

钠离子电池报告一：正极材料变化大，格局有望颠覆

核心观点

历经数年发展，2023 年或将成为钠离子电池产业化的元年。2023 年 2 月 23 日，在钠离子电池明星厂商中科海纳在新品发布会上与江淮合作，在思皓 EX10 花仙子上首次实现了钠离子电池装车。钠离子电池材料中正极材料的变化很大，技术路线还未确定，新的技术路线若能脱颖而出则有望颠覆行业格局，具体如下：

- **钠离子电池产业化在即：**钠离子电池的工作原理与锂离子电池相似，近年来锂电的核心材料碳酸锂价格飞涨，相比之下，钠元素来源广泛，价格低廉，在电动二轮车、低速电动车、储能、启停等应用场景具备较好的前景。根据 EVTank 的测算，钠离子电池在 100%渗透率的情况下，在 2026 年的市场空间可达到 369.5GWh，市场规模或将达到 1500 亿元。我们认为，钠离子电池在产业化初期的渗透率很难如此理想，故我们按照 2023-2025 年渗透率分别为 1%、5%和 10%测算，预计到 2025 年钠离子电池需求为 58.5GWh。2022 年 12 月，中科海纳全球首条 GWh 级钠离子电池生产线产品下线。宁德时代通过首创的 AB 电池系统集成技术，实现钠锂混搭，使钠离子电池应用有望扩展到 500 公里续航车型。2023 年 1 月，多氟多的钠离子电池已经在国内著名车企成功装车，且多氟多已与三家大型主机厂商达成共识，将在上半年陆续发布装车计划。2023 年 2 月 23 日，在钠离子电池明星厂商中科海纳在新品发布会上与江淮合作，在思皓 EX10 花仙子上首次实现了钠离子电池装车。种种迹象表明钠离子电池产业化在即。
- **正极材料路线未定，三种技术路线相互竞争：**钠离子电池正极材料有三种技术路线，分别为层状氧化物、普鲁士蓝类化合物和聚阴离子化合物。**层状氧化物：**具备高比容量优势，与锂电池三元正极工艺设备具备较高的兼容性，也是目前产业化最快的技术路线，但循环性能仍有待提高。**普鲁士蓝类化合物：**具有比容量较高，成本更加低，倍率性能高，电化学稳定性优异等优点，但循环性能存在短板，以及生产过程中产生的结晶水问题在充放电过程中会导致结构坍塌。**聚阴离子化合物：**具有稳定性好、循环性能和安全性好的优点，但存在比容量低和导电性较差的问题。目前，钠离子电池正极材料的技术路线还未确定，三种技术路线相互竞争，我们认为，若最终层状氧化物路线胜出，则原本做三元正极材料的企业天然具备优势，但若最终是普鲁士蓝类化合物或聚阴离子化合物路线胜出，则行业格局则有可能出现颠覆，新的巨头有望脱颖而出。

投资建议与投资标的

我国锂资源 70%都需要进口，发展钠离子电池有助于自主可控。其中，正极材料的性能是决定电池能量密度、安全性及循环寿命等的关键因素，也是相较锂电池变化最大的部分。目前正极材料的技术路线还未确定，层状氧化物、普鲁士蓝类化合物以及聚阴离子化合物是有望脱颖而出的三条路线。建议关注布局层状氧化物的振华新材(688707，未评级)、容百科技(688005，未评级)、格林美(002340，未评级)、当升科技(300073，买入)，布局普鲁士蓝类化合物的七彩化学(300758，未评级)、美联新材(300586，未评级)，布局聚阴离子路线的鹏辉能源(300438，买入)，以及受益于层状氧化物需求提升的二氧化锰、硫酸锰标的湘潭电化(002125，未评级)、红星发展(600367，未评级)。

风险提示

钠离子电池产业化进度不及预期；技术路线发生变化；钠离子电池需求不及预期；锂电池产品降价超预期；假设条件变动对测算结果影响的风险。

行业评级

看好（维持）

国家/地区

中国

行业

基础化工行业

报告发布日期

2023 年 02 月 28 日



证券分析师

倪吉

021-63325888*7504

niji@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860517120003

袁帅

yuanshuai@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860522070002

目 录

1. 引言.....	4
2. 钠离子电池产业化在即	4
3. 三种路线相互竞争	7
3.1 层状氧化物	7
3.2 普鲁士蓝类似物	9
3.3 聚阴离子化合物	10
4. 投资建议	12
5. 风险提示	12

图表目录

图 1：钠离子电池充放电原理图.....	5
图 2：钠离子电池具有成本优势.....	5
图 3：钠离子电池产业链图.....	6
图 4：层状氧化物晶体结构示意图.....	8
图 5：普鲁士蓝类化合物的三种晶体结构.....	9
图 6：多种聚阴离子正极材料晶体结构.....	11
表 1：几种电池对比.....	6
表 2：钠离子电池需求测算.....	7
表 3：三种钠电正极材料对比.....	7
表 4：过渡金属氧化物正极材料电化学性能对比.....	8
表 5：普鲁士蓝类化合物正极材料首圈电化学性能.....	10
表 6：常见聚阴离子类化合物正极材料性能.....	11

1. 引言

历经数年发展，2023 年或将成为钠离子电池产业化的元年。2023 年 2 月 23 日，在钠离子电池明星厂商中科海钠在新品发布会上与江淮合作，在思皓 EX10 花仙子上首次实现了钠离子电池装车。钠离子电池材料中正极材料的变化很大，技术路线还未确定，新的技术路线若能脱颖而出则有望颠覆行业格局，具体如下：

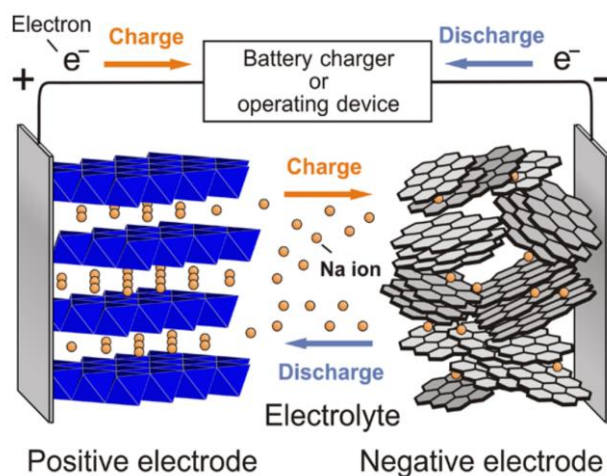
- 1) **钠离子电池产业化在即**：钠离子电池的工作原理与锂离子电池相似，近年来锂电的核心材料碳酸锂价格飞涨，相比之下，钠元素来源广泛，价格低廉，在电动二轮车、低速电动车、储能、启停等应用场景具备较好的前景。根据 EVTank 的测算，钠离子电池在 100%渗透率的情况下，在 2026 年的市场空间可达到 369.5GWh，市场规模或将达到 1500 亿元。我们认为，钠离子电池在产业化初期的渗透率很难如此理想，故我们按照 2023-2025 年渗透率分别为 1%、5%和 10%测算，预计到 2025 年钠离子电池需求为 58.5GWh。2022 年 12 月，中科海钠全球首条 GWh 级钠离子电池生产线产品下线。宁德时代通过首创的 AB 电池系统集成技术，实现钠锂混搭，使钠离子电池应用有望扩展到 500 公里续航车型。2023 年 1 月，多氟多的钠离子电池已经在国内著名车企成功装车，且多氟多已与三家大型主机厂商达成共识，将在上半年陆续发布装车计划。2023 年 2 月 23 日，在钠离子电池明星厂商中科海钠在新品发布会上与江淮合作，在思皓 EX10 花仙子上首次实现了钠离子电池装车。种种迹象表明钠离子电池产业化在即。
- 2) **正极材料路线未定，三种技术路线相互竞争**：钠离子电池正极材料有三种技术路线，分别为层状氧化物、普鲁士蓝类化合物和聚阴离子化合物。**层状氧化物**：具备高比容量优势，与锂电池三元正极工艺设备具备较高的兼容性，也是目前产业化最快的技术路线，但循环性能仍有待提高。**普鲁士蓝类化合物**：具有比容量较高，成本更加低，倍率性能高，电化学稳定性优异等优点，但循环性能存在短板，以及生产过程中产生的结晶水问题在充放电过程中会导致结构坍塌。**聚阴离子化合物**：具有稳定性好、循环性能和安全性好的优点，但存在比容量低和导电性较差的问题。目前，钠离子电池正极材料的技术路线还未确定，三种技术路线相互竞争，我们认为，若最终层状氧化物路线胜出，则原本做三元正极材料的企业天然具备优势，但若最终是普鲁士蓝类化合物或聚阴离子化合物路线胜出，则行业格局则有可能出现颠覆，新的巨头有望脱颖而出。

2. 钠离子电池产业化在即

钠离子电池是一种依靠钠离子在正负极间移动来完成充电放电工作的电池，其工作原理与锂离子电池相似。钠离子电池主要由正极、负极、电解液、隔膜和集流体组成。充电时， Na^+ 从正极中脱出，经过隔膜嵌入负极并与电子结合。放电时， Na^+ 从负极脱出经隔膜嵌入正极，电子则从负极经外电路传递到正极，最终正极发生氧化还原反应恢复富钠态。

钠离子电池技术的研究可以追溯到 20 世纪 70 年代，甚至略早于锂离子电池，但由于 20 世纪 90 年代锂离子电池凭借更为优异的性能成功商业化，钠离子电池的发展一度陷入沉寂。近年来，由于锂离子电池的核心原材料碳酸锂价格飞涨，高昂的成本限制了其继续发展，相比之下钠元素来源广泛，价格低廉，钠离子电池性能虽不及锂电池，但在电动二轮车、低速电动车、储能、启停等应用场景具备较好的前景。钠离子电池已逐步成为锂离子电池的优质替补和潜在竞争者。

图 1：钠离子电池充放电原理图

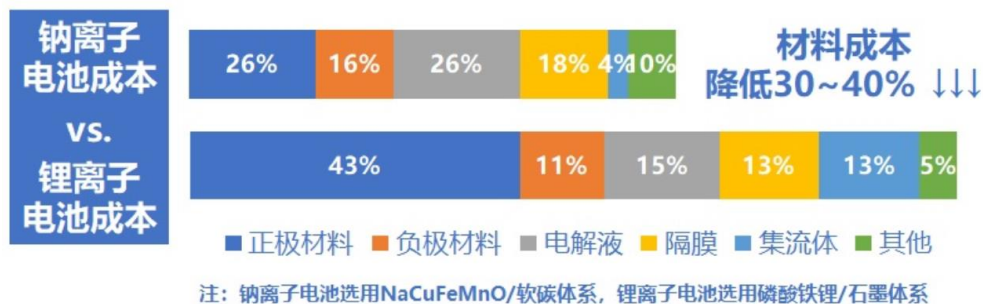


资料来源：Research development on sodium-ion battery[J].Chemical Review，东方证券研究所

图 2：钠离子电池具有成本优势

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）
-------------	---

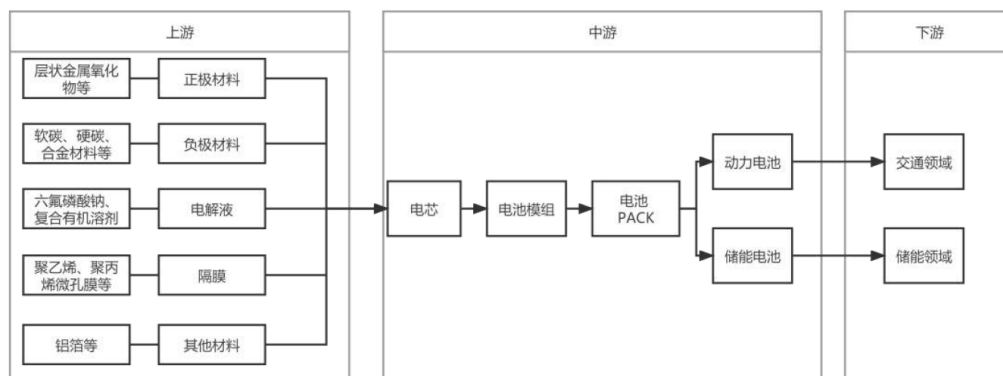


资料来源：中科海纳官网，东方证券研究所

与锂离子电池相比，钠离子电池成本优势突出。锂与钠同属元素周期表 IA 族碱金属元素，在物理与化学性质上较为相似。近年来由于锂离子电池需求量增加，锂资源储量较少导致供应不足，电池用碳酸锂的价格大幅上涨。相比之下，钠元素在地壳中含量丰富，成本更低，价格受供需影响小。

由于钠离子电池的工作原理和结构与锂离子电池极为相似，其制造工艺也与锂离子电池相近，我国拥有完备的锂离子电池产业链为钠离子电池的产业化提供了优良的土壤，锂电池企业切换至钠电有优势。

图 3：钠离子电池产业链图



资料来源：DeepTech，东方证券研究所

性能方面，与锂离子电池相比，钠离子电池在能量密度方面逊色于锂离子电池，但强于铅酸电池。目前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，低于三元锂电的 200-350Wh/kg，与磷酸铁锂电池的 120-200Wh/kg 有重叠范围。不过钠离子电池在安全性和倍率性能上有优势，相比于锂离子电池-20℃到 60℃的工作温度区间，钠离子电池可在-40℃到 80℃的温度区间正常工作，高低温性能更为优秀。钠离子电池内阻更高，在短路状况下瞬间发热量少，安全性更好，在过冲过放、针刺、挤压测试时，钠离子电池也更为安全。同时，钠离子电池倍率性能优异，能够适应响应型储能和规模供电，这一性能使得钠离子电池能够更好地胜任大规模储能方面的应用。

表 1：几种电池对比

	铅酸电池	磷酸铁锂电池	三元锂电池	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

资料来源：DeepTech，东方证券研究所

2022 年 12 月，中科海纳全球首条 GWh 级钠离子电池生产线产品下线。宁德时代通过首创的 AB 电池系统集成技术，实现钠锂混搭，使钠离子电池应用有望扩展到 500 公里续航车型。2023 年 1 月，多氟多的钠离子电池已经在国内著名车企成功装车，且多氟多已与三家大型主机厂商达成共识，将在上半年陆续发布装车计划。2023 年 2 月 23 日，在钠离子电池明星厂商中科海纳在新品发布会上与江淮合作，在思皓 EX10 花仙子上首次实现了钠离子电池装车。种种迹象表明钠离子电池产业化在即。

那么钠离子电池的行业空间有多大？在储能、基站等对能力密度不敏感的应用场景，钠离子电池有着巨大的市场潜力。EVTank 预测，在钠离子电池 100%渗透率的情况下，2026 年的市场空间可达到 369.5GWh，理论的市场规模或将达到 1500 亿元。我们认为，钠离子电池在产业化初期的渗透率很难如此理想，故我们按照 2023-2025 年渗透率分别为 1%、5%和 10%测算，预计到 2025 年钠离子电池需求为 58.5GWh。

表 2：钠离子电池需求测算

		2021	2022E	2023E	2024E	2025E
电动两轮车	销量（万辆）	6560	7400	8651	10113	11822
	单车电池容量（kwh）	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
	电池总需求（GWh）	47	53	62	73	85
	钠电渗透率	0%	0%	1%	5%	10%
	钠电需求（GWh）	0	0	0.6	3.6	8.5
新能源车	销量（万辆）	669.8	1082.4	1438.8	1912.5	2542.2
	A00 级占比	25%	25%	25%	25%	25%
	单车电池容量（kwh）	167	271	360	478	636
	A00 级电池总需求（GWh）	36.3	58.6	77.9	103.6	137.7
	钠电渗透率	0%	0%	1%	5%	10%
储能	钠电需求（GWh）	0	0	0.8	5.2	13.8
	储能电池需求（GWh）	47	143	195	265	362
	钠电渗透率	0%	0%	1%	5%	10%
	钠电需求（GWh）	0	0	1.9	13.3	36.2
	总计 GWh	0	0	3.3	22.1	58.5

资料来源：EVTank，中商情报网，索比储能网，东方证券研究所测算

3. 三种路线相互竞争

和锂电池相比，钠离子电池变化最大的部分就是正极材料，正极材料的性能也是决定电池能量密度、安全性及循环寿命等的关键因素，钠离子质量和半径比锂离子更大，离子扩散速率较低，反映在电池性能上为理论容量和反应动力学特种略为逊色，需要通过正极材料的突破来改善这些问题。目前正极材料的技术路线还未确定，层状氧化物、普鲁士蓝类化合物以及聚阴离子化合物是有望脱颖而出的三条路线。

表 3：三种钠电正极材料对比

	层状过渡金属氧化物	普鲁士蓝类化合物	聚阴离子化合物
表达式	Na_xMO_2 (M 为 Co、Fe、Mn 和 Ni 等)	$\text{Na}_x\text{MA}[\text{MB}(\text{CN})_6]_y \cdot z\text{H}_2\text{O}$ (MA 和 MB 为过渡金属离子)	$\text{Na}_x\text{M}_y[(\text{XO}_m)^n]_z$ (M 为具有可变价态的金属离子；X 为 P、S 和 V 等元素)
代表性产品	$\text{NaFeO}_2, \text{Na}_{2/3}\text{MnO}_2$	$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3, \text{NaFePO}_4$	$\text{Na}_2\text{MnFe}(\text{CN})_6 \cdot z\text{H}_2\text{O}$
优势	合成方便，结构简单，比容量和电压平台较高	电压平台高，框架结构稳定，具有良好的热稳定性，安全性和循环性	比容量高
劣势	存在相变，循环稳定性较差，部分层状金属氧化物耐水性不佳	理论比容量较低，导电性不佳	结晶水难以除去，循环稳定和热稳定性有待提高

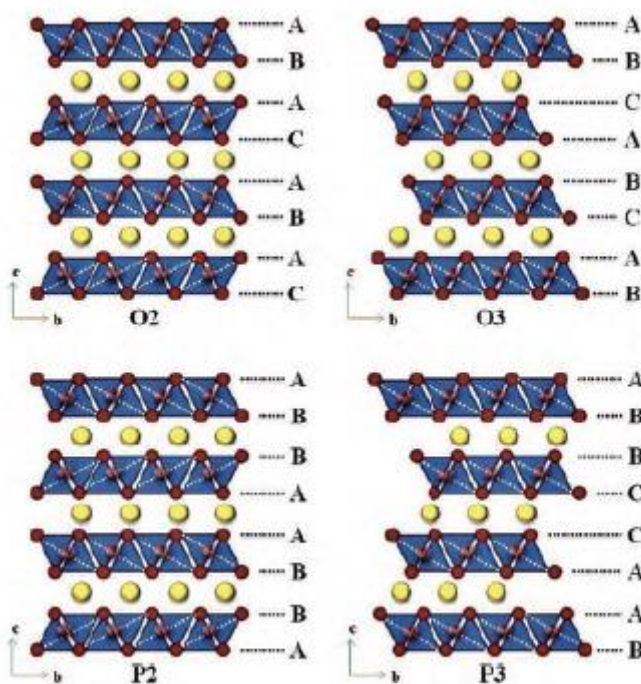
资料来源：立鼎产业研究院，东方证券研究所

3.1 层状氧化物

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

层状氧化物的通式为 Na_xMO_2 ，其中 M 指过渡金属元素，可使用钒（V）、铬（Cr）、锰（Mn）、铁（Fe）、钴（Co）、镍（Ni）、铜（Cu）等，以资源丰富的锰（Mn）和铁（Fe）最为普遍。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， Na^+ 位于层间，形成 MO_2 层/钠层交替排布的层状结构。根据 Na^+ 所处位置的不同，可分为 O2、O3、P2 和 P3 四种结构，最为常见的是 O3 和 P2 两种结构。“O”表示 Na^+ 在八面体的位置，“P”表示 Na^+ 在棱镜的位置。

图 4：层状氧化物晶体结构示意图



资料来源：《钠离子电池关键电极材料研究进展，张玉婷等》，东方证券研究所

表 4：过渡金属氧化物正极材料电化学性能对比

结构	物质	电压	电化学性能
层状氧化物	$\text{Na}_{0.71}\text{CoO}_2$	2.8V	5 mA/g 条件下可逆容量为 120 mAh/g
	P2- $\text{Na}_{0.7}\text{MnO}_2$	2.8V	40mA/g 条件下可逆容量为 163mAh/g(循环 50 次容量保持率为 67%)
	NaFeO_2	3.3V	12.1mA/g 条件下可逆容量为 100mAh/g(循环 30 次容量保持率为 50%)
	NaCrO_2	2.9V	5mA/g 条件下 40 次循环后可逆容量为 110mAh/g
	NaNiO_2	3.0V	0.1C 条件下可逆容量为 123mAh/g(循环 20 次后容量保持率为 94.3%)
	O3- $\text{Na}[\text{Ni}_{0.25}\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.25}]\text{O}_2$	3.1V	0.1C 条件下可逆容量为 140mAh/g(循环 50 次后容量保持率为 70.4%)
	P2- $\text{Na}_{2/3}[\text{Fe}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}]\text{O}_2$	2.75V	13mA/g 条件下首次放电容量为 190mAh/g(循环 30 次后容量保持率为 70%)
隧道型氧化物	$\text{Na}_{0.44}\text{MnO}_2$ 颗粒	2.8V	0.1C 条件下可逆容量为 80mAh/g(循环 50 次后容量保持率为 50%)
	$\text{Na}_{0.44}\text{MnO}_2$ 纳米线	2.8V	0.1C 条件下可逆容量为 128mAh/g
			1C 条件下可逆容量为 94mAh/g
			2C 条件下可逆容量为 82mAh/g

资料来源：《钠离子电池电极材料研究进展，张宁等》，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

层状氧化物正极材料的优缺点明显，优点方面，其具备高比容量优势，与锂电池三元正极工艺设备具备较高的兼容性，也是目前产业化最快的技术路线。但由于钠离子在脱嵌过程中，层状金属氧化物易发生结构变化或相转变，导致电池循环性能衰减。为解决这一问题，研究人员掺杂了 Mn、Fe、Ni 等电化学活性元素，依靠不同阳离子氧化还原电对的特性互补，提升材料的稳定性。在生产工艺方面，层状氧化物的生产工艺与锂电三元正极材料具备较高的兼容性，因此许多锂电正极企业就选择了这条路线。例如，**振华新材** 2022 年 9 月在投资者问答中表示，公司选取层状氧化物路线，目前已实现吨级产出并销售。公司研发的钠离子电池正极材料具有高压实密度、高容量、低 pH 值、低游离钠及低成本的特性。高压实密度、高容量有助于提升电池的能量密度。低 pH 值、低游离钠能够有效提高材料的空气稳定性和电池浆料的稳定性，进而提升电池整体的稳定性及一致性，改善电池产气鼓胀的缺陷。此外公司研发的层状氧化物钠电正极材料因镍元素含量较低，产品性价比较高。**容百科技** 2022 年 10 月表示，公司全面布局了层状氧化物、普鲁士蓝/白及聚阴离子三个技术方向，并已与几十家下游客户完成送样验证。**格林美** 2022 年 6 月表示，公司从 2019 年开始启动钠离子电池材料的技术攻关，在普鲁士蓝和层状氧化物等钠离子电池材料两大技术路线均已积累了相关产业技术并和多家下游客户正在认证。**当升科技** 2022 年 7 月发布层状氧化物正极材料，比容量达到 177.2mAh/g，首效倍率到达 91.3%。此外，为了提高材料的稳定性会掺杂 Mn 等元素，有望提高二氧化锰、硫酸锰的需求。

3.2 普鲁士蓝类似物

普鲁士蓝类似物的通式为 $\text{Na}_x\text{MA}[\text{MB}(\text{CN})_6] \cdot z\text{H}_2\text{O}$ ，MA 和 MB 代表了过渡金属元素，主要是铁（Fe）、钴（Co）、镍（Ni）、锰（Mn）等。由于普鲁士蓝类化合物具备独特的开放框架和三维大孔道结构，适合钠离子的迁移和存储。优势方面，铁基普鲁士蓝和锰基普鲁士蓝具有原料丰富、成本低廉、比容量较高、倍率性能高，电化学稳定性优异等优点。缺点方面，由于目前生产方式多采用共沉淀法，往往会产生许多的结晶水和 $\text{Fe}(\text{CN})_6$ 结构缺陷，结晶水容易占据晶体中的储钠位点及钠离子脱嵌通道，导致材料中的钠离子含量降低以及钠离子迁移速率降低。 $\text{Fe}(\text{CN})_6$ 结构缺陷与结晶水会在材料充放电过程中导致结构坍塌，影响材料的循环性能。

图 5：普鲁士蓝类化合物的三种晶体结构

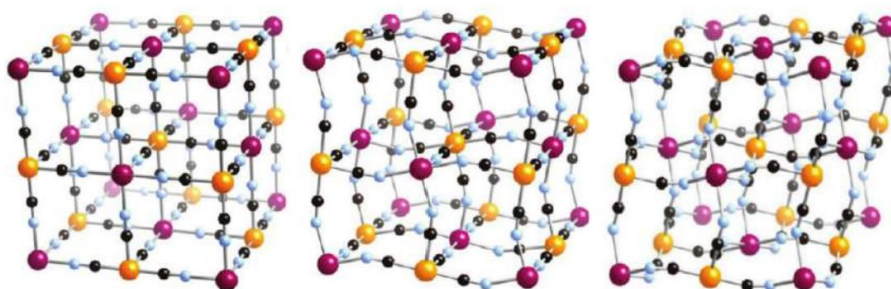


图 10 | 普鲁士蓝类化合物的 3 种晶体结构图；(a) Cubic、(b) Monoclinic、(c) Rhombohedral

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，魏程等》，东方证券研究所

普鲁士蓝类化合物的生产工艺主要有共沉淀法和水热合成法，其中共沉淀法是最为常见的方法，具有制备流程简单、无需高温处理且易获得纯相产物的优势。但目前共沉淀法仍存在两个问题，一是制备时间长；二是产量低。水热合成法与共沉淀法有许多相似之处，其具有反应时间短、材料颗粒分布均匀的优点。但目前水热合成法具有三个缺点，一是反应过程在封闭的系统中进行，

不能直接观察反应过程；二是有高温高压步骤，对生产设备的要求高；三是工序繁琐，不适合工业化生产。

表 5：普鲁士蓝类化合物正极材料首圈电化学性能

物质	稳定电压 (V)	比容量 (mAh/g)	首次效率 (%)
$\text{Na}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	3.5	56.4	86.77
$\text{Na}_2\text{MnMn}(\text{CN})_6$	1.80/2.65/3.55	209	99.5
$\text{Na}_2\text{Mn}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot z\text{H}_2\text{O}$	3.44	150	94.34
$\text{Na}_{1.92}\text{FeFe}(\text{CN})_6$	3.11/3.00	160	94.12
$\text{Na}_{0.66}\text{Ti}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{0.92}$	2.70/3.30	92.3	95
$\text{Na}_2\text{CoFe}(\text{CN})_6$	3.20/3.80	158	98
$\text{Na}_{0.84}\text{Ni}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{0.71}$	3.2	66	94

资料来源：《普鲁士蓝类材料在钠离子电池中的研究进展，王昊等》，东方证券研究所

普鲁士蓝类似物之所以吸引了很多新玩家入局与宁德时代不无关系。2021 年宁德时代发布的第一代钠离子电池其正极材料选择的就是普鲁士蓝（白）类化合物。由于普鲁士蓝类似物也是一种无机颜料，具有颜料背景的化工企业选择这条路线。例如，颜料生产企业**七彩化学**，其子公司**辉虹**拥有 3000 吨/年普鲁士蓝生产能力，由于公司拥有普鲁士蓝的生产技术，2022 年 11 月，公司与**美联新材**合资成立**辽宁美彩新材料有限公司**，美联新材占比 51%，七彩化学占比 49%，并以该公司为实施主体投资 25 亿元建设年产 18 万吨电池级普鲁士蓝（白）项目。2022 年 12 月，七彩化学又拟与江苏盐城悦达汽车科创基金、吴中金控基金共同投资“苏州悦钠新能源科技有限公司”，该公司创始团队核心技术专家刘昌国是美国纽波特大学硕士，我国较早从事动力电池的研究者，从业期间与陈立泉院士一起完成锂离子动力电池及其关键材料产业化项目；陈浩毕业于南京大学，凝聚态物理博士，师从我国著名磁学专家都有为院士，创始团队掌握钠电池原材料加工和电芯制造技术，公司投资可助力标的公司 2023 上半年钠离子电芯首期 0.5Gwh 生产线快速投产。2023 年 1 月，美彩新材料与湖南立方新能源、七彩化学签署《战略合作协议》，各方将充分发挥各自优势，共同推进钠离子电池产业化进程事项。由此可见，七彩化学和美联新材转型钠离子电池的决心。

3.3 聚阴离子化合物

聚阴离子类化合物的通式为 $\text{Na}_x\text{M}_y[(\text{XO}_m)^n]_z$ ，其中 M 为可变价态的金属离子，X 为 P、S 和 V 等元素。其具有稳定性好、循环性能和安全性的优点，但存在比容量低和导电性较差的问题。根据结构的不同可分为橄榄石结构磷酸盐、NASCICON（ Na^+ 快离子导体）化合物和磷酸盐化合物。橄榄石结构的 NaFePO_4 作为钠离子电池正极材料的制备方法与磷酸铁锂类似，理论容量为 154mAh/g，工作电压为 2.9V，但自身电导率较低，且仅有一维 Na^+ 扩散通道，影响实际的性能，目前是通过碳包覆或离子取代来提高电导率。NASCICON 结构化合物是一种快离子导体，理论比容量约为 120mAh/g，工作电压约为 3.3V，具有 3D 框架结构，离子扩散速率较高，动力学和循环稳定性良好。但引入五价 V 时往往有毒性，对人体危害大，会在一定程度上限制大规模使用。

图 6：多种聚阴离子正极材料晶体结构

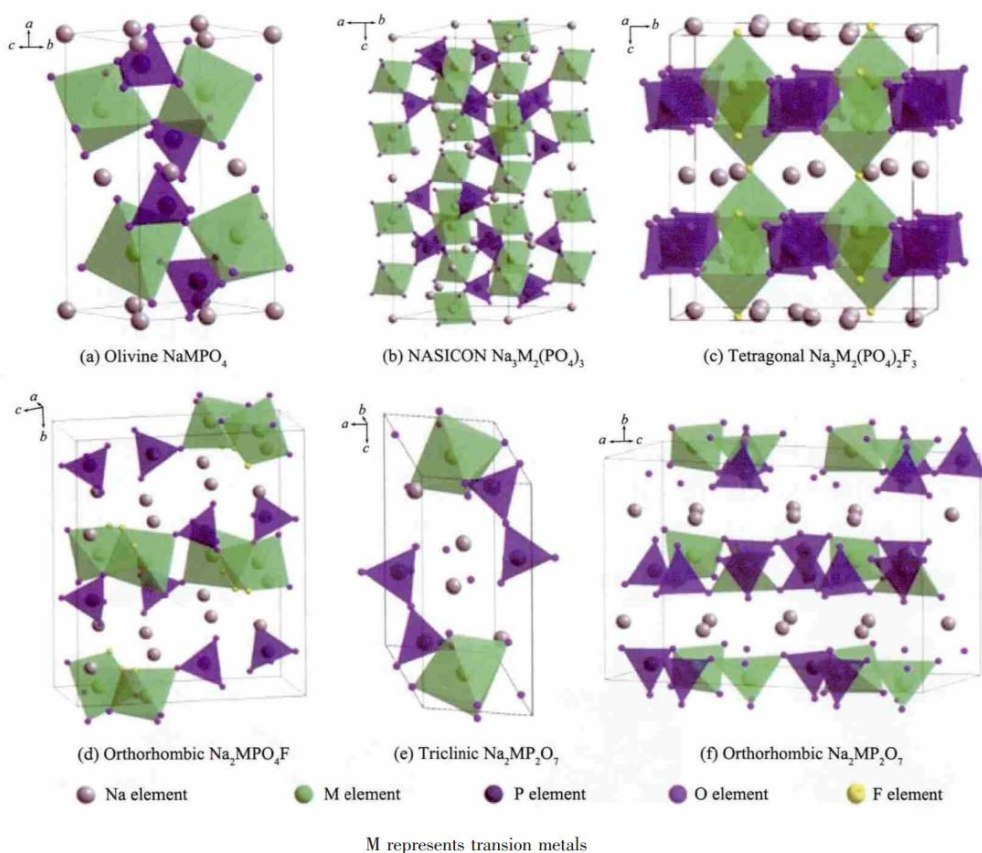


图 4 多种聚阴离子正极材料晶体结构

资料来源：《钠离子电池电极材料研究进展，张宁等》，东方证券研究所

表 6：常见聚阴离子类化合物正极材料性能

结构	代表物质	工作电压(V)	首次放电比容量(mAh/g)	循环性能
橄榄石	$\text{NaFePO}_4@\text{PTh}$	2.2~4.0	142(0.1C)	以 0.1C 循环 100 次的容量保持率为 93%
NASICON 结构	双碳杂化保护 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$	2.3~3.9	83.1(5C)	以 5C 循环 5000 次的容量保持率为 92%；以 20C 循环 6000 次的比容量为 72.8mAh/g，容量保持率为 74.5%
四方	$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3@\text{RGO}$	2.0~4.0	127.5(0.2C)	以 5C 循环 500 次的比容量为 44.4mAh/g，容量保持率为 74.5%
斜方	$\text{Na}_2\text{FePO}_4\text{F}@\text{C}$	2.0~3.8	108.6(0.1C)	以 1C 循环 200 次的比容量为 73.8mAh/g，容量保持率为 86.1%
三斜	$\text{Na}_2\text{FeP}_2\text{O}_7@\text{C}@\text{RGO}$	2.0~4.0	78(1C)	以 1C 循环 300 次的比容量为 64.74mAh/g，容量保持率为 83%
正交	$\text{Na}_2\text{CoP}_2\text{O}_7$	0	0	实际容量极低，可忽略不计

资料来源：《钠离子电池正极材料的研究现状，方学舟等》，东方证券研究所

企业方面，众钠能源于 2022 年 12 月完成超亿元 Pre-A 轮融资，本轮融资将用于启动公司硫酸铁钠电池全链示范量产的一期工程。众钠能源成立于 2021 年 1 月，科学家团队来自于苏州大学、南京大学、厦门大学、福州大学、浙江大学及中科院纳米所等国内 6 所双一流高校，围绕聚阴离子技术路线深度攻关，于 2022 年推出硫酸铁钠电池。该产品在实验室可以做到

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

160wh/kg 的能量密度，工程电芯能量密度超过 120wh/kg，2℃充放电条件下，循环寿命大于 6000，5℃持续温升小于 13℃。鹏辉能源重点攻坚聚阴离子方向，根据起点锂电报告，公司研发的无负极磷酸钒钠体系能力密度超 160wh/kg，在产品端，推出循环寿命在 6000 次以上的量产产品。

4. 投资建议

我国锂资源 70%都需要进口，发展钠离子电池有助于自主可控。其中，正极材料的性能是决定电池能量密度、安全性及循环寿命等的关键因素，也是相较锂电池变化最大的部分。目前正极材料的技术路线还未确定，层状氧化物、普鲁士蓝类化合物以及聚阴离子化合物是有望脱颖而出的三条路线。建议关注布局层状氧化物的振华新材(688707，未评级)、容百科技(688005，未评级)、格林美(002340，未评级)、当升科技(300073，买入)，布局普鲁士蓝类化合物的七彩化学(300758，未评级)、美联新材(300586，未评级)，布局聚阴离子路线的鹏辉能源(300438，买入)，以及受益于层状氧化物需求提升的二氧化锰、硫酸锰标的湘潭电化(002125，未评级)、红星发展(600367，未评级)。

5. 风险提示

- 1) **钠离子电池产业化进度不及预期：**钠离子电池若在两轮车、低速电车和储能领域渗透慢或因价格原因量产过慢，钠离子产业化过慢都会影响对正极材料的需求。
- 2) **技术路线发生变化：**如有更具竞争力的新技术出现，可能会影响钠离子电池以及正极材料的应用拓展。
- 3) **钠离子电池需求不及预期：**若钠离子电池的需求不及预期，也会导致正极材料的放量出现问题。
- 4) **锂电池产品降价超预期：**锂电池价格若大幅下降，则钠离子电池的成本优势将会被削弱，影响其渗透率提升的进度。
- 5) **假设条件变动对测算结果影响的风险：**如钠离子电池的需求基于其渗透率假设，若假设发生变化，则需求测算结果也会改变。

分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内的公司的涨跌幅相对同期的上证指数/深证成指的涨跌幅为基准；

公司投资评级的量化标准

买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；
增持：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15%；
中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

行业投资评级的量化标准：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；
中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，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。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

电话：021-63325888

传真：021-63326786

网址：www.dfzq.com.cn

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。