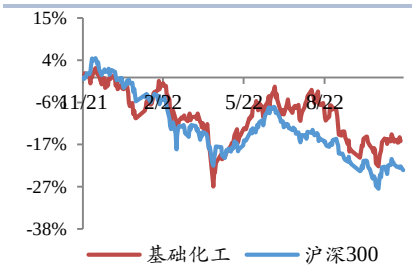
钠电池材料系列之二：正极材料量产在即，三大线路齐头并进

行业评级：增持

报告日期：2022-11-28

行业指数与沪深 300 走势比较



分析师：王强峰

执业证书号：S0010522110002
电话：13621792701
邮箱：wangqf@hazq.com

联系人：刘天文

执业证书号：S0010122070031
电话：18811321533
邮箱：liutw@hazq.com

相关报告

1.【华安化工&新材料】新宙邦：三季度业绩符合预期，电解液一体化布局加速 2022-10-31
2.【华安化工&新材料】信德新材：锂电负极包覆材料行业领先者 2022-10-27
3.【华安化工&新材料】钠电行业乘风而起，碳基负极未来可期 2022-10-19

主要观点：

● **钠电池从 0 到 1，正极材料 2026 年需求有望超 30 万吨**

2026 年全球钠电池正极材料需求有望超过 30 万吨。由于钠离子电池不断实现技术突破，综合性能不断提升，叠加碳酸锂价格处于高位，钠离子电池成本优势凸显，其产业化进程正在加速推进，2023 年有望成为钠离子电池放量的元年。我们预计 2026 年全球钠离子电池需求将达到 123.7GWh，正极材料作为钠电池核心材料之一，成本占比高达 26%，2026 年全球需求有望超 30 万吨，未来三年复合增速超 200%。

钠电池正极材料层状氧化物路线有望率先实现产业化。材料选择方面，钠离子电池正极材料路径多样，主要包括层状氧化物、普鲁士蓝类和聚阴离子型化合物。其中，层状氧化物材料凭借优异的综合性能以及与锂电正极工艺设备的高兼容性有望率先实现产业化，普鲁士蓝类化合物和聚阴离子化合物也有望实现技术突破，打开新的成长空间。

● **层状氧化物：综合性能优异，产业化基础齐备**

层状氧化物正极材料综合性能优异，工艺与设备逐步成熟。性能方面，得益于层状氧化物的特殊结构，其克容量和压实密度分别能达到 100-170 mAh/g 和 3.0-4.0 cm^3/g，优于普鲁士类化合物和聚阴离子化合物。工艺与设备方面，钠电层状正极与锂电三元正极高度兼容，能借鉴锂电池三元正极材料的发展经验，因此钠电层状正极的短板正在被不断补齐，具备大规模应用基础。

国内多数企业开始布局层状氧化体系正极材料。目前，全国主流企业均在加速布局钠离子电池层状氧化物正极材料，大部分企业已经完成了从小试到中试的过程，预计在接下来的两年将陆续有新增产能的建设与投产。成本方面，由于各企业选择的层状氧化物体系存在差异，元素掺杂也不尽相同，因此各企业的层状正极成本差异较大。根据各企业公布的专利，结合当前主要原材料的市场价格，我们计算得出中科海纳 Na-Cu-Fe-Mn 系层状氧化物正极材料理论原材料成本最低仅 1.83 万元/吨（按照分子式进行理论计算，不计损耗，不包括加工费用等），相比其他体系层状氧化物正极和锂离子电池三元正极具备成本优势，有望率先应用。

● **普鲁士蓝类化合物：原材料充足，结晶水问题是关键**

普鲁士蓝类化合物原料充足且具有成本优势。普鲁士蓝类化合物由于具有较大的金属离子通道，可实现 Na^+的快速嵌入和脱嵌而不发生晶格畸变，可在室温温和条件下制备以及材料安全无毒和成本低等诸多优点而被视为钠离子电池正极材料的理想选项之一。性能方面，由于普鲁士蓝类化合物一般有两个不同的氧化还原活性中心，因此普鲁士蓝类化合物在充放电过程中能实现 2 个 Na^+的可逆脱

嵌，其理论充放电比容量可达到 170mAh/g。成本方面，以宁德时代 $Na_{1.768}Mn[Fe(CN)_6]_{0.942}\cdot 2.132H_2O$ 为例，根据当前主要原材料的市场价格，其理论原材料成本约 1.50 万元/吨（按照分子式进行理论计算，不计损耗，不包括加工费用等，未考虑络合剂柠檬酸），远低于锂电池磷酸铁锂和三元正极。原材料方面，普鲁士蓝上游原材料以氰化钠和二价锰材料为主，这两种原材料产能充足，为普鲁士蓝材料大规模产业化提供保障。

普鲁士蓝类正极材料加速应用开发，性能及稳定性有望逐步提升。目前，普鲁士蓝正极材料面临的主要问题是材料的结晶完整性问题和结晶水问题，以宁德时代为首的企业也在加速研究进度，通过改进工艺、元素掺杂、表面包覆等多种途径助力普鲁士蓝类材料性能提升，未来行业有望加速发展。

- **聚阴离子化合物：钒系成本高，硫酸盐系是未来重点发展方向**

含钒聚阴离子材料具有高能量密度、高功率密度、高稳定性优势。聚阴离子化合物种类多样，高的氧化还原电位和稳定的结构赋予材料优异的综合性能，其中含钒聚阴离子材料（NVPF）结构性能优异，具有能量密度高、功率密度高、稳定性好等潜在优点，是目前性能最接近实际应用的聚阴离子材料。但是，与其他聚阴离子材料一样，含钒聚阴离子材料的电子导电率极低，仅仅 10−12 S/cm。未经修饰的 NVPF 材料即使在低电流密度下仍然难以获得高比容量，同时，由于制备方法不当等带来的体相电子和离子传递阻力较大等缺陷，限制了材料的实际比容量、倍率性能及稳定性，阻碍了该材料的实际应用。由于原材料五氧化二钒价格较高，导致单吨 $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 理论原材料成本高达 5.74 万元/吨（按照分子式进行理论计算，不计损耗，不包括加工费用等），远高于层状氧化物（1.83 万元/吨）和普鲁士蓝类材料（1.50 万元/吨），这进一步限制了其大规模应用。

硫酸盐聚阴离子材料有望加速实现应用。研究发现，硫酸盐聚阴离子材料具有较强的电负性和氧化还原电势，是一种潜力较大的储钠材料。虽然硫酸盐聚阴离子材料的能量密度较低，但其原材料成本可控，按照当前市场价来计算，理想情况下 $Na_2Fe_2(SO_4)_3$ 的理论原材料成本仅 500.4 元/吨（按照分子式进行理论计算，不计损耗，不包括加工费用等），相对锂电正极材料和其他钠电正极材料理论原材料成本优势显著，因此国内多家企业积极布局，如多氟多、传艺科技、众钠能源、星空钠电等均在相关领域有专利布局。未来随着技术和制备工艺的突破，硫酸盐聚阴离子材料有望加速实际应用的步伐。

- **投资建议**

相对于锂离子电池，钠离子电池具备原材料优势，成本优势和部分性能优势，尤其是在碳酸锂价格高企的背景下，钠电池的成本优势进一步凸显，渗透率有望加速提升，进而带动正极材料需求。

层状氧化物正极材料凭借优异的综合性能以及与锂电三元正极工艺设备的高兼容性有望率先实现产业化，因此具备锂电三元正极材料生产经验的企业有望快速切换，建议关注**振华新材、当升科技、容百科技、厦钨新能**等。

普鲁士蓝类化合物正极材料目前处于小试到中试的阶段，由于普鲁士蓝类正极材料和普鲁士蓝类颜料原材料基本一致，且在工艺上具备一定的相似性，因此普鲁士蓝类颜料生产厂商具备切换至普鲁士蓝类正极材料赛道的先天优势，建议关注**七彩化学、百合花**等。

聚阴离子化合物正极材料当前的研究重点是硫酸铁钠体系，但是由于硫酸盐高温易分解且导电性低，因此如何在较低温度下合成出较高结晶度和纯度的材料，如何进行碳包覆等具备较高的技术壁垒，建议关注具备相关技术储备的钠电池公司如**多氟多、传艺科技**等。此外，钠离子电池正极上游原材料方面，建议关注锰化工相关企业如**湘潭电化、红星发展**等，以及从原材料纯碱进一步延伸至钠电正极材料的企业如**雪天盐业**等。

图表 1 建议关注公司

公司	EPS（元）			PE			评级
	2022E	2023E	2024E	2022E	2023E	2024E	
多氟多 (002407)	2.79	3.99	4.73	12.91	9.03	7.62	买入
传艺科技 (002866)	0.54	1.00	1.47	85.74	46.30	31.50	未评级
振华新材 (688707)	2.73	3.26	4.29	18.57	15.55	11.82	未评级
当升科技 (300073)	3.99	4.99	6.20	14.99	11.99	9.65	未评级
容百科技 (688005)	3.67	5.61	7.52	20.38	13.33	9.95	未评级
厦钨新能 (688778)	4.04	6.12	7.98	21.31	14.07	10.79	未评级
格林美 (002340)	0.33	0.48	0.63	24.15	16.60	12.65	未评级
中伟股份 (300919)	2.96	6.00	8.80	25.17	12.42	8.46	未评级
道氏技术 (300409)	1.18	1.55	1.97	13.03	9.92	7.81	未评级
七彩化学 (300758)	0.08	0.14	0.25	174.5	99.71	55.84	未评级
百合花 (603823)	0.77	0.81	0.89	21.30	20.25	18.43	未评级
雪天盐业 (600929)	0.59	0.72	0.86	15.64	12.82	10.73	未评级
湘潭电化 (002125)	0.72	0.97	1.28	20.69	15.36	11.64	未评级
红星发展 (600367)	1.07	1.32	1.54	15.97	12.95	11.10	未评级

资料来源：iFinD，华安证券研究所
注：除多氟多为华安证券预测之外，其余均为同花顺机构一致预期，股价截止至 2022 年 11 月 25 收盘价

● 风险提示

（1）技术突破不及预期；
（2）钠离子电池性能不及预期；
（3）钠离子电池需求不及预期；
（4）碳酸锂价格下降导致钠离子电池成本优势不及预期；
（5）产业链配套能力不及预期。

正文目录

1 钠离子电池量产在即，正极材料产业链迎来新机遇 8
1.1 钠离子电池技术不断成熟，原材料与成本优势是核心 8
1.2 预计 2026 年钠电正极材料需求将超 30 万吨 14
1.3 钠电正极材料：多路线并存，层状氧化物或率先产业化 15
2 层状氧化物：产业化前夕，大规模应用在即 17
2.1 层状氧化物性能优异，与锂电正极工艺和设备兼容性高 17
2.2 性能短板逐渐补齐，具备大规模应用基础 19
2.3 主流企业加速布局，大规模应用在即 21
2.4 Na-Cu-Fe-Mn 系具备成本优势，原材料供应充足 23
3 普鲁士蓝类化合物：性价比高，结晶水问题是关键 28
3.1 普鲁士蓝类材料综合性能较好，国内外企业加速布局 28
3.2 普鲁士蓝正极原材料成本低且供应充足 29
3.3 各企业加大研发，多途径助力材料性能提升 33
4 聚阴离子化合物：钒系成本高，硫酸盐系是未来重点发展方向 37
5 投资建议 42
风险提示： 43

图表目录

图表 1 建议关注公司.....3
图表 2 钠离子电池充放电原理.....8
图表 3 钠离子电池发展历史.....9
图表 4 国内外企业钠离子电池布局情况（不完全统计）.....9
图表 5 钠离子电池优势.....11
图表 6 常用电池基础性能对比.....12
图表 7 全球新能源汽车及 A00 级销量（万辆）.....12
图表 8 全球新能源汽车及 A00 级电池总容量（GWh）.....12
图表 9 钠离子电池在 A00 级新能源车中装车量（GWh）.....13
图表 10 全球新增储能电池规模（GWh）.....13
图表 11 钠离子电池在储能中需求量（GWh）.....13
图表 12 全球二轮电动车电池规模（GWh）.....13
图表 13 钠离子电池在二轮电动车中需求量（GWh）.....13
图表 14 全球钠电正极材料需求测算（万吨）.....14
图表 15 钠离子电池成本构成（%）.....15
图表 16 钠离子电池正极材料优缺点对比.....16
图表 17 钠离子电池正极材料性能参数对比.....16
图表 18 国内企业钠离子电池正极材料路径布局统计（不完全统计）.....17
图表 19 钠离子电池层状过渡金属氧化物结构示意图.....18
图表 20 钠电/锂电正极材料参数对比.....18
图表 21 钠电层状氧化物正极材料制备工艺.....19
图表 22 P2 相材料在充放电过程中相变为 O2 相.....20
图表 23 各公司采取的提升层状氧化物正极材料性能方式的统计（不完全）.....20
图表 24 相关公司在钠电层状正极材料的布局情况.....22
图表 25 不同企业层状氧化物主要原材料成本测算（元/吨）.....23
图表 26 三元正极材料 NCM523 价格（元/吨）.....24
图表 27 全球钠电层状正极材料主要原材料需求测算（万吨）.....24
图表 28 国内纯碱行业主要生产厂家及纯碱产能（万吨）.....24
图表 29 2017-2022Q3 我国纯碱需求（万吨）.....26
图表 30 国内二氧化锰行业主要生产厂家及二氧化锰产能（万吨）.....26
图表 31 不同 Mn 源的层状氧化物正极材料成本测算.....27
图表 32 国内硫酸锰主要生产企业及硫酸锰产能（万吨）.....27
图表 33 普鲁士蓝类似物框架结构示意图.....28
图表 34 国内外企业普鲁士类正极材料布局情况（不完全统计）.....29
图表 35 普鲁士蓝正极材料主要原材料成本测算（元/吨）.....30
图表 36 磷酸铁锂和碳酸锂价格（万元/吨）.....30
图表 37 相关企业普鲁士蓝正极体系及主要原材料.....30
图表 38 全球钠电正极材料主要原材料需求测算（万吨）.....31
图表 39 氰化钠需求（万吨）.....31
图表 40 国内氰化物行业主要生产厂家及氰化钠产能（万吨）.....32
图表 41 普鲁士蓝类化合物理想的无缺陷结构（左）和含有 $Fe(CN)_6$ 的缺陷结构（右）.....34
图表 42 普鲁士蓝类材料的制备工艺优缺点.....34

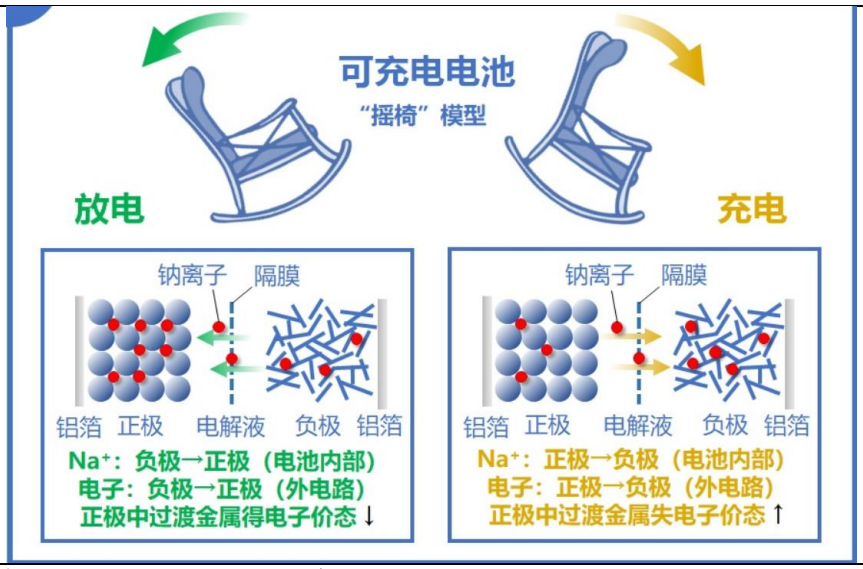
图表 43 目前主流企业普鲁士蓝材料的制备工艺.....35
图表 44 加入氧化钙后普鲁士蓝材料结晶水含量.....35
图表 45 目前主流企业的制备工艺中均有惰性气体保护.....36
图表 46 目前主流企业的元素掺杂选择（不完全统计）.....36
图表 47 未加配位剂时普鲁士蓝材料有结晶水.....37
图表 48 加入配位剂之后普鲁士蓝材料结晶水减少.....37
图表 49 各类聚阴离子材料晶体结构.....38
图表 50 常见聚阴离子型化合物的主要特征参数及电化学性能.....38
图表 51 $NaFePO_4$ 的两种晶体结构：(a)磷铁钠矿相；(b)磷铁锂矿相.....39
图表 52 两种典型的磷酸铁锂生产工艺.....39
图表 53 $NaFePO_4$ 电荷转移电阻远高于 $LiFePO_4$.....39
图表 54 典型的钒基聚阴离子型化合物的主要特征参数和性能水平.....40
图表 55 五氧化二钒市场均价（元/吨）.....41
图表 56 钒基聚阴离子型化合物 $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 成本拆分.....41
图表 57 硫酸盐聚阴离子材料 $Na_2Fe(SO_4)_2$ 成本拆分.....42
图表 58 相关企业硫酸盐钠电正极材料的布局.....42
图表 59 钠电池正极材料产业链重点公司.....43

1 钠离子电池量产在即，正极材料产业链迎来新机遇

1.1 钠离子电池技术不断成熟，原材料与成本优势是核心

钠离子电池基本原理与锂离子电池类似，被称作“摇椅式电池”。钠离子电池的结构和工作原理基本与锂离子电池相同，钠离子电池也主要由正极、负极、隔膜、电解液和集流体组成，正负极之间由隔膜隔开以防止短路，电解液负责充放电的时候离子在正负极之间的传导，集流体则起到收集和传输电子的作用。钠离子电池的工作原理为：充电时，Na^+从正极脱出，经过电解液传导进入到负极，使正极处于高电势的贫钠态，负极处于低电势的富钠态。同时，有相同带电量的电子通过外电路从负极流入到正极以保持电荷的平衡。放电过程则与充电过程完全相反，Na^+从负极脱嵌，经由电解液穿过隔膜重回正极材料中，电子则通过外电路从正极流回到负极。由于钠离子电池的充放电过程完全对称，均是由钠离子和电子在正负极之间的传导而完成，因此钠离子电池同锂离子电池一样被称作“摇椅式电池”。

图表 2 钠离子电池充放电原理



资料来源：中科海钠官网，华安证券研究所

钠离子电池技术不断成熟，大规模量产在即。钠离子电池起源于 1976 年，Whittingham 报导了 TiS_2 的可逆嵌锂机制，并制作了 Li||TiS_2 电池，Na^+在 TiS_2 中的可逆脱嵌机制也被发现。到 19 世纪 80 年代，Delmas 和 Goodenough 相继发现了层状氧化物材料 $NaMeO_2$ (Me = Co,Ni,Cr,Mn,or Fe)可作为钠离子电池正极材料，此发现奠定了钠离子电池的商业化基础。随后，Stevens 和 Dahn 发现硬碳材料具有优秀的钠离子脱嵌性能，该研究成为钠离子电池领域的重大转折点。至此，钠离子电池两大关键材料得到确定，也为后续钠离子电池商业化应用打下基础。2015 年，全球首颗 18650 圆柱型钠离子电池诞生，该电芯能量密度达到 90Wh/kg，循环寿命超过 2000 次，再一次推进了钠离子的商业化进程。随后，我国在钠离子电池领域取得了十足的进步，2021 年，中科海钠推出了全球首套 1MWh 钠离子电池光储充智能微网系统，

并成功投入运行；随后，宁德时代推出能量密度达到 160Wh/kg，15 分钟可充满 80%的电量，-20℃可放出 90%电量的钠离子电池。至此，钠离子电池即将迈入到商业化阶段，大规模量产在即。

图表 3 钠离子电池发展历史



资料来源：顷刻储能 Qinkual，各公司公告，华安证券研究所

众多企业加码布局钠离子电池，产业化进程再提速。钠离子电池产业链布局目前处于初级阶段，吸引了众多企业开始布局钠离子电池，国外有英国 FARADION 公司、美国 Natron Energy 公司、法国 NAIADES 公司、日本岸田化学、松下、三菱，国内布局钠离子电池的企业众多，其中具有代表性的主要有宁德时代、中科海钠、钠创新能源等公司。根据各公司公布的投产计划，预计 2023 年钠离子电池将新增产能 17.5GWh，钠离子电池的产业化进程进一步加速。

图表 4 国内外企业钠离子电池布局情况（不完全统计）

公司	正极材料路线	负极材料路线	近期规划投产产能（GWh）	计划投产时间	备注
FARADION	层状氧化物	硬碳	1	-	公司正计划在印度实现 1GWh 钠离子电池初始产能
宁德时代	层状氧化物/普鲁士白	硬碳	-	2023	-
中科海纳	层状氧化物	软碳	6	2023	公司与三峡能源、三峡资本及安徽省阜阳市人民政府合作的二期 4GWh 将尽快启动

传艺科技	层状氧化物/聚阴离子	硬碳	4.5	2023	二期规划 5.5GWh 产能
维科技术	层状氧化物	硬碳	2	2023	与浙江钠创合作
多氟多	层状氧化物/聚阴离子/普鲁士蓝化合物	硬碳	1	2023	5000 吨/年正极以及 2000 吨/年负极同步投产
鹏辉能源	-	-	-	-	公司钠离子电池已完成小批量试产，并送样给下游客户试用
派能科技	-	-	-	-	钠离子电池项目正在持续稳定进展
拓邦股份	-	-	-	-	公司钠离子电池具备批量生产能力，投产进度与上游材料的供应体系、成本及下游需求情况相关
钠创新能源	层状氧化物/聚阴离子	硬碳	2	2023	公司完成了年产 3000 吨正极材料、5000 吨电解液的生产工艺包建设
立方新能源	层状氧化物	硬碳	-	-	2022 年 4 月发布第一代钠离子电池并进入量产阶段
众钠能源	聚阴离子	硬碳	2	2023	公司百吨级材料项目于 2022 年 3 月投产，钠电池预计 2023 年量产
星空钠电	-	-	-	-	2019 年 1 月宣布其世界首条钠离子电池生产线投入运行
合计	-	-	18.5	-	-

资料来源：各公司官网，华安证券研究所

相比于锂离子电池，钠离子电池具备原材料、成本和部分性能优势。钠离子电池是由钠离子在正负极之间的嵌入、脱出实现电荷转移，与锂离子电池的工作原理基本相同，两者的生产设备大多可兼容。锂离子电池已经于 1991 年成功商业化，目前被广泛应用于动力、储能和消费等领域，而钠离子电池则持续处于研究中，产业化应用较慢，直到近期产业化的进程才得到加速。目前最新的研究成果发掘出了钠离子电池相对于锂离子电池的诸多优势，展示出了钠离子电池的巨大开发潜力。钠离子电池较锂离子电池的优势具体如下：

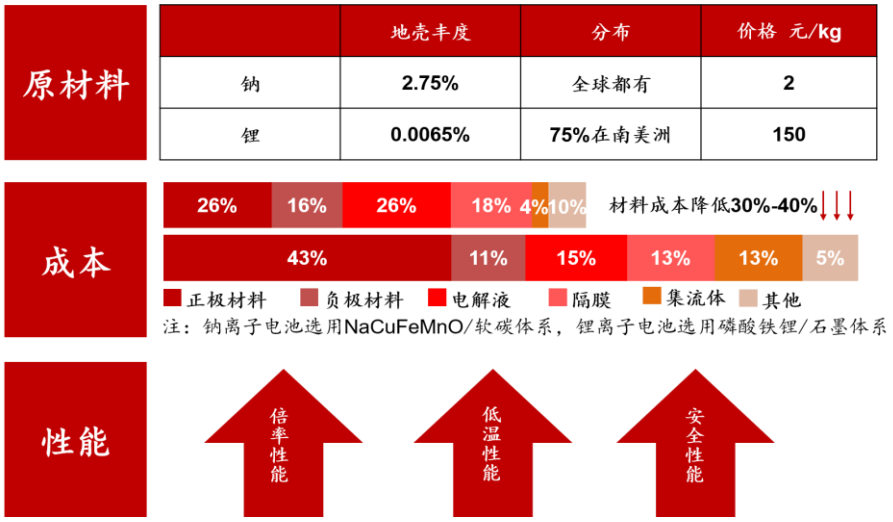
（1）原材料优势：地壳中钠储量为 2.75%，储量丰富，且分布均匀，成本低廉。而地壳中锂储量仅为 0.0065%，且分布极其不均匀，不同地区资源属性差距较大。

（2）成本优势：钠离子电池正极材料多选用价格低廉且储备丰富的铁、锰、铜等元素，负极可选用无烟煤前驱体，成本及材料来源相比锂离子电池具备一定优势。而且钠离子电池正极和负极的集流体均可使用廉价的铝箔，成本较锂离子电池所需的铜箔进一步降低。据中科海钠团队研究，产业化的钠离子电池材料成本相较

磷酸铁锂电池可降低 30%-40%。

（3）性能优势：①倍率性能优异：钠离子的溶剂化能比锂离子更低，即具有更好的界面离子扩散能力，且钠离子的斯托克斯直径比锂离子的小，相同浓度的电解液具有比锂盐电解液更高的离子电导率，或者更低浓度电解液可以达到同样离子电导率，使得钠离子电池具备更快的充电速度，如宁德时代的第一代钠离子电池在常温下充电 15 分钟即可达到 80%的电量，充电速度约为锂离子电池的两倍；②低温性能优异：在低温测试中，钠离子电池（铜基氧化物/煤基碳体系）在-20 ℃的容量保持率在 88%以上，而锂离子电池（磷酸铁锂/石墨体系）小于 70%；③安全性能优异：在所有安全项目测试中，均未发现起火现象，安全性能更好，这是因为钠离子电池内阻相比锂离子电池要稍微高一些，致使在短路等安全性实验中瞬间发热量少、温度较低。

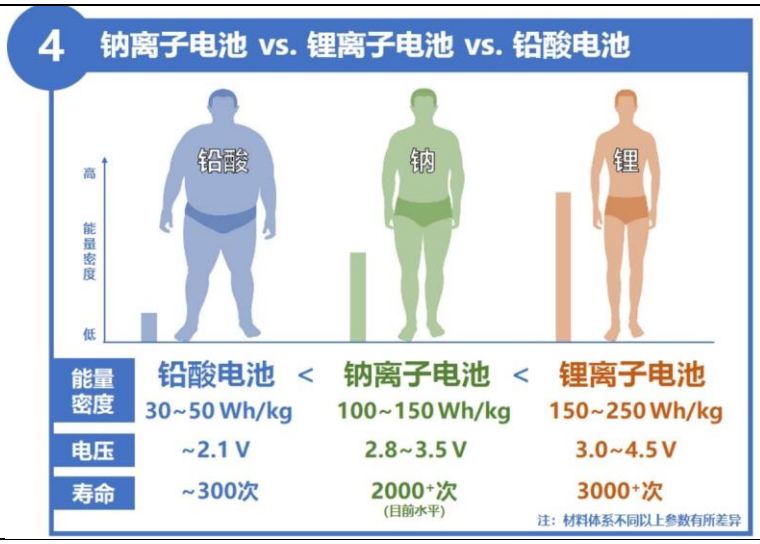
图表 5 钠离子电池优势



资料来源：中科海钠官网，华安证券研究所

钠离子电池在能量密度、循环寿命方面有较大的提升空间。相较于锂离子电池，目前阻碍钠离子电池发展应用的瓶颈主要集中在其能量密度、循环寿命等方面。能量密度方面，钠离子电池在 100-150Wh/kg 之间，而锂离子电池在 150-250Wh/kg 之间；循环寿命方面，钠离子电池为 2000+次，而锂离子电池为 3000+次。虽然钠离子电池在能量密度、循环寿命等方面相对锂离子电池存在先天性不足，但是由于钠离子电池具备成本优势，而且在倍率性能、低温性能和安全性能等领域优于锂离子电池，因此未来钠离子电池有望应用于储能、低速电动车、电动船等对能量密度要求较低，但成本敏感性较强的领域。

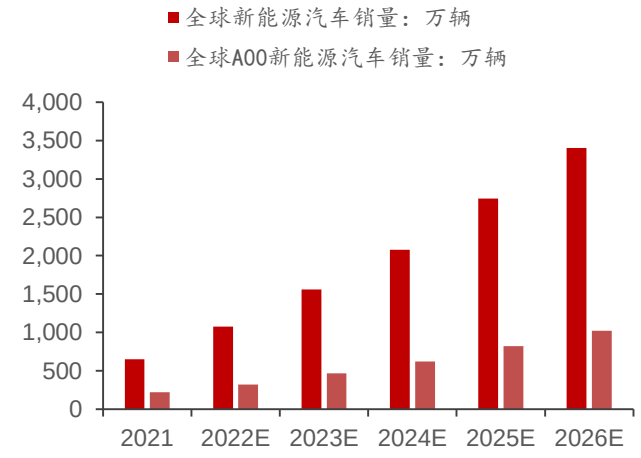
图表 6 常用电池基础性能对比



资料来源：中科海钠官网，华安证券研究所

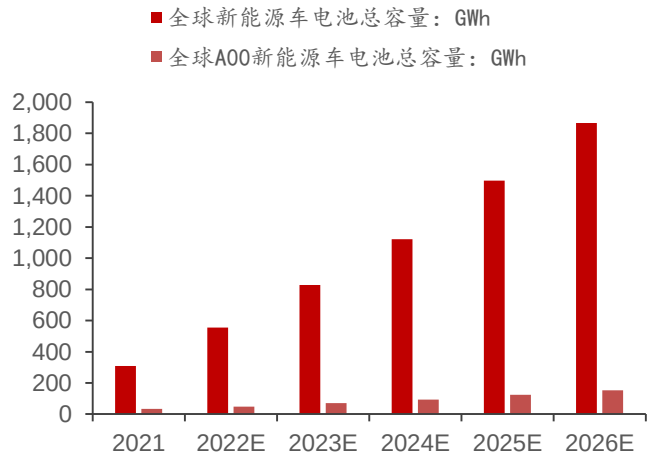
钠电有望在低速电车和储能领域部分替代锂电，预计 2026 年需求将达到 123.7GWh。根据乘联会披露的数据，我国低速电车领域，主要是 A00 级车，2021 年销量占比全年新能源汽车总销量的 34%。而且未来随着新能源汽车不断往中低端车型渗透，A00 级车销量有望持续上升。假设未来几年全球 A00 级新能源车销量占比为 30%，则到 2026 年全球 A00 级车销量有望突破 1000 万辆。假设 A00 级新能源车单车带电量为 15KWh，则 2026 年全球 A00 级新能源车电池总容量为 153.2GWh，假设钠离子电池渗透率 20%的情况下，2026 年钠离子电池装车量将达到 30.6GWh。储能领域，根据 EVTank 的数据，2026 年全球新增储能电池规模将达到 316.8GWh，假设钠离子电池渗透率 20%的情况下，2026 年储能钠离子电池需求量将达到 63.4GWh。除了低速电动车和储能之外，钠离子电池还能运用于电动船和两轮电动车，也可与锂离子电池混用于更高带电量的车型，因此未来钠离子电池的实际需求量将远超测算值，市场空间广阔。

图表 7 全球新能源汽车及 A00 级销量（万辆）



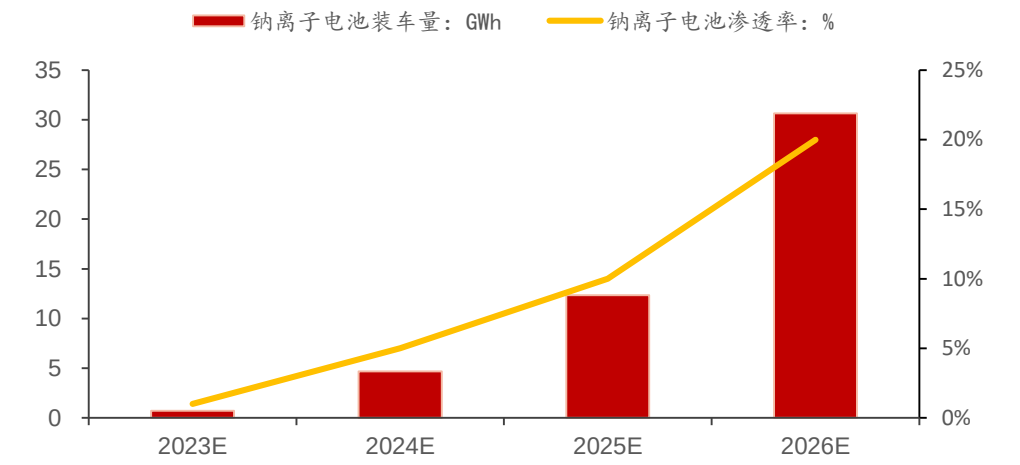
资料来源：中汽协，乘联会，华安证券研究所

图表 8 全球新能源汽车及 A00 级电池总容量（GWh）



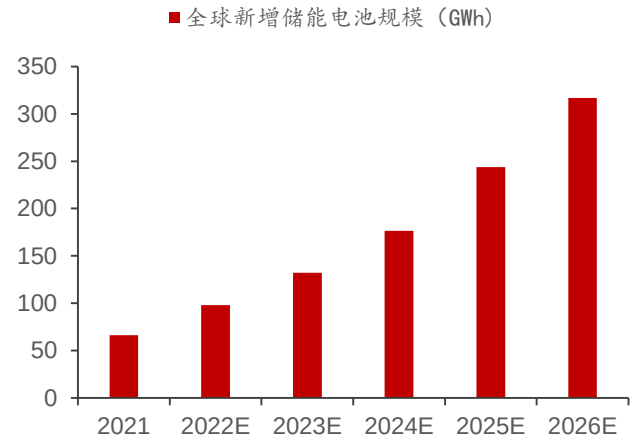
资料来源：中国动力电池产业创新联盟，华安证券研究所

图表 9 钠离子电池在 A00 级新能源车中装车量（GWh）



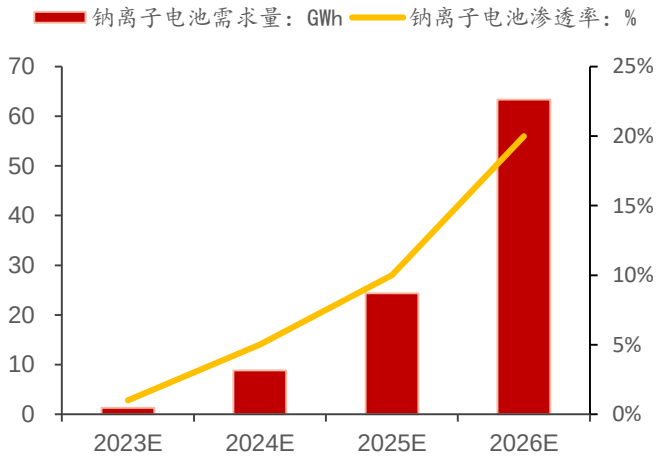
资料来源：中汽协，乘联会，中国动力电池产业创新联盟，华安证券研究所整理

图表 10 全球新增储能电池规模（GWh)



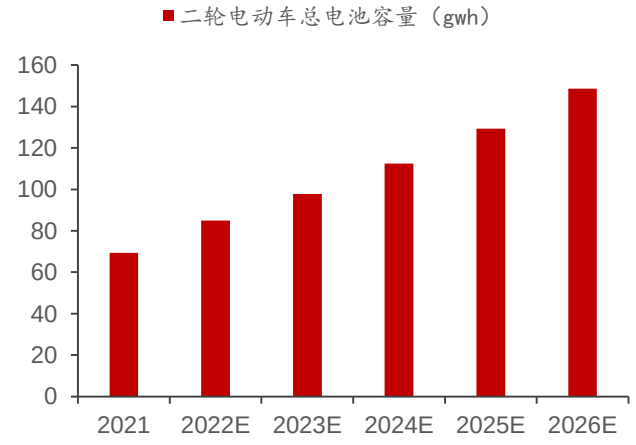
资料来源：EVTANK，华安证券研究所

图表 11 钠离子电池在储能中需求量（GWh）



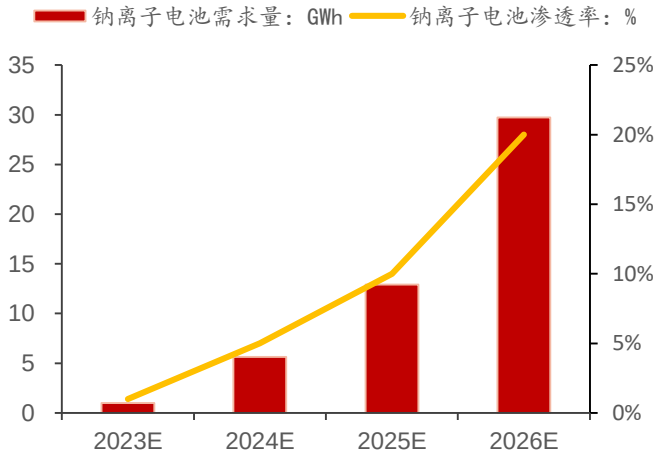
资料来源：EVTANK，华安证券研究所整理

图表 12 全球二轮电动车电池规模（GWh)



资料来源：iFinD，华安证券研究所

图表 13 钠离子电池在二轮电动车中需求量（GWh）



资料来源：iFinD，华安证券研究所整理

1.2 预计 2026 年钠电正极材料需求将超 30 万吨

钠离子电池产业化在即，正极材料即将迎来需求高峰。现对钠离子电池正极材料的需求量进行测算，基本假设如下：

（1）全球电动车市场正在逐步下沉，未来短途电动代步车市场广阔，假设未来全球 A00 级电动车占比为 30%，A00 级电动车单车带电量为 15KWh。同时，假设 2023-2026 年钠离子电池在 A00 级电动车领域渗透率分别为 1%、5%、10%和 20%。

（2）全球储能行业发展迅速，未来有望成为拉动钠离子电池需求的主要行业，假设 2023-2026 年钠离子电池在储能领域渗透率分别为 1%、5%、10%和 20%。

（3）二轮电动车对电池的成本敏感度较高，而钠离子电池量产后成本具备显著优势，因此钠离子电池有望在二轮电动车领域快速放量。假设全球二轮电动车单车带电量为 0.8KWh，同时，假设 2023-2026 年钠离子电池在二轮电动车领域渗透率分别为 1%、5%、10%和 20%。

根据上述假设，我们预计 2023 年钠离子电池装机量为 3GWh，相应的正极材料需求量为 0.75 万吨。随着钠离子电池良率不断提升叠加产业链的不断完善，至 2026 年，全球钠离子电池装机量有望达到 123.7GWh，进而带动正极需求量达 30.9 吨，2023-2026 年年均复合增速达 245.5%，钠离子电池正极即将迎来需求高峰。

图表 14 全球钠电正极材料需求测算（万吨）

		2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
新能源汽车	全球新能源汽车销量：万辆	650.30	1075.38	1562.00	2078.39	2743.54	3404.48
	A00 级占比：%	34%	30%	30%	30%	30%	30%
	全球 A00 新能源汽车销量：万辆	221.10	322.61	468.60	623.52	823.06	1021.34
	A00 新能源单车带电量：KWh	15	15	15	15	15	15
	全球 A00 新能源车电池总容量：GWh	33.17	48.39	70.29	93.53	123.46	153.20
	钠离子电池渗透率：%	0%	0%	1%	5%	10%	20%
	钠离子电池装车量：GWh	0.00	0.00	0.70	4.68	12.35	30.64
储能	全球新增储能电池规模（GWh)	66.30	98.20	132.10	176.50	243.70	316.81
	钠离子电池渗透率：%	0.00%	0.00%	1.00%	5.00%	10.00%	20.00%

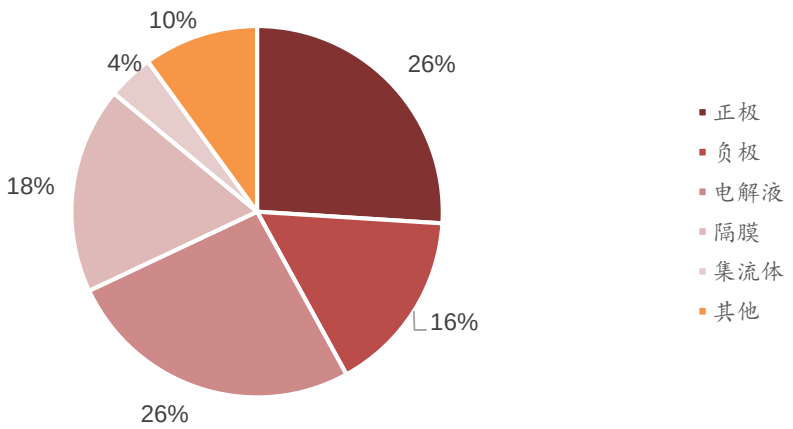
	钠离子电池需求量：GWh	0.00	0.00	1.32	8.83	24.37	63.36
二轮电动车	二轮电动车产量（万辆）	9237.88	10623.56	12217.09	14049.66	16157.10	18580.67
	单车电池容量（kwh）	0.75	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	二轮电动车总电池容量（gwh）	69.28	84.99	97.74	112.40	129.26	148.65
	钠离子电池渗透率：%	0%	0%	1%	5%	10%	20%
	钠离子电池需求量：GWh	0.00	0.00	0.98	5.62	12.93	29.73
钠离子电池需求量：GWh		0.00	0.00	3.00	19.12	49.64	123.73
单 GWh 正极消耗量：万吨		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
钠离子电池正极需求：万吨		0.00	0.00	0.75	4.78	12.41	30.93
YOY：%		-	-	-	537.11%	159.62%	149.25%

资料来源：中汽协，EVTank，iFinD，中国动力电池产业创新联盟，华安证券研究所整理

1.3 钠电正极材料：多路线并存，层状氧化物或率先产业化

正极材料为钠电池关键构成材料之一，其成本占比约为 26%。在电池充电过程中，正极发生氧化反应，Na^+从正极脱出嵌入到硬碳负极并发生电子损失，为了维持电荷平衡，电子的补偿电荷通过外电路转移到负极。放电时，则完全相反。正极材料的选择会直接关系到电池的能量密度，循环寿命和倍率性能等。正极材料的选择依据包括（1）具有较高氧化还原电势，以获得更高的工作电压，从而提高电池整体的能量密度；（2）高质量比容量和体积比容量；（3）与电解液的兼容性好，且在循环过程中能保持结构稳定，以保证电池具有较长的循环寿命；（4）具有合适的钠离子扩散通道和较低的离子迁移势垒，以降低电池内阻；（5）较高的能量转换效率和能量保持率；（6）空气中结构稳定，以避免由存放导致的性质恶化问题；（7）安全无毒、原材料成本低廉、容易制备等。

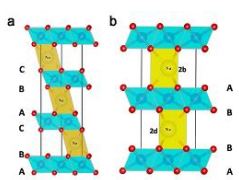
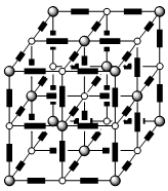
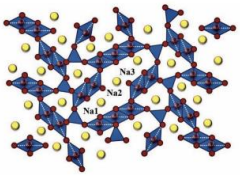
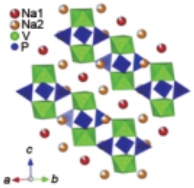
图表 15 钠离子电池成本构成（%）



资料来源：中科海钠官网，华安证券研究所

钠离子电池正极材料多样，各有优势与不足。目前研究的钠离子电池正极材料主要分为层状氧化物、普鲁士蓝类、隧道型氧化物和聚阴离子型化合物等。层状氧化物因制备方法简单、技术转化容易、能量密度高、可逆比容量高、倍率性能高和具有可逆的钠离子脱/嵌能力而成为钠离子电池首选的正极材料。但是层状氧化物也存在容易吸水或者与水-氧气（或二氧化碳）发生反应进而影响结构的稳定性和电化学性能的问题，因此层状氧化物不能长期存放在空气中，这对电池的生产和后续保存提出了较高的要求。普鲁士蓝类化合物作为钠离子电池的正极材料，具备能量密度高、可逆比容量高和工作电压可调节等优点，但是其较低的导电性能和库伦效率制约了其进一步发展，后续可能通过掺杂碳纳米管等方式来改善其导电性能。隧道型氧化物其晶体结构中具有独特的“S”型通道，使得在充放电循环过程中结构保持稳定，因此其循环性能和倍率性能较好。但是其缺点是首周充电容量较低，导致实际可用的容量较少，而且其工作电压较低，限制了应用范围。聚合阴离子化合物作为钠离子电池正极材料主要优点为稳定性好、循环性能好和工作电压高，其缺点主要为可逆比容量低和部分材料含有有毒元素，而且聚合阴离子化合物合成方法复杂，同时为提高其电导率往往需要采取碳包覆等手段，材料改性要求较高。

图表 16 钠离子电池正极材料优缺点对比

项目	层状氧化物体系	普鲁士蓝类化合物体系	隧道型氧化物体系	聚阴离子型
结构				
优点	可逆比容量高	工作电压可调	循环性好	工作电压高
	能量密度高	可逆比容量高		热稳定性好
	倍率性能高	能量密度高	倍率性好	循环好
	技术转化容易	合成温度低		空气稳定性好
缺点	容易吸湿	导电性差	比容量低	可逆比容量低
	循环性能稍差	库仑效率低	工作电压低	部分含有毒元素

资料来源：《钠离子电池储能技术及经济性分析》张平等，华安证券研究所

图表 17 钠离子电池正极材料性能参数对比

项目	层状氧化物类	普鲁士系列（蓝/白类）	磷酸盐（聚阴离子）系列
材料名称	铜铁锰酸钠、镍铁锰酸钠	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
分子式	$Na_{0.9}[Cu_{0.22}Fe_{0.3}Mn_{0.45}]O_2$、$NaNi_{1/3}Fe_{1/3}Mn_{1/3}O_2$	$NaxMnFe(CN)_6$、$Na_2Mn[Mn(CN)_6]$	$Na_3V_2(PO_4)_3$、$Na_3V_2(PO_4)_2F_3$、$Na_2Fe(P_2O_7)$、$Na_2Fe_2(SO_4)_3$
工作电压	2.8-3.3V	3.1-3.4V	3.1-3.7V
放电比容量	100-140mAh/g	70-160mAh/g	100-110mAh/g
压实密度	3.0-3.4	1.3-1.6	1.8-2.4
循环寿命	一般	一般	较好

热稳定性	一般	好	好
安全性	好	低（热失控产生有害气体）	低（热失控产生有害气体）
空气稳定性	一般	好	很好
对应电池重量和体积能量密度	较好	低	低

资料来源：振华新材公告，华安证券研究所

国内企业布局以层状氧化物为主，有望率先实现产业化。根据目前国内主流的钠离子电池生产企业披露的信息来看，各公司在布局钠离子电池正极材料的时候，大多数选择了层状氧化物体系，这主要取决于层状氧化物制备方法简单、技术转化容易、能量密度高、可逆比容量高、倍率性能高等优点。随着各企业钠离子电池的放量，层状氧化物正极材料有望率先实现产业化。其余的正极材料体系，宁德时代布局了普鲁士蓝化合物材料，鹏辉能源和传艺科技等布局了聚合阴离子化合物，未来随着技术的不断突破，钠离子电池正极材料有望多路线并存。

图表 18 国内企业钠离子电池正极材料路径布局统计（不完全统计）

公司	正极材料路线		
	层状氧化物体系	普鲁士蓝类化合物体系	聚阴离子型
宁德时代	√	√	-
中科海钠	√	-	-
湖南立方	√	-	-
传艺科技	√	-	√
钠创新能源	√	-	√
鹏辉能源	√	-	√
多氟多	√	√	√
星空钠电	-	√	√
众钠能源	-	-	√
山东章鼓	-	-	√

资料来源：各公司官网、公告，华安证券研究所

2 层状氧化物：产业化前夕，大规模应用在即

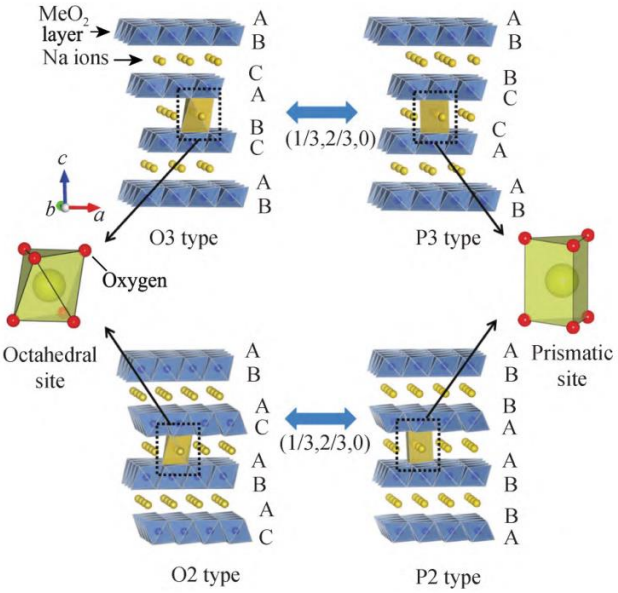
2.1 层状氧化物性能优异，与锂电正极工艺和设备兼容性高

钠离子层状过渡金属氧化物一般形式用 Na_xMO_2 表示，其中 M 包括 Mn、Fe、Cu、Ni、Co 等过渡金属元素，x 为钠的化学计量数，小于等于 1。过渡金属元素与周围六个氧形成的 MO_6 八面体结构组成过渡金属层，Na^+位于过渡金属层之间，形成 MO_6 多面体层与 NaO_6 碱金属层交替排布的层状结构。

依据 Na^+在过渡金属层间的排列方式，将层状过渡金属氧化物分为 On 和 Pn 相，主要有 P2、P3、O2、O3 相（字母代表钠离子所处的配位环境，O 表示八面体结构，P 表示三棱柱结构；数字表示最小氧原子的密堆积重复周期），材料类型的形

成与钠含量、合成温度及过渡金属加权半径相关。目前主流层状氧化物类型为 O3 和 P2 相。与 O3 相比，P2 具有更宽的钠离子传输通道和较低的钠离子迁移能垒，表现出更优异的循环稳定性和倍率性能。通常 O3 的初始 Na 含量要比 P2 的高，所以在组装成全电池后，O3 正极的容量会优于 P2。

图表 19 钠离子电池层状过渡金属氧化物结构示意图



资料来源：《钠离子电池层状过渡金属氧化物正极材料的研究进展》孙媛媛等，华安证券研究所

性能方面，得益于层状氧化物的特殊结构，其克容量和压实密度优于普鲁士类化合物和聚阴离子化合物。层状金属氧化物正极材料的特点是拥有二维传输通道，钠离子传输速度快，这赋予其优异循环稳定性和倍率性能。同时，层状氧化物拥有更多的储钠位点，其克容量上限也高于普鲁士类化合物和聚阴离子化合物。此外，层状材料的压实密度较高，这使得其拥有更高的能量密度。尽管钠离子层状金属氧化物的电化学性能与锂离子层状材料仍有一定差距，但由于产业化后其综合成本较低，根据高工锂电的数据，钠离子电池完全产业化后成本有望降至 0.26 元/Wh，显著低于锂离子电池磷酸铁锂正极的 0.36 元/Wh，因此其竞争力依旧显著。

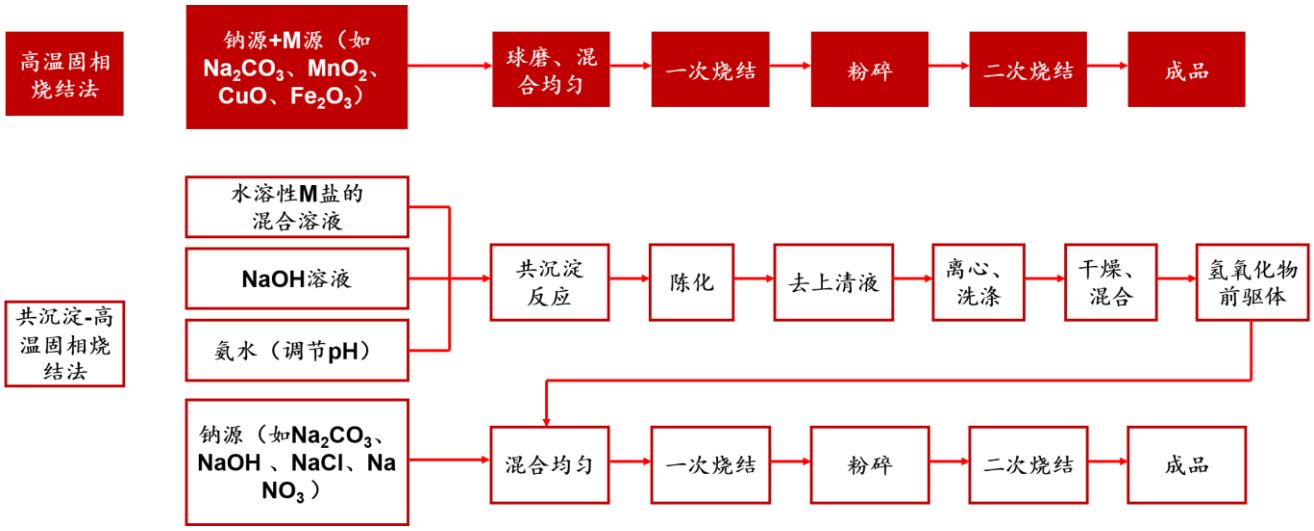
图表 20 钠电/锂电正极材料参数对比

	钠离子电池正极材料			锂离子电池正极材料	
类型	层状氧化物	普鲁士类化合物	聚阴离子化合物	NCM 三元化合物	磷酸铁锂
克容量（mAh/g）	100-170	90-140	80-130	150-220	155-163
电压平台（V）	2.5-3.5	2.5-3.5	3.0-4.0	3.5-4.5	3.0-4.0
压实密度（cm^3/g）	3.0-4.0	1.5-2.5	2.0-3.0	3.4-3.7	2.2-2.7
产业化后成本（元/Wh）	0.26			0.59	0.36

资料来源：GGII，华安证券研究所

工艺与设备方面，钠电层状正极与锂电正极高度兼容。目前钠离子电池层状氧化物正极材料的制备工艺主要有溶胶凝胶法、高温固相烧结法、共沉淀-高温固相烧结法等。溶胶凝胶法可使材料达到原子级别的均匀分散，并且产物的粒径分布比较集中，但其工艺较为繁冗，制备周期长且需要消耗大量的有机原料，还不能适应大规模工业生产的需要；高温固相烧结法通常采用过渡金属/金属盐类与钠源球磨、混合均匀后，进行高温固相烧结（一烧或两烧），工艺流程简单，成本较低，但是材料的形貌和尺寸不可控，材料的批次稳定性可控性差。共沉淀-高温固相烧结法可以通过控制反应条件，得到表面光滑、粒径分布均一、振实密度较高的正极材料，且该制备工艺与锂离子电池用三元正极材料的制备工艺类似，能沿用目前锂电正极材料的生产设备，被认为是当前最适合大规模生产钠电层状氧化物正极材料的方法。

图表 21 钠电层状氧化物正极材料制备工艺



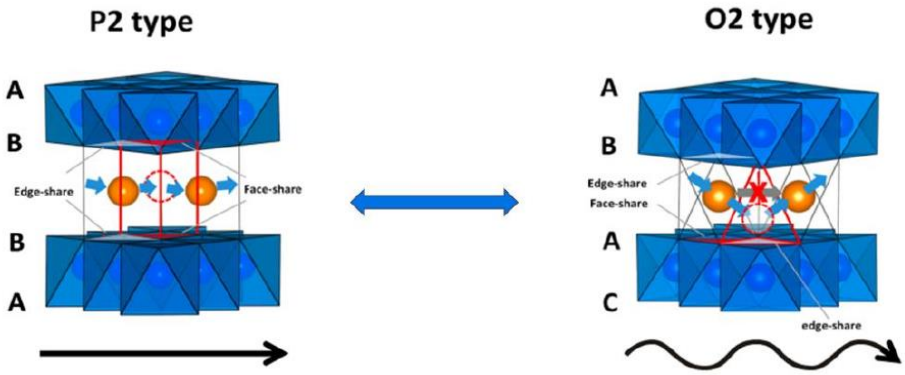
资料来源：CNKI，华安证券研究所

2.2 性能短板逐渐补齐，具备大规模应用基础

虽然层状正极材料存在上述诸多优点，但其也存在着明显的短板，主要包括材料结构稳定性差、空气稳定性差、与电解液发生副反应等问题，这将导致其容量衰减严重、循环性能恶化、加工性能变差。

材料结构稳定性差：Na^+在材料中的脱嵌，一方面会导致过渡金属离子发生反应进行电荷补偿，引起过渡金属层发生畸变、晶体结构发生坍塌；另一方面还会使过渡金属层滑移及 Na^+空位有序性变化，引起不可逆相变，且伴随剧烈体积变化，同样会导致晶体结构崩塌。晶体结构的崩塌，阻碍了 Na^+的传输扩散，使得大部分Na^+游离在材料表面，形成不可逆的容量损失，同时恶化循环性能。

图表 22 P2 相材料在充放电过程中相变为 O2 相



资料来源：《钠离子电池过渡金属层状氧化物正极材料的制备与改性研究》熊可等，华安证券研究所

空气稳定性差：当材料和空气接触后，Na^+会从晶格中脱出与空气中的 H_2O、CO_2 等物质发生反应生成 NaOH、$NaCO_3$ 等物质，简称残碱。这不仅会使 Na^+脱出嵌入的数量减少，导致材料容量减少，循环性能恶化，还会使带正电荷的 Na^+的屏蔽作用减弱，相邻氧化层之间斥力随之增大，层间距变大，甚至导致颗粒开裂。此外，材料的吸湿变质使得其对粘结剂的兼容性变差，造成浆料分散性和稳定性下降，不利于后续涂布工艺的进行。

与电解液发生副反应：在电池工作过程中，尤其是在高电压时，电解液可能会分解产生一些强酸物质，如 $NaPF_6$ 会分解产生 HF，导致电极表面生成更多副产物，如 $NiO+2HF\rightarrow NiF_2+H_2O$，$MnO+2HF\rightarrow MnF_2+H_2O$，而这些副产物均为导电绝缘体，大大增加了电池的阻抗。此外，在电解液的侵蚀下，材料中的过渡金属元素不可逆地溶解到电解液中，破坏了材料的层状结构，从而造成材料的电化学性能下降。

为提升材料的综合性能，各企业不断加大研发力度，层状氧化物材料性能短板被不断补齐，具备大规模应用基础。针对层状氧化物材料所存在的上述问题，各企业均在加大力度研发，采取的改性策略主要包括离子掺杂、结构/组成设计、表面包覆、正极预钠化等方法。各方法叠加使用，层状氧化物正极材料的性能正在逐步提升，产业化应用可期。

图表 23 各公司采取的提升层状氧化物正极材料性能方式的统计（不完全）

改进方法	布局公司	专利名称	改进效果
离子掺杂	振华新材	钠离子电池用含锌正极材料及其制法和应用	采用锌元素取代部分稀有贵金属，可有效减小材料结构的坍塌，降低材料表面残碱浓度
		一种钠离子电池正极材料及制法和应用	加入改性元素 A，为 Na^+的传输提供了稳定的通道，降低了材料表面残碱量，提高了电池的稳定性和容量
	钠创新能源	一种钠离子电池正极材料及其制备方法	掺入钾离子，产品可逆比容量保持不变或略微提升，同时材料的循环稳定性得到提升

	中科海钠	一种钠离子电池正极材料、其制备方法和钠离子电池	金属元素和硫元素共掺杂，提高材料结构稳定性、库伦效率、空气稳定性和加工性能
结构/组成设计	容百科技	一种钠离子电池正极材料及其制备方法和应用	使 NFM 正极材料拥有 P2 和 O3 复合相，兼具高比容量和长循环性
	湖州超钠新能源	O3-P2 复合相钠离子正极材料及其制备方法和应用	形成 P2、O3 核壳结构，提升充放电比容量、循环性能，降低表面残碱含量
	中科海钠	钠离子二次电池复合正极材料及其制备方法和电池	掺杂普鲁士蓝纳米颗粒，提升正极材料的结构稳定性，从而提高电池的循环稳定性能
	欣旺达	一种正极材料、二次电池及用电设备	控制中心区域和外层锰含量质量比，降低 Mn 对负极 SEI 膜的破坏程度
表面包覆	格林美	一种钽掺杂氧化铟包覆镍锰酸钠正极材料及其制备方法	提高材料的循环性能，并缓解常规包覆带来的电阻增大问题
		一种层状氧化物正极材料及其制备方法和钠离子电池	通过内核和外壳协同作用，降低材料与电解液的副反应，提高放电容量和循环性能
	中科海钠	钠离子二次电池正极材料及其制备方法及应用	表面包覆普鲁士，减少副反应，提高电池的循环稳定性能
		一种包覆改性钠离子电池正极材料及其制备方法和电池	表面包覆富锰壳层结构氧化物，提高材料循环稳定性，降低材料表面残碱
	钠创新能源	一种包覆结构钠离子电池正极材料的制备方法	表面包覆活性氧化物，提高循环稳定性
正极预钠化	多氟多	一种正极补钠剂的制备方法	通过钠盐与纳米导电剂复合，利于电池补钠效果的实现
	中科海钠	钠离子电池用正极添加剂、电池正极、钠离子电池及应用	通过使用具有较高不可逆容量的含锂正极材料牺牲盐添加剂参与 SEI 膜的形成，从而减少钠离子的消耗，提高钠离子电池的能量密度
		一种预钠化正极极片及其应用以及一种钠离子电池及其制备方法	通过预钠化正极极片补钠，使硬碳负极的不可逆钠损耗降低
	立方新能源	一种钠离子电池正极片及其制备方法、钠离子电池	在正极表面均匀分布一层补钠添加剂层减少可逆钠离子消耗

资料来源：各公司专利，华安证券研究所

2.3 主流企业加速布局，大规模应用在即

层状氧化物正极凭借优异的综合性能和较高的性价比，有望率先实现产业化。目前，全国主流企业均在加速布局钠离子电池层状氧化物正极材料，这些企业主要可分为两类，一类是传统锂电材料企业，如振华新材、当升科技、容百科技等；另一类是钠电初创企业，如中科海钠、钠创新能源等。此外，大部分企业已经完成了从小试到中试的过程，预计在接下来的两年将陆续有新增产能的建设与投产，钠离子电池层状氧化物正极材料大规模应用在即。

图表 24 相关公司在钠电层状正极材料的布局情况

公司	相关布局
传统锂电材料企业	
振华新材	公司钠电层状正极材料具有高压实密度、高容量、低 pH 值和低游离钠的特性；通过大单晶技术体系生产的单晶钠电正极材料结构完整，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；层状钠正极系列产品经评估测试已得到下游部分客户认可，目前已实现吨级产出并销售；公司在三元材料的生产工艺布局（三烧工艺）现有的产能或产线经过适当调整，可兼容钠电正极材料生产（两烧工艺），假设公司利用现有的 1 万吨三元产线生产钠电正极材料，产能预计可达 1.3-1.5 万吨；公司募集筹建的年产 10 万吨正极材料项目（义龙三期）可兼容钠离子电池正极材料的生产；公司预计在 2022 年内积极配合下游客户着力解决“0 到 1”的问题，力争加快放量速度
当升科技	公司采用特殊微晶结构前驱体以及材料结构调控解决了钠电池正极材料关键技术瓶颈，并推出了新一代钠电正极材料，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
容百科技	全面布局层状氧化物、普鲁士蓝/白及聚阴离子三个技术方向，并已与几十余家下游客户完成送样验证，目前每月销售量约十吨，后续将加速出货，预计 2023 年年初达百吨/月，2023 年年底达千吨/月；公司现有产能约 1.5 万吨/年，计划在 2023 年底建成 3.6 万吨/年产能，2024 年底建成 10 万吨/产能
长远锂科	公司在层状氧化物及普鲁士蓝类似物两个方向均与客户进行了联合布局开发，送测样品在容量、循环等关键性能指标上表现突出
厦钨新能	掌握钠离子电池正极层状材料中量试生产技术；钠电正极材料前驱体及材料开发已完成百公斤级的钠电材料试生产工作，同时积极布局小粒度产品开发、新转化技术开发等工作
格林美	从 2019 年开始启动钠电材料的技术攻关，在普鲁士蓝和层状氧化物等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；镍铁锰钠电前驱体材料技术、层状氧化物结构钠离子电池正极材料技术通过中试；已经做好批量生产钠离子电池材料的准备，是否量产要取决于下游客户的应用
多氟多	主要路线为层状氧化物，其他材料包括聚阴离子、普鲁士化合物在内都在同步研发中；目前钠离子电池的正极材料中试线已经建成，小批量产品陆续下线；预计 2023 年将配套 1GWh/年钠电池产线，完成 5000 吨/年正极以及 2000 吨/年负极产线的投产
中伟股份	钠系前驱体和公司三元前驱体在技术、设备和工艺等方面有较大的共通性，且已完成主流客户的送样，正式进入吨级量产认证阶段，公司未来会持续加大钠系前躯体的开发，预计 2023 年上半年实现批量供货
道氏技术	成功开发出具有特色设计、差异化、创新技术强的全新钠离子电池正极材料前驱体体系，已有几十吨的出货量；公司的生产线可以兼容三元锂离子前驱体和钠离子前驱体
钠电初创企业	
中科海钠	与华阳股份合作共建各 2000 吨/年的钠电正极和负极材料已于 2022 年 3 月投产，目前已达到量产级别；2022 年 9 月 30 日，与华阳股份签署了《万吨级钠离子电池正、负极材料合作框架协议》，依托双方合资成立的山西华钠铜能、碳能科技有限责任公司，联合建设万吨级钠离子电池正、负材料项目，其中万吨级正极材料项目已通过审批，计划于 2022 年 11 月开工
钠创新能源	先后建成全球首套吨级铁酸钠基层状氧化物正极材料湿法合成中试线、年产 3000 吨正极材料生产线，并开发出相应的电解液生产技术；2021 年 11 月正式签约“年产 8 万吨钠离子电池正极材料项目”，建设包括铁酸钠三元正极材料等在内的钠离子电池关键材料，其中一期 4 万吨已于 2022 年 10 月投产，意味着全球首条万吨级钠离子电池正极材料生产线正式投运
传艺钠电	所研正极材料包括高能量密度的层状氧化物和长循环寿命的聚阴离子钠盐；2022

（传艺科技控股孙公司）	年 10 月公司年产 200MWh 钠离子电池中试线设备安装调试完成并投产，配套正极、负极材料的生产能力，电池单体能量密度达到 150Wh/kg-160Wh/kg，循环次数不低于 4000 次；一期 4.5GWh 产能拟于 2023 年年初投产，二期产能建设规划后续将视一期项目进展情况和市场需求情况具体制定，一期、二期均配套相应正负极产能
立方新能源	拥有自主知识产权的氧化物正极材料，并通过材料工艺创新，在保证材料高克容量和低成本的同时，又具有良好的加工性能和环境适应性，通过与供应商合作，已实现吨级稳定生产

资料来源：各公司公告、官网，华安证券研究所

2.4 Na-Cu-Fe-Mn 系具备成本优势，原材料供应充足

层状氧化物材料种类多样，Na-Cu-Fe-Mn 系原材料成本最低或率先应用。层状氧化物正极材料凭借高压实密度、高可逆比容量和可复制性的工艺路线，是钠离子电池商业化应用的最先受益者。目前，各大企业均在加大力度布局层状氧化物正极，但各个企业选择的路线有较大差异，如中科海纳选择了无镍的 Na-Cu-Fe-Mn 系，振华新材选择了含镍的 Na-Ni-Mn-Fe 系等。同时，各个企业在元素掺杂方面也有较大差异。不同的材料体系和元素掺杂，赋予了正极材料不同的性能，同时也导致了各体系正极材料成本有较大差异。根据各企业公布的专利，结合当前主要原材料的市场价格，我们计算得出，理想条件下中科海纳 Na-Cu-Fe-Mn 系层状氧化物正极材料原材料成本（按照分子式进行理论计算，不计损耗，不包括加工费用等）最低仅 1.83 万元/吨，相比其他体系层状氧化物正极和锂离子电池三元正极具备成本优势，有望率先应用。

图表 25 不同企业层状氧化物主要原材料成本测算（元/吨）

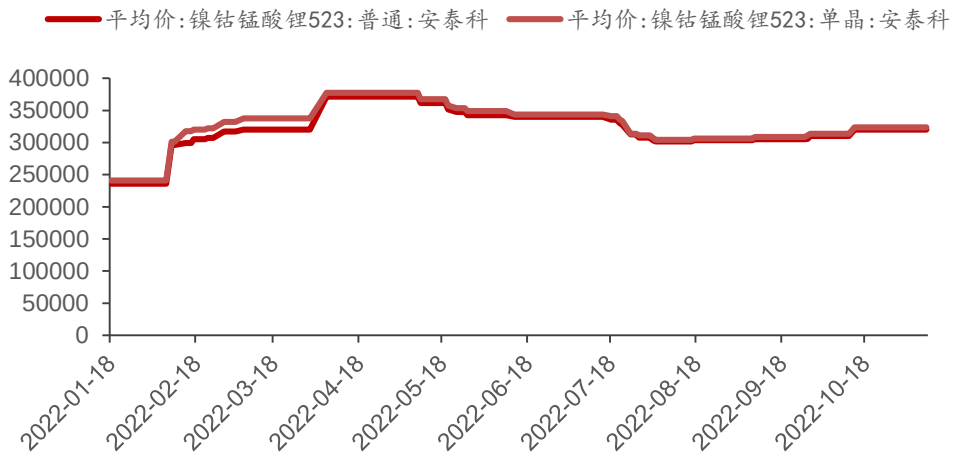
公司	材料化学式	主要原材料	单位用量（吨/吨）	市场价（元/吨）	成本（元/吨）	成本合计（元/吨）
中科海纳	$Na_{0.9}Cu_{0.22}Fe_{0.30}Mn_{0.48}O_2$	碳酸钠	0.43	2658	1143	18333
		氧化铜	0.16	54000	8640	
		三氧化二铁	0.22	9500	2090	
		二氧化锰	0.38	17000	6460	
振华新材	$Na_{0.82}Ni_{0.26}Mn_{0.32}Zn_{0.08}Fe_{0.29}Ca_{0.03}Cu_{0.02}O_2$	碳酸镍	0.29	45000	13050	45608
		碳酸锰	0.34	80000	27200	
		三氧化二铁	0.22	9500	2090	
		碳酸钠	0.4	2658	1063	
		氧化锌	0.06	27500	1650	
		氧化钙	0.02	750	15	
		氧化铜	0.01	54000	540	
容百科技	$Na_{2/3}Ni_{0.3}Fe_{0.2}Mn_{0.3}Sn_{0.2}O_2$	硫酸镍	0.4	40700	16280	25274
		硫酸锰	0.39	6550	2555	
		硫酸铁	0.34	1300	442	
		碳酸钠	0.3	2658	797	
		二氧化锡	0.26	20000	5200	
鹏辉能源	$Na_{1.03}Cu_{0.10}Ni_{0.22}Fe_{0.32}Mn_{0.35}O_2$	碳酸钠	0.49	2658	1302	19447
		氧化铜	0.07	54000	3780	

		氢氧化镍	0.18	45000	8100	
		三氧化二铁	0.23	9500	2185	
		四氧化三锰	0.24	17000	4080	

资料来源：各公司专利，百川盈孚，生意社，华安证券研究所

注：材料化学式仅代表专利内容，不代表公司实际情况

图表 26 三元正极材料 NCM523 价格（元/吨）



资料来源：iFinD，安泰科，华安证券研究所

从原材料角度，层状氧化物上游原材料主要为碳酸钠和二氧化锰，极限测算下，2026 年碳酸钠和二氧化锰需求分别将达到 15.96 万吨和 14.11 万吨。根据前文对钠离子电池需求的测算，假设层状氧化物正极占比为 100%的极限情况下，我们预计到 2026 年碳酸钠和二氧化锰需求分别将达到 15.96 万吨和 14.11 万吨，增速显著。

图表 27 全球钠电层状正极材料主要原材料需求测算（万吨）

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
钠离子电池需求量：GWh	0	0	3	19.12	49.64	123.73
单 GWh 正极材料消耗量：万吨	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
正极材料需求：万吨	0.00	0.00	0.90	5.74	14.89	37.12
碳酸钠需求：万吨	0.00	0.00	0.39	2.47	6.40	15.96
二氧化锰需求：万吨	0.00	0.00	0.34	2.18	5.66	14.11

资料来源：中科海纳专利，华安证券研究所整理

注：以中科海纳 $Na_{0.9}Cu_{0.22}Fe_{0.30}Mn_{0.48}O_2$ 系为基准测算，极限假设下层状氧化物占比为 100%

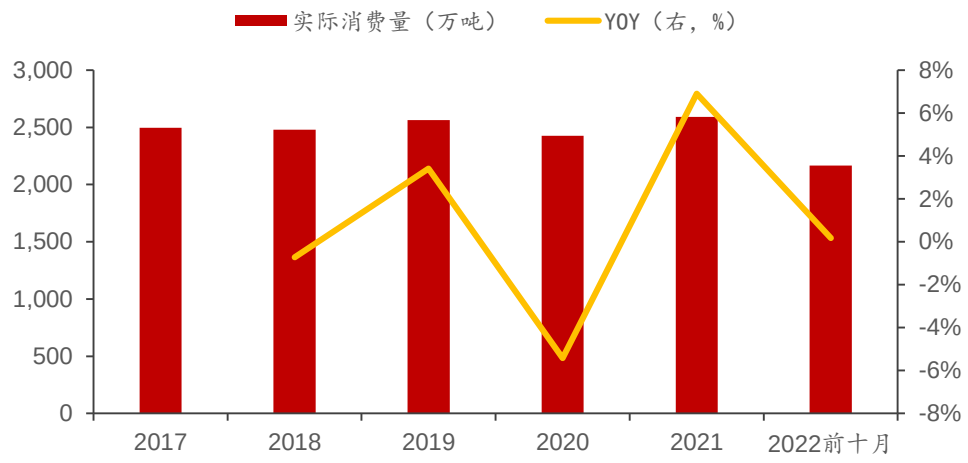
从原材料供给端来看，碳酸钠产能充足。根据百川盈孚的数据，我国目前拥有纯碱产能 3450 万吨，其中有效产能 3115 万吨，而 2021 年我国纯碱消费量仅 2592.1 万吨，供给远大于需求。而钠离子电池层状正极带来的纯碱新增需求至 2026 年仅 15.96 万吨，远低于产能，纯碱充足的产能，为层状氧化物正极材料大规模产业化提供了原材料保障。

图表 28 国内纯碱行业主要生产厂家及纯碱产能（万吨）

厂商简称	产能（万吨）	有效产能（万吨）
河南金山	360	360
山东海化	300	300
三友化工	230	230
山东海天	150	150
青海昆仑	150	150
青海发投	140	140
中源化学	140	140
四川和邦	120	120
青海盐湖	120	120
实联化工	110	110
湖北双环	110	110
青海五彩	110	110
中盐昆山	85	85
天津渤化	80	80
重庆湘渝盐化	80	80
昊华骏化	80	80
江苏华昌	70	70
江苏井神	70	70
应城新都	65	65
徐州丰成	60	60
南方碱业	60	60
晶昊盐化	60	60
安徽德邦	55	55
福州耀隆	40	40
杭州龙山	40	40
重庆和友	40	40
中盐化工	40	40
安徽红四方	30	30
陕西兴化	30	30
宁夏日盛	30	30
冷水江碱业	20	20
金昌氨碱源	20	20
桐柏海晶	20	20
连云港碱业	130	0
中海华邦	70	0
辽宁大化	60	0
湘潭碱业	30	0
四川广宇	25	0
云维股份	20	0
合计	3450	3115

资料来源：百川盈孚，华安证券研究所

图表 29 2017-2022Q3 我国纯碱需求（万吨）



资料来源：百川盈孚，华安证券研究所

电解二氧化锰是限制产能，短期供给充足，未来增量有限。层状氧化物正极另一主要原材料为二氧化锰，从供给端来看，目前国内电解二氧化锰总产能合计 38.05 万吨，主要用于一次碱锰电池和锰酸锂正极材料。从企业端来看，电解二氧化锰行业集中度高，CR3 达到 79.37%，生产电解二氧化锰的企业主要为南方锰业、湘潭电化和红星发展，分别拥有电解二氧化锰产能 15 万吨、12.2 万吨和 3 万吨。由于电解二氧化锰为国家限制扩产产能，未来增量有限，仅南方锰业、贵州能矿锰业和普瑞斯伊诺康有扩产计划，预计将新增产能 9.85 万吨，增量有限。供需方面，短期电解二氧化锰产能供给充足，未来随着钠离子电池、磷酸锰铁锂电池放量，有望带动电解二氧化锰需求快速上升，在供给受限的情况产能或逐步趋紧。

图表 30 国内二氧化锰行业主要生产厂家及二氧化锰产能（万吨）

公司	现有产能（万吨）	规划产能（万吨）	备注
湘潭电化	12.2	-	-
红星发展	3	-	-
南方锰业	15	5	年产 7.5 万吨电解二氧化锰技改项目，分三期，其中一期 2.5 万吨已建成投产，二期 2.5 万吨预计 2023 年建成
贵州能矿锰业	1.65	3.35	铜仁大龙煤电锰一体化循环经济工业园子项目 5 万 t/a 电解二氧化锰项目（一期二步）在建（1.65 万吨），二期（1.7 万吨）待一期建成投产后根据市场情况逐步投建
普瑞斯伊诺康	2	1.5	年产 15000 吨电解二氧化锰项目
一洲锰业	3	-	-
桂柳化工	1.2	-	-
合计	38.05	9.85	-

资料来源：各公司官网、公告，华安证券研究所

从成本角度考虑，$MnSO_4$ 或为锰源最优选择。对于层状氧化物正极而言，当前可选用的 Mn 源较多，主要有 MnO_2 、$MnSO_4$、Mn_2O_3 等，以中科海钠的铜铁锰体系中的 $Na_{0.9}Cu_{0.22}Fe_{0.30}Mn_{0.48}O_2$ 为例，当采用的 Mn 源分别为 $MnSO_4$、MnO_2、Mn_2O_3 时，按照当前各原材料市场价计算，单吨正极材料锰源成本分别为 4323 元/吨、6460 元/吨、23736 元/吨（按照分子式进行理论计算，不计损耗，不包括加工费用等），因此单从原材料成本的角度考虑，$MnSO_4$ 或为锰源最优选择。

图表 31 不同 Mn 源的层状氧化物正极材料成本测算

化学式	Mn 源	单吨用量（吨/吨）	市场价（元/吨）	成本（元/吨）
$Na_{0.9}Cu_{0.22}Fe_{0.30}Mn_{0.48}O_2$	$MnSO_4$	0.66	6550	4323
	MnO_2	0.38	17000	6460
	Mn_2O_3	1.38	17200	23736

资料来源：中科海纳专利，百川盈孚，华安证券研究所整理

注：材料化学式仅代表专利内容，不代表公司实际情况

硫酸锰未来产能供应充足，不存在环保限制。根据各公司公告的产能数据，目前国内硫酸锰产能合计约 21.63 万吨，产能整体较充足。而且，天元锰业计划扩建 100 万吨高纯硫酸锰项目，其中一期设计产能为 30 万吨，随着该项目的投产落地，硫酸产能将更加充足。原材料充足的产能，为层状氧化物材料大规模产业化提供了保障。

图表 32 国内硫酸锰主要生产企业及硫酸锰产能（万吨）

序号	企业名称	硫酸锰产能（万吨）	未来计划
1	红星发展	3	发布 2022 年度非公开发行 A 股股票预案，预计投资 2 亿元左右于 5 万吨/年动力电池专用高纯硫酸锰项目
2	南方锰业	2.63（2021 年实际产量）	-
3	湘潭电化	1	因高纯硫酸锰未来需求大幅增长的预期存在不确定性，原材料价格大幅上涨，项目的经济效益、发展前景难以达到预期目标，公司于 2021 年 7 月 13 日召开第七届董事会第三十八次会议，同意终止“湘潭电化年产 2 万吨高纯硫酸锰生产线建设项目”和“靖西湘潭电化科技有限公司年产 3 万吨高纯硫酸锰项目”
4	大龙汇成新材	15	-
5	天元锰业	-	中宁县石空工业园区 100 万吨高纯硫酸锰项目建设中，其中一期设计产能为 30 万吨
合计		21.63	-

资料来源：各公司公告，华安证券研究所

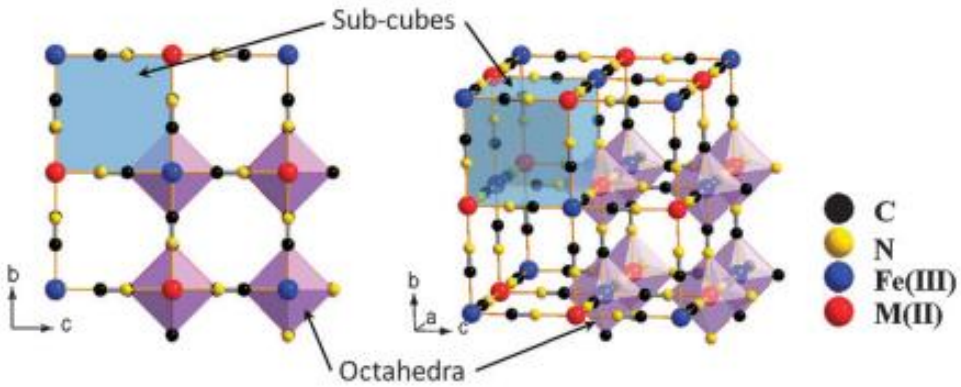
3 普鲁士蓝类化合物：性价比高，结晶水问题是关键

3.1 普鲁士蓝类材料综合性能较好，国内外企业加速布局

普鲁士蓝类化合物是钠离子电池正极材料理想选项之一。与层状氧化物材料和聚阴离子化合物相比，有机材料在结构多样性、成本、灵活性、安全性和可回收等方面具备不可替代的优势。其中，普鲁士蓝类化合物由于具有较大的金属离子通道，可实现 Na^+的快速嵌入和脱嵌而不发生晶格畸变，可在室温温和条件下制备以及材料安全无毒和成本低等诸多优点而被视为钠离子电池正极材料的理想选项之一。

普鲁士蓝类材料储钠能力强，得益于其特殊的结构和氧化还原位点。普鲁士蓝类化合物的结构通式为 $Na_xM[Fe(CN)_6]_{1-y}\cdot\square_y\cdot zH_2O$（可简写 PBAs），其中 M 表示 Fe、Co、Ni、Mn 等过渡金属元素，□表示 $Fe(CN)_6$ 缺陷，x 的范围为 0<x<2，y 的范围为 0<y<1，其理论充放电比容量可达到 170mAh/g，远高于层状氧化物材料（120-150mAh/g）和聚阴离子化合物（≈120mAh/g），这主要是得益于其特殊的结构和氧化还原位点。结构上，普鲁士蓝类化合物通常呈面心立方结构，过渡金属离子和 Fe^{2+}离子分别与 CN^-中的 N 和 C 原子配位，形成内部为正八面体组成的三维刚性框架结构，该结构具有开放的离子扩散通道和宽敞的间隙空间，可为 Na^+在晶格中进行脱嵌带来便利，表现为该类材料高的离子扩散系数（$10^{-9}cm_2/s$-$10^{-8}cm_2/s$）。氧化还原位点上，由于普鲁士蓝类化合物一般有两个不同的氧化还原活性中心，分别为 Fe^{2+}/Fe^{3+}和 M^{2+}/M^{3+}离子对，这两个氧化还原活性中心可独立完整的实现氧化还原过程，因此普鲁士蓝类化合物在充放电过程中能实现 2 个 Na^+的可逆脱嵌，其理论充放电比容量可达到 170mAh/g。

图表 33 普鲁士蓝类似物框架结构示意图



资料来源：《A new framework of electrode materials for sodium batteries》LU Y 等，华安证券研究所

国内外企业加速布局普鲁士蓝类材料。普鲁士蓝类正极材料凭借能力密度高、可逆比容量该和价格低廉等优势，是钠离子电池正极材料的理想选项之一。但是由

于普鲁士蓝类材料的吸水性较强，其结晶水问题和循环稳定性一直困扰着材料的进步。目前，全球企业持续加大普鲁士蓝材料的研发和布局力度，布局普鲁士蓝材料的企业主要包括美国的钠电池企业 Natron energy，国内的企业如锂电池龙头宁德时代、钠电池初创企业钠创新能源和星空钠电以及化工企业跨界布局的如百合花、美联新材和七彩化学等。但是由于技术和工艺需要改进的缘故，当前情况下普鲁士蓝正极材料能实现量产的企业较少，基本仍处于材料改性和战略布局阶段。

图表 34 国内外企业普鲁士类正极材料布局情况（不完全统计）

布局企业	材料体系	现有产能	未来规划	备注
Natron energy	普鲁士蓝	-	宣布在美国密歇根州建设新的钠离子电池生产设施，将于 2023 年开始量产，预计每年生产 600 兆瓦基于普鲁士蓝的钠离子电池	-
宁德时代	普鲁士白	-	目前公司已启动钠离子电池产业化布局，2023 年将形成基本产业链	-
钠创新能源	普鲁士蓝	-	8 万吨钠离子电池正极材料项目，总投资 15 亿，建设包括铁酸钠三元正极材料等在内的钠离子电池关键材料。项目预计未来 3-5 年分期建设，预计 2022 年内投产 3000 吨正极材料和 5000 吨电解液	-
星空钠电	普鲁士蓝	-	-	有相关专利布局
百合花	普鲁士蓝（白）	-	1.5 万吨产能逐步投放	目前已经具备普鲁士蓝（白）正极材料技术储备
七彩化学	普鲁士蓝（白）	-	美联新材与七彩化学已就双方共同投资 25 亿元建设“年产 18 万吨电池级普鲁士蓝（白）项目”签署战略合作协议	子公司拥有 3000 吨普鲁士蓝材料产能
美联新材	普鲁士蓝（白）	-	公司的钠离子电池普鲁士蓝正极材料 50 吨中试生产线已投产，并已通过部分电池厂商的检测	-
邦普新能源	普鲁士蓝	-	600 吨/年中试线	-

资料来源：各公司官网、公告，项目环评，华安证券研究所

3.2 普鲁士蓝正极原材料成本低且供应充足

从原材料成本来看，普鲁士蓝类材料远低于磷酸铁锂，大规模推广可行性高。根据宁德时代专利披露的普鲁士蓝正极材料的制备工艺，我们推算得出单吨普鲁士蓝材料分别需要消耗亚铁氰化钠、氯化锰和氯化钠 0.86 吨、0.36 吨和 8.27 吨，按照当前市场价来计算，理想情况下 $Na_{1.768}Mn[Fe(CN)_6]_{0.942}\cdot 2.132H_2O$ 的原材料成本约 1.50 万元/吨（按照分子式进行理论计算，不计损耗，不包括加工费用等）。

而根据 iFinD 和安泰科数据，截止至 2022.11.10，动力型磷酸铁锂市场价为 17.30 万元/吨。假设动力型磷酸铁锂材料原材料成本为 70%，则在市场价为 17.30 万元/吨的前提下，其原材料达 12.11 万元/吨，远高于普鲁士蓝类正极材料。因此在原材料成本端，普鲁士蓝类正极材料大规模推广可行性高。

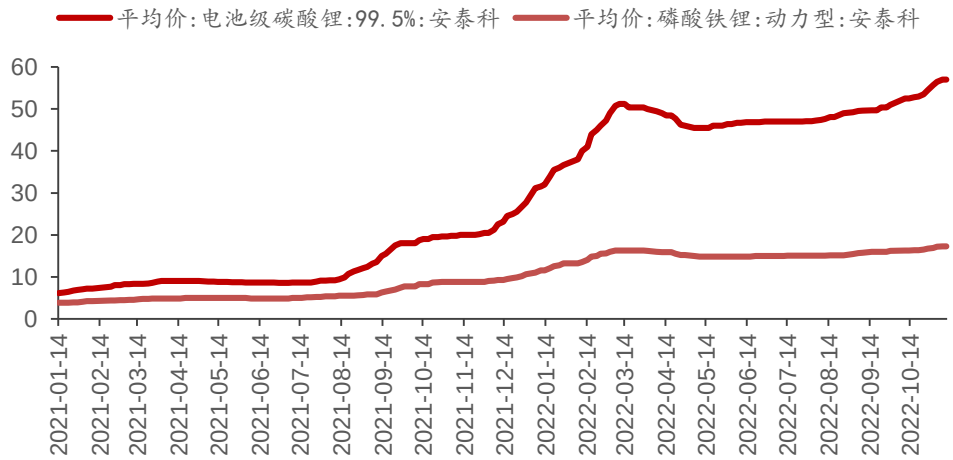
图表 35 普鲁士蓝正极材料主要原材料成本测算（元/吨）

材料化学式	主要原材料	单位用量（吨/吨）	市场价（元/吨）	成本（元/吨）	总成本（元/吨）
$Na_{1.768}Mn[Fe(CN)_6]_{0.942}\cdot 2.132H_2O$	亚铁氰化钠	0.86	8000	3880	14956.59
	氯化锰	0.36	13000	4628	
	氯化钠	8.27	417	3449	

资料来源：宁德时代专利，生意社，华安证券研究所

注：材料化学式仅代表专利内容，不代表公司实际情况

图表 36 磷酸铁锂和碳酸锂价格（万元/吨）



资料来源：iFinD，安泰科，华安证券研究所

从原材料端来看，普鲁士蓝上游原材料以亚铁氰化钠和二价锰材料为主。从国内几家布局了普鲁士蓝正极材料的企业来看，各企业的元素掺杂路线各异，如宁德时代选择了 Mn-Fe 基普鲁士蓝类材料，钠创新能源选择了 Fe 基普鲁士蓝类材料等。但从原材料的角度来看，各企业的主要原材料基本包含了亚铁氰化钠和二价锰材料，因此亚铁氰化钠和二价锰材料是制备普鲁士蓝材料的核心，普鲁士蓝材料的发展将带动相关材料的需求。

图表 37 相关企业普鲁士蓝正极体系及主要原材料

布局企业	材料体系	主要原材料
宁德时代	Mn-Fe 基普鲁士蓝类材料	亚铁氰化钠、氯化锰、柠檬酸钠等
钠创新能源	Fe 基普鲁士蓝类材料	亚铁氰化钠、硫酸亚铁、硫酸钠、柠檬酸等
星空钠电	Ni-Fe-Mn 基普鲁士蓝类材料	亚铁氰化钠、硫酸镍、硫酸锰、硫酸铁、柠檬酸钠等
邦普循环	Mn 基普鲁士蓝类材料	亚铁氰化钠、草酸锰、硫酸锰、柠檬酸钠等

资料来源：各公司专利、环评，华安证券研究所

从原材料需求端来看，极限测算下，2026 年亚铁氰化钠和氯化锰需求分别将达到 21.28 万吨和 8.91 万吨。根据前文对钠离子电池需求的测算，假设普鲁士蓝正极占比为 100%的极限情况下，我们预计到 2026 年亚铁氰化钠和氯化锰需求分别将达到 21.28 万吨和 8.91 万吨，增速显著。而亚铁氰化钠的上游为氰化钠，理论上，生产 1 吨亚铁氰化钠需要氰化钠 1.21 吨，氯化锰和硫酸锰均为二价锰材料，因此可以计算出，至 2026 年，氰化钠和硫酸锰需求分别为 28.61 万吨和 10.69 万吨。

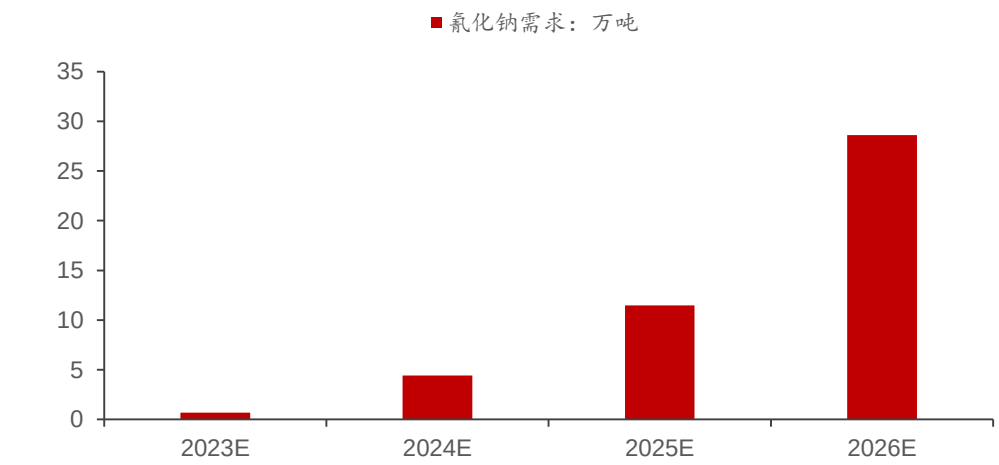
图表 38 全球钠电正极材料主要原材料需求测算（万吨）

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
钠离子电池需求量：GWh	0	0	3	19.12	49.64	123.73
单 GWh 正极材料消耗量：万吨	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
正极材料需求：万吨	0.00	0.00	0.60	3.82	9.93	24.75
亚铁氰化钠需求：万吨	0.00	0.00	0.52	3.29	8.54	21.28
氯化锰需求：万吨	0.00	0.00	0.22	1.38	3.57	8.91

资料来源：宁德时代专利，美联新材公告，华安证券研究所整理

注：极限假设下层状氧化物占比为 100%

图表 39 氰化钠需求（万吨）



资料来源：iFinD，华安证券研究所

从原材料供给端来看，氰化钠和硫酸锰产能充足，为普鲁士蓝材料大规模产业化提供保障。氰化钠方面，根据各公司公告的产能数据，目前国内氰化钠液态产能（30%）和固态产能（98%）分别为 172.25 万吨和 15.86 万吨，折合成纯氰化钠（100%）产能为 67.22 万吨，远超需求量 28.61 万吨。硫酸锰方面，根据各公司公告的产能数据，目前国内产能合计约 21.63 万吨，也是远超需求量 10.69 万吨。而且，天元锰业计划扩建 100 万吨高纯硫酸锰项目，其中一期设计产能为 30 万吨，随着该项目的投产落地，硫酸产能将更加充足。原材料充足的产能，为普鲁士蓝材料大规模产业化提供了保障。

图表 40 国内氰化物行业主要生产厂家及氰化钠产能（万吨）

序号	企业名称	总产能万吨/年		生产工艺	备注
		液态氰化钠	固态氰化钠		
1	安庆市曙光化工股份有限公司	20	3	丙烯腈副产法、轻油裂解法	液氰主要用于加工高纯度固氰，部分外销
2	上海石化股份有限公司	-	1.8	丙烯腈副产法	-
3	河北诚信有限责任公司	60	5	安氏法、轻油裂解法	液氰主要作为中间体用于生产下游产品，实际产量波动较大
4	重庆紫光化工股份有限公司	30	2.5	安氏法、轻油裂解法	液氰主要作为中间体用于生产下游产品，实际产量波动较大
5	晋城市鸿生化工有限公司	10	3	轻油裂解法	-
6	兰州金利化工毛纺有限公司	-	0.56	丙烯腈副产法	-
7	枣阳市金鹿化工有限公司	4	-	轻油裂解法	液氰自用，部分销往周边化工企业
8	齐鲁石化齐泰化工有限公司	3	-	丙烯腈副产法	液氰主要销往周边化工企业
9	潍坊滨海石油化工有限公司	13.3	-	轻油裂解法	液氰自用生产下游产品
10	营口三征精细化工有限公司	30	-	轻油裂解法	液氰全部用于生产下游产品三聚氯氰
11	黔西南金州化工有限公司	1.5	-	轻油裂解法	液氰主要销往周边金矿企业
12	重庆兰科化工有限责任公司（四	0.45	-	安氏法	-

	川省天然气化工研究所）				
合计		172.25	15.86	-	-

资料来源：各公司公告，华经情报网，华安证券研究所

3.3 各企业加大研发，多途径助力材料性能提升

因其特殊结构，普鲁士蓝类化合物作为钠离子电池正极材料亦存在部分问题：

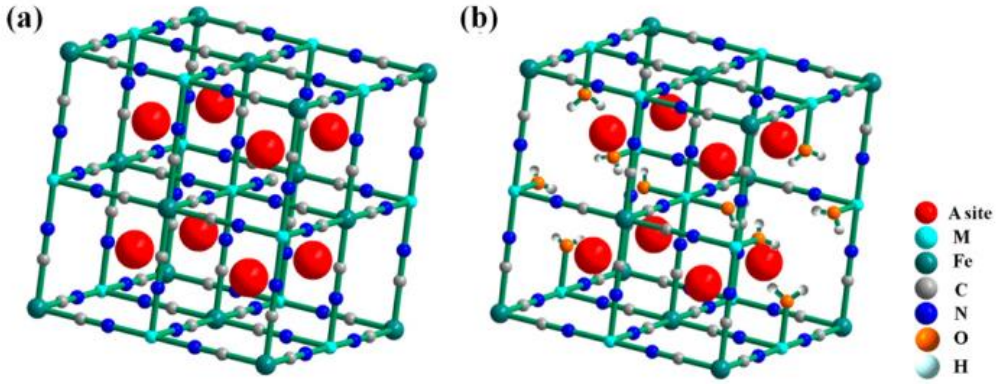
（1）普鲁士蓝类材料的结晶完整性问题。普鲁士蓝类材料在制备过程中反应速率极快，导致了成型的普鲁士蓝类材料中一般含有大量的 $Fe(CN)_6^{4-}$空位缺陷，材料的结晶性能和可控性大大降低。而且 $Fe(CN)_6$ 空位缺陷的存在，会导致材料的基础性能严重下降，因为 $Fe(CN)_6$ 空位缺陷会破坏 Fe-CN-TM 桥联结构的完整性，阻碍电子沿材料框架的传导，阻碍钠离子进入晶格，降低其含量，使之变为贫钠立方相结构，还会在普鲁士蓝类材料的晶格中引入更多的结合水。此外，由于该空位在放电过程中会导致部分钠离子脱嵌失效，进而减少钠离子活性位点，降低材料的充放电容量、倍率性能和使用寿命。

（2）普鲁士蓝类材料的结晶水问题。结晶水可细分为吸附水、结合水和间隙水，分别占据了普鲁士蓝类材料的表面、晶格间隙和 $Fe(CN)_6$ 空位缺陷处。其中，吸附水由于处于材料表面，通过简单的加热烘干即可去除。间隙水的去除则较麻烦，可以通过提高加热温度强行去除，但是这也可能会导致材料结构的破坏。而对于结合水的话，几乎不能通过加热的方式去除，因为如此高的温度下会导致材料结构被严重破坏而无法再被用作电极材料。普鲁士蓝类材料中的结晶水一方面会影响材料的基本结构，降低钠离子的活性位点，并在充放电时影响钠离子的迁移进而影响钠离子电池性能。另一方面，在有机系电解液钠离子电池体系中，结晶水会严重影响电解液的稳定性，降低电池使用寿命，甚至引发安全问题。

（3）普鲁士蓝类材料的高自旋位 Fe^{2+}氧化问题。在制备普鲁士蓝类材料时，由于其高自旋位的 Fe^{2+}极易被氧化，而根据电中性原理，被氧化后形成的 Fe^{3+}会排斥钠离子，进而形成大量的贫钠相结构，将严重影响钠离子电池的倍率性能和首次循环效率。同时，贫钠的正极材料往往需要预钠化，预钠化的程度取决于正极材料贫钠相结构的多寡，因此贫钠的正极材料将大幅提升钠离子电池的原材料和制造成本，进而影响企业的盈利。

（4）普鲁士蓝类正极材料与电解液的界面反应问题。在有机物电解液体系中，普鲁士蓝类材料与电解液在充放电过程中会发生界面反应，造成电解液中活性物质减少，进而降低电池各项性能和循环寿命。

图表 41 普鲁士蓝类化合物理想的无缺陷结构（左）和含有 $Fe(CN)_6$ 的缺陷结构（右）



资料来源：《钠离子电池正极材料研究进展》游济远等，华安证券研究所

多种途径助力普鲁士蓝类材料性能提升，未来行业有望加速发展：

（1）优化制备工艺

共沉淀法是目前应用最为广泛的普鲁士蓝正极材料合成方法。普鲁士蓝类材料的制备工艺主要包括固相法和液相法，其中，固相法主要为球磨法。在该工艺下，原材料被放进球磨机充分研磨混合均匀，然后结合后续的低温热处理工艺便能得到低结晶水含量且结晶性良好的普鲁士蓝正极材料。球磨法简单易行，可降低材料的结晶水，减小粒径，但由该方法得到的一次粒子容易团聚，且固-固反应不充分，容易混入杂质，因此目前球磨法仅在实验室阶段使用。液相法主要包括共沉淀法和水热法，水热法由于生产效率和产率低，合成过程容易造成亚铁氰根分解产生毒气等因素，目前仅停留在研究阶段。共沉淀法由于合成工艺容易调节，可通过改变干燥方式、引入添加剂、调整溶剂配方及优化反应时间和温度等工艺参数，合成出高结晶性、低结晶水和缺陷、高 Na 含量的高性能普鲁士蓝类化合物，是目前应用最为广泛的普鲁士蓝合成方法。目前，主流企业如宁德时代、钠创新能源、星空钠电、邦普新能源等均采用共沉淀法生产普鲁士蓝正极材料，但是共沉淀存在反应速度不可控，材料结晶相差和结晶水问题，因此需要对共沉淀法进行工艺优化。

图表 42 普鲁士蓝类材料的制备工艺优缺点

工艺	优点	缺点
球磨法	简单异性，可降低材料的结晶水，减小球径	得到的一次粒子容易团聚，固-固反应不充分，容易混入杂质
共沉淀法	合成工艺容易调节，可通过改变干燥方式、引入添加剂、调整溶剂配方及优化反应时间和温度等工艺参数，合成出高结晶性、低结晶水和缺陷、高 Na 含量的高性能普鲁士蓝类化合物，安全环保可大规模制备	反应速度不可控，结晶水问题

热分解法/水热法	用于特定材料的合成	生产效率和产率低，合成过程容易造成亚铁氰根分解产生毒气

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，星空钠电专利，华安证券研究所

图表 43 目前主流企业普鲁士蓝材料的制备工艺

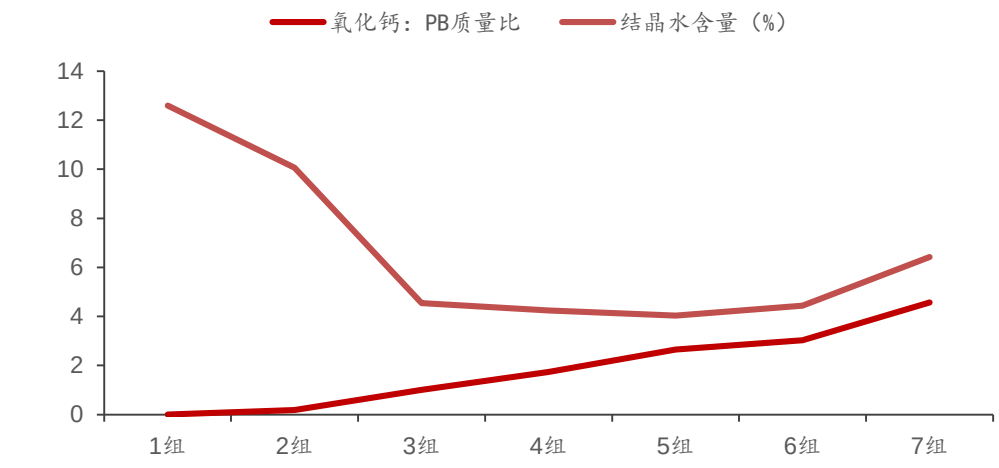
代表企业	生产工艺
宁德时代	共沉淀法
钠创新能源	共沉淀法
星空钠电	共沉淀法
容百科技	共沉淀法
邦普新能源	共沉淀法

资料来源：各公司专利，华安证券研究所

改进方法一：控制结晶速度。使用共沉淀法生产普鲁士蓝正极材料时，简单的将过渡金属盐和亚铁氰化钠溶液进行混合，将使得反应速度难以控制，导致得到的材料结晶度差，钠含量不高，结晶水含量高，进而影响到材料的电化学性能。通过加入合适的络合剂，缓慢混合过渡金属盐和亚铁氰化钠溶液进而减缓反应速度和调整 PH 值可以有效降低反应的速度，增强材料的结晶性，降低结晶水含量，进而提升材料的综合性能。

改进方法二：加氧化钙控制结晶水含量。由于共沉淀法不可避免的会造成产物携带结晶水，因此一般需要进行高温干燥，为了避免高温烘干普鲁士蓝材料造成普鲁士蓝晶格坍塌，结构破坏或热分解，根据星空钠电的一项专利，可以利用氧化钙纳米颗粒与水分子之间的自发快速反应，从而降低普鲁士蓝的水含量，解决了高温环境降低普鲁士蓝结晶水含水量从而破坏了现有普鲁士蓝的晶体结构的问题。

图表 44 加入氧化钙后普鲁士蓝材料结晶水含量



资料来源：星空钠电专利，华安证券研究所

（2）惰性气体保护抑制 Fe^{2+}氧化

普鲁士蓝类材料在制备过程中由于材料直接接触空气，导致 Fe^{2+}极易被氧化，根据电中性原则，Fe^{2+}被氧化会降低晶格中带正电荷 Na^{+}的含量而形成贫钠相。但

正极材料开发时要求具有高的钠含量，为此需要研究防止 Fe^{2+}氧化的工艺。当前，主流的工艺均会选择在沉淀制备过程中使用惰性气体排出空气达到制备富钠含量普鲁士蓝类材料效果。

图表 45 目前主流企业的制备工艺中均有惰性气体保护

代表企业	生产工艺
宁德时代	氮气/氩气等
钠创新能源	氮气/氩气等
星空钠电	氮气/氩气等
邦普新能源	氮气/氩气等

资料来源：各公司专利，华安证券研究所

（3）正极材料元素掺杂

由于普鲁士蓝类材料具备结构和组成可调节性的优势，因此元素掺杂法改性普鲁士蓝类材料是一种非常有效的改性方法，利用各种过渡金属互相掺杂发挥各自的特性，各元素间相互协同，达到提升材料综合性能的目标。通常 Ni 元素掺杂能起到加固被改性材料结构稳定性的作用，因为 Ni 元素在普鲁士蓝类材料中是惰性的，同时 Ni 元素掺杂具有激活低自旋 Fe 活性的能力；Co 元素由于电荷自旋晶格耦合效应，向普鲁士蓝材料中掺杂可以起到提高低自旋 Fe 的电压平台作用；Mn 元素掺杂普鲁士蓝材料则能起到提高其平均电压的作用。在众多过渡金属离子对中，Mn^{2+} / Mn^{3+} 电对凭借较高的氧化还原电位及使用廉价锰等优势，成为替代普鲁士蓝类材料中 Fe^{2+}/Fe^{3+}的较优选择。同时，也可以根据对材料不同性能的需求，采用多元素掺杂的方式来调节普鲁士蓝类材料的晶体结构，达到提升材料综合性能的目的。

图表 46 目前主流企业的元素掺杂选择（不完全统计）

代表企业	生产工艺
宁德时代	Mn
钠创新能源	Mn、Co
星空钠电	Mn、Co、V、Ni
邦普新能源	Mn

资料来源：各公司专利，华安证券研究所

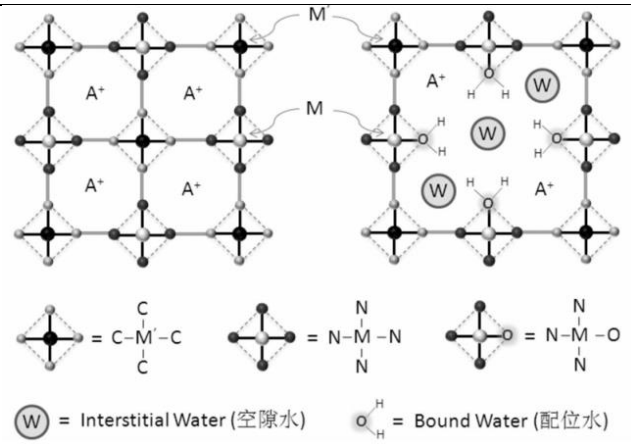
（4）正极材料表面包覆

由于普鲁士蓝类正极材料与电解液在充放电过程中通常会发生界面副反应，尤其是在高电压下界面反应更加剧烈，这将导致材料的电化学性能急剧下降。目前通常采用包覆技术对普鲁士类正极材料颗粒进行保护，防止正极材料和电解液直接接触，主要采用的包覆材料包括导电聚合物和无机氧化物等。研究表明，对普鲁士蓝类材料进行表界面包覆修饰能明显抑制界面副反应和过渡金属离子溶解，能显著改善电极材料的循环稳定性和倍率性能，但需要保证操作过程的温度和时间，在较好的包覆正极材料的同时要保证普鲁士蓝类材料中的 Fe^{2+}不被氧化。

（5）添加配位剂。

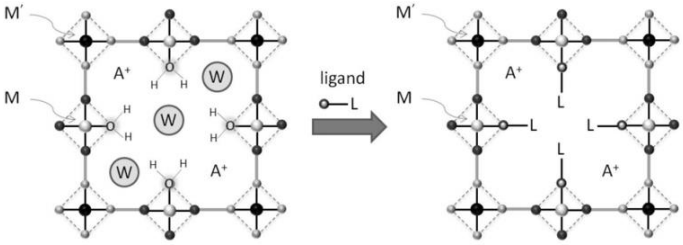
普鲁士蓝类化合物在合成过程中往往会产生许多 $Fe(CN)_6^{4-}$结构缺陷，进而产生较多的结晶水，而晶格间隙的结晶水容易占据储钠位点及 Na^+的脱嵌通道，导致材料中 Na 含量减少及 Na^+迁移速率降低，进而影响材料的电化学性能。此外，普鲁士蓝类化合物中与过渡金属相连的结合水及 $Fe(CN)_6^{4-}$缺陷还可能会导致材料在充放电过程中发生结构坍塌，影响材料的循环稳定性和使用寿命。根据宁德时代的专利显示，可以在制备普鲁士蓝类正极材料过程中加入中性配体 L 参与过渡金属 M 的配位，部分或完全取代配位水，从而降低甚至去除配位水的含量，进而能明显改善电极材料的基本性能。

图表 47 未加配位剂时普鲁士蓝材料有结晶水



资料来源：宁德时代专利，华安证券研究所

图表 48 加入配位剂之后普鲁士蓝材料结晶水减少

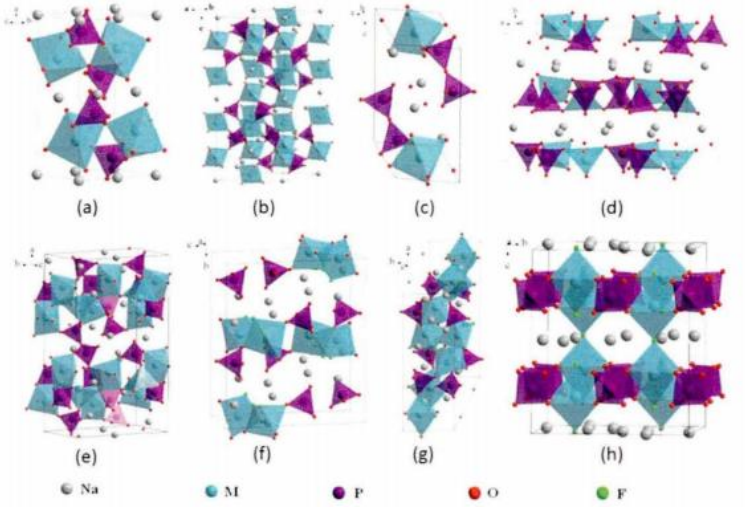


资料来源：宁德时代专利，华安证券研究所

4 聚阴离子化合物：钒系成本高，硫酸盐系是未来重点发展方向

聚阴离子化合物种类多样，高的氧化还原电位和稳定的结构赋予材料优异的综合性能。聚阴离子化合物一般由阳离子和阴离子基团组成，其中阴离子基团是一系列强共价键的 $(XO_4)^{n-}$（X = S，P，Si 等）单元构成。在大多数聚阴离子化合物中，$(XO_4)^{n-}$不仅能保证碱金属离子在框架结构中的快速传导，还能保证在金属氧化还原过程中材料结构的稳定，因此聚阴离子化合物材料往往呈现出比层状氧化物更高的氧化还原电位和 Na^+脱嵌过程中最小的结构重排，这使得该类材料具备循环寿命长、热稳定性强和安全性高等优点。根据聚阴离子基团种类的不同，聚阴离子化合物主要分为正磷酸盐、焦磷酸盐、硫酸盐、混合聚阴离子、氟磷酸/硫酸盐、硅酸盐和钼酸盐等。

图表 49 各类聚阴离子材料晶体结构



资料来源：《钠铁基聚阴离子正极材料的改性研究》李世玉，华安证券研究所

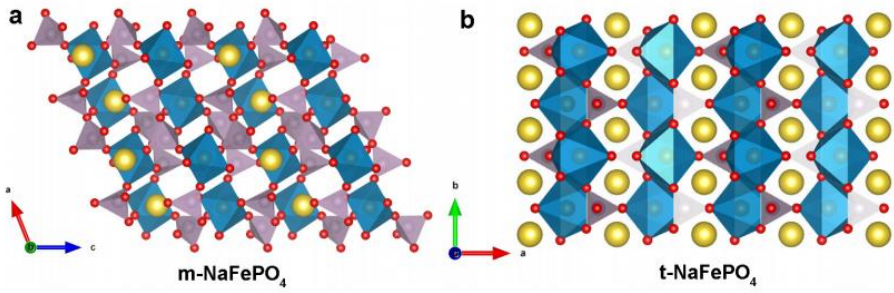
图表 50 常见聚阴离子型化合物的主要特征参数及电化学性能

材料名称	工作电位/V	理论比容量/(mA·h/g)	理论能量密度（Wh/kg）	电化学性能/(mA·h/g)
$Na_2Fe(SO_4)_2$	3.75	91	341	85(0.05C), 58(1C)
$NaFePO_4$	2.7	154	416	125(0.05C),85(0.5C)
Na_2FePO_4F	3.0	124	*372*	123.1(0.2C),76.1(10C)
$Na_3V_2(PO_4)_3$	3.4	118	401	97.9(0.5C),62.1(10C)
$Na_3V_2(PO_4)_2F_3$	3.9	128	500	125.5(0.1C),105.9(50C)
$Na_3V_2(PO_4)_2O_2F$	3.8	130	494	81.8(1C),46.2(20C)

资料来源：《钠离子电池正极材料氟磷酸钒钠研究进展》孙畅等，华安证券研究所

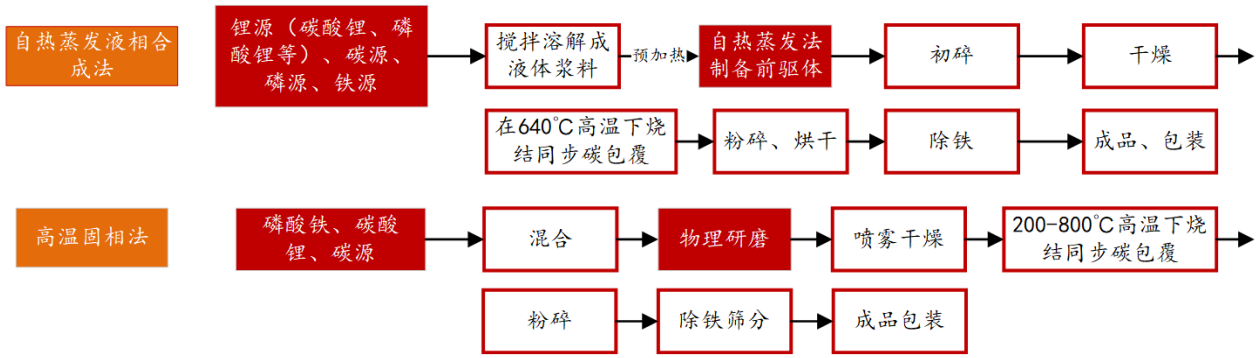
正磷酸盐是聚阴离子化合物中最具代表性的一类，其结构和制备工艺均与磷酸铁锂材料高度吻合。从晶体结构上来看，正磷酸盐具有两种不同的结构类型，分别为磷铁钠矿相和磷铁锂矿相，磷铁锂矿相由于结构中没有 Na^+的运输通道，因此通常认为磷铁锂矿相聚阴离子化合物没有电化学活性。但是从热力角度来看，磷铁锂矿相为 $NaFePO_4$ 的稳定结构，磷铁钠矿相具有热力学不稳定性。从制备工艺上来看，由于磷铁钠矿相 $NaFePO_4$ 为热力学非稳定相，所以该结构的材料一般难以直接合成，传统的高温固相法基本失效。但是，借助软化学方法可以制备磷铁钠矿相 $NaFePO_4$，因为 $LiFePO_4$ 中的锂离子能被钠离子取代，所以制备 $NaFePO_4$ 的基本步骤与磷酸铁锂高度吻合。

图表 51 $NaFePO_4$ 的两种晶体结构：(a)磷铁钠矿相；(b)磷铁锂矿相



资料来源：《钠离子电池磷酸盐正极材料研究进展》曹鑫鑫等，华安证券研究所

图表 52 两种典型的磷酸铁锂生产工艺



资料来源：德方纳米招股说明书及专利，湖南裕能招股说明书及专利，华安证券研究所

$NaFePO_4$ 实际性能低于理论值，大规模应用受阻。$NaFePO_4$ 的理论性能较好，其理论比容量和理论能量密度分别能达到 154mA·h/g 和 416Wh/kg。但是，通过实验对比 $NaFePO_4$ 和 $LiFePO_4$ 的热力学和动力学行为，根据平衡电位、离子扩散系数和反应电阻的对比，发现 $NaFePO_4$ 中的钠离子扩散缓慢且接触和电荷转移电阻远高于 $LiFePO_4$，导致其倍率性能较差。同时，其电荷转移阻抗也更高，因此其实际比容量低于理论比容量，现阶段电化学性能还不能达到预期，大规模应用受阻。

图表 53 $NaFePO_4$ 电荷转移电阻远高于 $LiFePO_4$

	C-$LiFePO_4$	C-$NaFePO_4$
R_s(Ω)	14.74	8.915
R_1(Ω)	105.4	790.2
R_2(Ω)	95.32	1204

资料来源：《Comparison of electrochemical performances of olivine $NaFePO_4$ in sodium-ion batteries and olivine $LiFePO_4$ in lithium-ion batteries》Zhu Yujie 等，华安证券研究所

含钒聚阴离子材料结构性能优异，但缺点依旧明显。在众多正极材料中，钒基聚阴离子型化合物，如钒基磷酸盐 $Na_3V_2(PO_4)_3$、$VOPO_4$、$NaVOPO_4$，钒基氟磷酸盐 $NaVPO_4F$、$Na_3V_2(PO_4)_2F_3$、$Na_3(VO_x)_2(PO_4)_2F_{3-2x}$，焦磷酸盐等具有能量密度高、功率密度高、稳定性好等潜在优点目前性能最接近实际应用的聚阴离子材料。但是，钒基材料也有自身的缺点缺点，如 $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 虽然有着高的工作电压（3.95V vs Na/Na^+）和高的理论比容量(128 mAh/g)，其理论能量密度也高达 500Wh/kg。但是，与其他聚阴离子材料一样，由于 V 原子被 PO_4^{3-}四面体隔离，$Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 的电子导电率极低，仅仅 10^{-12} S/cm。未经修饰的 NVPF 材料即使在低电流密度下仍然难以获得高比容量，同时，由于制备方法不当等带来的体相电子和离子传递阻力较大等缺陷，限制了材料的实际比容量、倍率性能及稳定性，阻碍了该材料的实际应用。

图表 54 典型的钒基聚阴离子型化合物的主要特征参数和性能水平

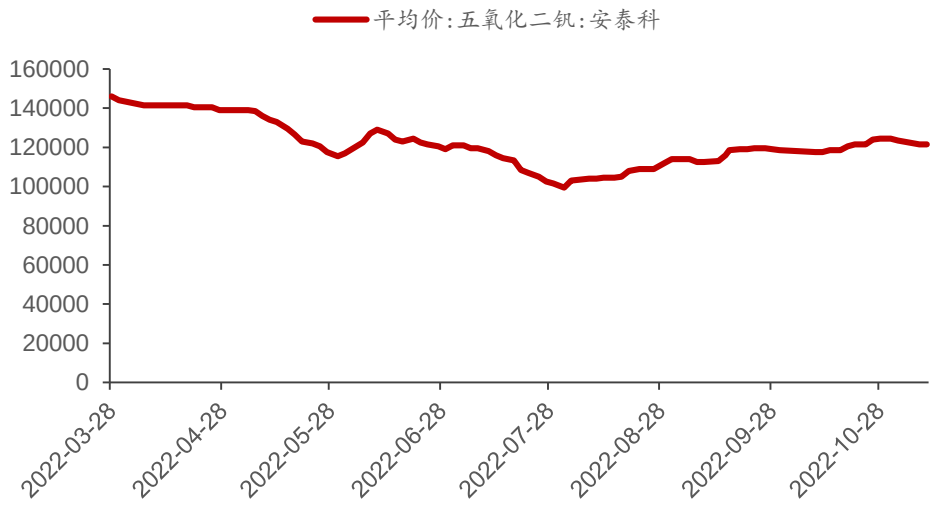
材料体系	材料名称	晶体结构类型	氧化还原电对	氧化还原电位/V	理论比容量/mA·h·g^{-1}	理论能量密度/W·h·kg^{-1}	储钠机理	钠扩散系数/cm·s^{-1}	电化学性能
正磷酸盐	$Na_3V_2(PO_4)_3$	rhombohedral (NASICON, $R\bar{3}c$)	V^{4+}/V^{3+}	3.4	117.6	400	bi-phase reaction	1.06×10^{-11}/CV	107.1 mA·h/g at 0.1 C
	$Na_3V_2(PO_4)_3$	rhombohedral (NASICON, $R\bar{3}c$)	V^{4+}/V^{3+}	3.4	117.6	400	bi-phase reaction	9.6×10^{-11}/CV	117 mA·h/g at 1 C 82 mA·h/g at 100 C
	$NaVOPO_4$	monoclinic	V^{5+}/V^{4+}	3.6	145	522	single-phasee reaction	$1\text{-}3\times10^{-11}$/GITT	101 mA·h/g at 5 C
	$NaVOPO_4$	orthorhombic	V^{5+}/V^{4+}	3.3	145	479	-	-	115 mA·h/g at 0.1 C
	$KVOPO_4$	orthorhombic	V^{5+}/V^{3+}	2.56	266.7	683		9.6×10^{-12}/CV	235 mA·h/g at 0.05 C
	$NaVOPO_4$	tetragonal (layered structure)	-	-	-	-	-	-	-
	$NaVOPO_4$	triclinic	V^{5+}/V^{4+}	3.5	145	508	multi-phase reaction	4.9×10^{-11}/EIS	144 mA·h/g at 0.05 C 58 mA·h/g at 5 C
	$VOPO_4$	tetragonal (layered structure)	V^{5+}/V^{4+}	3.4	165.5	563	-	-	150 mA·h/g at 0.05 C
	$Na_3V_3(PO_4)_4$	monoclinic (layered structure, $C2/c$)	V^{4+}/V^{3+}	3.9	44.5	174	-	-	>40 mA·h/g at 0.6 C 36.9 mA·h/g at 3C
	$Na_3V(PO_4)_2$	monoclinic (layered structure, $C2/c$)	V^{4+}/V^{3+}	3.5	90	315	-	-	>90 mA·h/g at 0.2 C 71 mA·h/g at 15 C
	$Na_3VO(PO_4)_2$	orthorhombic (Pbca)	V^{5+}/V^{4+}	3.5	78	273	single-phasee reaction	-	41.3 mA·h/g at 10 C
氟磷酸盐	$NaVPO_4F$	tetragonal (NASICON, $I4/mmm$)	V^{4+}/V^{3+}	3.7	142.5	485	-	-	120.9 mA·h/g at 0.05 C 70.1 mA·h/g at 0.5 C
	$NaVPO_4F$	monoclinic (NASICON, $C2/c$)	V^{4+}/V^{3+}	3.4	142.5	484.5	single-phasee reaction	-	135 mA·h/g at 0.2 C 112 mA·h/g at 30 C
	$Na_3V_2(PO_4)_2F_3$	tetragonal (NASICON, $P4_2/mnm$)	V^{4+}/V^{3+}	3.9	128.3	500	bi-phase reaction and single-phase reaction	10^{-12}/EIS	125 mA·h/g at 0.2C 104 mA·h/g at 40 C 41 mA·h/g at 200 C
	$Na_3V_2(PO_4)_2O_2F$	tetragonal ($I4/mmm$)	V^{5+}/V^{4+}	3.8	130	494	two completely reversible bi-phase reaction	-	127.4 mA·h/g at 0.2C 84.1 mA·h/g at 40 C
	$Na_3V_2(PO_4)_2O_{1.6}F_{1.4}$	tetragonal ($P4_2/mnm$)	$V^{5+}/V^{3.8+}$	3.8	155.6	592	single-phasee reaction	2.4×10^{-12}/EIS	134 mA·h/g at 0.1 C
焦磷酸盐	$Na_7V_3(P_2O_7)_4$	monoclinic ($C2/c$)	V^{4+}/V^{3+}	4.13	79.6	329	single-phasee reaction	-	67.2 mA·h/g at 8 C
	$Na_2(VO)_3P_2O_7$	tetragonal ($P21/c$)	V^{5+}/V^{4+}	3.8	93.4	355	-	-	80 mA·h/g at 0.05 C
	$NaVP_2O_7$	monoclinic	V^{4+}/V^{3+}	3.9	108.1	421	-	-	104 mA·h/g at 0.1 C
混合聚阴离子型	$Na_7V_4(P_2O_7)_4(PO_4)$	tetragonal ($P\bar{4}21c$)	V^{4+}/V^{3+}	3.85	92.7	357	bi-phase reaction	-	92 mA·h/g at 0.05 C 70.2 mA·h/g at 10 C

资料来源：《钠离子电池钒基聚阴离子型正极材料的发展现状与应用挑战》易红明等，华安证券研究所

钒基聚阴离子材料大规模应用的另一个限制为高成本。根据湖南大学的相关专利显示，$Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 聚阴离子材料的原材料主要为二水草酸、五氧化二钒、氟化钠和磷酸二氢铵，其中五氧化二钒的高价格大幅拉高了材料的综合成本。根据 iFinD 数据显示，截止至 2022.11.10，五氧化二钒市场均价为 12.15 万元/吨，而单吨 $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 需要消耗五氧化二钒 0.44 吨，由此可计算得出单吨 $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 成本中五氧化二钒原材料成本达到 5.35 万元/吨。在加上其他原材料，单吨 $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 原材料成本达 5.74 万元/吨（按照分子式进行理论计算，不计

损耗，不包括加工费用等），远高于普鲁士蓝类材料，这进一步限制了其大规模应用。

图表 55 五氧化二钒市场均价（元/吨）



资料来源：iFinD，安泰科，华安证券研究所

图表 56 钒基聚阴离子型化合物 $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 成本拆分

材料化学式	主要原材料	单位用量（吨/吨）	市场价（元/吨）	成本（元/吨）	成本合计（元/吨）
$Na_3V_2(PO_4)_2F_3$	二水草酸	0.30	5500	1650	57360
	五氧化二钒	0.44	121500	53460	
	氟化钠	0.30	7500	2250	
	磷酸二氢铵	0.55	8000	4400	

资料来源：湖南大学专利，iFinD，生意社，华安证券研究所

注：材料化学式仅代表专利内容，不代表实际情况

硫酸盐聚阴离子材料具有较强的电负性和氧化还原电势，是一种潜力较大的储钠材料。相对于磷酸盐骨架，硫酸盐由于具备更高的电负性，因此硫酸盐聚阴离子材料的氧化还原电势更高。目前，新型的硫酸盐类钠离子电池正极材料越来越受到人们的关注，如铁钠磷锰矿型 $Na_2Fe_2(SO_4)_3$，这类材料中的 Fe 以及 SO_4^{2-}原材料成本低廉、环境友好、容易合成，是十分具有优势的钠离子电池正极材料。而且，硫酸盐聚阴离子材料原料来源广泛，价格便宜，因此其成本也较低。根据理论计算，我们推算得出单吨 $Na_2Fe_2(SO_4)_3$ 需要消耗硫酸亚铁和硫酸钠分别为 0.32 吨和 0.68 吨，按照当前市场价来计算，理想情况下 $Na_2Fe_2(SO_4)_3$ 的原材料成本约 500.4 元/吨（按照分子式进行理论计算，不计损耗，不包括加工费用等）。但是，硫酸盐聚阴离子材料也存在其自身的缺点，如虽然硫酸盐具有较高的电压平台，但是由于硫酸盐在高温下易发生分解，因此如何在较低温度下合成出较高结晶度和纯度的材料，如何进行碳包覆等成为了制约材料发展的关键因素。此外，这类材料还存在着导电性差和能量密度低等缺点，这极大地影响了材料的实用性。

图表 57 硫酸盐聚阴离子材料 $Na_2Fe(SO_4)_2$ 成本拆分

材料化学式	主要原材料	单位用量（吨/吨）	市场价（元/吨）	成本（元/吨）	成本合计（元/吨）
$Na_2Fe_2(SO_4)_3$	硫酸亚铁	0.32	650	208	500.4
	硫酸钠	0.68	430	292.4	

资料来源：《钠离子电池正极材料氟磷酸钒钠研究进展》孙畅等，生意社，华安证券研究所

鉴于硫酸盐聚阴离子材料综合性能较好，成本可控，国内多家企业积极布局，如多氟多、传艺科技、众钠能源、星空钠电等均在相关领域有专利布局，未来随着技术和制备工艺的突破，硫酸盐聚阴离子材料有望加速实际应用的步伐。

图表 58 相关企业硫酸盐钠电正极材料的布局

布局企业	材料体系	专利名称
多氟多	硫酸盐型	一种碳复合铁基聚阴离子正极材料及其制备方法
传艺科技	硫酸盐型	钠离子电池用硫酸根型聚阴离子正极材料及制备方法
众钠能源	硫酸盐型	一种碳包裹的硫酸铁钠正极材料及其制备方法
星空钠电	硫酸盐型	一种新型高电位多层碳包覆聚阴离子型钠离子电池正极材料及其制备方法

资料来源：各公司专利，华安证券研究所

5 投资建议

相对于锂离子电池，钠离子电池具备原材料优势，成本优势和部分性能优势，尤其是在碳酸锂价格高企的背景下，钠电池的成本优势进一步凸显，渗透率有望加速提升，进而带动正极材料需求。

在目前的多种正极技术路线之中，层状氧化物材料凭借优异的综合性能以及与锂电三元正极工艺设备的高兼容性有望率先实现产业化，因此具备锂电三元正极材料生产经验的企业有望快速切换，建议关注振华新材、当升科技、容百科技、厦钨新能等。

普鲁士蓝类化合物正极材料目前处于小试到中试的阶段，由于普鲁士蓝类正极材料和普鲁士蓝类颜料原材料基本一致，且在工艺上具备一定的相似性，因此普鲁士蓝类颜料生产厂商具备切换至普鲁士蓝类正极材料赛道的先天优势，建议关注七彩化学、百合花等。

聚阴离子化合物正极材料当前的研究重点是硫酸铁钠体系，但是由于硫酸盐高温易分解且导电性低，因此如何在较低温度下合成出较高结晶度和纯度的材料，如何进行碳包覆等具备较高的技术壁垒，建议关注具备相关技术储备的钠电池公司如多氟多、传艺科技等。

此外，钠离子电池正极上游原材料方面，建议关注锰化工相关企业如湘潭电化、红星发展等，以及从原材料纯碱进一步延伸至钠电正极材料的企业如雪天盐业等。

图表 59 钠电池正极材料产业链重点公司

业务类型	证券代码	证券简称	正极路线	EPS（元）			PE			评级
				2022E	2023E	2024E	2022E	2023E	2024E	
锂电池、电解液溶质	002407	多氟多	层状/聚阴离子/普鲁士蓝类	2.79	3.99	4.73	12.91	9.03	7.62	买入
输入设备及印刷线路板	002866	传艺科技	层状/聚阴离子	0.54	1.00	1.47	85.74	46.30	31.50	未评级
锂电正极	688707	振华新材	层状	2.73	3.26	4.29	18.57	15.55	11.82	未评级
锂电正极	300073	当升科技	层状	3.99	4.99	6.20	14.99	11.99	9.65	未评级
锂电正极	688005	容百科技	层状/普鲁士蓝类	3.67	5.61	7.52	20.38	13.33	9.95	未评级
锂电正极	688778	厦钨新能	层状	4.04	6.12	7.98	21.31	14.07	10.79	未评级
锂电原料与材料	002340	格林美	层状/普鲁士蓝（白）	0.33	0.48	0.63	24.15	16.60	12.65	未评级
锂电正极前驱体	300919	中伟股份	层状	2.96	6.00	8.80	25.17	12.42	8.46	未评级
锂电材料及建筑材料	300409	道氏技术	层状	1.18	1.55	1.97	13.03	9.92	7.81	未评级
有机颜料	300758	七彩化学	普鲁士蓝类	0.08	0.14	0.25	174.50	99.71	55.84	未评级
有机颜料	603823	百合花	普鲁士蓝类	0.77	0.81	0.89	21.30	20.25	18.43	未评级
食盐、纯碱	600929	雪天盐业	正极原材料纯碱	0.59	0.72	0.86	15.64	12.82	10.73	未评级
锰化工	002125	湘潭电化	正极原材料锰化工品	0.72	0.97	1.28	20.69	15.36	11.64	未评级
锰化工、钡盐、锶盐	600367	红星发展	正极原材料锰化工品	1.07	1.32	1.54	15.97	12.95	11.10	未评级

资料来源：iFinD，华安证券研究所

注：除多氟多为华安证券预测之外，其余均为同花顺机构一致预期，股价截止至 2022 年 11 月 25 收盘价

风险提示：

（1）技术突破不及预期；
（2）钠离子电池性能不及预期；
（3）钠离子电池需求不及预期；
（4）碳酸锂价格下降导致钠离子电池成本优势不及预期；
（5）产业链配套能力不及预期。

重要声明

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来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任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。本报告由华安证券股份有限公司在中华人民共和国（不包括香港、澳门、台湾）提供。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此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。华安证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

本报告仅向特定客户传送，未经华安证券研究所书面授权，本研究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。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起 6 个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，A 股以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克指数或标普 500 指数为基准。定义如下：

行业评级体系

增持—未来 6 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%以上；

中性—未来 6 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；

减持—未来 6 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%以上；

公司评级体系

买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；

增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；

中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；

减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；

卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；

无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。