

新材料行业

报告原因：专题研究

2019年4月3日

三元材料专题报告

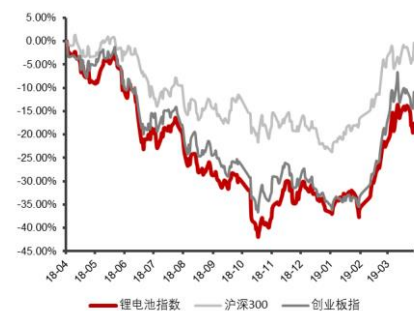
从工艺、成本及供需角度看三元材料高镍化趋势

维持评级

看好

行业研究/深度报告

锂电池板块近一年市场表现



分析师：

张莲玮

执业证书编号：S0760518090001

电话：010-83496301

邮箱：zhanglianwei@sxzq.com

地址：

北京市西城区平安里西大街28号中海国际中心7层

山西证券股份有限公司

http://www.i618.com.cn

投资要点：

➢ **三元材料应用已占绝对优势，高镍化长期趋势不变。**据统计，电池系统成本通常占到整车成本的30%-50%，其中正极又占30%-40%，为占比最大的部分。我们认为，三元材料在新能源汽车上的应用已占绝对优势，且三元材料高镍化的长期趋势不变，原因主要有二：（1）政策面对高能量密度的追求虽有所放缓，但其门槛仍在合理上调，能量密度向偏高值集中；（2）需求面上消费者对于新能源汽车的续航里程较为关注，而目前新能源汽车与油车续航里程差距较大，矛盾点将一定程度上推动高镍化进程。

➢ **高镍材料单位电量制造成本低于普通三元材料，但使用成本仍然偏高。**成本分拆结果显示，虽然在高锂源价格和制造费用的共同作用下，高镍材料的吨成本明显高于普通三元材料，但由于同样电量所使用的两种正极材料的量有所差别，高镍材料的kwh制造成本则低于普通三元材料。值得注意的是，由于目前高镍材料具有明显的技术溢价，因此其kwh使用成本仍高于普通三元材料，随着技术逐渐成熟，未来高镍材料毛利率将逐步回落。此外，我们发现若正极材料生产厂商将外购前驱体全部替换为自制前驱体，有望将正极材料毛利率提高约6个百分点。

➢ **原材料价格变动对高镍材料影响相对较小。**敏感性分析结果显示，钴源的价格变动1万元/吨将带动NCM523正极材料成本变动5%，同时带动NCM811正极材料成本变动2%，由于NCM523中钴含量高于NCM811，因此NCM523受钴价影响程度较大。测算同时显示，若七水合硫酸钴价格高于11.15万元/吨，则NCM523的吨成本将高于NCM811；若七水合硫酸钴的价格低于4万元/吨，则NCM811的kwh制造成本将高于NCM523。

➢ **到2020年高镍材料总体供需紧张，短期重心有望偏向NCM622：**供给方面，据SMM统计，截至2018年国内三元材料总产能为33.67万吨，较2017年新增12.93万吨，据我们统计，其中高镍材料产能已超过5万吨，主流厂商此后的大规模扩产计划也主要针对的是高镍材料，其中以NCM811和NCA居多。需求方面，我们预计2019及2020年高镍材料的装机需求量分别为2.90吨及6.13吨，占总需求比例亦逐年提高；考虑到高镍产能实际释放不足及动力电池装机量通常大幅小于实际出货量，我们认为到2020年高镍材料总体处于供需紧张的状态。此外，在目前的政策导向下，高镍材料的发展重心短时间内可能偏向NCM622，NCM811和NCA的脚步或暂时放缓，但鉴于需求端对于新能源汽车高续航里程及轻量化的追求，高镍化长期趋势不变。

➢ **建议关注公司：**当升科技（300073.SZ）、容百科技（A19004.SH）

风险提示：

➢ 宏观经济增长不及预期风险；新能源汽车相关政策推进不及预期风险；原材料价格大幅波动风险；新能源汽车销量不及预期风险；技术替代风险。

目录

1. 三元正极材料高镍化的必要性分析	8
1.1 正极材料在锂离子电池中成本占比高、性能影响大	8
1.2 政策推动新能源汽车市场化，能量密度门槛持续提高	10
1.2.1 新能源汽车补贴额度降幅逐年增加	10
1.2.2 能量密度门槛继续上调，高能量密度超额补贴略有缓和	11
1.2.3 解决“里程焦虑”为新能源汽车需求端关键一环	13
1.3 三元正极材料已占据绝对优势，高镍化长期趋势不变	15
1.3.1 三元正极材料为新能源汽车动力电池最优选	15
1.3.2 三元材料在应用中已占据明显优势	16
1.3.3 能量密度缺口主要在于正极材料，高镍化长期趋势不变	17
2. 高镍三元材料结构特征及技术要点	18
2.1 三元材料结构特征及镍含量升高对材料性能的影响	18
2.1.1 三元材料结构特征及各元素作用机理	18
2.1.2 高镍含量对三元材料的性能影响	19
2.2 三元材料制备技术及高镍材料的工艺特殊性	21
2.2.1 锂化混合	22
2.2.1.1 锂源：制备流程及使用成本对比	22
2.2.1.2 锂化配比：工业生产中需严格控制一致性	24
2.2.1.3 混合工艺及设备：高速混料机为最优选	24
2.2.2 装钵：三元材料烧结应选择大缺口匣钵	26
2.2.3 窑炉煅烧：最关键工艺之一	28
2.2.3.1 煅烧参数控制：温度、时间、气氛	28
2.2.3.2 煅烧设备：辊道窑使用最为广泛	29
2.2.4 粉碎：鄂式破碎→辊式破碎→气流粉碎	30
2.2.5 除铁：贯穿全流程的重要环节	31
2.2.6 筛分/包装	32
2.2.7 高镍三元材料制备：工艺条件更苛刻，设备要求更严格	32

3. 普通三元材料及高镍三元材料成本拆分及敏感性分析	34
3.1 NCM523 及 NCM811 成本拆分：高镍材料 kWh 制造成本更低	34
3.1.1 NCM523 成本拆分	34
3.1.2 NCM811 成本拆分	36
3.1.3 普通及高镍三元材料成本分拆结果对比	38
3.2 普通及高镍三元材料成本敏感性分析	39
3.2.1 钴源、锂源价格变化对 NCM523 的吨成本影响	39
3.2.2 钴源、锂源价格变化对 NCM523 的 kwh 成本影响	40
3.2.3 钴源、锂源价格变化对 NCM811 的吨成本影响	40
3.2.4 钴源、锂源价格变化对 NCM811 的 kwh 成本影响	41
3.2.5 原材料价格变动对 NCM523 影响大于 NCM811	41
3.2.6 降低用电价格将对正极材料降本增效带来积极影响	42
4. 到 2020 年高镍材料总体供需紧张，短期重心有望偏向 NCM622	43
4.1 供给端：三元材料市场集中度提高，高镍材料扩产计划多	43
4.2 需求端：高镍占总装机量比重将逐年提高	44
5. 三元正极材料安全问题探讨	46
6. 重点关注公司	48
6.1 当升科技（300073.SZ）：背靠科研院所，高镍技术领先	48
6.2 容百科技（A19004.SH）：高镍前驱体及正极材料黑马，拟登陆科创板	49
7. 风险提示	51

图表目录

图 1：新能源汽车成本结构	8
图 2：锂电池成本结构	8
图 3：锂电池原材料成本结构	8
图 4：锂电池工作原理图	9
图 5：2014-2019 年新能源汽车补贴较上年下滑幅度	10

图 6：纯电动乘用车补贴额度变化情况（万元）	10
图 7：纯电动非快充客车单车补贴上限变化情况（万元）	10
图 8：2017-2019 年目录车型平均能量密度（WH/KG）	13
图 9：传统能源及新能源车续航里程对比情况	15
图 10：五种常用动力电池正极材料多维度性能对比	16
图 11：2018 年动力电池装机量及三元装机占比月度数据	16
图 12：2018 年纯电动乘用车三元装机占比月度数据	17
图 13：三元材料晶体结构示意图	18
图 14：不同比例 NCM 的 I ₀₀₃ /I ₁₀₄ 比值	19
图 14：不同比例 NCM 表面（LiOH 和 Li ₂ CO ₃ ）含量（单位：MG/KG）	20
图 16：三元材料成本制备流程图	21
图 17：三元材料成本制备工艺图	22
图 18：锂辉石制备碳酸锂的流程图	23
图 19：卤水制备碳酸锂的流程图	23
图 20：锂辉石制备单水氢氧化锂生产流程图	23
图 21：锂化混合工艺图	24
图 22：斜式混料机系统设置布置图	25
图 23：高速混合机结构图	25
图 24：匣钵自动装卸料系统布局图	26
图 25：平底带缺口匣钵	27
图 26：平口不带脚匣钵	27
图 27：三元材料匣钵需满足的条件	27
图 28：几种常见三元材料煅烧温度趋势	28

图 29：电热辊道窑炉	29
图 30：常见三元材料粉碎工艺流程图	30
图 31：管道除铁器外形图	31
图 32：电磁型磁选器外形图	31
图 33：超声波振动筛	32
图 34：不同组分前驱体的适宜氨水浓度和反应 PH.....	33
图 35：普通及高镍三元材料总成本构成	38
图 36：普通及高镍三元材料总成本占比	38
图 37：普通及高镍三元材料制造费用构成	39
图 38：普通及高镍三元材料制造费用占比	39
图 39：七水合钴酸锂价格变化对两种正极材料的吨成本影响.....	42
图 40：七水合钴酸锂价格变化对两种正极材料的 KWH 成本影响	42
图 41：2015-2018 年国内三元正极材料产量	44
图 42：2013-2018 年当升科技营业收入变化情况	48
图 43：2013-2018 年当升科技归母净利润变化情况	48
图 44：容百科技股权结构图	50
图 45：2016-2018 年容百科技营业收入变化情况	50
图 46：2016-2018 年容百科技归母净利润变化情况	50
图 47：2016-2018 年容百科技产能及其利用率	51
图 48：2016-2018 年容百科技产品销售价格变动	51
表 1：锂离子电池正极材料应满足的条件	9
表 2：新能源汽车补贴政策技术要求发展历程	11

表 3：传统能源及新能源轿车续航里程对比	14
表 4：传统能源及新能源 SUV 续航里程对比	14
表 5：常用正负极活性物质及其比容量统计	17
表 6：部分三元材料制备方法对比	21
表 7：三元材料成品制备过程控制	22
表 8：两种锂源在三元材料制备中的成本对比	23
表 9：三元材料混料设备对比	25
表 10：高速混料机和球磨混料机参数对比	25
表 11：球磨机和高速混料机混合后材料不同取样点锂化值对比.....	26
表 12：针对不同烧结成分使用匣体的外观及性能差别	27
表 13：三元材料用双列辊道窑和双列推板窑对比	29
表 14：三元材料常用粉碎设备对比表	30
表 15：三元材料常用粉碎设备对比表	31
表 16：三元材料制程过程中金属杂质来源	31
表 17：普通三元材料和高镍三元材料制程中主要差异	34
表 18：NCM523 前驱体及正极材料生产过程中理论及实际投料量	35
表 19：NCM523 前驱体及正极材料成本分拆	35
表 20：使用外购前驱体及自制前驱体的毛利率对比	36
表 21：NCM811 前驱体及正极材料生产过程中理论及实际投料量	37
表 22：NCM811 前驱体及正极材料成本分拆	37
表 23：使用外购前驱体及自制前驱体的毛利率对比	38
表 24：普通及高镍三元材料单位成本对比	39
表 25：钴源、锂源价格变化对 NCM523 的吨成本影响	39



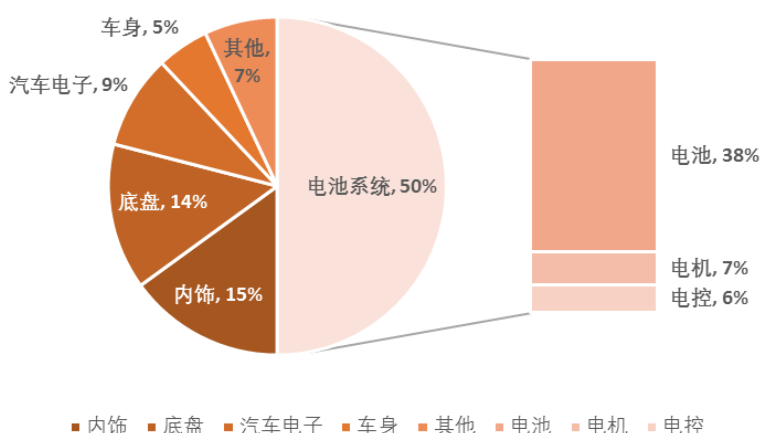
表 26: 钴源、锂源价格变化对 NCM523 的 KWH 成本影响.....	40
表 27: 钴源、锂源价格变化对 NCM811 的吨成本影响	40
表 27: 钴源、锂源价格变化对 NCM811 的 KWH 成本影响	41
表 28: 用电价格变化对普通及高镍三元材料成本影响	43
表 29: 国内主要三元材料生产厂商产能统计（部分）	43
表 30: 国内高镍三元材料需求量预测（2018-2020 年）	45
表 31: 2017 年-2018 年 8 月国内新能源汽车起火事故盘点	46
表 32: 当升科技规划总产能及投产情况	49

1. 三元正极材料高镍化的必要性分析

1.1 正极材料在锂离子电池中成本占比高、性能影响大

新能源汽车主要由动力系统、底盘、车身、内饰、汽车电子等部分组成，其中动力系统占据整车成本的 50%左右。动力系统主要包括电池、电机、电控“三大电”系统，其中动力电池成本占比首当其冲，达到 76%。据生意汇统计，**电池系统成本通常占到整车成本的 30%-50%。**

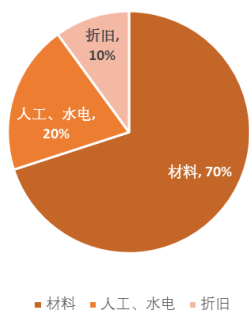
图 1：新能源汽车成本结构



数据来源：山西证券研究所、生意汇

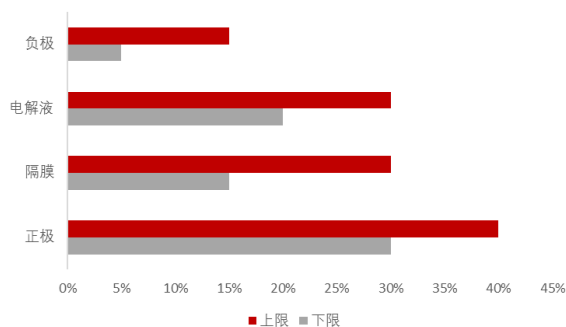
据生意汇统计，**锂电池成本中 70%为材料成本**，其中正极占 30%-40%，隔膜占 15%-30%，电解液占 20%-30%，负极 5%-15%，正极材料为占比最大的部分。

图 2：锂电池成本结构



数据来源：山西证券研究所、生意汇

图 3：锂电池原材料成本结构

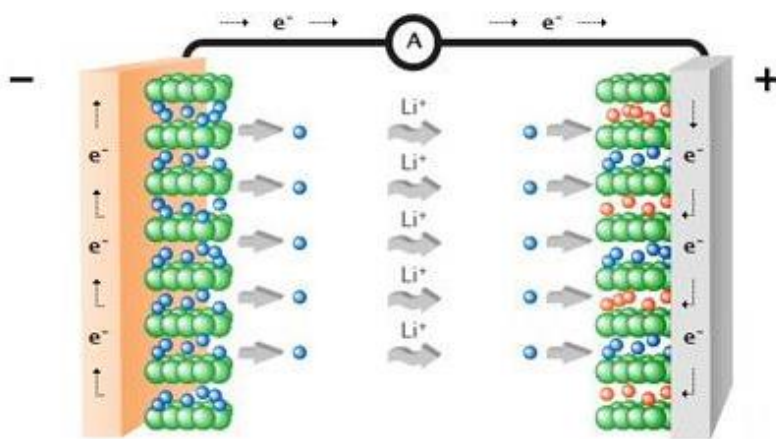


数据来源：山西证券研究所、生意汇

正极材料在锂离子电池中充当锂源并参与电化学反应。在锂电池充电过程中，Li⁺从正极脱出，释放一个电子，正极中 Co³⁺等金属离子被氧化为高价态；Li⁺经过电解质嵌入炭负极，同时电子的补偿电荷从外电

路转移到负极，维持电荷平衡；在锂电池放电过程中，与上述过程相反，电池外部，电子从负极到达正极，电池内部， Li^+ 向正极迁移，嵌入到正极，并由外电路得到一个电子，正极中 Co^{4+} 等金属离子被还原。

图 4：锂电池工作原理图



数据来源：山西证券研究所、一步电子网

正极材料的性能对于电芯性能具有显著影响，包括但不限于：（1）正极材料的种类、用量设计和加工制作过程中的振实密度对电芯成品的能量密度产生影响，尤其是种类的选择，将决定电芯能量密度的上限；（2）正极材料的种类、晶体结构稳定性、颗粒尺寸、掺杂原子、碳包覆工艺、制备方法等将对电芯的功率密度产生影响；（3）正极材料活性物质在循环使用中的损耗，以及充放电过程中材料结构的崩坏引发的正极容纳锂离子能力的衰减、以及杂质成分的含量都将影响电芯循环寿命。此外，电芯设计中正极材料用量远远大于负极材料的容量，会提高热失控风险，正极材料的选材、质量将对电芯的安全性能造成显著影响。因此，理想的锂离子电池正极材料应该满足以下条件：

表 1：锂离子电池正极材料应满足的条件

要求	备注
比容量大	要求正极材料要有低的相对分子质量，且其宿主结构中能插入大量的 Li^+ ；
工作电压高	要求体系放电反应的 Gibbs 自由能负值要大
充放电高倍率性能好	要求锂离子在电极材料内部和表面具高的扩散效率
循环寿命长	要求 Li^+ 嵌入/脱出过程中材料的结构变化要尽可能地小
安全性好	要求材料具有较高的化学稳定性和热稳定性
其他	要求制备难度低、环境友好、价格便宜

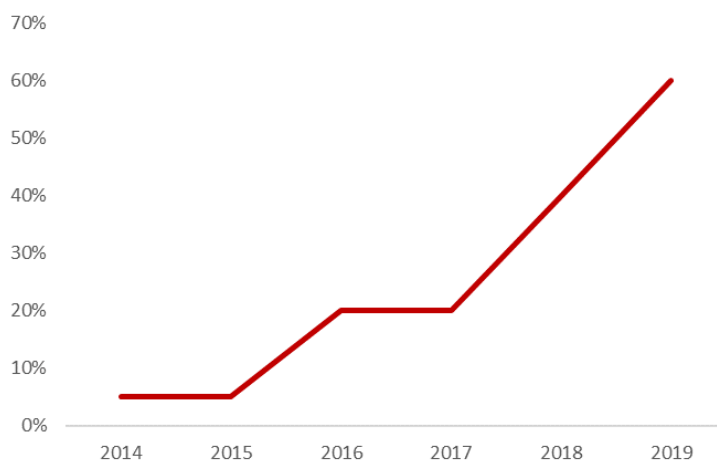
资料来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

1.2 政策推动新能源汽车市场化，能量密度门槛持续提高

1.2.1 新能源汽车补贴额度降幅逐年增加

自 2014 年以来，国内新能源汽车补贴开始进入退坡阶段，下图显示了补贴的下滑幅度变化情况（由于针对不同车型补贴有不同变化，因此该图只表明大趋势，不代表具体数字）。补贴降幅已由 2014 年-2015 年的 5% 左右极速上升至 2018 年的 40% 左右，2019 年补贴整体降幅在 2018 年的基础上进一步增加，达到 60% 左右水平。

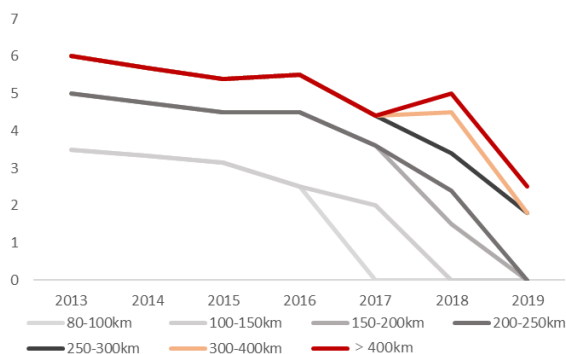
图 5：2014-2019 年新能源汽车补贴较上年下滑幅度



数据来源：山西证券研究所整理

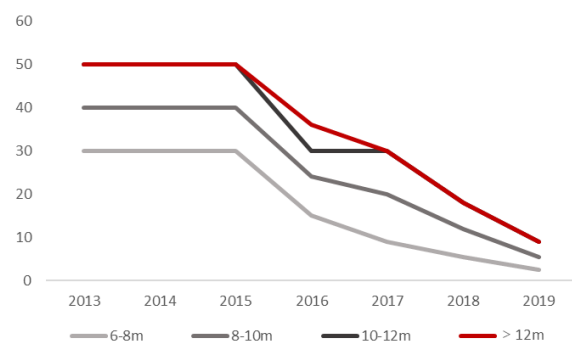
分车型看，下列两图较为直观地展示了 2013 年-2019 年纯电动乘用车及客车的补贴额度变化情况。

图 6：纯电动乘用车补贴额度变化情况（万元）



数据来源：山西证券研究所整理

图 7：纯电动非快充客车单车补贴上限变化情况（万元）



数据来源：山西证券研究所整理

纯电动乘用车补贴由 2013 年起维持整体下降趋势；2018 年，续航里程 150km 以下的车型停发财政补贴，而高续航里程车型补贴转而向上，这是 2018 年补贴新政的一大特点；2019 年，续航里程 250km 以下的车型停发财政补贴，高续航里程车型补贴额度在 2018 年基础上转而急速下降。

非快充纯电动客车单车补贴上限于 2013 年-2015 年维持不变，由 2016 年起大幅下降，退坡力度明显大于纯电动乘用车；2019 年，各长度车型补贴上限在 2018 年基础上继续下降。

1.2.2 能量密度门槛继续上调，高能量密度超额补贴略有缓和

如下表 2 统计，早在 2009 年，国内新能源汽车相关政策就开始对车辆技术指标作出要求，最初的政策仅对新能源汽车的电池容量、续驶里程作出要求，从 2017 年起，相关政策开始对新能源汽车动力系统能量密度及能耗标准做出具体要求，并且门槛逐步提高，其中能量密度是政策对于新能源汽车技术指标关注的重中之重。2019 年的补贴新政中，虽然三种车型的动力电池系统能量密度门槛仍然在继续提高，但是对于高能量密度的补贴态度出现一定转变：其一，乘用车补贴标准加入了带电量指标，从政策端平衡新能源汽车技术层面均衡发展；其二，虽然乘用车能量密度门槛继续提高，但最高标准并未进一步提高，且政策不再针对能量密度设置超过 1 倍的超额补贴，避免过度追求高补贴额度而忽视其他性能指标的情况发生；其三，非快充类纯电动客车的补贴调整系数的分档标准由系统能量密度更改为单位载质量能量消耗量，在客车层面削弱了能量密度指标的影响程度；其四，取消新能源客车电池系统总质量占整车整备质量比例(m/m)不高于 20%的门槛要求，一定程度上扼制了一味追求高能量密度动力电池的不良导向。

表 2：新能源汽车补贴政策技术要求发展历程

发布时间	政策名称	乘用车技术指标	客车技术指标	货车及专用车技术指标
2009 年 1 月 23 日	关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知	混合动力乘用车和轻型商务车与同类传统车型相比节油率必须达到 5% 以上	混合动力客车节油率必须达到 10% 以上	/
2010 年 5 月 31 日	关于开展私人购买新能源汽车补贴试点的通知	(1) 纯电动乘用车动力电池组能量不低于 15 千瓦时 (2) 插电式混合动力乘用车动力电池组能量不低于 10 千瓦时（纯电动模式下续驶里程不低于 50km）	/	/
2012 年 8 月 6 日	关于扩大混合动力城市公交客车示范推广范围有关工作的通知	/	(1) 节油率必须达到 10% 以上 (2) 车长≥10 米	/
2013 年 9 月 17 日	关于继续开展新能源汽车推广应用工作的通知	混合动力车中仅插电式混合动力（含增程式）乘	混合动力车中仅插电式混合动力（含增程式）客	/

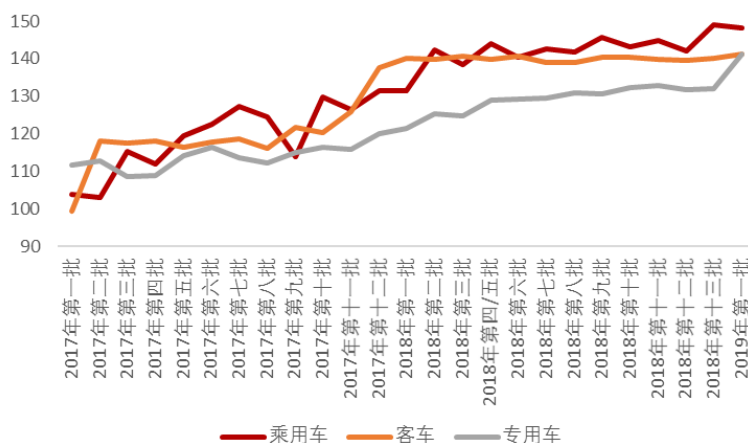
		用车享受补贴	车享受补贴	
2014年1月28日	关于进一步做好新能源汽车推广应用工作的通知	/	/	/
2015年4月22日	关于2016-2020年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知	<p>(1) 纯电动乘用车续航里程$\geq 100\text{km}$</p> <p>(2) 插电混动乘用车续航里程$\geq 50\text{km}$ (工况法)</p> <p>(3) 燃料电池乘用车续航里程$\geq 150\text{km}$</p> <p>(4) 纯电动乘用车30分钟最高车速不低于100km/h</p> <p>(5) 插电混动乘用车综合燃料消耗量与现行国标相比小于60%</p>	<p>(1) 纯电动客车续航里程$\geq 150\text{km}$</p> <p>(2) 插电混动客车续航里程$\geq 50\text{km}$</p> <p>(3) 燃料电池客车续航里程$\geq 150\text{km}$</p> <p>(4) 插电混动客车燃料消耗量与现行国标相比小于60%</p> <p>(5) 加入单位载质量能量消耗量指标作为分级补贴依据</p>	<p>(1) 纯电动货车及专用车续航里程$\geq 80\text{km}$</p> <p>(2) 插电混动货车及专用车续航里程$\geq 50\text{km}$</p> <p>(3) 燃料电池货车及专用车续航里程$\geq 200\text{km}$</p> <p>(4) 插电混动货车燃料消耗量与现行国标相比小于60%</p>
2016年12月29日	关于调整新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知	<p>(1) 按整车整备质量不同,增加相应工况条件下百公里耗电量要求</p> <p>(2) 能量密度不低于90Wh/kg</p>	<p>(1) 进一步提升纯电动客车单位载质量能量消耗量(Ekg)要求</p> <p>(2) 续航里程不低于200km</p> <p>(3) 能量密度不低于85Wh/kg</p>	<p>(1) 按照车型类别增加单位载质量能量消耗量(Ekg)、吨百公里电耗等要求</p> <p>(2) 能量密度不低于95Wh/kg</p>
2018年2月13日	关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知	<p>(1) 续航里程不低于150km</p> <p>(2) 能量密度不低于105Wh/kg</p> <p>(3) 将百公里耗电量加入调整系数</p>	<p>(1) 能量密度不低于115Wh/kg</p> <p>(2) 单位载质量能量消耗量(Ekg)不高于$0.21\text{Wh/km}\cdot\text{kg}$</p>	<p>(1) 能量密度不低于115Wh/kg</p> <p>(2) 纯电动货车、运输类专用车单位载质量能量消耗量(Ekg)不高于$0.4\text{Wh/km}\cdot\text{kg}$</p> <p>(3) 作业类纯电动专用车吨百公里电耗(按试验质量)不超过8kWh</p>
2019年3月26日	关于进一步完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知	<p>(1) 续航里程不低于250km</p> <p>(2) 能量密度不低于125Wh/kg</p>	<p>(1) 电池系统能量密度不低于135Wh/kg</p> <p>(2) 单位载质量能量消耗量(Ekg)不高于</p>	<p>(1) 能量密度不低于125Wh/kg</p> <p>(2) 纯电动货车、运输类专用车单位载质量能</p>

		(3) 进一步提高百公里能耗要求	0.19Wh/km·kg (3) 取消新能源客车电池系统总质量占整车整备质量比例 (m/m) 不高于 20% 的门槛要求	量消耗量 (Ekg) 不高于 0.3Wh/km·kg (3) 作业类纯电动专用车吨百公里电耗 (按试验质量) 不超过 8kWh (4) 纯电动货车续航里程不低于 80km
--	--	------------------	---	---

资料来源：山西证券研究所整理

下图统计了 2017 年-2018 年年新能源汽车目录车型的平均能量密度。截至 2019 年第一批目录，三种车型的平均能量密度已经分别上升至 148Wh/kg、141Wh/kg 及 141Wh/kg，相较 2017 年第一批目录分别上升了 42.49%、42.26%及 26.41%。补贴政策对于新能源汽车的技术升级促进作用明显。

图 8：2017-2019 年目录车型平均能量密度 (Wh/kg)



数据来源：山西证券研究所整理

1.2.3 解决“里程焦虑”为新能源汽车需求端关键一环

对于新能源汽车的“里程焦虑”已经成为普通消费者最关注的问题之一，原因主要包括现有的新能源汽车续航里程与传统油车差距较大、充电桩基础设施建设不足、电动车电量在极端环境条件下存在严重衰减等，其中续航里程偏短仍然是最主要的原因。

下表中我们挑选了各个价格范围的代表性油车及纯电动车来进行续航里程对比。表中可见，油车续航里程在各个价位基本没有太大的变化，并且消费者通常并不甚关注油车续航里程，而电车续航里程随价格的上涨有明显的上升，由 200km 至 600km 不等，消费者通常较为关注电车续航里程。

表 3：传统能源及新能源轿车续驶里程对比

价格区间 (万元)	油车				纯电动车		
	品牌/车型	油箱容积 (L)	综合油耗 (L/100km)	理论续驶里程 (km)	品牌/车型	电池容量 (kWh)	续驶里程 (km)
10 万以下	比亚迪速锐	50	6.5	769	北汽新能源 EU 系列	45.00	300
	逸动 DT	45	5.9	763	江铃 E200L	29.20	252
	福特福睿斯	50	5.6	893	海马爱尚 EV	21.00	202
10-15 万	长安睿骋	65	7.6	855	北汽新能源 EU5	53.66	416
	海马 M8	61	8.0	763	长城 C30	37.23	270
	吉利博瑞	70	7.8	897	海马 E3	46.60	315
15-20 万	本田雅阁	56	6.6	848	奔腾 B30EV	32.24	205
	丰田凯美瑞	60	6.3	952	华泰 iEV230	39.20	230
	福特蒙迪欧	62	6.9	899	帝豪新能源	43.50	300
20-30 万	林肯 MKZ	63	7.5	840	比亚迪 e5	60.489	400
	沃尔沃 S60L	68	5.9	1153	日产轩逸	38.00	338
	英菲尼迪 Q50L	76	7.4	1027	风行 S50EV	57.00	410
30-40 万	宝马 3 系	60	6.2	968	宝马 i3	33.00	271
	雷克萨斯 IS	66	7.3	904	比亚迪 e6	82.00	400
	奥迪 A5	54	5.9	915	腾势汽车	70.00	451
40 万以上	捷豹 XE	63	6.9	913	特斯拉 Model S	75.00	469
	奔驰 C 级 AMG	66	8.8	750	特斯拉 Model 3	80.00	595
	奥迪 S5	58	8.4	690	前途 K50	78.84	380

资料来源：山西证券研究所、汽车之家

表 4：传统能源及新能源 SUV 续驶里程对比

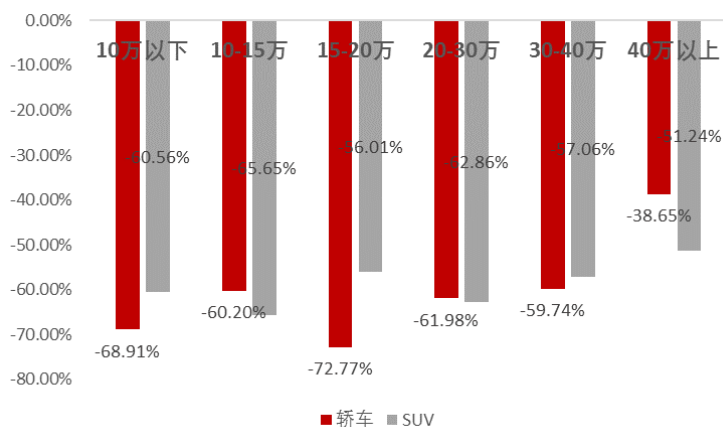
价格区间 (万元)	油车				纯电动车		
	品牌/车型	油箱容积 (L)	综合油耗 (L/100km)	理论 续驶里程 (km)	品牌/车型	电池容量 (kWh)	续驶里程 (km)
10 万以下	标致 2008	53	6.7	791	比亚迪元	42.00	305
	北汽绅宝 X35	46	6.6	697	北汽新能源 EX 系列	48.00	318
	长安 CS35	52	6.1	852	长安 CS15EV	42.92	300
10-15 万	别克昂科拉	53	6.7	791	帝豪 Gse	52.00	353
	宝沃 BX5	60	5.8	1034	云度 π1	38.50	301
	福田萨瓦娜	75	9.3	806	众泰 T300	42.70	250
15-20 万	本田 CR-V	57	6.6	864	比亚迪宋	62.00	400
	宝沃 BX6	60	7.1	845	奔腾 X40	52.50	310
	马自达 CX5	56	6.6	848	北汽新能源 EX5	61.80	415
20-30 万	奥迪 Q3	64	6.3	1016	广汽新能源传祺 GE3	54.75	410
	宝马 X1	61	6.1	1000	华泰 XEV260	49.90	266
	捷豹 E-PACE	68.5	7.7	890	荣威 Marvel X	52.50	403

30-40 万	凯迪拉克 XT5	82	8.2	1000	蔚来 ES6	70.00	410
	讴歌 RDX	65	8.2	793	宝沃 BXi7	49.00	308
	英菲尼迪 QX50	60	7.4	811	比亚迪 e6	82.00	400
40 万以上	奔驰 GLA AMG	56	8.0	700	捷豹 I-PACE	81.00	456
	宝马 X5	85	9.0	944	特斯拉 Model X	75.00	406
	捷豹 F-PACE	63	7.4	851	蔚来 ES8	70.00	355

资料来源：山西证券研究所、汽车之家

对比发现，传统能源车及新能源车的续驶里程的确有较大差距，20 万以下车型续驶里程差距基本在 60% 以上，甚至达到 70%，30 万以上车型差距有一定缩小，但即使考虑了特斯拉 Model 3 近 600km 的续驶里程，最小平均差距也达到了近 40%。由于消费者普遍对低价位车型更加青睐，60% 以上的续驶里程差距便成为了“里程焦虑”的元凶。从新能源汽车的需求端来说，提升动力电池能量密度成为了关键一环。

图 9：传统能源及新能源车续驶里程对比情况



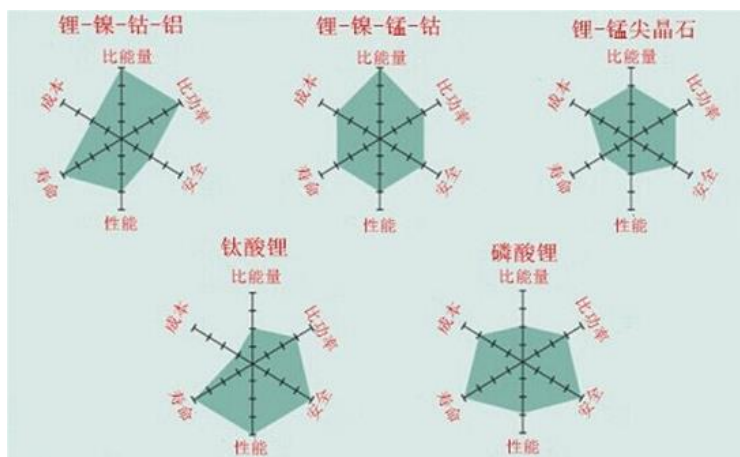
数据来源：山西证券研究所整理

1.3 三元正极材料已占据绝对优势，高镍化长期趋势不变

1.3.1 三元正极材料为新能源汽车动力电池最优选

下图比较了常用的五种电池材料在安全性、比能量、比功率（电池的大倍率充放电的能力）、高低温性能、寿命以及成本 6 个维度的性能。图中可见，此前得到大规模应用并曾经占据明显优势的磷酸铁锂材料在安全性、使用寿命等方面有明显优势；镍钴锰酸锂（NCM）及镍钴铝酸锂（NCA）两种三元材料虽然在安全性能、寿命及成本等方面略微逊色，但在比能量方面却具有绝对优势；图中未列出的钴酸锂作为能量密度最高的正极材料之一，由于其高昂的成本使其并不适合大量应用于一般新能源汽车。鉴于目前的政策及应用导向都指向高能量密度动力电池，因此三元材料成为了最佳选项，并在应用中逐步占据优势。

图 10：五种常用动力电池正极材料多维度性能对比

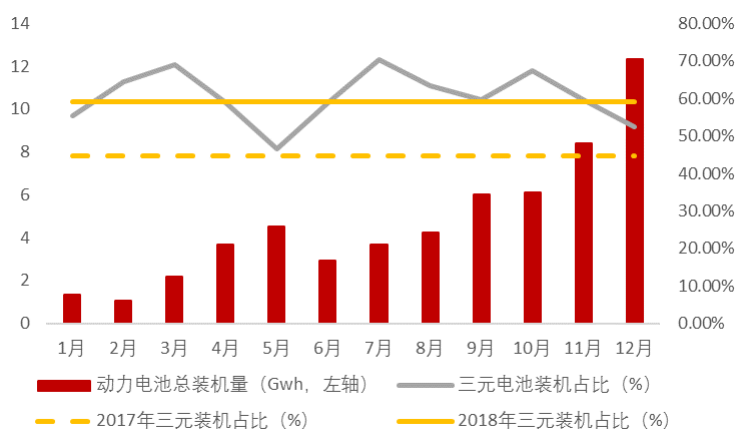


数据来源：波士顿咨询

1.3.2 三元材料在应用中已占据明显优势

据真锂研究统计，2017 年动力电池装机总量约为 33.55GWh，其中三元电池占比约 45%；2018 年月度装机数据中，三元电池的占比均超过 2017 年全年数值，6 月中旬正式实行补贴新政后，7 月份单月三元电池装机占比一度达到 70%以上；2018 年全年，动力电池装机总量约为 56.46GWh，其中三元电池占比约近 60%，较 2017 年提高约 15 个百分点。

图 11：2018 年动力电池装机量及三元装机占比月度数据



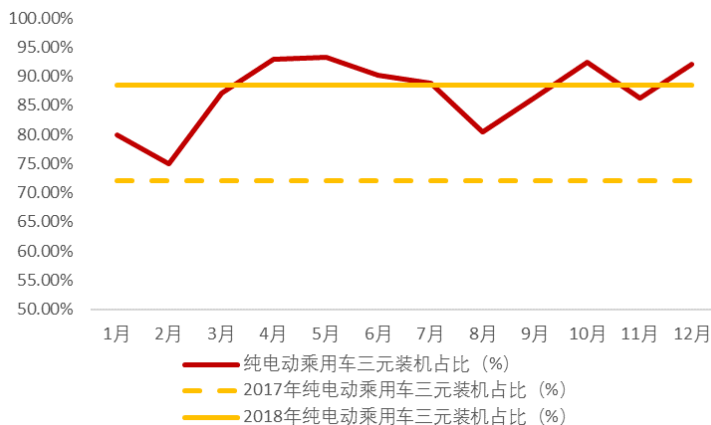
数据来源：山西证券研究所、真锂研究

2019 年 1 月动力电池装机总量为 4.98GWh，其中三元电池装机占比进一步升高达到 69.68%，该占比数据无论是同比还是环比都有明显提高，几乎与 2018 年最高值持平。

乘用车是对续驶里程及能量密度诉求最强烈、应用三元材料最多的车型；与此同时，纯电动乘用车销

量占比大，是直面普通消费者和广大市场的车型，发展潜力最大，纯电动乘用车的动力电池选择将直接决定未来动力电池技术路线的走向。如下图所示，2018年纯电动乘用车三元装机占比月度数据全部超过2017年全年水平，2018年全年水平达到近90%。

图 12：2018 年纯电动乘用车三元装机占比月度数据



数据来源：山西证券研究所、真锂研究

2019年1月纯电动乘用车电池装机3.22GWh，其中三元电池装机占比进一步提高达到95%以上，三元电池在应用中已占据明显的优势地位。

1.3.3 能量密度缺口主要在于正极材料，高镍化长期趋势不变

锂离子电池的活性储能材料为正负极材料，电池系统的能量密度主要取决于正负极材料本身的能量密度及其匹配性，对于正极来说，就是提高放电电压和放电容量是提高能量密度的有效方法，对于负极材料来说则是提高容量和降低平均脱锂电压。下表对各细分正极材料及负极材料的理论克比容量进行了列示。

表 5：常用正负极活性物质及其比容量统计

活性物质分子式	缩写	比容量/ $\text{mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$
LiFePO_4	LFP	160
$\text{LiNi}_{0.33}\text{Mn}_{0.33}\text{Co}_{0.33}\text{O}_2$	NCM333	160
$\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.2}\text{Co}_{0.3}\text{O}_2$	NCM523	180
$\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$	NCM811	220
$\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ -220	NCA220	220
$x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot (1-x)\text{LiMO}_2$ (M=Ni,Co,Mn)-250	Li-rich-250	250
$x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot (1-x)\text{LiMO}_2$ (M=Ni,Co,Mn)-280	Li-rich-280	280
$x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot (1-x)\text{LiMO}_2$ (M=Ni,Co,Mn)-300	Li-rich-300	300

Graphite	Graphite	365
Soft carbon-250	SC-250	250
Soft carbon-400	SC-400	400
Hard Carbon	HC	250
Si-C-450	Si-C-450	450
Si-C-1000	Si-C-1000	1000
Si-C-2000	Si-C-2000	2000

资料来源：山西证券研究所、材料人

目前常用负极材料的单体比容量均在 250mAh/g 及以上，而目前常用正极材料的单体比容量除 NCM811 及 NCA 之外，均在 200mAh/g 以下。回顾此前工信部起草的《中国制造 2025》中关于动力电池能量密度在 2020 年达到 350Wh/kg 的要求，目前能量密度缺口较大的显然在正极材料环节，虽然 2019 年补贴新政对于高能量密度动力电池的应用速度要求有所缓解，但政策主要是基于应用的安全性考虑，实际上从需求端来说，消费者对于高能量密度、高续航里程车型的态度仍未转变，高镍 NCM 和 NCA 长期趋势不变。

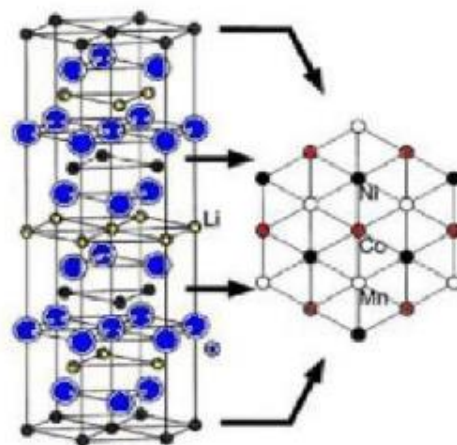
2. 高镍三元材料结构特征及技术要点

2.1 三元材料结构特征及镍含量升高对材料性能的影响

2.1.1 三元材料结构特征及各元素作用机理

三元材料 $\text{Li}(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn})\text{O}_2$ 晶体属于六方晶系，是一类层状结构化合物，如下图所示。三元材料中包含 Ni、Co、Mn 三种过渡金属元素，其分别以 +3、+2、+4 价态存在，参与电化学反应的电对分别为 $\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}$ 、 $\text{Ni}^{3+}/\text{Ni}^{4+}$ 和 $\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{4+}$ 。

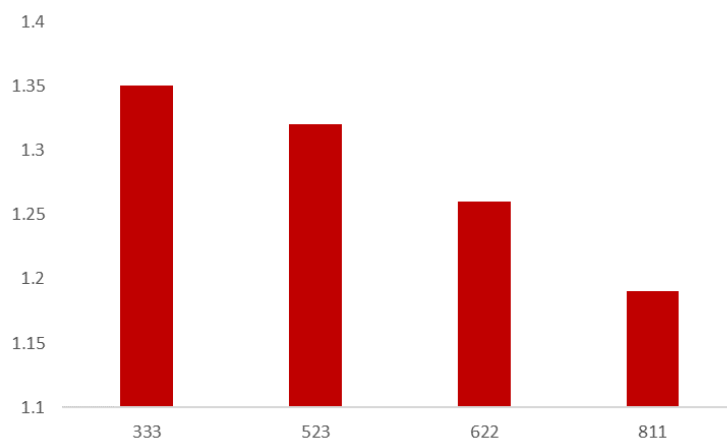
图 13：三元材料晶体结构示意图



数据来源：山西证券研究所、艾瑞咨询

Ni 在三元材料中充当活性物质之一，参与电化学反应，其存在可以提高材料活性及能量密度。但由于晶格中存在的 Ni^{2+} 与 Li^+ 半径相似，很容易发生阳离子混排，且随着 Ni 含量的增加，混排变得严重，这将直接影响材料的电化学性能，降低放电比容量，且阻碍 Li^+ 的扩散。下图展示了不同比例 NCM 的 $I_{(003)}/I_{(104)}$ 比值，这个值越低，代表阳离子混排越严重。

图 14：不同比例 NCM 的 I_{003}/I_{104} 比值



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

Co 在三元材料中也作为活性物质存在，参与电化学反应。Co 的含量越高，所形成的层状结构越稳定，且其能够减小阳离子混排，便于材料深度放电，从而提高材料的放电容量，但 Co 含量的增加将明显提高三元材料的原材料成本。

Mn 在电池的充放电过程中不发生变化，起到稳定结构的作用，其形成的 MnO_6 八面体可以在电化学过程中起到支撑结构的作用；此外，Mn 元素的添加将在一定程度上降低三元材料的成本。

三元材料基本上综合体现了上述几种材料的优点，并随着各成分含量的不同，而具有不同的性质和特点。

2.1.2 高镍含量对三元材料的性能影响

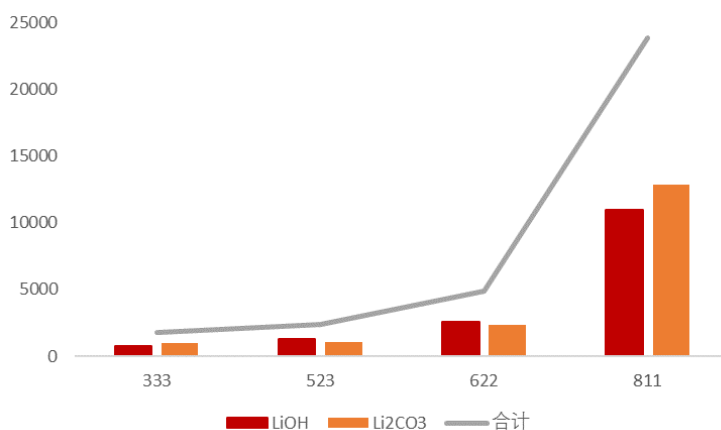
综合上节所述，不同比例 NCM 材料的优势不同，Ni 表现高的容量，低的安全性；Co 表现高成本，高稳定性；Mn 表现高安全性、低成本。目前关于提高动力电池能量密度的重点主要在于提高正极材料比容量，其中最主流的观点就是提高三元材料的镍含量。

镍在三元正极材料中充当活性成分，镍含量越高，可参与电化学反应的电子数越多，材料放电比容量越高，但镍含量的提高也将对材料的性能造成一系列影响：

1) **高镍影响正极材料的循环性能**：首先，如上文所述，三元材料中的 Ni^{2+} 容易与 Li^+ 产生混排效应，高镍材料中镍含量越高，则 Ni^{2+} 含量也越高，进而导致混排越严重，形成非计量比材料，同时影响材料的循环和倍率性能；其次，高镍将使得材料在循环过程中发生多次相变，增加内阻，影响材料循环性能。

2) **高镍使材料表面残碱量增高**：对于高镍材料（尤其是镍含量大于 60% 的高镍材料）来说，其在空气中很容易与 CO_2 和 H_2O 发生反应，在材料表面生产 Li_2CO_3 和 LiOH ，前者会导致材料在高温储存时产生严重的气胀，尤其是在充电状态，后者将与电解液中的 LiPF_6 反应产生 HF ，高镍材料残碱量控制难度加大给电池的加工和电化学性能都产生很大的影响。下图对各比例的三元材料表面残碱量进行了列示，可见 NCM811 的表面残碱总量较 NCM622 有近 5.5 倍的上漲，对残碱量的控制将是高镍材料制备过程中的重大课题之一。

图 14：不同比例 NCM 表面（ LiOH 和 Li_2CO_3 ）含量（单位：mg/kg）



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

3) **高镍影响材料热稳定性**：对于高镍含量的材料，由于在相同电位下脱出的 Li 要高于低镍含量材料， Ni^{4+} 含量要高， Ni^{4+} 有很强的还原倾向，容易发生 $\text{Ni}^{4+} \rightarrow \text{Ni}^{3+}$ 的反应，为了保持电荷平衡，材料中会释放出氧气，而使稳定性变差。

4) **高镍材料对电解液的要求变高**：在电解质和正极材料界面的反应及电荷传输会影响锂离子电池的性能和稳定性。活性材料的腐蚀和电解液的分解严重影响电荷在电极/电解液界面的传输。另外，高镍含量的三元材料由于表面 LiOH 和 Li_2CO_3 含量高，在电池储存时，尤其是高温条件下易与电解液反应，在 HF 的腐蚀下造成 Co 、 Ni 离子的溶解使循环寿命和存储寿命降低。因此，高镍材料对电解液的要求会比低镍材料更高。

2.2 三元材料制备技术及高镍材料的工艺特殊性

三元材料的制备方法主要有高温固相法、溶胶凝胶法、化学共沉淀法、水热合成法、喷雾干燥法及熔融盐法等。由于高镍三元材料在制备过程中对主成分均匀性分布、抑制沉淀物分相、控制材料残存锂量、金属异物管理等方面要求较高，其通常使用化学共沉淀法制成前驱体，再通过高温固相反应制备出正极材料。

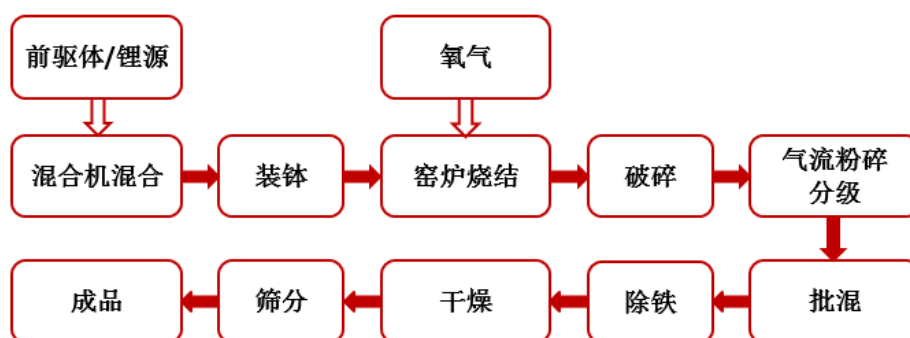
表 6：部分三元材料制备方法对比

制备方法	优势	劣势
高温固相法	对设备要求不苛刻、操作简单、便于控制	反应时间长、能耗大、原料混合不均、难以控制化学计量比、产物电化学性能不理想
化学共沉淀法	产物结晶度好、形貌规整、粒径分布均匀、产品批次性好	/
喷雾干燥法	产物颗粒小、化学计量组成均匀、形貌和粒径符合正态分布	工艺复杂、仪器设备设计难度大、实际工艺操作繁琐、暂时无法工业化应用
溶胶凝胶法	原料各组分可达原子级别的均匀混合、产物纯度高	需要使用价格昂贵的有机原料、干燥湿凝胶步骤繁琐、暂难大规模应用

资料来源：山西证券研究所整理

三元材料的成品制备中，高温固相法通常以镍钴锰和锂的氢氧化物或碳酸盐或氧化物为原料，按相应的物质的量配置混合，在 700~1000℃煅烧，得到产品。高温固相法的主要工艺流程包括锂化混合、装钵、窑炉煅烧、破碎、粉碎分级、批混、除铁、筛分、包装入库九大工序，每个环节的控制以及设备的性能都会对最终产品产生直接或间接的影响，高温固相法最核心的生产环节为锂化混合中的混料磨料、窑炉中的高温烧结及烧结后的粉碎分解，最核心的设备包括混料机、烧结炉、破碎机、除铁机等。

图 16：三元材料成本制备流程图



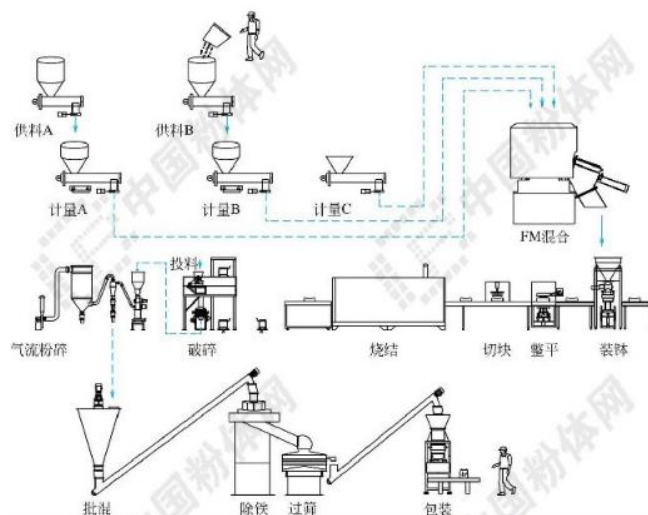
数据来源：山西证券研究所、中国粉体网

表 7：三元材料成品制备过程控制

工序	控制项目
锂化混合	锂与金属摩尔比例、投料数量与配比、混合均匀、颜色均一
装钵	批次、数量
窑炉煅烧	煅烧温度、传送速率、气体流量
破碎	颗粒大小
粉碎/分级	粒度分布
批量混合	混料批次、数量
除铁	无磁性杂质
过筛	过标准筛网、物理化学指标
包装、入库	重量、外观整洁、包装完好、标识无误

资料来源：山西证券研究所、中国粉体网

图 17：三元材料成本制备工艺图



数据来源：山西证券研究所、中国粉体网

2.2.1 锂化混合

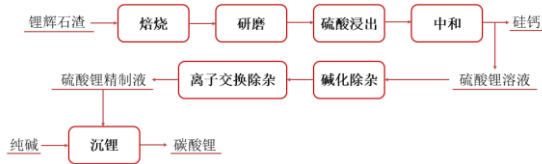
2.2.1.1 锂源：制备流程及使用成本对比

常见的锂源有碳酸锂（ Li_2CO_3 ）、一水氢氧化锂（ $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ）、硝酸锂（ LiNO_3 ）等，硝酸锂在使用中会产生有害气体，因此三元材料的制备中通常用到的是前两种锂源，尤其是碳酸锂。虽然从反应活性和反应温度上来看，一水氢氧化锂优于碳酸锂，但是由于一水氢氧化锂的锂含量波动比碳酸锂大，且氢氧化锂腐蚀性强于碳酸锂，因此若无特殊情况，三元材料生产厂家都倾向于使用含量稳定且腐蚀性弱的碳酸锂。

用于制备三元材料的碳酸锂的关键品质点是锂含量、杂质含量、粒度分布。由下列流程图可见，锂辉石制备碳酸锂过程中，杂质含量主要在中和工序、碱化工序和离子交换去进行控制；卤水制备碳酸锂过程

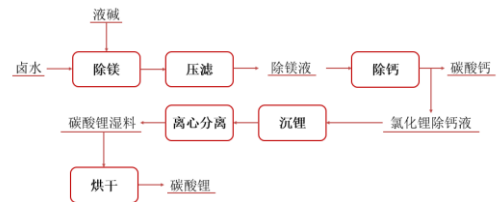
中，杂质含量主要在碱液、二氧化碳的加入及沉锂过程中进行控制。此外，不同厂家生产的碳酸锂产品中，粒度分布通常各不相同。

图 18：锂辉石制备碳酸锂的流程图



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

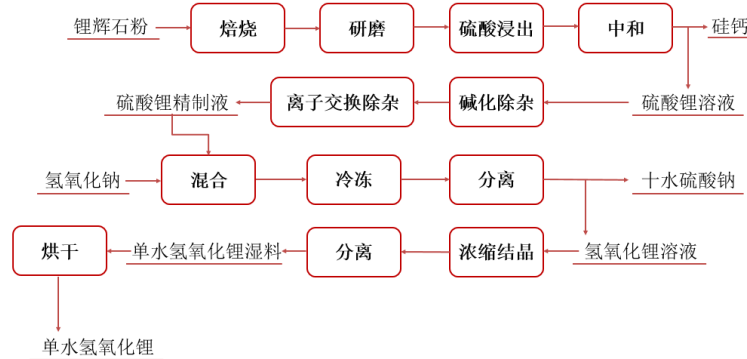
图 19：卤水制备碳酸锂的流程图



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

制备三元材料用氢氧化锂的关键品质点和碳酸锂相同，同样在中和过滤、碱化除杂及离子交换工序去除多数杂质，CO₃²⁻杂质含量则通过采用封闭体系来进行控制。

图 20：锂辉石制备单水氢氧化锂生产流程图



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

下表中我们对两种锂源在制备三元材料（以目前较主流的 NCM523 为例）过程中的成本情况进行了计算，锂源均价取 2019 年前两月均价。可见，由于一水氢氧化锂的锂含量低于碳酸锂，其单耗略高于碳酸锂，且截至目前一水氢氧化锂的均价依然明显高于电池级碳酸锂，所以前者比后者的 wh 成本高 58%左右。因此，若无对一水氢氧化锂的特殊需求，综合上文所述，普通低镍三元材料均使用碳酸锂作为锂源。

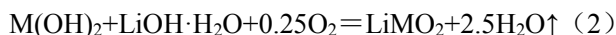
表 8：两种锂源在三元材料制备中的成本对比

锂源	单耗 (t)	含锂量 (%)	均价 (元/吨)	Wh 成本 (元/wh)
Li ₂ CO ₃	0.385	18.92	78945.95	0.052
LiOH·H ₂ O	0.45	16.67	107351.35	0.082

资料来源：山西证券研究所

2.2.1.2 锂化配比：工业生产中需严格控制一致性

三元材料煅烧反应式如下：



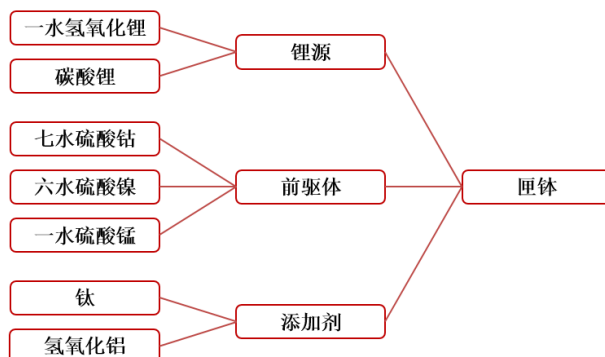
其中式（1）和式（2）的锂源分别为碳酸锂和一水氢氧化锂，锂化配比即反应式中 Li/M 的比值，在实际应用中，锂化配比的实际值将受到前驱体和锂源中杂质和水分含量的影响。一般情况下，三元材料的锂化配比范围在 1.02~1.15 之间。煅烧反应中的锂化配比将对煅烧后材料的比容量、循环性能、表面游离锂含量及材料 pH 值等产生显著影响。

最合适的锂化配比值很容易在实验室中找出，但在生产过程中，我们需要控制每个批次的产品都达到相同的容量值，这就需要做到以下几点：（1）严格控制三元材料前驱体和锂源供应商的产品品质和批次稳定性；（2）准确检测出三元材料前驱体的总金属含量和锂源的锂含量；（3）采用混合效果好的混合设备，保证混合物料每个点的锂化值都基本一致。

2.2.1.3 混合工艺及设备：高速混料机为最优选

在三元材料生产中，锂化混合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，配混料工序决定了三元材料锂配比的稳定性和均匀性，其中稳定性取决于原材料称量的准确度，均匀性则取决于混料机的混合效果将会影响烧结过程中锂、添加剂的均匀性，并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，三元材料通常采用干法混合，其相较于湿法混合来说具有简单易行、能耗低的特点。

图 21：锂化混合工艺图



数据来源：山西证券研究所、中国粉体网

目前常用的三元材料混料设备有斜式混料机（通常会加入研磨剂）、高速混料机、V 型混料机、犁刀飞

刀混料机等，几种混料机的优势及劣势对比如下。

表 9：三元材料混料设备对比

锂源	单耗 (t)	含锂量 (%)
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统一混合，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
V 型混料机	1、混料速度快，时间短；2、没有机械挤压和强烈磨损，能保持物料颗粒完整，不易造成破碎；3、不积料，清洗方便彻底	1、产能小，一般适合实验室或中试线使用；2、自动化程度不高，出料需要人工操作
犁刀飞刀混料机	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

资料来源：山西证券研究所、中国粉体网

图 22：斜式混料机系统设置布置图

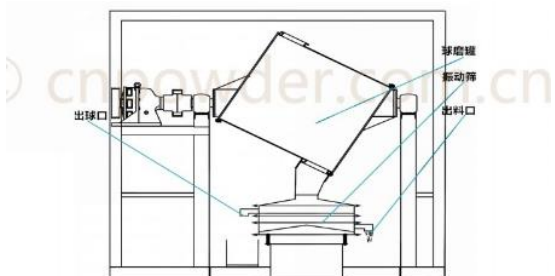
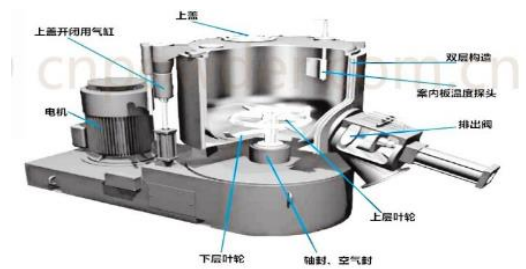


图 23：高速混合机结构图



数据来源：山西证券研究所、中国粉体网

数据来源：山西证券研究所、中国粉体网

目前工业中生产三元材料基本使用斜式混料机和高速混料机，而高速混料机在很多方面优于斜式混料机，下列表格以体积为 500L 的高速混料机和体积为 1500L 的斜式混料机为例进行对比。

表 10：高速混料机和球磨混料机参数对比

混料机类型	罐体体积/L	功率/kW	产能/kg·次 ⁻¹	单批次混合时间/min	单批次装卸料时间/min	所需研磨介质/kg
球磨混料机	1500	15	500	240	100	500
高速混料机	500	90	250	20	40	0

资料来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

从上表可见，高速混料机在装填率、混合时间、装卸料时间及研磨介质四个方面明显优于球磨混料机；此外，在混合效果方面，高速混合机也明显优于球磨混料机，如下表所示，高速混料机中不同取样点的锂化比例显然更为均匀。

表 11：球磨机和高速混料机混合后材料不同取样点锂化值对比

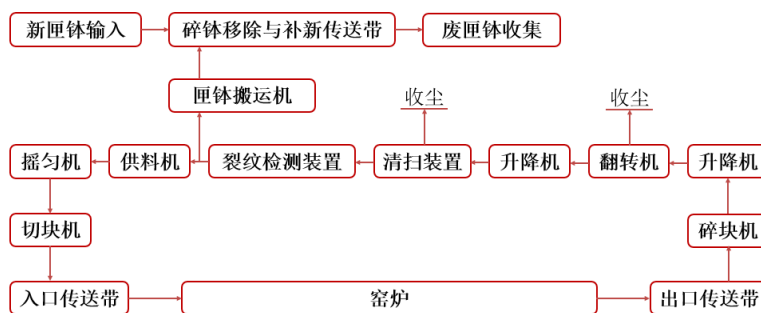
取样点	球磨机混料锂化比例	高速混料机锂化比例
1	1.05	1.09
2	1.08	1.08
3	1.11	1.07

资料来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

2.2.2 装钵：三元材料烧结应选择大缺口匣钵

三元材料混合好后，需要将混合物料放入匣钵，并将混合物料整平和切小块，之后将装好物料的匣钵和相应的垫板放到窑炉入口辊棒上。在窑炉的出端，煅烧好的物料被倒入料筒，进行匣钵清扫并检查匣钵是否有破损或裂缝，以判断是否能再次使用。为提高生产效率并节省人工，设备厂家将上述工序用自动化设备来完成，即“三元材料匣钵自动化装卸料系统”，该系统主要由供料机、摇匀机、切块机、碎块机、倒料装置、匣钵清扫装置、匣钵裂纹检测装置、传送系统 8 个部分组成。

图 24：匣钵自动装卸料系统布局图



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

据资料显示，三元材料常用匣钵规格尺寸（长宽高）主要有：320mm×320mm×60mm、320mm×320mm×65mm、320mm×320mm×70mm、320mm×320mm×75mm、320mm×320mm×85mm、320mm×320mm×100mm 等；匣钵外形有平底带缺口、平口带脚、平口不带脚三种。某锂电池材料专用匣钵供应商对不同烧结成分所使用的匣钵外观及性能进行了总结，如下表 11 所示，烧制钴酸锂及三元材料的匣钵缺口应选择大缺口，且材料密度相对偏高，耐腐蚀性好。

图 25：平底带缺口匣钵



数据来源：百度图片

图 26：平口不带脚匣钵



数据来源：百度图片

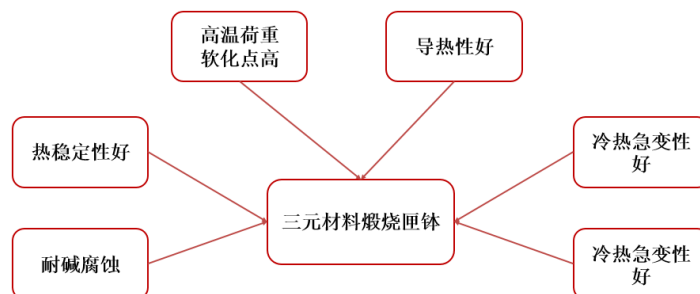
表 12：针对不同烧结成分使用匣钵的外观及性能差别

烧成品种	缺口	配方号	密度	特点
钴酸锂 三元材料	大	D、N	1.90	耐腐蚀好，抗热震一般，手工，不掉渣不氧化， 含内嵌腿 优点：光滑不掉渣、运行安全性高、耐腐蚀 钴酸锂寿命：6~20 次（使用工艺差别） 三元材料寿命：15~40 次（使用工艺差别）
锰酸锂	中	F、N	1.85	耐腐蚀好，抗热震一般，手工，不掉渣不氧化， 含内嵌退 使用寿命：10~60 次
磷酸铁锂	小	F	1.85	耐腐蚀一般，不易开裂，轻薄，不易粘粉 使用寿命：15~100 次

资料来源：山西证券研究所、宜兴前锦特陶官网

三元材料煅烧匣钵的选用一般需满足以下条件：①耐碱腐蚀，不易与和原材料反应；②热稳定性好；③高温荷重软化点高于煅烧温度；④导热性好、冷热急变性好；⑤透气性好。

图 27：三元材料匣钵需满足的条件



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

目前用于三元锂离子电池正极材料煅烧的匣钵一般为刚玉质、莫来石质和堇青石质等。堇青石匣钵具有优异的抗侵蚀性能和热震稳定性，作为一般用途在 1350℃氧化气氛下使用次数可达到 100 次以上，但用

于钴酸锂电池材料正极材料烧成时，即使烧成温度降低到 1000℃，使用寿命也只有 5~6 次；刚玉质和莫来石质匣钵用于电池材料烧成时，其使用寿命也大幅降低。

在高温煅烧过程中，与钴酸锂相比，三元材料对于匣钵材料造成的侵蚀更为严重。资料显示，煅烧三元材料时，开裂、内部腐蚀掉渣是匣钵损坏的主要原因。一般来说铝含量越高抗三元材料腐蚀能力越强，越不容易产生掉皮、掉渣等现象，刚玉-莫来石质、氧化铝质具有较好的抗碱腐蚀性能，但其具有冷热急变性的特点，容易开裂损坏且造价高昂。实际生产过程中多采用莫来石材质、莫来石-堇青石材质，单个匣钵可使用 10~15 次，但一般使用 4 次左右时便开始出现轻微掉皮掉渣现象并逐渐加剧，因此有些厂家在此基础上开发出了锆-莫来石质的匣钵，相比而言具有更好的抗腐蚀性能，使用寿命也更长。

2.2.3 窑炉煅烧：最关键工艺之一

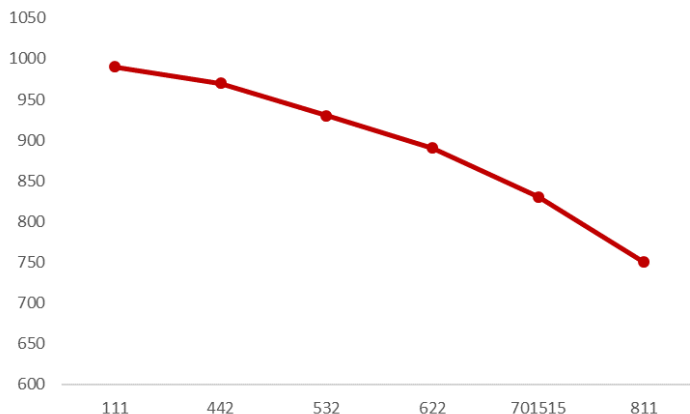
煅烧过程是三元材料前驱体加工为三元材料最为关键的工艺之一，其对三元材料的物理性能和电化学性能均有较大影响。

2.2.3.1 煅烧参数控制：温度、时间、气氛

三元材料煅烧工艺中最重要的是煅烧温度、煅烧时间、煅烧气氛这三大要素，其中煅烧温度和煅烧时间并不相互独立，当煅烧温度略高时，可适当缩短煅烧时间；若煅烧时间过长，可适当调低煅烧温度。

1) 煅烧温度控制：煅烧温度直接影响材料的容量、效率和循环性能，对材料表面碳酸锂和材料 pH 值影响较为明显。温度升高对材料的松装密度影响不大，而对产物的振实密度影响较大，但温度过高会引起化合物的二次结晶，影响锂离子在材料中的脱嵌，因此需要选择适中的煅烧温度。此外，不同组分的三元材料煅烧温度也不相同，通常，三元材料的镍含量越高，煅烧温度越低，如下图所示。

图 28：几种常见三元材料煅烧温度趋势



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

2) **煅烧时间控制**：在一定范围内，煅烧时间对材料容量、比表面积、振实密度、pH 的影响不太明显，但对材料表面锂残留量和产品单晶颗粒大小影响较大。

3) **煅烧气氛控制**：由上文的煅烧反应方程式可知，三元材料的煅烧过程是氧化反应，需要消耗氧气。在三元材料煅烧过程中，为提升气体的扩散速率，要确保有足够多的氧分压，虽然可以通过采用纯氧气氛或减少煅烧量的方法来增加氧分压，但**综合考虑生产成本来**，在提高产能的同时，厂家一般会选择增加进气量和排气量的方法来增加氧气分压。

2.2.3.2 煅烧设备：辊道窑使用最为广泛

三元材料的煅烧设备主要是指窑炉，推板窑和辊道窑是三元材料厂家采用较多的连续隧道式窑炉，其中又以辊道窑炉使用最为广泛。

图 29：电热辊道窑炉



数据来源：山西证券研究所、江苏前锦炉业

下表中对辊道窑和推板窑的特点进行了对比。首先，为防止拱板现象发生，推板窑不能做得太长，而辊道窑没有这一点顾虑；其次，推板窑由于摩擦较大，移进板将产生摩擦粉尘，粉尘掉落较多，粉尘污染大；最后，辊道窑的温度控制相对较好，因此产品一致性也较好。对比结果显示，辊道窑更加适合三元材料的煅烧。

表 13：三元材料用双列辊道窑和双列推板窑对比

项目	双列推板窑	双列辊道窑	备注
窑长	通常小于 36m	可做到 60m 以上	窑长产量大，温度曲线好调
产品单耗	高于辊道窑	低于推板窑	速度相同时
辊棒	无	通常为刚玉-莫来石	碳化硅辊道强度好、价格高
移进板	通常 30mm 厚	通常 15mm 厚	无移进板时对匣钵要求高
粉尘	偏大	稍小	移进板摩擦粉尘
空气气氛	一般	稍好	进气量相同时
保护气氛	较好	稍差	进气量相同时，辊道窑密封较难

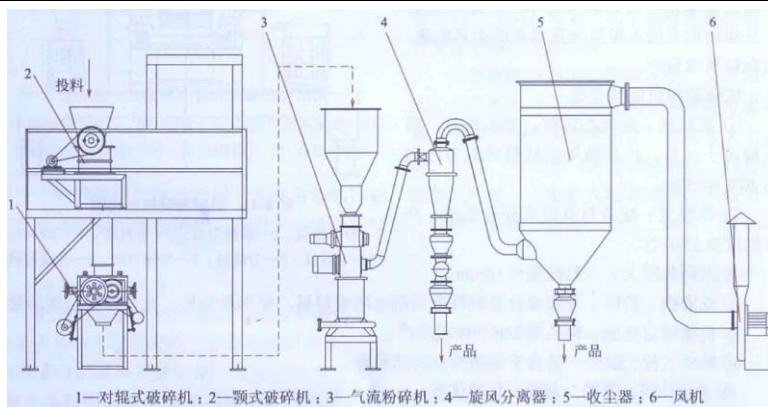
升温速度	一般	较快	单层时较快
冷却速度	一般	较快	单层时较快
产品一致性	一般	较好	由温度均匀性决定
事故处理	无处理孔	可设处理孔	事故情况不同，难易不同

资料来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

2.2.4 粉碎：鄂式破碎→辊式破碎→气流粉碎

三元材料重要的质量指标之一是粒度及粒度分布，其会影响三元材料的比表面积、振实密度、压实密度、加工性能及电化学性能。三元材料前驱体和锂源的混合物在匣钵中经高温煅烧后，有 24%以上的烧失率，所以材料板结严重，需要先使用破碎设备将几厘米的大块物料破碎成几毫米的小块，再用粉磨设备将小块粉磨成最终产品。常见的三元材料粉碎工艺流程是：鄂式破碎→辊式破碎→气流粉碎（或机械粉碎）。

图 30：常见三元材料粉碎工艺流程图



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

按照产出颗粒大小不同，粉碎可细分为破碎和粉磨，破碎是指使大块物料碎裂成小块物料的加工过程，粉磨是指使小块物料碎裂成细粉末状物料的加工过程。下表列出了三元材料粉碎工艺流程中常用设备的粉碎粒径及产能对比情况。需注意的是，三元材料的硬度较大且 pH 大于 10，属于碱性物质，粉碎设备需要耐碱腐蚀、耐磨损。

表 14：三元材料常用粉碎设备对比表

粉碎设备	给料粒度/mm	产品粒度/ μm	常见功率/kW	功率对应产能/ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$
鄂式破碎机	300~1000	2000~20000	1.5	450
辊式破碎机	<200	1000~20000	2.2	500
气流粉碎机	<3	1~50	60（含压缩空气）	300
机械粉碎机	<10	1~15	12	100

资料来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

在三元材料的粉碎中，可以使用气流粉碎机，也可以使用机械粉碎机，两种粉碎设备各有优缺点，如

下表所示：

表 15：三元材料常用粉碎设备对比表

项目	原理	结构	能耗	磨损	产能
气流粉碎机	利用压缩气体作动力	简单，有专门的磨腔	高	高	高
机械粉碎机	利用机械能作动力	动盘与定盘上安装刀片	低	低	一般

资料来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

通常来说，在气流粉碎机之后会直接加上气流分级装置，直接对粉碎后的产品进行分级。

2.2.5 除铁：贯穿全流程的重要环节

三元材料在制程过程中将带入一系列金属杂质，而金属杂质，特别是单质铁的存在将会造成电池的短路，情况严重时会导致电池失效，因此，**磁选除铁是三元材料制程中必不可少的环节，并且贯穿了三元材料制程的整个过程。**下表 16 对三元材料制程中金属杂质的来源进行了列示。

表 16：三元材料制程过程中金属杂质来源

编号	工段	金属杂质来源
1	原材料及辅料	硫酸镍、硫酸钴、硫酸锰、氢氧化钠、碳酸锂等
2	前驱体反应	金属反应釜及金属部件的磨损或腐蚀
3	混料	混料设备的磨损或腐蚀
4	粉碎和分级	破碎机和粉碎机的磨损
5	物料输送环节	管道磨损或腐蚀

资料来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

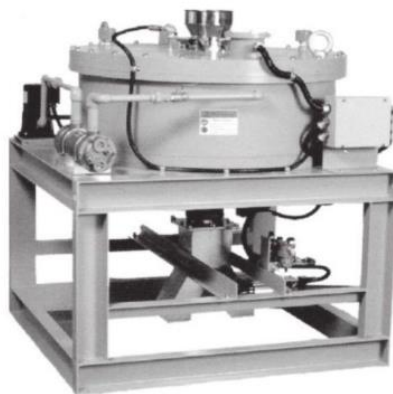
三元材料制备过程中常用的除铁设备有管道除铁器和电磁型磁选机。其中管道除铁器安装在物料输送管道上，应用于各个输送环节；电磁型磁选机则主要应用于三元材料成品包装前的除铁。

图 31：管道除铁器外形图



数据来源：《锂离子电池三元材料》

图 32：电磁型磁选器外形图



数据来源：《锂离子电池三元材料》

2.2.6 筛分/包装

为避免材料中含有异物或粗大颗粒，还需在包装前对三元材料进行筛分。据资料显示，三元材料的 D_{MAX} 应至少小于 $50\mu m$ ，根据标准筛网的目数对照表，三元材料需选择 300 目或者 400 目的筛网。需要注意的是，由于在三元材料的制程过程中应避免带入铁杂质或其他金属杂质，所以筛网的材质要选择非金属材质，并具有良好的耐碱腐蚀性能。

常见的筛分机有固定格筛、圆筒筛、振动筛等，三元材料常用的筛分机为振动筛，且常将超声波控制器与振动筛结合使用，称为超声波振动筛，使筛分效果及性能更加优秀。

图 33：超声波振动筛



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

经过筛分后的三元材料即可进行包装，这也是三元材料加工工艺的最后一步，通常采用真空包装或者真空后再充入惰性气体的方式进行。

2.2.7 高镍三元材料制备：工艺条件更苛刻，设备要求更严格

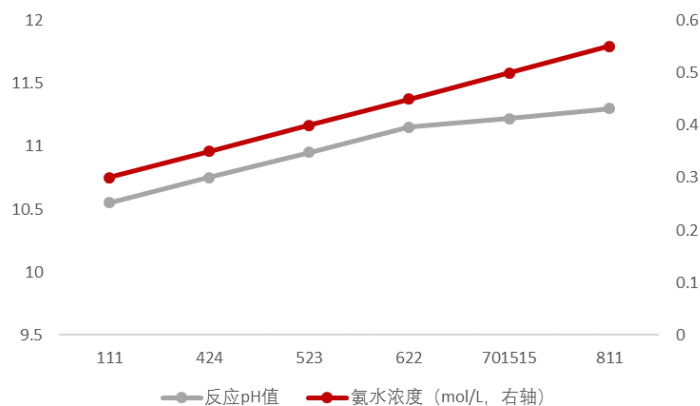
相对普通三元材料，高镍三元材料在原材料、制备方法及工艺流程等方面要求都更加苛刻，相对应的，对工艺流程中核心设备的要求也将更高。根据公开资料总结，高镍三元材料在制备过程中与普通三元材料的差别主要如下：

1) 锂源：普通三元材料的锂源通常采用碳酸锂，而高镍三元材料的锂源必须采用氢氧化锂。产生上述应用差异的原因主要有以下几点：首先，对于高镍三元材料来说，要求烧结时温度不能高于 $800^{\circ}C$ ，采用碳酸锂作原料，过低的烧结温度会造成分解不完全，导致碱性过强，对湿度的敏感性增强，影响电池性能；其次，高镍三元材料烧结时对氧气浓度有要求，用碳酸锂作为锂源时，分解释放二氧化碳，稀释氧气浓度；用氢氧化锂作为锂源时，仅分解释放水蒸气，相应的，制程中对湿度控制的要求也更高。

2) 前驱体反应条件：由于镍、钴、锰三元素的沉淀 pH 值不同，故不同组分三元材料前驱体的最佳反应 pH 值不同，据资料显示，随着前驱体镍含量的增加，所需的氨水浓度和反应 pH 值都相应提高，如下图

所示。

图 34：不同组分前驱体的适宜氨水浓度和反应 pH



数据来源：山西证券研究所、《锂离子电池三元材料》

3) 混料设备：普通三元材料由于高镍材料表面结构不稳定，在环境湿度大的情况下，材料表面将生成强碱性的氢氧化锂和碳酸锂，浆料易成果冻状，并且材料中的镍含量越高，这种情况越严重；另一项造成这种现象的原因是三元材料在生产过程中混合不均匀，进而影响烧结过程中锂、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。由于高速混料机相对于球磨混料机具有更加优异的混合效果，因此高镍材料混料设备均采用高速混料机，而普通三元材料，尤其是老产线则也可使用球磨混料机；此外，高镍材料混料设备还应具备更加优异的耐碱腐蚀性和控制湿度的能力。

4) 匣钵类型和装料量：根据上文所述，三元材料烧结过程中对于匣钵的透气性要求较高，而高镍材料对于氧气浓度的要求更甚，因此，高镍材料用匣钵的透气口相对较大；此外，匣钵堆叠层数及装料量也对氧气的进入和废气的排出有影响，其中以装料量影响较大，因此，高镍材料的匣钵装料量相对普通三元材料少。

5) 烧结次数：普通三元材料通常采用一次烧结，但高镍材料更容易出现表面残碱量高的问题，国内厂家目前普遍采用对高镍材料进行水洗，然后在较低温度下二次烧结的方法来降低表面残碱量。需要注意的是，水洗+二次烧结的方法虽然可以将材料表面残碱清洗得比较干净，但处理之后的三元材料的倍率和循环性能将受到影响，因此对于残碱的控制还是应贯穿三元材料整个制备过程，在前驱体阶段控制好氨水的含量和保护气氛的分压，甚至加入适量添加剂来降低碳和硫含量，以尽量做到一次烧结。

6) 煅烧温度：如上文所述，三元材料的镍含量越高，煅烧温度越低，镍含量 50% 及以下的普通三元材料煅烧温度通常在 900℃ 以上，而高镍材料通常在 800℃ 以下。这主要是因为温度过高容易造成锂镍混排，难以烧结出计量比的高镍层状材料，影响材料性能

7) 煅烧气氛：进气方面，普通三元材料在空气气氛中烧结即可，高镍三元材料对于氧气氛围要求高，

烧结需要在纯氧气氛中进行；排出废气方面，普通三元材料利用碳酸锂作为锂源，废气是二氧化碳和水蒸气，高镍三元材料利用一水氢氧化锂作为锂源，废气主要是水蒸气。

8) 煅烧设备：由于高镍材料必须在纯氧气氛中高温合成，因此窑炉材质必须耐氧气腐蚀；此外，高镍三元材料利用氢氧化锂作为锂源，氢氧化锂易挥发且碱性很强，窑炉材质的耐碱腐蚀性必须非常优良。目前高镍三元材料生产主要采用密封辊道窑，国内能生产该类设备的企业比较少，暂时无法完全满足高镍三元材料的制备要求。

下表对于普通三元材料和高镍三元材料在制程中的差异性进行了总结。

表 17：普通三元材料和高镍三元材料制程中主要差异

工艺流程		普通三元材料	高镍三元材料
锂化混合	锂源	碳酸锂	氢氧化锂
	前驱体反应条件	氨水浓度低、pH 低	氨水浓度高、pH 高
	混料设备	球磨混料机/高速混料机	高速混料机
装钵	匣钵	透气口相对偏小	透气口相对偏大
	装料量	相对多	相对少
窑炉煅烧	烧结次数	多为一次	多为二次
	煅烧温度	900℃ 以上	800℃ 以下
	煅烧气氛	空气	氧气
	煅烧设备	耐碱腐蚀要求低，无需密封	耐氧腐蚀、耐碱腐蚀要求高，密封

资料来源：山西证券研究所整理

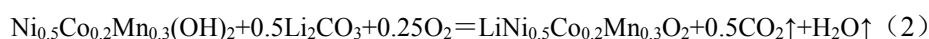
3. 普通三元材料及高镍三元材料成本拆分及敏感性分析

为对比普通三元材料（以 NCM523 为代表）和高镍三元材料（以 NCM811 为代表）的制造成本和使用成本，我们在本章对以上两种材料从前驱体制备到正极材料成品制备做了较为详细的成本拆分（拆分数据主要来源于多家前驱体及正极材料厂家的项目环评报告）。

3.1 NCM523 及 NCM811 成本拆分：高镍材料 kwh 制造成本更低

3.1.1 NCM523 成本拆分

目前正极材料的制备多采用共沉淀法（前驱体）+高温固相法（正极材料）的方式，下列式（1）及式（2）分别为 NCM523 前驱体及正极材料的化学反应方程式：



根据以上化学方程式，我们对生产 1 吨前驱体/正极材料所需的原料理论投料量进行了计算，并与生产厂家的实际投料量进行了对比，如下表所示。前驱体制备过程中，实际投放过量较多的是硫酸钴；而在正极材料的制备过程中，前驱体和锂源的实际投料都过量，且锂源的过量比例较高。

表 18：NCM523 前驱体及正极材料生产过程中理论及实际投料量

	NCM523 前驱体			NCM523 正极材料	
	NiSO ₄ ·6H ₂ O	CoSO ₄ ·7H ₂ O	MnSO ₄ ·H ₂ O	前驱体	Li ₂ CO ₃
理论投料 (t)	1.43	0.61	0.55	0.95	0.38
实际投料 (t)	1.43	0.65	0.53	0.96	0.40
实际/理论	1.00	1.07	0.96	1.01	1.05

资料来源：山西证券研究所整理

综合各厂家环评报告给出的数据和资料，我们对 NCM523 前驱体及正极材料的成本做出了如下表的详细分拆。其他主要假设条件如下：

- (1) 作为络合剂，假设液氨无循环利用情况，每一批次均为新购入；
- (2) 假设人工成本为 7.3 万元/年；
- (3) 表格中价格数据全部为 2019 年 3 月 18 日数据。

表 19：NCM523 前驱体及正极材料成本分拆

NCM523 前驱体							
项目		用量	单位	单价 (元/t)	成本 (元/t 产品)	占比 (%)	
原材料成本	NiSO ₄ ·6H ₂ O	1,430.23	kg/t 产品	26,000.00	37,185.98	45.57%	
	CoSO ₄ ·7H ₂ O	654.83	kg/t 产品	51,500.00	33,723.75	41.33%	
	MnSO ₄ ·H ₂ O	530.98	kg/t 产品	6,900.00	3,663.76	4.49%	
	液氨	140.00	kg/t 产品	3,220.00	450.80	0.55%	
	32%液碱	3,068.00	kg/t 产品	873.40	2,679.59	3.28%	
制造费用	氮气	27.00	kg/t 产品	550.00	14.85	0.02%	
	水	25,618.17	kg/t 产品	2.65	67.89	0.08%	
	电	2,500.00	kwh/t 产品	0.80	2,000.00	2.45%	
	设备折旧	/	/	/	952.94	1.17%	
	污水处理费用	31.65	t/t 产品	4.00	126.60	0.16%	
	人工	0.01	人/t 产品/a	73,000.00	730.00	0.89%	
合计		/	/	/	81,596.16	100.00%	
NCM523 正极材料							
项目		用量	单位	单价 (元/t)	成本 (元/t 产品)	占比 (%)	
原材料成本	Ni _{0.5} Co _{0.2} Mn _{0.3} (OH) ₂	0.96	t/t 产品	81,596.16	78,291.52	63.33%	
	Li ₂ CO ₃	0.40	t/t 产品	77,500.00	30,628.00	24.77%	
制造费用	电	10,000.00	kwh/t 产品	0.80	8,000.00	6.47%	
	设备折旧	/	/	/	2,696.50	2.18%	
	维修	/	/	/	3,280.00	2.65%	

人工	0.01	人/t 产品/a	73,000.00	730.00	0.59%	
合计	/	/	/	123,626.02	100.00%	

资料来源：山西证券研究所

由上述成本分拆结果，我们得到如下结论：

(1) 在 NCM523 前驱体及正极材料制备的成本中，占比最大的均为原材料成本，分别占前驱体及正极材料的 95.23%及 88.10%；

(2) 除原材料成本外，电费占比最大，尤其是在正极材料成品制备电热烧结的过程中，用电量，占总成本 6.5%左右。因此，正极材料生产厂商的工厂选址非常重要，我们在上述成本拆分表格中采用的用电单价为浙江省工业用电平均价格，而据了解，银川等地工业用电价格可低至 0.4 元/kwh 左右，用电量相同时将缩减 50%的用电成本；

(3) 我们根据上述成本分拆结果得到自制前驱体及正极材料成本数据，并通过查询 wind 及 CBC 有色网数据得到正极材料及外购前驱体价格数据，对正极材料制备过程中采用外购前驱体及自制前驱体的毛利率进行了计算对比，结果如下表所示。

表 20：使用外购前驱体及自制前驱体的毛利率对比

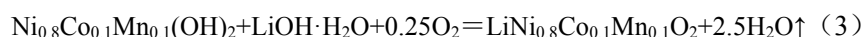
前驱体来源	正极材料售价 (元/t)	前驱体使用成本 (元/t)	正极材料成本 (元/t)	毛利率 (%)
外购	15.30	9.05	13.25	13.40%
自制		8.16	12.36	19.22%

资料来源：山西证券研究所、wind、CBC 有色网

结果可见，正极材料制备过程中，自制前驱体成本明显低于外购前驱体，按上述计算结果，完全自制 NCM523 前驱体的正极材料生产厂商毛利率有望比外购前驱体的厂商高出近 6 个百分点。

3.1.2 NCM811 成本拆分

NCM811 正极材料的制备同样通过共沉淀法（前驱体）+高温固相法（正极材料）的方式，其中前驱体制备的方程式与 NCM523 前驱体相同，仅为投料比变化，下列式（3）则为 NCM811 正极材料的化学反应方程式：



同样，根据以上化学方程式，我们对生产 1 吨 NCM811 前驱体/正极材料所需的原料理论投料量进行了计算，并与生产厂家的实际投料量进行了对比，如下表所示。NCM811 的前驱体及正极材料制备过程中，实际投料值与理论投料值之间较为接近，过量投放现象不明显。

表 21：NCM811 前驱体及正极材料生产过程中理论及实际投料量

	NCM811 前驱体			NCM811 正极材料	
	NiSO ₄ ·6H ₂ O	CoSO ₄ ·7H ₂ O	MnSO ₄ ·H ₂ O	前驱体	Li ₂ CO ₃
理论投料 (t)	2.27	0.30	0.18	0.95	0.43
实际投料 (t)	2.27	0.30	0.19	0.95	0.43
实际/理论	1.00	1.00	1.06	1.00	1.00

资料来源：山西证券研究所整理

综合各厂家环评报告给出的数据和资料，我们也对 NCM811 前驱体及正极材料的成本做出了如下表的详细分拆，主要假设条件同 NCM523。

表 22：NCM811 前驱体及正极材料成本分拆

NCM811 前驱体							
	项目	用量	单位	单价 (元/t)	成本 (元/t 产品)	占比 (%)	
原材料成本	NiSO ₄ ·6H ₂ O	2,269.96	kg/t 产品	26,000.00	59,018.96	70.75%	94.62%
	CoSO ₄ ·7H ₂ O	300.77	kg/t 产品	51,500.00	15,489.66	18.57%	
	MnSO ₄ ·H ₂ O	187.41	kg/t 产品	6,900.00	1,293.13	1.55%	
	液氨	140.00	kg/t 产品	3,220.00	450.80	0.54%	
	32%液碱	3,068.00	kg/t 产品	873.40	2,679.59	3.21%	
制造费用	氮气	27.00	kg/t 产品	550.00	14.85	0.02%	5.38%
	水	26,378.06	kg/t 产品	2.65	69.90	0.08%	
	电	2,500.00	kwh/t 产品	0.80	2,000.00	2.40%	
	设备折旧	/	/	/	1,596.42	1.91%	
	污水处理费用分摊	20.15	t/t 产品	4.00	80.60	0.10%	
	人工	0.01	人/t 产品/a	73,000.00	730.00	0.88%	
合计		/	/	/	83,423.91	100%	
NCM811 正极材料							
	项目	用量	单位	单价 (元/t)	成本 (元/t 产品)	占比 (%)	
原材料成本	Ni _{0.5} Co _{0.2} Mn _{0.3} (OH) ₂	0.95	t/t 产品	83,423.91	79,236.03	54.78%	84.58%
	LiOH·H ₂ O	0.43	t/t 产品	100,000.00	43,100.00	29.80%	
制造费用	电	14,000.00	kwh/t 产品	0.80	11,200.00	7.74%	15.42%
	氧气	7.15	t/t 产品	470.00	3,360.50	2.32%	
	设备折旧	/	/	/	3,165.67	2.19%	
	维修	/	/	/	3,850.69	2.66%	
	人工	0.01	人/t 产品/a	73,000.00	730.00	0.50%	
合计		/	/	/	144,642.89	100%	

资料来源：山西证券研究所

NCM811 前驱体及正极材料制备的成本构成与 NCM523 基本相同，但由于 NCM811 的烧结需要在氧气气氛下进行，并且需要进行二次烧结，故 NCM811 正极材料的制造费用中，电费和氧气的占比较高。

同样，我们根据上述成本分拆结果得到自制 NCM811 前驱体及正极材料成本数据，并通过查询 wind

及 CBC 有色网数据得到 NCM811 正极材料及外购前驱体价格数据，对正极材料制备过程中采用外购前驱体及自制前驱体的毛利率进行了计算对比，结果如下表所示。

表 23：使用外购前驱体及自制前驱体的毛利率对比

前驱体来源	正极材料售价（元/t）	前驱体使用成本（元/t）	正极材料成本（元/t）	毛利率（%）
外购	19.50	9.65	15.71	19.44%
自制		8.34	14.46	25.85%

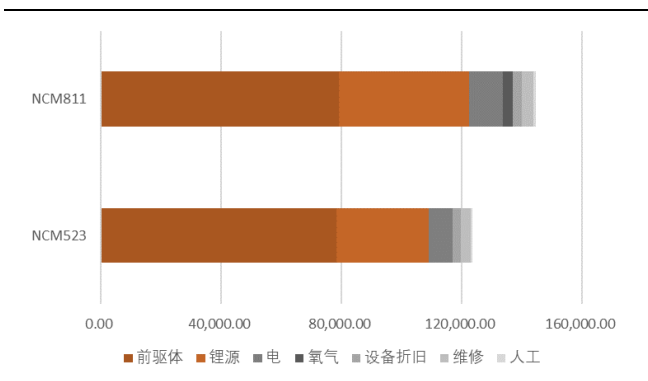
资料来源：山西证券研究所、wind、CBC 有色网

按上述计算结果，完全自制 NCM811 前驱体的正极材料生产厂商毛利率有望比外购前驱体的厂商高出近 6.5 个百分点。

3.1.3 普通及高镍三元材料成本分拆结果对比

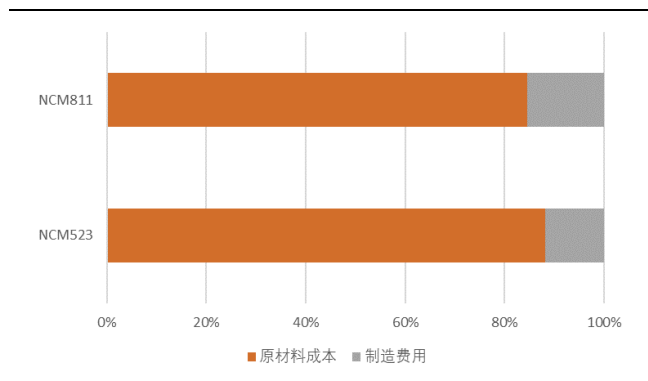
我们针对上述普通及高镍三元材料成本分拆结果进行了如下对比。下图 35 为普通及高镍三元材料的总成本构成对比，可以发现两种三元材料的前驱体成本几乎相同，而 NCM811 所使用的锂源为单价更贵的一水氢氧化锂，因此高镍三元材料的原材料成本较高主要来源于高成本锂源；但就比例来看，由于 NCM811 的制造难度更大、要求更苛刻，因此高镍材料的原材料成本占比反而是相对较小的，制造费用占比相对较大。

图 35：普通及高镍三元材料总成本构成



数据来源：山西证券研究所

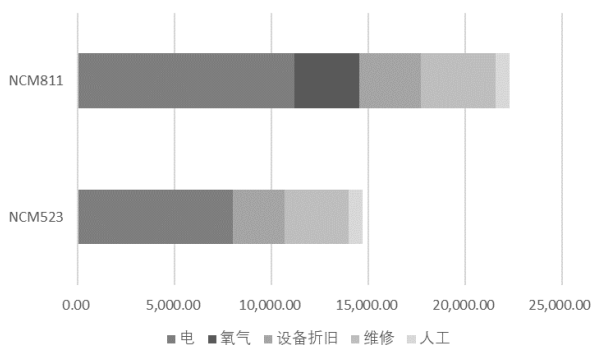
图 36：普通及高镍三元材料总成本占比



数据来源：山西证券研究所

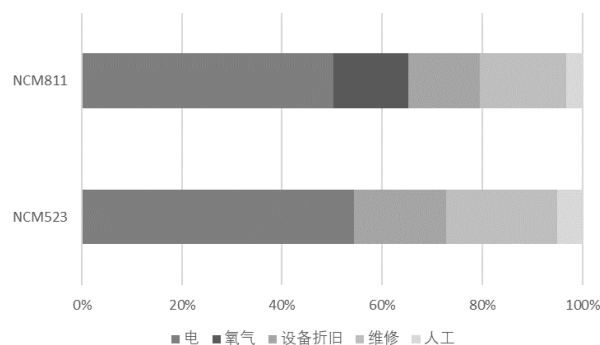
下图中我们将两种三元材料的制造费用放大来看。虽然高镍材料的烧结温度明显低于普通三元材料，但由于高镍材料通常需要进行二次烧结，因此 NCM811 正极材料的用电费用明显高于 NCM523 正极材料；此外，高镍三元材料的烧结过程必须在氧气气氛下完成，因此 NCM811 正极材料的制造费用比 NCM523 正极材料多一项氧气费用。

图 37：普通及高镍三元材料制造费用构成



数据来源：山西证券研究所

图 38：普通及高镍三元材料制造费用占比



数据来源：山西证券研究所

下表中我们根据成本拆分结果，对普通及高镍三元材料的单位制造成本及单位使用成本进行了对比。结果显示，NCM811 的吨制造成本、吨使用成本均明显高于 NCM523，这是高镍材料的高价锂源及高昂的制造费用所共同作用的结果；kwh 成本方面，由于达到同样的电量所需的高镍材料使用量明显低于普通三元材料(据调研了解,生产 1Gwh 电池,需要 NCM523 和 NCM811 的量分别为 1700 吨和 1400 吨),故 NCM811 的 kwh 制造成本能够略低于 NCM523,但从下游厂家购买的角度来说,根据目前的售价计算,NCM811 的 kwh 使用成本仍然高于 NCM523。可以说,虽然 NCM811 的制造成本理论上更低,但 NCM811 的制造工艺较为复杂,且能够生产出合格 NCM811 产品的正极材料厂商数量有限,因此正极材料厂商能够获取更高的技术溢价。未来随着能够制备出合格 NCM811 的厂商的增多,NCM811 产品的毛利率会趋于回落。

表 24：普通及高镍三元材料单位成本对比

三元材料	1 吨制造成本 (万元)	1 吨使用成本 (万元)	1kwh 制造成本 (元)	1kwh 使用成本 (元)
NCM523	12.36	15.30	210.12	260.10
NCM811	14.46	19.50	202.44	273.00

资料来源：山西证券研究所

3.2 普通及高镍三元材料成本敏感性分析

3.2.1 钴源、锂源价格变化对 NCM523 的吨成本影响

表 25：钴源、锂源价格变化对 NCM523 的吨成本影响

NCM523 (万元/吨)		CoSO ₄ ·7H ₂ O (万元/吨)								
		1.15	2.15	3.15	4.15	5.15	6.15	7.15	8.15	9.15
Li ₂ CO ₃ (万元/吨)	3.75	8.28	8.90	9.52	10.14	10.76	11.38	12.00	12.62	13.24
	4.75	8.68	9.30	9.92	10.54	11.16	11.78	12.40	13.02	13.64
	5.75	9.08	9.70	10.32	10.94	11.56	12.18	12.80	13.42	14.04

	6.75	9.48	10.10	10.72	11.34	11.96	12.58	13.20	13.82	14.44
	7.75	9.88	10.50	11.12	11.74	12.36	12.98	13.60	14.22	14.84
	8.75	10.28	10.90	11.52	12.14	12.76	13.38	14.00	14.62	15.24
	9.75	10.68	11.30	11.92	12.54	13.16	13.78	14.40	15.02	15.64
	10.75	11.08	11.70	12.32	12.94	13.56	14.18	14.80	15.42	16.04
	11.75	11.48	12.10	12.72	13.34	13.96	14.58	15.20	15.82	16.44

资料来源：山西证券研究所

3.2.2 钴源、锂源价格变化对 NCM523 的 kwh 成本影响

表 26：钴源、锂源价格变化对 NCM523 的 kwh 成本影响

NCM523 (元/kwh)		CoSO ₄ ·7H ₂ O (万元/吨)								
		1.15	2.15	3.15	4.15	5.15	6.15	7.15	8.15	9.15
Li ₂ CO ₃ (万元/ 吨)	3.75	140.81	151.35	161.89	172.43	182.97	193.51	204.05	214.59	225.13
	4.75	147.61	158.15	168.69	179.23	189.77	200.31	210.85	221.39	231.93
	5.75	154.41	164.95	175.49	186.03	196.57	207.11	217.65	228.19	238.73
	6.75	161.21	171.75	182.29	192.83	203.37	213.91	224.45	234.99	245.53
	7.75	168.01	178.55	189.09	199.63	210.17	220.71	231.25	241.79	252.33
	8.75	174.81	185.35	195.89	206.43	216.97	227.51	238.05	248.59	259.13
	9.75	181.61	192.15	202.69	213.23	223.77	234.31	244.85	255.39	265.93
	10.75	188.41	198.95	209.49	220.03	230.57	241.11	251.65	262.19	272.73
	11.75	195.21	205.75	216.29	226.83	237.37	247.91	258.45	268.99	279.53

资料来源：山西证券研究所

3.2.3 钴源、锂源价格变化对 NCM811 的吨成本影响

表 27：钴源、锂源价格变化对 NCM811 的吨成本影响

NCM811 (万元/吨)		CoSO ₄ ·7H ₂ O (万元/吨)								
		1.15	2.15	3.15	4.15	5.15	6.15	7.15	8.15	9.15
LiOH·H ₂ O (万元/ 吨)	6.00	11.59	11.87	12.16	12.44	12.73	13.01	13.30	13.58	13.87
	7.00	12.02	12.30	12.59	12.87	13.16	13.44	13.73	14.01	14.30
	8.00	12.45	12.73	13.02	13.30	13.59	13.87	14.16	14.44	14.73
	9.00	12.88	13.16	13.45	13.73	14.02	14.30	14.59	14.87	15.16
	10.00	13.31	13.59	13.88	14.16	14.45	14.73	15.02	15.30	15.59
	11.00	13.74	14.02	14.31	14.59	14.88	15.16	15.45	15.73	16.02
	12.00	14.17	14.45	14.74	15.02	15.31	15.59	15.88	16.16	16.45
	13.00	14.60	14.88	15.17	15.45	15.74	16.02	16.31	16.59	16.88
	14.00	15.03	15.31	15.60	15.88	16.17	16.45	16.74	17.02	17.31

资料来源：山西证券研究所

3.2.4 钴源、锂源价格变化对 NCM811 的 kwh 成本影响

表 27：钴源、锂源价格变化对 NCM811 的 kwh 成本影响

NCM811 (元/kwh)		CoSO ₄ ·7H ₂ O (万元/吨)								
		1.15	2.15	3.15	4.15	5.15	6.15	7.15	8.15	9.15
LiOH·H ₂ O (万元/吨)	6.00	162.23	166.22	170.21	174.20	178.19	182.18	186.17	190.16	194.15
	7.00	168.25	172.24	176.23	180.22	184.21	188.20	192.19	196.18	200.17
	8.00	174.27	178.26	182.25	186.24	190.23	194.22	198.21	202.20	206.19
	9.00	180.29	184.28	188.27	192.26	196.25	200.24	204.23	208.22	212.21
	10.00	186.31	190.30	194.29	198.28	202.27	206.26	210.25	214.24	218.23
	11.00	192.33	196.32	200.31	204.30	208.29	212.28	216.27	220.26	224.25
	12.00	198.35	202.34	206.33	210.32	214.31	218.30	222.29	226.28	230.27
	13.00	204.37	208.36	212.35	216.34	220.33	224.32	228.31	232.30	236.29
	14.00	210.39	214.38	218.37	222.36	226.35	230.34	234.33	238.32	242.31

资料来源：山西证券研究所

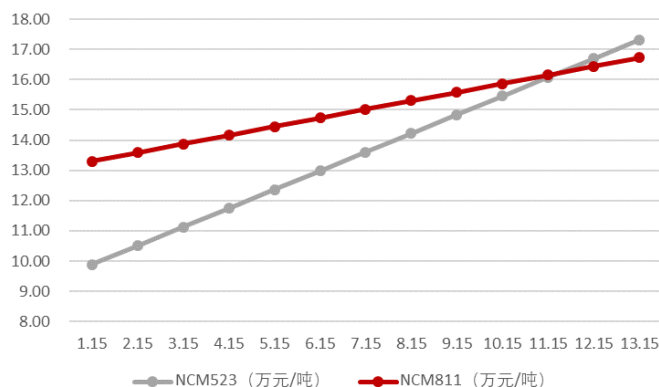
3.2.5 原材料价格变动对 NCM523 影响大于 NCM811

上述四个表格中，我们对 NCM523 及 NCM811 两种三元材料成本对原材料及价格的敏感性进行了分析，分析结果如下：

(1) 在目前的原材料价格基础上，七水合硫酸钴的价格上涨 1 万元/吨将带动 NCM523 正极材料成本上涨 5.02%，带动 NCM811 正极材料成本上涨 1.94%，由于 NCM523 中钴含量高于 NCM811，因此 NCM523 受钴价影响程度较大；此外，碳酸锂价格上涨 1 万元/吨将带动 NCM523 正极材料成本上涨 3.24%，一水氢氧化锂价格上涨 1 万元/吨将带动 NCM811 正极材料成本上涨 2.98%。

(2) 在目前的原材料价格水平下，NCM811 的吨成本高于 NCM523，但由于 NCM523 的含钴量高于 NCM811，钴价的变化对于 NCM523 成本影响更大，若钴价出现大幅上涨，二者成本差距将逐渐缩小，当七水合硫酸钴价格达到 11.15 万元/吨后，二者成本趋同，若七水合硫酸钴价格继续上涨，NCM523 的吨成本将高于 NCM811。

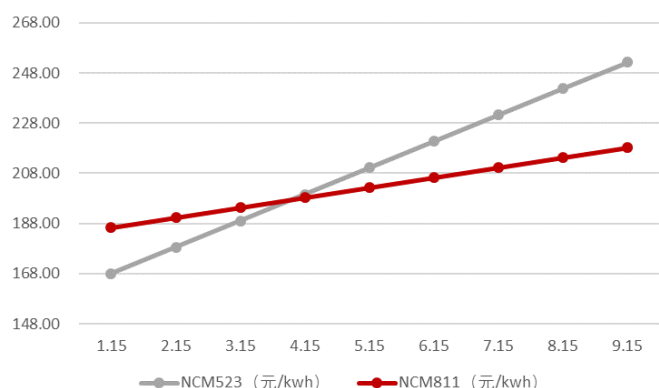
图 39：七水合钴酸锂价格变化对两种正极材料的吨成本影响



数据来源：山西证券研究所

(3) 在目前的原材料价格水平上，NCM811 的 kwh 成本低于 NCM523，同上，七水合硫酸钴价格变化对 NCM523 的 kwh 成本的影响也大于 NCM811，当钴价出现下降，二者成本差距逐渐缩小，当七水合硫酸钴的价格跌至 4 万元/吨左右，二者成本趋同，若七水合硫酸钴的价格继续下跌，则 NCM811 的 kwh 成本将高于 NCM523。

图 40：七水合钴酸锂价格变化对两种正极材料的 kwh 成本影响



数据来源：山西证券研究所

3.2.6 降低用电价格将对正极材料降本增效带来积极影响

如下表格中，我们对 NCM523 及 NCM811 两种三元材料成本对用电价格的敏感性进行了分析，分析结果如下：

(1) 在目前的电价基础上，电价变化 0.1 元/kwh，NCM523 成本变化 1.05%，NCM811 成本变化 1.18%，主要由于 NCM811 的用电量高于 NCM523。

(2) 在用电价格较低的地区，工业用电价格可低至 0.4 元/kwh 左右，若在当地建厂，NCM523 正极材料和 NCM811 正极材料的成本分别可以降低 3.96%和 4.50%，因此正极材料建厂地址必须考虑当地电价

格，将对三元材料降本增效产生积极影响。

表 28：用电价格变化对普通及高镍三元材料成本影响

	用电价格（元/kwh）								
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
NCM523（万元/吨）	11.87	11.99	12.11	12.24	12.36	12.49	12.61	12.73	12.86
NCM811（万元/吨）	13.81	13.97	14.13	14.30	14.46	14.63	14.79	14.95	15.12
NCM523（元/kwh）	201.72	203.83	205.94	208.05	210.15	212.26	214.37	216.48	218.59
NCM811（元/kwh）	193.28	195.58	197.88	200.17	202.47	204.76	207.06	209.36	211.65

资料来源：山西证券研究所

4. 到 2020 年高镍材料总体供需紧张，短期重心有望偏向 NCM622

4.1 供给端：三元材料市场集中度提高，高镍材料扩产计划多

我们在下表中统计了一系列国内主要三元材料生产厂商的三元材料总产能及高镍材料（主要针对 NCM622 及以上）产能情况。

统计结果表明，国内主流厂商的三元材料总产能已超过 14 万吨/年，但正极材料市场格局整体分散度较高，据 SMM 统计，截至 2018 年国内三元材料总产能为 33.67 万吨，较 2017 年新增 12.93 万吨，增量来自于湖南杉杉，北京当升，天津巴莫，厦门厦钨，荆门格林美，宁波容百，贵州振华，四川科能，江苏翔鹰，中化河北，湖南邦普，宜宾锂宝等企业（排名不分先后）。

此外，国内主流厂商高镍材料总产能已超过 5 万吨，且主流厂商此后的大规模扩产计划也主要针对的是高镍三元材料，其中 NCM811 和 NCA 的扩产计划居多。

表 29：国内主要三元材料生产厂商产能统计（部分）

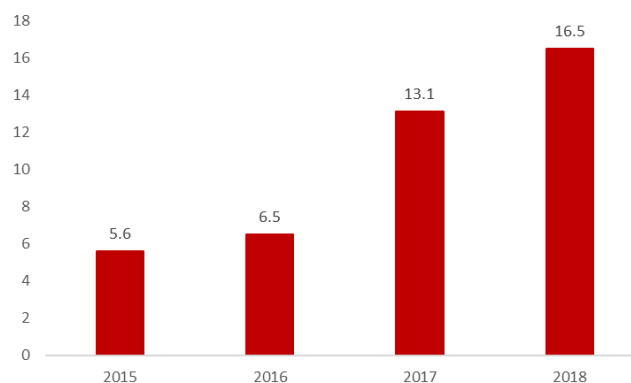
生产厂商	三元材料产能（吨）	高镍材料产能（吨）	备注
容百科技	18710	8700	贵州厂区 10 万吨正极材料项目推进中，预计 2025 年全部达产
长远锂科	15000	6200	2019 年将达到 30000 吨/年前驱体、35000 吨/年的正极材料产能，2022 年将达到 115000 吨/年的正极材料总产能
湖南杉杉	27000	17200	在宁夏建设的正极项目产能约 7200 吨，可生产 NCA 高镍三元材料，材料产品已送样特斯拉、松下
当升科技	14000	6000	现有 622 产能部分可兼容 811，江苏当升三期 18000 吨高镍三元材料建设中，另有 10 万吨产能规划中，首期建设 5 万吨，两个项目自 2019 年起分批投产
厦门钨业	7000	/	/

天力锂能	10000	3000	/
振华新材	5000	/	/
贝特瑞	/	3000	后续将在江苏常州新建 1.5 万吨高镍正极材料生产线
桑顿新能源	20000	6000	/
格林美	15000	/	在建 2.5 万吨三元 NCA 和 NCM 产能
北大先行	2000	/	/
湖南瑞翔	3000	/	/
科隆新能源	3000	/	/
乾运高科	1500	/	/
合计	141210	50100	/

资料来源：山西证券研究所整理

据鑫椏资讯对国内 28 家三元材料企业产量统计，2018 年三元材料产量为 16.5 万吨，同比增长 26%。具体到企业层面，在鑫椏资讯统计的这 28 家企业中，产量过万的企业有 7 家，分别是当升科技、优美科、宁波容百、长远锂科、厦门钨业、湖南杉杉、贵州振华，其中贵州振华、当升科技、长远锂科、厦门钨业为 2018 年新进入。据统计，2017 年我国三元材料 CR5 为 49.7%，CR10 为 75.8%；2018 年上半年国内三元材料 CR5 为 51.0%，CR10 为 75.9%，市场集中度略有提升。

图 41：2015-2018 年国内三元正极材料产量



数据来源：山西证券研究所、鑫椏资讯

4.2 需求端：高镍占总装机量比重将逐年提高

我们根据 2018 年新能源汽车及锂电池产业链的关键数据，并基于对新能源汽车产业未来趋势的判断做出需求量预测，如表 29 所示，基本假设如下：

(1) 如下测算仅考虑动力电池需求量，未考虑 3C 领域、储能领域需求；

(2) 2018 年数据中，新能源汽车产量、动力电池装机量、三元电池装机量、各类型三元电池出货量数据为已知，单车平均电量、三元电池渗透率、各类型三元电池渗透率及需求量数据均根据已知数据计算得出；

(3) 基于我们对新能源汽车产业未来走势的判断，我们假设新能源汽车产量持续上升，到 2020 年产量数据有望超越政策要求；单车平均电量持续上升；三元电池渗透率继续增长，其中，高镍电池的占比将明显提升。

表 30：国内高镍三元材料需求量预测（2018-2020 年）

（仅动力电池）	2018	2019E	2020E
新能源汽车产量（辆）	1,270,000.00	1,600,000.00	2,100,000.00
平均电量（kwh）	44.80	50.00	55.00
动力电池装机量（Gwh）	56.89	80.00	115.50
三元电池渗透率（%）	53.96%	65%	75.00%
三元电池装机量（Gwh）	30.70	52.00	86.63
NCM333 渗透率（%）	18.56%	13.00%	8.00%
NCM523 渗透率（%）	55.11%	50.00%	45.00%
NCM622 渗透率（%）	15.28%	20.00%	25.00%
NCM811 渗透率（%）	7.91%	12.00%	15.00%
NCA 渗透率（%）	3.14%	5.00%	7.00%
NCM333 装机量（Gwh）	5.70	6.76	6.93
NCM523 装机量（Gwh）	16.92	26.00	38.98
NCM622 装机量（Gwh）	4.69	10.40	21.66
NCM811 装机量（Gwh）	2.43	6.24	12.99
NCA 装机量（Gwh）	0.96	2.60	6.06
NCM333 需求量（吨）	10,255.01	12,168.00	12,474.72
NCM523 需求量（吨）	28,764.05	44,200.00	66,271.95
NCM622 需求量（吨）	7,503.67	16,640.00	34,652.00
NCM811 需求量（吨）	3,401.66	8,736.00	18,192.30
NCA 需求量（吨）	1,350.66	3,640.00	8,489.74
三元材料总需求量（吨）	51,275.05	85,384.00	140,080.71
高镍材料总需求量（吨）	12,255.99	29,016.00	61,334.04

资料来源：山西证券研究所

测算结果显示，2018 年-2020 年，三元材料的装机总需求量分别为 5.13 吨、8.54 吨及 14.01 吨，其中，高镍材料的装机需求量分别为 1.23 吨、2.90 吨及 6.13 吨，占总需求比例逐年提高。

对比上节供给数据可知，国内目前已有的高镍材料产能在 5 万吨左右，而实际能够释放的值低于 5 万吨，加之目前大部分高端产品生产商的高镍产线仍在供应 NCM523 产品，实际可供应量进一步缩水，即便厂商新建产能正在持续释放，但新建产能爬坡需要时间，因此到 2020 年高镍材料总体处于供需紧张的状态。此外，有两个因素可能导致高镍材料的实际需求大于计算值，其一，我们目前的计算仅仅考虑了动力电池的需求，而未考虑 3C 领域需求及未来可能出现的储能领域需求；其二，我们目前的计算只基于装机量数据，而动力电池实际出货量可能会明显大于装机量，实际需求将进一步放大。高镍材料分品类来看，由于

目前的政策对于能量密度提高的态度略有放缓，而对安全性的重视程度进一步提高，因此高镍材料的发展重心短时间内可能偏向 NCM622，NCM811 和 NCA 的脚步或暂时放缓，但鉴于需求端对于高续航里程及汽车轻量化的追求，高镍化长期趋势不变。

5. 三元正极材料安全问题探讨

近两年来，新能源汽车自燃起火事故频发，新能源汽车安全性成为消费者购买过程中最大的顾虑之一。

下表盘点了 2017 年-2018 年 8 月国内新能源汽车的起火事故及起火原因。

表 31：2017 年-2018 年 8 月国内新能源汽车起火事故盘点

时间	地点	企业	车型	电池企业	能量密度	车辆类型	动力类型	起火原因
2017.1.15	天津	吉利	(未知)	(未知)	(未知)	乘用车	纯电动	行驶中自燃
2017.2.19	广州	特斯拉	Model X 90D	松下	150	乘用车	纯电动	碰撞起火
2017.3	上海	特斯拉	Model S P85	松下	140-150	乘用车	纯电动	未充电、未碰撞自燃
2017.5.1	北京	安凯	安凯 HFF6111K10	国轩高科	96-25	客车	纯电动	未充电、未碰撞自燃
2017.5.6	长沙	众泰	众泰云 100S	鹏辉能源	92-120	乘用车	纯电动	充电自燃
2017.6.1	荆州	(未知)	(未知)	(未知)	(未知)	客车	纯电动	行驶中自燃
2017.6.11	日照	特斯拉	Model X	松下	150-160	乘用车	纯电动	碰撞起火
2017.12	上海	北汽新能源	EV 系列	CATL、国轩	94-102	乘用车	纯电动	自燃(情况未知)
2018.1	重庆	特斯拉	(未知)	(未知)	(未知)	乘用车	纯电动	未充电、未碰撞自燃
2018.5	安徽	(未知)	(未知)	(未知)	(未知)	乘用车	纯电动	充电自燃
2018.5	(未知)	野马	野马 U 能 E350	谷神能源	121.74	乘用车	纯电动	充电自燃
2018.5.16	浙江	江铃	(未知)	(未知)	(未知)	乘用车	纯电动	充电自燃
2018.5.21	湖北	众泰	(未知)	(未知)	(未知)	乘用车	纯电动	行驶中自燃
2018.5.28	深圳	(未知)	(未知)	(未知)	(未知)	物流车	纯电动	充电自燃
2018.6.4	山东	(未知)	(未知)	(未知)	(未知)	乘用车	纯电动	行驶中自燃
2018.6.5	北京	吉利	帝豪 EV	CATL	105-142	乘用车	纯电动	使用“飞线”充电起火
2018.6.12	北京	北汽新能源	(未知)	(未知)	(未知)	乘用车	纯电动	(未知)
2018.6.15	(未知)	北汽新能源	EV	CATL、国轩	94-102	乘用车	纯电动	维修时自燃
2018.7.6	北京	南京金龙	金龙 D11	(未知)	(未知)	物流车	纯电动	动力电池故障
2018.7.11	深圳	陆地方舟	微型面包	(未知)	(未知)	物流车	纯电动	充电自燃
2018.7.15	深圳	陆地方舟	微型面包	(未知)	(未知)	物流车	纯电动	充电过程冒烟
2018.8.4	上海	比亚迪	宋 SUV	(未知)	(未知)	乘用车	混动	起火自燃
2018.8.25	成都	威马汽车	EX5	(未知)	(未知)	乘用车	纯电动	电器元件短路引发火灾
2018.8.26	铜鼓	安凯汽车	(未知)	沃特玛	(未知)	客车	纯电动	初步判断为电池故障
2018.8.31	广东	力帆汽车	(未知)	力神	(未知)	乘用车	纯电动	(未知)

资料来源：山西证券研究所

从上表看来，发生起火事故的车型、品牌、电池、能量密度及原因基本没有规律性可言，这也是大家如此重视新能源汽车安全问题的重要原因。首先，我们需要明确的是，三元材料的应用并不是导致新能源

汽车起火的直接原因，据资料显示，锂电池中的易燃物是电解液，且存在各种各样的起火原因，只是应用三元材料的电池在出问题更容易点燃电解液，因此，我们并没有必要因噎废食，否认三元材料的应用。

但是，新能源汽车的频频自燃的确与高镍材料的应用，更确切地说是与此前新能源汽车技术门槛的频繁提高有所关联。2019年之前，新能源汽车的政策导向主要是在补贴额度退坡的同时持续提高技术门槛要求，其中最重要的是对于新能源汽车续航里程及动力电池系统能量密度的要求，而正极材料又是决定能量密度的最重要因素之一，这就在很大程度上推动了正极材料向高镍化发展，而这个过程的问题有二：其一，如上文我们提到的，三元正极材料的镍含量越高，锰含量越低，其稳定性就越差，隐患也就相对越大；其二，据资料介绍，锂电池能量密度的提高除需要正极和负极材料有较大的改进，此外还有与之相匹配的高电压电解液、耐高温高强度隔膜、补锂工艺、电池的安全性控制结构、系统保护结构等技术研究，这些问题的解决都需要将近24-28个月的时间，而目前的政策导向是门槛一年一提，略显仓促，各材料的技术成熟程度有可能还暂未到达实际应用阶段，安全性的验证周期也还偏短，出现问题的可能性偏大。

2019年补贴新政最大的变化就是对各类车型能量密度的要求有所放缓，其一，乘用车补贴标准加入了带电量指标，从政策端平衡新能源汽车技术层面均衡发展；其二，虽然乘用车能量密度门槛继续提高，但最高标准并未进一步提高，且政策不再针对能量密度设置超过1倍的超额补贴，避免过度追求高补贴额度而忽视其他性能指标的情况发生；其三，非快充类纯电动客车的补贴调整系数的分档标准由系统能量密度更改为单位载质量能量消耗量，在客车层面削弱了能量密度指标的影响程度；其四，取消新能源客车电池系统总质量占整车整备质量比例（m/m）不高于20%的门槛要求，一定程度上扼制了一味追求高能量密度动力电池的不良导向。如上文所述，我们认为，短期内政策对于高能量密度的态度转变主要来源于高镍技术的不成熟及对安全性的重视，而非需求端疲软导致，实际上，需求端消费者对于新能源汽车续航里程及轻量化的追求仍然是影响消费者购买心态的重要因素，因此目前的平台期实际上是在为未来镍含量高于80%的高镍材料的大规模放量做足准备，高镍化长期趋势不变。目前政策面与市场面的权衡有望利好过渡性高镍低钴产品，如NCM613及NCM712，在控制合理镍含量的同时降低含钴量控制成本、提高锰含量加强稳定性。

此外，即便我们不考虑高镍三元材料的应用，来讨论普遍认为安全性较高的磷酸铁锂正极材料，其目前的装机平均电芯密度已经到了160Wh/kg，电池包能量密度在接近134Wh/kg，成组效率非常高，甚至达到90%以上，这样的电芯安全性能同样堪忧，由于三元材料主要通过提高电芯能量密度来提高系统能量密度而非通过提高成组效率来提高系统能量密度，三元材料的成组效率反而没有磷酸铁锂那么高，大概也就65%左右。综上，安全性能的问题主要出在对于续航里程（或者说能量密度）和技术进步节奏的权衡上，而不是直接由三元材料、甚至高镍三元材料的应用而决定的。

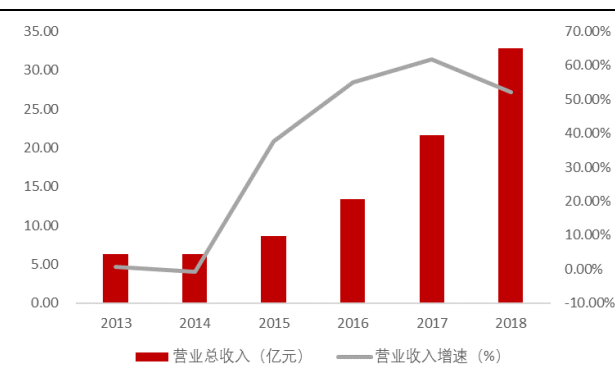
6. 重点关注公司

6.1 当升科技（300073.SZ）：背靠科研院所，高镍技术领先

当升科技大股东为北京矿冶研究总院，公司背靠大股东，很大程度上继承了科研院所的研发及研究成果产业化能力，凝结成为公司核心竞争力。公司于 2002 年批量生产了公司第一代钴酸锂 2# 产品，进入锂电正极材料行业；2008 年成功开发多元材料及其前驱体生产技术，同年，公司整体变更为股份有限公司；2010 年 4 月，公司成功登陆创业板。公司目前业务领域涵盖锂电材料与智能装备两大板块，2018 年上半年，公司锂电材料业务收入 15.60 亿元，占上半年总营业收入的 95.71%；智能装备业务收入 7029.73 万元，占上半年总营业收入的 4.31%。

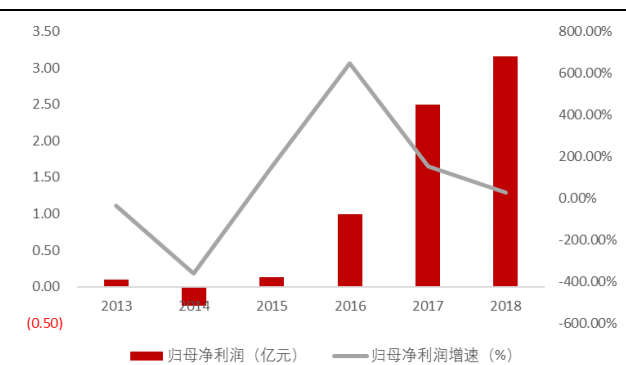
2015 年开始，国内新能源汽车市场进入高速发展阶段，公司锂电正极业务处于新能源汽车产业链上游，直接受益，营业收入增速同年开始进入上升通道，至 2018 年增速仍然高于 50%；归母净利润于 2015 年扭亏为盈后，2016 年享受了上年小基数带来的暴增后，于 2017 年和 2018 年回归合理增速范围。据公司 2018 年业绩快报披露，公司全年实现营业收入 32.81 亿元，同比增长 52.03%；实现归母净利润 3.16 亿元，同比增长 26.42%。

图 42：2013-2018 年当升科技营业收入变化情况



数据来源：山西证券研究所、wind

图 43：2013-2018 年当升科技归母净利润变化情况



数据来源：山西证券研究所、wind

产能规模方面，江苏当升二期一阶段 2000 吨 NCM622 材料于 2016 年投产，二期二阶段 4000 吨 NCM622/811/NCA 产能也已于 2017 年三季度竣工投产，公司正极材料总产能已达到 1.6 万吨，其中三元材料产能达到 1.4 万吨。扩产计划方面，公司于 2018 年上半年同时启动了江苏当升锂电正极材料三期工程的建设及江苏常州锂电新材料产业基地项目的筹建。其中三期工程将为公司带来新增产能 1.8 万吨，目前整体建设工作正在紧张推进中，新增产能将在 2019 年逐步释放；常州锂电新材料产业基地远期规划产能 10 万吨，首期规划建成 5 万吨，预计到 2023 年全部建成投产。公司高镍产能密集投产，高附加值产品占比逐渐升高，对公司业绩及毛利率均有积极影响。

表 32：当升科技规划总产能及投产情况

产品	产能（吨）	地点	投产情况
钴酸锂	2,000	燕郊	已投产
NCM523	4,000	燕郊	已投产
	2,000	江苏海门一期	已投产
NCM622	2,000	江苏海门二期一阶段	已投产
	4,000 (可兼容 NCM811/NCA)	江苏海门二期二阶段	已投产
NCM811/NCA	18,000	江苏海门三期	2018 年上半年启动, 2019 年起逐步释放
	100,000	常州锂电新材料产业基地项目	2018 年上半年筹建, 首期规划建成 5 万吨, 预计到 2023 年全部建成投产
合计	132,000		

资料来源：山西证券研究所、当升科技

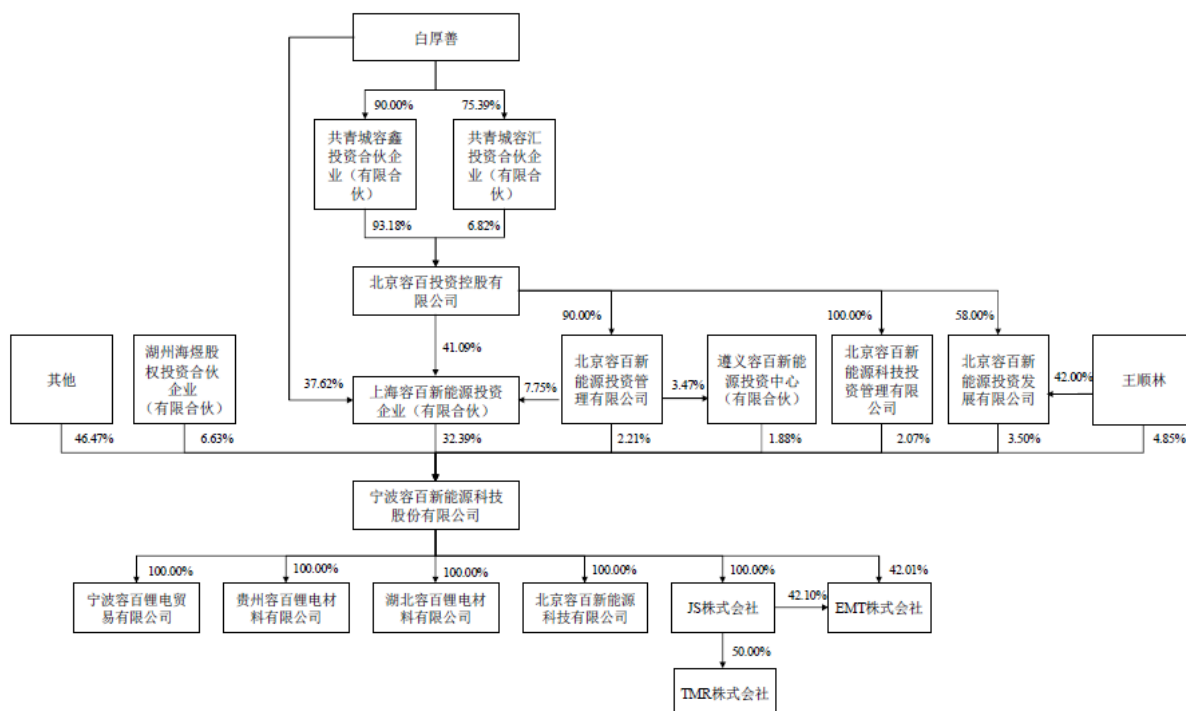
基于目前的政策环境，高镍三元材料的发展重心可能短期内将偏重 NCM622，而 NCM811 和 NCA 的步伐将暂时放慢。当升科技建设中产能全部按照 NCM811/NCA 规格建设，在满足最高端需求的同时，可向下兼容所有型号三元材料，产能调整灵活，而在 NCM811 大规模放量时也可迅速上量，因此我们认为新政的调整对于当升科技影响有限。

由于当升科技 2018 年年报暂未公告，我们基于 2018 年三季报数据，预计 2018-2020 年公司归母净利润分别为 3.03 亿元、4.42 亿元及 6.01 亿元，EPS 分别为 0.69\1.01\1.38 元，根据业绩快报，当升科技 2018 年实际表现略超预期。对应公司 2019 年 4 月 2 日收盘价 27.96 元/股，公司 2018-2020 年 PE 分别为 40\28\20 倍，维持“买入”评级。

6.2 容百科技 (A19004.SH)：高镍前驱体及正极材料黑马，拟登陆科创板

容百科技控股股东为上海容百新能源投资企业（有限合伙），实际控制人为白厚善。公司主要从事锂电池正极材料及其前驱体的研发、生产和销售，主要产品包括 NCM523、NCM622、NCM811、NCA 等系列三元正极材料及其前驱体。公司于 2014 年重组建立，发展迅速，于 2016 年率先突破并掌握了高镍三元正极材料的关键工艺技术，并于 2017 年成为国内首家实现高镍 NCM811 大规模量产的正极材料企业，在全球范围内率先将高镍 NCM811 产品应用于新能源汽车动力电池。目前，公司已推出第三代高镍 NCM811 产品，NCM811 产品技术与生产规模均处于全球领先地位。2018 年，公司三元正极材料销售收入 26.30 亿元，占总营业收入的 87.90%；前驱体销售收入 3.42 亿元，占上半年总营业收入的 11.44%，前驱体收入自 2016 年起逐年降低。

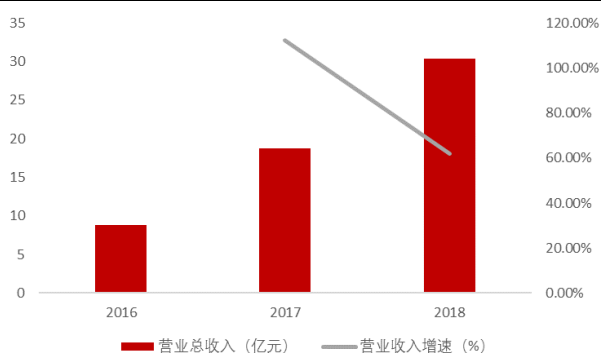
图 44：容百科技股权结构图



数据来源：山西证券研究所、容百科技《招股说明书》

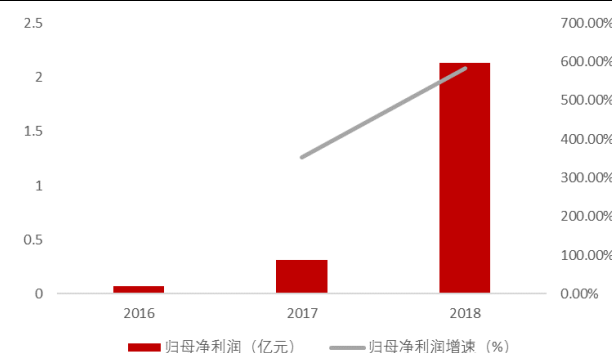
近年来，受益于新能源汽车的旺盛需求，特别是新能源汽车对更高续航里程的需求，三元正极材料的市场规模迎来爆发性增长。借助于技术领先形成的先发优势，公司成功进入国内外主流锂电池生产企业的供应商体系，报告期内主营业务收入实现较快增长，2016 至 2018 年复合增长率达到 84%。2018 年全年，公司实现总营业收入 30.41 亿元，同比增长 61.88%；实现归母净利润 2.13 亿元，同比增长 583.92%。

图 45：2016-2018 年容百科技营业收入变化情况



数据来源：山西证券研究所、wind

图 46：2016-2018 年容百科技归母净利润变化情况

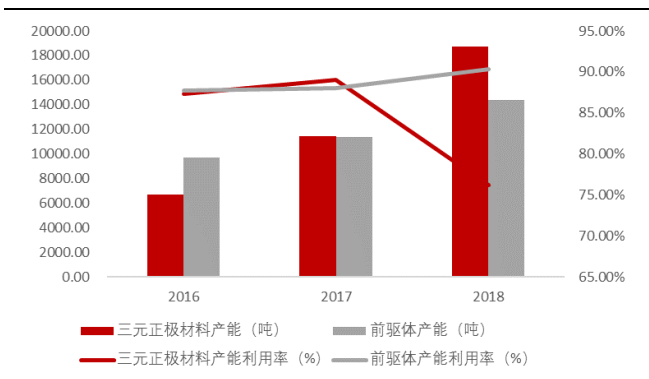


数据来源：山西证券研究所、wind

截至 2018 年，公司拥有三元正极材料产能 18710 吨，前驱体产能 14360 吨，其中三元正极材料产能较 2017 年有较大增长。由于公司正极材料及前驱体产品型号众多，同一产线在不同型号产品之间切换会影响实际产能，公司产能利用率整体处于较高水平。2018 年度，公司高镍新产品的导入型号较多、换线频次增

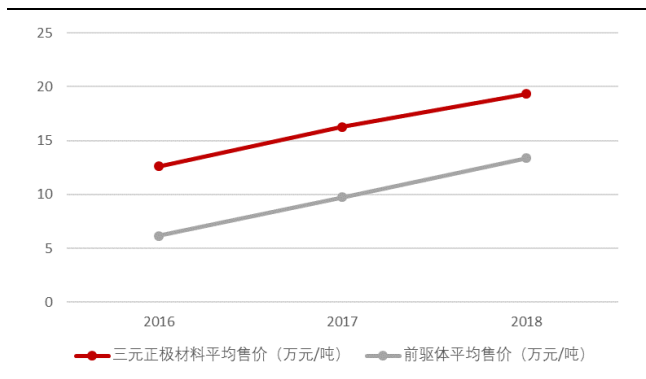
加，正极材料产能利用率暂时性略有下降。产品平均售价方面，公司三元正极材料与前驱体的各期销售均价逐年提高，一方面受期间钴、锂等金属盐市场价格上涨的影响，另一方面系销售价格较高的高镍三元正极材料销售规模及占比提高所致。

图 47：2016-2018 年容百科技产能及其利用率



数据来源：山西证券研究所、容百科技

图 48：2016-2018 年容百科技产品销售价格变动



数据来源：山西证券研究所、容百科技

根据公司招股说明书内容，本次发行募集资金用于 2025 动力型锂电材料综合基地（一期）项目和补充营运资金，2025 动力型锂电材料综合基地（一期）项目用于扩大前驱体产能。2025 动力型锂电材料综合基地（一期）项目总投资 18.80 亿元，将建成年产 6 万吨三元正极材料前驱体生产线，从调研招标开始预计 15-16 个月内达到验收水平。据公开资料显示，2025 动力型锂电材料综合基地项目整体完工后，产能规模可达到正极材料年产 10 万吨、前驱体年产 20 万吨、资源再生年产 10 万吨。项目分为三期建设，总周期为 73 个月，预计到 2025 年 12 月全部建成。此外，资料显示，公司位于贵州遵义年产 10 万吨锂电正极材料项目，首期 300 亩厂房建设正在推进。根据规划，600 亩遵义容百锂电新兴产业园将于两年后建成。

7. 风险提示

宏观经济增长不及预期风险；新能源汽车相关政策推进不及预期风险；原材料价格大幅波动风险；新能源汽车销量不及预期风险；技术替代风险。

投资评级的说明：

——报告发布后的 6 个月内上市公司股票涨跌幅相对同期上证指数/深证成指的涨跌幅为基准

——股票投资评级标准：

买入： 相对强于市场表现 20%以上
增持： 相对强于市场表现 5~20%
中性： 相对市场表现在-5%~+5%之间波动
减持： 相对弱于市场表现 5%以下

——行业投资评级标准：

看好： 行业超越市场整体表现
中性： 行业与整体市场表现基本持平
看淡： 行业弱于整体市场表现

免责声明：

山西证券股份有限公司(以下简称“本公司”)具备证券投资咨询业务资格。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。入市有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本所于发布本报告当日的判断。在不同时期，本所可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司或其关联机构在法律许可的情况下可能持有或交易本报告中提到的上市公司所发行的证券或投资标的，还可能为或争取为这些公司提供投资银行或财务顾问服务。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。本公司在知晓范围内履行披露义务。本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。否则，本公司将保留随时追究其法律责任的权利。