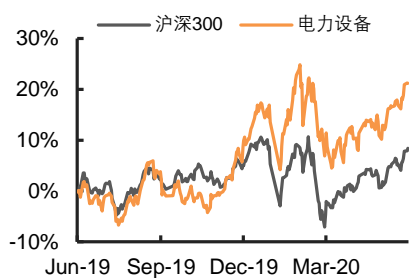


行业深度报告

从专利角度窥探特斯拉百万英里电池

强于大市（维持）

行情走势图



相关研究报告

《行业动态跟踪报告*电力设备*19年业绩回顾&20年行业动态前瞻：电动车篇》
2020-05-11

《行业深度报告*电力设备*特斯拉的动力电池梦》
2020-02-28

《行业深度报告*电力设备*特斯拉投入产出周期启示录》
2020-02-24

证券分析师

朱栋 投资咨询资格编号
S1060516080002
021-20661645
ZHUDONG615@PINGAN.COM.CN

皮秀 投资咨询资格编号
S1060517070004
010-56800184
PIXIU809@PINGAN.COM.CN

请通过合法途径获取本公司研究报告，如经由未经许可的渠道获得研究报告，请慎重使用并注意阅读研究报告尾页的声明内容。

特斯拉电池日预计将在 2020 年 9 月召开，计划量产的百万英里电池可能成为会议的重要议题。我们认为特斯拉的百万英里电池的实现方式与 19-20 年申请的一系列专利有关，本文通过梳理和分析相关专利，对百万英里电池可能的实现方式做出初步判断。**负极补锂+单晶三元+无极耳电极+包含 PDO 添加剂的电解液体系在百万英里电池中应用的可能性较高。**

- **百万英里电池是什么？** 2019 年 4 月，马斯克宣布预计将于 2020 年投产一种新型电池，这种电池能够驱动特斯拉汽车行驶百万英里，是普通电池包寿命的 2-3 倍；2019 年 9 月，特斯拉电池合作伙伴 **Jeff Dahn 团队** 发布论文指出，相比普通的锂电池只能提供 1000-2000 次的放电循环，百万英里电池放电 1000 次后，还有 95% 的寿命，放电 4000 次后还有 90%。2020 年 5 月，据（多家媒体）报道特斯拉计划首先在中国市场推出百万英里电池，并与宁德时代合作研发生产。
- **为何要量产百万英里电池？** 从延长电池在私家车上的使用寿命来说，百万英里电池的宣战意义大于实际意义，但有可能**稳定消费者预期**，对产品销量形成正面影响；从电动车转让流通的角度来说，百万英里电池有助于提升电动车**保值率**，有望激活二手车市场；特斯拉曾计划在 2020 年推出 **Robotaxi**（无人驾驶出租车），并在年底之前生产 100 万辆 Robotaxi，百万英里电池适用于 Robotaxi 产业，也有利于降低电池的全生命周期成本。预计装机方面将遵循出租车-私人高端车-私人低端车-储能的优先级顺序。
- **长寿命电池猜想之单晶三元正极材料：**在过量锂源和适宜单晶生长的高温条件下将 NCA 单晶化，会导致 Li_5AlO_4 杂质的生成，特斯拉在专利中提出**两段烧结法形成无杂质的单晶 NCA**。1）控制锂/其他金属的摩尔比 <1 ，进行首次烧结；2）加入额外的锂源，使总体锂/其他金属的摩尔比 >1 ，进行第二次烧结。新工艺从三个方面改善材料的循环性能，延长电池寿命：1）正极材料的单晶化本身可以提升材料的循环性能；2）提高单晶 NCA 的颗粒纯度，避免杂质对材料性能的影响；3）降低锂镍混排程度。试验结果表明**新工艺单晶 NCA 的容量保持率与多晶 NCA 对照样本相当或者更高。**
- **长寿命电池猜想之无极耳电极：**电流沿着正极或负极通过极耳到达电池外接电路，欧姆电阻会随着较长的电流移动路径而增加，带来电池自身热损耗增加，导致电池容量和性能下降，特斯拉“无极耳电极电芯”介绍了一种新型的电池制造方法，马斯克发推表示“**这项技术比听起来更加重要**”。正负电极中至少有一个电极没有传统的极耳结构，在正极或者负极极片的边缘处增加导电涂层，让导电涂层直接与电池端盖接触，电流通过导电涂层和电池外壳到达电池外接电路。无极耳电极工艺主要从三个方面改善电

池的循环寿命以及其他性能：**1) 电流移动路径缩短减小内阻。**该工艺可使电流移动的最大距离缩短到 5%-20%，**内阻减小 5-20 倍。****2) 显著降低电流偏移现象。**该工艺使得内阻降低，电流的分布更加均衡，因此能够避免过电位的产生，改善电池寿命。**3) 产热和散热能力得到显著改善。**在产热方面，由于内阻降低，产生的热量也减少。在散热方面，无极耳电极中的导电涂层与电池端盖的有效接触面积达到 100%，使得散热能力提升。

- **长寿命电池猜想之新型电解液添加剂：**特斯拉通过旗下特斯拉汽车加拿大分公司与 Jeff Dahn 合作申请了多项电解液添加剂的专利，致力于采用尽量少的添加剂配方达到尽量大的改善效果。**1) DTD：**双添加剂电解液体系（VC+DTD 或 FEC+DTD）拥有比单一添加剂更高的容量保持率和更小的电压滞变，有助于延长电池寿命；**2) ODTO：**有助于抑制高电压环境下的产气量，双电解液添加剂电解液体系（VC+ODTO、FEC+ODTO 或 LFO+ODTO）较单一添加剂的电解液体系拥有更高的容量保持率和更小的电压滞变，同样有助于延长电池寿命；**3) FN：**能够显著抑制气体的产生、提升生产效率、降低生产成本，但没有给电池的循环性能带来显著影响；**4) MDO/PDO/BS：**PDO 是三者中最有希望和潜力的新型添加剂，在容量保持率和电压滞变方面表现最好，并且优于常规电解液体系，尤其与 DTD 和 LFO 混合使用的情况下对电池循环的改善更加明显。
- **投资建议：后续特斯拉在电池环节的影响力将逐步显化，所探索的技术创新点也将是产业热点趋势之一，建议把握以下几个投资方向：**1) 宁德时代与特斯拉合作实现百万英里电池量产，有望进一步巩固其龙头地位，强烈推荐**宁德时代**。关注相关**供应链企业**，推荐**璞泰来**，关注**恩捷股份**。2) **单晶化**有利于改善电池循环寿命，无钴化有利于降低生产成本，因此单晶高镍正极有望成为兼顾低成本、高能量密度和长循环寿命的电池的重要实现方式之一。关注在高镍正极和单晶正极方面有较为深厚的技术储备的电池材料企业，强烈推荐**当升科技**，**杉杉股份**，关注**容百科技**。3) Jeff 团队在**电解液**方向上申请的专利较多，寻找低成本、高性能的添加剂组合将成为电池性能持续改善的重要推手之一。关注在电解液添加剂方面有技术储备和成熟应用的电池材料企业，推荐**新宙邦**。
- **风险提示：**1) 新技术商业化应用不及预期的风险：专利中多项技术的最终效果和商业化应用仍有待进一步观察，若商业化应用不及预期，将影响新型电池的量产节奏。2) 政策力度不及预期的风险：如果国内外政策对新能源汽车支持力度软化或改变，将显著影响新能源汽车市场整体规模。3) 电动车自燃事故带来的消费者信任风险：近期新能源汽车自燃事件频繁发生，特斯拉采用的高镍电池体系对产品本身的安全性是一大考验。4) 技术路线发生变化的风险：新能源汽车仍处于技术快速变革期，若下一代技术产业化进程超出预期，将对现有行业格局产生显著影响。

股票名称	股票代码	股价		EPS		P/E			评级
		2020/6/23	2019A	2020E	2021E	2019A	2020E	2021E	
当升科技	300073	33.5	-0.48	0.77	1.04	-70.0	43.5	32.2	强烈推荐
杉杉股份	600884	11.6	0.17	0.28	0.38	70.0	42.0	30.6	强烈推荐
璞泰来	603659	100.11	1.50	1.92	2.65	66.9	52.1	37.7	推荐
新宙邦	300037	53.17	0.79	1.11	1.37	67.2	48.1	38.8	推荐
恩捷股份	002812	65.96	1.06	1.39	1.84	62.5	47.6	35.9	未评级
容百科技	688005	36	0.20	0.69	1.10	182.6	51.8	32.7	未评级

正文目录

一、 特斯拉打造百万英里电池	5
1.1 百万英里电池是什么?	5
1.2 特斯拉为何要量产百万英里电池?	7
1.3 百万英里电池如何量产和装车?	9
二、 单晶三元+无极耳电极+新型添加剂助力长寿命电池.....	10
2.1 百万英里电池猜想之一: 单晶三元正极材料.....	10
2.2 百万英里电池猜想之二: 无极耳电极	12
2.3 百万英里电池猜想之三: 新型电解液添加剂.....	14
三、 投资建议	18
四、 风险提示	20

图表目录

图表 1	百万英里电池在 4000 次循环后仍然有 90% 的容量	5
图表 2	特斯拉百万英里电池开发进程	6
图表 3	特斯拉百万英里电池专利技术储备	6
图表 4	主流新能源车企电池质保政策情况	7
图表 5	2020 年 5 月新能源二手车保值率（三年车龄）排名	8
图表 6	特斯拉百万英里电池梯次利用流程猜想	8
图表 7	特斯拉百万英里电池量产和装车猜想	9
图表 8	两段烧结晶体微观结构图	10
图表 9	第一次锂化过程中温度越低、摩尔比越小，单晶材料的纯度越高	11
图表 10	新工艺经过二次锂化反应，锂镍混排程度大幅降低	11
图表 11	单晶 NCA 电池容量保持率与多晶 NCA 电池相当或者更高	12
图表 12	特斯拉无极耳电极原理示意图（正极单极耳）	13
图表 13	含 DTD 电解液体系拥有更高的容量保持率	14
图表 14	含 DTD 电解液体系拥有更小的电压滞变	14
图表 15	电解液中加入 ODTO 有助于抑制产气量 ΔV	15
图表 16	含 ODTO 电解液体系拥有更高的容量保持率	15
图表 17	特定成分的 ODTO 电解液体系电压滞变更低	15
图表 18	NCM523 体系中 FN 显著抑制产气量	16
图表 19	松下 1030 体系中 FN 显著抑制产气量	16
图表 20	松下 1030 体系中 FN 没有提高容量保持率	16
图表 21	松下 1030 体系中 FN 没有减小电压滞变	16
图表 22	PDO 在产气量方面的表现最好，但与常规体系相比没有显著优势	17
图表 23	NCM622 体系中含 PDO 添加剂的电芯循环寿命综合表现最好	18
图表 24	一线车企/电池厂的动力电池投入方向	19
图表 25	国内一线电池材料企业的研发投入方向	19
图表 26	主要上市公司盈利预测及投资评级	20

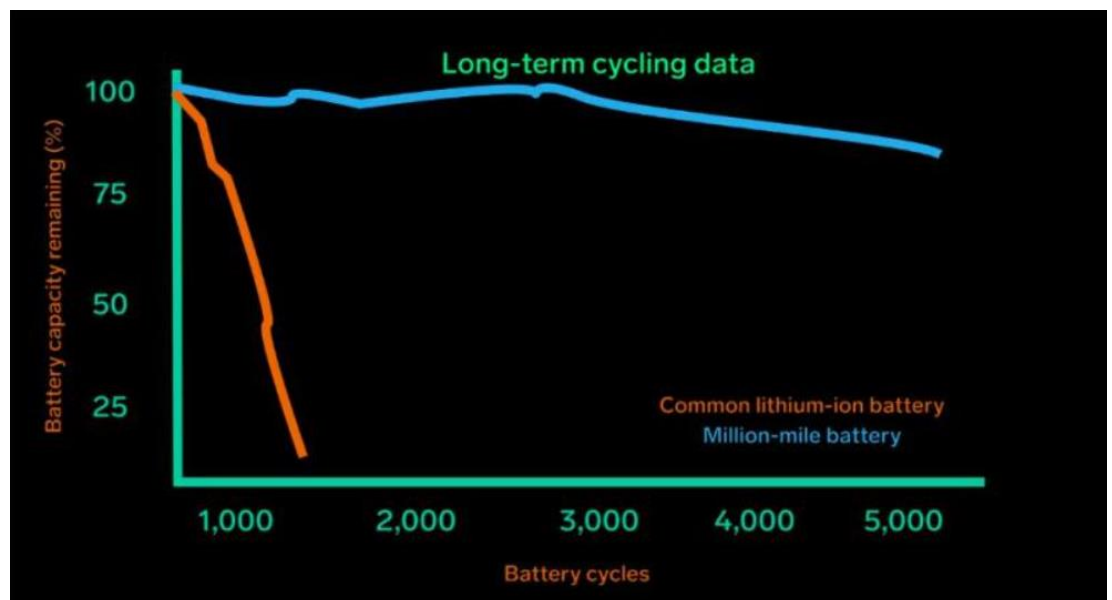
一、 特斯拉打造百万英里电池

1.1 百万英里电池是什么？

2019年4月，马斯克宣布预计将于2020年投产一种新型电池，这种电池能够驱动特斯拉汽车行驶百万英里，是普通电池包寿命的2-3倍。

2019年9月，特斯拉电池合作伙伴 Jeff Dahn 和他的研究小组在《电化学学会杂志》上发表的一篇开创性论文指出，特斯拉可能很快就会拥有使他们的机器人出租车和长途电动卡车具有可行性的电池，这种类型的电池应该能够为一辆电动汽车提供累计超过100万英里的动力。这种电池使用单个大晶体替代大量的小晶体，这种单晶体的纳米结构更不容易在电池充电的过程中产生破裂（破裂导致电池寿命和性能衰减）。相比普通的锂电池只能提供1000-2000次的放电循环，百万英里电池放电1000次后，还有95%的寿命，放电4000次后还有90%。试验中采用的电池为 NCM523 体系，无法达到特斯拉“去钴”的要求，因此我们认为该电池不会直接用于特斯拉的量产电池中，而是会在此基础上进一步降低钴的含量。

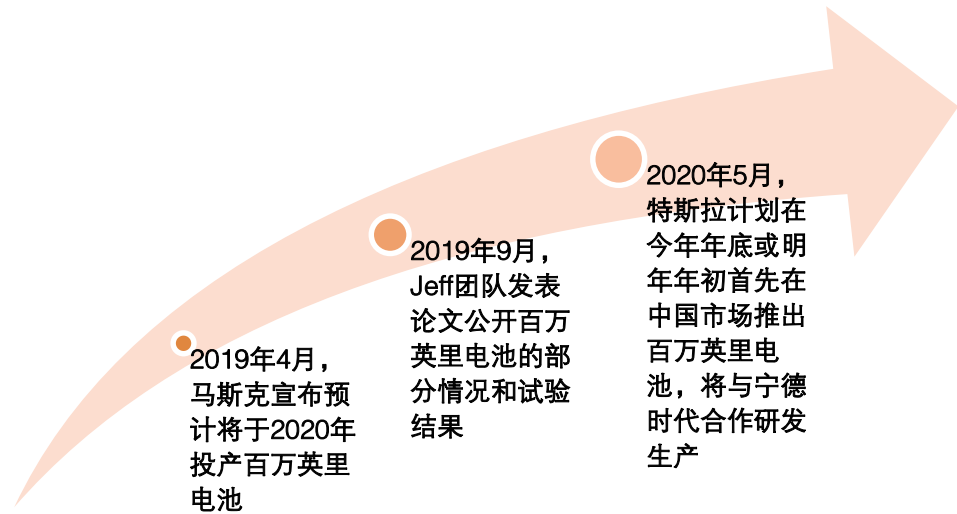
图表1 百万英里电池在4000次循环后仍然有90%的容量



资料来源：电化学学会杂志，平安证券研究所

2020年5月，据路透社报道，特斯拉计划在今年年底或明年年初首先在中国市场推出一款新型电池，其生命周期内的续航里程将提升到100万英里，并有望将电动车的成本拉低到与传统动力汽车相近的水平；新型电池将由特斯拉与中国厂商宁德时代合作研发生产。至此，特斯拉的百万英里长寿命电池由试验阶段逐步进入量产阶段。

图表2 特斯拉百万英里电池开发进程



资料来源：高工锂电，路透社，平安证券研究所

对于特斯拉百万英里电池的实现方式，我们可以通过两条技术渠道进行窥探，一条是特斯拉收购的子公司 Maxwell，主要专利技术涉及干电极和补锂（具体原理在此前的报告《特斯拉的动力电池梦 20200228》中有分析，在此不做赘述）。另一条是特斯拉及其合作伙伴 Jeff Dahn 团队，通过分析特斯拉及 Dahn 团队在 2019-2020 年申请的专利可以发现，主要专利技术致力于改善锂电池的循环寿命，涉及正极材料的制造工艺、电池的制造工艺和新型电解液添加剂（在第二章中重点阐述），研究目的正好与特斯拉的长寿命电池量产计划相契合。

因此，我们认为特斯拉百万英里电池的实现方式与 19-20 年申请的一系列专利有关，当中也有可能运用到 Maxwell 的技术。通过对各个专利结论和改善效果的分析，我们认为**负极补锂、单晶三元、无极耳电极以及包含 PDO 添加剂的电解液体系**在百万英里电池中应用的可能性较高。

图表3 特斯拉百万英里电池专利技术储备

技术	专利申请方	专利公开时间	专利结论和改善效果	电池改进方式	百万英里电池应用该项技术的可能性
干电极	Maxwell	-	提升电池能量密度，降低成本，循环寿命较湿电极工艺更长	电池制造工艺	中，在电池上应用的成熟性有待观察
负极补锂	Maxwell	2018年8月23日	提高电池容量，提升首次循环效率	负极材料制造工艺	高
单晶 NCA	Tesla Motors Canada	2020年4月23日	减少杂质生成，降低锂镍混排，改善循环寿命	正极材料制造工艺	高，兼顾单晶化和无钴化，配方和温度控制还需要改进
无极耳电极	Tesla, Inc.,	2020年5月7日	降低内阻和产热，改善电池寿命，降低成本（理论结果）	电池制造工艺	较高，马斯克表示“比听起来更加重要”，但尚无实证结果
DTD	Tesla Motors Canada	2019年1月31日	有助于延长电池寿命	新型电解液添加剂	中
ODTO	Tesla Motors Canada	2019年12月12日	有助于抑制产气量，有助于延长电池寿命	新型电解液添加剂	较高

FN	Tesla Motors Canada	2019年12月12日	显著抑制气体产生，降低生产成本，循环寿命改善不显著	新型电解液添加剂	低，产气表现优异，但循环寿命改善不佳
MDO/PDO/BS	Tesla Motors Canada	2019年12月26日	PDO在提高电池循环寿命上表现最好	新型电解液添加剂	高，多循环下容量保持率较高，与DTD和LFO混合使用对电池循环的改善更加明显

资料来源：US Patent，平安证券研究所

1.2 特斯拉为何要量产百万英里电池？

从延长电池在私家车上的使用寿命来说，百万英里电池的宣传意义大于实际意义。有观点认为当前主机厂对动力电池的质保政策大多数限定在一定使用年限或使用里程内，如果超出这些条件中的任何一个，消费者则需要对电池维修或更换付出额外的成本，这一现状引发了消费者对购买电动车可能带来的电池更换成本的疑虑和担忧；而特斯拉从电池本身出发，通过技术进步延长电池寿命，寿命甚至可以远远超过整车报废周期，从而一次性解决电池更换的问题。但我们认为，目前主流的8年或16万公里的质保政策完全能够满足大部分私家车的生命周期和使用习惯，**无论是终身免费质保承诺还是使用百万英里电池都有服务过剩或者性能过剩的嫌疑，其宣传意义大于实际意义，但有可能稳定消费者预期，对产品销量形成正面影响。**

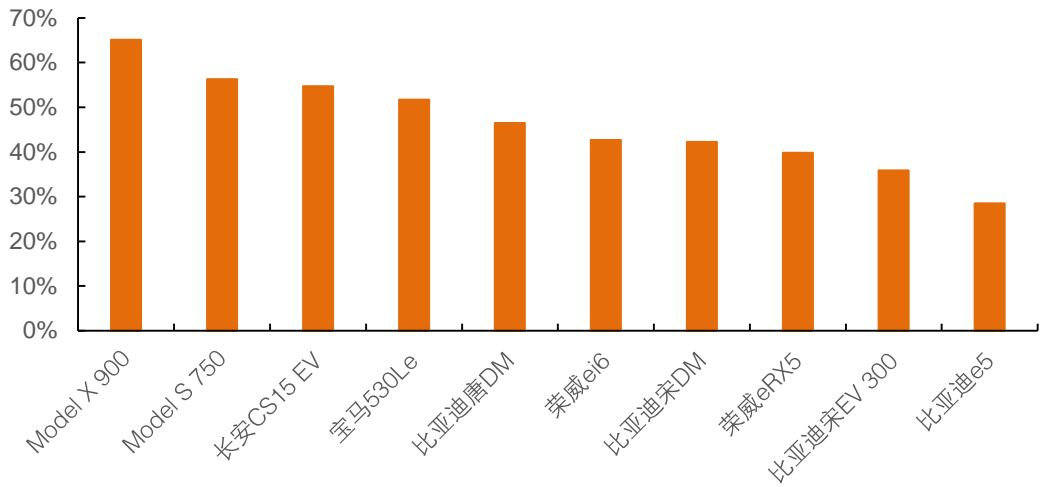
图表4 主流新能源车企电池质保政策情况

车企	车型	长寿命电池	关键零部件质保政策
比亚迪	全系	刀片电池	所有车主电芯终身免费质保，电池其他零部件8年或15万公里
吉利	几何A、帝豪Gse等		首任车主电芯终身免费质保，电池其他零部件8年或15万公里
蔚来	全系		首任车主电池终身免费质保，终身免费换电
广汽新能源	Aion LX		首任车主三电终身免费质保
威马	全系		首任车主电池终身免费质保
丰田雷克萨斯	全系		电池10年或100万公里
特斯拉	Model S/X	百万英里电池	电池8年或24万公里
特斯拉	Model 3/Y 长续航	百万英里电池	电池8年或19.2万公里
特斯拉	Model 3/Y 低续航	百万英里电池	电池8年或16万公里
现代	全系		电池8年或20万公里
大众	全系		电池8年或16万公里
雷诺日产	全系		电池8年或16万公里
起亚	全系		电池7年或15万公里
宝马	全系		电池8年或10万公里
通用	全系	百万英里电池	电池8年或16万公里

资料来源：Astrolys，公司官网，汽车之家，平安证券研究所

从电动车转让流通的角度来说，百万英里电池有助于提升电动车保值率。目前电动车保值率较低，在二手车市场面临较大困境，主要原因在于电池衰减。目前主机厂在提供电池终身免费质保的时候普遍都限制消费者为首任车主（比亚迪等少数车企除外），这意味着二手车车主无法享受该项服务，因此无益于提升电动车的保值率。而特斯拉的百万英里电池能够极大地延长电池和电动车的使用寿命，意味着相同的使用周期内电池容量的衰减程度更低，即使多次转手也不会影响车辆的正常使用，因此产品的保值率有望得到极大提升，二手车市场也有望激活。

图表5 2020年5月新能源二手车保值率(三年车龄)排名

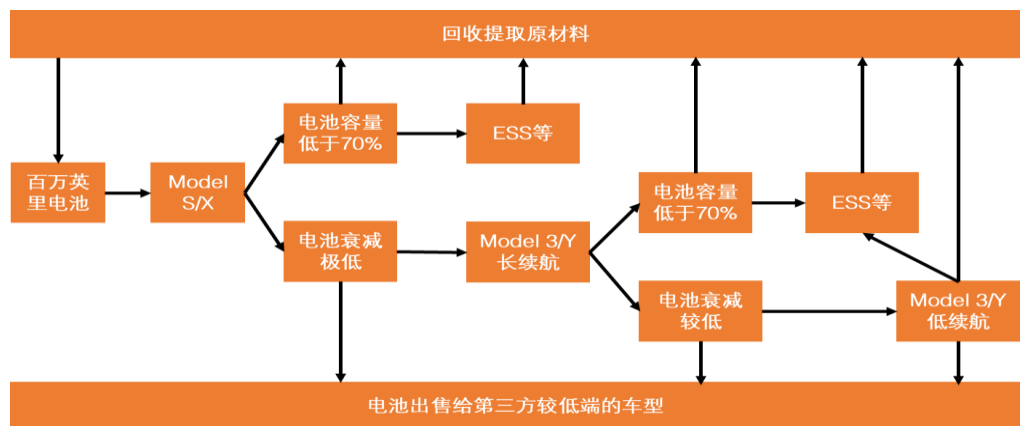


资料来源: 中国汽车流通协会, 平安证券研究所

从公共运营的角度来说,百万英里电池适用于 Robotaxi 产业。特斯拉曾计划在 2020 年推出 Robotaxi (无人驾驶出租车), 并且在年底之前生产 100 万辆 Robotaxi, 届时特斯拉将把电动汽车加入到共享汽车 Tesla Network 车队中, 特斯拉车主则可以将他们的汽车加入到这项服务中。电动出租车对电池试用寿命提出了更高的要求, 如果按照一辆 Robotaxi 每天运行 300 公里计算, 则百万英里电池则意味着这批车型在无需更换电池的情况下能够持续运营 15 年。因此我们认为特斯拉推出百万英里电池的目的之一是给 Robotaxi 项目做铺垫。

从梯次利用的角度来说,百万英里电池有利于降低电池的全生命周期成本。电池在结束第一阶段的生命周期后可以进行梯次利用或者回收, 根据电池的状态又可以分为三种: 1) 将新车中取下来的电池用于特斯拉自身或其他车企更低配的车型中; 2) 不能再次用于整车的电池经过质量验证, 可以用于特斯拉或其他企业的 ESS 储能等领域; 3) 电池本身无法再利用, 回收提取原材料。与传统电池相比, 由于百万公里电池的寿命足够长, 使得其在单纯的整车环节的梯次利用具备可行性, 因此有望进一步降低电池的全生命周期成本。

图表6 特斯拉百万英里电池梯次利用流程猜想



资料来源: Astroys, 平安证券研究所

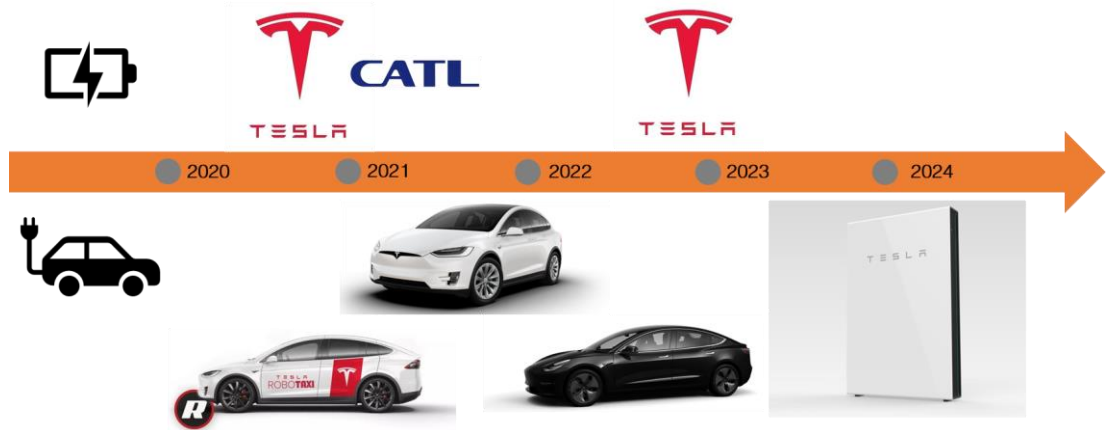
从树立行业标杆的角度来说，百万英里电池有望推动行业发展。除了特斯拉以外，宁德时代、通用等电池厂和主机厂也都着手长寿命电池的研发和商业化生产，2020年5月，通用汽车透露正在开发一种使用寿命达100万英里的电动汽车电池，并已接近成功，但通用汽车方面并未给出百万英里电池的具体时间表；近期宁德时代也表示已经准备好生产其百万英里电池，这种新电池可持续运行16年，并且可使电动汽车持续行驶124万英里（约合200万公里），但与目前供应给电动汽车制造商的电池相比，这种电池的生产成本将高出10%。如果这种电池能够在行业内普及，则对企业降本、新车销量和二手车市场的推广都有较大的意义，不过这种方案对企业的研发实力提出了较高的要求，因此存在一定的技术壁垒。

1.3 百万英里电池如何量产和装车？

猜想一：先与供应商合作生产，然后尝试独立自产。作为电动车企业的特斯拉一直致力于自产电池来保障供应链安全和降低整车生产成本。特斯拉正在进行的“Roadrunner”项目，其目标是将电池的成本降低到100美元/千瓦时。特斯拉还收购设备公司Hibar、与韩国韩华集团达成电池设备采购协议，这些动作都被视为特斯拉为自产电池做准备。我们认为百万英里电池将是“Roadrunner”项目和自产电池的一部分。由于特斯拉此前缺乏独立生产电池的经验，因此需要首先选定供应商合作生产，待积累了足够的经验后，再尝试独立自产，尽可能将电池的生产技术掌握在自己手中。

猜想二：遵循出租车-私人高端车-私人低端车-储能的优先级顺序。考虑电池的量产规模不能覆盖所有车型的情况下，我们认为百万英里电池将首先用于满足对长寿命电池要求更高的Robotaxi项目；在私家车领域，将优先装在Model S/X等高端车型上，一方面高端车型利润更高，有助于覆盖前期较高的研发和生产成本，另一方面可以将淘汰下来的电池用在Model 3/Y等低端车型上，方便梯次利用；最后，不能满足车用需求的电池用于Powerwall和Powerpack项目上。

图表7 特斯拉百万英里电池量产和装车猜想



资料来源：公司官网，平安证券研究所

二、单晶三元+无极耳电极+新型添加剂助力长寿命电池

2.1 百万英里电池猜想之一：单晶三元正极材料

单晶化能够显著提升材料的循环性能。高镍化是当前电池材料发展的一大趋势，高镍三元材料虽然容量高，但晶体结构的稳定性较差，在高电压下容易发生析氧反应，引起材料的表面相变；而单晶材料能够有效提升材料自身的结构稳定性，同时较小的比表面积也能够减少界面副反应的发生，从而显著提升材料的循环性能。

标准 NCA 和单晶 NCM 正极合成需要过量的锂源。在标准 NCA 锂化过程中，一水合氢氧化锂和 NCA 前驱体通过 1.02:1 的锂/其他金属的摩尔比进行混合，2%的过量锂源用来弥补高温烧结过程中锂的损失；在单晶 NCM 的锂化过程中，锂与其他金属的摩尔比更高（NCM523/622 分别为 1.2/1.1）。

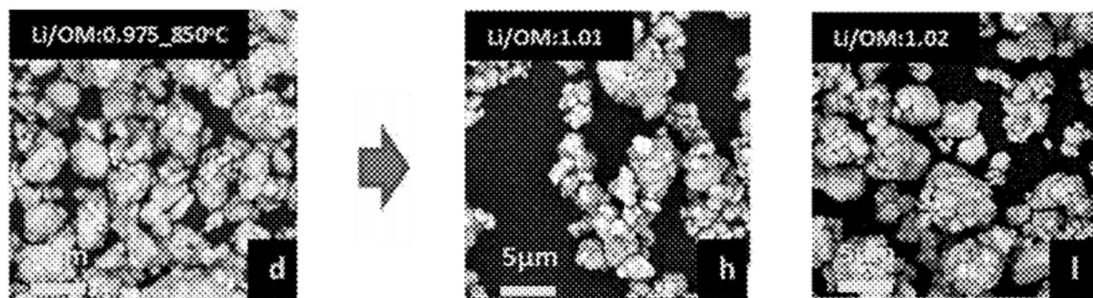
对单晶三元材料来说，促进单晶生长需要较高的温度。如果直接在过量锂源和适宜单晶生长的高温条件下将 NCA 单晶化（类似单晶 NCM 的生成方法），则会导致 Li_5AlO_4 杂质的生成；如果降低锂盐的量（锂/其他金属摩尔比 <1 ），虽然能够抑制杂质的形成，但会影响电池内部的电化学性能。

为了解决上述生产过程中的问题，特斯拉在专利中提出**两段烧结法形成无杂质的单晶 NCA**。

1) 以 NCA 前驱体和一水合氢氧化锂为原材料，控制锂/其他金属的摩尔比 <1 （专利试验中控制在 0.6-0.975 之间），然后进行首次烧结，烧结温度控制在 $800-950^\circ\text{C}$ ，时间 1-24h，使得单晶生长的同时避免了 Li_5AlO_4 杂质的生成；

2) 在一段烧结的产物中加入额外的锂源，使得总体锂/其他金属的摩尔比 >1 （一般控制在 1-1.03 之间），然后进行第二次烧结，烧结温度 $650-760^\circ\text{C}$ ，时间 1-24h，使得最终成品锂/其他金属摩尔比接近 1，并且不产生杂质。

图表8 两段烧结晶体微观结构图



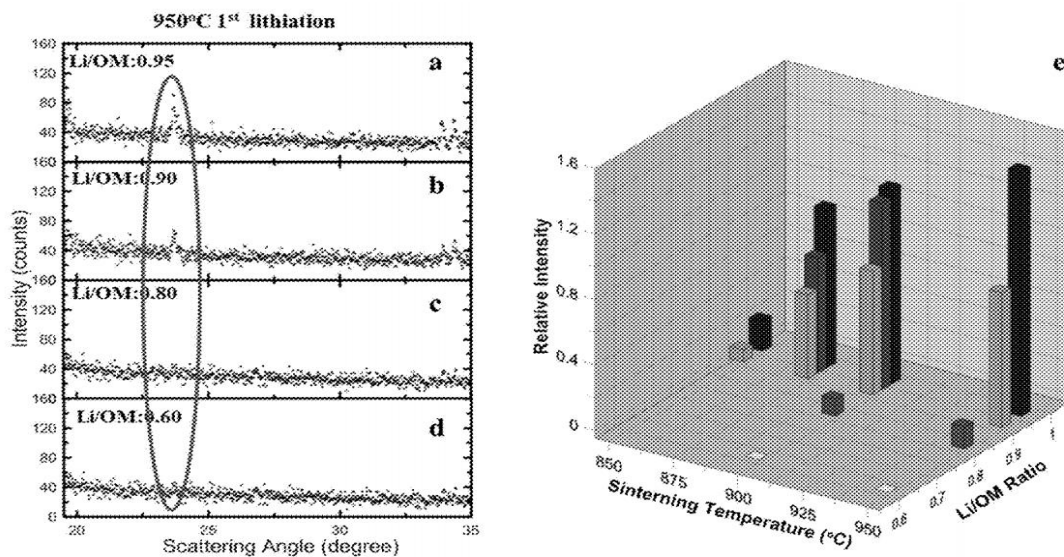
资料来源：US Patent，平安证券研究所

新工艺从三个方面改善材料的循环性能，延长电池寿命：

1) **正极材料的单晶化。**单晶化本身可以提升材料的循环性能。

2) **提高单晶 NCA 的颗粒纯度，避免杂质对材料性能的影响。**从专利试验的结果来看，第一次锂化过程中的温度高低和锂/其他金属摩尔比的大小不同，其最终产物中的纯度也有差异；在试验控制的范围内，温度越低、摩尔比越小，则单晶材料的纯度越高（反映在图中则是杂质的衍射峰值较低）。

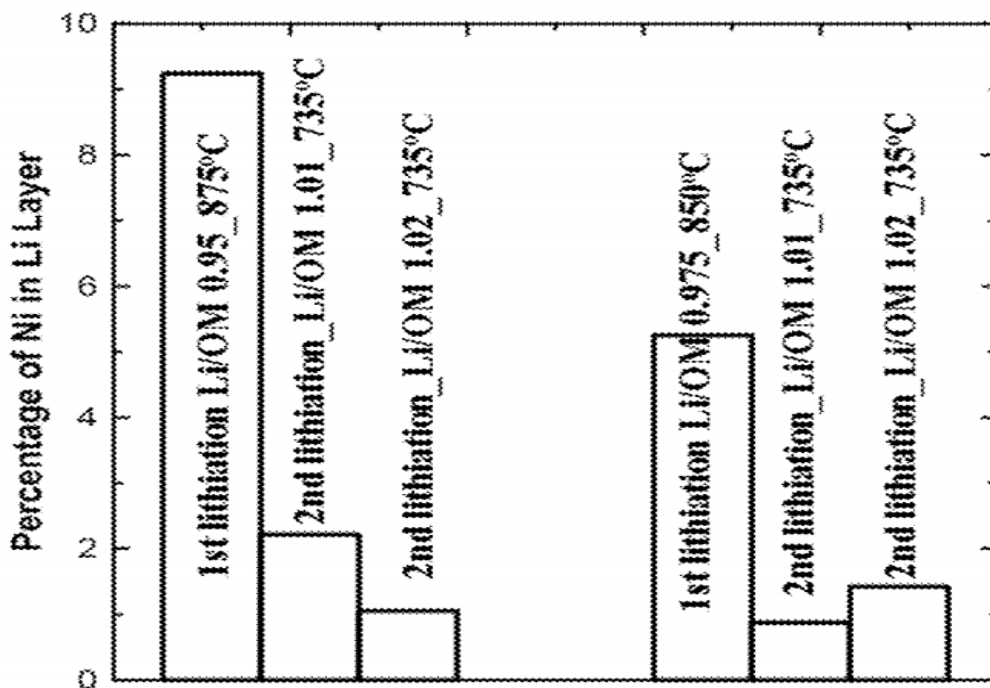
图表9 第一次锂化过程中温度越低、摩尔比越小，单晶材料的纯度越高



资料来源：US Patent，平安证券研究所

3) 降低锂镍混排程度。锂电池在循环过程中正极会产生阳离子混排、应力诱导微裂纹的现象，是导致容量衰减的主要原因。经过二次锂化反应，锂层中混杂的镍原子比例大幅降低，能够有效抑制容量衰减，从而延长电池循环寿命。

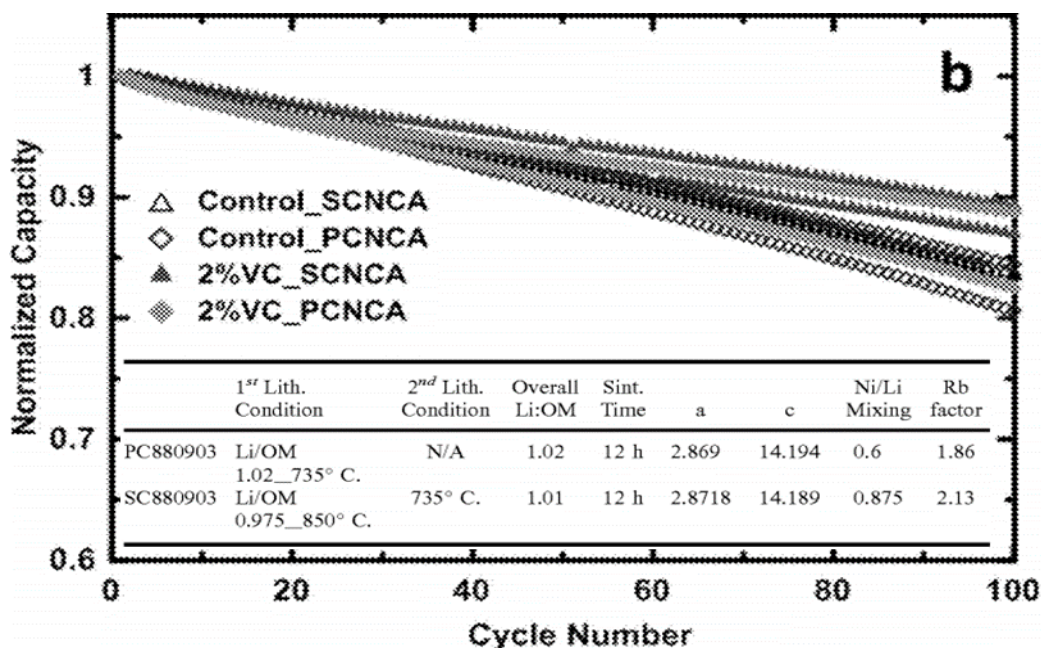
图表10 新工艺经过二次锂化反应，锂镍混排程度大幅降低



资料来源：US Patent，平安证券研究所

为了测试新工艺生成的单晶 NCA 的循环性能,试验引入了对照样本,该对照样本为传统的多晶 NCA,只经过一次煅烧,烧结温度为 735°C,锂/其他金属摩尔比为 1.02:1。试验在 30°C 的环境温度下,以 C/5 的速率在 3-4.2V 之间进行充放电循环测试,结果表明在 2%VC 的体系下,新工艺单晶 NCA 的容量保持率与多晶 NCA 对照样本相当或者更高。我们预计该工艺还需要在温度、材料配比等方面进一步完善,才能体现出在循环性能方面更加显著的优势。

图表11 单晶 NCA 电池容量保持率与多晶 NCA 电池相当或者更高



资料来源: US Patent, 平安证券研究所

对于专利中提到的“其他金属”,除了典型的 Ni、Co、Al 的组合外,还包括 Al、Ni、Co、Mn、Mg 金属或之中的金属组合,这也意味着普通的三元 NCM 和四元材料 NCMA 都可以采取专利中所提到的两段烧结形成单晶的方法。除此之外,专利中明确提到其他金属中可以只包含 Ni 和 Al (In further embodiments, the other metal component includes Ni and Al),这与特斯拉一直以来的无钴化研究相契合。

采用单晶正极材料打造长寿命电池的思路已经体现在特斯拉电池研究合作伙伴 Jeff Dahn 团队于 19 年发表的论文中,文章中提到下一代单晶 NCM 阴极和新型电解质组成的新型锂离子电池可以使电动汽车中的电池组使用寿命超过 160 万公里(百万英里)。我们认为单晶 NCM 或单晶 NCA 将是特斯拉即将推出的百万英里电池的重要组成部分之一。

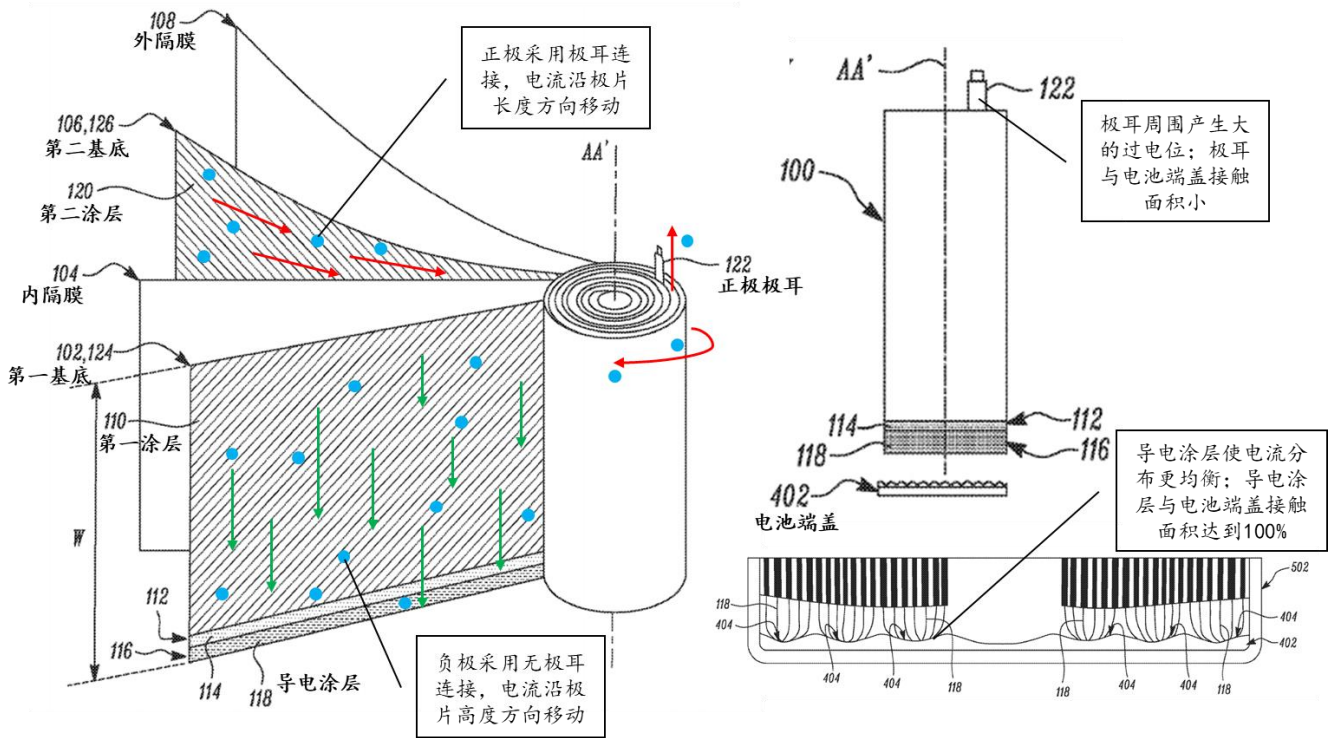
2.2 百万英里电池猜想之二: 无极耳电极

当前的圆柱电池采用卷绕工艺,正极、负极和隔膜卷在一起,通过正负极极耳连接到电池容器的正极和负极端子。电流沿着正极或负极通过极耳到达电池外接电路,这样就导致了欧姆电阻随着较长的电流移动路径而增加,内阻增加会带来电池自身热损耗增加,导致电池容量和性能下降。除此之外,极耳作为额外的电池部件增加了电池成本和制造难度。

特斯拉“无极耳电极电芯”介绍了一种新型的电池制造方法,正负电极中至少有一个电极没有传统的极耳结构,电芯主要包括第一基底、内隔膜、第二基底和外隔膜(可以省去),第一基底上面布有第一涂层,第一基底上沿宽度近端的部分由导电材料构成;第二基底上面布有第二涂层;第一基底和第

二基底之间为内隔膜，第二基底另一边叠放外隔膜（可以省去）。第一基底、内隔膜、第二基底、外隔膜以连续堆叠的方式绕中心轴卷绕起来。简而言之，无极耳电极电芯的制造工艺部分或者完全取消了传统的极耳，在正极或者负极极片的边缘处增加导电涂层，让导电涂层直接与电池端盖接触，电流通过导电涂层和电池外壳到达电池外接电路。

图表12 特斯拉无极耳电极原理示意图（正极单极耳）



资料来源：US Patent，平安证券研究所

对于这种特殊设计的新型无极耳电极，马斯克发推表示“这项技术比听起来更加重要”。然而，该专利只是对无极耳电极的原理做了解释，对优点进行了理论说明，并没有公布与现有工艺的对比试验结果；我们预计在电池日上会有更多相关信息释出。

从理论上讲，无极耳电极工艺主要从三个方面改善电池的循环寿命以及其他性能：

- 1) 电流移动路径缩短减小内阻。**传统的电池设计结构决定了为发生电化学反应，电流应当沿电极长度方向移动，移动的距离与极耳的位置有关（电极中间或电极两端）；而无极耳电极工艺提供了一种电极集流体与电池端盖内表面之间更加一致的电接触方式，使得**电流移动的最大距离变成电极的高度而非长度**。而一般电极的高度是长度的 5%-20%，因此在电化学循环中无极耳电极的内阻可以减小 5-20 倍。
- 2) 显著降低电流偏移现象。**电流偏移现象代表电极的某些区域经过比别的区域更多或者更少的电流；在不考虑其他因素的情况下，电流将会沿着电极上内阻最小的路径接近极耳，这样局部会产生大的过电位，导致不必要的化学反应的发生，降低电池寿命。而无极耳电极工艺使得内阻降低，电流的路径更短、分布更加均衡，因此能够避免过电位的产生，改善电池寿命。
- 3) 产热和散热能力得到显著改善。**在产热方面，由于内阻降低，产生的热量也减少。在散热方面，传统的电极极耳与电池端盖只有极小的接触面积，而无极耳电极中的导电涂层与电池端盖的有效接触面积达到 100%，接触面积的增加使得散热能力提升，进一步优化电池性能、延长循环寿命。

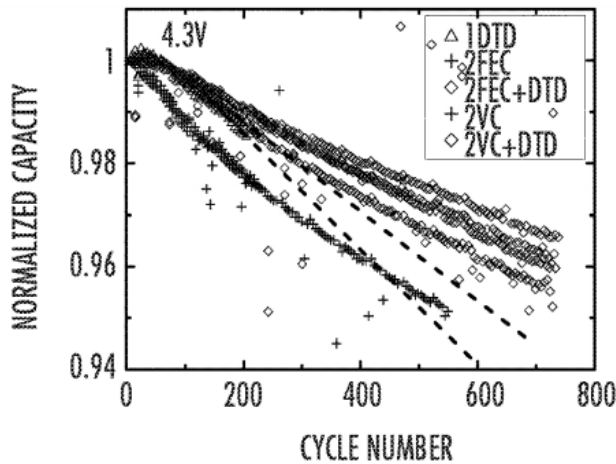
2.3 百万英里电池猜想之三：新型电解液添加剂

通过电解液添加剂提升锂电池的各项性能一直是行业研究的重点。特斯拉通过旗下特斯拉汽车加拿大分公司与 Jeff Dahn 合作申请了多项电解液添加剂的专利，致力于采用尽量少的添加剂配方达到尽量大的改善效果。专利涉及的添加剂普遍可以用于改善电池的循环寿命，因此也被视为百万英里电池的重要环节之一。

■ 硫酸乙烯酯等含硫添加剂 (DTD)

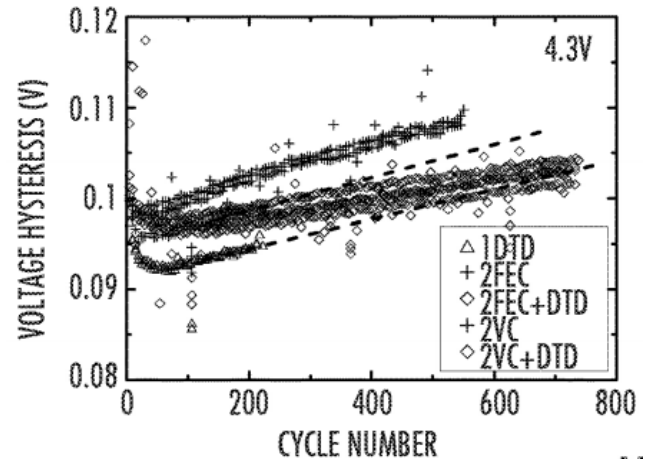
2019 年 1 月 31 日，特斯拉公开了一项名为《基于双添加剂电解液体系的新型电池系统》的专利，专利尝试将传统的 VC/FEC/PES 添加剂与以 DTD 为代表的新型含硫添加剂混合，观察该电解液体系对电池性能的影响。试验结果显示，在 20°C 或 40°C 的环境温度、循环至 4.2 或 4.3V 的条件下，双添加剂电解液体系 (VC+DTD 或 FEC+DTD) 拥有比单一添加剂 (VC、FEC 或 DTD) 更高的容量保持率和更小的电压滞变 (注：在锂离子电池充放电过程中充电电压曲线和放电电压曲线之间存在差值的现象，差值越小，则循环性能越好)，有助于延长电池寿命。

图表13 含 DTD 电解液体系拥有更高的容量保持率



资料来源: US Patent、平安证券研究所

图表14 含 DTD 电解液体系拥有更小的电压滞变



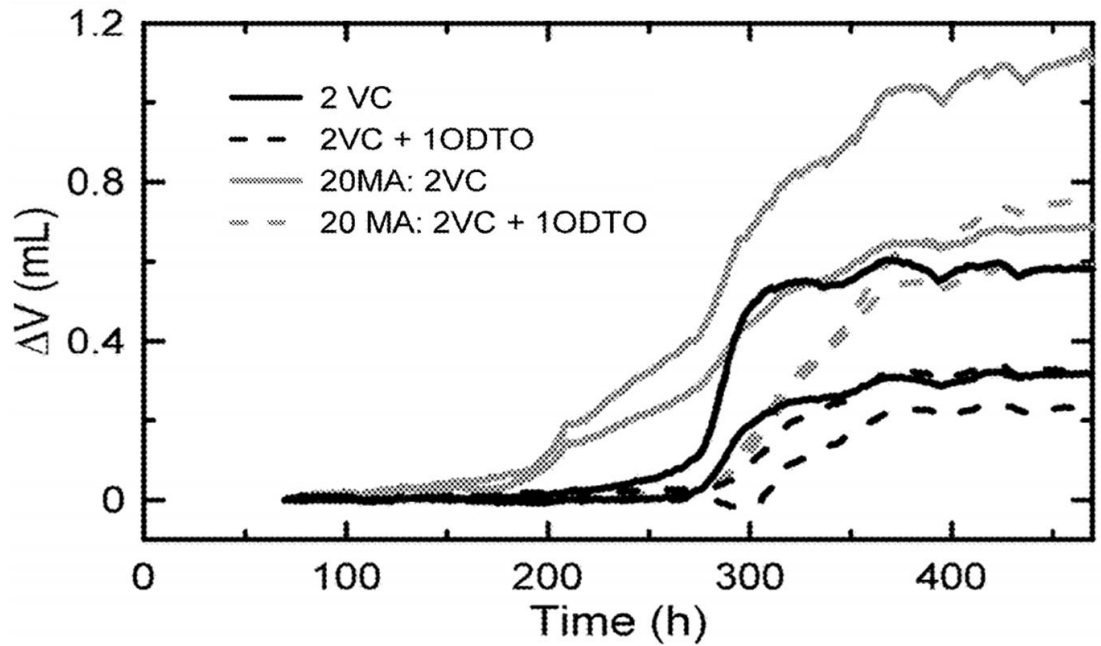
资料来源: US Patent、平安证券研究所

■ 1,2,6-氧二噻吩-2,2,6,6-四氧化物 (ODTO)

2019 年 12 月 12 日，特斯拉公开了一项名为《包含 ODTO 的双添加剂电解液体系的新型电池系统》的专利，专利将传统的添加剂与新型添加剂 ODTO 混合，观察该电解液体系对电池性能的影响，并得出以下结论 (适用于正极包覆和未包覆的 NCM523/622 以及松下 1030 型号电池)：

1) 产气方面，ODTO 有助于抑制高电压环境下的产气量。

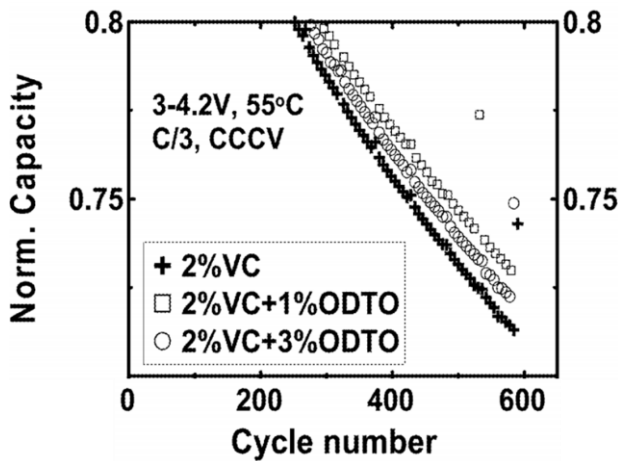
图表15 电解液中加入 ODTO 有助于抑制产气量 ΔV



资料来源: US Patent, 平安证券研究所

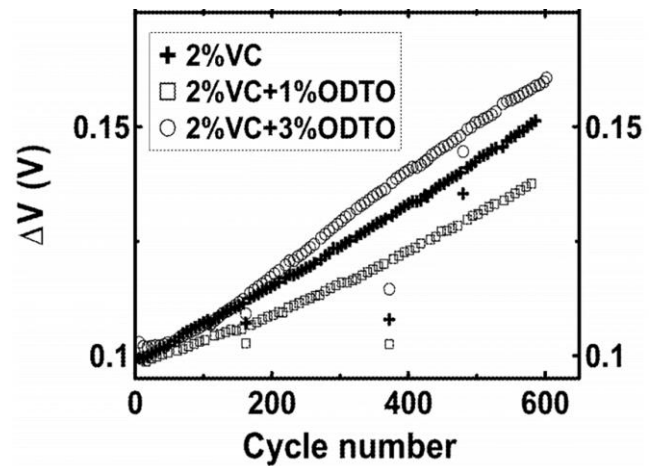
2) 循环寿命方面, 在 20°C、40°C、55°C 的环境温度、以 C/3 的充放电速率循环至 4.2 或 4.3V 的条件下, 双电解液添加剂电解液体系 (VC+ODTO、FEC+ODTO 或 LFO+ODTO) 较单一添加剂 (VC 或 FEC) 的电解液体系拥有更高的容量保持率和更小的电压滞变, 同样有助于延长电池寿命。

图表16 含 ODTO 电解液体系拥有更高的容量保持率



资料来源: US Patent, 平安证券研究所

图表17 特定成分的 ODTO 电解液体系电压滞变更低



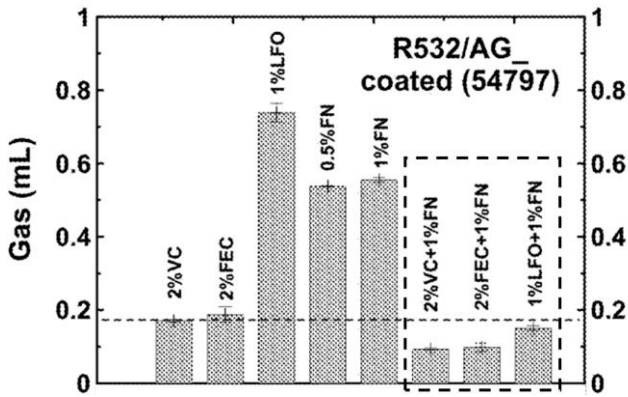
资料来源: US Patent, 平安证券研究所

■ 2-呋喃酮 (FN)

2019年12月12日，特斯拉公开了一项名为《包含FN的双添加剂电解液体系的新型电池系统》的专利，专利将传统的VC添加剂与新型添加剂FN混合，观察该电解液体系对电池性能的影响，并得出以下结论（适用于NCM523和松下1030型号电池）：

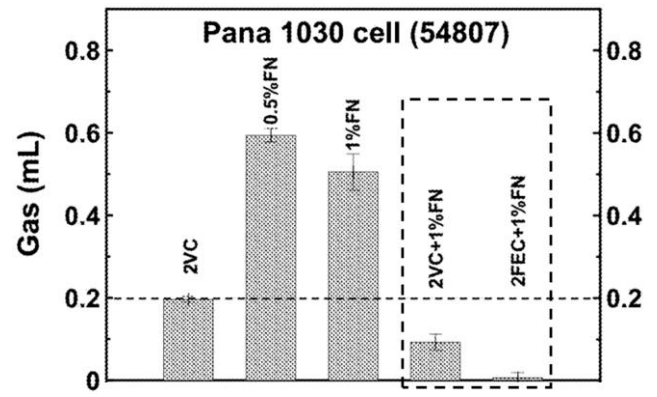
1) 产气方面，FN的存在能够显著抑制气体的产生。在2%FEC+0.5%/1%FN的电解液体系下，产气量几乎可以忽略不计，并且不受电解液中其他成分的影响。因此，包含FN添加剂的电池省去了组装后的气体释放环节，从而简化生产流程、提升生产效率、降低生产成本。

图表18 NCM523体系中FN显著抑制产气量



资料来源: US Patent、平安证券研究所

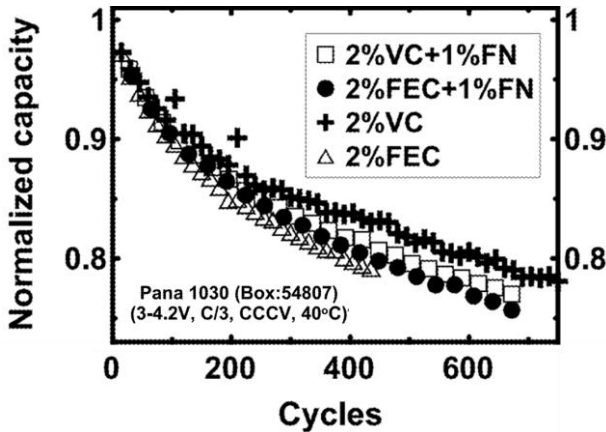
图表19 松下1030体系中FN显著抑制产气量



资料来源: US Patent、平安证券研究所

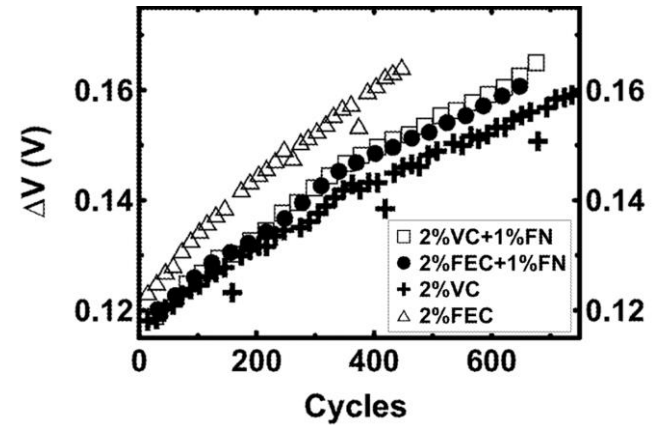
2) 循环寿命方面，在20°C、40°C的环境温度、以C/3的充放电速率循环至4.2或4.3V的条件下，FN的加入没有给电池的循环性能带来显著影响。但结合FN体系在抑制产气方面的突出表现，相比于常规的电池体系，前者在一定条件下会有让人意想不到的优越性能。

图表20 松下1030体系中FN没有提高容量保持率



资料来源: US Patent、平安证券研究所

图表21 松下1030体系中FN没有减小电压滞变



资料来源: US Patent、平安证券研究所

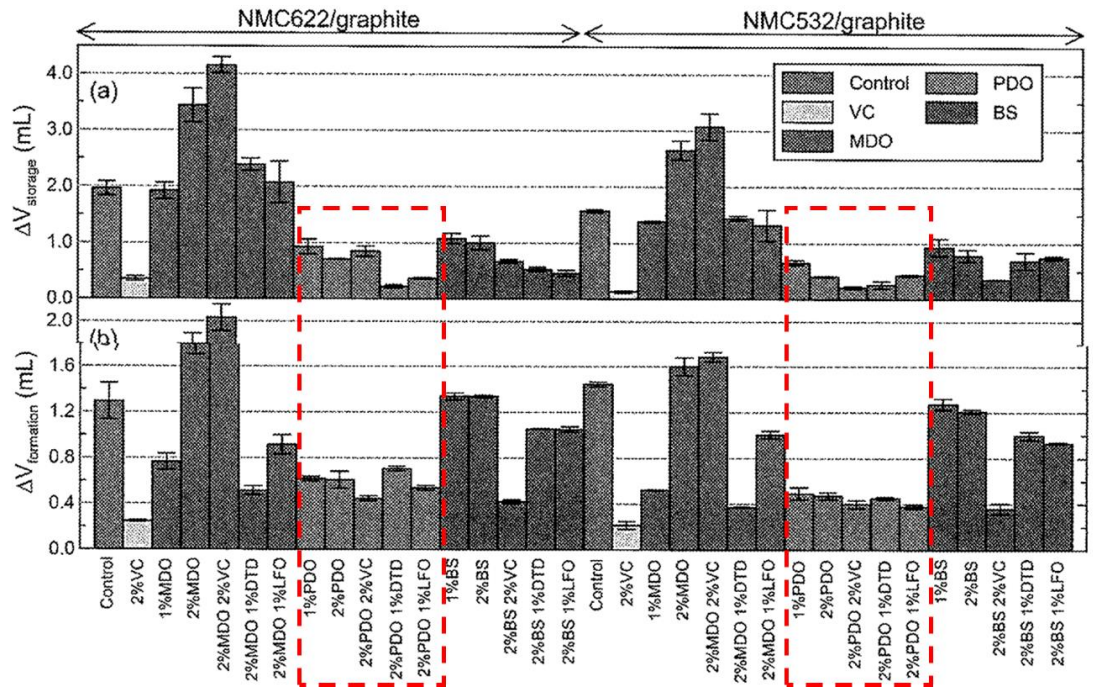
■ 二恶唑酮和亚硫酸脒 (MDO/PDO/BS)

2019年12月26日，特斯拉公开了一项名为《二恶唑酮和亚硫酸脒作为锂离子电池电解液添加剂》的专利，专利涉及一种采用新型添加剂MDO、PDO和BS所制成的NCM/石墨锂离子软包电池。通过不同成分的配比试验，特斯拉方面得出如下结论：

1) MDO和PDO是良好的成膜添加剂。在电池使用过程中，MDO和PDO均会在石墨负极表面生成SEI膜，BS则不会。

2) 在产气方面, 含 PDO 添加剂的电芯产气量最小, 含 MDO 添加剂的电芯产气量最大, PDO 在产气量方面的表现最好, 但三者的产气量都高于常规 2% 的 VC 体系。

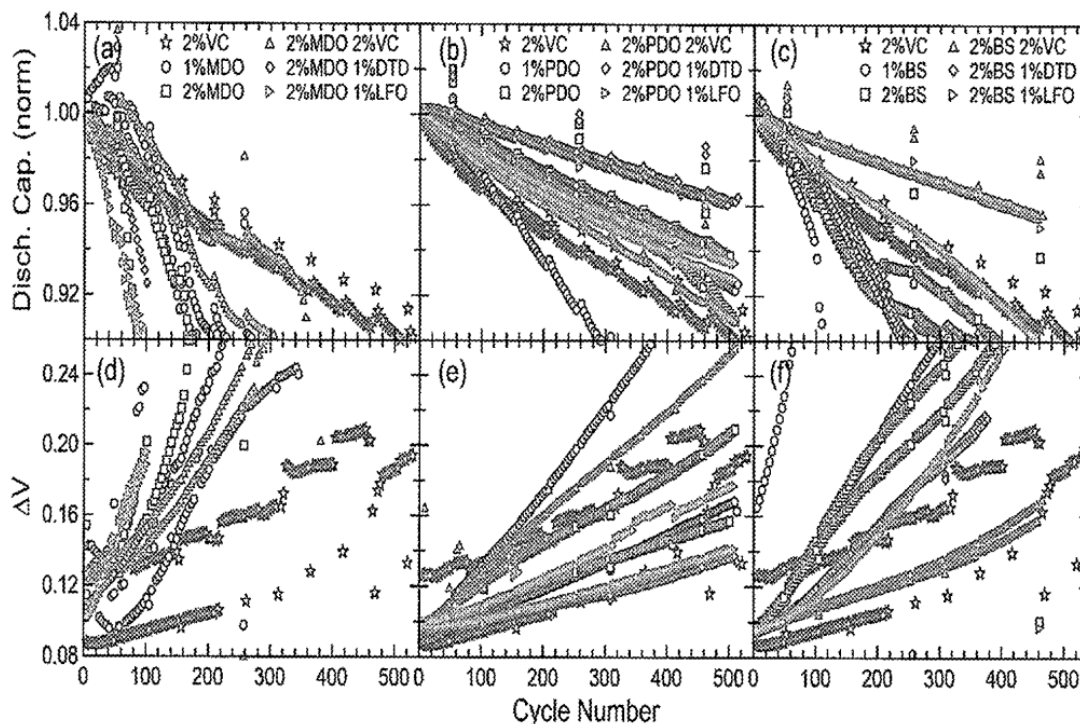
图表22 PDO 在产气量方面的表现最好, 但与常规体系相比没有显著优势



资料来源: US Patent, 平安证券研究所

3) 在循环寿命方面, 研究人员在 40°C 的温度下以 C/3 的充放电速率至 4.3V, 并以容量保持率和电压滞变来衡量各成分的循环性能。对于 NCM622/石墨体系来说, 包含 MDO 添加剂的电芯的表现差于含 2%VC 的常规电芯; 包含 PDO 的电芯容量保持率与 2%VC 的常规电芯相当或者更优, 其中 2%PDO+1%DTD 的混合体系表现最好; 包含 BS 的电芯容量保持率最多与 2%VC 的常规电芯相当, 并且使用过程中电压有急剧增长的现象。对于 NCM523/石墨体系来说, 包含 MDO 的电芯容量保持率好于 NCM622 体系, 但电压滞变现象较严重; PDO 作为单一添加剂表现不如 2%VC 体系, 但与其他物质形成混合添加剂, 其容量保持率优于 VC 体系并且拥有较小的电压滞变; 包含 BS 的电芯循环表现差于 2%VC 体系。

图表23 NCM622 体系中含 PDO 添加剂的电芯循环寿命综合表现最好



资料来源：US Patent，平安证券研究所

综合以上方面来看，PDO 是三者中最有希望和潜力的新型添加剂，尤其与 DTD 和 LFO（二氟磷酸锂）混合使用的情况下对电池循环的改善更加明显。

三、投资建议

特斯拉 Battery Day 受到海外疫情影响一再推迟，预计将于 9 月中旬举行。结合近期特斯拉百万英里电池以及购买锂电设备着手电池自产的消息频频见诸报道，我们认为电池日的主题大概率会围绕百万英里电池展开，具体包括：1）补充专利或论文中未解答的问题，比如无极耳电极的实证效果、单晶正极的配方和烧结温度的改进、综合最优的电解液添加剂方案等，新型电池的实现方式将成为重要看点之一，最终方案有待揭晓；2）新型电池的量产计划，包括时间节点、产能规模、生产地点、车型应用等信息，其与宁德时代的合作细节也将是一大看点。

特斯拉创立至今，动力电池一直采用外供模式，早期起步时为松下独供，2019 年后为开辟新的中国市场，又陆续引入 LG 和宁德时代，以为其产能和降本战略服务。从特斯拉申请专利和对 Maxwell 等的投资收购动作来看，其规模化自产电池应只是时间问题。在强大的品牌和足够的需求加持下，对于特斯拉而言，制造出一流水准的动力电池并非特别难事，其更关注的或是如何造出超水准的电池，以进一步彰显其差异性。

后续特斯拉在电池环节的影响力将逐步显化，所探索的技术创新点也将是产业热点趋势之一。与之相近的是，国内电池和主机厂在电池领域的研发和投资方向主要为高能量密度、长寿命、高安全性、低成本等指标，正极材料往高镍化、单晶化方向发展，兼顾高能量密度和长寿命；负极材料满足快

充性、低膨胀性，硅碳负极是研发方向之一；隔膜和电解液用于改善电池的各项性能，其中安全性是研发重点。

图表24 一线车企/电池厂的动力电池投入方向

企业	投入方向
特斯拉	无钴电池、长寿命电池，侧重于降低电池成本以及延长电池寿命
大众汽车	与 Northvolt 合资建厂、入股国轩高科、增资 QuantumScape 布局固态电池，
宁德时代	NCM811 高镍电池、CTP 电池包、长寿命电池、固态电池
比亚迪	刀片电池，强调电池的安全性（应用磷酸铁锂材料）、使用寿命以及降低电池成本
蜂巢能源	高镍三元电池、无钴材料电池、四元材料电池、固态电池、CTP 电池包

资料来源：公司网站，平安证券研究所

图表25 国内一线电池材料企业的研发投入方向

企业	投入方向
当升科技	第二/三代 NCM811、单晶 NCM811、固态电池正极、富锂锰基正极，主打高能量密度、高容量，稳定性、安全性提升
容百科技	单晶 NCM811、Ni88 型 NCM811、高能量 NCA、NCM 高温烧结工艺、NCM 正极掺杂技术、全固态电池正极材料，兼顾高能量密度与安全性，改善循环性能
杉杉股份	高镍单晶三元材料、NCMA 多元材料、高镍无钴材料、快充负极材料、硅碳负极及宽适配系列电解液，高能量密度、低膨胀，改善循环寿命和快充性能
璞泰来	自产石墨化、硅碳负极材料、快充负极材料，高能量密度、低膨胀性能，降低生产成本
恩捷股份	低热缩性涂布隔膜、超低水分配方隔膜、水性 PVDF 辊涂技术、高粘性油性 PVDF 产品、低内阻值涂层、高浸润性陶瓷涂布隔膜，改善电池的硬度、安全性、电阻率、浸润性等各项性能
星源材质	油性涂覆隔膜、干法三层膜、低闭孔湿法隔膜、超薄涂覆膜，兼顾电池电化性能、安全性能和循环寿命，满足市场轻薄化需求
新宙邦	高镍电解液、新型锂盐 LIFSI，适配高镍正极材料，提升低温性能、水解稳定性

资料来源：公司网站，平安证券研究所

在投资方向上，建议把握以下几点：

1) 特斯拉已确定和宁德时代合作量产百万英里电池，而宁德时代也表示已经开发出一款可能使用 16 年或 200 万公里的电池，已经做好生产准备，并且与特斯拉的合作将不仅限于磷酸铁锂电池、不仅限于国内市场。若双方合作实现电池量产，则意味着宁德时代与特斯拉实现较为深度的绑定，有

望进一步巩固其动力电池行业的龙头地位，强烈推荐**宁德时代**。关注相关供应链企业，推荐**璞泰来**，关注**恩捷股份**。

2) 单晶化有利于改善电池循环寿命，无钴化有利于降低生产成本，因此单晶高镍正极有望成为兼顾低成本、高能量密度和长循环寿命的电池的重要实现方式之一。关注在高镍正极和单晶正极方面有较为深厚的技术储备的电池材料企业，强烈推荐**当升科技**、**杉杉股份**，关注**容百科技**。

3) Jeff 团队在电解液方向上申请的专利较多，寻找低成本、高性能的添加剂组合将成为电池性能持续改善的重要推手之一。关注在电解液添加剂方面有技术储备和成熟应用的电池材料企业，推荐**新宙邦**。

图表26 主要上市公司盈利预测及投资评级

股票名称	股票代码	股价		EPS		P/E			评级
		2020/6/23	2019A	2020E	2021E	2019A	2020E	2021E	
当升科技	300073	33.5	-0.48	0.77	1.04	-70.0	43.5	32.2	强烈推荐
杉杉股份	600884	11.6	0.17	0.28	0.38	70.0	42.0	30.6	强烈推荐
璞泰来	603659	100.11	1.50	1.92	2.65	66.9	52.1	37.7	推荐
新宙邦	300037	53.17	0.79	1.11	1.37	67.2	48.1	38.8	推荐
恩捷股份	002812	65.96	1.06	1.39	1.84	62.5	47.6	35.9	未评级
容百科技	688005	36	0.20	0.69	1.10	182.6	51.8	32.7	未评级

资料来源: wind、平安证券研究所

四、风险提示

- 1) 新技术商业化应用不及预期的风险:** 专利中多项技术的最终效果和商业化应用仍有待进一步观察，若商业化应用不及预期，将影响新型电池的量产节奏。
- 2) 政策力度不及预期的风险:** 如果国内外政策对新能源汽车支持力度软化或改变，导致政策出台力度低于预期，将显著影响新能源汽车市场整体规模。
- 3) 电动车自燃事故带来的消费者信任风险:** 近期新能源汽车自燃事件频繁发生，特斯拉采用的高镍电池体系对产品本身的安全性是一大考验。若自燃事件得不到有效控制，或将引发消费者的信任危机，给产品销量带来负面影响。
- 4) 技术路线发生变化的风险:** 新能源汽车仍处于技术快速变革期，特斯拉引领行业创新。若下一代技术产业化进程超出预期，将对现有行业格局产生显著影响，前期投资回收能力将低于预期。

平安证券研究所投资评级：

股票投资评级：

- 强烈推荐（预计 6 个月内，股价表现强于沪深 300 指数 20%以上）
- 推 荐（预计 6 个月内，股价表现强于沪深 300 指数 10%至 20%之间）
- 中 性（预计 6 个月内，股价表现相对沪深 300 指数在±10%之间）
- 回 避（预计 6 个月内，股价表现弱于沪深 300 指数 10%以上）

行业投资评级：

- 强于大市（预计 6 个月内，行业指数表现强于沪深 300 指数 5%以上）
- 中 性（预计 6 个月内，行业指数表现相对沪深 300 指数在±5%之间）
- 弱于大市（预计 6 个月内，行业指数表现弱于沪深 300 指数 5%以上）

公司声明及风险提示：

负责撰写此报告的分析师(一人或多人)就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。

市场有风险，投资需谨慎。

免责条款：

此报告旨在发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司 2020 版权所有。保留一切权利。

平安证券

平安证券研究所

电话：4008866338

深圳

深圳市福田区福田街道益田路 5023 号平安金融中心 B 座 25 层
邮编：518033

上海

上海市陆家嘴环路 1333 号平安金融大厦 26 楼
邮编：200120
传真：(021) 33830395

北京

北京市西城区金融大街甲 9 号金融街中心北楼 15 层
邮编：100033