

超级电容的原理及应用研究

海口经济学院，孙雷

[摘要]超级电容作为一种新型储能元件填补了传统的静电电容器和化学电源之间的空白。本文介绍了超级电容的原理、特性、优缺点，分析了超级电容在复合电动汽车中的工作原理，概述了超级电容在国内外各领域的应用研究。

随着科学技术的进步，现在的人们对生态环境保护和绿色能源的应用越来越重视，超级电容作为一种新型的储能元件引起了人们的广泛重视与关注。超级电容器（Super capacitor）是20世纪七八十年代发展起来的一种介于电池和传统电容器之间的新型储能器件，它的出现填补了传统的静电电容器和化学电源之间的空白。

1. 超级电容的原理及分类

超级电容是一种具有超级储电能力、可提供强大脉动功率的物理二次电源。超级电容如果按储能机理主要分为三类[1]：由碳电极和电解液界面上电荷分离产生的双电层电容；采用金属氧化物作为电极，在电极表面和体相发生氧化还原反应而产生可逆化学吸附的法拉第电容；由导电聚合物作为电极而发生氧化还原反应的电容。双电层超级电容是靠极化电解液来储存电能的一种新型储能装置，结构如图1所示。

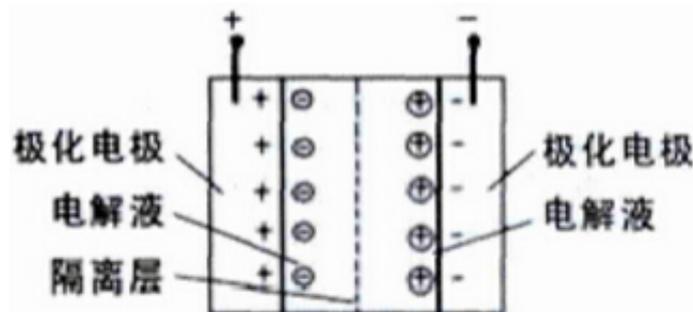


图1 双电层超级电容器结构图

由于双电层电容的充放电纯属于物理过程，其循环次数高，充电过程快，因此比较适合在电动车中应用。双电层超级电容是悬在电解质中的两个非活性多孔板，电压加载到两个板上。加在正极板上的电势吸引电解质中的负离子，负极板吸引正离子，从而在两电极的表面形成了一个双电层电容器。一个超级电容单元的电容容量高达几法至数万法[2]由于这种结构采用特殊的工艺，使其等效电阻很低，电容容量很大、内阻较小，使得超级电容具有很高的尖峰电流，因此超级电容具有很高的比功率，它的功率密度是电池的50~100倍，可达到 $10 \times 10^3 \text{W/kg}$ 左右，此特点让超级电容非常适合应用在短时大功率的场合。

2. 超级电容的特性

超级电容器使用过程中是没有任何的化学反应，也没有高速旋转等机械运动；对于环境没有污染，也没有任何的噪声；它的结构简单、体积小，是非常理想的储能设备。超级电容产品具有如下技术特性[3]：

- (1) 充电速度快。充满其额定容量的95%以上仅需10秒~10分钟；
- (2) 循环寿命长。深度充放电循环可达1~50万次，例如，北京合众汇能公司生产的HCC250F/2.7V的超级电容器和北京集星科技公司生产的系列电容的循环寿命均在50万次以上；
- (3) 能量转换效率高。大电流能量循环效率>90%；
- (4) 功率密度高。可达300W/kg—50000W/kg，为蓄电池的5~10倍；
- (5) 原材料生产、使用、存储及拆解过程均无污染，是理想的绿色环保电源；安全系数高，长期使用免维护；
- (6) 高充放电效率。由于内阻很小，所以充放电损耗也很小，具有很高的充放电效率，可达90%以上。

(7) 温度范围宽。达-40~+70。超级电容器电极材料的反应速率受温度影响不大；

(8) 检测控制方便。剩余电量可通过公式 $E=CV^2/2$ 直接算出，只需要检测端电压就可以确定所储存的能量，荷电状态(SOC)的计算简单准确，因此易于能量管理与控制。

表 1 超级电容器与蓄电池、传统电容器、电池性能的比较

特征参数	静电电容器	超级电容器	电池
放电时间	$10^2 \sim 10^3$ s	1~30 s	0.3~3 h
充电时间	$10^4 \sim 10^5$ s	1~30 s	1~5 h
能量密度 / ($W \cdot K_g^{-1}$)	小于0.1	1~10	20~100
功率密度 / ($W \cdot K_g^{-1}$)	大于10 000	1 000~2 000	50~200
循环效率	约等于1.0	0.90~0.95	0.7~0.85
循环寿命	无穷	>500 000	500~2 000

3. 超级电容存在的问题

超级电容应用在能量密度要求较高、工作周期较长的场合中，其存在的主要不足之处有以下几点：

(1) 比能量低。超级电容能量密度约为铅酸电池的20%左右；如果储存相同的能量，超级电容的体积和重量要比蓄电池大很多。

(2) 耐压低。目前的超级电容耐压远低于普通电容，电压大约为1-3V，如果采用串联方法来驱动，则储能系统的体积比较庞大，不利于驱动大功率设备。

(3) 端电压波动严重。使用超级电容过程中，它的端电压是呈指数变化的，当超级电容释放掉3/4D的能量后，它的端电压将下降到原来电压的1/2。

(4) 串联时电压均衡问题。超级电容在生产制造过程中，存在着工艺和材质的不均匀问题，同批次同规格的电容在内阻、容量等参数上存在着某些差异。因此，超级电容组件在使用时需要加有串联均压装置，来提高组件的能量利用率和安全性。

4. 超级电容的应用

4.1 在电动车上的应用

制约现代工业发展的主要因素是环境污染问题及能源的紧缺问题，现如今汽车工业已经占据了现代工业能源消耗的大部分。因此，汽车的节能技术已成为汽车工业发展中必须要解决的一项关键技术。由于超级电容的优越性能，世界各国争相研究，并越来越多地将其应用到电动车上。上万法拉级的超级电容器可用作电动汽车的短时驱动电源，在车辆的起动、加速及制动能量回收等短时间、大功率的工作条件下，可明显提高电动汽车的动力性和经济性，并能有效地改善蓄电池的性能。超级电容已经成为电动车电源发展的新趋势，而超级电容与蓄电池组成的复合电源系统被认为是解决未来电动车动力问题的最佳途径之一。

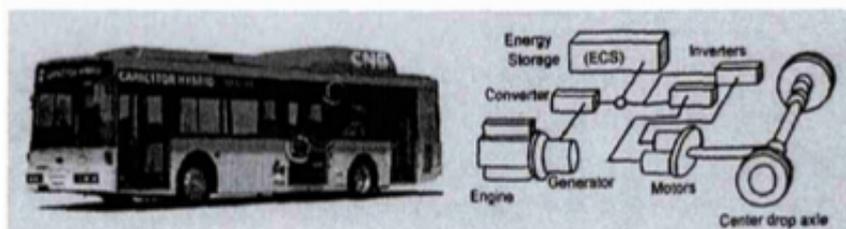


图 2 日产超级电容串联混合动力客车

日本本田的FCX燃料电池—超级电容混合动力车，是世界上最早实现商品化的燃料电池轿车，该车已于2002年在日本和美国的加州上市。日本尼桑公司还推出了天然气—超级电容混合动力客车，见图2。该车的燃油经济性是原来传统天然气汽车的214倍。

瑞士的PSI研究所将储能360Wh的超级电容组安装在一辆48kW的燃料电池车上，超级电容以50kW的15s额定脉冲功

率来协助燃料电池工作，承担了驱动系统减速和起动时的全部瞬态功率。1996年俄罗斯的Eltran公司研制出以超级电容作电源的电动汽车，采用300个电容串联，充电一次可行驶12km，时速为25km/h。美国的NASALewis研究中心研制出的混合动力客车采用超级电容作为主要的能量存储系统；美国电燃料公司（EFC）设计开发了锌—空气燃料电池电动汽车也是使用超级电容作为辅助能源，加装超级电容使其续驶里程提高了近25%。

我国的“十一五”及“863”电动汽车课题在启动后，研发超级电容的国内公司也加大了开发力度。我国首部“电容蓄能变频驱动式无轨电车”于2004年7月在上海张江投入试运行，当电车在停靠站时，它能在30S内快速充电，时速可达44km/h，可持续提供电能。此无轨电车充分利用了超级电容比功率大和公共交通定点停车的特点。哈尔滨工业大学和巨容集团研制的超级电容电动公交车，最高速度可达20km/h，最多容纳50名乘客。2010年上海世博会共投入1147辆节能与新能源汽车：超级电容车、燃料电池车、纯电动车和混合动力车，园区内的新能源汽车在实际运营过程中承担了园区内66%的运能，达到了园区内公共交通零排放，园区周边公共交通低排放的目标。此外，上海奥威公司、北京集星公司、锦州百纳电器公司和哈尔滨巨容公司都推出了自己针对HEV（混合动力装置）或EV（电动汽车）的超级电容器产品。但是，国内目前对超级电容、蓄电池复合电源电动车的设计及控制，基本上还处于起步阶段，国内公司生产的超级电容距国外产品还有一段差距。

4.2复合型电源电动车工作原理图

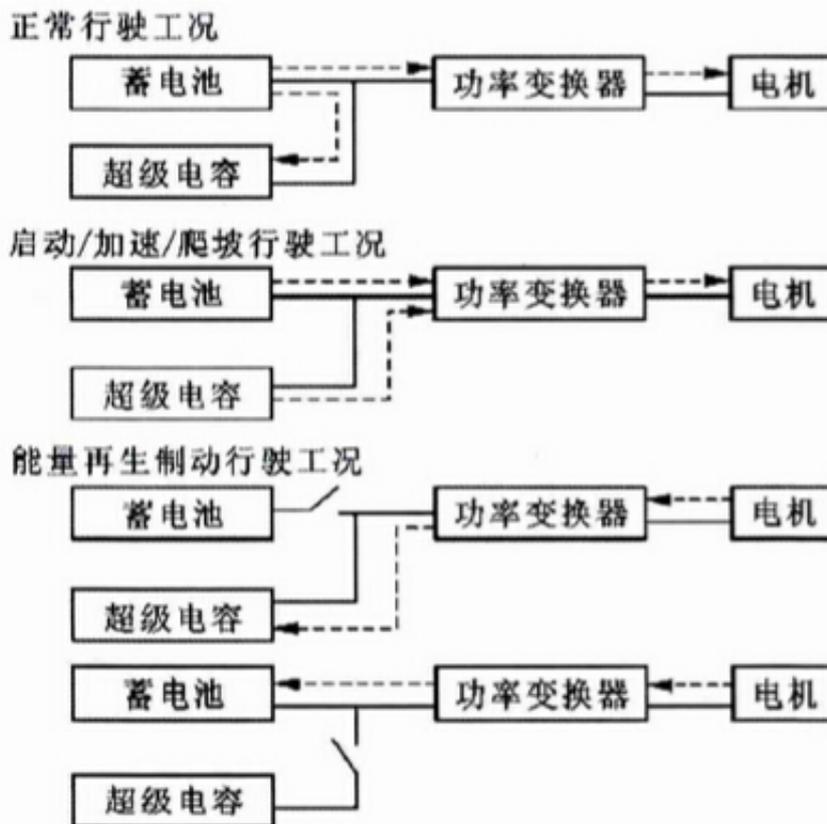


图3 复合电源工作原理框图

纯超级电容电动车是以超级电容作为电动车的惟一能源，此方法结构简单、成本低、比较实用、实现零排放，因此比较适合用于短距离、线路固定的区域，例如在学校和幼儿园的送餐车可以采用、火车站或机场的牵引车可以采用、公园的游览车和电动公交车等也可采用。而超级电容与蓄电池或者燃料电池组成复合电源系统的电动车应用更灵活，有更广阔的应用空间。

超级电容—蓄电池复合电源系统电动汽车工作原理如图3。首先，电动汽车在正常行驶条件下，电池通过功率转换器向电动机提供能量。在车辆轻载行驶条件下，蓄电池向超级电容充电，使超级电容具有高功率输出能力；在车辆加速或爬坡行驶时，超级电容和蓄电池同时给电动机提供能量；当车辆制动或下坡行驶时，电动机作发电机模式，再生能量通过功率转换器为超级电容充电，假如超级电容不能接受全部的再生能量，剩余部分则由蓄电池吸收。

4.3在UPS系统中的应用

现在的USP（不间断电源）系统大部分使用的是铅蓄电池作为电能存储装置，如果在频繁停电的情况下使用，电池会因为长期充电不足而硫酸盐化，使用寿命会大大缩短。而超级电容器不会受频繁停电的影响，它可以在短时间之内充足电。超级电容器由于它的高功率密度输出特性，使其成为良好的应急电源。例如在炼钢厂的高炉冷却水过程是不允许中断的，一旦停电，超级电容器可以立即提供很高的输出功率启动柴油发电机组，向高炉和水泵供电，确保高炉安全生产。

4.4在军事系统的应用

美国军方将超级电容器应用在装甲运兵车、重型卡车和坦克上，Osh kosh汽车公司为美国军方制造HEMTT LMS概念车所用的动力就是Maxwell公司生产的ProPulse混合电力推进系统，采用的是PowerCache超级电容器。PEMFC发电技术以其高效、清洁、重量轻、体积小、工作温度低等优点，在人防指挥工程中有着极其广阔的应用前景。但是无论采取哪种供电方式，都必须将PEMFC发电机发出的不稳定直流电变换为稳定的直流电，才能供给负载或逆变器使用。而PEMFC发电机的动态特性在发生负载突增时表现出明显的电压瞬时跌落，使后续的DC/DC和DC/AC（直/交流转换）发生保护而无法正常工作。采用超级电容器对PEMFC发电机的动态特性进行补偿，可以去掉突增负载时的电压跌落尖峰，从而改善了发电机的动态输出性能，能够为后续的直流负载和DC/AC提供稳定的直流电压。

4.5在小功率用电设备上的应用

传统的电池手电筒寿命有限，即使是现代的LED手电筒，充满电也需要数小时，电池的循环寿命很短。而使用超级电容器作为储能元件的手电筒，充电只需90s，循环寿命可达50万次。如果每天充放电一次，可使用约135年，这种战术手电筒是警察和军队开发的。采用超级电容器作为储能元件，确保了应急照明灯具有节电、高亮度、不间断性和长寿命的特点。

5.结术语

超级电容作为一种储能大、充放电速度快、工作温度范围宽、工作安全可靠、无需维护保养的储能系统，随着超级电容器技术的发展，它将逐步取代蓄电池，应用领域不断拓宽，必将推动技术的进步，取得更大的经济和社会效益。

参考文献

- [1]储军,陈杰,李忠学.电动车用超级电容器充放电性能的实验研究[J].机械,2004,31(3):20-22.
- [2]张慧妍.超级电容器直流储能系统分析与控制技术的研究[D].北京:中国科学院电工研究所,2004,6.
- [3]尹忠东,甄晓亚.电动汽车中超级电容技术的应用[J].北京:电气时代,2011(8).
- [4]曹秉刚,曹建波,李军伟,续慧,许鹏.超级电容在电动车中的应用研究[J].西安交通大学学报,2008(7).
- [5]DOU GAL RA,GAO Lijun,L IU Shengyi. Ult racapacitor model with automatic order selection and capaccity scaling for dynamic system simulation [J].Journal of Power Sources ,2004,126(2):250-257.
- [6]陈英放,李媛媛,邓梅根.超级电容器的原理及应用[J].电子元件与材料,2008(4).

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/94228.html>