

# 储能技术的现状与发展

施祖铭

(上海电气输配电集团, 200050)

**【摘要】**储能技术是智能电网的重要环节,是智能电网关键支撑技术之一。可再生能源发电和电动汽车的快速发展,给储能产业带来了新的发展机遇。介绍抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能、超导磁储能、超级电容器储能、钠硫电池、全钒液流电池和锂离子电池的原理、特点和应用。对它们的储能技术进行比较。我国储能产业发展前景是:抽水蓄能电站进入高峰期,动力电池市场不断扩大,应用于电网的储能技术快速发展和开发大容量电池等。

可再生能源发电和电动汽车的快速发展,给储能产业带来了新的发展机遇。未来能源的焦点在能效、可再生能源、储能和可插入电动汽车。智能电网是新能源经济的实施者。智能电网被定义为广义的优化能源链的解决方案,是未来可支撑能源的基础。

现在,新能源发电规模迅速扩大,新能源汽车推广使用,智能电网建设快速升温,与之相关的储能技术与装备的发展前景被一致看好。

## 1 储能技术是智能电网的重要环节,是智能电网关键支撑技术之一

### 1.1 大幅提高电网有效利用可再生能源的能力

据世界风能协会统计,2010年底全球风电总装机容量达到了1.9663亿kW;我国2010年累计风电装机容量4473.3万kW,预计到2020年风电装机达1.5亿kW。2010年底,全球光伏发电装机累计达4000万kW;我国2010年光伏发电累计装机容量80万kW,预计到2020年光伏发电装机容量超过2000万kW。

大量可再生能源应用(包括分布式电源和集中式电源),特别是风力发电和太阳能光伏发电都具有随机性、间歇性和波动性,大规模接入将给电网调峰、运行控制和供电质量等带来巨大挑战。储能技术能够有效提升电网接纳清洁能源的能力,解决大规模清洁能源接入带来的电网安全稳定问题。

### 1.2 推进电动汽车的规模化应用,有利于节能减排,实现用户侧调节电力需求

电动汽车兴起,形成动力储能电池的巨大市场。电动汽车和广泛分布的电动汽车充电站间的双向电力交换——Vehicle Grid(车辆到电网,简称V2G)技术,将成为未来智能电网重要的负荷特性。电动汽车储能电池既吸纳大量电能,又可为电网提供总量巨大的储能能力,实现电能在智能电网和电动汽车间的双向互动。理想中的V2G平台是在非高峰时段充电,在高峰时段放电(售电),为电网的峰谷负荷调节、旋转备用、电能质量改善和稳定控制提供能量需求。

### 1.3 储能技术的应用有利于优化系统的能量管理,提高系统效率和设备利用率

电力系统的负荷存在白天高峰和深夜低谷的周期性变化,负荷峰谷差可达最大发电出力的30%~40%,且近年来有增大的趋势。这种峰谷差给发电和电力调度造成一定的困难。目前的电力供应紧张状况大部分出现在夏季负荷高峰期。如果电力系统能够大规模地储存电能,即在晚间负荷低谷时段将电能储存起来,白天负荷高峰时段再将其释放出来,就能在一定程度上缓解缺电状况,减小负荷峰谷差,提高系统效率和输配电设备的利用率,延缓新的发电机组和输电线建设。

### 1.4 储能有利于增加系统备用容量,提高电网安全稳定性和电能质量,实现用能经济性,提高综合效益

在电力系统发生扰动、电压暂降与短时中断、短路等事故时,储能装置能瞬时吸收或释放能量,使系统中的调节装置有时间进行调整,避免系统失稳,保证优质供电。在系统因故障而停电时,储能装置又可以起到大型不间断电源(UPS)的作用,避免突然停电带来的损失,提高综合经济效益。

### 1.5 储能技术在智能电网中的应用分类

对智能电网中的储能技术应用分类,国际储能委员会(ESA)列出了表1所示的分类及说明。

表 1 智能电网中储能技术应用分类

| 名称      | 应用                               |
|---------|----------------------------------|
| 发电系统    | 能源管理, 负荷运行, 负荷跟踪, 负荷调节           |
| 输配电系统   | 电压控制, 电能质量改善, 系统可靠性提高, 资产利用率提高   |
| 辅助服务    | 频率控制, 旋转备用管理, 备用容量管理, 长期备用管理     |
| 可再生能源利用 | 可再生能源发电控制和系统集成, 系统错峰发电, 可再生能源储备  |
| 终端用户    | 不停电电源应用, 穿越功率管理, 外购电力优化, 无功、电压支撑 |

## 2 储能技术简介

### 2.1 抽水蓄能电站

抽水蓄能使用两个不同水位的水库。谷负荷时, 将下位水库中的水抽入上位水库; 峰负荷时, 利用反向水流发电。抽水蓄能电站的最大特点是储存能量大, 可按任意容量建造, 储存能量的释放时间可以从几小时到几天, 其效率在70% ~ 85%。

### 2.2 压缩空气储能

压缩空气储能系统主要由两部分组成: 一是充气压缩循环, 二是排气膨胀循环。在夜间负荷低谷时段, 电动机—发电机组作为电动机工作, 驱动压缩机将空气压入空气储存库; 白天负荷高峰时段, 电动机—发电机组作为发电机工作, 储存的压缩空气先经过回热器预热, 再与燃料在燃烧室里混合燃烧后, 进入膨胀系统中(如驱动燃气轮机)发电。

### 2.3 飞轮储能系统

飞轮储能利用电动机带动飞轮高速旋转, 将电能转化成机械能储存起来, 在需要时飞轮带动发电机发电。近年来, 一些新技术和新材料的应用, 使飞轮储能技术取得了突破性进展, 例如: 磁悬浮技术、真空技术、高性能永磁技术和高温超导技术的发展, 极大地降低了机械轴承摩擦与风阻损耗; 高强度纤维复合材料的应用, 飞轮允许线速度大幅提高, 大大增加了单位质量的动能储量; 电力电子技术的飞速发展, 使飞轮储存的能量交换更为灵活高效。因此, 飞轮储能也被认为是近期最有竞争力的储能技术之一。

### 2.4 超导磁储能系统

超导磁储能是

利用超导线圈由电网供电励磁而

产生的磁场储存能量。超导磁储能储存的能量为 $E=LI^2$

/2(其中, L为线圈的电感, I为线圈的励磁电流)。如线圈维持超导态, 则线圈中所储存的能量几乎可以无损耗地永久储存下去, 直到需用时再使用。

超导线圈是一个直流装置, 电网中的电流经整流变直流后给超导线圈充电励磁。超导线圈放电时须经逆变装置向电网或负载供电。

### 2.5 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。充电时处于理想极化状态的电极表面, 电荷将吸引周围电解质溶液中的异性离子, 使其附于电极表面, 形成双电荷层, 构成双电层超级电容器。其电容量极大,

可存储较多的电荷。

## 2.6 钠硫电池

钠硫电池以钠和硫分别作为负极和正极，氧化铝陶瓷同时起隔膜和电解质的双重作用。目前研发的单体电池最大容量达到650Ah，功率120W以上，可组合后形成模块直接用于储能。钠硫电池在国外已是发展相对成熟的储能电池，实际使用寿命可达10~15a。

## 2.7 液流电池与全钒液流电池

液流电池是正负极活性物质均为液态流体氧化还原电对的一种电池。液流电池主要包括溴化锌(ZnBr)、氯化锌(ZnCl)、多硫化钠溴(PSB)和全钒液流电池(VRB)等多种体系。其中，全钒液流电池已经成为液流电池体系的主流。

## 2.8 锂离子电池

锂离子电池的工作原理：锂离子蓄电池的正极活性物质为锂的活性化合物组成，负极活性物质则为碳材料。锂离子电池是利用Li<sup>+</sup>在正负极材料中嵌入和脱嵌，从而完成充放电过程的反应。

使用磷酸铁锂为正极材料的锂电池由于成本优势明显，正逐步成为锂离子电池的主要发展方向。锂离子电池已成为目前世界上大多数汽车企业的首选目标和主攻方向。

## 3 各种储能技术比较

### 3.1 储能技术特点和应用场合

各种储能技术的特点和应用场合见表2。

**表2 各种储能技术的特点和应用场合**

| 种类    | 典型额定功率  | 额定功率下的放电时间     | 特点          | 应用场合                            |                           |
|-------|---------|----------------|-------------|---------------------------------|---------------------------|
| 机械储能  | 抽水蓄能    | 100 ~ 3 000 MW | 4 ~ 10 h    | 适于大规模储能, 技术成熟。响应慢, 受地理条件限制      | 调峰、日负荷调节, 频率控制, 系统备用      |
|       | 压缩空气储能  | 10 ~ 300 MW    | 1 ~ 20 h    | 适于大规模储能, 技术成熟。响应慢, 受地理条件限制      | 调峰、调频, 系统备用, 平滑可再生能源功率波动  |
|       | 飞轮储能    | 0.002 ~ 3 MW   | 1 ~ 1 800 s | 寿命长, 比功率高, 无污染                  | 调峰、频率控制、不间断电源、电能质量控制      |
| 电磁储能  | 超导磁储能   | 0.1 ~ 100 MW   | 1 ~ 300 s   | 响应快, 比功率高, 低温条件, 成本高            | 输配电稳定、抑制振荡                |
|       | 超级电容器储能 | 0.01 ~ 5 MW    | 1 ~ 30 s    | 响应快, 比功率高, 成本高, 比能量低            | 电能质量控制                    |
| 电化学储能 | 铅酸电池    | 几千瓦至几万千瓦       | 几分钟至几小时     | 技术成熟, 成本低, 寿命短, 存在环保问题          | 备用电源, 黑启动                 |
|       | 液流电池    | 0.05 ~ 100 MW  | 1 ~ 20 h    | 寿命长, 可深度放电, 便于组合, 环保性能好, 储能密度稍低 | 备用电源, 能量管理, 平滑可再生能源功率波动   |
|       | 钠硫电池    | 0.1 ~ 100 MW   | 数小时         | 比能量与比功率高, 高温条件, 运行安全问题有待改进      | 电能质量控制, 备用电源, 平滑可再生能源功率波动 |
|       | 锂离子电池   | 几千瓦至几万千瓦       | 几分钟至几小时     | 比能量高, 循环特性好, 成组寿命有待提高, 安全问题有待改进 | 电能质量控制, 备用电源, 平滑可再生能源功率波动 |

### 3.2主要储能技术成熟度比较

目前，大规模储能技术中只有抽水蓄能技术相对成熟。因受地理条件制约，还有一些储能方式处于试验示范阶段，距离大规模推广应用还有距离，需要在可靠性、效率、成本、规模化和寿命等方面进行综合评估。主要储能技术成熟度如图1所示。



图 1 主要储能技术成熟度

### 3.3主要储能技术的经济性比较

主要储能技术的安装成本见表3。

**表 3 主要储能技术的安装成本**

| 储能技术   | 典型功率等级/MW   | 典型容量等级/MWh   | 单位 kW 成本/美元   | 单位 kWh 成本/美元      |
|--------|-------------|--------------|---------------|-------------------|
| 抽水蓄能   | 1 ~ 3 000   | 10 ~ 10 000  | 600 ~ 2 000   | 10 ~ 125          |
| 压缩空气储能 | 10 ~ 300    | 10 ~ 3 000   | 450 ~ 830     | 80 ~ 180          |
| 铅酸电池   | 3 ~ 20      | 4.5 ~ 40     | 570 ~ 1 580   | 390 ~ 590         |
| 钠硫电池   | 0.5 ~ 6     | 0.7 ~ 48     | 810 ~ 2 270   | 230 ~ 810         |
| 锌溴电池   | 0.03 ~ 0.25 | 0.05 ~ 0.5   | 500 ~ 2 000   | 400 ~ 800         |
| 钒电池    | 0.03 ~ 3    | 0.24 ~ 1.5   | 1 300 ~ 2 600 | 262 ~ 645         |
| 飞轮储能   | 0.002 ~ 2   | 0.001 ~ 0.1  | 460           | 7 600 ~ 1 500 000 |
| 超级电容器  | 0.001 ~ 5   | 0.001 ~ 0.01 | 400 ~ 500     | 750 ~ 1 375       |
| 超导储能   | 0.1 ~ 100   | 0.001 ~ 0.03 | 220 ~ 510     | 1 000 000         |

注：资料来源于 Business Insights。

#### 3.4 主要储能产品的市场规模比较

2010年全球主要储能市场规模(不含铅酸蓄电池)见表4。

**表 4 2010 年全球主要储能市场规模**

| 名称       | 市场规模/万美元 | 所占比例/% |
|----------|----------|--------|
| 抽水蓄能     | 413 000  | 86     |
| 电池和电容器储能 | 44 900   | 9      |
| 压缩空气储能   | 4 500    | 1      |
| 飞轮储能     | 700      | 0.1    |
| 其他储能方式   | 20 000   | 4      |

注：数据来源于中国储能研究院（见中国储能网 2011 - 02 - 18）。

#### 4 储能技术发展前景

##### 4.1 储能技术的市场前景

国外风电场储能系统配置比例情况：美国夏威夷30MW风电场配15MW储能系统；美国杜克能源153MW风电场配置36MW储能系统；日本东北电力公司51MW风电场配置34MW储能系统。

仅2009年上半年，日本碍子公司(NGK)就与美国、阿联酋和法国等签约共销售约600MW的大型钠硫电池储能电站，超过了过去10年的总和。

美国市场研究机构Lux Research估计：目前全球如10%投运的并网风电场使用储能装置(不含光伏发电)，仅此即可带来约500亿美元的市场规模。可见储能系统将成为现有的发电、输电、变电和配电四大电力环节之外生长出来的一个新产业。

我国国家电网公司目前在河北省张北地区展开的风光储输联合示范工程，风力发电总规模300~500MW，一期100MW；太阳能光伏发电100MW，一期50MW；储能电站总规模110MW，一期20MW。2011年3月23日，新的招标公告有五个包，其中四个磷酸铁锂电池系统，分别为：6MW、6h，4MW、4h，3MW、3h和1MW、2h；一个液流电池系统包为2MW、4h。

上述锂电池中标的企业为比亚迪、万向电动汽车有限公司、中航锂电(洛阳)有限公司和ATL - 东莞新能源电子科技有限公司；液流电池中标企业为北京普能世纪科技有限公司。一旦大型储能电站技术获得认可，将给大型储能技术带来很好的发展机遇。

新能源汽车开始兴起，对储能产业的需求愈加迫切。按照2009年3月公布的《汽车产业调整和振兴规划》，到2011年“形成50万辆纯电动、充电式混合动力和普通型混合动力等新能源汽车产能，新能源汽车销量占乘用车销售总量的5%左右”，车辆用动力电池需求量巨大。

#### 4.2我国储能产业前景

(1)抽水蓄能电站进入建设高峰期。抽水蓄能发电机组已基本实现国产化。2010年我国抽水蓄能电站总装机容量已达1700万kW，预计到2020年将达到6000万kW(目前已建与在建约为2770万kW)。

(2)动力电池市场不断扩大。镍氢电池具有容量大、结构坚固和充放循环次数多的特点。2008年北京奥运会使用的混合电动车大都采用镍氢蓄电池作为电源，镍氢电池在全球混合动力电池市场中仍占据主要地位。但锂离子电池由于比能量、比功率高，自放电小，环境友好，是新增投资的重点。专家预计，未来三年左右锂离子电池有可能取代镍氢电池成为主流。

(3)铅酸蓄电池(阀控式)尽管有循环寿命短、不可深度放电等缺点，但其能量密度适中、价格便宜、构造成本低、可靠性好和技术成熟，现在全球铅蓄电池消耗量约550亿美元/a，并保持每年约8.6%的增幅。我国2010年，铅蓄电池产量约14416万kVAh，约占全球50%，年销售超过1000亿元。但须重视新型铅酸电池的研制，例如新型铅碳超级电池，以活性炭作为负电极(还有的将电池的负极分为两个部分，一部分用铅，另外一部分用碳制作)，融合了铅酸蓄电池与超级电容器的优点，循环寿命可达标准铅酸电池的3倍。

(4)发展大容量储能有两种技术路线：电池并联成较大容量，以锂离子电池技术为主；另一种是专门开发大容量电池。国际上主流的技术是钠硫电池和液流电池。在多节电池并联成的电池组里面，如有一块电池损坏，一般就可以认为这组电池寿命的终结，必须进行维修、更换。尽管锂离子电池在电动汽车领域普遍被看好，但在大容量储能市场上，还需经示范应用验证。我国钠硫电池和液流电池都处在示范应用阶段。因此，大容量储能技术产业化需要加快步伐，集成成组技术还有待发展，成本需要下降，一些关键部件尽快实现国产化。还需要重视钠离子电池、锌氯液流电流等新型储能电池的研发。

关于价格：钠硫电池希望由现在的2000美元/kW下降至1000美元/kW水平，钒电池的价格还高于钠硫电池的价格。

关于产业链：储能是一个产业链很长的产业，需要从关键材料(如钒流电池低成本、高性能的双极板材料及离子交换膜材料、电解液等)，锂电池电极材料等方面解决产业链发展问题。

关于使用寿命：电网公司一般要求应用在风电、太阳能等可再生能源发电领域的电池寿命为15a，按每天充放一次计算，大概需要6000次。因此，要求磷酸铁锂电池达到5000~6000次循环。

(5)储能技术在发电、配电和用户端具有独特作用，储能产业已引起了诸多投资者的关注。但在电源点或电网中加装储能设备需要大量投入，投资回报机制不够健全。专家建议，要想推动储能技术在电网中的应用，国家应出台相应的支持政策，鼓励相关方应用储能技术、接纳新能源发电和改善电能质量。

#### 5结语

可再生能源发电和电动汽车的快速发展，给储能产业带来了新的发展机遇。研发新型、高效、可靠的储能装置及配套设备、关键材料，特别是在大容量储能技术与动力电池产业化，降低成本等方面，仍需加大研制力度和示范应用。同时，产业主管部门还需要给予政策扶持。随着各种储能技术不断发展进步，一些高性能的储能电池还将不断涌现。我国的储能装备将会得到广泛应用，储能产业一定会不断发展壮大。

#### 参考文献

[ 1 ] 刘振亚.智能电网知识读本 [ M ] .北京:中国电力出版社，2010.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/93004.html>