

# 2025

行业研究系列报告

## 固态电池产业链研究报告

技术迭代、百舸争流，电池产业开启  
新纪元



2025年8月

深企投产业研究院

# 关于深企投产业研究院

深企投产业研究院是深企投集团旗下的高端智库，聚焦产业发展，服务区域经济，致力于为各地提供产业发展落地方案。研究院总部位于深圳，服务区域覆盖全国主要省市。研究院集聚一批经济研究和产业研究专家，以 985 院校研究生为主体，链接高校专家学者，为全国各地政府及机构提供智力支持。

基于自身的研究和咨询能力，同时借助集团的服务网络，深企投产业研究院为政府机构、国有平台、产业园区、金融机构等客户类型提供有针对性的服务。

——政府机构客户。研究院重点提供五类服务：一是五年规划，包含发改系统的国民经济和社会发展规划，工信、商务、投促、文旅等政府部门的专项五年规划；二是产业规划，包含地区、片区的产业定位和产业发展专项规划；三是招商专题研究，包括产业链招商策略、招商规划、招商专案、招商图谱等；四是项目策划，发掘和策划包装契合区域禀赋、产业趋势和投资方向的项目，助力宣传推介和精准招商对接，或策划申报超长期国债等地方重点投资项目；五是项目评估，涵盖地方重点投资项目的风险评估、招商引资项目背景调查、产业基金拟投资项目尽职调查等。

——国有平台客户。针对新时期全国各地国有城投、产投公司向国有资本投资运营转型发展的需要，聚焦国有平台投资布局的新质生产力和重点产业赛道，研究院提供产业情报、产业发展规划、企业投资标的尽职调查等服务。

——产业园区客户。为国有园区、工业地产客户提供园区产业规划定位、产品定价策略、产品设计方案、招商运营服务方案、渠道和品牌推广策略、产业培训等服务。

——金融机构客户。为机构投资者提供产业细分领域深度研究、投资分析、标的尽职调查等服务，减少投资过程中的信息不对称，提高投资决策准确率。

自 2020 年至今，深企投产业研究院团队已完咨询服务项目近百个，完成研究报告数百份，服务的地区包括广东、江苏、浙江、福建、广西、云南、贵州、湖北、四川、陕西、宁夏等多个省市。

在产业研究领域，深企投产业研究院在新质生产力、战略性新兴产业、未来产业研究上具有深厚积累，每年发布原创深度报告近百份。有关低空经济、商业航天、卫星互联网、新型储能、人形机器人、生物制造、脑机接口、全球供应链等报告已获得广泛传播。

# 目 录

## 固态电池产业概览

一、固态电池产品概述.....	2
二、固态电池产业化瓶颈.....	5
三、固态电池技术路线.....	9
（一）技术路线比较.....	9
（二）三类主要电解质成本拆解.....	13
（三）全球厂商技术路线选择.....	15
四、固态电池市场规模.....	17
五、全球百家企业布局及进展.....	20
（一）车企固态电池布局.....	20
（二）国际固态电池企业.....	24
（三）国内固态电池企业.....	30
六、中国固态电池产业政策.....	40

## 固态电池材料篇

一、固态电池产业链.....	44
二、固态电池生产制造流程.....	45
三、固态电池电解质.....	45
（一）产品概况.....	45
（二）市场规模及需求.....	47
（三）布局企业.....	49
四、固态电池正极材料.....	55
（一）产品概况.....	55
（二）市场规模及需求.....	56

(三) 企业布局 .....	58
<b>五、固态电池负极材料 .....</b>	<b>60</b>
(一) 产品概况 .....	60
(二) 市场规模及需求 .....	61
(三) 企业布局 .....	63
<b>六、固态电池集流体 .....</b>	<b>65</b>
<b>七、辅助材料 .....</b>	<b>68</b>
(一) 导电剂 .....	68
(二) 粘结剂 .....	72

## 固态电池设备篇

<b>一、固态电池设备类型 .....</b>	<b>76</b>
<b>二、市场规模 .....</b>	<b>78</b>
<b>三、市场格局 .....</b>	<b>79</b>
(一) 整线及整段设备 .....	79
(二) 重点设备 .....	82
——搅拌机 .....	82
——混合机 .....	83
——涂布机 .....	85
——纤维化设备 .....	85
——辊压机 .....	86
——热复合设备 .....	87
——胶框印刷机 .....	88
——叠片机 .....	89
——等静压设备 .....	91
——分容化成设备 .....	93

## 图、表目录

图 1	全固态锂电池的构造结构图.....	2
图 2	锂电池发展路线.....	3
图 3	固态电池产业化进程.....	8
图 4	硫化物为主体电解质的轿车全固态电池量产时间预测.....	9
图 5	2023-2030 年中国半固态电池出货量 (GWh) .....	18
图 6	2022-2027 年全球电动汽车半固态电池装车量及渗透率.....	19
图 7	2024-2030 年全球固态 (含半固态) 电池市场需求及渗透率	20
图 8	2024-2030 年全球固态 (含半固态) 电池市场空间 (亿元)	20
图 9	固态电池产业链.....	44
图 10	固态电池生产流程.....	45
图 11	2024-2030 年全球固态/半固态电解质需求量 (万吨) .....	48
图 12	2024-2030 年全球固态/半固态电解质市场空间 (亿元) ....	48
图 13	2024-2030 年全球固态/半固态电池正极需求 (万吨) .....	57
图 14	2024-2030 年全球固态/半固态电池正极市场空间 (亿元) .	58
图 15	2024-2030 年全球固态/半固态电池负极需求 (万吨) .....	62
图 16	2024-2030 年全球固态电池负极市场空间 (亿元) .....	63
图 17	固态电池工艺及设备变化.....	76
图 18	2025-2029 年全球固态电池设备需求 (亿元) .....	79
图 19	2022 年中国锂电辊压机市场竞争格局.....	87
图 20	全固态电池等静压工艺示意图.....	92
表 1	液态锂电池、半固态电池、固态电池对比.....	3
表 2	固态电池主要技术路线对比.....	12
表 3	固态电池不同技术路线成本对比.....	14

---

表 4	全球主要地区固态电池技术路线代表厂商 .....	16
表 5	国际车企固态（含半固态）电池布局 .....	21
表 6	国内车企固态（含半固态）电池布局 .....	22
表 7	国际固态电池主要厂商技术路线及规划进展 .....	24
表 8	中国固态电池主要厂商技术路线及规划进展 .....	31
表 9	国家固态电池产业规划政策 .....	40
表 10	地方固态电池产业政策 .....	41
表 11	国内固态电解质主要布局企业情况 .....	50
表 12	固态电解质上游原料及代表企业 .....	53
表 13	硫化锂相关企业布局情况 .....	54
表 14	锂电池正极材料性能对比 .....	56
表 15	固态电池正极材料厂商布局情况 .....	58
表 16	不同负极材料性能对比 .....	60
表 17	固态电池负极材料厂商布局情况 .....	63
表 18	国内固态电池集流体布局厂商 .....	66
表 19	全球碳纳米管导电剂主要企业 .....	70
表 20	全球单壁碳纳米管主要布局企业情况 .....	71
表 21	全固态电池生产环节对应设备 .....	77
表 22	国内固态电池设备主要厂商布局进展 .....	80
表 23	干法/湿法搅拌对比 .....	82
表 24	固态电池干混工艺类型 .....	84
表 25	固态电池胶框印刷路线及代表设备厂商 .....	88
表 26	不同叠片机对比分析 .....	90

01

# 固态电池产业概览

量产拐点在即，技术突破打开成长空间



## 一、固态电池产品概述

固态电池是锂电池的迭代升级。当前锂电池（包括动力电池和储能电池）领域较多使用磷酸铁锂电池和三元材料电池，均为液态锂电池，随着市场对电池能量密度需求的提升，电池技术更新迭代迫在眉睫。液态锂电池由正极材料、负极材料、电解液、隔膜四大主材组成，固态电池则对其结构进行优化，将电解液与隔膜替换为固态电解质。而固态电解质有着独特优势，本身不可燃，热分解温度也高，且因固态特性，能彻底避免液态锂电池中电解液易出现的腐蚀、挥发、漏液等问题，使安全性能大幅提升。

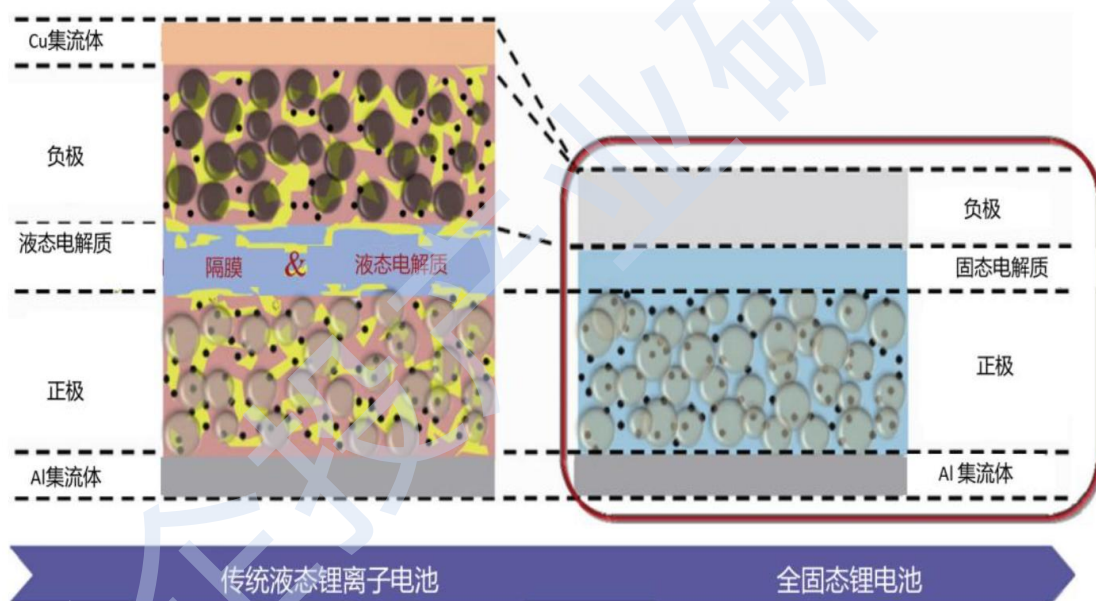


图 1 全固态锂电池的构造结构图

资料来源：许晓雄等《全固态锂电池技术的研究现状与展望》，国信证券。

从电池特别是锂电池的技术进展来看，将会经历液态电池、半固态电池（固液混合电池，包含凝聚态、凝胶态电池）到全固态电池的演进，如下图所示。



图 2 锂电池发展路线

资料来源：徐小明.第十四届中国汽车蓝皮书论坛主题报告.2022，国信证券。

液态、半固态、全固态三种形态的电池比较如下表所示。

表 1 液态锂电池、半固态电池、固态电池对比

参数	液态电池	半固态电池	全固态电池
电解质	液态电解质（液体含量 20%）	固液混合电解质（液体含量 5%-10%，复合电解质）	固体电解质
隔膜需求	需要隔膜	需要隔膜（部分设计可简化、减少用量）	无需隔膜
结构组成特征	液态电解液+隔膜+多相正极材料+多相负极材料+铝箔集流体/铜箔集流体	（电解液+固态电解质混合体系）+隔膜+多相正极材料+多相负极材料+铝箔集流体/铜箔集流体	固态电解质+多相正极材料+碳基/硅基/锂金属负极+铝箔集流体/铜箔集流体
能量密度	主流产品 160-300Wh/kg（磷酸铁锂 160-210 Wh/kg，三元 200-300 Wh/kg）	300-500Wh/kg	≥500Wh/kg（理论上可达到 900Wh/kg）
工作温度范围	-10°C~55°C	-10°C~80°C	-40°C~150°C
安全性	液态电解质易燃、易挥发，高温或穿刺时可能引发漏液、燃烧甚至爆炸	安全性显著提升，液态成分减少，燃点提高，穿刺、挤压时不易起火	固态电解质不可燃，无漏液风险，高温、机械损伤、穿刺也不会起火

参数	液态电池	半固态电池	全固态电池
	(三元锂电池热失控温度 200-300°C、磷酸铁锂 500-600°C)		
循环寿命	三元动力电池 1000-2000 次循环，磷酸铁锂 3000-4000 次（以容量衰减至 80%为终点）	当前装车产品 500-1500 次，实验室可达 5000-10000 次	实验室 500-1000 次，理论可达 10000 次以上
量产成本（电芯+Pack）	三元约 0.6-0.8 元/Wh，磷酸铁锂约 0.4-0.6 元/Wh	约 0.8-2 元/Wh（与电解质路线、量产规模及良率相关，差异较大）	预计量产初期（2027-2028 年）1-3 元/Wh
主要挑战	安全性不足、能量密度见顶、低温性能差	液态与固态电解质界面兼容性、长期循环衰减、固态电解质规模化制备工艺	固态电解质与电极界面阻抗大、金属锂负极枝晶问题、低成本量产工艺开发
产业化阶段	应用成熟、大规模量产，持续优化	部分企业小批量生产，2024 年开始装车，预计 2025 年出货量将超过 10GWh	处于样品或中试阶段，预计 2027 年以小规模量产，2030 年后商业化
快充能力	最新主流三元电池充放电倍率 4C-6C，高压快充下 10-15 分钟充到 80%电量；磷酸铁锂充放电倍率 3C-5C，12-20 分钟充到 80%电量	小批量交付产品充放电倍率 2C-5C，12-30 分钟充到 80%电量	理论快充倍率可达 150C（分钟级满充）
工艺/产线兼容性	工艺成熟，设备标准化	80%以上设备与液态电池产线通用，改造成本低	采用全新干法/真空镀膜/UV 固化工艺，成本高
封装形态	卷绕/叠片+圆柱/方形/软包	叠片+方形/软包	叠片+方形/软包

资料来源：深企投产业研究院整理。

**全固态电池的能量密度大幅提高。**能量密度是衡量电池“单位重量或体积所能储存能量”的核心指标，决定电池体积大小与续航里程。目前实验室固态电池能量密度普遍超过 400Wh/kg，部分样品能量密度超过 500Wh/kg，理论值可达 900 Wh/kg，较当前主流量产锂离子

电池的 160-300Wh/kg（磷酸铁锂动力电池 160-210Wh/kg，三元锂动力电池 200-300Wh/kg）显著提升。

固态电池能量密度领先液态电池，源于三大原因：一是允许使用更高容量的锂金属负极，抑制结晶避免短路；二是固态电解质电化学窗口宽，能够适配更高电压的正极材料，提升能量输出上限；三是固态电解质（薄膜/陶瓷或复合层）无需隔膜与液体灌装，可更紧密堆叠极片，极片可以串联连接以此提高单体电压，从而可以精简结构，提升能量密度。

## 二、固态电池产业化瓶颈

在技术层面，全固态电池走向商业化，需要有效克服三大瓶颈：

**1、界面处机械稳定性较差，显著缩短循环寿命。** 固态电池充放电过程中，硅基负极等电极材料会产生剧烈的体积变化，而固态电解质（如硫化物、氧化物）普遍具有脆性高、弹性模量低的特点，难以随电极同步形变。这种机械性能不匹配会导致界面持续产生结构应力，长期循环后会引发电解质层开裂、电极—电解质界面剥离，使有效接触面积骤降，同时形成微裂纹等结构缺陷。这些缺陷会成为锂离子传输的“死区”，导致电池内阻急剧上升，循环寿命大幅缩短（目前部分硫化物全固态电池循环寿命仅为液态锂电池的 1/5-1/3）。此外，叠层或卷绕工艺中施加的预压力分布不均，会进一步加剧局部界面的机械损伤，降低电池一致性。

**2、界面处电化学稳定性不足，严重制约倍率性能。** 固态电解质与电极的固—固接触属于“点接触”而非液态电解质的“面接触”，天然存在接触面积小的问题。此外，界面处容易形成高阻抗层：一方面，电极材料（如正极中的过渡金属元素）可能与固态电解质发生化学反

应，生成绝缘性副产物；另一方面，电解质与电极的能级不匹配会导致界面电荷转移阻力增大。这两种因素叠加，使界面阻抗显著阻碍锂离子的跨界面传输。在高倍率充放电时，锂离子无法快速通过界面，会造成电极表面锂离子浓度极化加剧，电池容量骤降，无法满足电动汽车等场景的快充需求。

**3、锂枝晶生长难以抑制，产生安全隐患。**全固态电池虽理论上可抑制锂枝晶，但实际应用中仍面临挑战。金属锂负极在沉积时，由于固态电解质表面存在微观凸起或缺陷，会导致锂离子在此处优先沉积，形成锂枝晶的“生长核”。固态电解质的硬度虽高于液态电解质的隔膜，但锂枝晶的生长力可超过多数固态电解质的屈服强度，使其能缓慢刺穿电解质层。即使在低电流密度下，长期循环后锂枝晶仍可能贯穿电解质，引发正负极短路。同时，锂枝晶与电解质的界面反应会产生热量，而固态电解质的热导率较低，热量易在局部积聚，严重情况下回引发热失控。

当前固态电池成本较高，材料成本、设备投资、制造工艺与规模效应制约产业化进程。根据集邦咨询报告，预计 2024 年聚合物、氧化物、硫化物三种技术路线的固态电池电芯价格分别为 2.10 元/Wh、2.82 元/Wh、5.02 元/Wh，远高于液态电池（三元电芯 0.5 元/Wh），预计量产初期（2027-2028 年）电芯价格将落在 1-3 元/Wh，2030 年后降至 1 元/Wh 左右，到 2035 年经市场大规模推广后再降至 0.6-0.7 元/Wh。

——材料端成本问题：

- 固态电池正极材料仍可能沿用高镍三元、富锂锰基或高压磷酸锰铁锂，其中高镍三元需要的高纯度镍价格波动较大，富锂锰基材料需要添加昂贵的掺杂元素（如铌、钽等稀有金属），

因此正极材料单位容量成本高于传统磷酸铁锂电池。

- 负极材料可能采用硅基负极或金属锂，但硅基材料需要通过纳米化、碳包覆等工艺改性解决充放电过程中的体积膨胀问题，加工成本是传统石墨负极的 5-8 倍，金属锂负极需要高纯化，制备能耗大，成本较高。
- 固态电解质成本远超液态电解质，按照不同路线，硫化物电解质中占成本 70% 的高纯硫化锂单价超过 300 万元/吨，聚合物电解质材料 50-60 万元/吨，氧化物电解质材料 30-40 万元/吨，而液态锂电池的电解液现价为 1.7-3 万元/吨（磷酸铁锂 1.7-2.3 万元/吨，三元 1.9-3 万元/吨），成本相差 10-100 倍。

——**设备与制造工艺端问题**：部分固态电解质对水分、氧气极度敏感，有些制造和后处理环节需采用全封闭干燥室和惰性气体（如氩气）氛围，制造环境管控难度大，对应厂房建设、设备投资和环境管控能耗成本增加。固态电池的叠片/卷绕工艺需匹配电解质的硬度和脆性，传统液态电池的自动化设备难以直接复用，需定制高精度压合设备（如等静压设备），单条产线设备（包含干法电极、真空热压、氩气循环系统等关键设备）的投资是传统液态电池产线的 2-3 倍。

——**规模效应问题**：目前固态电池（含半固态电池）仍处于产业化初期。根据高工锂电数据，2024 年底固态电池（基本为半固态电池）实际产能约 15-20GWh，不足全球锂电池产能 3TWh（国际能源署数据）的百分之一，半固态电池出货量预计约 7GWh，不足全球锂电池出货量的 1/200，生产良品率较低（行业领先企业良品率仅 50%-80%）。当前全固态电池多数企业为中试或小批量生产，未形成规模效应，原材料采购量小导致议价能力弱，单位设备折旧成本高，分摊到单电芯的成本居高不下。

### 全固态电池预计 2027 年开始小规模量产，2030 年有望商业化。

根据 2025 年 7 月宁德时代高管发表的意见，固态电池 2027 年将实现小规模量产，相关供应链成熟周期需要 3-5 年，2030 年前后或实现真正商业化。根据集邦咨询 2024 年 10 月报告，全固态电池处于样件电芯向工程化转化阶段，随着全球各厂商量产竞速，全固态电池有望在 2027 年前达到 GWh 级量产，预计 2027-2028 年在电动汽车领域开始千辆级示范应用，并拓展至 eVTOL 等领域，电芯能量密度将突破 400Wh/kg，2030 年后开始规模化应用，2035 年应用规模有望超过 200GWh，应用领域进一步拓展至载人航空等新市场，量产型电芯能量密度进一步提升至 500Wh/kg 及以上。



图 3 固态电池产业化进程

资料来源: Trend Force 集邦咨询《全球固态电池技术进展及产业发展趋势》。

根据中国科学院院士、清华大学教授欧阳明高意见，当前，全固态电池的技术路线要聚焦以硫化物电解质为主体电解质，相应的电动汽车用固态电池量产将经历三个阶段：

- 2025-2027 年（第一代），石墨/低硅负极硫化物全固态电池，以 200-300Wh/kg 为目标，攻克硫化物固态电解质，打通全固态电池的技术链，三元正极和石墨/低硅负极基本不变，向长寿命大倍率方向发展；

- 2027-2030 年（第二代），高硅负极硫化物全固态电池，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；
- 2030-2035 年（第三代），锂负极硫化物全固态电池，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发展（高镍、富锂、硫等）。

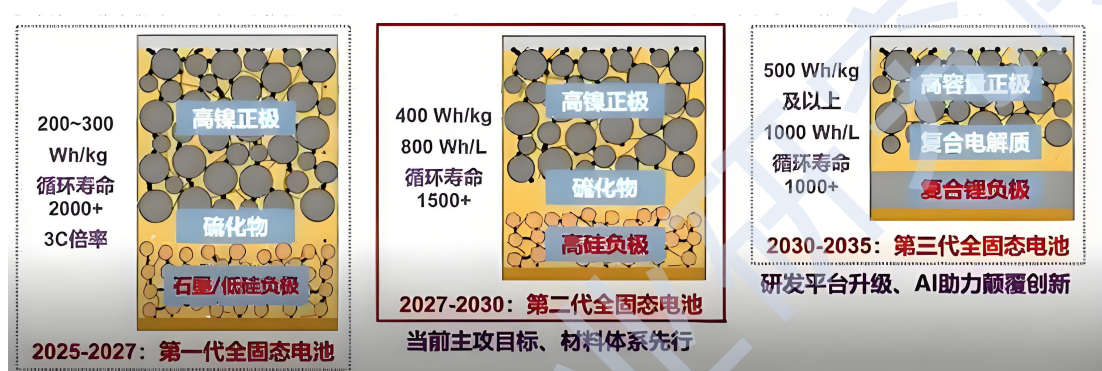


图 4 硫化物为主体电解质的轿车全固态电池量产时间预测

资料来源：欧阳明高、NE 时代公众号。

### 三、固态电池技术路线

#### （一）技术路线比较

固态电池的技术路线由固态电解质进行区分。依据固态电解质材质及特性，以往固态电池技术路线主要有聚合物、氧化物和硫化物三大技术路线，近年来卤化物固态电解质也受到广泛关注。其中，聚合物电解质属于有机电解质，氧化物、硫化物、卤化物电解质属于无机电解质。具体来看，不同类型的电解质各具鲜明特性。

——**聚合物电解质路线**。聚合物电解质材料主要基于有机物，具有较好的柔性和成膜性，容易加工，能够适应复杂的电池结构，同时

与现有的电解液生产设备、工艺都比较兼容，对负极界面的相容性较好。其缺点包括：（1）离子电导率太低，需要加热到 60°C 高温才能正常充放电；（2）化学稳定性较差，无法适用于高电压的正极材料，在高温下也会发生起火燃烧的现象；（3）电化学窗口窄，电位差太大时（>4V）电解质易被电解，使得聚合物的性能上限较低。因此，聚合物电解质路线虽然技术较为成熟，最早推进商业化应用，但更多用于对成本和柔性有要求的中低性能电池，或通过与其他材料复合以“取长补短”。

——**氧化物电解质路线**。氧化物材料具有良好的化学稳定性和机械强度，离子电导率比聚合物更高，热稳定性高达 1000°C，可以在高压环境下保持稳定，能够有效提升电池的长寿命和安全性，因此成为混合固液电池（半固态电池）的理想选择。其缺点包括：（1）相对于硫化物，其离子电导率偏低，使得氧化物固态电池在性能提升过程中会遇到容量、倍率性能受限等一系列问题；（2）氧化物非常坚硬，导致固态电池存在刚性界面接触问题，与正极复合接触效果差，在简单的室温冷压情况下，电池的孔隙率非常高，可能导致电池无法正常工作。一般通过掺杂、复合等技术手段改性氧化物材料，以解决界面问题。当前，氧化物路线主要是作为全固态的过渡方案，主要用于半固态电池。

——**硫化物电解质路线**。硫化物材料是固态电解质中离子电导率最高的材料，能够极大提升全固态电池的整体导电性，机械性能好，并且电化学稳定窗口较宽（5V 以上），工作性能表现优异，在全固态电池中发展潜力最大。其缺点包括：（1）界面不稳定，容易与正负极材料发生副反应，造成界面高阻抗，导致内阻增大；（2）在制备工艺层面，硫化物固态电池的制备工艺比较复杂，且硫化物容易与

空气中的水、氧气反应产生硫化氢剧毒气体。硫化物电解质依托其高导电率、高热稳定性优势，最适用于电动车，商业化潜力大。

——**卤化物电解质路线**。卤化物材料是通过含卤素（如氯、溴、碘）的化合物作为离子传导介质，其优点包括：（1）高离子导电率，部分卤化物电解质室温离子电导率接近液态电解质水平，低温环境下仍保持较高离子迁移率，能够有效提升电池的充放电效率；（2）优异的电化学氧化稳定性，电化学窗口超过 4.5 V，在高电压环境下表现出色，可适配高电压正极材料，有助于提高电池的能量密度；（3）具有良好的形变能力，机械柔软、易于冷压成型，可显著降低界面阻抗，在受到外力作用时，能够保持电池结构的稳定性；（4）安全环保与低成本潜力，制备过程不产生 H<sub>2</sub>S 等有毒气体，无需严格惰性气氛，干燥环境即可生产，同时铁基卤化物原料成本低。其缺点包括：

（1）对金属负极稳定性差，卤化物体系的还原电位不够低，无法与金属锂负极很好地匹配，容易被金属负极还原，导致循环过程中电池容量衰减，需要通过界面改性技术优化；（2）对潮湿环境敏感，比如氯化物对潮湿空气较为敏感，容易受空气中水分影响，导致性能下降并腐蚀集流体；（3）绝对离子电导率仍略低于 LGPS 等顶级硫化物；（4）量产工艺尚未成熟，部分卤化物固态电解质的合成需要特殊的条件和方法，合成工艺较为复杂，部分卤化物则包含锆、铟、镧等金属，成本较高。近期的研究及应用方向主要是考虑卤化物与其他电解质材料（硫化物、氧化物）复合。

**不同技术路线各有优缺点，硫化物成为动力电池主攻方向。**理想的固态电解质材料应该拥有高离子电导率，对锂金属具有化学和电化学稳定性，能够很好地抑制锂枝晶产生，制造成本较低，无需使用稀有金属等特点。但目前四个技术路线各有优缺点，未有能同时满足以

上要求的，在技术突破上仍存在一定的难度。从单一电解质来看，目前聚合物路线逐渐被抛弃或者作为复合电解质材料的补充，氧化物路线成为过渡阶段半固态电池的首选，硫化物路线在单一电解质中最具潜力，逐渐成为整车企业和动力电池企业的主流选择，卤化物可作为复合电解质（硫化物主体+卤化物界面层）的组分，与硫化物在不同应用场景中形成互补格局。

根据 EVTank 白皮书，聚合物电解质和氧化物电解质主要用于当前半固态电池，硫化物和卤化物主要用于未来全固态电池，少部分用于半固态电池掺杂使用。2024 年中国聚合物和氧化物电解质出货量占比超过 98%，少量使用硫化物和卤化物。EV Tank 预计随着全固态电池的逐步产业化，硫化物电解质的出货量占比会逐步提升，预计到 2030 年，硫化物电解质的总体出货量占比将达到 29.5%，其中在全固态电池电解质中，硫化物电解质的市场份额将达到 65%。

**复合电解质研发成为重点。**很多团队采用无机物和有机物的复合形式展开固态电池研发，而多组分复合电解质体系因兼具成本优势与综合性能优势，有望实现 1+1>2 的效果，成为未来技术演进的重要趋势。

表 2 固态电池主要技术路线对比

对比项	聚合物	氧化物	硫化物	卤化物
典型材料	聚环氧乙烷 PEO、聚丙烯腈 PAN、聚苯乙烯 PS、聚甲基丙烯酸甲酯 PMMA、聚偏氟乙烯 PVDF 等聚合物+其他电解质材料	晶态：NASICON/LLZO/LLTO 非晶态：LiPON	LPS 系：LiGPS LPG 系： LiSnPS/LiSiPS	LiaMXb（M 为金属元素，X 为卤素元素）

对比项	聚合物	氧化物	硫化物	卤化物
离子电导率 (S/cm)	PEO: $10^{-7} \sim 10^{-6}$ PAN/PS : $10^{-5} \sim 10^{-4}$ PMMA: $10^{-4} \sim 10^{-3}$	NASICON: $10^{-4}$ LLZO: $10^{-6} \sim 10^{-5}$ LLTO: $10^{-5} \sim 10^{-3}$	LiSiPS: $10^{-7} \sim 10^{-6}$ LiSnPS/LiGPS : $10^{-3} \sim 10^{-2}$	$10^{-3}$
电化学窗口 (V)	较窄 (0-4)	宽 (0-5)	较宽 (0-5)	宽 (0-5)
界面阻抗	较大	很大	大	大
热稳定性	较低	高	中等	较高
空气稳定性	较高 (需防潮)	高 (对水分和氧气不敏感)	较差 (遇水生成 $H_2S$ )	中等 (对潮湿敏感)
能量密度目标	600Wh/kg	700Wh/kg	900Wh/kg	700Wh/kg
优点	生产简单、加工性能好、机械性能佳	高化学和电化学稳定性, 高机械强度, 宽电化学窗口	高离子电导率, 良好的机械强度和机械的灵活性	高离子电导率、高氧化稳定性、宽化学窗口
缺点	热稳定性有限、电化学窗口窄 (<4V)、高电压耐受力差、不适用于高功率场景、离子电导率低、循环寿命短	在低电势下容易被还原导致锂离子电导率降低, 晶界离子电导率小, 机械脆性大 (加工易裂)	氧化稳定性差, 对水、空气敏感, 与正极材料兼容性差, 技术难度大	对金属负极稳定性差、容易被金属负极还原, 对潮湿环境敏感

资料来源:《Lithium battery chemistries enabled by solid-state electrolytes》等, 深企投产业研究院整理。

## (二) 三类主要电解质成本拆解

从成本维度拆解可见, 全固态电池三大技术路线的成本差异与特性紧密关联:

硫化物路线材料成本高、制造成本低、能量密度上限最高。硫化

物电解质路线：原材料（如 LPS/LPGS）价格高昂，材料成本达 2.6-4.8 元/Wh（对应电解质材料 200-250 万元/吨），虽制造成本（1.1-1.4 元/Wh）相对可控，但材料成本占比超 70%，推升总成本至 3.7-6.2 元/Wh；不过其能量密度可达 450-900Wh/kg，高导电率带来的性能优势显著。

**聚合物路线材料成本低、制造难度大，能量密度上限较低。**聚合物复合电解质路线（如 LLZO+PEO 体系）：材料成本仅 0.5-1.3 元/Wh（电解质材料 50-60 万元/吨），但合成步骤复杂、加工精度要求高，制造成本高达 1.4-2.2 元/Wh，最终总成本 1.9-3.5 元/Wh，制造成本成为主要拖累。能量密度目标最高仅为 600Wh/kg。

**氧化物路线材料成本、制造成本、能量密度上限居中。**氧化物电解质路线（如 LATP/LLZO 体系）：材料成本（1.5-2.8 元/Wh，电解质材料 30-40 万元/吨）与制造成本（1.3-1.8 元/Wh）均处于中间区间，总成本 2.8-4.6 元/Wh，同时能量密度达 450-700Wh/kg，在性能与成本间实现较好平衡。

**表 3 固态电池不同技术路线成本对比**

分类	聚合物复合电解质路线	氧化物电解质路线	硫化物电解质路线
电芯性能	能量密度: 400-600Wh/kg 电芯电压: 3.6-5V	能量密度: 450-700Wh/kg 电芯电压: 3.6-5.5V	能量密度: 450-900Wh/kg 电芯电压: 3.6-5V
电解质材料	材料: LLZO+PEO 成本: 50-60 万元/吨	材料: LATP（属于 NASICON）/LLZO/LLTO 成本: 30-40 万元/吨	材料: LPS/LPGS 成本: 200-250 元/吨
正极材料	材料: 高镍三元、富锂锰基、尖晶石镍锰酸锂 克容量: 280mAh/g、300mAh/g、133mAh/g 成本: 16.8 万元/吨（均）	材料: 高镍三元、富锂锰基、尖晶石镍锰酸锂 克容量: 280mAh/g、300mAh/g、133mAh/g 成本: 16.8 万元/吨	材料: 高镍三元、富锂锰基 克容量: 280mAh/g、300mAh/g 成本: 16.8 万元/吨（均）

分类	聚合物复合电解质路线	氧化物电解质路线	硫化物电解质路线
		(均)	
负极材料	材料：硅碳、硅氧、锂金属 克容量：610mAh/g、300mAh/g、3860mAh/g 成本：12 万元/吨、9 万元/吨、70 万元/吨	材料：锂金属 克容量：3860mAh/g 成本：70 万元/吨	材料：硅碳、硅氧 克容量：610mAh/g、300mAh/g 成本：12 万元/吨、9 万元/吨
预估成本	总成本：1.9-3.5 元/Wh 制造成本：1.4-2.2 元/Wh 材料成本：0.5-1.3 元/Wh	总成本：2.8-4.6 元/Wh 制造成本：1.3-1.8 元/Wh 材料成本：1.5-2.8 元/Wh	总成本：3.7-6.2 元/Wh 制造成本：1.1-1.4 元/Wh 材料成本：2.6-4.8 元/Wh

资料来源：深企投产业研究院整理。

### (三) 全球厂商技术路线选择

固态电池厂商多种技术路线同时布局，应用领域不断拓展。根据 GGII 统计，超过 60%的固态电池研发企业布局两种乃至三种技术路线，只布局一种技术路线的企业数量相对较少，核心原因是目前固态电池技术路线还未确定。具体的技术路线方面，硫化物布局比例约 40%，氧化物比例约 35%，剩余为其他技术路线。应用场景方面，当前 75%的固态电池应用在动力领域。GGII 认为，短期内，储能会成为带动固态电池快速增长的引擎。不过长远来看，市场需求还将集中于动力领域。新兴市场是固态电池的潜力终端，包括换电、特种动力、eVTOL（电动垂直起降飞行器）、外骨骼、机器人、电摩等。预计到 2035 年，中国固态锂电池将有 55%应用在新能源汽车领域，20%应用在储能领域，10%应用在新兴市场，剩余 15%应用在 3C 数码等领域。

全球固态电池研发厂商集中在中日韩及美国，硫化物技术路线占

比最高。从国家分布来看，不同地区的固态电池厂商在技术路线选择上呈现差异化特征。日本、韩国以硫化物路线为主；中国早期半固态电池阶段以氧化物以及氧化物+聚合物复合电解质为主要路线，全固态电池阶段则聚焦卤化物路线；欧美地区的厂商早期侧重聚合物与氧化物路线，近年来硫化物路线也成为主流。主要技术路线代表厂商如下表所示。

表 4 全球主要地区固态电池技术路线代表厂商

技术路线	中国	日韩	美国	欧洲
聚合物	欣旺达、派能科技、蔚蓝锂芯、北京纯锂新能源、万向一二三、浙江金羽、中国时代、深蓝汇泽、领新新能源、东驰新能源、合源锂创、久森安高等	LG 新能源（半固态）	Microvast 、 SES 、 Solidion Technology 、 Ionic Materials 、 Factorial Energy	博洛雷 、 Ensurge Micropower
氧化物	氧化物复合电解质：卫蓝新能源、清陶能源、国轩高科、蜂巢能源、赣锋锂业、太蓝新能源、天能股份、安瓦新能源、北京固芯、深圳比克、德尔股份、中自科技等 单一电解质：辉能科技、正力新能、瑞浦兰钧、鹏辉能源、珠海冠宇、耀宁新能源、金龙羽、南都电源、欣界能源等	富士电气、三星电机、IL Science	Quantum Scape、Ion Storage Systems	Ilika、ITEN
硫化物	宁德时代、卫蓝新能源、孚能科技、比亚迪、国轩高科、亿纬锂能、蜂巢能源、中创新航、欣旺达、正力新能、上海屹锂、蔚蓝锂芯、珠海	日本：丰田、松下、本田、日产、三菱化学集团、日立麦克赛尔、Kanadevia 、三	Solid Power 、 Factorial Energy、Adden Energy 、 24M Technologies	SOLiTHOR 、 AVESTA

技术路线	中国	日韩	美国	欧洲
	冠宇、耀宁新能源、金龙羽、安瓦新能源、恩力动力、万向一二三、赛科动力、中科固能、浙江金羽、中固时代、复阳固态、马车动力、久森安高、中科源本、成科国重、北京固芯等	洋化成工业 韩国：LG 新能源、SK On、三星 SDI、现代汽车、Athena		
卤化物	宁德时代、比亚迪、清陶能源、亿纬锂能等	松下		

资料来源：深企投产业研究院整理。

日本在硫化物固态电池领域专利覆盖广，对中国企业构成专利壁垒。日本企业如丰田、松下、出光兴产等在硫化物电解质技术路线上专利布局极为密集，相关专利数量居世界前列，比如丰田从 2010 年就开始布局，在固态电池领域拥有超 1700 项相关专利，覆盖硫化物电解质合成、界面改性、量产工艺等全流程。面对日本厂商在硫化物技术路线上的专利壁垒，中国固态电池企业通过大力发展卤化物电解质寻找新突破口，同时在硫化物领域通过工艺优化创新、复合电解质研发、制造设备等方面构建反向专利池，并通过交叉授权许可方式突破专利壁垒。

#### 四、固态电池市场规模

当前对于固态电池（包含半固态、全固态电池）的市场数据，各个行业机构的统计口径不同，对于量产进度的预测差异较大，预测的 2030 年全球固态电池出货量从 100GWh 至超过 600GWh 不等，其中全固态电池出货量从不超过 10GWh 到 180GWh 不等。

根据日本市场调查机构富士的数据，2024 年全固态电池全球市

场规模预估为 1158 亿日元（折合 54 亿人民币），达到 2023 年的 4 倍。根据 2025 年 3 月 EV Tank 等发布的《中国固态电池行业发展白皮书（2025 年）》，2024 年全球固态电池出货量达到 5.3GWh，同比大幅增长 4.3 倍，全部为半固态电池，主要为中国企业生产。预计全固态电池将在 2027 年实现小规模量产，到 2030 年将实现较大规模的出货。预计到 2030 年全球固态电池出货量将达到 614.1GWh，其中全固态的比例将接近 30%，固态电池市场规模将超过 2500 亿元。

根据高工产业研究院（GGII）2024 年 11 月发布的报告，2024 年中国半固态电池出货量预计约 7GWh，到 2030 年将超过 65GWh，2035 年达约 300GWh。全固态电池因未产业化成本高昂，预计从工程化突破到 GWh 级装车需 5-6 年，则预计 2028 年可实现出货量突破 1GWh，2035 年后超 5GWh。最近四年，固态电池行业发布的投资规划总金额超 2000 亿元，规划产能超 400GWh。但预计到 2024 年底，固态电池行业实际产能约 15-20GWh，拥有超过 1.5GWh 产能的企业不超过 4 家。乐观估计，到 2027 年，行业产能能够达到 100GWh。根据高工产研公众号，2025 年 1-4 月，固态电池扩产超 50GWh，总规划产能超 450GWh，实际投产产能超 25GWh。

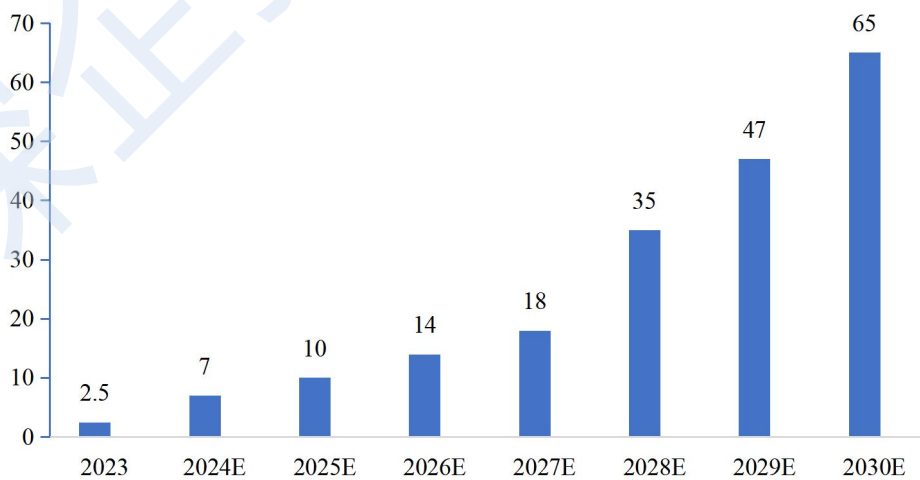


图 5 2023-2030 年中国半固态电池出货量（GWh）

资料来源：GGII《2024 中国固态电池行业发展现状及趋势分析》，深企投产业研究院整理。

根据集邦咨询报告，预计 2025 年半固态电池出货量将超过 10GWh。2024 年半固态电池实际装车量不如预期，由于良品率、充电倍率、循环寿命等关键指标有待优化，2024 年全球半固态电池实际装车量仅为 1.4GWh，市场渗透率仅为 0.2%，预计 2025 年装车量达到 3GWh，渗透率达到 0.3%，2027 年装车量达到 12GWh，渗透率达到 1%。

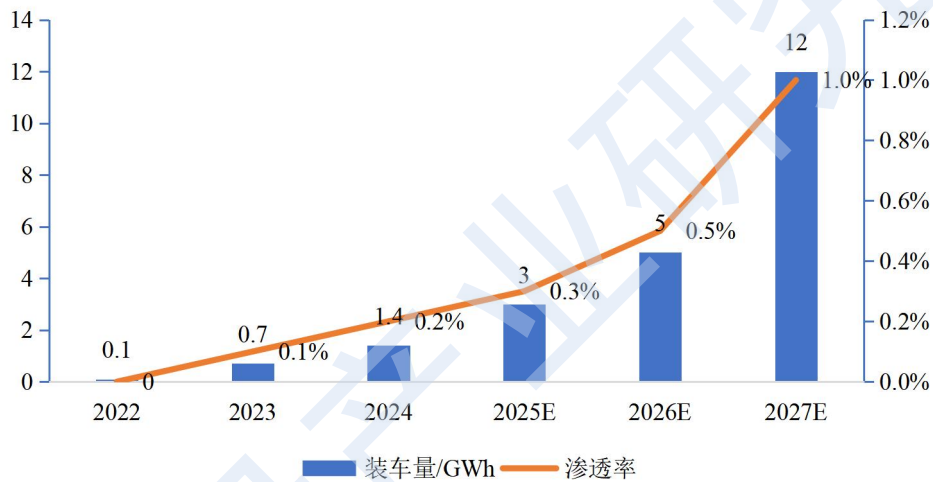


图 6 2022-2027 年全球电动汽车半固态电池装车量及渗透率

资料来源：Trend Force 集邦咨询，深企投产业研究院整理。

根据国信证券预测，2025 年全球固态电池需求将达到 16.4GWh，均为半固态电池，对应市场空间为 144 亿元，预计 2030 年全球固态电池需求达到 270.8GWh，对应市场空间达到 2180 亿元，其中全固态电池市场空间为 1138 亿元，如下图所示。

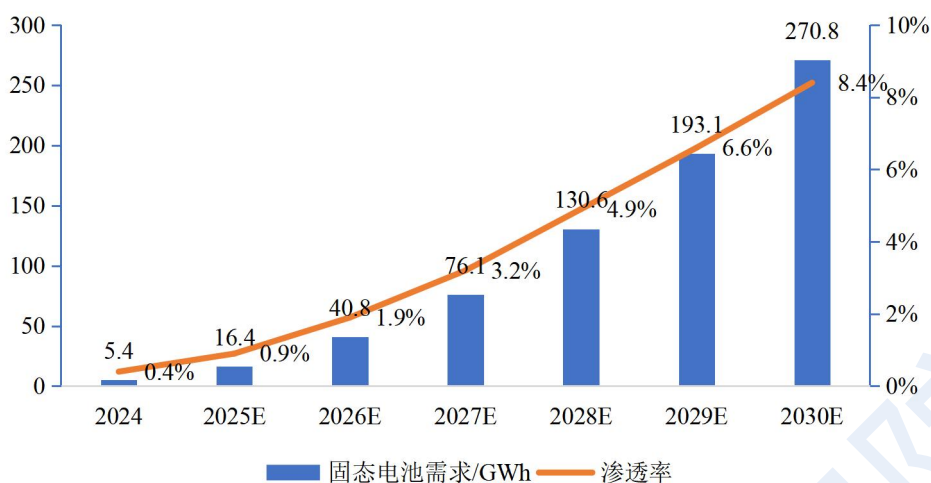


图 7 2024-2030 年全球固态（含半固态）电池市场需求及渗透率

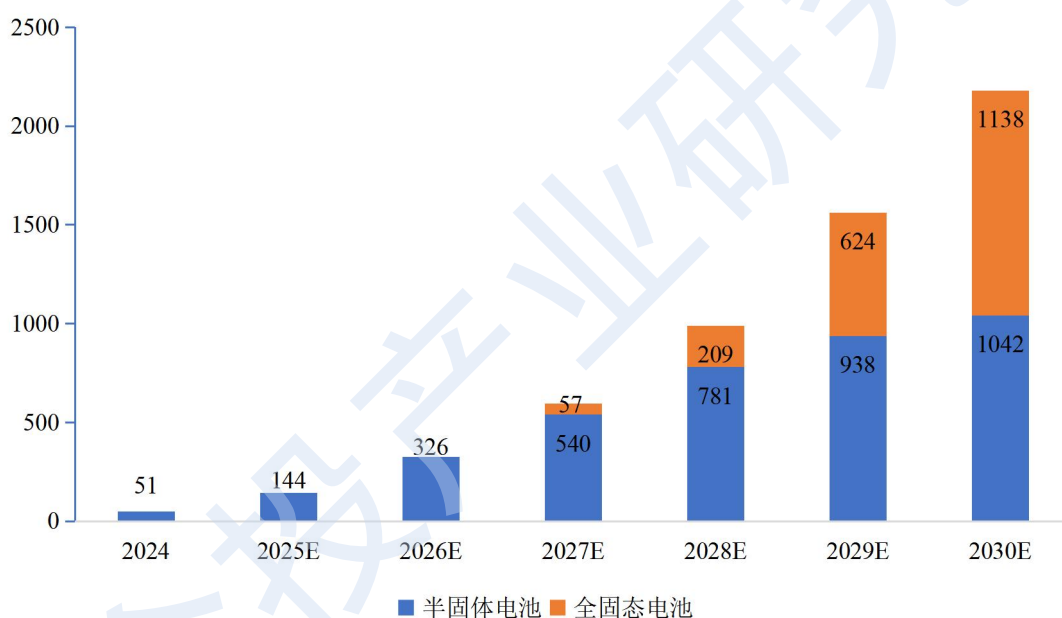


图 8 2024-2030 年全球固态（含半固态）电池市场空间（亿元）

资料来源：国信证券，深企投产业研究院整理。

## 五、全球百家企业布局及进展

### （一）车企固态电池布局

目前全球主流车企快速布局固态电池。海外有丰田、日产、现代、奔驰、大众等；国内有上汽、广汽、长安、奇瑞、吉利、北汽、东风、

比亚迪、蔚来、小鹏、赛力斯等。主流车企一般采用自研及与外部固态电池厂商合作两条路线并行。从车型应用角度，截止 2025 年 7 月，国内半固态电池已成功装车蔚来 ET7 及 ET9、上汽智己 L6、奇瑞星纪元 ES、东风岚图等多款车型，全固态电池装车上量则要到 2027 年及以后。

表 5 国际车企固态（含半固态）电池布局

序号	车企	合作厂商	规划布局及进度
1	丰田	自研+松下	主攻硫化物路线，固态电池专利数量超过 1700 件、全球领先。2019 年与松下成立合资公司联合研发固态电池。2024 年 9 月，全固态电池生产计划获日本经济产业省的认证，2026 年启动初期量产，续航里程 800 公里，快充能力 20 分钟从剩 10% 电量充到 80%。2027-2028 年全面商业化应用硫化物固态电池。
2	本田	自研（本田技研）+ SES、松下	主攻硫化物路线，公司投资 SES 联合开发固态电池产品。公司 2024 年建设全固态电池示范生产线，2025 年 1 月开始小试生产，并在 2025-2030 年左右实现量产。
3	现代	SES、LG 新能源、SK On、Factorial Energy	2025 年 3 月韩国的全固态电池试验线（试点产线）正式投产，预计在 2025 年底推出搭载该电池的原型车。公司预计 2027 年实现部分固态电池车型量产、2030 年左右实现全面量产。
4	大众集团	Quantum Scape	投资 Quantum Scape，专注于氧化物陶瓷电解质路线，旗下电池子公司 PowerCo 正在德国、西班牙和加拿大建设大型电池工厂，规划年产能 40GWh。计划 2026 年全固态电池装车上市。
5	奔驰	辉能科技、Factorial Energy	2024 年宣布与合作伙伴共同开发固态电池，2030 年前将实现固态电池量产。2025 年 2 月，梅赛德斯-奔驰使用装载 Factorial Energy 固态电池的 EQS 原型车进行路试，承诺续航里程超 1000 公里。
6	通用	SES	公司投资 SES，联合开发固态电池产品；2021 年进行了 A 样品测试，预计 2027 年上市。

序号	车企	合作厂商	规划布局及进度
7	日产	自研+松下	主攻硫化物路线，与三菱化学集团组成联盟。2024 年 4 月，公开其日本横滨建设的全固态电池试验线，25Q1 进行小试生产。计划 2026 年全固态电池装车测试，2028 年推出首款全固态电池车型。
8	宝马	Solid Power	2025 年 5 月宣布宝马 i7 车型正式启动首批搭载全固态电池（由 Solid Power 提供）的电动汽车道路测试，采用硫化物基电解质及创新模组结构。

资料来源：国信证券、西部证券等，深企投产业研究院整理。

表 6 国内车企固态（含半固态）电池布局

序号	车企	合作厂商	规划布局及进度
1	上汽集团	清陶能源（参股）	2024H1 发布智己 L6，光年版本搭载光年半固态电池，能量密度为 368Wh/kg（氧化物路线）。2025 年底公司新一代固态电池将在全新 MG4 上量产应用。2027 年将推出首款全固态电池光启电池。2024 年半固态电池充电 12 分钟续航 400 公里。全固态电池基于聚合物-无机物复合电解质技术路线。
2	广汽集团	自研+赣锋锂业	2024 年透露研发的 30Ah 全固态动力电池能量密度达 400Wh/kg，计划在 2026 年昊铂旗下车型搭载全固态电池。2024 年 12 月广汽集团发布全新飞行汽车品牌“高域”，该产品未来将搭载广汽自研的全固态电池。
3	长安汽车	自研+合作（太蓝、赣锋锂业）	2024 年 11 月与太蓝新能源联合发布无隔膜固态锂电池技术。2025 年 2 月公司推出全固态电池“长安金钟罩”，计划 2025 年底实现样车首发、2026 年实现固态电池装车验证，2027 年逐步量产，能量密度达 400Wh/kg。
4	比亚迪	自研（弗迪电池）	2024 年下线 60Ah 全固态电池（中试产品），2027 年左右启动全固态电池批量示范装车应用（搭载于高端车型），2030 年后实现大规模上车。
5	吉利汽车	自研（耀宁新能源）+卫	2023 年建设固态电池实验室，2024 年年中宣布自研的全固态电池能量密度达到 400Wh/kg，电芯已完成

序号	车企	合作厂商	规划布局及进度
		蓝新能源	20AH 样品试制。
6	北汽集团	清陶能源	2020 年搭载清陶能源固态电池的样车下线。2022 年北汽福田完成固态电池搭载测试。2025 年 3 月发布北汽福田半固态电池卡车。
7	奇瑞汽车	自研、国轩高科、安瓦新能源（参股）等	2024 年 10 月宣布正在研发全固态电池，目标是 2026 年全固态电池上车（定向运营），2027 年批量上市；2024 年猎装轿跑车型奇瑞猎风搭载全固态电池首发登场；2025 年 6 月星途星纪元 ET 搭载国轩高科的固态电池开始路测，能量密度为 350Wh/kg。
8	蔚来汽车	卫蓝新能源	2023 年 12 月搭载半固态电池包的蔚来 ET7 实测续航超 1000 公里。2025 年 4 月搭载半固态电池的蔚来 ET9 亮相上海车展。蔚来 ET7 搭载能量密度 360Wh/kg 的半固态电池，已实现量产交付。
9	赛力斯	赣锋锂业	2023 年 6 月搭载赣锋锂业第一代固态电池的赛力斯 SF5 车型实现首批交付。
10	一汽集团	自研、孚能科技	2024 年 3 月一汽解放与孚能科技签署合作框架协议，将半固态电池首次应用在商用车上。2024 年一汽集团研发总院完成全固态电池 20Ah 级核心材料电芯开发，电芯能量密度为 375Wh/kg，容量 22Ah，目标是 2027 年实现固态电池小批量示范运行。
11	吉利汽车	自研	2024 年披露自研的全固态电池已达到 400Wh/kg 的能量密度，电芯制备已完成 20Ah。
12	小鹏汽车	中创新航、亿纬锂能、孚能科技	EVTOL 在 2026 年有望搭载中创新航的问顶半固态大圆柱电池产品。
13	东风汽车	孚能科技、赣锋锂业	2022 年东风 E70 搭载赣锋锂电的半固态电池投入示范运营。岚图追光、岚图梦想家搭载孚能科技的半固态电池，第一代半固态电池能量密度 330Wh/kg；2025 年 7 月东风奕派高管披露，东风固态电池将于 2026 年上车，能量密度 350Wh/kg，续航超过 1000KM，-30°C 里程达成率 70%以上。计划 2028 年实现全固态电池车型量产上市。

序号	车企	合作厂商	规划布局及进度
14	小米汽车	自研	已发布固态电池相关专利。

资料来源：国信证券等，深企投产业研究院整理。

## （二）国际固态电池企业

国际固态电池厂商主要分布在日本、韩国、美国，欧洲也有少量企业分布。日本厂商（不含车企）以松下为代表，重点企业还有三菱化学集团、富士电气、出光兴产（电解质）、Kanadevia、日立麦克赛尔、三洋化成工业等。韩国厂商以 LG 新能源、SK On、三星 SDI 为代表，重点企业还有三星电机、IL Science、Athena 等。美国代表厂商包括 Quantum Scape、Solid Power、Factorial Energy、SES 等，其他重点企业还有 Microvast、Solidion Technology、Ionic Materials、Adden Energy、24M Technologies 等。

日韩美头部企业布局固态电池时，正极均采用三元高镍体系，电解质以硫化物为主流，负极聚焦硅碳、锂金属及无负极技术。日本丰田、本田主攻硫化物路线，分别计划 2026 年小批量量产、2025 年试生产；韩国三星 SDI、LG 新能源、SKOn 通过硫化物单一或聚合物+氧化物等复合路线，推进 2025-2029 年试产与商业化。美国 Quantum Scape、Solid Power、ION 覆盖氧化物、硫化物技术，从 B 样测试、路试阶段向 2025-2028 年产能落地迈进。各方围绕 300-500Wh/kg 高能量密度及快充、长续航性能，在 2025-2030 年量产窗口期展开技术与节奏竞争。国际主要固态电池企业如下表所示。

表 7 国际固态电池主要厂商技术路线及规划进展

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
1	LG 新能源	聚合物(半	高镍三	硅碳/	2024 年 8 月更新其固态电池规划，聚焦

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
		固态)、硫化物(全固态)	三元	锂金属	干法电极路线, 目标 2030 年前完成设计开发。计划 2026 年前实现聚合物半固态电池(能量密度约为 650Wh/L)产业化, 2028 年量产聚合物全固态电池(能量密度约为 750Wh/L), 2030 年量产硫化物全固态电池(能量密度约 900Wh/L)。
2	SK On	硫化物/聚合物及氧化物复合材料	高镍三元	硅碳/锂金属	与 Solid Power、韩国汉阳大学、韩国延世大学等合作。计划 2026 年前完成聚合物氧化物复合固态电池和硫化物固态电池研发, 2026 年计划完成中试线建设(韩国大田研究院), 并于 2028 年进行产业化。目前正在开发两款新型固态电池原型产品, 预计分别于 2028 年与 2030 年面世。公司与 Solid Power 合作建设的首座试验工厂预计 2025 年下半年竣工。
3	三星 SDI	硫化物	NCA	银碳/硅碳负极	2022 年 3 月开始建设固态电池试验线, 2023 年内建成投产, 2023 年 12 月成立专门团队推动商业化。 2024 年 3 月公开全固态电池量产路线图, 展示 super-gap 超间隙电池技术, 采用硫化物电解质、无负极, 能量密度 900Wh/L。2025 年 3 月增发 2 万亿韩元, 部分投向韩国固态电池生产线, 保障 2027 年全固态电池量产目标。
4	松下	卤化物、硫化物	高镍三元	硅碳/锂金属	2019 年与丰田合资成立 Prime Planet Energy & Solutions 开发固态电池, 计划 2027 年开始为丰田提供固态电池。公司计划 2025-2029 年间量产用于小型无人机的全固态电池。
5	Solid Power (美国)	硫化物	高镍三元	硅碳/锂金属	2024 年 9 月扩大硫化物电解质产能: 现有产能 30 吨/年, 2026 年将扩展至 75 吨/年、2028 年将扩至 140 吨/年。已向宝马

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					等合作伙伴交付了首批全固态电池样品，用于测试和验证。计划预 2026 年开始系列生产，2030 年之前实现全固态电池的量产。
6	Quantum Scape (美国)	氧化物	高镍三元	零负极 (锂金属)	大众集团投资。以是 LLZO 锂镧锆氧石榴石型氧化物作为其固态电解质的主要成分。2024 年 7 月达成大众-PowerCo 合作，2024 年 10 月开始小批量生产 QSE-5 的 B 样品电池，能量密度超过 800Wh/L，2025 年 6 月宣布启动 Cobra 设备和工艺，计划大批量生产其固态电解质隔膜，2025 年 7 月获得大众-PowerCo 注资建设试点生产线。
7	Factorial Energy (美国)	聚合物(半固态)、硫化物(全固态)	高镍三元	锂金属	奔驰、Stellantis 等投资。2024 年 12 月发布 40Ah 全固态电池，循环达 2000cyc；2025 年 2 月奔驰搭载其锂金属负极全固态电池开启 EQS 车型路测，宣称其 Solstice 固态电池能量密度 450 Wh/kg，预计 2030 年前量产。合作车企包括奔驰、宝马、现代、Stellantis 等。
8	Microvast (美国)	聚合物	高镍三元	锂金属	固态电池技术突破聚焦在双极堆叠架构和一种专有的全固态电解质隔膜，进入试产阶段；2024 年 9 月宣布与韩国车企 Pline Motor 合作建设韩国电池基地。
9	出光兴产 (日本)	硫化物	—	—	聚焦硫化物固态电解质研发生产，硫化物电解质专利数量位居世界前列。2025 年 4 月电解质工厂扩建完成，电解质样品产能由年产数吨提升至数十吨。
10	Maxell 日立 麦克赛尔 (日本)	硫化物	高镍三元	硅碳/锂金属	开发微型固态电池 (薄膜固态电池)，应用于医疗、工业物联网、消费电子及航空航天等领域。2025 年 1 月宣布其量产的陶瓷封装型全固体电池“PSB

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					401010 H”，搭载于株式会社 Co-Works 和吉野家共同开发的烹饪用无线温度装置“NICK”上，计划 2026 年量产新型圆柱形全固态电池，用于工业设备上。2025 年 3 月余 Micro-Sensys GmbH 合作，将先进的全固态电池技术应用于下一代医疗数据记录器。
11	SES（美国）	聚合物-氧化物（半固态）	高镍三元	锂金属	采用混合锂金属电池技术路线，在上海嘉定设立 1 GWh 中试线，在 2021 年发布了全球首款车规级锂金属电池 A 样品，与现代、通用、本田等汽车制造商签署了合作协议。2023 年 12 月，SES 宣布与一家车企正式签署锂金属电池首个 B 样品协议。
12	Ilika（英国）	氧化物	高镍三元	硅碳负极	2025 年 1 月宣布在美国完成了其 Stereax 微型固态电池生产线的安装，专为医疗应用设计；2025 年 5 月宣布其最新的车用固态电池 P1 Goliath 通过 OEM 和一级供应商测试。合作车企包括宝马、捷豹路虎、塔塔等。
13	富士电气（日本）	氧化物	未知	未知	通过掺杂、复合等技术手段，对现有氧化物材料进行改性，努力突破离子电导率的限制。
14	OHARA 小原股份（日本）	氧化物	—	—	主要研发生产氧化物固态电解质。
15	Kanadevia（日本）	硫化物	高镍三元	硅碳	前身为日立造船公司。开发微型固态电池（薄膜固态电池），应用于医疗、工业物联网、消费电子及航空航天等领域。已开发出全固态电池“AS-LiB”，容量涵盖从 55mAh 到 5000mAh 不同规格，2022 年与日本宇宙航空研究开发机构 JAXA

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					合作在国际空间站进行实验测试。2024年2月宣布从芯片设备商获得首个商业化订单。2024年11月宣布开发了1Ah的全固态电池，单位体积能量密度超200Wh/L，将继续开发更高容量和更小尺寸的固态电池产品。
16	三洋化成工业（日本）	聚合物	未知	石墨/碳基	2021年10月所投资的APB公司在日本建成首条20MWh级全树脂电池量产线。
17	博洛雷 Bolloré（法国）	聚合物	LFP, LMFP 和 NMC	锂金属	旗下公司 Blue Solutions / Batscap 是聚合物固态电池领域的先驱。2011年就推出聚合物固态电池，能量密度为100Wh/kg。2016年，博洛雷与法国雪铁龙集团合力推出世界上第一台使用全固态金属锂电池的乘用车。2025年4月 Blue Solutions 宣布与璞泰来合作，共同开发第四代固态电池材料与装备的最佳解决方案。现有工厂位于法国（雷恩）和加拿大（蒙特利尔），年产能 1.5GWh，2024年宣布在法国阿尔萨斯地区投建 25GWh 产能工厂，总投资 22 亿欧元，预计 2030 年投产。正在开发的第四代固态电池能量密度超过 450Wh/kg。合作企业包括宝马、大众等。
18	Solidion Technology（美国）	聚合物	一代-高镍三元、三代-硫正极	锂金属	专注于锂硫（Li-S）电池开发，2025年3月宣布其锂硫电池的电池能量密度已达到 380 Wh/kg，下一个目标是 450 Wh/kg。
19	SOLiTHOR（比利时）	硫化物	未知	锂金属	2023年与欧洲航空公司 Sonaca 合作开发支线飞机用固态电池。2024年10月其开发的下一代锂金属固态电池达到 1000 次充电循环。

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
20	Adden Energy (美国)	硫化物	高镍三元	锂金属	哈佛大学衍生的初创公司，固态电池样品在实验室测试中实现了 3 分钟充电，循环寿命超过 10000 次，2025 年 2 月启动中试线。
21	24M Technologies (美国)	硫化物	未知	硅碳/锂金属	半固态电池，2022 年获得大众集团投资，估值 10 多亿美元。参股国内安瓦新能源。2024 年在泰国建设工厂。计划通过技术授权的京瓷等电池厂商，于 2025 年在日本、印度、中国（安瓦新能源）量产半固态电池，供应给亚洲及欧美车厂使用。
22	AVESTA (比利时)	硫化物	高镍三元	锂金属	2024 年 6 月宣布 0 代固态原型软包电池已实现 500 次充放电周期，容量保持率为 82%；锂金属负极年产能超过 3.8 万平米。
23	ION Storage Systems (美国)	氧化物	高镍三元	锂金属	获得美国能源部资助，丰田等投资。首条示范线已于 2025 年在贝尔茨维尔投产，首期 1MWh，2025 年初扩至 10MWh，远期目标 2028 年 500MWh，产品首先向美国国防部供货，用于士兵可穿戴电源与装备，随后将扩展至电动汽车、消费电子、储能与航天领域。
24	Ionic Materials (美国)	聚合物	高镍三元	硅碳/锂金属	通用汽车等投资。2024 年停止运营。
25	Ensurge Micropower (挪威)	聚合物	未知	锂金属	开发微型固态电池。2024 年 4 月向一家领先的消费电子产品公司交付了首个固态锂微电池，其高能量密度和性能适用于空间受限的连接设备。
26	三星电机 (韩国)	氧化物	未知	银碳复合材料	开发微型固态电池。2024 年 9 月宣布开发出世界上第一款用于可穿戴设备的超小型全固态电池，若通过测试，将于 2026 年上半年在釜山工厂量产，预计将首先

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					应用于三星电子的 Galaxy Ring、Galaxy Watch 和 Galaxy Buzz 等可穿戴设备。2025 年 1 月，三星电机计划推进该固态电池的大规模生产。
27	IL Science (韩国)	氧化物	高镍三元	锂金属	开发微型固态电池，重点制造成卷的锂金属负极，技术源自于韩国嘉泉大学。2024 年 8 月宣布已成功开发出适合为太空卫星供电的小型固态电池，2025 年 6-7 月推出软包电芯样品，预计 2027 年商业化。
28	Athena (韩国)	硫化物	高镍三元	锂金属	开发微型固态电池。2025 年 1 月宣布将实现用于衬底安装的堆叠固态电池技术商业化，目标是替代可穿戴设备中的纽扣电池。
29	ITEN (法国)	氧化物	未知	未知	开发微型固态电池。推出 Powency 系列固态电池，可作为 SMD 设备与自动化生产线集成，后又实现 200C 放电速率的突破，将于 2025 年下半年进行。试验线每年可生产超过 3000 万块电池，并计划到 2028 年推出高产能制造工厂。

资料来源：国信证券、西部证券、中国能源报、电子工程世界、艾邦锂电网、新材料在线等，深企投产业研究院整理。

### (三) 国内固态电池企业

根据 GGII 数据，中国现有固态电池研发企业 100 余家，其中有 40% 是新进电池企业，即纯做固态电池的企业；约 35% 为传统电池企业；还有 8% 为主机厂；15% 为跨界企业。新进电池企业中，有超过 90% 是在 2020 年之后成立，大多数是由产学研孵化而来。根据 GGII 统计，目前，国内实现出货的固态电池企业不超过 20 家，实现出货的固态电解质企业不超过 10 家。主要电池企业聚焦高比能、高循环，

锚定 2027 年全固态电池量产目标。中国固态电池主要企业如下表所示。

表 8 中国固态电池主要厂商技术路线及规划进展

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
1	宁德时代	硫化物/卤化物	高镍三元	硅碳 / 锂金属	半固态：2023 年 4 月发布凝聚态电池，单体能量密度达 500 Wh/kg，与峰飞航空等 eVTOL 公司合作，未有明确装机车型。 全固态：2024 年 11 月进入 20Ah 样品试制，25Q3 推进更大容量全固态电池样品中试，目标 2027 年全固态电池小批量生产。已突破了干法电极、等静压一体成型等制造技术。
2	卫蓝新能源	半固态-氧化物 + 聚合物，全固态-硫化物	高镍三元	硅碳	已量产 360Wh/kg 半固态电池，布局新能源汽车、无人机及储能三大场景。2023 年 6 月 150kWh 半固态电池包交付蔚来 ET7，实测 1044 公里；2023 年 10 月与三峡共同研制的固态电池储能系统实现示范应用。2025 年 3 月珠海基地实现 314Ah 半固态储能电池量产。规划 2027 年全固态电池量产。
3	清陶能源	氧化物 + 聚合物；氧化物 + 聚合物 + 卤化物（半固态及全固态）	高镍三元 / 高压锰基正极	硅碳 / 锂金属	半固态电池已搭载于上汽智己 L6（2024 年 4 月上市，电芯能量密度规划 368 Wh/kg，系统 133 kWh，CLTC 续航超 1000 km）、上汽 MG4（预计 2025 年 8 月首发）、北汽福田商用车，上汽清陶的首条全固态电池生产线一期 0.5GWh 预计在 2025 年底完工。已建成半固态电池产能 12GWh/年。第三代全固态电池有望在 2027 年装车。
4	孚能科技	氧化物 + 聚合物（半固态）；硫化物（全固态）	高镍三元	硅碳 / 锂金属	2021 年量产第一代半固态电池产品；2022 年开始量产交付，截至 2024 年底，其半固态电池已装车超 5 万辆。第二代半固态电池能量密度达 330Wh/kg 并推进车规级认证，循环寿命超过 4000 圈，预计 2025 年量产。目前其第一代 eVTOL 半固态电芯已实现商业化交付，第二代

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					eVTOL 半固态电芯即将进入量产阶段。
5	比亚迪 (弗迪科技)	硫化物/卤化物	高镍三元(单晶)	石墨负极/硅碳	2024 年完成 60Ah 全固态电池中试(实验室能量密度达 450Wh/kg), 2025 年比亚迪海豹 EV 启动固态电池路试测试、预计 2027 年完成, 2027 年左右启动全固态电池批量示范装车应用, 2030 年后实现大规模上车。
6	国轩高科	氧化物+聚合物、硫化物	高镍三元	硅碳	2025 年启动装车路测, 金石电池中试样品电芯能量密度 350Wh/kg; 2025 年 5 月公布 70Ah“金石”全固态电池、G 垣准固态电池, 规划建立 12GWh 准固态电池产线。2025 年 5 月首条“金石”全固态电池实验线正式贯通, 核心设备 100%国产化, 设计产能 0.2GWh。
7	亿纬锂能	卤化物+硫化物(全固态)、氧化物	高镍三元	硅碳	2022 年实现半固态电池技术定型, 2023 年实现装车实验。2025 年 6 月宣布 2026 年将建成全固态电池中试线; 计划 2026 年推出能量密度达到 350Wh/kg 和 800Wh/L 的全固态电池, 2028 年推出 400Wh/kg 的高比能全固态电池。
8	蜂巢能源	氧化物+聚合物(半固态)、硫化物(全固态)	高镍三元	硅碳/锂金属	2020 年发布第一代果冻电池; 2023 年 12 月发布第二代方形果冻电池(A 样阶段), 2024 年 7 月推出三元半固态产品。已建成 2.3 GWh 半固态量产线, 计划 2025 年第四季度试产第一代 140 安时 Ah 的半固态电池(宝马 MINI 下一代车型的专用电池), 规划 2027 年大规模供应; 第一代全固态电池能量密度将达到 400Wh/kg, 容量为 68Ah。
9	赣锋锂业	氧化物+聚合物(半固态)、硫化物(全固态)	高镍三元	硅碳/锂金属	2021 年 1 月搭载公司固态电池的东风 E70 示范运营车全球首发; 2022 年 8 月, 与广汽埃安达成合作协议。2023 年 6 月搭载公司半固态电池的赛力斯 SERES-5 在欧洲开始交付。2023 年 12 月, 与长安汽车达成合作协议。2024 年全球首款 500Wh/kg 级 10Ah 产品实现小批量量产。合作企业还有无人机及 eVTOL、消费电子企业

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					等。
10	辉能科技	氧化物	高镍三元	锂金属 / SiOx 氧化亚硅	2016 年开始进行车规级电芯送样；2019 年蔚来汽车等与公司签订战略合作协议；2024 年开始批量交付半固态电池。2025 年 3 月推出 100% 全固态锂陶瓷电池，能量密度达 380Wh/kg。合作企业包括蔚来、奔驰、Vinfast 等。
11	中创新航	复合电解质（硫化物+氧化物/聚合物）	高镍三元/富锂锰基	硅碳 / 锂金属	2024 年 8 月发布其“无界”的全固态电池，电池容量 50Ah，能量密度 430Wh/kg，计划 2027 年小批量装车，2028 年量产。公司 2024Q4 半固态电池装车某外资豪华品牌。
12	欣旺达	聚合物、硫化物（全固态）	高镍三元	硅碳 / 锂金属	2024 年 8 月宣布第一代半固态电池完成开发，第 2 代全固态实验室原型样品能量密度达到 500Wh/kg，预计 2027 年完成能量密度大于 700Wh/kg 的全固态电池实验室制作。计划 2026 年全固态电池产能达到 1GWh，电芯容量提升至 60Ah，成本控制在 2 元 / Wh 以下。
13	重庆太蓝新能源	氧化物+聚合物	NCM、LFP、LMFP、富锂锰基	硅基 / 复合锂金属负极	2022 年首款半固态电池量产。2024 年 4 月，发布单体容量达 120Ah、实测能量密度 720Wh/kg 的超高能量密度全固态锂金属电池。2026 年预计无隔膜固态电池进行装车验证/测试，2027 年实现无隔膜全固态电池批量生产。
14	正力新能	氧化物、硫化物	高镍三元	锂金属	2024 年 4 月发布首款“正力·骐龙”半固态大圆柱电池，骐龙电池电芯能量密度达 306Wh/kg，支持 4C 快充，9 分钟内可从 0% 电量快充至 70% 电量。
15	瑞浦兰钧	氧化物	高镍三元	硅碳 / 锂金属	2024 年第二代半固态电芯的开发完成，方形电芯质量能量密度达到 300-350Wh/kg，与国内外主流车企实现合作开发和送样测试，预计 2025 年小批量生产；2024 年启动了全固态电芯方形铝壳制作，全固态电池计划 2026-2027 年小批量生产。

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
16	华为	硫化物	未知	未知	不直接生产电芯，而是与车企（赛力斯等）联合开发 PACK，推进固态电池装车。2012 年开始全固态电池领域的专利布局。2025 年 2 月公布一项氮掺杂硫化物固态电池专利。
17	上海屹锂	硫化物	高镍三元	硅碳 / 锂金属	上海交大科技成果转化，已系统性开发出多款不同粒径的 LPSC 固态电解质（电子电导率 10-9S/cm）；已开发 20Ah 全固态电池样品（能量密度 474Wh/kg）。2024 年 10 月江西于都 500MWH 全固态电池量产线投产。
18	鹏辉能源	氧化物（半固态）	高镍三元	硅基负极	2024 年 8 月发布第 1 代半固态电池，技术路线为氧化物复合电解质。能量密度为 280Wh/kg，2025 年能量密度将达 300Wh/kg 以上。公司预计 2025 年启动产品中试研发并小规模生产，2026 年正式建立产线并批量生产。
19	天能股份	氧化物 + 聚合物	高镍三元	硅基负极	2024 年设计并制备出两款固态电池原型产品，其能量密度分别达到 300Wh/kg（专为高性能电摩设计）和 400Wh/kg。推进固态电池在无人机、机器人等新兴领域的商业化应用。
20	派能科技	聚合物（半固态）	高镍三元	硅碳	布局无人机及机器人领域，目前已具备高安全、高功率、高能量软包半固态电池样品小量交付能力，第一代半固态软包电池已给海外储能样机供货。全固态处于研发初期。
21	蔚蓝锂芯	聚合物（半固态）、硫化物 + 聚合物（全固态）	高镍三元	硅碳	开发高能量密度凝胶电解质体系技术，2025 年 7 月宣布可量产 350Wh/Kg 固态圆柱电池全球首发，主要应用于包括具身机器人、低空飞行器、e-Bike 等终端领域。
22	珠海冠宇	氧化物（半固态）、硫化物	高电压钴酸锂、富锂锰基	硅碳 / 锂金属	同时布局半固态和全固态，半固态电池产品能量密度可达 350Wh/kg，消费类半固态电池产品能量密度已达 850-900Wh/L，平台送样已通过客户端验证；全固态电池实验室样品能量密度

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					400KWh/Kg。2025 年 6 月具备全惰性气体保护环境的全固态锂电池实验线正式建成投产。已定向开发出高克容量( $\geq 270\text{mAh/g}$ )富锂锰基单晶正极材料,并实现了公斤级制备。
23	耀宁新能源	氧化物、硫化物	高镍三元/富锂锰基	硅碳/锂金属	吉利子公司,已建成南浔固态研究院,形成了从固态电解质烧结、半固态电池商业化量产到全固态电池小试的全方位能力,半固态电池已进入中试阶段,计划 2026 年实现半固态电池量产,2027 年实现全固态电池小批量生产。
24	金龙羽	氧化物(半固态)、硫化物	磷酸锰铁锂	硅基负极	逐步建设了固态电芯、半固态电芯的小试、中试和扩大中试线。公司成功与客户签订无人机用高能量密度固态电芯采购订单,该订单所采购的电芯为 EC01 系列超能固态电芯,能量密度高达 500Wh/kg。订单约定,一年内采购十万支电芯产品。
25	安徽安瓦新能源	氧化物+聚合物(半固态)、硫化物(全固态)	高镍三元/富锂锰基	硅碳/锂金属	奇瑞、国轩高科等参股,与美国 24M Technologies 合作。2025 年 7 月宣布首条 1.25GWh 固态电池产线投产首批工程样件成功下线,能量密度 $\geq 300\text{Wh/kg}$ ,已通过新国标及针刺测试。
26	上海恩力动力	硫化物	高镍三元	锂金属	2019 年建成第 1 条固态电池试验线和材料线,2023 年面向小动力市场,推出多款能量密度达到 300~350Wh/kg 的半固态电芯产品并实现量产,2024 年 8 月宣布与美国一家知名商用车制造企业签署定点信,计划于 2025 年年底开始供应固态电池。
27	北京纯锂新能源	聚合物	磷酸铁锂(第一代)	石墨(第一代)	2024 年 10 月全固态锂电池量产线投产,量产产线目标产能为 200MWh,量产 50Ah 全固态电池,预计供应储能以及两轮车、AGV 等低速动力市场,满产后每天可生产上千支全固态电池,截止 2025 年初在手订单金额已超过 2 亿元。

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					汽车用全固态动力电池已完成基础研究，能量密度可达 400Wh/kg，预计在 2026 年进入小试阶段，在 2027 年进行上车验证。
28	万向一二三	硫化物、聚合物	高镍三元、富锂锰基	硅碳 / 锂金属	2023 年开始研发第一代半固态电池，自研的半固态电池能量密度 350Wh/kg 电芯已通过全针刺和 pack 级别热失控实验；第二代、第三代为全固态电池。
29	四川赛科动力	硫化物	高镍三元	硅碳	固态电池初创企业，依托四川新能源汽车创新中心有限公司（欧阳明高院士工作站）孵化成立，2025 年 3 月启动四川宜宾固态电池 4GWh 产线和 30MWh 全固态电池小试线建设，预计 2025 年 10 月投产，2025 年 6 月宣布完成天使轮融资。
30	溧阳中科固能	硫化物	高镍三元、富锂锰基	硅碳 / 锂金属	中科院物理所授权推进硫系全固态电池技术转化的企业，2024 年 12 月在溧阳建成并投产百吨级硫化物固态电解质连续生产线，冷冻干燥法正极材料工艺取得突破，钴酸锂全固态电池能量密度突破 340 Wh/kg。
31	浙江金羽新能源	聚合物（半固态）、氧化物+硫化物（全固态）	高镍三元、富锂锰基	硅碳 / 锂金属	已拥有完整研发试验线以及年产 2GWh 量产线，现有“无际”系列无负极准固态电池、“扶摇”高能量密度半固态电池和“万山”超快充半固态电池三种产品系列，已导入无人机、eVTOL、物流车市场，并实现了超亿元的交付。预计在 2026 年实现全固态电池量产，能量密度将突破 400Wh/kg。
32	中固时代（北京）	聚合物（半固态）、硫化物（全固态）	高镍三元、富锂锰基	硅碳 / 锂金属	源于中科院团队，2025 年 6 月固态电池中试线在保定启动建设，预计 10 月份投产，计划 2025 年底启动建设 2GWh 超大容量固态电池生产线，目标储能、商用车、船舶等市场，建成全球首个百兆瓦时级的超大容量固态电池储能示范电站。
33	复阳固	硫化物	高电压	锂金属	专注于补锂薄膜和薄膜全固态电池（微型固态

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
	态（溧阳）		钴酸锂		电池），由中国科学院物理研究所电池产业技术研究院、天目湖先进储能技术研究院孵化。已面向十余家客户，为 17 种规格的极片进行了补锂送样，涵盖了硅碳、硅氧碳、硬碳等多种材料体系，应用场景广泛涉及动力、消费类、小动力电池等领域。
34	中科深蓝汇泽新能源（常州）	聚合物	镍锰酸锂	硅碳	源于中国科学院青岛生物能源与过程研究所崔光磊研究团队，已开发了 4 代不同能量密度的固态电池体系，建成聚合物全固态电池中试生产线，计划 2025 年建成 0.5GWh 中试线，2027 年实现 10GWh 量产产能，推动固态电池在交通、储能领域的规模化应用。
35	广东马车动力科技	硫化物	高镍三元	硅碳	2023 年 25Ah 硫化物全固态电芯实测能量密度达到 250 Wh/kg。2023 年底启动了硫化物固态电解质中试线建设，并在 2024 年初正式投入使用，实现超 10 吨级年生产能力
36	领新（重庆）新能源	聚合物（半固态）	磷酸铁锂、三元	石墨	主要产品包括磷酸铁锂大容量聚合物固态电池和三元大容量聚合物固态电池。其中，磷酸铁锂大容量聚合物固态电池主要应用于大型商用车、船舶及储能领域；三元大容量聚合物固态电池主要应用于乘用车和 3C 数码领域。2024 年 4 月宣布其固态聚合物电池生产线已实现量产，1 期产能为 0.5GWh。
37	南都电源	氧化物	高镍三元	硅碳	2024 年开始固态电池研发，当前研发的 20Ah 全固态电池基于超高镍三元正极和限域生长的硅碳负极体系，能量密度 350Wh/kg，循环寿命 2000 次，已建立一条中试产线，成功实现了小批量交付。
38	吉林东驰新能源	聚合物	磷酸铁锂、高镍三元	石墨 / 锂金属	依托东北师范大学锂电研发团队。2023 年投资 1.5 亿元建成 0.5GWh 固态电池中试线，与温州冠盛汽车零部件集团股份有限公司成立浙江冠盛东驰合资公司，投资 20 亿元启动建设年产

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
					4GWh 半固态储能电池生产基地。
39	合源锂电（苏州）	聚合物（半固态）	磷酸铁锂、高镍三元	硅碳 / 锂金属	2023 年推出第 1 代 350Wh/kg 固态电池产品，通过国标检测和电池针刺试验，已向建筑机器人企业交付了首批建筑机器人的固态动力电池包。当前推进能量密度 600Wh/Kg 的固态电池研发进程。在苏州总部建成一条 100MWh 固态电池中试线，在江苏淮安计划分三期建设 10GWh 固态电芯量产产能。
40	湖南久森安高	聚合物、硫化物（全固态）	高镍三元	硅碳 / 锂金属	初创企业，湘潭大学科技成果转化。半固态电池能量密度达 480Wh/kg，已完成中试，预计 2025 年 8 月正式进入量产阶段；全固态电池预计将在 2025 年 10 月份完成中试，计划于 2026 年年底实现量产。
41	青岛中科源本	硫化物	第一代高镍三元，第二代改性硫化锂，第三代硫单质	新型高熵锂合金负极	属于中国科学院青岛生物能源与过程研究所的武建飞团队，硫化物固态电解质成功实现十公斤级的稳定批量化生产，2025 年初首条 20Ah 硫化物全固态电池中试线投产，可月产 20Ah 电池 10 片，计划 2025 年 8 月推出硫化物全固态动力电池试制样品，争取建设 10MW 以上量产线。
42	四川成科国重新能源	硫化物	硫复合正极	锂金属	与电子科技大学合作。2025 年 1 月签约 2.8GWh 固态锂硫电池项目，分为三期，第一期锂硫电池小试线建设，第二期锂硫电池中试线建设，预计产能 0.8 Gwh，第三期锂硫电池自动化产线建设，预计产能 2 Gwh。
43	深圳欣界能源	氧化物	未披露	锂金属	2023 年在珠海建成 200MWh 锂金属固态电池产线，并与亿航智能签署战略合作协议，2024 年启动 5GWh 量产线建设，固态电池电芯单体能量密度提升至 480Wh/kg。
44	北京固芯能源	氧化物 + 聚合物（半固）	高镍三元、富锂锰基	硅碳 / 锂金属	中科院物理所固态锂电池核心技术在特种电源专属领域应用的成果转化平台。已经实现 400Wh/kg, 1000 圈循环寿命的超高能量密度电

序号	企业	电解质	正极	负极	规划布局及进展
		态)、硫化物(全固态)			池产品的量产,江苏溧阳制造基地已建成2GWh混合固液电池产线,计划2025年内扩产至5GWh,适配储能、特种车辆等高端市场。
45	深圳比克动力电池	氧化物+聚合物(半固态)	高镍三元	硅碳	半固态电池已在新能源汽车、两轮出行、eVTOL飞行器、防爆产品、消费数码等应用市场进行测试,两轮车半固态电池能量密度270Wh/Kg,已通过了5mm针刺测试。聚合物软包半固态电池能量密度300Wh/Kg。202年半固态电池的目标能量密度将到达450Wh/Kg,预计2028年将过渡到全固态电池。
46	德尔股份	氧化物+聚合物(半固态)	高镍三元、磷酸铁锂	石墨/硅碳/锂金属	2018年成立了日本德尔进行固态电池技术的开发,2023年固态电池样品通过第三方检测机构的针刺、加热和过充电试验,2025年6月湖州3亿元中试项目启动,计划2025年底建成1GWh兼容半固态/全固态的柔性产线,首批目标客户为国内头部新能源车企及两轮车/储能厂商。已展示的第二代固态电池能量密度260Wh/kg,第三代目标能量密度将突破400Wh/kg。
47	中自科技	氧化物+聚合物(半固态)	高镍三元	硅碳	与电子科技大学合作,2024年披露,45Ah固态电池能量密度可达350Wh/kg,现有一条中试产线(位于湖州),中试产品正在给客户送样。
48	广东海四达新能源	氧化物+硫化物(半固态)	磷酸铁锂	硅基复合材料/锂金属	2025年3月与卫蓝新能源合作的两条半固态电池自动化生产线投产,年产能6GWh,314Ah大容量半固态电池已上市,应用于储能系统。
49	湖州德加能源	氧化物+聚合物(半固态)	高镍三元	硅碳	近期完成3亿元A+轮融资,1GWh高比能固态电池项目2025年3月投产,产品可用于低空飞行器、人形机器人、特种装备等领域,2025年底启动二期10GWh建设。

资料来源:深企投产业研究院整理。

## 六、中国固态电池产业政策

我国自 2020 年以来对固态电池领域的政策支持不断，旨在推动固态电池的技术研发、产业化进程以及市场应用，具体如下表所示。

表 9 国家固态电池产业规划政策

时间	发布机构	政策名称	核心内容
2020 年 10 月	国务院	《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》	首次将固态电池列为重点发展对象，加快技术研发及产业化
2022 年 1 月	国家发改委、能源局	《“十四五”新型储能发展实施方案》	推动多元化技术开发，研发固态电池等新一代高能量密度储能技术
2023 年 1 月	工信部等六部门	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	加强固态电池产业化技术攻关，推进规模化应用；开展标准体系研究
2024 年 2 月	工信部	《锂电池行业规范条件（2024 年本）》	新增固态电池性能要求：单体能量密度 $\geq 300\text{Wh/kg}$
2025 年 2 月	工信部等八部门	《新型储能制造业高质量发展行动方案》	将固态电池列为重点攻关方向，支持锂/钠电池固态化发展；培育全球龙头企业
2025 年 4 月	工信部	《2025 年工业和信息化标准工作要点》	首次将全国固态电池纳入新产业标准体系建设内容

资料来源：公开资料，深企投产业研究院整理。

在专项资金扶持方面，根据相关报道，2024 年 5 月工信部牵头的全国固态电池发展计划，投入 60 亿元专项研发资金，加速技术攻关，以实现下一代动力电池核心材料及制造的重大突破，预计将于 2025 年底进行中期验收审查。2025 年 2 月，第二批工信部重大研发专项启动申报，第一批已获批进行固态电池研发的企业不再重复资助，节奏和规模预计与 2024 年相近。2025 年 2 月，发改委超长期国债对

布局固态电池的企业和机构给予实际投资额 15% 的资助。

在标准制定方面，2025 年 4 月，工信部正式发布强制性国家标准《电动汽车用动力蓄电池安全要求》（GB38031—2025），将于 2026 年 7 月 1 日起开始实施，新规将动力电池“不起火、不爆炸”改为强制性要求。固态电池安全性能突出，该标准实施为固态电池行业发展奠定了坚实基础。2025 年 5 月，中国汽车工程学会发布团体标准《全固态电池判定方法》（T/CSAE 434-2025），首次在全球范围内明确定义“全固态电池”，解决了行业界定模糊、测试方法缺失等问题，为全固态电池技术升级和产业化应用提供科学依据。

地方层面正加速固态电池产业布局，各地结合自身产业基础形成差异化推进路径。广东珠海聚焦半固态电池量产与全固态电池研发，重点攻关核心工艺技术；上海着力构建固态电池全产业链生态，通过税收优惠与资金补贴等政策工具强化支撑；北京侧重支持校企联合攻关，重点推进半固态、全固态电池的安全应用研究。各地从技术攻坚、政策扶持、载体建设等维度协同发力，推动产业加速落地。

**表 10 地方固态电池产业政策**

地区	政策名称	发布时间	核心内容
广东珠海	《珠海市推动固态电池产业发展行动方案（2025-2030）（征求意见稿）》	2025 年 3 月	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 聚焦半固态量产+全固态研发</li> <li>• 攻关于法工艺、电解质膜制备、高比能正负极</li> <li>• 设立科技创新平台</li> </ul>
上海	《新型储能示范引领创新发展工作方案》	2025 年 2 月	构建覆盖“材料-电芯-系统”的固态电池全产业链，通过税收优惠、研发补贴支持企业
四川	《新能源汽车及动力电池产业链协同推进工作方案》	2024 年	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 将固态电池纳入省级优势产业（装备领域）</li> <li>• 依托世界动力电池大会吸引企业落户（如宜宾固态电池创新产业园）</li> </ul>

地区	政策名称	发布时间	核心内容
北京	固态电池创新中心支持计划	2024 年	支持高校与企业联合研发，在昌平区、房山区推动半固态/全固态电池安全技术应用
江苏	苏州/南京专项政策	2024-2025 年	<ul style="list-style-type: none"> <li>•苏州设专项基金支持产业链协同</li> <li>•南京提供税收减免及技改补贴</li> </ul>
浙江宁波	研发支持政策	2025 年	对固态电池研发项目给予最高 30% 资金支持

资料来源：公开资料，深企投产业研究院整理。

02

# 固态电池材料篇

潮涌浪高、体系变革，电池材料迎来新机遇



固态电池的量产落地，将有力带动固态电解质、高能量密度正极材料（包括高镍及超高镍三元材料、富锂锰基正极材料）、硅基负极材料、复合集流体等核心配套材料的市场空间实现快速扩张。

## 一、固态电池产业链

固态电池产业链与液态锂电池较为相似，上游包括矿产原料、基础材料（正极、负极、电解质、集流体、辅材）和产线设备，中游为电芯封装及电池模组 Pack 组装，下游为新能源汽车、消费电子、储能系统、eVTOL（电动垂直起降飞行器）、航空装备、机器人、深海潜水器等应用领域。

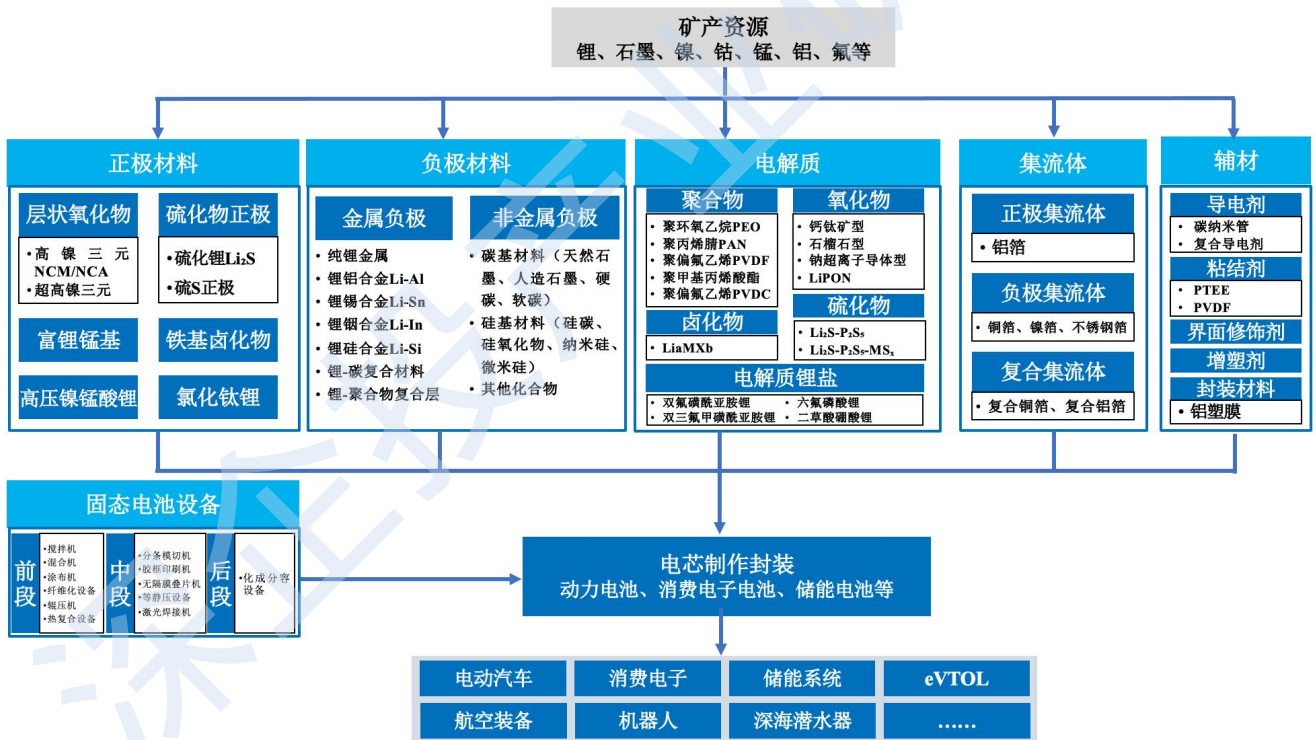


图 9 固态电池产业链

资料来源：深企投产业研究院整理。

根据高工产业研究院（GGII）2024 年 11 月发布的《2024 中国固

态电池行业发展现状及趋势分析》，中国固态电池产业链企业数量超过 200 家，其中超 100 家布局在固态电池环节，超 60 家布局在固态电解质环节，其余分布在正极、负极、装备等领域。100 余家固态电池企业中，有 40% 是新进电池企业，即纯做固态电池的企业；约 35% 为传统电池企业；还有 8% 为主机厂；15% 为跨界企业。

## 二、固态电池生产制造流程

全固态电池的生产流程为“材料预处理→组件协同→成品封装”。

正极材料依次经过干混、挤压成膜、集流体涂布及辊压处理；固态电解质通过挤压或喷涂成膜、转印及辊压加工；锂金属负极则完成延压与集流体复合操作，之后三者同步进入分切工序。随后，经叠片、热压成型、极耳焊接整合结构，再通过等静压、封装、化成激活电化学性能，最终完成电池制备，具体流程如下图所示。

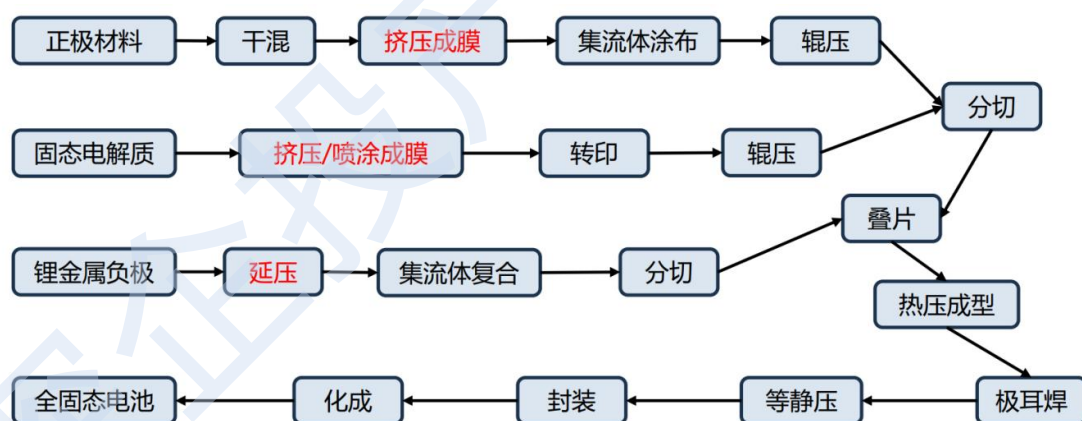


图 10 固态电池生产流程

资料来源：粉体网。

## 三、固态电池电解质

### （一）产品概况

——**聚合物固态电解质**。通常由聚合物基体（如聚酯、聚醚和聚胺等）和锂盐（如  $\text{LiClO}_4$ 、 $\text{LiAsF}_6$ 、 $\text{LiPF}_6$ 、 $\text{LiBF}_4$  等）复合而成，凭借其轻质、黏弹性好和可加工性等优势备受关注。当前体系主要包括聚环氧乙烷（PEO）、聚丙烯腈（PAN）、聚偏氟乙烯（PVDF）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）、聚环氧丙烷（PPO）、聚偏氯乙烯（PVDC）以及单离子聚合物电解质等其它体系，其中 PEO 因对锂金属稳定性高且解离锂盐能力强，仍是最主流的基体材料。然而，由于固态聚合物电解质中离子传输主要发生在无定形区，而室温条件下未经改性的 PEO 的结晶度高，导致离子电导率较低，严重制约固态电池的大电流充放电能力。

——**氧化物固态电解质**。按照物质结构可以将氧化物固态电解质分为晶态和玻璃态（非晶态）两类。晶态电解质包括钙钛矿型（如 LLTO）、NASICON 型、LISICON 型以及石榴石型（如 LLZO）等，其中石榴石型氧化物电解质因与锂负极接触稳定性高、电化学窗口宽而备受关注，但其在空气中稳定性较差且界面相容性有待提升。玻璃态氧化物电解质的研究热点是用于薄膜电池中的 LiPON 型电解质。氧化物晶态固体电解质化学稳定性高，有利于全固态电池的规模化生产，目前改善电导率的方法主要是元素替换和异价元素掺杂。另外，与电极的相容性也是制约其应用的重要问题。

——**硫化物固态电解质**。根据晶体结构特征，硫化物固态电解质可分为晶态与非晶态两大类。非晶态以 LPS 型（硫代磷酸盐）为代表。晶态又可分为 Argyrodite 型（硫银锗矿型）、LGPS 型（锂锗磷硫型）以及 Thio-LISICON 型（硫代-锂快离子导体型）三类。其中，Argyrodite 型（硫银锗矿型）和 LGPS 型（锂锗磷硫型）离子电导率性能突出。Argyrodite 型成本优势突出，尤其是 Argyrodite 型中的

LPSCI，未来有潜力应用于成本敏感型领域。LGPS 型性能优异但原材料成本较为高昂，预计将应用于对性能有更高要求的中高端领域。制约硫化物固态电解质大规模商业化应用的因素包括成本高、界面稳定性较差、对空气的敏感性，通过材料学手段可以解决。正极的界面问题可以通过选择合适的导电剂或改性电解质、包覆等方式解决，负极界面的优化可以通过电解质改性、锂合金、引入锂金属保护层等方式解决。

——**卤化物固态电解质**。卤化物固态电解质 ( $\text{Li}_a\text{MX}_6$ ) 根据金属元素 M 的不同，可分为第 3 族金属卤化物（如 Sc、Y 以及 La-Lu）、第 4 族金属卤化物（Zr 和 Hf）、第 13 族元素卤化物（如 Al、Ga 和 In）。其中， $\text{Li}_2\text{ZrCl}_6$  及其衍生物如  $\text{Li}_{2+x}\text{Zr}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Cl}_6$  化学氧化稳定性高且成本优势突出， $\text{Li}_3\text{InCl}_6$  湿度耐受性高，是卤化物固态电解质的代表。卤化物固态电解质具有更优的高电压稳定性，可以直接与无包覆的正极材料制备复合正极实现良好的循环性能，因此被视作第四类固态电解质。卤化物固态电解质的金属元素（如铟、镧）成本较高，但可以通过廉价金属替代来解决。卤化物固态电解质仍处于实验室开发阶段，暂未单独作为固态电解质膜使用，通常被用于复合正极片。

## （二）市场规模及需求

根据国信证券测算，2024 年全球固态电池电解质（均为半固态电解质）市场需求为 0.1 万吨，预计 2025 年市场需求（均为半固态电解质）为 0.2 万吨，2030 年将达到 10 万吨，其中半固态电解质 1.9 万吨，全固态电解质 8.1 万吨。全球半固态电池电解质市场空间将从 2024 年的 2.7 亿元，逐步增长至 2030 年的 28.4 亿元，全固态电池电解质市场则将从 2027 年起迎来爆发式增长，从 2027 年的 34.3 亿元增长至 2030 年的 406.3 亿元，带动 2030 年固态电池电解质整体市场

空间达到 434.7 亿元，如下图所示。

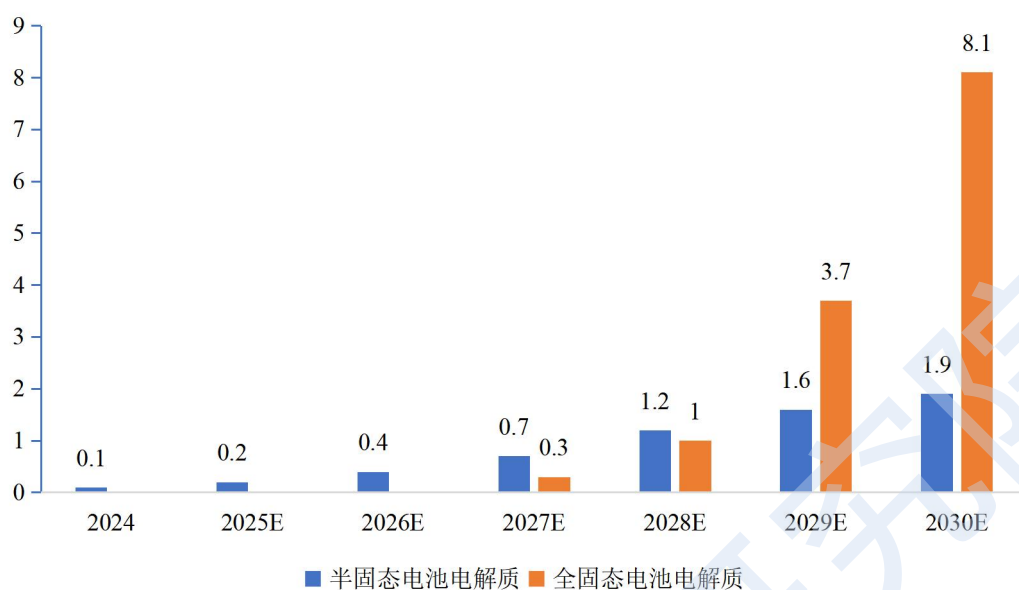


图 11 2024-2030 年全球固态/半固态电解质需求量（万吨）

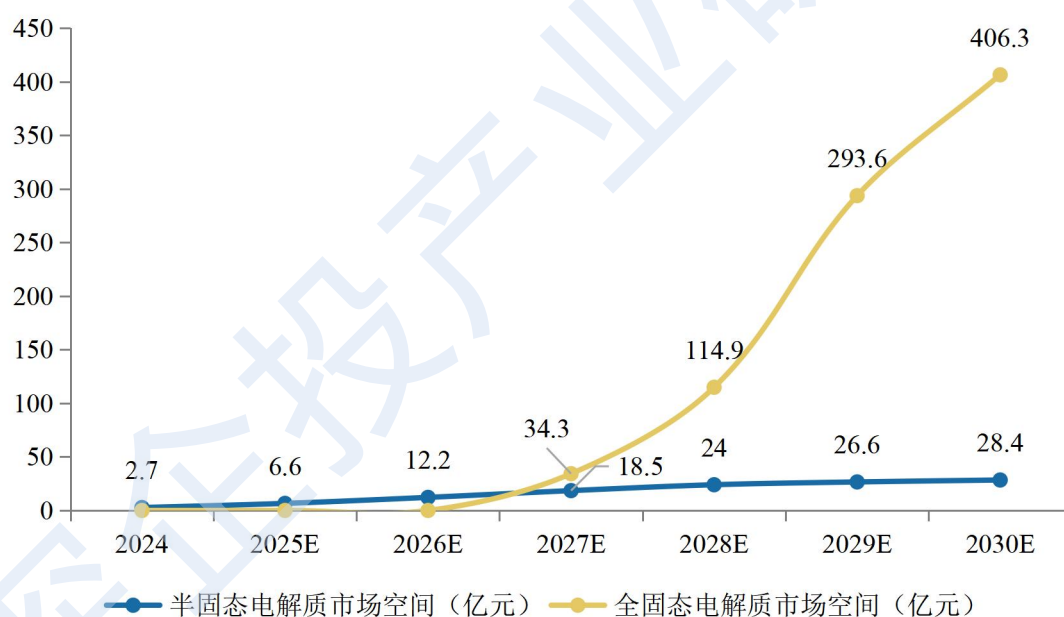


图 12 2024-2030 年全球固态/半固态电解质市场空间（亿元）

资料来源：国信证券，深企投产业研究院整理。

根据 EV Tank 报告,2024 年全球固态电解质出货量约 0.17 万吨,主要来自中国市场(0.16 万吨)。随着半固态电池和固态电池的逐步产业化,到 2030 年全球固态电解质的出货量将达到 21 万吨(其中中

国出货量 14.6 万吨），总体市场规模将达到 366.2 亿元。2024 年中国聚合物和氧化物电解质出货量占比超过 98%，少量使用硫化物和卤化物。预计到 2030 年，硫化物电解质的总体出货量占比将达到 29.5%，其中在全固态电池电解质中，硫化物电解质的市场份额将达到 65%。

### （三）布局企业

据高工锂电 GGII 统计，截至 2025 年 4 月，国内布局固态电解质的企业超 75 家，规划产能超 10 万吨，已投产产能超万吨，但产能超 3000 吨级的企业不足 3 家，多数企业的产能仍停留在从实验室到中试的过渡阶段。

国内研发生产固态电解质的企业，除了固态电池电芯自研厂商以外，可分为三类：一是原有的锂电池上游材料（电解液/电解质、隔膜、正负极材料）厂商，依托在锂电池材料的技术积累和客户资源，积极向固态电池材料方向拓展，通过设置专门团队或孵化企业研发固态电解质。电解液代表企业如天赐材料、多氟多、昆仑化学、新宙邦、法恩莱特等，隔膜代表企业如恩捷股份、星源材质、佛塑科技等，正负极材料代表企业如贝特瑞、璞泰来、厦钨新能、当升科技、万润新能等。二是近年来新成立的固态电解质科创企业，如蓝固新能源、瑞固新材等。三是化工材料企业拓展业务，如上海洗霸、奥克股份等企业。行业内企业普遍与高校合作加速技术研发。

——**氧化物固态电解质（用于半固态电池）**。天目先导、清陶能源（自用）、蓝固新能源等企业量产进度领先，并形成千吨级以上产能。其他布局企业还有蓝兆新材料、上海洗霸、赣锋锂业（自用）、当升科技、金龙羽、璞泰来、星源材质等。

——**硫化物固态电解质**。日本三井金属、出光兴产等布局较早，目前均有百吨级产能并实现出货。国内企业中科固能布局较快，亦实

现小批量供货，其他布局企业还有恩捷股份、上海屹锂科技、当升科技、金龙羽、深圳新源邦、天赐材料、瑞固新材、昆仑新材、厦钨新能、容百科技等，主要处于小试、中试阶段。由于目前产业化尚未成熟，硫化物固态电解质的产品售价普遍在上百万元/吨。

——**卤化物固态电解质**。目前处于实验室开发阶段，未有量产企业，布局企业有清陶能源、蓝固新能源、国联汽车动力研究院、有研广东院固态电池中心、松下、亿纬锂能、弗迪电池等。

表 11 国内固态电解质主要布局企业情况

公司	主营业务	电解质类别及产能	量产进度及客户
清陶能源	主营产品为固态电池	氧化物+聚合物，氧化物-LLZTO/LLZO，硫化物固态电解质，现有千吨级产能，规划扩张	已量产，自用为主
天目先导	主营产品为硅基负极、硬碳负极、石墨负极、固态电解质等	氧化物固态电解质-LATP，年产能 3000 吨	已量产，客户卫蓝新能源等，与恩捷股份、卫蓝新能源成立合资公司
中科固能	主营产品为硫化物固态电解质、全固态电芯等	硫化物固态电解质，已建成百吨级产线，2025 年扩产至千吨，长期规划万吨级	已量产，小批量供应宁德时代
蓝固新能源	主营产品为锂离子/钠离子电池电解液、混合固液电解质、固态电解质等	氧化物（LLTO、LLZO、LATP）固态电解质，已建成产能超 5 万吨，后续规划 5 万吨	已量产，客户包括卫蓝新能源、天目先导等
蓝兆新材料	卫蓝新能源子公司，主营产品为固态电解质等	氧化物（LATP、LLZO、LLTO）固态电解质，现有产能超 500 吨，2025 年将落地 1 万吨产能	已量产，供应卫蓝新能源
恩捷股份（A 股）	主营业务为锂电池隔膜等，固态电池领域涉足高纯硫化锂、硫化物固态电解质、硫化物电解质膜等	硫化物固态电解质规划 1000 吨产能，一期 10 吨产能在 2025 年 6 月开工建设	尚未量产，客户包括卫蓝新能源等

公司	主营业务	电解质类别及产能	量产进度及客户
赣锋锂业 (A 股)	锂电池全产业链布局 (矿产、锂化合物、电池、前驱体、电解质、回收等)	氧化物、硫化物、聚合物固态电解质, 现有千吨级产能	小批量生产, 自用
当升科技 (A 股)	主营产品为锂电池正极材料	氧化物、硫化物、卤化物及复合固态电解质, 已建成百吨级中试线	小试、中试阶段, 多款产品已经获得下游头部电池厂商与车企的认证及导入
上海洗霸 (A 股)	主营产品为水处理化学品、消毒技术解决方案等, 拓展固态电解质、硅碳负极、硬碳负极等业务	氧化物 (LLZTO、LLZO)、卤化物固态电解质, 年产 50 吨氧化物电解质产能爬坡中, 年产 20 吨卤化物电解质产线已完成设计	当前送样到小批量量产, 送样覆盖 26 家客户 (清陶能源等)
金龙羽 (A 股)	主营产品为电线电缆, 拓展固态电池和固态电解质	氧化物、硫化物固态电解质, 惠州基地规划产能 500 吨	处于客户送样与评测阶段, 送样客户包括广汽埃安等
贝特瑞 (A 股)	主营产品为锂电负极材料、正极材料等	氧化物 (LATP、LLZO)、聚合物、硫化物固态电解质	LATP 氧化物固态电解质已实现吨级出货
璞泰来 (A 股)	主营产品为锂电负极、隔膜、锂电设备等	氧化物 (LATP、LLZO) 固态电解质, 建成年产 200 吨固态电解质的中试产线	中试、送样阶段, 与北京恩力动力、溧阳中科固能战略合作
深圳新源邦科技	新宙邦、星源材质、天奈科技三家上市企业参股, 专注固态电解质	氧化物 (已有百吨级产能)、硫化物固态电解质	氧化物电解质已有十吨级出货, 硫化物电解质预计 2025 年有吨级出货
天赐材料 (A 股)	主营产品为电解液、磷酸铁及日化材料、有机硅橡胶材料等	氧化物、聚合物、硫化物固态电解质, 2025 年内建设硫化物中试线	已完成硫化锂、硫化物固态电解质实验室公斤级生产, 预计 2027 年实现硫化物固态电解质千吨级产线建设
瑞固 (衢州) 新材料	主营产品为固态电解质, 瑞道 (上海) 新能源控股	硫化物固态电解质, 主攻硫银锗矿型, 现有百吨级产能, 二期千吨级产线建设中	2025 年 6 月 百吨级量产线投产, 处于送样阶段
奥克股份 (A 股)	主营产品为环氧乙烷衍生精细化工新材料	聚合物固态电解质 (PEO), 处于应用开发阶段	——

公司	主营业务	电解质类别及产能	量产进度及客户
多氟多(A股)	主营业务包括氟化工、电子化学品、电池材料(电解液)、锂电池等	聚合物、硫化物固态电解质, 研发阶段	——
昆仑新能源材料	主营产品为锂电池电解液, 延伸至钠电、半固态及固态电池电解质	氧化物(NASICON型、Garnet型和钙钛矿型)、硫化物(银锗矿型)固态电解质, 氧化物电解质小型量产线已正式启动建设, 硫化物中试线规划中	凝胶电解质已量产, 客户包括卫蓝新能源等; 氧化物电解质预计将于2025年第四季度实现量产, 硫化物中试线2026年落地
厦钨新能(A股)	主营业务为锂电池正极材料、新能源材料	氧化物固态电解质(LLZO、LATP)、硫化物电解质	硫化物电解质计划2025年Q4完成吨级产线验证
容百科技(A股)	主营产品为锂电池正极材料及前驱体, 拓展固态电池正极材料、电解质	氧化物、硫化物、卤化物固态电解质	硫化物电解质中试线预计2025年底竣工
法恩莱特	锂电、钠电电解液, 固态电解质、添加剂等	半固态凝胶电解质、聚合物凝胶固态电解质	准固态和半固态电解质处于中试和小批量出货阶段
太和科技(A股)	主营业务为水处理药剂制	硫化物固态电解质(LPSC)	2025年7月进入中试阶段, 预计Q4向国轩高科交付
万润新能(A股)	主营产品为锂电池正极材料, 拓展固态电池正极材料及电解质	聚合物、氧化物及硫化物固态电解质, 与高校联合研发中	研发阶段
金力股份	主营产品为锂电池隔膜, 向固态电池电解质、半固态电解质膜延伸	氧化物电解质(LATP、LAGP类)已建设百吨级中试产线, 硫化物电解质完成实验室稳定合成, 聚合物全固态电解质可实验室级别产出	百吨级氧化物电解质(自用于隔膜涂覆), 无独立固态电解质材料对外销售
深圳博粤新材	主营产品为氧化锂及氧化物固态电解质	氧化物固态电解质LATP、LLZO已具备吨级制备能力, 2025年计划完成完成100吨固态电解质、100吨锂电补锂剂前驱体的投产,	固态电解质材料已完成十余家客户认证;

公司	主营业务	电解质类别及产能	量产进度及客户
		目前正在规划千吨级生产基地	

资料来源：公司公告、国信证券、光大证券、西部证券等，深企投产业研究院整理。

——**固态电池电解质复合膜**。固态电池不需要传统意义上的隔膜，但由于固态电解质与电极间为固-固接触，容易因界面粗糙产生高阻抗，因此半固态电池通常使用固态电解质复合膜（即涂覆了固态电解质的隔膜）来承担离子传导和电子隔离的双重功能，同时可抑制锂枝晶生长，而全固态电池则完全取消隔膜，但额外使用骨架膜/支撑膜来解决界面和脆性问题。固态电解质复合膜、骨架膜通常由有机聚合物基体和无机填料组成。国内研发机构除了固态电池厂商及科研院所（如中科院物理所、清华大学等）以外，主要为锂电池隔膜企业拓展业务，布局企业包括星源材质、恩捷股份、长阳科技、东峰集团、佛塑科技（拟收购的金力股份）、瑞固新材等。

——**电解质上游材料**。电解质上游材料包括聚合物基体的高分子原料（聚合物电解质的上游材料）、氧化物固态电解质上游的化合物、硫化物固态电解质上游的硫化锂、电解质锂盐等，主要原料及代表企业如下表所示。

表 12 固态电解质上游原料及代表企业

电解质	上游原料	代表企业
氧化物固态电解质	LLZO 原料：二氧化锆、硝酸锆、碳酸锆等	东方锆业、三祥新材、凯盛科技等
	LLZO/LLTO 原料：氧化镧、硝酸镧、氢氧化镧等	氧化镧：北方稀土、盛和资源等
	LLTO/LATP 原料：二氧化钛、焦磷酸钛等	钛白粉：龙佰集团、中核钛白、钒钛股份等

电解质	上游原料	代表企业
硫化物固态电解质	二氧化锗、硫化锗、四氯化锗等	云南锗业、驰宏锌锗、福建中伟半导体等
	高纯硫化锂	海外：出光兴产 国内：上海洗霸、厦钨新能、恩捷股份、天赐材料、光华科技、太和科技、容百科技等
电解质锂盐	双氟磺酰亚胺锂 LiFSI	天赐材料、时代思康、多氟多、永太科技、利民股份（江苏卓邦）、新宙邦等
	双三氟甲磺酰亚胺锂 LiTFSI	海外：3M、Solvay 国内：瑞泰新材、山东泰和科技（中试）、海科新源（山东新蔚源，中试）等
	六氟磷酸锂 LiPF <sub>6</sub>	天赐材料、多氟多、天际股份、江西石磊、宏源药业、九九久、永太科技等
	二草酸硼酸锂 LiBOB	华盛锂电、生化新材、天际股份、天赐材料、苏州佛赛新材料、新宙邦等

资料来源：深企投产业研究院整理。

硫化锂是硫化物电解质主要原材料，是决定其性能和成本的关键。高纯硫化锂生产工艺难度高，当前市价 250-400 万元/吨，占硫化物电解质成本的 70%左右，在硫化物固态电池电芯成本占比中超过 50%。目前海外出光兴产产业化进度较快，产能预计 2027 年中扩张至 1000 吨。目前国内硫化锂厂商多属于中试线规模，多数企业布局吨级到百吨级硫化锂产线，上海洗霸（收购有研稀土硫化锂业务）、光华科技、厦钨新能、恩捷股份、天赐材料、太和科技、容百科技、中伟半导体等均处于加速布局阶段。其中，国内企业多数采用固相法制备高纯硫化锂，能耗较高，大规模制备时纯度及一致性保持有一定困难（99.5%以上），目前天赐材料、华盛锂电等企业布局液相复反应法，大规模制备的纯度较有保障。

表 13 硫化锂相关企业布局情况

公司名称	主营业务	硫化锂布局进展
有研新材 (A股)	主营业务为高纯金属靶材、稀土磁性材料、红外光学材料、生物医用材料等	控股子公司有研稀土建成了吨级固态电解质用硫化锂材料生产线，实现小批量生产销售，目前硫化锂资产已转让上海洗霸（A股）
厦钨新能 (A股)	主营三元正极、钴酸锂正极、磷酸铁锂正极等	开发出新的硫化锂合成工艺，送样验证中
恩捷股份 (A股)	主营锂电池隔膜等	已完成硫化锂百吨级中试线，计划建设千吨级中试线
天赐材料 (A股)	主营电解液、磷酸铁等	已通过液相法开发出硫化锂产品，目前已完成硫化锂实验室公斤级生产
太和科技 (A股)	全球最大的水处理药剂制造商	2025年第三季度实现硫化锂与LPSC中试线贯通，第四季度首批吨级订单将向国轩高科交付
天齐锂业 (A股)	锂矿开发、锂化工等	已完成硫化锂产业化相关支持工作，累计与十余家下游客户进行打样
容百科技 (A股)	主营三元正极等	硫化锂与硫化物固态电解质配套开发中
天际股份 (A股)	主营六氟磷酸锂等锂盐	与ATL合资泰瑞联腾材料取得高纯硫化锂发明专利
光华科技 (A股)	主营PCB化学品、三元前驱体、动力电池回收等	现有年产能300吨，规划产能3000吨
福建中伟 半导体	以高纯金属、高纯化合物、硫化物电解质材料、合金定制为主营业务	高纯硫化锂量产达10吨，未来硫化锂预计产量100吨。
华盛锂电	电解液添加剂	选择液相法制备高纯度硫化锂，处于实验室试制和放大验证阶段

资料来源：公司公告，深企投产业研究院整理。

## 四、固态电池正极材料

### （一）产品概况

高镍三元可匹配短期需求，长期向高性能材料升级。固态电池提高能量密度主要取决于正负极材料。正极作为锂离子存储源，在充放电过程中通过锂离子的可逆脱嵌/嵌入实现电荷转移。三元材料能直接适配固态电池正极材料需求，因固态电池电化学窗口更宽，可兼容更高电压高比容正极材料（如超高镍、富锂锰基、高压尖晶石镍锰酸锂等）以提升能量密度，其中富锂锰基因比容量和电压较高，成固态电池下一代高能量密度研发重点之一。

表 14 锂电池正极材料性能对比

正极材料	电压平台 (V)	比容量 (mAh/g)	循环寿命 (次)	倍率性能
锰酸锂	3.9-4.0	100-123	400-2000	较好
磷酸铁锂	2.3-2.5	150-160	3000-12000	一般
钴酸锂	3.7-3.9	140-155	500-800	一般
镍锰酸锂	4.7	130-147	400-1000	优秀
NCA 三元	3.8	180-200	1000-3000	较好
高镍三元 NCM811	3.8	190-210	800-2000	较好
富锂锰基	3.7-4.6	130-320	1000-6000	较差
硫化物正极	-	800-2000	50-1850	较好

资料来源：高工锂电、国信证券等，深企投产业研究院整理。

从正负极材料配合进程来看，高镍三元层状氧化物+硅负极，能量密度可达 400wh/kg，但能量密度要达到 500 wh/kg，则需要将高镍三元层状氧化物进化为氧化物、硫化物、氟化物、富锂锰基等等，并与锂金属负极搭配。能量密度要达到 600wh/kg，需要采用硫正极。

## （二）市场规模及需求

根据国信证券测算，2024 年全球固态电池（均为半固态电池）

正极市场需求为 0.7 万吨，预计 2025 年市场需求为 2.1 万吨，2030 年将达到 31.6 万吨，其中半固态电池正极 24.6 万吨，全固态电池正极 6.9 万吨。全球半固态电池正极市场空间将从 2024 年的 9.8 亿元，快速增长至 2030 年的 320.4 亿元，全固态电池正极市场则将从 2027 年的 5.9 亿元增长至 2030 年的 208.4 亿元，带动 2030 年固态电池正极整体市场空间达到 528.8 亿元，如下图所示。

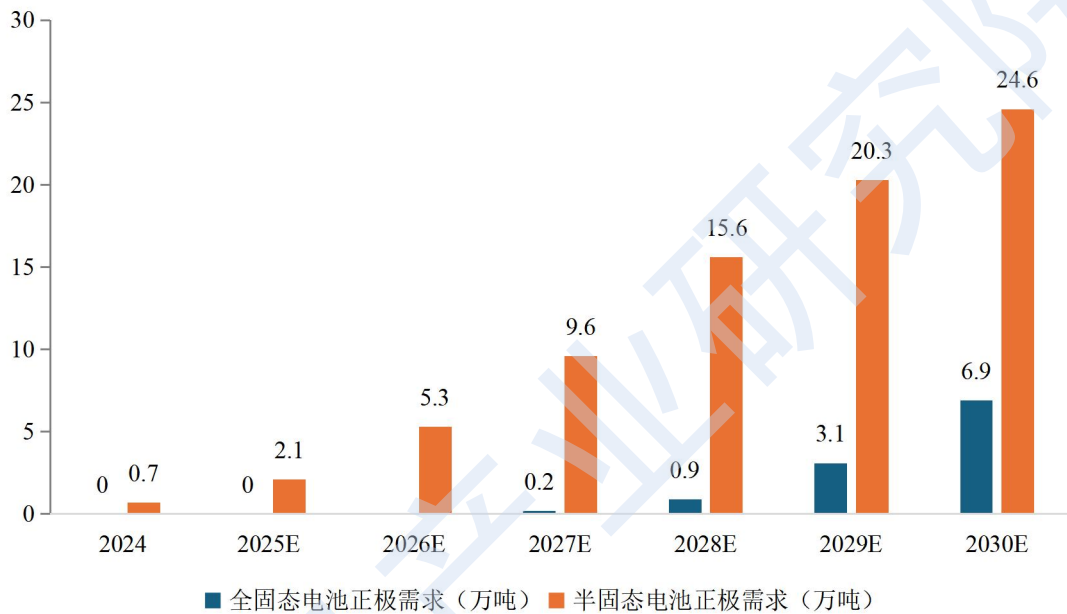


图 13 2024-2030 年全球固态/半固态电池正极需求（万吨）

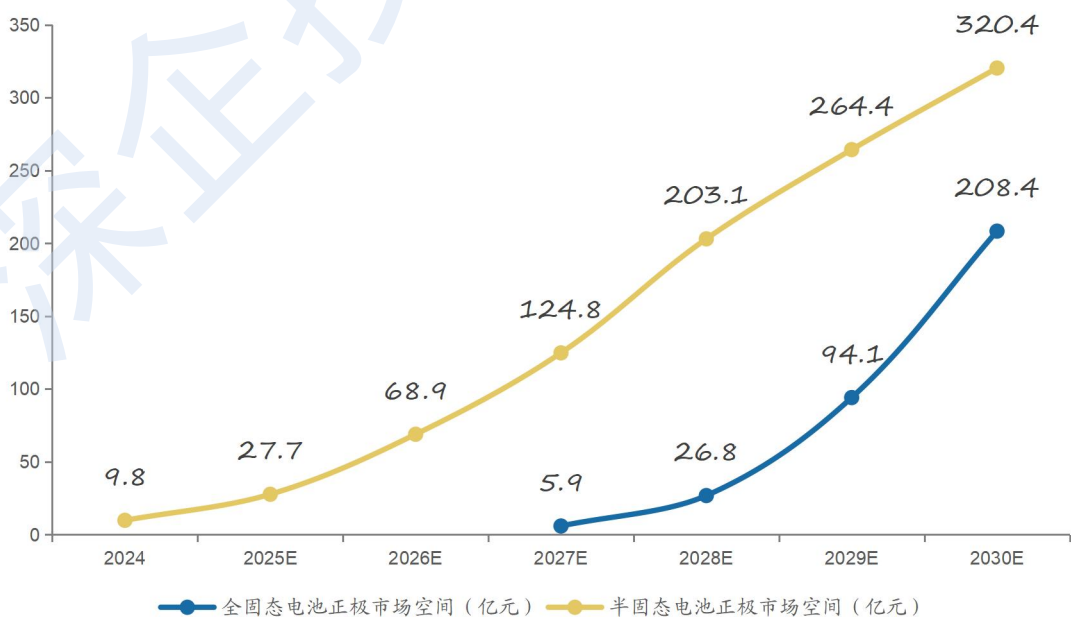


图 14 2024-2030 年全球固态/半固态电池正极市场空间（亿元）

资料来源：国信证券，深企投产业研究院整理。

### （三）企业布局

固态电池正极材料目前仍以三元高镍正极为主，传统三元正极材料优势企业处于领先地位。国内大多数锂电池三元正极企业均拥有高镍三元产品布局，其中容百科技、当升科技等均已经实现对固态电池企业的出货，产业化布局领先，其他正在积极布局的锂电正极材料企业还有厦钨新能、振华新材、五矿新能、贝特瑞、科恒股份、盟固利等。未来，富锂锰基、镍锰酸锂等材料有望成为重要技术路线，多数正极企业均同时布局，大多处于吨级送样阶段，其他布局企业包括宁夏汉尧、巴斯夫杉杉、华友钴业等。主要布局企业情况如下表所示。

表 15 固态电池正极材料厂商布局情况

公司名称	主营业务	产能及布局	固态电池客户
容百科技 (A 股)	锂电正极材料，产品涵盖三元正极、磷酸盐系材料等。	高镍及超高镍纯固态正极材料已经实现了吨级出货；富锂锰基材料在全固态领域已有百公斤级出货，并已拿到批量订单；尖晶石镍锰正极材料上半年已有吨级出货，预计 2026 年可实现量产。	与国内外 40 余家电池及整车企业建立合作关系。
当升科技 (A 股)	锂电正极材料，产品涵盖三元正极、磷酸盐系材料、钴酸锂等。	固态电池正极 2024 年出货近千吨。镍锰酸锂在进行客户送样与验证。	已经导入清陶、卫蓝、辉能、赣锋等；通过鹏辉、瑞浦兰钧等性能测试并获得吨级订单。
厦钨新能 (A 股)	锂电正极材料，产品涵盖三元正极、磷酸盐系材料、钴酸锂等。	公司匹配氧化物路线固态电池的正极材料已实现供货；硫化物路线固态电池的正极材料与下游客户积极进行技术研发交流。联合头部电池厂开发富锂锰基正极，	高镍单晶正极材料已完成客户验证并开始批量供货。

公司名称	主营业务	产能及布局	固态电池客户
		目前已进入 B 样阶段。	
五矿新能 (A 股)	原长远锂科，锂电池正极材料、前驱体等	聚焦研发高界面通量固态电池高镍正极材料和固态电池富锂锰基正极材料。与中科大签署协议联合开发全固态电池用高镍正极材料。	部分产品已实现累计百公斤级发货。
贝特瑞 (A 股)	锂电负极材料、正极材料等	2025 年 5 月发布贝安 GUARD 全固态系列，包括超高镍型正极和富锂锰型正极材料，其中超高镍型正极的比容量超过 240mAh/g，富锂锰型正极在高电压 4.8V 下，比容量超过 300mAh/g。	已量产，高镍正极材料 2024 年小批量供应半固态电池厂商
华友钴业 (A 股)	钴、铜、镍等金属以及前驱体、正极材料等生产与销售。	依托子公司巴莫科技，半固态电池正极材料已应用于终端客户超长续航车型，全固态电池正极持续推进头部企业开发认证。已经布局富锂锰基等材料专利。	已实现十吨级批量出货；2025 年 3 月巴莫科技与卫蓝新能源签订战略协议，合作期限 5 年。
科恒股份 (A 股)	电池正极材料、锂电设备、稀土功能材料等。	重点开发高镍三元 (NCM8 系及以上) 和富锂锰基正极材料，适配硫化物/氧化物电解质体系	2025 年 6 月与北京纯锂新能源 签署战略合作协议，联合开发全固态电池正极材料及定制设备
振华新材 (A 股)	锂电正极材料，产品涵盖三元正极等。	公司积极推进无钴镍锰二元材料、超高镍高容量多晶等产品研发，自主研发了固体电解质及其改性三元材料、富锂锰基正极材料。	-
宜宾锂宝	锂电正极材料	正在研发全固态电池高镍正极材料、富锂锰基材料等	-
巴斯夫杉杉	巴斯夫与杉杉股份合资，业务涵盖正极前驱	公司开发出富镍固态电池用三元材料，预计今年将进入量产阶段。	-

公司名称	主营业务	产能及布局	固态电池客户
	体与正极、电池回收等。		
盟固利(A股)	钴酸锂、三元正极等	2024 年公司开始与国内头部客户联合开发高镍正极、富锂锰基正极，目前积极推进中试产品供应。	-
宁夏汉尧	锂电正极材料、石墨烯、导电浆料等。	公司积极在无钴二元材料、富锂锰基材料等领域布局，2009 年开始启动富锂锰基的产业化，2023 年在宁夏基地建成了万吨级富锂锰基材料产线。	2022 年公司与宁德时代、中国科学院宁波所等共同合作富锂锰基相关国家重点专项。

资料来源：公司公告及官网、国信证券等，深企投产业研究院整理。

## 五、固态电池负极材料

### (一) 产品概况

负极作为离子接收载体，通过嵌入硅基材料或沉积锂金属储存锂离子。锂电池负极材料可分为非金属负极和金属负极两大类，其中非金属负极包括碳材料（以石墨为主，还有硬碳、软碳材料等）、硅基材料（包括硅碳材料、硅氧化物等），金属负极包括纯锂金属和锂基合金。主要负极材料对比如下表所示。

表 16 不同负极材料性能对比

类型	材料	克容量 (mAh/g)	优点	缺点
石墨	天然石墨、人造石墨	310-370	成本低、储量大、商业化程度高、稳定性好	克容量小、电池能量密度小
硅基负极	硅碳、硅氧、纳米硅、微米硅等	400-4000	高理论克容量、环境友好、储量大	体积膨胀大、电子电导率低、锂离子扩散系数低、纳米硅负极

类型	材料	克容量 (mAh/g)	优点	缺点
				成本高
合金负极	Li-Al 、 Li-Sn 、 Li-In、Li-Si	400-4000	界面润湿性好、 抑制界面副反应 与锂枝晶	体积膨胀率高、结构 变化大、电池能量密 度下降
金属锂	锂箔、锂膜	3860	高理论克容量、 极低电极电位	易界面反应、体积膨 胀率大、易形成锂枝 晶、使用条件苛刻

资料来源：贾理男等《基于硫化物电解质的全固态锂离子电池负极研究进展》、国信证券，深企投产业研究院整理。

**硅基负极有望成为固态电池中短期主流选择。**固态电池的负极材料，主要包括石墨负极、硅碳负极、锂合金负极、锂金属负极四类，当前从主流的石墨负极向硅基负极发展。石墨负极是液态电池成熟技术，当前比容量约 360mAh/g，已接近其理论最大值 372mAh/g。硅基负极的理论比容量高达 4200mAh/g，超过石墨负极的 10 倍，在提高电池能量密度上有着巨大的应用潜力。从投入产出比看，硅碳负极是把电池能量密度提升到 400wh/kg 最合适的负极材料。中短期来看，硅基负极依托其能量密度较高、技术相对成熟等优势，有望成为 2030 年以前固态电池的主流负极方案，而企业硅负极扩张产能预计在 2025 年开始陆续大规模投放。

**金属锂长期可能成为全固态电池负极迭代的方向。**由于硅基材料存在易膨胀、导电性差问题，长期来看，锂金属高理论比容量、低电极电位的优势，将成为固态电池重要技术路线，锂资源领域相关企业在该细分领域布局领先。

## （二）市场规模及需求

根据国信证券测算，2024 年全球固态电池（均为半固态电池）

负极市场需求为 0.4 万吨，预计 2025 年市场需求为 1.1 万吨，2030 年将达到 14.1 万吨，其中半固态电池负极 13.3 万吨，全固态电池负极 0.8 万吨。全球半固态电池负极市场空间将从 2024 年的 11.3 亿元，增长至 2030 年的 132.7 亿元，全固态电池正极市场则将从 2027 年的 2.2 亿元快速增长至 2030 年的 60.3 亿元，带动 2030 年固态电池负极整体市场空间达到 193 亿元，如下图所示。

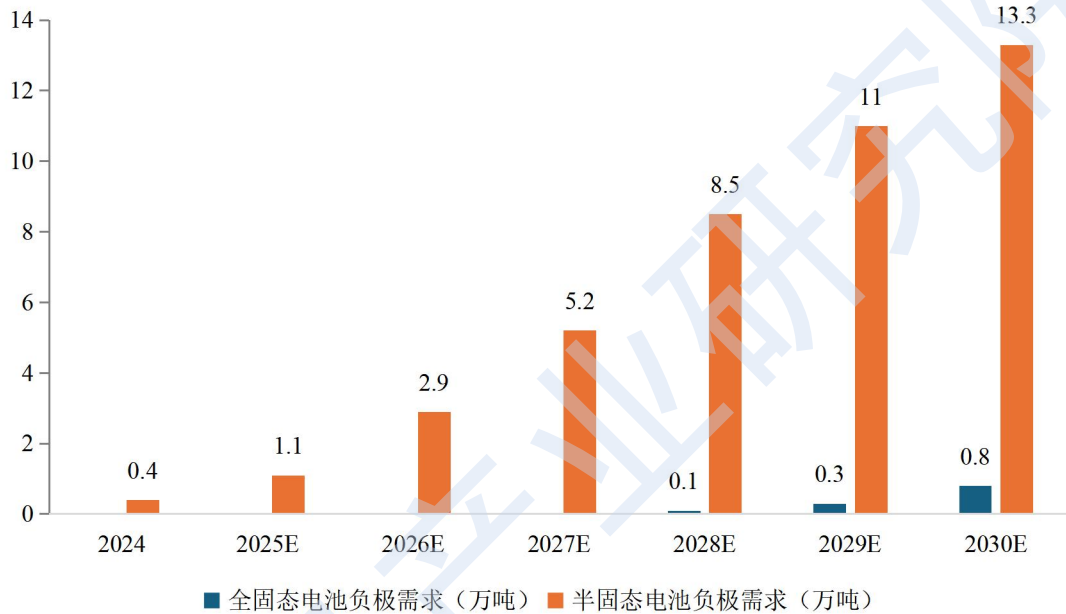


图 15 2024-2030 年全球固态/半固态电池负极需求 (万吨)

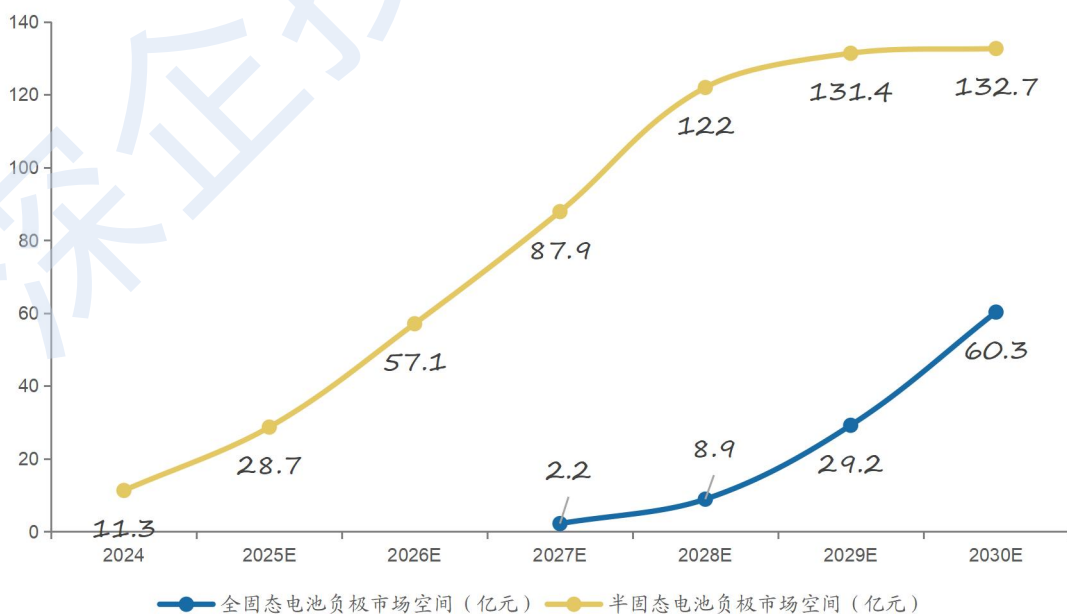


图 16 2024-2030 年全球固态电池负极市场空间（亿元）

资料来源：国信证券，深企投产业研究院整理。

### （三）企业布局

目前各类硅基负极材料都在研发中尚未实现大规模商业化应用，主要挑战包括提高材料性能、降低成本和解决界面问题等。据高工锂电数据，截至 2025 年 4 月，国内布局硅基负极的企业超 30 家。包括贝特瑞、璞泰来、杉杉股份、翔丰华等头部负极企业，以及天目先导、凯金股份、兰溪致德、索理德等一批聚焦于硅碳材料的创新企业也正在硅基负极产业化痛点上重点攻关。金属锂负极方面，赣锋锂业、天齐锂业、英联股份、天铁科技等积极进行产业布局。

表 17 固态电池负极材料厂商布局情况

公司名称	路线	研发布局	产业化进度	产能
贝特瑞（A 股）	硅基	2006 年开始研发硅基负极材料。目前硅碳负极已开发至第六代、克容量超 2000mAh/g，硅氧负极比容量达 1500mAh/g。	积极推进硅基材料量产，CVD 硅碳产品获全球多家主流动力客户认可，预计 2025 年批量供应。	建成产能 0.5 万吨，在建产能 4.5 万吨
杉杉股份（A 股）	硅基	2009 年发布首个硅基负极专利。2021 年硅负极产品在消费类和小动力市场批量应用，新一代硅基负极产品实现海外客户吨级销售。	硅氧产品已批量供应海外头部客户并实现装车；高压实、长循环新型硅碳负极产品实现量产，通过海内外头部客户认证并批量交付。	建成产能 0.1 万吨，在建产能 4 万吨
翔丰华（A 股）	硅基	开发的硅碳负极材料产品处于中试阶段，已具备产业化条件。	与清陶能源签订战略合作协议。	中试阶段
璞泰来（A 股）	硅基	早期与中科院物理所合作研发；2021 年完成第二代硅基负极产品研发，在漂	现有部分客户硅氧负极订单，硅碳负极处于中试阶段实现小批量出货。	2025H1 投产 400 吨，规划产能 1.2 万吨

公司名称	路线	研发布局	产业化进度	产能
		阳建立氧化亚硅中试线；2022 年布局新一代低膨胀硅基负极产品。		
道氏技术 (A 股)	硅基、 金属 锂	硅碳负极方面，已送样涵盖头部数码类、动力类和消费类电芯厂。	与安瓦新能源就固态电池正负极及导电剂达成战略合作；委托电子科技大学进行超薄金属锂负极的研发。	现有 10 吨级产能，2025 年计划扩至 1000 吨级
上海洗霸 (A 股)	硅基	与复旦大学赵东元院士团队合作，开发有序介孔碳基硅碳负极。	硅碳负极等产品已交付多家厂商测试，部分进入产品验证，测试和验证结果符合设计与技术要求。	现有 500 吨产能，拟扩产 5000 吨
四川华宜 清创	硅基	欧阳明高院士工作站孵化的科创企业，硅碳负极容量可大于 2000mAh/g，首效 83%，吨级生产能耗小于 1000 度，适配硫化物全固态电池	2024 年 12 月实现吨级出货，多个规格型号的硅碳产品已向 20 余家电池及负极材料企业供货	产能 3000 吨，预计 2025 年到 1 万吨
赣锋锂业 (A 股)	金属 锂	已实现 300mm 宽度的超薄锂带量产；铜锂复合带中锂箔厚度可达到 3 微米。	搭载锂金属负极的固态电池能量密度可超过 500Wh/Kg，搭载硅碳负极的固态电芯能量密度达 320Wh/kg。	规划 0.7 万吨金属锂负极
天齐锂业 (A 股)	金属 锂	与卫蓝新能源成立合资公司，共同从事预锂化负极材料及回收、金属锂负极及锂基合金负极材料等。	已掌握金属锂负极预锂化及金属锂负极制备的整套工艺与关键装备制造技术。已实现 20 $\mu$ m 级超薄锂带的千米级稳定制备，并开发出两款新型复合带。	重庆基地现有 600 吨/年金属锂产能，持续推进 1000 吨项目建设
天铁科技 (A 股)	金属 锂	锂金属负极（铜锂复合带）	2025 年 5 月与欣界能源签订 5 年合同，每年采购	已形成 3000 吨/

公司名称	路线	研发布局	产业化进度	产能
			不低于 100 吨锂金属负极（对应 1GWh）材料。	年 金属 锂产能
英联股份 (A 股)	金属 锂	采用 蒸镀法 (PVD) 制备超薄锂金属层, 开发应用于固态电池的锂金属/复合集流体负极一体化材料, 并与头部汽车公司开展相关技术合作。	蒸镀锂金属中试线已投产, 具备量产 2.5 $\mu$ m / 超薄锂带 能力。	/

资料来源：公司公告、国信证券等，深企投产业研究院整理。

## 六、固态电池集流体

集流体是电池中汇集电流的结构或零部件，主要作用是导电。电池集流体的功用是承载正负极材料，并在充放电过程，将活性物质产生的电流汇集输出，或将电流输入给活性物质。集流体作为化学能与电能转换过程的通路，要求导电性能好、化学与电化学性能稳定、机械强度高、能够与活性物质紧密结合不易分离。电池集流体泛指也包括极耳，极耳是从电芯中将正、负极引出的金属导体。从材料种类看，可用作集流体的材料包括铜、铝、镍、不锈钢、复合材料、导电聚合物、层状复合薄膜材料、导电树脂、覆碳金属箔和柔性导电材料等。

**传统集流体依赖高纯度金属箔。**目前锂电池的正极集流体选用铝箔，负极集流体一般选择电解铜箔。传统液态锂电池的集流体侧重机械强度支撑与厚度减薄，但全固态锂电池因全新界面相互作用、化学机械行为，对集流体提出更严苛标准：需同时满足高强度、高界面相容性、弹性-塑性协同。

**硫化物电解质要求对铜箔负极集流体进行改进。**由于硫化物固态电解质容易与铜箔发生反应，生成铜硫化物，进而腐蚀集流体表面，

影响电子传导并破坏电解质表面致密性。为适应硫化物固态电解质体系，需要对原有铜箔集流体进行表面改性，或者替换为更为致密以及耐腐蚀的材料，主要有三种方案，分别是多孔/3D 铜箔、镀镍铜箔、镍合金/复合材料（不锈钢集流体）。

近年来复合集流体因其具有轻量化和高安全性等优势，也逐渐被应用于固态电池中。复合集流体主要包括复合铜箔、复合铝箔，采用“金属导电层-PET/PP 高分子材料支撑层-金属导电层”三明治结构。这种设计以高分子绝缘树脂 PET/PP 等材料作为“夹心”层，上下两面再沉积金属铝或铜，巧妙地结合了金属的高导电性和高分子材料的轻质、柔韧特性。复合集流体可以通过“薄膜沉积+电镀”工艺，将金属层厚度从微米级降至纳米级，大幅减少金属用量和材料成本。同时，复合集流体相比传统金属箔可以降低热失控风险，不易被硫化物等电解质腐蚀，安全性显著提升。

下表为国内固态电池集流体厂商布局情况，其中诺德股份、德福科技和嘉元科技在布局中处于领先地位。

**表 18 国内固态电池集流体布局厂商**

公司名称	主营业务	固态电池集流体布局情况
诺德股份 (A 股)	主要生产锂电铜箔、电子电路铜箔	自 2018 年起研发出多孔铜箔，目前已适配固态/半固态电池技术。2024 年推出耐高温电解铜箔集流体和耐腐蚀铜箔，2025 年推出全球首款耐高温双面镀镍铜箔。已小批量送样到头部电池企业测试。
德福科技 (A 股)	主要生产锂电铜箔、电子电路铜箔	目前为半/全固态电池提供的负极集流体解决方案有雾化铜箔、微孔铜箔、镀镍铜箔等，以上产品均已实现批量供货。
嘉元科技 (A 股)	主要生产锂电铜箔	半固态（凝聚态）电池用铜箔已实现批量供应，全固态电池用铜箔及低阻抗、高结合力铜箔已小批量供应，耐腐蚀特种铜箔已完成送样。

公司名称	主营业务	固态电池集流体布局情况
三孚新科 (A股)	表面工程专用化学品及专用设备	3D 复合铜箔正在开展技术研发、客户送样及认证测试等工作；已与欧洲半固态电池制造商签订战略合作协议
远航精密 (A股)	主要生产精密镍基导体材料	积极与固态电池领域客户进行技术对接
甬金股份 (A股)	主要生产不锈钢带等	积极与固态电池领域客户进行技术对接
英联股份 (A股)	快消品金属包装、电池集流体	通过控股子公司江苏英联，复合集流体（复合铜箔、复合铝箔）已进入宁德时代、比亚迪测试反馈环节，近期已获得批量性订单。
宝明科技 (A股)	新型显示器件，锂电复合铜箔	开发出的新一代锂电复合铜箔，在硅碳负极及固态电池的应用上具有更好的性能优势，通过多家知名客户的验证和认可。
中一科技 (A股)	锂电铜箔、标准铜箔	已有用于固态电池的锂-铜金属一体化复合负极材料等相关技术、工艺和产品，并积极和客户进行协同研发。
铜冠铜箔 (A股)	PCB 铜箔、锂电铜箔	积极关注固态电池的技术进展情况，已展开对相关产品的研究开发工作。
金美新材料	铝复合集流体和铜复合集流体	复合集流体可运用于固态电池。
洁美科技 (A股)	电子封装材料、电子级薄膜材料、复合集流体	控股子公司柔震科技主营产品包括复合铝箔、复合铜箔以及涂碳复合铝箔，与某固态电池生产企业签署《战略合作框架协议》，双方将共同设计开发“高安全轻量化复合集流体”，2025年，柔震科技需提供就当下开发的产品型号不低于 60 万平米产能用于保障对方项目需求。
北京安迈特	复合铜箔、复合铝箔	复合集流体针对全固态电池领域进行前瞻布局。
扬州纳力新材料	复合集流体	可用于全固态电池领域。

资料来源：公司公告、国信证券、浙商证券等，深企投产业研究院整理。

## 七、辅助材料

### （一）导电剂

导电剂是锂电池的关键辅材，主要用于提高电极材料的电子导电性。锂电池常用的导电剂主要包括炭黑类、导电石墨类、VGCF（气相生长碳纤维）、碳纳米管（CNT）以及石墨烯等。其中，炭黑类、导电石墨类和 VGCF 属于传统的导电剂；碳纳米管和石墨烯导电剂相较于传统导电剂具有导电性能好、用量少的特点，属于新型导电剂材料，其中，碳纳米管导电剂在三元、高镍、硅负极高比能动力电池中已成为主流选择；石墨烯导电剂分散性能较差、需要复合使用，在磷酸铁锂动力和储能电池中优势更加明显。在实际应用中，复合导电剂（炭黑+碳纳米管、碳纳米管+石墨烯等）已成为趋势。碳纳米管导电剂的粉体使用量仅为传统导电剂的 1/6-1/2。

**碳纳米管是最契合硅基负极的新型导电剂。**碳纳米管是由单层或多层石墨烯片绕中心按一定螺旋角卷曲而成的无缝管状结构，拥有优异的导电导热性能和阻酸抗氧化性能，可改善锂电池的循环寿命、能量密度以及快充快放等性能，被广泛应用于锂电池导电剂。由于固态电池所采用的超高镍三元、富锂锰基等正极材料以及硅基负极材料的导电性相对较差，为了优化固态电池电化学性能，通常需要添加碳纳米管等新型导电剂。由于硅基负极导电性差，在充放电过程中体积膨胀大，容易导致导电网络易断裂，而碳纳米管凭借其高长径比和一维网络结构，能有效维持电极的导电稳定性，缓冲体积膨胀应力，显著提升硅基负极的循环稳定性和倍率性能，因此成为锂电池中最具应用前景的导电剂类型之一。

**碳纳米管导电剂需求快速增长。**根据高工锂电 GGII 数据，2024 年中国锂电池用导电剂（折合为粉体）总出货量 5.2 万吨，同比增长

13%；导电浆料（主要是新型导电浆料）出货 17.7 万吨，同比增长 31%。从 2024 年中国锂电池用导电剂产品结构看，炭黑导电剂市场占比 74.7%，同比下降 7.7 个百分点；碳纳米管产品占比 18.4%，同比增长 8 个百分点，占比提升主要系高容量+快充锂电池需求增加带动，预计 2025 年碳纳米管粉体渗透导电剂总量突破 20%。2030 年中国碳纳米管导电剂粉体的出货量将达到 4.1 万吨，对应的浆料市场规模将达到 68 万吨(固含 6%计算)，2024-2030 年复合增长率为 26.7%。

**全固态电池对单壁碳纳米管的需求显著提升。**根据层数结构，碳纳米管一般分为单壁碳纳米管(SWCNT)和多壁碳纳米管(MWCNT)。多壁碳纳米管由多层石墨烯组成，导电性不如单壁碳纳米管，但技术成熟、成本更低，适合大规模应用，是目前常用的锂电池导电剂，占碳纳米管导电剂产品的 80%。单壁碳纳米管导电效率超过多壁碳纳米管 10 倍，对电池的能量密度、倍率性能、循环寿命、安全性等方面的提升效果更为显著，可以同时应用于锂电池的正极和负极材料中，更适用于硅基负极材料，更适配固态电池。目前单壁碳纳米管粉体的国内市场价格为 1000-1500 万元/吨，多壁碳纳米管粉体市场价格为 25-30 万元/吨。伴随全固态电池量产，单壁碳纳米管的需求将显著提升，其用量可达到液态电池的 3 倍。根据高工锂电 GGII 预计，2025 年中国锂电池导电剂单壁碳纳米管粉体出货量有望实现 50 吨级。根据起点研究，2024 年全球单壁碳纳米管导电浆料市场规模大约 16 亿元，预计到 2030 年有望达 178 亿元，未来 6 年年均复合增长率接近 50%。

**全球碳纳米管导电剂市场集中度较高。**全球碳纳米管导电剂主要企业包括天奈科技（A 股）、韩国 LG 化学、道氏技术（A 股）、美国卡博特 Cabot-SUSN Nano、俄罗斯 OCSiAl 等，前五企业市场集中

度超过 80%。中国企业出货量领先、产能占全球 80%以上，其中天奈科技 2024 年碳纳米管导电浆料出货量占中国市场份额为 53.2%(GGII 数据)，稳居全球第一。欧美日企业则主导高端定制化市场，以小批量、高附加值的产品为主。全球碳纳米管主要企业如下表所示。

**表 19 全球碳纳米管导电剂主要企业**

类别	代表企业情况
欧美日韩	韩国 LG 化学、美国 Cabot-SUSN Nano（收购中国三顺纳米）、日本昭和电工 Showa Denko、比利时 Nanocyl SA、俄罗斯 OCSiAl、日本 Meijo Nano、法国阿科玛 Arkema、韩国锦湖石油化学 Kumho、韩国 ANP、韩国 Dongjin Semichem、日本 Toyo Color 等
中国	龙头：天奈科技（A 股）、道氏技术（A 股） 其他：无锡东恒新能源、莱尔科技（A 股）、捷邦科技（A 股）、深圳飞墨科技（德方纳米剥离）、希诚新材料、河南集越新材料、深圳金百纳、深圳纳米港、江西黑猫股份（A 股）、常州六边形纳米、成都中科时代纳能、湖南京舟股份、厦门凯纳石墨烯、湖北冠毓新材料、宁波烯沃新材料、江苏恒流科技、宁波新睦科技、宁波致微新材料等

资料来源：深企投产业研究院整理。

**单壁碳纳米管制备难度高，全球少数企业能够规模化生产。**当前全球具备单壁碳纳米管规模化生产能力的企业主要包括 OCSiAl 和国内天奈科技。OCSiAl 是全球单壁碳纳米管龙头，凭借先发技术优势和品牌影响力，长期占据全球主要出货量。天奈科技的单壁碳纳米管处于放量阶段，已向清陶发展、卫蓝新能源等固态电池厂商供货。国内道氏技术、宁波烯沃新材料、常州六边形纳米也推进到小规模量产阶段。国内其他布局企业大多处于早期阶段，包括捷邦科技、莱尔科

技、无锡东恒新能源、江苏恒流科技、江苏希诚新材料等。随着国内企业在技术研发和生产工艺上的不断进步，预计未来在全球碳纳米管导电剂市场中，国内企业的话语权将进一步提升，有望打破国际企业在高端市场的垄断格局，形成更为多元化和竞争激烈的市场态势。

**表 20 全球单壁碳纳米管主要布局企业情况**

序号	企业	规模布局
1	俄罗斯 OCSiAl	总部位于卢森堡，全球最大的单壁碳纳米管生产商，供应全球主要的电池厂商。俄罗斯基地产能 90 吨/年（粉体），2024 年 10 月在塞尔维亚投产欧洲新工厂首条单壁碳纳米管生产设施、年产能 60 吨，配套分散液生产线可支持 65GWh 锂电池生产。计划 2026 年之前将塞尔维亚单壁碳纳米管粉体产能扩大 4 倍。在中国的单壁碳纳米管分散液代工厂为上海海逸科贸有限公司和沈阳汇晶纳米科技有限公司，计划产能分别提升至 2.7 万吨和 2.5 万吨。
2	天奈科技（A 股）	2024 年公司碳纳米管浆料出货约 8.5 万吨，同比增长 56%。单壁碳纳米管 2025 年放量，2025 年四代和单壁碳纳米管粉体销售目标为 40 至 50 吨（对应单壁碳纳米管浆料 1 万吨左右）。
3	道氏技术（A 股）	通过子公司青岛昊鑫占据国内碳纳米管导电剂市场前三，自主研发单壁碳纳米管制备设备与分散剂，第五代单壁碳纳米管完成从实验室小试到中试量产的工艺开发，已通过日韩头部动力电池客户相关测试，已完成国内 3C 和动力电池客户送样测试，部分客户已实现供货，预计 2025 年底建成 10 吨/月的产能。
4	宁波烯沃新材料	国家石墨烯创新中心孵化企业，成功实现单壁碳纳米管领域高性能产品的规模化量产，并计划于 2025 年内释放 10 吨产能。
5	日本 Meijo Nano	采用电弧放电蒸发法制备单壁碳纳米管，预计现有单壁碳纳米管粉体半量产线年产能 2-3 吨。2024 年 6 月，该公司与韩国 SK 集团旗下的材料公司 SK Inc. Materials 进行资本和业务合作，预计将扩大粉体产能。

序号	企业	规模布局
6	常州六边形纳米科技	初创企业，投资建设单壁碳纳米管吨级粉体产线，预计 2025 年单壁碳纳米管粉体产量达 3-5 吨，销售额约 2 亿元。
7	成都中科时代纳能	中科院成都有机化学所旗下，多壁碳纳米管产能达 700 吨/年，碳纳米管浆料产能达 2000 吨/年，高纯度单壁碳纳米管产能达到 2 吨/年，石墨烯 30 吨/年、纳米石墨片产能达 50 吨/年。
8	无锡东恒新能源	现有多壁 CNT 粉体年产能 300 吨、浆料年产能 1 万吨，无锡基地扩建完成后多壁 CNT 粉体总产能 1500 吨、浆料 2 万吨。单壁碳纳米管现有年产能 0.3 吨（中试线），处于客户验证送样阶段，自贡基地二期规划单壁碳纳米管年产能 300 吨，计划 2025 年底建成。
9	江苏恒流科技	初创企业，以单壁碳纳米管导电剂为核心产品，近期获得 Pre-A 轮融资，融资资金用于搭建单壁碳纳米管建量产试验线。
10	捷邦科技（A 股）	2024 年多壁碳纳米管营收 5576 万元，东莞基地多壁碳纳米管导电浆料年产能 2 万吨，单壁碳纳米管处于客户送样阶段。
11	莱尔科技（A 股）	四川眉山基地年产 3800 吨碳纳米管及 3.8 万吨碳纳米管导电浆料项目一期部分投产，2024 年与宝武碳业签署战略合作协议，重点攻克单壁碳管等新型材料研发瓶颈问题。
12	江苏希诚新材料	山东淄博（多壁）碳纳米管导电剂浆料现有产能 4000 吨/年，常州总部规划产能 3 万吨/年，2025 年 3 月签约贵阳年产 4700 吨单壁及寡壁碳纳米管项目（一期 700 吨/年）。
13	深圳纳米港	碳纳米管（多壁碳纳米管）粉体的年生产能力为 200 吨，可生产单壁碳纳米管粉体（工业级）。
14	厦门凯纳石墨烯	三明永安一期年产 500 吨石墨烯、单壁/寡壁碳纳米管粉体生产线已建成投产。

资料来源：公司公告，深企投产业研究院整理。

## （二）粘结剂

对于干法电极制备工艺来说，粘合剂原纤化法是目前主流的技术路线，潜在使用的粘结剂类型包括聚四氟乙烯（PTFE）、乙端-四氟己烯共聚物、PVDF、四氟己烯-六氟两烯共聚物等，其中 PTFE 由于具备：1）分子量更大，更适合纤维化形成更稳定的“三维”网络，从而固定住正极材料，使电池性能稳定；2）化学稳定性更强；3）不易燃烧，安全性高等优势，最具有应用潜力。

全球 PTFE 产业集中度较高，中国市场占据重要份额。根据《中国氟硅行业简报（第 182 期）》，截止 2023 年底，全球 PTFE 产能超过 30 万吨/年，海外主要生产商包括美国杜邦、美国科慕、法国阿柯玛、日本大金、日本旭硝子等企业。中国 PTFE 产能已达 20.81 万吨/年（含外资企业），约占全球 PTFE 总产能的 67%。

根据百川盈孚，我国 PTFE 产能主要集中在东岳集团、中昊晨光、巨化股份、江西理文、江苏梅兰等少数几家企业，产能分别为 5.5、3、2.5、1.65 和 1 万吨/年，占比分别为 27.62%、15.07%、12.56%、8.29%、5.02%，其中前三家企业合计市场份额达到 55.25%，行业集中度较高。

深企投产业研究院

03

# 固态电池设备篇

量产破局、设备先行，锂电设备厂商前沿布局静待花开



固态电池产业化以材料和设备为先导。当前固态电池产业链技术持续突破，进入中试关键期，设备厂商持续交付中试设备。随着固态电池产业进入生产线大规模建设和投产阶段，固态电池设备将成为产业化进程中最先受益的环节。

## 一、固态电池设备类型

固态电池制造按照工序分成前段（材料制备）、中段（电芯成型）、后段（性能激活），涉及到的核心设备包括涂布机、强力混合机、纤维化设备、等静压设备和分容化成设备等。

与传统液态锂电池相比，全固态设备变化集中在前段和中段。半固态电池可兼容传统液态锂电池生产工艺，主要多了一道固态电解质的涂布，辊压机为了提高压实密度升级为高吨位，因电解液用量减少注液机改为浸润机，化成分容需要预锂化步骤等，对液态锂电池产线进行局部改造以适配过渡需求。

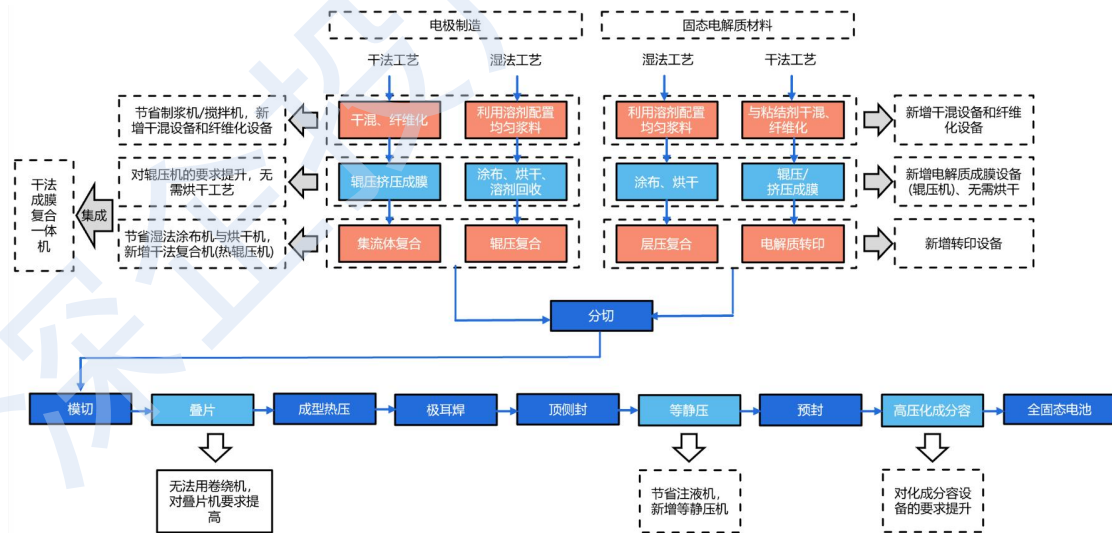


图 17 固态电池工艺及设备变化

资料来源：翟喜民等《全固态电池生产工艺分析》。

全固态锂电池的生产设备变化更多，前段设备变化最大，主要在

于电解质膜和极片制作工艺上，使用干法电极成套设备实现固态电解质膜制备。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。相比于液态锂电池传统湿法工艺设备，干法工艺的前段设备不再需要涂布、烘干、溶剂回收设备，而对高混机、制膜所需的辊压机的需求提升、增加纤维化设备，主要包括气流粉碎、螺杆挤出机、开炼机。中段电芯装配环节，全固态电池采用“高精度叠片机+极片框胶印刷机+等静压设备”取代传统的液态电池卷绕工艺，并删减了注液工序。后段化成分容环节，从液态电池的化成分容机转向高压化成设备，压力升至 60-80 吨。主要设备及其变化如下表所示。

**表 21 全固态电池生产环节对应设备**

工艺环节	设备名称	用途	相比液态电池设备变化
<b>正负极片&amp;电解质制备（前段，价值量占比 35%-40%）</b>			
匀浆搅拌	搅拌机	混合粉体材料	适当改造
干料混合	强力混合机	惰性气氛干法混合	新增
涂布	涂布机	混合材料涂覆集流体	适当改造
纤维化	纤维化设备	将干混物料处理为纤维化结构	新增
辊压成膜	辊压机、热复合设备、 辊压热复合一体机	辊压成膜、热复合贴合	升级
<b>电芯成型（中段，价值量占比 40%-50%）</b>			
分条&模切	分条模切机	带材冲切电芯模框	适当改造
制片	制片机	电极片的高精度成型	适当改造
胶框印刷	胶框印刷机	极片印刷胶框防短路	新增
叠片	无隔膜叠片机	正负极+隔膜层叠	升级
等静压	等静压设备	活性组件充分接触	新增
极耳焊接	激光/超声焊接机	极耳-叠片体连接	适当改造

工艺环节	设备名称	用途	相比液态电池设备变化
封装	封装设备	软包封装防环境影响	适当改造
<b>性能激活&amp;组装（后段，价值量占比 15%-20%）</b>			
化成分容	高压化成分容柜	激活+容量测试	升级
检测	检测设备	对电芯进行外观检测、内部结构检测	适当改造

资料来源：EV Tank、粉体网、中信建投等，深企投产业研究院整理。

## 二、市场规模

根据 EV Tank 白皮书数据显示，2024 年全球固态电池设备市场规模达到 40.0 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。随着固态电池的产业化进程逐步推进，固态电池设备行业市场规模将显著提升，到 2030 年全球固态电池设备市场规模将达到 1079.4 亿元，其中半固态电池设备、全固态电池设备市场规模分别为 624.4 亿元、455.0 亿元。

根据东吴证券预测，当前固态电池中试阶段单 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，预计 2025 年（中试阶段）全球固态电池设备需求为 55 亿元，其中前段、中段、后段设备需求分别为 17.6 亿元、24.8 亿元、12.7 亿元；预计到 2029 年全球固态电池设备需求达到 200 亿元，其中前段、中段、后段设备需求分别为 64 亿元、90 亿元、46 亿元，具体如下图所示。

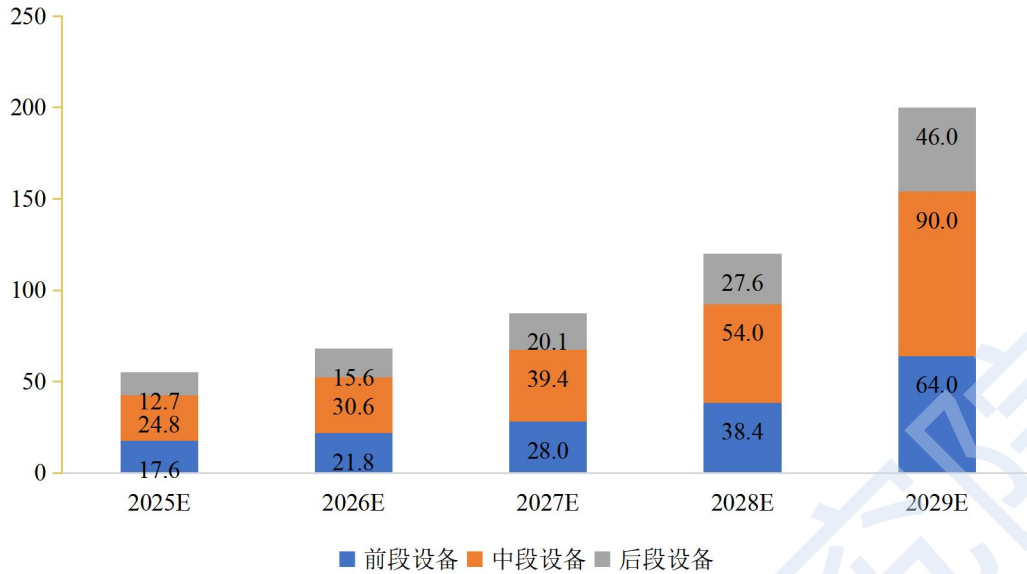


图 18 2025-2029 年全球固态电池设备需求（亿元）

资料来源：东吴证券，深企投产业研究院整理。

## 三、市场格局

### （一）整线及整段设备

锂电设备重点企业普遍布局固态电池赛道。传统液态锂电池生产工艺已高度成熟，各环节设备国产化率超 90%，2024 年全球锂电池厂商扩产放缓，新增产能减少导致锂电设备订单疲软，行业价格战激烈，市场格局固化叠加同质化竞争，设备企业的毛利率持续承压，不少锂电设备重点企业陷入亏损。固态电池作为颠覆性技术方向，因前段、中段工艺重构带来设备增量空间，成为锂电设备商突破盈利瓶颈的关键赛道。

在固态电池领域，锂电设备企业加速向整线一体化解决方案升级。为提升设备效率并增强市场话语权，越来越多的综合性锂电设备企业开始向整线设备提供商或局部整线设备提供商转型，推动固态电池设备在前、中、后段实现一体化布局。头部设备企业如先导智能、赢合

科技、利元亨等借助一体化趋势拓展产品覆盖范围，实现横向与纵向扩张。

**表 22 国内固态电池设备主要厂商布局进展**

序号	企业	布局工艺	设备布局进展	合作厂商
1	先导智能 (A 股)	整线	涵盖全固态电极制备（混料及干法、湿法极片复合设备）、全固态电解质膜制备及转印复合设备（胶框印刷设备）、裸电芯组装（新一代固态叠片机）、致密化设备（等静压设备和其他致密化设备）及高压化成分容等全固态电池制造关键设备。交付全球首条固态电池中试线。	客户范围覆盖国内及欧美日韩头部电池制造商、知名车企和新兴电池企业
2	利元亨 (A 股)	整线	中标国内头部车企的首条硫化物固态电池整线项目，覆盖前段、中段、后段设备，包括电极干法涂布、电解质热复合一体机、胶框印刷和叠片一体机等核心装备，高压化成分容设备（80-100 吨）和等静压技术（ $\leq 3\text{MPa}$ ）处于行业领先水平。	广汽埃安、清陶能源、国轩高科等
3	赢合科技 (A 股)	前段+中段	涵盖固态湿法涂布设备、辊压及电解质转印设备、第三代干法混料纤维化+干法成膜一体化设备、高速叠片设备等。2025 年向头部客户交付中试线设备。	宁德时代、比亚迪、清陶能源等
4	纳科诺尔 (A 股)	前段+中段	2023 年 7 月，与清研电子合资成立子公司清研纳科，与四川新能源汽车创新中心（欧阳明高院士团队）合作。设备涵盖干法电极成型复合一体机、固态电解质热压转印设备、锂带压延设备、等静压设备（研发中）等工艺设备。	清陶能源等
5	宏工科技 (A 股)	前段	布局干法混料及纤维化环节。2025 年 2 月与清研电子合资成立清研宏工，共同研发的干法电极前段工序核心设备混合均质一体机。	宁德时代、比亚迪、中创新航、蜂巢能源等

序号	企业	布局工艺	设备布局进展	合作厂商
6	曼恩斯特 (A股)	前段	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。为国内外多家企业提供了固态/干法工艺的测试验证实验。	三星 SDI、宁德时代等
7	先惠技术 (A股)	前段	与清陶能源合作开发干法辊压设备, 可用于半固态及固态电池, 首台中试设备 2025 年 6 月交付清陶。	清陶能源等
8	金银河 (A股)	前段	干法涂布连续成膜及覆合成极片设备已取得突破性进展, 完全具备接单能力。从上料及纤维化到出极片的高速连续量产线预计 2025 年可完成量产线。	Microvast 微宏集团 (合作开发)
9	华亚智能 (A股)	前段	通过子公司冠鸿智能布局干法电极设备, 与海希通讯签订 200MWh 全固态电池生产线项目, 设备集成高速分散、纤维化制备等工艺。	海希通讯 (合作开发)
10	联赢激光 (A股)	中段、后段	激光焊接设备及装配线, 已布局极片清洗机、极片涂胶机、超声波预焊机、入壳&侧盖焊接机、PCB 转接片焊接机、顶盖&底盖焊接机、密封钉焊接机等。	2024 年 11 月向头部客户发送固态电池装配试线
11	海目星 (A股)	前段、中段	2023 年开始布局固态电池技术, 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 月获得欣界能源 4 亿元准固态设备订单。	欣界能源、中创新航等
12	杭可科技 (A股)	后段	已开发出固态电池大压力夹具机(高压化成分容设备)、生产检测设备及产品	与国内外多家相关厂商就固态电池的中试线展开合作并交付样机
13	信宇人 (A股)	前段	重点开发干法电极与电解质成膜技术, 推出干法成膜复合一体机, 处于试制改进阶段	—

序号	企业	布局工艺	设备布局进展	合作厂商
14	科恒股份 (A股)		通过子公司浩能科技布局干法电极设备,已成功交付客户,布局设备包括半固态及全固态辊压机、涂布机、造粒机、复合机等	北京纯锂新能源等

资料来源：鑫铎固态电池、中信建投、东吴证券、国海证券、各公司公告，深企投产业研究院整理。

## (二) 重点设备

### ——搅拌机

搅拌机作为干法电极制备的先道设备，其性能直接影响后续工艺的稳定性，尤其对密封与防潮性能提出了较高要求。在固态电池干法电极工艺中，电解质制备环节需依托干法搅拌完成：设备需在真空或惰性气氛环境下，通过机械搅拌与振动相结合的方式，促使固态电解质粉体与正负极材料充分接触，从而实现电解质浆料的初步分散。

液态、半固态电池采用的是湿法搅拌，相较于湿法搅拌，干法搅拌在压实密度与能量密度上具有显著优势，但这也对搅拌机的性能提出了更严苛的要求：一是需确保全程无溶剂介入，以保持粉体干燥状态，避免电解质因接触溶剂而发生退化；二是需维持惰性气氛环境，防止硫化物等敏感材料发生氧化反应；三是需采用温和的混合方式，避免破坏材料颗粒的形貌及界面结构。

表 23 干法/湿法搅拌对比

特性	传统锂电湿法搅拌	固态电池干法搅拌
介质类型	溶剂+粉体（活性材料、导电剂、粘结剂）	干粉（陶瓷电解质颗粒+活性材料+添加剂）
工艺要求	精确控制粘度、含量；后续需烘干	避免吸潮、惰性气氛、温和搅拌

危险/成本	溶剂回收、排放处理 成本高；防爆要求	对设备密封、防潮性能要求更高
-------	-----------------------	----------------

资料来源:《Mixing methods for solid state electrodes: Techniques, fundamentals, recent advances, and perspectives》，深企投产业研究院整理。

固态电池搅拌设备类型主要有双行星搅拌机、双螺杆搅拌机等。国外厂商以传统工业设备巨头为主，性能精度领先但价格昂贵，设备单价在 2000-3000 万元之间，是国产设备价格的数倍。行星搅拌机主要企业包括美国 Charles Ross、德国 Eirich、德国 NETZSCH、日本浅田技研、日本细川密克朗 Hosokawa Micron 等，双螺杆挤出机主要企业包括韩国世赫集团 Sae Hwa Tech、瑞士宝冕 Bühler Group、德国科倍隆 Coperion 等。

国内设备厂商以性价比和技术突破抢占市场，主要企业包括金银河（A 股）、宏工科技（A 股）、先导智能（A 股）、曼恩斯特（A 股）、利元亨（A 股）、聚盈新能源、无锡灵鸽科技（北交所）、深圳尚水智能（IPO）等。

### ——混合机

在干法电极制备中，混合机是在搅拌工序之后，进一步减小固体颗粒尺寸并实现二次分散，为后续工艺的稳定性奠定基础。干法混合的核心是借助碰撞、剪切等高能机械作用实现物料混合，最终达成纳米量级的均匀分散效果。该工艺通常采用双刀片磨粉机、球磨设备、循环混合机等机械干混设备，完成活性材料、导电剂与固态电解质粉末的干混过程。

具体来看，干混工艺主要分为干球磨工艺、挤压工艺、与熔融造粒工艺三类。干球磨工艺多用于无机电解质制备，挤压工艺与熔融造粒工艺则更适配聚合物体系。

表 24 固态电池干混工艺类型

特性	功能原理
干球磨工艺	利用球磨机内磨球之间、磨球与缸体的滚撞作用，产生剪切、碰撞及摩擦效应，一方面使接触的纳米粒子被磨碎或撞碎，减小颗粒尺寸；另一方面让纳米粒子在磨球空隙中受到强烈混合作用，最终实现纳米量级的均匀分散，完成合浆作业
挤压工艺	属于无溶剂的连续化工艺，可同步实现材料混合与加工。其过程是将电解质材料送入双螺杆挤出机或压片机，通过螺杆旋转完成混合与输送，同时在高压环境下压缩物料，使颗粒紧密接触，形成致密电极结构；挤出的混合物可直接经压延工艺涂布于集流体表面，提升工艺连续性
熔融造粒工艺	将固态材料加热至熔点附近，使材料表面部分熔化，随后通过搅拌或挤压操作，推动不同粉末材料高效团聚并形成均匀颗粒，最后经冷却固化完成造粒，适配聚合物体系的材料特性

资料来源：深企投产业研究院整理。

从混合机产业进展来看，曼恩斯特（A 股）针对干法工艺全环节进行系统性布局，率先完成“干法前段整线成膜技术”的闭环构建，其产品线覆盖强力混合机、VC 高效混合机、陶瓷双螺杆挤出机等核心装备。而利元亨（A 股）通过真空捏合机、三维回转混合机、行星球磨机等设备的整合应用，已实现磷酸铁锂固态电池、硫化物固态电池中试线的整套干混设备交付，有效推动了相关技术从实验室研发阶段向产业化应用阶段的跨越。其他布局企业还有先导智能（A 股）、赢合科技（A 股）、冠鸿智能等。

## ——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，其中静电喷涂制备电极需要用到涂布机。涂布机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。干法涂布机是固态电池前段工艺核心设备，其壁垒在于涂布的均匀性控制和电解质膜厚度精度控制，设备单机价值量较传统湿法涂布机提升约 40%。

国内涂布机企业主要有璞泰来（A 股，控股子公司嘉拓智能）、先导智能（A 股）、科恒股份（A 股，子公司浩能科技）、赢合科技（A 股）、利元亨（A 股）、曼恩斯特（A 股）等企业。

## ——纤维化设备

纤维化设备是固态电池干法电极制造的核心装备，其核心功能聚焦于粘结剂纤维化工艺。通过施加高剪切力、精准控制温度等作用，将电极材料、导电剂与粘结剂（如 PTFE）的干混物料处理为纤维化结构，使粘结剂在干燥状态下能够模拟湿法工艺中液态粘结剂的粘结效果，为后续的辊压成膜环节奠定基础。

具体来看，纤维化设备的核心作用体现在三个方面：一是粘结强化，通过让粘结剂形成纤维网络，增强电极材料之间的粘附力与机械强度，从而支撑干法电极“无溶剂、厚膜化、均质化”的结构优势；二是工艺革新，替代湿法工艺中“溶剂分散→脱泡→烘干”的流程，既能从根源上规避溶剂残留的风险，又能降低生产过程中的能耗，且能更好适配固态电解质（尤其是对溶剂高度敏感的硫化物体系）；三是材料兼容，通过对纤维化过程的调控，可兼容 PTFE、ETEF、FEP 等多种粘结剂（其中 PTFE 因分子量高、原纤维长，成为当前最优选择），

进一步拓宽了材料的应用边界。

在固态电池纤维化设备领域，国外厂商主要有特斯拉子公司 Maxwell、日本日清纺（绑定丰田）等。国内布局企业包括先导智能（A 股）、宏工科技（A 股, 合资子公司清研宏工）、科恒股份（A 股，子公司浩能科技）、纳科诺尔（A 股）、无锡理奇智能（A 股）、华亚智能（A 股，子公司苏州冠鸿智能）等。

### ——辊压机

辊压机又称滚压机，是通过两个或多个辊子之间的压力，使材料在压力下变形、破碎或混合的机械设备。辊压机作为前道干法工艺的核心设备，其应用场景已从传统工序进一步拓展至电极成膜、热复合等关键环节，设备用量明显提升，同时，行业对其工作压力、辊压精度及均匀性的要求也显著提升。

固态电池辊压机厂商主要是原有辊压机企业的业务延伸。从市场竞争格局看，2022 年中国锂电辊压机市场呈现梯度分布特征：纳科诺尔（A 股）以 23% 的市场份额位居首位，赢合科技（A 股）占比 22%，二者合计占据近半数市场份额，构成行业第一梯队；先导智能（A 股）占比 14%、海裕百特占比 6%，形成第二梯队；其他厂商还有迈科锂能（广东）、安徽得壹能源科技、赣州市聚盈新能源、苏州市新广益电子股份等。

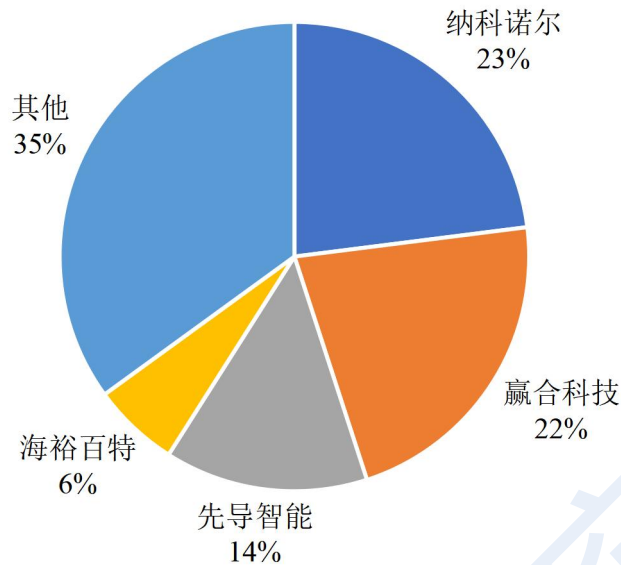


图 19 2022 年中国锂电辊压机市场竞争格局

资料来源：GGII、纳科诺尔招股说明书，深企投研究整理。

当前固态电池辊压机布局进展较为领先的企业，主要为纳科诺尔（A 股）、赢合科技（A 股）、先惠技术（A 股）、冠宏智能（A 股华亚智能子公司）、深圳尚水智能（IPO）等。

### ——热复合设备

固态电池热复合设备主要用于将固态电解质膜与正负极片通过加热加压的方式复合成“三明治”结构，解决固态电解质与电极之间界面接触不良的问题，从而提升电池的能量密度和安全性。具体有三方面作用：一是提升界面结合力，通过高温高压工艺消除界面空隙，降低离子迁移阻力；二是优化电解质均匀性：确保电解质层厚度、密度一致性，减少短路风险；三是适配复杂工艺需求：如硫化物电解质对氧气/水分敏感，需在惰性气体环境中操作。

国内热复合设备主要厂商包括先导智能（A 股）、利元亨（A 股）、纳科诺尔（北交所）、曼恩斯特（A 股）、米开罗那、浩能科技、海裕百特、海裕锂能、深圳尚水智能、嘉拓智能（璞泰来旗下）、深蓝

机械、科恒股份（A 股）等。

### ——胶框印刷机

传统液态电池依靠隔膜和电解液天然隔离正负极，同时吸收机械应力。全固态电池取消了隔膜，通过叠片把正极、固体电解质、负极逐层堆叠，再用高压等静压致密化界面。然而，高压下脆性电解质和致密极片边缘容易塌陷或错位，导致正负极接触短路，危及安全并降低良率。为此，必须在极片四周设置绝缘胶框，阻断正负极间的意外接触并提升密封性。

固态电池胶框印刷机是固态电池生产中打印绝缘胶框的核心设备，其作用体现在多个方面：一是通过绝缘隔离防止正负极直接接触，降低内短路风险，同时能阻隔水分，提升电池化学稳定性；二是凭借微米级精度确保胶框厚度均匀，规避电芯厚度误差引发的良率下降；三是兼容卷对卷生产模式与氧化物、卤化物、硫化物等多材料电解质体系，适配复杂工艺需求。

目前，胶框印刷工艺主要分为丝网印刷、钢网印刷、UV 打印、涂胶/点胶等，不同工艺在良率、效率和精度上各有不同，其中钢网印刷和 UV 打印是目前锂电设备行业评估的主流路线。不同路线及代表厂商如下表所示。

**表 25 固态电池胶框印刷路线及代表设备厂商**

路线	工艺原理	优点	缺点	代表企业
钢网印刷技术	通过高精度钢网在极片边缘印刷绝缘胶框	尺寸控制精度高、生产节拍快（单片印刷时间可低于 2 秒）	钢网需定制，柔性差，换型成本高	利元亨、先导智能等
预制胶框转印技术	先独立制备好绝缘胶框，再通	预先制备有助于提高胶框的均匀	转印良率受极片平整度影响大，易	暂无公开主推厂商

路线	工艺原理	优点	缺点	代表企业
	过热压或粘接剂转印至极片表面	性, 工艺成熟度高	出现气泡或贴合不良	
点胶工艺	采用高精度点胶阀在极片边缘喷射绝缘胶水, 自然流平形成胶框	设备投资成本低, 但	尺寸精度较差, 胶水固化时间长达分钟级, 拖累产线节拍和生产效率	暂无公开主推厂商
UV 打印技术	利用紫外光在极片表面直接打印并固化绝缘层	激光辅助可实现微米级精度, 自动化程度高, 适配硫化物等敏感材料	工艺复杂, 设备成本高, 工艺稳定性需验证, 当前整体节拍较慢	德龙激光、松井股份、联赢激光、高能数造等

资料来源：深企投产业研究院整理。

### ——叠片机

软包封装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。行业共识认为, “叠片+软包”是最适合全固态电池的封装方式, 主要原因有: 1) 叠片结构通过多层薄片分散应力, 可以弥补氧化物或硫化物固态电解质柔韧性不足的缺陷; 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可以直接堆叠串联, 省去了传统卷绕工艺中所需的内部极耳结构, 从而简化组装流程、提高制造效率、降低组装成本。

叠片机负责将正极、负极、隔膜按预设顺序精准叠合, 构建电芯的基本结构。在传统液态电池产线中, 叠片机已通过稳定的叠片精度保障电芯一致性。叠片机单 GWh 价值量高于卷绕机, 然而传统叠片工艺因存在流程复杂、效率偏低、设备成本投入大等弊端, 导致其市

场渗透率长期不及卷绕机。而全固态电池因材料刚性增强、界面接触要求更高，叠片机成为唯一适用的核心设备，叠片效率随之成为决定企业竞争力、固态电池电芯质量的关键变量。

叠片机类型包括 Z 形叠片机、切叠一体机、热复合叠片机、卷叠一体机，目前全固态电池产线主流选择是热复合叠片机。不同叠片机对比如下表所示。

表 26 不同叠片机对比分析

特性	Z 型叠片机	切叠一体机	热复合叠片机	卷叠一体机
原理	主叠片台带动隔膜呈 Z 字型往复并放置裁切好的正负极片	模切&Z 字型叠片机&贴胶热压机	烘烤后的正负极片与隔膜热复合，然后进行叠片	将正负极片分别贴在隔膜上，用卷绕的方式，实现两组正负极片相间叠放
效率	30-100ppm	60-100ppm	200-300ppm	240ppm
价格	100-200 万元	400-500 万元	600-800 万元	LG 专利，不对外销售
毛刺	≤10um	≤15um	≤10um	——
对齐度	≤±0.25mm	≤±0.5mm	≤±0.2mm	≤±0.4mm
稼动率	95%	80%	95%	——
特点	容易出现吸多片，隔膜张力不均，拉伤，起皱	/	杜绝左侧传统 Z 型叠片机中的问题	效率高，涉及日韩专利
设备厂	先导智能、赢合科技、超业精密、利元亨、科瑞技术	/	格林晟、吉阳智能、先导智能	MANZ（德国）

特性	Z 型叠片机	切叠一体机	热复合叠片机	卷叠一体机
应用端客户	宁德时代、比亚迪、孚能科技、万向 123、卡耐新能源	/	中航锂电	/

资料来源：利元亨《固态电池极片胶框覆合方法、装置及叠片设备》，电子工程专辑《固态电池生产工艺流程说明书》，深企投产业研究院整理。

从锂电池叠片机市场格局来看，先导智能（A 股）、格林晟为第一梯队企业。2024 年以出货量衡量，先导智能的卷绕机与叠片机全球市场份额均突破 65%，且其叠片机最高效率稳居全球第一，技术优势在固态电池领域有望进一步凸显；格林晟的叠片机国内市占率达 17.43%，也将受益于固态电池产业化。国内叠片机其他重点企业还有赢合科技（A 股）、东莞超业精密、深圳吉阳智能、科瑞技术（A 股）、利元亨（A 股）等。

### ——等静压设备

固态电池中，电极/电解质界面的残留孔隙会阻断离子通道，导致界面阻抗显著增加。传统动力电池的致密化手段——热压或辊压——只能提供有限且分布不均的压力，既难弥合界面缝隙，也难以保证电解质与电极颗粒在整片区域内的一致性压实。单轴辊压虽然可以连续作业，却难以突破致密化瓶颈（电极复合材料密度最高仅达 85%），还会引发颗粒碎裂和集流体变形。相比之下，等静压技术通过各向同性高压，显著降低固-固界面空隙，优化电极密度、厚度和孔隙率等关键参数，已成为产业界攻克全固态电池界面接触难题的核心工艺。

等静压设备是在密封容器内，以高压流体（液体或气体）为介质，将其产生的静压力向各个方向均匀传递，使得其中的粉末或者待压实的胚料在塑性流动过程中实现颗粒重排，形成高致密度胚料，已经被

广泛应用在石墨、冶金、化工等领域。等静压技术尤其适配硫化物固态电解质层的成型需求。等静压机按需适配高压环境及满足均匀压力控制，单机价值量是传统注液机的 5-8 倍，

等静压技术依据温度条件可分为三类：冷等静压（CIP），以水或油为压力介质，具有循环时间短、单次处理成本低的特点，是当前应用场景最广泛的类型；温等静压（WIP），采用液体或气体作为介质，通过中温环境（如 150°C）与高压条件（如 500MPa）的协同作用，在保证致密化效率的同时兼顾对不同材料的适配性；热等静压（HIP），以惰性气体（如氩气、氮气等）为介质，虽在压力均匀性上优势突出，但受限于气体介质的高昂成本，在大规模生产中的经济性面临明显瓶颈。

从量产需求角度考量，冷等静压（CIP）的综合成本优势最为显著，温等静压（WIP）则在效率与性能之间实现了较好平衡，而热等静压（HIP）因成本制约难以应用于规模化生产。基于此，实际生产中常采用 CIP 与 WIP 的工艺组合，旨在成本、性能与生产效率之间寻求最优匹配，为固态电池的量产提供可行性支撑。

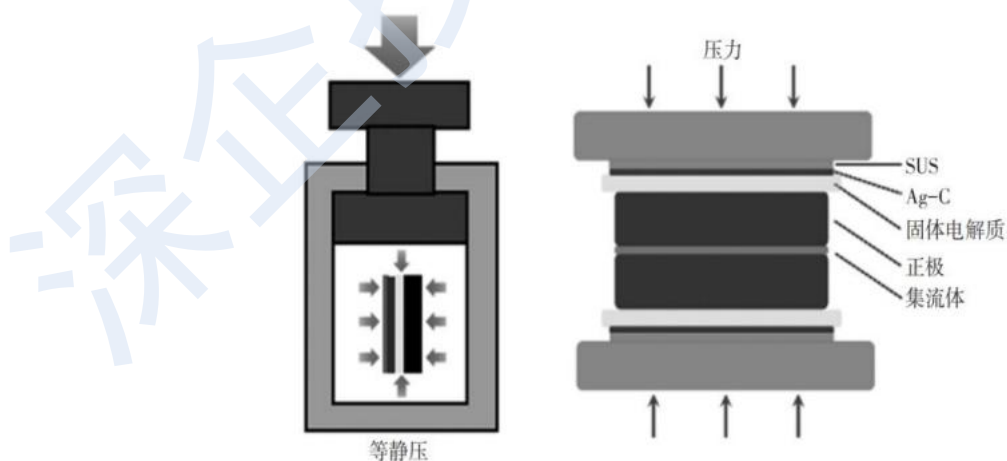


图 20 全固态电池等静压工艺示意图

资料来源：《全固态电池生产工艺分析》。

等静压技术的产业化探索已在海外率先展开，海外头部电池企业及设备厂商已率先取得实质性进展。韩国 LG 新能源通过冷等静压机搭配新型硫化物固态电解质，成功制备无负极全固态电池，并公开相关专利。2025 年 1 月，三星 SDI 在其固态电池产线测试中采用集成水压与辊压工艺的温等静压机，进一步推动技术向量产场景迈进。海外等静压机企业以韩国 Hana Technology 和瑞典 Quintus Technologies 为代表。Quintus Technology 聚焦高压设备技术研发，推出卧式等静压机以降低运营成本，规划 2025-2030 年逐步开发 300/600/800 系列设备，满足超级工厂的大规模生产需求。Hana Technology 开发的温等静压设备已实现 700MPa 压力与 200°C 温度参数，目前为韩国电池企业中试线供货，预计 2027 年开始销售，2030 年全面销售。

国内电池及设备厂商技术布局同样紧锣密鼓。宁德时代、比亚迪等头部电池企业，以及先导智能、利元亨等设备厂商，已围绕等静压工艺展开深入研发并形成相关专利；纳科诺尔正在加快等静压设备的研发，预计年内有望面向市场；浙江星楷科技于 2025 年 2 月交付卧式量产型等静压机。整体来看，行业对该技术的产业化探索热度持续攀升，正加速从技术验证向实际应用场景渗透。

### ——分容化成设备

电池的化成分容设备主要承担电池性能激活、参数检测与质量筛选的核心任务，化成是对新生产的未激活电池进行首次充放电处理的过程，分容即容量分选，是在化成之后对电池进行的多轮充放电循环测试，剔除不合格的电池，并对电池按性能进行筛选分级。分容化成设备以分容柜、化成柜为载体，集成充放电、温压控制及数据管理系统。常规电池化成压力在 3~10 吨，而固态电池化成分容环节需要超高压（60~80 吨）和高电压平台，借助高压消除固-固界面微隙，推

动锂离子在固态电解质与电极间形成稳定导电路径，由此产生高压化成分容设备需求。

国内固态电池化成分容设备当前布局厂商主要有先导智能（A股）、杭可科技（A股）、利元亨（A股）、深圳精实机电、深圳瑞能股份等。


编 写：叶林轩 林和坤


修 订：林和坤


审 核：林和坤

排版校对：马敏仪


# 深企投产业研究院

 **电 话:** 王女士 13168781866

 **座 机:** 0755-82790019

 **邮 箱:** sqtcf@sqtcf.cn

 **网 址:** <http://www.sqtcf.cn/>

 **地 址:** 深圳市福田区深南大道本元大厦 7B1



深企投公众号



深企投研究公众号