

近年来,在智能电网和可再生能源发电规模快速发展的带动下,储能技术越来越成为多个国家能源科技创新和产业支持的焦点。不过,受限于储能技术成本高、经济性低以及相关行业政策的缺位,现阶段在国内电力行业还不能实现大规模应用。而随着北京石景山热电厂2兆瓦锂离子电池储能电力调频系统的运行,储能技术实现商业化应用曙光初现。为了解储能技术在火力发电AGC调频中的运用,以及该项目的运营模式、实际效果、商业价值等,本刊记者走进石景山热电厂,与公司领导和项目主要负责人进行了深入交流和探讨,希望能够为广大读者提供可借鉴的经验,并带来有价值的启发和思考。

曙光初现

——储能技术在电力调频领域的商业探索

文 本刊编辑部

2013年9月16日,北京京能电力股份有限公司石景山热电厂(以下简称石热)3号机组2兆瓦锂离子电池储能电力调频系统正式运行,这是中国第一个以提供电网调频服务为主的兆瓦级储能系统示范项目,也是全球第一个将储能系统与火电机组捆绑联合响应电网调频指令的项目。这还是一个商业示范项目,除了论证技术可行性以外,主要目的是验证储能技术在电力调频领域中的商业价值。该项目投运至今已超过15个月,储能系统运行稳定、安全可靠、响应速度快、控制精度高,调频特性远优于传统发电机组。目前该联合调频火电机组已成为华北电网区域调频性能最好的机组,机组调频收益提升显著。

谈起该项目的源起,北京睿能世纪科技有限公司(以下简称睿能)首席执行官牟镠峰告诉记者:“我从2007年进入储能行业起就一直在困惑,大家都说储能技术好,但就是不挣钱,怎么办?早在2010年,美国已经出台了一系列政策支持储能应用于调频市场,于是我们考虑能否通过技术、模式上的本土化创新,将之用在中国。”2011年,睿能开始和京能集团沟通合作事宜。一方面,京能集团认为将储能技术运用于火力发电AGC调频是一种创新,值得探索;另一方面,令石热担忧的是,在没有任何借鉴的情况下,能否应对电力安全性的挑战。后来,通过多次组织大型专家论证会,花了六七个月进行反复论证,经历了无数次艰难的技术对接,最

终促成了此次合作。“到目前为止,项目正常运行了十个月,效果不错,和前期的细致论证关系非常大”。

储能技术在电力调频领域的商业探索

调频是维护电网运行安全性的关键技术之一。目前,中国各地区电源结构差异较大,区域电网呈现的调频能力和效率不尽相同。通常来讲,在北方的各大区域电网中,火电机组为主要的调频电源,优质调频资源较为稀缺;南方地区水电较为丰富,调频手段更为多样化。横向比较,水电和燃气机组的调频性能较好,但火电相对较差。在中国北方地区,随着可再生能源的大规模开发,风电、光伏的并网问题日益突出,大型火电机组长期提供调频服务造成机组磨损、能源利用效率下降及故障率升高等问题。从电网调度需求角度出发,随着风电在电网中比重的增加,为保证电力系统安全可靠运行,电网中心必须配置相应的快速响应电源。区域内的调频电源越能快速、精确地响应调度下发的出力指令,则对电网安全越有利。

大规模先进储能系统具有毫秒级精确控制充、放电功率的能力,应用于电网调频时较传统调频手段有无可比拟的优势。自2003年以来,美国一些电网运营商、研究咨询机构、储能设备供应商等相关主体协同进行了细致丰富的工作。大量的理论验证、研究分析和实际测试均表明,储能



石景山热电厂储能系统,整套系统置于发电机组一侧,布局灵活

技术应用于调频的效果远好于火电机组,对系统整体调频控制有很好的改善作用。2008年美国西北太平洋国家实验室的分析报告指出,同等规模比较下,储能系统进行调频的效率是水电机组的1.7倍,是燃气机组的2.7倍,是火电机组和联合循环机组的近20倍。2011年美国电科院(EPRI)研究报告指出,储能应用于调频是在所有电力系统储能应用中价值最高的。

从实际项目运行效果看,储能系统能够有效降低电网调频容量。2011年,在纽约州电力系统中,9兆瓦的飞轮储能调频系统完成的调频任务量占总体调频任务量的23.8%,即3.3%的优质调频电源完成了23.8%的总调频任务。美国最大的电力市场PJM于2012年10月1日正式开始运行新调频市场,目前,PJM新调频市场运行效果良好,达到预期效果,在系统频率控制指标和总体调频补偿费用保持稳定的基础上,实现了系统整体调频容量降低30%的目标,并且调频电源性能获得提升。当大量常规机组容量从繁重的调频功能中解放出来,一方面提升机组的运行效率和长期的使用寿命,另一方面,也促进了其他辅助服务市场和能量市场的竞争。目前,美国已经正式商用的储能调频系统超过10万千瓦。德国和韩国的储能调频市场也在快速发展中,韩国在2014年已经完成第一期共50兆瓦储能调频系统的招标工作,按照计划未来3年还将分期部署450兆瓦的储能调频系统。

在国内,随着电力系统接入越来越多的风电和光伏发电,系统的净负荷波动性变得更加显著,到2020年中国将有

总共150吉瓦的风电并入各个区域电网,区域电网内调频的压力将越来越大,调频需求将成倍增长。与火电相比,储能可以提供更优质的调频服务,尽管有着技术优势和巨大市场,但要替代现有的调频方式,储能仍存在经济性上的疑问。

美国储能调频发展得益于政策推动

美国储能调频的发展得益于美国联邦能源监管委员会在政策方面的推动。2007年“890法案”确认了包括储能在内的非传统发电电源的市场主体地位,要求所有的电力市场无差别对待储能系统,这是非常重要的,只有身份明确了,参与市场才能名正言顺;2011年的“755法案”解决了储能系统参与电网调频市场获得合理回报的问题,要求电网为调频服务的效果支付调频补偿费用;2013年的“784法案”明确,除储能调频应用于美国区域电力市场,还将应用范围扩大到了全部美国国土范围。以上三个法案的施行,解决了储能系统参与AGC调频服务市场的合法性以及获取合理投资收益的问题,并且以法案形式将储能调频应用规模化推广至全美境内,这对整个储能行业的健康发展起到了决定性的作用。

“联合调频”模式初显商业价值

石热共有4台220兆瓦燃煤供热机组,目前已在3号机组安装了2兆瓦储能系统,其试运行期间已显著改善了3号机组的调频性能。该项目运行的基本原理是:当电网发送AGC指令要求机组增加出力时,储能系统放电,相当

于增加机组的对外输出功率；当 AGC 指令要求机组降低出力时，储能系统机组的对外输出功率正好与前者相反。

该项目以合同能源管理方式实施，储能系统由睿能和北京源深节能技术有限责任公司（隶属于京能集团）共同投资，睿能负责研发、建设和维护，石热电厂主要负责安全运行。其运营模式被称为“联合调频”。简单说，就是按照电厂原有的基本调频准则进行调频，包括技术、补偿方式等，只是进行一些优化。相当于把储能系统看作一个发电厂，而不是单独看作一个调频的储能原件，这样就不用单独为其制定一套办法和准则，产生的增量收入由三方按比例分成。这种模式找到了进入调频市场的良好切入点，得到了能源局、电网、电厂各方的支持。

项目总投资约 2000 万元人民币，按照目前的运营情况，预计 5~6 年能够收回成本。作为第一个示范项目，睿能的初衷更多在于摸索和验证储能技术在电力调频领域的技术可靠性和商业价值。目前看来，储能技术稳定可靠，收益情况也已达到预期。

“石热电厂作为运行单位，最关心的是两方面问题：一是如何把在全球都没有运用过的新技术安全应用在电厂；二是安全运用之后，如何与电厂现有的调频技术结合，实现‘联合调频’，充分发挥储能技术的作用。”石热副总经理王斌介绍了该项目投运经验。解决第一个问题，是在项目前期做各种充分的论证，包括一些特性试验，以及针对运行一段时间的考验等。解决第二个问题，从电厂侧和储能侧都需要根据适用储能的技术特点进行优化，主要是分析装置的个性、分析机组自身 AGC 调整环节的特性，找到最佳的结合点。作为该项目来说，除了安全性以外，“联合调频”的示范意义更加重要。

“从运营角度来讲，为了适应电厂的实际情况，从数据采样、信号处理到算法优化，都是一个逐步摸索的过程。从 2013 年 9 月挂网运行，到真正效益大幅度提升始于 2014 年 6 月，这时联合调频才渐入佳境。”石热该项目主要负责人之一郭永红向记者介绍。

项目示范效果显著

该项目结合节能进行商业模式创新，为储能产业发展找到了突破口，推动技术进步和行业发展，并为火电厂应对电网公司考核，提升辅助服务质量，降低火电机组磨损，减少非计划停运以及提高燃煤利用效率等方面提供了一定的帮助。项目运行以来，取得了良好的示范效果。主要包括：

石热 3 号机组 AGC 调频有明显改善。2014 年 9 月 26 日至今，在储能系统运行的情况下，机组 Kp 值提升 20%，效果明显。

储能系统安全性和可靠性高。为了最大限度保证示范项目成果，该项目全部采用了国际领先的产品和设备。项目投运以来，在初期两个月运行调试后，系统顺利进入了长期无人值守运行状态。运行记录显示，该储能系统已经累计实现充放电 40 万次以上，运行稳定，未发生任何安全事故。

储能系统运行不会对机组运行造成负面影响，在各类设备故障情况下，储能系统控制装置故障侦测和保护动作准确及时，不会造成机组设备损伤。

储能系统具有秒级的快速功率响应和精确功率控制能力，相比火电机组，储能系统在电网 AGC 调频应用方面体现出明显的技术优势。

明确储能技术的市场主体地位

2014 年国务院通过的《能源发展战略行动计划（2014~2020 年）》提出了“提高可再生能源利用水平。加强电源与电网统筹规划，科学安排调峰、调频、储能配套能力，切实解决弃风、弃水、弃光问题”的发展思路。

目前，国内已有企业表示对投资建设储能设施意愿强烈，加快试点项目的推动，将有助于政府及各方参与主体深入了解项目运行实际情况。同时，根据项目效果，将逐步完善储能参与电力调频市场机制，引导储能产业健康有序发展，有效规避大规模建设所带来的产业风险，为突破现阶段储能技术发展的困境带来机遇。下阶段建议行业主管部门重点在以下三方面作出部署：

明确储能技术市场主体地位，简化审批流程。储能系统进入电力行业，在项目的审批和建设过程中还会面临诸多问题，包括储能参与电网运行的主体性质及建设投资企业的相关资格等。现行的政策对于储能技术还没有相应的界定，限制了储能技术以及储能企业参与电力业务的空间。

加快制定储能接入电网的标准。目前，储能系统接入电网的各项技术要求和管理标准还不够完善，这会在实施层面给储能项目增加很多不确定性。

深化电力调频市场机制，保持政策持续性。从产业健康发展的角度看，建立一个公开、透明的调频市场，鼓励各市场主体公平参与竞争，是推动储能大规模进入电力调频领域的关键因素之一。同时，保持政策持续性，对于培育市场、引导储能产业有序发展至关重要。CPEM