

证券研究报告

2023年03月05日

行业报告 | 行业深度研究

电力设备

钠电池深度：吐故“钠”新，分庭抗“锂”

作者：

分析师 孙潇雅 SAC执业证书编号：S1110520080009



天风证券

【综合金融服务专家】

行业评级：强于大市（维持评级）

上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

摘要

1、锂电一家独大，亟需钠电Plan B制衡

（1）**中短期来看**：碳酸锂供不应求，价格位居高位，带动电池成本大幅上升；**中长期看**：锂资源储备量相对较少，我国锂电池产量占全球60-70%，长期碳酸锂供给紧平衡，且盐湖提锂等开采成本相对较高，中长期锂价难以回到10万元以下的低点；（2）碳酸锂是电池成本的负担，因此亟需其他电池作为锂电的有效补充。钠电的综合性能与锂电最为接近，且材料理论成本较低，中长期较锂电池均有一定的成本优势。

2、正负极较为关键，材料工艺仍需进步

钠电材料相较锂电材料，电解液/集流体相似度高，正负极变化大。（1）**正极**：层状氧化物综合性能最佳，与三元类似，产业化进展最快；普鲁士结晶水问题亟待解决；聚阴离子成本低，循环好，待工艺成熟后有望成为储能正极的首选；（2）**负极**：硬碳相比软碳，首效、克容量更高，是目前的主流选择。硬碳的前驱体中树脂类成本较高，沥青类工艺较复杂，相比之下，生物质性能优、成本低、原材料广泛且可控。

3、钠电潜在需求较大，可率先切入低速电动车、通信备电储能赛道，中长期可应用于动力电池+大储

（1）**短期来看**，低速四轮车、通信备电储能等电池门槛较低的领域有望率先应用钠电，我们预计产业化落地的节点在2023年Q2，规模放量的时间点在2023年H2，2023年钠电池的出货规模有望在5-10GWh。（2）**中长期看**，钠电池产业发展的核心在于应用领域的持续开拓，我们预计基于目前成熟的层状氧化物正极体系，钠电有望于2024年H1在低端乘用车上放量。但基于层状氧化物体系在循环寿命上有一定的局限，往大储领域开拓需要聚阴离子正极以及电解液体系的进一步成熟，我们预计2024年H2以后钠电有望逐步在大储领域渗透。我们预计2025年钠电的总空间有望在100GWh上下。

重点关注标的

- （1）**正负极材料**：层状氧化物【振华新材】（化工团队联合覆盖）、硬碳【贝特瑞】；
（2）**电池端**：行业巨头【宁德时代】、【鹏辉能源】。

风险提示：产能释放和成本下降不及预期，钠电池应用进展不及预期，锂盐价格回落超预期，文中测算具有一定主观性

1

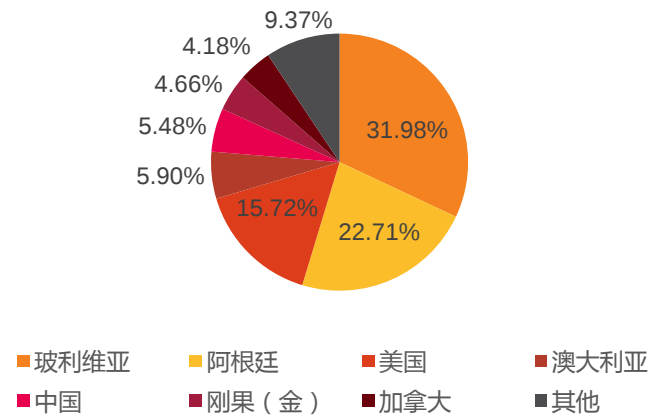
锂电一家独大，亟需钠电Plan B制衡

- 锂价在高位，亟需锂电池的Plan B
- 钠电池综合性能优异，是锂电池的最优替代品，中长期成本优势显著

“锂”想丰满，但现实残酷——全球范围内，我国锂资源储量有限

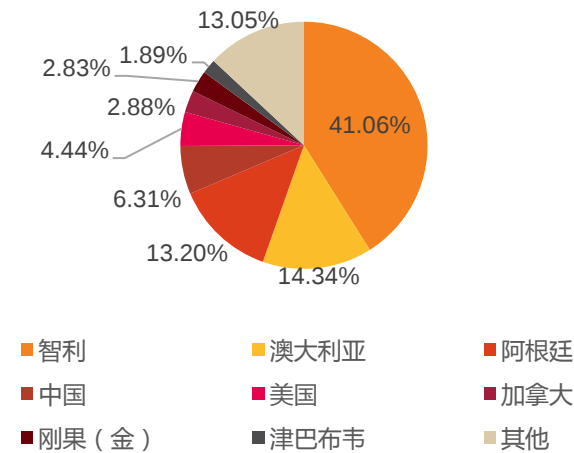
- 全球可用锂资源稀缺且分布不均，价格寡头垄断，易受地缘政治性影响。
- 可用锂资源不足：锂是自然界密度最小的金属，具有极强的电化学反应活性，具有储能功能，其在地壳中含量仅约0.0065%，丰度居第二十七位，从资源总量来看其实并不稀缺，但受开采条件和提锂技术的影响，许多估算的资源量无法转化为储量，如全球已知最大的乌尤尼盐湖(Uyuni)锂矿床由于没有经济可行的锂盐提取方法，其中大量的锂资源量无法计入储量。
- 分布不均、寡头垄断：全球锂资源分布高度集中，形成寡头垄断局面，2020年，73%锂资源分布在北美洲和南美洲，其他地区如大洋洲（8%）、亚洲（7%）、欧洲（7%）和非洲（5%）则分布较少。

图：全球锂矿（碳酸锂）资源量分布（2020）



注：资源量不包含储量

图：全球锂矿（碳酸锂）储量分布（2020）

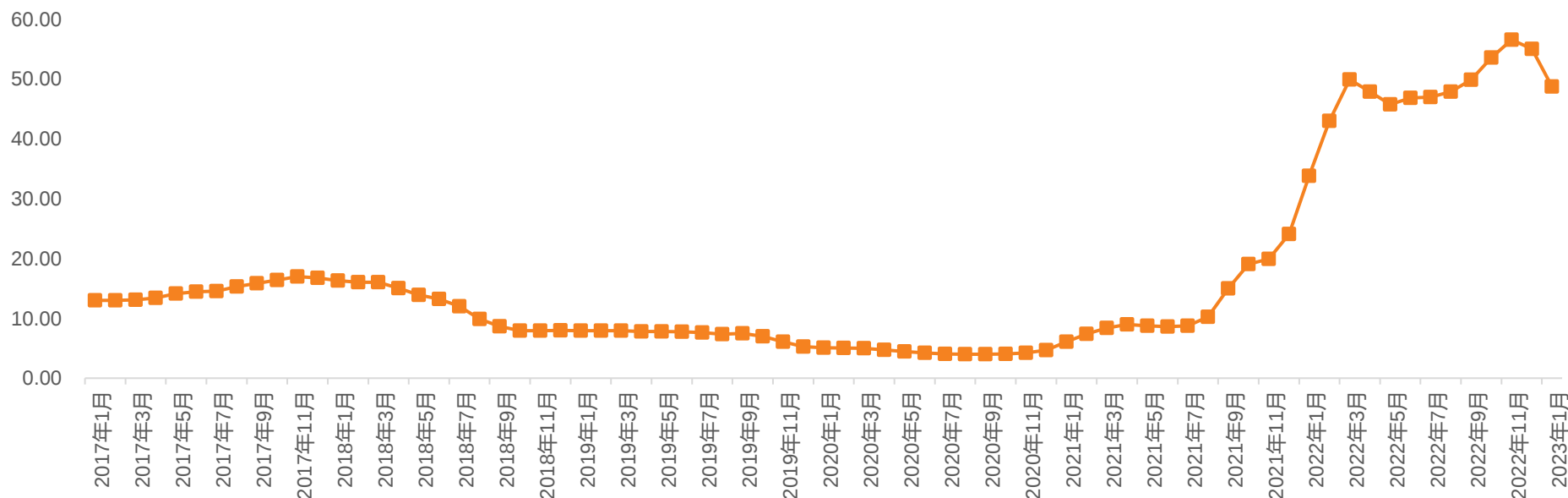


“锂”想丰满，但现实残酷——国内碳酸锂价格飙涨

- 从碳酸锂价格来看，自2021年8月至2022年3月，电池级碳酸锂的价格几乎呈直线上升，历史最高与最低价格相差约10倍。
- 价格易受地缘政治性影响：基于当前锂资源集中垄断的情况，我们预计未来锂价不仅会由实际市场供需决定，更易受到国际政治形势等多重因素的影响。当前锂价的持续走高和锂资源的供需紧张问题亟待解决。

图：电池级碳酸锂:99.5%价格一年内增长10倍（单位：万元/吨）

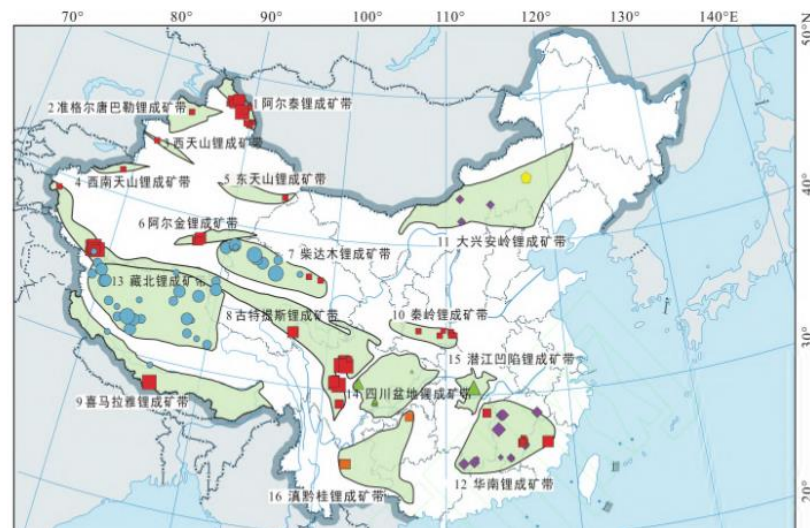
电池级碳酸锂价格:99.5%



“锂”想丰满，但现实残酷——国内开采成本较高，中长期价格有望较高

- 我国锂盐对外依存度近八成，或将构成潜在“卡脖子”威胁。我国锂资源供应对能源和产业安全的威胁不容忽视。我国的锂资源储量总量并不稀缺，从2020年数据来看，我国的锂资源储量总量全球占比6.31%，紧随智利、澳大利亚、阿根廷，位列第四，但现实是我国80%的锂资源供应依赖进口（澳洲锂矿和南美盐湖等地），是全球锂资源第一进口国。
- 原因在于大部分可开采资源位于青海和西藏盐湖，但青海盐湖锂镁分离困难、西藏地理环境恶劣，因此电池级碳酸锂的有效产能不足。加之新能源汽车和储能产业发展势头迅猛，我国锂资源供给与需求量形成强烈对比。产量方面，2022年全国锂离子电池产量达750GWh，同比增长超过130%，其中储能型锂电产量突破100GWh。锂电“一家独大”或将构成我国潜在的“卡脖子”威胁，发展替代方案对于保障我国能源供应和产业安全具有重要意义。

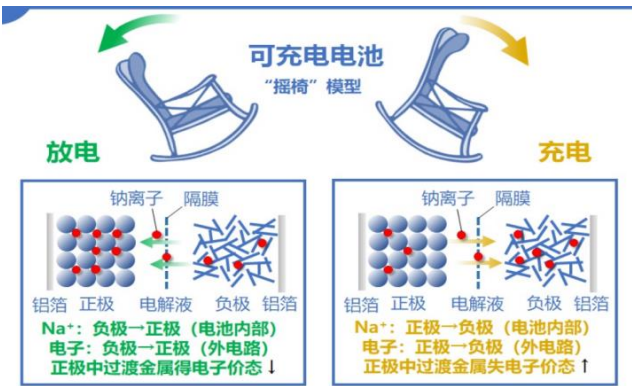
图：我国主要锂矿床分布图



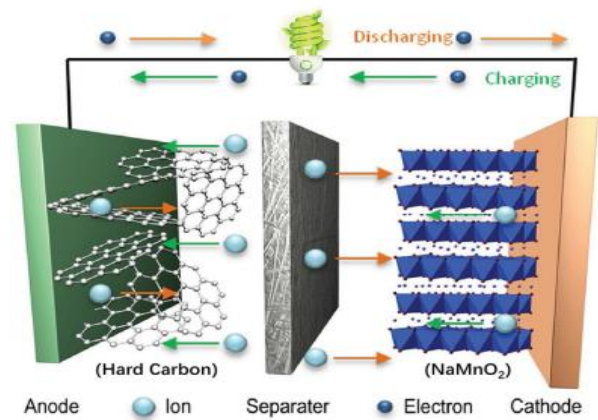
“钠”新吐故，制衡锂电最优Plan B——锂钠同族，化学性质接近

□ 钠元素和锂元素为同主族元素，具有某些相似的化学性质。钠离子电池的架构、封装工艺与锂电池高度相似，生产锂电池的工厂不必经过大的改动就能直接进行钠电池生产。

图：摇椅式发电原理示意图



图：钠离子电池工作原理示意图



表：钠、锂元素主要性能对比

分类	Li	Na
相对原子质量/g·mol ⁻¹	6.94	22.99
熔点/C°	180.5	97.7
密度/g·cm ⁻¹	0.534	0.968
价态变化	0→+1	0→+1
离子半径/A	0.76	1.02
成本（碳酸盐）/元·吨 ⁻¹	5800	250-300
标准电极电势/V	-3.04	-2.71
地壳丰度/mg·kg ⁻¹	20	23600
第一电离能/kJ·mol ⁻¹	520.2	495.8
理论容量（金属）/mAh·g ⁻¹	3861	1166
理论容量（ACoO2）/mAh·g ⁻¹	274	235

“钠”新吐故，制衡锂电最优Plan B——其他类型电池难堪大任

- 钠电池有望向上制衡锂电、向下蚕食铅酸。钠电池一方面与铅酸电池相比，在循环、成本、能量密度等方面都具有较为明显的优势，有望向下蚕食铅酸市场；另一方面，因整体性能与锂电池接近、成本优势显著，有望向上制衡锂电池应用的垄断性。
- 我们认为，液流电池应用局限性较大，难以作为锂电池的平替。电化学储能技术主要分为锂离子电池、铅酸电池、钠离子电池、液流电池和钠硫电池等类别。自2022年6月29日国家能源局在《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2022年版）（征求意见稿）》中提出“中大型电化学储能电站不得选用三元锂电池、钠硫电池”之后，液流电池的关注度上升，但该类电池初始投资成本高、占地面积大，我们认为，液流电池在动力电池和便携式储能领域应用价值较低，并不能够作为制衡锂电池的Plan B。

表：四种电化学储能电池的比较

	锂离子电池	钠硫电池	铅酸电池	液流电池
能量密度(Wh/kg)	75-250	150-240	30-50	40-130
功率密度(W/kg)	150-315	90-230	75-300	50-140
循环次数（次）	>1000	>4500	>500	>1万
循环寿命（年）	5-15	10-15	5-15	5-10
单位容量成本(元/KWh)	600-2500	300-500	200-400	150-1000

“钠”新吐故，制衡锂电最优Plan B——钠电池在低温、安全性方面具备优势

- 钠电整体性能与锂电接近，能量密度稍逊，但低温、安全和倍率性能突出。
- 能量密度方面，在目前的技术条件下，钠离子电池的电芯能量密度约为70– 200Wh/kg，高于铅酸电池的30–50Wh/kg，相较于三元锂电的200–350Wh/k有所逊色，但与磷酸铁锂电池的150–210Wh/kg有重叠范围，且尚有较大的技术进步空间。
- 低温表现方面，相比于锂离子电池–20℃到60℃的工作温度区间，钠离子电池可以在–40℃到50℃的温度区间正常工作，–20℃环境下容量保持率近 90%，高低温性能更优秀。
- 安全性方面，得益于更高的内阻，钠离子电池在短路状况下瞬间发热量少，热失控温度高于锂离子电池，具备更高的安全性。在针对过充过放、针刺、挤压测试时，钠离子电池的安全性表现也让人满意。
- 倍率和快充性能方面，钠离子电池具备更好的倍率性能，适合在快充、响应型储能和规模供电等场景应用。
- 结合上述特点，我们认为，钠离子电池有望在储能、中低续航里程电动车、工程车、小动力等细分市场率先得到推广应用。

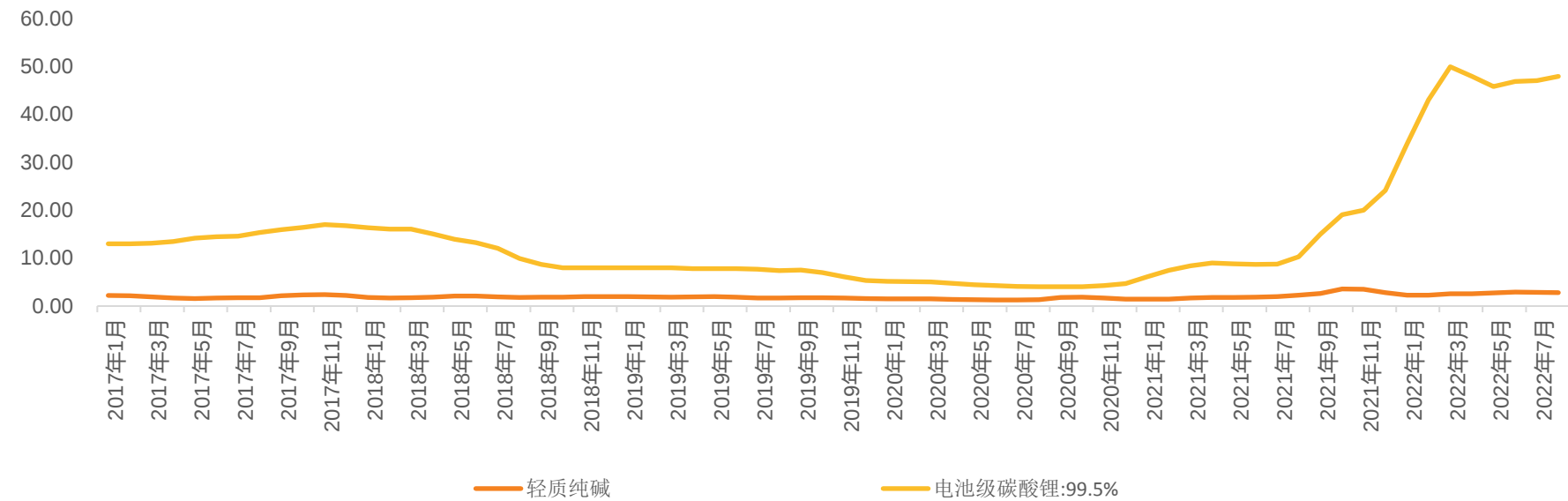
表：三种短时储能电池的性能比较

	铅酸电池	磷酸铁锂电池	三元电池	钠离子电池
能量密度	30-50Wh/kg	120-200Wh/kg	200-350Wh/kg	70-200Wh/kg
循环寿命	300-500次	3000次以上	3000次以上	3000次以上
平均电压	2V	3-4.5V	3-4.5V	2.8-3.5V
安全性	高	较高	较高	高
环保性	差	较优	较优	优
高温性能	差	较差	差	优
低温性能	差	差	较差	优
下游应用	储能、低速车	储能、电动车	储能、电动车	低速车、储能

“钠”新吐故，制衡锂电最优Plan B——钠电中长期成本优势显著

□ 成本优势显著。钠在地壳中具有更高的丰度，约占地壳储量的2.64%，且广泛分布在世界各地，原料端碳酸钠提炼简单、价格远低于碳酸锂，碳酸钠常年处于 3000 元/吨以内水平，以2022年8月数据为例，两者价差约170倍。再加之钠离子电池可以使用较为便宜的铝箔作为集流体材料，进一步节约成本。

图：纯碱（碳酸钠）价格大幅低于碳酸锂价格（万元/吨）



资料来源：Wind，中国知网《钠离子电池：储能电池的一种新选择》李慧等，天风证券研究所

2

正负极较为关键，材料工艺仍需进步

正极材料：多路线推进，层状氧化物有望率先落地

- 作为优异的钠离子电池正极材料需要具备以下因素：(1)较高的容量和氧化还原电势；(2)对电解液适应性强；(3)较好的离子和电子电导率；(4)在空气中易于制备、保存、运输以及低的成本；(5)较好的循环性能和倍率性能。
- 目前，受到研究者广泛关注的钠离子电池正极材料主要包括层状金属氧化物、普鲁士蓝类化合物及聚阴离子型化合物。每种类型的材料都存在着一些特征缺点，层状金属氧化物结构多变从而结构稳定性差；普鲁士蓝循环稳定性较差且材料高温易分解，存在潜在危险；聚阴离子型化合物容量较低，导电性也较差。

图：三种正极路线性能优劣对比

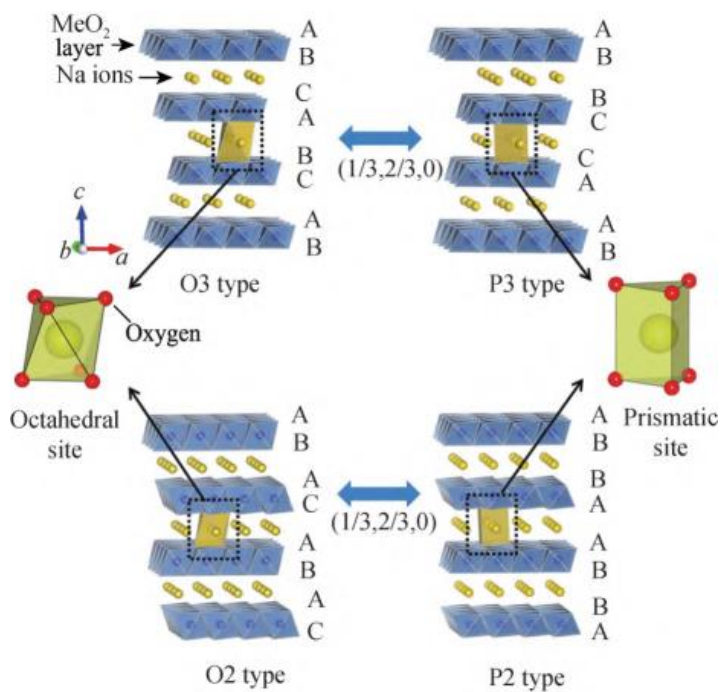
项目	普鲁士系列（蓝/白类）	磷酸盐（聚阴离子）系列	层状氧化物类
材料名称	亚铁氰化钠改性	磷酸钒钠、氟代磷酸钒钠、 焦磷酸铁钠、硫酸铁钠	铜铁锰酸钠、镍铁锰酸钠
分子式	$\text{Na}_x\text{MnFe}(\text{CN})_6$ 、 $\text{Na}_2\text{Mn}[\text{Mn}(\text{CN})_6]$	$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{P}_2\text{O}_7)$ 、 $\text{Na}_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Na}_{0.9}[\text{Cu}_{0.22}\text{Fe}_{0.3}\text{Mn}_{0.45}]\text{O}_2$ 、 $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$
工作电压	3.1-3.4V	3.1-3.7V	2.8-3.3V
放电比容量	70-160mAh/g	100-110mAh/g	100-140mAh/g
压实密度	1.3-1.6	1.8-2.4	3.0-3.4
循环寿命	一般	较好	一般
热稳定性	好	好	一般
安全性	低（热失控产生有害气体）	低（热失控产生有害气体）	好
空气稳定性	好	很好	一般
对应电池重量和 体积能量密度	低	低	较好

注：电池能量密度=比容量*压实密度*电压水平

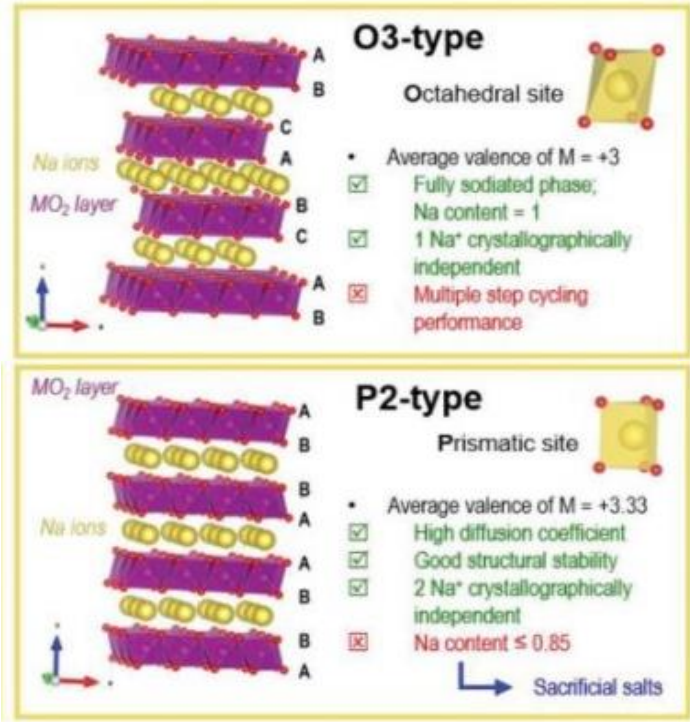
正极材料-层状金属氧化物：综合性能佳，有望率先产业化应用

□ 层状氧化物类钠离子电池正极材料是金属氧化物类中的一种，可分为Mn基、Fe基、Cr基正极材料等。其结构是由共边的八面体过渡金属氧层和钠离子层堆垛而成。根据其结构可分为四种，分别为P2相、P3相、O2相和O3相（字母“P”代表了钠离子在其中的氧配位环境为三棱柱配位，“O”代表其中的氧配位环境为八面体配位），其中，P2相与O3相是最为常见的两种钠离子层状氧化物正极材料。因其适当的操作潜力，高容量和简单的合成路线,层状氧化物被认为是最有希望的正极材料。

图：钠离子电池层状材料结构图及钠离子脱嵌的相变过程



图：O3和P2型层状氧化物结构模型及其主要特征



正极材料-层状金属氧化物：综合性能佳，有望率先产业化应用

- 层状氧化物中，铜基（铜铁锰）和镍基（镍铁锰）是目前较有应用前景的两种技术路线。
- 铜基VS镍基：铜基成本较低，但比容量相对不足；镍基比容量较高，但成本压力更大。
- 铜基路线主要优势在于成本较低，稳定性较好，但比容量约100mAh/g左右，相对不足。该路线由中科海纳创始人胡勇胜首创。
- 镍基比铜基的比容量高，约能达到190mAh/g，但由于镍的成本比铜更高，成本压力相对更大。

表：层状氧化物代表企业、产品信息及布局进展

公司名称	产品信息	布局进展
容百科技	发布三款层状氧化物产品，能量密度100Wh/kg-200Wh/kg，可用于二轮车和小动力	初步具备量产能力，已送电池厂测评；2022年钠电正极产能约1.5万吨/年；规划2023年钠电材料月出货千吨以上，层状氧化物产能3.6万吨/年；规划2025年钠电材料月产万吨级、年出货10万吨、市场占比达10%以上。
当升科技	采用特殊微晶结构前驱体以及材料结构调控解决了关键技术瓶颈，新产品层状氧化物 SNFM-K3 实现了比容量达到177.2mAh/g、首效倍率达到91.3%的突破	目前已完成工艺定型并向国内大客户送样，产品性能指标优于市场同类产品，预计2023-2024年量产。
振华新材	能量密度120-130Wh/kg；循环次数2000-4000次；温和放点倍率0.2-0.3C；具有高压实密度、高容量、低pH值和低游离钠的特性	2022年4月推出第一代层状氧化物钠电正极材料，迅速完成向行业内主流客户送样及吨级出货；2022年6月推出第二代产品，降低了游离钠的同时提高了材料比容量。截至2022年9月末，已得到部分下游客户认可，累计送样0.6804吨、销售5.35吨，实现吨级产出并销售。
传艺科技	前期公告正极克容量140mAh/g，单体电芯145Wh/Kg，循环次数4000次，大于88%的容量保持率。现各指标已提升	前期公告进度为2022年底前中试线投产，2023年2GWh产线投产。
中科海纳	正极克容量130mAh/g，负极克容量300mAh/g；电压3V；100%换电深度循环次数5000次	2022年一期年产2000吨正负极材料产线已建成，预计2023年完成二期2万吨正极、1万吨负极材料产线投建；2024年完成10万吨正极、5万吨负极材料线项目建设。
钠创新能源	2020年专利 CN108539141B：首次充电比容量可达186.1mAh/g，首次放电比容量可高达166.6mAh/g，在1C倍率下循环50次以后其容量保持率最高可达92.9%	2022年10月，钠创“年产4万吨钠离子正极材料项目”（一期）正式投产。预计在未来的3-5年内，公司将分期建设8万吨正极材料和配套电解液生产线。正在积极部署50000平米万吨级正极材料量产基地，为2023年布局GWh级产能打下基础。
中伟股份	/	钠系前驱体有2-3家客户，已完成主流客户的送样，预计2023年上半年可实现批量供货，23H1产能100吨级；23H2产能1000吨级。

正极材料-层状金属氧化物目前需关注的痛点：不可逆容量损失、易吸水受潮

层状氧化物的“苦恼”：不可逆容量损失，恶化循环性能；易吸水受潮，恶化加工性能。

（1）晶格扭曲及相变的产生，导致不可逆的容量损失，恶化循环性能。由于层状结构氧化物通常为过渡金属元素与周围六个氧形成的MO6八面体结构组成过渡金属层，钠离子位于过渡金属层之间，形成MO6多面体层与NaO6碱金属层交替排布的层状结构。这些结构在钠离子电池充放电过程中会发生晶格扭曲并产生相变，阻碍了钠离子的传输扩散，使得大部分钠离子游离在材料的表面，与电解液发生副反应，形成不可逆的容量损失，同时恶化循环性能，导致电池性能衰减甚至失效，从而带来安全方面的隐患。现有技术大部分采用掺杂极少量的变价金属以达到改善材料的结构稳定性目的，如振华新材专利CN114975982A，钠创新能源CN114005969A等。

（2）烧结后易产生残碱，导致材料易吸水受潮，恶化加工性能。在层状结构氧化物制备过程中，考虑到钠元素的流失，材料生产过程中往往会加入过量钠盐，导致材料烧结后钠盐残留，主要以碳酸钠和氢氧化钠形式存在，简称残碱。如果钠离子电池极材料的碱性过高，在加工过程中会导致材料易吸水受潮，在搅浆过程中黏度增加，容易形成果冻状，导致加工性能变差。针对此问题，目前主要通过水洗、酸性气体等工艺进行改进，如中科海纳采用低温二次烧结，使得层状正极材料完全去除水分后，通过酸性气体与层状正极材料表面的残碱反应，降低材料表面的残碱含量。

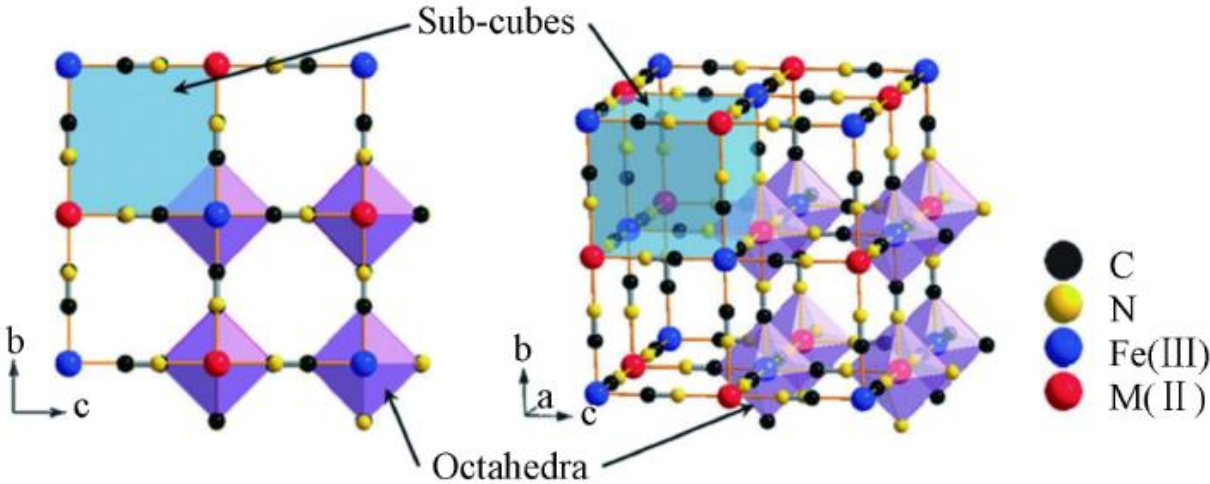
表：提升层状氧化物性能的相关专利

公司名称	层状氧化物路线专利情况
振华新材	CN 114975982 A：一种钠离子电池正极材料及制法和应用（2022.8.30） 本发明人经过大量的研发发现，提高掺杂元素的量或多元素协同掺杂对于稳定材料的晶体结构，降低正极材料表面的残碱，减少钠离子电池充放电过程中晶格扭曲，抑制相变效果显著。
钠创新能源	CN 114005969 A：一种金属离子掺杂的改性钠离子材料及其制备方法与应用（2022.2.1） $\text{NaNi}_x\text{Fe}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ ，其中 $x+y+z=1$ 。本发明通过将金属离子成功掺杂至晶格内且对正极材料原有的晶体结构无任何影响，电池的循环性能、容量都有显著地提升。 CN 113889603 A：一种钠离子电池正极材料及其制备方法（2022.1.4） 发明通过在合成钠离子正极材料过程中掺入钾离子，提高钠离子电池正极材料的循环稳定性。
中科海纳	CN111370664B：降低钠离子电池层状正极材料表面残碱含量的方法及应用（2022.4.29）在温度恒定的条件下，向气氛回转炉中通入易挥发酸性气体1小时-5小时，通过易挥发酸性气体去除钠离子电池层状正极材料的表面残碱，降至室温后得到降低表面残碱后的层状正极材料。

正极材料-普鲁士蓝类化合物：理论容量高，成本低，间隙水问题需解决

- 普鲁士蓝类正极材料 ($A_xM_a[M_b(CN)_6]_{1-y} \cdot \square_y \cdot nH_2O$ ($0 \leq x \leq 2, 0 \leq y < 1$))，其中A为碱金属离子； M_a 和 M_b 为不同配位环境的过渡金属离子；□为 $[M_b(CN)_6]$ 空位) 具有较高的工作电势，较为稳定的三维框架结构，较长的循环寿命，较低的制造成本，其中利用 M^{3+}/M^{2+} 和 Fe^{3+}/Fe^{2+} 氧化还原电对，最多可以实现两个 Na^+ 的有序脱出/嵌入，对应理论比容量达到170 mAh/g (以 $NaFe[Fe(CN)_6]$ 为例)。
- 普鲁士蓝的“苦恼”：空位和间隙水导致电化学性能恶化。普鲁士蓝类化合物在合成过程中易形成 $[Fe(CN)_6]^{4-}$ 空位和间隙水，形成的空位被配位的 H_2O 分子占据后不仅会降低材料的初始钠含量，而且会导致容量在循环过程中快速下降，恶化电化学性能，阻碍实际应用。

图：普鲁士蓝类似物框架结构示意图



资料来源：中国知网《钠离子电池O3型层状氧化物正极材料研究》丁飞翔，《富钠普鲁士蓝类正极材料的合成及其电化学性能研究》贺顺利，《钠离子电池碳负极材料的制备及储钠性能研究》李旭升，天风证券研究所

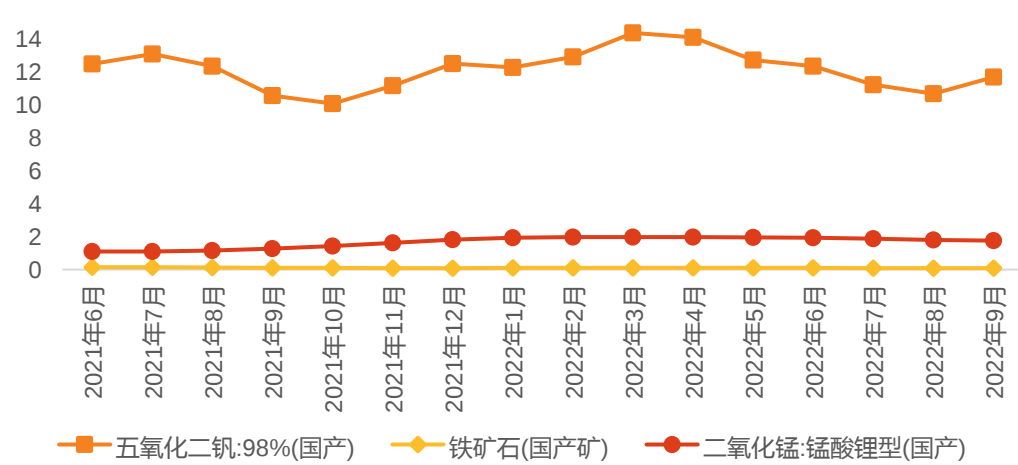
正极材料-聚阴离子化合物：成本低、循环好，有望应用于中远期储能市场

聚阴离子化合物 $\text{Na}_x\text{M}_y(\text{X}_a\text{O}_b)_z\text{Z}_w$ ，（M为Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni等中的一种或几种；X为S、P等；Z为F等），是由聚阴离子多面体和过渡金属离子多面体通过强共价键连接形成的具有三维网络结构的化合物，钠离子占据其中的通道位置。目前一系列包括磷酸根和氟磷酸根在内的聚阴离子化合物在钠离子电池中得到了广泛的研究，也取得了许多显著和重要的进展。然而聚阴离子化合物存在的一些瓶颈仍然限制了实际应用，例如有限的容量和低的电导率。因而在研究工作中，特别关注该材料的设计，反应机理的表征以及电化学性能的改善策略。

聚阴离子的“苦恼”：含钒=成本高+有毒，降钒+降本是产业化的关键掣肘。磷酸钒钠（ $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ ），因具有理论容量大、化学稳定性好、使用寿命长、天然丰度高等优点，受到广泛关注。然而由于磷酸钒钠中含钒元素，也存在成本较高和具有毒性等问题（钒的价格相较于铁、锰等金属波动性较大，且相较于铁、锰等金属价格较高）。

（1）降钒是聚阴离子研究的重点方向之一。2021年武汉大学曹余良（珈钠能源创始人）团队成功研发出最高可逆放电容量（0.2 C时为110.9 mAh g^{-1} ）和最佳倍率性能（100 C时为52 mAh g^{-1} ）的无钒磷酸盐材料—— $\text{Na}_4\text{Fe}_{2.91}(\text{PO}_4)_2(\text{P}_2\text{O}_7)$ ，该材料属于铁基磷酸盐体系。

图：钒价远远高于铁、锰价格（万元/吨）



表：磷酸钒传统钠合成工艺的优缺点对比

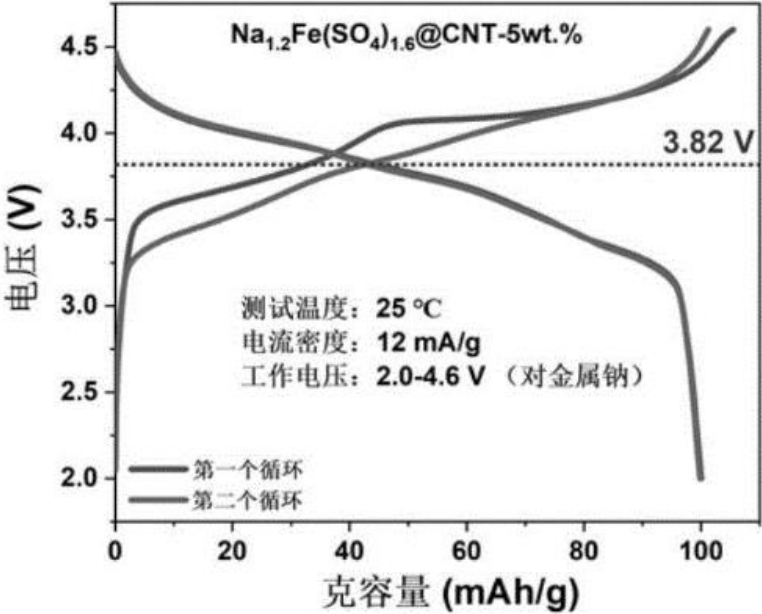
制备方法	优点	缺点
固相法	反应条件可控、成本低、操作过程简单且易于大规模工业化生产等优势	具有较差的倍率性能和循环性能
溶胶-凝胶法	可将原料在短时间实现反应物之间分子水平上的混合，前驱体在发生化学反应时扩散尺度可以达到纳米水平，致使产物NVP的形貌为均匀的球状颗粒（粒径为0.5~1.5μm）、比表面积相对较大	工艺复杂、处理周期长，由溶胶到粉体需要消耗大量时间和能量，不利于工业化生产
水热法	具有晶粒生长完全、粒径小（一般在200nm左右）、颗粒二次生长减少、分散性好、可以实现多种形貌调控等优势，并且可以提供连续电子/离子迁移通道，提高离子迁移率	水热条件不易控制、成本较高、产量较低

正极材料-聚阴离子化合物：硫酸盐系列打开中长期降本空间

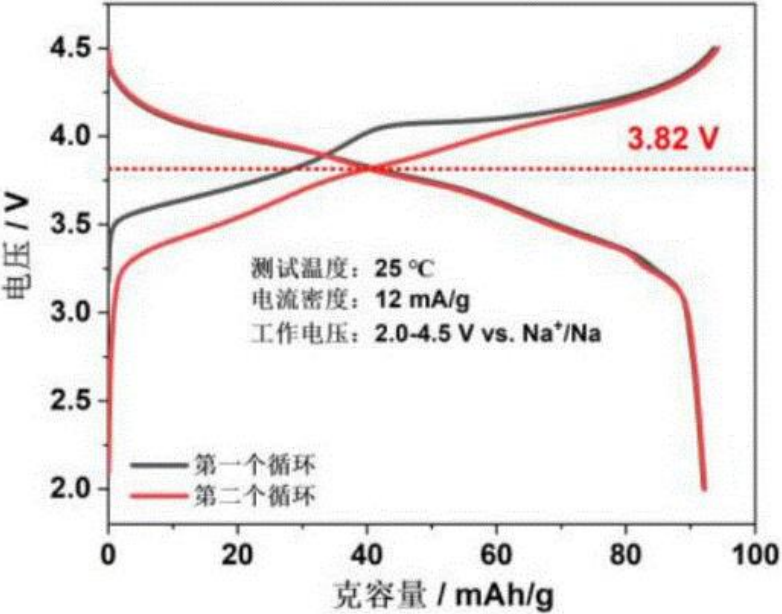
(2) 降钒之外，硫酸盐探索（众钠能源）为聚阴离子降本提供新思路。

❑ **铁基硫酸盐**：铁基硫酸盐类聚阴离子正极材料具有高工作电压和低生产成本等显著优势，但由于其纯相材料的本征电导率低，严重影响着该类型正极材料的储钠电化学性能，有着储钠比容量较低、长循环稳定性较差等缺陷。**众钠能源**是该路线的代表性企业，拥有专利“CN115020681A：一种碳包裹的硫酸铁钠正极材料及其制备方法”和专利“CN114267838A：一种钠离子电池复合正极材料及其制备方法”，公司通过技术研发改善了硫酸盐正极材料储钠克容量偏低、工作电位持续下降、循环稳定性差、倍率性能和低温工作性能不佳等问题。

图：众钠能源专利CN115020681A性能数据



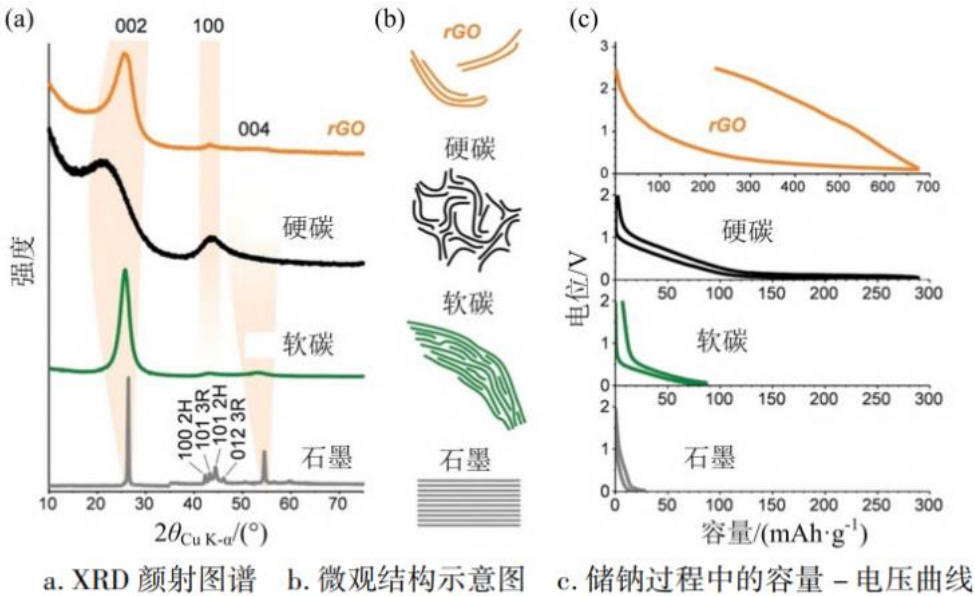
图：众钠能源专利CN114267838A性能数据



负极材料：传统石墨负极储钠能力差，硬碳/软碳是相对更理想的钠电负极材料

- 理想的钠离子电池负极材料应当尽量满足：1) 工作电压低；2) 比容量高；3) 首周库仑效率高；4) 压实密度高；5) 电子和离子电导率高；6) 结构稳定(体积形变小)，空气稳定；7) 成本低廉和安全无毒等特点。
- 现有能够用于钠离子电池的负极材料主要包括：碳基材料、合金类材料、和金属基复合物材料，其中碳基材料由于具有导电性好、成本低廉、无毒环保，成为钠离子电池负极材料的首选。碳基材料主要包括石墨类材料、无定形碳材料（软硬碳）、纳米碳材料。其中，石墨负极在碳酸酯电解液中几乎不具备储钠能力，在醚类溶剂中虽能使溶剂化的钠离子共嵌到石墨层中，但其低的容量、高的电压以及电解液参与反应会降低实际电池的能量密度，因此石墨负极在钠离子电池中难以使用。

图：石墨烯、软碳、硬碳和石墨的微观结构与储钠表现



资料来源：《钠离子电池关键材料研究及工程化探索进展》党荣彬等，《钠离子电池碳基负极材料研究进展》蔡旭萍等，《钠离子电池正负极材料研究新进展》潘都等，天风证券研究所

负极材料：硬碳高性能与软碳低成本，鱼和熊掌不可兼得

软碳VS硬碳：硬碳比容量占优，软碳经济性占优，目前硬碳是主流。

- 硬碳内部碳微晶在晶体c轴方向上的碳片层堆积较少且整体呈现出随机取向排列的特点，前驱体主要包括树脂、沥青及生物质三类。硬碳材料具有长循环寿命，储钠的比容量相对较高并且具有低电压平台，但仍面临着首次库仑效率低、倍率性能略差等问题。相比之下，石墨烯相关材料往往呈现出更高的平均电压和更低的库伦效率，而软碳的储钠比容量较低，因此硬碳综合性能相对较优，具有较广阔的应用前景。
- 软碳是有序度较高，是在2800℃以上高温热解能够完全石墨化的非晶碳材料，前驱体主要是石油焦和沥青这类矿物质，具有低成本优势。软碳材料具有更高的电子导电性和倍率性能，但由于石墨化程度比较高，直接碳化的软碳材料在钠离子电池中表现出较低的可逆容量，储钠容量较低，实用性受限。

表：软硬碳性能对比

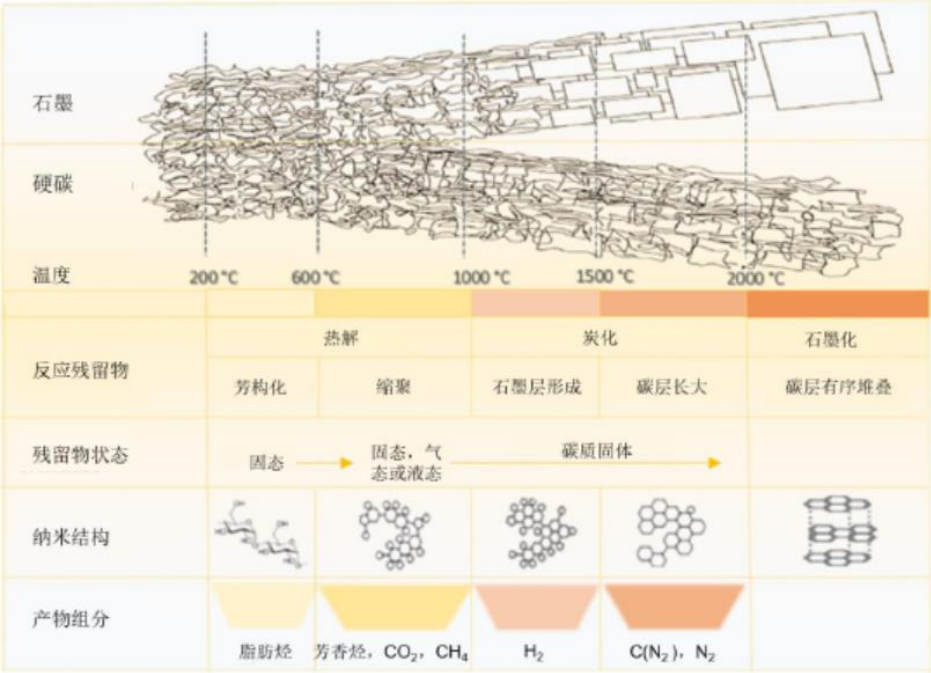
	硬碳	软碳
微观结构	内部碳微晶在晶体c轴方向上的碳片层堆积较少且整体呈现出随机取向排列的特点，存在较多的纳米空隙因而可较好的容纳活性离子以进行电化学储能。	内部碳微晶的碳片层呈现出短程有序-长程无序的堆积特点，因而是一种乱层堆积结构，该结构的碳层排列规整度比硬碳要好。
储钠行为	容量和电压曲线表现出了斜坡和平台共存的现象；具有储钠容量高、储钠电势低的优势。	其储钠电压和容量曲线没有固定的电压平台，仅表现出一个斜坡区域。但储钠时具有较好的循环性能和倍率保持率。
比容量	高	低
导电性	低	高
碳源	木质素、蔗糖、葡萄糖、有机聚合物、纤维素、羊毛、棉花、酚醛树脂、花生壳、香蕉皮、柚子皮、苔藓、坚果壳、木材、煤、氧化沥青	主要为石油系或煤系的焦碳以及将富含稠环芳烃化合物(煤沥青、石油沥青或中间相沥青等)碳化后的产物
成本	高	低

资料来源：《钠电池负极及其界面设计研究》李钰琦，《钠离子电池硬炭负极材料的研究进展》张丽君等，《储钠碳负极形性调控及其电化学性能研究》陈俊，《硬碳材料的功能化设计及其在钠离子电池负极中的应用》冯鑫等，《钠离子电池软碳基负极材料研究进展》刘彬华等，《钠离子电池炭基负极材料研究进展》吕晗等，《钠离子电池碳基负极材料研究进展》蔡旭萍等，天风证券研究所

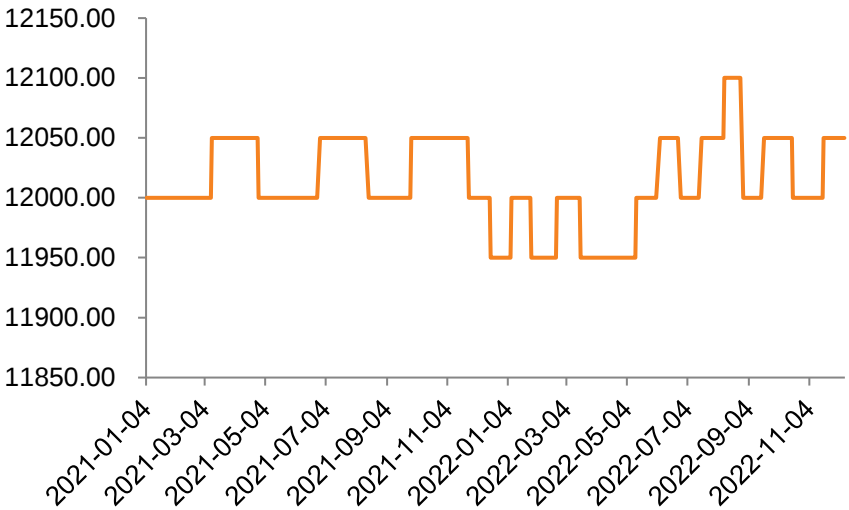
负极材料-硬碳：前驱体来源广，树脂基成本高/沥青基制备难度大，非目前主流方向

- 硬碳材料的制备通常是通过热解各种含碳前驱体得到的，前驱体的不同会导致硬碳材料电化学性能的差别，我们认为前驱体材料的选择是硬碳生产过程中门槛较高的环节。根据前驱体来源不同主要可以分为三类硬碳：树脂基(酚醛树脂、环氧树脂、聚糠醇等)硬碳、沥青基(煤焦油沥青、石油沥青、天然沥青等)硬碳、生物质基(纤维素、木质素、淀粉等)硬碳。
- **树脂基硬碳**：最常见的是酚醛树脂基硬碳，具备最佳的电化学性能，表现为优异的循环性能、更高的可逆比容量及更好的倍率性能。然而其**成本是最高的**，自2021年以来酚醛树脂价格稳定在12000元/吨左右，成本劣势成为了树脂基硬碳的痛点。
 - **沥青基硬碳**：由于**制备价格低廉、来源广泛和残碳率高**，沥青成为一系列高质量硬碳前驱体。然而由于原始沥青具有石墨化的性质，直接碳化很容易形成类石墨结构，因此需要对沥青进行预处理，导致**制备工艺要求高**；且其组成复杂，在材料制备过程中批次之间容易出现偏差，导致**产品质量不均一，制备过程还存在环境污染**。待其制备技术成熟、可为下游稳定提供高性能硬碳材料时，其或将逐步取代生产工艺难度小的生物质基硬碳材料，具有很大的市场潜力。

图：硬碳形成过程示意图



图：酚醛树脂价格走势图（元/吨）

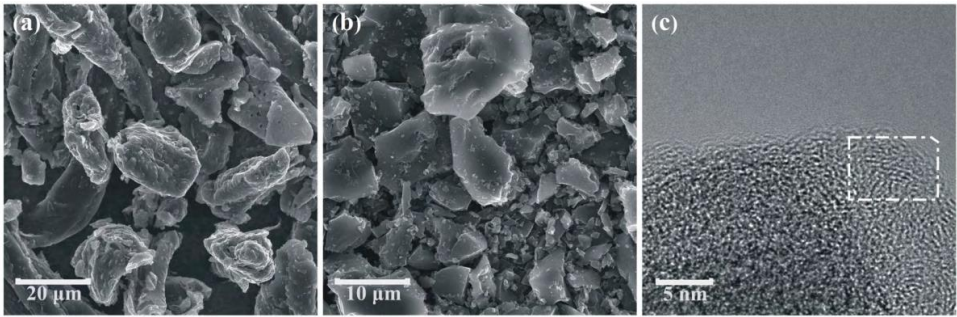


资料来源：《硬碳材料合成及其在钠离子电池负极中的应用研究》洪坤磊，《硬碳材料的功能化设计及其在钠离子电池负极中的应用》冯鑫等，发明《酚醛环氧树脂基硬碳材料的制法和硬碳材料及钠离子电池》，《锂离子电池硬碳负极材料的研究进展》李玉龙等，《钠离子电池无定形碳负极材料研究》孟庆施，Wind，天风证券研究所

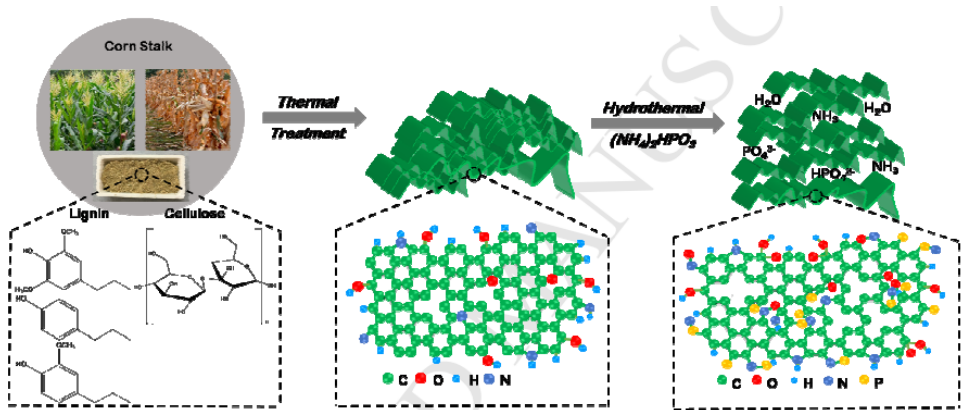
负极材料-硬碳：生物质基是目前研究重点，秸秆、毛竹等有望批量应用

- **生物质基硬碳**：生物质由于来源广泛、价格低廉、绿色环保，而且其本身就具有丰富的杂原子和独特的微观结构，是另一种重要的硬碳前驱体。常见的生物质包括**木质纤维素类**（乔木类、秸秆类、干质果壳类）和**多糖淀粉类**（种子类）等，椰子壳和秸秆则是其中较为典型的两种生物质材料。
- **椰子壳路线**：其作为负极的钠离子电池性能理想，具有较高的可逆比容量及长循环寿命，可逆比容量为305mAh/g，首次库伦效率为79.3%，在0.1A/g的电流密度下循环130周后容量保持率为97.8%，且具有机械强度和振实密度高、孔隙结构发达、灰分含量低等特点，有望成为一种较为理想的钠离子电池负极材料。
- **秸秆路线**：一方面其性能同样优秀，秸秆中含有大量的氧和微量的氮，富氧官能团可以产生更多的电化学活性位点，一定量的氮则可以增加碳材料的导电性，根据Qin等学者研究发现，玉米秸秆在0.25C电流密度下循环100次后，拥有277mA·h/g的比容量，在1C下循环20次后也拥有202mA·h/g的比容量，即使是在5C的高电流密度下循环2000次，仍拥有105mA·h/g的比容量，表明该材料具有非常出色的循环稳定性和优异的电子传输能力，在较长的充放电周期中仍能保持稳定的比容量。另一方面秸秆产量可观，可避免露天燃烧处理而造成的资源浪费与环境污染。
- 生物质虽然是一种优质碳的来源，但各种生物质的结构不同导致衍生的硬碳的性能之间存在巨大差异；且存在大量无机杂质，需要进一步探索出绿色环保、工艺简单的杂质去除过程；此外，生物质容易受到季节和环境的制约，导致供应链稳定性较差。

图：椰壳前驱体的 SEM 照片(a)，椰壳基硬炭的 SEM 照片(b)和 HRTEM 照片(c)



图：从玉米秸秆中合成 N/P 双掺杂碳片的示意图



资料来源：《植物生物质构建钠离子电池负极材料研究进展》肖高等，《锂离子电池硬碳负极材料的研究进展》李玉龙等，《椰壳基硬炭作为钠离子和钾离子电池负极的电化学性能研究》黄滔等，新能源前线公众号，《钠离子电池硬炭负极材料的研究进展》张丽君等，《A sustainable route from corn stalks to N, P-Dual doping carbon sheets toward high performance sodium-ion batteries anode.》Decai Qin等，天风证券研究所

负极材料-硬碳：首次库伦效率和倍率性能是核心参数指标

- 性能短板：低的首次库伦效率和差的倍率性是硬碳性能的短板，通过优化工艺流程得到初步解决。
- 首次库伦效率：硬碳具有大的比表面积和大量缺陷，从而造成低的首次库伦效率。而首次库伦效率低反应了电池在首次充放电过程中发生了大量的不可逆反应，其中主要包括再循环过程中电解液分解形成电解质界面膜（SEI）对部分钠离子的消耗和由高比表面积、孔隙、缺陷和官能团引起的其他不可逆反应的结果。在全电池中，钠含量的消耗直接影响电池的容量，**低的库伦效率必将造成电池整体容量的较大衰减**。因此，减小硬碳负极材料的比表面积、减少缺陷及闭合部分孔隙，从而提高硬碳材料的库伦效率是产业化必须解决的问题。目前在工艺流程上，可通过软硬碳复合、小分子填补缺陷以及降低热解速率等措施得到提升。
- 倍率性能：反应出负极材料内部动力学性能，其中包括电子的导电性和离子的扩散速率。普遍认为，相对于钠离子在硬碳材料层间的脱嵌，在材料表面缺陷的吸/脱附相对来说更容易。丰富的缺陷及较大的层间距都有利于硬碳倍率性能的提升。目前在工艺流程上，可通过软硬模板结合法、碱活化、掺杂等来改善。

表：硬碳负极主流厂商布局情况

公司	现状	主要技术路线	产线情况
可乐丽	量产	生物质基	千吨级
佰思格	量产	生物质基	千吨级，有扩产计划
贝特瑞	量产	生物质基、沥青基	百吨级，有扩产计划
杉杉股份	量产	生物质基、沥青基	百吨级
中科电气	小试	树脂基	-
翔丰华	小试	生物质基	-
珈钠能源	中试	生物质基	-
元力股份	中试	生物质基	可利用活性炭产线
鑫森炭业	中试	生物质基	可利用活性炭产线

资料来源：《钠离子电池硬碳负极材料的研究进展》张丽君等，《钠离子电池硬碳负极材料研究进展》刘飞等，智谱投研公众号，天风证券研究所

负极材料-软碳：储钠比容量较低，中科院无烟煤技术赋予软碳负极新前景

软碳成本低、产碳率高、电子传导性好，但较低的可逆容量严重制约了其在钠离子电池中的应用。

- 制备软碳材料的前驱体主要包括石油化工原料及其下游产品，如煤、沥青、石油焦等，原料成本较为低廉。
- 相比于硬碳，软碳中富含的 sp^2 碳导致更高的电子导电性和倍率性能，但是直接碳化的软碳材料在钠离子电池中表现出较低的可逆容量，储钠容量较低，而且没有储钠平台，限制了其实用性。
- 近期研究表明，通过制备纳米结构、设计多孔结构来有利于钠离子的快速传输；异相原子掺杂来增加其层间距、提高电导率和缺陷数量；预氧化策略可以有效抑制其石墨化，促进无序结构的形成，从而有效提升储钠容量。这些方法均为改性软碳材料以提升其储钠容量提供了理论基础。
- **中科院无烟煤技术赋予软碳负极新前景**。中科院物理所采用其作为前驱体，得到一种新型软碳材料。不同于来自于沥青的软碳材料，其在 1600°C 以下仍具有较高的无序度，产碳率高达90%，**储钠容量达到 220mAh/g** ，循环稳定性优异，最重要的是在所有的碳基负极材料中具有最高的性价比。以其作为负极和Cu基层状氧化物作为正极制作的软包电池的能量密度达到 100Wh/kg ，在1C充放电倍率下容量保持率为80%。

我们认为，未来随着更多研究成果的出现和低成本驱动，如果能以低成本软碳为前驱体，成功制备出高性能的碳负极材料，将进一步促进钠离子电池的发展，届时软碳或将在钠电负极市场分得更大份额。

表：软碳负极的研究进展及性能参数

研究者	年份	发现与进展
Doeff	1993	首次以石油焦为碳源热解制备软碳负极材料，并发现采用乙醚作为电解液溶剂时可有效提高储钠性能。
Hu	2016	将软碳与硬碳相复合，并加入酚醛树脂，显示出88%的首次库伦效率；后选取储量丰富、成本低廉的无烟煤作为碳源，表现出良好的市场前景。
Miao	2017	利用煤焦油沥青与磷酸混合热解，成功制备出磷掺杂软碳材料。有效提高材料的储钠容量，当测试条件为 100mAhg^{-1} 时呈现出 251mAhg^{-1} 的比容量，在充放电200次其容量保持率可达到80.1%。
Lu	2018	在沥青基软碳制备过程中，采用预氧化策略抑制材料石墨化，其可逆比容量由改性前的 94mAhg^{-1} 提高至 300.6mAhg^{-1} ，显示出88.6%的高首次库伦效率。

资料来源：《钠离子电池软碳基负极材料研究进展》刘彬华等，《生物质衍生碳基负极材料的制备及其储钠性能的研究》郭帅，中科院物理所官网，天风证券研究所

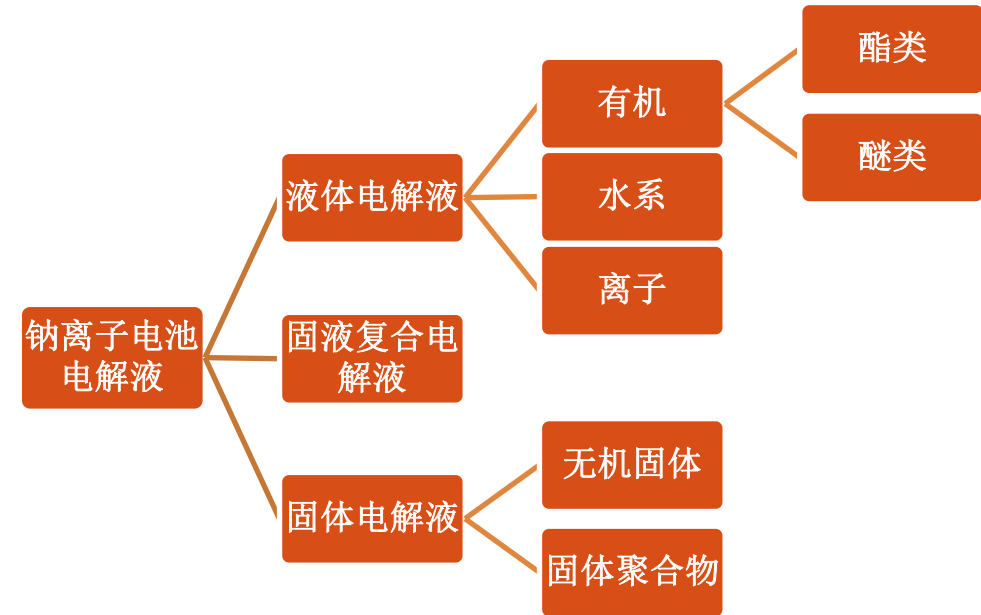
电解液：与锂电体系相通，有机电解液前景较优

电解液是钠离子电池的关键材料之一，在电池正负极之间起到传导和输送能量的作用，在很大程度上决定了电池的工作机制，影响着电池的安全性、循环寿命和倍率性能等指标。

锂钠离子电池电解液生产体系可沿用，壁垒在配方技术，而非产能。现有六氟磷酸锂生产路线可切换生产六氟磷酸钠，实现产能共享，核心竞争壁垒主要是配方技术而非产能。

钠离子电池电解液主要分为液体电解液、固液复合电解液和固体电解液三大类。其中液体电解液又分为有机液体电解液、水系电解液和离子液体电解液。固体电解液分为无机固体电解液和固体聚合物电解液。

图：钠离子电池电解液技术路线分类总览



- 有机电解液性价比突出，实际运用中前景较优。液体电解液中，有机电解液具有稳定的电化学性能、较高的离子电导率以及较低的价格水平，是钠离子电池实际应用中较有前景的选择之一。水系电解液具有高离子电导率、低成本和良好的安全性，但受限于水的分解电位，水系电解液的工作电压范围小，严重制约了钠离子电池的能量密度。离子液体电解液具有宽电化学窗口和高安全性，但其高成本和高粘度阻碍了其大规模实际应用。
- 固液复合电解液与固体电解液有较强的安全性，但存在电导率不足、界面兼容性问题需要解决，目前不适合大规模应用。固液复合电解液通常被称作凝胶聚合物电解液，其相对于液体电解液，电导率较低，但是安全性较高，在一定程度上解决了液体电解质易燃等安全性问题，但是其离子电导率和与电极的界面关系仍需进一步突破。固体电解液具有不易燃性，良好的热稳定性以及较强的力学性能，通常被用来解决液体电解液存在的安全性问题，但也存在界面不稳定、离子迁移困难和制备工艺等方面的问题，大规模应用存在困难。

电解液-溶剂：碳酸酯类为主，多种溶剂混合使用

溶剂是电解液的主要成分，它的性能紧紧影响着电池和电解液的性能。在选择溶剂时应遵循以下几个原则：（1）对电极呈惰性，在电池充放电过程中不与正负极材料发生电化学反应，稳定性好；（2）具有较小的粘度和较高的介电常数，以保证钠盐有足够的溶解度，保证较高的电导率；（3）熔点要低（-40℃以下），沸点要高（150℃以上），以保证较宽的液程，以使钠离子电池有较宽的工作温度范围和良好的高低温性能；（4）与正负极材料有很好的相容性。

目前主流溶剂为碳酸酯类产品，价格及性能等综合优势凸显。实际应用中常混合多种溶剂，平衡化学性质。钠电池的有机溶剂主要分为碳酸酯、醚等类型：

- 碳酸酯类溶剂凭借其较低的价格，较高的电导率以及较强的热稳定性，被广泛应用。包括环状碳酸酯溶剂如碳酸乙烯酯（EC）、碳酸丙烯酯（PC）和链状碳酸酯溶剂如碳酸二乙酯（DEC）、碳酸二甲酯（DMC）、碳酸甲乙酯（EMC）等。在所有的酯类溶剂中，EC具有较高的介电常数是最重要的溶剂之一，但是由于其熔点较高（36.4℃），在室温下是固体状态限制了其单独作为溶剂使用，通常与其他有机溶剂（如PC/DEC/DMC/EMC）混合使用来改善电解液的离子电导率、黏度、电化学稳定性。相比于醚类溶剂，碳酸酯类溶剂容易形成较厚的SEI膜，产生较低的首次库伦效率。
- 醚类溶剂可在负极表面形成薄而稳定的SEI膜，提升倍率性能。由于在阳极上钝化能力差，在超过4V以上的工作电压下不稳定，醚类溶剂很少用于锂离子电池。但醚类溶剂在钠电体系中具有较好的抗氧化还原能力，相比酯类溶剂其可以在负极表面生成更薄、更稳定的SEI膜，具有更高的首次库伦效率。醚类溶剂通常根据含有氧原子数目和链长分为1,3-二氧戊环（DOL）、乙二醇二甲醚（DME）、二乙二醇二甲醚（Diglyme）和四乙二醇二甲醚（Triglyme）4种。由于过薄的SEI膜不能有效抵挡长期循环过程中产生的体积变化，循环性能相对较差。

表：常用溶剂的物化性能

类别	名称	熔点Tm / C°	沸点Tb / C°	介电常数（25C°）	粘度（25C°）	优势	缺陷
碳酸酯类	EC	36.4	248	89.78	2.1	价格较低，电导率高，热稳定性强	容易形成过厚的SEI膜，降低比容量
	PC	-48.8	242	64.92	2.53		
	DEC	-74.3	126	2.805	0.75		
	DMC	4.6	91	3.107	0.59		
	EMC	-53	110	2.958	0.65		
醚类	DOL	-95	74	-	-	可在负极表面形成薄而稳定的SEI膜，首效高，倍率性能好	循环性能较差
	DME	-58	84	7.18	0.46		
	Diglyme	-64	162	7.4	1.06		
	Triglyme	-46	216	7.53	3.39		

电解液-溶质：性能存在缺陷，六氟磷酸钠生产技术需进一步开发

溶质作为电池电解液关键成分之一，直接决定电解液的性能。

- ❑ 和锂离子电池以锂盐作为溶质提供Li+相似，钠离子电池的溶质为钠盐，是Na+的主要提供者，不但影响电池的功率和循环性能，还会影响容量和安全性。
- ❑ 在选择钠盐时应该注意以下几个原则:（1）本身的物化性能包括黏度、电导率、热稳定性等优异；（2）与溶剂混合后对电极的兼容性；（3）保持对电池其他组分具有电化学惰性的特点，例如电极、隔膜和集流体等。

表：锂离子电池、钠离子电池常用溶质对比

锂电池常用溶质		钠电池常用溶质	
名称	性能	名称	性能
LiPF ₆	综合性能优异，具有较好的抗氧化性能和良好的铝箔钝化能力，已被广泛应用于商业锂离子电池中。但对温度敏感，即使在室温下也会发生分解	NaPF ₆	热稳定性强，具有较高电导率，但对水敏感，容易产生有害气体削弱SEI膜
LiBF ₄	耐高低温性能优异；但电导率低，常温性能差	NaBF ₄	电导率较低
LiClO ₄	溶解性好，离子电导率高，耐氧化能力强，成本较低；但具有强氧化性，容易引发安全问题	NaClO ₄	应用于碳质电极会使其具有较高的容量和较高的库仑效率，但难于干燥且易制爆
LiAsF ₅	离子导电率高，不易水解，成膜性好；但会生成有毒物质，商业化受限	NaBOB	新型环保钠盐，具有较高热稳定性，但溶解度较低

电解液-溶质：性能存在缺陷，六氟磷酸钠生产技术需进一步开发

三条路线各有优缺，NaPF₆综合性能最佳。市场上钠盐大致分为含氟钠盐（NaPF₆，NaTFSI，NaFSI等），含硼钠盐（NaBF₄,NaBOB等）以及其他钠盐（NaClO₄等）三条路线。NaPF₆除了本质的安全问题外，综合性能最佳，是目前较为常用的钠盐。由于其化学性质，每种钠盐的应用各有优缺：

（1）NaPF₆热稳定性强，具有较高的电导率，在300℃时几乎没有安全损失，但NaPF₆对水很敏感，容易产生高度腐蚀性的氢氟酸（HF）与SEI膜的碱性成分反应，产生有害气体来削弱刚性SEI膜；含氟磺酰基团的钠盐（NaTFSI，NaFSI等）虽然具有较高的热稳定性和无毒的特点，但是其阴离子对铝箔集流体具有腐蚀作用。

（2）NaBF₄是常见的含硼钠盐，但受制于电导率的限制，应用较少。NaBOB是一种新型环保钠盐，具有较高热稳定性，但受制于溶解度无法大规模应用。

（3）NaClO₄应用于碳质电极会使其具有较高的容量和较高的库仑效率，但NaClO₄难于干燥且易制爆。

表：不同钠盐的化学性能、优势和缺陷

类别	名称	相对分子质量 (g/mol)	电导率 (mS /cm)	优势	缺陷
含氟钠盐	NaPF ₆	167.9	7.98	热稳定性强，具有较高的电导率	对水很敏感，容易产生高度腐蚀性的氢氟酸（HF）与SEI膜的碱性成分反应，产生有害气体来削弱刚性SEI膜。
	NaTFSI	303.1	6.2	较高的热稳定性和无毒	其阴离子对铝箔集流体具有腐蚀作用
	NaFSI	203.3	/		
含硼钠盐	NaBF ₄	109.8	/	/	电导率较低
	NaBOB	209.8	0.256	新型环保钠盐，具有较高热稳定性	溶解度小
其他钠盐	NaClO ₄	122.4	6.4	应用于碳质电极会使其具有较高的容量和库仑效率	NaClO ₄ 难于干燥且易制爆

资料来源：中国知网《有机电解液在钠离子电池中的研究进展》张福明等、《钠离子电池有机电解液的性能优化研究》胡安准，天风证券研究所

电解液-溶质：性能存在缺陷，六氟磷酸钠生产技术需进一步开发

适配高性能钠电，钠盐材料应进一步开发。目前，常用的钠盐主要有六氟磷酸钠(NaPF_6)、高氯酸钠(NaClO_4)和双三氟甲烷磺酰亚胺钠(NaTFSI)等，但它们都存在一定的缺陷，难以满足高性能钠离子电池的需求。要提高钠离子电池的性能，除了使用添加剂(如氟代碳酸乙烯酯)外，还需要寻找高性能的钠盐。目前，理论层面上发现部分含氟基无氟钠盐、有机硼酸类钠盐、氟类咪唑衍生物钠盐和有机酰胺类等钠盐具备一定的性能优势。筛选性能优良的钠盐，进而加入添加剂优化电解质体系，从而提高 SEI 的稳定性、抑制钠枝晶的生长及改善电极材料/电解液的界面相容性，是今后研究的重点。

六氟磷酸钠的生产技术储备为行业壁垒。多氟多2022年9月表示，六氟磷酸钠均价超过50万/吨，其价格受限于钠离子电池产业化处于行业早期，上游产品未成规模化，并且六氟磷酸钠的生产技术储备为行业壁垒，难度较大。

表：高性能钠盐性质

名称	优势
NaTCP	改善固体聚合物电解质离子电导率低的缺陷，具有电化学稳定窗口宽、与铝集流体相容性好和对环境友好等特点
NaODFB	能形成稳定的 SEI膜、与正极材料有良好的兼容性的优点，有望代替 NaPF_6 和 NaClO_4 在非水系电解液中的地位。
NaTDI 和 NaPDI	抑制电解液对铝箔的腐蚀，为解决铝腐蚀问题提供了途径

表：部分公司产能规划概览

名称	产能
多氟多	六氟磷酸钠已商业化量产，具备1000吨左右产能生产能力
天赐材料	已有量产六氟磷酸钠的能力
永太科技	布局投资建设250吨钠离子电池材料项目
中欣氟材	年产5000吨六氟磷酸钠钠离子电解液项目设备定制中

电解液-添加剂：提升生产工艺，有望进一步降本

- 添加剂是指在电解液中具有特定功能的物质，其含量较低，能明显提升电池的电化学性能。按作用类型的不同可以分为：成膜添加剂、阻燃添加剂、过充保护添加剂等。在实际使用中，不同添加剂一般进行混合使用来协调性能，凸显效果。
- 成膜添加剂会在溶剂分子之前发生还原反应，在电极表面形成 SEI 膜，避免溶剂与电极直接接触，提升电池的性能。常见的成膜添加剂主要有：氟代碳酸乙烯酯（FEC）、碳酸亚乙烯酯（VC）、亚硫酸乙烯酯（ES）和丁二酸二甲酯（DMS）等。据钠离子电池中VC添加剂含量对电池性能的影响研究数据，VC添加剂用量不宜过低和过高，用量低时效果不显著，用量过多则会导致形成过厚的SEI膜，降低电池首效。
- 目前常用电解液的有机溶剂具有较强的挥发性和易燃性，阻燃和过充保护添加剂被用于增加安全性能。阻燃添加剂一般是含氟和磷的有机物，在高温时能够生成游离的含磷和含氟自由基，这些自由基会清除氢和氧自由基，终止放热链反应，从根本上发挥阻燃的作用。实际应用中更多是用阻燃溶剂配制电解液，来实现更好的阻燃效果；过充保护添加剂主要是某些可以在高电压下发生电聚合或氧化还原穿梭的有机物，本质上通过添加剂自身发生反应消耗过充电流，维持电池的电压电流在正常范围内。研究表明以 $\text{NaPF}_6 + \text{EC} / \text{DEC}$ 作为基体电解液，使用3%的联苯（BP）添加剂后，氧化电位由4.7V降至4.3V，消耗了过充时产生的电流，导致电压不会继续上升，保证电池安全。

表：主要添加剂的工作原理

名称	工作原理
成膜添加剂	成膜添加剂的LUMO能级低于电解液中有机溶剂的LUMO能级，成膜添加剂会在溶剂分子之前发生还原反应，在电极表面形成SEI膜，避免溶剂与电极直接接触，抑制溶剂分解，提升电池的性能。
阻燃添加剂	阻燃添加剂一般是含氟和磷的有机物，在高温时能够生成游离的含磷和含氟自由基，这些自由基会清除氢和氧自由基，终止放热链反应，从根本上发挥阻燃的作用。
过充保护添加剂	过充保护添加剂是保护电池安全使用的重要角色，主要是某些可以在高电压下发生电聚合或氧化还原穿梭的有机物，本质上还是过充添加剂自身发生反应消耗过充电流，维持电池的电压电流在正常范围内。

电池合成端-能量密度与循环性能是目前局限，产品快速迭代过程中

- 虽然钠元素在元素周期表内是仅次于锂的碱金属元素，理化性质相似，但较大的离子质量和离子半径造成钠离子电池的体积和质量能量密度仅为锂离子电池的一半左右。目前钠离子电池的能量密度大约为100-150Wh/kg，而锂离子电池中，三元锂电池能量密度较高，约为250Wh/kg左右，磷酸铁锂电池的能量密度偏低，但也有180Wh/kg左右，钠电总体能量密度低于锂电，仍有进一步优化的空间。
- 持续研发静待技术突破，提升钠电性能。钠离子电池正极材料的快速发展，有助于提升电池理论容量和动力学性能；而负极和电解液技术的进步有助于解决电池电解液易燃、负极处钠枝晶生长易导致短路等影响安全性的问题。目前针对钠电能量密度问题，宁德时代开发了AB电池系统解决方案，即钠电池与锂电池两种电池按一定比例进行混搭，集成到同一个电池系统里，通过BMS精准算法进行不同电池体系的均衡控制。这一方案虽弥补了钠电池在现阶段的能量密度短板，但仍需持续研发改进能量密度，才能真正打破锂电池竞争格局。

表：动力电池与储能电池需求对比

性能要求		循环寿命要求	电池类型
动力电池	对能量密度和功率密度有较高要求	1000-2000次	目前以磷酸铁锂电池为主
储能电池	对电极材料均匀性有一定要求	至少3500次	磷酸铁锂与三元锂电共存，磷酸铁锂占比上升

电池合成端-产业化进度成本是关键

成本是钠电未来大规模应用的核心优势，从理论来看，钠电池的成本优势主要体现在钠盐成本低廉、集流体改换价格更低的铝箔等方面，使得钠电理论成本相比锂电下降30-40%。但目前的实际价格并非如此，宁德时代董事长曾毓群在此前公布钠电池时表示：“钠离子电池不是刚推出来就很便宜，因为目前的供应链规模还很小，不够成熟，钠离子电池可能比锂离子电池贵一些。”我们认为，产业化进度较慢导致正负极材料的原料成本、生产成本及加工费较高，辅材度电摊薄低于锂电，且钠电尚存能量密度的劣势，导致钠电度电成本高于锂电、摊薄效应远低于锂电，成本优势尚未凸显。

图：钠离子电池成本优势

钠资源 vs. 锂资源	地壳丰度	分布	价格 元/kg
钠	2.75%	全球都是	2
锂	0.0065%	75%在美洲	150

集流体选择不同
钠离子电池正负极集流体均为铝箔（便宜）
锂离子电池负极集流体必须为铜箔（贵）



技术提升与规模化量产提速是钠电降本的关键路径。如果钠离子电池降本进度不及预期，将难以在未来应用中与锂电池竞争。我们认为，目前钠电池正负极材料选择及制备工艺等方面仍存在改善空间，正负极材料厂家需加大研发力度，突破正负极材料的劣势，努力达到成本与性能之间的平衡，实现正负极材料售价的降低；同时电池厂商也需进行技术提升，实现钠电更高的能量密度，成本摊薄效应将随之显现，共同助力钠电降本。此外，电池厂商应加速钠电规模化量产，一些厂商已经开始布局 and 规划产能建设，如宁德时代规划2023年形成钠电基本产业链，中科海钠已于2022年7月落成全球首条GWh钠离子电池规模化量产线等等，但目前钠电量产进程仍旧缓慢。若钠电规模化量产速度得到提升，钠电制造成本将会进一步被摊薄，从而进一步降低钠电成本，钠电成本优势将得到凸显。

3

钠电潜在需求较大，可率先切入
低速电动车、储能赛道

市场空间：两轮车-2025年有望达到11GWh

两轮车电池现状：两轮电动车带电量为0.6Kwh左右，对电池性能要求不高，但对于价格敏感。

所有零件中，电池成本最高占比约25%–30%。故虽然锂电相比铅酸电池拥有更好的性能，但由于锂电原材料供应短缺、价格持续上涨带动锂电池成本增加，锂电电动车与铅酸电动车的发展仍处胶着状态。钠离子电池的性能更介于二者之间，在能量密度上低于锂电池，高于铅酸电池，而导电性好、充放电快、耐低温性强等方面比铅酸电池也更有优势，此外，钠电池报价是锂电池的75%–80%水平，后续随着行业产能提升、良品率提升，价格优势有望更大，满足两轮车价格敏感的特点，**因此是替代铅酸电池、锂电池的良好选择。**

我们预计到2025年，钠电在两轮车领域的渗透率20%，对钠电池的需求有望达11GWh，2020年我国电动两轮车保有量约为3.2亿辆。2021年市场销量约为4975万辆，其中76.6%为铅酸电动车，23.4% 为锂电电动车。我们预计2023–2025年钠电池在两轮车市场的渗透率将逐年升高，2023–2025年渗透率分别达到5%、10%、20%，2025年两轮车对钠电的需求有望到11GWh。

表： 2025年国内两轮车潜在空间预计接近11Gwh

	单位	2021	2022	2023E	2024E	2025E
两轮车市场						
电动两轮车销量	万辆	4975	6007	6,307.35	6,622.72	6,953.85
增速		4.52%	20.74%	5.00%	5.00%	5.00%
单车带电量	KWh	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79
动力电池需求量	GWh	35.32	43.85	47.31	50.99	54.94
钠电池渗透率		0%	0.00%	5%	10%	20%
两轮车钠离子电池需求量	Gwh	–	–	2.37	5.10	10.99

资料来源：高工锂电公众号，电动车头条网公众号，智谱投研公众号，营商电动车公众号，电池中国公众号，SMM钴锂新能源公众号，中国化学与物理电源行业协会公众号，天风证券研究所

市场空间：四轮车-2025年有望达到48.45GWh

钠电池有机会渗透的动力电池市场主要包括A00级、A0级以及A级三种电动车。具体来看，钠电池可以满足续航里程在400公里以下的新能源汽车车型的基本需求，400公里以下的新能源汽车车型主要包括A00和A0级别电动车车型，未来钠电池能满足的续航里程有望进一步提升至500公里，能够覆盖的车型则将进一步延伸至A型级别电动车。

由于上游原材料尤其是锂价的持续高位，电动车领域受到持续性冲击。我们认为钠离子电池凭借成本优势，在产品标准化程度提高后，有望切入A00级、A0级以及A级电动车领域。我们预计2023-2025年钠电池在A00级、A0级以及A级电动车市场的渗透率将逐年升高，2025年分别达到30%、20%、15%，2025年对钠离子电池需求总量有望达到48.45Gwh。

表：2025年国内四轮车潜在空间预计48.45Gwh

动力电池市场	单位	2021	2022	2023E	2024E	2025E	2030E
国内电动车销量合计		352.10	688	850	1020	1200	1,800.00
其中乘用车		331	649	790.5	948.6	1116	1,620.00
A00纯电占比		30%	22%	18%	15%	12%	18%
A00电动车销量	万辆	98.50	139.90	142.29	142.29	133.92	291.60
增速			42%	2%	0%	-6%	118%
单车带电量	KWh	21	21	21	21	21	21
动力电池需求量	GWh	20.69	29.38	29.88	29.88	28.12	61.24
钠电池渗透率		0%	0%	3%	15%	30%	70%
低速四轮车钠离子电池需求量	GWh	-	-	0.90	4.48	8.44	42.87
A0纯电占比		9%	10%	10%	10%	12%	20%
A0电动车销量	万辆	29.4	91.2	79.05	94.86	133.92	324
增速			210%	-13%	20%	41%	142%
单车带电量	KWh	40	40	40	40	40	40
动力电池需求量	GWh	11.76	36.48	31.62	37.94	53.57	129.60
钠电池渗透率		0%	0%	1%	8%	20%	60%
低速四轮车钠离子电池需求量	GWh	-	-	0.32	3.04	10.71	77.76
A纯电占比		19%	21%	23%	25%	35%	23%
A电动车销量	万辆	62.5	126.1	181.815	237.15	390.6	372.6
增速			102%	44%	30%	65%	-5%
单车带电量	KWh	50	50	50	50	50	50
动力电池需求量	GWh	31.25	63.05	90.91	118.58	195.30	186.30
钠电池渗透率		0%	0%	0%	5%	15%	50%
低速四轮车钠离子电池需求量	GWh	-	-	-	5.93	29.30	93.15
动力电池市场合计		-	-	1.21	13.45	48.45	213.78

市场空间：储能-2025年有望达到50.68GWh

发电侧和电网侧的主要场景是大型储能，即大储。区别于户用的小功率储能，大储设备对一致性、储能功率和循环寿命的要求较高，主流技术路线是磷酸铁锂电池，主要应用在新能源电站、电网等场景。我们预计2023-2025年大储装机量分别达到99.8、169.0、282.4GWh。我们预计钠电池在大储市场的渗透率将逐年升高，2023-2025年分别达到1%、3%、8%，2025年对应的大储钠电池需求量将达到22.59GWh。

用电侧储能，主要包括工商业配储、户用配储、通信基站配储三大场景，目前的主流技术路线是磷酸铁锂电池。用电侧储能前景广阔，我们预计2023-2025年钠电池在工商业配储、户用配储、通信基站配储的渗透率将逐年升高，2025年对应的钠电需求量有望分别达到5.44GWh、18.33GWh、4.32GWh。我们预计2025年储能对钠电池的需求有望超50GWh。

表：2025年储能潜在空间预计超50Gwh

全球储能市场	单位	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
表前储能（发电侧+电网侧，GWh）	GWh	15.4	46.6	99.8	169.0	282.4
yoy			203%	114%	69%	67%
钠电池渗透率			0%	1%	3%	8%
表前大储钠离子电池需求量	GWh		-	1.00	5.07	22.59
工商业配储（GWh）	GWh	2.4	7.9	19.8	36.1	68.0
yoy			225%	151%	83%	88%
钠电池渗透率			0%	1%	3%	8%
工商业储能钠离子电池需求量	GWh		-	0.20	1.08	5.44
户用储能（GWh）	GWh	5.0	16.0	36.5	61.1	91.7
yoy			217%	128%	68%	50%
钠电池渗透率			0%	3%	10%	20%
户储钠离子电池需求量	GWh		-	1.09	6.11	18.33
通信基站配储（GWh）	GWh	9.5	11.7	18.6	21.3	21.6
yoy			23%	60%	14%	2%
钠电池渗透率			0%	3%	10%	20%
通信储能钠离子电池需求量	GWh		-	0.56	2.13	4.32
储能钠离子需求合计（GWh）	GWh	0	-	2.85	14.39	50.68

市场空间汇总:2025年有望超100GWh

表：钠离子电池市场空间测算

	单位	2021	2022	2023E	2024E	2025E
两轮车市场						
电动两轮车销量	万辆	4975	6007	6,307.35	6,622.72	6,953.85
增速		4.52%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
单车带电量	KWh	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79
动力电池需求量	GWh	35.32	43.85	47.31	50.99	54.94
钠电池渗透率		0%	0.00%	5%	10%	20%
两轮车钠离子电池需求量	Gwh	-	-	2.37	5.10	10.99
动力电池市场						
	单位	2021	2022	2023E	2024E	2025E
国内电动车销量合计						
		352.10	688	850	1020	1200
其中乘用车						
		331	649	790.5	948.6	1116
A00纯电占比		30%	22%	18%	15%	12%
A00电动车销量	万辆	98.50	139.90	142.29	142.29	133.92
增速			42%	2%	0%	-6%
单车带电量	KWh	21	21	21	21	21
动力电池需求量	GWh	20.69	29.38	29.88	29.88	28.12
钠电池渗透率		0%	0%	3%	15%	30%
低速四轮车钠离子电池需求量	GWh	-	-	0.90	4.48	8.44
A0纯电占比		9%	10%	10%	10%	12%
A0电动车销量	万辆	29.4	91.2	79.05	94.86	133.92
增速			210%	-13%	20%	41%
单车带电量	KWh	40	40	40	40	40
动力电池需求量	GWh	11.76	36.48	31.62	37.94	53.57
钠电池渗透率		0%	0%	1%	8%	20%
低速四轮车钠离子电池需求量	GWh	-	-	0.32	3.04	10.71
A纯电占比		19%	21%	23%	25%	35%
A电动车销量	万辆	62.5	126.1	181.815	237.15	390.6
增速			102%	44%	30%	65%
单车带电量	KWh	50	50	50	50	50
动力电池需求量	GWh	31.25	63.05	90.91	118.58	195.30
钠电池渗透率		0%	0%	0%	5%	15%
低速四轮车钠离子电池需求量	GWh	-	-	-	5.93	29.30
动力电池市场合计						
		-	-	1.21	13.45	48.45
全球储能市场						
	单位	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
表前储能（发电侧+电网侧，GWh）						
	GWh	15.4	46.6	99.8	169.0	282.4
增速	YoY		203%	114%	69%	67%
钠电池渗透率			0%	1%	3%	8%
表前大储钠离子电池需求量	GWh		-	1.00	5.07	22.59
工商业配储（GWh）						
	GWh	2.4	7.9	19.8	36.1	68.0
增速	YoY		225%	151%	83%	88%
钠电池渗透率			0%	1%	3%	8%
工商业储能钠离子电池需求量	GWh		-	0.20	1.08	5.44
户用储能（GWh）						
	GWh	5.0	16.0	36.5	61.1	91.7
增速	YoY		217%	128%	68%	50%
钠电池渗透率			0%	3%	10%	20%
户储钠离子电池需求量	GWh		-	1.09	6.11	18.33
通信基站配储（GWh）						
	GWh	9.5	11.7	18.6	21.3	21.6
增速	YoY		23%	60%	14%	2%
钠电池渗透率			0%	3%	10%	20%
通信储能钠离子电池需求量	GWh		-	0.56	2.13	4.32
储能钠离子需求合计（GWh）	GWh	0	-	2.85	14.39	50.68
钠电池总需求合计						
	GWh	-	-	6.43	32.94	110.12

4

重点关注标的

正极—振华新材（化工团队联合覆盖）：先发优势+核心技术，有望成为层状氧化物龙头

- 公司在钠离子电池正极材料领域布局较早，已率先实现吨级产出并销售，具有先发优势。公司于2016年即开始接触钠离子电池正极材料相关产品的研发，配合客户完成小样测试等；2022年4月推出第一代层状氧化物钠电正极材料，迅速完成向行业内主流客户送样及吨级出货；2022年6月推出第二代层状氧化物钠电正极材料，降低了游离钠的同时提高了材料比容量。截至2022年9月末，公司钠离子电池正极材料累计已送样0.6804吨、销售5.35吨，率先实现吨级产出并销售。
- 大单晶技术体系推动研发进展，是客户认可的重要保障。公司通过大单晶技术体系生产的单晶钠离子电池正极材料，材料结构完整，加工性能良好，在循环过程中不会出现颗粒碎裂的情况，有效减少因颗粒碎裂而产生新的界面的情况。且应用到钠离子电池中，有利于稳定材料的晶体结构，改善钠离子电池的高温高电压循环性能，特别是高温稳定性。

表：公司掌握钠离子正极材料的多项核心技术

申请日	专利名称	专利类型	专利状态	申请号	简介
2022-07-18	一种单晶钠离子电池正极材料及其制备方法和应用	发明专利	实质审查	CN202210841843.9	本发明涉及一种单晶钠离子电池正极材料及其制备方法和应用。该单晶钠离子电池正极材料具有特定的化学组成，同时具有单晶形貌，具有良好的结构稳定性和完整性，在循环过程中不会出现颗粒碎裂的情况，提高了钠离子电池的循环性稳定性。
2022-07-18	一种单晶钠离子电池正极材料及其制备方法和电池	发明专利	实质审查	CN202210841494.0	本发明属于钠离子电池技术领域，具体涉及一种单晶钠离子电池正极材料及其制备方法和电池。单晶钠离子电池正极材料具有特定的化学组成，同时具有单晶形貌，具有良好的结构稳定性和完整性，在循环过程中不会出现颗粒碎裂的情况，提高了钠离子电池的循环性稳定性。
2022-04-29	一种钠离子电池正极材料及制法和应用	发明专利	实质审查	CN202210476057.3	本发明公开了一种钠离子电池正极材料及其制法和应用。本发明通过调控钠离子电池正极材料的结构从而降低正极材料的残碱含量，从而提升钠离子电池的放电容量。
2022-04-29	钠离子电池用含锌正极材料及其制法和应用	发明专利	实质审查	CN202210474624.1	本发明公开了一种钠离子电池正极材料及其制法和应用。本发明的钠离子正极材料残碱含量低，避免电池制浆过程中出现凝胶现象，而且由其制备的钠离子电池的容量及倍率处于比较高的水平。

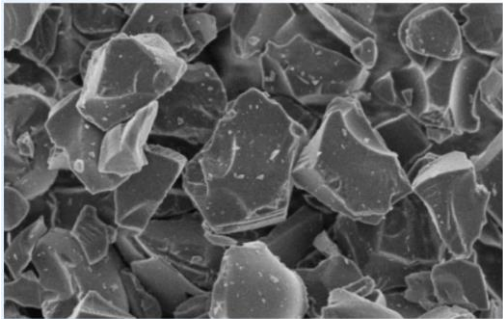
负极-贝特瑞：基础雄厚+性能稳定，客户基础广泛

- **深耕负极，基础雄厚。**贝特瑞拥有天然石墨矿到负极产品的完整产业链和对整个产业链的资源、供应和技术迭代能力，是负极材料的龙头企业，具有雄厚的负极材料研发基础。
- **产品性能稳定。**公司布局生物质基、沥青基硬碳路线，已开发出适用于ESS和三轮车等用钠离子电池硬碳产品-BSHC系列，产品两种型号的首次容量分别为 $260 \pm 5.0\text{mAh/g}$ 和 $295 \pm 5.0\text{mAh/g}$ ，首次效率均在 $\geq 88.0\%$ 的水平，产品性能稳定，具有高安全、耐低温、长寿命等特点。
- **产能规划提升，客户基础广泛。**贝特瑞拥有百吨级产能，钠电负极已通过国内部分客户认证，实现吨级以上订单，并持续供货，正在积极导入其他头部企业，同时提升产能规划，正在建设硬碳量产线。经过持续多年的市场开拓，公司建立了以松下、三星SDI、LGI、SK on、村田、宁德时代、比亚迪、力神、亿纬锂能等境内外主要锂离子电池厂商为主要客户群体的客户体系，为钠电业务打下广泛的客户基础。

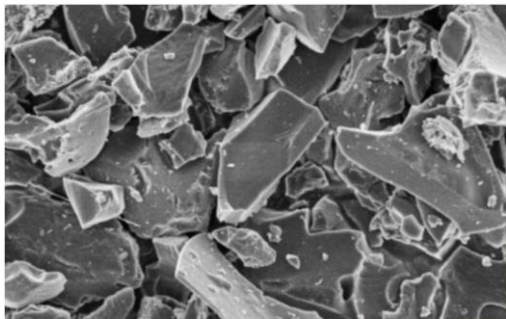
表：钠电硬碳产品两种型号理化指标对比

型号	BSHC-260	BSHC-300
颗粒分布D50 (μm)	6.0 ± 1.5	6.0 ± 1.5
比表面积 (m ² /g)	≤ 5.0	≤ 5.0
振实密度(g /cm ³)	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.1
首次容量 (mAh/g)	260 ± 5.0	295 ± 5.0
首次效率(%)	≥ 88.0	≥ 88.0

图：钠电硬碳产品电镜图



BSHC-260



BSHC-300

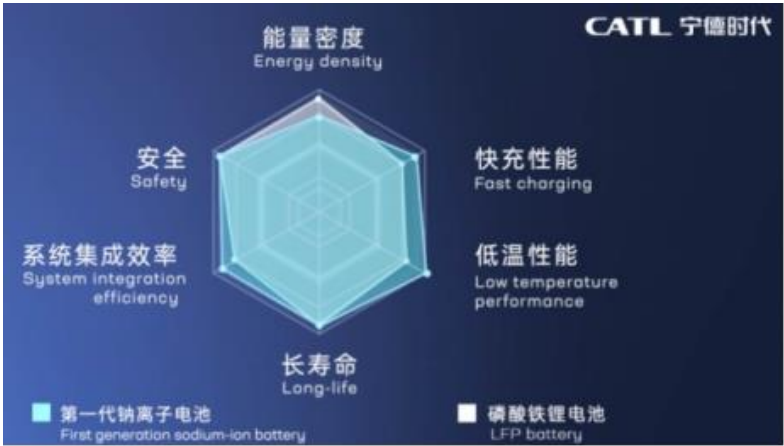
电池—宁德时代：行业巨头率先布局

- ❑ **作为动力电池巨头，钠电积淀深厚。**宁德时代是全球领先的锂离子电池研发制造公司,由于钠离子电池有着与锂离子电池相似的工作原理，主要通过钠离子在正负极之间的嵌入、脱出实现电荷转移，宁德时代多年来同时深耕钠离子化学体系材料的研发，分别在正负极材料方面，创新开发了普鲁士白材料和具有独特孔隙结构的硬碳材料，钠离子电池积淀深厚。
- ❑ **钠电专利成果丰硕。**宁德时代于2016年开始布局钠离子电池相关专利，涵盖钠离子电池正负极材料制备、电池极片制备、电池制备及相关设备等各项专利，丰硕的专利成果体现出宁德时代雄厚的研发基础。
- ❑ **一代钠电已出世，持续创新蓄力二代。**2021年7月29日，宁德时代在首次线上发布会上发布了第一代钠离子电池，宣告其钠离子产业化布局的开始。第一代钠离子电池电芯单体能量密度达到160Wh/kg；常温下充电15分钟，电量可达80%以上；在-20℃低温环境中，拥有90%以上的放电保持率；系统集成效率可达80%以上。宁德时代还在持续不断的创新中，公司预计第二代钠离子电池电芯单体能量密度将突破200Wh/kg。
- ❑ **公司预计2023年形成钠电基本产业链。**目前，宁德时代已启动钠离子电池产业化布局，公司预计2023年正式量产，推进2023年形成钠离子电池基本产业链。

表：宁德时代部分钠电相关专利

申请日	专利号	专利名称
2016-07-18	CN109565037A	钠离子电池极片，其制备方法及其含有该极片的钠离子电池
2017-06-13	CN109088068A	钠离子电池
2017-10-30	CN109728292A	钠离子电池用普鲁士蓝类正极材料及其制备方法及钠离子电池
2019-01-11	CN111435740B	正极活性材料、正极片及钠离子电池
2021-06-26	CN113437254A	钠离子电池的负极极片、电化学装置及电子设备

图：宁德时代第一代钠离子电池性能



资料来源：宁德时代官网、企知道——专利数据库、电源技术杂志公众号、天风证券研究所

电池—鹏辉能源：传统厂商重点发展钠电

- ❑ **集中研发资源，加强钠电合作。**鹏辉能源目前有多个团队在做钠离子电池的研发工作，包括层状氧化物、聚阴离子体系等正极路线。在负极方面，鹏辉能源对硬碳负极材料企业成都佰思格进行了投资，并持有成都佰思格8.33%股权，以保障钠离子电池负极关键材料供应。鹏辉能源还不断加强企业间合作，2022年6月同三峡电能就钠电池联合研发和储能示范项目达成初步合作意向，共同发展钠电产业。
- ❑ **拥有钠电相关专利，产品性能优异。**公司积极布局钠电相关专利，包括一种低缺陷晶体结构普鲁士蓝二次电池正极材料的制备方法（CN113860330A）、碳包覆钠离子电池正极材料及其制备方法（CN114613998A）、一种钠/钾离子电池用碳基负极及其制备方法（CN115020668A）等，依托专利技术储备，公司钠离子电池研发进展良好，电芯包括循环、低温和能量密度等性能测试的结果较理想，其中聚阴离子循环次数可以达到3000-4000次，能量密度达到100Wh/kg左右，公司钠电产品性能较为优异。
- ❑ **2023年有望实现大批量生产。**在产能方面，公司希望2023年上游材料能实现大批量生产，从而推动钠电池实现较大批量生产。

表：鹏辉能源部分钠电相关专利

申请日	专利号	专利名称	摘要
2021-08-19	CN113860330A	一种低缺陷晶体结构普鲁士蓝二次电池正极材料的制备方法	所制备的普鲁士蓝正极材料作为有机系钠离子电池的正极材料时表现出良好的循环性能和倍率性能，为低成本、高安全二次电池应用于大规模储能领域提供了光明的前景。
2022-03-16	CN114613998A	碳包覆钠离子电池正极材料Na ₄ Fe ₃ -xM _x (PO ₄) ₂ P ₂ O ₇ /C及其制备方法	属于钠离子电池正极材料技术领域，本发明所述正极材料具有高使用电压，高比容量，良好的循环稳定性，而且制备方法简单，制备成本低，易于规模化生产，有望在大规模储能设备中进行使用。
2022-06-27	CN115020668A	一种钠/钾离子电池用碳基负极及其制备方法	本发明提供了一种钠/钾离子电池用碳基负极及其制备方法，可实现复合物在钠/钾离子电池中离子迁移路径的降低，从而有利于钠/钾离子在该电极材料进行稳定可逆的脱嵌，从而提升了该类碳基材料的比容量和倍率特性。

5

风险提示

风险提示

1、产能释放和成本下降不及预期：

钠电池尚处产业化初期，产能大多处于释放初期，导致材料端尚未量产，面临成本较高的现状，钠电池的成本优势需要建立在规模化量产降本的基础之上，若产能释放和成本下降不及预期，将影响整体产业化发展。

2、钠电池应用进展不及预期：

受宏观经济、产业政策等影响，钠电池应用进展或不及预期，或导致下游客户需求不及预期，可能影响钠电池产业发展。

3、锂盐价格回落超预期：

高企的锂盐价格是钠电池行业得以快速崛起的重要背景之一。近期锂盐价格有所回落，若价格回落超预期，钠电池将失去成本优势，钠电池发展将受影响。

4、文中测算具有一定主观性：

销量、渗透率等预测数据具有一定的主观性，受未来边际变化影响或与实际值产生一定偏差。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司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。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

THANKS