

超配（维持）

革新技术，方兴未艾

固态电池系列之干法电极专题报告

2025 年 8 月 29 日

投资要点：

分析师：黄秀瑜

SAC 执业证书编号：

S0340512090001

电话：0769-22119455

邮箱：hxy3@dgzq.com.cn

■ **干法电极工艺是一种新型电池制造工艺。**目前锂电池电极制造主要采用湿法工艺，工艺成熟度高。干法电极工艺和湿法电极工艺的核心区别在于：干法工艺不使用溶剂，以及省去后续的烘干和溶剂回收工序。相较于湿法工艺，干法工艺各个环节的难度会加大。目前干法工艺的关键难点在于无溶剂下混合电极材料粉末的均匀性、成膜一致性问题，良品率较低。

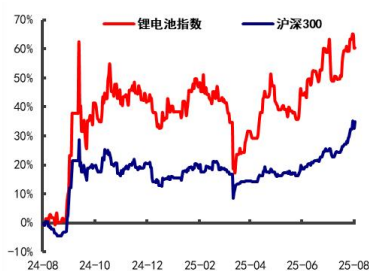
■ **干法电极是助推全固态电池产业化的关键技术之一。**全固态电池凭借高能量密度和高安全性的显著优势，被认为是下一代锂电池的终极方案。我国全固态电池已确立以硫化物电解质为主流技术路线的发展路径。适配全固态电池生产的革新制造工艺亟需突破。在全固态电池生产的前段极片与固态电解质制备环节，干法电极工艺拥有高压实密度、无溶剂更适配硫化物电解质技术路线以及低成本的显著优势，能够提高电池能量密度约20%，简化生产流程，减少设备占地面积，降低电池制造成本10%以上。为全固态电池在高能量密度方向发展和规模化量产落地提供可靠路径，成为推动全固态电池产业化的关键技术之一。

■ **干法电极工艺催生设备新增及迭代需求。**全固态电池和传统锂电池的制造工艺和生产设备差异大，固态电池设备成为固态电池产业化最先受益的环节。干法电极工艺的关键工序是“干混+纤维化+辊压”，对应的纤维化设备是核心增量设备，干混设备和辊压设备需要迭代升级。根据全固态电池将于2027年左右小批量生产，可以预见，2025-2026年全固态电池中试线将密集落地，行业将迈向中试到量产攻坚的新周期。随着全固态电池产业化推进，干法电极技术将不断进步，设备陆续导入产线验证，设备订单有望加速落地。预计未来几年固态电池设备市场规模将迎来显著提升。

■ **投资建议：**随着固态电池产业化推进，设备环节先行受益。干法电极工艺作为电池技术变革的新方向，更适配全固态电池生产，核心设备新增及迭代需求将为相关企业带来新市场机遇。重点关注把握固态电池发展契机、在核心工艺干法电极领域拥有领先优势的设备公司：具备全固态电池整线设备解决方案能力的先导智能（300450）、在干法电极设备领域拥有先发优势的纳科诺尔（832522）、已交付国内头部企业首条全固态电池整线设备的利元亨（688499）、已布局干法前段整线成膜技术的曼恩斯特（301325）、推出了第三代全固态干法电极工艺的赢合科技（300457）。

■ **风险提示：**固态电池产业化进程不及预期风险；技术进步和成本下降不及预期风险；技术路线变革迭代风险；市场竞争加剧风险。

锂电池指数走势



资料来源：iFinD，东莞证券研究所

相关报告

本报告的风险等级为中高风险。

本报告的信息均来自已公开信息，关于信息的准确性与完整性，建议投资者谨慎判断，据此入市，风险自担。

请务必阅读末页声明。

深度报告

行业研究

证券研究报告

目录

1. 干法电极是一种新型电极制造工艺	3
1.1 极片制作是锂电池生产的前段环节	3
1.2 干法电极工艺与湿法电极工艺的区别	5
2. 干法电极是助推全固态电池产业化的关键技术之一	7
2.1 全固态电池更适配干法电极工艺	7
2.2 全固态电池中试线开始起量	10
3. 干法电极工艺催生设备新增及迭代需求	11
3.1 全固态电池设备市场规模将高速增长	11
3.2 干法工艺与湿法工艺的前段设备差异	11
3.3 重点公司	16
4. 投资建议	17
5. 风险提示	18

插图目录

图 1：锂电池生产主要工序及分类	3
图 2：前段锂电设备价值占比最高	4
图 3：锂电池生产主要工序价值分布	4
图 4：干法电极工艺粘结剂原纤化法示意图	5
图 5：干法电极工艺静电喷涂法示意图	6
图 6：干法电极工艺与湿法电极工艺流程对比	6
图 7：以硫化物为主体电解质的全固态电池发展路径	8
图 8：全球固态电池设备市场规模预测(亿元)	11
图 9：干法电极混合机示意图	13
图 10：PTFE 纤维化气流粉碎机示意图	14
图 11：螺杆挤出机工作示意图	14
图 12：干法电极开炼机示意图	15
图 13：干法电极辊压设备示意图	15

表格目录

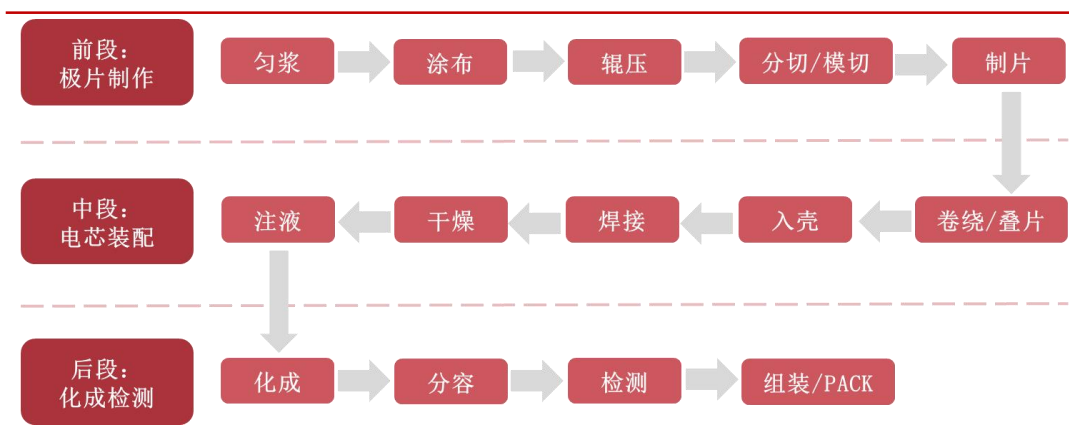
表 1：锂电池生产工序介绍	4
表 2：干法电极工艺与湿法电极工艺的对比	7
表 3：干法电极工艺对电池材料压实密度提升效果显著	8
表 4：干法电极工艺适配硫化物电解质全固态电池技术路线	9
表 5：干法电极工艺有效降低电池制造成本	9
表 6：国内外主流电池厂商和电池初创企业的全固态电池量产规划	10
表 7：全固态电池生产前段工序设备变化	12
表 8：干法电极工艺不同纤维化设备对比	13
表 9：重点公司盈利预测及投资评级（2025/8/28）	18

1. 干法电极是一种新型电极制造工艺

1.1 极片制作是锂电池生产的前段环节

极片制作是锂电池生产的前段环节。锂电设备是锂电池生产的基础，是指利用设备将电化学物质通过各种工序制成电芯及参与电池系统组装的各类设备的总称。锂电设备的工艺水平及其运行情况直接影响锂电池的性能与质量，是决定锂电池品质的关键因素之一。锂电池的制作工艺复杂，涉及的工艺众多，需要的设备种类也很多。整体来看锂电池生产主要分为前中后段三个环节，分别为前段极片制作环节、中段电芯装配环节、后段化成检测环节。具体如下：

图1：锂电池生产主要工序及分类



数据来源：锂电材料工艺，纳科诺尔招股说明书（2023-10-30），东莞证券研究所

传统锂电池生产前段极片制作环节主要包括匀浆、涂布、辊压、分切/模切、制片等工序，是锂电池制造的基础，对极片制作设备的性能、精度、稳定性、自动化水平和生产效能等有着很高的要求。前段主要设备包括：搅拌机、涂布机、辊压机、分切机/模切机、制片机等。

涂布、辊压、分切为前段核心工序，涂布机、辊压机、分切机为对应核心设备。涂布：把搅拌后的浆料均匀涂覆在基材铜箔（负极载体）和铝箔（正极载体）上并烘干制成正极和负极片，是锂电池研制和生产中的关键工序之一。**辊压**：对已涂布的正负极片进行轧压使其压实更好地依附在铝箔和铜箔上，以提高电池能量密度。**分切**：将较宽的整卷极片连续纵切成若干所需宽度的窄片。分切后的极片不能出现褶皱、脱粉，分切尺寸精度要求高，同时要求极片表面保持光滑和平整，边缘的毛刺小。

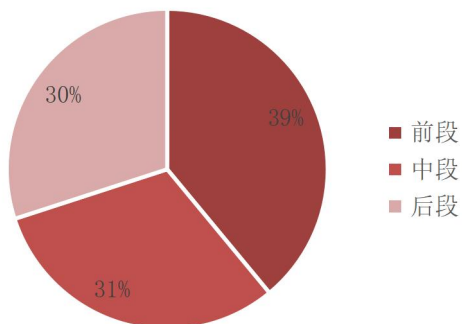
表 1：锂电池生产工序介绍

工序	生产工艺	工艺简介	生产设备
前段 (极片制作)	匀浆	将正负极固态电池材料混合均匀后加入溶剂搅拌成浆状	搅拌机
	涂布	将搅拌后的浆料均匀涂覆在金属箔片上并烘干制成正负极片	涂布机
	辊压	压实涂布后的极片到预定的厚度和密度	辊压机
	分切	将辊压后的较宽极片分切成所需宽度的窄片	分切机
	模切	将分切后的极片极耳模切成型	模切机
	制片	对分切后的极片焊接极耳、极片除尘、贴保护胶、极耳包胶	制片机
中段 (电芯装配)	卷绕/叠片	将极片卷绕/堆叠成锂电池的电芯	卷绕机/叠片机
	入壳	将卷绕或叠片的电芯放入电芯外壳之中	入壳机
	焊接	焊接极耳与壳体上的端子引脚	激光焊接机
	干燥	对焊接后、注液前的电芯进行干燥	烘干机
	注液	在电芯中注入电解液	注液机
后段 (化成检测)	化成	充电活化	充放电机
	分容	进行一次充放电，测试电池容量	分容机
	检测	外观、内部结构检测	X-Ray 检测设备
	组装 Pack	自动化生产线组装	Pack 设备

资料来源：信宇人招股说明书（2023-08-11），东莞证券研究所

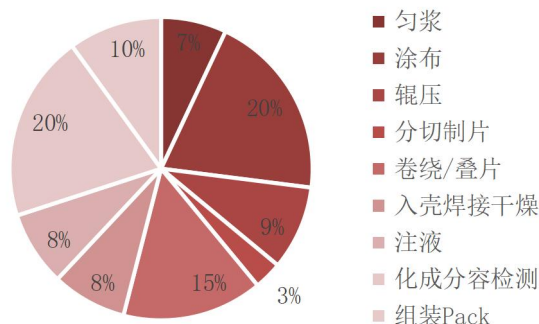
从价值量分布来看，锂电池生产的前段设备价值量最高，占比约 40%。其中，匀浆、涂布、辊压、分切制片等前段工序价值占比分别为 7%、20%、9%、3%。

图2：前段锂电设备价值占比最高



数据来源：锂电材料工艺，东莞证券研究所

图3：锂电池生产主要工序价值分布



数据来源：锂电材料工艺，东莞证券研究所

1.2 干法电极工艺与湿法电极工艺的区别

湿法电极工艺：目前锂电池电极制造主要采用湿法工艺，工艺成熟度高。传统湿法工艺是将活性物质（如正极的三元材料、磷酸铁锂，负极的石墨）、导电剂（如炭黑、碳纳米管）、粘结剂（如正极使用 PVDF、负极使用 SBR）等按比例与液态溶剂（如正极使用 NMP、负极使用去离子水）混合制成浆料，然后通过涂布机将浆料均匀涂覆在集流体（铜箔、铝箔）表面，再经过干燥（去除溶剂）、辊压、分切等工序，制成电极片。

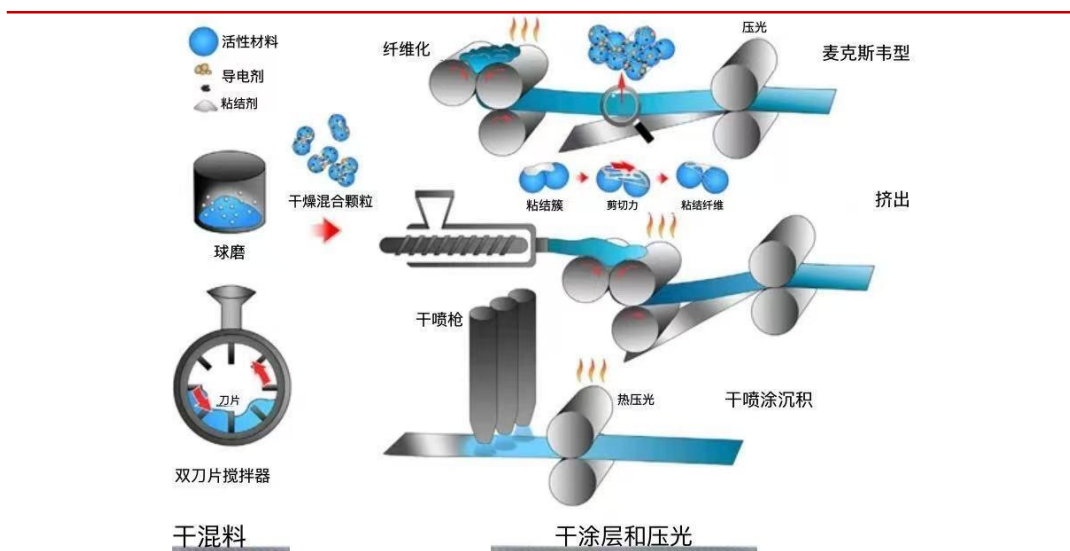
湿法工艺依赖溶剂，溶剂是实现活性物质、导电剂、粘结剂均匀分散的关键介质，决定了浆料的流动性和涂覆均匀性。湿法工艺需要干燥和溶剂回收环节，这些环节需要消耗大量能源去除有毒溶剂。因此，湿法电极工艺存在高溶剂消耗、高能耗、工序长的短板。

干法电极工艺：干法电极工艺是一种新型的电极制备技术，核心是不使用溶剂，将活性物质、导电剂、粘结剂（如 PTFE）等固态粉末通过机械搅拌、高速剪切或挤压等物理机械力混合成干态粉体混合物，直接形成自支撑膜，再辊压到集流体上制成电极片。

根据制备方式的差异，干法电极工艺可以分为粘结剂原纤化法和静电喷涂法两种，其中粘结剂原纤化是主流的干法路线。

粘结剂原纤化法：是主流的干法电极制造方法，是将活性材料粉末与导电剂混合后加入粘结剂，然后对干混合物施加外部的高剪切力，使粘结剂原纤化后粘合电极膜粉末，最终挤压混合物形成自支撑的干态电极膜。使用该制作方法的企业主要分布在美国、中国、德国。

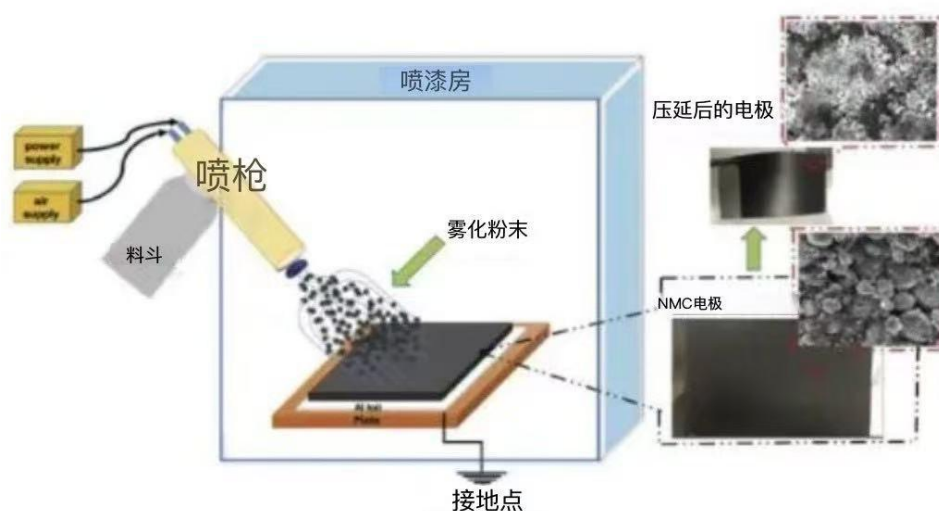
图4：干法电极工艺粘结剂原纤化法示意图



数据来源：锂市汇，东莞证券研究所

静电喷涂法：是使用高压气体预混活性材料粉体、导电剂以及粘合剂颗粒，在静电喷枪的作用下使粉末带负电荷并喷至带有正电荷的金属箔集流体上，然后对载有粘结剂的集流体进行热压，粘结剂融化后会粘连其他粉末并被挤压成自支撑膜。使用该制作方法的企业主要分布在日本、韩国。目前该技术尚处于实验室研究阶段。

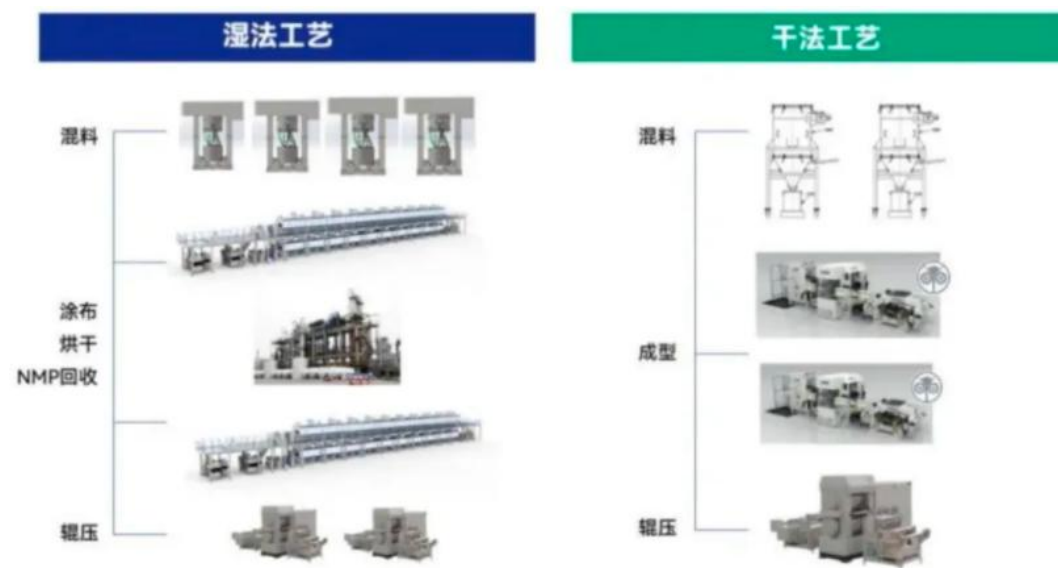
图5：干法电极工艺静电喷涂法示意图



数据来源：新浪财经，东莞证券研究所

干法电极工艺和湿法电极工艺的核心区别：干法电极工艺省去了溶剂的使用，以及后续的烘干和溶剂回收工序。干法工艺的关键工序在于“干法混合+成型+辊压”。

图6：干法电极工艺与湿法电极工艺流程对比



数据来源：新能源时代，东莞证券研究所

目前干法电极工艺的关键难点：相较于湿法工艺，干法工艺各个环节的难度会加大。目前干法工艺的关键难点在于无溶剂下混合电极材料粉末的均匀性、成膜一致性问题，良品率较低。比如粘结剂原纤化在工序第一步混合粉体材料的时候，干法电极工艺很难让粉体完全均匀，不均匀会造成成型极片无法使用，影响良品率。若干法电极涂层不均匀，可能会导致电池出现性能衰减、潜在短路等问题。

表 2：干法电极工艺与湿法电极工艺的对比

维度	湿法电极工艺	干法电极工艺
核心工序	制浆→涂布→干燥→溶剂回收→辊压	干法混合→纤维化→辊压
核心介质	液态溶剂（NMP、去离子水）	无溶剂（仅干态粉体）
粘结剂	溶剂型粘结剂（PVDF、SBR）	固态粘结剂（PTFE、PEO）
能耗和环保性	需烘干，高能耗；需回收有毒溶剂	低能耗；无溶剂污染
成本	高（溶剂与回收成本）	大幅降低
电极厚度	有限制，厚了易裂	可以很厚实
电极均匀性	好	目前是难点
生产时长	干燥和溶剂回收工序耗时长	大幅缩短
技术成熟度	成熟	新兴技术

资料来源：与锂时光，东莞证券研究所

2. 干法电极是助推全固态电池产业化的关键技术之一

2.1 全固态电池更适配干法电极工艺

在全固态电池生产的前段极片与固态电解质制备环节，干法电极工艺以高压实密度、无溶剂、低成本的显著优势，为全固态电池在高能量密度方向发展和规模化量产落地提供可靠路径，成为推动全固态电池产业化的关键技术之一。

干法电极工艺作为一种新型电极制造工艺，更适配全固态电池，原因在于：

（1）提高电极压实密度，契合全固态电池对高能量密度的需求。

干法电极工艺最大的优势在于能够提高电极的压实密度，从而提升电池的能量密度。传统的湿法电极制造工艺需要使用溶剂将活性物质、导电剂和粘结剂混合后涂布在集流体上，然后进行干燥、NMP 溶剂回收和辊压等工序。而干法电极制造工艺直接将活性物质、导电剂和粘结剂等电极材料混合成干粉，通过机械压到集流体上形成电极片。由于干法电极工艺无需溶剂，在制备过程中不存在溶剂蒸发后留下孔隙的问题，活性物质颗粒之间能够更紧密地接触。以常见电池材料为例，磷酸铁锂压实密度可从湿法工艺下的约 2.30g/cm³ 提升至干法工艺的 3.05g/cm³ 左右，三元材料压实密度可从约 3.34g/cm³ 提升至 3.62g/cm³ 左右，石墨负极压实密度可从约 1.63g/cm³ 提升至 1.81g/cm³ 左右。

表 3：干法电极工艺对电池材料压实密度提升效果显著

不同工艺	磷酸铁锂压实密度	三元材料压实密度	石墨负极压实密度
湿法工艺	2.30g/cm ³	3.34g/cm ³	1.63g/cm ³
干法工艺	3.05g/cm ³	3.62g/cm ³	1.81g/cm ³

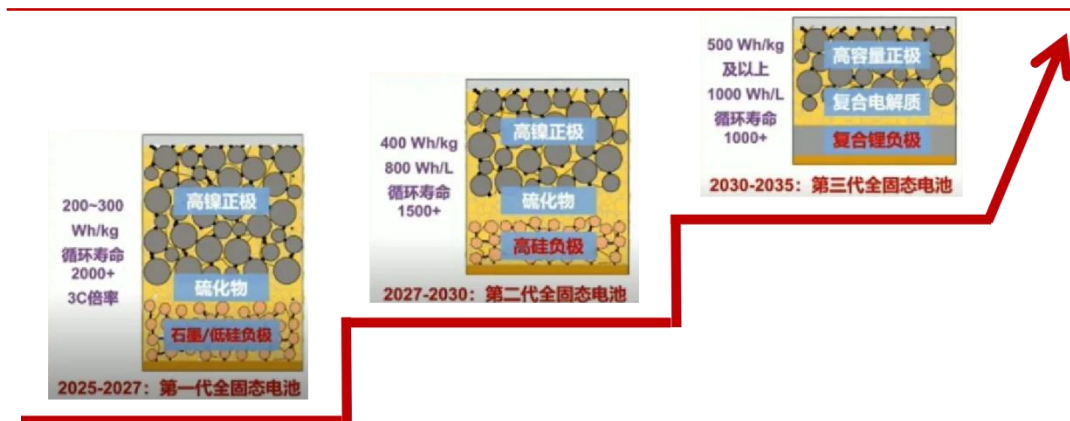
资料来源：锂电动态，东莞证券研究所

干法电极工艺还能够提升电极厚度。传统湿法电极因溶剂挥发易导致电极开裂等问题，厚度一般受限于 160 μm 左右。干法电极可制备更厚的电极，厚度区间可达 30 μm-5mm。因此，干法电极工艺可以提高电极的压实密度和提升电极厚度，更高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，更大的电极厚度意味着能够适配更多的正负极材料，从而提升电池的能量密度。根据高能数造、上海联净等多家企业披露数据显示，干法电极工艺能够提高电池能量密度约 20%。干法电极工艺制备超厚、高载量的电极，提升电池能量密度的效果契合固态电池对高能量密度的需求。

（2）干法工艺适配硫化物电解质技术路线，是全固态电池量产落地的重要推动力。

我国全固态电池确立以硫化物电解质为主流技术路线的发展路径。固态电池主要包括聚合物电解质、氧化物电解质、硫化物电解质三大技术路线。其中硫化物电解质的离子电导率最高、柔韧性好、工作性能表现优异，在全固态电池中的发展潜力最大。我国全固态电池已确立以硫化物电解质为主流技术路线的中长期发展路径。在 2025 年 2 月 15 日举行的第二届中国全固态电池创新发展高峰论坛上，中国科学院院士、清华大学教授欧阳明高阐述了基于硫化物固态电解质为主体电解质的全固态电池中长期发展路径：（1）2025-2027 年，第一代全固态电池，以 200-300Wh/kg 的石墨/低硅负极硫化物全固态电池发展目标为牵引，努力打通全固态电池的技术链；（2）2027-2030 年，第二代全固态电池，以 400Wh/kg 和 800Wh/L 为目标，重点攻关高容量硅碳负极，面向下一代乘用车电池，确保 2027 年实现轿车小批量装车，2030 年实现规模量产；（3）2030-2035 年，以 500Wh/kg 和 1000Wh/L 为目标，重点攻关锂负极，逐步向复合电解质、高容量正极体系发展。

图7：以硫化物为主体电解质的全固态电池发展路径



数据来源：NE时代新能源，东莞证券研究所

干法电极工艺适配硫化物电解质全固态电池技术路线。全固态电池是使用固态正负极材料和固态电解质，不含有电解液，所有材料都由固态材料组成的电池。而干法电极工艺同样是无需液态溶剂，两者的理念相契合。适配全固态电池的硫化物电解质、金属锂等对溶剂极度敏感，干法电极的无溶剂和无干燥过程特性，恰好完美避开硫化物电解质的弱点：（1）绝大多数的有机溶剂（尤其是湿法电极常用的 NMP）都会与硫化物电解质发生剧烈的化学反应，导致其产生 H_2S 等有害气体，并破坏电解质结构；被溶剂污染后，硫化物电解质优异的导电性能也会大幅衰减，使电池失效。（2）硫化物电解质的化学稳定性较差，在湿法工艺的烘干环节等较高温度下，容易发生分解和性能退化。采用干法电极工艺，固态电池的极片制造过程可以实现完全干燥，由于无需溶剂，可以规避全固态电池硫化物电解质对溶剂敏感的问题。因此，干法电极工艺更适用于全固态电池生产。

表 4：干法电极工艺适配硫化物电解质全固态电池技术路线

维度	湿法工艺的困境	干法工艺的解决方案
化学兼容性	溶剂（如 NMP）会导致硫化物电解质分解，产生 H_2S ，导电性能大幅衰减。	无需溶剂，从源头上杜绝副反应，保持硫化物电解质的化学稳定性和高离子电导率。
热稳定性	干燥工序（ $>100^{\circ}C$ ）的高温环境会使硫化物电解质发生分解和性能退化。	无需高温干燥，整个制备过程可在较低温度下进行，避免了热损伤。

资料来源：思瀚产业规划研究院，东莞证券研究所

（3）干法电极工艺简化生产流程，降低电池制造成本，提高生产效率，有助于推动固态电池产业化。

溶剂成本昂贵、有毒、需要复杂的回收。干法电极工艺无需使用溶剂，省去了溶剂成本，减少了干燥和溶剂回收两个高能耗、高成本的环节，将电极制造过程一体化，缩短工艺环节，设备占地面积更小，从而降低成本。根据清研电子介绍，干法工艺的产线设备集成化，采用一体化设备替代传统分散工序，减少设备占地面积约 50%-70%，电极制造成本减少约 15%-20%。根据纳科诺尔预计，干法电极量产后可降低电池制造成本 10% 以上。根据 LGES 表示，干法电极工艺可以降低电池制造成本 17%-30%。根据上海联净复合材料有限公司，干法电极工艺能够降低 10% 溶剂成本及 40% 能耗。因此，通过采用干法电极工艺能够有效降低电池制造成本。并且生产流程简化后的干法电极工艺产线大幅缩短，提高生产效率，适配电池极片的大规模生产。当前，降低成本对于固态电池量产落地至关重要，因此，干法电极工艺被认为是推动固态电池产业化的关键技术之一。

表 5：干法电极工艺有效降低电池制造成本

维度	湿法工艺的痛点	干法工艺的解决方案与降本
直接物料成本	需要昂贵的溶剂和回收装置，粘结剂用量多	省去溶剂，减少粘结剂用量
资本支出	设备繁多（涂布机、超长干燥炉、回收装置），产线长，投资大	设备简化，产线大幅缩短，初始投资大幅降低
运营成本	干燥和溶剂回收环节能耗高	消除最高能耗环节，工厂运营能耗大幅降低

环保成本	需要处理 VOC 排放，环保成本高	无 VOC 排放，环保压力和成本降低
生产效率	干燥速度限制生产节拍，产能密度低	提高生产效率，单位面积厂房产能更高

资料来源：电池网，电动中国，联净复材官网，网易，东莞证券研究所

2.2 全固态电池中试线开始起量

全球主流电池厂商将于 2027 年左右小批量生产全固态电池。近年来国内外主流电池厂商，以及专注于固态电池的初创企业，不断推进固态电池的研发与应用。2024 年尤其是下半年以来主流电池厂商密集公布了其在固态电池领域的最新进展以及技术突破。从各家企业的表态来看，全固态电池将会在 2027 年左右开始小批量生产。

表 6：国内外主流电池厂商和电池初创企业的全固态电池量产规划

电池厂商	全固态电池量产规划
宁德时代	主攻硫化物路线，已进入 20Ah 样品试制阶段。预计 2027 年硫化物全固态电池小批量生产。
比亚迪	计划在 2027 年左右启动全固态电池小批量装车，2030 年后大规模上车。
国轩高科	2025 年 5 月发布“金石”全固态电池，计划 2027 年小批量生产，2030 年实现量产。
亿纬锂能	计划 2028 年实现技术突破，推出 400Wh/kg 高比能全固态电池。
中创新航	2024 年 8 月推出“无界”全固态电池，计划 2027 年量产装车。
孚能科技	计划 2026-2027 年推进全固态电池小批量装车，2030 年大规模量产。
太蓝新能源	计划 2026 年全固态电池小批量装车验证，2027 年批量生产。
卫蓝新能源	计划 2027 年左右实现全固态电池量产。
清陶能源	第三代全固态电池正在验证中，预计 2027 年量产装车。
LGES	计划 2030 年推出硫化物全固态电池。
SK On	计划 2027 年和 2029 年分别量产氧化物和硫化物全固态电池。
三星 SDI	计划 2025 年开发出全固态电池原型产品，2027 年量产。
丰田	计划 2026 年硫化物全固态电池小批量生产，2030 年规模量产。
Quantum Scape	2024 年 10 月开始小批量生产首批原型 B 样品固态电池，并向汽车客户送样测试。
Solid Power	2025 年搭载宝马原型车；2026 年开始量产。

资料来源：中国化工信息周刊，鑫椏固态电池，我的电池网，高工锂电，起点固态电池，东莞证券研究所

2025-2026 年全固态电池中试线将密集落地。根据全固态电池将于 2027 年左右小批量生产，可以预见，2025-2026 年全固态电池中试线将密集落地，行业将迈向中试到量产攻坚的新周期。2025 年下半年以来，包括国轩高科、亿纬锂能、孚能科技、清陶能源等多家电池企业披露其在全固态电池领域的最新进展，中试线建设快速推进或迎来落地。

固态电池产业化推进，设备先行受益。全固态电池和传统锂电池的制造工艺和生产设备差异大，固态电池设备是支撑全固态电池产业化推进的基础和关键环节，生产全固态电池的设备需求将明显起量。适配全固态电池生产的革新制造工艺亟需突破，其中干法电

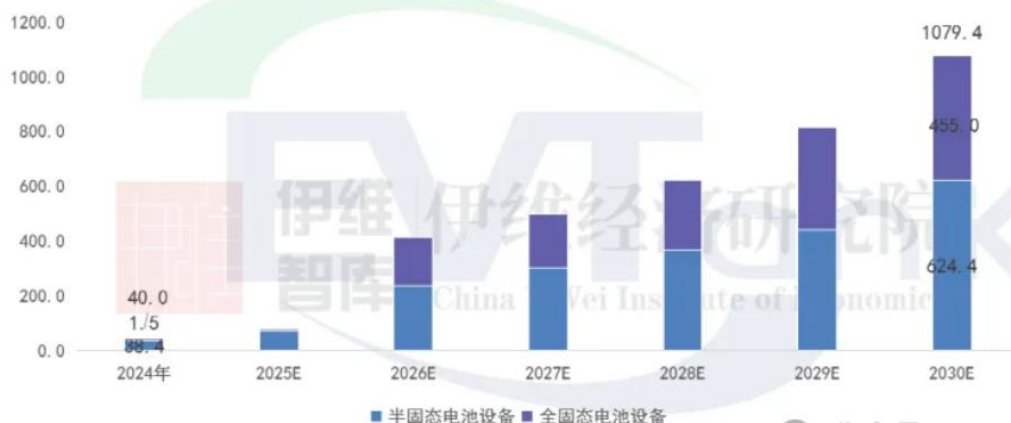
极工艺作为关键技术之一，将开启加速迭代，后续随着全固态电池产业化推进将带动干法工艺相关设备订单持续落地。

3. 干法电极工艺催生设备新增及迭代需求

3.1 全固态电池设备市场规模将高速增长

未来几年全固态电池设备市场规模将显著提升。根据 EVTank 数据显示，2024 年全球固态电池设备市场规模达 40 亿元，其中半固态电池设备市场规模 38.4 亿元，全固态电池设备市场规模 1.6 亿元，全固态电池产线主要为实验室中试线。预计随着固态电池的产业化进程逐步推进，固态电池设备行业的市场规模将显著提升，预计到 2030 年全球固态电池设备市场规模将达到约 1080 亿元，年均复合增长率超过 70%，其中全固态电池设备市场规模将达 455 亿元，年均复合增长率超过 150%。未来几年固态电池生产线将进入大规模建设期，固态电池设备将成为固态电池产业化进程中最先受益的环节。

图8：全球固态电池设备市场规模预测(亿元)



数据来源：EVTank，东莞证券研究所

3.2 干法工艺与湿法工艺的前段设备差异

纤维化设备是核心增量设备，干混机和辊压机需要迭代升级。在前段极片与固态电解质制备环节中，全固态电池适配干法电极工艺。干法电极工艺和传统湿法电极工艺在前段工序设备端的差异主要体现在：干法工艺省去了溶剂使用，省去了匀浆、涂布工序，通过物理混合活性物质、导电剂和粘结剂（如 PTFE）等制成自支撑膜，主要工序包括干混、纤维化及辊压，对应的设备分别为干混机、纤维化设备、辊压机。与传统湿法工艺相比，干法工艺在纤维化环节需要增加全新的定制设备，在干混、辊压环节，需要对设备进行精细化升级改造。其中，纤维化设备和辊压设备是干法电极工艺中的核心设备，纤维化设备占设备成本的 30%以上。

表 7：全固态电池生产前段工序设备变化

前段工序		设备名称	液态电池	半固态电池	全固态电池	全固态电池设备变化
湿法	匀浆	搅拌机	√	√	√	适当改造
	涂布	涂布机	√	√	√	适当改造
干法	干混	干混机	×	×	√	升级
	纤维化	纤维化设备	×	×	√	新增
	辊压	辊压机	√	√	√	升级
	分切/模切	分切/模切机	√	√	√	适当改造
	制片	制片机	√	√	√	适当改造

资料来源：EVTank，东莞证券研究所

（1）干混机需要迭代升级

干法电极工艺的干混过程，是在无溶剂参与的环境下，通过机械作用实现活性物质、导电剂、固态粘结剂（如 PTFE）三类核心粉体的“初步分散-深度混合-均质化”，为后续纤维化过程提供成分均匀、无团聚的物料基础。该过程直接决定后续纤维化网络的完整性，若混料不均匀，易导致局部粘结剂不足或过量，引发纤维断裂或团聚。该过程直接影响材料的均匀性和性能。

干法电极工艺使用的干混机需要迭代升级的主要原因在于：

- ① 提升混合效果和材料性能：干法电极工艺对材料混合的均匀性要求很高。传统干混机可能难以确保导电剂与活性物质、粘结剂等均匀分散，导致电极性能不稳定。迭代升级的干混机可通过优化结构设计、采用特殊桨叶等方式，更好地对材料进行剪切、分散，实现超细粉末的均匀分布，提高电极的导电性能和机械强度。
- ② 适应特殊材料特性：干法电极工艺中使用的粘结剂如 PTFE 对温度敏感，不同温度下机械性能不同，需要精细控制粉料混合温度，避免提前纤维化。迭代升级的干混机可以配备更精准的温控系统，将温控精度控制在 0.5℃ 以内，更好地满足材料混合过程中的温度要求，保证粘结剂的有效分布和纤维化效果。

图9：干法电极混合机示意图



数据来源：科尼乐官网，东莞证券研究所

（2）纤维化设备是核心增量设备

干法电极工艺的纤维化过程，是利用物理作用将固态粘结剂（如 PTFE）从颗粒态转化为三维连续纳米纤维网络，并与活性物质、导电剂实现均匀包裹与结合的关键环节，该过程直接影响电极的机械强度、导电性及后续的加工性能。纤维化设备的难点在于将粘结剂（如 PTFE）处理成纳米级的原纤维，对剪切能力和环境控制提出极高要求。

纤维化设备目前主要有三种：气流粉碎机、螺杆挤出机、开炼机。其中，气流粉碎机的工作效率最高，而螺杆挤出机的良率最高。

表 8：干法电极工艺不同纤维化设备对比

设备	优势	劣势
气流粉碎机	颗粒控制性强，粉体均匀性好	能耗较高，设备成本较高
螺杆挤出机	生产效率高，粉体均匀性好	设备维护麻烦，材料适应性弱
开炼机	材料适应性强，操作简单	生产效率低

资料来源：国际电池展，东莞证券研究所

气流粉碎机：压缩空气通过喷嘴高速射入粉碎腔后，活性物质及粘结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电极膜。

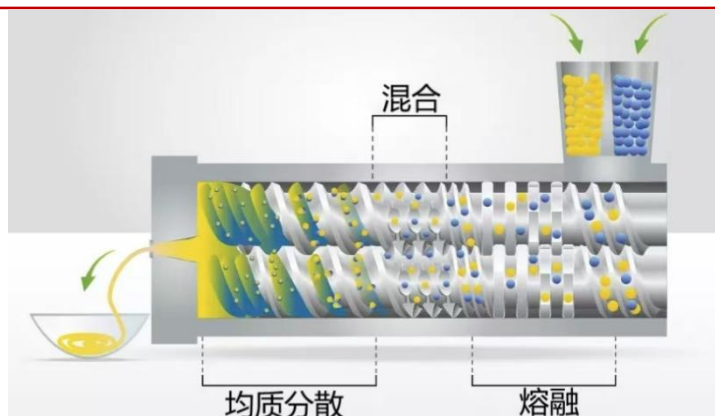
图10：PTFE纤维化气流粉碎机示意图



数据来源：中国粉体网，东莞证券研究所

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搅拌、压实以及混合。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。

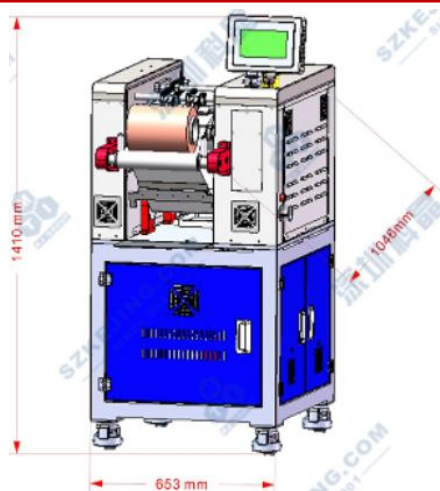
图11：螺杆挤出机工作示意图



数据来源：广州市哈尔技术有限公司官网，东莞证券研究所

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，多次往复后在粘结剂原纤化的作用下即生成电极膜。

图12：干法电极开炼机示意图



数据来源：深圳市科晶智达科技有限公司官网，东莞证券研究所

（3）辊压机需要迭代升级

干法电极工艺的辊压过程，是将混合均匀的电极原料通过多级辊压，形成密度高、表面均匀的高性能干态电极膜，再与集流体热压覆合形成结构致密且厚度均匀的电极片的过程。该过程直接决定了电极片的微观结构、机械性能和最终电池的能量密度、倍率性能及循环寿命，是干法电极技术能否实现产业化的关键环节之一。

图13：干法电极辊压设备示意图



数据来源：上海联净自动化科技有限公司官网，东莞证券研究所

干法电极工艺对辊压机的要求提升。干法电极工艺相比于传统湿法工艺对辊压设备的工作压力、辊压精度、均匀度以及压实密度的要求会更高。头部辊压设备厂商因专利储备多、产品迭代快、良率高，率先受益于干法电极工艺对于新型辊压机的迭代需求。设备大型化集成化是未来发展趋势。将加料、混料、纤维化、制膜、辊压、分切、收卷等功能集成于一体，减少流转时间，提高效率及一致性等，设备的价值会更高。

3.3 重点公司

纳科诺尔（832522）：在干法电极设备领域拥有先发优势

公司是国内最早布局干法电极设备的企业之一。2023 年 7 月公司与清华大学研究院孵化的国家高新技术企业深圳清研电子科技有限公司合资设立清研纳科智能装备科技（深圳）有限公司，共同开发干法电极新工艺、新产品。目前共掌握了干法电极、锂带压延、电解质成膜、转印等固态电池设备制造的多项技术，部分产品已交付客户。其中多辊连轧装备通过多次升级迭代，已经推出干法电极设备四辊、五辊、八辊、十辊等系列产品，支持三元、磷酸铁锂、硅碳等多种材料的极片生产。2025 年 7 月 24 日，由清研纳科自主研发的高速宽幅（固态）干法电极设备顺利交付至国内头部主机厂。从性能指标看，该设备目前已能稳定实现 800mm 幅宽下，负极 80m/min 及正极 50m/min 的双面复合成膜速度。公司表示，即将量产的设备幅宽将达到 1.2 米，并将面密度波动控制在 0.3% 以内作为其核心目标之一。目前，公司与四川新能源汽车创新中心合作的固态电池联合实验室项目正在加快建设，该项目建成后将推动全固态电池商业化进程。

先导智能（300450）：具备全固态电池整线设备解决方案能力

在固态电池领域，公司是全球领先的拥有自主知识产权的全固态电池整线解决方案厂商，已具备车规级全固态动力电池整线解决方案能力。布局固态电池整线技术，覆盖正负极电极制备、电解质膜制备、锂金属电极制备、固态电池切叠和电芯致密化、组装、化成分容等工艺整线。目前，公司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。已与欧美、中国、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，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，以及首批固态电池切叠设备。2024 年 11 月，公司与宁德时代签订战略合作协议，双方约定在包括固态电池等新领域新技术方面开展合作、共享资源。

利元亨（688499）：已交付国内头部企业首条全固态电池整线设备

公司早在 2020 年就开始布局固态电池业务，在固态电池核心工艺方面已有较深研究和积累，拥有相应专利布局。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，包括成功开发出干法电极设备、固态电解质压制转印设备、锂铜复合设备等关键设备的样机，并在极片绝缘胶框成型设备、高压化成分容设备等方面取得了阶段性成果。公司第三代干法电极设备采用高通量多辊压延技术，可适配不同化学体系的固态电池电极制造。通过大辊压小辊的方式保证压力，多级辊压工艺可将孔隙率降至 20%-30%。2025 年 7 月，公司宣布其为国内一家头部企业承建的全固态电池整线设备已开始陆续交付，其中包含了干法电极相关设备。公司表示管理层正在积极调整经营策略，聚焦有质量的客户和订单，专注新工艺新技术，以提升人均产出和盈利能力。

曼恩斯特（301325）：已布局干法前段整线成膜技术

在固态电池领域，公司已初步完成“湿法+干法”工艺装备的双线布局，完成干法前段整线的成膜技术布局，涵盖配料混合、黏结剂原纤化、造粒、成膜、集流体复合等全套前端工艺。2024 年推出的 400 型干法制膜复合一体机可以提高导电性和电池容量，增强结合强度。在原料纤维化处理环节，运用干法陶瓷双螺杆纤维化技术，提升电芯安全可靠。为保证成膜品质，引入干法预成膜机构与 14 辊双面同时成膜工艺，精准调控成膜过程，减少轧辊磨损，实现双面均匀成膜，提升电极一致性。2024 年为国内外多家企业提供了干法电极的测试实验，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。目前，公司已为宁德时代提供干法前段设备及中试线，相关干法设备已获宁德时代量产订单。

赢合科技（300457）：推出了第三代全固态干法电极工艺

在固态电池辊压设备方面，2024 年公司推出了第三代干法搅拌纤维化+干法成膜全固态工艺，该解决方案从粉体搅拌、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，在产品端具备更高的压实密度和能量密度。

4. 投资建议

全固态电池凭借高能量密度和高安全性的显著优势，被认为是下一代锂电池的终极方案。固态电池设备为固态电池产业化最先受益的环节。干法电极工艺是一种新型电池制造工艺，凭借高压实密度、无溶剂、低成本的显著优势，为全固态电池在高能量密度方向发展和规模化量产落地提供可靠路径，成为推动全固态电池产业化的关键技术之一。

根据全固态电池将于 2027 年左右小批量生产，可以预见，2025-2026 年全固态电池中试线将密集落地，行业将迈向中试到量产攻坚的新周期。随着全固态电池产业化推进，干法电极技术将不断进步，设备陆续导入产线验证，设备订单有望加速落地。

重点关注把握固态电池发展契机、在核心工艺干法电极领域拥有领先优势的设备公司：具备全固态电池整线设备解决方案能力的先导智能（300450）、在干法电极设备领域拥有先发优势的纳科诺尔（832522）、已交付国内头部企业首条全固态电池整线设备的利元亨（688499）、已布局干法前段整线成膜技术的曼恩斯特（301325）、推出了第三代全固态干法电极工艺的赢合科技（300457）。

表 9：重点公司盈利预测及投资评级（2025/8/28）

股票代码	股票名称	股价(元)	EPS (元)			PE			评级	评级变动
			2024A	2025E	2026E	2024A	2025E	2026E		
300450	先导智能	29.59	0.18	0.91	1.27	160.82	32.48	23.22	买入	维持
832522	纳科诺尔	56.69	1.48	1.31	1.66	38.30	43.40	34.22	买入	维持
688499	利元亨	54.26	-8.12	0.44	0.95	--	124.74	57.42	未评级	
301325	曼恩斯特	62.07	0.21	1.16	1.74	295.57	53.42	35.71	增持	维持
300457	赢合科技	23.77	0.78	1.25	1.67	30.47	19.05	14.21	增持	维持

资料来源：iFinD，东莞证券研究所

5. 风险提示

（1）固态电池产业化进程不及预期风险：固态电池的发展推动设备的更新迭代，但固态电池目前的技术还不够成熟，仍面临一系列尚未解决的科学难题，生产成本也较高，若未来技术发展缓慢，产业化进程不及预期，将不利于相关设备企业的经营发展。

（2）技术进步和成本下降不及预期风险：干法电极工艺虽省去溶剂，省去烘干和回收设备，但需定制化高精度设备。目前国内设备厂商的技术不够成熟，综合成本较高，若技术进步和成本下降不及预期，将影响新技术的应用进程。

（3）技术路线变革迭代风险：锂电池技术快速迭代，锂电生产工艺更新迭代速度也较快，设备厂商需持续投入研发以保持竞争力。相关企业若研发效果不及预期，产品不适用于新的技术路线，业绩将面临下滑风险。

（4）市场竞争加剧风险：随着锂电池行业产能扩张放缓，传统锂电设备的市场需求受到影响，行业竞争或进一步加剧，相关企业的经营业绩或受到不利影响。

东莞证券研究报告评级体系：

公司投资评级	
买入	预计未来 6 个月内，股价表现强于市场指数 15%以上
增持	预计未来 6 个月内，股价表现强于市场指数 5%-15%之间
持有	预计未来 6 个月内，股价表现介于市场指数±5%之间
减持	预计未来 6 个月内，股价表现弱于市场指数 5%以上
无评级	因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，导致无法给出明确的投资评级；股票不在常规研究覆盖范围之内
行业投资评级	
超配	预计未来 6 个月内，行业指数表现强于市场指数 10%以上
标配	预计未来 6 个月内，行业指数表现介于市场指数±10%之间
低配	预计未来 6 个月内，行业指数表现弱于市场指数 10%以上

说明：本评级体系的“市场指数”，A 股参照标的为沪深 300 指数；新三板参照标的为三板成指。

证券研究报告风险等级及适当性匹配关系	
低风险	宏观经济及政策、财经资讯、国债等方面的研究报告
中低风险	债券、货币市场基金、债券基金等方面的研究报告
中风险	主板股票及基金、可转债等方面的研究报告，市场策略研究报告
中高风险	创业板、科创板、北京证券交易所、新三板（含退市整理期）等板块的股票、基金、可转债等方面的研究报告，港股股票、基金研究报告以及非上市公司的研究报告
高风险	期货、期权等衍生品方面的研究报告

投资者与证券研究报告的适当性匹配关系：“保守型”投资者仅适合使用“低风险”级别的研报，“谨慎型”投资者仅适合使用风险级别不高于“中低风险”的研报，“稳健型”投资者仅适合使用风险级别不高于“中风险”的研报，“积极型”投资者仅适合使用风险级别不高于“中高风险”的研报，“激进型”投资者适合使用我司各类风险级别的研报。

证券分析师承诺：

本人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，以勤勉的职业态度，独立、客观地在所知情的范围内出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点，不受本公司相关业务部门、证券发行人、上市公司、基金管理公司、资产管理公司等利益相关者的干涉和影响。本人保证与本报告所指的证券或投资标的无任何利害关系，没有利用发布本报告为自身及其利益相关者谋取不当利益，或者在发布证券研究报告前泄露证券研究报告的内容和观点。

声明：

东莞证券股份有限公司为全国综合性综合类证券公司，具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供东莞证券股份有限公司（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。本报告所载资料及观点均为合规合法来源且被本公司认为可靠，但本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。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，可随时更改。本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可跌可升。本公司可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与本公司其他业务部门或单位所给出的意见不同或者相反。在任何情况下，本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供客户作参考之用，并不构成对任何人的投资建议。投资者需自主作出投资决策并自行承担投资风险，据此报告做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，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。本公司及其所属关联机构在法律许可的情况下可能会持有本报告中提及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、经纪、资产管理等服务。本报告版权归东莞证券股份有限公司及相关内容提供方所有，未经本公司事先书面许可，任何人不得以任何形式翻版、复制、刊登。如引用、刊发，需注明本报告的机构来源、作者和发布日期，并提示使用本报告的风险，不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权刊载或者转发本证券研究报告的，应当承担相应的法律责任。

东莞证券股份有限公司研究所

广东省东莞市可园南路 1 号金源中心 24 楼

邮政编码：523000

电话：（0769）22115843

网址：www.dgza.com.cn