

# 锂电行业深度系列八：磷酸锰铁锂 正极发展新方向，产业化加速推进

行业研究 · 深度报告

电力设备新能源 · 锂电池

投资评级：超配（维持评级）

证券分析师：王蔚祺

010-88005313

wangweiqi2@guosen.com.cn

S0980520080003

## ■ 电压高平台的磷酸锰铁锂成本低，是正极发展新方向之一

新型正极材料主要围绕高电压平台和锰基材料开展，在其分支体系中最早商业化的就是磷酸锰铁锂。相较磷酸铁锂，其具有高电压、高能量密度和更优异的低温性能；相较三元材料具备成本低、安全性高、循环寿命长等优势。磷酸锰铁锂的自身也存在性能缺陷，包括导电性差、首圈效率低等，可通过包覆、掺杂、改性等方式来提升性能。针对磷酸锰铁锂导电性差的问题，可掺杂碳纳米管以提升导电性能，并实现对能量密度、循环寿命和倍率性能的优化；添加补锂剂使得首圈效率和循环寿命得到优化。从工艺上可在现有磷酸铁锂的产线做改造升级。

## ■ 百亿市场方兴未艾，应用场景丰富多样

磷酸锰铁锂应用可分为纯用和混用两种方式。纯用情况下能量密度优于磷酸铁锂10-20%；混用方案下与三元正极混合能够提升安全性、降低成本。磷酸锰铁锂未来应用场景主要集中于电动汽车和电动二轮车市场。在电动汽车市场，其一方面能够部分取代磷酸铁锂，另一方面可与三元材料混用降本和提高安全性。我们预计2025年磷酸锰铁锂全球市场需求为15.4万吨，市场空间达到92亿元，2021-2025年均复合增速将达到129%。

## ■ 上下游快速布局，产业化进程显著加快

近年来伴随磷酸铁锂的兴起，磷酸锰铁锂作为其升级版愈发得到重视，特别是2019年以来相关专利申请数量快速增长。在技术方面，比亚迪、国轩高科、德方纳米、力泰锂能在专利布局方面具有明显优势。在量产进度方面，天津斯特兰、力泰锂能宣布实现量产，德方纳米规划产能达44万吨，预计其中11万吨将在2023年初投产。此外，当升科技、厦钨新能已经进入小试阶段。下游电池企业中，天能股份、星恒电源均有相关电池产品应用于电动二轮车电池领域。

## ■ 投资建议：关注技术先发优势及相关受益环节

2022年是磷酸锰铁锂产业化应用的元年，未来具有广阔的市场空间。我们看好具有先发技术优势的正极材料和下游具备优势的电池企业，推荐磷酸锰铁锂领域具有技术深入布局的德方纳米、当升科技、厦钨新能；同时碳纳米管导电剂龙头企业天奈科技。

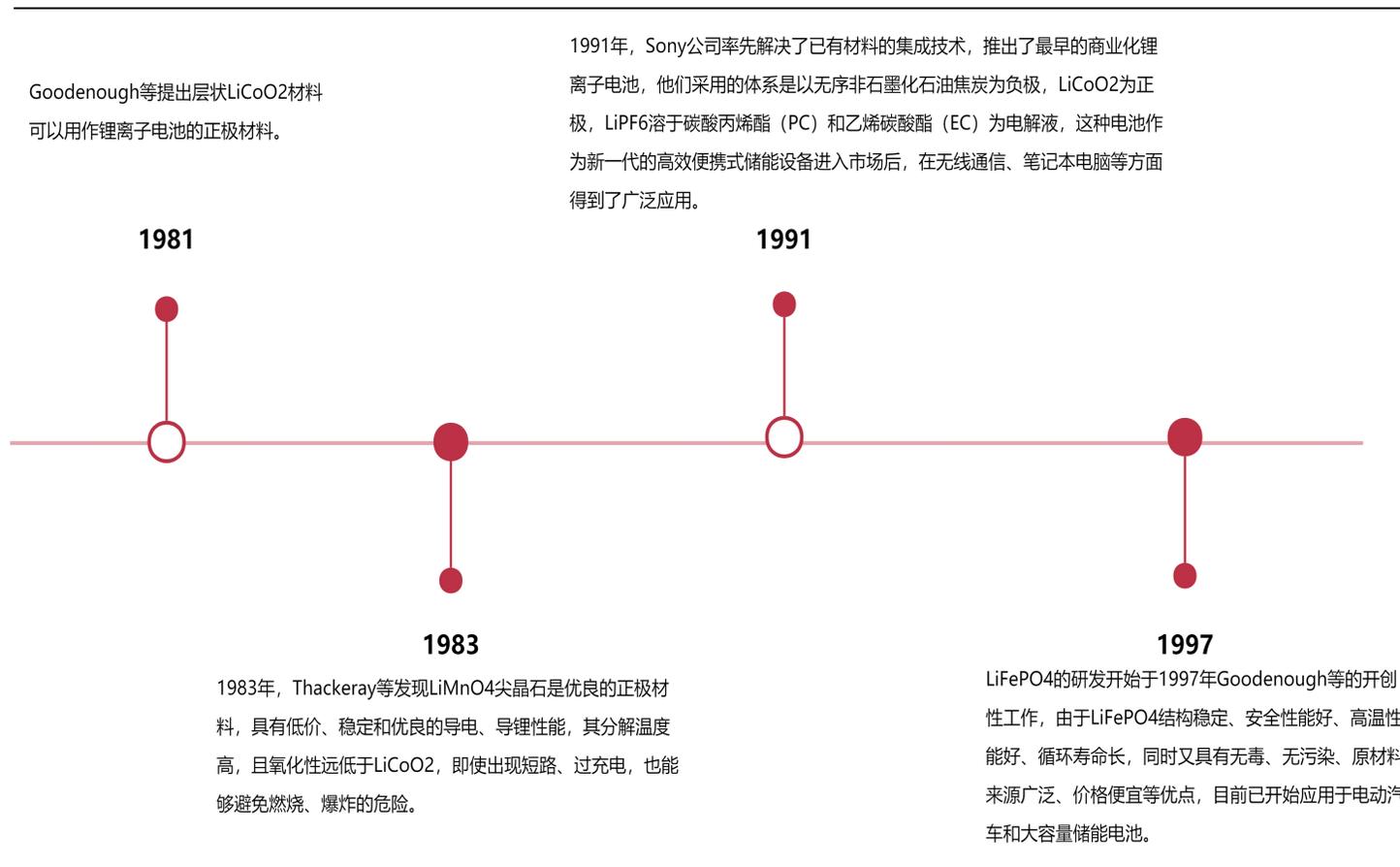
## ■ 风险提示：电动车销量不及预期；新技术产业化进展不及预期；部分企业产能建设和爬坡不及预期。

- [ 01 ] 磷酸铁锂和三元材料是动力电池主要正极体系
- [ 02 ] 磷酸锰铁锂：低成本高电压，正极发展新方向
- [ 03 ] 百亿市场方兴未艾，应用场景丰富多样
- [ 04 ] 上下游企业快速布局，产业化进程显著加快
- [ 05 ] 投资建议：关注技术先发优势企业及相关受益环节

## 一、锂离子电池正极材料体系发展趋势分析

- 理想的锂离子电池应具有较高的能量密度、功率密度，较好的循环性能及可靠的安全性。正极重量达到电池整体重量的38%以上，因此提升正极材料的比容量是提升电池整体容量的关键。实际上能够全面满足要求的正极材料体系并不多，目前也没有明确的理论可以指导正极材料的选择。主流的正极材料体系都是历史上由个别科学家提出，然后经过长期的研究开发使材料逐渐获得应用。

图1：锂电池正极材料体系研究应用标志性事件

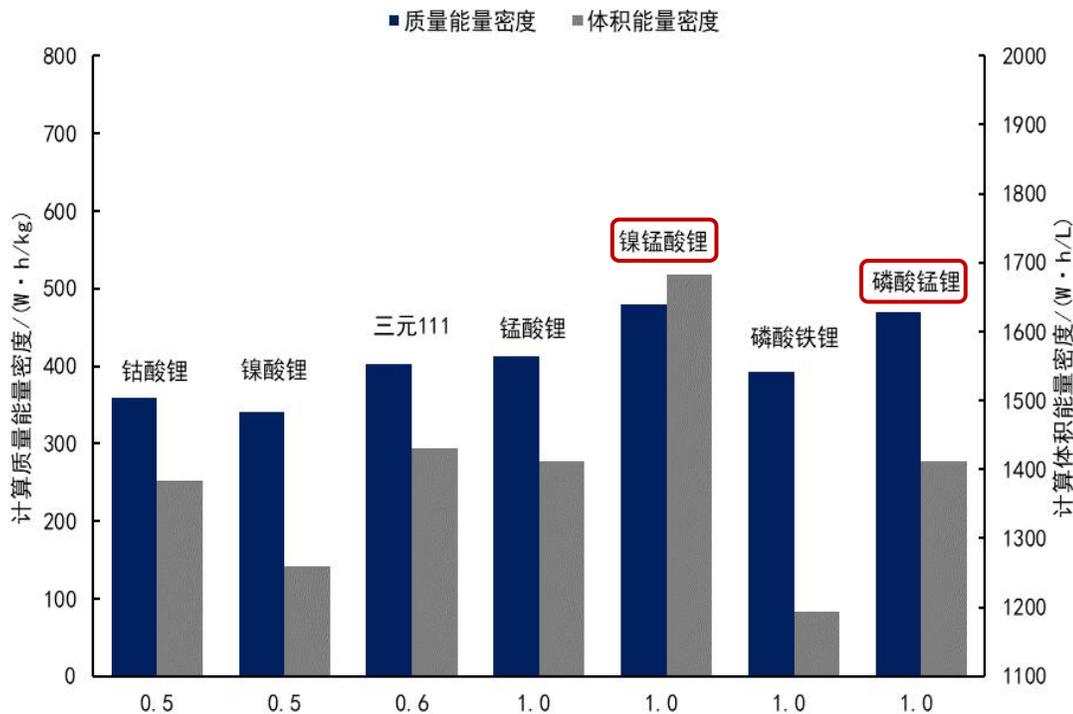


资料来源：《锂电池基础科学》，国信证券经济研究所整理

# 能量密度由比容量和电压共同决定

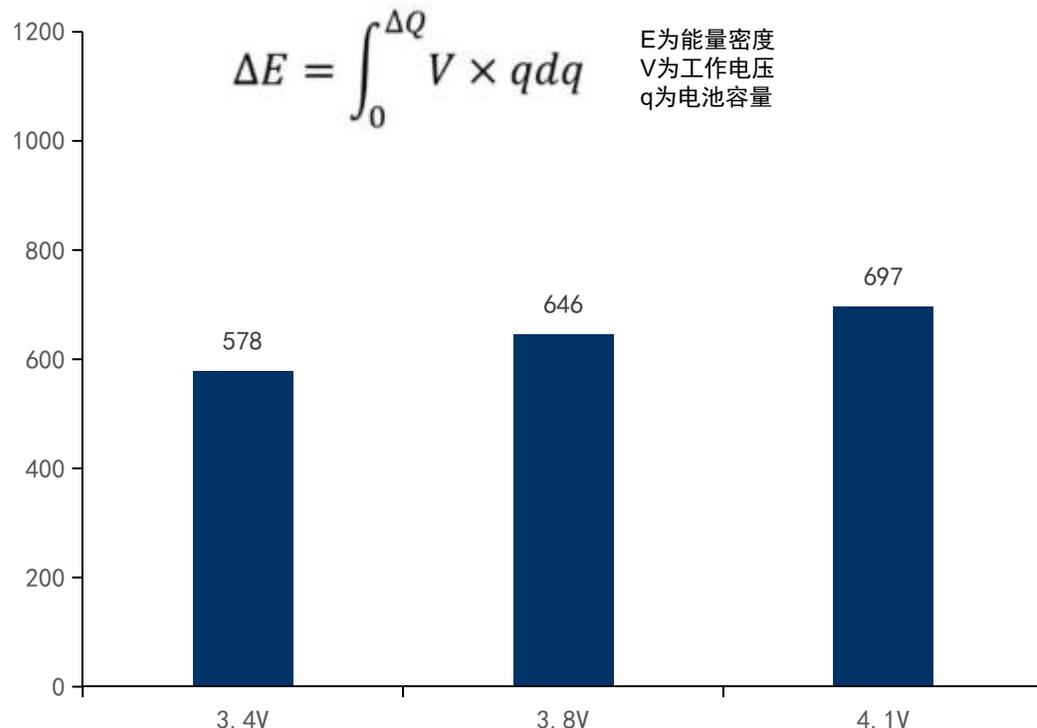
- 电池的能量密度是比容量与电压的乘积。而正极材料能量密度提升可以依托以下几种路径：1) 提升比容量，如层状三元高镍材料、层状富锂锰材料；2) 提升材料电压，如磷酸锰铁锂、高压钴酸锂、高压三元材料等；3) 从材料形貌、材料粒度和极片工艺入手提高材料的压实密度。三元材料中镍元素能够提高正极比容量、锰元素能够提升正极的工作电压，因而其展现出显著优于磷酸铁锂材料的能量密度。

图2：锂电池的计算质量能量密度和体积能量密度



资料来源：《锂电池基础科学》，国信证券经济研究所整理

图3：理论比容量为170mAh/g的不同材料能量密度情况 (Wh/kg)



资料来源：《磷酸锰铁锂正极材料电化学性能研究》，国信证券经济研究所整理

- 商业化使用的锂离子电池正极材料按结构主要分为以下三类：①层状晶体结构（钴酸锂、三元材料）；②立方尖晶石晶体结构（锰酸锂）；③正交橄榄石晶体结构的（磷酸铁锂等）。目前动力电池领域在主流应用材料为橄榄石结构的磷酸铁锂和层状三元材料，主要考量是性能与成本的最优组合：尖晶石材料相对容量较低，同时高温下由于锰的溶解造成性能下降；层状材料中钴酸锂成本过高，LiNiO<sub>2</sub>存在安全问题，将Ni、Mn、Co三种材料组合起来，即为三元材料是当前高性能动力电池的主要选择，成本更具优势但能量密度较低的磷酸铁锂也是动力电池的另一大主流方向。

表1：常见锂离子电池正极材料性能

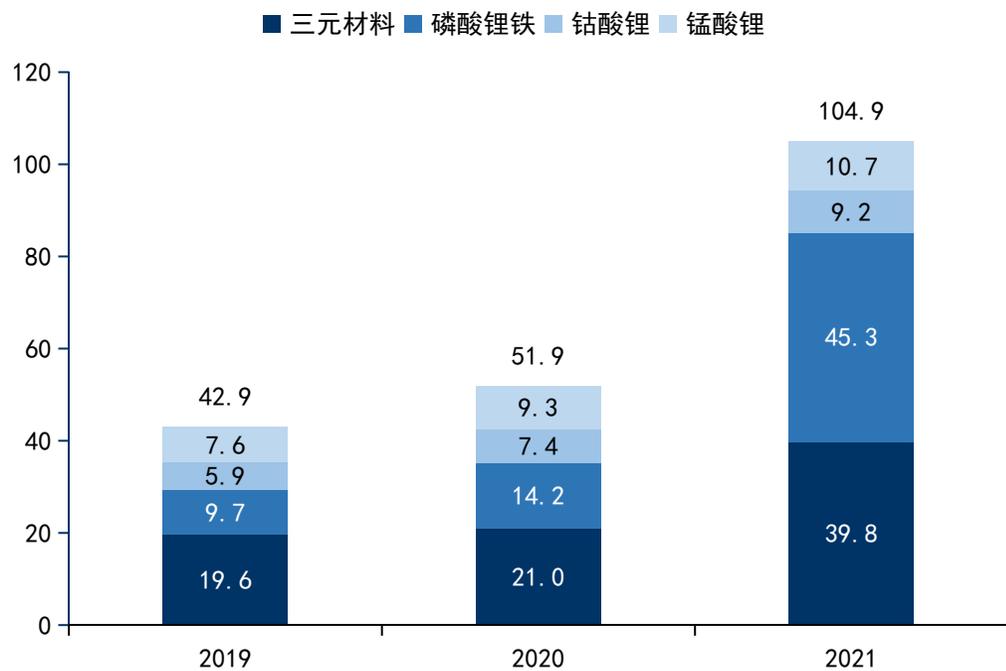
材料类型	磷酸铁锂 ✓	锰酸锂	钴酸锂	三元镍钴锰 ✓
晶体结构	橄榄石	尖晶石	层状	层状
理论容量 (mA·h/g)	170	148	274	273-285
电芯质量比能量 (W·h/kg)	130-160	130-180	180-240	180-240
平均电压/V	3.4	3.8	3.8	3.6
电压范围/V	3.4	3.8	3.8	2.5-4.6
循环性/次	2000-6000	500-2000	500-1000	800-2000
安全性能	好	良好	差	中
价格 (万元/吨) (2022Q1均价)	14.5	10.9	53.9	33.3 (三元6系)
主要应用领域	电动车 大规模储能	电动工具、电动自行车	3C电子产品	电动工具、电动自行车、电动汽车、储能

资料来源：《锂电池基础科学》，国信证券经济研究所整理

# 三元和磷酸铁锂是主流动力电池正极材料

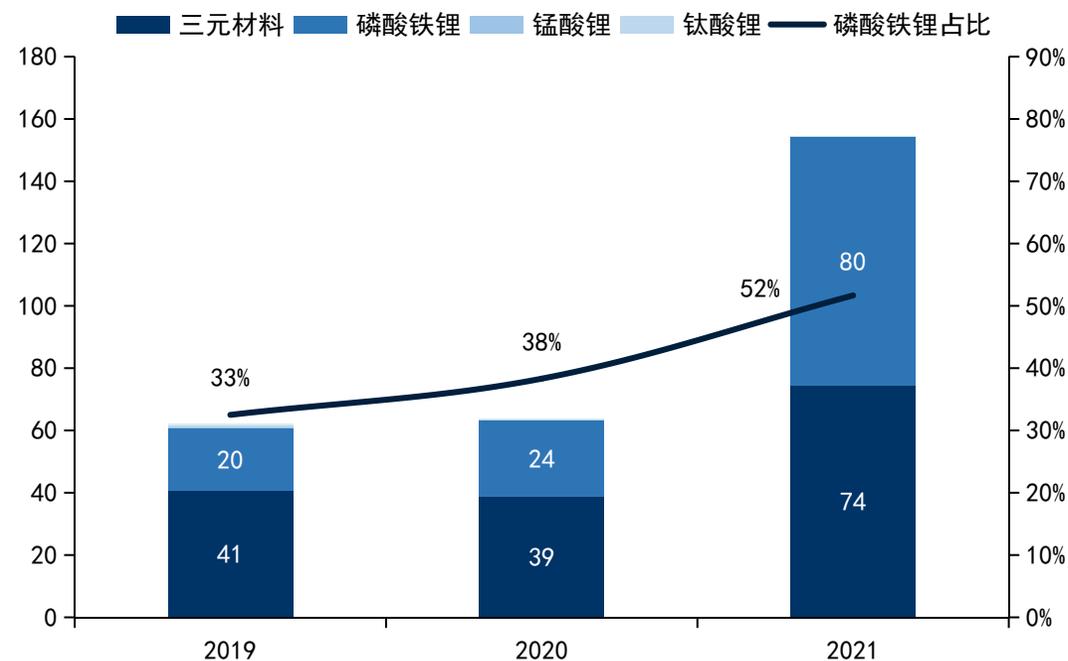
- 动力电池市场中磷酸铁锂和三元材料是最主要的正极体系。2021年中国正极产量预计为104.9万吨，同比增长超102%；其中三元材料产量39.8万吨，占比约38%，磷酸铁锂产量为45.3万吨，占比约43%，同比提升16pct。2021年国内动力电池装车量为154.5GWh，同比增长143%；其中三元电池装机量为74.3GWh，同比增长91%；磷酸铁锂电池装机量为79.8GWh，同比增长227%。2021年国内动力电池中磷酸铁锂装机量占总装机量比重为51.7%，较2020年提升13.3pct。
- 与三元材料相比，磷酸铁锂的优势在于：1) 循环寿命长；2) 安全性能高；3) 成本低。不足在于能量密度低。

图4：国内正极材料产量（万吨）



资料来源：鑫椏锂电、国信证券经济研究所整理

图5：国内动力电池装机量及磷酸铁锂电池占比（GWh、%）



资料来源：动力电池联盟、国信证券经济研究所整理

- 目前开发的锂离子电池均以正极材料作为锂源，整个电池的比容量受限于正极材料的容量，而且正极材料的成本占电池总材料成本的50%以上。因此制备成本低同时具有高能量密度的正极材料是行业追求的重要目标。
- 为了使锂离子电池具有较高的能量密度、功率密度，较好的循环性能及可靠的安全性能，正极材料的选择应满足以下条件：
  1. 要提供在可逆的充放电过程中往返于正负极之间的锂离子，而且还要提供首次充放电过程中在负极表面形成SEI膜时所消耗的锂离子；
  2. 提供较高的电极电位且在充放电过程中，电压平台稳定；
  3. 正极活性物质电化当量小，可逆嵌脱锂量大，锂离子扩散系数高，具有较高的离子和电子电导率；
  4. 充放电过程中结构稳定型性好；
  5. 资源丰富，无毒，化学稳定性好，制备成本低。

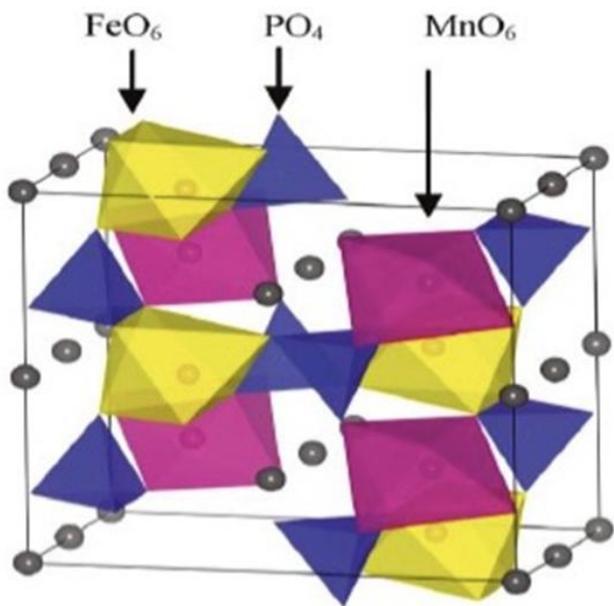
基于以上的性能要求，目前正极材料行业的主流发展趋势是高电压化，而当前最具商业化前景的高电压正极材料分以下几种：

- 1) 橄榄石结构的磷酸铁锂；
- 2) 尖晶石结构的镍锰酸锂；
- 3) 层状结构的三元材料（镍钴锰酸锂）、富锂锰基材料。

# 正极发展新方向一：磷酸锰铁锂（橄榄石结构）

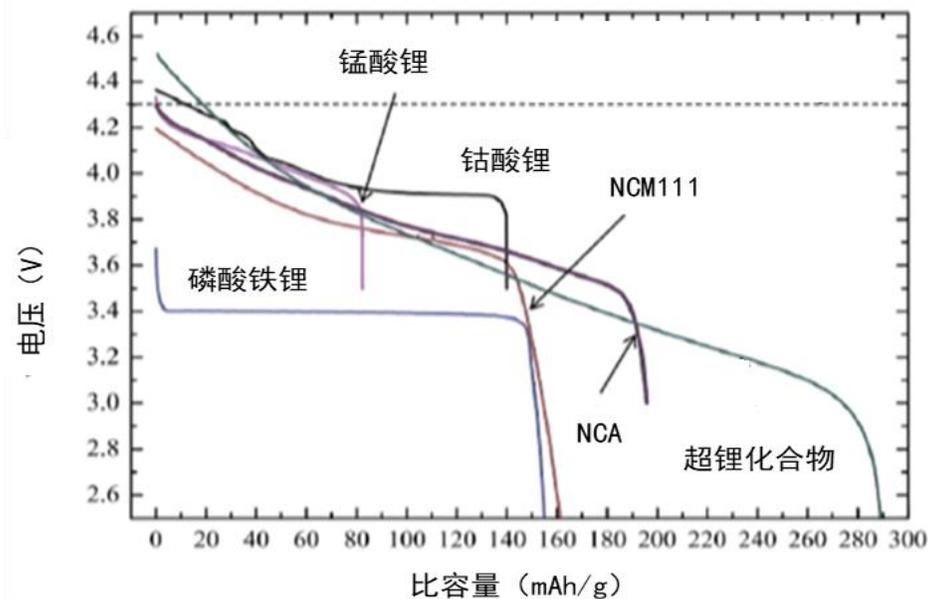
- 橄榄石结构磷酸盐 $\text{LiMPO}_4$ 主要有四种（M代表金属，主要为铁Fe、镍Ni、锰Mn、钴Co）；电压分别是3.4~3.5V（铁）、5.0~5.4V（镍）、4.0~4.2V（锰）和4.7~4.8V（钴）；同时四种磷酸盐可以相互掺杂，就构成多元橄榄石系列材料。多元体系的充放电曲线、循环伏安曲线都可以简单地看成四种单独橄榄石的充放电曲线和循环伏安曲线的线性叠加。由于磷酸镍锂的电压超出目前电解液稳定上限，钴也不是主要的构成元素。反之锰对环境友好，磷酸锰锂的工作电压又比较理想（在4.1V），可以与现有的商业化电解液相匹配。
- 磷酸锰铁锂(LMFP)是在磷酸铁锂的基础上添加锰元素而获得新型正极材料，一方面可以提高材料体系的电压、弥补磷酸铁锂电压低导致能量密度低的不足；另一方面可以通过表面包覆碳材料导电剂来提升导电性能。

图11：磷酸锰铁锂结构示意图



资料来源：《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》、国信证券经济研究所整理

图12：锂电池代表正极材料放电曲线

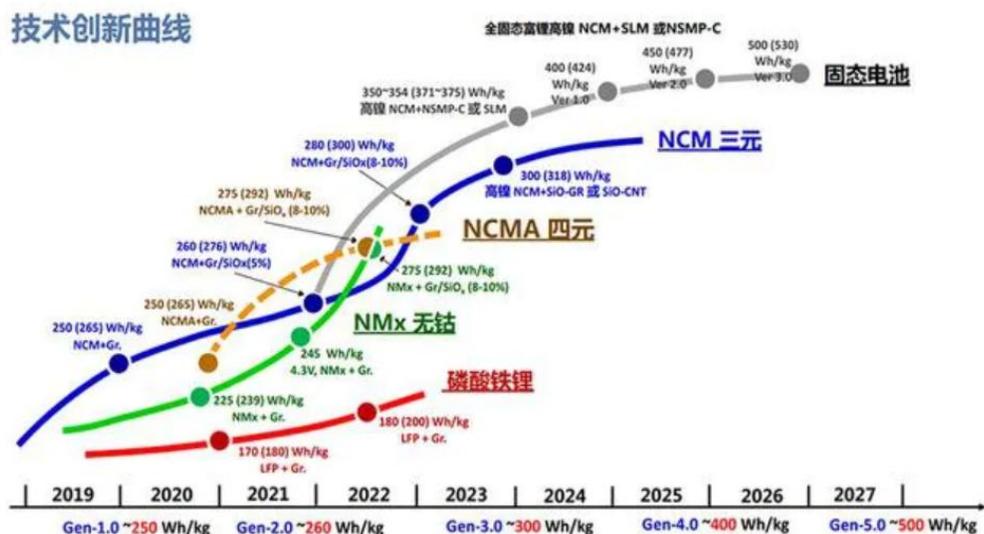


资料来源：《橄榄石型锂离子电池正极材料的制备技术及电池特性研究》、国信证券经济研究所整理

# 正极发展新方向二：镍锰酸锂（尖晶石结构5V正极材料）

- 在尖晶石结构的高电压5V正极材料当中，镍锰酸锂（ $\text{LiNi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_4$ ）具有较好的稳定性， $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 的实际首次放电容量在 $140\text{mA} \cdot \text{h/g}$ 左右，接近理论容量，充放电平台在 $4.7\text{V}$ 左右，同时 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 合成简单，是正极发展的主流方向之一。
- 镍锰酸锂的优点在于：1) 电压平台高，约为 $4.7\text{V}$ ，能量密度高（约 $690\text{Wh/kg}$ ）；2) 无需添加钴等贵金属元素，成本低。不足之处在于：1) 反应过程中会有锰元素歧化反应后溶解在电解液中并沉积在负极表面，进而使得SEI膜持续消耗再生，耗费活性锂，降低循环寿命；2) 高电压会造成常规电解液体系分解，进而产生氢氟酸腐蚀正极材料。目前镍锰酸锂主要通过离子掺杂、表面包覆以及材料复合方式提升综合性能。
- 产业化进程：**蜂巢能源所推出的NMx无钴电池搭载的就是镍锰酸锂材料，其电池包能量密度能够超过 $240\text{Wh/kg}$ ，与中低镍三元电池相差不大；其安全性、循环寿命均优于三元电池体系。目前，宁德时代、国轩高科、ATL、长远锂科、容百科技、巴莫科技（容百科技）等均有相关专利布局。

图13：蜂巢能源电池技术创新路线



资料来源：蜂巢能源官网，国信证券经济研究所整理

表5：三元正极与镍锰酸锂对比

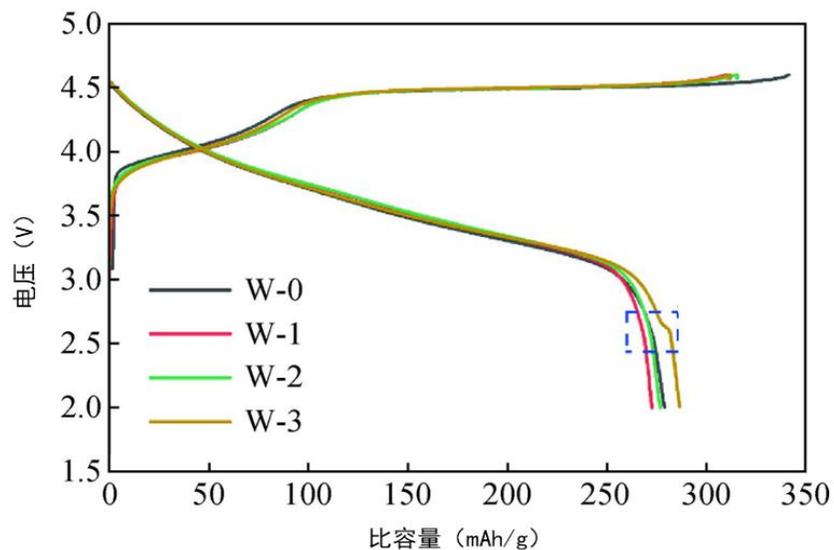
类型	热失控 (°C)	1000周循环后容量保持率	成本
NCM811	155	87%	
NMx (镍锰酸锂)	170	95%	较NCM811下降15%

资料来源：蜂巢能源官网，国信证券经济研究所整理

# 正极发展新方向三：富锂锰基(层状结构)

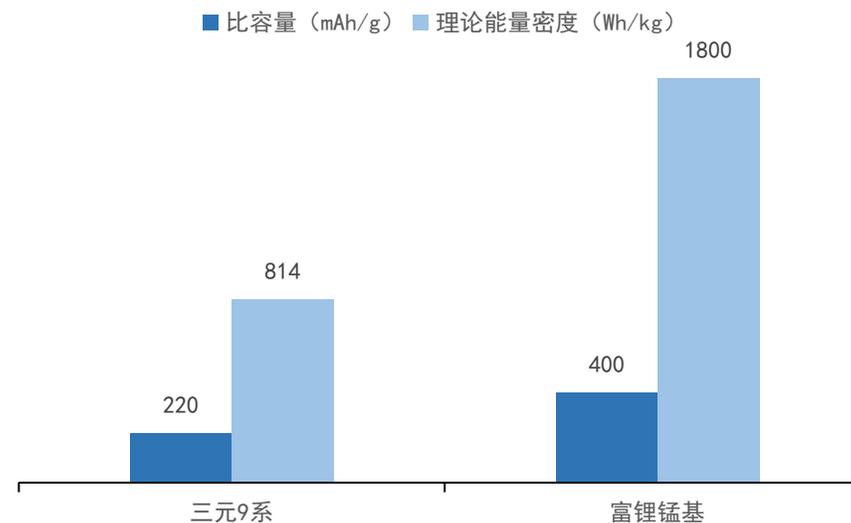
- 富锂锰基固溶体材料是一种相对较新的锂离子电池正极材料，是在开发锰基氧化物作为锂离子电池正极材料的研究过程中发现的。LiMnO<sub>2</sub>层状材料在循环过程中结构不稳定，而利用同样具有层状结构的Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>来稳定上述材料时，彼此可形成稳定性大大提高。富锂锰基在2~4.8V保持超过200mA·h/g的比容量。这是目前所用正极材料实际容量的两倍左右。而且由于材料中使用了大量的Mn元素，与钴酸锂和三元材料相比，不仅价格低，而且安全性好、对环境友好。材料被很多人视为下一代锂离子电池正极材料的理想之选。
- 富锂锰基优点**主要在于比容量高（一般在250mAh/g以上，最高能达到400mAh/g）；不足之处在于：1）首圈库伦效率低；2）循环寿命较差；3）电压/容量衰减。针对富锂锰基固溶体存在的这些缺点，可以采用的改性的方法主要有表面包覆、与受锂型材料复合、表面处理以及其他手段。
- 产业化进程**：中科院宁波材料所旗下的宁波富锂电池已具有百吨级的富锂锰基正极材料中试生产线；容百科技、当升科技等也在推进相关产品研发工作。

图14：富锂锰基0.1C倍率下首周充放电曲线



资料来源：《尖晶石/层状异质界面的构筑提升富锂锰基正极材料电化学性能》，国信证券经济研究所整理；注：图中各曲线差异在于材料晶格参数略有不同

图15：富锂锰基与三元9系材料性能对比



资料来源：德勤咨询，国信证券经济研究所整理

## 二、动力电池正极材料的市场现状

# 短期磷酸铁锂装机提升，长期三元和铁锂长期并存

- 磷酸铁锂在动力电池中占比短期提升主要得益于：1) 补贴退坡后，动力电池追求降低成本拉动高性价比磷酸铁锂的需求；2) 宁德时代CTP、比亚迪刀片电池等结构优化技术提升了铁锂电池包的能量密度，弥补材料本身的不足，车企对磷酸铁锂电池认可度逐步提升。
- 国内市场2022-2023年磷酸铁锂电池装机占比有望继续超过50%；海外市场方面，随着特斯拉等海外车企逐步增配磷酸铁锂电池，渗透率将快速提高。展望2025年，全球动力电池市场中磷酸铁锂占比有望接近40%，磷酸铁锂有望与三元材料长期并存。

图6：磷酸铁锂与三元电芯价格对比（元/Wh）



资料来源：百川盈孚，国信证券经济研究所整理

表2：海外车企对磷酸铁锂电池的配置规划

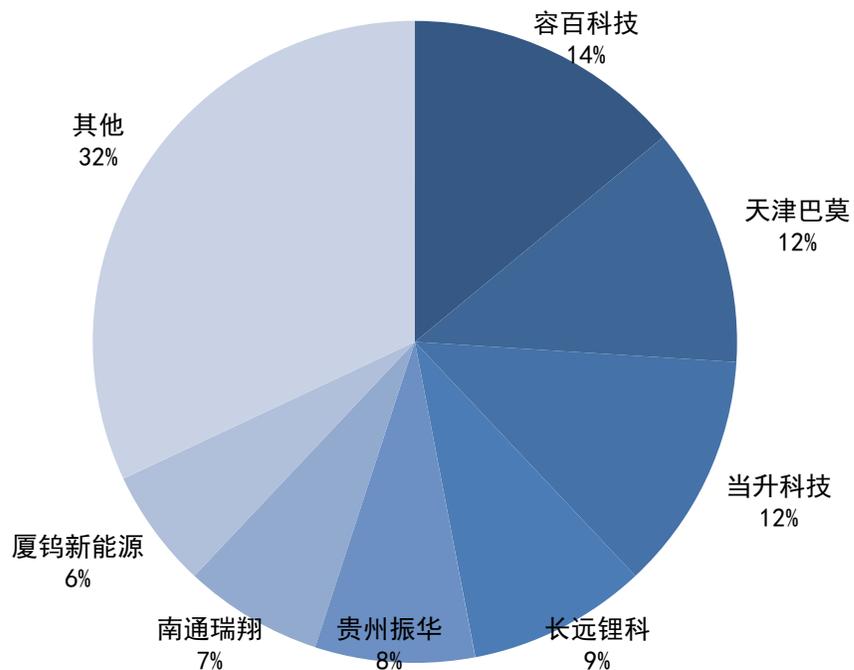
企业	时间	对磷酸铁锂方案的工作进展
雷诺	2021年2月	雷诺5为了能够计划在2023年量产，正在考虑使用磷酸铁锂电池
大众	2021年3月	未来其将在入门级车型上使用磷酸铁锂电池，并且会是其平台的主要电池路线之一
现代	2021年上半年	已着手研发搭载磷酸铁锂电池的电动汽车，并将在在中国以外地区销售
特斯拉	2021年10月	对于标准续航版Model 3和Model Y，其将在全球范围内改用磷酸铁锂电池
戴姆勒	2021年10月	其豪华汽车品牌梅赛德斯-奔驰考虑在入门级车型中使用磷酸铁锂电池
丰田	2021年12月	计划在2022年，面向中国市场推出搭载比亚迪刀片式磷酸铁锂电池的小型电动汽车
福特	2022年2月	作为“一号客户”到访比亚迪西安弗迪XAB工厂，并考虑在全球范围内的入门级车型上大批量使用磷酸铁锂电池

资料来源：Ofweek，特斯拉官网，丰田官网，大众官网，国信证券经济研究所整理

# 三元材料：行业集中度稳步提升，高镍化趋势显著

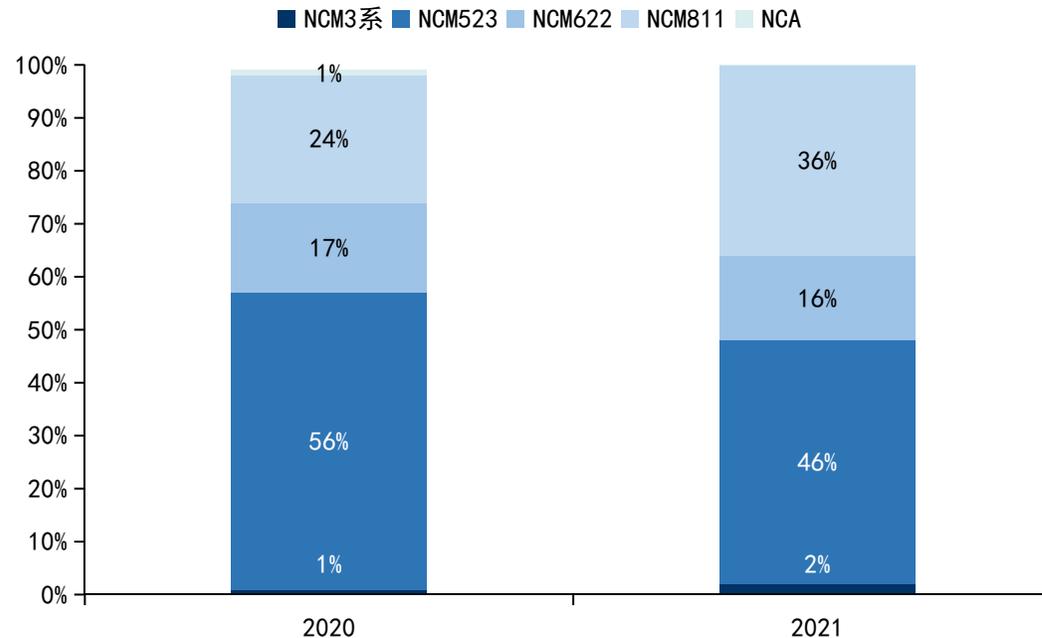
- 三元材料行业集中度稳步提升：2021年三元正极CR3达到38%，同比提升6pct；CR5达到55%，同比提升8pct。
- 高镍三元加速渗透：2021年国内三元8系材料占比提升至36%，较2020年增长12pct。主要系：1) 长续航需求下，高镍三元能量密度高优势继续凸显；2) 磷酸铁锂回暖下，低镍三元产品性价比进一步下滑，被磷酸铁锂替代部分份额。长期来看，虽然磷酸铁锂装机依旧有望维持高位，但是长续航和高性能要求下高镍化趋势显著，三元材料出货结构将加速提升。

图7：2021年国内三元正极材料企业出货量占比



资料来源：鑫椤锂电、国信证券经济研究所整理

图8：国内三元正极材料出货结构

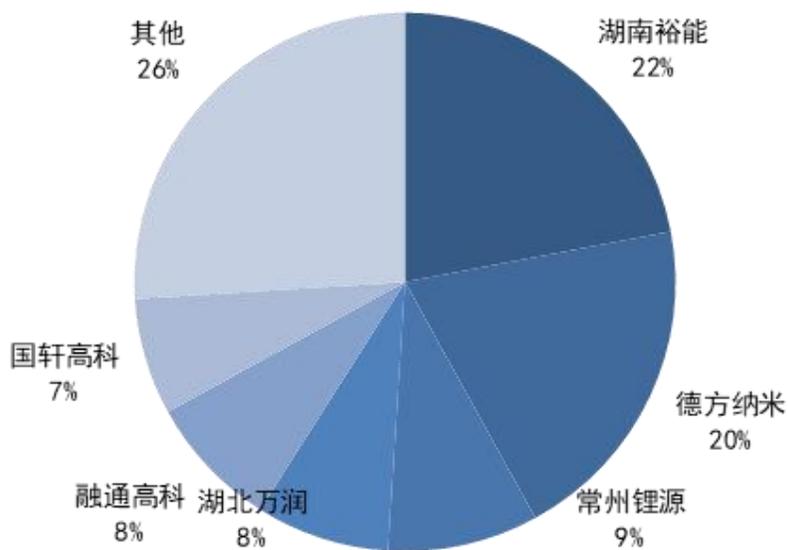


资料来源：SMM新能源、国信证券经济研究所整理

# 磷酸铁锂：企业大幅扩张供需得到缓解，头部份额持续提升

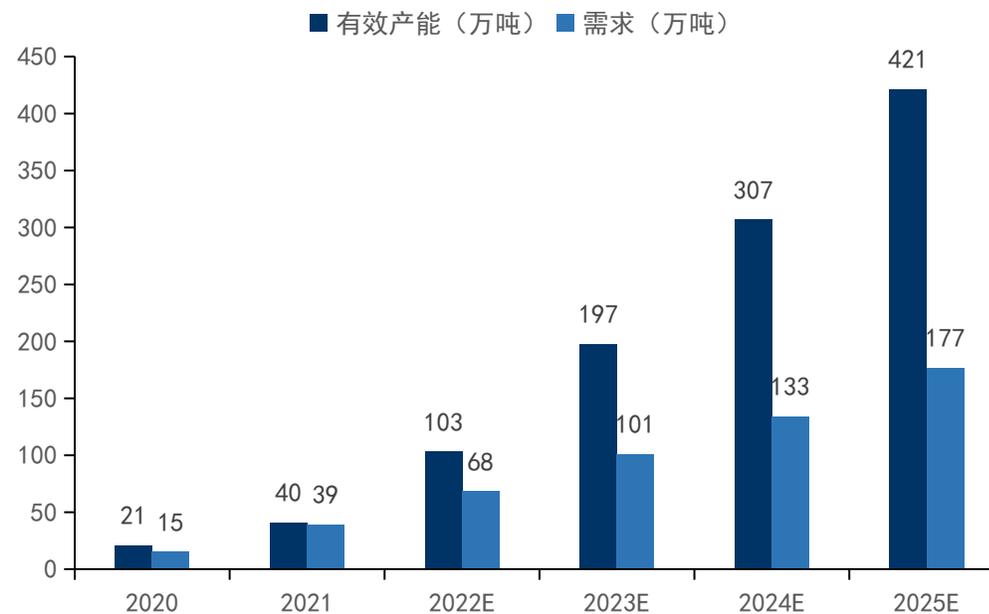
- 德方纳米、湖南裕能在磷酸铁锂市场占据领先份额。2021年湖南裕能市占率达到22%，位居行业第一；德方纳米因产能瓶颈市占率达到20%，排名降至第二位。2021年磷酸铁锂市场CR2达到42%，同比提升4pct。其他企业在2021年市场份额均下降至10%以下。
- 头部企业产能高速扩张，短期供需紧张，长期看磷酸铁锂环节产能持续充裕。目前德方纳米、湖南裕能等龙头企业加速扩产，二者在2025年规划磷酸盐系产能均已突破70万吨。短期需求爆发式增长吸引了部分化工企业切入到磷酸铁锂领域，川发龙蟒、龙佰集团、山东丰元等相继投资建设10万吨级以上产能。我们预计磷酸铁锂供应紧张状态将在1-2年后缓解，2023年后行业进入持续供给宽松状态。

图9：2021年磷酸铁锂市场竞争格局



资料来源：鑫椤锂电，国信证券经济研究所整理

图10：全球磷酸铁锂正极供需测算（万吨）



资料来源：德方纳米公告，湖南裕能招股说明书，湖北万润招股说明书，龙蟠科技公告，富临精工公告，安达科技公告，当升科技公告，高工锂电，国信证券经济研究所整理与测算

# 磷酸铁锂：企业大幅扩张供需得到缓解，头部份额持续提升



表3：磷酸铁锂行业供需测算情况（万吨）

	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
德方纳米	3.9	15.5	45.0	56.0	78.0	78.0
湖南裕能	2.9	19.3	26.9	41.7	59.1	75.1
龙蟠科技（常州锂源）	3.9	9.0	27.0	44.0	52.0	57.0
富临精工（江西升华）	1.2	6.2	12.2	31.2	31.2	31.2
湖北万润	2.3	4.3	17.5	26.3	26.3	26.3
安达科技	4.0	6.0	10.0	14.0	24.0	30.0
当升科技					30.0	30.0
重庆特瑞	2.5	6.5	6.5	10.5	10.5	10.5
斯特兰	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
比亚迪	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
川发龙蟒					10.0	10.0
山东丰元化学					10.0	20.0
龙佰集团			5.0	10.0	25.0	35.0
湖南邦盛			10.0	23.0	40.0	50.0
<b>名义产能</b>	<b>25.7</b>	<b>74.8</b>	<b>168.1</b>	<b>264.7</b>	<b>404.1</b>	<b>461.1</b>
<b>有效产能</b>	<b>20.6</b>	<b>40.5</b>	<b>102.8</b>	<b>197.1</b>	<b>306.5</b>	<b>421.2</b>
<b>需求</b>	<b>14.8</b>	<b>38.8</b>	<b>68.0</b>	<b>100.9</b>	<b>133.5</b>	<b>176.7</b>
<b>富余产能</b>	<b>5.7</b>	<b>1.7</b>	<b>34.8</b>	<b>96.2</b>	<b>173.0</b>	<b>244.5</b>

资料来源：德方纳米公告，湖南裕能招股说明书，湖北万润招股说明书，龙蟠科技公告，富临精工公告，安达科技公告，当升科技公告，高工锂电，国信证券经济研究所整理与测算  
注：德方纳米产能包含新型磷酸盐系材料；不完全统计，各公司情况以其最新披露口径为准

# 磷酸铁锂：成本、新材料、客户将成为核心竞争要素



- 随着1-2年后行业产能的过度供给，具有成本和客户优势的企业有望获得稳固的市场份额。正极作为动力电池最重要的主材，电池厂与上游合作密切。如德方纳米与宁德时代、亿纬锂能具有合资工厂，宁德时代、比亚迪入股湖南裕能等。与头部电池厂深入绑定的正极厂，能够享受更高的订单确定性，进而实现快速增长。
- 通过产品升级构建技术护城河，是正极材料企业在磷酸盐产品市场的主要竞争战略。新型磷酸盐磷酸锰铁锂具备能量密度高、低温性能好的优势，未来其纯用及混用方案有望在电动汽车领域快速渗透。而具备相关专利布局和产能布局的企业，或将充分享受技术红利，实现市占率的稳固和提升。

表4：电池厂与磷酸铁锂正极企业合作情况

	比亚迪	宁德时代	亿纬锂能
德方纳米		合资建设曲靖磷铁（2万吨）和宜宾德方时代（8万吨）项目，宁德时代持股40%	合资建设德枋亿纬年产10万吨磷酸铁锂项目，亿纬锂能持股40%
湖南裕能	比亚迪持有湖南裕能5.27%股份；二者具有产能合作协议，2022-2025年间比亚迪至少向裕能分别采购7.1/9.6/7.2/2.5万吨磷酸铁锂	宁德时代持有湖南裕能10.54%股份；二者具有保供协议，2022-2024年间宁德时代每年至少向湖南裕能采购10.2万吨磷酸铁锂	二者具有合作协议，2022-2025年间亿纬锂能每年分别向湖南裕能至少采购0.66/0.72/0.72/0.06万吨磷酸铁锂
龙蟠科技		与龙蟠科技孙公司山东锂源签订协议，包销其新项目投产之日（预计2022年7月）起至2023年12月31日前的全部产能（合计约7.5万吨）	
富临精工		宁德时代持有其正极子公司江西升华20%股份	
湖北万润	二者签有战略合作协议	二者签有保供协议	

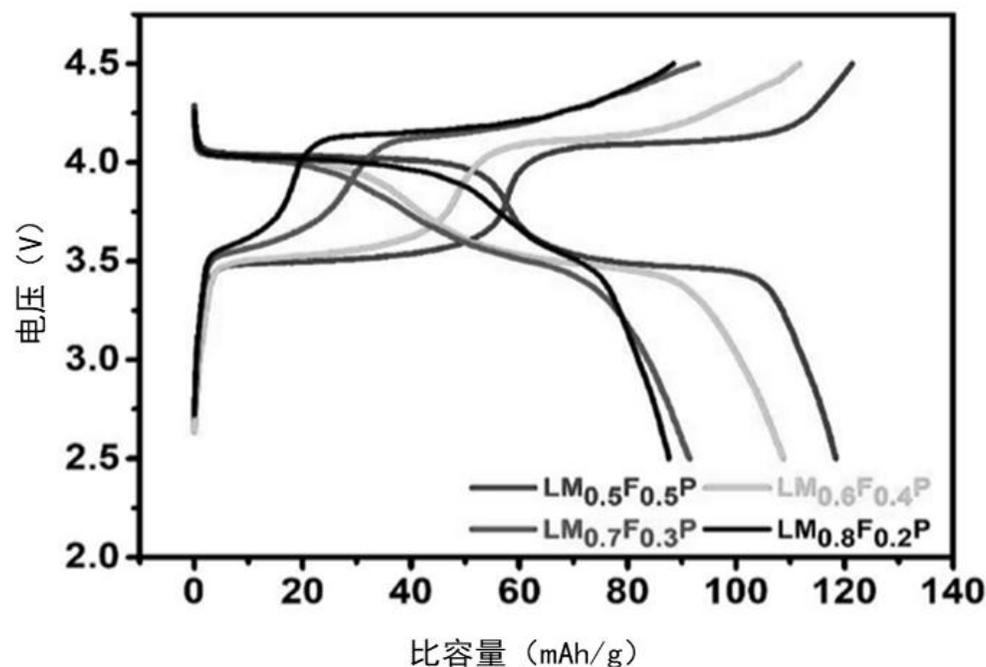
资料来源：德方纳米公告，湖南裕能招股说明书，湖北万润招股说明书，龙蟠科技公告，富临精工公告，国信证券经济研究所整理

### 三、磷酸锰铁锂：低成本高电压，正极发展新方向

# 磷酸锰铁锂关键性能指标：锰铁比例

- 铁含量提升能够带动锂电池导电性和倍率性能的提高，然而过多的铁元素掺杂会使LMFP化学性能接近磷酸铁锂。
- 锰含量提升能够提高电池电压和能量密度，然而锰元素含量过高会使得锰溶出比例过高，进而破坏固溶体结构，并使得电池导电性、倍率性及放电效率恶化。
- 锰铁比例：最佳比例暂无普遍共识，但一般认为锰铁比至少在1:1以上，典型的锰铁比例有1:1、3:2、3:1等。

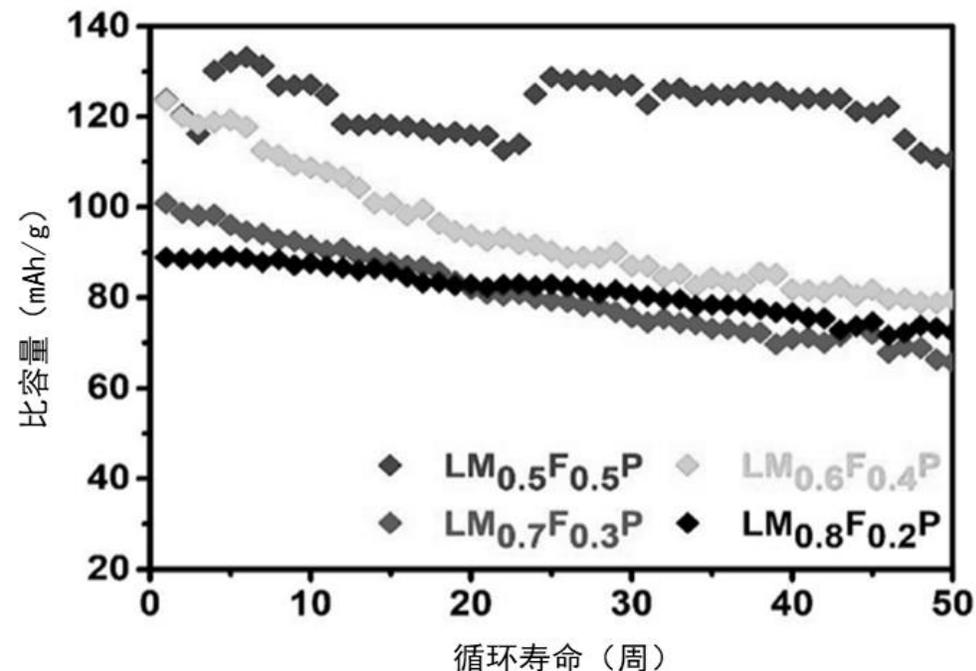
图16：不同锰铁比例的LMFP充放电电压曲线



资料来源：《碳掺杂的磷酸锰铁锂锂离子电池正极材料的制备和改性研究》、国信证券经济研究所整理

注：LM0.5F0.5P是LiMn<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.5</sub>PO<sub>4</sub>的简写，Mn与Fe下标不同代表锰铁比不同

图17：0.1C电流下不同锰铁比例LMFP循环寿命曲线



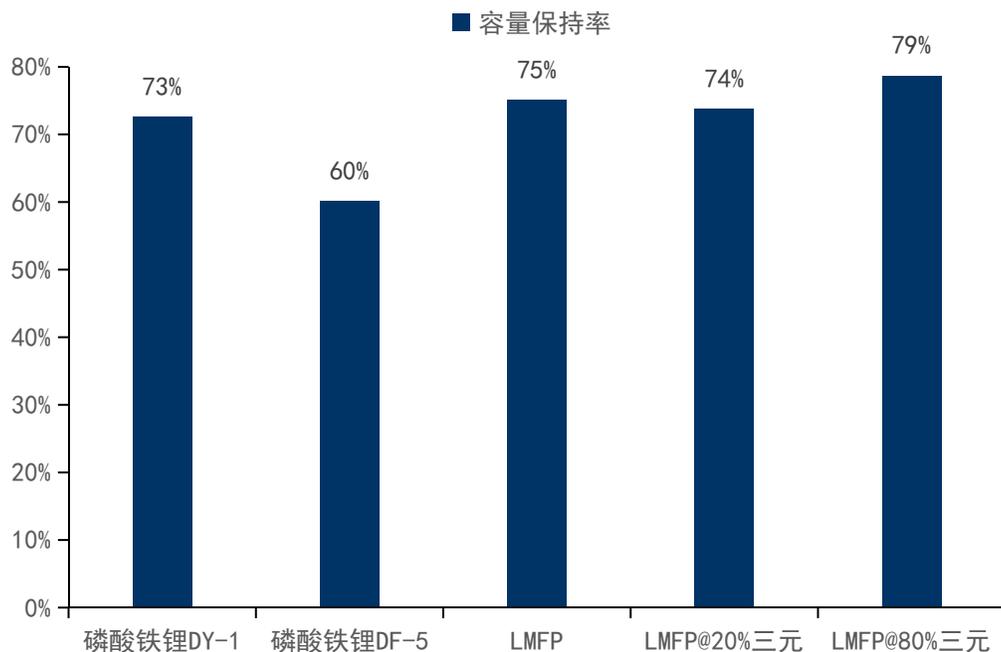
资料来源：《碳掺杂的磷酸锰铁锂锂离子电池正极材料的制备和改性研究》、国信证券经济研究所整理

注：LM0.5F0.5P是LiMn<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.5</sub>PO<sub>4</sub>的简写，Mn与Fe下标不同代表锰铁比不同

# 与磷酸铁锂相比：磷酸锰铁锂能量密度高、低温性能好

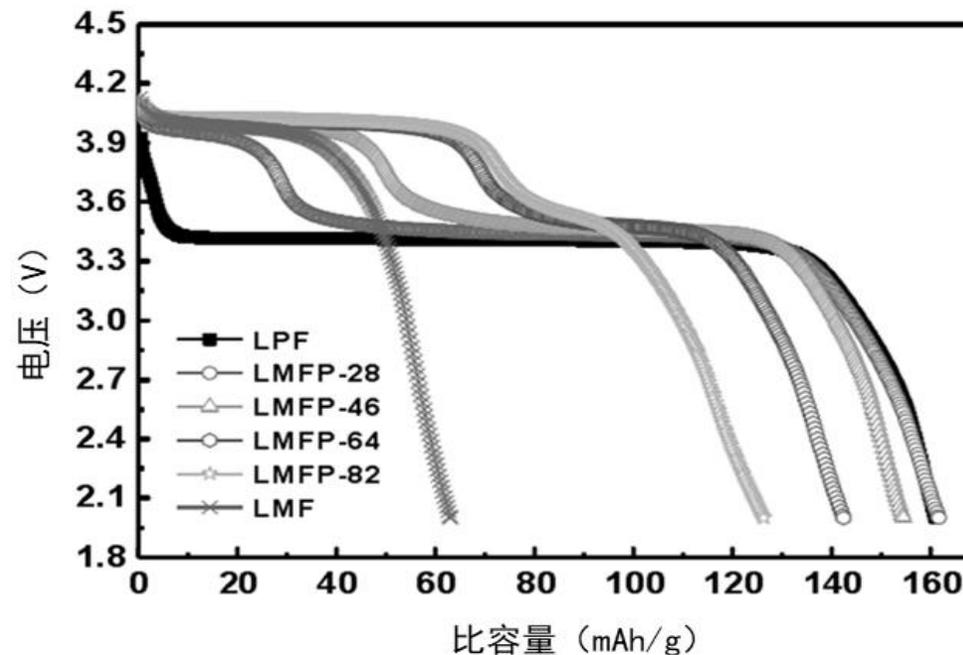
- 理论比容量相近：磷酸铁锂与磷酸锰铁锂的理论比容量均为170mAh/g。
- 电压平台高、能量密度高：磷酸铁锂电压平台一般在3.4V左右；磷酸锰铁锂在掺杂锰后电压平台提升至3.8-4.1V，理论能量密度高出磷酸铁锂10-20%。
- 低温性能改善：磷酸铁锂低温性能差，-20℃下容量保持率在60-70%；而磷酸锰铁锂在-20℃下容量保持率能够达到75%左右。

图18：低温（-20℃）下不同正极体系容量保持率



资料来源：天津斯特兰，德方纳米，国信证券经济研究所整理  
注：LMFP@20%三元代表LMFP和三元材料混合正极体系里，三元材料质量占比为20%

图19：橄榄石型正极材料放电曲线



资料来源：《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》，国信证券经济研究所整理。注：LMFP-28代表锰铁比为2:8，其他均同；LFP为磷酸铁锂；LMP为磷酸锰锂

# 与三元材料比：性价比高、安全性高、循环寿命长



- **性价比高：**磷酸锰铁锂能量密度能够与三元5系材料接近，并且价格优势明显。2020年力泰锂能磷酸锰铁锂售价为6万元/吨，而2020年三元523/622/811均价为11.9/13.1/17.9万元/吨，磷酸锰铁锂价格优势明显。
- **安全性高、循环寿命长：**磷酸锰铁锂橄榄石型结构稳定性优于层状结构的三元材料，充放电过程中结构更加稳定，材料体系安全性高。此外，磷酸锰铁锂循环寿命可达2000周以上，明显优于三元材料。

表6：主要正极材料性能对比

	磷酸锰铁锂	磷酸铁锂	磷酸锰锂	三元材料
材料结构	橄榄石	橄榄石	橄榄石	层状结构
理论比容量 (mAh/g)	170	170	170	280
实际比容量 (mAh/g)	140-160	130-150	130-150	168
电压平台 (V)	3.8-4.1	3.4	4.1	3.7-4.3
极限能量密度 (Wh/kg)	697	578	697	1204
压实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.3-2.4	2.4-2.5	2.3-2.4	3.7-3.9
导电性能	一般	优秀	较差	优秀
倍率性	一般	良好	较差	优秀
循环次数	良好 (2000)	优秀 (>3000)	较差	一般 (500-2000)
安全性	良好	良好	良好	一般
成本	低	低	低	高

资料来源：天津斯特兰、鹏欣资源、《磷酸锰铁锂正极材料的制备和性能》、《磷酸锰铁锂正极材料电化学性能研究》、《LiMn(1-x)FexPO4正极材料制备方法的研究进展》、国信证券经济研究所整理

# 磷酸锰铁锂材料的劣势

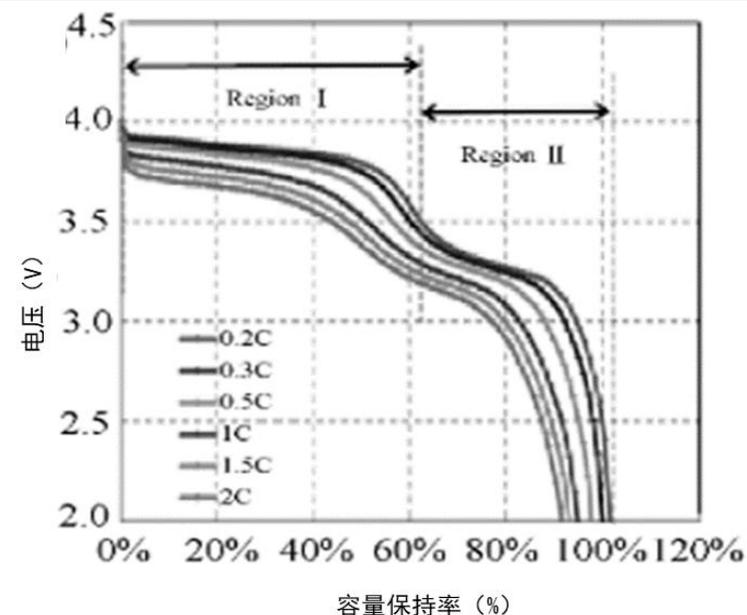
- **导电性差、倍率性能差：**磷酸锰铁锂的电子电导和离子电导性均显著低于三元材料和磷酸铁锂，因而表现出较差的导电性和较差的倍率特性。
- **首圈效率低：**磷酸锰铁锂首圈充放电效率在92%左右，而磷酸铁锂能够做到95%以上。
- **双电压平台：**磷酸锰铁锂体系中铁和锰放电电压存在较大差别，因而产生了放电过程中的双电压平台。双电压平台的问题会使得电池在放电过程中面临一定可能的功率骤降。但是在实际应用中，电池中磷酸锰铁锂的双电压问题并没有那么显著。
- **锰溶出导致循环寿命衰减：**锰的导电性差、容易出现极化现象使得放电电压平台缩减，降低循环寿命。同时充放电过程中锰离子会溶出并沉积在负极表面，进而破坏SEI膜，使得SEI膜不断再生修复，消耗大量活性锂，造成容量损失。

表7：主要正极材料电导率及锂离子扩散系数对比

	三元材料	锰酸锂	磷酸铁锂	磷酸锰铁锂
锂离子扩散系数 (cm <sup>2</sup> /s)	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>-15</sup>
电导率 (S/cm)	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-13</sup>

资料来源：《磷酸锰铁锂正极材料的制备和性能》、国信证券经济研究所整理  
注：电导率越高，导电性越强；锂离子扩散系数越高，锂离子在正极中扩散速度越快

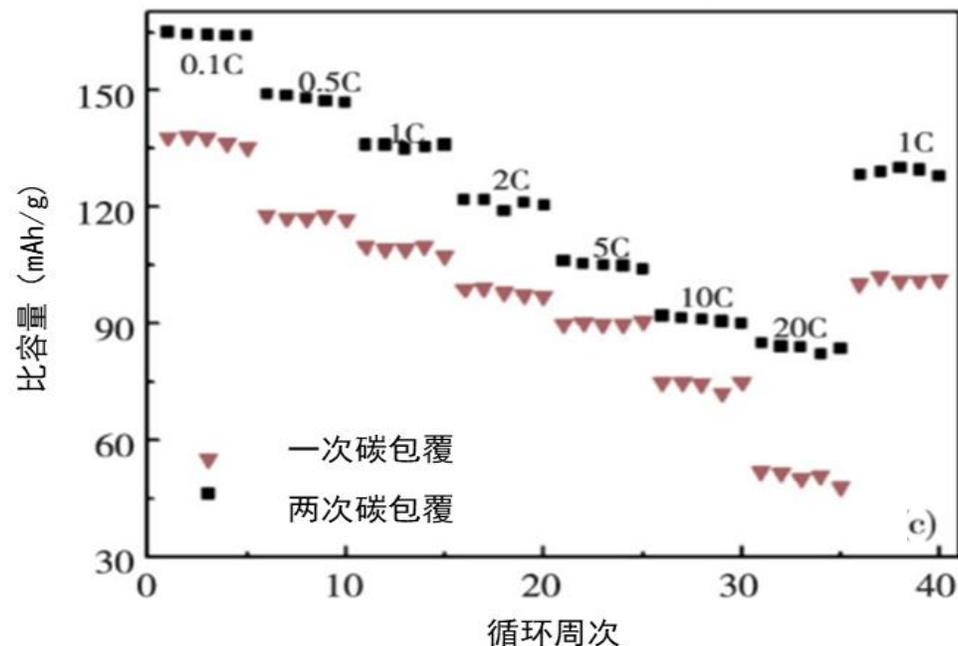
图20：实际电池中并不存在电压突然骤降情况



资料来源：《以磷酸锰铁锂为正极的软包电池失效分析》、国信证券经济研究所整理

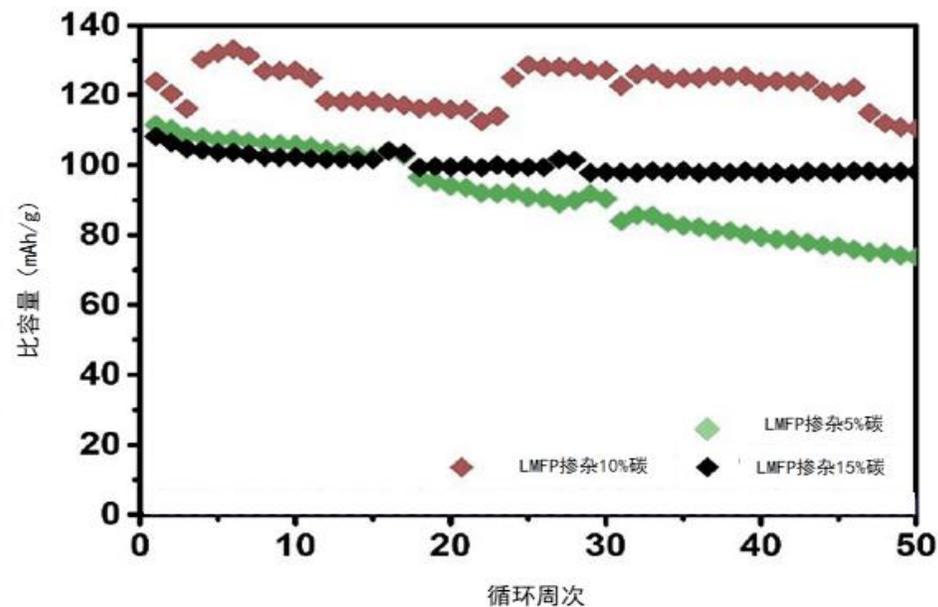
- 与磷酸铁锂类似，为改进磷酸锰铁锂材料本身的一些应用不足，可采用包覆、掺杂、纳米化等方式对材料进行改性。
- **包覆**：导电材料包覆在磷酸锰铁锂表面能够改善材料的导电性能，避免颗粒团聚、提升均一性，改善倍率性能。同时，表面包覆后能够一定程度上抑制锰离子的溶出，从而改善材料的循环寿命。包覆材料的含量需适量，过低不能有效提高材料的电子电导和离子电导；过高则会延长锂离子迁移路径，阻碍迁入迁出，使得比容量降低。

图21：不同碳包覆次数下磷酸锰铁锂倍率性能情况



资料来源：《改进高温固相法制备磷酸锰铁锂正极材料》、国信证券经济研究所整理

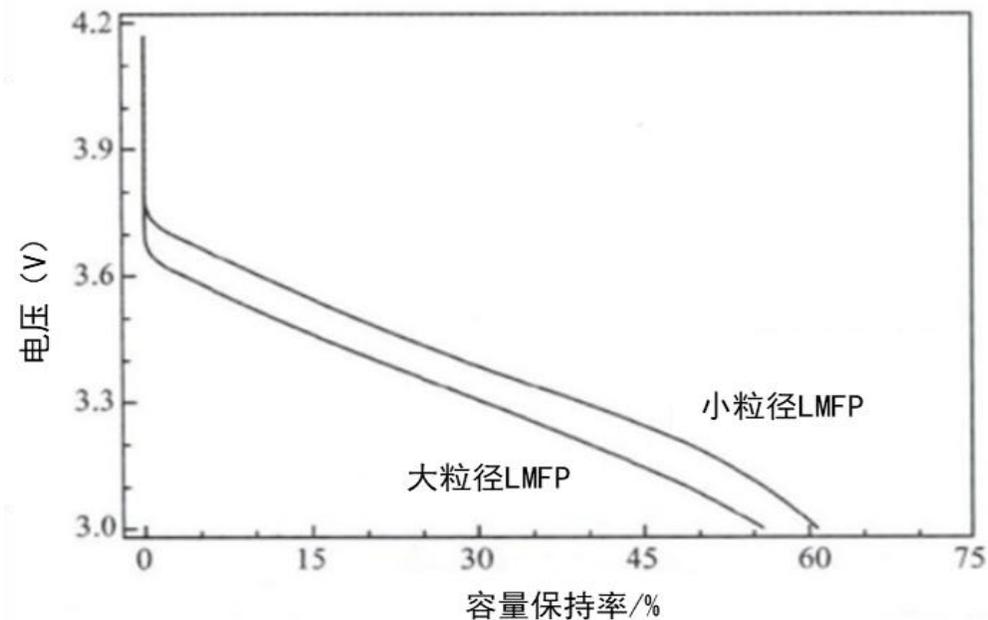
图22：不同碳含量下磷酸锰铁锂材料循环寿命曲线



资料来源：《碳掺杂的磷酸锰铁锂锂离子电池正极材料的制备和改性研究》、国信证券经济研究所整理

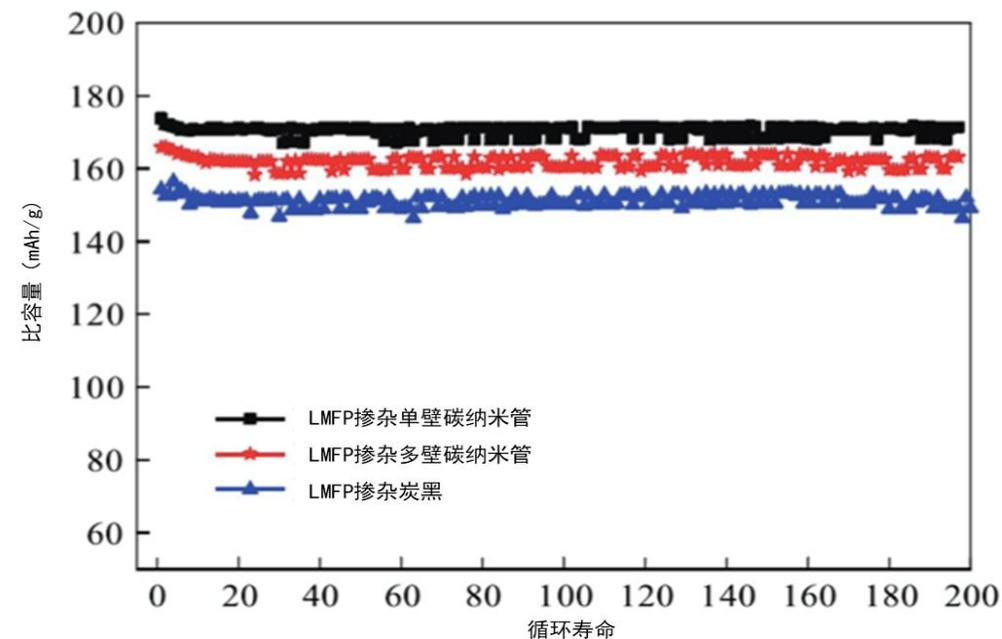
- **掺杂**：碳材料或金属离子加入到磷酸锰铁锂材料中能够提高其导电性能，但掺杂量需严格控制，过量的金属离子掺杂会使得结构异化。实际应用中，添加碳纳米管能够构建优异的导电网络，进而实现材料体系性能的全方位提升。此外，还可以通过添加过量锂离子或补锂剂等方式来提升首圈效率和循环寿命。
- **纳米化**：纳米化是指通过机械球磨、控制煅烧温度、采用超导粒子作为核促进剂等多种方式将材料尺寸缩小至纳米级颗粒。纳米化颗粒可以缩短锂离子扩散路径，提高锂离子迁移效率、降低电极极化，从而改善倍率性能和低温性能。同时，其还能提升材料比表面积，使得电解液浸润程度更高，降低电极界面阻抗，提升电子导电性。

图23：不同粒径磷酸锰铁锂低温（-20℃）下容量保持率



资料来源：《混合正极中LiMn<sub>0.7</sub>Fe<sub>0.3</sub>PO<sub>4</sub>粒径对锂离子电池性能的影响》，国信证券经济研究所整理

图24：不同碳材料掺杂下磷酸锰铁锂的循环寿命



资料来源：《掺硫碳纳米管作导电添加剂改进磷酸锰铁锂电化学性能》，国信证券经济研究所整理

# 制备方法：固相法+液相法

- **固相法**：包括高温固相法、碳热还原法、机械活化法及微波加热法等。优点是工艺过程简单成熟，制备成本较低，易于实现大规模工业化；不足是产品混合均匀性较差，品质较差。
- **液相法**：包括溶剂热法、溶胶凝胶法、共沉淀法、模板法以及喷雾干燥法等。优点是产品质量高；不足是过程控制难度大、工艺难度高。该方法代表厂商为德方纳米。

表8：磷酸锰铁锂主流制备方法

制备方法	具体分类	主要流程	产品性能	能耗	设备要求	产品纯度	工业化难度	代表公司专利布局
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。	循环和低温性较好，但倍率性和电化学性差	高	高	低	易	比亚迪
	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。	导电性和稳定性好	高	低	高	易	
液相法	溶剂热法	各种原料溶解在溶剂中配置成均匀溶液，然后在反应釜中反应得到前驱体。而后干燥、焙烧得到成品。	稳定性好，但堆积密度和压实密度较差	高	高	高	难	德方纳米、比亚迪、厦钨新能、宁德时代
	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。	产品多方面性能优良	低	低	高	难	德方纳米（量产方案）
	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。	产品多方面性能优良，粒子分布均匀	低	低	高	易	比亚迪、国轩高科、力泰锂电

资料来源：《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》，《LiMn(1-x)FexPO4正极材料制备方法的研究进展》，专利之星，国信证券经济研究所整理

注：不完全统计，各公司情况以其最新披露口径为准

磷酸锰铁锂生产过程的难点主要在于：

- 1) **前驱体合成难度高**：因为行业暂无统一规范，各厂家具有其特定的生产配方及锰铁比设置，前驱体具有非标准化特征，各家企业基本进行自产。同时原料锰盐导电性差、加工难度大，增加了前驱体生产的技术难度。
- 2) **工艺难度大**：磷酸锰铁锂自身导电性和部分动力学性能较差，因而需要进行包覆、掺杂、纳米化等改性手段以改善导电性能。而改性技术往往依赖长期的研发和工艺积累，具有较高的壁垒。

与磷酸铁锂生产过程相比：

- 基本工艺路线相似；所需锂盐、磷源、碳源、铁源基本一致；生产设备相似仅需进行简单改造。
- 由于锰元素的加入，材料生产配比及配料体系都需要进行调整，生产体系与磷酸铁锂存在差距。因此原磷酸铁锂生产线直接转产磷酸锰铁锂存在难度。

# 磷酸锰铁锂应用方案：纯用和与三元混用

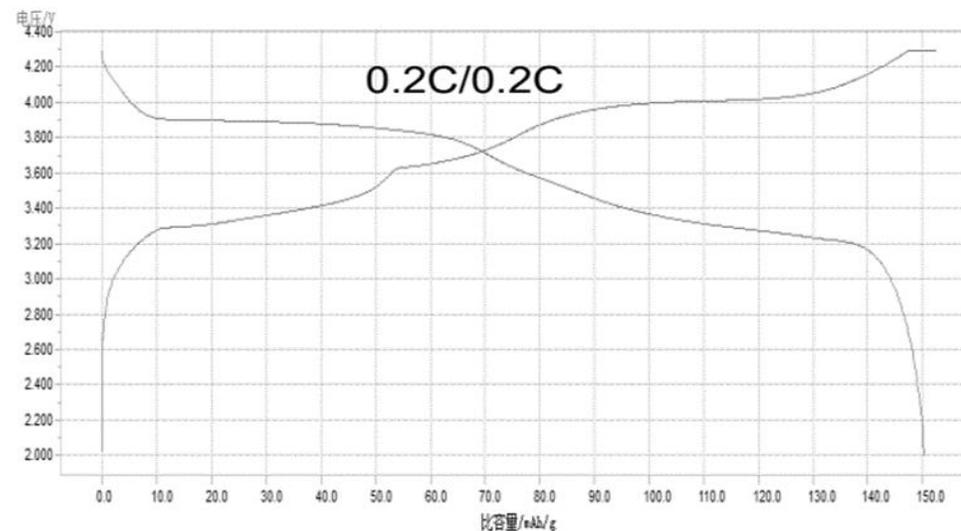
- **纯用方案应用情况：**磷酸锰铁锂纯用情况下，0.2C放电比容量为142mAh/g，中值电压达到3.7V以上，能量密度明显优于磷酸铁锂。
- **混用方案优势：**1) **增加循环寿命：**磷酸锰铁锂小颗粒能够填充在三元大颗粒之间，构建更稳固的导电网络且降低阻抗，提升循环寿命；2) **安全性能优：**三元材料中加入磷酸锰铁锂后，结构稳定、放热量低的磷酸锰铁锂隔绝在三元材料周围，能够抑制活性材料热失控情况下的连锁反应，提高材料安全性；3) **成本优势：**磷酸锰铁锂能量密度与三元5系基本持平，而成本则优势明显，三元材料掺杂磷酸锰铁锂能够优化复合体系成本。
- **混用方案应用情况：**1) LMFP复合20%三元5系，双电压平台变为平滑曲线，且能够兼容现有三元电池管理系统；2) LMFP复合80%三元5系，能力拿高密度变化不大，安全性和成本得到显著优化。

表9：磷酸锰铁锂与不同比例的三元材料复合后各项参数对比

复合方式	压实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.2C放电比容量 (mAh/g)	特点
LMFP单独使用	2.3-2.5	142	材料相对于磷酸铁锂具有较高能量密度，相对三元具有较优安全性
LMFP复合20%三元523材料	2.5-2.8	150	复合少量三元后放电曲线双平台变为平滑曲线，压降斜率减少，减轻对用电器的冲击
LMFP复合80%三元523材料	3.2-3.4	166	对三元能量密度影响不大，提高三元安全性，降低整体成本

资料来源：天津斯特兰官网，国信证券经济研究所整理

图25：磷酸锰铁锂复合20%三元5系材料后双电压平台变为平稳曲线



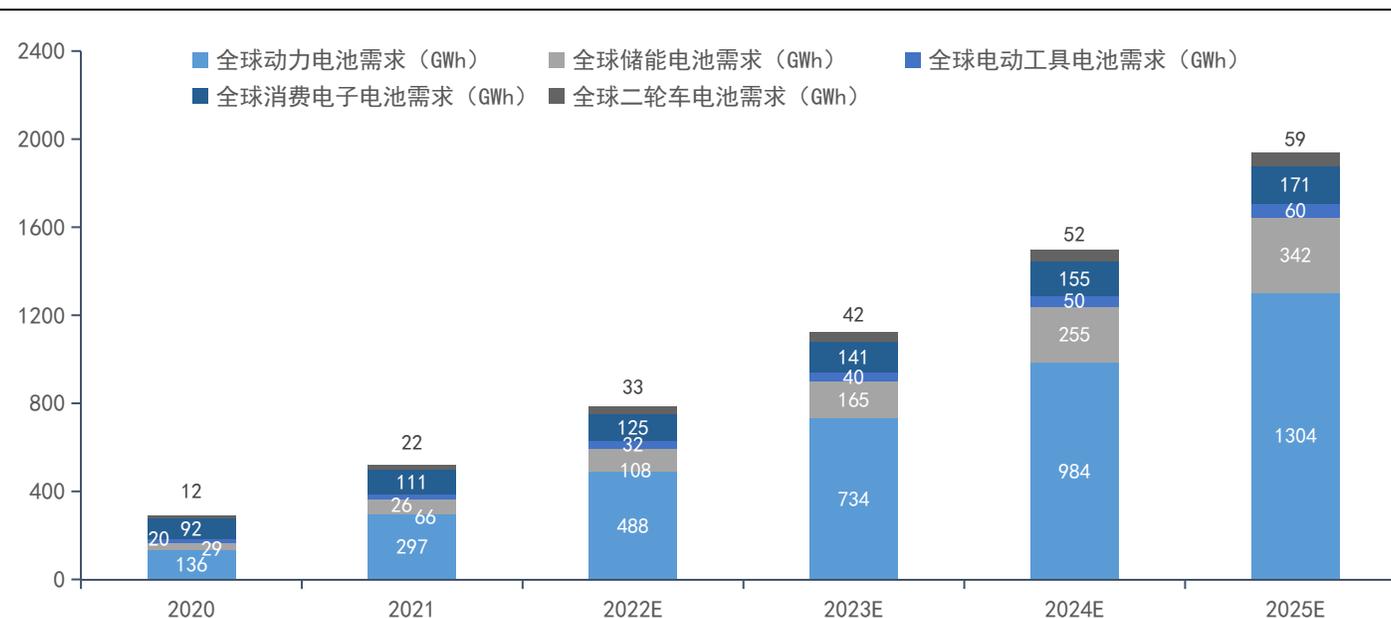
资料来源：天津斯特兰官网，国信证券经济研究所整理

## 四、百亿市场方兴未艾，应用场景丰富多样

# 2025年全球锂电池需求有望达到1936GWh，CAGR达39%

- 动力电池：全球电动化进程持续推进，动力电池需求快速增长，预计2025年全球动力电池需求达到1304GWh，2021-2025年均复合增速达到45%；
- 储能电池：海外政策补贴提升储能经济性，国内政策支持持续落地，预计2025年全球储能电池需求达到342GWh，2021-2025年均复合增速为51%；
- 电动工具电池：电动工具无绳化、锂电化加速推进，电池需求稳定增长，预计2025年全球电动工具电池需求达到60GWh，2021-2025年均复合增速为24%；
- 二轮车电池：锂离子电池性价比持续提升，锂电化趋势显著，预计2025年全球二轮车电池需求达到59GWh，2021-2025年均复合增速为28%；
- 消费电子电池：新兴消费电子出货快速增长、电池容量持续提升，需求增长稳健，预计2025年全球消费电子电池需求达171GWh，2021-2025年均复合增速11%。
- 我们预计2025年全球锂电池需求有望达到1936GWh，2021-2025年均复合增速达到39%。

图26：全球锂离子电池需求测算（GWh）

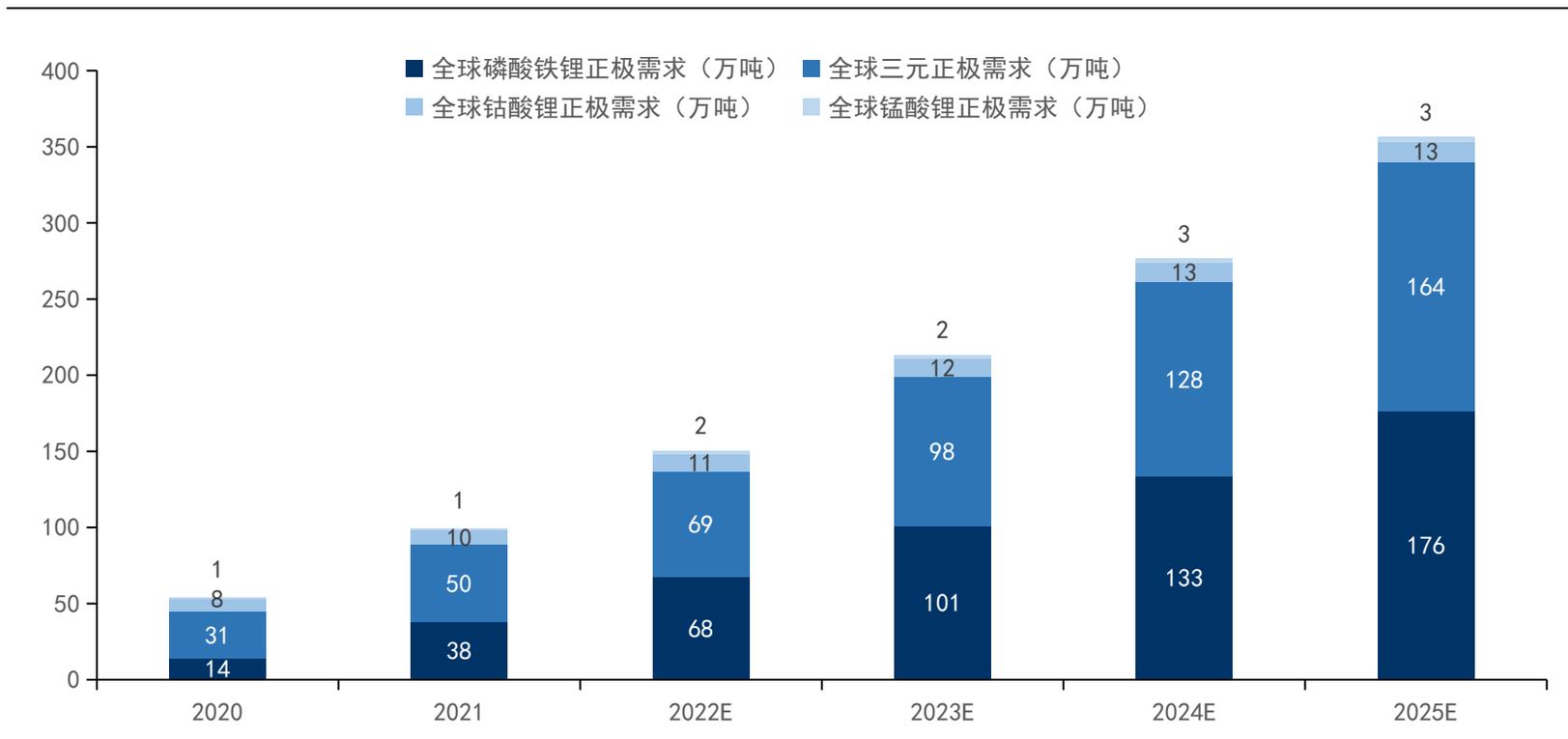


资料来源：高工锂电，CNESA，中国自行车协会，EV Tank，国信证券经济研究所整理与测算

# 2025年全球锂电池正极需求有望达到357万吨，CAGR达38%

- 国内市场2022-2023年磷酸铁锂动力电池装机占比有望继续超过50%，海外市场伴随海外特斯拉等车企对磷酸铁锂接受度提升，渗透率将快速提高。展望2025年，全球动力电池市场中磷酸铁锂占比有望接近40%，磷酸铁锂有望与三元材料长期并存。储能市场方面，磷酸铁锂凭借长寿命、低成本的优势仍将是主流技术路线。消费电子领域，钴酸锂市场份额稳固；电动工具领域，高能量密度、高倍率三元材料占据主导地位；二轮车领域，低成本锰酸锂占比稳中有升。
- 展望2025年，我们预计全球锂电池正极需求将达到357万吨，2021-2025年均复合增速达到38%；其中磷酸铁锂需求达176万吨、三元材料需求为164万吨、钴酸锂需求为13万吨、锰酸锂需求为3万吨。

图27：全球锂离子电池正极需求测算（GWh）



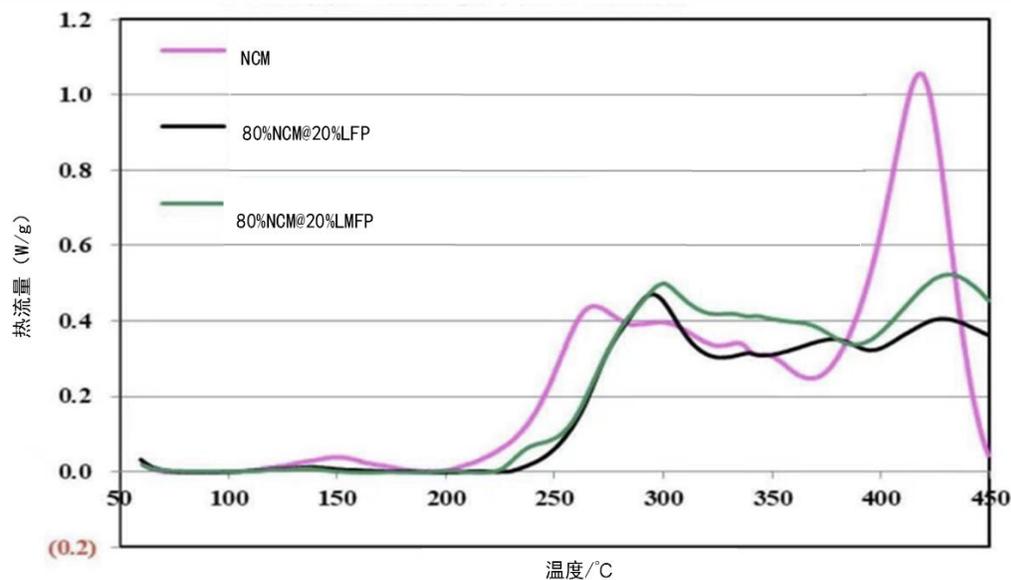
资料来源：高工锂电，CNESA，中国自行车协会，EV Tank，国信证券经济研究所整理与测算

# 电动汽车市场：磷酸铁锂升级版，三元材料稳定剂

电动汽车市场中磷酸锰铁锂尚未实现大规模应用，但主流正极和电池企业均已进行布局，我们预计其未来应用路径主要包括两种。

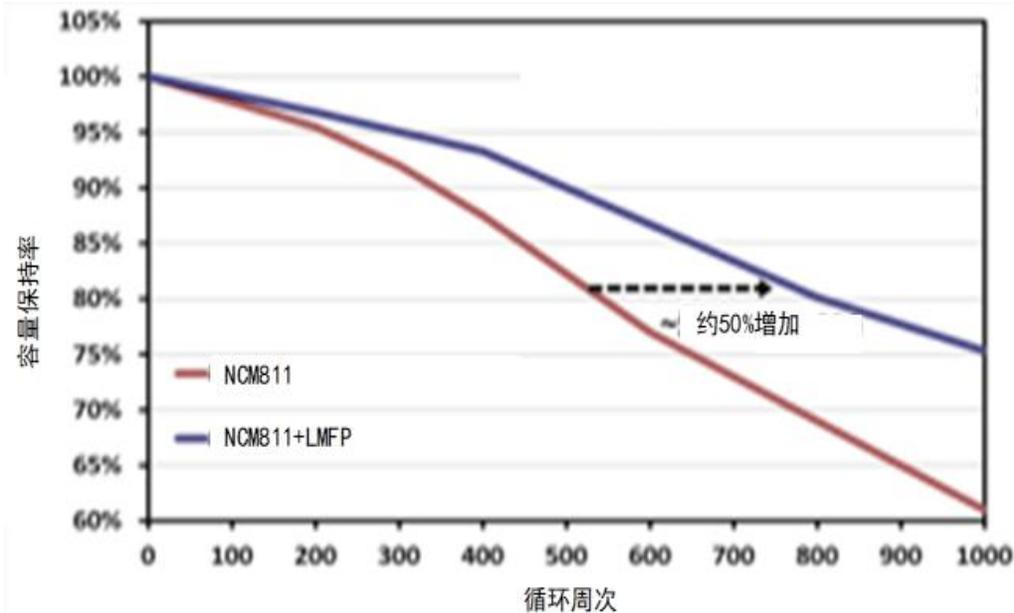
- **铁锂市场：**磷酸锰铁锂作为升级版磷酸铁锂应用于动力电池。磷酸锰铁锂相较磷酸铁锂能量密度优势显著，虽然短期内受制于生产规模等因素售价高于磷酸铁锂，但由于能量密度更高可降低电芯的综合成本，体现出更高的性价比。随着产业化快速推进实现成本下降后，实现对磷酸铁锂份额的加速替代。
- **三元市场：**磷酸锰铁锂作为三元的稳定剂，混合使用提升性能。磷酸锰铁锂具有与三元5系相近的能量密度，通过二者混合，一方面提升安全性，另一方面能够延长电池使用寿命。与此同时还能进一步优化成本。

图28：三元材料复合磷酸锰铁锂后热稳定性得到优化



资料来源：天津斯特兰官网，国信证券经济研究所整理  
注：峰值出现越早，代表热稳定性越差；80%NCM@20%LFP代表复合材料中NCM质量占比为80%

图29：三元811复合磷酸锰铁锂后循环寿命提升50%

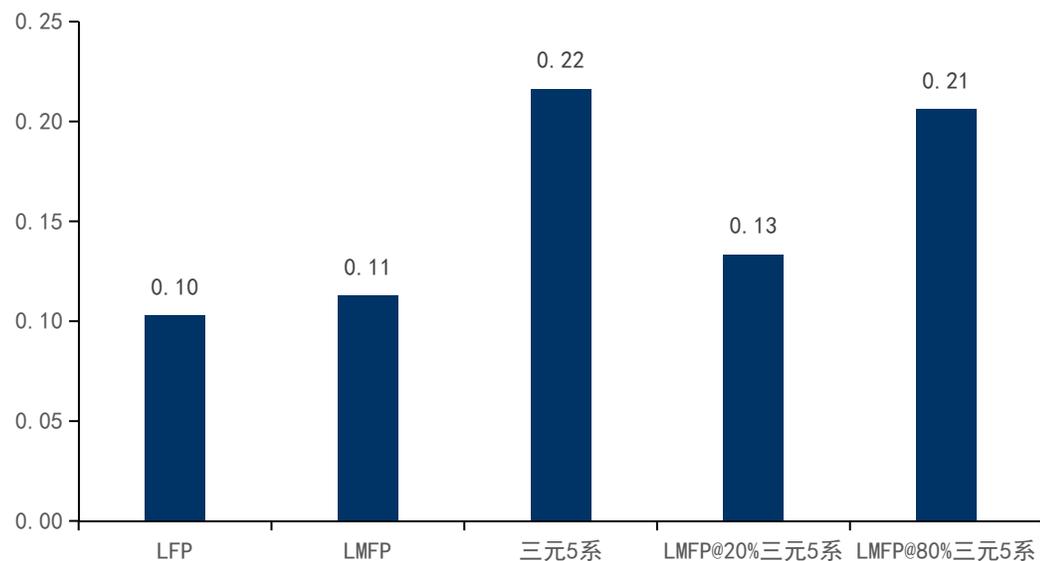


资料来源：台湾泓辰官网，国信证券经济研究所整理

# 电动汽车市场：磷酸铁锂升级版，三元材料稳定剂

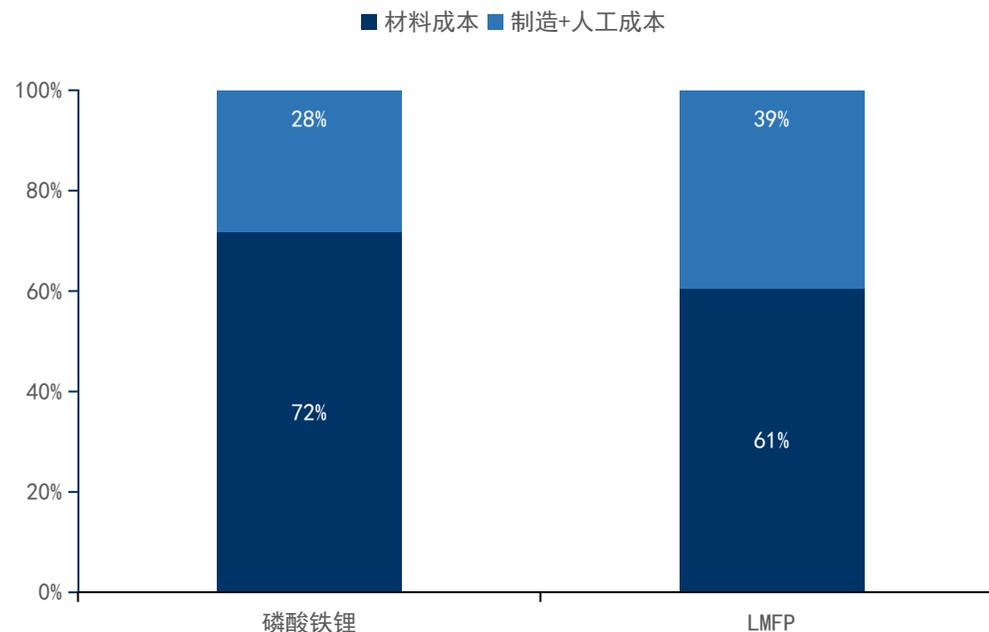
- 我们假设磷酸铁锂/LMFP/三元5系单吨售价为4.6/6.0/14.0万元；磷酸铁锂/LMFP/三元5系/LMFP@20%三元5系/LMFP@80%三元5系比容量分别为140/140/165/150/160mAh/g，电压为3.4/3.8/4.2/3.9/4.0V。
- 我们测算得到单Wh电池对应磷酸铁锂/LMFP/三元5系/LMFP@20%三元5系/LMFP@80%三元5系正极成本分别为0.10/0.11/0.22/0.13/0.21元，LMFP纯用较磷酸铁锂成本增加10%。

图30：不同正极体系成本对比（2020年）（元/Wh）



资料来源：德方纳米公告，力泰锂能官网，百川盈孚，国信证券经济研究所整理与测算

图31：磷酸铁锂与磷酸锰铁锂成本结构对比（2020年）

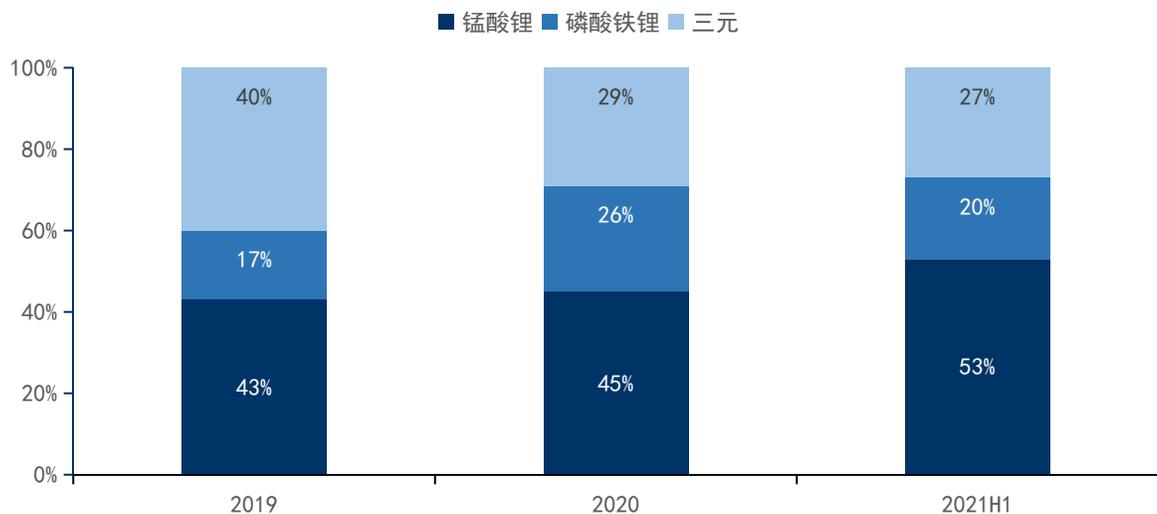


资料来源：德方纳米公告，力泰锂能官网，国信证券经济研究所整理

# 二轮车市场：锰酸锂混用优化性能

- 二轮车电池以成本较低的锰酸锂和磷酸铁锂为主。2021H1国内电动二轮车中锰酸锂市占率达到53%，且呈现连年上升态势。但是锰酸锂自身存在安全性较差、循环寿命低（500-2000周）等问题；磷酸铁锂虽具有良好的安全性，但是低温性能较差。由于磷酸铁锂和锰酸锂存在较大电压差，故而不能简单进行混用。
- 磷酸锰铁锂与锰酸锂混用效果良好，并已实现小规模应用。磷酸锰铁锂与锰酸锂电压一致，可兼容现有电源管理系统。同时磷酸锰铁锂兼具低成本、长寿命、高安全、耐低温等性能，其与锰酸锂混用能够兼具弥补锰酸锂不足之处。目前，星恒电源则推出了锰酸锂和LMFP复合电池，循环寿命超3000次且兼具优异低温性能。此外，磷酸锰铁锂也可逐步替代磷酸铁锂的份额：天能股份已经推出相应的超能锰铁锂电池，其能量密度高出磷酸铁锂电池17%，并且通过了针刺安全试验，在低温-20℃下仍能有85%的容量保持率；产品已经应用在小牛电动二轮车中。常州锂源与星恒电源也就磷酸锰铁锂达成战略合作。

图32：国内二轮车锂电池市场结构



资料来源：高工锂电、国信证券经济研究所整理

表10：星恒电源锰酸锂和磷酸锰铁锂复合电池性能

性能	
循环寿命	单芯可以实现3000次循环容量保持80%的超长寿命
低温性	产品在零下20度可以保持95%放电，循环容量无衰减
安全性	安全性能优异，可通过满电针刺和挤压测试

资料来源：星恒电源官网、国信证券经济研究所整理

# 2025年磷酸锰铁锂市场空间有望达到92亿元

基于审慎性原则我们做如下假设：

- **动力电池市场：**1) 磷酸锰铁锂小幅替代对磷酸铁锂，2025年仅替代其15%的市场份额；2) LMFP与三元混用方案逐步普及，2025年混用方案在三元5系及低镍市场中渗透率为25%，与三元混用方案中LMFP掺杂比例为20%。
- **电动二轮车市场：**1) LMFP对磷酸铁锂替代快速推进，2025年替代其45%市场份额；2) 磷酸锰铁锂与锰酸锂、三元混用方案快速普及，2025年渗透率达到40%，混用方案中LMFP掺杂比例为20%。
- **电踏车市场：**2025年LMFP渗透率达到35%。

我们测算得到2025年全球磷酸锰铁锂市场需求约为15.4万吨，市场空间为92.2亿元，2021-2025年均复合增速为129%。

图33：全球磷酸锰铁锂总需求（万吨、%）



资料来源：高工锂电，力泰锂能，中国自行车协会，EV Tank，国信证券经济研究所整理与测算

图34：全球磷酸锰铁锂市场空间（亿元、%）



资料来源：高工锂电，力泰锂能，中国自行车协会，EV Tank，国信证券经济研究所整理与测算

# 2025年磷酸锰铁锂市场空间有望达到92亿元

表11：全球磷酸锰铁锂需求及市场空间测算

		2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
动力电池市场	全球动力电池需求 (GWh)	136.3	296.7	487.8	733.9	984.4	1303.6
	全球磷酸铁锂电池需求 (GWh)	30.1	94.1	185.2	267.7	347.2	449.5
	全球三元523及低镍电池需求 (GWh)	27.7	42.6	55.1	79.7	102.5	132.6
	LMFP在磷酸铁锂电池中渗透率	1%	2%	3%	6%	10%	15%
	三元和LMFP混用方案渗透率	1%	2%	4%	10%	17%	25%
	LMFP在混用方案中掺杂比例	20%	20%	20%	20%	20%	20%
	<b>全球动力电池中LMFP需求 (GWh)</b>	<b>0.4</b>	<b>2.1</b>	<b>6.0</b>	<b>17.7</b>	<b>38.2</b>	<b>74.1</b>
电动二轮车市场	全球电动二轮车锂电池需求 (GWh)	8.8	17.5	27.2	35.5	44.2	50.3
	全球电动二轮车中磷酸铁锂电池需求 (GWh)	2.3	4.5	7.6	11.0	14.6	17.6
	全球电动二轮车中锰酸锂及三元电池需求 (GWh)	6.5	12.9	19.6	24.5	29.6	32.7
	LMFP在磷酸铁锂电池中渗透率	2%	8%	18%	25%	30%	35%
	三元或锰酸锂与LMFP混用方案的渗透率	1%	5%	16%	26%	32%	40%
	LMFP在混用方案中掺杂比例	20%	20%	20%	20%	20%	20%
	<b>全球电动二轮车LMFP需求 (GWh)</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	<b>2.0</b>	<b>4.0</b>	<b>6.3</b>	<b>8.8</b>
电踏车市场	全球电踏车销量 (万辆)	700	875	1094	1313	1575	1811
	单车带电量 (kWh)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	LMFP渗透率	2%	8%	18%	25%	30%	35%
	全球电踏车LMFP需求 (GWh)	0.1	0.4	1.0	1.6	2.4	3.2
合计	全球锂电池中LMFP需求 (GWh)	0.5	2.9	9.0	23.3	46.8	86.0
	单GWh电池LMFP需求 (吨)	1786	1786	1786	1786	1786	1786
	<b>全球LMFP总需求 (万吨)</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	<b>1.6</b>	<b>4.2</b>	<b>8.4</b>	<b>15.4</b>
	LMFP单吨价格 (万元)	6	6	6	6	6	6
	LMFP市场空间 (亿元)	0.5	3.1	9.6	25.0	50.2	92.2
	YoY			496%	210%	160%	101%

资料来源：高工锂电，力泰锂电，中国自行车协会，EV Tank，国信证券经济研究所整理与测算

## 五、上下游企业快速布局，产业化进程显著加快

# 锰资源的布局

- 锰矿称为黑色金属资源，它是铁合金原料，能增加钢铁的硬度、延展性、韧性和抗磨能力，同时还是高炉的脱氧、脱硫剂。
- 世界陆地锰矿资源比较丰富，仅陆地上锰矿储量就有9亿吨（金属量），但分布很不均匀。南非和乌克兰是世界上锰矿资源最丰富的两个国家，占世界锰矿资源的77%和10%。在世界锰矿资源中高品位锰矿（大于35%）主要分布在南非、澳大利亚、加蓬和巴西。2006年世界陆地锰矿石储量和储量基础分别为4.4亿吨和52.0亿吨，而我国锰矿石保有储量1.22亿吨，基础储量1.97亿吨，资源总量5.43亿吨，富矿仅占6.4%。
- 当前全球陆地锰矿储量在1亿吨以上的超大型锰矿产地有8处，分别是：南非的卡拉哈里和波斯特马斯堡、乌克兰的大托克马克和尼科波尔、加蓬的莫安达、加纳的恩苏塔、澳大利亚的格鲁特岛及格鲁吉亚的恰图拉。国外锰矿石品位一般都比较高的，尤其是南非卡拉哈里矿区的锰矿石品位达30%~50%，澳大利亚的格鲁特岛矿区的锰矿石品位更高达40%~50%。

表12：2006年世界锰矿储量和储量基础（万吨矿石量）

国家或地区	储量	储量基础	国家或地区	储量	储量基础
南非	3200	400000	印度	9300	16000
乌克兰	14000	52000	巴西	2500	5100
加蓬	2000	16000	墨西哥	400	900
中国	4000	10000	其他	很少	很少
澳大利亚	7300	16000	世界总计	44000	520000

资料来源：《锂离子电池——应用与实践》，国信证券经济研究所整理

# 我国是全球最大的电解锰生产基地

目前世界上金属锰生产以电解法为主，该法获得品位高的金属锰（ $VMn > 99.7\%$ ）可以使用的锰矿石类型和品级比较广，可使用碳酸锰矿、二氧化锰矿以及高炉冶炼的富锰渣等。我国已成为当今世界的电解锰生产大国和强国，实际产量和出口量都已占全球的98%以上。截至2017年，我国已投产的电解锰企业49家，总生产能力211万吨，行业前十家企业总产能达到125万吨，行业年产量达到150万吨以上。2021年CR10产量占比75%。

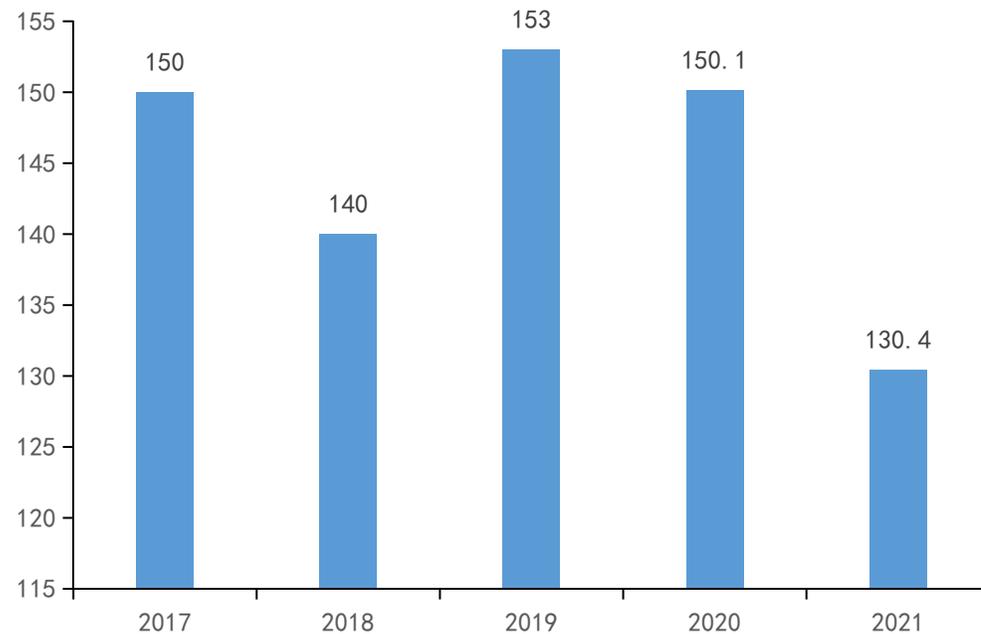
我国国内锰矿石资源并不理想，但是80%以上是贫碳酸锰矿石，平均含锰仅为10%~15%。我国从自身锰矿石资源的实际情况出发，研究出用贫碳酸锰矿石生产优质电解锰的新工艺、新设备，拥有全部的知识产权，且具有良好的经济效益。

表13：我国电解锰产业前十家产能梳理

企业	总产能/吨
天元锰业	71.5
中信大锰	16.8
武陵锰业	9
三和锰业	5.08
长沙矿冶院	4.76
新疆科邦	4.51
湖北中锰	3.5
天磁锰业	3.42
嘉源锰业	3.3
东方矿业	3.3
合计	125

资料来源：《锰产业技术与应用》，国信证券经济研究所整理

图35：中国电解锰产量（万吨）

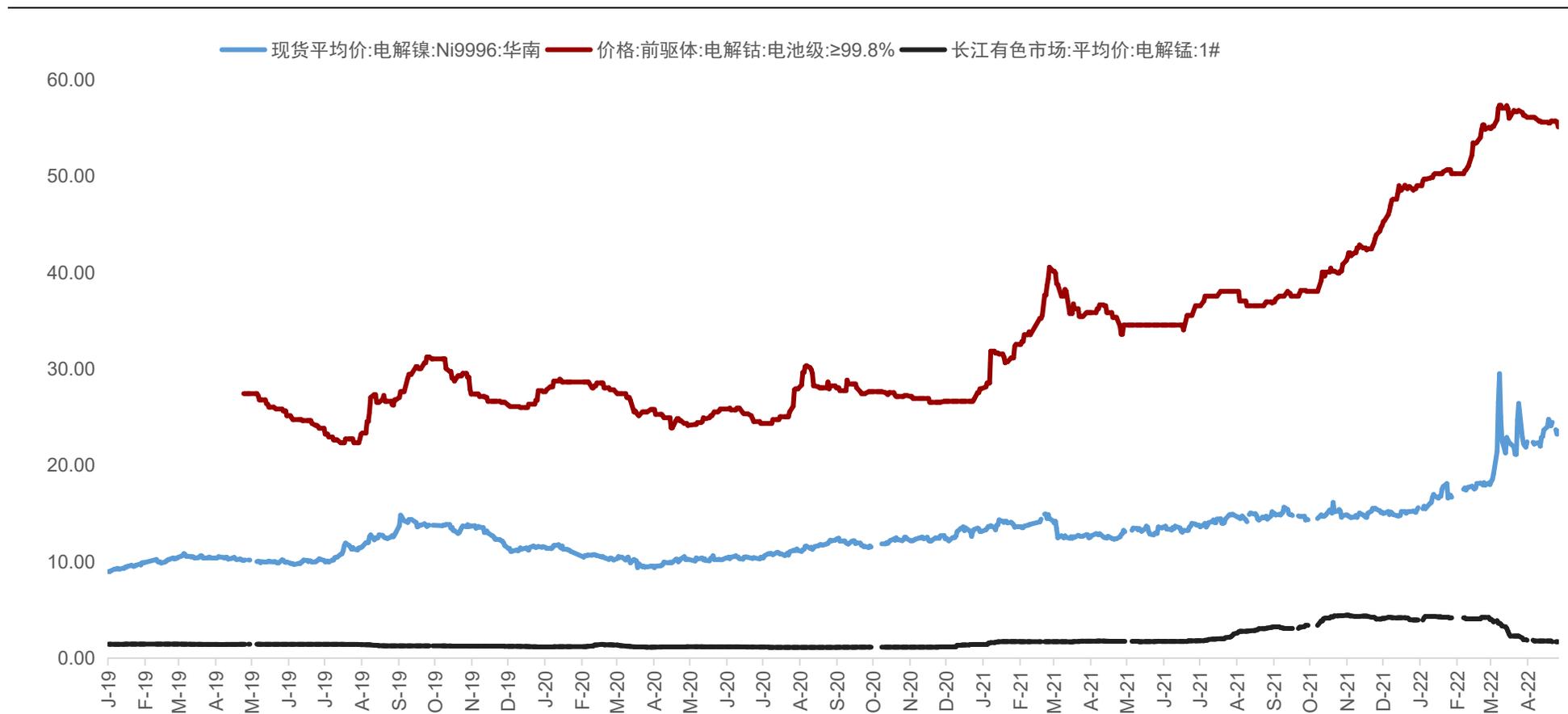


资料来源：锰技会电解锰创新联盟、国信证券经济研究所整理

# 锰具有极佳的经济性

作为锂离子电池中常用的金属元素，锰相对于钴和镍而言，具有极为突出的成本经济性和环境友好性。因此在正极材料当中提升锰元素的占比，本身对于降低成本也具有非常明显的效益。

图36： 电解镍、电解钴和电解锰的历史价格走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

# 电池级锰源需求或将快速增长，但行业理论总产能宽松

- 磷酸锰铁锂中掺杂锰元素，未来将显著提升电池级锰源需求。磷酸锰铁锂与磷酸铁锂材料在磷元素和锂元素需求量类似，核心区别在于锰元素的添加和铁需求的下降。根据化学式测算，每kWh正极所需要的锰元素质量在0.1-0.4kg左右。
- 未来伴随LMFP的快速放量，电池级锰源需求或将快速增长，优势企业发展。单纯从锰资源来看，我国电解锰产业产能高达211万吨以上，每年富余产能超过60万吨。如果按照0.4kg/kWh计算，到2025年我国磷酸锰铁锂电池需要增加电解锰产能约3.5万吨-10万吨，电解锰行业足以满足锰的需求。

表14：磷酸锰铁锂、磷酸锰锂、磷酸铁锂各类原材料用量对比

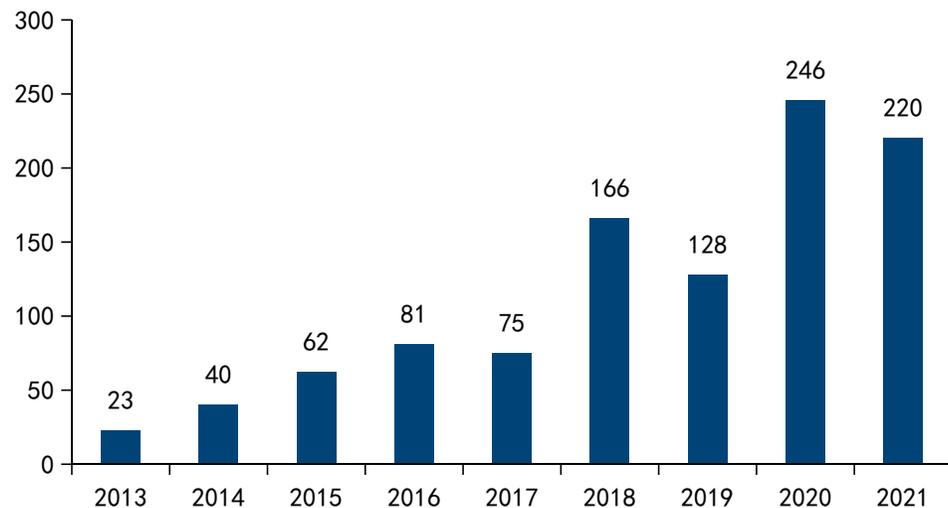
	LiFePO <sub>4</sub>	LiMnPO <sub>4</sub>	LiMn <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> PO <sub>4</sub>	LiMn <sub>0.5</sub> Fe <sub>0.5</sub> PO <sub>4</sub>	LiMn <sub>0.8</sub> Fe <sub>0.2</sub> PO <sub>4</sub>
分子量	157.8	156.9	157.6	157.3	157.1
锂元素占比	4.40%	4.42%	4.40%	4.41%	4.42%
铁元素占比	35.36%		28.32%	17.73%	7.11%
锰元素占比		35.02%	6.97%	17.46%	27.98%
磷元素占比	19.63%	19.74%	19.65%	19.68%	19.72%
理论比容量 (mAh/g)	170	170	170	170	170
平台电压 (V)	3.4	4.1	3.6	3.8	4.0
正极材料需求 (kg/kWh)	1.73	1.43	1.63	1.55	1.47
锂需求 (kg/kWh)	0.08	0.06	0.07	0.07	0.06
铁需求 (kg/kWh)	0.61		0.46	0.27	0.10
<b>锰需求 (kg/kWh)</b>		<b>0.50</b>	<b>0.11</b>	<b>0.27</b>	<b>0.41</b>
磷需求 (kg/kWh)	0.34	0.28	0.32	0.30	0.29

资料来源：《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》，国信证券经济研究所整理与测算

# 磷酸锰铁锂产业化进程持续加速

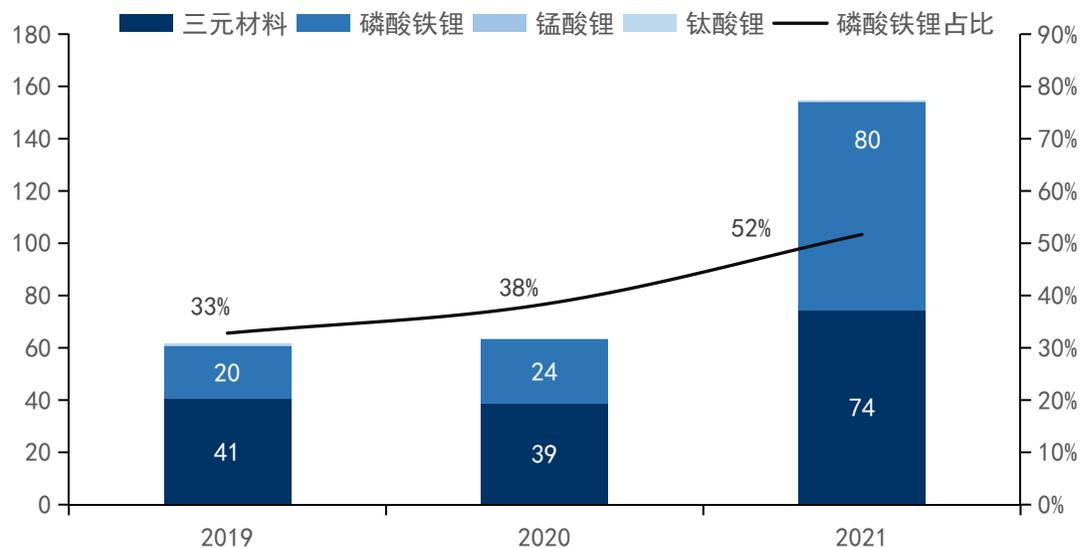
- 磷酸锰铁锂与磷酸铁锂同属磷酸盐系材料，在20世纪末由Goodenough发现。21世纪初，陶氏化学、宏濂科技、Phostech等企业纷纷进行LMFP的研发工作。国内企业，天津斯特兰在2009年开始相关研发，比亚迪在2012年前后开始进行多方面的专利布局。而在2016-2019年间，补贴政策倾向于高能量密度材料，LMFP由于其能量密度提升有限、技术难度大等问题，在此期间并未受到重视。
- 磷酸锰铁锂近年来发展速度明显加快。2019年底以来，新能源车补贴滑坡下游客户对成本敏感度提升，同时材料安全性愈发得到重视，磷酸铁锂电池装机占比持续提升。2021年国内磷酸铁锂电池装机量从24.4GWh提升至79.8GWh，占比为51.7%，同比提升13.3pct。在此背景下磷酸锰铁锂作为磷酸铁锂的升级版本再度受到大家广泛关注，专利申请数量快速增长。技术方面，近两年包覆、掺杂等改性技术专利布局显著增加，为产业化加速奠定基础。

图37：2013-2021年磷酸锰铁锂相关专利申请量



资料来源：企知道专利数据库、国信证券经济研究所整理

图38：国内动力电池装机量及磷酸铁锂电池占比（GWh、%）



资料来源：动力电池联盟、国信证券经济研究所整理

# 磷酸锰铁锂主要企业布局概览

表15：正极企业磷酸锰铁锂布局情况

公司名称	磷酸锰铁锂布局情况	公司介绍
PHOSTECH	公司主要利用水热釜法制备磷酸锰铁锂，2014年就实现小批量生产。	加拿大正极材料企业，在正极发展早期获得Goodenough专利授权。
陶氏化学	21世纪初开始进行LMFP研发，2012年研发的产品能量密度高出磷酸铁锂10-15%。2015年因公司业务整合，退出该细分市场。	全球最大的化工企业之一。
宏濂科技 (台湾泓辰)	2012年公司与陶氏化学合作开发LMFP，并于2014年量产。2017年公司出货超百吨。公司现主营产品为LMFP，并为下游提供LMFP@三元复合方案。	公司成立于2001年，最早是一家面板检查设备制造商。2009年公司与工研院合作进入磷酸铁锂材料的研发。
德方纳米	公司年产11万吨新型磷酸盐基地预计在2023年初投产；2022年1月再新建33万吨新型磷酸盐正极生产基地，建设周期为2年。公司现具有百吨级别的中试线，相关产品已经送样电池厂，电池端测试已基本完成，现已进入车端验证阶段。	国内磷酸铁锂正极领军企业。
天津斯特兰	公司2014年实现LFMP吨级量产，2021年单月销量超100吨。旗下控股子公司深圳鹏冠与临汾中贝等成立合资企业中贝材料投资建设年产3万吨LMFP生产基地，一期1万吨在2021年7月建成调试。	国内磷酸盐正极主要生产企业之一。
力泰锂能	公司2021年拥有2000吨LMFP生产线，近期已购置3000吨LMFP生产所需设备。公司主要客户包括天能股份、星恒电源等。	公司主要从事磷酸盐系正极材料、锂盐等产品的生产与销售。2021年底宁德时代入股力泰锂能，现持有其60%股权。
上海华谊	2018年获得陶氏化学LMFP和NCM的技术许可，现具有2000吨LMFP产能规划，一期1000吨产能在2021年底建设进度达到96%。	公司是国内知名化工企业，主营业务涉及能源化工、先进材料、绿色轮胎、精细化工等多领域。
光华科技	2019年公司使用共沉淀法制备出LMFP产品，该产品能量密度高于磷酸铁锂20%以上。	公司以高性能电子化学品、高品质化学试剂与产线专用化学品、新能源材料和退役动力电池梯次利用及再生利用为主导，同时提供其他专业化学品的定制开发及技术服务。
湖南雅城 (合纵科技)	2021年开展磷酸锰铁锂前驱体产品研发，目前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。	公司主营产品为氢氧化亚钴、四氧化三钴和磷酸铁，磷酸铁市占率位居国内第一，客户覆盖三星SDI、贝特瑞、天津巴莫、当升科技、厦钨新能等。
当升科技	公司LMFP产品已经进入小试阶段。	国内三元正极材料主要生产企业之一。
厦钨新能	公司LMFP产品已经进入小试阶段，并探索LMFP纯用和LMFP混用两种应用路线。	国内正极主要生产企业之一，业务涉及钴酸锂、磷酸铁锂、三元材料等产品。

资料来源：宁德时代公告，比亚迪公告，国轩高科公告，星恒电源官网，天能股份官网，国信证券经济研究所整理 注：不完全统计，各公司情况以其最新披露口径为准

# 磷酸锰铁锂主要企业布局概览

表16: 电池企业磷酸锰铁锂布局情况

公司名称	磷酸锰铁锂布局情况	公司介绍
宁德时代	2015年就具有LMFP产品专利，2021年入股力泰锂能拓宽相关业务。	国内动力和储能电池领军企业。
比亚迪	2012年就具有LMFP相关专利布局，是国内拥有LMFP专利最多的电池企业。	国内动力电池主要生产企业之一。
国轩高科	具有丰富的专利布局，2015年的LMFP专利荣获安徽省新产品荣誉。	国内动力电池主要生产企业之一。
星恒电源	公司推出了锰酸锂和LMFP复合电池。	公司成立于2003年，以中科院物理所技术为依托，拥有以锰系多元复合锂为核心的多条动力电池生产线，主营产品包括电动二轮车电池、电动汽车电池、电动三轮车电池等。
天能帅福得	近年来进行大量专利布局，并推出超能LMFP电池。	公司成立于2019年，是天能股份与法国帅富得的合资公司，公司拥有磷酸铁锂、三元、锰酸锂等主流锂电池技术，产品广泛应用于新能源汽车、电动自行车等多个领域。

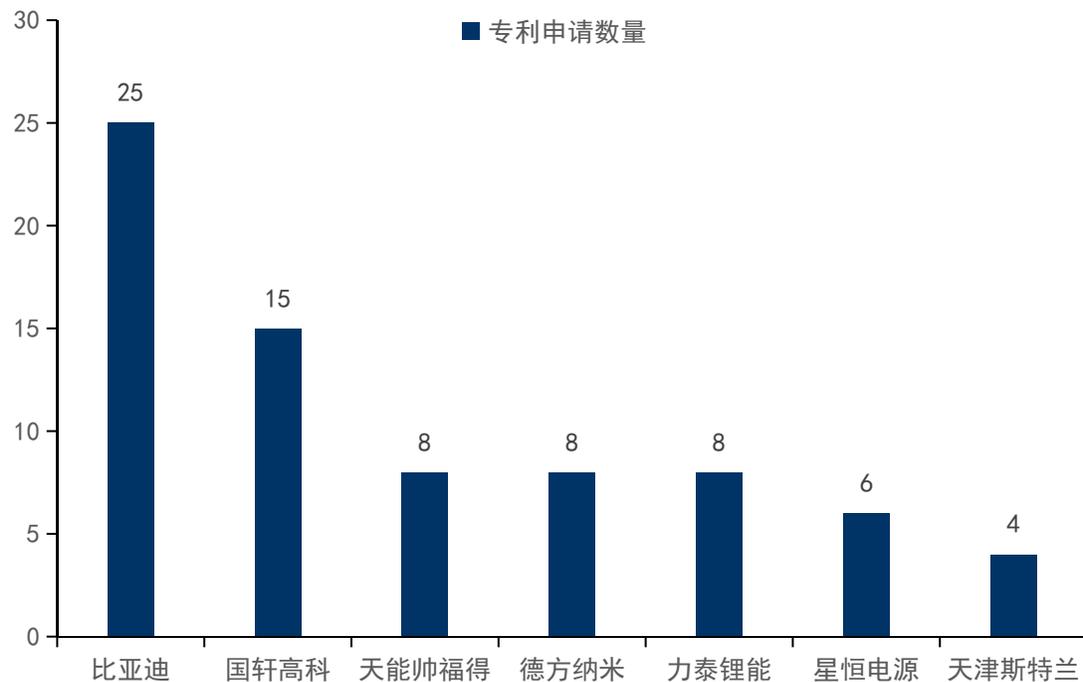
资料来源：宁德时代公告，比亚迪公告，国轩高科公告，星恒电源官网，天能股份官网，国信证券经济研究所整理

注：不完全统计，各公司情况以其最新披露口径为准

# 正极+电池厂专利布局迅速，领军企业量产在即

- **技术方面：**电池厂中比亚迪、国轩高科、天能帅福得、星恒电源，正极厂中德方纳米、力泰锂能等厂商在专利布局具有明显优势。
- **量产及产能布局方面：**现有企业中，天津斯特兰、力泰锂能已经实现量产。德方纳米现已规划产能44万吨，其中11万吨有望在2023年初投产。当升科技、厦钨新能LMFP已经进入小试阶段。天能股份、星恒电源均有相关电池产品实现量产。

图38：主要企业磷酸锰铁锂相关专利申请量



资料来源：企知道专利数据库、国信证券经济研究所整理

表17：部分企业磷酸锰铁锂产品性能情况

性能指标	力泰锂能	天津斯特兰
比容量（0.2C充放电）	150mAh/g	142mAh/g
比容量（1C充放电）	140mAh/g	138mAh/g
放电中值	3.8V	3.75V
能量密度	560mWh/g	
一次颗粒	20-200nm	

资料来源：鹏欣资源公告，天津斯特兰官网，国信证券经济研究所整理

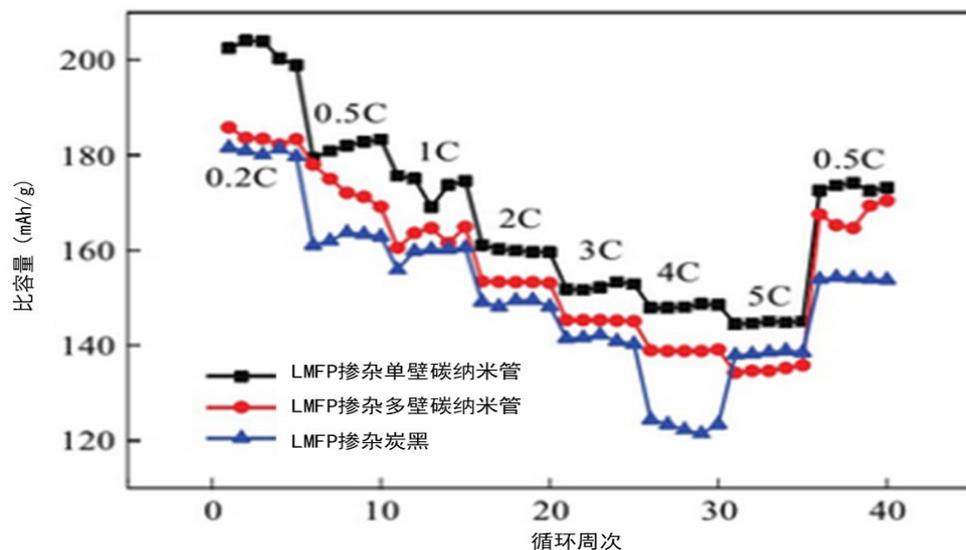
## 六、投资建议：关注技术先发优势企业及相关受益环节

# 碳纳米管能够优化磷酸锰铁锂导电性能

磷酸锰铁锂可掺杂碳纳米管以提升导电性能，并实现对能量密度、循环寿命和倍率性能的优化。碳纳米管主要功能为：

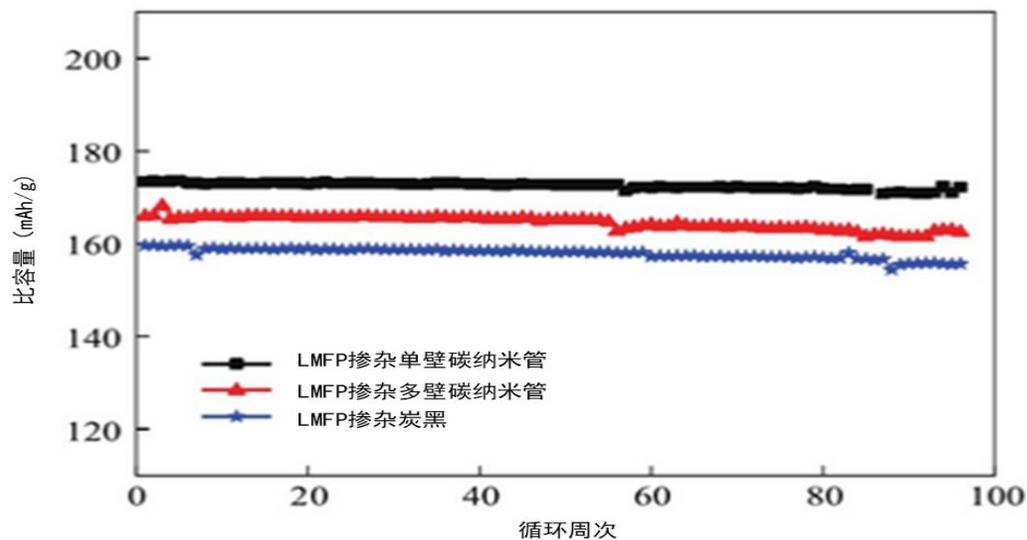
- 1) 提升能量密度：碳纳米管添加量是传统炭黑的1/6-1/2，等效于降低电极整体质量，提高活性物质质量占比，进而提升能量密度。
- 2) 延长循环寿命：碳纳米管长径比大，能够与正极材料形成良好导电网络，进而保证正极材料之间连接、防止材料破裂脱落，提升循环寿命。
- 3) 改善快充性能：碳纳米管优异的导电性能够降低电池极化，提升倍率特性，进而改善快充性能。
- 4) 优化高低温性能：碳纳米管电导率高，能够降低电极电阻、减少发热；其导热性能优，能够提升电池高低温性能和安全性。

图39：不同掺杂材料下磷酸锰铁锂的倍率特性



资料来源：《掺硫碳纳米管作导电添加剂改进磷酸锰铁锂电化学性能》，国信证券经济研究所整理

图40：40°C不同掺杂材料下磷酸锰铁锂的循环寿命和比容量情况

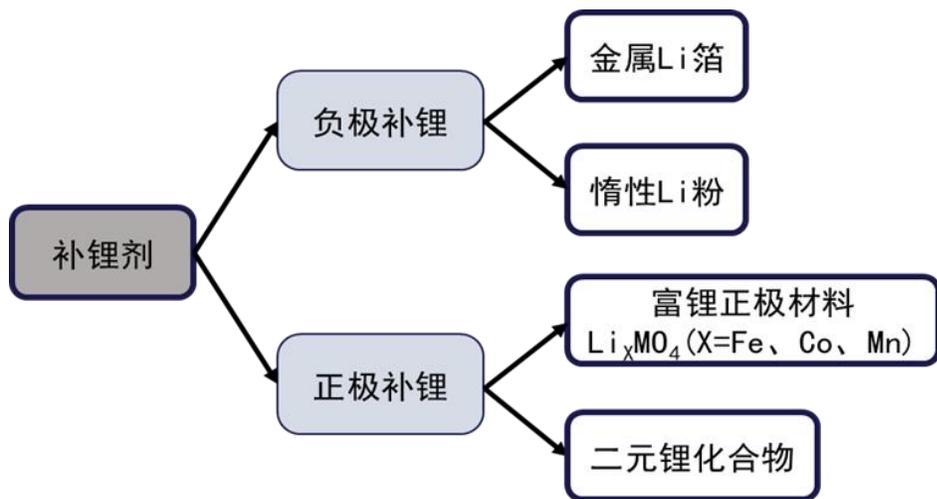


资料来源：《掺硫碳纳米管作导电添加剂改进磷酸锰铁锂电化学性能》，国信证券经济研究所整理

# 补锂剂能够优化首圈库伦效率、优化循环寿命

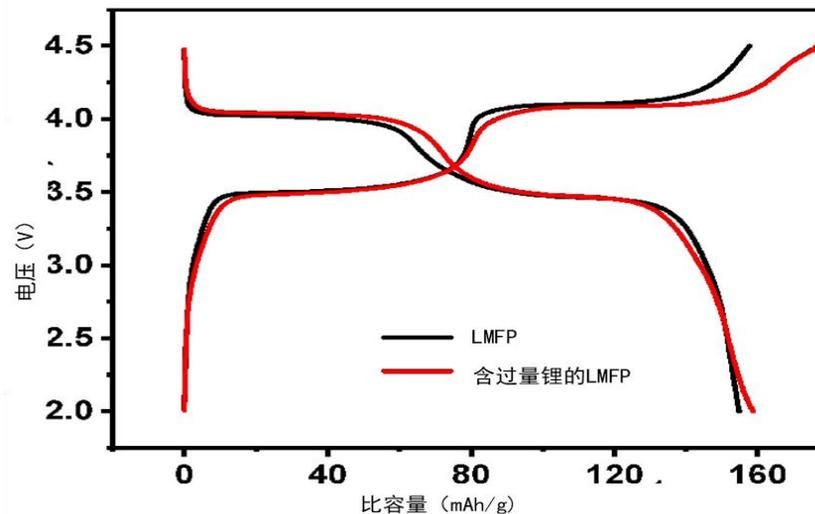
- 负极表面在形成SEI膜过程中，会不可逆消耗一定量的正极活性锂，进而造成首圈效率低、循环寿命差等问题。因而需要进行预锂化或添加补锂剂来改善首圈循环效率。常见的补锂方案有正极补锂、负极补锂。负极补锂多使用锂粉、锂箔等产品。负极补锂虽然作用更加直接且性能改善更明显，但是由于金属锂活性高使用难度大、锂粉难溶于粘结剂等问题，使得其量产存在较大困难。正极补锂多使用富锂化合物和二元锂化合物等产品。正极补锂剂可以直接在合浆过程中添加，操作简单且无需对现有电池体系进行改善，因而有望实现快速量产。
- 磷酸锰铁锂材料首圈效率低、循环寿命较差，加入正极补锂剂后性能能够得到一定改善。例如，磷酸锰铁锂中加入过量锂元素后，首圈放电比容量增加2%左右，相应的首圈效率也得到改善。而根据德方纳米数据，加入补锂剂后，能够较现有磷酸铁锂能量密度提升20%。根据研一新材料数据，补锂剂能够使得电池的循环性能提升30%以上。

图41：补锂剂主要分类



资料来源：钜大锂电、国信证券经济研究所整理

图42：LMFP与含过量锂的LMFP首圈充放电曲线



资料来源：《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》、国信证券经济研究所整理

# 补锂剂能够优化首圈库伦效率、优化循环寿命

- 德方纳米现已规划4.5万吨补锂剂产能，预计其中2.5万吨项目将在2023年建成投产。根据公司专利数据，其补锂剂产品主要是富锂铁酸锂。
- 深圳研一年产2000吨富锂镍酸锂已经实现批量销售，后续仍有6000吨产能规划。2021年底公司富锂铁酸锂产品实现量产，该项目已具备年产1800吨产能，二期扩产已进入产线设计，预计2022年7月投产，将新增产能7000吨/年。
- 石大胜华在2022年2月公告新建年产2万吨正极补锂剂项目，其中一期0.5万吨项目预计在2024年2月建成。
- 此外，亿纬锂能、欣旺达、珠海冠宇、国轩高科等厂商在补锂剂领域已有相关专利布局。

表18：不同补锂剂性能情况

	富锂镍酸锂	富锂铁酸锂
纯度	≥94%	≥98%
首圈充电可容量	≥420mAh/g	≥670mAh/g
不可逆补锂容量	≥650mAh/g	≥650mAh/g
能量密度提升（添加量为3%）	2-3%	6-8%

资料来源：研一新材料、国信证券经济研究所整理

## 投资建议

- 2022年是磷酸锰铁锂产业化应用的元年，未来具有广阔的市场空间。我们看好具有先发技术优势的正极材料和下游具备优势的电池企业。
- 推荐磷酸锰铁锂领域具有技术深入布局的德方纳米、当升科技、厦钨新能、宁德时代；同时碳纳米管导电剂龙头企业天奈科技。

## 风险提示

- 电动车销量不及预期：磷酸锰铁锂主要应用于电动汽车中，行业受到宏观等多因素影响，需求存在较多不确定性；
- 新技术产业化进展不及预期：磷酸锰铁锂是磷酸铁锂的发展新方向，大部分企业仍处在实验室研发和产业化初期阶段，后续需要电池厂和整车厂进行认证，验证进展存在不确定性；
- 部分企业产能建设和爬坡不及预期。

表19：重点公司盈利预测及估值（2022年4月27日）

公司代码	公司名称	投资评级	收盘价(元)	EPS				PE				PB
				2020	2021E	2022E	2023E	2020	2021E	2022E	2023E	2020
300073	当升科技	买入	65.11	2.15	3.46	4.59	6.42	30.28	18.82	14.19	10.14	3.49
688116	天奈科技	买入	115.15	1.27	2.57	4.26	6.49	90.67	44.81	27.03	17.74	13.49
688778	厦钨新能	买入	64.16	2.21	3.44	4.97	6.07	29.03	18.65	12.91	10.57	4.32
300769	德方纳米	买入	429.25	8.97	18.74	24.15	31.56	47.85	22.91	17.77	13.60	12.56

资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理与预测

国信证券投资评级		
类别	级别	定义
股票投资评级	买入	预计6个月内，股价表现优于市场指数20%以上
	增持	预计6个月内，股价表现优于市场指数10%-20%之间
	中性	预计6个月内，股价表现介于市场指数±10%之间
	卖出	预计6个月内，股价表现弱于市场指数10%以上
行业投资评级	超配	预计6个月内，行业指数表现优于市场指数10%以上
	中性	预计6个月内，行业指数表现介于市场指数±10%之间
	低配	预计6个月内，行业指数表现弱于市场指数10%以上

## 分析师承诺

作者保证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理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

## 重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或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并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

## 证券投资咨询业务的说明

本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，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布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。



国信证券

GUOSEN SECURITIES

## 国信证券经济研究所

---

### 深圳

深圳市福田区福华一路125号国信金融大厦36层

邮编：518046 总机：0755-82130833

### 上海

上海浦东民生路1199弄证大五道口广场1号楼12楼

邮编：200135

### 北京

北京西城区金融大街兴盛街6号国信证券9层

邮编：100032