

高镍三元正极研究（二）：掘金三元前驱体，巨头正在形成

三元前驱体直接决定三元正极材料理化性能

三元前驱体是生产三元正极的关键性材料，通过与锂源混合烧结合成三元正极，其性能直接决定三元正极材料理化性能，具体表现为：1) 前驱体杂质会带入正极材料，影响正极杂质含量；2) 前驱体粒径大小、粒径分布直接决定三元正极粒径大小、粒径分布；3) 三元前驱体比表面积、形貌直接决定三元正极比表面积、形貌；4) 三元前驱体元素配比直接决定三元正极元素配比等。三元正极的粒径、形貌、元素配比、杂质含量等理化性能将影响锂电池能量密度、倍率性能、循环寿命等核心电化学性能。此外，新型正极材料如梯度、核壳结构三元正极的应用推广，取决于相应前驱体的研发突破。

三元前驱体工艺复杂，产品一致性和磁性异物控制是关键

三元前驱体最常见合成方法为共沉淀法，是由硫酸镍、硫酸钴、硫酸锰与氢氧化钠在氨水作为络合剂以及氮气氛围保护下经过盐碱中和反应生成的，其核心工艺参数包括盐碱浓度、氨水浓度、反应液加入反应釜速率、反应温度、PH值、搅拌速度、固含量等，每种参数均会对前驱体粒径、形貌、元素配比等造成影响，因此对工艺条件的控制精度是决定产品一致性的关键，也较能体现各家工艺水平。随着三元正极向单晶、高镍发展，对应前驱体也在往小粒径、高镍发展，小粒径的合成由于颗粒生长周期短，形貌、粒径更难控制，需要更高的工艺参数控制精度；而高镍三元材料对磁性异物含量要求远高于普通三元，需要工艺改造、车间改造、设备研发以及对生产环节全流程进行精细化管理等来实现，对磁性异物水平的控制也较能体现各家工艺水平。

三元前驱体集中度持续提升，产业链议价能力较强

据统计，2016~2018年国内三元前驱体CR3集中度由37.70%稳步上升至46.80%，同期三元正极CR3集中度反而由32.41%小幅下降至30.51%。我们认为这也体现出三元前驱体具有高度定制化特点，掌握核心工艺技术的企业才能获得客户认可，导致前驱体行业呈现两极分化特点，龙头企业产能供不应求，集中度不断提升。而在现有三元正极材料仍以三元5系6系产品为主导的背景下，后道混锂烧结工序壁垒相对较低，导致业务同质化相对更强，集中度的提升有待811、NCA等高镍三元正极推广拉开企业间技术差距来实现。集中度的差异也导致前驱体企业议价能力好于正极企业，目前前驱体企业平均毛利率高于正极企业。

需求端持续受益动力电池高增速，供给端高端产能供不应求

我们估算2019~2021年全球三元前驱体需求量将分别达到35.86万吨、49.59万吨、68.23万吨，同比分别增长9.87万吨、13.73万吨、18.64万吨，同比增速分别达到38.0%、

电气设备

维持

买入

王革

wanggezgs@csc.com.cn

010-86451312

执业证书编号：S1440518090003

研究助理 刘烁

liushuo@csc.com.cn

010-86451012

研究助理 张鹏

zhangpengyf@csc.com.cn

010-86451312

发布日期：2019年05月16日

市场表现



相关研究报告

38.3%、37.6%。据统计 2018 年国内三元前驱体、三元正极产量分别为 21.80 万吨、13.68 万吨，由于目前国内三元正极主要供给国内锂电池企业，假设国内三元正极产量占全球产量 50%，推算全球三元正极产量、三元前驱体产量分别达到 27.36 万吨、25.99 万吨，国内三元前驱体产量占全球比重达到 84%，在全球供应链中占据主导地位。随着三元材料向单晶、高镍、新型结构方向发展，前驱体需求也将不断转向高端化，掌握核心技术企业有望持续保持领先地位。

推荐标的：推荐全球三元前驱体绝对龙头**格林美**，关注**宁德时代**控股孙公司广东邦普，以及 A 股上市公司**华友钴业**、**道氏技术**等。

风险提示：新能源汽车销量增速不达预期，电池降价超预期、新型正极材料技术迭代。

目录

一、三元前驱体是什么	1
二、三元前驱体合成工艺复杂	3
2.1 氨水浓度	5
2.2 pH 值	7
2.3 反应温度	8
2.4 不同组分前驱体的反应控制	10
2.5 反应时间和反应气氛	11
2.6 其他影响前驱体反应过程的变量	12
2.7 反应条件控制精度	14
2.8 前驱体核心检测指标	15
三、前驱体核心设备有哪些	16
四、为什么三元前驱体很重要	22
4.1 三元前驱体直接决定正极材料核心电化学性能	22
4.2 新型三元正极材料有待前驱体不断突破	24
五、哪些企业值得关注	28
5.1 三元前驱体集中度持续提升，议价能力好于下游	28
5.2 受益于新能源汽车拉动，三元前驱体长期需求无忧	30
5.3 推荐标的	32

图表目录

图表 1：三元前驱体材料所在产业链示意图	1
图表 2：前驱体及正极反应方程式	1
图表 3：按粒径分前驱体种类	2
图表 4：按元素摩尔比分前驱体种类	2
图表 5：常见氢氧化物前驱体制备工艺流程图（间歇法）	3
图表 6：常见氢氧化物前驱体制备工艺流程图（连续法）	4
图表 7：影响前驱体理化性能的工艺参数众多	4
图表 8：不同氨浓度高镍前驱体产品的 SEM 图（左：氨含量 2g/L，右：氨含量 7g/L）	5
图表 9：提升氨水浓度导致镍含量下降	6
图表 10：氨水浓度对前驱体、正极、锂电池性能影响传导	6
图表 11：不同 PH 下反应制得前驱体形貌	7
图表 12：不同形貌一次颗粒团聚成二次颗粒 SEM 图	7
图表 13：PH 值对前驱体、正极、锂电池性能影响传导	8
图表 14：低温下一次颗粒细小而致密，高温下一次颗粒粗大（左边为 50 度，右边为 60 度）	9
图表 15：温度对前驱体、正极、锂电池性能影响传导	10

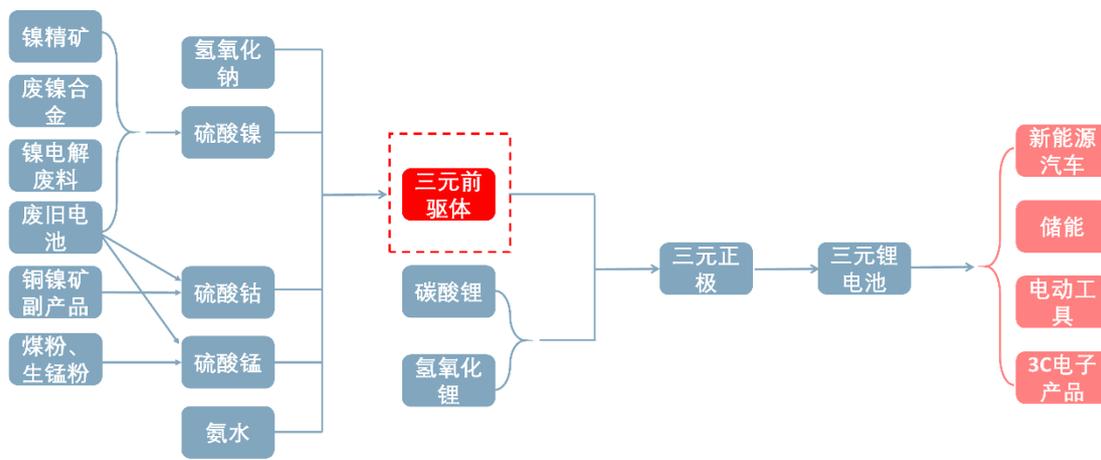
图表 16: 高镍型前驱体需要 PH 和氨水浓度更高	10
图表 17: 振实密度随反应时间变长逐渐提升	11
图表 18: 无氮气保护导致前驱体呈现形貌大小不一的团聚体.....	11
图表 19: 固含量提升使得前驱体形貌更规则、二次颗粒表面更致密.....	12
图表 20: 固含量对前驱体、正极、锂电池性能影响传导	12
图表 21: 搅拌速度越低前驱体二次颗粒粒径越大	13
图表 22: 搅拌转速对前驱体、正极、锂电池性能影响传导.....	14
图表 23: 温度控制工艺	15
图表 24: 分程温度控制方法	15
图表 25: 前驱体产品检测指标示例	15
图表 26: 前驱体生产线示意图（间歇法为例）	16
图表 27: 前驱体反应釜示意图一	17
图表 28: 前驱体反应釜示意图二	17
图表 29: 反应釜常见指标及参数	17
图表 30: 某厂家反应釜容积与产能	17
图表 31: 压滤机	18
图表 32: 离心机工作原理图	18
图表 33: 微孔过滤机	18
图表 34: 过滤洗涤二合一设备	19
图表 35: 4 种前驱体过滤洗涤设备的主要优势和劣势对比.....	19
图表 36: 热风循环烘箱	20
图表 37: 热风循环烘箱工作原理图	20
图表 38: 盘式干燥机	20
图表 39: 盘式干燥机工作原理图	20
图表 40: 转筒干燥器工作原理图	20
图表 41: 闪蒸干燥机	21
图表 42: 闪蒸干燥机工作原理图	21
图表 43: 4 种前驱体干燥设备的主要优势和劣势对比	21
图表 44: 前驱体生产线设备投资构成	22
图表 45: 部分上市公司前驱体项目投资测算	22
图表 46: 前驱体粒径大小决定正极材料粒径	23
图表 47: 大小颗粒正极电化学性能对比	23
图表 48: 前驱体比表面积直接影响正极材料晶型以及容量、倍率性能.....	24
图表 49: 普通多晶/二次球正极材料	25
图表 50: 单晶型正极材料	25
图表 51: 磁性异物导致锂电池自放电示意图	26
图表 52: 核壳型前驱体及三元正极结构示意图	27
图表 53: 梯度结构型前驱体示意图	27
图表 54: 放射状三元前驱体结构示意图	27
图表 55: 2016-2018 年三元前驱体产量与增长率（万吨）	28
图表 56: 2016-2018 年国内前驱体前三甲产量占比.....	28

图表 57: 2016-2018 年国内三元正极前三甲出货量占比	28
图表 58: 2018 年国内前驱体企业出货量分布	29
图表 59: 2015-2018 年主要企业前驱体毛利率走势	29
图表 60: 2015-2018 年主要企业三元正极毛利率走势	29
图表 61: 2017、2018 年底主要企业前驱体产能分布	29
图表 62: 国内主要前驱体企业与其部分主要客户	30
图表 63: 国内动力电池装机量预测	31
图表 64: 国内及全球三元前驱体需求预测	32

一、三元前驱体是什么

三元前驱体材料是镍钴锰氢氧化物，化学式为 $Ni_xCo_yMn_{(1-x-y)}(OH)_2$ ，是生产三元正极材料的重要上游材料，通过与锂源（NCM333、NCM523、NCM622 用碳酸锂，NCM811、NCA 用氢氧化锂）混合后烧结制得三元正极成品。三元正极材料是制作锂电池的关键性材料之一，其终端下游包括新能源汽车、储能、电动工具以及 3C 电子产品等。

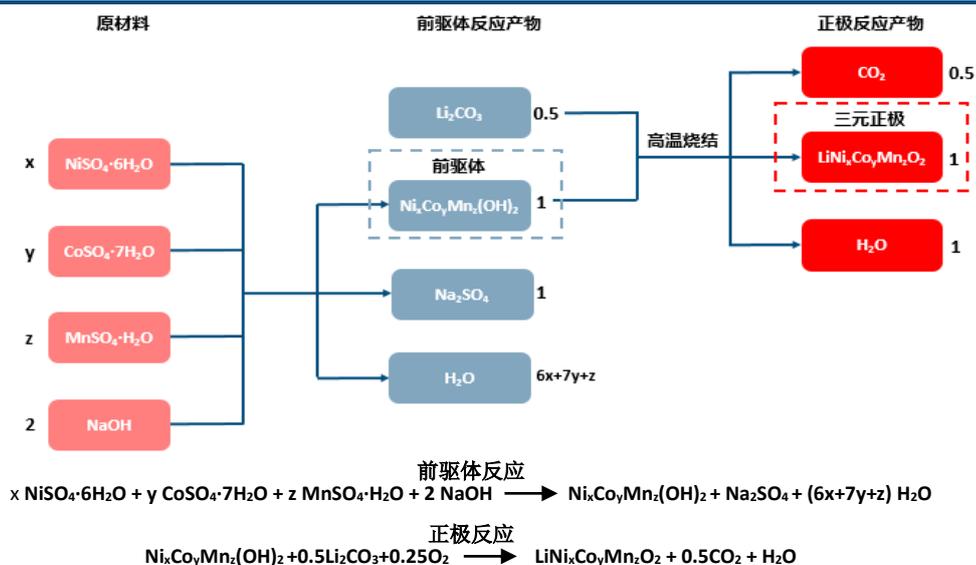
图表1：三元前驱体材料所在产业链示意图



资料来源：中信建投证券研究发展部

前驱体的反应是湿法盐碱中和反应，前驱体与锂源反应是火法固相反应，以低镍正极为例，全流程反应方程式如下：

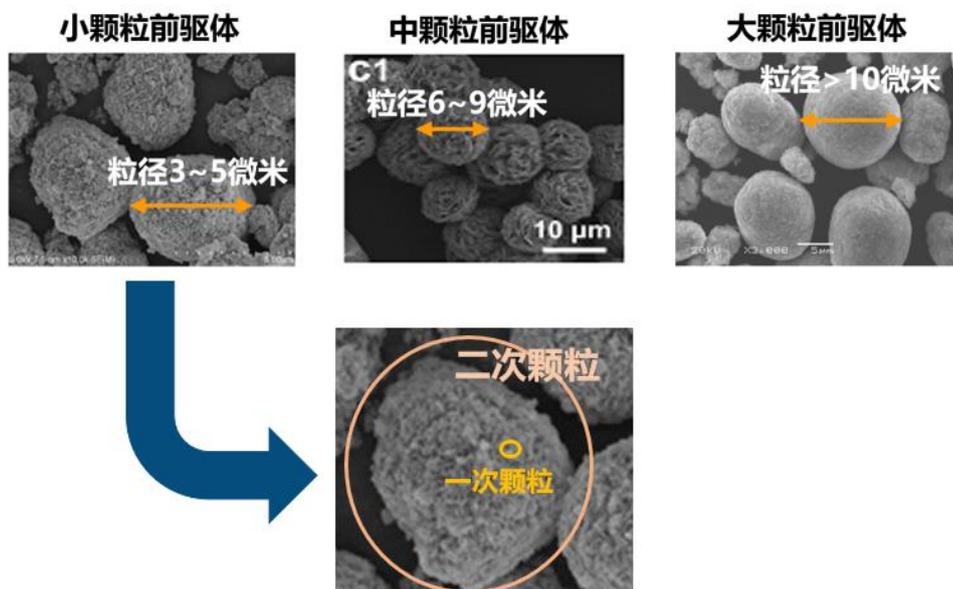
图表2：前驱体及正极反应方程式



资料来源：中信建投证券研究发展部

三元前驱体的生产具有高度定制化的特点，其元素配比、形貌、粒径等组合不一。按粒径大小分，前驱体可分为小颗粒前驱体、中颗粒前驱体、大颗粒前驱体，一般小颗粒前驱体粒径分布在 3~5 微米，由于其在混锂烧结步骤所需温度相对较低，出于成本角度考虑多用于制作需要烧结温度更高的单晶型三元正极材料（相同元素配比、粒径大小，单晶三元正极烧结温度比普通型要高 100~200 度）；中颗粒前驱体一般在 6~8 微米；大颗粒前驱体粒径一般在 10 微米以上，其混锂烧结步骤所需温度更高，出于成本角度考虑一般用于制作多晶/二次球三元正极材料。按元素摩尔比分，前驱体可分为 111 型、523 型、622 型、811 型以及 NCA 型，或高镍型、低镍型。

图表3：按粒径分前驱体种类



资料来源：知网、中信建投证券研究发展部

图表4：按元素摩尔比分前驱体种类



资料来源：中信建投证券研究发展部

二、三元前驱体合成工艺复杂

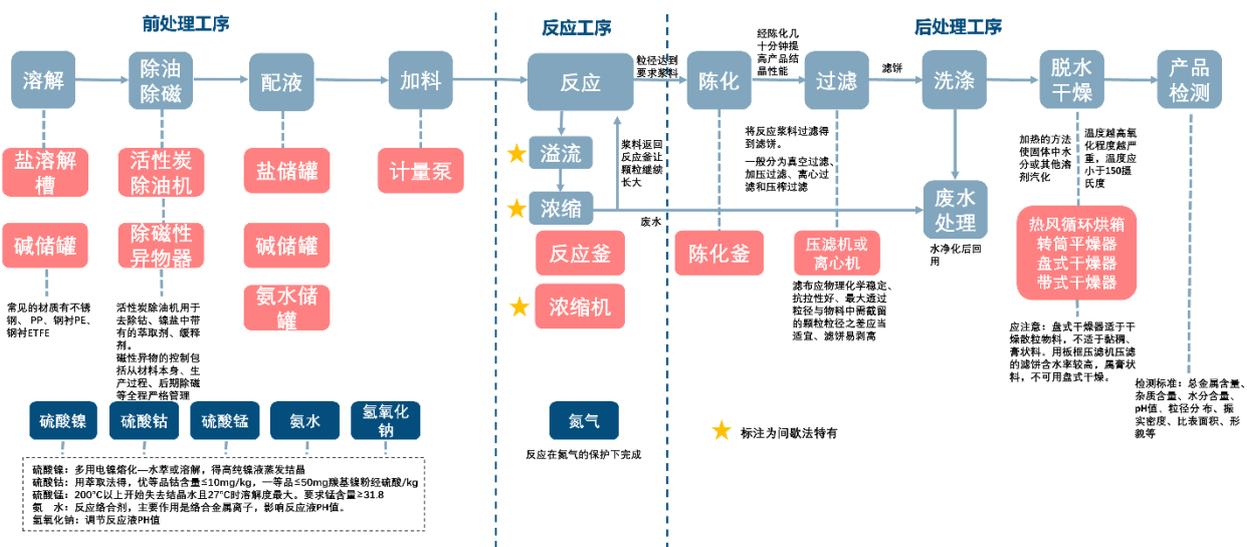
三元前驱体生产的主要流程如图所示，主要原料包含硫酸镍、硫酸钴、硫酸锰和氢氧化钠，为了避免金属离子被氧化，整个前驱体制备过程需要在惰性气体氮气的保护下进行。主要流程包括：

- 1) **前处理**：将盐配置成一定浓度的混合盐溶液，将氢氧化钠配制成一定摩尔浓度的碱液，并使用一定浓度的氨水作为络合剂；
- 2) **反应**：将过滤除杂后的盐溶液、碱溶液、络合剂以一定的流量加入反应釜，在合适的反应条件下进行反应生成三元前驱体晶核并逐渐长大；
- 3) **后处理**：当粒度到达预定值后，将反应浆料过滤、洗涤、干燥，得到三元前驱体。

前驱体生产工艺可分为**间歇法**和**连续法**两种。间歇法在反应过程中，反应浆料通过溢流管不断溢出到浓缩机进行浓缩，清液滤掉进行废水处理，物料则返回反应釜让晶体继续长大，直至反应釜内前驱体粒径达到要求，然后转去陈化釜静置一段时间，以完善前驱体晶体结构形貌，然后进入后道过滤、洗涤、干燥、包装流程。连续法则在反应过程中，同时进料和出料，反应浆料通过溢流管不断溢出到陈化釜，经过陈化静置，然后进入后道过滤、洗涤、干燥、包装流程。

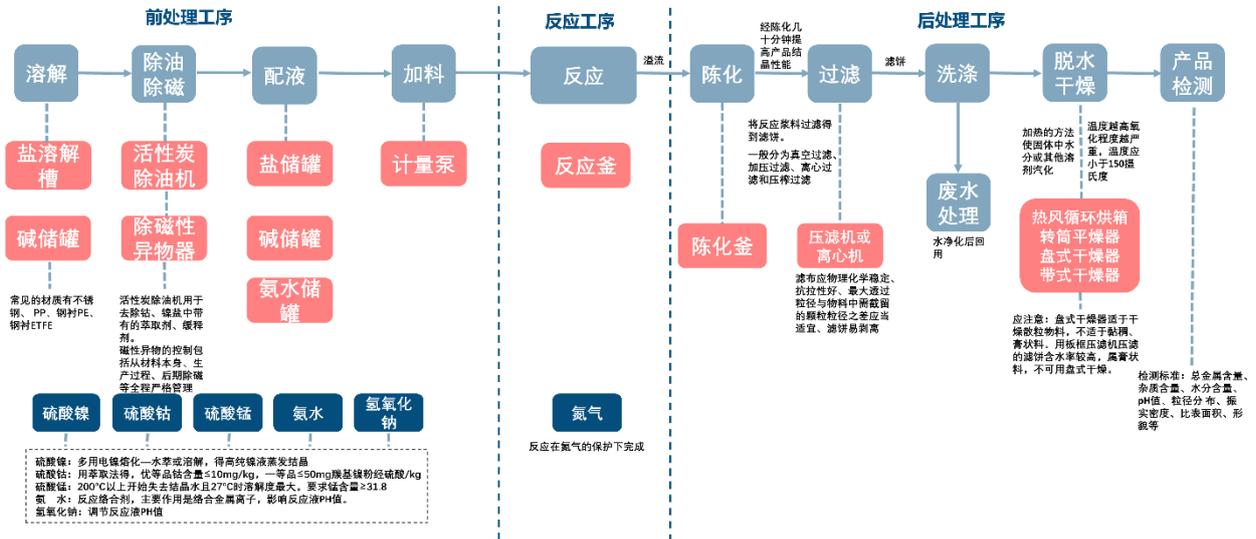
间歇法生产前驱体粒径分布极窄，连续法生产产能更高。间歇法生产物料在反应釜内停留时间较为均一，生产出前驱体粒径分布更窄，适用于生产高端型如高镍、单晶型前驱体产品；但存在生产连续性差，批次稳定性差缺点。连续法生产产率更高，相同容积反应釜连续法生产产能约为间歇法产能两倍，并且批次稳定性好；但由于一边进料一边出料，物料在反应釜内停留时间分布较宽，生产出的前驱体粒径分布也更宽，尤其存在一些粒径过小颗粒，在正极烧结过程中会导致过烧，从而影响正极品质，目前主要用于生产中低端前驱体产品。

图表5：常见氢氧化物前驱体制备工艺流程图（间歇法）



资料来源：中信建投证券研究发展部

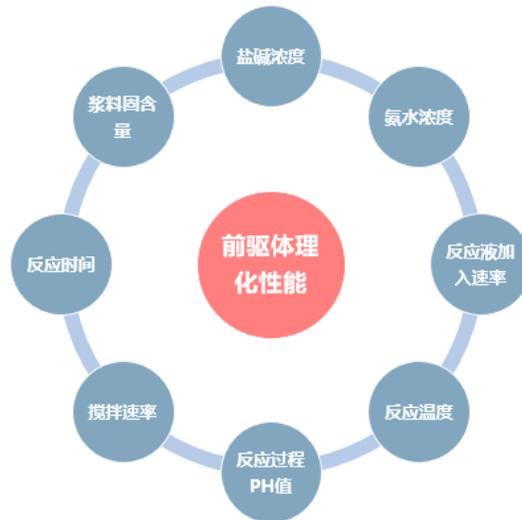
图表6： 常见氢氧化物前驱体制备工艺流程图（连续法）



资料来源：中信建投证券研究发展部

反应过程中需要控制的工艺参数有：盐和碱的浓度、氨水浓度、盐溶液和碱溶液加入反应釜的速率、反应温度、反应过程 pH 值、搅拌速率、反应时间、反应浆料固含量等。以下就以上提到的工艺参数分别展开讨论。

图表7： 影响前驱体理化性能的工艺参数众多



资料来源：中信建投证券研究发展部

2.1 氨水浓度

当不含有氨水等络合剂时，加入沉淀剂后会导致成核与生长剧烈，形成疏松、振实密度低的二次颗粒。这样很难生长出粒度均一，振实密度高的前驱体。而氨作为络合剂，可以有效地络合加入的金属离子，既减缓原料加入对沉淀平衡的扰动，控制溶液中沉淀物的过饱和度，又能降低成核与生长的速度，让晶体缓慢生长，便于调控。

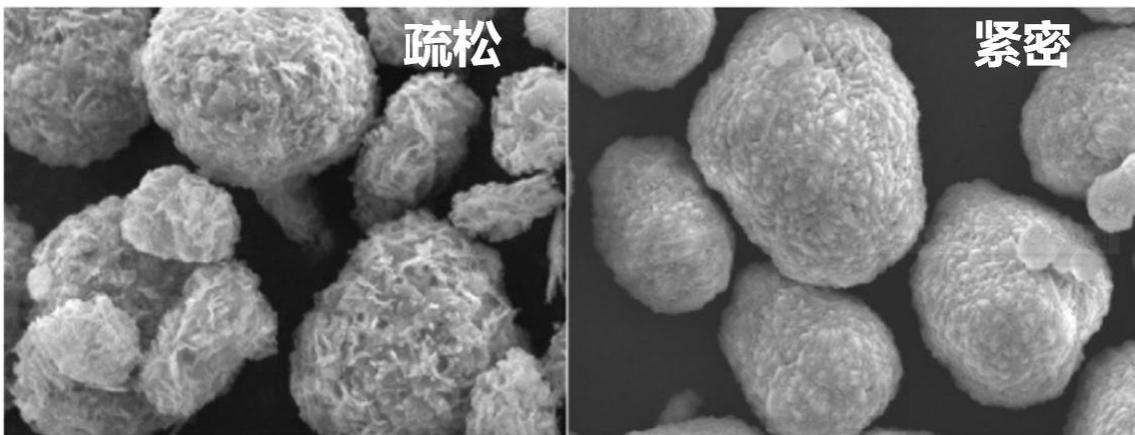
氨水浓度，并非越高越好，排除成本和污染因素外，比表面积和振实密度都会随着氨水浓度的变化而呈现抛物线变化规律：

(1) 氨水浓度低时，络合的金属离子少，带来更高的过饱和度，生长速度过快，导致了一次颗粒尺寸小，缝隙多，颗粒形貌疏松多孔，致密性差。

(2) 氨水浓度高时，一次颗粒能长的粗大，这些粗大的晶粒会再次导致缝隙增多，比表面积变大。

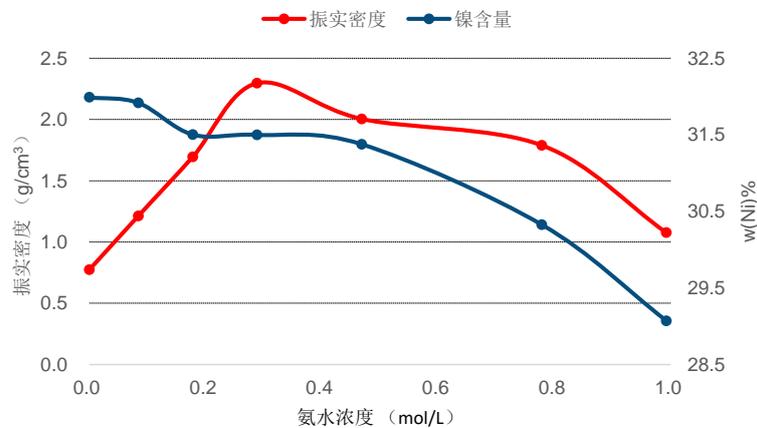
此外，氨水作为反应络合剂，主要作用是通过络合金属离子，达到控制游离金属离子目的，络合剂用量过多或过低，会使前驱体的镍、钴、锰的比例偏离设计值，而且被络合的金属离子会随上清液排走，造成浪费，给后续废水处理造成更大的困难。所以制备不同组成的三元前驱体，所需的氨水浓度也不同。

图8：不同氨浓度高镍前驱体产品的 SEM 图（左：氨含量 2g/L，右：氨含量 7g/L）



资料来源：《高镍多元前驱体的制备与研究》，中信建投证券研究发展部

图表9：提升氨水浓度导致镍含量下降



资料来源：《锂离子电池三元材料》、中信建投证券研究发展部

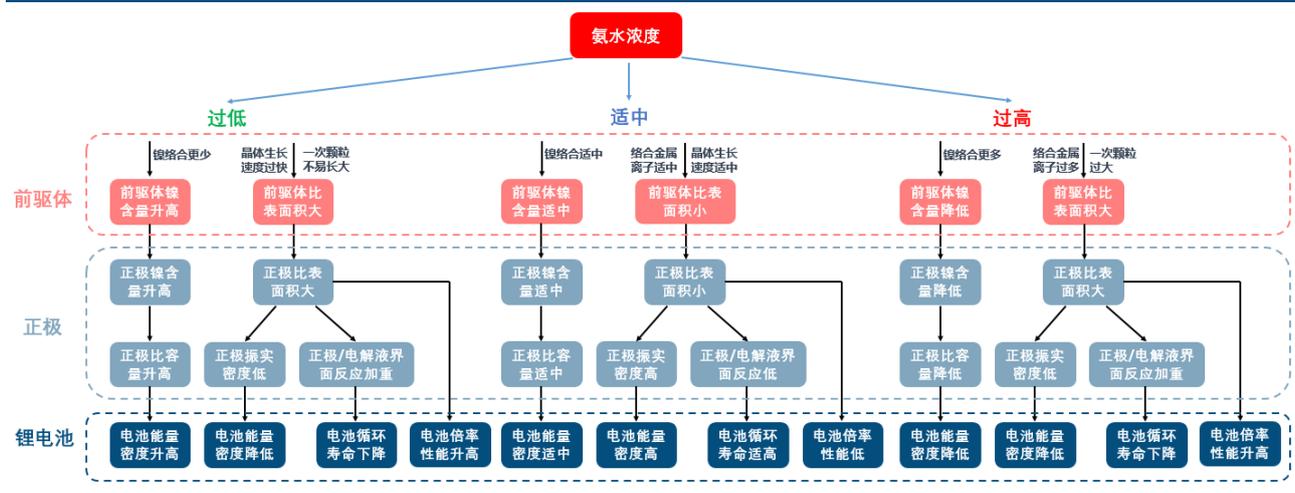
氨水对前驱体、正极、锂电池性能影响传导主要通过影响元素配比、颗粒形貌：

1) 氨水浓度过高会导致前驱体团聚体中的一次颗粒过大，造成材料间空隙变多，从而导致前驱体比表面积过大；氨水浓度过低会导致前驱体晶体生长过快，球形度变差，材料间空隙变多，从而导致前驱体比表面积过大。

2) 前驱体比表面过大，导致经烧结后生成的正极比表面积过大，一方面导致正极振实、压实密度下降，锂电池能量密度下降，同时正极材料与电解液界面反应加剧，电池循环寿命下降；另一方面由于空隙变多，锂离子传输通道变多，电池倍率性能提升。

3) 此外，氨水浓度偏离，会造成前驱体中元素配比失衡，镍元素含量变化会继承到正极材料中，进而影响锂电池能量密度。

图表10：氨水浓度对前驱体、正极、锂电池性能影响传导

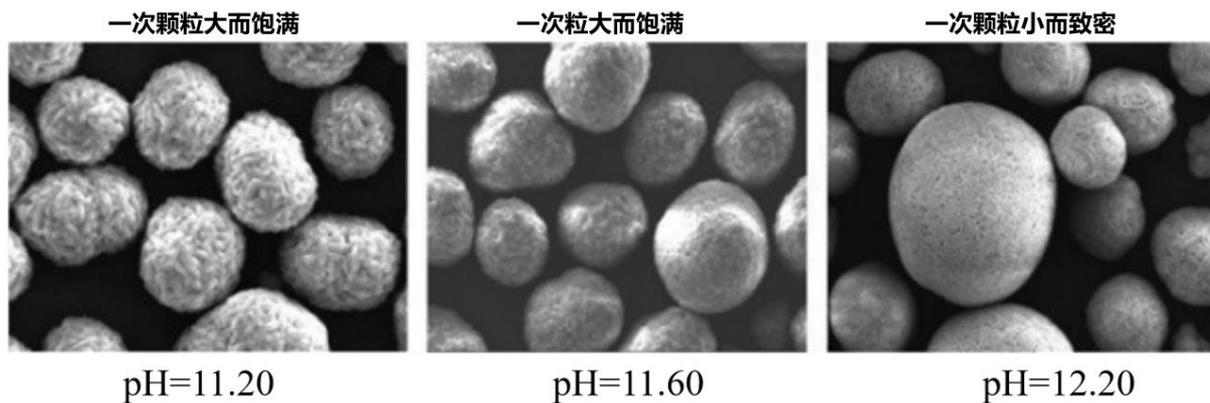


资料来源：中信建投证券研究发展部

2.2 pH 值

沉淀过程中的 pH 直接影响晶体颗粒的成核、生长。不同 pH 值条件下得到不同形貌的前驱体颗粒的原因可以解释为沉淀 pH 条件对晶体成核速度和生长速度的影响。当 pH 值偏低时，由于溶液中过饱和度较小，前驱体颗粒生长速度大于其成核速度，易于得到形貌较好的颗粒。而在高 pH 值条件下，溶液体系中过饱和度较大，晶核的形成速率很快，而前驱体颗粒的生长速度较慢，因而形成颗粒较小的微晶结构。

图表11：不同 PH 下反应制得前驱体形貌



资料来源：《高镍多元前驱体的制备与研究》，中信建投证券研究发展部

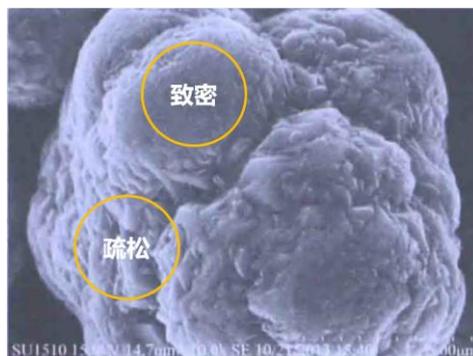
反应过程的 pH 值直接影响前驱体的形貌和粒度分布。通过调节 pH 值，可以控制一次晶粒和二次颗粒的形貌：

pH 值偏低： 利于晶核长大，一次晶粒偏厚偏大；二次颗粒易发生团聚，导致二次球成异形。

pH 值偏高： 利于晶核形成，一次晶粒成薄片状，显得很细小；二次颗粒多成圆球形。

同时，也可以在反应过程中适当调节 pH 值使同一个二次球颗粒拥有不同形貌的一次晶粒。如图所示，后长的一次晶粒团聚而成的二次球体表面有一些细小的晶粒，这些细小晶粒是在反应末期将 pH 值调高所形成的。

图表12：不同形貌一次颗粒团聚成二次颗粒 SEM 图



资料来源：《锂离子电池三元材料》，中信建投证券研究发展部

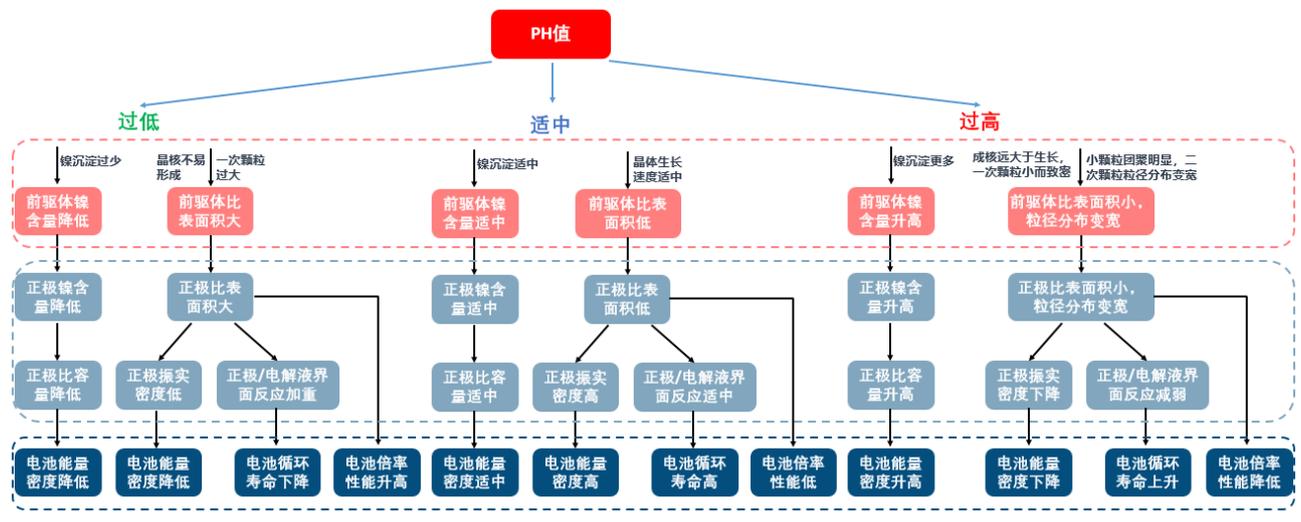
PH 值对前驱体、正极、锂电池性能影响传导主要通过影响元素配比、颗粒形貌：

1) PH 过高会导致前驱体晶体成核速度过快，一次颗粒小而致密，但二次颗粒粒径分布会变宽；PH 过低会导致成核速度过慢，晶核生长占主导，导致前驱体团聚体中的一次颗粒过大，二次颗粒间团聚体增多，造成材料间空隙变多，从而导致前驱体比表面积过大。

2) 前驱体比表面积过大，将导致正极振实、压实密度下降，锂电池能量密度下降，同时正极材料与电解液界面反应加剧，电池循环寿命下降；另一方面由于空隙变多，锂离子传输通道变多，电池倍率性能提升。前驱体粒径分布变宽，会导致混锂烧结步骤部分小颗粒前驱体过烧，使得正极成品品质下降。

3) 此外，PH 值偏离，会造成前驱体中元素配比失衡，镍元素含量变化会继承到正极材料中，进而影响锂电池能量密度。

图表13： PH 值对前驱体、正极、锂电池性能影响传导



资料来源：中信建投证券研究发展部

2.3 反应温度

温度主要是影响化学反应速率。在前驱体的反应中，温度升高成核和生长速度都变快，但是温度过高会造成前驱体氧化，以及造成反应过程无法控制、前驱体结构改变等问题，所以在不影响反应的前提下温度尽量高一点。

沉淀温度对前驱体的影响，主要体现如下：

(1) 温度的提升会导致沉淀生长的速度发生改变，对于成核和生长速率，都随着反应温度的升高而增大，即反应温度的升高会导致反应速率的提升，从而引发生长速度加快。

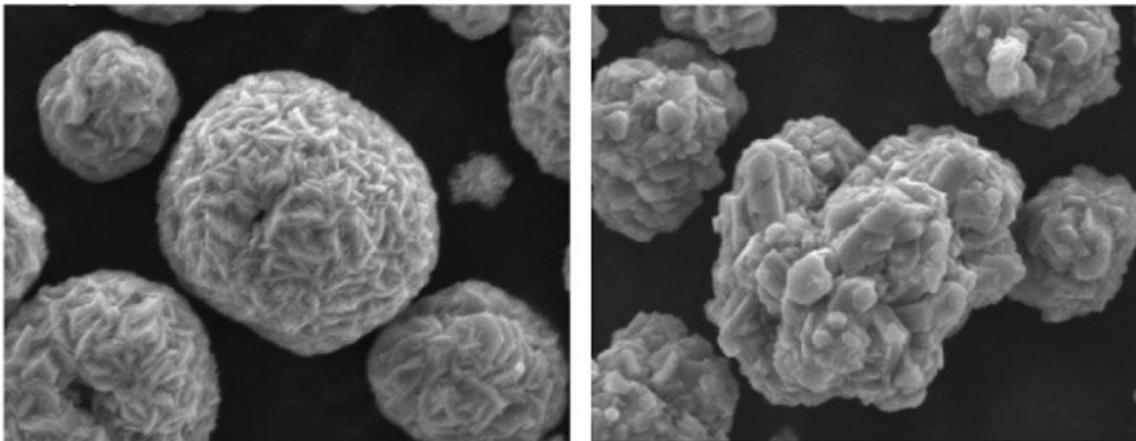
(2) 反应体系中，难晶体的溶解与离子的沉淀是同时存在的，其平衡点可用溶度积表示，而溶度积随着温度的提升而增加，即温度越高，反应将向固体溶解方向偏移，导致沉淀变难，加上氢氧化物前驱体的结晶过程是放热过程，因此温度升高成核反应将受到抑制，晶体生长占主导。

(3) 温度过高，会加剧体系中氨的挥发，使体系的氨浓度降低，结果同氨的浓度降低一致，使得体系金属络合量降低，不利于生长。

(4) 当温度过低，溶度积 (K_{sp}) 低，使反应偏向于成核，同时离子及分子扩散速率低，会减缓前驱体的生长，此时若搅拌不够充分，还会导致进料口的局部金属离子浓度过高，造成局部爆发式成核。

温度过高或过低对成核和生长均不利，只有在一定的温度下才最有利于成核和生长。

图表14： 低温下一次颗粒细小而致密，高温下一次颗粒粗大（左边为 50 度，右边为 60 度）



资料来源：《高镍多元前驱体的制备与研究》，中信建投证券研究发展部

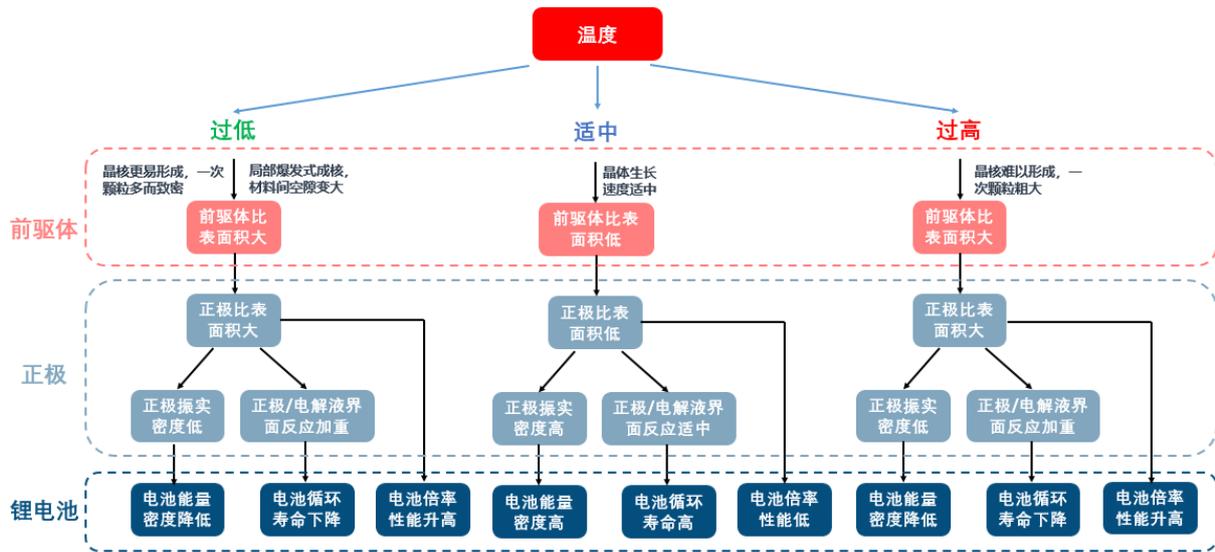
温度对前驱体、正极、锂电池性能影响传导主要通过影响颗粒形貌、晶体结构：

1) 温度过高会导致前驱体晶体生长占主导，成核变次要，导致一次颗粒过大，球形度变差，材料间空隙变多，从而导致前驱体比表面积过大；温度过低会导致晶核形成占主导，晶体生长变次要，易造成爆发式成核，导致球形度变差，前驱体比表面积过大。

2) 前驱体比表面过大，将导致正极振实、压实密度下降，锂电池能量密度下降，同时正极材料与电解液界面反应加剧，电池循环寿命下降；另一方面由于空隙变多，锂离子传输通道变多，电池倍率性能提升。

3) 此外，温度过高还会造成前驱体氧化。

图表15： 温度对前驱体、正极、锂电池性能影响传导

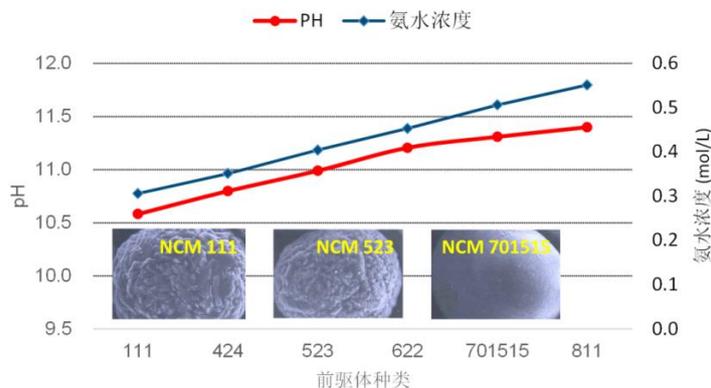


资料来源： 中信建投证券研究发展部

2.4 不同组分前驱体的反应控制

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：络合剂主要的作用是络合镍和钴，对锰的络合要低 2 个数量级，故不同组分三元材料前驱体的所需络合剂浓度也不相同。如图所示为镍钴锰比例分别为 111、 424、 523、 622、 701515、 811 时，制备出振实密度在 2.2-2.3g/cm³ 之间，粒度分布相近的前驱体所需要的氨水浓度和反应 pH 值。从图中可以看出，随着前驱体镍含量的增加，所需的氨水和反应 pH 值都相应提高。同时，不同 pH 值下制备出来的前驱体形貌也是不同的。从图中可以看出，所需氨水浓度和反应 pH 值较低的 NCM111 的一次晶粒是厚片状，随着材料镍含量的增加，一次晶粒也越来越细小。

图表16： 高镍型前驱体需要 PH 和氨水浓度更高

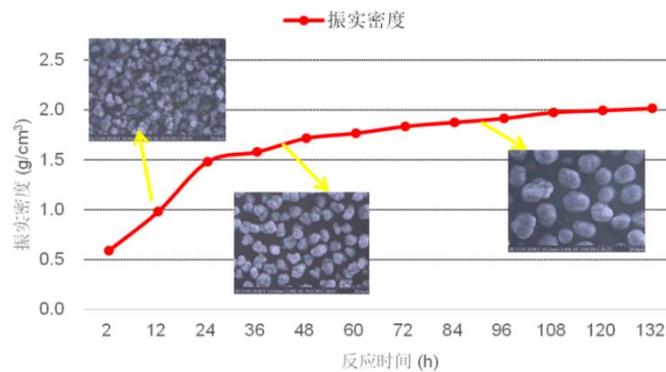


资料来源：《锂离子电池三元材料》、中信建投证券研究发展部

2.5 反应时间和反应气氛

前驱体的粒度和振实密度达到预定值需要一定的时间。正常情况下，要得到 D_{50} 大于 $10\mu\text{m}$ 且振实密度大于 2.0 g/cm^3 的前驱体，反应时间至少需大于 20 h。在一定时间内，前驱体的粒度、振实密度和反应时间成正比关系。但反应时间也不能太长，过长的反应时间会使前驱体粒度过大，对前驱体的品质产生不良影响。且超过一定时间后，前驱体的振实密度增长也趋于平缓。

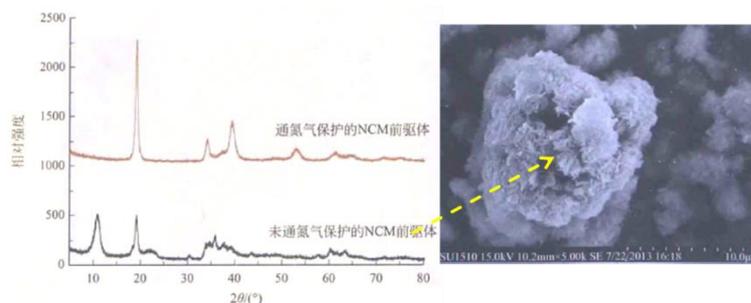
图表17： 振实密度随反应时间变长逐渐提升



资料来源：《锂离子电池三元材料》、中信建投证券研究发展部

前驱体反应气氛的控制对前驱体产品品质的影响较大，其中包括对前驱体的形貌、晶体结构、杂质含量的影响。二价锰的氢氧化物化学式为 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 是白色或浅粉色晶体。 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 曝置在空气中会很快被氧化成棕色的化合物： $2\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MnO}(\text{OH})$ ，即便是水中溶解的微量氧，也能将 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 氧化。若前驱体反应使用的纯水中有溶解氧未除去，或反应过程中让反应浆料与空气直接接触，都会导致前驱体浆料严重氧化，其颜色为深棕或黑色。图表为不同气氛条件下反应出的 NCM 前驱体的 XRD 图。从图中可以看出，空气气氛下反应出的前驱体和氮气保护下的前驱体晶体结构差别很大。进一步的，从 SEM 图像中，可以观察到，无氮气保护情况下制备出的三元前驱体，形貌为大小不一的块状及其团聚体，产品的振实密度很低。NCA 前驱体没有锰元素的存在，反应过程中若有氧气或溶解氧存在，浆料颜色不会发生明显变化，粒度分布也不会有异常波动，但空气气氛和氮气气氛下反应出来的前驱体，晶体结构稍有不同。

图表18： 无氮气保护导致前驱体呈现形貌大小不一的团聚体



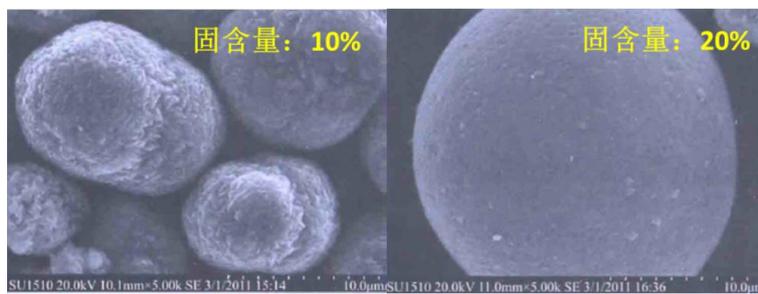
资料来源：《锂离子电池三元材料》、中信建投证券研究发展部

2.6 其他影响前驱体反应过程的变量

除氨水浓度、PH 值、温度、反应气氛和时间外，固含量、搅拌速度、流量、杂质、生产工艺等均会对前驱体形貌、理化性能产生直接影响。

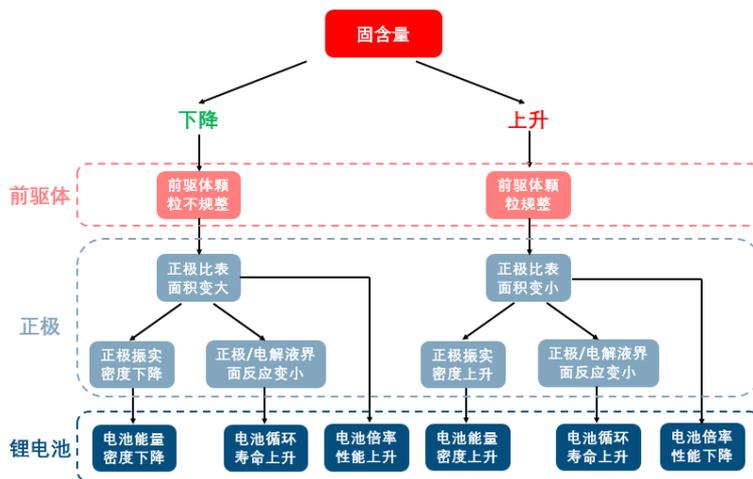
固含量：在前驱体反应过程中，前驱体浆料的固体质量和液体质量的比值。目前大部分厂家反应釜中前驱体的固含量在 5%~10%左右。不同的固含量对产品性能有一定影响，适当提高固含量能优化产品形貌、提高产品的振实密度。如图表 15 所示，相比较于 10%固含量的情况，20%固含量下产品的形貌较为规整，二次颗粒表面较为致密。

图表19： 固含量提升使得前驱体形貌更规则、二次颗粒表面更致密



资料来源：《锂离子电池三元材料》、中信建投证券研究发展部

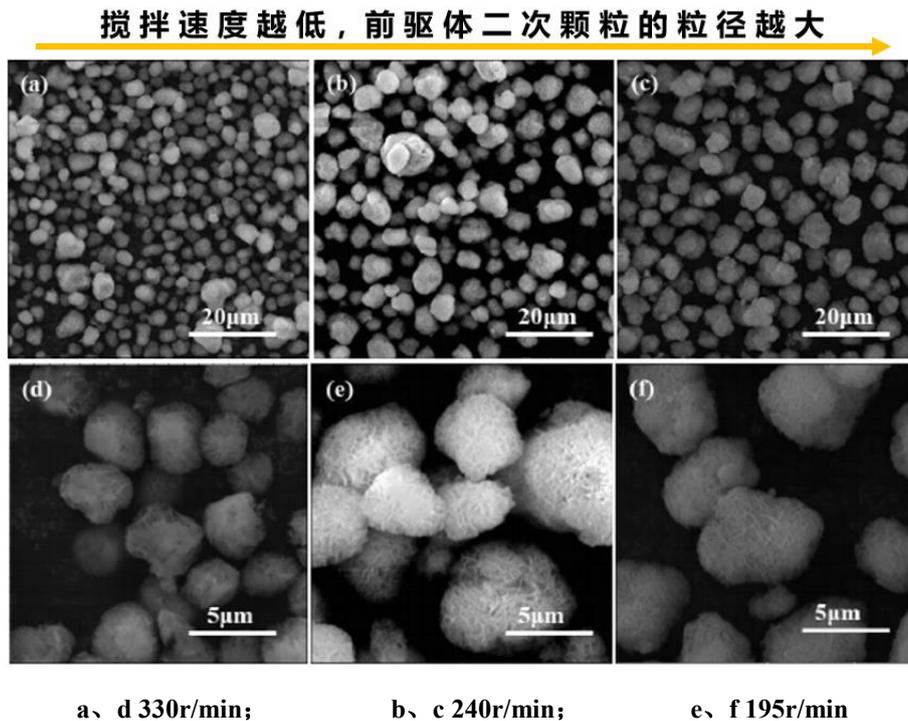
图表20： 固含量对前驱体、正极、锂电池性能影响传导



资料来源：中信建投证券研究发展部

搅拌速度：转速越小，平均粒径越大，振实密度也越大，这是由于搅拌浆转速越大，边缘速度越大，导致了对二次颗粒的流体剪应力越强，从而让新的晶粒难以在原二次颗粒上继续生长，而转速的降低减弱了这一作用，出现颗粒的生长。高转速条件下的颗粒尺寸明显要小于低转速的尺寸，低转速下小尺寸的二次颗粒团聚现象更加严重。

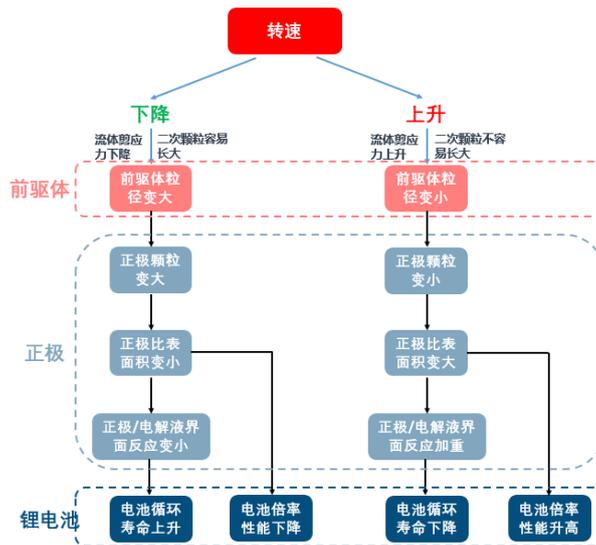
图表21： 搅拌速度越低前驱体二次颗粒粒径越大



资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

搅拌速度对前驱体、正极、锂电池性能影响传导主要通过影响颗粒形貌。搅拌速度过低会导致前驱体晶体生长过快，球形度变差，材料间空隙变多，从而导致前驱体比表面积过大；搅拌速度过高会导致前驱体团聚体中的一次颗粒过大，造成材料间空隙变多，从而导致前驱体比表面积过大。前驱体比表面过大，将导致正极振实、压实密度下降，锂电池能量密度下降，同时正极材料与电解液界面反应加剧，电池循环寿命下降；另一方面由于空隙变多，锂离子传输通道变多，电池倍率性能提升。

图表22： 搅拌转速对前驱体、正极、锂电池性能影响传导



资料来源：中信建投证券研究发展部

流量：主要是指金属盐溶液的流量。流量直接和产量相关联，在保证前驱体品质的前提下，流量越大越好。一个反应釜所能达到的最大流量不仅和反应工艺有关，还和反应釜体积、反应釜内部结构、反应釜电机功率有关。

杂质：硫酸镍和硫酸钴的制备过程中会用到有机萃取剂，若有机萃取剂残留其中，会带入到反应体系，造成前驱体颗粒无法生长、 D_{50} 和振实密度无法达到预期值，形貌为非球形等情况。原材料会带入的另一类杂质是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等，其沉淀pH值和沉淀系数和镍钴锰相差较大，对反应造成较多负面影响，如前驱体形貌不成球形，振实密度很低等。

生产工艺：前驱体制备方法包括间歇和连续合成法两类，连续合成法不可避免会造成前驱体材料中存在一定数量的粒度大小在1微米以下的小颗粒，而且还会导致粒径分布较宽，致使大颗粒和小颗粒结晶性不同，一次颗粒有差别；间歇法可以有效控制小颗粒数量，缩小粒径分布，但工艺条件苛刻，调控手段复杂，并且间歇法工艺在粒子生长到目标粒径后必须停止反应，分批式生产会影响生产效率和批次间的一致性。

2.7 反应条件控制精度

三元材料前驱体生产是盐与碱在一定pH值及温度下的共沉淀反应，pH值是该反应最重要的参数，各阶段pH控制波动范围小于 ± 0.05 ，pH值的稳定又依赖于温度的稳定以及氨水浓度的稳定；氨水浓度、搅拌速度以及温度的波动也会前驱体形貌、粒径、元素配比等造成直接影响，几种因素的稳定与否对反应产物的性能有决定性的作用，因此生产过程中反应条件的控制精度可以体现各家企业技术水平。

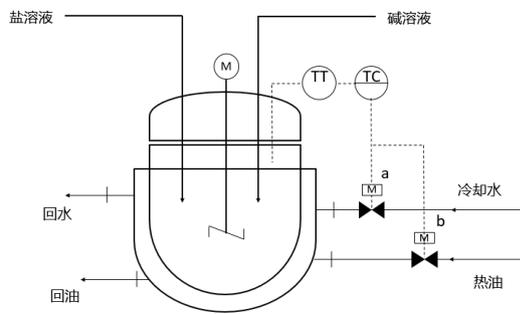
在三元前驱体湿法反应中，一般采用自动控制工艺来达到对反应过程中关键参数的控制与调节。其主要表现在以下几个方面：① pH值控制；②温度控制；③搅拌控制；④数据采集。

pH值控制：实现pH值自动控制采用闭环控制系统。按照PID调节器控制原理，结合调节阀的作用，得到控制pH值的流量自动调节控制方法。假定固定盐溶液的流量，反应釜的pH值经传感器来样送至pH分析

仪，分析仪根据来样信号显示成 pH 值并转换成电流模拟信号传送给 PID 调节器，经 PID 调节器按照控制规律处理偏差后输出电流信号传送给调节电动控制阀门，调节阀门按照控制信号增大或减小碱的流量，从而控制 pH 值。

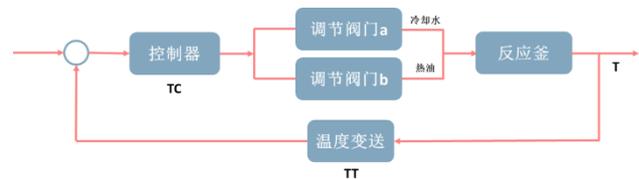
温度控制：前驱体反应中的温度控制主要有反应前底水加热和反应过程中恒温。多数反应釜只配备加热，要使反应系统保持稳定的温度，光有加热是不够的。可在反应釜外壁设置夹套，夹套分成两段，上面段夹套通冷却水，下面段夹套通入高温热媒。反应前需要加热底水，因此在下夹套通入高温热媒加热。反应中由于存在反应热，热的聚集使温度升高，大于反应温度时，通入冷却水降温。如图由一只调节器分别控制两个执行器工作，而且每个执行器必须全程工作，因此需要把调节器的信号分成两部分，每部分的信号使执行器在全程范围工作。控制方框图如图表 18 所示。反应开始，底水加热，调节阀门 b 动作。反应中段温度升高，系统需要冷却，调节阀门 a 动作。反应后陈化阶段无反应热，或外界温度原因，温度降低，加热，调节阀门 b 动作。

图表23： 温度控制工艺



资料来源：《锂离子电池三元材料》、中信建投证券研究发展部

图表24： 分程温度控制方法



资料来源：《锂离子电池三元材料》、中信建投证券研究发展部

2.8 前驱体核心检测指标

前驱体的品质主要从以下方面判断：①总金属含量、②杂质含量（磁性异物是重点）、③水分含量、④pH 值、⑤粒径分布、⑥振实密度、⑦比表面积、⑧形貌等。其中杂质的检测主要为铁、钙、钠、镁、锌、铜、硫酸根、氯根等。另还需分别检测钴、镍、锰三种金属的含量。这些指标都会对三元成品性能产生影响，进而影响电池的性能。

图表25： 前驱体产品检测指标示例

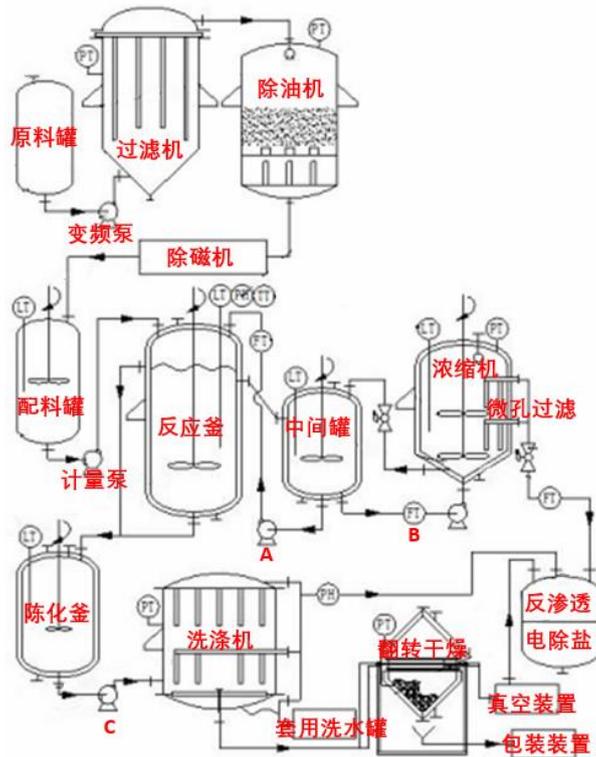
项目	A 厂家	B 厂家	C 厂家
Ni+Co+Mn (质量分数) / %	61.5 ~ 63.5	≥ 61.5	61.5 ~ 62.8
Fe/(mg/kg)	≤100	≤100	≤50
Cu/(mg/kg)	≤50	≤50	≤20
Pb/(mg/kg)	≤50	≤10	—
Zn/(mg/kg)	≤50	—	—
Ca/(mg/kg)	≤200	≤300	≤500
Mg/(mg/kg)	≤200	≤300	≤500
Na/(mg/kg)	≤200	≤300	≤200
氯离子<质量分数) / %	≤0.2	—	—

资料来源：《锂离子电池三元材料》、中信建投证券研究发展部

三、前驱体核心设备有哪些

除生产工艺外，三元材料的性能和成本还与关键设备的选择有关。前驱体的关键设备包括反应釜、过滤和洗涤设备、干燥设备等。

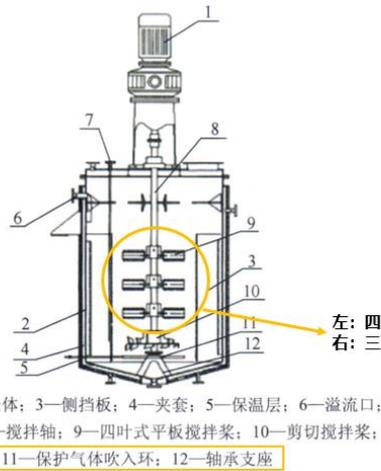
图表26： 前驱体生产线示意图（间歇法为例）



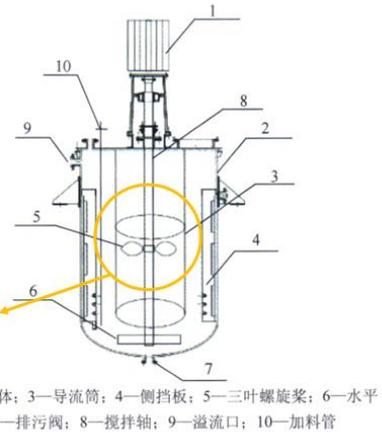
资料来源：《一种三元前驱体生产优化控制装置及其优化控制方法》、中信建投证券研究发展部

反应釜：反应釜是前驱体反应核心设备，其结构设计核心技术掌握在前驱体生产企业手中。反应釜的釜体大小、搅拌器形式、挡板数量及尺寸、有无导流筒、进料位置、有无增固装置等结构特征均影响前驱体的密度、形貌、比表面积、结晶程度、粒度大小及分布等性能。反应釜属于定制化设备，一般由前驱体厂家设计，并由反应釜生产厂商依照图纸加工、组装完成。

图表27： 前驱体反应釜示意图一



图表28： 前驱体反应釜示意图二



资料来源：《三元材料及其前驱体产业化关键设备的应用》、中信建投
证券研究发展部

资料来源：《三元材料及其前驱体产业化关键设备的应用》、中信建
投证券研究发展部

图表29： 反应釜常见指标及参数

指标	厂家 A 参数	厂家 B 参数	厂家 C 参数
内胆材质	316L 不锈钢或玻璃	316L 不锈钢/钛材	316 不锈钢
容积	1~200L	20~10000L	5~1000L
搅拌速度	50~500 r/min	50~1000 r/min, 控制精度±10 r/min	600~1000 r/min
控温范围	30~70 度, 控制精度±0.5 度	10~90 度, 控制精度±0.5 度	-
PH 控制	0~14pH, 控制精度±0.05pH, 分辨率 0.01pH	2~12pH, 控制精度±0.05pH, 分辨率 0.01pH	0~14pH, 控制精度±0.02pH, 分辨率 0.01pH
控制系统	PLC 控制, 在线监控反应釜内温度, 压 力, 搅拌速度, 加料速率	西门子 PLC 控制模块	-

资料来源：中信建投证券研究发展部

图表30： 某厂家反应釜容积与产能

设备容积 (L)	20	250	1000	6500 (主流)	10000 (主流)
产能 (kg/24h)	3	80	150	2000	3000
功率 (kw)	0.75	5.5	15	45	55

资料来源：中信建投证券研究发展部

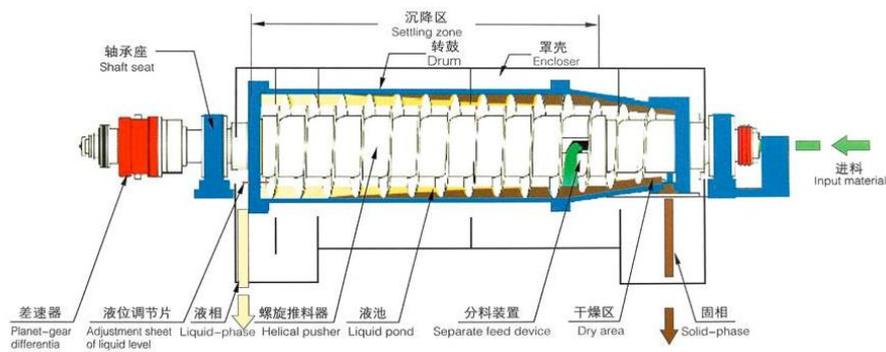
过滤和洗涤设备：过滤和洗涤作用是将反应得到前驱体浆料实现固液分离，然后采用洗涤液对得到前驱体滤饼进行洗涤，去除残留在滤饼中的硫酸根、氯根、钠离子等。目前主流厂家均采用过滤洗涤一体化设备，包括压滤机、离心机、微孔过滤机、过滤洗涤“二合一”设备等。

图表31： 压滤机



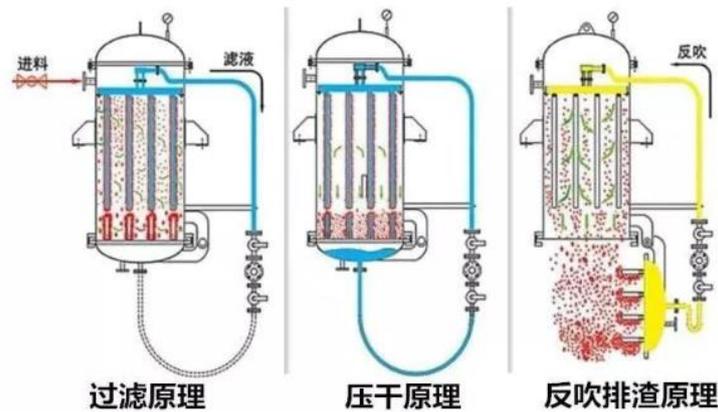
资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

图表32： 离心机工作原理图



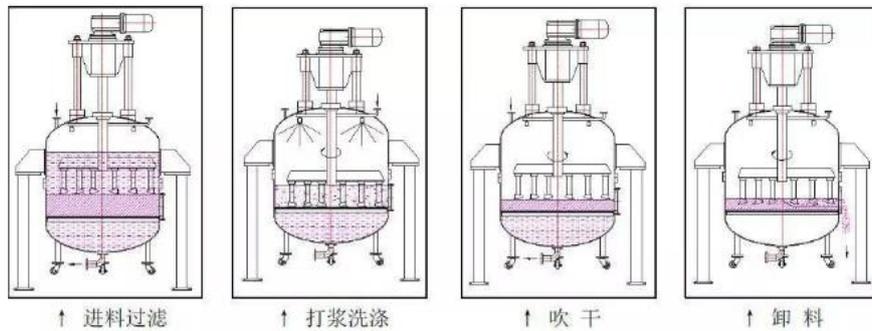
资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

图表33： 微孔过滤机



资料来源：中国粉体网、中信建投证券研究发展部

图表34： 过滤洗涤二合一设备



资料来源：中国粉体网、中信建投证券研究发展部

图表35： 4种前驱体过滤洗涤设备的主要优势和劣势对比

设备类型	主要优势	主要劣势
压滤机	①生产效率高，单批次处理量可达吨级以上；②对物料适应性强，大颗粒和小颗粒前驱体均适用；③设备简单，可靠性好，故障率低。	①压紧滤板时，滤板受力不均匀，容易造成滤板变形损坏；②滤室内物料容易分布不均匀，洗涤水从滤饼厚度薄或没有滤饼的位置穿过，导致洗涤效果差。
离心机	①脱水效率高，大颗粒前驱体滤饼水分含量可达10%以下，粒度细的前驱体滤饼水分含量也能达20%以下；②设备简单，耗材少，主要是更换滤布。	①故障率相对较高，可靠性差，而且检修工作量较大；②生产过程中容易发生离心机剧烈振动现象，导致转鼓内物料部分溢出，甚至无法继续运转；单批次处理量小，一般在200~400kg。
微孔过滤机	①过滤精度高，可以滤住0.3微米以上的颗粒，物料回收率高，特别适用于粒度细的前驱体；②粉体滤饼洗涤可以静止洗涤，也可以搅拌洗涤，洗涤充分。	①脱水效率一般，滤饼水分含量较高；②设备内部微滤管棒较多，需要定期清洗，再生和更换，耗材成本较大；③需配备空压机，耗气量较大。
过滤、洗涤“二合一”设备	①洗涤充分，可进行搅拌洗涤；设备密闭性好，无断点，物料损耗少，操作过程的劳动强度低，并且环境清洁。	①滤饼厚度大，脱水效率一般，前驱体滤饼水分含量较高；②需配备空压机，耗气量较大；③设备对密封要求高，并且检修不方便。

资料来源：《三元材料及其前驱体产业化关键设备的应用》、中信建投证券研究发展部

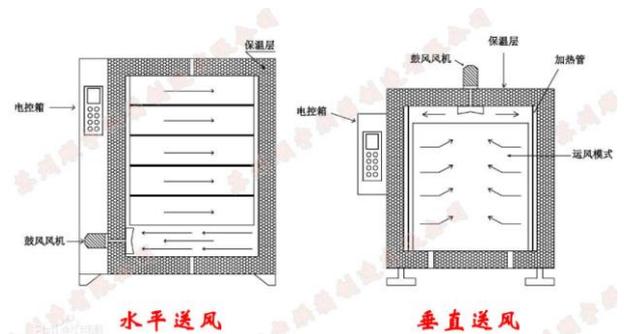
干燥设备：干燥操作单元决定前驱体成品的水分含量，并且对晶体结构有一定的影响。干燥设备能否正确选择直接关系到产品的质量、操作环境和生产成本。常用前驱体干燥设备包括热风循环烘箱、盘式干燥机、闪蒸干燥机、回转滚筒干燥机等。选择三元前驱体的干燥机至少需要考虑：①产品水分含量要求，②滤饼的水分含量以及滤饼含水量是否均匀，③干燥机生产能力，物料的进给方式，④干燥机耐碱性，并且不能代入金属杂质或其他杂质，⑤需要达到的干燥温度，⑥干燥成本，⑦自动控制水平要求，⑧热源类型，⑨环保法规，⑩厂房空间。

图表36：热风循环烘箱



资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

图表37：热风循环烘箱工作原理图



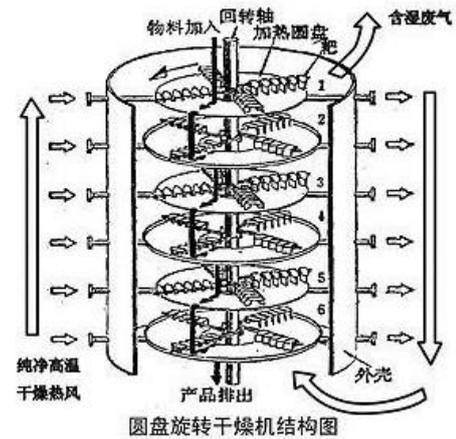
资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

图表38：盘式干燥机



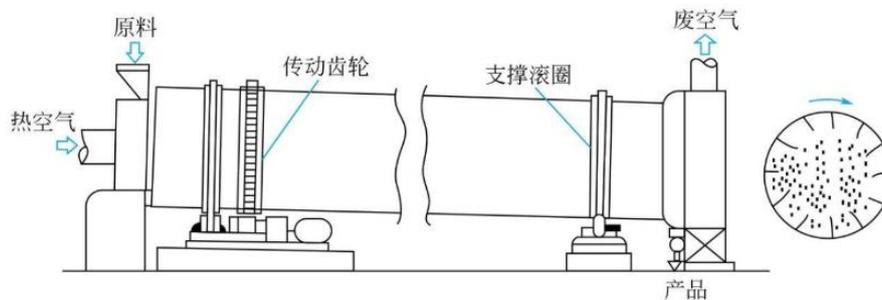
资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

图表39：盘式干燥机工作原理图



资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

图表40：转筒干燥器工作原理图

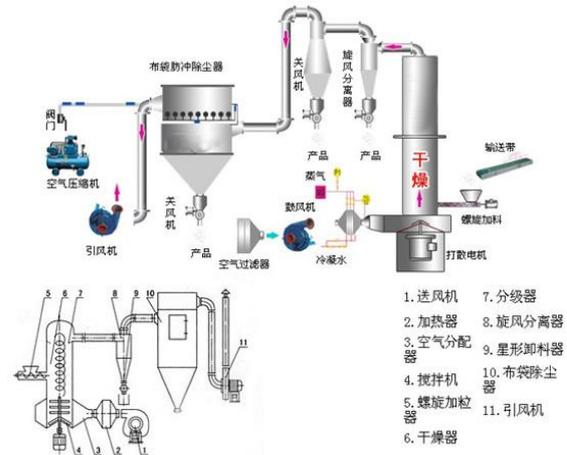


资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

图表41： 闪蒸干燥机



图表42： 闪蒸干燥机工作原理图



资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

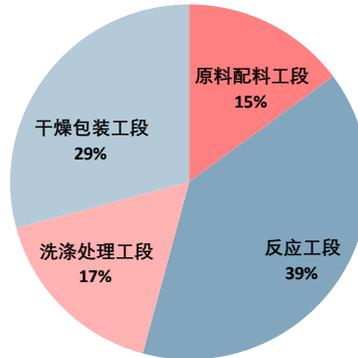
图表43： 4种前驱体干燥设备的主要优势和劣势对比

设备类型	主要优势	主要劣势
热风循环烘箱	①单批次物料可出净，没有残留，适合经常更换产品型号的产线；②设备制造和维护成本低，故障率低。	①自动化程度低，需要人工装、卸料，劳动强度大；②卸料时粉尘飞扬，物料损失大，环境污染严重；③干燥效率低，时间长④能耗高，每次都需要升降温。
盘式干燥机	①可实现连续进出料，热效率高，能耗低，干燥时间短；②自动化水平高，工人劳动强度低；③占地面积小。	①把叶与干燥盘容易发生摩擦，造成产品金属杂质的升高；②设备内部的物料不容易清理，不适合经常更换产品型号的生产线；设备维修难度大，周期长
闪蒸干燥机	①物料干燥过程分散性好，不易团聚，适用于粒度小、水分含量高的前驱体滤饼的干燥；②自动化水平高，可实现连续进料，干燥时间短，工人劳动强度低。	①物料需要热风带动，干燥过程中有大量热量排出，造成能耗高；②由于物料在干燥机中高速运动，对设备磨损严重，降低设备寿命；③设备结构复杂，投资较大。
回转滚筒干燥机	①可实现连续进出料，热效率高，能耗低，干燥时间短；②设备内部没有摩擦部件，干燥过程不会引入金属杂质；③自动化水平高，工人劳动强度低	①设备较长，占地面积大；②物料在干燥过程中容易粘壁，不易清理，长期使用后干燥效率会有所降低；③设备较大，一旦发生故障，维修周期长。

资料来源：《三元材料及其前驱体产业化关键设备的应用》、中信建投证券研究发展部

前驱体生产设备领域目前难以诞生上市公司。在前驱体生产设备中，最为核心的是反应釜，但由于其高度定制化特点，较难形成标准化产品，限制了其大规模商业化应用。除反应釜外，其余主要设备如过滤洗涤设备、干燥设备、储罐等属于通用型工业设备，受前驱体行业发展带动幅度较小，也不足以诞生专业化上市公司。

图表44：前驱体生产线设备投资构成



资料来源：中信建投证券研究发展部

图表45：部分上市公司前驱体项目投资测算

项目名称	产能（万吨）	投资额（亿元）	单位投资（亿元/万吨）
格林美 2019 年 3 万吨/年三元动力电池材料前驱体生产项目	3	5.49	1.83
格林美 2017 年循环再造动力三元材料前驱体原料项目（6 万吨/年）	6	9.58	1.60
容百科技 2025 动力型锂电材料综合基地（一期）	6	9.24	1.54

资料来源：公司公告、中信建投证券研究发展部

四、为什么三元前驱体很重要

4.1 三元前驱体直接决定正极材料核心电化学性能

目前工业生产三元材料的主流方法是采用氢氧化物共沉淀法得到前驱体，然后经过混锂、煅烧等工序后获得三元材料，由于高温混锂烧结过程对三元材料前驱体结构影响很小，即三元材料对前驱体具有很好的继承性，因此前驱体的粒径、均一性、球型度、比表面积、振实密度等会直接影响三元材料结构性能，进而影响正极在锂电池中表现出的电化学性能。具体表现为：

- 1) 前驱体的杂质会直接带入到正极材料中，影响正极杂质含量。尤其磁性异物在电池充放电过程中容易从正极析出进入电解液甚至在负极析晶，影响电池电极极化甚至造成短路。
- 2) 前驱体的粒径大小直接决定正极材料粒径大小，前驱体的粒度分布直接决定正极材料的粒径分布。一般前驱体颗粒越大，正极颗粒越大，比表面积越小，循环寿命上升，倍率性能下降；前驱体颗粒越小，正极颗粒越小，比表面积越大，倍率性能上升，循环寿命下降。但存在大颗粒前驱体在与锂源混合烧结成正极过程中，锂迁移路径过长，晶体结构不完整，造成大颗粒正极循环寿命反而下降。前驱体粒径分布不均，会造成正极粒径分布不均匀，电池充放电过程会存在大小颗粒间不同程度的过充和过放现象，影响材料的电化学性能与结构稳定性，造成循环寿命下降。

图表46：前驱体粒径大小决定正极材料粒径

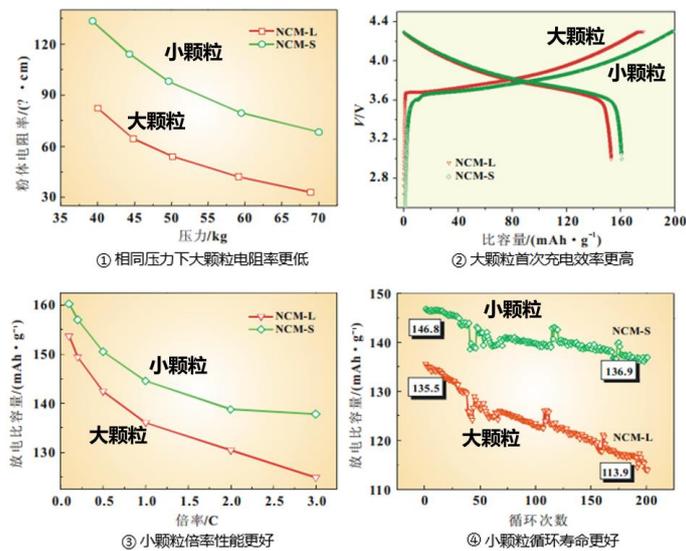
	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	D ₉₇	D _{max}
A 大颗粒前驱体	7.04	9.98	14.08	16.29	18.81
A 大颗粒正极	1.52	6.32	38.37	54.97	70.79
B 小颗粒前驱体	2.06	3.51	6.43	8.61	18.73
B 小颗粒正极	2.23	5.15	22.63	38.72	54.91

注：A、B 两组正极均由同组前驱体制得

D_x=y 表示分x%的前驱体粒径小于y

资料来源：《电源技术研究与设计》、中信建投证券研究发展部

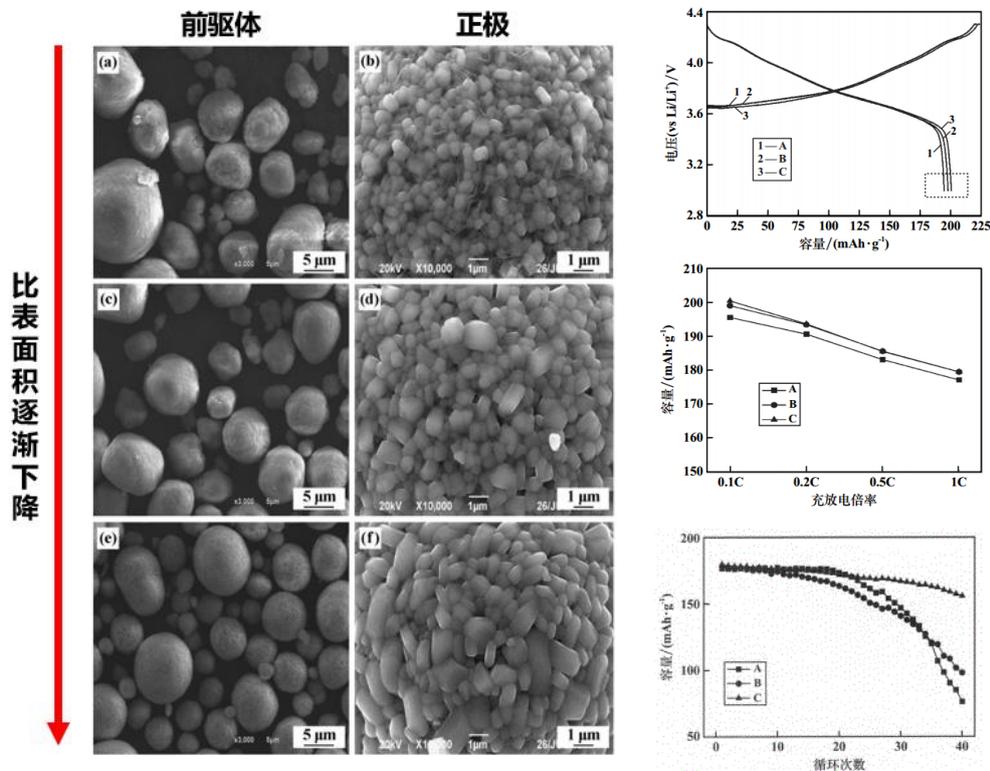
图表47：大小颗粒正极电化学性能对比



资料来源：《电源技术研究与设计》、中信建投证券研究发展部

3) 前驱体的比表面积直接影响正极材料的比表面积。一般正极比表面积越大，振实密度、压实密度越低，电池容量越低，循环寿命越差，但倍率性能越好；正极表面积越小，振实密度、压实密度越高，电池容量越高，循环寿命越好，但倍率性能越好。

图表48：前驱体比表面积直接影响正极材料晶型以及容量、倍率性能



注：(左图) a、c、e 一次颗粒大小分别在 0.5~1 微米、0.8~1.2 微米、1~1.5 微米，比表面积逐渐下降；b、d、f 分别为由 a、c、e 烧结而成正极，随前驱体比表面积下降，正极一次颗粒晶粒越来越粗大，晶型发育越来越好。(右图) A、B、C 分别为 b、d、f 正极材料所测得首次充放电曲线、倍率性能、循环次数，随比表面积下降，首次放电容量逐渐升高，倍率性能逐渐下降，循环寿命逐渐上升。

资料来源：《前驱体比表面积对 $\text{LiNi}_{0.82}\text{Co}_{0.15}\text{Mn}_{0.03}\text{O}_2$ 材料性能的影响研究》、中信建投证券研究发展部

4) 前驱体的元素配比直接决定正极材料的元素配比。不同镍含量的正极材料需要严格对应元素配比前驱体来生产，比如 333、523、622、811 正极，分别需要对应的 333 型、523 型、622 型、811 型前驱体来完成生产，前驱体元素配比失衡，将造成正极材料元素配比失衡，进而导致锂电池的容量、循环寿命收到影响。

因此，要满足三元正极材料高比容量、高倍率、长循环寿命等要求，前驱体的理化性能质量至关重要。

4.2 新型三元正极材料有待前驱体不断突破

单晶、高镍化是提升正极能量密度的核心途径。锂电池能量密度的提升，除了提高比容量以外，还可以通过提高充电截止电压、提高正极材料压实密度来实现。合成单晶三元正极材料是提高充电截止电压、压实密度的有效方法之一，可以通过前驱体的选型、烧结温度的调整以及大小粒子的搭配等方法来实现，而比容量的提升主要源自使用更高镍含量的三元前驱体以及合成工艺的改善。

普通三元正极材料存在局限性。普通三元正极形貌为一次单晶颗粒聚集成的球形或类球形二次颗粒，由多个微粒结合而成，粒度分布较宽。其主要缺陷有

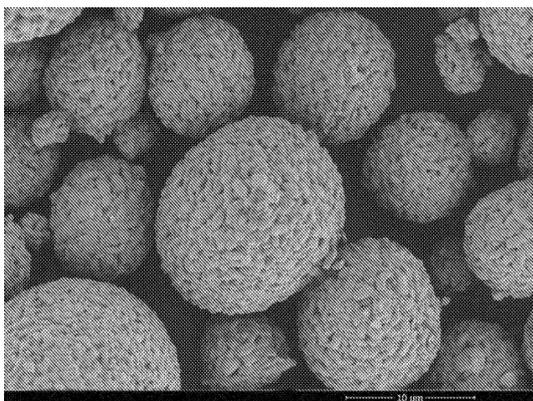
- (1) **牢固性差**: 二次球结构牢固性差, 压实密度一般为 $3.4\text{g}/\text{cm}^3\sim 3.7\text{g}/\text{cm}^3$ 在较高的压实下, 二次球破碎, 导致材料内部颗粒裸露, 副反应增加和金属离子溶出加剧, 导致电学性能下降;
- (2) **结构缺陷多**: 二次球内部、外部一次粒径小且结构缺陷多, 在高电压充放电条件下易发生结构坍塌;
- (3) **包覆性差**: 二次球颗粒内部难以被包覆, 高电压充放电过程中界面副反应难以抑制, 造成材料结构破坏;
- (4) **易胀气**: 二次球颗粒容易导致气胀等问题。

单晶型三元正极材料具有压实密度更高、循环寿命更好优点。 通过把三元正极材料做成单晶颗粒, 不仅能够提高材料充电截止电压发挥材料容量优势, 同时可以有效改善材料的高温循环、胀气、容量恢复等方面的问题。具体来看单晶三元正极材料具有以下优点:

- (1) **压实密度高**: 机械强度高, 电极压实过程中不容易破碎, 压实可达 $3.8\text{g}/\text{cm}^3\sim 4.0\text{g}/\text{cm}^3$, 其较高的压实可减小内阻, 延长电池循环寿命;
- (2) **副反应少**: 特殊的一次单晶颗粒, 比表面积低, 有效降低了与电解液间的副反应;
- (3) **包覆性好、结构缺陷少**: 单晶颗粒表面较为光滑, 与包覆导电剂可以较好的接触, 同时晶体内部晶格缺陷少, 均有利于锂离子的传输;
- (4) **粒径小提升比表面积**: 小粒径单晶可一定程度降低单晶比表面积下降影响, 提升倍率性能。

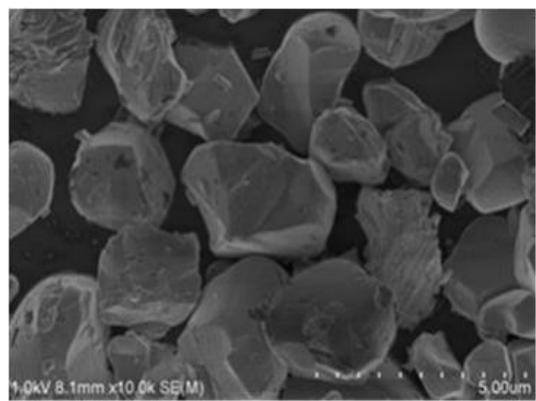
因此, 开发单晶三元正极材料的研究正成为锂电池材料研究的新方向, 目前主流正极材料产品正逐渐切换为单晶型。

图表49: 普通多晶/二次球正极材料



资料来源: 公开资料、中信建投证券研究发展部

图表50: 单晶型正极材料



资料来源: 公开资料、中信建投证券研究发展部

单晶型三元材料对前驱体生产工艺提出更高要求。 单晶型三元材料除在烧结工艺需要特殊处理外, 对前驱体的合成工艺也提出新的挑战。**单晶正极一般选用小颗粒前驱体**, 因为小颗粒前驱体固相反应活性更高, 更容易生产单晶结构, 所需烧结温度以及烧结时间也更短。

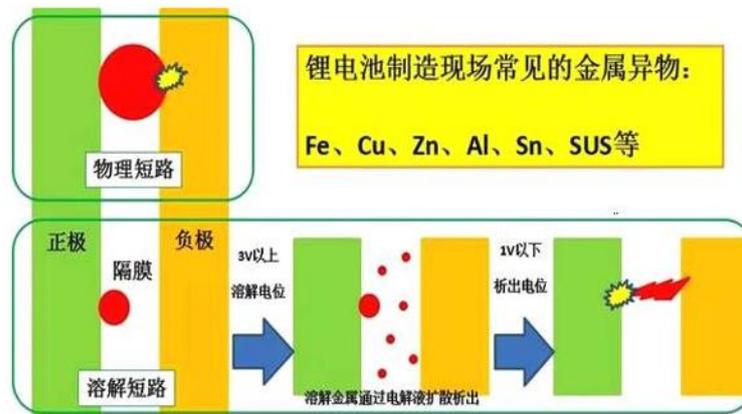
小颗粒前驱体合成工艺难度更高。目前大部分厂商采用连续法制备常规颗粒尺寸(10 μm ~15 μm)的三元前驱体材料，此方法不仅产量高，而且批次稳定性好。但在制备小颗粒尺寸(3 μm ~5 μm)的三元前驱体材料时，采用连续法生产粒径分布难以控制，造成粒径误差较大。为了获得形貌较好的颗粒，一般采用**间歇法生产**，即通过釜内物料的高固含量(200~250g/L)，加入一定表面活性剂等手段，以降低颗粒生长速度，延长颗粒生长时间，以获得较好的球形度。

间歇法优点：粒径分布更窄，产品一致性更好。但存在缺点：**1) 产量低，2) 每次开釜均需重新配置底液，耗费大量的纯水、蒸汽、电能、人员工作量等，增加生产成本，3) 批次稳定性差。**

高镍三元正极材料单晶化较普通三元更难。(1) 高镍三元正极热稳定性更差，对包括前驱体在内全流程磁性异物要求更为严格。(2) 高镍三元前驱体由于起稳定结构作用的锰元素含量下降，其结构受生产条件波动影响更为敏感，对前驱体生产工艺精度控制要求更高。

磁性异物影响有两点：**a) 有可能直接刺穿隔膜造成短路**，b) 在电池循环过程中，随正极电位升高容易发生氧化还原反应溶解，通过电解液扩散，然后在**负极表面析出堆积，最终刺穿隔膜，形成短路**。普通前驱体对磁性异物要求在 10~100ppb，高镍前驱体对磁性异物要求一般在 10ppb 以下。对磁性异物的控制涉及原材料纯度控制、生产过程控制、工人操作管理、前道和后道除磁等全过程管理，技术壁垒较高。

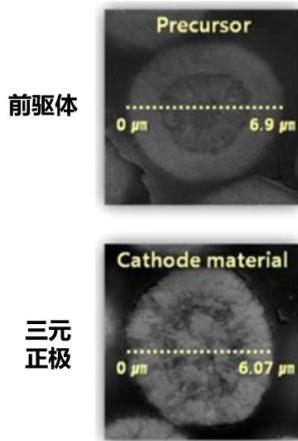
图表51： 磁性异物导致锂电池自放电示意图



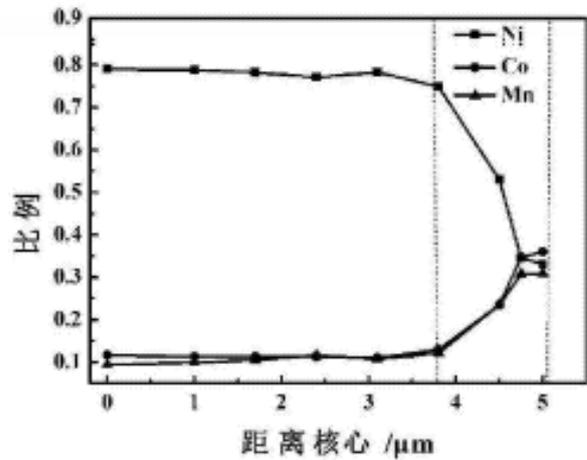
资料来源：公开资料、中信建投证券研究发展部

除单晶、高镍化趋势对前驱体制备工艺提出的新挑战外，一些特殊结构前驱体也在不断发展中。比如**放射状**生长而成的前驱体，可制备出放射状结构正极材料，内部可形成由内到外的锂离子扩散通道，从而表现出优异的倍率性能；比如内高比容量、外层高稳定性的**核壳结构**或**梯度结构**，既能发挥内层材料高比容量特点，又能提升充电截止电压和循环稳定性；比如掺杂型前驱体，通过共沉淀方式将掺杂步骤从后道正极烧结转移到前道前驱体合成，相较于火法掺杂，湿法可以获得更好的掺杂均匀性。

图表52：核壳型前驱体及三元正极结构示意图



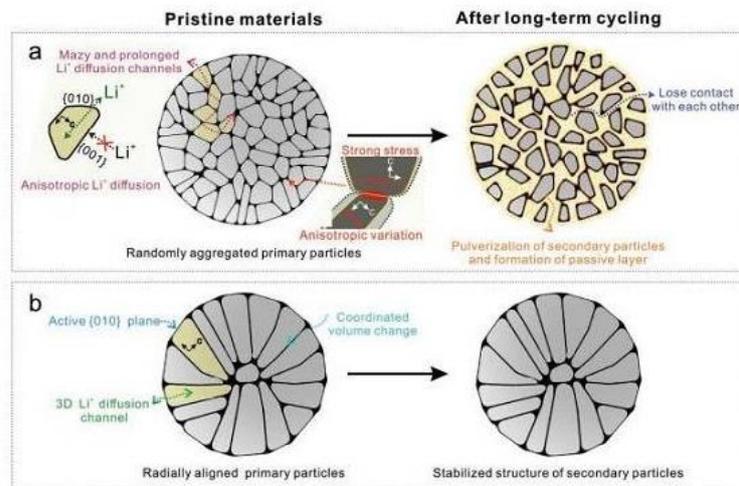
图表53：梯度结构型前驱体示意图



资料来源：知网、中信建投证券研究发展部

资料来源：SooPAT、中信建投证券研究发展部

图表54：放射状三元前驱体结构示意图



资料来源：Adv. Energy Mater.、中信建投证券研究发展部

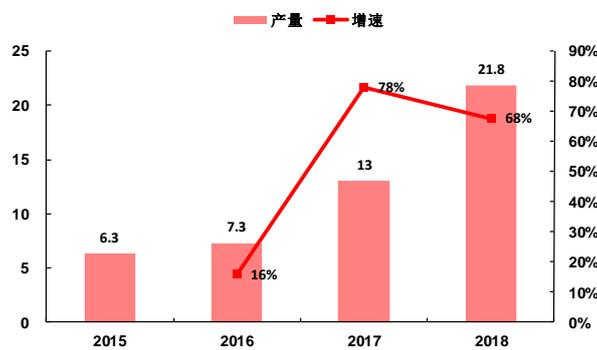
总体而言，我们认为前驱体具有高技术壁垒、高技术迭代速度的特点，企业工艺、技术水平的提升，需要长时间的经验积累，走在技术前沿的企业有望持续保持领先地位。

五、哪些企业值得关注

5.1 三元前驱体集中度持续提升，议价能力好于下游

三元前驱体近三年产量复合增速为 71.8%。随着三元锂电池需求量的增长，国内三元前驱体行业迅速扩张。据鑫椽资讯对国内 16 家三元前驱体企业产量的统计情况来看，2018 年三元前驱体产量为 21.8 万吨，同比 2017 年增长 68%。

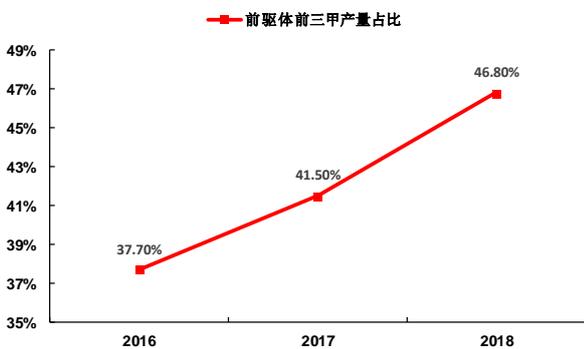
图表55： 2016-2018 年三元前驱体产量与增长率（万吨）



资料来源：鑫椽资讯，中信建投证券研究发展部

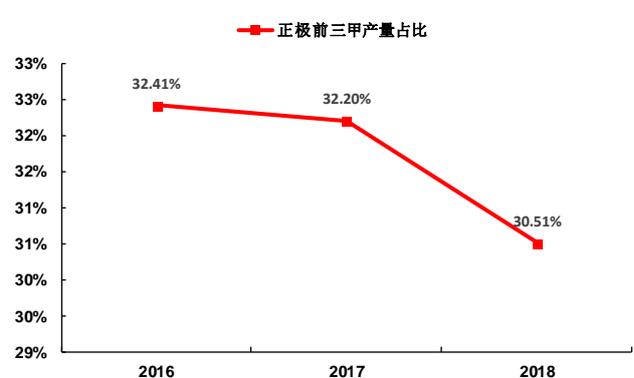
三元前驱体前三甲占据行业总产量 46.8%。2018 年三元前驱体前三甲企业总产量超过 10 万吨，占行业总产量的 46.8%，与第二梯队差距明显，并且较去年提高了 5.3%，近三年呈现持续提升态势。目前前驱体龙头企业产能呈现供不应求状态，随着格林美、中伟、优美科长信等龙头企业进一步扩大规模，前驱体行业集中度有望进一步提升。下游正极材料方面，前三甲出货量占比约为 30.51%，集中度低于前驱体，由于 NCM523 技术路线已经非常成熟，在现有以 NCM523 为主要正极材料背景下，正极材料龙头企业优势尚不明显，集中度的提升有待高镍化路线普及后显现。

图表56： 2016-2018 年国内前驱体前三甲产量占比



资料来源：鑫椽资讯，中信建投证券研究发展部

图表57： 2016-2018 年国内三元正极前三甲出货量占比



资料来源：高工锂电，中信建投证券研究发展部

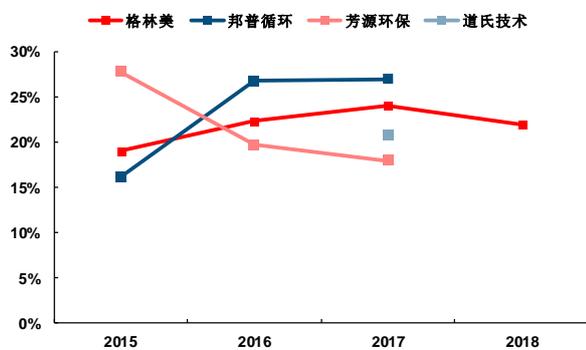
图表58： 2018年国内前驱体企业出货量分布

三元前驱体产量	企业名称
3万吨以上	格林美、优美科长信、中伟新材料
万吨以上	湖南邦普、华友钴业、广东佳纳（道氏技术）、金驰科技、宁波容百、河南科隆
5千吨以上	芳源环保、诸暨帕瓦、金川集团、美都海创

资料来源：鑫椏资讯，中信建投证券研究发展部

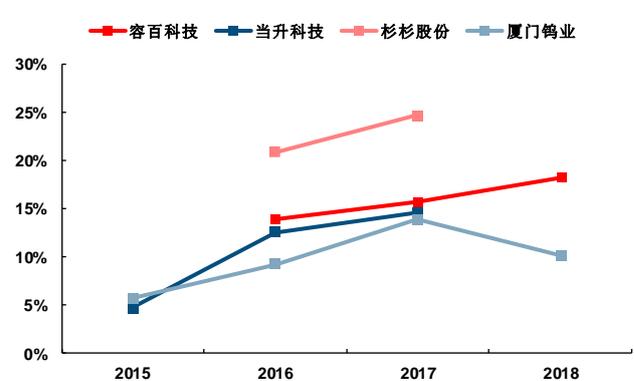
前驱体材料毛利率高于正极材料。从毛利率对比上来看，前驱体企业毛利率水平整体上高于三元正极企业，格林美、邦普循环、道氏技术等前驱体业务毛利率均维持在 20%以上；三元正极企业除当升科技超过 20%，其余整体落在 20%以下，也反映出前驱体产业链议价能力要好于正极材料。

图表59： 2015-2018年主要企业前驱体毛利率走势



资料来源：公司公告，中信建投证券研究发展部

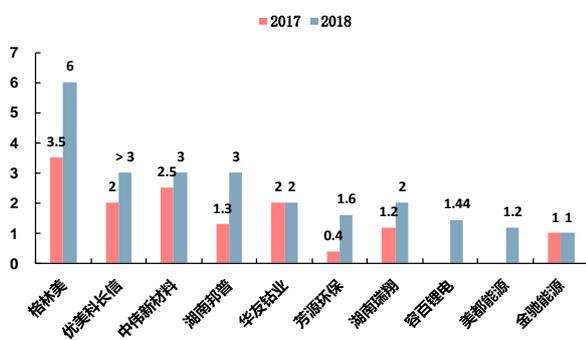
图表60： 2015-2018年主要企业三元正极毛利率走势



资料来源：公司公告，中信建投证券研究发展部

格林美前驱体产能产量均居国内榜首。2017年，我国三元前驱体主要生产企业中，格林美以 3.5 万吨的产能雄踞榜首，在我国主要厂商产能中占比 18%，行业前三甲为格林美、中伟与优美科长信，三家公司总产能合计为 8 万吨，占当年全国总产能的 44.44%；2018 年，前驱体产量前三甲依旧是格林美、优美科以及中伟新材料三家。公司目前已有 8 万吨前驱体产能在产，同时公司拟在荆门新建 3 万吨三元前驱体产能，以及在福建宁德通过控股 60%子公司新建年产 5 万吨三元前驱体以及 2 万吨三元正极产能。

图表61： 2017、2018年底主要企业前驱体产能分布



资料来源：公开资料整理，中信建投证券研究发展部

图表62：国内主要前驱体企业与其部分主要客户

公司	客户
格林美	三星 SDI 供应链
	ECOPRO
	宁德时代供应链
	容百科技
	振华
	厦钨
中伟新材料	三星 SDI 供应链
	LG 供应链
	杉杉股份
	厦钨
	当升科技
	天津巴莫
优美科长信	优美科
广东邦普	宁德时代供应链
华友钴业	LG 供应链
	比亚迪供应链
	天津巴莫
金驰能源	松下
	长远锂科
佳纳能源 (道氏技术)	厦钨
	振华
芳源环保	松下
	贝特瑞
容百科技	自用为主
兰州金通	当升科技
当升科技	自用

资料来源：公开资料整理、中信建投证券研究发展部

5.2 受益于新能源汽车拉动，三元前驱体长期需求无忧

动力电池能量密度提升是大势所趋，三元正极优势明显

2017年2月，我国工信部、国家发改委、科技部、财政部四部委联合发布《促进汽车动力电池产业发展行动方案》指出：到2020年，新型锂离子动力电池单体比能量超过300wh/kg；系统比能量力争达到260wh/kg、成本降至1元/wh以下。三元正极材料的比容量及能量密度高于磷酸铁锂、锰酸锂、钴酸锂等正极产品，符合提高能量密度趋势要求，除在客车领域受政策限制，预计未来在乘用车领域仍将是绝对主流。

3C 锂电池领域三元有望替代部分钴酸锂正极

3C 产品锂电池传统以钴酸锂为正极材料，其优势在于电压平台高、压实密度高、倍率性能好，但缺点在于成本较高、电池寿命短。与钴酸锂正极材料相比，三元正极材料具有价格优势，同时在循环稳定性、热稳定性

和安全性能上有所改善，能量密度上也较钴酸锂更有优势，因此未来三元正极在 3C 锂电池领域将对钴酸锂正极形成一定替代。

低速车、电动自行车领域有望替代铅酸电池

我国是全球电动自行车生产、销售和出口第一大国，2017 年电动自行车产量为 3,113 万辆，其中 90% 以上电动自行车运用的是铅酸蓄电池；此外，国内低速车近几年呈现高增速态势，国内年销量在百万量级，目前主要装载电池也以铅酸电池为主。工信部于 2018 年 5 月公布修订的《电动自行车安全技术规范》要求整车质量（含电池）不超过 55Kg，低速车新国标也在制定中，相关企业均在谋求产品升级以满足新国标。锂电池充放电次数比铅酸电池高 1 倍，能量密度是铅酸电池 3 倍以上，并且随着锂电池价格持续下降，未来在低速车、电动自行车领域替代铅酸电池。

储能领域是尚待开发的蓝海

随着风电、光伏等新能源发电在能源结构中占比不断提升，由于新能源发电受季节、天气条件影响波动性较大，高效储能技术的应用将越来越迫切，同时伴随着锂电池成本的不断下降，电化学储能能在峰谷电价套利、新能源并网以及电力系统辅助服务等领域的应用场景正不断开发出来，未来锂电池在储能领域的市场空间将不比新能源汽车领域小。

三元正极材料的应用主要集中在动力电池中的乘用车上，此外还有少部分用于 3C 消费与储能领域。2014 年以来国内新能源汽车产销量的快速增长，带动了车用动力电池产量及装机量的快速增长，根据中国汽车工业协会和 GGII 披露数据，2018 年新能源汽车产量、车用动力电池装机量增长率分别达到 52%、57%。随着新能源乘用车产销量持续爆发式高增长，新能源客车产销量保持平稳，新能源专用车保持较快增速，我们预计 2019~2021 年国内动力电池装机量增速分别达到 48%、46%、46%。

图表63： 国内动力电池装机量预测

	2016A	2017A	2018A	2019E	2020E	2021E
乘用车产量（万辆）	32.89	55.58	101.16	146.68	220.01	330.02
yoy		69%	82%	45%	50%	50%
客车产量（万辆）	13.4	10.5	11.03	11.03	11.03	11.03
yoy		-22%	5%	0%	0%	0%
专用车产量（万辆）	6.07	15.35	11.51	13.82	16.58	19.89
yoy		153%	-25%	20%	20%	20%
合计（万辆）	52.36	81.43	123.69	171.52	247.62	360.94
yoy		56%	52%	39%	44%	46%
乘用车单车带电量	27.27	24.65	33.33	40	43	45
客车单车带电量	116.94	136.19	151.75	160	170	175
专用车单车带电量	51.07	54.07	56.72	58	60	61
乘用车装机量（GWh）	8.97	13.7	33.72	58.67	94.61	148.51
yoy		52.73%	146.13%	73.99%	61.25%	56.98%
客车装机量（GWh）	15.67	14.3	16.73	17.64	18.74	19.29
yoy		-8.74%	16.99%	5.44%	6.25%	2.94%
专用车装机量（GWh）	3.1	8.3	6.53	8.01	9.95	12.14

yoy		167.74%	-21.33%	22.71%	24.14%	22.00%
合计装机量 (GWh)	27.74	36.3	56.98	84.32	123.30	179.94
yoy		30.86%	56.97%	47.99%	46.22%	45.94%

资料来源：节能与新能源汽车网、GGII，中信建投证券研究发展部

为辅助判断三元前驱体需求前景，我们对全球锂电池需求量及对应三元前驱体需求量进行估算。我们假设每年动力电池库存、替换需求量占装机量比重为 15%，3C 锂电池、储能锂电池产量每年分别保持 3%、10% 增速，未来正极材料需求增量均来自三元正极，国内锂电池总产量占全球锂电池总产量的比重维持 50%，估算出 2019~2021 年全球三元前驱体需求增量分别达到 9.87 万吨、13.73 万吨、18.64 万吨。

图表64：国内及全球三元前驱体需求预测

	2016A	2017A	2018A	2019E	2020E	2021E
国内动力电池装机量 (GWh)	27.74	36.30	56.98	80.66	115.25	163.62
库存、替换需求量 (GWh)	3.06	8.07	7.98	12.10	17.29	24.54
动力锂电池合计产量 (GWh)	30.80	44.37	64.96	92.76	132.53	188.17
3C 锂电池产量 (GWh)	30.39	32.06	33.02	34.01	35.03	36.08
电动工具、储能锂电池产量 (GWh)	2.58	3.45	3.80	4.17	4.59	5.05
国内锂电池合计产量 (GWh)	63.77	79.88	101.77	130.95	172.16	229.30
全球锂电池合计产量 (GWh)	127.54	159.76	203.54	261.9	344.32	458.6
全球三元正极需求增量 (万吨)		5.82	7.86	10.39	14.45	19.62
全球三元前驱体需求增量 (万吨)		5.53	7.46	9.87	13.73	18.64
全球三元正极需求量 (预测)		17.22	27.36	37.75	52.20	71.82
全球三元前驱体需求量 (预测)		16.36	25.99	35.86	49.59	68.23
全球三元前驱体需求量同比增速			58.9%	38.0%	38.3%	37.6%

资料来源：节能与新能源汽车网、GGII，中信建投证券研究发展部

5.3 推荐标的

格林美（行业绝对龙头）：公司率先攻克高镍、单晶型小颗粒三元前驱体核心技术，核心客户包括 CATL 供应链、三星 SDI 供应链、ECOPRO、宁波容百、厦门钨业等全球知名锂电池产业链企业。**2018 年三元前驱体出货量达到 4 万吨，高镍、单晶型前驱体占比达到 75%，在动力电池领域占世界市场份额超过 20%。**公司现有三元前驱体产能 8 万吨，在手订单充裕，**预计 2019 全年销量将超过 7 万吨。**公司通过战略合作正不断绑定下游客户，打造全球高端客户集群，目前已经与三星核心供应商、全球第二大 NCA 生产商 Ecopro 签署三年合计 8 万吨 NCA 供应合作备忘录，与容百签署三年合计 2.93 万吨 NCM523、NCM622 系列前驱体产品战略采购协议，与厦钨签署五年合计 3.3 万吨 NCM523 或 NCM623 前驱体产品战略采购协议，与宁德时代控股邦普循环签署三年合计 4.5 万吨三元前驱体战略合作框架协议。**我们预计公司 2019~2021 年营收分别为 126.27 亿元、155.88 亿元、204.35 亿元，归母净利润分别为 10.42 亿元、13.72 亿元、19.34 亿元，当前股价对应 PE 分别为 19.87、15.09、10.70。维持“买入评级”。**

广东邦普（宁德时代）：2015 年宁德时代通过 51% 股权比例控股子公司宁德和盛以股权受让及增资方式收购广东邦普 66.72% 股权，并利用广东邦普开展动力电池回收循环再造业务。广东邦普三水厂区研发基地主要从事前驱体材料中试、电池正极材料中试、电池电性能检测、理化分析等；长沙宁乡现有三元前驱体产能 13150

吨，2017年3月湖南邦普五期项目开工，建设三元前驱体产能3.6万吨、碳酸锂产能7000吨以及环保砖4860万块，一期于2018年8月建成，全部项目将于2020年建成。邦普现有加规划中产能完全达产后，预计到2020年合计将形成超过三元正极1.5万吨，钴酸锂正极0.3万吨，三元前驱体5万吨，碳酸锂1万吨，氯化钴0.25万吨产能。2019年4月25日宁德时代发布公告，拟通过广东邦普全资子公司宁德邦普投资不超过91.3亿元，用于建设年产10万吨三元正极及10万吨前驱体项目，以满足自身快速增长的正极材料需要。

华友钴业：公司现有三元前驱体产能2万吨，2018年三元前驱体销量达到1.31万吨。公司分别与LG和浦项成立合资公司，用于开展三元前驱体与三元正极相关业务。其中，公司与LG分别成立华金公司、乐友公司，公司持股比例分别为51%、49%，分别主要生产三元前驱体、三元正极业务，一期生产规模年产4万吨，后期将扩大至10万吨；与浦项分别成立华友浦项、浦项华友，公司持股比例分别为60%、40%，分别主要生产三元前驱体、三元正极业务，一期规划均为年产5000吨。四个项目预计将于2019年下半年到2020年陆续投产。此外，公司参股的产业基金项目华海新能源三元前驱体4万吨，一期产线建成投产，二期产线开工建设，电池级碳酸锂等新建项目陆续开工。

道氏技术：公司全资收购佳纳能源，完成对前驱体材料布局。佳纳能源是国内重要钴盐和三元前驱体制造商之一，主要产品包括三元前驱体、氯化钴、硫酸钴、碳酸钴等，现有三元前驱体产能1.2万吨，同时年产2万吨三元前驱体项目已经开工建设。目前已经完成单晶小颗粒、高压实中颗粒物、镍锰二元中颗粒、动力型中颗粒等新产品中试，并已完成6系和8系三元前驱体若干品种的产业化开发，通过下游客户吨级产品验证。

芳源环保：公司主营镍、钴等废弃金属资源综合利用、锂电池正极材料研发、生产和销售业务，公司突破NCA三元前驱体技术难关，2017年NCA产品成功进入国际动力电池巨头松下供应链。公司现有三元前驱体产能1.6万吨，2017年公司年产3.6万吨高品质NCA/NCM前驱体项目获得江门市环保局审批批文。2018年上半年三元前驱体业务收入占总营收比重达到84%，目前三元前驱体主要客户包括松下、贝特瑞、天力锂能、格瑞普、凯恩电池等，松下为第一大客户。

分析师介绍

王革：电力设备与新能源团队负责人。中科院电气工程硕士，国内第一批单晶 HIT 电池产业化团队核心成员，4 年光伏电池研发和产业化经验，1 年公司管理经验，2 年证券行业研究经验。2018 年加入中信建投证券研究发展部。wanggezgs@csc.com.cn

研究助理

刘烁：北京大学理学博士，电力设备与新能源行业研究员，2017 年加入中信建投证券研究部。liushuo@csc.com.cn

张鹏：清华大学工学博士，电力设备与新能源行业研究员，2018 年加入中信建投证券研究部。zhangpengyf@csc.com.cn

研究服务

保险组

张博 010-85130905 zhangbo@csc.com.cn

郭洁 -85130212 guojie@csc.com.cn

郭畅 010-65608482 guochang@csc.com.cn

张勇 010-86451312 zhangyongzgs@csc.com.cn

高思雨 010-8513-0491 gaosiyu@csc.com.cn

张宇 010-86451497 zhangyuyf@csc.com.cn

北京公募组

朱燕 85156403 zhuyan@csc.com.cn

任师蕙 010-8515-9274 renshihui@csc.com.cn

黄杉 010-85156350 huangshan@csc.com.cn

赵倩 010-85159313 zhaoqian@csc.com.cn

杨济谦 010-86451442 yangjiqian@csc.com.cn

杨洁 010-86451428 yangjiezs@csc.com.cn

创新业务组

高雪 -64172825 gaoxue@csc.com.cn

杨曦 -85130968 yangxi@csc.com.cn

黄谦 010-86451493 huangqian@csc.com.cn

王罡 021-68821600-11 wanggangbj@csc.com.cn

上海销售组

李祉瑶 010-85130464 lizhiyao@csc.com.cn

黄方禅 021-68821615 huangfangchan@csc.com.cn

戴悦放 021-68821617 daiyuefang@csc.com.cn

翁起帆 021-68821600 wengqifan@csc.com.cn

李星星 021-68821600-859 lixingxing@csc.com.cn

范亚楠 021-68821600-857 fanyanan@csc.com.cn

李绮绮 021-68821867 liqiqi@csc.com.cn

薛皎 021-68821600 xuejiao@csc.com.cn

许敏 021-68821600-828 xuminzgs@csc.com.cn

深广销售组

张苗苗 020-38381071 zhangmiaomiao@csc.com.cn

许舒枫 0755-23953843 xushufeng@csc.com.cn

程一天 0755-82521369 chengyitian@csc.com.cn

曹莹 0755-82521369 caoyingzgs@csc.com.cn

廖成涛 0755-22663051 liaochengtao@csc.com.cn

陈培楷 020-38381989 chenpeikai@csc.com.cn

评级说明

以上证指数或者深证综指的涨跌幅为基准。

买入：未来 6 个月内相对超出市场表现 15% 以上；

增持：未来 6 个月内相对超出市场表现 5—15%；

中性：未来 6 个月内相对市场表现在-5—5%之间；

减持：未来 6 个月内相对弱于市场表现 5—15%；

卖出：未来 6 个月内相对弱于市场表现 15% 以上。

重要声明

本报告仅供本公司的客户使用，本公司不会仅因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，但本公司及研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证本报告所包含的信息或建议在本报告发出后不会发生任何变更，且本报告中的资料、意见和预测均仅反映本报告发布时的资料、意见和预测，可能在随后会作出调整。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不构成投资者在投资、法律、会计或税务等方面的最终操作建议。本公司不就报告中的内容对投资者作出的最终操作建议做任何担保，没有任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺。投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，据本报告做出的任何决策与本公司和本报告作者无关。

在法律允许的情况下，本公司及其关联机构可能会持有本报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或类似的金融服务。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布本报告。任何机构和个人如引用、刊发本报告，须同时注明出处为中信建投证券研究发展部，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和/或修改。

本公司具备证券投资咨询业务资格，且本文作者为在中国证券业协会登记注册的证券分析师，以勤勉尽责的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰地反映了作者的研究观点。本文作者不曾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收到任何形式的补偿。

股市有风险，入市需谨慎。

中信建投证券研究发展部

北京

东城区朝内大街 2 号凯恒中心 B 座 12 层（邮编：100010）
电话：(8610) 8513-0588
传真：(8610) 6560-8446

上海

浦东新区浦东南路 528 号上海证券大厦北塔 22 楼 2201 室（邮编：200120）
电话：(8621) 6882-1612
传真：(8621) 6882-1622

深圳

福田区益田路 6003 号荣超商务中心 B 座 22 层（邮编：518035）
电话：(0755) 8252-1369
传真：(0755) 2395-3859