

证券研究报告
电力设备
2022年12月28日



钠离子电池负极行业深度报告：钠离子电池发展迅速， 负极材料产业化进程加快

评级：推荐(维持)

国海证券研究所

李航(证券分析师)

S0350521120006

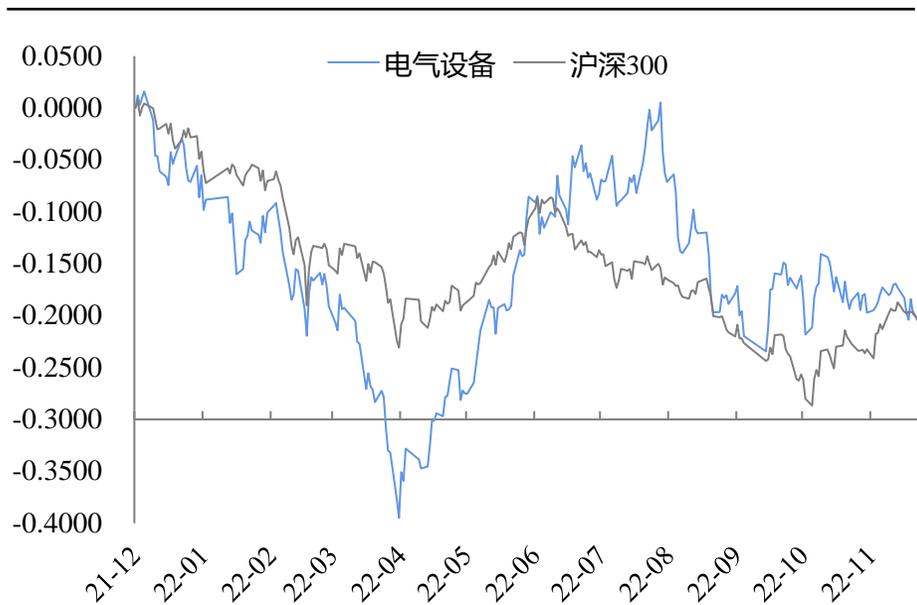
lih11@ghzq.com.cn

邱迪(证券分析师)

S0350522010002

qiud@ghzq.com.cn

最近一年走势



沪深300表现

表现	1M	3M	12M
电力设备	-9.2%	-11.0%	-24.4%
沪深300	1.4%	-0.7%	-22.2%

相关报告

《——钠离子电池行业深度研究：钠电池产业化加速，有望补充锂电产业链（推荐）*电气设备*李航》——2022-06-13

《——海上风电行业深度研究：海风观察系列报告之三：招标持续落地，上调2025年海上风电装机预期（推荐）*电气设备*邱迪，李航》——2022-06-04

《——海底电缆行业深度报告：海风观察系列报告之二：海缆市场空间上行，龙头地位依然稳固（推荐）*电气设备*邱迪，李航》——2022-04-06

《——新能源汽车行业深度研究：产业技术前瞻系列之一：大圆柱路径确定，关注产业链相关机会（推荐）*电气设备*李航，邱迪》——2022-03-30

《——电气设备行业深度研究：储能报告系列之二：我国电化学储能收益机制及经济性测算（推荐）*电气设备*李航，邱迪》——2022-02-23

重点公司代码	股票名称	2022/12/27	EPS			PE			投资评级
		股价	2021	2022E	2023E	2021	2022E	2023E	
300890.SZ	翔丰华	42.63	1.00	2.49	3.75	61.93	17.12	11.37	未评级
835185.BJ	贝特瑞	42.85	2.97	3.02	4.16	49.86	14.19	10.30	未评级
603659.SH	璞泰来	55.20	2.53	2.08	3.16	63.77	26.54	17.47	买入
600884.SH	杉杉股份	17.88	1.56	1.40	1.77	16.06	12.77	10.10	未评级
300035.SZ	中科电气	20.88	0.57	0.95	1.61	53.17	21.98	12.97	未评级
600348.SH	华阳股份	15.08	1.47	2.68	2.85	8.06	5.63	5.29	未评级
300174.SZ	元力股份	21.28	0.49	0.62	0.76	34.81	34.32	28.00	未评级
605589.SH	圣泉集团	22.52	0.89	0.89	1.24	43.16	25.30	18.16	未评级

资料来源：Wind资讯，国海证券研究所

注：未评级公司盈利预测来自Wind一致预期

- **钠电产业化在即，负极材料成为行业发展关键。**目前储能行业高景气需求激增，但是锂资源开发较慢、储量不足导致其价格上升，在未来锂资源供需紧平衡的情况下，钠电池产业化进程有望迎来加速发展。而钠离子电池的正负极材料决定其电池性能，其中负极材料国内企业布局较少，同时相对价格更高，例如国内无定形碳材料的成本约为8-20万元/吨，行业壁垒较高。目前钠电负极材料主要以碳基材料(软碳/硬碳等)、合金类材料、过渡金属化合物和有机化合物为主，其中无定形碳工艺较为成熟。目前无定形碳负极市场主要以硬碳为主，软碳产品产业布局较少，主要以中科海纳为主。

- **硬碳负极行业：生物质+树脂前驱体应用较多，生产工艺壁垒较高。**
 - ✓ **前驱体：**硬碳产品前驱体主要以热固性前驱体（富氧或是缺氢）为主，例如聚偏二氯乙烯、木材、纤维素、羊毛、酚醛树脂、棉花、糖类或环氧树脂等，在热解过程中发生固相炭化，容易形成硬碳，目前主要以生物质+树脂的前驱体为主。软碳产品前驱体以热塑性前驱体（富氢或者缺氧）为主，例如聚氯乙烯、聚苯胺、石油化工原料及其下游产品（煤碳、沥青和石油焦等）。
 - ✓ **生产工艺：**以生物质硬碳产品为例，一步碳化法应用最广。目前生物质硬碳制备工艺主要为一步碳化法、活化法、水热法、模板法为主。其中一步碳化法应用最广，但一步碳化法制备的生物碳材料在大电流循环过程中不稳定，倍率性能较差；而活化法制备多级孔径的硬碳材料具有更多的接触位点，有利于钠离子的脱嵌，循环稳定性以及电化学性能更优。
 - ✓ **改性方式：**硬碳作为钠离子电池负极材料时也有着一些缺点，比如低的电极电位和首圈库伦效率及差的循环稳定性和倍率。目前主要改性方式包括（1）通过调控前驱体的合成以及热解过程在微观上调控硬碳的孔隙结构和层间距；（2）与其他材料的包覆和复合、杂原子掺杂等来调控材料的缺陷程度和层间距；（3）电解液的调控以及预钠化的处理。软碳材料改性工艺与硬碳类似，需要通过预氧化、材料复合等方式提升其电化学性能。
 - ✓ **市场空间：**钠电产业进程加快催化负极材料行业发展，根据我们测算，2022年全球碳基负极需求量为1万吨，2025年需求量为10万吨。

□ 钠电负极产业化进程：传统锂电负极公司入局，产业新兴公司具有发展潜力

- ✓ 传统锂电负极公司纷纷布局硬碳材料，但多数产品仍处于试验阶段。从公开信息以及公司公告看，传统锂电负极公司如杉杉股份、贝特瑞、翔丰华等公司均有硬碳材料负极的技术布局，其中杉杉股份的进展相对较快，其钠电负极材料已经实现批量销售。
- ✓ 非上市公司如成都佰思格、珈钠能源等，已开发迭代多款负极产品，佰思格计划把产能扩大到1万吨左右，到2025年会进一步把产能扩大到5万吨，产业化布局较为积极。
- ✓ 主营业务协同：元力股份借助活性炭工艺经验有望进入负极行业；华阳股份与中科海纳绑定，通过无烟煤实现软碳生产；圣泉股份酚醛树脂产能行业领先，成本优势显著。

□ **行业评级：钠离子电池负极材料行业处于快速发展渗透期，行业空间快速成长，维持钠离子电池负极行业“推荐”评级。**

□ **重点关注**

- ✓ 传统锂电负极材料切入钠电负极：贝特瑞、翔丰华、璞泰来、杉杉股份、中科电气；
- ✓ 主业具有资源和技术优势：元力股份、华阳股份、圣泉集团。

□ **风险提示：产能释放不及预期；新技术研发失败风险；钠电池渗透不及预期；原材料价格持续上涨；行业价格竞争加剧；重点关注公司业绩不及预期。**

一、钠离子电池负极概况：钠电产业化在即，硬碳负极成为行业发展关键

钠离子电池：核心资源可控，2023年为其产业化元年

- 全球锂资源短缺，钠离子电池应运而生。**目前新能源转型策略是全世界的发展共识，新能源过去几年的高景气发展催生了较多的电池需求。目前电化学电池主要以锂电池为主，但是锂资源开发较慢、储量不足导致其价格上升，在未来锂资源供需紧平衡的情况下，钠电池产业化进程加速。钠在地壳中的储量丰富，约占2.36%，资源含量比锂高1000多倍，开采更加容易，核心资源更加可控。但是钠电池相比锂电池能量密度更低，循环次数较低，因此其主要应用于储能及电动两轮车领域。
- 行业龙头积极推动钠电产业发展，2023年为钠电产业化元年。**2021年宁德时代将钠离子电池视为其未来发展的重大战略，首代钠离子电池将选取普鲁士白材料作为重点，其电芯单体能量密度高达160Wh·kg⁻¹，并宣布将于2023年形成钠离子电池产业链。同时多家企业例如中科海钠、浙江钠创等公司对钠离子电池发展也都极为重视，仅原材料上，中科海钠就能把电池成本降低约30%。根据传艺科技公告，其钠离子电池项目一期产能拟于2022年年底前完成厂房及中试线的建设施工和产品中试，并于2023年初完成产能投产，整体看钠电的产业化进程较快。

表：钠离子电池与其他电池性能对比

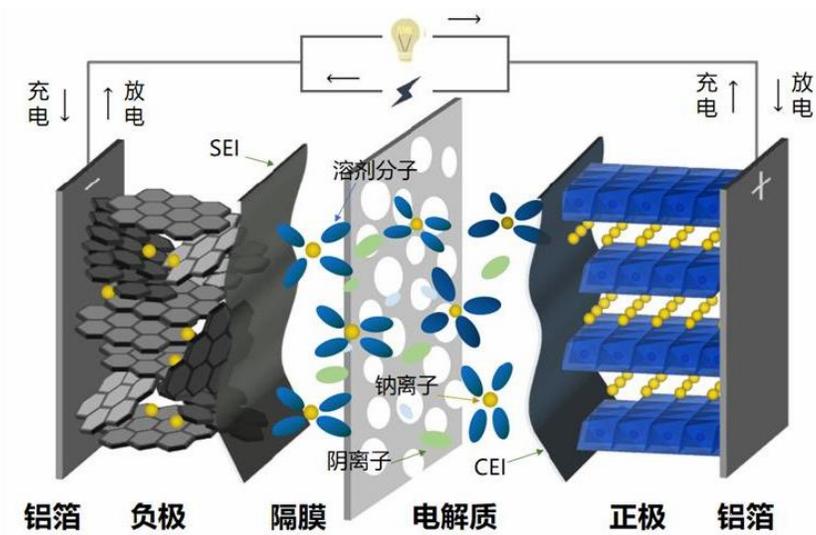
	钠离子电池	磷酸铁锂电池	三元锂电池	铅酸电池
单位能量原料成本 (元/wh)	0.35-0.7	0.3-0.5	0.5-0.7	0.4
单体电池成本 (元/wh)	0.5-0.7	0.4	0.7	0.3
循环次数 (次)	1200-2000	3000-6000	1000-2000	300-500
单体质量能量密度 (wh/kg)	80-150	150-190	180-280	30-50
低温性能 (零下20度容量保持度)	低于80%	低于70%	大于70%	低于60%
安全性	良	良	一般	优
环保性	优	优	优	差

资料来源：中国储能网，《钠离子电池锰酸钠正极材料研究进展与发展趋势》，国海证券研究所

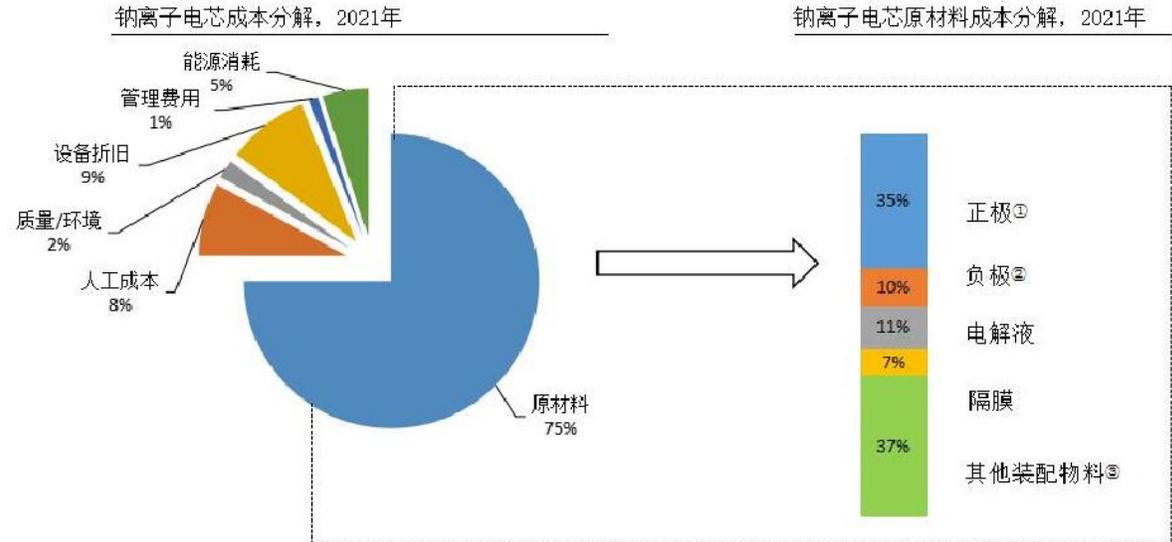
正负极材料决定钠离子电池关键性能，成本占比较高

钠离子电池正负极材料决定其主要性能，价值量较高。钠离子电池主要由两种不同的钠嵌入型材料（正极材料、负极材料）、电解液、隔膜等关键部件组成。充电时，钠离子从正极材料中脱出，经过电解液，隔膜，最后嵌入到负极材料；与此同时，电子经外电路从负极流向正极。放电过程则与充电过程相反。可以看出钠离子电池的工作原理和锂离子电池基本类似，也是一类“摇椅式电池”。钠离子电池正、负极材料体系在电池产品中起决定性因素，电解液/隔膜主要与正、负极材料体系进行选择匹配使用，因此，正、负极材料体系也直接决定了电池最终的性能指标。根据《高功率高安全钠离子电池研究及失效分析》，以NaCR26650P圆柱钠离子电池为例，材料和制造成本各约占75%和24%，管理费用等约1%。而在原材料成本中：正极成本占其35%，负极成本约占10%，电解液和隔膜成本分别约占11%和7%，其他装配物料成本约占37%。制造成本中人工成本、设备折旧、能源消耗以及质量/环境成本又分别约占总成本的比例的8%、9%、5%、2%。**整体看，钠离子电池正负极材料成本约占电芯成本一半左右，价值量较高，行业壁垒相对更高。**

图：钠离子电池结构图



图：钠离子电池成本构成

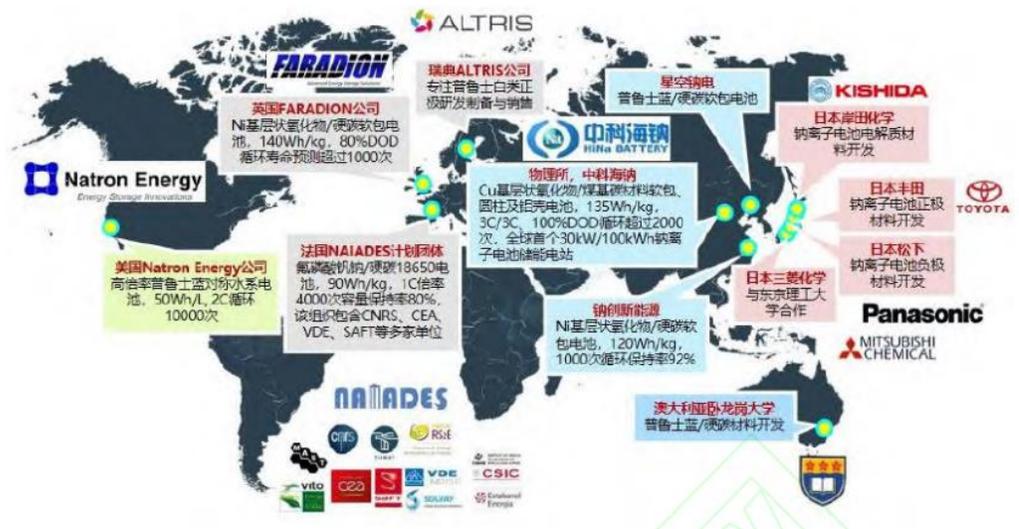


资料来源：《高功率高安全钠离子电池研究及失效分析》

钠电负极目前以硬碳为主，行业壁垒相对更高

从产业化进程看，钠离子电池负极材料国内布局较少，行业壁垒相对更高。目前钠离子电池的正极材料主要为层状氧化物、聚阴离子化合物和普鲁士蓝类似物，层状氧化物工业化生产技术可以直接沿用锂离子电池的生产工艺，因此其产业化程度更高，传统锂电正极材料企业可以快速布局。而负极材料主要以碳基材料(软碳/硬碳等)、合金类材料、过渡金属化合物和有机化合物为主，由于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优势，所以其产业化进展较快。目前日本可乐丽为硬碳的主要生产厂商，国内公司如宁德时代、中科海钠、璞泰来、翔丰华等公司研发布局硬碳材料，但是产业化进程相比正极材料较慢。同时硬碳单位成本更高，目前国内无定形碳材料的成本约为8-20万元/吨，相对正极材料而言，其盈利能力相对更好。其余原材料(如隔膜、铝箔、极耳、粘结剂、导电剂、溶剂及外壳组件等)可直接借用锂离子电池业已成熟的商业化产品，相对行业壁垒较低。

图：钠离子电池产业化布局



表：钠离子电池组成材料产业化进展

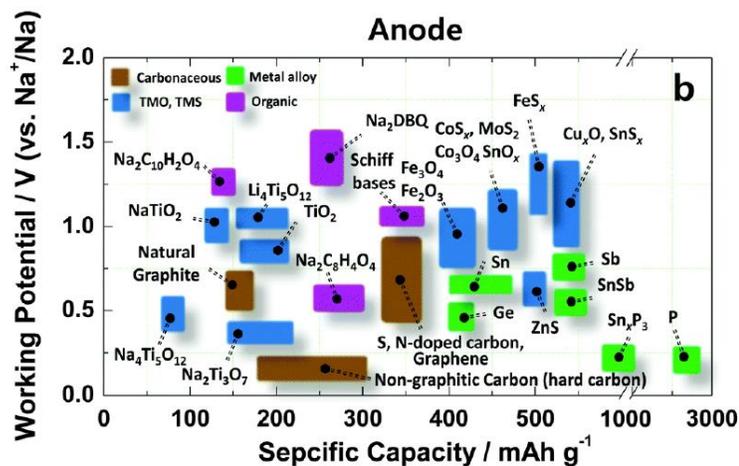
材料组成	产业化进展
正极材料	主要为层状氧化物、聚阴离子化合物和普鲁士蓝类似物，工业化生产技术可以直接沿用锂离子电池的生产工艺，国内多家企业布局正极材料
负极材料	具备产业化条件的钠离子电池负极材料一般采用硬碳、软碳以及复合碳等无定形碳材料。目前国内市场上大多数无定形碳材料的成本约为8-20万元/吨，国内布局企业较少
电解液	钠离子电池电解质盐也采用NaPF6，溶剂为链状碳酸酯和环状碳酸酯共用
隔膜	目前常用的隔膜主要分为干法隔膜和湿法隔膜两类，主要包括PP、PE、PP/PE以及PP/PE/PP隔膜、陶瓷隔膜、涂胶隔膜等
集流体	负极也可采用铝箔作为集流体，目前市场上电池级铜箔成本(80-100元/kg)约为电池级铝箔成本(22-30元/kg)的3倍。同时钠离子电池负极可采用铝极耳，相比铜箔集流体所对应的铜镀镍极耳或镍极耳，成本有一定的降低

资料来源：《钠离子电池产业化进展》，国海证券研究所

钠电负极目前以硬碳为主，行业壁垒相对更高

- 钠离子电池负极材料应当尽量满足工作电压低、比容量高、结构稳定(体积形变小)、首周库仑效率高、压实密度高、电子和离子电导率高、空气稳定、成本低廉和安全无毒等特点。目前钠离子电池负极材料主要包括碳基、钛基、有机类和合金类负极材料等。目前常见的碳基材料包括石墨、石墨烯、硬碳、软碳等。由于钠离子的半径为0.102 nm，远大于锂离子的半径(0.069 nm)，致使钠离子在石墨层间的脱嵌过程极易破坏石墨的结构，因此石墨较难作为钠电负极的材料。
- 无定形碳负极材料因资源丰富、结构多样、综合性能优异，被认为是最有应用前景的钠离子电池负极材料。**硬碳也称为不可石墨化碳，因其高比容量和易合成而得到了广泛的关注，得益于硬碳较大的层间距离和晶格缺陷，其在钠离子电池中表现出较高的可逆容量，然而，用于生产硬碳的前驱体如生物质、树脂、有机聚合物等，通常表现出较低的碳收率和较差的倍率性能，不利于发挥钠离子电池的低成本优势。软碳由于其可在2800℃高温以上石墨化，也可称为石墨化碳，多由沥青、焦炭等制得。和硬碳相比，软碳的结晶度相对较高，缺陷较少，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。

图：钠离子电池负极材料研究进展



表：钠离子电池负极材料优缺点对比

材料分类	优点	缺点
碳基材料	研发技术成熟	比容量低、倍率性能差
钛基化合物	结构性能好、倍率性能好	比容量低
合金材料、金属化合物	理论比容量高	循环性能差

钠电负极目前以硬碳为主，行业壁垒相对更高

- **硬碳相比软碳结构无序度和碳层间距相对更大，其微观结构的特点导致硬碳储钠能力相对更佳；通常温度、预氧化、掺杂等方式都可以改变无定形碳材料的微观结构。**
- ✓ **温度：**随着热解温度的提升，含碳前驱体的热解过程可分为热解、炭化和石墨化三个阶段。碳材料最终结构的形成是前驱体的种类和最高处理温度共同决定的。热解过程中（1000℃以下），软碳前驱体会发生由固相到液相的转变；硬碳前驱体分子结构发生重排，但依旧为固相。炭化（1000℃-2000℃）过程中，软碳前驱体在炭化过程中便已出现明显的石墨化趋势；硬碳前驱体的石墨烯层在相对较大的尺度上，其取向随机度是很大的，会导致大小和形态各异的孔洞产生；石墨化（2000℃以上）过程中，软碳前驱体石墨层继续长大，有序堆叠形成石墨结构，孔隙消失，真密度逐渐增大并趋于稳定（2-2.25 g/cm³）；硬碳前驱体石墨微晶进一步长大，局域石墨化度提高，闭孔大量形成。
- ✓ **预氧化：**在空气/氧气中对样品进行低温加热处理，实现沥青基碳结构从有序到无序的转变，主要针对软碳使用。
- ✓ **掺杂：**为了优化调整钠离子电池碳负极材料的性能，杂原子掺杂碳（软碳、硬碳）被大量研究，掺杂元素主要包括氮、硼、硫、磷。对于碳材料，在低温下，杂原子掺杂能够改善其储钠性能，但在高温下，杂原子会逸出，减弱掺杂的效果。

表：钠离子电池无定形碳材料对比

	硬碳	软碳
定义	经过高温处理（2800℃以上）也难以完全石墨化的碳，在高温下其无序结构难以消除，亦称难石墨化碳	经过高温处理（2800℃以上）可以石墨化的碳材料，无序结构很容易被消除，亦称易石墨化碳
微观结构	结构无序度和碳层间距相对更大，内部存在微孔结构	结构无序度和碳层间距相对更小，表面较为粗糙，结晶度降低，内部存在无序结构，可能有少量微孔存在
充放电曲线	常见硬碳材料的充放电曲线均由斜坡区和平台区组成，炭化温度不同，斜坡区和平台区所占的比例有所不同	其充放电曲线呈斜坡状，但储钠容量较低

钛基负极材料成本较低，但比容量、倍率性能较差

- 钛是岩石形成的元素之一，广泛分布在地壳中。而钛的化合物，TiO₂和Na₂Ti₃O₇具有结构稳定、对环境无毒和价格低廉等优点，被认为是很有前途的储能材料。TiO₂晶体是由共边的TiO₆八面体构成，内部含有的开放通道既能增强离子的导电性，又能提供钠离子存储所需的间隙位置。钠离子嵌入TiO₂空隙中的过程是基于Ti⁴⁺/Ti³⁺的氧化还原反应发生的，在放电时，Ti⁴⁺被还原成Ti³⁺，而钠离子则嵌入到含有之字形通道的TiO₆八面体活性中心，与氧形成新的Na-O键，这个过程伴随由TiO₂相转变为Na_xTiO₂相的发生。
- 钛基材料具有层状的稳定结构，通常以插层的方式进行钠离子的存储，在充放电过程中具有高安全性。但其有限的插层容量和低的电导率降低了其比容量和倍率性能。**为了提高钛基材料的电化学性能，目前研究主要围绕三个方面展开。第一个方面是将材料尺寸纳米化，尺寸的减小可以有效的缩短电子和离子的扩散路径并在插层过程中减缓体积膨胀。第二个方面是材料设计成多孔状，这可以扩大电极与电解液的接触面积。第三个方面是将锐钛矿型TiO₂与导电物质复合，可以提高整个电极的导电性和结构稳定性。

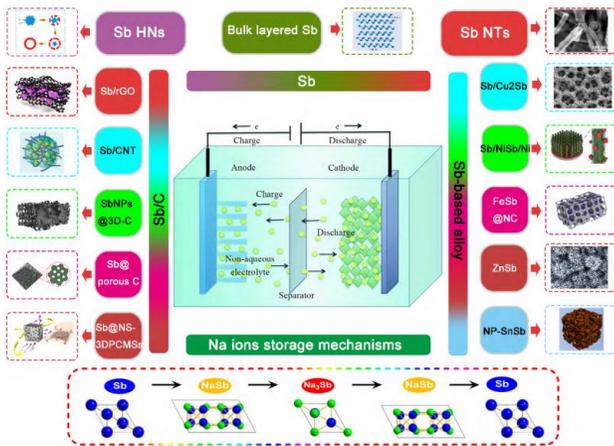
表：不同正极钛基负极材料性能对比

正极材料	电压 (V)	可逆容量 (mAh/g)	首次库伦效率 (%)	循环后容量 (mAh/g)	倍率性能 (mAh/g)
TiO ₂ @C NTAs	0.0-3.0	-	50.3 at 0.2 A/g	232 after cycling 500 at 0.2 A/g	135, 90 at 1.6, 3.2 A/g
TiO ₂ /CFC	0.01-3.0	155 at 5 A/g	67.5 at 1 A/g	148.7 after cycling 2000 at 1 A/g	148, 137 at 10, 20 A/g
TiO ₂ /C-HSs	0.01-2.5	150.5 at 0.1 A/g	25.7 at 100 mA/g	140.4 after cycling 100 at 0.1 A/g	151, 98 at 0.1, 0.5 A/g
H-C@TiO ₂ @C	0.01-3.0	335.4 at 50 mA/g	58.2 at 200 mA/g	173.3 after cycling 1500 at 2000 mA/g	286.3, 253.6 at 200, 500 mA/g
TiO ₂ /CNC600	0-3	250 at 0.1 A/g	51 at 0.1 A/g	-	153, 115 at 1, 3 A/g
NF-TiO ₂ /C	0.01-2.5	-	73.3 at 0.5 C	144 after cycling 10000 at 10 C	183.7, 168 at 10, 30 C

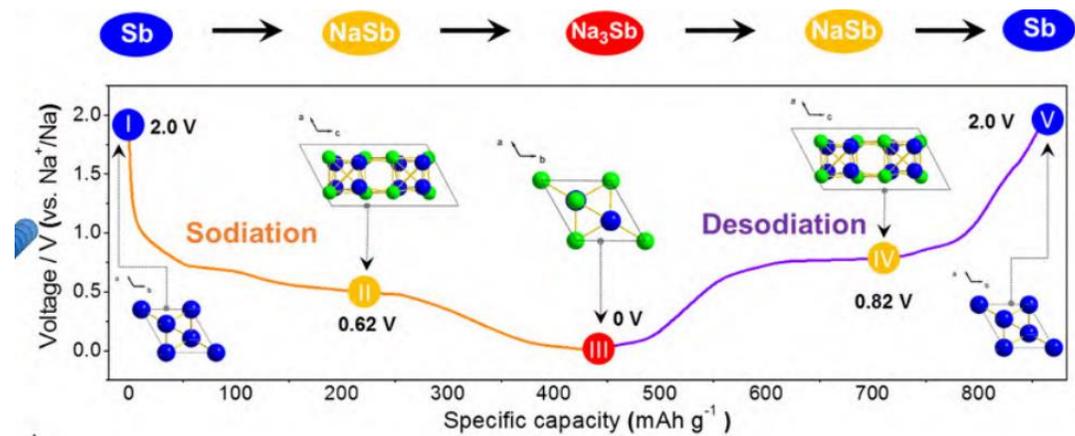
有机负极材料成本较低，合金负极材料比容量较高

- 有机负极材料成本低无污染，但是易溶于有机电解液，循环稳定性较差。**与无机负极材料相比，有机负极材料的特点是成本低廉且结构多样，主要分为羰基化合物、席夫碱化合物、有机自由基化合物和有机硫化物四类。羰基化合物中的共轭羰基化合物来源丰富、结构多样和比容量高。其中，对苯二甲酸二钠($\text{Na}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4$)是钠离子电池有机负极材料。其在0.1 C倍率和0.1~2 V的压范围内表现出250 mA h/g的可逆比容量和0.25 V储钠电位。对醌类化合物也是一种具有电化学活性的有机羰基化合物，该材料在0.1 C电流密度下的首周可逆比容量为265 mA h/g，首周库仑效率为91.9%，平均储钠电位高于1 V，有效避免了低电位下SEI膜的生成。然而，这种材料由于电子电导率较低和易溶于有机电解液中，致使循环稳定性较差，尚需优化改进。
- 合金类钠电负极材料比容量高，但是循环性能较差，比容量易快速衰减。**合金类材料由于其储钠比容量较高、反应电极电势相对低的特点受到了广泛的关注，然而其反应动力学较差，且脱嵌钠前后体积变化巨大，导致材料分化和集流体失去点接触，比容量快速衰减。目前可以与金属钠形成合金的负极材料有In、Si、Sn、Pb、P、As、Sb和Bi，研究较多的合金类负极材料主要有Sn、Sb和P。目前主要采用结构调控、元素掺杂和材料复合的方式改善其积膨胀，维持结构的稳定性，提高导电性和循环寿命。

图：Sb基负极材料的储钠机理和提高其电化学性能的有效策略



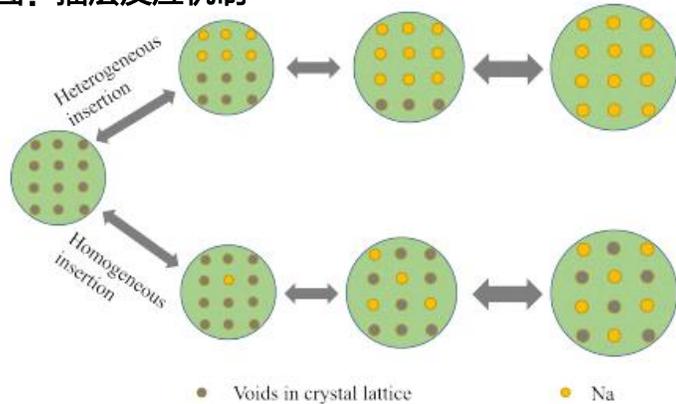
图：Sb材料的电化学反应机理示意图



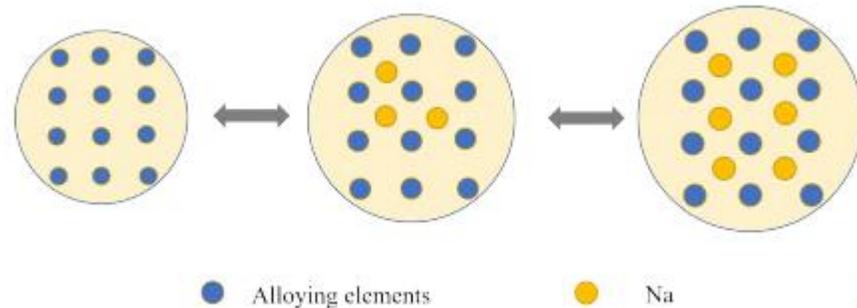
钠电负极不同材料对应不同的储钠方式

- 钠离子电池负极材料储钠机制：**了解负极材料的储钠机制可以有助于新型电极材料的设计和开发，目前储钠机制主要分为三种：插层反应机制、合金化反应机制、转化反应机制。
- 插层反应机制：**插层反应机制是指在不影响材料的键距、晶相和晶面间距等晶体参数的情况下，将钠离子嵌入材料的层间距或者晶格之中形成稳定的层间化合物。通过插层机制储钠的材料通常具有层状结构，**主要包括碳基材料和钛基材料**，这可能是由于层与层之间有更多可供离子存储的位置，可以更容易地插入和提取钠离子。但由于材料的活性中心数量有限，通过插层反应机制进行储钠的材料通常具有相对较低的容量。
- 合金化反应机制：**在合金化过程中，电极材料会与钠结合形成二元合金，在到达最终相之前，中间相合金会发生相变，其相变的过程会受到材料的结构状态和钠化速度的影响。而最终的合金化产品决定了材料的理论容量和合金化反应体积。基于合金化机制的负极材料会由于发生多电子转移而拥有较高的理论容量，但是在每个合金化循环中，由于体积的巨大变化，新暴露的电极材料会加剧电解液的连续还原，从而对整体库仑效率造成不利影响。
- 转换反应机制：**利用过渡金属的多种氧化态来提高充放电过程中电极材料的比容量。**大多数过渡金属氧化物、硫化物、硒化物和磷化物是典型的基于转化反应的负极材料**。然而，在转换过程中，电极材料的结构会由于化学键的形成或断裂而崩溃，使SEI膜和电极在循环时出现机械不稳定性，从而导致容量衰减。同时，钠的转化反应还存在电压滞后、反应动力学缓慢、电解液分解等问题，这些都是亟须解决的难题。

图：插层反应机制



图：合金化反应机制



二、硬碳负极产业：生物质+树脂前驱体应用较多，生产工艺壁垒较高

前驱体决定无定形碳的性质

- **无定形碳通常由有机前驱体在 500–1500℃ 温度下热解产生。热解后的最终产物是硬碳还是软碳，主要取决于前驱体的性质。**热固性前驱体（富氧或是缺氢），例如聚偏二氯乙烯、木材、纤维素、羊毛、酚醛树脂、棉花、糖类或环氧树脂等，在热解过程中发生固相炭化，容易形成硬碳。热塑性前驱体（富氢或者缺氧），例如聚氯乙烯、聚苯胺、石油化工原料及其下游产品（煤碳、沥青和石油焦等），在热解过程中发生熔融炭化，有机高分子发生重排，容易形成软碳。
- ✓ **软碳前驱体：**主要包括石油焦、石墨化中间相碳微球、沥青以及无烟煤等。
- ✓ **硬碳前驱体：**主要包括生物质、碳水化合物、和树脂等。生物质前驱体主要是指植物的根茎叶等（例如：香蕉皮、泥煤苔、花生壳、树叶、苹果皮、柚子皮、杨木和棉花等）。碳水化合物前驱体主要包括葡萄糖、蔗糖、淀粉、纤维素和木质素等通过生物质提取而来的化工产品。树脂前驱体主要包括酚醛树脂、聚苯胺和聚丙烯腈等。

表：不同碳源前驱体的无定形碳性能对比

碳负极材料（不同碳源）	首周可逆容量 (mAh/g)	首周库仑效率 (%)	循环性能
蔗糖	314	83.2	0.1C循环100周后容量保持率93%
棉花	315	83	0.1C循环100周后容量保持率97%
夏威夷果壳	314	91.4	1C循环1300圈容量保持率70%(全电池)
杨木	330	88.3	0.1C循环100周容量保持率97%
无烟煤	222	81	0.2C循环600周容量保持率89%
沥青+木质素(1:1)	254	82	0.1C循环150周容量保持率89%
沥青(预氧化)	300.6	88.6	0.1C循环200周容量保持率93.1%
沥青(Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O改性)	277.8	80.2	0.1C循环200周容量保持率98%
沥青(低温合成)	263	80	1.5C循环500周容量保持率70%
木炭	400	80	0.1C循环50周容量保持率91.5%
酚醛树脂	410	84	0.1C循环40周容量保持率93%

硬碳前驱体以生物质+树脂为主，一步碳化法工艺应用最广

- 由于其他材料合成条件较为复杂，制备成本较大，在大规模储能钠离子电池应用前景比较低，目前制备硬碳材料所用的前驱体主要有生物质和树脂两大类。**生物质热解硬碳材料由于前驱体是自然界分布广泛的生物质，具有环境友好、价格低廉、资源丰富等特点。树脂由于具有耐热性、耐燃性、耐水性和绝缘性优良，耐酸性较好，机械和电气性能良好等一系列优点而被广泛用于电气设备，作为一种人工合成材料已经在工业上实现大规模的生产，因此其也被作为制备硬碳材料的优质前驱体材料。但是生物质类前驱体虽然具有较低的价格，但是其产碳率很低，一般只有小于20%的产碳率；而树脂类前驱体是通过人工合成的方法所获得，因此其成本相对较高。目前产业内以生物质工艺路线为主，行业龙头日本可乐丽主要以椰子壳作为前驱体制备硬碳材料。
- 生物质硬碳制备工艺：一步碳化法应用最广，活化法最具前景。**目前生物质硬碳制备工艺主要为一步碳化法、活化法、水热法、模板法为主。其中一步碳化法应用最广，但一步碳化法制备的生物碳材料在大电流循环过程中不稳定，倍率性能较差；而活化法制备多级孔径的硬碳材料具有更多的接触位点，有利于钠离子的脱嵌，循环稳定性以及电化学性能更优，未来最有前景。

表：生物质硬碳制备工艺对比

制备工艺	定义	特点
一步碳化法	将生物质材料作为前驱体，通常采用热化学法将生物质碳在高温缺氧条件下进行热分解制备硬碳材料	在硬碳材料的制备中应用最广，但一步碳化法制备的生物碳材料在大电流循环过程中不稳定，倍率性能较差
活化法	将生物质前驱体与化学试剂以一定比例混合，在高温下反应从而得到含多孔结构和元素掺杂的生物质衍生碳材料	活化法可以制备多孔材料，含有多级孔径的硬碳材料具有更多的接触位点，有利于钠离子的脱嵌，并且控制活化条件可以调控石墨层的排列方式以改变钠离子的扩散方式，这种方法较水热法易实现在大电流下的循环稳定性，是目前最具有前景的制备方法
水热法	在密封压力容器中将溶剂和生物质前驱体混合，高温反应来制备材料的方法。水热法可以把生物质碳材料表面的不稳定有机物除去并留下孔隙，还可以引入大量的官能团。同时，在水热反应中引入石墨烯还能够提高材料的电导率	通过对生物质材料前期的水热处理，可去除其表面的不稳定有机物而留下孔隙，增大生物质材料的比表面积，同时在水热过程中也提升了其石墨化程度，提高了钠离子在石墨中插层的比例，制备的材料较一步碳化法具有更优良的倍率性能和较大的比容量，但循环稳定性较差
模板法	制备生物质衍生硬碳材料具有碳材料结构稳定、孔隙率高、形状易控制等优点，分为硬模板法和软模板法	作为一种特殊的合成方法可以制备具有较大比表面积的硬碳材料，但这种方法制备工艺复杂，生产成本较高，不适合大规模投入工业生产

改性工艺提升碳基负极材料性能加快产业化应用

硬碳作为钠离子电池负极材料时也有着一些缺点，比如低的电极电位和首圈库伦效率及差的循环稳定性和倍率。这些因素严重阻碍着硬碳基负极材料的产业化应用。虽然对硬碳材料的储能机理还有待进一步的确认，但是关于硬碳储钠性能的提升策略却存在一些共通之处。基于对硬碳储钠机理的认识，硬碳材料储钠性能（倍率，比容量，首圈库伦效率ICE）提升的策略主要集中在以下几个方面：（1）通过调控前驱体的合成以及热解过程在微观上调控硬碳的孔隙结构和层间距；（2）与其他材料的包覆和复合、杂原子掺杂等来调控材料的缺陷程度和层间距；（3）电解液的调控以及预钠化的处理。软碳材料改性工艺与硬碳类似，需要通过预氧化、材料复合等方式提升其电化学性能。

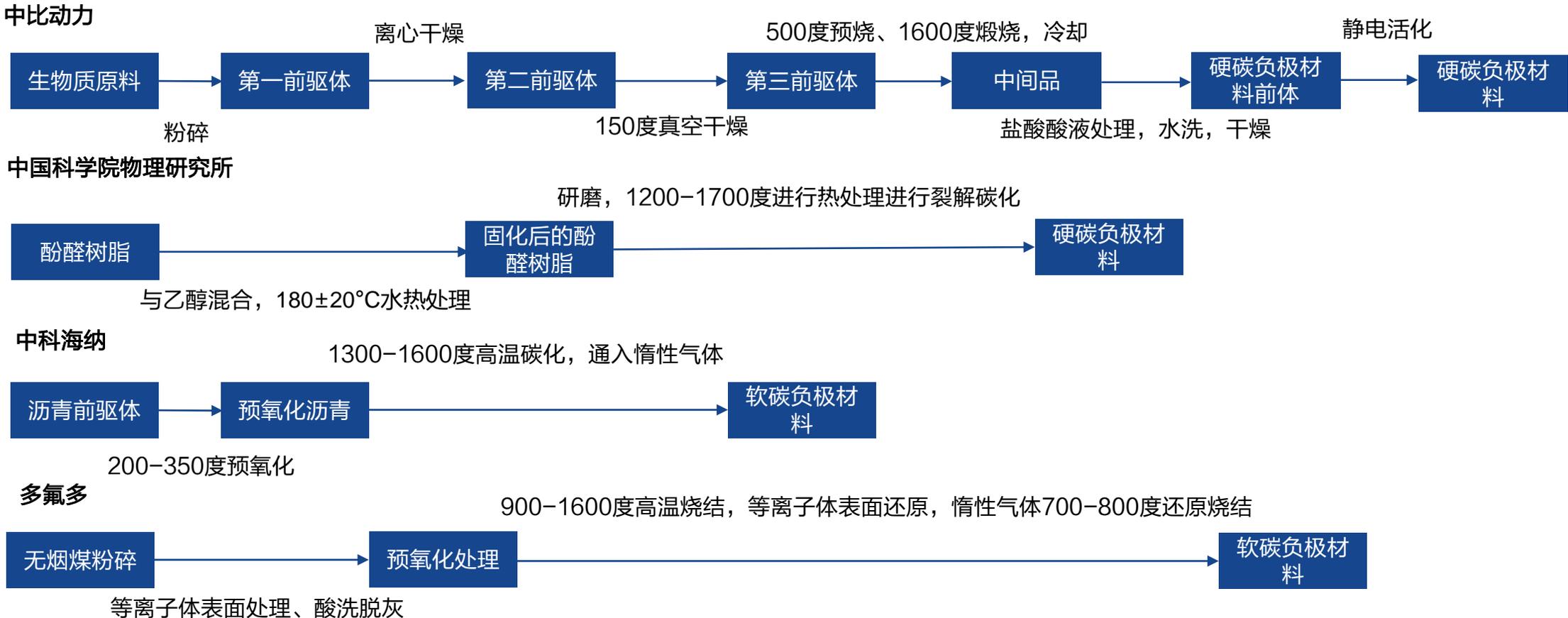
表：硬碳负极材料主要改性工艺

改性方式	主要特点
造孔剂调控	通过造孔剂和模板对硬碳材料的孔隙进行调控。利用小分子溶剂和模板剂等预处理前驱体能够调控材料的孔隙结构，从而改善硬碳的电化学性能，如采用乙醇作为造孔剂，通过溶剂热法固化液态的酚醛树脂可使乙醇均匀地分散在前驱体中。其中，前驱体的碳化过程会逐步释放内部的乙醇分子来充当活化剂并构建出大量的纳米级封闭微孔，使得该硬碳的比容量高达410 mAhg ⁻¹ ，但是，过量的造孔剂也会导致形成大量的开孔，导致硬碳的微观结构遭到破坏，造成硬碳比容量和ICE的急剧下降
杂原子掺杂	为了发挥硬碳材料的潜力，杂原子掺杂（通常是氮、硼、硫和磷）可以用来改善硬碳材料的特性，如表面结构、电子导电性、层间距等。一般来讲，氧元素广泛存在于大多数的有机前驱体中，由此所得的大多数硬碳材料都含有含氧官能团。这些含氧官能团的引入能够提供一些储钠的活性位点，从而增强可逆容量
预氧化	预氧化也是合成硬碳材料的一种处理方法。在碳化的早期阶段预氧化原材料能够将可石墨化的聚合物转化为不可石墨化的硬碳。目前，这是一种能够将前驱体改性为适用于生产钠离子电池负极硬碳材料的常规方法。例如，热空气中预氧化羟基化合物可以增强交联而使其锚定到木质素前驱体中。预氧化可使碳化过程中抑制石墨畴的定向生长，从而构建出更多的乱层石墨微结构并进一步形成丰富的孔隙以容纳更多钠离子的填充
与其他材料复合	将其它材料与硬碳材料复合是解决硬碳材料固有大比表面积和导电性不足的一种有效方法。例如，导电性碳材料（软碳、石墨、石墨烯、碳纳米管等）和硬碳材料的复合能够在一定程度上提高硬碳负极材料在钠离子电池中的电化学性能
电解液调控	目前钠离子电池中主流的电解液体系也基本以酯类（EC-DEC，EC-DMC）为主。研究表明，纯溶剂中使用EC作为电解液能够获得最高的ICE。但是单一的EC在常温下为固态因此不适合单独作为电解液的溶剂使用。而二元的混合溶剂中，EC-DEC则表现出最佳的循环性能和ICE，并且混合溶剂电解液比单一的溶剂具有更高的电导率，其中EC的引入能够极大地提高电解质的离子电导率。除溶剂外，钠盐的种类和浓度对电池的循环稳定性也有显著影响。通常，适当增加钠盐浓度可以诱导盐的优先还原，形成稳定的富含无机物的SEI膜。对于钠盐种类，SEI膜中有机物的浓度逐渐降低，其顺序为：NaPF ₆ > NaClO ₄ > NaTFSI > NaFTFSI > NaFSI
预钠化	在锂离子电池中，可通过预锂化技术（锂粉，预锂剂）去避免较低的ICE对全电池能量密度和循环性能的不利影响，这在钠离子电池中也同样适用。目前，现有的补钠技术还不成熟，补钠工艺复杂且成本高

硬/软碳制备工艺不同，生产壁垒较高

从目前各家披露的专利看，硬碳生产工艺主要包括粉碎、碳化、纯化、活化等过程，生物质前驱体还需要酸洗等步骤，树脂则需要与乙醇混合等。软碳生产工艺主要包括预氧化以及高温碳化，同时需要根据材料的性能需求进行元素掺杂、材料复合等工艺。在生产工艺中，温度控制以及前驱体的选取极其重要，决定其最终的产品性能。目前硬碳产品工艺是市场主流，软碳产品主要以中科海纳+华阳股份为主。

图：硬碳/软碳负极材料生产工艺流程



市场空间：2025年碳基负极需求量为10万吨

□ 钠离子电池未来预计快速渗透储能+两轮车电动市场，预计对于碳基负极需求将有快速提高。因此我们测算了碳基负极的未来需求量，基本假设如下：假设2023-2025年碳基负极在动力电池渗透率为2%/3%/3%，钠离子电池在储能领域中渗透率为2%/5%/10%，在两轮车领域渗透率为1%/4%/8%，对应动力领域碳基负极需求量为1.68/2.73/4.19万吨，储能领域碳基负极需求量为0.43/1.68/4.70万吨，电动两轮车需求量为0.10/0.46/1.05万吨。整体看2022年全球碳基负极需求量为1万吨，2025年需求量为10万吨。

表：碳基负极需求量测算

	单位	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
全球动力电池出货量	GWh	371	566	763	992	1270
yoy		135%	53%	35%	30%	28%
全球储能电池出货量	GWh	66	119	197	305	427
yoy		133%	80%	66%	55%	40%
动力锂电池碳基负极渗透率		1%	2%	2%	3%	3%
动力锂电池碳基负极需求量	万吨	0.41	0.93	1.68	2.73	4.19
储能钠离子电池渗透率		0%	0%	2%	5%	10%
储能钠离子电池碳基负极需求量	万吨	0.00	0.00	0.43	1.68	4.70
全球电动两轮车产量	万辆	9371	10777	12394	14253	16391
yoy			15%	15%	15%	15%
全球电动两轮车电池出货量	Gwh	74.97	86.22	99.15	114.02	131.13
二轮车钠离子电池渗透率		0%	0%	1%	4%	8%
二轮车钠离子电池需求量	万吨	0.00	0.00	0.10	0.46	1.05
碳基负极总需求量	万吨	0.41	0.93	2.21	4.86	9.94

三、国内相关上市公司

传统锂电负极公司：已经布局钠电硬碳材料产品

- **传统锂电负极公司纷纷布局硬碳材料，但多数产品仍处于试验阶段。**从公开信息以及公司公告看，传统锂电负极公司如杉杉股份、贝特瑞、翔丰华等公司均有硬碳材料负极的技术布局，其中杉杉股份、贝特瑞的进展相对较快。但是整体看传统负极公司硬碳材料发展较慢，主要原因为：
 - 钠离子电池仍处于发展初期，各家厂商仍处于观望角度；同时钠离子的发展与锂价高涨和锂资源紧平衡有关，未来锂价下跌可能影响钠电发展进程，因此相关厂商没有重点发力该部分业务。
 - 硬碳材料盈利能力与公司主营业务相比较弱，对于传统负极公司扩建锂电负极材料产能以及研发新型锂电负极材料对于公司盈利影响更大，因此钠电的硬碳材料战略地位较低。
- **钠电未来产业化后，传统锂电负极公司将迎来新发展契机。**传统锂电负极公司具有客户以及产能优势，未来随着钠电快速发展后，公司可以通过以前现有的技术储备以及负极材料产线快速切入该领域。

表：传统锂电负极公司硬碳材料进展

公司名称	钠电负极业务进展
杉杉股份	杉杉科技的钠电硬碳原材料来源广泛，工序简化；拥有独特的硬碳技术工艺，通过精准调控材料的微孔结构，提高材料有效容量指标；依靠交联工艺调控技术，提高硬碳材料性价比，成功开发高容量、高首效的硬碳材料，实现批量销售。
贝特瑞	正在建设硬碳量产线
翔丰华	公司高性能硬碳负极材料产品目前正在相关客户测试中
璞泰来	在硬碳领域有技术储备
中科电气	公司有持续进行钠离子电池所需的硬碳材料的开发，硬碳材料的生产与现有石墨类负极材料生产的部分产能可以共用

非上市公司：佰思格产品进展较快，将与鹏辉能源合作

- 除了传统锂电负极公司外，很多非上市公司也在布局钠电负极业务，如成都佰思格、珈钠能源等。
- ✓ **成都佰思格**：根据公司官网显示，目前公司钠电硬碳产品主要有三种，分别为NHC-2、PHC-1、NHC-330。公司在2020年量产常规能量的钠离子电池负极材料，能量密度可做到290-300mAh/g。该材料日本的产品售价20万元/吨以上，公司可以做到日本的30%左右。预计公司在明后年会发布NHC360，比容量可以达到360-380mAh/g。目前公司已经完成了园区建设规划和设备采购，预计明年启动建设。佰思格硬碳产品首次效率现在可以做到92%左右。另外，在压实密度和表面积控制上，公司都做到了行业领先水平。2022年公司完成了2000吨钠离子电池硬碳负极材料的设备安装和生产。明年上半年，公司计划把产能扩大到1万吨左右。到2025年会进一步把产能扩大到5万吨，对应电池产能20-30GWh。目前该公司获得鹏辉能源投资，未来将与其开展进一步合作。
- ✓ **珈钠能源**：珈钠能源于2022年4月成立，是一家钠离子电池关键材料生产商，致力于高安全、长寿命、低成本钠离子电池体系研究开发和制造，主要产品包括聚阴离子型钠离子电池正极材料和生物质硬碳负极材料。其中，生物质硬碳负极材料根据不同原料和制备工艺可分为三代产品：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。三种路线负极材料的产业化进程正在分步实施。

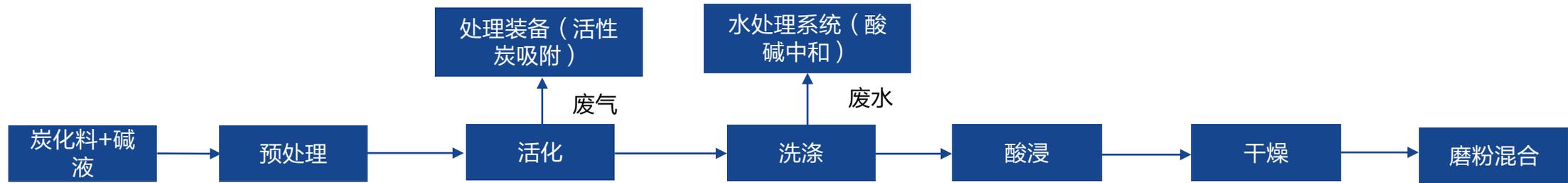
表：成都佰思格钠电硬碳产品情况

型号	特点	应用领域	比容量 (mAh/g)	首次效率 (%)	灰分 (%)	振实密度 (g/cm ³)
NHC-330	微观形貌：不规则形状 外观：黑色粉末，颜色均一，无结块无杂质	高能量密度钠离子电池	332.5	90.5	0.2	0.77
NHC-2	微观形貌：球形颗粒 外观：黑色粉末，颜色均一，无结块无杂质	钠离子电池	282.6	88.2	0.4	0.72
YHC-1	微观形貌：不规则形状 外观：黑色粉末，颜色均一，无结块无杂质	低成本钠离子电池	294.6	89.2	2.88	0.65

主营业务协同优势明显：华阳股份+元力股份

- 其他上市公司通过主业资源及技术优势进入钠电负极行业，如华阳股份、元力股份。
- ✓ **华阳股份：**公司通过新阳能源与中科海纳合作，利用阳泉丰富优质的无烟煤资源，在太原综改区潇河园区内建设2000吨钠离子电池负极材料项目，项目规划用地51亩，预计项目总投资不超过6000万元。公司钠离子电池负极材料干吨级生产项目于2022年3月末试投产后处于产能爬坡阶段。公司9月与华阳股份与中科海纳签订万吨级钠离子电池正、负极材料合作协议，目前该项目现已开展厂房建设相关工作。
- ✓ **元力股份：**公司主要聚焦于活性炭、硅酸钠、硅胶等化工产品的研发、生产与销售。公司主导产品为木质活性炭，主要应用领域包括糖用、味精用、食品用、化工用、药用、针剂、水处理、超级电容、空气净化、挥发性有机物（VOCs）回收利用等。公司控股子公司元禾化工生产的硅酸钠，除提供给参股公司—EWS（公司与全球领先的特种化工企业德国赢创工业集团的合资公司）用于白炭黑生产以及全资子公司三元循环用于硅胶生产外，其余硅酸钠产品向其他客户销售。根据公司2022年半年报，公司木质活性炭产能超过11万吨，硅酸钠30万吨产能，硅胶2.5万吨。
- ✓ **公司超级电容炭产品与硬碳材料生产类似，有望进入钠电负极行业。**公司超级电容炭产品生产工艺包括预处理、活化、洗涤、酸浸等步骤，与硬碳工艺生产较为类似；从前驱体角度看，根据公司的公开专利显示，超级电容炭可采用果壳生产，而硬碳产品龙头日本可乐丽采用椰子壳生产，前驱体都是生物质路线，同时公司与益海嘉里合作，未来有望借助益海嘉里的资源，获得稳定的生物质前驱体供应渠道。

图：元力股份超级电容炭生产工艺



主营业务协同优势明显：圣泉股份

- 圣泉集团：**公司是以合成树脂及复合材料、生物质化工材料及相关产品的研发、生产、销售为主营业务的高新技术企业，其中酚醛树脂、呋喃树脂产销量规模位居国内第一、世界前列。公司围绕着核心产品，打造出了包括生物质化工原料（纤维素、半纤维素、木质素等）、合成树脂（呋喃树脂、酚醛树脂、冷芯盒树脂、环氧树脂等）、复合材料（酚醛树脂泡沫板、轻芯钢等）在内的较为完整齐全的产业链，能够充分利用产业链优势协同进行技术研发和市场拓展。高性能树脂及复合材料产业是圣泉的主导产业。目前公司产品广泛应用于航空航天、电子材料、耐火材料、摩擦材料、保温材料、浸渍材料、涂覆磨具、轮胎橡胶、电工材料、碳材料、新能源等领域，是“神舟”系列飞船返回舱保温原材料制造商，并助力长征五号B运载火箭首飞。
- 酚醛树脂资源优势帮助公司实现钠电负极的低成本生产。**目前公司酚醛树脂（不含电子化学品）2022年上半年实现销售收入 16.9亿元，较去年同期增长 9.50%。公司不断对酚醛树脂的应用进行更多探索，以此延申酚醛树脂的应用领域，为酚醛行业寻找新的市场增长点：新能源用特种树脂、炭素阳极特种树脂、生物基酚醛等一系列的特种产品开发。公司的酚醛树脂的资源优势可以帮助公司进入钠电负极行业，进一步降低负极的生产成本，形成差异化的竞争优势。

图：圣泉集团酚醛树脂产品发展历程



四、投资建议与风险提示

- 行业评级：钠离子电池负极材料行业处于快速发展渗透期，行业空间快速成长，维持钠离子电池负极行业“推荐”评级。
- 重点关注
 - ✓ 传统锂电负极材料切入钠电负极：贝特瑞、翔丰华、璞泰来、杉杉股份、中科电气；
 - ✓ 主业具有资源和技术优势：元力股份、华阳股份、圣泉集团。

重点公司代码	股票名称	2022/12/27			EPS			PE			投资评级
		股价	2021	2022E	2023E	2021	2022E	2023E			
300890.SZ	翔丰华	42.63	1.00	2.49	3.75	61.93	17.12	11.37	未评级		
835185.BJ	贝特瑞	42.85	2.97	3.02	4.16	49.86	14.19	10.30	未评级		
603659.SH	璞泰来	55.20	2.53	2.08	3.16	63.77	26.54	17.47	买入		
600884.SH	杉杉股份	17.88	1.56	1.40	1.77	16.06	12.77	10.10	未评级		
300035.SZ	中科电气	20.88	0.57	0.95	1.61	53.17	21.98	12.97	未评级		
600348.SH	华阳股份	15.08	1.47	2.68	2.85	8.06	5.63	5.29	未评级		
300174.SZ	元力股份	21.28	0.49	0.62	0.76	34.81	34.32	28.00	未评级		
605589.SH	圣泉集团	22.52	0.89	0.89	1.24	43.16	25.30	18.16	未评级		

资料来源：Wind资讯，国海证券研究所

注：未评级公司盈利预测来自Wind一致预期

- 产能释放不及预期
- 新技术研发失败风险
- 钠电池渗透不及预期
- 原材料价格持续上涨
- 行业价格竞争加剧
- 重点关注公司业绩不及预期

电新小组介绍

李航，首席分析师，曾先后就职于广发证券、西部证券等，新财富最佳分析师新能源和电力设备领域团队第五，卖方分析师水晶球新能源行业前五，新浪财经金麒麟电力设备及新能源最佳分析师团队第四，上证报最佳新能源电力设备分析师第三等团队核心成员。

邱迪，中国矿业大学（北京）硕士，电力电子与电气传动专业，4年证券从业经验，曾任职于明阳智能资本市场部、华创证券等，主要覆盖新能源发电、储能等方向。

分析师承诺

李航，邱迪，本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

国海证券投资评级标准

行业投资评级

- 推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；
- 中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；
- 回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

- 买入：相对沪深300指数涨幅20%以上；
- 增持：相对沪深300指数涨幅介于10%~20%之间；
- 中性：相对沪深300指数涨幅介于-10%~10%之间；
- 卖出：相对沪深300指数跌幅10%以上。

免责声明

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，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，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，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。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

心怀家国，洞悉四海



国海研究上海

上海市黄浦区福佑路8号人保寿险大厦7F

邮编：200010

电话：021-60338252

国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银行大厦28F

邮编：518041

电话：0755—83706353

国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597