

电气设备

投资评级

看好

SERVICE ENTITY
CREATE VALUE

服务实体
创造价值



固态电池产业路在何方

分析师：张鹏

登记编码：S0950523070001

邮箱：zhangpeng1@wkzq.com.cn



中国五矿

五矿证券
MINMETALS SECURITIES

Contents 目录



01 固态电池是理论上高能量密度和高安全性能的最佳体系

02 全固态电池：丰满的理想VS骨感的现实

03 半固态电池：本质是液态电池

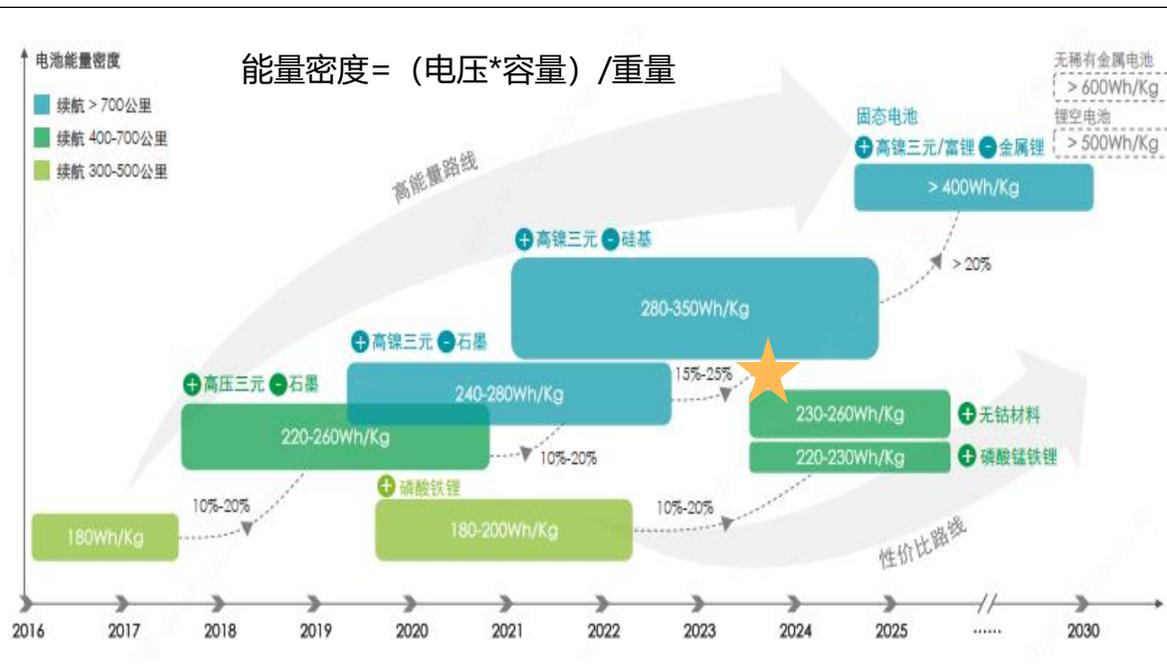
04 固态电池终端应用现状

01

固态电池是理论上高能量密度和高安全性能的最佳体系

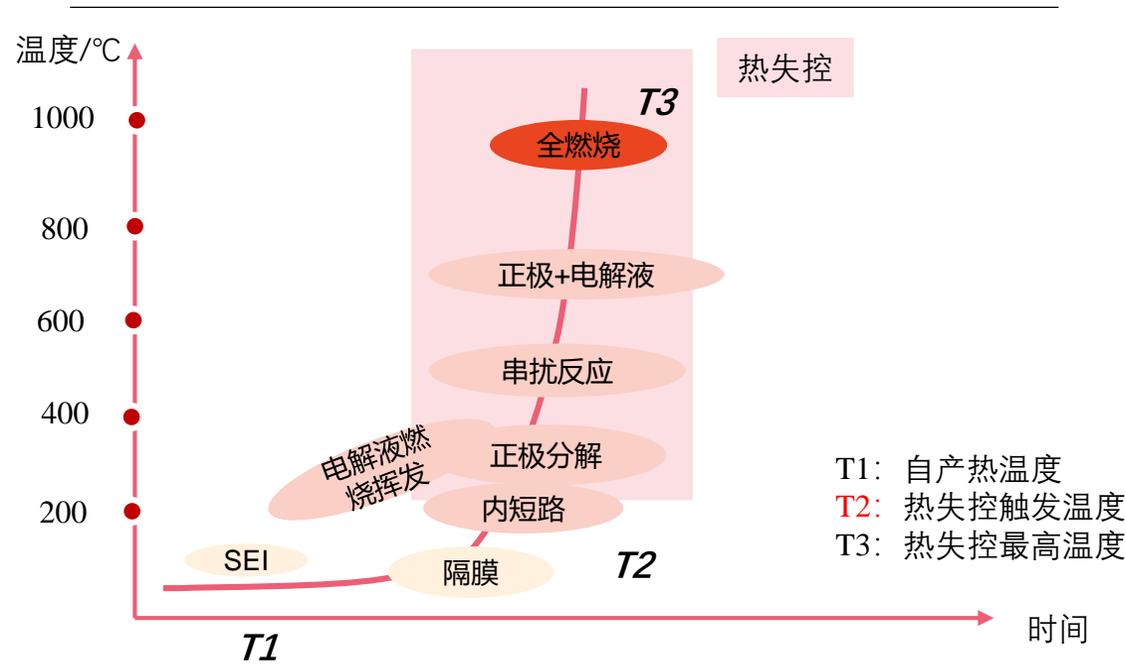
液态电池升级困境：能量密度提升趋势下，电解液限制了锂金属方向的迭代，且和隔膜为热失控短板

图表1：锂电池能量密度提升及材料体系变化方向



资料来源：德勤，五矿证券研究所

图表2：固态电池相较液态电池在热失控抑制上的理论优势

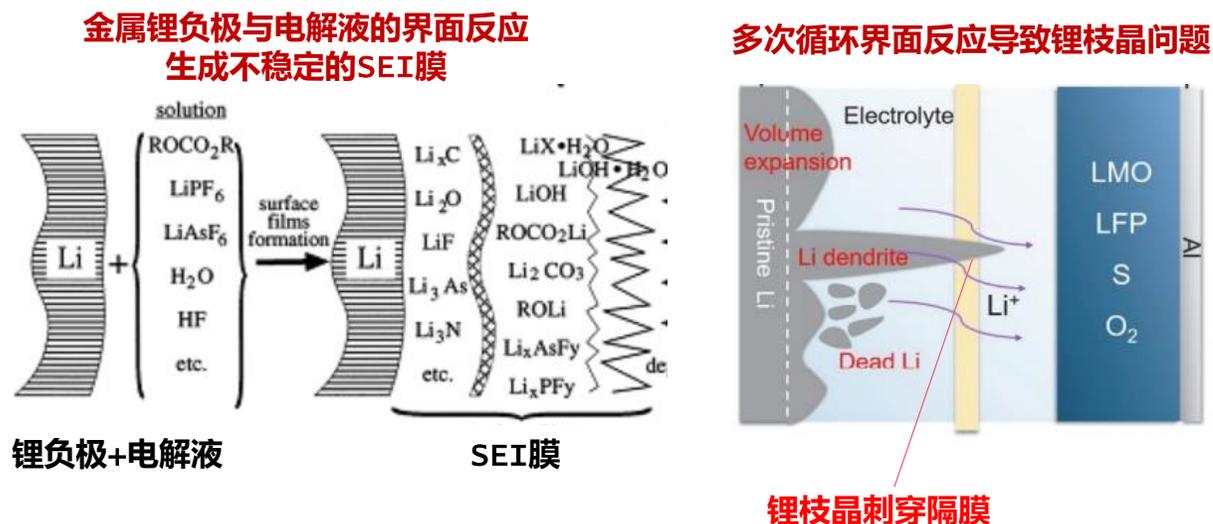


资料来源：eTransportation，何向明团队，五矿证券研究所

- 现有液态锂离子电池体系能量密度已经接近电池材料利用安全极限，接近300wh/kg能量密度瓶颈。
- 高比能材料体系下，锂电池的热失控强度和蔓延速度都显著提升，带来更严峻的安全挑战。
- 电解液和隔膜为电池热失控关键短板。

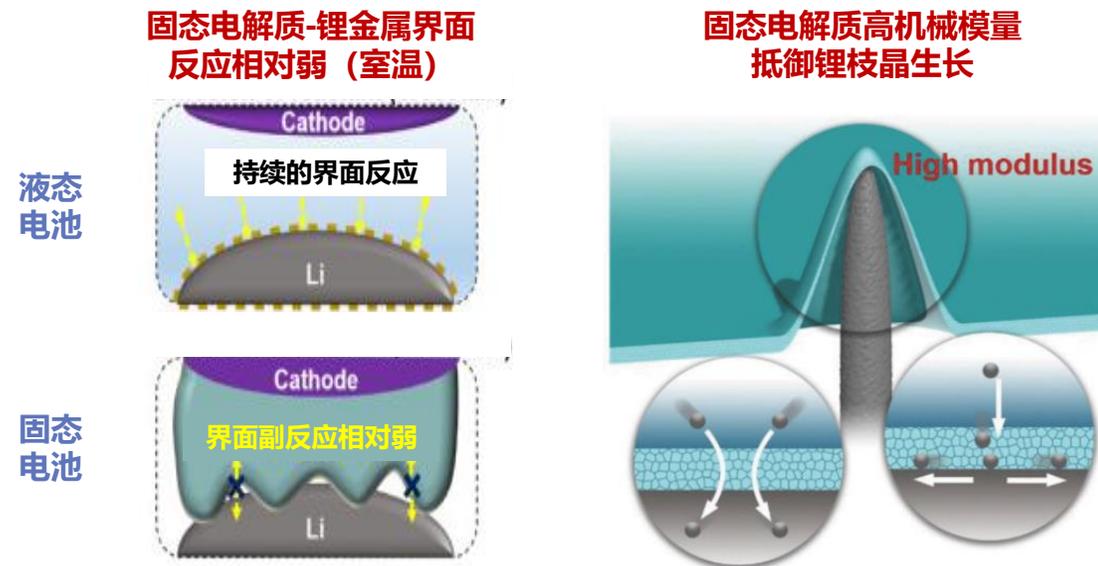
固态电池的机会：锂电池理论上高能量密度和高安全性能的最佳体系

图表3：锂金属负极与电解液的界面反应，金属锂负极的锂枝晶问题



资料来源：材料人，物理化学学报，五矿证券研究所

图表4：固态电池应用于锂金属负极的理论优势



资料来源：eTransportation, Advanced Materials, 五矿证券研究所

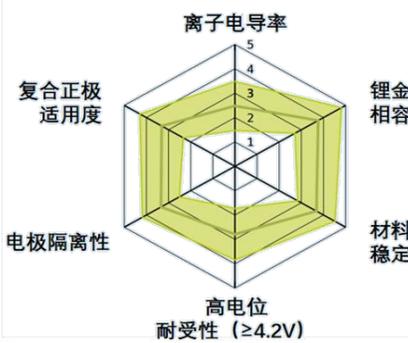
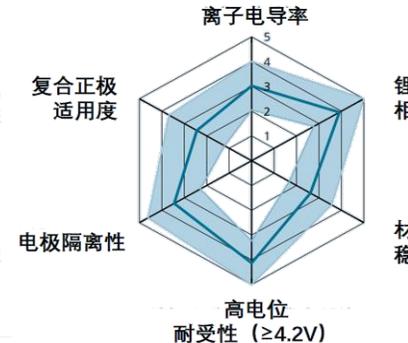
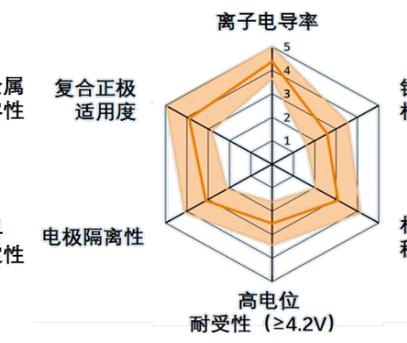
- 电解液对锂枝晶生长的低抑制能力限制了负极向锂金属（锂金属比容量远高于人造石墨）方向迭代。
- 固态电池从本征出发，用固态电解质替代电解液和隔膜：理论上可抑制、缓和热失控、可抑制锂枝晶生长，但固-固界面问题仍未解决。

02

全固态电池：丰满的理想VS骨感的现实

全固态电池关键要素/电解质：硫化物长期潜力较大，但仍面临较多技术和工程难题

图表5：三种技术路径材料体系&性能优劣分析

	聚合物	氧化物	硫化物
代表材料	<p>聚合物基体+锂盐+添加剂</p> <ul style="list-style-type: none"> • 聚合物: PEO、PPC、PC • 锂盐: LiBF_4、LiPF_6 • 添加剂: Al_2O_3、SiO_2、TiO_2 	<ul style="list-style-type: none"> • 石榴石型 ★★★ • NASICON型 ★★★ • LiPON型 ★ • 钙钛矿型 ★ 	<ul style="list-style-type: none"> • 锂硫银锗矿型 ★★★ • LGPS型 ★★ • LPS型 ★★ • Thio-LISICONs型 ★★
离子电导率	<ul style="list-style-type: none"> • 室温: $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{ S/cm}$ • 65~78°C: 10^{-4} S/cm 	$10^{-6} \sim 10^{-3} \text{ S/cm}$	$10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ S/cm}$
性能雷达图			
主要优缺点	<ul style="list-style-type: none"> • 优点: 柔性好、制造容易 • 缺点: 电导率低 	<ul style="list-style-type: none"> • 优点: 稳定性高、锂枝晶抵抗力好 • 缺点: 脆性大、电导率不足 	<ul style="list-style-type: none"> • 优点: 电导率高, 柔性好 • 缺点: 对锂金属不稳定、电压窗口低、空气不稳定

- 聚合物和氧化物体系率先应用。
- 离子电导率是电解质的第一特性，硫化物电解质离子电导率可达 10^{-2} S/cm ，接近电解液，长期潜力大。

固态电池卡点/电解质：氧化物和硫化物仍待进一步降本

图表6：氧化物/聚合物/硫化物体系材料成本测算

电解质	原料	单耗 (吨/吨)	价格 (万元/吨)	单吨成本 (万元/吨)
聚合物PEO	PEO	/	/	/
	LiPF6	/	/	/
	原材料成本			约1-2
	当前销售价格			/
氧化物LATP	磷酸二氢铵	0.9	0.55	0.5
	碳酸锂	0.13	7.4	0.93
	氧化铝	0.04	0.4	0.02
	二氧化钛	0.35	1.5	0.53
	原材料成本			2.0
	当前销售价格			约30
硫化物LPSCI	硫化锂	0.34	远期27.5	远期9.5
	五硫化二磷	0.58	1	0.58
	氯化锂	0.24	远期9.5	2.3
	原材料成本			远期12.3
	当前销售价格			/

- 氧化物和硫化物仍待进一步降本
- 氧化物固态电解质对部分稀有金属和小金属影响较大。

资料来源：中国知网，wind，生意社，高工锂电、CBC锂电新能源、五矿证券研究所测算

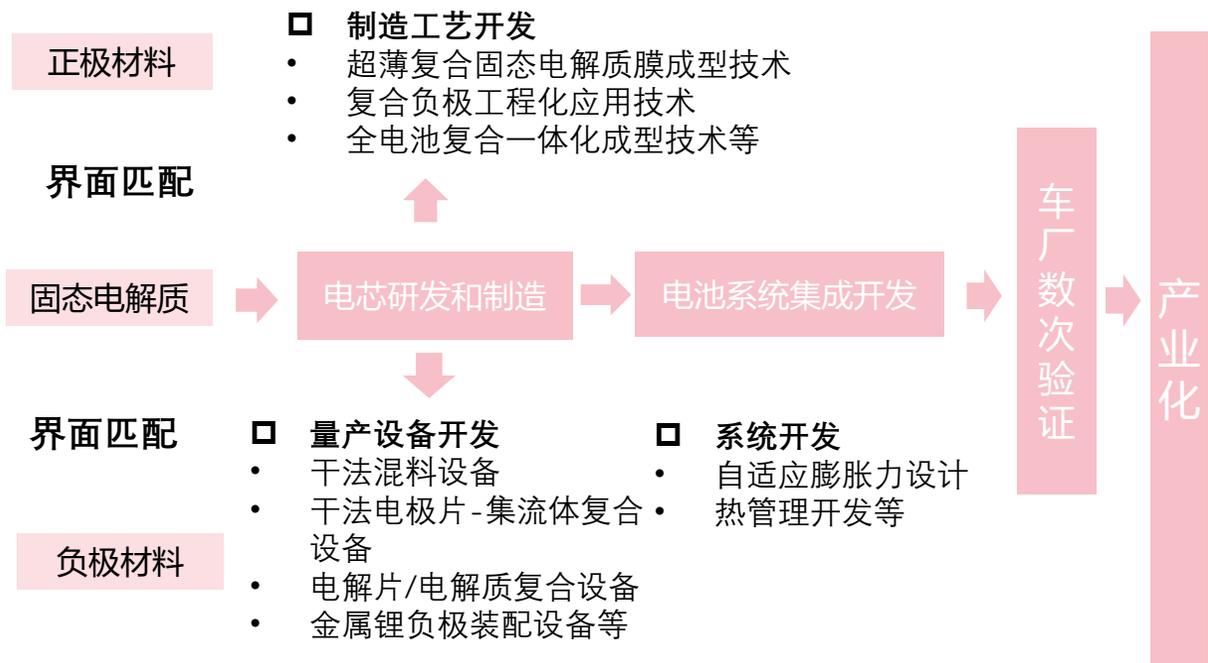
注：聚合物按PEO:LiPF6质量比8:2，氧化物按Li1.3Al0.3Ti1.7(PO4)3，硫化物按Li5.5PS4.5Cl1.5测算，远期硫化锂按金属锂90万元/吨测算

固态电池卡点/电池性能和制造：界面问题带来制造和成本的难点

图表7：全固态电池成本测算(硫化物体系，远期)

全固态电芯成本测算	1gwh单耗	单位	单价	单位	成本 (元/wh)
正极	1450	t	14.2	万元/吨	0.21
锂金属	90	t	88	万元/吨	0.08
固态电解质	1200	t	14	万元/吨	0.18
铜箔	550	t	8	万元/吨	0.04
铝箔	450	t	3.0	万元/吨	0.01
其他					0.02
材料合计					0.53
制造等成本					0.14
良品率					100%
成本					0.67

图表8：全固态电池实现的关键点



资料来源：每日经济新闻、《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、SMM、wind、五矿证券研究所测算

1) 采用高镍正极+金属锂负极测算，假设固态电解质是大规模应用状态；2) 锂金属价格是按照碳酸锂远期12万/吨测算；3) 假设液态电池未来在电解液和固态电解质环节和全固态不一致；4) 固态电解质按照硫化物体系Li5.5PS4.5Cl1.5 测算，假设价格在15万元每吨。

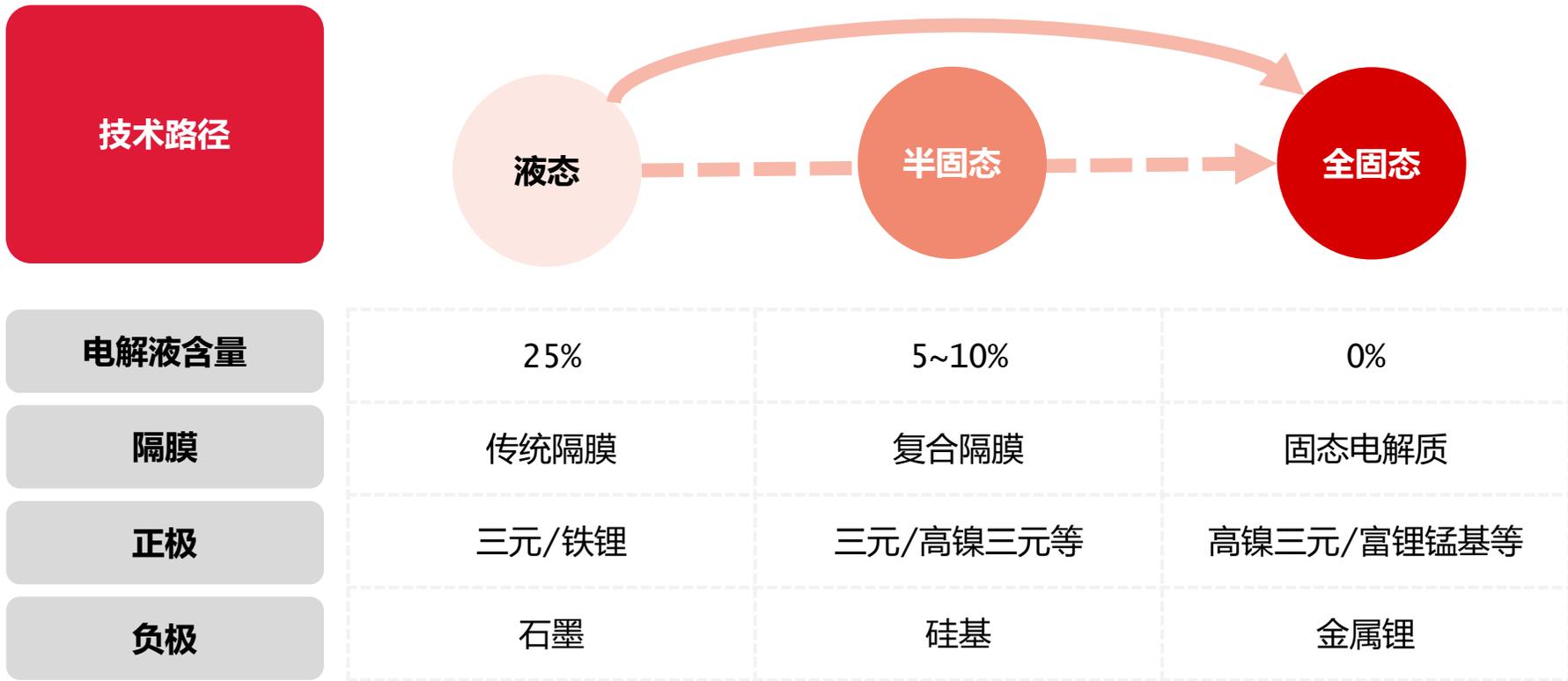
资料来源：清陶电池、五矿证券研究所

- 全固态电池“固-固”的硬接触造成了界面问题
- 全固态电池是更高的成本换取了安全性以及对高比能材料的适配性。

03 半固态电池：本质是液态电池

产业技术路径：长期方向是全固态，半固态为产业初期的尝试

图表9：三种技术路径材料体系&性能变化



□ 全固态电池界面问题技术难度大，同时涉及干法电极等技术，短期难以解决。半固态理念在中国率先展开。

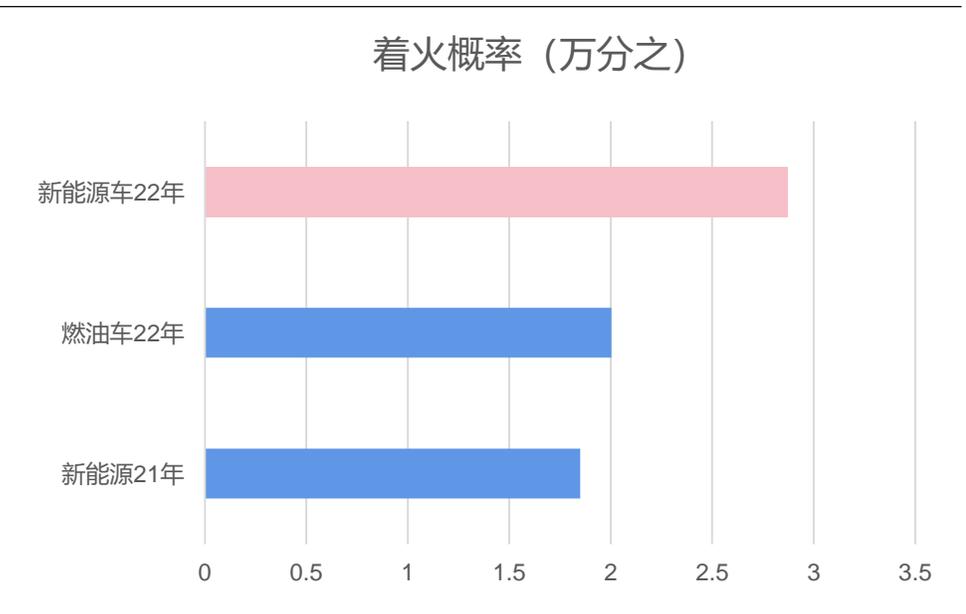
□ 半固态方案逐步降低电解液含量同时引入固态电解质，部分改善安全性，但也导致倍率性能等变差。

□ 氧化物+聚合物电解质体系较多应用于半固态电池。

资料来源：储能头条，五矿证券研究所

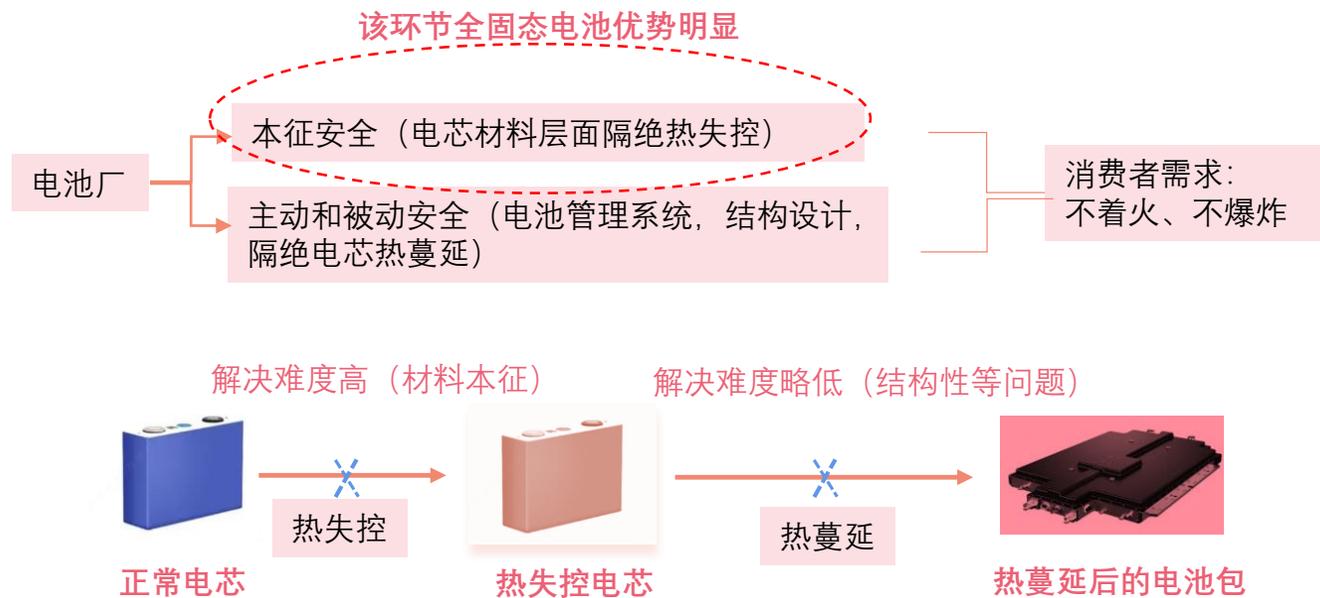
燃油车VS电动车安全性：此前国内电动车相比燃油车安全性有一定劣势

图表10：国内新能源车火灾概率高于燃油车



资料来源：国家消防救援局、五矿证券研究所测算（部分数据是22Q1折算为全年）

图表11：电池的安全分类形式



资料来源：《动力电池热失控抑制研究进展》、学术论文、五矿证券研究所

- 从国内火灾的概率上看，2022年新能源车火灾概率是万分之3，高于燃油车的万分之2。从危害性看，电池的着火速度等往往较快。
- 良好的电池体系控制可以降低起火率。自2012至2019年间全美车辆起火事件中，北美特斯拉每发生一次着火的行驶里程接近燃油车的9倍。
- 近年来，通过本征安全+主动被动的安全措施，液态电池在热蔓延（扩散）环节进步明显。

液态电池安全性：热蔓延控制技术迭代，液态电池安全性得到明显提升

图表12：部分车企发布的电池

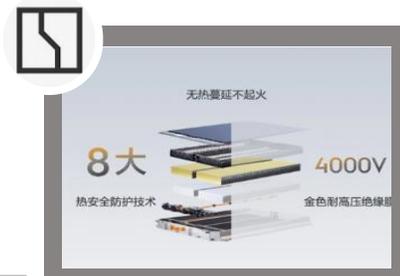
吉利-神盾短刀电池（2024）

- 降低电芯内阻、隔膜涂覆氧化铝，防爆阀泄压阀，自熔断等安全防护技术
- 8针同刺静置1小时不起火不爆炸



极氪-金砖电池（2023）

- 多层隔热、主动冷却、电芯表面绝缘膜等防热蔓延技术
- 通过100%满充试验、>30%挤压形变、5mm针刺实验



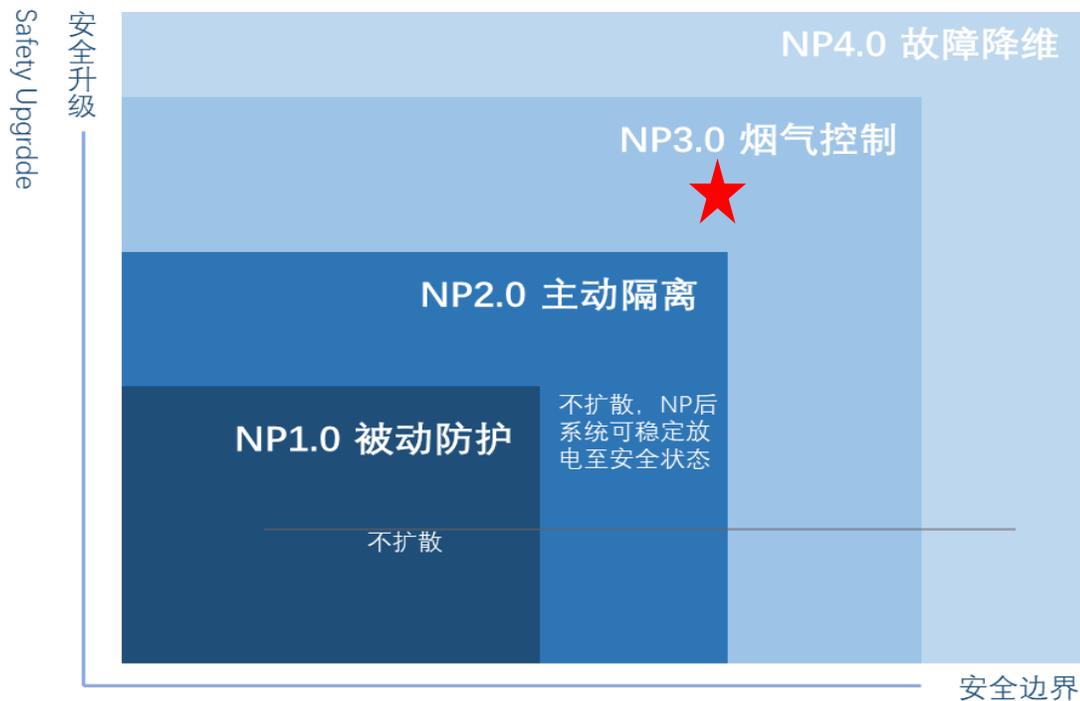
智己（2023）

- 电芯间气凝胶隔热，喷淋系统主动冷却，防火墙等减缓热蔓延
- 防火墙可承受1000℃的高温至少10分钟



资料来源：太平洋汽车、芝能汽车、智己汽车、五矿证券研究所

图表13：CATL无热扩散技术的迭代创新

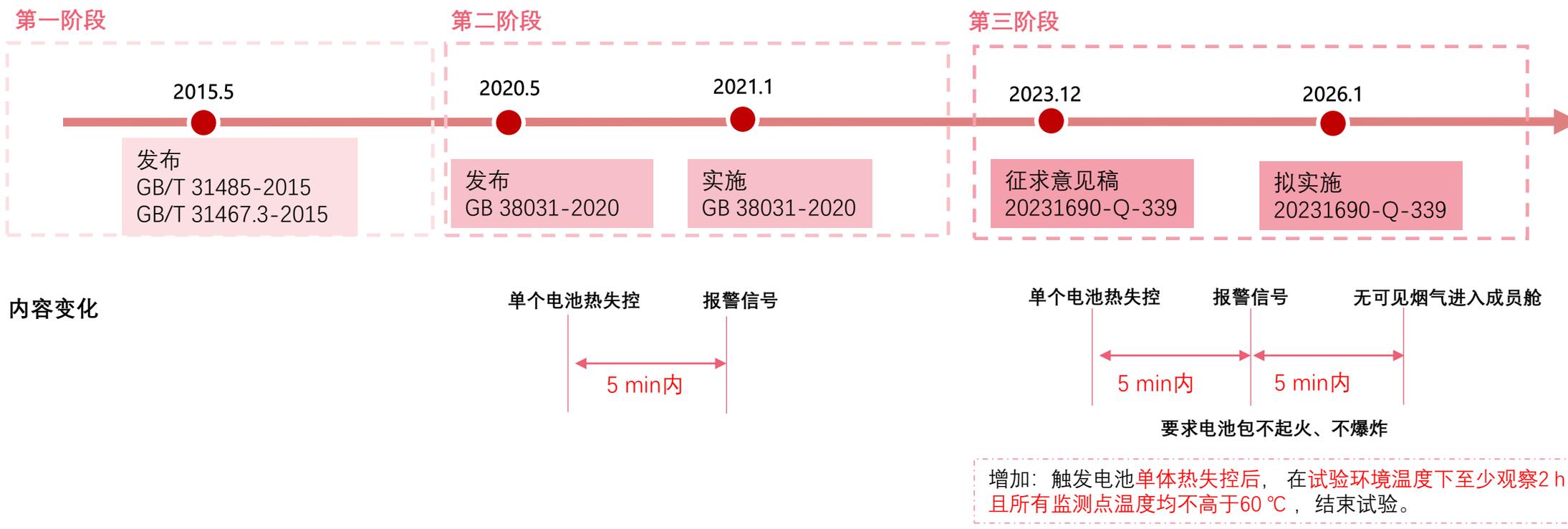


资料来源：宁德时代、五矿证券研究所

- 热蔓延控制技术迭代：从电芯层级的隔膜涂覆、泄压阀设计，电池包层级的热隔断、主动热管理，预警装置等措施降低热失控后的热蔓延风险。
- 宁德时代无热扩散技术迭代至NP 3.0。

液态电池安全性：液态电池体系安全性有较大提升空间，电池安全新国标有望普及

图表14：2024年《电动汽车用动力蓄电池安全要求征求意见稿》相比21年版本在安全性标准上进步较大



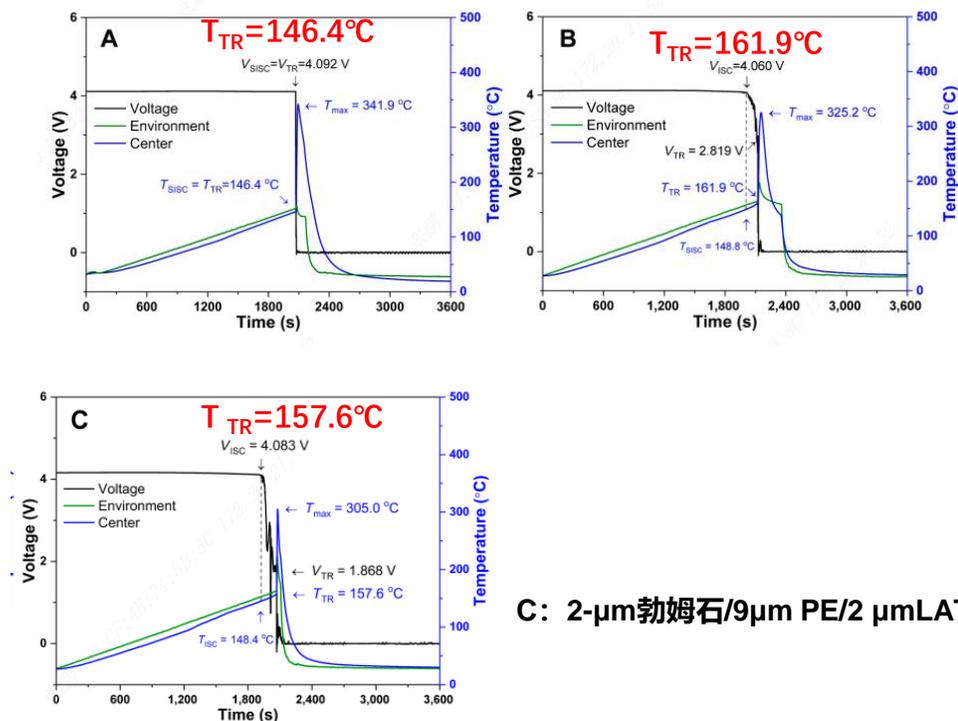
资料来源：全国标准信息公共服务平台、五矿证券研究所

- 相关国标处于征求意见阶段，计划26年1月强制实施。其要求新能源车热扩散试验后（针刺、加热等）的电池包不着火不爆炸。
- 截止至2024年2月，国内已有78%的企业已具备“不起火、不爆炸”技术储备。

半固态VS液态安全性：从学术论文角度看提升热失控温度的方式

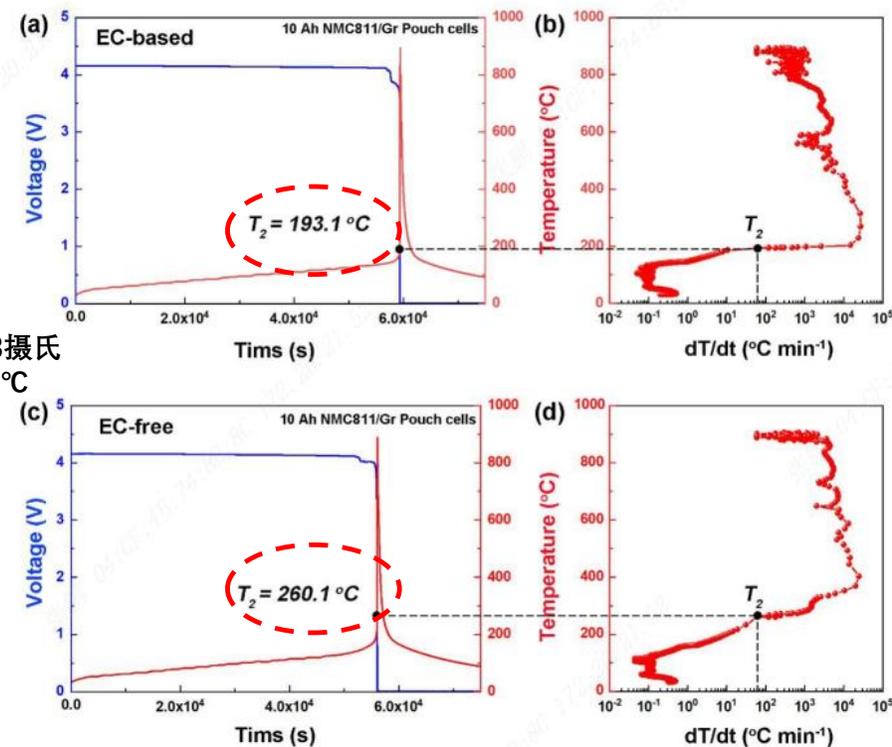
图表15：LATP以及勃姆石涂覆可以提升电池热性能

A: 2- μm 勃姆石/9 μm PE/2 μm 勃姆石 B: 2- μm LATP/9 μm PE/2 μm LATP



资料来源：《High-Voltage and High-Safety Practical Lithium Batteries with Ethylene Carbonate-Free Electrolyte》、五矿证券研究所

图表16：无EC的电解质将10Ah高镍811电芯的热失控触发温度提高



T2温度从193摄氏度提升至260°C

资料来源：《Improving the Safety of HED LIBs by Co-Coating Separators with Ceramics and Solid-State Electrolytes》、五矿证券研究所 (a/b是采用EC, c/d是不采用EC电解液的体系)

- 当前的固态电解质涂覆并非改善安全性的唯一方式。采用固态电解质涂覆、电解液的变化等方式均可以提升热失控温度 (传统液态电池在130°C附近发生热失控)

半固态VS液态：LATP半固态电池相比液态电池短期未明显占优

图表17：半固态电池中LATP的使用在经济性和性能等上相比液态电池隔膜涂覆并不明显占优

单位	液态体系			半固态体系		
	隔膜-勃姆石	隔膜-PVDF	隔膜-芳纶（当前）	隔膜-LATP当前	隔膜-LATP大规模	隔膜-LATP远期
经济性对比						
假设无涂覆电芯成本	元/wh	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
电芯成本理论提升幅度		1.3%	2.2%	9.0%	7.8%	1.7%
电芯成本实际	元/wh				0.43	0.41
电芯成本实际提升幅度					43.7%	1.7%
性能对比						
相比勃姆石T2提升幅度	℃	0	/	大于0*	10到15	10到15
减重			/		/	
倍率性能			较好		一般	
工艺制造对比						
涂覆工艺		良品率高，涂布的速度为 70-80 米/min			当前良品率低，涂布的速度不到液态的10分之一	

资料来源：《High-Voltage and High-Safety Practical Lithium Batteries with Ethylene Carbonate-Free Electrolyte》、易车、远川、澎湃、同花顺、wind、中国塑料加工工业协会、SMM、蓝科途、五矿证券研究所测算

- 半固态电池本质仍是液态电池，类似隔膜涂覆。
- 相比液态电池勃姆石涂覆，LATP在短期经济性、工艺良率不占优，性能有优有劣；远期优势不够明显。
- 半固态当前受制于良品率等因素成本较高，长期和勃姆石涂覆的液态电池处于同一水平。

04 固态电池终端应用现状

全固态VS液态电池VS半固态：全固态电池性能潜力大

图表18：全固态电池是长期方向之一

	单位	全固态（硫化物）	半固态（氧化物）	液态（勃姆石涂覆）
成本（远期）	元/wh	0.67	0.52	0.51
成本（中短期）		很贵	较贵	便宜
性能				
安全性		本征安全性高	本征安全略提升	/
电芯体积能量密度		提升约20%	/	/
电芯质量能量密度		提升空间大	/	/
稳定性等		/	/	/
倍率性		较好	一般	好
制造				
		通过内串简化制造，提升效率	/	/
		界面稳定性等难以处理	制造相对复杂	/

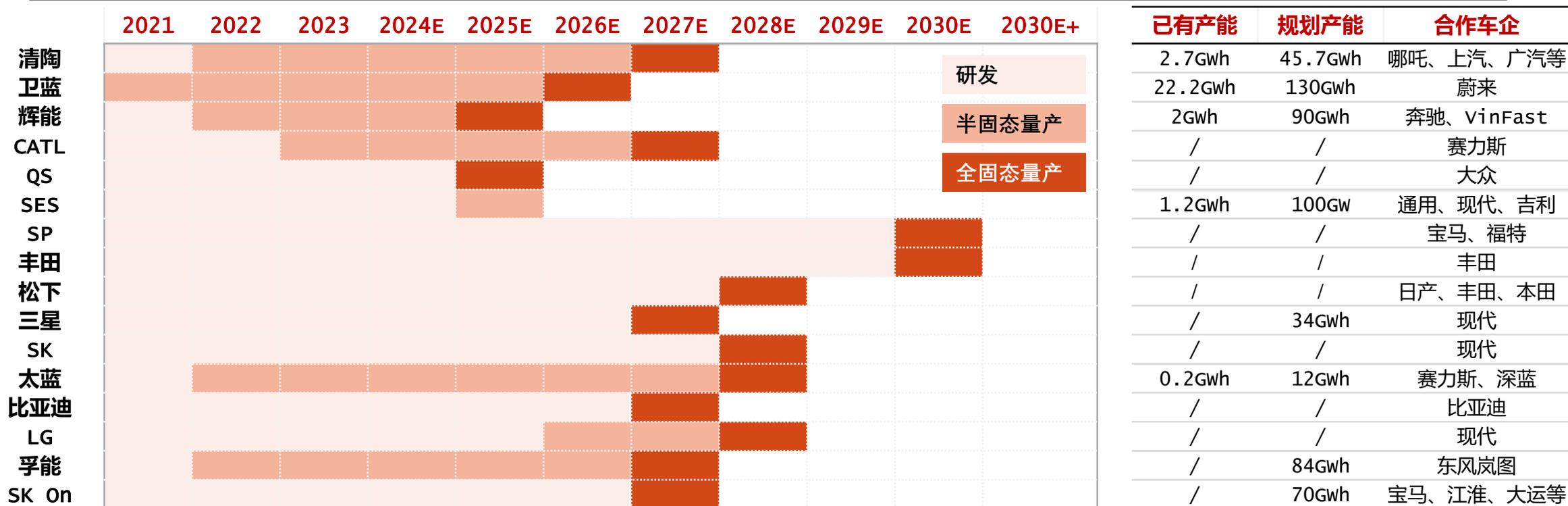
资料来源：每日经济新闻、《Solid-State Battery Roadmap 2035+》、SMM、wind、芝能汽车、江西广播电视台、五矿证券研究所测算

备注：1) 标绿的是相比液态的劣势，标红的是优势，颜色深代表程度大。2) 全固态硫化物体系按照Li5.5PS4.5Cl1.5+金属锂负极+高镍正极；半固态采用氧化物固态电解质+硅负极+高镍正极。3) *考虑实际良品率，未来半固态成本可能比理论的高；4) 远期是指完全大规模化后；5) 体积能量密度是只考虑固态电解质相比液态的变化，为粗算值。

- 全固态电池适合对安全性和能量密度需求大的领域，是对现有高能量密度体系的升级方案。其牺牲了少部分性能，用更高成本换取了本征高安全性，且能量密度上限更大。

固态电池厂商 | 产业布局：半固态产能快但装车慢，全固态量产时间仍需等待

图表19：固态电池企业量产规划、产能布局及装车情况



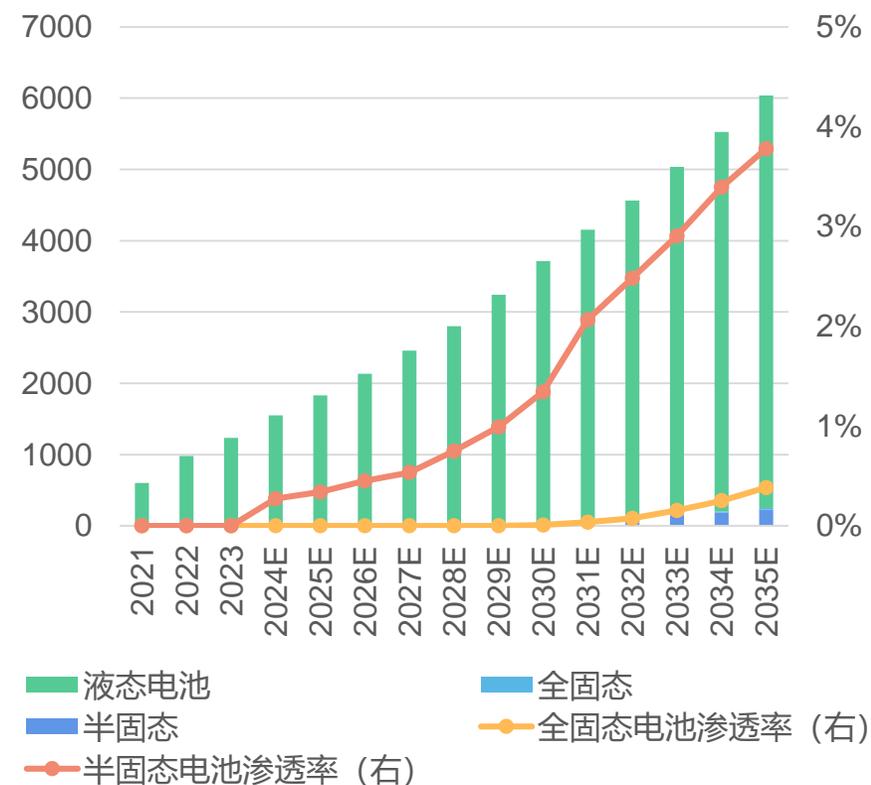
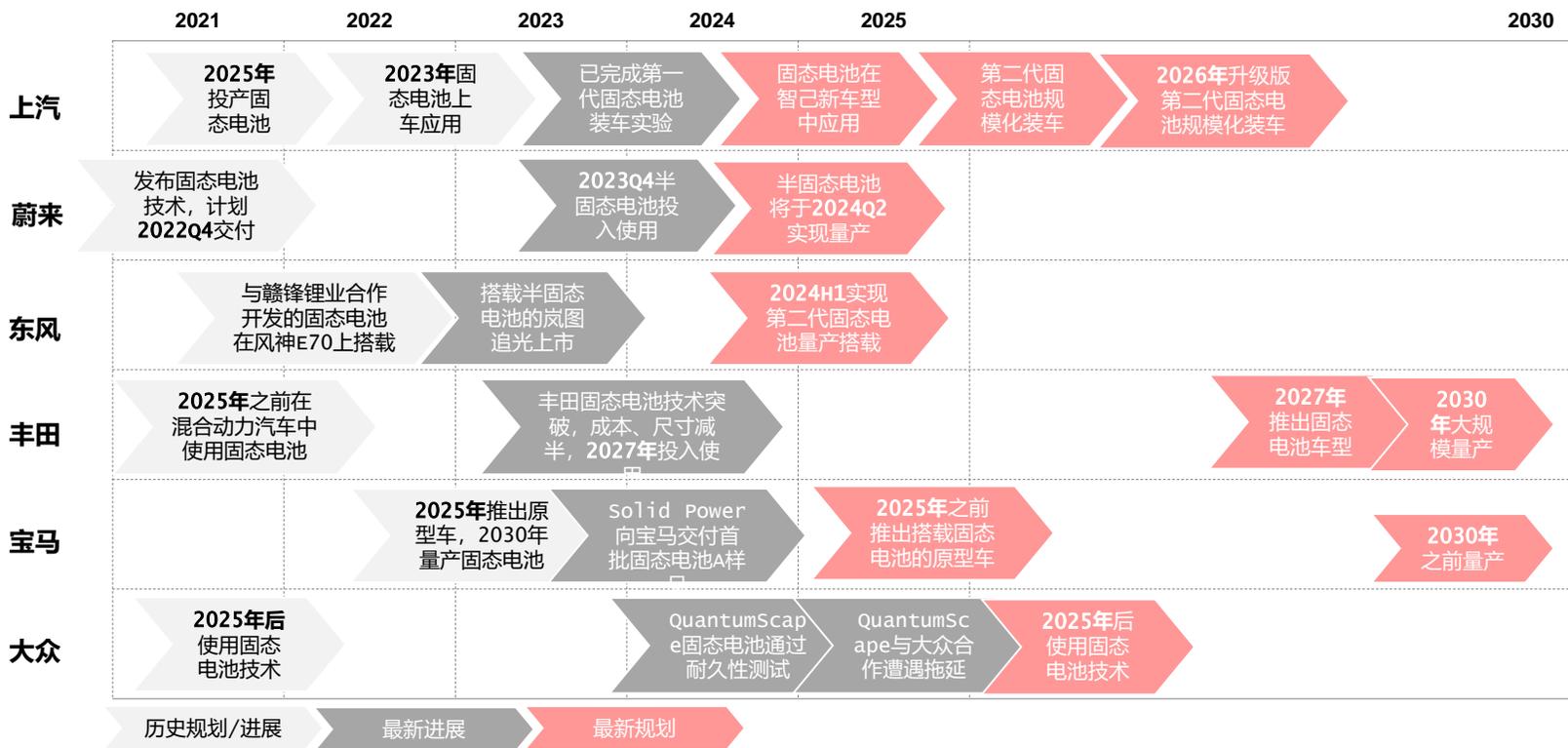
资料来源：EV tank，五矿证券研究所
备注：截止2024年6月的统计

- 产能布局：固态电池产能总规划超565.7GWh，已建成产能约28.3GWh，国内企业产能建设占比大。
- 装车情况：已宣布装车量产的为清陶-智己、卫蓝-蔚来、赣锋-东风、赣锋-赛力斯。

终端市场：半固态电池上车时间表以2027年为节点，全固态仍需等待

图表20：车企端固态电池仍处于试验阶段，目前半固态较多

图表：固态电池2035E预计出货约250Gwh



资料来源：上汽集团，东风汽车，蔚来，懂车帝，36氪，日刊新闻社，上海汽车报，澎湃新闻，五矿证券研究所

资料来源：GGII、鑫椏资讯、五矿证券研究所测算

- 消费市场：低空飞行场景对电池需求特征是“三高一快”，高能量密度、高安全性、高功率、快充性能优（5C放电能力）。
- 新能源车：国内规划节奏快于海外，上车规划以2027年为节点。我们认为半固态电池产业化拐点在2026-2027年，全固态电池仍需更长的等待。

结论

- 全固态电池是对现有三元为代表的高能量密度体系的升级方案，在本征安全、提升能量密度的冗余度上更高，硫化物方向潜力大；但固态电解质和电池制造的制约下，产业化拐点仍需等待。
- 半固态电池是热安全性的一种解决方案，本质是液态电池，类似隔膜涂覆。其短期经济性和倍率性上相比液态体系的隔膜涂覆不占优。当前液态电池体系在热蔓延环节有改进，安全性提升明显。
- 下游应用上，消费市场未来或将有部分应用，半固态电池上车时间表以2027年作为节点，国内节奏快于海外。

风险提示

- 固态电池研发进度低于预期，导致产业化进度不及预期
- 上游的碳酸锂、钛、镧等原材料价格大幅走高，可能会限制固态/半固态电池的应用进展
- 技术变革风险，动力电池为技术驱动的行业，假设出现更具应用潜力的方向，固态电池的研发和应用会受到影响
- 半固态电池市场接受度仍需一定的验证，未来的市场空间存一定不确定性。

THANKS



打造五矿特色鲜明、践行产融结合的一流投资银行

五矿证券有限公司

深圳市南山区滨海大道3165号五矿金融大厦2401

电话 0755-82545555

网址 www.wkzq.com.cn

免责声明

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。作者保证：(i) 本报告所采用的数据均来自合规渠道；(ii) 本报告分析逻辑基于作者的职业理解，并清晰准确地反映了作者的研究观点；(iii) 本报告结论不受任何第三方的授意或影响；(iv) 不存在任何利益冲突；(v) 英文版翻译若与中文版有所歧义，以中文版报告为准；特此声明。

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在20%及以上；
		增持	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于5%~20%之间；
		持有	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于-10%~5%之间；
		卖出	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在-10%及以下；
		无评级	对于个股未来6个月的市场表现与基准指数相比无明确观点。
行业中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	行业评级	看好	预期行业整体回报高于基准指数整体水平10%以上；
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%~10%之间；
		看淡	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

一般声明

五矿证券有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告即视其为客户，本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。本报告的版权仅为本公司所有，未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式对本研究报告的任何部分以任何方式制作任何形式的翻版、复制或再次分发给任何其他人。如引用须联络五矿证券研究所获得许可后，再注明出处为五矿证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。在刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的同时，也应注明本报告的发布人和发布日期及提示使用证券研究报告的风险。若未经授权刊载或者转发本报告的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入或将产生波动；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；本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含信息和推荐不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。在任何情况下，报告中的信息或意见不构成对任何人的投资建议，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本公司及作者在自身所知知情范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

五矿证券版权所有。保留一切权利。

特别申明

在法律许可的情况下，五矿证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到五矿证券及其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。