

钠离子电池：成本驱动，部分性能占优

新能源电池新技术之三

2023年03月15日

评级 领先大市

评级变动： 维持

行业涨跌幅比较



%	1M	3M	12M
新能源电池	-10.02	-5.84	-23.85
沪深300	-3.83	0.99	-7.47

周策

执业证书编号:S0530519020001  
zhouce67@hncasing.com

杨鑫

yangxin13@hncasing.com

分析师

研究助理

相关报告

- 1 新能源电池行业点评：中科海钠发布三款钠离子电池，钠电池样车亮相 2023-02-25
- 2 新能源电池行业2月份月报：电池产销量环比大幅下滑，原材料价格持续下跌 2023-02-20
- 3 国内1月动力电池产量环比下降46.3%，美国动力电池市场有望打开 2023-02-15

重点股票	2021A		2022E		2023E		评级
	EPS (元)	PE (倍)	EPS (元)	PE (倍)	EPS (元)	PE (倍)	
宁德时代	6.52	69.33	12.58	35.93	18.81	24.03	买入
鹏辉能源	0.40	151.56	1.35	44.41	3.50	17.14	买入

资料来源：iFinD，财信证券

投资要点：

- **钠离子电池具有资源丰富、成本低的优势：**与锂处于同一主族具有相似物理化学性质的钠资源非常丰富，完全不受资源和地域的限制，所以钠离子电池能够完美解决资源“卡脖子”问题。由于钠离子电池正极材料不需要用到价格较高的锂盐作为原材料，加之阴阳极集流体均可使用价格较低的铝箔，因此钠离子电池材料成本低于锂离子电池材料成本的30%以上。即使当碳酸锂价格跌至10万元/吨时，钠离子电池相对磷酸铁锂电池仍有15%左右的成本优势。
- **倍率性能、高低温性能优于磷酸铁锂：**钠离子的溶剂化能比锂离子更低，即具有更好的界面离子扩散能力；同时，相同浓度的电解液具有比锂盐电解液更高的离子电导率，因此，钠离子电池的倍率性能更好，功率输出和接受能力更强，已公开的钠离子电池具备3C及以上充放电倍率，在规模储能调频和新能车上均能得到很好的应用。钠离子电池高低温性能较磷酸铁锂更优异，在-20℃低温下容量保持率达到90%以上，高温80℃可以循环充放电使用，这将提升新能车在高温和低温环境下的续航里程达成率，降低储能系统的一次投入成本和运行成本。
- **层状氧化物+硬碳是当前主流方案：**按正极材料分，钠离子电池主要有层状氧化物、普鲁士蓝类化合物和聚阴离子型化合物体系。层状氧化物结构类似于锂离子电池的三元材料，其因技术转化容易、能量密度高、倍率性能较好而成为当前产业化进展最快的钠离子电池体系。普鲁士体系原材料成本低廉、能量密度高且理论寿命优于层状氧化物，因此被认为是最有潜力的钠离子电池体系，但是结晶水、氰化物毒性问题是需要规模化应用前解决的重大问题。聚阴离子正极的循环性能较好，且工作电压高，但能量密度较低，导电性、倍率性能较差，需要使用碳包覆或掺杂提高电子电导率。负极材料方面，硬碳材料具备储钠比容量较高、储钠电压较低、循环性能较好等诸多性能优势，同时具备碳源丰富、低成本、无毒环保等优势，是当前首选的钠离子电池负极材料。
- **钠离子电池在乘用车和储能应用前景大，市场规模有望超1800亿元：**通过AB电池技术，搭载钠离子电池的电动车续航能到达到300~500km，且成本较锂离子电池更低，有望在中低端电动车上广泛

应用。同样得益于成本优势，聚阴离子体系的钠离子电池有较好的循环寿命，在储能领域有较大的应用市场。根据我们的测算，2027年全球钠电池乘用车、电动两轮车、储能电池、电动工具装机量分别有望达到 29.75、26.15、343.28、8.66GWh，按照储能电池 0.45 元/wh、其他电池 0.5 元/wh 的价格进行计算，总市场有望超 1800 亿元。

- **投资建议：**根据各公司的产业化进展来看，2023 年将会是各大企业实现钠离子电池量产及规模化应用的元年，有望先后在二轮车、乘用车、储能领域实现逐步渗透。建议重点关注电池及正负极材料环节。推荐关注钠离子电池环节布局领先的企业：**【宁德时代】、【鹏辉能源】、【孚能科技】、【传艺科技】、【维科技术】**；钠电正极材料：**【振华新材】、【容百科技】、【当升科技】、【德创环保】、【美联新材】、【七彩化学】**；钠电负极材料：**【贝特瑞】、【杉杉股份】、【圣泉集团】、【元力股份】**等。
- **风险提示：**新技术验证和测试进展不及预期；新能源汽车销量及储能装机量不及预期；原材料大幅上涨；行业相关公司产能建设不及预期；行业竞争加剧。

## 内容目录

<b>1 钠离子电池：低成本，性能与锂电池优势互补</b> .....	<b>4</b>
1.1 钠离子电池工作原理：与锂电池同为“摇椅式电池”.....	4
1.2 因何而生：解决锂资源“卡脖子”问题.....	4
1.3 钠离子电池优势：成本低，低温性能与倍率性能较好.....	6
1.3.1 钠离子电池成本较磷酸铁锂电池低 30%.....	7
1.3.2 倍率性能优于磷酸铁锂电池.....	9
1.3.3 高低温性能优于磷酸铁锂电池.....	9
<b>2 技术路线：层状氧化物+硬碳是当前主流方案</b> .....	<b>10</b>
2.1 正极材料：层状氧化物进展最快，普鲁士白（蓝）潜力最大.....	10
2.1.1 层状氧化物：铜铁锰系具备明显成本优势，有望最先应用.....	10
2.1.2 普鲁士蓝类：潜力最大，结晶水问题亟待解决.....	12
2.1.3 聚阴离子型：循环寿命具有优势，未来在储能领域有广阔应用空间.....	14
2.2 负极材料：硬碳为主流路线.....	15
<b>3 市场规模：乘用车+储能市场空间广阔</b> .....	<b>16</b>
<b>4 投资建议</b> .....	<b>18</b>
<b>5 风险提示</b> .....	<b>19</b>

## 图表目录

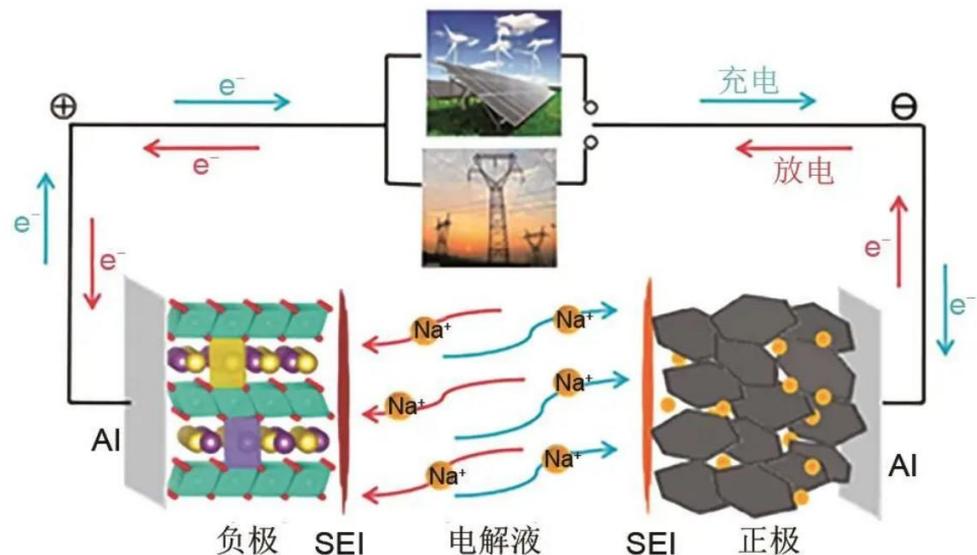
图 1：钠离子电池工作原理.....	4
图 2：国内新能源车销量情况.....	5
图 3：国内动力电池月度装车量.....	5
图 4：全球锂资源储量分布不均（2021 年）.....	6
图 5：碳酸锂价格曲线.....	6
图 6：地壳不同元素含量占比.....	6
图 7：碳酸钠和碳酸锂价格对比.....	7
图 8：铜铝价格对比.....	8
图 9：钠离子电池较锂离子电池具有明显的成本优势.....	8
图 10：层状过渡金属氧化物结构示意图.....	11
图 11：普鲁士蓝类晶体结构图.....	14
图 12：各类聚阴离子材料晶体结构.....	14
图 13：宁德时代 AB 电池技术.....	17
表 1：钠离子电池与锂离子电池对比.....	7
表 2：钠离子电池成本测算（以铜铁锰层状氧化物方形电池为例）.....	9
表 3：钠离子电池体系分类及优缺点.....	10
表 4：Na <sub>0.9</sub> Cu <sub>0.22</sub> Fe <sub>0.30</sub> Mn <sub>0.48</sub> O <sub>2</sub> 正极材料成本测算（基于 3/8 的价格，采用干法工艺）.....	12
表 5：NaNi <sub>1/3</sub> Fe <sub>1/3</sub> Mn <sub>1/3</sub> O <sub>2</sub> 正极材料成本测算（基于 3/8 的价格测算，采用干法工艺）.....	12
表 6：普鲁士蓝类生产工艺对比.....	13
表 7：常见聚阴离子型化合物的主要特征参数及电化学性能.....	15
表 8：钠电池负极材料对比.....	15
表 9：硬碳前驱体对比.....	16
表 11：钠离子电池市场空间测算.....	17

## 1 钠离子电池：低成本，性能与锂电池优势互补

### 1.1 钠离子电池工作原理：与锂电池同为“摇椅式电池”

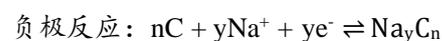
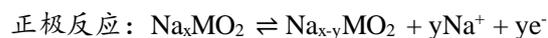
钠离子电池的结构及工作原理与锂离子电池相同：钠离子电池的构成主要包括正极、负极、隔离膜、电解液和集流体。正负极之间由隔离膜隔开以防止内短路，电解液通过浸润正负极以确保离子导通，集流体则起到收集和传输电子的作用。充电时， $\text{Na}^+$ 从正极活性物质中脱出，通过电解液穿过隔膜嵌入到负极中，使正极处于高电势的贫钠态，负极处于低电势的富钠态。放电过程则刚好与之相反， $\text{Na}^+$ 从负极脱出，通过电解液穿过隔膜嵌入正极材料中，使正极恢复到富钠态。为保持电荷的平衡，充放电过程中有相同数量的电子经外电路传递，与 $\text{Na}^+$ 一起在正负极间迁移，使正负极分别发生氧化和还原反应。由上述电池工作原理可知，钠离子可以在正极与负极之间可逆迁移，正极和负极均由允许钠离子可逆地插入和脱出的插入型材料构成。因此，钠离子电池同锂离子电池一样被称作“摇椅式电池”。

图 1：钠离子电池工作原理



资料来源：《钠离子电池储能技术及经济性分析》，《储能科学与技术》，中科海纳官网，财信证券

若以  $\text{Na}_x\text{MO}_2$  作为正极材料，硬碳作为负极材料，则电极和电池的反应式可分别表示为：



### 1.2 因何而生：解决锂资源“卡脖子”问题

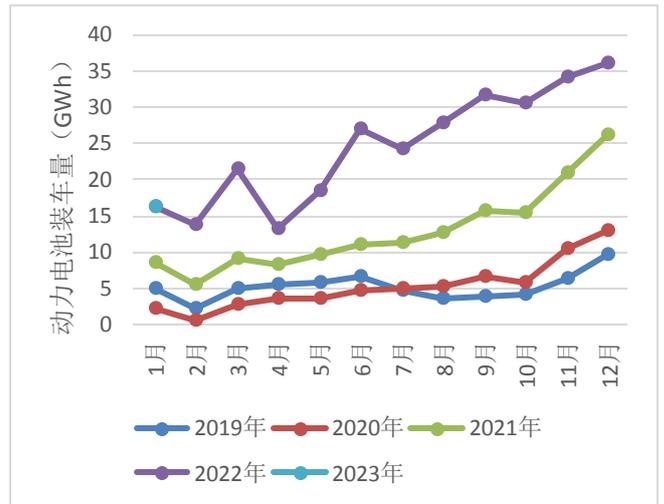
**锂资源在锂电池端的需求规模快速扩大：**锂是元素周期表中最轻及密度最小的固体元素，也是自然界中标准电极电势最低、电化学当量最大、最轻的金属元素，因此被认为是天生的电池金属，具备长期需求刚性。锂金属应用广泛，锂资源经过加工得到碳酸锂、氢氧化锂和氯化锂等锂化工产品后，可广泛应用于动力电池、消费电子、新型的储能电池以及其他的传统应用领域。随着便携电子设备和新能源电动汽车的飞速发展，锂离子电池的生产制造达到了空前规模，并且各大锂电池生产商都在不断的扩大其产能，这必然导致锂资源大量消耗和价格上涨。

图 2：国内新能源车销量情况



资料来源：同花顺 iFinD，中汽协，财信证券

图 3：国内动力电池月度装车量

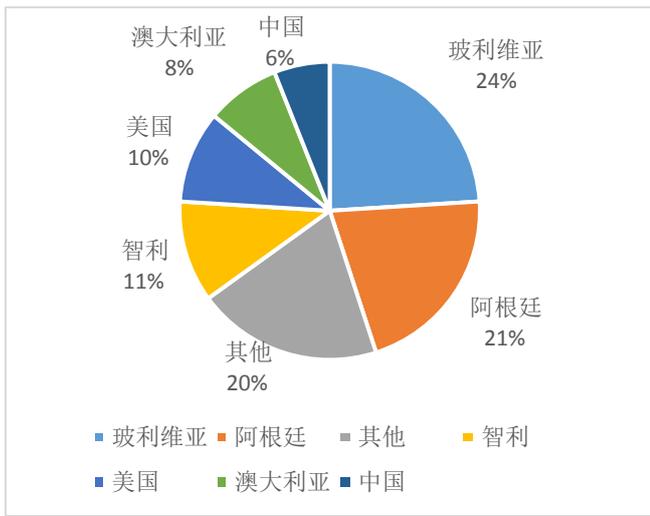


资料来源：同花顺 iFinD，财信证券

**全球 70% 锂资源分布在南美洲地区，仅 6% 在中国：**锂在地壳中的含量只有 0.0065%，而且锂资源分布不均匀，2021 年全球已探明锂资源储量 8900 万吨，全球储量 2200 万吨；其中我国已探明锂资源量 510 万吨，储量 150 万吨。70% 的锂分布在南美洲地区，仅 6% 在中国。

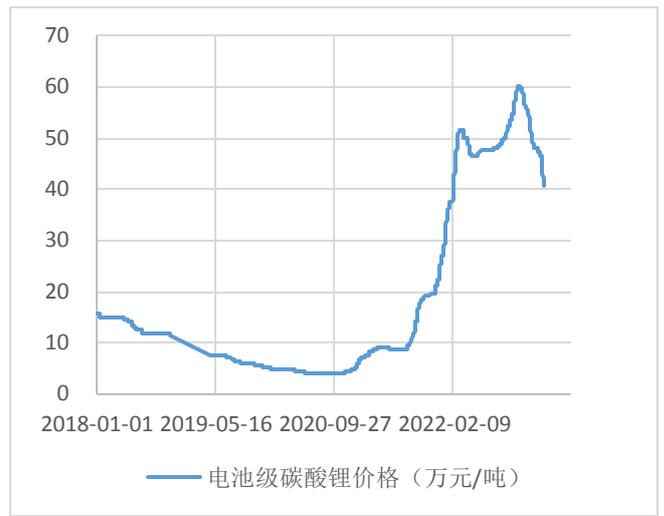
**中国锂市场目前主要依赖进口：**2021 年我国碳酸锂产量为 29.82 万吨，增幅约为 59.47%；氢氧化锂产量 19.03 万吨，同比增幅约为 105%，我国利用国内盐湖卤水（6 万吨），锂云母精矿（6 万吨）及锂辉石（1 万吨），回收含锂废料（3 万吨）生产的锂盐折合碳酸锂当量约 16 万吨，锂原料对外的依存度约为 65%。此外，随着需求的快速扩大，锂精矿和锂盐价格快速上涨，严重影响到了动力电池及储能电池终端价格及渗透速度。

图 4：全球锂资源储量分布不均（2021 年）



资料来源：USGS，财信证券

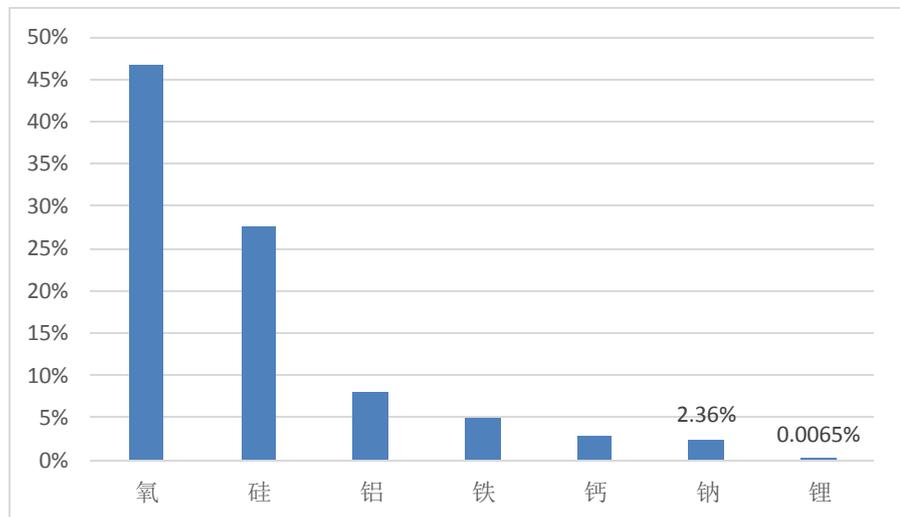
图 5：碳酸锂价格曲线



资料来源：同花顺 iFinD，财信证券

**钠离子电池能够完美解决资源“卡脖子”问题：**与锂处于同一主族具有相似物理化学性质的钠资源非常丰富，其在地壳中的丰度位于第 6 位，更重要的是钠分布于全球各地，完全不受资源和地域的限制，所以钠离子电池相比锂离子电池有非常大的资源优势。另一方面钠离子电池由于钠价格低廉而具有很大的潜在价格优势，非常适合应用于低速电动车和大规模储能等领域。

图 6：地壳不同元素含量占比



资料来源：中科海钠官网，中国地质局，财信证券

### 1.3 钠离子电池优势：成本低，低温性能与倍率性能较好

相比锂离子电池，钠离子电池在资源可控性、成本、高低温性能与倍率性能上有较为明显的优势。此外，钠离子电池与锂离子电池生产工艺基本相同，锂离子电池产线能够快速换型为钠离子电池产线，实现规模化生产。

表 1：钠离子电池与锂离子电池对比

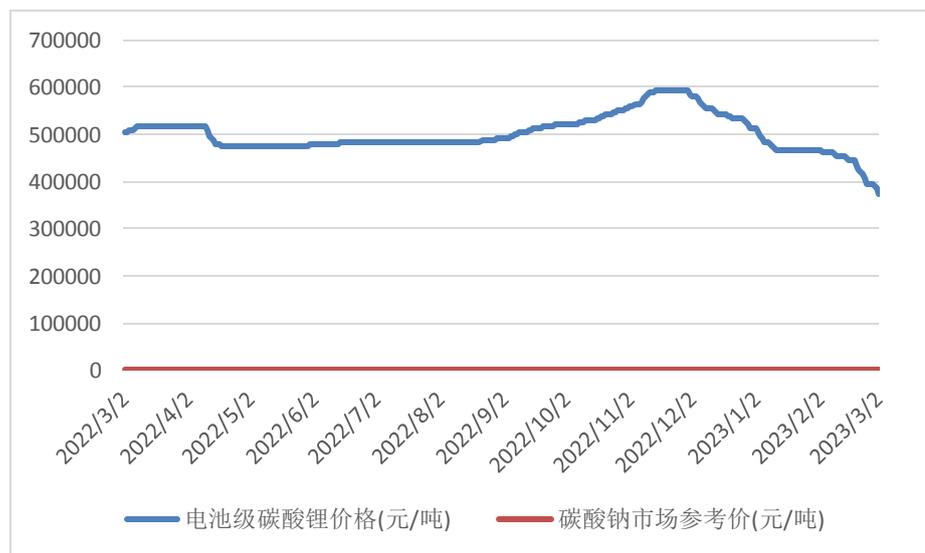
项目	锂离子电池	钠离子电池
正极材料	三元/磷酸铁锂/锰酸锂	层状氧化物/聚阴离子/普鲁士蓝（白）
负极材料	石墨/硅氧/硅碳	硬碳/软碳
电解液	六氟磷酸锂+有机溶剂	六氟磷酸钠+有机溶剂
集流体	正极：铝箔、负极：铜箔	正负极均可用铝箔
隔离膜	PP/PE	PP/PE
工作电压（v）	3.2-3.7	2.5-4.5
重量能量密度（Wh/kg）	140~180（磷酸铁锂）	100~150
体积能量密度（Wh/L）	~350（磷酸铁锂）	~250
循环寿命（次）	3000~6000（磷酸铁锂）	~3000
快充性能	一般（磷酸铁锂）	良好
安全性能	中等	良好
高低温性能	磷酸铁锂低温性能差（-20℃容量保持率<70%）	非常好（工作温度窗口-40~80℃）
成本	中等	较低

资料来源：起点钠电，财信证券

### 1.3.1 钠离子电池成本较磷酸铁锂电池低 30%

**正极材料成本低 50%以上：**由于钠离子电池正极材料不需要用到价格较高的锂盐（价格：约 40-50 万元/吨）作为原材料，取而代之的是价格较低的碳酸钠（价格：约 2700 元/吨），因此钠离子电池的正极材料成本低于锂离子电池正极材料成本的 50% 以上。

图 7：碳酸钠和碳酸锂价格对比

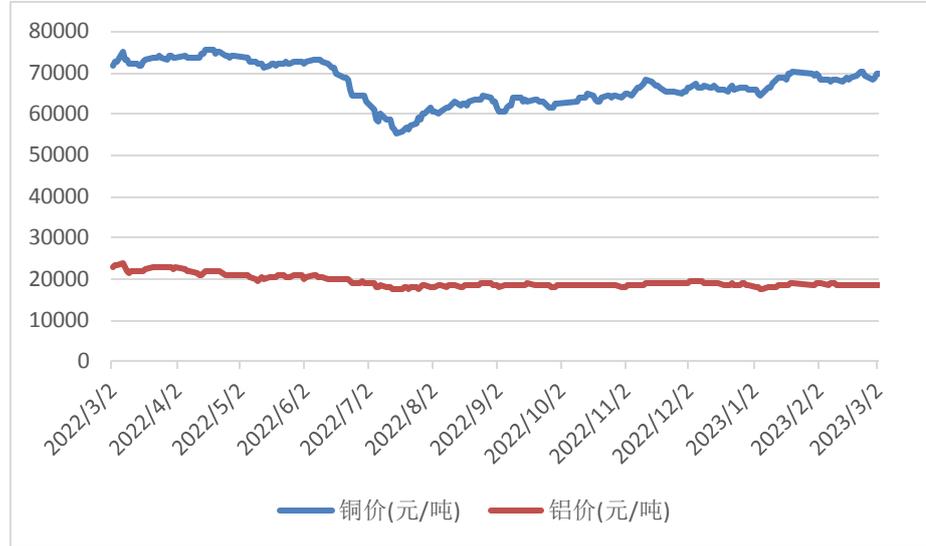


资料来源：百川盈孚，财信证券

**集流体成本低 60%：**由于铝在低电位下易于锂形成嵌锂反应，因此锂离子电池的负极集流体通常采用价格较高的铜箔，而钠离子电池不存在这个问题，因此钠离子电池正负极集流体均可以采用成本较低的铝箔。按照当前主流 6 μm 铜箔价格约为 5.20 元/m<sup>2</sup>、

主流的 12 μm 铝箔价格约为 1.06 元/m<sup>2</sup> 的情况来测算，即使考虑钠离子电池能量密度较低而导致的单 wh 集流体用量增加，钠离子电池的集流体成本也比离子电池的集流体成本低 60% 以上。

图 8：铜铝价格对比



资料来源：同花顺 iFinD，财信证券

**电池成本低 30% 以上：**根据中科海钠公开的数据显示，采用铜铁锰体系和软碳的钠离子电池材料成本较传统磷酸铁锂电池下降 30%~40%，具有明显的成本优势。

图 9：钠离子电池较锂离子电池具有明显的成本优势



资料来源：中科海钠官网，财信证券

当碳酸锂价格跌至 10 万元/吨时，钠离子电池相对磷酸铁锂电池仍有 15% 左右的成本优势：根据我们的测算，采用铜铁锰层状氧化物体系的钠离子电池产业化初期电芯成本为 0.65 元/Wh，规模化生产之后，电芯成本能降至 0.44 元/Wh。当碳酸锂价格在 35 万

元/吨时，磷酸铁锂电芯成本为 0.66 元/wh，产业化初期的钠离子电池与其基本相当，但规模化生产后的钠离子电池成本比其低 30% 以上。当碳酸锂价格跌至 10 万元/吨时，磷酸铁锂电芯成本降为 0.52 元/Wh，而规模化生产后采用层状氧化物体系的钠离子电池较其仍有 15% 的成本优势。

表 2：钠离子电池成本测算（以铜铁锰层状氧化物方形电池为例）

原材料类型	用量 (t/GWh)	初期单价 (万元/吨)	规模化后单价 (万元/吨)	初期成本 (元/Wh)	规模化后成本 (元/Wh)
正极材料	3000	5	2.8	0.15	0.084
无定形碳	1200	4	3	0.048	0.036
正极粘结剂	80	40	40	0.032	0.032
负极粘结剂	48	20	20	0.0096	0.0096
正极导电剂	80	18	18	0.0144	0.0144
负极导电剂	11	18	18	0.00198	0.00198
正极铝箔	320	2.9	2.9	0.00928	0.00928
负极铝箔	351	2.9	2.9	0.010179	0.010179
电解液	1600	7	5	0.112	0.08
隔膜(万 m <sup>2</sup> )	2200	2.15	2.15	0.0473	0.0473
其他				0.02	0.02
<b>BOM 成本</b>				0.454739	0.344739
<b>制造成本</b>				0.2	0.1
<b>电池总成本</b>				0.654739	<b>0.444739</b>

资料来源：同花顺 iFinD，财信证券

### 1.3.2 倍率性能优于磷酸铁锂电池

钠离子的溶剂化能比锂离子更低，即具有更好的界面离子扩散能力；同时，钠离子的斯托克斯直径比锂离子的小，相同浓度的电解液具有比锂盐电解液更高的离子电导率；更高的离子扩散能力和更高的离子电导率意味着钠离子电池的倍率性能更好，功率输出和接受能力更强，已公开的钠离子电池具备 3C 及以上充放电倍率，在规模储能调频和新能源车上均能得到很好的应用。

### 1.3.3 高低温性能优于磷酸铁锂电池

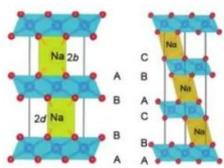
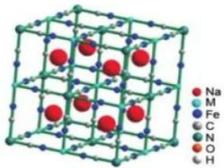
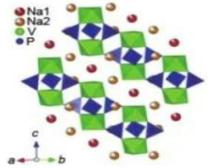
根据目前市场公开的高低温测试结果，钠离子电池高低温性能更优异，在 -40℃ 低温下可以放出 70% 以上容量，在 -20℃ 低温下容量保持率达到 90% 以上，高温 80℃ 可以循环充放电使用。这将提升新能源车在高温和低温环境下的续航里程达成率，有效提高用户的使用体验和帮助消除里程焦虑。应用在储能时，这将在储能系统层面降低空调系统的功率配额，也可以降低温度控制系统的在线时间，进而降低储能系统的一次投入成本和运行成本。

## 2 技术路线：层状氧化物+硬碳是当前主流方案

### 2.1 正极材料：层状氧化物进展最快，普鲁士白（蓝）潜力最大

目前三种正极材料为主流方向，各有优缺点：与锂离子电池类似，按正极材料分，钠离子电池主要有层状氧化物、普鲁士蓝类化合物和聚阴离子型化合物体系。层状氧化物结构类似于锂离子电池的三元材料，其因技术转化容易、能量密度高、倍率性能较好而成为当前产业化进展最快的钠离子电池体系。但是层状氧化物也存在容易吸水或者与水-氧气（或二氧化碳）发生反应进而影响结构的稳定性和电化学性能的问题，因此层状氧化物不能长期存放在空气中，这对电池的生产 and 后续保存提出了较高的要求。普鲁士体系原材料成本低廉、能量密度高且理论寿命优于层状氧化物，因此被认为是最有潜力的钠离子电池体系，但是结晶水、氰化物毒性问题是需要在规模化应用前解决的重大问题。聚阴离子正极的循环性能较好，且工作电压高，但能量密度较低，导电性、倍率性能较差，需要使用碳包覆或掺杂提高电子电导率。

表 3：钠离子电池体系分类及优缺点

项目	层状氧化物体系	普鲁士蓝化合物体系	聚阴离子型
结构			
电压 (v)	~3.1	~3.0-3.5	~3.0-3.5
压实密度 (g/cm³)	~3.2	~1.6	-
克容量 (mAh/g)	~130	~150	~90-120
循环性能 (次)	~1000-3000	受结晶水影响: ~1000 次	~5000-10000+
热稳定性	一般	好	好
优点	可逆比容量高 能量密度高 倍率性能高 技术转化容易	成本低廉 可逆比容量高 理论循环寿命长 合成温度低	工作电压高 热稳定性好 循环好 空气稳定性好
不足	容易吸湿 循环性能稍差	易形成结晶水，影响电池寿命 制备涉及有毒氰化物	可逆比容量低 部分含有毒元素 倍率性能差

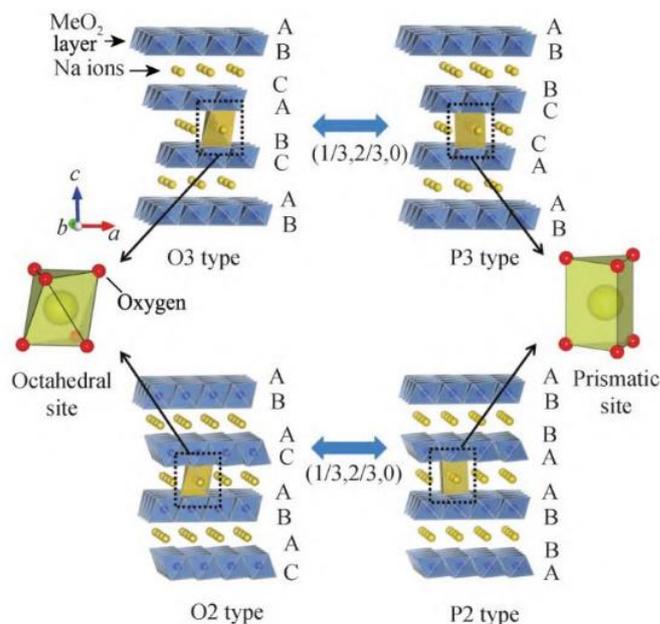
资料来源：《钠离子电池储能技术及经济性分析》，《储能科学与技术》，中科海钠官网，财信证券

#### 2.1.1 层状氧化物：铜铁锰系具备明显成本优势，有望最先应用

钠离子层状过渡金属氧化物一般形式用  $\text{Na}_x\text{MO}_2$  表示，其中 M 指过渡金属元素，包括 Mn、Fe、Cu、Ni、Co 等金属元素，x 为钠的化学计量数，小于等于 1。过渡金属元素与周围六个氧形成的  $\text{MO}_6$  八面体结构组成过渡金属层， $\text{Na}^+$  位于过渡金属层之间，形成  $\text{MO}_6$  多面体层与  $\text{NaO}_6$  碱金属层交替排布的层状结构。

过渡金属氧化物又可分为层状和隧道状两种，当钠含量较低时 ( $x < 0.5$ )，主要以隧道型结构为主。当钠含量较高时，一般以层状结构为主， $\text{Na}^+$  位于层间，形成  $\text{MO}_2$  层/钠层交替排布的层状结构。根据  $\text{Na}^+$  所处位置的不同，可分为 O2、O3、P2 和 P3 四种结构，“O”表示  $\text{Na}^+$  在八面体的位置，“P”表示  $\text{Na}^+$  在棱镜的位置，数字表示最小氧原子的堆积重复周期，目前主流层状氧化物类型为 O3 和 P2 相。与 O3 相比，P2 具有更宽的钠离子传输通道和较低的钠离子迁移能垒，表现出更优异的循环稳定性和倍率性能。通常 O3 的初始 Na 含量要比 P2 的高，所以在组装成全电池后，O3 正极的容量会优于 P2。

图 10：层状过渡金属氧化物结构示意图



资料来源：《钠离子电池层状过渡金属氧化物正极材料的研究进展》，财信证券

**铜铁锰系较镍铁锰系正极材料具备明显成本优势，两者成本均低于磷酸铁锂正极：**当前各大企业布局的层状氧化物正极路线有较大差异，主要为以中科海纳为代表的无镍的 Na-Cu-Fe-Mn 系及振华新材及浙江钠创为代表的含镍的 Na-Ni-Mn-Fe 系等。我们以  $\text{Na}_{0.9}\text{Cu}_{0.22}\text{Fe}_{0.30}\text{Mn}_{0.48}\text{O}_2$  及  $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  为例对其物料成本和制造成本进行了测算，前者单吨物料成本为 1.83 万元，后者单吨成本为 5.09 万元（以碳酸锂价格 35 万元/吨测算，磷酸铁锂正极物料成本为 ~10 万元/吨）， $\text{Na}_{0.9}\text{Cu}_{0.22}\text{Fe}_{0.30}\text{Mn}_{0.48}\text{O}_2$  物料成本仅为  $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  的 36%，主要原因是其没用到价格较为高昂的 Ni 元素作为原材料。若以单 GWh 钠电正极材料用量为 3000 吨进行计算，则  $\text{Na}_{0.9}\text{Cu}_{0.22}\text{Fe}_{0.30}\text{Mn}_{0.48}\text{O}_2$  成本为 0.093 元/Wh， $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  成本为 0.190 元/Wh。

**表 4:  $\text{Na}_{0.9}\text{Cu}_{0.22}\text{Fe}_{0.30}\text{Mn}_{0.48}\text{O}_2$  正极材料成本测算（基于 3/8 的价格，采用干法工艺）**

主要原材料	单位用量 (吨/吨)	市场价 (元/吨)	成本 (元/吨)
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0.43	2761	1187.23
$\text{CuO}$	0.16	54000	8640
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.22	10000	2200
$\text{MnO}_2$	0.38	16400	6232
<b>正极材料 BOM 成本</b>			18259.23
<b>能耗</b>			8100
<b>人工及其他费用</b>			2000
<b>设备折旧</b>			2500
单 GWh 正极材料需求量 (吨)			3000
<b>单 Wh 成本</b>			0.09257769

资料来源：百川盈孚，生意社，同花顺 iFinD，财信证券

**表 5:  $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  正极材料成本测算（基于 3/8 的价格测算，采用干法工艺）**

主要原材料	单位用量 (吨/吨)	市场价 (元/吨)	成本 (元/吨)
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0.48	2761	1325.28
$\text{NiO}$	0.22	195000	42900
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.24	10000	2400
$\text{MnO}_2$	0.26	16400	4264
<b>正极材料 BOM 成本</b>			50889.28
<b>能耗</b>			8100
<b>人工及其他费用</b>			2000
<b>设备折旧</b>			2500
单 GWh 正极材料需求量 (吨)			3000
<b>单 Wh 成本 (元)</b>			0.19046784

资料来源：百川盈孚，生意社，同花顺 iFinD，财信证券

### 2.1.2 普鲁士蓝类：潜力最大，结晶水问题亟待解决

**普鲁士蓝类化合物是潜力最大的钠离子电池正极材料：**普鲁士蓝类材料的结构通式是  $\text{Na}_x\text{M}_1[\text{M}_2(\text{CN})_6]_{1-y}\cdot\text{zH}_2\text{O}$ ，其中  $\text{M}_1$  和  $\text{M}_2$  是过渡金属，□代表  $\text{Fe}(\text{CN})_6$  缺陷，x 的范围为  $0 < x < 2$ ，y 的范围为  $0 < y < 1$ ，其理论充放电比容量可达到 170mAh/g，高于层状氧化物材料 (120-150mAh/g) 和聚阴离子化合物 ( $\approx 120\text{mAh/g}$ )，这主要是得益于其特殊的结构和氧化还原位点。

**普鲁士蓝离子电导率与循环性能优异：**结构上，普鲁士蓝类化合物通常呈面心立方结构，过渡金属离子和  $\text{Fe}^{2+}$  离子分别与 CN<sup>-</sup> 中的 N 和 C 原子配位，形成内部为正八面体组成的三维刚性框架结构，该结构具有开放的离子扩散通道和宽敞的间隙空间，可为  $\text{Na}^+$  在晶格中进行脱嵌带来便利，可以实现钠离子的快速扩散以及较小的晶格畸变，表现为该类材料高的离子扩散系数 ( $10^{-9}\text{cm}^2/\text{s}$ - $10^{-8}\text{cm}^2/\text{s}$ )。因此，普鲁士蓝类材料的理论循环稳

定性高，循环寿命长。

**普鲁士蓝比容量高：**氧化还原位点上，由于普鲁士蓝类化合物一般有两个不同的氧化还原活性中心，分别为  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{M}^{2+}/\text{M}^{3+}$  离子对，这两个氧化还原活性中心可独立完整的实现氧化还原过程，因此普鲁士蓝类化合物在充放电过程中能实现 2 个  $\text{Na}^+$  的可逆脱嵌，其理论充放电比容量可达到 170mAh/g。

**普鲁士蓝物料成本低于铜铁锰系层状氧化物：**普鲁士蓝最主要的原材料为氰化钠，且未使用到价格昂贵的金属，因此普鲁士蓝的物料成本较低，仅为 1.5-2 万元/吨，与铜铁锰系层状氧化物的物料成本相当。但普鲁士蓝的克容量可达到 160mAh/g，而层状氧化物克容量仅为~130mAh/g，因此普鲁士蓝的单 wh 成本较层状氧化物低 20% 以上。

**结晶水问题严重影响循环性能，亟待解决：**普鲁士蓝类化合物正极材料制备工艺主要有：共沉淀法、水热合成法、球磨法等。共沉淀法是最主流的合成方法，生产成本低，合成工艺易调节，但耗时久并容易产生晶格缺陷和结晶水。共沉淀法制备过程普鲁士蓝过程中反应速率极快，导致了成型的普鲁士蓝类材料中一般含有大量的  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$  空位缺陷，材料的结晶性能和可控性大大降低。而且  $\text{Fe}(\text{CN})_6$  空位缺陷的存在，会导致材料的基础性能严重下降，因为  $\text{Fe}(\text{CN})_6$  空位缺陷会破坏 Fe-CN-TM 桥联结构的完整性，阻碍电子沿材料框架的传导，阻碍钠离子进入晶格，降低其含量，使之变为贫钠立方相结构，还会在普鲁士蓝类材料的晶格中引入更多的结合水。由于该空位在放电过程中会导致部分钠离子脱嵌失效，进而减少钠离子活性位点，降低材料的充放电容量、倍率性能和循环寿命。

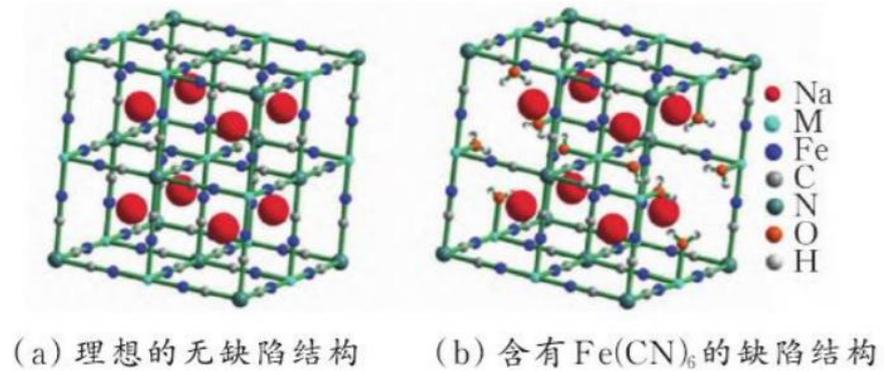
表 6：普鲁士蓝类生产工艺对比

工艺	优点	缺点
共沉淀法	生产成本低，结晶性好，最常用的制备方法	反应速度不可控，结晶水问题
水热法	用于特定材料的合成	对设备要求高
球磨法	简单异性，可降低材料的结晶水，减小球径	固-固反应不充分，容易混入杂质

资料来源：《普鲁士蓝类化合物作为钠离子电池正极材料的研究进展》，财信证券

**“结晶水”解决方案多样化，但业内暂未就可量产解决方案达成共识：**通过在材料层级、电芯极片层级或者电芯（密封前）层级进行加热烘烤可以有效去除普鲁士蓝材料中的部分结晶水，但成本和效率问题需要继续优化；通过控制普鲁士蓝的沉淀反应，例如在沉淀过程中逐渐增加柠檬酸钠的浓度，可以减缓普鲁士蓝类材料的沉淀速度，减少空位和结晶水的存在，但结晶水的含量仍然会比较高，无法彻底解决问题；此外，采用干法工艺也是解决思路之一，但受限于材料结晶度问题暂无法取得较好的效果。针对结晶水问题当前有很多解决思路，但业内暂未就可量产解决方案达成共识。

图 11：普鲁士蓝类晶体结构图

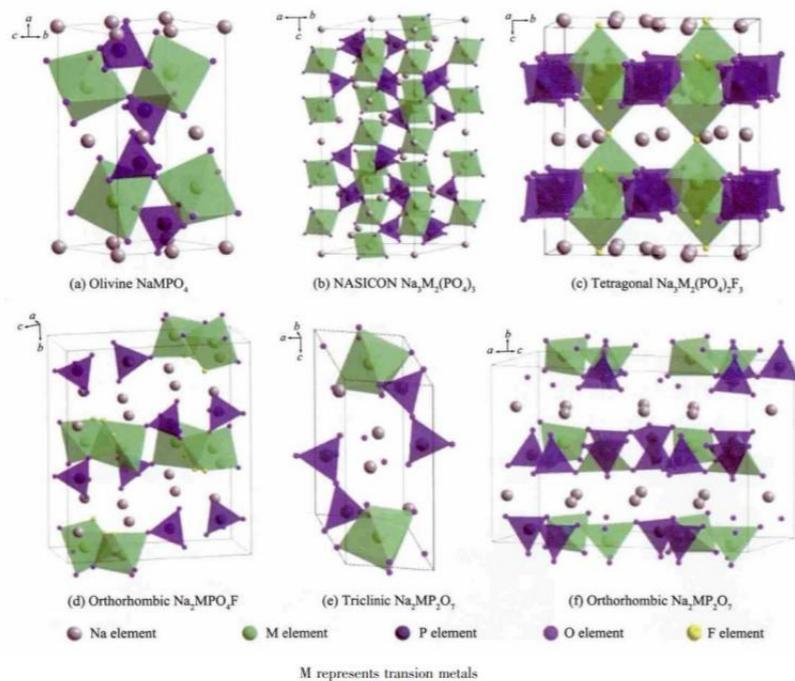


资料来源：《钠离子电池正极材料研究进展》，财信证券

### 2.1.3 聚阴离子型：循环寿命具有优势，未来在储能领域有广阔应用空间

**聚阴离子循环寿命好，安全性高：**聚阴离子化合物一般由阳离子和阴离子基团组成，其中阴离子基团是一系列强共价键的 $(\text{XO}_4)^{n-}$  ( $\text{X}=\text{S}, \text{P}, \text{Si}$  等) 单元构成。在大多数聚阴离子化合物中， $(\text{XO}_4)^{n-}$  不仅能保证碱金属离子在框架结构中的快速传导，还能保证在金属氧化还原过程中材料结构的稳定，因此聚阴离子化合物材料往往呈现出比层状氧化物更高的氧化还原电位和  $\text{Na}^+$  脱嵌过程中最小的结构重排，这使得该类材料具备循环寿命长、热稳定性强和安全性高等优点，未来有望在储能领域规模应用。根据聚阴离子基团种类的不同，聚阴离子化合物主要分为正磷酸盐、焦磷酸盐、硫酸盐、混合聚阴离子、氟磷酸/硫酸盐、硅酸盐和钼酸盐等。

图 12：各类聚阴离子材料晶体结构



资料来源：《钠离子电池电极材料研究进展》，财信证券

**表 7：常见聚阴离子型化合物的主要特征参数及电化学性能**

正极材料名称	工作电压/V	理论克容量/(mAh/g)	理论能量密度 (Wh/kg)	电化学性能/(mAh/g)
Na <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	3.75	91	341	85(0.05C), 58(1C)
NaFePO <sub>4</sub>	2.7	154	416	125(0.05C),85(0.5C)
Na <sub>2</sub> FePO <sub>4</sub> F	3.0	124	372	123.1(0.2C),76.1(10C)
Na <sub>3</sub> V <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	3.4	118	401	97.9(0.5C),62.1(10C)
Na <sub>3</sub> V <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> F <sub>3</sub>	3.9	128	500	125.5(0.1C),105.9(50C)
Na <sub>3</sub> V <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>2</sub> F	3.8	130	494	81.8(1C),46.2(20C)

资料来源：《钠离子电池正极材料氟磷酸钒钠研究进展》，财信证券

## 2.2 负极材料：硬碳为主流路线

**碳基材料最为合适：**综合考虑到储钠比容量、氧化还原电位、原料来源广度等因素，作为钠离子电池负极材料表现比较好的主要有碳基材料、合金材料、金属/硫化物材料、钛酸盐材料、金属氧化物材料以及其他有机化合物材料等。其中，碳基储钠负极材料(石墨、石墨烯、硬碳和软碳等)由于具有嵌钠平台低、容量高、循环寿命长、制备简单、环境友好、无毒等突出优势，而其他材料受限于高昂成本以及相较碳材料难以获得，钠离子电池负极材料仍以碳材料为主。

**表 8：钠电池负极材料对比**

材料类型	比容量 (mAh/g)	电势 (V)	优势	劣势
碳基负极材料	530	0.3	储钠平台低、容量高、体积膨胀小、循环寿命长、成本低廉	倍率性能差、大部分容量在接近金属钠的析出电位附近实现，可能导致电极表面析出钠枝晶
合金类负极材料	420	0.8	电子导电性好、比容量高、有效防止枝晶的产生	体积膨胀严重，材料粉化；循环性能差；成本较高
金属氧化物负极材料	120	0.5	安全性好、电压平台稳定、廉价易得	电子导电性较差、体积效应严重、循环稳定性差
金属硫化物负极材料	370	1.3	理论容量高、结构稳定、热力学稳定性好、良好的导电性	原料昂贵、穿梭效应严重
金属磷化物负极材料	1132	0.4	理论容量高、嵌钠/脱钠电势适当、导电性较好、膨胀较小	首次库伦效率低、电化学原理有待研究

资料来源：《钠离子电池负极材料的研究进展》，财信证券

**石墨负极不适用于钠离子电池，当前无定形碳最为合适：**目前可以作电池负极材料的碳基类材料主要包括石墨类碳材料和无定形碳(硬碳和软碳)材料。由于钠离子的半径为 0.102 nm，远大于锂离子的半径 0.069nm，因此钠离子在石墨层间的脱嵌过程更容易破坏石墨的结构，因此石墨较不适宜作为钠电负极的材料。层间距较大的无定形碳材料因具

有较高的储钠容量、较低的储钠电位和优异的循环稳定性，成为最具应用前景的钠离子电池负极材料。

**无定形碳材料中硬碳材料最符合钠离子电池需求。**硬碳材料的碳层排列规整度低于软碳材料，其层间可以形成较多的微孔以方便钠离子的脱嵌。硬碳材料具备储钠比容量较高、储钠电压较低、循环性能较好等诸多性能优势，同时具备碳源丰富、低成本、无毒环保等优势，与石墨电极相比，在冷启动和快速充电模式方面也更具优势，是当前首选的钠离子电池负极材料。

**硬碳前驱体原材料来源丰富，生物基综合性能占优：**硬碳材料的合成中前驱体一般为树脂、生物质、煤基和沥青等材料。生物质基具有天然的多孔和层状结构，可增加硬碳材料的结构缺陷、层间距以及电导率，有利于提高储钠性能，并且物料来源广泛、便于储存且环境友好，主要问题在于含有较多杂质和灰分，收率低且首周库伦效率较低，需要先进行酸碱浸泡预处理除杂。树脂基电化学性能最佳，储钠容量高、循环性能优，产品均一度较好，但原材料成本高昂，产业化难度大；沥青基前驱体成本低廉，原料易获取，性价比优势明显，但制备出的硬碳材料性能一般，且存在环境污染问题。综合看来，生物质基材料性能适中、成本较低、原料丰富，是制备硬碳材料相对理想的前驱体。

**表 9：硬碳前驱体对比**

种类	前驱体价格(元/吨)	收率/%	比容量(mAh/g)	首效	循环性能	价格(Ah/元)
生物质基	3000	10-30	380	80%	93% @100 圈	13-38
树脂基	12000	~40	410	84%	96% @40 圈	14
沥青基	4000	50-60	300	89%	93% @200 圈	38-45
石墨基	7300	100	372	93%	81% @100 圈	51
无烟煤基	1500	90	222	81%	90% @200 圈	133

资料来源：百川盈孚，鑫椏锂电，财信证券

### 3 市场规模：乘用车+储能市场空间广阔

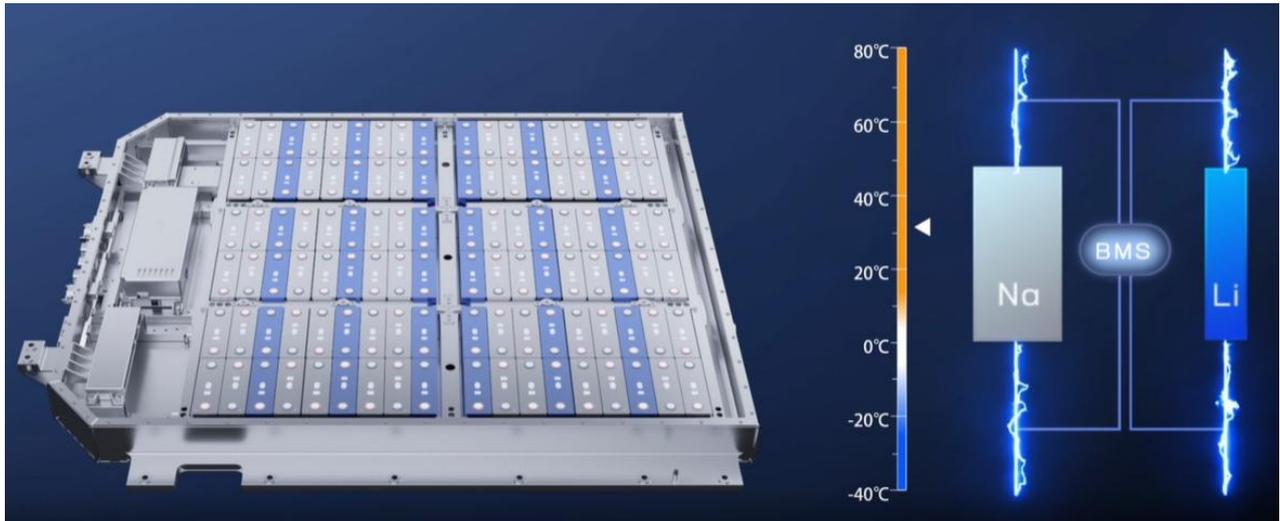
**300km 以下的低续航电动乘用车搭载钠离子电池：**钠离子电池尽管能量密度（尤其是体积能量密度）低于磷酸铁锂电池，但其材料成本低于磷酸铁锂电池 30%，因此在对成本敏感但对续航里程要求不高的低续航电动乘用车上有广阔的应用空间。2022 年 11 月 29 日，宁德时代在钠离子电池产业链与标准发展论坛上表示，钠电池可满足 400 公里续航里程车型。2023 年 2 月 2 日，中科海钠与思皓新能源打造的行业首台钠离子电池试验车思皓 E10X 花仙子公开亮相，该款车型续航里程为 252km，电池容量为 25KWh，快充充电时间为 15 分钟至 20 分钟。

**续航 500km 中等续航电动车搭载钠锂 AB 电池：**钠离子电池相比于磷酸铁锂电池在成本、倍率性能、高低温性能上有一定的优势，而磷酸铁锂电池能量密度更有优势。宁德时代开发的 AB 电池解决方案，可以实现钠离子电池和锂离子电池的集成混合共用，将钠离子电池和锂离子电池同时集成到一个电池包里面，将两种电池按一定的比例和排

列进行混搭，串联、并联集成，再通过 BMS 的精准算法进行不同电池体系的均衡控制，这样可以实现取长补短，既弥补了现阶段钠离子电池在能量密度方面的短板，也能发挥出他高功率、低温性能的优势。而钠锂 AB 电池方案，有望使钠离子电池应用扩展到 500 公里续航车型，面向 65% 的车型市场。

**聚阴离子体系钠离子电池应用于储能领域：**由于储能项目通常要同时考虑初始投资成本与度电成本，因此储能电池对于直接影响度电成本的循环寿命有较高的要求，在相同电池单价的情况下，循环寿命越长则度电成本越低。因此，在循环寿命方面具有较大潜力的聚阴离子体系电池最为适合储能场景的应用。

图 13：宁德时代 AB 电池技术



资料来源：宁德时代官网，财信证券

**2027 年全球钠离子电池市场空间超 1800 亿：**根据下表的测算，2027 年全球钠电池乘用车、电动两轮车、储能电池、电动工具装机量分别有望达到 29.75、26.15、343.28、8.66GWh，按照储能电池 0.45 元/wh、其他电池 0.5 元/wh 的价格进行计算，总市场有望超 1800 亿元。

表 10：钠离子电池市场空间测算

	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
低能量密度电动乘用车					
中国乘用车销量（万辆）	2100.0	2325.7	2442.0	2564.1	2692.3
新能源车渗透率	36.00%	45.00%	55.00%	58.00%	60.00%
磷酸铁锂占比	50%	50%	50%	50%	50%
平均单车带电（KWh）	43	44	45	46	47
总带电量（GWh）	162.5	230.2	302.2	342.0	379.6
国内钠电池渗透率	1%	1%	2%	4%	7%
国内钠电池装机量（GWh）	0.8	2.3	6.0	13.7	26.6
海外乘用车销量（万辆）	514.7	684.5	904.6	1176.0	1528.9
新能源车渗透率	9.97%	12.96%	16.74%	20.00%	23.00%
磷酸铁锂占比	25%	30%	35%	35%	35%

平均单车带电 (KWh)	47.3	48.4	49.5	50.6	51.7
总带电量 (GWh)	6.1	12.9	26.2	41.7	63.6
海外钠电池渗透率			1%	3%	5%
海外钠电池装机量 (GWh)			0.3	1.2	3.2
全球钠电池装机量 (GWh)	0.8	2.3	6.3	14.9	29.8
单价 (元/Wh)	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5
钠电池对应市场空间 (亿元)	5.7	13.8	31.5	74.7	148.8
<b>电动两轮车</b>					
国内电动两轮车销量 (万辆)	4961	5457.1	6002.8	6603.1	7263.4
平均单车带电 (KWh)	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
总带电量 (GWh)	35.7	39.3	43.2	47.5	52.3
钠电池渗透率	2%	5%	15%	30%	50%
钠电池装机量 (GWh)	0.7	2.0	6.5	14.3	26.1
单价 (元/Wh)	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5
钠电池对应市场空间 (亿元)	5.0	11.8	32.4	71.3	130.7
<b>储能电池</b>					
国内储能电池需求 (GWh)	29.3	39.8	57.8	86.8	130.2
海外储能电池需求 (GWh)	150.7	230.2	347.2	468.7	632.7
全球储能电池需求 (GWh)	180	270	405	555.4	762.8
钠电池渗透率	2%	5%	15%	30%	45%
钠电池装机量 (GWh)	3.6	13.5	60.8	166.6	343.3
单价 (元/Wh)	0.6	0.55	0.5	0.45	0.45
钠电池对应市场空间 (亿元)	21.6	74.3	303.8	749.8	1544.8
<b>电动工具</b>					
电动工具装机量 (GWh)	19.7	21.7	23.9	26.3	28.9
钠电池渗透率	1%	3%	5%	15%	30%
钠电池装机量 (GWh)	0.2	0.7	1.2	3.9	8.7
单价 (元/Wh)	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5
钠电池对应市场空间 (亿元)	1.4	3.9	6.0	19.7	43.3
总计市场空间 (亿元)	33.7	103.8	373.7	915.5	1867.6
yoy		208%	260%	145%	104%

资料来源：同花顺 iFinD，财信证券

## 4 投资建议

**2023 年是钠离子电池规模化应用元年，有望与锂离子电池实现优势互补：**与锂电池相比，钠电池具有资源丰富和低成本，良好的高低温性能、倍率性和安全性，生产环节可与锂电池相通从而实现快速工业化等优势。根据各公司的产业化进展来看，2023 年将会是各大企业实现钠离子电池量产及规模化应用的元年，有望先后在二轮车、乘用车、储能领域实现逐步渗透。

**重点关注电池及正负极材料环节。**推荐关注钠离子电池环节布局领先的企业：**【宁德**

时代】、【鹏辉能源】、【孚能科技】、【传艺科技】、【维科技术】；钠电正极材料：【振华新材】、【容百科技】、【当升科技】、【德创环保】、【美联新材】、【七彩化学】；钠电负极材料：【贝特瑞】、【杉杉股份】、【圣泉集团】、【元力股份】等。

## 5 风险提示

- (1) 新技术验证和测试进展不及预期；
- (2) 新能源汽车销量及储能装机量不及预期；
- (3) 原材料大幅上涨；
- (4) 行业相关公司产能建设不及预期；
- (5) 行业竞争加剧。

## 投资评级系统说明

以报告发布日后的 6—12 个月内，所评股票/行业涨跌幅相对于同期市场指数的涨跌幅度为基准。

类别	投资评级	评级说明
股票投资评级	买入	投资收益率超越沪深 300 指数 15% 以上
	增持	投资收益率相对沪深 300 指数变动幅度为 5%—15%
	持有	投资收益率相对沪深 300 指数变动幅度为-10%—5%
	卖出	投资收益率落后沪深 300 指数 10% 以上
行业投资评级	领先大市	行业指数涨跌幅超越沪深 300 指数 5% 以上
	同步大市	行业指数涨跌幅相对沪深 300 指数变动幅度为-5%—5%
	落后大市	行业指数涨跌幅落后沪深 300 指数 5% 以上

## 免责声明

本公司具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格，作者具有中国证券业协会注册分析师执业资格或相当的专业胜任能力。

本报告仅供财信证券股份有限公司客户及员工使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司当然客户。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发送，概不构成任何广告。

本报告信息来源于公开资料，本公司对该信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本公司对已发报告无更新义务，若报告中所含信息发生变化，本公司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。

本报告中所指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。任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司及本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，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。投资者务必注意，其据此作出的任何投资决策与本公司及本公司员工或者关联机构无关。

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告作为投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向专业人士咨询并谨慎决策。

本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人（包括本公司客户及员工）不得以任何形式复制、发表、引用或传播。

本报告由财信证券研究发展中心对许可范围内人员统一发送，任何人不得在公众媒体或其它渠道对外公开发布。任何机构和个人（包括本公司内部客户及员工）对外散发本报告的，则该机构和个人独自为此发送行为负责，本公司保留对该机构和个人追究相应法律责任的权利。

## 财信证券研究发展中心

网址：stock.hnchasing.com

地址：湖南省长沙市芙蓉中路二段 80 号顺天国际财富中心 28 层

邮编：410005

电话：0731-84403360

传真：0731-84403438