

证券研究报告—深度报告

汽车汽配

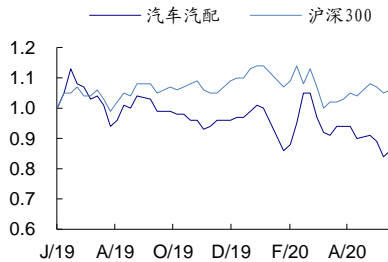
特斯拉系列之十二

超配

(维持评级)

2020年06月03日

一年该行业与沪深300走势比较



相关研究报告:

《特斯拉系列之七: 特斯拉 Q4 再盈利, 2019 年迎经营拐点》——2020-01-31
《特斯拉系列之八: 特斯拉复盘、竞争优势与投资机会》——2020-02-07
《特斯拉系列之十: 特斯拉技术、产品、商业模式加速推进, 推荐产业链》——2020-04-17
《汽车行业海外电动车点评之一: 欧洲电动车政策端拟再度加码, Q3 或迎拐点关注供应链》——2020-05-21
《特斯拉系列之十一: 应对补贴新政, Model3 长续航版降价》——2020-05-17

证券分析师: 梁超

电话: 0755-22940097

E-MAIL: liangchao@guosen.com.cn

证券投资咨询执业资格证书编码: S0980515080001

证券分析师: 何俊艺

电话: 0755-81981823

E-MAIL: hejunyi@guosen.com.cn

证券投资咨询执业资格证书编码: S0980519080001

联系人: 周俊宏

E-MAIL: zhoujunhong@guosen.com.cn

独立性声明:

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道, 分析逻辑基于本人的职业理解, 通过合理判断并得出结论, 力求客观、公正, 其结论不受其它任何第三方的授意、影响, 特此声明

行业专题

特斯拉电动化技术源分析

● 为何研究?

特斯拉的优势体现在电动化与智能化性能前瞻、造车理念超前(外观科技感强)、品牌营销以及相关产业链(如火箭)对品牌的赋能。特斯拉在电动化领域一直是技术革新的引领者, 本篇报告主要聚焦研究特斯拉在电动化领域的技术源头以及各环节相关技术储备, 从而可前瞻性地参考或预测后期特斯拉的电池技术方案。

● 源头 1: Jeff 团队, 聚焦电解液环节, 在循环性层面重点突破

Jeff Dahn 团队近年研究主要通过电解液添加剂、单晶材料、正/负极电镀锂、热化成等方式提升电池的循环性、安全性和能量密度。从技术方案来看, Jeff Dahn 团队研究强项主要聚焦在电解液环节, 从电池性能层面来看, 在电池循环性能(寿命)的研究成果较为突出。

● 源头 2: 宁德时代, 在装配工艺及电池材料层面均有储备

宁德时代在电池装配工艺以及电池材料上均有新的技术储备。装配工艺层面, 近期推出“大模组”CTP 方案以提升 PACK 内部空间利用率, 从而实现 PACK 包能量密度提升。材料层面, 宁德时代对外宣传有进行“无钴”电池相关技术储备, 后期有望与特斯拉共同研发, 我们认为其方案比较有可能是通过掺杂其余元素来大幅度降低钴含量的技术方案。

● 源头 3: Maxwell, “超级电容+干电极”助力提效降本

Maxwell 有望在超级电容及干电极领域对特斯拉形成支持: 一方面, 超级电容将与锂电池结合应用于大功率启停及高/低温场景。Maxwell 已开发出可量产的车用锂电电容。此外, 干电极有望成为特斯拉实现提效降本的关键技术, 并拓宽了未来的技术路径(新材料/无钴电池/固态电池)。

● 源头 4: Hibar, 弥补特斯拉在电池制造端的设备及工艺短板

Hibar 拥有自动化电池制造和工艺设备、自定义包装设备、锂离子电池装配和自动真空灌装系统等成套的生产线, 覆盖了电芯完整生产流程。后期有望补齐特斯拉在自产动力电池项目的最后一块版图。

● 风险提示: Model 3 销量增速、Model Y 交付速度不达预期风险

● 投资机遇: 技术产能优势显著叠加国产化, 持续推荐相关产业链

我们认为特斯拉在电动化领域的技术储备以及产能规划均具备相对领先优势, 后期特斯拉国产化持续推进, 我们认为将持续利好在电池产业链或是新能源差异化部件领域掌握核心技术, 或是具备显著“国产替代”(成本与性能)能力的优势零部件, 推荐标的: 宁德时代、三花智控、拓普集团、岱美股份等。

重点公司盈利预测及投资评级

公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘(元)	总市值(百万元)	EPS		PE	
					2020E	2021E	2020E	2021E
300750	宁德时代	增持	149.46	3299	2.54	3.17	58.9	47.1
002050	三花智控	增持	22.72	628	0.48	0.60	47.3	37.9
603730	岱美股份	增持	28.26	113	1.52	2.03	18.6	13.9
601689	拓普集团	增持	23.72	250	0.58	0.70	40.9	33.9

资料来源: Wind、国信证券经济研究所预测

投资摘要

关键结论与投资建议

我们此前在《特斯拉复盘、竞争优势与投资机遇》报告中对特斯拉的成长历史、国产化进度、降本空间以及产业链进行详细梳理，本篇报告主要从技术源头层面去剖析特斯拉在电动化领域的技术来源以及储备。目前特斯拉在电动化领域的技术来源主要包括锂电专家 Jeff Dahn 研究团队、宁德时代以及其在 2019 年收购的 MAXWELL 和 Hibar 两家公司。通过对 Jeff Dahn 研究团队、宁德时代、MAXWELL、Hibar 等在电池领域的论文、专利、产品及技术储备分析，我们发现：

第一：Jeff Dahn 团队的研究近期更多聚焦在电解液环节，从性能层面来看近年其研究突破较多在电池寿命环节；

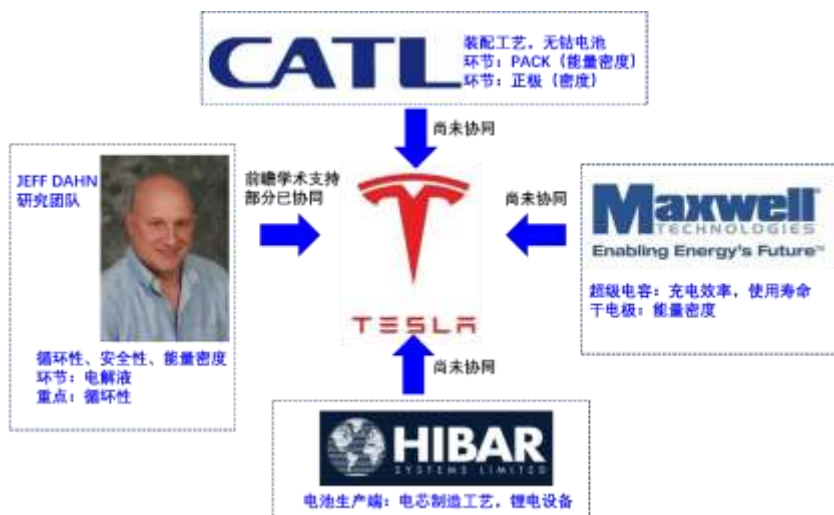
第二：宁德时代在电池装配工艺（CTP）以及电池材料（无钴电池）上均有新的技术储备，这两项技术将有助于电池能量密度的提升；

第三：Maxwell 在超级电容及干电极领域技术积累深厚，而超级电容将有助于提升充电效率以及使用寿命，干电极将有助于提升电池能量密度；

第四：Hibar 拥有完善的电池制造工艺设备以及电芯完整生产流程，后期将有助于提升特斯拉实现电池端的生产能力。

我们认为后期这些技术源头的技术有望与特斯拉在电池材料、装配工艺、产业链层面产生协同，从而协助特斯拉提升其电池的循环性、安全性以及能量密度，持续保持在电动化领域的领先优势。

图 1：特斯拉电动化领域技术源头分析



资料来源:Jeff Dahn 研究团队、MAXWELL、Hibar、国信证券经济研究所整理

产业链投资机会来看，基于特斯拉产业链自下而上的梳理和研究，当前特斯拉在车身、内饰和底盘方面的国产化率相对较高，在动力系统、中控、电驱动系统等关键零部件方面的国产化率还有较大提升空间。收入弹性方面，特斯拉收入弹性较大的上市公司主要有旭升股份、拓普集团、科达利、中科三环、文灿股份等。我们较为推荐特斯拉产业链上 1) 单车价值量或营收弹性较大的 Tier 1 供应商；2) 有望持续新增产品配套、具备 ASP 提升空间的新能源零部件供应商；3) 产品技术壁垒较高的核心零部件供应商。推荐标的：宁德时代、拓普集团、均胜电子、三花智控、岱美股份、华域汽车、旭升股份、华达科技、中鼎股份等。

核心假设或逻辑

第一，已经实现的技术协同：Jeff Dahn 团队近年的研究更多聚焦在电解液环节，从性能层面来看重点突破的是电池寿命环节，从特斯拉近年申请的专利可以发现，部分来自于 Jeff Dahn 团队的研究技术已经过渡成为特斯拉的专利技术；

第二，后期可能的技术协同：在工艺上有可能采用宁德时代的 CTP 装配技术以提升电池能量密度，而新型电池材料层面有可能与宁德时代的无钴电池技术储备产生协同。特斯拉此前收购的 MAXWELL 在超级电容以及干电极领域的技术积累有望逐步在特斯拉后期的电池方案中兑现，从而进一步提升特斯拉电池的充电销量、能量密度和使用寿命。收购的 Hibar 则助力特斯拉完成其自产动力电池项目的最后一块版图，使其具备独立的电池生产能力、以及把特斯拉领先的电池技术实践在生产端的能力。

股价变化的催化因素

第一，特斯拉电池日公布的技术方案在电池性能层面具备显著的相对竞争优势；

第二，Model 3 销量超预期、Model Y 海外/国内交付速度；

第三，国产零部件供应商和特斯拉的新订单获取进度。

核心假设或逻辑的主要风险

第一，Model 3 国内销量不达预期、Model Y 交付不达预期；

第二，零部件国产化速度不达预期；

第三，行业政策风险。

内容目录

技术源头 1: Jeff Dahn 团队, 重点在电池寿命提升	7
循环性: 电解液添加剂、单晶正极、正极电镀锂等方式改善锂离子状态	8
安全性: 添加含氟电解质、无钴电池等有助提升高温高压稳定性	16
能量密度: 负极电镀锂, 添加相关电解质以提升能量密度	19
技术源头 2: 宁德时代, CTP 结构与无钴电池储备以提升整体能量密度	22
CTP 结构: 宁德时代采用大模组的 CTP 方案, 显著提升能量密度	23
无钴电池: 参考蜂巢能源与通用汽车, 可能采取其余元素掺杂替代钴方案	27
技术源头 3: MAXWELL, “超级电容+干法电极”以提效降本	29
吸纳 Maxwell 外部技术布局新一代电池技术战略	30
超级电容: 高功率的提供者, 提升能量利用效率及电池寿命	32
干电极工艺——拓宽现有技术路径, 提效降本显著	34
技术源头 4: Hibar, 补齐锂电池生产设备环节, 助力电池自产	35
收购 Hibar 开拓锂电池制造设备环节版图	36
主导电池制造环节对特斯拉的三大意义	37
19-20 年特斯拉已申请专利: 重心在电池寿命	38
循环性: 通过添加多种电解液添加剂, 多步烧制电极法提升电池寿命	39
安全性: 利用高精度仪器检测电池形变程度, 减少安全风险	44
投资建议: 特斯拉电动化技术储备与产能均具备领先优势, 持续推荐相关产业链	45
特斯拉电动化领域技术, 产能布局具备相对领先优势	45
国产化提速, 利好具备“国产替代”能力的优质零部件	47
宁德时代: 行业集中度提升, 动力电池龙头强者愈强	53
三花智控: 制冷零部件龙头, 新能源汽零打开增量空间	53
拓普集团: NVH 龙头, 轻量化+电子化助力长期发展	54
岱美股份: 看好遮阳板全球龙头产品持续横向扩张	54
国信证券投资评级	56
分析师承诺	56
风险提示	56
证券投资咨询业务的说明	56

图表目录

图 1: 特斯拉电动化领域技术源头分析	2
图 2: Jeff Dahn 教授	7
图 3: Jeff Dahn 每年论文被引用数	7
图 4: 电池寿命延长技术	8
图 5: 双盐电解质电池循环充放电寿命	9
图 6: 高压强下电池循环周期和形态学变化	9
图 7: 不同电解质溶液的 dQ/dV 曲线	10
图 8: 短循环周期下电池容量和阻抗	11
图 9: 长循环周期下电池容量和阻抗	11
图 10: SEI 膜生成、消耗与加固的过程	11
图 11: SEI 膜生成、消耗与加固的过程	12
图 12: 单晶正极 NMC622 横截面 SEM 图像	12
图 13: 电池内阻增长曲线	13
图 14: 电池 dV/dQ 曲线	13
图 15: 添加 $LiPO_2F_2$ 能极大地提升电池的循环性能	14
图 16: $LiPO_2F_2$ 分别会在由 Al_2O_3 包裹的 NMC622 和 NCA 电池中生成	14
图 17: 热化成/普通化成电池归一化放电容量与循环次数图	15
图 18: 热化成/普通化成下锂负极的 SEM 图像	15
图 19: 引起锂电池热失控原因	16
图 20: 氟元素被引入内部晶格结构中	17
图 21: 加速热量检验	17
图 22: 无负极电池和普通锂电池膨胀体积对比	18
图 23: 电池压力和体积之间关系	18
图 24: 各类电池技术能量密度	19
图 25: 各厂商 2020-2035 能量密度建设规划	19
图 26: 混合负极电池构造和能量密度	20
图 27: 混合电池中锂金属沉积的形态	21
图 28: 混合充电协议下电池容量保持率	21
图 29: 添加二恶唑酮电解质微分容量	22
图 30: 典型电池包结构 (奥迪 A3 电池包结构)	23
图 31: 特拉斯 Model 3 的大模组技术方案	24
图 32: 比亚迪刀片电池结构示意图	25
图 33: 宁德时代 CTP 技术电池 PACK 示意图	26
图 34: 宁德时代 CTP 的方向电芯与比亚迪刀片电池的刀片型电芯结构对比	27
图 35: 各类型电池正极材料钴含量	28
图 36: 蜂巢能源 15 万吋电芯无钴电池	28
图 37: 蜂巢能源 L6 薄片	28
图 38: 蜂巢能源技术创新曲线	29
图 39: 特斯拉溢价收购的 Maxwell 核心技术有望应用至新一代电池	30
图 40: Maxwell 在在中/美/德/韩四地设对应的研发、生产及销售中心	31
图 41: Maxwell 于持续拓展新业务及经营问题常年亏损	31
图 42: 超级电容原理	32
图 43: 超级电容与电池的结合模式	32
图 44: Maxwell 超级电容器布局	33
图 45: 锂电池与超级电容的混合应用	33
图 46: 干电池涂层工艺分为三个步骤	34
图 47: 干法电极与湿法电极的放电倍率比较 (输出功率大)	35
图 48: 对软包干电极电池循环性能的测试 (循环寿命长)	35
图 49: Maxwell 发布的干电池工艺具有的优势	35
图 50: Hibar 布局锂电池生产线	36
图 51: Hibar 完成特斯拉自产动力电池项目最后一块版图	37
图 52: 特斯拉车型产能爬坡迅速留下较大供给缺口	37
图 53: 特斯拉总专利概览 (IPC 分类排名)	38
图 54: 特斯拉历年专利公开数量	38
图 55: 特斯拉电池相关专利	39
图 56: 第一步烧制后的晶体微观形状	40

图 57: 两步法烧制后单晶正极锂电池容量保持率	40
图 58: 长期循环下电池容量保持率和电压增长率	41
图 59: NMC532 (左) 和 Panasonic 1030 (右) 电池内部气体生成量和 EIS 光谱图	42
图 60: 使用 ODT/VC 电解质后容量保持率和电压增长率	43
图 61: 在 839cm^{-1} (7B) 和 1775cm^{-1} (7C) 处利用 EIS 光谱法测定电解质浓度	43
图 62: 高精度电池变形检测装置设计图	44
图 63: 高精度电池变形检测装置设计图	44
图 64: 变形检测装置工作流程图	45
图 65: 国内车企主要电池供应商	46
图 66: 特斯拉电池超级工厂 1 期 (左) 和 2 期 (右)	47
图 67: 特斯拉产业链全面梳理	48
图 68: 特斯拉产业链车身部件相关个股	51
图 69: 特斯拉产业链内饰部件相关个股	51
图 70: 特斯拉产业链充电系统相关个股	52
表 1: Jeff Dahn 的团队近年研究成果梳理	7
表 2: 混合负极电池和其他类型电池参数比较	20
表 3: 特斯拉不同模组方案的单体和整体能量密度	24
表 4: 比亚迪不同型号刀片电池电芯	25
表 5: 不同电池能量密度对比	26
表 6: 普通电容器/超级电容器/电池的性能比较	32
表 7: 锂电池与超级电容的连接方式及效果比较	34
表 8: 2019-2020 特斯拉专利概览	39
表 9: 明确公告披露合作特斯拉的相关国产上市公司及合作情况	47
表 10: 特斯拉主要供应商单车价值量及收入弹性测算	52

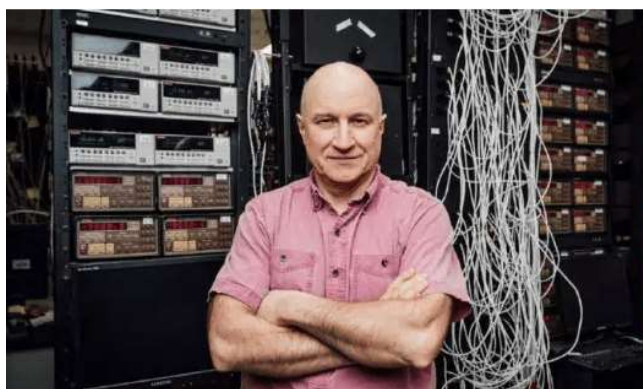
技术源头 1: Jeff Dahn 团队，重点在电池寿命提升

核心内容: Jeff Dahn 是锂电行业学术巨擘，国际著名电池研究专家，2016 年开始与特斯拉达成独家合作协议。我们通过对 Jeff Dahn 团队近年的学术研究成果梳理，发现 Jeff Dahn 团队主要通过电解液添加剂、单晶材料、正/负极电镀锌、热化成等方式提升电池的循环性、安全性和能量密度。从技术方案来看，Jeff Dahn 团队研究强项主要聚焦在电解液环节，从电池性能层面来看，在电池循环性能（寿命）的研究成果较为突出。

Jeff Dahn 是锂电行业巨擘，国际著名电池研究专家；Jeff Dahn 任职加拿大达尔豪斯大学（Dalhousie University）教授，加拿大科学院院士，国际著名的电池研究专家。截止 2020 年 5 月，Jeff Dahn 教授团队已发表近 720 篇论文，申请专利 70 余项，论文总被引用量 71462 次，h-index 和 i10-index 分别高达 128 和 644 点。

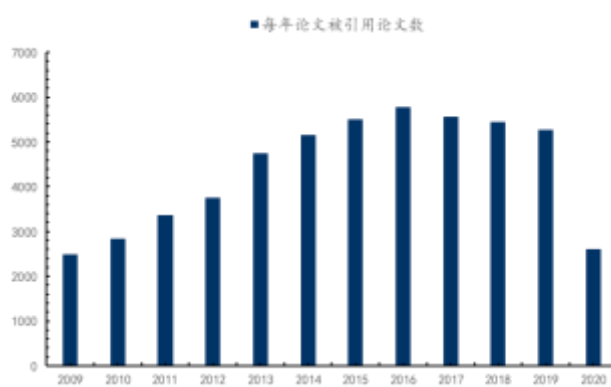
Jeff Dahn 教授从最初 E-One Moli Energy 研究员到之后的 NSERC/3M 集团加拿大公司的首席科学家，他在 20 年内持续推动了锂离子动力电池研究与应用的发展。从 2012 年开始，Dahn 教授开始同特斯拉公司展开共同研究，于 2016 年同特斯拉达成独家合作协议，并在 Halifax 开始新的研究。

图 2: Jeff Dahn 教授



资料来源：公开资料，国信证券经济研究所整理

图 3: Jeff Dahn 每年论文被引用数



资料来源：Google Scholar，国信证券经济研究所整理

Jeff Dahn 团队主要致力于研究如何提升电池能量密度和使用寿命，以及动力电池的生产和使用成本，其主要贡献包括：**电解质中的化学添加剂、电极材料、测量电子传输性能的实验方法等**，这些研究有助于提升**电池循环性、稳定性和能量密度**，是后期指引特斯拉动力电池性能改善的前瞻研究成果。

表 1: Jeff Dahn 的团队近年研究成果梳理

改进方向	作用环节	改进方法	主要发现	备注	论文
循环性	电解质	使用盐二氟(草酸根)硼酸盐(LiDFOB)/LiBF4 液态电解质	电池内部正极离子消耗速率会大幅减弱，并提升 2.25 倍电池循环性能		Weber et al., 2019
	电解质	使用 ODTO 电解质	有助于形成固定电解质中间层，能在短和长循环周期中极大地改进容量保持率	这种方法能同时提升电池库伦效率	Ma et al., 2019; Louli et al., 2019
	正极	在(NMC)电池正极使用单晶材料	能显著降低电池内阻，稳定容量保持率		Liu et al., 2020
	正极	在电池表面包覆 Al2O3	电池内部结构能在更长时间能保持稳定		Hall et al., 2019
	整体温度	使用“热化成”协议对电池初始充电	极大地改善电池在低温状态下的循环性能，稳定锂镀层形态	同时能稳定电池内部结构	Genovese et al., 2019
安全性	电解质	使用 LiNiO2-xFx, LiNi1-xMgxO2-xFx; Li1+x/2Ni1-x/2O2-xFx 等氟化电解质	能显著提升高温运行状态下电池稳定性		Huang et al., 2020
	负极	使用无负极锂电池	能降低电池内部锂元素含量，减少因为锂	这种方法会使得电	Louli et al.,

		过量导致的体积膨胀与压力升高，使得电池更加安全	池寿命下降	2019
能量密度	负极	负极石墨上电镀锂金属以实现新的锂离子/锂金属混合电池。结合优化后的双盐电解液 LDBF 和外部高压	能通过混合充电协议显著提升长续航下电池运行能力，同时兼顾短行程下能量密度	Martin et al., 2020
	电解质	使用二恶唑酮电解质	能显著提高电池能量密度，yanchang 新能源车续航里程	Gauthier, et al., 2020

资料来源: Jeff Dahn 团队研究成果整理, 国信证券经济研究所整理

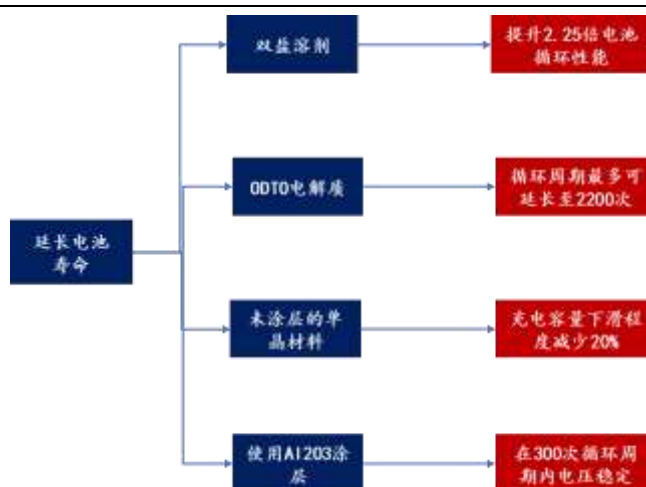
循环性: 电解液添加剂、单晶正极、正极电镀锂等方式改善锂离子状态

在动力电池的四大关键材料: 正极、负极、隔膜和电解液中, 电解液是整个系统中的血液, 肩负着将电子从负极运向正极的重任。电解液在很大程度上决定了整个电池的能量密度和电压, 同时影响了锂离子电池的安全性, 我们发现很多工艺、材料层面的研究实验都是从电解液环节入手。

Jeff Dahn 团队在多篇科研论文中提出: 通过向电解液中混入不同添加剂、使用单晶正极材料、给正极石墨电镀锂、通过热化形成稳定 SEI 膜等方式来提升动力电池循环寿命 (核心衡量指标: 容量保持率)。整体来看, 这些方法大体结果主要是通过对正极形成保护膜、稳定正极锂元素结构等方式起到保持正极锂元素的正常形态或是减少正极锂元素的损失, 从而达到提升电池的容积保持率, 改善电池循环寿命的效果。

备注: 容量保持率经历多次充放电后的实际容量与最开始容量的比值, 用以衡量电池的寿命 (循环性)。

图 4: 电池寿命延长技术

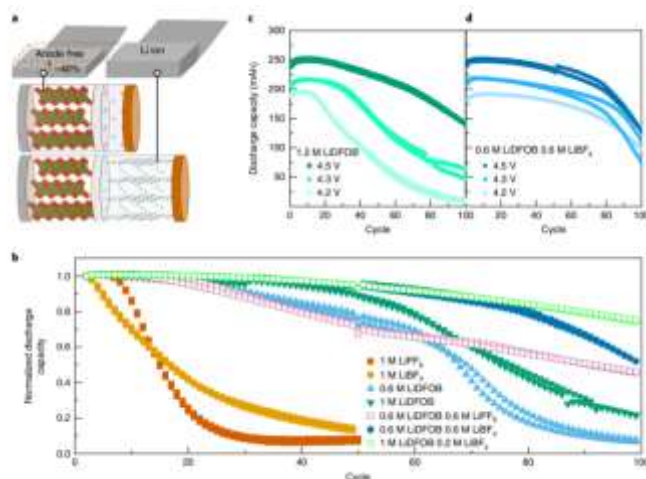


资料来源: Jeff Dahn 研究团队, 国信证券经济研究所整理

方法一: 添加双盐溶剂电解质减缓正极锂离子消耗速率, 提升 2.25 倍循环性能

在延长电池寿命方面, Jeff Dahn 教授通过混合不同溶剂, 制造出一种双盐二氟 (草酸根) 硼酸盐 (LiDFOB) / LiBF₄ 液态电解质 (Weber et al., 2019)。对于配有这种电解质的无阳极软包装锂离子电池而言, 在 90 次充放电循环后电池仍然保留了原先 80% 的容量, 极大地优于常见的单盐液态电解质锂电池。即使在经过 50 次充放电后, 电池内部色谱柱仍然保持不变, 并且内部锂离子消耗速率也十分缓慢。

图 5：双盐电解质电池循环充放电寿命

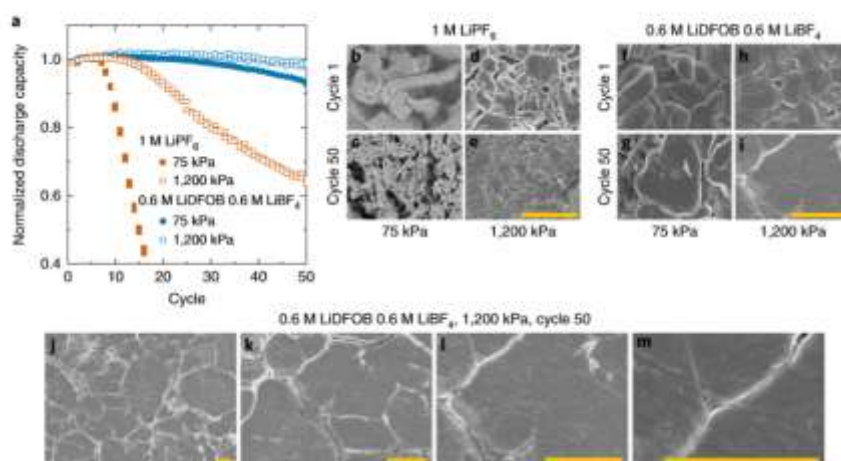


资料来源:论文《Long cycle life and dendrite-free lithium morphology in anode-free lithium pouch cells enabled by a dual-salt liquid electrolyte》，国信证券经济研究所整理

Jeff 团队根据实际应用场景，模拟了不同压强下的电池循环寿命，并且利用扫描电子显微镜（SEM）观察了高压强下锂金属形态学变化。对于单盐电解质溶液，不管是高压还是低压下电池容量表现都极差，在 30 个循环周期内就分别衰减至 0.8 和 0.4 倍以下，而双盐溶液电解质电池能够在 50 个循环周期后将容量维持在 90% 的水平。形态学研究显示，高压下双盐溶液电解质中锂金属表面形状更加紧密，并在 50 次循环周期后破坏了枝晶结构的形成，进而改善电池的容量保持能力。

从延长使用寿命这一方面来看，这种双盐电解质能够很好地替代业界对于开发固态电池的需求。它不仅能够帮助电池生产厂家节省下改造生产线的费用，还能避免锂金属在实际工作中生出金属突触而降低循环效率的窘境。

图 6：高压强下电池循环周期和形态学变化



资料来源:论文《Long cycle life and dendrite-free lithium morphology in anode-free lithium pouch cells enabled by a dual-salt liquid electrolyte》，国信证券经济研究所整理

方法二：ODTO 电解质有助于形成固定电解质中间层，能在循环周期中极大地改进容量保持率

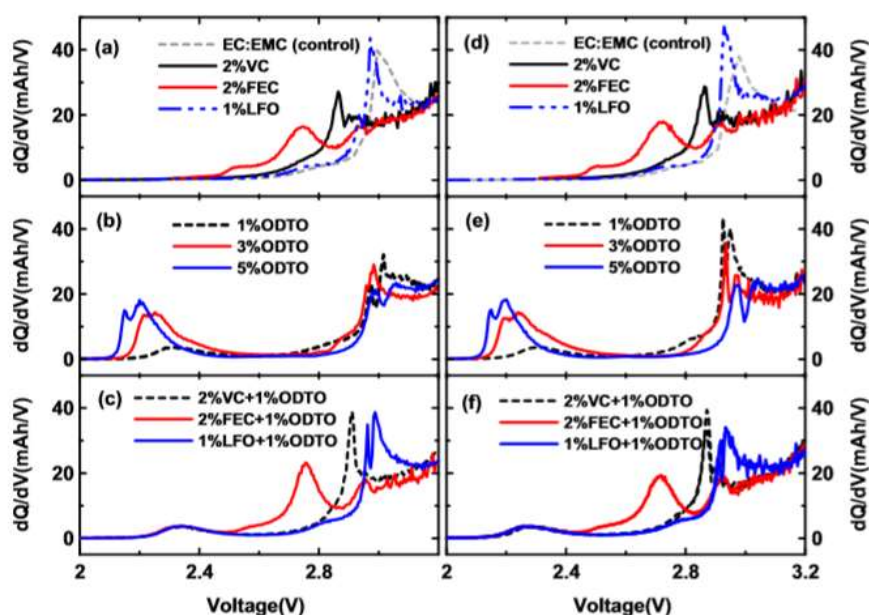
除了上述的双盐电解质外，Jeff Dahn 团队还尝试将 1,2,6-Oxadithiane 2,2,6,6-tetraoxide (ODTO) 添加至电解质中。在 -1.4V 下，ODTO 通过钝化石

墨负极，并在正极形成固体电解质中间层（SEI膜），并转为硫化物质以提升电池的库伦效率（充电效率）和容量保持率。

在微分容量检验中，相对于不添加 ODT0 溶剂的控制组（panel a 和 d），添加 ODT0 实验组的微分容量曲线均出现双峰。在纯 ODT0 溶剂组中，双峰现象尤为明显，ODTC 钝化石墨电极的电压保持在 2.1 至 2.3V 左右，然而随着 ODT0 溶剂浓度加大（从 1%至 5%），左侧还原峰收到了抑制，意味着 SEI 膜的生成受到了抑制，从而减少电极材料循环寿命。

备注：SEI 膜是指在液态锂离子电池首次充放电过程中,电极材料与电解液在固液相界面上发生反应,形成一层覆盖于电极材料表面的钝化层。其形成有利于减缓锂元素消耗从而提升电池寿命。

图 7：不同电解质溶液的 dQ/dV 曲线

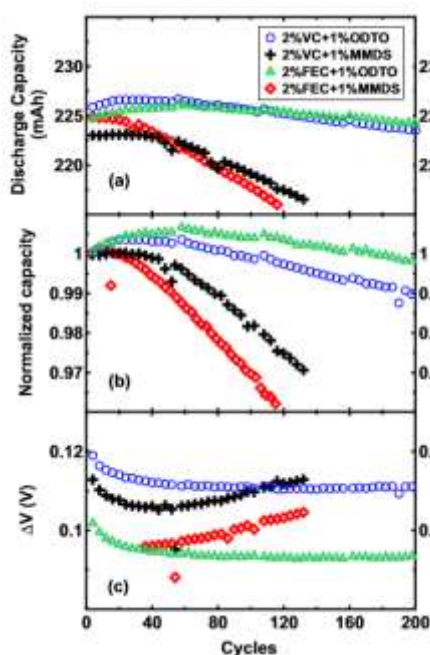


资料来源：论文《1,2,6-Oxadithiane 2,2,6,6-tetraoxide as an Advanced Electrolyte Additive for Li[Ni0.5Mn0.3Co0.2]O2/Graphite Pouch Cells》，国信证券经济研究所整理

相对于传统电解液，混入 ODT0 添加剂的电解质溶液可钝化电池负极上的活性颗粒，生成保护膜，从而使得电池循环周期更长。对于混合了 2%VC+1%ODT0 和 2%FEC+1%ODT0 电解质溶液而言，它们的容量和归一化容量在短循环周期测试（200 次，图）后保持仍能保持基本水平。此外，加入 ODT0 溶剂的电池具有更低的 ΔV 增长率，这意味着在使用时电池阻抗会更加稳定。

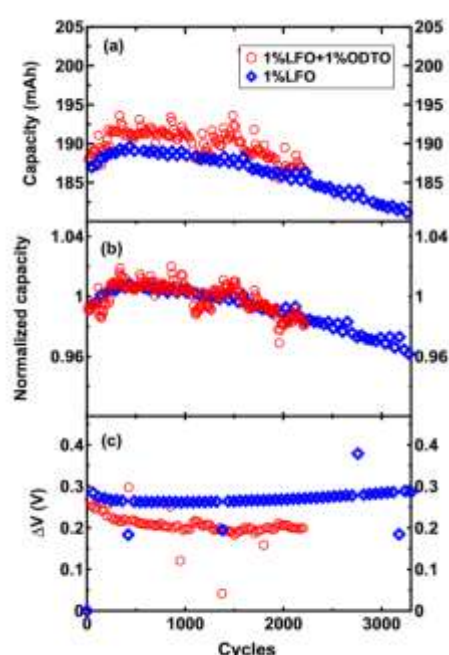
Jeff Dahn 团队还在长循环周期测试（大于 2000 次）中，对添加了 ODT0 电解质的电池容量保有率和阻抗进行了研究。研究结果显示，在 ODT0 溶剂与 LiPO₂F₂ 混合后，电池容量在 2200 个循环周期内始终高于不添加 ODT0 的普通电池，并且 ΔV 也能保持在相对稳定的水平。

图 8: 短循环周期下电池容量和阻抗



资料来源: 论文《1,2,6-Oxadithiane 2,2,6,6-tetraoxide as an Advanced Electrolyte Additive for Li[Ni_{0.5}Mn_{0.3}Co_{0.2}]O₂/Graphite Pouch Cells》, 国信证券经济研究所整理

图 9: 长循环周期下电池容量和阻抗

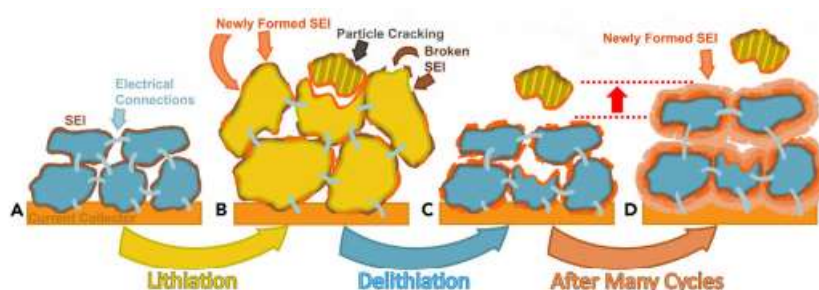


资料来源: 论文《1,2,6-Oxadithiane 2,2,6,6-tetraoxide as an Advanced Electrolyte Additive for Li[Ni_{0.5}Mn_{0.3}Co_{0.2}]O₂/Graphite Pouch Cells》, 国信证券经济研究所整理

为了研究 SEI 膜是如何延长电池寿命这一问题, Jeff Dahn 团队利用实时压力测量法, 分析软包电池在循环周期中的内部压力, 得出 SEI 膜生成速率与电池内部膨胀速率之间的关系。

在实验中, 研究人员描绘了 SEI 膜生成的过程。在下图代表涂在负极集流体上的活性颗粒中, 每一个颗粒都在初次化成 (Formation) 后被 SEI 膜覆盖包裹 (Panel a)。在电池充电期间, 负极逐渐会被锂化, 导致活性颗粒发生膨胀并碎裂, 使得带电离子消耗在电解液中, 形成新的 SEI 并消耗锂元素 (Panel b, c)。经过多次循环周期后, 锂元素更少, 但是 SEI 膜更厚, 能够承受更大的形变并减缓负极上锂元素的消耗速率 (Panel d)。

图 10: SEI 膜生成、消耗与加固的过程

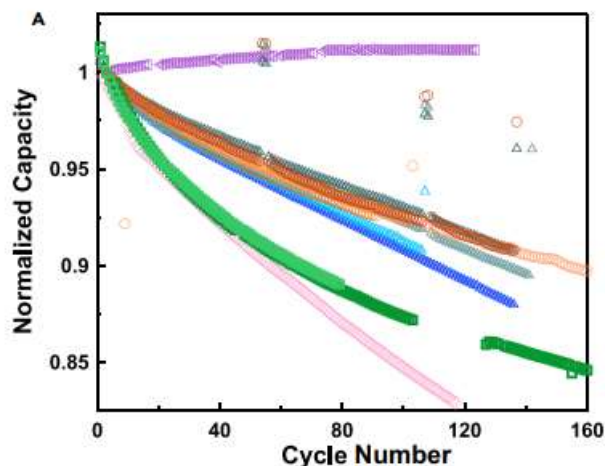


资料来源: 论文《Operando Pressure Measurements Reveal Solid Electrolyte Interphase Growth to Rank Lilon Cell Performance》, 国信证券经济研究所整理

根据 SEI 膜的生成原理, 像 ODTO 这一类的电解质添加剂能够钝化电池负极上的活性颗粒, 生成保护膜来使得电池循环周期更长。在所有实验的电池负极中,

纯石墨的钝化表现最好，其次则是硅基石墨负极和硅碳负极。在所有的实验中，仅使用石墨负极的电池在 120 个循环周期后仍能保持约 100% 的归一化容量，这意味着电池能够拥有更高的循环性能和使用寿命。

图 11: SEI 膜生成、消耗与加固的过程



资料来源:论文《Operando Pressure Measurements Reveal Solid Electrolyte Interphase Growth to Rank Lilon Cell Performance》，国信证券经济研究所整理

方法三：单晶正极材料能显著降低电池内阻增长，稳定容量保持率

传统高镍电池（以 NMC 电池为主）能够显著减少电池中钴的使用量，并且能实现更高的能量密度；但是这种材料的循环寿命较低。Jeff Dahn 团队通过对比单晶 NMC532、单晶 NMC622 和单晶 NMC811 材料后发现，单晶正极材料在横截面上并未出现大量的微裂纹，具有良好的结构稳定性，适合长时间使用。

图 12: 单晶正极 NMC622 横截面 SEM 图像

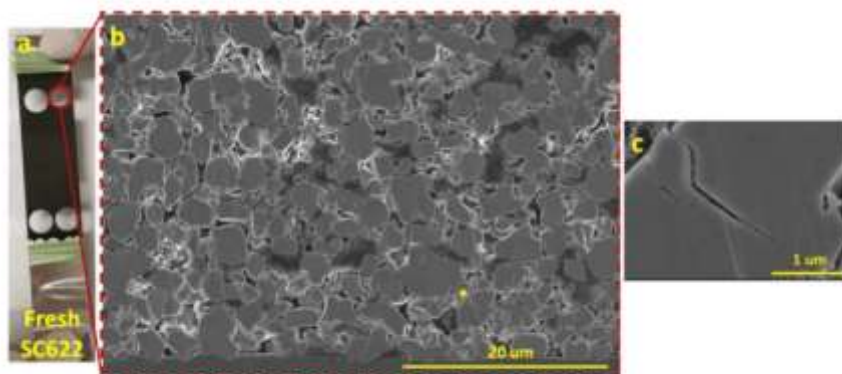


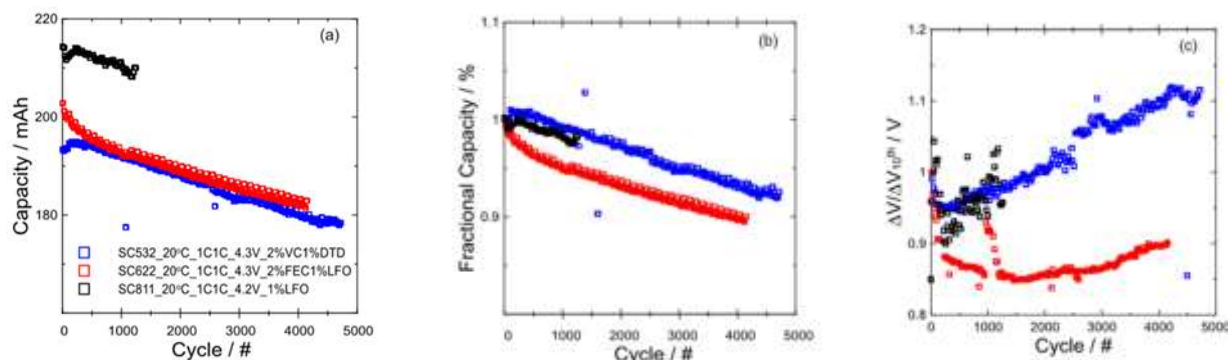
Figure 9. (a) Retrieved positive electrode from fresh SC622 pouch cell. Two locations were punched for cross-section SEM. (b) Cross-section SEM image on electrode punched from the red-circled region of (a). (c) Zoomed-in image of region * in (b).

资料来源:论文《Microstructural Observations of “Single Crystal” Positive Electrode Materials Before and After Long Term Cycling by Cross-section Scanning Electron Microscopy》，国信证券经济研究所整理

对于三种不同材料而言，NMC811 循环电压区间相对较低在 3.2-4.2V 左右，而 NMC532 和 NMC622 电压区间能在 3.0-4.3V 左右。在长达 4700 周的循环次数下，单晶 NMC532 的容量保持率高达 92%，而单晶 NMC 则也能维持在 90% 的区间中。此外，研究人员还发现单晶 NMC622 在 4000 次循环中并未表现出明显的内阻增长，而 NMC532 和 NMC811 内阻增长较大。实验结果显示在长

期循环使用中，NMC622 和单晶正极材料的结合表现最优，能够极大地提升容量电池容量保持率，降低内阻并提升使用寿命。

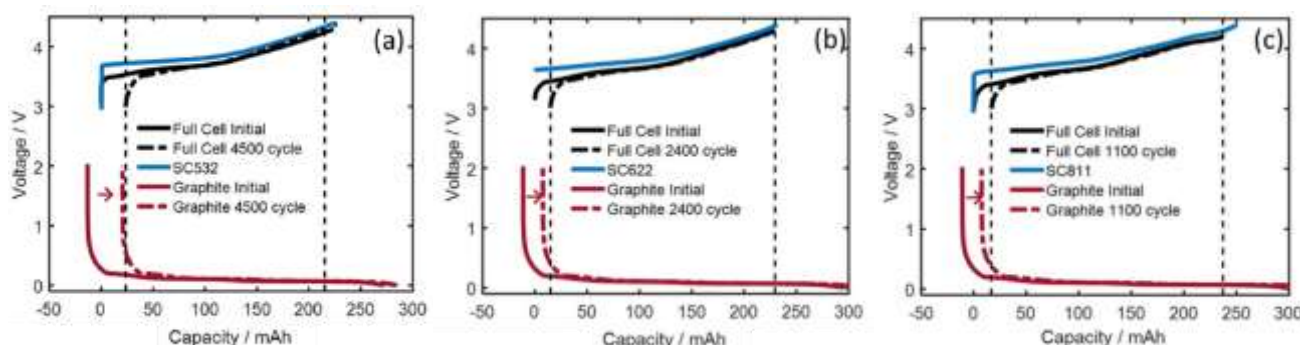
图 13: 电池内阻增长曲线



资料来源: 论文《Microstructural Observations of “Single Crystal” Positive Electrode Materials Before and After Long Term Cycling by Cross-section Scanning Electron Microscopy》, 国信证券经济研究所整理

对于三种单晶电池的电压-容量测试中, 负极和正极的 dV/dQ 曲线差异较大。其中正极曲线在长期循环中几乎没有发生太大变化, 而负极曲线在尾端均发生较大偏移。这意味循环过程中电池容量损失主要发生在负极上, 使用单晶体的正极几乎没有锂金属损失, 没有必要采用预补锂的方式来维持电池容量, 进而节省成本。

图 14: 电池 dV/dQ 曲线

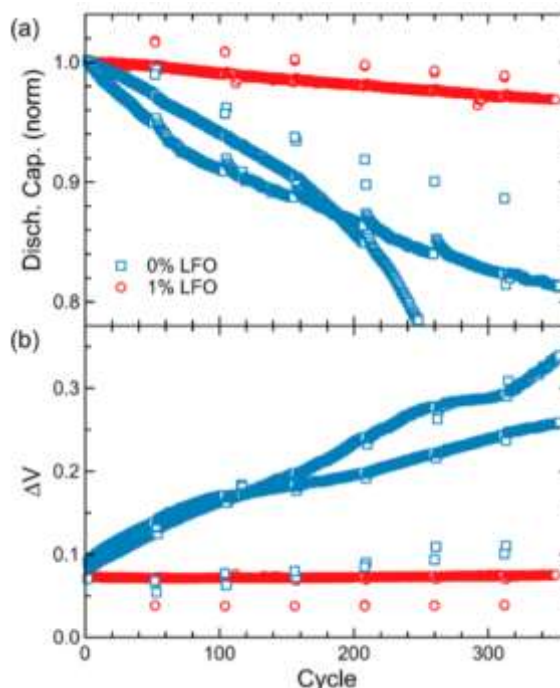


资料来源: 论文《Microstructural Observations of “Single Crystal” Positive Electrode Materials Before and After Long Term Cycling by Cross-section Scanning Electron Microscopy》, 国信证券经济研究所整理

方法四: 使用无机表面涂层 Al_2O_3 可在长时间下维持正极稳定状态

Jeff Dahn 团队还提出了一种全新的关于无机表面涂层的作用机理。根据最新的热化学数据和密度泛函理论, 常用于电池表面包覆的 Al_2O_3 可以和 $LiPF_6$ 电解质盐自发反应, 能生成有助于改善锂离子电池的循环稳定性和寿命的 $LiPO_2F_2$ 。这种氧化物能够限制锂金属过度溶解, 改变由固体电解质组成的电池正极过度活跃的的化学特性, 使得电池容量和电压在 360 个充放循环内保持稳定状态, 从而极大地提升电池使用寿命。

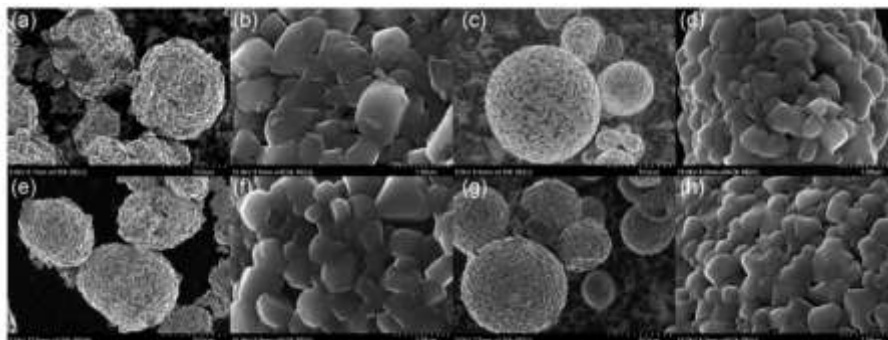
图 15: 添加 LiPO_2F_2 能极大地提升电池的循环性能



资料来源:论文《New Chemical Insights into the Beneficial Role of Al_2O_3 Cathode Coatings in Lithium-ion Cells》, 国信证券经济研究所整理

在 40°C 下, 这种反应机理在目前广泛生产的 NMC622 和 NCA 电池中都会出现, 进而极大地改善电池运行寿命。在 SEM 观测下, 石墨颗粒表面被 Al_2O_3 均匀包裹住, 能够极大地抑制氧化反应和电池阻抗增长率以提升循环寿命, 同时还能提高电池稳定性和安全性。

图 16: LiPO_2F_2 分别会在由 Al_2O_3 包裹的 NMC622 和 NCA 电池中生成



资料来源:论文《New Chemical Insights into the Beneficial Role of Al_2O_3 Cathode Coatings in Lithium-ion Cells》, 国信证券经济研究所整理

方法五: “热化成”可稳定锂镀层形态, 极大改善电池低温状态循环性能

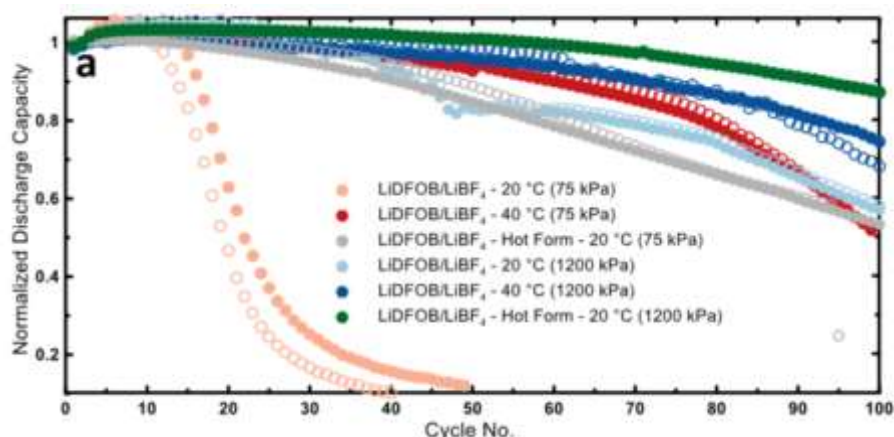
在高温下 (60°C), 电解液中锂扩散系数更高, 锂电池内部往往具有更紧密的镀层形态和更高的循环稳定性。但是在低温 (20°C) 和低压 (75 kPa) 下循环性能可能会相应地降低。为了改善低温低压下电池循环性能, 研究人员对添加了二氟(草酸)硼酸锂 (LiDFOB) / LiBF_4 双盐电解质的袋式电池分别采取普通化成和(两次)热化成的方法来初始充电。

研究发现, 热化成后能够极大提升低压低温下电池容量保持率。相对于普通化

成处理的无铜阳极电池，20°C、75 kPa 下热化成处理电池能够在 60 个循环周期内保持 80% 的初始容量，显著优于普通电池保持的 16 个周期。此外，20°C 的低温下高压热化成的电池在 100 个循环周期后仍能够保持 90% 左右的容量，性能提升 25%。此外，高压下热化成还能改善锂电池在高温下过软的问题，增强电池结构稳定性。

备注：化成指首次对电池进行充电，激活锂电池的活性物质，并形成稳定的固体电解质界面膜(SEI 膜)的过程。

图 17：热化成/普通化成电池归一化放电容量与循环次数图

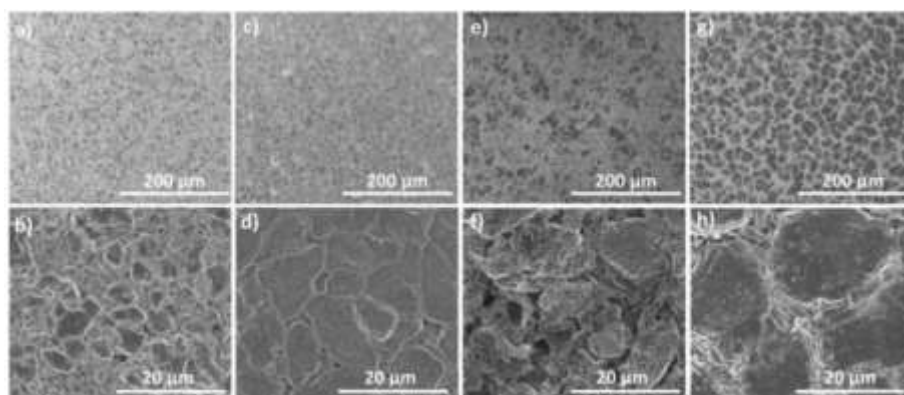


资料来源:论文《Hot Formation for Improved Low Temperature Cycling of Anode-Free Lithium Metal Batteries》，国信证券经济研究所整理

在利用 SEM 研究的形态学观察下，当电池充电到 4.5V 时，普通化成电池锂负极上出现大量不规则且多孔，直径在 2-4 μ m 的锂颗粒。但是经热化成后的锂电池，锂负极呈现出更加平滑的柱状，颗粒直径普遍在 5-10 μ m，不但更大，并且堆积更加紧密，孔隙更小。这意味着在长期循环下锂电池负极耐用性更高，电池寿命更长。

此外，在循环 20 周后，经热化成处理的锂电池仍然保持着比较扁平且光华的柱状结构，颗粒直径普遍大于 20 μ m，与没有热化成电池在 20 周循环后的不规则、多孔状锂颗粒完全不同。这意味着在低压下经过（两次）初始热化成处理能从微观结构上提升电池在低温下的循环能力和寿命。

图 18：热化成/普通化成下锂负极的 SEM 图像



资料来源:论文《Hot Formation for Improved Low Temperature Cycling of Anode-Free Lithium Metal Batteries》，国信证券经济研究所整理

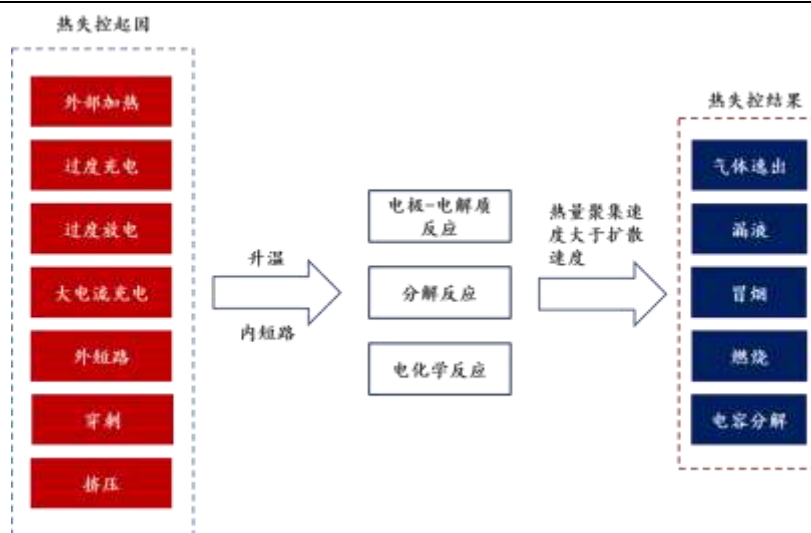
安全性：添加含氟电解质、无极电池等有助提升高温高压稳定性

电池安全性和稳定性是最关键的性能指标。对于新能源动力电池而言，几乎所有安全问题都可以归为“热失控”，这意味着某些外部条件引起电池升温，当达到一定阈值后电池就会变得不稳定。在通常情况下，受到外部撞击和挤压后，电池内部压力将大幅增加，这往往会引发电池内部结构破裂，使得电解质同电极反应速率失去控制，进而引发过热、爆炸的危险。除去人为碰撞、挤压、水浸等外生因素，单从电池制造工艺层面上来看，锂电池会在正常工作中产生大量热量、产生二氧化碳气体而鼓包，在析锂中也会导致锂枝晶生长刺穿隔膜引起电解液剧烈反应而热失控。

近年的研究中，Jeff Dahn 团队主要通过向电解质中添加氟化电解质、使用无极电池等方式用以提升电池稳定性和安全性。

备注：锂枝晶是锂电池在充电过程中锂离子还原时形成的树枝状金属锂，一方面锂枝晶的生成会破坏前期化成后形成的稳定电解质 SEI 膜，同时也会不断消耗电解液导致金属锂的不可逆沉积以及刺穿隔膜导致锂离子电池内部短路引发热失控。

图 19：引起锂电池热失控原因

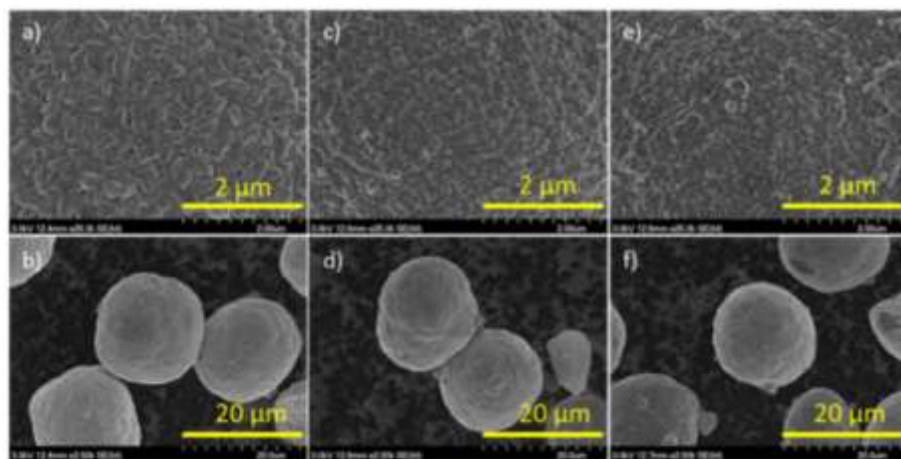


资料来源：启能科技，国信证券经济研究所整理

方法一：添加氟化电解质能显著提升高温下电池稳定性

在 2019-2020 年的研究中，Jeff Dahn 团队通过向电解质添加不同种类的氟化液、减少电池中锂含量来提升电池在高压和高温状态下的稳定性。实验结果显示，通过加入 $\text{LiNiO}_2\text{-xFx}$ 、 $\text{LiNi}_{1-\text{x}}\text{Mg}_\text{x}\text{O}_2\text{-xFx}$ 、 $\text{Li}_{1+\text{x}/2}\text{Ni}_{1-\text{x}/2}\text{O}_2\text{-xFx}$ 这三种氟化电解质后，电池内部因为 SEI 膜生长和废锂堆积所引起的电池膨胀速率大大降低，并且电池循环效率和镀锂效率也相应得到了提升。通过添加这三种电解质，可以将氟元素引入电极上的晶格结构中，进而平衡内部电荷差，极大地减弱 Ni^{2+} 析出现象，提升电池稳定性。

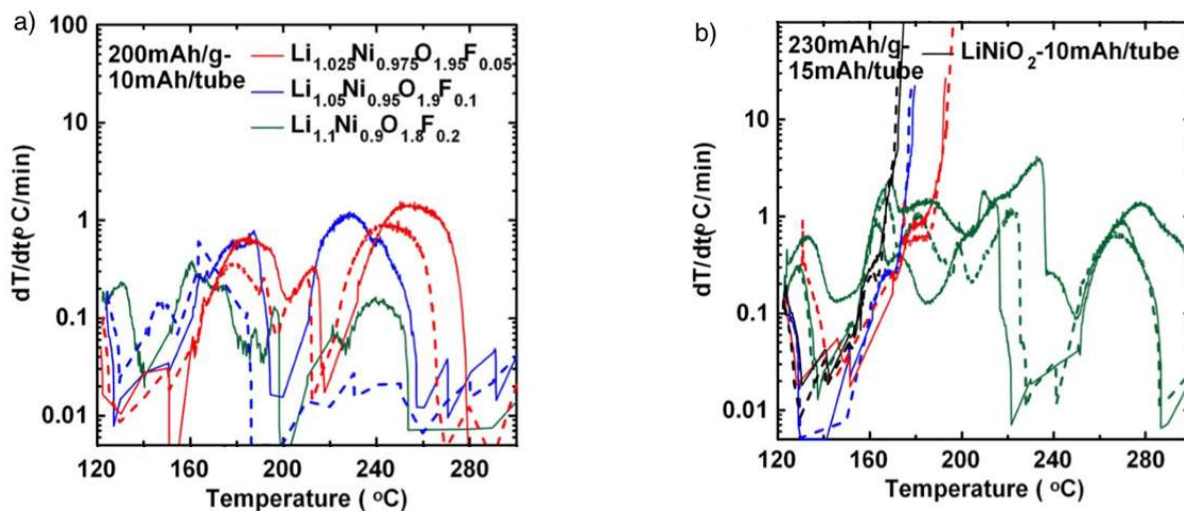
图 20: 氟元素被引入内部晶格结构中



资料来源: 论文《Effects of Fluorine Doping on Nickel-Rich Positive Electrode Materials for Lithium-Ion Batteries》, 国信证券经济研究所整理

Jeff Dahn 团队还利用加速热量仪 (Accelerating Rate Calorimeter, ARC) 来测试加入氟化溶剂后动力电池的热特性。通过研究高镍电极材料与电解质的反应活性, 研究人员发现锂、氟离子含量同反应活性呈负相关关系。相对于在电池管中发生的无氟电解质, 含氟电解质的动力电池温度上升速率显著降低, 这意味着在实际汽车运行或充电过程中电池发生热失控的可能性更低。

图 21: 加速热量检验



资料来源: 论文《Effects of Fluorine Doping on Nickel-Rich Positive Electrode Materials for Lithium-Ion Batteries》, 国信证券经济研究所整理

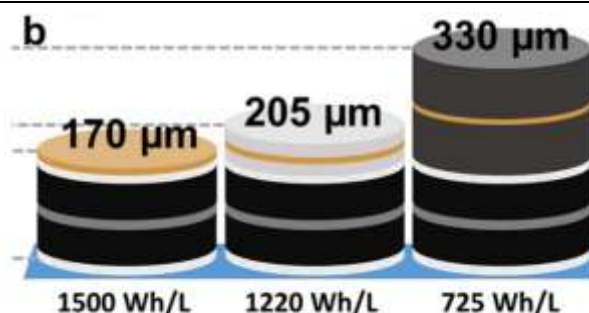
方法二: 使用无极电池能提升电池压力抗性, 使得电池更加安全

在目前锂金属电池的研究中, 许多研究人员都忽视了锂过量的问题。一旦锂元素含量过高, 非但不会提高能量密度, 还会使得电池膨胀的概率大幅增加。

为了解决锂元素过量的问题, Jeff Dahn 的研究团队提出使用无极电池, 通过弃用锂含量较高的活性涂层, 直接让 Li 元素在 (铜) 集流体上沉积, 以此达到在维持电池能量密度的同时, 降低锂金属变形体积, 提升电池安全性。研究者以 NMC532 为正极, 以铜箔为集流体制作出无负极软包电池。经过充放电循环

实验后发现，处于充放电状态的电池组厚度分别为 170 μm 和 205 μm ，显著低于普通锂电子厚度。这意味着在正常工作时，无负极电池形变更小，更不容易发生电池膨胀的现象。

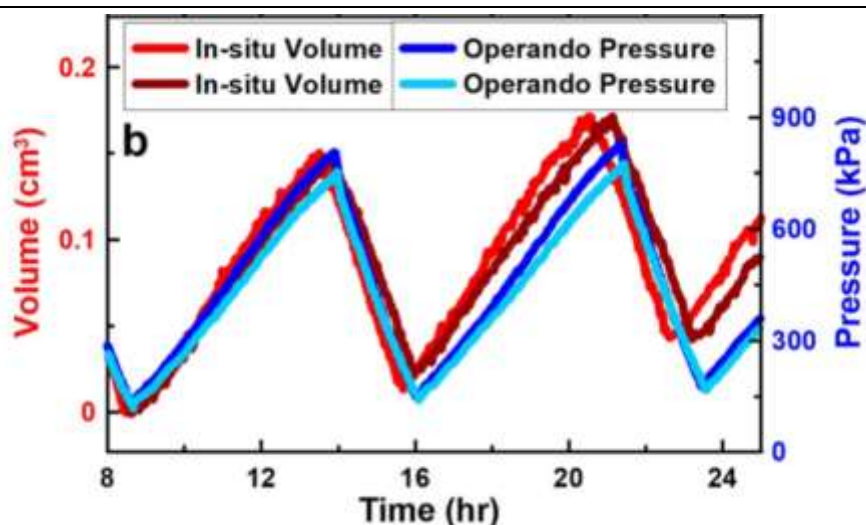
图 22：无负极电池和普通锂电池膨胀体积对比



资料来源:论文《Exploring the Impact of Mechanical Pressure on the Performance of Anode-Free Lithium Metal Cells》，国信证券经济研究所整理

研究人员通过对正在充电的无负极电池进行压力测试，以研究不同外部压力下电池包外部体积和内部压力变化。在实验中，研究人员通过设置一个压力传感装置，观察电池厚度和充电时间之间的关系。他们发现无负极锂电池内部锂离子从正极剥离并镀于铜集流体上，增厚电极堆，使得电池厚度随着充电时间线性增加。在一定压力下，电池体积会膨胀到特定阈值，使得无负极电池内部压力始终在可控范围内，安全性和稳定性显著优于普通锂电池。

图 23：电池压力和体积之间关系

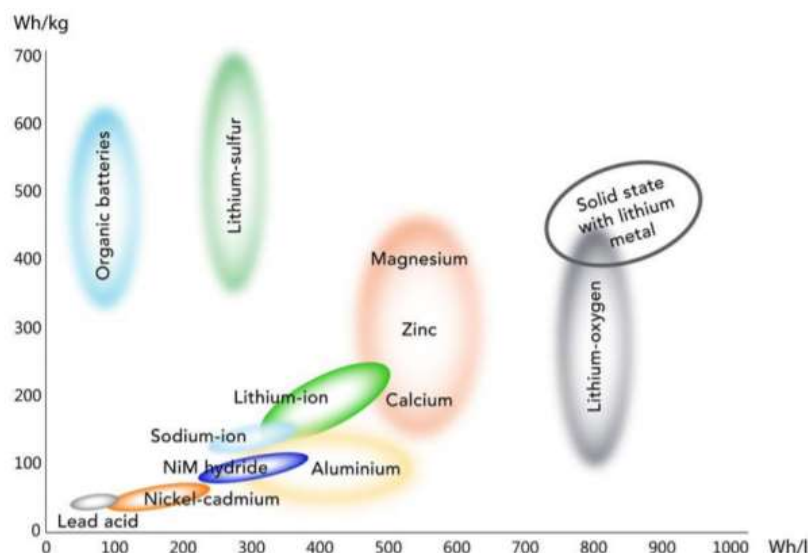


资料来源:论文《Exploring the Impact of Mechanical Pressure on the Performance of Anode-Free Lithium Metal Cells》，国信证券经济研究所整理

然而，对于无负极电池而言，保证了安全性的同时往往会牺牲一定的电池寿命。相对于高压（795 千帕），在低压下（485 千帕）电池性能和最长循环周期数量大幅下降。在 300 个循环周期内归一化电池容量下降至原来的 0.4 倍左右，且经过调整后仍不会超过 50% 的水平。在高压下，电池寿命则相对显著增加，在 300 个循环周期后容量保持率能相对提升 25%。当电池内部压力较低时，金属锂容易发生一定体积变化，对电池元件施加较大的压力摆幅，导致集流体撕裂，对电池内部造成物理危害并降低使用寿命。

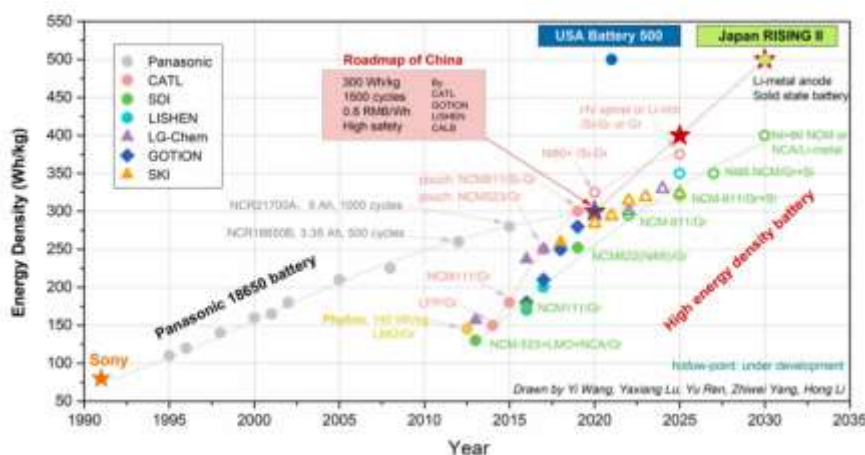
电池能量密度一般用每公斤锂电池所具有的电容量所确定，能量密度的高低决定了新能源汽车续航和性能问题。在过去 20 年中，研究者们先后开发各类型新型正极材料，整体技术路径沿着镍氢/锰酸锂、磷酸铁锂电池、NCM/NCA 的技术路线发展以加强电池能量密度。在目前的技术框架下，磷酸铁锂和三元锂是主流，而有机电池、锂硫化合物电池和固态锂金属电池具有较高的能量密度，可能是未来进一步的发展趋势。

图 24: 各类电池技术能量密度



目前，绝大部分电池厂商技术所能达到的能量密度集中在 200-250Wh/kg，距离各国 2020 能量密度规划仍有一定的距离。特别是在我国，随着政策补贴同能量密度挂钩，将进一步倒逼各厂商继续开发技术，推动电池使用效率和单位容量增加。

图 25: 各厂商 2020-2035 能量密度建设规划

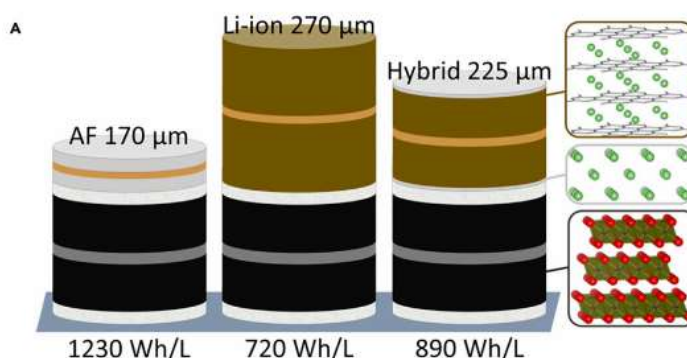


Jeff Dahn 团队对于电池能量密度方面的研究，主要通过**在负极石墨上电镀锂金属以及配套相应电解质、添加二恶唑酮电解质**等方式用以提升电池能量密度。

方法一：石墨负极电镀锂结合双盐电解液，能量密度提升 23.61%

在进一步提升电池能量密度方面，Jeff Dahn 团队通过在负极石墨上电镀锂金属以实现新的锂离子/锂金属混合电池。结合优化后的双盐电解液 LDBF 和外部高压，这种新的混合负极电池能够在充分充电的情况下充放 150 周，并且仍能保持 80% 的初始容量和 99.6% 的库伦效率。在理论状态下，这种混合电极电池的体积能量密度可达 890Wh/L，相较于传统电极 720Wh/L 的能量密度提升了 23.61%。当电池电压范围保持在 4.4V 时，锂金属会在负极石墨表面完全沉积，实现嵌入状态并提供额外的里容量，全电池可实现 230mAh 的总容量。

图 26：混合负极电池构造和能量密度



资料来源:论文《Cycling Lithium Metal on Graphite to Form Hybrid Lithium-Ion/Lithium Metal Cells》，国信证券经济研究所整理

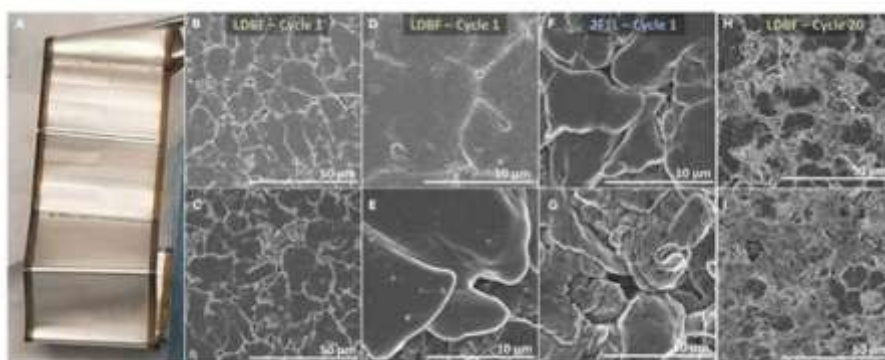
表 2：混合负极电池和其他类型电池参数比较

	普通锂离子电池	混合动力电池	无极电池
电池质量 (mg/cm ²)	61.31	55.02	43.82
电池厚度 (μm)	272.50	224.50	167.00
平均电压	3.70	3.76	3.90
能量密度 (Wh/L)	720.55	890.05	1231.08
归一化能量密度	1.00	1.24	1.71

资料来源: 论文《Cycling Lithium Metal on Graphite to Form Hybrid Lithium-Ion/Lithium Metal Cells》，国信证券经济研究所整理

在不同电解液和外部压力下，使用锂/石墨混合负极的新型电池相较于传统电池表现更好。在 LDBF 电解液中，锂金属均匀地沉积在石墨层表面；在机械压力下，锂晶粒之间排列方式也会更加紧密，使得内部结构更加稳定。在多次充放电后，微观结构上多孔的石墨层有利于锂金属的沉积，进而抑制电池内部死锂形成，从而使混合电池具有较高的库伦效率（充电效率）和容量保持率（循环性）。

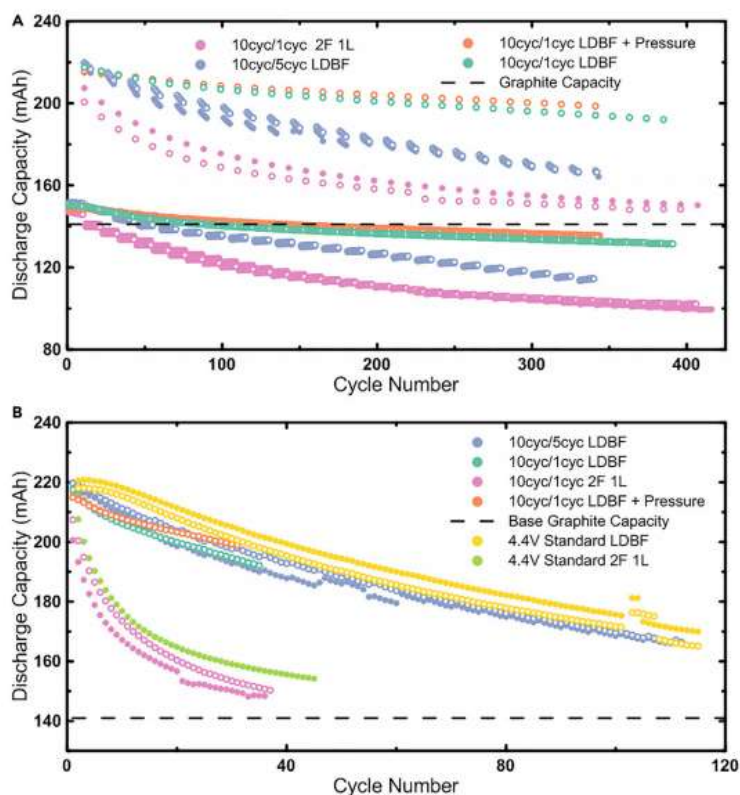
图 27: 混合电池中锂金属沉积的形态



资料来源:论文《Cycling Lithium Metal on Graphite to Form Hybrid Lithium-Ion/Lithium Metal Cells》，国信证券经济研究所整理

在实际应用场景中，研究团队设计了一种 4V（锂离子模式）+4.4V（混合模式）的混合充电协议（10/1-10/5 协议），并且容量保持率在 400 个循环周期下仍然能够保持在 70% 的水平，极大地优于只使用石墨负极的动力电池。根据研究人员介绍，在平时使用过程中，大部分车主可以先以锂离子模式运行混合电池实现 300 公里的续航里程，足够满足人们的日常使用要求。只有当车主想要远行后，他们可以切换到锂金属模式进行 400 公里以上的长途旅行。混合充电协议意味着配有混合电池的新能源车能满足车主基本上所有的出行要求，进一步拓宽应用范围。

图 28: 混合充电协议下电池容量保持率

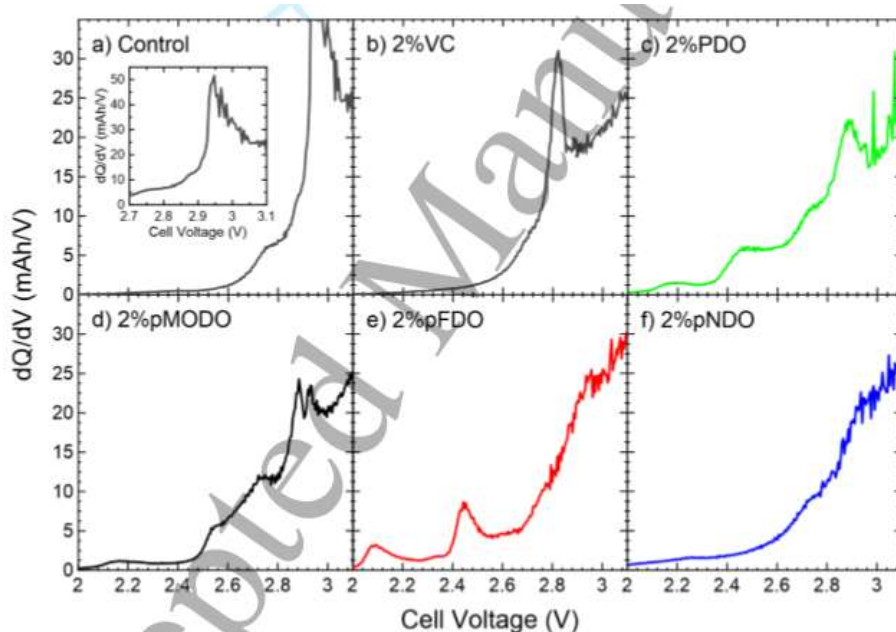


资料来源:论文《Cycling Lithium Metal on Graphite to Form Hybrid Lithium-Ion/Lithium Metal Cells》，国信证券经济研究所整理

方法二：二噻唑酮电解质也能显著提升电池能量密度，延长新能源车续航里程

除了使用混合电极之外，Jeff Dahn 团队通过替换当前电解质添加剂来提高锂离子性能。在实验中，他们对多种二噻唑酮添加剂进行了实验，其中，表现最好的是 3-苯基-1,4,2-二噻唑-5-酮（PDO）为母体结构的化合物。对于添加二噻唑酮电解质（PDO/pNDO）的电池而言，它们的 dQ/dV 曲线更加平滑，且仅在高电位下仅出现单峰。这意味着对于在苯环上带有硝基苯基官能团的对-（4-硝基苯基）-1,4,2-二噻唑-5-酮（pNDO）而言，电池内部电压从 1V 开始至 3V 范围内，他们的电容微分曲线在高电位下电池容量更高。这意味着在实际运行中，添加了二噻唑酮的 2%pNDO 电解质电池具有更高的能量密度，新能源汽车的续航里程相应地也会延长。

图 29：添加二噻唑酮电解质微分容量



资料来源：论文《Cycling Lithium Metal on Graphite to Form Hybrid Lithium-Ion/Lithium Metal Cells》，国信证券经济研究所整理

技术源头 2：宁德时代，CTP 结构与无钴电池储备以 提升整体能量密度

核心内容：基于目前公开信息，宁德时代在电池装配工艺以及电池材料上均有新的技术储备。电池装配工艺层面，主要推出“大模组”方案以提升 PACK 内部空间利用率，类似技术包括比亚迪的刀片电池技术。电池材料层面，宁德时代对外宣传有进行“无钴”电池相关技术储备，但公开信息尚无细节，参考蜂巢能源以及通用等其余厂商的无钴电池技术方案，我们认为比较有可能是通过掺杂其余元素来大幅度降低钴含量的技术方案，类似技术包括蜂巢能源采用的“阳离子掺杂+单晶正极+纳米网络化包覆”的系列技术以及蜂巢和通用汽车均提出的 NCMA 四元电池技术方案（通过铝元素掺杂降低钴含量）。

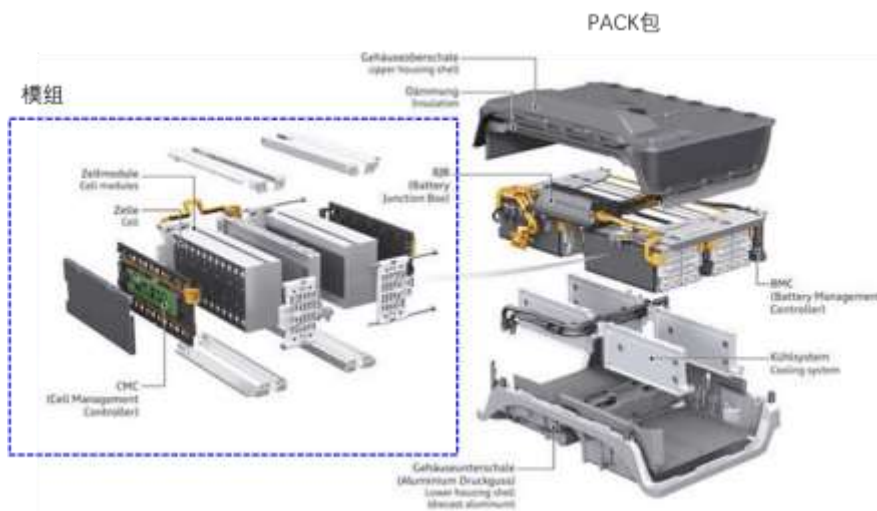
CTP 结构: 宁德时代采用大模组的 CTP 方案, 显著提升能量密度

传统的电池包结构由“电芯-模组-PACK”三层结构逐步装配而成

目前的动力电池组工艺基本是由多个电芯单体 (Cell) 组装成模组 (Module)，再由多个模组组装成 PACK 包。对于电池模组而言，除了电芯单体，还包括金属盖板端板，线束，粘合剂、导热剂、模组控制单元等零部件。若干个模组再加上热管理系统(BMS)、线束、控制器、外壳等构成电池 PACK 包。

模组的存在主要是为了保护、支撑集成电芯，同时模组可以将众多电芯分隔开后进行分区独立管理，对于温度控制、防止热失控传播、后期降低维修成本均有帮助。但是由于模组的存在使得整个电池包的有效利用空间有所下降，也就是模组越多则 PACK 包里面的零部件越多，后期成组效率也就越低。这也是为何目前单体能量密度突破 300Wh/kg，但是受限于“电芯-模组-PACK”的三层装配工艺限制，目前电池系统层面的能量密度仍处于 160Kw/kg。

图 30: 典型电池包结构 (奥迪 A3 电池包结构)



资料来源：大众汽车，国信证券经济研究所整理

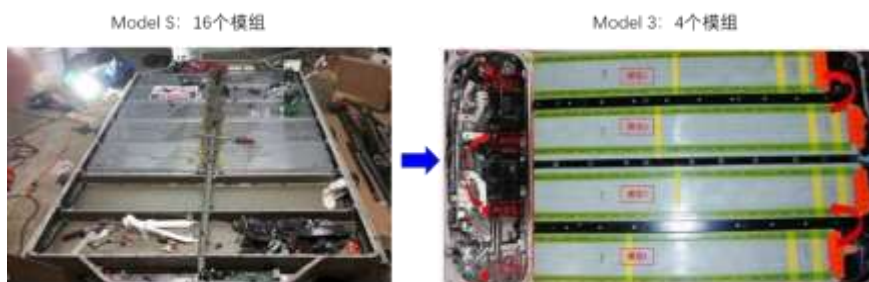
对于装配工艺层面的改进,后期趋势主要朝着“无模组或是大模组”趋势演进

特斯拉 Molde 3 采取大模组方案

相比原 Model S 采用 16 个模组, Model 3 则采用大模组方案, 主要采用 4 个约 2 米长的大型模组。将模组做大后, 每个模组可管理的电芯数量增多, 从而模组数量和零部件数量均减少, 一方面使得电池重量减少, Model 3 电池包的重量比原来 Model S 的电池包减轻了 15%, 比顶配 Model S/X 的电池包减轻 6%, 另外也可使得 PACK 包能量密度提升。

但是我们发现, Model S 到 Model 3 虽然单体电芯通过 21700 更换成 18500 后, 单体能量密度有所提升, 但是由单体到系统的转换率却出现了下降。所以特斯拉的大模组方案的使用通过减少零部件达到减重的作用, 最终可使得整体系统能量密度提升, 但是并未使得由单体到系统的转换效率提升。

图 31: 特斯拉 Model 3 的大模组技术方案



资料来源: 汽车之家, 国信证券经济研究所整理

表 3: 特斯拉不同模组方案的单体和整体能量密度

车型	续航里程	单体型号	单体能量密度	系统能量密度	整体带电量	单体到系统转换率
Model S	400	18650	243	152	60	62.55%
	450	18650	243	152	70	62.55%
	490	18650	243	152	75	62.55%
	500	18650	243	152	80	62.55%
	557	18650	258	152	90	58.91%
	650	18650	258	152	100	58.91%
Model 3	460	21700	300	159.5	60	53.17%
	480	21700	300	159.5	60	53.17%
	595	21700	300	159.5	75	53.17%
	590	21700	300	159.5	75	53.17%
	664	21700	300	159.5	75	53.17%

资料来源: 特斯拉, 国信证券经济研究所整理

比亚迪采取无模组的刀片电池技术方案

比亚迪的刀片电池是一种长电芯方案, 在比亚迪原有的电芯尺寸基础上通过对电芯长度增长、厚度减薄的扁长化设计, 最终长度通常大于 0.6m, 最长可达到 2500mm (10 倍于传统平台磷酸铁锂电池电芯)。再通过阵列的方式排布在一起, 就像“刀片”一样插入到电池包里面。相比比亚迪此前的磷酸铁锂电池, “刀片电池”可实现电芯直接装配成 PACK 的无模组化装配, 从而大幅度提升集成效率。另外, 刀片电池电芯可基于不同需求形成不同尺寸的系列电芯。

比亚迪刀片电池体积比能量密度提升约 50%, 降低成本约 30%, 散热效果改善;

基于比亚迪的刀片电池技术方案, 在电池包总体积一致的情况下, 减少了电池 PACK 包结构中各模组的侧板、端板、紧固件、横梁、纵梁等零部件组件, 整体 PACK 包内空间利用率约在 40% 左右, 而采用比亚迪刀片电池技术后的 PACK 包内空间利用率可达到约 62%, 最高可达到 80%, 空间利用率可根据电芯布局形式分别达到 55%、60%、62%、65% 等, 整体零部件数量减少 40%。空间利用率的提升使得整体带电量增加 20-30%。由于空间改善和零部件数量减少, 比亚迪刀片电池的优势主要体现在以下几个方面:

第一, 对于体积比能量密度层面: 比亚迪刀片电池技术可使得普通电池包体积比能量密度从 251Wh/L 提升至 332Wh/L, 显著提升 32.27%;

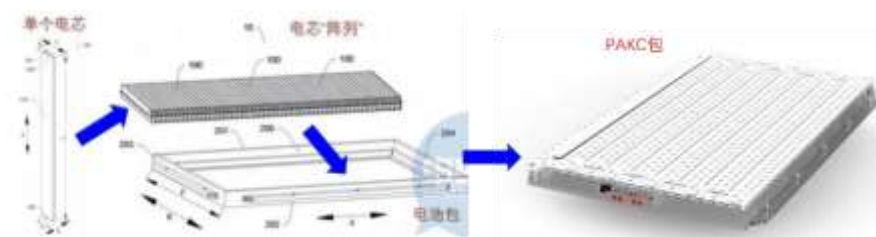
第二, 对于能量比密度层面, 刀片电池提升至 180Wh/kg, 相比此前提升大约 9%;

第三, 同时由于单体电池本身可承担机械加强作用, 使得电池包的制造工艺简

单，对于物料和人工成本均可下降，预计整体成本降低 30%；

第四，由于刀片电池表面积更大，因此散热性也得到显著改善。

图 32: 比亚迪刀片电池结构示意图



资料来源：比亚迪刀片电池专利，电车汇，国信证券经济研究所整理

表 4: 比亚迪不同型号刀片电池电芯

	电芯 1	电芯 2	电芯 3	电芯 4	电芯 5
尺寸 mm	435/118/13.5	905/118/13.5	1280/118/13.5	2000/118/13.5	2500/118/13.5
容量 Ah	95	202	286	448	561
电压 V	3.2				
能量	304	646.4	915.2	1434	1795
能量密度 Wh/L	439	448	449	450	450

资料来源：比亚迪刀片电池专利，电车汇，国信证券经济研究所整理

宁德时代则采用了大模组 CTP 装配工艺

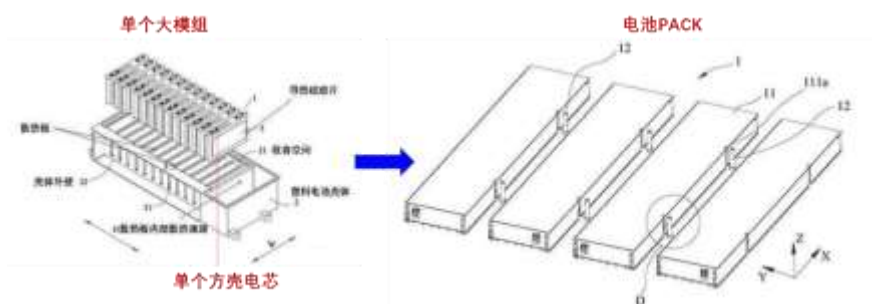
宁德时代的 CTP 技术并非完全取消模组，在大体思路上采取的是与特斯拉 Model 3 类似的大模组方案。

根据宁德时代专利，宁德时代**CTP**采用的大模组方案里面包括利用若干个塑料材质散热板分割的小空间，而方形的电芯可像电脑硬盘一样插入这些独立空间。此外，在每个电芯两侧分布有导热硅胶垫片以及连接外部冷却管路的散热通道。

传统的 BMS 中由多个动力电池包 PACK 并联而成, 每个 PACK 包括与之对应的动力电池模组以及与之对应的电池监控单元(CSC)、电池管理单元(BMU)以及继电器等。宁德时代的 CTP 技术亮点主要是通过将模组电池监控单元设置于动力电池模组的壳体内部, 从而使得动力电池模组内部结构更加紧凑。此外, 在模组电池监控单元上设置导电片, 采用键合引线代替线束连接导电片与导线, 从而较好的提高电池包的集成度以及能量密度。

该方案可减少包括链接线速、侧板、底板等在内的约 40% 的零部件数量，在电池体积不变的情况下 PACK 包内体积利用率提升 15%-20%，生产效率提升了 50%，电池包质量能量密度提升了 10%-15%，可达到 200Wh/kg 以上，同时也大幅降低动力电池的制造成本。

图 33: 宁德时代 CTP 技术电池 PACK 示意图



资料来源：宁德时代，国信证券经济研究所整理

对标宁德时代的 CTP 与比亚迪的刀片电池，我们认为差异点主要体现在以下几个方面：

第一，从结构性创新性来讲，我们认为比亚迪的刀片电池更具有创新性；比亚迪的刀片电池结构完全取消了模组结构，而宁德时代的 CTP 技术仍然保留模组结构，只是采用大模组结构来减少模组数量。两者均通过提升空间利用率以及减少零部件数量达到提升体积能量密度或重量能量密度的效果。比亚迪刀片电池提升至 180Wh/kg（电芯为磷酸铁锂），宁德时代提升至 200Wh/kg（电芯为三元锂），能量密度角度来看宁德时代高出比亚迪刀片电池约 10%。但从成本角度来看，据中国化学与物理电源行业协会数据显示，2019 年磷酸铁锂电池电芯的市场报价已降至 0.7 元/Wh 以下，三元电池电芯的报价在 0.9 元/Wh 左右，磷酸铁锂的单体电芯成本比三元锂单体电芯成本低约 22%，因此综合性能与成本以及稳定性角度来看，目前比亚迪的单片电池更加具备优势；

表 5: 不同电池能量密度对比

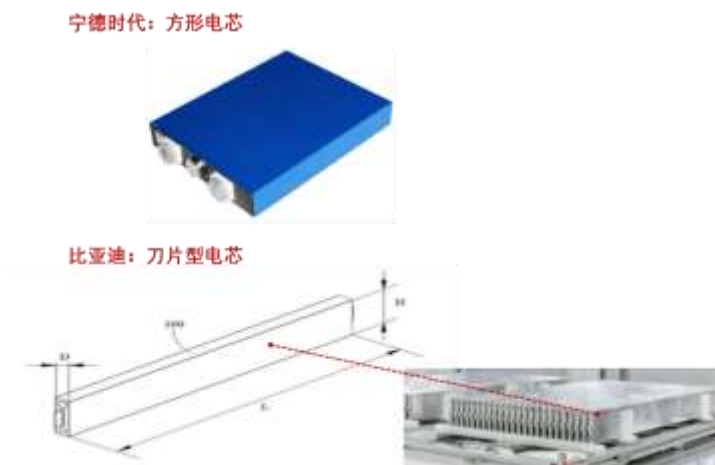
电池类型	重量比能量密度 (Wh/kg)	体积比能量密度 (Wh/L)
普通磷酸铁锂电池包	80-100	180-230
NCM523 电池包	110-150	250-380
NCM811 电池包	170-180	410-440
比亚迪刀片电池包	180Wh/kg	439-450
宁德时代 CTP 电池包	> 200	暂无

资料来源：锂电，国信证券经济研究所整理

第二，两者在电芯材料、结构、制造工艺上均有较大差异；

材料层面，比亚迪的单片电池装配工艺目前主要是基于磷酸铁锂单体电芯，宁德时代的 CTP 技术主要基于目前主流的三元材料 NCM532 单体电芯。**结构层面**，宁德时代的电芯仍然采用方形电芯，而比亚迪的电芯采用扁平化的“刀片”电芯。**制造工艺层面**，刀片电池电芯采用的是叠片工艺，而宁德时代 CTP 电芯采用的是卷绕式工艺。通常而言，磷酸铁锂比三元锂材料在安全性、稳定性层面更加有优势，而叠片工艺在安全性，能量密度、工艺控制层面比卷绕式更加具备优势，但方形比刀片型在结构稳定性层面更有优势。我们认为主要是比亚迪在单体电芯的材料和制造工艺层面稳定性更佳，因此在结构层面能够选择更加激进的无模组结构的单体电芯结构。

图 34: 宁德时代 CTP 的方向电芯与比亚迪刀片电池的刀片型电芯结构对比



资料来源：宁德时代，比亚迪，国信证券经济研究所整理

第三，从售后角度来看保留一定的模组结构有利于降低维修成本；由于 CTP 装配供给对单体电芯一致性的要求更高，单体电芯由于充放电膨胀造成的形变和散热性能变差会直接影响模组或是整个 PACK。取消了模组意味着取消了电芯发生热失控后在模组级别的防护，而后期若单个电芯发生故障则会涉及整个 PACK，从维修角度来看不像之前只需更换其中某一个模组，而需要更换整个 PACK 或者大模组，因此从售后维修角度来看，我们预计比亚迪的单片电池的维修成本高于宁德时代的 CTP 技术。

无钴电池:参考蜂巢能源与通用汽车,可能采取其余元素掺杂替代钴方案

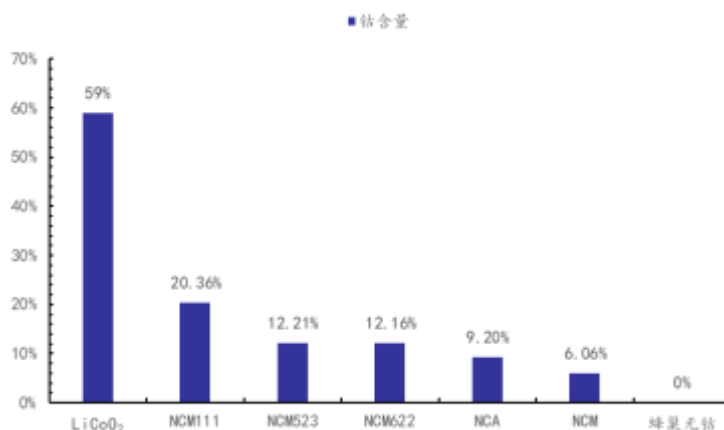
钴是稀缺金属，也是当前三元正极材料的重要组成部分，其作用主要是抑制锂电池的“镍锂混排”现象，同时可以降低材料阻抗值，提高材料电子电导率，改善倍率性能、降低电芯内阻等，从而可以提供稳定的电池结构，三元正极材料技术路径之所以朝着降低钴含量或是最终实现无钴化方向发展，主要基于以下两点原因：

第一，钴资源稀缺，成本较高；目前全球钴元素需求中锂电池占据 50%，一辆特斯拉电动车平均钴用量为 13 公斤。据蜂巢能源测算，随后期电动车行业持续高增长，预计 2026 年钴元素将处于供不应求的状态。成本层面，钴在正极里面成本占比高达 30%，其价格长期剧烈波动也导致电池成本不稳定；

第二，钴的含量对电池性能影响较大；在三元正极材料中，镍是主要的电化学反应活性元素，锰元素不参与电化学反应，主要起到维持材料的结构稳定性和热稳定性；钴元素部分参与电化学反应，其主要作用是保证材料层状结构的规整度、降低材料电化学反应极化、提高其倍率性能。**但过高的钴含量会使得电池实际容量降低，而过低的钴含量又会使得镍锂离子混排降低循环性，其用量相对难以把控。**

目前电池技术发展路径中，主流电池材料钴含量持续下降，从最早钴酸锂中的 59%到目前普遍应用的 NCM523 中的 12%，以及到 NCM811 中的 6%，蜂巢能源近期宣布已经成功研制无钴电池将钴含量降低至 0%。

图 35: 各类型电池正极材料钴含量



资料来源: 中国粉体网, 蜂巢能源, 国信证券经济研究所整理

对于宁德时代的“无钴电池”而言, 目前暂无较多公开资料可供参考。在 2020 年 5 月 11 日的公司网络业绩说明会上, 宁德时代董事长曾毓群曾表示: “马斯克告诉我, 特斯拉希望自己做电池。据我了解, 他们的技术路线对我们不会有冲击, 而且我们在共同探讨如何把电池做得更好, 以服务新能源事业”。此前, 曾毓群先生也表示: 宁德时代也有自己的“无钴”电池技术储备, 目前研发进展顺利, 正在想办法做好供应链, “因为是一个全新的、颠覆性的产品”。

我们认为可以一定程度结合蜂巢能源已经公开的无钴电池技术路线进行参考, 目前蜂巢能源已经推出两款无钴电池:

第一款 115 万吋电芯: 能量密度可达 245Wh/kg (模组), 匹配 590 标准模组, 能够搭载到目前大部分新的纯电动平台上, 可实现 15 年 120 万公里的超长使用寿命, 预计在 2021 年的 6 月份上市;

第二款是 L6 薄片: 该电池取消模组结构采用无钴长电芯, 无钴电芯容量可以达到 226Ah, 预计能量密度可达 240Wh/kg, 目前正在与长城汽车的一款高端车型做适配性开发, 同时搭载先进矩阵式 Pack 设计, 135kWh 容量可实现 880km 超长续航, 预计于 2021 年下半年上市。

图 36: 蜂巢能源 115 万吋电芯无钴电池



资料来源: 蜂巢能源, 国信证券经济研究所整理

图 37: 蜂巢能源 L6 薄片



资料来源: 蜂巢能源, 国信证券经济研究所整理

蜂巢能源的无钴电池主要通过阳离子掺杂技术、单晶技术、纳米网络化包覆三大类技术实现。从蜂巢的“技术创新曲线来看”, 2022 年后无钴电池能量密度将会超过三元锂电池。

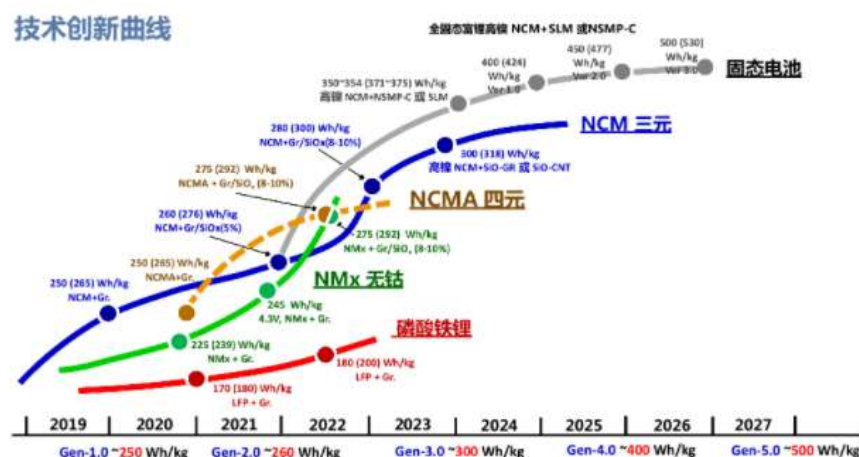
第一, 阳离子掺杂技术; 通过采用强化学键稳定氧八面体结构等两种化学键掺

杂到材料中替代钴元素，减少镍锂混排，大幅度改善材料稳定性，用以提高材料的上限电压，实现能量密度提升。该技术相对之前磷酸铁锂提高 40%，并可以在 4.3-4.35V 电压下稳定工作，使能量密度提高，成本降低；蜂巢能源市场总监郝雷明指出蜂巢采用的是尖晶镍锰酸锂（ $\text{LiNi}_0.5\text{Mn}_1.5\text{O}_4$ ）做正极材料；

第二，单晶技术；单晶相比多晶具有更强的颗粒强度和更加稳定的结构，耐压力强度比多晶可以提高 10 倍。由于电池在极片制作过程中需要经过高强度辊压，多晶材料在滚压过程中颗粒破碎明显会直接导致正极与电解液反应产生大量的气体，造成电池寿命加速衰减和产生安全问题。同时材料的结构也会崩塌，锂离子无法移动，造成寿命的快速衰减，而单晶经历滚压工艺后结构仍然非常稳定，耐压力强度提升 10 倍，单晶电芯寿命可以比多晶高镍三元高出 70%；

第三，纳米网络化包覆技术；在自然界中三角网络是韧性最高的结构，蜂巢能源在无钴材料的合成过程中采用了纳米网络包覆技术，在单晶表面包覆一层纳米氧化物，可以减少正极材料跟电解液的负反应，该技术有效的改善了高电压下的材料循环性能。

图 38：蜂巢能源技术创新曲线



资料来源：蜂巢能源，国信证券经济研究所整理

此外，包括蜂巢能源以及通用汽车也在积极布局镍钴锰铝（NCMA）“四元”锂电池。通用研发的 Ultium 动力电池包通过加入铝元素将电池中的钴含量降低约 70%，其电池包容量比传统圆柱形电池包提升 20 倍，续航里程可达到约 650 公里以上。蜂巢能源于 2019 年 7 月立项 NCMA 四元锂电池的项目，但是还处于概念性阶段，预计 2019 年年底完成材料的前期开发，2020 年 12 月计划完成材料的确定，并预计在 2022 年 11 月达到四元电芯量产。

技术源头 3：MAXWELL，“超级电容+干法电极”以提效降本

核心内容：基于对 Maxwell 技术的分析，我们认为 Maxwell 有望在超级电容及干电极领域对特斯拉电池形成支持：一方面，超级电容将与锂电池结合使用应用于大功率启停及高/低温场景，Maxwell 已开发出能量产的锂离子电容，将作为瞬时功率较大（例如启动/刹车、急加速/减速时切换至超级电容模式）及温度过高或过低时的替代电源，用于特斯拉中大型及跑车及储能业。另一方面，

干电极有望成为特斯拉实现提效降本的关键技术,并拓宽了未来的技术路径(新材料/无钴电池/固态电池)。

吸纳 Maxwell 外部技术布局新一代电池技术战略

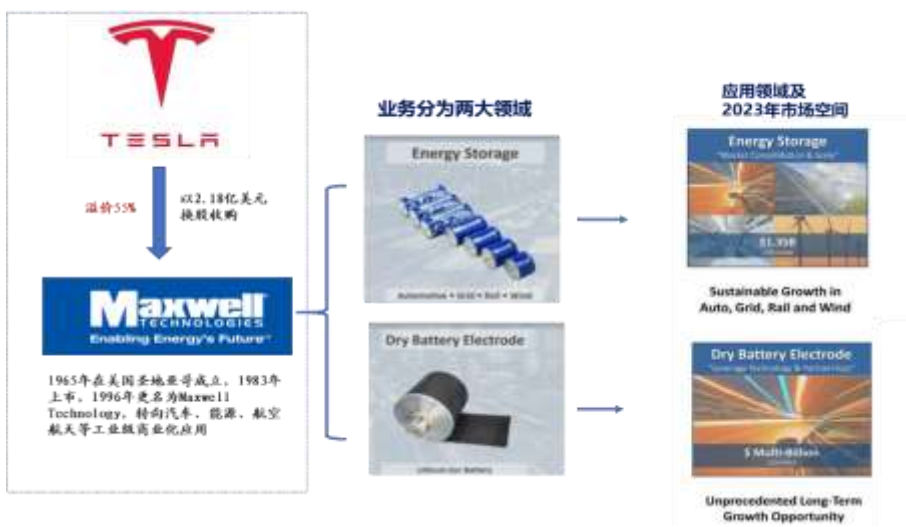
2019 年特斯拉完成对 Maxwell 的收购。特斯拉于 2019 年 2 月 5 日宣布以 2.18 亿美元(折算每股 4.75 美元,溢价 55%)用换股方式要约收购 Maxwell 公司,当年 5 月收购落地,特斯拉由此实现通过吸纳外部技术以布局电池技术战略。

Maxwell 有两大核心业务——干电极电池技术及超级电容驱动的能源储存业务。Maxwell 脱胎于 1965 年在美国圣地亚哥成立的 Maxwell Laboratories,主要就物理领域服务政府机构。1983 年上市,1996 年更名为 Maxwell Technology,转向汽车、能源、航空航天等工业级商业化应用。2006 年进一步进军中国市场,在上海设立超级电容及高压电容两个部门。目前在中/美/德/韩四地布局,业务分为用于动力电池的干电极技术、主要用于储能的超级电容两大领域。

(1)储能技术:基于超级电容器产品打造,具备高功率密度(最高突破 5kW/kg),长使用寿命(50 万次)和快速充放电等特征(5 秒~10 分钟)。2017 年收购主攻小型电池领域的韩国超级电容器厂商 Nesscap Energy,补足产品线。产品应用于汽车(包括吉利、通用等)、电网储能,轨道交通和风能等。公司预计 2023 年储能市场规模有望达 13.5 亿美元的市场, CAGR 为 20%。

(2)干电极电极技术:初期用于电池超级电容器的降本提效生产,后续导入锂电池生产中。作为无溶剂工艺,设备投资、成本及能耗均优于湿法涂覆工艺,且比湿法更适用于高能量密度,对液体敏感的电极材料。

图 39: 特斯拉溢价收购的 Maxwell 核心技术有望应用至新一代电池



资料来源: Maxwell 官网, 特斯拉公告, 国信证券经济研究所整理

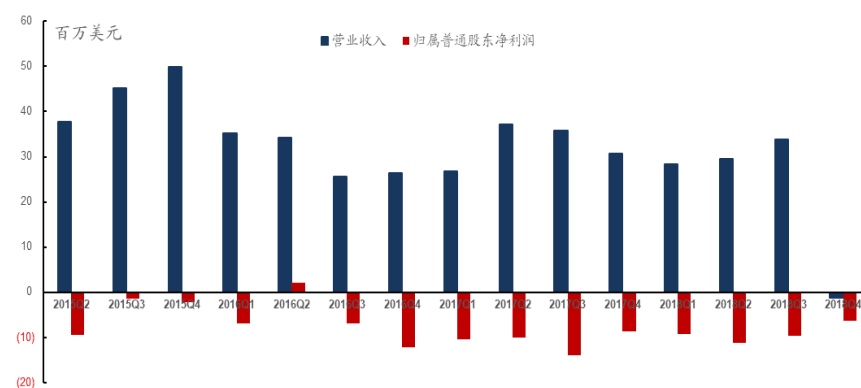
图 40: Maxwell 在中/美/德/韩四地设对应的研发、生产及销售中心



资料来源: Maxwell 官网, 国信证券经济研究所整理

Maxwell 被收购前业绩承压。由于持续拓展新业务及经营问题, Maxwell 常年亏损, 近几年重心向超级电容器、干电极两大优势业务倾斜 (2016 年剥离微电子产品线、2018 年剥离高压产品线), 2016-2018 年公司营业收入分别为 12124/13037/9046 万美元、同期分别亏损 2371/4313/3655 万美元。营收主要来源于中国 (2018 年占比 32%)、美国 (占比 19%) 及德国 (占比 14%)。

图 41: Maxwell 于持续拓展新业务及经营问题常年亏损



资料来源: Maxwell 公告, 国信证券经济研究所整理

基于 Maxwell 的超级电容及干电极的技术特征, 以及特斯拉对于无钴、高能量密度、低成本等技术需求, 我们认为其与特斯拉的协同效应体现在以下两方面:

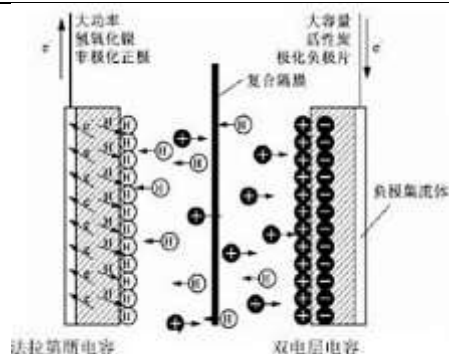
(1) 超级电容应用于大功率启停及高/低温场景。技术上目前超级电容不能独立提供动力, 而是与锂电池结合使用。由于其高充放电效率及宽工况温度等特征, 将作为瞬时功率较大 (例如启动/刹车、急加速/减速时切换至超级电容模式) 及温度过高或过低时的替代电源, 有效提升电池系统性能及寿命, 降低特斯拉中大型及跑车车型 (例如皮卡 Cybertruck、卡车 Semi-Truck 及 Roadster) 起步和加速阶段的功率突变压力, 以及适用于储能业务。

(2) 干电极技术具备量产可能性, 预计为此次电池日主打技术之一, 2020 年底有望推广, 有望带来特斯拉电池三点重大提升: 一是运用于 NCA 高镍方向, 在电池性能上能量密度有望突破至 500Wh/kg (目前 21700 电池系统能量密度约 300Wh/kg); 二是大幅降本 10%~20%, 干电极技术设备投资及工艺成本均优于现有的湿法涂覆技术; 三是拓宽了未来的技术路径, 向固态电池拓展更靠近一步, 也解除了对液体敏感的电极材料的应用。

超级电容：高功率的提供者，提升能量利用效率及电池寿命

超级电容器为介于电容器和电池之间的储能器件，因此兼具快速充放电（对于电容器）及极化电解质储能（对于电池）特征。不同于电池的化学储能特性，超级电容为通过介质分离正负电荷的物理储能方法，因此储能过程可逆使得能快速充电和放电数十万至数百万次。当与锂电池结合使用时，超级电容将代替电池储存动力回收过程产生的电，在启动或急加速过程中与电池共同供电爆发较大的瞬时功率（汽车加速所需的功率比保持恒定速度所需的功率大 10 倍），产生类似“高效缓存”的效用，同时避免了过高或过低温度下电池的大功率充放电，有效保护电池、延长电池寿命。

图 42：超级电容原理



资料来源：Li-ion Battery Association，国信证券经济研究所整理

图 43：超级电容与电池的结合模式



资料来源：Maxwell，国信证券经济研究所整理

与锂电池相比，超级电容器提供了一种简单而高度可靠的解决方案来缓冲可用功率和所需功率之间的短期失配，在充放电时间及寿命上具明显优势：

- (1) **充电速度快 100 倍**（电池数分钟或数小时 VS. 超级电容器最快几秒内）。超级电容器存储电能为同等尺寸电池的 5%~10%，而电能传输速度快 100 倍，从而单位重量有效降低。
- (2) **更长的使用寿命**。超级电容器能在 10~100 万个充电周期中可靠运行，电池的等效周期为 500-2000 次。在整个生命周期内极大降低成本。
- (3) **更高的充放电周转效率，最大程度地减少了能量损失**。功率密度最高可突破 5000kW/kg，近电池的 5~10 倍。
- (4) 在极端温度（-40℃至+65℃）下可靠且连续运行的能力；
- (5) 维护要求低。
- (6) 不含重金属，将与处置相关的环境问题降至最低。

表 6：普通电容器/超级电容器/电池的性能比较

	普通电容器	超级电容器	电池
额定放电时间	10^{-6} - 10^{-3} s	1-30s	0.3-3h
额定充电时间	10^{-6} - 10^{-3} s	1-30s	1-5h
能量密度/Wh kg ⁻¹	< 0.1	1-10	20-180
功率密度 Wh kg ⁻¹	> 10000	1000-2000	50-300
充放电效率	> 0.9	0.9-0.95	0.7-0.85
循环寿命	几乎无限	> 100000	500-2000

资料来源：Li-ion Battery Association，国信证券经济研究所整理

Maxwell 的超级电容器产品涵盖多种尺寸的单体及集成模组，已打入整车体系。Maxwell 提供的超级电容器包含 Standard 系列（阻抗小、尺寸小，用于消费电子及工业电源领域）、XPTM 系列（用于高温高湿的恶劣条件）及 DuraBlue® 系列（防冲击、防震）三大主力单品，通常将其连接至多电池模块和子系统中，以满足特定应用的能量存储和功率传输要求。现阶段子系统产品集成了 6~60

个超级电容器单元，可用于 12-160V 的应用场景。Maxwell 逐步将超级电容的应用推广至汽车，2010 年向大陆集团供给启停电压稳定系统的储能单元，2018 年与吉利合作（在 2020 年的五款混动汽车中加入基于超级电容器的峰值功率子系统），将在北美和欧洲上市，2019 年底开始量产。

图 44: Maxwell 超级电容器布局



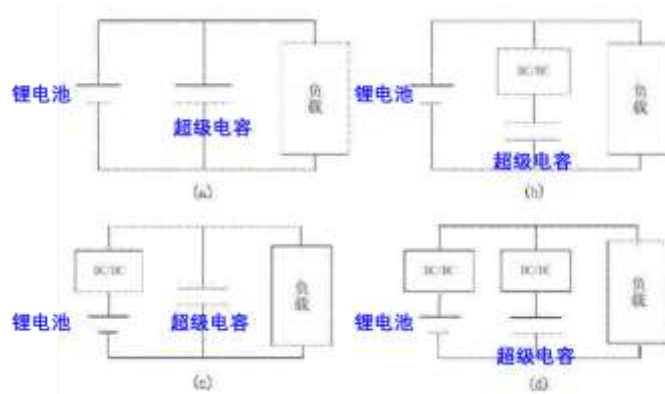
资料来源: Maxwell 官网，国信证券经济研究所整理

超级电容与锂电池结合应用：高功率提供者、提升能量利用效率以及电池寿命

超级电容在电动车的作用主要充当高功率提供者，大功率的超级电容在纯电动汽车的启动、加速、上坡行驶等应用场景具备显著的协同效应。例如在电动车启动和爬坡时可以利用超级电容快速提升大功率电流，在正常行驶时由蓄电池快速充电，在刹车时快速存储发电机产生大电流，由此可以减少对锂电池大电流充电的限制，从而延长其使用寿命。另外，在启动/刹车等情景下可实现将再生制动的能量回收到超级电容器，从而提升能量利用效率。

目前超级电容和锂电池的混合应用主要包括 4 种方式：第一种是直接并联，一般用于电压低于 60V 的应用场景，第二种是超级电容经由直流电源转换器 DC/DC 升压后与动力电池并联，可实现对输出功率和能力的控制，这两种模式较为普遍。

图 45: 锂电池与超级电容的混合应用



资料来源: 动力电池技术，国信证券经济研究所整理

表 7：锂电池与超级电容的连接方式及效果比较

连接方式		效果
方式一	直接并联	结构最简单，所需器件数目最少，但由于没有双向 DC/DC 变换器，超级电容和蓄电池在任何时候都具有相同的电压。此时功率大小的分配主要取决于各电源的内阻大小，直流母线侧电压变化范围受蓄电池端电压所限，超级电容器只能在蓄电池电压发生快速变化时输出和吸收波动的功率，因而此种方式限制了超级电容的大功率充放电能力，未能充分发挥超级电容与负载匹配的优势。
方式二	蓄电池和负载直接相连，超级电容器通过双向 DC/DC 变换器与负载相连	蓄电池连接的直流母线电压在系统充放电过程中变化相对较小，且蓄电池基本工作在恒流方式，蓄电池的充放电电流得以优化。
方式三	蓄电池经过双向 DC/DC 变换器与负载连接，超级电容器则直接与负载相连	蓄电池经过双向 DC/DC 变换器与负载连接，可以优化蓄电池的输入输出特性；超级电容器则直接与负载相连，此时超级电容可以很快地提供电动车启动/加速时的功率输出和减速刹车时的制动能量回收。但由于超级电容器端电压随充放电过程指数形式变化，特别对于小容量的超级电容器，很难充分发挥超级电容瞬时大功率充放电的特点。
方式四	超级电容器和蓄电池均通过双向 DC/DC 变换器与负载相连	时电压调控范围大，灵活性很高，但由于采用了两个 DC/DC 变换器，整个系统的复杂度和控制的难度增加，降低了系统的效率，系统的成本也相应增加。

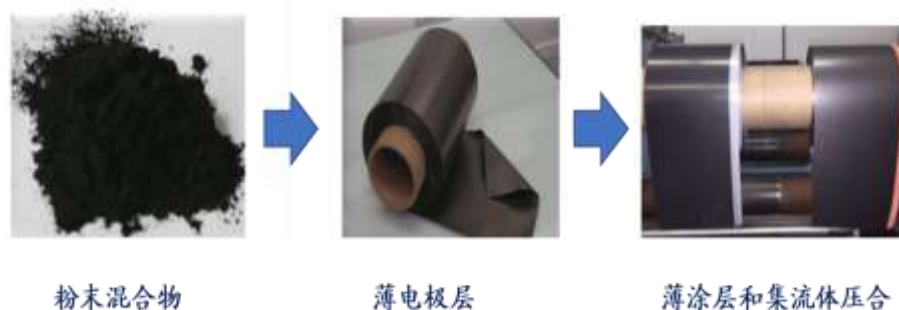
资料来源:动力电池技术，国信证券经济研究所整理

干电极工艺——拓宽现有技术路径，提效降本显著

干电池涂层工艺（即无溶剂涂层工艺）包含干粉末混合、粉末变成薄涂层成型及薄涂层与集流体压合三个主要步骤。具体指在涂覆时，先将电极颗粒、粘合剂和导电剂组成粉末混合物，再使用压出机挤出成连续的初始电极材料带，绕卷后压在金属箔集流体上形成电极。在 Maxwell 实验室发表的《Dry Electrode Coating Technology》论文中,说明干电极可用于厚极片的制作，同时适用于正极（NCM/NCA/LFP 等正极材料和铝箔）和负极（硅基材料/LTO 和铜箔）制作。

干电极工艺更兼容目前主流的高镍电池（高镍正极+碳硅负极）体系。对于正极，干电极能有效缓解高镍热稳定性差、易吸收水分等问题；对于负极，能大幅降低预锂化（预锂化能有效缓解碳硅负极首次充放电将形成 SEI 膜带来的活性物质损失问题）的难度，加快硅碳负极导入。

图 46：干电池涂层工艺分为三个步骤

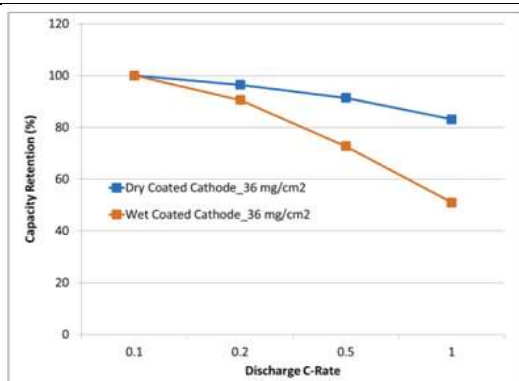


资料来源: Maxwell 实验室《Dry Electrode Coating Technology》，国信证券经济研究所整理

干电池工艺核心技术在于电极配方和挤压技术实现的去溶剂化。Maxwell 关键技术在于在电极配方上，将少量的（5%~8%）PTFE 粉末原纤维化作为粘接剂，使正/负极材料能自支撑在挤压中成膜成卷，从而实现去溶剂化，规避传统浆料湿法具有的溶剂有毒、易形成粘结层降低导电性、电极理化性质易变等缺点。对比使用了溶剂的湿法工艺（负极/正极粉末与具有粘合剂的溶剂混合，将浆料涂覆在电极集电体上），干电池工艺具两大优势：一是大幅提效，由于干法成型过程中，粘结剂以纤维状态存在使得锂离子能更好地进入活性物质颗粒，电池具更好的导电性。在《Dry Electrode Coating Technology》论文的放电倍率测试结果证明，同等条件下干涂层电极比湿涂层电极拥有更大的输出功率，同时循环寿命更长、高温稳定性更好、充电/放电效率更高。二是有效降本，湿法工艺需要用到相对更为复杂的电极涂覆机，且有毒的溶剂需要要使用烘箱进行干化处理回收，因此流程简化的干法工艺在设备投资、材料成本和工人成本上具

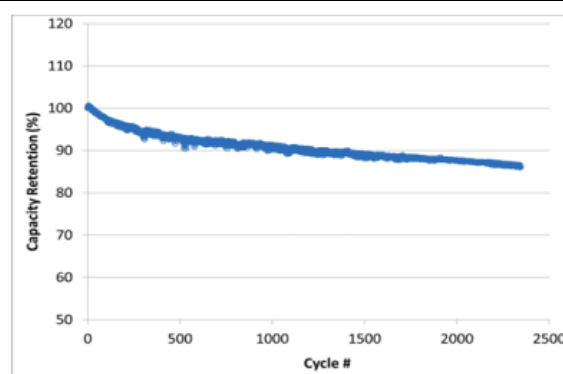
一定优势。

图 47: 干法电极与湿法电极的放电倍率比较 (输出功率大)



资料来源: Maxwell 实验室《Dry Electrode Coating Technology》, 国信证券经济研究所整理

图 48: 对软包干电极电池循环性能的测试 (循环寿命长)



资料来源:《Dry Electrode Coating Technology》, 国信证券经济研究所整理

据 Maxwell 研究, 其研发的干电池工艺具以下优势:

- (1) **高能量密度:** 目前干电极技术已经实现 300Wh/kg 的能量密度突破 (超湿法工艺 10%), 未来有望突破 500Wh/kg。
- (2) **长循环寿命:** 寿命约为湿法工艺 2 倍。
- (3) **更低成本:** 比湿法工艺降本 10%-20%+, 单车成本下降近 200-1000 美元。
- (4) **环保及技术延伸:** 无有毒溶剂, 有望应用于新材料/无钴电池/固态电池等

图 49: Maxwell 发布的干电池工艺具有的优势



资料来源: Maxwell, 国信证券经济研究所整理

技术源头 4: Hibar, 补齐锂电池生产设备环节, 助力电池自产

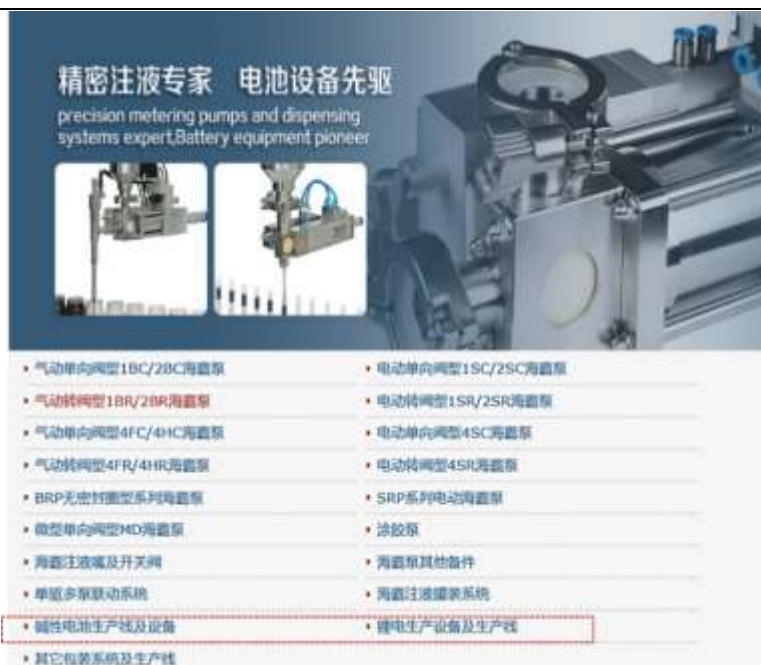
核心内容: 特斯拉中/美/德三地工厂的车型产能快速爬坡推动电池需求快速上行, 而其与松下合作的超级工厂产能由 35GWh 提升至 50GWh 的过程过于缓慢, 留下较大供给缺口, LG 化学、宁德时代相继被引入供应体系。故特斯拉具独立生产电池的可能性, 其于 2019 年低调收购的 Hibar 在锂电池生产设备及产线上具多年布局, 完成特斯拉自产电池的最后一块版图, 有望实现电池产能稳

定提升、将技术层面的积累运用到工艺中实现降本促销以及深度把控电池供应链等目标。

收购 Hibar 开拓锂电池制造设备环节版图

Hibar 为一次电池及二次电池生产线的重要供应商，覆盖电芯完整生产流程；于上世纪 70 年代初由德裔加拿大工程师 Heinz Barall 创立，总部位于加拿大，已在中国（宁波与佛山）、德国等地设制造工厂，专注于精密计量泵（1974 年研制出第一台精密计量泵奠定行业龙头地位）、注液系统及电池制造系统。在电池领域，拥有自动化电池制造和工艺设备、自定义包装设备、锂离子电池装配和自动真空灌装系统等成套的生产线，覆盖了电芯完整生产流程，锂电池产品可应用于电动车及消费电子，目前碱性电池生产流水线速度可达 1000PPM。首席执行官在采访中表示，Hibar 自成立以来收入已实现 6 倍增长。2019 年 4 月 Hibar 获得加拿大国家研究委员会工业研援助计划授予的 200 万美元资助，用于建设锂电池制造系统（主要为大容量电能存储领域）。

图 50: Hibar 布局锂电池生产线



资料来源: Hibar 官网, 国信证券经济研究所整理

特斯拉收购 Hibar 完成自产电池版图; 特斯拉于 2019 年 10 月间收购了 Hibar，完成其自产动力电池项目最后一块版图，将具备独立的电池生产能力、以及把特斯拉领先的电池技术（来源于包括 Maxwell 在内的特斯拉研发团队）实践在生产端的能力。

图 51: Hibar 完成特斯拉自产动力电池项目最后一块版图

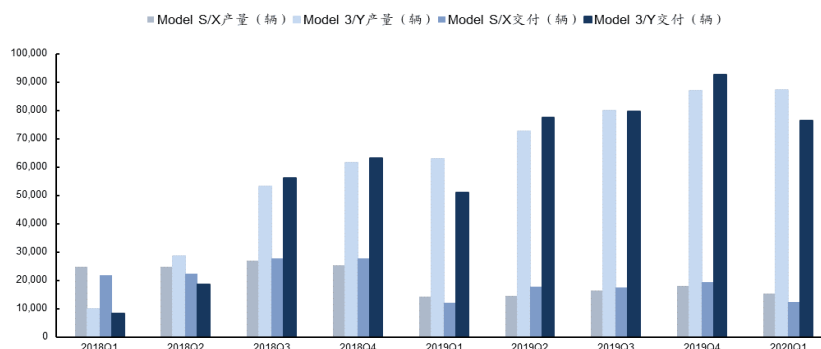


资料来源: 公司官网, 国信证券经济研究所整理

主导电池制造环节对特斯拉的三大意义

特斯拉与最重要的电芯供应商——松下在产能问题上存在分歧。在电池制造上, 特斯拉与松下是近 10 年的深度合作 (7 年独供合作), 模式为: 松下主供电芯, 在 Gigafactory 中的投资占比约 30%; 特斯拉 60% 的专利集中在电池, 负责 Pack 层工作, 包括改进电芯结构、优化模组/BMS/热管理系统等, 经过一系列优化后, 其电池性能大幅提升 (循环 500 次后, 特斯拉电池剩 95% 电池容量, 而松下出货的电池为 70%)。自 Model 3 推出后, 特斯拉产能爬坡推动电池需求快速上行, 与松下的合资工厂产品由 35GWh 提升至 50GWh 的过程过于缓慢, 留下较大的供给缺口, 因此于 2020 年初将 LG 化学、宁德时代引入供应体系。

图 52: 特斯拉车型产能爬坡迅速留下较大供给缺口



资料来源: 特斯拉公告, 国信证券经济研究所整理 (注: 2020Q1 Model Y 量产, 销量与 Model 3 合并统计)

特斯拉自建锂电生产线存在以下三大意义:

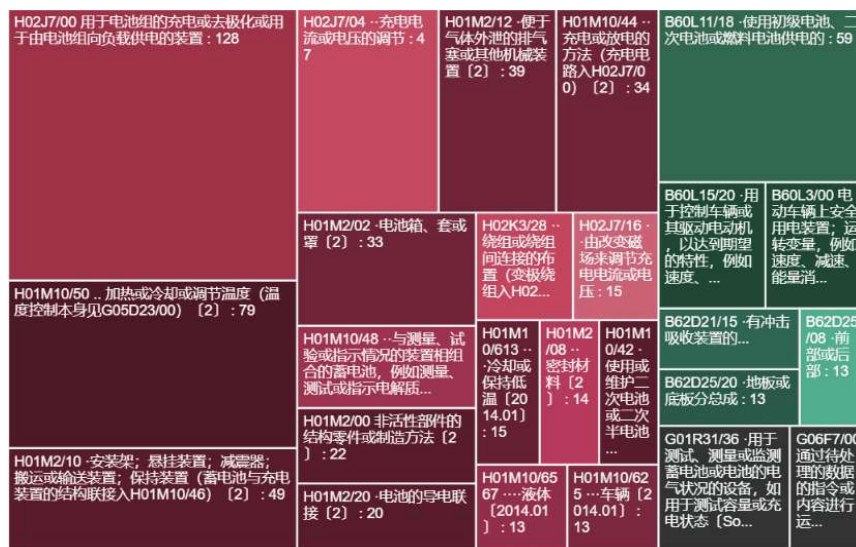
- (1) 实现电池产能的稳定提升, 配套全球扩张计划。目前特斯拉在美国 (规划年产能 50 万)、上海 (一期年产能 15 万辆) 及德国三地均设整车工厂, 松下产能吃紧, 与大众、奔驰及戴姆勒等传统车企大笔投建电池工厂的目标相同 (奥迪、奔驰均曾因电池供应问题推迟交付 e-tron、EQC 相关电动车的交付), 特斯拉有动力自设产线保障电池供应的稳定性;
- (2) 有利于性能提升及降本。掌握生产制造环节, 有利于特斯拉将多年在技术层面的积累运用到工艺中, 能实现新技术的主导应用, 同时降本效应显著, 预计自产产线投产后动力电池成本有望降至 100 美元以下 (降低 10%~20%);
- (3) 牢控三电领域。与过去传统车厂包揽发动机总成技术类似, 电动车三电系统是厂商需牢牢掌控的核心技术。自建产线能实现对电池供应链的深度把控。

19-20 年特斯拉已申请专利：重心在电池寿命

截止 2020 年 5 月，Tesla, Inc. 累计申请并公布了 795 项专利，其中有 758 项发明，37 项外观设计。在所有公布的专利中，有 630 项有效，102 项未得到专利局确认，55 项已失效，8 项正在审核。

在 2017 年以前特斯拉申请的电池研发专利主要涉及充电技术、动力电池包装、封装和装配技术（Pack）、电池管理技术（BMS）、极片技术等，并且专利申请数量在 2013 年左右达到高峰。从 2017 年后，经过和 Jeff Dahn 研究团队共同研发积累，特斯拉逐步开始在电解液添加剂、电池阳极材料、负极钝化膜等研究领域开始发力。

图 53：特斯拉总专利概览（IPC 分类排名）



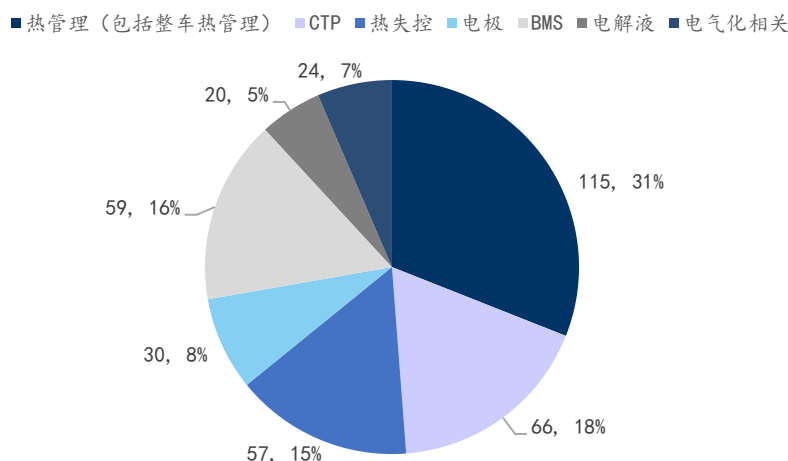
资料来源：智慧芽，国信证券经济研究所整理

图 54：特斯拉历年专利公开数量



资料来源：智慧芽，Justia，国信证券经济研究所整理

图 55: 特斯拉电池相关专利



资料来源：智慧芽，Justia，国信证券经济研究所整理

在 2019-2020 正申请或被批准的专利中，共有 4 项有关电解液添加剂的新型专利，2 项有关电池检测安全性和循环性检测的新型专利。根据美国专利与商标局（US Patent and Trademark Office），专利数据库网站智慧芽和 Justia 的公开信息，这些专利旨在极大地改进电池循环寿命，加强电池安全性能。

表 8: 2019-2020 特斯拉专利概览

改进方向	专利名	中文概述	解决问题	备注	专利发布号
使用寿命	METHOD FOR SYNTHESIZING NICKEL-COBALT-ALUMINUM ELECTRODES	制备单晶镍-钴-铝电极的两步合成方法	能规避 NCA 电池阳极材料中杂相的产生，进而提升电池循环性能和寿命	但会降低材料的电化学性	20200127280
	DIOXAZOLONES AND NITRILE SULFITES AS ELECTROLYTE ADDITIVES FOR LITHIUM-ION BATTERIES	向电解液中添加二恶唑酮和腈亚硫酸盐化合物	能提升长期使用中电池循环性能		20190393546
	NOVEL BATTERY SYSTEMS BASED ON TWO-ADDITIVE ELECTROLYTE SYSTEMS INCLUDING 2-FURANONE, AND METHOD OF FORMATION PROCESS OF SAME	向电解液中添加碳酸亚乙烯酯和 2-呋喃酮	提升长期循环下的电池容量保持率和电压，并且拥有较低电池阻抗		20190280333
	NOVEL BATTERY SYSTEMS BASED ON TWO-ADDITIVE ELECTROLYTE SYSTEMS INCLUDING 1,2,6-OXODITHIANE-2,2,6,6-TETRAOXIDE	在电解液中添加 1,2,6-氧二噻吩-2,2,6,6-四氧化物 (ODTO) 和碳酸亚乙烯酯 (VC)	能提升长期使用中电池循环性能	长期使用中电压不是非常稳定	20190280334
	METHOD AND SYSTEM FOR DETERMINING CONCENTRATION OF ELECTROLYTE COMPONENTS FOR LITHIUM-ION CELLS	测定锂离子电池电解质成分浓度的方法和系统	能更精确地测量电池内部电解质浓度，减少电池发生故障概率	实时监测还能提升稳定性和安全性	20190173122
安全性	APPARATUS AND METHOD FOR DETECTION OF DEFORMATION IN BATTERY CELLS	检测电池变形的装置	能够检测电池单元在不同充放电状态下发生的直径变化等形变程度，提升安全性		20190267677

资料来源：特斯拉，US Patent and Trademark Office，国信证券经济研究所整理

循环性：通过添加多种电解液添加剂，多步烧制电极法提升电池寿命

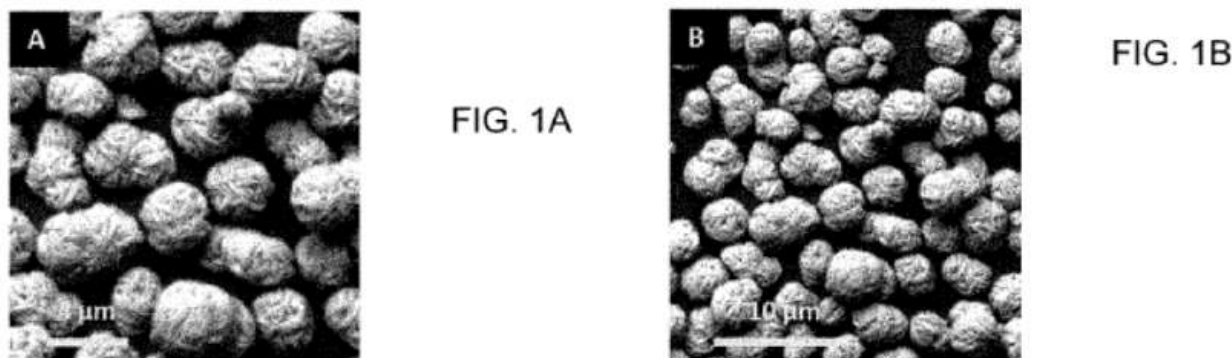
专利一：制备单晶镍-钴-铝电极的两步合成方法

在 2019-2020 被批准或正在申请的专利中，绝大部分锂电池相关专利都旨在改进电池循环性能。在 2020 年 4 月 23 日披露的一项正在申请的专利中（Publication No. 20200127280），特斯拉通过一种两段式的烧制方式提纯单晶 $\text{LiNi}_{0.88}\text{Co}_{0.09}\text{Al}_{0.03}\text{O}_2$ ，来规避 NCA 电池阳极材料中杂相的产生，进而提升电池循环性能和寿命。这项专利主要基于 Jeff Dahn 团队已发表的论文《Synthesis of Single Crystal $\text{LiNi}_{0.88}\text{Co}_{0.09}\text{Al}_{0.03}\text{O}_2$ with a Two-Step Lithiation Method》。

在两步法中，先在较高的烧结温度（800°C-950°C）下制备 Li:OM 比小于 1.0

的 $\text{NCA}(\text{OH})_2$ 和 $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 的混合物，以避免生成杂相 Li_5AlO_4 。在第二步中，为了提升电池中锂元素含量，在相对更低的标准锂化温度下（ 650°C - 760°C ）将更多第一步生成的化合物和跟过量的 $\text{Li}(\text{OH})$ 混合在一起继续烧制。

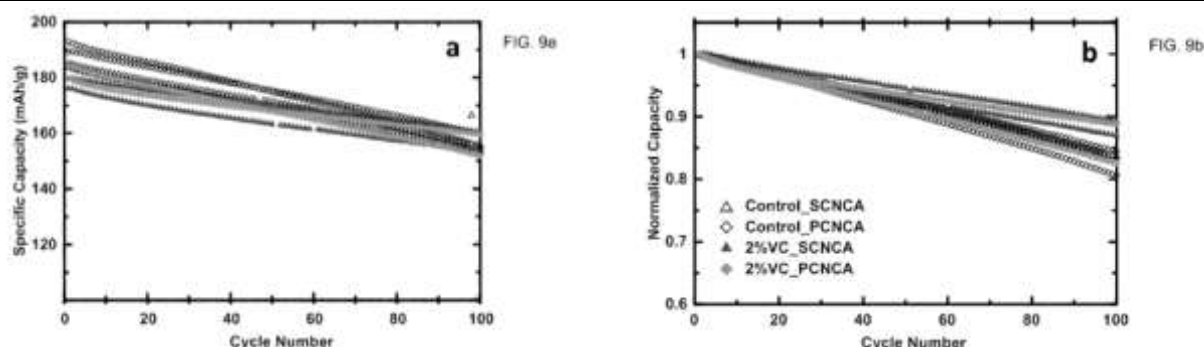
图 56：第一步烧制后的晶体微观形状



资料来源：USPTO，特斯拉，国信证券经济研究所整理

经两步合成法加热后，NCA 电池单晶正极基本上不包含杂相，使得电池循环性能更强，电池寿命更长。在容量循环测试中，经两步法烧制成单晶正极锂电池的容量保持率在 100 个循环周期下仍能保持不少于 80% 的初始容量，性能不弱于多晶正极的锂电池。但是这种方法会减少了电池内 Li 元素的含量，使得材料电化学性能较差。

图 57：两步法烧制后单晶正极锂电池容量保持率



资料来源：USPTO，国信证券经济研究所整理

此外，两步烧制法还能够提升电池正极结构有序度。从锂镍混排实验中，两步烧制（图中 C1, C2; D1, D2）能显著降低这种不利于体相结构稳定性的现象，提升锂的反应活性，进一步提升循环稳定性。

注：锂镍混排常出现在高镍三元正极电池材料中，即锂和镍离子在微观结构上交换位置，导致材料容量快速衰减。当然，少量的锂镍混排能够降低锂离子的扩散势垒，进一步提升材料的倍率性能。

专利二：向电解质中添加二恶唑酮和腈亚硫酸盐化合物

在 Jeff Dahn 团队的一系列研究中，他们发现添加二恶唑酮和腈亚硫酸盐化合物至电解液中能显著提升电池性能。在 2019 年 12 月 6 日，USPTO 公布了一项特斯拉正在申请的电解质添加液的专利（Publication No. 20190393546），包

括 3-芳基或 3-CRR'R"取代的 1,4,2-dioxazol-5-one (二恶唑酮) 和由任何烷基或芳族取代基取代的脒亚硫酸盐化合物。在某些实验中, 添加的溶剂使用了碳酸亚乙酯或碳酸二甲酯等碳酸盐溶剂, 以此和添加剂更有效地混合。

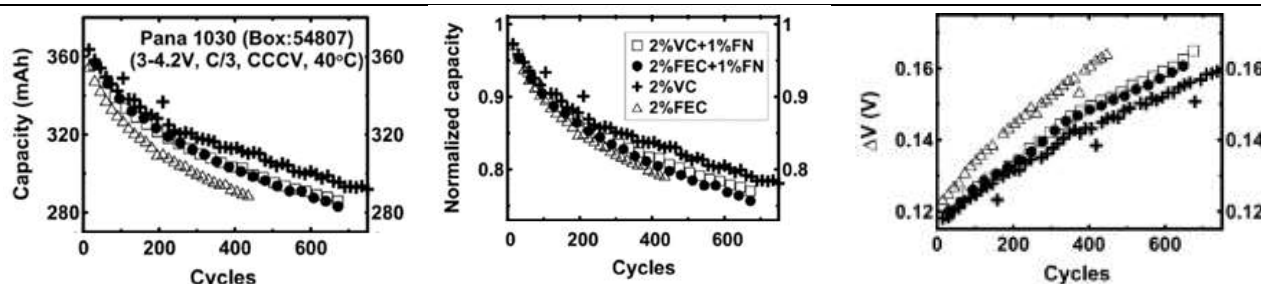
Tesla 的研究人员展示了在 40°C, 以 C/3 充放速率至 4.3V 的 NMC622 和 NMC532 电池的归一化容量和电压变化示意图。结果显示添加了二恶唑酮 (1%MDO 或 2%MDO 1%LFO) 或脒亚硫酸盐化合物后的锂电池相对于对照组而言, 在 300 个循环周期内具有更高的容量保持率和更加稳定的电压增长率, 这意味着在长期使用中电池循环性能更优秀且具有更长的使用寿命。此外, 相对于 NMC622 电池而言, NMC532 电池在使用这种添加剂时具有更好的容量保持率。

专利三: 向电解质中添加碳酸亚乙烯酯和 2-呋喃酮

除了二恶唑酮添加剂外, Tesla 还尝试其他电解质添加剂如碳酸亚乙烯酯 (VC) 和 2-呋喃酮 (FN)。在专利说明中 (Publication No. 20190280333), 研究人员通过将上述的两种添加剂混入非水电解质中, 在密封电池和惰性气体中组装正极和负极并去除残留的水, 并在真空中密封这种电池系统。

实验结果显示使用这种混合电解质溶液的电池系统能够提升电池容量保持率, 抑制电池内部气体产生, 并且降低了电池阻抗, 导致较高的充电速率和能量效率。在基于 40°C, 以 C/3 充放速率至 4.3V 的 NMC532 长循环实验下, 相对于对照组而言, 添加混合溶剂 (2%VC+1%FN) 电解质的电池在 400 个循环周期后仍能保持 85% 的归一化初始容量和电容, 并且电压增长率仍然保持在一个相对合理的水准。

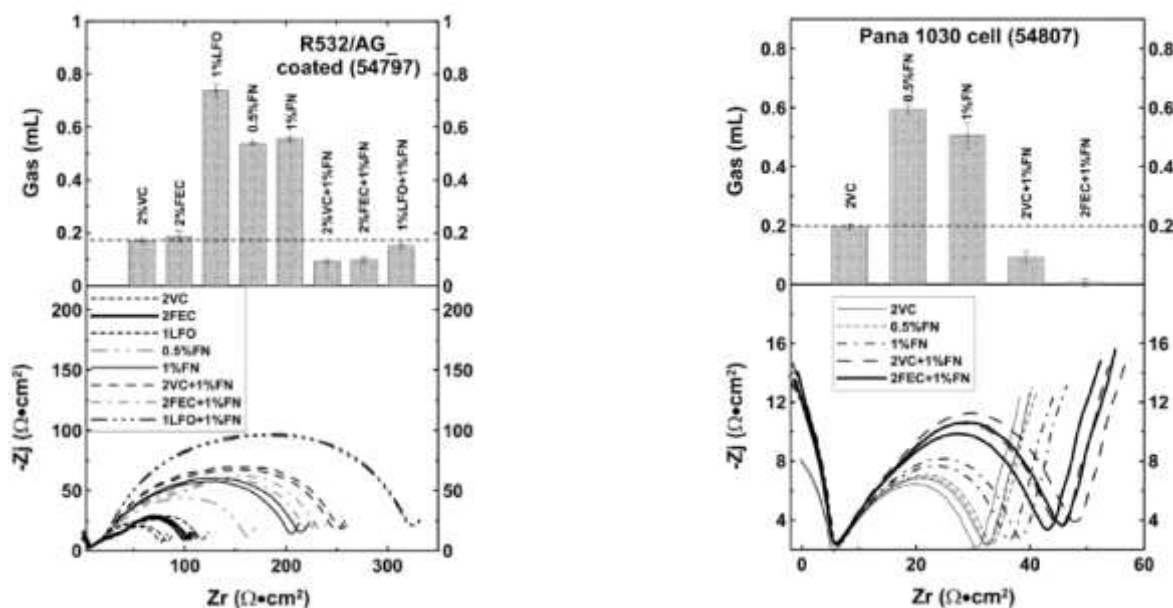
图 58: 长期循环下电池容量保持率和电压增长率



资料来源: 论文《USPTO》, 国信证券经济研究所整理

此外, 研究人员还使用 NMC532 和 Panasonic 1030 电池研究了添加新型电解质后电池阻抗和生成气体变化。研究发现使用新型电解质电池系统具有较低电池阻抗, 并且在生成气体较少 (低于控制组 50% 以上), 这意味着在正常工作时电池内部电解液消耗较少, 负极嵌锂程度和 Li 离子扩散速率受影响较小, 电池寿命更长。

图 59: NMC532 (左) 和 Panasonic 1030 (右) 电池内部气体生成量和 EIS 光谱图



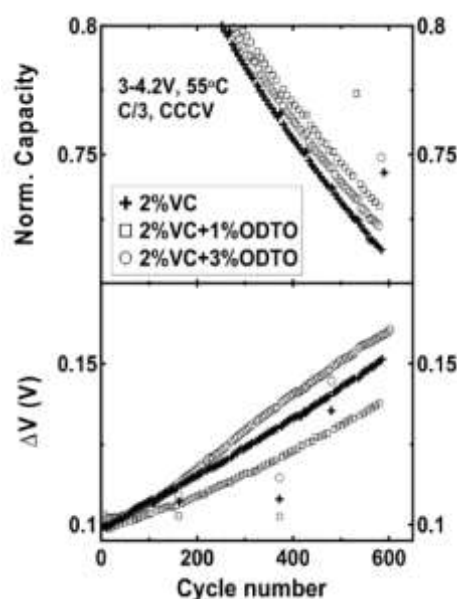
资料来源: USPTO, 国信证券经济研究所整理

专利四: 在电解质中添加 1,2,6-氧二噻吩-2,2,6,6-四氧化物 (ODTO) 和碳酸亚乙烯酯 (VC)

这一项专利在 Jeff Dahn 研究团队发表的《1,2,6-Oxadithiane 2,2,6,6-tetraoxide as an Advanced Electrolyte Additive for Li[Ni0.5Mn0.3Co0.2]O2/Graphite Pouch Cells》中有过详细介绍, 并且值得一提的是 Jeff Dahn 教授本人是这项专利 (Publication No. 20190280334) 的申请人之一。

除了如论文中介绍的实验室自制 NMC622 电池之外, 这项专利还将这一添加了 ODTO/VC 混合物的电解质加入 Tesla 大规模生产使用的 Panasonic 1030 电池中, 应用结果仍然比较令人满意, 在 400 个循环周期下添加混合物电解质的电池能保持 75% 的初始容量, 但是电压增长率较大, 约提升 50%。

图 60: 使用 ODTO/VC 电解质后容量保持率和电压增长率



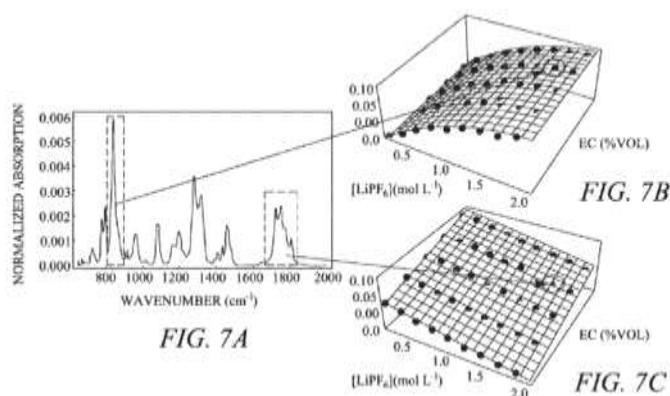
资料来源: USPTO, 国信证券经济研究所整理

专利五: 测定锂离子电池电解质成分浓度的方法和系统

对于锂离子电池而言, 长期使用后电解质降解会导致电池发生故障并且在内部生成一定气体, 使得电池极片不能在适当浓度的导电溶剂中发生完全的的化学反应, 最终降低电池容量保持率和使用寿命。

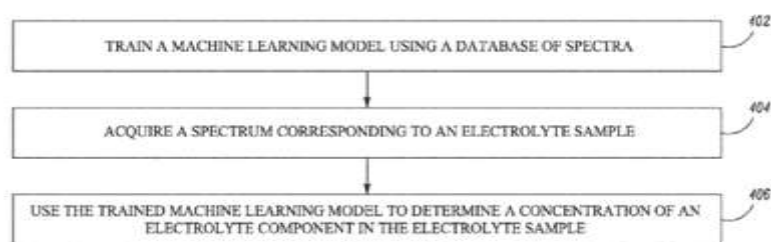
为了测量电池内部电解质浓度, 减少电池发生故障和安全隐患的几率 Tesla 和 Jeff Dahn 申请了一项能够分析锂电池电解质浓度的专利 (Publication No. 20190173122) 来确定电解质的降解程度。这种方法通过使用 EIS 光谱仪指令捕获电解质样品溶液的光谱并产生电子信号, 以确定当前电解液的一个或多个频谱特征。此外, 研究人员还设计了一个基于光谱数据库为训练集的机器学习模型程序。这个机器学习模型利用所测定的多个光谱特征中至少一种光谱, 来确定电解质的降解程度。

图 61: 在 839cm^{-1} (7B) 和 1775cm^{-1} (7C) 处利用 EIS 光谱法测定电解质浓度



资料来源: USPTO, 国信证券经济研究所整理

图 62: 高精度电池变形检测装置设计图



资料来源: USPTO, 国信证券经济研究所整理

安全性: 利用高精度仪器检测电池形变程度, 减少安全风险

专利一: 检测电池变形的装置

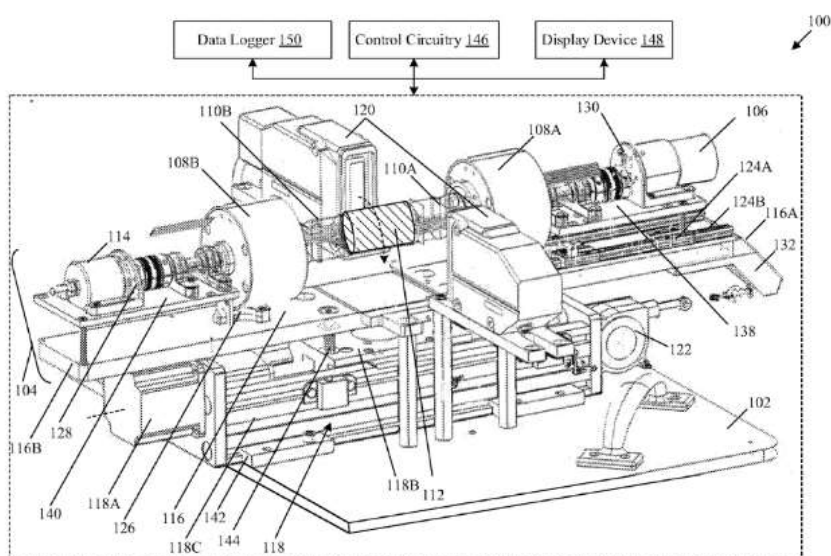
在不同的操作环境中, 动力电池会在不同的电流、电压和外部压力的作用下运行。在某些情况下, 电池单元可能会间歇性地在高于稳定热温度的水平下工作, 或者过高的充放电速率, 导致超出安全范围内的周期性负载。

在高于稳定温度的情况下, 电池单元内部可能会遇到明显的加热, 电池内部锂离子会频繁出现嵌入/脱离正极锂镀层, 导致内部电极片、电化学反应活性材料的体积膨胀, 引发整个电池的形变, 埋下爆炸的安全隐患。

对于某些较大的形变而言, 安全检测人员甚至是普通车主能用肉眼直接观察得到, 但往往为时已晚, 电池寿命和结构稳定性早已大大降低。所以特斯拉的机械工程人员通过设计了一种高精度变形检测装置, 来检测电池单元在不同充放电状态下发生的直径变化 (Publication No. 20190267677)。

这种变形检测装置包括处理电池单元的线性、旋转运动的电池单元运动控制组件、支撑该电池单元运动控制组件的主体、数字测微计合控制电路。

图 63: 高精度电池变形检测装置设计图



资料来源: USPTO, 国信证券经济研究所整理

在检测中，控制电路先后控制电池单元通过多个数字千分位尺的扫描区域，检验充电或放电状态下的电池旋转位置和形状变化。如果检测装置发现电池存在异常变形状态，就会向研究人员发出警报提醒电池安全问题。

图 64：变形检测装置工作流程图



FIG. 2

资料来源：USPTO，国信证券经济研究所整理

投资建议：特斯拉电动化技术储备与产能均具备领先优势，持续推荐相关产业链

核心内容：特斯拉在电动化领域技术及产能都具备领先优势：技术层面，特斯拉在电动化领域的技术源头具备较强的开源性，通过合作或收购的模式吸收整合 Jeff Dahn 研究团队、宁德时代、Maxwell、Hibar 等的核心技术。产能层面，目前特斯拉超级工厂规划 2020 年达到 35GWh，最大产能达到 50GWh，目前在不算 3 期规划情况下已经领先其余主机厂。伴随后期特斯拉国产化持续推进，我们认为在电池或新能源差异性零部件上掌握核心技术，或是具备“国内替代”（成本与性能）能力的优质零部件将持续受益，重点推荐宁德时代、三花股份、岱美股份以及拓普集团。

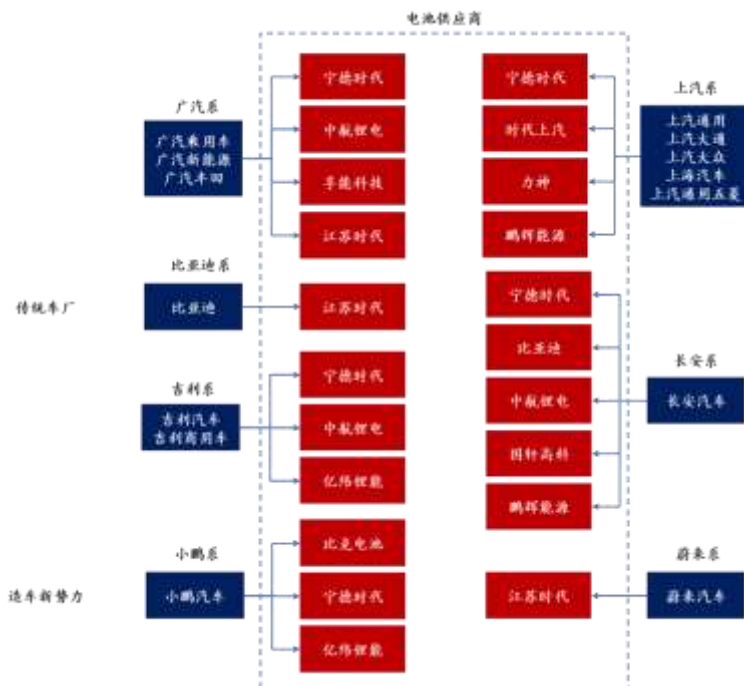
特斯拉电动化领域技术，产能布局具备相对领先优势

不管是在电池技术储备以及电池自产层面，特斯拉具备相对领先优势；广汽、上汽、吉利和长安等传统整车厂商国内电池供应商较分散且层次不齐，既有如宁德时代等一线电池供应商，又有亿纬锂能、中航锂电、鹏辉能源、力神等二三线供应商，在供应商分散的情况下较难保证电池质量标准化。

此外，在整车厂商中，除上汽同宁德时代合资建立上汽时代以供应电池，和完

整掌握三电技术的比亚迪外，其他厂商都较为依赖非控股厂商的电池供应，这意味着下游车厂对核心电池技术掌控力不足，对上游供应商议价能力弱，并且对电池产能周期高度敏感。对于比亚迪而言，虽然产业链一体化与电池技术的积累使得比亚迪新能源车具备一定先发优势，但是封闭的供应体系一定程度制约其动力电池部门进一步发展。而特斯拉在技术储备层面具有较好的开源性，通过同 Jeff Dahn 研究团队、宁德时代等开展深度合作、收购 Maxwell 和 Hibar 保障核心技术，并开展 Roadrunner 计划保障电池产能，在电动化领域当前相对领先优势。

图 65：国内车企主要电池供应商



资料来源:GGII，国信证券经济研究所整理

此外，目前国内各大车企使用的正极技术主要集中在三元电池中。在 2020Q1 新能源乘用车装机电量中，虽然新能源产业链受疫情影响总装机量同比下降 55%，但是三元电池装机电量约 4.15GWh，占总装机量的 93%，远高于磷酸铁锂、锰酸锂占比，三元电池目前仍然是市场中的绝对主流技术。在三元正极技术上，特斯拉目前主要使用由松下和 LG 化学提供的三元圆柱形电池，且自身拥有大量的三元技术储备，未来可能进一步完善在 NCA/富锂锰基正极、硅碳负极、干电极的大规模制造工艺，继续领先行业内其他新能源整车厂商甚至是电池厂商的电池技术，巩固和扩大自身在新能源产业链的领先优势，加速形成寡头竞争。

在电池产能方面，特斯拉通过同松下达成合作，于内华达州水牛城建立起世界最大锂电池厂 Gigafactory 1&2。根据特斯拉规划，2020 年电池超级工厂预计每年最大产能可达 35GWh，模组最大产能达 50GWh，即使在不算入规划中的超级工厂 3 期外电池产能仍然远远领先其他厂商。

虽然其他汽车厂商也在尝试自建电池产能，但是特斯拉在收购大规模电池生产厂商 Hibar 并启动 Roadrunner 项目后，具备极大的先发优势，在短时间内拥有远超其他整车厂的电池产能。在技术储备和产能优势双重马太效应的假设下，伴随着 2020 特斯拉 Model3 国产化进一步深化，我们持续看好并且推荐超配特斯拉产业链。

图 66: 特斯拉电池超级工厂 1 期 (左) 和 2 期 (右)



资料来源: USPTO, 国信证券经济研究所整理

国产化提速, 利好具备“国产替代”能力的优质零部件

2020 年底国产特斯拉 Model 3 或将实现全部零部件的国产化替代。特斯拉上海工厂制造总监宋钢透露, 在 2020 年底国产特斯拉 Model 3 就将实现全部零部件的国产化替代。目前, 特斯拉上海工厂的零部件本地化率为 30% 左右 (1 月 7 日首批交付), 计划到 2020 年 7 月提升至 70%-80%, 2020 年底提升至 100%。特斯拉国产化率提升和销量增长将带动特斯拉国产供应商共同受益。

当前已经明确公告披露与特斯拉合作关系的国内上市公司包括: 宁德时代、拓普集团、三花智控、天汽模、模塑科技、华达科技、中科三环、长信科技、旭升股份、均胜电子、广东鸿图、宏发股份。

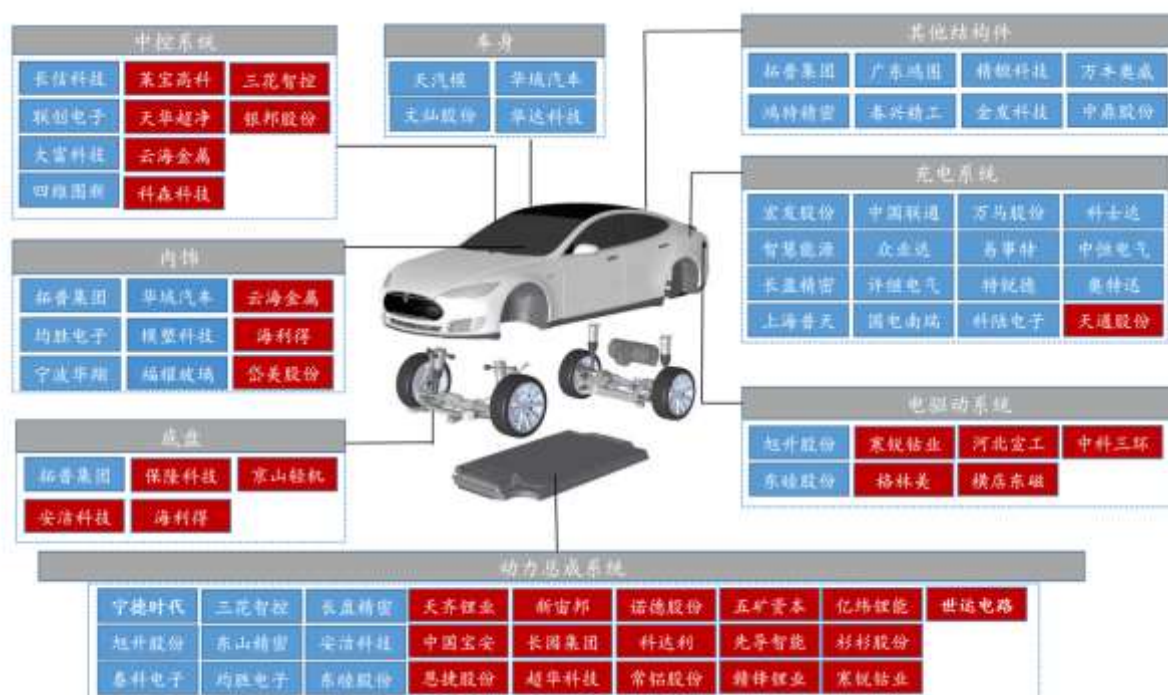
表 9: 明确公告披露合作特斯拉的相关国产上市公司及合作情况

公司	业务范围	合作情况
宁德时代	动力电池以及储能电池系统提供商	2020 年签订协议, 特斯拉将向宁德时代采购锂离子动力电池, 具体的采购情况特斯拉会根据自身需求以订单方式确定, 供货有效期限 2020 年 7 月 1 日至 2022 年 6 月 30 日
拓普集团	主业隔音、降噪和底盘系统产品	2016 年 8 月 23 日收到美国特斯拉签发的《供应商定点书(协议)》, 向特斯拉提供轻量化铝合金底盘结构件, 应用于特斯拉 Model 3 车型
三花智控	全球制冷控制元器件的龙头企业	2018 年年报确认特斯拉是公司客户之一
天汽模	主要产品模具设计、制造; 冲压件加工; 汽车车身及其工艺装备设计	2020 年 1 月公告特斯拉是公司重要客户之一, 2019 年公司与特斯拉累计签署汽车模具订单约 5400 万元人民币。公司 2014 年已与特斯拉累计签署汽车模具订单约 5000 万元人民币
中科三环	中国稀土永磁材料产业的代表企业, 全球最大的钕铁硼永磁体制造商之一	2016 年 10 月公司与特斯拉签订《特斯拉零部件采购通用条款》, 有效期限 3 年, 是与特斯拉达成采购意向的唯一国内磁材供应商
旭升股份	主业新能源和传统汽车变速系统、传动系统、电池系统等核心系统的精密机械加工零部件	2018 年年报披露 2018 年对特斯拉实现营收 4.14 亿 (约 40% 营收占比)
均胜电子	全球化的汽车零部件顶级供应商, 主要致力于智能驾驶系统、汽车安全系统的研发与制造	2020 年 1 月公告披露目前公司为特斯拉供应安全带、安全气囊和方向盘等汽车安全类产品、HMI 产品及相关传感器, 2019 年与特斯拉的相关业务产生的营业收入预计不超过 20 亿元人民币; 2020 年 2 月公告披露临港均胜安全为特斯拉中国 Model 3 和 Model Y 车型的供应商, 预计项目新增订单总金额约 15 亿元人民币, 临港均胜安全将于 2020 年开始逐步为其供货, 截至 2020 年 2 月公司获得的特斯拉订单总额约 75 亿元人民币, 订单生命周期 3~5 年。
华达科技	乘用车冲压件、模具优质企业	2019 年 5 月 29 日正式成为特斯拉供应商, 为特斯拉 3/Y 提供车身冲压件产品。预计公司 2020 年特斯拉相关营业收入约 1 亿元左右, 约占公司 2019 年营业收入的 2.50%
长信科技	主业平板显示真空薄膜材料	2017 年公告是国内已经切入特斯拉供应链体系的成熟厂商之一, 在特斯拉 Model S 后期车型上提供仪表盘, 在 Model X 上提供仪表盘和部分中控屏。
模塑科技	国内汽车保险杠龙头企业, 核心配套宝马等高端车企	2020 年 1 月公告, 子公司于 2019 年 6 月获得特斯拉北美 Model Y 的前后保险杠和门槛项目定点, 预计产能 180000 辆/年, 具体实际订单根据市场需求来定, 项目周期从 2020 年开始五年时间
广东鸿图	国内压铸行业的龙头企业	2018 年 6 月 30 日发布公告确立了与特斯拉长期稳定供货协议, 主要供货产品为铝合金支撑件。
宏发股份	国内继电器龙头	2019 年中报确认特斯拉是高压直流继电器的客户之一

资料来源: 公司公告、国信证券经济研究所整理

通过全面梳理特斯拉产业链国产供应商, 我们认为, 特斯拉国产化和销量增长将带动特斯拉全产业链共同受益, 推动如电池、电机、电控和汽车零部件等供应商产业链升级, 尤其看好产业链上 1) 单车价值量或营收弹性较大的 Tier 1 供应商; 2) 有望持续新增产品配套、具备 ASP 提升空间的新能源零部件供应商; 3) 产品技术壁垒较高的核心零部件供应商。

图 67：特斯拉产业链全面梳理



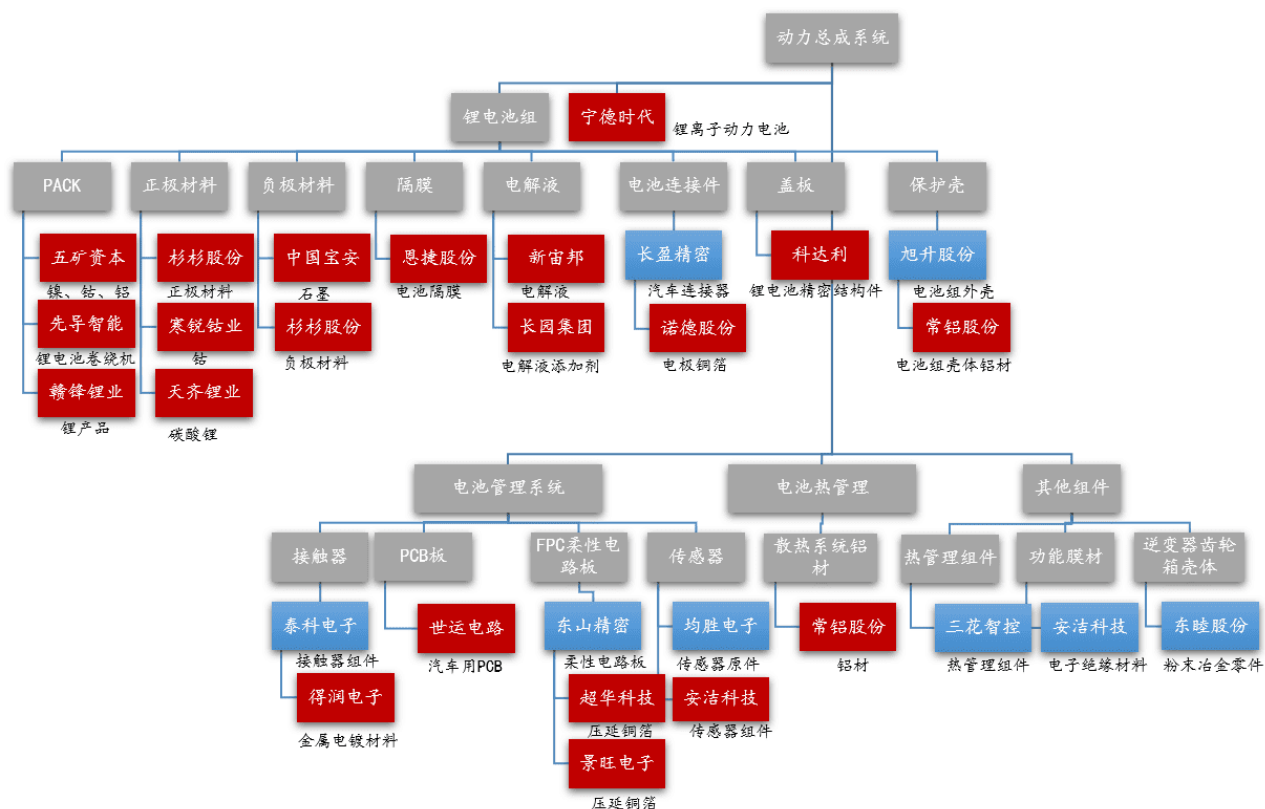
资料来源：国信证券经济研究所整理

备注：蓝色为直接供应商，红色为间接供应商，灰色为功能系统

动力总成（电池）系统方面，特斯拉现有三家电池总成供应商：松下、LG 和宁德时代，其中 1）**宁德时代**是 2020 年 2 月最新宣布成为特斯拉电池供应商，有望补齐后续特斯拉紧缺的电池产能，宁德时代之外的核心 Tier 1 供应商包括 2）**旭升股份**：主要产品变速箱箱体及电池组外壳等结构件，2018 年对特斯拉实现营收 4.14 亿（接近 40% 营收比例），是营收弹性最高的产业链标的；3）**三花智控**：主要产品新能源热管理系统，单车价值量在 1500-2000 元左右；4）**东睦股份**：主要产品逆变器齿轮箱壳体。4）**安洁科技**（电子覆盖）：主要电池传感器组件及功能膜材；5）**长盈精密**（电子覆盖）：主要产品汽车连接件。动力总成系统是特斯拉的性能核心所在，也是核心成本所在，此前国产化率程度较低（大部分是给海外一级供应商做 Tier 2），我们预计，宁德时代成为特斯拉供应商之后，动力总成国产化程度有望大幅提升。

除上述 Tier 1 以外，配套单车价值量较高的 Tier 2 供应商还有 1）**科达利**：主要产品电池结构件，通过宁德时代、松下、LG 等一线电池总成配套特斯拉全球单车价值量约 300 元，配套国产单车价值量约 2000 元；2）**赣锋锂业**：主要供应电池上游原材料氢氧化锂，预计单车价值量 2000 元以上；3）**恩捷股份**：主要供应电池隔膜材料，预计单车价值量 3000 元以上。

图 70：特斯拉产业链动力总成系统相关个股



资料来源：国信证券经济研究所整理

备注：蓝色为直接供应商，红色为间接供应商，灰色为功能系统

中控系统方面，主要是TMT相关上市公司，核心Tier 1标的有1)长信科技，供应特斯拉中控屏模组，预计单车价值量在1500-2000元；2)大富科技，供应特斯拉天线射频器件；3)四维图新，为特斯拉提供内置地图，同时百度地图为特斯拉提供地图服务；4)联创电子，为特斯拉提供环视镜头等。

图 71：特斯拉产业链中控部件相关个股

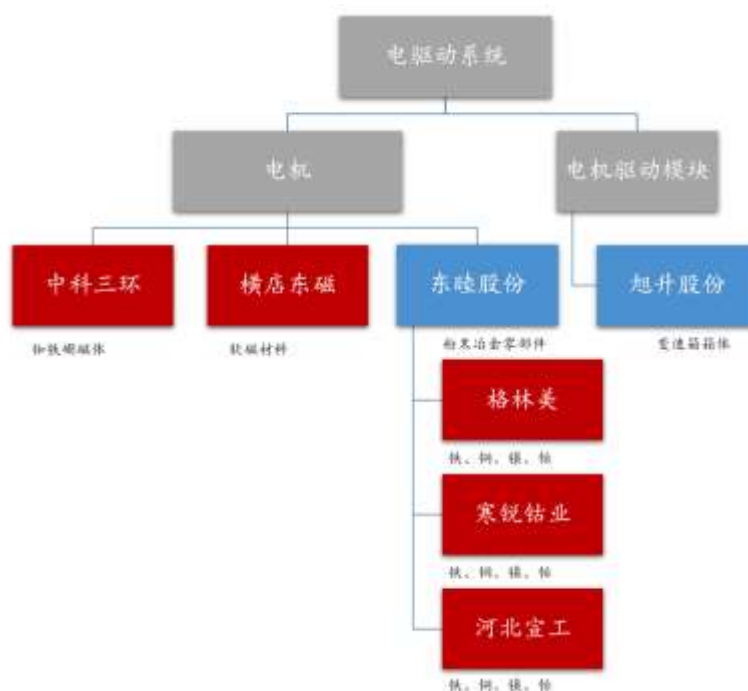


资料来源：国信证券经济研究所整理

备注：蓝色为直接供应商，红色为间接供应商，灰色为功能系统

电驱动系统方面，当前国产化率程度相对较低，主要是Tier 2供应商，为永磁同步电机供应钕铁硼磁体的中科三环，为电机磁瓦供应软磁材料的横店东磁，以及其余铁、铜、镍、钴等原材料的上市公司格林美等，还有为电机供应壳体及相关结构件的旭升股份和东睦股份。

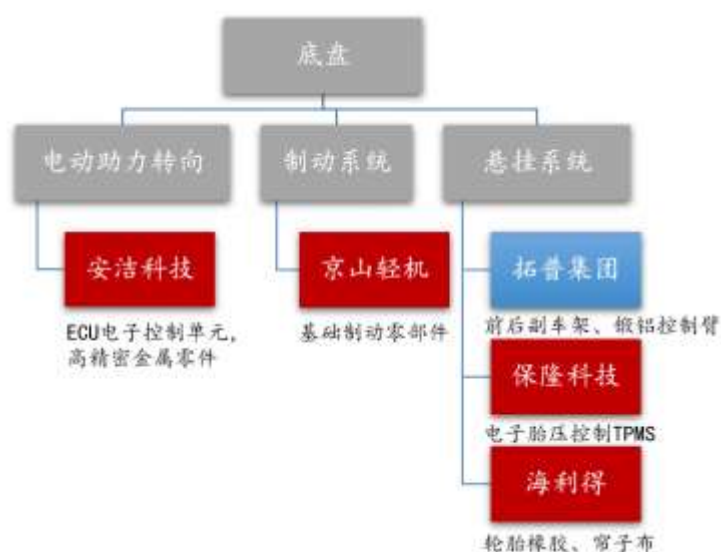
图 72: 特斯拉产业链电驱动系统部件相关个股



备注：蓝色为直接供应商，红色为间接供应商，灰色为功能系统

底盘系统方面，当前国产化率相对较高。特斯拉底盘核心 Tier 1 主要是**拓普集团**，为特斯拉全球供应轻量化铝合金底盘结构件、大型车身结构件等产品，19 年拿到国产 Model 3 订单，在国产版 Model 3 配套底盘方面单车价值量 3500 元。其余 Tier 2 包括：1）通过大陆 TPMS 产品间接配套特斯拉全球的**保隆科技**，主要产品胎压气门嘴；2）通过博世 EPS 产品间接配套特斯拉全球的**安洁科技**，主要产品电控单元及高精金属零件；3）通过布雷特基础制动产品配套特斯拉全球的**京山轻机**；4）通过米其林轮胎配套特斯拉全球**的海利得**，主要产品橡胶及帘子布。底盘系统是当前特斯拉国产化率相对较好的部分。

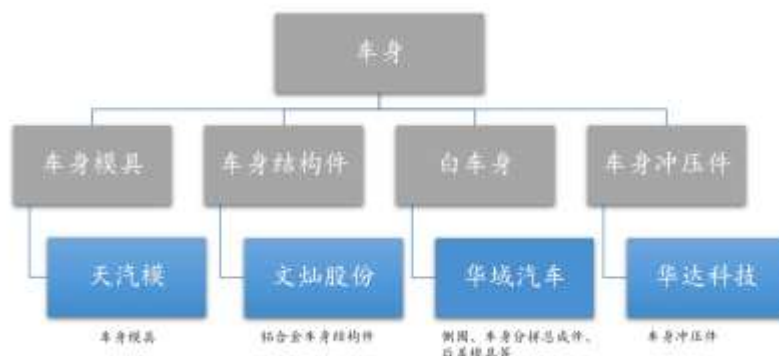
图 73: 特斯拉产业链底盘部件相关个股



备注：蓝色为直接供应商，红色为间接供应商，灰色为功能系统

车身部件方面，基本都是 Tier 1 供应商，主要是 1) 供应车身模具的**天汽模**，2019 年与特斯拉累计签署汽车模具订单约 5400 万元人民币；2) 供应铝合金车身结构件的**文灿股份**，2018 年对特斯拉实现销售收入 1.57 亿(10%比例)；3) 供应侧围、车身分拼总成及后盖模具的**华域汽车**；4) 供应车身冲压件的**华达科技**，于 2019 年 5 月 29 日正式成为特斯拉供应商，已签署 Model 3、Model Y 等车型的供货合同并于近期开始供货，根据公司已中标产品及特斯拉目前产能测算，预计华达 2020 年特斯拉相关营业收入约 1 亿元左右，约占公司 2019 年营业收入的 2.50%。车身系统是当前特斯拉国产化率相对较好的部分。

图 68: 特斯拉产业链车身部件相关个股



资料来源：国信证券经济研究所整理

备注：蓝色为直接供应商，红色为间接供应商，灰色为功能系统

内饰部件的供应商较多，且大多数是 Tier 1 供应商，主要是 1) **华域汽车**，2019 年获得国产版特斯拉座椅和保险杠的订单；2) **拓普集团**，2019 年拿到国产版特斯拉内饰件约 2500 元单车价值量订单；3) **均胜电子**，供应特斯拉全球被动安全系统、前发动机罩举升器和 HMI 控制器及相关传感器，订单金额 60 亿，供应国产版 Model 3/Y 安全气囊、方向盘等内饰件，订单金额约 15 亿元；4) **宁波华翔**，供应特斯拉铝饰条；5) **模塑科技**，2019 年 6 月获得特斯拉北美 Model Y 的前后保险杠及门槛订单；6) **岱美股份**，特斯拉遮阳板供应商；7) **福耀玻璃**，特斯拉车窗侧玻璃供应商。内饰系统是当前特斯拉国产化率相对较好的部分。

图 69: 特斯拉产业链内饰部件相关个股

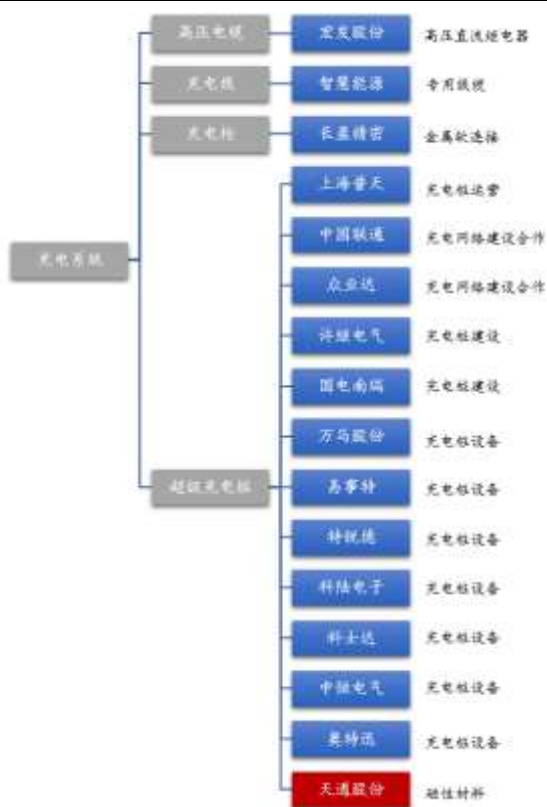


资料来源：国信证券经济研究所整理

备注：蓝色为直接供应商，红色为间接供应商，灰色为功能系统

充电系统方面的供应商较多，且大多数是 Tier 1 供应商，主要是 1) **宏发股份**，供应高压直流继电器，单车价值量约 300 元；其余如**特锐德**——充电桩设备；**国电南瑞**——充电桩建设等。

图 70：特斯拉产业链充电系统相关个股



资料来源：国信证券经济研究所整理

备注：蓝色为直接供应商，红色为间接供应商，灰色为功能系统

我们继续对上述供应商中单车价值量较大及核心推荐的上市公司做收入弹性的进一步测算：可以看到，特斯拉收入弹性较大的上市公司（暂不测算宁德时代）是旭升股份、拓普集团、科达利、中科三环、文灿股份。

表 10：特斯拉主要供应商单车价值量及收入弹性测算

上市公司	配套车型	产品	预计单车价值量	占比	测算 20 年收入弹性
宁德时代	国产版 Model 3	锂离子动力电池	-	-	-
拓普集团	国产版 Model 3	底盘+内饰件	6000	100%	15%-20%
三花智控	国产版 Model 3/Y	新能源热管理系统	1500-2000	100%	2%
华域汽车	国产版 Model 3	座椅及保险杠	2000+	-	0-1%
均胜电子	特斯拉全球/国产 3/Y	汽车安全及电子产品	3000-4000	100%	3%
科达利	国产版 Model 3	电池结构件	2000	80%	15%
旭升股份	特斯拉全球	变速箱壳体等铝结构件	1500	100%	50%
模塑科技	海外版 Model Y	前后保险杠及门槛	-	100%	-
文灿股份	特斯拉全球	车身结构件	1000	100%	10%
中科三环	特斯拉 Model 3	钕铁硼磁体	1500	100%	15%
华达科技	特斯拉 3/Y	车身冲压件	300-500	-	2.5%
中鼎股份	特斯拉全球	密封类/防护类	100	-	0-1%

资料来源：国信证券经济研究所测算

基于特斯拉产业链自下而上的梳理与研究，我们较为推荐特斯拉产业链上 1) 单车价值量或营收弹性较大的 Tier 1 供应商；2) 有望持续新增产品配套、具备 ASP 提升空间的新能源零部件供应商；3) 产品技术壁垒较高的核心零部件供应商。

基于以上逻辑我们推荐的标的顺序为：1) 特斯拉最核心动力技术——电池总成供应商宁德时代；2) 配套单车价值量较高的拓普集团、均胜电子、华域汽车；3) 新能源汽车热管理系统全球龙头供应商三花智控；4) 营收弹性较大的旭升

股份、科达利；5）2019 年新进入特斯拉供应体系的低估值零部件**华达科技**，当前订单配套量较小（3000 万年产值），但后续新产品有望继续进入配套的**低估值零部件中鼎股份**。

宁德时代：行业集中度提升，动力电池龙头强者愈强

市占率进一步提升，毛利率下行费用率改善

公司 2019 年上半年行业市占率进一步提升至 46%的水平，一超多强的局面进一步演化。毛利率方面，受制于 NCM 和 LFP 价格下行，2019 年上半年公司动力电池系统毛利率降至 28.88%（-3.79%）；19 年上半年公司费用率改善明显，其中销售费用和管理费用较去年同期下降 0.8%和 1%，同时得益于公司自我造血能力公司货币资金规模增长财务费用显著下降。

持续大客户绑定战略，加速产能布局

公司继续对下游客户的跑马圈地以及加速产能投建。2019 年上半年公司购建固定、无形以及其他长期资产支付的现金为 46.23 亿元，资本开支进一步加大。其中公司新设立时代吉利子公司，同时江苏时代溧阳园区项目、时代上汽溧阳项目以及欧洲生产研发基地项目 19 年上半年合计投入资金 36.32 亿元，累计已投入 52.93 亿元。

签约特斯拉，电池技术再获认可

2 月 3 日，宁德时代发布关于公司与特斯拉开展业务合作的公告，宣布已与 Tesla, Inc. 签署《Production Pricing Agreement(China)》，协议中约定，宁德时代将向特斯拉供应锂离子动力电池产品。此次进入特斯拉供应链，充分体现宁德产品的性能卓越，不输海外龙头松下、LG，后续有望充分享有特斯拉增长红利。

投资建议：动力电池龙头，维持“增持”评级

我们维持 2020-2022 年收入 566/711/916 亿元，同比增 23.6%/25.6%/28.9%，归母净利润 56.00/69.97/89.06 亿元，对应 EPS 分别为 2.54/3.17/4.03 元，维持“增持”评级。

三花智控：制冷零部件龙头，新能源汽零打开增量空间

制冷零部件龙头，稳增长中有亮点

应用于家电市场的制冷零部件是公司的传统主业，公司生产的四通阀、截止阀、电子膨胀阀市场份额均为全球第一。制冷业务的增速和天气、房地产市场相关性较高，预期下半年维持平稳趋势，2020 年国家能效标准或升级有望推进电子膨胀阀产品渗透率提升。长期来看，家电变频化、节能化为公司制冷业务打开长期增量空间。

汽零在手订单充裕，高速增长可期

汽零业务是公司未来几年增长的重点，公司是新能源热管理系统领域的核心供应商之一。近年来伴随 1）国内新能源汽车销量爆发式增长；2）新能源客户拓展；3）新能源热管理系统产品品类拓展，公司新能源汽零业务快速增长。当前在手订单充裕，下游客户囊括大众、沃尔沃、吉利、戴姆勒等全球一流车企，预计多数从 2020 年起全生命周期稳健释放，保障公司未来 3-5 年业绩。

特斯拉热管理核心供应商

公司作为特斯拉重要供应商，为特斯拉 Model 3 供应电子膨胀阀、电子油泵、油冷器、水冷板、电池冷却器等，随着国产特斯拉 Model 3 销量释放，有望进一步增厚汽零业务规模。

投资建议：看好后续汽零订单释放，维持增持评级

中短期能效升级背景下，电子膨胀阀渗透率提升保障家电业务增长，长期看好特斯拉带领下的公司新能源汽零业务增长，维持 20/21/22 年 EPS 分别为 0.48/0.60/0.72 元，维持“增持”评级。

拓普集团：NVH 龙头，轻量化+电子化助力长期发展

深耕 NVH，强者恒强

作为国内 NVH 龙头企业，传统 NVH 业务稳增，公司在成都新设制造基地并加大台州、晋中、宝鸡生产能力，NVH 将持续扩大市场份额，保持强者恒强的优势。

拓展轻量化，电子化，产品持续丰富

依托主业，横向拓展：底盘业务通过高强度钢和轻合金核心工艺，开发轻量化产品；汽车电子业务，在电子真空泵和 IBS 的基础上积极拓展汽车电子产品。新产品拓展保障公司长期发展。

充分受益特斯拉上海工厂投产

特斯拉核心供应商之一，底盘及内饰件单车价值量 6000 元，测算特斯拉 2020 年的营收弹性 15%-20%，受益特斯拉快速国产化：特斯拉上海工厂一期已于 2018 年 9 月 11 日竣工，提前进入试生产状态，上海工厂长期规划年产 50 万辆，公司绑定优质客户，未来有望持续受益。

投资建议：受益于特斯拉国产，维持“增持”评级

受客户销量下滑、折旧摊销增加和投资收益下滑所致，业绩短期承压，中长期看新产品、新项目的释放，有望支撑公司成长，我们维持 20/21/22 年 EPS 分别为 0.58/0.70/0.81，维持“增持”评级。

岱美股份：看好遮阳板全球龙头产品持续横向扩张

质地：细分赛道隐形冠军，基于技术和供应体系实现产品横向扩张

全球遮阳板龙头（市占 33%），具备全球核心竞争力，成本把控做到极致，盈利能力显著高于同行，供应关系稳固。长期看点是基于工艺和技术同源性拓展头枕、扶手、顶棚中央控制器、顶棚等新品实现配套价值量 10 倍显著提升。

低估值，整合兑现，业绩确定性高

收购标的 Motus 整合持续兑现，营收端和盈利能力均持续改善。新产品头枕、扶手、顶棚中控器在福特、克莱斯勒、宝马、菲亚特、日系、特斯拉、日系等客户取得新订单，横向扩张逻辑持续兑现，进入盈利提速通道。

特斯拉遮阳板全球车型独家配套厂商

公司从 2017 年替代外资进入特斯拉，合作持续深化，目前已经成为特斯拉遮阳板全球车型的独家配套商，后期有望基于自身成本和质量优势持续深化合作，向特斯拉导入其余产品实现配套价值量显著提升。

投资建议：看好后续汽零订单释放，维持增持评级

Motus 盈利显著改善，公司海外业务占比较高（19 年达 82%），疫情影响短期订单，同时拖累 MOTUS 整合进度，我们维持公司 20/21/22 年净利润 6.08/8.13/9.58 亿，维持 EPS 分别为 1.52/2.03/2.39 元，维持公司合理估值区间 36.54-44.66 元（对应 21 年 18-22xPE），维持“增持”评级。

国信证券投资评级

类别	级别	定义
股票 投资评级	买入	预计 6 个月内，股价表现优于市场指数 20%以上
	增持	预计 6 个月内，股价表现优于市场指数 10%-20%之间
	中性	预计 6 个月内，股价表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	卖出	预计 6 个月内，股价表现弱于市场指数 10%以上
行业 投资评级	超配	预计 6 个月内，行业指数表现优于市场指数 10%以上
	中性	预计 6 个月内，行业指数表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	低配	预计 6 个月内，行业指数表现弱于市场指数 10%以上

分析师承诺

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于本人的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

风险提示

本报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有，仅供我公司客户使用。未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。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。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询业务是指取得监管部门颁发的相关资格的机构及其咨询人员为证券投资者或客户提供证券投资的相关信息、分析、预测或建议，并直接或间接收取服务费用的活动。

证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

国信证券经济研究所

深圳

深圳市罗湖区红岭中路 1012 号国信证券大厦 18 层

邮编：518001 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路 1199 弄证大五道口广场 1 号楼 12 楼

邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街 6 号国信证券 9 层

邮编：100032