

超级电容器的储能特性及应用前景
——评《超级电容器及其在储能系统中的应用》
黄亚萍 江阴市华姿中等专业学校

随着自动化、信息化、智能化发展，社会对能源的需求越来越大。电能作为现代社会最清洁、便利的能源之一，用户对电力系统的稳定性要求不断提高。超级电容器（Supercapacitor）是一种介于化学电池和普通电容器的新型储能元件，其特点是功率密度高、不需要维护、安全环保、循环寿命长、使用温度范围宽（-40~75℃）等，因此经济性、安全性、灵活性大大提高，作为一种新型储能元件，已经在电动汽车、航空航天、现代通信、电力电子系统等领域被广泛应用。王凯等著的《超级电容器及其在储能系统中的应用》一书，对超级电容器的储能特性及其在储能系统中的应用进行了一次全面的归纳和系统的总结。

本书全书共分为 7 章，第 1 章介绍了超级电容器的研究背景、分类和应用前景。第 2 章为电极材料的制备和性能研究，主要介绍了稀释法和模板法。第 3 章为电解质结构与材料，主要包括电解液概述、水电解质、有机电解质、离子液体和固态聚合物电解质。第 4 章为超级电容器结构设计及其储能特性研究，主要包括卷绕式超级电容器、堆叠式超级电容器和混合型超级电容器。第 5 章为超级电容器的热行为研究，主要包括堆叠式超级电容器的热行为研究、卷绕式超级电容器的热行为研究和混合型超级电容器的热行为研究。第 6 章为超级电容器测试系统的研究，主要包括恒流测试和恒压测试。第 7 章为超级电容器的健康管理。

1. 超级电容器的储能原理、分类

超级电容器与电化学电池类似，它是由电解质、电极、集流体以及隔膜等单元组成的，内在结构由多个单体串联或并联构成超级电容器组件。根据电极材料的不同，可以分为电化学电容器和双电层电容器。电化学电容器即赝电容，工作原理是氧化还原反应，利用价态的变化将电子进行转移，完成电荷存储。功率密度比蓄电池高，能量密度比传统的静电电容器高，容量可以达到几百甚至上千法拉。而双电层电容器通过电极/电解质界面的电荷分离存储能量，属于纯粹的物理过程，有着高的功率密度，可以在很短的时间内完成充放电。在相同的电极面积下，电化学电容器能够储存比双电层电容器多 10-100 倍的电荷。在本质上，两者的区别就是是否产生感应电流。

超级电容器的分类很丰富。按照电解液的状态形式，可分为固体电解质超级电容器和液体电解质超级电容器两大类。按照电解液的种类，可以分为水系超级电容器和有机系超级电容器。按照电极的储能机理可以分为对称式和非对称式超级电容器。最后，按照组装结构方式分类：卷绕式超级电容器；软包装超级电容器；纽扣式超级电容器；可穿戴柔性超级电容器等等。

2. 电极材料的制备和性能

该书梳理了电极材料的制备和性能。超级电容器的性能主要与电极材料和电解质有关，包括充放电的速度、功率和能量密度、循环使用次数、电阻等等。超级电容器的电极材料主要有过渡金属氧化物，导电聚合物和碳系列材料。其中碳系列材料是目前运用最普遍、商业价值最高的电极材料，主要包括活性炭、碳纤维、石墨、石墨稀以及碳纳米管等，其优点是价格低廉易得、性能稳定、导电率高、强度高、耐腐蚀和高温、形态丰富（如粉末、颗粒、纤维等），缺点是比电容和能量密度低。由于活性炭生产升本低、堆积密度小，可以用于制造优质的电极材料。金属化合物电极材料主要包括氧化物、氧化物和碳化物，比如氧化镍（NiO）、二氧化锰（MnO₂）、氢氧化镍（Ni(OH)₂）、氢氧化钴（Co(OH)₂）、碳化钛（TiC）、氧化钴（Co₃O₄）、五氧化二钒（V₂O₅）等是常用的电极材料。其中二氧化钒的应用价值非常高，但是成本太高、环境污染较高，因此没有进行大规模应用。而氧化镍由于理论容量大、价格低廉、环保、在碱性溶液中稳定性好等优点，应用更加广泛。导电聚合物的优点包括导

电性良好、功率密度高、能量密度高、内阻低、价格低、环境友好等，作为电极材料很有发展潜力。常见的导电聚合物有聚苯胺、聚噻吩等。

超级电容器电极材料的常见制备方法有气相沉积法、溶胶凝胶法、化学共沉淀法。制备电极材料首先要对其进行预处理和材料改性。材料预处理是使用表面组装（超声波分散）、强酸处理、球磨、电化学处理等方法先将材料进行纯化，将表面处理洁净并处于活性状态，以此来恢复材料的内部和表面的差别。材料的改性则是使用各种物理化学的加工方式来提高材料的各项性能，比如光学、电学和力学性能等，以此来强化材料的自有属性。

3.超级电容器储能特性

当前的电容器体积在不断缩小，且质量也在不断朝着轻质的方向发展，因此对封装的要求也越来越高。封装的形式也随着成品的需求而不断更改。举例来说，10 μ F/400 V 电解电容器，以往蜡管封装需用 $\phi 25 \times 60$ mm，更久远到 20 年前，同规格的同向引线式电解电容器大概需要 $\phi 12.5 \times 60$ mm，但是现在则仅仅需要 $\phi 10 \times 16$ mm，甚至小尺寸的可以达到 $\phi 8 \times 16$ mm 或 $\phi 10 \times 12.5$ mm。因为电容相对脆弱，因此尤其需要注意对其保护，这就对电容器的封装提出了更高的要求，因此封装对于电容器来说非常重要。采用合理的封装，可以有效延长超级电容器的使用寿命，确保其能够安全稳定的工作，提高其市场竞争力。

该书简要介绍了超级电容器的储能特性。电容器存储能量的计算公式为 $E = CU^2/2$ ，从公式可以看出，要想提高电容器能量密度 E ，可以通过提高工作电压 U 和电容量 C 的方法来实现。一般的水性电解液不高于 1.2V，有机电解液不高于 3V，实际工作对电压的要求很高，因此需要串联大量的单元达到额定电压，但可能因为各单元电压分布不一致导致局部击穿，因此就要引入均压装置，这可能降低设备的灵活性，并增加产品成本和减少电容器使用寿命，因此，要想实现大功率输出，就要提高单体的工作电压。

4.超级电容器的应用前景

该书梳理了超级电容器的应用前景。在国外已有相当多的公司或机构在从事这方面的研究与创新，有部分公司还实现了产品的商业化。目前，美、日、韩及欧洲等对超级电容器的应用进行了卓有成效的研究。这些国家和地区的超级电容器产品在质量、功率、价格等方面各有自己的特点和优势。另外，澳大利亚、印度以及欧洲的许多国家也在超级电容器的研发和产业化方面进行了许多研究。

我国超级电容器的研究起步于 20 世纪 80 年代，目前国内对使用各种活性炭作为电极材料的超级电容器已经进行了一定的研究，并且有了商业应用。目前从发展状况来看，我国非常重视超级电容器的发展，在国家高技术研究发展计划（863 计划）中的电动汽车重大专项，把超级电容器作为一个重点项目进行研究开发。超级电容器在我国经历了从无到有、从小到大的发展过程。超级电容器在通信、工业、交通、军事装备、医疗器械等领域的应用已经渐渐成熟、广泛，展现出了应用优越性。总体而言，超级电容器的应用方向可分为小功率电子设备的主电源、替换电源或备用电源。

主电源的典型应用有电动玩具，优势是重量轻、体积小、功率密度大和能够迅速地启动。替换电源的典型应用有交通信号灯、太阳能手表、路标灯和公交车站时间表灯等。后备电源的典型应用有无线电波接收器、车载计费器、车载计量器和照相机等。

目前，新能源车的开发在世界范围内都是热门方向。相对于传统的蓄电池和锂离子电池等，混合动力汽车和电动汽车超级电容器的寿命远超数百倍，且不需要维护，因此可以节省大量的费用。混合动力汽车在正常运行时使用蓄电池，在加速和爬坡等需要瞬时大功率时用超级电容器来补充功率，因此，配备了超级电容器的汽车加速快、起步快、爬坡能力强，同时因为工作温度范围宽，低温环境下性能良好，可以解决低温情况下蓄电池难以启动汽车的问题，从而提高驾驶体验。在交通领域中，超级电容器还被应用于城市公交汽车、有轨电车和地铁等重型城市交通车辆。由于公交车在行驶过程中需要频繁启停，会造成大量的动能浪

费，并产生较多污染尾气，超级电容器作为公交车动力源时可以对制动能量进行回收，提高其经济性、环保性。

电力系统因为环境复杂、分布范围广，受环境的影响较大，输出的功率有明显的波动性和随机性。超级电容器非常适合做电力系统的储能装置，超级电容器可以在直流母线电流受到干扰而发生波动时吸收母线波纹峰值功率以调节功率输出，给电网提供平滑的功率输出。

在工业领域，工业生产的体量越来越大，比如在港口、建筑和矿业等领域应用广泛的起重机械会释放大量的重力势能，是高耗能设备，如果可以回收这部分能量可以起到很好的节能作用，因此采用超级电容器作为储能装置是比较常用的方法。

在国防和军事领域，仪器和设备的工作条件往往比较苛刻。超级电容器可以应用于航空航天、军工产品的紧急电源，比如装甲车和坦克中消防备用电源、军用机器人的数据备份紧急电源等。现代武器需要短期和瞬时峰值功率，超级电容器可以用于提供陆基发射系统的脉冲功率，或者应用于海战中的舰载雷达、飞行员无线电求救装备等便携式军用电子设备。

5.结语

新能源产业和现代电力系统发展的关键技术就是储能，要抢占未来能源领域，就要加快相关产品的研发和产业化、市场化应用。随着环境保护重要性的提高、传统能源的紧缺、传统燃料价格的上涨，作为新生储能技术的超级电容器将拥有良好的应用前景。《超级电容器及其在储能系统中的应用》结合了理论和实际应用，详细介绍了超级电容器在过去的几十年间取得的巨大的发展和未来的应用前景，并详细梳理了超级电容器的结构、材料、性能等。该书内容详实、图文丰富，可以给相关科研人员提供参考。



书名:超级电容器及其在储能系统中的应用

作者:王凯 等 编著

ISBN:9787111643944

出版社:机械工业出版社

出版时间:2020—03—01

定价:¥49.00 元