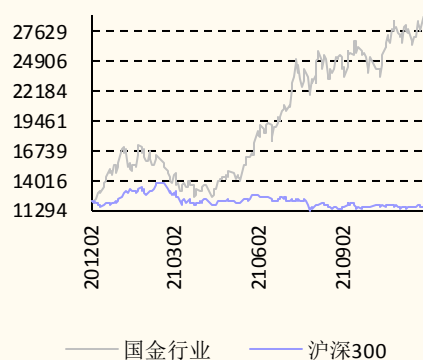


## 市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金动力电池指数	28453
沪深300指数	4856
上证指数	3574
深证成指	14766
中小板综指	14127



## 相关报告

1. 《电动化提速 动力电池种子选手迎高弹性增长-动力电池行业报告》，2021.3.21

## 动力电池安全系列研究（一）： 安全性要求迈向新台阶，催生新兴增量赛道

## 行业观点

- **动力电池安全性要求迈向新台阶，未来电池安全相关的材料与零部件需求将拥有显著超越动力电池行业的增速。**我们认为动力电池行业对安全性的要求将逐步提升，基于三方面原因：（1）需求端，电池安全已成为车企除续航和快充之外的新一轮宣传点；（2）供给端，电池企业为抢占市场份额，避免后期高额赔偿，开发高安全电池已成为业内共识；（3）政策端，安全国标升级，行业监管趋严。因此，考虑到动力电池安全性提升策略包括电芯层面的本征安全、电池系统层面的被动安全与主动安全，随着安全性要求的提升，有望催生新兴增量赛道。
- **电芯层面—材料与工艺并举，降低电芯热失控风险。**单体电芯的本征安全是动力电池安全的基础，主要从材料与工艺两个层面改善，在材料层面提升各电芯材料热稳定性，在工艺层面从设计和制造的角度保证电芯可靠性。（1）材料层面：正极材料中高镍三元复配 10%左右的磷酸铁锰锂（LMFP）、隔膜中湿法涂覆隔膜、电解液中的新型锂盐 LiFSI 代替 LiPF<sub>6</sub> 与有机电解液升级为固态电解质、辅材中复合集流体代替传统集流体均有望改善电池安全，甚至能够助力电池通过严苛的针刺测试。（2）工艺层面：极片边缘涂覆陶瓷与极片整体涂覆陶瓷均有望改善电池安全性。随着电池安全重要性日益提升，相应技术趋势有望加速渗透，相关材料有望迎来高速增长。
- **电池系统层面—被动安全与主动安全并举，降低电池热失控风险。**被动安全的核心是隔热与散热，目前隔热主要依靠气凝胶、防火棉、防火毯等隔热材料，散热主要采用液冷系统与防爆阀等措施。主动安全的核心是电池管理系统（BMS）要准确预测电池状态，目前比较可行的解决方案是提升芯片算力与增加传感器数量。随着电池能量密度持续提升、电压平台逐渐升高、安全重要性日益凸显，被动安全与主动安全相关零部件单车价值量有望呈上升趋势。

## 投资建议

- 我们认为目前市场对动力电池安全赛道的关注度较低，随着电池安全受产业链上下游重视程度的提升，相关企业有望获得显著超越行业增速的增长。从安全改性效果、技术成熟度、单车价值量几个维度综合考虑，建议关注陶瓷涂覆赛道的**壹石通**、复合集流体赛道的**东威科技**、固态电池赛道的**赣锋锂业**、兼顾固态电池赛道与 LMFP 赛道的**国轩高科**、被动安全赛道的**泛亚微透**。

## 风险提示

- 新技术应用不及预期风险、新能源汽车销量不及预期风险、上游原材料涨价风险。

姚遥

分析师 SAC 执业编号：S1130512080001  
(8621)61357595  
yaoy@gjzq.com.cn

## 内容目录

一、动力电池安全性要求迈向新台阶，已成为行业新一轮竞争焦点	4
1.1 行业背景：电池热失控事件频发，倒逼行业重视电池安全	4
1.2 电池热失控机理：电池为什么会发生热失控？	5
1.3 电池热失控解决策略：如何解决电池热失控问题？	6
二、电芯层面：材料与工艺并举，降低电芯热失控风险	6
2.1 正极材料：材料本体改性与材料复配，提升材料热稳定性	6
2.2 隔膜：湿法涂覆隔膜有望成为主流	9
2.3 电解液：添加剂、新型锂盐、固态电池有望改善电池安全	10
2.4 辅材：复合集流体代替传统集流体，有望改善电池安全性	14
2.5 工艺层面：极片表面涂覆陶瓷是一种趋势	17
三、电池系统层面：被动安全与主动安全并举，降低电池热失控风险	18
3.1 被动安全：防止热蔓延，隔热与散热是关键	18
3.2 主动安全：BMS 准确估值，异常状况提前预警	22
四、动力电池安全行业投资建议	23
五、风险提示	24

## 图表目录

图表 1：各车企高安全电池方案发布情况	4
图表 2：动力电池召回事件及赔偿情况	4
图表 3：《电动汽车用动力蓄电池安全要求》标准变迁	5
图表 4：电池热失控诱因总结	5
图表 5：单体电芯热失控演进过程示意图	5
图表 6：动力电池热失控解决策略	6
图表 7：LFP 与三元材料热稳定性对比分析	7
图表 8：不同镍含量三元材料容量与热稳定性关系图	7
图表 9：正极材料本体改性方案简介	7
图表 10：复配不同比例 LMFP 的高镍三元材料热稳定性能测试	8
图表 11：纯 NCM811 电池针刺试验	9
图表 12：复配 20%LMFP 的 NCM811 电池针刺试验	9
图表 13：行业内 LMFP 布局情况	9
图表 14：干/湿法性能比较	10
图表 15：中国干/湿法隔膜出货量（亿平）及湿法占比	10
图表 16：中国基/涂覆膜出货量（亿平）及涂覆占比	10
图表 17：电解液添加剂主要分类	11
图表 18：典型电解液添加剂对比	11

图表 19: LiPF <sub>6</sub> 与 LiFSI 性能参数对比.....	11
图表 20: 行业内新型锂盐 LiFSI 布局情况.....	12
图表 21: 液体电池与固态电池的结构示意图.....	12
图表 22: 固态电池分类.....	13
图表 23: 固态电池发展路径图.....	14
图表 24: 行业内固态电池布局情况.....	14
图表 25: 传统集流体与复合集流体示意图.....	15
图表 26: Soteria 复合集流体基本性能参数.....	16
图表 27: OPPO 夹心电池示意图.....	16
图表 28: 复合集流体技术在冲击测试中的保护作用.....	17
图表 29: 复合集流体技术在针刺过程中的阻断效果.....	17
图表 30: 极片边缘涂覆陶瓷示意图.....	17
图表 31: 三星 SDI 负极陶瓷涂覆极片照片及示意图.....	18
图表 32: 三星 SDI 负极陶瓷涂覆极片剖面图.....	18
图表 33: 电池系统热蔓延的典型阶段及其关键特征.....	19
图表 34: 电池系统隔热解决方案.....	19
图表 35: 广汽“弹匣电池”隔热方案.....	20
图表 36: 电池系统三种主要冷却方式.....	20
图表 37: 电池系统中液冷系统示意图.....	21
图表 38: 电池系统防爆阀与平衡阀示意图.....	21
图表 39: 被动安全相关零部件企业.....	22
图表 40: 广汽弹匣电池—第五代电池管理系统.....	22
图表 41: 60kWh 高镍三元动力电池包各安全改性方案价值量测算.....	24

## 一、动力电池安全性要求迈向新台阶，已成为行业新一轮竞争焦点

- 动力电池性能的发展趋势可分为高比能、高安全、长循环、低成本等几个方面，且各性能之间呈相互制约关系。当下，随着电池系统能量密度从 100Wh/kg 提升至 200Wh/kg 左右，电池包容量由 30kWh 升级至 100kWh 左右，整车电压平台由 400V 提高至 800V，新能源汽车保有量从百万级向千万级迈进，动力电池安全重要性日益凸显，已成为新能源汽车行业新一轮竞争焦点。

### 1.1 行业背景：电池热失控事件频发，倒逼行业重视电池安全

- 据不完全统计，2021 年 1 月至今已发生 50 多起新能源汽车着火事件，绝大部分由电池热失控引起。近年来，新能源汽车安全事故呈递增态势，消费者已由“里程焦虑”转入“安全焦虑”，动力电池安全问题已成为新能源汽车行业发展的拦路虎。通过分析需求端、供给端、政策端三方面因素，我们认为动力电池安全已成为新能源汽车行业新一轮的重点发展方向，未来电池安全相关的材料与零部件拥有广阔的增长空间。
- **（1）需求端：电池安全已成为车企除续航和快充之外的新一轮宣传点。** 下游新能源汽车企业正处于跑马圈地关键期，安全事故对其品牌损伤严重，影响其终端市场份额，倒逼车企重视电池安全。当下，电池安全已成为车企除续航和快充之外的新一轮宣传点，各主流车企均推出了自身高安全电池解决方案。

图表 1：各车企高安全电池方案发布情况

时间	车企	具体内容
2020-03	比亚迪	可通过针刺试验的刀片电池
2020-11	蔚来汽车	无热蔓延安全设计的 100kWh 电池包
2021-03	岚图汽车	“无冒烟、无起火、无爆炸”电池
2021-04	上汽智己	“永不自燃”电池包
2021-04	广汽集团	弹匣电池系统安全技术，实现三元电池包针刺不起火
2021-09	长城汽车	“永不起火、永不爆炸”的大禹电池
2021-09	岚图汽车	“琥珀”及“云母”电池安全技术

来源：公司官网，国金证券研究所

- **（2）供给端：抢占份额，避免赔偿，开发高安全电池已成为业内共识。** 2021 年 10 月，LG 同意向通用汽车支付高达 19 亿美元赔偿，用于召回和维修雪佛兰 Bolt 电动汽车，主要系 LG 电池存在负极极耳断裂和隔膜褶皱两种制造缺陷，导致车辆存在自燃风险。LG 高额赔偿事件为整个行业敲响了警钟，电池企业为进一步提升市场份额，避免后期高额赔偿，开发高安全电池已成为业内共识。

图表 2：动力电池召回事件及赔偿情况

时间	车企	电池企业	赔偿金额	具体内容
2020-10	现代	LG	80 亿元	召回 2.5 万辆 KONA EV 汽车，并更新电池管理软件
2021-02	现代	LG		全球召回 81701 辆电动汽车，主要系存在起火风险
2021-03	北汽	孚能	3000-5000 万元	召回共计 31963 辆 EX360 和 EU400，主要系动力电池系统一致性差异
2021-10	通用	LG	19 亿美元	召回所有 14.2 万台的 Bolt EV，无限期停止销售 Bolt EV 电动车
2020-10	威马	中兴高能	N/A	召回 1282 辆威尔马斯特电动车，主要系电芯存在由杂质导致的析锂起火风险
2021-07	奇瑞	贵博新能	N/A	召回 1407 辆艾瑞泽 5e 电动汽车，主要系动力电池系统一致性差异
2021-07	长城	孚能	N/A	召回共计 16216 辆长城欧拉 IQ 电动汽车，主要系 BMS 问题

来源：国金证券研究所整理

- （3）政策端：安全国标升级，行业监管趋严。**2020年5月12日发布的新版《电动汽车用动力蓄电池安全要求》新增了电池热扩散和过流保护测试项，其中电池热扩散测试要求电池单体发生热失控后，电池系统在5分钟内不得发生起火、爆炸等安全问题，为乘员预留安全逃生时间。与此同时，2020年11月2日国务院办公厅正式印发的《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》相较征求意见稿，新增了“加强对整车及动力电池、电控等关键系统的质量安全管理、安全状态监测和维修保养检测”的描述，释放了强化行业安全管理和监测信息。

图表 3: 《电动汽车用动力蓄电池安全要求》标准变迁

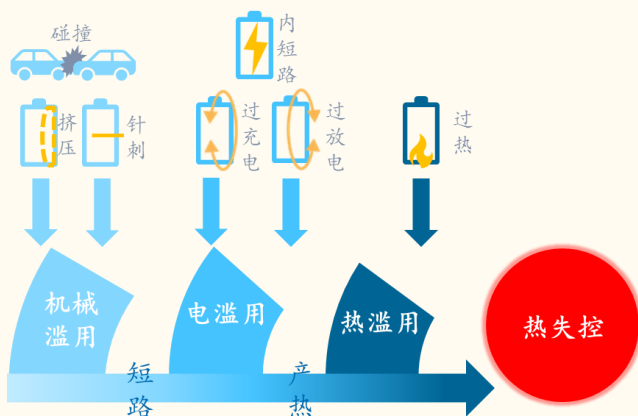
测试类别	测试项	GB/T 31467.3-2015	GB 38031-2020
电池包或系统	热扩散	无	新增电池单体发生热失控后，电池系统在5分钟内不得发生起火、爆炸的要求
	过流保护	无	新增电池系统的过流保护安全要求

来源：知网，国家标准全文公开系统，国金证券研究所

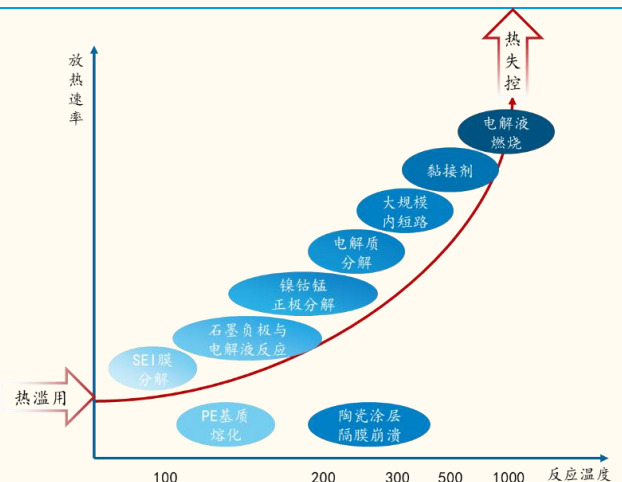
### 1.2 电池热失控机理：电池为什么会发生热失控？

- 电池热失控主要诱因：**根据触发方式，电池热失控诱因可分为机械滥用、电滥用、热滥用三种。（1）**机械滥用：**一般是由电池受力发生机械变形造成的，具体表现为车辆碰撞，以及随之带来的挤压、针刺等情况；（2）**电滥用：**一般由电压管理不当、电器元件故障或制造不良等引起，包括短路、过充、过放等情况；（3）**热滥用：**一般由温度管理不当导致的过热引起。
- 上述3种触发方式之间并非完全独立，机械滥用一般会导致电池隔膜破裂或变形，引起电池正负极直接接触造成内短路，进而出现电滥用。而电滥用伴随焦耳热以及化学反应热的产生，引起电池温度上升，发展为热滥用，进一步触发电池内部的链式产热副反应，最终导致发生热失控。
- 单体电芯热失控机理：**当单体电芯发生热失控时，内部各材料相继发生热分解反应，致使电芯内部温度不可逆地快速升高。具体包括：（1）**第一阶段：**负极副反应首先进行，包括SEI膜的反应与分解，嵌锂负极与电解液反应产生气体；（2）**第二阶段：**隔膜熔融、电芯内部产生大量焦耳热，正极分解、析出氧气，电芯内部气体泄放和加速升温；（3）**第三阶段：**正负极材料与电解液放热反应以及电解液分解反应造成电芯热量急剧增多，引发电芯热失控。

图表 4: 电池热失控诱因总结



图表 5: 单体电芯热失控演进过程示意图

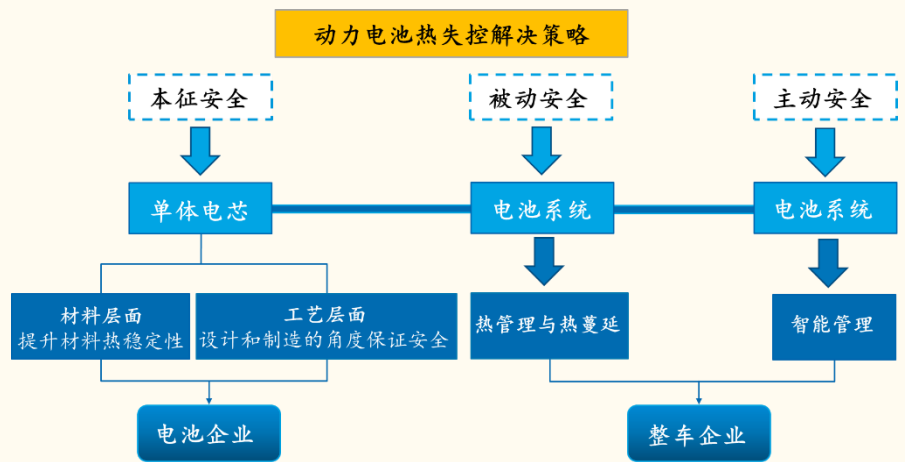


来源：《车用锂离子动力电池热失控诱发与扩展机理、建模与防控》<sup>1</sup>，国金证券 来源：《锂离子电池热失控蔓延研究进展》<sup>2</sup>，国金证券研究所

### 1.3 电池热失控解决策略：如何解决电池热失控问题？

- **本征安全、被动安全、主动安全**是三种常用的电池热失控解决策略。（1）**本征安全**：从单体电芯层面的热失控机理着手，在材料层面提升各电芯材料的热稳定性，在工艺层面从设计和制造的角度保证电芯可靠性，本征安全是电池安全的基础；（2）**被动安全**：在某一单体电芯热失控以后，通过系统热管理，即隔热与散热的方法，抑制它的蔓延速度，防止整个电池包发生热失控；（3）**主动安全**：主要是电池智能管理，即通过 BMS、大数据等技术对热失控进行提前预警。其中本征安全属于电芯层面的防护，而被动安全和主动安全属于电池系统层面的防护。目前行业内动力电池安全的改善分工为电池企业从单体电芯层面改善，整车企业从电池系统层面改善。

图表 6：动力电池热失控解决策略



来源：国金证券研究所

## 二、电芯层面：材料与工艺并举，降低电芯热失控风险

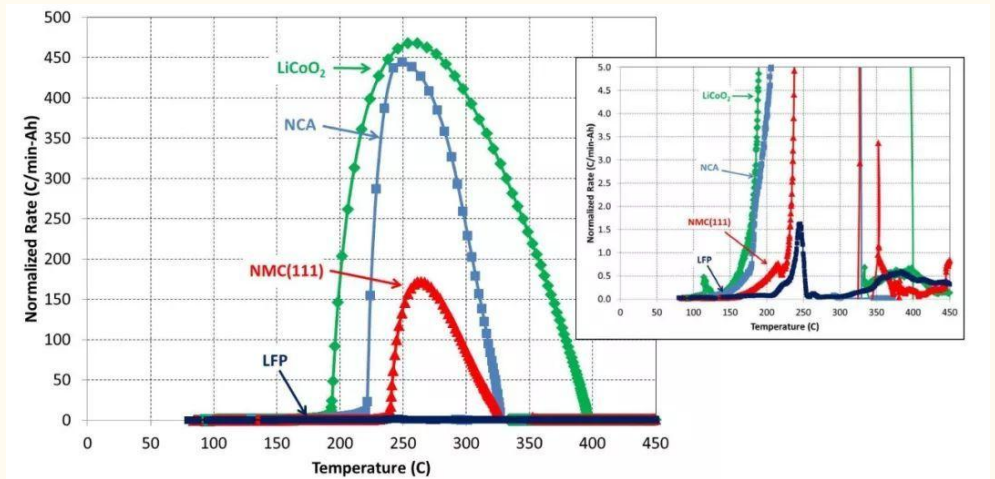
### 2.1 正极材料：材料本体改性与材料复配，提升材料热稳定性

- **本体材料**：磷酸铁锂热稳定性优于三元，低镍三元热稳定性优于高镍三元。正极材料热稳定性与其晶体结构稳定性密切相关。目前动力电池领域主流的正极材料分为磷酸铁锂（LFP）与三元材料两种，其中 LFP 属于典型的橄榄石结构材料，锂离子完全脱出并不会造成橄榄石结构的破坏，而三元材料是典型  $\alpha\text{-NaFeO}_2$  层状结构，在锂离子脱嵌过程中容易造成层状结构的坍塌，因此磷酸铁锂热稳定性优于三元材料。同时三元材料中，随着镍含量提升，其比容量和能量密度逐渐增加，但材料锂镍混排加剧，晶体结构相变趋于严重，造成其晶体结构稳定性变差，进而导致其热稳定性下降，因此低镍三元热稳定性优于高镍三元。短期而言，磷酸铁锂的高安全性有利于其市场份额的提升。远期而言，随着技术进步，三元材料安全性能短板有望改善，其与 LFP 安全性能的差距有望缩短。

<sup>1</sup> 冯旭宁.(2016).博士学位论文,清华大学.

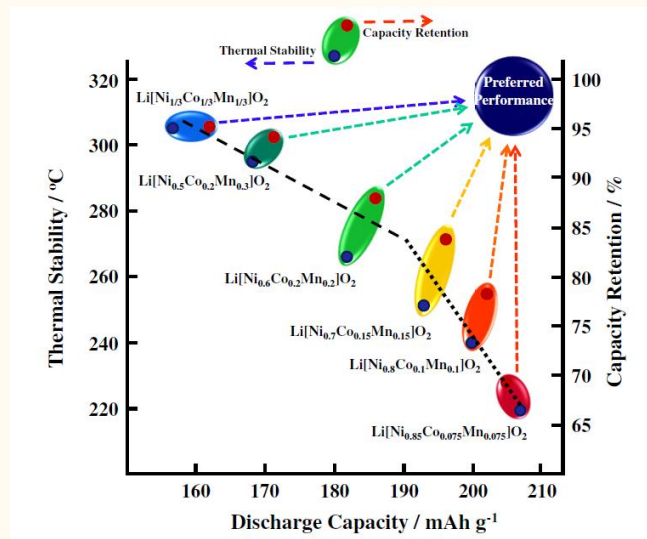
<sup>2</sup> 陈天雨等.(2018). 储能科学与技术(06),1030-1039.

图表 7: LFP 与三元材料热稳定性对比分析



来源：锂电前沿，国金证券研究所

图表 8: 不同镍含量三元材料容量与热稳定性关系图



来源：《Comparison of the structural and electrochemical properties of layered Li[Ni<sub>x</sub>Co<sub>y</sub>Mn<sub>z</sub>]O<sub>2</sub> cathode material for lithium-ion batteries》<sup>3</sup>，国金证券研究所

- 本体材料改性：表面包覆、元素掺杂、单晶化是正极材料安全改性的重要途径，利好拥有技术优势的企业。正极材料受热易分解以及正极与电解液之间的副反应是造成电芯热失控的主要原因之一，其核心解决方案是提升正极材料的热稳定性。目前行业内一般通过表面包覆减少正极与电解液之间的副反应，通过元素掺杂、单晶化提升正极材料的晶体结构稳定性，进而提升正极材料的热稳定性。随着电池安全重要性日益提升，电池企业对正极材料的要求将逐渐提升，利好拥有技术优势的企业，建议关注正极行业的龙头企业如容百科技、当升科技、德方纳米等。

图表 9: 正极材料本体改性方案简介

改性方案	具体内容
表面包覆	在材料表面包覆一层纳米物质，减少其与电解液之间的副反应

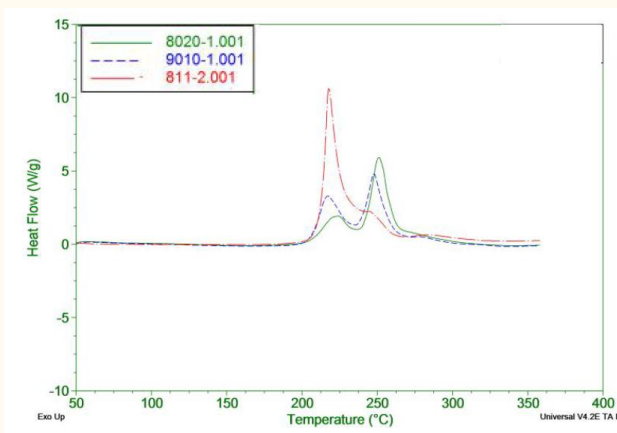
<sup>3</sup> Hy ung-Joo Noh, etc.(2013). Journal of Power Sources, doi:10.1016/j.jpowsour.2013.01.063.

改性方案	具体内容
元素掺杂	在材料晶格中掺杂其他元素，起到增强化学键键合能力，提高晶体结构稳定性的作用
单晶化	单晶材料由于颗粒均一，各向异性好，拥有较高的机械应力和耐压性，从而提升其热稳定性

来源：国金证券研究所整理

- **材料复配：高镍三元复配磷酸铁锰锂（LMFP）有望解决其安全问题。** LMFP 具有与磷酸铁锂（LFP）相同的橄榄石结构，因此同样拥有较佳的热稳定性。同时，LMFP 具有与 LFP 相近的放电比容量，但其电压平台为 4.0V 左右，高于 LFP 的 3.4V 左右，因此其能量密度较 LFP 高 15~20% 左右。由于 LMFP 拥有高安全属性和三元相近的电压平台，在高镍三元中复配 10%~20% 左右的 LMFP，有望在保证高能量密度性能的前提下，改善安全性（LFP 电压平台显著低于三元材料的 3.7V，导致 LFP 与三元材料的复配效果不理想）。复配不同比例 LMFP 的高镍三元材料热稳定性测试结果显示，纯 NCM811 材料热分解温度是 217℃ 左右，释放总能量约为 2362J/g；当复配 10%LMFP 之后，NCM811 材料出现两个热分解温度，分别为 217℃、248℃，根据放热峰的面积判断，大部分热量在 248℃ 左右释放，释放总能量约为 2003 J/g，相较纯 NCM811 材料下降 15% 左右；当 LMFP 复配比例由 10% 提升至 20% 时，改善效果更明显，复配 20%LMFP 的 NCM811 电池可通过针刺试验，且针刺过程中的最高温度由纯 NCM811 电池的 576.2℃ 下降至 54.5℃，降幅显著。

图表 10：复配不同比例 LMFP 的高镍三元材料热稳定性测试

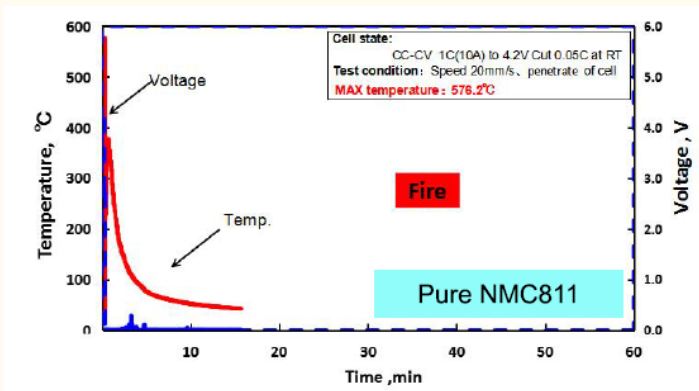


材料	波峰温度1 (°C)	波峰温度2 (°C)	热量 (J/g)
NMC811	217	/	2362
90%NMC811 +10%LMFP	217	248	2003
80%NMC811 +20%LMFP	224	252	1800

来源：上海华谊，国金证券研究所

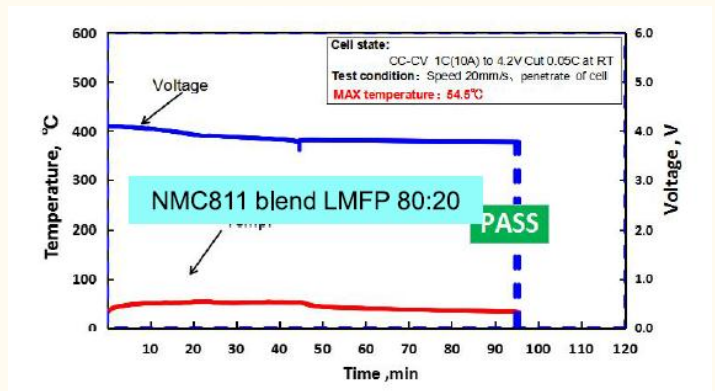


图表 11: 纯 NCM811 电池针刺试验



来源: 上海华谊, 国金证券研究所

图表 12: 复配 20%LMFP 的 NCM811 电池针刺试验



来源: 上海华谊, 国金证券研究所

- **相关企业:** 短期来看, 相较 LFP 而言, LMFP 成本较高、循环性能较差、压实密度较低, 因此只能作为三元材料的安全辅材应用。随着电池安全的重要性日益提升, 未来 2~3 年内, LMFP 有望受益于高镍三元安全赛道而放量。远期来看, 随着 LMFP 成本下降, 循环性能改善, 有望完成从辅材到主材 (代替 LFP) 的升级过程, 建议关注已布局 LMFP 的企业, 如德方纳米、国轩高科、当升科技等。

图表 13: 行业内 LMFP 布局情况

企业	布局情况
宁德时代	15 年、17 年申请 LMFP 相关专利; 公开的技术路线布局中有涉及 LMFP
国轩高科	15 年自研“15Ah 方形 LMFP 离子蓄电池”; 16 年申请了较多 LMFP 相关专利
德方纳米	拟建设年产 10 万吨新型磷酸盐系正极材料生产基地项目
当升科技	21 年中报披露公司正在开发高性能的 LMFP 材料
鹏欣资源	持有 23%江苏力泰锂电股权; 后者目前 LMFP 产能 0.2 万吨; 21 年 9 月-22 年 3 月, 计划新增 0.3 万吨 LMFP 产能; 22 年 11 月预计新增 0.2 万吨 LMFP 前驱体产能
华谊集团	子公司上海华谊新材料 19 年投产 0.1 万吨
百川股份	20 年相关项目规划 1.5 万吨 LMFP
天能股份	20 年研发 18650 圆柱锂电池 LMFP 磷酸铁锰锂电芯, 21 年开始试制样品
光华科技	17 年开展 LMFP 项目

来源: 公司公告, 公司官网, 高工锂电, 国金证券研究所

## 2.2 隔膜: 湿法涂覆隔膜有望成为主流

- **干法 VS 湿法: 湿法隔膜有望成为主流。** 按制造工艺分类, 隔膜可以分为干法隔膜与湿法隔膜。虽然湿法隔膜生产工艺更为复杂, 生产成本相对较高, 但从产品性能而言, 湿法隔膜优于干法隔膜, 主要体现在以下方面: (1) **耐大电流性能:** 湿法隔膜孔径均匀且较小, 可以耐大电流充放; (2) **力学性能层面:** 湿法生产工艺, 可制备出具有较高纵向和横向拉伸强度的隔膜; (3) **能量密度层面:** 湿法隔膜厚度更薄, 有利于提高电池能量密度; (4) **电导率层面:** 湿法隔膜与干法隔膜的主要原材料分别为聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP), PE 的亲液性强于 PP, 进而导致湿法隔膜的电导率高于干法隔膜。因此, 相对干法隔膜, 湿法隔膜在性能与安全性方面均有优势。目前, 三元动力电池基本采用湿法隔膜, 部分 LFP 动力电池也逐渐由干法转向湿法。远期来看, 湿法隔膜兼具高比能与高安全属性, 叠加其成本与干法隔膜逐步缩小, 未来湿法隔膜有望成为主流。

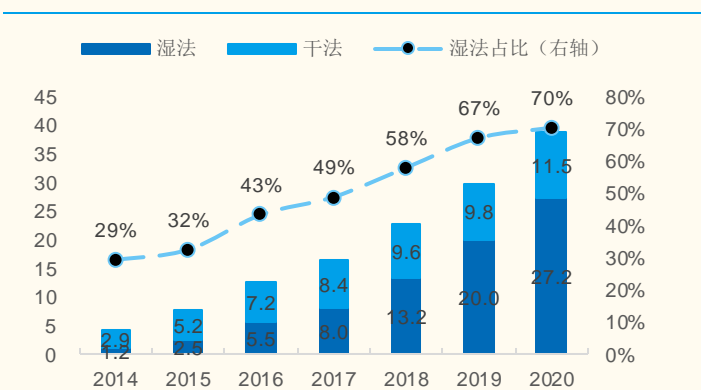
图表 14: 干/湿法性能比较

项目	干法工艺	湿法工艺	备注
生产方式	单向拉伸 双向拉伸	异步拉伸 同步拉伸	-
工艺原理	晶片分离 晶型转换	热致相分离法	-
厚度	20-50 μm	5-10 μm	厚度小可以降低内阻, 提高电池密度
孔径分布	0.01-0.3 μm	0.01-0.1 μm	孔径分布窄, 通透性好
孔隙率	30-40%	35-45%	孔隙率尽量大
闭孔温度	145℃	130℃	防止电池过热
熔断温度	170℃	150℃	防止熔化造成短路
穿刺强度	200-400 gf	300-550 gf	防止刺穿造成短路
横向拉伸强度	<100 MPa	130-150 MPa	足够的拉伸强度
纵向拉伸强度	130-160 MPa	140-160 MPa	
横向热收缩 (120℃)	<1%	<6%	较小的收缩率
纵向热收缩 (120℃)	<3%	<3%	

来源: 新材料在线, 国金证券研究所

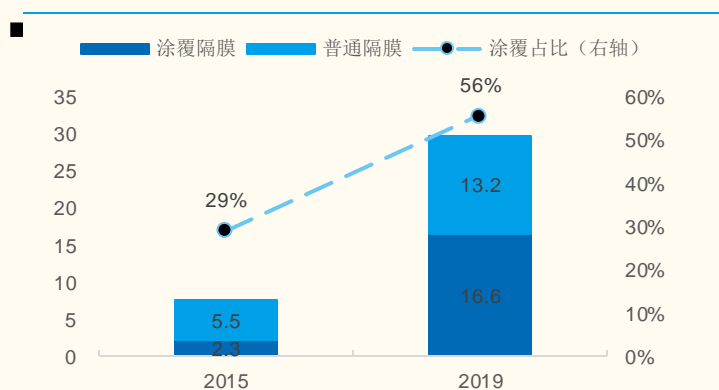
- **基膜 VS 涂覆隔膜: 涂覆隔膜有望成为主流。**由于隔膜主要原材料 PE 和 PP 的热变形温度较低, 温度过高时隔膜热收缩严重, 容易导致电池正负极接触而出现短路, 进而导致电池发生热失控。为了改善隔膜热稳定性, 通常在隔膜表面涂上一层耐高温的涂覆材料, 可以改善隔膜热收缩性能, 同时可提高隔膜穿刺强度, 防止锂枝晶刺穿, 从而提升电池安全性。随着电池安全重要性日益提升, 涂覆隔膜有望成为主流。

图表 15: 中国干/湿法隔膜出货量 (亿平) 及湿法占比



来源: EVTank, 国金证券研究所

图表 16: 中国基/涂覆膜出货量 (亿平) 及涂覆占比



来源: GGII, EVTank, 国金证券研究所

- **相关企业:** 建议关注湿法隔膜龙头企业一恩捷股份, 同时建议关注涂覆材料相关企业如壹石通等。

### 2.3 电解液: 添加剂、新型锂盐、固态电池有望改善电池安全

- **常规电解液: 易分解, 易发生副反应, 因而存在安全隐患。**电解液一般由有机溶剂、电解质锂盐和添加剂组成, 其作用是在电池正负极之间形成优良的离子导电通道, 目前商业化常用的有机溶剂为碳酸酯类有机溶剂, 锂盐为 LiPF<sub>6</sub>。由于碳酸酯类有机溶剂燃点较低 (<160℃)、极性较强, 因此受热易分解, 同时易与正负极之间发生副反应, 进而导致电池热失控。
- **添加剂: 各类添加剂可以改善电解液安全, 其种类与用量呈上升趋势。**虽然添加剂用量仅占电解液质量的 3%~5%, 但可明显改善电解液性能, 具有用量少、效率高的优势。按功能分类, 添加剂可分为成膜、阻燃、过充

保护、其他添加剂，如过充保护添加剂通过防止因过充引起的电解液燃烧、爆炸等，进而提升电解液安全性能。

图表 17: 电解液添加剂主要分类

分类	作用	代表品类
成膜添加剂	形成 SEI 膜，提高电极循环性能及使用寿命	VC、FEC
阻燃添加剂	防止电解液燃烧，提升安全性能	FEC、TFP
过冲保护添加剂	防止因过冲引起的电解液燃烧、爆炸等	VC、CHB
其他添加剂	提升低温性能、热稳定性、导电性、去杂质等	PS、DTD

来源：头豹研究院，国金证券研究所

- 目前应用最广泛的添加剂主要有：VC、FEC、PS、DTD 等。随着动力电池往高安全、高比能等方向发展，对添加剂的要求将越来越高，其种类与用量有望呈上升趋势。

图表 18: 典型电解液添加剂对比

名称	碳酸亚乙烯酯	氟代碳酸乙烯酯	1,3-丙磺酸内酯	硫酸亚乙酯
简称	VC	FEC	PS	DTD
种类	成膜添加剂 过冲保护剂	成膜添加剂 阻燃剂 锂枝晶抑制剂	高温型添加剂	高温型添加剂
改善方面	电极可逆容量和稳定性 循环寿命、高低温性能	电池容量 低温性能 安全性能	安全性能 电池循环性能	高温循环和储存性能 低温放电性能
优点	成熟度高 综合效果理想 应用广泛	生成膜性能好 改善方面多样	成本低廉 抑制电池产气效果好	安全性好 解决电池胀气效果好
缺点	成膜后阻碍电荷传输从而降低倍率性能、生产安全性较低	使用过程容易导致电池循环寿命降低	使用安全性差 (潜在致癌风险)	价格高昂

来源：头豹研究院，国金证券研究所

- 新型锂盐：LiFSI 代替 LiPF<sub>6</sub>，有望改善电池安全性。**传统锂盐 LiPF<sub>6</sub> 存在明显缺陷：(1) **不稳定**：LiPF<sub>6</sub> 是化学和热力学不稳定的，即使在常温下也会发生分解反应，生产气相产物 PF<sub>5</sub>，进而降低电池安全性；(2) **易水解**：LiPF<sub>6</sub> 对比较敏感，痕量水存在就会导致 LiPF<sub>6</sub> 分解产生 HF，进行腐蚀电极与集流体，严重影响电池电化学性能与安全性能。新型锂盐 LiFSI 因其良好的结构稳定性和电化学性能，有望逐步取代 LiPF<sub>6</sub> 来改善电池安全性能。与 LiPF<sub>6</sub> 相比，LiFSI 具有以下优势：(1) **热稳定性强**：当温度大于 200℃ 时，LiFSI 仍能够稳定存在，不发生分解，热稳定性较好；(2) **电导率高**：LiFSI 阴离子半径更大，更易于解离出锂离子，进而提高电池电导率；(3) **抑制气胀**：LiFSI 具有优良的化学稳定性，且其与正负极材料之间保持着良好的相容性，副反应较少，因而产气较少。

图表 19: LiPF<sub>6</sub> 与 LiFSI 性能参数对比

分类	六氟磷酸锂	双氟磺酰亚胺锂
	化学式	LiPF <sub>6</sub>
	热分解温度	125℃
	氧化电压	< 4.5V
基本物性	溶解性	易水解，产生 HF
	电导率	尚可
	热稳定性	差
	化学稳定性	较稳定
	低温性能	一般
电池性能	循环寿命	一般
		长

	耐高温性能	差	好
	气胀	会发生气胀	抑制气胀
工艺成本	合成工艺	简单	复杂
	成本	低	高

来源：头豹研究院，国金证券研究所

- **相关企业：**以前，因 LiFSI 制备工艺复杂、技术壁垒高，导致其成本明显高于  $\text{LiPF}_6$ ，因此只能作为添加剂使用，以弥补传统锂盐的部分性能缺陷。当下，随着供需错配导致  $\text{LiPF}_6$  成本快速攀升， $\text{LiPF}_6$  成本已与 LiFSI 基本持平，不再具备成本优势，因此 LiFSI 迎来新的发展机遇。我们认为随着动力电池对安全、电化学性能要求越来越高，叠加其成本与  $\text{LiPF}_6$  差距逐渐缩小、规模有序扩大，LiFSI 有望加速渗透，添加比例（LiFSI/总锂盐）有望由目前的 3-5% 提升至 50% 左右。建议关注未来 LiFSI 有望放量的企业，如天赐材料、永太科技等。

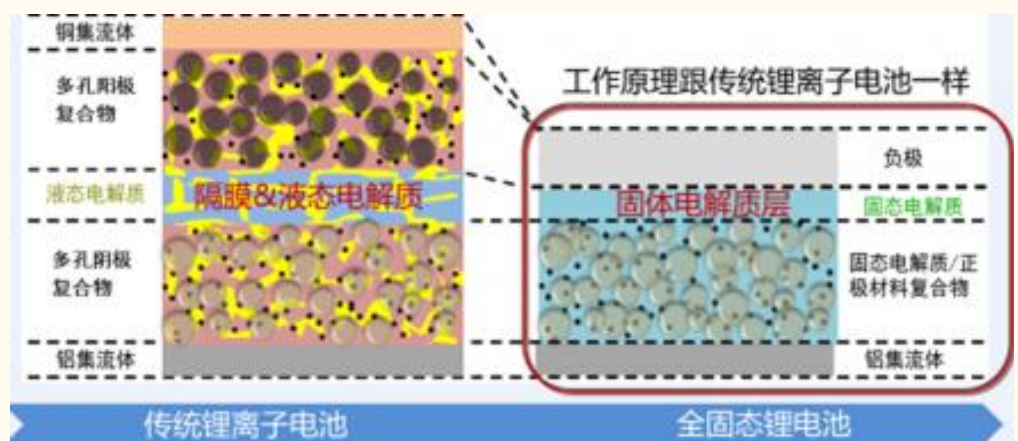
图表 20：行业内新型锂盐 LiFSI 布局情况

企业	布局情况
天赐材料	已拥有 2300 吨 LiFSI 产能，4000 吨募投项目将于今年投产，并计划扩产 50000 吨
永太科技	已有 500 吨产能，计划扩产 1500 吨，同时计划扩产 67000 吨液态产能，折固 20000 吨
新宙邦	目前公司有少量产能，在建 2400 吨产能，预计明年年初投产 1200 吨产能
多氟多	拟扩建 40000 吨产能
康鹏科技	2019 年 12 月衢州康鹏 1500 吨 LiFSI 产线投产，截至 2021 年 3 月，已拥有 1700 吨/年的产能

来源：公司公告，国金证券研究所

- **固态电池：**下一代电池技术，有望彻底解决电池安全问题。目前锂离子电池所用电解质为有机电解液，因其热分解度温度低、易燃、有毒以及电化学窗口低，导致动力电池安全性能和能量密度的提升存在一定局限性。固态电池本质上是用稳定固态电解质代替易燃有机电解液，进而改善电池安全性能。

图表 21：液体电池与固态电池的结构示意图



来源：《全固态锂电池技术的研究现状与展望》，国金证券研究所

- **固态电池分类：**固态电池按固态电解质种类可以分为聚合物固态电池、氧化物固态电池、硫化物固态电池。其中美、中、欧企业偏好氧化物与聚合

物体系，而日韩企业则更多致力于发展硫化物体系。目前商业化应用进展最快的是氧化物与聚合物体系。

图表 22：固态电池分类

固态电池类型	固态电解质	电导率	优点	缺陷	代表企业
聚合物	PEO、PMMA、PVDF 等	$10^{-4}$ S/cm	技术最成熟、率先小规模量产	室温离子电导率低，理论能量密度上限低	Solid Energy
氧化物	LLZO、LATP 等	$10^{-4}$ - $10^{-3}$ S/cm	电导率较高，安全	难以批量生产电解质膜、密度大	Quantum Scape、 清陶、赣锋
硫化物	Li <sup>2</sup> S、LiPSCI 等	$10^{-3}$ - $10^{-2}$ S/cm	电导率高	安全隐患（水分敏感，产物 H <sup>2</sup> S）；电压窗口窄；难以连续化生产	丰田、三星、松下

来源：知网，前瞻产业研究院，国金证券研究所

- 固态电池优势：高安全、高比能、易成组。**相较传统液态电池，固态电池拥有三方面的优势：（1）**高安全**：固态电池核心优势是高安全性能，有机电解液热分解温度与隔膜融化温度在 160℃ 以下，而固态电解质热分解温度明显较高，如氧化物固态电解质热分解温度在 500℃ 以上，用固态电解质代替液态电解质，可以大大降低电池热失控风险。（2）**高比能**：固态电解质电化学窗口在 5V 以上，远高于现有体系（4.3V 左右），可以适配活性更高的高比能正负极材料，显著提升电池的能量密度；搭配锂负极的固态电池能量密度有望提升至 500Wh/kg，接近现有高镍三元电芯的 2 倍，有望彻底解决新能源汽车的里程焦虑。（3）**易成组**：全固态电池无需使用隔膜，内部本身为串联结构，在系统集成端无需外部线束进行串联。同时因其较高的安全性，可以简化冷却系统，在 PACK 层面成组效率优于现有体系。
- 固态电池劣势：成本高、倍率性能差、产业链成熟度低。**（1）**成本高**：固态电解质难轻薄化，应用到的部分稀有金属原材料成本较高，叠加为达高能量密度使用的高活性正负极材料尚不成熟，致使其成本明显高于现有液态电池；（2）**界面阻抗大，倍率性能差**：固态电池中电极与固态电解质之间固固界面阻抗较大，叠加固态电解质自身电导率比电解液低 1~2 个数量级，致使固态电池的倍率性能较差，离应用于动力电池领域仍有一定距离；（3）**产业链不成熟**：固态电解质材料以及适配的高活性正负极材料尚不成熟，尚无稳定完善的供应体系，同时固态电池部分生产工艺不同于液态电池，目前尚无稳定供应固态电池生产线的设备厂商。
- 固态电池发展路径：沿液态→半固态→全固态路径演进，预计未来 2~3 年半固态电池有望量产应用，全固态电池有望 2025 年以后量产应用。**固态电池的技术发展采用逐步颠覆策略，液态电解质含量逐步下降，最终形态是全固态电池。依据电解质分类，固态电池发展路径为液态→半固态→准固态→全固态，其中半固态、准固态和全固态三种统称为固态电池。在固态电池的迭代过程中，液态电解质含量将从 20wt% 降至 0wt%，负极逐步替换成金属锂，电池能量密度有望提升至 500Wh/kg，电池工作温度范围扩大三倍以上。其中半固态本质上是用少量小分子将电解液固化，呈蜡状或果冻状，用来提升电解液的热稳定性，进而改善电池的安全性与电化学性能。短期而言，由于半固态电池制造工艺与现有液态电池基本一致，仍需隔膜与电解液，同时兼具高安全与高比能属性，未来 2~3 年有望随着 1000km 车型的推出而实现量产应用（蔚来固态电池预计量产时间为 2022 年底）。长期而言，考虑到全固态电池技术层面尚未完全跑通，电化学体系尚未确定，目前尚处于研发阶段，叠加成本与产业链配套因素，预计全固态电池有望于 2025 年以后量产应用，首先应用于对成本不敏感的无人机、军工、高端车型等领域。

图表 23: 固态电池发展路径图

20wt%	10wt%	5wt%	0wt%	电池中液体含量
液态	半固态(凝胶)	半固态	准固态	全固态
0wt%	5wt%	30wt%	50wt%	100wt% 负极金属锂含量
石墨负极	预锂化负极	富锂负极	金属锂负极	
250Wh/kg	300Wh/kg	350Wh/kg	400Wh/kg	500Wh/kg
55°C	80°C	150°C	工作温度	

来源:《固态锂电池研发愿景和策略》<sup>4</sup>, 国金证券研究所

图表 24: 行业内固态电池布局情况

企业	布局情况
宁德时代	2016 年正式宣布在硫化物固态电池上的研发路径
国轩高科	2017 年公司着手研发固态电池及固态电解质 2018 年 3 月公司宣布半固态电池已处于实验室向中试转换阶段 2019 年公司推出半固态电池的试生产线
赣锋锂业	2017 年公司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 2018 年 6 月公司第一代固态锂电池单体容量已达 10Ah, 能量密度大于 240Wh/kg 2019 年 11 月公司建成亿瓦时级第一代固态锂电池研发中试生产线 2020 年公司与东风集团签订固态电池 E70 车型示范推广协议
辉能科技	2013 年公司实现了固态锂电池的商业化量产, 早期应用于消费类电池 2017 年公司建成了 40MWh 的中试线, 并实现自动化卷式生产 2019 年公司与蔚来合作, 为其定制生产“MAB”固态电池包
卫蓝新能源	2016 年公司成立, 依托中国科学院物理研究所 2020 年公司计划建成年产 0.1GWh 固态电池生产线
清陶新能源	2014 年公司成立, 依托清华大学 2018 年 11 月公司建成 0.1GWh 全国首条固态锂电池产线 2019 年 7 月公司年产 10GWh 固态锂电池项目在江西省宜春市签约 2020 国内首台搭载清陶固态电池的新能源样车在北汽成功下线试车

来源: 前瞻产业研究院, 公司官网, 国金证券研究

- **相关企业: 赣锋锂业、国轩高科值得关注。**蔚来等车企未来 1~2 年推出的 1000km 续航车型, 有望加速半固态电池的应用速度, 进一步促进动力电池朝着液态→半固态→全固态的路径演进。考虑到固态电池被公认是下一代电池技术路线, 有望享受超越常规液态电池的估值溢价, 建议关注积极布局固态电池业务的企业, 如**赣锋锂业、国轩高科**等。

## 2.4 辅材: 复合集流体代替传统集流体, 有望改善电池安全性

- **传统集流体: 易断裂形成毛刺, 从而造成电池安全隐患。**集流体是电池重要辅材之一, 一方面起承载正负极活性物质的作用, 另一个方面起将电化学反应产生的电子汇集起来传导至外电路, 从而将化学能转化为电能的作用。一般而言, 选用金属箔材作为集流体, 其中正极集流体选用铝箔, 负极集流体选用铜箔。传统的金属箔材集流体由于韧性、力学性能和机械性能较差, 在电池加工使用过程中易断裂形成毛刺, 而毛刺容易刺穿隔膜, 造成微短路, 进而导致电池热失控。

<sup>4</sup> 李泓 & 许晓雄(2016). 储能科学与技术.

- 复合集流体：中间复合一层高分子基材，不易断裂，有望解决高镍三元的安全问题。**复合集流体为典型的“三明治”结构，中间一层为高分子基材，上下各镀一层金属材料。复合集流体的高分子层可以增强集流体的韧性，使集流体具有较高的力学性能和机械性能。复合集流体在使用过程中不容易断裂，有利于降低微短路风险，进而提升电池安全性能。宁德时代专利CN110676460A《一种电极极片和电化学装置》显示采用复合集流体的高镍三元电池可通过针刺实验，主要系（1）短路电阻提高：由于高分子层不导电，可以提高电池在异常情况下发生短路时的短路电阻，大幅降低短路电流，因此可减少产热量，从而改善电池安全性能；（2）短路面积减少：上下两层的金属层较薄，在针刺等特殊情况下，局部导电网络被切断，防止电池大面积发生内短路，将针刺等造成的损坏局限在穿刺位点，仅形成“点断路”，从而提升电池的安全性能。

图表 25：传统集流体与复合集流体示意图

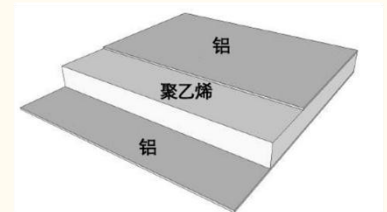


来源：国金证券研究所

- 宁德时代复合集流体应用简介：**据高工锂电报道，宁德时代研发的新型创新技术——多功能复合集流体技术，在材料和结构上颠覆了传统集流体，全新构建了“金属导电层—高分子支撑层—金属导电层”三明治结构复合集流体，通过金属层与高分子层机械-电-热性能的多重耦合关系，突破了传统集流体功能局限，在业内率先解决了高镍电池内短路难题，并通过莱茵TÜV认证，目前已经批量生产并应用于部分主机厂。
- Soteria 复合集流体应用简介：**Soteria 是一家主要围绕安全电池设计的初创公司，其核心技术之一就是复合集流体。相较传统金属箔材集流体，Soteria 复合集流体在重量、抗拉升强度、延展性方面均有一定优势。应用复合集流体技术，Soteria 5Ah 高镍三元软包电池样品经过针刺测试之后，未出现起火与爆炸，其容量保持率仍可高达 93%。

图表 26: Soteria 复合集流体基本性能参数

	传统铜箔	Soteria 铜膜	传统铝箔	Soteria 铝膜
厚度	10 $\mu\text{m}$	11 $\mu\text{m}$	15 $\mu\text{m}$	8 $\mu\text{m}$
金属厚度	10 $\mu\text{m}$	单侧0.5 $\mu\text{m}$	15 $\mu\text{m}$	单侧0.5 $\mu\text{m}$
重量	90 g/m <sup>2</sup>	21.5 g/m <sup>2</sup>	43 g/m <sup>2</sup>	17.9 g/m <sup>2</sup>
拉伸强度	400 N/mm <sup>2</sup>	120N/mm <sup>2</sup>	150N/mm <sup>2</sup>	160N/mm <sup>2</sup>
延伸率	4%	37%	4%	22%



来源：汽车电子设计，国金证券研究所

- **OPPO 复合集流体应用简介:** OPPO 在 7 月举办的“闪充开放日”发布了“夹心式安全电池”技术，采用了在一层新型高分子复合材料层的两边镀上两层铝，再涂上安全涂层，形成一个五层安全结构的“三明治”夹心集流体。在电池受到外部挤压碰撞时，复合集流体能大大降低电池内部短路的概率，同时中间层的高分子材料还可以隔绝正负极，从而提升电池的安全性能。OPPO 外部冲击和针刺测试试验结果显示，采用复合集流体的电池可通过重物冲击和针刺试验，而采用传统集流体的电池在重物冲击和针刺试验中均发生热失控。

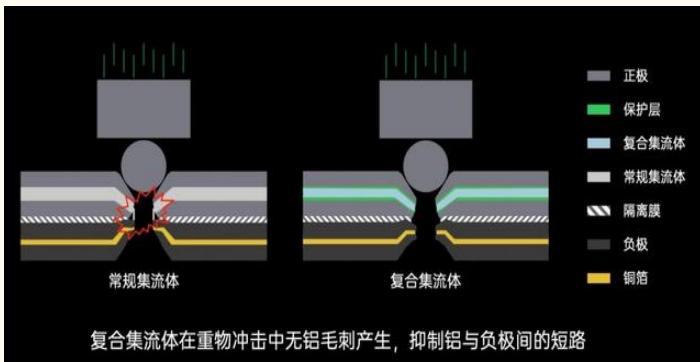
图表 27: OPPO 夹心电池示意图



来源：OPPO 闪充开放日视频，国金证券研究所

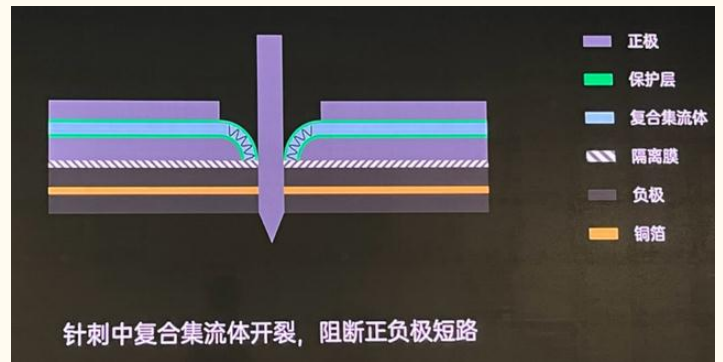


图表 28: 复合集流体技术在冲击测试中的保护作用



来源: OPPO 闪充开放日视频, 国金证券研究所

图表 29: 复合集流体技术在针刺过程中的阻断效果



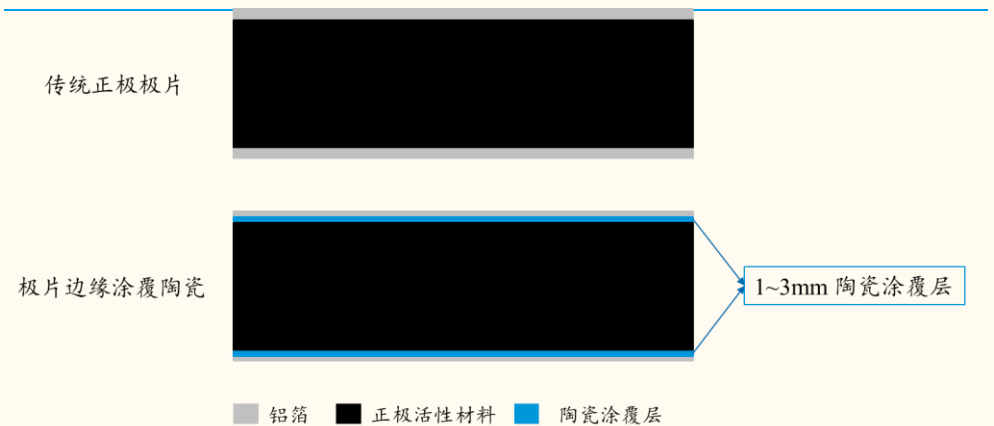
来源: OPPO 闪充开放日视频, 国金证券研究所

- **相关企业: 设备供应商东威科技值得关注。**随着电池安全重要性日益提升, 三元中高镍化趋势显著, 叠加自身规模扩大、良率提升与生产效率提高带来的成本下降, 未来复合集流体有望加速代替传统集流体, 建议关注相关的企业: **重庆金美** (未上市)、**东威科技**。考虑到复合集流体产品技术并不新颖, 核心技术壁垒是工艺技术与生产设备, 与隔膜行业类似, 建议关注电镀设备供应商—**东威科技**。

### 2.5 工艺层面: 极片表面涂覆陶瓷是一种趋势

- **除了材料层面, 电池制造过程中的工艺层面如内部异物、边缘毛刺等对电池安全有着至关重要的影响。**目前主流电池企业通过制造工艺升级、产线智能化改造、过程监测强化等措施将电芯缺陷率从 ppm 级别向 ppb 级别提升, 进而消除电池安全隐患。其中极片表面涂覆陶瓷方案由于利用了陶瓷高的热稳定性、化学稳定性、耐腐蚀性以及高强度等优良特性, 有望降低电池内短路与热失控风险, 被认为是未来工艺升级的重要发展方向。
- **极片边缘涂覆陶瓷:**现代、宝马等国际车企电动车召回事故调查结果显示, 电池内部对齐不良是导致动力电池热失控的主要原因之一。一般而言, 电池里面正极片尺寸小于负极片, 极片边缘在切割过程中容易产生毛刺, 而毛刺容易刺穿隔膜接触负极表面, 造成电池内短路。在极片边缘涂覆陶瓷 (涂覆宽度约为 1~3mm) 之后, 能够大大减少切割毛刺的风险, 同时防止正负极接触造成的内短路, 进而提升电池安全。

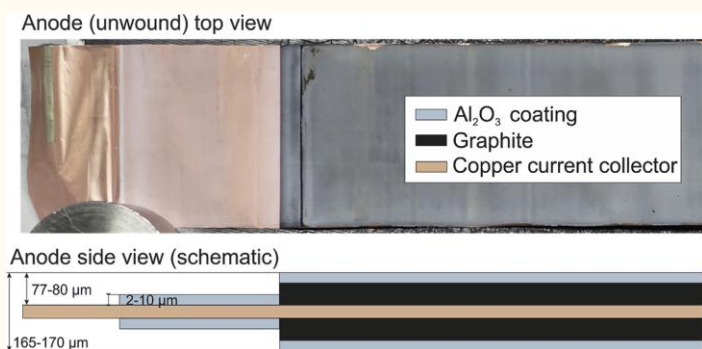
图表 30: 极片边缘涂覆陶瓷示意图



来源: 国金证券研究所

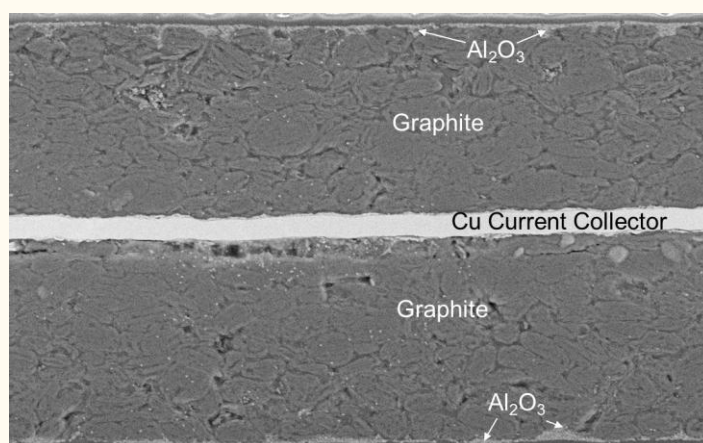
- **极片整体涂覆陶瓷：**陶瓷不仅可以涂覆在隔膜与极片边缘来提高电池安全性能，而且还可以涂覆在正负极表面，同样能够起到改善电池安全性和电化学性能的效果。德国明斯特大学的 Alex Friesen 等人对三星 SDI 应用于消费类电池领域的 3Ah 钴酸锂/石墨体系的 18650 电池安全性进行了深入研究。结果显示，三星该款电池负极表面涂覆了 1-5  $\mu\text{m}$  的氧化铝涂层，涂覆后的负极极片表面呈银灰色，与普通的石墨负极极片颜色有所不同，涂覆后的电池在开放环境下进行针刺试验未发生热失控。

图表 31：三星 SDI 负极陶瓷涂覆极片照片及示意图



来源：《Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating on anode surface in lithium ion batteries: Impact on low temperature cycling and safety behavior》<sup>5</sup>，国金证券研究所

图表 32：三星 SDI 负极陶瓷涂覆极片剖面图



来源：《Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating on anode surface in lithium ion batteries: Impact on low temperature cycling and safety behavior》，国金证券研究所

- **相关企业：勃姆石龙头企业壹石通值得关注。**一般而言，极片陶瓷涂覆所用的材料为氧化铝与勃姆石。相比氧化铝，勃姆石质地稍软，分散性更佳，在涂覆过程中更易均匀地涂覆于极片边缘，同时可以延长切刀的使用寿命，因此勃姆石涂覆占比呈上升趋势，建议关注勃姆石龙头企业—壹石通。

### 三、电池系统层面：被动安全与主动安全并举，降低电池热失控风险

- 关于电池安全，单体电芯层面的本征安全固然重要，而电池系统层面的被动安全和主动安全同样需要重视。单体电芯层面的本征安全是防止单一电芯起火，而电池系统层面的被动安全是防止单一电芯或模组起火之后蔓延至整个电池包，主动安全是对电芯、模组、系统的各种异常状况做到提前预警，三者相辅相成，共同保障动力电池的安全。

#### 3.1 被动安全：防止热蔓延，隔热与散热是关键

- 在单体模组（或电芯）发生热失控后，高温会导致热失控在模组（或电芯）中蔓延，进而引发安全事故。根据热蔓延发生的剧烈程度，可以将热蔓延分为三个阶段：**始发模组内热蔓延、模组间热蔓延和轰燃**，三个阶段的危险程度逐级递增。单个模组（或电芯）发生热失控初期产生冒烟现象，热蔓延较为缓慢；随着热量在电池系统内传递，相邻模组逐个发生热失控，产生大量烟气，热蔓延速度增快；当热蔓延到一定程度，电池系统上盖融化，大量空气进入内部，电芯内部的电解液及其分解产物与空气充分接触发生燃烧，多个模组开始同时出现热失控，能量释放速率极快，进而导致整个电池系统剧烈燃烧。

<sup>5</sup> Friesen, A., etc, (2017). Journal of Power Sources, 363(sep.30), 70-77.

- 电池系统安全设计的核心是在主要传热路径上进行隔热与散热的设置。即单一模组（或电芯）发生热失控之后，需要尽快在系统进入轰燃阶段之前完成有效的冷却，避免大量热量传递至临近模块，及时地将热量进行快速且合理地疏导。

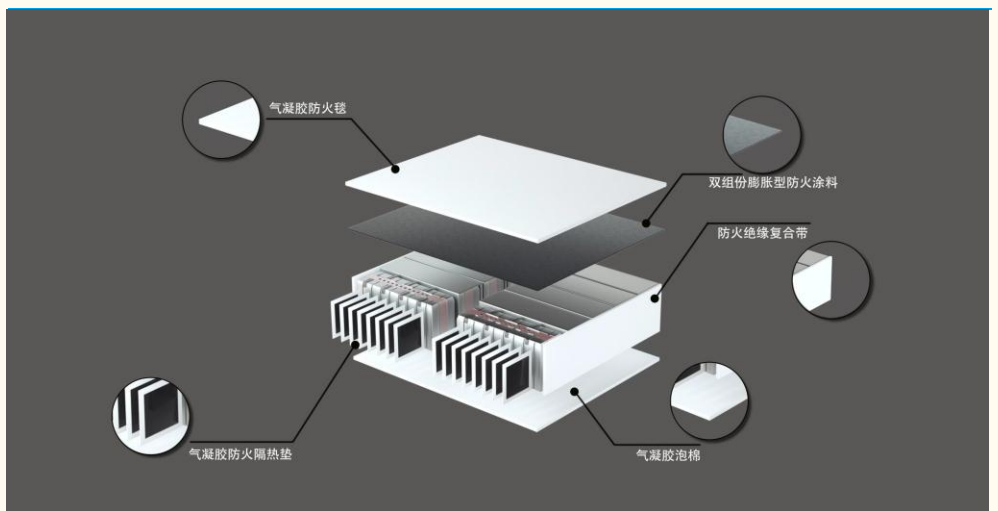
图表 33: 电池系统热蔓延的典型阶段及其关键特征

阶段	现象	能量释放速率	危险程度	特征
始发模组内热蔓延	冒烟	慢	低	只有一个模组热失控，模组内热蔓延速度缓慢
模组间热蔓延	冒烟/起火	快	高	短时间内多个模组逐个发生热失控并完成热蔓延，模组内热蔓延速度快
轰燃	起火	极快	极高	多个模组同时处于热失控状态，模组内热蔓延速度快

来源：《车用锂离子电池系统热蔓延试验与机理研究》<sup>6</sup>，国金证券研究所

- **隔热：电芯间、模组间、系统隔热相辅相成，共同助力电池安全。** 隔热基本策略是利用低导热系数、高化学稳定性的隔热材料防止模块间热蔓延，目前常用防火隔热材料主要有气凝胶、云母、防火涂料、热陶瓷等。从应用场景来看，电芯间一般采用气凝胶等隔热材料、中间复合板隔热，模组间一般采用防火棉隔热，系统一般采用防火毯隔热。随着电池能量密度持续提升，电压平台逐渐升高，安全重要性日益重要，隔热材料的单车价值量有望呈上升趋势。

图表 34: 电池系统隔热解决方案

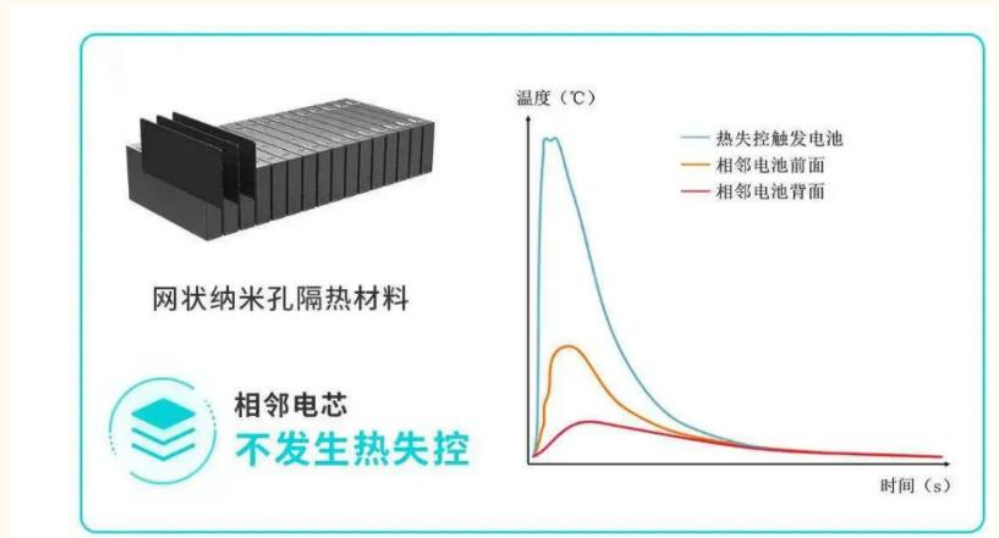


来源：爱彼爱爱，国金证券研究所

- **广汽“弹匣电池”隔热应用案例：**弹匣电池通过网状纳米孔隔热材料和耐高温上壳体，形成超强隔热安全舱，实现三元电芯热失控不蔓延至相邻电芯，电池包上壳体能耐温 1400℃ 以上。

<sup>6</sup> 江发潮等.(2021). 机械工程学报(14),23-31. doi:CNKI:SUN:JXXB.0.2021-14-003.

图表 35: 广汽“弹匣电池”隔热方案



来源：公司官网，国金证券研究所

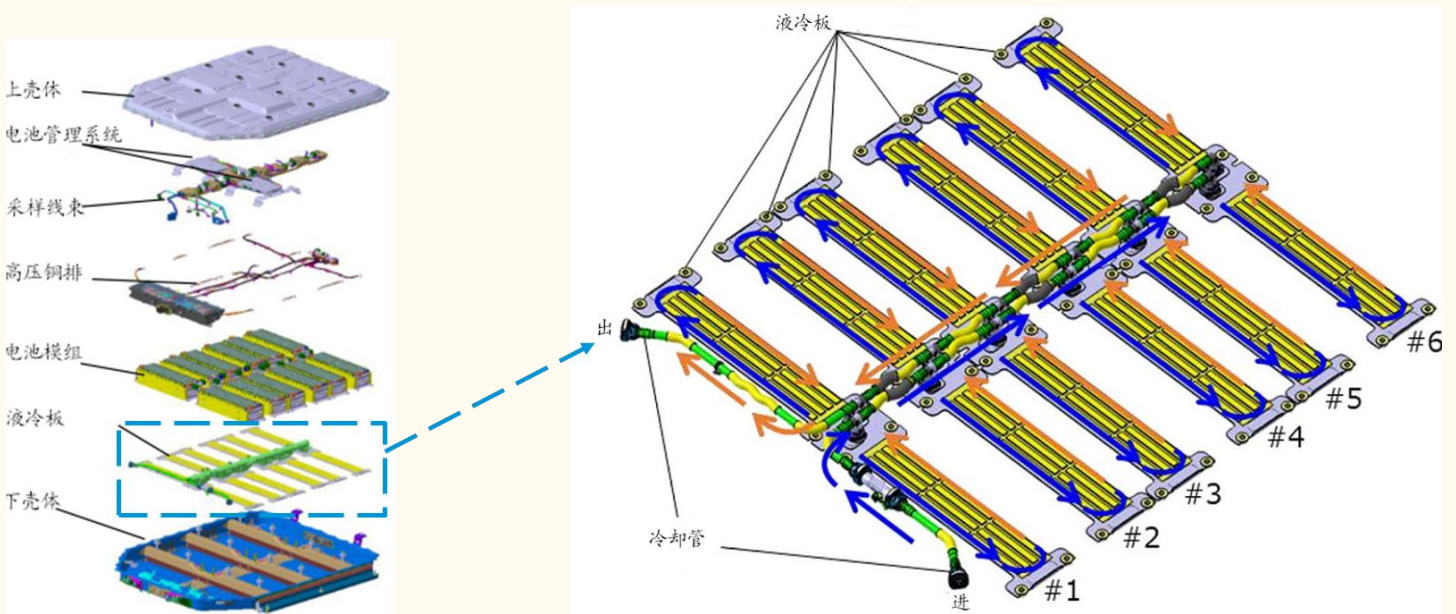
- **岚图“琥珀”和“云母”电池系统隔热应用案例：**岚图采用了“三维隔热墙”技术，即在电池包内使用无热扩散的隔热阻燃材料。“琥珀”电池系统是在电池包内填充有机硅复合材料，形成高效的隔热阻燃绝缘层，使得每个电芯单元像“琥珀”一样处于充分包裹中；“云母”电池系统则是在电池包内加入层状 Al-Si 云母和气凝胶。三维隔热层为每个电芯量身定制了“安全仓”，即使某个电芯出现“暴躁”情况，也只能老实呆在自己的“单间”内。
- **散热：液冷是目前主流冷却方式，主动灭火是未来趋势。**散热基本策略是利用不同液冷流量对热蔓延进行抑制，根据使用的介质，可以分为风冷、液冷、冷媒制冷。其中液体介质的换热系数高、热容量大、冷却速度快、降温效果显著，且形式上较为灵活，是目前主机厂主流的散热方案。一般通过液冷板和冷却液将电池热量带走。

图表 36: 电池系统三种主要冷却方式

冷却方式	简介	优劣势
风冷	以低温空气为介质，利用热对流，降低电池温度，分为自然冷却和强制风冷，主要用于 A00 等中低端车型	结构简单、成本低；效果较差
液冷	以冷却液为介质，与制冷循环耦合，带走电池中多余的热量，主要用于 A 级以上中高端车型，目前主流技术路线	效果好、热度均匀；成本较高
冷媒直冷	在液冷基础上集成化整车的热管理，将电池的散热与空调系统结合带走电池热量；常用的制冷剂有 R134a、CO <sub>2</sub>	系统集成化和软件控制精度要求较高；技术壁垒较高，目前仅在少量车型上使用

来源：控安汽车研究院，国金证券研究所

图表 37: 电池系统中液冷系统示意图



来源:《Powertrain Thermal System Development for Small BEV》<sup>7</sup>, 国金证券研究所

- **防爆阀、平衡阀和泄压阀对极端条件下的电池散热至关重要。**除了液冷系统之外,为了防止电池热失控,主机厂选择安装防爆阀、平衡阀和泄压阀,主要起平衡温度、电池包内外压差的作用,同时可以保证电池包内部的气体和压力定向排出。一旦发生热失控,防爆阀、平衡阀和泄压阀可以保证极端情况下电池包的安全。

图表 38: 电池系统防爆阀与平衡阀示意图



来源: 电动邦, NE 时代, 国金证券研究所

- **下一代主动灭火技术:**据清华大学欧阳明高院士公开演讲资料,目前行业内逐步考虑在 300Wh/kg 的电池上采用灭火装置。长城汽车 9 月份推出的大禹电池采用了自动灭火技术,具体方案为:气火流沿着精心设计的路径排出,到达指定位置的排爆出口,并在排爆口设计了多层不对称蜂窝状结构,实现火焰快速抑制和冷却,该技术可以将上千度的热失控气体降至一

<sup>7</sup> Ohnuma, Y., et al. (2020). SAE Technical Paper 2020-01-1383.

百度以下，确保人和车辆的安全。主动灭火是未来解决高比能电池系统的一种趋势，也有部分车企正在研究电池包大量灌注水的技术方案，未来值得关注。

- **相关企业：**被动安全相关零部件的单车价值量不高，供应商基本以中小企业为主。未来随着电池安全重要性日益提升，被动安全相关零部件的单车用量有望呈上升趋势，建议关注相关企业相应业务板块的边际变化，如**高澜股份、泛亚微透、银轮股份、三花智控**等。

图表 39：被动安全相关零部件企业

企业	主要产品
高澜股份	防火隔热棉、动力电池液冷板、动力电池独立液冷系统等
泛亚微透	气凝胶隔热材料、泄压阀等
银轮股份	冷却板、电池冷却器总成等
三花智控	新能源车热管理集成组件等

来源：公司官网，公司年报，国金证券研究所

### 3.2 主动安全：BMS 准确估值，异常状况提前预警

- **主动安全的核心是电池管理系统（BMS）**，其要能够准确预测电池状态，合理控制电池边界，防止电池进入超出边界的状况。同时 BMS 要能够对由内短路、制造不良、使用不良等引起的电池安全隐患进行提前预警。目前比较可行的解决方案就是提升芯片算力、增加传感器的数量。
- 在主动安全方面，为了提升电池管理、电池预警、电池充电控制和电池寿命预测与评估的技术水平，引入了人工智能、大数据、云平台。如果上述措施实施顺利，业内认为 300Wh/Kg 高镍三元电池的全生命周期安全问题有望得到解决。
- **广汽“弹匣电池”主动安全应用案例：**弹匣电池系统技术搭载了第五代电池管理系统，通过采用最新一代车规级电池管理系统芯片（相比前代系统提升 100 倍），可实现每秒 10 次全天候数据采集，24 小时全覆盖的全时巡逻模式；该系统对电池状态进行监测，发现异常时，立即启动电池速冷系统为电池降温，进而提升电池安全。

图表 40：广汽弹匣电池—第五代电池管理系统



来源：公司官网，国金证券研究所

#### 四、动力电池安全行业投资建议

- 安全是一个行业稳健发展的基础。随着电池系统能量密度从 100Wh/kg 提升至 200Wh/kg 左右，电池包容量由 30kWh 升级至 100kWh 左右，整车电压平台由 400V 提高至 800V，新能源汽车保有量从百万级向千万级迈进，动力电池安全性要求迈向新的台阶，电池安全性已成为新能源汽车行业新一轮竞争焦点。当下，市场对动力电池高能量密度、高电压平台、快充、低成本等赛道关注度较高，而电池安全属于被忽视的赛道。我们认为动力电池安全属于新能源汽车行业新一轮重点发展方向，其解决方案（本征安全、被动安全、主动安全）有望催生新兴增量赛道。从安全改性效果、技术成熟度、单车价值量几个维度综合考虑，我们建议关注：
  - （1）**陶瓷涂覆赛道**：短期而言，陶瓷被应用于隔膜与正极边缘涂覆，用来改善电池安全，单车价值量约为 200 元。远期而言，陶瓷有望应用于正负极极片表面整体的涂覆，单车价值量有望提升至 800 元左右，建议关注勃姆石龙头企业**壹石通**。
  - （2）**复合集流体赛道**：随着电池安全重要性日益提升，三元中高镍化趋势显著，叠加自身规模扩大、良率提升与生产效率提高带来的成本下降，未来复合集流体有望加速代替传统集流体。考虑到复合集流体产品技术并不新颖，核心技术壁垒是工艺技术与生产设备，与隔膜行业类似，建议关注电镀设备供应商—**东威科技**等。
  - （3）**固态电池赛道**：蔚来等车企未来 1~2 年推出的 1000km 续航车型，有望加速半固态电池的应用速度，进一步促进动力电池朝着液态→半固态→全固态的路径演进。考虑到固态电池被公认是下一代电池技术路线，有望享受超越常规液态电池的估值溢价，建议关注积极布局固态电池业务的企业，如**赣锋锂业**、**国轩高科**等。
  - （4）**新型锂盐 LiFSI 赛道**：随着动力电池对安全、电化学性能要求越来越高，叠加其成本与  $\text{LiPF}_6$  差距逐渐缩小、规模有序扩大，LiFSI 有望加速渗透，添加比例（LiFSI/总锂盐）有望由目前的 3~5% 提升至 50% 左右，建议关注未来 LiFSI 有望放量的企业，如**天赐材料**、**永太科技**等。
  - （5）**LMFP 赛道**：高镍三元材料复配 LMFP 有望解决其安全性问题，未来 2~3 年 LMFP 有望受益于高镍三元安全赛道而放量。远期来看，随着 LMFP 成本下降，循环性能改善，有望完成从辅材到主材（代替 LFP）的升级过程，建议关注已布局 LMFP 的相关企业，如**德方纳米**、**国轩高科**、**当升科技**等。
  - （6）**被动安全赛道**：被动安全相关零部件的单车价值量不高，供应商基本以中小企业为主。未来随着电池安全重要性日益提升，被动安全相关零部件的单车用量有望呈上升趋势，建议关注相关企业相应业务板块的边际变化，如**高澜股份**、**泛亚微透**等。

**图表 41: 60kWh 高镍三元动力电池包各安全改性方案价值量测算**

分类	改进方式	单车价值量 (元)	相关企业	
本征安全	正极材料	10%LMFP 复配	德方纳米、国轩高科、当升科技	
	隔膜	陶瓷涂覆	壹石通	
	电解液	新型锂盐 LiFSI	天赐材料、永太科技	
	辅材	复合铝集流体	750~800	-
		复合铜集流体	3800~4500	东威科技
	工艺层面	极片边缘涂覆陶瓷	50~60	壹石通
		极片整体单极涂覆陶瓷	150~180	壹石通
		极片整体双极涂覆陶瓷	300~360	壹石通
	被动安全	固态电池	40000~47000	赣锋锂业、国轩高科
		电芯间气凝胶等隔热材料	200~500	高澜股份、泛亚微透
隔热		模组防火棉	50~150	-
		整包防火毯	150~300	-
散热		动力电池液冷板	300~600	高澜股份
		防爆阀	30~100	泛亚微透

来源: 国金证券研究所

## 五、风险提示

- 新技术应用不及预期风险:** 动力电池安全技术解决方案大部分属于新兴技术, 其大规模应用与其性能完善程度、成本下降速度、产能扩建、生产效率等密切相关, 若动力电池安全技术解决方案中所用材料的成本下降速度、产能扩建等不及预期, 可能会影响相关企业的营收规模与盈利能力。
- 新能源汽车销量不及预期风险:** 由于全球疫情、汽车芯片短缺、中美贸易战、地缘政治等不确定因素, 叠加优质新车型投放不及预期、部分品牌产品质量问题等, 可能导致新能源汽车销量不及预期的风险。
- 上游原材料涨价风险:** 今年以来, 受下游新能源汽车行业的持续高增长, 动力电池上游原材料如锂盐、前驱体、四大主材等价格快速攀升, 若上游原材料价格继续大幅上行, 可能会压缩相关企业的盈利水平。



**公司投资评级的说明：**

买入：预期未来 6-12 个月内上涨幅度在 15%以上；  
增持：预期未来 6-12 个月内上涨幅度在 5%-15%；  
中性：预期未来 6-12 个月内变动幅度在 -5%-5%；  
减持：预期未来 6-12 个月内下跌幅度在 5%以上。

**行业投资评级的说明：**

买入：预期未来 3-6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；  
增持：预期未来 3-6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%-15%；  
中性：预期未来 3-6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%-5%；  
减持：预期未来 3-6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

**特别声明:**

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

本报告中的信息、意见等均仅供参考，不作为或被视为出售及购买证券或其他投资标的邀请或要约。客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级（含C3级）的投资者使用；非国金证券C3级以上（含C3级）的投资者擅自使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

此报告仅限于中国大陆使用。

上海	北京	深圳
电话：021-60753903	电话：010-66216979	电话：0755-83831378
传真：021-61038200	传真：010-66216793	传真：0755-83830558
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	邮编：100053	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路1088号 紫竹国际大厦7楼	地址：中国北京西城区长椿街3号4层	地址：中国深圳市福田区中心四路1-1号 嘉里建设广场T3-2402