

西电集团： 从“技术追赶”到世界领先

从 20 世纪 80 年代开始,到目前为止,我国已建成和正在建设的大小直流输电工程有 24 个,电压等级从±50kV 到±800 kV;输送容量从 50MW 到 7200MW;总容量达 63420MW,成为世界上直流输电工程最多、电压等级最高、输送容量最大的国家。在这些不同电压等级和输送容量的已建或在建直流输电工程中,中国西电集团公司(以下简称“西电集团”)都参与了设备研发和制造工作,并取得了骄人的成绩,产品性能达到目前国际领先水平或先进水平。目前,西电集团已形成了直流输电工程的系统研究、成套设计、设备研发、制造、试验、现场安装和调试、售前与售后服务以及执行合同的能力。

成绩的取得得益于西电集团始终坚持对直流输电换流站成套设备的超前谋划、系统部署、自主开发和技术创新。



±1100kV换流阀绝缘试验

±1100kV换流阀模拟负载

超前谋划敢为人先：

5000A/±1100kV 特高压直流输电晶闸管换流阀研制成功

2012 年 7 月 7 日,国家能源局和中国机械工业联合会组织专家在西安对西电集团自主研制的世界首套“KGWF-5000A/±1100kV 特高压直流输电晶闸管换流阀”进行了产品技术鉴定。国务院三峡办、国家能源局以及国家工业和信息化部、国家工程院、国家电网公司、南方电网公司、西安交通大学、广东电力设计研究院等单位的 20 多位领导和专家出席了鉴定会。

KGWF-5000A/±1100kV 特高压直流输电晶闸管换流阀是西电集团根据国家电网“十二五”初期建设中国第一条±1100kV 特高压直流输电工程的规划,于 2010 年立项,在±800kV/5000A 换流阀自主研发的基础上开发研制的。经过一年

半的科研攻关,2012 年 4 月 2 日,随着最后一项型式试验的顺利通过,标志着西电集团成功研制了目前世界上电流最大、电压等级最高的换流阀。

鉴定会上,鉴定委员一致认为:西电集团针对±1100kV 特高压输电工程换流阀进行了系统的设计,采用 8.5kV/5000A 电触发晶闸管,研制了换流阀的关键部件和阀控制监测设备(VCM),具有自主知识产权;建立了±1100kV 换流阀设计计算和仿真平台和换流阀在各种电压下电场仿真模型,研究了电场分布特点,优化设计了换流阀结构;提出并采用全等效模拟负载进行±1100kV 换流阀绝缘型式试验的方法,攻克了±1100kV 电压等级下杂散电容、电感影响试验等效

性的多个技术难题。该产品在荷兰 KEMA 公司见证下通过了国家高压电器质量监督检验中心进行的全部型式试验,各项性能满足国家相关标准和产品技术条件的要求。与会专家同时认为,西电集团在国际上首次成功研发了±1100kV 换流阀,对于中国特高压直流输电技术的发展具有重要意义,总体技术指标处于国际领先水平。

通过±1100kV 换流阀的自主研发,共获得专利授权 6 项,获得专利受理 4 项,专有技术 1 项。

在此之前,根据西电集团科技发展战略规划以及国家特高压直流输电发展趋势,西电集团于 2012 年 1 月成功完成了“KGWF-5000A/±800kV 特高压直流输电晶闸管换流

阀”的自主研发并在国家高压电器质量监督检验中心完成了全部型式试验,各项性能满足国家相关标准和产品技术条件的要求。该产品于 2012 年 1 月 10 日顺利通过了国家能源局鉴定。鉴定委员会一致认为,±800kV 特高压直流输电晶闸管换流阀产品拥有自主知识产权,总体技术水平达到国际领先水平,对中国远距离直流输电关键设备实现自主化、国产化具有重大意义。

2012 年 9 月 30 日,西电集团成功中标哈密至郑州±800kV/5000A 特高压工程哈密南至郑州 2 换流阀,西电集团自主研发的 KGWF-5000A/±800kV 特高压直流输电晶闸管换流阀将首次应用到特高压直流工程。

迎难而上不懈努力：

国内首支±800kV 特高压干式直流套管研制成功

近日,西电集团与西安交通大学联合攻关、自主研发的±800kV 特高压干式直流套管,以其优良的性能在国家绝缘子质量监督检验中心顺利通过型式试验,这标志着我国首支拥有自主知识产权的±800kV 特高压干式直流套管在西电集团诞生。

近年来,高电压等级直流套管一直依赖进口,价格昂贵。±800kV 特高压直流套管作为换流变压器及阀厅的重要组件,在技术、工艺、试验等方面都具有极大挑战性和创新性,是一个世界性难题,已成为制约我国特高压直流输电发展的瓶颈。一直以来,引进国外±800kV 直流套管的技术非常困难,有关±800kV 直流套管的设计和制造技术及公开报道更是罕见。因此,掌握±800kV 特高压干式直流套管设计制造核心技术,对提升我国

电力设备制造企业的制造水平和与国外产品的竞争能力,打破国外垄断,摆脱国外的制约,实现特高压直流套管的国产化都具有重要意义。

针对我国特高压直流输变电工程对直流套管的重大需求以及国家电网公司、南方电网公司提出“电力设备向无油化发展”的要求,2006 年西电集团与西安交通大学成立科研攻关小组,投资数亿元,积极承担了特高压干式直流套管的研发任务,采取校企联合研发模式,充分发挥各单位的资源优势 and 实力,从材料、工艺、设计等基础研究、关键技术的突破与掌握、产业化等方面开展研发,进行了大量的基础性研究工作;建立了具有自主知识产权的特高压直流套管优化设计平台;开发了特高压直流套管材料配方工艺体系;配置了生产高压直流套管的关键制造设备;建成了

世界一流、国内领先的高压直流套管研制基地,系统解决了各种场地问题、材料界面处理、产品结构设计、制造工艺及研发基地和生产线建设、产品试验等问题,实现了特高压直流套管关键技术的创新和突破,掌握了胶浸纸干式直流套管关键核心技术,顺利完成了±800kV 特高压干式直流套管的制造,并于 2012 年 10 月顺利完成所有型式试验项目。

通过本项目的实施,形成了产、学、研、用协同攻关的研发体系,培养了一批从事高压直流套管设计、工艺、检测等方面的专业人才,形成了一大批具有自主知识产权的科研成果。申请国内专利 3 项,制定国家技术标准 1 项;国内外核心期刊和会议上发表科技论文 4 篇,向国外发表 1 篇。在项目实施过程中,通过不同电压等级的中间样品套管的制造与试

验,逐级达到了±800kV 特高压干式直流套管产业化的技术路线。期间,先后研制出具备自主知识产权的±20kV、±50kV、±90kV、±600kV 干式直流穿墙套管;±125kV、±186kV、±200k、±500kV 干式换流变套管;在此基础上,研制成功 550kV 及以下各类干式变压器套管;126kV、252kV、363kV、550kV、1100kV 干式油-SF₆套管、油-油套管等,部分产品已经挂网运行,目前运行状态良好。

±800kV 特高压干式直流套管的研制成功,解决了高压直流套管制约我国直流输电发展的瓶颈问题,打破了国外技术垄断,并具有良好的市场前景,必将产生重大的社会效益与经济效益。同时,对实现特高压直流重大装备国产化,振兴我国装备制造业将起到有力地助推作用。

自主创新发奋图强：

成功研制出换流阀控制和监视系统

阀控制和监视(Valve Control & Monitoring,以下简称 VCM)系统是西电集团自主研发的适用于超/特高压直流输电领域的换流阀控制和监控系统。

西电集团在前期技术不断积累的基础上,从 2011 年 3 月开始 VCM

的研制工作,于当年年底研制成功,并配合完成±800kV 和±1100kV 特高压换流阀型式试验,2012 年 1 月通过了国家能源局鉴定验收。2012 年初,VCM 开始实施产品化项目,在前期研发的基础上,根据市场需要和技术发展趋势,进行功能升级优化,产品

性能更加稳定可靠。2012 年 9 月该样机在网联公司 RTDS 实验室通过了针对高岭扩建工程的系统联调试验,并最终在高岭扩建工程中挂网试运行。

作为新一代的换流阀阀控制和监视系统,VCM 只需更换接口板卡

即可适应不同的外部设备和系统控制要求,适应性广。最关键的是,VCM 具有完全自主知识产权,其核心技术完全掌握在西电集团的手中,一举打破了此前相同功能的设备必须依赖进口的局面,有力地支持了公司重大电力装备国产化事业。

超前部署成套攻关：

把技术优势发展成为产业优势

2007 年,中国的直流输电工程发展方兴未艾,换流变压器、换流阀、直流系统设计等核心技术和设备,实现了国产化,并先后为三常、三广、三沪等多个 500kV 直流工程提供关键设备,打破了国外公司对直流工程关键设备的垄断局面。然而,直流场设备均由外方成套供货,处于垄断地位,漫天要价,成为我国直流输电技术发展的瓶颈。面对规划中的多条超高压和特高压直流工程,西电集团果断做出决定,在继续发展核心设备的同时,开展直流场设备技术攻关,争取早日掌握直流场设备的设计制造技术,彻底打破国外的垄断地位。

直流场,是指阀厅直流出线到换流站直流出线之间的开关场,包含直流侧穿墙套管、各种测量设备、直流滤波器、PLC 滤波器、直流开关设备、直流避雷器、接地板监测设备等,是直流系统的一个重要组成部分。

回顾西电集团直流产业的发展道路,可以说辉煌和教训并存、优势和不足相伴。早在上世纪 80 年代,西电集团作为我国直流输电设备科研、制造和试验的基地,先后完成了我国第一个工业性试验工程舟山工程和第一条海缆国产化工程嵊泗工程的系统研究和成套设计、提供了直流换流站一次设备,成为我国最早进入直流输电领域的电力设备制造企业。借助于三峡电力外送的多个直流输电工程(三常工程、三广工程及三沪工程)及西电东送直流输电项目(天广工程、贵广一回工程、贵广二回工程),西电集团的直流输电换流站设备系统研究与成套设计以及一些关键直流主设备如换流阀、换流变压器、平波电抗器的设计、生产制造能力得到迅速提高,在国内已占据优势地位。

然而,与国外直流输电工程成套设备供应商相比,尚未具备成套提供超特高压直流输电工程换流站设备的能力,特别是换流站直流场成套一次设备,更不具备直流工程交钥匙的国际竞争力。这就是西电集团当时所面临的严峻形势。

为此,张雅林总经理在 2007 年年度工作会议报告中指出,近几年国内直流技术发展很快,国内±500kV 直流工程多,±800kV 特高压直流工程也开始起步。我们要充分利用集团在国内直流设备制造领域领先的优势,紧紧围绕直流工程项目,积极组织企业技术人员与业主以及国外公司进行全面的、广泛的、多层次的技术交流,放大西电在直流市场上已有的成套优势,并积极地把技术优势发展成为产业优势和市场竞争力。

为此西电集团科技决定立项 33 项,开展《超高压直流输电换流站成套设备研制》专项科技攻关,以期通过换流站直流场成套设备攻关,提高西电集团整体在直流工程上的成套能力。

2007 年 6 月,西电集团召开了直流成套设备攻关研制工作部署会议,与各有关下属单位签订了攻关合同,至此,西电集团的超高压直流输电换流站成套设备研制项目拉开了攻关序幕。

经过两年多的攻关,《超高压直流输电换流站成套设备研制项目》所列课题已全部完成,形成了专利 11 项;试制了样机 27 台,有的已经在工程中得到实际应用,实现了西电集团超高压直流输电换流站直流场设备在实际工程中应用的零的突破。

2008 年,西电集团参与了德阳至宝鸡和呼伦贝尔至辽宁两个±500kV 直流输电工程投标工作,成功中标德阳至宝鸡±500kV 直流输电工程两站直流场设备。经过近两年的工程建设,德宝工程在 2010 年顺利投运,西电集团取得了±500kV 直流输电工程直流场设备的运行业绩,通过工程的设计、建设、调试及设备研制,积累了直流场设备成套的宝贵经验。

前期技术攻关任务完成后,西电集团技术创新的步伐并未因此停下来。在 2010 年之前西电集团就提前部署,并结合国家“十二五”能源战略实施和±1100kV 直流输电工程规划,专项开展了±800kV 及±1100kV 直流场成套设备的开发研制。到 2011 年底成功完成了±800kV 直流场成套设备和±1000kV 直流氧化锌避雷器的研制。在此基础上,2012 年下半年西电集团又完成了世界最高水平的±1100kV/5100A 直流开关和±1100kV/5000A 换流阀的研制。目前西电集团±1100kV 的直流场成套设备全面攻关工作已进入攻坚阶段。

持续努力不断前行：

掌握高压直流输电系统关键技术

直流输电系统技术复杂、设备种类繁多,而直流输电系统研究与成套设计却是直流系统方案技术可行、经济性好的关键,是直流工程设备安全可靠运行的技术支撑,更是确保直流工程顺利建设的技术保障。

与标准的交流输电设备相比,直流输电设备的最大特点在于其非标性和成套性。直流输电设备的要求因工程不同而不同,不能按照标准规格生产。因此,作为单机直流设备没有使用价值,只有按系统研究要求组成成套设备,才能发挥其使用性能。

直流输电系统研究与成套设计范围主要涉及:确定直流系统的性能指标和系统主回路方案;确定换流站各主设备的型式和参数;制定二次系统的集成方案;确定各主设备之间、主设备与辅助设备之间、主设备与控制保护设备之间以及控制保护设备之间的接口要求和规范;编制换流站各主设备的设备采购规范等。

为了掌握高压直流输电工程系统研究与成套设计技术,2002 年西电集团结合三峡至广东±500 kV 直流工程建设以及“九五”、“十五”课题攻关不断进行自主创新。到 2006 年西电集团建立起了一套直流输电工程系统研究与成套设计所需的软硬件系统;培养起了一支高素质的系统研究队伍;掌握了 500kV 高压直流输电工程系统研究关键技术。

2005 年至 2009 年,结合云南至广东、向家坝至上海±800kV 特高压直流工程建设,西电集团通过自主研发、自主创新,掌握了±800kV 特高压直流工程系统研究与成套设计关键技术。

随着±800kV 特高压直流输电工程的顺利开展和实施,更高电压等级±1100kV 特高压直流输电技术的发展成为可能和必然。

更高电压等级的提出,对高压直流设备的设计和制造、系统稳定运行条件等都提出了前所未有的挑战,而扎实的系统研究和成套设计是保证工程能够顺利实施、系统稳定可靠运行的前提和牢固的技术基础。

为此,面对新的电压等级的挑战,西电集团积极应战,在±1100kV 特高压直流输电工程系统研究与成套设计方面正在进行全方位的技术研究,并通过研究掌握±1100kV 特高压直流输电系统研究和成套设计核心技术,为±1100kV 工程建设用直流设备研发提供支持。

西电集团通过超前部署、系统谋划和持续创新,已发展成为我国直流成套设备研发、试验和制造的重要基地。尤其在直流成套设备技术方面,已实现了从技术追赶世界领先的历史跨越,必将为我国能源战略的实施和世界直流装备成套技术的发展做出应有的贡献。(西电集团供稿)