

固态电池产业化加速，未来市场空间广阔

强于大市 (维持)

——电力设备行业深度报告

2024年12月16日

行业核心观点:

固态电池是使用固体电解质来替代传统锂离子电池的电解液和隔膜,实现离子传输和电荷储存,是一种新型的电池技术。与传统液态锂电池相比,固态电池具备高安全性,高能量密度的关键优势,是锂电池产业升级的重要方向。当前,在国家政策支持、企业布局加速的推动下,固态电池正在进入快速发展阶段,产业化转折点即将到来,未来市场空间广阔。

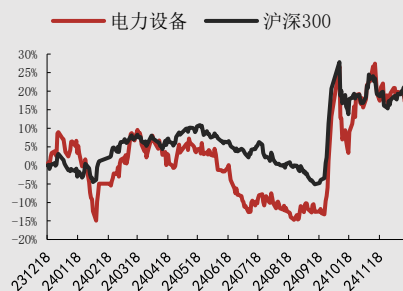
投资要点:

固态电池安全性高,有望突破能量密度上限。(1) **安全性:** 固态电池工作温度范围更宽,耐热性更好,且固态电解质具有耐高温、不可燃、绝缘性好的特性,安全性能大大提升;(2) **能量密度:** 目前,液态锂电池技术已经基本成熟,材料的潜能基本被挖掘得接近极限值。固态电池在正负极材料和电池结构两个方面均有提升,能量密度能达到500Wh/kg以上,有望实现能量密度极限的突破。

材料体系迭代,从半固体向全固态转化。固态电池技术研发难度大,半固体电池是过渡阶段。同时,固态电池技术进步,有望推动电解质、正负极材料体系的迭代。细分环节来看,(1) **电解质:氧化物进展较快,硫化物上限较高。**目前固态电池主要分为氧化物、硫化物、聚合物三大主流技术路线。其中,聚合物起步时间较早,技术水平较成熟,但上限突破难度很大;氧化物各方面的性能表现较为均衡,但制备成本较高;硫化物商业化潜力大,但产业化研究难度也最大。(2) **负极材料:硅基负极是中短期的主要方案,金属锂是未来长期的发展方向。**传统液态锂电池主要使用碳族材料(如石墨)作为负极,未来的发展空间有限;硅基负极材料理论比容量高,可以大幅提升电池性能,但受限于体积膨胀;金属锂具备高容量和低电位的优点,是全固态电池负极材料的终极目标。(3) **正极材料:高电压、高比容量正极材料是发展方向。**固态电池正极材料兼容性强,目前主要沿用三元高镍体系,在三元材料体系方面技术领先的正极材料厂商具备发展优势。长期来看,富锂锰基的高能量密度优势突出,有望成为未来的正极材料迭代的主要方向。

各国政策持续发力,推动固态电池技术落地。(1) **政策方面,**自2020年以来,日本、美国、韩国、欧盟持续推出固态电池产业相关政策,把固态电池产业化作为国家的战略目标之一,我国陆续发布《新能源汽车产业发展规划(2021—2035)》、《“十四五”新型储能发展实施方案》、《关于推动能源电子产业发展的指导意见》等政策,支持固态电池产业的发展。(2) **企业布局方面,**日韩企业聚焦于硫化物路线,欧美主要投资于初创企业。其中,日本固态电池技术研发起步较早,在硫化物固态电解质具备领先优势;美国固态电池技术的发展主要由初创企业推动,重点企业包括Solid Power、Quantum Scape、Factorial Energy等,通

行业相对沪深300指数表现



数据来源:聚源,万联证券研究所

相关研究

《全国统一电力市场发展规划蓝皮书》发布,电力市场建设加速

10月逆变器出口整体企稳,美洲地区表现较好

10月电力设备出口回暖,各地区表现分化

分析师:

蔡梓林

执业证书编号:

S0270524040001

电话:

02032255228

邮箱:

caizl@wlzq.com.cn

研究助理:

冯永棋

电话:

18819265007

邮箱:

fengyq1@wlzq.com.cn

过与欧洲汽车制造商合作，推动固态电池产能建设；国内固态电池参与者众多，涵盖了整车企业、电池厂商、固态电池初创企业、锂电材料厂商等多个类型，在固态电池产业链各环节均有布局。

产业化转折点将至，未来市场空间广阔。2025-2030年，固态电池技术预计进入快速突破阶段，材料体系有望加速迭代。目前，固态电池已从实验室研发阶段逐步过渡到工厂试点阶段，搭载固态电池的车型发布也日益频繁。根据各大厂商公布的计划，预计从2026年开始，固态电池市场将正式迈入量产阶段，固态电池的产业化进程有望显著提速。基于对固态电池技术路线和降本路径的研判，EVTank预计固态电池将在2025年开始放量，到2030年全球固态电池的出货量将有望达到614.1GWh，在整体锂电池中的渗透率预计在10%左右，其市场规模将超过2500亿元。

投资建议：固态电池产业化加速，材料体系迭代，有望带动锂电产业链升级。细分环节来看：（1）电解质体系方面：氧化物体系固态电池发展速度快，技术较为成熟，硫化物体系固态电池发展上限高，具备较大发展空间。建议关注在氧化物路线及硫化物路线布局完善，研发进展领先的下游电池厂商，以及具备固态电解质关键原材料生产能力的上游企业；**（2）正负极材料方面：**随着固态电解质的应用，锂电池有望兼容高比容量正负极材料，正极材料路线预计将从磷酸铁锂、高镍转向高镍固化、富锂技术路线转化，负极材料路线预计将从石墨烯向氧化硅、金属锂技术路线发展，建议关注高镍正极及硅基负极环节布局领先的个股。

风险因素：建议关注产业化进展不及预期、原料价格大幅波动、下游需求不及预期、技术路线替代、政策变动等风险。

正文目录

1 固态电池安全性高，有望突破能量密度上限	5
1.1 固态电池概念：固态电解质替代电解液及隔膜	5
1.2 固态电池优势：具备高安全性能、高能量密度关键优势	6
1.2.1 高安全性：工作温度范围宽，耐热性好	6
1.2.2 高能量密度：兼容高比容量正负极，电池结构优化	6
1.3 固态电池主要挑战：界面、成本问题是制约产业化的关键	9
1.3.1 固-固界面：存在阻抗和相容性问题，影响循环和倍率性能	9
1.3.2 离子电导率：固态电解质离子电导率低	9
1.3.3 成本：材料成本、生产工艺和产业化程度造成成本较高	10
2 材料体系迭代，从半固体向全固态转化	11
2.1 固态电池发展路线：半固体电池是过渡阶段	11
2.2 电解质：氧化物进展较快，硫化物上限较高	11
2.3 负极材料：硅基负极是中短期主要方案，金属锂是长期路线	15
2.4 正极材料：高电压、高比容量正极材料是发展方向	16
3 政策持续发力，市场空间广阔	18
3.1 政策方面：各国政策持续发力，推动固态电池技术落地	18
3.2 海外布局：日韩企业聚焦于硫化物路线，欧美主要投资于初创企业	19
3.3 国内布局：多元路线并举，企业布局持续加速	21
3.4 产业化进程：产业化转折点将至，未来市场空间广阔	23
4 投资建议	25
5 风险提示	25
图表 1：传统锂电池与固态电池构成对比	5
图表 2：锂电池分类	6
图表 3：液态电池过热相关反应	6
图表 4：固态电池、半固体电池、液态锂电池性能对比	7
图表 5：锂电池负极材料比容量、工作电压对比	8
图表 6：液态锂电池、固态电池电池结构和堆叠封装方式对比	8
图表 7：液态锂电池、固态电池界面对比	9
图表 8：传统液态电解质、固态电解质离子电导率对比	10
图表 9：液态锂电池、固态电池价格对比（元/Wh）	10
图表 10：从液态锂离子到全固态金属锂电池逐步发展路线图	11
图表 11：三种固态电解质实物及性能对比	12
图表 12：三大固态电解质体系及材料特性	13
图表 13：国内外典型企业的固态电池技术路线	14
图表 14：固态电解质材料技术成熟度分析	14
图表 15：负极材料体系优缺点对比	15
图表 16：负极材料体系迭代方向	16
图表 17：正极材料比容量、工作电压对比	17
图表 18：固态电池关键材料体系迭代方向	17
图表 19：海外国家（地区）固态电池政策	18
图表 20：国内固态电池政策	19
图表 21：日韩企业固态电池布局一览	20

图表 22: 欧美企业固态电池布局一览.....	21
图表 23: 国内企业固态电池布局一览.....	22
图表 24: 从液态到全固态电池的技术发展路线.....	23
图表 25: 固态电池厂商量产时间线.....	24
图表 26: 全球固态电池出货量预测趋势 (GWh)	24

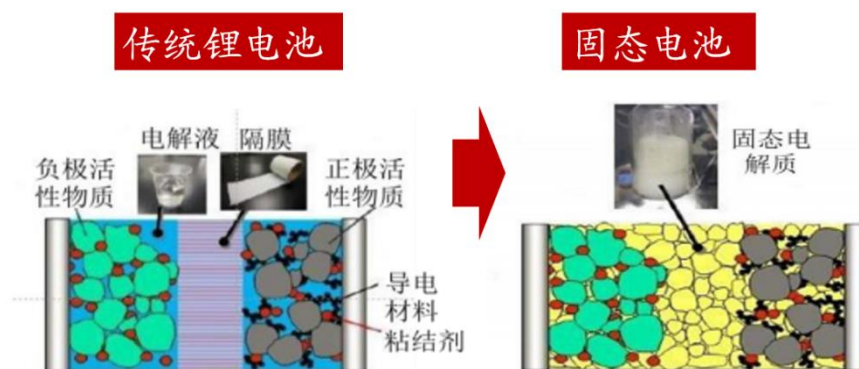
1 固态电池安全性高，有望突破能量密度上限

1.1 固态电池概念：固态电解质替代电解液及隔膜

传统锂电池主要由正极材料、负极材料、隔膜和电解液四大部分组成。其中，正、负极材料决定了电池的容量，隔膜用于隔离正负极，同时允许离子通过，电解液则是连接正负极的介质，充当锂离子传输的媒介。固态电池是使用固体电解质来替代传统锂离子电池的电解液和隔膜，实现离子传输和电荷储存，是一种新型的电池技术。

传统液态锂电池的两端为电池的正负两极，中间为液态电解质。在锂离子从正极到负极再到正极的来回移动过程中，电池的充放电过程便完成了。固态电池的工作原理与之相通，充电时正极中的锂离子从活性物质的晶格中脱嵌，通过固态电解质向负极迁移，电子通过外电路向负极迁移，两者在负极处复合成锂原子、合金化或嵌入到负极材料中；放电过程与充电过程恰好相反。

图表1：传统锂电池与固态电池构成对比



资料来源：《为全固态锂电池“正名”》许晓雄、李泓，万联证券研究所

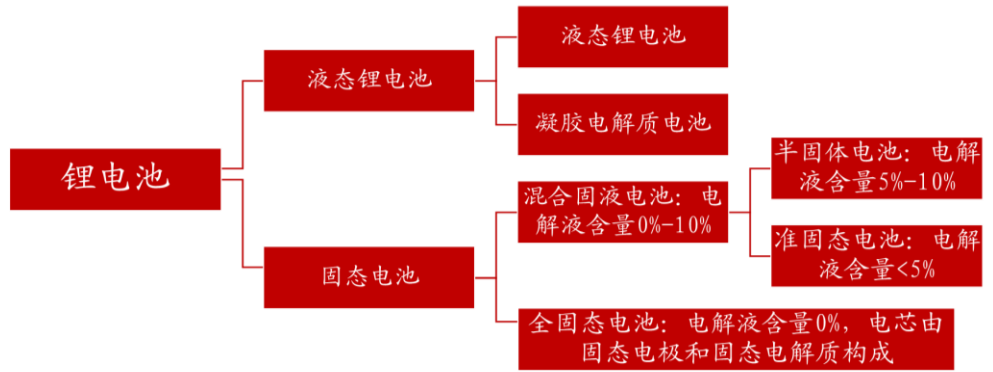
根据电解液质量百分比含量，固态电池可分为“半固态电池”、“准固态电池”和“全固态电池”三大类。

(1) **半固体电池**：电解液含量占比在5%-10%，半固态锂电池是固液混合电解质电池，其电解质采用固液混合方案，固态电解质和液态电解质同时存在，在电芯构成上也保留了传统液态锂电池的隔膜结构，为通往全固态电池路上的“折中方案”。

(2) **准固态电池**：电解液含量占比在0%-5%，准固态电池相较半固体电池电解液含量更低，保留有传统液态锂电池的隔膜结构。

(3) **固态电池**：电解液含量占比为0%，全固态电池由固态电解质和固态电极构成，电池内部正极、负极和电解质均采用固体材料，并去掉隔膜的电池类型。

图表2: 锂电池分类



资料来源: 36氪研究院, 万联证券研究所

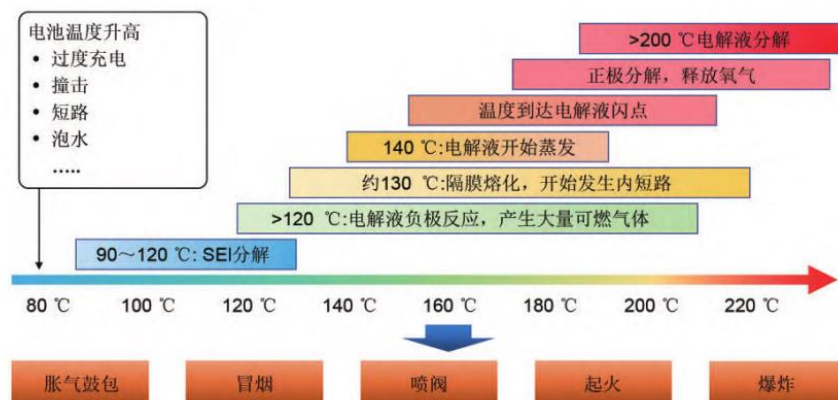
1.2 固态电池优势: 具备高安全性能、高能量密度关键优势

1.2.1高安全性: 工作温度范围宽, 耐热性好

液态锂电池过热容易失控, 产生各类安全问题。在使用过程中, 过度充电、撞击、短路、泡水等因素会导致电池热失控, 导致燃烧、爆炸等安全风险。当液态电池温度上升至 90°C - 120°C 时, 由于电池过热, 锂电池负极表面SEI膜开始分解, 嵌锂碳直接暴露于电解液并反应放热、产生大量可燃气体; 当电池温度上升至 130°C 时, 电池隔膜会开始融化, 导致电池发生内短路, 释放大量热量, 导致温度剧烈上升; 电池温度上升至 200°C 后, 促进电解液气化解, 电池发生剧烈燃烧及爆炸。

固态电池工作温度范围更宽, 耐热性更好。固态电池正常工作温度范围为 -50°C - 120°C , 与普通锂电池相比具有更广泛的温度适应性。同时, 由于固态电解质具有耐高温、不可燃、绝缘性好的特性, 在受热过热时, 固态电池不易产生短路问题, 安全性能大大提升。

图表3: 液态电池过热相关反应



资料来源: 《锂电池安全性多尺度研究策略: 实验与模拟方法》, 万联证券研究所

1.2.2高能量密度: 兼容高比容量正负极, 电池结构优化

液态锂电池能量密度已经接近极限。电池能量密度与电极材料相关, 近年来, 液态锂电池技术升级加速, 正极、负极材料持续迭代, 电池能量密度也不断提升。正极材料方面, 材料体系从磷酸铁锂向能量密度更高三元发展, 而三元电池内部, 也从333到

523,再到811,不断改善。负极材料方面,早些年锂电池的负极普遍采用石墨,现在加入了硅,借助硅碳负极,磷酸铁锂电池的能量密度取得了一定提升。目前,液态锂电池技术已经基本成熟,主流的磷酸铁锂电池的能量密度在200Wh/kg以下,三元锂电池的能量密度在200-300Wh/kg之间,材料的潜能基本被挖掘得接近极限值。

固态电池能量密度能达到500Wh/kg以上,有望实现能量密度极限的突破。相较于液态锂电池,固态电池能量密度极限更高。根据财经十一人数据,主流液态锂电池的能量密度范围约为150-300Wh/kg,半固态电池约350Wh/kg左右,全固态电池可以达到500Wh/kg以上,能量密度有望实现大幅提升。

图表4: 固态电池、半固体电池、液态锂电池性能对比

项目	液态锂电池	半固态	全固态
正极材料备选	磷酸铁锂 三元锂	高镍三元 高电压高镍三元 超高镍三元	镍锰酸锂 富锂锰基
负极材料备选	碳, 硅碳	碳, 硅碳	含锂金属, 金属锂
电解质材料	六氟磷酸锂, 新型锂盐	新型锂盐, 固态电解质+ 液态浸润剂	氧化物, 聚合物, 硫化物
隔膜	隔膜, 微孔隔膜	涂覆隔膜	不需要
封装	方形/圆柱/软包	方形/圆柱/软包	软包
电芯能量密度	150-300Wh/kg	约350Wh/kg	>500Wh/kg
优点	技术成熟成本低	安全性高 可部分沿用现有生产工艺	性能提升巨大 安全性高
缺点	接近性能极限	成本高 性能提升幅度有限	成本高 量产难度大
发展现状	大规模装车	小规模装车	研发中后期样品试制

资料来源: 财经十一人, 万联证券研究所

固态电池能量密度的提升主要在于正负极材料和电池结构两个方面的升级。

(1) 正负极材料: 固态电解质本身不能提升能量密度, 但是固态电解质能够兼容高比容量正负极。传统电解液在电压4V以上时, 就会发生分解反应, 所以液态锂电池具有一定的电压上限。固态电解质更稳定、更安全、电化学窗口更宽, 能够承受5V以上电压。因此固态电解质可以兼容高比容量的正负极, 比如富锂基正极、硅负极、锂金属负极等材料, 进而大幅提升电芯能量密度。例如, 在负极材料方面, 目前主流负极材料石墨的比容量为365mAh/g, 固态电池负极材料硅碳负极的比容量高达1000-2000mAh/g, 金属锂的比容量高达3860mAh/g, 比容量是石墨的10倍, 硅碳负极、金属锂负极的应用将能够大幅提升锂电池能量密度。

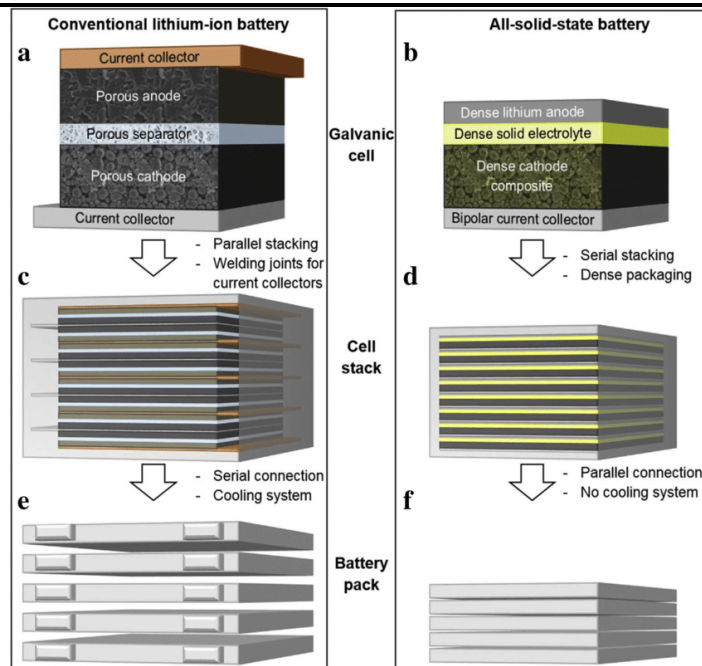
图表5: 锂电池负极材料比容量、工作电压对比

负极活性物质分子式	本文缩写	比容量 /mA·h·g ⁻¹	平均电压 (vs. Li)/V	真实密度 /g·cm ⁻³
graphite	graphite	365	0.10	2.20
soft carbon-250 容量	SC-250	250	0.50	1.90
soft carbon-400 容量	SC-400	400	0.50	1.80
hard carbon	HC	250	0.50	1.80
SiO _x -420 容量	SiO _x -420	420	0.20	2.20
SiO _x -1000 容量	SiO _x -1000	1000	0.40	2.10
Si-C-450 容量	Si-C-450	450	0.20	2.20
Si-C-1000 容量	Si-C-1000	1000	0.40	2.10
Si-C-2000 容量	Si-C-2000	2000	0.40	2.00
Li ₄ Ti ₃ O ₁₂	LTO	160	1.56	3.43
Li metal	Li	3860	0	0.53
Li metal 80%容量	Li 80%	3088	0	0.53
Li metal 50%容量	Li 50%	1930	0	0.53
Li metal 33%容量	Li 33%	1287	0	0.53

资料来源:《锂离子电池和金属锂离子电池的能量密度计算》吴娇杨等, 万联证券研究所

(2) 电池结构方面: 固态电池具备结构优势, 能够在堆叠, PACK方面实现能量密度提升。一方面, 传统液态锂离子中, 需要隔膜把正负极分隔, 防止短路, 同时需要在电池中注入电解液, 连接正负极。固态电解质则将电解液的隔膜功能合二为一, 因为没有液体的存在, 电芯结构更加紧密, 能量密度得到更高。另一方面, 传统液态锂离子电池的电解液具有流动性, 内部的堆叠串联很容易发生短路, 引发自放电和放热。固态电解质不具备流动性, 固态电池可以实现电芯内部的串联、升压, 可以降低电芯的包装成本, 并提升整体的体积能量密度。

图表6: 液态锂电池、固态电池电池结构和堆叠封装方式对比



资料来源:《All-solid-state lithium-ion and lithium metal batteries - paving the way to large-scale production》, 万联证券研究所

1.3 固态电池主要挑战：界面、成本问题是制约产业化的关键

1.3.1 固-固界面：存在阻抗和相容性问题，影响循环和倍率性能

界面问题是制约固态电池性能的关键因素。固态电池电解质-电极界面为“固-固”界面。与“固-液”界面相比，“固-固”界面存在阻抗大、相容性差的问题，继而造成固态锂电池在循环性能、倍率性能等方面表现并不理想。

“固-固”界面问题主要表现在物理接触和化学接触两个方面。在物理接触上：电极和电解质之间为点接触，接触面积小导致界面接触阻抗高，限制界面处锂离子传输；在化学接触上：固态电池中金属锂负极和固态电解质相互接触后容易自发地发生化学副反应，导致“固-固”界面稳定性降低，增大界面阻抗。

目前，在固态电池研发中，解决界面的主要方向之一是通过引入稳定的导电缓冲层消除或减弱空间电荷效应，抑制界面层的生成，从而降低界面电阻。

图表7：液态锂电池、固态电池界面对比



资料来源：电动车公社，万联证券研究所

1.3.2 离子电导率：固态电解质离子电导率低

固态电解质离子电导率低于液态电解质。离子电导率是衡量电解质中离子传导能力的重要参数，它直接影响到电解质的电化学性能和电化学反应速率，对电池的充放电性能有关键影响。电解质的电导率越高，电池内的电子运动就越快，电池的放电效率就越高。与液态电解质不同，固态电解质中离子间相互作用力强，其离子迁移能垒是液体的10倍以上、离子电导率低。

在目前主要的三大固态电解质中，常见的氧化物固态电解质室温离子电导率约为 10^{-4} - 10^{-3} S/cm，比液态电解质离子电导率（约为 10^{-2} S/cm）低1-2个数量级；聚合物固态电解质室温离子电导率约为 10^{-7} - 10^{-5} S/cm，是三大固态电解质中最低，比液态电解质低3-5个数量级；硫化物固态电解质室温离子电导率约为 10^{-3} - 10^{-2} S/cm，接近于液态电解质的室温离子电导率，但硫化物电解质存在许多界面的不稳定性问题。

对比各类固态电解质，固态电解质的综合性能与液态电解质还有一定差距，无法支撑全固态电池的实际应用。因此明确高离子电导率的实现条件是发展高性能固态电解质、提高全固态电池充放电速度的关键。

图表8: 传统液态电解质、固态电解质离子电导率对比

电解质类型	单位	室温离子电导率	与液态电解质对比
传统液态电解质	S/cm	10^{-2}	-
聚合物固态电解质	S/cm	$10^{-7}-10^{-5}$	低3-5个数量级
氧化物固态电解质	S/cm	$10^{-4}-10^{-3}$	低1-2个数量级
硫化物固态电解质	S/cm	$10^{-3}-10^{-2}$	接近液态电解质

资料来源:《固态电解质的研究进展及其优化策略》黄飞、梁松苗, 万联证券研究所

1.3.3成本: 材料成本、生产工艺和产业化程度造成成本较高

固态电池当前成本较高, 制约大规模应用。与传统锂电池相比, 固态电池成本较高, 主要原因包括材料成本高、制造工艺不成熟、生产规模小和供应链不完善等。

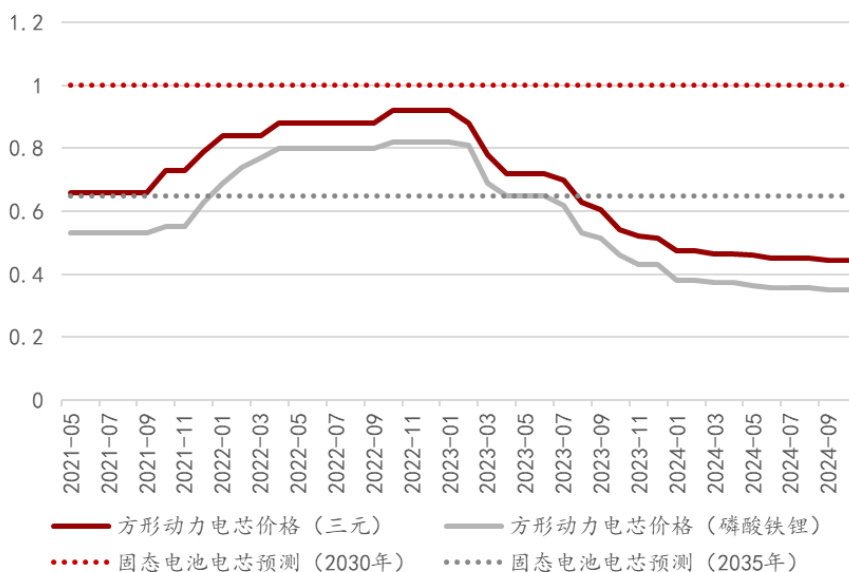
(1)材料成本方面: 部分固态电池电解质使用了硫化锂、氯化锂等高纯度化合物, 或者锆、锗等稀有金属, 原材料成本高;

(2)生产工艺方面: 固态电池的制造工艺较为复杂, 部分技术路线制备过程包括高温烧结、界面优化等步骤, 增加了生产成本, 对设备和工艺控制也提出了更高要求;

(3)产业化程度方面: 目前固态电池的生产规模较小, 尚未形成规模效应, 叠加关键材料供应链尚不完善, 导致固态电池单位成本较高。

随着技术的进步以及产业的规模化, 未来固态电池成本有望降低。根据Wind数据统计, 截至2024年10月, 我国方形动力电芯平均价格在0.35-0.6元/Wh之间, 远低于固态电池价格。根据TrendForce集邦咨询预测, 到2030年, 全固态电池的电芯价格有望降至1元/Wh左右; 到2035年, 全固态电池的电芯价格有望降至0.6-0.7元/Wh, 基本与传统液体锂电池价格接近。

图表9: 液态锂电池、固态电池价格对比 (元/Wh)



资料来源: Wind、TrendForce集邦咨询, 万联证券研究所

2 材料体系迭代，从半固体向全固态转化

2.1 固态电池发展路线：半固体电池是过渡阶段

固态电池技术研发难度大，半固体电池是过渡阶段。目前，主流厂商主要是以半固态、准固态形式介入固态电池领域，所以固态电池技术发展采用逐步转化策略，通过“液态-半固态-准固态-全固态电池”的发展路径，逐步向全固态电池过渡。

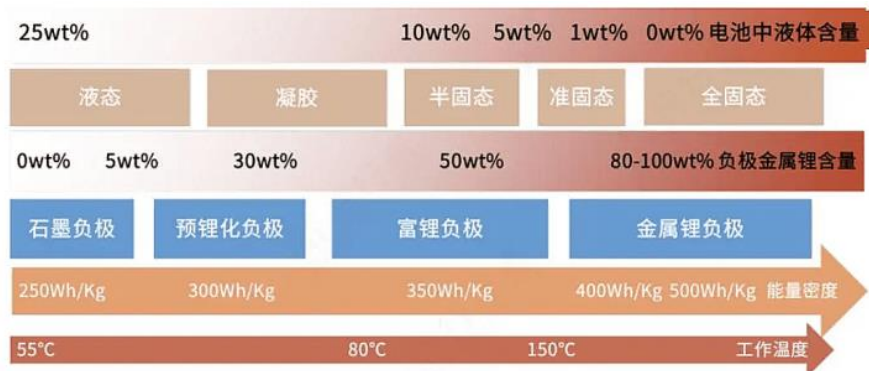
从材料体系的变化来分类，固态电池的技术进步路线可以从三个方向发展：

(1) 电解质：固态电解质替换液体电解液。通过固态电解质替换液体电解液，使得电池内液态电解质含量逐步下降，从液态锂电池25%电解液含量向10%、5%、1%电解液含量发展。

(2) 负极材料：增加负极材料中锂含量。负极金属锂含量逐步升级，从石墨负极向预锂化负极、富锂负极、金属锂负极发展，最终发展至全固体的最终形态。

(2) 正极材料：采用更高能量正极材料。固态电池电解质化学窗口更宽，能够兼容硫化物/镍锰酸锂/富锂锰基等能量密度更高的正极材料。

图表10: 从液态锂离子到全固态金属锂电池逐步发展路线图



资料来源：《固态锂电池研发愿景和策略》李泓、许晓雄，万联证券研究所

2.2 电解质：氧化物进展较快，硫化物上限较高

根据电解质不同，目前固态电池主要分为氧化物固态电解质、硫化物固态电解质、聚合物固态电解质三大主流技术路线。由于电解质的材料特性不同，三大主流技术路线分别具备不同的产业化优势与挑战。

图表11: 三种固态电解质实物及性能对比



资料来源:《硫化物全固态电池的研究及应用》, 万联证券研究所

材料体系和材料特性方面: 氧化物电解质综合性能好, 硫化物电解质发展上限更高

(1) 聚合物电解质: 聚合物电解质是由聚合物基体和锂盐共同组成, 其中, 锂盐包括LiPF₆、LiClO₄和LiAsF₆等, 基体包括聚环氧丙烷 (PPO)、聚偏氯乙烯 (PVDC)、聚环氧乙烷 (PEO)、聚丙烯腈 (PAN)、聚偏氟乙烯 (PVDF) 等。

材料特性方面, 聚合物安全性能好、容易制备、机械性能好。但是, 聚合物电解质离子电导率偏低, 目前主要通过加入固体塑化剂、陶瓷颗粒等填料或其他聚合物单体共聚等方式, 提高材料的力学性能、化学稳定性, 以及离子电导率。

(2) 氧化物电解质: 氧化物电解质包括晶态和玻璃态两类。其中, NASICON型、钙钛矿型、石榴石型以及LiSICON型等电解质都属于晶态电解质, 而应用在薄膜电池中的LiPON型电解质属于玻璃态电解质。

材料体系方面, 钙钛矿型主要包括LLTO体系, 目前研究方向主要是通过改变晶体结构或将不同物质与之掺杂来提高LLTO的离子电导率; NASICON型固体电解质主要分为三类: LiZr₂(PO₄)₃ (简称LZP)、LiTi₂(PO₄)₃ (简称LTP) 和LiGe₂(PO₄)₃ (简称LGP); 石榴石型固态电解质主要包括Li₇La₃Zr₂O₁₂ (简称LLZO); LiPON是一种非晶态电解质, 在0-5.5V电压下相对于Li/Li+时是相对稳定的, 从而使得薄膜固态电池可以使用多种类型的电极材料, 但由于LiPON型固体电解质室温离子电导率较低, 约为10⁻⁶-10⁻⁵S/cm, 因此不适用于大体积固态电池。

材料特性方面, 氧化物电解质热稳定性好、电化学窗口宽, 综合性能较好, 是目前进展较快方向, 但氧化物电解质具有易碎、加工复杂、界面接触差、离子电导率一般等关键问题, 目前主要研究方向是通过替换元素或掺杂同种异价元素来提升电导率和稳定性。

(3) 硫化物电解质: 硫化物电解质包括玻璃及玻璃陶瓷态电解质和晶态电解质等。

材料体系方面, 硫化物玻璃态固态电解质主要包括Li₃S-P₂S₅体系, 此类材料完全结晶时离子电导率并不高, 目前主要通过热处理、球磨加工、掺杂和改性等

方式来提高其化学稳定性和电导率；晶态电解质主要包括LGPS体系。2011年，东京工业大学Kanno教授发现了 $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ ，其在室温下具有 $1.2 \times 10^{-2}\text{S/cm}$ 的电导率，与液体电解液接近，电导率高，发展潜力大。但LGPS应用了稀有金属Ge，生产成本较高。当前研究主要聚焦于通过Si\Sn替代Ge，来降低成本并提高化学稳定性。

材料特性方面，硫化物电解质离子电导率高，发展潜力大，可以通过掺杂、包覆提高稳定性，但硫化物电解质制备成本高、稳定性差，目前主要研究方向是提高电解质稳定性及降低生产成本。

图表12: 三大固态电解质体系及材料特性

项目	聚合物固态电解质	氧化物固态电解质	硫化物固态电解质
主要研究体系	PEO固态聚合物体系 聚碳酸酯体系 聚烷氧基体系 聚合物锂离子导体基体系	非薄膜: 钙钛矿型、石榴石型、NASICON型、LISICON型 薄膜: LiPON型	Thio-LiSICON型 LGPS型 Li-aegyrodite型
材料	PEO、PAN、PMMA、PVDF等	LiPON、LATP、LLTO、LLZO等	LiGPS、LiSnPS、LiSiPS等
离子电导率	室温: 10^{-7} - 10^{-5}S/cm 65-78° C: 10^{-4}S/cm	室温: 10^{-6} - 10^{-3}S/cm 65-78° C: 10^{-6} - 10^{-3}S/cm	室温: 10^{-4} - 10^{-2}S/cm
优点	制备简单 灵活性好 易大规模制备薄膜 不与锂金属反应	安全性好 电化学稳定性高 可适配高电压正极材料 可适配金属锂负极	易加工 电导率高 延展性能好 晶界阻抗低
缺点	锂枝晶问题 离子电导率低 氧化电压低(<4V) 稳定性差	易碎 加工复杂 界面接触差	易氧化 水汽敏感 稳定性差 生产成本高
研究方向	将PEO与其他材料共混共聚或交联，形成有机-无机杂化体系，提升性能	通过替换元素或掺杂同种异价元提升电导率	提高电解质稳定性 降低生产成本

资料来源: 能源电力说, 万联证券研究所

产业化方面: 氧化物技术成熟, 硫化物商业化潜力大

(1) **聚合物路线:** 起步时间较早, 目前已经实现小规模量产, 技术水平较成熟, 但技术上限突破难度很大。受制于电导率低、性能上限等问题, 产业尚未快速形成规模化, 技术有待提升。聚合物路线目前在半固态电池中已有应用, 主要参与企业和机构集中在欧美国家。

(2) **氧化物路线:** 各方面的性能表现较为均衡, 目前技术已相对成熟, 但制备成本较高, 成本优化后, 将具有较好的发展潜力。目前国内众多头部固态电池公司, 如北京卫蓝、江苏清陶、台湾辉能, 都是以氧化物材料为基础的固液混合技术路线为主。

(3) **硫化物路线:** 硫化物电解质的电导率较高, 性能表现最优异, 商业化潜力大, 但产业化研究难度也最大, 目前技术尚不成熟。硫化物体系的主要参与企业和机构主要集中在日韩及美国, 国内企业以宁德时代、比亚迪为代表。

图表13: 国内外典型企业的固态电池技术路线

国家	企业名称	技术路线	国家	企业名称	技术路线
中国	卫蓝新能源	氧化物/聚合物	日本	丰田汽车	硫化物
	清陶新能源	氧化物/复合物		本田技研	硫化物
	赣锋锂业	氧化物		三菱化学/日产汽车	硫化物
	辉能科技	氧化物		松下电器	卤化物
	蜂巢能源	硫化物		富士电气	氧化物
	宁德时代	硫化物		小原股份	氧化物
	比亚迪	氧化物/硫化物		日立造船	硫化物
	国轩高科	硫化物		三洋化成	聚合物
	中科深蓝汇泽	聚合物		出光兴产	硫化物
	太蓝新能源	氧化物		美国	Quantum Scape
恩力动力	硫化物	Ionic Materials	聚合物		
屹锂新能源	硫化物	Solid Power	硫化物		
高能时代	硫化物	Factorial Energy	聚合物		
孚能科技	氧化物/硫化物	宝马集团	硫化物		
韩国	LG新能源公司	硫化物	德国	大众集团	氧化物
	现代汽车集团	聚合物/硫化物	法国	博洛雷集团	聚合物
	SK On公司	硫化物/氧化物	英国	Tlika	氧化物
	三星SDI公司	聚合物/硫化物		LiNa Energy	氧化物

资料来源:《固态电池关键材料体系发展研究》, 万联证券研究所

材料体系方面, PEO、LATP技术成熟度高, LLZO、LLTO达到量产水平。聚合物路线电解质的技术成熟度最高, 目前PEO电解质已经可以大批量制备, 并且广泛应用于不同行业; 氧化物路线电解质其次, 其中, LATP电解质技术成熟度较高, 赣锋锂业等均可以制备吨级以上规模, LLZO、LLTO电解质已经可以量产; 硫化物电解质技术成熟度较低, 目前LGPS、LPSCL等体系电解质都还处在试验阶段。

图表14: 固态电解质材料技术成熟度分析

体系	电解质名称	技术成熟度	案例
氧化物	LLZO	6-7	清陶能源、天目先导、赣锋锂业、青岛大学郭向欣团队等已可吨级以上制备石榴石型氧化物固体电解质
	LATP	7-8	天目先导、赣锋锂业、青岛大学郭向欣团队等已可吨级以上制备NASICON型氧化物固体电解质
	LLTO	6-7	清陶能源可量产LLTO陶瓷粉体, 可与电极材料、隔膜材料复合
	LiPON	8-9	在1994年获得商业许可, 多用于制备薄膜电池
	LZSP	4	2022年由汤卫平教授团队报道的新型氧化物固体电解质, 目前处于实验室研究阶段
硫化物	LGPS	4-6	赣锋锂业kg级以上制备
	LPSCL	4-6	
	LPS314	4-6	
	LPS7311	4-6	
聚合物	PEO	8-9	已可大批量制备, 并广泛应用于不同行业
	可聚合	8-9	常用可聚合材料如VC、DOL、PEGDA等已可大批量制备

资料来源:《当前固体电解质与固态电池技术成熟度分析》, 万联证券研究所(注: 技术成熟度等级分为1-9)

2.3 负极材料：硅基负极是中短期主要方案，金属锂是长期路线

固态锂电池的负极材料体系主要包括金属锂负极材料、碳族负极材料和氧化物负极材料三大类。

材料特性方面：金属锂具备高容量和低电位的关键优势

(1) 金属锂负极材料

金属锂具备高容量和低电位的优点，是全固态电池负极材料的终极目标。然而，金属锂在充放电过程中容易形成锂枝晶，影响循环稳定性，容易导致电池短路和安全隐患，限制了其产业化应用。目前研究方向主要是通过通过在锂金属表面引入纳米涂层或改性层、将锂金属与某些合金材料（如硅、锡等）结合等方式来改善锂金属与电解质之间的界面稳定性，减少锂枝晶的形成。

(2) 碳族负极材料

碳族负极材料包括碳基、硅基和锡基材料。其中，碳基材料以石墨类材料为典型代表，具有价格低、循环稳定性好、安全性高等优点，然而其理论比容量较低，极限在400mAh/g左右，目前实际应用已经基本达到理论极限，可开发空间不大。硅基负极材料，例如Si-C复合材料，是目前负极材料发展的重要方向之一，其比容量高，理论比容量高达4000mAh/g，将近碳基材料的10倍。但是硅基材料在充放电过程中存在体积膨胀问题，导致其循环性能差，目前主要研究方向为通过纳米化、复合化和表面改性等技术手段，改善其循环稳定性和倍率性能。

(3) 氧化物负极材料

氧化物负极材料主要包括金属氧化物、金属基复合氧化物和其他氧化物。典型的氧化物负极材料包括Al₂O₃、Cu₂O、SiO_x、Ga₂O₃、Sb₂O₃、BiO₃等。氧化物负极材料均具有较高的理论比容量，然而在从氧化物中置换金属单质的过程中，大量的Li被消耗，造成巨大的容量损失，并且循环过程中伴随着巨大的体积变化，造成电池的失效，通过与碳基材料的复合可以改善这一问题。

图表15：负极材料体系优缺点对比

材料体系	代表	优点	缺点	研究方向
金属锂负极材料	金属锂	高容量、低电位	循环过程中电极体积变化大，严重时会导致电极粉化失效，循环性能大幅下降；锂是电极活性物质，相应的安全隐患仍存在	合成新型合金材料、制备超细纳米合金和复合合金体系
碳族负极材料	碳基、硅基、锡基材料(以石墨为例)	技术成熟，充放电效率高	碳基负极的理论容量较低，可开发空间已不大。硅基负极正在开发中，但受限于体积膨胀	使用掺杂石墨烯、碳纳米管等纳米碳作为新型碳材料
氧化物负极材料	金属氧化物、金属基复合氧化物和其他氧化物	理论比容量高	从电化学过程中，大量的Li被消耗，造成巨大的容量损失，并且循环过程中伴随着巨大的体积变化，造成电池的失效	通过与碳基材料的复合进行改善

资料来源：《为全固态锂电池“正名”》许晓雄，万联证券研究所

产业化方面：硅基负极是中短期的主要方案，金属锂是未来长期的发展路径

态锂电池主要使用碳族材料（如石墨）作为负极，目前技术成熟，产业化高，但受限于碳基比容量，其未来的发展空间有限。硅基负极材料理论比容量高，可以大幅提升

电池性能，是固态电池负极材料体系迭代的重要方向之一，但硅基材料在充放电过程中体积膨胀严重，导致循环性能下降。目前，通过碳包覆、纳米化等技术手段，硅基材料的循环稳定性和体积膨胀问题得到了有效改善，硅基负极材料开始在中高端市场实现初步应用。金属锂负极材料因其极高的理论比容量（40000mAh/g）和低电位，被认为是固态电池负极材料的终极目标，但其面临锂枝晶生长和化学稳定性差等挑战，目前还处在初期试验阶段，是负极材料体系长期的发展方向。

图表16: 负极材料体系迭代方向

	石墨	钛酸锂	硅系	锂合金	金属锂
	人造石墨 天然石墨	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	硅/碳	LiSi, LiSn, ...	Li
理论质量容量 (Ah/kg)	370 好	175 差	400-4200 极好	400-4000 极好	3820 极好
以LCO为正极时电池 电压(V)	3.6 好	2.4 差	3.8 极好	3.2 中	3.7 极好
安全性	好	极好	好	中	差
成本	好	差	差	差	差
隐患	低温充电 性能差	能量密度小	材料成本高	稳定性差	安全性差 稳定性差

资料来源:《固态电池研究及产业化》张锐, 万联证券研究所

2.4 正极材料: 高电压、高比容量正极材料是发展方向

目前, 固态电池正极材料体系开发主要集中在高镍三元正极、镍锰酸锂、富锂锰基等路线。

材料特性方面: 镍锰酸锂工作电压最高, 富锂锰基综合性能好

(1) 高镍三元正极材料 (简称NCM): 高镍三元材料具有高比容量和较低成本特点, 是目前传统锂电池和固态电池正极材料体系的主要迭代方向。在材料特性上, 高镍三元正极材料通过增加镍的含量, 可以显著提高电池的能量密度, 然而, 高镍材料存在循环稳定性和安全性等方面问题。

(2) 镍锰酸锂 (简称LNM): 镍锰酸锂是一种具有高工作电压和良好循环稳定性的正极材料。其高工作电压可以达到4.7V, 能够提高电池的整体能量密度, 但镍锰酸锂存在导电性较差的问题。

(3) 富锂锰基正极材料 (简称Li-rich): 富锂锰基正极材料具有高比容量、高工作电压和低成本等优点, 综合性能优异, 被认为是下一代正极材料的重要方向。其比容量能够达到250-300mAh/g, 与高镍三元相比有明显提升。然而, 富锂锰基材料存在首次充放电效率低和循环稳定性差的问题。

图表17: 正极材料比容量、工作电压对比

正极活性物质分子式	本文缩写	比容量 /mA·h·g ⁻¹	平均电压 (vs. Li)/V	真实密度 /g·cm ⁻³
LiCoO ₂ -140	LCO-140	140	3.80	5.05
LiCoO ₂ -180	LCO-180	180	4.30	5.05
LiCoO ₂ -220	LCO-220	220	4.40	5.05
LiMn ₂ O ₄	LMO	130	4.05	4.31
LiFePO ₄	LFP	160	3.40	3.65
LiCoPO ₄	LCP	130	4.80	3.70
LiNi _{0.33} Mn _{0.33} Co _{0.33} O ₂	NCM333	160	3.70	4.75
LiNi _{0.5} Mn _{0.2} Co _{0.3} O ₂	NCM523	180	3.70	4.65
LiNi _{0.8} Mn _{0.1} Co _{0.1} O ₂	NCM811	220	3.70	4.65
xLi ₂ MnO ₃ ·(1-x)LiMO ₂ (M = Ni, Co, Mn)-250	Li-rich-250	250	3.75	4.70
x Li ₂ MnO ₃ ·(1-x)LiMO ₂ (M = Ni, Co, Mn)-280	Li-rich-280	280	3.75	4.70
x Li ₂ MnO ₃ ·(1-x)LiMO ₂ (M = Ni, Co, Mn)-300	Li-rich-300	300	3.75	4.70
LiNi _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05} O ₂ -180	NCA-180	180	3.70	4.60
LiNi _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05} O ₂ -200	NCA-200	200	3.70	4.60
LiNi _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05} O ₂ -220	NCA-220	220	3.70	4.60
LiMn _{1.5} Ni _{0.5} O ₄	LNM	135	4.70	4.40

资料来源:《锂离子电池和金属锂离子电池的能量密度计算》吴娇杨等, 万联证券研究所

产业化方面: 短期三元材料厂商具备优势, 富锂锰基是未来迭代方向。 固态电池正极材料兼容性强, 目前主要沿用三元高镍体系, 技术改动较小。当前供应链和生产工艺能够较好地适应固态电池的需求, 无需大规模重构, 在三元材料体系方面技术领先的正极材料厂商具备发展优势。长期来看, 富锂锰基的高能量密度优势突出, 有望成为未来的正极材料迭代的主要方向。

图表18: 固态电池关键材料体系迭代方向



资料来源:《固态电池关键材料体系发展研究》李泓, 万联证券研究所

3 政策持续发力，市场空间广阔

3.1 政策方面：各国政策持续发力，推动固态电池技术落地

海外方面：自2020年以来，各国持续推出固态电池产业相关政策，把固态电池产业化作为国家的战略目标之一。

(1) **美国**：2021年，美国发布《锂电池2021—2030年国家蓝图》，提出到2030年实现包括固态电池在内的先进电池技术的规模化生产，固态电池目标能量密度达到500Wh/kg。

(2) **欧洲**：2023年，欧盟发布《欧洲电池研发创新路线图》、《电池2030+路线图》，继续将第四代固态电池材料研发（交通应用）列为2030年优先事项，并实现电堆成本控制在75欧元每千瓦时之内。

(3) **日本**：2022年8月，日本推出《蓄电池产业战略》，提出通过绿色创新基金等方式，加快固态电池为核心的新一代电池、材料创新，提升电池续航，能量密度达到当前2倍以上水平，到2030年左右实现全固态锂电池的商业化。

(4) **韩国**：2021-2022年，韩国相继通过《2030二次电池产业发展战略》、《二次电池产业创新战略》，提出“到2030年韩国占据全球电池产业40%市场份额”的发展目标，通过公私合作、投资拉动，促进企业科技创新，加速抢占下一代电池技术的战略高地，加快产能和供应链体系建设。

图表19：海外国家（地区）固态电池政策

国家	时间	政策	要点
美国	2021年	《锂电池2021—2030年国家蓝图》	提出到2030年实现包括固态电池在内的先进电池技术的规模化生产，固态电池目标能量密度达到500Wh/kg
日本	2022年8月	《蓄电池产业战略》	提出通过绿色创新基金等方式，加快固态电池为核心的新一代电池、材料创新，提升电池续航，能量密度达到当前2倍以上水平，到2030年左右实现全固态锂电池的商业化
韩国	2021-2022年	《2030二次电池产业发展战略》《二次电池产业创新战略》	提出“到2030年韩国占据全球电池产业40%市场份额”的发展目标，通过公私合作、投资拉动，促进企业科技创新，加速抢占下一代电池技术的战略高地，加快产能和供应链体系建设
欧盟	2023年	《欧洲电池研发创新路线图》、《电池2030+路线图》	继续将第四代固态电池材料研发（交通应用）列为2030年优先事项，并实现电堆成本控制在75欧元每千瓦时之内

资料来源：双碳情报、各政府网站，万联证券研究所

国内方面：近年来，汽车、储能政策持续加码，支持固态电池产业的发展。2020年，我国发布《新能源汽车产业发展规划（2021—2035）》，提出加快固态动力电池技术研发及产业化，首次把固态电池研发列为行业重点发展对象；2022年1月，《“十四五”新型储能发展实施方案》发布，提出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，我国发布《关于推动能源电子产业发展的指导意见》，强调加强固态电池等新型储能电池产业化技术攻关，推进先进储能技术及产品规模化应用，同时加强固态电池标准体系研究。

图表20: 国内固态电池政策

时间	政策	发布部门	要点
2020年10月	《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》	国务院	实施电池技术突破行动。开展正负极材料、电解液、隔膜、膜电极等关键核心技术研究, 加强高强度、轻量化、高安全、低成本、长寿命的动力电池和燃料电池系统短板技术攻关, 加快固态动力电池技术研发及产业化。
2022年1月	《"十四五"新型储能发展实施方案》	发改委	推动多元化技术开发。 集中攻关超导、超级电容等储能技术, 研发储备液态金属电池、 固态锂离子电池 、金属空气电池等新一代高能量密度储能技术。
2022年6月	《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》	科技部等六部门	前沿储能技术。 研究固态锂离子、钠离子电池等更低成本、更安全、更长寿命、更高能量效率、不受资源约束的前沿储能技术。
2023年1月	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	工信部等六部门	加强新型储能电池产业化技术攻关, 推进先进储能技术及产品规模化应用, 加快研发固态电池、钠离子电池、氢储能/燃料电池等新型电池; 研究制定锂离子电池全生命周期评价体系及安全标准, 加强固态电池、钠离子电池、超级电容器、氢储能/燃料电池等标准体系研究。

资料来源: 政府网站, 万联证券研究所

3.2 海外布局: 日韩企业聚焦于硫化物路线, 欧美主要投资于初创企业从技术路线来看:

(1) 日本: 固态电池技术研发起步较早, 在硫化物固态电解质具备领先优势。硫化物电解质由于具有较高的离子电导率, 良好的机械特性而成为全固态电池的有力候选之一。丰田、日产、本田、松下等均将硫化物固态电池作为主要的研发方向。其中, 丰田表现尤为突出, 拥有超过1300项固态电池技术相关专利, 位居全球首位。

(2) 韩国: 聚焦于硫化物技术的同时, 在氧化物和聚合物体系上进行技术研究和储备。这种多路线并行的策略, 一方面可以避免过度依赖单一技术路径, 另一方面可以在电池技术的过渡阶段实现更好的系统适配。量产计划方面, 三星SDI计划在2027年开始量产全固态电池, SK On目标是在2028年实现固态电池的商业化, LG新能源则预计2030年实现全固态电池量产。

图表21: 日韩企业固态电池布局一览

国家	公司名称	量产进度	技术路线
日本	丰田	2023年10月宣布固态电池实现突破，充电10分钟，续航1200公里；2023年12月宣布将全固态电池的量产时间从2027年推迟至2030年以后。	硫化物
	松下	将于2025-2029年量产面向无人机等开发的小型全固态电池；2023年9月首次公开快充全固态电池，10%充到80%只需3分钟；2019年与丰田合资成立Prime Planet Energy & Solutions，开发固态电池。	硫化物
	日立造船	2024年2月，全固态电池首次接到芯片设备商订单；2023年推出第3款全固态电池试作品AS-LiB，容量可达5000mAh。	硫化物
	本田	2020年宣布开发出一种高能量密度的全固态电池原型；计划2024年春季投产全固态电池生产线，2025年在新型号上使用全固态电池。	硫化物
韩国	现代	2017年宣布研发固态电池，并已建立中试生产设施；2020年投资Ionic Materials公司，主攻固态电池研发，预计2025年实现量产。	硫化物
	三星SDI	2023年下半年开始小规模的全固态电池生产和验证；水原研发中心的固态电池试点生产线(S-line)已经完工；2024年3月首次公开其全固态电池(ASB)的量产准备路线图；计划在2025年开发出大型电池生产技术，在2027年量产全固态电池。	硫化物
	LG新能源	2023第三季度开始在梧仓工厂建设半固态电池生产线；计划2026年前实现聚合物半固态电池商业化，能量密度650Wh/L；2028年推出750Wh/L的聚合物固态电池和完成硫化物全固态电池开发；2030年推出超过900Wh/L的硫化物全固态电池。	聚合物/硫化物
	SKOn	下一代电池试验工厂正在建设，预计2024年完工；2024年1月宣布加深与Solid Power的合作伙伴关系；计划在2026年完成聚合氧化物复合材料和硫化物固态电池两款电池的早期原型；2028年实现固态电池商业化。	聚合氧化物 复合材料/硫化物

资料来源: Energy Trend集邦锂电, 万联证券研究所

(3) 美国: 固态电池技术的发展主要由初创企业推动。美国固态电池技术初创公司众多, 包括Solid Power、Quantum Scape、Factorial Energy、Ionic Materials等, 在硫化物、氧化物和聚合物路线都有布局, 主要通过车企绑定模式发展。固态电池的开发分为初步概念验证(A样)、接近最终产品的测试(B样)和满足特定要求的客户认可样品(C样)三个阶段。Solid Power已在2023年生产出A样品, 并交付给宝马进行测试, 计划今年进入A-2样阶段; Quantum Scape于2023年二季度开始向客户发送A0样品, Factorial Energy电池产品也进入了A样送样阶段。SES AI Corporation早在2021年便与车企签署锂金属电池A样品协议, 2023年12月还签署了锂金属电池B样品协议。

(3) 欧洲: 欧洲固态电池参与者主要为汽车制造商, 通过投资美国的初创企业来加速固态电池技术的发展。例如, 大众汽车对Quantum Scape的投资使其成为最大股东; 宝马和福特投资了Solid Power, 后者计划2025年开发出相应电池配套宝马原型车; 奔驰则投资了Factorial Energy, 双方还达成合作, 共同开发固态电池。

图表22: 欧美企业固态电池布局一览

国家	公司名称	量产进度	技术路线
美国	Solid Power	公司股东包括宝马、福特等；2017年开始与宝马合作开发固态电池；2021年与SKOn达成联合开发协议；2022年完成固态电池试验线安装；2023年生产出A样品并交付给宝马进行测试；2024年1月宣布加深与SKOn的合作伙伴关系；计划2024年全固态电芯设计将进入A-2样阶段；计划2025年开发出相应电池配套宝马原型车；计划2030年实现全固态电池大规模量产。	硫化物
	Quantum Scape	由比尔盖茨、大众集团领衔投资；2022年与Fluence达成合作协议；2023年二季度开始给客户送A0样品；2023年10月更新固态电池测试数据；2024年通过德国大众公司的50万公里耐久性测试；预计2025年之前将产能扩张至1GWh，长期规划超21GWh。	氧化物
	Factorial Energy	2021年制作40Ah固态电池原型，与奔驰、Stellantis、现代等签署固态电池联合开发协议；2022年获得奔驰、Stellantis集团投资；2023年200MWh固态电池工厂正式开工建设电池产品已进入A样送样阶段。吸引了包括现代汽车在内的多家公司的投资；计划2025年为雷诺提供零钴含量固态电池技术。	/
德国	大众	从2012年起与Quantum Scape合作；2018年6月追加投资，取得Quantum Scape董事席位；2024年电池子公司Power Co发布对Quantum Scape提供的24层固态电池样品的耐久性测试结果报告。	/
	宝马	与Solid Power有着紧密的合作关系；Solid Power已经向宝马交付了首批固态电池A样品，宝马将在2025年之前推出基于Solid Power电池技术的原型车。	/
法国	Bolloré	自2011年起就开始尝试固态电池在电动车领域的商业化；其自主研发的电动车Bluecar搭载子公司Batscap生产的30kWh金属锂聚合物电池，约有2900辆Bluecar投入使用；2023年10月，子公司Blue Solution与富士康旗下Solid Edge Solution合作，生产两轮车固态电池。	聚合物
英国	Dyson	2015年以9000万美元全资收购美国固态电池公司Sakti3；2016年出资14亿美元建立一座大型固态电池工厂。	/

资料来源: Energy Trend集邦锂电, 万联证券研究所

3.3 国内布局: 多元路线并举, 企业布局持续加速

固态电池产业参与者众多, 布局趋向多元化。国内固态电池参与者众多, 涵盖了整车企业、电池厂商、固态电池初创企业、锂电材料厂商等多个类型, 在固态电池产业链各环节均有布局。目前, 各类型企业固态电池布局持续加速。硫化物路线以电池厂商为主, 宁德时代、比亚迪计划到2027年实现小批量生产, 在2030年后实现规模化生产。氧化物路线以初创公司为主, 主要通过车企绑定方式进行固态电池产业布局, 其中, 卫蓝新能源2023年6月正式向蔚来交付半固态产品, 预计2027年实现全固态电池量产; 清陶能源分别与北汽、上汽合作, 推动固态电池量产, 其台州固态电池项目预计2025年投产; 辉能科技与奔驰等企业绑定, 其全球首条固态电池生产线正式投产。另外, 欣旺达、广汽集团、赣锋锂业等企业分别通过材料体系迭代实现固态电池技术升级, 并计划在近年实现固态电池商业化。

图表23: 国内企业固态电池布局一览

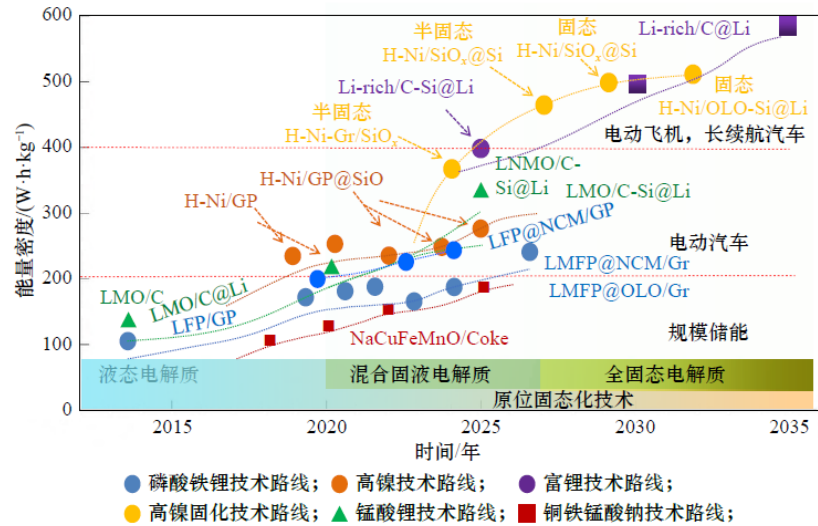
类型	公司名称	量产进展	技术路线
电池厂商	宁德时代	2016年宣布硫化物固态电池的研发路径; 计划到2027年实现小批量生产; 2024年11月, 固态电池研发团队已经扩充至超1000人, 全固态电池开始20Ah样品验证。	硫化物
	比亚迪	计划2027年, 实现小批量生产, 搭载于比亚迪高端车型, 规模约1000台。到2030年为市场推广期, 预计有4万辆车装载全固态电池。到2033年, 预计有12万辆车规模化装机, 市场占有率逐渐提升。	高镍三元+硅基负极+硫化物
	欣旺达	计划在2026年建设1GWh的全固态电池生产线, 实现初步量产, 成本控制在2元/Wh以下; 2024年11月, 欣旺达通过负极使用锂金属进一步将固态电池能量密度提升至500Wh/kg, 预计2027年完成能量密度大于700Wh/kg全固态电池实验室样品制作; 2024年12月, 欣旺达子公司与厦钨新能签署固态电池战略合作框架协议。	锂金属负极固态电池
整车企业	广汽集团	2023年11月宣布完成固态电池的界面改性技术试验验证; 2024年4月, 广汽埃安全固态电池再获新突破, 能量密度达到400Wh/kg, 目标在2026年完成全固态电池开发, 并首先搭载于昊铂车型。	全固态电池
	上汽集团	2023年5月, 上汽集团和清陶能源签署增资扩股协议和战略合作框架协议; 计划于2026年实现量产, 能量密度超过400wh/kg, 体积能量密度超过820wh/L, 电池容量能够超过75Ah。	-
	长安汽车	预计在2027年实现全固态电池装车验证, 并计划在2030年实现全固态电池的量产装车, 与行业领先水平同步。	-
初创公司	卫蓝新能源	拥有北京房山、江苏溧阳、浙江湖州和山东淄博四大基地, 规划产能超过100GWh。其中, 湖州基地第一颗固态动力电芯于2022年11月下线, 2023年6月正式向蔚来交付半固态产品, 预计2027年实现全固态电池量产。	氧化物
	清陶能源	2018年实现半固态电池量产; 2020年与北汽合作的固态电池样车下线; 2022年北汽福田商用车固态电池系统下线; 2023年与上汽集团签署协议, 推动2025年固态电池"10万辆级"量产落地; 2024年半固态电池搭载上汽智己车型; 台州固态电池项目预计2025年正式投产。第一代半固态电池为氧化物+聚合物的技术路径, 第二代固态电池为氧化物+卤化物+聚合物的路径。	氧化物+卤化物+聚合物
	辉能科技	2016年开始进行车规级电芯送样; 2018年威马展示搭载公司固态电池的样车; 2019年与蔚来、爱驰汽车签订战略合作协议; 2022年获得奔驰投资并签订技术合作协议, 与Vinfast和ACC签约合作; 2024年全球首条固态电池生产线正式投产。	氧化物
材料厂商	赣锋锂业	2023年6月, 半固态锂电池在赛力斯SERES-5上正式交付装车。2023年固态电池4GWh产能已建成量产, 后续36GWh产能正在建设中。赣锋锂业一代固态电池能量密度可以做到260Wh/kg以上, 二代固态电池基于高镍三元正极、含金属锂负极材料。目前该产品能量密度超过350Wh/kg, 循环寿命接近400次。	高镍三元正极、含金属锂负极固态电池

资料来源: Energy Trend 集邦咨询、IT之家、Ofweek锂电网、澎湃新闻、网易新闻、第一电动网、中研网, 万联证券研究所

3.4 产业化进程：产业化转折点将至，未来市场空间广阔

材料体系迭代，固态电池技术有望快速突破。2025-2030年，固态电池技术预计进入快速突破阶段，电解质体系预计将从混合固液电解质体系向全固态电解质体系突破，正极材料路线预计将从磷酸铁锂、高镍转向高镍固化、富锂技术路线转化，负极材料路线预计将从石墨烯向氧化硅、金属锂技术路线发展。随着各类新兴技术产业化应用，锂电池的能量密度有望得到快速提升。未来，固态电池将有望广泛应用于无人机、智能设备、医疗和长续航汽车等领域，市场规模有望实现快速增长。

图表24：从液态到全固态电池的技术发展路线

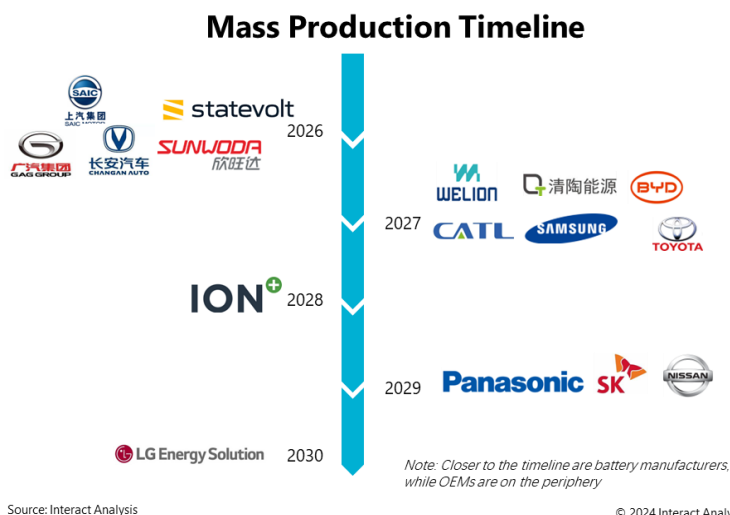


资料来源：《固态电池关键材料体系发展研究》，万联证券研究所

(注：LMO表示锰酸锂正极；LFP表示磷酸铁锂正极；LMFP表示磷酸锰铁锂正极；H-Ni表示高镍正极；Li-rich表示富锂正极；NaCuFeMnO表示铜铁锰酸钠正极；LMNO表示镍锰酸锂正极；OLO表示富锂锰正极；GP表示石墨负极；GP表示石墨烯负极；SiO表示硅氧负极；Li表示金属锂负极。另外，时间轴仅代表技术和商业化预期时间，不代表市场占有率时间表。)

从2026年起，固态电池有望进入量产时代。目前，固态电池已从实验室研发阶段逐步过渡到工厂试点阶段，搭载固态电池的车型发布也日益频繁。根据各大厂商公布的计划，预计从2026年开始，固态电池市场将正式迈入量产阶段，固态电池的产业化进程有望显著提速。国内企业方面，欣旺达、广汽、卫蓝新能源、清陶能源等企业计划在2026-2027年实现固态电池或半固态电池量产，比亚迪及宁德时代计划于2027年实现固态电池小批量生产。海外企业方面，三星SDI、SKOn、日产、松下、LGES等分别计划在2027-2030年陆续实现固态电池商业化。

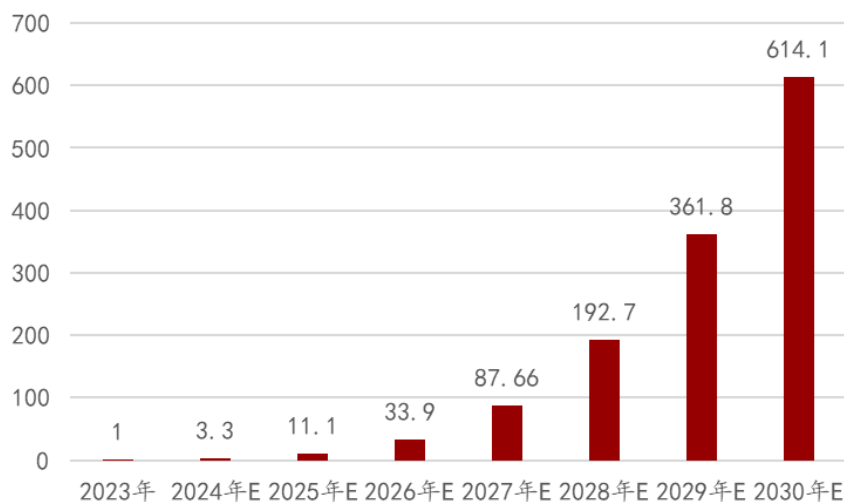
图表25: 固态电池厂商量产时间线



资料来源: Interact Analysis, 万联证券研究所

固态电池市场空间广阔, 2030年有望达到2500亿元。目前固态电池产业化还处在初始阶段, 出货规模较小。2023年, 固态电池出货规模为GWh水平, 主要以半固体电池为主, 全固态电池仍处在实验阶段。基于对固态电池技术路线和降本路径的研判, EVTank 预计固态电池将在2025年开始放量, 到2030年全球固态电池的出货量将有望达到614.1GWh, 在整体锂电池中的渗透率预计在10%左右, 其市场规模将超过2500亿元。在电池类型上, 半固体电池为主要类型, 全固态电池产业化预计在2030年以后。

图表26: 全球固态电池出货量预测趋势 (GWh)



资料来源: EVTank, 万联证券研究所

4 投资建议

与传统液态锂电池相比，固态电池具备高安全性，高能量密度的关键优势，是锂电池产业升级的重要方向。当前，在国家政策支持、企业布局加速的推动下，固态电池正在进入快速发展阶段，产业化转折点即将到来，未来市场空间广阔。固态电池产业化加速，材料体系迭代，有望带动锂电产业链升级。细分环节来看：（1）电解质体系方面：氧化物体系固态电池发展速度快，技术较为成熟，硫化物体系固态电池发展上限高，具备较大发展空间。建议关注在氧化物路线及硫化物路线布局完善，研发进展领先的下游电池厂商，以及具备固态电解质关键原材料生产能力的上游企业；（2）正负极材料方面：随着固态电解质的应用，锂电池有望兼容高比容量正负极材料，正极材料路线预计将从磷酸铁锂、高镍转向高镍固化、富锂技术路线转化，负极材料路线预计将从石墨烯向氧化硅、金属锂技术路线发展，建议关注高镍正极及硅基负极环节布局领先的个股。

5 风险提示

1. **产业化进展不及预期：**固态电池目前正在处于初步发展阶段，在技术研发、成本压缩等方面仍有较多难点，未来产业化进程可能有不及预期风险。
2. **原料价格大幅波动：**固态电池制造涉及锂、锆、锗、钴、镍、铜等矿产原材料，这些矿产的价格波动对固态电池的成本和供应有重要影响。如果原材料价格由于供需不平衡等因素大幅增长，将会导致固态电池制造成本上升，影响研发进度。
3. **下游需求不及预期：**固态电池下游主要应用于新能源汽车、储能和电子装备领域。目前新能源汽车、储能行业发展迅速，对固态电池需求快速增长。未来如果新能源汽车渗透率下降、储能装机增长放缓，固态电池下游需求会有不及预期风险。
4. **技术路线替代：**目前，固态电池技术路线发展还不明确。目前发展较快的氧化物、聚合物半固体电池技术路线，会有被硫化物固态电池技术路线替代的风险。
5. **政策变动风险：**目前固态电池产业受政策影响较大，若国内外政策发生变动，将会对产业发展产生关键影响。

行业投资评级

强于大市：未来6个月内行业指数相对大盘涨幅10%以上；

同步大市：未来6个月内行业指数相对大盘涨幅10%至-10%之间；

弱于大市：未来6个月内行业指数相对大盘跌幅10%以上。

公司投资评级

买入：未来6个月内公司相对大盘涨幅15%以上；

增持：未来6个月内公司相对大盘涨幅5%至15%；

观望：未来6个月内公司相对大盘涨幅-5%至5%；

卖出：未来6个月内公司相对大盘跌幅5%以上。

基准指数：沪深300指数

风险提示

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

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并登记为证券分析师，以勤勉的执业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

免责声明

万联证券股份有限公司（以下简称“本公司”）是一家覆盖证券经纪、投资银行、投资管理和证券咨询等多项业务的全国性综合类证券公司。本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。本报告中的信息或所表述的意见并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可情况下，本公司或其关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或类似的金融服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司认为可靠且已公开的信息撰写，本公司力求但不保证这些信息的准确性及完整性，也不保证文中的观点或陈述不会发生任何变更。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。分析师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。

本报告的版权仅为本公司所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、刊登、发表和引用。未经我方许可而引用、刊发或转载的引起法律后果和造成我公司经济损失的概由对方承担，我公司保留追究的权利。

万联证券股份有限公司 研究所

上海浦东新区世纪大道 1528 号陆家嘴基金大厦

北京西城区平安里西大街 28 号中海国际中心

深圳福田区深南大道 2007 号金地中心

广州天河区珠江东路 11 号高德置地广场