



三元材料关键技术细节及测算

投资要点

- 市场关于锂离子电池三元材料技术方面普遍关心以下问题：一、三元材料生产流程究竟是怎样的？最新的高镍三元产线及其中采用的设备是怎样的？二、从生产企业角度看，三元材料加工费（不含利润）如何核算？三、原材料价格波动究竟对三元材料有怎样的影响？本篇报告我们将对以上问题做出探讨和说明。
- **三元材料核心优势：性能可调控。生产流程：煅烧是核心步骤。**高镍三元材料因其容量高而备受重视，但其容量高是以牺牲安全性和稳定性，提高加工难度和成本为代价的。三元材料生产流程中核心步骤是烧结工序，烧结温度、时间等对三元材料性能有至关重要的影响。我们将三元材料生产流程分为烧结前工序，烧结工序和烧结后工序，并对每个流程中所涉及关键设备和最新技术进行了详细说明。
- **三元材料成本：原材料占比90%以上。**三元材料的生产成本中原材料成本占比超过90%，市场成本构成也很透明，降本空间有限。厂商需要提高产品性能以提高售价，才能获取超额利润。单吨总成本方面，NCM523占有较大优势，比811便宜2万元。原因在于其钴含量比111低，加工工序又比622和811更为简便。因此523材料是目前三元材料出货量最高的产品。**单吨高镍产品622和811加工成本较高，占比也更大。**高镍产品由于加工难度更高，单次烧结量少，所需工序更为繁琐，加工费用和占比也在增加。811加工成本占比达到8.22%，而523仅为5%左右。**单位容量角度看，811材料成本最低。**811材料成本较高，但由于811材料比容量也较高，折算成单位容量来看，其成本反而更低。在各原材料价格基本稳定、新能源汽车动力电池成本急需降低的情况下，发展单位容量成本更低的811材料是未来大趋势。
- **三元材料成本变动影响：关注钴/镍价格比和锂盐价格比。**锂、镍、钴的金属盐价格变动对三元材料成本影响很大，而三元材料构成本质上是钴/镍和氢氧化锂/碳酸锂的相互替代，通过模型测算，我们认为动态跟踪各类材料之间的价格比是重点。**钴镍价格比高于2.9时，811单位容量成本最低。**在2012年至今的钴镍价格比变动区间内，111单位容量价格基本都是最高的，失去了与其他材料的竞争优势。**氢氧化锂比碳酸锂价格低于0.95时，811单吨价格有望低于523。**当锂盐价格比低于1.25时，单吨价格811有望低于622；当锂盐价格比低于0.95时，单吨811价格甚至有望低于523价格。
- **风险提示：新能源补贴大幅度下降的风险；出货量不达预期的风险。**

重点公司盈利预测与评级

| 代码 | 名称 | 当前价格 | 投资评级 | EPS (元) | | | PE | | |
|--------|------|-------|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 2017A | 2018E | 2019E | 2017A | 2018E | 2019E |
| 300073 | 当升科技 | 23.95 | 买入 | 0.57 | 0.69 | 0.96 | 41.81 | 34.89 | 24.85 |

数据来源：聚源数据，西南证券

西南证券研究发展中心

分析师：谭菁

执业证号：S1250517090002

电话：010-57631196

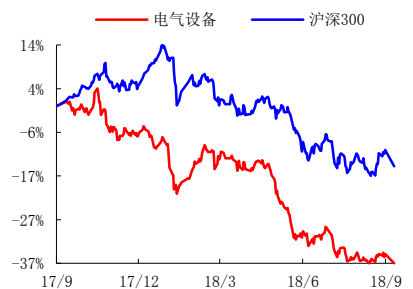
邮箱：tanj@swsc.com.cn

联系人：陈瑶

电话：0755-23914886

邮箱：cyao@swsc.com.cn

行业相对指数表现



数据来源：聚源数据

基础数据

| | |
|--------------|-----------|
| 股票家数 | 191 |
| 行业总市值(亿元) | 14,384.77 |
| 流通市值(亿元) | 14,124.99 |
| 行业市盈率 TTM | 23.36 |
| 沪深300市盈率 TTM | 11.1 |

相关研究

1. 从全球电气巨头转型看电气设备机会 (2018-09-12)
2. 电力设备新能源行业周报：新能源车产销创新高，隆基扩产巩固龙头地位 (2018-01-22)
3. 电力设备新能源行业周报 (12.11-12.17)：风电底部确认，配网迎来机遇 (2017-12-18)
4. 电力设备新能源行业2018年投资策略：风光无限好，三元一时新 (2017-12-04)
5. 大国崛起专题之光伏篇：从周期到消费属性转换之路 (2017-11-15)

目录

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1 锂离子电池为何异军突起？ | 1 |
| 2 正极材料：电池中的关键材料 | 3 |
| 2.1 钴酸锂（LCO）：适合小型电池，实际容量不高 | 3 |
| 2.2 磷酸铁锂（LFP）：能量密度低，安全性突出 | 4 |
| 2.3 三元材料（NCM、NCA）：性能可调控，道路如何抉择？ | 4 |
| 3 三元材料生产流程及关键设备 | 6 |
| 3.1 煅烧前工序 | 7 |
| 3.2 煅烧工序 | 11 |
| 3.3 煅烧后工序 | 12 |
| 3.4 工序总结 | 14 |
| 4 三元材料成本拆分 | 16 |
| 4.1 三元材料成本构成 | 16 |
| 4.2 三元材料成本测算（以优美科长信为例） | 16 |
| 4.3 三元材料成本对比分析 | 21 |
| 4.4 三元材料成本主要影响因素：过渡金属盐与锂盐价格 | 22 |
| 5 标的推荐 | 26 |
| 当升科技（300073）：专注正极材料，引领发展趋势 | 26 |

图 目 录

| | |
|---|----|
| 图 1: 锂离子电池基本原理..... | 1 |
| 图 2: 各类电池能量密度对比图..... | 2 |
| 图 3: 锂离子电池应用领域..... | 2 |
| 图 4: 六方层状钴酸锂结构示意图..... | 3 |
| 图 5: 橄榄石状磷酸铁锂结构示意图..... | 3 |
| 图 6: NCM 材料放电容量、热稳定性和容量保持率关系..... | 4 |
| 图 7: 高镍三元材料在更低温度下发生分解..... | 4 |
| 图 8: 三元材料生产关键流程及设备..... | 6 |
| 图 9: 斜式混料机实物图..... | 9 |
| 图 10: 高速混料机实物图..... | 9 |
| 图 11: 方形匣钵实物图..... | 10 |
| 图 12: 圆形匣钵实物图..... | 10 |
| 图 13: 推板窑推进物料靠在平板上直接推动..... | 11 |
| 图 14: 辊道窑传输物料靠滚筒滚动..... | 11 |
| 图 15: 颚式破碎机及辊式破碎机结构及存在问题..... | 12 |
| 图 16: 旋轮磨典型结构及剖面图..... | 13 |
| 图 17: 优美科长信前驱体生产流程及设备图..... | 17 |
| 图 18: 优美科长信三元材料生产流程及设备图..... | 18 |
| 图 19: 三元材料中各主要元素占比..... | 21 |
| 图 20: 成本和加工费用实际数(万元)..... | 22 |
| 图 21: 成本和加工费用占比..... | 22 |
| 图 22: 硫酸钴与硫酸镍价格走势(元/吨)..... | 23 |
| 图 23: 氢氧化锂与碳酸锂价格走势(元/吨)..... | 23 |
| 图 24: 硫酸钴、硫酸镍价格之比对三元材料成本(万元/吨)的影响..... | 24 |
| 图 25: 硫酸钴、硫酸镍价格之比对单位容量三元材料成本(元/Ah)的影响..... | 24 |
| 图 26: 氢氧化锂、碳酸锂价格之比对三元材料成本(万元/吨)的影响..... | 25 |
| 图 27: 氢氧化锂、碳酸锂价格之比对单位容量三元材料成本(元/Ah)的影响..... | 25 |

表 目 录

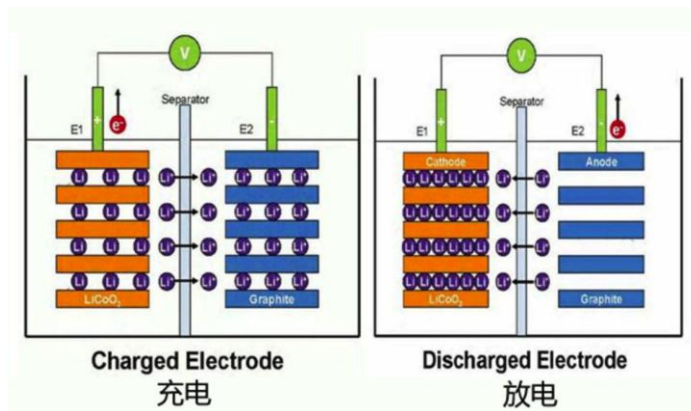
| | |
|--|----|
| 表 1: 锂离子电池性能优势明显 | 1 |
| 表 2: 几种商业化正极材料性能比较 | 3 |
| 表 3: 当升科技江苏海门三期 18000 吨高镍产线主要设备详情 | 6 |
| 表 4: 氢氧化锂和碳酸锂作为锂源使用对比表 | 8 |
| 表 5: 两种三元材料混料设备指标对比表 | 8 |
| 表 6: 两种三元材料混料设备的主要优势和劣势对比表 | 9 |
| 表 7: 长沙中瓷生产正极匣钵技术指标 | 10 |
| 表 8: 推板窑与辊道窑对比 | 11 |
| 表 9: 传统粗破碎与旋轮磨粗破碎对比 | 13 |
| 表 10: 气流粉碎机与机械粉碎机对比 | 13 |
| 表 11: 两种除铁设备优劣势对比 | 14 |
| 表 12: 三元材料制备核心工序和所用设备精炼总结 | 15 |
| 表 13: 三元材料产线主要原辅材料 | 16 |
| 表 14: 优美科长信生产 1 万吨 NCM622 正极材料所需主要物料 | 19 |
| 表 15: 优美科长信单吨 NCM622 正极材料成本测算 | 19 |
| 表 16: 单吨 NCM111 正极材料成本估算 | 20 |
| 表 17: 单吨 NCM523 正极材料成本估算 | 20 |
| 表 18: 单吨 NCM811 正极材料成本估算 | 21 |
| 表 19: NCM 三元材料折合单位容量成本估算 | 22 |

1 锂离子电池为何异军突起？

锂离子电池作为取代镍氢电池和铅酸电池的一种新型绿色电池，由日本索尼公司率先研制成功并于 1991 年实现商业化。锂离子电池主要由负极、正极、电解质、隔膜以及外部包装等组成。正极、负极和隔膜通过叠片和卷绕等工艺形成方形或圆形的形状，在空隙处注入电解液，并用铝壳、钢壳等进行包装，组成锂离子电池。

锂离子电池放电时主要工作原理是锂离子从正极脱出，经过电解质迁移并嵌入到负极，引发电子在外电路进行迁移，从而对外提供电能。在每一次充放电循环过程中，锂离子充当了电能的搬运载体，周而复始的在正极与负极间来回移动，与正、负极材料发生化学反应，将化学能和电能相互转换。

图 1：锂离子电池基本原理



数据来源：锂电网，西南证券整理

目前锂离子电池无论是在消费电子领域还是在动力电池领域均已取代铅酸电池和镍氢电池，究其原因主要有以下两点：

(1) 电压高：锂离子电池单体电压可达 3.7V，远大于铅酸电池和镍氢电池。电池所能放出的能量 (Wh) 可近似理解为电压 (V) 与容量 (Ah) 的乘积，可见容量一定时电压越高，电池可放出的能量越多。电池电压的高低主要取决于**正负极材料的种类和特性**，因此电压方面锂离子电池具有天然的优势。

表 1：锂离子电池性能优势明显

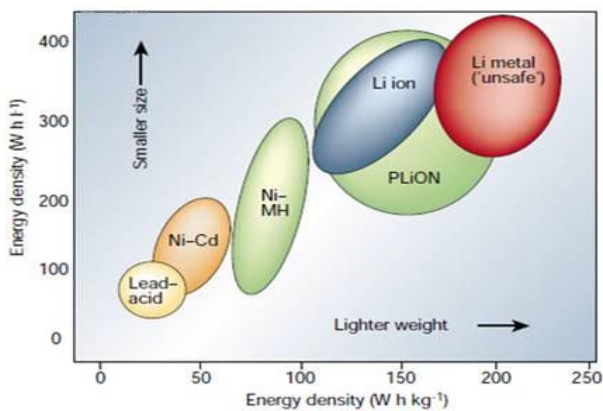
| 指标 | 锂离子电池 | 铅酸电池 | 镍氢电池 |
|-----------------------------|----------|---------|--------|
| 正极材料 | 锂化合物 | 二氧化铅 | NiOH |
| 负极材料 | 碳材料 | 海绵状铅 | 吸氢合金 |
| 电解液 | 聚合物电解质 | 稀硫酸溶液 | 氢氧化钾溶液 |
| 电压/V | 3.7 | 2.0 | 1.25 |
| 比能量/(Wh·kg ⁻¹) | 160 | 30~45 | 70~80 |
| 体积比能量/(Wh·L ⁻¹) | >320 | 60~80 | 160 |
| 循环寿命 | 500~1000 | 300~500 | 1000 |
| 每月自放电率 | <3% | 4%~5% | 30% |

| 指标 | 锂离子电池 | 铅酸电池 | 镍氢电池 |
|-----------|--------|--------|--------|
| 工作温度 / °C | -40~60 | -20~60 | -20~70 |
| 环境影响 | 环境友好 | 污染较重 | 轻微毒性 |
| 记忆效应 | 无 | 无 | 有 |

数据来源：《锂离子电池替代铅蓄电池的环境风险对比分析与思考》，西南证券整理

(2) 能量密度高。能量密度是指电池能量与电池体系质量（体积）的比值，即单位质量（体积）能够存储的电量，这是人们在评价容量时常用的指标。锂是质量最轻的金属，因此采用锂离子作为能量载体的锂离子电池具有较轻的质量，也就有了较高的能量密度。相比而言，受制于铅及吸氢合金的高重量，铅酸电池和镍氢电池能量密度远小于锂离子电池。

图 2：各类电池能量密度对比图



数据来源：第一电动，西南证券整理

图 3：锂离子电池应用领域



数据来源：锂电网，西南证券整理

基于以上优点，锂离子电池在各领域均有了广泛的应用，目前主要应用领域分为三类：消费类锂离子电池、动力型锂离子电池级储能型锂离子电池。消费类锂离子电池主要应用于手机、笔记本电脑、手环等便携设备中，动力类锂离子电池主要应用于汽车及电动工具，而储能类则在智能电网和分布式储能中有所应用。

2 正极材料：电池中的关键材料

正极材料是决定锂离子电池性能的关键材料之一，也是目前商业化锂离子电池中主要的锂离子来源，其性能和价格对锂离子电池的影响较大。目前研制成功并得到应用的正极材料主要有钴酸锂、磷酸铁锂、锰酸锂、三元材料镍钴锰酸锂（NCM）和镍钴铝酸锂（NCA）等。

表 2：几种商业化正极材料性能比较

| 正极材料名称 | 钴酸锂 | 镍钴锰酸锂 | 镍钴铝酸锂 | 锰酸锂 | 磷酸铁锂 |
|---------------------------|--------------------|--|--|----------------------------------|---------------------|
| 化学式 | LiCoO ₂ | LiNi _x Co _y Mn _{1-x-y} O ₂ | LiNi _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05} O ₂ | LiMn ₂ O ₄ | LiFePO ₄ |
| 理论容量/(mAh/g) | 274 | 275 | 275 | 148 | 170 |
| 实际容量/(mAh/g) | 140 | 160~220 | 180 | 120 | 150 |
| 电压平台/V | 3.7 | 3.5 | 3.5 | 4.0 | 3.3 |
| 循环能力 | 较好 | 一般 | 一般 | 较差 | 好 |
| 含金属资源储量 | 贫乏 | 较丰富 | 较丰富 | 丰富 | 丰富 |
| 振实密度/(g/cm ³) | 2.8 | 2.6 | 2.6 | 2.2 | 1.0 |
| 压实密度/(g/cm ³) | 4.2 | 3.6 | 3.6 | 3.0 | 2.2 |

数据来源：《锂离子电池基础科学问题——正极材料》，西南证券整理

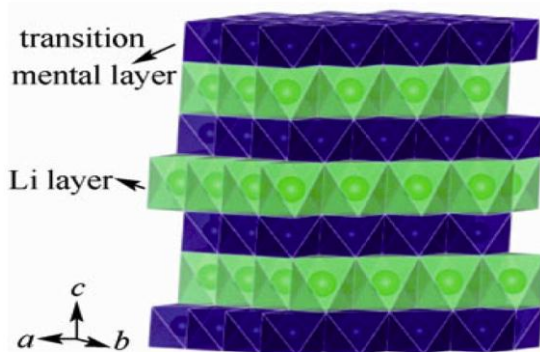
2.1 钴酸锂（LCO）：适合小型电池，实际容量不高

钴酸锂是第一代商业化正极材料，在几十年的发展过程中逐渐改性和提高，可以认为是最成熟的锂离子电池正极材料。钴酸锂具有放电平台高、比容量较高、循环性能好、合成工艺简单等优点。但该材料中含有毒性较大的钴元素，且价格较高，制作大型动力电池时安全性难以保证。

钴酸锂仍是小型锂电池的最佳选择。目前在 3C 电子电池中，大多数仍使用钴酸锂而非比容量更高的三元材料，原因是钴酸锂材料的压实密度大于三元材料，即单位体积内能容纳的钴酸锂量更多。在更为重视体积密度的小型电池中，钴酸锂占有着一席之地。

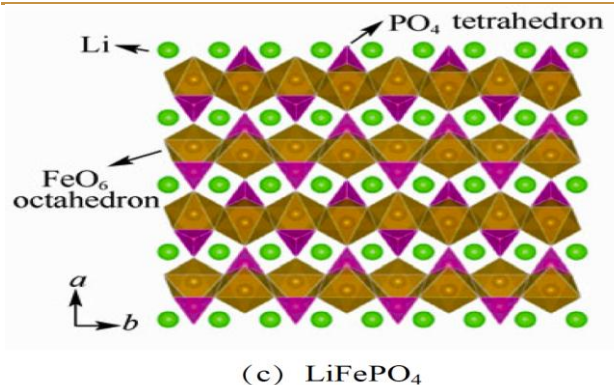
钴酸锂理论容量高，但实际容量却只有理论的一半。原因是在充电过程中锂离子要从钴酸锂材料中脱出，但脱出量小于 50% 时，材料的形态和晶型可以保持稳定。随着锂离子脱出量增大至 50% 时，钴酸锂材料将发生相变，如果此时继续充电，钴将溶解在电解液中并产生氧气，严重影响电池循环稳定性和安全性能，因此一般的钴酸锂充电截止电压为 4.2V。

图 4：六方层状钴酸锂结构示意图



数据来源：《储能科学与技术》，西南证券整理

图 5：橄榄石状磷酸铁锂结构示意图



数据来源：《储能科学与技术》，西南证券整理

2.2 磷酸铁锂 (LFP): 能量密度低, 安全性突出

磷酸铁锂是目前广受关注的正极材料之一, 理论比容量为 170mAh/g, 实际比容量可达 150mAh/g 以上, 其主要特点是不含有害元素, 成本低廉, 安全性非常好, 循环寿命可达 10000 次, 这些特点使得磷酸铁锂材料迅速成为研究热点, 磷酸铁锂电池也在电动汽车领域有了广泛的应用。

磷酸铁锂的缺点也较为明显, 即能量密度低。原因有两点, 一是磷酸铁锂材料的电压仅有 3.3V 左右, 低于其他正极材料, 这使得磷酸铁锂电池储存能量较低; 二是磷酸铁锂导电性较差, 需要纳米化并进行包覆才能获得良好的电化学性能, 这使得材料变得蓬松, 压实密度较低。两者综合作用, 使得磷酸铁锂电池的能量密度低于钴酸锂和三元电池。因此磷酸铁锂电池主要应用于电动大巴车及少量乘用车中。

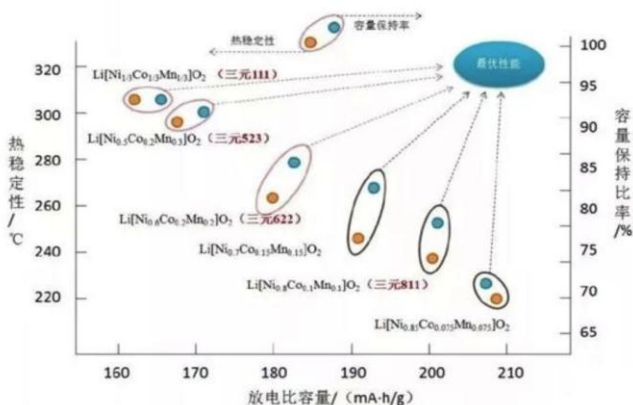
磷酸铁锂是否近期将被淘汰? 近期新能源汽车安全事故频发, 被认为将很快被三元材料取代的磷酸铁锂再次进入人们的视野, 人们希望通过对磷酸铁锂进行改性提高其容量。目前已有学者通过在磷酸铁锂中掺入 Mn 元素使其拥有更高的电压和更高的能量密度, 也有相关研究通过复合技术将磷酸铁锂与 NCM 三元材料进行混合, 在保持三元素电池较高能量密度的同时可以有效提升其安全性能。

2.3 三元材料 (NCM、NCA): 性能可调控, 道路如何抉择?

三元材料是与钴酸锂结构极为相似的锂镍钴锰氧化物 ($\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}\text{O}_2$) 的俗称, 这种材料在比能量、循环性、安全性和成本方面可以进行均衡和调控。

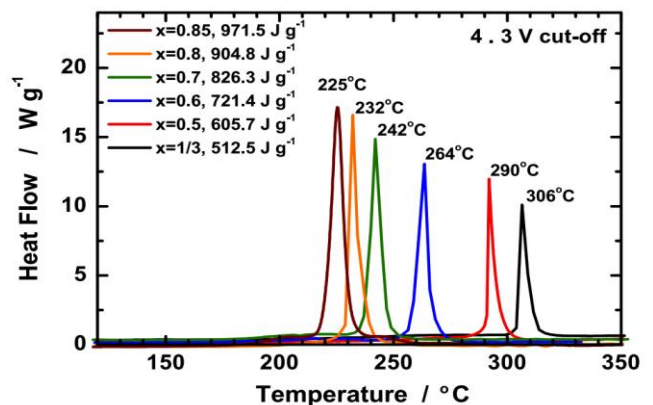
镍钴锰三种元素的不同配置将为材料带来不同的性能: 镍含量增加将增加材料的容量, 但会使循环性能变差; 钴的存在可使材料结构更加稳定, 但含量过高会使容量降低; 锰的存在可以降低成本并改善安全性能, 但含量过高则会破坏材料的层状结构, 因此找到三种材料的比例关系以达到综合性能最优化, 是三元材料研发的重点。常见配比有 NCM111、523、622、811 等。NCA ($\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$) 则是将其中的锰元素用铝元素来替代, 一定程度上改善材料的结构稳定性, 但其铝含量较少, 可近似看成是一种二元材料。

图 6: NCM 材料放电容量、热稳定性和容量保持率关系



数据来源: 《J Power Sources, 2013, 233: 121-130》, 西南证券整理

图 7: 高镍三元材料在更低温度下发生分解



数据来源: 《J Power Sources, 2013, 233: 121-130》, 西南证券整理

镍含量升高对材料性质产生了怎样的变化？

(1) 镍含量越高，材料比容量越高。NCM811 材料比容量可达 210mAh/g，比 NCM111 材料增加近 25%。

(2) 镍含量越高，材料储存和开发难度越大。高镍三元材料极易吸水变质，降低容量和循环寿命。而且一部分水还会保存在晶体中，使得电池在高温环境中产生气体，造成电池胀气，带来安全隐患。

(3) 镍含量越高，三元材料热稳定性越差。如 NCM111 材料在 300°C 左右发生分解，而 NCM811 在 220°C 左右即分解。

(4) 镍含量升高会带来电解液匹配问题。高镍材料表面由于吸水变质产生的 LiOH 等物质会与电解液反应，造成容量衰减和安全问题。

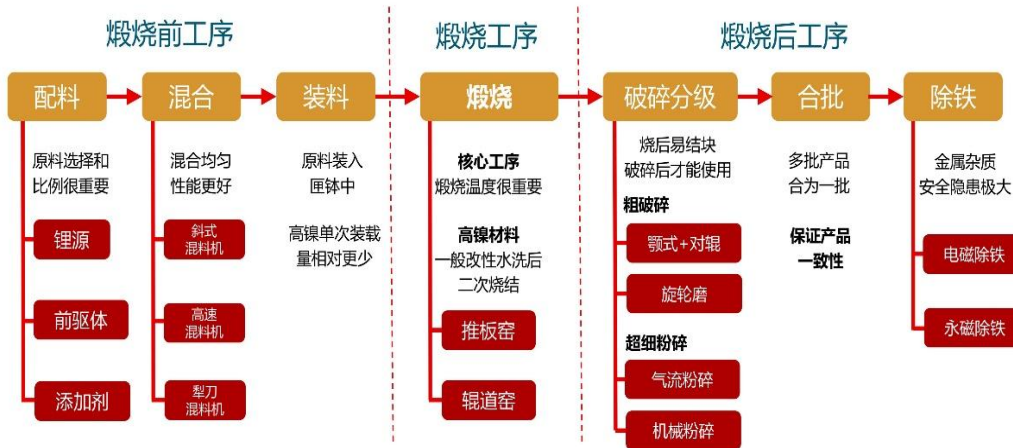
因此对高镍材料的改性技术是重要的发展方向。改性技术包括掺杂其他元素、表面包覆等，如用导电高分子或者无机材料在颗粒表面进行纳米包覆，可提高循环使用寿命，提高高温性能和安全性。

未来路线是 NCM811 还是 NCA？二者均为高镍三元材料，性能比较接近，但存在以下几点不同：(1) NCM811 中钴含量为 0.1，NCA 中钴含量为 0.15，这使得受钴高昂价格的影响，NCA 原料成本稍高；(2) 以铝代替锰，可以增强材料的稳定性，提高材料的循环性能，但是在制作过程中，由于铝为两性金属，不易沉淀，因此 NCA 材料制作工艺上存在比 NCM811 更高的壁垒；(3) 电池制造上，NCA 对湿度等条件要求更加苛刻，电池生产存在技术门槛。在目前看来，两种思路都是可行的，未来哪种材料的技术难关率先被克服而实现大规模量产，哪种材料便能率先占领市场。

3 三元材料生产流程及关键设备

锂离子电池正极材料的合成流程及关键设备存在共性，主要采用高温固相法，即将有关原料（前驱体和锂源）进行精确计量后混合，然后高温煅烧，再经过粉碎分级、包装等即得成品。三元材料核心生产流程是其中的煅烧工序，也是最为考验厂家技术的环节，按此方式三元材料主要生产流程也可分为煅烧前工序（备料环节）、煅烧工序、煅烧后工序（后续处理环节）三大部分组成。

图 8：三元材料生产关键流程及设备



数据来源：西南证券整理

表 3：当升科技江苏海门三期 18000 吨高镍产线主要设备详情

| 编号 | 名称 | 规模型号 | 数量（台套） |
|----|---------|------------------------------------|--------|
| 1 | 原料料仓 | 3000L, 喷涂 | 10 |
| 2 | 料仓（带搅拌） | 2000L 喷涂 | 36 |
| 3 | 中间料仓 | 2000L、3000L, 喷涂 | 94 |
| 4 | 超声振筛 | 1000mm 直径, 双层; 进口超声波发生器 | 81 |
| 5 | 气流输送 | 输送能力≥500kg/h; 负压输送、正压输送 | 66 |
| 6 | 螺旋喂料 | 3000kg/h | 120 |
| 7 | 自动称量系统 | / | 18 |
| 8 | 高混机 | 500L/1000L | 9 |
| 9 | 犁刀混料机 | 3000L | 16 |
| 10 | 装钵系统 | / | 27 |
| 11 | 窑炉 | 50m、气氛, 双层四列 | 27 |
| 12 | 罗茨风机 | 3000NM ³ /hr, 不锈钢, 含风机房 | 27 |
| 13 | 对辊 | 250kg/h, 双级, 陶瓷 | 27 |
| 14 | 机械磨 | 含气体保护, Nosokawa 或 Netzsch | 18 |
| 15 | 旋转除铁器 | 200 直径 | 54 |
| 16 | 除铁机 | 12000Gs, 250HHH 型 | 27 |
| 17 | 包覆釜 | 2000L | 18 |

| 编号 | 名称 | 规模型号 | 数量 (台套) |
|----|--------|-----------------|---------|
| 18 | 干燥机 | 1500L, 蒸汽 | 36 |
| 19 | 混和机 | 4m3, 带涂层 | 30 |
| 20 | 包装机 | 1000kg | 30 |
| 21 | 小型除湿机 | / | 14 |
| 22 | 除湿机 | / | 24 |
| 23 | 空压站 | 400m3/min | 3 |
| 24 | 冷却塔 | 600m3/min | 4 |
| 25 | 冷水机组 | 40m3/hr | 4 |
| 26 | 空分站 | 80m3/min | 3 |
| 27 | PE 储罐 | 2m3、10m3、20m3 | 18 |
| 28 | PP 储罐 | 10m3、12m3、20m3 | 40 |
| 29 | FRP 储罐 | 200m3 | 1 |
| 30 | 不锈钢罐 | 3m3、20m3 | 6 |
| 31 | 不锈钢料仓 | 2m3 | 6 |
| 32 | 除铁棒 | 不锈钢 | 14 |
| 33 | 打液泵 | / | 38 |
| 34 | 计量泵 | / | 36 |
| 35 | 纯水器 | 40t/h | 1 |
| 36 | 沉淀釜 | 不锈钢 10000L | 18 |
| 37 | 陈化釜 | 12000L, PP | 18 |
| 38 | 过滤器 | 叠片过滤器 | 10 |
| 39 | 压滤机 | PP 隔膜, 80-100m2 | 4 |
| 40 | 板式换热器 | 不锈钢, 约 20m2 | 10 |
| 41 | 干燥机 | 不锈钢, 400kg/h | 4 |
| 42 | 混料机 | 不锈钢, 3m3 | 4 |
| 43 | 振筛机 | φ 1000 | 4 |
| 44 | 除铁机 | 250kg/h | 3 |
| 45 | 包装机 | 500kg/批次 | 3 |

数据来源：当升科技，西南证券整理

3.1 煅烧前工序

煅烧前工序为将三元前驱体（镍钴锰氢氧化物）与锂源（氢氧化锂或碳酸锂）和添加剂进行混合，并进行进入窑炉前的装钵的过程。

3.1.1 锂源如何选择

锂源的选择上，NCM622 及以下型号可使用碳酸锂或氢氧化锂，NCM811 及 NCA 必须使用氢氧化锂。原因在于：

(1) 高镍三元材料通常需要在较低温度下煅烧，使用碳酸锂得到的产物分解温度高于使用氢氧化锂得到的产物，低温煅烧会使其分解不完全，使材料表明碱性变强，增加对湿度敏感性，影响产品性能。

(2) 高镍三元材料通常需要在纯氧气气氛下煅烧，使用碳酸锂得到的产物分解时会产生二氧化碳，降低氧气浓度，影响产品性能。

表 4：氢氧化锂和碳酸锂作为锂源使用对比表

| 名称 | 分子式 | 含锂量 | 生产三元材料适用性 | 2018 年 9 月均价 | 生产 1Wh 622 材料对应成本 | 设备维护成本 |
|--------|---------------------------------|--------|------------------|--------------|-------------------|--------|
| 单水氢氧化锂 | LiOH·H ₂ O | 16.67% | 811 及 NCA | 13.0 万元/吨 | 0.083 元 | 高 |
| 碳酸锂 | Li ₂ CO ₃ | 18.92% | 622 及以下 | 8.3 万元/吨 | 0.060 元 | 低 |

数据来源：西南证券整理

碳酸锂可用来生产 622 及以下型号三元材料，成本远低于使用氢氧化锂。622 及以下产品使用氢氧化锂和碳酸锂均可，厂商基本都选择碳酸锂，原因是碳酸锂成本更低。以生产单位容量 622 材料计算，价格采用 2018 年 9 月均价，使用氢氧化锂成本为 0.083 元/Wh，使用碳酸锂成本为 0.060 元/Wh，氢氧化锂价格高出近 40%。

使用氢氧化锂，设备的维护成本也更高。氢氧化锂碱性比碳酸锂更强，高温下对设备腐蚀更明显，设备维护成本也更高。

3.1.2 混合设备

在三元材料生产中，配混料是将化学计量比的锂盐、前驱体、添加剂加入混合设备进行均匀混合，其均匀性会影响烧结过程中锂、添加剂的均匀性，直接影响三元材料的结晶程度和残碱量，最终体现在电性能上。混合一般分湿法混合和干法混合，湿法混合可能会破坏前驱体的球形形貌，且干法混合具有简单易行、能耗低的特点，因此三元材料通常采用干法混合。目前常用的三元材料混料设备有斜式混料机、高速混料机、犁刀混料机等。

表 5：两种三元材料混料设备指标对比表

| 指标 | 斜式混料机 | 高速混料机 | 犁刀混料机 |
|-----------|------------------|--------------|--------------|
| 特点 | 斜放可混合均匀无死角，原理为球磨 | 时间短，产能高 | 犁刀随主轴旋转 |
| 是否需要研磨介质 | 需要添加聚氨酯球 | 不需要 | 不需要 |
| 操作难度 | 复杂 | 简单 | 一般 |
| 是否会破坏产物形貌 | 是 | 否 | 否 |
| 工作时长 | 4~5h | 10~20min | |
| 物料残留 | 较少 | 很少 | 较多 |
| 混合均匀性 | 较差 | 较好 | 最好 |
| 占地面积 | 较大 | 较小 | 较小 |
| 成本 | 一次性投入小，后期投入大 | 一次性投入大，后期投入小 | 一次性投入大，后期投入小 |

数据来源：《三元材料及其前驱体产业化关键设备的应用》，西南证券整理

斜式混料机原理为加入研磨介质进行球磨，高速混料机和犁刀混料机原理为采用叶片进行搅拌。高速混料机相比于斜式混料机优势明显：

(1) 斜式混料机原理为球磨，会对前驱体球形形貌产生破坏，高速混料机不会对形貌有破坏性影响；

(2) 高速混合机混料速度快，混合相同的原料，相同耗电量下高速混料机 10~20 分钟即可完成混料工作，而斜式混料机则需要 4~5 小时，高速混料机效率优势明显；

(3) 高速混合机体积更小，占地空间小于斜式混料机的三分之一。

犁刀混料机相比于高速混料机，优势在于对粒度和比重差异较大的物料混合有较好的适应性。因此斜式混料机仅在部分老产线中有所使用，新建设产线尤其是高镍产线，均使用高速混料机及犁刀混料机。

图 9：斜式混料机实物图



数据来源：启明星新材料网，西南证券整理

图 10：高速混料机实物图



数据来源：启明星新材料网，西南证券整理

表 6：两种三元材料混料设备的主要优势和劣势对比表

| 设备类型 | 主要优势 | 主要劣势 |
|-------|---|---|
| 斜式混料机 | 设备一次性投资低，设备混料均匀性较好 | (1) 混料时间长，效率低，能耗大 (2) 粉尘大，噪声高，工作环境差 (3) 操作复杂，混料过程需要人工开盖检查，出料需要分离料球，工人劳动强度大 (4) 设备内部容易磨损，造成金属杂质含量升高 |
| 高速混料机 | (1) 混料时间短，几十分钟内即可完成物料的均匀混合，能耗低 (2) 单位时间产能大，单台设备是斜式混料机的 10 倍以上 (3) 操作简单，易于清扫 (4) 无粉尘和噪声，工作环境好 | (1) 由于桨叶高速运转，对前驱体颗粒的碰撞力较大，松散型的前驱体容易被破碎，不适合使用 (2) 设备一次性投资大 (3) 操作过程严禁金属物品落入混合锅内，否则会造成设备损坏 |
| 犁刀混料机 | (1) 混料时间短 (2) 对粒度和比重差异较大的物料混合有较好的适应性 (3) 单批次混料量较大 | (1) 混料机内转动部件较多，有一定摩擦，犁刀易磨损 (2) 内壁易粘料，清洗不方便 |

数据来源：《三元材料及其前驱体产业化关键设备的应用》，西南证券整理

3.1.3 装卸料过程

生产原料在经过混合后即将装入窑炉进行烧结，需要将原材料盛放于耐火材料制成的匣钵中，才能送入窑炉内。匣钵的主要成分是氧化硅、氧化铝等耐火材料，形状有圆形和方形，目前生产线上主要用方形的匣钵，较少使用圆形，原因是方形的匣钵在窑炉中可以紧密排列，对充分利用窑内空间、保证窑内温度均匀有很大帮助。匣钵标准尺寸为 320mm×320mm 或 330mm×330mm，高度为 75~150mm 不等。

图 11：方形匣钵实物图



数据来源：中国供应网，西南证券整理

图 12：圆形匣钵实物图



数据来源：慧聪网，西南证券整理

正极烧结用匣钵的四周一般会留有缺口，主要原因是煅烧工序中，匣钵一般多个叠放后放入窑炉，缺口可保证上下层温度快速传导，均匀受热；缺口也可以方便出窑后人工或机械手搬运。每个匣钵装载原材料量依厂家技术路线而异，一般情况下为了与氧气充分接触，高镍三元材料单体装载量相比于其他材料会有所减少。

表 7：长沙中瓷生产正极匣钵技术指标

| 技术指标 | 参数 |
|--------------------------------|--------------------------|
| 使用寿命 | 大于 20 次 |
| 抗碱性 | 大于 97.5 |
| 气孔率 | 28% |
| Al ₂ O ₃ | 50.6% |
| SiO ₂ | 43.3% |
| MgO | 4.2% |
| Fe ₂ O ₃ | 0.6% |
| 常温强度 | 7.2MPa |
| 热膨胀率 | 3.5×10 ⁻⁶ /°C |

数据来源：长沙中瓷，西南证券整理

3.2 煅烧工序

3.2.1 煅烧工序设备

目前三元材料生产通常采用高温固相烧结工艺，煅烧是核心工序。其核心设备是烧结窑炉，目前广泛采用的设备为推板窑和辊道窑，其中以辊道窑使用最为广泛，性能也优于推板窑。二者的主要区别在于，推板窑的物料推进方式是通过液压直接推进，而辊道窑的物料推进方式是利用滚筒滚动，摩擦力更小，因此辊道窑炉长可做到 100 米以上，单炉产能更大。

表 8：推板窑与辊道窑对比

| | 推板窑 | 辊道窑 |
|------------|-----------|----------------------|
| 推进动力 | 液压推进，滑动摩擦 | 滚轮旋转，滚动摩擦 |
| 窑腔大小 | 较小 | 较大，界面宽 |
| 温度、压力等调控性能 | 较差 | 较好 |
| 长度 | 小于 40 米 | 可超过 100 米，常用 40-60 米 |

数据来源：《新型辊道窑节能减排技术应用探讨》，西南证券整理

图 13：推板窑推进物料靠在平板上直接推动



数据来源：东莞市望牛墩冠磁机械加工工厂，西南证券整理

图 14：辊道窑传输物料靠滚筒滚动



数据来源：中国制造网，西南证券整理

3.2.2 烧结工艺参数

煅烧过程中的主要指标为煅烧温度和煅烧气氛。

煅烧温度是最核心指标，不同三元材料煅烧温度不同，镍含量越高，适宜的煅烧温度越低。这是因为三价镍元素在高温下不稳定。NCM111 材料煅烧温度一般控制在 900~1000℃，811 材料适宜煅烧温度为 750~800℃。对于高镍三元材料，由于煅烧温度低，需使用熔点更低的氢氧化锂作为锂源以替代碳酸锂。

煅烧需要在空气气氛中，高镍材料需要纯氧气气氛。三元材料煅烧过程是前驱体中的镍元素被氧气氧化的过程，普通三元材料因为含镍量较低，空气中氧气的浓度即可满足需求。而对于镍含量较高的高镍材料，则需要纯氧气，才可以保证镍元素被充分氧化。

煅烧过程中需要对内部气氛进行控制。锂源氢氧化锂和碳酸锂在高温煅烧时会放出大量的水蒸气和二氧化碳，严重影响炉内氧气的浓度，造成反应不完全。早期三元材料需要二次

烧结才能生产出合格的产品。后来为了降低成本，改为采用一次烧结工艺，但需要对内部气氛进行控制，加大排气强度，才能保证氧气浓度满足要求。

纯氧气氛煅烧也为设备提出了较高的要求。高镍材料所需纯氧气氛条件苛刻，需要保证窑炉密封性良好，并提供一定的氧气正压。同时锂源氢氧化锂对设备腐蚀性更强，这对设备的精度带来了很大的挑战。

3.3 煅烧后工序

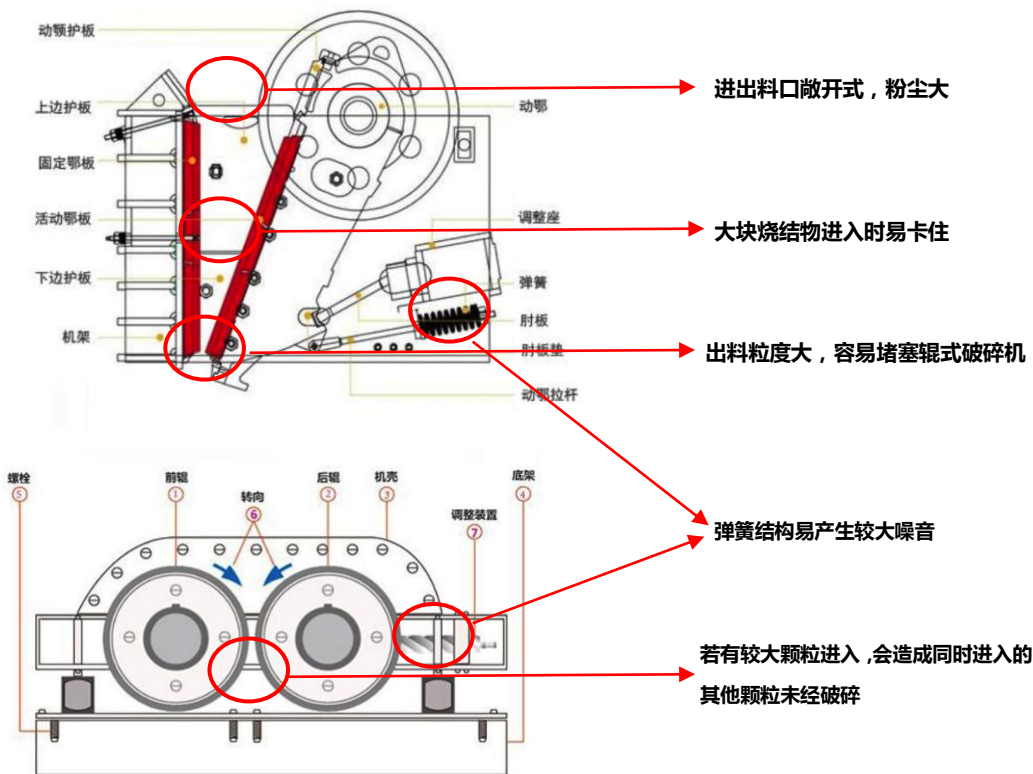
煅烧后的处理工序主要包括破碎、分级以及除铁、筛分、包装等。

3.3.1 粉碎与分级

经过煅烧工序后的半成品一般需要经过粉碎分级才能达到产品标准。正极材料烧结后一般会有比较严重的结块，需要进行不同级别的粉碎，主要分粗破碎和超细破碎两步。分级则是指将破碎后材料的颗粒大小控制在所需范围内，以获得更好的产品性能。

粗破碎传统工艺采用颚式破碎和辊式破碎组合，但存在较大缺陷。传统粗破碎流程为将烧结物倒进颚式破碎机进行粗破，粗破后的物料进入对辊破碎机细破。但实际生产应用中，颚式破碎和辊式破碎组合的破碎方式普遍存在较大缺点：大块烧结物进入颚式破碎机时常常被卡住；经常有未被破碎的颗粒漏出；容易有金属离子污染；工序多，物料浪费大等。

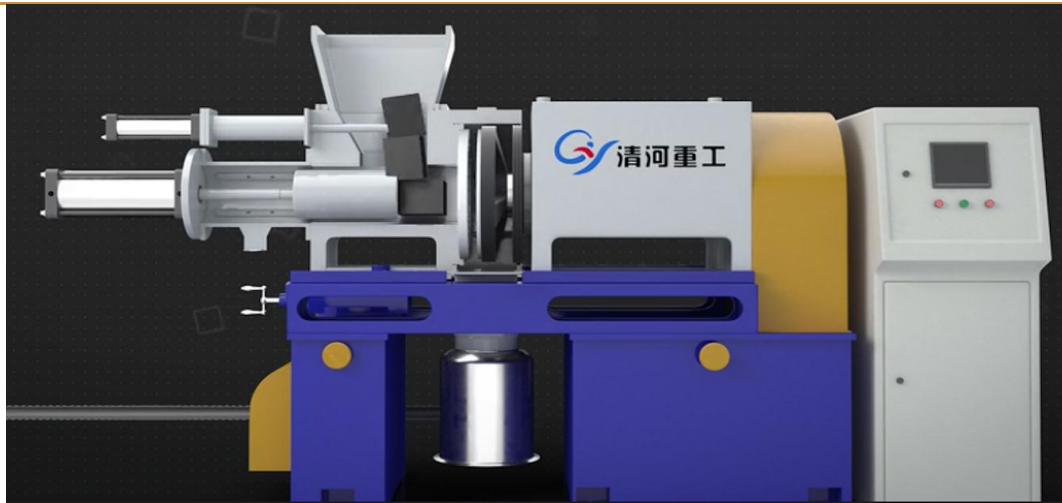
图 15：颚式破碎机及辊式破碎机结构及存在问题



数据来源：首擎网，国家发明专利《用于粉碎粉体烧结物的旋轮磨机》，西南证券整理

目前采用的旋轮磨可以替代颚式破碎和辊式破碎，新建三元材料产线大多使用旋轮磨。其工作原理是块状物料进入物料仓，先经过强力挤压破碎进入输送系统，物料输送到陶瓷粉碎研磨筐，经氧化铝磨盘粉碎至所需粒度，破碎颗粒粒度可以在 1mm 以下，可直接进行超细粉碎。旋轮磨具有以下优势：出料粒度可在 20~80 目间调节；生产效率高，单机产能可达 400~600 千克/小时，相当于破碎/对辊体系效率的 2 倍；无金属异物污染；无粉尘与噪音。

图 16：旋轮磨典型结构及剖面图



数据来源：清河重工，西南证券整理

表 9：传统粗破碎与旋轮磨粗破碎对比

| | 颚式破碎和辊式破碎 | 旋轮磨 |
|----------|-----------------|---------------|
| 能否承受较大进料 | 颚式破碎机易被卡住 | 不易卡住 |
| 是否容易堵料 | 容易堵料 | 不容易堵料 |
| 金属离子污染 | 容易有 | 全非金属及陶瓷结构，无污染 |
| 粉尘/噪声 | 较大 | 密封结构，基本无粉尘和噪声 |
| 自动化程度 | 两台设备前后工作，自动化程度低 | 自动化程度高 |
| 效率 | 低 | 高，为传统设备两倍 |
| 破碎粒度可否调节 | 不可调节 | 可按需调节，20~80 目 |
| 占地面积 | 大 | 小，可节约 60%空间 |

数据来源：清河重工，西南证券整理

超细粉碎一般采用气流粉碎机和机械粉碎机。气流粉碎机产能大，但能耗高，有时会产生过破碎，是产品收率降低，增大了产品成本；机械粉碎机能耗低，产品过粉碎程度小，收率高，但产能较小。目前的工业生产中两种方式都有所使用，一般认为钴含量越高的材料硬度越大，当材料硬度过高时采用机械粉碎机会对粉碎盘造成较大程度磨碎，因此硬度较大材料采用气流粉碎机较多。同时，机械破碎机可直接得到较好的粒径分布，而气流粉碎机需要再另行加装分级机。

表 10：气流粉碎机与机械粉碎机对比

| | 气流粉碎机 | 机械粉碎机 |
|----|-------|-------|
| 产能 | 大 | 小 |
| 能耗 | 高 | 低 |

| | 气流粉碎机 | 机械粉碎机 |
|--------|----------|--------------|
| 是否会过破碎 | 会 | 不会 |
| 适用性 | 硬度较大材料 | 硬度不大的材料 |
| 粒度分布 | 需要加装分级机 | 直接得到较好的粒径分布 |
| 产率 | 产率低，成本较高 | 产率高，可达 95%以上 |

数据来源：西南证券整理

3.3.2 合批

三元材料经过混合、烧结、破碎等工序后，产品已成型。但仍需将不同批次原料、不同设备、不同时间生产的小批次产品混合成一个大批次，**保证这一大批次产品质量是一致均匀的，这对下游客户对产品的使用非常有益。**

目前合批工序主要使用的设备为**双螺旋锥形混合机和卧式螺带混合机**。根据生产规模和客户需求，合批的单一批次数量一般在 5~10t。由于三元材料尤其是高镍三元材料更容易吸收受潮，目前许多厂家在三元材料的合批设备中加入加热装置，一般温度为 150~250℃，在混合合批过程中将水分蒸发，实现三元材料的干燥。

3.3.3 除铁

正极材料对铁等细小金属颗粒含量要求十分严格。若有细小金属颗粒混入很容易造成电池微短路，给电池安全性能造成很大隐患。三星 SDI 等国际一线品牌对三元材料中单质铁等金属异物含量要求在 2×10^{-8} 以下。

单质铁的引入主要原因是有原材料带入、制造过程中金属设备带入、生产环境中机械磨损、门窗开关磨损造成空气中微量铁带入等。因此三元材料厂商在采购原材料时要求预先除铁，所有与物料接触的机器设备采用非金属陶瓷部件或涂覆非金属涂层。早期除铁采用永磁棒制造的除铁器除铁，效果不佳。现已改用高磁场强度的电磁除铁器，除铁效果好。

表 11：两种除铁设备优劣势对比

| | 主要优势 | 主要劣势 |
|-------|---|---|
| 电磁除铁器 | (1) 磁场强度高，除铁效果好，可适用于含铁量高的物料； (2) 可实现全自动运行，无需人工操作 | (1) 能耗高，运行成本高； (2) 设备投资成本大； (3) 维修难度大，周期长 |
| 永磁除铁器 | (1) 能耗低，运行成本低； (2) 使用简单，安装方便，体积小； (3) 价格便宜 | 磁场强度偏弱，除铁效果一般，不适用于三元材料成品除铁 |

数据来源：西南证券整理

3.4 工序总结

3.4.1 三元材料制备工序总结

三元材料制备核心工序精炼总结如下，高镍材料因其特殊性，在整个生产流程中都应保证对空气和湿度的控制。表中也对部分步骤高镍材料需要特殊注意的细节进行了汇总。从产

线的适用性来看，NCM622/811、NCA 产线需要特殊定制，且可向下兼容 NCM111/523、钴酸锂的生产，而低镍产线不可以向上生产高镍产品。

表 12：三元材料制备核心工序和所用设备精炼总结

| 工序 | 步骤 | 步骤作用 | 所用设备及耗材 | 高镍特殊说明 |
|-----------|----------|---------------------|------------------------------------|-------------|
| 煅烧前 工序 | 混料 | 将前驱体、锂源和添加剂混合均匀 | 斜式混料机、高速混料机、 犁刀混料机 （效果最好） | 高镍需用氢氧化锂做锂源 |
| | 装料 | 将原料放入匣钵中，为进入窑炉做准备 | 匣钵、自动装卸料机器 | 高镍装料更少 |
| 煅烧工序 | 煅烧 | 制得三元材料核心反应 | 推板窑， 辊道窑 （应用更广泛） | 高镍煅烧温度更低 |
| 煅烧后 工序 | 破碎分级 | 煅烧后三元材料易结块，需要破碎成小颗粒 | 粗破碎：颚式破碎和辊式破碎组合、 旋轮磨 （效果更佳） | |
| | | | 超细破碎：气流粉碎机、机械粉碎机（各有优劣） | |
| | 合批 | 小批次产品混合成一个大批次 | 双螺旋锥形混合机（应用更广泛）、卧式螺旋混合机 | |
| 除铁 | 去除铁等金属杂质 | 电磁除铁（效果更佳）、永磁除铁 | | |

数据来源：西南证券整理

3.4.2 高镍三元材料制备中的特殊要求

高镍三元材料产业化道路上一个非常重要的问题就是材料表面 pH（碱性）过高，导致容量和循环性能迅速衰减，同时在后期电池制造匀浆和涂布过程中容易吸水造成浆料果冻状，使加工性能变差，并影响电极材料的性能发挥，也会在电池充放电过程中引发胀气，造成安全隐患。因此如何降低高镍三元材料表面的碱性是各厂商需要着重解决的问题，也是高镍与普通三元材料技术工艺不同的根本所在。

三元材料接触空气表面都会有碱性物质析出，只是量多少的区别。三元材料表面的活性阴离子空气中的 CO_2 和水分反应而生成碳酸根，同时锂离子从本体迁移到表面并在材料表面形成碱性的 Li_2CO_3 。三元材料只要是暴露在空气中就会生成碳酸盐，只是量多少的问题。

高镍三元煅烧温度低，表面锂盐更多残留。高镍三元材料一般煅烧温度更低，而三元材料的煅烧工艺中要求锂盐过量，也使得煅烧后会存在锂的氧化物残留在材料表面，使材料表面的碱性较高。

目前，降低高镍三元材料表面碱性过大的手段主要从四方面入手：

(1) 一般从源头来控制前驱体的 pH 和生产环境，控制整个生产线的温度、气氛和环境湿度，严格控制材料与空气的接触。

(2) 混锂烧结阶段降低锂盐比例，调整烧结制度，让锂能快速扩散到晶体内部。

(3) 对材料水洗，然后进行二次烧结降低表面残碱含量，但相应的会损失一部分电性能，这是目前商业中常用得一种方法。

(4) 表面包覆改性也是降低三元材料表面残碱含量的有效方法，高镍三元材料一般都需要表面包覆改性。

4 三元材料成本拆分

4.1 三元材料成本构成

三元材料成本由投入原材料成本（各金属盐、碱、锂源、水、氧气等）+加工费（设备折旧，能源消耗，职工薪酬等）的模式构成。

表 13：三元材料产线主要原辅材料

| 物料名称 | 化学式 | 一般规格 | 物态 |
|--------|---|--------------------------|----|
| 硫酸钴 | CoSO ₄ · 7H ₂ O | 工业级，分子量 281.15，含钴 20.96% | 固体 |
| 硫酸镍 | NiSO ₄ · 6H ₂ O | 工业级，分子量 240.8，含镍 24.38% | 固体 |
| 硫酸锰 | MnSO ₄ · H ₂ O | 工业级，分子量 169.02，含锰 32.54% | 固体 |
| 液碱 | NaOH | 35% | 液体 |
| 液氨、氨水 | NH ₃ 、NH ₃ · H ₂ O | 99.9%、25% | 液体 |
| 碳酸锂 | Li ₂ CO ₃ | 工业级，含锂 18.9% | 固体 |
| 单水氢氧化锂 | LiOH · H ₂ O | 工业级，含锂 16.7% | 固体 |
| 液氧 | O ₂ | 纯氧气 | 液体 |

数据来源：西南证券整理

4.2 三元材料成本测算（以优美科长信为例）

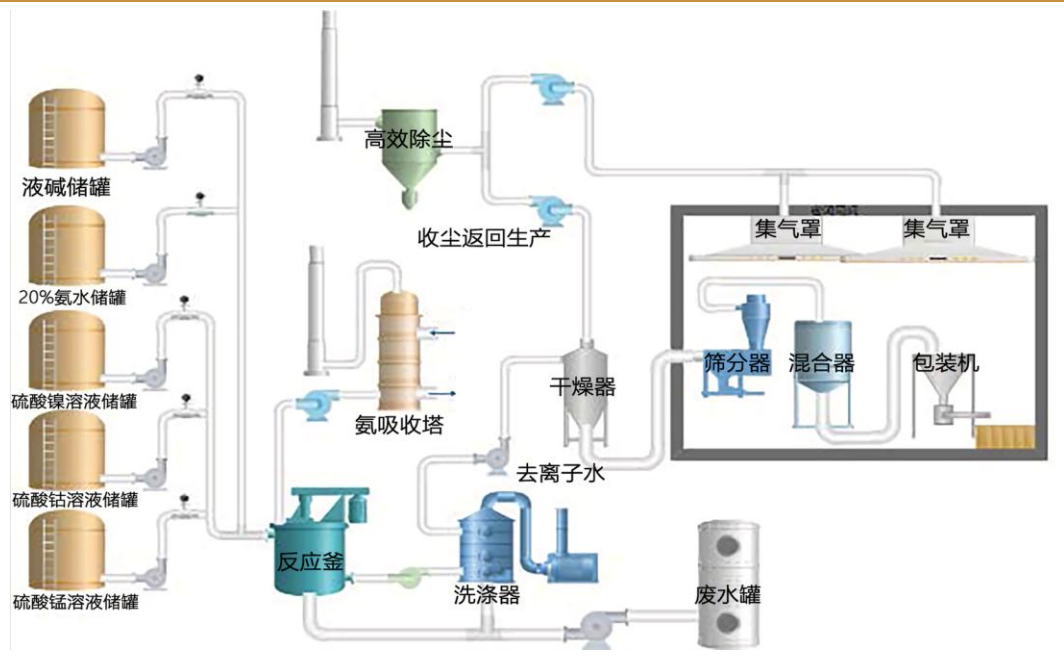
江门市优美科长信新材料有限公司是 2006 年由比利时优美科集团（占股 90%）和江门市长信科技有限公司（占股 10%）合资成立的，隶属于优美科集团的可充电电池材料事业部。公司主要生产高性能锂离子电池正极材料及其前驱体，主要应用于绿色新能源电动汽车中的锂离子电池，致力于提升锂离子电池的能量密度和安全性能，并降低电动汽车的成本。

公司决定在江门高新区投资新建正极材料和前驱体生产能力，以完成国际国内客户提出的配套供应要求，满足新能源汽车对高端锂离子电池材料的需求。投资协议于 2017 年 2 月 28 日签订，新项目土地总面积达 500 亩。投资项目分两期历时 6 年，建设周期由 2017 年底开始至 2023 年底结束。第一期项目土地面积约 200 亩，预计于 2019 年上半年开始生产。

本章节以优美科长信计划年产 20 万吨 NCM622 产线为例进行相关成本及技术细节测算。

4.2.1 优美科长信正极材料生产工艺

图 17：优美科长信前驱体生产流程及设备图



数据来源：优美科长信，西南证券整理

前驱体生产具体工艺

(1) **调配**：原材料需先配成溶液。原材料（外购硫酸镍、硫酸钴和硫酸锰晶体）投入溶解釜，按比例加入去离子水，通入蒸汽加热至所需的温度，搅拌一定时间，制成溶液，过滤去除杂质后通过泵和管道输送至相应的硫酸盐贮罐中。

(2) **反应**：用氨水和液碱控制 pH 值。将硫酸盐溶液和氨水及氢氧化钠溶液通过泵和管道分别加入反应釜中，通过定量泵和流量计分别控制此三种溶液的流量。通过调整氢氧化钠溶液的流量控制反应体系的 pH 值，通过蒸气加热的方式控制反应釜的温度，连续地生产出前驱体中间品。

(3) **洗涤**：需洗涤三次。前驱体中间品通过泵和管道输送至洗涤器，采用逆序洗涤方式洗涤三次，第三次洗涤用水为去离子水，第三次洗涤废水进入第二次洗涤工序作为第二次洗涤用水，第二次洗涤废水进入第一次洗涤工序作为第一次洗涤用水，如此持续逆序洗涤。

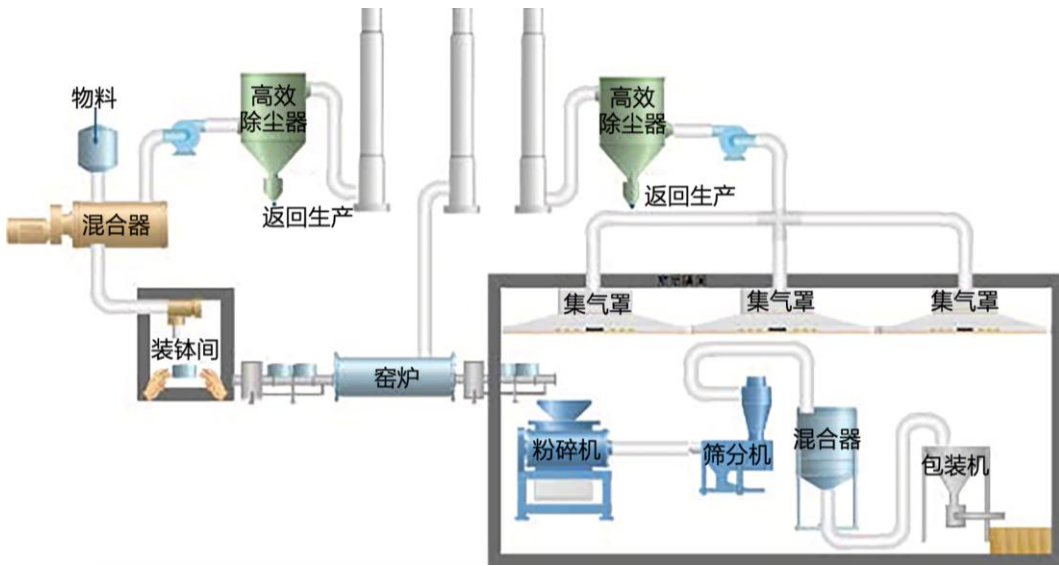
(4) **烘干**：控制温度时间，粉尘可回收利用。将已压干的前驱体中间品进入干燥设备进行干燥，通过控制烘干温度和时间使前驱体的水份含量达到相应的产品标准。

(5) **振筛混合**：粉尘可回收利用。已烘干的前驱体产品冷却后进入全封闭式振筛机进行过筛、混合。在此过程中会产生粉尘，其成分与前驱体产品一致，所产生的粉尘通过密闭管道收集至烧结板除尘器中处理，沉降后的除尘渣再返回生产线。

(6) **成品包装、入库**：将已混合的前驱体产品进行检测、称重、包装即制成前驱体产品，一部分成品运至正极材料生产车间作为合成正极材料的原料，其余部分直接作为产品外售。

三元材料生产具体工艺

图 18：优美科长信三元材料生产流程及设备图



数据来源：优美科长信，西南证券整理

(1) **混合**：前驱体与碳酸锂按配比进行混料。袋装密封的前驱体和袋装密封的碳酸锂用厂房跨车升入入料箱，人工解开袋口，物料通过密闭卸料管卸入高效混料机内。前驱体和碳酸锂经调整配比后在高效混料机中进行密闭混合。

(2) **烧结**：混和好的物料通过密闭下料管输送进入全封闭手套箱内进行密闭人工装钵。工人在手套箱外通过手套进行密闭装钵作业、钵体加盖。装钵完成后钵体盛载物料通过辊道输送出手套箱，顺着辊道进入窑炉中进行烧结。物料在辊道炉中经过升温、恒温、再升温、恒温、自然冷却等几个过程完成烧结，从窑炉另一端出炉。

(3) **粉碎**：经高温烧结后，采用皮带输送将结成块状的半成品送至粉碎机，实现连续进料，产品粒度稳定的目的。

(4) **振筛混合**：将粉碎工序后的正极材料半成品加入振筛机进行过筛、混合。

(5) **成品包装、入库**：检测、称重、包装后制成正极材料产品。

4.2.2 三元材料成本测算

制备前驱体时金属盐投放需过量，比例在 1%~1.33%。我们根据分子式对优美科长信生产 1 万吨 622 正极材料所需物料进行了测算，并与公司实际投料量进行了对比，发现前驱体制备过程中，硫酸镍、硫酸钴和硫酸锰三种材料均有 1%~1.33%的过量，而正极材料烧结过程需要的前驱体和碳酸锂则基本没有过量投放的情况。原因在于生成前驱体反应为液相反应，溶液中离子难免要在溶液中有所溶解，随着废液排出造成损耗。

表 14：优美科长信生产 1 万吨 NCM622 正极材料所需主要物料

| | 三元正极制备流程 | | | 前驱体制备流程关键原料 | | | | 前驱体制备流程辅助原料 | | |
|----------|----------|------|-----|-------------|-------|-------|----------|-------------|-------|--------------|
| | 碳酸锂 | 前驱体 | 氧气 | 硫酸镍 | 硫酸钴 | 硫酸锰 | 配溶液用去离子水 | 液氨 | 35%液碱 | 生产和配置氨水用去离子水 |
| 理论量 (吨) | 3811 | 9490 | | 14741 | 5725 | 3449 | | | | |
| 实际投放 (吨) | 3811 | 9490 | 825 | 14902 | 5801 | 3484 | 43939 | 2.79 | 23582 | 69849 |
| 过量率 | 0 | 0 | | 1.09% | 1.33% | 1.00% | | | | |

数据来源：优美科长信，西南证券整理

去离子水消耗量较大，在前驱体制备多个环节均有应用。去离子水的第一个用处是作为溶剂来溶解硫酸盐，制备相应浓度的硫酸盐溶液（该产线所用浓度为 10%），并与液氨混合制备相应浓度的氨水（该产线中所用浓度为 20%）。去离子水另一个作用是洗涤，前驱体中间品在进入烘干程序之前要进行三次洗涤，每吨前驱体中间产物每次洗涤用水约为 7m³。

基于如下关键假设，我们对该产线单吨 622 产品原材料成本和加工成本测算：

(1) 原材料理论用量根据三元材料化学式计算得出；

(2) 原材料价格使用 2018 年 9 月均价；

(3) 设备平均折旧年限为 5 年，电价为江门市工业用电平峰电价 0.725 元/kWh，产线职工薪酬 6 万元/年。

(4) 各制造费用均不含利润。

表 15：优美科长信单吨 NCM622 正极材料成本测算

| 原材料 | 单吨所需原材料量 (吨) | 单吨正极材料对应价格 (万元) | 成本占比 |
|---------------|--------------|-----------------|----------------|
| 碳酸锂 | 0.38 | 3.16 | 21.72% |
| 硫酸镍 | 1.49 | 4.02 | 27.63% |
| 硫酸钴 | 0.58 | 5.31 | 36.44% |
| 硫酸锰 | 0.35 | 0.17 | 1.20% |
| 液氨 | 0.00028 | 0.00010 | 0.00068% |
| 35%液碱 | 2.36 | 0.23 | 1.59% |
| 去离子水 | 11.38 | 0.57 | 3.91% |
| 氧气 | 0.083 | 0.0099 | 0.07% |
| 原材料总计 | | 13.48 | 92.55% |
| 制造费用 | 单吨消耗量 | 单吨正极材料对应价格 (万元) | 成本占比 |
| 设备折旧费 | / | 0.26 | 1.79% |
| 能源消耗 | 10750 kWh/吨 | 0.78 | 5.35% |
| 人工成本 | 0.0075 人 | 0.045 | 0.31% |
| 制造费用总计 | | 1.09 | 7.45% |
| 成本合计 | | 14.56 | 100.00% |

数据来源：西南证券

根据优美科长信产线相关数据测算，我们得出该产线制备 1 吨 NCM622 材料所需成本为 14.56 万元。类似地，我们可以对其他 NCM 三元材料进行测算，与上述测算不同的假设如下：

- (1) 单吨 111 及 523 耗电量为 622 产线的一半，单吨 811 耗电量与 622 相同；
- (2) 单吨 811 消耗氧气为 622 的 2 倍，折旧费用和能源为 622 的 1.2 倍；

表 16：单吨 NCM111 正极材料成本估算

| 原材料 | 单吨所需原材料量 (吨) | 单吨正极材料对应价格 (万元) | 成本占比 |
|---------------|--------------|-----------------|----------------|
| 碳酸锂 | 0.38 | 3.16 | 19.01% |
| 硫酸镍 | 0.84 | 2.26 | 13.58% |
| 硫酸钴 | 1.03 | 9.42 | 56.65% |
| 硫酸锰 | 0.59 | 0.29 | 1.76% |
| 液氨 | 0.00028 | 0.00010 | 0.00060% |
| 35%液碱 | 2.36 | 0.23 | 1.39% |
| 去离子水 | 11.38 | 0.57 | 3.42% |
| 原材料总计 | | 15.94 | 95.82% |
| 制造费用 | 单吨消耗量 | 单吨正极材料对应价格 (万元) | 成本占比 |
| 设备折旧费 | / | 0.26 | 1.57% |
| 能源消耗 | 5375 kWh/吨 | 0.39 | 2.34% |
| 人工成本 | 0.0075 人 | 0.045 | 0.27% |
| 制造费用总计 | | 0.70 | 4.18% |
| 成本合计 | | 16.63 | 100.00% |

数据来源：西南证券

表 17：单吨 NCM523 正极材料成本估算

| 原材料 | 单吨所需原材料量 (吨) | 单吨正极材料对应价格 (万元) | 成本占比 |
|---------------|--------------|-----------------|----------------|
| 碳酸锂 | 0.38 | 3.16 | 23.07% |
| 硫酸镍 | 1.25 | 3.39 | 24.72% |
| 硫酸钴 | 0.59 | 5.40 | 39.37% |
| 硫酸锰 | 0.53 | 0.26 | 1.93% |
| 液氨 | 0.00028 | 0.00010 | 0.00072% |
| 35%液碱 | 2.36 | 0.23 | 1.69% |
| 去离子水 | 11.38 | 0.57 | 4.15% |
| 原材料总计 | | 13.01 | 94.92% |
| 制造费用 | 单吨消耗量 | 单吨正极材料对应价格 (万元) | 成本占比 |
| 设备折旧费 | / | 0.26 | 1.91% |
| 能源消耗 | 5375 kWh/吨 | 0.39 | 2.84% |
| 人工成本 | 0.0075 人 | 0.045 | 0.33% |
| 制造费用总计 | | 0.70 | 5.08% |
| 成本合计 | | 13.71 | 100.00% |

数据来源：西南证券

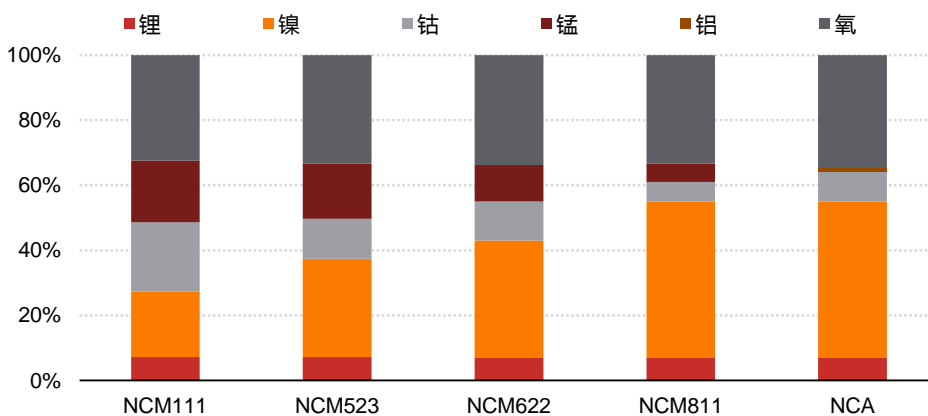
表 18: 单吨 NCM811 正极材料成本估算

| 原材料 | 单吨所需原材料量 (吨) | 单吨正极材料对应价格 (万元) | 成本占比 |
|---------------|--------------|-----------------|----------------|
| 氢氧化锂 | 0.43 | 5.53 | 35.10% |
| 硫酸镍 | 1.99 | 5.36 | 34.07% |
| 硫酸钴 | 0.29 | 2.65 | 16.86% |
| 硫酸锰 | 0.17 | 0.09 | 0.55% |
| 液氨 | 0.00028 | 0.000099 | 0.00063% |
| 35%液碱 | 2.36 | 0.23 | 1.47% |
| 去离子水 | 11.38 | 0.57 | 3.61% |
| 氧气 | 0.17 | 0.020 | 0.13% |
| 原材料总计 | | 14.45 | 91.78% |
| 制造费用 | 单吨消耗量 | 单吨正极材料对应价格 (万元) | 成本占比 |
| 设备折旧费 | / | 0.31 | 1.99% |
| 能源消耗 | 10750 kWh/吨 | 0.94 | 5.94% |
| 人工成本 | 0.0075 人 | 0.045 | 0.29% |
| 制造费用总计 | | 1.29 | 8.22% |
| 成本合计 | | 15.75 | 100.00% |

数据来源: 西南证券

4.3 三元材料成本对比分析

材料成本占总成本超 90%，其中金属盐成本占比最大。三元材料成本由原材料成本和加工成本构成。原材料占比普遍在 90% 以上，绝大部分成本来源于金属盐。单吨金属盐成本最高的是 NCM111，最低的为 NCM811，原因是钴价格昂贵，而 111 钴占比最高，811 钴占比最低。单吨锂源成本上看，811 价格最高，原因是其必须使用价格较贵的氢氧化锂。

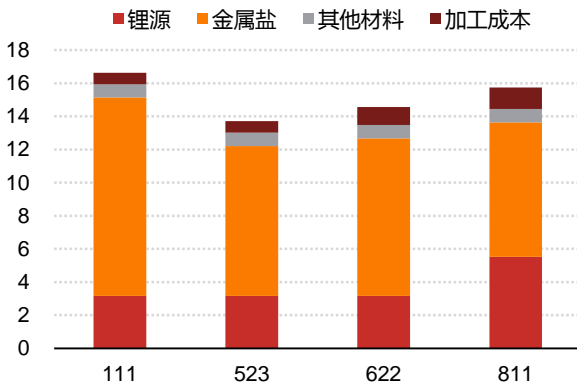
图 19: 三元材料中各主要元素占比


数据来源: 西南证券整理

单吨总成本 NCM523 最便宜。单吨总成本方面，NCM523 占有较大优势，比 811 便宜 2 万元。原因在于其钴含量比 111 低，加工工序又比 622 和 811 更为简便。因此 523 材料是目前三元材料出货量最高的产品。

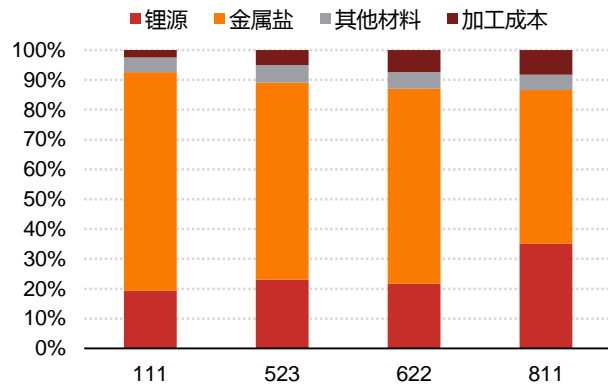
单吨高镍产品 622 和 811 加工成本较高，占比也更大。高镍产品由于加工难度更高，单次烧结量少，所需工序更为繁琐，加工费用和占比也在增加。811 加工成本占比达到 8.22%，而 523 仅为 5% 左右。

图 20: 成本和加工费用实际数 (万元)



数据来源: 西南证券

图 21: 成本和加工费用占比



数据来源: 西南证券

单位容量角度看，811 材料成本最低。811 材料成本较高，但由于 811 材料比容量也较高，折算成单位容量来看，其成本反而更低。在各原材料价格基本稳定、新能源汽车动力电池成本急需降低的情况下，发展单位容量成本更低的 811 材料是未来大趋势。

表 19: NCM 三元材料折合单位容量成本估算

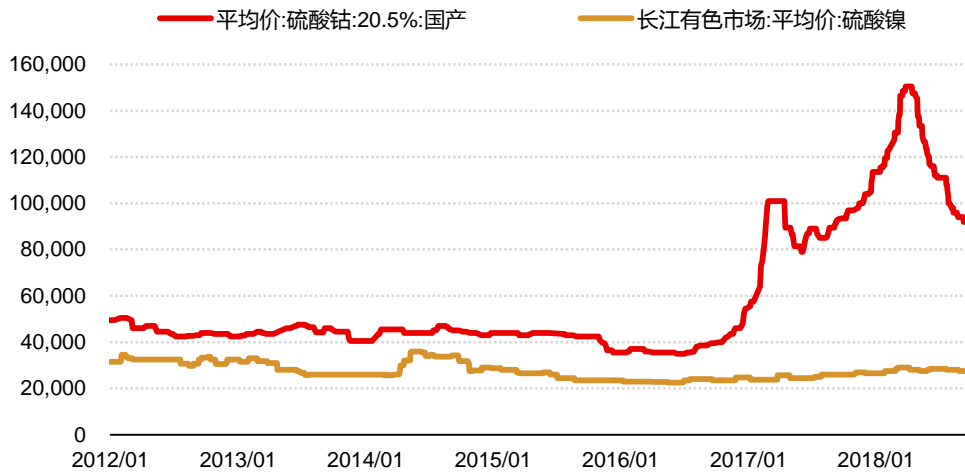
| 材料名称 | 单吨成本(万元) | 比容量(mAh/g) | 材料单位容量成本(元/Ah) | 电池单位容量成本(元/Wh) |
|-------------|----------|------------|----------------|----------------|
| NCM111 | 16.34 | 145 | 1.13 | 0.31 |
| NCM523 | 13.71 | 155 | 0.88 | 0.25 |
| NCM622 | 14.56 | 165 | 0.88 | 0.25 |
| NCM811 | 15.75 | 185 | 0.85 | 0.24 |
| 811 相比于 111 | | +27.6% | | -24.8% |
| 811 相比于 523 | | +19.4% | | -3.4% |
| 811 相比于 622 | | +12.1% | | -3.4% |

数据来源: 西南证券

4.4 三元材料成本主要影响因素: 过渡金属盐与锂盐价格

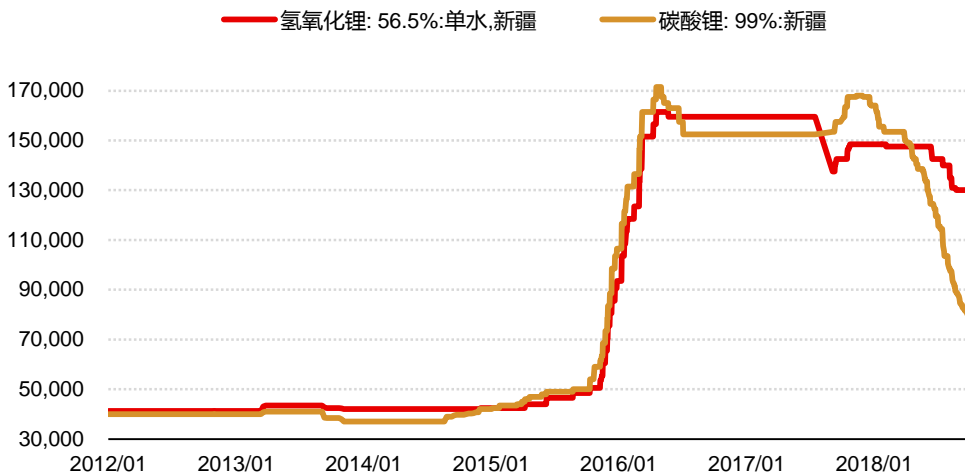
如前所述，原材料占三元材料成本的 90% 以上，因此三元材料价格对原材料价格变动非常敏感。原材料中影响较大的有过渡金属盐（硫酸钴、硫酸镍）及锂盐（氢氧化锂、碳酸锂）。由各种原料历史价格变动我们不难发现，硫酸钴与硫酸镍、氢氧化锂与碳酸锂价格变动具有一定的相关性，因此我们在进行价格敏感性分析时采用两组金属盐的价格比作为分析变量，这样能够看出各三元材料价格的相对高低，也更能够清楚看出不同元素配比所带来的优劣势。

图 22: 硫酸钴与硫酸镍价格走势 (元/吨)



数据来源: Wind, 西南证券整理

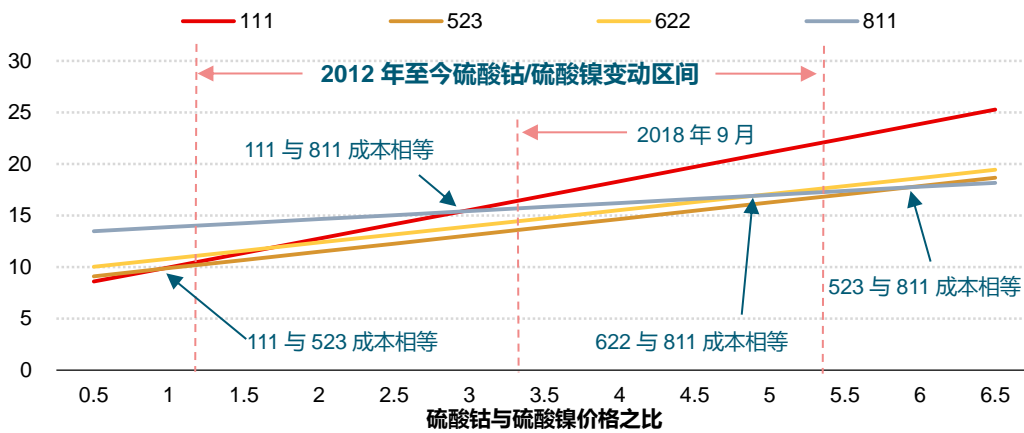
图 23: 氢氧化锂与碳酸锂价格走势 (元/吨)



数据来源: Wind, 西南证券整理

含镍量越高,对钴镍价格比的敏感程度越低。下图中我们对硫酸钴、硫酸镍价格之比(以下简称钴镍价格比)对三元材料成本的影响进行了分析。假设除钴外其余原材料价格及费用均与当前一致。每一条直线表示一种正极材料成本随钴镍价格比的变化,直线越平表示该种材料对钴镍价格比的敏感程度越低。可以看到 811 材料由于其含钴量最低,其对钴镍价格比的敏感程度最低,而 111 材料含钴量最高,其对钴镍价格比的敏感程度也最高。

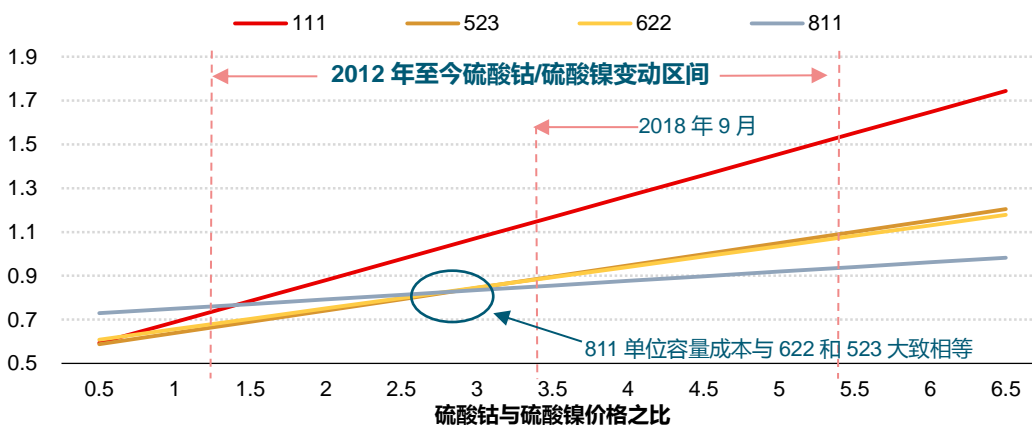
图 24：硫酸钴、硫酸镍价格之比对三元材料成本（万元/吨）的影响



数据来源：西南证券

钴镍价格比高于 2.9 时，811 单位容量成本最低。重点关注图中各直线的交点，交点两侧位置较低的直线代表的材料价格较低，更具有竞争优势。钴镍价格比高于 2.9 时，811 单位容量成本最低。在 2012 年至今的钴镍价格比变动区间内，111 单位容量价格基本都是最高的，失去了与其他材料的竞争优势。

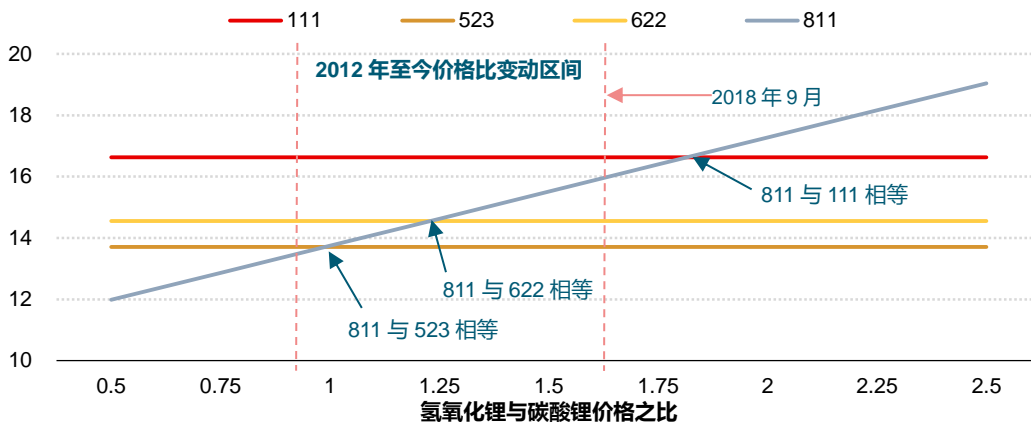
图 25：硫酸钴、硫酸镍价格之比对单位容量三元材料成本（元/Ah）的影响



数据来源：西南证券

氢氧化锂比碳酸锂价格低于 0.95 时，811 单吨价格有望低于 523。类似地，我们对氢氧化锂、碳酸锂价格之比（以下简称锂盐价格比）对各种三元材料成本的影响进行了分析。我们发现当锂盐价格比低于 1.25 时，单吨价格 811 有望低于 622；当锂盐价格比低于 0.95 时，单吨 811 价格甚至有望低于 523 价格。

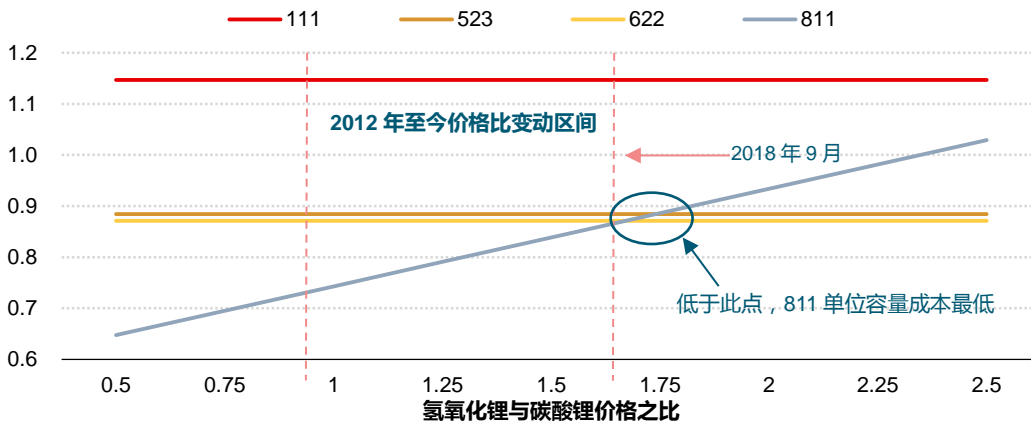
图 26: 氢氧化锂、碳酸锂价格之比对三元材料成本 (万元/吨) 的影响



数据来源: 西南证券

锂盐价格比超过 1.75 前, 811 单位容量成本依旧最低。2012 年至今锂盐价格比变动区间内, 811 材料始终保持着单位容量成本最低, 这也是高镍材料的优势和魅力所在。然而近期碳酸锂价格下跌, 锂盐价格比也在持续升高, 一旦价格比突破 1.75, 即氢氧化锂价格为碳酸锂的 1.75 倍, 811 材料的单吨成本则会超过 622 和 523 材料。因此未来锂盐价格走势对三元材料相对成本高低也有较大影响。

图 27: 氢氧化锂、碳酸锂价格之比对单位容量三元材料成本 (元/Ah) 的影响



数据来源: 西南证券

5 标的推荐

当升科技 (300073): 专注正极材料, 引领发展趋势

公司 2018 年上半年实现营业收入 16.3 亿元, 同比增长 95.2%; 实现扣非后归母净利润 1.1 亿元, 同比增长 115.0%; 其中第二季度实现营收 9.6 亿元, 同比增长 84.0%, 环比增长 42.9%, 实现扣非后归母净利润 7030.4 万元, 同比增长 124.2%, 环比增长 96.3%。公司业绩增长较快, 符合市场预期。

正极放量带动公司业绩大增, 产能将持续释放, 未来盈利可期。公司正极材料板块上半年实现营收 15.6 亿元, 同比增长 103.4%。公司目前拥有正极材料产能 1.6 万吨, 其中 4000 吨高镍产能, 目前已经进入客户认证阶段。公司订单量饱和, 随着产能的逐渐提升, 公司盈利能力也将大幅提升。

深耕三元材料, 龙头地位凸显。公司是国内最早布局三元材料的企业之一, 当传统的钴酸锂材料不能满足新能源汽车等对电池性能日益增长的需求时, 正极材料产品的转型和升级刻不容缓。多数企业选择了技术难度较低且短期收益明显的磷酸铁锂路线, 而当升科技果断选择了更具有技术含量、未来前景更好的三元材料路线。事实证明公司的选择是正确的, 随着政策补贴等向高容量动力电池倾斜, 磷酸铁锂电池已经显露颓势, 公司则依靠着提前布局三元材料的技术优势, 牢牢占据着三元材料市场较大的市场份额。2017 年出货量占比为 8.84%, 随着产能释放, 公司在高镍三元材料上积累的技术经验将形成成果转化, 预计公司未来市占率会进一步提升。

高镍三元正当时, 助推公司毛利率水平快速回升。随着 2016 年江苏海门二期第一阶段 2000 吨高镍产线的放量, 公司原已低至不足 4% 左右的毛利率出现了较大幅度的回升, 2016 年锂电材料毛利率提升至 12.6%, 可见高镍三元材料因为高技术壁垒享受了较高的技术红利, 高镍三元放量对公司毛利率的拉动作用十分明显。未来公司高镍三元材料的产能也已经有清晰稳定的布局和释放计划, 可以预见未来公司毛利率将会有进一步提升。

立足研发, 技术领先, 公司具备核心竞争力。公司极为重视研发和创新, 连续多年研发投入占比接近或超过 5%。2018 年上半年, 公司研发投入 5086.1 万元, 同比增加 40.4%。公司新品开发卓有成效, 多系列高镍产品全面推向市场, 多项性能指标优于市场同类产品, 受到客户高度评价。公司累计专利授权及在审数量共 151 项, 与行业中竞争对手相比也处于领先地位。近日公司也发布多项关于获得发明专利证书的公告, 涉及多元正极材料、钛酸锂材料、钴酸锂材料等, 已应用于公司的实际生产当中。

盈利预测与评级:预计 2018-2020 年 EPS 分别为 0.69 元、0.96 元、1.34 元, 未来三年归母净利润将保持 32.9% 的复合增长率。公司是锂电行业正极材料龙头企业, 随着公司高镍产能快速释放, 公司业绩有望快速增长, 维持“买入”评级。

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，报告所采用的数据均来自合法合规渠道，分析逻辑基于分析师的职业理解，通过合理判断得出结论，独立、客观地出具本报告。分析师承诺不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接获取任何形式的补偿。

投资评级说明

| | |
|------|--|
| 公司评级 | 买入：未来 6 个月内，个股相对沪深 300 指数涨幅在 20%以上 |
| | 增持：未来 6 个月内，个股相对沪深 300 指数涨幅介于 10%与 20%之间 |
| | 中性：未来 6 个月内，个股相对沪深 300 指数涨幅介于-10%与 10%之间 |
| | 回避：未来 6 个月内，个股相对沪深 300 指数涨幅在-10%以下 |
| 行业评级 | 强于大市：未来 6 个月内，行业整体回报高于沪深 300 指数 5%以上 |
| | 跟随大市：未来 6 个月内，行业整体回报介于沪深 300 指数-5%与 5%之间 |
| | 弱于大市：未来 6 个月内，行业整体回报低于沪深 300 指数-5%以下 |

重要声明

西南证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会核准的证券投资咨询业务资格。

本公司与作者在自身所知情范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

《证券期货投资者适当性管理办法》于 2017 年 7 月 1 日起正式实施，本报告仅供本公司客户中的专业投资者使用，若您并非本公司客户中的专业投资者，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司也不会因接收人收到、阅读或关注自媒体推送本报告中的内容而视其为客户。本公司或关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行或财务顾问服务。

本报告中的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可升可跌，过往表现不应作为日后的表现依据。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告，本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告仅供参考之用，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。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，本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。

本报告版权为西南证券所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用须注明出处为“西南证券”，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权刊载或者转发本报告的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。

西南证券研究发展中心

上海

地址：上海市浦东新区陆家嘴东路 166 号中国保险大厦 20 楼

邮编：200120

北京

地址：北京市西城区金融大街 35 号国际企业大厦 B 座 16 楼

邮编：100033

重庆

地址：重庆市江北区桥北苑 8 号西南证券大厦 3 楼

邮编：400023

深圳

地址：深圳市福田区深南大道 6023 号创建大厦 4 楼

邮编：518040

西南证券机构销售团队

| 区域 | 姓名 | 职务 | 座机 | 手机 | 邮箱 |
|----|--------|--------|---------------|-------------|----------------------|
| 上海 | 蒋诗烽 | 地区销售总监 | 021-68415309 | 18621310081 | jsf@swsc.com.cn |
| | 黄丽娟 | 机构销售 | 021-68411030 | 15900516330 | hlj@swsc.com.cn |
| | 邵亚杰 | 机构销售 | 02168416206 | 15067116612 | syj@swsc.com.cn |
| | 张方毅 | 机构销售 | 021-68413959 | 15821376156 | zfyi@swsc.com.cn |
| | 汪文沁 | 机构销售 | 021-68415380 | 15201796002 | wwq@swsc.com.cn |
| | 王慧芳 | 机构销售 | 021-68415861 | 17321300873 | whf@swsc.com.cn |
| | 涂诗佳 | 机构销售 | 021-68415296 | 18221919508 | tsj@swsc.com.cn |
| 北京 | 蒋诗烽 | 地区销售总监 | 021-68415309 | 18621310081 | jsf@swsc.com.cn |
| | 路剑 | 机构销售 | 010-57758566 | 18500869149 | lujian@swsc.com.cn |
| | 刘致莹 | 机构销售 | 010-57758619 | 17710335169 | liuzy@swsc.com.cn |
| 广深 | 王湘杰 | 机构销售 | 0755-26671517 | 13480920685 | wxj@swsc.com.cn |
| | 余燕伶 | 机构销售 | 0755-26820395 | 13510223581 | yy1@swsc.com.cn |
| | 陈霄（广州） | 机构销售 | 15521010968 | 15521010968 | chenxiao@swsc.com.cn |