

# 储能技术在分布式发电中的应用

摘要 储能方式主要有物理储能、电磁储能、电化学储能和相变储能四大类型。其中物理储能包括抽水蓄能、压缩空气储能和飞轮储能;电磁储能包括超导、超级电容器储能;电化学储能包括铅酸、锂离子、钠硫和液流等电池储能;相变储能包括蓄热和蓄冷储能等。本文着重分析了它们的技术现状、发展前景及优缺点,并针对分布式发电不同应用场合进行了探讨。

## 1 引言

可再生能源在未来的能源结构中占有极其重要的位置。风能、太阳能等可再生能源发电具有随机性和间歇性,会对电网产生冲击,严重时将引发大规模恶性事故,这就需要在直流母线或交流系统中具备一定的储能以跟踪负荷的变化。因此,研发高效储能装置及其配套设备,与风电/光伏发电机组容量相匹配,支持充放电状态的迅速切换,确保系统的安全稳定已成为可再生能源充分利用的关键。另外,分布式发电系统,特别是在基于可再生能源的分布式发电(distributed generation, DG)中加入蓄能装置可以有效地提高能源利用率、降低环境污染、改善系统的经济性。

## 2 储能技术发展现状

### 2.1 飞轮储能

飞轮储能以动能的形式存储能量,经过功率变换器,完成机械能—电能相互转换。飞轮储能功率密度一般大于5kW/kg,能量密度超过20Wh/kg,循环使用寿命长,工作温区较宽,无噪声,无污染,最大容量已达5kW&h。主要用于不间断电源(uninterrupted power supply, UPS)/应急电源(emergency power system, EPS)、电网调峰、频率和电能质量控制。2000年,美国宇航局(NASA)Glenn研究中心及其合作单位研制的飞轮转速达60kr/min(revolutions per minute),这标志着飞轮电池在技术上可以取代化学电池。高温超导飞轮储能系统具有控制简单、储能密度大、效率高、寿命长、维护容易等优点,预计未来5年内将首先在电力调节、UPS等领域实现商业应用。

### 2.2 超导磁储能系统

超导磁储能系统(superconducting magnetic energy storage, SMES)利用超导线圈储存磁场能量,能量交换和功率补偿无需能源形式的转换。具有响应速度快、转换效率高、比容量/比功率大、寿命长、污染小等优点,且没有旋转机械部件和动密封问题。主要用于输配电网电压支撑、功率补偿、频率调节、提高系统稳定性和功率输送能力。已有研究表明,对于输配电应用而言,微型(<0.1MWh)和中型(0.1~100MWh)SMES系统更为经济。

### 2.3 超级电容器储能

超级电容器根据电化学双电层理论研制而成,可提供强大的脉冲功率,充电速度快,放电电流仅受内阻和发热限制,能量转换率高,循环使用寿命长,放电深度深,长期使用免维护,低温特性好,没有“记忆效应”。历经纽扣型、卷绕型和大型三代,已形成电容量0.5~1000F、工作电压12~400V、最大放电电流400~2000A系列产品。但超级电容器价格较为昂贵,在电力系统中多用于短时间、大功率的负载平滑和电能质量高峰值功率场合。目前,基于活性炭双层电极与锂离子插入式电极的第四代超级电容器正在开发中。

### 2.4 蓄电池储能系统

目前在分布式发电中应用最为广泛,但存在初次投资高、寿命短、环境污染等诸多问题。根据所使用的不同化学物质,蓄电池可以分为许多不同类型。

铅酸电池价格便宜,技术成熟,在发电厂、变电所供电中断时能发挥独立电源的作用,并为断路器、继保装置、拖动电机、通信等提供电力。然而,其循环寿命较短,具有较低的比功率,且在制造过程中存在环境污染。锂离子(钴酸锂为正极)电池比能量/比功率高、自放电小、环境友好,但性能易受工艺和环境温度等因素的影响。目前,磷酸基为正极材料的磷酸铁锂电池以其超长的循环寿命,良好的安全性能,较好的高温性能,有望在数年内成为铅酸电池的有力竞争者。

钠硫和液流电池则被视为新兴的、高效的且具广阔发展前景的大容量电力储能电池。钠硫电池储能密度高,体积仅为普通铅酸蓄电池的1/5,系统效率可达80%,单体寿命超过10年,且循环寿命超过6000次,便于模块化制造,建设周

期短。液流电池电化学极化小，能够100%深度放电，储存寿命长，额定功率和容量相互独立，并可自由设计储藏形状。液流电池已有钒-溴、全钒、多硫化钠/溴等多个体系，其中，全钒液流电池可避免正负极活性物质交叉污染，成本低、寿命长，已成为液流电池体系中主要的商业化发展方向。

## 2.5 其他储能方式

其他储能方式包括抽水蓄能、压缩空气储能(compressed air energy storage, CAES)、蓄热和蓄冷储能等。抽水蓄能电站必须配备上、下两个水库，对建站地点要求苛刻，但是运行简单，可靠且使用期较长。CASE电站建设投资和发电成本均低于抽水蓄能电站，寿命长，响应速度快，但其能量密度低，并受岩层等地形条件的限制。热能存储常和STE S(solar thermal electric steam)电厂结合起来，这种储能方式比较可靠，成本相对低廉。蓄冷常见的主要是水蓄冷和冰蓄冷，转换效率分别为90%和80%。水蓄冷优点是不改变制冷机的空调工况，但水的蓄冷密度低(33.4kJ/kg)，所需蓄冷池体积大，冷量损耗也大。冰蓄冷相变潜热为334.4kJ/kg，容积大幅减小，这种系统运行管理方便，能为系统提供2 ~4 的冷冻水，主要缺点是需要较大的制冷量。

## 3 分布式系统对储能的要求

分布式发电是发电单元和储能单元的组合，光伏、风电和燃料电池都是非常典型的分布式电源。具有以下特点：非常接近终端用户；容量很小，一般为几十千瓦到几十兆瓦；能孤立运行或者并网，一般接在380V或10kV线路上。此外，光伏发电中的储能装置，常处于放电状态，放电深度不规则，而且一次充电时间短。而风电系统中的储能装置，放电时间分布比较均匀，充放电率比光伏大得多，也很少会处于欠充电状态。

### 3.1 并网运行的一般要求

分布式电源所产生的电能具有显著的随机性和不确定性特征，并网对系统的影响主要取决于其穿透功率极限，根据欧洲国家的一些统计数据，穿透功率达到10%是可行的。所以，除非很大的负荷就在并网逆变器附近或者电网很弱，可以认为DG发出的功率完全被电网吸收，但能量存储可起到平抑系统扰动、维持发电/负荷动态平衡、保持电压/频率稳定的重要作用。要达到维持发电/负荷动态平衡的目的，储能必须具有大容量能量/功率吞吐能力。而为了保持系统电压/频率稳定，储能就得具有ms级响应速度和一定容量的功率补偿能力。

### 3.2 独立运行的一般要求

由于单个分布式电源独立运行，很难维持整个系统的频率和电压稳定。所以在电网难以达到的边远或孤立地区，一般采用分布式电源联合运行来为这些地区提供可靠的电力。它们包括：风/光互补联合发电系统、光/柴联合型发电系统、微型燃气轮机/燃料电池混合系统等。联合运行的共同特点就是利用互补特性，获得比较稳定的总输出，在保证同样供电稳定性和可靠性的情况下，大大减少储能的容量，一般从数百千瓦至数兆瓦。以光伏/柴油联合发电系统为例，虽然柴油发电机与光伏发电相结合能够确保连续24h不间断供电，且资金花费低于蓄电池作后备。然而，当光伏输出发生变化时，柴油发电机不能快速做出响应，而通过储能的过渡作用，可满足负载对快速响应的要求。燃料电池响应负载的速度也较慢(电流斜率约4A/s)，配置储能可提高其可靠性和寿命。这样在光伏、燃料电池发电系统中储能装置就得具有响应速度快，功率密度高的特性。

### 3.3 特殊要求

(1)抑制DG输出功率波动。太阳能、风能等受天气等自然因素的影响，输出电能具有随机性，而储能可以平抑功率波动，提高系统电压和频率质量。从实际风力发电的角度出发，考虑到发电功率一般以秒级周期随机波动，要求储能具有秒级响应速度和一定的功率补偿能力。考虑到随机性是分布式电源并网所造成的不利影响的本质原因，研究分布式电源发电功率预测技术，分析发电功率预测误差，以此为依据优化储能容量对储能在分布式电源并网运行具有重要的实际意义。

2)使DG按照预先制定的规划进行发电。鉴于在根本上改变分布式电源间歇性投资巨大且并无必要，可将目标定位在使包含分布式电源的局部网络潮流曲线按照计划推进，储能只是填补分布式电源输出与预期曲线之间的差额部分，而不是对分布式电源的功率波动完全补偿。这对电网的调度控制和安全经济运行具有重要作用，而所需的储能容量也大大降低。

## 4 储能技术在分布式系统中的应用

储能技术在分布式发电中起的作用可概括为4方面：

- (1)增强系统并网可靠性。分布式电源发出的电能具有随机性和不确定性，能量存储使得DG即使在波动较快和较大的情况下也能够运行在一个稳定的输出水平。
- (2)孤立运行的DG单元切换或退出时起过渡作用。太阳能和风力发电输出具有间歇性，适量的储能可起过渡的作用，其储能的多少主要取决于负荷需求。
- (3)抑制DG输出功率波动，改善系统供电质量。太阳能、风能等受天气等自然因素的影响，输出电能具有随机性，而储能可以平抑脉冲功率波动。
- (4)使DG按照预先制定的规划进行发电，提高并网运行的可靠性和调度灵活性。

#### 4.1 并网运行

抽水蓄能机组容量已达2000MW，单元效率虽然不高，但运行可靠，寿命长，不足之处就是用于分布式发电系统，固定成本太高。到目前为止，国内已建成抽水蓄能电站装机容量约为5.7GW，占全国装机容量的1.8%。文献就西藏阿里地区独特的水能、光能和风能分布的自然条件，对风光互补抽水蓄能电站的系统进行了研究。压缩空气储能与燃气轮机结合，容量可达数百MW，效率已接近60%，且寿命长，可冷启动和黑启动，其投资和发电成本均低于抽水蓄能电站，8~12MW微型压缩空气蓄能系统(micro-CAES)已成为并网研究热点，应用前景十分广阔。

飞轮储能系统的能量密度较大，占据空间相对较小，充电快捷，充放电次数无限。5kW·h/100kW等级的飞轮正在进行整机安装调试实验。国外已将飞轮储能引入风力发电系统。试验表明，风力发电系统电能输出性能及经济性较未采用飞轮储能有很大改善。

水蓄冷和冰蓄冷储能虽然结构复杂，但在解决电力峰谷差的成熟技术中经济效益和转换效率较高，已有效蓄冷容积2100m<sup>3</sup>，蓄冷量5600rth的水蓄冷空调。SMES具有大容量能量/功率补偿特性，然而容量高于100MW·h的线圈在技术和经济上存在困难。在风力/蓄电池并网运行方式中，铅酸电池体积庞大，充电/放电频繁，故障率显著提高，增加了系统运行的成本，但其技术成熟，价格便宜，已获得实际应用。SMES的ms级响应、大容量功率/能量传递特性决定了它在系统发生故障或受到扰动时能够快速吸收/发出功率，减小和消除扰动对电网的冲击，在提高网络动态稳定性方面具有无可替代的作用。目前，D-SMES(Distributed SMES, D-SMES)的容量水平达18Mvar/3MW，最大有功功率输出可以持续0.5s，最大无功功率输出可持续时间1s，足够处理电压崩溃事件。我国已先后研制成功25kJ~1MJBi系SMES系统，但Bi系高温超导SMES通常采用制冷机冷却，稳定裕度低。中国电力科学研究院正在开展以液氮温区运行的YBCO—钇钡铜氧涂层高温超导储能单元的研究，并将与柔性技术相结合，进一步降低投资和运行成本。

#### 4.2 独立运行

铅酸蓄电池技术成熟，构造成本低，可靠性好，已广泛应用于电力系统。独立运行分布式发电系统中所采用的铅酸蓄电池系统一般充电时间有限，充电功率有限，充电模式一般只限于恒流充电阶段。

钠硫电池储能密度高达140kW·h/m<sup>3</sup>，单体寿命长，充放电效率高(>90%)，无记忆效应，长期使用免维护，安装容量的近2/3已用于平滑负荷，将其用于平滑DG输出功率波动，技术已成熟。2009年10月，中科院上海硅酸盐研究所与上海电力公司成功研制出具有自主知识产权的容量为650Ah的钠硫储能单体电池，并建成了一条2MW的中试生产示范线和一套10kW的储能系统示范装置。

超级电容器功率密度高，相当于电池的5~10倍，响应时间小于1s，放电深度深且没有“记忆效应”，长期使用免维护，温度范围宽达-40~+70℃，储能量已达到1MW/5.7Wh。在小型独立光伏发电和燃料电池发电系统中是理想的储能装置，且超级电容器与蓄电池在技术性能上具有较强的互补性，用于平滑功率波动时可利用超级电容器高功率密度特性，只需其存储与尖峰负荷相当的能量，而蓄电池存储基荷时的能量。这将具有很好的负载适应能力，能够缩小装置体积，提高供电可靠性和经济性。

全钒液流电池可以100%深度放电，储能寿命长，通过增加溶液量就可方便提高电池容量，随着技术的日益成熟，有望在提高可再生能源系统的稳定性方面发挥重要作用。自1995年起，我国就开始了全钒液流电池的研究，国产化全氟磺酸离子膜有望取代进口离子膜材料，现已成功开发出10kW级储能系统，转换效率大于80%，最大输出功率超过25kW。

飞轮储能密度高达108J/m<sup>3</sup>，充电快捷，循环使用寿命可达20年，工作温区为-40 ~+50 ，维护简单。在分析风力发电对电力系统运行影响的基础上，提出了一种用飞轮辅助风力发电的方案，研究了风力发电—飞轮系统功率和频率综合控制方法。抽水蓄能和压缩空气储能响应时间一般都在分钟级且用于分布式发电系统投资成本较高。SMES虽然具有ms级响应速度，大容量能量/功率传递特性，用于解决功率波动问题技术优势明显，但运行和投资成本过高。

## 5 结论

本文综述了各种储能技术研究现状，以及它们在分布式发电系统中的应用前景。随着储能技术朝储能方式混合化、转换高效化、能量高密度化、应用低成本化、环境友好方向发展，分布式发电与储能技术的结合将大大提高系统的能源利用率和经济性。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/37647.html>