

| 证券研究报告 |

# 钠离子电池专题1-多方发力 趋势已成

2022.12.08

分析师：曾彪

S0740522020001

## 投资摘要

- **钠离子电池具备替代锂离子电池的条件：**工作原理与锂电池相同，性能指标与铁锂电池存在重叠区，上游矿源丰富易得，产线重置成本低；钠电池产业化发展的突破口，是钠电专用正负极材料的开发，电池层级的重点是钠电专用电池管理系统的开发，数据库的完善和行业标准的制订。
- **正极材料的开发，重点关注层状金属氧化物和聚阴离子聚合物类。**层状金属氧化物生产结构和生产工艺与三元锂相似，能量密度相对较高，但其循环稳定性逊色于具有稳定三维结构的聚阴离子聚合物类材料。聚阴离子型的问题是能量密度相对较低，可拓宽其在长循环储能领域的应用。
- **全电极层级，可以通过补钠技术和新型电解液优化电池性能。**正极补钠剂在搅拌阶段以添加剂的形式加入，补充首次充放电过程不可逆的活性钠离子损失，在生产中易于实现；液相浸泡和喷涂负极补钠技术，亦具备商业化应用的条件；此外，利用电解液有机组分的官能团对电极界面进行调控，亦可进一步优化循环性能。
- **产业链规模初显雏形，预计2023年钠电正负极主材分别形成万吨级和千吨级的有效产能，**新规划的钠离子电池产能超过30GWh。
- **钠离子电池电芯材料成本在0.45-0.5元/Wh左右，**仍然存在较大的降本空间。
- **投资建议：**钠电主材性能和工艺局限的突破传统锂电正极材料的主要玩家，关注：容百科技、振华新材、当升科技；关注解决行业痛点问题，提供创新解决方案的行业龙头：宁德时代。
- **风险提示：**钠离子电池产业化进度不及预期；锂离子电池或其他新技术持续迭代，钠离子电池技术发展不及预期；下游需求释放不及预期；测算结果基于一定假设导致的结果不确定性的风险；钠离子电池的市场渗透率不及预期。

# 目录

## CONTENTS

中泰证券研究所  
专业 | 领先 | 深度 | 诚信

01.

钠电池，是锂离子电池的完美替补？

02.

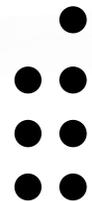
钠离子电池，如何设计？

03.

钠离子电池，产业化提速

04.

投资建议



1

钠电池，是锂离子电池的  
完美替补？

领先一步

# 1. 钠电池，是锂离子电池的完美替补？

## ■ 钠离子电池具备替代锂离子电池的条件

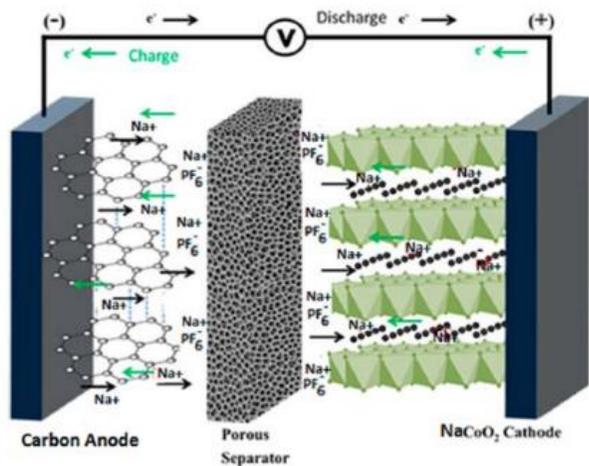
### • 上游矿源

**钠源：**氢氧化钠、碳酸钠、甲酸钠、醋酸钠、氯化钠等；储量丰富，易于开采，供应链安全风险小；

**锂源：**氢氧化锂（三元）、碳酸锂（铁锂）；原矿品位低，开采难度大，周期长，价格波动较大，对外依存度高；

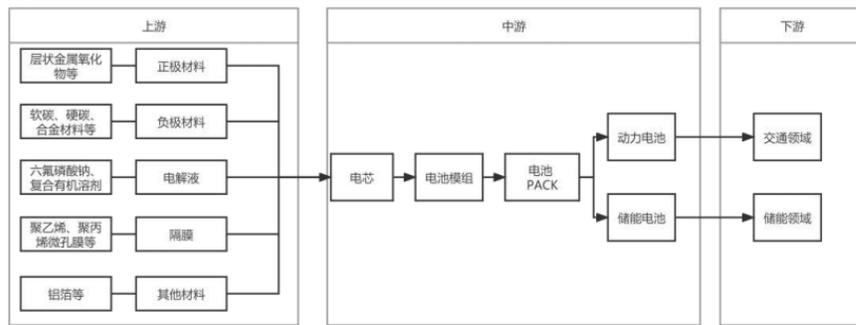
### • 工作原理

与锂离子电池相同：属摇椅式二次电池，充电时钠离子从正极脱嵌，通过电解质和隔膜后在负极嵌入，放电时则相反运动。



### • 制造工艺

正极前驱体、正极材料，再到电芯的制造工序与设备相似，重置成本低。



### • 性能指标

能量密度与磷酸铁锂电池存在重叠区间。在两轮车、A00级车、储能等领域具备替代锂离子电池的条件。

项目	铅酸电池	磷酸铁锂	三元锂	钠电池
能量密度 (Wh/kg)	30-50	120-200	200-350	70-200
循环寿命 (次)	300-500	>3000	>800	>2000
平均电压	2V	3-4.5V	3-4.5V	2.8-3.5V
工作温度		-20-60° C		-40-80° C

# 1. 钠电池，是锂离子电池的完美替补？

## ■ 钠离子电池产业化发展的突破口：材料端，重点是钠电专用正负极主材的开发

◆ **正极材料**：离子半径上的差异意味着钠化合物在晶格结构与锂存在区别，需要发掘或通过界面和结构调控实现兼具良好电性能和循环寿命的钠基正极主材。

$R_{Li^+}$ : 0.76Å       $R_{Na^+}$ : 1.02Å

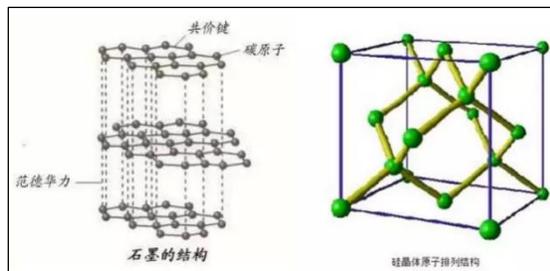


➔ 多技术路线同步探索阶段，代表体系有：**层状氧化物类** ( $Na_xMO_2$ , 对标三元锂)、**聚阴离子型化合物材料** ( $NaMPO_4$ , 对标磷酸铁锂) 和**普鲁士蓝类** ( $Na_xPR(CN)_6$ )

◆ **负极材料**：商业化的石墨负极或硅碳负极（层状有序结构）不适合储存钠离子。

➔ 无定型碳：**硬碳、软碳**  
非碳负极：**TiO<sub>2</sub>、MoS<sub>2</sub>**等

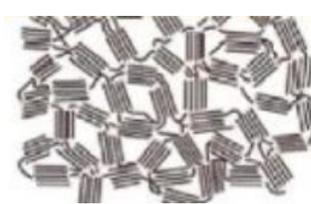
### ◆ 材料开发



- 钠离子半径大无法稳定嵌入石墨层
- 稳态结构：  
 $LiC_6$ , 比容量 372mAh/g  
 $NaC_{70}$ , 比容量 31mAh/g



• 软碳：可逆比容量 ~200mAh/g



• 硬碳：可逆比容量 300-400mAh/g

◆ **电解液**：主要溶剂由六氟磷酸锂切换成六氟磷酸钠，壁垒较低。

◆ **隔膜、集流体**：隔膜孔隙大小为纳米级别，离子半径的差异可忽略与锂电池通用；钠与铝无合金化反应，不会侵蚀铝箔，负极集流体可用铝箔替代铜箔。

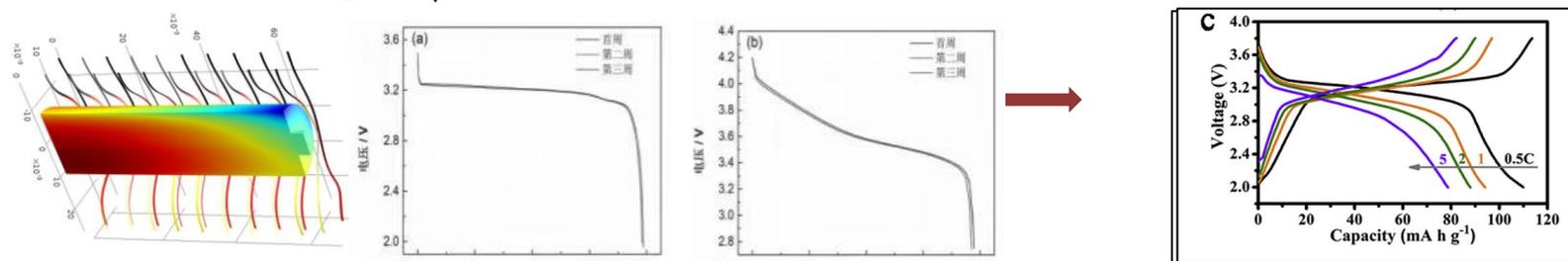
◆ **其他添加剂**：包括正负极添加剂，电解液溶剂，大体与锂电池相同，通过开发新型辅材、或配方用量的调配达到性能与成本的均衡兼顾。

# 1. 钠电池，是锂离子电池的完美替补？

■ 钠离子电池产业化发展的突破口：电池端，重点关注钠电专用电池管理系统的开发，测试数据库的完善和行业标准的制订

- ◆ 电芯制造
  - 电芯设计：包括电池形态（圆柱、方形、软包），正负极主材的选型，和辅材的搭配，以期优化电池的综合性能。
  - 电芯工艺：电芯产线工艺参数的优化（关键是极片段和化成段）和know-how经验的积累。
- ◆ 测试/模拟数据库：处在产业化初期，循环性能、日历寿命等长周期验证数据相对匮乏（以1C倍率循环为例，算上静置时间，一天8次循环，获取3000次循环数据需1年时间）。
- ◆ 电池集成
  - 模组/系统集成：钠电池在能量密度的表现逊色于锂电池，需要对模组集成上做出优化。
  - 电池管理系统开发：充放电特性、电压模式、热量分布等均有差异，需要针对性地开发BMS系统。

## ◆ 电池开发



• 锂电池充放电后热量分布图

• 铁锂/三元充放电特性

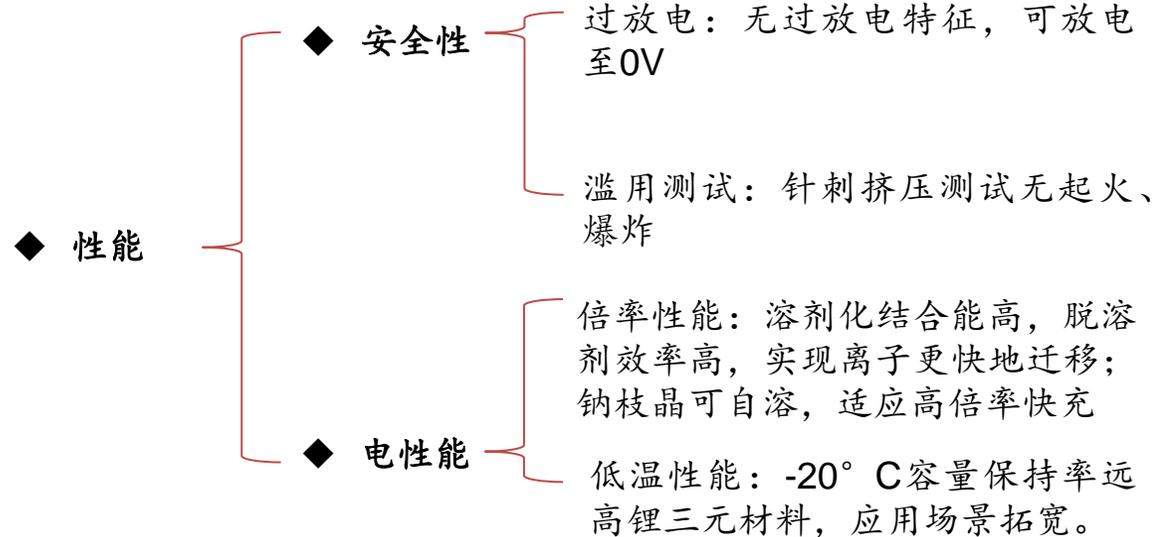
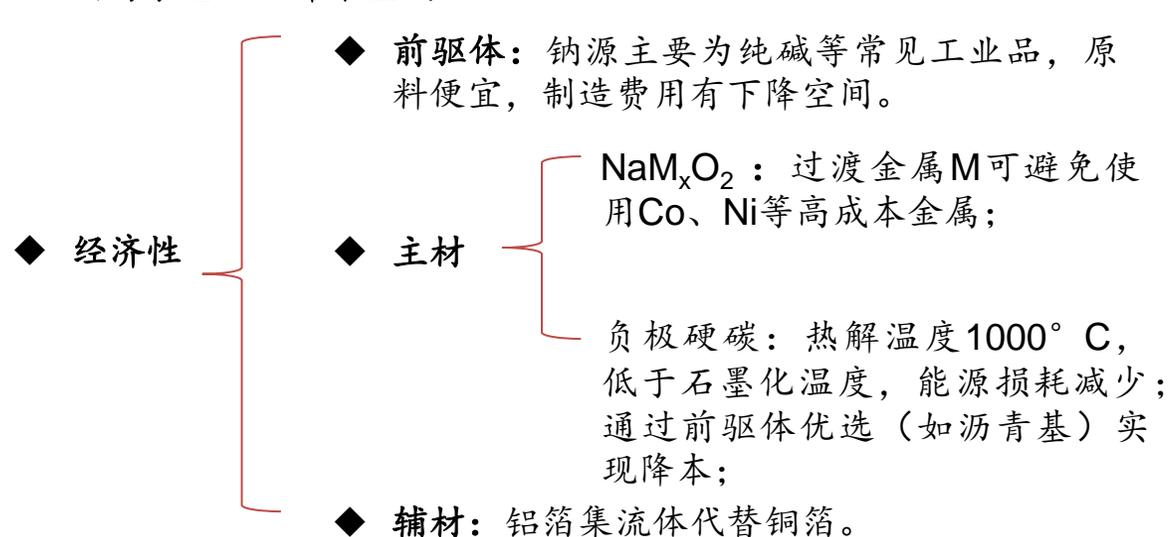
• 钠离子全电池充放电曲线

◆ 标准化：包括性能指标，规格和测试方法等，有利于产品推广和成本降低。

# 1. 钠电池，是锂离子电池的完美替补？

## ■ 钠离子电池的核心优势：降本空间大、安全性能佳

### ➤ 钠离子电池的降本空间



### ➤ 钠离子电池的局限

更大的原子质量和半径：

$R_{\text{Li}}: 1.45\text{\AA}$   
 $M_{\text{Li}}: 6.94\text{g/mol}$



$R_{\text{Na}}: 1.8\text{\AA}$   
 $M_{\text{Na}}: 22.99\text{g/mol}$

更低的氧化还原电势：

$\text{Li}^+ + e^- = \text{Li}$   
 $E^\ominus/V = -3.04$

$\text{Na}^+ + e^- = \text{Na}$   
 $E^\ominus/V = -2.71$



更小的比容量  
(Li:3829mAh/g vs Na:1165mAh/g)

电压工作窗口更窄

➤ 钠电池降本空间大，安全性能优异，且能够拓展低温应用，但是需要在能量密度上做出取舍，同时长循环产品的开发还需寻求突破。



2

# 钠离子电池，如何设计？

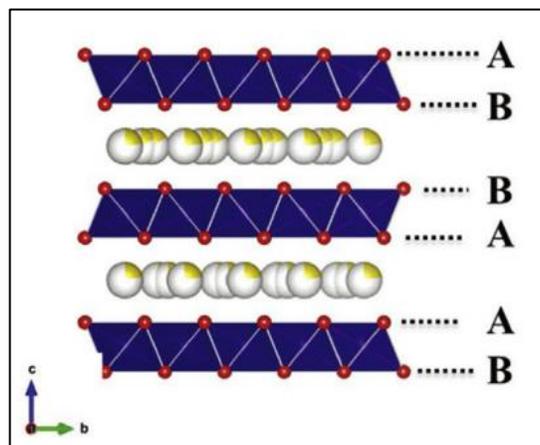
领先一步



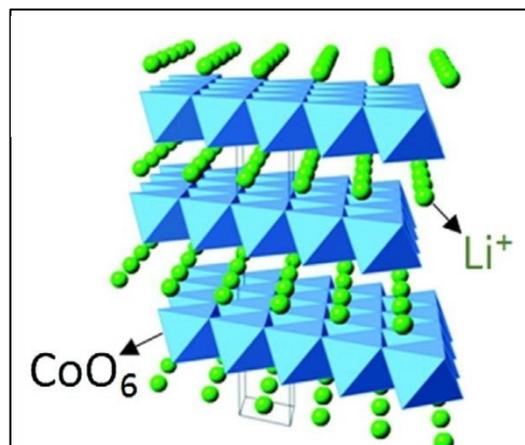
## 2.1 钠离子电池，如何设计？——正极材料

### ■ 钠离子电池正极材料：层状金属氧化物

➤ 层状金属氧化物  $\text{Na}_x\text{MO}_2$ ：对标锂离子电池三元材料  $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z)\text{O}_2$



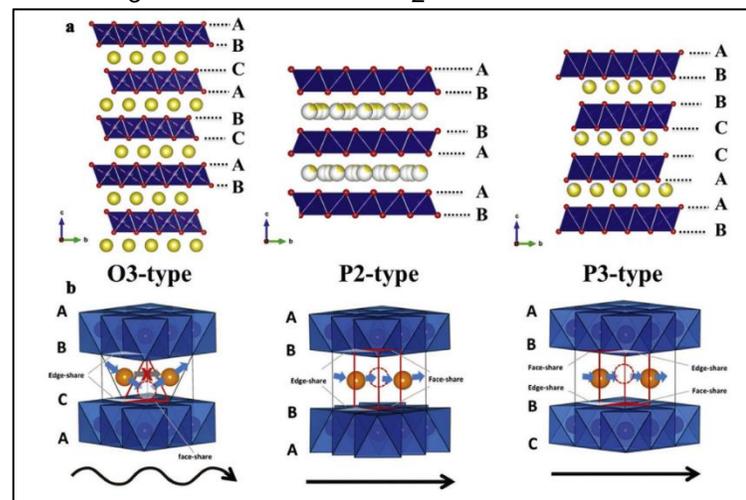
• P2-型层状金属氧化物



• 钴酸锂晶体结构

1. 晶体结构为钠离子夹在层状金属氧化物之间，与钴酸锂结构相似。
2. 化学式中的M代表过渡金属，如Mg, Ti, Ni, Mn, Fe, Cu等，选择范围相较于锂离子电池更广（主要为Ni, Co, Mn, Al）。

➤ 层状金属氧化物  $\text{Na}_x\text{MO}_2$  由于钠离子的含量的不同存在多种结构，主要分为  $\text{O}_3$  ( $x=0.8\sim 1$ ) 和  $\text{P}_2$  ( $x=0.67\sim 0.8$ ) 结构。

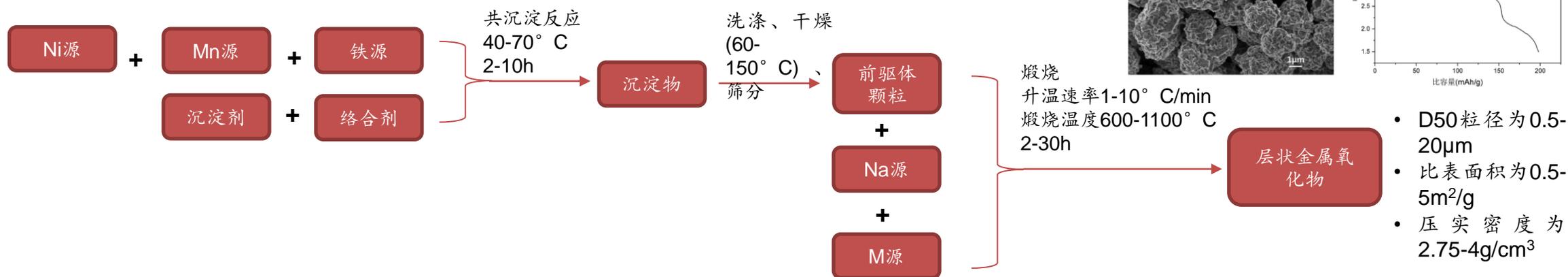


1. O代指， $\text{Na}^+$ 被周边氧离子包围，占据八面体点位，P代指占据棱柱点位，下标3指ABCABC形式的层状堆积，2指ABBAAB的堆积形式。
2.  $\text{O}_3$ 结构 $\text{Na}^+$ 的含量更多，因此容量相对更高，但是 $\text{Na}^+$ 的传输动力学相对P2结构更差，且在脱嵌过程中易使晶体结构发生不可逆的相变，循环性能下降。
3. 若 $x < 0.5$ ，晶格结构呈三维隧道状，结构稳定，循环性能佳，但钠离子点位少，能量密度低。

## 2.1 钠离子电池，如何设计？--正极材料

### ■ 钠离子电池正极材料：层状金属氧化物制备

#### ➢ 多离子掺杂+晶相调控：容百科技钠电池正极材料 $\text{Na}_i\text{Ni}_x\text{Fe}_y\text{Mn}_z\text{M}_{1-x-y-z}\text{O}_2$



1. 通过多离子掺杂对晶相进行调控，结构中的TM-O键长发生改变，材料同时具备P2相和O3相，相界之间的复合有效抑制不可逆相变，结构稳定性提高，循环性能和放电容量更佳。

#### ➢ 其他改性方式：层状-隧道复合结构（格林美）

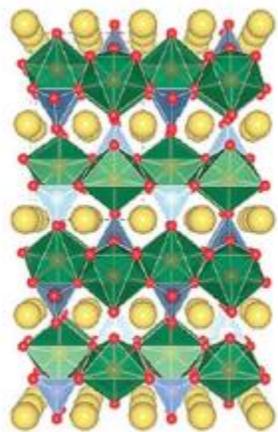


1. 内核包括高锰含量的 $\text{Na}_x\text{Mn}_a\text{M}_{1-a}\text{O}_2$ ，提供高能量密度，外壳包括 $\text{Na}_x\text{Ni}_b\text{Mn}_c\text{Fe}_d\text{O}_2$ ，起结构稳定作用，减低活性物质与电解液发生的副反应，提高循环性能。
2. 生产工艺与锂电池三元材料的生产流程相似，重置成本低。

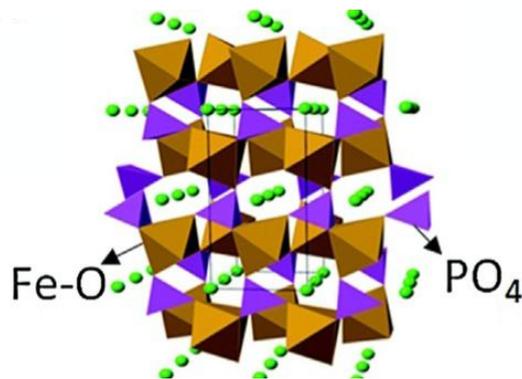
## 2.1 钠离子电池，如何设计？——正极材料

■ 钠离子电池正极材料：聚阴离子型化合物材料，典型代表为 $\text{NaFePO}_4$ （橄榄石型）和 $\text{Na}_x\text{M}_2(\text{XO}_4)_3$ （NASICON型）

➤ 聚阴离子型化合物材料 $\text{NaFePO}_4$ ，对标磷酸铁锂，二者均有橄榄石型晶体结构

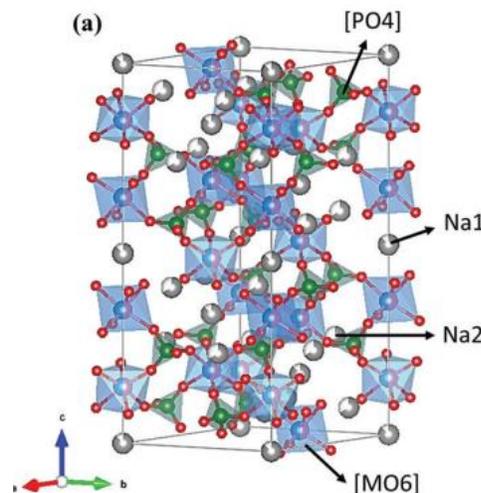


•  $\text{NaFePO}_4$ 晶体结构



• 磷酸铁锂晶体结构

➤ NASICON型聚阴离子型化合物 $\text{Na}_x\text{M}_2(\text{XO}_4)_3$ ，相较层状金属氧化物，晶体结构呈现拥有较大间隙的三维框架。



• NASICON型聚阴离子型化合物晶体结构

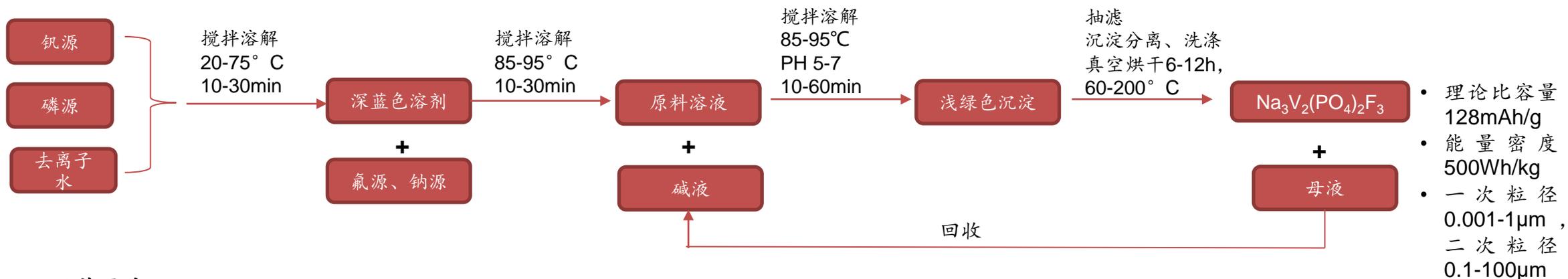
1.  $\text{NaFePO}_4$ 的晶体结构与钴酸锂结构相同，且二者比容量较为接近（170mAh/g vs 154mAh/g）。
2.  $\text{NaFePO}_4$ 晶体结构稳定，但电压较低（2.85V），但通过离子交换法合成难度和成本较高。

1.  $x=1\sim 4$ ; M可以是V, Fe, Ni, Mn, Cr等; X则是P, S, Si, Se, Mo等，典型代表为 $\text{Na}_4\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ ，相较磷酸铁钠电压更高（V4+/V3+氧化还原对平台电压3.4V）。
2. 聚阴离子多面体中氧原子的强共价键 $(\text{PO}_4)^{3-}$ ，材料晶体结构稳定，循环性能优于层状氧化物材料，同时，开放的三维通道也带来更高的离子电导率。

## 2.1 钠离子电池，如何设计？--正极材料

### ■ 钠离子电池正极材料：聚阴离子型化合物材料制备工艺（共沉淀法）

➢ 聚阴离子型化合物氟磷酸钒钠， $\text{Na}_3(\text{VO}_x\text{PO}_4)_2\text{F}_{3-2x}$ ，引入氟离子增强诱导效应，提升电压，得到更高能量密度。



#### ➢ 工艺要点

1. 在水系体系下对**温度和PH的控制**，与钒源转换率，产品的晶粒和表面活性结构的修饰息息相关。
2. 钒源为氧化物钒源或偏钒酸盐，成本较低；钠源为氟化钠、碳酸钠、氢氧化钠等；氟源为氟化钠、氟化铵、氢氟酸等。
3. 原液中**Na:V:P:F摩尔比**：(3-4):2:(2-2.5):(3-4)。

#### ➢ 优化方向

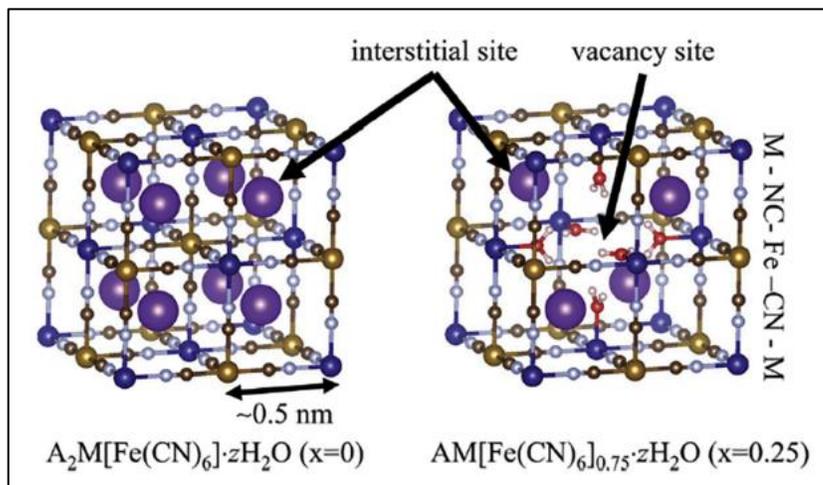
1. 材料优化：**掺杂、包覆**；在 $\text{Na}_4\text{MnV}(\text{PO}_4)_3$ 颗粒表面均匀包覆碳层，且碳层上掺氮，提高电子/离子传输速率。
2. 工艺优化：**固相法**；的钠源、磷源、锰源、碳源通过球磨混合，碳层包覆以及氮掺杂均在烧结过程一步成型，简化工艺，降低成本，有利于大规模生产和工业。

➢ 反应条件为常压，温度小于100° C，制备工艺简单；原料为常见化工产品，成本低；废料易于回收，减少环境污染。

## 2.1 钠离子电池，如何设计？--正极材料

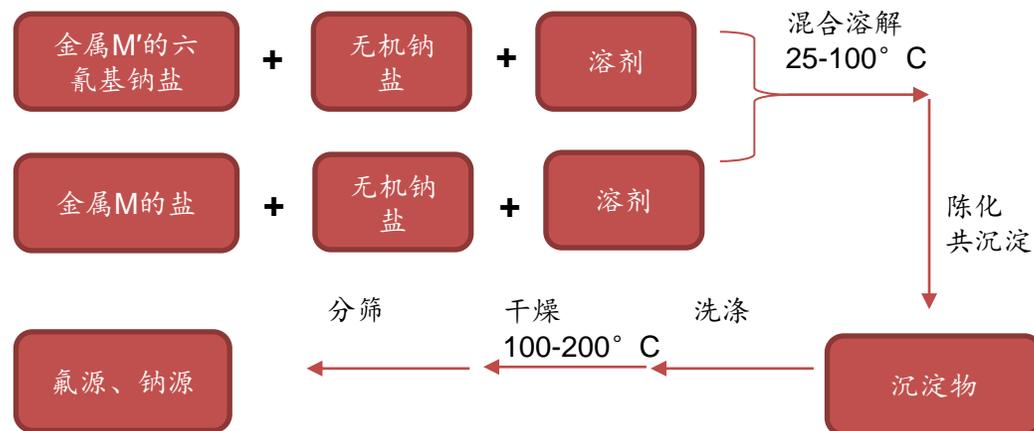
■ 钠离子电池正极材料：普鲁士蓝类(PBAs)正极材料价格便宜，理论比容量高，但是产业化难度相对较大

➢ 普鲁士蓝类 $\text{Na}_2\text{M}[\text{M}'(\text{CN})_6]$  (M, M' = Fe, Co, Mn, Ni, Cu, Zn etc.),长期用于生产深蓝色颜料，因为成本上具备优势，其在钠电池正极领域的应用被开发。



1. 晶格是具有开放的离子通道和宽敞间隙的三维刚性框架，利于钠离子快速传输。
2. 含两种不同的氧化还原活性中心：(如 $\text{Na}_2\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 的 $\text{M}^{2+/3+}$ 和 $\text{Fe}^{2+/3+}$ )，理论比容量高(170mAh/g)。
3. 该晶格结构存在结晶水和 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 空位，导致 $\text{Fe}-\text{C}\equiv\text{N}-\text{Mn}$ 骨架破坏，可逆容量，倍率能力和循环稳定性低于理论值。

➢ 普鲁士蓝类 $\text{Na}_2\text{M}[\text{M}'(\text{CN})_6] \cdot z\text{H}_2\text{O}$ 制备工艺(共沉淀法)。



1. 金属M'的六氰基钠盐可选自 $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 、 $\text{Na}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 、 $\text{Na}_4\text{Mn}(\text{CN})_6$ 、 $\text{Na}_4\text{Ni}(\text{CN})_6$ 等；金属M盐可选自 $\text{MnCl}_2$ 、 $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{FeCl}_3$ 等。
2. 溶剂可选自去离子水、乙醇、异丙醇等；无机钠盐可选自 $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 等。

## 2.1 钠离子电池，如何设计？--正极材料

### ■ 钠离子电池正极材料对比：重点关注层状金属氧化物和聚阴离子聚合物类正极材料

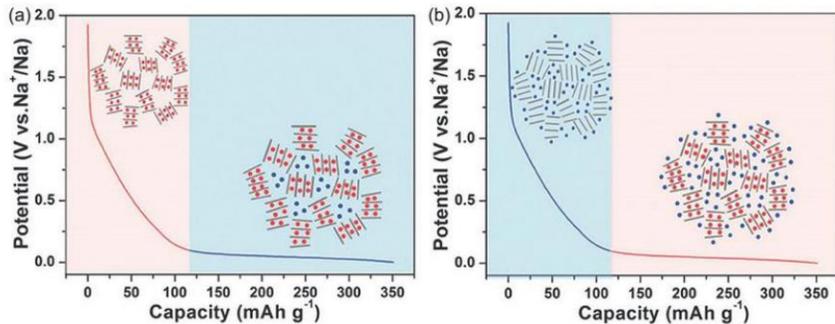
项目	隧道型氧化物	层状氧化物	普鲁士蓝	聚阴离子型
理论容量 (mAh/g)	<200	280-300	250-300	<200
实际容量 (mAh/g)	90	120-160	100-150	100
平均电压 (V)	3-3.3	3-3.3	3.45	3.2-3.4
电压范围 (V)	1.5-4.1	1.5-4.1	2-4.2	2.5-3.7
倍率性能	好	O3型：差；P2型：好	好	好
循环寿命	好	O3型：中；P3型：中	差	好
经济性	中	中	好	差
生产控制	简单	简单	困难	简单

- 层状金属氧化物生产结构和生产工艺与三元锂相似，能量密度相对较高，但其层状的晶格结构意味着循环性能逊色于具有三维稳定结构的聚阴离子聚合物类材料。聚阴离子型的问题是能量密度较低，单位成本高，可拓宽在长循环储能领域的应用。
- 普鲁士蓝类正极兼具高能量密度和成本优势，但其内部结构存在缺陷，结晶水的形成易造成结构坍塌，影响循环性能。这对该材料的生产工艺控制造成极大挑战，限制了其在动力、储能领域的应用。

## 2.2 钠离子电池，如何设计？——负极材料

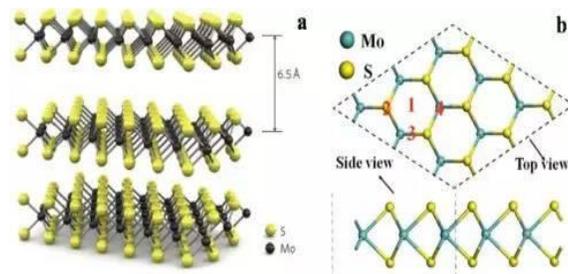
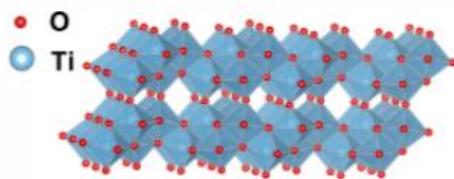
### ■ 钠离子电池负极材料：硬碳体系入围最佳方案

#### ➤ 硬碳Vs软碳



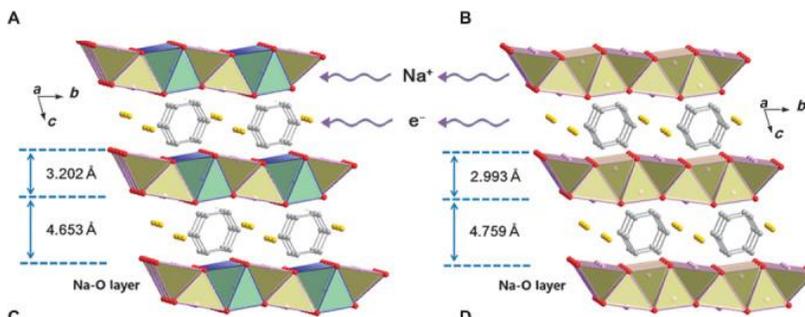
- 层间距相对石墨大，无序度增加，储钠位点有限，层插在层间或吸附于表面
- 极片膨胀相对较高
- 无序度更高，储钠位点更丰富，钠离子可吸附在表面，或存储在结构的缺陷位点，或层插、填充进石墨片层间和封闭微孔
- 极片膨胀小
- 在低于100mV出现电压平台，最低工作电压可达0.01V，比容量接近350mAh/g

#### ➤ 非碳材料，处在实验室探索阶段，暂不具备迅速量产的条件



- TiO<sub>2</sub>，理论容量高，结构稳定
- 属于半导体，电子电导率低
- 钠离子传输速度慢

- MoS<sub>2</sub>，理论容量高
- 体积膨胀大，电子电容量衰减快
- 属于半导体电导率低，倍率性能不佳，通常需要进行碳复合/修饰



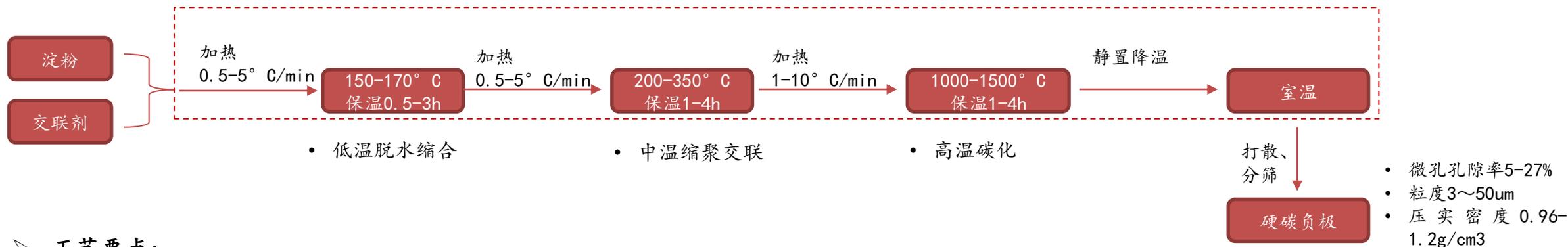
- Na<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>，有机负极种类丰富，成本低，结构上可实现较快的钠离子迁移率
- 电子电导率较低
- 活性物质易在有机质电解液中溶解，稳定性差

## 2.2 钠离子电池，如何设计？——负极材料

### ■ 钠离子电池负极材料：硬碳体系生产工艺

#### ➤ 硬碳生产工艺实例（贝特瑞）：淀粉前驱体

• 前驱体球磨机混合，装入石墨、刚玉、莫来石坩埚，于加热炉内，在惰性气氛下梯度烧结



#### ➤ 工艺要点：

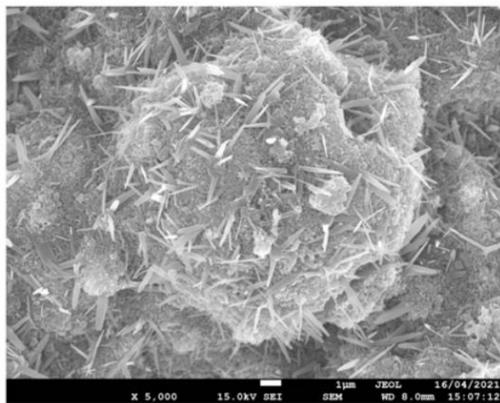
1. 微孔结构调节：0.3~0.7nm，更多的锂簇储锂空间，提高材料容量，更快脱嵌钠，提升倍率性能；
2. 材料结构调节：硬碳负极材料为球形，硬碳颗粒球形化减少颗粒间堆积密度，提高负极压实，获得高能量密度。
3. 交联剂的选择：采用有机交联剂避免了无机交联剂（氯化铵和硫酸铵）在高温碳化过程分解并腐蚀碳化设备带来的风险；此外，适宜的交联剂亦可增大碳链之间的交联反应，调节碳层间孔隙数量，提供更多储钠空间
4. 烧结方式：需要在效率和化学反应质量上做出权衡，提高加热速度、降低保温时间的同时，需要保证内部脱氢充分，淀粉原料的球形形貌不被破坏等，避免对首效、能量密度和压实密度造成影响。

➤ 硬碳的碳化温度小于1500° C，低于石墨化温度，生产成本低；主要设备为球磨机，加热炉，工艺简单，设备重置成本低；采用不同的前驱体，生产工艺需针对性的进行细节调整，在材料性能、成本和生产难度等方面寻求均衡。

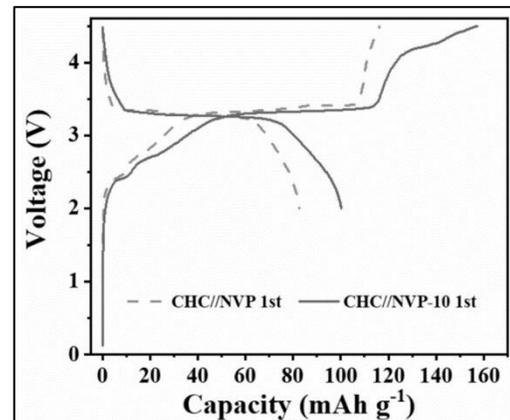
## 2.3 钠离子电池，如何设计？— 电池环节

### ■ 钠离子电池优化：正极补钠

- 钠离子电池硬碳负极存在首效较低的问题，造成正极活性物质在首次充放电的大量损失，全电池能量密度下降。通过在电池激活前添加额外钠离子来补偿活性钠离子损失，以此提高首效，称为补钠技术。
- 正极补钠剂：作为添加剂与正极活性物质混合制成浆料，涂敷在铝箔制成极片，组成电芯。在电池化成时被氧化，释放钠离子补充首次充放电过程不可逆的活性钠离子损失。



• 添加 $\text{NaC}_x\text{N}_y\text{H}_z$ 型补钠剂的  $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$



• 添加 $\text{NaC}_x\text{N}_y\text{H}_z$ 型补钠剂后的性能表现

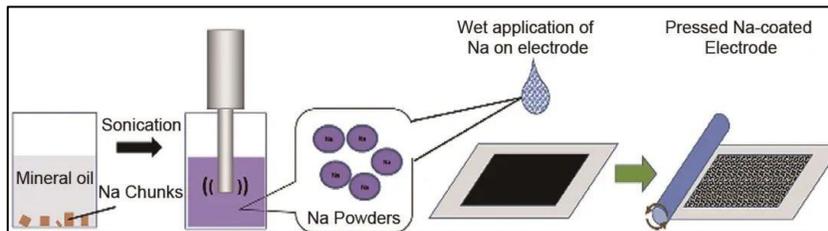
1. 正极补钠剂典型代表有 $\text{Na}_2\text{S}$ 、 $\text{NaN}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{NiO}_2$ 、 $\text{NaCrO}_2$ 、 $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 、 $\text{Na}_2\text{C}_6\text{O}_6$ 等。
2. 需把控合适的添加比例，关注正极添加剂分解释放气体或添加剂残留等问题。
3. 中南大学采用 $\text{NaC}_x\text{N}_y\text{H}_z$ 型补钠材料，掺杂比例9%-17%wt，提高全电池能量密度约20-30%；电池生产工艺方面，可增加degassing设置、步骤，解决材料反应分解的产气问题。

## 2.3 钠离子电池，如何设计？— 电池环节

### ■ 钠离子电池优化：负极补锂

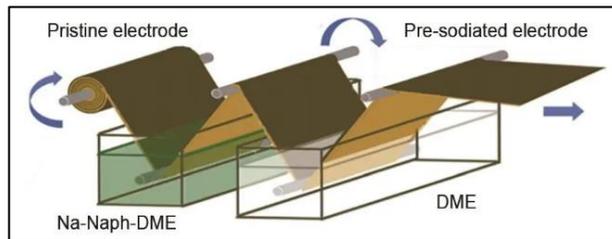
➢ 与锂金属不同，钠难以形成稳定的粉末，且活性高，无法在空气中稳定存放，使用钠粉对负极进行预钠化，存在较大风险和高昂的成本。

#### ◆ 物理预钠法：



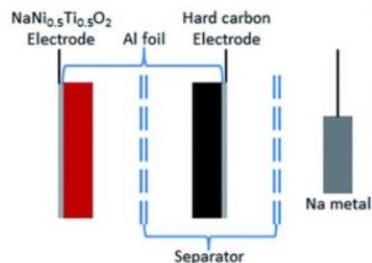
- 把熔融金属钠在矿物油中超声分散的得到钠金属粉末，以己烷为溶剂，将钠粉滴加到电极上，经过干燥、滚压，实现预钠化。
- 解决粉末问题，但大部分操作需要在真空氛围完成，难以大规模商业化。

#### ◆ 液相浸泡法：



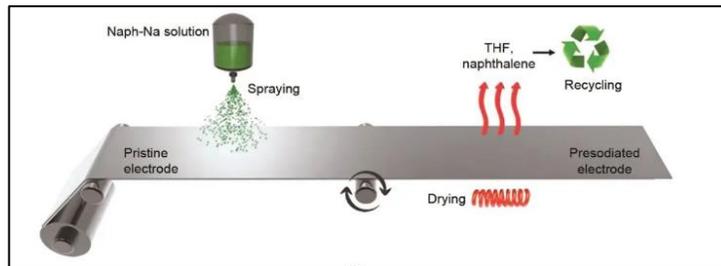
- 金属钠与萘或联苯反应生成活性多环芳香基钠，而后与醚类溶剂形成络合物，负极极片在该溶液浸润，完成预钠化。
- 浸泡过程简单，时间短，可以在线上完成，具备商业化应用条件，但溶剂损耗相对较大。

#### ◆ 电化学预钠：



- 将电池负极装配成半电池，在较低的电流密度下进行电循环，形成SEI膜，实现预钠化程度的精准控制，SEI膜较为均匀和稳定。
- 涉及到半电池装配、拆卸等额外工序，效率和成品率较低，难以大规模商业化。

#### ◆ 液相喷涂法：



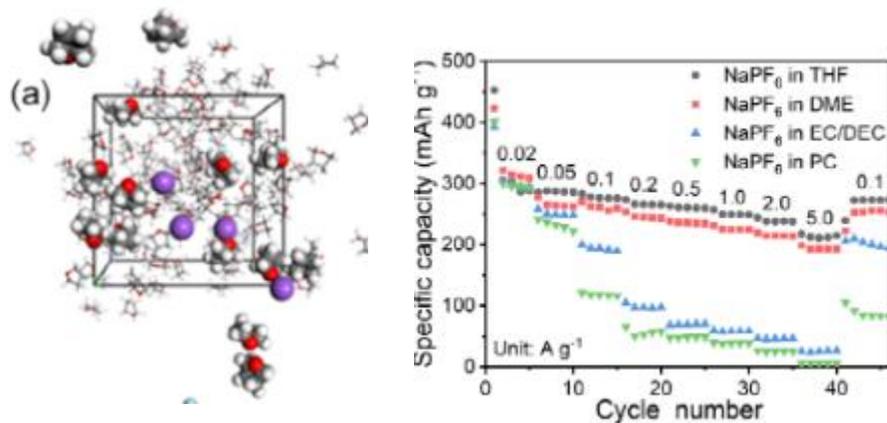
- 与液相浸泡原理相同，溶剂用量减少，效率更高，但是SEI成膜均匀性下降。
- 浸泡过程简单，时间短，可以在线上完成，但溶剂损耗相对较大具备商业化应用条件。

## 2.3 钠离子电池，如何设计？— 电池环节

### ■ 钠离子电池：新型辅材开发

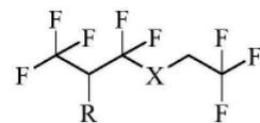
➢ 除了优化材料结构，电解液的溶质配比，关系着钠离子的脱溶剂化和钠离子传输，也会对电池性能产生影响。

➢ 电极/电解液的界面化学调控 (NaPF<sub>6</sub>为电解质+环醚 (THF) 溶剂新型电解液体系)

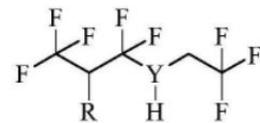


- 钠盐与环醚的最大配位数为Na<sup>+</sup>(THF)<sub>3,3</sub>，溶剂化结合能 (-79.21Kj/mol) 高于DME、EC/DEC等,呈现较弱的溶剂化结构，钠离子在电解液/SEI界面脱溶更快，离子迁移速率提升，倍率性能更佳。
- 此外，环醚基电解液中，SEI膜中丰富的有机化合物 (R-O-Na) 具有更高的弹性和对机械变形的缓冲能力，实现更好的循环稳定性。

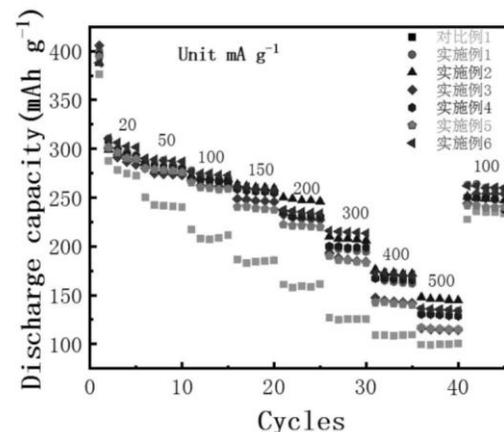
➢ 电解液添加剂 (全氟醚类(硫醚类、胺类或膦类)添加剂)



式1 R为卤素取代基(F、Cl)  
X为氧族杂原子(O、S)



式2 Y为氮族杂原子(N、P)



- 功能添加剂配比为1~10%wt，酯类电解液在负极形成较厚的SEI膜，导致内阻增大。特殊全氟醚类添加剂的加入，可优先在表面形成SEI膜，O族或N族杂原子的引入增大电解液润湿性，成膜均匀且相对更薄。
- 此外，C-F键电负性强，LUMO能级比酯类溶剂低，在低电位下会先还原，形成的SEI的无机成分较多，降低钠离子在界面处的电荷转移阻抗；同时增大SEI的机械强度，循环性能提升。



3

# 钠离子电池，产业化提速

领先一步

### 3. 钠离子电池，产业化提速

#### ■ 钠离子电池成本测算

##### ➤ 层状金属氧化物电池成本测算

层状氧化物	单耗 (吨/GWh)	单位	单价 (万元)	单位成本 (元/Wh)	占比
层状金属氧化物	2530	吨	7	0.18	38%
硬碳	1225	吨	7	0.09	18%
导电剂	101	吨	4	0.00	1%
正极粘结剂	63	吨	47	0.03	6%
负极粘结剂	38	吨	25	0.01	2%
电解液	1406	吨	4	0.06	12%
隔膜	2200	万m <sup>2</sup>	2	0.04	9%
铝箔	700	吨	2	0.01	3%
其他辅材				0.05	11%
<b>材料成本合计</b>				<b>0.47</b>	<b>100%</b>

##### ➤ 聚阴离子型电池成本测算

聚阴离子型	单耗 (吨/GWh)	单位	单价 (万元)	单位成本 (元/Wh)	占比
聚阴离子型正极	2734	吨	6.5	0.18	36%
硬碳	1313	吨	7	0.09	19%
导电剂	109	吨	4	0.00	1%
正极粘结剂	68	吨	47	0.03	7%
负极粘结剂	41	吨	25	0.01	2%
电解液	1507	吨	4	0.06	12%
隔膜	2377	万m <sup>2</sup>	2	0.05	10%
铝箔	756	吨	2	0.02	3%
其他辅材				0.05	10%
<b>材料成本合计</b>				<b>0.49</b>	<b>100%</b>

➤ 目前，钠离子电池电芯的材料成本在0.45-0.5元/Wh左右，正负极主材占比较高，仍存在较大的降本空间。

### 3. 钠离子电池，产业化提速

#### ■ 钠离子电池政策支持及终端应用需求

单位	文件	内容
工信部	2021年10月12日对《关于在我国大力发展钠离子电池的提案》的答复	将在“十四五”相关规划等政策文件中加强布局，从促进前沿技术攻关、完善配套政策、开拓市场应用等多方面着手，做好顶层设计，健全产业政策，统筹引导钠离子电池产业高质量发展
国家发展改革委 国家能源局	2022年10月12日《“十四五”新型储能发展实施方案》	加大关键技术装备研发力度，推动多元化技术开发。开展钠离子电池、新型锂离子电池、铅炭电池、液流电池、压缩空气、氢（氨）储能、热（冷）储能等关键核心技术、装备和集成优化设计研究，集中攻关超导、超级电容等储能技术，研发储备液态金属电池、固态锂离子电池、金属空气电池等新一代高能量密度储能技术。
工信部	2022年8月25日关于推动能源电子产业发展的指导意见（征求意见稿）	钠离子电池。聚焦电池低成本和高安全性，加强硬碳负极材料等正负极材料、电解液等主材和相关辅材的研究，开发高效模块化系统集成技术，加快钠离子电池技术突破和规模化应用。
工信部	2022年7月14日《工业和信息化部办公厅关于印发2022年第二批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》	我国首批钠离子电池行业标准《钠离子电池术语和词汇》（2022-1103T-SJ）和《钠离子电池符号和命名》（2022-1102T-SJ）计划正式下达

➤ 工信部及国家发改委出台多份文件，为钠离子电池的产业化发展，行业标准化制订等领域提供了支持与指导意见。

应用场景	单位	规划
两轮车	爱玛	爱玛MAX系列将搭载钠离子电池动力系统
	雅迪	全球电动车销量达1500万辆，预计23年几十万辆钠离子电池电动两轮车将被推向市场
	小牛电动	2023年将推出首款钠离子两轮电动车
低速车	中科海钠	推出全球首辆钠离子电池电动汽车
	宁德时代	首创的AB电池系统集成技术，实现钠锂混搭，预计实现200Wh/kg的能量密度，使钠离子电池应用有望扩展到500公里续航车型，覆盖65%的市场
储能	中科院物理所/中科海钠	全球首套1MWh钠离子电池储能系统在山西太原正式投入运营
	中科海钠	中国能建安徽院中标三峡能源安徽阜南南部风光储基地项目储能系统EPC总承包工程，该项目含30MW/60MWh的钠离子电池，共设置9套钠离子储能单元
	中科海钠	全球首款钠离子电池家用储能系统正式亮相拉斯维加斯CES展，单个电池包容量在4.8-12.6kWh

➤ 预计2023年，钠离子电池先对两轮车市场进行渗透，并具备替代低速车的条件；储能领域，则先行对MWh基本的中小型工商业储能系统和户储进行渗透。

### 3. 钠离子电池，产业化提速

#### ■ 钠离子电池产业化进程

#### ➤ 国内钠离子电池产能规划情况

公司	产能规划/GWh	描述
宁德时代		规划第二代钠离子电池，预计在2023年形成基本产业链
鹏辉能源		开发9kWh钠离子电池包系统集成技术，应用于工业电动车
中科海钠	10	安徽阜阳一期1GWh产线投产，预计2023年扩产至3-5GWh，2024年扩产产能10GWh以上
华阳/中科海钠	1	1GWh 华阳联合中科海钠打造的钠离子电芯产线投运
多氟多	6	2023年底，河南生产基地预计将建成1 GWh的钠离子电池产能，广西生产基地则规划于2025年建成5GWh的钠离子电池产能
传艺科技	10	钠离子电池中试线设备安装调试完成并投产，产品单体能量密度150Wh/kg-160Wh/kg，循环次数不低于4000次
维科技术/钠创新能源	2	在江西维科产业园建设钠电产业化基地，项目初期拟建2GWh钠电池生产线，主要面向低速车和储能市场，于2022年开工建设，2023年6月实现全面量产
众钠能源	2	在镇江新区谋划落地首条硫酸铁钠万吨级正极材料量产基地，计划于2023年建成与之配套的2GWh电芯产线
湖南立方		小批量生产钠离子软包电池，2023年开始大批量生产

➤ 目前新规划的钠离子电池产能超过30GWh，此外，如锂离子三元电池的产线和钠离子的产线设备可以兼容，重置成本较低。

### 3. 钠离子电池，产业化提速

#### ■ 钠离子电池产业化进程

##### ➢ 国内钠离子正极材料产能情况（吨）

公司名称	负极种类	2023E	布局情况
容百科技	锰铁普鲁士白、层状氧化物、聚阴离子	36000	规划23年钠电层状氧化物材料产能达成3.6万吨/年；规划25年钠电材料年出货达成10万吨
钠创新能源	层状金属氧化物	3000	今年拟完成3000吨正极材料和5000吨电解液的投产。预计在未来的3-5年内，公司分期建设8万吨正极材料和配套电解液生产线
邦普循环	普鲁士蓝类	600	邦普二厂现有磷酸铁车间内1条生产线改造成钠离子电池正极材料中试线，年产中试产品电池级钠离子正极材料600吨
珈钠能源	聚阴离子		百吨级的中试线，预计2023年4月实现中试线产品稳定输出
美联新材	普鲁士白		2022年，与七彩化学签署《战略合作协议》，拟共同投资25亿元建设年产18万吨电池级普鲁士蓝（白）项目，拟分三期建设，一、二、三期分别拟建1\5\12万吨生产装置，一期于2023年底建成投产
振华新材	层状金属氧化物		规划建设年产10万吨正极材料产能，兼容钠离子电池正极材料生产
当升科技	普鲁士化合物、层状金属氧化物		
众钠能源	聚阴离子型铁基材料与碳基复合材料（硫酸铁钠）		目前众钠已经建成硫酸铁钠系正极材料量产线，并计划于2023年内建成与之配套的2GWh电芯产线
格林美	层状金属氧化物、普鲁士白		专利布局
中伟股份	钠电前驱体		钠电池前驱体材料中试车间已建造完成

➢ 预计2023年形成万吨级规模的钠离子电池正极产能，其中仅容百，钠创，美联新材远期规划近30万吨正极产能，满足近115GWh的电池装机需求。

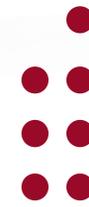
### 3. 钠离子电池，产业化提速

#### ■ 钠离子电池产业化进程

##### ➤ 国内钠离子负极材料产能情况（吨）

公司名称	负极种类	2023E	布局情况
中科海钠	硬碳/软碳	2000	两个千吨级的正负极材料产线，产线调试
佰思格	硬碳	2000	完成2000吨钠离子电池硬碳负极材料的设备安装和生产，计划2023年扩大到1万吨，2025年扩大到5万吨
贝特瑞	硬碳		具备产业化能力，实现吨级以上订单，正在建设硬碳量产线
杉杉股份	硬碳		拥有硬碳方面的技术积累和量产能力
珈钠能源	硬碳		第一代低成本生物质硬碳负极材料，比容量为 280mAh/g 左右；经过除杂的第二代硬碳负极材料，比容量在 330mAh/g 左右；第三代高端定制硬碳负极材料，比容量可达 400mAh/g 左右
翔丰华	硬碳		高性能硬碳负极材料，客户验证阶段
中科电气	硬碳		现有石墨类负极材料生产的部分产能可以共用

##### ➤ 国内主要负极制造商均已开始布局，目前形成千吨级规模的钠离子电池负极产能。



4

# 投资建议

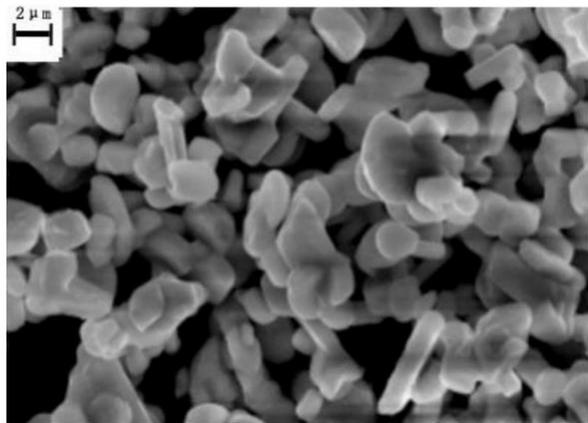
领先一步

## 4. 投资建议

■ 关注传统锂电正极材料主要玩家：容百科技、振华新材、当升科技

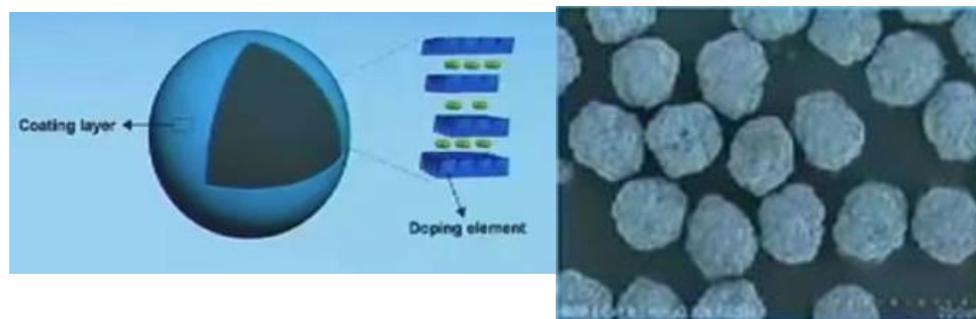
➢ 突破材料局限：振华新材单晶化正极材料；当升科技层状氧化物新产品

➢ 单晶材料无晶界，避免了循环过程晶界开裂、颗粒破碎，内部排列具各向同性，结构稳定更高；同时也更适配高压体系，使更多离子脱嵌，进一步提高能量密度



- 振华新材单晶正极  $\text{Na}_{1+a}\text{Ni}_{1-x-y-z-c}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{M}_z\text{N}_c\text{O}_2$
- 粉末压实密度 2.8-4.2 g/cm<sup>3</sup>
- D50 粒径 2.5-12.0 μm。

➢ 通过特殊微晶结构前驱体，结合多原子掺杂进行修饰，形成有特殊外壳包裹的核状结构层状金属氧化物，在生产过程中通过煅烧工艺调节晶相，提高材料循环稳定性。



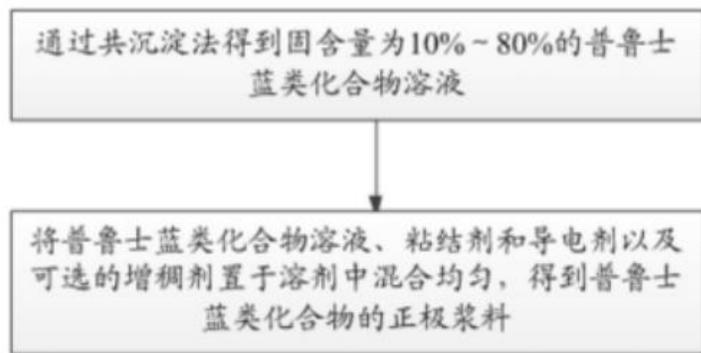
- 当升科技 SNFM-K3 钠离子正极材料
- 比容量 177.2 mAh/g @ 0.1C
- 首次充电效率 91.3%

## 4. 投资建议

### ■ 关注传统锂电正极材料主要玩家：容百科技、振华新材、当升科技

➢ 突破工艺限制：容百科技普鲁士蓝类化合物的正极浆料

➢ 传统方法制备普鲁士蓝类正极材料粉末，由于颗粒粒径小、比表面积大、以及表面吉布斯自由能大，容易出现团聚问题，通过机械、离心手段难以形成材料均匀分散的浆料。



• 容百普鲁士蓝类正极浆料制备工艺



• 正极浆料涂布极片后的CCD图，无明显团聚



• 团聚现象

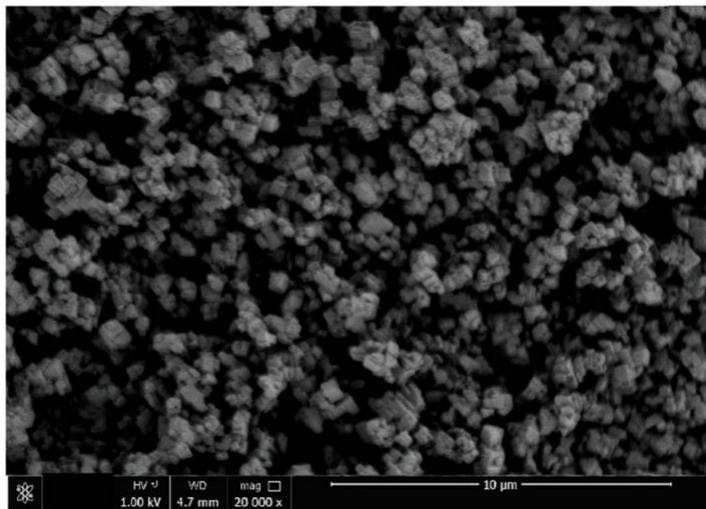
1. 工艺直接采取普鲁士蓝类化合物的溶液（对固含量进行调控），加入粘接剂、导电剂等辅料形成浆料（固含20%-60%），活性材料分散均匀，团聚现象得以解决。
2. 省去了沉淀、过滤以及干燥等工序，生产效率大大提升。

## 4. 投资建议

### ■ 关注电池研发巨头：宁德时代

➤ 解决行业痛点：普鲁士蓝除结晶水；电池集成解决方案

➤ 控股邦普循环，提出普鲁士蓝富结晶水问题解决方案



- 通过干燥脱水获得的普鲁士蓝类正极材料，加入导电改性液进行表面处理，改性液中的含硼元素，如 $(\text{BO}_3)^{3-}$ 、 $\text{BF}_3$ 可以与过渡金属形成配位或取代过渡金属结合的配位水，防止暴露在空气中重新产生结晶水
- 产品分子式： $\text{Na}_{1.61}\text{Mn}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{0.92}\square_{0.08}(\text{BO}_3)_{0.42}\cdot 0.06\text{H}_2\text{O}$ 。

➤ 钠离子电池模组方案，解决能量问题（AB电池）



- 整合锂离子电池的高能量密度和钠离子电池的快充和低温应用，搭配A00/A0车型拥有较大优势
- 将两种体系的电池混搭、集成至统一系统，BMS系统的精准算法和联动调控是关键难点

## 4. 投资建议

### ■ 关注电池研发巨头：宁德时代

#### ➤ 完备的产业链布局

类别	正极	负极	电解液	铝箔
供应商	振华新材、邦普循环、容百科技	中科电气、佰思格、杉杉股份	多氟多、天赐材料	鼎盛新材、万顺新材
长期协议/关联	<ul style="list-style-type: none"> <li>截止2022年06月宁德时代对广东邦普循环科技有限公司表决权比例为64.8%，中试线年产钠电正极600吨；</li> <li>容百：签订战略合作暨长期供货协议(2023年至2025年底)，容百计划在2023年底建成钠电正极材料3.6万吨/年产能，2024年底建成10万吨/产能；</li> <li>持股振华新材约1.48%，公司沙文两期3万吨正极材料产能兼容钠电材料，义龙厂区新扩10万吨产能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中科电气：与CATL共同增资贵安新区中科星城，共建年产10万吨锂电池负极材料一体化项目，公司具备钠离子电池负极材料的研究和制造能力</li> <li>杉杉股份:引入宁德时代作为战略投资人，公司实现百公斤级的钠离子负极供货</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>天赐材料：签订了《物料供货框架协议》，向宁德时代供应1.5万吨六氟磷酸锂对应的电解液产品</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鼎盛新材签订了框架性合作协议，在2021年11月1日至2025年12月31日期间，供应动力电池铝箔，最低供货量合计为51.2万吨</li> <li>万顺新材：签订合作框架协议，在2023年1月1日至2026年12月31日期间，承诺供应锂电铝箔，最低供货量为32万吨。</li> </ul>

#### ➤ 联合上下游共同推动产业发展。

## 4. 投资建议

### ■ 关注钠离子电池新势力

➤ 中科海钠：另辟蹊径，寻求突围

➤ 钠创新能源：回归行业痛点，专注高循环产品，打造独特优势

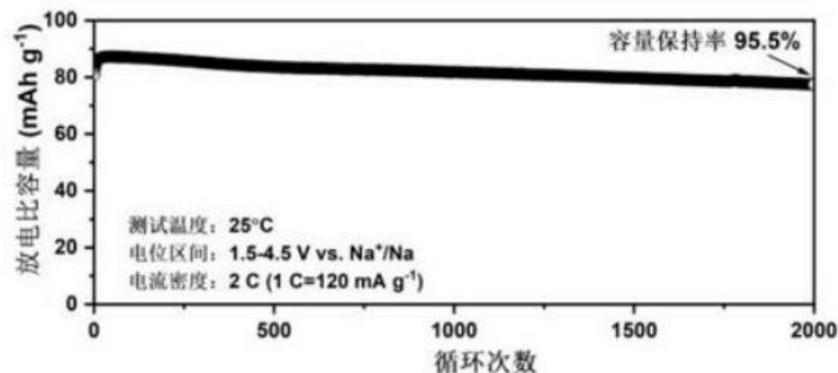


• 钠离子低速电动车



• 钠离子电池储能电站

- 体系：铜基氧化物+无烟煤软碳，营造成本优势
- 专注材料改性开发，联合华阳推动钠离子电池验证、商业化
- 率先推出量钠电驱动低速电动车(72V80Ah)和钠电储能站(30kW/100kWh),并将全球首套1MWh钠离子电池光储充智能微网系统投入运行。



- 体系：硫酸铁钠基材料+硬碳，湿法合成工艺
- 通过碳基材料包裹，解决硫酸钠铁正极易吸水、氧化等问题，进一步提高循环性能
- 目前公司已向市场提供5000次循环解决方案



5

风险提示

领先一步

## 5. 风险提示

---

- 钠离子电池产业化进度不及预期。
- 锂离子电池或其他新技术持续迭代，钠离子电池技术发展不及预期。
- 下游需求，尤其是储能及A00级车、二轮车市场需求释放不及预期。
- 测算结果基于一定假设导致的结果不确定性的风险。
- 研究报告使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。
- 钠离子电池的市场渗透率不及预期。

## 重要声明

- 中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。
- 本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，可能会随时调整。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。
- 市场有风险，投资需谨慎。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。
- 投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。
- 本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。事先未经本公司书面授权，任何机构和个人，不得对本报告进行任何形式的翻版、发布、复制、转载、刊登、篡改，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。