

# 技术演进行而不辍，产业奇点未来可期

## ——磷酸锰铁锂行业深度报告

电新首席证券分析师：曾朵红

执业证书编号：S0600516080001

联系邮箱：zengdh@dwzq.com.cn

电动车首席证券分析师：阮巧燕

执业证书编号：S0600517120002

联系邮箱：ruanqy@dwzq.com.cn

联系电话：021-60199793

2023年8月16日

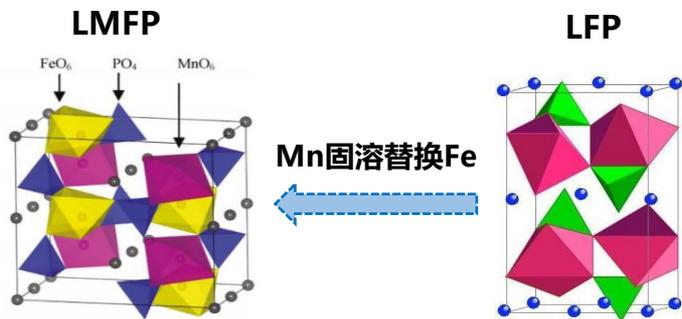
- ◆ **锰铁锂兼顾铁锂的安全性和低成本，同时提升能量密度10-20%，有望替代动力铁锂，25年渗透率有望提升至10%+。** 锰铁锂为升级版的铁锂，通过固溶锰提高电压，从而提升能量密度（最高21%），但会损伤循环和倍率性能，锰铁比例是平衡性能的关键，目前行业主流配比为6/4，未来高锰化是趋势。搭配方式看，锰铁锂可与高镍三元混用，得到兼具安全性和高能量密度的产品，并形成一系列的续航解决方案，但锰铁锂纯用经济性更好，待材料技术成熟后，预计成为长期趋势。我们测算锰铁锂正极成本比铁锂高10%左右，但能量密度提升10-20%，因此理论上电池单Wh成本更低（下降近10%），有望替代动力铁锂和中镍三元，预计率先应用于两轮车和续航700km左右动力车型。我们测算锰铁锂25年渗透率5-10%，电池需求近130GWh，对应正极需求超20万吨，市场规模近150亿元，30年渗透率超30%，电池需求超1500GWh，对应正极需求超260万吨，市场规模超1500亿元。
- ◆ **锰铁锂生产工艺和铁锂类似，液相法/固相法各有优劣，预计呈并行发展路线。** 锰铁锂导电性差，需进行碳包覆、离子掺杂、纳米化等改性处理，此外高温循环易出现锰溶出，要求原子级混合，对结晶度要求高，产品良率有待提升。生产工艺方面，锰铁锂和铁锂制备方案类似，可采用液相法和固相法路线，其中液相法利于控制元素比例，锰铁更均匀，因此产品一致性、结晶度更好，但压实密度低，单位投资额更高；固相法产量大，单吨投资额更低，压实密度高，但不易控制锰铁均匀度和粒径分布。液相法凭借产品性能优势先行，待固相法工艺逐渐成熟后，预计二者呈并行发展路线。
- ◆ **锰铁锂量产装车在即，产业链加码LMFP赛道。** 电池端看，宁德时代创新推出M3P电池，搭配麒麟电池主攻700km中高端市场，混用8月首发智界S7，纯用预计下半年首发特斯拉，比亚迪较早布局锰铁锂，预计24年上半年装车发布，亿纬/中航/国轩/孚能/星恒/天能等企业已发布锰铁锂产品跟进；**正极端**看，德方纳米产品一致性好，下半年预计率先放量，容百科技并购斯科兰德，年底预计实现装车，湖南裕能自研高压实LMFP，明年上半年开始放量，天奈科技横向扩拓布局LMFP，当升科技/万润新能/珩创纳米/力泰锂能/创普斯加码布局锰铁锂赛道；**锰源端**看，湘潭电化和红星发展有充足二氧化锰/高纯硫酸锰产能，有望从锰铁锂对锰源的强劲需求中受益。
- ◆ **投资建议：** 锰铁锂量产装车在即，预计明年大规模放量，有望大规模渗透动力铁锂和中镍三元领域，我们推荐四条主线：1) 看好终端性能提升的电池厂商，推荐**宁德时代、比亚迪、亿纬锂能**，关注中创新航、国轩高科、孚能科技等；2) 看好产业化进程领先的正极厂商，推荐**德方纳米、容百科技、湖南裕能、当升科技**，关注万润新能；3) 看好用量提升的添加剂和导电剂厂商，推荐**天赐材料、天奈科技**；4) 关注上游锰源龙头，关注湘潭电化、红星发展。
- ◆ **风险提示：** 产业化进程不及预期；下游需求不及预期；成本下降幅度不及预期。



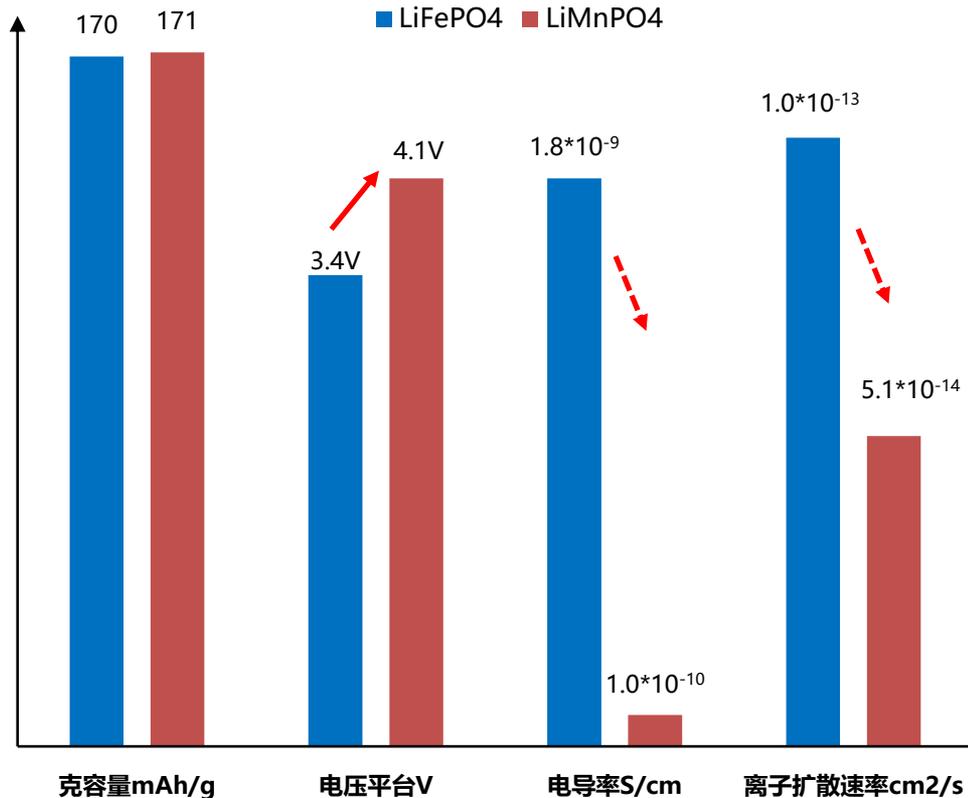
- 锰铁互溶，提升能量密度，打造升级版磷酸铁锂
- 工艺技术日益成熟，固/液相法路线并行
- 量产节点企踵可待，企业加码锰铁锂赛道
- 投资建议及风险提示

◆ 磷酸锰铁锂是磷酸铁锂和磷酸锰锂的固溶体，锰元素提升电压平台，进而提升铁锂体系的能量密度。磷酸锰铁锂（LMFP）保持磷酸铁锂稳定的橄榄石结构，并引入高电压平台的磷酸锰锂（4.1V），从而提升铁锂体系的能量密度。

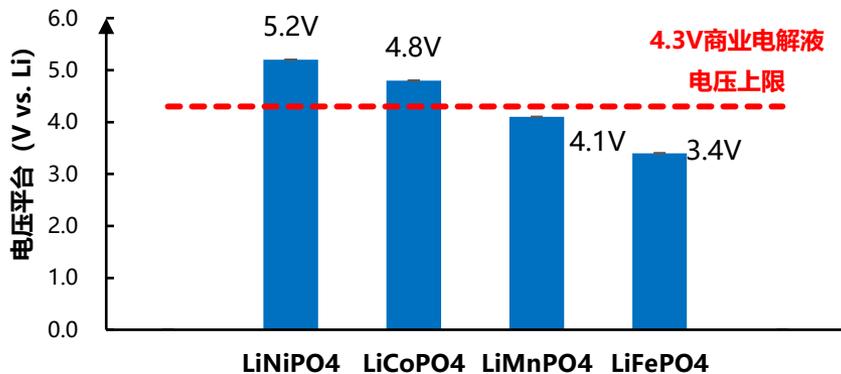
图：磷酸铁锂和磷酸锰锂结构对比



图：磷酸铁锂(LFP)和磷酸锰锂(LMP)性能对比



图：各橄榄石结构材料电压平台对比



- ◆ **锰元素电压平台高，固溶后相应提升能量密度。**磷酸锰铁锂具有双放电平台，其中磷酸锰锂优先放电，然后磷酸铁锂放电，锰元素比例越高，正极平均电压越高，电池的能量密度和输出功率越高。理论上，锰铁比例6/4性能提升10-15%，锰全部替换时提升21%。

图表：LMFP电压特性及优点

能量密度 > LFP

输出功率 > LFP

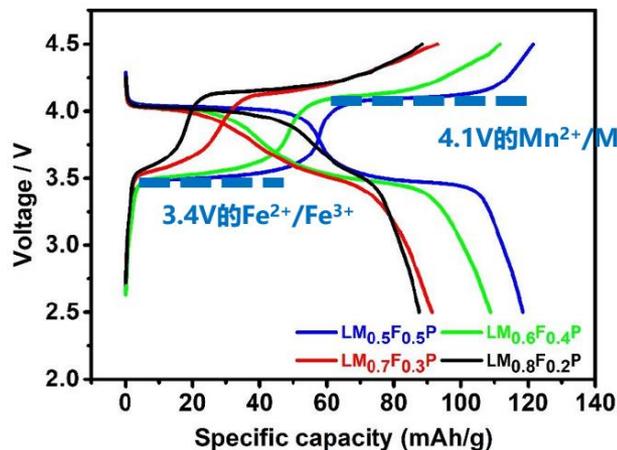
热稳定性 > NCM

安全性 > NCM

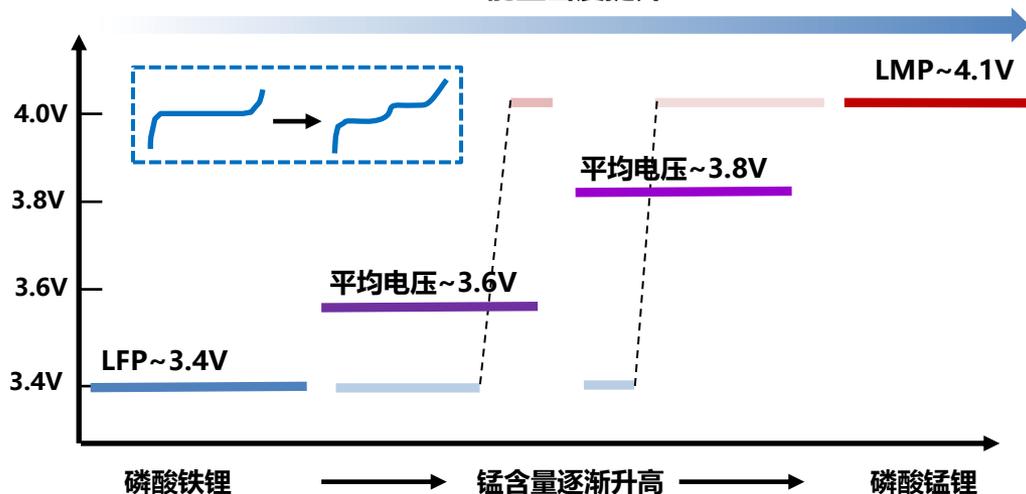
### 磷酸铁锂加锰提升能量密度

磷酸锰铁锂的电压平台呈现二阶梯形式，分别由3.4V的 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 和4.1V的 $Mn^{2+}/Mn^{3+}$ 构成，平台长度正比于锰铁比例。锰铁比例直接影响高低电位下的放电容量，锰含量越高，能量密度越高。

锰铁锂充放电曲线



能量密度提升



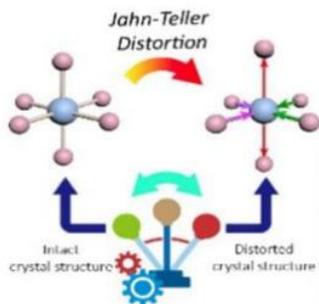
- ◆ **磷酸锰铁锂结构稳定性差，电池循环和倍率性能变差。** 锰铁互溶后，材料会出现晶体结构畸变，电池循环中可能发生锰溶出，与电解液反应，进而影响循环寿命。同时材料电导率、离子扩散系数较差，从而影响倍率性能。使用纳米化等改性手段可基本解决材料电化学问题，但会降低材料压实密度。

图表：LMFP特性及缺点

结构稳定性降低→锰溶出

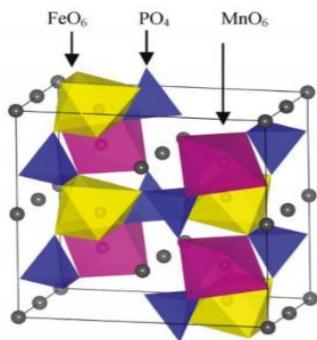
动力学特性恶化→倍率差

工艺要求高→压实密度低



### 磷酸铁锂加锰恶化电池性能。

- 1) 磷酸锰铁锂材料的电导率和离子扩散系数均比磷酸铁锂小1-2个数量级，因此磷酸铁锂中锰含量越高，越表现出磷酸锰铁锂特征，动力学性能越差，快充性能差。
- 2) 姜泰勒变形：锰原子替换造成晶体结构畸变，在充放电时不能保持原有形态，进一步会导致锰溶出现象，表现为磷酸铁锂的高温循环寿命较铁锂会有明显衰减。



### 磷酸铁锂加锰增加了工艺要求。

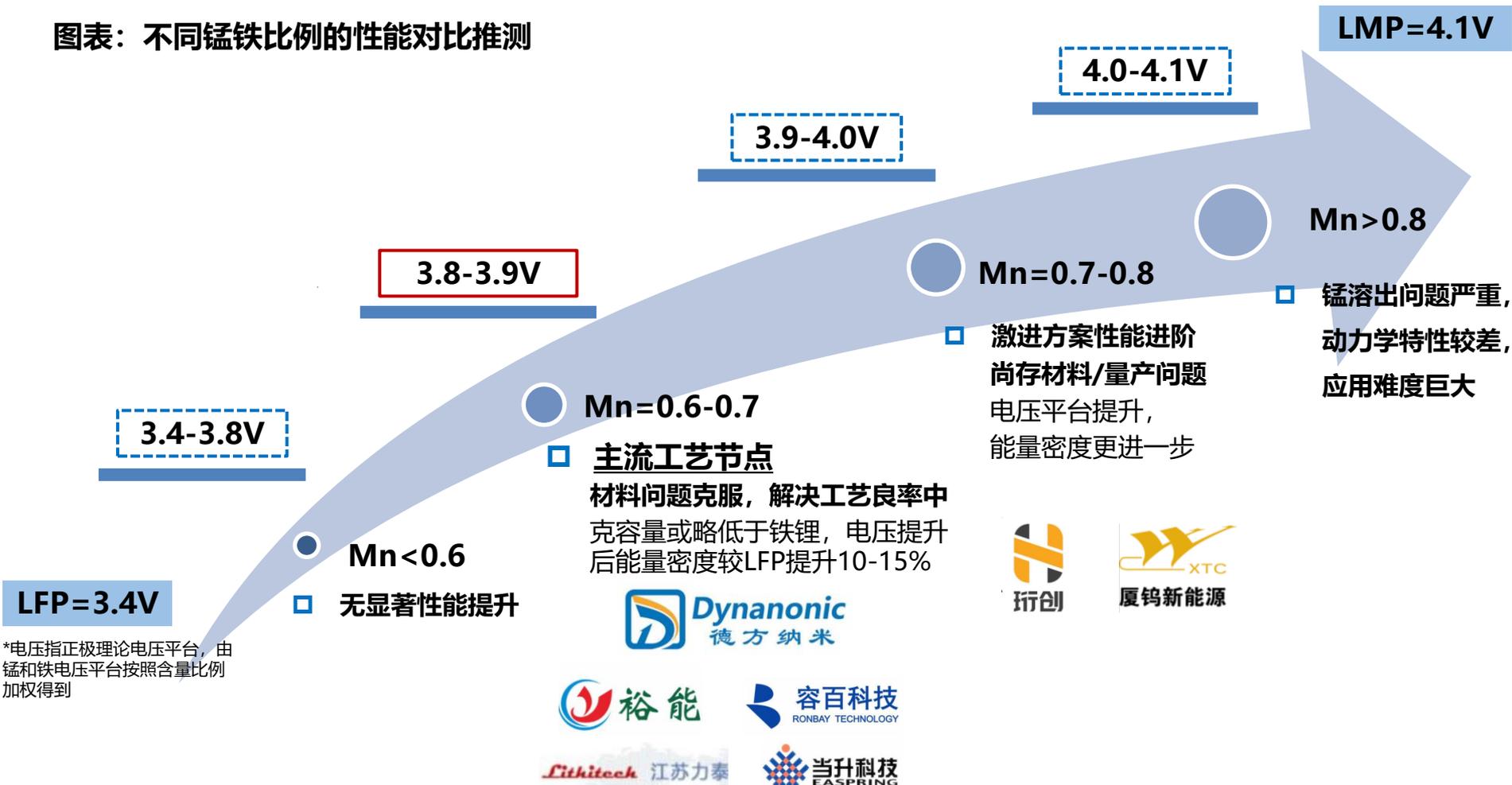
- 1) 磷酸锰铁锂中铁锰要求原子级别的溶合，因此要求前驱体层级实现高均匀度的原料混合，否则会由于物相不纯、杂质生成导致良率极低，因此工艺要求高于铁锂。
- 2) 磷酸锰铁锂的材料特性决定其压实密度低于铁锂，液相法有利于均匀混合但压实密度更低。压实密度低会导致体积能量密度减小和孔隙增多内阻增大。

材料体系问题

工艺设备问题

- ◆ 锰含量越高，能量密度提升越大，但会出现容量降低和循环寿命衰减。锰铁比例在行业中尚无统一最优标准，长期看高锰比例是演进趋势，但工艺挑战巨大，目前行业主流配比为锰铁比6/4的LMFP，综合性能表现较好。

图表：不同锰铁比例的性能对比推测



\*电压指正极理论电压平台，由锰和铁电压平台按照含量比例加权得到

## ◆ 锰铁锂对比铁锂

- 优势：能量密度提升，低温性能改善，安全性基本持平；
- 劣势：压实密度略低，常温循环略差，高温循环易锰溶出衰减明显。

## ◆ 锰铁锂对比三元

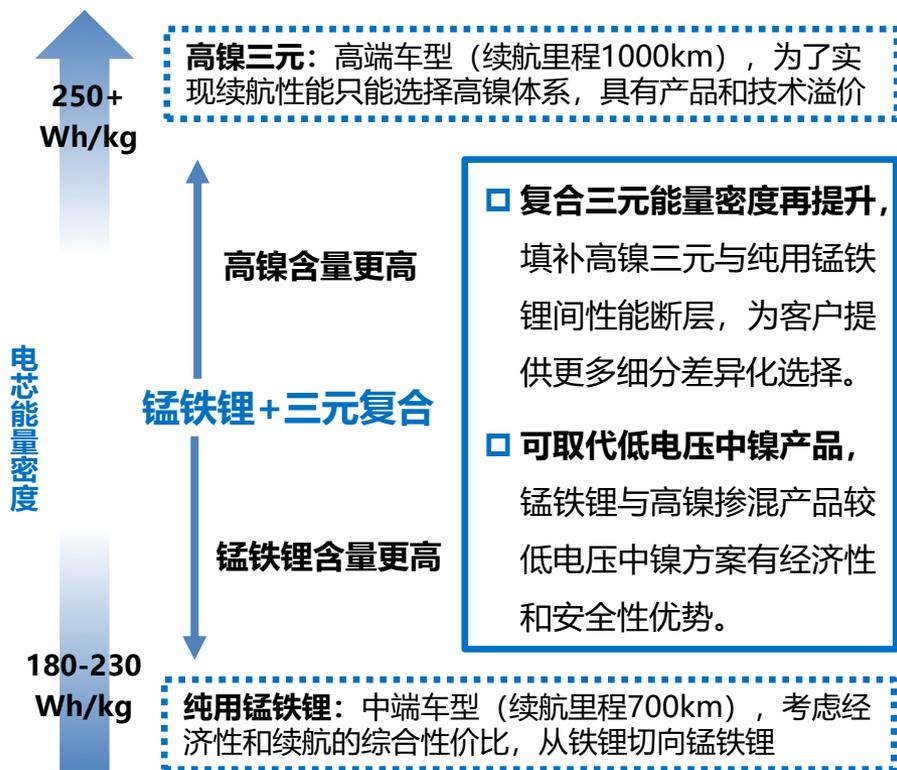
- 优势：安全性能提升，成本显著降低，理论循环寿命更长；
- 劣势：能量密度、低温性能、倍率性能不及三元。

表：LMFP、LFP、NCM性能比较

项目	磷酸锰铁锂 (LMFP)	磷酸铁锂 (LFP)	三元 (NCM)
晶体结构	橄榄石	橄榄石	层状
0.1C克容量 (mAh/g)	140-158	155-160	150-220
1C克容量 (mAh/g)	135-145	142-145	150-215
标称电压 (V)	3.2-3.9	3.2	3.7
1C循环 (次)	2000-2500	4000-10000	1000-3000
电池能量密度 (Wh/kg)	160-240	150-210	200-320
压实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.3-2.4	2.2-2.6	3.4-3.7
低温性能	一般	较差	较好
高温性能	较好	较好	一般
安全性	好	好	差
成本	较低	低	高

- ◆ **锰铁锂电压与三元匹配，可复合提供新材料方案。** 锰铁锂电压与高镍三元匹配，复合后可得到兼具安全性与高能量密度的产品，并可以形成一系列方案灵活适用终端需求，目前宁德时代混用方案已上车奇瑞智界S7车型。
- ◆ **纯用经济性更好，预计成为长期趋势。** 纯用路线短期先面向海外客户和高端铁锂车型放量，随着技术持续突破，能量密度升高带来的经济性优势将逐渐体现，有望全面替代动力铁锂场景。

图表：复合三元产品性能及定位



表：纯用锰铁锂/复合三元技术路线分析

纯用锰铁锂	技术路线	复合三元
海外车企优先偏好纯用		国内车企优先考虑混用
加工性能差，存在锰溶出/工艺一致性问题	应用难度	技术难度低 材料问题易控制
180-230Wh/kg	能量密度	230-250Wh/kg
~0.2元/Wh	正极成本	0.2-0.3元/Wh
短期面向海外和高端铁锂车型，低温性能改善+能量密度提升； 长期成为主流，逐渐体现经济性优势后替代动力铁锂车型；	应用场景	短期优先放量，弥补纯用方案早期的加工、成本、材料问题 长期作为差异化方案，满足下游车企对细分领域的特定需求

- ◆ **磷酸锰铁锂原材料成本略高于铁锂。** 锰铁锂需用到锰源代替铁源（Mn 1.4万/吨对比Fe 0.4万/吨），且添加剂种类更多，原材料成本增厚5%左右。
- ◆ **铁锰需要原子级别混合，工艺要求增加导致加工成本上升。** 我们推测锰铁锂加工成本较铁锂高10%，正极材料价格为10万元/吨左右（碳酸锂25万/吨），较铁锂整体溢价约10%。

**表：LMFP正极原材料成本测算**

所需原料		单吨耗量		单吨价格		单位成本 (万/吨)	
		吨/吨		万/吨		量产初期	放量期
磷酸锰铁锂 LMFP64	碳酸锂 (电池级)	0.23		25.00		5.2	
	锰源	0.21		1.42		0.3	
	铁源	0.14		0.37		0.0	
	磷源	0.73		0.67		0.4	
	其他物料 (如酸、混合溶剂、更好的碳源)					0.5	
	<b>原材料成本合计 (不含税)</b>					<b>6.4</b>	
	加工成本 (工艺要求增加)					1.0	0.8
	良率					85%	95%
	毛利率					10%	15%
	<b>价格 (含税)</b>					<b>11.0</b>	<b>10.2</b>
磷酸铁锂 LFP	碳酸锂 (电池级)	0.23		25.00		5.2	
	铁源	0.35		0.37		0.1	
	磷源	0.73		0.67		0.4	
	其他物料 (如酸、混合溶剂、普通碳源)					0.4	
	<b>原材料成本合计 (不含税)</b>					<b>6.1</b>	
	加工成本					0.7	
	<b>价格 (95%良率, 12%毛利率, 含税)</b>					<b>9.2</b>	

假设：基于7月20日百川、SMM价格参数，电池级碳酸锂考虑渠道价25万/吨；以德方纳米铁锂22年加工成本为依据，考虑到锰铁锂产线湿度要求、锰源要求和粉磨工艺的要求，加工成本初期高40%，成熟期高10%。

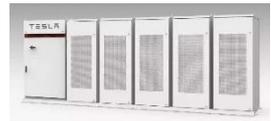
- ◆ 磷酸锰铁锂能量密度提升单耗降低，未来预计单Wh成本下降近10%。初期看，假设锰铁锂能量密度提升10%，我们测算电芯成本比铁锂略高；长期看，假设锰铁锂能量密度提升15%，我们测算电芯成本较铁锂下降约10%，在动力领域经济性优势明显，看好锰铁锂切入替代。

表：磷酸铁锂/磷酸锰铁锂电池BOM成本测算对比

原材料项目	磷酸铁锂					磷酸锰铁锂(能量密度+10%)					磷酸锰铁锂(能量密度+15%)				
	单位用量	单位	单位价格	单位成本	单位成本	单位用量	单位	单位价格	单位成本	单位成本	单位用量	单位	单位价格	单位成本	单位成本
	(/gwh)		(万)	(元/wh)	占比	(/gwh)		(万)	(元/wh)	占比	(/gwh)		(万)	(元/wh)	占比
<b>正极材料</b>	<b>1950</b>	t	<b>9.2</b>	<b>0.16</b>	<b>30%</b>	<b>1781</b>	t	<b>11.0</b>	<b>0.17</b>	<b>32%</b>	<b>1693</b>	t	<b>10.2</b>	<b>0.15</b>	<b>33%</b>
正极导电剂 (AB)	30	t	17.00	0.00	1%	28	t	17.00	0.00	1%	26	t	17.00	0.00	1%
正极黏贴剂 (PVDF)	38	t	13	0.00	1%	35	t	13	0.00	1%	33	t	13	0.00	1%
分散剂 (NMP)	8	t	1.70	0.00	0%	7	t	1.70	0.00	0%	7	t	1.70	0.00	0%
正极集流体 (铝箔)	360	t	3.50	0.01	2%	355	t	3.50	0.01	2%	313	t	3.50	0.01	2%
<b>负极活性物质 (石墨)</b>	<b>1000</b>	t	<b>2.00</b>	<b>0.02</b>	<b>3%</b>	<b>878</b>	t	<b>2.00</b>	<b>0.02</b>	<b>3%</b>	<b>868</b>	t	<b>2.00</b>	<b>0.02</b>	<b>3%</b>
负极粘结剂1(SBR)	40	t	20.00	0.01	1%	35	t	20.00	0.01	1%	35	t	20.00	0.01	1%
负极粘结剂2 (CMC)	40	t	1.15	0.00	0%	35	t	1.15	0.00	0%	35	t	1.15	0.00	0%
负极集流体 (铜箔)	750	t	8.5	0.06	11%	740	t	8.5	0.06	10%	651	t	8.5	0.05	11%
<b>电解液</b>	<b>1350</b>	t	<b>3.50</b>	<b>0.04</b>	<b>8%</b>	<b>1331</b>	t	<b>3.50</b>	<b>0.04</b>	<b>8%</b>	<b>1172</b>	t	<b>3.50</b>	<b>0.04</b>	<b>8%</b>
隔膜 (湿法涂覆)	1850	万m2	1.3	0.02	4%	1824	万m2	1.3	0.02	4%	1606	万m2	1.3	0.02	4%
壳体&辊压膜及其他	1	套	0.04	0.04	7%	1	套	0.04	0.03	6%	1	套	0.04	0.04	9%
<b>电芯材料成本合计(元/wh)</b>	<b>0.36</b>				<b>67%</b>	<b>0.36</b>				<b>68%</b>	<b>0.34</b>				<b>73%</b>
<b>BMS及高压线束、箱体</b>	<b>0.08</b>				<b>15%</b>	<b>0.08</b>				<b>15%</b>	<b>0.07</b>				<b>15%</b>
<b>折旧(元/wh)</b>	<b>0.03</b>				<b>6%</b>	<b>0.03</b>				<b>6%</b>	<b>0.03</b>				<b>6%</b>
<b>电费、人工费、运费等(元/wh)</b>	<b>0.05</b>				<b>9%</b>	<b>0.05</b>				<b>9%</b>	<b>0.04</b>				<b>9%</b>
<b>成本合计(元/wh)</b>	<b>0.52</b>				<b>98%</b>	<b>0.53</b>				<b>98%</b>	<b>0.45</b>				<b>98%</b>
<b>合格率</b>	<b>98.0%</b>					<b>95.0%</b>					<b>95.0%</b>				
<b>成本合计 (元/wh, 不含税)</b>	<b>0.53</b>					<b>0.56</b>					<b>0.48</b>				

- ◆ **动力场景：**纯用锰铁锂经济性优势+低温性能改善，技术进步后大量渗透铁锂车型；**复合路线**能量密度进一步提升，满足终端差异化需求。
- ◆ **两轮车场景：**纯用/混用，验证周期短率先落地。
- ◆ **储能场景：**短期内达不到长循环要求，渗透潜力较低。

图表：磷酸锰铁锂应用场景分析

	动力		两轮车	储能
				
	铁锂车型	中镍车型	高端两轮车/电摩	
渗透潜力	◆◆◆◆◆	◆◆◆	◆◆◆◆	◆
技术路线	纯用锰铁锂	复合三元	纯用/三元复合 锰酸锂复合	纯用锰铁锂
优势	性价比全面提升 BOM成本优化 低温场景性能改善	细分市场覆盖 能量密度进一步提升，安全性 /经济性优于低电压中镍三元	用户体验提升 改善低温场景性能	成本微降 适用北方地区
难点	量产难题 一致性差，良率低	经济性低于锰铁锂纯用 能量密度低于高压中镍和高镍	成本较高	循环次数不达标 锰溶出难彻底解决 全生命周期成本更高

◆ 随着技术逐渐成熟，工艺瓶颈持续突破，锰铁锂成本持续优化。我们预计锰铁锂的锰铁比从6/4逐渐向7/3迭代，并进一步向高锰化发展，能量密度相比铁锂提升从10%向20%水平迭代，单耗随之进一步降低，我们预计锰铁锂电池Wh成本23年略高于铁锂，到25年逐步持平，并凭借能量密度优势持续下探，远期预计比铁锂低近10%左右。

表：LMFP性能和经济性趋势测算

磷酸锰铁锂 (LMFP)									
	单位	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
锰铁锂锰铁比	Mn/Fe	6/4	6/4	6/4	7/3	7/3	7/3	8/2	8/2
锰铁锂克容量	mAh/g	145	148	152	154	155	155	155	155
锰铁锂平均电压	V	3.90	3.90	3.90	3.95	3.95	3.95	4.00	4.00
能量密度较铁锂提升	%	8%	10%	13%	16%	17%	17%	18%	18%
<b>锰铁锂单耗</b>	<b>吨/GWh</b>	<b>1,810</b>	<b>1,773</b>	<b>1,727</b>	<b>1,682</b>	<b>1,671</b>	<b>1,671</b>	<b>1,650</b>	<b>1,650</b>
碳酸锂价格	万/吨	25.0	17.5	15.0	13.5	12.2	11.5	11.0	10.0
锰铁锂正极价格	万/吨	11.0	8.0	6.8	6.5	6.1	6.0	5.9	5.8
锰铁锂电芯成本	元/wh	0.56	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42
LFP铁锂电芯成本	元/Wh	0.53	0.50	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.46
<b>锰铁锂电芯成本溢价</b>	<b>%</b>	<b>5.1%</b>	<b>2.4%</b>	<b>-0.4%</b>	<b>-2.9%</b>	<b>-4.4%</b>	<b>-6.3%</b>	<b>-7.5%</b>	<b>-8.7%</b>

- ◆ 我们测算锰铁锂25年渗透率5-10%，电池需求超120gwh。锰铁锂凭借性价比优势，有望在动力领域逐渐替代铁锂和中镍三元，我们预计25/30年锰铁锂动力渗透率5-10%/30+%，其中对铁锂渗透率10-15%/50%，三元渗透率3%/15%，电池需求量为127/1584GWh。

表：LMFP渗透率测算

磷酸锰铁锂 (LMFP)									
	单位	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球动力电池需求	GWh	879	1,183	1,626	2,152	2,739	3,385	4,106	4,853
全球动力电池铁锂渗透率	%	42%	45%	46%	46%	47%	47%	49%	50%
全球动力电池铁锂电池需求	GWh	373	531	750	998	1,279	1,607	1,993	2,419
全球动力电池三元渗透率	%	58%	55%	54%	54%	53%	53%	51%	50%
全球动力电池三元电池需求	GWh	506	652	876	1,155	1,460	1,778	2,113	2,434
纯用路线（替代铁锂）渗透率	%	0.5%	6.5%	13.0%	20.0%	30.0%	40.0%	45.0%	50.0%
复合路线（替代三元）渗透率	%	0.2%	1.5%	3.0%	5.0%	7.0%	11.0%	13.0%	15.0%
<b>锰铁锂动力场景总渗透率</b>	<b>%</b>	<b>0.4%</b>	<b>3.7%</b>	<b>7.5%</b>	<b>11.8%</b>	<b>17.5%</b>	<b>24.5%</b>	<b>28.2%</b>	<b>32.1%</b>
<b>纯用路线出货</b>	<b>GWh</b>	<b>2</b>	<b>34</b>	<b>98</b>	<b>200</b>	<b>384</b>	<b>643</b>	<b>897</b>	<b>1,210</b>
同比增速yoy	%	/	1750.3%	182.7%	104.7%	92.2%	67.6%	39.5%	34.9%
<b>复合路线出货</b>	<b>GWh</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>58</b>	<b>102</b>	<b>196</b>	<b>275</b>	<b>365</b>
同比增速yoy	%	/	867.4%	168.6%	119.6%	77.1%	91.3%	40.5%	32.9%
<b>锰铁锂电池总出货量</b>	<b>GWh</b>	<b>4</b>	<b>46</b>	<b>127</b>	<b>262</b>	<b>491</b>	<b>846</b>	<b>1,180</b>	<b>1,584</b>
同比增速yoy	%	/	1157.8%	177.8%	106.5%	87.6%	72.1%	39.6%	34.2%

- ◆ 随着锰铁锂快速渗透，带来强劲的上游材料需求。我们预计25年/30年锰铁锂正极材料需求超20/260万吨，对应市场空间超140/1500亿元。同时锰铁锂将提振锰源需求，预计25/30年对上游锰源需求达5/73万金属吨。

表：LMFP市场空间测算

磷酸锰铁锂 (LMFP)									
	单位	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
锰铁锂电池总出货量	GWh	4	46	127	262	491	846	1,180	1,584
锰铁锂单耗	吨/GWh	1,810	1,773	1,727	1,682	1,671	1,671	1,650	1,650
<b>锰铁锂 (纯用) 需求空间</b>	<b>万吨</b>	<b>0.3</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>64</b>	<b>107</b>	<b>148</b>	<b>200</b>
同比增速yoy	%	/	1712.8%	175.3%	99.4%	91.0%	67.6%	37.7%	34.9%
<b>锰铁锂 (复合三元) 需求空间</b>	<b>万吨</b>	<b>0.2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>60</b>
同比增速yoy	%	/	847.8%	161.5%	114.0%	75.9%	91.3%	38.7%	32.9%
<b>锰铁锂需求空间</b>	<b>万吨</b>	<b>0.7</b>	<b>8</b>	<b>22</b>	<b>44</b>	<b>82</b>	<b>141</b>	<b>195</b>	<b>261</b>
同比增长yoy	%	/	1132.3%	170.5%	101.1%	86.4%	72.1%	37.8%	34.2%
锰铁锂正极价格	万/吨	11.0	8.0	6.8	6.5	6.1	6.0	5.9	5.8
<b>锰铁锂市场空间</b>	<b>亿元</b>	<b>7</b>	<b>65</b>	<b>149</b>	<b>286</b>	<b>501</b>	<b>848</b>	<b>1,149</b>	<b>1,516</b>
上游锰源需求空间(电解锰为例)	万吨	0.1	2	5	11	20	35	55	73

- ◆ 磷酸锰铁锂是高能量密度版铁锂，23年下半年有望克服量产问题规模放量。M3P电池混用方案8月首发智界S7，预计下半年纯用方案首发特斯拉Model 3改款，将成为锰铁锂爆发增长催化剂。
- ◆ 经济性优势+性能改善双核驱动，长期对动力铁锂场景渗透动力强劲。量产问题解决后电池企业和车企将立即跟进，目前头部企业基本处于测试验证中。

表：LMFP、LFP、三元产业特点对比

参数类别	磷酸锰铁锂	磷酸铁锂	三元
1C克容量 (mAh/g)	135-145	142-145	150-215
标称电压 (V)	3.2-3.9	3.2	3.7
循环寿命 (次)	2000-4000	2000-6000	800-2000
电芯能量密度 (Wh/kg)	160-240	150-210	200-320
低温性能	一般	较差	较好
高温性能	一般	较好	一般
安全性	好	好	差
成本投入	成本较低	成本较低	成本较高
适用场景	高端两轮车 电动汽车	电动汽车 储能	高端 电动汽车
发展趋势	高锰化	长循环	超高镍化 无钴化

图表：混用锰铁锂方案上车奇瑞智界S7



中华人民共和国工业和信息化部  
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China

企业申报车型公示详情

产品商标:	奇瑞牌	产品型号:	SQR7000BEVEH31	产品名称:	纯电动轿车
企业名称:	奇瑞汽车股份有限公司	注册地址:	安徽省芜湖市经济开发区长春路8号		
目录序号:	119	生产地址:	安徽省芜湖市经济技术开发区长春路8号		

车辆识别代号 (VIN): LNNACDEB\*\*\*\*\* 前悬/后悬(mm): 919/1102

其它: 选装双色车身、镀铬装饰条、隐私玻璃、制动盘、制动钳、轮胎、激光雷达、后摄像头、翼子板装饰件、后视镜样式、前大灯下侧装饰件,第二排为折叠座椅,储能装置种类为三元锂离子+磷酸铁锂电池,单体生产企业为江苏时代新能源科技有限公司,总成生产企业为江苏时代新能源科技有限公司,ABS系统生产厂家为博世汽车部件(苏州)有限公司,对应的型号为207EBS,该车配备汽车事件数据记录系统(EDR),该车型可选装ETC车载装置。

说明:

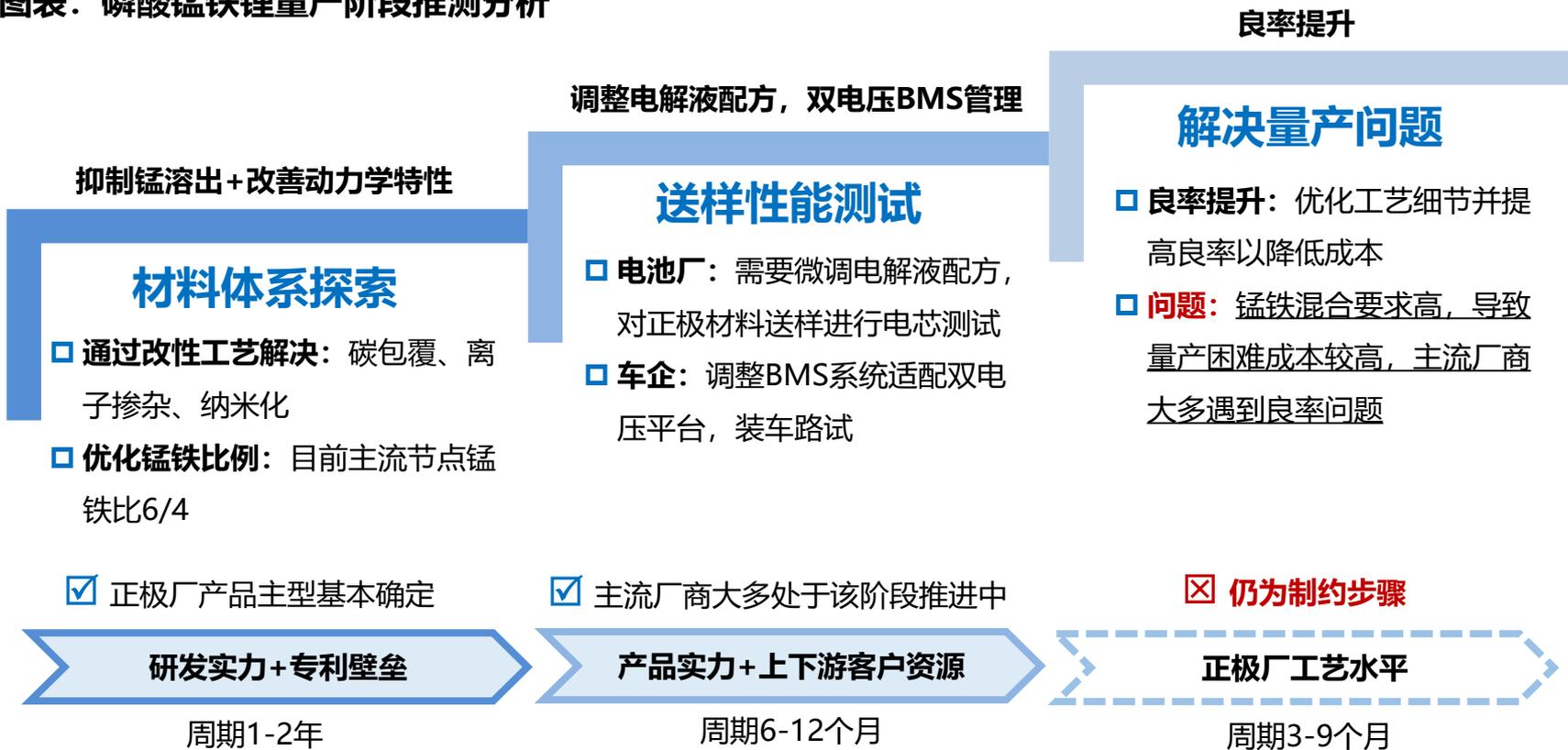
油耗申报值(L/100km):



- 锰铁互溶，提升能量密度，打造升级版磷酸铁锂
- 工艺技术日益成熟，固/液相法路线并行
- 量产节点企踵可待，企业加码锰铁锂赛道
- 投资建议及风险提示

- ◆ 锰铁锂高温循环时，易出现锰溶出，需要进行改性处理。正极端通过碳包覆、离子掺杂、纳米化改性策略可初步解决，目前高温循环仍有提升空间。电芯端需调整电解液配方，适配BMS系统。
- ◆ 锰铁要求原子级混合，对结晶度要求高，量产良率有待提升。锰铁锂前驱体混合要求和结晶度要求提高，同时工艺需配合改性处理，目前良率仍低于铁锂。

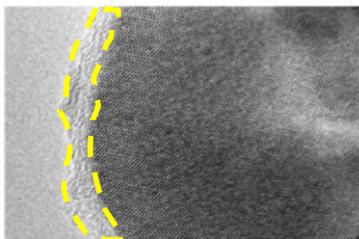
图表：磷酸锰铁锂量产阶段推测分析



- ◆ **碳包覆+离子掺杂+纳米化改性策略联用共同解决锰铁锂材料问题。**
- ◆ **碳包覆、纳米化**为铁锂材料常用改性手段，沿用后以获得更好的动力学特性，提高倍率性能。
- ◆ **离子掺杂**为锰铁锂材料特有改性策略，主要用于抑制锰溶出并增强离子扩散，可掺一种或多种元素。

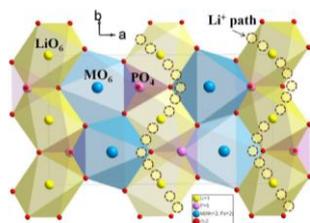
图表：LMFP改性策略

## 碳包覆



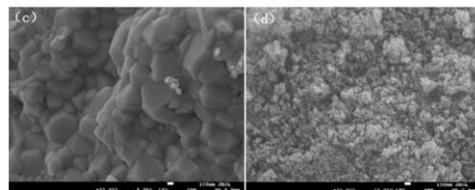
- **碳包覆**：前驱体中加入含碳有机物，共烧后在材料表面热解形成nm尺寸的高电导率/高离子扩散的均匀碳层。
- **优点**：1) 提高材料电子电导率，为锂离子扩散提供通道，显著提升倍率性能；2) 抑制晶粒生长，防止颗粒团聚；3) 防止正极材料中 $Mn^{3+}$ 和 $Fe^{3+}$ 产生；4) 减少电池的内阻和极化并提高压实密度。

## 离子掺杂



- **离子掺杂**：向晶格结构中掺入微量的其他元素（如Mg、Co、Ni、Cr、Zn等，掺入比例在0.01-0.1左右），从材料内部改善导电性和锂离子扩散性能，增强结构稳定性。
- **优点**：诱导晶格缺陷，在材料中产生空位或改变原子间键长，提高锂离子扩散速度，并抑制锰元素的Jahn-Teller效应。镁元素的掺杂研究较多，改性效果比较明显。

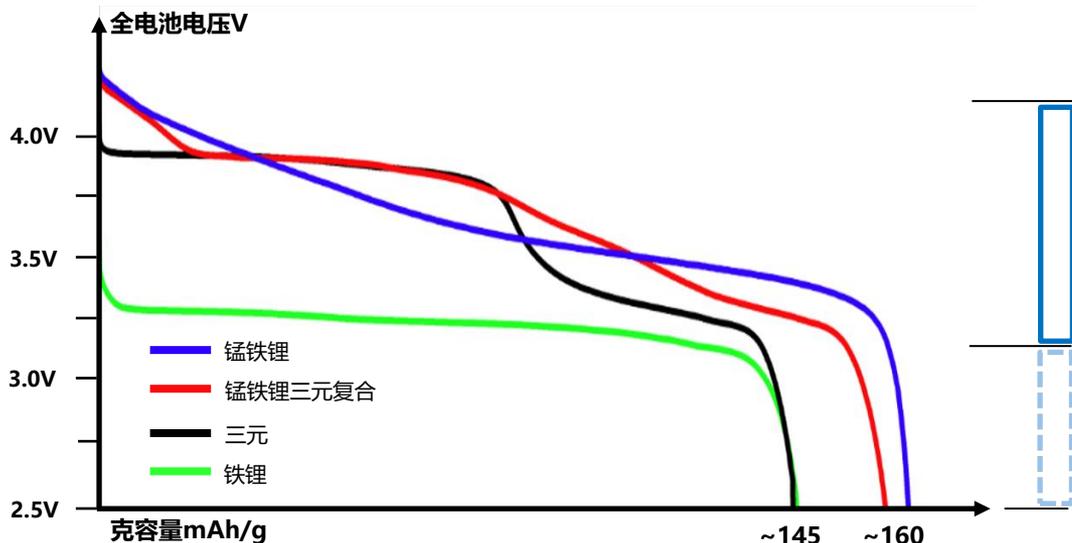
## 纳米化



- **纳米化**：减小颗粒尺寸，缩短锂离子迁移路径和扩大比表面积，从而改善材料电化学性能。
- **优点**：材料电化学性能提升；可采用纳米颗粒与高压实密度颗粒混合搭配以获得高能量密度和良好倍率性能。

- ◆ **锰铁锂电液改性可借鉴三元高镍Know-how。** 锰铁锂电压范围、氧化还原反应类似高镍，锰溶出问题可借鉴高镍三元体系镍/锰溶出的解决思路，因此电解液配方改进可基于高镍技术积累快速迭代。
- ◆ **采用深度仿真、高通量计算等数据化研发，可加速锰铁锂材料体系开发迭代。** 例如锰铁比、改性技术可通过材料计算和实验仿真快速迭代开发，加速商业化进程，拥有数据化研发平台的电池厂或具备技术和成本优势。

图表：三元、锰铁锂、三元锰铁锂复合及铁锂电压曲线

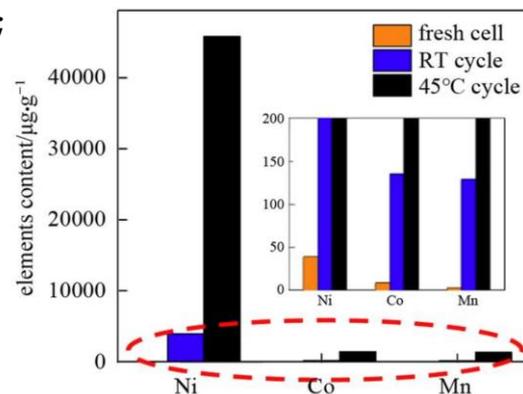


三元 NCM	纯用锰铁锂 LMFP	混用 NCM/LMFP
-----------	---------------	----------------

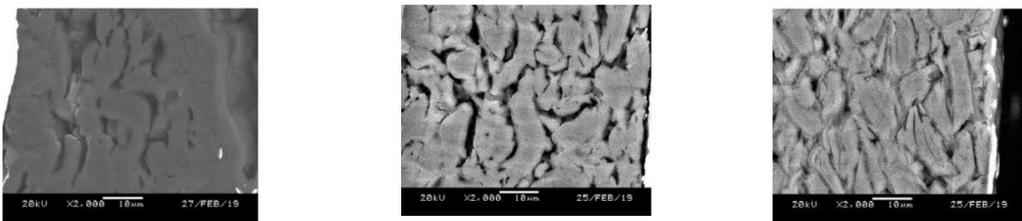
- 三元和锰铁锂均有锰元素；锰的电化学反应相同，高镍三元镍/锰溶出与锰铁锂锰溶出类似，均为金属离子在负极沉积为金属单质破坏SEI造成循环恶化。
- 三元和锰铁锂均为较高电压；电压范围相近，若采用复合体系电压曲线基本与三元一致。

铁锂LFP

- 电压平台较平；
- 电压更低；



图：高镍三元镍、锰、钴溶出问题



高镍中金属离子会在负极沉积为金属单质破坏SEI，高温循环下尤其明显。

- ◆ 磷酸锰铁锂与磷酸铁锂制备方法相似，主要有固相法和液相法两大类。两种路线各有优劣，工艺路线呈现并行格局。

图表：LMFP工艺路线对比

	固相法	液相法
代表企业	裕能 容百科技 江苏力泰 万润新能源	德方纳米 当升科技 环创
技术路线	高温固相法/碳热还原法	水/溶剂热合成法、溶胶-凝胶法、共沉淀法
技术特点	前驱体以固态形式进行机械混合，而后采用烧结获得产品	前驱体在液相中进行均匀混合而后采用烧结获得产品
铁锂兼容性	共用后段煅烧设备，前段需多进行一步铁锰混合，兼容性取决于工艺水平	产线相似，可改造升级，兼容性较高
优点	产量高，工艺设备要求低，粒度错配压实密度有优势	产品结晶度、一致性好、能耗低、对原料要求低
缺点	产品结晶度、一致性差，物相、颗粒分布不均匀导致循环性能差，能耗较高	压实密度低、工艺周期长、保养维修难度大，废液环保处理需要一定的费用

- ◆ **液相法有利于锰铁混合，成品品质高。**液相法利于控制元素比例，锰铁更均匀，因此产品一致性、结晶度更好，但压实密度低，工艺步骤复杂，有一定环保压力，单位投资额更高。

图：液相法制备流程图



表：液相法单位成本测算

	LFP	LMFP	LMFP
		(初期)	(成熟期)
原材料 (万元/吨)	6.1	6.5	6.5
直接人工 (万元/吨)	0.1	0.1	0.1
制造费用 (万元/吨)	0.5	0.8	0.6
其他制造 (万元/吨)	0.1	0.1	0.1
制造费用合计 (万元/吨)	0.7	1.0	0.8
成本合计 (万元/吨)	6.8	7.4	7.3
直通率	95%	85%	95%
毛利率	12%	10%	15%
<b>价格 (万元/吨)</b>	<b>9.2</b>	<b>11.0</b>	<b>10.2</b>

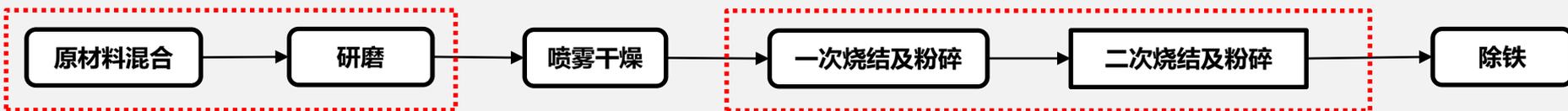
表：液相法单位建设成本测算（以德方纳米为例）

项目	产能 (万吨)	投资额 (亿元)	每万吨投资额 (亿/万吨)	溢价
曲靖磷酸铁锂	15	29.0	1.93	/
<b>曲靖磷酸锰铁锂一期</b>	<b>11</b>	<b>25.0</b>	<b>2.27</b>	<b>18%</b>

基于7月20日百川、SMM价格参数，电池级碳酸锂考虑渠道价25万/吨；以德方纳米铁锂22年加工成本为依据，考虑到锰铁锂产线湿度要求、锰源要求和粉磨工艺的要求，假设初期成本高40%，后期加工成本高10%。

- ◆ **固相法工艺步骤少，产量大且颗粒错配压实密度高。**固相法产线产量大，无环保压力，单位投资额更低，产品颗粒错配，压实密度高，但不易控制锰铁均匀度和粒径分布，待工艺突破成熟后，产品一致性和良率预计改善。

图：固相法制备流程图



原料混合较难达到高均匀度，有可能加入液相过程转变为“半固半液”工艺；固相法需要用到双氧水，工艺较铁锂复杂

作为固溶体理论上烧结温度可低于铁锂，但锰铁锂存在锰溶出问题对结晶度要求更高，烧结难度相应增加

表：固相法单位成本测算

	LFP	LMFP	LMFP
		(初期)	(成熟期)
原材料 (万元/吨)	6.1	6.5	6.5
直接人工 (万元/吨)	0.1	0.1	0.1
制造费用 (万元/吨)	0.4	0.6	0.5
其他制造 (万元/吨)	0.3	0.4	0.4
制造费用合计 (万元/吨)	0.9	1.1	1.0
成本合计 (万元/吨)	6.9	7.6	7.4
直通率	95%	85%	95%
毛利率	12%	10%	15%
<b>价格 (万元/吨)</b>	<b>9.4</b>	<b>11.2</b>	<b>10.4</b>

表：固相法单位建设成本测算（以湖南裕能为例）

项目	产能 (万吨)	投资额 (亿元)	每万吨投资额 (亿/万吨)	溢价
贵州长循环磷酸铁锂	7.5	9.1	1.21	/
<b>云南锰铁锂</b>	<b>32</b>	<b>44.3</b>	<b>1.38</b>	<b>14%</b>

基于7月20日百川、SMM价格参数，电池级碳酸锂考虑渠道价25万/吨；以湖南裕能22年H1加工成本为依据，考虑到锰铁锂产线湿度要求、锰源要求和粉磨工艺的要求，假设初期成本高40%，后期加工成本高10%。

数据来源：湖南裕能招股说明书，湖南裕能公司公告，东吴证券研究所测算



- 锰铁互溶，提升能量密度，打造升级版磷酸铁锂
- 工艺技术日益成熟，固/液相法路线并行
- 量产节点企踵可待，企业加码锰铁锂赛道
- 投资建议及风险提示

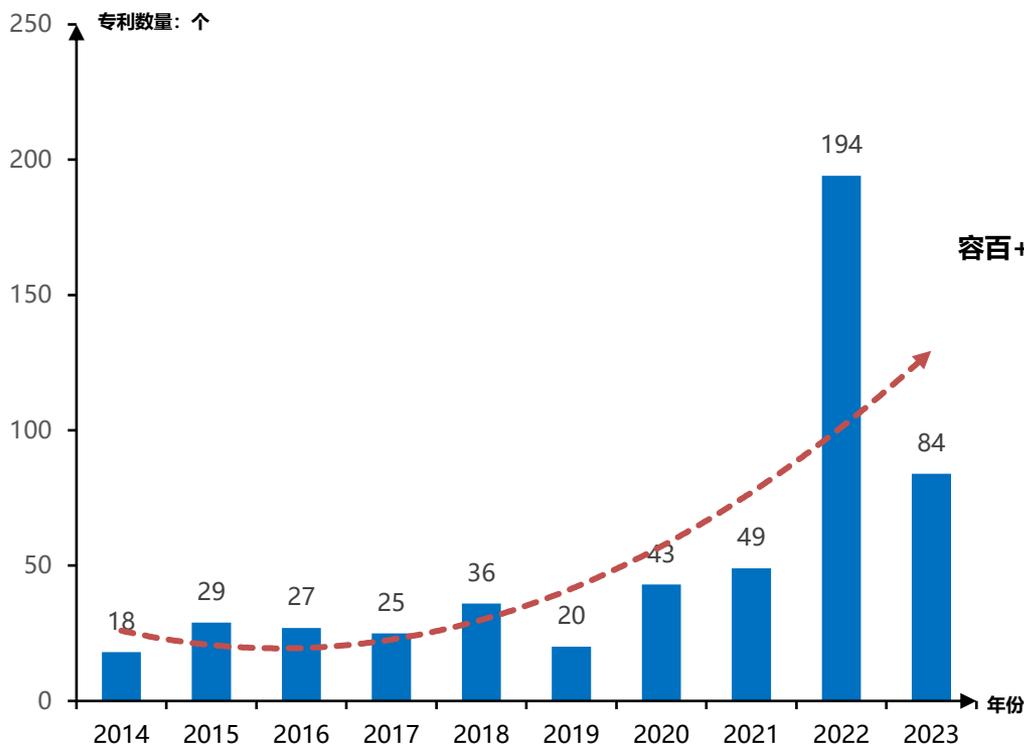
- ◆ **磷酸锰铁锂电池端主要企业**有宁德时代、比亚迪、亿纬锂能、中创新航、国轩高科、孚能科技、星恒电源、天能股份等；**材料企业**有德方纳米、容百科技、湖南裕能、天奈科技、当升科技、万润新能、力泰锂能、珩创纳米、创普斯新能源等；**锰源企业**有湘潭电化、红星发展等。

图：磷酸锰铁锂电池产业链

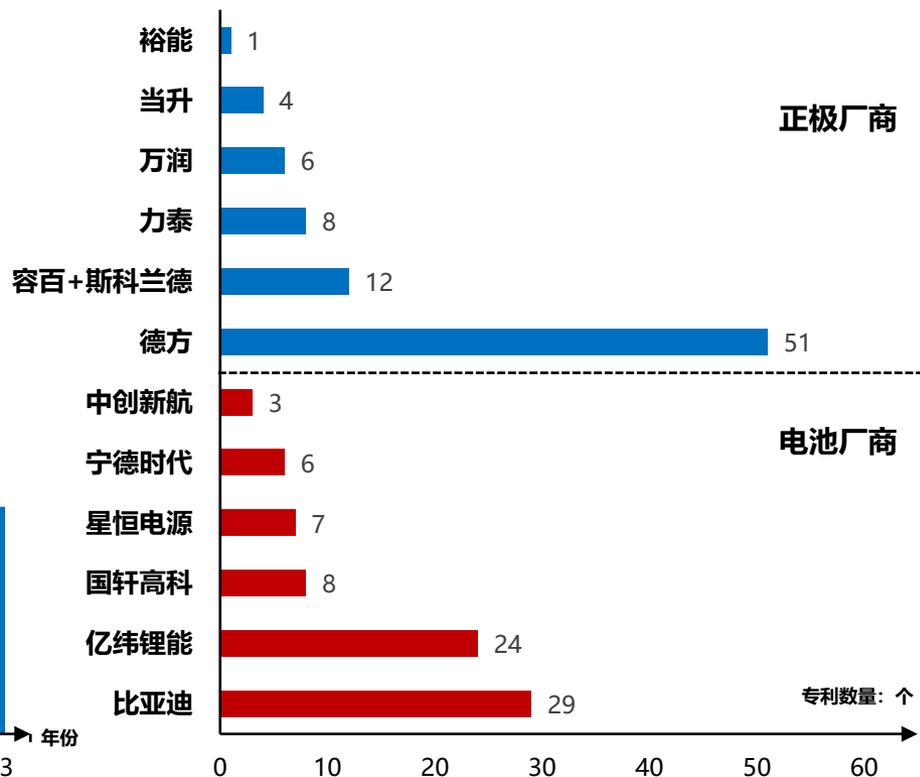


◆ **LMFP技术路线多样，专利+产能铸造核心竞争力。**磷酸锰铁锂存在较高的技术壁垒，业界尚未统一最佳的技术路线和改性策略，因此拥有核心专利与大规模量产能力的企业将具有核心竞争力。

图：2014年-2023年7月LMFP技术专利申请趋势



图：产业链企业LMFP技术专利申请情况(截至23年7月)



- ◆ **头部企业积极布局LMFP，产业化进程加速。**各大厂商选择的技术路线多样，液相/固相工艺路线并存，部分材料已送样车企验证。23年下半年量产进程加速，宁德时代M3P电池有望上车Model 3改款成为行业催化剂，相关供应材料厂商预计率先受益。

**表：磷酸锰铁锂产业链及其布局**

	公司名称	产品进展
电池厂	宁德时代	具备量产条件，M3P电池混用方案8月首发智界S7，预计下半年纯用方案首发特斯拉Model 3改款。
	比亚迪	曾将LMFP作为主要研究方向，目前已处于B样测试阶段，有望在24H1装车发布。
	亿纬锂能	处于送样阶段，子公司金泉新材料铁锂车间23年3月投产，内设1条0.5万吨/年的锰铁锂生产线。
	中创新航	首创OS高锰铁锂电池，系统能量密度180Wh/kg，电池性能优异。
	国轩高科	发布L600启晨电池，电芯能量密度240Wh/kg，常温循环4000次，计划2024年量产。
	孚能科技	拟23年推出一代磷酸锰铁锂产品，计划形成从200-240Wh/kg的LMFP与LFP产品覆盖。
	星恒电源	携手珩创纳米、龙蟠科技共同研发LMFP，先发超锂S7 Pro电池，综合性能优异。
	天能股份	推出二代锰铁锂电池TP-MAX，产品已经应用在小牛电动两轮车中。
正极材料厂	德方纳米	进度领先，已规划44万吨LMFP产能，曲靖11万吨产能已投产，剩余33万吨产能稳步推进。
	容百科技	复合/纯用产品双线并行，万吨生产线已投产，预计23年底大规模装车；布局海外市场规划24年韩国建成2万吨产线。
	湖南裕能	目前处于中试阶段，已送样给下游客户，正建设32万吨产能，并计划于24年在云南投产第一期产线。
	天奈科技	一期年产2万吨碳纳米管结合锰铁锂正极项目已开工建设，预计23年底建成。
	当升科技	目前中试工艺定型，正在送样测试中，规划有30万吨锰铁锂产能预计28年底建成。
	万润新能	处于客户验证阶段，锰铁锂制备可与磷酸铁锂产线共用。
	珩创纳米	一期年产5000吨磷酸锰铁锂正极材料产线于22年12月底正式投产，未来年产能将达到1.5万吨。
	力泰锂能	现有年产2000吨LMFP生产线，计划22年新建年产3000吨LMFP产线。
	创普斯	规划有18万吨锰铁锂产线，23年7月首期6条烧结窑炉已点火投产。
锰源	湘潭电化	目前电解二氧化锰年产能为12.2万吨。
	红星发展	目前高纯硫酸锰年产能为3万吨。

◆ **创新推出M3P电池，预计下半年纯用首发特斯拉。** 宁德时代M3P是磷酸盐体系的三元，不使用任何贵金属，能量密度介于210-260Wh/kg，可以替代5系、6系三元体系，低温性能优于铁锂，主打续航700km左右的车型，已实现量产，混用8月首发智界S7，预计下半年纯用首发特斯拉Model 3改款。

表：M3P电池具体性能

产品	改性技术	性能	产品定位	量产进度
M3P	掺杂（推测镁）+ 碳包覆 + 纳米化 综合性能优异	能量密度提升10-20% 低温性能优于铁锂 成本低于中镍三元	替代铁锂、中镍三元动力场景 主打续航700km左右车型	混用8月首发智界S7，预计下半年纯用首发特斯拉Model 3改款

图：宁德时代M3P电池



表：M3P技术原理推测

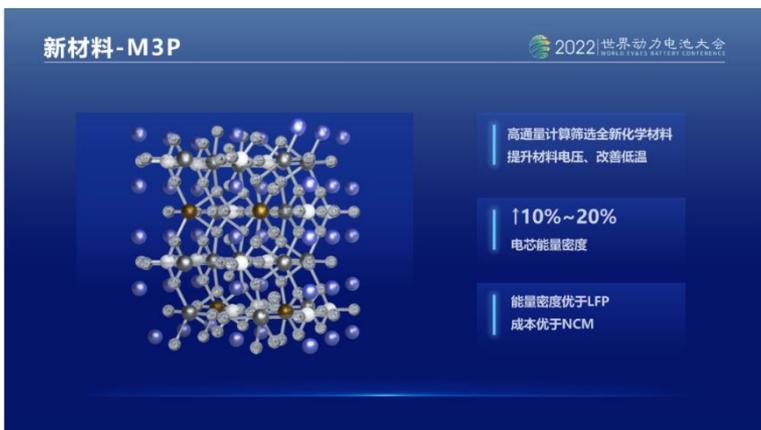
M3P电池本质为固溶锰、镁（推测）等元素的磷酸铁锂电池，相当于掺杂了少量（镁）的磷酸锰铁锂。掺杂半径相对较小的元素，可以对冲半径较大的锰元素带来的八面体畸变，从而起到降低锰溶出、提升离子电导率、平滑放电曲线等作用。

◆ **搭配麒麟电池主攻700+km中端市场，云平台助力研发构建技术壁垒。** 宁德时代M3P电池可替代动力铁锂场景，搭配麒麟电池方案覆盖700km左右中端车型，与高镍三元、钠离子电池构成“三位一体”的产品矩阵。宁德时代研发实力雄厚，依托数据和算力优势进行材料计算和仿真模拟，助力锰铁锂材料体系问题的技术突破及商业化。

图表：M3P乘用车协同解决方案



图：宁德时代M3P电池

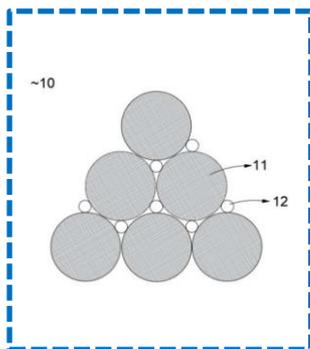


图表：宁德时代材料计算平台



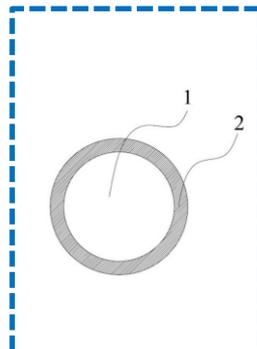
◆ **早期入局锰铁锂赛道，预计24年上半年装车发布。** 比亚迪曾在14年将锰铁锂作为中镍竞品方案研究，但受限于材料问题应用受阻，随着锰铁锂技术的持续突破，公司重新加快研究，目前已处于B样测试阶段，有望在24年二季度搭载在高端车型长续航版本装车上市。

**表：比亚迪复合路线专利**



技术路线	复合
混合方式	LiMn <sub>0.6</sub> Fe <sub>0.4</sub> PO <sub>4</sub> 占80%，与NCM球磨5h混合
压实密度	2.56 g/cm <sup>3</sup>
放电比容量	169.9 mAh/g
首次库伦效率	91.50%
正极质量能量密度	580 Wh/kg
正极体积能量密度	1484 Wh/L

**表：比亚迪纯用路线专利**



技术路线	纯用
改性方式	离子掺杂+多层结构设计+碳包覆，LiMn <sub>0.75</sub> Fe <sub>0.25</sub> PO <sub>4</sub> L占比90%以上
正极质量能量密度	600Wh/kg
低温-20°C容量保持率	71%
倍率5C保持率	91%
45°C500周循环保持率	87%
500周锰溶出量	200ppm

**图表：比亚迪专利申请情况和技术研究阶段**

□ **早期布局：**

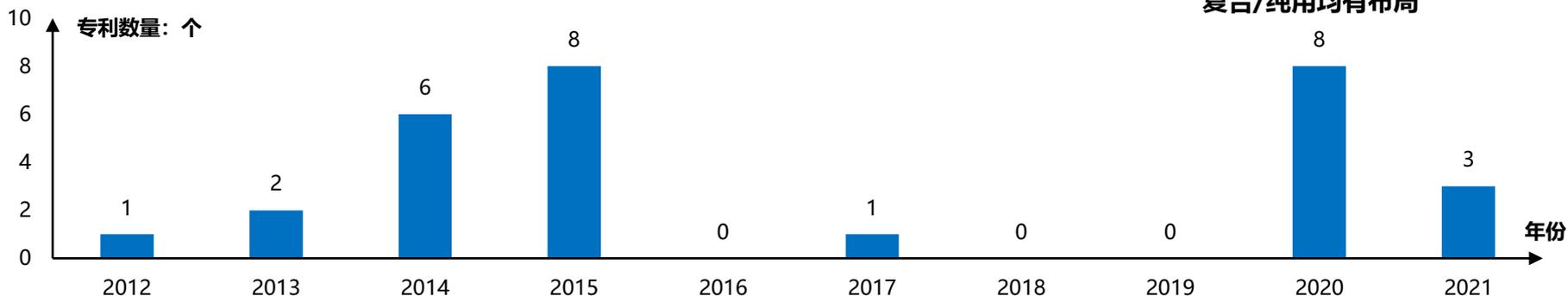
锰铁锂能量密度接近中镍三元，作为其竞品有研究价值，**主打纯用路线**

□ **暂时搁置：**

中镍三元技术快速进步，锰铁锂暂难以解决锰溶出和电导率问题

□ **快速重启：**

锰铁锂技术持续突破，渗透替代铁锂动力强劲；**复合/纯用均有布局**

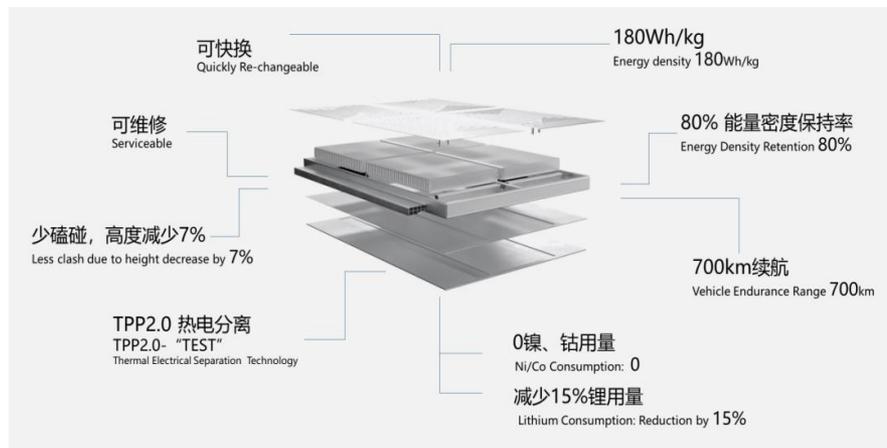


- ◆ **中创新航**：发布OS高锰铁锂电池，系统能量密度达180Wh/kg，循环寿命可达2500圈，产品综合性能优异。
- ◆ **亿纬锂能**：处于送样阶段，子公司金泉新材料采用高温固相法，铁锂车间23年3月投产，内设1条0.5万吨/年的锰铁锂生产线。

表：中创新航/亿纬锂能/LMFP业务简介

公司	产品	技术	循环	能量密度
中创新航	One-Stop 高锰铁锂电池	材料层级：降低锂使用量15%； 电极层级：兼容高压实和高离子； 电芯层级：重量降低40%，零部件减少25%	可达2500圈， 高温循环提升114%	系统层级可达180Wh/kg， 可供电动车实现700KM长续航
公司	进展	技术指标	产能规划	
亿纬锂能	子公司金泉新材料采用高温固相法制备LMFP 综合性能优异，处于样品测试阶段。	粉末压实密度 $\geq 2.2 \text{ g/cm}^3$ 0.1C放电容 $\geq 145 \text{ mAh/g}$ 1C放电容量 $\geq 135 \text{ mAh/g}$ 0.1C首次效率 $\geq 98\%$	金泉新材料规划2.5万吨磷酸铁锂电池材料中试项目，23年3月投产，内设1条0.5万吨/年的磷酸锰铁锂生产线。	

图：中创新航OS高锰铁锂产品性能



图：金泉新材料LMFP产品



- ◆ **国轩高科**：发布L600启晨电池，电芯能量密度240Wh/kg，常温循环4000次，计划2024年量产。
- ◆ **孚能科技**：拟23年推出一代磷酸锰铁锂产品，计划形成从200-240Wh/kg的LMFP与LFP产品覆盖。

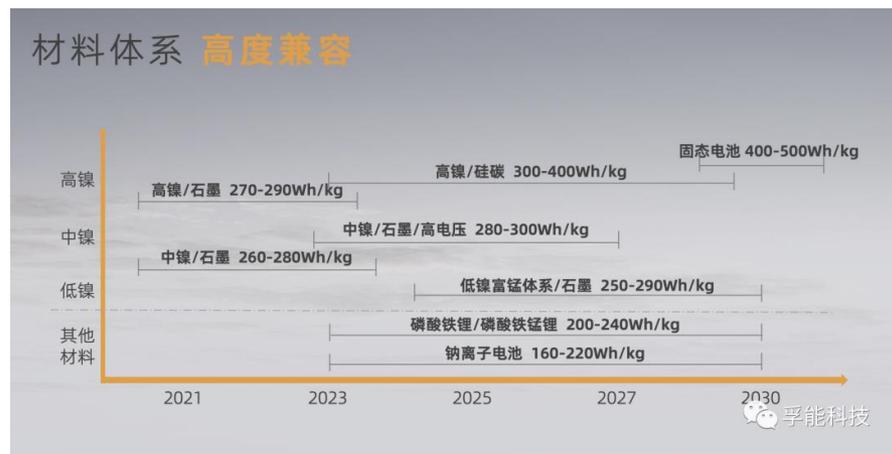
**表：国轩高科/孚能科技LMFP规划**

公司	产品	技术	循环	能量密度
国轩高科	L600启晨电池	通过共沉淀合成工艺，掺杂包覆和新型造粒技术，解决了高温锰溶出、导电率低、压实密度低等问题，美国克利夫兰研究院研发出了针对LMFP的新型电解液，大大改善了高温循环和存储性能	在常温下4000圈，45°C高温1800圈	电芯能量密度240Wh/kg，体积能量密度为525Wh/L；系统能量密度190Wh/kg，续航1000km。
公司	进展		技术指标	规划
孚能科技	已储备包括磷酸锰铁锂多项下一代前沿核心技术研发		200Wh/kg到240Wh/kg	将在2023年推出第一代磷酸锰铁锂产品

**图：国轩高科L600启晨电池及电池包**



**图：孚能科技SPS软包电池**



- ◆ **星恒电源**：携手珩创纳米、龙蟠科技共同研发LMFP，先发超锂S7 Pro电池，综合性能优异。
- ◆ **天能股份**：推出二代锰铁锂电池TP-MAX，产品已经应用在小牛电动两轮车中。

**表：星恒/天能LMFP产品进展**

公司	研发进展	产品	产品性能
星恒电源	与珩创纳米就LMFP项目签署正式战略合作协议，共同研发LMFP；与龙蟠科技旗下常州锂源签约磷酸锰铁锂项目战略合作协议；	超锂S7 Pro电池	星恒第二代混掺单晶锰酸锂+磷酸锰铁锂复合材料电芯还具有超长寿命（电芯循环超3000次）、超强稳定（-20℃~55℃放电超90%，极端温度稳定运行无损伤）等特性
		移动储能	联合纽曼携手推出，相对于三元锂电池安全性能更优异，目前循环寿命可达3000次，超越常规磷酸铁锂；成本相对三元锂电池具有很大优势。
天能股份	2020年开始布局	二代锰铁锂电池TP-MAX	通过LMFP+复合体系，实现超3000次循环寿命，较上一代提升30%；耐低温性能更强，在零下20℃可放出80%的电量，比上一代高出13%；倍率性能更好，动力更足，12分钟可放出94%电量。

**图：星恒电源锰铁锂户外电源**



**图：天能股份锰铁锂电池TP-MAX**

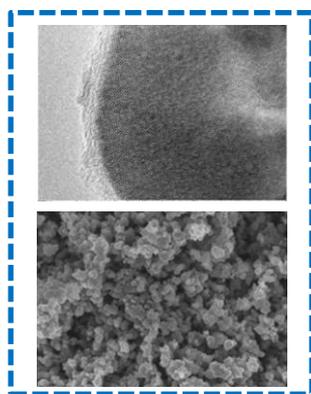


- ◆ **液相法产品一致性好，量产进度领先，预计下半年率先放量。**公司采用液相法工艺，有利于控制元素比例，并可有效改善锰溶出问题，现有锰铁锂11万吨有效产能，8万吨设备调试中，已实现小批量出货，预计下半年率先大批量量产。

**表：德方纳米LMFP业务进展**

制备工艺	公司研发实力	专利情况
液相法	公司先发溶胶-凝胶液相法LMFP制备路线，独创“ <b>涅甲界面改性技术</b> ”+“ <b>离子超导技术</b> ”，显著提升产品一致性。为进一步提升LMFP导电性等化学性能，公司持续探索改性策略。	在国内拥有 <b>51项LMFP相关专利</b> ，涉及纳米化、离子掺杂、碳包覆等多种技术路线

**表：德方纳米LMFP产品图片及简介**



技术指标	性能参数
0.33C放电克容量	138 mAh/g
倍率性能	5C容量保持率96.8%
低温性能	-20℃放电容量保持率95.3%

**表：德方纳米LMFP产能规划**

地点	规划产能	进度
曲靖	<b>11万吨/年</b>	23年底投产
宜宾	<b>8万吨/年</b>	23年Q2投产
曲靖	<b>33万吨/年</b>	规划中

◆ **容百科技并购斯科兰德布局LMFP，混用/纯用路线均有布局，产业化进度领先。**容百科技并购斯科兰德进军锰铁锂，采用固相法工艺，并持续开发一体化固液相结合工艺。23年H1锰铁锂出货近千吨，在四轮动力端实现百吨级出货，公司预计年底实现动力电池装车。公司还将布局海外市场，预计24年底韩国建成2万吨锰铁锂产线，和日韩头部电池厂签订合作备忘录。

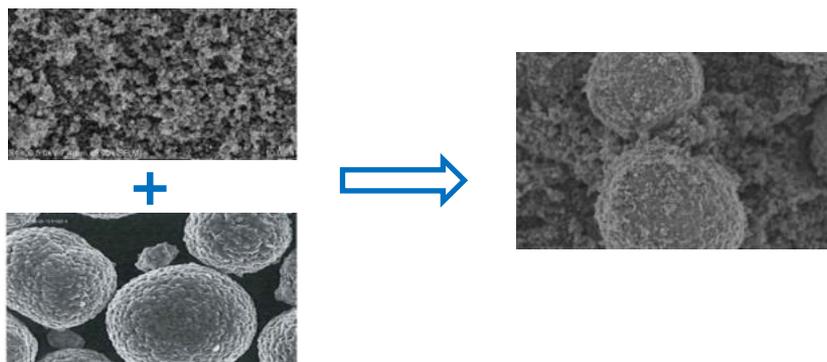
**表：容百科技/斯科兰德LMFP产品情况**

产品	技术路线	平均电压	克容量	首次效率	压实密度	低温特性	应用场景
LMFP64	纯用	约3.7V	0.2C下153mAh/g	93%	2.3-2.4g/cm <sup>3</sup>	好	四轮
M6P	复合三元 (包覆NCM)	3.65V	全电池160mAh/g	/	/	零下20℃测试容量保持率将近80%	二轮以掺混为主 四轮掺混+纯用

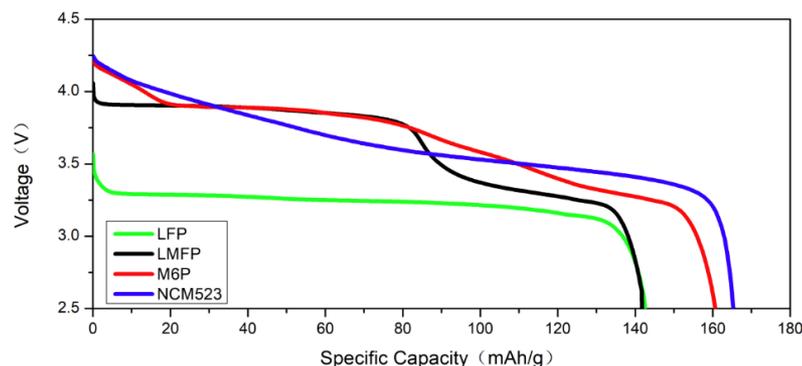
**表：斯科兰德公司简介**

公司	与容百关系	公司技术实力	公司产能布局和规划
斯科兰德	容百持有其68.25%股权，为控股母公司	拥有9项专利 同时布局复合路线和纯用路线	目前一期万吨产线已经投产，24年底韩国建成2万吨产能，25年共规划三十万吨

**图：M6P为小粒径LMFP掺混大颗粒NCM**



**图：M6P电压平台更平滑可沿用三元BMS**



- ◆ **固相法具备压实密度优势，明年上半年预计开始放量。** 公司采用固相法，锰铁锂技术自研，具备压实密度优势，使用二烧工艺，提高产品结晶度，单线产能相对更高。公司定增筹资建设32万吨锰铁锂产能，预计明年上半年开始放量。

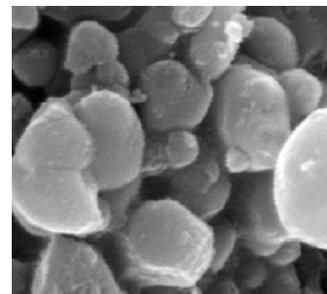
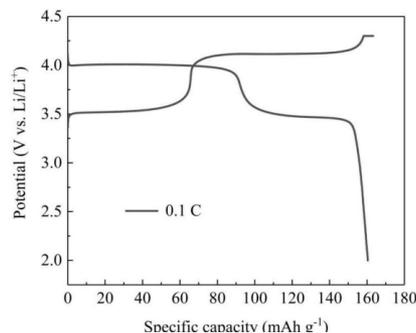
**表：湖南裕能LMFP业务进展情况**

工艺路线	合作进展	产品进展
固相法	3月15日，公司公告拟与宁德时代签署协议，对新型磷酸铁锂产品进行设计开发，并依据其需求生产制造新型磷酸铁锂产品。	目前处于中试阶段，已送样给下游客户，计划于24年在云南投产第一期磷酸锰铁锂产线

**表：湖南裕能锰铁锂产能基地情况**

基地名称	新能源电池材料生产基地二期项目
产地位置	云南安宁
产能规划	32万吨
投资额	44亿元
建设周期	预计48个月
建设主要内容	投资额用于建设磷酸锰铁锂生产线，该基地还配套有磷酸铁生产线、碳酸锂加工生产线、双氧水生产线及其他配套工程

**图表：湖南裕能锰铁锂产品简介**



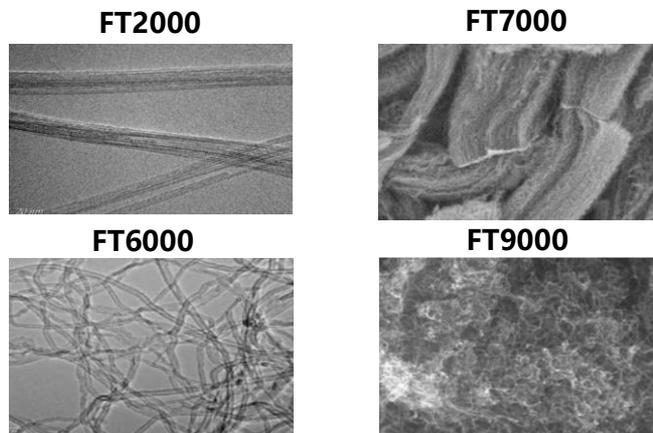
技术路线	纯用
改性方式	离子掺杂+碳包覆
碳含量	1.40%
压实密度	2.388 g/cm <sup>3</sup>
粉末电阻	19.87 Ω*cm
0.1C效率	98.23%
1C放电比容量	149.82 mAh/g

◆ **锰铁锂对导电剂用量需求提升，公司同时横向扩拓布局LMFP。**碳纳米管能够较好改善锰铁锂的导电性，公司开发出将碳纳米管长在锰铁锂中形成的高电导新型正极材料。公司拟合资规划10万吨产能（持股70%），其中一期2万吨预计于24年上半年投产。

**表：天奈科技LMFP业务进展情况**

公司	简介	合作关系	进展
天奈锦城	将碳纳米管生长在磷酸铁锂、磷酸锰铁锂中形成新型正极材料	与上海锦源晟合作，公司持有合资公司70%股权	23年6月开工，将分两期建设10万吨新型正极材料生产线，其中一期新建年产2万吨新型正极材料生产线，预计今年年底建成投用，一期投资10亿元；
锦晟天城	锂电池正极材料前驱体业务	与上海锦源晟合作，公司持有合资公司30%股权	截至23年4月仍未正式设立；

**图：天奈碳纳米管产品**



**表：添加纳米碳管的专利（部分）**

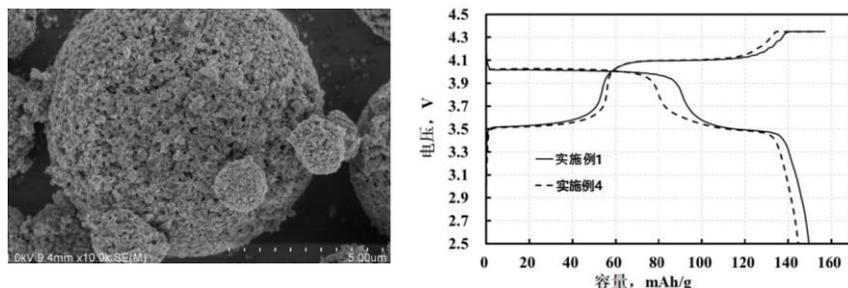
公司名称	专利名	纳米碳管掺入量
德方纳米	磷酸锰铁锂复合材料及制备方法和应用	少量
蜂巢能源	一种磷酸铁锰锂正极材料及其制备方法、锂离子电池和用电设备	0.3-1.5%
上海兰钧	一种磷酸锰铁锂正极极片、锂离子电池及对应的制备方法	0.50%
比亚迪	正极复合材料及其制备方法和锂离子电池	少量

- ◆ **当升科技**：固液相结合的工艺方法，与全球锂电大客户签订锰铁锂材料联合开发协议，产能规划庞大。
- ◆ **万润新能**：采用固相法，通过自有的核心技术，解决LMFP导电性和锰溶出难题，目前处于客户验证阶段。

**表：当升科技/万润新能LMFP业务进展**

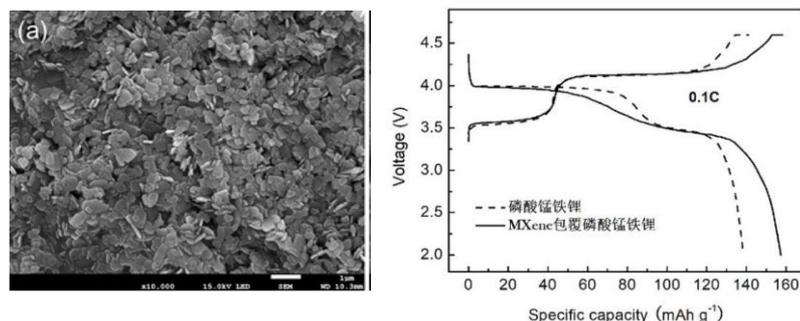
公司	工艺路线	产品进展	产能规划
当升科技	固液相结合	与全球锂电大客户签订联合开发协议，目前中试工艺定型，正在送样测试中	四川攀枝花年产30万吨锰铁锂基地，投资70亿元预计28年底达产，远期还有20万吨规划；另有12万吨铁锂基地建设，预计26年中建成，可与锰铁锂切线生产；
万润新能	固相法	处于客户验证阶段	可与现有磷酸铁锂产线共用；

**图表：当升科技LMFP产品**



产品名称	比容量 (扣式电池)	倍率性能	循环寿命
能量型LMFP	151-154mAh/g (0.1C, 2.5-4.35V)	> 92% (1C/0.1C)	> 2000

**图表：万润新能LMFP产品**



产品名称	首次放电容量	首次库伦效率
Ti3C2MXene包覆磷酸锰铁锂	157.4 mAh/g	99.60%

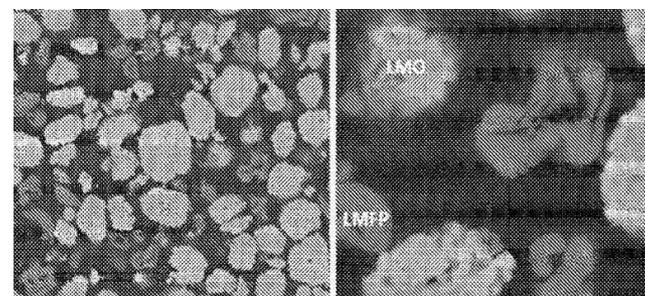
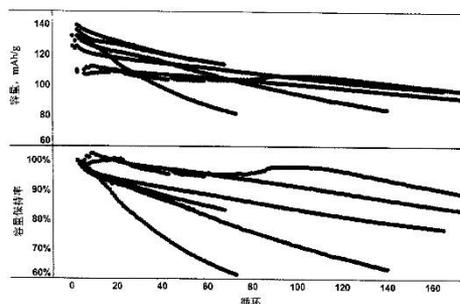
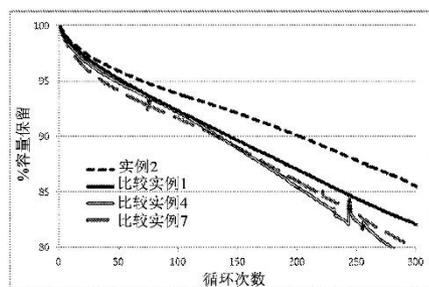
◆ **珩创纳米国际知名企业团队背景，构筑高锰锰铁锂专利壁垒。**珩创纳米由GE和陶氏化学的前高管和研发人员组成，拥有从陶氏化学买断的LMFP等核心专利，采用固液相结合工艺，产品综合性能优异。22年12月一期5千吨已投产，并获得星恒电源的2千吨年度采购订单。

**表：珩创纳米LMFP业务情况**

公司简介	公司团队背景	技术实力	产能规划
顺利完成PreA+轮过亿元人民币融资	由全球知名企业如GE和陶氏化学的前高管和研发人员组成，拥有近20年锂电池正极材料行业的从业经验	拥有由美国陶氏化学购买的全球磷酸锰铁锂核心发明专利共50余项，中国专利包括锰含量超过70%的专利权益，国际专利覆盖锰含量大于50%的专利权益	江苏盐城一期5000吨已投产，近期计划建设1万吨产线

**图表：珩创纳米LMFP专利简介**

申请时间	专利名称	技术路线	锰含量	改性手段	比容量	倍率性能	平均电压
2013.03.07	具有改进的电化学性能的LMFP 阴极材料	纯用	75%	离子掺杂+碳包覆	150mAh/g (0.1C) 144mAh/g (1C)	88% (5C/0.1C)	3.86V
2014.06.26	包含锂金属氧化物和锂金属磷酸盐的混合正极活性材料	复合	75%	中镍掺混60%	157mAh/g (0.1C)	62% (10C/0.1C)	/



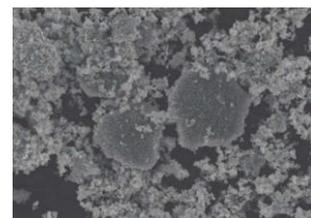
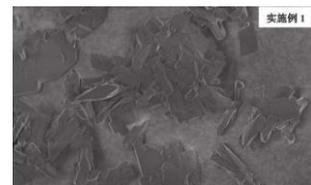
- ◆ **力泰锂能**：宁德时代全资子公司，可共享丰富研发资源，采用固相法工艺，建有年产2000吨锰铁锂产线，计划新建3000吨产线，预计24年下半年放量。
- ◆ **创普斯**：规划有18万吨锰铁锂产线，23年7月首期6条烧结窑炉已点火投产。

**表：力泰锂能/创普斯LMFP业务情况**

公司	工艺路线	产品进展	产能规划
力泰锂能	固相法	送样测试中，预计24年下半年量产	拥有2000吨产能，规划建设年产3000吨锰铁锂产线
创普斯	/	送样测试中	年产18万吨锰铁锂项目已部分投产

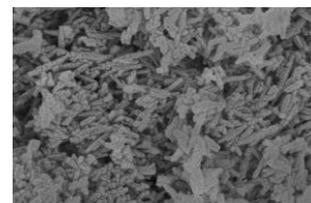
**图表：力泰锂能LMFP专利情况**

专利名称	技术路线	改性技术	比容量	倍率性能	容量保持率	安全性
掺杂的磷酸锰铁锂-碳复合材料及其制备方法	纯用	离子掺杂+碳包覆	152 mAh/g (0.1C) 143 mAh/g (1C)	87% 5C/0.1C	50圈1C后 98.3%	/
正极活性材料及其制备方法、正极和锂离子电池	复合	与锰酸锂、三元共掺混，锰铁锂占25%	141 mAh/g (0.1C)	/	200圈1C后 86.5%	通过针刺



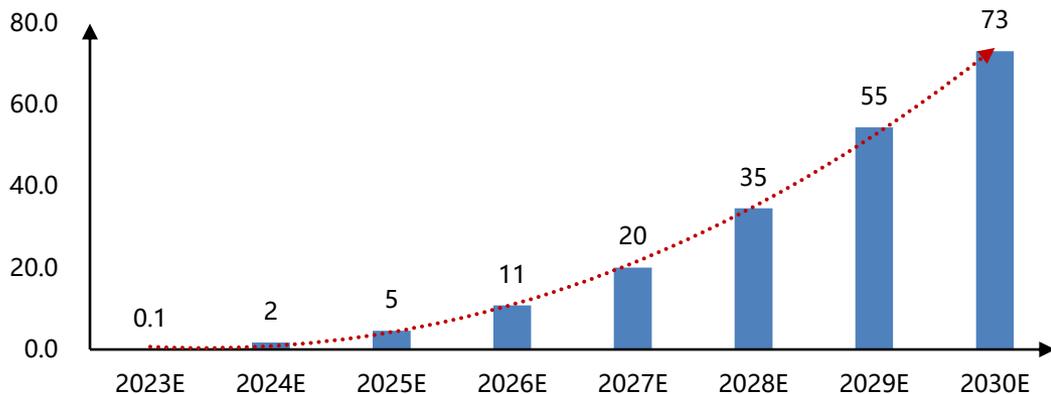
**图表：创普斯LMFP专利情况**

专利名称	技术路线	改性方法	比容量	压实密度
一种碳包覆磷酸锰铁锂的制备方法	纯用	碳包覆	152mAh/g (0.1C) 140mAh/g (1C)	2.32g/cm <sup>3</sup>

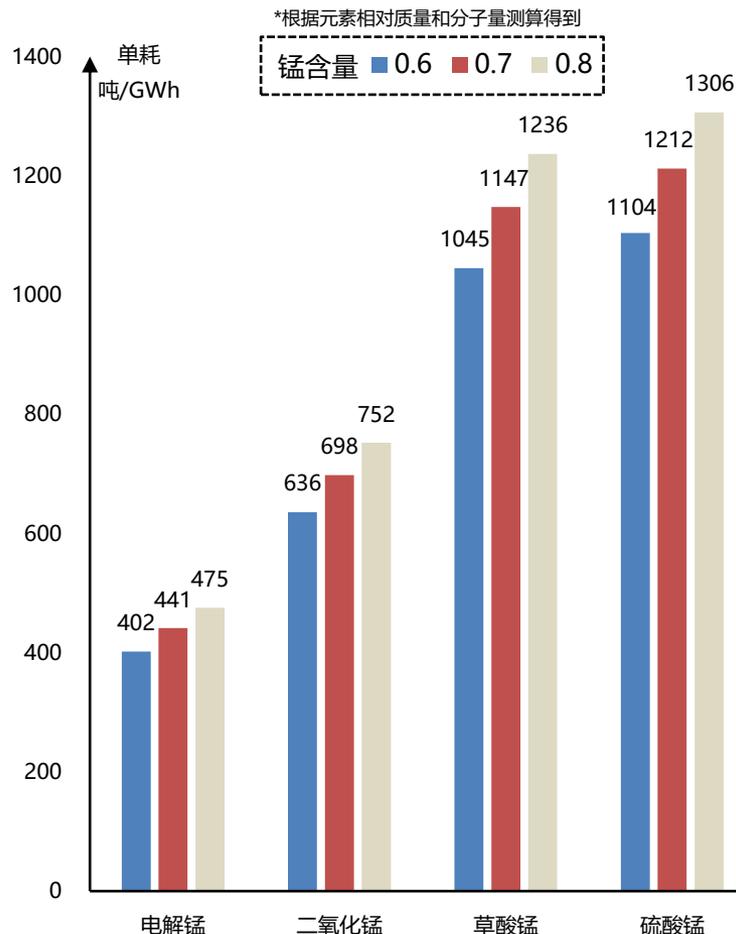


◆ **LMFP锰源广泛，随着渗透率的提升，持续驱动锰需求。**锰为大宗化工商品，锰矿储量及锰源产能充足，主要受下游需求影响。锰铁锂快速渗透将提供增量需求，预计25年需求约5万金属吨，对应二氧化锰或硫酸锰7/13万吨。随着高锰化趋势演变，锰源需求有望进一步加强。

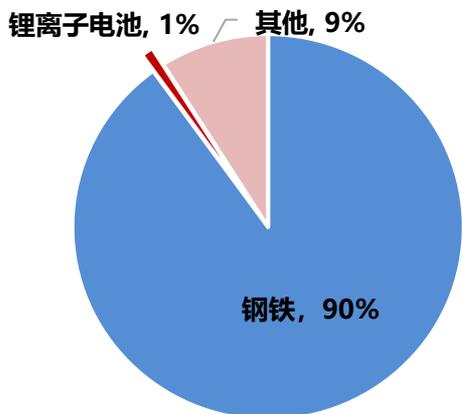
图：锰铁锂对锰需求（万金属吨）



图：高锰铁比推动锰源单耗需求增高



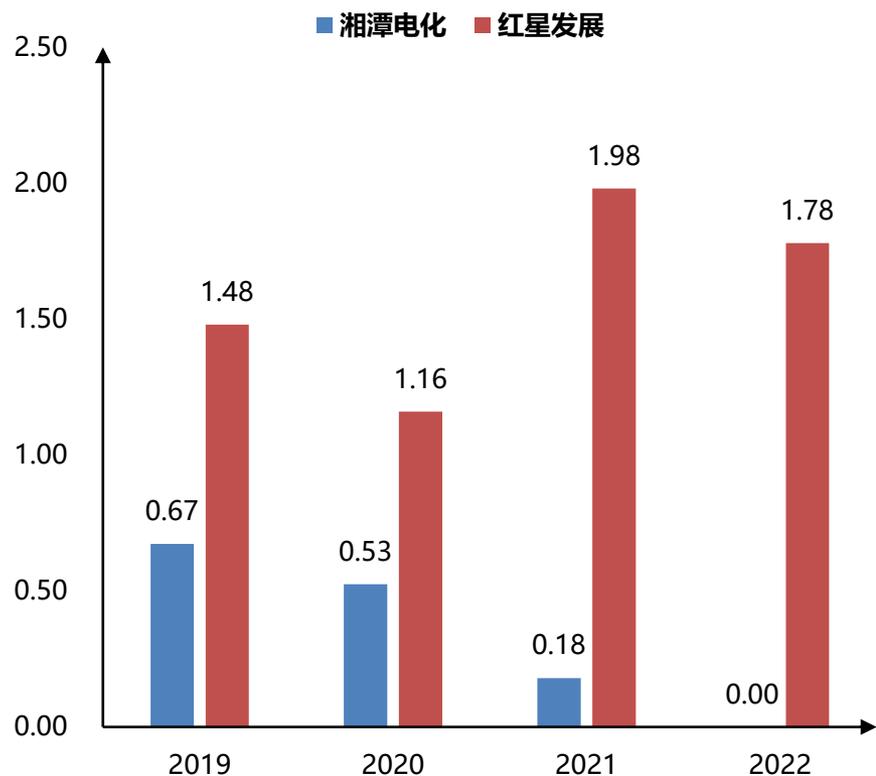
图表：锰矿下游用途（左）及锰源供给情况（右）



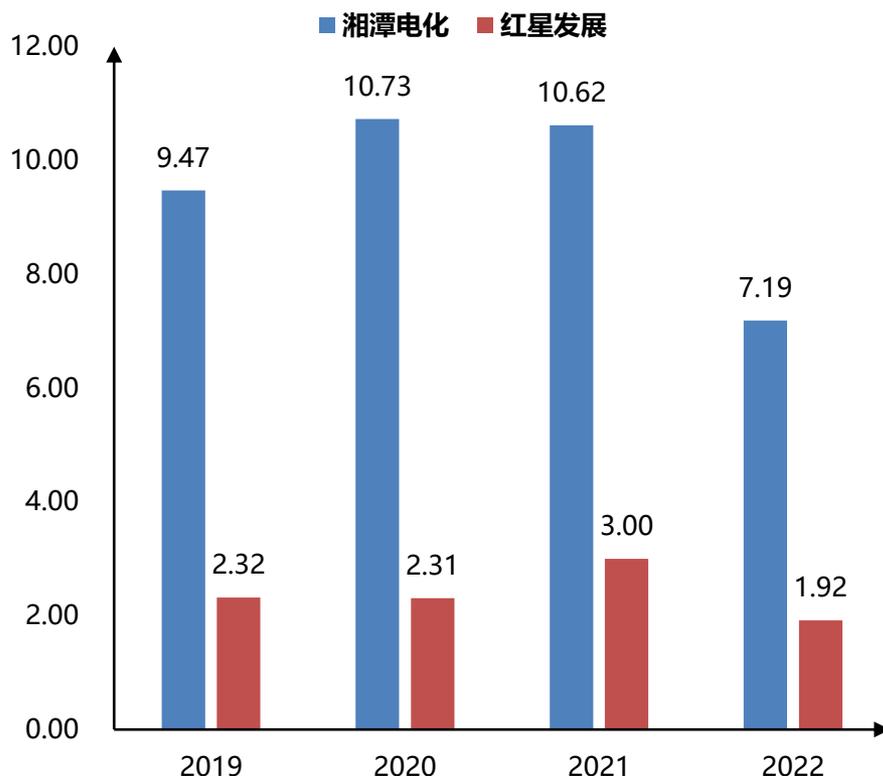
锰源	目前用途	供给 (万吨)	
		国内已有产能	22年国内产量
电解锰	大宗工业商品，用于钢铁和化工	约250万吨	85.2
二氧化锰	锰酸锂电池用，可能用于LMFP生产	约60-70万吨	49.8
硫酸锰	三元前驱体用，可能用于LMFP生产	约57万吨，持续扩产中	28.1
其他锰源	包括碳酸锰、硝酸锰、草酸锰、四氧化三锰，目前已有产能较少		

- ◆ **湘潭电化**：公司是二氧化锰龙头，年产能12.2万吨，产能充裕可满足下游需求，是湖南裕能最大股东（截至23Q1合计持股16.46%）。
- ◆ **红星发展**：公司积极布局电解高纯硫酸锰，已有3吨产能，在建5万吨，另有3万吨二氧化锰产能。

图：湘潭电化/红星发展高纯硫酸锰销量（万吨）



图：湘潭电化/红星发展电解二氧化锰销量（万吨）





- 锰铁互溶，提升能量密度，打造升级版磷酸铁锂
- 工艺技术日益成熟，固/液相法路线并行
- 量产节点企踵可待，企业加码锰铁锂赛道
- 投资建议及风险提示

- ◆ **投资建议：** 锰铁锂量产装车在即，预计明年大规模放量，有望大规模渗透动力铁锂和中镍三元领域，我们推荐四条主线：1) 看好终端性能提升的电池厂商，推荐**宁德时代、比亚迪、亿纬锂能**，关注中创新航、国轩高科、孚能科技等；2) 看好产业化进程领先的正极厂商，推荐**德方纳米、容百科技、湖南裕能、当升科技**，关注万润新能；3) 看好用量提升的添加剂和导电剂厂商，推荐**天赐材料、天奈科技**；4) 关注上游锰源龙头，关注湘潭电化、红星发展。

**表：公司估值表（截至2023年8月15日）**

	证券代码	名称	总市值 (亿元)	股价 (元)	归母净利润 (亿元)			PE			评级	总股本 (亿股)	来源
					2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E			
电池	300750.SZ	宁德时代	10,169	231	469	632	857	22	16	12	买入	10,169	东吴
	002594.SZ	比亚迪	6,806	245	296	420	525	24	17	14	买入	29.11	东吴
	300014.SZ	亿纬锂能	1,146	56	53	75	106	22	15	11	买入	20.46	东吴
	3931.HK	中创新航	296	16	16	311	47	16	9	6	未评级	17.72	Wind
	002074.SZ	国轩高科	452	25	13	21	30	35	22	15	未评级	17.79	Wind
	688567.SH	孚能科技	278	23	4	14	23	78	20	12	未评级	12.18	Wind
正极	300769.SZ	德方纳米	325	117	0	18	25	1713	18	13	买入	2.79	东吴
	301358.SZ	湖南裕能	314	42	20	27	35	15	11	9	买入	7.57	东吴
	688005.SH	容百科技	237	52	11	17	25	21	14	9	买入	4.53	东吴
	300073.SZ	当升科技	232	46	19	23	31	12	10	7	买入	5.07	东吴
	688275.SH	万润新能	109	86	-	-	-	-	-	-	未评级	1.26	Wind
添加剂 导电剂	002709.SZ	天赐材料	691	36	35	50	71	20	14	10	买入	19.25	东吴
	688116.SH	天奈科技	101	29	4	6	9	23	16	11	买入	3.43	东吴
锰源	002125.SZ	湘潭电化	74	12	5	5	-	16	15	-	未评级	6.29	Wind
	600367.SH	红星发展	42	14	2	-	-	-	-	-	未评级	2.93	Wind

- 1. 产业化进程不及预期：**磷酸锰铁锂目前仍处于规模量产前夕，大部分电池厂商处于送样测试阶段，产品性能和一致性问题仍有待检验，正极材料生产良率问题仍待解决；若产业化推进中出现工艺节点障碍或技术难题，将阻碍磷酸锰铁锂的产业化进程，推迟或直接阻碍磷酸锰铁锂的大范围应用。
- 2. 下游需求不及预期：**目前车企对于磷酸锰铁锂技术仍在路测阶段，还未有搭载锰铁锂的车型上市，车企对新技术观望情绪浓厚；若车企继续保持观望态度，难以接受新技术可能带来的产品波动和升级成本，则磷酸锰铁锂的下游需求将大幅减小，阻碍产业化推广和上游正极厂商、电池厂商的盈利能力。
- 3. 成本下降幅度不及预期：**磷酸锰铁锂工艺难度高于铁锂，目前良率较低成本高昂，同时锰元素价格更高，替代铁后原材料成本进一步上升；若考虑到碳酸锂、锰金属等上游材料价格升高，锰铁锂量产良率问题难以解决，则会导致锰铁锂降本难以进行，无法体现经济性优势。

# 免责声明

东吴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。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“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。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。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。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。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。

## 东吴证券投资评级标准

资评级基于分析师对报告发布日后6至12个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A股市场基准为沪深300指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普500指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

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应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所  
苏州工业园区星阳街5号  
邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

# 东吴证券财富家园