

电池

报告日期：2022年12月12日

技术驱动性能升级，产业化放量在即

——磷酸锰铁锂行业深度报告

投资要点

□ LMFP：单瓦时性价比突出，改性技术不断成熟

据德方纳米公告，与 LFP 相比，LMFP 的实际能量密度可以提升 15%-20%，可降低相同电量的电池包整体成本 10%-15%；与 NCM 相比，LMFP 则具有更高的安全性和循环寿命以及更低成本，其主要劣势在于低的电导率及离子扩散系数，充放电倍率特性较差、锰的溶出问题等。LMFP 制备方式主要有固相法和液相法，比较适合工业生产的制备方法包括高温固相法、共沉淀法、喷雾干燥法，拥有反应条件或设备要求相对宽松、或反应速度快、或一次性制备量大等优点；品质方面，固相法产品颗粒的纯度、均匀度和分散性、倍率和放电效率等电化学性能不如液相法产品，但液相法的工艺难度和过程控制难度较大。随着离子掺杂、碳包覆、纳米化、补锂剂、导电剂等改性技术和三元材料等复合材料技术的不断成熟，LMFP 的性能和成本有望优化，贡献多元化的产品组合。

□ 空间：动力市场放量在即，技术驱动渗透提速

随着工艺优化带来生产成本的降低，LMFP 材料将在动力市场实现对 LFP 的部分替代和与三元掺杂混使用。在全球动力市场上，(1)电池环节：根据我们测算，中性假设下，我们预计到 2025 年 LMFP 电池在 LFP 电池系列中的渗透率约为 22%，LMFP 电池需求量达 174GWh，2022-2025 年的三年 CAGR 约为 207%。(2)正极材料环节：由于 Mn 和 Fe 的分子量十分接近，因而 LMFP 正极材料的单耗与 LFP 正极接近，据此估算在中性假设下，到 2025 年 LMFP 正极材料需求量将达到 38 万吨，2022-2025 年的三年 CAGR 约为 207%。

□ 供给：产业化程度是推广关键，技术壁垒高筑

2021 年以来，LFP 电池装机火爆，但实际能量密度临近理论瓶颈，使得 LMFP 材料再次成为行业布局重点。在投资强度上，德方纳米 LMFP 正极投资额约为 2-2.4 亿元/万吨，接近 LFP 正极的投资强度，而 LMFP 具有性能优势，后续业内相关项目有望增多。(1)正极材料环节：德方纳米的技术储备和产能建设走在前列，拥有独特的液相法，可解决锰的溶出问题，2022 年 9 月公司年产 11 万吨新型磷酸盐系正极项目投产，33 万吨产能项目紧跟其后；力泰锂能主营 LMFP 正极材料，已小批量供货给天能和星恒，2021 年获宁德时代入股，规划了数千吨级产能；容百科技收购天津斯科兰德及旗下主体，产能及出货进度均为国内第一梯队，公司规划到 2023 年产能达到 10 万吨；当升科技目前已完成产品开发，处于客户认证阶段。(2)电池环节：比亚迪的专利储备国内最多，关键技术的覆盖面广；宁德时代 2015 年便申请相关专利，并入股力泰锂能，持股 60%；国轩高科的专利储备相对丰富，覆盖固相法和液相法，多款产品适用于动力电池领域。

□ 投资分析建议

磷酸锰铁锂是新一代铁锂材料，性价比优势突出，技术驱动市场前景广阔，建议关注三大投资主线：1)材料：建议关注磷酸锰铁锂正极材料或补锂剂布局领先的德方纳米、容百科技、当升科技；搭配使用材料碳纳米管的天奈科技；2)电池：建议关注专利技术和产业化布局领先的宁德时代、比亚迪、国轩高科等；3)锰源：磷酸锰铁锂产业化带来对锰需求增量，建议关注红星发展、湘潭电化。

□ 风险提示

下游需求不及预期，产业化水平不及预期，企业产能投放不及预期。

行业评级：看好(维持)

分析师：张雷

执业证书号：S1230521120004
zhanglei02@stocke.com.cn

分析师：黄华栋

执业证书号：S1230522100003
huanghuadong@stocke.com.cn

研究助理：虞方林

yufanglin@stocke.com.cn

相关报告

- 《第四批白名单发布，铁锂回收收益继续提升——锂电池回收专题月度报告（2022年10月）》 2022.11.19
- 《产量高增预示 Q4 景气，三元同比超过铁锂——动力电池行业 2022 年 10 月数据点评》 2022.11.13
- 《铁锂回收价差扩大，电碳回收产量比例稳定——锂电池回收专题月度报告（2022 年 9 月）》 2022.10.20

正文目录

1 LMFP: 具有性价比优势, 改性技术逐渐成熟	4
1.1 集 LFP 和 LMP 之所长, LMFP 性能突出	4
1.2 制备工艺各有利弊, 掺锰比例影响性能	6
1.3 改性技术不断成熟, 提供多元化应用	8
1.3.1 碳包覆: 适量添加将改善材料性能	8
1.3.2 纳米化: 改善电导率等电化学性能	10
1.3.3 LMFP+: 将提供更多应用可能性	10
2 处于产业化前夕, LMFP 将成 LFP 重要补充	13
2.1 需求路径较为清晰, 处于放量前夕	13
2.2 成企业布局重点, 已有万吨级规划	14
2.3 正极材料: 专利壁垒不断高筑	16
2.3.1 德方纳米: 技术储备&产业化走在前列	16
2.3.2 力泰锂能: 获宁德时代支持, 产能规划数千吨级	17
2.3.3 容百科技: 收购天津斯科兰德, 规划十万吨级别产能	18
2.3.4 当升科技: 完成产品开发, 处于客户认证阶段	19
2.4 电池: 投资入股和自研并行	19
2.4.1 比亚迪: 专利覆盖全面, 关键技术积累深厚	19
2.4.2 宁德时代: 入股力泰锂能, 持有 60% 股权	20
2.4.3 国轩高科: 专利较丰富, 部分材料适用于动力	20
3 投资分析建议	21
4 风险提示	22

图表目录

图 1: 锂电池工作原理及正、负极材料的放电容量(单位: mAh/g, V).....	4
图 2: 锂电正极材料的研究方向、电压和比容量的对比(单位: mAh/g, V).....	5
图 3: 磷酸铁锂和磷酸锰铁锂的晶体结构图与性能对比.....	6
图 4: 0.1C 电流密度下, 不同配比下 LMFP 的指标对比(单位: mAh/g, V, 次).....	6
图 5: 0.1C 电流密度下, 不同配比的 LMFP、LMP、LFP 的指标对比(单位: mAh/g, V, Wh/kg).....	7
图 6: LMFP 不同制备方法的产品性能、反应条件、工艺要求和制备步骤等.....	7
图 7: 不同碳含量的 LMFP 材料的 XRD 图和 SEM 显微照片.....	9
图 8: 不同碳含量的 LMFP 材料的充放电曲线和倍率特性 (单位: mAh/g, V, 次).....	9
图 9: LMFP 与 NCM 及混合正极电池的性能对比(单位: mAh/g, V, C, g/cm ³ , μm, 次, %, Ah).....	10
图 10: 在导电剂中加入碳纳米管, 对复合正极电池的性能影响(单位: mAh/g, V, C, °C, %, 次).....	12
图 11: LMFP 和含过量锂的 LFMP 的充放电曲线(单位: mAh/g, V).....	12
图 12: 含过量锂的 LFMP 的倍率性能图(单位: mAh/g, 次).....	12
图 13: 天能生产的磷酸锰铁锂 18650 电池的低温性能有所改善.....	13
图 14: 含“磷酸锰铁锂”发明专利数量-按公开日年份.....	15
图 15: 主要企业的含“磷酸锰铁锂”发明专利数量.....	15
图 16: 当升科技关于磷酸锰铁锂的一项发明专利细节.....	19
表 1: 不同类型的正极材料性能对比(单位: cm ² /s, S/cm, V, mAh/g, Wh/kg).....	5
表 2: 德方纳米新型磷酸盐正极材料的制备工艺流程.....	8
表 3: 江苏力泰锂能研发的纳米级磷酸锰铁锂材料性能(单位: mAh/g, V, C, °C, S/cm, ppm, ppb).....	10
表 4: 部分企业在 NCM 和 LMFP 复合材料的专利布局.....	11
表 5: 全球动力市场中磷酸锰铁锂电池及正极材料的市场空间测算(单位: 万辆, GWh, %, 吨/GWh, 万吨).....	14
表 6: 2021 年以来磷酸锰铁锂的产业布局.....	15
表 7: 德方纳米在新型磷酸盐正极的核心技术.....	16
表 8: 德方纳米新型磷酸盐系正极材料与纳米磷酸铁锂正极材料的联系与区别.....	16
表 9: 德方纳米的新型磷酸盐系正极材料的产能项目(单位: 万吨, 亿元).....	17
表 10: 力泰锂能的磷酸锰铁锂相关的部分发明专利.....	17
表 11: 2020 年至 2021 年 6 月力泰锂能磷酸锰铁锂的主要客户(单位: 万元/吨, 吨, 万元).....	18
表 12: 天津斯科兰德有关于“磷酸锰铁锂”的专利情况.....	18
表 13: 比亚迪“磷酸锰铁锂”的部分发明专利及主要技术.....	20
表 14: 宁德时代“磷酸锰铁锂”的部分发明专利及主要技术.....	20
表 15: 国轩高科“磷酸锰铁锂”的部分发明专利及主要技术.....	21
表 16: 行业公司的盈利预测与估值(单位: 亿元、元/股、倍).....	21

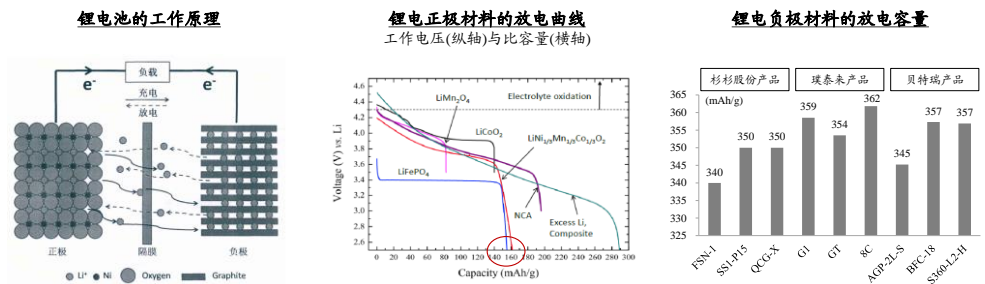
1 LMFP: 具有性价比优势, 改性技术逐渐成熟

1.1 集 LFP 和 LMP 之所长, LMFP 性能突出

正极材料是提高 LFP 电池能量密度的重要掣肘。锂电池的能量 E 等于平均工作电压 V_{ave} 与质量(体积)比容量 Q_{max} 的乘积, 即 $E = V_{ave} * Q_{max}$ 。因此, 提高平均工作电压或者提高材料的质量(体积)比容量, 均可以提高电池的能量密度。目前已量产的负极材料放电容量基本达到 350mAh/g 以上, 硅基负极可达到 500mAh/g 以上, 而磷酸铁锂正极(LiFePO₄/LFP)的实际放电容量 160-170mAh/g, 低于负极材料容量, 而且已经趋近理论放电容量极限, 因此对磷酸铁锂正极材料进行优化成为重要研究方向。

理想的正极材料应具备以下特点: (1)放电平台高且平稳性好, 与电解液不发生反应。(2)晶体结构稳定, 在充放电过程中氧化还原电位的变化量小, 以获得良好的循环性能和平稳的放电平台。(3)较高的锂离子扩散系数, 可降低极化程度, 减少能量损耗, 并且获得较快的充放电。(4)锂离子反应中有较大的吉布斯自由能, 以减少极化造成的能量损失。

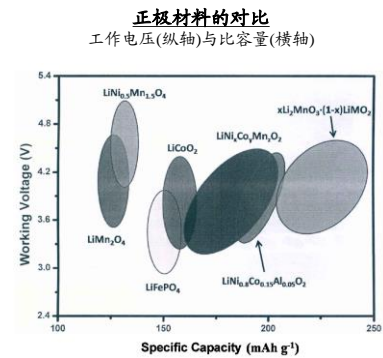
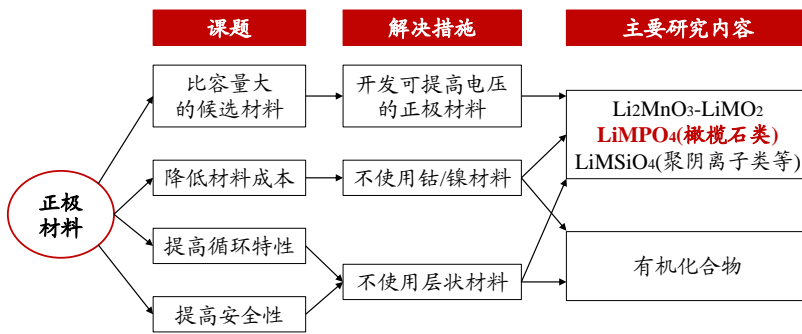
图1: 锂电池工作原理及正、负极材料的放电容量(单位: mAh/g, V)



资料来源: 谭卓《橄榄石型锂离子电池正极材料的制备技术及电池特性研究》, 庄慧《磷酸铁锂里基正极材料的组成调控、制备优化与电化学性能研究》, 浙商证券研究所 *注: 图中数据仅为文章实验数据, 仅作为对比和趋势判断; 其他图表同

LFP 正极材料具有稳定性高、长寿命、安全等优点, 但低电位特性需要改善。目前正极材料主要有: 层状正极材料, 如 LiCoO₂ (LCO)、镍钴锰酸锂三元材料 LiNi_xCo_yMn₂O₂、富锂材料 xLi₂MnO₃(1-x)LiMO₂ (M=Mn、Co、Ni); 尖晶石锰锂氧化物 LiMn₂O₄ (LMO); 橄榄石状正极材料, 如磷酸盐材料 LiMPO₄ (M=Fe、Mn、Ni 等等)。其中钴酸锂(LiCoO₂)、磷酸铁锂(LiFePO₄/LFP)和三元材料(LiNi_{1-x-y}Co_xMn_yO₂/NCM)等已得到广泛应用。LFP 正极具有良好的电性能, 成本低廉, 无毒性, 良好的热稳定性和环境友好等诸多优点, 但低的电位(在 3.4V 左右具有平坦的放电平台)造成了较低的能量密度及较低的本征电子电导率, 因此, 引入如 Co, Mn 和 Ni 等过渡金属的掺杂以改善 LFP 的电压平台, 以提高能量密度, 成为重点研究方向之一。

图2：锂电正极材料的研究方向、电压和比容量的对比(单位：mAh/g, V)



资料来源：CNKI，浙商证券研究所 *注：M可以是Mn、Co、Ni等金属元素

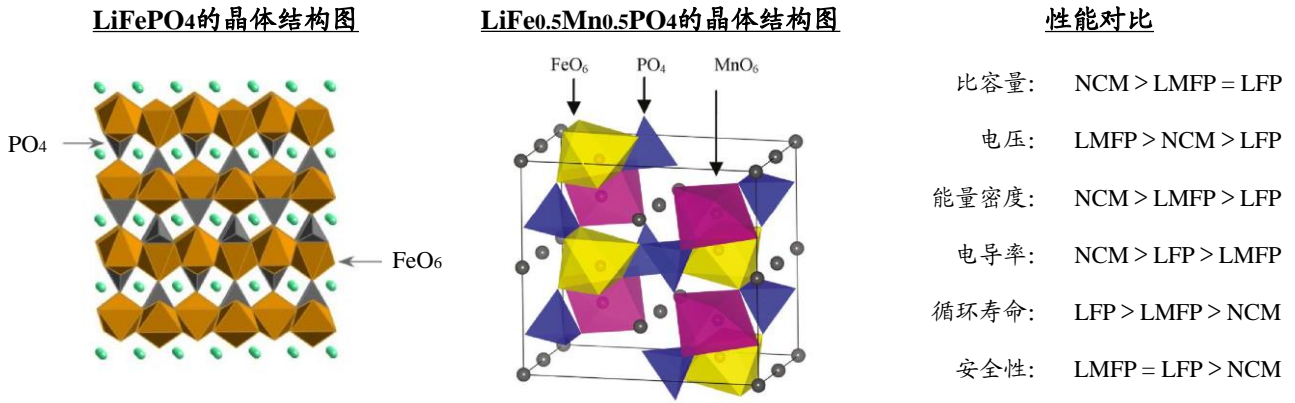
表1：不同类型的正极材料性能对比(单位：cm²/s, S/cm, V, mAh/g, Wh/kg)

性能参数	层状结构	尖晶石结构	橄榄石结构	
	LiNiCoMnO₂/三元	LiMn₂O₄	LiFePO₄	LiMnPO₄
锂离子扩散速率(cm²/s)	10 ⁻⁹	10 ⁻⁷	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁸
电导率(S/cm)	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁷	10 ⁻¹²
电压平台/vs.Li(V)	3.9	4.0	3.4	4.1
理论比容量(mAh/g)	274	148	170	170
理论比能量(Wh/kg)	1000	580	580	700
安全性	差	一般	好	好
循环寿命	一般	差	好	好
热力学稳定性	不稳定	不稳定	稳定	较稳定
价格	高	便宜	便宜	便宜

资料来源：贺志龙《磷酸锰铁锂复合三元体系及对复合方式的研究》，谭卓《橄榄石型锂离子电池正极材料的制备技术及电池特性研究》，浙商证券研究所

掺杂 Mn 是优选，可结合 LFP 较高的电导率和 LMP 较高的电压。(1)钴和镍：虽然 LiCoPO₄ (LCP, 4.8V), LiNiPO₄ (LNP, 5.2V)的理论容量和 LFP 接近，但它们的工作电压均超出了现有电解液可承受的工作电压范围，并且镍和钴的成本也比较高，因此 LCP 和 LNP 这两种材料没有产业化意义。(2)钒：有剧毒、成本较高且电化学性能并不非常突出，所以 Li₃V₂(PO₄)₃ (LVP, 4.0V/3.7V/3.6V)也很难商业化。(3)锰：LiMnPO₄ (LMP)相对于 Li+/Li 的电极电势为 4.1V，高于 LFP 的 3.4V，因此 LMP 材料理论质量能量密度约比 LFP 高出 21%；LFP 和 LMP 的结构基本相同，仅仅是晶格参数不同(Fe²⁺的半径为 0.092nm, Mn²⁺的半径为 0.097nm)，而且锰金属产量丰富，价格低廉，因此在 LFP 中掺杂锰形成多组分磷酸锰铁锂 (LiMnₓFe₁₋ₓPO₄/LMFP 或 LFMP)体系，可结合 LFP 电导率相对较高和 LMP 电压相对较高的优点，此外还具有更好的低温性能，同时其六方密堆结构决定了其具有很好的稳定性和安全性，但依然存在材料电导率低、大电流放电性能差(倍率性能差)和循环性能较差等问题。

图3: 磷酸铁锂和磷酸锰铁锂的晶体结构图与性能对比



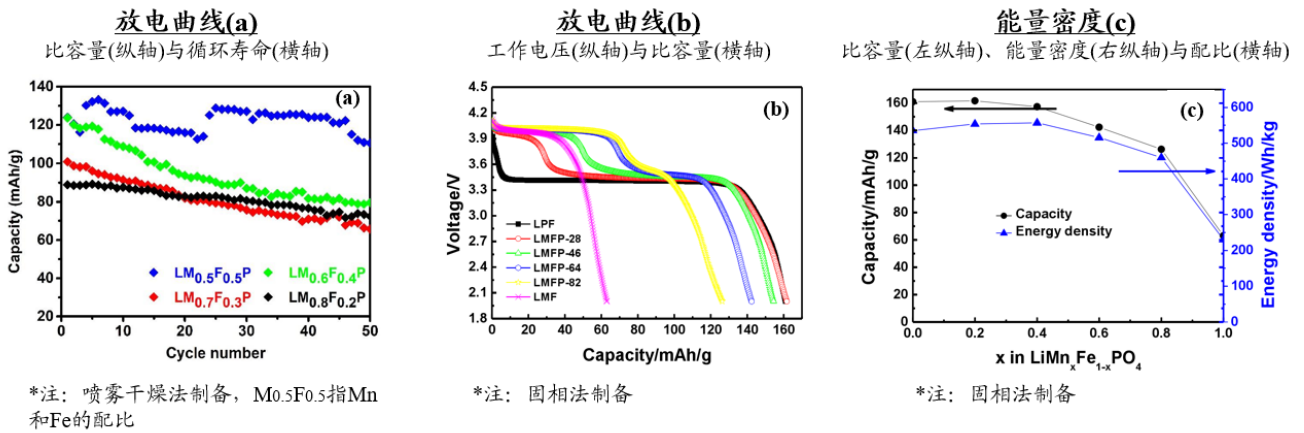
资料来源: 谭卓《橄榄石型锂离子电池正极材料的制备技术及电池特性研究》, 庄慧《磷酸锰铁里基正极材料的组成调控、制备优化与电化学性能研究》, 浙商证券研究所 *注: 图中的球状原子为锂离子

1.2 制备工艺各有利弊, 掺锰比例影响性能

锰和铁的配比对 LMFP 正极的特性具有较大影响, 锰的掺杂比例过高或过低均会对性能造成不良影响。总结来说, (1)如果 Mn 的掺杂量过高, 由于 Mn 元素存在 John-Teller 效应, LMFP 材料的放电比容量较低并且衰减迅速, 容量保持率较低; (2)如果 Mn 的掺杂量过低, LMFP 材料就无法明显提高平台电压, 从而不能获得最大放电比能量。

具体看, 在 0.1C 的放电倍率下, (1)循环寿命: 在放电曲线(a)中的几种配比材料里, Mn 和 Fe 配比为 1:1 时, 在循环多次后, 比容量保持率最高, 换句话说, 该配比下 LMFP 的循环寿命最长; (2)放电中压: 由于 LMP 具有更高的电压平台, 随着锰的掺杂比例的提高, LMFP 材料的放电中压逐渐提高; (3)比容量和能量密度: 在放电曲线(b)中, 几类掺混 LMFP 材料的电压平台保持在 4.0V 左右, 但随着锰含量的提高, 比容量下降较快, 在能量密度(c)中, 能量密度的变化趋势有所不同, 在锰的含量约为 40%时达到最高值, 但随着锰含量的继续提高, 比容量的大幅下降造成了能量密度的逐步降低。

图4: 0.1C 电流密度下, 不同配比下 LMFP 的指标对比(单位: mAh/g, V, 次)



资料来源: 林文忠《碳掺杂的磷酸锰铁锂离子电池正极材料的制备和改性研究》, 谭卓《橄榄石型锂离子电池正极材料的制备技术及电池特性研究》, 浙商证券研究所

图5: 0.1C 电流密度下, 不同配比的 LMFP、LMP、LFP 的指标对比(单位: mAh/g, V, Wh/kg)

	放电比容量(mAh/g)	放电中压(V)	能量密度(Wh/kg)
LMP	63	3.95	230.6
LMFP-82	126.3	3.96	459.9
LMFP-64	142.4	3.65	515.8
LMFP-46	157.4	3.48	557
LMFP-28	161.7	3.44	553.5
LFP	161	3.41	534.9

资料来源: 谭卓《橄榄石型锂离子电池正极材料的制备技术及电池特性研究》, 浙商证券研究所 *注: LMFP-28 指 Mn 和 Fe 配比为 2:8, 其余同理; 数据来自固相法制备的 LMFP 材料

LMFP 常用的制备方法主要有固相法和液相法, 其中固相法包括高温固相法、碳热还原法等, 液相法包括共沉淀法、喷雾干燥法、溶胶凝胶法、水热-溶剂热法等, 以德方纳米为代表。具体来看, (1)工艺生产: 比较适合工业生产的制备方法包括高温固相法、共沉淀法、喷雾干燥法, 拥有反应条件或设备要求相对宽松、或反应速度快、或一次性制备量大等优点。(2)产品品质: 对于固相法制备的 LMFP 材料, 由于固相反应的传质速率限制, 决定了其产品颗粒的纯度、均匀度和分散性、倍率和放电效率等电化学性能不如液相法制备产品; 液相法制备虽然产品质量较高, 但工艺难度和过程控制难度较大。(3)能耗与环保: 一般来讲反应条件需要高温高压的制备方法的能耗较高, 如高温固相法和溶剂热法, 而液相法中的共沉淀法由于会产生废液及过滤困难, 需要存在一定的环保处理环节。(4)制备工艺: 液相法大致都需要经过液态下反应生产前驱体和对前驱体的干燥烧结等过程, 前驱体目前基本源于企业自产。

图6: LMFP 不同制备方法的产品性能、反应条件、工艺要求和制备步骤等

	产品性能	反应条件	工艺要求	能耗	工艺过程	
工业常用	高温固相法	颗粒尺寸较大且分布不均匀	需要较长时间的高温烧结	设备要求低, 工艺步骤简单	较高	原料 → 均匀混合 → 前驱体 → 煅烧 → 研磨 → 样品
	共沉淀法	分散性和均匀性好, 化学性能好	条件相对温和, 需用惰性气体	沉淀过滤困难, 产生废液, 工业化较易	较低	原料 → 混合反应 → 沉淀 → 离心分离 → 前驱体 → 洗涤干燥 → 煅烧 → 样品
	喷雾干燥法	产品质量较好, 是多孔球形颗粒	反应时间很短, 流程简单易行	适用大规模生产, 回收微粒装置要求高	较低	原料 → 混合均匀 → 干燥塔/机 → 雾化造粒 → 蒸发干燥 → 产物 → 烧结 → 样品
实验室常用	溶胶-凝胶法	化学均匀性好, 颗粒细, 纯度高	可在室温反应, 合成周期较长	干燥操作复杂, 退火时间长, 工业难度大	较低	溶质/溶剂/催化剂 → 水解缩聚 → 溶胶 → 凝胶化陈化 → 湿凝胶 → 干燥脱水 → 干凝胶 → 焙烧 → 样品
	溶剂热法	容量较高, 库伦效率和倍率较好	需要在高温高压下反应	大批量产难, 耐高温高压反应釜难以制造	较高	原料 → 反应釜中混合 → 水热反应 → 前驱体 → 洗涤干燥 → 煅烧 → 样品

资料来源: 袁万颂《LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂-LiMn_{0.7}Fe_{0.3}PO₄混合正极电池性能研究》, 庄慧《磷酸锰铁里基正极材料的组成调控、制备优化与电化学性能研究》, 浙商证券研究所

与 LFP 相比制备工艺差别不大, 锰源的调整和配方考验企业开发能力。与现有的磷酸铁锂生产工艺相比, 磷酸锰铁锂的制备工艺差别不大, 但需要多补充锰源, 而锰的导电性较差, 难以加工, 需要进行对配方和工艺进行专注的定向研发, 对企业的生产技术提出更高要求。根据德方纳米公告, 其新型磷酸盐系正极材料主要做了两项调整和优化: (1)引入高电位

离子，提高了放电电压平台；(2)一次粒径控制：新型磷酸盐系正极材料一次烧结后采用高强粉碎工艺，使得一次粒径较纳米磷酸铁锂更细。

表2：德方纳米新型磷酸盐正极材料的制备工艺流程

主要环节	主要内容
原材料混合	将称重配比好的各类原材料，按添加顺序依次加入至搅拌罐中，进行搅拌溶解成液体状态浆料
前驱体制备	将液态浆料放入发料罐中，进行预加热，浆料自然吸收热量，自热蒸发大部分水分，形成固体蜂窝状凝胶
初碎	将固体蜂窝状凝胶输送至破碎机，将前驱体进行初步破碎
造粒	前驱体通过物理辊压的方式，形成颗粒状
烧结	将干燥后的粉末状凝胶盛装到匣体内，通过辊道窑辊棒传动匣体，将物料带入辊道窑中进行烧结
粉碎	将烧结出来的物料管道输送至气流磨中，利用设备的高温高压空气使物料间相互碰撞研磨，直至合格出料
除铁	粉碎出来的物料通过管道输送到除铁器中，将物料中可能含有的极少量的磁性物质除去，合格出料
成品、包装	合格物料通过管道输送至吨袋包装机中，进行称量封口，完成包装过程，入库管理

资料来源：德方纳米公告，浙商证券研究所

1.3 改性技术不断成熟，提供多元化应用

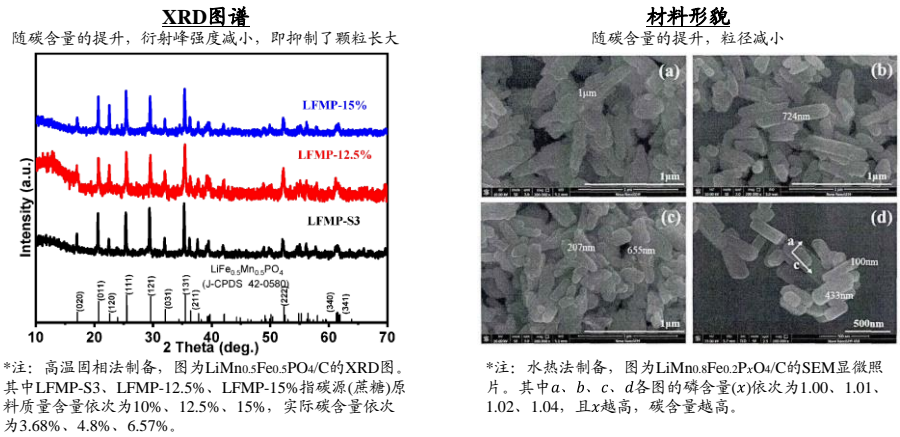
LMFP 材料主要存在以下问题：(1)比 LFP 更低的电导率及离子扩散系数，后者影响充放电倍率特性；(2)Mn 和 Fe 的双电压问题；(3)循环性能较差；(4)在电解液中的锰溶解问题等。这些问题将影响 LMFP 材料的性能表现，现有技术主要着眼于碳包覆、纳米化、补锂技术等改性技术，以及和三元材料复合，以期获得更优的性能和产业化技术。

1.3.1 碳包覆：适量添加将改善材料性能

包覆碳层改性的主要原理在于：(1)通过碳层和颗粒的相互接触，形成良好的导电网络，从而提高材料电子电导率；(2)阻止磷酸锰铁锂颗粒的进一步长大，从而提高电池性能。(3)阻止电解液中的氟化氢侵蚀正极材料，从而提高正极材料的循环性能。具体来看：

- (1) 可抑制晶体颗粒长大：**根据不同碳含量 LMFP 材料的 XRD 图，首先，所有样品的特征衍射峰与 $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 的标准谱图峰基本吻合，不存在杂质相的衍射峰，说明碳包覆后对材料结构没有影响。其次，随着碳含量的提升，LMFP 材料的衍射峰强度减小，这是因为较多的碳与晶体颗粒的接触机会更大，能够抑制晶体颗粒进一步长大。但过量的碳具有连接作用，会导致微粒之间发生团聚，影响锂离子的传输。
- (2) 更小粒径，提高压实密度和电导率：**根据不同碳含量 LMFP 材料的 SEM 显微照片，可以发现，随着碳含量的增加，粒径逐渐减小，压实密度提高。而粒径会极大地影响电极材料的电化学性能，小粒径能缩短锂离子的扩散路径，提高锂离子的扩散速度，以提高电导率。

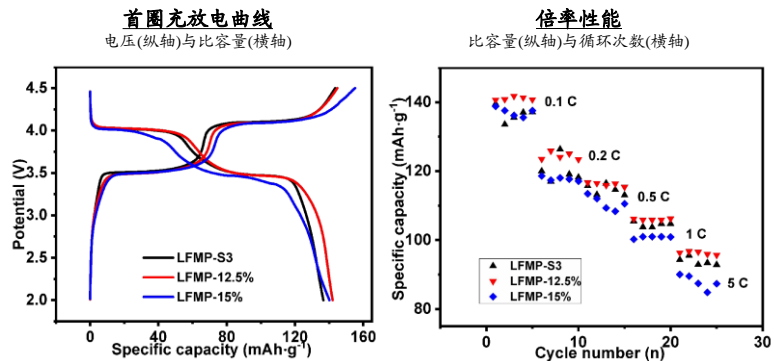
图7: 不同碳含量的 LMFP 材料的 XRD 图和 SEM 显微照片



资料来源: 庄慧《磷酸锰铁里基正极材料的组成调控、制备优化与电化学性能研究》, 浙商证券研究所

- (3) **可提高首圈效率和导电性:** 根据 LFMP 材料的首圈充放电曲线, 可以发现, 在实际碳含量分别为 3.68%、4.8%、6.57% 的三种材料中, 随碳含量的提升, 首圈库伦效率先提升后降低。LFMP-15% (碳含量最高) 的放电平台不平坦、不稳定且两充放电平台之间的间距较大, 说明电池的极化现象严重, 因为过量的碳不能为材料提供有效的电化学活性, 反而还会使样品的电子、离子传输阻力增加。LFMP-S3 (碳含量最低) 的放电比容量最低, 说明碳含量过少不能对材料颗粒进行有效的包覆, 材料导电性的改善不明显。
- (4) **可提高倍率和循环性能:** 根据倍率性能图, LFMP-12.5% (实际碳含量为 4.8%) 样品在 0.1C、0.2C、0.5C、1C 和 5C 倍率条件下的放电比容量分别为 140.6、123.5、116.7、106.2 和 96.7 mAh/g。但 LFMP-15% 材料 (碳含量最高) 随着电流密度的增加, 放电比容量下降很快, 主要因为过量的碳导致样品颗粒团聚现象引起的电子和离子的传输减慢。因此, 适当碳含量可以帮助 LFMP 形成完整均匀的包覆层, 提高活性材料的利用率以改善材料的倍率特性和循环性能。

图8: 不同碳含量的 LMFP 材料的充放电曲线和倍率特性 (单位: mAh/g, V, 次)



资料来源: 谭卓《橄榄石型锂离子电池正极材料的制备技术及电池特性研究》, 庄慧《磷酸锰铁里基正极材料的组成调控、制备优化与电化学性能研究》, 浙商证券研究所

1.3.2 纳米化：改善电导率等电化学性能

纳米化是提高电导率等性能的重要手段。由于锂离子的扩散系数由颗粒尺寸直接决定，在纳米尺度上的离子扩散系数远大于微米及更大尺寸的颗粒的离子扩散系数，这是因为减小颗粒的尺寸可以缩短离子的扩散路径，可提高电导率等性能。根据力泰锂能官网，基于纳米晶立体网状多孔磷酸铁锂正极材料技术，公司自主研发的纳米级磷酸锰铁锂材料，通过一次粒子纳米化及二次粒子的立体网状导电功能，解决了普通 LFMP 的电阻问题，电导率得到较大幅度改善，具有良好的倍率性能、循环性能、低温性能和加工性能，优异的安全性。

表3：江苏力泰锂能研发的纳米级磷酸锰铁锂材料性能(单位：mAh/g, V, C, °C, S/cm, ppm, ppb)

指标	比容量 (4.3V/0.2C/25°C)	比容量(4.3V/1.0C/25°C)	电导率	振实密度	水含量	放电中压	磁性物质
数值	> 150mAh/g	> 140mAh/g	> 10 ⁻² S/cm	> 0.9g/cm ³	< 500ppm	≥3.8V	≤200ppb

资料来源：力泰锂能官网，浙商证券研究所

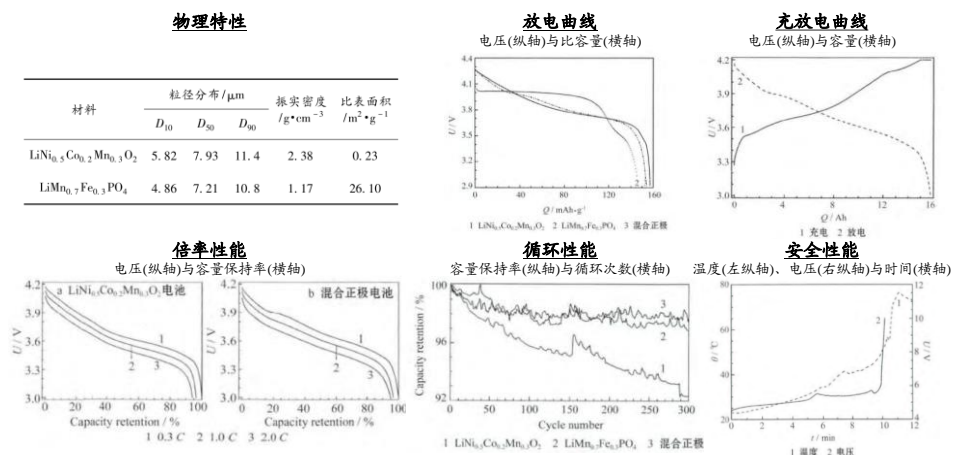
1.3.3 LMFP+：将提供更多应用可能性

(1) LMFP+NCM

与三元材料相比，磷酸锰铁锂的优势在于更稳定、更安全、更便宜、更长寿命，劣势在于能量密度略差，且由于 LMFP 的单维 Li⁺通道不如 NCM 的平面通道，倍率性能和低温性能逊于 NCM。因此，LMFP 可与三元材料进行复合包覆，创造性能互补的多元化产品系列。

根据下图，第一，物理特性方面，NCM523 和 LiMn_{0.7}Fe_{0.3}PO₄ 的 D50 分别为 7.93μm 和 7.21μm，粒径分布较一致且形貌接近，有利于两者的均匀混合。第二，根据放电曲线，混合正极材料(图中序号 3)的放电比容量和放电电压处于 NCM 和 LMFP 之间。第三，倍率性能方面，在提高倍率放电后，混合正极材料与 NCM 的容量保持率相当接近，说明在复合 NCM 后，LMFP 材料的倍率特性有所提高。第四，循环寿命方面，混合正极材料明显好于 NCM 材料，略好于 LMFP 材料。第五，安全性方面，在加入橄榄石结构的 LMFP 后，混合正极的分解温度提高且放热量减少；在过充(6V 快速上升至 10V)的过程中，混合正极材料温度保持在 72°C 以下，不起火、不爆炸，并通过了针刺测试和安全性能测试。

图9：LMFP 与 NCM 及混合正极电池的性能对比(单位：mAh/g, V, C, g/cm³, μm, 次, %, Ah)



资料来源：袁万颂《LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂-LiMn_{0.7}Fe_{0.3}PO₄混合正极电池性能研究》，浙商证券研究所 *注：未提及材料种类的图中材料是混合正极电池

复合产品的性能实现较大提升，目前众多专利布局和示范项目。中国科学院宁波材料技术与工程研究所于2019年研制出一种磷酸锰铁锂-三元材料复合动力电池，单体容量达43Ah、能量密度达185Wh/kg、循环寿命达3500次、安全性通过针刺测试的新型方形铝壳动力电池以及单体容量40Ah、能量密度达220Wh/kg、循环寿命达3500次、安全性通过针刺测试的新型软包动力电池。该复合动力电池已搭载在吉利集团旗下上海华普汽车有限公司车型为G10-F的电动汽车上，进行了应用示范。此外，国轩高科、中创新航、比亚迪等企业均有相关专利布局，在对LMFP和NCM进行复合包覆处理后，可改善或提高电池的安全性、低温特性、循环寿命、导电性、溶锰现象等。

表4：部分企业在NCM和LMFP复合材料的专利布局

公开日	名称	状态	类型	申请人	摘要
2018-09-18	一种锂离子电池的镍钴锰酸锂/磷酸锰铁锂复合正极材料的制备方法	有效	发明	合肥国轩高科动力能源有限公司	一种由磷酸锰铁锂在镍钴锰三元材料表面均匀复合而成的正极材料。在保证三元材料的高能量密度的前提下显著地提高三元材料的安全性，可广泛的应用于锂离子电池，尤其是动力领域。
2018-11-09	一种正极材料、正极片及锂离子电池	审中	发明	中国科学院宁波材料技术与工程研究所	本发明将三元材料被磷酸锰铁锂材料包围，降低了正极材料整体的放热量，提高了其着火点，能够提高电池的安全性能，同时提高电池的循环性能。
2019-02-26	一种低温锂离子电池	有效	发明	中航锂电(洛阳)有限公司	其中正极所用的正极活性物质为磷酸锰铁锂掺杂的镍钴锰三元材料。组装成的锂电池在-20℃条件下的0.3C放电容量保持率可达到80%以上，在0℃条件下0.3C放电容量保持率在92%以上；具备良好的安全性、倍率性能、循环性能，尤其低温性能。
2022-05-03	正极复合材料及其制备方法和锂离子电池	审中	发明	比亚迪股份有限公司	包括磷酸锰铁锂材料以及包覆在磷酸锰铁锂材料表面的包覆层，包覆层中包括高镍三元和第一导电剂，有效改善了磷酸锰铁锂材料的溶锰现象，提高了结构稳定性，并在不降低极片压实密度的情况下提升了导电性。

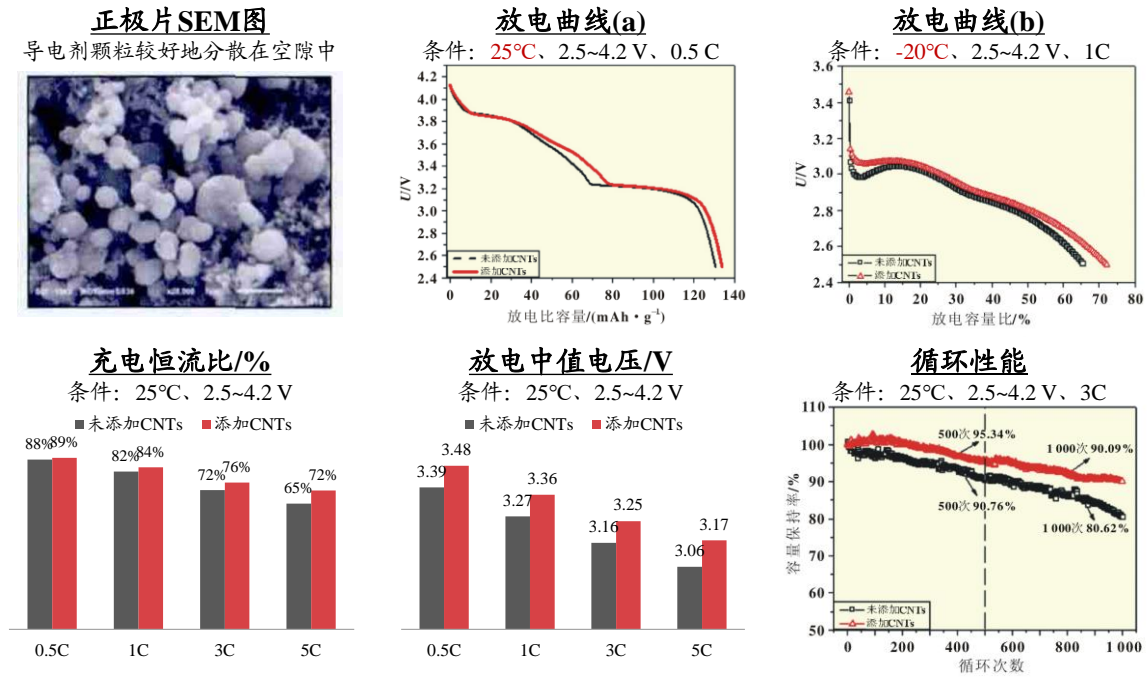
资料来源：专利之星，浙商证券研究所

(2) LMFP+碳纳米管

导电剂主要有炭黑、导电碳纤维、碳纳米管等，其中炭黑是点状导电剂，而碳纳米管(CNTs)是纤维状的中空管状结构，具有较大的长径比，且结构稳定性好，可形成较好的导电网络，降低Li⁺在活性颗粒间的传输阻抗。针对LMFP的低导电率问题，添加导电剂的主要作用包括提高电子电导率、提高锂离子迁移速率以提高充放电效率和循环寿命、改善低温特性等。具体来看：

第一，碳纳米管等导电剂需要在浆料中分散均匀才能发挥更好作用。第二，根据放电曲线，在25℃和0.5C放电条件下，添加CNTs可适当提高比容量和放电平台；在-20℃和1C放电条件下，添加CNTs可以改善电池的低温放电性能。第三，倍率特性方面，随着充放电倍率的提升，Li⁺的单位时间脱嵌量增大造成极化现象严重，导致恒流充电时间和恒流比减小，并影响了放电中压；在加入CNTs提高导电性后，可以提升充电恒流比和放电中压。第四，循环寿命方面，添加CNTs后电池的循环性能得到提升。

图10: 在导电剂中加入碳纳米管, 对复合正极电池的性能影响(单位: mAh/g, V, C, °C, %, 次)



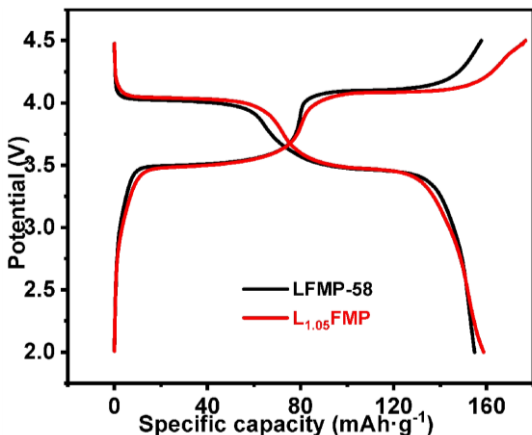
资料来源: 刘熙林《碳纳米管对复合型锂离子动力电池性能的影响》, 浙商证券研究所 *注: 图中材料是LFP、LMFP、NCM的三相复合正极电池, 导电剂类型分别为导电石墨和导电炭黑复合以及碳纳米管(CNTs)和导电炭黑, CNTs添加比例为2%; 充电恒流比指恒流充电占总充电容量的百分比

(3) LMFP+补锂剂

通过补充锂元素来改进材料性能主要存在两条路径, 一是过量的锂元素会在LFP粒子表面包覆一层导体, 以提升产物的电化学性能; 二是过量的锂元素会降低铁、锂的反位缺陷(铁、锂反位缺陷会堵塞锂离子的扩散通道), 进而提升产物的电化学性能。

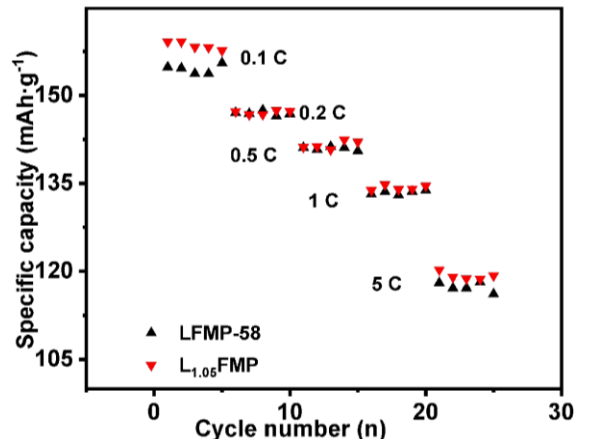
用于正极的补锂剂包括富锂化合物、基于转化反应的纳米复合材料和二元锂化合物等, 在正极合浆过程中添加少量高容量材料, 在充电过程中, Li⁺从高容量材料中脱出, 补充首次充放电的不可逆容量损失。通过添加补锂剂, 根据充放电曲线, L_{1.05}FMP的首圈放电容量略有提升; 根据倍率性能图, 0.1C下L_{1.05}FMP的放电容量更高, 但高倍率下优势不明显。

图11: LMFP和含过量锂的LFMP的充放电曲线(单位: mAh/g, V)



资料来源: 庄慧《磷酸锰铁锂正极材料的组成调控、制备优化与电化学性能研究》, 浙商证券研究所 *纵轴: 电压/横轴: 比容量

图12: 含过量锂的LFMP的倍率性能图(单位: mAh/g, 次)



资料来源: 庄慧《磷酸锰铁锂正极材料的组成调控、制备优化与电化学性能研究》, 浙商证券研究所 *纵轴: 比容量/横轴: 循环次数

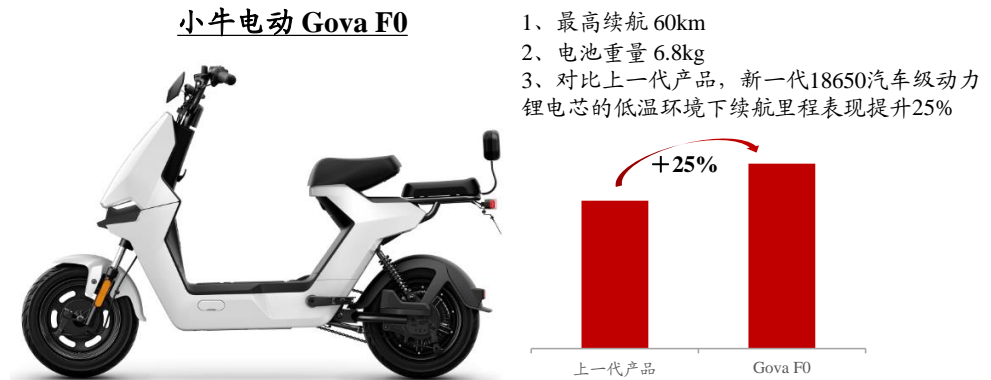
2 处于产业化前夕，LMFP 将成 LFP 重要补充

2.1 需求路径较为清晰，处于放量前夕

据德方纳米公告，与 LFP 相比，LMFP 的理论能量密度高出 21%，实际能量密度可以提升 15%-20%，降低相同电量的电池包整体成本 10%-15%，随着工艺优化带来生产成本的降低，LMFP 将逐渐显示出竞争优势。

- (1) **短期-电动两轮车：**LMFP 材料目前主要适用在电动两轮车和三轮车，由于 LMFP 放电平台和 LMO 一致，搭配使用时电荷元器件不需过多更改，而且具有优秀的安全性、低温特性、循环特性和性价比等，因而在两轮车锂电市场，大都是 LMFP 和 LMO 掺混使用，天能股份和星恒电源均有相应的电池产品落地。
- (2) **中期-动力汽车：**随着企业对 LMFP 材料的劣势不断改善和优化，LMFP 材料及电池将在动力领域快速放量，据德方纳米披露，其新型磷酸盐正极材料的市场定位以动力市场为主、储能市场为辅；掺混或复合三元材料可体现出更强的产品性能，预计动力市场将以混合使用为主，根据力泰锂能和德方纳米的验证和产能建设进度，预计 2023 年就将稳定量产。
- (3) **远期-储能市场：**在远期，得益于更优的低温特性和循环寿命，LMFP 电池有望在储能市场逐步渗透，掺混比例有望提升。

图13：天能生产的磷酸锰铁锂 18650 电池的低温性能有所改善



资料来源：小牛电动官网，浙商证券研究所

LMFP 材料应用前景广阔，渗透有望加速。LMFP 的需求主要来源于对 LFP 的部分替代及与三元材料复合使用，并且由于 LFP 和 LMFP 的工艺流程接近，性价比更优的 LMFP 有望加速在动力市场的渗透。(1)**电池环节：**根据测算，中性假设下，我们预计到 2025 年 LMFP 电池在 LFP 电池系列中的渗透率约为 22%，LMFP 电池需求量达 174GWh，2022-2025 年的三年 CAGR 约为 207%。(2)**正极材料环节：**由于 Mn 和 Fe 的分子量十分接近，因而 LMFP 正极材料的单耗与 LFP 正极接近，据此估算在中性假设下，到 2025 年 LMFP 正极材料需求量将达到 38 万吨，2022-2025 年的三年 CAGR 约为 207%。

表5: 全球动力市场中磷酸锰铁锂电池及正极材料的市场空间测算(单位: 万辆, GWh, %, 吨/GWh, 万吨)

	单位	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	CAGR 2022-2025
全球新能源汽车总产量	万辆	635	1,150	1,575	2,115	2,750	
国内新能源汽车总产量	万辆	355	650	850	1,100	1,430	
海外新能源汽车总产量	万辆	281	500	725	1,015	1,320	
国内单车带电量	KWh/辆	44	48	53	58	60	
海外单车带电量	KWh/辆	51	56	56	58	60	
全球动力电池装机量	GWh	297	592	857	1,227	1,650	41%
国内动力电池装机量	GWh	155	312	451	638	858	40%
磷酸铁锂电池占比	%	52%	55%	55%	55%	55%	
磷酸铁锂电池装机量	GWh	80	172	248	351	472	40%
海外动力电池装机量	GWh	142	280	406	589	792	41%
磷酸铁锂电池占比	%	0%	10%	20%	30%	40%	
磷酸铁锂电池装机量	GWh	-	28	81	177	317	124%
磷酸铁锂电池需求量	GWh	80	200	329	528	789	58%
磷酸锰铁锂电池渗透率							
乐观	%	1%	4%	12%	20%	30%	
中性	%	1%	3%	9%	15%	22%	
悲观	%	1%	2%	6%	10%	15%	
磷酸锰铁锂电池需求量							
乐观	GWh	0.6	8.0	39.5	105.5	236.6	209%
中性	GWh	0.6	6.0	29.6	79.1	173.5	207%
悲观	GWh	0.6	4.0	19.7	52.8	118.3	209%
磷酸锰铁锂正极材料单耗	吨/GWh	2200	2200	2200	2200	2200	
磷酸锰铁锂正极材料需求量							
乐观	万吨	0.1	1.8	8.7	23.2	52.1	209%
中性	万吨	0.1	1.3	6.5	17.4	38.2	207%
悲观	万吨	0.1	0.9	4.3	11.6	26.0	209%

资料来源: Trend Force, GGII, 中汽协, SNE, 浙商证券研究所

2.2 成企业布局重点, 已有万吨级规划

磷酸锰铁锂重回行业布局重点, 多家企业已有产能规划。1997年, 作为磷酸盐正极材料的家族成员, 磷酸锰铁锂在实验室中发明出来。2009年天津斯特兰为上海比亚迪开发相关产品, 率先实现国内的产业化。之后, 磷酸锰铁锂是比亚迪的专利布局较为领先的技术路线, 但2016年开始, 受到补贴政策对高能量密度材料和电池的青睐影响, 磷酸铁锂系列电池被冷落。2021年以来, 得益于补贴影响减小和低成本高安全性等优势, 磷酸铁锂电池回到动力电池的应用主流, 应用比例超过三元材料, 磷酸锰铁锂技术也成为行业布局重点。根据德方纳米的建设项目, 估算磷酸锰铁锂正极材料的投资额约为2-2.4亿元/万吨, 略高于磷酸铁锂正极的投资强度。

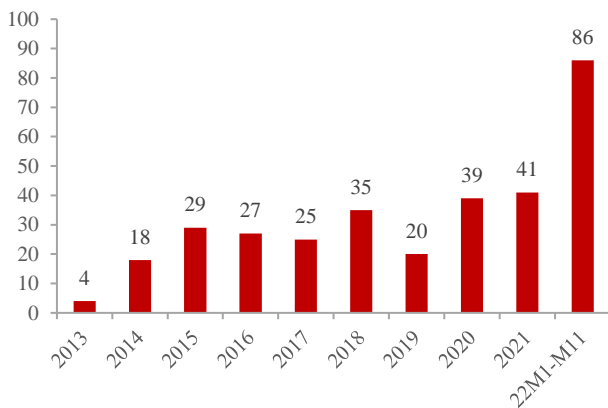
表6: 2021年以来磷酸锰铁锂的产业布局

新闻时间	企业	布局
2021年8月	鹏欣能源	全资子公司鹏珈基金拟7500万元对力泰锂能进行增资, 增资完成后鹏珈基金持有力泰锂能23%股份。
2021年9月	宁夏百川新材料	已取得备案证的项目包括3万吨磷酸铁锂/磷酸锰铁锂。
2021年12月	宁德时代	以4.13亿元投资力泰锂能成为其第一大股东; 目前, 力泰锂能拥有2000吨磷酸锰铁锂生产线, 计划2021年9月至2022年3月期间, 新增建设年产3000吨磷酸锰铁锂设备, 新建年产2000吨磷酸锰铁锂前驱体装置。
2022年1月	德方纳米	年产11万吨新型磷酸盐系正极材料生产基地项目于2022年9月顺利建成投产; 并拟在曲靖投资75亿元建设“年产33万吨新型磷酸盐系正极材料生产基地项目”。
2022年2月	当升科技	采取液相和固相结合的方法制备, 通过组合掺杂技术和包覆技术, 大幅改善了J-泰勒和锰溶出问题; 目前已送样国内主流电池生产商。
2022年4月	常州锂源	龙蟠科技旗下常州锂源公司与星恒电源就磷酸锰铁锂正极材料项目签署战略合作协议。
2022年4月	合纵科技	已完成多型号磷酸锰铁锂前驱体产品中试, 并开始向下游新能源企业送样测试; 截至9月已完成磷酸锰铁锂前驱体产品的研发并已向下游客户送样。
2022年5月	富临精工	子公司江西升华有磷酸锰铁锂(LMPF)的技术工艺和产品研发规划。
2022年6月	中贝材料	已完成千吨级磷酸锰铁锂的产业化出货, 一期项目年产万吨磷酸锰铁锂材料智慧工厂, 完成交付并全面投产, 并为10万吨级别做准备。
2022年8月	光华科技	拟在现有厂区建设年产3.6万吨磷酸锰铁锂及磷酸铁正极材料, 项目总投资为2.47亿元。
2022年8月	龙蟠科技	目前正在做客户应用的验证工作, 尚未对下游客户供货。
2022年9月	富临精工	产品研发及客户验证进展顺利, 射洪基地一期和二期兼具磷酸铁锂和磷酸锰铁锂两种材料的工艺及生产要求。
2022年10月	容百科技	7月收购天津斯科兰德, 磷酸锰铁锂9月出货超200吨, 现有产能6000多吨, 将开发万吨级的磷酸锰铁锂产线建设。
2022年11月	欣旺达	公司已与国内外多家车厂就磷酸锰铁锂电池开展交流和合作, 公司可以提供400-750公里续航里程要求的磷酸锰铁锂产品解决方案

资料来源: Wind, 各公司公告, 浙商证券研究所

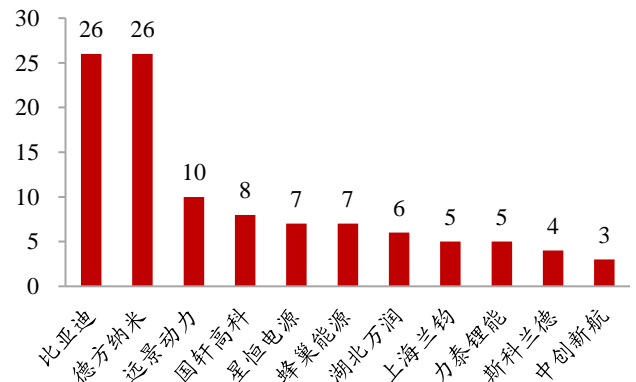
磷酸锰铁锂在2022年获得较大关注, 比亚迪专利数量领先。我们统计中国含“磷酸锰铁锂”关键词的发明专利, 总数量318条。按照时间来看, 根据专利之星数据, 2022年前11个月的专利数量(含审中和有效)达86件, 呈现出快速增长趋势, 说明磷酸锰铁锂在业界和学界都获得了较大的关注。在企业层面, 截至2022年11月底, 比亚迪和德方纳米的专利储备最多, 累计数量均为26件, 远景动力和国轩高科等企业也有一定的专利储备, 以上专利包括了正极材料、锂电池等的制备方法和设备制造。

图14: 含“磷酸锰铁锂”发明专利数量-按公开日年份



资料来源: 专利之星, 浙商证券研究所 *注: 含失效、审中和有效

图15: 主要企业的含“磷酸锰铁锂”发明专利数量



资料来源: 专利之星, 浙商证券研究所 *注: 含失效、审中和有效

2.3 正极材料：专利壁垒不断高筑

2.3.1 德方纳米：技术储备&产业化走在前列

研发方面，德方纳米有效解决了高电位离子溶出这一主要问题。锰离子的溶出问题是磷酸锰铁锂技术改进的一项重大难题，会严重影响电池的循环寿命等性能，因而成为磷酸锰铁锂材料一项较高的技术壁垒。德方纳米是液相法工艺领先企业，利用自主研发的液相合成法和镍甲界面改进技术，帮助材料实现离子级均匀混合，并结合非连续石墨烯包覆技术等，可有效解决高电位离子溶出问题，提高了材料的稳定性、一致性及循环性能。

降本方面，德方纳米具有相应的专利技术。如从废旧电池中回收并直接制备碳包覆的磷酸锰铁锂正极，这得益于液相法的使用，以及由磷矿低成本地制备磷酸铁、磷酸二氢铵、磷酸锂等原料。目前碳酸锂价格居高不下，使用回收的金属资源或通过磷锂矿来制备磷酸锰铁锂正极材料具有一定的经济性。

表7：德方纳米在新型磷酸盐正极的核心技术

核心技术名称	技术特点
自热蒸发液相合成	常压下一次水热合成；离子级均匀混合，微观结构稳定性好；独特的掺杂技术；通过液相法合成可以形成均匀的固溶体，防止离子溶出
非连续石墨烯包覆	采用特殊包覆工艺在颗粒表面形成具有类似高导电性石墨烯结构的碳包覆层，降低体积电阻率，提高导电性能
纳米化技术	结合前驱体制备工艺与烧结工艺，对一次颗粒与二次颗粒粒径及形貌进行控制，保持一次颗粒纳米效应；同时控制好二次颗粒大小，保证材料的加工性能
离子掺杂技术	在液相反应中通过引入高电位离子，提高了放电电压平台，同时有效改善了锂离子在电极内部的传导性能

资料来源：德方纳米公告，浙商证券研究所

与现有业务相比，生产过程产生协同作用，应用市场部分互补。与现有的纳米磷酸铁锂的工艺相比，德方纳米的新型磷酸盐正极在技术、产品性能、客户等方面具有众多联系，可产生一定的协同效应，但性能有所差异，因而也存在应用领域的互补。

表8：德方纳米新型磷酸盐系正极材料与纳米磷酸铁锂正极材料的联系与区别

项目	纳米磷酸铁锂	新型磷酸盐系正极材料
联系	新型磷酸盐系正极是基于纳米磷酸铁锂成熟的液相法生产工艺，并结合非连续石墨烯包覆技术和纳米化技术等研发而成，二者工艺相似，具有共通性	
技术区别	新型磷酸盐系正极材料在以下两个方面做出技术更新：1、引入新离子：通过引入高电位离子，提高了放电电压平台；2、一次粒径控制：材料一次烧结后采用高强粉碎工艺，可以将材料一次粒径控制得更小，使得新型磷酸盐系正极材料一次粒径较纳米磷酸铁锂更细	
产品联系	二者均具有安全性高、成本低、循环寿命长的产品性能	
性能区别	能量密度较低，循环寿命较长	能量密度有所提升
下游联系	二者均可以应用于动力电池、储能电池等锂离子电池制造，并最终应用于新能源汽车、储能领域等	
用途区别	凭借优异的循环性能更加适用于储能领域，市场定位以储能市场为主，新能源汽车市场为辅	在动力电池领域市场竞争力更强，市场定位以新能源汽车市场为主，储能市场为辅
客户联系	二者均以锂离子电池行业核心生产企业为目标客户	
客户类型区别	基于储能领域对循环寿命的高要求，主要匹配下游锂离子电池客户在储能电池制造领域的需求	基于能量密度等技术指标的改善，主要匹配下游锂离子电池客户在动力电池制造领域的需求

资料来源：德方纳米公告，浙商证券研究所

产能建设和规划走在前列，有望贡献较大收益。产业化方面，2022年9月，德方纳米年产11万吨新型磷酸盐系正极材料生产基地项目顺利建成投产，根据公司测算，项目满产后，预计年均营业收入为62.48亿元，年均税后利润为5.11亿元，项目税后内部收益率为16.30%，投资回收期为7.30年，公司将继续在曲靖投资75亿元建设“年产33万吨新型磷酸盐系正极材料生产基地项目”。

表9：德方纳米的新型磷酸盐系正极材料的产能项目(单位：万吨，亿元)

地点	项目名称	建设规模	技术路线	投产时间	截至2021年末进度
云南 曲靖	年产11万吨新型磷酸盐系 正极材料生产基地项目	25.9亿元	液相法	2022年9月	正在进行基础建设及 设备采购
云南 曲靖	年产33万吨新型磷酸盐系 正极材料生产基地项目	75亿元	液相法	一期项目预计2023年第四季度投产， 二期项目预计2024年第四季度投产	正在进行项目前期准 备工作

资料来源：德方纳米公告，浙商证券研究所

2.3.2 力泰锂能：获宁德时代支持，产能规划数千吨级

主营磷酸锰铁锂，专利技术较为丰富。力泰锂能主要从事磷酸锰铁锂业务，近年营业收入占比约90%，经过八年研发实现磷酸锰铁锂产品的工业化生产，其3D Meshy Nano-LMFP材料具有导电性优异、倍率性能好、充放电比容量高等优势。在专利方面，力泰锂能具备磷酸锰铁锂及其前驱体的工业化生产技术、碳包覆等改性技术、与三元材料和锰酸锂复合制备混合材料的技术。

宁德时代入股，夯实资金和技术研发底气。2021年8月，一家金属公司鹏欣资源增资江苏力泰，持股23%。2021年11月，宁德时代以0.51亿元受让力泰锂能15.57%的股权。同日，宁德时代拟以3.62亿元认购力泰锂能新增注册资本。最终宁德时代获得江苏力泰60%的股权，实现非同一控制下合并，鹏欣资源持有力泰锂能10.89%股权。

表10：力泰锂能的磷酸锰铁锂相关的部分发明专利

名称	公开日	摘要
制备磷酸锰铁锂-碳复合材料的方 法和磷酸锰铁锂-碳复合材料	20191011	本发明的方法简单易行，适合大规模工业化生产。所得材料可用作锂离子电池正极活性材料，电阻率低，电化学性能优。
制备磷酸锰铁锂前体的方法和制 备磷酸锰铁锂的方法	20200410	制得的磷酸锰铁锂前体的粒径比使用反应釜的传统方法制得的前体更加细小且均匀，制备速度提升，碳包覆得更加均匀。
正极活性材料及其制备方法	20200421	纳米磷酸锰铁锂材料因其表面能较大，与单晶型三元正极活性材料混合后可以吸附在单晶型三元正极活性材料的表面，形成包覆层；颗粒较细，可以填充于单晶型三元正极活性材料的空隙之中。
正极活性材料及其制备方法、正极 和锂离子电池	20210601	本发明的正极活性材料同时具有优异的容量性能、循环性能和安全性能。而且，由于增加了锰酸锂的含量且降低了磷酸锰铁锂的含量，这显著降低了正极活性材料的制造成本。
掺杂的磷酸锰铁锂-碳复合材料及 其制备方法	20210723	本发明的制备方法工艺简单，所制得的复合材料的比容量高、循环性能优异、倍率性能较好。

资料来源：专利之星，浙商证券研究所

产能规划数千吨级，2022 年底或达产。根据鹏欣资源公告，力泰锂能现有 2000 吨磷酸锰铁锂生产线，计划新增年产 3000 吨磷酸锰铁锂设备及 2000 吨磷酸锰铁锂前躯体装置，达产后预计毛利率为 16.4%，年均净利润 3699 万元，年均经营性现金流 5130 万元，项目内部回报率 23.5%，投资回收期约为 5 年。

已实现百吨级小批量销售，单价较磷酸铁锂高出 20%-40%。力泰锂能自 2020 年开始销售磷酸锰铁锂产品，主要面向电动两轮车的锂电企业，包括天能帅福得和星恒，2020 年销售产品 5.66 吨，2021 年上半年销售产品 27.99 吨，但产量较低(2020 年产量为 55.3 吨，2021 年上半年产量为 206.5 吨)，因而成本相对较高，单价约为 6 万元/吨，高于当时的磷酸铁锂正极价格(2021 年上半年价格在 4.3-5.2 万元/吨)。

表11：2020 年至 2021 年 6 月力泰锂能磷酸锰铁锂的主要客户(单位：万元/吨，吨，万元)

序号	客户名称	销售产品	单价(万元/吨)	销量(吨)	交易总金额(万元)
1	天能能源帅福得能源股份有限公司	磷酸锰铁锂	6	33.58	201.5
2	星恒电源股份有限公司	磷酸锰铁锂	6	0.45	2.7

资料来源：鹏欣资源公告，浙商证券研究所

2.3.3 容百科技：收购天津斯科兰德，规划十万吨级别产能

收购天津斯科兰德，布局磷酸锰铁锂产品。2022 年 7 月，公司收购整合行业领先企业天津斯科兰德及其旗下主体，正式布局磷酸锰铁锂领域。目前斯科兰德具备 6200 吨/年磷酸锰铁锂产能，斯科兰德控股子公司临汾中贝拥有 5000 吨/年 LMFP 产能；斯科兰德与四川新国荣签署了 3 年独家排他的《产品委托加工协议》，四川新国荣现有 1200 吨/年 LMFP 产能，同时，斯科兰德正在扩建产能至万吨级以上。

出货和产业化走在前列，将在四轮车领域释放。目前公司已向两轮车头部企业稳定出货 200 吨/月以上，产能及出货进度均为国内第一梯队，产品包括混用和纯用，产线可与现有正极产线部分共用，公司规划到 2023 年产能达到 10 万吨，2025 年达到 30 万吨。目前公司正在积极配合四轮车头部企业进行新车型开发，进度领先，实现多家客户每月吨级稳定供货。公司预计磷酸锰铁锂与三元掺混产品在 2022 年底完成量产认证，纯用产品在 2023 年一季度完成量产认证，2023 年实现在部分车型的批量化应用。

表12：天津斯科兰德有关于“磷酸锰铁锂”的专利情况

公开日	标题	特点	专利类型
20220819	一种磷酸锰铁锂材料的强化研磨装置	提升了研磨效率和研磨质量，可对大批量物料研磨。	实用新型
20220610	一种制造磷酸铁锰前躯体的合成装置	可连续不间断工作，实现全自动化运行，减轻人力劳动。	实用新型
20220726	一种磷酸锰铁锂材料的精细粉碎装置	构造合理，使得粉碎后物料的粒径可控，同时能够减少物料的细粉比例，从而减少损失。	实用新型
20220610	一种磷酸锰铁锂的融合碳包覆设备	节约能耗，提高转速，提高效率，节约成本，使物料破碎混合达到同样的效果。	实用新型
20210706	一种复合多元磷酸铁锰钒锂正极材料的制备方法	操作简单、可控性强，适合工业大批量生产，通过较低的成本合成了具有多种优点的锂离子电池正极材料。	发明
20210706	一种磷酸锰铁锂/碳复合纳米颗粒正极材料的制备方法	储能材料及其制备和应用领域	发明
20210706	一种高压实密度磷酸锰铁锂/碳复合正极材料的制备方法	大幅提升了材料电化学性能及材料压实密度。	发明
20201103	一种锂离子电池正极材料、正极片及锂离子电池	能量密度高、安全性能好、循环寿命好、成本低廉。	发明
20201113	一种磷酸锰铁锂正极材料及其制备方法和应用	提高材料电导率，提高材料的放电容量和倍率性能。	发明

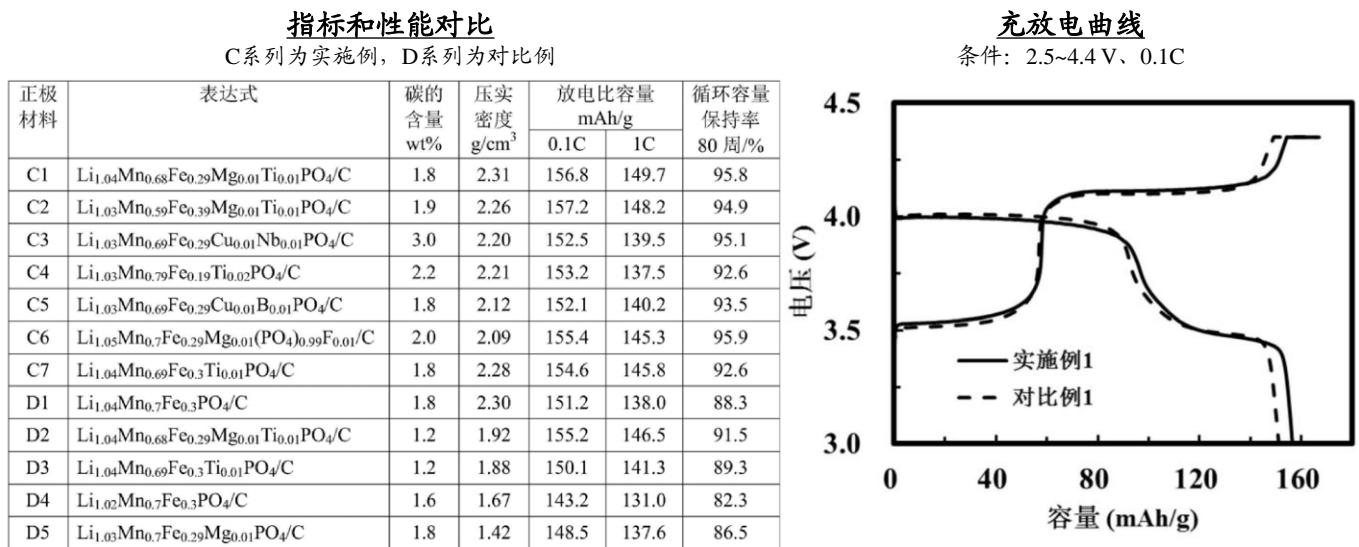
资料来源：专利之星，浙商证券研究所

2.3.4 当升科技：完成产品开发，处于客户认证阶段

公司具有产品制备和关键改性技术，电化学性能得以提升。根据当升科技“磷酸锰铁锂前驱体、磷酸锰铁锂正极材料及其制备方法和电极材料、电极以及锂离子电池”的专利细节，公司具备磷酸锰铁锂的前驱体、正极材料及锂电池的制备方法，及金属掺杂、碳包覆、等改性技术。该专利制备的产品 C1 组装的纽扣电池在 2.5-4.4V, 0.1C 倍率下的放电比容量为 156.8mAh/g, 在 1C 倍率下的放电比容量达到 149.7mAh/g, 循环 80 周后的容量保持率为 95.8%，与对比例 D1 相比，实施例 C1 的放电比容量及循环寿命均有提升。

已完成产品开发，处于客户认证阶段。根据公司 2022 年 1 月投资者交流纪要披露，公司磷酸锰铁锂材料已完成开发，各项性能指标良好，目前处于客户认证阶段，预计随着产品认证及订单释放后，公司也将规模化布局相关产能。根据公司 2022 年 4 月公告，公司与力神电池签订战略合作协议，其中约定将在超高镍正极材料、磷酸锰铁锂正极材料、高容量富锂锰基正极材料等锂电前沿技术领域加强合作。

图 16: 当升科技关于磷酸锰铁锂的一项发明专利细节



*注：专利名称是磷酸锰铁锂前驱体、磷酸锰铁锂正极材料及其制备方法和电极材料、电极以及锂离子电池；公开号：CN113942990A；公开日：2022.01.18；

资料来源：专利之星，浙商证券研究所

2.4 电池：投资入股和自研并行

2.4.1 比亚迪：专利覆盖全面，关键技术积累深厚

相关专利数量国内最多，关键技术的覆盖面广。作为国内磷酸锰铁锂专利最多和较早的企业，比亚迪最早在 2012 年便申请了“磷酸锰铁锂”的相关专利，但由 LMFP 材料的能量密度优势不大，循环性差、成本较高等原因，而后数年并未受到市场重视。直到 2020 年及以后，比亚迪对磷酸锰铁锂材料及电池的发明专利申请量重回高峰。根据专利之星数据，比亚迪通过近十年的研发积累，专利储备包括了共沉淀法等多种液相制备方法，以及多材料复合与包覆、掺杂离子、纳米化、导电剂和补锂剂介入等改性技术，具有较为全面的专利优势。

表13: 比亚迪“磷酸锰铁锂”的部分发明专利及主要技术

公开日	标题	优点	关键技术
20160406	正极活性材料组合物、正极浆料及其制备方法、正极片及其制备方法	具有优异的电化学性能和安全性能。	NCM/LMFP/相变材料复合
20160727	一种正极活性物质及制备方法、包含该正极活性物质的正极材料及电池	防止锰的溶出; 共聚物易形成薄而致密的包覆层; 活性物质能有效提高导电性、循环性、倍率性。	包覆、核壳、防锰的溶出
20160810	一种锂离子电池正极活性材料LiMnxFe1-xPO4/C的制备方法	锰和铁均匀分布, 未出现明显的富铁或者富锰区域。	共沉淀法
20171201	一种磷酸锰铁锂及制备方法和应用	粒径小、粒径分布均匀且电化学性能优异。	液相法
20180911	一种磷酸锰铁锂及制备方法和应用	一次颗粒都在 100 纳米左右, 比容量在 140-160mAh/g, 倍率性能较好, 可用在动力电池。	溶胶凝胶法、纳米化
20181221	一种前驱体和磷酸锰铁锂及制备方法和应用	锰铁溶出少、循环性能优异的磷酸锰铁锂。	减少锰铁的溶出
20190726	一种磷酸锰铁锂类材料及制备方法以及电池浆料和正极与锂电池	改善常温循环性能及高温循环性能。	掺杂离子
20220329	磷酸锰铁锂复合材料及制备方法和锂离子电池	有效改善锰溶出现象的发生, 保证结构稳定性和电化学稳定性。	包裹内核
20220503	正极复合材料及制备方法和锂离子电池	有效改善溶锰现象, 不降低极片压实密度的情况下提升导电性。	三元复合、导电剂包覆
20220513	锂离子电池	保证锂离子电池的比容量、使用寿命和安全性的多重性能要求。	负极补锂、正极复合

资料来源: 专利之星, 浙商证券研究所

2.4.2 宁德时代: 入股力泰锂能, 持有 60% 股权

产业布局逐步深入, 持股力泰锂能 60% 股权。公司最早在 2015 年申请了磷酸锰铁锂的相关专利, 主要技术点在于与其他材料的复合。2021 年, 公司获得力泰锂能 60% 股权, 后者主要从事磷酸锰铁锂正极材料业务。根据公司 2022 年 2 月交流纪要, 公司计划推出的新产品 M3P 是含有除铁以外金属元素的磷酸盐和三元复合的复合电池, 更偏向于三元, 其成本较三元略有下降。

表14: 宁德时代“磷酸锰铁锂”的部分发明专利及主要技术

公开日	申请日	标题	摘要
20170524	20150723	锂离子蓄电池复合正极材料及其制备方法	本发明公开了一种锂离子蓄电池复合正极材料的制备方法, 获得的烧结产物为磷酸锰铁锂与石墨烯复合正极材料; 还公开了一种根据本发明方法制备的复合正极材料以及正极片含有复合正极材料的锂离子蓄电池。
20170912	20140529	正极材料及锂离子二次电池	本发明提供了一种正极材料及锂离子二次电池, 正极材料包括钴酸锂和磷酸锰铁锂, 具有高的电压平台以及高的能量密度, 同时具有良好的倍率性能、循环性能以及安全性能。

资料来源: 专利之星, 浙商证券研究所

2.4.3 国轩高科: 专利较丰富, 部分材料适用于动力

掌握较多关键技术, 部分材料适用于动力电池。2014 年, 公司自主研发的“FP1865140-15Ah 方形磷酸锰铁锂锂离子蓄电池”便获得安徽省新产品荣誉。2014 年至今, 公司的专利积累也在不断丰富, 制备方法涉及高温固相法和共沉淀法、水热法等液相法, 关键技术包括碳包覆及其他材料包覆、CNTs 介入、三元材料复合及金属掺杂等技术, 专利布局相对丰富。据专利描述, 多款产品适用于动力电池领域。

表15: 国轩高科“磷酸锰铁锂”的部分发明专利及主要技术

公开日	标题	优点	关键技术
20170201	一种锂离子电池正极材料磷酸锰铁锂的制备方法	具有能量密度高、循环性能好、倍率性能优异等特点, 适合于锂离子动力电池应用领域。	共沉淀法
20180918	一种锂离子电池的镍钴锰酸锂/磷酸锰铁锂复合正极材料的制备方法	保证三元材料的高能量密度的前提下显著地提高三元材料的安全性能, 特别适用于动力锂离子电池领域。	NCM 和 LMFP 复合
20190712	一种磷酸铁锂/碳包覆的核壳型磷酸锰铁锂复合正极材料及其制备方法	产品颗粒球形貌规则, 降低正极材料中锰的溶解, 电池的循环性能得到大幅度提升。	碳包覆、共沉淀法和水热法结合
20190712	一种球状复相磷酸锰铁锂材料及其制备方法	提高振实密度, 并且工艺简单, 技术成熟, 原料丰富, 易工业化。	高温固相法、含 CNTs 导电剂
20190712	一种氮化钛和碳双重包覆磷酸锰铁锂复合材料制备方法	材料振实密度高、导电性好, 电池具有较好的充放电倍率及循环稳定性; 制备过程简单可控, 易于工业生产。	氮化钛和碳双重包覆
20190927	金属/碳纳米管复合掺杂的磷酸锰铁材料及其制备方法	晶体结构为单斜晶型, 利用这种锰铁前驱体, 加入适当的锂源可以直接得到导电性能优异的磷酸锰铁锂成品。	金属/CNTs 复合掺杂

资料来源: 专利之星, 浙商证券研究所

3 投资分析建议

磷酸锰铁锂: 新一代铁锂材料, 技术驱动市场前景广阔。与磷酸铁锂相比, 磷酸锰铁锂具有更高的电位和能量密度, 与三元材料相比, 磷酸锰铁锂则具有更高的安全性和循环寿命以及更低成本, 其主要劣势在于低的电导率及离子扩散系数, 充放电倍率特性较差、锰的溶出问题等。随着离子掺杂、碳包覆、纳米化、补锂剂、导电剂等改性技术和三元材料等复合材料技术的不断成熟, 磷酸锰铁锂的导电性、循环寿命、倍率性、低温性、能量密度等得到一定的提升和改善, 生产工艺不断优化以实现更低成本, 驱动着磷酸锰铁锂的性价比优势不断凸显, 有望在动力电池领域快速渗透, 实现较大规模的市场化。

投资建议:在材料, 建议关注磷酸锰铁锂正极材料或补锂剂布局领先的**德方纳米、容百科技、当升科技**; 搭配使用材料碳纳米管的**天奈科技**; 在电池, 建议关注专利技术和产业化布局领先的**宁德时代、比亚迪、国轩高科**等; 在**锂源**, 磷酸锰铁锂产业化带来对锰需求增量, 建议关注**红星发展、湘潭电化**。

表16: 行业公司的盈利预测与估值(单位: 亿元、元/股、倍)

代码	简称	最新收盘价	总市值	EPS(元/股)				PE			
		2022/12/9	(亿元)	21A	22E	23E	24E	21A	22E	23E	24E
300769.SZ	德方纳米	265.56	461	4.61	12.48	16.15	20.50	57.6	21.3	16.4	13.0
688005.SH	容百科技	77.76	351	2.02	3.59	5.58	7.43	38.5	21.7	13.9	10.5
300073.SZ	当升科技	63.55	322	2.15	3.99	4.96	6.20	29.5	15.9	12.8	10.2
688116.SH	天奈科技	99.55	231	1.27	2.35	4.12	6.13	78.1	42.3	24.2	16.2
300750.SZ	宁德时代	424.60	10,371	6.52	11.48	17.90	24.09	65.1	37.0	23.7	17.6
002594.SZ	比亚迪	274.70	7,997	1.05	4.73	8.34	11.88	262.6	58.1	32.9	23.1
002074.SZ	国轩高科	32.73	582	0.06	0.26	1.02	1.47	571.4	126.7	32.0	22.2
600367.SH	红星发展	17.67	52	0.90	1.07	1.32	1.54	19.7	16.5	13.4	11.5
002125.SZ	湘潭电化	15.89	100	0.38	1.03	1.32	1.59	42.1	15.4	12.1	10.0

资料来源: Wind, 浙商证券研究所 *注: 预测值采用 Wind 一致预期

4 风险提示

下游需求不及预期: 目前磷酸锰铁锂正极材料和电池还处于小批量导入期, 如果锂电池需求不及预期或磷酸锰铁锂的接受度提升较慢, 将对该材料的订单获取和需求放量造成不利影响, 进而影响相关企业的产能消化和收入盈利。

产业化水平不及预期: 目前磷酸锰铁锂的性能优势需要改性或复合等技术进行巩固, 并仍需不断进步以更大程度提升该材料的使用性价比、扩大适用范围, 如果技术研发的进度和量产产品的性能不及预期或达不到要求, 将影响磷酸锰铁锂材料的放量销售。

企业产能投放不及预期: 新能源汽车行业和储能行业的快速发展, 驱动着对新技术新材料的需求和要求不断提升。目前部分领先企业的磷酸锰铁锂产能仍处于数千吨级别, 部分企业尚未开始建设大批量产产能, 产能建设和工艺优化正在推进。如果产能投放不及预期, 将导致磷酸锰铁锂无法及时满足下游不断扩张的市场, 丧失先发优势, 进而影响该材料的渗透率提升速度, 以及业内公司的产能释放进度。

股票投资评级说明

以报告日后的6个月内，证券相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

1. 买入：相对于沪深300指数表现+20%以上；
2. 增持：相对于沪深300指数表现+10%~+20%；
3. 中性：相对于沪深300指数表现-10%~+10%之间波动；
4. 减持：相对于沪深300指数表现-10%以下。

行业的投资评级：

以报告日后的6个月内，行业指数相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

1. 看好：行业指数相对于沪深300指数表现+10%以上；
2. 中性：行业指数相对于沪深300指数表现-10%~+10%以上；
3. 看淡：行业指数相对于沪深300指数表现-10%以下。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重。

建议：投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

法律声明及风险提示

本报告由浙商证券股份有限公司(已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，经营许可证编号为：Z39833000)制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但浙商证券股份有限公司及其关联机构(以下统称“本公司”)对这些信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不发生任何变更。本公司没有将变更的信息和建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本报告仅供本公司的客户作参考之用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告仅反映报告作者的出具日的观点和判断，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本公司的交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理公司、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

本报告版权均归本公司所有，未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、发布、传播本报告的全部或部分内容。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明本报告发布人和发布日期，并提示使用本报告的风险。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

浙商证券研究所

上海总部地址：杨高南路729号陆家嘴世纪金融广场1号楼25层

北京地址：北京市东城区朝阳门北大街8号富华大厦E座4层

深圳地址：广东省深圳市福田区广电金融中心33层

上海总部邮政编码：200127

上海总部电话：(8621) 80108518

上海总部传真：(8621) 80106010

浙商证券研究所：<https://www.stocke.com.cn>