

超级电容器在混合电动车上的研究进展*

熊 奇, 唐冬汉

(湖南省科学技术研究开发院, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 由于能源短缺和城市环境污染的加剧, 科学家早在 20 世纪 60 年代就提出了混合电动车的概念, 其目的是: 节约燃油和降低废气排放。近些年来实验证实, 大电池不适合用作频繁启动和频繁刹车时能量回收的电源, 而超级电容器 (EDLC) 是最佳选择。介绍了超级电容器与电池、传统电容的区别, 以及超级电容器和混合电动车的市场潜力。

关键词: 超级电容器; 混合电动车; 二次电池; 传统电容器

中图分类号: TM53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579TM53 (2003) S1-0130-04

由于石油短缺以及公众环保意识的提高, 迫使科学家和汽车制造商设计出新型汽车, 在使用石油和其它能源的同时, 尽量降低废气排放^[1-3]。解决这一问题的最优方法是所有汽车都使用燃料电池。据专家估计, 燃料电池在最近十年内还不可能达到规模化生产。虽然燃料电池是一种很有潜力的技术, 但是在它实用化之前我们还必须解决一些问题。如以氢/氧燃料电池为例, 该电池在能量转换效率以及功率方面已完全能够满足汽车性能的需要, 而且废气排放为零排放, 目前急需解决的问题是氢气贮藏、贮藏体积及其贮藏安全问题以及加氢站的基础设施建设^[4,5]。同样, 金属型空气电池 (锌空电池^[6], 铝空电池等) 在理论技术也能用于纯电动车上, 但是也受到配套基础设施以及安全性等因素的影响, 尤其是燃料电池的价格和大体积贮藏阻碍了燃料电池的实用进程。

根据目前科技发展状况, 最有可能实现的是混合电动车。混合电动车的技术主要由五部分组成: 燃油发动机、发电机、电动机、能量贮藏系统和能量管理系统组成 (如图 1 所示)。

混合电动车是采用多能源系统提供动力, 目前混合电动车的动力系统是以燃油发动机作为主要动力, 以电力能量贮藏系统作为辅助动力进行设计的, 这里所指的电力能量贮藏系统通常是二次电源等。目前已有的二次电源完全能够满足燃油汽车匀速驾驶时输出功率的要求, 有时甚至能满足加速时峰值功率以及刹车时能量回收的要求^[1,7]。尽管现在还是处于初级阶段, 通过采用燃油发动机的动力

进行发电并驱动电动机, 可以解决电动车行驶里程不足的问题, 提高电动车的竞争力。同时, 通过优化燃油发动机的运行状态, 可以实现系统的高效率, 与燃油汽车比, 不仅提高燃烧效率、节省燃油和维护费用, 而且还减少了废气排放, 降低了噪音, 更重要的是有利于环境保护, 造福子孙后代^[8]。

不幸的是, 混合电动车的控制系统、发电机和发动机发展得很快, 而二次电源的发展远远落后于它们, 所以目前还没有一种二次电源能够使其性能与它们相匹配。主要缺陷有以下几个方面: ①二次电源在寒冬腊月的工作性能较差, 给使用者带来诸多不便; ②二次电源的有限循环寿命, 增加了使用者更换电源的费用; ③废旧电源的环保问题。最重要的是二次电源不能满足混合电动车短时间功率的要求, 例如加速、刹车能量回收以及冷启动。以锂离子电源为例, 我们都知道, 锂离子电源的比能量很大, 但充放电电流很小, 不能满足短时间内大电流充放的要求, 一旦用于混合电动车, 只能为汽车匀速驾驶提供功率, 这样使用就不会影响锂离子电源的寿命, 同样它也就很难回收刹车时的能量, 难于满足车迷对车加速性能的要求。如果想通过增加电源的个数来弥补功率, 势必增加混合电动车的费用, 同时, 大电流充放还会影响电源的寿命, 例如, 在 60% 的放电深度 (DOD) 下, 作峰值功率循环, 铅酸电源只有 1 000 次寿命, Ni-MH 电源也只有 10 000 次寿命, 而对一辆汽车而言, 像这种情况, 一般可达几十万次以上。如果在混合电动车

* 收稿日期: 2003-04-18

通讯联系人: 唐冬汉; E-mail: mctangcn@sohu.com

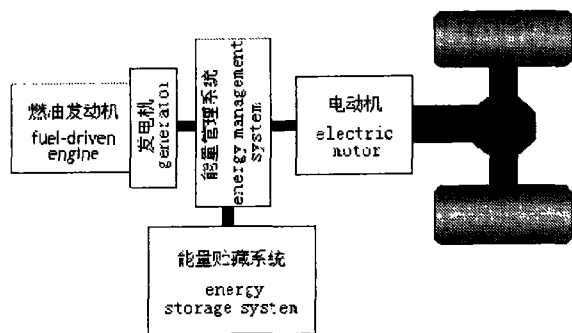


图1 串联混合动力车示意图

Fig.1 Schematic series hybrid electric vehicle

上用铅酸电源或者用 Ni-MH 电源的话,一到二年的费用大约是 13 000 美元到 17 000 美元。

1 超级电容器

由于汽车频繁启动、加速或停车,使得蓄电池的充放电过程变化很大。在正常行驶时,混合动力车从蓄电池中吸取的平均功率相当低,而刹车、加速或爬坡时的峰值功率又相当高,一辆高性能的混合动力车的峰值功率与平均功率之比可达到 16:1,且用于刹车、加速或爬坡时消耗的能量占总能耗的 56%^[7]。为了解决混合动力车刹车、加速或爬坡时能量瞬间输入/输出的矛盾,我们可以考虑使用超级电容器,以缓解蓄电池在功率上的不足^[9-12,24]。超级电容器最大的特点是比功率高、循环寿命长、比能量低。用超级电容器与蓄电池一道使用可以构成混合动力车的混合能量储存系统,从而使能量的利用效率提高 15% 以上,降低了废气排放^[1]。

1.1 储能工作原理

超级电容器的结构如图 2 所示。当外施电压加在电容器两端时,由于电解质分子的趋偶合排列作用,在两电极的表面形成了一个双电层,即电容器。这种极化作用可用于储存电能,这是因为:储存的电能与电容器的电容量和外施电压有关。

$$C = \epsilon A / d \quad (1)$$

$$E = CV^2 / 2 \quad (2)$$

式中, ϵ 是有效电解质常数, d 是电极表面与吸附离子的间隔距离, A 是电极表面积, C 是电容量, V 是外加电压, E 是储存的电能。

混合能源系统所需的超级电容器的大小,可用简单的能量等式计算。为了改善混合动力车的性能,超级电容器的最大储存能量 W_{cap} 应该等于混合动力车加速爬坡时所需的最大动能及势能之和,即:

$$W_{\text{cap}} = \frac{mgh_{\text{max}} + mv_{\text{max}}^2 / 2}{\eta} \quad (3)$$

式中, m 是车重, v_{max} 是最大车速, g 是重力加速度, h_{max} 是混合动力车的最大爬坡高度差, η 是系统的能量效率。因此,超级电容器需要的电容量 C ,可按如下公式计算:

$$W_{\text{cap}} = C \frac{V_{\text{max}}^2 - V_{\text{min}}^2}{2} \quad (4)$$

式中, V_{max} 和 V_{min} 分别是超级电容器的最大和最小电压。

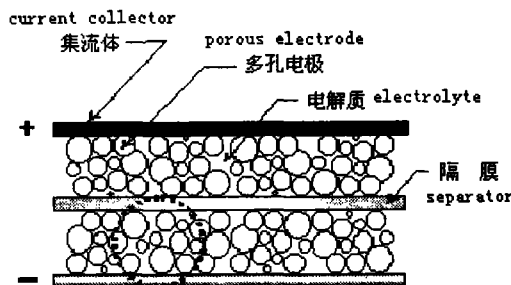


图2 超级电容器结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of super capacitor structure

1.2 超级电容器与电池、传统电容的区别

我们知道,电池、超级电容和传统电容都能储存电能,但是它们储存电能的原理不同。电池是电能和化学能的能量转换装置,通常称为化学电源;而超级电容(EDLC)和传统电容是物理电源,它们储存电能是靠静电引力作用来实现的。具体到超级电容(EDLC)是在高度多孔状电极与束缚态电解质的接触表面所特定的双电层来实现储能的,传统电容通常是通过平板电极所带相异电荷来实现储能。因此,超级电容储存的能量是同规格普通铝电容的 2000 倍,是铅酸电池比功率的 10 倍。三者之间的对照如表 1 所示^[13]。

表1 3种储能元件的对比表

Tab.1 Comparison of three storage technologies

性能	铅酸电池	超级电容器	普通电容
充电时间/s	1~5 h	0.3~30	$10^{-3} \sim 10^{-6}$
放电时间/s	0.3~3 h	0.3~30	$10^{-3} \sim 10^{-6}$
比能量/(Wh·kg ⁻¹)	10~100	1~10	<0.1
比功率/(W·kg ⁻¹)	<10 ³	<10 ⁴	<10 ⁵
循环寿命	1000	>10 ⁵	>10 ⁵
充放电效率	0.7~0.85	0.85~0.98	>0.95

从表 1 中看出,超级电容器在比能量和比功率两个性能参数上位于电池和传统电容之间,循环寿命和充放电效率都都远高于电池。由于使用寿命长,通常都超过了使用其设备的寿命,所以,超级电容器终身无须维护,加之使用完后,对环境要求

宽松, 无污染, 因而又称其为绿色能源^[14]。

2 超级电容器在混合电动车上的应用及市场潜力

根据超级电容器的特点, 主要用途集中在两个方面: 第一个主要用途是作为电器设备的临时备用电源。第二个主要用途是——也是我们感兴趣的, 在混合电动车上的应用, 主要作用是峰值、脉冲功率的补给。作为汽车动力的二次能量, 主要是要能满足短时间的大功率输入/输出, 即加速和刹车的功率需求, 这种情况在汽车一生中要经历成千上万次, 如要同时满足这两种需要, 对电池来讲, 其尺寸大小、重要、价格都难以满足市场的需求; 而对于超级电容器来说, 目前除价格外, 其它性能指标都能满足上述要求, 即使是深度放电对它也没有什么影响。超级电容器的工作温度范围广, -40°C 也能正常工作, 这一点是电池比不上的。但是, 目前超级电容器在混合电动车上还不能完全取代电池的地位, 原因很简单, 超级电容器的本领是在于功率的输入/输出, 而不是高能量。例如, 冬天汽车的启动问题, 单独的使用超级电容器或是电池, 启动效果都不会好, 一种最佳的优化组合是将超级电容器与电池组合使用, 因为汽车启动时电流很大, 光用电池会大大降低电池寿命, 如将超级电容器与电池组合使用, 不仅可以减少启动电池的使用数量, 而且还优化了输出能量, 增加了电池使用寿命^[15,16]。依据这一思维, 如能将这一最优组合方式用在混合电动车辅助能量系统中, 那么以后混合电动车的性能将上升到一个新的里程。

超级电容器除了可以用做混合电动车的辅助动力系统外, 还可用在车载空调, 车锁、车窗和车灯等电器的自动开关使用上。

随着环保型电动汽车研究的兴起, 美、日等工业发达国家为此开发了各种类型和用途的超级电容器, 并且对与此相关的研究工作给予了足够的重视。例如, 日本设立了新电容器研究协会, 美国设立了 Supercapacitor Symposium, 每年定期召开研讨会, 并对全密封电容器制定了发展目标, 近期目标 (1998 - 2003 年) 为: 比功率为 500 W/kg , 比能量为 2.5 Wh/kg ; 远期目标 (2003 年 ~) 为: 比功率为 1500 W/kg , 比能量为 15 Wh/kg 。日美政府都设有相关的开发机构, 如美国能源部和美国三大汽车巨头共同建立的 USABC (US Advanced Battery Consortium), 高度重视超级电容器的研究开发, 日本设立了 New Sun Shine 开发机构。据美国 Maxwell 公司报道, 该公司与通用公司签定了 10000 只超级

电容器的合同, 主要用于环保型混合电动车的开发^[23]。目前还有几家汽车跨国集团与 Maxwell 公司接洽。从这些事例看出, 超级电容器的市场正在形成中, 而且潜力较大, 表 2 为 2001 年不同种类的汽车对超级电容器的需求情况^[17-21]。

表 2 2001 年超级电容器的机动车市场需求

Tab.2 Annual market requirement of supercapacitor in the motive markets in 2001

车类型	车产量	超级电容 需求量	价值 (\$ 10 ⁶)	占有率 %
重型卡车和大巴	277000	5250000	157.40	5
叉车	1100000	4400000	132.00	1
平板车	360000	2875000	87.50	0
轿车	20000	360000	12.00	1.5
中巴	10000	300000	10.00	1
其它	3000	120000	24.00	2
总数	1770000	13305000	422.90	3.2

从表 2 中看出, 超级电容器在机动车市场的占有率还非常低, 有的市场还未启动, 例如火车站、飞机场、高尔夫球场等载人拉货的平板车^[1], 所以整个超级电容器市场处于成长阶段, 潜力很大, 据有关权威部门报道, 在未来 5 年里, 超级电容器的市场销售额将会达到 20 亿美元。

3 结 语

综上所述, 随着环保型电动汽车研究的深入, 超级电容器的市场份额将会越来越大。随着超级电容器应用领域的开拓, 其用途也会越来越广泛: 如配合蓄电池应用于各种内燃发动机的电启动系统; 用作高压开关设备的直流操作电源, 用于铁路驼峰场道岔机后备电源; 用于电传动装甲车辆的制动能量回收和起步加速电源以及军工车辆发动机的电启动装置^[22,23]; 用于重要用户的不间断供电系统; 用于风力及太阳能发电系统。市场前景广阔, 经济效益显著。

参考文献:

- [1] Neil Garcia-Sinclair Evolutionary Electric Vehicles. World Electric Vehicle Symposium PaperA Low Cost Brushless DC Traction Motor/Controller System. Busan, Korea, 2002, EVS - 19.
- [2] Johansson A O, Fonte E M, Selönger P A. Power Source Management Requirements in some types of Road Vehicles with Electric Traction. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [3] Van Mierlo Joeri, Favrel Vincent, Meyer Sandrine, et al. How to Define Clean Vehicles? Environmental Impact Rating of Vehicles. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.

- [4] Kim Y R, Choi S H, Lim T W, et al. Development of Hyundai Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [5] Joseph Beretta. PSA Peugeot Citroen's Fuel Cell Strategy. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [6] King R D, Song D W, Gikakis C, et al. Zero Emissions Zinc Air Electric Transit Bus - Performance Test Results. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [7] Knorr R, Probst G, Bolz S, et al. Soft-hybrid with the integrated starter generator a competitive solution for the energy supply of the integrated starter generator. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [8] Hubertus Goesmann, Hartmut Michel, Christoph J. Weber. Safety and Environmental Risk Management of UltraCaps. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [9] Electric Vehicle Today, Nissan Diesel Unveils HEV with Capacitor, June 28, 2002 Nissan
- [10] Youichi Shida, Mitsuo Kanda, Kanji Ohta, et al. Development of Inverter and Power Capacitors for Mild Hybrid Vehicle (MHV) - Toyota "Crown". Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [11] Mark Cohen, Richard Smith. Here and Now; Ultracapacitors are a Standard Option. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [12] Jörg Folchert, Dietrich Naunin, Dimitri Tseronis. Ultracapacitor Storages for Automotive Applications. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [13] Andrew Burke, Marshall Miller. Comparisons of Ultracapacitors and Advanced Batteries for Pulse Power in Vehicle Applications: Performance, Life, and Cost. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [14] EPCOS Press Release, MAN Ultracap Bus in Scheduled Service, March 2002.
- [15] Karl - Viktor Schaller, Stefan Kersch, Karlheinz Dörmer. Diesel-electric Drive Systems for City Buses: Improvement of Efficiency by using Double Layer Capacitors as a high Power Storage, Proceedings of the 18th international battery, hybrid, and fuel cell electric vehicle symposium and exhibition. Berlin, 2001.
- [16] Burke A F. Cost-effective combinations of ultracapacitors and batteries for vehicle applications. Proceedings of the Second International Advanced Automotive Battery Conference, Las Vegas, 2002.
- [17] Kazuhito Ito. Ultra-Power-Capacitor (UP-Cap): The very long and winding road to the automotive market, MIT/ Industry Consortium on Advanced Automotive Electrical / Electronic Components and Systems, 2002, Kyoto, Japan.
- [18] Michio Okamura. Buses, Trucks and FCVs using the Capacitor Hybrid System ~ ECS. Busan, Korea, 2002 EVS - 19.
- [19] Burke A F, Miller M. Update of Ultracapacitor Technology and Hybrid Vehicle Applications: Passenger Cars and Transit Buses, Proceedings of EVS - 18, Berlin, Germany, October 2001.
- [20] Burke A F. Review of Ultracapacitor Technologies for Vehicle Applications, Proceedings of the First Annual Advanced Automotive Battery Conference, Las Vegas, Feb 5 - 8, 2001.
- [21] Skotzek P, Johanning H P. High performance Power Electronics for Integrated Starter/ Generator Systems. 9. International congress electronic systems for vehicles, October 2000, Baden - Baden.
- [22] Lee H G, Kim Y D, Chung S B, et al. Developmental Concept of Hybrid Electric Propulsion Systems for Future Combat Vehicles. ESV - 19, 2002, Japan.
- [23] 张玲, 唐冬汉, 熊奇. 超大功率电容器的极化电极材料的研究进展[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2002, 8:40.
- [24] Jeong J U, Lee H D, Kim C S, et al. A Development of an Energy Storage System for Hybrid Electric Vehicles Using Supercapacitor.

Research Progress on Supercapacitor in Hybrid Electric Vehicle

XIONG Qi, TANG Dong-han

(Hunan Science and Technology Research Institute, Changsha 410004, China)

Abstract: Due to severe energy shortage and environment pollution, the idea of the hybrid electric vehicle (HEV) has been put forward since 1960s. The hybrid electric vehicles have the potential to increase fuel economy and decrease exhaust emissions. In recent years, in these HEV's system larger batteries are used to be proof against frequent pulse power of a starter motor and the rapid braking energy recovery, but supercapacitors (EDLC) is the best choice. In this paper, introduce to the differences between supercapacitors and batteries, conventional capacitor, and supercapacitors and HEV market prospect.

Key words: supercapacitor; hybrid electric vehicle; battery; traditional capacitor