

铅酸蓄电池与锂电池替代性路径研究（二）

光大期货研究所

要点：

光期有色团队

有色总监：展大鹏

从业资格：F3013795

交易咨询资格：Z0013582

有色分析师：王珩

从业资格：F3080733

撰稿人：

刘轶男

从业资格：F3030849

交易咨询资格：Z0016041

朱希

从业资格：F03109968

撰写日期：2024-4-1

期市有风险

入市需谨慎

上篇报告已经详细叙述了铅蓄电池与锂电池的交叉运用场景，本文将着重拆分三类电池的成本模型，以期寻找三者替代关系，并将以铅价与锂价为自变量进行替代性分析，测算价格的边际。

从建立的成本模型可得到结论：

1、当铅价介于锰酸锂和磷酸铁锂理论成本倒推铅价之间，理论上，锂电对铅蓄电池存在部分替代性；

2、当铅价 > 磷酸铁锂理论成本倒推铅价时，理论上，锂电对铅蓄电池在成本上的替代，反之亦然；

3、若仅考虑成本端，铅价波动上限应小于磷酸铁锂理论成本倒推铅价，才能保证铅蓄电池有较强的成本优势。

目前市场共识为碳酸锂成本支撑线在 10 万元/吨，即当 $LC=10$ 万元/吨时，铅价的上方压力线在 15,345 元/吨附近。

从当前电池行业的发展来看，两轮电动车未来仍将保持铅蓄电池和锂电池共分天下的局面。主要由不同的电池特性决定，铅蓄电池面向更大规模、更安全、更可靠的大众市场，锂电池面向对轻量化、高性能要求更严的细分市场。目前来看，一方面因为原材料价格尚未跌到需要产业考虑替代性的位置，另一方面也因为从产业链环保、电池安全性的角度也较难朝夕间改变行业格局，所以短期来看碳酸锂价格的下跌对铅价的压制极有限。但是，站在更长期的行业发展角度而言，碳酸锂的回收率已经开始提升，并且矿山成本也存在下移的可能性，随着技术更迭加快，锂电池对于铅蓄电池的替代仍值得密切关注。

光期有色：铅酸蓄电池与锂电池替代性路径研究（二）

上篇报告已经详细叙述了铅蓄电池与锂电池的交叉运用场景，重合度较高的锂电池主要以磷酸铁锂电池与锰酸锂电池为主。因此，本文将着重拆分三类电池的成本模型，以期寻找三者替代关系，并将以铅价与锂价为自变量进行替代性分析，测算价格的边际。

电池成本模型通常包括直接材料成本、直接人工成本、制造费用、销售与管理费用等方面。但一般而言，直接材料成本在整体生产成本中占比较高，大部分在 50% 以上。并且原材料价格的市场性更强，在一定时间内，对成本的边际影响更大，因此下文中的成本模型以原材料成本模型为主。

一、铅酸蓄电池成本模型

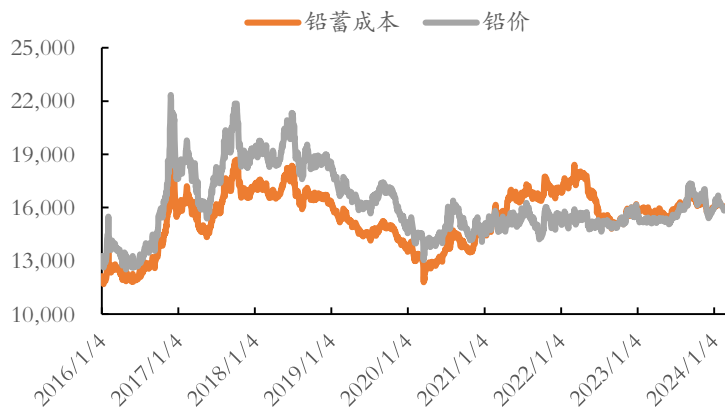
铅蓄电池的主要原材料包括铅、锡、铜、锑、PP/ABS、硫酸等。铅的具体用量取决于电池容量和设计规格。锡通常用于增强电极的性能和稳定性，有助于提高电池的性能和耐久性，增加电池的循环寿命。铜用于制造电极和导电线，用作电池的连接线和连接板，以确保电池内部各部件之间的连接良好。锑主要作为添加剂，用于正极板栅合金以提高电池的抗腐蚀和高温性能。PP/ABS 有良好的物理性能和耐腐蚀性，主要用于制作电池的外壳，以提高保护和支撑电池内部结构。硫酸用于制造电解液，充当离子导电，促进电池内部的化学反应。

以查询到的公开资料为基准，建立动力型铅蓄电池成本模型：

铅蓄电池成本（元/吨）= $0.61 \times \text{铅} + 0.009 \times \text{锡} + 0.0425 \times \text{铜} + 0.002 \times \text{锑} + 0.05 \times \text{ABS} + 0.275 \times \text{硫酸} + \text{其他辅料}$

图表：铅蓄成本（单位：元/吨）

图表：相关性分析

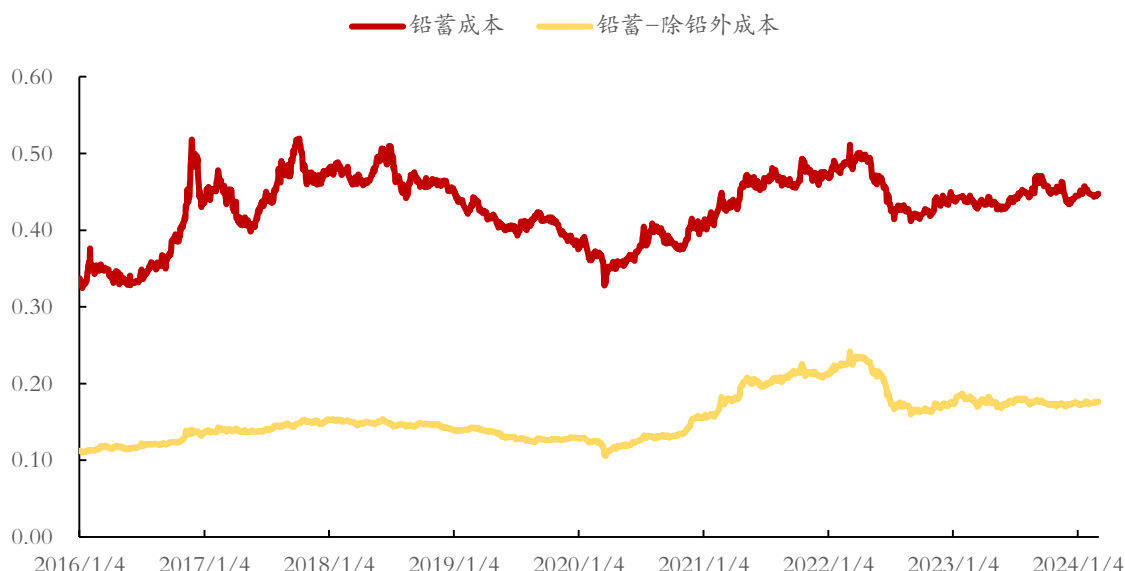


相关性分析	铅蓄成本	铅价
铅蓄成本	1	
铅价	0.711337252	1

数据来源：Wind、IFinD、光大期货研究所

以 SMM 报价的电蓄 48V/12AH 为例，一组电池包有 4 只，每只 4kg，计算可得电池能量密度
 $=48 \times 12 / 4 / 4 = 36 \text{Wh/kg}$

图表：铅蓄成本（单位：元/Wh）



数据来源：Wind、IFinD、光大期货研究所

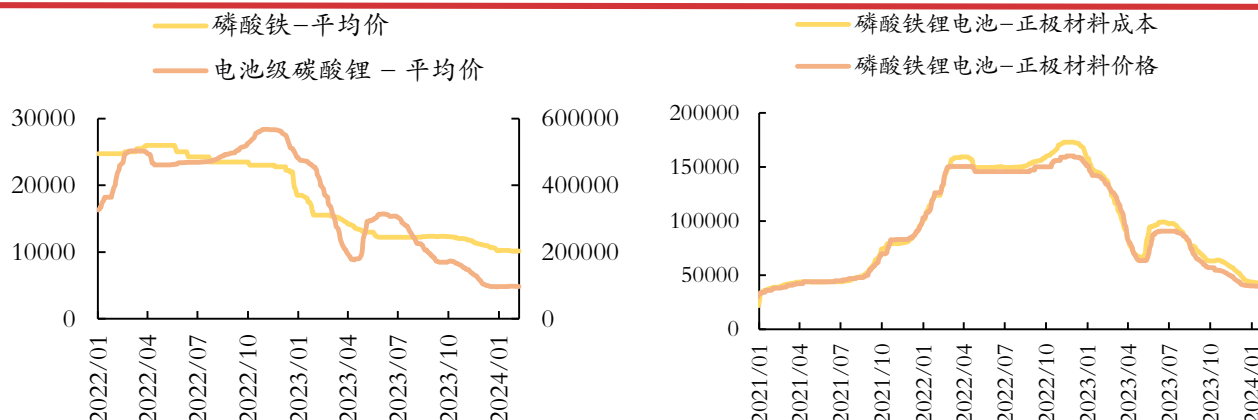
从上图可以比较明显的看出，在 2020 年之前铅蓄辅料的成本都较为平稳，一方面原因是锡价 2020 年开始快速、大幅上涨，另一方面是因为锑价在 2021 年也开始的一轮上涨行情。但因为锡单价较高，且占比高于锑价，所以在 2023 年价格回落后，辅料成本也逐步回落，波动幅度回到之前的窄幅波动。

二、磷酸铁锂电池成本模型

磷酸铁锂电池正极材料的原材料主要是磷酸铁和碳酸锂。据公开资料显示，1 吨磷酸铁锂需要 0.25 吨碳酸锂和 0.96 吨磷酸铁，加工费按照 0.9 万元/吨考虑，即磷酸铁锂（元/吨） $= 0.25 \times \text{碳酸锂} + 0.96 \times \text{磷酸铁} + 9000$ 。

2021 年至今，正极材料成本有两个高点，分别是 2022 年 11 月，电池级碳酸锂价格在 57 万元/吨左右、磷酸铁价格 2.3 万元/吨左右和 2022 年 3 月，电池级碳酸锂价格在 50 万元/吨左右、磷酸铁价格 2.6 万元/吨左右，磷酸铁锂正极材料成本分别在 17 万/吨和 15 万元/吨左右。而随着碳酸锂价格的下跌，按照 SMM 近一个月现货均价来计算，碳酸锂价格在 10 万元/吨左右，磷酸铁价格在 1 万元/吨左右，磷酸铁锂正极材料总成本约 4.36 万元/吨，较年度最高成本降幅达到 75%。

图表：磷酸铁和碳酸锂平均价（元/吨） 图表：磷酸铁锂正极材料成本及价格走势（元/吨）



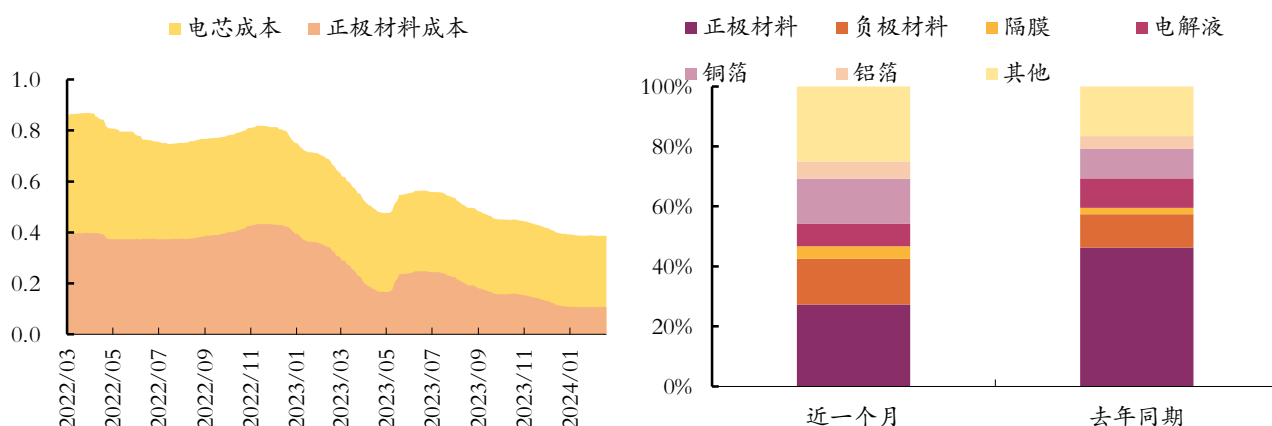
资料来源：SMM、光大期货研究所

以查询到的公开资料为基准，建立磷酸铁锂电池成本模型，优率 98% 计算：

$$\text{磷酸铁锂电池 (元/Wh)} = (\text{正极材料} \times 2500 + \text{负极材料} \times 1000 + \text{隔膜} \times 1600 + \text{电解液} \times 1400 + \text{铜箔} \times 700 + \text{铝箔} \times 650) \times 10^{-9} + \text{其他辅料}$$

电池结构成本占比方面来看，正极材料成本占比显著下降。根据各项指标价格计算，近一个月磷酸铁锂电芯成本约 0.39 元/Wh，其中正极材料成本占比约 27%、电解液占比约 8%；去年同期磷酸铁锂电芯成本约 0.65 元/Wh，其中正极材料成本占比约 49%、电解液占比约 10%。对比来看，随着碳酸锂价格的下跌，电芯成本中正极材料成本和电解液的价格跌幅超过 50%，尽管其他辅料也有不同程度的下跌，但综合来看，锂资源成本占比也随之减少。

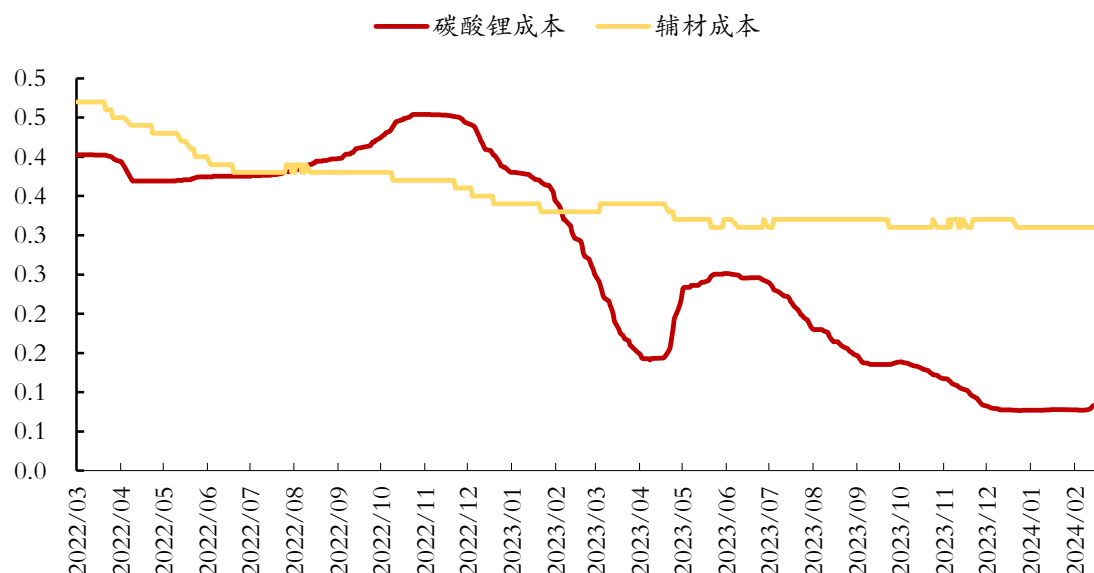
图表：磷酸铁锂电芯成本（单位：元/Wh） 图表：磷酸铁锂电芯成本拆分（单位：%）



资料来源：SMM、Mysteel、IFinD、公开资料整理、光大期货研究所

电池原材料成本占比方面来看，碳酸锂价格波动成为主要电芯价格影响因素。将碳酸锂的成本剥离后发现，辅材成本基本在 0.31-0.47 元/Wh 区间内，而碳酸锂成本则在从 0.46 元/Wh 下跌至最低 0.07 元/Wh。

图表：磷酸铁锂电池成本拆分（元/Wh）



资料来源：SMM、Mysteel、IFinD、光大期货研究所

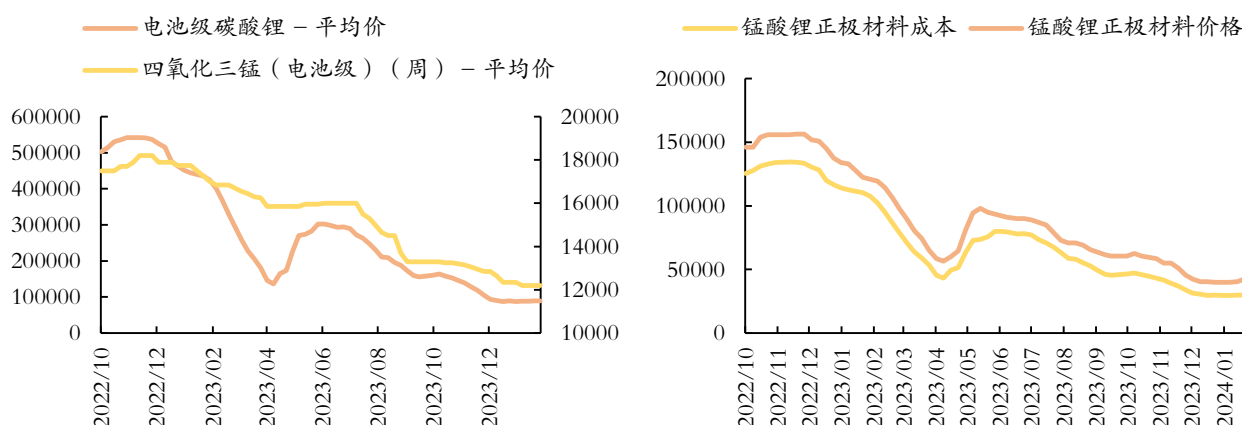
三、 锰酸锂电池成本模型

锰酸锂电池原材料以电解二氧化锰/电池级四氧化三锰为主，与碳酸锂混合后，通过不同工艺路径制得。据公开资料显示，1 吨锰酸锂需要约 1 吨左右二氧化锰或 0.9 吨左右四氧化三锰，需要碳酸锂 0.22 吨左右。

本文考虑单吨锰酸锂消耗二氧化锰 1 吨，碳酸锂 0.22 吨，加工费按照 6000 元考虑，即锰酸锂正极材料（元/吨）=二氧化锰×1+碳酸锂×0.22+6000。

截止 2024 年 2 月底，碳酸锂和二氧化锰的价格自 2022 年 11 月分别下跌约 80%和 12%，正极材料成本超 70%，近一个月正极材料成本约 4 万元/吨，对比售价，其利润率约 5%。

图表：四氧化三锰和碳酸锂平均价（元/吨） 图表：锰酸锂正极材料成本及价格走势（元/吨）



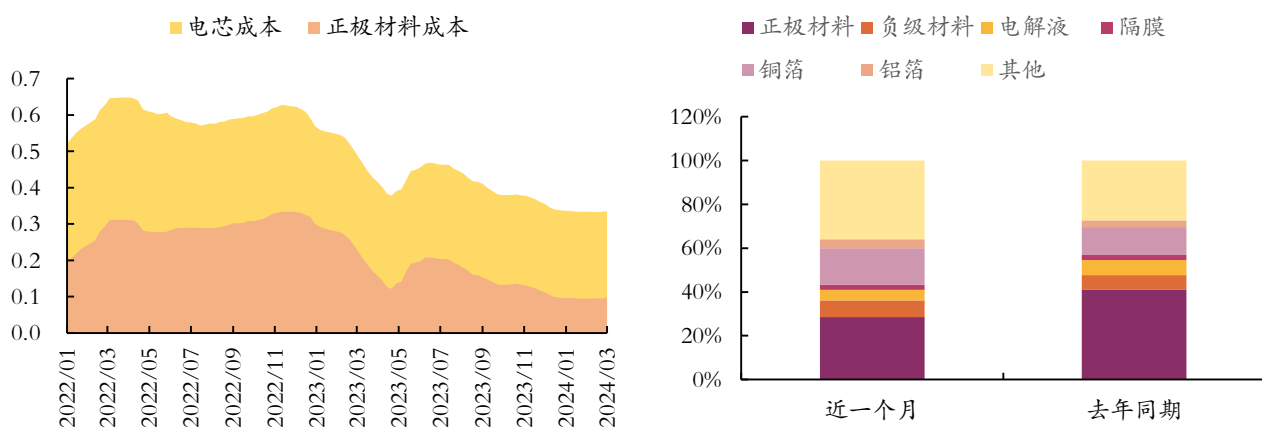
资料来源：SMM、光大期货研究所

以查询到的公开资料为基准，建立锰酸锂电池成本模型，优率 98% 计算：

$$\text{锰酸锂电池 (元/Wh)} = (\text{正极材料} \times 2300 + \text{负极材料} \times 1000 + \text{电解液} \times 1000 + \text{隔膜} \times 1250 + \text{铜箔} \times 800 + \text{铝箔} \times 700) \times 10^{-9} + \text{其他辅料}$$

电池结构成本占比方面来看，正极材料成本占比显著下降。根据各项指标价格计算，近一个月锰酸锂电芯成本约 0.33 元/Wh，其中正极材料成本占比约 29%、电解液占比约 5%；去年同期锰酸锂电芯成本约 0.45 元/Wh，其中正极材料成本占比约 41%、电解液占比约 7%。对比来看，随着碳酸锂价格的下跌，电芯成本中正极材料成本和电解液的价格跌幅 56%、48%，尽管其他辅料也有不同程度的下跌，但综合来看，锂资源成本占比也随之减少。

图表：锰酸锂电芯成本（单位：元/Wh） 图表：锰酸锂电芯成本拆分（单位：%）

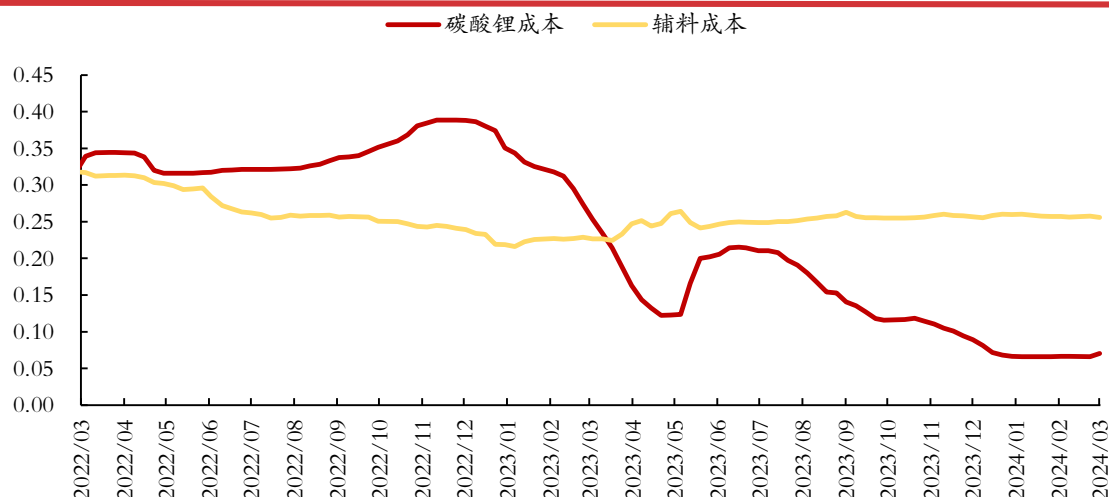


资料来源：SMM、Mysteel、IFinD、公开资料整理、光大期货研究所

电池原材料成本占比方面来看，碳酸锂价格波动成为主要电芯价格影响因素。将碳酸锂的成

本剥离后发现，辅材成本基本在 0.24-0.35 元/Wh 区间内，而碳酸锂成本则在从 0.37 元/Wh 下跌至 0.09 元/Wh。

图表：锰酸锂电池成本拆分（元/Wh）



资料来源：SMM、Mysteel、光大期货研究所

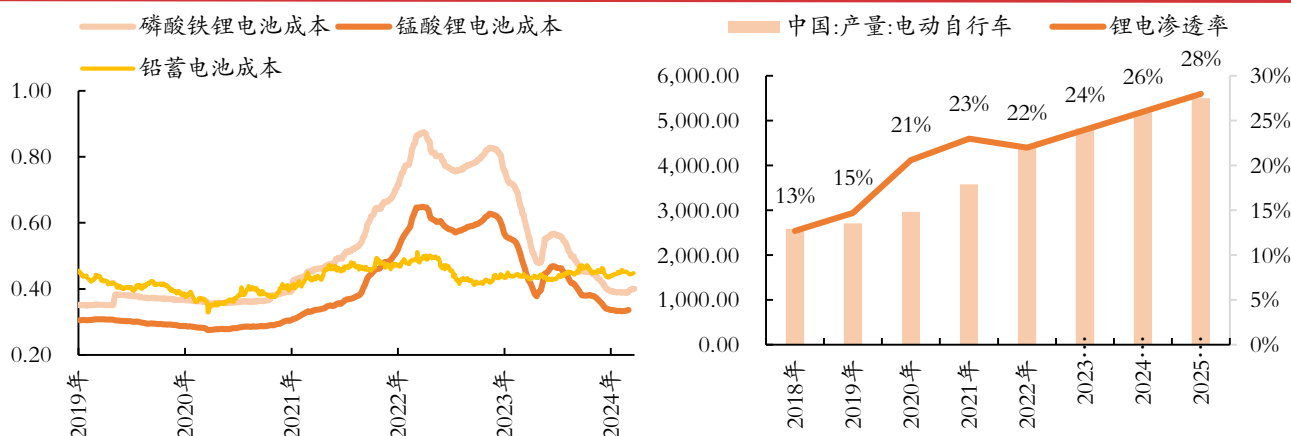
四、锂电与铅蓄替代性分析

4.1 成本比较

按上述几个章节建立的成本模型计算得到铅蓄电池成本、磷酸铁锂电池成本和锰酸锂电池成本，在图中示意对比。由下图可明显看出，铅蓄电池成本在某几段时间成本是高过锂电成本的，所以从成本端分析三者的两两替代性是存在可比较性的。

其次，从中国电动自行车的锂电渗透率的走势来看，2021-2022 年渗透率有所下降，而当时因为碳酸锂价格跃升导致锂电成本走高，对铅蓄替代性走弱，两者也能互为映衬。

图表：锂电池与铅蓄电池成本走势（元/Wh） 图表：中国电动自行车锂电渗透率（万辆）



数据来源：Wind、IFinD、光大期货研究所

4.2 替代性分析

本文重点探讨碳酸锂与铅价变动对电池成本的影响，进而分析仅因成本优势考虑的终端领域替代性。因此，以下将假设碳酸锂和铅的价格是变动的，而除两个主要原材料的价格外其它辅料价格不变，辅料价格取样本中位数进行分析。因锰酸锂部分材料价格报价为周度单位，因此样本量相对其他较小。

假设条件：

1、市场仅考虑生产成本要素，不考虑如技术、安全等其他要素，即市场选择成本更低的生产/使用。

2、电池成本可以被原材料价格和用量线性拟合

图表：辅料成本选择（单位：元/Wh）

铅蓄辅料成本描述统计		磷酸铁锂辅料成本描述统计		锰酸锂电池辅材成本描述统计	
平均	0.16	平均	0.36	平均	0.28
标准误差	0.00	标准误差	0.0017	标准误差	0.00
中位数	0.15	中位数	0.33	中位数	0.27
众数	0.15	众数	0.32	众数	0.26
标准差	0.03	标准差	0.06	标准差	0.03
方差	0.00	方差	0.0035	方差	0.00
峰度	(0.28)	峰度	(0.11)	峰度	0.53
偏度	0.76	偏度	1.03	偏度	1.26
区域	0.14	区域	0.22	区域	0.12
最小值	0.11	最小值	0.29	最小值	0.24
最大值	0.24	最大值	0.51	最大值	0.35
求和	300	求和	454.25	求和	69.35
观测数	1937	观测数	1259	观测数	252

数据来源：SMM、Mysteel、IFinD、Wind、光大期货研究所

根据成本模型经简化后可得：

铅蓄电池成本（元/Wh）= $0.61 \times P_{\text{铅}} \div 1,000 \div 36 + 0.15$

磷酸铁锂电池成本（元/Wh）= $0.08 \times P_{\text{碳酸锂}} \div 100,000 + 0.33$

锰酸锂电池成本（元/Wh）= $0.0631 \times P_{\text{碳酸锂}} \div 100,000 + 0.27$

本文主要讨论锂电对铅蓄电池的成本替代，因此联立两两等式：

① 令铅蓄电池成本=磷酸铁锂成本

得：

$P_{\text{碳酸锂}} = 21.18 \times P_{\text{铅}} - 225,000$

$$P_{\text{铅}} = (P_{\text{碳酸锂}} + 225,000) \div 21.18$$

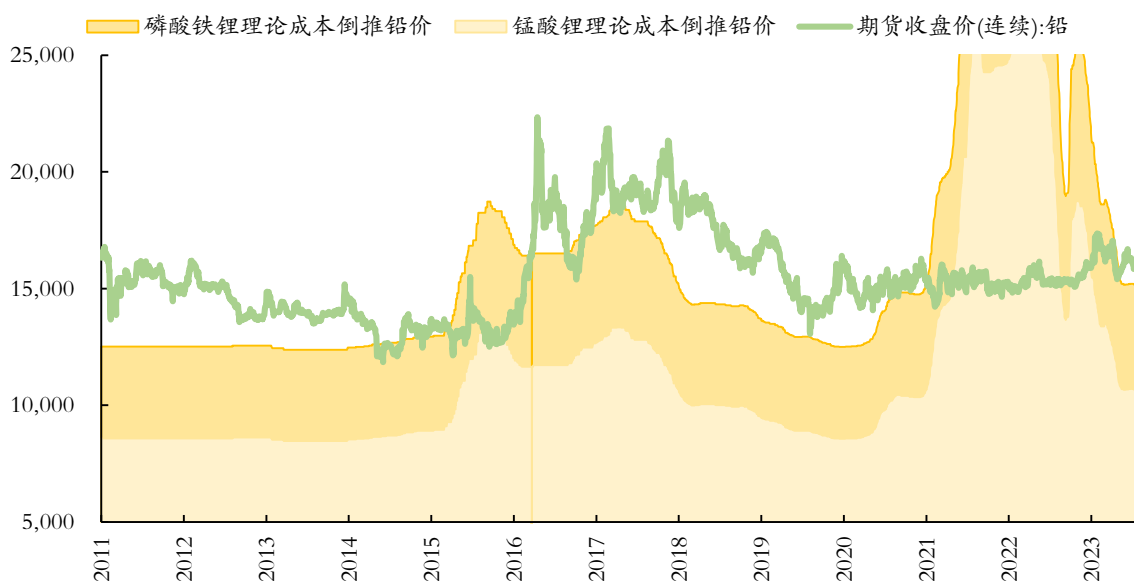
② 令铅蓄电池成本=锰酸锂电池成本

得：

$$P_{\text{碳酸锂}} = 26.85 \times P_{\text{铅}} - 190,174$$

$$P_{\text{铅}} = (P_{\text{碳酸锂}} + 190,174) \div 26.85$$

图表：以 2011 年至今的 SMM 碳酸锂现货价格为基础计算理论铅价（单位：元/吨）



数据来源：Wind、IFinD、光大期货研究所

首先，本文采用了 2011 年至今的 SMM 碳酸锂现货价格，分别得出以当时碳酸锂价格计算得到的锰酸锂电池成本和磷酸铁锂电池成本。

再用假设①联立的公式推出当铅蓄电池成本=磷酸铁锂成本时的铅价，以**磷酸铁锂理论成本倒推铅价**在图上示意；用假设②联立的公式推出当铅蓄电池成本=锰酸锂成本时的铅价，以**锰酸锂理论成本倒推铅价**在图上示意。

从上图可以得出推导结论：

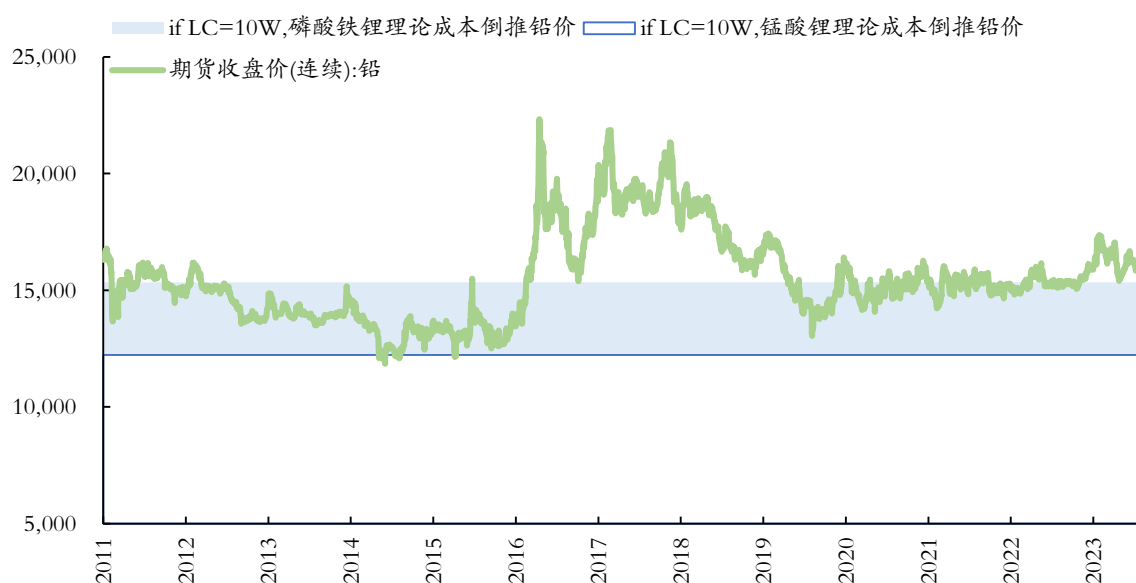
- 1、当铅价介于锰酸锂和磷酸铁锂理论成本倒推铅价之间，理论上，锂电对铅蓄电池存在部分替代性；
- 2、当铅价 > 磷酸铁锂理论成本倒推铅价时，理论上，锂电对铅蓄电池存在成本上的替代，反之亦然；
- 3、若仅考虑成本端，铅价波动上限应小于磷酸铁锂理论成本倒推铅价，才能保证铅蓄电池有

较强的成本优势。

考虑到锂电技术快速发展是从 2018 年以后开始，所以本文主要参考 2018-2023 年市场价格波动为主。从上图可以看出，2018-2020 年磷酸铁锂电池对铅酸蓄电池的成本替代性较强，同时这几年国内磷酸铁锂电池在电动自行车中的渗透率快速攀升。但 2021-2023 年，随着碳酸锂价格大幅上涨，导致磷酸铁锂电池对铅蓄电池的成本替代性转弱，同时磷酸铁锂在电动自行车中的渗透率增速放缓。

从另一个角度验证，铅酸蓄电池产量在 2018-2020 年铅酸蓄电池复合增速在 1.5% 左右，2021-2023 年国内铅酸蓄电池产量复合增速在 10% 左右，铅蓄产量增速的放缓与提升基本符合锂电成本对铅蓄电池的替代趋势。

图表：以碳酸锂价格 10 万元/吨为基础计算理论铅价（单位：元/吨）



数据来源：Wind、IFinD、光大期货研究所

另外，目前市场共识为碳酸锂成本支撑线在 10 万元/吨，所以本文也计算了当 $LC=10$ 万元/吨时铅价的波动范围。即当 $LC=10$ 万元/吨时，若 $Pb \leq 15,345$ 元/吨，则锂电对铅蓄的成本替代较小。也就是当 LC 跌至 10 万元/吨的成本支撑时，铅价的上方压力线在 15,345 元/吨附近。

仅从成本端考虑，目前碳酸锂价格跌 12 万元/吨以下，磷酸铁锂电池对铅酸蓄电池的替代性走强。若今年碳酸锂平衡维持大幅过剩，价格走低至 10 万元/吨以下，预计将导致今年锂电渗透率提升，铅酸蓄电池需求同比走低，对铅价形成压制。

五、 结论

从当前电池行业的发展来看，两轮电动车未来仍将保持铅蓄电池和锂电池共分天下的局面。主要由不同的电池特性决定，铅蓄电池面向更大规模、更安全、更可靠的大众市场，锂电池面向对轻量化、高性能要求更严的细分市场。

锂电相比铅蓄电池优势毋庸置疑。从能量密度来看，无论是重量能量密度还是体积能量密度，锂电均有明显优势。从电池的使用寿命来看，在电动两轮车使用过程中，铅蓄电池的平均更换周期一般为 1.5 年左右。而相比之下，磷酸铁锂电池的平均更换周期更长，根据不同规格或可达 8 年左右时间，而锰酸锂电池也可达 3-5 年左右时间。锂电池从长期使用的角度来看，或比铅酸蓄电池具有更强的性价比。

然而，锂电也同样面临困境。从整个产业链的经济性来看，锂电池的回收工艺仍存在一定的掣肘，产业链回收体系尚不完善。而铅蓄电池因废旧铅蓄电池回升、再生铅生产与应用更加完善，回收率更高与环境效益更好或具有更高的产业链经济性与绿色环保偏好。而更为重要的是电池的安全性能，铅蓄电池相比之下，在安全性上更具有优势，锂电结构和性能限制导致易燃易爆。而不置可否的是，锂电池的技术研发正快速迭代，安全性问题正在努力实现突破。

从价格的替代性来看，锚定碳酸锂均衡价格为 10 万元/吨时，铅价将面临更大考验，锂电的经济性有望将更加凸显。

总体而言，目前一方面因为原材料价格尚未跌到需要产业考虑替代性的位置，另一方面也因为从产业链环保、电池安全性的角度也较难朝夕间改变行业格局，所以短期来看碳酸锂价格的下跌对铅价的压制极有限。但是，站在更长期的行业发展角度而言，碳酸锂的回收率已经开始提升，并且矿山成本也存在下移的可能性，随着技术更迭加快，锂电池对于铅蓄电池的替代仍值得密切关注。

风险提示：本文所用数据均来源于公开信息查询，但由于产品特性决定，不同型号电池所用原材料配比不一，并且近年来电池行业技术更迭迅速，不能完全保证本文所用数据的精确性，敬请各位投资者指正交流。

有色研究团队成员介绍

展大鹏，理科硕士，现任光大期货研究所有色研究总监，贵金属资深研究员，黄金中级投资分析师，上期所优秀金属分析师，期货日报&证券时报最佳工业品期货分析师。十多年商品研究经验，服务于多家现货龙头企业，在公开报刊杂志发表专业文章数十篇，长期接受期货日报、中证报，上证报、证券时报、第一财经、华夏时报等多家媒体采访，所在团队曾荣获第十五届期货日报&证券时报最佳金属产业期货研究团队奖，上期所 2016 年度有色金属优秀产业团队称号。期货从业资格号：F3013795 交易咨询从业证书号：Z0013582

刘轶男，英国利物浦大学理学硕士，现任光大期货研究所有色研究员，主要研究方向为锌锡。深入国内外有色产业，扎根产业链上下游，关注行业热点和时事政策，服务于多家产业龙头企业。长期在期货日报、中证报、第一财经、华夏时报等国内主流财经媒体发表观点，撰写多篇深度专题报告和热点解读报告，获得客户高度认可。期货从业资格号：F3030849 交易咨询从业证书号：Z0016041

王珩，澳大利亚阿德莱德大学金融学硕士，现任光大期货研究所有色研究员，主要研究方向为铝硅。扎根国内有色行业研究，跟踪新能源产业链动态，为客户提供及时的热点和政策解读，撰写多篇深度报告，获得客户高度认可；深入套期保值会计及套保信披方面研究，更好的服务上市公司风险管理。期货从业资格号：F3080733

朱希，英国华威大学理学硕士，现任光大期货研究所有色研究员，主要研究方向为镍锂。期货从业资格号：F03109968

免责声明

本报告的信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性、可靠性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，并不构成任何具体产品、业务的推介以及相关品种的操作依据和建议，投资者据此作出的任何投资决策自负盈亏，与本公司和作者无关。

联系我们

公司地址：中国（上海）自由贸易试验区杨高南路 729 号陆家嘴世纪金融广场 1 号楼 6 楼

公司电话：021-80212222 传真：021-80212200

客服热线：400-700-7979 邮编：200127