

证券研究报告

2024年12月28日

行业报告 | 行业深度研究

电力设备

固态电池：上天入海，剑指未来

作者：

分析师 孙潇雅 SAC执业证书编号：S1110520080009



天风证券

[综合金融服务专家]

行业评级：强于大市（维持评级）

上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

摘要

顶层设计：

固态是锂电池的核心技术迭代，更是全球角逐龙头的新质生产力。自国家从高层开始力推低空经济后，基于低空飞行器对高能量密度电芯的刚需属性，全固态电芯规模化量产的必要性和产业趋势在加强，且低空经济对全固态电池的成本接纳程度高，有助于推广全固态电池实现0-1的规模化应用突破。

1、设备：解决固固界面等技术难点，是固态电池工艺的增量设备

固固界面会影响电池循环/倍率性能，全干法工艺可以避免溶剂与硫化物电解质接触和反应。纳科诺尔领先性：在国内率先开发出干法辊压一体机，陆续向客户提供十多套干法电极设备。

2、电解质：核心在硫化锂，堪称机器人中的“丝杠”

硫化物电解质的重要性体现在：1) 是从0-1的新材料；2) 在全固态电池中成本占比高。硫化物电解质中核心原材料是硫化锂，从中长期降本逻辑看，能同时生产硫化锂和硫化物电解质的厂家有望是中长期的龙头。在不同工艺路线中，我们更看好溶剂法的降本潜力。

3、碳管：价值量&利润率提升

固态碳管用量大幅增加系【固态电池有大量的电解质仅有离子导电性，需CNT提供电子导电】。单wh价值&高代产品利润率提升。

4、工艺制造：强者恒强看好宁德

宁德在液态电池领域已充分证明其在【材料体系】、【工程制造】的绝对优势，也是固态电池突破的关键点。

投资建议：国产难度大+边际增量（跟液态电池比）+格局优（产品壁垒高）

1) 干法电极设备-最大的边际变化增量之一【纳科诺尔】；2) 跟液态比价值量提升+国产替代难度大，电解质（硫化锂）-我们认为液项溶剂法降本潜力更大【天赐材料】，其次建议关注【厦钨新能】、【有研新材】，【容百科技】（与基础化工团队联合覆盖）等；3) 用量提升+单壁管竞争优势-【天奈科技】；4) 最后回归电芯制造-【宁德时代】。

风险提示：固态电池技术攻关不及预期，下游应用进展低于预期，上游原材料价格波动风险，新技术替代风险

1

为什么看好固态电池？

技术够“新” + 空间够“大”

为什么需要发展固态电池？安全焦虑+里程焦虑

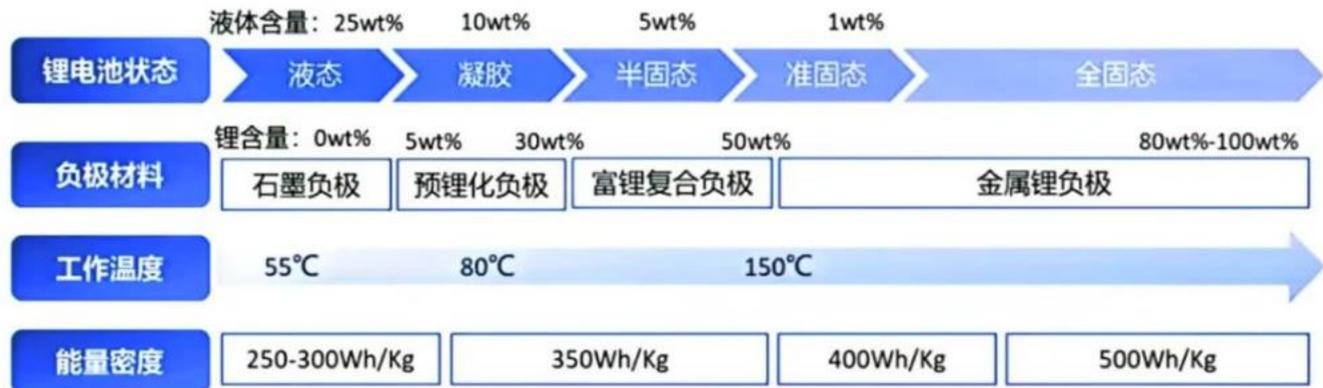
- 固态电池是一种利用固态电解质取代传统液态电解质以提升锂离子电池安全性、稳定性和循环寿命的新技术。
- 固态电池的高能量密度可以解决“里程焦虑”。续航里程是新能源车发展早期的最大痛点之一，而能量密度是制约带电量和续航里程的最关键因素。固态电池可以采用硅碳、金属锂等高比容量的负极，能量密度可以轻松达到300Wh/kg以上，以金属锂做负极甚至达到500Wh/kg，彻底解决续航里程短的问题。
- 固态电池安全性明显强于液态电池。固态电池不含有机电解液，降低了起火风险，增强消费者对新能源汽车安全性的信心。

固态电池按电解质含量可分为半固态、准固态、全固态

□ 固态电池具有三种分类，分别为半固态、准固态和全固态，它们的液体含量分别为5-10wt%、0-5wt%、0wt%。

- ✓ 半固态电池：相对于液态电池减少了电解液的使用量，并增加了复合电解质。此外，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。隔膜仍然保留并涂覆有固态电解质涂层，锂盐从LiPF6升级为LiTFSI，能量密度可达350Wh/kg。
- ✓ 准固态电池：在全固态电池中加入少量液态电解液（通常小于5wt.%）的情况下得到的。液态电解液的作用主要是浸润界面。
- ✓ 全固态电池：与液态电池相比取消了原有的电解液，采用固态电解质，并以薄膜的形式分隔正负极，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，正极从高镍升级到了超高镍/镍锰酸锂/富锂锰基等。全固态电池的能量密度可达500Wh/kg。

图：锂电池发展路线



固态电池新场景应用：低空经济成为核心驱动力

- 政策推动低空经济商业化应用。**自2023年12月起，政府对低空经济的重视持续提升，中央经济工作会议将其提升至战略性新兴产业，各部门和地方政府陆续出台政策，推动eVTOL需求并促进新场景应用的落地。具体措施包括：1) 在中央层面，工业和信息化部等四部门联合发布《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》，明确提出低空经济发展目标，2027年，以无人化、电动化、智能化为技术特征的新型通用航空装备在城市空运物流配送、应急救援等领域实现商业应用；2030年，通用航空装备全面融入人民生活各领域，成为低空经济增长的强大推动力；2) 在地方层面，北京市出台《关于促进中关村延庆园无人机产业创新发展行动方案（2024-2026年）》等进一步促进eVTOL产业发展，推动低空经济新场景的应用。
- 低空经济涵盖消费与工业场景，市场设备数量快速增长。**低空经济涉及居民消费与工业应用两大场景，包括旅行观光、私人飞行、物流配送、城市建设等场景；1) 在居民消费场景中，截至2023年底，全行业无人机拥有者注册用户92.9万个，其中个人用户84.9万个。全行业注册无人机共126.7万架，比2022年底增长32.2%；2) 在工业应用场景，截至2023年底，获得通用航空经营许可证的传统通用航空企业690家，通用航空在册航空器总数达到3303架，获得通用航空经营许可证，且使用民用无人机的通用航空企业19825家。

表：低空经济近年部分地方政策

政策	发布城市	发布日期
关于促进中关村延庆园无人机产业创新发展行动方案(2024-2026年)	北京市中关村	2024年
平湖市航空航天产业创新集群发展专项政策	浙江省平湖市	2023年8月
安徽省加快培育发展低空经济实施方案(2024-2027年)及若干措施	安徽省	2024年4月

表：低空经济具体运用场景及市场规模

场景	具体场景	内容
居民消费	旅游观光	低空旅游项目中，已有深圳、西安、武汉、海口等100多个城市探索推出空中游览项目。
	私人飞行	梁平通用机场累计飞行超6.8万余小时、总飞行18万余架次，高空跳伞13000余伞次。
	空中游览	海南省航空运动协会低空涉旅项目统计的12家企业，预计2023年接待游客约2.8万人次，年度总产值约9000万元。
工业应用	物流配送	美团无人机在深圳开通了约30条航线，完成订单超过30万单。顺丰旗下的丰翼无人机在大湾区已实现常态化运营，日均运输单量破万。
	商业应用	2023年，中国注册无人机数量达126.7万架，同比增长32.2%。

固态电池新场景应用：低空经济成为核心驱动力

固态电池是eVTOL（电动垂直起降飞行器）核心动力系统的核心需求。作为eVTOL低空经济飞行器的核心部件，电池性能直接影响飞行器的安全性和飞行性能。1) 从能量密度来说：eVTOL垂直起飞所需的动力是地面行驶的10-15倍，商用门槛高达400Wh/kg，而固态电池的能量密度可以达到500Wh/kg；2) 从充放电倍率来说，eVTOL的飞行需要经历起飞、巡航、降落等阶段，其中起降阶段要求电池的瞬间充放电倍率在5C以上，而固态电池的充电速度比传统锂离子电池快大约5~6倍；3) 从安全性来说：低空经济需要很高的安全性，固态电解质的使用有效降低了电池自燃的风险。与此同时，业内众多公司积极合作，共同推动eVTOL技术的发展。以亿航智能为例，其EH216-S已成功完成全球首次搭载固态电池的eVTOL飞行试验，这标志着该领域在固态电池技术上的重大突破。

表：固态电池要求参数

指标	参数
能量密度	目前已达285Wh/kg, 2030年目标500Wh/kg, 2040年目标1000Wh/kg
功率密度	2030年目标1.25kW/kg, 2040年目标2.5kW/kg
倍率	≥5C
循环次数	≥1000次

表：企业与eVTOL合作进展

企业	eVTOL合作进展
宁德时代	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。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
正力新能	正力新能的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。
亿航智能	<ul style="list-style-type: none"> 11月，EH216-S电动垂直起降飞行器（eVTOL）已经成功完成了全球首次搭载固态电池的飞行试验 亿航智能与欣界能源及国际先进技术应用推进中心（合肥）低空经济电池能源研究院合作研发的高能量固态电池取得了重大技术突破 亿航智能计划与合作伙伴继续深入合作，进一步测试和优化EH216-S的性能和稳定性，目标在2025年底前实现固态电池在EH216-S的认证和装机量产

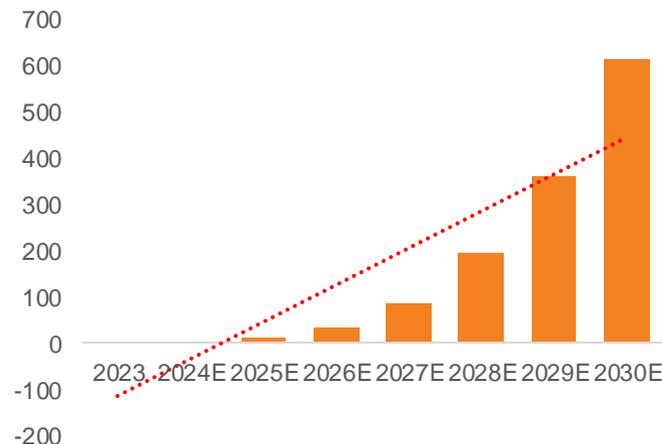
固态电池新场景应用：高端电车领域应用广泛，市场规模广阔

- **固态电池在高端汽车领域的应用日益广泛。**其技术为新能源汽车带来了诸多优势，如固态电池拥有更高的续航能力，固态电池的循环寿命是传统锂离子电池的两倍以上。理想状态下，固态电池循环性能可以达到45000次左右；同时，固态电池拥有较高的能量密度，从而重量比锂电池低，可以有效减少车重。在当下，已有多款车型采用了固态电池技术。例如，2023年12月，蔚来汽车CEO亲自驾驶搭载150度半固态电池的ET7进行直播路试。
- **固态电池的市场规模前景广阔。**根据研究机构 EVTank 最近发布的《2024 年中国固态电池行业发展白皮书》，预计到 2030 年，全球固态电池出货量将达到 614.1GWh，其在整体锂电池市场的渗透率预计约为 10%。预计全固态电池的大规模产业化将于 2030 年左右实现。

表：固态电池搭载汽车进展

车企	进展
蔚来汽车	2023年12月，蔚来CEO李斌驾驶搭载150度半固态电池的ET7进行了路试直播，续航里程达到1044公里，剩余电量3%。蔚来150度电池包的能量密度达到360Wh/kg。
上汽集团	上汽集团发布了固态电池时间表：2026年，全固态电池实现交付量产，能量密度超过400Wh/kg，是传统动力电池的一倍以上；2027年，搭载全固态电池的智己新车实现量产交付
广汽埃安	广汽集团宣布其全固态电池研发成果已于2024年4月发布。公司正计划在2026年将该技术应用于汽车搭载。
奇瑞汽车	奇瑞汽车10月宣布，计划在2026年实现全固态电池上车，2027年规模化量产。

图：全球固态（半固态）电池出货量预测：GWh



2

从生产流程出发看设备投资价值

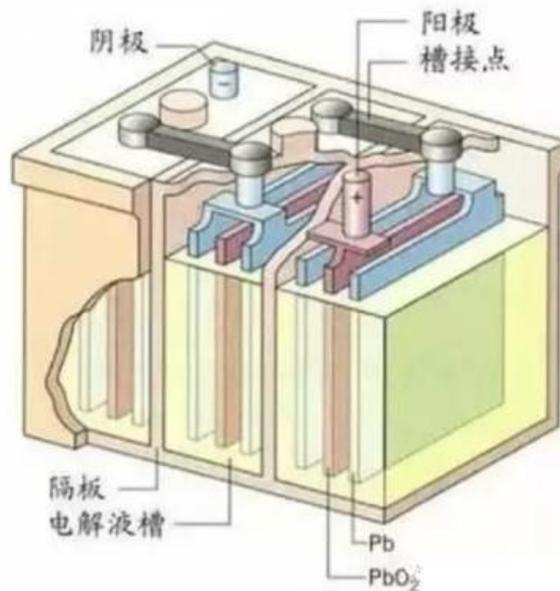
——核心在干法电极

1.液态电池：逐渐落后时代的传统锂电池产品

液态电池：顾名思义，它的电解质是液态的，主要由有机溶剂和锂盐组成。一直以来，液态电池产品大幅推进了可移动电子设备的规模化应用，不断推动着社会朝着智能化和清洁化方向发展。但液态锂离子电池体系，逐步发展到了本身材料体系所能达到的瓶颈：1) 能量密度难以突破350Wh/kg的极限；2) 有机物液态电解质带来的安全性问题；3) 电池服役过程中电解液的挥发、干涸、泄露等现象；因此业界需要研发超越液态电池的新一代产品。

液态电池工艺特点：由于液态电池的电解质以液态电池的形式存在，因此在“封装”环节前，需要有“注液”这一工艺环节，旨在将电解质溶液注入电池。并且，液态电池制造过程中，需要额外的隔膜作为原材料。

图：传统液态电池实例图



图：传统液态电池工艺路线示意，需要注液这一环节

液态电池制造工艺路线



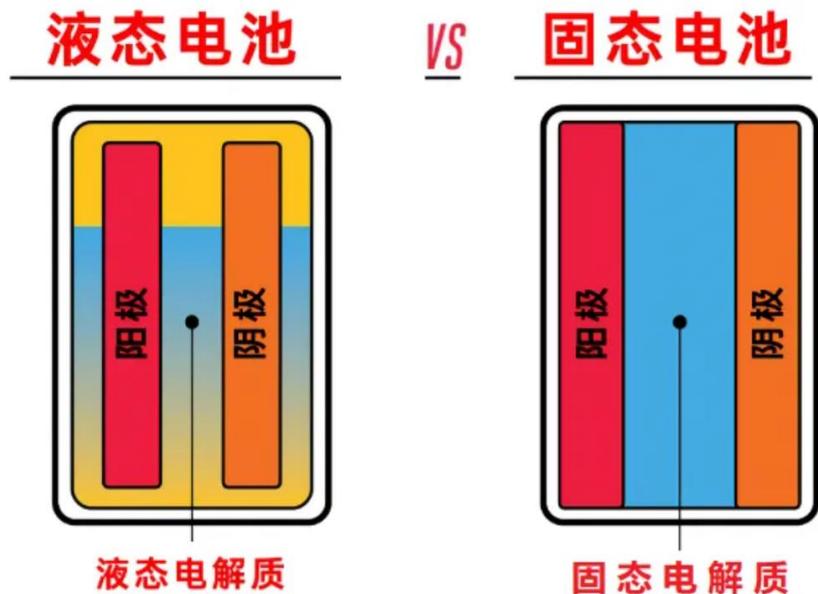
1. 固态电池：优势显著，工艺独特，呼唤新一代锂电设备。

固态电池：全固态电池相比于液态电池，采用固态电解质取代液态电解质，是实现固态锂电池高能量密度、高循环稳定性和高安全性能的关键。因此相比起液态电池，固态电池有许多优势，是锂电池未来的发展方向。

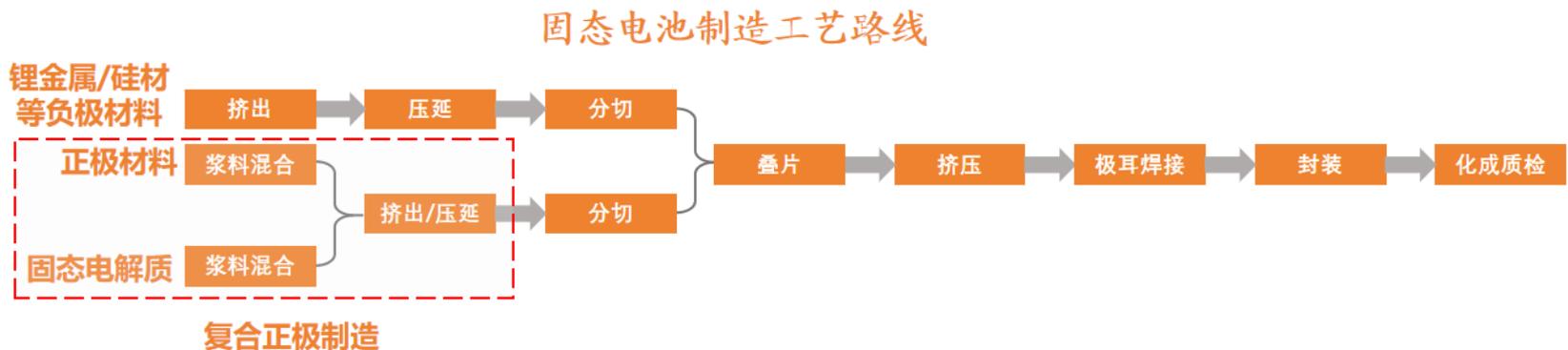
固态电池工艺的独特工序：固态电池工艺的核心特点在于用固态电解质代替了液态电解质，分别为氧化物、硫化物、聚合物。相比液态电池，固态电池工艺有几大独特点，集中在前中段工序：1) 正极材料需要与固态电解质形成复合正极；2) 负极材料的制备有所不同；3) 中段工艺中不可用卷绕，只能用叠片；4) 取消注液环节。

独特固态电池工序，呼唤全新一代电池设备，打开广阔的市场空间。

图：固态电池与液态电池的对比图



图：固态电池工艺路线之一，与液态电池工艺有明显区别



2.前道工序：正极制备、负极制备、成膜工艺需要新思路的电池设备

固态电解质成膜工艺：固体电解质膜为全固态电池独有结构，取代了液态电池的隔膜和电解液。此工艺环节的决定了固体电解质膜的厚度，过厚会降低固态电池的能量密度、提高电池内阻；过薄则机械性能会变差，可能引起短路。**固态电解质成膜工艺是固态电池制造的核心环节**，可以分干法工艺与湿法工艺。湿法工艺简单且成熟，适用于规模化生产。干法工艺能够有效降低成本，对环境友好。

正极制备：在固态电池工艺中，以固态形式存在的电解质的注入被提前了。正极材料的制备环节中，**需要将正极活性物质与固态电解质粉混合，经过烧结等手段形成复合正极。**

负极制备：与液态电池不同，固态电池的负极材料使用的是锂金属，也需要一些具体工艺上的改变。

核心观点：前道工序的三项改变，呼唤全新的电池设备。固态电池市场前景广阔、技术壁垒高，是电池设备厂商的必争之地。

图：三种固态电池路线前道工序与液态电池区别明显（相比起传统液态电池，绿色代表相似，黄色代表有相似也有显著区别，橙色代表根本不同）

生产步骤	液态锂离子	固态氧化物	固态硫化物	固态聚合物	长期目标
负极	湿法加工：浆料混合、涂布、干燥、压延	挤压工艺（锂箔）：挤压、压延、压片	挤压工艺（锂箔）：挤压、压延、压片 湿法加工（硅基负极）：浆料混合、涂布、干燥、压延	挤压工艺（锂箔）：挤压、压延、压片	原位锂负极形成
复合正极	湿法加工：浆料混合、涂布、干燥、压延	湿法加工：浆料混合、涂布、干燥、低温烧结	湿法加工：浆料混合、涂布、干燥、压延	挤压工艺：挤压、压延	干法工艺或绿色湿法工艺
隔膜	挤出工艺：干法挤出工艺or湿法挤出工艺	湿法加工：浆料混合、涂布、高温烧结、层压、低温烧结	湿法加工：浆料混合、涂布、干燥、压延	挤压工艺：挤压、压延	干法工艺或绿色湿法工艺

干法电极设备：由于湿法工艺的溶剂残留问题，干法工艺成为全固态刚需

干法电极vs湿法电极：两者极片制造方式核心区别在于流程中是否有溶剂。由于降本、性能等优势，业界正在从湿法电极走向干法电极。

- 1) **湿法电极：**用活性材料、导电添加剂、溶解在溶剂中的粘结剂混合而成的浆料，按要求湿涂在集流体表面，然后烘干以去除溶剂。
- 2) **干法电极：**在无溶剂的环境下，将活性材料、导电剂和固态粘合剂进行干法混合后，将其辊压覆盖在集流体表面来形成电极。

干法技术在固态电池享有突出的工艺优势：干法工艺相比起传统湿法工艺有诸多优势，或将成为未来固态电池制造的主要方向。

- 1) **干法电极抛弃传统液态溶剂，与固态电池设计理念类似：**固态电池的成品不存在液态物质。在干法技术的赋能下，固态电池的极片制造过程可以实现完全干燥，消除了湿法工艺烘干后，溶剂分子的残留问题。也有效去除了溶剂成本与烘干成本。
- 2) **多种固态电解质不适合用湿法：**硫化物电解质与极性有机溶剂会产生强烈的络合反应，浇铸后无法完全去除溶剂，硫化物电解质会被溶解，氧化物电解质也会与有机溶剂发生反应，严重影响离子导电性，降低性能，因此干法电极在硫化物固态电池优势显著。

图：湿法电极与干法电极的比较

湿法电极工艺

使用材料

1. 溶剂：正极使用NMP，负极使用水。
2. 粘合剂：正极使用PVDF等，负极使用CMC/SBR等。

工艺特点

1. 溶剂NMP有毒，且污染性大，回收处理成本高
2. 需要对溶剂进行蒸发除湿，能耗巨大。

干法电极工艺

使用材料

1. 溶剂：无需溶剂
2. 粘合剂：正负极都是PTFE。

工艺特点

1. 无需溶剂，节省溶剂成本，也无需进行溶剂回收。并因此省去电极干燥这一锂电池生产最耗能的步骤。
2. 相比湿法工艺，增加纤维化、制膜的步骤。

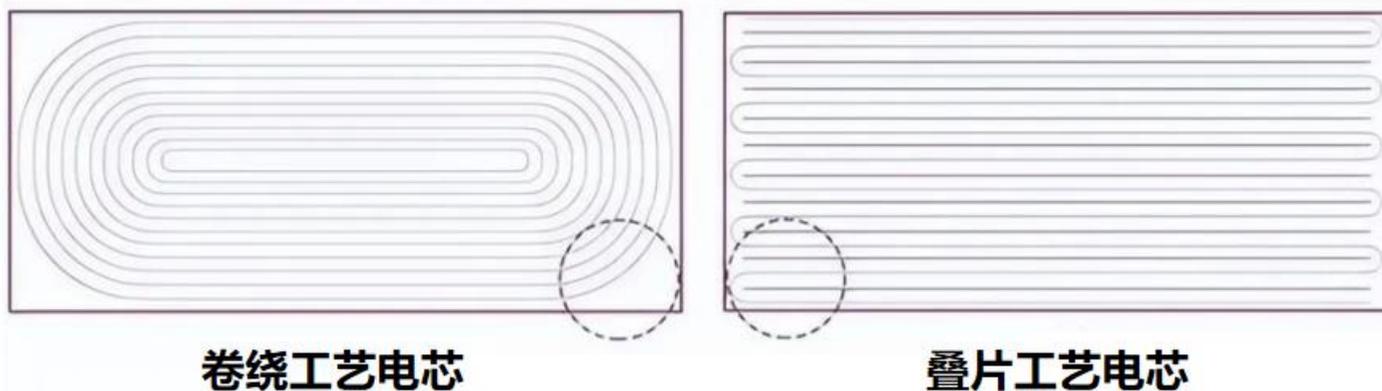
2.中段工序：叠片或代替卷绕成为固态电池主流，设备市场规模前景广阔

叠片机或成为固态电池主流：在液态电池的制造中，电池极片可用卷绕或者叠片的方式。目前液态电池制造流程中，无论从规模经济还是成本进行考虑，卷绕工艺会更主流一些。但是固态电池由于其固态电解质的特性，如氧化物和硫化物韧性较差，叠片工艺会比卷绕工艺更加合适，可能成为未来的方向。

固态电池叠片工艺与液态电池有显著不同，需要对原有叠片机进行改良：液态电池的叠片/卷绕环节是讲正负极片与隔膜有序装配，而固态电池则是将正负极片与固态电解质进行装配，因此叠片机设备厂商应该对现有的液态电池叠片设备进行优化。

叠片机较卷绕机价值量更高，市场规模前景广阔：从传统的单条产线来看，一条产线需要10台卷绕机，按照300-350万元/台的价格，一条产线下卷绕机的价值大概3000-3500万元。一条产线需要的叠片机数量与电池片数有关，中航锂电的一条产线一般需要10台切叠一体机，按照600万元/台的价格，一条产线的叠片机价值量大概为6000万元，蜂巢短刀电池的一条产线需要20台切叠一体机，一条产线的叠片机价值量大概1.2亿元。在固态电池时代，叠片设备市场规模的前景有望更加广阔

图：卷绕拐角有弧度，空间利用率低，叠片更能充分利用电池边角空间



2.中段工序：等静压机或成为固态电池关键，国内相关产业优势显著

等静压机是全固态电池当中核心增量设备：等静压机是一种能提供更高压力的设备，但是液态电池的传统热压、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，进而影响固态电池性能。而等静压机或将成为合适的解决方案，等静压技术可以有效消除电芯内部的空隙，提升电芯内组件界面之间的接触效果，进而增强导电性，提高能量密度。

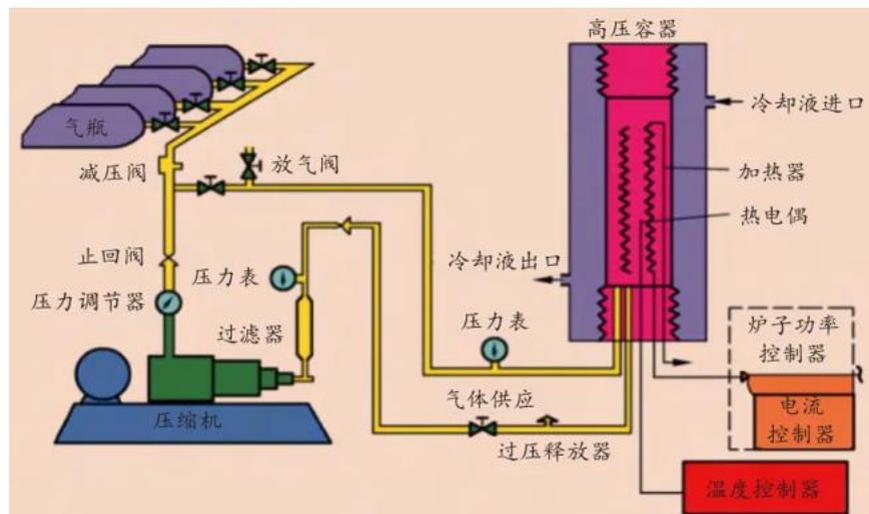
国内大厂积极布局固态电池等静压环节：等静压机之前一般用于陶瓷、合金、石墨等领域的加工，在固态电池领域仍处于探索阶段，并且在对全固态电池进行等静压成型时，其压力一般超过400Mpa，对设备有着高性能要求。目前，宁德时代、比亚迪、利元亨等国内锂电产业链大厂都在积极布局等静压技术。其中，利元亨已经提出了固态电池电芯等静压处理方法、装置及生产线专利。

国内等静压机企业异军突起，为固态电池的应用打下供应链基础：近年来，以中国钢研等为首的国产等静压机厂商进步明显。其中，中国钢研的HIPEX1850 是目前世界第二大尺寸的热等静压装备，可应用于航空航天等领域大型核心零部件的加工。

图：中国钢研的HIPEX1850热等静压机是世界第二大



图：等静压机工作原理示意图



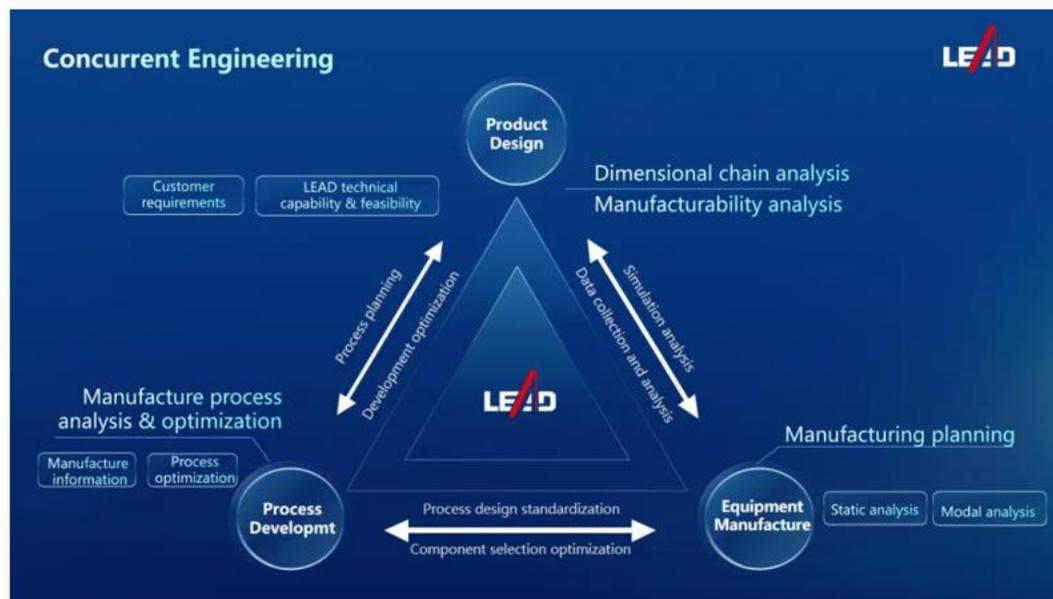
3. 固态电池整线领域：国内厂商知识产权体系齐全，设备位于市场技术前沿

先导智能：1) 产品：全球唯一拥有自主知识产权的全固态电池整线解决方案厂家，已成功打通全固态电池量产的全线工艺环节，实现了从整线解决方案到各工段的关键设备覆盖，2) 订单：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。

赢合科技：1) 产品：老牌整线厂商，设备产品贯穿多个固态电池工艺环节。2) 技术优势：在固态电池领域以及替代高能耗湿法电极工艺制备方面，推出了干法电极解决方案。3) 合作客户：并且与行业头部客户国轩高科在电池领域开展深度合作。

利元亨：1) 产品：目前利元亨已经具备了生产固态电池的整线装备研发与制造能力。2) 核心客户：利元亨就与清陶能源签署了固态电池产线设备购销合同，从制片段到化成分容检测段，并已于2022年交付产线。2023年，利元亨交付清陶能源的产线已进入量产状态。

图：先导智能完善的锂电整线解决方案，研发能力领先全球



3. 固态电池搅拌机领域：紧跟前沿干法电极技术，打开海外固态电池设备市场

赢合科技:1) 最新干法搅拌产品：11月8日赢合科技官方宣布，赢合科技自主研发生产的首台干法搅拌设备已成功交付至国内头部客户现场。2) 产品优势：这款干法搅拌设备特别针对全固态电池及干法电极技术进行了特殊设计，可适应不同材料、配方、工艺等各种复杂工况稳定生产。

利元亨：1) 打开海外市场：2024年6月，利元亨美国首条固态电池前段设备顺利出机，其中包括自产的双行星搅拌机。凭借其在固态电池技术领域的深厚积淀，利元亨在全球舞台上实现了战略性的拓展。2) 固态电池搅拌机设备：适用于固态电池制的双行星搅拌机凭借创新设计，实现了对各种粘度物料的高效混合，灵活度较高。并且通过自动化技术的迭代升级，显著增强了生产过程的安全性和效率。

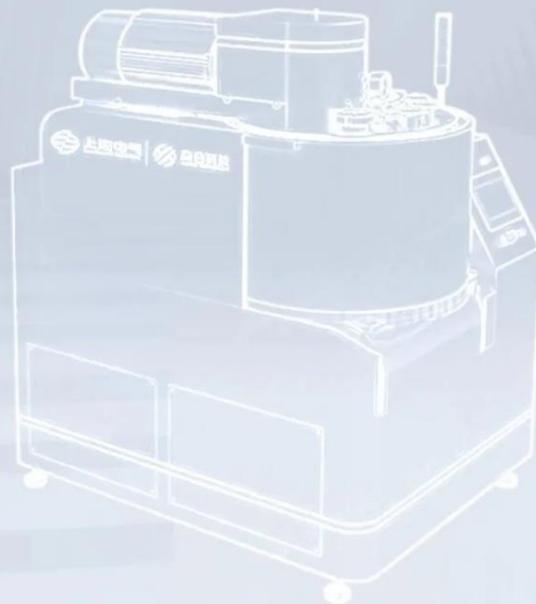
图：赢合科技近日交付的固态电池干法搅拌机，是在固态电池设备领域又一关键新突破

主要参数 料筒规格：Max.1160mm
生产效率：Max.500L/h

高安全 配备防呆、防爆及各种防夹手的安全设计，充分保护人员及生产过程的安全

高精度 实时在线控温，温度可控制在5°C ~ 200°C，精度可做到±3°C，可根据客户需求定制

高性价比 操作便捷，工人上手快，降低人力培养成本；全系配备先进镀层工艺，设备耐磨损、防腐蚀，使用寿命更长



3. 固态电池辊压机领域：一体化是干法辊压设备大趋势，国内厂商走在前头

一体化是干法辊压发展方向：设备大型化集成化是干法电极未来发展趋势，有利于提高干电极制作效率、减少掉粉、控制产品良率。

赢合科技:1) 产品介绍：在固态电池辊压设备领域，赢合科技今年推出了其第三代干法搅拌纤维化+干法成膜全固态工艺。该解决方案攻克了粉体搅拌、纤维化、均匀铺粉、多辊点击转移、多辊厚度闭环、电极切边、电极复合七大核心技术，在制造端可大幅提升极片制造效率，节约生产成本。2) 一体化优势：赢合科技的设备是干法辊分一体机领域先行者，将干法电极设备流程的辊压环节和分切环节进行整合一体化，增强了制造效率、降低了客户成本，是未来干法电极技术的方向。

纳科诺尔：1) 产品介绍：2024年2月，锂电辊压设备龙头纳科诺尔联合清研电子重磅亮相干法电极成型覆合一体机。2) 一体化优势：这台设备实现了电极膜成型以及电极膜与集流体复合的一体化，具备先进的干法辊压功能与干法成膜功能，率先开启干法电极的产业化及国产化进程，搭载的干法电极技术适配固态电池领域。3) 订单情况：根据纳科诺尔官方披露，目前公司干法辊压设备已经获得下游头部客户的订单。陆续向客户提供十多套干法电极设备。

图：纳科诺尔的干法电极成型覆合一体机



图：赢合科技的新型干法电极辊压机



3. 固态电池叠片机领域：随生产线出海东风，进军海外市场

先导智能:1) 生产线出海情况：先导智能在互动平台表示，在固态电池领域，公司已与欧美、日韩主要固态电池企业和主机企业开展了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、成膜复合设备等设备。2) 叠片机设备：随着固态电池生产线的出口，先导智能已完成交付首批固态电池分切叠片一体设备，在国际市场上具备相当的竞争力。

利元亨:1) 生产线出海情况：2024年6月，利元亨美国首条固态电池前段设备顺利出机，利元亨凭借其在固态电池技术领域的深厚积淀，在全球舞台上实现了战略性的拓展。2) 叠片机设备：其中，固态电池生产线所用到的利元亨Z字型叠片机已处于行业前沿，实现了整机0.1s/pcs的高效叠片速度与 $\leq \pm 0.3\text{mm}$ 的超高精度对准，树立了行业标杆。

图：利元亨固态电池生产线中的Z字型叠片机，已随整线出口至美国



Z字型叠片机

3

从材料体系变化出发

核心变化是电解质、格局优的是CNT，正负极是原有企业的产品迭代

硫化物固态电解质

硫化物固态电池性能卓越，被认为是未来动力电池的优先选项

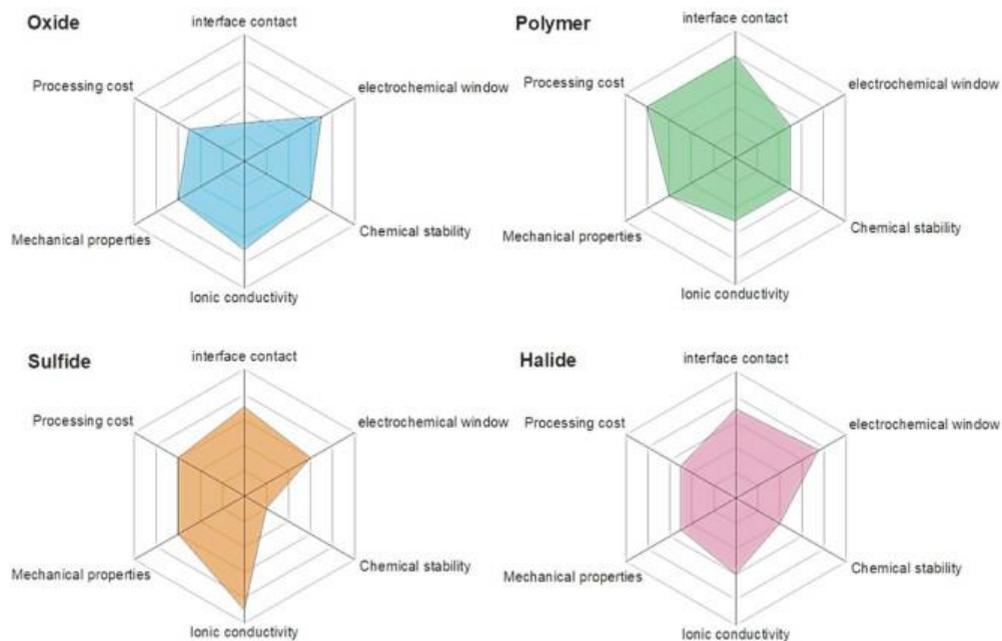
□ 理想的高性能全固态电解质应具备高离子电导率($>10^{-3}$ S/cm)、高锂离子迁移数(t_{Li^+} 接近于1)、宽的电化学窗口、良好的电极/电解质界面、足够的机械强度等特性。

□ 硫化物固态电解质最有希望满足电动汽车高能量密度的需求。硫化物固态电解质室温离子电导率最高可达到 10^{-2} S/cm数量级，接近甚至超过电解液，离子电导率不再是关键制约因素。此外，硫化物固态电解质比较柔软，大多数硫化物固态电解质仅通过简单的冷压成型即可实现紧密接展现出较高的冷压离子电导率。

表：不同电解质固态电池对比

分类	特点	当前问题	现有发展水平
硫化物固态电池	高离子电导率 固-固接触好 能量密度高 倍率性能好	电解质稳定性差 成本高 电池生产环境要求高	材料开发 电池原型验证 全球范围加速推进产业化
氧化物固态电池	稳定性高 安全性好 较高能量密度	离子电导率低 固-固接触差 电池倍率性能差	研发重心转向固液混合
聚合物固态电池	电解质软 固-固接触好 成本低 工艺设备成熟	离子电导率低 热稳定性差 电化学窗口窄 安全问题	研发重心转向固液混合
卤化物固态电池	耐高电压 一定可塑性 能量密度高 运行稳定	离子电导率低 成本高 电池倍率性能差	实验验证阶段

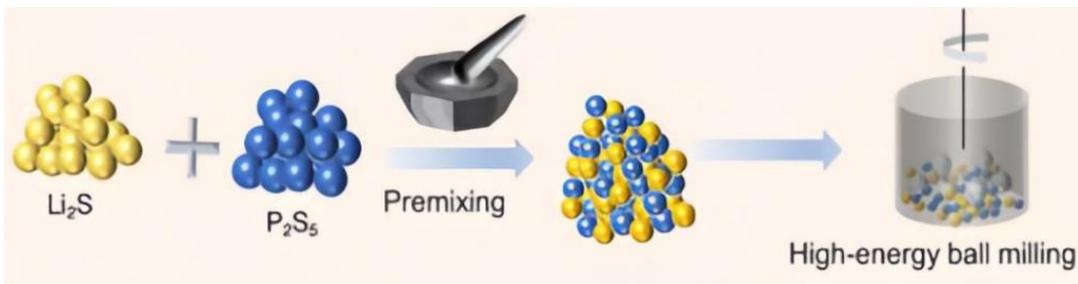
图：四种常见固态电解质性能



硫化物固态电解质制备方法有高能球磨法、液相法、高温淬冷、气相合成法等

- **高能球磨**：将原料混合装入球磨机上进行高能球磨，球磨后取出再进行热处理，优点是混合均匀，离子电导率和结晶度得到改善，缺点是设备要求较高，制备时间长，仅适合小批量生产，为目前主流制备工艺。规模化生产需要容量更大的球磨罐，从而使得电解质合成成本变高，使其规模化生产遭遇挑战。
- **液相法**：将原料放置于溶液中搅拌，充分反应后蒸发溶剂，然后再进行热处理，进而制备固态电解质。优点是其可以通过提高分散效率来批量生产硫化物电解质，并且液相不需要机械设备，因此可以降低生产能耗，从而降低生产成本。另外，液相法合成的硫化物电解质颗粒的尺寸和形态易于控制，缺点是离子电导率偏低，适用于制备薄膜电解质。液相合成硫化物电解质引起了广泛的研究兴趣，难点在于溶剂的选择。
- **高温淬冷法**：将原料加热到熔融温度，充分接触反应后，急剧降温到室温后回火。优点是颗粒粉末较细，压实密度较高缺点是能耗高，操作难度大，在淬冷降温过程中易生成杂相，得到的材料结晶度难以控制，适合制备非晶态硫化物电解质。
- **气相合成法**：以空气稳定的氧化物为原料，一步气相法合成硫化物电解质，制备过程空气稳定，大幅简化制备工艺，节约生产时间和制备成本，适合大批量生产，通过调整掺杂等手段，电导率可达 $2.45 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ 。

图：高能球磨法制备硫化物电解质



硫化物固态电解质自身问题待攻克，性能待提高

□ 空气稳定性和电化学稳定性是制约硫化物固态电解质规模应用的瓶颈：

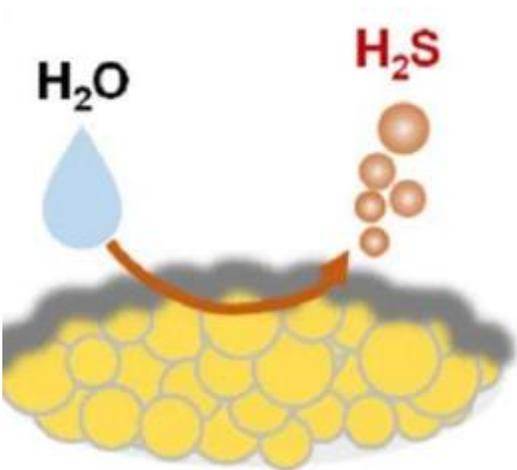
(1) **空气不稳定性**：硫化物和空气中的水和氧气接触会生成**剧毒易燃的硫化氢气体**，硫化氢气体与空气混合后形成爆炸性混合物，遇明火、高热能引起燃烧爆炸，存在安全隐患，电解质结构完全破坏、**电化学性能衰减**。这导致了硫化物电解质的合成、储存、运输和后处理过程都严重依赖惰性气氛或干燥室，大大增加了生产成本，制约规模化生产。

(2) **电化学不稳定性**：电化学稳定窗口（ESW）窄，氧化极限约为2.2V，**正极相容性差**，对多种正极不适配，需要通过成分进行优化/结构设计/缓冲层等方式解决该问题。

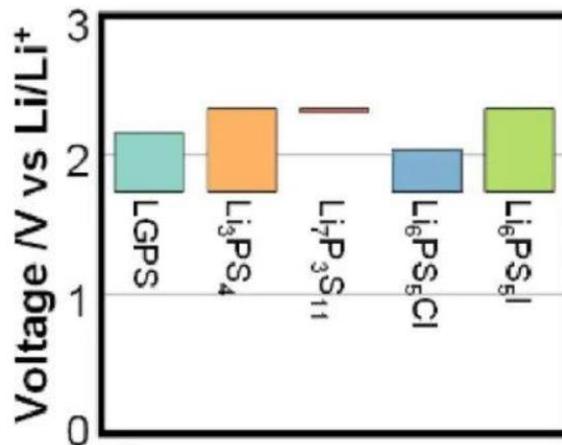
□ 离子导电率、粒径尺寸和均匀性是硫化物固态电解质主要的性能指标，为主要的开发重点。

固态电解质需要**兼具小粒径和高电导率**，并且保证均匀性，以降低界面阻抗，提高接触面积促进反应效率进而提高电池整体性能。

图：硫化物固态电解质空气不稳定性



图：硫化物固态电解质电化学窗口



硫化物固态电解质降本核心在于原料硫化锂的降本

□ 硫化锂是一种无机化合物，其外观为白色结晶固体，具有强烈的硫磺气味。硫化锂可溶于水，但在水中溶解度较低。

□ 硫化锂成本高的主要原因是生产工艺复杂，生产成本低，未来的降本核心途径为技术的创新与迭代。

1) **机械球磨法**：在惰性气氛下，将单质硫和金属锂/氢化锂按比例混合后进行机械球磨反应。优点：**工艺简单**、环境友好、无废液产生。

缺点：原料成本高(氢化锂)、反应时间长、转化率较低，所得产品存在杂项如多硫化锂等，**不易提纯，产业化设备不易选型**。

2) **高温高压法**：在惰性/还原保护气氛下，高温、高压使锂/锂化合物和硫/硫化合物通过还原或气相等反应制备硫化锂。优点：工艺流程简单，无有害气体产生，且有效利用了高温高压密闭反应的优势，避免有害溶剂泄漏，大大缩短了制备流程。缺点：**高温、高压**，工况控制不易，设备选型要求高，增加了反应过程及后处理的风险。

3) **溶剂法**：将锂/锂化合物和硫/硫化合物在溶剂介质中混合反应制备硫化锂。有机溶剂多选用脂肪烃、芳香烃或醚溶剂等。优点：液相反应充分完全，不易残留杂质，产品提纯容易；不需要高温处理，能耗较小；工艺简单，工况较易控制。缺点：有机溶剂易燃、易爆、易挥发，环境污染严重，不易回收；**工况危险性高，较难控制**。

优势企业及其核心竞争力分析——硫化锂+硫化物固态电解质(上市企业)

□ 恩捷（传统隔膜企业）

（1）技术：全固态电解质膜薄度最低小于 $30\mu\text{m}$ ，室温下离子电导率可达 3mS/cm 。硫化物全固态电解质离子电导率最高可超过 11mS/cm ，粒径D50在 $400\text{nm}\sim 5\mu\text{m}$ 之间进行调控。产品已向大多数国内外头部电池企业送样，获客户良好反馈。

（2）产业化进程：与卫蓝新能源、天目先导合作成立江苏三合。

（3）研发能力：与中南大学技术团队联合技术研发。

（4）原材料：恩捷固态用高纯硫化锂产品已完成中试百吨级产线，目前正在调试阶段。

□ 天赐（传统电解液企业）

（1）2024年，公司已完成 Li_2S 、硫化物固态电解质实验室公斤级生产；

（2）预计2025年实现 Li_2S 、硫化物固态电解质百公斤级生产；

（3）2026年实现 Li_2S 、硫化物固态电解质吨级生产；

（4）2027年硫化物固态电解质千吨级产线建成。

□ 容百科技（传统正极企业）

（1）技术：容百科技已经布局离子电导率 $>10\text{mS/cm}$ ，对空气稳定性 $>75\%$ ，粒径 $<700\text{nm}$ 的硫化物固态电解质。

（2）产业化进程：头部电池厂固态电池核心供应商。在2022年公司便公告与宁德、卫蓝等企业深入合作。

□ 有研新材（材料企业）

（1）产业化进程：其固态电解质用高纯硫化锂项目已可实现产品小批量稳定制备,且已进行小批量供货。

优势企业及其核心竞争力分析——硫化锂+硫化物固态电解质（新科创企业）

□ **中科固能**：凭借科研+产业经验积累率先开始产业化进程。

（1）技术：同时保证离子电导率和粒径，处于行业领先地位，粒径D50为5.0 μm 的离子电导率为18.4mS/cm，D50为0.97 μm 的离子电导率为10.9mS/cm。

（2）产业化进程：**百吨级产线**预计2025年于溧阳投产，规划2025年建设四川生产基地（规划建设年产5000吨硫化锂、硫化物固态电解质生产线）。

（3）研发能力：依托**中科院物理所**，董事长吴凡为中科院物理所研究员。

（4）成本：材料制备成本降低90%以上，未来放量至百吨以上规模后，有望三年内材料**价格降低30倍**左右。

优势企业及其核心竞争力分析——只做硫化物固态电解质的企业

□ 屹锂新能源

- (1) 技术：屹锂科技硫化物固态电解质离子电导率达到 17ms/cm 。
- (2) 产业化进程：2026年之前达到年产十吨级的规模。
- (3) 研发能力：依托上海交大张希教授团队。
- (4) 客户：其电解质产品已为宁德时代、中创新航、欧阳明高院士工作站、上海泰坦及头部整车厂等多家重要客户供货。

□ 瑞道科技

- (1) 产业化进程：硫化物全固态电解质生产基地项目预计2025年建成并达到百吨级全固态电解质生产能力，2028年实现年产6000吨全固态电解质的目标，届时将推动全固态电池的产业化发展，在全球范围内起到示范作用，配合产业链上下游，开启全固态电池的万亿规模市场。

图：屹锂科技固态电解质产品



CNT

碳纳米管：固态电池对碳管需求提升，天奈科技有望受益

- 固态电池对碳纳米管的要求和需求量均是提升的。由于目前固态电池研发的特点之一是在电池里加了更多的固态电解质，固态电解质相较而言具有较高的离子导电性和较低的电子导电性，因此在目前固态电池的研发体系中对公司CNT产品的要求是更高的，对CNT的需求量也是上升的。
- 考虑到天奈科技在碳管市场的份额和目前固态、半固态客户进展，我们预计其在固态电池放量下有望明显受益。据GGII统计分析，天奈科技2023年碳纳米管导电浆料出货量占中国碳纳米管导电浆料市场份额为46.7%，排名第一。目前市场上研究及开发类固态、半固态、全固态的电池厂家绝大部分都是天奈的客户。

4 风险提示

□ 固态电池技术攻关不及预期，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。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

THANKS