储能技术在南方电网的应用前景分析

陈建斌[1]，胡玉峰[2]，吴小辰[3]

（1.南方电网科学研究院，广州510080；2.中国南方电网有限责任公司，广州510623；3.中国南方电网电力调度通信中心，广州510623）

摘要：随着各种储能技术的日臻成熟，大容量储能技术进入了电力系统实际应用阶段。为此，介绍了当前抽水蓄能、飞轮储能、压缩空气储能、超导磁储能、超级电容器储能、电池储能等各种储能技术的发展现状、成熟度及适用范围，分析了储能技术在南方电网地区的应用前景，并提出了适合南方电网实际的储能技术的应用模式及其运行控制方式。

传统电力生产过程中电能的产生、传输、分配和使用几乎同时进行，这种特性很大程度上影响着电力系统的规划、建设、调度运行以及控制方式。大容量储能技术的应用打破了电力供需实时平衡的限制，其大规模应用可有效降低昼夜峰谷差、提升电网稳定性和电能质量水平、促进新能源大规模接入电网。储能技术在电力系统中的应用已成为未来电网发展的一个必然趋势[1－5]。

本文介绍了各种储能技术的研究与应用现状，结合储能技术不同的应用范围，分析并提出了适合南方电网的储能技术应用模式及其运行控制方式。

1储能技术的研究与应用现状

1.1抽水蓄能

抽水蓄能是目前电力系统中应用最为广泛、寿命周期最长、容量最大的一种储能技术，主要用于系统备用和调峰调频。在负荷低谷时段抽水蓄能设备工作在电动机状态，将水抽到上游水库保存，而在负荷高峰时设备工作在发电机状态，利用储存在水库中的水发电。抽水蓄能电站的全寿命周期可达40年以上，其综合效率一般在75%左右。

截至2008年底，全国抽水蓄能电站投产规模达到10945MW，约占全国发电装机总容量的1.38%左右[6]。但由于受建站选址要求高、建设周期长、机组响应速度相对较慢等因素的影响，抽水蓄能的大规模推广应用受到一定程度约束与限制。

1.2飞轮储能

飞轮储能技术将电动机的转子与飞轮结合，利用电动机驱动飞轮至高速旋转从而使能量储存在高速旋转的飞轮体中；当系统需要电能时，可以利用高速旋转的飞轮驱动发电机发电。飞轮储能的综合效率较高，可以达到85%～90%[7]。

国外飞轮储能系统已形成系列商业化产品，如Active Power公司的500kWClean SourceDC和Beacon Power公司生产的由10个25kWh单元组成的Smart Energy Matrix储能系统等[1,3]。目前，飞轮储能装置已投入电网实际运行，如纽约电力管理局就通过试验安装1MW/5kWh的飞轮储能装置来解决电动机车引起的电压突变。飞轮储能具有良好的负荷跟踪和快速响应性能，可用于容量小、放电时间短、但瞬时功率要求高的应用场合[1]。

1.3压缩空气储能（CASE）

压缩空气储能的实质是燃气轮机发电厂，其原理是将空气压缩并储藏在高压密封的贮气空洞中，如地下溶岩洞穴、海底、以及废弃矿井、地道等存储空间，在用电高峰释放出来驱动燃气轮机发电。

ABB、GE等国外大型设备制造厂商均关注百兆瓦级的压缩空气储能的研发。同时，美国正计划在俄亥俄州建造总装机容量2700MW的世界上最大容量的压缩空气储能电站[1]。总体来说，压缩空气储能的建设成本和发电成本均低于

抽水蓄能电站，但由于贮气空洞的建设受岩层等地形条件的限制，推广应用的关键是选择更合适的贮气方式。

1.4超导磁储能（SMES）

超导磁储能技术主要原理是将电能以电磁能的形式储存在超导线圈中。超导磁储能具有功率密度高（10～100MW/kg），综合效率高（95%左右）和响应速度快（毫秒级）的优点[1－4,8]。

SMES已在美国、日本和欧洲等地得到初步应用，100MJ的SMES已投入试验运行。但目前世界上商业化生产的超导磁储能系统只有美国超导公司的D-SMES系统，储能容量为3MJ（折合约0.83kWh）。目前该装置已在美国Alliant Energy和Entergy等多处投入电网实际运行，主要用于电压稳定控制和电能质量调节[1]。

1.5超级电容器

超级电容器的储能原理与常规电容器一样，但其电荷层间距离缩小到0.5nm以下，加之采用特殊电极材料后使两电极表面积成万倍地增加，从而产

生了极大的电容量。

当前各种商业化生产的超级电容器单体储能容量较小，一般只有8～50kJ（折合约2～14Wh），而且单位容价格仍较为昂贵，在电力系统中多应用于高压变电站及开关站的电容储能式硅整流分合闸装置、大功率直流电机的启动支撑和动态电压恢复等超短放电时间、瞬时大功率的场合[1,9]。

1.6电池储能

电池储能亦称为电化学储能，目前各种主流储能电池技术参数如下表1所示。

表 1　各种储能电池技术参数

Tab. 1　Technical Parameters of Energy Storage Batteries

电池类型	功率规模	能量密度/(Wh·kg^{-1})	循环寿命/次	循环效率/%
铅酸	十兆瓦级	25～42	500～1 200	75
镍镉	十兆瓦级	35～57	1 000～3 500	80
钠硫	十兆瓦级	130	2 500～4 500	85
液流	兆瓦级	50	1 000～2 500	80
锂离子	兆瓦级	60～130	7 000～10 000	90
镍氢	百千瓦级	50～60	≥2500	85

铅酸电池技术成熟且成本较低，一直占据电力系统电池储能技术应用的主导地位，不过由于能量密度低以及循环寿命短等问题，目前已没有相关新增应用工程；镍镉电池的各项性能指标与铅酸电池接近，但因为有“记忆效应”和自放电现象，以及存在镉金属污染的问题，已被欧盟限制使用，不具备在电力系统推广应用的潜力；钠硫电池在最近20年发展迅猛，具有能量密
度高、循环寿命长等优点、已在日本和美国有大量
的实际工程应用[12－14]
。液流电池在本世纪初逐步实现商业化生产，具有能够100%深度放电和可通过提高电解质的浓度实现增加电池容量等优点。但目前液流电池的能量密度较低，单位造价昂贵，制约了其大规模发展[15]。

锂
电池和镍
氢电池是目前最具
发展前景的大容量储能电池。锂电池
是能量密度和综合循环效率最高的储能电池[16]
；镍氢电池是镍镉电池的改良，无记忆效应且无环境污染。但以上两种储能技术在电力系统中的实际应用较少，在推广应用前仍需经历长期的安全性和可靠性的运行检验。

整体上来说，电化学储能技术具有能量密度高、综合效率高、建设周期短、容量和功率规模适用范围广等优点。随着大容量集成技术的成熟以及综合造价的进一步降低，有望在电力系统削峰填谷、频率和电压调节、电能质量调节、系统备用以及可再生能源灵活接入等方面发挥重要的作用。

2储能技术适用范围分析

储能技术应用模式可以分为容量型和功率型两种，不同的应用模式和应用场合对储能技术性能指标提出了不同的要求。具体各种应用模式对储能功率规模和放电时间需求范围如图1所示[17]。

电力系统削峰填谷、频率调节以及系统备用等应用模式对储能设备的容量提出了较高的要求，是容量型的储能应用模式。另一方面，系统稳定控制和电能质量调节应用模式则是功率型的储能应用模式，要求储能系统具备快速的响应速度，能给予电网足够的瞬时功率动态支撑。除此以外，支持可再生能源接入的应用模式对储能系统的容量和功率规模的要求较宽泛，主要根据可再生能源不同的发电特性和装机规模而改变。

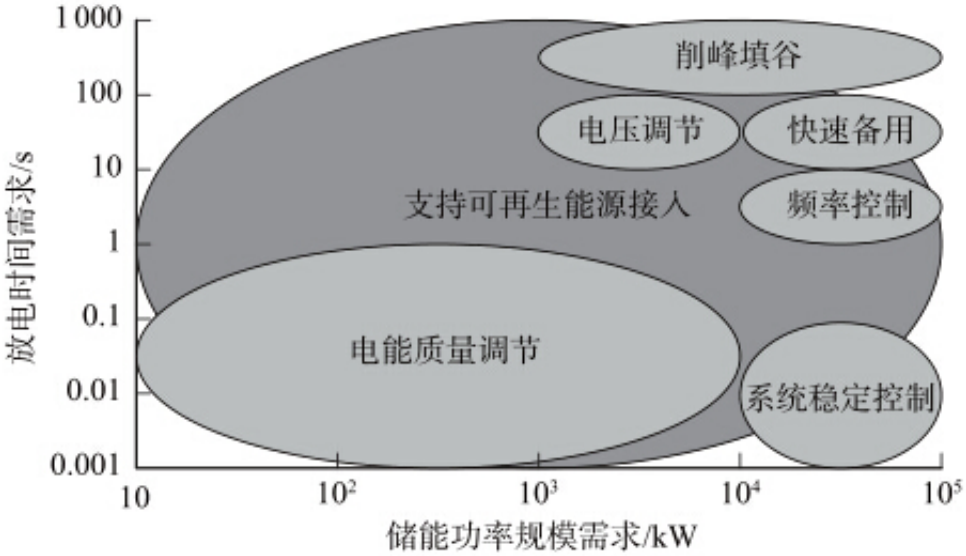

图 1　储能应用模式功率与放电时间需求

Fig. 1　Requirements for Energy Storage Applications and Discharge Time

总体来说，目前没有任何一种单一的储能技术能够全面满足所有应用模式的需求，需要因应不同的应用模式技术需求选择合适的储能技术。具体各种储能技术的性能特点如表2所示。

表 2　储能技术的性能汇总

Tab. 2　Summary of Energy Storage Technologies' Attributes

储能技术类型	功率规模	全功率响应时间	循环寿命/次	循环效率/%	应用模式
抽水蓄能	吉瓦级	分钟级	设备使用期限内无限制	70～85	削峰填谷、频率调节、系统备用
压缩空气储能	百兆瓦级	分钟级	设备使用期限内无限制	≥70	削峰填谷、频率调节，系统备用
飞轮储能	兆瓦级	十毫秒级	≥20 000	85～90	电能质量调节和电力系统稳定控制
超导磁储能	十兆瓦级	毫秒级	≥100 000	90～95	电能质量调节和电力系统稳定控制
超级电容器	兆瓦级	毫秒级	≥50 000	95	电容储能式硅整流分合闸装置 大功率直流电机启动支撑
铅酸电池	十兆瓦级	百毫秒级	500～1 200	75	削峰填谷、频率和电压调节、可再生能源灵活接入、系统备用
镍镉电池	十兆瓦级	百毫秒级	2,000～2 500	80	
钠硫电池	十兆瓦级	百毫秒级	2,500～4 500	85	
液流电池	兆瓦级	百毫秒级	≥12 000	80	
镍氢电池	百千瓦级	百毫秒级	≥2 500	85	
锂电池	兆瓦级	百毫秒级	1 000～10 000	90	

3储能技术在南方电网的应用前景分析

3.1支持新能源的灵活接入

风能、太阳能等可再生能源发电具有随机性、间歇性、出力变化快等特点，有研究指出一旦可再生能源的装机容量所占比例超过10%后，将对局部电网产生明显冲击。特别是在水、油、汽电源比例较小的地区，仅靠有功调节速度较慢的火电机组，难以完全适应其出力的快速变化，甚至会引发大规模恶性事故[18]。

目前南方电网辖区内风力发电和光伏发电等可再生能源规模较小，截止至2010年底南方五省（区）统调风电装机947MW，占全网0.6%，因此对电网安全稳定运行影响不大。然而，今后五到十年将是新能源的大发展时期，研究与可再生能源发电联合运行的大容量储能技术，通过实时调整储能系统的充、放电功率以及充放电状态的迅速切换，使可再生能源随机变化的输出功率转换为相对稳定的输出，从而保证电网安全稳定运行已成为满足未来南方电网新能源灵活接入的关键。

3.2削峰填谷

随着城乡居民和工业生产用电的大幅度增长，电力负荷峰谷差绝对值日益扩大，将给电力调度造成一系列的困难，各省（区）之间、各类电厂之间发电矛盾也将日益突出，甚至可能引起发电侧矛盾的激化。随着“十二五”期间南方电网区域内水电厂的陆续投产，系统调峰难度不断增大，汛期云南、广西仍存在较大低谷调峰缺额，弃水调峰难以避免。

同时，当前电网高峰负荷的不断增加，电网公司需要连续投资输配电设备来满足尖峰负荷的容量需求，导致系统整体负荷率偏低，资产的综合利用率很低。

因此，建立经济高效的大容量储能系统，可在用电低谷时作为负荷存储电能，在用电高峰时作为电源释放电能，实现发电和用电间解耦及负荷调节，在一定程度上减弱峰谷差。储能系统一旦形成规模，可有效延缓甚至减少电源和电网建设，提高能源利用效率和电网整体资产利用率，彻底改变现有电力系统的建设模式，促进其从外延扩张型向内涵增效型的转变。

储能系统在削峰填谷上的应用是今后缓解环境压力及满足低碳社会发展的重要途径之一。

3.3电网稳定控制

南方电网远距离、大容量、交直流并联送电的特征，决定了保证电网安全稳定运行在长时间内仍然是南方电网的发展主题。当前南方电网储能容量所占比例小，而且全部为抽水蓄能电站，响应速度不能完全满足系统动态支撑的要求，很难从根本面上杜绝大面积停电事故的发生。电网稳定控制宜采用电磁储能以及飞轮储能等快速响应的功率型储能技术[15]

，能有效减小和消除扰动对电网的冲击，在系统出现故障时快速地吸收/发出功率，从而抑制系统振荡，全面提高系统运行的可靠性。

然而功率型储能技术如超导磁储能和飞轮储能尚处于商业化的初步阶段，价格昂贵，而且其产品尚未完全成熟，已投入电网实际运行的最大规模约1MW/250kWh，与主网输电规模相差甚远，根据相关资料中有关储能系统抑制低频振荡的临界容量要求，超导磁储能和飞轮储能技术目前的整体生产水平不能满足主网层面的电网稳定控制要求，因此近期内不具备在输电网大范围推广应用的实力。

4储能技术应用的几点建议

随着各种储能技术应用研究的深入，储能技术正朝着能量转换高效化、能量高密度化和应用低成本化的方向迅速发展，在南方电网地区研究应用兆瓦级或更大容量的储能系统有着十分重要的现实意义。本文对南方电网应用储能技术有以下几点思考和建议。

4.1储能价格体系

价格体系是影响储能技术推广应用与发展的重要因素之一。电网公司、发电企业、用户方面都认识到储能技术的应用前景，但目前大容量储能技术的造价普遍偏高，单位容量投资较大，而且我国储能相关体制和政策并不完善，暂不具备上网峰谷电价、储能电价、补偿机制等配套电价机制，储能站的建设和运行成本在现有电价体系中还找不到疏导渠道。

因此，要推动南方电网地区储能技术应用发展，应进一步促进价格机制的建立与完善，推动峰谷电价、阶梯电价和储能电价政策的尽快出台，完善储能技术应用的投资回报机制，鼓励发电商、用户端或第三方独立储能建设企业等所有有条件的投资方投资建设储能装置，促进储能站应用以及电网建设的良性互动发展。

4.2发展模式

各种大容量储能技术在全球范围内已有大量的实际工程项目，成功应用于电力系统的各个领域，可借鉴的储能技术应用发展模式主要有以下两种：第一种是采取用户侧或发电厂侧投资并管理的模式，由电网公司提供并网认证和检测考核服务，通过制定合理的分时电价、阶梯电价，引导投资方积极参与储能技术的应用与推广。第二种是由电网公司直接参与储能设备的投资与管理，与目前抽水蓄能电站的管理方式一致，电网公司通过储能电价收回投资成本，该运行模式有利于多个储能系统的统一调度管理，提高设备运行维护水平。

目前，由于受宏观层面上所面临的储能设备价格过高及诸多体制、政策的制约，导致我国储能技术应用投资主体的界定以及投资回报机制并不明晰，前述两种发展模式的优劣与利弊，以及配套的政策与管理机制等，需要进一步的深入分析与研究。

4.3储能站示范工程及储能技术应用研究

我国大容量储能技术的应用还处于初步阶段。在大范围推广应用储能技术条件尚不成熟的前提下，考虑以开展储能站示范工程为切入点，研究与掌握大容量储能设备集成控制和接入电网技术，通过试点工程积累全方位的技术数据，积累储能站系统规划、设备选型、工程建设及运行维护经验，制定相关储能系统接入电网技术标准和管理标准。同时，依托试点工作的开展，摸清储能站工程各环节的技术经济指标，形成有效的储能技术经济评价机制，为储能站工程的建设提供参考依据，确保储能技术及相关设备上的投资与建设满足高效、经济、实用的目标的实现。

储能站示范工程及储能技术应用研究工作的顺利开展，既是进行储能系统接入电网技术研究的重要依托，也是制定储能系统技术标准以及管理要求的重要依据，更是我国大规模推广应用储能技术的前提与保障，为我国储能技术发展提供重要的工程实践机会。

5结语

当前，整个电力工业的发展方向是走低碳经济的道路。研究与应用储能技术是解决可再生能源并网接入、提高能源利用效率和提高电网运行效率的重要途径之一。而且，随着各种储能技术的日臻成熟，大容量储能技术进入了电力系统实际应用阶段。因此，尽快在电力系统中开展储能技术开发应用综合示范项目，为今后大规模推广应用积累经验，对于引导与推动储能技术在我国的健康发展具有积极、重要的意义。

参考文献：

[1]EPRI.EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for Transmission and Distribution Applications [R].Washington DC: EPRI, the US De-partment of Energy, 2003.

[2]程时杰，文劲宇，孙海顺.储能技术及其在现代电力系统中的应用[J].电气应用，2005，24（4）：1－8, 19.

[3]张文亮, 丘明, 来小康.储能技术在电力系统中的应用[J].电网技术，2008，32（7）：1－9.

[4]US Department of Energy Electricity Advisory Committee.Bottling Electricity: Storage as a Strategic Tool for Managing Variability and Capacity Concerns in the Modern Grid.[R/OL].（2008-12-16）

[5]CHEN H, CONG T N, YANG W, et al.Progress in Electrical Energy Storage System: A Critical Review [J].Progress in Natural Science,2009, 19（3）：219－312.

[6]郝荣国.抽水蓄能电站的发展与规划布局[EB/OL].中国抽水蓄能网.（2009-11-23）[2010-02-08]

[7]MAKAROV Y, YANG B, DESTEESE J, et al.Wide-Area Energy Storage and Management System to Balance Intermittent Resources in the Bonneville Power Administration and California ISO Control Areas[R/OL].Pacific Northwest National Laboratory, (2008-06-21)

[8]林良真, 肖立业.超导电力技术新进展及其未来发展的思考[J].物理，2006，35（6）：491－496.

[9]胡毅，陈轩恕，杜砚，等.超级电容器的应用与发展[J].电力设备，2008，9（1）：19－22.

[10]Business Insights.The Future of Electrical Energy Storage: The Economics and Potential of New Technologies [R/OL].Business In-sights, (2009-09-08)

[11]OUDALOV A, BUEHLER T, CHARTOUNI D.Utility Scale Appli-cations of Energy Storage [C]// IEEE Energy 2030 Conference, At-lanta, Georgia, USA, 17－18, November 2008, Atlanta: 2008.

[12]IBA K, IDETA R, SUZUKI K.Analysis and Operational Records of NaS Battery [C]// Proceedings of the 41 st International Universities Power Engineering Conference, UK, 2006, 3: 491-495.

[13]OKIMOTO A.NAS Battery Application.[EB/OL].(2009-06-21)

[14]NOURAI A.Installation of the First Distributed Energy Storage System(DESS) at American Electric Power (AEP) [R/OL].SAND2002- 4084.

[15]EPRI.VRB Energy Storage for Voltage Stabilization: Testing and Evaluation of the PacifiCorp Vanadium Redox Battery Energy Stor-age System at Castle Valley[R].EPRI, Palo Alto, CA: 2005..

[16]DIVYA K C, ØSTERGAARD J.Battery Energy Storage Technology for Power Systems — An Overview [J].Electric Power Systems Re-search, 2009，79（4）：511－520.

[17]Electricity Storage Association.Applications Overview.[EB/OL].（2009-04-01）

[18]葛睿，董昱，吕跃春.欧洲“11·4”大停电事故分析及对我国电网运行工作的启示[J].电网技术，2007，31（3）：1－6.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/90759.html