



分析师 李怀军

证书编号: S1080510120001

电话: 010-63197789

邮箱: lihuaijun@fcsc.com

研究助理 朱晨舜

证书编号: S1080119070023

电话: 0755-2383 8522

邮箱: zhunchenshun@fcsc.com

## 干电极+超级电容——特斯拉的黑科技究竟是什么？

### 摘要:

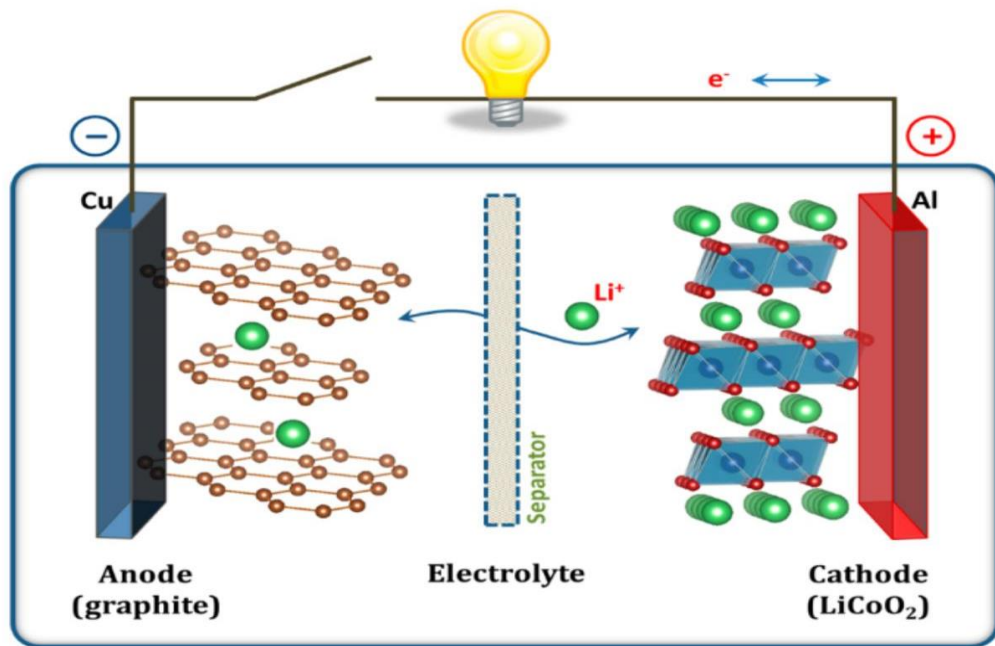
- 特斯拉表示其自主研发的新电池是无钴电池+干电极技术+超级电容组合，具体成分预计会在4月的特斯拉电池会议上进行说明。
  - 1、Ni、Co、Mn 三种元素在正极材料的构成中缺一不可，但是可以通过添加微量元素改性来降低钴含量，目前国内主流正极材料厂商均有小批量含Ni量在90%以上的产品推出，以此来降低Co的用量。特斯拉的电池在17年就是N90产品，18年的钴占比低于3%，此次特斯拉发布会即将推出的三元电池钴含量大约在1%。无钴电池不可能做到无钴，但是可以做到低钴。
  - 2、Maxwell 的干电极工艺皆适用于正极和负极。用NCA粉末和铝箔制作正极，用石墨粉和铜箔制作负极。使用此种方法制造电池的成本支出将会减少，减少了工艺环节，还不会使用后期处理较为麻烦的溶剂。
  - 3、采用干电极发向负极少量添加锂可以弥金属补在初始充电时形成SEI所消耗的锂，从而减少第一次循环容量损失。这就意味着更高的电池容量与能量密度。同时，添加的锂金属还可以补偿随着时间的推移而消耗掉的锂，因为SEI会随着电荷循环以微小的速度继续增长。因此，添加一点锂金属可能意味着大幅度提升电池寿命。
  - 4、超级电容具有许多优点：充电速度快；功率密度大，是锂电池的10倍左右；大电流放电能力强；循环使用次数达10~50万次，寿命长；安全系数高，长期使用免维护。但与主流硫电池相比仍面临成本高、能量密度低（表现为放电快，使用不到十分钟就需要充电）的劣势。
- 总的来看，Maxwell的超级电容本身似乎对特斯拉电池性能的提高暂时不会有立竿见影的作用，最多只能用于汽车启停阶段，但Maxwell用于制造超级电容器的专利工艺可以大大降低特斯拉的电池制造成本。同时，由于这是一种干电极制造工艺，可以添加额外的锂金属，特斯拉/松下电池的容量和循环寿命都可能会大幅度提高。如果能大幅推广开来，有望对PTFE（Teflon，聚四氟乙烯）需求大幅提升。

## 一、 锂离子电池工作原理

锂离子电池是指以锂离子嵌入化合物为正极材料电池的总称，目前 3C 电池，动力电池都是锂离子电池。从结构上来看锂离子电池以碳素材料为负极，以含锂的化合物作正极，没有金属锂存在，只有锂离子。锂离子电池的充放电过程，就是锂离子的嵌入和脱嵌过程。在锂离子的嵌入和脱嵌过程中，同时伴随着与锂离子等当量电子的嵌入和脱嵌（习惯上正极用嵌入或脱嵌表示，而负极用插入或脱插表示）。在充放电过程中，锂离子在正、负极之间往返嵌入/脱嵌和插入/脱插。

当对电池进行充电时，电池的正极上有锂离子生成，生成的锂离子经过电解液运动到负极。而作为负极的碳呈层状结构，它有很多微孔，达到负极的锂离子就嵌入到碳层的微孔中，嵌入的锂离子越多，充电容量越高。同样，当对电池进行放电时（即我们使用电池的过程），嵌在负极碳层中的锂离子脱出，又运动回正极。回正极的锂离子越多，放电容量越高。

图 1：锂离子电池工作示意图



资料来源：互联网，第一创业研究

以 NCM 三元电池为例，Ni、Co、Mn 三种金属元素组成镶嵌锂离子的分子结构，按照 Ni、Co、Mn 含量可以分为 523 系，622 系，811 系。三种元素在正极材料的构成中缺一不可，但是可以通过添加微量元素改性来降低钴含量，目前国内主流正极材料厂商均有小批量含 Ni90% 以上的产品推出，以此来降低 Co 的用量。特斯拉的电池在 17 年就是 N90 产品，18 年的钴占比低于 3%，此次特斯拉发布会即将推出的三元电池钴含量大约在 1%。无钴电池不可能做到无钴，但是可以做到低钴。

## 二、Maxwell 干电极涂布技术

制备锂电池的过程需要先将正负极材料分别进行混料搅拌，然后进行涂布。极片涂布一般是指将搅拌均匀的浆料均匀地涂覆在集流体上，并将浆料中的有机溶剂进行烘干的一种工艺，是制备正负极浆料完成后的下一道工序，此工序主要目的是将稳定性好、粘度好、流动性好的浆料均匀地涂覆在正负极集流体上。涂布的效果对电池容量、内阻、循环寿命以及安全性有重要影响，保证极片均匀涂布。涂布方式的选择和控制参数对锂离子电池性能的有重要影响，主要表现在：

- 1) 涂布干燥温度控制：若涂布时干燥温度过低，则不能保证极片完全干燥，若温度过高，则可能因为极片内部的有机溶剂蒸发太快，极片表面涂层出现龟裂、脱落等现象。
- 2) 涂布面密度：若涂布面密度太小，则电池容量可能达不到标称容量，若涂布面密度太大，则容易造成配料浪费，严重时如果出现正极容量过量，由于锂的析出形成锂枝晶刺穿电池隔膜发生短路，引发安全隐患。
- 3) 涂布尺寸大小：涂布尺寸过小或者过大可能导致电池内部正极不能完全被负极包住，在充电过程中，锂离子从正极嵌出来，移动到没有被负极完全包住的电解液中，正极实际容量不能高效发挥，严重的时候，在电池内部会形成锂枝晶，容易刺穿隔膜导致电池内部电路。
- 4) 涂布厚度：涂布厚度太薄或者太厚会对后续的极片轧制工艺产生影响，不能保证电池极片的性能一致性。

极片涂布对锂电池电池的容量、一致性、安全性等的具有重要的意义。据一线工程师反应：因极片涂布工艺引起的电池失效占全部原因引起的锂电池失效的比例超过 10%，提高涂敷效率能有效降低生产成本，提升电池性能一致性。

图 2：涂布机工作示意图



资料来源：互联网，第一创业研究

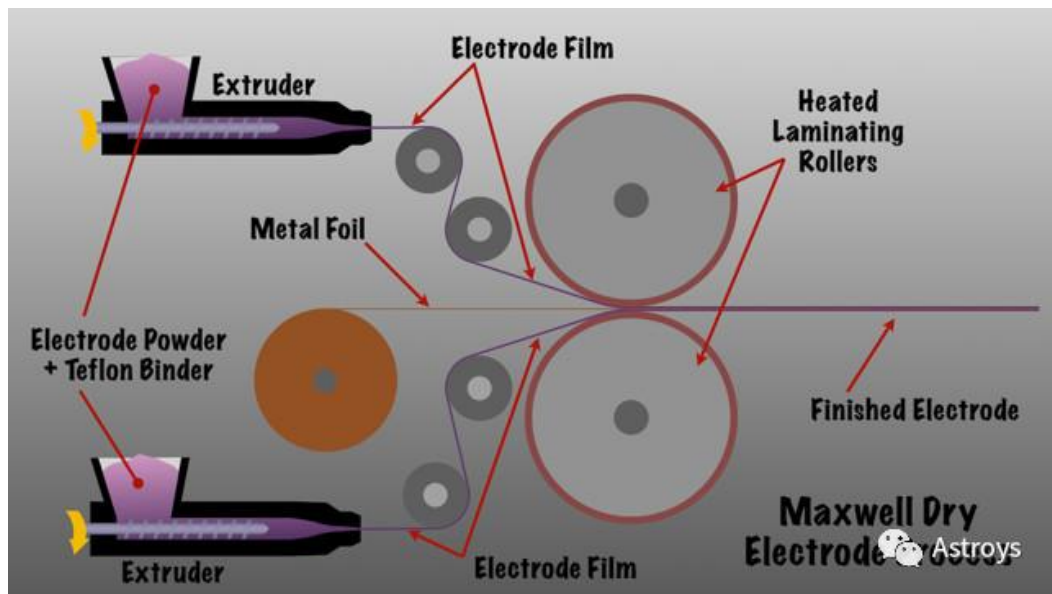
传统的锂电池制造使用有粘合剂材料的溶剂，NMP (N-Methyl-2-pyrrolidone) 是其中一种常见溶剂，其作用是将具有粘合剂的溶剂与负极或正极粉末混合后，把浆料涂敷在电极集电体上并干燥。但是溶剂有毒，必须小心回收，进行纯化和再利用。而且需要巨大、昂贵且复杂的电极涂覆机。此前涂布卷绕机的技术均掌握在国外企业手中，后来先导智能实现了国产设备突破。

特斯拉已完成对电池公司 Maxwell 的收购，该公司之前更多主要从事超级电容的开发与应用，其最为出名的还是其干电极制备电池技术。

Maxwell 的干电极工艺通过将混入活跃的负极或正极材料颗粒的 PTFE (Teflon, 聚四氟乙烯) 原纤维化，形成负极或正极材料的自支撑膜 (self supporting film)。我们可以把 Maxwell 的这个工艺比作一个装满高尔夫球和口香糖的大水箱，水箱底部有一个窄口的二维漏斗。当高尔夫球的重量通过槽将高尔夫球和口香糖片推到底部时，高尔夫球之间相互推动、滑动和滚动，偶尔会有一些口香糖被挤压。随着高尔夫球继续重新排列穿过狭槽，高尔夫球最终与口香糖的原纤维连在一起。这就是对 Maxwell 工艺的大致描述。然后将负极和正极材料的薄膜层压到金属箔集电体上制备负极和正极，正极和负极之间用隔膜卷绕制成电池的卷芯。

Maxwell 干电极工艺更简单，最关键的是不使用溶剂，它提供了一个重要但不那么明显的优势。该过程从电极粉末开始，比如说特斯拉的 NCA 正极的锂镍钴氧化铝粉末。将少量 (约 5-8%) 细粉状 PTFE 粘合剂与正极粉末混合。然后将混合的正极+粘合剂粉末通过挤压机形成薄的电极材料带。

图 3：Maxwell 干电极工艺工作示意图



资料来源：Astroys，第一创业研究

Maxwell 的工艺皆适用于正极和负极。用 NCA 粉末和铝箔制作正极，用石墨粉和铜箔制作负极。另外，还为 Teflon 添加了一些不同的聚合物，获得了更好的强度和离子传输，添加一些其他材料可以提高导电性。通过将电极膜卷绕成卷，然后送入层压机。这个过程从原理来看非常简单，制造电池的成本支

出将会减少，还不会使用后期处理较为麻烦的溶剂。

### 三、Maxwell 负极掺锂技术与超级电容

#### 3-1 负极掺锂技术

化成/分容操作是对制备完成的电池进行首次充电，激活电池，并按照容量进行分类的工序。当电池充满电解质且进行第一次充电时，正极材料的一些锂离子会被负极、电解质和锂离子之间的反应消耗掉。这种寄生反应形成 SEI (Solid Electrolyte Interphase, 固体电解质界面)。SEI 是电池的重要组成部分，因为它可以防止电解质与负极中的碳反应。问题在于，一旦进行第一次充电，在放电过程中从负极返回正极的锂离子就会损失一些。结果导致了“第一次循环容量损失”，这种现象在所有常见类型的锂离子电池中很普遍。

在锂离子电池中正极材料重量占比大，大约是其中锂重量的 20 倍。在完全充电的锂电池中，大部分锂已从正极材料中移动并储存在负极的石墨中。随着电池放电，锂返回到正极，锂离子嵌入到正极中，回到金属氧化物晶体中。当负极消耗完锂，或正极充满锂且不能再接受更多时，电池就已完全放电。第一次循环容量损失真正重要的原因是用于形成 SEI 的锂成为了锂化正极材料的一部分，因此电池在生命周期内总是带着一堆永远不会被使用的很重的正极材料，因为它最初包含的一些锂在 SEI 中被束缚住了。

图 3：Maxwell 负极掺锂专利

(57)

#### ABSTRACT

An energy storage device can include a first electrode, a second electrode and a separator between the first electrode and the second electrode wherein the first electrode includes an electrochemically active material and a porous carbon material, and the second electrode includes elemental lithium metal and carbon particles. A method for fabricating an energy storage device can include forming a first electrode and a second electrode, and inserting a separator between the first electrode and the second electrode, where forming the first electrode includes combining an electrochemically active material and a porous carbon material, and forming the second electrode includes combining elemental lithium metal and a plurality of carbon particles.

资料来源：Maxwell，第一创业研究

解决方案只需添加额外的锂来弥补用于形成 SEI 的缺口部分。这看起来似乎只是一个小问题，但是添加的锂必须是锂金属，或者将锂添加到负极的石墨中。但在有溶剂的情况下，锂金属和与混有锂金属的碳不能很好地彼此融合，

通常都伴随着烟雾、火苗和噪音等强烈反应。因此，第一次循环容量损失的问题一直没有得到很好的解决。而但 Maxwell 电池制备工艺不使用溶剂，属于干电极技术，其有一项专利内容正是用干法将锂金属添加到负极，补偿第一次循环的容量损失。

添加额外的锂有两个好处。

1. 少量添加的锂可以弥补在初始充电时形成 SEI 所消耗的锂，从而减少第一次循环容量损失。这就意味着更高的电池容量与能量密度。
2. 添加更多的锂可以补偿随着时间的推移而消耗掉的锂，因为 SEI 会随着电荷循环以微小的速度继续增长。因此，添加一点锂金属可能意味着大幅度提升电池寿命。埃隆马斯克多次在推特上表示特斯拉未来能够大幅提高电池寿命可能就是来自于此项技术。

### 3-2 超级电容

平板电容器是由两个彼此绝缘的金属电极板组成，电容量与电极板的面积成正比，与电极板之间的间隙大小成反比。超级电容的结构类似于平板电容，其电极为多孔碳基材料，该材料的多孔结构使它每克重量的表面积可达几千平方米，而电容电荷分隔的距离由电解质中的离子大小决定。巨大的表面积加上电荷间极小的距离，使得超级电容具有很大的容量，超级电容单体的容量可从 1 法拉至几千法拉不等。

图 3：Maxwell 负极掺锂专利



资料来源：Maxwell，第一创业研究

与传统电池相比，超级电容具有许多优点：充电速度快，10 秒~10 分钟即可充至其额定容量的 95% 以上；功率密度达  $(10^2 \sim 10^4) \text{W/kg}$ ，是锂电池的 10 倍左右；大电流放电能力强；循环使用次数达  $10^5 \sim 10^6$  万次，寿命长；安全系数高，长期使用免维护。但与主流硫电池相比仍面临成本高、能量密度低（放电过快）的劣势。

总的来看，Maxwell 的超级电容本身似乎对特斯拉电池性能的提高暂时不会有立竿见影的作用，最多只能用于汽车启停阶段，但 Maxwell 用于制造超级电容器的专利工艺可以大大降低特斯拉的电池制造成本。同时，由于这是一种

干电极制造工艺，可以添加额外的锂金属，特斯拉/松下电池的容量和循环寿命都可能会大幅度提高。如果能大幅推广开来，有望对 PTFE (Teflon, 聚四氟乙烯) 需求大幅提升。

## 免责声明：

本报告仅供第一创业证券股份有限公司（以下简称“本公司”）研究所的客户使用。本公司研究所不会因接收人收到本报告而视其为客户。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告作出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确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。

本报告可能在今后一段时间内因公司基本面变化和假设不成立导致的目标价格不能达成的风险。

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，报告中的信息或意见并不构成所述证券的买卖出价或征价，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。本公司不会承担因使用本报告而产生的法律责任。

本公司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头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。

本报告版权归本公司所有，未经本公司授权，不得复印、转发或向特定读者群以外的人士传阅，任何媒体和个人不得自行公开刊登、传播或使用，否则本公司保留追究法律责任的权利；任何媒体公开刊登本研究报告必须同时刊登本公司授权书，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改，并自行承担向其读者、受众解释、解读的责任，因其读者、受众使用本报告所产生的一切法律后果由该媒体承担。任何自然人不得未经授权而获得和使用本报告，未经授权的任何使用行为都是不当的，都构成对本公司权利的损害，由其本人全权承担责任和后果。

市场有风险，投资需谨慎。

## 投资评级：

评级类别	具体评级	评级定义
股票投资评级	强烈推荐	预计6个月内，股价涨幅超同期市场基准指数20%以上
	审慎推荐	预计6个月内，股价涨幅超同期市场基准指数5-20%之间
	中性	预计6个月内，股价变动幅度相对基准指数介于±5%之间
	回避	预计6个月内，股价表现弱于市场基准指数5%以上
行业投资评级	推荐	行业基本面向好，行业指数将跑赢基准指数
	中性	行业基本面稳定，行业指数跟随基准指数
	回避	行业基本面向淡，行业指数将跑输基准指数

第一创业证券股份有限公司

深圳市福田区福华一路115号投行大厦20楼

TEL:0755-23838888FAX:0755-25831718

P.R.China:518048www.firstcapital.com.cn

北京市西城区金融大街甲9号金融街中心8层

TEL:010-63197788FAX:010-63197777

P.R.China:100140

上海市浦东新区世纪大道1229弄1号楼1603—A室

TEL:021-68551658FAX:021-68551281

P.R.China:200135

---