

特高压研究

特高压输电技术在南方电网的发展与应用

尚 春

(中国南方电网超高压输电公司, 广州, 510620)

摘 要: 针对南方五省资源分布、经济发展和电力需求水平决定的南方电网西电东送战略, 论述了因其距离远、容量大及输电走廊、受端短路电流等经济和技术要求而采用特高压输电技术的必要性并介绍了南方电网 2030 年前建设 7 至 8 回特高压交直流输电线路的规划, 其中云南至广东±800 kV 直流输电工程将成为中国乃至世界第 1 个特高压直流输电工程。该工程已开始实施, 一些关键技术已基本解决, 计划 2009 年投入商业运行。

关键词: 特高压; 输电技术; 南方电网; 直流

中图分类号: TM862

文献标识码: A

文章编号: 1003-6520(2006)01-0035-03

Development of Ultra-high Voltage Transmission Technology in China Southern Power Grid

SHANG Chun

(EHV Power Transmission Company of China Southern Power Grid, Guangzhou 510620, China)

Abstract: Due to the features of economy development, energy demand as well as resource distribution in southern five provinces of China, large power capacity has to be transmitted from the west to the east. The distance could be more than 2 000 kilometer. Ultra-high voltage transmission technology is an applicative solution of this problem. It is planned that 7 to 8 ultra-high voltage AC or DC transmission line will be constructed before 2030. As some key engineering problems are solved, one 800 ultra-high voltage DC transmission system from Yunnan to Guangdong is constructing which will be the first ultra-high voltage DC project in China or even in the world. This system is planned to be put into commercial operation in 2009.

Key words: ultra-high voltage; transmission technology; China Southern Power Grid; DC

1 南方电网的现状和发展

南方电网覆盖广东、广西、云南、贵州和海南五省区, 面积约 100 万 km², 至 2004 年底总装机容量 78.76 GW, 其中统调装机 53.39 GW, 统调最高负荷 46.07 GW, 公司系统售电量 308.2 TWh。经过十几年的努力, 南方电网已经形成以 6 回 500 kV 交流线路、3 回 500 kV 直流线路为西电东送主干网架、各省内交流 500 kV 环网供电的主网。

根据南方五省区的国民经济和社会发展规划, 2010 年和 2020 年电力最大负荷分别为 103.89 GW 和 180.91 GW。为满足经济发达地区的高用电需求, 南方电网新增西电送广东电力“十一五”期间为 10.30 GW, “十二五”期间为 10.05 GW 并使西电送广东达到 31.23 GW。届时, 南方电网将形成特高压和超高压交直流混合运行的统一开放、结构合理, 技术先进、安全可靠的坚强主网。

2 发展特高压输电技术的必要性

2.1 优化电网资源配置, 协调区域经济发展

南方五省区东西部能源资源和经济发展不均
万方数据

衡, 东部广东省占五省区 GDP 65%, 但能源含量仅占 3.5%, 电力电量不足已严重影响社会经济的发展; 而经济相对不发达的云南、贵州却拥有 >90% 的五省区能源储量, 其中云南省可开发的水电装机容量达 95.70 GW。因此, 进一步地实施大容量西电东送, 促进资源优化配置, 是南方区域能源发展的必由之路, 也是南方电网公司的重要战略。

2.2 缩小输电通道走廊, 节省宝贵土地资源

输电通道资源紧缺是电网发展过程中的国际性的问题。人均耕地面积小, 广东珠三角地区电力负荷密度过高, 电网建设占地过多的矛盾尤其突出。到 2030 年西电东送采用交流 500 kV 送电方案需增加 16 回线路, 走廊宽达 960 m, 占地面积 217 万亩; 采用交流 1 000 kV 送电方案走廊宽度为 500 m, 占地面积 110 万亩; 而采用直流±800 kV 送电, 走廊宽度为 300 m, 占地仅 70 万亩。此外, 滇西南三江出口峡谷地段受地理位置限制, 不可能采用 500 kV 方案, 特高压输电方案可有效解决问题。

2.3 限制短路电流, 提高电网稳定, 节约设备费用

随着迅猛增长的供电需求, 电网系统容量增加很快, 目前广东珠三角负荷密集区部分 500 kV 变

电站的短路电流水平已接近或超过设备可以承受的 50 kA 的水平。如仍仅采用 500 kV 电压等级,预计 2010 年后该地区大部分变电站的短路电流水平将 >50 kA 并逼近目前常规设备制造极限 63 kA,电网稳定可靠供电和设备安全的困难难以解决。

特高压交直流输电技术可增强骨干电网输电能力,有效控制每一电压等级的系统短路电流。在加强各级网络结构的同时,为现有 500 kV 输电网提供了分片运行的条件,在保证供电可靠性的前提下降低了短路电流水平。

2.4 特高压输电的经济性明显

国内外的研究表明,交流输电 1 000 kV 方案的单位输送容量投资约为 500 kV 方案的 73%,运行损耗下降 80%。直流输电 800 kV 方案的单位输送容量投资约为 500 kV 方案的 72%,运行损耗下降 70%。此外,如前所述特高压输电技术可节省大量输电走廊用地,符合国家可持续发展政策的要求。

2.5 我国电工制造技术跨越式发展的空前机遇

经过多年的技术攻关、引进、消化吸收,国内设备制造业已具备 500 kV 交流输变电设备的设计制造技术,750 kV 交流输变电关键设备国产化也已取得进展,±500 kV 直流输电关键设备设计制造技术已基本掌握。特高压输变电设备在国际上也处于研制阶段,国内制造厂可以以计划中的特高压工程为依托,主要设备以我为主、联合开发、国内制造,掌握设备制造关键技术,实现设备制造技术升级,快速提高国际竞争力。

3 南方电网特高压输电应用研究工作

3.1 特高压研究工作的主要过程

南方电网公司 2003 年 8 月在电力发展规划的基础上组织开展了高一级电压等级应用研究,2004 年 12 月完成并出版了《南方电网高一级电压等级应用研究报告》。2005 年 1 月 25 日以《关于特高压应用研究工作情况的报告》将研究的主要内容、结论和项目规划建议正式上报。

3.2 研究的主要结论

(1)国际上交流特高压输电技术已经基本成熟,具有制造全套设备的能力;直流特高压(±750 kV 或 ±800 kV)输电工程技术上可行。(2)高海拔、重污染以及覆冰等因素对设备外绝缘过电压水平可能提高的较高要求可通过增加空气净距和绝缘子片数等方法满足。(3)设计合理的特高压输电线路的可听噪声、无线电干扰水平可与现有超高压输电线路相当。(4)特高压输电系统较现有输电系统的过电压倍数低。(5)特高压交流线路单段长度不宜 >500 万方数据

km,中间设开关站情况下可按 2×350 km 控制。

3.3 南方电网特高压输电网的规划方案

结合电网总体规划及各种输电方案的输电走廊、短路电流控制、输电能力、投资和运行费用等的技术经济比较,推荐南方电网特高压输电规划方案为结合云南小湾、金安桥、糯扎渡等水电站的投产建设云南至广东 2 回 ±800 kV 直流输电工程,实现特高压、远距离、大容量、点对点送电;2030 年前建设云南至广东 5~6 回 1 000 kV 交流输电通道,在珠江三角洲地区北部建成双回路 1 000 kV 环网。

2005 年初南方电网公司根据战略和电网规划成立了特高压工程建设部,负责实施南方电网特高压交直流工程,云南至广东 ±800 kV 特高压直流工程为第一个管理项目。

4 云广特高压直流输电工程

4.1 系统方案

云广特高压输电工程系统方案,从合理利用输电走廊资源、换流站站址和接地极址资源、促进直流输电技术进步和电网技术升级角度出发,结合今后西南水电外送规划,考虑工程建设周期要求,经技术经济比较,确定采用 ±800 kV 电压等级,输电容量 5 GW。送端换流站位于云南省楚雄州禄丰县三湾镇,本期出线 7 回:至小湾水电站 3 回,至金安桥水电站 2 回,至昆西北变电站 2 回。受端换流站位于广东增城市朱村镇,π 接 500 kV 增城至横沥双回线路,新建 2 回线路至 500 kV 水乡变电站,并预留交流主变和 220 kV 出线。

4.2 工程主要参数

该工程线路长 1 438 km,采用 6×630 mm² 导线,其余参数见表 1。

表 1 云广 ±800 kV 线路参数

Tab. 1 Parameters of the ±800kV line from Yunnan to Guangdong

参数	整流侧	逆变侧	参数	整流侧	逆变侧
额定输送功率	5 GW		阀组接线方式	2×12 脉动串联	
直流额定电压	±800 kV		换流变型式	单相双绕组	
交流额定电压	500 kV		换流变容量/MVA	24×252	24×241
直流额定电流	3 125 A		无功补偿容量/MVA	3 200	3 000

4.3 工程技术关键问题

4.3.1 换流阀和阀组

规划云广直流工程送电容量 5 GW,电压 ±800 kV,额定电流 3 125 A,相对现有 ±500 kV/3 GW 直流工程的 3 000 A 额定电流仅提高 4.2%。通过优化换流变短路阻抗参数、提高单个阀片的冷却水流量等措施,该工程完全可用现 ±500 kV 工程应用成

熟的127 mm 阀片,从而节省大量研发费用和时间,经济实用且无国产化障碍。

建设、设计单位、生产厂商均已确认,送受端均采用(400 kV+400 kV)双12脉动阀组串联接线为最优方案,它在设备的研制和运输、运行的灵活和可靠方面优势明显,已有国外工程成功应用的经验。

4.3.2 特高压直流换流变压器

由于采用双12脉动阀组,工程共需48台换流变(另加备用8台)。其中36台 $\leq \pm 600$ kV的换流变可使用成熟技术,12台靠近极母线的 ± 800 kV换流变全球均无,需要研发。

± 800 kV与 ± 500 kV换流变的主要判别有三:一是绝缘水平更高,二是运行中直流偏磁更大,三是尺寸增大使运输困难。因此,特高压换流变绝缘结构、设备尺寸要求接近制造极限,挑战很大。国内外制造商研究云广工程后已提出换流变的主要参数,分析计算认为设计制造800 kV换流变技术上可行并可满足国内铁路运输条件需要。部分制造商表示2006年可产出样机。

4.3.3 阀侧变压器套管和直流穿墙套管

阀侧变压器套管和直流穿墙套管是特高压设备制造难点之一,目前主要依靠国外技术,SIEMENS和ABB已提前投入该技术并取得较好效果。

ABB公司1993年即已研制出直流 ± 800 kV油纸绝缘瓷外套穿墙套管并通过相关试验,后将部分陶瓷外套涂上合成材料以增加外绝缘功能,安装在瑞典STRI实验室,安全运行至今。ABB称有把握在此基础上开发出合成材料的穿墙套管。

SIEMENS已研制出特高压变压器合成材料套管以及用于换流变特高压阀侧线圈引出线与套管连接部分的绝缘桶(Barrier system),其在奥地利格拉茨技术大学开展的电气试验已基本完成。由于试验室环境条件所限直流耐压试验和极性翻转电压试验仅完成设计值的93%和96%,但都曾经短时间加至100%试验电压试品未见异常。补充试验可在所内完成。换流变套管技术与穿墙套管相似而难度更大,前者的解决,意味着后者也迎刃而解。

特高压的阀侧变压器套管和直流穿墙套管技术已基本解决,但也关注到套管尺寸加大后,其机械性能也应相应提高,并通过相关试验。

4.3.4 平波电抗器

特高压直流换流站首选干式平波电抗器,每两台一组串联,分别布置在每极的极母线和中性线上,

经济且无技术风险,是为最佳方案。

4.3.5 特高压直流设备外绝缘

特高压直流场内有直流高速开关、隔离刀闸、互感器等设备,如陶瓷绝缘材料很难满足其外绝缘爬距的要求。解决方案,一是建设户内直流场,可以在一定程度上减缓污秽程度,更重要的是保持设备干燥,防止污闪发生;二是采用合成绝缘材料,以满足外爬距要求,但有研发和试制的技术风险。前者投资和运行费用较大,多数专家倾向于后一方案。

平波电抗器也要解决支柱绝缘子外绝缘问题。

目前已有数家厂商研制出特高压直流合成支柱绝缘子和线路绝缘子样品,可望在现有的直流工程中挂网试运行。

4.3.6 控制保护

我国尚未使用过双12脉动串联阀的控制保护技术,但国外如巴西伊泰 ± 600 kV直流输电工程多年的运行经验已证明系统的安全可靠。对此国内外厂商均表示无任何技术困难。

4.4 工程进度

2005年2月云广特高压直流输电工程可行性研究工作正式启动。7月13~15日,委托中国电力顾问集团公司研究评审可行性。9月26~27日完成可行性研究收口工作并向国家发改委上报了《关于云广特高压直流输电工程可行性研究的请示》。

工程计划2006年6月前开工,2009年6月单极投产,2010年6月前双极投产。届时,全世界第一条特高压直流输电线路将横贯南方电网,500万kW的电力将通过它源源不断地从西南水电基地输向东部负荷中心区。

参 考 文 献

- [1] 舒印彪. 积极推进特高压电网建设[J]. 中国电力企业管理, 2005, (7): 3-5.
- [2] 李立星. 特高压输电的技术特点和工程应用[R]. 南方电网技术研究, 广州: 2005.
- [3] Darveniza M, Popolansky F, Whitehead E R. Lighting protection of UHV transmission lines[J]. Electra, 1975, (41): 43-86.
- [4] CIGRE WG 14.32. HVDC converter stations for voltage above 600 kV [R]. Paris: CIGRE, 2002.

(收稿日期 2005-12-07 编辑 蒋英圣)

尚 春 1966—

硕士

MBA 高级工程师

从事特高压工程建设、超高压交直流输电技术研究和管理工作。

E-mail: shangchun@spsc.com.cn

