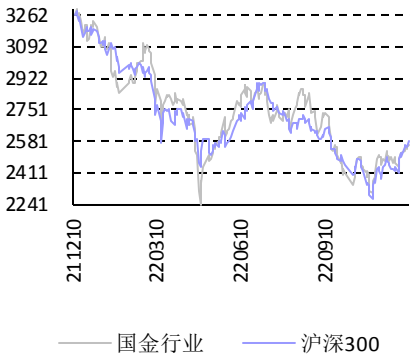
基础化工组

基础化工行业研究　买入（维持评级）

储能行业深度（一）

市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金基础化工指数	2559
沪深 300 指数	3998
上证指数	3207
深证成指	11502
中小板综指	12164



相关报告

1.《防疫优化，建议继续关注复苏与新材料方向-【国金化工】行业研究...》，2022.12.3

2.《供销社报告二：农资环节呈现整合趋势-供销社专题报告二》，2022.11.28

3.《央行降准，周期龙头迎来布局时点-【国金化工】行业研究周报》，2022.11.27

4.《子行业轮动加快，建议关有边际变化的方向-【国金化工】行业研究...》，2022.11.20

5.《需求继续扰动市场，板块中线布局时点已至-【国金化工】行业研究...》，2022.11.13

陈屹　分析师 SAC 执业编号：S1130521050001
chenyi3@gjzq.com.cn

王明辉　分析师 SAC 执业编号：S1130521080003
wangmh@gjzq.com.cn

杨翼荣　分析师 SAC 执业编号：S1130520090002
yangyiying@gjzq.com.cn

储能发展潜力巨大，上游材料需求快速提升

行业观点

- 新型储能需求持续提升，带动上游材料行业快速成长。储能行业具有持续的成长动力，而其中新型储能占比不断提升，2021 年电化学储能占比提升至 11.8%，预测我国新型储能市场未来 5 年将获得高速发展，复合增速将在 50%以上，将带动上游储能电池材料获得快速发展。根据储能行业的发展特点，目前形成了以磷酸铁锂电池储能为主要路线，钠电池快速优化形成部分替代，多种电池路线补充的发展格局。
- 磷酸铁锂电池：电化学储能主力军，现阶段最为成熟路线，跟随行业获得快速成长。磷酸铁锂电池循环性能极好，具有安全性与稳定性，性价比优势突出。产业链发展相对成熟，行业产能扩充充足，未来伴随新产能投放，还将有进一步降本空间，是现阶段和未来都具有发展潜力的主要路线。目前行业内有规划的产能将达到 800 万吨以上，有落地可行性的产能也将达到 460 万吨以上，伴随未来竞争逐步激烈，具有产业链优势的企业将有成本优势，有望获得相对较好盈利空间，建议关注全产业链化工企业，比如磷化工企业。
- 钠离子电池：来源广泛，更好的降本空间，有望获得加速发展。钠离子电池成本相对较低（BOM 成本 0.3 元/Wh，约为锂价正常情况下锂电池的 70%）、工作温区宽、安全性能好；但其理论循环性能与能量密度均弱于锂电池。原理类似于锂离子电池，具有一定的产业化基础，电解液、薄膜、集流体可沿用锂电体系，其中集流体可采用双铝箔体系进一步提升成本优势。未来若钠离子电池产业化完善将总体成本降至 0.5 元/Wh 以下，循环寿命及能量密度获得突破，有望带动行业获得快速发展。
- 铅蓄电池：市场在储能领域中渗透率仍然较低，铅碳替换有望带来新机遇。2021 年我国铅蓄电池产量 2.3 亿千伏安时，预计后续产量跟随需求端维持 2%的速度增长，伴随铅碳电池的出现对电池的比功率、循环性能和倍率性能有大幅提高，铅蓄电池借助成本方面的优势仍有应用空间和潜力。
- 钒电池：长时储能的重要发展方向。全钒液流电池凭借安全性与寿命长等优势长时储能的主要方案之一。钒电池电解液的制备仰赖于上游 V2O5 的供给，若国内钒电池新增装机量从 21 年的 0.13GW 升至 25 年的 2.3GW，对应 V2O5 的需求将从 0.12 万吨增至 2.07 万吨，有望带动钒资源需求提升。
- 铁-铬液流电池技术较为成熟且电解液成本更低，三氯化铬是铁-铬液流电池负极电解液的主要成分，成本占比较高，若产业化顺利推进，将对铬盐需求带来较大的边际增量。

投资建议

- 新型储能在政策等需求带动下获得快速提升，具有极大的发展潜力，带动上游电池材料快速发展，磷酸铁锂行业建议关注具有产业链一体化布局的成本优势企业，钠离子电池仍处于不断研发优化过程，建议关注先期布局的中自科技、百合花、元力股份、七彩化学等。

风险提示

- 技术迭代风险；产能过剩风险；政策变动风险；原材料价格剧烈波动风险。

内容目录

一、储能行业迎来规模化扩充，电化学储能即将入快速发展期 5
1.1、储能政策持续加持，我国储能行业进入规模化发展阶段 5
1.2、电化学储能路线不断丰富，行业获得快速发展 7
二、磷酸铁锂电池：电化学储能主力军，现阶段最为成熟的工艺路线 9
2.1、磷酸铁锂电池技术相对成熟，性价比高在储能领域高度渗透 9
2.2、正极材料跟随需求大量规划产能，储能领域需求即将开启高速增长 ... 12
三、钠离子电池：技术仍在持续进步，有望获得进一步发展空间 16
3.1、钠离子电池初获起步，具有低 BOM 成本和高安全性优势 16
3.2、三种正极路径各有千秋，无定型碳负极脱颖而出 20
四、铅蓄电池：具有特定的发展市场，铅碳替换带来新机遇 25
4.1、铅蓄电池性价仍在优化，产量仍在稳步增长 25
4.2、铅碳替换，材料改变后性能显著优化 28
五、全钒液流电池：长时储能重要发展方向，利好上游钒资源企业 31
5.1、全钒液流电池：长时储能重要方向 32
5.2、钒电池带动上游钒需求快速增长，钒供给或边际趋紧 34
六、铁铬液流电池：低成本长时储能技术，应用前景广阔 36
6.1、铁铬液流电池：具备多重优势，应用前景可期 37
6.2、三氯化铬：负极电解液主要成分，有望带动铬盐需求 39
七、投资建议 42
八、风险提示 42

图表目录

图表 1：2021 年全球储能市场分布占比 5
图表 2：全球电化学储能累计装机规模（GW） 5
图表 3：我国持续颁布支持储能行业发展政策 5
图表 4：2021 年中国储能技术市场占比 6
图表 5：储能技术路线多样，各有优劣势 7
图表 6：我国电化学储能装机量持续提升（GW） 8
图表 7：2021 年我国新型储能各路线占比情况 8
图表 8：电化学储能的主要技术路线 8
图表 9：独立储能的商业模式大幅带动储能市场发展 9
图表 10：2022 年前三季度新型储能市场场景分布占比 9
图表 11：中国新型储能累计装机规模预测 9
图表 12：磷酸铁锂材料结构模型图 10
图表 13：磷酸铁锂电池结构示意图 10
图表 14：不同正极材料锂电池性能对比 10
图表 15：磷酸铁锂产业链 11

敬请参阅最后一页特别声明

图表 16: 磷酸铁锂制备工艺比较.....11
图表 17: 国内磷酸铁锂生产企业主要生产工艺.....12
图表 18: 国内磷酸铁锂正极材料出货量（万吨）.....13
图表 19: 全球磷酸铁锂电池出货量（GWh）.....13
图表 20: 2020 年国内磷酸铁锂正极材料竞争格局.....13
图表 21: 2021 年国内磷酸铁锂正极材料竞争格局.....13
图表 22: 磷酸铁锂价差变化（元/吨）.....14
图表 23: 国内磷酸铁锂现有产能（万吨）与新增产能（万吨）部分统计.....14
图表 24: 中国储能锂电池出货量（GWH）.....15
图表 25: 磷酸（猛）铁锂相关企业布局.....16
图表 26: 钠离子电池发展历史.....17
图表 27: 钠离子电池工作原理.....17
图表 28: 硬碳负极钠电池能量密度与锂电池对比.....17
图表 29: 钠电池循环周数测算.....17
图表 30: 钠离子电池生产线设计.....18
图表 31: 碳酸锂价格走势.....18
图表 32: 磷酸铁锂价格走势.....18
图表 33: 钠电池与锂电池成本对比.....19
图表 34: 挤压及针刺试验后的电芯状态.....19
图表 35: 钠离子电池热失控曲线.....20
图表 36: 三种二次电池比较.....20
图表 37: 三类钠离子电池正极材料性能优劣对比.....21
图表 38: O3、P3、O2、P2 型层状氧化物正极的晶体结构示意图.....21
图表 39: 典型层状氧化物电化学性能.....22
图表 40: 聚阴离子化合物结构示意图.....22
图表 41: 典型聚阴离子正极电化学性能.....23
图表 42: 普鲁士蓝结构图.....23
图表 43: 钠电池行业布局情况.....23
图表 44: 普鲁士蓝材料制备工艺.....24
图表 45: 钠电池材料负极对比.....25
图表 46: 钠离子电池负极材料工作电压与容量对比.....25
图表 47: 各类储能产品性能对比.....26
图表 48: 铅酸电池单体结构和内部化学反应.....26
图表 49: 我国铅酸蓄电池产量稳步增长.....27
图表 50: 我国铅酸蓄电池下游应用情况.....27
图表 51: 铅蓄电池产业链.....27
图表 52: 铅酸蓄电池成本结构.....28
图表 53: 长江有色市场平均铅价（元/吨）.....28
图表 54: 铅炭电池结构原理图.....28

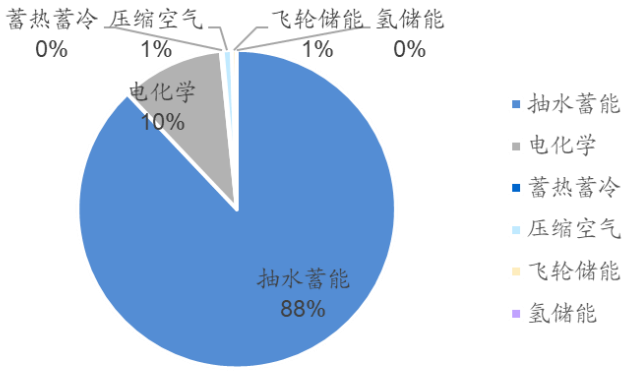
图表 55: 不同储能技术的度电成本对比 28
图表 56: 标准铅酸和铅炭电池的初始容量-循环寿命曲线 28
图表 57: 在高倍率部分荷电状态下电池的循环寿命 28
图表 58: 各类铅炭电池内部结构示意图和性能对比 29
图表 59: 碳材料性能对比 29
图表 60: 铅炭电池失效原因 29
图表 61: 铅炭电池正极材料替换试验结果 30
图表 62: 可比公司铅蓄电池销量情况（万 kVAh） 30
图表 63: 可比公司铅蓄电池销量增速 30
图表 64: 可比公司铅蓄电池销量收入情况（亿元） 31
图表 65: 可比公司铅蓄电池销售收入增速 31
图表 66: 可比公司铅蓄电池收入占比 31
图表 67: 可比公司铅蓄电池毛利率情况 31
图表 68: 我国铅炭电池行业相关企业研发及产业化情况 31
图表 69: 钒液流电池结构示意 32
图表 70: 钒氧化还原电池充电示意图 33
图表 71: 钒氧化还原电池放电示意图 33
图表 72: 钒电池产业链 33
图表 73: 离子交换膜的比较 34
图表 74: 中国钒液流电池新增装机量（GW） 35
图表 75: 中国钒电池用五氧化二钒消耗量（万吨） 35
图表 76: 国内钒资源供给情况（吨） 35
图表 77: 2021 年国内钒下游消费结构（%） 35
图表 78: 钒矿资源类公司 36
图表 79: 钒钛股份钒产品营收与毛利率 36
图表 80: 钒钛股份钒产品销量与价格情况 36
图表 81: 铁-铬液流电池原理 37
图表 82: 铁-铬液流电池与其他电化学电池技术对比 38
图表 83: 铁-铬液流电池发展历史 38
图表 84: 铬产业链 39
图表 85: 铬矿下游应用占比 39
图表 86: 2020 年全球主要铬铁矿产量占比 40
图表 87: 中国铬铁矿及其精矿进口来源 40
图表 88: 中国铬矿砂及其精矿进口数量及均价 40
图表 89: 海外主要铬盐厂商产能（万吨） 41
图表 90: 国内铬盐产能占比 41
图表 91: 铬盐生产工艺不断迭代 41

一、储能行业迎来规模化扩充，电化学储能即将入快速发展期

1.1、储能政策持续加持，我国储能行业进入规模化发展阶段

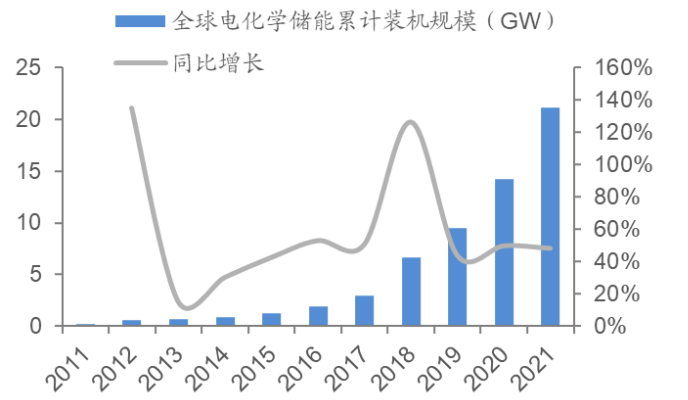
■ 伴随新能源的发展，全球储能行业需求持续提升。随着全球能源转型加速，各国政府碳中和方案相继落地，新能源储能的需求愈发强烈。2021 年全球储能市场装机功率为 205.3GW，其中以抽水储能占据主要地位，而后来获得快速发展的电化学储能占比约为 10.3%，储能装机规模约为 21.1GW。从行业发展来看，电化学储能过去 10 年的装机规模复合增速约为 56%，已经成为满足多种应用场景和需求的主要储能方式之一。

图表 1：2021 年全球储能市场分布占比



来源：中国化学与物理电源行业协会，国金证券研究所

图表 2：全球电化学储能累计装机规模（GW）



来源：CNESA，中国化学与物理电源行业协会，国金证券研究所

■ **新能源持续发展，储能需求大幅提升，政策助力储能行业快速发展。**伴随着我国大力进行新能源布局，在新增发电侧，新能源占比不断提升，而由于新能源发电带来的波动性使得储能的需求日益提升。国家近年来陆续出台配套储能政策，其中硬性指标与扶持鼓励双管齐下，从电价机制、项目管理、市场交易、技术攻关、商业模式、发展目标等多个维度进行了顶层设计，助力行业向规范化、产业化、市场化发展。

图表 3：我国持续颁布支持储能行业发展政策

时间	政策	核心内容
2022.08	《关于鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模的通知》	鼓励发电企业通过自建或购买调峰储能能力的方式增加新能源发电装机规模
2022.06	《“十四五”可再生能源发展规划》	明确新型储能独立市场主体地位，创新储能发展商业模式，明确其价格形成机制
2022.06	《关于印发“十四五”可再生能源发展规划的通知》	“十四五”期间可再生能源在一次能源消费增量中占比超过 50%；2025 年可再生能源发电量达到 3.3 万亿千瓦左右；可再生能源发电增量在全社会用电增量中的占比超过 50%
2022.06	《关于进一步推动新型储能参与电力市场和调度运用的通知》	针对独立储能参与电力市场配合电网调峰，鼓励独立储能签订顶峰时段和低谷时段市场合约，发挥移峰填谷和顶峰发电作用。独立储能电站向电网送电的，其相应充电电量不承担输配电价和政府性基金及附加。强调了建立电网侧独立储能电站容量电价机制，逐步推动电站参与电力市场；探索将电网替代型储能设施成本收益纳入输配电价回收。
2022.05	《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》	要实现到 2030 年风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上的目标，加快推进荒漠、戈壁、沙漠地区为重点的大型风电光伏基地建设；鼓励地方政府加大力度支持农民利用自有建筑屋顶建设户用光伏；支持工业绿色微电网和源网荷储一体项目建设
2022.05	《中国南方区域电力市场运营规则（征求意见稿）》	根据电力市场运营和各省区电力发展需要，建立健全容量补偿机制（容量市场），风电、光伏等可再生能源、抽水蓄能和独立储能等参与电力市场的配套机制；探索建立市场化的输电权分配和交易机制。
2022.05	《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》	完善调峰调频电源补偿机制，推动新型储能快速发展，研究储能成本回收机制

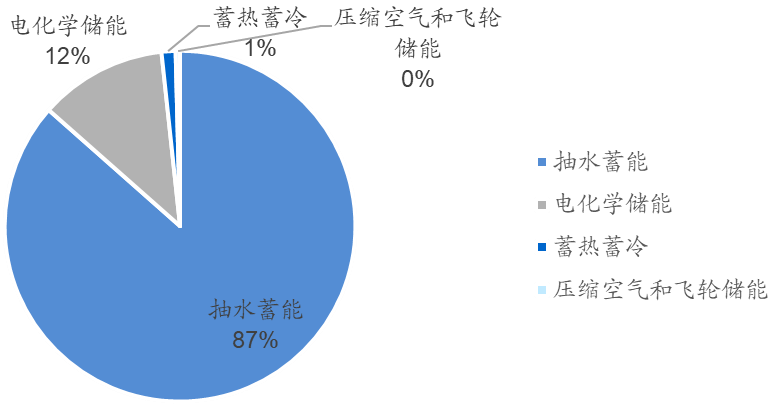
敬请参阅最后一页特别声明

2022.05	《关于加强电化学储能电站安全管理的通知》	要求所有纳入备案管理的接入 10 千伏及以上电压等级公用电网的电化学储能电站的安全管理工作需要纳入企业安全管理体系，落实全员安全生产责任制，健全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制，依法承担安全责任。
2022.04	《“十四五”能源领域科技创新规划》	引领新型电力系统建设，推动新能源发电占比逐步提高
2022.03	《“十四五”新型储能发展实施方案》	到 2025 年使新型储能具备大规模商业化应用条件，并到 2030 年实现新型储能全面市场化发展
2022.03	《关于加快推进电力现货市场建设工作的通知》	快推进电力现货市场建设的总体要求、加快推动用户侧全面参与现货市场交易、加快推动各类型具备条件的电源参与现货市场、统筹电力中长期交易与现货交易
2022.03	《2022 年能源工作指导意见》	加大力度规划建设以大型风光基地为基础、以其周边清洁高效先进节能的煤电为支撑、以稳定安全可靠的特高压输变电线路为载体的新能源供给消纳体系；电力装机目标达到 26 亿千瓦左右；风电、光伏发电量占全社会用电量的 12.2%左右
2022.02	《关于加强南方区域新型储能发展应用监管工作的通知》	支持各类储能技术、调控技术攻关，充分考虑建设大容量、长时储能、综合应用的示范项目。支持储能项目作为新型、特殊的独立市场主体身份参与各类电力市场。
2022.01	《促进绿色消费实施方案》	大力推进公共机构消费绿色转型，刺进全社会绿色消费潜力；推动绿色电力交易、绿证交易
2022.01	《加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》	到 2025 年，全国统一电力市场体系初步建成，新能源、储能等发展的市场交易和价格机制初步形成；到 2030 年，全国统一电力市场体系基本建成，市场主体平等竞争、自主选择，电力资源在全国范围内得到进一步优化配置
2021.07	《关于加快推动新型储能发展的指导意见》	“十四五”时期加快发展新型储能，到 2025 年新型储能的装机规模达 30GW 以上

来源：国家发改委，国家能源局，科学技术部，国金证券研究所

- **抽水储能技术成熟，发展早，现阶段占据主要市场。**储能技术根据储能系统存储能量的形式以及其构成机理的不同可以分为抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能、熔融盐储能、电化学储能等。由于传统的抽水蓄能起步较早、技术较为成熟，因而无论是在全球还是中国都占据储能行业主导地位。然而伴随我国新能源技术持续推进，新能源发电在我国新增发电量占比持续提升，供给量不断提升，因而通过储能解决新能源发电模式的不足，提升能源利用效率日趋重要。

图表 4：2021 年中国储能技术市场占比



来源：中国储能网，国金证券研究所

- 目前国内外采用的储能技术以抽水储能为主，电化学储能为辅。相比之下，抽水储能、压缩空气储能可以满足大规模的储能要求，且具有较长的产品寿命，但反应速度相对较慢，对于短周期的波动调节能力有限，而锂电池等电化学储能虽然规模相对较小，但是整体更为灵活，可以满足短期的调峰调频，同时可以满足多样化的储能场景要求。

敬请参阅最后一页特别声明

图表 5：储能技术路线多样，各有优劣势

储能方式	机械储能			电化学储能				光热储能
细分种类	抽水蓄能	压缩空气	飞轮储能	铅酸电池	钒电池	锂电池	钠电池	熔盐储能
响应时间	分钟级	分钟级	十毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	分钟级
功率规模	100MW-2GW	10-300MW	5KW-10MW	1KW-50MW	10KW-10MW	1KW-100MW	1KW-100MW	1MW-300MW
能量密度（WH/kg）	0.5-1.5wh/L	3-6wh/L	100-200	30-50	40-50	120-180	100-160	50~100
能量转换效率（%）	70-85	40-55 (非绝热) 60-70 (绝热系统)	80-90	50-70	65-75	85-95	80-90	90-99
循环寿命/服役年限	>50 年	约 25 年	>20 年 >100 万次	300-500 次	≥2 万次	＞3000 次	＞3000 次	>1 万次 20-30 年
成本（元/WH）	0.21-0.25	0.3-0.6	30-45	0.5-0.8	3.5-3.9	0.8-1.2	0.6-0.9	~0.1
优势	寿命长、规模大、技术成熟	规模仅次于抽水蓄能，寿命长	功率密度高，充放电次数多，环境要求低，寿命长	技术成熟、结构简单、成本低	安全、长寿、容量-功率独立	能量密度高，充放电效率高，反应速度快，寿命长	成本低，寿命长，低温性能好	污染小，成本低
劣势	选址受限、投资周期长	装置巨大，选址受限	规模小，造价成本高	维修成本高，能量密度低，寿命短，毒性大	成本费用过高，工作温区窄 (0-45℃)，渗漏液技术待攻克	价格高于钠电，安全性较差，高低温使用危险大	能量密度和能量转换效率低，技术成熟度低	温度控制要求高 (240-570℃)，存在冷冻和泄露风险
适用场景	调频、系统备用、电网稳定控制	调峰、系统备用、电网稳定控制	调峰、系统备用、电网稳定控制	暂态/动态控制、频率控制、电压控制、UPS	备用电源、调峰填谷、可再生储能、能量管理	暂态/动态控制、可再生储能、频率控制、电压控制、UPS	暂态/动态控制、可再生储能、频率控制、电压控制、UPS	供暖、调峰

来源：CNKI，国金证券研究所

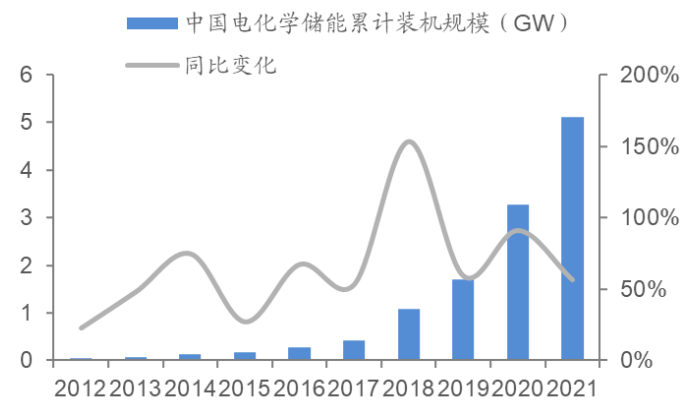
1.2、电化学储能路线不断丰富，行业获得快速发展

- 需求推动储能行业结构变换，电化学储能获得快速发展。目前新能源装机规模快速扩张，风、光发电占比日益提升，抽水储能难以完全满足调峰调频需求。相比之下电化学储能一方面可以解决风光出力随机性和波动性带来的频率稳定难题，提供调频服务提高电网的可靠性；另一方面能够通过削峰填谷解决风光出力高峰与负荷高峰错配问题。近年来，电化学储能作为灵活的储能解决方案，借助国家政策的支撑获得了快速发展。2020 年，我国电化学储能占比约为 8.3%，至 2021 年占比就已经提升至 11.8%，行业进入快速发展阶段。

- **锂离子电池为电化学储能的主流路线，多种技术作为补充发展。**目前电化学储能路线中，锂离子电池尤其是磷酸铁锂电池占据主要市场，但其中发展相对较早的铅蓄电池在具有较长充放电工作周期的场合仍具备竞争力，液流电池在电网规模储能方面也有应用场景，钠离子电池虽然现阶段技术并未成熟，但其原材料来源广泛，低温性能好，具有不断提升的发展空间。

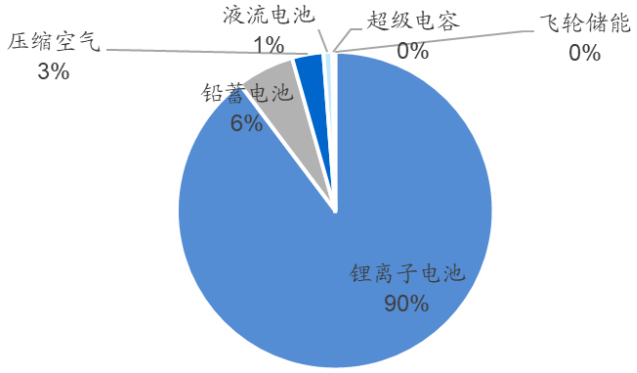
敬请参阅最后一页特别声明

图表 6：我国电化学储能装机量持续提升（GW）



来源：《2022 储能产业应用研究报告》，CNESA，国金证券研究所

图表 7：2021 年我国新型储能各路线占比情况



来源：CNESA，国金证券研究所

图表 8：电化学储能的主要技术路线

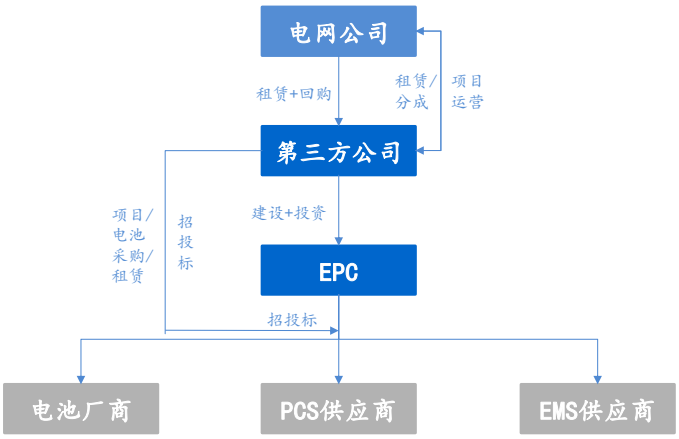
产品技术	铅蓄电池	锂离子电池	液流电池	钠离子电池	超级电容器
优点	技术成熟、成本低、安全可靠	储能密度高、充放电效率高、响应速度快、产业链完整等	安全性高、寿命长、规模大	资源丰富、低温性能好、充放电速度快	功率密度高、循环寿命长、充放电速度快
不足	充放电速度慢，一般需要 6～8 h 以上才能实现容量的有效利用，而且能量密度低，寿命较短	低温性能等问题需要进一步完善	储能密度还有待提升	储能密度、技术成熟度较锂电池仍有不足	一般应用于直流电，可能出现电解质泄露，成本相对较高
代表产品	铅炭电池	磷酸铁锂电池	全钒液流电池		锂离子电容器
发展现状	经过几年的快速发展后目前趋于沉寂；在场地要求不高、有较长的充放电工作周期等场合仍有一定的竞争力	最近几年发展最快的电化学储能技术，目前应用最为广泛；伴随充放电次数以及低温性能的提升，解决方案不断优化	在大规模储能领域具有良好的应用前景，在储能时长为 4～10 h 的电网规模储能方面，液流电池储能技术将具有比较优势	最接近锂离子电池的化学储能技术，虽然还有差距，但是低成本优势引起重点布局	在智能电网、轨道交通、新能源汽车、工业装备以及消费类电子产品等领域具有重要的应用市场

来源：CNKI，国金证券研究所

- **行业空间巨大，电化学储能赛道即将进入高速增长期。**2021 年以来，国家及地方省份相继出台政策确立储能的独立主体身份，并伴随着独立储能的盈利模式有提升趋势，独立储能的获得了快速的发展，带动了我国发电侧的储能市场空间大幅提升。根据今年前三季度数据，我国发电侧的储能占比已经获得明显提升，占比达到 55%，带动了储能市场获得快速发展；而伴随着我国可再生能源发电占比持续提升，电源侧的储能需求也日渐提升，叠加未来电价的市场化趋势，用户侧也将获得持续发展，新型储能市场需求有望快速提升。

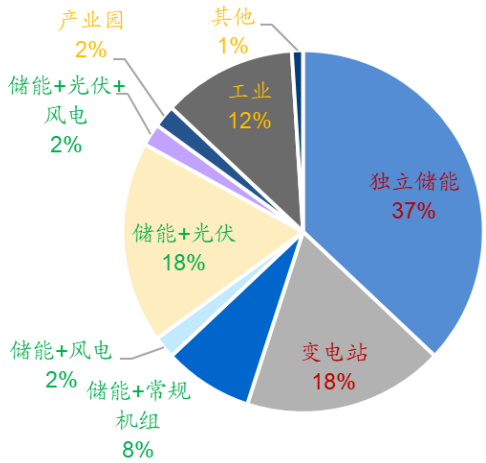
敬请参阅最后一页特别声明

图表 9：独立储能的商业模式大幅带动储能市场发展



来源：CNESA，国金证券研究所

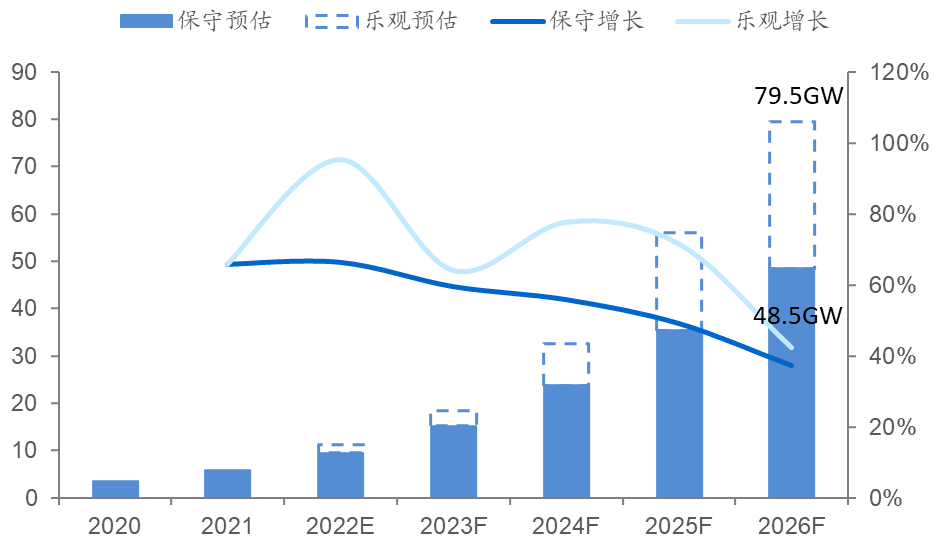
图表 10：2022 年前三季度新型储能市场场景分布占比



来源：CNESA，国金证券研究所

- 根据 CNESA 预测，我国未来 5 年的新型储能市场将获得高速发展，复合增速将维持在 50%以上，预计到 2026 年乐观状态下储能市场的累计装机将达到 79.5GW，带动储能电池材料获得高速发展。

图表 11：中国新型储能累计装机规模预测



来源：CNESA，国金证券研究所

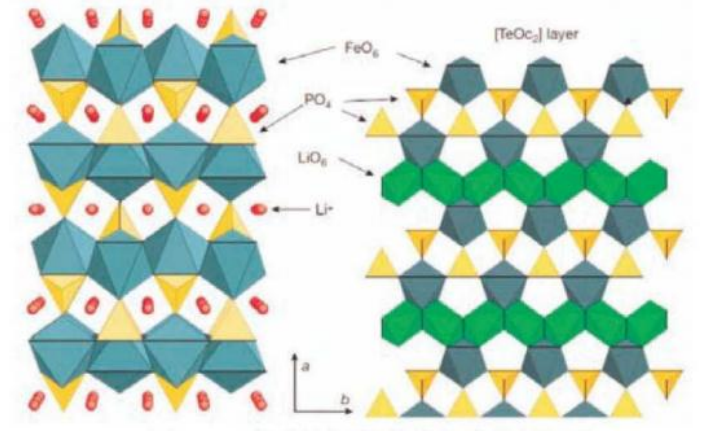
二、磷酸铁锂电池：电化学储能主力军，现阶段最为成熟的工艺路线

2.1、磷酸铁锂电池技术相对成熟，性价比高在储能领域高度渗透

- **磷酸铁锂电池的充放电过程主要依靠锂离子的迁移，是现阶段主要应用于储能的锂电池。**磷酸铁锂（$LiFePO_4$）是一种具有三维空间网状橄榄石结构的磷酸盐，也是目前锂电池正极材料的主流技术路线之一。磷酸铁锂电池的充放电反应是在 $LiFePO_4$ 和 $FePO_4$ 两相之间进行：在充电过程中，$LiFePO_4$ 逐渐脱离出锂离子形成 $FePO_4$，同时锂离子在电场力的作用下，依次经过电解液和穿过隔膜，最后嵌入负极石墨晶格中。而在放电过程中，锂离子从负极石墨晶体中脱嵌出来，再经电解液迁移到磷酸铁锂晶体的表面，重新嵌入磷酸铁锂的晶格，$FePO_4$ 再次形成 $LiFePO_4$。

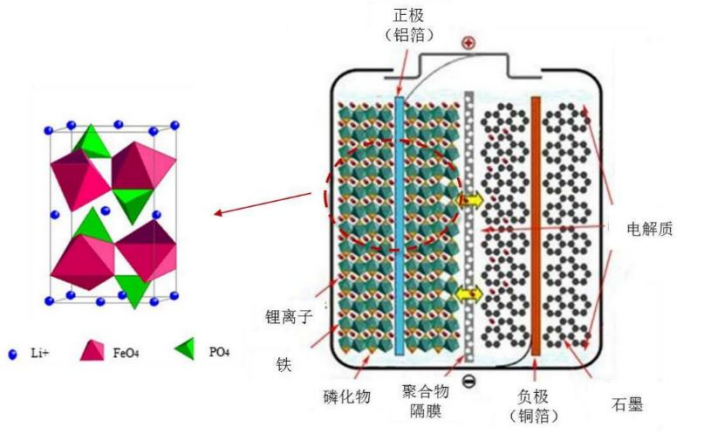
敬请参阅最后一页特别声明

图表 12：磷酸铁锂材料结构模型图



来源：《磷酸铁锂及三元电池在不同领域的应用》，国金证券研究所

图表 13：磷酸铁锂电池结构示意图



来源：德方纳米招股说明书，国金证券研究所

- **磷酸铁锂在储能领域具备明显性能优势。**与三元材料等其他锂电池相比，磷酸铁锂电池循环性能极好，能量型磷酸铁锂电池循环寿命最高可长达3000-4000 次，倍率型磷酸铁锂电池的循环甚至可达上万次。此外，磷酸铁锂由于其橄榄石状结构的特点，即使在高温下仍可保持较稳定的结构，具有远超其他正极材料的安全性与稳定性，符合目前大型储能领域对于安全性的严苛要求。与此同时，尽管磷酸铁锂的能量密度低于三元材料电池，但是其相对较低的成本所带来的价格优势在对于电池体积要求相对较低的储能领域更为突出。安全性、寿命长以及成本低的优势使得磷酸铁锂电池具有显著的竞争优势。

图表 14：不同正极材料锂电池性能对比

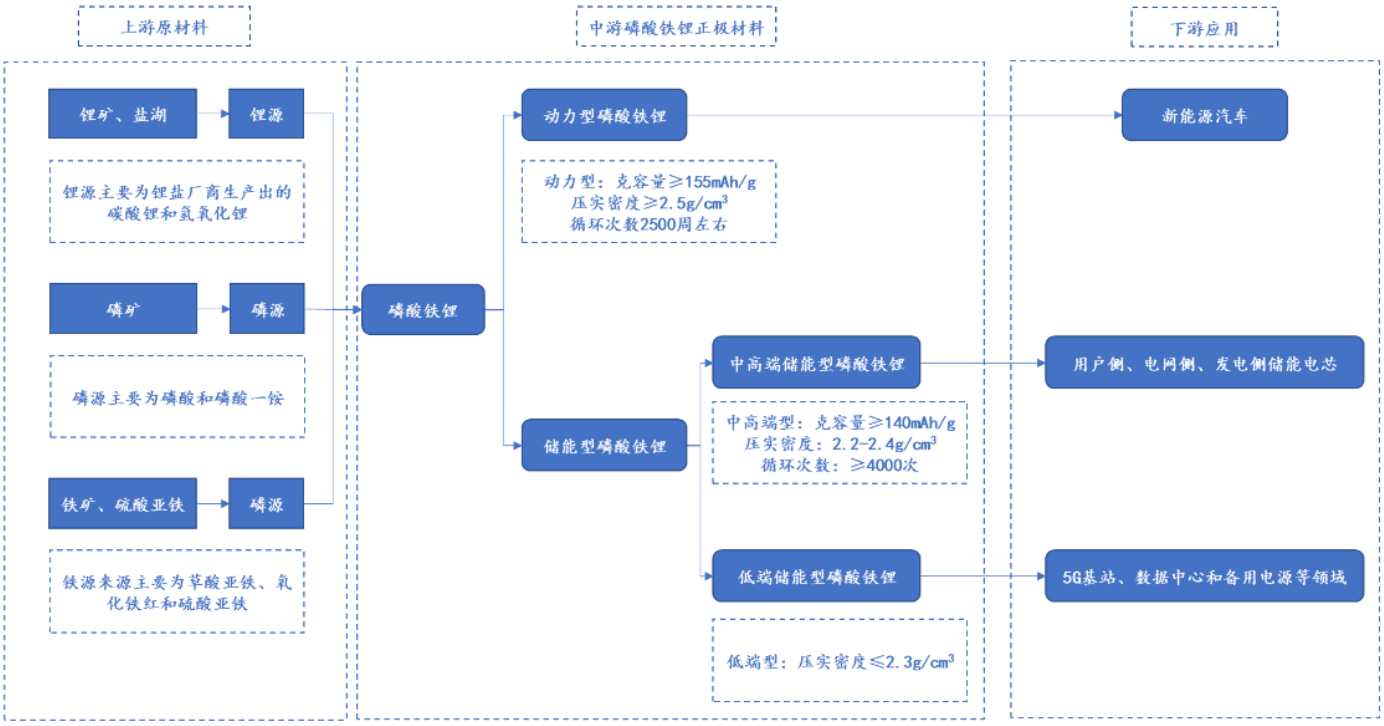
类型	钴酸锂	三元材料	锰酸锂	磷酸铁锂
比容量（mAh/g）	135-145	135-155	90-110	130-140
电压平台（V）	3.7	3.6	3.8	3.2
循环性能（次）	≥600	≥600	≥500	≥1500
安全性	一般	较好	良好	优异
适用温度（℃）	-40～45	-40～45	-40～40	-40～60
原料成本	很高	高	低	较低
主要应用领域	3C 数码产品	新能源乘用车	低端 3C 数码产品、电动工具等	新能源商用车、储能等

来源：《磷酸铁锂电池在通信行业的应用研究》，国金证券研究所

- 磷酸铁锂电池可以针对性布局储能领域，差异化的布局可以提升产品性价比。磷酸铁锂上游原材料主要分为磷源、铁源和锂源，其中磷源很据工艺路线的不同主要来源于磷酸或工业磷酸一铵（磷酸二氢铵），铁源来源于铁粉或硫酸亚铁。目前大多数工艺路线均先将磷源与铁源合成磷酸铁前驱体，再将磷酸铁与碳酸锂通过烧结产出磷酸铁锂。因而在前驱体的生产以及磷酸铁锂烧结过程中，都可以针对性的选择放弃部分能量密度的要求，而提升产品循环次数，降低产品的生产成本。

敬请参阅最后一页特别声明

图表 15：磷酸铁锂产业链



来源：SMM，国金证券研究所

- **液相法前驱体生产可以进一步降低产品生产成本。**磷酸铁锂的生产工艺按照前驱体的生产工艺的不同可以分为固相法与液相法两种，其中固相法由于工艺较为成熟、可以满足下游高能量密度的前驱体要求、设备相对简单且投资较小等诸多优势而被大多数磷酸铁锂企业采用。液相法具有材料液相反应均匀，物相均一，产物粒径小、粒度分布均匀，产品批次品质稳定等优点，但是技术门槛远高于固相法，且生产设备复杂、投资额度较大，目前国内仅有德方纳米等少数企业采用，而通过液相法的生产，可以降低生产成本，满足在储能的能量密度要求基础上，进一步提升产品性价比。

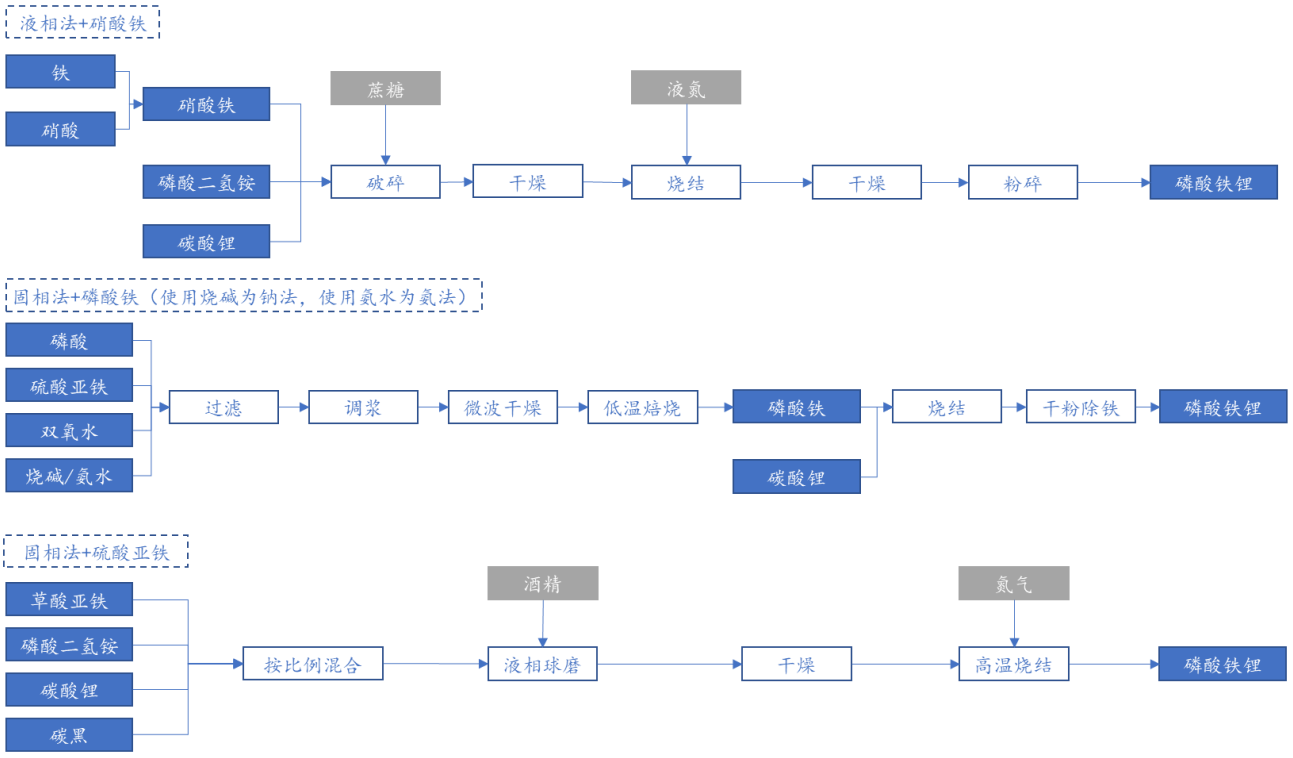
图表 16：磷酸铁锂制备工艺比较

制备方法		工艺流程	优点	缺点
固相法	高温固相法	该方法是将锂源、铁源、磷源等原材料经过研磨、混合后，在500℃～800℃的高温条件下进行锻烧反应。	工艺简单，设备投资少，易控制，易于产业化，技术较成熟，分解产物除去较易，产品杂质少。	煅烧时间长；需使用惰性保护气体，生产成本高。物相不均匀，晶体颗粒形貌不规则。
	碳热还原法	在一定温度条件下，用无机碳作为还原剂进行氧化还原反应来制备磷酸铁锂，一般是以Fe_2O_3、LiH_2PO_4和碳粉作为原料，该法需要较高的反应温度，同时在需要惰性气氛下进行。	可采用成本低的原材料，解决了原料价格昂贵的问题。	反应温度较高，时间较长，产品杂质较多。
	微波合成法	在电磁波作用下，物质吸收电磁波能量发生自加热过程，使温度升高而发生反应从而得到产物的方法。	设备简单、加热温度均匀、易于控制、所需时间短；产品料径及电阻均较小。	工业化生产难度大，目前只在实验室研究阶段。
液相法	共沉淀法	按照一定的化学配方将锂源、铁源、磷源等原材料溶解混合后，加入沉淀剂，通过控制溶液的pH值使得LiFeP04从溶液中沉淀出来，通过过滤、洗涤、干燥等处理，最后将沉淀高温处理后得到LiFeP04产物。	溶解过程中原料间可均匀分散，前躯体可实现低温合成；产品颗粒小且分布均匀。	反应后需沉淀、过滤、洗涤等，工艺较长，产品质量不稳定。
	水热合成法	以水溶液为反应介质，在密闭容器中的原材料物质在高温、高压条件下进行化学反应生成所需产品的方法。	容易控制晶型和粒径，过程简单，无需惰性气氛。产品粉体粒径小，物相均一。	对生产设备的要求高，工业化生产困难，成本较高。
	凝胶-溶胶法	将锂盐、铁盐、磷酸盐等材料混合，经过水解得到均匀的溶胶，溶胶经蒸发、浓缩形成凝胶，再将凝胶干燥、高温焙烧后得到LiFeP04产物。	化学均匀性好、热处理温度低、反应过程易于控制、设备简单。	干燥收缩大、工业化难度较大、合成周期长、制备的过程复杂，质量不稳定。

敬请参阅最后一页特别声明

来源：《以 $FePO_4$ 和 $LiCO_3$ 为原料合成 $LiFePO_4$ 的生产工艺》，国金证券研究所

图表 17：国内磷酸铁锂生产企业主要生产工艺



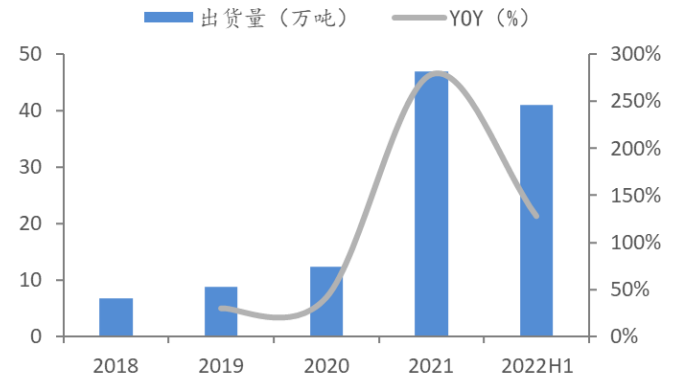
来源：德方纳米环评报告，安达科技环评报告、湖南升华环评报告，华经产业研究院，国金证券研究所

2.2、正极材料跟随需求大量规划产能，储能领域需求即将开启高速增长

- **国内磷酸铁锂产量快速增长，行业竞争趋向白热化。**受益于下游新能源行业的跨越式发展，2021 年国内磷酸铁锂正极材料出货量为 47 万吨，同比增长 279%，同年全球磷酸铁锂电池出货量高达 172.1GWh，同比增长 220%。受补贴政策退坡影响，2016-2020 年上半年，磷酸铁锂正极材料需求有限，部分磷酸铁锂厂商出现停产或破产情况，行业整体集中度较高。2020 年，国内磷酸铁锂行业 CR3/CR5 约为 66.1%/86.2%，湖南裕能、德方纳米、湖北万润等头部企业市场份额优势明显。但是由于 2020 年下半年开始下游新能源行业的高景气度，部分处于停产状态磷酸铁锂产能恢复生产，同时有新进入者的新建产能逐步投产，导致行业集中度有所下降，2021 年国内磷酸铁锂行业 CR3/CR5 为 52.6%/67.3%。随着未来更多新增产能的投产，国内磷酸铁锂行业竞争将趋向于白热化。

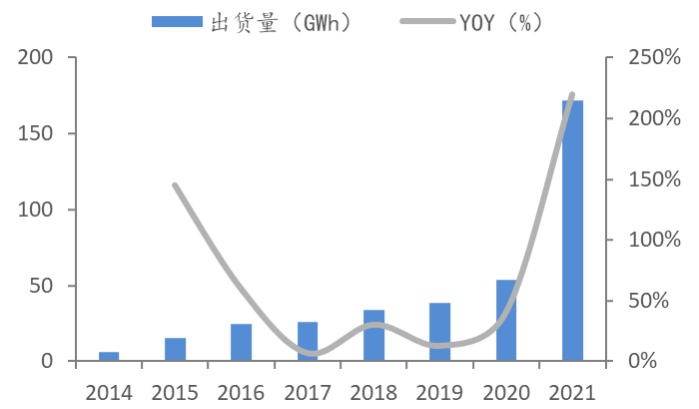
敬请参阅最后一页特别声明

图表 18：国内磷酸铁锂正极材料出货量（万吨）



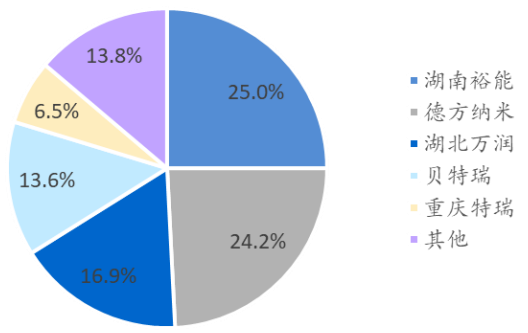
来源：GGII，国金证券研究所

图表 19：全球磷酸铁锂电池出货量（GWh）



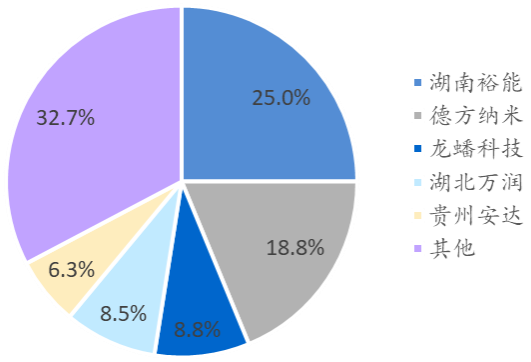
来源：EVTank，国金证券研究所

图表 20：2020 年国内磷酸铁锂正极材料竞争格局



来源：GGII，国金证券研究所

图表 21：2021 年国内磷酸铁锂正极材料竞争格局

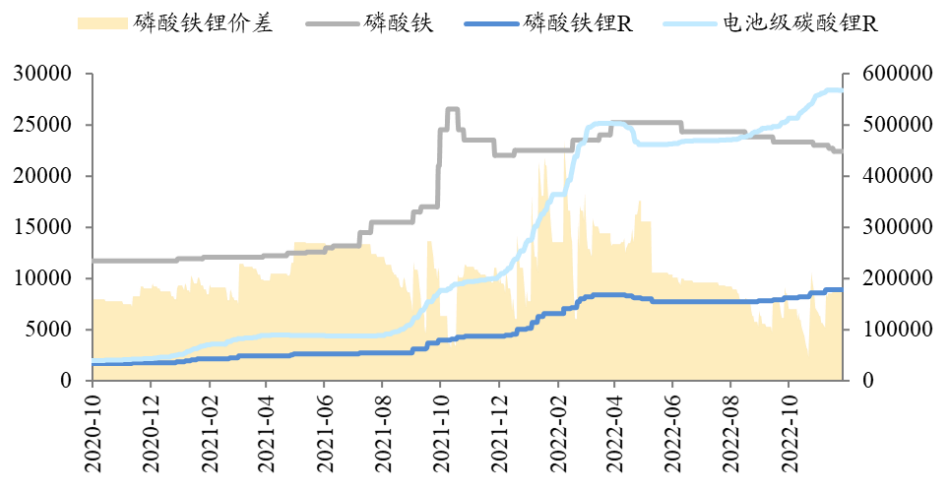


来源：GGII，国金证券研究所

- **磷酸铁锂电池同时供给储能和动力市场，行业发展相对成熟。**随着新能源汽车的持续发展，磷酸铁锂电池作为高性价比的电池路线已经在中低端车型领域获得广泛应用，近年来通过对技术工艺的改进，也突破了高端动力市场的应用，磷酸铁锂电池已经具有相对比较完整的技术基础。而配合动力行业和储能发展需求，行业内持续进行了大规模的产能建设，产品配套能力相对较强，伴随整体电池和正极需求的大幅扩充，磷酸铁锂产业链也稳步发展，上游前驱体供给持续布局，产能将获得快速释放。
- 磷酸铁锂自 2021 年进入明显的供不应求阶段，产能开始快速规划布局。由于下游新能源汽车与储能等领域需求旺盛，而前期磷酸铁锂生产企业扩充产能速度相对缓慢，叠加资源品碳酸锂价格大幅提升，自 2021 年以来，磷酸铁锂价格大幅提升，产品价差也有明显增长。进入到今年下半年，新增产能释放逐步增多，产品价差略有回落。

敬请参阅最后一页特别声明

图表 22：磷酸铁锂价差变化（元/吨）



来源：Wind，国金证券研究所

- **磷酸铁锂逐步进入产能释放期，老牌磷酸铁锂头部企业产能快速兑现，大量参与者开始布局。**受到新能源车快速发展以及储能的性价比优势在持续提升的影响，磷酸铁锂正极企业开始高速扩张，行业内具有产业和渠道优势的企业加速进行产能复制和结构升级，产业链环节上具有磷资源和钛白粉企业快速切入进行产业链向下延伸布局，同时还有其他企业通过并购或者引进技术进行领域切入，目前根据主要公司的产能统计，有对外披露的企业已经有超过 800 万吨的产能规划，而有落地可行性的产能也将达到 460 万吨以上。

图表 23：国内磷酸铁锂现有产能（万吨）与新增产能（万吨）部分统计

企业	2019	2020	2021	2022E	远期
德方纳米	2.55	8	12	41	78.5
湖南裕能	1.4	2.9	10.6	16.6	89.3
重庆特瑞	10	10	10	20	20
江西升华	1.2	1.2	6.2	20.2	50.2
融通高科	1	1.5	5	14	40
国轩高科	1.3	2.6	5	10	25
湖北万润	3	5	5	5	15
龙蟠科技	3.2	3.2	3.3	21	50
安达科技	0.6	0.8	2.8	7.8	30
圣钒科技	0	0	1.5	7	14
丰元股份	0	0	1	7.5	30
烟台卓能（万华）	0.6	0.6	1	6	6
智锂科技	0.2	0.2	1	3	13
比亚迪	1	1	1	1	2
天津斯特兰	1	1	1	1	1
东阳光	0.5	0.5	0.5	1.5	8.5
龙佰集团	0	0	0	5	35
特瑞电池	0	0	0	4	10
厦钨新能	0	0	0	2	10
宝丰集团	0	0	0	0	25
邦盛新能	0	0	0	0	50
中核钛白	0	0	0	0	50
贵州磷化	0	0	0	0	10

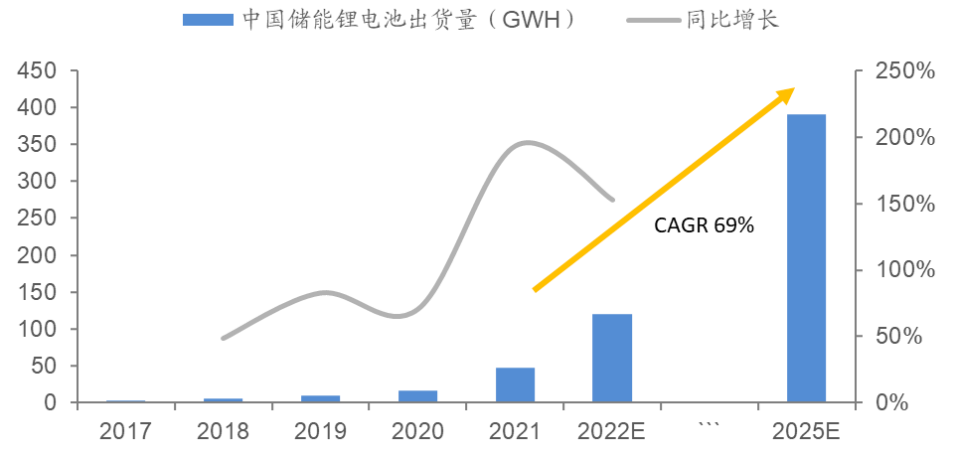
敬请参阅最后一页特别声明

胜威福全	0	0	0	0	10
福华通达	0	0	0	0	10
长远锂科	0	0	0	0	6
川金诺	0	0	0	0	10
洋丰楚元	0	0	0	0	5
当升科技	0	0	0	0	60
东方盛虹	0	0	0	0	30
金川集团	0	0	0	0	20
金浦钛业	0	0	0	0	20
司尔特	0	0	0	0	5
合计	27.5	38.5	66.8	193.6	838.5

来源：各公司公告，公司网站，国金证券研究所

- 锂电储能建设加速，带动磷酸铁锂需求量快速提升。截至 2021 年底，中国已投运电力储能项目累计装机规模 46.1GW，占全球市场总规模的 22%，同比增长 30%。其中，抽水蓄能的累计装机规模最大，为 39.8GW，同比增长 25%，所占比重与去年同期相比再次下降，下降了 3 个百分点；市场增量主要来自新型储能，累计装机规模达到 5729.7MW，同比增长 75%。而从新型储能装机结构来看，锂离子电池装机量占比为 89.7%，而第二位的铅蓄电池仅占 5.9%。
- 安全性和稳定性带动磷酸铁锂的储能应用快速释放，未来还有进一步提升的空间。国家能源局在 22 年 6 月发布的《防止电力生产事故的二十五项重点要求(2022 年版)(征求意见稿)》中明确指出：中大型电化学储能电站不得选用三元锂电池、钠硫电池，不宜选用梯次利用动力电池。政策方面对于储能电池安全性的重视使得现阶段磷酸铁锂的性能优势更为突出，推动磷酸铁锂储能电池装机量继续提升。同时伴随磷酸铁锂新增产能的快速释放，产品的价格有一定程度的缓和，性价比仍有改善空间。
- **2025 年国内储能领域磷酸铁锂需求量有望接近 90 万吨。**由于磷酸铁锂电池在安全性、循环性能以及性价比方面的显著优势，国内在储能领域使用的锂离子电池绝大部分都采用磷酸铁锂正极。根据高工锂电数据，2022 年上半年中国储能电池出货量达到 44.5GWh，已经接近 2021 年全年的水平，而预计 2025 年储能电池出货量将达到 390GWh，对应的磷酸铁锂出货量有望达到 90 万吨。

图表 24：中国储能锂电池出货量（GWH）



来源：GGII，国金证券研究所

敬请参阅最后一页特别声明

图表 25：磷酸（猛）铁锂相关企业布局

相关公司	股票代码	主营业务	现有产能（万吨）	远期规划产能（万吨）	产业链布局
德方纳米	300769.SZ	正极材料	41	78.5	部分配套磷酸铁前驱体产能
龙蟠科技	603906.SH	车用环保精细化学品和磷酸铁锂正极材料	21	50	参股公司计划布局磷酸铁前驱体、参股锂加工环节
万润新能	688275.SH	磷酸铁锂正极材料及前驱体、锰酸锂正极材料等锂电池正极材料	5	15	自有磷酸铁产能配套，和龙佰集团成立合资公司建设磷酸铁
国轩高科	002074.SZ	动力锂电池、储能电池和输配电设备	10	25	和川恒集团合作布局上游磷源、磷酸铁、净化磷酸、磷酸盐项目
安达科技	830809.NQ	磷酸铁、磷酸铁锂的研发、生产和销售	7.8	30	拥有上游磷酸铁产能配套
中核钛白	002145.SZ	钛白粉	0	50	钛白粉副产品硫酸亚铁可以用来生产磷酸铁锂
龙佰集团	002601.SZ	钛白粉、海绵钛、锆制品等	5	35	钛白粉副产品硫酸亚铁可以用来生产磷酸铁锂
富临精工	300432.SZ	锂电池正极材料、发动机零部件	20.2	50.2	-
丰元股份	002805.SZ	锂电池正极材料为主，草酸业务为辅	7.5	30	部分布局前驱体磷酸铁产能
东阳光	600673.SH	电子新材料、合金材料、化工产品三大板块	1.5	8.5	磷酸铁部分配套
厦钨新能	688778.SH	锂离子电池正极材料的研发、生产和销售	2	10	-
长远锂科	688779.SH	三元正极材料及前驱体、钴酸锂正极材料、球镍等	0	6	-
川金诺	300505.SZ	饲料级与肥料级磷酸盐	0	10	拥有磷化工及磷酸铁配套
新洋丰	000902.SZ	磷肥及复合肥	0	5	磷化工一体化布局
当升科技	300073.SZ	锂离子电池正极材料	0	60	贵州、四川基地一体化磷化工配套
东方盛虹	000301.SZ	炼油、石化、新能源新材料、民用涤纶长丝等业务	0	30	规划进行磷化工一体化配套
金浦钛业	000545.SZ	钛白粉	0	20	钛白粉企业，副产硫酸亚铁，具有铁资源
司尔特	002538.SZ	磷矿、各类磷复肥、复合肥等	0	5	磷化工一体化配套

来源：公司公告，国金证券研究所

三、钠离子电池：技术仍在持续进步，有望获得进一步发展空间

3.1、钠离子电池初获起步，具有低 BOM 成本和高安全性优势

- **钠离子电池行之有年，目前已处产业爆发前期。**研究最早开始于上世纪八十年代前后，几乎与锂离子电池同步开展。早期被设计开发出来的电极材料如 MoS_2、TiS_2 以及 Na_xMO_2 电化学性能并不理想，发展非常缓慢。直到 2010 年之后，根据钠电池特点所研发出的一系列材料如作为负极的硬碳材料、金属氧化物及合金类化合物，作为正极的聚阴离子类、普鲁士蓝类和氧化物类材料问世帮助其在容量和循环寿命方面大幅提升。2021 年 7 月，宁德时代推出第一代钠离子电池，采用普鲁士白/硬碳体系，单体能量密度高达 160Wh/kg，常温下充电 15 分钟，电量可达 80%以上，即使在-20°C 低温环境中，也拥有 90%以上的放电保持率，热稳定性远超国家安全要求，宁德时代预计 2023 年钠离子电池将形成产业化。

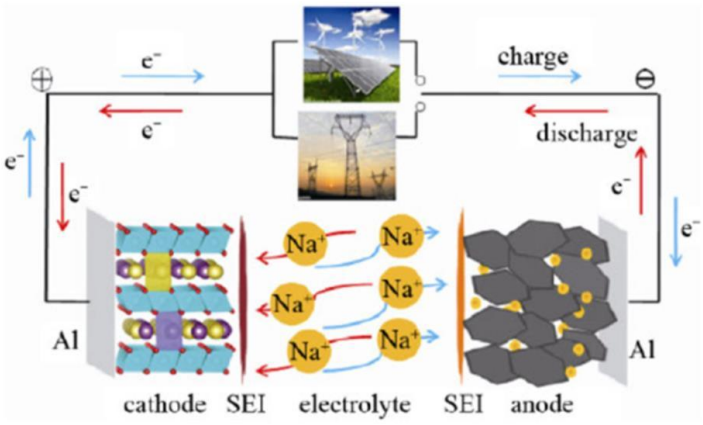
敬请参阅最后一页特别声明

图表 26：钠离子电池发展历史

来源：中国储能网，国金证券研究所

- 钠离子电池工作原理与锂电相同。钠离子电池采用“摇椅式充放电”原理，即利用钠离子（Na^+）在正负极材料之间的可逆脱嵌实现充放电。充电时，Na^+在电势差的驱动下从正极脱出，经过电解质传输嵌入负极，实现电量储存，放电过程正好相反。但是由于钠离子质量较重且半径（0.102nm）比锂（0.069nm）大，其在电极中脱嵌较为缓慢；同时，Na^+/Na 电对的标准电极电位（-2.71VvsSHE）比 Li^+/Li 高约 0.3V（-3.04VvsSHE），因此相较于锂电池，钠离子电池在能量密度上具有本征劣势。

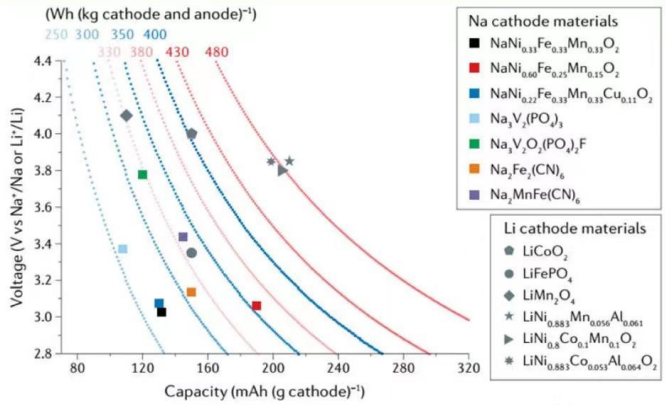
图表 27：钠离子电池工作原理



来源：CNKI，国金证券研究所

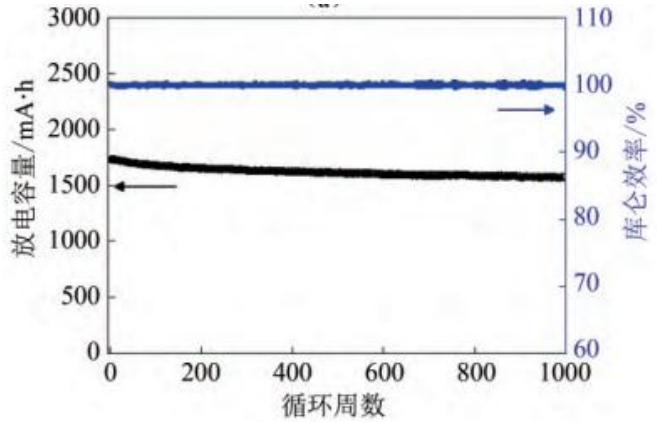
- **能量密度对标磷酸铁锂，倍率性能与循环特性优异。**虽然材料层面存在本征劣势，但采用硬碳为负极材料，钠电池能量密度可以达到磷酸铁锂体系的 80%左右。同时已有研究证实，在 3C/3C、100%DOD 循环 1000 次后容量保持率 91%，循环性能优异；5C/5C 倍率容量是 1C/1C 倍率的 90%，倍率性能优异。

图表 28：硬碳负极钠电池能量密度与锂电池对比



来源：Fundamentals，国金证券研究所

图表 29：钠电池循环周数测算

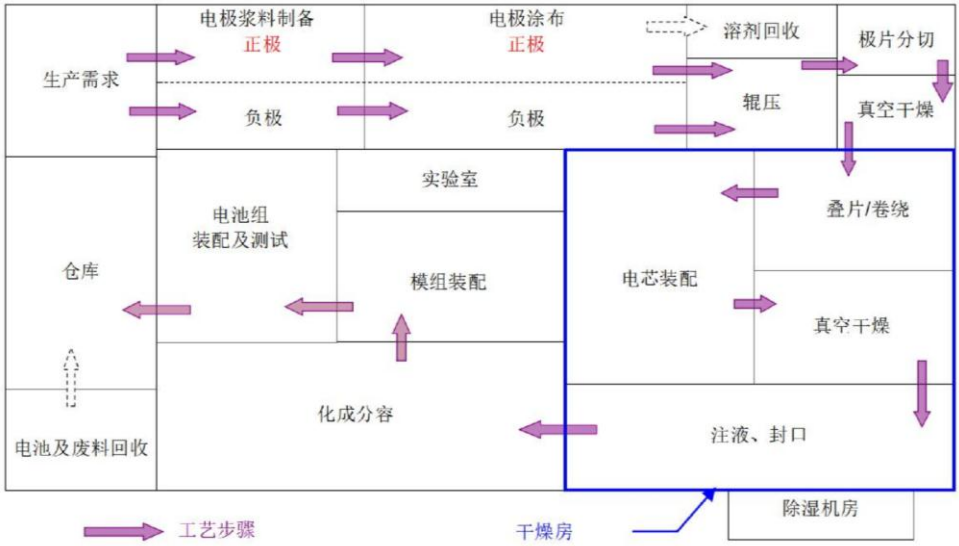


来源：CNKI，国金证券研究所

敬请参阅最后一页特别声明

- 电池结构大同小异，产业化进度可借“东风”。钠离子电池正极中层状金属氧化物与聚阴离子化合物结构分别类似于锂电池中三元锂与磷酸铁锂；电解液溶剂几乎没有变化，溶质将由锂盐替换为钠盐；集流体由于铝钠之间不会发生合金化反应，不同于锂电池正极铝箔负极铜箔的双边结构，钠离子电池可双边集流体都采用较廉价的铝箔；隔膜存在通用性。不同点在于负极材料方面，目前锂电池石墨电极由于钠离子的原子半径问题无法高效率脱嵌，现主要研究方向为无定形碳类、合金类、金属氧化物类负极材料。由于大部分材料工艺类似，设备存在高度兼容性，产线存在通用，我们认为锂电池材料生产经验可以较好迁移借鉴，产业化爬坡周期较短。

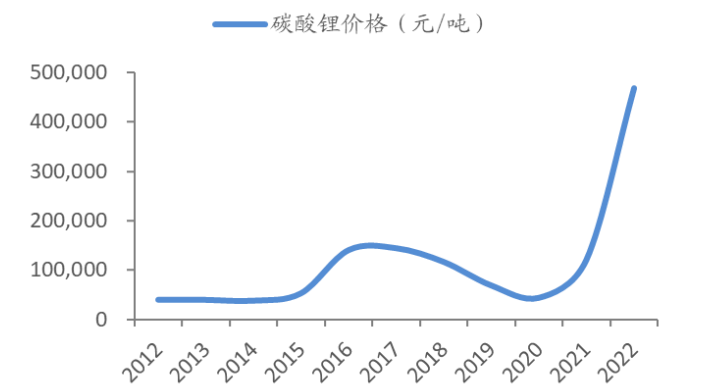
图表 30：钠离子电池生产线设计



来源：CNKI，国金证券研究所

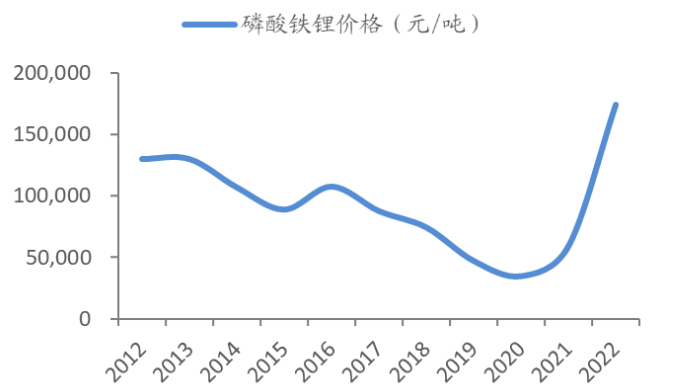
- 电池行业高景气度下锂价再创新高。我国虽然锂矿资源丰富但是大体品味较低，开采难度较大，锂资源自给有限，约 90%的需求都需要依赖于进口。在下游锂电行业高景气背景下，碳酸锂价格涨势凶猛，2022 年 2 月价格冲上 46 万元/吨后全年维持高位运行，11 月价格再次突破 50 万元/吨，最高报价 56.35 万元/吨，成本拉动下，磷酸铁锂价格跟涨，目前报价 17.4 万元/吨，创十年价格新高。

图表 31：碳酸锂价格走势



来源：IFind，国金证券研究所

图表 32：磷酸铁锂价格走势



来源：IFind，国金证券研究所

- **高锂价放大钠离子电池性价比。**钠元素地壳丰度（2.64%）远大于锂元素地壳丰度（0.006%），原材料碳酸钠资源丰富、价格低廉稳定，10 年来价格保持在 1000-4000 元/吨。由于钠电池正负极集流体都可以使用铝箔，正极材料多选用铁、锰、铜等元素，几乎摆脱对于丰度较低、价格昂贵的镍、钴元素的依赖从而进一步压缩原料成本，综合来看钠离子电池相较锂离子

敬请参阅最后一页特别声明

电池成本可降低 30%-40%。根据中科海钠官网数据，若按照 15 万元/吨的碳酸锂价格以及 2000 元/吨的碳酸钠价格，钠离子电池 BOM 成本约为 0.29 元/Wh，磷酸铁锂电池材料成本约为 0.43 元/Wh，铅酸电池成本约为 0.40 元/Wh。在目前锂价高位震荡环境下，钠离子电池性价优势突出。

图表 33：钠电池与锂电池成本对比

来源：中科海钠官网，国金证券研究所

- **安全性好，解决锂电软肋。**钠离子电池的安全性相比锂电池更为优异，主要由于钠离子电池内阻比锂离子电池更高，当电池短路时，放热功率低，瞬间发热少，温升低。在挤压测试过程中，可以看到电芯受挤压严重变形，挤压过程中不冒烟、不起火、不爆炸；同时针刺实验后也无自燃现象。此外，由于钠离子电池将集流体从铜箔换成铝箔，正极可以放电至 0V 而不会出现锂电池过放电后出现的系列副作用。

图表 34：挤压及针刺试验后的电芯状态

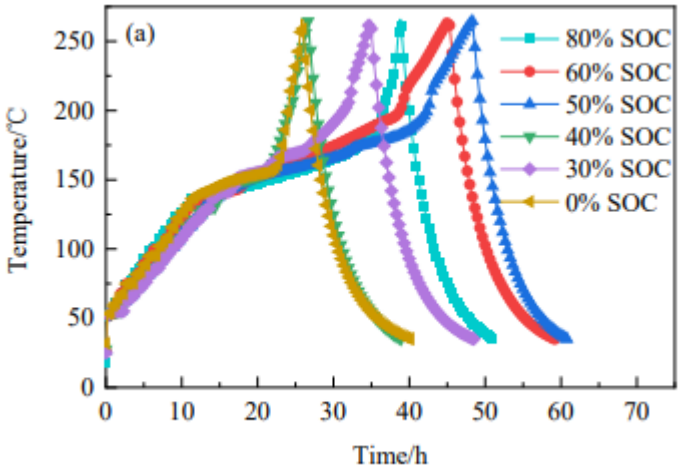
(a) During crush test　(b) After crush test　(c) During acupuncture test　(d) After acupuncture test

来源：CNKI，国金证券研究所

- 宽工作温区，拓展极寒/高温使用场景。由于钠离子比锂离子更容易脱溶剂化，界面反应动力学更优秀，因此钠离子电池所用电解液体系温度窗口更宽，赋予其低温活性，适用温度拓宽至-40~80° C，在-20° C 下容量保持率大于 88%，远高于锂电池，更贴合冬季及高寒地区使用场景；同时由于其自放热温度较高，热稳定性也显著优于锂电池，可适用于高温使用环境。目前已有学者开发了工作温度范围从-70 至 100° C 的钠离子电池。

敬请参阅最后一页特别声明

图表 35：钠离子电池热失控曲线



来源：CNKI，国金证券研究所

- 综合来看，钠离子电池虽然在能量密度等方面与磷酸铁锂电池还有一定的差距，但在高低温性能、安全性、成本等方面具备显著优势。而相比于铅酸电池，同等容量的钠离子电池体积更小、重量更轻、更为环境友好，比能量高出 2 倍以上，且循环寿命更长，未来首先有可能取代铅酸电池并逐步实现低速电动车、储能甚至车用电池等领域的无铅化。

图表 36：三种二次电池比较

指标	铅酸电池	锂离子电池（磷酸铁锂/石墨体系）	钠离子电池（铜基氧化物/煤基碳体系）
质量能量密度	30~50W·h/kg	120~180W·h/kg	100~150W·h/kg
体积能量密度	60~100W·h/L	200~350W·h/L	180~280W·h/L
单位能量原料成本	0.40 元/W·h	0.43 元/W·h	0.29 元/(W·h)
循环寿命	300~500 次	3000 次以上	2000 次以上
平均工作电压	2.0V	3.2V	3.2V
-20℃容量保持率	小于 60%	小于 70%	88%以上
耐过放电	差	差	可放电至 0V
安全性	优	优	优
环保特性	差	优	优

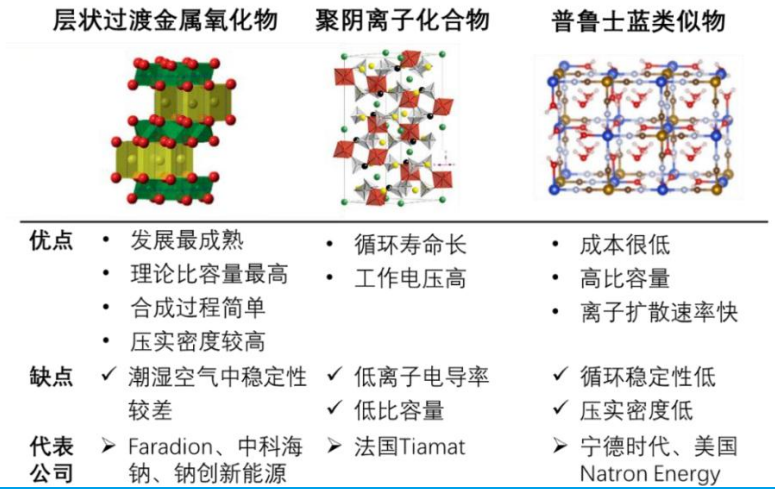
来源：CNKI，国金证券研究所

3.2、三种正极路径各有千秋，无定型碳负极脱颖而出

- 目前常用的钠离子正极材料主要为层状过渡金属氧化物、聚阴离子化合物和普鲁士蓝类似物三类，其中层状金属物类似于锂电池中三元锂结构，聚阴离子化合物似于磷酸铁锂结构，而普鲁士蓝则为钠电池独有路线。

敬请参阅最后一页特别声明

图表 37：三类钠离子电池正极材料性能优劣对比



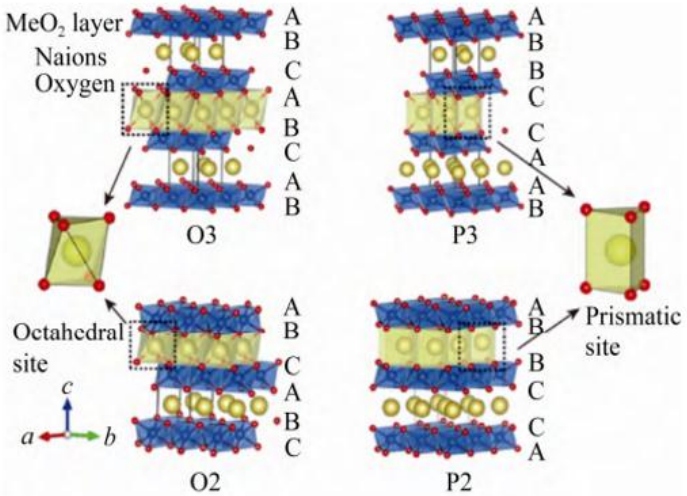
来源：Web of Science，国金证券研究所

3.2.1、层状金属氧化物：比容量与技术成熟度高，有望率先产业化

- 层状氧化物 Na_xTMO_2（TM 为 Ni、Mn、Fe、Co、Cu 等 3d 过渡金属的一种或几种）是由共边的八面体形成的过渡金属层状结构和位于过渡金属层间的碱金属离子组成的，其理论容量达到 240mA · h/g。由于钠离子在层状材料中迁移的扩散势垒比锂离子低，因此层状化合物作为储钠材料非常有优势。

- **P_2 型氧化物循环特性好，O_3 型氧化物能量密度高，二者性能互补。**根据钠离子的配位环境和氧的堆积方式，可以把层状氧化物分为以下几类：O_3、P_3、P_2、O_2 等，其中 O 和 P 对应着钠离子在碱金属层的配位环境(O 代表八面体，P 代表三棱柱)，数字代表氧原子堆积形成的周期序列最小层数。目前研究表明，O_3 型具有更高的钠含量，因此可以表现出更高的初始容量，但是钠离子在 O_3 型结构迁移时，要经历一个狭小的四面体中心位置，所以其扩散能垒较大；而 P_2 型结构中钠离子经历的是一个相对宽阔的平面四边形中心的位置，能垒较低，电导率高，呈现循环特性较好。

图表 38：O3、P3、O2、P2 型层状氧化物正极的晶体结构示意图



来源：CNKI，国金证券研究所

- 得益于锂离子电池体系中过渡金属氧化物的工艺积累，目前已有多种类似钠电池正极材料研发成功。过度金属主要采用 Co、Ni、Fe、Mn 和 V 等，其中 Fe，Mn 由于廉价易得、毒性较小以及电化学活性较高等优点，路线更具竞争力。

敬请参阅最后一页特别声明

图表 39：典型层状氧化物电化学性能

材料类别	材料	工作电压区间（V）	首圈放电比容量（mA·h/g）	循环性能
典型 P_2 材料电化学性能	$Na_{1/2}VO_2$	1.5 至 3.6	82（0.1C）	70%（第 30 圈）
	$Na_{1/2}CoO_2$	2 至 3.8	116（0.1C）	90%（第 20 圈）
	$Na_{2/3}MnO_2$	1.4 至 4.3	190（0.1C）	95%（第 5 圈）
	$Na_{1/2}CrO_2$	2 至 2.6	112（0.1C）	80%（第 10 圈）
典型 O_3 材料电化学性能	$NaNiO_2$	1.25 至 3.75	125（0.1C）	85%（第 5 圈）
	$NaTiO_2$	0.6 至 1.6	152（0.1C）	98%（第 60 圈）
	$NaFeO_2$	1.5 至 3.6	82（0.1C）	75%（第 30 圈）
	$NaCoO_2$	2 至 3.8	116（0.1C）	80%（第 10 圈）
	$NaMnO_2$	2 至 3.8	187（0.1C）	70%（第 20 圈）
	$NaCrO_2$	2 至 2.6	112（0.1C）	90%（第 300 圈）

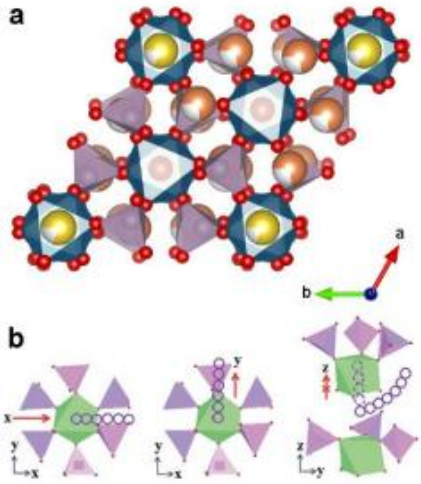
来源：CNKI，国金证券研究所

- 与三元锂电材料相比，大体积的 Na^+在层状结构中的脱嵌过程往往会对材料造成不可逆的结构变化，形成非活性相，从而影响材料循环性能。在目前的研究中，主要通过掺杂其他金属离子、结合不同相型材料自身的结构优势和性能特点、包覆导电材料促进钠离子的扩散来改善正极材料的电化学性能。

3.2.2、聚阴离子化合物：循环性能突出，能量密度与成本存在制约

- 聚阴离子化合物 $Na_xMe_y[(X_nO_m)]Z_w$，其中 Me 为可变价金属离子，X 为 P、V、S 等元素，Z 为 F、OH 等）是一系列含有四面体或者八面体阴离子结构单元的化合物的总称。阴离子结构单元通过强共价键连成的三维网络结构以形成更高配位的由其他金属离子占据的空隙，使得聚阴离子化合物相比于金属氧化物拥有更稳固框架结构，可以获得高循环性与热力学稳定性，其理论循环寿命可达到 10000 次以上。目前常见的聚阴离子化合物包括磷酸盐、焦磷酸盐、Nasicon 结构化合物和氟磷酸盐。

图表 40：聚阴离子化合物结构示意图



来源：CNKI，国金证券研究所

- **庞大的阴离子基团使得材料导电性较差，全电池能量密度不尽理想。**导电性较差导致了低的库伦效率，虽然可以通过表面碳包覆、纳米化以及独特结构设计来提高其电化学性能，但需要进行大量碳包覆拉低了其振实密度，导致全电池能量密度表现不尽如意。

敬请参阅最后一页特别声明

图表 41：典型聚阴离子正极电化学性能

材料类型	材料	工作电压区间（V）	首圈放电比容量（mA·h/g）	循环性能
典型聚阴离子材料电化学性能	$Na_3V_2(PO_4)_3$	2.3~3.9	120(0.1C)	90%（第 100 圈）
	$Na_2FeP_2O_7$	3~4.5	83(0.1C)	73.5%（第 20 圈）
	$NaVOPO_4$	1.5~4.3	50(0.1C)	90%（第 100 圈）
	$NaMnPO_4$	2.4~4.5	124(0.1C)	65%（第 20 圈）
改性聚阴离子材料电化学性能	Na_2FePO_4F	2~4.5	135（0.1C）	90%（第 50 圈）
	$NaV(PO_4)F$	3~4.5	110（0.25C）	90%（第 100 圈）
	$Na_3V_2(PO_4)_2F_3$	2.5~4.5	127（0.045C）	95%（第 50 圈）
	$Na_4Fe_3(PO_4)_2P_2O_7$	2~4.5	110（0.1C）	90%（第 20 圈）
	$Na_7V_4(P_2O_7)_4(PO_4)$	2.5~4.5	90（0.1C）	85%（第 30 圈）

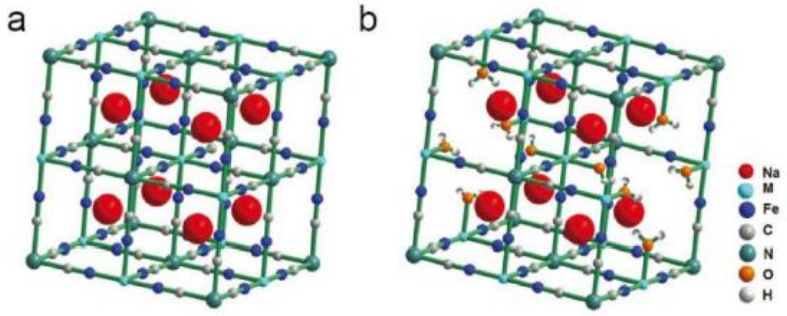
来源：CNKI，国金证券研究所

- **钒元素改性可显著提升电化学性能，但会丧失成本优势。**在现有的聚阴离子化合物材料中，通过添加 V 元素以获得较高电化学性能是极具有潜力的一类材料，如 $Na_3V_2(PO_4)_3$ 表现出了出较高的比容量和循环特性，但是钒元素的添加存在成本和安全性双重制约，使其不得不丧失部分竞争优势。

3.2.3、普鲁士蓝/白：理论性能优秀，成本极具竞争力。

- 普鲁士蓝类似物具有独特的开放三维空间结构有利于 Na^+储存、迁移，同时具备工作电势高、制备温度低、长循环寿命和高倍率性能，且原料成本远低于其他两条路线。

图表 42：普鲁士蓝结构图



来源：CNKI，国金证券研究所

- 已有多家电池厂押注普鲁士蓝/白路线。2021 年 7 月，宁德时代推出第一代钠离子电池，采用普鲁士白/硬碳体系，单体能量密度高达 160Wh/kg，常温下充电 15 分钟，电量可达 80%以上，即使在-20° C 低温环境中，也拥有 90%以上的放电保持率，热稳定性远超国家安全性要求。宁德时代预计 2023 年将形成产业化，同时表示下一代电池能量密度目标可达 200Wh/kg 以上。

图表 43：钠电池行业布局情况

公司	材料体系	电池性能	产业布局
上市公司普鲁士蓝/白路线钠离子电池布局			
宁德时代	正极：普鲁士白 负极：硬碳	电池密度：160Wh/kg 循环：3000 工作温度：-20℃环境下可保持 90%放 电率倍率性能：快充 15 分钟达 80%以	预计 2023 年产业化

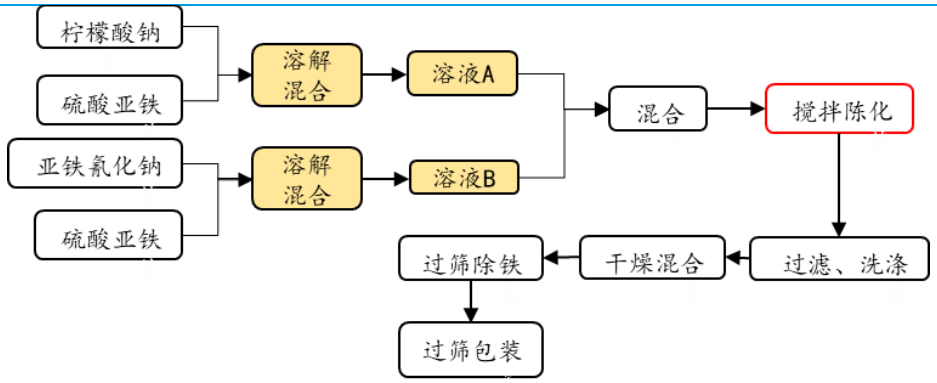
敬请参阅最后一页特别声明

		上	
非上市公司普鲁士蓝/白路线钠离子电池布局			
立方新能源	正极：层状氧化物/普鲁士蓝类似物 负极：硬碳	能量密度：140wh/kg 循环寿命：>2000 次 低温性能：-20℃下容量保持率>88%	1、22 年 4 月开始层状氧化物钠电产品中试吨级生产，6 月层状氧化物 22Ah 电池批量生产 2、第一代产品首先应用于储能、两轮、大巴和 A 级车以下价格敏感的车型 3、制备 5Ah 软包层状氧化物钠离子电池，能量密度 130wh/kg。动力储能业务对应子公司湖南钠方新能源于 11 月成立，预计 22 年实现收入 2.5 亿（2021）
超钠新能源	正极：普鲁士蓝类似物/层状氧化物 负极：硬碳	能量密度：130wh/kg（1C）	1、已建成 50 吨级普鲁士蓝/层状氧化物正极材料生产线、钠离子电芯实验线 2、2023 年实现正极材料及 GWh 级电芯规模性量。
浙江星空钠电	正极：铁基普鲁士蓝 负极：硬碳	循环性能：循环 1000 次后容量保持率达 94.6%	1、2019 年钠离子电池进入量产 2、已经获得国网辽宁综合能源的百亿订单（2019）

来源：各公司公告，国金证券研究所

- **结晶水问题掣肘行业产业化，改进合成工艺是目前研究热点。**以传统的快速沉淀工艺制备的普鲁士蓝类化合物，晶体骨架中会存在大量由配位水（约 15%）占据的 $Fe(CN)_6$ 空位，影响材料的首周效率和容量，同时 $Fe(CN)_6$ 空位缺陷还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。通过改进合成工艺可以有效降低配位水和空位浓度，是目前针对普鲁士蓝类化合物改性研究的热点之一。

图表 44：普鲁士蓝材料制备工艺



来源：Advanced Energy Materials，国金证券研究所

3.2.4、无定型碳负极脱颖而出

- 目前锂电池主要使用石墨作为电池负极材料，但用于钠离子电池时由于钠离子的离子半径较锂离子而言更大，储钠性能较差并且在石墨层之间脱嵌困难。目前钠离子电池负极材料主要有无定形碳类、合金类、金属氧化物等。

敬请参阅最后一页特别声明

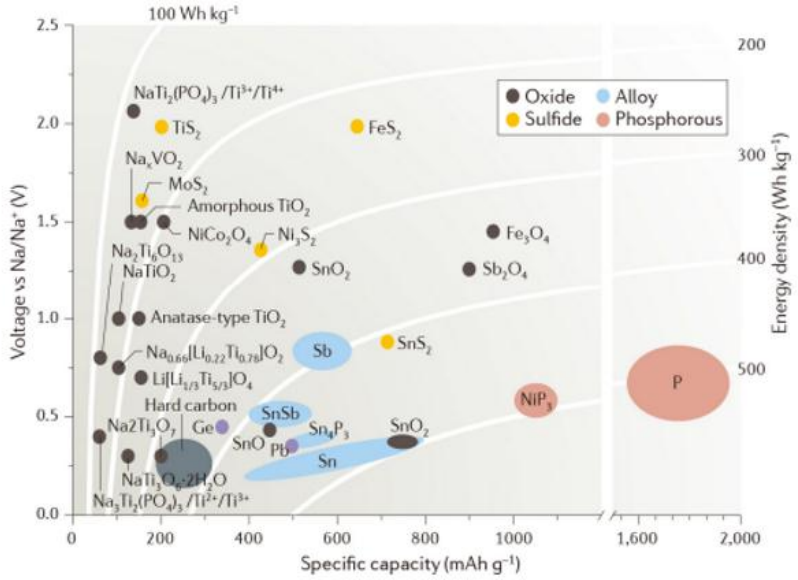
图表 45：钠电池材料负极对比

负极类型	材料特性
合金类	具有最高的比容量，但是在电化学过程中由于巨大的体积形变导致其容量衰减较快，限制了其在实际电池中的应用，所以短期内合金类负极材料很难实现应用，未来可以考虑将其添加到碳基负极材料中来提高负极材料的容量。
氧化物负极	有较好的循环稳定性，但是由于储钠电位较高，并且容量相对较低，限制了全电池的能量密度，但是由于其倍率性能和循环性能相对较好，有望用在对功率密度和循环寿命要求较高的领域，如电网调频等。
有机材料	电子电导差，并且能溶于有机的电解液中，短期应用受到很大限制。
碳基负极材料	具有相对较高的储钠容量，循环稳定性较好和成本较低等一系列优点被认为是最有希望实现商业化应用的负极材料。

来源：CNKI，国金证券研究所

- 无定型碳路径性能脱颖而出。几种负极材料中合金类容量较高但循环性能和倍率性能不佳，氧化物全电池的能量密度较低，无定形碳由于高可逆容量和循环性能出众，是目前最有希望实现商业化的负极路线。

图表 46：钠离子电池负极材料工作电压与容量对比



来源：CNKI，国金证券研究所

- **相较于软碳，硬碳更适宜用作钠离子电池负极材料。**硬碳是指不可以石墨化的碳材料，其结构由类石墨微晶和类石墨烯片层高度无取向堆叠而成；软碳是有序度较高，并且在 2800° C以上可以完全石墨化的碳材料。由于硬碳的无序结构使得其拥有更多的缺陷、空位，即更多的储钠活性位点，更利于钠离子的存储与脱嵌，且能在钠离子脱嵌过程中保持良好的稳定性，更适宜用作钠离子电池负极材料。目前硬碳最高比容量可达 300mAh/g，但成本高昂；软碳材料比容量低，但可以无烟煤作为前驱体，具有性价比优势。目前研究热点在使用生物材料制备出具有良好电化学性能的硬碳负极，例如柚子皮、树叶、蒲公英、荷叶、棉花等，未来产业化落地，降本可期。

四、铅蓄电池：具有特定的发展市场，铅碳替换带来新机遇

4.1、铅蓄电池性价仍在优化，产量仍在稳步增长

敬请参阅最后一页特别声明

- **铅蓄电池性价仍在优化，在储能领域中的渗透率有一定的提升空间。**目前从全球新型储能市场装机结构来看，锂电池占比极高，2021 年占比高达 90.9%，而铅蓄电池占比仅为 2.2%。虽然铅酸电池是历史最久和最成熟的储能技术，但是其在容量密度、功率密度、循环寿命和充放电效率方面均不及锂电池，并且由于过去环保方面处理较差所以逐渐被锂电池所替换，目前主要用于较为追求性价比的产品方面，从储能方面的成本来看，铅酸电池的性价比优势极为突出，在当前环保处理逐渐优化的同时，铅酸电池回收率已经超过了锂电池，后续有望依托性价比优势维持市场份额。

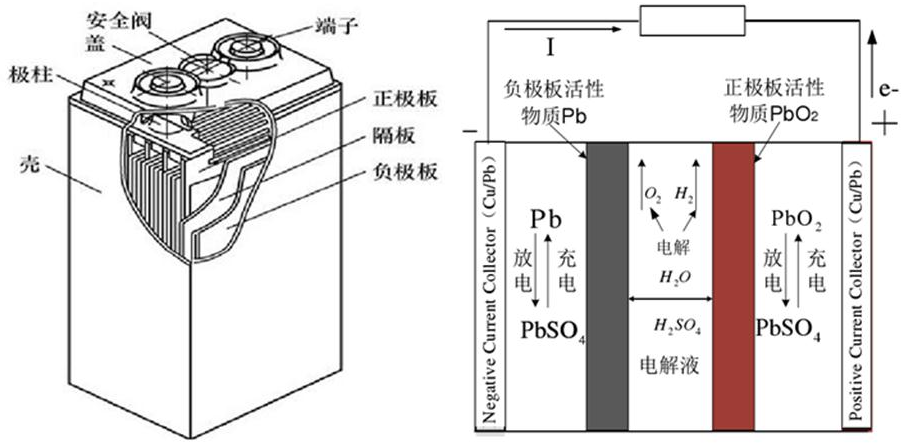
图表 47：各类储能产品性能对比

储能种类	铅酸电池	铁锂电池	钠硫电池	钒电池
容量密度（Wh/kg）	37-52	148-210	148-310	85-120
功率密度（Wh/kg）	80-310	220-325	80-250	55-150
循环寿命（次）	510-1600	＞2500	＞4800	12000
充放电效率	82%	96%	91%	78%
环保性	差	好	较好	较好
安全性	较好	较好	一般	较好
功率单价（元/kW）	400	600	420	1085
容量单价（元/kW）	600	1600	1400	3720
维护单价（元/kW）	0.05	124	110	124

来源：《储能在新能源及用户侧削峰填谷的经济性评估研究》国金证券研究所

- 铅酸电池产品结构较为成熟，效率方面仍有待通过改变材料实现优化。《铅碳电池碳纳米导电剂的制备及性能研究》中对该电池做了详细的研究：铅酸电池属于典型的二次电源，采用一种电解质溶液且正负极电极间的电化学反应可逆。从电池结构来看，铅酸电池包括正负极板、电解液、隔离板、电池槽和其他相关零部件等，正负极板都是由板栅和涂覆的活性物质组成，正极为红棕色二氧化铅、负极则是海绵状灰色铅，隔离板一般采用多孔结构的玻璃纤维，电解液采用稀硫酸。铅酸电池在充放电的过程中正负极材料在反应中会产生不良导电体硫酸铅，其扩散到活性物质深处后会堵塞微孔，然后阻碍电解液和微孔内部的活性物质进行电化学反应，最终导致电池的实际容量下降。

图表 48：铅酸电池单体结构和内部化学反应



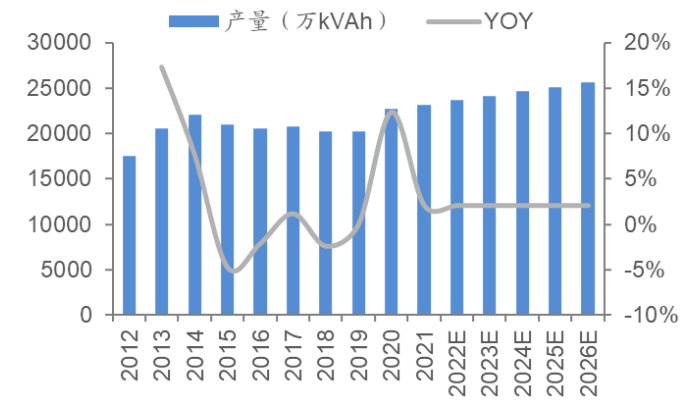
来源：《铅碳电池碳纳米导电剂的制备及性能研究》、国金证券研究所

- 铅蓄电池产量稳步增长，但在储能领域中应用仍然较少。从历史数据来看，我国铅酸蓄电池产量一直较为稳定，从 2013 年开始维持在 2 亿千伏安时以上，2021 年产量约为 2.3 亿千伏安时，考虑到铅蓄电池与锂离子电池同时在二次电池中占据著主导地位，叠加企业生产方面也较稳，预计后续产

敬请参阅最后一页特别声明

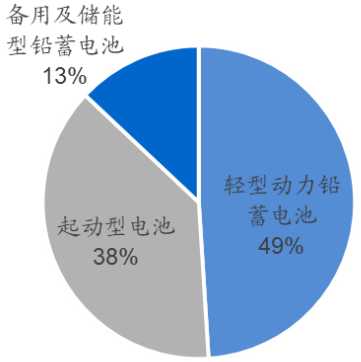
量跟随需求端维持 2%左右的复合增速继续增长，在 2025 年时有望增长至 2.5 亿千伏安时。从下游应用结构来看，目前最大下游仍为轻型动力领域，占比达到 49%，起动型电池占比为 38%，而备用及储能型占比仅为 13%。后续随着储能行业的持续快速发展，该板块的应用占比有望继续提升。

图表 49：我国铅酸蓄电池产量稳步增长



来源：工信部、前瞻产业研究院、国金证券研究所

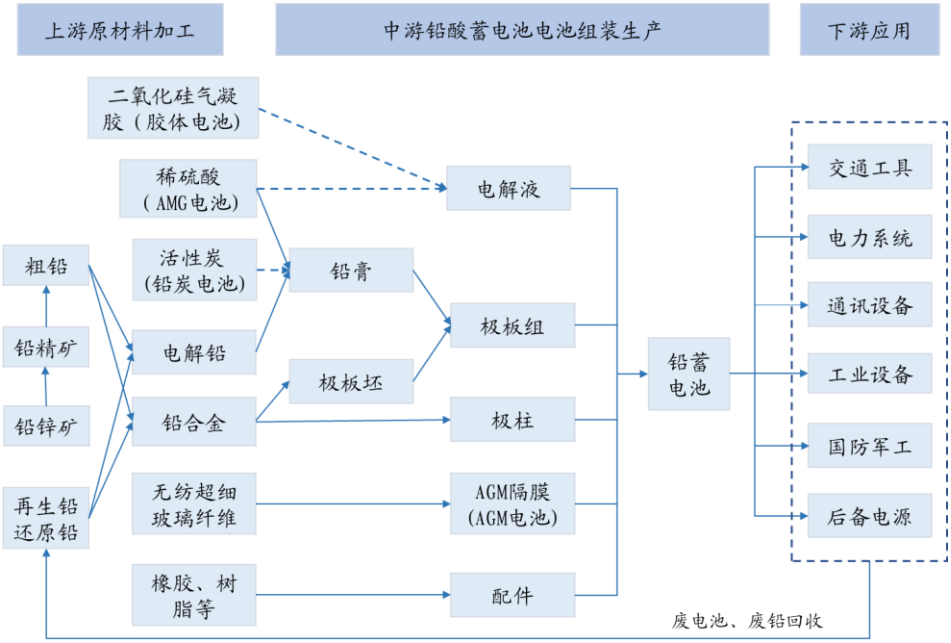
图表 50：我国铅酸蓄电池下游应用情况



来源：华经产业研究院、国金证券研究所

■ **终端消费覆盖领域广泛，上游产业链基础良好。**从终端应用场景来看，铅蓄电池可用于交通工具、电力系统、通讯设备、工业设备、国防军工和后备电源等，随着产品性能的进一步优化，应用场景有望继续拓宽。从铅蓄电池成本结构来看，核心原料铅的成本占比为 40%，考虑到铅是基本金属中回收率最高的品种之一，并且国内产量供应也相对充足，原料端不至于受制于人，为产业链的长远发展提供了较好基础，复盘历史价格也可以发现铅价基本在 1.5 万/吨左右波动，因而铅蓄电池的生产成本也相对可控。

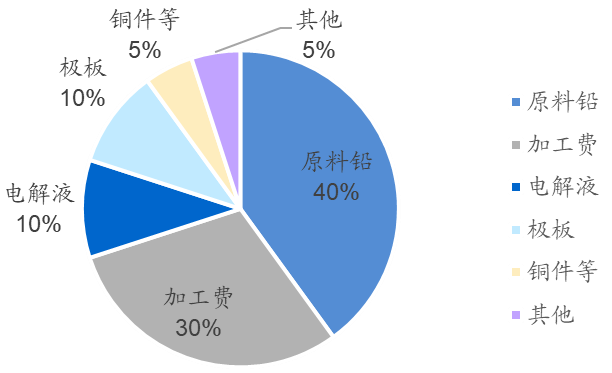
图表 51：铅蓄电池产业链



来源：华经产业研究院、国金证券研究所

敬请参阅最后一页特别声明

图表 52：铅酸蓄电池成本结构



来源：华经产业研究院、国金证券研究所

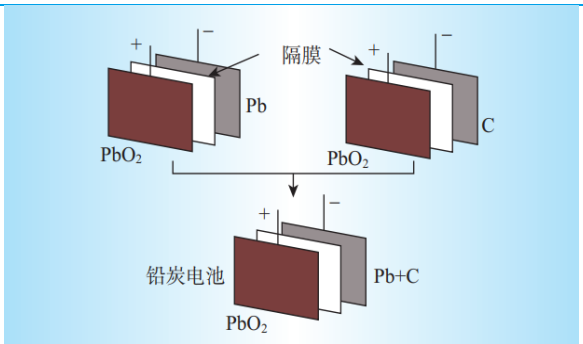
图表 53：长江有色市场平均铅价（元/吨）

来源：WIND、国金证券研究所

4.2、铅碳替换，材料改变后性能显著优化

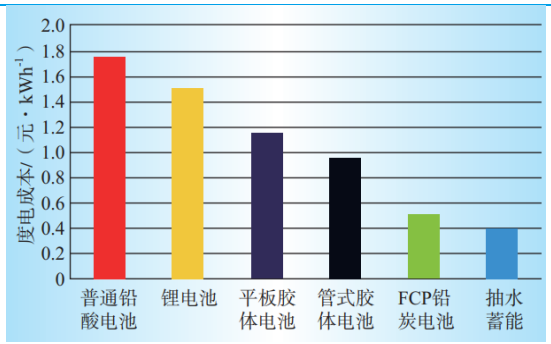
- **铅炭电池性能优化明显，有望成为铅蓄电池发展新方向。**大规模储能对电池具有多方面的性能要求，包含经济、安全、循环寿命和可规模化程度等，相比于其他电池，铅酸电池在安全性能，可规模化程度和经济性能方面具有一定的优势，但是循环性能还有待进一步提升。从反应原理来看，在高倍率部分荷电状态下铅酸电池负极存在严重的硫酸盐化现象，这将导致电池循环寿命缩短，严重限制了电池在分布式发电、电动汽车等储能领域的应用和发展。与铅酸电池相比，铅炭电池的比功率、循环性能和倍率性能均有大幅提高，尤其是成本方面仍然显著领先于其他电池储能形式，可以看到其在储能市场拥有巨大的发展潜力。

图表 54：铅炭电池结构原理图



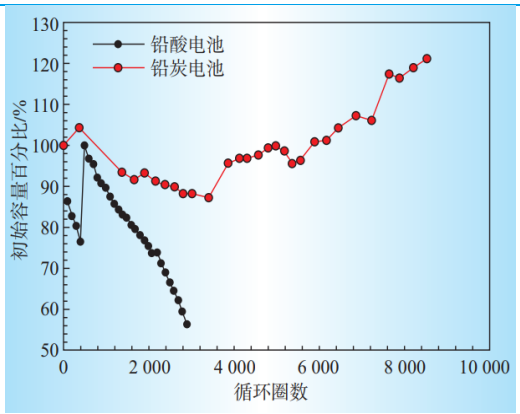
来源：《电力储能领域铅炭电池储能技术进展》、国金证券研究所

图表 55：不同储能技术的度电成本对比



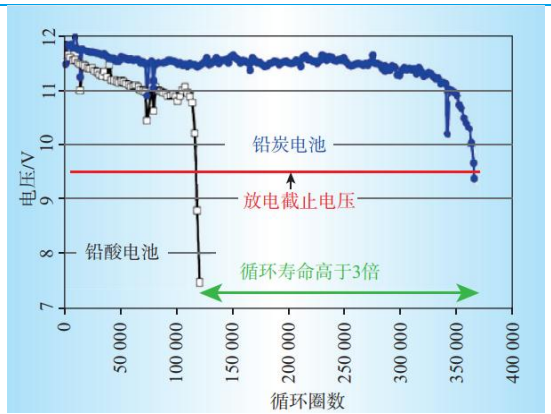
来源：《电力储能领域铅炭电池储能技术进展》、国金证券研究所

图表 56：标准铅酸和铅炭电池的初始容量-循环寿命曲线



来源：《电力储能领域铅炭电池储能技术进展》、国金证券研究所

图表 57：在高倍率部分荷电状态下电池的循环寿命

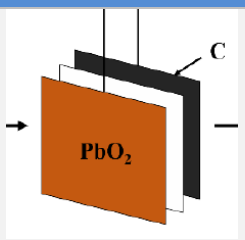
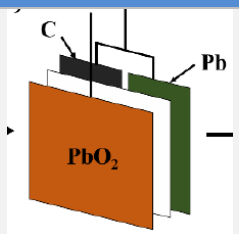
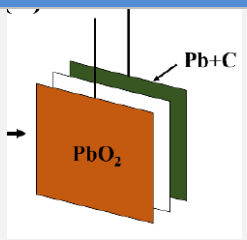


来源：《电力储能领域铅炭电池储能技术进展》、国金证券研究所

敬请参阅最后一页特别声明

- 铅碳电池结构形式较为多样，产品性能持续优化。根据负极板碳材料的混合方式不同，可将铅碳电池分为外并式铅碳电池、内并式铅碳电池、内混式铅碳电池等，共同之处都是在负极中加入碳材料，碳材料在负极中所起的作用主要是建立导电网格、形成双电容层、抑制难溶硫酸铅晶体的形成、增加活性作用位点等，在减少铅用量的同时延长电池寿命，使电池性能得到综合提升。

图表 58：各类铅炭电池内部结构示意图和性能对比

电池名称	外并式铅碳电池	内并式铅碳电池	内混式铅碳电池
图示			
正负极组成	电极电池；正极 PbO_2；负极 Pb；电容负极 C	正极 PbO_2；负极由海绵铅和碳电极并联组成	正极为 PbO_2；负极为碳铅
优点	拥有双电层电容器的高比功率	同时拥有铅酸电池和超级电容器的优点	生产工艺与铅酸电池基本相同,应用广泛

来源：《铅碳电池碳纳米导电剂的制备及性能研究》、《铅碳电池关键材料研究进展》、国金证券研究所

- **负极材料改变带来性能优化，多种碳材料或将迎来机遇。**铅炭电池相对铅酸电池的核心材料变化在于负极材料，主要是通过在其中加入碳材料实现性能的改善，但当前这一类型的电池的发展历史不长，对于最合适的碳材料选择仍有一定的争议。在《铅碳电池关键材料研究进展》一文中对 5 种碳材料进行了对比测试，可以发现多种碳混合的复配材料性能相对更好，但考虑到生产成本应用范围相对有限，其他成本相对较低的炭黑和活性炭的应用会更为广泛一些。

图表 59：碳材料性能对比

碳材料	炭黑	活性炭	膨胀石黑	碳纳米材料(以石墨烯为例)	多种碳混合复配材料
体积电阻率/(Ω · cm)	≤500	≈1	<1	<0.2	以具体复配碳为准
比表面积/(m^2/g)	10~3000	500~1500	50~200	2630(理论值）	以具体复配碳为准
平均粒径/μm	10~80	10~50	10~40	2~16	以具体复配碳为准
优势	有序度，孔隙率，粒度高	有活性位点，形成导电网格	有丰富网络状孔隙结构,膨胀产的生的新鲜表面的活性较高	具有微观的纳米尺寸的孔道，降低内部扩散阻抗，具有特殊的二维结构,电容性好	结合多种碳材料的优点，弥补单一碳材料的不足

来源：《铅碳电池关键材料研究进展》、国金证券研究所

- 铅炭电池正极板栅材料仍待优化，稀土和部分新型金属材料可有效改善性能。虽然通过优化负极材料，铅炭电池实现了性能方面的大幅提高，但因为材料的改变电池失效的主要原因已经由铅酸电池负极硫酸盐化转变成主要由正极板腐蚀而导致电池失效。故正极板的同步优化也是铅碳电池技术发展亟待解决的重要问题。在《铅碳电池关键材料研究进展》一文中对铅碳电池失效的情况做了深入研究，得出结论为正极板失效的主要原因是大电流充放电及深放电循环造成铅碳电池正极铅活性物质的软化脱落及结构破坏，进而加快了正极板栅的腐蚀，并且铅碳电池在工作时会产生失水和热失控的风险。目前的解决方式是通过添加部分稀土元素，其与铅形成的金属化合物能修补晶间撕裂问题，提高了正极板栅合金材料的可加工性、韧性和耐蚀性。

图表 60：铅炭电池失效原因

失效原因	HRPSoC 循环测试	常规循环测试

敬请参阅最后一页特别声明

	铅碳电池	铅酸电池	铅碳电池	铅酸电池
正极板栅腐蚀	12	9	19	15
正极铅膏泥化	21	9	15	10
热失控	2	1	0	0
失水	2	1	4	3
微短路	1	1	0	1
负极盐化	0	19	0	10
原因不明	2	0	2	1

来源：《铅碳电池关键材料研究进展》、国金证券研究所

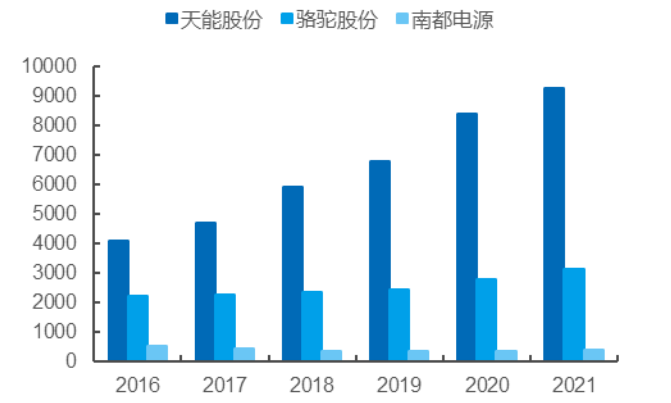
图表 61：铅炭电池正极材料替换试验结果

	铅锑合金	铅钙合金	Pb-Ca-Sn 合金	Pb-Ca-Sn-Al 合金
腐蚀速率/(mg · cm^{-2} · d^{-1})	106.2	56.8	33.23	8.11
含量成分/%	锑低至 2 左右	钙含量仅 0.1 左右	钙 0.08~0.09；锡 1.25~1.30	钙 0.08~0.12；锡 0.4~0.5；铝 0.03~0.04
优势	熔融状态下，流动性好;易成型;硬度大	失水缓慢；少维护或免维护	容量衰减问题得到缓解；良好的浇铸性;机械强度高；耐腐蚀性好	机械强度更高；耐腐蚀性更好

来源：《铅碳电池关键材料研究进展》、国金证券研究所

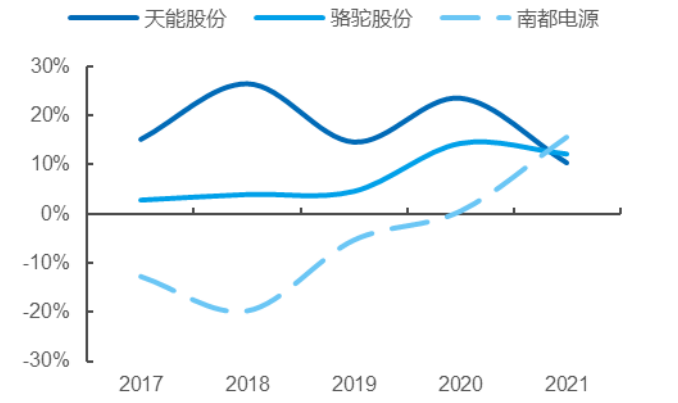
- **头部铅蓄电池企业销售稳步增长，业绩底部回暖。**近几年随着汽车电动化和储能行业的快速发展，电化学动力和储能板块也同步实现了高速发展，但从应用场景来看，铅蓄电池受制于能量密度较低和循环寿命短的问题导致应用范围有限，整体行业增速远低于锂电池，但在格局持续优化下，头部企业业绩较为稳定。天能股份规模最大且销量增速相对稳定，过去维持在 20%左右，头部优势较为显著。

图表 62：可比公司铅蓄电池销量情况（万 kVAh）



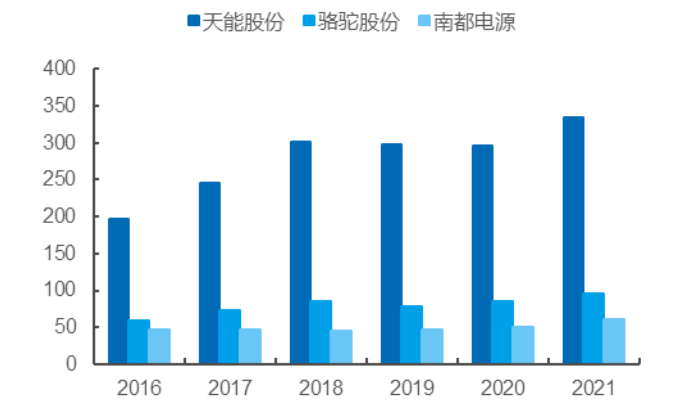
来源：WIND、国金证券研究所

图表 63：可比公司铅蓄电池销量增速



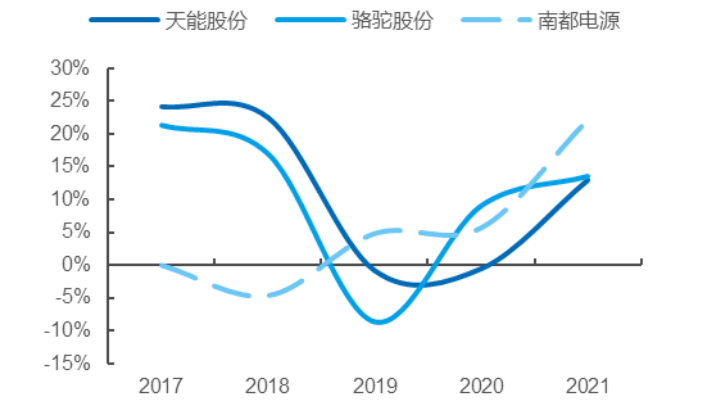
来源：WIND、国金证券研究所

图表 64：可比公司铅蓄电池销量收入情况（亿元）



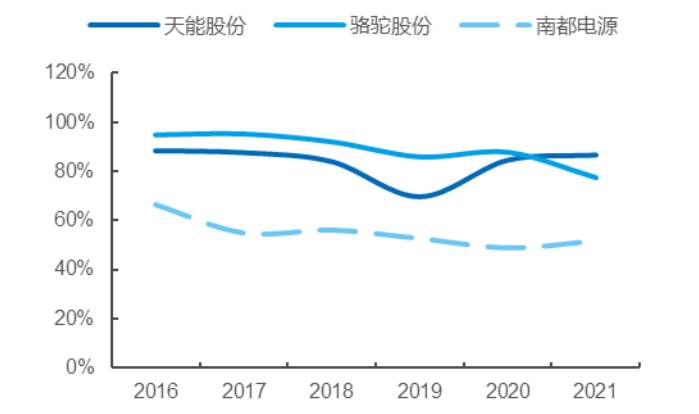
来源：WIND、国金证券研究所

图表 65：可比公司铅蓄电池销售收入增速



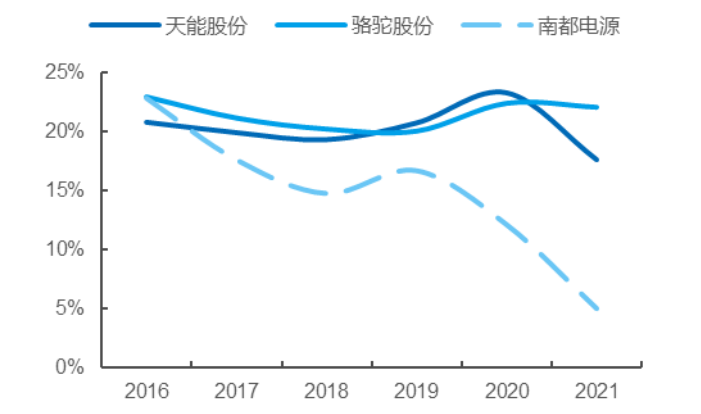
来源：WIND、国金证券研究所

图表 66：可比公司铅蓄电池收入占比



来源：WIND、国金证券研究所

图表 67：可比公司铅蓄电池毛利率情况



来源：WIND、国金证券研究所

- **铅蓄电池业务稳步发展的同时把握未来趋势，企业纷纷布局铅碳业务。**目前多家铅蓄电池企业已经布局铅碳电池，天能股份作为铅蓄电池龙头铅炭电池产品已经实现产业化，并且在储能电站、新能源混动汽车领域得到较好应用，上半年公司铅炭储能业务呈现增长态势,完成业务收入 7660 万元,同比增长 762.8%。除了原有铅蓄电池企业外，部分原先做电极材料的企业也开始向电池方向布局，如深耕冶金电极的昆工科技就储备了相关技术，拟 12 亿投建年产 10GW 铅炭电池项目，建设周期为 2 年。

图表 68：我国铅炭电池行业相关企业研发及产业化情况

公司名称	主要产品	研发及产业化情况
天能股份	TNC 铅炭电池	已实现产业化，产品运用于储能电站、新能源混合动力汽车等领域。在浙江省首批 4 个电网侧储能电站项目中，天能参与了“长兴 10 千伏雉城储能电站”、“衢州灰坪乡大麦源村 0.4 千伏储能电站项目”。
南都电源	提供以锂电、铅炭等产品为基础的多种储能业务解决方案	储能业务已遍布全球近 40 个国家及地区，在全球储能装机规模超过 2GWh，处于行业领先水平。
圣阳股份	GFMD-C 系列产品	已实现产业化，用于发电厂、变电站储能。
双登集团	FTC-150C 铅炭电池；1.2MWh 铅炭电池集装箱储能解决方案（采用 600 只 LLC-1000 铅炭电池串并联组成）	已实现产业化，例如“高澜集装箱储能项目”，系统容量为 250kW/1MWh，包含 540 只 LLC-1000 铅炭电池。
昆工科技	铅炭储能电池材料及富锂锰基正极材料制备技术	拟 12 亿投建年产 10GW 铅炭电池项目，项目周期 2 年

来源：各公司公告、观研天下、国金证券研究所

五、全钒液流电池：长时储能重要发展方向，利好上游钒资源企业

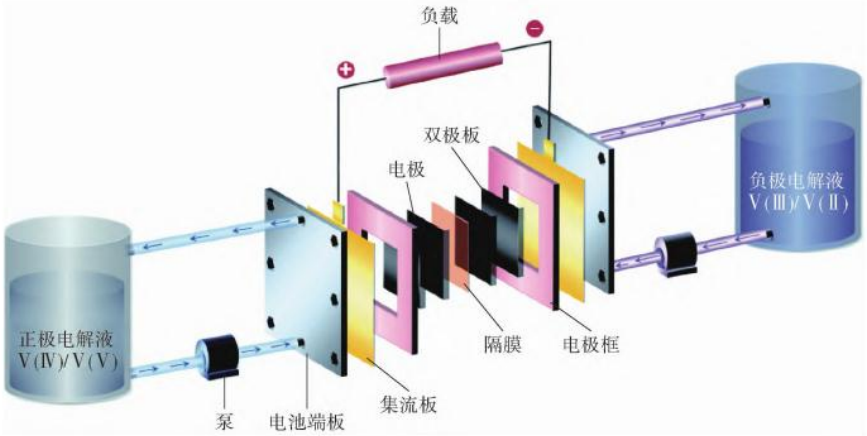
敬请参阅最后一页特别声明

5.1、全钒液流电池：长时储能重要方向

- 液流电池，也被称为氧化还原液流电池，是一种基于液体的可充电电池。在传统电池中，电解质是电子可以在阴极和阳极之间穿行的媒介。在液流电池中，阳极和阴极本身就是电解质溶液。在液流电池最简单的迭代中，电化学电池由两个半电池组成，每个半电池都与一个电解质槽相连。这两个槽中分别装有带负电的阴极和带正电的阳极。半电池被一个多孔膜分开，离子通过该膜进行交换。它们还各自连接到电流收集器上，该收集器将电池与电力负载连接起来。能量通过电解质溶液在半电池中的连续循环而被释放或储存。

- 全钒液流电池是目前最成熟的液流电池。氧化还原液流电池主要可分为锌/溴液流电池、全钒氧化还原液流电池、多硫化钠/溴液流电池以及其他体系（如铁/铬液流电池，全铬液流电池等）。其中，全钒氧化还原液流电池(VRFB)因其使用的电解液中只含有不同价态的钒离子，从而可以有效的降低离子透过离子交换膜引发交叉污染的问题，已经成为目前技术上最成熟的化学储能手段，并进入了商业化运行的阶段。

图表 69：钒液流电池结构示意



来源：《全钒液流电池技术研究进展》，国金证券研究所

- 钒电池电能以化学能的方式存储在电解液中。钒电池通过外接泵把电解液压入电池堆体内，使其在不同的储液罐和半电池的闭合回路中循环流动，采用质子交换膜作为电池组的隔膜。电池在充电过程中，正负极电解液在循环泵的作用下在体系中密闭流动，并在电极上发生可逆的氧化还原反应，最后回到储液罐中。充电时，正极电解液中的 VO_2^+离子被氧化，负极电解液中 V^{3+}离子被还原。放电时，正极中的 VO_2^+离子被还原，负极中的 V^{2+}电子被氧化，同时电子沿外电路由阳极迁移到阴极，从而释放出储存在电池中的能量供外界使用。电池的正负极被离子交换膜隔开，隔膜只允许 H^+通过，从而在正负极之间起到导电作用。其电极反应如下：

充电过程：

正极：$VO^{2+} + H_2O - e^- \longrightarrow VO_2^+ + 2H^+$

负极：$V^{3+} + e^- \longrightarrow V^{2+}$

总反应：$VO^{2+} + V^{3+} + H_2O \longrightarrow VO_2^+ + V^{2+} + 2H^+$

放电过程：

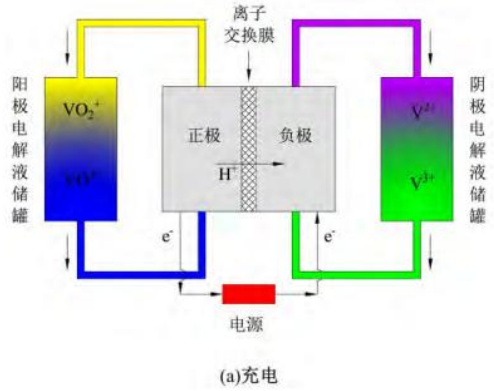
正极：$VO_2^+ + 2H^+ + e^- \longrightarrow VO^{2+} + H_2O$

负极：$V^{2+} - e^- \longrightarrow V^{3+}$

总反应：$VO_2^+ + V^{2+} + 2H^+ \longrightarrow VO^{2+} + H_2O + V^{3+}$

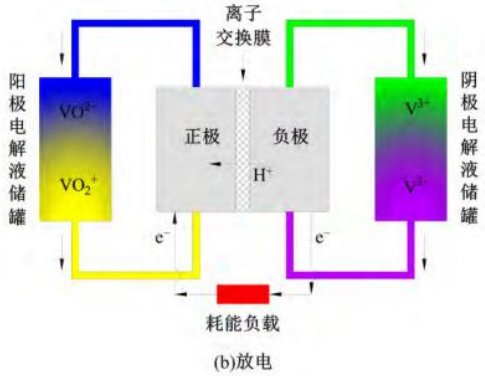
敬请参阅最后一页特别声明

图表 70：钒氧化还原电池充电示意图



来源：《钒氧化还原流电池技术综述》，国金证券研究所

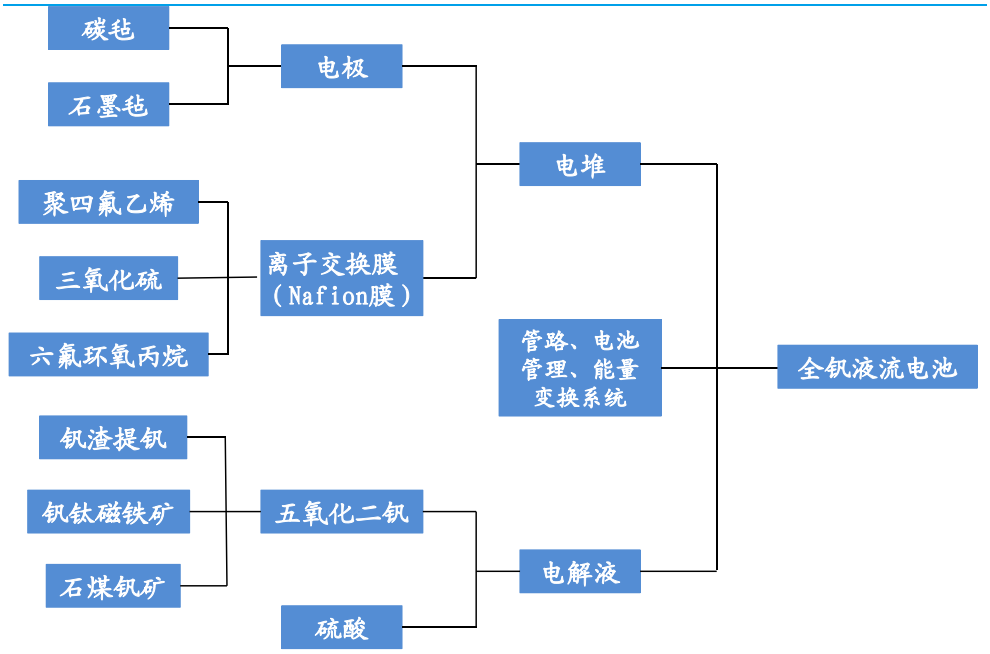
图表 71：钒氧化还原电池放电示意图



来源：《钒氧化还原流电池技术综述》，国金证券研究所

- **钒电池的关键材料主要包括电解液、离子交换膜、电极。**全钒液流电池储能系统由电堆、电解液、管路系统、电池管理系统、能量变换系统等组成。电解液是钒电池的储能介质，电解液中的钒离子浓度直接决定了电池能量密度的高低，影响电池运行稳定性和寿命；电极材料为电池的氧化还原反应提供场所，其本身并不参与反应，但电极材料的自身性能对反应动力学、电池的欧姆电阻和氧化还原反应速率以及电化学反应程度都有直接影响，直接限制了电池的充放电性能和稳定性；钒电池的电堆主要包括离子交换膜、电极、双极板、垫片、集流板等，其中，离子交换膜主要起分隔正负极电解液，防止正负极里的活性离子直接接触导致电池内部自放电，并在正负极之间传导质子形成电池内回路等作用。

图表 72：钒电池产业链



来源：《全钒氧化还原电池电极改性研究》，《全钒液流电池用阳离子交换膜研究进展》，国金证券研究所

- 配置钒离子电解液方法主要是电解法和化学还原法。在电解法中，V_2O_5 粉末悬浮于负半电池的硫酸溶液中，正半电池采用相同浓度的硫酸溶液，电解时正极发生析氧反应，在负极 V_2O_5 被还原成 V^{4+} 或 V^{3+} 或 $V^{3.5+}$，电解法能够持续制备大量高浓度的钒电解液，操作简单，易于工业化，但也存在速率慢、设备要求高、能耗高、成本高等缺点。化学合成法是以钒氧化物或钒盐为原料，在适量的硫酸溶液中，通过加热或加入还原剂的方式将高价难溶钒化合物还原为低价易溶钒化合物，从而制得一定浓度的钒电解液。化学法的优点是工艺和设备简单、可制备浓度较高电解液，缺点是操作较

敬请参阅最后一页特别声明

复杂、合成量少、制备周期长、加入还原剂（V_2O_3 除外）不易除尽，难以提纯得到高纯度的钒电解液。总体而言，电解法和化学法各有优缺点，化学法主要用于钒电池实验室理论研究，电解法多用于工业实际应用。

- 碳素类电极是目前使用最广泛的电极材料。在早期研究中，钛、金、铅、钛基铂等贵金属电极因具备良好的导电性而被应用，但其成本过高，且在充放电循环过程中易形成钝化膜导致表面电阻增大来阻碍反应，因此不适合工业化应用；目前使用最为广泛的电极材料是碳素类电极，主要包括碳纤维、碳纸、碳毡、碳布、石墨等材料，具有稳定性高、耐腐蚀、导电性好、成本低的特点，其中碳毡和石墨毡等 PAN 基碳纤维，因其具有三维网络结构、大比表面积以及高电导率成为钒电池的首选电极材料。

- 离子交换膜可以分为阳离子交换膜、阴离子交换膜以及两性离子交换膜。根据连接在离子交换膜上基团的类型，可以分为阳离子、阴离子和两性离子交换膜。目前，大部分钒电池都选用阳离子交换膜，主要商用的是杜邦公司生产的 Nafion 系列膜，该膜具备较强的机械性能和良好的化学稳定性，但其本身阻钒能力较差，并且制备困难使其成本较高（占电堆成本的 41%）；阴离子交换膜具有较好的阻钒效果，但在强酸性电解液中稳定性较差，使用一段时间后化学性能衰减严重；两性离子交换膜拥有正负两种官能团，带正电的官能团能阻挡钒离子传输，从而抑制钒离子的交叉污染，而带负电的官能团可以保证较高的质子传导率，增强膜的导电性，缺点是两性离子间产生的相互作用而彼此消耗，其离子交换容量较低。

图表 73：离子交换膜的比较

隔膜类型	优点	缺点	代表膜材质
阳离子交换膜	良好的化学稳定性、质子传输能力强	离子选择性较差	全氟磺酸膜
阴离子交换膜	离子选择性强，防止钒离子的交叉污染	电导率较低，内阻大	季铵盐功能化膜
两性离子交换膜	具备阳离子、阴离子交换膜的优点，离子传输能力和离子选择性方面较好	膜制造工艺复杂，成本较高	磺化聚酰亚胺膜

来源：《钒氧化还原电池技术综述》，国金证券研究所

- 全钒液流电池因安全性与寿命长等优势成为长时储能最有前景的方案之一。中国已经明确了实现“双碳”目标的战略在于发展以可再生能源为主体的新型电力系统，而大规模储能是保障可再生能源利用的支撑条件，钒电池具备良好的本征安全性、技术适合性和经济性潜力，与已有的抽水蓄能、压缩空气储能等之间有着显著的互补性，具有不可替代性，具体而言，钒电池在长时储能领域具备以下优势：①电池容量与输出功率相对独立，电池容量取决于钒电解液容积与电解质浓度，输出功率取决于电堆大小；②充放电时仅有钒价态变化，没有物相变化，可深度放电，电池寿命长；③无毒副产物产生，环境友好，安全性高，能量效率高；④系统处于关闭模式时，储罐中电解液无自放电现象；⑤热待机状态时响应速度快，可实现瞬间充电；⑥钒电解质溶液意外混溶后，回收、再生处理容易，相比 Zn－Br、Fe－Cr 等其他液流电池，避免了不同离子交叉影响的问题。

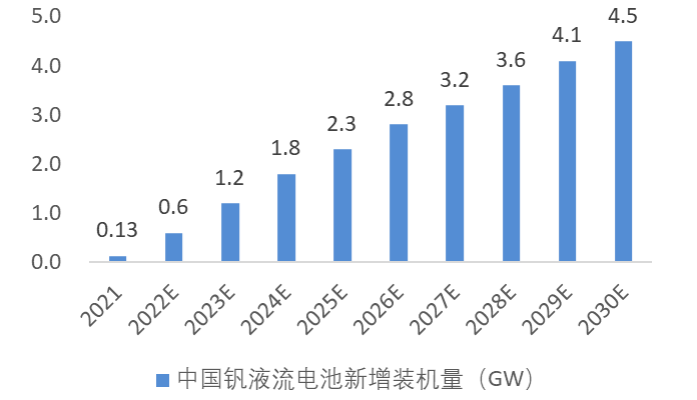
5.2、钒电池带动上游钒需求快速增长，钒供给或边际趋紧

- **2025 年中国钒电池新增装机量望达到 2.3GW，市场规模 207 亿元。**EVTank 数据显示，2021 年中国钒电池新增装机量 0.13GW，2022 年国内大量的钒电池储能项目开工建设，预计全年新增装机量将达到 0.6GW。未来，在政府补贴的持续投入、产业链成熟化发展和规模效应降本等多种因素的影响下，钒电池将凭借优异的特性由政策导向市场导向过渡，其渗透率将逐步提升。EVTank 预计 2025 年钒电池新增规模将达到 2.3GW，2030 新增量将达到 4.5GW，届时钒电池储能项目累计装机量将达到 24GW，当年新增市场规模将达到 405 亿元。

- 钒电池对钒需求将快速提升。作为钒电池电解液的上游原材料，1Kwh 钒电池对五氧化二钒的单耗约为 8~9kg，则 2021 年 0.13GW 的钒液流电池新增装机量对应五氧化二钒的消耗量为 0.12 万吨，2025 年 2.3GW 的新增装机量对应的五氧化二钒消耗量有望达到 2.07 万吨，而 2030 年五氧化二钒消耗量有望达到 4.05 万吨。

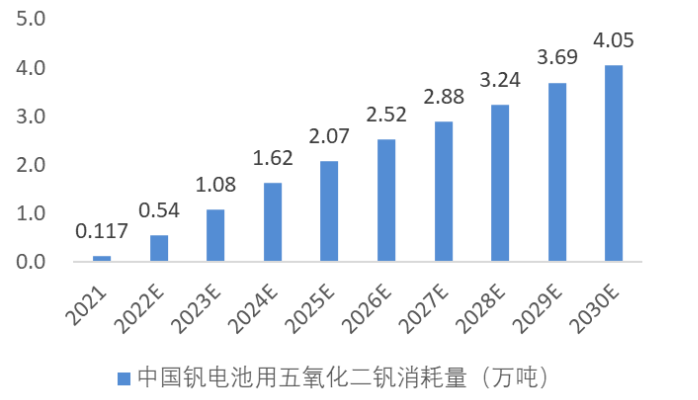
敬请参阅最后一页特别声明

图表 74：中国钒液流电池新增装机量（GW）



来源：EVTank，国金证券研究所

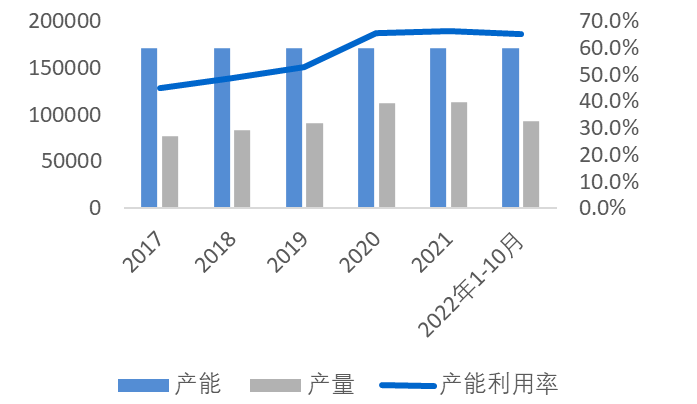
图表 75：中国钒电池用五氧化二钒消耗量（万吨）



来源：EVTank，国金证券研究所

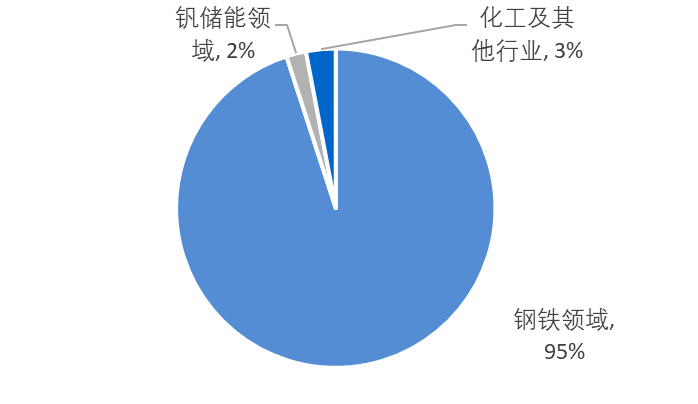
- **钒电池带动国内五氧化二钒消费增长，钒供需或呈边际紧张趋势。**以五氧化二钒计，2021 年国内产能达 17.14 万吨，产量 13.6 万吨，表观消费量 13.1 万吨。需求结构方面，国内 95%以上的钒产品应用在钢铁领域，约 3%应用在钛合金及化工行业，其余约 2%应用在钒储能和其他领域，未来国内五氧化二钒的主要需求增量将来自于钒电池。而在供给端，钒的最主要供给来自钢铁冶金副产品钒渣提钒，供给相对刚性，因此未来钒供需或呈边际紧张趋势。

图表 76：国内钒资源供给情况（吨）



来源：百川盈孚，国金证券研究所

图表 77：2021 年国内钒下游消费结构（%）



来源：华经产业研究院，国金证券研究所

- 钒资源来源有钒渣提钒，含钒矿提钒和含钒固废提钒，主要来自钒渣提钒。当前全球每年钒(以 V2O5 计)的生产和消费均为 20 万吨左右，中国每年生产和消费钒均大约为 13 万吨。钒的来源途径主要有钒渣提钒，含钒矿提钒和含钒固废提钒。钒渣提钒以钒钛磁铁矿为原料的钢铁冶金副产品钒渣(全球来自该途径的钒占总量的 60%，国内来自该途径的钒占总量的 85%)生产。由于钒渣含钒比例高(8%~20%)，提钒的成本相对较低，主要公司为攀钢钒钛、河钢股份等，二者钒产品年产能分别为 4 万吨和 2.2 万吨，产量占比合计接近国内的 50%；含钒矿提钒包括钒钛磁铁矿、石煤等矿物的开采利用(全球来自该途径的钒占总量的 15%，国内来自该途径的钒占总量的 13%)，此外，部分钛白粉企业也在布局钒资源供给。如龙佰集团拟投资建设碱性球团湿法提钒项目，计划通过碱性湿法对钒钛磁铁矿进行处理，若项目建设顺利，预计约 3 年后可新增五氧化二钒产能 3 万吨；含钒固体废弃物的综合利用：包括重油渣、废催化剂、电厂灰的资源化利用(全球来自该途径的钒占总量的 19%，国内来自该途径的钒占总量的 2%)。国内通过此途径的产钒比例较低，有待于进一步挖掘潜力。

敬请参阅最后一页特别声明

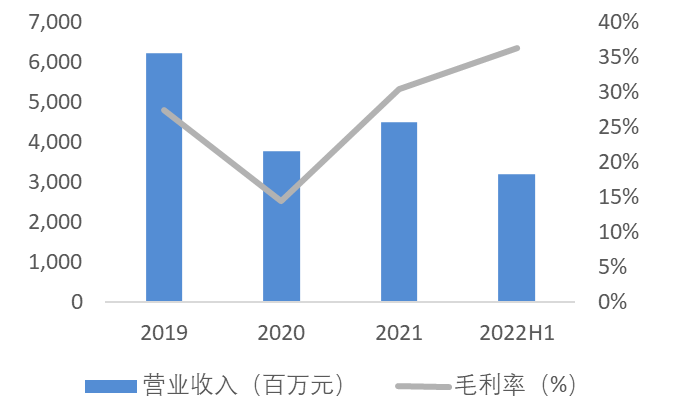
图表 78：钒矿资源类公司

提钒路径	相关公司	基本情况
钒渣提钒	钒钛股份	当前钒产品产能 4 万吨，21 年产量 4.33 万吨，占全球、国内的 20%、32%；攀钢集团在产矿区精矿产能在 1000 万吨以上，是国内最大产钒企业。
	河钢股份	21 年公司钒产品产能 2.2 万吨，规模位居国内第二
	安宁股份	拥有潘家田钒钛磁铁矿，不直接提钒，主营业务为钛精矿和钒钛铁精矿
碱性球团湿法提钒	龙佰集团	焦作 800 吨废酸提钒已投产，22 年 7 月公告钒钛铁精矿碱性球团湿法工艺年产 3 万吨 V2O5 创新示范工程，建设周期 31 个月
石煤提钒	西部矿业	22 年偏钒酸铵总产能达到 2000 吨

来源：各公司公告，国金证券研究所

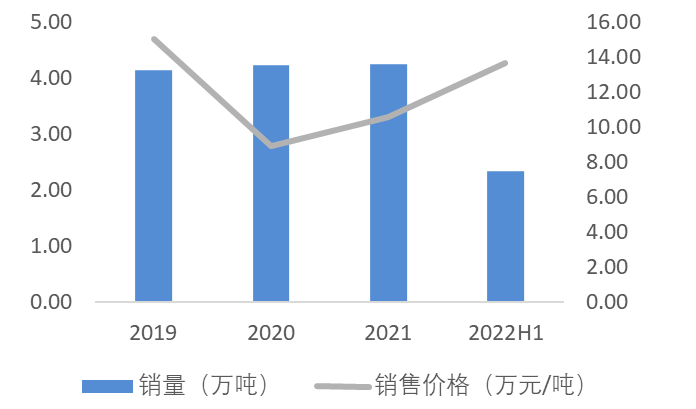
- 钒钛股份是国内最大的钒制品生产商。公司目前已具备钒制品（以 V2O5 计，下同）4 万吨/年的生产能力，拥有五氧化二钒、三氧化二钒、中钒铁、高钒铁、钒氮合金、钒铝合金、钒电解液等系列钒产品，其中钒铁合金、钒氮合金等钢铁领域用钒产品销量继续保持国内领先，高纯氧化钒、钒酸盐等其他非钢领域应用产品已逐渐进入规模化生产阶段。2021 年公司钒产品产量 4.33 万吨，全球和国内市占率分别达 20%和 32%，2022 年上半年，公司实现钒制品产量 2.35 万吨，同比增长 1.73%。

图表 79：钒钛股份钒产品营收与毛利率



来源：公司公告，国金证券研究所

图表 80：钒钛股份钒产品销量与价格情况



来源：公司公告，国金证券研究所

- 背靠攀钢集团，钒资源供应充裕。攀钢集团所处的攀西地区是我国矿产资源最富集的地区之一，钒钛磁铁矿蕴藏储量上百亿吨，钒资源储量占中国的 52%，攀钢集团目前拥有攀西四大矿区中的攀枝花、白马两大矿区，合计钒资源 210 万吨（以 V_2O_5 计），截至 2021 年，境界内钒钛磁铁矿可开采储量约 4.81 亿吨，此外，集团还在规划攀枝花矿区太阳湾矿段的采矿权和红格南矿区采矿权，钒钛磁铁矿资源储量合计超过 20 亿吨。钒钛股份钒制品的主要原料粗钒渣由公司控股股东攀钢集团提供，钒资源供应充裕。

- 与下游储能电池生产商紧密合作，向下延伸钒电解液。当下时点，全钒液流电池储能迎来由示范项目向商业化发展的关键机遇期，公司积极向下游拓展，掌握了钒电解液的生产技术，其托管的攀研技术有一条电解液试验线具备年产 1000 立方米钒电解液生产能力。下游客户方面，公司于 2021 年与四川德胜、大连融科签订了战略合作协议，并于 2022 年 10 月与国电投西南院、大连融科签订了三方战略合作协议，其中，2021 年公司与大连融科合作涉及交易总金额约为 2.5 亿元，2022 年合作金额预计超过 6 元，双方在攀枝花市规划的 2000 立方米/年的钒电解液产线预计 2023 年上半年建成投产。

六、铁铬液流电池：低成本长时储能技术，应用前景广阔

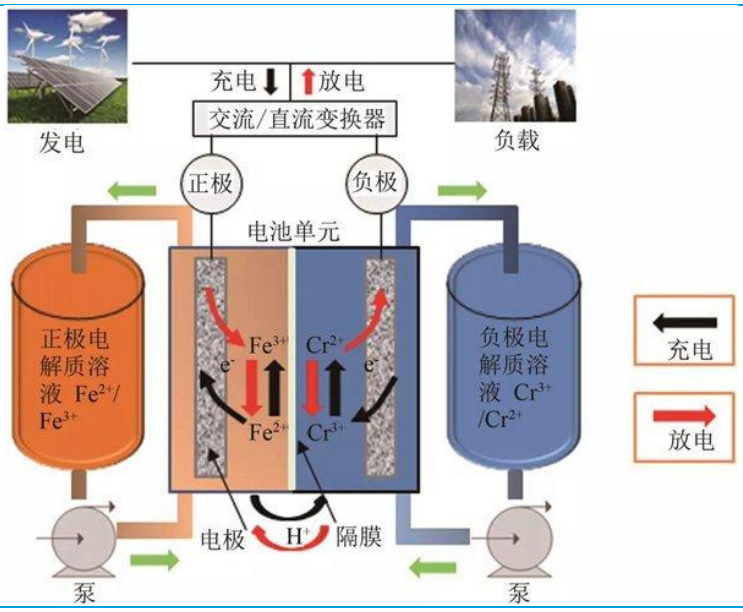
6.1、铁铬液流电池：具备多重优势，应用前景可期

- 液流电池采用液体活性物质，具备储能规模大、安全性高和性价比高等特点。液流电池是利用正、负极储能活性物质价态的变化来实现电能的储存和释放的电化学电池，由点堆单元、电解液、电解液存储供给单元以及管理控制单元等部分构成。液流电池正、负活性物质以液体形态储存在两个分离的储液罐中，通过电解液循环泵和管路输送到电堆内部并在电极上实现充放电反应，电池堆与储液罐分离，在常温常压运行。液流电池具有储能规模大、安全性高、充放电循环寿命长、生命周期中性价比高、环境负荷小、电池材料可循环利用、环境友好等优点，近年来越来越得到世界各国的重视，具有十分巨大的市场前景。

- 液流电池具有多重技术路线，铁-铬液流电池技术较为成熟且电解液成本更低。根据活性物质种类不同，液流电池可以分为全钒、锌-溴、多硫化钠-溴、铁-铬等多种技术路线。全钒液流电池是目前技术最成熟、产业化最充分的液流电池技术，但是钒价格剧烈变化导致的电解液成本过高是当前限制其发展的重要因素之一。铁-铬液流电池目前技术也较为成熟，且电解液资源的可获取性和制备成本且相较于全矾液流电池具备显著优势，从发电成本来比较，铁铬液流电池度电成本仅为 0.4 元/度，低于全钒液流电池的 0.8~1.3 元/度。

- 液流电池又被称为氧化还原电池，充放电过程通过活性物质在电极上发生氧化还原反应实现。铁-铬液流电池储能单元为电解质溶液，正负极电解液分别是含有铁离子和铬离子的溶液，通过电解液中活性物质在电极上发生氧化还原反应来实现电能和化学能的转化，其正负极的电化学氧化还原反应分别为：正极的正向充电与反向放电反应 $Fe^{2+}-e^{-}=Fe^{3+}$；负极的正向充电与反向放电反应 $Cr^{3+}+e^{-}=Cr^{2+}$；总的电化学反应为 $Fe^{2+}+Cr^{3+}=Fe^{3+}+Cr^{2+}$。

图表 81：铁-铬液流电池原理



来源：《铁-铬液流电池 250kW/1.5MW · h 示范电站建设案例分析》杨林等，国金证券研究所

- **铁-铬液流电池具备多重优势，符合大规模、长时间储能需求**。与其他电化学电池相比，铁-铬液流电池具有多重优势：1）铁-铬液流电池的电解质溶液为水性溶液，相较于锂电池具有较高安全性。2）原材料铁、铬资源丰富，成本低廉，上游资源对产业发展制约少，可持续发展性强。3）电池寿命长，充放电循环次数超过 10000 次，电解质溶液可循环利用。4）电解质溶液可在-20℃-70℃全范围启动，运行温度范围广、适应性强。5）电解液毒性和腐蚀性相对较低，具有较好的环境友好性。6）电能储存在电解质溶液内存储在储罐里，不存在自放电现象。7)系统稳定性与可靠性高。铁-铬液流电池系统采用模块化设计，以 250KW 一个模块为例，一个模块是由 8 个电池堆放置在一个标准集装箱内，因此电池堆之间一致性好，系统控制简

敬请参阅最后一页特别声明

单，性能稳定可靠。多重优势使得铁-铬液流电池在技术和商业化程度上处于相对领先位置，但是铁-铬液流电池也存在一些缺陷，短期内限制其应用：1）负极材料铬离子的活性还比较弱，不利于正负极电解液的化学反应平衡，影响电池性能。2）铁-铬液流电池能量转换效率低，密度仅为 10-20Wh/L，显著低于锂电池的 300-400Wh/L。3）电池工作过程中易发生析氢反应（不可逆的副反应产生氢气），让铁-铬电池无法正常工作。

图表 82：铁-铬液流电池与其他电化学电池技术对比

指标	铁-铬液流电池	全钒液流电池	钠-硫电池	锂离子电池	铅酸电池
循环寿命/次	>10000	>10000	约 2500	4000	1000
能量密度	10~20W · h/L	15~30W · h/L	150~240W · h/kg	300~400W · h/L,130-200W.h/kg	30~50W · h/kg
安全性	好	好	不好	不好	中
毒性、腐蚀性	好	中	中	中	不好
运行温度/℃	-20~70	5~50	300~350	常温~45	常温~30
AC/AC 系统效率/%	70~75	60~65	65~80	90	60~80
自放电	极低	极低	低	中	高
度电成本/元 · (kW · h)$^{-1}$	0.4	0.7~1.0	0.7~1.0	0.7~1.0	0.5~1.0
废旧电池处理	电解质溶液可再生	电解质溶液可再生	中	难	难

来源：《铁-铬液流电池 250kW/1.5MW · h 示范电站建设案例分析》杨林等，国金证券研究所（（年产能 300MW 的估算结果））

- 铁-铬液流电池技术源自 NASA，目前处于导入期，国家电投“容和一号”量产线投产标志着铁-铬液流电池技术产业化迈出重要一步。20 世纪 70 年代，国国家航空航天局（NASA）首先研制出了 1kW 的铁-铬液流电池储能系统，之后日本、美国和中国的研究机构均对铁-铬液流技术有进一步的探索，20 世纪 90 年代中科院大连化学物理研究所推出过 270W 的小型铁-铬液流电池电堆，但技术中的关键问题阴极析氢与电解液互混未得到解决。2011 年国内重启了对铬-铁液流电池储能技术的研发，研制出以 2x30kW 电池堆为核心的储能系统。2020 年底 国家电投成功试制“容和一号”大容量电池堆，并在河北张家口战石沟 250kW/1.5MWh 示范项目上成功应用，开启了该技术商业应用的新征程。2022 年 1 月，国家电投自主研发的铁-铬液流电池堆“容和一号”量产线投产，单条产线可年产 5000 台 30kW 级电铁堆，标志着铁/铬液流电池储能技术产业化向前迈进了一大步。同时，国家电投在内蒙古霍林河启动首个兆瓦级铁-铬液流电池储能示范项目，预计 2022 年年底投产，产业化进程有望加速。国家电投采用的铁-铬液流电池技术采用混合的铁、铬离子溶液，已经成功解决了电解液互混问题；通过催化剂解决了阴极析氢问题；并且在储能系统中设计安装了再平衡系统，有效解决了电解液的衰减问题，极大地提高了铁-铬液流电池的使用寿命，进一步提升了铁-铬液流电池技术水平。

图表 83：铁-铬液流电池发展历史

时间	事件
20 世纪 70 年代	美国国家航空航天局（NASA）首先研制出了 1kW 的铁-铬液流电池储能系统。
20 世纪 80 年代	日本新能源产业技术开发机构（NEDO）在与 NASA 的研发合同下，推出了 10kW 和 60kW 的铁-铬液流电池系统，铁-铬液流电池储能系统的技术基础已经形成。
20 世纪 90 年代	中科院大连化学物理研究所推出过 270W 的小型铁-铬液流电池电堆，铁-铬液流电池技术中关键问题阴极析氢与电解液互混未得到解决，研究一度止步。
2011 年	国内再次重启了对铬-铁液流电池储能技术的研发，研制出以 2x30kW 电池堆为核心的储能系统。
2014 年	美国 EnerVault 公司继承了 NASA 的技术体系，进行了规模放大，建成了全球第一座 250kW/1000kW · h 铁-铬液流电池储能电站。
2020 年底	国家电投成功试制“容和一号”大容量电池堆，并在河北张家口战石沟 250kW/1.5MWh 示范项目上成功应用，成熟度已与其他主流电化学电池储能技术相当，开启了该技术商业应用的新征程。
2022 年 1 月	“容和一号”铁-铬液流电池堆量产线投产，每条产线每年可生产 5000 台 30kW“容和一号”电池堆，标志着量化供货的最后堵点已彻底打通

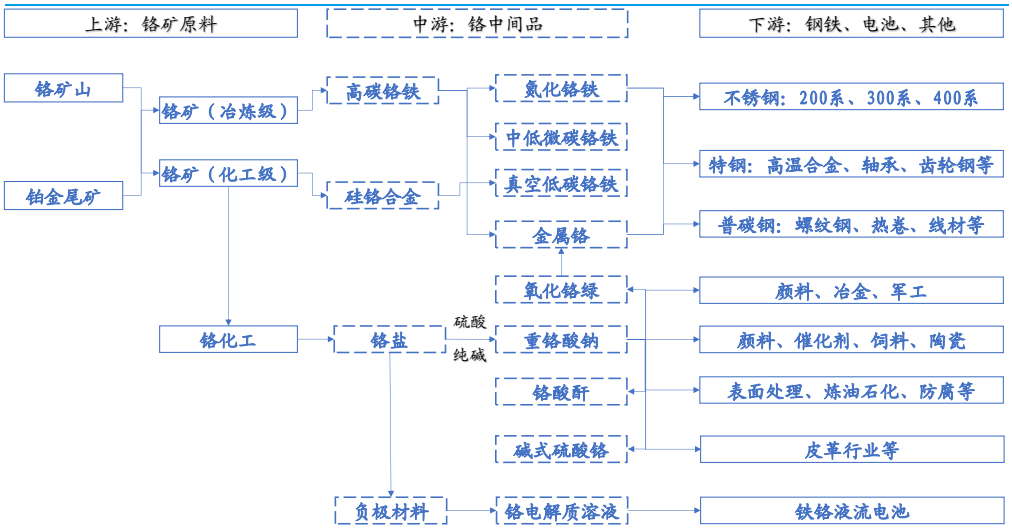
敬请参阅最后一页特别声明

来源：Mysteel，国金证券研究所

6.2、三氯化铬：负极电解液主要成分，有望带动铬盐需求

■ 三氯化铬由铬酸酐还原制备，生产环节位于铬产业链中游。三氯化铬是铁铬液流电池负极电解液的主要成分，在电解液中成本占比最高。三氯化铬目前市场上主流的工艺路线为铬矿加工成重铬酸钠，重铬酸钠进一步加工成铬酸酐，铬酸酐再进行还原制备三氯化铬。其中重铬酸钠是铬盐是最基础的产品，通过深加工可生产出铬酸酐、氧化铬绿、铬鞣剂等多种产品，在颜料、冶金、军工、鞣革、饲料添加剂、催化剂、陶瓷、木材防腐、炼油石化等行业有广泛应用。三氯化铬生产环节位于铬产业链中游，其上游是铬矿，中游包括铬铁合金和铬盐，下游主要为不锈钢、特种钢、涂料、电镀等。

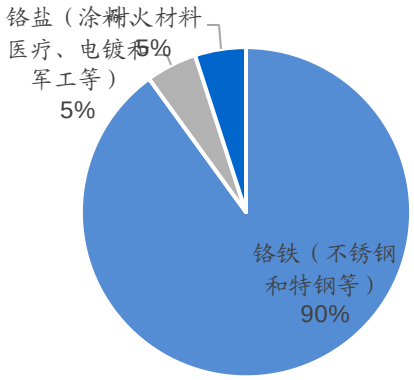
图表 84：铬产业链



来源：Mysteel，国金证券研究所

■ 铬产业链下游：绝大部分应用于铬铁合金，铬盐和耐火材料占比较低。铬铁矿下游主要应用于冶金、化工、耐火及铸铁等领域。约 90%铬铁矿用于冶金，冶炼成铬铁合金添加到不锈钢、特钢等钢材中，其中不锈钢用量最大；约 5%的铬矿被加工成重铬酸盐、铬的氧化物及铬的硫酸盐等铬盐，用于颜料、涂料、皮革、表面处理等众多行业；另外约 5%的铬矿被用作生产耐火材料，主要用于制造铬砖、铬镁砖和其他特殊耐火材料。

图表 85：铬矿下游应用占比



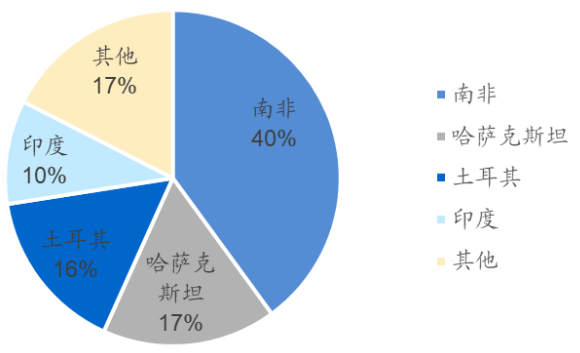
来源：华经产业研究院，国金证券研究所

■ 铬产业链上游：全球铬铁矿储量丰富，国内铬铁矿以进口为主。全球已探明总铬铁矿储量约 75 亿吨，储量丰富，主要分布于南非、哈萨克斯坦、土

敬请参阅最后一页特别声明

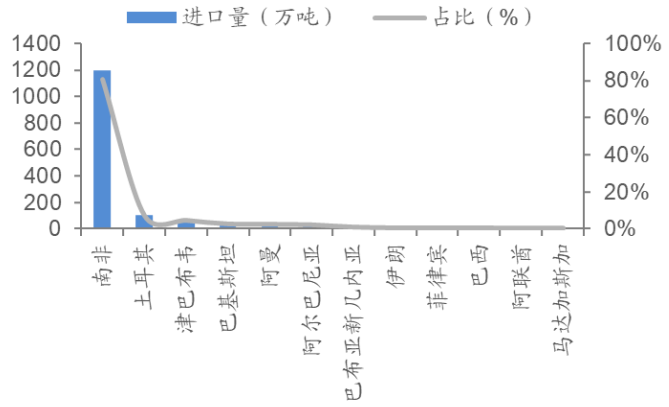
耳其和印度等国家，资源分布集中度高。其中南非资源量最大，约占世界资源总量的一半，是全球最大的铬资源出口国。从产量看，2020 年全球铬铁矿产量达 4000 万吨，其中南非产量 1600 万吨、哈萨克斯坦产量 670 万吨、土耳其产量 630 万吨、印度产量 400 万吨，CR4 超过 80%。中国境内已探明的铬铁矿储量很少且分布零散，开发利用难度大，铬铁矿被列为国家战略资源，受制于国内资源条件，铬矿基本依靠进口，对外依存度接近 90%。根据海关总署数据，近五年年我国铬矿砂及其精矿整体进口量在 1400-1600 万吨，进口量相对稳定，价格在 140-250 美元/吨，具有一定弹性，其中 2021 年我国铬矿砂及其精矿进口量和进口金额分别为 1491.51 万吨和 26.07 亿美元。国内进口来源也相对集中，主要依靠南非，占比长期超过 80%，目前铬矿的主要出口国与中国关系友好，铬铁矿的供应保证不存在重大问题。同时部分中资企业如中钢、五矿在非洲投资布局铬矿资源，中钢集团是国内最早投资铬矿的企业，目前在非洲拥有近 2.6 亿吨铬矿资源量，铬矿产能合计在 200 万吨左右，中国五矿集团在南非拥有 2.36 亿吨铬资源量。

图表 86：2020 年全球主要铬铁矿产量占比



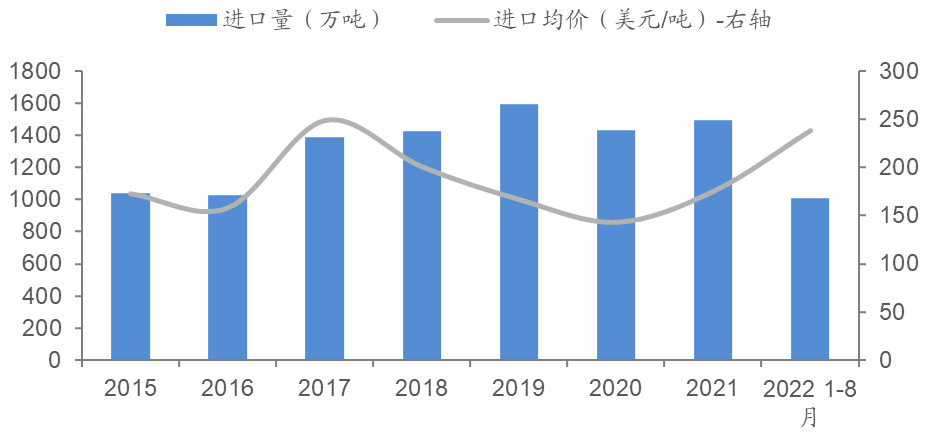
来源：USGS，华经产业研究院，国金证券研究所

图表 87：中国铬铁矿及其精矿进口来源



来源：华经产业研究院，国金证券研究所

图表 88：中国铬矿砂及其精矿进口数量及均价

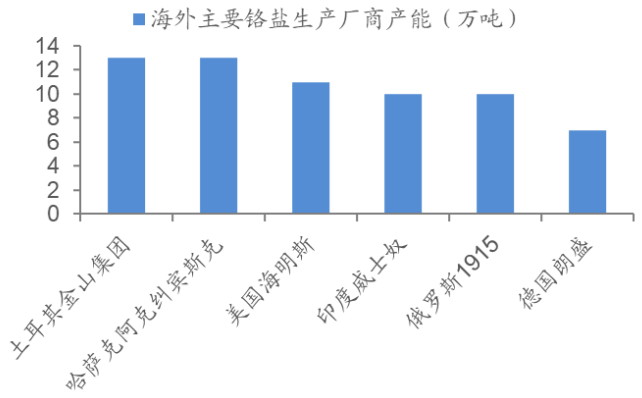


来源：海关总署，华经产业研究院，国金证券研究所

- 铬盐供给端：全球铬盐行业集中度逐渐提高，初步形成寡头垄断格局。海外铬盐行业经过多年整合，逐步形成了某一区域仅存一家主导性铬盐企业的市场格局，美国海明斯占据北美市场；土耳其金山集团立足中东，在全球各地拥有分支机构，印度威世奴辐射南亚地区，德国朗盛本部生产的铬盐颜料系产品仍在全球市场居于垄断地位。在国内市场，由于铬盐于高污染化学制品，生产工艺的变化导致 2014 年开始国内大量中小产能退出铬

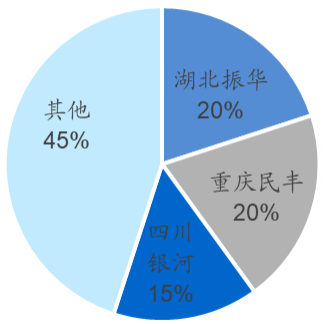
盐市场，转型期只有少数企业掌握无钙焙烧工艺并能够大规模生产，2014 年国内铬盐厂商仅剩 14 家，行业供给持续收缩，截至 2019 年底，国内共 9 家铬盐在产企业，平均年产能约 5.5 万吨。近年来，国内行业内部开始加速整合，2021 年，振华股份完成对民丰收购，产能规模提升至 20 万吨，国内产能第一。据振华股份公告，2021 年我国铬盐产量（以重铬酸钠计）大于 40 万吨，中国已成为全球最大的铬盐生产和消费国家。在生产技术方面，国内外均以无钙焙烧技术为主，国内铬盐行业已基本完成从有钙（含少钙）焙烧技术向无钙焙烧、钾系亚熔盐液相氧化法等清洁生产技术的转换和过渡。

图表 89：海外主要铬盐厂商产能（万吨）



来源：华经产业研究院，国金证券研究所

图表 90：国内铬盐产能占比



来源：华经产业研究院，国金证券研究所

图表 91：铬盐生产工艺不断迭代

工艺名称	技术特点	产品	技术水平	生产每吨重铬酸钠产渣量(吨)
有钙焙烧技术	产渣量大，六价铬处理难度大，治理费用高；产生致癌物质铬酸钙；铬利用率低。	重铬酸钠	2013 年淘汰	2.5-3
少钙焙烧技术	与有钙焙烧相比，钙质填料减少并加大工艺返渣量，渣中六价铬含量减少，控制污染问题。	重铬酸钠	技术成熟	1.2-1.5
无钙焙烧技术	渣中不含疑似致癌物质；排渣量大幅减少；铬综合利用率高。	重铬酸钠	技术成熟，是行业加大推广力度的关键技术，已实现 5 万吨规模化生产	<0.8
钾系亚熔盐液相氧化法	排渣量少；铬渣便于综合利用；铬利用率高；产品较为单一，成本相对较高。	重铬酸钾	技术成熟，是行业加大推广力度的关键技术，实现万吨级工业生产	0.5

来源：华经产业研究院，国金证券研究所

- 需求端：国内铬盐需求持续扩大，铁铬电池需求有望带来边际增量。铬盐在铬铁矿应用中占比相对较低，约 5%铬铁矿被加工成铬盐，与国内不锈钢产业相比，铬盐行业对铬铁矿采购占比较低，国内化工级铬铁矿占到铬铁矿进口比例稳定在 5%左右。根据华经产业数据，中国市场对铬盐整体需求约 40-50 万吨，随着国内经济持续快速发展，铬盐需求持续扩大，目前国内铬盐下游的市场规模增长与国内 GDP 增长幅度相近，全球增长和整个工业制造业的增长相关性较大。在新兴市场，三氯化铬作为铁铬液流电池电解液主要成分，若产业化顺利推进，将对铬盐需求带来较大边际增量，根据 2022 年 8 月 15 日国家电投集团中央研究院举办的“铁铬液流电池项目推介会”上的公示信息，北京和瑞储能科技公司近期的订单需求对应的装置容量是 12.1GWh，该容量对铬化学品的新增需求相当于目前国内全年总需求量 70-80%，对铬盐需求有较大提升。

敬请参阅最后一页特别声明

七、投资建议

- 新型储能在政策等需求带动下获得快速提升，具有极大的发展潜力，带动上游电池材料快速发展，磷酸铁锂行业建议关注具有产业链一体化布局的成本优势企业，钠离子电池仍处于不断研发优化过程，建议关注先期布局的中自科技、百合花、元力股份、七彩化学等。

中自科技——尾气处理催化剂加速国产替代，延伸布局储能电池业务

- 中自科技在尾气处理催化剂领域进一步拓展，夯实公司基础业务。公司是国内领先的的尾气催化剂供应厂商，已经在商用燃气车领域具有良好的布局基础，产业将进一步延伸柴油车、汽油车以及非道路国四领域。目前行业主要由海外三巨头庄信、优美科、巴斯夫把控，公司通过性价比优势和不断提升的技术优势有望进一步提升产品市占，带动基本业务稳步提升。公司现有汽油车催化剂 6 万套/年，天然气催化剂 12 万套/年，柴油车催化剂 43 万套/年，新型催化剂智能制造园预计于 2022 年 11 月完工，预期将新增汽油车催化剂 100 万套/年，天然气催化剂 10 万套/年，柴油车催化剂 20 万套/年，催化剂产品封装 30 万套/年；而汽车后处理装置智能制造产业园预计于 2023 年 11 月完工，预期产能为柴油车催化剂 35 万套/年。

- 磷酸铁锂大圆柱和钠离子电池齐布局，打开第二业绩增长曲线。公司同时布局两款“高性价比”电池，目标直指储能领域及其他成本敏感度较高的二次电池细分市场。目前来看，由于 4680 大圆柱电池由于圆柱电芯直径变大后，电池支架板和集流片孔变大，辅助结构件和焊接配件的数量也相应减少，可以在提升能量密度的同时降低成本，而钠离子电池由于钠元素地壳丰都高，原料易得，对比锂电池先天具备成本优势。目前磷酸铁锂大圆柱电池进入中试阶段，后续将布局 2GWH 电芯生产线；钠离子电池方面远期布局 2GWH 产线，随着产品循环寿命提升，公司将采取差异化路线，首先进入两轮车市场，再扩张进军储能行业。

百合花——有机颜料业务稳步发展，布局钠电池正负极打开成长空间

- 有机颜料业务保持稳健增长。有机颜料市场空间。行业全球产量约 40 万吨，市场规模约 300 亿元。其中经典有机颜料 32 万吨，均价 3-4 万元，未来需求增速 5%。高性能有机颜料 7-8 万吨，均价约 15-18 万（单价 7-40 万不等），未来需求增速 10%。18 年之后，1 万吨产能以下的小企业逐步洗牌，行业竞争格局持续优化。2018-2021 年，公司年收入复合增速 15%，年净利润复合增速超过 20%。未来，随着公司高性能有机颜料产能投放，以及氨氧化等中间体布局完善，公司有机颜料业务有望保持稳健增长。

- 布局钠电池正负极材料，打开成长空间。钠电池正极材料有层状金属氧化物、普鲁士蓝类似物等多类，各有所长；负极材料主要是硬碳和石墨以外的软碳材料。公司在普鲁士蓝类似物方面掌握一定技术储备，目前公司每年研发人员 200 人左右，每年投入研发费用 1 个亿。

元力股份——活性炭龙头企业，延伸硬碳领域布局

- 国内活性炭龙头企业，市占率不断提升。公司是国内活性炭龙头企业，以木材、竹子、椰壳等作为原料进行活性炭生产，同时针对下游客户的应用需求定向开发高效定制产品提升下游生产效率。目前公司有近 12 万吨活性炭产能，是国内最大的活性炭生产企业，伴随行业内环保等要求进一步提升，行业内小规模企业不断被淘汰，公司的市占率持续提升。在现有产业链上，公司进一步丰富产品种类，充分利用自身能源，建立了水玻璃、硅胶等延伸产品。

- 借助椰壳活性炭等技术基础，公司延伸布局硬碳领域。公司常年布局活性炭领域，在椰壳活性炭、超级电容炭等领域都有较强的技术积累，目前公司借助前期的技术积累进一步延伸硬碳领域布局，处于快速研发实验阶段。

八、风险提示

敬请参阅最后一页特别声明

- 技术迭代风险：新能源技术发展布局相对较快，产品技术更迭频繁，如果有新的技术起步，可以实现更好的产品性能，有对于现有技术路线替代的风险；
- 产能过剩风险：目前行业内参与布局新能源的企业较多，原本的从业者产能快速扩充，产业链的关联企业进行产业链延伸布局，还有相同下游客户的企业丰富产品品类，导致产能扩充较多，容易形成产能过剩；
- 政策变动风险：储能的推进受到政策影响极大，如果政策发生改变，将大幅影响储能的空间、进程等；
- 原材料价格剧烈波动风险：储能在保证安全的条件下，对于性价比要求相对较高，如果原材料剧烈波动，对于下游需求也将产生较大影响。

敬请参阅最后一页特别声明

公司投资评级的说明：

买入：预期未来 6－12 个月内上涨幅度在 15%以上；
增持：预期未来 6－12 个月内上涨幅度在 5%－15%；
中性：预期未来 6－12 个月内变动幅度在-5%－5%；
减持：预期未来 6－12 个月内下跌幅度在 5%以上。

行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3－6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
增持：预期未来 3－6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%－15%；
中性：预期未来 3－6 个月内该行业变动幅度相对大盘在-5%－5%；
减持：预期未来 3－6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明:

国金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。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级(含 C3 级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海

电话：021-60753903

传真：021-61038200

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号
紫竹国际大厦 7 楼

北京

电话：010-66216979

传真：010-66216793

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100053

地址：中国北京西城区长椿街 3 号 4 层

深圳

电话：0755-83831378

传真：0755-83830558

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：中国深圳市福田区中心四路 1-1 号
嘉里建设广场 T3-2402