



迄今为止,世界公认中国在整个产业领域全方位成为“领跑者”的,唯有特高压

特高压:创新驱动发展的典范

本报记者 瞿剑

从“中国制造”到“中国创造”是质的提升,从“中国创造”到“中国引领”则是革命性飞跃。在中国已经占据世界电力技术制高点的今天,回望20多年来特高压从酝酿、起步、建设,到最终实现“中国引领”的不平凡历程,可以看到,特高压迈出的每一步,都闪现着“创新驱动”的灵光。特高压,堪称创新驱动发展的典范。

体现国家意志

特高压输电技术,世界看中国。这不是哪个人、哪个团队、哪个企业能做到的,而是体现了国家意志。说它体现国家意志,是因为特高压从最早酝酿、提出到项目研发,再到工程实践,自始至终瞄准世界电力发展趋势和技术制高点,紧密围绕国家重大战略需求,政府支持,企业主导,产学研联合,社会各方广泛参与,用科学手段和方法,以应用为目的,破解了重大技术难题。检索现有历史资料可知,特高压概念最早见诸国家层面,是1986年初,水电部下达“关于远距离输电方式和电压等级论证”课题。研究认为21世纪初叶在中国出现交流百万伏级电压等级是可能的。此后,国务院重大办下达了“七五”国家攻关项目“特高压输电技术前期研究”。由此发端,直至2006年8月9日国家发改委正式核准首个特高压工程,其间20年,特高压议题从未离开过国家相关部门的视野。特别是,特高压输电技术研究连续列入国家“七五”、“八五”和“十五”科技攻关计划,特高压交流输电技术研发先后列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要》和“十一五”国家科技支撑计划,这些都为特高压技术研究积累了宝贵经验。

功率将超过2亿千瓦,大电网在优化配置资源方面的优势将得到充分发挥,届时,大煤电基地、大水电基地、大核电基地、大型可再生能源基地、特高压电网“四大一特”的电力发展格局将基本成型。特高压输电技术,又顺应了世界电力科技发展趋势。刘振亚介绍,“特高压交流输电代表国际高压输电的最高水平。上世纪60至90年代,美国、日本、前苏联等发达国家曾开展过试验研究,但没有形成成熟适用的技术和设备。”中国研发特高压交流输电技术,既面临高电压、强电流的电磁与绝缘技术世界级挑战,又面临重污秽、高海拔的严酷自然环境挑战,创新难度极大。所以说,世界性的电网科技难题在中国,创新的动力也在中国。有了国家“七五”、“八五”、“十五”科技攻关计划和“十一五”国家科技支撑计划等研究的积累,又经过西北750千伏输电国产化示范工程顺利投产和三峡送出±500千伏直流输电工程的成功实践,中国输电设备的制造能力和水平有了很大提高,为特高压技术装备研发和应用创造了条件。到2006年8月首个特高压试验示范工程被核准时,“发展特高压输电,在技术上已没有难以克服的障碍,在工程上已具备实际应用的条件”。

直面技术挑战

选择特高压,是创新思维的必然结果。但特高压这一代表国际输电技术进步方向的工程所提出的巨大技术挑战,又是必须直面的。刘振亚强调,中国发展特高压需要在已有科技和工业基础上自主创新,率先攻克世界上一个全新电压等级输电所需的全套技术,并立足国内、在世界上首次研制全套特高压设备。“这是中国各常规电压等级发展过程中未曾经历的重大考验。以史上首个特高压工程——晋东南—南阳—荆门1000千伏特高压交流试验示范工程为例,他介绍,需要全面攻克四大突出难题:电压控制。包括稳态电压控制和瞬态过电压抑制。特高压系统输送容量大、距离远,正常运行时,最高电压控制在1100千伏以下,沿线路电压接近平衡分布,但故障断开时,电压分布发生突变,受端电压大幅抬升;开关操作时,会产生幅值极高的瞬态过电压,这些电压升高直接威胁到系统和设备安全。为确保特高压系统大容量电力可靠传输,必须攻克各种状态下电压控制难题。外绝缘配置。包括空气间隙和固体绝缘介质沿面。特高压系统外绝缘尺度大,空气间隙的耐受电压随间隙距离增大不再线性增加,呈现明显饱和效应;我国大气环境污染严重,绝缘子在污秽情况下的沿面内绝缘电压大幅降低;线路铁塔高,雷电冲击导线概率明显增加。为确保特高压系统安全可靠,必须破解复杂环境下外绝缘配置的难题。电磁环境控制。包括工频电场、工频磁场,可听噪声和无线电干扰。特高压线路、变电站构成的多导体系统结构复杂、尺度大,导体间相互影响显著,带电导体表面及附近空间的电场强度明显增大,电晕放电产生的可听噪声和无线电干扰影响突出。为确保特高压工程环境友好,必须攻克极高电场下电磁环境控制难题。设备研制。特高压设备包括变压器、开关等9大类40余种,额定参数高,电、磁、热、力多物理场协调复杂。国外没有成熟经验可供借鉴,国内设备制造业设计研发、试验检测能力不足。按照现有技术简单线性放大,就会使得设备体积过大,造价过高,且部分设备无法运输,自主研制难度极大。为掌握核心制造技术,必须攻克成套设备研制中的系列难题。

扩大领先优势

所有这些,离开科技创新,都无从谈起。2009年1月6日22时,备受世人瞩目的晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程正式建成投运。这一史上首个实现商业化运行的特高压输电线路,集当时世界上运行电压最高、输送能力最强、技术水平最高于一身,宣告中国已在世界上率先系统掌握了特高压输电核心技术及其设备控制能力。在其后几年间,“运行电压最高、输送能力最强、技术水平最高”的指标一次次被刷新:2010年7月8日,向家坝—上海±800千伏特高压直流输电示范工程正式投入运行;2011年12月16日,晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程在建成投运近3年之后,其扩建工程正式投产;2012年6月13日,锦屏—苏南±800千伏特高压直流输电工程全线贯通,具备带电运行条件。加上分别于2012年5月和7月开工建设哈密南—郑州±800千伏特高压直流输电工程和溪洛渡—浙江金华±800千伏特高压直流输电工程,它们的“身份标签”上,无一例外都注明“世界上电压等级最高、输送容量最大、送电距离最长、技术水平最高”。每一项工程,都使中国在国际高压输电技术开发、装备制造和工程应用领域的领先优势进一步扩大。根据国家电网“十二五”时期“三纵三横”特高压交流和16回跨区直流输电工程的密集建设规划,可以预期,今后相当长时间内,在世界电力技术制高点上,中国唯我独尊。

时至今日,回想特高压上马之初有关其经济技术可行性和特高压装备国产能力的怀疑,令人顿生“今夕何夕”之感。

创新破解难题

在技术层面,目前已建成的三个特高压工程,在技术、设备制造、工程建设等方面究竟创造了多少个“世界之最”,恐怕连业内人士都难以尽数。以荣获2012年度国家科技进步特等奖的“特高压交流输电关键技术、成套设备及工程应用”为例,项目依托试验示范工程建设,坚持“基础研究—设备研制—试验验证—系统集成—工程示范”方针,产学研用协同攻关,联合国内电力、机械行业的科研、制造、设计、高校等100余家单位近5万人,共开展180余项关键技术研究,9大类40余种关键设备研制,实现了电压控制、外绝缘配置、电磁环境控制、成套设备研制、系统集成、试验能力等“六大创新突破”,掌握了特高压交流输电核心技术,研制成功了全套关键设备,建成世界上电压等级最高、输电能力最强的交流输电工程。直流换流阀,这一公认的直流输电核心技术的研发过程,更具典型意义。据介绍,这一核心技术长期为瑞士ABB、德国西门子等少数跨国公司垄断。中国已经建设的八条直流输电线路中,直流换流阀基本依赖进口。从1954年世界上第一条高压直流输电(HVDC)联络线投入商业运行以来,少数跨国公司一直把持着这项技术赚取超额利润。一条直流工程,设备投资的近一半都要花费在直流换流阀上。还不止于此,“你要买换流阀?好,那就连换流站内草皮打包一齐买,少一分钱就别想建你的直流工程!”至于花钱买断技术,答复是:“门都没有!”直流换流阀技术是他们手中王牌中的王牌,是一只会下金蛋的鸡。为了保守这一核心技术机密,几家互为对手的跨国公司步调竟难得一致:不在核心期刊发表相关文章,不发布任何产品的技术资料和细节图片,出厂的产品都要蒙上厚厚的包装……甚至为换流阀做试验的实验室,都采取极其严格的保密措施。国网中国电科院魏晓光博士介绍,“我们建成同类实验室前,世界上只有两个同类实验室。在它们一次试验要200万元人民币”,而“购买他一个产品,再加个零,要2000万元人民币!”由此可想而知,其对直流换流阀技术的保密程度有多么的高。中国电科院副总工程师、中电普瑞董事长兼总经理汤广福告知,中国电科院当初建设2个实验室时,手中现成的技术资料,仅仅是七页A4纸的宣传资料。因此,在中国电科院,直流换流阀研发工程,被称为“争气阀”。

凭借多年在电力系统和高压电领域的深厚积淀,凭借国内唯一拥有研发、制造自主知识产权可控整流等大功率电力电子产品的宝贵经验,短短一年半时间内,中国电科院就顺利完成了“争气阀”的研发。研发团队全面完成直流输电换流阀基础理论、换流阀成套设计、换流阀关键技术开发和关键设备研制、换流阀集成技术、换流阀试验技术等平台建设,掌握了直流输电换流阀的系列核心技术,实现了相关核心技术的重点突破。汤广福一一列数了“争气阀”相对国外产品无法比拟的优势:首先,它拥有±800千伏/4750安的电压等级和

通流能力,超越了国外同类产品,“换流阀相当于一个水坝,其所承受的高电压代表了极高的蓄水高度,也就意味着能比其他换流阀在能量传输上距离更远,在相同距离上损耗更小;它所承受的大电流,则代表了具有更大泄洪容量,也就意味着能输送更多能量。同时,由于电压、电流的提高,在整个能源流经的路径上,还能极大地节约线路走廊占地。”此外,它还减少了并联的数量,能有效将阀模块体积缩小1.5倍,使整个阀塔得到整体优化,结构更加紧凑;而它的水冷电阻一体化设计和饱和电抗器分体设计更是中国电科院的独门绝技:将水冷系统与电阻合二为一,就相当于把两个部件合成为一个,部件数量减少了,自然结构更明了,造成安全隐患的环节减少了,从而具有更高的稳定性;而分体的饱和电抗器就相当于电脑的“双核”,能使换流阀具有更强的兼容性,不仅能满足特高压需求,而且具有向下兼容能力,能覆盖更多电压电流等级工程需要。

“争气阀”进入市场后,预计将在10年内整体降低中国直流输电建设、运行和维护费用百亿元,为直流输电技术在国内的推广应用铺平道路,并在国际市场上打破跨国公司垄断。“扬我国威”,这是杨奇逊院士在国家能源局主持的鉴定会上,对刚刚通过技术鉴定的“争气阀”发出的由衷赞许。包括五位两院院士在内的16名专家组成的鉴定委员会一致认为,由国网中国电科院自主研制的这一直流输电的核心设备,整体技术指标处于国际领先地位,具有完全自主知识产权,且已具备规模化生产和工程应用条件。

带动全面升级

已建、在建、将建的一批特高压工程,使中国输变电装备制造企业迎来大发展的“黄金期”。靠项目带动,中国输变电装备制造企业技术水平大幅提升,创新能力显著增强,数年内迅速崛起一批在国际市场上声名赫赫、具备相当竞争力的优势企业集群。国内输变电装备制造顶尖企业从过去的“仰人鼻息”,到现在的“舍我其谁”,特高压设备设计研发、制造工艺和试验检测能力达到国际领先水平。研发成果还反哺应用到超高压设备技术改进,特高压主设备制造企业在掌握国内市场主导权,并全面进军国际市场,实现了高端产品出口零的突破。2009年以来,在国际金融危机的大环境影响下,特高压主设备制造出口不降反升,500千伏以上产品的出口总额达100亿元,年增长率超过40%。特高压业绩已成为国内企业打开国际市场的金色名片。在制造能力今非昔比的同时,特高压工程独具特色的创新模式也对提升民族装备制造业大有裨益。在2009年1月16日国网公司宣布晋东南—荆门特高压交流试验示范工程正式投运的新闻发布会上,国网公司副总经理舒印彪回答科技日报记者提问时表示,整个晋东南—荆门示范工程国产化率在90%以上,具有完全的自主知识产权。在其“三站二线”中,“见不到国外商标,没有一个整机是进口的”。在其100多种主设备中,仅断路器是由3家国内企业和国外公司采用“联合设计、产权共享、合作生产、国内制造”模式供货。据介绍,考虑到国内基础较弱,国网公司组织专家组逐一审查了设备制造

厂家的设计方案和关键技术,并组织国际知名咨询机构对主设备的关键设计环节进行独立计算校核,制造厂家根据审查校核结果完成设计优化,全面进入设备研制。舒印彪表示,“这比引进—消化—吸收进了一大步”,因为前者落后者相比,有了自主产权,而且由国内生产,因此,工程立项时“设备国产化”的承诺得到了圆满实现。

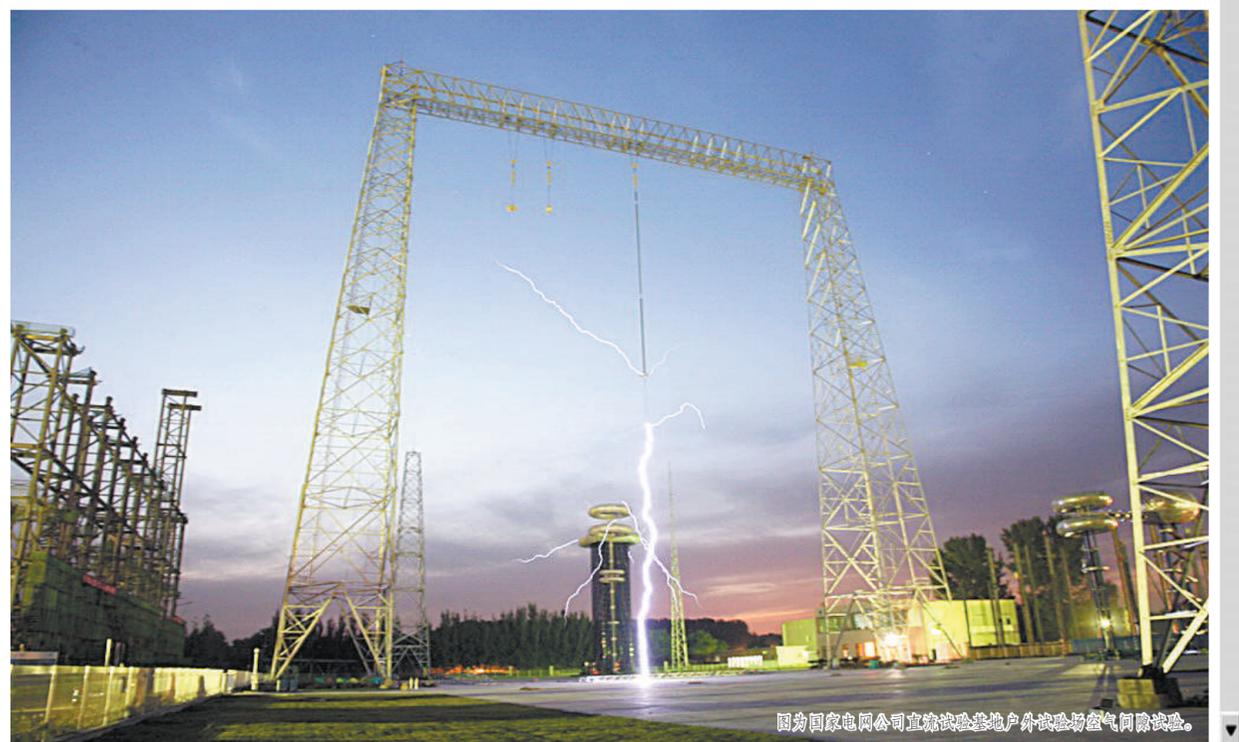
震动国际同行

中国在特高压输电领域的成功实践,震动了国际同行。比较有代表性的反应,当属诺贝尔物理学奖获得者、美国能源部长朱棣文2010年11月29日在华盛顿国家新闻俱乐部发表题为《能源领域竞争正在成为美国新的卫星时刻》的演讲,他满怀深意地指出:“中国挑战美国创新领导地位并快速发展的相关领域包括:最高电压、最高输送容量的特高压交流输电。”特高压工程大幅提升了中国在国际电工领域的影响力和话语权。中国特高压标准电压已成为国际标准。国际电工委员会(IEC)认为中国的特高压工程是“电力工业发展史上的一个重要里程碑”。国际大电网委员会(CIGRE)、电气和电子工程师协会(IEEE)成立了8个由中国专家主导的特高压工作组,正在主导编制相关国际标准。

CIGRE的A3.22工作组最终技术报告《交流800千伏以上的变电站设备技术规范综述》(报告编号456)中,对中国特高压交流输电技术和试验示范工程的有关评价为:“特高压交流试验示范工程的成功建设是特高压交流关键技术和关键设备重要的突破性成果,对保证中国的电力可靠供应、推动特高压输电技术在世界范围内的研究和应用具有重大意义。”CIGRE秘书长让·科瓦尔:“试验示范工程的投运是一个伟大的技术成就,无疑也是电力工业发展史上的一个重要里程碑。”“当我们讲到未来,意味着更高的电力消耗和更多的可再生能源,风能、水电、太阳能通常都是不太稳定的,或是间断式的,只有通过坚强的互联系统和一些储能技术才能让我们更好地发挥可再生能源的潜力。采用更高的输电电压,如特高压或在较小系统中的超高压,可提高输电容量、减少损耗和基础设施建设投资。”

IEC副主席恩诺·里斯:“谈到特高压,IEC坚信,这种输电技术能够极大地解决未来的能源危机。之所以这么说,关键在于它拥有大容量、高效率、长距离输电优势,这是解决问题的关键。”“祝贺中国在发展特高压技术方面所做出的努力和取得的成就。这些工作非常有助于推动IEC框架内的新技术工作,确保中国领先世界的新兴技术能用于国际标准制定,进而服务全球市场。”世界能源理事会(WEC)联网工作组主任克勒里奇:“特高压输电技术代表了当今电网最重要的发展趋势之一,在大容量、长距离电力输送和大电网互联方面起着至关重要的作用。”“中国发展特高压是负荷中心远离能源中心的客观条件决定的,也是满足经济快速发展的必然选择。特高压交、直流系统不仅对中国,对全球其它国家,包括工业化国家同样具有重要意义。”

压题为国家电网公司交流试验基地特高压单回和同塔双回试验线。



图为国家电网公司交流试验基地户外试验场空气间隙试验。