

## 电池行业

为什么谈电池行业？

近两年，市场共同见证了新能源车的崛起。

随着技术持续进步，新能源车性能不断地完善，终于打开了终端应用市场，俘获了众多用户群体。新能源车渗透率从 2021 年初不足 6%，到 2022 年一季度已经接近 20%，未来产业的发展前景一片光明。

我们每一个人都见证了新能源车替代传统燃油车的浪潮。殊不知，当每一轮的产业革命发生，新技术横空出世，紧接着不能回避的一个问题就是工业落地。

这一步不单单是终端面临消费者打开市场，更为关键的，是上游产业链与零部件的成本下降和技术突破。

可以说，没有锂电池技术的落地，就没有新能源车的如火如荼。

## 目录

锂电池结构简介

锂电池行业简介

正极材料碳酸锂和氢氧化锂

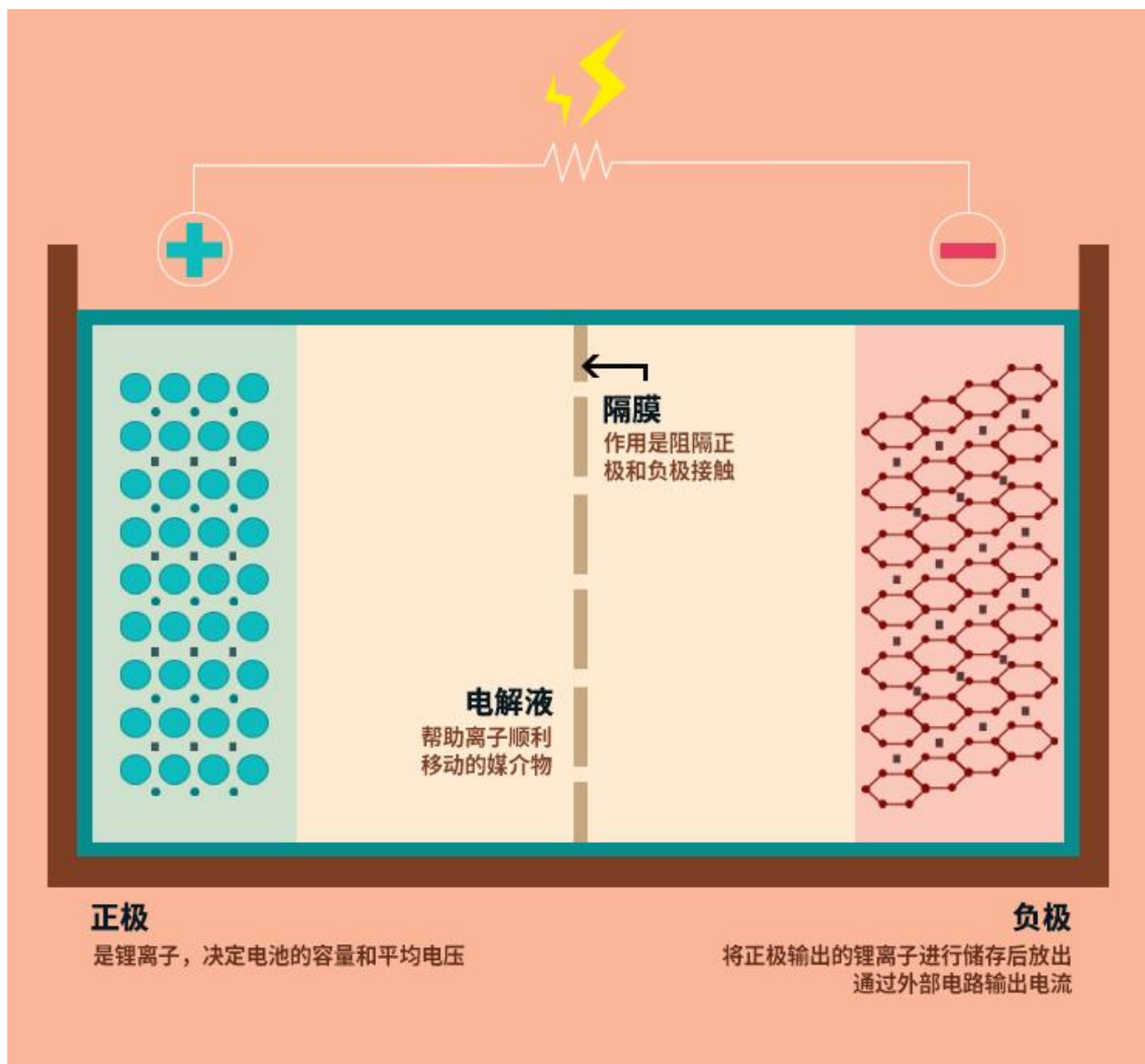
三元锂的破冰之旅

磷酸铁锂的反超

麒麟电池与 4680 电池，方形与大圆柱形电池之争

固态电池

氢燃料电池



## 锂电池结构简介

### 锂电池的 4 大组成要素 - 正极、负极、电解液、隔膜

锂电池大体可分为 4 个组成要素，这 4 大要素就是正极、负极、电解液、隔膜，是电池中不可或缺的存在，缺少其一，则电池无法发挥作用。

#### “正极”决定锂电池的容量和电压

“锂离子”电池是通过锂的化学反应产生电的电池。因此，锂必须进入，其进入的空间就是“正极”。但是锂在元素状态下，反应不稳定，所以正极使用的是锂和氧结合而成的锂氧化物。像锂氧化物一样在正极中与电池的电极反应相关的物质被称为“正极活性物质”。即，锂电池的正极中将锂氧化物作为正极活性物质使用。

我们来详细了解一下正极，连接正极框架的薄薄的铝箔上涂覆了由正极活性物质、导电体和粘合剂混合而成的合剂。

正极活性物质是包含锂离子的物质，放入导电体是为了提高锂氧化物的导电性，而粘合剂起到帮助铝箔上的正极活性物质和导电体进行有效固定的粘贴作用。

按照上述方法制成正极在决定电池特性上会发挥重要作用，所使用的正极活性物质会决定电池的容量和电压。

所含的锂越多，则容量越大，而负极和正极的电位差越多，电压越大。

一般而言， 负极的种类不同，电位的差异将不大，相反，则正极相对差异较大，所以正极在决定电池电压上发挥重要作用。

### “负极”令电子流向导线

负极的结构与正极相同，也是采用在负极铜箔上涂覆负极活性物质的方式。负极活性物质的作用是对正极放出的锂离子进行可逆性吸收/放出，并通过外部电路流出电子。

当电池处于充电状态时，锂离子存在于负极而非正极，此时，正极和负极通过导线(放电)，锂离子自动通过电解液再次移动至正极，锂离子和分离的电子沿着导线移动，并产生电。

负极是在铜箔上涂覆负极活性物质、导电体和粘合剂，负极多使用拥有大部分稳定结构的石墨(Graphite)。负极活性物质所需条件诸多，如结构稳定、电子化学反应性极低、可保存较多的锂离子等，石墨是兼顾这些条件及价格的材料。

### “电解液”令离子移动

前面说明正极和负极时，曾讲过锂离子通过电解液移动，电子通过导线移动。离子通过电解液移动，电子通过导线移动是使用电池中电的最重要的一点。如果电子通过电解液而非导线移动的话，不但无法使用电，安全性也会受到威胁。

电解液就是履行这一功能的组成要素，它是令锂离子可以在正极和负极之间移动的媒介物。电解液使用离子导电率较高的物质，确保锂离子可以顺利移动。

### “隔膜”是正极和负极的隔离墙

如果说正极和负极决定电池的基本性能，那么电解液和隔膜则是决定电池安全性的组成要素。

隔膜承担防止正极和负极接触的物理阻隔作用。隔膜不但要防止电子通过电解液直接流动，还要保证令所需的离子通过其内部细微的孔隙进行移动。即，需同时满足物理条件和电子化学条件。目前常用的隔膜是类似聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)的合成树脂。

## 简介：锂电池行业

在制作电池的过程中，根据制造先后顺序，可以分为前段、中段、后段三个环节。这三个环节的设备所含价值量大体相等。

前段就是正负极生产的过程，包含搅拌、涂布、辊压、分切、制片、模切等六道工序，其中最核心的环节当属涂布工序，在整个前段工艺中价值量占比达 85%。

中段就是电池制作的过程，包含叠片/卷绕、入壳、焊接、干燥、注液等五道工序，其中最核心的环节便是卷绕/叠片工序，在整个中段工艺中价值量占比约为 70%。

后段就是检测组装的环节，包含化成、分容检测、Pack 成组等三道工序，其中以分容检测工序价值量占比最高，在整个后段工艺中价值量占比约为 70%。

综上，我们便可以将研究的重点放在前段涂布、中段卷绕/叠片和后段分容检测上。

首先来看前段涂布环节。

其工作原理便是使用涂布机将搅拌后的浆料均匀涂覆在金属箔片上，并烘干制成正、负极片。

由于涂布机的涂覆宽度这项关键技术相较于日韩企业存在着较大的差距，所以目前该领域上高端产品还是以国外涂布机为主。中低端为国内企业，以璞泰来、科恒股份、赢合科技为主，合计占据 50%以上的市场份额。

中段卷绕环节便是使用卷绕机将制片工序或收卷式模切机制作的极片卷绕成锂离子电池的电芯。

其工艺流程可以理解成一种常见的食物——卷饼的制作过程，就是将正极、隔膜、负极如同蛋、肉、饼等食材卷在一起的过程。

叠片环节就是将正极、隔膜、负极规则地叠放在一起，可以想象成夹心饼干的制作过程。

相比于前段核心设备涂布机落后于日韩企业，国产卷绕机性能各方面已经不输于国际先进水平。

对比：从**磷酸铁锂与三元锂**讲起正极材料**碳酸锂和氢氧化锂**

谈起三元电池和磷酸铁锂电池，二者更像锂电池一家的亲兄弟，在新能源车发展的历史上相爱相杀。

新能源汽车发展初期，电池的安全性能被放在首要位置，磷酸铁锂和三元锂备受青睐。而后随着高端乘用车型的出现，消费者在安全性能基础上，对续航里程提出了更高要求。由于磷酸铁锂比容量普遍在 130-150 mAh/g 之间，三元电池的比容量则可以达到 200 mAh/g 以上，因此三元电池逐渐登上舞台。

关键性转折发生在 2017 年，在这一年，补贴新政首次将能量密度作为考核指标。

对于能量密度低于 90wh/kg 的车型不再补贴，90-120wh/kg 的车型补贴系数为 1 倍，120wh/kg 以上的车型补贴倍数为 1.1 倍。

之后政策不断提高被补贴的电池标准，至 2020 年 125wh/kg 以下的车型无补贴，160wh/kg 以上的车型补贴倍数为 1 倍。

正是财政补贴对能量密度的要求不断提高，促使三元电池装机量占比从 2016 年的 23.5% 提升至 2020 年的 64.1%。

可 2021 年的情况再度发生改变，磷酸铁锂出货量反超三元。其背后原因有两层，其一是 CTP、刀片电池等技术的开发使得磷酸铁锂的能量密度大幅提升。

其二是新能源赛道的高企，促使上游资源价格暴增。除了锂价的暴涨外，三元电池使用了稀缺且价格高昂的钴、镍，使得成本大幅高于磷酸铁锂。

双重因素符合降本增效的第一性原则，再加上锂电池补贴退坡，车企间竞争加剧等外生变量，导致今年铁锂迎来大爆发，出货量超过三元电池。

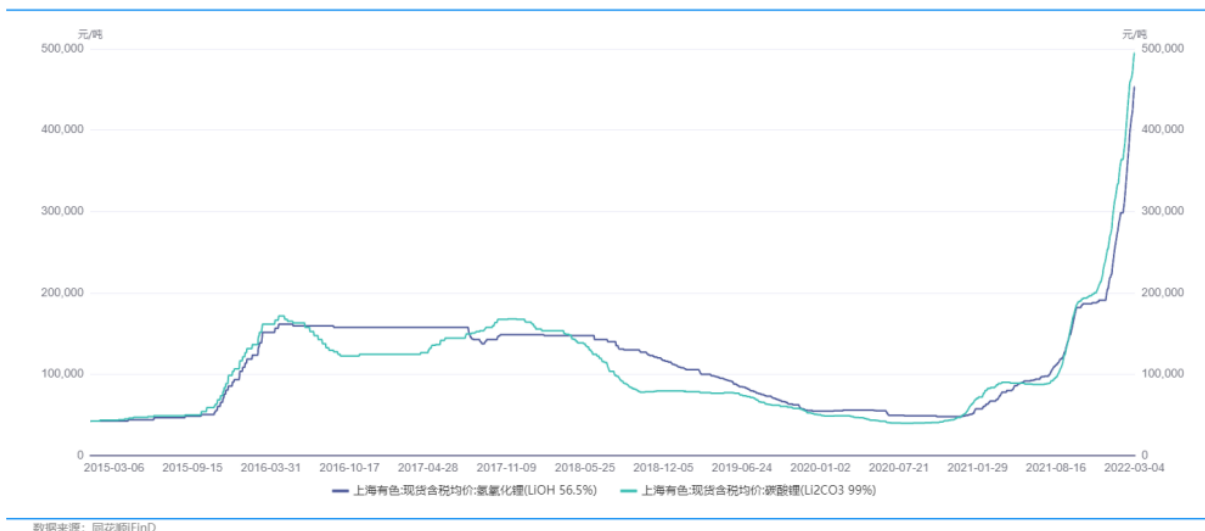
**这种变化同样影响到磷酸铁锂的核心原材料碳酸锂和三元电池的核心原材料氢氧化锂上。**

最明显不过的变化在于价格，在需求景气的前提下，二者价格大幅飙升。

根据上海有色数据显示，2022 年 3 月 7 日，碳酸锂价格上涨至 49.7 万/吨，氢氧化锂价格上升至 45.95 万/吨，而二者的 2021 年初价格还不足 10 万/吨，仅一年时间，涨幅接近 4 倍。

通过对于二者的价格走势的进一步观察，还可以得出这一结论：过去碳酸锂和氢氧化锂的价格一直处于交替领先的局面。

2021 年，在磷酸铁锂电池需求大幅上升的背景下，碳酸锂相对氢氧化锂出现了明显的溢价。



氢氧化锂和碳酸锂类似，都是锂的化合物，是生产**正极材料的锂源**，处于锂产业链的中游冶炼加工环节。

目前碳酸锂主要用在生产磷酸铁锂和三元材料中的中低镍正极材料上，而氢氧化锂主要用于生产三元材料中的高镍正极材料。

可能很多朋友会进一步发出疑问，为什么碳酸锂不能用在高镍正极材料呢？

我们深入到工艺流程时发现，在将锂盐与三元前驱体颗粒混合烧结时，需要锂盐呈熔融液态。液体的优异流动性可以使锂盐与三元前驱体颗粒均匀混合，从而使烧结出的正极材料具有较为优异的电化学性能。

然而，高镍三元材料的烧结温度不宜过高。无水氢氧化锂的熔点约为 462℃，单水氢氧化锂的熔点约为 470℃，而碳酸锂的熔点高达 723℃。

显而易见，氢氧化锂熔点和三元材料的烧结温度更加匹配，而碳酸锂则熔点过高。生产条件要求高镍三元材料只能使用氢氧化锂作为锂源。

除了下游的应用外，碳酸锂和氢氧化锂的生产过程同样存在着千丝万缕的联系。

生产碳酸锂目前被广泛应用的工业方法是硫酸法，通过硫酸与锂辉石反应得到硫酸锂，在硫酸锂溶液中加入碳酸钠即可得到碳酸锂，加入氢氧化钙或氢氧化钠生产出氢氧化锂。

氢氧化锂还可通过采用一步苛化法生产氢氧化锂。

硫酸锂苛化法。此方法具备成本低、工艺成熟、生产流程短、能耗低、物料流通量小等优点，是全球生产氢氧化锂的主流工艺。

生产碳酸锂和氢氧化锂的原材料同样都是以锂矿石为主，辅料为硫酸、纯碱等。

据业内人士测算，生产一吨碳酸锂需要 8 吨 6%品位的锂辉石、1.7 吨纯碱、2.4 吨硫酸、7.2 吨动力煤、3000KWh 电力，折旧和人工分别为 6000 元/吨和 350 元/吨。

而生产一吨氢氧化锂需要 7 吨 6%品位的锂辉石、0.1 吨纯碱、2.05 吨硫酸、1.33 吨烧碱、0.87 吨碳酸钙、2.6 吨动力煤、3067.4KWh 电力，折旧和人工分别为 6000 元/吨和 350 元/吨。

从成本构成可以看出二者在锂辉石用量上存在差别，而锂辉石在三元电池和磷酸铁锂电池的成本超过了 80%

锂矿的成本受制于供给方。一方面，由于疫情影响，海外开工率受到较大影响，运费、人工等综合因素使得锂矿供不应求，成本因素带动价格上升。

另一方面，新能源汽车的火热使得锂矿需求高企，各路资本的疯狂追逐进一步推升了锂矿价格。

因此，供给不足，需求扩张的双重因素导致锂矿价格上涨。同时带动碳酸锂、氢氧化锂价格同步上涨，对锂矿的用量不同导致二者价格出现偏差。

现阶段来看，成本占据优势的碳酸锂更被市场所接受。然而，短暂的市场格局交替变更并不意味着长期格局的形成。

一直以来，锂电池最被诟病的就是续航短、电池空间及重量过大，所以提升能量密度是行业发展的首要地位。

按照国家 2020 年 10 月发布的《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》，2025 我国纯电动汽车动力电池的能量密度年目标为 400Wh/kg，2030 年目标为 500Wh/kg。

目前国内的三元锂电池能量密度可达 200Wh/kg 以上，而磷酸铁锂电池能量密度上限约为 180Wh/kg。

即便铁锂即便未来存在技术突破，但本身材料还是成为限制其能量密度的天花板。短期内，二者的关系相辅相成。

在未来，三元正极材料无疑更加适合电池高能量密度的需求。

### 趋势：三元锂的破冰之旅

从三元锂电池的产业链上来看，上游为钴镍等矿产资源，中游为三元前驱体和三元正极材料，下游为三元锂电池。

三元前驱体是三元正极材料的前道工序，三元正极材料的生产过程就是将三元前驱体与碳酸锂/氢氧化锂混合后烧结制成。

在正极材料的生产过程中，氢氧化锂需要与三元前驱体混合均匀，方能获得更好的性能。

三元前驱体通常是镍钴锰或者镍钴铝的混合物，呈微粉状，粉体粒度很小。

例如格林美的 GEM-1-6 型三元前驱体，粒径通常在 5-6 微米。而普通的粗颗粒氢氧化锂粒径通常在 350-400 微米，是前驱体粒径的近百倍。因此，在氢氧化锂和三元前驱体混合烧结之前，需要将氢氧化锂磨细至和前驱体接近的水平。

然而，研磨这个工艺看似简单，实则复杂，存在较深的壁垒。

氢氧化锂呈强碱性，极易吸潮，并且对磁性异物极为敏感。粉碎这个环节对产品的粒度分布、磁性异物、损耗率和碳酸盐含量的控制要求极高。这一行业需要的是大量生产累积 know-how。

可是，氢氧化锂研磨过程中存在着损耗，高昂成本使得正极材料厂望而却步。

其结果便造就了自行研磨和不自行研磨两种市场。部分正极材料厂（以日系厂商为主）选择采购粗颗粒氢氧化锂并自行研磨。

不自行研磨的正极材料厂要么选择锂盐厂直供微粉、要么亲自委托或者由锂盐厂代为委托第三方加工。

在氢氧化锂的技术路径中，**无水氢氧化锂**无疑是更接近终极的技术。

我们日常提到的氢氧化锂、或者行业网站对氢氧化锂的报价、锂盐厂交付的产品其实是**单水氢氧化锂**。

单水氢氧化锂，分子式为  $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，在单水氢氧化锂中，氢氧化锂的含量大约为 56.5%，剩下均为结晶水。

无水氢氧化锂指的是氢氧化锂经高温处理后，脱去结晶水的氢氧化锂。

正极材料厂往往将单水氢氧化锂直接和前驱体混合进行烧结，在烧结的过程中脱去结晶水。

然而，脱水过程需要长达 7-8 小时，大幅增加了能耗。脱水环节可能导致部分氢氧化锂与空气中的二氧化碳进行反应（简称碳化），碳化的产品无法应用，无疑提高了成本。

并且，脱水环节极易成为正极材料厂的工艺瓶颈进而影响产出效率。

因此，部分正极材料厂认为，将脱水这一环节放在锂盐厂，对于正极材料的生产更加便利。

一方面脱水环节放在锂盐厂，即便碳化的部分也可以进行回收利用；另一方面，在单水氢氧化锂中，氢氧化锂的含量仅约为一半。

若脱掉结晶水后，磁性异物等杂质含量仍能保持原规定水平，相当于锂/杂质的比例提升了一倍。

效率、纯度的提升对于正极材料厂的重要性不言而喻。

于是，正极材料厂遂向锂盐厂提出了脱去结晶水的微粉氢氧化锂需求，无水氢氧化锂这一细分品种应运而生。

据了解，目前国内正极厂暂时还没有无水氢氧化锂的需求，无水氢氧化锂产品全部出口。相较微粉氢氧化锂，无水氢氧化锂这一技术路径难度更大。无水产品在生产、包装、防护过程中要求都更高。

氢氧化锂本身便是有剧毒的危险化学品，并且脱水后的氢氧化锂更易碳化、吸潮性更强，脱水后分子引力上升导致容易出现结块现象。

在下游应用中，即便发现少量结块现象，正极材料厂也会整批次退货。

对于无水氢氧化锂库存管理提出的要求则更高，粗颗粒氢氧化锂保质期约为 6 个月，微粉级产品保质期小于 3 个月，无水氢氧化锂保质期只短不长。

从工艺上来看，无水产品是先脱水，后研磨，无水微粉产品要求厂商掌握无水+微粉两道工序。

目前，国内仅有仅满足于供应粗颗粒产品的阶段。

性能优异并且稀缺的产品出现意味着更高的成本，更好的利润。因技术壁垒高，无水产品的盈利性显著强于微粉和粗颗粒产品。

据业内人士调研发现，相比单水微粉产品，无水产品的成本额外高出 5000-7000 元/吨，但带来的溢价远不止此。

根据海关月度出口均价：以当月国内微粉氢氧化锂均价为基准，无水产品 2019 年 4-12 月溢价在 1.3-5.6 万/吨。长期来看无水微粉产品相对单水微粉溢价 1-2 万元/吨（单水口径）较为合理。

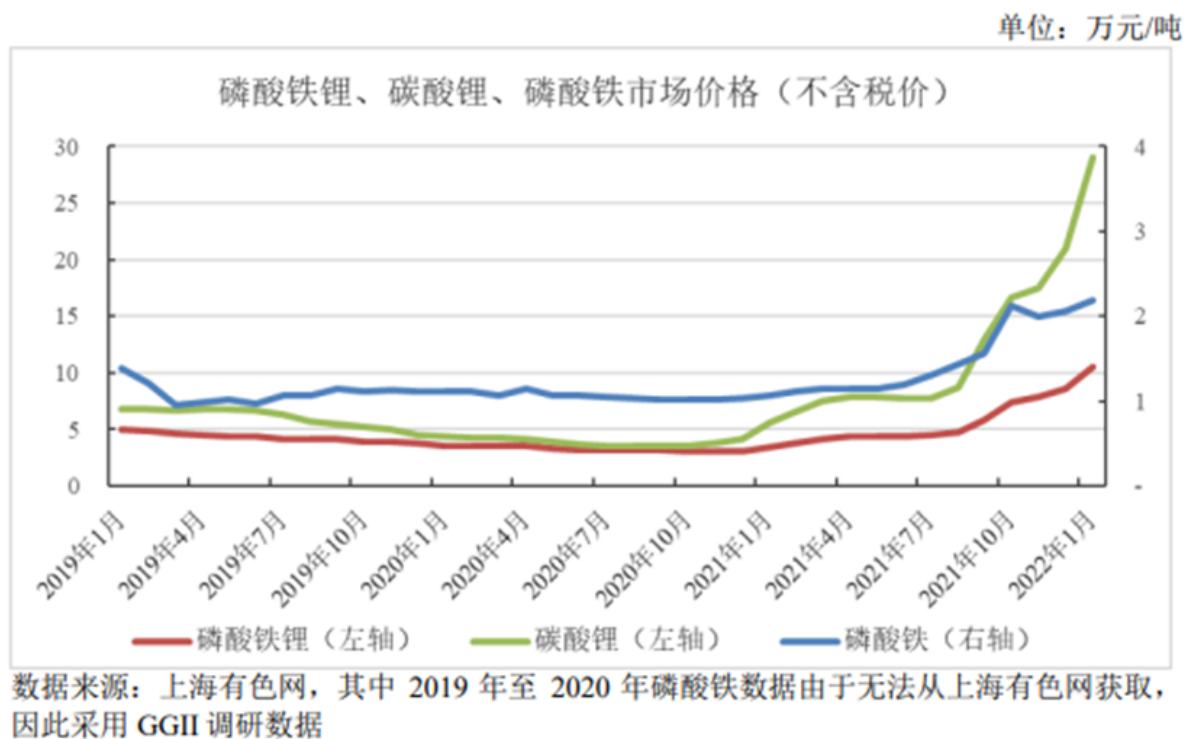
一方面来看，无水产品的溢价显著高于脱水工序所产生的额外成本，溢价能力很强；但另一方面来看，无水产品目前体量仍然很小，尚未形成成熟、有效的定价机制，溢价波动区间较宽。

## 磷酸铁锂的反超

对于磷酸铁锂来说，2021 年是一个分水岭。此前三元电池一直都是我国锂电池的主角，但在 2021 年，磷酸铁锂电池成功反超三元电池。

由于新能源车需求旺盛，上游锂、钴、镍出现了供不应求的状况，价格随之暴涨。磷酸铁锂凭着安全性能和成本的巨大优势，以及刀片电池和 CTP 技术对性能的提升，成功占领市场。

2021 年我国磷酸铁锂电池在动力电池装机量中占比，由 2020 年的 38% 提升至 52%。根据高工锂电数据统计，2021 年中国磷酸铁锂正极材料出货量 47 万吨，同比增长 277%。磷酸铁锂不仅在动力电池领域反败为胜，储能端同样迎来高速增长时刻。根据高工锂电数据统计，2021 年全球储能锂电池出货量 70GWh，增长 159%。磷酸铁锂路线占比超 50%。2021 年中国储能锂电池出货量 48GWh，磷酸铁锂路线占比约 98.5%。与此同时，磷酸铁锂的价格亦同步实现大幅上涨。



磷酸铁锂，也就是锂电池该技术路线的正极材料。

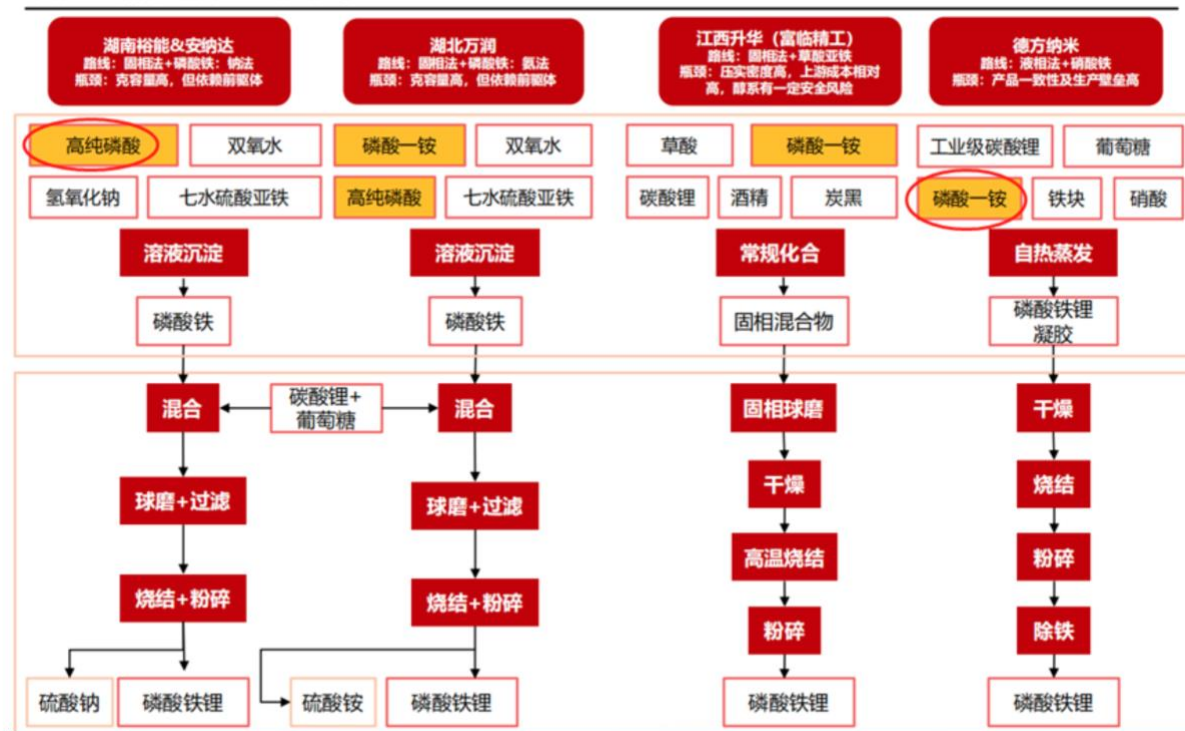
两种主要的工艺流程，固相法和自热蒸发液。

根据资料显示，从性能看，固相法的压实密度明显高于自热蒸发液。压实密度也被视为材料能量密度的参考指标之一，压实密度与比容量、效率、内阻和电池循环性能密切相关。而决定性能差异的，是不同的工艺流程。固相法，该工艺流程在高压实密度性能方面具备天然优势，同时兼顾了高容量和高稳定性，但需要借助机械混合破碎原材料，混合不充分，将导致颗粒细化程度不一，从而产品一致性较差，再叠加高能耗的问题，使得该工艺总体成本较高。磷酸提锂每吨成本在 4.19 万元/吨左右。

自热蒸发液相合成磷酸铁锂技术，产品一致性较好。该技术的锂源成本低，液相法烧结温度为 650-680℃，相比固相法 700-730℃ 的烧结温度，能耗也低。缺点是制造费用较高。磷酸铁锂每吨成本在 3.77 万元/吨左右。



图表：磷酸铁锂各生产路线比较



资料来源：湖南裕能环评报告、方正证券研究所

而 2021 年磷酸的价格波动远超磷酸一铵，这便造就了成本方面的差距。



数据来源：同花顺FinD

### 趋势：麒麟电池与 4680 电池，方形与大圆柱形电池之争

6 月 23 日，宁德时代正式发布第三代 CTP(cell to pack)技术，同时宣布这款名为“麒麟电池”的新产品将于明年量产上市。在相同电芯化学体系和同等电池包尺寸下，麒麟电池能量密度相比圆柱 4680 电池系统要高 13%。

这款由方形电芯组成的电池系统，体积利用率突破 72%，系统集成度创全球新高。麒麟电池系统可将三元电池系统能量密度提升至 255Wh / kg，轻松实现整车 1000 公里续航，而采用磷酸铁锂时，系统能量密度也将超过 160Wh / kg。

而上一次在电池领域引发广泛关注的新产品发布便是特斯拉的 4680 大圆柱电池。4680 电池是一款直径 46 毫米、高 80 毫米的大圆柱电池，具有续航里程高、成本低的优势，为特斯拉未来的主导电池技术路线。要知道特斯拉以往都是专注于电池设计，不过，今时不同往日，这一次特斯拉亲自下场。据悉，特斯拉在美国加利福尼亚州、德克萨斯州、内华达州，以及德国柏林的四个超级工厂自产 4680 电池。

2 月 19 日，特斯拉发推文表示，加州的试点工厂在 1 月份生产了 100 万块 4680 电池，目前 13 条 4680 电池生产线的良率已达 95%。这无疑标志着 4680 电池正式进入量产阶段。预计到 2022 年年底，特斯拉 4680 电池产能将达到每年 100GWh，可满足 130 万辆电动汽车使用。

可见，麒麟电池在未来不可避免要与圆柱 **4680** 电池系统短兵相接、一较高下。

而此次推出的 CTP3.0，续航可达 1000km，系统能量密度 250Wh / kg+，其本质是进一步去掉箱体上的纵梁或横梁，利用两个电芯之间的水冷板和电芯本体来实现结构上的需求。其特点如下：

- 1 / 突破功能边界，将横纵梁、水冷板与隔热垫合三为一
- 2 / 重塑空间结构，释放 6% 能量空间
- 3 / 颠覆传统水冷，换热面积扩大四倍

从目前单体电芯的技术分类来看，主要包括圆柱、软包以及方形电池。

	圆形锂电池	方形锂电池	软包锂电池
结构			
制造工艺	圆形卷绕	方形卷绕	方形叠片
包装材质	一般钢壳，也有铝壳	铝壳为主	铝塑膜
优点	工艺成熟，一致性高，适宜大批量连续生产;比表面积大，散热效果好（优于方形电池）;外壳耐压高，使用中不出现膨胀现象。	结构强度高，承受机械载荷能力好;重量小，相对能量密度高;可以定制化生产。	可鼓气裂开，安全性能好;较钢壳、铝壳重量轻;同等尺寸下电池容量更高;内阻小，自耗电低;设计灵活，可按照需求定制。
缺点	容量小，大容量需并联连接，工艺复杂，成本更高;爆炸可能性大;体积大，空间利用率低。	工艺复杂，壳体与电芯配合需要考;产品良率低，一致性较差。	一致性较差，难批量生产;成本较高;对铝塑膜的质量要求高，不达标产品可能混液。
代表厂商	松下，江森自控	三星SDI，宁德时代	LG化学，AESC
典型应用	特斯拉	宝马i3	日产聆风
典型正极材料	NCA	LMO/NCM/NCA	LMO/NCM
外壳材料	铝合金、不锈钢	铝合金、不锈钢	铝塑膜
安全性	一般	较高，对电芯的保护作用强	不易爆炸;铝塑膜机械强度低
能量密度	较高	较低	较同等容量硬壳电池有更高能量密度
产品特性	散热性能优，圆柱形便于多种形态组合	容量大	重量轻，散热性能较好
产品标准化/生产自动化	高，生产工艺成熟	低	低
电池一致性	高	较低	较低
产品研发趋向	适当增加圆柱体积以获得更大电池容量，例如特斯拉/松下量产21700（直径21mm，高70mm）电池	封装材料向高硬度，轻质化发展	改进生产工艺，实现全自动生产，提升一致性，电池管理系统研发
现实条件约束	国内技术，电池管理系统和自动化水平低	适合大型汽车使用	铝塑膜依赖进口，国产化进程低下，影响软包电池成本

数据来源：汽车之家，上海证券研究所

目前市场情况来看，圆柱电池盛行海外，国内渗透率较低，方形电池则是国内主导，海外占比低于国内。软包电池则受益于欧洲新能源车崛起，由全球先进的智能电池科技公司远景动力开创，同 LG 化学等企业一同发扬光大。

全球范围内，对于圆柱电池情有独钟且仍在坚守的大型车企，便是特斯拉。在特斯拉的引领下，松下不断升级电池技术，从 18650 到 21700，最终在 2020 年 9 月特斯拉在电池日首次发布了 4680 电池，并宣称实现了多项技术指标提升：续航里程提升 16%，充放电功率是 21700 电池 6 倍、能量是 21700 电池 5 倍，而成本可以下降 14%。尽管现在的特斯拉，已经应用了大量的方形电池（宁德时代在 2020 年就已开始向特斯拉供货方形电池），而且占比越来越大，但是它作为圆柱电池路线的支持者的烙印，相当深刻。

业界专业人士认为，理论上，圆柱电芯的技术成熟度最高，但实际上相比 18650 和 21700，4680 量产难度非常大。其次，同等化学体系下，大圆柱电芯的空间利用率要比方形电芯低很多。某电池企业负责人举了一个例子，同样一个电池包，磷酸铁锂大圆柱电芯只能放进入 50 度电，如果是放方形电芯，则可以装到 80 度电。此外，目前圆柱电芯都采用的是侧面冷却，传统方式散热困难。

专家表示，在未来一段时间内，大圆柱电池有可能与方形电池共存。在目前技术条件下，两种电池都有各自适用的场景，有望共同成为主流，正如目前三元锂电池与磷酸铁锂电池共存一样。为用户减少焦虑的多种技术探索都是有价值的。”



图说：特斯拉4680 大圆柱及无极耳设计

来源：特斯拉电池日 PPT

4680 电芯虽然在能量密度、快充性能等方面有突出优势，但是安全性挑战大，生产难度几何级上升。而且，对于车企来说，圆柱电池的成组难度很高，如果不具备圆柱电池的成组技术，其成本优势很难发挥。

### 新趋势：固态电池

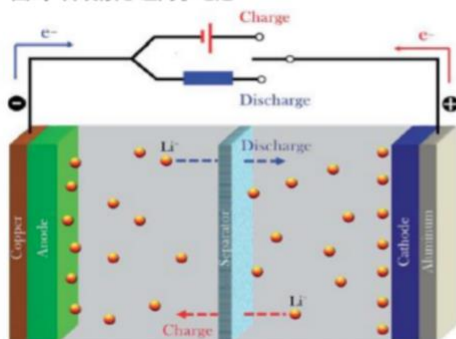
说起固态电池，各位读者可能略感陌生。严格意义上讲，现阶段的锂电池应该称作液态锂电池，因为其核心电池材料之一是液态电解质(也称电解液)。

那么使用固态电解质的锂电池，就被称之为固态锂电池，简称固态电池。很明显，二者构造不同。

传统锂电池构成包括正极、负极、电解液、隔膜四大材料。而固态电池则将电解液和隔膜换成了固态电解质，其余类似。

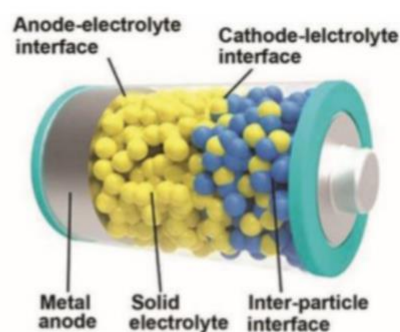


图1：传统液态锂离子电池



资料来源：Long, Lizhen et al. "Polymer Electrolytes for Lithium Polymer Batteries." 4.26 (2016): 138-169. Web. 天风证券研究所

图2：固态电池电池结构



资料来源：Gao-Long, Zhu, Chen-Zi. Fast Charging Lithium Batteries: Recent Progress and Future Prospects. [J]. Small, 2019. 天风证券研究所

对于锂电池而言，安全是排在第一位的。可是，传统液态锂电池的安全性却长期被市场质疑。

近日，市场监管总局公布《关于 2021 年全国汽车和消费品召回情况的通告》，报告显示，2021 年实施新能源汽车召回 59 次，涉及车辆 83 万辆，占全年召回总数量的 9.5%；新能源汽车召回次数和召回数量，同比上年，分别增长 31.1% 和 75.9%。

其中，反映动力电池、电机、电控系统问题的，占新能源汽车缺陷线索的 52.5%。“动力电池过热起火”和“电控系统故障”依旧占比较大，是新能源车的首要安全隐患。

锂电池导致起火的主要原因便是电解液。在现有技术条件下，电解液提供了锂离子在电池内“畅游”的场所。

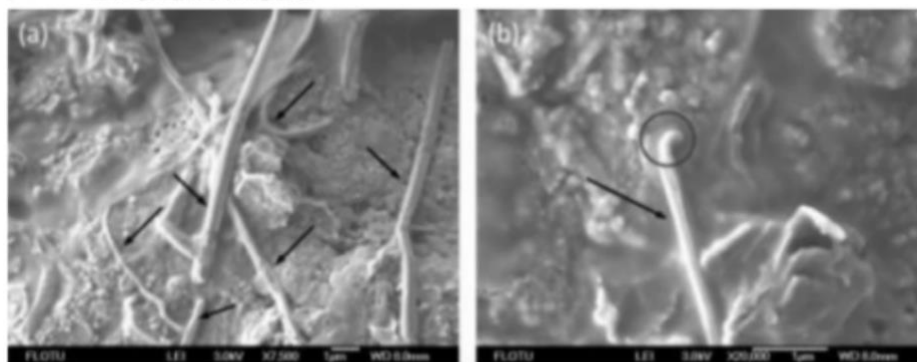
不过，电解液对温度十分敏感。它在高温下极易分解，腐蚀性强、易燃易泄漏。尤其是析锂反应，极易造成短路。

短路一旦发生，局部温度大幅上升，达到锂电池内部的液态电解液燃点，进而起火甚至发生爆炸。

虽然各厂商也曾尝试添加阻燃剂、或使用耐高温薄膜的方法，解决安全性问题，但仍旧没有成功。可以说，从根本上，液态电池技术难以杜绝安全隐患。

相较而言，固态电池最突出的优点便是安全性。它使用几乎不可燃的固态电解质作为传导介质，降低了电池组对温度的敏感性，杜绝了析锂枝晶增加的短路概率，亦能凭借良好的绝缘性，有效阻隔正负极。

电池负极形成枝晶



资料来源：D1EV, 天风证券研究所

造成电池短路的危险。

除了安全性的天然优势，固态电池另一大看点便是性能。

长期以来，续航和快充是新能源车的阿克琉斯之踵，里程焦虑是令人尴尬的“常态”。因此，新能源车一直朝着高续航的路径发展：从 200 公里到 500 公里，即将进入 1000 公里的目标范围。

达成这一目标，需要更高能量密度的锂电池。在业界，通常用 Wh/kg 标定能量密度。根据国家 2020 年 10 月发布的《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》，我国纯电动汽车动力电池的能量密度，2025 年目标为 400Wh/kg，2030 年目标为 500Wh/kg。

这对于现在的液态锂电池技术来讲是困难重重。

在液态电池领域，三元软包是能量密度最高的技术。根据 2021 年 4 月的《自愿性披露新技术研发进展公告》，最新一代动力电池，能量密度可达 330Wh/kg，而其余厂家正在努力突破 300Wh/kg。

全球软包电池企业产品性能对比							
企业名称	电芯产品序号	电池类型	容量 (Ah)	能量密度 (Wh/kg)	工作电压范围 (V)	循环寿命 (次)	工作温度范围 (℃)
孚能科技	1	三元软包	30.5	220	2.75-4.20	> 2,000	-30 至 55℃
	2	三元软包	56	255	2.75-4.30	> 2,000	-30 至 55℃
	3	三元软包	63.1	263	2.75-4.30	> 2,000	-30 至 55℃
	4	三元软包	66.5	263	2.75-4.30	> 2,000	-30 至 55℃
	5	三元软包	74.1	285	2.75-4.20	> 1,800	-30 至 55℃
LG 新能源	1	三元软包	未披露	250	未披露	2	未披露
远景 AESC	1	三元软包	未披露	224	未披露	未披露	未披露
	2	三元软包	未披露	300	未披露	未披露	未披露
SKI	1	三元软包	64	260	标称电压 3.6	1,500-2,000	未披露
亿纬锂能	1	三元软包	50	230	标称电压 3.7	未披露	未披露
桑顿新能源	1	三元软包	32	221	标称电压 3.65	2,500	未披露
	2	三元软包	42	220	标称电压 3.65	2.5	未披露
多氟多	1	三元软包	10	> 165	标称电压 3.7	> 800	-10 至 45℃
	2	三元软包	46	> 230	标称电压 3.7	> 2,000	-20 至 60℃
	3	三元软包	55	> 230	标称电压 3.7	> 2,000	-20 至 60℃

资料来源：公司公告，华创证券

锂电池的能量密度主要取决于工作电压和正负极材料比（克）容量。也就是说，电压越大，能量密度越大；比容量越高，能量密度越高。

简单来讲，锂电池在工作的时候，电池电压会随着电量的降低而下降。假设其他条件不变，同等电流下，高电压的工作时间就比低电压长。打个比方，高一点的蓄水池可以装更多的水，所以使用相同的水龙头排水，时间肯定更长。

然而，4.3V 以上电压会加剧电解液分解。因此，受目前液态锂电池的材料和使用安全性所限，锂电池的工作电压一般在 4.2V 以内，很难有所提升。

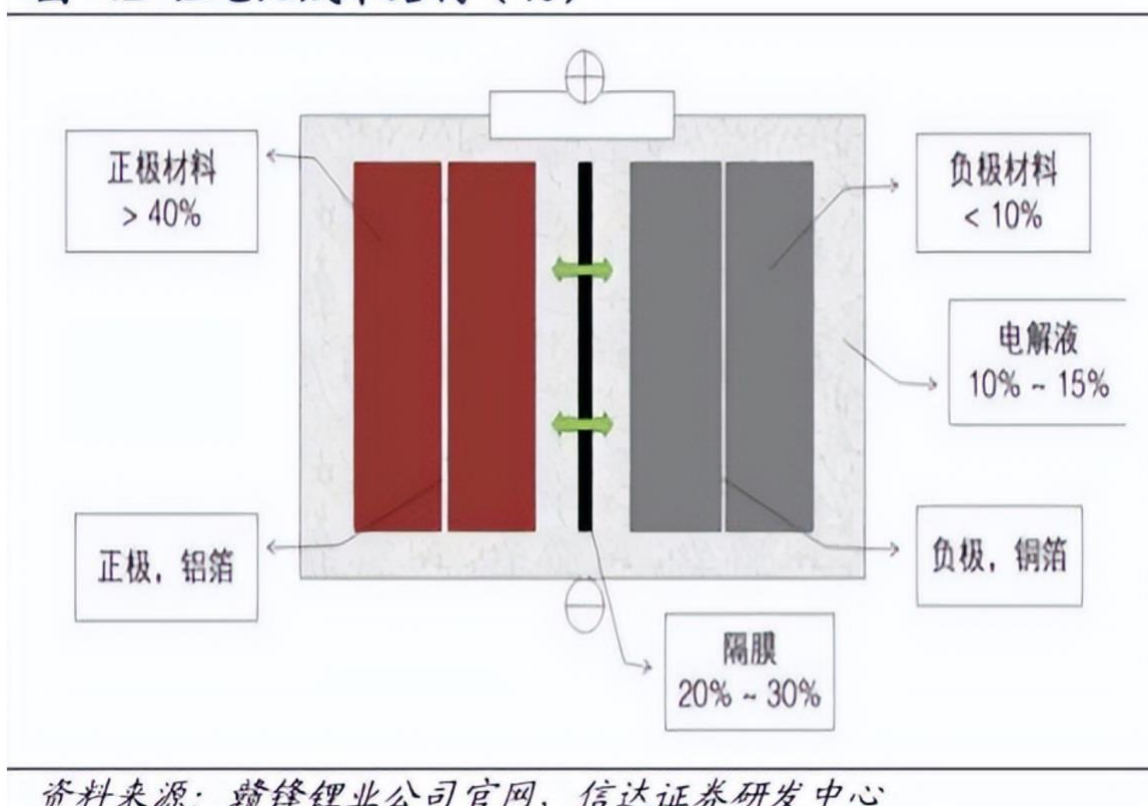
比（克）容量的意义是每克锂电池材料含多少 mAh（毫安时）电量。从液态锂电的正负极材料来看，负极石墨 365mA·h/g，8 系三元高镍正极 220mA·h/g。现有正负极材料的比容量难以大幅提升。

通过采用负极金属锂，正极高电势材料，电化学窗口可以达到 5V 以上。而锂的比容量高达 3860mA·h/g，是石墨的 10 倍以上，三元高镍正极的 17.5 倍。

从锂电池未来高能量密度的技术发展路径来看，固态电池无疑更加适合大规模应用。技术大规模推广最重要的前提之一是成本。虽然目前固态电池的成本远高于液态锂电池，但降本路径已经逐步清晰。

首先，固态电池使用电解质，替换出的电解液和隔膜，合计占锂电池成本 30-45%。目前在使用中、或接近商用的固态电池电解质，有聚合物、硫化物和氧化物三种。近期，中科大合成了一种新型固态电解质——氯化锆锂，使成本降低 94%。

图 42 锂电池成本结构 (%)



液态锂电池除了锂外，还大量用到钴、镍等稀缺金属，价格高昂。而固态电池正极可以使用锰、硫等常见的材料，客观上保证了未来固态电池的成本竞争空间。

现阶段的三元电池，其每千瓦时成本已经超过 1000 元。

而据日产汽车(7201.T)的规划，到 2028 财年，全固态电池能够将电池组的成本降至每千瓦时 75 美元（折合人民币约 477 元），未来会将成本进一步降低至每千瓦时 65 美元（折合人民币约 414 元）。

**安全、性能、成本是锂电池推广的核心三要素，在这三方面，固态电池已经展现出巨大的优势。毫无疑问，未来锂电池的主流技术路径属于固态电池。**

目前固态电池技术尚处于一片蓝海。电解质、正极等材料均没有出现颠覆性替代的产品，没有形成产业基础。此时，是先行者获取优势的最好时机。

在现阶段固态电池的技术认知里，有一个方向是确定性较高的，那便是包装方式。

传统的锂电池和固态电池包装，有软包、方形和圆柱三种工艺。

	圆形锂电池	方形锂电池	软包锂电池
结构			
制造工艺	圆形卷绕	方形卷绕	方形叠片
包装材质	一般钢壳，也有铝壳	铝壳为主	铝塑膜
优点	工艺成熟，一致性高，适宜大批量连续生产;比表面积大，散热效果好（优于方形电池）;外壳耐压高，使用中不出现膨胀现象。	结构强度高，承受机械载荷能力好;重量小，相对能量密度高;可以定制化生产。	可鼓气裂开，安全性能好;较钢壳、铝壳重量轻;同等尺寸下电池容量更高;内阻小，自耗电低;设计灵活，可按照需求定制。
缺点	容量小，大容量需并联连接，工艺复杂，成本更高;爆炸可能性大;体积大，空间利用率低。	工艺复杂，壳体与电芯配合需要考虑;产品良率低，一致性较差。	一致性较差，难批量生产;成本较高;对铝塑膜的质量要求高，不达标产品可能混液。
代表厂商	松下，江森自控	三星SDI，宁德时代	LG化学，AESC
典型应用	特斯拉	宝马I3	日产聆风
典型正极材料	NCA	LMO/NCM/NCA	LMO/NCM
外壳材料	铝合金、不锈钢	铝合金、不锈钢	铝塑膜
安全性	一般	较高，对电芯的保护作用强	不易爆炸;铝塑膜机械强度低
能量密度	较高	较低	较同等容量硬壳电池有更高能量密度
产品特性	散热性能优，圆柱形便于多种形态组合	容量大	重量轻，散热性能较好
产品标准化/生产自动化	高，生产工艺成熟	低	低
电池一致性	高	较低	较低
产品研发趋向	适当增加圆柱体积以获得更大电池容量，例如特斯拉/松下量产21700（直径21mm，高70mm）电池	封装材料向高硬度，轻质化发展	改进生产工艺，实现全自动生产，提升一致性，电池管理系统研发
现实条件约束	国内技术，电池管理系统和自动化水平低	适合大型汽车使用	铝塑膜依赖进口，国产化进程低下，影响软包电池成本

**数据来源：汽车之家，上海证券研究所**

制造过程按顺序可分为前段、中段、后段三个环节。简单来讲，前段就是正负极生产的过程，后段则是检测组装的环节。





### 数据来源：高工锂电、天风证券研究所

中段就是电池制作的过程，包含叠片/卷绕、入壳、焊接、干燥、注液等五道工序，最核心的环节便是叠片/卷绕工序，在整个中段工艺中价值量最高，占比约为 70%。

不同包装方式制作工序也不同。圆柱电池主要采用卷绕工艺（可以想象成制作多种食材的卷饼），方形电池多数也以卷绕为主，而软包电池采用的是叠片工艺（可以想象成制作三明治）。

由于氧化物及硫化物电解质柔韧性较弱，采用叠片工艺的软包电池是最适合的。不仅如此，相较于圆柱电池和方形电池，软包电池在能量密度上也有显著优势。

叠片工艺生产的软包电池，内部变形、弯曲或断裂的概率低。另外，软包电池的铝塑膜外壳并不坚硬。电池一旦发生热失控，一般会先胀气冲破铝塑膜封装，带走大量的热量，避免电池发生爆炸。

而质量较轻的铝塑膜外壳，在同等容量下，使得整个电池重量较钢壳锂电池轻 40%，较铝壳锂电池轻 20%。因而，软包电池的能量密度会比钢壳三元锂电池高出 40%。

软包电池获得了下游汽车厂商的青睐，大众、奔驰、通用、现代、福特等车企，纷纷使用其配置多款主流车型。

2020 年欧洲最畅销 Top20 新能源乘用车中有 15 款搭载软包电池。而高端配置型新能源车更多采用的也是软包电池技术。

相比于海外，国内软包电池却显得较为落寞。国内车厂更倾向于产业链条完备、供给保障充足的方形电池。目前而言，软包电池相关产业基础薄弱，在推进新能源汽车的历史进程中，暂时落后于方形和圆柱电池。

2021 年国内动力电池装机电量排名中，孚能科技排名第七。在国内软包电池以及三元软包电池装机量上，孚能连续保持第一名。

生产方面，镇江工厂一期完成产能爬坡，二期已陆续投产，三期建设再提速，芜湖项目蓄势待发。届时到 2023 年底，公司将实现 26Gwh 软包电池的产能规模。

在固态电池技术逐步落地过程中，孚能科技有望获取先发优势，迎来高增长时刻。

在国内外固态电池技术推进上，上至政府、下至企业皆不遗余力。

海外企业纷纷抛出大手笔投资，大众集团董事会成员 Thomas Schmall 表示，公司计划花费高达 300 亿欧元（约合人民币 2162 亿），用于欧洲电芯工厂，并确保重要原材料供应。

包括宝马、奔驰、大众、现代、丰田、本田、日产等在内的汽车集团，均将固态锂电池作为其下一代电动车电池的技术方向。

政府层面，欧盟多国共同出资 32 亿欧元，同时从私人投资方募集 50 亿欧元，用于发展固态电池。美国、日本、韩国也都宣布了发展固态锂电池相关支持政策和补贴。

我国《新能源汽车产业发展规划》中提出了加强固态电池研发和产业化的要求。东风汽车与赣锋锂业合作开发的首批 50 辆东风—赣锋高比能固态电池车，在江西省新余市完成交付。

在此背景下，固态电池未来的确定性毋庸置疑，甚至已开始提速。

在固态电池的竞争上，以宁德时代（300750.SZ）、比亚迪(002594.SZ)为代表的中国锂电军团，将在这个舞台上大展宏图，大显身手，争夺锂电池下半场的话语权。

### 新趋势：氢燃料电池

试想，有一台这样的车，比新能源车更环保，动力也更强，充能只需五分钟，续航超过 1000KM，不受冬天能耗影响。简单说，集合了新能源车和燃油车的优点。

不难猜测，这种车便是氢能源车。虽然技术未曾落地，但各国政府、各路资本纷纷发力投入这片浩瀚的蓝海中，氢能源车的量产正徐徐展开。与此同时，市场对氢能源车产生了诸多问题。比如，氢能源车和新能源车有什么区别？二者孰优孰劣？氢能源车发展怎么样了？

我们每一个人都见证了新能源车替代传统燃油车的浪潮。

殊不知，当每一轮的产业革命发生，新技术横空出世，紧接着不能回避的一个问题就是工业落地。这一步不单单是终端面临消费者打开市场，更为关键的，是上游产业链与零部件的成本下降和技术突破。

如同新能源车一样，没有锂电池技术的落地，就没有新能源车的如火如荼。没有平价上网，就没有光伏的大面积推广。

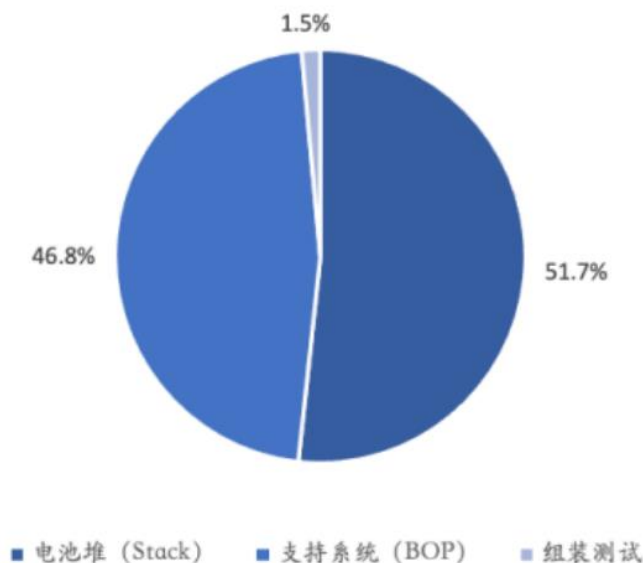
因此，在氢能源车产业中，零部件与整车同样重要。

新能源车的心脏是锂电池，同样地，氢能源车的核心零部件也是电池。

前事不忘，后事之师。我们有必要对氢能源车的电池系统进行深度的研究。

同锂电池一样，燃料电池系统成本占据氢能源车成本接近 30%。燃料电池系统主要由电堆和支持系统两部分构成，前者是核心动力组件，后者由空气压缩机、加湿器、燃料回路、空气回路等支持组件构成。

根据国泰君安测算，电堆占据电池系统成本超过一半。



数据来源: Strategic Analysis Inc, 国泰君安证券研究

电堆是什么？想必读者有些困惑。简单来讲，由于单个燃料电池功率有限，因此往往需要将诸多电池单元进行串联，串联后的电池组便是电堆。

这个道理如同锂电池一样，需要将众多电芯（Cell）组装成为模组（Module），再把模组安装进电池包（Pack）里，才能作为新能源车的动力系统。

电堆的组成比较复杂，由端板、绝缘板、集流板、双极板、膜电极、紧固件、密封圈这七个部分组成。

这其中，我们最为关注的便是膜电极，其成本占据电堆总成本的 60% 以上，被誉为燃料电池的芯片。膜电极可以说是为氢能源车提供动力的主战场。

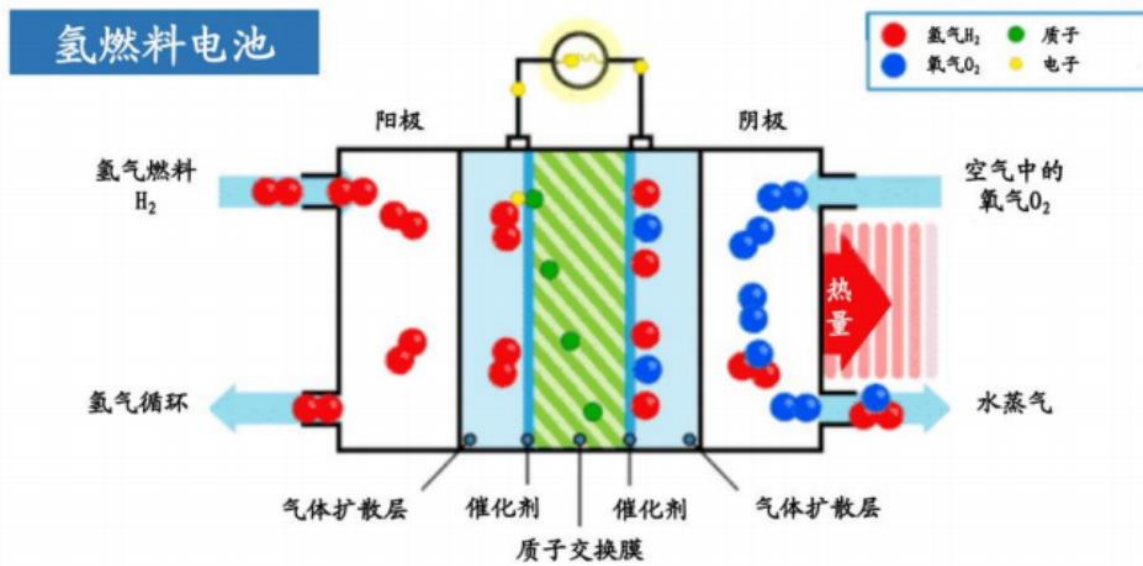
膜电极一般由质子交换膜（PEM）、催化层与气体扩散层三个部分组成所谓的“三合一结构”。

在膜电极中，氢作为燃料使用，但是氢气并不直接燃烧，而是和氧气反应转换为电能。氢气和氧气的化学反应是非常简单的，学过初中化学基础的都应该知道： $2H_2+O_2=2H_2O$ 。其工作原理也并不难理解，我们都懂讲过电解水的原理，氢燃料电池发电就是电解水的逆反应。

具体来看，在氢燃料电池中，氢气通过导气管由电池阳极输入，在铂(Pt)的作用下分解为电子和氢离子（质子） $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ ，这一原理被称为催化反应。铂由于表面积大，吸附能力强，是现阶段最佳的催化剂，同时保证氢气不直接燃烧。

之后，质子通过质子交换膜到达负极，这个质子交换膜很厉害，含有多种离子基团，只允许质子通过，其作用如同锂电池的隔膜+电解液，这个技术也是关键的一点。

氢离子与阴极输入的氧气反应生成水；而电子则被质子交换膜阻隔，经由外电路流向阴极，产生电能为汽车供能。



数据来源：氢能源网

提到铂金、白金首饰，自是无人不知、无人不晓。

铂是比黄金更为稀缺的金属，硬度也高于黄金，稳定性较黄金有过之而无不及。

从性能来看，其耐腐蚀性以及抗氧化性强。热膨胀系数小、热电稳定性强，熔点高达1772℃，延展性良好，催化活性高。

由于具有很高的化学稳定性，常常被用来制造耐腐蚀的化学仪器，也大量用于工业生产过程中，在炼油工业、汽车等产业作为催化剂使用。

据专业人士计算，每辆氢燃料电池车需要铂 50g，大巴则需要 100g。虽然燃料电池中使用的是铂基化合物，但我们可以用铂金价格做一个粗略的计算，以供参考。

5月10日金投网最新数据显示，1盎司现货铂金价格为975美元，1盎司约为28.35g。那么，一辆氢燃料电池车使用铂的成本为1719.57美元，1辆大巴成本为3439.15美元。铂昂贵的价格无疑抬升了氢燃料车的成本。

根据日本 NEDO 数据显示，电堆成本中催化剂占比高达 53%。



数据来源：日本 NEDO

另一方面，铂常常以矿物形式存在，开采难度更大，工艺复杂，产量较小。

根据矿业人才网数据显示，自然界铂的储量比黄金还稀少。据不完全统计，铂金总储量为 1.4 万吨。

世界铂金的年产量仅 85 吨，只有黄金的 5%。从产地来看，南非产量占比 80% 以上，其余以俄罗斯等国家为主，我国铂金储量仅 300 多吨。1 盎司铂金，需从数十吨铂金矿石中历经 5 个月才能提炼出来。

毫无疑问，高昂的价格极大提升了氢能源车的成本，稀缺的上游资源对未来氢能源车大面积推广构成了制约因素。

解决上游资源卡脖子的方案无非有二，一为开源，二为节流

目前应用于氢燃料电池的催化剂主要有三种，除了铂(Pt)催化剂外，还有低铂催化剂和非铂催化剂。目前市场主流的催化剂为铂炭催化剂，就是将铂的纳米颗粒分散在炭粉作为的载体上。

当然，非铂催化剂是最佳的解决方案。不过，其稳定性与 Pt 基催化剂仍有较大差距。

目前，过渡金属-氮-碳化合物这一技术路径得到广泛认可，具备催化活性、成本和寿命等优点，是一条较好的替代方案。

世界各国研究机构均在非铂催化剂的技术领域上积极探索。

据报告，近期，英国伦敦帝国理工学院开发出一种氢燃料电池，它使用的催化剂是由铁、碳和氮为原料构成，这三种原材料相比铂来说是廉价并容易获得的。在实验室测试中，该团队表明其性能已经接近铂催化剂。

除此之外，随着技术的进步，单车铂含量也在下降。根据庄信万丰（Johnson Matthey）的测算，海外最新的研究能够将铂用量降至 0.06g/kW（约 7.06g/辆）。

实际应用上，丰田等第一梯队车企的商业化车型用量大约为 0.17g/kW（约 20g/辆）。国内技术水平则为 0.3g/kW（约 35.3g/辆）。

活性衰减方面，海外已经实现 3 万次循环后衰减在 5% 以内；国内 3 千次循环后衰减达到 86%。

通过非铂催化剂的研发和降低铂催化剂的用铂量。二者共同作用下，铂的稀缺性将得到有效缓解，不再成为产业链卡脖子环节。

我国铂催化剂产业发展较为滞后，以进口为主。据海关总署数据，2021 年我国贵金属催化剂进口数量为 6179 吨，出口数量为 1715 吨，进口金额为 14.21 亿美元，出口金额为 2.23 亿美元。

日本田中贵金属、英国庄信万丰和比利时优美科，是全球较大的几家燃料电池催化剂供应商，技术较为领先，产品性能优异。

不过，随着氢能源的推广，我国企业纷纷踏入催化剂领域。以中科科创、贵研铂业（600459）、苏州擎动科技等为代表。

其中，贵研铂业与上海汽车集团合作已经研发出铂基催化剂。苏州擎动科技实现国内首个铂合金催化量产，其开发的铂合金催化剂，能够将燃料电池的铂消耗量降低 7%。

膜电极的关键零部件除了铂催化剂外还有质子交换膜。

目前质子交换膜有多种技术方案，不过以全氟磺酸膜为主流。

理解这个名字其实并不难，透过生产流程，借助分子式便可以解惑。因为生产全氟磺酸膜的基础材料是萤石。萤石分子式为  $\text{CaF}_2$ ，与硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )反应形成氢氟酸（HF），之后进行一系列的反应制成全氟磺酸膜。

正是由于全氟磺酸膜的化学性质，使得其性能、稳定性远高于同类产品，脱颖而出。

与铂催化剂一样，全氟磺酸膜产能主要集中在海外，以美国戈尔、科慕、陶氏和 3M 公司为主。

据高工氢电统计，国内生产的膜电极，目前多数使用戈尔的增强复合膜，市占率在 90% 以上。

显而易见，全氟磺酸膜也是氢能源燃料电池又一个国产替代的关键

国内以东岳集团（00189.HK）、科润新材料、浙江汉丞等企业为代表。其中，东岳集团已具备燃料电池交换膜规模化量产的能力，实现批量供货。科润新材料、浙江汉丞已实现小批量供货。

产能方面，东岳 150 万平米生产线和科润 100 万平米项目陆续展开。随着技术突破、产能落地，质子交换膜国产替代可期。