

固态电池设备行业深度：
固态电池0-1快速发展，产业化初期设备商优先受益

证券分析师：周尔双

执业证书编号：S0600515110002

联系邮箱：zhoues@dwzq.com.cn

证券分析师：李文意

执业证书编号：S0600122080043

联系邮箱：liwenyi@dwzq.com.cn

2025年7月1日

- **固态电池具备高能量密度&高安全性，未来应用场景广阔。**固态电池与液态电池的本质区别在于电解质的形态，全固态电池具备高能量密度、高安全性等优势，当前半固态电池开启规模化装车，全固态电池预计2027年开始小批量上车，2030年后规模化应用于储能领域，低空经济&人形机器人也有望打开应用空间。海外整车厂&电池厂加速布局固态试图弯道超车，我国政策积极推进固态电池产业化，多数企业计划在2027-2028年实现小批量装车或量产目标。我们预计固态电池2025年陆续完成中试，2026-2027年陆续小批量装车，2028-2029年形成规模化量产。当前中试阶段单GWh设备价值量在5-6亿元，后续随着规模化量产及设备节拍&良率提升有望降至2.5亿元/GWh，若假设2029年新增全固态电池产能80-100GWh，对应当年新增设备需求有望超200亿元。
- **全固态电池干法工艺为主线，打开设备全新需求空间。**前道、中道、后道均有变化：**（1）前段变化最大，主要在于电解质膜和极片制作工艺上**，全固态电池干法工艺增加了干法混合、干法涂布环节实现固态电解质膜制备，不再需要使用溶剂，也不存在烘干环节；全固态电池湿法工艺仍然保留了利用溶剂制备电解质与粘结剂溶液后涂布蒸干制备电解质膜的工序。**（2）中段电芯装配环节：**全固态电池采用“叠片+极片胶框印刷+等静压技术”取代传统的液态电池卷绕工艺，并删减了注液工序；**（3）后段化成分容环节：**从液态电池化成分容转向全固态电池所需的高压化成分容。
- **本土重点设备公司：****（1）先导智能：**率先打通整线设备，中试线级别整线已量产。**（2）赢合科技：**深度布局前道设备，已向龙头出货中试设备。**（3）曼恩斯特：**完成干法+湿法设备双线布局，已在多家客户端验证。**（4）纳科诺尔：**辊压设备先发优势显著，携手产业共同研发。**（5）联赢激光：**激光焊接龙头有望受益固态电池装配设备需求量提升；**（6）华亚智能：**子公司冠鸿智能布局辊压设备，携手客户推进中试；**（7）利元亨：**完成整线设备布局，硫化物路线整线交付广汽；**（8）先惠技术：**携手固态电池先发玩家，布局辊压机；**（9）宏工科技：**干法混料纤维化设备先发布局。
- **投资建议：**重点推荐固态电池设备整线供应商【先导智能】、激光焊接设备商【联赢激光】、化成分容设备商【杭可科技】，建议关注干/湿法电极设备商【赢合科技】、干法电极&模组PACK【先惠技术】、整线供应商【利元亨】、干法电极设备商【曼恩斯特】、干法辊压机【纳科诺尔】、干法电极设备商【华亚智能】等。
- **风险提示：**下游扩产不及预期，技术进展不及预期。



1 固态电池具备高能量密度&高安全性，未来应用场景广阔

2 全固态电池干法工艺为主线，打开设备全新需求空间

3 本土重点设备公司

4 投资建议

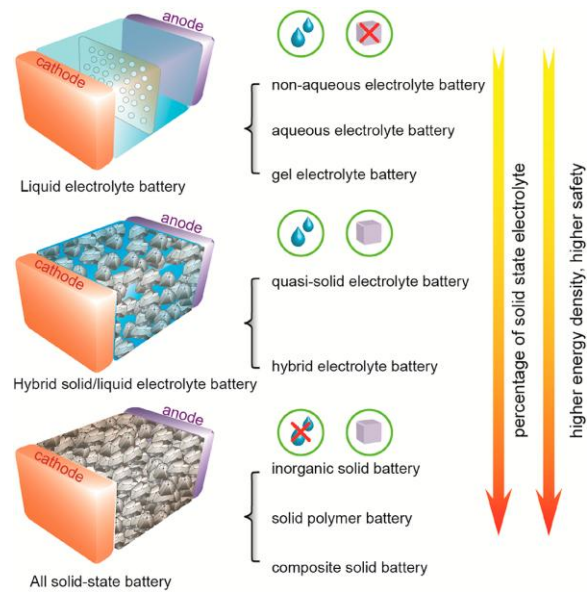
5 风险提示

1.1 固态电池采用固体电解质，具备能量密度、安全性高等优势

- 固态电池与液态电池的本质区别在于电解质的形态。液态电池使用液态电解质，隔膜用于防止正负极短路并允许离子通过。当发展到半固态电池，电解质部分变为固态，但仍保留电解液与隔膜。当进一步发展到全固态电池，电解质完全变为固态，隔膜也一同取消。
- 当前液态电池存在能量密度低、电解质易燃易爆、低温衰减等问题：1) 能量密度较低：液态电池难以突破350Wh/kg的极限，目前主流的磷酸铁锂电池的能量密度在200Wh/kg以下，三元锂电池的能量密度在200-300Wh/kg之间，无法满足重大发展的需求，限制了多场景的应用；2) 液态电解质易燃易爆：液态电解质中的有机溶剂具有易燃性、高腐蚀性，在过度充电、内部短路等异常时电解液发热，有自燃甚至爆炸的危险；3) 低温衰减：在低温条件下，电解液的粘度增加，导致锂离子的迁移速率降低，进而影响电池的充放电效率；同时电解液的电导率也会随着温度的降低而显著下降，这进一步加剧了电池性能的衰减。

◆图：全固态电池相较于液态&半固态电池完全去除电解液与隔膜

◆表：各类电池对比

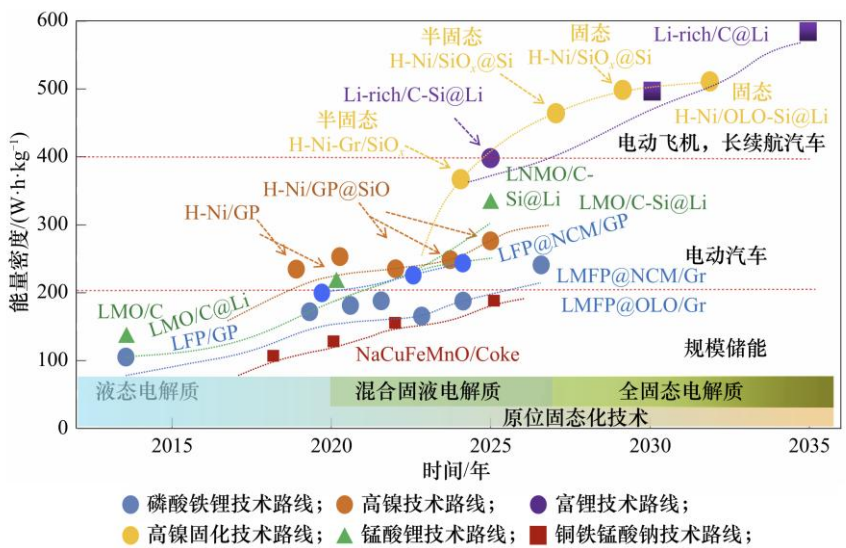


	磷酸铁锂电池	三元锂电池	半固态	全固态
单体标称电压	3.2V	3.7V/3.8V	3.8-4.5V	4-6V
能量密度	160-180wh/kg	200-280wh/kg	280-320wh/kg	>500wh/kg
循环寿命	2500圈	1500圈	800圈	>2000圈
量产最大倍率	4.5C	5C	2C	5-10C
充电环境	-10℃-55℃	-0℃-45℃	-0℃-45℃	-30℃-60℃
放电环境	-20℃-55℃	-10℃-60℃	-10℃-60℃	-40℃-70℃
耐高温	500℃	200℃	200℃	800℃
耐低温	-20℃	-10℃	-10℃	-40℃
针刺	几率通过，约80%	100%无法通过	几率通过，约70%	100%通过
锂枝晶	存在	存在	存在	不存在

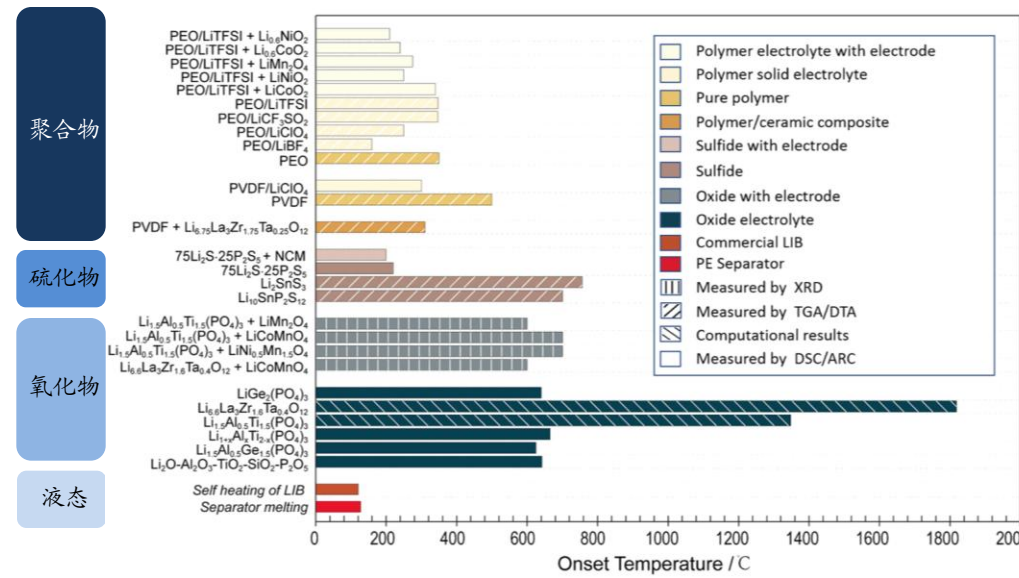
1.1 固态电池采用固体电解质，具备能量密度、安全性高等优势

● 固态电池具备高能量密度、高安全性、不存在低温衰减问题。（1）高能量密度：传统液态锂电池能量密度小于300Wh/kg，而固态电池的能量密度能达到300-500Wh/kg。电池的能量密度是由电池的工作电压及比容量决定的，固体电解质不仅具有较宽的电化学窗口，能适配高电压的正极材料，还能兼容高容量的金属锂负极；此外，传统液态电池需将单体先进行封装再进行串联组装，全固态电池可以先串联后封装，这能减少封装材料的使用，降低电池系统的重量和体积，从而使得固态电池的能量密度得到进一步提升。（2）高安全性：传统液态电池的电解液使用可燃性有机溶剂，在受到外力或封装不善时容易发生漏液现象，而固态电解质不存在液体泄漏的问题，在针刺、挤压测试中不易短路或起火，抗物理损伤性能优于液态电池；另外，液态电解液在150-200℃即可分解，甚至有自燃和爆炸风险，而固态电池热失控温度通常在200-600℃，电池安全性得到有效提升。（3）解决低温衰减问题：全固态电池由于采用全固态电解质，不会出现电解液在低温环境下充放电效率衰减问题。

◆ 图：全固态电池能量密度显著高于液态&半固态电池，是多种新兴应用的最优解（2025年及之后为预测）



◆ 图：固态电池电解质材质热失控温度均高于液态电解质，其中氧化物与硫化物最高



数据来源：中科院，东吴证券研究所

1.2 半固态电池已导入消费电子领域，随着全固态成本降低&成熟度提升有望加速产业化

- 固态电池高安全与高比能优势显著，有望率先于无人机等成本敏感度低的高端消费领域实现小批量产。相较液态电池，固态电池作为轻量化高比能电源更适配无人机长续航要求，此外作为高安全&高电容量便携式电源已在手机、可穿戴设备、儿童消费电子等对安全性要求较高的消费电子产品上实现应用。
 - 消费电子：目前仅半固态电池导入无人机&消费电子产品，后续随着全固态电池成熟有望加速导入。辉能科技/卫蓝新能源首条40MWh/200MWh半固态产线用于无人机等高端消费品。Vivo X Fold 5与S20手机机型采用了硅负极半固态电池，能量密度分别达780Wh/L与838Wh/L。
 - 动力/储能电池：全固态电池仍受性能、成本制约，目前仅半固态电池开启规模化装车；全固态电池预计2027年开始小批量上车，2030年后规模化应用于储能领域。
 (1) 动力电池：固态电池提升安全和续航，并有利于打造高电压平台、更高效的CTC技术和热管理系统。我们预计短期由安全性驱动，长期由能量密度驱动，但目前技术尚不成熟，仅半固态电池小批量装车。我们预计随着国家补贴项目进入审核期，全固态电池有望加速小批量上车。
 (2) 储能电池：固态电池具备本征安全，契合储能电池高安全要求，但循环寿命、性价比受限，当前应用以示范性储能项目为主，需技术突破成本降低后，实现商业化应用。
- ◆图：当前固态电池主要应用在成本敏感度低的高端消费领域，后续随着稳定性&性价比陆续突破，将加速导入动力&储能领域应用



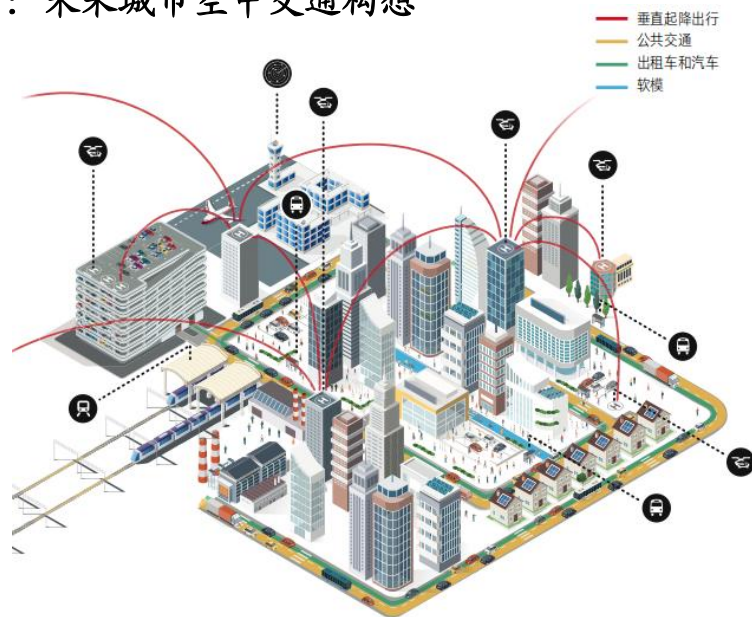
1.2 固态电池应用场景广阔，低空经济&人形机器人打开应用空间

- 国内后续大力发展低空经济，而eVTOL作为关键载体，为固态电池应用打开想象空间。2024年3月底空经济首次纳入政府工作报告，eVTOL迎来发展黄金期
- eVTOL作为低空经济的关键载体，助力塑造未来城市空中交通（UAM）场景。UAM（Urban Air Mobility），即城市空中交通，通过建立低空运输系统，以eVTOL（Electric Vertical Takeoff and Landing）进行载客或载货运输，为大型城市、都市圈及城市群创造了新型交通方式，有效缓解日益严重的地面交通拥堵问题。
- eVTOL能量密度要求400Wh/kg以上，且对安全性要求更高，仅固态电池能够满足。eVTOL要求电池具备高能量密度、高倍率、高安全性等特点，仅有固态电池能够满足；根据四部门发布《通用航空装备创新应用实施方案》指出，行业将推动400Wh/kg级航空锂电池投入量产，实现500Wh/kg级航空锂电池产品应用验证。

◆图：小鹏全自动无人驾驶飞行器产品



◆图：未来城市空中交通构想



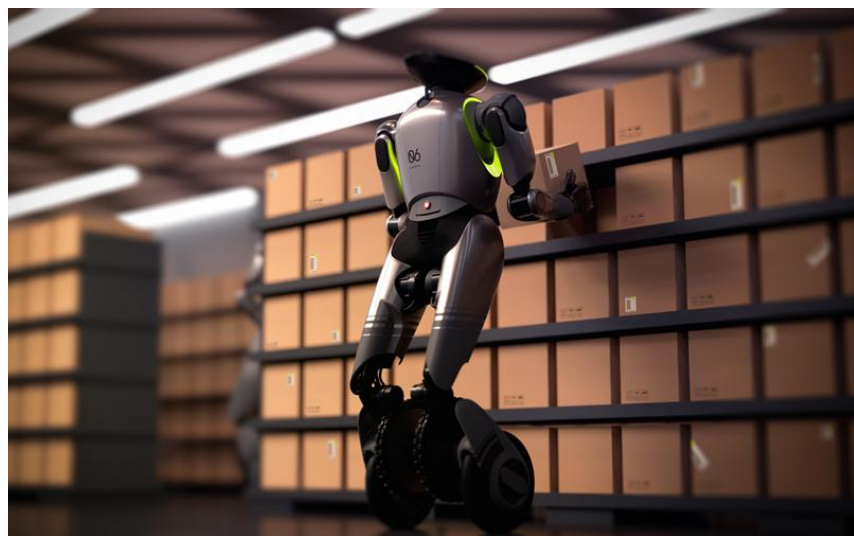
1.2 固态电池应用场景广阔，低空经济&人形机器人打开应用空间

- 在人形机器人领域，固态电池凭借高能量密度、长续航和安全性能优势，已成为最优动力解决方案。（1）固态电池能量密度可达500Wh/kg，远高于传统液态锂电池，可使机器人连续工作24小时以上，续航能力远超传统电池，能显著延长人形机器人的工作时间。（2）固态电池在电池体积和重量上更具优势，可灵活设计以适应机器人内部空间布局，并满足人形机器人减重需求。（3）固态电池的安全性更高，其不易燃的固态电解质在极端环境下更稳定，适合机器人在工厂等室内应用场景工作，降低了火灾或爆炸风险。
- 广汽集团的第三代智能人形机器人GoMate率先采用全固态电池，续航能力达6小时，相比同类产品节能80%以上。Tesla或在其Optimus三代机器人上采用固态电池。

◆图：广汽人形机器人GoMate已采用全固态电池，续航能力达6小时



◆图：人形机器人多在工厂等室内场景下工作，对电池安全性要求更高



1.3 动力电池：半固态电池进入量产，全固态电池为行业终局

- 固态电池技术发展和应用预计将呈现梯次渗透趋势。我们预计液态电池到固态电池的技术迭代路径大致遵循“固态电解质→新型负极→新型正极”顺序。
- 目前主要进入量产的是半固态电池：引入固态电解质，但仍保留少量电解液，正负极仍为三元+石墨/硅负极，并采用负极预锂化等技术提高能量密度；
- 第一代全固态电池预计于2025-2027年量产，能量密度200-300Wh/kg（采用全固态电解质）：用固态电解质逐步至完全取代电解液，并采用高镍三元正极和石墨或硅碳负极。
- 第二代固态电池预计2027-2030年量产，能量密度400Wh/kg（导入高容量硅碳负极）：将逐渐减薄固态电解质的厚度，并采用高镍三元正极与高容量硅碳负极。
- 第三代固态电池预计2030年后量产，能量密度超过500Wh/kg（导入金属锂负极、复合电解质及高容量正极材料）：重点攻关金属锂负极，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。

类型	电解质类型	电解液	隔膜	负极	正极	产业化时间
液态电池	液态	溶剂+LiPF6+添加剂	有	石墨/硅碳	三元/铁锂	--
半固态电池	半固态	部分替换为固态电解质	保留+氧化物覆盖	石墨/硅碳，可能配合预锂化技术	三元	2022年后
第一代	全固态	全部替换为固态电解质	取消 (少数方案保留)	石墨/硅碳，可能配合预锂化技术	高镍三元	2025-2027年
第二代	全固态	全部替换为固态电解质	取消	高容量硅碳/金属锂	超高镍/镍锰酸锂/富锂锰基等	2027-2030年
第三代	全固态	全部替换为固态电解质	取消	金属锂	超高镍/镍锰酸锂/富锂锰基等	2030年后

1.4 固态电解质是固态电池核心，硫化物为主流技术路线

- 固态电解质是固态电池的核心，可分为氧化物、硫化物、聚合物、卤化物四种技术路线，其中硫化物凭借电导率最高、兼具加工性能成为目前的国际主流路线。
- 硫化物：电导率与加工性最佳，潜力最大，仍处研发期，质地软，适合挤压增强界面接触。
- 氧化物：稳定性与安全性最高，成本低但脆性大，加工难，电导率一般，主用于半固态电池。
- 聚合物：合成与加工简便，率先商业化，但常温电导率低，性能瓶颈明显，难以支撑规模化发展，未来更可能以辅材形式与无机材料混用。
- 卤化物：性能均衡，兼具氧化物的高氧化电位与硫化物的高电导率与可塑性，具备成本优势与大规模应用潜力，近年进展显著。但因还原电位偏高，无法直接匹配金属锂负极，需包覆等手段解决，整体性能与成本介于氧化物与硫化物之间。

◆表：固态电解质技术路线对比

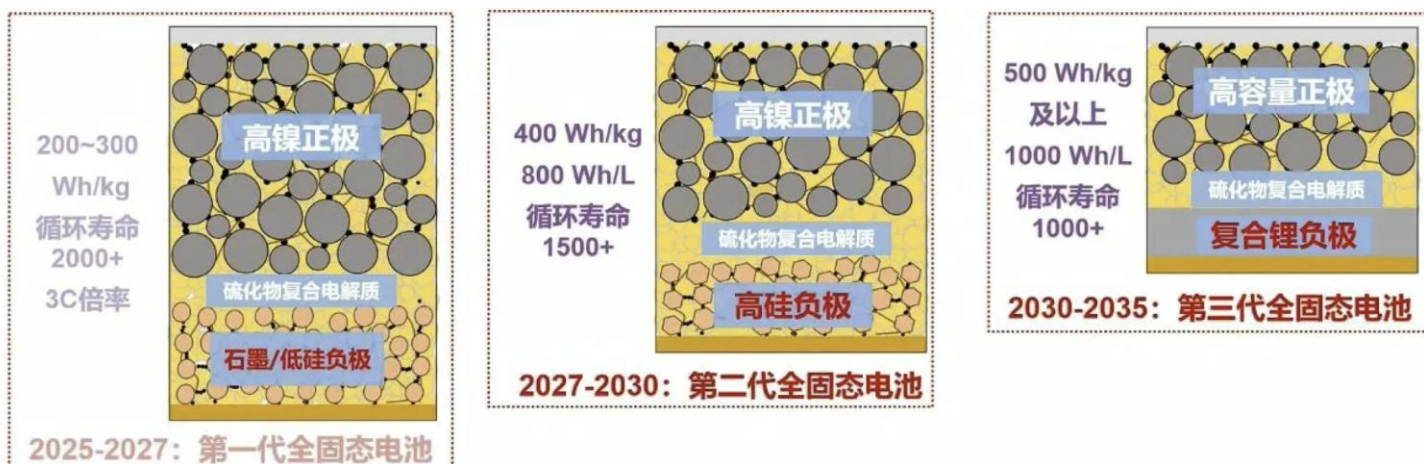
固态电解质	代表企业	优点	缺点	全固态前景前瞻
氧化物 LLTO, LLZO, LIPON	Quantum Scape、TDK 清陶、卫蓝、赣锋、国轩、辉能	电化学窗口稳定性好，宽电化学窗口，优异的高低温性能	电导率低、脆度高、界面接触差等	氧化物由于电导率低的致命缺点，非常适用于半固态方案。全固态需要解决电导率和界面问题
硫化物 LPS, LPGS	宁德时代、丰田、三星、松下、SolidPower、蜂巢	合成温度低，机械延展性优良，界面接触良好，电导率最高	成本高，电化学稳定性和空气稳定性差（与空气中的水反应），与金属锂负极使用时产生的SEI膜阻抗较大，电化学窗口较窄，水、氧气等非常敏感	硫化物不能阻止枝晶形成
聚合物 PEO+LiTFSI	宁德时代、SolidPower、冠盛东驰	良好的界面相融性	电化学窗口不耐氧化，室温电导率非常低，无法阻止锂枝晶	聚合物电解质需要在60摄氏度工作，不适用于电车
卤化物 Li3YCl6和Li3YBr6 SE	松下、三洋、三星、国联、蜂巢、圣戈班、TDK	高离子电导率、良好的可变形性和宽电化学窗口	还原电位不够低，无法与金属 锂负极匹配，而且原材料成本过高	成本太高，非重点研究领域

数据来源：高工锂电官网，东吴证券研究所

1.4 后续迭代导入高性能正负极，打开电池性能空间

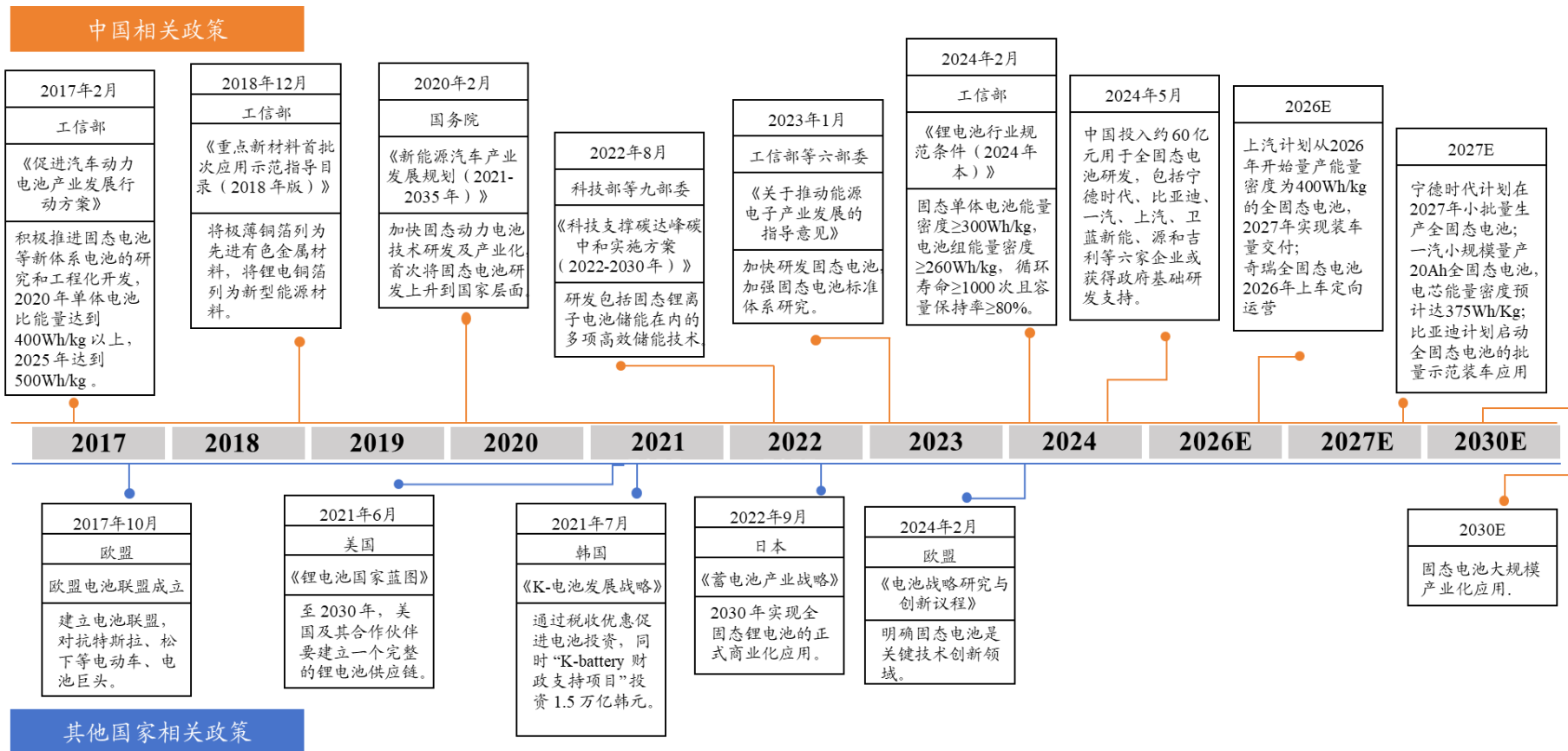
- 未来电池能量密度提升，驱动正负极向高性能迭代。
- 负极材料：目前以石墨负极为主，短中期向硅基负极发展，长期有望切换至金属锂。锂电池负极材料目前以石墨为主，具有高电导率和高稳定性等优势，但已接近理论比容量(372mAh/g)。(1) 硅基负极理论比容量高(4200mAh/g)，但存在体积膨胀(380%)、导电性差和SEI膜不稳定的问题，多与石墨掺杂应用。(2) 锂金属负极理论比容量高(3860mAh/g)，电位低(-3.04eV)，导电性优异，因此具有巨大潜力，但存在锂枝晶、循环时体积变化等问题。整体看，负极液态向硅碳负极发展，尤其CVD法迎来突破，但固态必然向锂金属负极迭代，其最具备性能潜力。
- 正极材料：短期沿用高镍体系，长期向超高镍、富锂锰基、高压尖晶石等高容量正极材料迭代。固态电池电化学窗口更宽，因此可以使用的正极材料更为广泛。半固态/固态电池短期预计仍会沿用三元高镍体系，但或通过单晶化、氧化物包覆、金属掺杂等手段进一步提升电压，从而提升电池能量密度。在固态电解质、金属锂负极等技术逐渐成熟后，正极材料预计向超高镍、富锂锰基、高压尖晶石等新型体系进一步迭代。近期看，锰酸锂/镍锰酸锂尖晶石体系进展快，未来有望迎来突破，富锂锰基能量密度最高，但存在循环寿命等一系列短板，远期有望迎来机会。

◆ 图：固态电池将向高容量正负极迭代，预计金属锂负极&高容量正极将成为行业终局



1.5 政策层面推进固态电池研发，固态电池产业化加速

- 国内液态电池技术显著领先海外，海外加速布局固态电池，试图弯道超车，2023-2024年频繁宣传全固态小批量产计划；我国政策层面积极推进固态电池产业化。
- 海外抢先布局全固态电池，意在率先卡位下一代电池技术。日本资金扶持已超2千亿日元(94亿RMB)，韩国已提供20%/50%的设备/研发税收优惠，德国已投资超10亿欧元(77亿RMB)，美国已投资超3亿美元(21亿RMB)，海外24年频繁宣传全固态电池量产计划，目标27年小批量量产全固态电池。



1.5 政策层面推进固态电池研发，固态电池产业化加速

- 为保持我国新能源产业竞争力，国家多部门重点支持固态电池，目标2027年实现千量上车计划。
- 国资委成立固态电池产业创新联合体。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。
- 工信部推出60亿元重大研发专项，预计2025年完成小试（工信部项目中期审查），2026年中试，2027年完成小规模量产。宁德时代、比亚迪、一汽、上汽、卫蓝和吉利共六家企业获得政府基础研究支持，计划最终分为七大项目，涵盖聚合物和硫化物等不同技术路线。我国项目支持力度空前，固态电池产业化加速，目标27年小批量量产全固态电池，实现千辆级别的示范运营。
- 发改委发布超长期国债。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，由当地发改委推荐至国家发改委审核发放。

国家部委	固态电池扶持计划
 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	牵头成立固态电池产业创新联合体。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	推出60亿元重大研发专项，预计2025年完成小试（工信部项目中期审查），2026年中试，2027年完成小规模量产。宁德时代、比亚迪、一汽、上汽、卫蓝和吉利共六家企业获得政府基础研究支持，计划最终分为七大项目，涵盖聚合物和硫化物等不同技术路线。
 中华人民共和国国家发展和改革委员会 National Development and Reform Commission	发布长期国债，对布局固态电池的企业和机构给予实际投资额15%的资助。

1.6 海外玩家进度：日韩企业率先制定量产计划，欧美初创公司仍处于送样测试阶段

- 海外玩家全固态布局更早，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。（1）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。（2）韩国电池厂：三星SDI和LGES均布局硫化物技术路线，SK On布局复合氧化物复合材料、硫化物双路线，三家均计划在2027-2030年实现量产或商业化。（3）欧美电池厂：Factorial、Quantum Scape和Solid Power三大固态电池初创公司与头部整车厂合作，目前全固态电池已送样至奔驰及宝马等头部玩家，也以硫化物为主。
- 与大众Powerco合作开发固态电池的Quantum Scape采用氧化物路线，推出优化版电解质有望加速其固态电池中试。2025年6月QS宣布其先进的Cobra隔膜（氧化物电解质）工艺已成功集成到基线电池生产中。与上一代的Raptor工艺相比，Cobra的热处理速度提升了约25倍，且每次薄膜启动所占物理空间大幅缩减，这些优势对设计可扩展的GW级超级工厂生产线至关重要。QS的QSE-5 B样固态电芯已于近期进入小批量生产，并向部分汽车客户交付，Cobra隔膜的推出有望加速QS B1样品中试&上车。

表：硫化物为海外玩家主流选择，计划2025-2027年开始小批量量产，2030年前大规模量产

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900Wh/L，在韩国水原市建立了试生产线
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生产固态电池
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 (大众Powerco合作开发)	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，授权其大规模生产原型 B 样固态电池（5Ah）。Powerco长期规划40-80GWh固态电池产能。
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%，Factorial Energy 固态电池将在 2030 年之前实现大规模生产。

数据来源：高工锂电官网，东吴证券研究所

1.6 国内电池玩家进度：政策推动固态电池产业化加速，大部分企业计划2027-2028年实现小批量生产

- 国内电池厂在全固态电池领域的发展规划总体呈现稳步推进态势，多数企业计划在2027-2028年实现小批量装车或量产目标。（1）宁德时代重点布局固态电池，目标2027年小批量量产；短期由半固态电池过渡，推出凝聚态电池，预计快速实现量产。（2）二/三线厂家目标2026-2027年完成小批量装车。国轩高科计划2027年小批量装车，2029-2030年量产，目标2030年实现350Wh/kg能量密度；亿纬锂能计划2027年小批量装车，2028年量产，其固态电池2024年已完成第一代技术开发；中创新航计划2027年小批量装车，2028年量产。
- 硫化物仍为国内电池玩家主流选择，宁德、国轩、中航均采用硫化物电解质路线，亿纬布局硫化物的同时也布局了卤化物与聚合物。

表：硫化物电解质也是国内玩家主流选择，预计2027年开始完成小批量上车

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。

1.6 整车厂进度：国内整车厂固态电池量产多集中在2026 - 2027 年，比亚迪进展显著

● 国内整车厂在固态电池方向加快布局，技术路线虽较为多元，但整体仍以硫化物为主流，部分企业兼顾聚合物方案，预计将在2027年前后实现小批量上车。（1）比亚迪进展领先，2024年已实现60Ah级固态电芯中试下线，能量密度达400Wh/kg，规划2027–2029年实现小批量装车，2030–2032年进入量产爬坡期，有望渗透到主流电动车型，规模可达12万辆。（2）上汽清陶已布局全固态产线，预计2025年投产，目标能量密度406Wh/kg，2027年装车上市。（3）广汽埃安计划2026年小批量装车。（4）一汽、吉利计划2027年小批量装车。（5）长安汽车提出“长安全固锂量”方案，预计2025年完成样件开发，2027年实现小批量装车。

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	规划
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。

1.7 随着各家固态电池陆续产业化，2029年设备需求有望超200亿元

- 我们假设（1）固态电池行业2025年陆续完成中试，2026-2027年陆续小批量装车，2028-2029年形成规模化量产，全球固态电池产能有望从2024年的17GWh提升至2029年的190GWh，5年合计新增约173GWh。（2）当前中试阶段单GWh设备价值量在5-6亿元，后续随着规模化量产及设备节拍&良率提升有望降至2.5亿元/GWh。（3）海外中试进展2025年前快于国内，但随着我国固态电池政策陆续落地，我国固态电池产业化进度有望超过海外玩家。

		中试		小批量装车		规模化量产	
		2024A	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E
中国实际产能（GWh）		7	15	25	40	65	120
海外实际产能（GWh）		10	13	20	30	45	70
全球实际产能（GWh）		17	28	45	70	110	190
新增产能测算（GWh）		-	11	17	25	40	80
假设单GWh设备投资额（亿元）		6	5	4	3.5	3	2.5
固态电池设备需求（亿元）		-	55.0	68.0	87.5	120.0	200.0
固态电池设备需求同比增速（%）		-	-	24%	29%	37%	67%
前道设备	干料混合（4%）	-	2.2	2.7	3.5	4.8	8.0
	干法辊压（10%）	-	5.5	6.8	8.8	12.0	20.0
	电解质热复合（8%）	-	4.4	5.4	7.0	9.6	16.0
	预锂化（6%）	-	3.3	4.1	5.3	7.2	12.0
	分切&模切（4%）	-	2.2	2.7	3.5	4.8	8.0
	前道合计（32%）	-	17.6	21.8	28.0	38.4	64.0
中道设备	胶框印刷（3%）	-	1.7	2.0	2.6	3.6	6.0
	无隔膜叠片（25%）	-	13.8	17.0	21.9	30.0	50.0
	焊接&装配（4%）	-	2.2	2.7	3.5	4.8	8.0
	等静压（13%）	-	7.2	8.8	11.4	15.6	26.0
	中道合计（45%）	-	24.8	30.6	39.4	54.0	90.0
后道设备	高压化成分容（15%）	-	8.3	10.2	13.1	18.0	30.0
	检测（4%）	-	2.2	2.7	3.5	4.8	8.0
	组装（4%）	-	2.2	2.7	3.5	4.8	8.0
	后道合计（23%）	-	12.7	15.6	20.1	27.6	46.0



1 固态电池具备高能量密度&高安全性，未来应用场景广阔

2 全固态电池干法工艺为主线，打开设备全新需求空间

3 本土重点设备公司

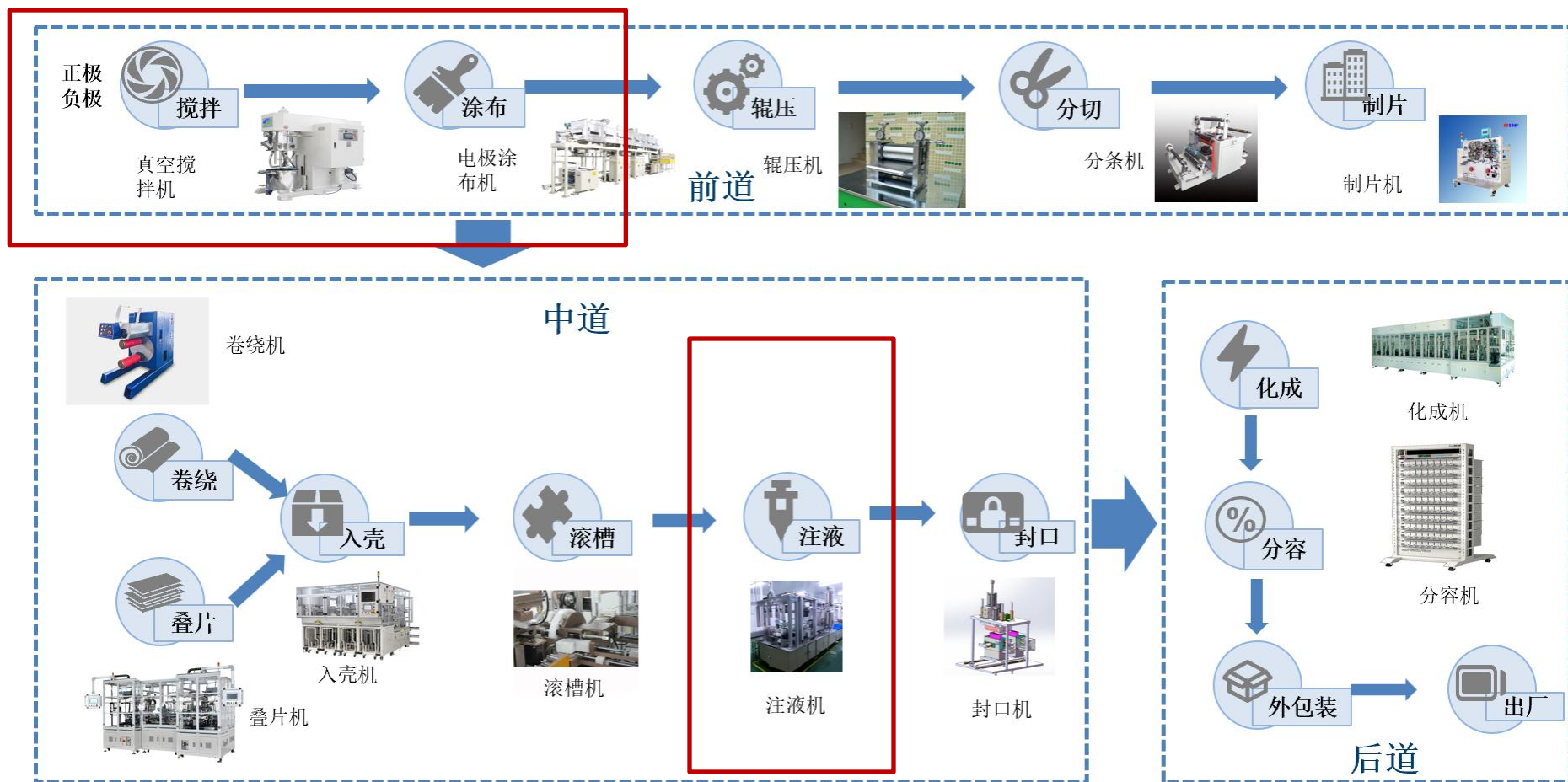
4 投资建议

5 风险提示

2.1 传统液态电池需要搅拌/涂布/烘干/注液等湿法工艺

- 液态电池生产在实际生产中主要采用湿法工艺，包括电芯前段工艺（极片制作）、电芯中段工艺（电芯制作）、电芯后段工艺（化成分容），以及模组和电池包（PACK）工艺，分别对应到设备端主要是前道设备（搅拌/涂布/辊压/模切）、中道设备（叠片/卷绕/注液）、后道设备（化成/分容）。

◆ 图：液态电池制造的基本工艺与对应设备



2.1 半固态电池与液态电池所需的设备工序差别不大

- 半固态电池可兼容传统锂电池生产工艺，只需新增加一条专产半固态隔膜的生产线，生产设备与液态电池隔膜的设备兼容。对比传统液态电池，半固态电池的隔膜无明显工艺改变，调整参数即可，不过因为半固态电池需要提升离子导电率，所以要求隔膜的孔径更大、强度更高，因此需要采用湿法拉伸+涂覆的工艺。
- 1) 固态电解质涂布：相较铁锂和三元的电芯，增加了固态电解质涂布的步骤，这不是简单地插入了一个步骤，整个电芯工艺参数包括压实密度、剥离力都有所变化；
- 2) 辊压：半固态电池能量密度较高，因此压实密度也较高，辊压机会变大。
- 3) 注液：半固态电池仍然有电解液注液，称为为“浸润”，电解液用量较少。
- 4) 化成分容：在电芯首次充放电后会损失很多锂、很多能量密度，为了补充能量密度，会对电池做预锂化，这个技术在三元或铁锂等液态电池中应用很少，但在固态电池特别是密度较高的固态电池中，会应用预锂化以追求更高的能量密度，对于宁德时代、比亚迪等液态电池企业直接充放电，而半固态电池企业需要先做预锂化。

◆ 图：固态电解质涂布设备



◆ 图：辊压设备需求增加



2.1 全固态电池与液态电池相比前道变化最大、中道后道均有区别

- 全固态电池工艺相对液态电池工艺的主要区别在于：（1）前段变化最大，主要在于电解质膜和极片制作工艺上，全固态电池干法工艺增加了干法混合、干法涂布环节实现固态电解质膜制备，不再需要使用溶剂，也不存在烘干环节；全固态电池湿法工艺仍然保留了利用溶剂制备电解质与粘结剂溶液后涂布蒸干制备电解质膜的工序。
- （2）中段电芯装配环节：全固态电池采用“叠片+极片胶框印刷+等静压技术”取代传统的液态电池卷绕工艺，并删减了注液工序；
- （3）后段化成分容环节：从液态电池化成分容转向全固态电池所需的高压化成分容。

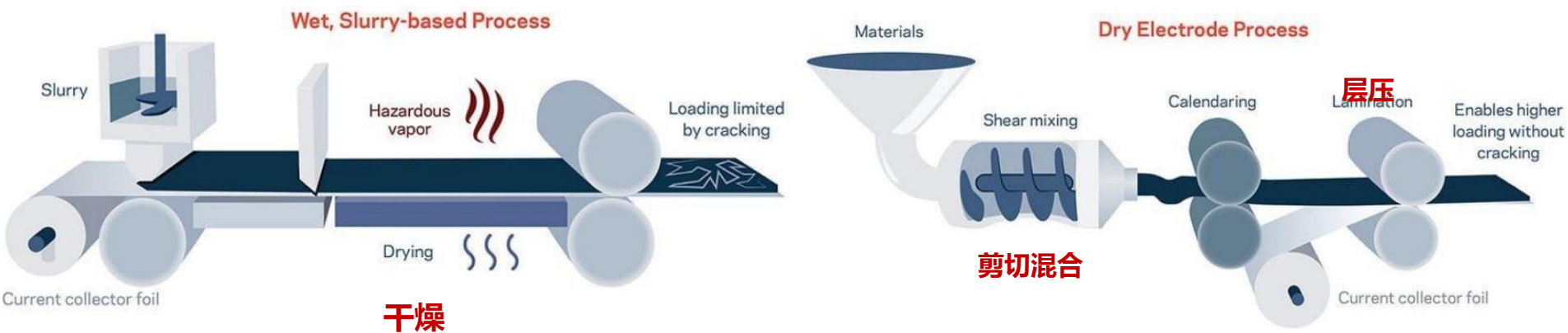
◆ 图：全固态电池工艺与液态电池工艺主要区别

工艺环节	液态电池湿法工艺	全固态电池湿法工艺	全固态电池干法工艺
前道电解质膜制作工艺	采用湿法合浆和涂布技术将活性材料、导电剂和黏结剂混合成浆料后涂布在集流体上，随后进行干燥和辊压。	利用低极性溶剂将粘结剂和电解质颗粒配成均匀浆料后进行涂布，再蒸干溶剂得到电解质膜，经过辊压后形成固态电解质层。	省去溶剂使用，直接通过干法合浆和涂布工艺制备极片。此外，还需进行电解质膜的干法涂布与辊压，以形成固态电解质层。
中道电芯装配工艺	采用卷绕或叠片工艺，将正负极片和隔膜卷绕成电芯，随后注入电解液并进行封装	采用叠片工艺，结合极片胶框印刷和等静压技术，确保固态电解质与电极之间紧密接触。固态电池无需电解液，省去注液工序	
后道化成分容工艺	封装后通过低压化成激活电池	由于固态电解质的高离子电导率需求和固固界面接触问题，化成过程趋向高压化，需要引入高压化成设备，以优化电池性能	

2.2 全固态电池前道：电极片制造+固态电解质成膜为关键

- 全固态电池的前道制造关键在于电极片制造环节和固态电解质成膜环节，两者均可以采用湿法/干法工艺。其中电解质成膜工艺会影响电解质厚度及离子电导率，厚度偏薄，会导致其机械性能相对较差，容易引发破损和内部短路；偏厚则内阻增加，并由于电解质本身不含活性物质，会降低电池单体和系统的能量密度。
- （1）极片的干法工艺避免了溶剂的使用和干燥环节。①湿法工艺：将活性物质、导电剂、粘结剂分散在液态溶剂中形成浆料，然后将浆料涂布在集流体上，再经过干燥、辊压、蒸发等工序制成电极极片。②干法工艺：不使用液态溶剂，将活性物质、导电剂、粘结剂（通常是PTFE）的干粉混合均匀，然后通过热压延工艺直接压制成连续的电极膜后与集流体复合，或者将干粉混合物直接沉积/压制在集流体上，避免溶剂的使用和干燥过程。
- （2）固态电解质成膜环节中湿法路线相对成熟，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，但目前干法工艺刚刚起步，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。

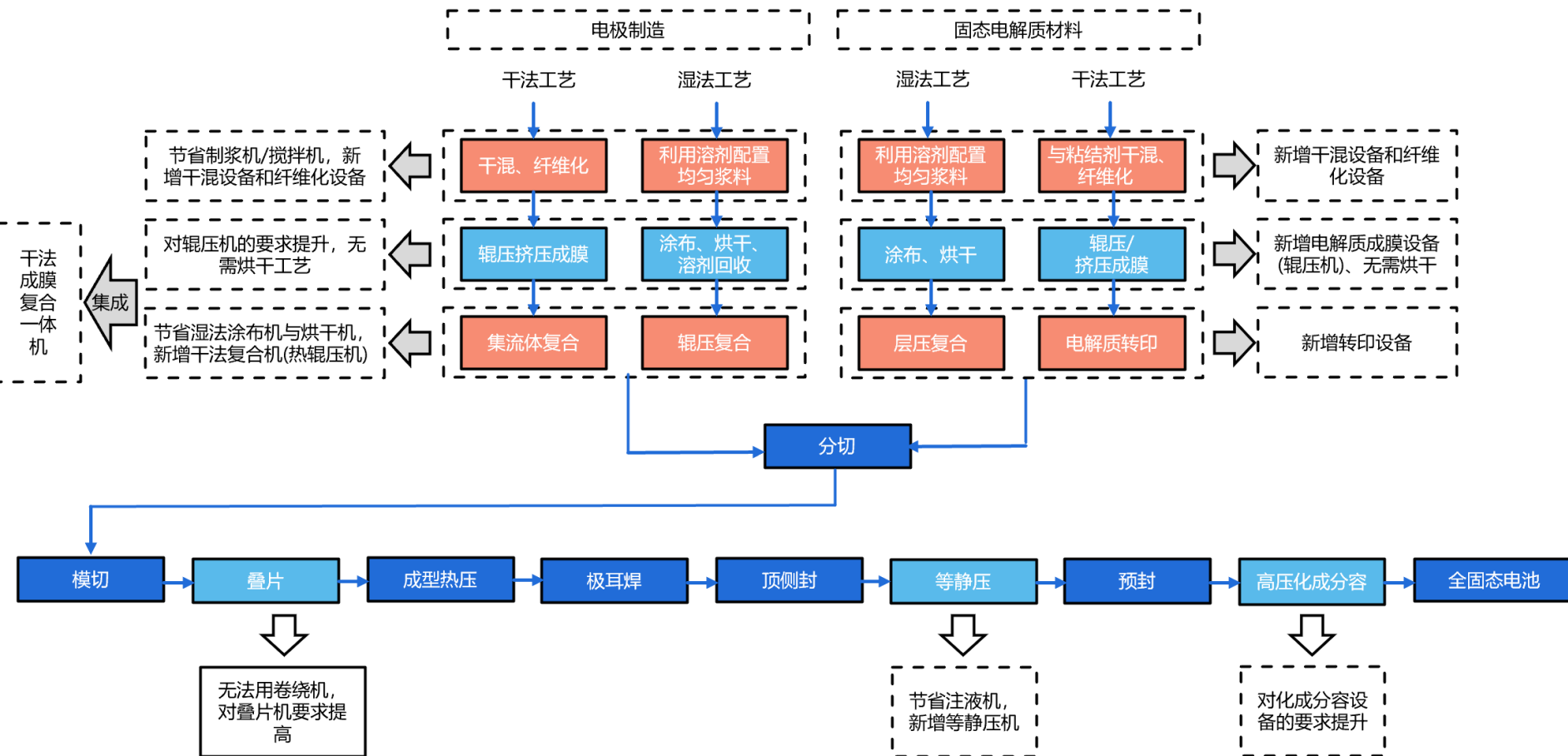
◆ 图：全固态电池湿法&干法工艺对比，在前道主要是极片制造和成膜环节依靠干混挤压，无需溶剂及烘干环节



数据来源：《硫化物固态电解质膜的制备技术与挑战》（孙德业等），东吴证券研究所

2.2 全固态电池前道：电极片制造+固态电解质成膜为关键

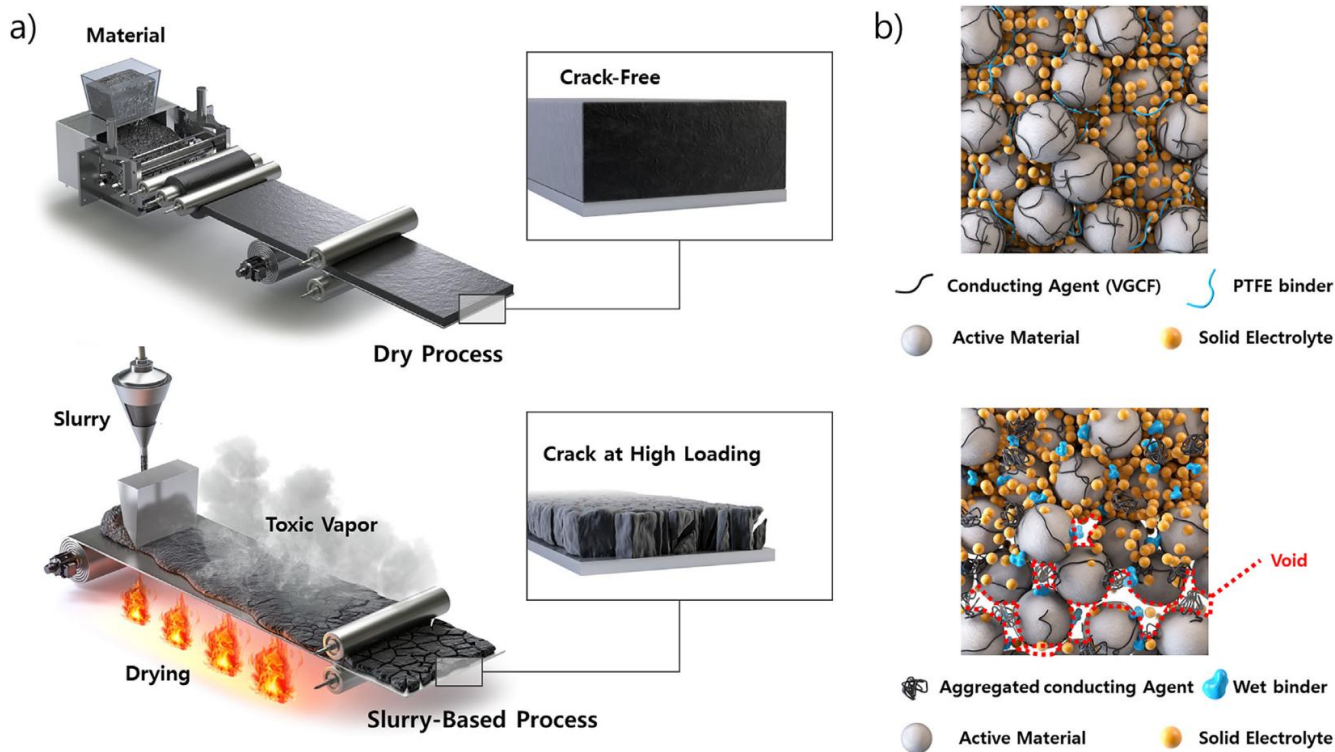
- 干法工艺步骤带来对于前道设备的新需求：目前电极制造及成膜环节干法技术的关键难点在于混合电极材料粉末的均匀性以及成膜的一致性。在前道设备领域，干法工艺对辊压的精度、均匀度以及压实密度的要求会更高。相较传统湿法工艺设备，干法工艺的前道设备不再需要涂布、烘干、溶剂回收设备，而对高混机、制膜所需的辊压机需求提升、增加纤维化设备，主要包括气流粉碎、螺杆挤出机、开炼机。



2.2 全固态电池前道极片制造：干法工艺可提高固态电池能量密度

- 干法技术制造电极片最大的优势在于能够提高电极的压实密度，从而提高电池能量密度，更适合全固态电池生产。
(1) 湿法电极制造需要使用溶剂将活性材料、导电剂和黏结剂混合后涂布在集流体上，然后再进行干燥、NMP 溶剂回收和辊压，仍然需要溶剂参与、需要干燥和溶剂回收环节，工艺相对复杂；
(2) 干法电极制造则将活性材料、导电剂和黏结剂混合成干粉，通过辊压机热压延的方式机械压到集流体上形成电极片。极片制造采用干法工艺可以提高电极的压实密度，意味着在相同体积下可以容纳更多的正负极材料，从而提高电池的能量密度。同时省去溶剂干燥、避免了溶剂残留导致的导电性下降问题。因此干法技术更加适合于固态电池生产。

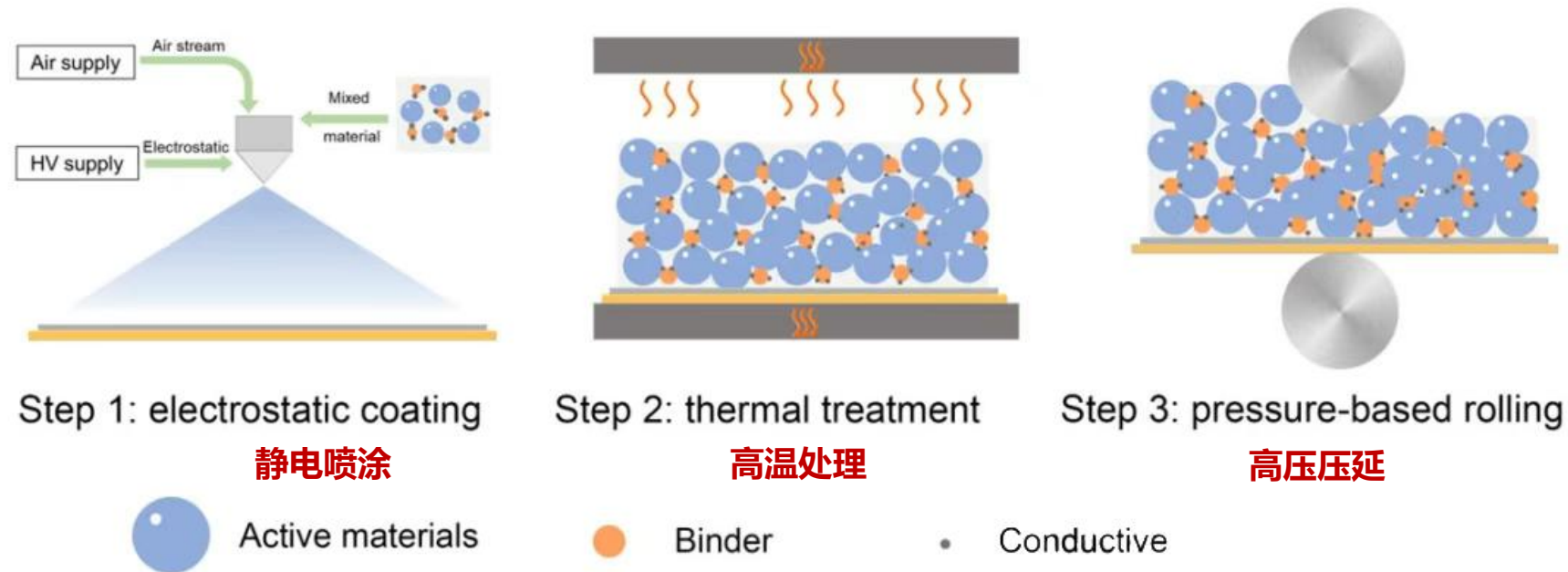
◆ 图：全固态电池中湿法&干法工艺制造电极片对比图



2.2 全固态电池前道极片制造：静电喷涂制备电极需用到涂布机

- 干法电极制备主要有静电喷涂方式和辊压复合方式（纤维化）两种方法。
- **静电喷涂方式制备：**将电极活性材料、导电碳和粉末状粘结剂等颗粒混合在一起，混合好的粉料会在压缩空气的作用下雾化喷附在金属集流体的表面，随后在高压静电的作用下，使材料与集流体分别带有正电荷与负电荷，从而使得材料附着在集流体表面。随后通过高温烘烤融化聚合物粘结剂确保颗粒之间的粘结力，最后对电极进行压延以获得所需的厚度并控制孔隙率。
- **涂布设备：**将固态电解质均匀涂覆在电极表面，形成离子传导层。干法电极涂布机采用无溶剂工艺，实现高能量密度电极制备，确保电极材料的均匀性和一致性。

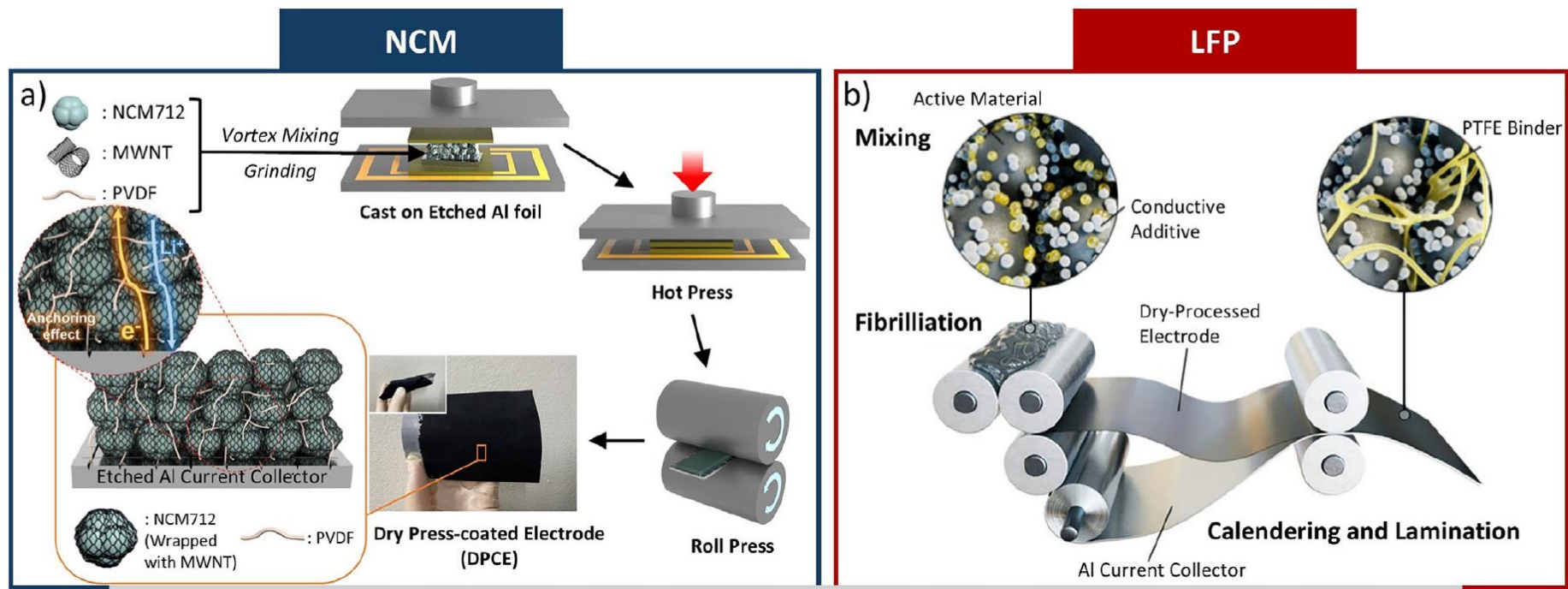
◆ 图：静电喷涂法制备干法电极的流程示意图



2.2 全固态电池前道极片制造：辊压复合工艺提升对辊压机需求

- 干法电极制备主要有静电喷涂方式和辊压复合方式（纤维化）两种方法。
- **辊压复合方式制备：**在电极活性材料和导电添加剂粉末均匀混合后，向其中添加改性的聚四氟乙烯（PTFE）黏结剂并以干燥粉末状态进行混合分散，然后通过辊压机反复辊压。强剪切力使PTFE球变成原纤维（纤维化）并形成基质、大幅提高电极的致密度，从而将电极粉末混合和支撑在一起制成一定厚度的自支撑膜，再把得到的活性材料膜与金属集流体通过导电胶粘结复合在一起形成干法电极。
- 由于固态电解质界面的形成和稳定的纤维 PTFE 网状结构，辊压复合方式组装的电池在5000 次以上的循环中具有 92%的容量保持率，所制备的干法厚电极的致密度是传统湿法电极的 1.6 倍。

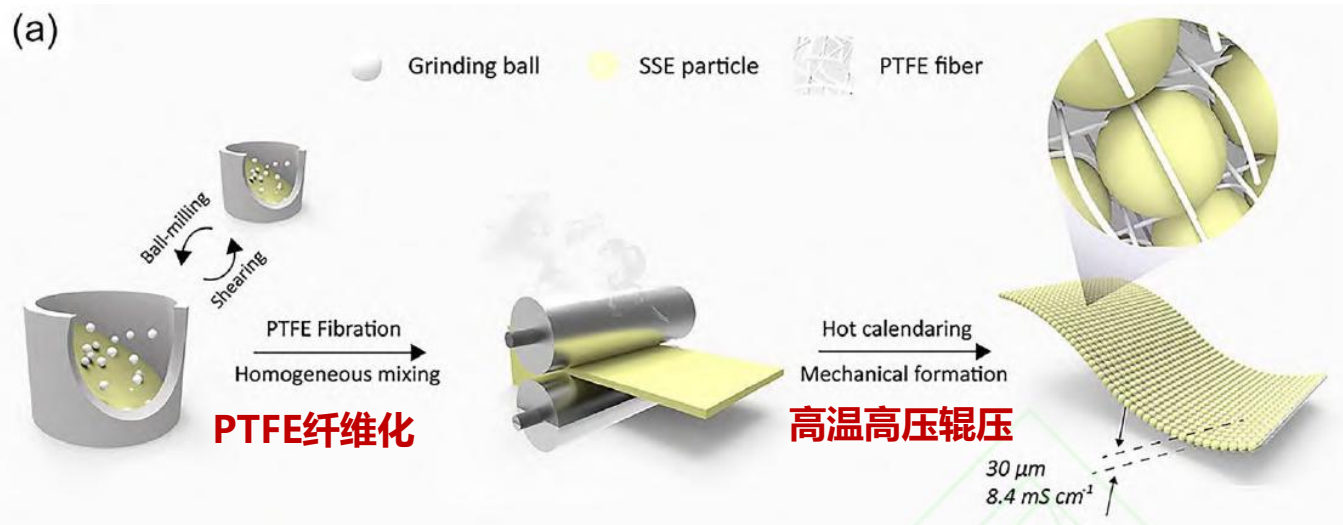
◆ 图：辊压复合法制备多孔复合电极（DPCE）及磷酸铁锂（LFP）电极的流程示意图



2.2 全固态电池前道极片制造：辊压复合工艺增加纤维化设备需求

- 辊压复合工艺中需要自支撑膜制造&纤维化设备，包括气流粉碎机、螺杆挤出机以及开炼机。
- 气流粉碎机：压缩空气通过喷嘴高速射入粉碎腔后，活性物质及粘接剂混合物通过进料口到达粉碎腔。混合物在高压气流的作用下相互碰撞粉碎实现原纤化，最后，混合物随气流上升至分级腔在辊压设备作用下形成自支撑膜。气流粉碎机的工作效率最高。
- 螺杆挤出机：混料自料口进入螺杆充满螺槽后，会在旋转的螺杆作用下在料筒内壁和螺杆表面不断被压实、搅拌以及混合。在压缩段结束处，螺杆会将混合均匀的物料按要求挤出机头，在机头中混合物会被塑成电极膜并送离挤出机，螺杆挤出机的良率最高。
- 开炼机：两个相对回转的辊筒对物料产生挤压后，由于两个辊筒的速比不同，可以产生对混料产生剪切力，速比越大剪切力越强。在辊筒的高剪切力下，混合物内部的分子链会被打断，实现均匀的混合，多次往复后在粘接剂原纤化的作用下即生成电极膜。

◆ 图：辊压复合工艺（纤维化）中需要实现PTFE的纤维化



- 辊压机是锂离子电池制造过程中的核心装备，承担着对涂布干燥后的电极极片进行精密压缩的关键任务，辊压复合方式制备电极大大提升了对于辊压机设备的需求。其核心功能是通过高压力轧制，使活性物质颗粒与导电剂、粘结剂形成致密结合，同时增强涂层与金属箔集流体的结合强度。这一过程直接决定了电极的压实密度（g/cm³）和孔隙结构，进而影响电池的能量密度、功率特性和循环寿命。现代辊压机已成为融合热力学控制、实时反馈及智能调节的精密系统。以主流锂电生产线为例，辊压工序需将极片压缩至设计厚度（通常正极压缩率20-30%），同时保证厚度波动≤±1μm，宽度方向密度偏差<0.02g/cm³。这一精度要求相当于在百米跑道上控制一片纸的厚度误差。
- 辊压机的核心壁垒在于热管理、均匀性控制、轧辊制造。（1）热管理：传统冷压方式已难以满足高镍正极、硅碳负极等新型材料的工艺要求，由此需要引入热辊压技术，但同时热管理面临热量精度控制、热惯性滞后、轴向温度梯度等难题；（2）均匀性管理：极片辊压的横向厚度一致性是业界公认难题，其根源在于多物理场耦合效应。同时辊面工作温度梯度导致热膨胀量变化，也会影响均匀性；（3）轧辊制造：为了实现更好的批量稳定性和轧制里程，材料选择、表面处理、精度硬度、加工工艺都有较高的要求。

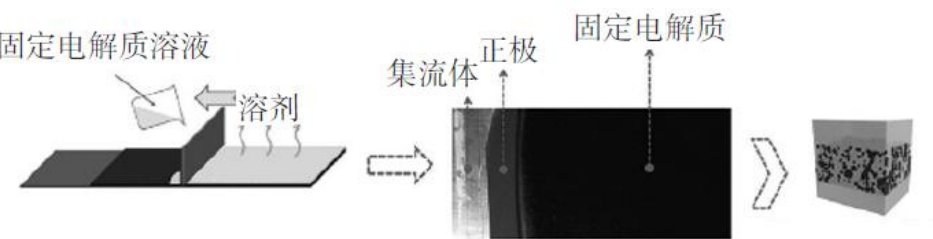
◆ 图：辊压机关键子系统技术壁垒对比

子系统	技术方案	性能上限	主要局限
轧辊结构	整体锻钢轧辊	辊径Φ400mm，硬度HRC67	大尺寸淬火变形难控制
热管理	电磁感应+气体冷却	轴向温差±1℃，响应时间<10s	中心轴组件密封要求高
驱动控制	双伺服电机同步	线速度10m/min，扭矩波动<0.5%	高速下振动抑制难
调形机构	液压弯辊+抽辊系统	弯辊力300t，挠度补偿0.1mm	能耗高，响应慢

2.2 全固态电池前道电解质成膜：湿法工艺仍然需要溶剂参与

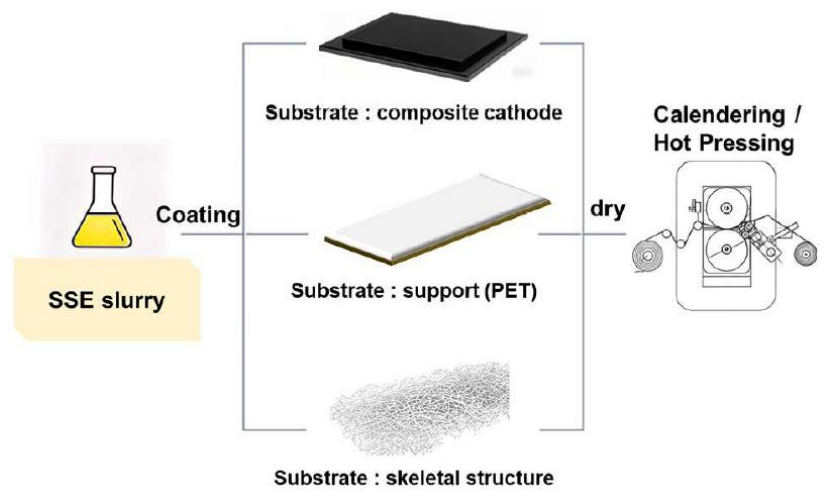
- 在湿法工艺制造全固态电池过程中固态电解质采用湿法浆料-涂布工艺，在电极上涂覆电解质膜，然后再和锂金属复合，采用层压工艺制备固态电池。湿法工艺成膜操作简单，工艺成熟，易于规模化生产。湿法工艺的核心是利用低极性溶剂将粘结剂和电解质颗粒配成均匀浆料后进行涂布，再蒸干溶剂得到电解质膜。溶剂需要便于蒸发、对电解质有良好的溶解和化学稳定性。湿法工艺的缺点是溶剂可能有毒，同时干燥过程总体成本相对高，如果溶剂蒸发不完全，可能降低电解质的离子电导率。
- 按照载体不同，湿法工艺可分为模具支撑成膜、正极支撑成膜以及骨架支撑成膜。
 - ① **模具支撑成膜**：适用于聚合物和复合电解质，将固体电解质溶液倒入模具，溶剂蒸发后获得固态电解质膜；
 - ② **正极支撑成膜**：适用于无机和复合电解质膜，将固体电解质溶液浇在正极表面，蒸发后形成固体电解质膜；
 - ③ **骨架支撑成膜**：适用于复合电解质膜，将电解质溶液注入骨架中，溶剂蒸发后形成有骨架支撑的固态电解质膜。

◆ 图： 正极支撑成膜工艺示意图



(b)通过流延成型制备正极支撑的固体电解质膜

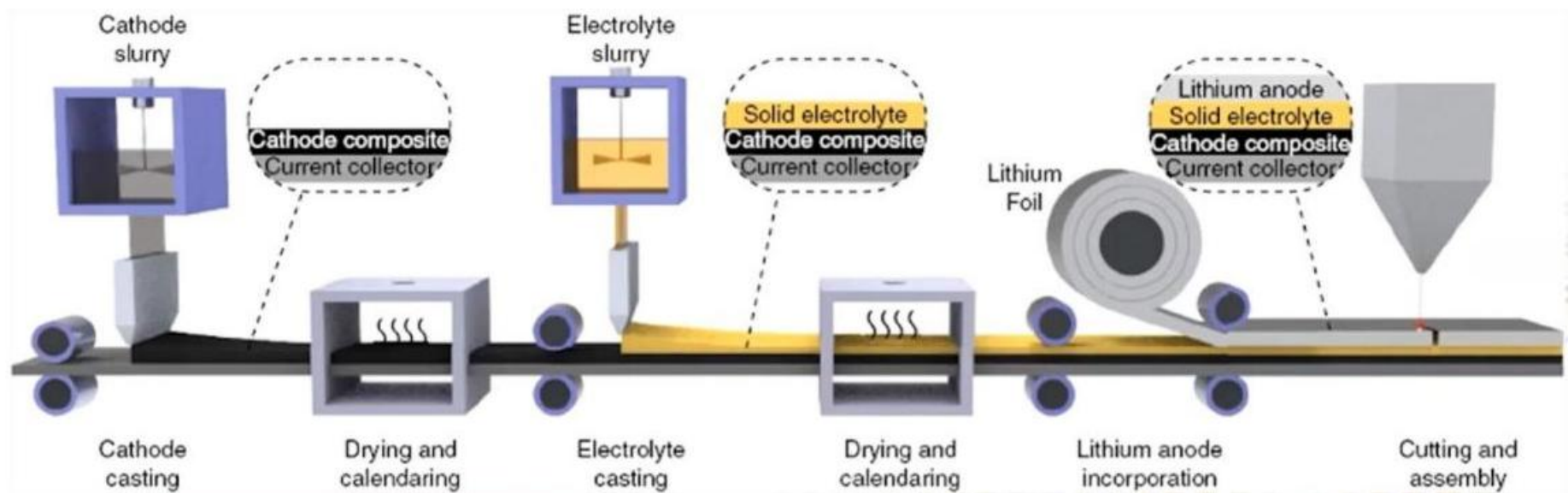
◆ 图： 湿法成膜技术的三种路线示意图



2.2 全固态电池前道电解质成膜：湿法工艺仍然需要溶剂参与

- **湿法成膜工艺的改进空间：**
 - a. 氧化物固态电解质：**湿法需引入高温烧结工艺（ $\leq 700^{\circ}\text{C}$ ）来改善高电解质与电极的界面致密性，但工艺难度大、能耗高且易引发晶界裂纹，添加低温烧结助剂可部分解决，但依然难以量化；
 - b. 聚合物电解质：**湿法沿用传统涂布设备，将PEO溶解于NMP溶剂后涂覆成膜，但溶剂残留会导致离子电导率下降，同样存在NMP处理的问题；
 - c. 硫化物复合电极：**湿法采用非极性溶剂（如二甲苯）分散硫化物电解质，但粘结剂选择受限（PVDF不溶，需改用SBR/SR），且压延后易出现层间剥离，非极性溶剂的防护处理也比较麻烦。

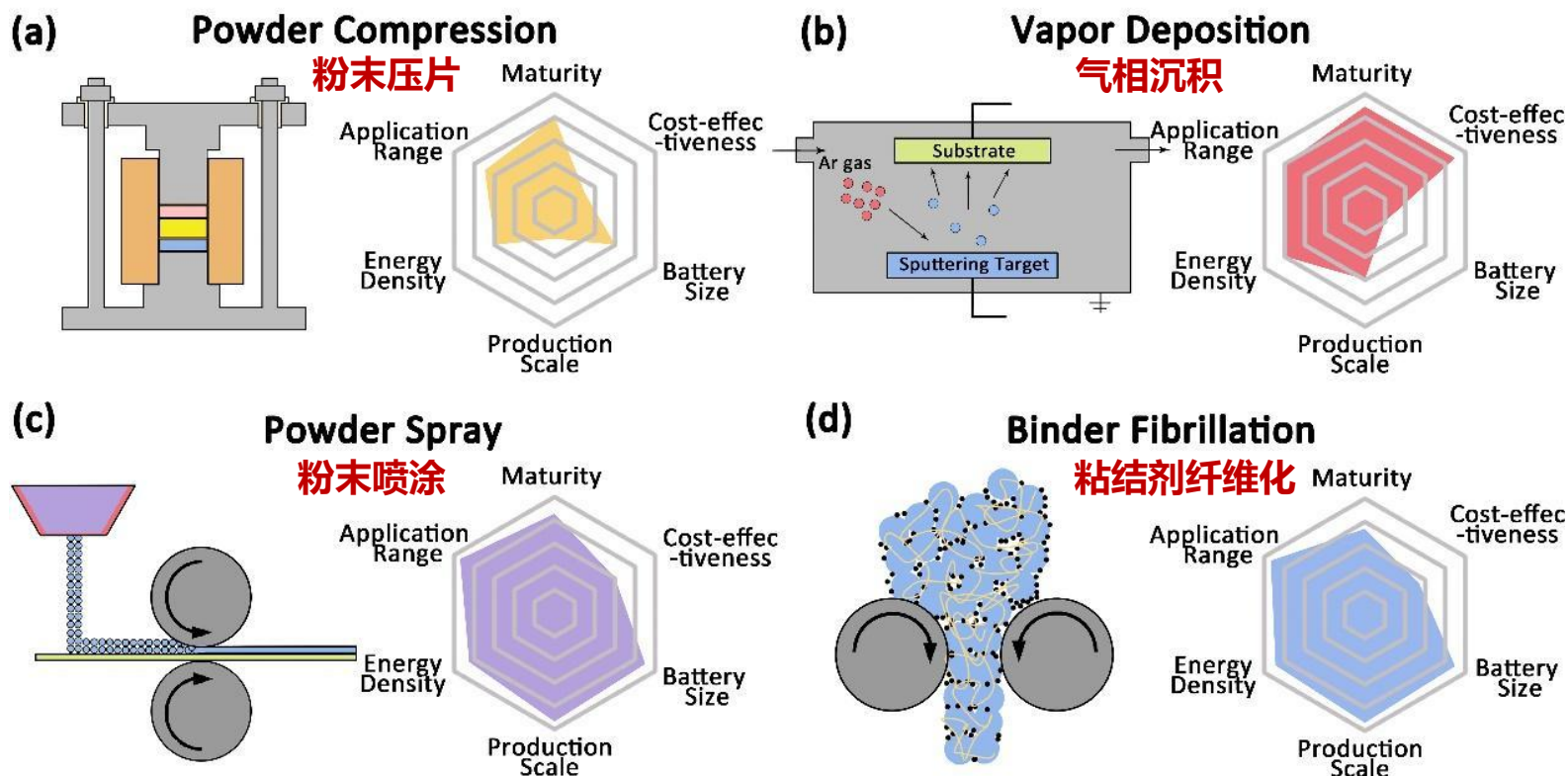
◆ 图：基于传统湿法的全固态电池制造工艺



2.2 全固态电池前道电解质成膜：干法无需溶剂，可提升导电率

- 干法成膜工艺将固体电解质与粘接剂混合后研磨分散成高粘度混合物，通过少量黏结剂的原纤化作用，直接将挤出的电极材料层压到集流体上形成电极，或者进行加压加热制备获得自支撑极片。该方法不使用溶剂、无溶剂残留，可以有更高的离子导电率，同时直接混合成膜不需要烘干，成本上更有优势；缺点在于电解质膜相对较厚，其内部不含活性物质将会降低电池能量密度。

◆ 图：主要干法制膜技术的制作和特征示意图，(a) 粉末压片；(b) 气相沉积；(c) 粉末喷涂；(d) 粘结剂原纤化。



2.2 全固态电池前道转印设备：形成“电极-电解质”一体化结构

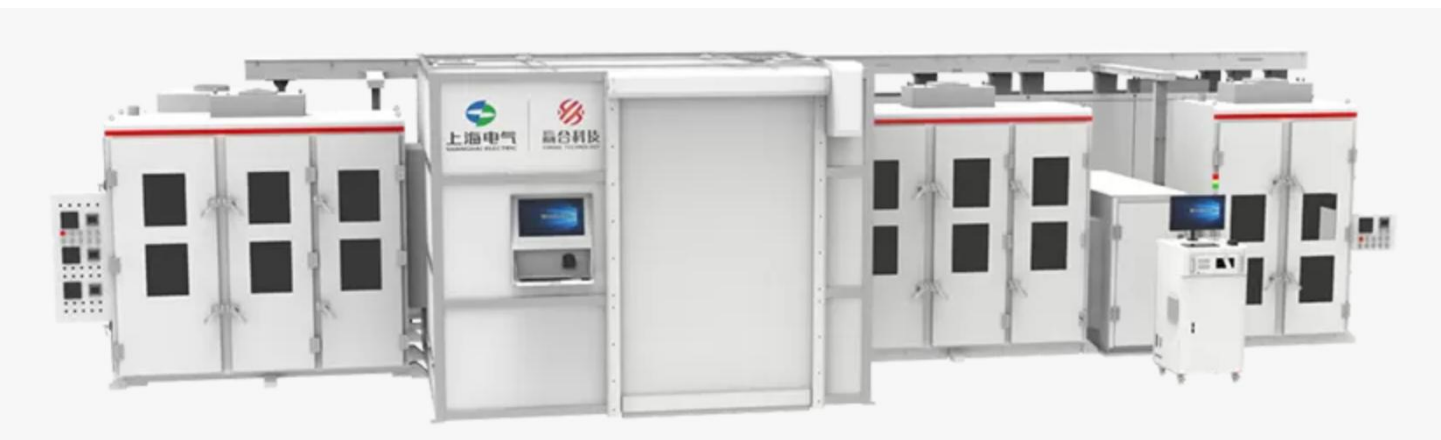
东吴证券
SOOCHOW SECURITIES

● 复合转印设备主要用于在正/负极片表面均匀覆盖固态电解质层，形成“电极-电解质”一体化结构。其核心工艺包括：（1）转印复合：将预制的固态电解质薄膜通过热压或3D打印方式精准转移至电极表面，实现分子级界面结合。（2）层间致密化：通过温控辊压或等静压技术消除界面空隙，提升离子传导率。（3）连续化生产：整合放卷、预热、复合、烘干、收卷模块，实现卷对卷（R2R）制造。目前，固态电解质转印设备主要分为热压转印、3D打印转印、辊压预热转印三种技术路线，分别对应不同材质的固态电解质。

◆ 图：复合转印设备主要有三种技术方案，对应不同的固态电解质

技术方案	代表厂商	核心优势	适用场景	量产水平
热压转印	先导智能	50m/min高速连续复合，良率≥99%	氧化物/硫化物电解质	已交付头部电池厂
3D打印转印	高能数造	双面同步复合，精度0.7 μm，成本降40%	聚合物/复合电解质	中试线交付
辊压预热转印	利元亨	多层热介质预热，均匀度提升50%	硫化物电解质	样机阶段

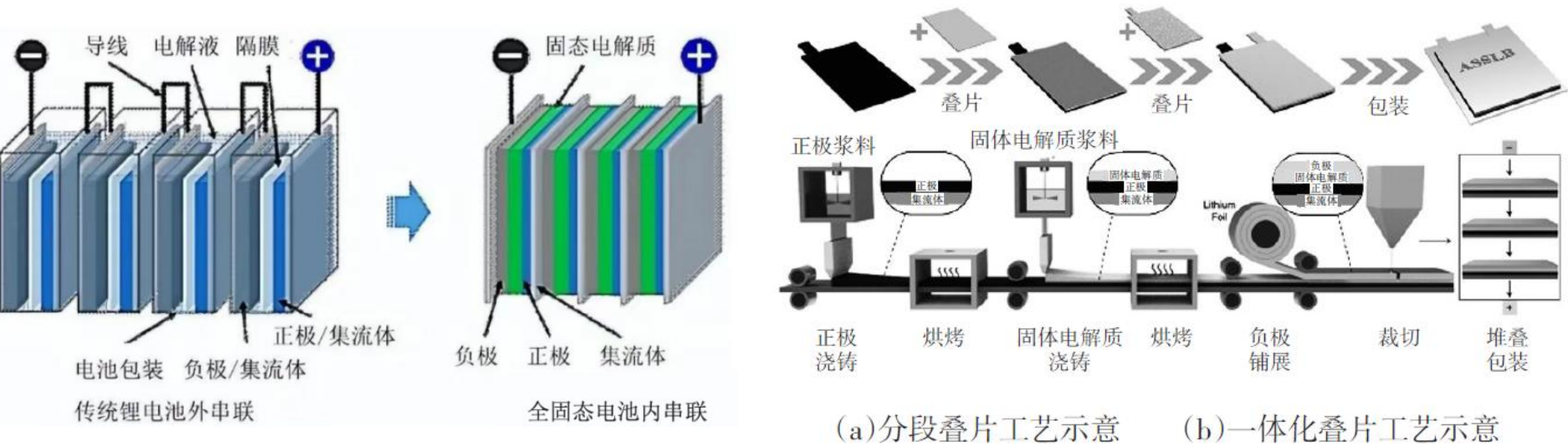
◆ 图：赢合科技生产的固态电解质转印设备



2.3 全固态电池中道工艺：叠片+等静压带来设备增量需求

- **叠片机：**全固态电池不适用卷绕设备，对叠片机需求更高，且精度要求更高。叠片可以通过正极，固体电解质膜和负极的简单堆叠实现电池各组件的集成，无论全固态电池还是液态电池都需要用到叠片机，但由于全固态电池的固态电解质具有脆性特性，且对设备的精度和稳定性要求更高，使得其需要进行更多的叠片工艺，因此，全固态电池制造所需要的叠片机需求也会增加。
- **按照裁片与叠片的先后顺序将叠片工艺分为分段叠片和一体化叠片。**分段叠片沿用液态电池叠片工艺，将正极、固体电解质层和负极裁切成指定尺寸后按顺序依次叠片后进行包装；一体化叠片是在裁切前将正极，固体电解质膜和负极压延成3层结构，按尺寸需求将该3层结构裁切成多个“正极-固体电解质膜-负极”单元，并将其堆叠在一起后进行包装。在叠片技术中，由于一体化叠片可以提升质量、降低成本、材料利用率高，故采用一体化叠片工艺。

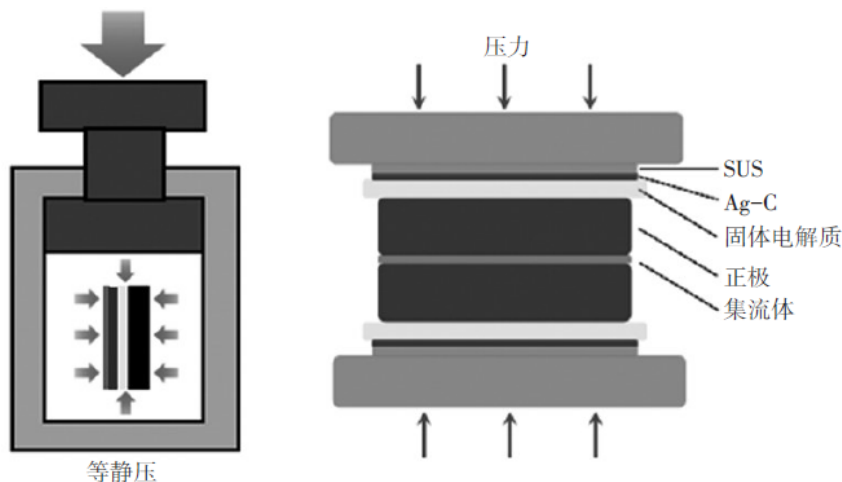
◆ 图：全固态电池因采用固态电解质而不使用卷绕设备 ◆ 图：分段&一体化叠片工艺示意图



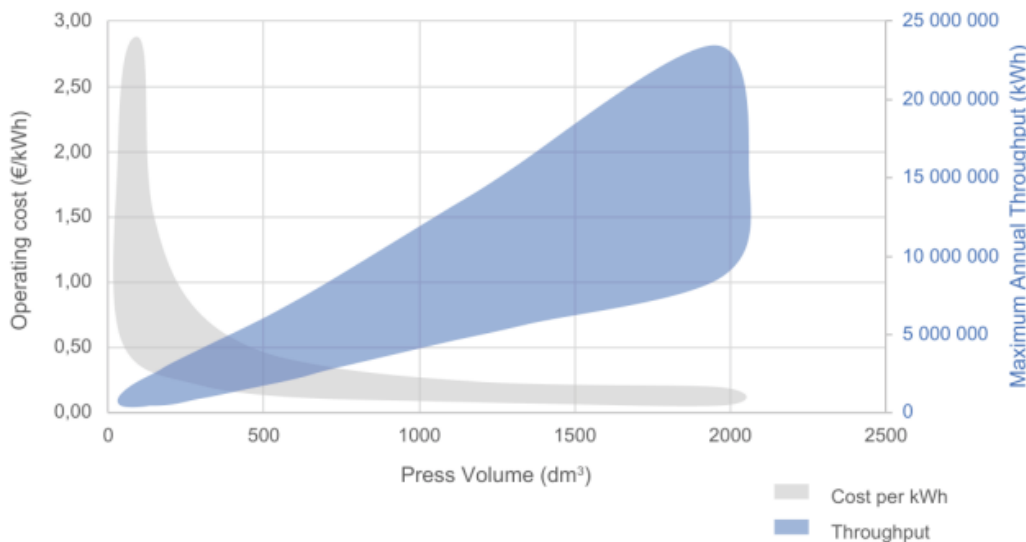
2.3 全固态电池中道工艺：叠片+等静压技术带来设备增量需求

- 全固态电池需要解决的核心难点之一是优化固-固接触界面。生产全固态电池一般是将正极、固态电解质、负极堆叠在一起组装。考虑到固态电解质要与电极形成良好的固固界面接触、在循环过程中会发生接触损耗以及要抑制锂枝晶形成等，堆叠时需要新增加压设备，施加超过 100MPa 压力使各材料致密堆积。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，进而影响全固态电池的性能。
- 等静压技术用于改善全固态电池固固界面接触问题，拉动等静压机成为核心增量设备之一。等静压技术基于帕斯卡原理，可以实现固固界面的致密化，有效消除电芯内部的空隙，确保电解质材料达到理想的致密化程度，提升电芯内组件界面之间的接触效果，从而显著提升离子电导率 30%以上，降低电池内部电阻率 20%以上，循环寿命提升 40%，大幅改善电池性能。而等静压成型需要用到的设备为等静压机。

◆ 图：全固态电池等静压示意图



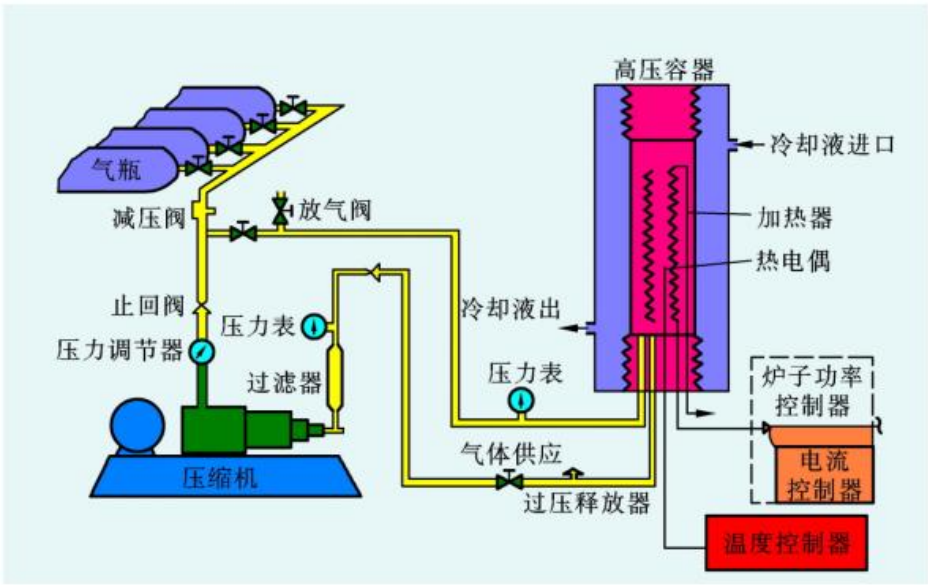
◆ 图：等静压机规模越大，全固态电池生产成本越低



2.3 全固态电池中道工艺：叠片+等静压技术带来设备增量需求

- **等静压机核心原理基于帕斯卡定律：**在密闭流体系统中，施加于不可压缩介质的压力会均匀传递到各个方向。当电池组件（正极/固态电解质/负极堆叠体）置于高压容器内，液体或气体介质从多向施加超高压强（通常 >100MPa），迫使材料内部颗粒重排、孔隙消除，实现三维均匀致密化。这一过程直接决定了固态电池的界面接触质量和体密度，进而影响能量密度、循环寿命及安全性。
- **相较于传统辊压技术的线性压力（仅单轴压缩），等静压实现了全向同性压制，**彻底解决了因压力不均导致的“边缘效应”和“层间滑移”问题。以硫化物固态电池为例，等静压处理可使电极-电解质界面接触面积提升40%以上，界面电阻降低50%-70%，大幅提升离子传输效率。
- **按成型和固结时的温度高低，等静压机主要分为冷等静压机、温等静压机、热等静压机三类。**其中，冷等静压是目前最常用的等静压成型技术。

◆ 图：热等静压设备结构示意图



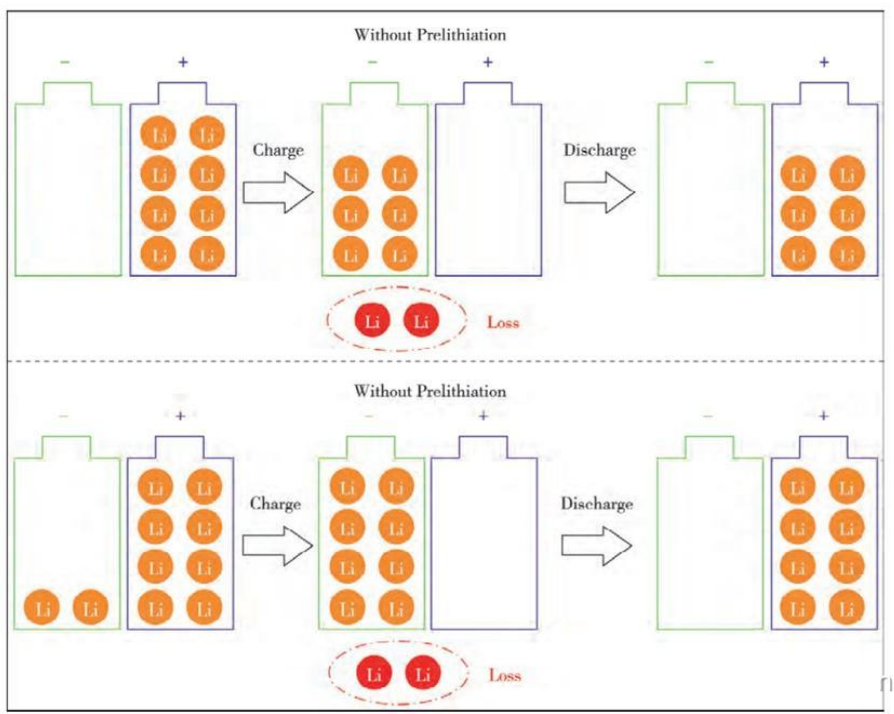
◆ 图：各类等静压设备对比图

参数	冷等静压机CIP	温等静压机WIP	热等静压机HIP
工作压力	100-630MPa	50-300MPa	100-200MPa
工作温度	室温	50-500℃	800-2200℃
压力介质	水/油/乙二醇	热油/气体	氩气/氮气
致密机理	颗粒重排+塑性变形	热塑性变形+扩散	烧结+扩散蠕变
适用电池	硫化物/聚合物	氧化物/复合电解质	氮化物/陶瓷基
量产效率	高(干袋式自动化)	中(需温度平衡)	低(冷却时间长)
界面电阻	中等	优良	卓越

2.4 全固态电池后道工艺：新增高压化成设备

- 常规的锂电池化成压力要求为 3-10 吨，而全固态电池化成的压力要求提高至 60-80 吨，需要引入高压化成设备。全固态电池需要高压化成的核心原因在于其独特的固-固界面特性和离子传导机制。
- ① 解决固固界面接触问题：固态电解质与电极之间是刚性接触，存在微观空隙和接触不良，必须通过高压（通常 60-100MPa）压制才能消除界面空隙，增大有效接触面积；促进固态电解质与电极的物理/化学结合。
- ② 激活离子传导通道：固态电解质离子电导率低，需要高压化成实现强制锂离子穿透固固界面屏障，在界面处形成离子导通网络，以及降低界面阻抗。

◆ 图：化容分成基本原理示意图



◆ 图：高压化成分容设备





1 固态电池具备高能量密度&高安全性，未来应用场景广阔

2 全固态电池干法工艺为主线，打开设备全新需求空间

3 本土重点设备公司

4 投资建议

5 风险提示

3.1 先导智能：率先打通整线设备，中试线级别整线已量产

- 重视固态电池技术研发，全球布局研究院&与宁德战略合作加速固态电池研发。①公司重视固态电池前沿技术研发，2024年其研发团队占总员工比例超过35%，硕博学历超过20%，并在无锡、上海、珠海及欧美等地设立研发中心。自2020-2021年起，公司加大干法电极与等静压致密等关键技术研发投入，研发费用占营收比重超过10%，固态电池专利数远高于友商。②公司与宁德2024年签订战略合作协议，双方将在固态电池、钙钛矿等领域开展研发合作。
- 率先打通固态电池整线设备，中试线级别整线已在客户端稳定量产。①作为全球少数具备锂电整线交付能力的装备企业，先导智能已率先打通全固态电池量产的全线工艺设备环节，覆盖全固态电极制备、全固态电解质膜制备及复合设备、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；设备性能处于行业领先水平。②固态电池试线设备交付国内外头部玩家，龙头强者恒强。目前，先导智能的固态电池设备及干法电极设备已成功发货至国内、欧洲、美国、日韩等国家和地区的知名汽车企业、头部电池客户、新兴电池客户现场，并获得客户认可和重复订单。

◆图：公司率先打通固态电池整线设备，关键设备性能领先

◆图：先导智能&利元亨固态电池专利数显著高于其他设备商（2024）

工艺段	设备	性能优势
电极制备	干法涂布设备	工艺窗口宽，操作与维护便捷，可满足产品幅宽1000mm，厚度40μm-300μm，负极速度80m/min、正极速度60m/min及多条幅极的生产需求。
	湿法涂布设备	制浆与涂布系统采用特殊涂布结构，可实现固态电极与涂布的高速大幅宽生产及多条幅极的生产需求。
电解质制备	电解质制浆机	兼具粉料干混及浆料捏合、高效分散功能，具备增强捏合与分散能力，实现高效制浆，避免电解质劣化。
	涂布机	打破传统湿法工艺，可满足10μm-60μm厚度涂布范围的量产需求。
	电解质复合转印设备	可进行连续、间歇复合，复合效率高达50m/min，处于行业领先水平。
中道叠片	固态叠片机	推出新一代量产型固态叠片机，通过绝缘边框精密制备、极片超精准抓取与高精度动态压合控制，显著提升堆叠效率与对齐度。
中道等静压	等静压设备	成功研发出600MPa大容量等静压设备，通过提高一次装载电芯数量来提高设备效率，可提供高效温等静压作业环境，温度最高150℃。同时，配套自动套袋上料以及自动下料拆袋设备，实现全自动化作业。

公司	固态电池专利数 (件)
长安汽车	3395
宁德时代	3251
广汽集团	2083
上汽集团	2011
先导智能	1293
珠海冠宇	760
金发科技	701
利元亨	678

3.2 赢合科技：深度布局前道设备，已向龙头出货中试设备

- 深度布局湿法&干法固态电池前道设备，近期已向龙头客户出货中试设备。涵盖固态湿法涂布、固态湿法辊压、固态电解质转印、干法纤维化一体设备及固态干法成膜等在内的全套核心前道装备。近期向国内某头部电池企业发货的一批核心固态电池设备，包括固态湿法涂布设备、固态辊压设备及固态电解质转印设备，助力客户建设中试线；未来有望充分受益于固态电池产业化。
- 锂电设备业务国内外需求共振。①随着国内头部锂电池厂商开工率提升及扩产规划持续推进，2024Q4起国内锂电设备行业复苏趋势逐步确立。今年1月，公司接连中标国内头部客户大单，包括涂布、辊分及组装线订单。②海外锂电池扩产需求明确，2024年公司陆续取得欧美、日韩、印度、东南亚等地区的锂电设备订单，出海已实现较大突破。

◆图：公司能够提供固态电池干法、湿法前道设备，包括干法成膜设备、湿法挤压式涂布机及电解质转印设备

工艺段	设备	特点
分散+纤维化	300L系列固态干法分散+纤维化一体设备	采用分散盘偏心设计、刮刀配合，可适应不同材料、配方、工艺等各种复杂工况稳定生产；生产效率达300L/h。除此之外，设备还涵盖多种高度自动化功能，如高压喷淋全自动清洗、负压全自动上料等。
成膜&复合	1050系列固态干法成膜+复合一体设备	能够完成轧辊多级速差控制、高精度在线辊缝调节、电极预热复合；辊压厚度精度±2μm，辊面宽度达1050mm、极片宽度可达950mm。
湿法涂布	固态湿法涂布设备	辊面宽度达 1050mm，能够完成10-300μm厚度的超高速涂布，产能速度超80m/min。
前道转印	固态电解质转印设备	辊面宽度达 1050mm，能够在±0.1纠偏下处理950mm极片，产能速度60m/min。

3.3 曼恩斯特：完成干法+湿法设备双线布局，已在多家客户端验证



- 涂布设备龙头完成干法+湿法前道设备双线布局，相关设备已在国内外多家客户验证。2024年公司已初步完成固态电池“湿法+干法”工艺装备的双线布局，且为国内外多家企业提供了固态/干法工艺的测试验证实验，并在混合设备、双螺杆挤出设备、多辊成膜设备等多款核心产品均有订单贡献。
- 公司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%。

◆图：公司前道设备技术领先，纤维化设备核心元件采用陶瓷件，避免金属异物引入且磨损量仅为镍合金的1/10

工艺段	设备	特点
干法混合	混合机	能够灵活适应逆流或横流混合模式，其旋转的混合盘能够将物料精准地导向一个偏心安装且高速运转的混合工具区域，形成高速差产生的相逆性混合物料流，使物料在短时间内达到均匀混合状态。既满足批次式生产的精确需求，又适应连续式生产的高效节奏。
	VC高效混合机	可加热、可冷却、可真空、可常压，以充氮保护，保压能力强，并配备加热或冷却夹层水道，实现超高的混合效率。
干法纤维化	陶瓷双螺杆挤出机	其螺杆为双支撑结构，受力均匀，螺纹元件与套筒之间摩擦力小、磨损小，整体功率比传统形式降低10%。同时，该产品的双螺杆内腔、螺纹元件做到了全陶瓷化，无金属异物引入，磨损量为镍基合金的1/10，高耐磨、耐腐蚀。
干法过筛造粒	造粒机	粒径可调范围宽、粉碎过程无温升，同时做到了内衬陶瓷化。
干法成膜	干法成膜复合一体设备	400型干法成膜复合一体设备制膜宽度150~800mm、制膜厚度75~250μm、面密度精度误差±1%、厚度精度±2μm、压辊压力最大50T、辊压速度最快高达65m/min、压辊辊缝间隙0~2mm、辊缝调节精度0.001mm，均处于行业领先水平。

- 公司是国内最早布局干法电极设备的企业之一，先发优势显著。在锂电池极片辊压设备领域，公司稳居行业领先地位；客户资源优质，宁德时代、比亚迪等知名企业均为公司核心客户。
- 公司携手青研电子及四川新能源汽车创新中心（欧阳明高院士团队），积极布局固态电池设备，已推出多款前道设备。固态电池电极技术与液态干法电极相近，干法辊压设备可用于固态电池整机膜片成型及部分电解质膜成型；公司依托干法电极技术积累，已陆续推出固态电池高精度锂带压延、负极补锂、材料覆合一体机等设备，并在加速研发核心等静压设备。随着固态电池干法电极逐渐成熟，公司辊压设备占整线价值量有望达20-30%，叠加等静压设备公司产品能够覆盖约40%设备需求量。
- 公司辊压设备持续交付龙头客户，同时，公司已建成电芯级试线，支持客户材料验证。截至2025年6月已累计测试超过10吨材料样品，负极辊压设备已经达到设计要求，正极材料配方持续优化中。

◆图：公司客户涵盖海内外头部锂电&非锂电客户

◆图：公司辊压设备生产速度、热辊均匀性均优于友商

公司	量产产品最大轧辊尺寸	最高稳定生产速度	极片厚度精度	热辊辊面温度均匀性
纳科诺尔	φ 900*1500mm	120-140m/min	±1.5μm	±1℃
赢合科技	φ 900*1500mm	100-120m/min	±1.5μm	≤ ±3℃
先导智能	φ 900*1500mm	120m/min	±1.5μm	-
海裕百特	φ 900*1500mm	100m/min	±1.5μm	≤ ±3℃
浩能科技	φ 900*1500mm	100m/min	±1.5μm	±3℃

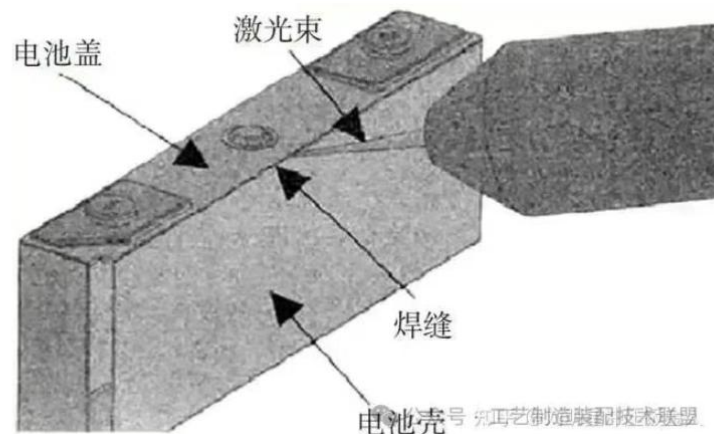
3.5 联赢激光：激光焊接龙头有望受益固态电池装配设备需求量提升

- ◆ 公司是本土激光焊接设备龙头，掌握焊接核心技术，实现核心激光器自制，产品涵盖激光器及激光焊接机、工作台和激光焊接自动化成套设备三大类；在客户端，公司长期绑定宁德时代，并积极拓展国轩高科、亿纬锂能等大客户。
- ◆ 固态电池的焊接量将显著高于液态锂电，公司有望充分受益。固态电池压实后，固态电芯易膨胀，对封装要求更高；传统铝壳、软包封装难以满足需求，刚性更高的钢壳成为更优选择。钢壳无法一体冲压，只能通过折叠工艺完成，使得传统顶盖焊接外多出侧缝与底盖焊接，公司有望充分受益于固态电池装配设备需求量增加。
- ◆ 2024年11月公司向头部客户发送了固态电池装配试线。头部客户的固态电池项目属于政府支持项目，计划于2025年底前进行中期评审，2026年底完成装车测试，并于2027年进入小批量生产阶段。

◆图：大部分液态电池采用一体化冲压铝壳，仅需焊接顶盖



◆图：固态电池因采用钢壳壳体需要焊接底座、边缝、顶盖



3.6 华亚智能：子公司冠鸿智能布局辊压设备，携手客户推进中试

- 子公司冠鸿智能推出固态电池辊压设备，设备稳定性强。作为业内领先的干法电极设备制造商，冠鸿智能已构建具备面密精准一致、膜厚闭环控制、辊缝在线拟合等核心优势的整线自动化系统，设备运行稳定、能够完全匹配客户试线生产节奏。
- 公司携手客户推进固态电池生产线建设。近日公司与上海海希工业通讯股份有限公司正式签署200MWh全固态电池生产线项目协议，此次合作将充分整合冠鸿在工艺装备方面的技术积累与海希通讯在新能源汽车、储能等领域的产业资源，推进干法电极技术在固态电池领域的落地与规模化应用。

◆图：公司辊压设备涵盖粉体混合机、纤维化分散机、干法涂布机、连续造粒机及捏合机



3.7 利元亨：完成整线设备布局，硫化物路线整线交付广汽

- 公司目前已实现固态电池整线制造全覆盖，核心设备包括干法涂布一体机、辊压与电解质复合一体机、印刷叠片一体机及高压化成设备。在关键环节上，公司突破高压致密化、电解质与极片复合、封装及高压化成等技术难点，并针对硫化物电池的防爆、防毒需求设计了三级防护体系，固态电池领域布局有望兑现。
- 公司与广汽埃安合作的硫化物中试线已于2024年6月完成首批交付，预计将于2025Q3完成整线交付，目前已进入生产调试与参数优化阶段。同时，公司与比亚迪、宁德时代等头部客户进入全固态设备测试与交流阶段；并交付半固态电池设备至清陶能源与国轩高科。

◆图：公司提供固态电池整线解决方案，涵盖干法涂布一体机、辊压与电解质复合一体机、印刷叠片一体机及高压化成设备



◆图：公司一体机整合多工艺配置，显著提升生产质量、效率并降低占地空间

设备	特点
电极干法涂布设备	整合干混、膜制造与压制工艺，相比传统湿法工艺节省11.5%溶剂成本、降低46%能耗，采用多辊压延技术实现超薄材料精准控制，适配多种固态电池体系。
电极辊压与电解质热复合一体机	创新融合正负极辊压与电解质热压功能，通过转印技术和红外预热解决工艺难题，显著提升效率并减少设备占地空间。
胶框印刷与叠片一体机	针对无隔膜结构下极片边缘易变形的的问题，将树脂胶框印刷与电极叠片工艺结合，有效提高产品安全性和一致性。
高压化成分容设备	具备80吨载荷能力，配备百余项安全防护措施，覆盖硫化物、卤化物、氧化物及聚合物等多种固态电池体系，全面支持大规模量产需求。

3.8 先惠技术：携手固态电池先发玩家，布局辊压机

- 模组/Pack设备龙头与清陶能源深度合作，布局固态干法成膜设备（辊压）。公司与清陶能源（氧化物路线）战略合作开发干法辊压设备，切入固态电池前道设备。2024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。首台中试设备计划2025年6月底交付清陶，能够用于全固态或半固态电池产线。

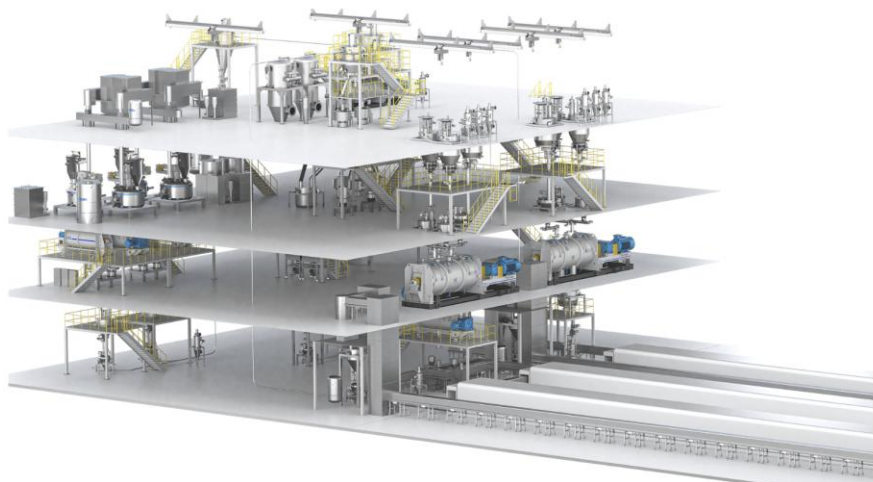
◆图：先惠技术与清陶能源战略合作开发干法辊压设备



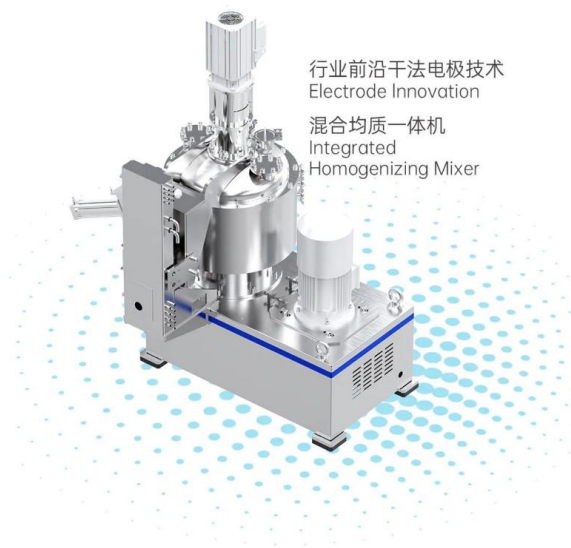
3.9 宏工科技：干法混料纤维化设备先发布局

- **深耕自动化物料技术，方案稳定。**公司在固态电池前道设备中具备显著技术优势，已成为上料、输送、搅拌等关键环节的核心设备供应商，方案稳定性与工艺适配性获得广泛认可。
- **与清研电子合资开发混合均质一体机，提前三年布局干法自动化设备。**公司与清研电子成立合资公司（持股49%），成功解决PTFE纤维化难题，相关产品已实现客户销售。干法设备自动化难度高，公司提前三年布局，产品性能居于行业前列。
- **公司与头部客户签订数千万元固态电池设备订单，聚焦物料前道环节，已解决粉尘零泄漏和全程隔氧难题。**小试线设备已完成交付，并签署中试线订单（预计百兆瓦时级），适配正负极湿法与硫化物干法体系。此外，公司已与卫蓝新能源、清陶能源等客户签署固态设备合同。

◆图：公司物料自动化解决方案



◆图：与清研电子合资开发的混合均质一体机





1 固态电池具备高能量密度&高安全性，未来应用场景广阔

2 全固态电池干法工艺为主线，打开设备全新需求空间

3 本土重点设备公司

4 投资建议

5 风险提示

4. 投资建议

- 重点推荐固态电池设备整线供应商【先导智能】、激光焊接设备商【联赢激光】、化成分容设备商【杭可科技】，建议关注干/湿法电极设备商【赢合科技】、干法电极&模组PACK【先惠技术】、整线供应商【利元亨】、干法电极设备商【曼恩斯特】、干法辊压机【纳科诺尔】、干法电极设备商【华亚智能】等。

公司	设备工段	市值（亿元） （20250627）	归母净利润（亿元）				PE			
			2024	2025E	2026E	2027E	2024	2025E	2026E	2027E
先导智能	整线	390.4	2.9	10.6	17.0	22.3	136.5	36.9	22.9	17.5
赢合科技	前道	150.6	5.0	8.2	10.6	11.9	29.9	18.3	14.2	12.6
曼恩斯特	前道 （干法电极）	91.0	0.3	1.2	2.1	3.4	296.3	75.8	43.5	26.8
纳科诺尔	前+中道 （干法辊压成型 &等静压）	77.7	1.6	1.8	2.4	3.2	48.0	43.2	31.9	24.1
联赢激光	中道 （电芯焊接&装 配）	68.5	1.7	2.9	4.5	6.1	41.4	23.6	15.3	11.2
华亚智能	前道 （干法电极）	56.4	0.8	-	-	-	69.9	-	-	-
利元亨	整线	69.7	-10.4	0.6	1.3	1.6	-6.7	123.2	54.5	42.5
先惠技术	前道 （辊压）	67.2	2.2	-	-	-	30.1	-	-	-
宏工科技	前道 （干法混料&纤 维化）	80.8	2.1	-	-	-	38.9	-	-	-



1 固态电池具备高能量密度&高安全性，未来应用场景广阔

2 全固态电池干法工艺为主线，打开设备全新需求空间

3 本土重点设备公司

4 投资建议

5 风险提示

5. 风险提示

- 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, 其中钴、镍、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