

液流电池:黎明前等待美好明天

■王晓丽 李先锋 张宇 马相坤

1 储能——新能源的“孪生兄弟”

能源,是与国民经济可持续发展和国家安全紧密相关的重大课题。当前,摆在我们面前的现实矛盾是一直依赖的化石能源日益枯竭,且传统能源利用方式引起的环境恶化日趋严重。一个典型的例子是近年来雾霾天气在我国出现得日益频繁,已经严重影响了国民健康,这也使得人们对清洁能源的需求更为迫切。因此,节约化石能源、提高化石能源利用效率、实现节能减排以及研究开发和大规模可再生能源,实现能源多样化成为世界各国能源发展战略的共识。

在哥本哈根世界气候大会上,美国作为发达国家的代表承诺2020年温室气体比2005年减排17%,我国作为发展中国家的代表承诺2020年单位国内生产总值二氧化碳减排40%~45%。新能源和节能环保产业已被定为我国的战略性新兴产业。

在相关政策的大力推动下,我国新能源产业有了较快发展。尤其是风能、太阳能发电装机容量大幅增加。据统计,2013年,我国新增风电装机容量16088.7兆瓦,同比增长24.1%,截至2013年末,累计装机容量91412.89兆瓦,同比增长21.4%。新增装机和累计装机两项数据均居世界第一。据国家能源局数据,截至2013年末,累计并网太阳能装机容量14790兆瓦,仅2013年,我国太阳能新增

并网装机容量11300兆瓦,年度新增装机容量为全球第一。

但是,可再生能源的快速发展给电网的安全稳定运行带来一定挑战。风能、太阳能发电输出具有随机性、间歇性的非稳态特性,对于电网来说,不像火力发电厂那样能够按照发电计划输出功率,满足电网负荷与发电平衡的调度需求。因此,大规模可再生能源集中并网对电网调峰和运行稳定性产生较大冲击,造成部分已建成的新能源设施不能如期并网运行,不仅给设施投资建设企业造成巨大损失,而

储能技术分类

分类	能量转化形式	储能技术
物理储能	势能-电能	抽水储能
	动能-电能	压缩空气储能
	电磁能-电能	飞轮储能 超导磁储能
化学储能	化学能-电能	钠硫电池
		铅酸电池
		锂电池
		液流电池

2 液流电池——储能大家族中的中坚力量

在储能大家族中,按照技术类型划分,主要包括物理储能和化学储能。各种储能技术具有不同的技术特点和应用领域。物理储能主要包括抽水储能、压缩空气储能。这两种储能技术具有规模大、寿命长、安全可靠、运行费用低的优点,建设规模一般在百兆瓦级以上,储能时长从几小时到几天。其中抽水储能是目前在电力系统中应用最为广泛的储能方式,全球总装机容量达127吉瓦,占储能总装机容量的99%。但两种储能方式都需要特殊的地理条件和配套设施,建设的局限性较大。

化学储能相比于物理储能具备系统简单、安装便捷以及运行方式灵活等优点,建设规模一般在千瓦~百兆瓦级别,液流电池、锂电池、钠硫电池、铅酸电池是目前电力系统储能的主流技术。

液流电池是由美国科学家Thaller L.H.(NASA Lewis Research Center)于1974年提出的一种电化学储能技术。液流电池是通过活性物质发生氧化还原反应来实现电能和化学能的相互转化。充电时,正极发生氧化反应,活性物质价态升高;负极发生还原反应,活性物质价态降低。放电时则正好相反,正极发生还原反应,活性物质价态降低;负极发生氧化反应,活性物质价态升高。与传统二次电池直接采用活性物质做电极不同,液流储能电池的电极均为惰性电极,只为电极反应提供反应场所,活性物质通常以离子状态存储于电解液中。正极和负极电解液分别装在两个储罐中,通过送液泵实现电解液在管路系统中的循环。运行过程中,全液流液流电池氧化还原反应表现为离子价态的变化,沉积型液流电池表现为金属的沉积与溶出。

从外观看,液流电池储能系统包括如下几部分:电堆单元,由正负电极和离子传导膜叠合而成单电池的集合体;电解液单元,包括含有活性物质的电解液,及用于电解液盛装和循环的储罐、管

且造成大量的“弃风”和“弃光”,严重影响新能源产业的可持续发展。风能、太阳能等可再生能源的并网消纳已经成为发展的瓶颈问题。

储能技术是电力系统发展历程中一直渴望的技术,它可将间歇的、不稳定、不可控的可再生能源变成稳定、可控、电能质量的优质能源,真正实现清洁能源、稳定电力的美好愿景。

为此,储能技术也和新能源、互联网技术一起并称为第三次工业革命的核心技术,是能源互联网时代的电能存储器。当前,美国、日本等发达国家都在集国家之力,从资金、政策等方面为大型工业储能产业的发展创造条件,力争在第三次能源变革中占据先机。2012年,美国能源部制定了详细的储能技术和产业发展规划。美国加州储能法案规划2020年储能装机容量将达到最大电力负荷的5%,并制定了诸如储能电价、税收减免等激励政策,推动储能产业的发展。日本政府在2013年度启动首批能源特别追加预算,投入286亿日元(约3.6亿美元),实施大规模储能技术在间歇式电源接入、电网调峰、分布式供电领域应用示范验证。据国际权威资讯机构麦肯锡预测,2025年储能技术对全球经济价值贡献将超过1万亿美元,市场前景广阔。

路、阀、泵、传感器等辅助部件;控制系统,包括用于管理整个系统的电池管理系统、功率变化单元等。就像汽车的发动机燃烧汽油发电,液流电池可通过在电堆里转化电解液发电。不同的是,电解液不会被消耗掉,能够进行往复充放电。

根据发生反应的电对不同,液流电池可以分为:全钒液流电池、钒溴液流电池、多硫化钠/溴液流电池、锌/镍液流电池、铁/铬液流电池、钒/多硫化物液流电池、锌/铈液流电池、半液流电池。虽然各自的电学体系不同,但都具备以下特点。

1. 功率和容量相互独立,输出功率由电池模块的大小和数量决定,储能容量由电解液的浓度和体积决定,故可实现功率与容量的独立设计;
2. 能量转化效率高,启动速度快;
3. 具有很强的过载能力和深度放电能力;
4. 部件多为廉价的碳材料、工程塑料,材料来源丰富,易于回收。

不同的液流电池又各具特点。其中,全钒液流电池正负极活性物质都是钒离子,只是价态不同,具有更安全、寿命更长、效率更高的优势,是目前应用最广,最具产业化前景的液流电池,已经成为液流电池家族中的掌门人,具有高安全性、长寿命、高可靠性、绿色环保等优点,吸引了政府和电力行业的高度关注。

4 主导国际标准 赢得市场先机



张华民作为项目负责人牵头国际液流电池首批标准制定,图为IEC标准专家合影

所谓产业发展,标准先行,中科院大连化学物理研究所研究员张华民充分认识到标准的重要性,在引领国内外液流电池技术发展的同时,也积极跟进国内外液流电池技术的标准化。早在2009年初,张华民与电器工业协会联合,开始筹备液流电池标准化技术委员会。到2012年,国家能源局正式批准成立能源行业液流电池标准化技术委员会(编号NEA/TC 23),现已制定了全钒液流电池术语、关键材料测试方法及电池系统通用技术条件等4项国家和行业标准并发布实施,为我国液流电池研发单位及生产厂商提供了统一的检测评价标准,规范液流电池市场。2013年初,经多次努力,推动国际电工委员会(IEC)成立了液流电池工作组,并提议启动液流电池术语、通用技术条件和安全三项行业急需的基础标准的制定。

2014年4月,IEC讨论决定由张华民作为负责人代表中国牵头制定IEC 62932-2-1 Flow Battery Systems for Stationary Applications- Part 2-1: Performance General Requirements & Methods of Test (《固定应用领域用液流电池第2-1部分:性能一般要求及试验方法》)。该标准编制过程中,多次与行业内企业、用户、科研院所研究和讨论,充分采

用了我国液流电池技术先进的研究成果,结合我国液流电池技术试验研究数据和应用经验,充分融合了我国已经发布的行业标准《NB/T 42040-2014 全钒液流电池 通用技术条件》内容。一方面保证了国际标准与国内标准的一致性,减少未来国际标准转化过程的技术差异;另一方面,通过引导国际标准方向,降低未来的国际贸易壁垒风险,为我国参与国际储能竞争赢得先机。该国际标准是国际首项囊括液流电池技术和质量指标的标准,是目前液流电池商业化交易过程中唯一的参考标准,填补了国际液流电池标准的空白,是开拓液流电池国际标准化工作的重要里程碑。该标准的成功实施对促进国内外液流电池的产业化进程,推动新能源、节能环保产业发展发挥重要作用。

随着经济全球化的不断深入,标准竞争已成为继产品竞争、品牌竞争之后市场竞争的重要形式,标准化已成为促进产业发展、推动对外贸易、规范市场秩序的重要措施。把我国液流电池技术领先的优势扩大到产业层面,极大地提升了中国在国际液流电池标准领域的话语权与核心竞争力。占领液流电池领域国际标准和市场制高点具有重要意义。

5 未来——技术提升、成本降低、政策引导是关键

液流电池储能产业的广阔前景是毋庸置疑的,但目前要实现产业化仍然任重道远,面临着技术、成本、市场、政策等多方面的挑战。正如2013年习近平总书记在大连考察融科储能液流电池项目时指出:“储能是个重大课题。”

能量密度偏低、可靠性和稳定性有待提升,成本尚不能满足市场要求,这些对液流电池技术开发提出了进一步要求。以突破制约液流储能电池普及应用的关键科学问题和工程技术基础问题为目的,科技部在2010年启动了“大规模高效液流电池储能技术的基础研究”项目。项目由中科院大连化学物理研究所牵头,集合了包括清华大学、中南大学、华中科技大学等的大学研究团队,又有金属研究所等中国科学院的研究单位和解放军防化研究院的总装备部的研究机构,还有以大规模高效液流储能电池产业化为主的大连融科储能技术发展有限公司和液流电池储能技术的潜在用户——国家电网下属的中国电力科学研究院。研究团队历时近5年的协同攻关,在深入研究的基础上,在液流电池反应机理和调控机制、材料的构效关系、材料的组分设计与制备方法等科学基础理论方面取得重大突破;形成高性能、低成本液流储能电池关键材料的规模制备工艺;提出了大功率、高效、高比功率液流储能电池系统的实现方法;建立了发电、储能、电能变换、用电多体系的系统耦合和综合能量管理控制策略的理论体系和方法;获得一批具有自主知识产权的原始创新成果,培养和造就一批液流电池储能技术的学术带头人和高素质研究人才团队;提高我国在大规模高效液流电池储能技术领域的科学研究水平和技术创新能力。可以说,我国目前液流电池的国际领先态势得益于“973”项目及及时部署与高质量实施。进一步地针对液流电池可靠性提高、成本降低的工程化技术开发与应用示范项目的开展,对推进液流电池产业化尤为重要。另外,液流电池储能是随着新能源发展、智能电网建设应运而生的一个新兴行业,市场认知度低、产业链不完整,形成了一定市场开拓风险。并且,储能带给用户的是综合效益,很多往往难以量化,在一定程度上制约了用户认同并使用液流电



融科储能开发的176千瓦全钒液流电池模块

池。各国储能应用的商业化市场和经济运行模式还不具备。需要从整个电力系统综合考虑,形成并实施可再生能源发电峰谷电价、储能电价,利用价格杠杆推动优化电力系统运行模式的调整,使得电力系统中发、输、储、用各环节协调运行,从而充分体现储能所产生的巨大经济效益和社会效益。在满足储能建设和运行成本的基础上,进一步形成对储能行业的激励环境,大力推进以技术验证和商业模式探索为目的的各类储能示范应用项目,促进储能产业的健康、蓬勃发展。

新能源的发展为储能开辟了广阔的应用市场。液流电池因其特有的技术优势已成为储能领域的中坚力量。但对于仍处于“黎明前的黑暗”之中的液流电池企业和研究机构来说,需要持续加强技术开发,提高产品性能和质量,降低成本,练好内功。另外,加强政策引导,建立储能行业激励机制,是刺激储能产业快速发展的外部推力。

今年6月,在中央财经领导小组会议上,习近平总书记强调,面对能源供需格局新变化、国际能源发展新趋势,保障国家能源安全,必须推动能源生产和消费革命,并推动能源生产和消费革命提出五点要求,要求抑制不合理能源消费,推动能源供给革命,建立多元供应体系,立足国内多元供应保安全。这无疑给包括储能在内的整个能源界打了一剂强心针,也使得越来越多的人确信,储能产业的前景日益明朗。相信,液流电池的明天会更好。

(王晓丽系大连融科储能技术公司研发经理、李先锋系中科院大连化物所研究员、张宇系大连融科储能技术公司技术应用总监、马相坤系大连融科储能技术公司设计经理)

3 在实践中考验中成长起来的液流电池

液流电池发展至今,实施的各类项目有百余项,累计装机容量约达40兆瓦。应用领域遍布电力系统的发、输、配、用各个环节。液流电池的发展经历了从实验室到企业、从样机到标准产品、从示范应用到商用推广、规模从小到大、功能从单一到综合,目前已经处于产业化的初期阶段。

到目前应用较多的全钒液流电池为例,在其发展初期,多以数千瓦到数十千瓦规格的电池系统开发为主,主要面向于以风-光-储或光-储方式,为离网或弱电网地区的通讯基站、边远地区、边防海岛供电。前加拿大VRB公司、大连融科储能技术发展有限公司(以下简称融科储能)、奥地利的GILDERMESTER公司都推出了典型产品。

随着智能微网和大规模可再生能源发电技术发展,百千瓦级到兆瓦级的电池系统的设计技术得到快速发展。日本住友电工公司(SEI)作为液流电池行业的领军企业,自上世纪80年代就开始进行全钒液流电池技术的研究,并且将液流电池作为其整个集团在能源领域的经济增长点。在2005年建立了4兆瓦/16兆瓦时全钒液流电池储能系统,这是国际上首套兆瓦级全钒液流电池储能系统示范工程,与30.6兆瓦风力发电站匹配,用于风电平滑输出并网和调幅调频的示范验证实验。该系统运行了3年时间,最为频繁的充放电循环达到27万次。该项目充分验证了全钒液流电池优异的耐久性,并证明了全钒液流电池是适合风力发电的储能设备。2012年,SEI应用其新一代技术,以城市智能微网为目标市场,在横滨建造了一座由200千瓦聚光型太阳能发电设备(CPV)和一套1兆瓦/5兆瓦时全钒液流电池储能系统构成的并与外部商业电网连接的电站。可以实现:调节电网对工厂供电量;提高受天气影响的CPV的供电稳定性,实现太阳能发电的有计划使用;对于横滨制作所内的削峰填谷运作以及事先制定用电计划,随着电力负载的变化对发电量进行调整。



卧牛石风电场液流电池储能项目现场

我国从上世纪80年代末期开始全钒液流电池的基础研究工作。2000年开始,在以中国科学院大连化学物理研究所为代表的研究单位的共同努力下,我国全钒液流电池储能技术进入快速发展时期。在市场的驱动力作用下,成长出一批以科研院所技术为基础,以全钒液流电池产品化和市场化为目标的新兴企业,如最具代表性的融科储能。

融科储能与大连化物所坚持紧密的产学研合作模式,2012年,设计集成出当前全球最大规模的5兆瓦/10兆瓦时全钒液流电池系统,并在辽源电力股份有限公司位于辽宁省沈阳市法库县卧牛石风电场(50兆瓦)实施商业应用。该系统已稳定运行一年半时间,运行效果得到电网公司、新能源运营商以及国内外同行的高度认可,标志着我国在该领域技术研发、成套产品生产等方面处于世界前列。同时,示范工程的建设应用证明了兆瓦级全钒液流电池储能系统技术的成熟,开启了大规模全钒液流电池储能商业应用的新篇章。

此后,融科储能相继又实施了位于锦州的风电并网用3兆瓦/16兆瓦时储能项目和国电和风

2兆瓦/14兆瓦时储能项目,这些项目不仅能实现风电的稳定输出和调度的可控性,而且丰富了储能的多种有益价值,包括节能降耗、黑启动、孤岛运行、谐波处理等,为用户带来更多收益,是探索储能商业模式的重要案例。

在项目的成功案例和各国政策导向下,未来的几年内,将有一定数量的液流电池项目进入电力市场。美国UniEnergy Technologies(UET)公司得到了美国能源部(DOE)的大力支持,在华盛顿清洁基金的支持下,建立3兆瓦项目用于电网侧变电站,延缓变电站扩容带来的建设投资,并且提高电网的利用效率。日本SEI公司与北海道电力公司合作,在日本政府的支持下,将在2015年建成15兆瓦/60兆瓦时全钒液流电池电站,用于解决北海道局部区域大规模太阳能电站并网带来的调峰和电能质量压力。另外,奥地利GILDERMESTER公司、英国REDT公司、印度Deya公司等也将在近期推出多个全钒液流电池项目。

另外,液流电池的另一个成员——锌/溴液流电池,在ZBB、Primus Power、Premium Power、Redflow和安徽美能、百能汇通等企业的努力下,在技术开发与应用上也取得实质性进展。

