

# 电动汽车电池发展现状及前景

**摘要:** 随着世界能源短缺,全球环保意识的增强,电动汽车正在成为世界潮流。电动汽车目前发展最大的制约来源于其能量存储设备——电池。本文介绍了目前电动汽车用电池的特点及发展现状,当前研究开发的电动汽车动力电池主要包括燃料电池、化学蓄电池(铅酸电池、镍金属电池、锂电池等)、超级电容和太阳能电池,并对文中所述的四种电池的发展前景进行了分析总结。

**关键词:** 电动汽车电池; 燃料电池; 化学蓄电池; 超级电容; 太阳能电池

## 0.引言

电池是电动汽车的动力源泉,也是一直制约电动汽车发展的关键因素。电动汽车用电池的主要性能指标是比能量、能量密度、比功率、循环寿命和成本等。要使电动汽车能与燃油汽车相竞争,关键就是要开发出比能量高、比功率大、使用寿命长的高效电池。因为电动汽车与燃油汽车相比的三个主要制约因素:成本高、续驶里程短和充电时间长,都与能量存储技术没有突破性进展直接相关。目前各国都在加紧研究各类先进的能量存储技术,开发各种高比能量、高比功率、长循环使用寿命、价格低廉的动力电池,此外,还要具有良好的工作环境温度、自放电性、使用安全性和无污染等。当前研究开发的电动汽车动力电池主要包括燃料电池、化学蓄电池(先进铅酸电池、镍金属电池、锂电池等)、超级电容和太阳能电池。下面分别将对各类电池的发展现状及前景进行介绍。

## 1. 燃料电池

### 1.1 概述

燃料电池是一种使用燃料进行化学反应产生电能的装置,所用燃料包括纯氢气、甲醇、乙醇、天然气以及现在运用最广泛的汽油。按电解质的种类不同,燃料电池可分为碱性燃料电池、磷酸燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池、固体氧化物燃料电池、质子交换膜燃料电池等。在燃料电池中,磷酸燃料电池、质子交换膜燃料电池可以冷起动和快起动,可以作为移动电源,满足特殊情况的使用要求,更加具有竞争力。最常见是以氢气为燃料的质子交换膜燃料电池,由于燃料价格便宜,无化学危险,对环境无污染,发电后产生纯水和热,这是目前其它所有动力来源无法做到的。它以纯氢为燃料,以空气为氧化剂,不经历热机过程,不受热力学循环限制,因此能量的转换效率高,是普通内燃机热效率的2~3倍。

### 1.2 特点

燃料电池以其高效、洁净、兼容可再生能源技术等特点,噪音低、启动迅速、比功率大

和输出功率可随时调整等特性,在未来交通、运输、通讯等领域展示了广阔的应用前景。将燃料电池作为汽车的动力,已被公认为是 21 世纪的必然趋势。它是人们提出的后石油时代解决移动动力源的方案之一,是实现低碳减排目标的重要能源转换技术。与其他电动汽车如二次电池为动力的纯电动汽车及混合电动汽车比较,燃料电池汽车具有续驶里程长、动力性能高等优点。

但是燃料电池的寿命较短、成本较高,另外氢源的获取也是个难题。电池汽车商业化必须解决这三大难题。

### 1.3 现状

初期的车用燃料电池技术仅限于满足汽车动力要求,基于商业化的预期,人们逐渐关注它的成本、寿命等问题。美国联合技术公司与美国 AC Transit 运输公司合作,在加州奥克兰市成功地进行了燃料电池公交车示范运行。截止 2010 年 6 月底,其 120 kW 的燃料电池系统在没有更换任何部件条件下已经运行了 7000 h,远超过美国能源部制定的 2015 年的 5000 h 寿命目标。日本丰田公司十几年来也一直致力于燃料电池汽车的开发。在成本控制方面,通过技术进步,贵金属 Pt 的用量降低至原来的 30%;此外,开发了 2010 上海世博会示范运行的燃料电池汽车等,质子交换膜的成本也有明显的下降,通过发展批量生产技术,使制造成本也得到了大幅降低。近期其高层已在公开场合宣布,2015 年实现燃料电池汽车零售价格为 5 万美元/辆的目标。

从全球来看,燃料电池汽车还处于实现商业化的推进阶段,需要解决来自于寿命、成本与氢源的三大挑战。由于美国 UTC 公司车用燃料电池运行 7000 h 的标志性成果,使人们看到了燃料电池汽车商业化的曙光,寿命问题有希望在现有材料的基础上通过系统优化与控制策略的改进得以解决。材料的创新与改进是取得燃料电池长寿命的根本性变革,但需要相对长时间的努力。氢源是燃料电池应用相关的另一热点问题,近期重点研究化石能源廉价制氢技术或工业副产氢利用技术;远期需要发展可再生能源或核能制氢技术,使之与可持续发展的低碳经济接轨。

### 1.4 前景

氢燃料电池虽然已经有应用,但由于液氢的体积能量密度(2.6 kW/L)相对于汽油(6 kW/L)较低,需要更大的燃料缸,制氢的成本偏高,电池膜等材料昂贵,因此氢燃料电池的推广应用还需要时间。燃料电池的特点决定了它具有广阔的应用前景。但燃料电池在电动汽车上的商业应用前景是远期的,在短期内,燃料电池汽车在价格上难以与其他汽车相竞争。

目前燃料电池研究与开发集中在 4 个方面:电解质膜、电极、燃料、系统结构。日美欧各厂家开发面向便携电子设备的燃料电池,尤其重视前三个方面的材料研究与开发。第 4 方面的研究课题是燃料电池的系统结构,前 3 个方面是构成燃料电池的必要准备,而系统结构是燃料电池的最终结果。燃料电池,特别是固体氧化物燃料电池的开发研究以及商业化,是解决世界节能和环保的重要手段,受到了世界诸多国家的普遍重视。尽管目前固体氧化物燃料在应用中还存在一些问题,如电极材料、制造成本、操作温度过高等等问题,但瑕不掩瑜,加快固体氧化物燃料电池发展必然是世界能源发展的总趋势。

## 2.化学蓄电池

纵观电动汽车的整个发展过程，出现过多种不同类型的汽车和电池，其中产生巨大影响并商业化使用直到现在的电动汽车电池主要有铅酸电池、镍氢电池和锂离子电池。下文将针对这3种重要的电动汽车电池的研究和应用情况进行介绍。

### 2.1 铅酸蓄电池

铅酸蓄电池以氧化铅为正极板，以海绵铅为负极板，硫酸水溶液作为电解液。充放电过程依靠极板上活性物质和电解液发生化学反应来实现。铅酸蓄电池是目前在汽车领域应用得最为广泛的电池，主要作为内燃机汽车内部各种电器和电子设备的电源。铅酸蓄电池在过去被广泛应用，具有成熟的技术，可以大批量生产，生产成本低，价格便宜。尽管新电池技术不断地产生，但铅酸蓄电池至今仍作为动力源应用于旅游观光车，电动叉车或者一些短距离行驶的公交车上。其中应用于电动汽车的新一代阀控式密封铅酸蓄电池不须维护，允许深度放电，可循环使用；然而它依旧有着铅酸蓄电池比能量和比功率低的致命弱点，根本原因是金属铅的密度大。它在轻度混合电动汽车中是有应用前景的，因其成本低、技术成熟、性能可靠，但不适于重度混合汽车或纯电动汽车。

### 2.2 镍氢电池

镍氢电池由氢氧化镍的阳极和由钒、锰、镍等金属形成的多成分合金阴极组成，相对铅酸电池，镍氢电池在能量体积密度方面提高了3倍，在比功率方面提高了10倍。这项技术独特的优势包括：更高的运行电压、比能量和比功率，较好的过度充放电耐受性和热性能。镍氢电池广泛应用受限的原因是其在低温时容量减小和高温时充电耐受性的限制；此外，价格也是制约镍氢电池发展的主要因素，原材料如金属镍非常昂贵。基于镍氢电池的电动汽车电池技术已表现出局限性。镍氢电池虽比铅酸电池储存更多的能量，但过放电会造成永久性损伤，荷电状态必须被限制在一个较小的范围内，电池储存的大部分能量并没有被实际使用，另外，能否准确测量镍氢电池的荷电状态直接影响其使用寿命及充放电效率。

对于镍氢电池的研究应该主要解决在实际应用中，在常温和低温的条件下，镍氢电池比功率严重下降的问题。镍氢电池存在的问题可以通过使用合适的添加剂、导电黏结剂和优化电池设计等方式予以解决，镍氢电池仍是近期和中期电动汽车使用的首选动力电池。

### 2.3 锂离子电池

锂离子电池的传统结构包括石墨阳极、锂离子金属氧化物构成的阴极和电解液（有机溶剂溶解的锂盐溶液）。最常见的锂离子电池以碳为阳极，以碳酸乙烯酯和碳酸二甲酯溶解六氟磷酸锂溶液为电解液，以二氧化锰酸锂为阴极；轻巧结实，比能量大，单体电压约为3.7V。锂离子电池具有相对较高的工作电压和较大的比能量，是镍氢电池的3倍。锂离子电池体积小，质量轻，循环寿命长，自放电率低，无记忆效应且无污染。

锂离子电池可分为锂离子电池和锂聚合物电池2种。锂离子电池的阴极材料主要有锂钴氧化物、锂镍氧化物、锂锰氧化物、磷酸铁锂等，阳极材料主要有石墨、钛酸锂等。要将锂离子电池大量应用于电动汽车仍然存在问题，主要是因为多种性能的限制，包括锂离子电池

的安全性、循环寿命、成本、工作温度和材料供应。目前，锂离子电池以小容量、低功率电池为主，大容量高功率的锂离子电池尚未大规模生产。此外针对电池组的电池管理系统中一些技术（如均衡充电技术）的不成熟也是锂离子电池尚未在电动汽车中广泛应用的重要原因之一。

锂离子电池技术的先进性和在新兴关键市场（电动汽车领域）的应用，已激发全球范围内的研发热潮，因此锂离子电池势必将在电动汽车和新能源领域占据重要位置。目前在电动汽车中，应用较多的锂离子电池是磷酸铁锂电池，它具有磷氧共价键结构，使氧原子不会被释放出来，因而热稳定性和安全性较好，同时价格相对便宜。这些因素使磷酸铁锂电池成为小型电动汽车和 PHEV 动力电池首选。然而在锂离子电池中，磷酸锂电池的比能量、比功率以及运行电压相对较低，在大型纯电动汽车应用方面钴酸锂和锰酸锂电池等更具优势。

## 2.4 三种化学蓄电池性能分析比较

图 1 为铅酸电池、镍氢电池和锂离子电池（锂离子电池和锂聚合物电池）的比能量、比功率、安全性等基本性能。通过比较可以发现，目前这几种电池技术仍然没有一种能够占据每个方面性能的优势地位。这说明目前在电动汽车应用领域出现这些不同种类电池共存情况的原因，也是各种电池技术在不同程度上存在的缺陷导致电动汽车的发展受到制约而未大规模产业化的原因。

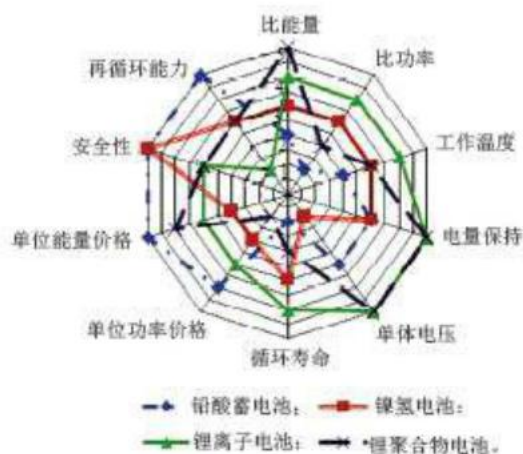


图 1 电动汽车电池性能比较

由图 1 可以看出，在目前市场上的电池中，锂离子电池（锂离子电池和锂聚合物电池）除在价格 and 安全性方面处于劣势以外，其他方面均处于绝对领先地位，有进一步研发和大规模应用的前景。

## 2.4 前景

根据前述分析，以下是对电动汽车动力电池发展的展望：

### 1、铅酸电池。

铅酸电池虽便宜，并在叉车、观光车或者短途公共汽车上作为动力源应用，但新一代铅酸电池的比能量和循环次数仍存在严重的限制。未来使用铅酸电池来驱动在高速公路上行驶的电动汽车是不实际的，但价格优势使其在轻度混合或者短途行驶的电动汽车（如观光车）中仍占一席之地。

### 2、镍氢电池。

镍氢电池虽然具有较高的比能量和比功率等优点;但由于需要大量使用镍和钴其成本较高,镍钴的稀缺性会导致其大批生产和使用时价格反而会上涨。目前,它仍然大量地应用于混合动力车,随着锂离子电池的大规模生产和成本的降低,镍氢电池终将退出。镍氢电池是电动汽车过渡阶段使用的电池,但在近期和中期仍然是非常关键的动力电池之一。

### 3、锂离子电池。

目前市场上的电池中,锂离子电池(锂离子电池和锂高聚合物电池)的性能最好,同质量的锂离子电池其能量是铅酸电池的4~6倍,是镍氢电池的2~3倍。价格和大功率锂离子电池的安全性是它的最主要缺点。锂离子电池的主要原材料为锂,我国的锂矿资源丰富,已探明的锂总储量居世界第2;锂离子也存在于海水中,未来可利用太阳能从海水中提取。此外,锂离子电池具有循环使用的潜力,可解决对原材料的需求问题。最终锂离子电池的价格在大规模商业化之后会下降。对于锂离子电池技术最大的挑战是继续扩大电池容量,同时保证安全性和循环次数不受影响,并降低成本。此外,电动汽车电池的快速充放电能力对于它未来作为风电和太阳能等新能源发电的备用非常重要。

## 3 太阳能电池

### 3.1 概述

将太阳能电池(板)安装在汽车上,太阳能电池(板)采集阳光,并产生电流。通过电流驱动电动机,最终驱动车辆行驶。太阳能电池驱动汽车有三种方式:直接驱动式、间接驱动式和混合驱动式。太阳能汽车主要由车身、太阳能电池板、电力系统、驱动系统、蓄电池、机械系统、底盘等部分组成。太阳能汽车的车身由于安装太阳能电池(板)的需要,其造型与普通汽车有较大的区别,其表面积也往往大于普通汽车的表面积。

### 3.2 特点

太阳光由于受到天气、季节、时间等不可抗因素影响,导致太阳能具有地域性、季节性和时域性等特点。同时太阳光的不稳定性、分散性以及太阳能电池能量密度小、转化效率低、成本高等因素,导致太阳能电池在汽车上还不能广泛使用。当前的太阳能汽车普遍采用质轻价贵的航空、航天材料,造价十分高昂。太阳能电池价格比较高,所以太阳能汽车的价格也比较高。以目前的材料应用和技术能力,太阳能转换率一般只能达到20%左右,太阳能汽车功率普遍较小、续航里程短、承重能力低。如果太阳能汽车完全由太阳能电池(板)驱动,太阳能电池(板)的面积(7~8平方米)会很大。这也是限制太阳能电池在汽车上应用的一个外在因素。

### 3.3 现状

国外太阳能电池最早于1978年用在汽车上,当时的太阳能汽车时速仅为13 km/h。之后世界很多国家对太阳能汽车进行了研究,但主要侧重于赛车领域。目前,太阳能汽车连续驾驶里程最大为200 km。太阳能在汽车上的应用技术主要集中在两个方面:一是作为驱动力,二是用作汽车辅助设备的能源。

#### 1、作为驱动力

这一应用方式，一般采用太阳能电池板，通过太阳能电池转化的电能驱动汽车运行。按照应用太阳能的程度又可分为如下两种形式：一是太阳能作为第一驱动力驱动汽车，目前主要是用在太阳能赛车（图 2）和短距离电瓶车（图 3）上；二是太阳能和其它能量混合驱动汽车，相当于混合动力汽车，既可以减轻蓄电池的重量，也可以适当降低环境污染。



图 11 太阳能赛车

图 12 短距离电瓶车

## 2、作为汽车辅助能源

由于太阳辐射到地面的功率至多  $1\text{kW}/\text{m}^2$ ，目前的光电转换效率小于 30%。普通汽车的功率一般在几十千瓦左右，因此全部用太阳能电池驱动普通汽车，目前还难以达到。但在普通汽车上用太阳能作为辅助动力，或者给汽车上的各种辅助设备提供电能，如利用太阳能电池为汽车的空调、风扇和车内照明设备提供能源等。

## 3.4 前景

随着环境污染、全球变暖以及化石能源的逐渐枯竭，清洁完全无污染的太阳能将会引起更多企业的研发和重视。很多国家的汽车企业和光电企业已加大了对汽车和太阳能电池的研发投入，并取得了很大进展。主要表现在以下方面：

### 1) 提高汽车设计技术

汽车行业的整体的趋势是向更安全、更高效、更节能的方向发展。随着材料技术、工艺技术、设计理念、设计方法的进步，有关汽车车身、底盘、机械系统、驱动系统、蓄电池、控制系统等将得到进一步的提高，届时汽车的重量将更轻、性能更优，从而减少对电能的需求。

### 2) 提高太阳能电池的转换效率

目前，太阳能电池的最大光电转换效率已经有了比较大的提升。如澳大利亚企业用激光技术制成的太阳能电池，其光电转换率达 24.2%，日本企业已研制出光电转换率达 30% 的太阳能电池，美国已研制成功光电转换率达 35% 的高性能太阳能电池。

太阳能电池自诞生以来，已经在航空航天、建筑、照明、游艇等行业获得了广泛应用。从太阳能汽车的发展历程可以看到，太阳能电池在汽车行业的应用主要还停留在太阳能赛车和太阳能电车上。虽然太阳能电池在汽车上作为辅助能源或辅助动力已经获得应用，但由于太阳能电池存在能量密度小、转化效率低、成本高等因素，很大程度地限制了太阳能电池在汽车上的应用。在社会的需求、政府的引导和技术的进步等各方面共同作用下，太阳能电池将获得更大更好的发展，而太阳能电池在汽车上的应用也将更加广泛。

## 4. 超级电容

### 4.1 概述

超级电容器是近几十年来，国内外发展起来的一种介于常规电容器与化学电池二者之间

的新型储能元件。它具备传统电容那样的放电功率，也具备化学电池储备电荷的能力；具有超级储电能力，可提供强大脉动功率的物理二次电源。它与常规电容器不同，其容量可达数万法。超级电容器作为一种新型的储能元件已经引起人们的关注，并进行了广泛的研究。

## 4.2 特点

超级电容器具有许多电池无法比拟的优点，详述如下。

1) 循环寿命长。超级电容器充放电过程中发生的电化学反应具有很好的可逆性。其理论循环寿命为无穷，其充电循环次数可达 50 万次。

2) 良好的功率密度。电容器的功率密度约为充电电池的 10~100 倍，可作为功率辅助器，供给大电流。超级电容器最适合用于要求能量持续时间为  $10^{-2} \sim 10^2$  s 的情况。

3) 能量利用率高。超级电容器充放电的能量利用率比电池充放电的能量利用率要高得多，输出相同能量时，超级电容器产生的热量远小于电池产生的热量。

4) 充电速度快。超级电容器采用大电流充电时，能在几十秒到几分钟内完成充电过程，而蓄电池则需要数小时才能完成充电，即使采用快速充电也需几十分钟。

5) 可承受大电流。超级电容器可以在大电流（10~1000 A）下充放电，同时自身调节能力强，对过充电或过放电有一定的承受能力，在短时间过压一般不会对装置产生严重影响，可稳定地反复充放电。

6) 低阻抗。由于超级电容器等效串联电阻值很低，从而可以输出大电流，也可以快速吸收大电流，而这对具有很高内阻的电池来说是不可能的。

7) 使用温度范围宽。一般为 0~60℃。

另外，超级电容作为辅助电源的电动汽车可以具有非常高的能量回收率，汽车在行驶过程中至少有 30% 的能量因热量散发和制动而消耗掉，特别是在短途行的城市公交车，经常遇到红绿灯和立交桥上下坡，这样不仅造成能源浪费，而且增加环境污染。而超级电容正好可以满足在汽车制动或减速的时候启动制动能量回馈模式运行，回收原来白白浪费掉的能量。而且在电动汽车启动的时候启用超级电容动力，减小主电源的消耗，不仅减少了环境污染，而且也使电动汽车可行驶的里程数加长。

超级电容器虽然在应用中有着明显的优势，但依然存在着一些问题。与蓄电池相比，其能量密度偏低，寻找新的电极活性材料，提高超级电容器的能量密度成为根本也是难点所在。另外就是超级电容的一致性检测问题。超级电容的额定电压很低，在应用中需要大量的串联。由于应用中需要大电流充放电，而过充则对电容的寿命有严重的影响，因此，串联中的各个单体电容器上电压是否一致是至关重要的。如果能在超级电容器分组组装前进行一致性检测，将充放电性能最接近的超级电容器分成一组，这将能够在很大程度上解决超级电容组的均压问题。

## 4.3 现状

超级电容在电动汽车中的应用基于超级电容的纯电动汽车可以分为三类。

- 1) 以超级电容作为唯一电源的纯电动公交车。
- 2) 以超级电容和其他储能电池一起作为动力电源为纯电动汽车提供动力。
- 3) 以超级电容和其他燃油汽车作为混合动力的汽车。

单纯用超级电容器来驱动电动汽车，这个方法结构简单、实用且成本低，而且实现了车辆尾气的零排放。根据超级电容器的特点，以超级电容器为唯一能源的电动汽车适合用在短距离、线路固定的区域。例如火车站和机场的牵引车上；煤矿的采煤车、运输车上；学校

和幼儿园的送餐车上；公园的游览车上；城市的电动自行车、电动公交车上。目前上海 11 路和 26 路公交车就是超级电容车，已经取得了很好的效果。使用超级电容器为能源的电动汽车，一次充电行驶里程可达 20 km，充电时间 12~15 min，在此领域将会有广阔的应用前景；而且超级电容器的低温特性优于蓄电池，尤其在北方气候寒冷地区是一个好的选择。

#### 4.4 前景

就目前的技术来看，超级电容电池电动汽车还不能广泛应用，根据超级电容储能装置本身的特点来讲，它更加适用于复合动力汽车和混合电动汽车技术中。复合动力汽车是靠内燃机和电动机两种方式共同提供推动力的，在汽车正常行驶和制动的时候给超级电容电池充电，汽车爬坡和加速，需要功率大的时候让超级电容电池放电。由于普通汽车在正常行驶的时候，功率仅为最大功率的 1/4，复合动力汽车中蓄电池和电动机的加入恰好可以解决这个问题，这样复合动力汽车在设计的时候就可以不用按照汽车的最大功率来进行设计，可以避免在正常行驶的过程中出现“大马拉小车”的现象，大幅度提高汽车的性能。

超级电容储能技术的发展日新月异，随着这项技术的不断发展和造价的减少，超级电容储能技术慢慢扩展到生活的各个领域。可以预见，不久的将来，在电动汽车中电池储能技术将占有举足轻重的作用，而且由于超级电容储能技术的加入，电动汽车的普及将大大加快。

## 5. 结论

综上所述，本文得出以下结论：

1、燃料电池为电动汽车电池的终极解决方案，但燃料电池在电动汽车上的商业应用前景是远期的，在短期内，燃料电池汽车在价格上难以与其他汽车相竞争。

2、化学蓄电池中锂电池最具前景，将成为未来电动汽车电池的主流之一。

3、太阳能电池由于其特点，成为第一驱动力的可能性不大。未来发展发向应该是作为电动汽车的辅助能源。

4、超级电容因其特点，可作为短途固定路线的电动汽车唯一能源；此外由于用超级作为辅助电源的电动汽车可以具有非常高的能量回收率，将它与其他电池组合使用具有一定前景。

## 参考文献

- [1] 程夕明, 孙逢春. 电动汽车能量存储技术概况. 电源技术, 2001, 25(1)
- [2] 衣宝廉, 侯明. 车用燃料电池耐久性的解决策略. 汽车安全与节能学报, 2011, 2(2)
- [3] 王兴娟, 王坤勋, 刘庆. 燃料电池的研究进展及应用前景. 炼油与化工, 2011, 22 (1)
- [4] 宋永华, 阳岳希, 胡泽春. 电动汽车电池的现状及发展趋势. 电网技术, 2011, 35(4)
- [5] 胡兴军. 探索中的太阳能汽车. 交通与运输, 2009(1)
- [6] 赵云峰, 万杰, 朱自萍, 等. 太阳能电池在汽车上的应用分析. 农业装备与车辆工程, 2011 (4)
- [7] 杨盛毅, 文方. 超级电容器综述. 现代机械, 2009(4)
- [8] 张杜鹃, 欧阳海, 胡欢. 超级电容器在电动汽车上的应用. 城市车辆, 2009(5)