

特高压输电： 以无数全球之最铺就电力“高速公路”

500千伏输电系统有力支撑了我国近30年的经济社会发展,但我国能源资源与需求呈逆向分布,70%以上的能源需求集中在中东部,可用能源资源却远离需求中心,所以要在全国范围内优化能源资源配置,打造电力“高速公路”。



几乎也大幅下降。昆柳龙工程在世界上首次采用特高压多端混合直流系统,送端云南昆北是常规直流,广西柳北、广东龙门两个受端是柔性直流。“这种方案既经济又先进。”李立涅解释,把西部水电送到用电需求大的广东、广西,这种远距离、大容量的输电,最经济高效的办法就是特高压直流。常规直流并网后,因其换相失败现象难以避免等固有特性,会对受端电网系统安全带来一定冲击。“柔性直流能解决这些问题,它调控更加灵活,还能在关键时刻支持系统安全稳定地运行。”李立涅表示。

定于远距离、大容量： 特高压带来最安全的电网

随着经济社会快速发展,民众需求持续旺盛,中国已有的500千伏输电主网架已经面临远送距离、大容量输电能力不足,走廊资源紧缺等瓶颈制约,亟待转型升级。全球能源互联网发展合作组织主席、中国电力企业联合会理事长、国家电网原董事长刘振亚指出,世界电力工业发展的历史表明,用电需求的持续增长推动电网规模不断扩大、电压等级不断提升。他强调,500千伏输电系统有力支撑了我国近30年的经济社会发展,但我国能源资源与需求呈逆向分布,70%以上的能源需求集中在中东部,可用能源资源却远离需求中心,76%的煤炭集中在北部和西北部,80%的水能资源集中在西南部,陆地风能和太阳能等新能源也大量分布在西北部,供需相距800—3000公里。所以,要在全国范围内优化能源资源配置,打造电力“高速公路”。

紧密围绕国家重大战略需求：体现国家意志

特高压输电从最早酝酿、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,社会各界广泛参与,用科学手段和方法,以应用为目的,破解重大技术难题。特高压输电概念最早见诸国家层面,是在1986年初,原水电部下达“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,国务院原重大项目办公室下达了“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输电工程。其间20年,围绕特高压输电的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,这些都为特高压输电技术研究积累了宝贵经验。2006年11月4日,中国工程院提出《关于我国特高压输电研究和工程建设的咨询意见》,参加该项研究的27位院士、7位专家指出,中国有必要加快特高压输电研究和工程应用的步伐,试验示范工程方案符合“全面试验验证”要求,建议作为国产化的依托工程,纳入国家中长期科技发展规划、高技术产业计划和重大装备自主创新计划。同年,国务院发展研究中心完成《我国能源输送方式研究》报告,对特高压输电与输煤成本进行了综合分析,提出了输电与输煤并

行,当前优先发展输电的建议。由此,2006年国务院印发《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》,要求重点研究开发大容量远距离直流输电技术和特高压交流输电技术与装备。

20年河东河西：“争气阀”扬我国威

其实,从“连换流站内草皮都要花高价打包一亩”到世界公认的特高压输电技术“领跑者”,不过区区20多年。20多年前,中国已经建设的8条直流输电线路中,核心设备直流换流阀全部依赖进口。据介绍,直流换流阀核心技术长期被3家跨国电工装备制造企业垄断,从1954年世界第一条国家直流输电工程投入商业运行以来,跨国公司一直把持这项技术。一条直流工程,近一半的设备投资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亩,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!”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技术文章,不发布任何产品的技术资料 and 细节图片,出厂的产品都要蒙上厚厚的包装,为换流阀做试验的实验室都采取极其严格的保密措施……国家电网中国电力科学研究院的魏晓光博士介绍:“在我们建成同类实验室前,世界上只有2个同类实验室,做一次试验要200万元人民币。而购买他一个产品,再加个零,要2000万元!”中国工程院院士、全球能源互联网研究院副院长、时任中国电力科学研究院副总工程师汤广福记得,中国电力科学研究院当初建设这个实验室时,手中现成的技术资料仅仅是七页A4纸的宣传资料。因此,直流换流阀研发工程,被称为“争气阀”。而当汤广福率领团队用短短一年半时间完成“争气阀”的研发,并通过国家能源局主持、包括5位两院院士在内的16名专家组鉴定时,中国工程院院士汤广福发出了“扬我国威”的由衷赞许。“争气阀”争气在哪?汤广福一一列举其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。”汤广福表示。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力科学研究院的独门绝技,将水冷系统与电阻合二为一,相当于两个部件成为一个,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,不仅满足特高压需求,而且具有向下兼容能力,覆盖更多电压电流等级工程需要。具有完全自主知识产权的“争气阀”进入市场后,在10年内整体降低国内直流输电建设、运行和维护费用超百亿元,同时也在国际市场上打破了跨国公司垄断,“扬我国威”,诚哉斯言。

不能因为国外没有 我们就不能搞、不敢搞

亲历者说

◎李立涅 中国工程院院士
南方电网公司专家委员会名誉主任委员

1968年9月,我从清华大学毕业,在甘肃开启了我的电力职业生涯。中国第一个成套引进设备的电网项目——±500千伏葛洲坝到上海直流输电工程(以下简称葛上直流工程)是我们向世界先进技术学习的开端,是引进消化吸收再创新的极好实践。1992年,葛上直流工程建设结束后,我们已经基本掌握了高压直流输电技术,并且培养了一大批直流输电技术人才。我相继主持和参加了天广直流、贵广直流、贵广第二回直流等多项±500千伏超高压直流输电工程的建设,参加三峡工程送出直流项目的技术确定,主持直流技术规范书和相关标准制定。随着这些直流工程的建成投产,西部清洁水电源源不断地送往广东、华东。



作者供图

进入21世纪,西南水电开发需求强烈,一批大型水电站陆续开建,要将西部水电跨越大半个祖国,调往东部负荷中心,这就必须要提高电压等级。在此背景下,我首次提出要发展和研究±800千伏特高压直流输电技术,构建特高压直流输电技术体系。

这一想法提出后,激起国内外一片质疑声。当时我国最高电压等级为±500千伏,许多技术是从国外引进的,一些关键技术掌握在别人手中;国际上既没有现成的设备,也没有任何工程和运行经验可以参考,中国要挑战世界级难题,有人认为是天方夜谭。但我们不能因为国外没有,就不能搞、不敢搞,中国人也可以站在世界之巅,引领未来技术发展。

后来,我们下了苦功夫和硬功夫,这个想法最终成为现实。2010年,世界首个特高压直流输电工程——±800千伏云南—广东特高压直流输电工程建成投产;2018年5月,±800千伏滇西北至广东特高压直流工程投运,成为世界海拔最高、设防抗震级别最高的特高压直流输电工程。一大批±800千伏特高压直流输电工程在我国建成投产,为我国的经济发展和社会繁荣发挥了巨大的作用。

去年12月,乌东德水电站送电广东广西特高压多端柔性直流示范工程(以下简称昆柳龙直流工程)投产,这是世界首个特高压柔性直流工程,也是目前世界上电压等级最高、输送容量最大的多端混合直流工程。该工程创造了19项电力技术的“世界第一”,对于中国乃至世界电网发展有引领示范作用,是世界电网发展史上的里程碑,代表着更先进的远距离、大容量输电技术方向。

如今,特高压直流输电技术已经成为大国重器,是中国的一张名片,是公认的我国领先世界的技术。特高压直流改变了中国的能源版图,也带动了我国输电技术装备的跃升。柔性直流换流阀被称为特高压直流工程的“心脏”,研发难度极高,目前这颗国产“心脏”已经在昆柳龙直流工程龙门换流站稳定“跳动”;作为特高压工程中的关键设备,穿墙套管方面也彻底突破了国外的技术封锁,国产的±800千伏柔性穿墙套管已经在昆柳龙直流工程柳州换流站成功投运。

现在,我们正在依托数字电网建设,加快构建以新能源为主体的新型电力系统。“十四五”期间,随着风电、光伏等可再生能源发展,这些间歇性、波动性大的能源将大规模接入电网,特高压直流输电技术将在我国能源领域实现碳达峰、碳中和目标中发挥更为积极的作用。

大事记

- 1986年初 原水电部下达“关于远距离输电方式和电压等级论证”课题
- 2006年8月9日 国家发改委正式核准首个特高压工程——国家电网公司1000千伏晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程
- 2009年1月6日 世界上第一条投入商业运行的特高压输电线路——1000千伏晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程建成投运
- 2015年4月16日 安徽淮南平圩电厂三期扩建的5号百万瓦机组成功并入特高压电网,成为世界上首个一次直接升压至1000千伏后接入特高压电网的发电厂
- 2019年9月 准东—华东(皖南)±1100千伏特高压直流输电工程建成投运,这也是历史上人工商用电压首次升至1100千伏
- 2020年12月27日 乌东德水电站送电广东广西特高压多端柔性直流示范工程投产送电,这是世界首个特高压柔性直流工程,也是目前世界上电压等级最高、输送容量最大的多端混合直流工程
- 2021年6月11日 南方电网公司牵头自主研发的±800千伏柔直穿墙套管成功投运,填补了特高压直流工程用国产化首支高端柔性直流穿墙套管的空白