

## 工艺与设备

锂离子电池正极材料  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  的  
产业化工艺研究

冯耀华, 李春雷\*, 艾 灵

(兰州理工大学石油化工学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:**通过共沉淀法在体积为 200 L 的密闭反应釜内采用连续工艺合成具有类球形形貌的层状前驱体  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$ , 解决了间歇式生产工艺存在的效率低、批次稳定性差等问题。研究了合成过程中搅拌方式、反应温度、pH 和络合剂用量对前驱体振实密度的影响, 确定了最佳工艺条件。利用前驱体与  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$  通过高温固相反应合成  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  材料。用 X 射线衍射仪 (XRD) 和扫描电子显微镜 (SEM) 对材料的晶体结构和形貌进行表征, 通过充放电测试研究材料的电化学性能。通过 XRD 分析可知该材料为典型的六方晶系  $\alpha\text{-NaFeO}_2$  结构; SEM 测试发现产物粒子是由 300~800 nm 的一次小晶粒堆积形成的二次类球形粒子。电化学测试表明, 在 2.5~4.3 V 电压范围内, 在 0.2 C 倍率下首次放电容量和库仑效率分别为 184.1 mAh/g 和 85.9%, 20 次循环后容量为 166.3 mAh/g, 保持率达到 90.3%。

**关键词:**锂离子电池; 正极材料; 锂镍钴锰复合氧化物; 共沉淀法

中图分类号: TM912

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)09-0174-06

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.09.039

### Study on industrialization process of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ cathode material for lithium ion batteries

FENG Yao-hua, LI Chun-lei\*, AI Ling

(College of Petrochemical Technology, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Spherical mixed metal hydroxide  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  precursor with layered structure is successfully synthesized via continuous coprecipitation method in a 200 L closed reactor, which solves the problems of low efficiency and poor stability in batch production process. The effects of stirring method, temperature, pH and amount of chelating agent on the tap density of precursor are studied and the optimum synthesis conditions are confirmed.  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  sample is obtained by high temperature solid phase reaction between the precursors and  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ , and its crystal structure, morphology and electrochemical properties are investigated by means of X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and charge-discharge test. XRD analysis identifies that this sample has a typical structure of hexagonal  $\alpha\text{-NaFeO}_2$  type. It is found through SEM detection that  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  consists of sphere-like secondary particles that are aggregated by a large amount of primary small particles with an average size of about 300~800 nm. Electrochemical measurements show the initial discharge capacity and the first coulombic efficiency of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  at 0.2 C rates are 184.1  $\text{mAh}\cdot\text{g}^{-1}$  and 85.9% respectively in the voltage range of 2.5~4.3 V. After 20 cycles at 0.2 C, the discharge capacity and the discharge capacity retention are 166.3  $\text{mAh}\cdot\text{g}^{-1}$  and 90.3%, respectively.

**Key words:** lithium-ion batteries; cathode material; compound lithium nickel cobalt manganese oxide; co-precipitation

随着全球能源危机与环境污染问题的日益突出, 迎来了电动汽车市场的爆发, 带动了电池材料市场的快速发展。该发展方向的核心技术是高容量、高安全、低成本和长寿命正极材料的研究, 已成为当前国际研究的前沿热点课题<sup>[1-3]</sup>。其中层状

$\text{LiNi}_{1-x-y}\text{Co}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$  ( $0\leq x\leq 0.5, 0\leq y\leq 0.5$ ) 材料拥有高容量、优良的循环稳定性和低成本, 被认为是最有前景应用于插电式混合动力汽车 (PHEVs) 和电动汽车 (EVs) 的正极材料<sup>[4-6]</sup>。在这些层状材料中,  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  材料因为高的镍含量而拥有相

收稿日期: 2018-03-05; 修回日期: 2018-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21566021); 甘肃省高等学校科技成果转化项目 (2017D-04)

作者简介: 冯耀华 (1982-), 男, 博士生, 研究方向为电化学储能技术, 18193154028@163.com; 李春雷 (1963-), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为电化学储能技术, 通讯联系人, 1489283953@qq.com。

对  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  和  $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$  而言较高的比容量<sup>[7-9]</sup>,被认为是电动汽车能源系统正极材料的有力竞争者。

由于前驱体的粒径、形貌分布直接决定了正极材料的相关性能,所以高性能镍钴锰三元前驱体的生产,是动力电池以及其他高端电池用镍钴锰酸锂正极材料的重要基础。高镍正极材料前驱体的合成前人做了大量的研究<sup>[10-12]</sup>,都提及富镍正极材料前驱体合成困难的原因在一定程度上是合成条件的苛刻,需要精确控制稳定的合成环境。有许多球形高镍三元前驱体被成功制备研究报告,但都是在简单的小的反应容器中合成的<sup>[13-15]</sup>,也有部分在大型反应釜中合成良好性能的高镍三元前驱体的相关报道<sup>[16-17]</sup>。然而,还没有关于连续工艺合成高镍三元前驱体的相关报道。

目前,国内外镍钴锰三元前驱体的生产主要采用间歇式生产工艺,即在单台反应器中间歇式合成。由于三元氢氧化物晶体颗粒的生长周期长,生长条件苛刻(还原保护气氛下),间歇式生产工艺存在效率低、颗粒球形度不佳、粒度分布宽、批次稳定性差等一系列问题,而连续工艺路线是三元前驱体产业化的保证。所以本次研究的目的是通过在 200 L 密闭的反应釜内进行连续工艺制备镍钴锰三元前驱体。

## 1 实验

### 1.1 前驱体的合成及正极材料的制备

实验所用原料:硫酸镍( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )、氯化钴( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )、电解锰、浓硫酸、水合肼、氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )、氨水( $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )均系工业级。前驱体合成的实验设备如图 1 所示,工艺流程如图 2 所示。

在设计好的连续反应釜内加入定量的纯水、氨水和水合肼作为底液,通过流量泵连续并流加入混合金属溶液(镍钴锰元素的摩尔质量 8:1:1 配成

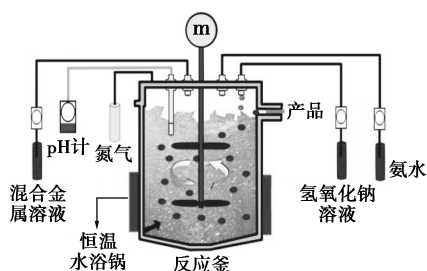


图 1 实验设备示意图

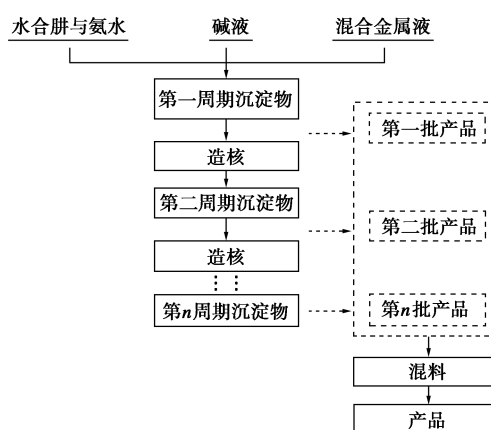


图 2 实验工艺流程

120 g/L 的溶液)、氢氧化钠溶液(沉淀剂)、氨水(氨水本身作络合剂,氨水中所加的水合肼控制反应釜内体系的电位)并使其发生化学共沉淀反应,在反应釜内通入高纯氮气作反应体系保护气体,控制反应釜搅拌桨的搅拌强度、反应釜内体系温度、pH 等条件,将反应所得的沉淀充分洗涤过滤,在 80℃ 下真空干燥 24 h,得到前驱体  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  粉末。

按摩尔比 1.06:1 称取  $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$  和  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$ ,充分混合均匀,在氧气气氛下经过分段烧结得产物  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  粉体。

### 1.2 材料的分析与表征

采用美国 TJA 公司生产的 POEMS 等离子体光谱仪分析混合金属溶液中各金属离子的浓度;采用德国布鲁克公司生产的 D8 ADVANCE X-ray 衍射仪分析样品的晶体结构;采用日本株式会社生产的 JSM-6700F 场发射扫描电子显微镜观察样品的形貌。采用美国 PE 公司生产的 5100ZL 型原子吸收光谱仪对样品元素进行分析;采用英国马尔文公司生产的 Mastersizer 2000 型激光粒度仪测量样品的粒度分布;采用美国麦克公司生产的 ASAP2010 型快速比表面积和孔径分布测定仪测试样品的比表面积;采用北京钢铁研究总院生产的 FZS4-4 型振实密度测定仪测试样品的振实密度。

### 1.3 电化学测试

将  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ 、乙炔黑、PVDF 按质量比 85:8:7 进行配比,调成糊状浆料后均匀涂布在铝箔上,120℃ 烘干备用(隔夜),以金属锂片为负极片,以北京化学试剂研究所生产的 LBE-201 作为电解液,Celgard-2300 为隔膜,在真空手套箱中组装成 CR-2025 型扣式电池。组装好的电池封口后在武

汉力兴生产的 LAND 充放电测试仪上进行充放电性能测试,充放电电流为 0.2 C(40 mA/g),电压范围:2.5~4.3 V。

## 2 结果与讨论

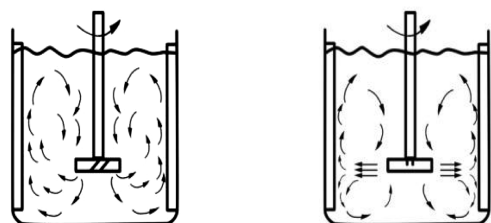
### 2.1 前驱体制备工艺条件的优化

前驱体  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  的合成要控制的参数很多,有搅拌方式、反应温度、反应体系 pH、络合剂用量等。如何简化控制参数成为解决问题的关键,而振实密度是整个指标中的核心,在改变控制参数的过程中,主要围绕对振实密度的贡献。因此,通过考察控制参数对振实密度的影响,在具体的实验过程中,固定其他控制参数,仅改变某一控制参数,可优化选择出最佳的参数条件。

#### 2.1.1 搅拌方式的影响

##### (1) 搅拌桨形状实验

倾斜桨叶和平桨叶的搅拌状态示意图见图 3。倾斜桨叶的流况以轴向流动为主,而平桨叶的流况以径向流动为主,流体在反应釜中循环流动,但平桨叶造成的循环流动以叶轮为界分为上下 2 层,使反应时物料分散得不够均匀;倾斜桨叶却能使流体自下而上翻滚做循环流动,因此选择带倾斜桨叶的搅拌器。



(a) 倾斜桨叶(轴向流动)

(b) 平桨叶(径向流动)

图 3 不同搅拌桨搅拌状态示意图

##### (2) 搅拌强度实验

前驱体制备过程涉及晶核的形成、稳定和生长等多个阶段,搅拌强度是影响产品晶体结构的重要因素,从表 1 中可以看出搅拌速度在 300 r/min 时前驱体的振实密度最高。

表 1 不同搅拌强度对前驱体振实密度的影响

搅拌转速/( $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ )	150	180	210	240	270	300	330	360
振实密度/( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.46	1.66	1.78	1.85	1.98	2.02	2.00	1.87

#### 2.1.2 反应温度的影响

前驱体的制备反应过程为轻微放热反应,因此温度太高会导致反应较难进行,温度太低会造成反

应太快导致前驱体晶体生长不够致密。实验考察了在 35~70℃ 合成前驱体的振实密度,从表 2 中可以看出,温度在 55~60℃ 时制备的前驱体的振实密度最高,从节约能源考虑出发,选择最佳反应温度为 55℃。

表 2 不同反应温度对前驱体振实密度的影响

反应温度/℃	35	40	45	50	55	60	65	75
振实密度/( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.51	1.63	1.73	1.91	2.04	2.03	1.85	1.70

#### 2.1.3 pH 的影响

理论上前驱体在  $\text{pH} \geq 9$  时才能沉淀完全,而反应体系 pH 太高( $>12$ )时晶体生长缓慢且原料中碱消耗量大,成本相应增加。因此实验选择在 pH 9~12 进行,pH 每间隔 0.5 进行实验并测试产品的振实密度。从表 3 中可以看出,pH 在 10.0~10.5 时制备的前驱体振实密度较佳,但在此宽 pH 范围内进行生产,产品的振实密度有较大波动,为了获得更精确的实验数据,在 pH 10.0~10.5,pH 每隔 0.1 再进行前驱体制备反应,表 4 实验结果表明,pH 稳定在 10.2 时制备的前驱体振实密度最大。

表 3 pH 9~12 时对前驱体振实密度的影响

pH	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
振实密度/( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.65	1.89	2.01	1.93	1.82	1.69	1.46

表 4 pH 10.0~10.5 时对前驱体振实密度的影响

pH	10.0	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5
振实密度/( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	2.01	2.04	2.08	2.02	1.97	1.94

#### 2.1.4 络合剂用量的影响

如果在反应过程中不加入氨水,金属盐和碱液直接反应,反应的动力学速度非常快,将会形成密度极低的氢氧化物胶体。因此,在反应物中加入氨水后,就减缓了氢氧化物的生成速度,其与  $\text{OH}^-$  的关系是既竞争又协作。在反应过程中,氨水起络合剂的作用,和部分金属盐生成氨配合物,氨配合物再与  $\text{OH}^-$  反应生成前驱体并放出氨。反应釜中氨水的加入量=氨水的浓度×氨水体积,其中体积可以用流速来控制。因此影响氨水加入量的因素有浓度和流速 2 个参数。在前驱体生产过程中,固定原料浓度,只调节原料流速可简化控制参数,减少影响因素,方便操作。而在 3 个原料的加入体积中,通过固定混合金属盐的流速,调整其他 2 种原料的流速来控制前

驱体颗粒的生长可以最大化地减少影响因素,方便大规模生产。

假定混合金属盐的流速为 1,氨水相对混合金属盐的流速比为  $x$ 。由于氨水的浓度已经固定,在能够制备出合适的前驱体的条件下, $x$  的可能范围应该在  $0.06 \leq x \leq 0.20$ 。

从表 5 中可以看出,当氨水与混合金属盐的流速比在 0.08~0.14 时,制备的前驱体振实密度较好,但是当氨水的流速比大于 0.12 后,反应体系中的上清液颜色开始偏蓝,经检测其中 Ni 离子含量增加。因此控制氨水与混合金属盐的流速比在 0.08~0.10 为最佳。

表 5 氨水与混合金属盐的流速比  
对前驱体振实密度的影响

氨水/金属盐流速比	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
振实密度/( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.90	2.03	2.02	2.00	1.98	1.93	1.94	1.88

前期通过探索性试验,确定了最佳工艺,制备的前驱体样品振实密度达  $2.05 \text{ g/cm}^3$ ,比表面积为  $3.34 \text{ m}^2/\text{g}$ ,D50 为  $9.172 \mu\text{m}$ 。三元前驱体粒度分布如图 4 所示。

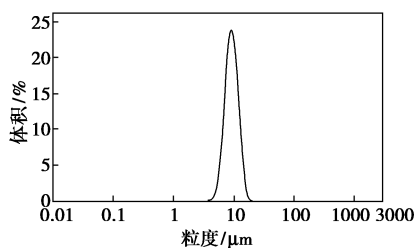


图 4 三元前驱体粒度分布图

## 2.2 正极材料的物性及电化学性能

### 2.2.1 XRD 分析

由于前驱体  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  中 Ni 含量较高,在煅烧合成时, $\text{Ni}^{2+}$  很难被氧化成  $\text{Ni}^{3+}$  而生成化学计量比的材料,部分  $\text{Ni}^{2+}$  分布在 Li 层,产生阳离子混排现象,影响材料的电化学性能<sup>[18]</sup>。Miyazaki 等<sup>[19]</sup>认为氧分压越高越有利于合成出接近计量比的  $\text{LiNiO}_2$ 。因此为保证锂镍氧化物系列材料高容量的优势,高温烧结过程必须在氧气气氛中进行。图 5 为样品在  $750^\circ\text{C}$  氧气气氛下烧结产物的 XRD 图,参照标准谱图可知氧气气氛下烧结产物的衍射峰比较尖锐,各峰值符合六方晶系特征,合成材料属于  $\alpha\text{-NaFeO}_2$  层状结构。(110)/(108)和(006)/(102)峰形分离表明样品结晶完整,层状结构良好。

(003)峰表征了  $\text{LiCoO}_2$  的层状结构,(104)峰则反映了层状结构的基本单元  $\text{Co-O-Co}$ ,(003)与(104)衍射峰强度之比反映了阳离子的二维有序度,当  $I(003)/I(104) \geq 1.2$  时,可以认为材料中的阳离子混排比较少,当  $I(003)/I(104) < 1.2$  时,阳离子有序度减小将导致材料电化学性能的恶化<sup>[20]</sup>,样品  $I(003)/I(104) = 1.69$ ,说明阳离子混排度小,有序化程度高。

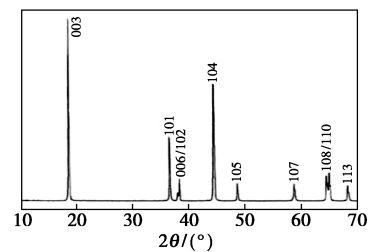


图 5  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  的 XRD 图

### 2.2.2 SEM 分析

图 6 为前驱体  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  的扫描电镜照片,从图 6 中可以看出,用共沉淀法合成的前驱体是粒径为  $10 \mu\text{m}$  左右的类球形颗粒,形状规则,一次粒子的聚集紧密。进一步放大到 1 万倍发现,前驱体颗粒实际上是由纳米级厚度的片状一次粒子团聚而成。这种结构在前驱体  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  和  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$  的烧结过程中有利于熔融的  $\text{Li}_2\text{O}$  从空隙中充分扩散进入前驱体中使材料成分分布更均匀,得到更理想的计量比产物。

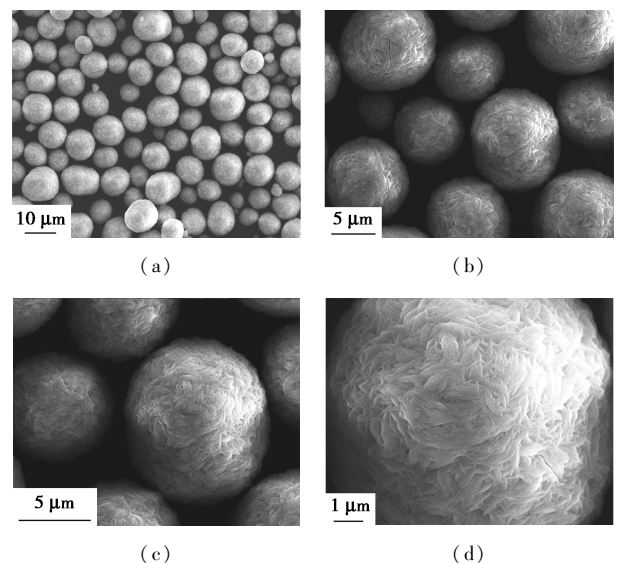


图 6  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  的 SEM 图

图 7 是  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  混合粉体经过分段烧结所得产物  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$

的 SEM 图。从图 7 中可以看出产物为单分散球形颗粒,且二次颗粒致密结实。将类球形产物粒子放大到 5 000 倍发现该粒子是由 300~800 nm 的一次小晶粒堆积形成的二次粒子。这些一次小晶粒的晶体发育完全结晶度较高,小晶粒之间存在较多的间隙有利于电解液在材料内部渗透从而提高正极材料的利用率。

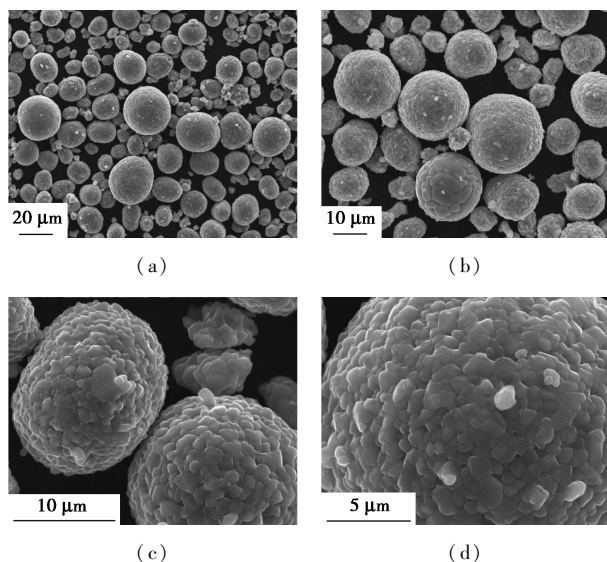


图 7  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  的 SEM 图

### 2.2.3 电化学性能分析

表 6 是电化学性能测试结果,图 8 是样品的循环性能曲线,可看出样品的首次放电容量和效率均较高,样品首次循环的不可逆容量要高于其他充放

表 6 电化学性能测试结果

循环次数	充电容量/ ( $\text{mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ )	放电容量/ ( $\text{mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ )	库伦效率/ %
1	214.8	184.1	85.9
2	186.6	178.4	95.6
5	179.4	176.2	98.2
10	177.0	174.1	98.4
20	170.1	166.3	97.7

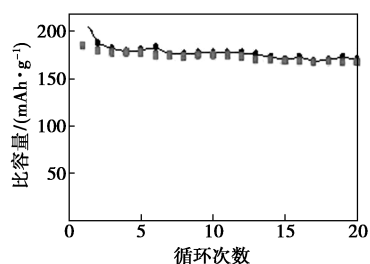


图 8 循环性能曲线

电循环的不可逆容量,从第 2 次循环以后样品的不可逆容量逐渐减小,放电效率基本在第 3 次的基础上浮动,且浮动不大。首次循环后 SEI 层的形成是导致容量损失的主要原因。

图 9 为样品  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.01}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$  在 0.2 C 倍率下首次、第 2 次、第 5 次、第 10 次、第 20 次的充放电曲线。由图 9 可见,正极材料的充放电曲线对称性较好,充放电平台平缓,并且曲线重合性较好,表明该正极材料循环稳定性好。

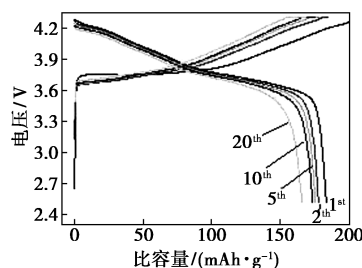


图 9 充放电曲线

## 3 结论

通过共沉淀法采用连续工艺合成出类球形层状前驱体  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$ ,解决了间歇式生产工艺存在的效率低、批次稳定性差等问题。通过探索性实验确定了合成前驱体  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  的最佳工艺条件:搅拌速度为 300 r/min,反应温度为 55℃,pH 为 10.2,氨水与混合金属盐的流速比为 0.08~0.10。在此条件下制备的前驱体是由纳米级厚度的片状一次粒子团聚而成的类球形颗粒,在氧气气氛下高温分段烧结得到的产物  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.01}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$  仍然保持类球形,振实密度达 2.1 g/cm<sup>3</sup>。通过充放电循环测试可知,制备的  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.01}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$  具有优良的电化学性能指标。样品在 0.2 C 倍率及 2.5~4.3 V 的电压范围内,首次放电容量高达 184.1 mAh/g,库伦效率为 85.9%,20 次循环后容量为 166.3 mAh/g,容量保持率为 90.3%,是一种有前景的锂离子电池正极材料。

### 参考文献

[1] Goodenough J B, Kim Y. Challenges for rechargeable libatteries[J]. Chemistry of Materials, 2010, 22(3): 587-603.  
 [2] Lee J, Urban A, Li X, et al. Unlocking the potential of cation-disordered oxides for rechargeable lithium batteries[J]. Science, 2014, 343(6170): 519-522.  
 [3] Duc-Luong Vu, Jae-won Lee. Properties of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  as

- a high energy cathode material for lithium-ion batteries[J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2016, 33(2): 514-526.
- [4] Shim J, Kostecki R, Richardson T, *et al.* Electrochemical analysis for cycle performance and capacity fading of a lithium-ion battery cycled at elevated temperature[J]. Journal of Power Sources, 2002, 112(1): 222-230.
- [5] Belharouak I, Sun Y K, Liu J, *et al.*  $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$  as a suitable cathode for high power applications[J]. Journal of Power Sources, 2003, 123(2): 247-252.
- [6] Yabuuchi N, Ohzuku T. Novel lithium insertion material of  $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  for advanced lithium-ion batteries [J]. Journal of Power Sources, 2003, 119: 171-174.
- [7] Cho J, Kim T J, Kim J, *et al.* Synthesis, thermal, and electrochemical properties of  $\text{AlPO}_4$ -coated  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  cathode materials for a Li-ion cell[J]. Journal of The Electrochemical Society, 2004, 151(11): A1899-A1904.
- [8] Kim M H, Shin H S, Shin D, *et al.* Synthesis and electrochemical properties of  $\text{Li}[\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}]\text{O}_2$  and  $\text{Li}[\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}]\text{O}_2$  via co-precipitation [J]. Journal of Power Sources, 2006, 159(2): 1328-1333.
- [9] Li X, Zhang K, Wang M S, *et al.* Dual functions of zirconium modification on improving the electrochemical performance of Ni-rich  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  [J]. Sustainable Energy & Fuels, 2018, 2(2): 413-421.
- [10] Sun Bin, Shen Guo-pei, Hu Yan-long. High-rate capability of spinel  $\text{LiNi}_{0.05}\text{Mn}_{1.95}\text{O}_4$  cathode for Li-ion batteries prepared via co-precipitated precursor[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(S1): 937-940.
- [11] Li Ling-jun, Li Xin-hai, Wang Zhi-xing, *et al.* Synthesis of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  cathode material by chloride co-precipitation method [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010, 20(S1): 279-282.
- [12] Tang Z, Zheng H, Qian F, *et al.* Improvement of cycling and thermal stability of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$ , cathode material by secondly treating process[J]. Ionics, 2017, (32): 1-11.
- [13] Huang Yue, Wang Zhi-xing, Li Xin-hai, *et al.* Synthesis of  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$  precursor and electrochemical performance of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  cathode material for lithium batteries [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25(S1): 2253-2259.
- [14] Chen Wei, Li Xin-hai, Wang Zhi-xing, *et al.* Influence of feeding rate on performance of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  cathode materials prepared by co-precipitation[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2012, 22(7): 1956-1962.
- [15] Zhang B, Dong P, Tong H, *et al.* Enhanced electrochemical performance of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ , with lithium-reactive  $\text{Li}_3\text{VO}_4$ , coating [J]. Journal of Alloys & Compounds, 2017, 706: 198-204.
- [16] Lee M H, Kang Y J, Myung S T, *et al.* Synthetic optimization of  $\text{Li}[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{O}_2$  via co-precipitation [J]. Electrochimica Acta, 2004, 50(4): 939-948.
- [17] Liang Long-wei, Du Ke, Peng Zhong-dong, *et al.* Co-precipitation synthesis of  $\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}(\text{OH})_2$  precursor and characterization of  $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$  cathode material for secondary lithium batteries[J]. Electrochimica Acta, 2014, 130: 82-89.
- [18] Whitfield P S, Davidson I J, Cranswick L M D, *et al.* Investigation of possible superstructure and cation disorder in the lithium battery cathode materials  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$  using neutron and anomalous dispersion powder diffraction [J]. Solid State Ionics, 2005, 176(5/6): 463-471.
- [19] Miyazaki T, Doi T, Kato M, *et al.* Structure and catalysis of layered rock-salt type oxides for methane oxidation [J]. Applied Surface Science, 1997, (121/122): 492-495.
- [20] Gao Y, Yakovleva M, Wang H H, *et al.* Method of producing layered lithium metal oxides free of localized cubic spinel-like structural phase: US, 6620400[P]. 2003-09-16. ■

### 赢创与三聚公司建立战略合作

2018年8月23日,赢创工业集团(简称赢创)与北京三聚环保新材料股份有限公司(简称三聚)在北京签署战略合作备忘录。赢创北亚区总裁柯乐施博士与三聚总裁林科先生代表双方签署了相关文件。

根据协议,双方将在创新研发、工艺和技术应用领域进行深入合作,并在催化剂及载体技术、膜分离技术、其他特种化工产品和助剂等领域开展实质性合作。

赢创是全球领先的特种化学品公司之一,总部位于德国。赢创持续聚焦面向中国特色发展机遇的解决方案,不断增强本地创新,帮助中国及亚洲客户提升其竞争力;在实现自身业务增长的同时,带动上下游产业链的技术升级,促进中国化工行业的整体发展。

柯乐施博士表示,中国是赢创全球最重要的增长市场之一。赢创非常重视与中国本地行业龙头企业的

合作。赢创与三聚都十分注重创新和可持续发展,此次强强联手,期待双方能建立全方位的战略伙伴关系,共同拓展相关市场,更好服务本地客户。

三聚成立于1997年,是为基础能源工业的产品清洁化、产品质量提升及生产过程的清洁化提供产品、技术、服务的高新技术企业。2017财年,三聚创造了约225亿元人民币的销售额,同比增长28%;实现归属于母公司所有者的净利润25.4亿元人民币,同比增长57%。

林科先生表示,赢创是国际知名公司,三聚与赢创的合作对接已持续了两年时间,与其合作可以提升三聚的技术能力。三聚将组建新部门,发挥三聚的市场和生产优势,全力推进与赢创的实质性合作,为双方的进一步深入合作创造有利条件。(方圆)