



白皮书

超级电容器和混合动力车

Bobby Maher 撰稿

Maxwell 技术销售主管

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com

麦克斯威科技公司 白皮书:
超级电容器和混合动力车

简介

由于近期世界范围内的汽油价格有所上涨，而公众及政府又不断施加压力要求交通运输业更有利于环境发展，更能节省燃油，因此汽车制造商正在开发把真正的选择对象与体现产业特点的汽油传动器结合起来的系列。

这些制造商的终极目标是运用燃料电池技术满足所有车辆对能量的需求。但是，燃料电池至少在十年内不太可能实现批量生产。其主要原因是，虽然燃料电池是很有前途的技术，但是它们还存在很多缺陷，真正投入使用之前必须解决这些缺陷。例如，正在考虑应用于汽车产业的最常见的燃料电池类型是氢/氧技术型。这一技术运用燃料中的氢和空气中的氧产生电能。虽然这些燃料电池的效率和动力足以供汽车使用，但目前既没有输送氢气的基础设施，也没有能够便于安全操控的氢气。另外，氢燃料箱的体积往往很大，为了避免发生事故，箱体必须非常结实，能够承受很高的储存压力。

与此类似，曾经研究想用于汽车的金属燃料电池也缺乏输送的基础设施，不太安全，箱体体积也很大，对箱体的强度有要求。而且，发动机启动和加速时，需要传送最大功率负荷，燃料电池必须更大，因此成本也就更高。

也许近期最可能出现的燃料电池驱动车辆技术是混合动力车(HEV)技术，混合动力车技术结合了燃料发动机、电机驱动和能量储存组件的最佳特点。它设计时配有一个内燃机作为主动力

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com

麦克斯威科技公司 白皮书:
超级电容器和混合动力车

源，以及一个电力存储系统作为次级电源。次级电源的存在使设计人员能够根据勘测得的电力需求制定内燃机的尺寸大小。次级电源还能应对加速度时的峰值功率需求。另外，次级电源还可用来收集再生的制动能，并把这种能量应用于更大的加速度或者用于补充电力系统的基本能量需求。通过这种基本设计结构，混合动力车能够做到低维护、操作清洁并且非常节省燃料。

虽然很多制造商在混合动力车控制、发动机和电机设计方面已经取得了进步，但是他们在作为次级电源的电力储存系统方面尚未取得成功，这方面的不足主要是由于目前正在开发的混合动力车中电池是用来提供电能储存的。设计人员把电池设计成为储存系统很可能是因为这种技术更熟悉、更持久----简而言之，电池更为人们所熟知。正是因为这种技术是人们所熟知的，所以电能储存方面的缺陷也就更容易理解。

这些缺陷是多方面的，而且在设计方面使汽车工程师们面临很多挑战。首先，电池难以在寒冷的天气里工作，这就为乘客、驾驶员以及公交职能部门造成了很大的不便。更值得警惕的是，它们对安全造成了威胁。第二，电池在极端条件下循环寿命很有限，一辆车的使用寿命里需要不断地更换电池。更换电池的成本包括购买并安装新电池、卸掉并处理旧电池。第三，电池不环保。电池一旦耗尽就很难处理。

但是电池一直是混合动力车性能达标的最大阻碍，因为电池不是被设计来满足混合动力车次级电源最重要的需求的：为像加速、制动和冷启动这类瞬时效应输出脉冲功率。例如，锂离子

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com

麦克斯威科技公司 白皮书:
超级电容器和混合动力车

子电池能够满足高能量应用时，在一段较长的时间内提供少量电流的要求，但是却难以在短时间内输出脉冲功率。这就是说，虽然这种电池能够为以合理速度行驶的车辆提供足够的电力，但是要在短时间内输送最大电力而不损害电池的使用寿命却很困难。同样，此种电池持续削弱车辆性能，致使消费者可能会因为安全性和趣味性拒绝使用混合动力车。由于电池的功率较弱，它们难以回收再生制动能，因此也就削弱了混合动力车可能节省燃料的优点。

有些制造商只是增加了其传动系统中电池的数量，因为增加电池能够改善电池技术功率不足带来的影响。但是，这种设计方法的结果是电池组体积过大，增加了车身重量，降低了电池组的总体使用寿命（电池因为要努力提供足够大的功率，与用于提供高能量相比，电池电量耗尽的速度更快）。这些结果难以令人满意，因为会损害性能和燃料的燃烧效率。在某种意义上来说，锂离子电池技术让混合动力车开发人员受到了双重约束：加大电池体积，可以产生比较充足的电能，但是这么做会破坏性能，增加对汽车进行维护保养的要求，并且降低混合动力车设计的环保性。

作为锂离子电池的另一种选择，镍氢和铅酸电池也被开发用于混合动力车。虽然这些电池事实上能够提供足够大的功率处理最大负荷，但是以这种方式使用电池会大幅度降低电池的循环寿命。例如，放电60%时，典型的铅酸电池持续完成1000个循环后会出现故障，镍氢电池持续完成10,000个循环后会出现故障。铅酸和镍氢电池用于峰值功率输出时产生故障的速度很快。由于需要不断更换电池，最终会增加车辆的成本。如上所述，时间短、功率大的情形

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

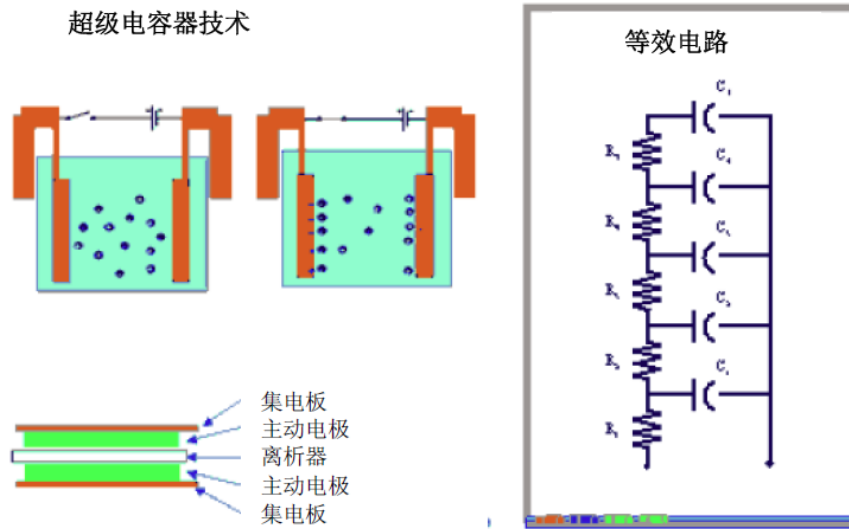
info@maxwell.com – www.maxwell.com

麦克斯威科技公司 白皮书： 超级电容器和混合动力车

在一辆车的使用寿命内要发生上千次。如果使用铅酸或镍氢电池的混合动力车来完成这些事情，每隔一两年就要更换电池，更换电池的费用每次大约是1.3万到1.7万美元。从这个角度来看，即使是那些能够提供最大功率的电池，在技术上也不足以为混合动力车创造一个能够盈利的市场。

超越电池

最近，一种很有前景、可能改善混合动力车的能量存储的技术被引进了：它就是超级电容器。超级电容器也称为特级电容器、伪电容器和双层电容器。超级电容器是功率强劲、循环寿命长、高能量的电容器。



Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

麦克斯威科技公司 白皮书:
超级电容器和混合动力车

作为超级电容器技术基础的双电层现象被人们所理解已有一百多年。然而，它在商业上的应用只有十年左右的历史。就像在传统的电容器中，超级电容器中两个导体和一个电介质产生一个电场，能量就储存在这个电场中。电双层产生于一个固体的电极与电解液界面。它基本上就是发生在固体与电解液之间的界面上的一个电荷分离。形成两个电荷层，一边电离子过多，另一边阳离子过多。中间的极性分子形成了电介质。在大部分超级电容器中，电极是由碳结合一个电解液而成的。电荷层形成了电容器板的边界线，在界限处以及界限间的狭小空间会产生很高的电容。另外，典型的多孔碳电极结构能将有效表面区域增大到 $2000\text{m}^2/\text{g}$ 左右。

尺寸紧凑（超级电容器的体积范围从大约一个邮票大小到一个小苏打水罐大小）的超级电容器能够储存的能量是传统电容器无法相比的。的确，目前投放市场的超级电容器其电容可达2700 法拉，既可以高速也可以低速释放能量，超级电容器还可以作为电池使用。然而，超级电容器输出的功率（焦耳/秒或瓦特）要比电池高 10 到 20 倍。例如，同铅酸电池相比，超级电容器在功率系数（瓦特/千克）方面具有 10 倍的优势，与此同时充电时间却短得多。超级电容器所提供的能量密度（瓦特-时/千克）也要比传统的电容器高 10 倍到 100 倍。同样，就能量和功率密度而言，超级电容器介于电池技术和电解液电容器技术之间。而且，因为超级电容器能够循环上百万次，其在使用寿命中是不需要保养维护的。因此，超级电容器无需处理，使它们成为很“绿色”的能量储存形式。

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com

传统储存技术比较

可利用性能	铅酸电池	超级电容器	传统电容器
充电时间	1 到 5 小时	0.3 到 30 秒	10^{-3} 到 10^{-6} 秒
放电时间	0.3 到 3 小时	0.3 到 30 秒	10^{-3} 到 10^{-6} 秒
能量 (瓦特时/千克)	10 到 100	1 到 10	<0.1
循环寿命	1000	>500,000	>500,000
比能量 瓦/千克	<1000	<10,000	<100,000
充放电效率	0.7 到 0.85	0.85 到 0.98	>0.95

在应用方面，超级电容器主要有两个用处。第一个用处是作为电子设备中的临时备电。在超级电容器出现之前，电池是主电源不足以维持供电时唯一的次级、短时间紧急备电的来源，如计算机BIOS设置以及电话配置设置。不过由于容量大，超级电容器已经成为电池的备选。在这些应用中，主电源为超级电容器充电，超级电容器在主电源故障时提供备电。

麦克斯威科技公司 白皮书：
超级电容器和混合动力车

超级电容器的第二个用处——交通运输业最感兴趣的方面——在电子设备中能够供应峰值功率。在这里，超级电容器与系统的其他能量来源先后被使用；系统既需要为持续运转低功率放电，又要为大负荷的功能提供脉冲功率。

在以超级电容器提高混合动力车性能的情况下，传统的内燃机是主要电源。内燃机处理连续负载需求，如行驶和基本电力需要。超级电容器作为次级电源可以根据短期负载程度改变尺寸。因为这些短时事件在车辆整个使用寿命中会经历好几千次，所以，很适合使用循环寿命长的超级电容器，超级电容器能够循环几百万，却不受放电深度的任何限制。

超级电容器还能改善混合动力车的机械设计。增加用于控制大负载的电池数量会进一步扩大系统的尺寸、增加重量，最终导致成本上升；而使用更强劲、更小、更轻的超级电容器总体上会降低系统的尺寸。而且，超级电容器不像电池那样经常在零度以下的温度中停止工作，超级电容器能够在低至零下40度的很大温度范围内成功运转。

当然，超级电容器不能够在混合动力车设计中完全取代电池，毕竟超级电容器的长处在于提供高功率而不是高能量。同样，电池应该在发动机关闭的情况下被用于为立体声音响和内部照明等非传动系统的电子元件提供能量。

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

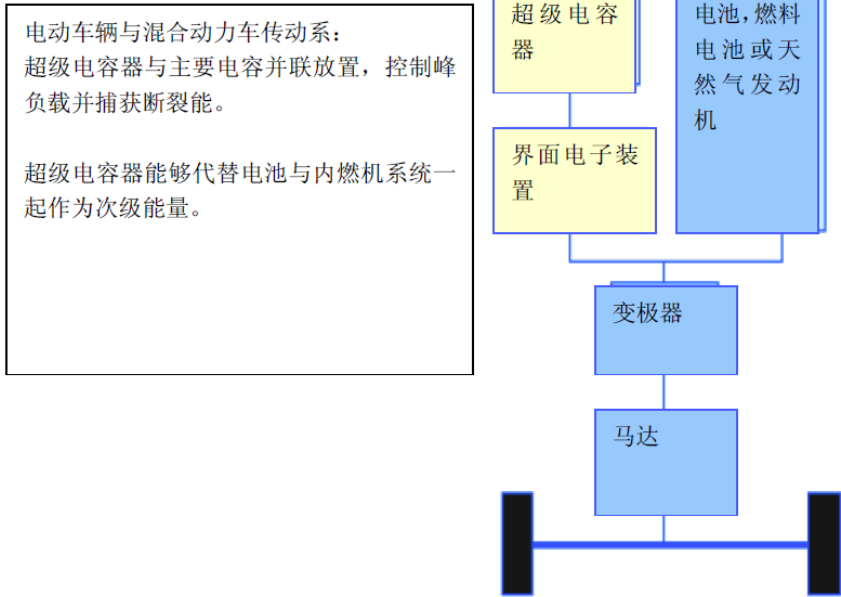
Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com

麦克斯威科技公司 白皮书:
超级电容器和混合动力车

汽车传动系解决方案



另外, 电池仍将用于车辆启动, 但是车辆启动需要短时间的高电流, 尤其是在寒冷气候时, 所以, 电池和超级电容器的组合是个优良的应用方案。尽管冷的电池不能提供足可以将车辆发动起来的启动电流, 但是它确保留了足够的电力为超级电容器连续补充充电, 从而使超级电容器能够为车辆启动提供足够的功率。这就使我们可以使用更少数量、更小尺寸的电池, 而冷启动的安培数不会变小, 从而使电池的能量和使用寿命得到最优化。

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
 9244 Balboa Avenue
 San Diego, CA 92123
 USA
 Phone: +1 858 503 3300
 Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
 CH-1728 Rossens
 Switzerland
 Phone: +41 (0)26 411 85 00
 Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
 Brucker Strasse 21
 D-82205 Gilching
 Germany
 Phone: +49 (0)8105 24 16 10
 Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
 Rm.2104, Suncome Liaw's Plaza
 738 Shang Cheng Road
 Pudong New Area
 Shanghai 200120, P.R. China
 Phone: +86 21 5836 5733
 Fax: +86 21 5836 5620

麦克斯威科技公司 白皮书:
超级电容器和混合动力车

由此，电池将来决不会完全消失，也不应该完全消失。但是为优化超级电容器的功率和电池的能量之间的平衡而进行的车辆结构设计将会比那些只用电池的車輛费用低很多，市场的反响也会好很多。

子系统

除了传动系统，汽车子系统也可以与超级电容器相结合，产生更大的益处。比如，小单元超级电容器可以用于很多子系统设计中——从空调、电源锁和车窗到内部照明。由于子系统的设计周期较短，装置的数量也较多，很可能在使用传动系统元件之前被多次使用。而且，通过增加电动子系统，汽车制造商可以把对混合动力车的要求融入机械动力车辆，将研发超级电容器所付出的努力以及费用推广到更大范围的车辆中去。

同样，42V 子系统将最终成为所有车辆的一部分，包括传统内燃机车辆。在这些系统中，超级电容器不仅可以为加速度输出功率，还可以提供回收再生制动能的方法。

超级电容器和混合动力车市场准备就绪

为了成功销售混合动力车，汽车制造商们必须向消费者提供三个系统增值特点，以促进从传统发动机向混合发动机的转变。这些特点包括车辆运行寿命长、环保和低花费。另外，公众

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com

麦克斯威科技公司 白皮书:
超级电容器和混合动力车

还要求长期的优良系统性能 (如 : 乐趣与安全) 。超级电容器有助于满足这些要求。它们使用寿命很长 , 能在各种极端温度中工作 , 并且具有峰值负荷性能所需的大功率设计。而且 , 用于车辆构造的基础物料不会给汽车市场所特有的大量的费用造成巨大障碍 (2004年 , 大约为0.01美元/法拉 , 当量达到百万时) 。同样 , 超级电容器能使普通消费者/或者车队业主对非传统传动系统更满意 , 因此有助于实现混合动力车的高效、清洁、费用负担得起、有趣等承诺。

超级电容器可以大范围地应用在交通运输业。超级电容器技术对于公共交通列车和地铁系统所需的繁多的制动-加速度循环也非常理想。

最后 , 超级电容器在整个交通运输业的革命中也许会起到很大的作用——这个产业非常需要能够支持当今正在变革的要求 , 这些要求包括环境意识、成本意识 , 同时还有更加苛刻的性能目标。

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620