

证券研究报告
行业评级 **强于大市**
2022年11月24日



钠电量产元年来临，重视“变革”与“切换”

——钠离子电池深度研究报告

证券分析师：
邓伟 执业证书编号：S0210522050005

研究助理：
游宝来

请务必阅读报告末页的重要声明

- **高锂价是短期驱动，资源安全是发展内核。** 锂盐价格持续上探突破60万元/吨，且资源（尤其是开采成本更低的矿产）区位分布不均，存在地缘风险隐患。钠盐价格不到0.27万元/吨、储量丰富资源易得，我们预计行业形成规模化生产后，钠电成本有望下降到500元/kWh以下。因此出于短期降本和长期资源战略储备考量，钠离子电池是新能源电池体系降本、保障供应链安全的优选互补方案。
- **不仅仅是“备选方案”：低温性能优越，快充无损耗。** 相比磷酸铁锂电池，钠离子电池安全性、低温性能更佳，排列无序的无定形碳比石墨快充损耗更小。钠离子电池发展相对滞后主要是由于早期未发现储钠能力强的负极材料，学界商界优先发展锂电体系。在持续加大研发力度、量产技改后，当前的能量密度和循环性能差距有望被逐步追平。
- **量产元年即将开启，初期可预见应用场景丰富。** 当前国内外多企业已展开产业化布局，中长期规划产能超过100GWh，正负极工艺路线尝试较为丰富，各家在探索“性能-成本-安全-量产”平衡点，2022年下半年以中科海钠为代表的钠离子电池专业企业中试线、1GWh级别产线陆续投放，2023年以宁德时代为代表的锂离子电池龙头企业即将推出钠离子电池批量生产方案。对能量密度和循环性能要求相对较低、且格局相对分散的两轮车、消费电子、家用储能领域可为钠电提供包容性更强的初步应用场景，低速电动汽车、大型储能有望提供更广阔空间。
- **关注“变革”与“切换”：“变革”环节重点关注负极【贝特瑞】【元力股份】【杉杉股份】【圣泉集团】等、普鲁士类【百合花】【美联新材】等、铝箔【鼎胜新材】【万顺新材】等；“切换”环节重点关注锂电池龙头【宁德时代】【孚能科技】【鹏辉能源】等、钠电池新秀【华阳股份】【维科技术】【传艺科技】等、层状正极【振华新材】【容百科技】【当升科技】【厦钨新能】【万润新能】等；电解液【天赐材料】【多氟多】【新宙邦】【丰山集团】等。**
- **风险提示：**钠离子电池产业化落地、配套材料方案、降本路径和周期尚存不确定性。

- **钠离子电池发展历程**
- **电池及材料技术路线对比**
- **钠离子电池BOM成本测算**
- **产能梳理和需求测算**
- **产业链重点公司系统梳理**
- **风险提示**

➤ **钠元素储量丰富分布均匀，是锂离子电池可期互补方案**

- 锂离子电池较早开始商业化进程，主要是由于锂相对原子质量小、标准电极电位低、比容量高。而钠元素储量丰富、分布更均匀，且能兼容已有的锂电产线，从资源供应保障、成本角度考虑，钠离子电池是锂离子电池的优选互补方案。

图表：钠离子电池特性及优势

项目	钠离子电池	锂离子电池		钒液流电池	铅酸电池
		三元	磷酸铁锂		
地壳丰度	2.60%	锂：0.0017%；镍：0.008%；钴：0.002%	锂：0.0017%	0.02%	0.0016%
资源保障	来源丰富，分布广泛，提炼简单	分布不均，锂集中在澳大利亚、南美等；镍集中在印尼、北美等；钴集中在刚果（金）、澳大利亚等	分布不均匀，我国已探明锂资源占全球6%	多为共生矿，作为冶金业副产品	我国铅资源丰富，探明储量近亿吨，占全球20%左右。2020年进口134万吨，铅产量544万吨
环境影响	较轻，氰化钠有毒	较轻，钴有毒	较轻	五氧化二钒为剧毒物质	2B类致癌物，三大重金属污染物之一，有毒有害
实际能量密度	140-160Wh/kg	240-280Wh/kg	150-180Wh/kg	15-50Wh/kg	50-70wh/kg
循环次数	1000-5000次	3000-6000次	4000-8000次	10000-15000次	300-500次
热稳定性	较好	高镍较差	较好	较好	-
低温性能	较好	较好	较差	较好	-
电压平台	2.8-3.7V	4.2-4.5V	3.2V	-	2V
投资成本	推广期 0.5-0.7元/Wh；发展期0.3-0.5元/Wh；爆发期0.3元/Wh 以下	当前0.9-1.1元/Wh；2021年0.7-0.8元/Wh	当前0.8-1元/Wh；2021年0.6-0.7元/Wh	3.8-6元/Wh	0.4-0.5元/Wh
其他优点	负极可用铝箔代替铜箔；快充不影响寿命	-	-	回收简单，残值高	-

- **萌芽期**：1967年从高温钠硫电池出发。
- **停滞期**：在1979年法国Armand提出“摇椅电池”概念后，由于锂离子电池体系中应用较为广泛的石墨负极储钠能力欠缺，对钠离子电池的研究几乎停滞。
- **重启期**：直至2000年加拿大Dahn等发现硬碳负极具备优异的可逆储钠能力，学界才继续推进。
- **复兴期**：到2010年，随锂离子电池研究和产业链建设趋于成熟，以及对锂资源的担忧，钠离子电池的研究和产业化进程，进入复兴时期，海内外出现产业化公司和零星商业化应用。
- **爆发期**：直至2021年7月，宁德时代发布第一代钠离子电池，宣布计划2023年形成基本产业链，**叠加锂价在2021年底-2022年初快速上涨，引发全产业链对互补、替代方案——钠离子电池的高度重视，涌现数十家推动钠离子电池及原材料量产的企业。当前碳酸锂价格突破60万元/吨，更近一步加速钠离子电池产业化进程。**

图表：高温钠电池和常温钠离子电池发展历程



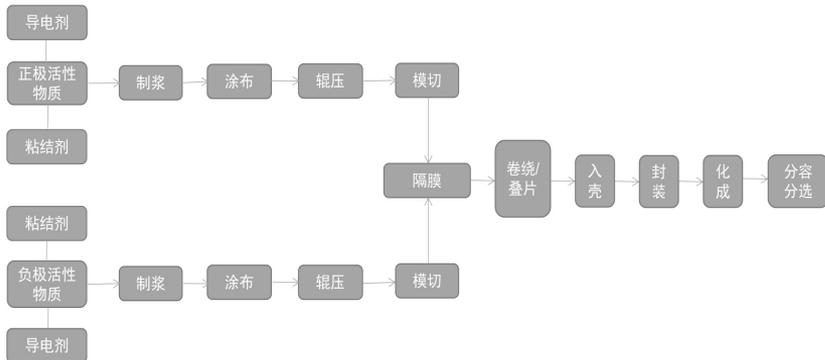
资料来源：中科院物理所，华福证券研究所；注：高温钠电池主要包括钠硫电池和ZEBRA电池，用可实现钠离子导电的陶瓷电解质作为离子交换的隔膜，并将金属钠或者化合物形式的钠作为电价变化的活性物质制造二次发电电池，必须在高温下才能运行。而常温钠离子电池类似于锂离子电池，依靠钠离子在正负极之间的嵌入脱出和迁移实现充放电过程。

- 钠离子电池发展历程
- 电池及材料技术路线对比
- 钠离子电池BOM成本测算
- 产能梳理和需求测算
- 产业链重点公司系统梳理
- 风险提示

▶ 钠离子电池与锂离子电池生产工艺基本类似，传统锂离子电池产线可调试转产。

- 钠离子电池生产工序主要包括极片制作（制浆-涂布-辊压-模切）和电芯的组装（卷绕/叠片、入壳、封装、化成、分容），整体生产工艺与锂离子电池类似，仅在负极集流体上换用铝箔、以及配方调整。目前锂离子电池产线基本在调试之后可切换成钠离子电池产线，不需要额外设备投资。
- 与锂离子电池类似，钠离子电池也可制成软包、圆柱、方壳形态。

图表：钠离子电池生产工序



图表：钠离子电池产业链图谱



正极：三条路线各有千秋，层状氧化物有望率先应用

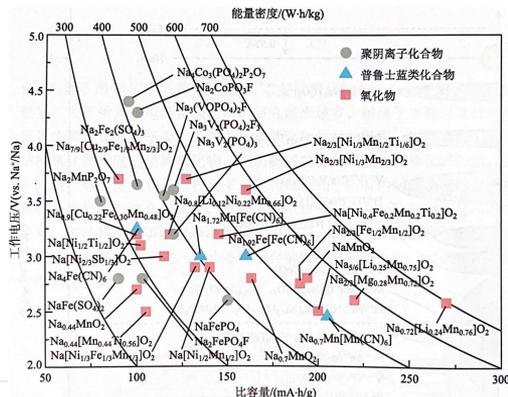
图表：钠离子电池正极技术路线对比

➤ **层状氧化物（基本已攻克，量产首选方案）**：结构类似锂离子电池三元正极材料，比容量相对较高、综合性能好，通过调整过渡金属元素选择和比例，可以兼顾动力、储能等多场景需求。**工艺成熟**（工艺流程和设备与锂电三元材料相似），配套企业基本为成熟三元正极材料厂商，能够提供一致性好、性能稳定的样品、量产原料，是近期产业化首选方案。

➤ **普鲁士蓝白（攻克中）**：过渡金属可仅使用成本较低的Fe或Mn，理论能量密度较高，合成温度低（能耗成本低），是初期热门路线，但由于量产时结晶水控制较难（影响循环和安全性），当前稳定性较差待未来工艺控制成熟后有望成为高能量密度+低成本优选方案。

➤ **聚阴离子（储备方案）**：类似磷酸铁锂的橄榄石结构，结构稳定性高，从而具备最长的理论循环寿命，更适合用于储能市场。但导电性较差，能量密度较低。其中掺钒路线成本较高、掺铁路线能量密度表现较差，当前主要作为储备方案。

图表：钠离子电池正极技术路线性能

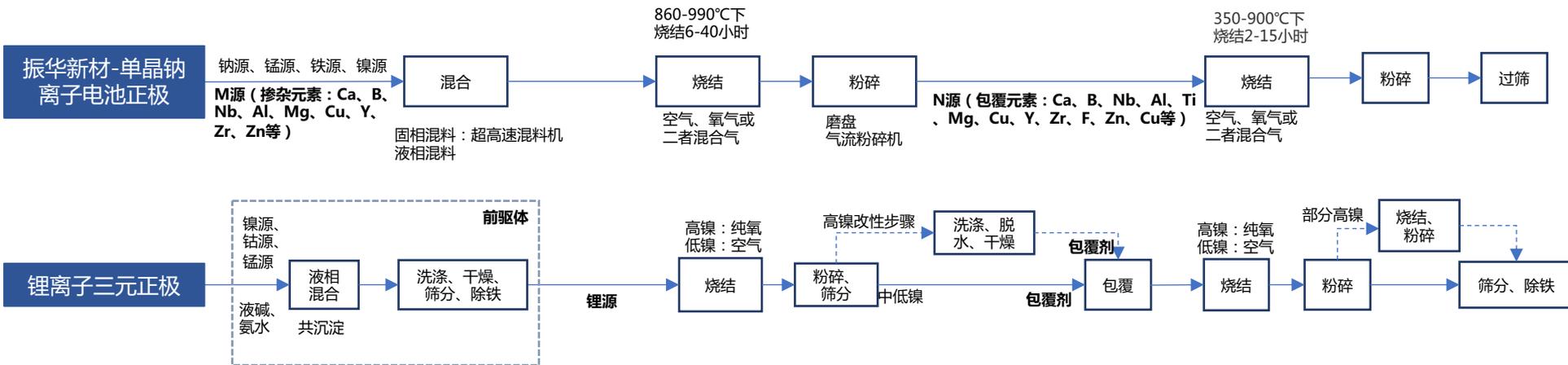


	层状金属氧化物	普鲁士类化合物	聚阴离子类化合物
结构			
优点	制备简单，技术转化容易 比容量高（阴离子氧化还原也提升能量密度） 电压高 倍率性能高	开放性三维通道，Na快速迁移； 结构稳定性、倍率性工作电压高 可实现2个Na可逆脱出嵌入； 理论比容量高 合成温度低：成本低	开放三维骨架：支撑稳定晶格，提升循环性、安全性 F-和阴离子电负性大：工作电压高 含有多个Na+、过渡金属多 价态：更高比容量 空气稳定性好
不足	易吸水、与空气反应：影响稳定性 循环性能较差	结晶水难以去除：降低首周效率和循环效率 过渡金属易溶解 导电性差 空位、水分子占用Na嵌入点：容量利用率低	阴离子强共价键：导电率差 掺杂包覆后降低能量密度 部分含有毒元素
比容量	理论220mAh/g；产业化150mAh/g	理论200+mAh/g；实际应用140-150mAh/g	110mAh/g
循环寿命	目前2000-4000次	受结晶水影响：1000-1500次	能达到4000-5000次
电压	3.1-3.7V	3.1-3.4V	2.8-3.3V
成本	不同过渡金属配方成本差距较大，目前7-15万元/吨，成熟后5-8万元/吨。	颜料级2.5万元/吨，电池级成熟后预计3-4万元/吨	磷酸钠路线成本最高 硫酸铁钠预计低于层状
环境影响	较好	氰化钠有毒	钒有毒

层状氧化物：工艺流程与三元正极类似，配方可调节性较高

- **层状氧化物结构通式为 Na_xMO_2** ，其中M为过渡金属元素， MO_6 八面体过渡金属层和 NaO_6 碱金属层交替排布。
- 常见的是八面体位置（O3，初始钠含量更高，容量更高）和三棱柱位置（P2，层间距更大，提升传输速率（倍率性）和结构稳定性）两种排列方式。
- 由于钠比锂更容易与过渡金属分离形成层状结构，目前仅发现镍钴锰形成的锂层状氧化物可以可逆充放电，而钠的选择还包括Ti、V、Cr、Fe、Cu等。不同配方对结构影响很大，除了通过对合成出的材料进行物理表征以确定其具体构型外，目前还没有一种方法能够直接预测层状材料的堆叠结构，进而指导设计制备。
- **产业化进展**：主要生产步骤分为前驱体混合和正极烧结，改性措施包括包覆、掺杂等，基本可与锂离子电池三元正极产线兼容，烧结气氛没有强制要求纯氧，密闭性要求较低，烧结次数一般为2次，中低镍产线基本满足要求，按高镍要求设计的产线有超产比例（产能弹性来源于烧结时长和次数）。

图表：层状氧化物工艺流程与三元正极工艺流程对比



层状氧化物：0-1过程中的产业化瓶颈及解决方案

- **技术挑战**：由于钠离子半径较大，多次脱嵌容易发生相变，产生游离钠，残碱高，对空气敏感易吸湿，电池匀浆时变成凝胶果冻态（影响涂布）。进而影响循环寿命和实际克容量。
- **工艺解决**：可通过形貌调控（单晶化）、界面修饰（包覆）、元素掺杂等工艺解决上述问题。此外，也需要电解液环节配合开发和工艺定型。

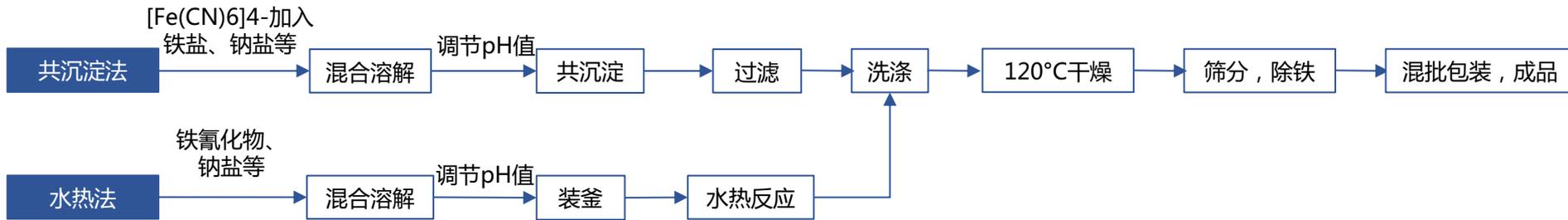
图表：层状氧化物工艺难点及解决方案

技术挑战	具体产业化瓶颈	江苏翔鹰解决方案	振华新材解决方案	当升科技解决方案
空气敏感	使用环境温度要求高 ：钠电层状氧化物正极材料与锂电三元材料对环境温度的反应有明显区别。锂电三元材料吸附水分子后，体相中的锂离子与质子交换速率低；钠电层状氧化物表面吸附水分子后，体相中的钠离子会与质子快速交换， 钠离子析出 ，导致体相晶体结构发生变化。因此钠电层状氧化物使用时，投料、混浆和极片放置过程中，以及负极极片入壳前，均需要严格控制温度和水分。否则会出现克容量低、循环性能差的问题。	1、通过单晶结构减少新表面的产生； 2、通过表面特殊的包覆抑制质子与体相钠离子的交换。 常规钠电层状氧化物正极材料使用的环境相对湿度 $\leq 2\%$ ，江苏翔鹰钠电正极能达到15%左右，远远高于常规层状氧化物。	针对游离钠含量偏高、空气稳定性欠佳等缺点，公司采用不同元素掺杂包覆改善材料结构，并通过溶胶凝胶法、化学沉积、机械固相法等多种技术手段对材料进行表面修饰，获得低pH值、低游离钠的材料，从而提高材料的空气稳定性和循环稳定性，改善电池产气鼓胀缺陷	体相-界面-表面的系统修饰和优化；复合正极材料，能够有效提高包覆层的离子导电率、电子导电率和表面活性，同时，将该包覆层包覆在特定的基体上，能够显著提升复合正极材料的结构稳定性和化学稳定性。
材料PH值高	由于钠电层状氧化物正极材料体相中的钠离子极易与水的质子进行交换，测PH值时，材料分散在水中，体相钠离子溶出，导致PH值在13左右。过高pH会影响电池涂布，加强吸水性，形成果冻状，增加不可逆容量损失，同时产生胀气。	通过掺杂形式成功地抑制体相钠离子的溶出，进一步降低材料对湿度的敏感度。江苏翔鹰产品的残余氢氧化钠做到稳定在0.05%左右。		
正极材料与电解液的适配性	钠电循环性能是检验材料质量的标准之一。由公式 $E_0(\text{Li}^+/\text{Li})=0\text{V}$ ， $E_0(\text{Na}^+/\text{Na})=0.3\text{V}$ 可知，钠电在4.0V时，相当于锂电体系的4.3V，此时锂电体系需要4.3V电解液与之匹配，对于钠电体系，也急需电池厂和电解液厂针对钠电开发高电压电解液。	针对正极材料，进行表面钝化处理，提高材料对电解液的适配性，并且取得了一定进展，融入到新一代产品中。		
结构稳定性差	钠离子半径大于锂离子，需要层状材料有更大的晶格参数以容纳其自由移动，但易导致材料结构不稳定 。循环过程中表面晶体结构重构，由于各向异性的体积膨胀导致的团聚颗粒破裂。当钠离子电池正极材料脱钠量较大时，结构变得十分脆弱，晶格内活性金属和氧原子发生位移，达到一定的高温高压，使得晶粒体积和晶体结构发生较大变化。同时，当正极材料脱钠后，氧化性增强，极易与电解液发生化学和电化学反应，导致材料容易脱氧、过渡金属溶解，提高了电解液的酸度，使电极材料表面膜遭到破坏，界面的成分和结构进一步被改变，严重影响材料的电化学性能和循环性能。		形貌尺寸及颗粒粒径调控技术 ：调控合成工艺以及不同掺杂元素的选用，合成不同形貌尺寸、不同颗粒粒径的材料，优化材料的结构及形貌，改善压实密度、循环、倍率及加工性能等。 大单晶技术 ：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，改善高温高压循环性能。 多元素协同掺杂技术 ：锚定晶格，减少相变。 晶体结构调控技术 ：通过配方和工艺调控，合成出多相共存的复合层状氧化物，从而实现循环性能和能量密度之间的平衡。	特殊微晶结构的均相前驱体设计、系统化优化固相结晶技术工艺
传统包覆剂导致导电性差	针对钠离子电池金属氧化物正极材料循环性能差的问题，通常可以通过表面包覆进行改善。CN110838576A公开了一种Al(NO ₃) ₃ 包覆的钠离子电池正极材料，Al(NO ₃) ₃ 在NaCu _{1/9} Ni _{2/9} Fe _{1/3} Mn _{1/3} O ₂ 表面生成了部分NaAlO ₂ ，有效隔绝了电解液与正极材料的副反应，改善了样品的循环性能。但是由于Al(NO ₃) ₃ 和NaAlO ₂ 的离子导电率和电子导电率均较低，无法在正极材料表面提供离子和电子通道，因此材料的放电比容量普遍低于120mAh/g；此外，由于Al(NO ₃) ₃ 和NaAlO ₂ 包覆层并不能在正极材料表面构建稳定的表层结构，因此对材料热稳定性并未能起到提升作用。			对包覆物Na _{1+α} M _α Ti _{2-β} M ^β (PO ₄) _{3-w} (RO) _w 进行元素掺杂的碳包覆改善包覆层的电子导电率。再将包覆层和基体在非氧化性气体中进行热处理。（包覆层占比0.1-5wt%）

普鲁士类：比容量高、理论成本低但工艺难度大

- **化学通式**：普鲁士蓝/白化学式为 $\text{Na}_x\text{M}_1[\text{M}_2(\text{CN})_6]_{1-y} \cdot y \cdot n\text{H}_2\text{O}$ （M为过渡金属原子，如Fe、Mn、Co等， $0 < x \leq 2$ ）。普鲁士材料呈三维立方体结构， Na^+ 具备合适扩散通道，理论倍率性能和循环性能好（通过选择不同的过渡金属可以调控电压和比容量，具备很高的材料设计灵活性）。根据 Na^+ 含量不同， $x < 1$ 称为普鲁士蓝， $x \geq 1$ 成为普鲁士白。由于普鲁士白含钠量较高，比容量也更高。由于溶度积常数较低，可以作为水溶液体系正极材料。
- **发展历程**：最初用途是上釉和油画染料，可追溯到1704年，德国人海因里希·狄斯巴赫在实验室中生产一种红色颜料时，由于实验污染而获得了深蓝色沉淀，毕加索、梵高画作频繁使用。
- **制备方法**：普鲁士类材料制备常采用共沉淀法、水热法， $70\text{-}120^\circ\text{C}$ 即可，无需高温烧结，成本较低；目前实际比容量可以达到 $150\text{-}160\text{mAh/g}$ ，工作电压可以达到 $3.3\text{-}3.4\text{V}$ 。由于铁氰化物结构稳定、前驱体简单易得，研究多集中于此。
- **加工难度**：普鲁士类材料瓶颈在于易吸水加工难度大。生产过程中会存在一定结晶水，存在脱出导致电池短路和与电解液反应产生HF的风险。大规模量产对控水要求极高，大规模量产工艺端存在较大的难度。

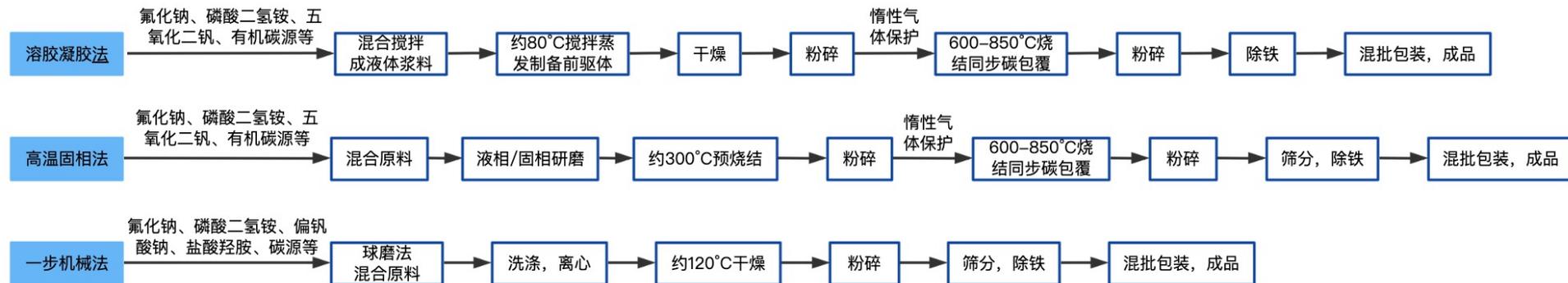
图表：普鲁士蓝/白制备工艺图



聚阴离子：理论循环寿命最长，在储能领域具备发展前景

- ▶ **聚阴离子类似磷酸铁锂。**聚阴离子化学式 $Na_xM_y(X_aO_b)_zZ_w$ ，其中M为可变价态的过渡金属，X为P、S等，Z为F、OH等。聚阴离子具备开放的三维骨架（稳定的橄榄石结构），所以具备**较好的倍率性能、循环性能和安全性能**。但是**导电性较差**，为了提升电子离子导电性需要碳包覆和掺杂，从而又**降低了体积能量密度**。
- ▶ **常见的有磷酸盐及硫酸盐体系，产业化研究方向为硫酸铁钠/磷酸铁钠和氟磷酸钒钠等。**通过现有液相、固相方法合成的磷酸铁钠缺乏电化学活性，需要采用改性、包覆等多种手段提升导电性。

图表：聚阴离子制备工艺路线



负极：由石墨切换为无定形碳，硬碳和软碳均有发展潜力

- ▶ **钠离子电池负极当前一般不使用石墨，在碳体系中多采用无定形碳。**早期观点认为Na⁺直径是Li⁺1.3倍，无法在石墨层间自由迁移，但K、Rb、Cs仍有较高的可逆比容量表现。本质上还是由于热力学问题，钠离子与石墨层之间相互作用力弱，在当前常用电解液中难以形成稳定插层化合物（除非替换成醚类溶剂）。钠离子电池无法直接沿用石墨负极，多采用石墨化程度较低的无定形碳，层间距比石墨高，为实现无损耗的高倍率性打下基础。
- ▶ **硬碳比容量较高，但成本和规模化尚存劣势。**硬碳前驱体为热固性材料，高温下难以石墨化，结构排布更无序，有丰富微孔、材料间隙更大，比容量更高、膨胀系数小。但孔洞过多导致比表面积较大，首次效率低。且硬碳一般采用生物质、淀粉、树脂等前驱体，产碳效率低，成本相对较高。
- ▶ **软碳储钠容量低，但前驱体产碳率更高，具备成本优势。**软碳前驱体为热塑性材料，高温下易于石墨化，结构更有序，层间距更短，储钠容量较低。前驱体一般采用煤、沥青、石油焦等石化工业副产品，产业链配套更为成熟，产碳效率可以达到90%以上。
- ▶ 此外，**合金类、金属氧化物或金属硫化物**等负极一般具有较高的比容量，但存在首次库伦效率低、电极粉化等问题。钛基负极空气稳定性好，也具备储备潜力。

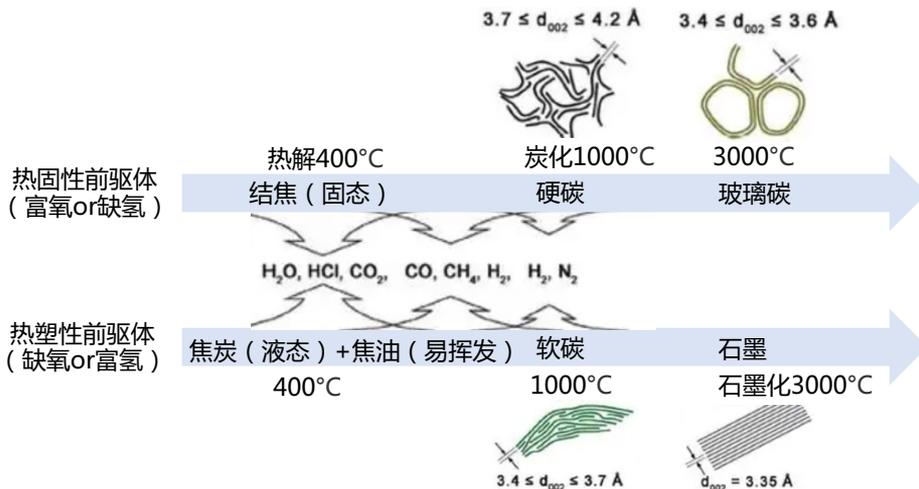
图表：钠离子电池负极技术路线对比

	硬碳	软碳
结构	$3.7 \leq d_{002} \leq 4.2 \text{ \AA}$ 	$3.4 \leq d_{002} \leq 3.7 \text{ \AA}$ 
原理	基本结构单元不平行排列，任何温度下均难以石墨化，微孔更多，便于吸附-插层/插层-填孔	由碳六角网平面平行重叠，高温下易于石墨化
前驱体	热固性（富氧or缺氧）：生物质、碳水化合物、树脂等	热塑性（缺氧or富氢）：石油焦、沥青、无烟煤等
炭化温度	1000-1500°C	1000-2000°C
层间距	0.37-0.42nm	0.34-0.37nm
微晶	1.1-1.2nm	2-20nm
比表面积	38m ² /g	20.2m ² /g
电极密度 (g/cm ³)	0.9-1	1.2左右
比容量 (mAh/g)	270-450	250-340
电极膨胀率	小	中
相关公司	日本可乐丽、佰思格、神华、元力股份、圣泉集团、贝特瑞、杉杉股份、璞泰来、中科院山西煤化所等	中科海钠、贝特瑞、杉杉股份、璞泰来等

负极前驱体：软碳早期成本优势明显，硬碳中长期有望实现降本

- ▶ **软碳前驱体**：主要为无烟煤、中间相碳微球、渣油、沥青等石油化工副产品，已有成熟产业链，较易获得，且产碳率更高，其中无烟煤可达到90%，沥青可达到60%。原材料成本优势非常明显，软碳前驱体无烟煤、沥青等经过预活化、包覆、掺杂等手段也可提升比容量，具备量产潜力。
- ▶ **硬碳前驱体**：主要为树脂基、生物质基、碳水化合物基等（注：锂离子电池体系中有部分方案采用沥青交联高分子聚合物等生产硬碳，沥青也常作为硬碳的包覆材料）。树脂包括酚醛树脂、聚苯胺、聚丙烯腈等，成本相对较高，产碳率低于软碳前驱体。生物质基包括椰壳等植物根茎叶，产碳率仅为10%左右。碳水化合物主要是生物质提取的化工品，产碳率相对前者略高一些，成本相对树脂更低。当前材料成本在2-3万/吨之间，进口价接近15万元/吨，在规模量产后产碳率有望提升，国产化、规模化也有望降低加工费用。

图表：硬碳与软碳前驱体炭化原理



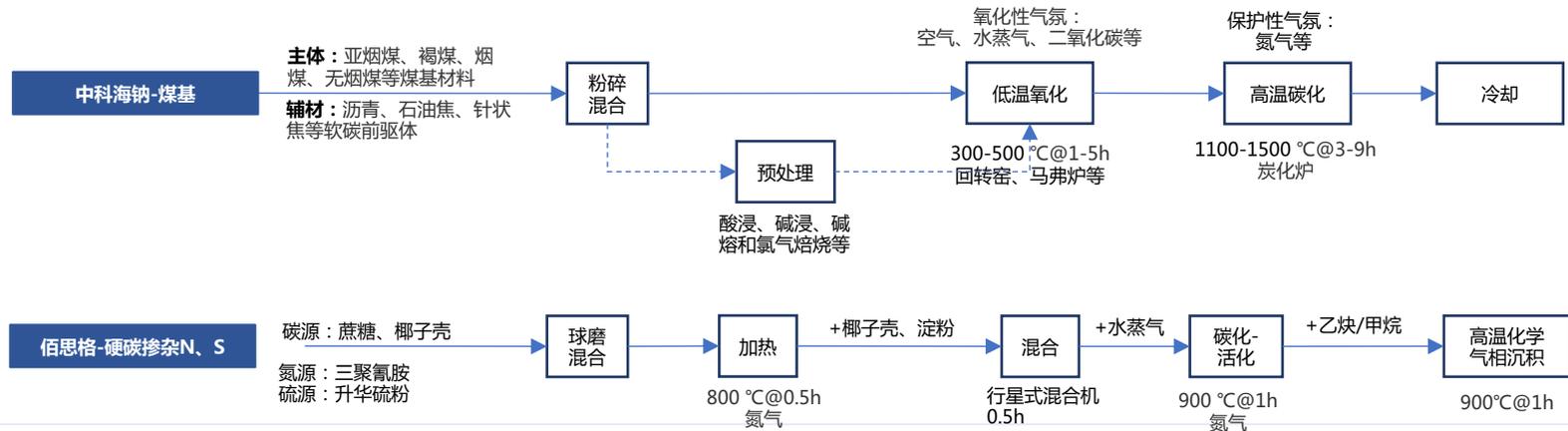
图表：钠离子电池负极前驱体成本对比

前驱体		前驱体价格 (万元/t)	产碳率	碳材料成本 (万元/t)	比容量 (mAh/g)		
硬碳前驱体	生物质	植物根茎叶：椰壳、香蕉皮、花生壳、树叶等	椰壳	0.2	10%	2.00	300
	碳水化合物	生物质提取的化工品：葡萄糖、蔗糖、淀粉、纤维素、木质素	葡萄糖	0.5	-	-	-
	树脂	酚醛树脂、聚苯胺、聚丙烯腈等	酚醛树脂	1.2	40%	3.00	300
软碳前驱体	无烟煤	俗称白煤或红煤。是煤化程度最大的煤。固定碳含量高，挥发分产率低，燃烧时不冒烟	无烟煤	0.13	90%	0.14	222
	沥青	由不同分子量的碳氢化合物及其非金属衍生生物组成的黑褐色复杂混合物，是高黏度有机液体的一种	沥青	0.35	60%	0.58	85
	石油焦	石油的减压渣油，经焦化装置，在500-550°C下裂解焦化而生成的黑色固体焦炭	-	-	-	-	-

负极生产工艺：碳化比石墨化能耗更低，工艺呈现多样性

- **钠离子碳基负极制备温度更低**：无定形碳加工基本仅需1000-1500°C左右碳化加热，而石墨负极的石墨化工序温度至少要达到3000°C以上，从能耗成本角度更为节约。
- **生产环节相似，部分环节对设备有特殊要求**：设备主要为粉碎混合用的球磨机、混合机等，加热用的窑炉、炭化炉等，其中部分加热工序需要特殊气氛（对密闭性有要求），此外部分预处理工序对耐腐蚀性有要求，硬碳前驱体粉末需要扬尘控制。
- **技术发展和可选改性方案**：软碳、硬碳前期研究目的主要是在锂离子电池石墨负极体系中进行掺杂/包覆以实现改性（提升倍率性等），主流负极企业多有相关布局。在钠离子电池体系中，由于软碳、硬碳材料本身均存在性能缺陷，为提升综合性能，可进行预活化、预氧化、混合掺杂、包覆等改性处理。如：碳源的选取可混合软碳和硬碳；可掺杂N、S、金属氧化物、合金等；通过包覆形成三维立体核壳结构，在形成丰富微孔储钠的同时改善表面导电性能。此外在烧结工艺、负极极片制作工艺上也有丰富提升手段。
- **总体而言，负极前驱体选型、加工工艺、改性手段均存在技术多样性，成本拆分、定价模型不透明，负极厂商更易形成技术壁垒和议价优势。**

图表：部分钠离子电池负极加工流程



电解液：六氟磷酸钠可使用现有产线，为量产首选方案

- **钠离子电池电解液与锂离子电池类似**，由溶质、溶剂、添加剂组成。其中溶质须锂盐替换为钠盐，溶剂、添加剂基本可复用锂离子电池中的成熟体系，但也需要根据钠离子特性做配方调整以提升性能。
- **钠离子斯托克斯直径比锂离子小**，低浓度的钠盐电解液具有较高的离子导电率，理论上可以使用低浓度电解液，以节约成本。
- **溶质钠盐主要分为有机钠盐和无机钠盐两大类**，其中无机钠盐中的NaPF₆生产工艺与锂离子电池体系成熟运用的六氟磷酸锂工艺结构类似，被认为是最具产业化前景的钠盐，但热稳定性欠佳。有机钠盐中的NaFSI导电率高但电化学窗口窄，NaTFSI热稳定性好但低浓度易腐蚀集流体。

图表：电解液不同溶质性能参数比较

性质	化学式	分子量 (g/mol)	熔点 (°C)	电导率 (*10 ⁻³ S/cm)	优点	劣势
无机钠盐	六氟磷酸钠 NaPF ₆	167.9	300	7.98	可溶解度高，导电率高，可使铝箔表面形成稳定钝化层，兼容碳基负极和各类正极材料； 合成工艺与LiPF₆类似，可用现成产线量产；关键在提纯（除HF）	热稳定性差（好于LiPF ₆ ），在有机溶剂中会产生NaF和PF ₆ ，高温下分解加剧；P-F键极易水解，生成HF，与溶剂、电极材料、界面膜反应，使过渡金属溶出，造成容量衰减
	高氯酸钠 NaClO ₄	122.4	468	6.4	实验室最常用，电导率高，成本低，水敏感性低，适用于高电压体系	高价氯元素氧化性强，存在安全隐患
有机钠盐	双氟磺酰亚胺钠 NaFSI	203.3	118	-	在聚合物电解质中可改善导电率	电化学窗口窄，阴离子对铝箔集流体有腐蚀作用
	双三氟甲基磺酰亚胺钠 NaTFSI	303.1	257	6.2	电导率接近NaPF ₆ ，C-F键稳定不易水解，比NaPF ₆ 稳定性更好；在聚合物电解质中可改善导电率，	低浓度下会腐蚀铝集流体

图表：部分企业钠离子电解液溶质量产或专利路线

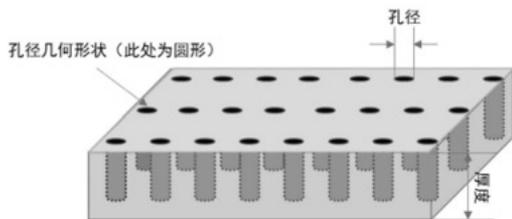
企业	专利或量产方案
永太科技	产能规划：六氟磷酸钠、双氟磺酰亚胺钠、二氟二草酸硼酸钠
钠创新能源	六氟磷酸钠、含硼聚合物
多氟多	六氟铁酸钠：聚合物包覆
星恒电源	六氟磷酸钠等
湖北万润	双氟磺酰亚胺钠
新宙邦	六氟磷酸钠、双三氟甲烷磺酰亚胺钠、双氟磺酰亚胺钠、高氯酸钠、三氟甲基磺酸钠和四氟硼酸钠等
天赐材料	产线兼容：六氟磷酸钠
衢州九洲	六氟磷酸钠
江苏新泰	六氟磷酸钠
湖南钠方	六氟磷酸钠
中科院物理所	高氯酸钠、四氟硼酸钠、六氟磷酸钠、六氟砷酸钠、三氟乙酸钠、四苯硼酸钠、三氟甲基磺酸钠、双(氟磺酰)亚胺钠、双(三氟甲基磺酰)亚胺钠等

- **集流体**：由于锂离子容易在低电位与铝箔反应生成Al-Li合金，因此锂电池负极极片一般采用铜箔集流体。而钠离子在负极不会和铝反应，负极集流体可替换为成本更低的铝箔。为抑制钠枝晶、降本、提高安全性，钠离子体系中铝集流体也存在复合、造孔等多种改性方案。
- **黏结剂**：当前已披露正负极极片、电池等专利信息中，一般对黏结剂选择没有硬性要求，量产基本沿用当前锂离子电池体系中量产的PVDF等传统黏结剂。但PVDF必须配合NMP使用，长期来看污染较大。部分学术研究发现水系黏结剂中的CMC+SBR、PAA等在钠离子电池首次库伦效率和可逆比容量等方面均有优势。
- **导电剂**：基本也可沿用锂离子电池体系，但出于成本考量，产业化更倾向于成本较低的炭黑等方案。

图表：钠离子不同体系中代表性的粘结剂性能对比

活性材料	黏结剂	初始放电容量 /(mA·h/g)	可逆放电比容量 /(mA·h/g)	循环次数
NaMnO ₂	PVDF	110	100	800
	CMC	110	99.7	800
Na ₃ V ₂ O _{2x} (PO ₄) ₂ F _{3-2x}	PVDF	103	87	60
	CMC	108	105	250
Na ₃ V ₂ (PO ₄) ₂ F ₃	PVDF	90	80	3500
	CMC	90	60	3500
CNT	PVDF	225	64.2	300
	PAA	230	175.5	300
Sb	CMC	1400	850	140
MoS ₂	PVDF	680	9	50
	SA	820	595	50
CuO	PVDF	238	324	50
	CMC/PAA	401	630	90

图表：一种抑制钠枝晶的多孔铝集流体



- 钠离子电池发展历程
- 电池及材料技术路线对比
- 钠离子电池BOM成本测算
- 产能梳理和需求测算
- 产业链重点公司系统梳理
- 风险提示

- **定价对标磷酸铁锂平替，仍有较大下降空间。**由于正极、负极等原材料尚未形成市场规模，多数企业选择自供，尚无稳定市场报价。我们预测产业化初期，钠离子电池每kwh制造成本在600-700元之间。待产业链形成规模化生产后，有望下降到500元/kwh以下。假设碳酸锂价格跌回15万元/吨，LFP价格回落到7.35万元/吨左右，对应LFP电芯全成本约为700元/kWh左右，钠离子电池仍将具备明显的成本优势。

图表：钠离子电池成本测算
注：以铜铁锰层状氧化物软包路线为例

	用量	单位	中期单价	单位	成本 (元/kWh)	占比	初期单价	初期成本
铜铁锰层状氧化物正极	2.48	kg/kWh	28.8	元/kg	71.5		80	198.58
软碳	1.14	kg/kWh	15.0	元/kg	17.1		50	57.16
正极黏结剂	0.08	kg/kWh	115.0	元/kg	9.1	132.3	10.50	
负极黏结剂	0.05	kg/kWh	45.0	元/kg	2.1	51.8	2.47	
正极导电炭	0.08	kg/kWh	60.0	元/kg	4.8	69.0	5.48	
负极导电炭	0.01	kg/kWh	60.0	元/kg	0.6	69.0	0.73	
NMP	1.42	kg/kWh	15.0	元/kg	21.4	17.3	24.56	
正极铝箔	0.32	kg/kWh	23.5	元/kg	7.5	27.0	8.58	
负极铝箔	0.35	kg/kWh	23.5	元/kg	8.2	27.0	9.44	
隔膜	35.17	m ² /kWh	1.3	元/m ²	45.7	1.5	52.59	
高温绝缘胶带	1.91	卷/kWh	2.5	元/卷	4.8	2.9	5.48	
极耳	105.85	Pcs/kWh	0.3	元/PCS	31.8	0.3	36.52	
铝塑膜	0.55	kg/kWh	26.0	元/kg	14.2	29.9	16.30	
电解液	1.59	kg/kWh	20.0	元/kg	31.8	23.0	36.52	
原材料BOM					270.5	60%		464.9
人工成本					63.12	14%		72.59
质量环境					9.02	2%		10.37
设备折旧					58.61	13%		67.40
管理费用					9.02	2%		10.37
能源消耗					40.58	9%		46.66
综合成本					450.85			672.29
合理利润率					10%			15%
合理利润					45.09			100.84
售价					495.94			773.13

图表：钠离子电池成本测算
注：以普鲁士白软包路线为例

	用量	单位	中期单价	单位	成本 (元/kWh)	占比	初期单价	初期成本
普鲁士白类正极材料	2.28	kg/kWh	26.5	元/kg	60.4		80	182.24
软碳	1.15	kg/kWh	15.0	元/kg	17.2		50	57.35
正极黏结剂	0.13	kg/kWh	115.0	元/kg	14.7	132.3	10.50	16.85
负极黏结剂	0.05	kg/kWh	45.0	元/kg	2.2	51.8	2.47	2.47
正极导电炭	0.13	kg/kWh	60.0	元/kg	7.6	69.0	5.48	8.79
负极导电炭	0.01	kg/kWh	60.0	元/kg	0.6	69.0	0.73	0.73
NMP	2.11	kg/kWh	15.0	元/kg	31.6	17.3	24.56	36.36
正极铝箔	0.30	kg/kWh	23.5	元/kg	7.1	27.0	8.58	8.18
负极铝箔	0.33	kg/kWh	23.5	元/kg	7.9	27.0	9.44	9.04
隔膜	33.76	m ² /kWh	1.3	元/m ²	43.9	1.5	52.59	50.46
高温绝缘胶带	1.91	卷/kWh	2.5	元/卷	4.8	2.9	5.48	5.50
极耳	106.20	Pcs/kWh	0.3	元/PCS	31.9	0.3	36.52	36.64
铝塑膜	0.55	kg/kWh	26.0	元/kg	14.2	29.9	16.35	16.35
电解液	1.59	kg/kWh	20.0	元/kg	31.9	23.0	36.64	36.64
原材料BOM					275.9	60%		467.6
人工成本					63.12	14%		72.59
质量环境					9.02	2%		10.37
设备折旧					58.61	13%		67.40
管理费用					9.02	2%		10.37
能源消耗					40.58	9%		46.66
综合成本					459.76			675.00
合理利润率					10%			15%
合理利润					45.98			101.25
售价					505.73			776.25

- 钠离子电池发展历程
- 电池及材料技术路线对比
- 钠离子电池BOM成本测算
- 产能梳理和需求测算
- 产业链重点公司系统梳理
- 风险提示

- 据公开资料统计，钠离子电芯头部厂商产能规划合计超过100GWh。主要分为传统锂离子电池厂商转型，和钠离子电池专业化厂商。由于钠离子电芯产线和锂离子电池产线设备相似度较高，存在从锂离子电池产线技改切换的可能性，实际上产能弹性较大。
- 从投资强度来看，钠电池与锂电工艺设备基本类似，投资强度与锂电接近；正极分为普鲁士类和层状氧化物，根据企业公告数据，普鲁士类投资强度在1.4-2亿元，层状氧化物与三元共线，投资成本接近；负极和电解液溶质投资预计将会低于现有锂电水平。

图表：国内钠离子电芯产能规划梳理

公司	基地	远期规划	产能规划 (GWh)
宁德时代	福建福鼎	公告2023年开始实现产业化。	待定
中科海钠	安徽阜阳	一期1GWh已投产，二期4GWh，远期25GWh	30
	江苏溧阳	试验线百兆瓦时级	0.1
华阳股份	山西阳泉	公告1GWh产线已投产，地方上报总规划50GWh（合作中科海钠）	50
传艺科技	江苏高邮	10GWh钠离子电池一体化项目（后上调一期至4.5GWh，二期规模待定）	10
钠创&维科技术	江西南昌	维科电芯一期2GWh23年6月量产，（钠创8万吨正极项目可配套32GWh电芯，一期4万吨可配套16GWh）	保守估计10GWh
多氟多		一期1GWh已投产，规划5GWh	6
合计			超过100GWh

图表：钠离子电池各环节投资强度

环节	单GWh/万吨投资	备注
电池	2-3亿元	工艺、设备与锂电基本类似
正极	1.5亿元	普鲁士蓝/白
	2-3亿元左右	层状氧化物，可与三元共线
负极	预计低于2-3亿元	硬碳，反应温度低于石墨，预计单位投资额更低
电解液溶质	预计低于4-6亿元	六氟磷酸钠，可沿用现有6F工艺设备也可以采用更简单工艺，预计会降低

- 展望A00级电动车、电动两轮车和储能领域，到2025年对电池需求约为441GWh，假设钠离子电池渗透率为16%，对应钠离子电池需求71.2GWh。展望2030年，钠离子电池需求有望达到439GWh。**在此我们强调：决定渗透率的是供给侧能力，如果钠离子电池性能、成本超预期，实际需求空间更大。**

图表：钠离子电池需求测算

领域	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2030E
中国乘用车销量	117	333	624	842	1,095	1,369	3,001
A00轿车BEV渗透率	25%	27%	28%	28%	28%	28%	28%
A00轿车BEV销量(万辆)	29	90	175	236	307	383	840
单车带电量(kWh)	21.0	21.5	22.0	23.0	24.0	25.0	30.0
A00动力电池需求(GWh)	6	19	38	54	74	96	252
钠离子电池渗透率				3.0%	8.0%	15.0%	25.0%
动力-钠离子电池需求(GWh)				1.6	5.9	14.4	63.0
电动两轮车产量(万辆)	4,760	4,975	5,224	5,746	6,321	6,953	11,198
yoy		5%	5%	10%	10%	10%	10%
单车带电量(kWh)	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
两轮车电池需求(GWh)	34	36	38	41	46	50	81
钠离子电池渗透率			0.2%	5.0%	15.0%	25.0%	40.0%
两轮-钠离子电池需求(GWh)			0.1	2.1	6.8	12.5	32.2
全球储能电池需求(GWh)	44	65	97	146	212	295	1,144
yoy		47%	50%	51%	45%	39%	31%
钠离子电池渗透率			0.2%	3.0%	10.0%	15.0%	30.0%
储能-钠离子电池需求(GWh)			0.2	4.4	21.2	44.3	343.3
三大领域电池总需求(GWh)	85	120	173	241	331	441	1,477
钠离子电池需求(GWh)			0.3	8.1	33.9	71.2	438.6
钠离子电池渗透率			0%	3%	10%	16%	30%
yoy				2901%	320%	110%	44%
合计							
对纯碱需求量(1GWh~0.09万吨)			0.0	0.7	3.0	6.4	39.5
纯碱有效产能		3231					
产能冗余		318					
纯碱当前产量	2,812	2,913					

图表：钠离子电池现有产业化应用

时间	规模	用途	企业	简介
2017年底	48V/10Ah	电动自行车	中科海钠	中科海钠研制出48V/10Ah钠离子电池组应用于电动自行车
2018年	72V/80Ah	电动汽车	中科海钠	推出全球首款钠离子电池电动汽车
2019年	100kWh	大型储能	中科海钠	推出全球首个100kWh钠离子电池储能电站，首次实现在大规模储能上的示范应用
2021年6月28日	1MWh	大型储能	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
2022年1月	3+4.8kWh/3kW; 12.6kWh	家用储能	中科海钠 & BLUETTI	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
2021年9月14日	-	航标电池	中科海钠	长江芜湖大桥水道大桥上左右通航浮使用新型航标供电电池-钠离子电池
2022年4月24日	小批量	中低速电动车、电动大巴及家用储能	立方新能源	收到多个客户的样品及量产订单，用于中低速电动车、电动大巴及家用储能等领域。6月将开始小批量生产钠离子软包电池，并在2023年开始大批量生产。
2021年5月	-	储能器件	钠创新能源	推出全球首套钠离子电池-甲醇重整制氢-燃料电池综合能源系统产品
2021年7月	-	双轮电动车	钠创新能源	钠创新能源与爱玛科技联合发布全球首批钠离子电池驱动双轮电动车
2021年10月	25MWh	钠电自动化生产线	贵安能源	贵安在江苏无锡工厂导入贵安第二代水系钠盐电池量产自动化生产线，全线自动化水平超90%，年产25MWh P2电池。是贵安能源近年在国内投入的第二条标准化量产线。
2022年8月	-	新型储能动模平台	贵安能源	三峡集团乌兰察布“源网荷储一体化”项目开展园区多种新型储能动模平台调试工作，贵安能源水系钠盐电池动模系统调试一次成功，投入测试运行。
2022年10月	60MWh	电网侧储能	中科海钠	三峡集团安徽阜南南部风光储基地项目，30MW/60MWh钠离子电池储能项目，9套钠离子储能单元，华东区域最大电网侧化学储能项目。

- 钠离子电池发展历程
- 电池及材料技术路线对比
- 钠离子电池BOM成本测算
- 产能梳理和需求测算
- 产业链重点公司系统梳理
- 风险提示

钠离子电池投资策略：关注“变革”与“切换”

变革：

- 原料体系颠覆的【**负极**】：石墨储钠能力较差，对于储钠能力较强的软碳/硬碳，传统锂电负极企业过去曾在锂电体系内展开过相关研究，部分生产工艺、设备需要定制化设计，关注具备技术和成本优势的【**贝特瑞**】、【**元力股份**】、【**杉杉股份**】、【**圣泉集团**】、【**璞泰来**】、【**索通科技**】等。
- 用量翻倍的【**铝箔集流体**】：钠离子在负极不会和铝反应，负极集流体可由铜替换为成本更低的铝箔。为抑制钠枝晶、降本、提高安全性，钠离子体系中铝集流体也存在PET复合、造孔等多种改性方案。关注【**鼎胜新材**】、【**万顺新材**】等。
- 全新化学体系【**普鲁士蓝/白**】：理论比容量高、生产成本低，有望成为中长期正极优选方案，短期结晶水问题仍需解决，关注有颜料级普鲁士蓝生产经验的【**百合花**】、【**美联新材**】，和电池级开始小批量供货的【**容百科技**】等。

切换：

- 工艺产线相似的【**层状氧化物正极**】【**电解质**】：活性金属由锂替换为钠，其中层状氧化物、六氟磷酸钠有望成为初期量产方案，二者生产工艺和锂电三元、六氟磷酸锂相似，关注持续投入技术研发、生产经验丰富的传统头部企业【**振华新材**】、【**容百科技**】、【**当升科技**】、【**天赐材料**】、【**多氟多**】、【**新宙邦**】、【**丰山集团**】。新品类强化竞争优势，提升产能利用率。
- 集大成的【**电池**】：钠离子电池与锂离子电池生产工艺基本类似，传统锂离子电池产线可调试转产。【**宁德时代**】、【**孚能科技**】、【**鹏辉能源**】等传统锂电龙头将推动量产，【**华阳股份**】、【**维科技术**】、【**传艺科技**】等钠电池专业企业弹性较大。

资料来源：各公司官网，华福证券研究所

图表：钠离子电池产业链技术图谱



图表：钠离子电池电芯相关企业

环节	类型	企业	可能技术路线（未定型）
电池	钠电新秀	中科海钠&华阳股份&多氟多 中科海钠&三峡能源	正极:铜基层状氧化物/聚阴离子 负极:无烟煤基软碳
		维科技术（电池）&浙江钠创（正极+电解液）&淮海集团	正极:层状金属氧化物（镍锰钴） 负极:硬碳
		湖南立方（合作振华新材，德赛电池参股）	正极:层状氧化物/普鲁士蓝 负极:硬碳
		传艺科技	正极:层状氧化物/聚阴离子 负极:硬碳
		众钠能源（碧桂园领投天使轮+，合作丰山集团）	正极:硫酸铁钠 负极:硬碳
		星空钠电	正极:普鲁士蓝（水钠锰矿） 负极:硬碳
		上海汉行	正极:普鲁士 负极:煤基
		喀什安德（山东章鼓参股20%）&艾诺冈（山东章鼓持股24%）	正极:聚阴离子（磷酸钒钠） 隔膜:PPS固态电解质膜 形态:半固态钠离子电池
		上海奥能瑞拉	钠-氯化镍高温钠电池
		贵安能源	正极:普鲁士蓝 负极:钛酸盐 电解液:水系无机
		华钠新材*（美联新材参股7%）	正极:钠锂层状氧化物混合/磷酸铁锂+普鲁士蓝混合； 负极:硬碳
		兴储世纪（华友钴业、海天股份参股）	待定
		雄韬股份	负极:硬碳（混合）
		奥威科技（新筑股份参股36.84%）	钠离子电容器
深圳埃克森	待定		

环节	类型	企业	可能技术路线（未定型）
电池	传统电池企业	宁德时代	正极:普鲁士白/层状氧化物/聚阴离子 负极:硬碳/金属
		鹏辉能源	正极:磷酸钠盐等 负极:硬碳（参佰思格）
		孚能科技（合作振华新材）	正极:层状氧化物
		蜂巢能源	正极:层状氧化物
		亿纬锂能	负极:硬碳（生物质）
		派能科技	正极:尖晶石 负极:硬碳
		欣旺达	待定
		正力新能	正极:磷酸钒钠 负极:硬碳
		圣阳股份	水系
		多氟多	正极:层状氧化物 电解液:六氟磷酸钠
		珠海冠宇	启停电池12V
		天能股份	正极:聚阴离子（磷酸）
	海外企业	Faradion（英国）（印度信实收购）	正极:层状氧化物 负极:硬碳
		Natron Energy（美国）	正极:普鲁士蓝 电解液:水系无机
		Tiamat Energy（法国）	正极:聚阴离子 负极:硬碳
	其他跨界企业	中自科技	大圆柱

图表：钠离子电池电解液相关企业

环节	类型	企业	可能技术路线（未定型）
电解液	传统电解液企业	天赐材料	六氟磷酸钠
		永太科技	六氟磷酸钠、双氟磺酰亚胺钠、二氟二草酸硼酸钠
		多氟多	六氟铁酸钠：聚合物包覆
		新宙邦	六氟磷酸钠（层状氧化物钠离子电池电解液）
		华盛锂电	双草酸硼酸钠/双氟磺酰亚胺钠
		珠海赛纬	（电解液）六氟磷酸钠等
		中欣氟材	六氟磷酸钠
		胜华新材	钠离子电池关键材料
		衢州九洲	六氟磷酸钠
		天际股份（子公司江苏新泰）	六氟磷酸钠
		瑞泰新材	待定
		钠电企业配套	钠创新能源
	万润新能		双氟磺酰亚胺钠
	丰山集团（合作众钠能源）		宽温域、电压、特种电解液
	跨界企业	立中集团	氟化钠
延安必康（子公司九九久科技）		六氟磷酸钠	

图表：钠离子电池负极相关企业

环节	企业性质	企业	可能技术路线（未定型）
负极	传统锂电负极企业	贝特瑞	硬碳/软碳
		杉杉股份	软碳/硬碳（树脂）
		璞泰来	硬碳/软碳
		翔丰华	硬碳/钠离子电池大层间距石墨负极
		中科电气	硬碳/软碳
		索通发展	预焙阳极废料有望成为软碳原料
		凯金能源	硬碳（纤维素等）/钛基等
		尚太科技	硬碳
	活性炭龙头企业	可乐丽（日本）	硬碳
		元力股份	硬碳（生物质）
		美锦能源（合作中科院煤化所）	硬碳
	硬碳专业企业	佰思格（鹏辉能源参股）	硬碳（树脂）
		神华/国家能源投资集团	硬碳
		圣泉集团	硬碳原材料（秸秆、树脂）
	钠电企业配套	武汉比西迪	硬碳（树脂）
		宁德时代/邦普循环	硬碳
		中科海纳/华阳股份	软碳（无烟煤）
传艺科技		硬碳（木质素）	
众钠能源		硬碳（生物质）	
珈钠能源		正极：聚阴离子；负极：生物质硬碳	

图表：钠离子电池正极相关企业

环节	类型	企业	可能技术路线（未定型）
正极	传统企业	邦普循环（宁德时代控股）	层状氧化物、普鲁士类、聚阴离子等
		振华新材	层状氧化物（镍铁锰）
		容百科技	锰铁普鲁士白+3款镍铁锰层状氧化物
		当升科技	层状氧化物（铁锰镍铜）
		厦钨新能	层状氧化物
		长远锂科	层状氧化物&普鲁士蓝
		万润新能	磷酸铁钠Na4Fe3（PO）2P2O7；普鲁士类
		中伟股份	（前驱体）层状氧化物
		格林美	（前驱体）层状氧化物(镍铁锰)
		道氏技术	（前驱体）
	江苏翔鹰	层状氧化物	
	丰元股份	待定	
	钠电企业配套	中科海钠	层状氧化物（铜铁锰）
		钠创新能源	层状氧化物；聚阴离子（储备）
		传艺科技	层状氧化物
		众钠能源	聚阴离子（硫酸铁钠）
		珈钠能源	正极：聚阴离子 负极：生物质硬碳
		上海汉行	普鲁士
		同兴环保	层状氧化物；（研究聚阴离子，关注普鲁士蓝）
		专业型初创企业	Altris（瑞典）
喀什安德（山东章鼓参股20%）			聚阴离子
湖北恩耐吉			聚阴离子（磷酸钒钠Na3V2(PO4)3）
跨界企业	百合花	普鲁士蓝类	
	七彩化学&美联新材	普鲁士蓝类	
	开元教育（合作中南大学）	镍铁锰氧化物	

图表：钠离子电池其他环节部分相关企业

环节	企业
铝箔	鼎胜新材
	万顺新材
	丽岛新材
	神火股份
粘结剂	因蒂乐（璞泰来参股）
	研一
	回天新材
锰盐	埃索凯
	红星发展
	湘潭电化
	恒光股份
	宝海微元

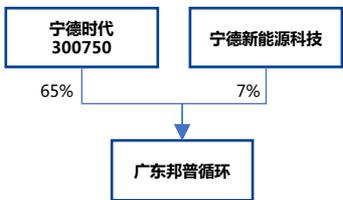
宁德时代：锂电全球龙头，领航钠离子电池量产

- 2021年7月宁德时代正式发布第一代钠离子电池，计划2023年形成基本产业链，并宣布第二代钠离子电池的能量密度将达到200Wh/kg，系统能量密度能做到160Wh/kg。同时亮相创新的**锂钠混搭电池包**（高性能的锂+低成本的钠互补，推动产业化应用）。
- **龙头影响力**：宁德时代具备成熟的锂电产业链布局（能调动上游材料厂配套开发、生产的积极性），拥有超过百GWh的电池生产管理、制造经验，以及丰富的科研资源（截至2022年6月30日，拥有研发技术人员12132名，拥有4645项境内专利及835项境外专利，正在申请的境内和境外专利合计7444项），有望复刻在在锂离子电池领域的生产、技术优势，并带动全产业链资源向钠离子电池倾斜，给予下游试用产品的信心。
- **技术路线分析**：从宁德时代和其控股的邦普循环相关专利储备分析，2016年起开始申请钠离子电池专利，2017年申请普鲁士蓝专利，聚阴离子各种路线均有布局，层状氧化物包括高镍、富锰、铜锰等多种路线，负极包括硬碳和非碳升级路线。

图表：宁德时代-邦普循环钠离子电池代表性专利

企业	路线	申请日	专利名称	专利状态	发明人
邦普	层状氧化物：高镍	2021-12-16	一种高镍钠离子正极材料及其制备方法和电池	实质审查	余海军 王涛 李爱霞 谢英豪 张学梅 李长东
	层状氧化物：钠磷	2021-11-29	一种钠离子电池正极材料及其制备方法和应用	实质审查	余海军 李爱霞 谢英豪 张学梅 卢治旭 李长东
	层状氧化物：富锰	2021-11-30	富锰的钠离子正极材料及其制备方法和应用	实质审查	钟应声 谢英豪 李爱霞 余海军 卢治旭 李长东
	层状氧化物	2018-10-17	一种共掺杂柔性钠离子电池正极材料及其制备方法	授权	许帅军 叶文锦 阮丁山 唐胜贺 汪乾 刘婧婧
	普鲁士蓝类	2018-08-31	一种钠离子电池正极材料及其制备方法	授权	许帅军 阮丁山 唐胜贺
	聚阴离子：磷酸铁钠	2021-09-30	掺杂型磷酸铁钠正极材料及其制备方法和应用	实质审查	余海军 钟应声 李爱霞 谢英豪 张学梅 李长东
	聚阴离子：磷酸钒铁钠	2022-02-15	一种磷酸钒铁钠材料的制备方法及其应用	实质审查	余海军 谢英豪 李爱霞 张学梅 李长东
	聚阴离子：复合	2021-10-29	钠离子电池正极材料及其制备方法和应用	实质审查	余海军 张学梅 谢英豪 李爱霞 钟应声 李长东
	普鲁士蓝类：掺氟	2021-10-28	掺杂氟的普鲁士蓝类钠离子电池正极材料的制备方法	实质审查	余海军 谢英豪 李爱霞 张学梅 李长东
	硬碳：玉米淀粉、椰壳、酚醛树脂、腐植酸和褐煤	2022-08-18	一种碳质材料、其制备方法和钠离子电池	实质审查	张苗 阮丁山 李长东 毛林林 郑爽
	硬碳：葡萄糖酸盐和葡萄糖	2022-06-28	一种钠离子电池多孔硬碳材料的制备方法及其制品、应用	实质审查	张苗 阮丁山 李长东 毛林林 郑爽
	锡基硫化物	2021-11-26	锡基硫化物钠离子电池负极片的制备方法及其应用	实质审查	余海军 谢英豪 李爱霞 张学梅 李长东
	石墨烯基	2021-10-28	石墨烯基钠离子电池负极材料的制备方法	实质审查	余海军 谢英豪 李爱霞 张学梅 李长东
	金属硫化物	2021-10-28	金属硫化物钠离子电池负极材料及其制备方法	实质审查	李爱霞 余海军 谢英豪 张学梅 李长东
宁德时代	层状氧化物：铁锰铜	2019-02-12	正极活性材料、其制备方法及钠离子电池	授权	朱金友 郭永胜 梁成都 刘倩 林文光
	聚阴离子：磷酸	2018-09-03	正极活性材料、其制备方法及钠离子电池	授权	刘倩 郭永胜 梁成都 朱金友 苏硕剑
	层状氧化物：镍铁锰	2019-09-27	钠离子电池用正极活性材料、由该活性材料制成的钠离子电池、电池模块、电池包及装置	实质审查	黄丽婷 郭永胜 梁成都 兰加佃 林文光
	普鲁士蓝类	2017-10-30	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	授权	苏硕剑 郭永胜 梁成都 王喜庆 王莹 刘倩
	硬碳+3种路线正极	2019/2/2	钠离子电池及其制备方法	实质审查	刘倩 郭永胜 梁成都 林文光 王钢
	钠金属	2021/6/26	钠金属电极、电化学装置	授权	曾毓群
	多种路线负极+3种路线正极	2016/7/18	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	授权	梁成都 王莹 郭永胜 李晓燕 罗莉
	熔融补钠	2016/7/18	一种钠离子电池的补钠方法及制备得到的极片和电池	实质审查	梁成都 苏硕剑 郭永胜 李晓燕 罗莉
负极金属氧化物镀层	2021/6/26	负极极片的处理方法、钠金属负极极片与电化学装置	授权	曾毓群	

图表：宁德时代-邦普循环



中科海钠：中科院物理所孵化，深耕钠离子电池 合作华阳股份、三峡资本、多氟多等，获华为战投

图表：中科海钠核心团队

- ▶ **中科院物理研究所**2011年起致力于钠离子电池技术开发，2017年依托其技术的**中科海钠**成立，创始团队包括核心技术人员胡勇胜、陈立泉等，试验线建设在江苏溧阳。2020年中科海钠Pre-A轮融资得到华阳新材料集团旗下梧桐树资本投资，而后与具备丰富无烟煤资源的**华阳股份**深度合作，在山西共建正负极材料生产线，并为其钠离子电池产线提供技术支持。此外，中科海钠与**三峡江苏能投**、阜阳国资合资建设钠离子电池生产基地。
- ▶ 2021年9月，**多氟多**（六氟磷酸锂头部企业之一，2022年1-9月国内动力电池装机量排名第13）与华阳股份签订战略合作协议，包括在六氟磷酸钠、电池、添加剂、负极等方面合作。



陈立泉

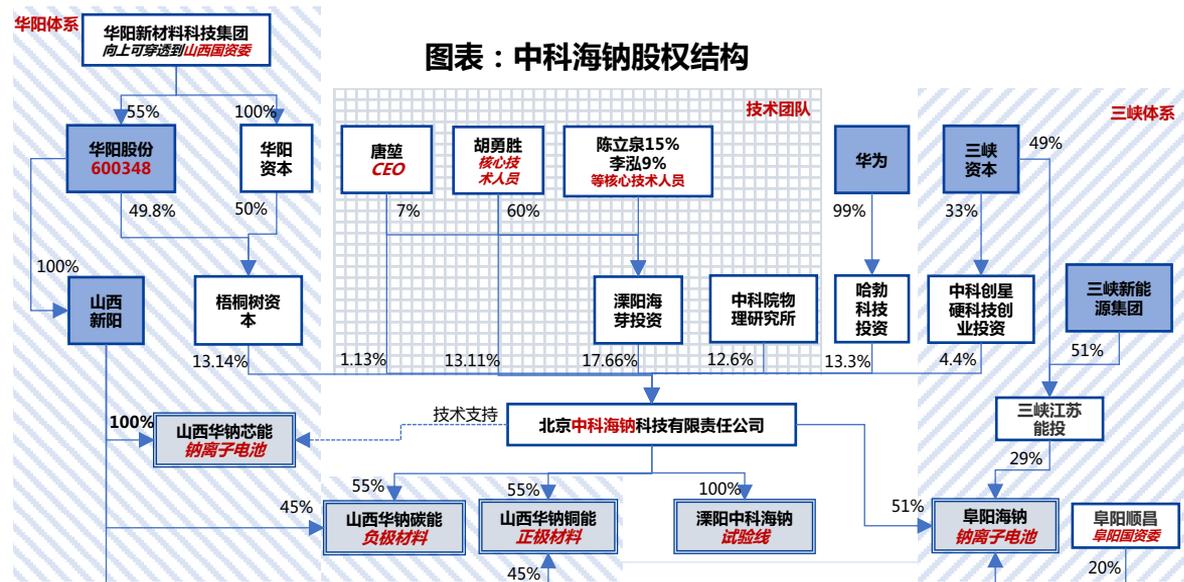
中国工程院院士，中科院物理研究所研究员，博导。曾牵头成立星恒电源、天目先导、卫蓝新能源。曾在国内率先展开锂电池、固态电池等相关研究，是锂离子电池产业化领军人。
研究方向：1. 纳米离子学；2. 新能源材料及其应用；3. 固体电解质和全固态锂电池研究。



胡勇胜

中科院物理研究所研究员，博士生导师。武汉理工大学材料学院硕士，中科院物理研究所博士。
研究方向：新能源材料与器件及其相关基础科学问题，主要包括：1. 钠离子电池材料与器件；2. 纳米离子学（离子/电子在纳米尺度上的运输、存储与反应问题）；3. 光电一体化能源系统

图表：中科海钠股权结构



图表：中科海钠融资历程

披露日期	交易金额	融资轮次	投资方
2022/4/1	未披露	A+轮	哈勃投资、海松资本、深圳聚合资本
2021/3/26	数亿元人民币	A轮	梧桐树资本
2020/4/24	数千万人民币	Pre-A轮	中科创星、梧桐树资本、中关村创业投资
2019/1/4	未披露	天使+	北京协同创新研究院
2018/9/14	未披露	天使轮	国科嘉和、物理所
2017/2/8		成立	

图表：浙江钠创领军人

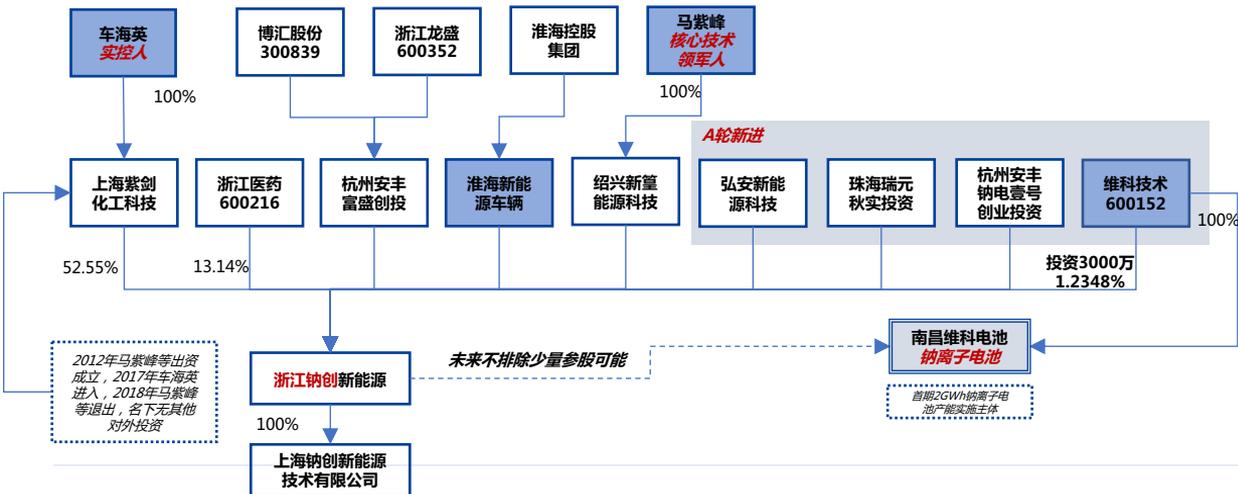
- ▶ **浙江钠创**成立于2018年，团队核心技术来源于上海交通大学**马紫峰**教授团队，实控人为其学生**车海英**博士（上海电化学能源器件工程技术研究中心中级研究人员），**浙江医药**战略投资参股。**淮海控股**2021年参与其Pre-A轮融资，**维科技术**2022年参与其A轮融资。当前估值已超过24亿元。
- ▶ **维科技术**2004年即进入电池行业，2019年与LG化学在南昌合资建设电池厂，在聚合物锂电池、铝壳锂电池行业有技术和工艺积淀。当前规划首期2GWh钠离子电池产线，2023年中有望投放。
- ▶ **新宙邦**（锂离子电池电解液头部企业之一）2019年与钠创控股股东**上海紫剑化工**共同申请《钠离子电解液、二次电池及制备方法和应用》专利。



马紫峰

1963年生，毕业于**浙江大学**化学工程系，1998年进入**上海交通大学**任燃料电池研究所副所长，1999年起任上海交大化工教授，现兼上海电化学能源研究院副院长，上海交通大学绍兴新能源与分子工程研究院院长、上海化学能源器件工程技术研究中心主任、上海高校电化学能源系统及应用工程中心主任等。**国家973计划项目首席科学家**（电动汽车、储能方向）。曾凭借磷酸铁锂动力电池制造及其应用过程关键技术，获**国家科技进步奖二等奖**。研究方向：1、电化学储能新体系与新材料；2、燃料电池电催化；3、材料化学工程

图表：浙江钠创股权结构



图表：浙江钠创融资历程

披露日期	轮次	估值（亿元）	投资方
2022/10/25	A轮	24.30	淮海控股、安丰创投、维科集团、瑞元资本
2021/10/29	Pre-A轮	亿元级	安丰创投、淮海控股
2020/4/14	战略融资	-	浙江医药
2018/5/8	成立	0.1	浙江医药40%、紫剑化工60%

- **湖南立方**新能源成立于2013年，涉足消费、动力、储能锂电。2016年成为特斯拉和通用汽车研发供应商。2021年与Desay、Anker、HW等国内储能巨头确定 500 亿元电芯战略采购计划。2015年开始布局**钠离子电池**，2016年制备Ah级软包钠离子电池（**普鲁士蓝/硬碳体系**），单体能量密度达到120Wh/kg；2017年实现了10kg级普鲁士蓝制备；2018年，配合南网和国网开发**磷酸钒钠体系钠电池**。2021年开始聚焦**层状氧化物**路线，申请了专利，形成吨级生产。
- 2021年底成立专注钠离子电池研发和产业化的全资子公司**湖南钠方**。2022年4月发布**第一代钠离子电池**，软包单体可达到140Wh/kg，同时湖南立方与**中车株洲电力机车研究所**签约；湖南钠方与**振华新材**签约。目前生产的第一批钠离子电池已经在小型储能、二轮、三轮电动车应用。**德赛电池**间接参股4.4%。

图表：湖南立方领军人



涂健

浙江大学科学与工程材料科学工学博士，东莞、株洲高科技领军人才。湖南立方董事长、总经理兼总工程师。从事锂离子电池、钠离子电池研究22年，同时具备丰富生产管理经验。

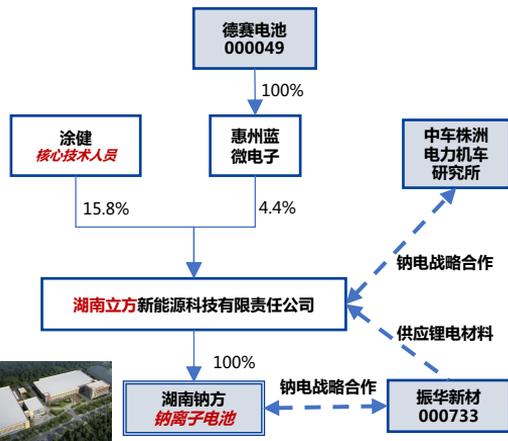
图表：湖南立方融资历程

披露日期	融资轮次	投资方
2021/9/13	A+轮	青橙资本
2018/8/24	A轮	鼎青投资、德道厚生投资
2017/1/4	天使轮	鑫天瑜资本
2013/11/28	成立	涂健、朱中尧、曾德文

图表：湖南立方&钠方部分钠离子电池及材料专利

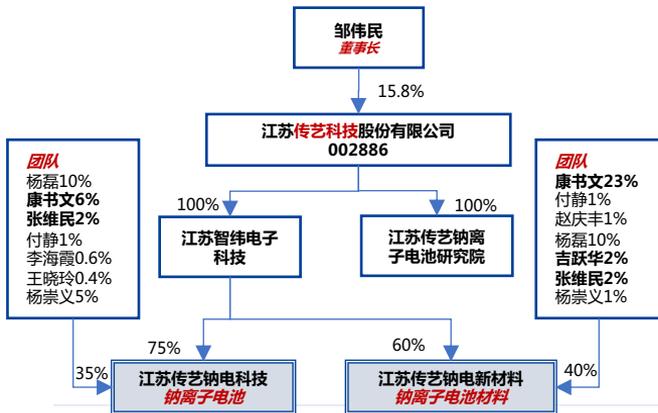
环节	申请日	专利名称	专利状态	
补钠	2022-08-01	一种补钠组合物及钠离子电池	实质审查	
	2019-10-23	一种负极补钠添加剂、负极材料及钠离子电池	授权	
电解液	2022-06-28	一种电解液及钠离子电池	实质审查	
	2022-03-24	一种电解液添加剂、电解液及钠离子电池	实质审查	
	2021-12-02	一种电解液添加剂、电解液及包括该电解液的钠离子电池	专利申请权的转移	
	2021-11-19	一种钠离子电池用电解液及含该电解液的钠离子电池	实质审查	
	2021-10-21	一种钠离子电池用电解液及钠离子电池	实质审查	
	2021-09-28	一种钠离子电池电解液用添加剂、电解液及钠离子电池	专利申请权的转移	
	2021-06-29	一种钠离子电池电解液添加剂、电解液及钠离子电池	专利申请权的转移	
	2021-04-21	电解液添加剂、电解液及钠离子电池	专利申请权的转移	
	电池	2021-10-29	一种钠离子电池及其制备方法	专利申请权的转移
		2021-09-24	一种钠离子电池的化成方法、制备方法和钠离子电池	专利申请权的转移
2021-01-11		一种钠离子电池正极片及其制备方法、钠离子电池	专利申请权的转移	
2019-04-17		一种钠离子电池	专利权的转移	
2019-08-15		一种全固态钠离子电池的制备方法及全固态钠离子电池	专利申请权的转移	
2019-04-17		一种钠离子电池	专利申请权的转移	
正极	2021-11-30	一种正极材料及其制备方法、正极片以及钠离子电池	实质审查	
	2021-11-30	一种复合正极材料及其制备方法、正极片以及钠离子电池	实质审查	

图表：湖南立方股权结构



- **传艺科技**传统主业为消费电子零组件，2007年创立至今，具备较为丰富的精细化生产管理、质量控制经验。创始人兼董事长**邹伟民**毕业于苏州大学化学系，具备专业背景和管理经验。
- **钠电核心技术团队**在电池行业具有10年以上工作经验，技术牵头人**张维民**，曾任上海交大化学化工学院助理研究员、中聚电池研究院技术顾问，团队目前有核心科研人员6名，其中研发科研带头人1名、副高教授2名、博士4名，硕士储备20多名。2022年7-8月申请了主材和电池多项专利。2022年8月完成钠离子电池小试，10月27日完成中试线投产，公告中试产品能量密度达到150-160Wh/kg、寿命不低于4000次。
- 在江苏高邮规划**钠离子电池一体化项目**，包含电芯（一期4.5GWh，二期待定）、正极（3万吨）、负极（4万吨）、电解液（15万吨，一期5万吨），旨在通过原材料一体化自供降本。

图表：传艺科技钠电板块股权结构



图表：传艺钠电部分专利

环节	申请日	专利名称	专利状态
隔膜	2022/8/15	一种热稳定性好的钠离子电池隔膜及其制备方法	公开
	2022/8/26	一种纤维素基钠离子电池隔膜及其制备方法	实质审查
正极	2022/8/1	钠离子电池用硫酸根型聚阴离子正极材料及制备方法	实质审查
	2022/8/8	硫酸亚铁钠/碳纳米管复合正极材料、制备方法及钠离子电池	实质审查
	2022/8/1	Na ₂ Fe(SO ₄) ₂ /C作为钠离子电池复合正极材料的制备方法	实质审查
负极	2022/8/29	一种基于高温烧结改性的生物质基硬碳材料生产工艺	公开
	2022/7/27	基于生物质的钠离子电池硬碳负极材料及制备方法	实质审查
电解液	2022/8/19	一种具有阻燃功能的钠离子电池电解液及其制备方法	实质审查

图表：传艺钠电领军人

邹伟民 董事长

1969年生，苏州大学化学系毕业，现任苏州大学化学化工学院应用化系副教授，2014-2018年于上海交通大学化学化工学院担任助理研究员，兼任中聚电池研究院技术顾问兼测试部主任，与马紫峰合作论文，并共同申请过7项国内电化学材料专利。

张维民 技术牵头人

1977年生，现任山东理工大学化学化工学院应用化系副教授，2014-2018年于上海交通大学化学化工学院担任助理研究员，兼任中聚电池研究院技术顾问兼测试部主任，与马紫峰合作论文，并共同申请过7项国内电化学材料专利。

- 钠离子电池发展历程
- 电池及材料技术路线对比
- 钠离子电池BOM成本测算
- 产能梳理和需求测算
- 产业链重点公司系统梳理
- 风险提示

➤ 风险 1：钠离子电池产业化落地尚存不确定性

- 钠离子电池配方相对于锂离子电池仍有调整，保障电池的安全性能是大规模应用前提，量产交付前还需要进行反复送样、测试，实际投产和爬坡时间尚存不确定性。

➤ 风险 2：钠离子电池配套材料技术方案尚存不确定性

- 钠离子正极化学结构、掺杂元素可选范围较大，负极改性工艺也存在多种可能性，电解液配方、辅材选型等也有不确定性。材料厂商是否能够通过验证、放量仍需要紧密跟踪。

➤ 风险 3：钠离子电池降本路径和周期尚存不确定性

- 钠离子产业链配套虽然部分可复用锂离子产业链现有产线，但真正批量生产的良率、材料收得率还不确定，中小规模采购也不具备议价优势，2023年降本程度尚不确定

分析师声明

本人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、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。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到任何形式的补偿。

一般声明

华福证券有限责任公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。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。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，该等公开资料的准确性及完整性由其发布者负责，本公司及其研究人员对该等信息不作任何保证。本报告中的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，之后可能会随情况的变化而调整。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。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，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。

在任何情况下，本报告所载的信息或所做出的任何建议、意见及推测并不构成所述证券买卖的出价或询价，也不构成对所述金融产品、产品发行或管理人作出任何形式的保证。在任何情况下，本公司仅承诺以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告以供投资者参考，但不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的承诺或担保。投资者应自行决策，自担投资风险。

本报告版权归“华福证券有限责任公司”所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。未经授权的转载，本公司不承担任何转载责任。

特别声明

投资者应注意，在法律许可的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有本报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，也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。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	评级	评级说明
公司评级	买入	未来6个月内，个股相对市场基准指数涨幅在20%以上
	持有	未来6个月内，个股相对市场基准指数涨幅介于10%与20%之间
	中性	未来6个月内，个股相对市场基准指数涨幅介于-10%与10%之间
	回避	未来6个月内，个股相对市场基准指数涨幅介于-20%与-10%之间
	卖出	未来6个月内，个股相对市场基准指数涨幅在-20%以下
行业评级	强于大市	未来6个月内，行业整体回报高于市场基准指数5%以上
	跟随大市	未来6个月内，行业整体回报介于市场基准指数-5%与 5%之间
	弱于大市	未来6个月内，行业整体回报低于市场基准指数-5%以下

备注：评级标准为报告发布日后的6~12个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现。其中，A股市场以沪深300指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美股市场以标普500指数或纳斯达克综合指数为基准（另有说明的除外）。

诚信专业 发现价值

联系方式

华福证券研究所 上海

公司地址：上海市浦东新区滨江大道5129号陆家嘴滨江中心N1幢

邮编：200120

邮箱：hfyjs@hfzq.com.cn

