的下游应用主要集中于低端塑料产品，高端PTFE仍依赖进口。高端PTFE用于5G通讯以及干电极，当前产能集中于外企如杜邦、大金等。目前，我国低端PTFE产能尤为过剩，但伴随氟化工龙头逐步转型布局高端PTFE，在干法电极成熟后龙头企业有望充分受益于固态电池和干法电极放量。

表：全球锂电行业对PTFE的需求测算

	单位	2025年	2030年
正负极材料需求	吨/GWh	3000	3000
PTFE添加量/正负极材料用量	%	1.0%	1.0%
PTFE需求	吨/GWh	30	30
全球锂电池出货量	GWh	1899.3	5127.3
全球锂电干法电极渗透率	%	3%	15%
全球锂电行业对PTFE的需求	万吨	0.17	2.31
CAGR	%		68%

图：中国各公司PTFE产能（吨/年，截至2023年底）





## 2.2 固态电解质成膜：干法设备增量环节

- ◆ 固态电解质的成膜工艺根据是否采用溶剂也可分为湿法和干法，干法工艺优势明显，更适配固态电解质的成膜过程。湿法工艺成熟、操作简单，易实现量产，但湿法工艺中采用的溶剂可能存在毒性大，成本高的缺点，且残留的溶剂会降低固体电解质膜的离子电导率。固态电解质干法成膜工艺与干法电极工艺原理一致，即将固态电解质与聚合物粘结剂分散成高粘度混合物，再对其施加足够的压力使其成膜。根据《全固态电池生产工艺分析》（翟喜民等），干法形成的固态电解质膜厚度较高会降低电池能量密度，但干法优势在于：1）不采用溶剂，直接将固体电解质和粘结剂混合成膜，不需要烘干，成本上更有优势；2）干法成膜无溶剂残留，可获得更高的离子电导率。而根据《Toward better batteries Solid-state battery roadmap 2035+》（Dengxu Wu, Fan Wu），干法压延与干法喷涂是常见的干法工艺中最具前景的大规模量产技术，因其适配卷对卷的生产模式。
- ◆ 分类型来看，固态电解质成膜方法较多，聚合物、硫化物和氧化物可结合自身特点匹配最合适的成膜工艺。1）硫化物固态电解质：因空气稳定性较差，不适合高温条件的挤出法和小尺寸的沉积法，而压延、喷涂等工艺均可用于硫化物固态电解质成膜。2）聚合物固态电解质：因其加工性能最优，具有最强的工艺兼容性，除了因无法造粒不适用于气相沉积法之外，采用干法压延、干法喷涂、挤出、流延成型和浸润等工艺均可实现聚合物固态电解质成膜。3）氧化物固态电解质：因具有陶瓷特性，脆性高，需结合颗粒沉积+烧结的方式成膜，或采用流延成型的湿法工艺。

表：固态电解质成膜的干法和湿法工艺路线对比

工艺路线	原理	特点
干法工艺	通过剪切分散将电解质材料、粘结剂与锂盐进行混合，然后通过挤压流延、辊压等工序制备固态电解质膜	优势：无溶剂或少溶剂、低能耗、低成本 劣势：硫化物电解质厚而均匀挑战性大，氧化物电解质需要烧结、能耗高
湿法工艺	浆料混合：粘结剂、添加剂和溶剂混合，但需根据电解质的不同选择合适的溶剂和粘结剂  成膜工艺：模具支撑成膜、极支撑成膜、骨架支撑成膜	优势：与现有CAM/AAM类似设备、效率高、硫化物电解质；后续可压延或冷压  劣势：干燥、溶剂成本高&可能有毒、降低离子电导率、氧化物烧结能耗大、硫化物溶剂选择有限制

图：固态电池中正极、负极和固态电解质膜的主要制造工艺

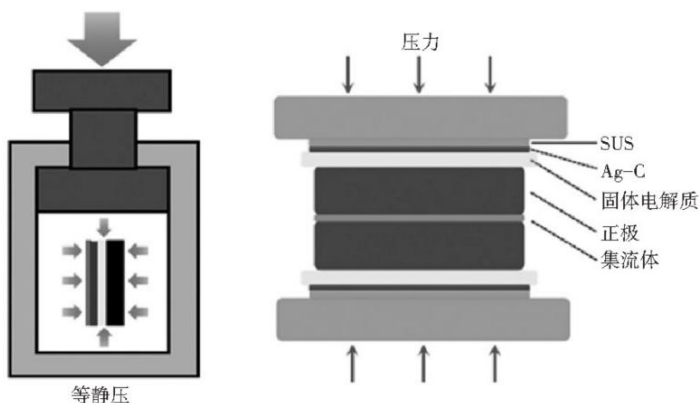
	干法工艺				湿法工艺	
	干法压延	干法喷涂	挤出	气相沉积	流延成型	浸润
正极	✓	✓	✓	✓	✓	✗
锂金属负极	✗	✗	✓	✓	✗	✗
硅碳负极	✓	✓	✓	✓	✓	✗
氧化物电解质膜	✗	✗	✗	✓	✓	✗
聚合物电解质膜	✓	✓	✓	✗	✓	✓
硫化物电解质膜	✓	✓	✗	✗	✓	✓

资料来源：星源材质《固态电解质成膜技术》，《全固态电池生产工艺分析》翟喜民等，《Toward better batteries Solid-state battery roadmap 2035+》（Dengxu Wu, Fan Wu），先进电池材料微信公众号，国海证券研究所

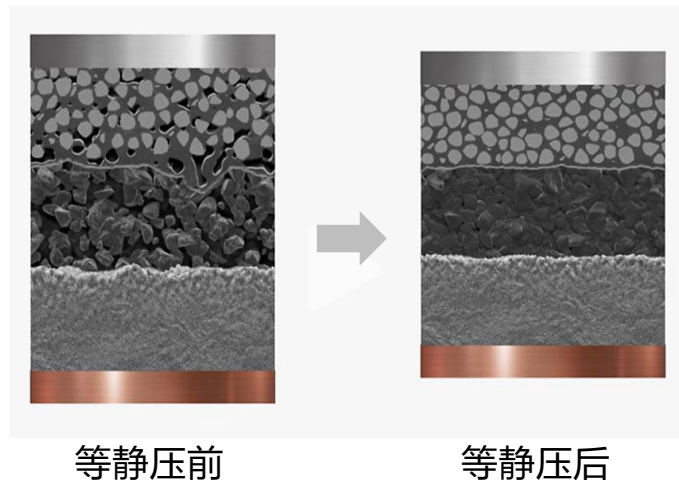
## 2.3 等静压机：从设备或工艺上解决固固界面问题的关键设备

- ◆ 等静压机是在工程化环节用物理手段改善固固界面接触的核心设备。为充分发挥固态电池的高安全性与高能量密度，固态电解质要与电极形成良好的固固接触界面，避免循环过程中的接触损耗锂枝晶形成。而相较于电解质复合、包覆等从化学角度改善固固接触的策略，改进压制工艺则是在工程化环节可直接影响固态电解质层与极片间接触的物理手段。传统热压、辊压方案提供压力有限且施加压力不均匀，难以保证致密堆积的一致性要求。因此，利用液体或气体不可压缩和均匀传递压力的性质、支持从各个方向对加工件进行均匀加压的等静压工艺开始被引入固态电池的制备中。
- ◆ 当前，等静压工艺多被用于固态电芯堆叠后的一体化压制和固态电解质膜的制备中，以提高致密度与均匀度。干法电极片的大面积连续制备还主要依靠辊压机。对于裸电芯压制，等静压可有效消除电芯内部空隙，提升电极、电解质不同材料界面之间的接触效果，进而增强导电性，提高能量密度，并减少运行期间的体积变化。
- ◆ 等静压尤其适用于硫化物固态电解质层的成型。宁德时代曾在相关论文中提及，通过300MPa等静压将LAGP（磷酸锆铝锂）粉末压制成片后再进行高温烧结的操作。等静压支持在低温条件下进行压制，不会影响硫化物电解质的化学稳定性，适用于高温下容易分解或反应的硫化物材料试验。

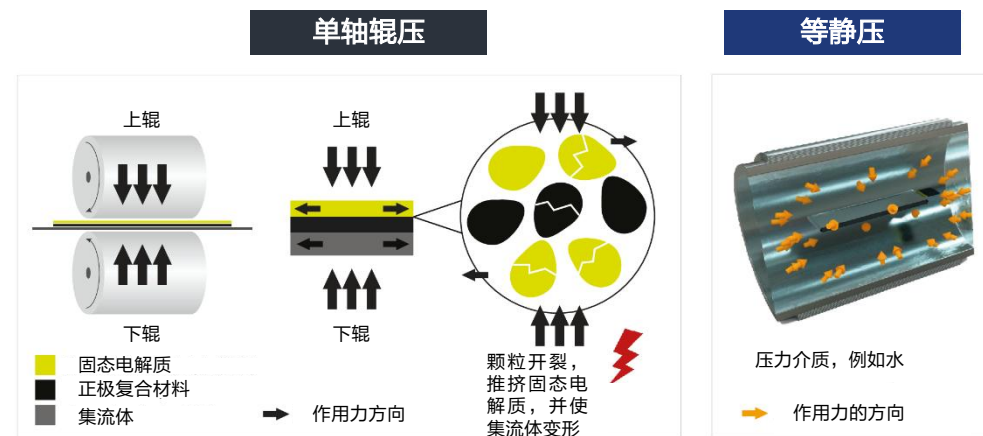
图：全固态电池等静压示意图



图：固态电池在等静压前后的界面接触变化



图：与辊压相比，等静压作用力更均匀，电池孔隙率更低

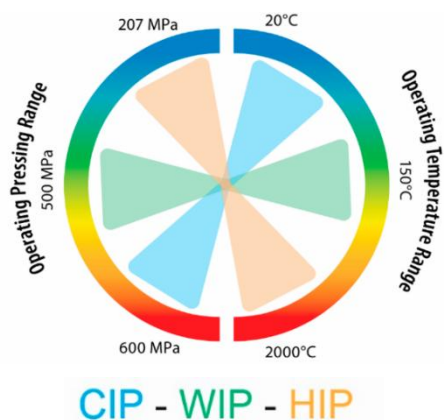




## 2.3 等静压机：从设备或工艺上解决固固界面问题的关键设备

- ◆ 按成型和固结时的温度高低，等静压技术主要分为冷等静压（CIP）、温等静压（WIP）、热等静压（HIP）三类。冷等静压机通常利用液体（如水或油）为压力介质，应用相对广泛；温等静压机利用液体或气体作为工作介质，在工作过程中会加热介质或工件，以达到特定的温度条件，从而促进材料的致密化、扩散或相变等过程；热等静压机在固态电池生产中的均匀性优势明显，且适用于各种材料和结构的固态电池，但需要以较为昂贵的氩气、氮气、氦气等惰性气体或其他混合气体作为压力介质。
- ◆ 等静压技术的选择直接影响成本和性能，冷等静压和温等静压或更适合固态电池量产。根据《The Role of Isostatic Pressing in Large-Scale Production of Solid-State Batteries》（Marm Dixit et al.）对于固态电池规模化生产情况下等静压技术的经济性分析，CIP循环时间短、单次循环成本最低，综合成本最优；WIP在中等温度（150℃）和压力（500MPa）下，兼顾效率与材料致密化需求；HIP性能优异但成本过高，难以满足大规模生产需求。实际生产中，或可采用CIP+WIP工艺组合的方式兼顾效率、成本和性能。

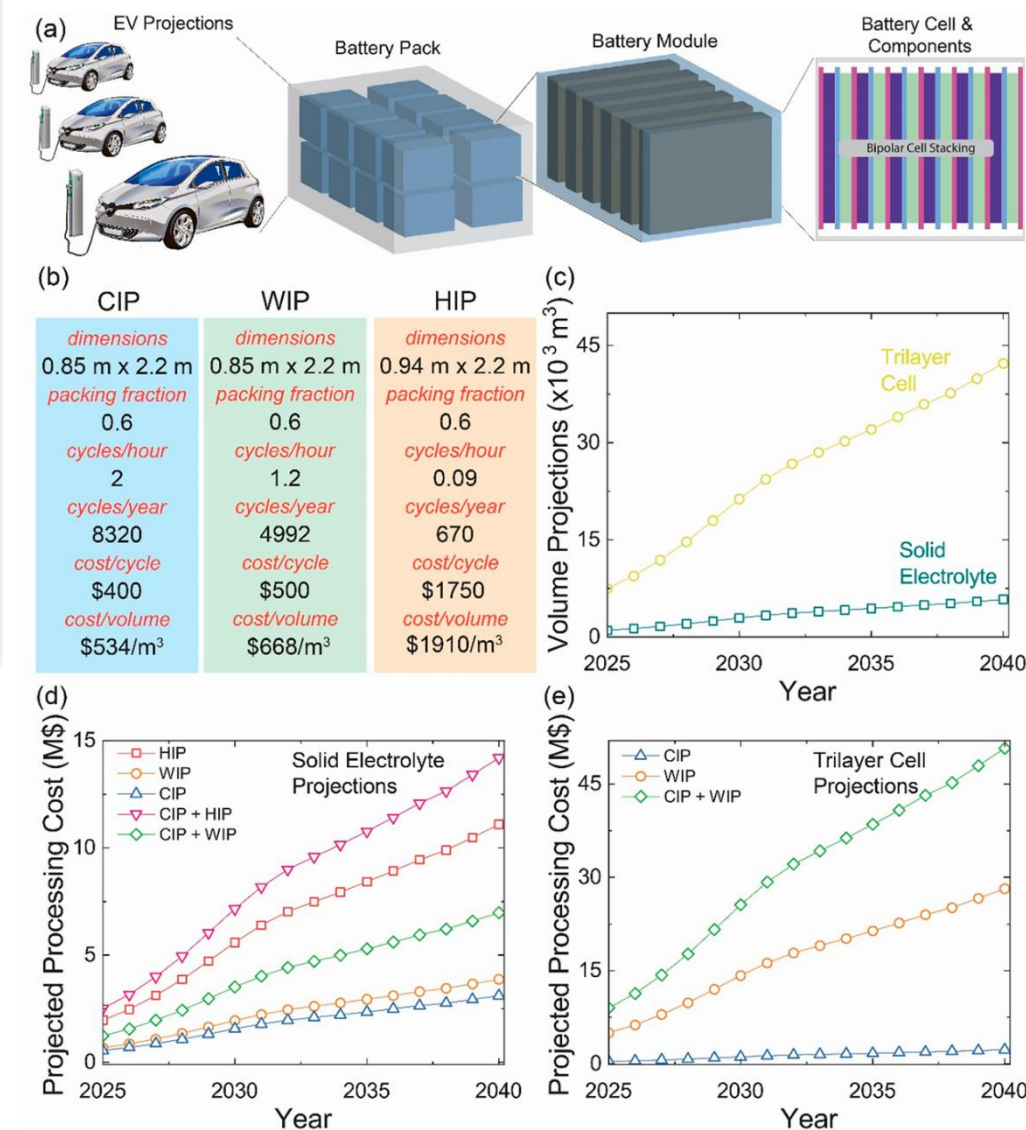
图：三种等静压技术对比



ISP technique	CIP	WIP	HIP
pressure medium	liquid - water	liquid - oil/ water	gas - argon/ nitrogen
standard temperature rating (°C/°F)	20/68	150/302	2000/3632
standard pressure rating (MPa/ksi)	600/87	500/72.5	207/30
cycle time	o	+	+++
equipment cost	o	+	+++

<sup>a</sup>Qualitative values are represented by o, +, and +++, where o < + < +++.

图：固态电池规模化生产的等静压技术经济性分析



2.3 等静压机：从设备或工艺上解决固固界面问题的关键设备

◆ Quintus是全球领先的等静压设备供应商，其QIB型等静压机最高可提供600MPa的压力和145℃的温度。从Quintus QIB等静压机的测试结果来看，根据单机压力容器体积的大小差异，单机年产能可实现0.16GWh到22.6GWh不等，等静压的生产成本也会随着压力容器体积和产能的增加而快速降低，表明等静压是一种高度可扩展的工艺，能够满足固态电池大规模经济生产的要求。

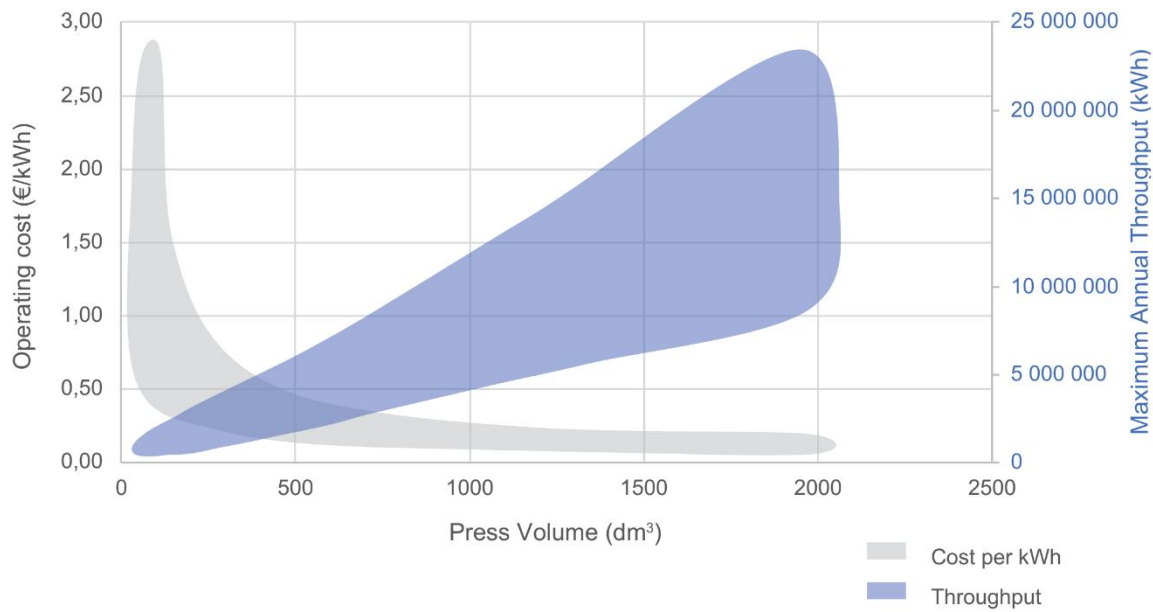
表：Quintus两款固态电池等静压机参数

设备型号	MIB 120	QIB 180
应用场景	从小圆片到电芯的等静压机（实验室）	从电芯到软包的等静压机（实验室）
工作区域	内径80mm × 内部长度375mm	内径170mm × 内部长度350mm
最高工作压力	600 Mpa	600 Mpa
最高工作温度	140℃	145 ℃
等静压机重量	1200 kg	7000 kg
等静压机长度	1.14 m	2.90 m，不包括楼梯
等静压机宽度	2.1m	2.2 m
等静压机高度	2.0m	2.4m
最大温度偏差	± 5 ℃	± 3 ℃
设备图片		

图：Quintus QIB温等静压工艺各段工序流程及加工时间



图：Quintus QIB等静压机的单位生产成本（欧元/kWh）和单机年产能与压力容器体积的关系



资料来源：Quintus Technologies微信公众号，Quintus Technologies《Throughput and Cost Analysis of SSB Production》，国海证券研究所

## 2.3 等静压机：从设备或工艺上解决固固界面问题的关键设备

- ◆ 海外已有头部电池企业布局等静压技术。韩国LGES曾公开专利，利用冷等静压机采用新型硫化物固态电解质制备了无负极全固态电池。2025年1月，有报道称三星SDI在固态电池产线中测试中采用水压和辊压工艺的温等静压机。
- ◆ 目前国内宁德时代、比亚迪、先导智能、利元亨等头部企业均在等静压工艺上有深入布局，且已形成相关专利，纳科诺尔等企业也在积极研发等静压设备。

表：国内外相关企业等静压技术/等静压设备进展

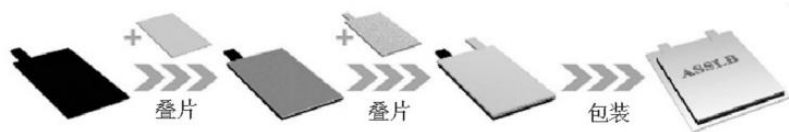
企业	等静压技术/等静压设备进展
LGES	LGES曾公开专利，利用冷等静压机采用新型硫化物固态电解质制备了无负极全固态电池。
三星SDI	2025年1月，三星SDI在固态电池产线中测试中采用水压和辊压工艺的温等静压机。
瑞典Quintus	全球领先的等静压设备供应商，在固态电池领域可提供从实验室到大批量生产的长期可扩展性解决方案，其QIB型等静压机最高可提供600MPa的压力和145℃的温度。
宁德时代	宁德时代指出，当前电池生产商采用等静压工艺生产电池电芯，缺少夹具，裸电芯在设备的腔体内易出现受压及受热不均，导致容易出现塑性变形不一致的缺陷，从而影响裸电芯的安全性能及后工序入壳等。为缓解受压及受热不均的问题，宁德时代在料框设计中加入夹料组件，夹料组件可以适当浮动以夹紧待挤压的裸电芯，并利用夹料组件的夹料板固定夹紧并使得裸电芯保持平整，最终使得裸电芯的表面受力均匀。
比亚迪	比亚迪提出，若固态电芯本身承压能力较低，在后续的拘束加压过程中也会导致电池内部压力分布不均匀，对电池首效和循环性能不利。因此，比亚迪过将固态电芯的最外层设计为陶瓷层，利用陶瓷层自身良好的刚性和硬度，使电池在等静压过程中承受较大的压力时，能保证均匀的受力，使得压面平整，不易使外包装膜破裂，且在后续拘束加压过程中保持压面平整，使电池具有良好的首效和循环性能。
先导智能	可提供等静压致密化设备。
利元亨	提出了固态电池电芯等静压处理方法、装置及生产线专利。
纳科诺尔	等静压设备在研。
星楷科技	近日交付车规级全固态电池核心装置——卧式量产型等静压机。其温等静压机正常工作压力0-600MPa，最高可达1000MPa。



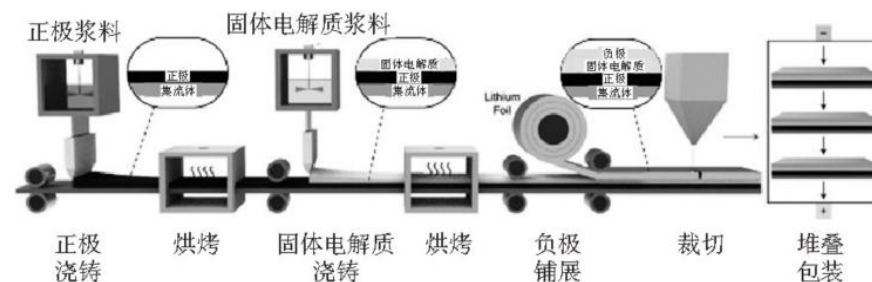
## 2.4 叠片机：全固态电池适用叠片+软包的封装方式

- ◆ **全固态电池适用叠片+软包的封装方式。适用叠片的原因：**1) 全固态电池电解质为氧化物或硫化物时，其柔韧性较弱，叠片设计可有效解决柔韧性问题；2) 叠片技术与全固态电池的固-固界面处理相兼容，有助于优化固态电解质与电极之间的接触面；3) 叠片工艺下电极单元直接堆叠串联，无需内部极耳，从而提高制造效率，降低组装成本。**适用软包的原因：**软包电池在封装形式上与固态电池天然契合，能够更好地适应固态电解质的膨胀和收缩，同时有利于电池循环周期的延长。
- ◆ **全固态电池对叠片机精度和稳定性的要求有所提升。**根据《全固态电池生产工艺分析》（翟喜民等），叠片工艺主要分为分段叠片和一体化叠片。分段叠片沿用液态电池原有工艺，将正极、固态电解质层、负极按制定尺寸裁剪后依次叠片包装；一体化叠片在裁切前先将正极、固态电解质层、负极压成三层结构，再按需求切割成多个单元，将单元堆叠后包装。但由于裁切前固体电解质膜已同正负极贴合，裁切时易发生正负颗粒的混合，通过该方法制备的全固态电池，可能出现短路风险。因此全固态电池对叠片机精度和稳定性的要求有所提升。
- ◆ **叠片机单GWh价值量高于卷绕机，叠片效率为关键竞争因素。**传统叠片存在工艺复杂、效率低、设备成本投入高等问题，导致叠片机渗透率不及卷绕机。而在固态电池生产中仅可用叠片机，叠片效率便成为关键竞争因素。2024年，以出货量计，先导智能的卷绕机及叠片机的市场份额全球市场份额均超过65%，且叠片机最高叠片效率全球第一，公司叠片机的优势在固态电池领域有望进一步凸显。此外，叠片机“小巨人”格林晟（叠片机国内市占率达17.43%，计划2027年前完成IPO）也有望充分受益于固态电池产业化。

图：分段叠片工艺示意图



图：一体化叠片工艺示意图



图：2022年中国锂电池叠片机竞争格局

第一梯队  
(份额10-20%)

第二梯队  
(份额6-10%)

第三梯队  
(份额6%以下)

先导智能、格林晟（未上市）

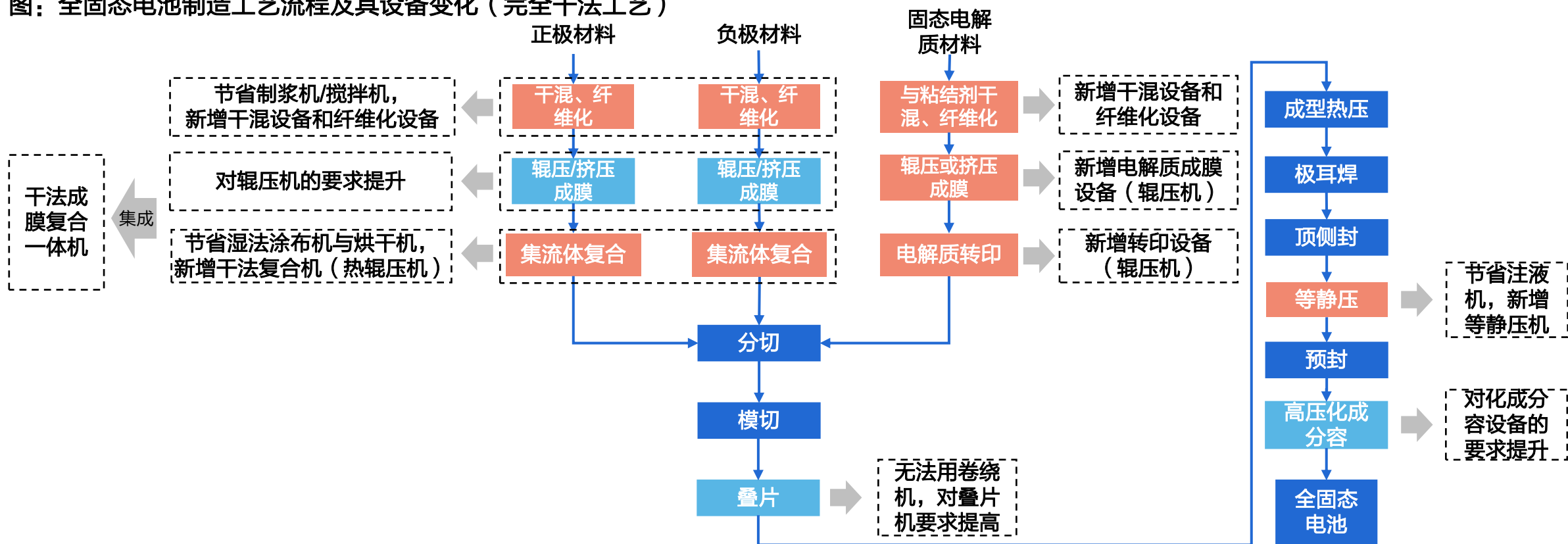
赢合科技、吉阳智能、科瑞技术

利元亨等其他厂商

## 2.5 全固态电池：拉动增量设备需求，拉长设备景气周期

- ◆ 全固态电池在设备环节的变化较大，特别是前段设备的价值量及占比明显提升。1) 前段：全固态电池前段电极设备的变化最为明显，干法电极设备及固态电解质干法成膜设备有望逐步替代传统湿法设备。干法电极制备过程中取消涂布、烘干和溶剂回收设备，新增气流粉碎机、螺杆挤出机等纤维化设备需求。此外，干法工艺对**辊压机**的工作压力、精度和均匀度提出更高要求，且辊压机可应用于电极&固态电解质的成膜、转印，应用场景大幅拓宽；2) 中段：仅可用**叠片机**（搭配软包），且对叠片机的精度和稳定性要求提升，此外无需注液机，新增**等静压机**这一核心致密化设备；3) 后段：固态电池要求大压力化成，据电池中国微信公众号，常规电池化成压力在3~10吨，固态电池化成压力要达到60~80吨，由此产生**高压化成**设备需求。

图：全固态电池制造工艺流程及其设备变化（完全干法工艺）





### 3、投资建议与风险提示

### 3.1 重点关注标的：纳科诺尔、先导智能、曼恩斯特、赢合科技、先惠技术

表：国内各锂电设备企业全固态电池设备布局梳理

	可提供/在研设备	设备优势	客户端进展
先导智能	✓ 2024年6月推出全球唯一拥有完全自主知识产权的全固态电池整线。 ✓ 可提供干法电极设备（干法电极高效混料机、干法粉体综合测试仪、干法成膜复合一体机）、全固态电解质膜制备及复合/涂布设备、裸电芯组装到致密化设备、高压化成分容等全固态电池制造关键设备的全固态电池整线解决方案。	✓ 在电芯结构缓冲件成形、无隔膜叠片、等静压、高压化成分容等技术方面极具优势。 ✓ 采用干法电极工艺与高度集成化设计，设备制成工序相对传统工序大幅减少，在确保产品产出质量和速率的同时实现整体投入成本降低30%，电池综合性能提升40%，工序数量减少15%，人力需求减少20%。	✓ 2024年11月29日，公司与宁德时代签署战略合作协议，双方将在固态电池、钙钛矿等新技术领域开展合作。 ✓ 2024年11月，固态干法电极涂布设备成功交付至韩国某头部客户。 ✓ 先导智能的全固态电池整线解决方案已应用于全球首条固态电池量产产线。 ✓ 目前，公司已与欧美、中国、日韩主要固态电池厂和主机厂开展固态电池及干法电极相关合作，现已交付固态电池关键前道干法剪切混料设备、干法成膜复合设备、首批固态电池切叠设备，并陆续获得客户认可和重复订单。
赢合科技	✓ 2024年公司推出固态电池湿法涂布机、第三代干法搅拌纤维化设备、干法成膜设备，后续将持续开发整套干法固态极片制造系统。	✓ 在制造端可大幅提升极片制造效率，节约生产成本，在产品端具备更高的压实密度和能量密度。	✓ 2024年公司开发的固态湿法涂布机、干法搅拌机已成功发货到国内头部客户现场。
杭可科技	✓ 在研固态电池大压力夹具机（高压化成分容设备）。	/	✓ 目前公司已与国内外多家固态电池厂商合作，共同开发全固态、半固态电池后端产线，近几年已经顺利完成多个试验线和量产线设置投产。
海目星	✓ 2023年开始布局固态电池技术，目前公司可提供前段极片激光设备、中段特种叠片机等准固态电池设备。	/	✓ 2024年8月，公司获得欣界能源2GWh、4亿元准固态电池（电解液含量低于5%）设备量产订单，目前设备所生产的准固态电池采用氧化物固态电解质和锂金属负极，主要应用在低空飞行领域和消费电子领域。
利元亨	✓ 已成功开发出干法电极、固态电解质压制转印、锂铜复合设备等关键设备样机，并在极片绝缘胶框成形设备、高压化成分容设备等方面取得了阶段性成果。 ✓ 目前已实现全固态电池量产全线工艺覆盖，形成包含整线解决方案及关键工段设备的综合能力，预计2026年或有批量固态电池进入装车测试阶段。	✓ 在硫化物固态电池生产线设计中实施了三级防护体系，确保设备在防爆、防毒及长期抗腐蚀方面的可靠性。	✓ 2022-2023年已为清陶能源陆续提供了化成分容、激光焊接、激光模分一体机、电芯装配线等设备。 ✓ 2022年向国轩高科交付半固态电池中试线装置。 ✓ 2024年，利元亨与广汽埃安开始联合开发全固态电池整线装备项目。 ✓ 2024年11月，公司中标国内头部企业的第一条硫化物固态电池整线项目。
纳科诺尔	✓ 已推出干法电极设备（干法电极成膜复合一体机，即高精度锂带压延、负极补锂、材料复合一体机）、电解质成膜&转印辊压等设备，超高压设备、等静压设备在研。	✓ 融合多辊连轧设计、伺服辊缝控制、测厚厚度闭环控制、切边宽度/纠偏闭环控制、独立收膜/收卷设计以及MES系统实时数据采集等创新工艺和技术，精度控制在 $\pm 1.5\mu\text{m}$ ，处于行业领先水平。 ✓ 公司新开发的转印辊压设备，适用于固态电池多元化技术路线，全/半兼容、干/湿兼容、氧/硫/复合多路线兼容，性能可满足GWh量产需求。	✓ 参股40%的合资子公司清研纳科建立了锂电池干法电极生产示范线，为全球客户提供测试平台，陆续向客户提供十多套干法电极设备。目前清研纳科已完成干法电极材料中试验证，设备产能覆盖从实验室到量产线的全场景需求。 <b>清研纳科计划在2025年10月推出GWh级干法电极自动化产线。</b> ✓ 2024年7月，公司获得国内某头部客户干法成膜复合机订单。 ✓ 2024年10月，公司与四川新能源汽车创新中心（欧阳明高院士工作站）签署框架协议，合作开发固态电池产业化关键设备与工艺。目前，该联合实验室已正式开工，预计2025年5月投用，重点攻关硫化物电解质成膜、锂金属负极界面优化等工艺难题。
曼恩斯特	✓ 初步完成干法电极设备布局，包括混合机、双螺杆挤出机、成膜复合一体机（多辊）等多款核心设备，覆盖配料混合、粘结剂原纤化、造粒、成膜、集流体复合等全套前段工艺。	✓ 目前国内干法电极设备平均水平是制膜宽度超450mm、辊压速度超50m/min、面密度精度误差 $\pm 1.2\%$ 、厚度精度 $\pm 2.5\mu\text{m}$ 。 ✓ 曼恩斯特400型干法制膜复合一体机制膜宽度150~800mm、辊压速度最快高达65m/min、制膜厚度75~250 $\mu\text{m}$ ，均处于行业领先水平。	✓ 2024年，公司为国内外多家企业提供了干法电极的测试实验，混合机、双螺杆挤出机、多辊复合成膜设备等多款核心产品均有订单贡献。 ✓ 2024年8月，公司与中科超能签署战略合作协议，将围绕固态电池前段设备等领域开展深度合作。
先惠技术	✓ 全固态电池核心关键装备。	/	✓ 2024年7月，公司宣布与清陶能源就全固态电池核心关键装备的研发和产业化进行合作。

资料来源：各公司公告，各公司官微，国海证券研究所

- ◆ 全固态电池产业化进程加速，材料与设备先行，材料端重点关注硫化物路线，设备端核心增量在于“干”“压”“叠”。
- ✓ 前段：变化最为明显，干法电极设备及固态电解质干法成膜设备有望逐步替代传统湿法设备，主要包括：纤维化设备、辊压机；
- ✓ 中段：仅可用叠片机（搭配软包），且对叠片机的精度和稳定性要求提升，此外无需注液机，新增等静压机这一核心致密化设备；
- ✓ 后段：固态电池要求大压力化成，常规电池化成压力在3~10吨，固态电池化成压力要达到60~80吨，由此产生高压化成分容设备需求。
- ◆ 行业评级与投资建议：我们维持锂电设备行业“推荐”评级，重点推荐先导智能、曼恩斯特；建议关注纳科诺尔、赢合科技、先惠技术等。

- ◆ 1) 固态电池研发进展不及预期：目前全固态电池技术尚不成熟，固态电池多数仍处于实验室研发阶段，商业化时间存在较大不确定性。
- ◆ 2) 下游需求应用不及预期：低空经济、人形机器人等新兴领域有望成为固态电池商业化应用的重要市场，若该等领域受电池以外的因素制约产业化进程，将限制固态电池的需求释放。
- ◆ 3) 上游原材料价格波动影响固态电池降本：固态电池产业链与技术尚未发展成熟，硫化物等固态电解质及硅碳负极尚未规模化量产，且上游关键材料采用锆、锗和镧等贵金属，原材料价格波动时，将对下游需求产生较大影响。
- ◆ 4) 重点公司业绩不及预期：重点关注企业可能出现内部问题，产生显著影响其业绩的风险，致使业绩不及预期的情况发生。
- ◆ 5) 研究报告使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险：研究报告中公司及行业信息均使用公开资料进行整理归纳分析，相关数据存在更新滞后的风险。



## 机械小组介绍

张钰莹，机械行业首席分析师，致力于前瞻研究及深度研究，擅长自上而下与自下而上相结合挖掘机械板块投资机会。

## 分析师承诺

张钰莹，本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

## 国海证券投资评级标准

### 行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；  
中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；  
回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

### 股票投资评级

买入：相对沪深300 指数涨幅20%以上；  
增持：相对沪深300 指数涨幅介于10%~20%之间；  
中性：相对沪深300 指数涨幅介于-10%~10%之间；  
卖出：相对沪深300 指数跌幅10%以上。

## 免责声明

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

## 风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

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。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

## 郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 机械研究团队

# 心怀家国，洞悉四海



## 国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋  
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

## 国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银  
行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

## 国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168  
号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597