

固态电池深度报告

群雄逐鹿锂电终局技术，发力新材料加速产业化

电力设备及新能源团队 周然

特别鸣谢 段尚昌

2023.03.30

一 固态电池是锂电技术的终极形态

二 固态电解质是破局关键，半固态电池成优选方案

三 全球加快布局，开发主体、选择路线均存在差异

四 国内玩家百舸争流，全产业链齐发力

五 综述与投资建议

六 风险提示

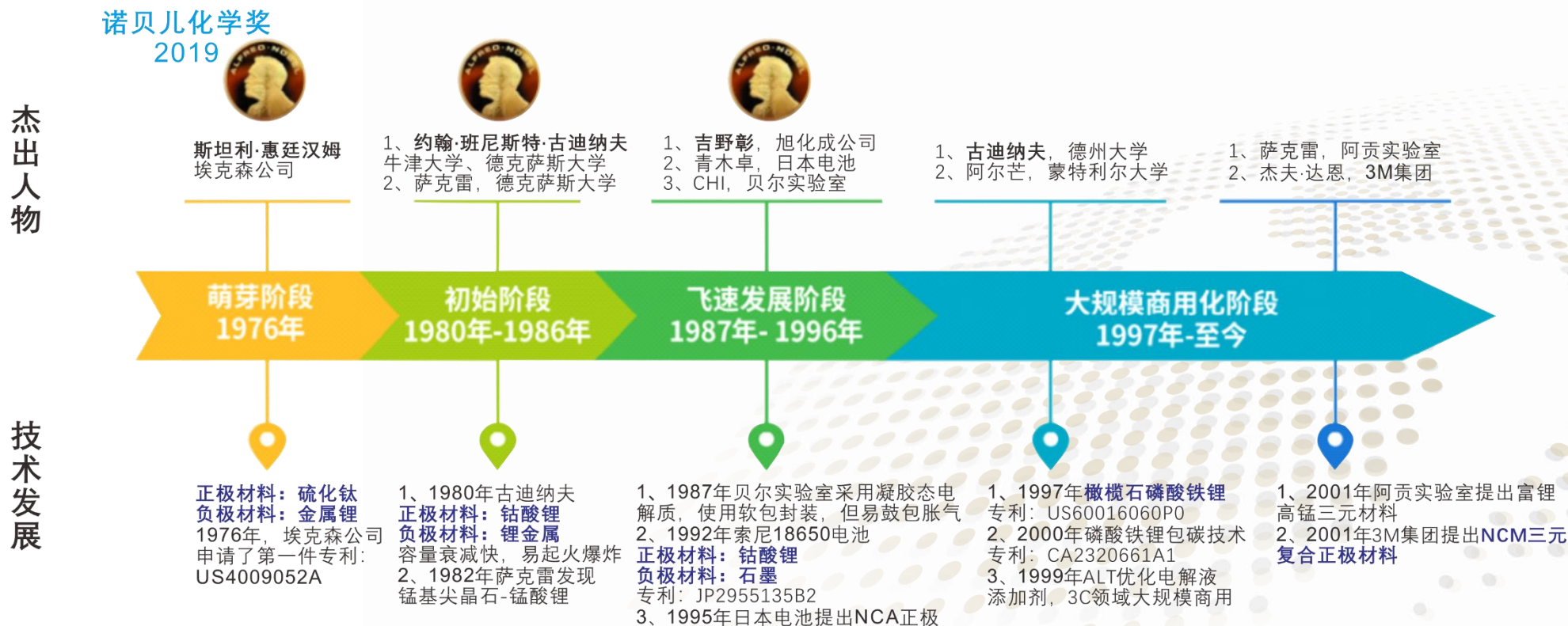
固态电池是锂电技术的终极形态

01

锂离子电池发展历史

- 锂离子电池发展已有30多年历史。“锂电池之父”斯坦利·惠廷汉姆于1976年提出最早的锂二次电池雏形：正极材料使用硫化钛，负极使用金属锂并且使用含锂盐的电解液。其意义更多在于确立了锂电池基本原理。但由于电池安全性、稳定性等不理想，始终无法商用。1980年古迪纳夫开发了钴酸锂、磷酸铁锂以及锰酸锂三大正极材料，奠定了现在主流正极材料体系。1991年吉野彰摆脱负极锂金属限制，创新性使用石墨作为负极，进而开发了第一个商用锂离子电池。

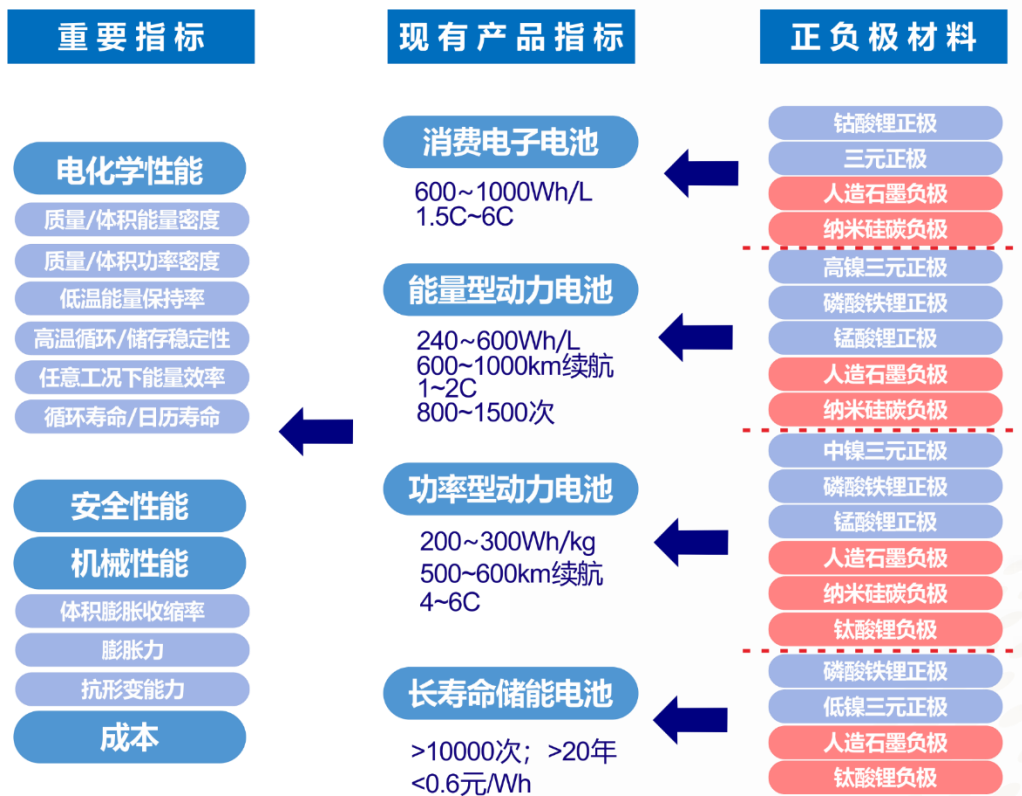
图1：锂离子电池发展历史



数据来源：智慧芽，中国银河证券

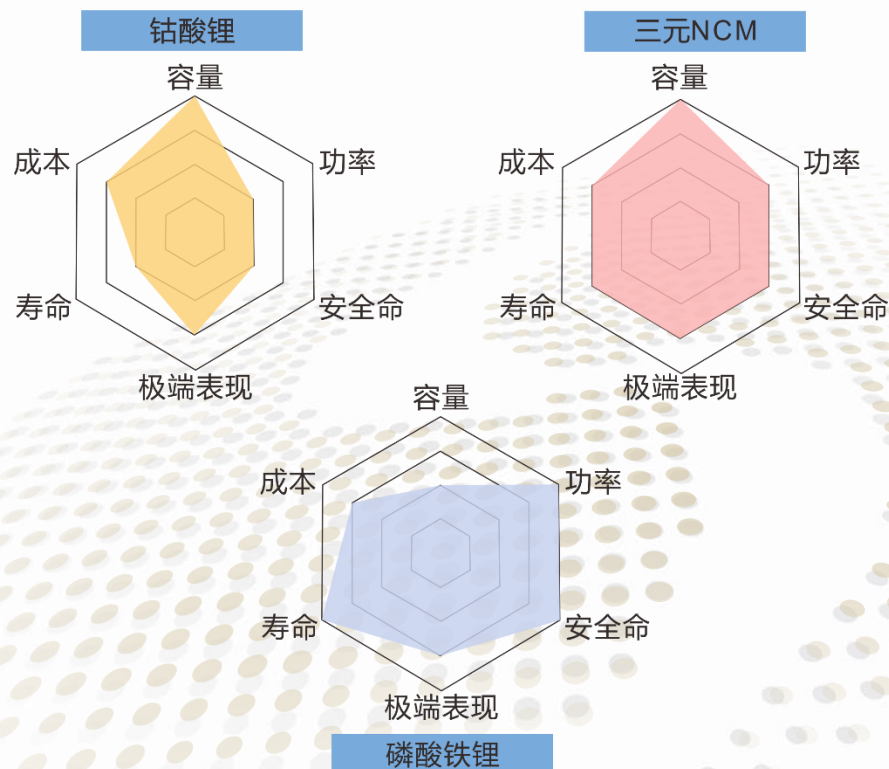
- 锂离子电池材料体系成熟，各类产品应用场景基本确定。据中科院研究员李泓报告，钴酸锂电池体积能量密度在600-1000Wh/L，适合应用于消费电子领域；而高端电动汽车领域，偏向于质量能量密度更高的三元电池；储能领域，偏向于安全性、成本优势更突出的磷酸铁锂电池。但面对未来综合要求更高的应用场景（航空航天、国防军工等），液态锂离子电池体系已出现瓶颈。

图2：主流锂离子电池正负极体系及应用场景



数据来源：《固态电池》李泓，中国银河证券

图3：三大主流锂电池产品类型对比

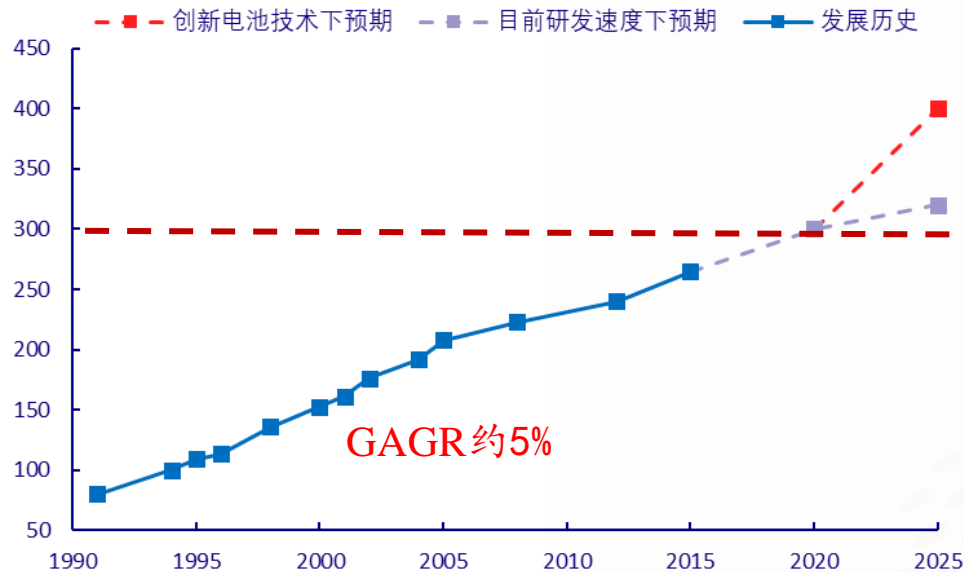


数据来源：《Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements》，中国银河证券

能量密度瓶颈

- 中长期政策目标偏高。《中国制造2025年》提出的电池技术目标是2020、2025年分别达300Wh/kg、400Wh/kg；而中科院研究院吴娇杨等统计表明1991-2015年能量密度已提升3倍，GAGR约3%，按线性推算2020、2025年能量密度仅能达到300Wh/kg、320Wh/kg。但是从实际技术发展情况看，现在的锂离子电池能量密度增速明显放缓并接近理论极限。
- 能量密度增速放缓，主流材料体系已接近极限。据中科院院士孙世刚，磷酸铁锂、三元电池能量密度分别小于200Wh/kg、300Wh/kg（负极石墨），目前这些主流产品均已接近能量密度天花板。据Enpower统计，Tesla Model 3使用松下2170电池近260Wh/kg，改用高镍正极产品的4680电池能量密度可达283Wh/kg，明显低于政策目标及线性预测结果。
- 打破材料、技术桎梏才能继续突破。据汽车电子设计测算，升级硅碳负极的4680电池有望实现超300Wh/kg。2022年美国Amprius公司使用全新硅纳米线负极实现450Wh/kg。

图4：1990-2025年锂离子电能量密度发展路线图（单位：Wh/kg）



数据来源：《锂离子电池和金属锂离子电池的能量密度计算》吴娇杨等，中国银河证券

表1：特斯拉2170/4680电池性能对比

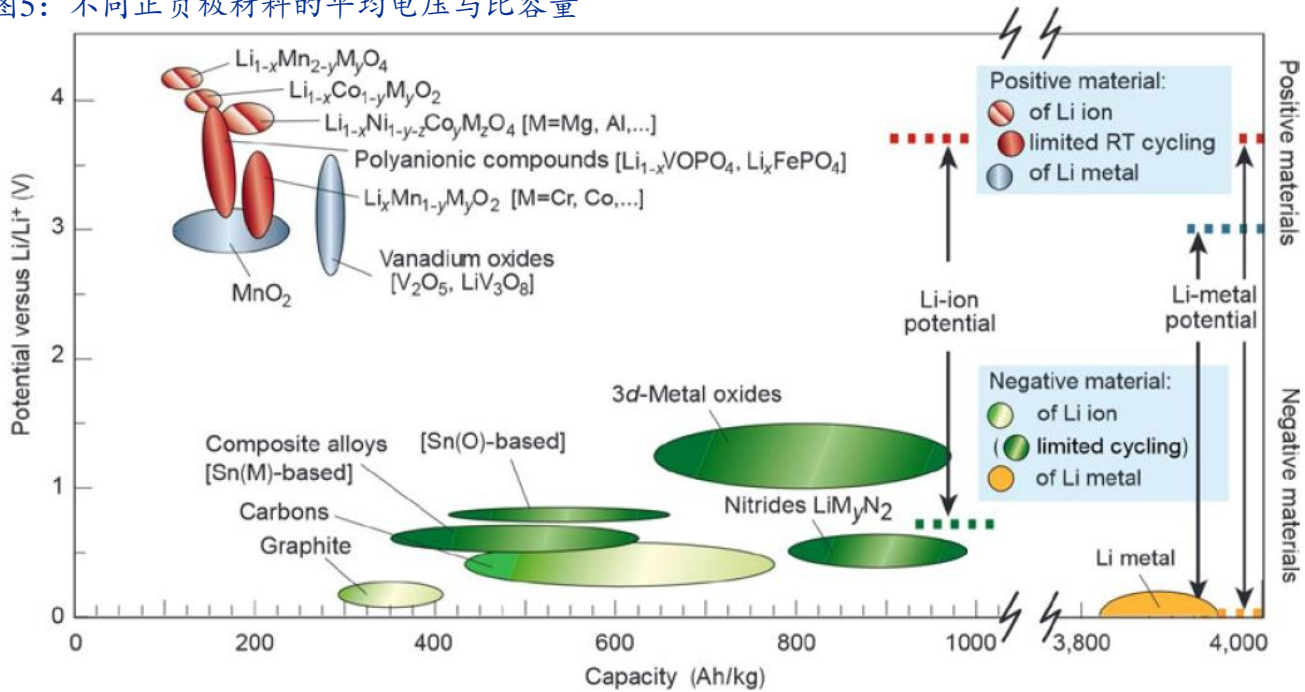
材料体系	2170	4680	4680
	石墨+高镍	石墨+高镍	硅碳+高镍
单个电芯性能			
容量/Ah	5	27.5	30
电压/V	3.6	3.6	3.6
能量/wh	18	99 (+450%)	108 (+500%)
重量/g	70	350 (+400%)	350 (+400%)
体积/L	0.024	0.133 (+448.4%)	0.133 (+448.4%)
能量重量密度/wh/kg	257	283 (+10.0%)	309 (+20.0%)
能量体积密度/wh/L	743	745 (+0.3%)	813 (+9.4%)

数据来源：汽车电子设计，中国银河证券

能量密度瓶颈 (续)

- 能量密度主要由正负极材料的比容量及两者的电压差决定。根据电池质量能量密度理论计算公式，提高正、负极材料的比容量、提高电池工作的额定电压可以有效提高电池能量密度。正极材料比容量范围有限，提升比容量更多依赖负极；电池电压取决于正负电极的电压差，提升电压主要依赖正极。
- 主流液态锂离子电池 (LIB) 无法使用锂金属负极。锂金属负极具有最低电化学电势、接近4000Ah/kg的超高比容量，是最理想的负极材料，但由于其活性极强、稳定性差导致极难与液态电解液兼容，直接限制其能量密度无法实现超越性突破。
- 电解液难匹配高电压正极。LIB电压不能超过其电解液的工作电压窗口，否则会电解液与正负极将直接反应导致性能失效甚至出现事故。而目前主流电解液电压窗口不超过4.5V，这直接制约了正极材料的可选范围从而限制了能量密度的发展。

图5: 不同正负极材料的平均电压与比容量



数据来源: 《Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries, Tarascon and Armand, Nature, 2001》, 中国银河证券

难以解决安全性问题

- 电解液是造成液态锂离子电池安全事故的最大推手。液态锂离子电池（LIB）的热失控（thermal runaway）被公认是电池安全问题的最主要原因。该过程主要分为三个阶段：

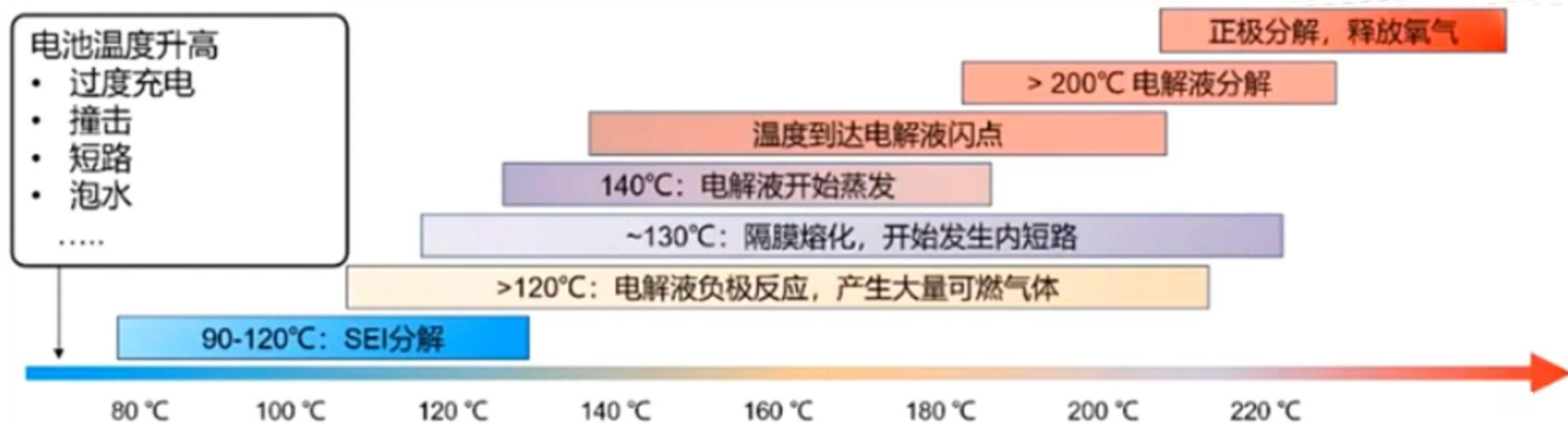
阶段一：由内部短路（主要原因是外力穿刺、过充等）、工作温度过高等原因导致的初始温度上升；

阶段二：SEI膜分解，热失控加速，电解液反应持续升温，释放可燃气体和氧气，造成后续隔膜、负极、正极分解；

阶段三：电解质分解燃烧，系统事故发生。

从整个过程来看，化学活性高、易挥发、易燃的液态电解质起到了关键作用，是LIB的最大隐患。

图6：液态锂离子电池热失控事故分析

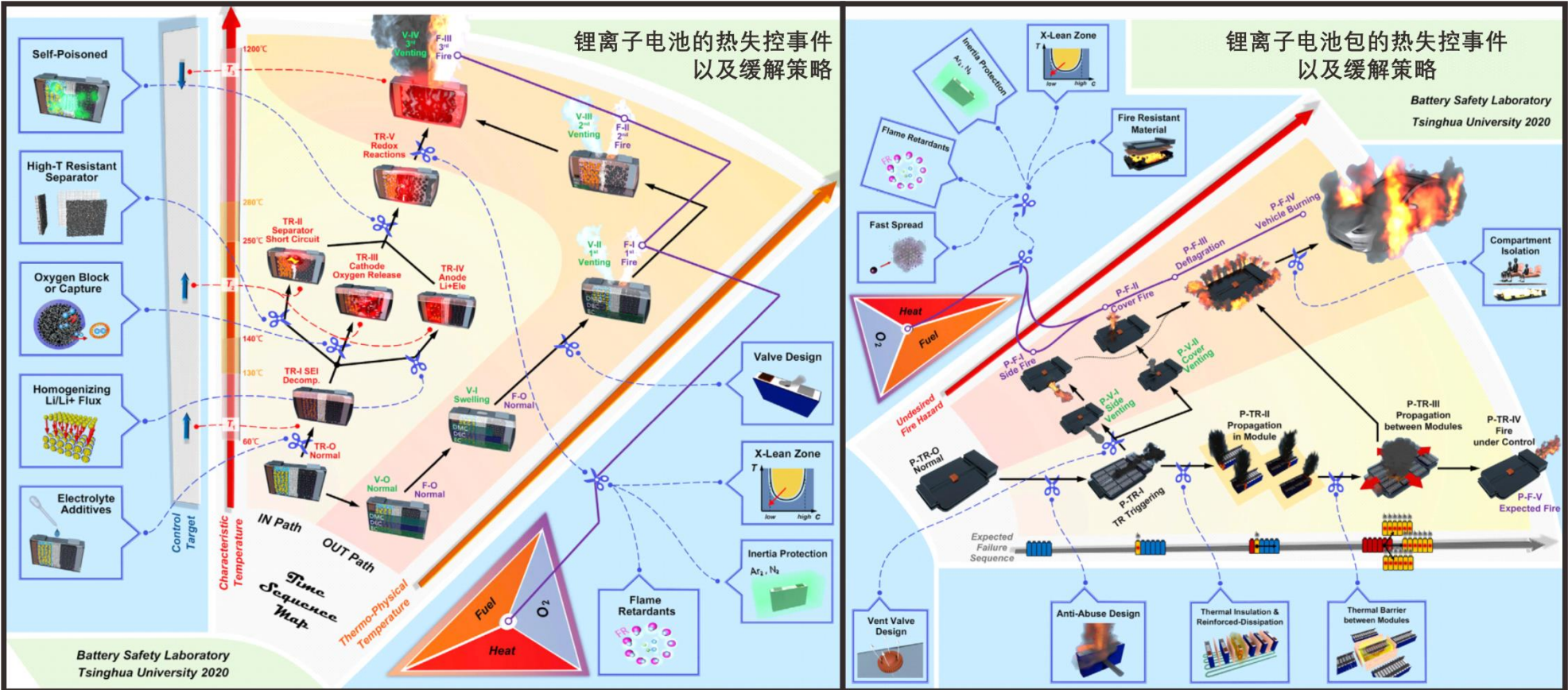


数据来源：《面对应用的固态电池研究》李泓，中国银河证券

难以解决安全性问题 (续)

- 提升安全性策略仅能缓解热失控。据清华大学副教授冯旭宁等统计，目前产业主要依靠缓解热失控来应对LIB安全事故，如在电芯内添加阻燃剂、惰性气体等；在Pack层面可增加反穿刺设计、热屏障等。但是高危的电解液是LIB安全问题的本质，而其作为LIB的必需材料，使LIB理论上无法解决安全性问题。

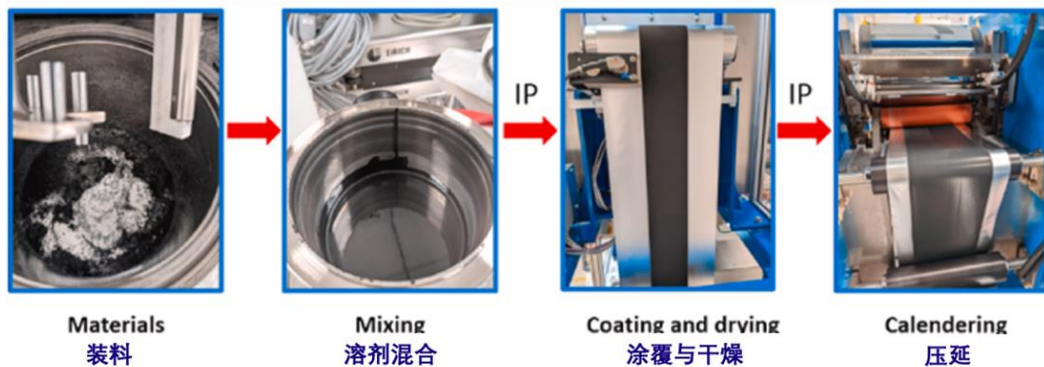
图7: 电池电芯、电池包的热失控过程及其缓解策略



工艺优化空间有限

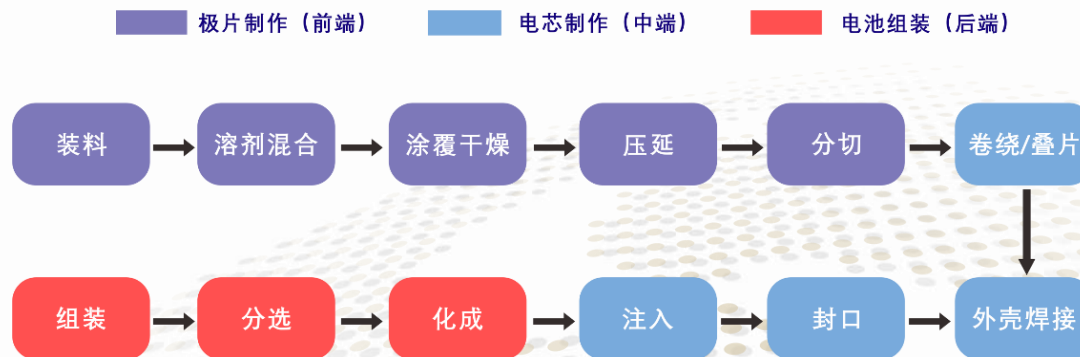
- 电芯制造工艺改善趋于成熟。电芯制造流程主要包括：电极制备（湿法为主）→卷绕→封装→注液→化成→分选→组装，而高速率混浆、涂覆和卷绕/叠片技术以及大容量电芯技术推动单线产能不断扩大。据中科院李泓研究员，目前单线产能最高产能可实现2-4GWh，良率达到92-96%，cpk值达1.5-1.67。
- 但由于湿法电极制备环节中涉及低效率的涂覆、烘干，卷绕环节需要停线插入极片等因素，即使是特斯拉升级后的4680技术，仍涉及复杂的激光焊接环节，因此电芯制造效率提升仍存在较大瓶颈。

图8：电极湿法涂覆工艺



数据来源：L.A.Román-Ramírez, 中国银河证券

图9：电芯主要制造流程



数据来源：高工锂电，中国银河证券

表2：液态锂离子电池电芯制造速度

电芯种类	代表规格型号	涂布效率	单极芯制造效率	单线电池制造效率	单线最大产能
圆柱	21700	60-120m/min	卷绕25ppm	300ppm	1.8GWh
铝壳	5414891	60-120m/min	卷绕6ppm	12ppm	1.6GWh
软包	55010109	60-120m/min	叠片6ppm	15ppm	1.6Gwh

数据来源：《面对应用的固态电池研究》李泓，中国银河证券

工艺优化空间有限（续）

- 极致压缩装配空间，提升整车能量密度。传统组装CTM为电芯-模组-电池包-车身的过程，会使用大量零部件并增加整体质量，同时涉及复杂连接、电池管理系统。2020年9月特斯拉首次提出CTC技术，直接将电池装配至底盘，在提供支撑作用的同时减少了零件数量以及车身重量，提升空间利用率从而提升能量密度，降低成本。宁德时代、比亚迪基于同样的思路提出了CTP技术、CTB技术，零跑、大众、福特等车企亦跟进布局，“CTC类技术”有望成为行业标配。
- 恒驰研究院张涛（2021）测算CTC类技术最高可实现10%电量增幅，反推能量密度不超过400Wh/kg，仍难以获得飞跃式突破。

图10：宁德时代、比亚迪、特斯拉装配技术



表3：CTM、CTP与CTC比较

	CTM	CTP	CTC
基本概念	电芯-模组-电池包-车身	电芯-电池包-车身	电芯-车身
空间利用率	低	高	高
集成方案	电池集成为模组，模组集成为电池包，再安装在车身上	先电池集成为电池包，电池包再安装到车身上	车身底板作为电池上盖，电池直接安装在车身上
电池电量	\	电量增加10%-20%	电量再增加5%-10%
空间变化	\	车内空间无变化，电池包内空间利用率提高	底板内空间被利用，进一步增加车内、底板内空间利用率
电池能否承载载荷	否	否	能
可维修性	可单独更换模组	只能更换电池包	需更换电池并重新密封底板

什么是固态电池？

- 固态电池即是使用固态电解质的电池。LIB由正极材料、负极材料、电解液、隔膜四大主材组成，固态电池则是将电解液、隔膜替换成固态电解质。在正、负极材料方面，固态电池可以完全沿用液态锂离子电池材料体系，且升级空间更大：
 - 正极：部分固态电解质工作电压窗口更高，可使用高电压正极材料，有助于增强快充性能、提升能量密度等；
 - 负极：固态电解质能适配锂金属负极，能大幅提升电池能量密度，同时增加正极材料的可选范围，对电池影响更大
- 因此，我们预计固态电池技术对产业链主要环节的影响大小为：**隔膜>电解液>负极材料>正极材料**。

图11：固态电池与目前主流液态锂离子电池结构对比

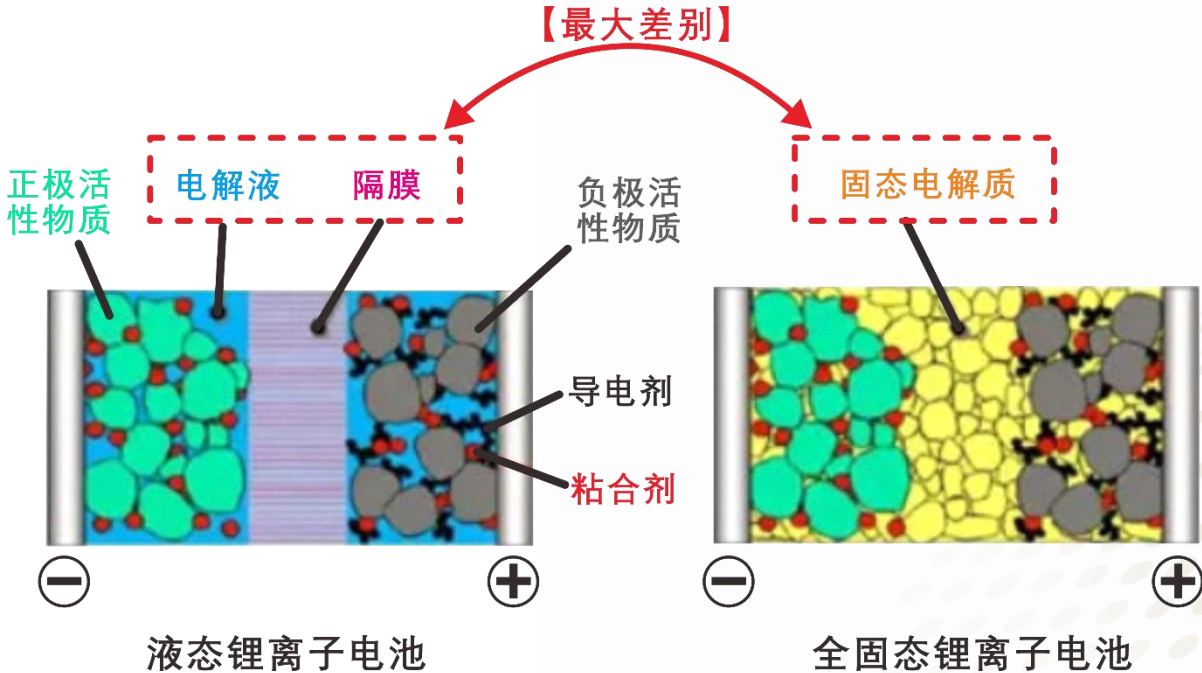


表4：固态电池与液态锂离子四大主材对比

	液态锂离子电池	固态电池
正极材料	金属氧化物类，主流为磷酸铁锂、三元以及钴酸锂等	可延续现有正极体系， 变化最小 ，同时能兼容高电压材料等其他材料
负极材料	主流石墨，后续可用硅基负极	可延续现有负极体系，且有 能力兼容锂金属负极，潜力巨大
电解液	主流有机溶剂+六氟磷酸锂，添加新型锂盐、添加剂等升级	全固态完全替换为固态电解质。在过渡阶段会存在部分电解液
隔膜	需要隔膜避免正负极接触，升级复合隔膜等	全固态电池 无需隔膜 。在过渡阶段仍需要隔膜

数据来源：旺财锂电，中国银河证券

数据来源：高工锂电，中国银河证券

什么是固态电池？ (续)

- 固态电池工作原理无变化。固态电池、LIB甚至钠离子电池都基于1972年提出的“摇椅式”可充电电池模型：充电时锂离子从正极脱嵌，经过电解液/固态电解质的运输，再嵌入负极；放电则相反。因此对比固态电池与LIB的性能可直接比较各大主材的参数指标即可。
- 混合固液电解质锂电池是两代电池技术间的桥梁。据中科院物理所，根据液态电解质在电池中的质量占比情况，可将锂电池分为液态电解质锂电池、混合固液电解质锂电池、全固态电解质锂电池。全固态电池是终局形态，而混合固液电解质（也可称半固态电池）是过渡方案，其中仍含少量液态电解质，且仍需隔膜避免正负极接触短路。
- 全固态电池按照电解质类型可分为：氧化物全固态电池、硫化物全固态电池、聚合物全固态电池。

图12：“摇椅式”充放电模型

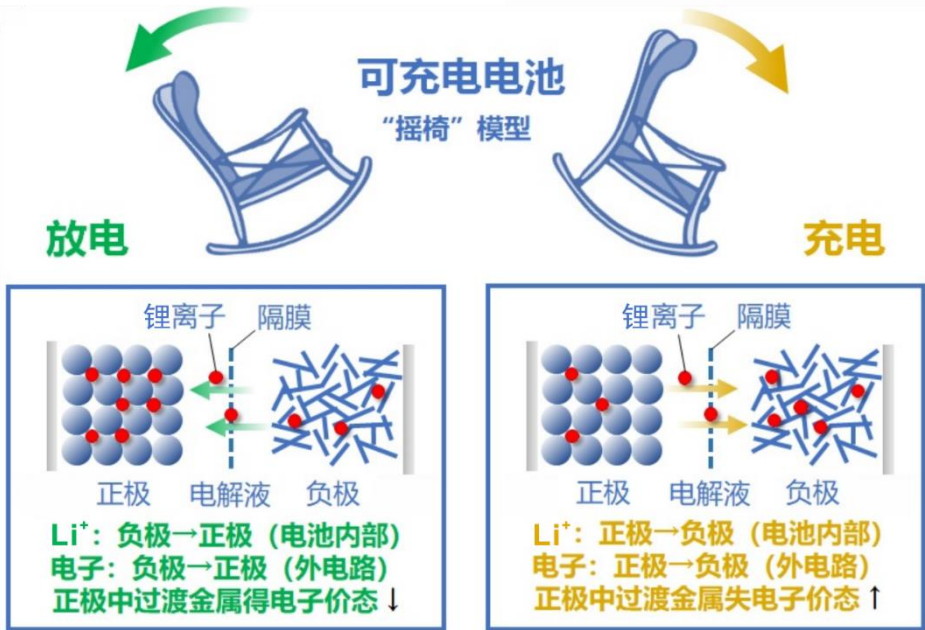
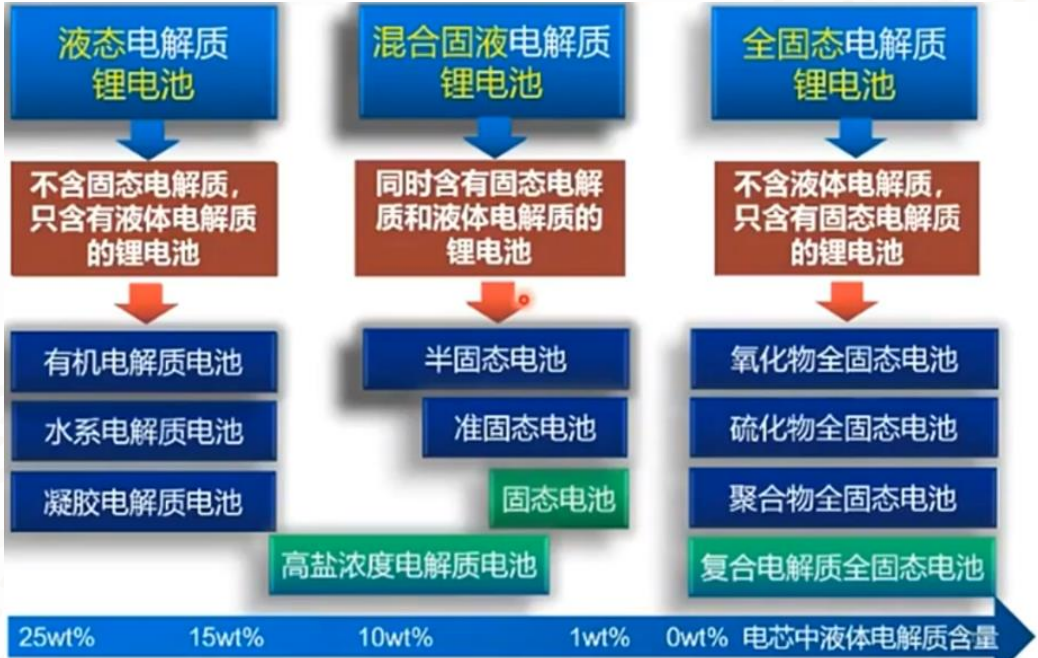


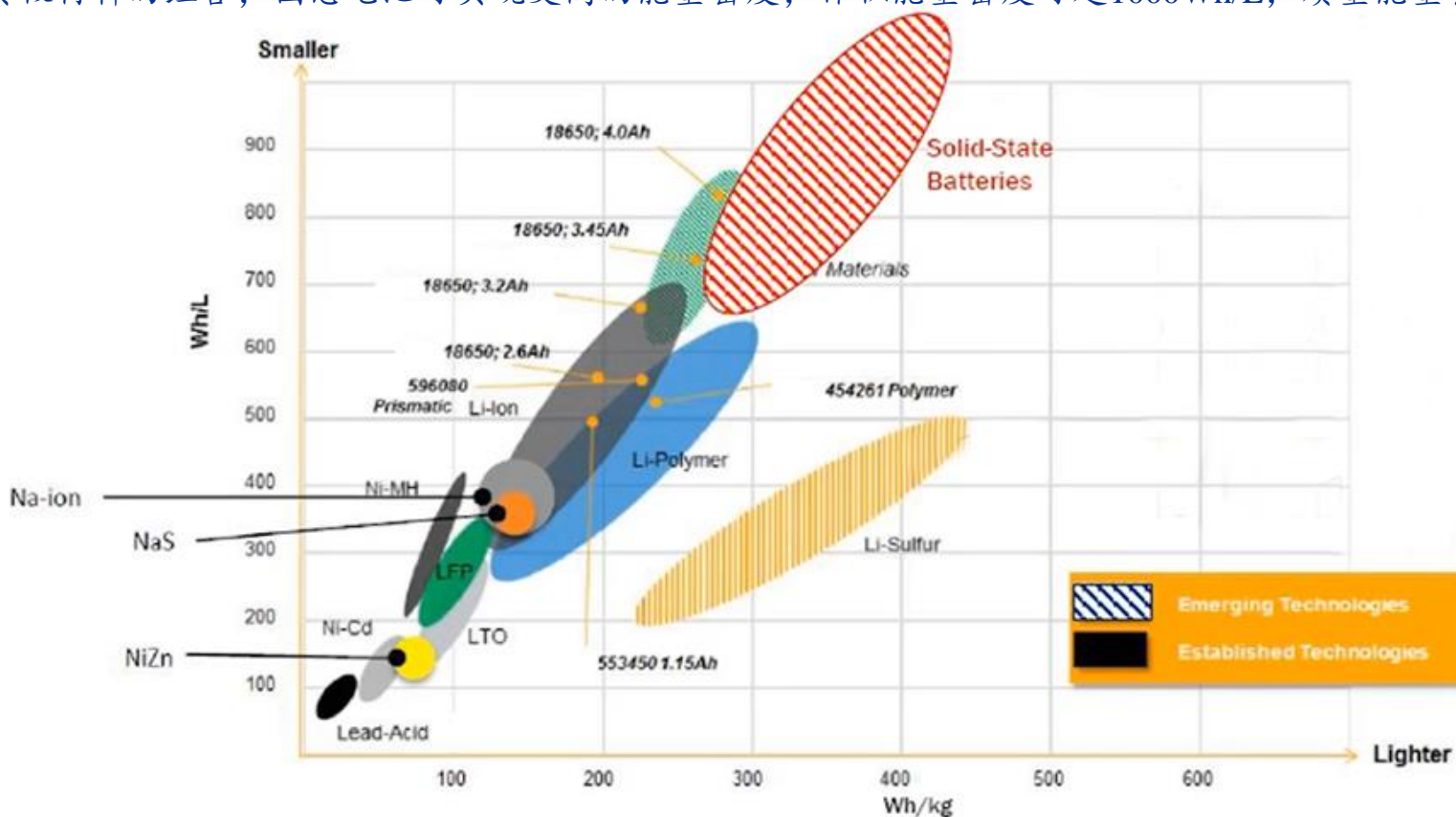
图13：固态电池与液态锂电池的分类与过渡



能量密度更高

- 固态电解质可以使用锂金属负极。相较于液态电解质，固态电解质的电化学性能更稳定，能兼容活性极强的锂金属负极；同时固态电解质可抑制锂枝晶析出，满足锂金属负极应用的必要条件。
- 固态电池正极材料可选范围更大。部分固态电解质电压窗口更大，可适配高电压的正极材料；若采用锂金属负极，则理论上正极可用不含锂材料，能量密度、降本空间都有望得到巨大提升。
- 通过不同正负极材料的组合，固态电池可实现更高的能量密度，体积能量密度可超1000Wh/L，质量能量密度可超400Wh/kg。

图1-4 固态电池具有明显能量密度优势

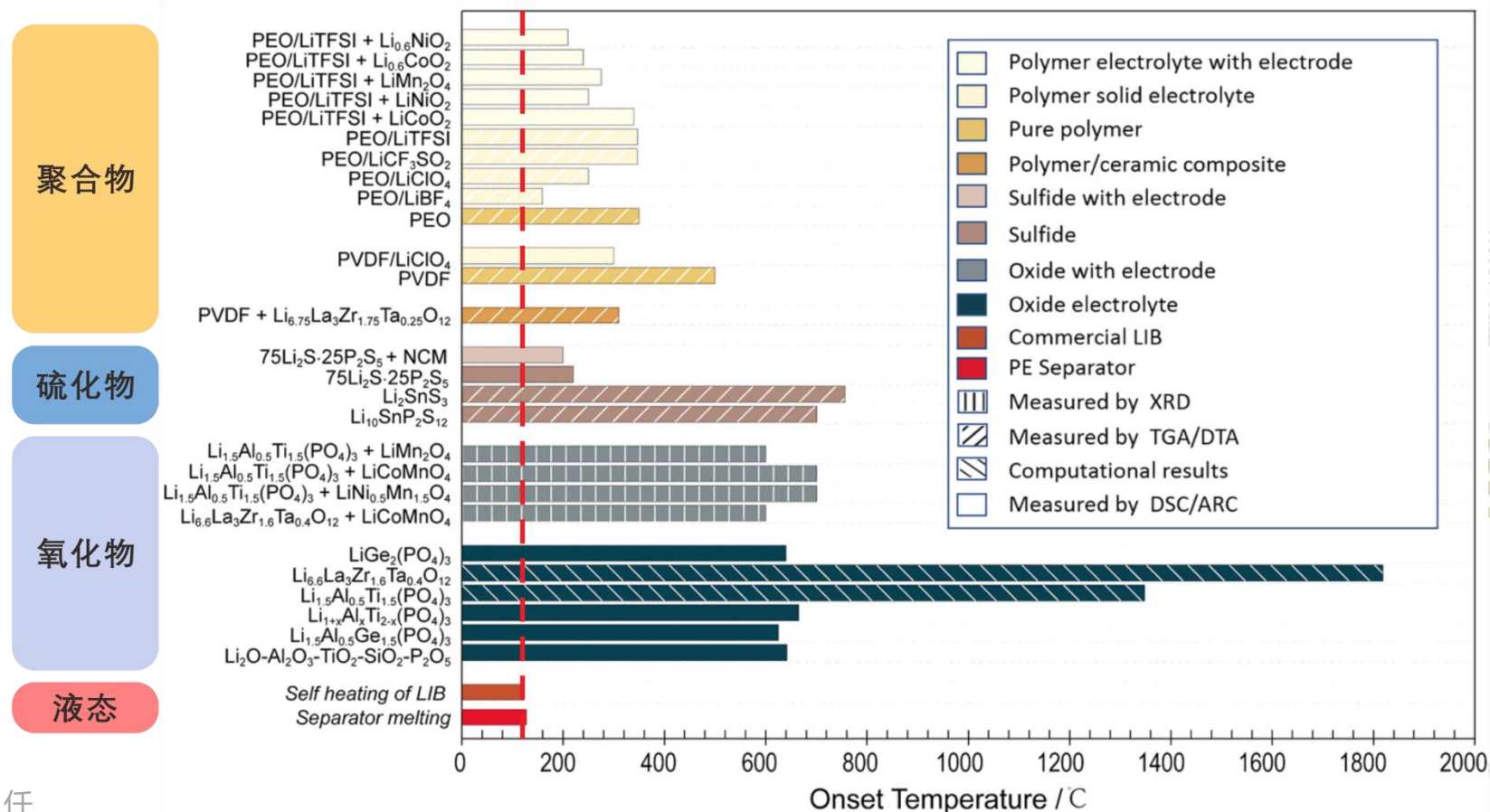


数据来源：《固态电池研究及产业化》，中国银河证券

安全性大幅提升

- 固态电解质有望解决本质安全问题。据中科院研究员陈汝颂等（2020）统计，三大固态电解质的热失控初始温度均超过液态电解质（120°C）；氧化物固态电解质安全性最高，其热失控初始温度均超600°C，最高可达1800°C，理论上已杜绝电池燃烧等安全问题。

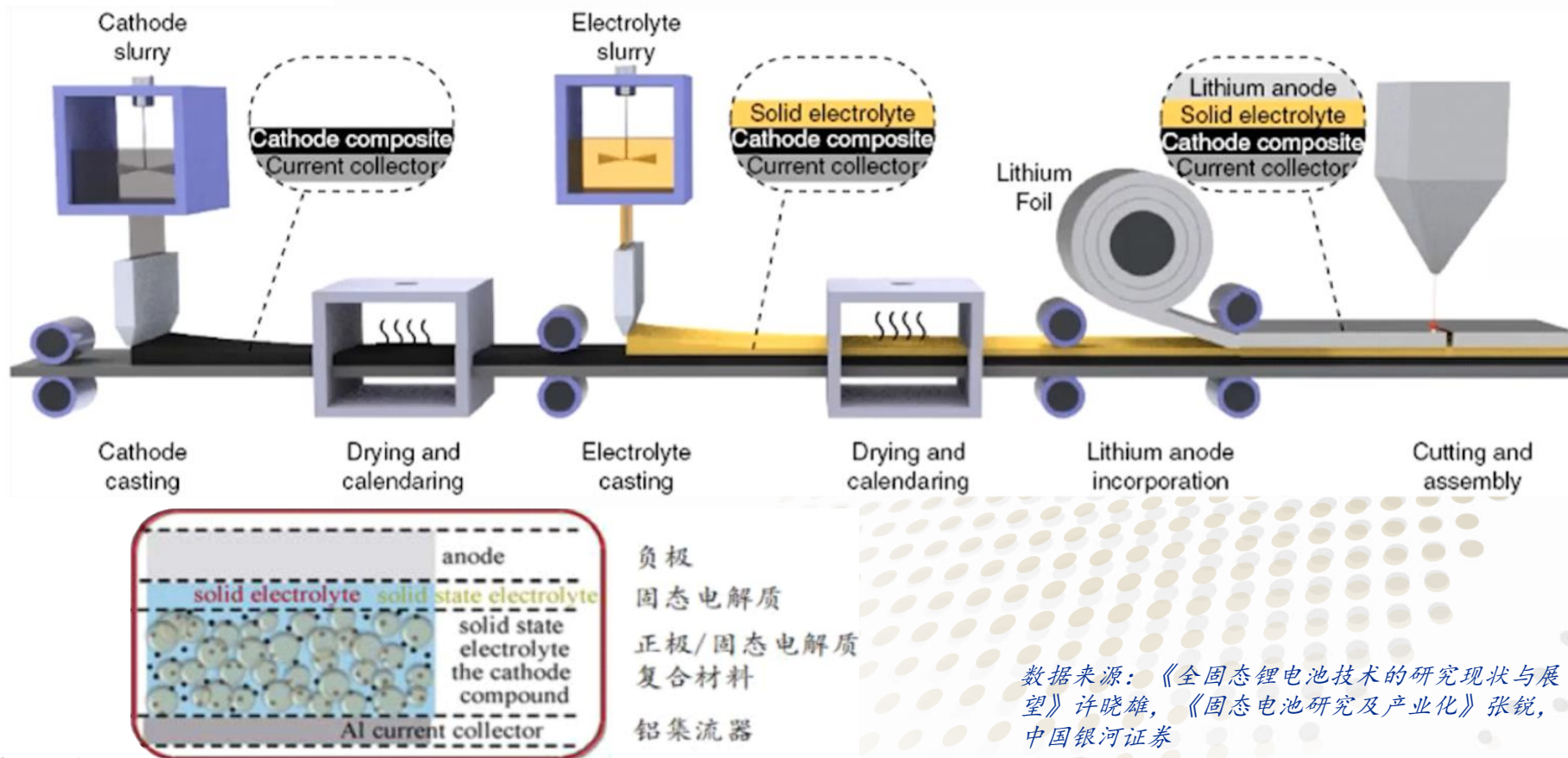
图15：不同固态电解质的热失控初始温度



数据来源：《Approaching Practically Accessible Solid-State Batteries: Stability Issues Related to Solid Electrolytes and Interfaces》，中国银河证券

- 固态电池部分工艺、设备与LIB兼容。**在前端电极制造环节，传统湿法工艺在固态电池生产中同样适用，旧产线的混料、涂覆等设备均可通过技改迁移使用，降低技术转型的成本。半固态电池路线中，由于仍然存在电解液，中、后端成熟的工艺和设备也可以正常兼容；固态电解质既可以在中端通过涂覆工艺形成，也可以在后端注液后新增“原位固化”环节（先注入液态电解液，后使之凝胶化）来形成。全固态电池路线中，则无需注液环节，大大简化生产流程。

图19:湿法工艺下的固态电池制造流程



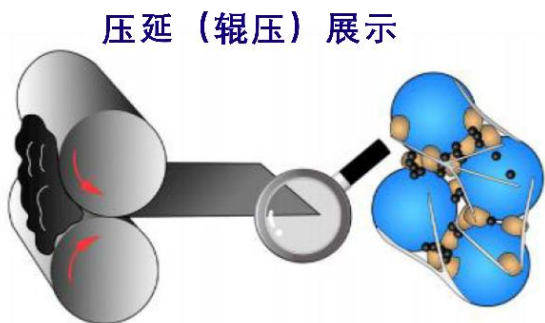
数据来源：《全固态锂电池技术的研究现状与展望》许晓雄，《固态电池研究及产业化》张锐，中国银河证券

工艺突破制造极限 (续)

- 固态电池更适合干法电极工艺。干法电极技术是一种无溶剂的生产技术，方法是将正负极材料与粘结剂等混合，然后直接通过压延、喷涂、挤出或气相沉积的方式形成片状、薄膜状电极。据中科院物理所研究员伍登旭等（2022），**锂金属负极仅能用干法生产**，因此固态电池更适合走干法路线。干法技术的优势主要体现在：1) 省去了浆料搅拌、干燥、有害溶剂回收等环节，节省了材料、时间、厂房和人工等生产成本；2) 性能方面，电极更厚能量密度更高；3) 无有毒溶剂更环保。

图17: 不同正负极材料的制造工艺

	干法工艺				湿法工艺	
	压延	喷涂	挤出	气相沉积	涂覆	灌注
正极	✓	✓	✓	✓	✓	⊗
锂金属	⊗	⊗	✓	✓	⊗	⊗
Si/C	✓	✓	✓	✓	✓	⊗



High efficiency

Wet	Mixing	Coating	Drying/solvent recovery
Dry	Mixing	Coating	From hours to minutes

表5: 干法和湿法工艺关键项对比

	干法	湿法
NMP溶剂	不需要	需要
粘合剂量	少量	较多
干燥车间	降低30%左右	较多
流程	无需干燥	需要干燥
生产速度	快	慢
成本	下降20%左右	较高
电极厚度	可做厚电极	只能做薄电极
能量密度	300Wh/kg以上	180-280Wh/kg

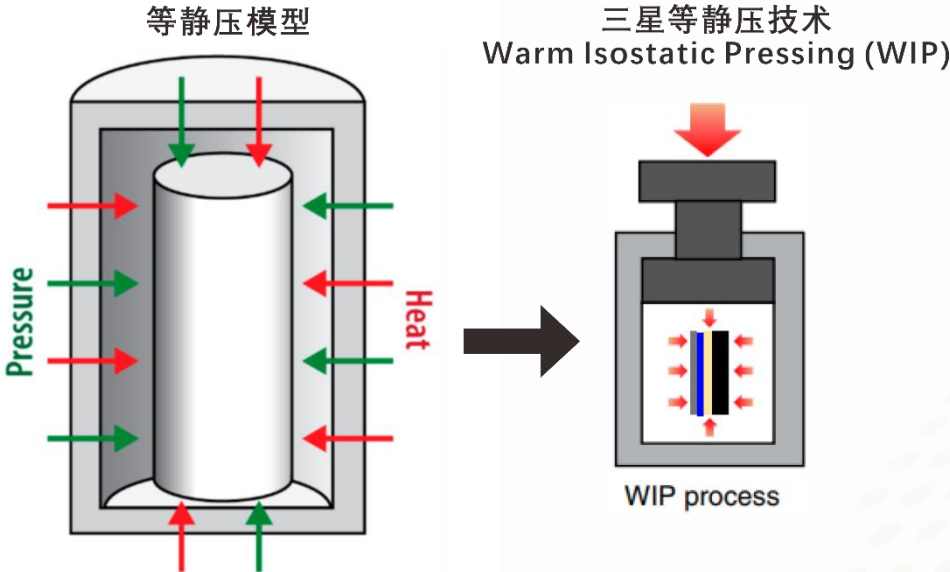
数据来源: 力容新能源科技有限公司, 电池世界, 《锂离子电池用无溶剂干法电极的制备及其性能研究》郭德超, 中国银河证券

数据来源: 《Toward better batteries: Solid-state battery roadmap 2035+》, 中国银河证券

工艺突破制造极限 (续)

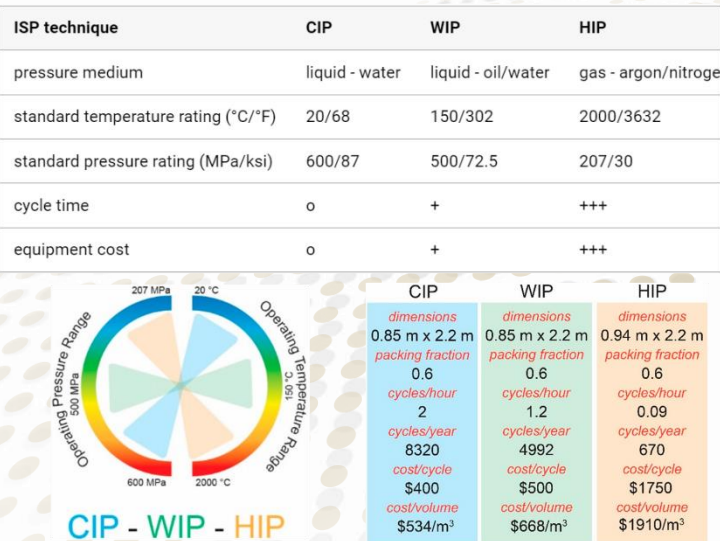
- **固态电池组装需新增压实环节。**生产固态电池一般将正极、固态电解质、负极直接堆叠在一起组装。考虑到固态电解质要与电极形成良好的固固接触界面、在循环过程中会发生接触损耗、以及要抑制锂枝晶形成，所以在堆叠时往往需要施加几个MPa压力使各材料致密堆积，**需要新增加压设备。**
- **等静压技术有望成为重点方向。**传统热压、辊压方案提供的压力有限且施加压力不均匀，难以保证致密堆积的一致性要求，严重影响固态电池的性能。美国橡树岭国家实验室Dixit等（2022）指出**等静压技术可能成为未来固态电池大规模量产的必备工艺之一。**等静压技术基于帕斯卡原理，使用机器内的液体和气体（如水、油或氩气）在电池上施加完全一致的压力从而产生高度均匀的材料。但该项技术尚处于前沿积累阶段，难点在于如何选取合适的压制温度和压力组合，以及如何控制压实质地等，生产效率与良率与现有成熟工艺还有一定差距，目前仅韩国三星等少数公司成功应用。

图18：等静压技术原理及三星WIP方案



数据来源：《The Role of Isostatic Pressing in Large-Scale Production of Solid-State Batteries》，中国银河证券

图19：三种不同等静压工艺类型及其对比



数据来源：《The Role of Isostatic Pressing in Large-Scale Production of Solid-State Batteries》，中国银河证券

工艺突破制造极限 (续)

- 组装环节提升潜力大。**在电芯组装成模组、电池PACK时，传统LIB一般需要先并联叠加、焊接集流体，然后再串联连接、安装冷却系统，最后安装BMS系统等完成最终产品；而固态电池使用多层 bipolar 结构的电芯本身就可视为“成组”过程，通过串联式的致密堆积可以大大提升空间利用率，实现更低的内阻、更高的能量密度与电流输出，在后续封装过程中也无需复杂的连接，电池包的保护系统、冷却系统、BMS系统均可优化，生产工艺极致简化，量产提效空间、降本空间都潜力巨大。

图20: 传统电池封装 (左) 与“双极”结构电池 (右) 的封装对比

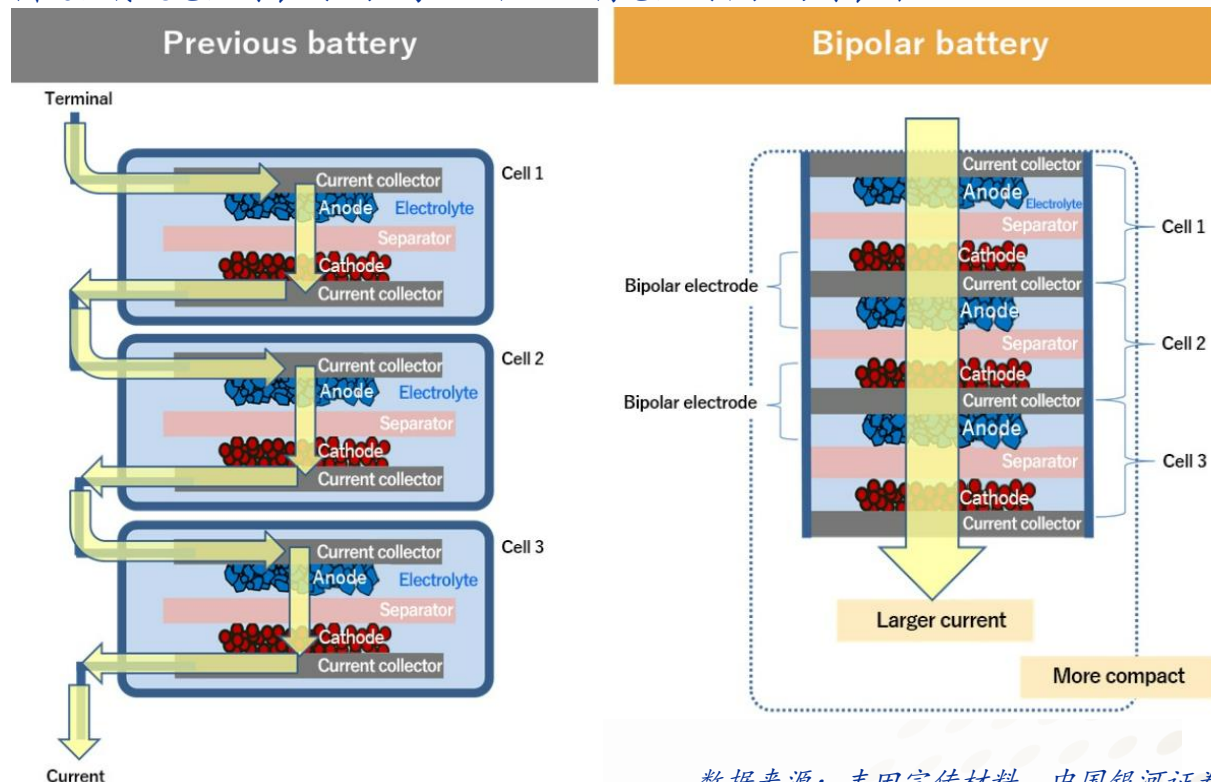
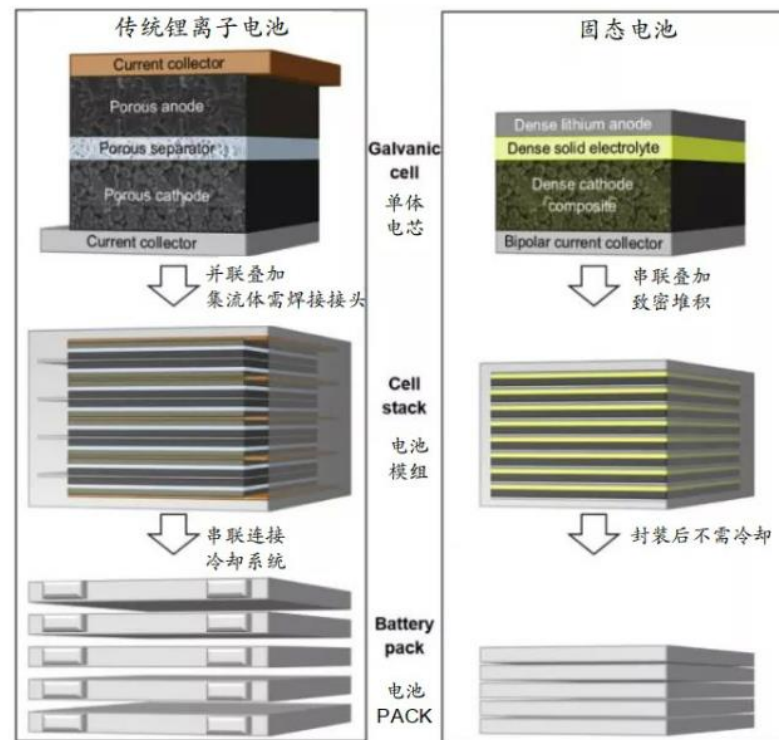


图21: 固态电池组装优势



数据来源: 丰田宣传材料, 中国银河证券

数据来源: 《All-solid-state lithium-ion and lithium metal batteries - paving the way to large-scale production》, 中国银河证券

优势突出的下一代电池技术

- 凭借能量密度高、安全性能突出、量产工艺前景广阔等多维优势，全固态电池成为下一代技术电池技术基本是行业共识。结合各国家、科研机构及参与企业的规划，我们预计2030年左右可研发出可具备大规模商业化的全固态电池。
- 从市场应用的进程看，固态电池将首先应用于消费电子等小容量市场，后逐步向高端、中端电动汽车渗透，最后广泛应用于低端电动车及储能市场。据SNE research预测，2022年全球固态电池市场规模约将达到约2750万美元，2030年将形成400亿美元的市场规模，CAGR达180%。

表6：液态锂离子电池与固态电池的对比

	液态锂离子电池	固态电池
电池结构	正极、电解液、隔膜、负极集流体	正极、固态电解质、负极、集流体
电解质	六氟磷酸锂，PVDF-HFPEC-DMC等	无机电解质: LiPON, Thio-LISICON, LATP等 聚合物电解质: PEO等
优点	①产业成熟 ②电极与电解液接触良好 ③多次循环下电极膨胀可控 ④电解液导电率高	①能量密度高 ②可选材料范围广 ③电化学窗口高 ④安全性更高
缺点	①电解液导致本征安全问题②持续的界面反应降低寿命 ③难以突破能量密度极限 ④工艺复杂提升空间小	①固固接触界面条件差 ②电解质导电率较低 ③成本高

数据来源：《全固态锂电池技术的研究现状与展望》徐晓雄，中国银河证券

固态电解质是破局关键，半固态电池成优选方案

02

固态电解质是最核心关键

- 固态电解质作为两代电池技术间的最大区别，其技术突破难度最大。固态电解质存在三大关键技术难题：
 - 目前固态电解质无法满足室温高导电率 ($> 10^{-3} S/cm$)，限制了离子传输效率，快充性能还无法与电解液比较；
 - 电解液对应的液固界面是完美接触，而固固界面容易导致接触不良，尤其是多次充放电循环后机械应力易导致接触失效；
 - 电解质与电极间的化学、电化学相容性与其他性能难以均衡，尤其是在锂金属负极应用时。
- 固态电解质路线主要有聚合物、氧化物、硫化物，目前氧化物、硫化物发展较快，硫化物导电率上限最高：
 - 聚合物固态电池与现有LIB工艺相似，易借助成熟产业进行大规模制膜，接触性能较好但稳定性不足，但导电率差；
 - 氧化物综合性能好，选择该路线的企业较多，发展较快，但是氧化物电解质与电极的界面接触条件差；
 - 硫化物离子导电率最高，同时原料成本最低，第一性原理计算下最具前景的材料，但其稳定性最差，对生产要求极高；

表7：不同固态电解质的对比

固态电解质类型	主要研究体系	离子电导率	优点	缺点	研究方向
聚合物固态电解质	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	室温： $10^{-7} - 10^{-5} S/cm$ 65 - 78°C： $10^{-4} S/cm$	灵活性好 易大规模制备薄膜 剪切模量低 不与锂金属反应	离子电导率低 氧化电压低 ($< 4V$)	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
氧化物固态电池	非薄膜：钙钛矿型；石榴石型 (LLZO 等)；NASICON 型 (LATP 等)；LISICON 型 薄膜：LiPON 型	$10^{-6} - 10^{-3} S/cm$	化学、电化学稳定性高 机械性能好 电化学氧化电位高	界面接触差	提升电导率：替换元素 或掺杂同种异价元素
硫化物固态电池度	Thio-LiSICON 型 LGPS 型 Li-aegyrodite 型 (锂硫银锗矿类)	$10^{-7} - 10^{-2} S/cm$	电导率高 (媲美液态电 解液) 机械性能好 晶界阻抗低	易氧化 水汽敏感	提高电解质稳定性，降 低生产成本，元素掺杂 发挥各元素协同作用

数据来源：《Recent progress of the solid-state electrolytes for high-energy metal-based batteries》，中国银河证券

锂金属负极应用为战略高地

- 沿用现有负极体系是短期方案，但对提升能量密度帮助不大。石墨负极化学/电化学性能稳定，循环无明显体积变化，产业基础成熟，因此在固态电池发展前期（重点突破电解质）可沿用以降低技术变革成本。但据慕尼黑工业大学研究员Joscha Schnell等（2020）测算，能量密度由正负极决定且固态电解质密度大于电解液，因此固态电池能量密度可能低于成熟的LIB。
- 成功攻克锂金属负极技术将获明显竞争优势。锂金属负极具有能量密度高等优势，目前需解决其稳定性问题；但锂金属负极量产降本空间极大，慕尼黑工业大学研究员Joscha Schnell等（2020）测算锂金属负极固态电池材料成本、加工成本低于其他类型电池，电池总成本较LIB可下降14%。因此掌握该项技术的企业将获得产品性能、成本的双重优势，占据市场战略高地。

图22：不同固态电池负极材料的对比

	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

升级正极锦上添花

- 目前正极体系较完备，固态电解质助力提升工作电压。LIB技术的发展升级重点均来自于正极材料，目前主流正极体系已非常成熟、综合性能突出，固态电池可顺利沿用。得益于固态电解质电压稳定性提升，正极也可替换为高电压的材料（如尖晶石氧化物等），提升电池整体工作电压，带来功率、快充等性能的提升。
- 锂硫电池、锂空气电池是固态技术的星辰大海。在成功应用锂金属负极后，正极可不含锂，故可选范围增加，如能量密度更高、成本更低的硫系材料，甚至无需正极的锂空气电池（理论能量密度极高，3500Wh/kg）。

图23：不同固态电池正极材料的对比

	锰系	铁系	钴系	三元		硫系
	LiMn ₂ O ₄	LiFePO ₄	LiCoO ₂	LiNi _{0.82} Co _{0.15} Al _{0.03} O ₂	LiNi _{0.8} Co _{0.1} Mn _{0.1} O ₂	S ₈
理论质量能量密度 (Wh/kg)	400 差	540 中	570 中	700 非常好	700 非常好	2500 极好
理论体积能量密度 (Wh/L)	1700 差	2000 中	2900 好	3300 非常好	3300 非常好	2800 好
安全性	极好	极好	差	中	中	极好
成本	好	中	极差	差	差	极好
问题	能量密度低 寿命短	能量密度低	钴资源紧缺	热稳定性差 成本高	热稳定性差 成本高	循环寿命短 功率密度小 腐蚀性强

全固态电池挑战重重

- **全固态电池任重而道远，规模量产挑战大。**目前全固态电池研究还处在发展阶段，其基础理论尚未完全成熟，因此还难以指导、支撑其规模化的量产。从材料端看，现存最大两个问题：**未找到综合性能达标固态电解质、未良好解决固固接触界面问题。**从产业链角度看，目前全固态电池的上游材料供应链、匹配新工艺的设备等还不成熟，产业化成本过高；同时由于固态电池体系对现有产业结构冲击较大，如隔膜企业面临严重转型问题，因此全固态电池发展态势还不明朗。

表8：全固态电池发展的现存问题总结及其量产决定因素、标志

全固态电池现存问题总结	固态电池量产决定因素	全固态电池量产标志
<ul style="list-style-type: none">①无机固态电解质及原料尚未量产形成供应链，应用技术不成熟；②全固态电池界面电阻较高，低温性能差；③目前电芯设计解决不了循环过程体积变化的影响；测试需要较高外部压力；④切了目前电极和电芯没有成熟的规模量产设备，还需要时间；⑤全固态电池的BMS与系统集成方案不成熟；⑥全固态电池的应用方案不成熟；⑦全固态电池全寿命周期安全性测试和评价还不完备；⑧标准体系尚未建立；⑨全固态电池性价比不清晰	<ul style="list-style-type: none">①关键的基础科学问题的理解不够全面；②材料和电芯构效关系没有充分理解；③某些性能存在短板；④实验室测试条件偏离实际器件测试条件；⑤工艺难以工程化；⑥和现有最先进技术对标性能没有优势⑦成本太高；⑧存在资源、环保、健康等隐患	<ul style="list-style-type: none">①电芯设计与工艺验证完成；②所有材料都已进入可量产阶段；③制造装备调试完成并可支持大规模量产④BMS和电池包设计定型⑤客户已完成电池包A、B、C样阶段测试，进入SOP；⑥成本核算完成并有竞争力；⑦标准化生产制造体系建立；⑧工厂设计定型供应链初步形成；⑨通过国标测试并形成新国标；⑩相对于液态电解质锂离子电池产品有竞争力；

数据来源：《固态电池》李泓，中国银河证券

半固态电池成为过渡优选方案

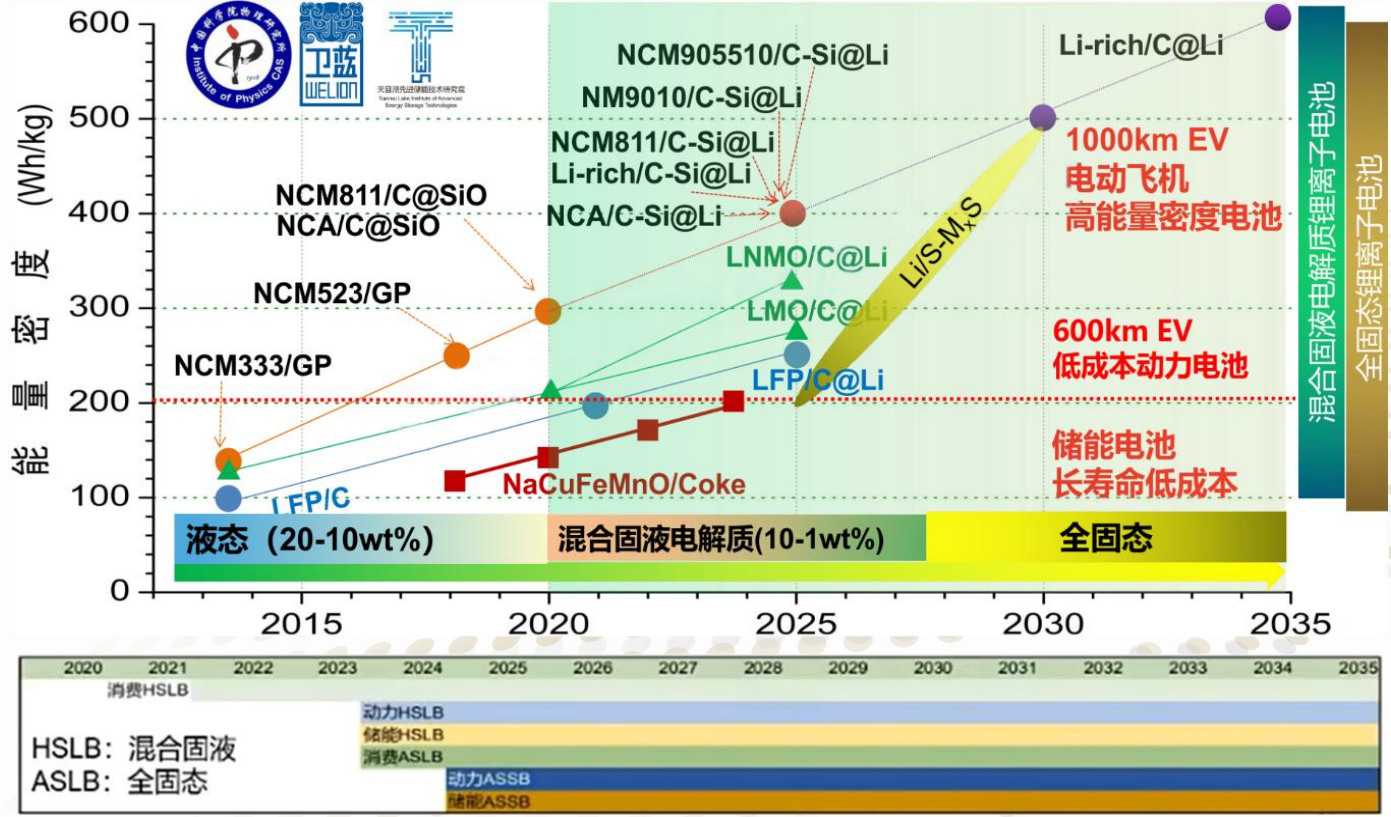
- 半固态电池材料、工艺流程、产线设备与现有体系通用程度高，技术迭代速度快。半固态路线获得了德国弗劳恩霍夫机构、中科院物理所的认可。中科院李泓研究员指出，在半固态电池方案的衔接下，下一代工业4.0级固态理电池产业链有望凭借“80%锂离子电池现有装备/20%新装备+20%已有材料/80%新材料+数字化智能制造技术与数值模拟仿真技术+先进测试和失效分析技术”来打造。据中科院物理所，2022年消费电子级的半固态电池已成功应用，动力/储能级半固态电池有望在2024年迎来应用。

图24：中科院物理所规划的半固态电池-固态电池发展路线

表9：德国科研机构弗劳恩霍夫固态电池发展路线

	正极	负极	电解质	能量密度	电性能	安全性	量产难度	研发进度
LIB	NCM	石墨	液态	250-290Wh/kg	一般	差	成熟	已完成
半固态	NCM	石墨	液态	提升1-4%	好	中	成熟	可量产
准固态	高镍	硅基	固液混合	提升20%	好	中下	中	可量产
固态	高镍	硅基	固态	高	中	高	大	中
Next GEN	Next GEN	硅基	固态	极高	中	高	大	低

数据来源：《Solid-State Battery Roadmap 2035+》，中国银河证券



数据来源：《固态电池》，《面向应用的固态电池研究》，中国银河证券

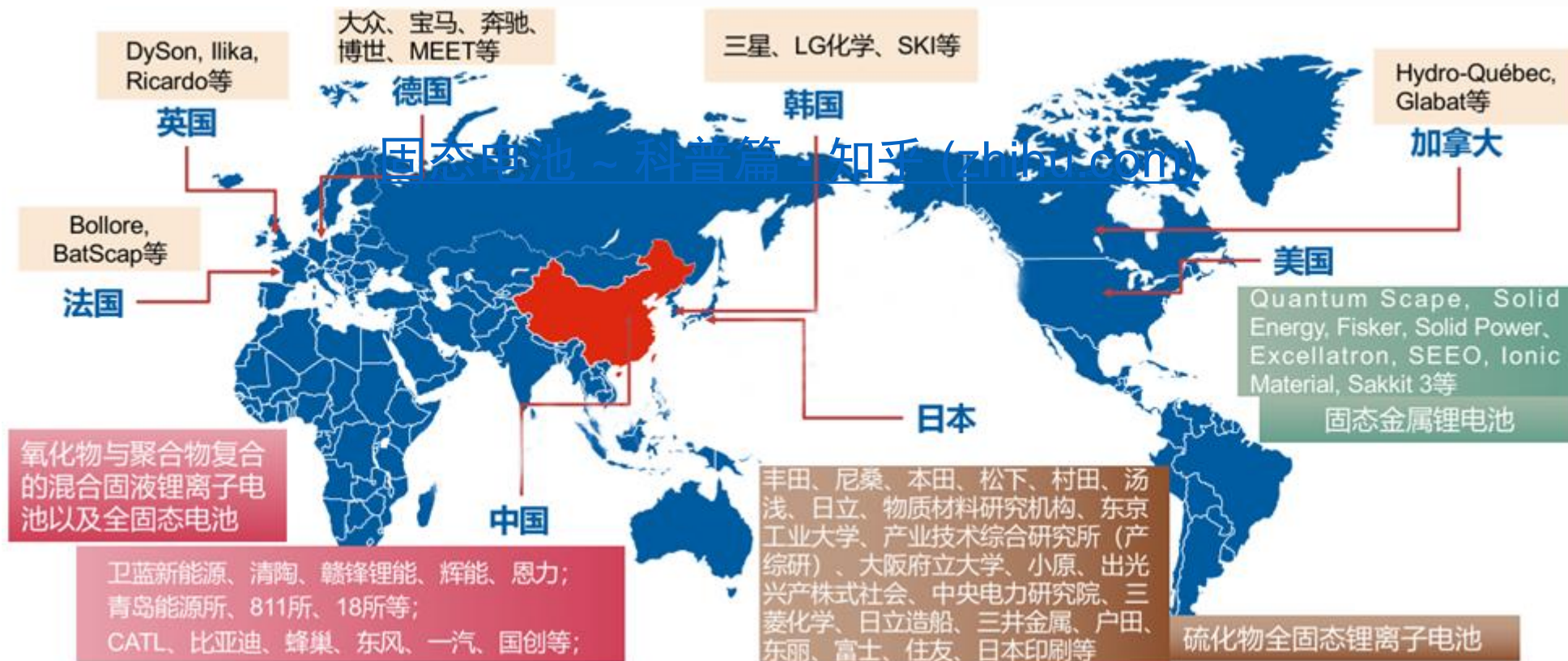
全球加快布局，开发主体、选择路线均存在差异

03

全球广泛布局

- 全球固态电池研发可分为中国、日韩及欧美三个阵营。在技术方向上，日韩起步最早并选择了硫化物固态电解质路线，目前日韩企业持有固态电池专利数全球领先，据Patent Result统计，截止2022年3月末全球专利数排名前十全是日韩企业；欧美选择氧化物固态电解质路线居多，且均在直接开发锂金属负极应用；中国三种固态电解质路线均有布局，在开发全固态电池的同时也在大力发展对现有产业更友好的半固态电池。

图25：全球范围内固态电池参与企业及其技术方向



数据来源：《固态电池》李泓，中国银河证券

日韩最领先，联盟式研发推进

表10：日韩企业固态电池研究进展

丰田	2010-2014年，丰田出现了一波固态电池相关专利申请潮，其主要的精力是集中在对硫化物体系固态电解质进行研究。 2017年，电动市场初具规模，丰田宣布组织200人的团队加快固态电池研发进度。 2019年初，丰田与松下宣布合作，将共同设立开发、生产电动汽车（EV）等车载电池的合资公司，该公司致力于开发、量产固态电池。
NEDO	2018年启用了第二阶段固态锂离子电池项目，旨在2022年全面掌握全固态电池核心技术。
日产	2017年，宣布自研固态动力电池。 2018年，与本田、丰田、松下等日本企业组成“锂电池技术与评估中心”，共同研发固态电池。
现代	2018年，雷诺日产三菱联盟投资固态电池初创公司Ionic Materials。 2017年，宣布正在自主研发固态电池，并已建立中试生产设施。 2020年7月，投资Ionic Materials公司，主要进行固态电池研发工作，预计2025年可实现固态电池量产。
特殊陶业	2017年10月，开发出氧化物系固态电解质材料。 2021年，计划在月面实施全球首个全固态电池的技术实证试验。 2030年，力争实现EV用全固态电池的实际应用。
日本碍子	最初计划面向电子器械、便携设备进行开发。 2025年之前，计划实现EV用全固态电池的商品化。
TDK	2018年11月开发出数毫米见方大小的“芯片型全固态电池”，可反复充电1000次。目前已启动样品供货，正在完善量产体制。 2020年3月宣布开发出一种固态电池，旨在用于耳机等小型可穿戴设备。
日本NEG	2017年11月，试制电极采用晶化玻璃的全固态钠离子蓄电池。自主推动电池产品化，2025年之前投入实际应用。
出光兴产	至2022年3月底，在日本申请全固态电池相关专利数量仅次于丰田和松下，位居第三。以硫化物固态电解质为研究中心。公司原先积累石油精炼领域的处理技术，对于固态电解质原料硫化氢的处理和应用技术具有优势。
佳友化学	开发用于全固态电池、在高压环境下不易故障的镍锰系正极材料，2025年前后有望应用于固态电池。
日本企业联盟	2018年6月，松下、丰田、本田、日产等23家汽车、电池和材料企业，以及京都大学、日本理化学研究所等15家学术机构将在未来5年内联合研发下一代汽车电动车固态锂电池，力争早日应用于新能源汽车产业，计划到2030年前后将固态电池组每千瓦时的成本降至锂电池的30%。
日本LIBTEC	2020年2月，因研发锂离子电池而获得诺贝尔化学奖的吉野彰，发起项目，力争到2023年4月完成面向电动汽车(EV)的全固态电池试制品，本次项目的共同参与者有丰田汽车、松下和旭化成等汽车、电池和材料领域具代表性24家日本企业和机构。
韩国联盟	2018年11月，韩国三大电池企业LG化学、三星SDI和SKI组成联盟，共同开发包括固态电池的下一代电池核心技术。

日韩代表：三星的硫化物全固态锂电池

- 三星选择硫化物全固态电池方向。2020年三星于Nature Energy上公布了其最新的硫化物全固态电池，该电池采用NCM811高镍正极 + 硫化物固态电解质 + 银-碳复合负极的结构，实现了5.8Ah的小容量电芯，该产品能量密度超过400Wh/kg、900Wh/L，循环能力1000周+，同时在210°C热失控测试下依然保持突出的安全性。
- 三星引入了大量新工艺。在电极制备方面，成功应用干法制备正极；在加压方面，成功应用WIP等静压技术实现良好的压实效果；在组装时还采用了压制转印技术，对制造技术提出了更高的要求。

图26：三星硫化物全固态电池示意图

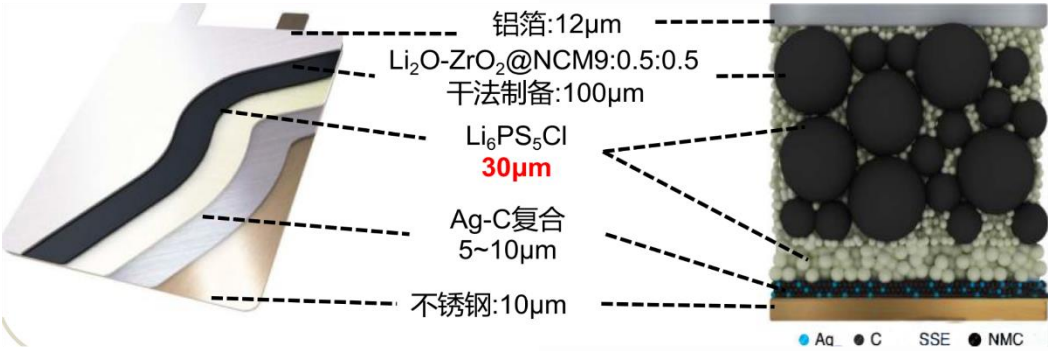
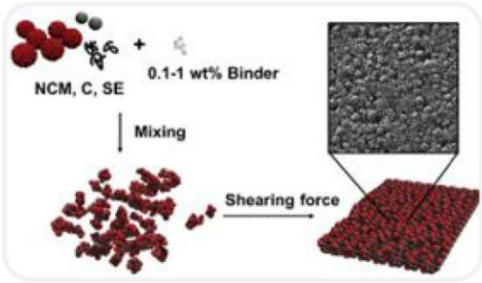
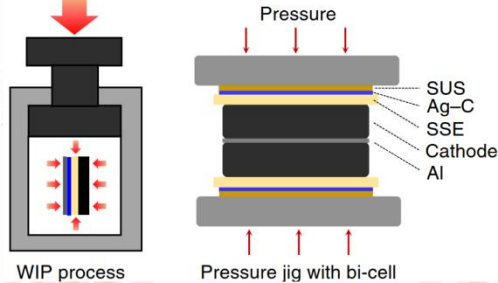


图27：三星固态电池新工艺

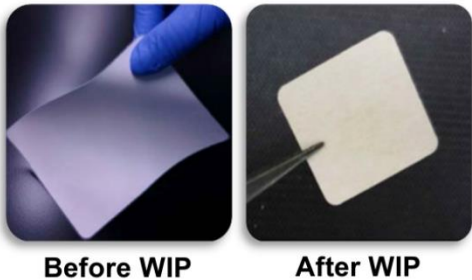
◆ 干法制备正极极片



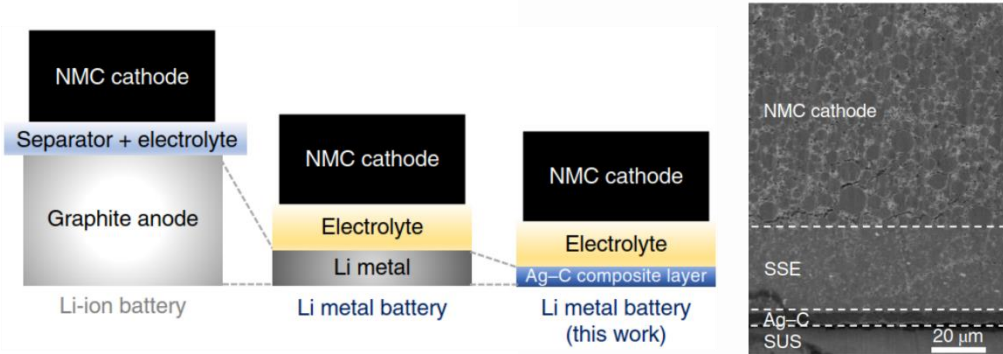
◆ 热等静压技术



◆ 湿法电解质薄膜



◆ 压制转印技术



数据来源：《High-energy long-cycling all-solid-state lithium metal batteries enabled by silver-carbon composite anodes》，中国银河证券

数据来源：公司官网，中国银河证券

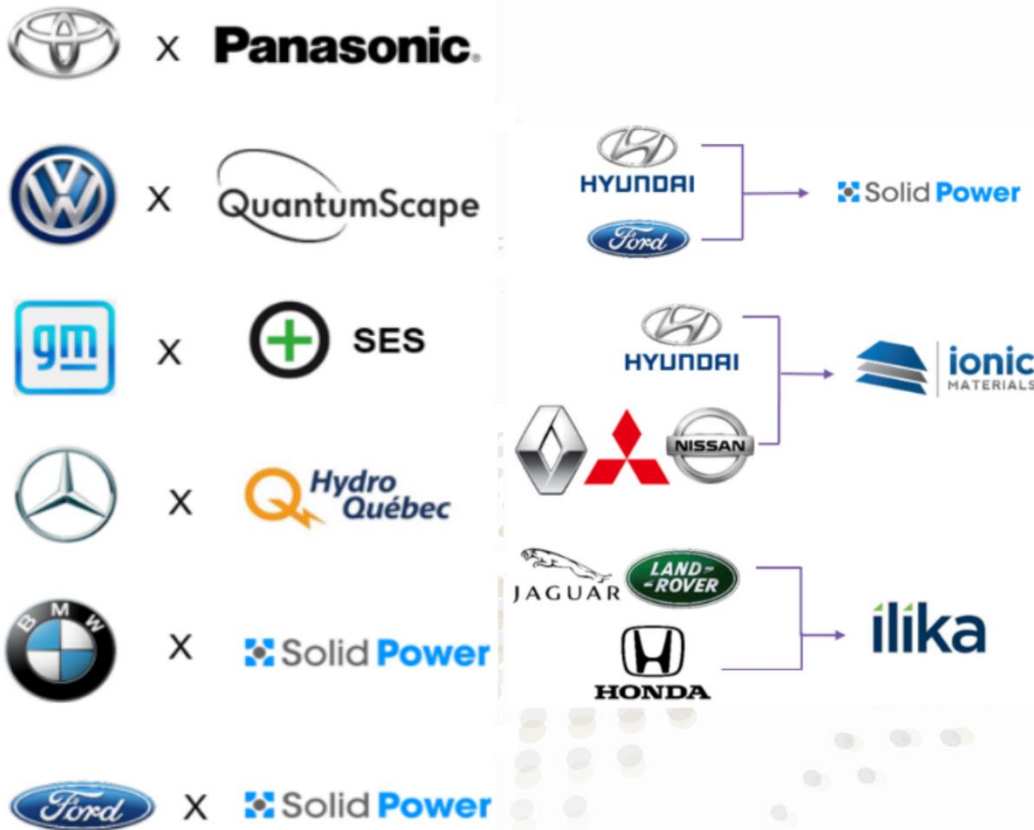
欧美大型车企投资专业主体进行开发

- 与日韩联盟式研发相反，欧美企业主要采取自主研发，大型车企通过投资入局。欧美主要参与玩家有通用、福特、大众、宝马等车企以及Solid Power、Solid Energy Systems、Quantum Space等专业化企业。特斯拉在固态电池布局方面相对较少，更多精力集中于自研自产4680大圆柱电池，马斯克表示短期内固态电池技术不成熟，尚不足以改变其战略倾向。

表11：欧美企业固态电池研究进展

戴森	2015年以9000万美元的价格收购了美国固态电池公司Sakti3。Sakti3是一家专门开发全固态电池的公司，在氧化物固态电解质研发领域处于领先地位。 2016年宣布投资14亿美元建设固态锂电池工厂。
通用	2019年收到美国能源部拨款910万美元，其中200万美元明确用于研究固态电池。 2019年宣布关于固态电池的研发将在美国密歇根州通用汽车的沃伦技术中心进行。
福特	2019年4月联合三星投资了美国固态电池初创公司Solid Power，并宣布与Solid Power正式达成合作，研发下一代电动汽车全固态电池。
雷诺	2025年旗下电动汽车可能会使用钴含量为零的固态电池，由雷诺—日产—三菱联盟投资的电池公司Ionic Materials提供技术支持。
雷卡多	2019年宣布与Llika Technologies公司、英国技术创新中心、本田欧洲研发中心以及英国伦敦大学学院合作Power Drive Line项目。
大众	2018年7月，通过投资QuantumScape来布局固态电池，目标是在2025年前建立固态电池生产线。8月宣布将在欧洲建厂以生产固态电池，计划在2025年以前实现量产。
宝马	一方面在自建电芯研发中心，研发固态电池技术并有望于2026年实现固态电池突破性进展，随后量产，另一方面也积极和Solid Power在固态电池方面展开深度合作，快速提升电池研发能力。

图28：欧美企业合作研发关系



数据来源：《固态电池的开发现状及应用思考》徐航宇，各公司网站，中国银河证券

数据来源：各公司网站，中国银河证券

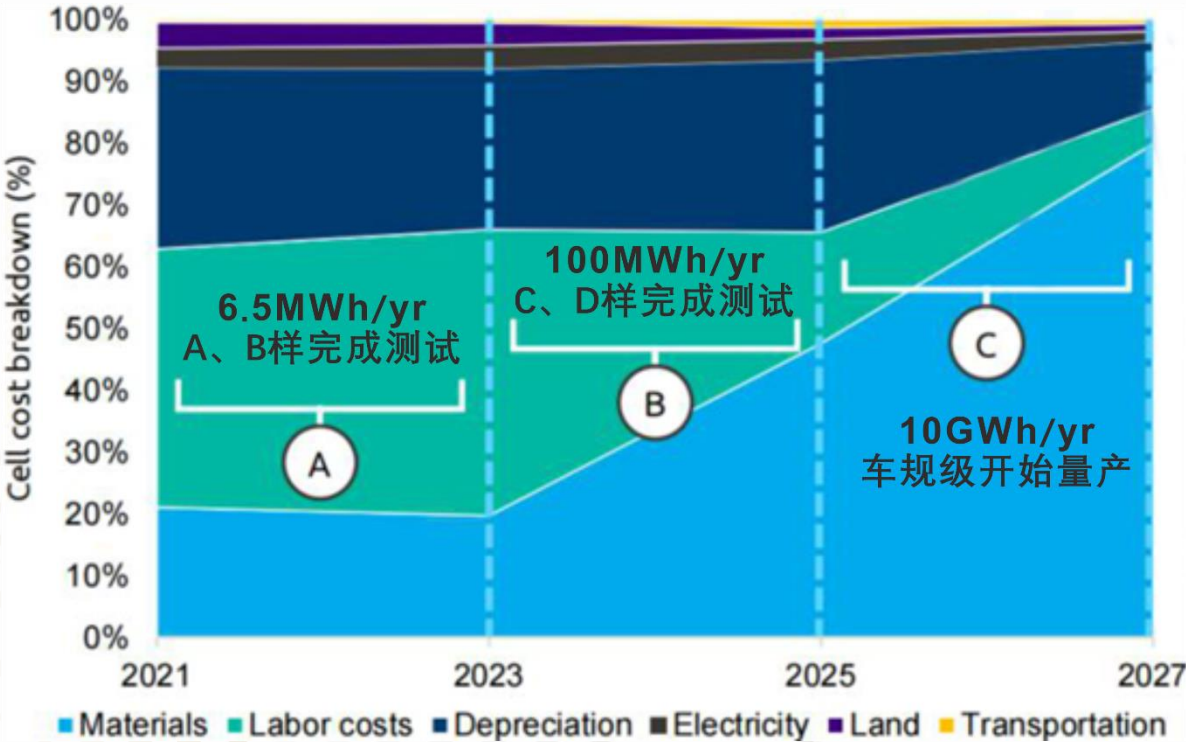
欧美代表：Solid Power的硫化物全固态电池

- Solid Power选择了硫化物固态电解质路线，规划三代电池技术分别为NCM+硅基、NCM+锂金属、复合正极+锂金属。目前公司已获得福特、宝马等大型企业融资，并成功开发出20层20Ah的固态电池，2022年目标开发100Ah车规级电池产品，整体进度处于Pre-A样品阶段，尚不具备大规模量产条件。2019年建成首个6.5MWh工厂，2021年9月开始建设第二个电解质工厂。
- 公司目标2023-2025年实现年产能100MWh的中试线，完成C/D样阶段测试；2025-2027年迅速建设10GWh年产能，并开始车规级电池生产。

图28：Solid Power三代电池技术变化及电池量产目标进度



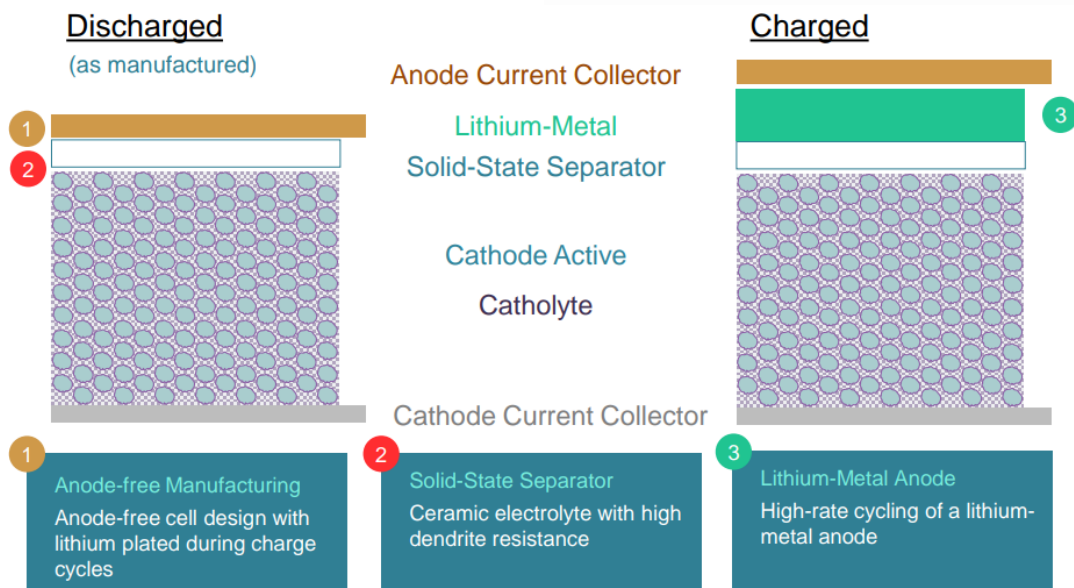
图29：Solid Power成本、产能规划



欧美代表：Quantum Scape的氧化物陶瓷全固态电池

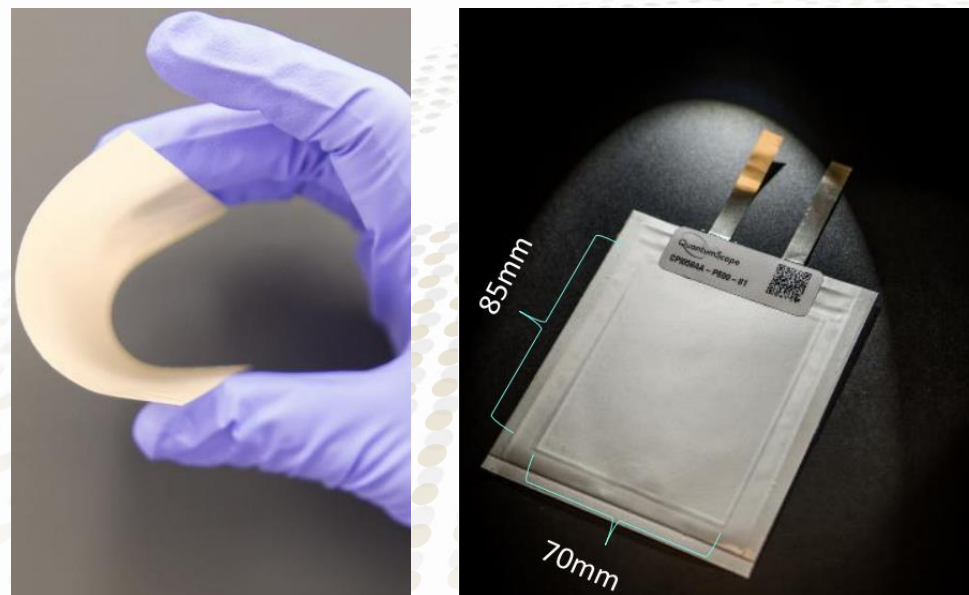
- Quantum Scape背靠斯坦福大学研究团队，大众汽车先后两次向QS投资，已成为其最大股东；公司2019年纽交所上市成为第一家上市的固态电池企业。QS的固态电电池技术有两大亮点：
 - 开发了一种氧化物陶瓷膜来充当正负极间的固态电解质，正极则NCM与聚合物组成的胶状材料；
 - 电池无真正意义的负极，在充电时正极的锂离子穿越陶瓷膜在另一侧汇集形成锂金属负极，放电时锂金属负极消失转移回正极材料中；
- 据CNBS，2022年12月20日公司表示正在向其电动车客户进行A0样测试；在公司的演示材料中，其产品能量密度可达350Wh/kg、1000Wh/L，并已能实现1000次循环下80%+的容量保持率，远超商业化标准，同时实验具备4C倍率快充能力。

图30：QS固态电池充放电过程中锂金属负极的循环



数据来源：公司官网，中国银河证券

图31：QS柔性氧化物陶瓷薄膜（左）与单层固态电池电芯样品（右）



数据来源：公司官网，中国银河证券

- **国内市场活跃。**中国布局固态电池的企业众多，既有传统老牌电池企业，也有上游原材料企业，还有背靠顶级科研院所的专业化固态电池公司。各企业路线选择也非常丰富：硫化物路线代表企业有宁德时代、蜂巢能源等；氧化物路线代表企业有赣锋锂业、辉能科技等；聚合物路线代表企业有卫蓝新能源等。
- **半固态电池依托成熟的LIB产业基础有望弯道超车。**半固态电池材料、工艺体系与LIB兼容性强，而国内拥有全球领先的LIB产业以及庞大下游客户群体，在生产成本、测试速度等方面均与优势明显，半固态电池有望助力国内企业迅速建立前期优势。

表12：中国企业固态电池研究进展

宁德时代	2016年正式宣布在硫化物固态电池上的研发路径。目前容量为325mAh的聚合物锂金属固态电池能量密度达300Wh/kg，可实现300周循环以容量保持率82%。全固态电池还在开发中，预计2030年后实现商品化。
国轩高科	2017年，着手研发固态电池及固态电解质。 2018年2月宣布为满足一线整车品牌合作需求，正与美日相关企业分别开发下一代半固态电池技术的工艺与生产设备。3月，宣布半固态电池技术目前已处于实验室向中试转换阶段。 2019年，推出半固态电池的试生产线。 2022年5月，发布半固态电池，单体能量密度达360Wh/kg，配套电池包达160KWh，续航里程超1000km。预计23年批量交付。
辉能科技	2013年，实现了固态锂电池的商业化量产，早期应用于消费电子领域，近年来应用于新能源汽车领域。 2014年，与手机厂商HTC合作生产了一款采用了固态电池电源，给手机充电的手机保护皮套。 2017年，建成40MWh的中试线，并实现自动化的卷式生产。 2019年，发布Multi Axis BiPolar+ (MAB) 多轴双极封装技术的车用固态电池包。在相同的装车容量下，电池包体积只比传统电池包减小50%，重量减少30%，在模组层面，重量成组效率高达87%，电池包重量成组效率高达80%。 2019年，与蔚来合作，为其定制生产“MAB”固态电池包。与爱驰、天际新能源汽车主机厂签署战略合作协议，并在2020年D轮融资后与一汽集团加强战略合作。 2020年，完成1GWh固态电池产线试产。2021年，建成2GWh固态电池生产示范线。 2022年，公开全球首条固态电池生产线。预计2023年将放量出货电动车应用，2024年实现全固态电池量产。 电池能量密度：质量能量密度达到383Wh/kg，体积能量密度为1025Wh/L，循环500次。固态电池已经克服掉锂枝晶和锂苔的问题，负极完全采用锂金属。

数据来源：《固态电池的开发现状及应用思考》徐航宇，各公司网站，中国银河证券

国内欣欣向荣，飞速发展（续）

表12：中国企业固态电池研究进展(续)

蜂巢能源	2022年，推出国内首批20Ah级硫系全固态原型电芯。
劲能科技	2018年1月，与加拿大魁北克水电集团签署中加全固态锂电池技术合作协议，引进“磷酸亚铁全固态锂电池”，比能量密度达250Wh/kg，循环寿命2000次。未来将与加拿大合作推出350Wh/kg三元全固态锂电池。
万向集团	2017年9月，投资美国Solid Power公司。 2018年2月，万向参投的Solid Power确认与宝马合作，双方将共同研发新一代电动车固态电池技术。 2018年2月，投资美国Ionic Materials公司，该公司研发出的特殊聚合物电解质，可将新型固态电池性能提高到全新水平。 2019年6月，与Ionic Materials共同正式对外宣布，全固态电池研发取得里程碑式进展，并称“这种独特的方法使得全固态电池有望在2022年推向市场”。 2019年，在英国建立了固态电池研发中心，计划2022-2024年实现电池量产。 2020年，和Karma汽车完成了合作签约仪式，为Karma电动汽车提供动力电池（含固态电池）。
卫蓝新能源	2016年，公司成立，依托中国科学院物理研究所，专注于下一代固态锂电池的研发与生产。 2020年，1GWh固态电池生产线建成投产。 2022年，投资100GWh固态锂电池项目。预计5年内半固态电池实现量产，5-10年固态电池实现量产。 2022年4月27日与容百科技签订合作协议，向其采购固态锂电正极材料，同时双方合作开发高镍/超高镍三元正极材料。 目前，北京卫蓝已经研发并掌握了固态电池技术领域的多项关键性技术，包括金属锂表面处理、原位形成SEI膜技术、固态电解质、锂离子快导体制备技术以及高电压电池集成技术、陶瓷膜优化技术和集流体解决方案。目前已有300Wh/kg混合固液锂离子电池。 2022年11月，卫蓝湖州基地第一颗固态动力电芯下线。
清陶新能源	国内较早开展全固态锂电池技术研发的团队之一，由清华大学南策文院士团队创办，在固态锂电池领域，公司申报的专利已近100项。 2018年11月，建成的全国首条固态锂电池产线正式投产，产能规模为0.1GWh，总投资1亿元，已经量产出第一批固态电池产品，目前可日产1万颗电芯，产品主要应用于特种电源、高端数码等领域。 2020年，宜春一期1GWh固态电池产线建成投产。2020年已装车电池能量密度为300Wh/kg。 2022年，10GWh固态电池产业化项目在昆山开工建设，预计2024年建成。 2022年7月18日与当升科技签订战略合作协议，在高容量富锂锰基正极材料、固态锂离子电池及其关键材料等领域加强交流与合作。 目前，清陶能源开发的出全固态电池，单体能量密度可达到430Wh/kg，量产阶段可达到300Wh/g以上。

数据来源：《固态电池的开发现状及应用思考》徐航宇，各公司网站，中国银河证券

国内欣欣向荣，飞速发展（续）

表12：中国企业固态电池研究进展(续)

赣锋锂业	<p>2017年，引进中科院宁波材料所的许晓雄团队，正式切入到固态电池板块。</p> <p>2018年，固态电池的研发取得新突破，同年8月份正式启动2亿Wh固态锂电池中试生产线建设项目。</p> <p>2018年6月，公司第一代固态锂电池单体容量已达到10Ah，能量密度大于240Wh/kg，可实现1000次循环后容量保持率大于90%，同时，电池单体具备5C倍率的充放电能力，目前电池研制品已通过第三方机构安全检测。</p> <p>2019年8月，发布2019年半年度报告，第一代固态锂电池研制品通过多项第三方安全测试和多家客户送样测试。</p> <p>2019年11月，年产0.3GWh第一代固态锂电池研发中试生产线已建成试产。</p> <p>2022年4月，2GWh的固态电池产线建成投产，规划的第一代固态电池产能在22年下半年逐步释放。</p> <p>产品端，第一代混合固液电解质电池产品能量密度达235~280Wh/kg。第二代固态锂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。</p>
天齐锂业	<p>2017年，年报披露公司香港全资子公司使用自有资金1250万美元投入了对固态电池企Solid Energy System的C轮优先股融资，投资后持股比例为11.72%。</p> <p>2018年5月，开始布局固态电池，公司参股公司美国Solid Energy主要开发和生产具有超高能量密度、超薄锂金属电池，开发电解液和负极材料。</p>
中天科技	<p>2015年，中科院青岛能源所与中天科技签约开发高性能全固态锂电池。</p> <p>2016年，青岛能源所全固态锂电池通过深海测试，能量密度翻倍。</p> <p>2018年7月，宣布与中科院等机构进行固态电池技术合作，根据双方签署协议，相关指标符合发展预期。</p>
力神电池	<p>2019年，宣布将聚焦固态电池研发。</p> <p>2022年4月与当升科技签订合作协议，在超高镍正极材料、磷酸锰铁锂正极材料、高容量富锂锰基正极材料、固态锂离子电池及其关键材料、钠离子电池及其关键材料等领域展开合作研发。</p>
中航锂电	<p>目前，固态电池关键技术研究已有重要进展，已制造样品，未来在固态电池领域将加大研发投入。</p>
卡耐新能源	<p>与中科院、哈佛大学、日本佐贺大学等全球知名研究机构及院校深入合作，加速固态电池等前沿技术的研发，目前在固态电池开发已取得突破性进展。</p>
鹏辉能源	<p>目前，公司固态电池处于研发阶段，计划在未来2-3年内推出固态电池产品。</p>

装车在即加速验证

- 国内车企积极推进半固态电池装车试验，凭借性能优势打出差异供给以提升竞争力，2023年有望成为半固态电池装车元年。

表13: 车企固态电池装车进展与规划

时间点	电池类型	车企	进展与规划	供应商
2021.1	半固态	东风汽车	2022年1月，50辆搭载赣锋锂电高比能固态电池的东风E70开启示范运营。	赣锋锂电
2023.1	半固态	东风岚图	1月13日，东风岚图“追光”首批量产车型正式下线，搭载82度电池包，采用能量密度为170Wh/kg的半固态电池，配套岚图自研的“云母”电池系统，公司透露追光首月订单已超1万。	孚能科技
2023	半固态	蔚来	蔚来150度的半固态电池将于2023年上半年推出，搭载于ET7车型。采用卫蓝新能源研发的半固态电池，这款能量密度360 Wh/kg的电池延期至今年上半年完成量产。	卫蓝新能源
2023	半固态	塞力斯	纯电动SUV赛力斯-SERES-5规划于2023年上市，搭载赣锋锂电三元半固态电池。SERES 5搭载的半固态电池为90度电，最大续航里程(WLTP)530km，主攻欧洲市场。	赣锋锂电
2025	半固态	长安深蓝	2022年长安深蓝在第20届广州车展表示开始加速半固态电池研发，预计2025年将搭载整车应用。	/
/	半固态	北汽蓝谷	北汽蓝谷表示多年来一直坚持技术创新，通过前期对于第1/2代半固态电池应用研究，已积累了相关固态电池开发经验。	/
2025	固态	大众	大众集团已向QuantumScape累计投资3亿美元，QuantumScape在2022年向大众交付了第一批A样原型固态电池供测试。按照大众的计划，2025年将建立固态电池量产线。	QuantumScape
2025	固态	宝马	2023年1月公告与Solid Power启动下一阶段全固态电池联合研发。Solid Power将向宝马授权电池设计和制造工艺，助其在慕尼黑建设中试线。2025年前推出首辆原型车，2030年实现全固态电池量产。	Solid Power
2026-2030	固态	丰田	丰田汽车计划2025年推出全固态电混合动力汽车，2030前推出全固态纯电动汽车。2022年，本田汽车决定投资约430亿日元(约22亿人民币)，建设全固态电池示范生产线，预计2024年春季启动，并希望将全固态电池搭载在2026~2030年间推出的车型上。	QuantumScape
2028	固态	奔驰	2023年1月奔驰投资了辉能科技，此前奔驰已投资了美国固态电池公司FactorialEnergy，计划2028年实现固态电池批量生产。	辉能科技 FactorialEnergy
2028	固态	日产	计划2024年在横滨建设固态电池试点工厂，2028年推出全固态电池量产车。2023年2月日产欧洲表示已成功开发全固态电池，目标2025年试生产，2028年生产一款由固态电池驱动的全新电动汽车。	/
/	固态	越南 VinFast	2022年7月辉能科技官宣VinFast对其投资。2024年起辉能将为VinFast供货固态电池。	辉能科技

国内玩家百舸争流，全产业链齐发力

04

- **研究背景强劲。**卫蓝新能源成立于2016年，是中科院物理所清洁能源实验室固态电池技术的唯一产业化平台，由“中国锂电第一人”陈立泉院士（同时也是宁德时代曾毓群的导师）、李泓研究员、原北汽新能源总工程师俞会根共同发起创办。目前公司已拥有北京房山、江苏溧阳、浙江湖州、山东淄博4大生产基地，已获国家授权专利117项，在国内名列前茅。
- **固态电池赛道热门标的引来重磅投资者。**截止2022年底，公司已完成D轮融资，其投资者既有中国诚通混改基金、国投创益基金等国家队，也有天齐锂业、蔚来、吉利等锂电池上下游企业，同时还有小米、华为等大型社会资本。

图32：卫蓝新能源发展历史

<p>1977年</p> <p>陈立泉研究员在德国与Werner Weppner教授一起开展锂离子导体的研究工作</p>	
<p>1980年</p> <p>中国科学院物理研究所成立了固态离子学实验室，这是中国第一个该领域的实验室</p>	
<p>1989年</p> <p>中国第一块全固态锂电池诞生于卫蓝新能源创始人陈立泉院士的团队</p>	
<p>2000年</p> <p>中科院物理所的基础科学研究开始关注纳米离子学，大力研究新材料在固态锂离子动力电池关键技术问题和电池领域相关的基础科学问题</p>	
<p>2017年</p> <p>中科院物理所以固态电池核心技术的知识产权 注资北京卫蓝新能源科技有限公司</p>	
<p>1978年</p> <p>陈立泉研究员回到中国，首次发起并倡导固态金属锂电池的研究和固态离子学的相关基础研究</p>	
<p>1980-1990年</p> <p>中国科学院“六五”和“七五”先后将快离子导体和固态电池列为重点课题</p>	
<p>1992年</p> <p>中科院物理所开始研究锂离子电池相关正极材料技术，以及相关电池技术问题</p>	
<p>2016年</p> <p>北京卫蓝新能源科技有限公司注册成立</p>	

表14：卫蓝新能源历次融资情况

时间	轮次	投资者
2017.7.5	天使	武岳峰资本,腾业创投等
2017.11.15	/	中科院物理研究所
2018.6.11	A	三峡资本,蔚来资本,陆石投资(清研陆石),天齐锂业等
2021.2.26	A+	华融瑞泽,三峡资本,海松资本,复奇投资等
2021.7.19	B	IDG 资本,蔚来资本等
2021.11.26	战略	IDG 资本,顺为资本,小米集团,华为,蔚来资本,允泰资本等
2022.3.28	战略	众擎基金,北京高端制造业基地,顺为资本,哈勃投资(华为旗下),小米长江产业基金,吉利控股等
2022.11.4	D	湖州经开,招商局资本,中国诚通,云和资本,中信建投资本,德屹资本,隐山资本,国投创益等

数据来源：公司官网，中国银河证券

数据来源：iFind，中国银河证券

- **开发原位固态化系统解决方案。**公司核心理念：通过注液保持良好的电解质与电极材料的物理接触，之后通过化学或电化学反应将电解液部分或全部转换为高离子电导固体电解质。该方案能综合平衡高电压、安全性、锂枝晶、体积膨胀、接触内阻等问题的解决。
- **拥有所有关键材料及相关技术包。**基于原位固态化，公司在正极方面开发了正极表面纳米固态电解质包覆技术，在负极方面开发了低膨胀高容量纳米硅碳负极、低膨胀长循环复合金属锂负极技术，在电解质、设备等方面也具有自主研发技术。

图33：卫蓝新能源原位固态化解决方案以及产品

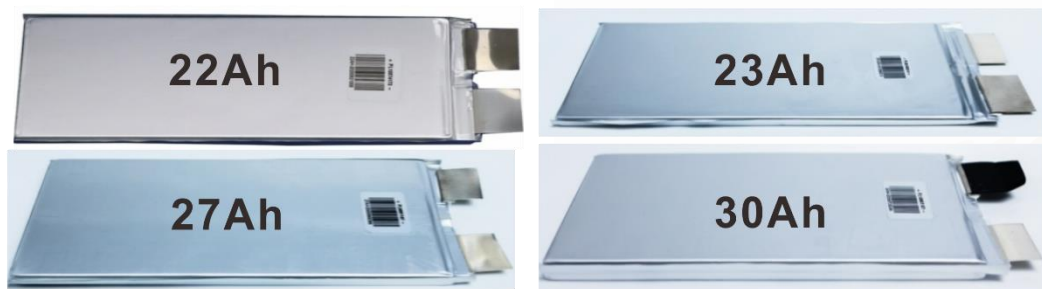


表15：卫蓝新能源原位固态化解决方案

工艺范围	技术	实现效果
正极	正极表面纳米固态电解质包覆技术	让固态电池材料循环过程中更稳定、充电到更高电压
负极	低膨胀高容量纳米硅碳负极技术	让固态电池能量密度更高，全寿命周期体积膨胀更小，循环寿命更长，倍率更好
	低膨胀长循环复合金属锂负极技术	让固态电池能量密度更高，全寿命周期体积膨胀更小，循环寿命更长
固态电解质	纳米固态电解质量产制备技术	让固态电池能在高温状态下工作，显著提升电池安全性
	离子导电膜与固态电解质膜技术	让固态电池电极与隔膜之间界面更加稳定，离子传导更快捷，支持全固态锂电池发展
集流体	改性集流体技术	让固态电池循环过程中不易热失控、更安全、更轻量化
设备端	新型电池装备技术	让固态电池电芯更容易量产 干法电极、预锂化、热复合、固态化成工艺和装备

- 积极与上游材料企业战略合作。**2021年12月当升科技(300073.SZ)公告与公司成功签订战略合作协议,协议规定当升科技为固态电池材料的优先供应商,承诺2022-2025年采购总量不低于2.5万吨固态锂电正极材料;2022年4月容百科技(688005.SH)公告称与公司成功签订战略合作协议,协议规定容百科技作为其高镍三元正极材料的第一供应商,预计2022-2025年采购固态锂电正极材料产品不低于3万吨。据Joscha Schnell等(2020)测算,固态电池技术中材料成本占比可达85%,四大主材降本为固态电池走向产业化的必要条件。因此公司与容百的战略合作可强化稳定供应链体系,完成正极材料布局的第一步。
- 蔚来ET7搭载首款产品。**2022年3月蔚来联合创始人秦力洪表示2023年发布的蔚来ET7将搭载首款150kWh的固态电池,该产品具备单体、系统能量密度350Wh/kg、260Wh/kg,1000km超长续航以及3C快充能力。
- 产能加速建设蓄势待发。**2022年2月公司淄博100GWh固态锂电池项目开工,一期投资102亿元建设年产20GWh生产线。2022年11月公司第一颗固态电池动力电芯成功下线。

表16: 卫蓝新能源与上下游企业合作情况及其产能布局

时间	事件
2022.4	容百科技(688005.SH)发布公告,与卫蓝新能源于近日签订《战略合作协议》,双方将在全/半固态电池和材料领域的战略、技术、产品开发、供应链等开展全面深度合作。
2022.3	中国电动汽车百人会论坛上,首席科学家李泓表示公司正在与蔚来汽车合作,计划基于ET7车型,推出单次充电续航1000公里的混合固液电解质电池,电池包达到150度电,能量密度为360Wh/kg。这款固态电池预计在今年底或明年上半年开始量产。
2022.2	在淄博高新区投资的400亿,100GWH固态锂电池项目开工;一期投资102亿元,年产半固态和全固态电池20GWH。
2021.12	当升科技(300073.SZ)发布公告,宣布与国内固态锂电池产业化龙头北京卫蓝新能源科技有限公司签订战略合作协议,双方决定在固态锂电材料产品供货、技术开发、产能布局等方面建立多层次、全方位的战略合作伙伴关系。
2021.11	与恩捷股份(002812.SZ)、天目先导共同投资13亿元,建设固态电解质涂层隔膜项目。
2020	可量产无人机电池,产能设计2亿瓦时,生产可5C连续放电的270Wh/kg混合固液电池。
2020	已完成300Wh/kg以上高镍三元正极的混合固态电池设计开发,车厂送样测试结果良好,成功通过针刺、挤压、过充、短路等滥用试验,循环寿命达1200次以上。
2019.3	固态电池一期项目奠基,项目总投资5亿元,一期投资1.8亿元,预计20年3月投产后可形成年产1亿瓦时固态电池生产规模。

- **背靠清华大学团队。**清陶（昆山）能源发展股份有限公司成立于2016年，是清华大学南策文院士团队领衔创办的高新技术企业，目前已完成F轮融资，其投资者包括广汽、北汽等大型车企。公司建有国内首条1GWh固态锂电池生产线。2018年公司第一代3C数码固态电池量产。2022年2月公司10GWh固态电池产业化项目在昆山开工。
- **积极与材料供应商积极开展合作。**2022年7月当升科技（300073.SZ）发布公告，与清陶能源签订战略合作协议，双方将在固态锂电正极材料产品供货、固态及半固态电池技术开发、市场资源、产能布局等方面建立战略合作伙伴关系。协议写明，2022-2025年原材料采购量达3万吨固态锂电正极材料。

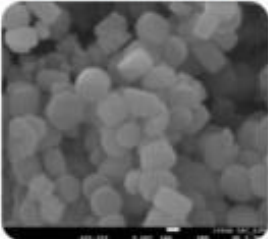
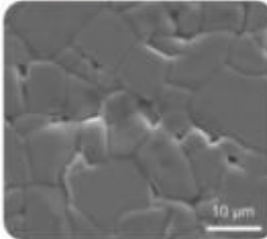

表17：清陶能源发展历程

时间	事件
2021	在国际顶级学术期刊《Nature Reviews Materials》上合作发表论文阐述固态锂电池量产核心技术；QT-360高能量密度固态动力电池通过国家强检认证；完成股份改制；完成F轮融资，本轮融资标志着企业估值迈上百亿新台阶
2020	昆山总部固态电池产业化项目二期主体建设完成。7月，宜春清陶固态动力电池规模化量产线正式投产。国内首台搭载清陶固态动力锂电池的新能源样车在北汽成功下线试行。搭载清陶固态电池系统的哪吒U纯电动样车下线。与合众达成战略合作，强强联合打造高品质安全出行。
2019	清陶昆山总部固态锂电池二期项目开工建设，包括3座0.2GWh的固态锂电池生产厂房和一座清陶研究院。宜春清陶年产10GWh固态锂电池项目开工建设，分两期建设。江苏清荷凹土新材料高值化利用项目全面投产。江苏新鑫辉自动化高端设备项目全面投产。清陶发布四类固态锂电池新产品。
2018	11月清陶国内首条固态电池产线正式投产，产能规模为0.1GWh。清源新材固态电解质材料产业化基地投产。宜春清陶能源项目正式投产。贵州北新项目开工建设。
2017	10月清陶能源二期项目正式投产。北汽新能源与清陶合作，启动固态电池及整车搭载匹配技术研究。
2016	公司正式成立，覆盖固态锂电池、新材料、自动化装备三大板块

- 清陶选择氧化物电解质为主的半固态电池路线。公司半固态电池设计：正极由NCM532、NCM622向高镍单晶NCM811升级，固态电解质选择NaSICON型LATP氧化物电解质并结合了孔洞高分子膜，负极采用C/Si复合负极；为解决接触界面问题，保留约10%的液态电解质组分。其能量密度实现了320Wh/kg、850Wh/L，循环次数超1000次。
- 此外，清陶还进行了隔膜涂布机、间隙涂布机、挤压涂布机、隔膜分条机等锂电池自动化设备的技术储备。

图34：清陶能源技术优势

清陶团队长期从事氧化物体系固态电解质材料研发，布局设备自主开发与制造，引领固态锂电池产业发展

I. 氧化物固态电解质材料	II. 固态电池专用装备	III. 固态电池量产工艺
<ul style="list-style-type: none"> 国内唯一一条氧化物固态电解质材料量产线； 固态锂电池核心材料自主可控。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内唯一一家成功自主开发和生产固态锂电池设备的企业。 	<ul style="list-style-type: none"> 国际领先的固态电池批量生产工艺； 全国第一条固态电池量产线。
		
<p>清陶整合关键材料，核心装备，固态电池工艺，三位一体，技术自主可控，成功开发性能优异的固态锂电池并建设固态电池量产线，占据产业化先发优势</p>		
<p>安全性高</p>	<p>续航里程长</p>	<p>成本低</p>
<p>清陶电池经过穿刺、枪击、剪断，以及两倍电压过充、150℃热冲击等安全测试，均不起火不冒烟。</p>	<p>清陶开发的固态电池能量密度可达400Wh/kg，未来可使电动汽车续航里程超800KM。</p>	<p>相比于液态电池：清陶电池电芯成本持平，制程工艺与热管理系统简化，PACK成本更低。</p>

数据来源：公司演示材料，中国银河证券

- 技术平台：**2017年赣锋锂业通过引进宁波材料所许晓雄博士团队，正式切入固态电池板块。目前与中科院、宁波材料所、江西省智能产业技术创新研究院联合共建固态电解质材料工程研究中心，建设固态电池中试线。
- 解决方案：**第一代产品已成功开发，正在研发第二代半固态电池产品，其正极材料将采用NCM633或高镍单晶NCM811产品，电解质方案采用自研的陶瓷氧化物PEO薄膜，主要是GARNET型和LISICON型氧化物，负极由C/Si向金属锂逐步升级，样品能量密度350Wh/kg、600Wh/L，寿命>300次。
- 产能规划：**1) 江西新余已建2GWh（共5GWh）产能；2) 重庆两江新区20GWh新型锂电池研发及生产基地项目在建；3) 2023年1月与涪陵区人民政府、三峡水利、东方鑫源共同签署投资协议，建设年产24GWh动力电池项目；4) 2023年1月在东莞市投资建设年产10GWh新型锂电池及储能总部项目，产品包括半固态电芯。
- 下游验证：**1) 2019年4月与德国大众签订了战略合作备忘录，在电池回收和固态电池等未来议题上进行合作；2) 2022年1月，首批搭载赣锋固态电池的东风E70完成交付，50台试运营；3) 2022年8月与广汽埃安签署战略合作协议，优先引入赣锋锂电新型电池；4) 2023年2月宣布与赛力斯集团展开深度合作，搭载其产品的SUV赛力斯-SERES-5计划于2023年上市。

表18：赣锋锂业半固态电池产品规划

	组成	材料	能量密度	循环	倍率
一代	正极	NMC 532	240-260Wh/kg	1000-1500次	1C
	电解质	陶瓷氧化物PEO 薄膜，注入20-25%液态成分，三层结构，提高电导率，改善固固接触。			
	负极	石墨或硅碳负极	350Wh/kg	400-500次	2C
	正极	NMC 622 或 NCM811(单晶)			
二代 (当前)	电解质	陶瓷氧化物PEO 薄膜，注入10-15%液态成分，三层结构，提高电导率，改善固固接触。	350Wh/kg	400-500次	2C
	负极	金属锂或锂合金			
三代	正极	未披露	未披露	未披露	未披露
	电解质	未披露			
	负极	金属锂			

- 解决方案：**宁德时代与国内玩家优先采用半固态电池路线相反，其计划直接开发全固态硫化物电解质电池，与日韩企业路线相同，同时持续关注锂硫电池、锂空气电池等高端技术进展。从申请的专利文件看，宁德时代固态电池正极采用改性三元材料，固态电解质为有机溶剂、含硼物质、硫化物电解质组成的改性电解质，负极采用硅碳负极。
- 发展计划：**2021年底宁德时代在问询函的回复公告中指出，第一代电固态电池的能量密度与现有的锂离子电池大致相同，预计将在2025年出现，到2030年其市场份额将接近1%；而具有新型正负极材料的第二代固态电池在2030年后才有可能出现，并在2035年后进入市场。此外，在2023年3月24日公司业绩说明会上，董事长曾毓群表示凝聚态电池可能要比固态电池更先量产（凝聚态电池未披露详细信息），因此宁德时代未来研发重心可能更偏向于凝聚态电池的研发。

表19：宁德时代半固态电池产品规划

	组成	材料	能量密度	循环	倍率
一代	正极	改性三元材料			
	电解质	硫化物电解质	300Wh/kg	300次	未披露
	负极	硅碳（硅含量>10%）			
二代	正极	改性三元材料			
	电解质	硫化物电解质	400Wh/kg	未披露	未披露
	负极	硅碳/金属锂			

数据来源：公司官网，公司演示材料，中国银河证券

图35：宁德时代发布会提出凝聚态电池



数据来源：公司业绩说明会材料，中国银河证券

综述与投资建议

05

- **固态电池具有能量密度更高、安全性更强、工艺更极致等多方面优势，已成为公认的下一代电池技术。**目前固态电池处于早期发展阶段，考虑到当下液态锂离子电池性能还能满足应用需求且具备明显成本优势，在中短期内仍将占据主流。从市场应用的进程看，固态电池将首先应用于消费电子等小容量市场，后逐步向高端、中端电动汽车渗透，最后广泛应用于低端电动车及储能市场。我们预计**2030年左右可研发出可具备大规模商业化的全固态电池**。据SNE research预测，2022年全球固态电池市场规模约将达到约2750万美元，**2030年将形成400亿美元的市场规模，CAGR达180%，市场空间值得期待。**
- **半固态电池是优选过渡方案。**目前全固态电池亟待解决的主要问题：1) 未找到综合性能达标固态电解质；2) 未良好解决固固接触界面问题。而且全固态电池对产业链格局冲击极大，**隔膜环节彻底消失，电解液环节也将面临重大变革。**作为替代性方案，其优势主要体现在：1) 能兼容目前电极、电解液的材料体系，材料创新难度小，研发至试验的进半固态电池（固液混合电解质电池）成为众多企业的过渡优选方案程快；2) 能兼容目前软包电池生产线，对产业冲击更小，技术迭代成本低。
- **全球参与玩家众多，路线各不相同。**日韩企业起步最早目前最领先，专利数量全球包揽全球前10，坚持发展硫化物全固态电池，代表企业有：丰田、三星、松下、出光兴产、住友等。欧美企业相对独立，各大车企（大众、福特、奔驰等）投资专业化固态电池企业为主，大部分走氧化物锂电池路线，代表企业有：Quantum Scape、Solid Power、Solid Energy Systems等。中国企业路线更多，主要走氧化物与聚合物路线，且国内具有全球领先的液态锂离子电池产业，所以大部分发展半固态电池，代表企业有：**卫蓝新能源、清陶能源、辉能科技、赣锋锂业、国轩高科、宁德时代、比亚迪等。**
- **投资策略：**固态电池技术革新覆盖产业各个环节，建议跟踪全产业链进行布局。1) 正负极材料传统体系依旧适用，老牌龙头可通过与电池企业合作继续保持优势，建议关注当升科技（300073）、容百科技（688005）、贝特瑞（835185）、璞泰来（603659）等；2) 电解质是固态电池的核心关键，难度大领域新变数大，研发实力越强的企业潜力越大，同时隔膜企业也有充足动力转型，建议关注多氟多（002407）、星源材质（300568）、上海洗霸（603200）、恩捷股份（002812）等；3) 电池环节各企业布局积极，路线未定胜负未知，弯道超车机会大，建议关注**赣锋锂业（002460）、国轩高科（002074）、宁德时代（300750）、比亚迪（002594）、亿纬锂能（300014）、蜂巢能源等。**

风险提示

06

- 固态电池技术突破、产业化进度不及预期的风险；
- 固态电池市场推广不及预期的风险；
- 固态电池下游需求受政策、国际环境等因素影响增长不及预期的风险；
- 主流液态锂离子电池技术及其他替代性电池技术快速发展，性能超越固态电池的风险；
- 原材料上涨过快导致固态电池成本无法消化的风险

分析师承诺及简介

本人承诺，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本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告的具体推荐或观点直接或间接相关。

周然，工商管理学硕士。2010年11月加盟银河证券研究部，先后从事公用事业、环保、电力设备及新能源行业分析师工作，目前担任电新团队负责人。

2020年、2019年获金融界量化评选最佳分析师第2名；2019年、2016年新财富最佳分析师第9名；2014年卖方分析师水晶球奖第4名；2013年团队获新财富第5名，水晶球奖第5名；2012年新财富第6名。

逻辑分析能力强；对行业景气度及产业链变化理解深入，精准把握周期拐点；拥有成熟的自上而下研究框架；以独特视角甄选成长标的。

曾任职于美国汇思讯（Christensen）的亚利桑纳州总部及北京分部，从事金融咨询（IR）和市场营销的客户主任工作。

☎：(8610) 80927636

✉：zhouan@chinastock.com.cn

分析师登记编码：S0130514020001



评级标准

行业评级体系

未来6-12个月，行业指数(或分析师团队所覆盖公司组成的行业指数)相对于基准指数(交易所指数或市场中主要的指数)

推荐：行业指数超越基准指数平均回报20%及以上。

谨慎推荐：行业指数超越基准指数平均回报。

中性：行业指数与基准指数平均回报相当。

回避：行业指数低于基准指数平均回报10%及以上。

公司评级体系

推荐：指未来6-12个月，公司股价超越分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报20%及以上。

谨慎推荐：指未来6-12个月，公司股价超越分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报10%-20%。

中性：指未来6-12个月，公司股价与分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报相当。

回避：指未来6-12个月，公司股价低于分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报10%及以上。

免责声明

本报告由中国银河证券股份有限公司(以下简称银河证券)向其客户提供。银河证券无需因接收人收到本报告而视其为客户。若您并非银河证券客户中的专业投资者，为保证服务质量、控制投资风险、应首先联系银河证券机构销售部门或客户经理，完成投资者适当性匹配，并充分了解该项服务的性质、特点、使用的注意事项以及若不当使用可能带来的风险或损失。

本报告所载的全部内容只提供给客户做参考之用，并不构成对客户投资咨询建议，并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。客户不应单纯依靠本报告而取代自我独立判断。银河证券认为本报告资料来源是可靠的，所载内容及观点客观公正，但不担保其准确性或完整性。本报告所载内容反映的是银河证券在最初发表本报告日期当日的判断，银河证券可发出其它与本报告所载内容不一致或有不同结论的报告，但银河证券没有义务和责任去及时更新本报告涉及的内容并通知客户。银河证券不对因客户使用本报告而导致的损失负任何责任。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的银河证券网站以外的地址或超级链接，银河证券不对其内容负责。链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

银河证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。银河证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

银河证券已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。除非另有说明，所有本报告的版权属于银河证券。未经银河证券书面授权许可，任何机构或个人不得以任何形式转发、转载、翻版或传播本报告。特提醒公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告。

本报告版权归银河证券所有并保留最终解释权。



谢谢!

创造财富担当责任
股票代码: 601881.SH06881.HK