如何跨越电动车渗透率鸿沟——解决超快充瓶颈，满足高效补能诉求

——新能源汽车产业链深度报告

行业评级 看好（维持）
国家/地区 中国
行业 新能源汽车产业链行业
报告发布日期 2023 年 01 月 05 日



核心观点

- **跨越电动车渗透率鸿沟，需解决快充瓶颈，未来三方面的边际变化将驱动快充发展提速：**

  1. 新能源汽车补贴逐步退坡，到 2023 年完全取消，政策层面对续航里程和能量密度的指引减弱。

  2. 2022 年新上市车型的平均标称续航里程已经超过 500km，基本可以满足消费者在冬季之外的长短途出行。继续提高带电量和续航里程，主要是为了满足在冬季低温和夏季高温下的出行需求。

  3. 续航里程的提升带动纯电动汽车长途出行场景增多，反过来促进了消费者对途中快充的需求。

- **负极是快充电芯的主要瓶颈，包覆处理、材料改性、极片优化是主要的解决方案，PACK 层面需通过多面液冷强化散热。**电芯的极化现象造成了快充过程中的负极析锂、容量损失以及大量产热，是电芯实现快充的主要障碍，其中负极是最主要的瓶颈。平衡兼顾能量密度和倍率性能是当前纯电动汽车电芯实现快充需要解决的关键问题，目前针对负极的优化方案主要包括包覆处理、材料改性、以及极片优化，在 PACK 层面则需要通过多面液冷以满足快充的散热需求。

- **快充解决方案主要对产业链提出了三个方面的需求：第一，对负极材料厂商的研发、工艺能力提出了更高的要求。**包覆处理、二次造粒、表面蚀刻、微膨处理、掺杂改性等方案均有较高的工艺壁垒，考验负极厂商的工艺 know how 积累。**第二，对负极辅材、电池冷却系统提出了新需求。**例如包覆工艺对于高性能（高软化点）包覆材料的需求，硅基负极对于碳纳米管等新型导电剂、粘结剂的需求，PACK 对于水冷板的增量需求。**第三，对电池企业与上游负极厂商的联合研发能力以及电芯制造的工艺能力提出了更高要求。**快充解决方案的应用需要电芯设计与上游材料改进相配合，对电芯厂商与负极企业的联合开发能力有较高要求。梯度极片的设计，考验电芯企业对电芯制造前段工艺的控制能力。

投资建议与投资标的

- 建议关注具有高端负极材料工艺积累的头部负极厂商 璞泰来(603659，未评级)、贝特瑞(835185，买入)、杉杉股份(600884，未评级)。
- 建议关注包覆材料、新型导电剂、水冷板领域的龙头企业，信德新材(301349，未评级)、天奈科技(688116，未评级)、银轮股份(002126，买入)（汽车组覆盖）。
- 建议关注领先布局快充技术，具有领先研发能力和工艺能力的电芯企业 宁德时代(300750，买入)、欣旺达(300207，未评级)。

风险提示

- 新能源汽车销量不达预期
- 快充技术迭代速度不达预期
- 技术发展方向不同预期
- 快充基础设施建设速度不达预期

证券分析师
卢日鑫 021-63325888*6118 lurixin@orientsec.com.cn 执业证书编号：S0860515100003
顾高臣 021-63325888*6119 gugaochen@orientsec.com.cn 执业证书编号：S0860520080004
李梦强 limengqiang@orientsec.com.cn 执业证书编号：S0860517100003
林煜 linyu1@orientsec.com.cn 执业证书编号：S0860521080002

联系人
张洋 zhangyang3@orientsec.com.cn

相关报告
解决消费者核心需求，寻找动力电池发展的主旋律：新能源汽车产业链深度报告 2022-11-02
硅基负极：新一代锂电材料，市场化进程加速 2022-06-30
纤维状导电剂性能优异，碳纳米管有望引领行业发展 2022-03-31

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

目录

跨越电动车渗透率鸿沟，需解决快充瓶颈.....5

超快充为何难：需平衡兼顾倍率与能量密度，负极是主要瓶颈.....7

产品视角：倍率性能与电芯容量、能量密度难兼顾.....7
原理视角：极化造成电池产热、负极析锂、容量损失，负极是主要瓶颈.....8

解决方案：包覆处理、材料改性、极片优化、多面液冷.....11

表面碳包覆：保护负极、提供活性位点、加快去溶剂化.....11
各向同性处理与二次造粒：兼顾离子嵌入与压实密度.....12
表面多通道处理、微膨处理：从微结构入手加快嵌锂.....14
硅基负极：提高材料克容量，打开能量密度上限.....14
极片设计：优化孔隙率与组分分布，实现倍率性能与能量密度的最大化.....16
多面液冷：强化散热，保障快充的安全稳定.....18

投资建议.....20

风险提示.....21

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

图表目录

图 1：“鸿沟理论”的客户分布 5
图 2：新能源汽车渗透率已显著提升 5
图 3：历年上市车型最大标称续航 6
图 4：历年新上市车型平均及最小快充时长 6
图 5：充放电过程电池极化示意 8
图 6：负极析锂现象及其危害 9
图 7：不同充电倍率下人造石墨负极可用比容量 9
图 8：NCA 电池正负极及全电池熵热系数 10
图 9：1C 充电倍率下各时点（10s-3550s）总产热率分布 10
图 10：1C 充电倍率下电池可逆热分布曲线 10
图 11：1C 充电倍率下电池不可逆热分布曲线 10
图 12：常见的负极快充改进方案 11
图 13：锂离子在无包覆/有包覆石墨材料中嵌入模式对比 11
图 14：不同软化点沥青包覆天然石墨的倍率性能 12
图 15：不同包覆比例石墨的倍率性能 12
图 16：不同炭化温度得到的碳包覆石墨的倍率性能 12
图 17：各向异性（左）与各向同性（右）电极颗粒示意 13
图 18：一次颗粒人造石墨颗粒 SEM 照片 13
图 19：二次颗粒人造石墨 SEM 照片 13
图 20：石墨的表面处理与微膨处理 14
图 21：硅基负极产业化难点 15
图 22：硅基负极材料端优化路线 15
图 23：极片内部电子与锂离子运动过程（左放电，右充电） 16
图 24：欣旺达 SFC480 超快充电池复合多孔电极技术 17
图 25：下层含量多于上层的导电剂梯度分布导电效果更佳 17
图 26：单面间接水冷实验装置及温度分布（3C 倍率） 18
图 27：4C 倍率下电池包最高温度对比 19
图 28：4C 倍率下电池包最大温差对比 19
图 29：麒麟电池弹性夹层多面冷却 19
图 30：特斯拉蛇形管水冷板 19
图 31：2022 年 9-12 月小鹏 G9 交付量 20

表 1：纯电动汽车补贴及退坡情况 6
表 2：常见高倍率小动力电芯技术参数对照 7

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

表 3：纯电动车快充动力电池参数对照 7
表 4：不同处理方式石墨材料倍率容量对比 14
表 5：负极快充解决方案汇总 17
表 6：主流电池厂商快充产品及配套量产车型 20

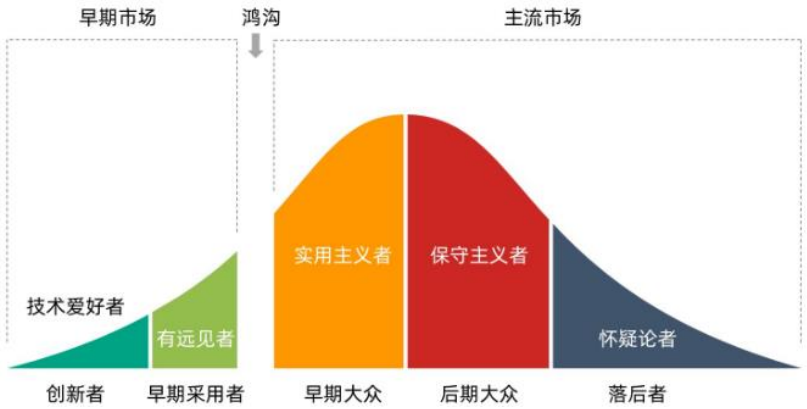
有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

跨越电动车渗透率鸿沟，需解决快充瓶颈

对于新兴行业，其早期市场与主流市场之间存在一条巨大的鸿沟，能否跨越鸿沟，赢得实用主义者的支持，进而成为主流市场，决定了行业的成败。

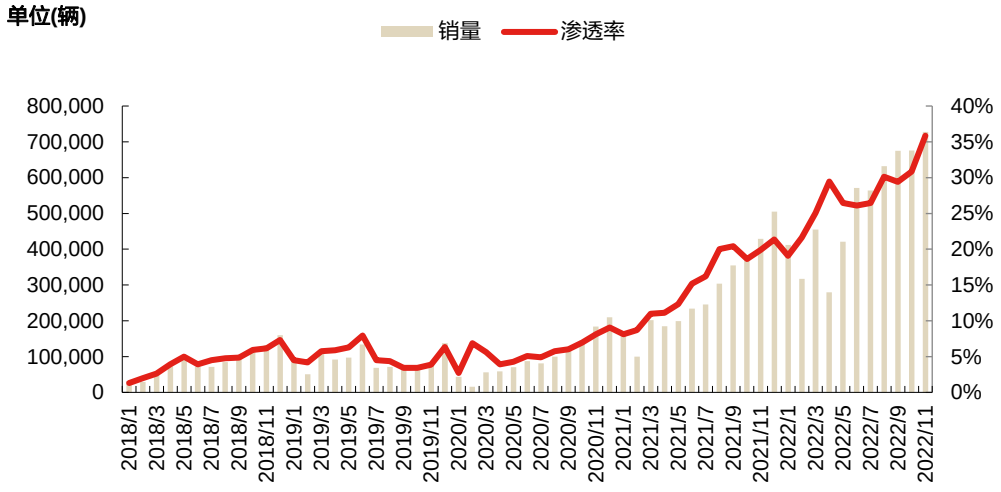
我们在系列报告第一篇《解决消费者核心需求，寻找动力电池发展的主旋律》中我们已经提到，虽然当前新能源车渗透率已经迅速攀升至 30%以上，但其消费群体仍然保持了创新者和早期使用者的特征，当前消费者以换购和增购家庭为主，其购车动力更多源于对于新产品的偏好，新能源车相对于燃油车的差异化与亮点是主要的驱动因素。**新能源车市场当前正处在跨越鸿沟的关键节点，要赢得主流消费者的支持，还需要补齐续航、快充和安全三大短板，其中快充正逐渐成为行业竞争的下一条主赛道。**

图 1：“鸿沟理论”的客户分布



数据来源：《跨越鸿沟》，东方证券研究所

图 2：新能源汽车渗透率已显著提升

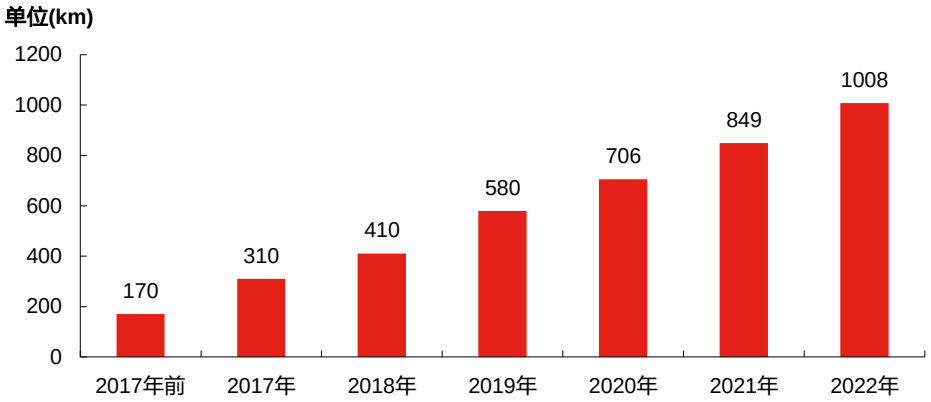


数据来源：乘联会，东方证券研究所

在电动汽车发展初期，续航里程不足的矛盾相对更加突出，获得优先发展。电动汽车购车补贴主要以车辆续航里程以及动力电池能量密度为评价指标确定补贴额度，消费者需求叠加政策鼓励使得在此期间动力电池的能量密度，以及纯电动汽车的续航里程迅速提高。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

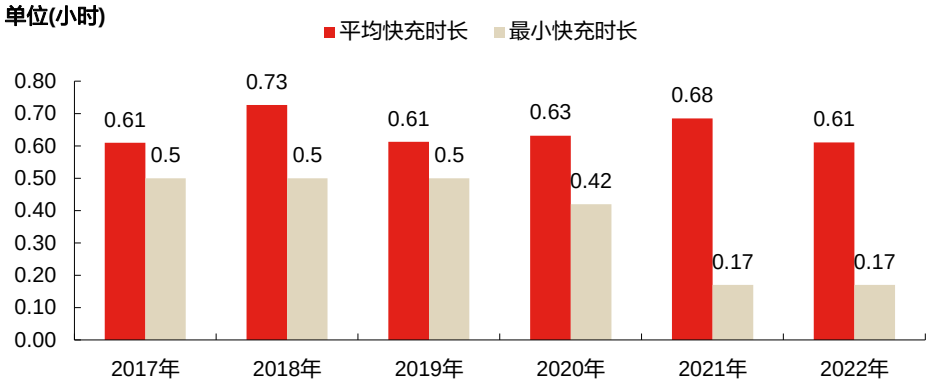
图 3：历年上市车型最大标称续航



数据来源：乘联会，东方证券研究所

相比之下，快充整体发展相对滞后，但趋势已显。从 2017-2022 新上市车型平均快充时长基本保持在 0.6-0.7h 之间，未体现出下降趋势；但最小快充时长自 2020 年开始从 0.5h 下降到 0.17h。

图 4：历年新上市车型平均及最小快充时长



数据来源：懂车帝，东方证券研究所

补贴退坡、新车平均标称续航超 500km、纯电动长途出行场景增多三方面的边际变化将驱动快充发展提速：

1. 新能源汽车补贴逐步退坡，到 2023 年完全取消，政策层面对续航里程和能量密度的指引减弱。
2. 2022 年新上市车型的平均标称续航里程已经超过 500km，基本可以满足消费者在冬季之外的长短途出行。继续提高带电量和续航里程，主要是为了满足在冬季低温和夏季高温下的出行需求。
3. 续航里程的提升带动纯电动汽车长途出行场景增多，反过来促进了消费者对途中快充的需求。

快充的实现需要动力电池和充电设施的共同发力，将带动高倍率电池和高压快充系统的迅速发展，其中兼顾高倍率和高能量密度的动力电池是实现快充的重要技术基础。

表 1：纯电动汽车补贴及退坡情况

车型/电池类型		2018	2019	2020	2021	2022
车型补贴（万元）	150-200km	1.5				
	200-250km	2.4				
	250-300km	3.4	1.8			
	300-400km	4.5	1.8	1.62	1.62	1.3

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

	≥400km	5	2.5	2.25	2.25	1.8
能量密度调整系数	105-120Wh/kg	0.6				
	120-125Wh/kg	1				
	125-140Wh/kg	1	0.8	0.8	0.8	0.8
	140-160Wh/kg	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9
	≥160Wh/kg	1.2	1	1	1	1

数据来源：工信部，东方证券研究所

超快充为何难：需平衡兼顾倍率与能量密度，负极是主要瓶颈

产品视角：倍率性能与电芯容量、能量密度难兼顾

单方面追求倍率性能并非技术瓶颈。从现有高倍率电池的产品数据来看，很多容量在 10Ah 以下的小动力电芯已经能够实现 10C 甚至 20C 以上的充电倍率，这说明对于混动电池、电动工具电池等这类主要需求倍率性能，对电芯容量、能量密度要求不高的应用场景，做到很高的充电倍率并非技术瓶颈。

反观纯电动车用动力电池，目前常见的电芯持续充电倍率都在 1C 左右，快充产品的充电倍率往往也仅在 2-4C。其与小动力电芯的需求差异主要在于，纯电动车用动力电池除了需要较高的充放电倍率之外，还需要较大的单体容量以及较高的能量密度以满足较大的系统带电量需求。因此，从产品视角来看，**目前纯电动车用电芯满足快充需求的关键难点在于平衡兼顾电芯的倍率需求以及容量、能量密度需求。**

表 2：常见高倍率小动力电芯技术参数对照

型号	标称容量	持续放电倍率	持续充电倍率	能量密度	应用领域
天鹏-50HE	5 Ah	2C	0.5C	261Wh/kg	电动自行车
天鹏-40TG	4 Ah	11C	2C	215Wh/kg	电动工具
天鹏-15SG	1.5 Ah	20C	4C	123Wh/kg	电动工具
捷威-37Ah	37 Ah	8C	4C	185Wh/kg	PHEV
捷威-5.2Ah	5.2 Ah	30C	25C	120Wh/kg	HEV

数据来源：天鹏电源，捷威动力，东方证券研究所

表 3：纯电动车快充动力电池参数对照

电池	30%-80%充电时长	电芯容量	PACK 能量密度
宁德时代 阿维塔 11 长续航版	15min (2C)	-	180Wh/kg
欣旺达 小鹏 G9 3C	16min (2C)	74Ah	160Wh/kg
巨湾技研 Aion V Plus 3C	10min (3C)	58Ah	133 Wh/kg
巨湾技研 Aion V Plus 6C	5min (6C)	30Ah	128 Wh/kg

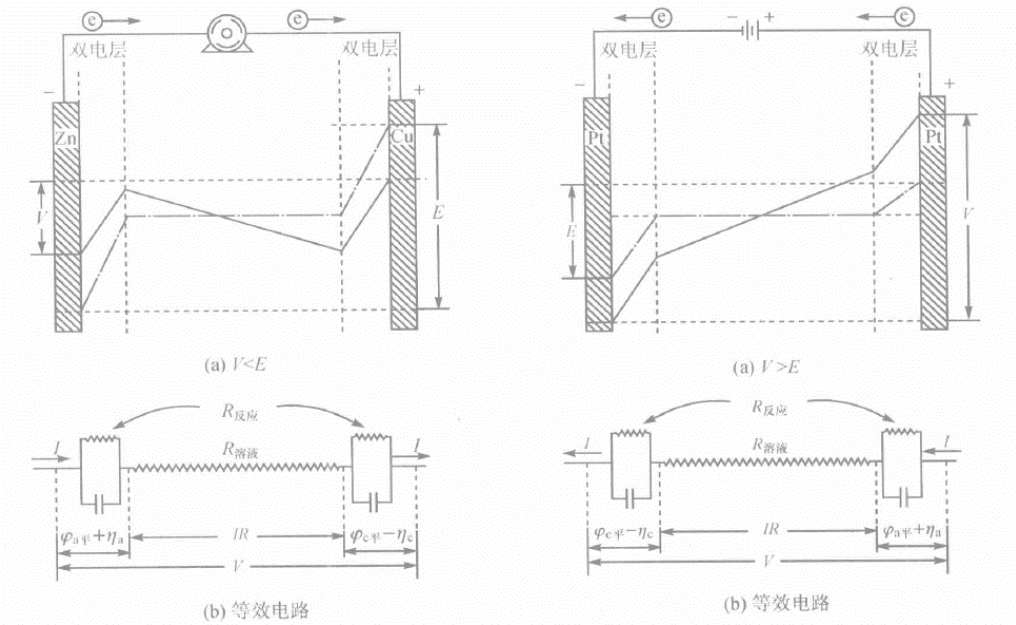
数据来源：阿维塔，懂车帝，电池中国网，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

原理视角：极化造成电池产热、负极析锂、容量损失，负极是主要瓶颈

极化的本质是电池内阻使得内电路离子与电子的中和过程跟不上外电路电子的迁移速率，造成电极电位偏离平衡电位的现象。当电池无电流通过时，其两极之间的电位差为电池的平衡电位 E。当有电流通过时，实际上出现了电子与离子两个流通过程：其中外电路为电子的流动，它起着在电极表面累积电荷使电极电位偏离平衡状态的作用，也即极化作用；内电路为离子的迁移，它起着吸收电子运动所传递的电荷使电极电位恢复平衡态的作用，也即去极化作用。由于内电路离子迁移的阻力往往远大于外电路电子迁移的阻力，就产生了极化现象。**充放电倍率越大、电池内部离子迁移、反应的速度越慢（阻力越大），所产生的极化问题越严重**。

图 5：充放电过程电池极化示意



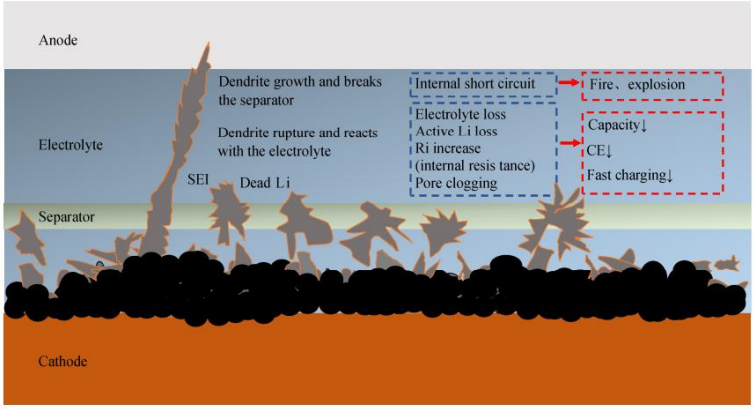
数据来源：《电化学原理——李荻》，东方证券研究所

在快充过程中，极化现象造成“正极电位偏高，负极电位偏低”，进而导致的**负极析锂、容量损失**的以及**电池产热**是电芯实现超快充的主要障碍。

负极析锂：石墨的嵌锂电位仅为 0.1-0.2V，与锂的析出电位 0V 非常接近。快充过程中，**严重的极化现象容易使得负极电位降到 0V 的析锂电位以下，从而造成锂的析出**，进而减少电池寿命，或产生锂枝晶造成电池短路等问题影响电池安全。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

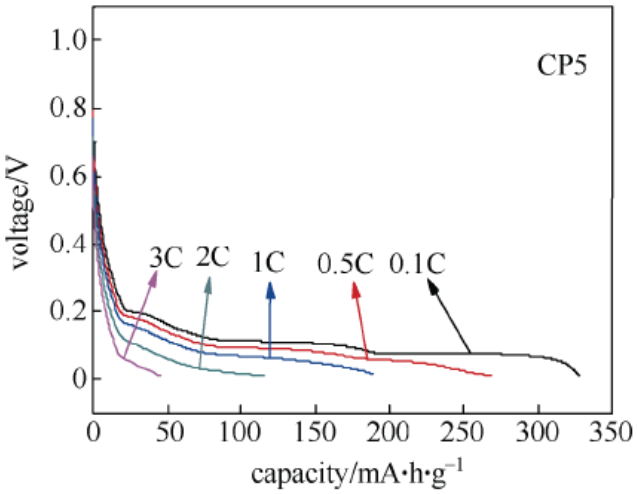
图 6：负极析锂现象及其危害



数据来源：《锂离子电池负极析锂检测方法的研究进展——周宇等》，东方证券研究所

容量损失：充电过程的电池极化会使得**电池的外电压更早地到达充电的截止电压，充电倍率越高，极化越强，到达截止电压的速度越快，电池的可用容量越小**，造成充电倍率越大，电池的可用容量越小的问题。

图 7：不同充电倍率下人造石墨负极可用比容量



数据来源：《硬碳包覆人造石墨作为锂离子电池负极材料的快充性能评价——吴敬昌等》，东方证券研究所

电池产热：极化越强不可逆产热越大，高倍率下不可逆热为主导，负极是主要的产热环节。

电池充放电过程中的产热主要分为两部分，即**可逆热和不可逆热**。其中可逆热与电池内的化学反应进程有关，吸/放热方向与材料的熵热系数$\frac{\partial U}{\partial T}$相关，产热率与电流成一次方关系；充电过程电池极化电压与平衡电压之间的差值称为过电压，过电压与电流的乘积即为电池充电过程不可逆的能量消耗也即产生的不可逆热。其产热率与电流成二次方关系。因而**高倍率下，会产生大量的不可逆热，给大容量电芯的散热提出挑战**。

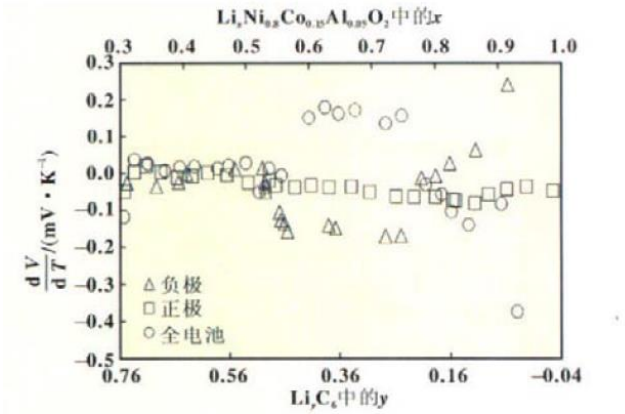
$$\dot{q}=\dot{q}_{jou}+\dot{q}_{rea}=I(U_{OCV}-U)-IT\frac{\partial U}{\partial T}=I^2R_{in}-IT\frac{\partial U}{\partial T}$$

注：q̇为总产热率，$\dot{q}_{jou}$为不可逆热产热率，$\dot{q}_{rea}$为可逆热产热率，I 为电流，$U_{ocv}-U$为过电势，T 为反应温度，$\frac{\partial U}{\partial T}$为熵热系数，$R_{in}$为等效电芯内阻

负极是快充过程主要的产热环节，也即快充过程的主要瓶颈。从总产热率上来看，充电过程中超过 95%的热量都在正负极上产生，而其中各时点产热又以负极为主导。对于可逆热，由于正极在充电各阶段的熵热系数都接近于零，**因而负极主导了可逆热的产生**，在电池高速充电阶段（20%~70%SOC）负极化学反应为放热反应，这加剧了快充过程的产热问题；对于不可逆热，由于嵌锂反应的阻力要显著大于脱锂反应，**因而充电过程中负极的不可逆热也要显著大于正极，同时这也意味着负极是快充过程的主要限制环节**。

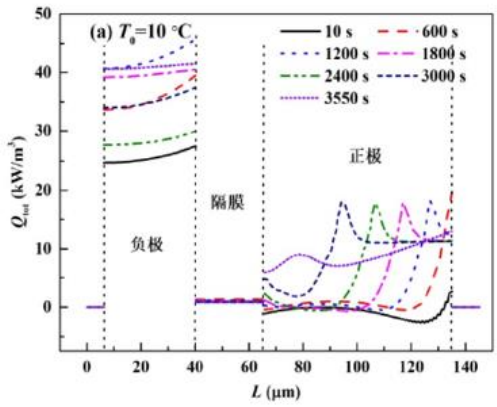
因此，要想实现电池超快充，需要改善电池充电过程的极化问题，关键**在于对负极的离子迁移条件进行优化**。

图 8：NCA 电池正负极及全电池熵热系数



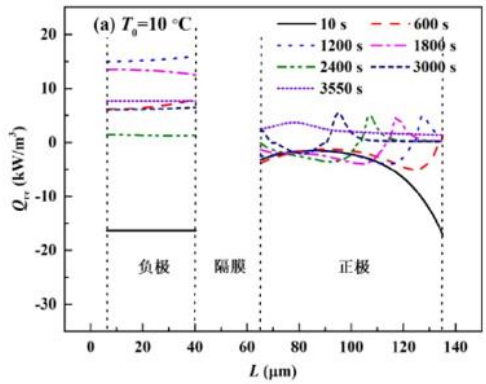
数据来源：《锂离子电池在循环过程中的产热研究——李奇》，东方证券研究所

图 9：1C 充电倍率下各时点（10s-3550s）总产热率分布



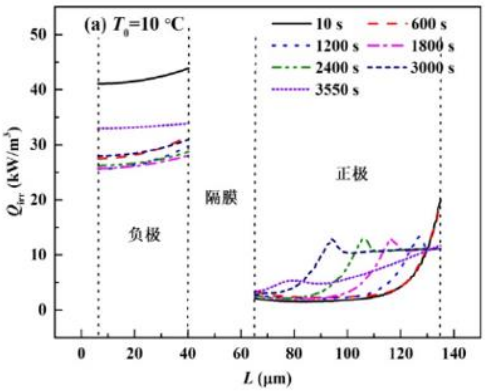
数据来源：《磷酸铁锂电池充放电过程的电化学与热特性研究——谭梅鲜》，东方证券研究所

图 10：1C 充电倍率下电池可逆热分布曲线



数据来源：《磷酸铁锂电池充放电过程的电化学与热特性研究——谭梅鲜》，东方证券研究所

图 11：1C 充电倍率下电池不可逆热分布曲线



数据来源：《磷酸铁锂电池充放电过程的电化学与热特性研究——谭梅鲜》，东方证券研究所

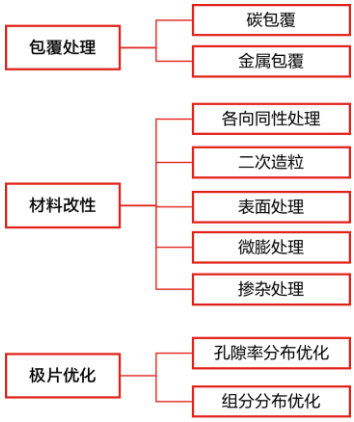
有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

解决方案：包覆处理、材料改性、极片优化、多面液冷

在电芯层面，目前兼顾能量密度与倍率性能对负极进行优化的方案主要有三大类，一是**包覆处理**，在负极石墨表面上进行碳包覆或金属包覆；二是**材料改性**，具体包括石墨的各项同性处理、二次造粒、表面蚀刻处理、微膨处理、掺杂改性等；三是**极片尺度的设计优化**，包括对孔隙率分布的优化以及对极片组分分布的优化等。

在 PACK 层面，则需要更优的冷却方案以满足快充过程中短时、大量的散热需求，保障电池系统的安全稳定。

图 12：常见的负极快充改进方案



数据来源：中国知网，中国粉体网，东方证券研究所汇总整理

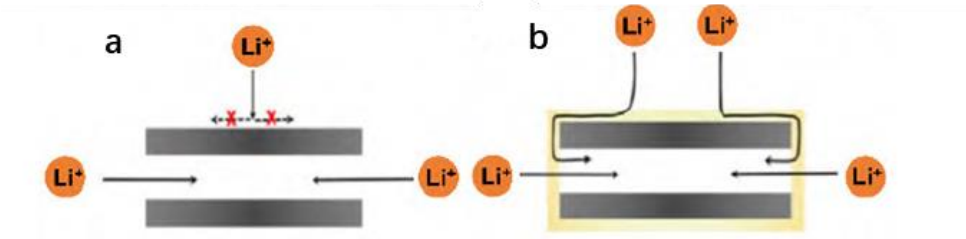
表面碳包覆：保护负极、提供活性位点、加快去溶剂化

碳包覆是目前最常见的负极材料包覆改性措施，具体方法是以沥青等作为包覆原料与石墨颗粒混合经炭化在石墨表面形成无定型碳包覆。其主要作用有两个方面：

1. **加快嵌锂：**石墨是层状排布的二维结构材料，锂离子在石墨中的迁移具有高度的各向异性，锂离子在垂直于石墨片层方向（基面）的扩散系数远低于边缘平面处（端面）。碳包覆可以在基面上提供嵌锂活性位点，更快传输离子到达石墨端面，减弱石墨的各向异性。同时包覆层可以作为锂离子和溶剂分子的筛分器，加速锂离子的去溶剂化。

2. **保护负极：**包覆层可以隔离电解液与石墨，避免快充过程中溶剂分子的共嵌入。从而减少不可逆副反应的发生，抑制析锂，降低快充对石墨材料的破坏。

图 13：锂离子在无包覆/有包覆石墨材料中嵌入模式对比



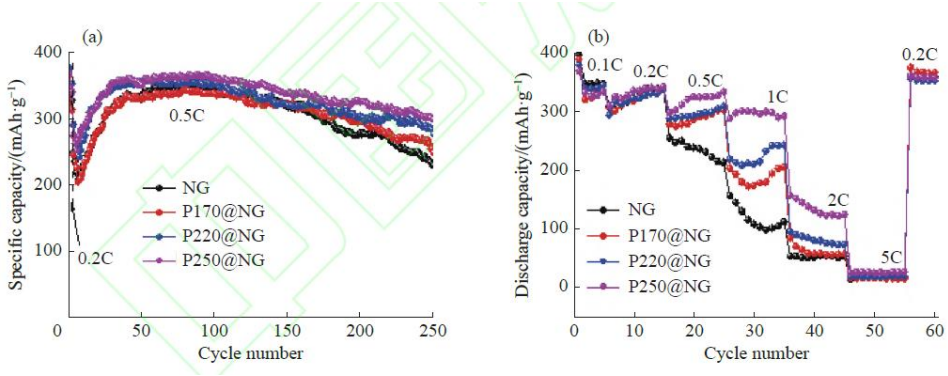
数据来源：《锂离子电池快充石墨负极研究与应用——丁晓博》，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

目前包覆处理主要用于高端石墨负极，**包覆材料与包覆工艺的不同均会对实际的包覆效果产生较大影响**。对于包覆材料，所用沥青的软化点和含碳量对最终的包覆性能有很大影响，一般而言包覆材料的软化点越高相应的结焦值越高，杂质含量少，包覆所得的倍率性能越佳。因此，**包覆材料存在一定的壁垒，高温负极包覆材料相对更加高端**。

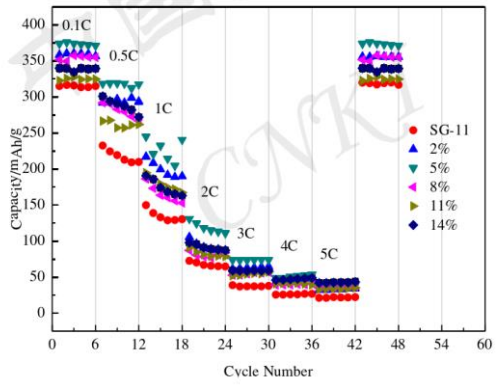
在包覆工艺方面，一般包括固相混料/液相浸渍、熔融包覆/蒸发溶剂、炭化等步骤，其选取的包覆方法、添加包覆材料的比例、以及炭化温度等都会对最终的包覆效果产生显著的影响，**因此包覆工艺中的 know how 具有重要意义，对负极厂商的工艺能力提出了较高要求**。

图 14：不同软化点沥青包覆天然石墨的倍率性能



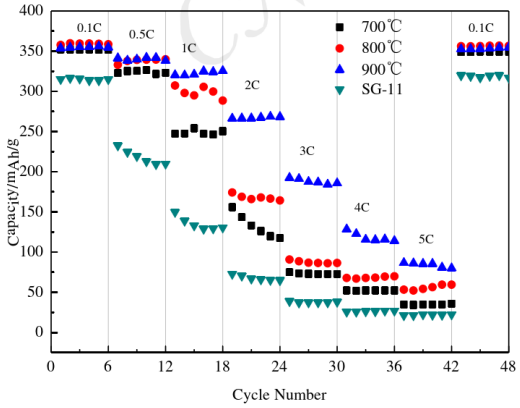
数据来源：《不同软化点沥青对天然石墨包覆性能影响——王永邦》，东方证券研究所

图 15：不同包覆比例石墨的倍率性能



数据来源：《锂离子电池球形石墨负极材料倍率性能研究—李红菊》，东方证券研究所

图 16：不同炭化温度得到的碳包覆石墨的倍率性能



数据来源：《锂离子电池球形石墨负极材料倍率性能研究—李红菊》，东方证券研究所

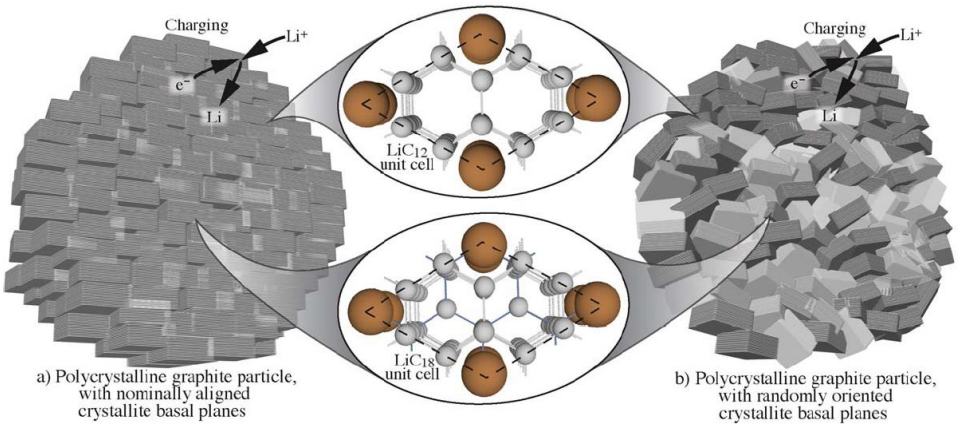
各向同性处理与二次造粒：兼顾离子嵌入与压实密度

各向异性的石墨颗粒在涂布、辊压的过程中容易形成平行于集流体的定向排列，使得锂离子到达端面的距离变长，影响负极的倍率性能。**因此，对石墨进行各向同性处理也是提高石墨负极倍率性能的重要手段之一**。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

目前常见的石墨各向同性处理方法例如**天然石墨的球形化处理工艺**，以及**人造石墨的二次造粒工艺**。通过对石墨的各向同性处理，**可以增加材料表面的活性点位，提高表面锂离子的嵌入速度，提高快充性能**。

图 17：各向异性（左）与各向同性（右）电极颗粒示意

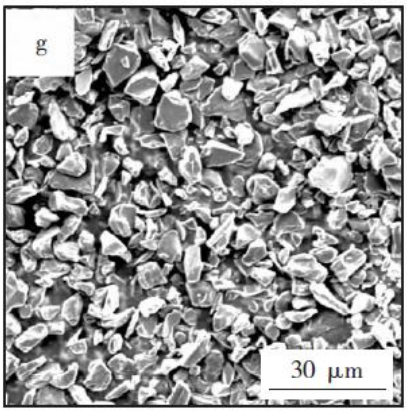


数据来源：Journal of The Electrochemical Societ, 东方证券研究所

二次造粒是目前高端人造石墨为了兼顾能量密度与倍率性能往往会采取的重要工序。其将石墨颗粒进行破碎后重聚成大颗粒，**使得二次颗粒兼具大颗粒压实密度高、容量大的优点，以及小颗粒比表面积大锂离子脱嵌通道多的优点，同时提高二次颗粒的各向同性度，以兼顾能量密度和倍率性能**。

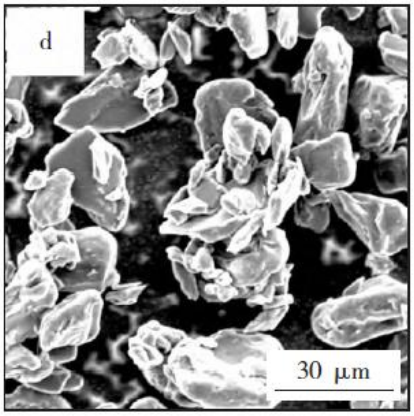
二次造粒的基本工艺是将石墨骨料粉碎获得小颗粒的基材，并使用沥青作为粘结剂，根据目标粒径大小，在反应釜内使小颗粒聚合成较大的颗粒。**其工艺过程对配方、反应温度都有较高的要求，具有一定的技术壁垒**。

图 18：一次颗粒人造石墨颗粒 SEM 照片



数据来源：《二次颗粒人造石墨负极材料的制备及储锂性能——郭明聪》，东方证券研究所

图 19：二次颗粒人造石墨 SEM 照片



数据来源：《二次颗粒人造石墨负极材料的制备及储锂性能——郭明聪》，东方证券研究所

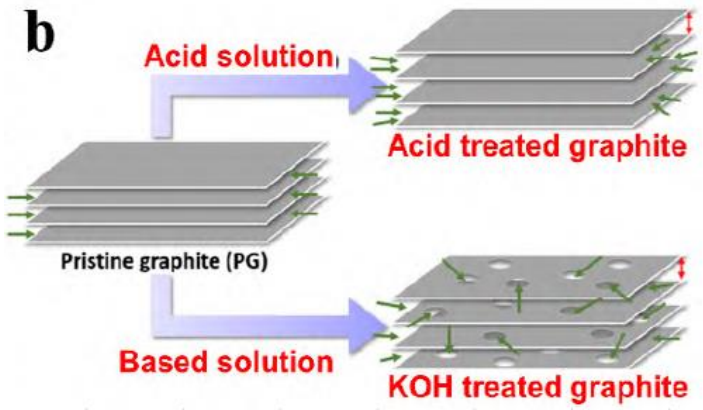
有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

表面多通道处理、微膨处理：从微结构入手加快嵌锂

表面多通道处理是通过碱蚀（例如 KOH）在石墨晶体的表面形成可供锂离子通过的空隙，以解决石墨基面嵌锂点位少的问题，通过这种方式可以增加嵌锂点位，提高石墨的倍率性能。微膨处理则是用酸（例如 H2SO4、HNO3）作为插层剂和氧化剂提高石墨晶体的层间距，以解决石墨化晶体层间距小嵌锂速度慢的问题。**表面多通道处理与微膨处理都是对提高石墨材料倍率性能非常具有潜力的手段，实验表明二者对于高倍率下材料容量的提升效果可以与表面包覆处理相当，甚至优于后者**。

相对于包覆和二次造粒，这两种处理方式是在更加微观的尺度上对石墨晶体结构进行改性，**其中试剂的选择、作用时间等工艺条件对改性效果有重要影响，因此同样考验负极厂商的工艺能力**。

图 20：石墨的表面处理与微膨处理



数据来源：《锂离子电池快充石墨负极研究与应用——丁晓博》，东方证券研究所

表 4：不同处理方式石墨材料倍率容量对比

处理方式		倍率容量 mAh/g							
		0.1C	0.5C	1C	2C	3C	4C	5C	6C
表面碱蚀	人造石墨	180	165	160	110		20		5
	人造石墨+碳包覆	180	165	160	150		82		55
	人造石墨+KOH 碱蚀处理	180	177	172	170		158		130
微膨处理	球形天然石墨	320.7	212.8	132.9	65.8	37.5	25	21.7	
	球形+固相法碳包覆	371.2	318.3	240.4	114.4	73.7	50.5	38.6	
	球形+微膨处理	359.9	325.5	235.2	109.1	70	50	38	

数据来源：《锂离子电池球形石墨负极材料倍率性能研究——李红菊》，《Characterization of graphite etched with potassium hydroxide and its application in fast-rechargeable lithium ion batteries——Jae-Hyun Shim et.al.》东方证券研究所

硅基负极：提高材料克容量，打开能量密度上限

目前对石墨材料的元素掺杂处理一般可分为三类，一是掺杂 B、P 等可以改变石墨材料结构的元素，提高石墨的插锂容量；二是掺杂 Cu、Ni 等金属元素提高材料的电子导电性；**三是掺杂 Si、Sn 等储锂活性物质，与石墨材料复合，发挥二者的协同效应，目前最常见的就是硅基负极材料**。

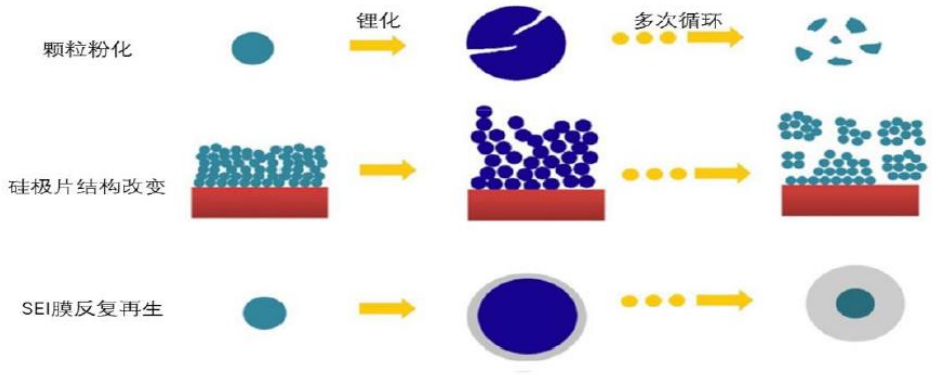
实际上，硅材料并非天然的高倍率材料，硅基负极有助于快充的核心是可以**利用硅远大于石墨的克容量提高复合材料的整体容量，为倍率性能和能量密度的平衡提供空间。**

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

目前硅基负极的技术路线主要有**硅碳**和**硅氧**两种，硅碳复合材料是指纳米硅与石墨材料混合，硅氧复合则是通过在高温下气象沉淀硅与二氧化硅（SiO2），使硅纳米颗粒（2~5nm）均匀分散在二氧化硅介质中制得氧化亚硅（SiO），再与碳复合制成。**从平衡能量密度与倍率性能的视角出发，目前硅氧负极的综合性能较好**，其既能发挥硅的高容量优势，又能够抑制硅的体积变化，Li+在 SiO 中具有更高的扩散速度，表现出更好的倍率性能。

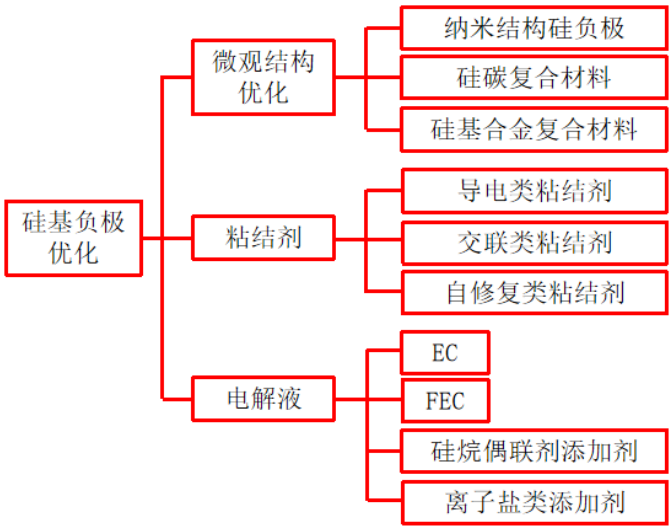
硅基负极产业化难点主要在于其嵌锂过程的体积膨胀所带来的低寿命、导电差、首效低、容量衰减等问题，因此目前硅基负极的产业化往往需要搭配预锂化、微观结构优化等工艺，以及新型导电剂、粘结剂、电解液的使用来进行，具有很高技术壁垒，这一点我们已在《硅基负极：新一代锂电材料，市场化进程加速》中进行过讨论，**贝特瑞、杉杉、石大胜华等工艺能力领先的行业龙头企业技术储备优势明显，产品性能优秀**。

图21：硅基负极产业化难点



数据来源：《硅碳负极材料的制备及预锂化技术研究——孙瑞康》，东方证券研究所

图22：硅基负极材料端优化路线



数据来源：《基于表面改性制备硅基锂离子电池负极材料及其储锂性能研究——林杨帆》，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

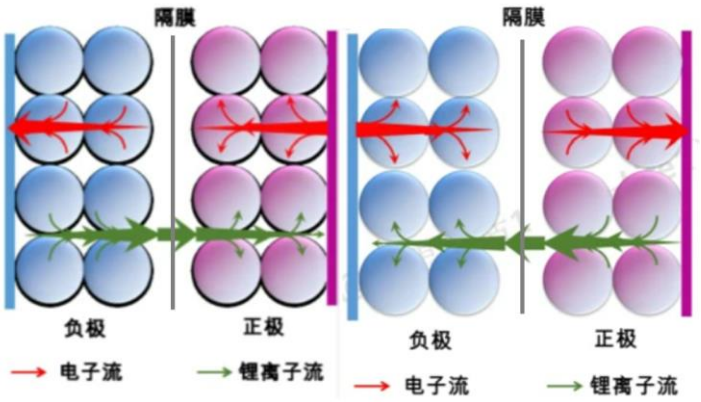
极片设计：优化孔隙率与组分分布，实现倍率性能与能量密度的最大化

在多孔电极中，电极的性能与固相导电颗粒组成的电子导电网络，以及孔隙中的电解液构成的液相离子传输网络密切相关，电极的倍率性能受到**孔隙率**、**孔径大小与分布**、**曲折度**及**电极组分分布**等电极结构参数的影响。

在电极与上述参数有关的设计中，**存在着离子导电与电子导电的权衡，也存在着倍率性能与能量密度的权衡**。例如大孔隙率有利于电解液浸润极片，加快离子在孔隙中的传导，但却增大了电子在固体活性物质中的传导难度，同时大孔隙率也不利于增大极片容量，提高能量密度；再例如导电剂的添加有利于极片的电子导电能力，但却有可能阻碍离子在孔隙的传导，同时会摊薄活性物质降低能量密度。

对于充电过程的负极，其离子的传导方向是从隔膜到集流体，电子传导方向则是从集流体到隔膜，二者在传导过程中不断在负极活性物质表面结合，**因此，从集流体到隔膜方向上离子流密度由小变大，电子流密度由大变小**。

图 23：极片内部电子与锂离子运动过程（左放电，右充电）

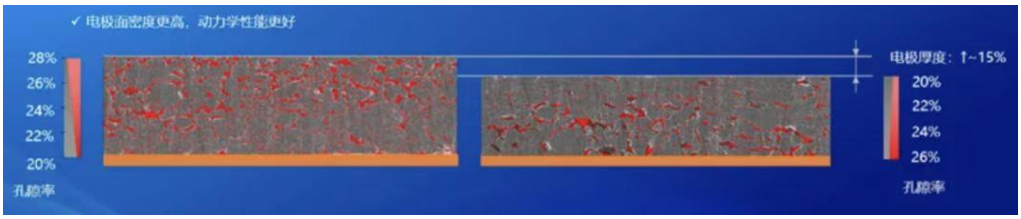


数据来源：锂想生活，东方证券研究所

因此，**根据离子与电子在极片中的传导特性对极片中孔隙率、各组分的分布进行优化设计是当前兼顾倍率性能与能量密度，提高性能的重要途径之一**。从集流体到电极表面孔隙率逐渐提升的电极不但能够保证足够的离子扩散速度，还能保证良好的电子传导特性以及较大的能量密度，例如 SFC480 超快充电池所采用的复合多孔电极技术，就是将原本均匀分布的孔隙率变为由集流体到电极表面逐渐提高的孔隙率分布，从而同时实现更高的面密度和更好的动力学性能；同理在导电剂总含量不变的情况下，增加下层导电剂含量，减少上层导电剂含量，也可以获得更好的电化学性能。

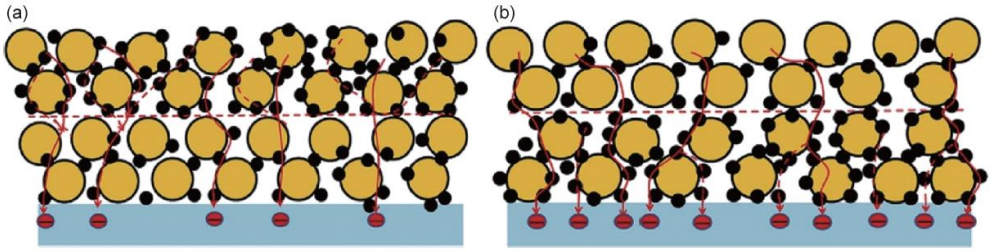
极片的分层制备技术对电池厂商电芯制造的前段工艺提出了很高的要求，尤其是涂布方案的选择、干燥温度时间等参数的确定，都会对极片和最终电芯的性能和一致性产生很大的影响，因而具有较高壁垒。

图 24：欣旺达 SFC480 超快充电池复合多孔电极技术



数据来源：欣旺达，东方证券研究所

图 25：下层含量多于上层的导电剂梯度分布导电效果更佳



数据来源：《锂离子电池用多孔电极结构设计及制备技术进展——汪晨阳》，东方证券研究所

表 5：负极快充解决方案汇总

处理方式		原理	工艺及关键环节
包覆改性	碳包覆	加快嵌锂：在基面上为锂离子提供活性位点，高离子导电性的涂层有利于更快输送离子到达石墨端面，减弱石墨的各向异性；作为锂离子和溶剂分子的筛分器，加速锂离子的去溶剂化。 保护负极：隔离电解液与石墨，避免溶剂分子共嵌入，减少不可逆副反应的发生、抑制析锂，从而降低快充的破坏。	以沥青为原料经炭化在石墨表面形成无定型碳包覆 包覆沥青的软化点和含碳量会影响包覆层性能，材料具有一定的技术壁垒 包覆工艺仅高端石墨负极需要，实现较佳的包覆均匀性和产品稳定性需要一定的工艺积累
材料改性	各向同性处理	石墨是层状排布的二维结构材料，锂离子在石墨中的迁移具有高度的各向异性，锂离子在垂直于石墨片层方向的扩散系数远低于边缘平面处。 通过对石墨的各向同性处理，可以增加材料表面的活性点位，提高表面锂离子的嵌入速度，提高快充性能。	增加各向同性度的方法主要有球形化处理（天然石墨）、二次造粒（人造石墨）等工艺 二次造粒工艺难度高，对配方、反应温度有较高要求，具有一定壁垒
	二次造粒	对单颗粒负极进行二次造粒工艺，可以使其兼具大颗粒压实密度高、容量大的优点，和小颗粒比表面积大锂离子脱嵌通道多的特点，同时提高材料的各向同性度，兼顾能量密度和倍率性能。	二次造粒是将骨料粉碎获得小颗粒基材，使用沥青等作为粘结剂，根据目标粒径大小，在反应釜内进行二次造粒 造粒环节是负极的壁垒，二次造粒工艺难度更高，对配方、温度有高要求

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

	表面处理	通过碱蚀（例如 KOH）可以在石墨材料表面形成可供锂离子通过的孔隙，增加嵌锂的点位，提高储锂能力	试剂的选择和操作工艺条件是改进的核心，考验负极厂商的工艺能力 know how
	微膨处理	通过插层处理（例如采用 H2SO4 做插层剂，HNO3 作为氧化剂）提高石墨的层间距，从而便于锂离子的嵌入和脱嵌	
	储锂活性物质掺杂（硅基负极）	核心逻辑是利用硅远大于石墨的克容量掺杂提高材料整体克容量，为倍率与能量密度的平衡提供空间	需要搭配预锂化、表面改性、导电剂、粘结剂等技术、辅材，具有高壁垒
		掺硅需要配合导电剂（例如碳纳米管）、粘合剂，一是弥补硅导电性差的问题，二是束缚机构缓解硅膨胀的问题	碳纳米管、粘合剂等属于需求的新型辅材对电池企业辅料掺混的均匀度、分布的控制能力有较高要求
极片优化	孔隙率优化	从集流体到电极表面孔隙率逐渐提升的电极不但能够保证足够的离子扩散速度,还能保证良好的电子传导特性	对前段工艺（匀浆、涂布、辊压、干燥等）提出了较高要求
	组分分布优化	导电剂的垂直分布对电池性能有显著影响,靠近集流体的下层导电剂含量高的极片性能更好	

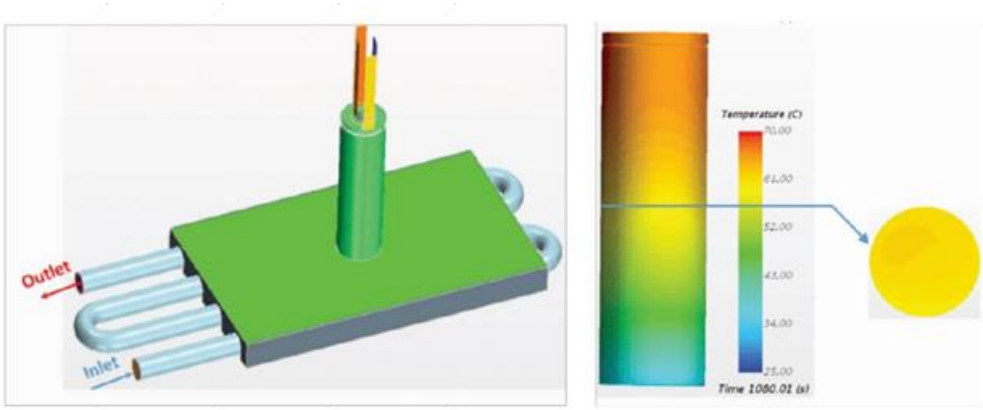
数据来源：中国知网，东方证券研究所整理

多面液冷：强化散热，保障快充的安全稳定

快充过程电芯的大量产热需要通过 PACK 层面的冷却系统进行散热以保障快充过程的安全稳定。常见的电池热管理系统的冷却方式主要分为以下三类：**1）风冷**：以低温空气为介质，利用自然风或风机进行散热，这一形式主要应用于早期的电动乘用车；**2）间接液冷**：设置冷却板，通过冷却板中液体流动带走热量；**3）直接液冷（浸没式）**：将电池浸没在冷却液中进行冷却，需避免短路，对系统的绝缘性要求较高。目前间接液冷是主流的冷却方案。

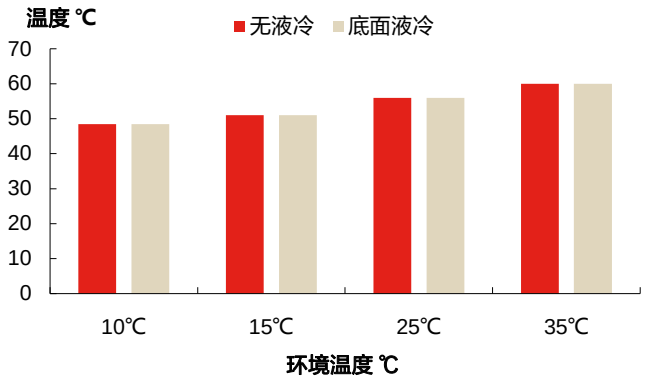
在高倍率快充的过程中，电芯短时间大量产热，对散热的要求更高。**目前主流的间接液冷采用单面水冷板，这一形式往往难以满足短时间大散热量的要求，造成电芯上下温差大，局部温度高等问题**。

图 26：单面间接水冷实验装置及温度分布（3C 倍率）



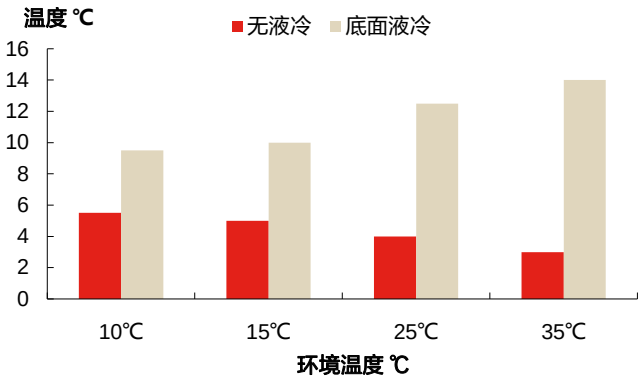
数据来源：《纯电动汽车浸没式液体冷却电池包的模拟与实验研究——郭豪文》，东方证券研究所

图 27：4C 倍率下电池包最高温度对比



数据来源：清华大学电池安全实验室，东方证券研究所

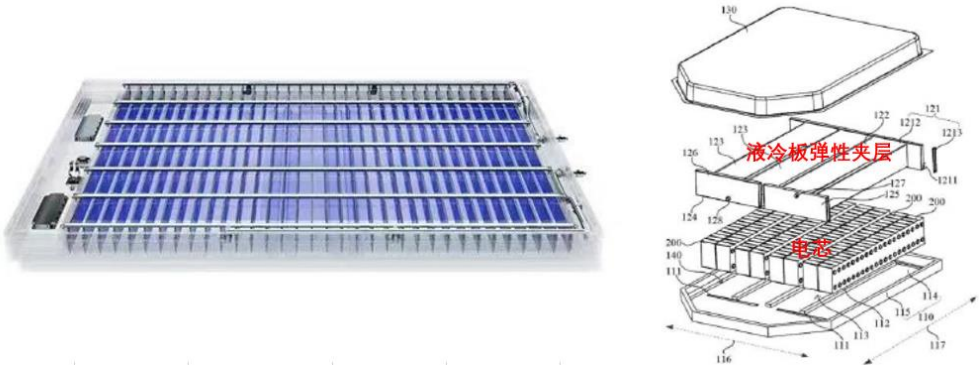
图 28：4C 倍率下电池包最大温差对比



数据来源：清华大学电池安全实验室，东方证券研究所

目前针对快充电池系统，厂商往往采用多面水冷的设计增加换热面数以获得更好的换热效果。例如宁德时代麒麟电池的弹性夹层水冷系统，水冷板从底部改为立式，置于电芯之间，使得换热面积增大 4 倍；特斯拉则采用立式蛇形水冷板+上面水冷板的设计，实现多面液冷。此外欣旺达 SFC480 电池、上汽魔方电池也均采用多面水冷技术以满足散热需求。**多面液冷的设计考验电池厂商的系统集成能力，同时也将增加对水冷板等部件的需求量。**

图 29：麒麟电池弹性夹层多面冷却



数据来源：宁德时代，东方证券研究所

图 30：特斯拉蛇形管水冷板



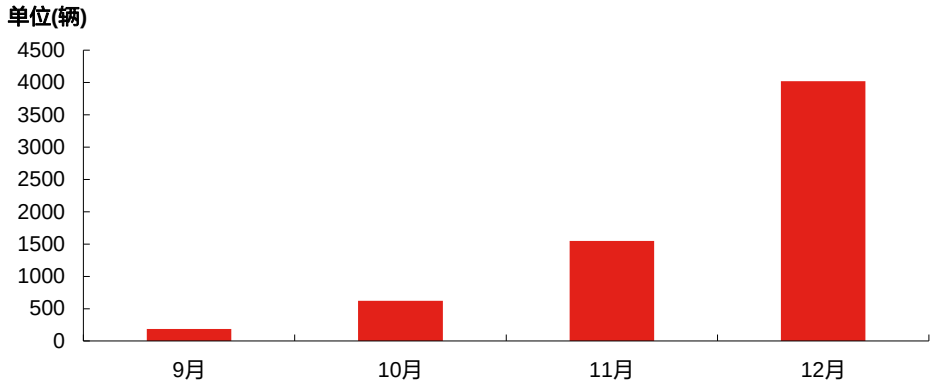
数据来源：汽车电子设计，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

投资建议

下游产品方面，各电池厂商积极布局超快充技术，并且已有多款车型量产销售。从当前各电池厂商发布的快充产品技术及配套已量产车型的性能来看，**巨湾技研 6C 产品的装车性能领先，宁德时代技术布局最为全面**。从各快充车型的量产和交付情况来看，2022 年市场推出多款超快充车型，其中小鹏 G9 交付量在 9-12 月迅速攀升，目前快充问题正得到关注和解决，23 年快充车型有望放量。

图 31：2022 年 9-12 月小鹏 G9 交付量



数据来源：小鹏汽车，东方证券研究所

产业链供应方面，快充解决方案主要对产业链提出了三个方面的需求：

第一，对负极材料厂商的研发、工艺能力提出了更高的要求。包覆处理、二次造粒、表面蚀刻、微膨处理、掺杂改性等方案均有较高的工艺壁垒，考验负极厂商的工艺 know how 积累，建议关注具有高端负极材料工艺积累的头部负极厂商 璞泰来(603659，未评级)、贝特瑞(835185，买入)、杉杉股份(600884，未评级)。

第二，对负极辅材、电池冷却系统提出了新需求。例如包覆工艺对于高性能（高软化点）包覆材料的需求，硅基负极对于碳纳米管等新型导电剂、粘结剂的需求，PACK 对于水冷板的增量需求。建议关注包覆材料、新型导电剂、液冷板领域的龙头企业，信德新材(301349，未评级)、天奈科技(688116，未评级)、银轮股份(002126，买入)（汽车组覆盖）。

第三，对电池企业与上游负极厂商的联合研发能力以及电芯制造的工艺能力提出了更高要求。快充解决方案的应用需要电芯设计与上游材料改进相配合，对电芯厂商与负极企业的联合开发能力有较高要求。梯度极片的设计，考验电芯企业对电芯制造前段工艺的控制能力。建议关注领先布局快充技术，具有领先研发能力和工艺能力的电芯企业宁德时代(300750，买入)、欣旺达(300207，未评级)。

表 6：主流电池厂商快充产品及配套量产车型

厂商	电池产品	负极技术	其他技术	配套车型	电池包结构	装车性能	5min 充电续航
巨湾技研/中创新航	XFC 极速电池(3C)	软碳/硬碳/石墨烯包覆改性技术 石墨烯导电剂	高孔隙涂覆陶瓷隔膜	Aion V Plus 超级快充版	成组方式：3P112S 电芯容量：58Ah 额定电压：414V	容量：72.1kWh 密度：133 Wh/kg 充电：10min 30%-80%	120.2km

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

	XFC 极速电池(6C)	高面密度组合涂布技术 负极电位监控	新型低粘度高功率电解液 大电流载流结构及热管理设计	Aion V Plus 极速快充版	成组方式：3P208S 电芯容量：30Ah 额定电压：769V	容量：71.8kWh 密度：128 Wh/kg 充电：5min 30%-80%/8min 0-80%	239.3km
宁德时代	-	快离子环（包覆） 各向同性石墨 多梯度极片 阳极电位监控 极片微结构设计	超电子网 超导电解液 高孔隙隔膜 多极耳	极氪 009 WE 版	-	容量：116kWh 密度：177Wh/kg 充电：28min **10%-80%**	96.7km
				阿维塔 11 长续航版	-	容量：90kWh 密度：180Wh/kg 充电：15min 30%-80%/25min 0%-80%	100.0km
				阿维塔 11 超长续航版	-	容量：116kWh 密度：190Wh/kg 充电：25min 30%-80%/45min 0%-80%	77.3km
亿纬锂能	-	梯度孔隙电极	高孔隙率隔膜 CMT 极耳	小鹏 G9 3C 磷酸铁锂版	成组方式：2P168S 电芯容量：73Ah 额定电压：538V	容量：78.2kWh(铁锂) 密度：130Wh/kg(铁锂) 充电：16min 30%-80%/20 min 10%~80%	81.5 km
欣旺达	超快充电池 SFC480	复合多孔电极技术 人造石墨改性 碳纳米管导电剂 粘接剂优化	复合包覆 R 元素掺杂 无连接片连接技术	小鹏 G9 3C 三元版	成组方式：2P179S 电芯容量：74Ah 额定电压：662V	容量：98kWh(三元) 密度：160Wh/kg(三元) 充电：16min 30%-80%/20 min 10%~80%	102.1km
				小鹏 G9 4C 版	-	充电：11.5min 30%-80%/15 min 10%~80%	~142km
蜂巢能源	L300 短刀电池	多层电极技术 负极无定型碳包覆 二次造粒	低粘度电解液 高孔隙隔膜 高过电流长薄化方形铝壳设计	预计 2023Q2 量产	-	-	-
	L600 短刀电池			已实现量产	-	-	-

数据来源：各公司官网，工信部，高工锂电，电池中国网，东方证券研究所

风险提示

新能源汽车销量不达预期：受宏观经济，产业政策，以及疫情反复影响，短期新能源汽车消费存在不达预期风险；

快充技术迭代速度不达预期：碳包覆、石墨改性、硅基负极、多梯度极片等技术难度较大，存在电池快充性能提升速度不达预期的风险。

技术发展方向不同预期：电芯实现快充的技术路径较多，存在实际技术发展方向不同预期的风险。

快充基础设施建设速度不达预期：高压直流快充桩目前仍然数量较少，存在快充桩建设速度不达预期影响快充电动车发展的风险。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内的公司的涨跌幅相对同期的上证指数/深证成指的涨跌幅为基准；

公司投资评级的量化标准

买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；

增持：相对强于市场基准指数收益率 5%～15%；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5%～+5%之间波动；

减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

行业投资评级的量化标准：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5%～+5%之间波动；

看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

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本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中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证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

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，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

在任何情况下，本公司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，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，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。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及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，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

电话：021-63325888

传真：021-63326786

网址：www.dfzq.com.cn

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。