

技术驱动产品升级，商业化进程加速

推荐|首次

——磷酸锰铁锂行业深度报告

报告要点：

● 提质降本，磷酸锰铁锂大势所趋

提高电池安全性，降低成本是新能源汽车未来电池技术的发展方向之一；目前，正极材料仍以铁锂和三元为主，铁锂占据市场67.3%的市场份额；磷酸铁锂中引入锰元素，作为纯用材料磷酸锰铁锂可以提升能量密度，改善低温性能；三元材料中引入锰、铁元素，作为混掺材料，磷酸锰铁锂可以有效提高电池安全性能和降低成本；提质降本，磷酸锰铁锂被视为磷酸铁锂电池的重要升级方向，应用前景丰富，具有广阔市场空间。

● 工艺路线与磷酸铁锂类似，固、液路线并行。

磷酸锰铁锂与磷酸铁锂同属于橄榄石结构，具有相似的物化特性，电子和离子电导率偏低；为了改善材料特性，磷酸锰铁锂采用了类似于磷酸铁锂的技术改进方法如纳米化、碳包覆和掺杂等；因此，磷酸锰铁锂的合成工艺与磷酸铁锂相近，也分为固相法和液相法两种路线；固相法工艺过程简单，易于大规模应用。液相法原材料混合均匀，产品一致性好，有助于充分发挥材料的电化学特性。目前，固相法和液相法工艺产业化双线并行，加快技术升级迭代速度，以满足市场多元化需求。

● 两轮车与四轮车双驱动，市场前景广阔。

两轮车的电池带电量小，技术要求门槛低，磷酸锰铁锂电池已实现规模化量产。2022年我国磷酸锰铁锂正极材料出货量2000吨；在政策和市场的双重作用下，近年我国新能源产业发展迅速，市场空间广阔，行业发展潜力巨大；随着在新能源汽车的规模化应用，磷酸锰铁锂有望进入快速放量阶段。根据高工锂电预计2023年中国磷酸锰铁锂正极材料出货量达到1.5万吨，2025年有望超过20万吨，市场规模高达100亿元。

● 车、企、材料产业联动，商业化进程加速

随着技术成熟度的提高，产品系列趋向多元化，磷酸锰铁锂商业化进程加速。材料端，产业快速扩产，规划产能已超百万吨，产能稳步释放支撑行业的快速发展；电池端，产品矩阵丰富，M3P多元磷酸盐电池、OS高锰铁锂电池、启晨电池满足市场多元化需求，研发进度持续推进，头部企业电池产品已进入量产阶段；车企端，首款磷酸锰铁锂汽车发布，奇瑞星纪元ES和智界S7已在工信部公示，即将首发上市，开启磷酸锰铁锂商业进程新阶段。

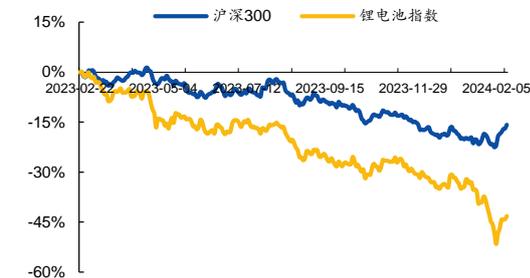
● 投资建议

磷酸锰铁锂技术优势明显，产业化进程加速，在动力电池领域规模化放量在即。建议关注：1) 产业化进程和产品进度领先的电池龙头：宁德时代、国轩高科；2) 磷酸锰铁锂产能布局领先的材料企业：德方纳米、湖南裕能、容百科技；3) 磷酸锰铁锂出货量增加导致锰需求增加受益公司湘潭电化、红星发展。

● 风险提示

技术进展不及预期；产业化进程不及预期；新能源汽车销量不及预期；行业竞争加剧降低整体盈利水平。

过去一年市场行情



资料来源：Wind

相关研究报告

报告作者

分析师 龚斯闻
 执业证书编号 S0020522110002
 电话 021-51097188
 邮箱 gongsuwen@gzq.com.cn

目 录

1. 磷酸锰铁锂：性能突出，技术特点符合市场趋势	4
1.1 提升续航和降低成本是市场发展方向	4
1.2 磷酸铁锂升级产品，加“锰”改变材料性能	5
1.3 磷酸锰铁锂特点鲜明，与其他材料优势互补	6
2. 多种技术改性不足，合成方法与磷酸铁锂趋同	7
2.1 磷酸锰铁锂不足：导电率低，循环寿命较差	7
2.2 改善方法丰富多样，助力材料性能优化	9
2.3 合成工艺类似磷酸铁锂，固液法并存	10
3. LMFP 市场空间广阔，产品落地推进产业化进程	12
3.1 多元化应用支撑市场空间	12
3.2 车企终端车型落地，市场放量在即	13
3.3 电池端：产品矩阵丰富，性能指标卓越	13
3.4 材料端：产能布局加快，规模化放量在即	15
4. 投资建议	18
5. 风险提示	19

图表目录

图 1：新能源汽车燃烧图	4
图 2：特斯拉 Model S/X 全系价格下调	4
图 3：磷酸铁锂市占率	5
图 4：蔚来 EC6	5
图 5：磷酸铁锂晶体结构示意图	5
图 6：橄榄石型 $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 的结构示意图	5
图 7：三种正极材料电压平台对比	7
图 8：三种正极材料电导率	8
图 9：磷酸锰铁锂的倍率性能图	8
图 10：Jahn-Teller 效应	8
图 11：磷酸锰铁锂碳包覆示意图	9
图 12：磷酸锰铁锂纳米化示意图	10
图 13： Mg^{2+} 掺杂改性磷酸锰铁锂示意图	10
图 14：磷酸锰铁锂固相法工艺路线	11
图 15：磷酸铁锂固相法合成工艺路线	11
图 16：星恒电源 LMFP 产品	12
图 17：小牛电动 F0 二轮车	12
图 18：磷酸锰铁锂出货量测算（万吨）	13
图 19：L600 启晨电池相关性能	15
图 20：德方纳米磷酸锰铁锂产品	16
图 21：天津容百斯科兰德股权结构	17

表 1: 不同锰铁比对应磷酸锰铁锂材料性能	6
表 2: 磷酸锰铁锂与三元及磷酸铁锂材料对比	6
表 3: 现存问题及解决方案	9
表 4: 固相法、液相法优缺点对比	11
表 5: “三元锂离子+磷酸锰铁锂电池”车型	13
表 6: 电池企业产品研发进展	14
表 7: 宁德时代“磷酸锰铁锂”的部分发明专利	14
表 8: 材料企业磷酸锰铁锂扩产进度	15

1. 磷酸锰铁锂：性能突出，技术特点符合市场趋势

1.1 提升续航和降低成本是市场发展方向

提高安全性，降低成本是技术发展的核心趋势。经过近几年我国新能源产业的蓬勃发展，截至 2023 年底，全国新能源汽车保有量高达 2041 万辆，占汽车保有量的 6.1%。其中，纯电动汽车保有量 1552 万辆，占新能源汽车总量的 76.04%；新能源汽车销量和保有量增加，随之出现的质量安全问题也越来越多；应急管理部门统计数据 displays，仅 2023 年第一季度，新能源汽车自燃率上涨了 32%，平均每天都有 8 辆新能源车发生火灾（含自燃），新能源车的质量安全问题越来越受到社会的广泛关注。除此之外，随着市场竞争的加剧，为了提高用户吸引力，各家车企纷纷开启“以价换量”模式，降价热潮不断。2023 年下半年，上汽大众、零跑汽车、奇瑞、长城汽车、哪吒汽车等先后宣布旗下车型降价，各自推出不同的促销活动，其中特斯拉的 Model X Plaid 三电机全轮驱动版本最高降幅达到 15.1 万元。进入 2024 年汽车厂商竞争加剧，比亚迪、长安启源、上汽通用五菱等新能源品牌纷纷降价。提高电池安全性、降低成本，成为产业发展的焦点。

图 1：新能源汽车燃烧图



资料来源：广州消防公众号，国元证券研究所

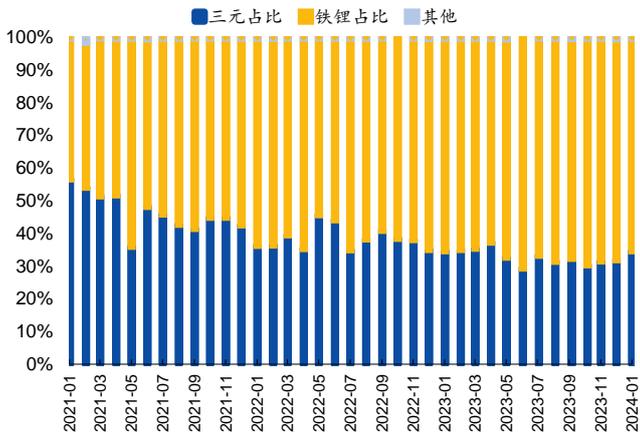
图 2：特斯拉 Model S/X 全系价格下调

全新 Model S/X 价格调整	
Model S 双电机全轮驱动版 698,900 元起	Model X 双电机全轮驱动版 738,900 元起
Model S Plaid 三电机全轮驱动版 828,900 元起	Model X Plaid 三电机全轮驱动版 838,900 元起

资料来源：特斯拉官方微博，国元证券研究所

在此趋势下，磷酸铁锂电池占比逐年提升。随着技术的迭代升级，铁锂电池能量密度的不断提升以及无模组 CTP 的规模化应用，磷酸铁锂电池续航大幅度提升，弥补了续航低的短板；磷酸铁锂电池凭借成本低廉、安全性能优异以及循环寿命长等特点，市场占有率快速提升。2023 年我国磷酸铁锂电池累计装车 261.0GWh，同比增长 42.1%，占总装机量的 67.3%，成为市场主流。三元电池凭借较高的能量密度和输出功率，依然占据高端市场。

图 3：磷酸铁锂市占率



资料来源：中国汽车动力电池产业联盟，国元证券研究所

图 4：蔚来 EC6



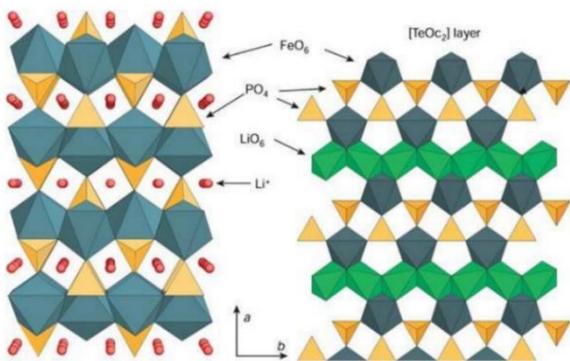
资料来源：蔚来官网，国元证券研究所

加‘锰’助力正极材料迭代升级。磷酸铁锂的能量密度已经接近理论“天花板”，在磷酸铁锂的基础上引入 Mn 元素，提升电压平台，有望进一步提高电芯的能量密度。三元电池通过与磷酸锰铁锂原材料混掺，可以有效的提高电池的安全性和降低成本；因此，磷酸锰铁锂成为正极材料技术发展的重要方向。

1.2 磷酸铁锂升级产品，加“锰”改变材料性能

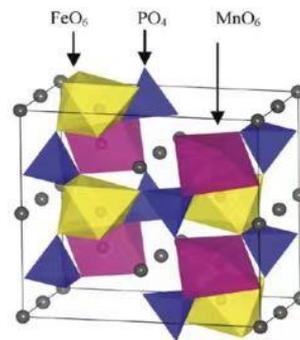
与磷酸铁锂结构相似，**锰铁结合取长补短。**磷酸铁锂晶体呈橄榄石型，基本结构单元由 LiO_6 八面体、 FeO_6 八面体和 PO_4 四面体组成，其中 FeO_6 八面体和 PO_6 四面体交叉连接形成了聚阴离子框架结构， Li^+ 沿单一 b 轴传输。磷酸锰铁锂在磷酸铁锂的结构基础上加入 Mn 元素，但其不是 LiFePO_4 与 LiMnPO_4 的简单物理混合。 Fe^{2+} 与 Mn^{2+} 的离子半径相差甚微，依靠 LiFePO_4 与 LiMnPO_4 之间的协同效应，形成了稳定均一的固溶体，从而将 LiFePO_4 稳定的电化学性能和 LiMnPO_4 的高电位结合起来。Mn 元素可以将放电电压提升至 4.1V，大幅提高正极材料的能量密度。

图 5：磷酸铁锂晶体结构示意图



资料来源：杨立《高性能橄榄石型锂离子电池正极材料的合成及改性研究》，国元证券研究所

图 6：橄榄石型 $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 的结构示意图



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

锰铁比例自由调节，关键指标决定性能。在 $\text{LiMn}_x\text{Fe}_{1-x}\text{PO}_4$ 材料中，x 代表了锰的掺杂比，在 0~1 之间可任意取值。由于 Mn 电压平台较高而 Fe 导电性较好，不同锰铁比使得磷酸锰铁锂的性能存在差异性。锰铁比较高时，Mn 带动电池电压和能量密度显著提升，但锰元素含量过高会因 Jahn-Teller 效应破坏固溶体结构，导致活性材

料溶出、循环性能快速衰减；锰铁比过低时导致电压提升效果有限、能量密度较磷酸铁锂优势不明显。

表 1：不同锰铁比对应磷酸锰铁锂材料性能

$\text{LiMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{PO}_4/\text{C}$	放电比容量/ $\text{mAh}\cdot\text{g}^{-1}$	放电中压/V	能量密度/ $\text{Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$
LFP	161.0	3.41	534.9
LMFP-28	161.7	3.44	553.5
LMFP-46	157.4	3.48	557.0
LMFP-64	142.4	3.65	515.8
LMFP-82	126.3	3.96	459.9
LMP	63.0	3.95	230.6

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》，国元证券研究所
 *注：LMFP-64 是指 Mn 和 Fe 的元素含量比是 6:4

高锰铁比是趋势。为充分发挥磷酸锰铁锂的性能优势，材料中 Mn 含量往往不少于 50%，锰铁比的研究主要集中在 5:5、6:4、7:3、8:2、9:1 中，目前研发的产品中多为 64 或者 73。当升科技的磷酸锰铁锂产品锰含量为 65%，其专利锰含量覆盖范围在 40%-90%；容百科技已发布磷酸锰铁比 7:3 的产品，并已实现百吨稳定量产；力泰锂能专利锰含量的研究范围在 60%-80%。从各家产品和专利中可以看出，高锰铁比是未来努力的方向。

1.3 磷酸锰铁锂特点鲜明，与其他材料优势互补

相比磷酸铁锂，LMFP 能量密度和低温性能较好。磷酸锰铁锂与磷酸铁锂相比有两大主要优势——能量密度提高和低温性能优异。首先，磷酸铁锂的理论电压平台约为 3.4-3.5V，锰元素的引入使磷酸锰铁锂的电压平台可达到 4.1V，理论能量密度较磷酸铁锂提升 10-20%，有助于提高新能车的续航里程。其次，在 -20℃ 条件下，磷酸锰铁锂 Mn 平台容量发挥占常温时的 95%，而 Fe 平台容量发挥只有 50% 左右，低温性能较好。

相比三元材料，LMFP 稳定性更高与成本优势突出。三元材料属于层状结构，而磷酸锰铁锂为橄榄石结构，在充放电过程中稳定性更好， Li^+ 脱出时不会存在结构坍塌问题；而且磷酸锰铁锂中 P 原子通过 P-O 强共价键形成 PO_4 四面体，O 原子很难从结构中脱出，使得磷酸锰铁锂具备更高的稳定性和安全性。同时，磷酸锰铁锂的主要元素为锰和铁，避免了三元材料中贵金属镍和钴的使用，显著降低成本。

表 2：磷酸锰铁锂与三元及磷酸铁锂材料对比

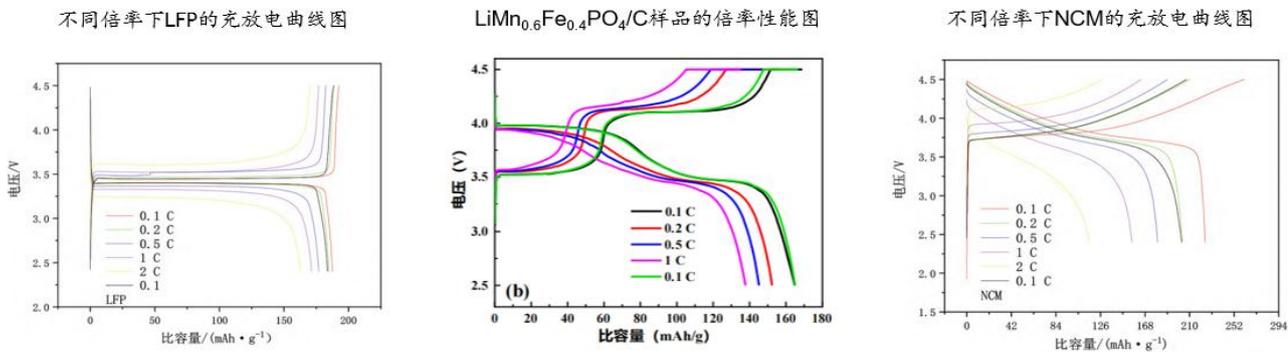
正极材料名称	磷酸锰铁锂	磷酸铁锂	三元材料
晶型	Spinel	Spinel	$\alpha\text{-NaFeO}_2$
理论比容量 (mAh/g)	170	170	278
实际比容量 (mAh/g)	130-150	130-150	150-220
电压平台 (V)	4.1	3.4	3.7
电导率 (S/cm)	10^{-13}	10^{-9}	10^{-5}
金属资源	丰富	丰富	较丰富
理论能量密度 (Wh/kg)	697	578	1204
热稳定性	稳定	稳定	较稳定

压实密度 (g/cm ³)	2.3-2.5	2.1-2.6	3.4-3.9
成本	低	低	高
安全性	好	好	一般
循环能力	好	好	较好

资料来源：魏颖《车用磷酸锰铁锂复合电池性能及加速寿命研究》，国元证券研究所

材料电压区间变宽，纯用与混掺皆可。磷酸铁锂在充放电过程中是两相反应，因此其电压表现为单一平台 3.5V，锰元素的掺入使得磷酸锰铁使其存在两个电压平台，即锰的 4.1V，铁的 3.5V；三元材料属于单相反应，其电压曲线表现出斜坡状 2.8-4.35V。由此可以看出，磷酸锰铁锂与三元材料平台电压范围高度重合，因此二者混掺使用可作为磷酸锰铁锂的应用方案之一。此方案不仅可以兼顾磷酸锰铁锂的双电压平台问题和三元的安全问题，还能改善复合材料的容量保持率、充放电效率等其他电化学性能。

图 7：三种正极材料电压平台对比



资料来源：曾帅波《基于三元、磷酸铁锂和锰酸锂正极的电化学性能比较》，魏颖《车用磷酸锰铁锂复合电池性能及加速寿命研究》，国元证券研究所

2. 多种技术改性不足，合成方法与磷酸铁锂趋同

2.1 磷酸锰铁锂不足：导电率低，循环寿命较差

结构导致离子移动受限，低导电率影响倍率性能。磷酸锰铁锂具有六方密堆结构，晶体中不连续的 FeO₆ (MnO₆) 共边八面体网络以及它们之间的 PO₄ 四面体影响了电子转移和 Li⁺ 的嵌入与脱嵌；此外，Li⁺ 的扩散路径容易被 Fe-Li 反位缺陷阻塞，导致 Li⁺ 的扩散系数远低于理论值。LiFeMnPO₄ 电池本征较低的 Li⁺ 扩散系数和电子电导率导致其在高倍率 (≥5C) 充放电过程中容量保持率较低，因而表现出较差的倍率性能。

图 8：三种正极材料电导率

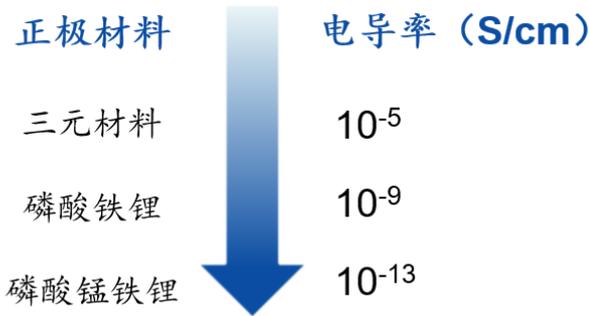
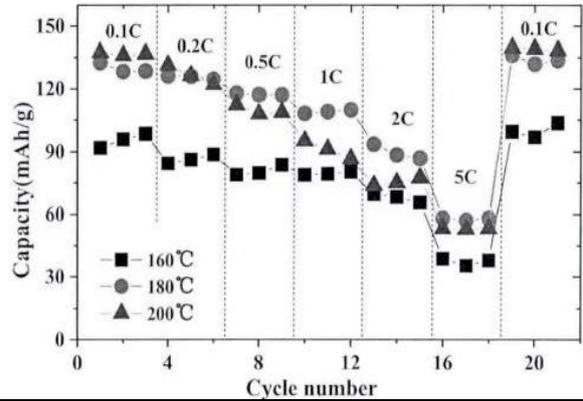


图 9：磷酸锰铁锂的倍率性能图



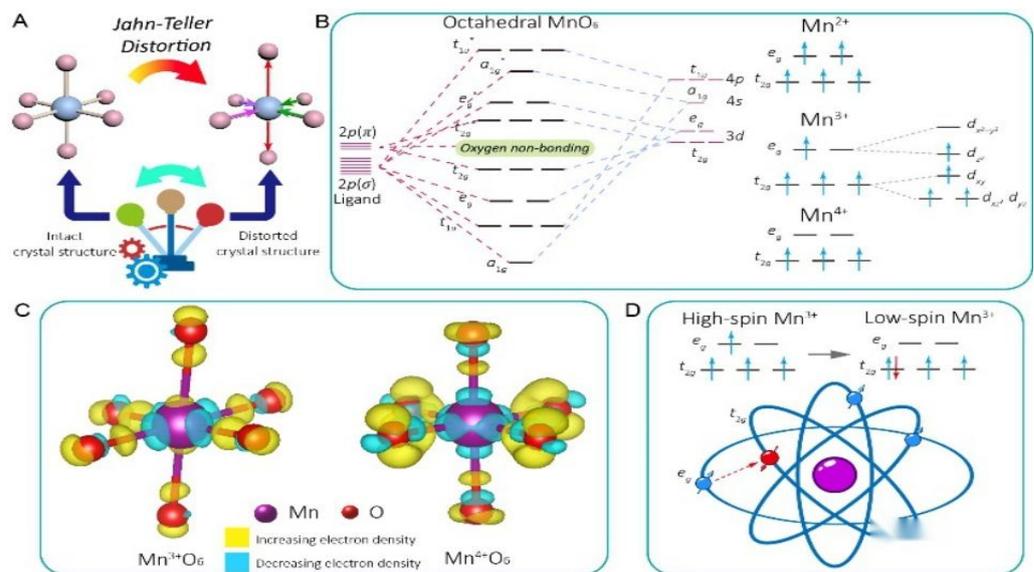
资料来源：魏颖《车用磷酸锰铁锂复合电池性能及加速寿命研究》，国元证券研究所

资料来源：宫尚敏《磷酸锰铁锂正极材料电化学性能研究》，国元证券研究所

双电压平台增加 BMS 开发难度。磷酸锰铁锂的电压存在两个特点，双平台和呈水平状；电池管理系统（BMS）在估算电池的剩余电量时，往往是以 OCV-SOC（电池的开路电压和剩余电量的一一对应关系）来标定；电压平台呈水平状，增加了估算难度和精度；双平台往往会引起剩余续航里程数据的波动，导致 BMS 难度开发加大；通过与三元材料混掺的方式，保持电压平台的渐变特性，可以有效规避这个问题。

Jahn-Teller 效应影响循环性能。当锰铁比过高时，锰基材料易发生姜泰勒（Jahn-Teller）效应。Jahn-Teller 效应指电子在简并轨道中的不对称占据导致分子的几何构型发生畸变。非线性 MnO_6 八面体中， Mn^{3+} 电子分布不对称导致 MnO_6 八面体畸变，电解液分解产生的酸腐蚀正极材料中的锰离子，加速 Mn^{3+} 歧化反应进程。 Mn^{3+} 歧化反应产生的 Mn^{2+} 和 Mn^{4+} 溶解在电解液中，从而导致正极活性物质损失以及破坏负极的 SEI 膜。SEI 膜在修复时会消耗活性锂离子，导致电池容量降低，影响循环寿命和稳定性。

图 10：Jahn-Teller 效应



资料来源：《Reviving the lithium-manganese-based layered oxide cathodes for lithium-ion batteries》Shiqi Liu, Boya Wang, Xu Zhang, Shu Zhao, Ziheng Zhang, and Haijun Yu, 国元证券研究所

2.2 改善方法丰富多样，助力材料性能优化

磷酸锰铁锂与磷酸铁锂具有相似的物理化学特性和离子、电子电导率较低等问题，因此采用的改善方法类似，主要改性方式有纳米化、碳包覆和金属离子掺杂等，每种技术可有效改善材料电化学性能，满足市场商业化需求。

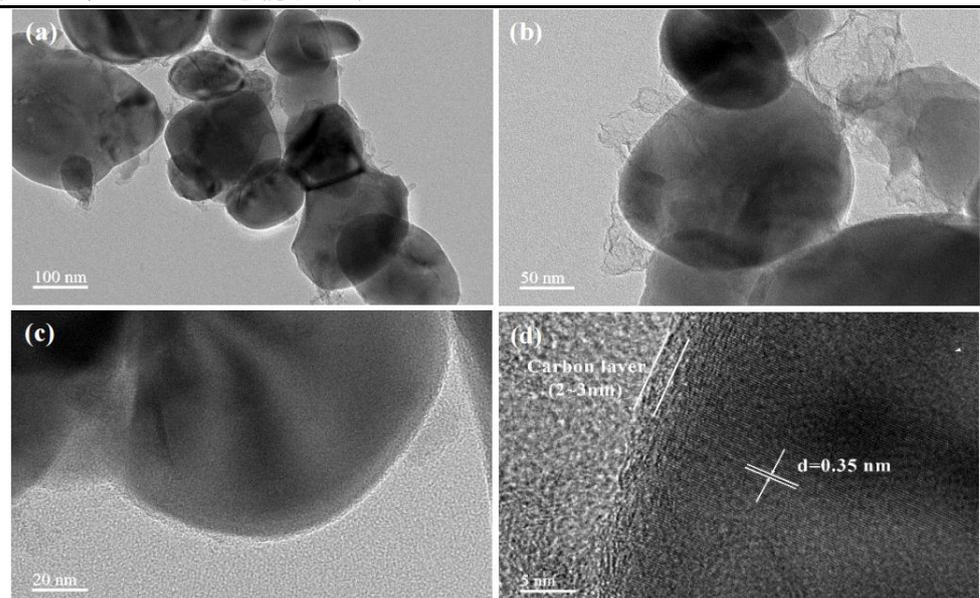
表 3：现存问题及解决方案

	碳包覆	离子掺杂	纳米化
电子电导率低	✓		
John-Teller 效应		✓	
锂离子扩散速率慢		✓	✓

资料来源：贺志龙《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》，国元证券研究所

碳包覆构建导电网络，导电性显著提升。表面包覆是最为常用的改性方法，其中研究和应用最为广泛的是碳包覆。通过高温碳化的方式将碳均匀的包覆在材料表面，一方面，均匀的碳包覆层为电子传输提供了介质，可以提高颗粒与颗粒之间的电子导电性；另一方面，包覆可以阻止颗粒长大、抑制颗粒团聚，从而缩短 Li^+ 传输距离，提高离子导电性。碳包覆的含量直接影响材料导电率，碳含量过低时，导电性得不到有效提升，而含量过高又会使材料振实密度下降，过厚的碳层会阻碍 Li^+ 的传输。因此，碳包覆可以改善材料的导电性，但需要选择合适的碳含量来平衡导电性和振实密度。

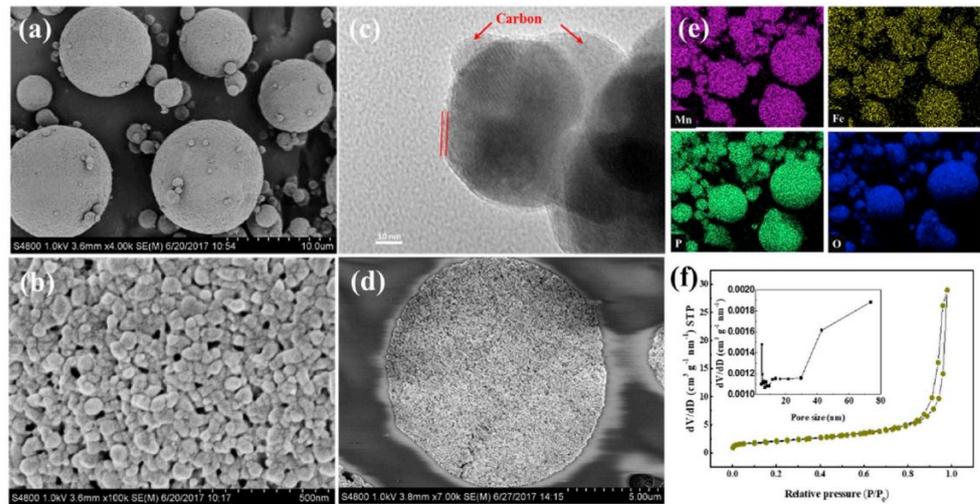
图 11：磷酸锰铁锂碳包覆示意图



资料来源：魏颖《车用磷酸锰铁锂复合电池性能及加速寿命研究》，国元证券研究所

纳米化缩短离子传输粒径，提高材料活性。橄榄石结构的磷酸铁锂的 Li^+ 只能沿平面方向进行一维扩散，电荷转移也主要发生在该平面上，导致锂离子扩散系数极低。因此，调节粒径并确保扩散平面取向较短对于提升磷酸锰铁锂材料的性能有重要影响。当材料颗粒尺寸为纳米级时，锂离子迁移路径有效缩短，加快了迁移速率，同时材料与电解液充分接触增大了比表面积，表现出更好的放电比容量，从而获得优异电化学性能。

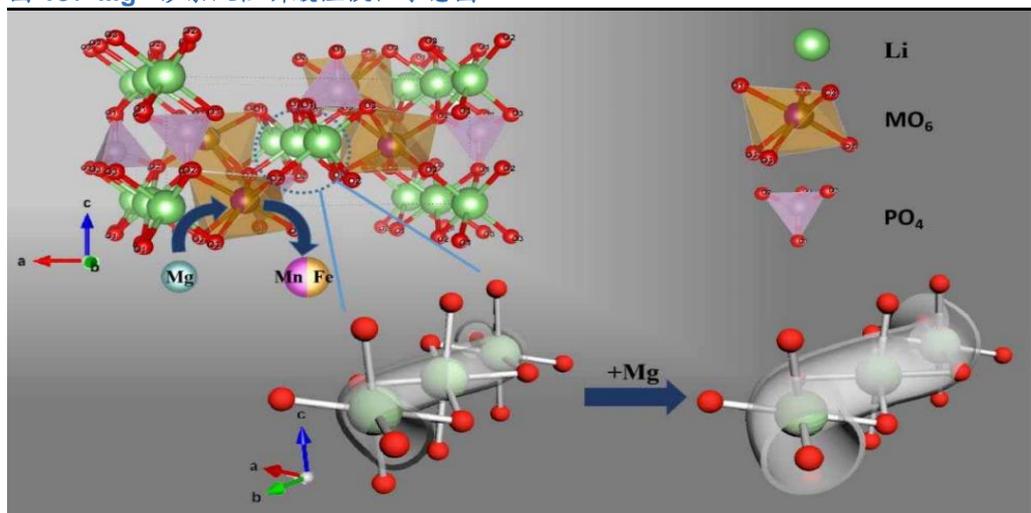
图 12: 磷酸锰铁锂纳米化示意图



资料来源: Xiang Zhang 《Carbon coated nano-sized LiMn_{0.8}Fe_{0.2}PO₄ porous microsphere cathode material for Li-ion batteries》, 国元证券研究所

离子掺杂改变结构, 拓宽 Li⁺迁移通道。体相掺杂是改善材料本征导电性的根本途径, 离子掺杂即向晶格结构中添微量其他元素 (如 Mg、Co、Zn 等), 从材料结构层面改善其性能。以 Mg 元素为例, 在 Mg²⁺掺杂的情况下, Mg 会优先与 Fe 位形成新的 LiFe_{1-x}Mg_xPO₄ 固溶体。由于 Mg²⁺和 Fe²⁺结合离子半径小于 Mn²⁺的离子半径, 掺杂后的橄榄石结构 MO₆ (M = Mn, Fe, Mg) 八面体中的键长变短, LiO₆ 八面体中的 Li-O 键长变长。LiO₆ 八面体中 Li-O 键的延伸使得 Li⁺扩散通道更宽, 使 Li⁺更容易迁移, 材料载流子密度增加, 有利于多组分橄榄石结构正极材料具有更好的电化学性能。

图 13: Mg²⁺掺杂改性磷酸锰铁锂示意图



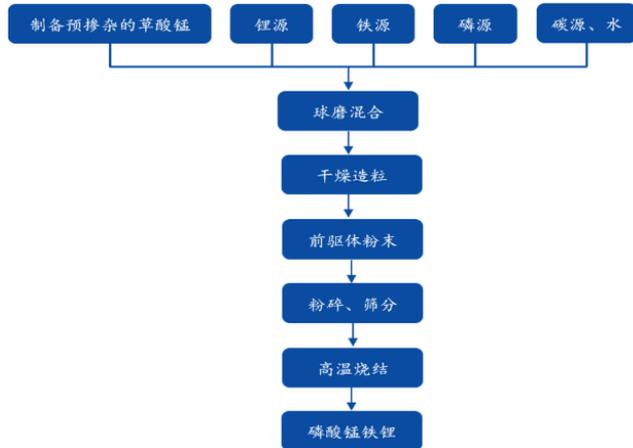
资料来源: 张凯成 《磷酸锰铁锂正极材料的合成与改性研究》, 国元证券研究所

2.3 合成工艺类似磷酸铁锂, 固液法并存

磷酸锰铁锂制备方法与磷酸铁锂类似; 从原材料构成上, 磷酸锰铁锂仅比磷酸铁锂多了一个锰源; 从材料性能上, 两者均存在离子和电子电导率偏低等问题; 从改善

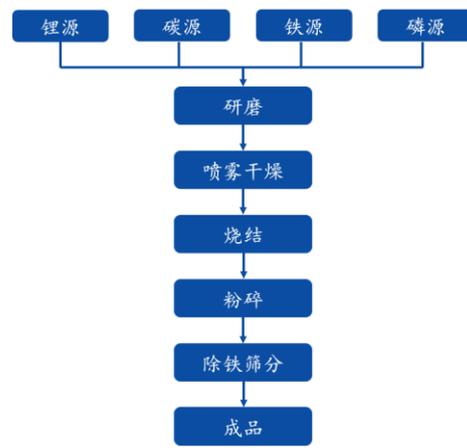
方法上，需要采用纳米化和碳包覆的方法来改善其电化学性能。因此，制备工艺高度相似，磷酸锰铁锂的制备方法可借鉴磷酸铁锂合成工艺，均需通过球磨，造粒，粉碎，烧结等工艺；根据湖南裕能公告信息，现有的磷酸铁锂生产线通过改造后就可生产磷酸锰铁锂，具有较好的兼容性。

图 14：磷酸锰铁锂固相法工艺路线



资料来源：储能前沿，国元证券研究所

图 15：磷酸铁锂固相法合成工艺路线



资料来源：湖南裕能招股说明书，国元证券研究所

合成方法众多，固相法液相法并行。磷酸锰铁锂的制备方法可分为固相法和液相法；固相法是将混合均匀的反应物在高温下进行热处理使其相互作用，形成所需材料的工艺方法，分为高温固相法和碳热还原法。液相法是将可溶性金属盐类按所制备的材料组成计量配制成溶液，再选择一种合适的沉淀剂或用蒸发、升华、水解等方式，使金属离子均匀沉淀或结晶出来，最后将沉淀或结晶的脱水或者加热分解而得到所需材料粉体，包括水热法、溶胶凝胶法和共沉淀法。固相法的优势工艺简单，成本较低，适合规模化生产，缺点是产品一致性较差，不易控制粒径分布和形貌；液相法具有原料混合均匀，反应速率快，产品一致性好等优点，但工艺复杂，对设备要求高，过程控制难度大。固相法和液相法技术日趋成熟，商业化进程加速，双线并行且具备规模化量产条件。

表 4：固相法、液相法优缺点对比

制备方法	具体分类	主要流程	优势	劣势
固相法	高温固相法	二价铁盐与其他各种原料通过机械球磨或高能球磨使得材料粉碎混合，制得前驱体，而后煅烧、研磨得到成品。	工艺简单易于操作，过程容易，生产成本和难度低，适合规模生产；压实密度高，降低储存空间和成本	铁锰混合不均匀，产品电化学性能表现差；研磨过程产生氧化铁，难以分离，降低电池能量密度
	碳热还原法	低廉的三价铁盐在碳的作用下还原成二价铁盐作为铁源，进而将二价铁盐与其他原料混合球磨制得前驱体，而后煅烧、研磨得到成品。		
液相法	水热法	各种原料溶解在溶剂中配制成均匀溶液，然后在反应釜中反应得到前驱体，而后干燥、焙烧得到成品。	原料混合均匀，加快反应速率；产品一致性好，结晶度高；更利于做出小粒径材料	制备过程引入硝酸根离子，易产生环保问题；颗粒直径缩小，压实密度下降；需要使用大量粘结剂，增加生产成本
	溶胶凝胶法	各种原料溶解在溶剂中，搅拌或球磨得到均匀溶胶，再升高温度使得体系凝胶化得到湿凝胶，而后进行干燥脱水、焙烧得到成品。		
	共沉淀法	各种原料溶解在溶剂中，然后加入共沉淀剂得到沉淀，离心分离后得到前驱体，而后洗涤、干燥、焙烧得到成品。		

资料来源：粉体圈，国元证券研究所

3.LMFP 市场空间广阔，产品落地推进产业化进程

3.1 多元化应用支撑市场空间

LMFP 采用混掺的方式已率先应用于两轮车。由于 LMFP 充放电电压和 LMO（锰酸锂）区间范围一致，使用时电荷元器件不需过多更改，同时具有优秀的安全性、低温特性和循环特性，有助于电动车整体的性能提升，因此常采用 LMFP 和 LMO 混掺的方式直接应用在电动两轮车上。2021 年，星恒电源推出“LONG”终身质保产品，2022 年与雅迪联合开发出了碳纤维 2.0&FAR 远征系列电池，均采用锰酸锂与磷酸锰铁锂混掺材料，现已应用到高端新车型中。除此之外，天能生产的磷酸锰铁锂 18650 电池成功应用在小牛的多款电动车中，其低温性能较以往提升超过 25%，增强优化电动车适应环境能力。

图 16：星恒电源 LMFP 产品



资料来源：星恒电源官网，国元证券研究所

图 17：小牛电动 F0 二轮车

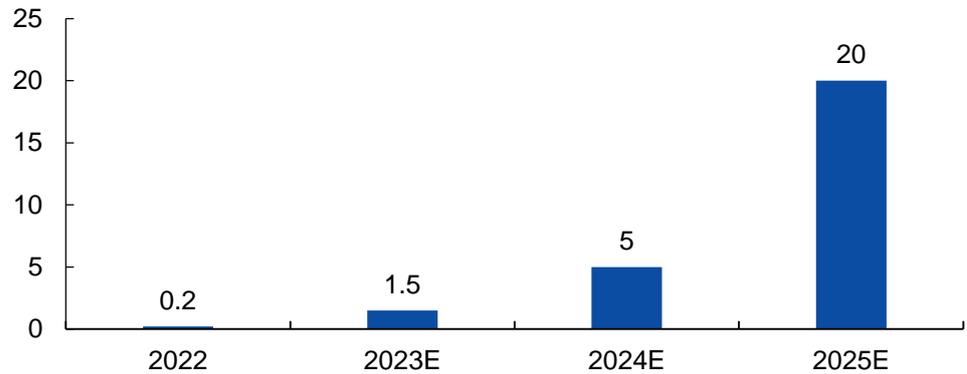


资料来源：中关村在线，国元证券研究所

动力电池市场打开磷酸锰铁锂新的想象空间。在政策和市场的双重作用下，近年我国新能源产业发展迅速，市场前景广阔，行业发展潜力巨大。2023 年我国锂电正极材料市场出货量 248 万吨，从产品结构看，2023 年磷酸铁锂材料出货量达 165 万吨，三元正极材料出货 65 万吨。磷酸锰铁锂作为磷酸铁锂的升级迭代产品，纯用方案充分发挥 Mn 元素高电压优势，能量密度较磷酸铁锂提升 15~20%；三元材料混掺应用方案在提高材料稳定性和安全性的同时减少了贵金属的使用，降本增效。磷酸锰铁锂在优异性能的加持下，拓展了下游产品性能和应用场景，为正极材料市场开辟新的增长空间。

进入快速增长期，25 年市场规模有望超百亿。电动二轮车出行路程较短，带电量小，对电池技术门槛要求偏低，目前磷酸锰铁锂电池已经实现小规模出货；根据高工锂电调研统计，2022 年我国磷酸锰铁锂正极材料出货量 2000 吨；随着在新能源汽车的规模化应用，磷酸锰铁锂有望进入快速放量阶段。根据 GGII 测算，预计 2023 年中国磷酸锰铁锂正极材料出货量有望超 1.5 万吨，市场规模有望超 10 亿元；2025 年磷酸锰铁锂正极材料出货量有望超 20 万吨，市场规模有望超 100 亿元。

图 18：磷酸锰铁锂出货量测算（万吨）



资料来源：GGII，国元证券研究所

3.2 车企终端车型落地，市场放量在即

磷酸锰铁锂终端车型落地，产业化进程加速。2023年8月，工信部发布第374批《道路机动车辆生产企业及产品公告》新产品公示，奇瑞星纪元ES以及奇瑞与华为智选合作的首款新车智界S7中，有4款车型采用了“三元锂离子+磷酸铁锰锂电池”。这是磷酸锰铁锂电池的首次装车，表明磷酸锰铁锂电池技术通过下游验证，进入到商业化量产阶段。

表 5：“三元锂离子+磷酸锰铁锂电池”车型

产品系列	产品商标	产品型号	车型	发动机功率 (kw)	最高车速 (km/h)	续航里程 (km)
智界 S7	奇瑞牌	SQR7000BEVEH31	D 级车	215	210	705
	奇瑞牌	SQR7000BEVEH32	D 级车	150/215	210	630
星纪元 ES	星途牌	SQR7000BEVE031	D 级车	123/230	210	650
	星途牌	SQR7000BEVE032	D 级车	230	200	720

资料来源：工信部官网，国元证券研究所

3.3 电池端：产品矩阵丰富，性能指标卓越

电池新品频出，性能大幅提升。头部电池厂商积极推出磷酸锰铁锂产品，宁德时代 M3P 多元磷酸盐电池、中创新航 OS 高锰铁锂电池、国轩高科 LFMP 体系启晨电池均已面世，比亚迪、亿纬锂能、孚能科技、欣旺达等也有相关技术储备。多家企业扩大研发力度，逐渐丰富磷酸锰铁锂产品类型以满足市场需求。性能上看，欣旺达生产的磷酸锰铁锂电芯产品能量密度可达到 235Wh/kg，国轩高科自研的 L600 启晨电芯实现了 240Wh/kg 的能量密度，中创新航的 OS 高锰铁锂电池系统能量密度可达 180Wh/kg，以更高的能量密度支持电动汽车达到 700km 续航。产品成熟度提升，性能不断迭代升级，商业化进程加速。

表 6：电池企业产品研发进展

公司名称	产品进展
宁德时代	公司推出的 M3P 电池已经具备量产条件，2023 年 9 月子公司江苏时代“三元锂离子+磷酸锰铁锂”电池装车奇瑞和华为合作推出的智界 S7 以及奇瑞星纪元 ES 各两款车型。
亿纬锂能	公司磷酸锰铁锂电池已在 2022 年上半年通过电池中试环节，正在送样品给车企测试。
欣旺达	2023 年 7 月公司表示正在进行磷酸锰铁锂电池的开发工作，磷酸锰铁锂电芯产品能量密度可达到 235Wh/kg，产品性能处于行业前列，目前已得到客户的认可，正在进行产业化开发工作
国轩高科	2023 年 5 月发布了其自研的 L600 启晨电芯及电池包，采用磷酸锰铁锂技术路线，实现 240Wh/kg 的能量密度，续航里程可达 1000 公里。
孚能科技	公司的磷酸锰铁锂等计划在 2023 年推出第一代产品，目标是利用磷酸铁锂和磷酸锰铁锂的能量密度形成从 200Wh/kg 到 240Wh/kg 的产品覆盖。
蜂巢能源	2022 年 12 月提出新产品方案高锰铁锂电池，预计高锰铁锂电池包重量能量密度 220Wh/kg，体积能量密度为 503 Wh/L，量产时间预计 2024 年。
瑞浦兰钧	2023-2024 年公司磷酸锰铁锂能量密度将做到 500Wh/L 支持纯电动车型 800 公里续航里程。
中创新航	中创新航 OS 电芯能量密度可达 230Wh/kg，高锰铁锂-CIR 电池系统能量密度超 180Wh/kg，同时成本较当前 LFP 进一步降低 10% 以上。

资料来源：高工锂电，中国汽车报，电池中国，鑫椏锂电，国元证券研究所

宁德时代：全力推进 M3P 电池产业化应用，产品率先装车落地。宁德时代率先推出基于创新材料磷酸锰铁锂的 M3P 电池，M 是金属的缩写，M3 代表三种金属元素（所谓的三元），P 代表磷，表明其结构仍然是由磷酸根组成的橄榄石结构，其能量密度高于磷酸铁锂，成本优于三元电池。当前，M3P 电池已实现量产，并成功应用于智界 S7 以及奇瑞星途，成为全市场最先落地的磷酸锰铁锂电池企业。

前瞻布局相关技术专利，上游延伸全资控股力泰锂能。早在 2015 年，宁德时代就开始深入研究磷酸锰铁锂材料，申请了多项相关技术专利，主要集中在磷酸锰铁锂材料以及复合电极的制备方法和工艺上。随着技术成熟度的提高和规模化量产的临近，公司积极布局上游原材料。2021 年公司投资力泰锂能 4.13 亿元，成为其第一大股东；2023 年 1 月，江苏力泰锂能科技有限公司发生工商变更，宁德时代实现全资控股。力泰锂能现有年产 2000 吨磷酸锰铁锂生产线，并计划新建年产 3000 吨磷酸锰铁锂产线。

表 7：宁德时代“磷酸锰铁锂”的部分发明专利

公开号	标题	摘要
WO2023225838A	磷酸锰铁锂正极活性材料及其制备方法、正极极片、二次电池及用电装置	本专利通过多种元素（V、Co、S）掺杂，并采用多层包覆手段用以提升 LMFP 材料的容量的电化学性能
CN115810719A	复合电极及其制备方法、电池和用电设备	本发明涉及锂离子电池技术领域，特别涉及一种复合电极及其制备方法、电池和用电设备。在提高复合电极导电性的同时，降低容量衰减和提高安全性。
CN115939330A	磷酸锰铁锂复合材料及其制备方法、正极极片、电池及用电设备	本申请提供一种磷酸锰铁锂复合材料及其制备方法、正极极片、电池及用电设备，涉及电池领域。利用方法改进，可在兼顾改善磷酸锰铁锂的吸水率高的基础上，改善阻抗较大且克容量挥发低的技术问题。
CN115939305A	正极片及其制备方法、电极组件、电池单体、电池和用电设备	本申请涉及一种正极片及其制备方法、电极组件、电池单体、电池和用电设备，属于二次电池技术领域。可在保证正极片容量的同时，提高容量保持率，降低产气，提升电池的使用寿命，并能够降低成本。
CN116759548A	正极活性材料及其制备方法、正极极片、电池、用电装置	本申请涉及一种正极活性材料及其制备方法、正极极片、电池、用电装置。正极活性材料包括内核和包覆层；内核包括磷酸锰铁锂材料；包覆层包括固态电解质和无定形碳。

资料来源：专利之星，电池技术，国元证券研究所

国轩高科：材料端专利抢先布局，电池产品量产在即。国轩高科在磷酸锰铁锂方面的专利布局始于 2013 年，在材料体系研究方面历经十年积淀，其自研磷酸锰铁锂材料，解决了高温锰溶出、导电率低、压实密度低等问题；2016 年获得了《锂离子动力电池用碳复合磷酸锰铁锂正极材料新产品证书》。此外，位于美国俄亥俄州的克利

夫兰研究院研发出了针对 LMFP 的新型电解液，改善了高温循环和存储性能。在产品开发方面，公司自主研发的“LFP 1865140-15Ah 方形磷酸锰铁锂锂离子电池”在 2014 年获得了新产品证书。2023 年 5 月，国轩高科发布了全新 LFMP 体系的 L600 启晨电芯及电池包系统。除了正极材料应用高能量密度磷酸锰铁锂之外，启晨电池包还应用了多项创新技术如双面液冷技术和极简电气设计思路，使系统能量密度达到了 190Wh/kg，实现整车续航 1000 公里，并计划于 2024 年实现量产。公司技术积淀深厚，产品性能优异，在磷酸锰铁锂领域处于行业领先地位。

图 19: L600 启晨电池相关性能



资料来源: 国轩高科官网, 国元证券研究所

3.4 材料端: 产能布局加快, 规模化放量在即

企业纷纷加速扩产, 规划产能已超百万吨。在两轮车以及 3C 领域的成功应用后, 磷酸锰铁锂已实现了从“0 到 1”的突破, 同时在动力电池市场已初步得到验证, 市场推进节奏加快, 大规模商用近在眼前; 各正极厂商纷纷加快 LMFP 材料研发投入和产业布局, 已经形成规模化量产能力。据不完全统计, 磷酸锰铁锂现有产能近 40 万吨, 其中德方纳米、容百科技、珩创纳米和创普斯已实现规模化量产。根据起点锂电统计, 23 年已有超 20 个磷酸锰铁锂相关项目投资落地, 加之部分原有磷酸铁锂产线的对磷酸锰铁锂的兼容, 到 2025 年磷酸锰铁锂的规划产能已达 100 万吨。在正极材料头部企业的带动下, 磷酸锰铁锂产品市场化进程将进一步提速。

表 8: 材料企业磷酸锰铁锂扩产进度

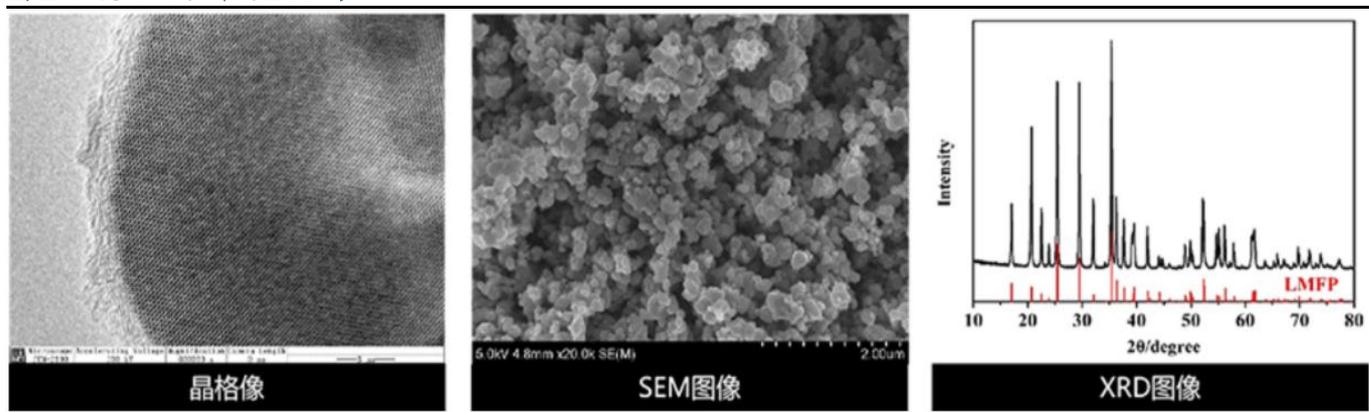
公司名称	产品进展
德方纳米	2020 年解决了锰溶出难题并开始向客户送样测试, 2022 年通过客户的批量验证; 现有 11 万吨/年产能已实现商业化应用, 开始批量供应装车。同时公司曲靖会泽磷酸锰铁锂前驱体一体化项目于 2024 年 1 月份正式开工; 另有规划产能 33 万吨/年在建。
湖南裕能	磷酸锰铁锂已进入试生产阶段, 正积极推进客户认证中; 计划于 2024 年在云南投产 32 万吨产能项目第一期磷酸锰铁锂产线。
容百科技	2023 年上半年, 公司磷酸锰铁锂正极材料出货近千吨; 率先推出磷酸锰铁锂 73 产品; 容百斯科兰德在 23 年上半年推出三元和 LFMP 复合材料 M6P, 并已实现批量供货。公司现有产能 0.62 万吨, 公司计划 2024 年底在韩国建成 2 万吨/年产能, 在中国建成 6 万吨/年产能, 规划到 2025 年底和 2030 年底, 国内分别建成 12 万吨/年、30 万吨/年的产能, 海外分别建成 2 万吨/年、26 万吨/年的产能。
当升科技	公司产品在动力及储能领域已完成客户开发与导入并实现批量供货。公司欧洲新材料产业基地规划磷酸(锰)铁锂产能 30 万吨; 四川攀枝花产能规划 30 万吨, 首期 12 万吨已启动建设, 其中第一阶段 4 万吨产能在 2023 年底进入设备调试阶段。
万润新能	磷酸锰铁锂材料已进行了小批量试生产, 产线具备放量生产条件。
珩创纳米	年产 5000 吨磷酸锰铁锂产线于 2023 年 1 月正式投产, 公司还将启动年产 1 万吨磷酸锰铁锂正极材料项目建设。
创普斯	在郴州高新区投资的年产 30 万吨磷酸锰铁锂正极材料项目 2023 年 9 月 8 日开工, 计划分三期建设, 主体建设于 2024 年完成; 子公司山东创普斯年产 18 万吨磷酸锰铁锂项目 2023 年 7 月投产, 现有产能 26 万吨, 规划产能 32 万吨。
融通高科	四川基地合计规划产能 8 万吨。
光华科技	2022 年 8 月通过了《关于年产 3.6 万吨磷酸锰铁锂及磷酸铁正极材料建设项目的提案》。

中贝材料	2022年6月万吨级磷酸锰铁锂智慧工厂全面投产，并计划积极扩产到10万吨。
天奈科技	分两期建设10万吨新型正极材料生产线（主要产品为磷酸锰铁锂），其中一期新建年产2万吨新型正极材料生产线，预计2023年年底建成投用后，产值达到30亿元。
乾运高科	2023年6月25日，年产20万吨磷酸锰铁锂电池正极材料项目开工建设。
厦钨新能	公司开发高锰系产品，解决了容量、压实两大问题，其能量密度在同类型产品中有明显优势，初步满足客户需求。
合纵科技	磷酸锰铁锂前驱体产品的研发样品尚在向下游客户送样测试阶段；参股子公司湖南雅城与科恒、宜春力元计划合资建设两万吨。
龙蟠科技	子公司湖北锂源2023年8月28日发布新品“锰锂1号”磷酸锰铁锂正极材料。

资料来源：各公司公告，高工锂电，鑫源锂电，SMM钴锂新能源，起点锂电，国元证券研究所

德方纳米：液相法行业先驱，规模优势明显。德方纳米是全球技术领先的液相法正极材料生产企业，公司充分延续独家首创的“液相法”优势，运用“涅甲界面改性技术”和“离子超导技术”等核心技术，有效解决了磷酸锰铁锂导电性能与倍率性能差的难题；2020年进一步解决了锰溶出难题并开始向客户送样测试，2022年通过客户的批量验证，产品性能在循环寿命、能量密度等指标上处于行业领先地位。德方纳米的磷酸锰铁锂生产基地主要在云南曲靖，现有11万吨产能，并已实现商业化应用，开始批量供应装车。同时公司曲靖会泽磷酸锰铁锂前驱体一体化项目于2024年1月份正式开工，另有33万吨磷酸锰铁锂扩产项目也在稳步推进中。

图 20：德方纳米磷酸锰铁锂产品



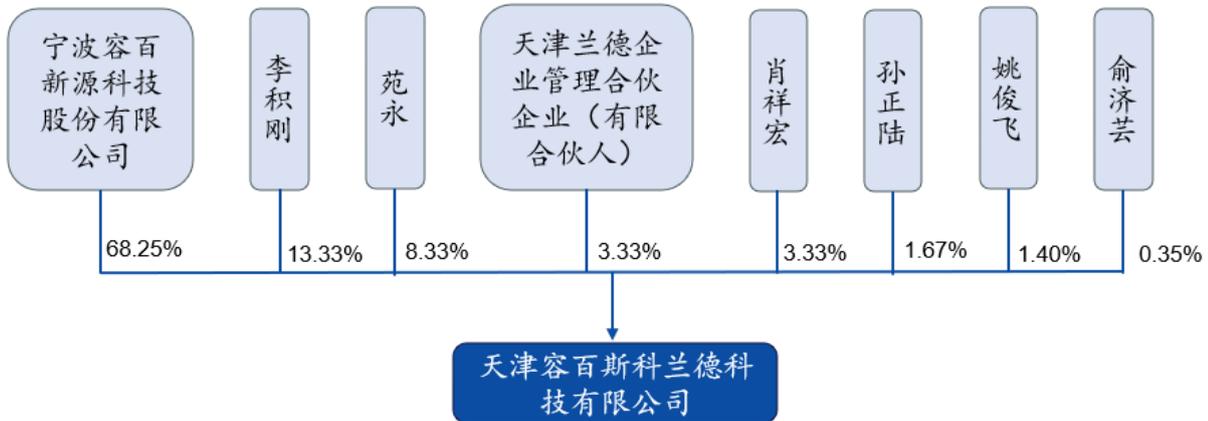
资料来源：德方纳米官网，国元证券研究所

湖南裕能：产能布局有序推进，产线兼容磷酸铁锂。湖南裕能是国内主要的磷酸铁锂正极材料供应商，产品性能优异，出货量近三年排名第一，2023年上半年市场占有率达到了32.5%，夯实了行业龙头地位。在此基础上，湖南裕能积极进行产品研发创新，布局磷酸铁锂升级产品磷酸锰铁锂。2023年8月，湖南裕能发布公告称拟建设年产32万吨磷酸锰铁锂项目，其磷酸锰铁锂产品已进入试生产阶段，正在积极推进客户认证中，预计2024年上半年在云南投产第一期磷酸锰铁锂产线。投建产线采用固相法工艺，在产线设计上与磷酸铁锂生产高度兼容。

容百科技：三元与 LMFP 并举，着眼全球化发展布局。自2014年成立以来，容百科技深耕三元材料的研发制造，产品技术与生产规模均处于全球领先地位。为了提高材料的安全性和经济性，扩大产品竞争优势，公司于2022年7月收购了斯科兰德68.25%的股权，切入磷酸锰铁锂细分赛道，目前具备产能6200吨。2023年上半年，容百科技磷酸锰铁锂正极材料出货近千吨，市场占有率超70%，又率先推出73产品和复合材料M6P，通过了多家动力电池客户的审厂，产量产品双重优势稳踞国内市场。同时，容百科技延续国际化发展战略，在国外进行相关产能的规划及建设工作，目前已启动韩国忠州2万吨/年磷酸锰铁锂产能建设，2024年2月公司公

告已与 LGES 达成协议联合开发磷酸锰铁锂。公司规划到 2025 年底和 2030 年底，国内分别建成 12 万吨/年、30 万吨/年的产能，海外分别建成 2 万吨/年、26 万吨/年的产能，充分保障全世界客户的需求，实现全球化战略落地。

图 21：天津容百斯科兰德股权结构



资料来源：企查查，国元证券研究所

4.投资建议

磷酸锰铁锂技术优势明显，不仅通过纯用可以提高能量密度和续航性能缓解里程焦虑，还可以通过混掺的方式改善三元材料的安全性能，降低电池成本，成为电池技术发展的重要方向之一。基于磷酸锰铁锂对未来趋势的高度契合，产业进程联动，材料端加快扩产节奏，电池端新品不断，车企端装车在即。因此，产业化进展较快的企业将占据先发优势，建议关注：

- 1) 技术领先、商业化节奏较快的电池龙头企业：**宁德时代、国轩高科**；
- 2) 磷酸锰铁锂产能布局领先的材料企业：**德方纳米、湖南裕能、容百科技**；
- 3) 磷酸锰铁锂商业化导致锰需求增加，受益公司：**湘潭电化、红星发展**。

5.风险提示

技术进展不及预期：磷酸锰铁锂技术仍处于快速发展阶段，若技术进展不及预期或者出现更具优势的新技术，则会影响磷酸锰铁锂电池的推广落地；

产业化进程不及预期：目前电动车市场仍未实现磷酸锰铁锂产品的规模应用，车企端对该产品虽预期良好，但仍持谨慎态度，若新技术带来的成本波动和产品变化超出车企预期，下游需求也将受到显著影响，产业化进程受阻。

新能源汽车销量不及预期：新能源汽车市场景气度下滑，新能源汽车销量不及预期，则会影响车企对新技术导入的积极性。

原材料价格波动的风险：产品成本中原材料占比较高，若原材料价格大幅度波动，产品价格大幅上涨，会影响公司的盈利能力和产品的推广速度。

投资评级说明:

(1) 公司评级定义		(2) 行业评级定义	
买入	预计未来 6 个月内, 股价涨跌幅优于上证指数 20%以上	推荐	预计未来 6 个月内, 行业指数表现优于市场指数 10%以上
增持	预计未来 6 个月内, 股价涨跌幅优于上证指数 5-20%之间	中性	预计未来 6 个月内, 行业指数表现介于市场指数±10%之间
持有	预计未来 6 个月内, 股价涨跌幅介于上证指数±5%之间	回避	预计未来 6 个月内, 行业指数表现劣于市场指数 10%以上
卖出	预计未来 6 个月内, 股价涨跌幅劣于上证指数 5%以上		

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力, 以勤勉的职业态度, 独立、客观地出具本报告。本人承诺报告所采用的数据均来自合规渠道, 分析逻辑基于作者的职业操守和专业能力, 本报告清晰准确地反映了本人的研究观点并通过合理判断得出结论, 结论不受任何第三方的授意、影响。

证券投资咨询业务的说明

根据中国证监会颁发的《经营证券业务许可证》(Z23834000), 国元证券股份有限公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询业务是指取得监管部门颁发的相关资格的机构及其咨询人员为证券投资者或客户提供证券投资的相关信息、分析、预测或建议, 并直接或间接收取服务费用的活动。证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式, 指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析, 形成证券估值、投资评级等投资分析意见, 制作证券研究报告, 并向客户发布的行为。

一般性声明

本报告由国元证券股份有限公司(以下简称“本公司”)在中华人民共和国内地(香港、澳门、台湾除外)发布, 仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。若国元证券以外的金融机构或任何第三方机构发送本报告, 则由该金融机构或第三方机构独自为此发送行为负责。本报告不构成国元证券向发送本报告的金融机构或第三方机构之客户提供的投资建议, 国元证券及其员工亦不为上述金融机构或第三方机构之客户因使用本报告或报告载述的内容引起的直接或间接损失承担任何责任。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息, 但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的信息、资料、分析工具、意见及推测只提供给客户作参考之用, 并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的投资建议或要约邀请。本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期, 本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司建议客户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。在法律许可的情况下, 本公司及其所属关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易, 还可能为这些公司提供或争取投资银行业务服务或其他服务。

免责条款

本报告是为特定客户和其他专业人士提供的参考资料。文中所有内容均代表个人观点。本公司力求报告内容的准确可靠, 但并不对报告内容及所引用资料的准确性和完整性作出任何承诺和保证。本公司不会承担因使用本报告而产生的法律责任。本报告版权归国元证券所有, 未经授权不得复印、转发或向特定读者群以外的人士传阅, 如需引用或转载本报告, 务必与本公司研究所联系。 网址: www.gyzq.com.cn

国元证券研究所

合肥	上海
地址: 安徽省合肥市梅山路 18 号安徽国际金融中心 A 座国元证券	地址: 上海市浦东新区民生路 1199 号证大五道口广场 16 楼国元证券
邮编: 230000	邮编: 200135
传真: (0551) 62207952	传真: (021) 68869125
	电话: (021) 51097188