

推进特高压电网建设 服务四川经济发展

朱国俊, 蒋 乐

(四川省电力公司, 四川 成都 610041)

摘 要: 发展特高压电网有着巨大的经济效益和社会效益。2008 年, 是四川特高压电网建设快速发展的一年。文章对特高压电网建设进行了分析和研究。

关键词: 特高压; 输电技术; 电网建设

Abstract: Developing UHV power grid has a good economic benefit and social benefit. In the year of 2008, the UHV power grid of Sichuan has a rapid development. And the construction of UHV power grid is analyzed and studied.

Key words: UHV; power transmission technology; power grid construction

中图分类号: TM721 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)01-0023-05

2008 年年底, “晋东南—南阳—荆门 1 000 kV 特高压试验示范工程”将试运投产; 向家坝—上海±800 kV 特高压直流送出工程正加紧施工; 锦屏—苏南±800 kV 特高压直流送出工程已经启动。自国家电网公司提出特高压发展战略以来, 对于发展特高压输电的必要性和可行性已经经过了充分的讨论和严格的论证, 但是, 对于特高压输电对地方经济发展的作用和意义研究不多, 在工程建设的实施过程中, 相关各方对此的了解不多。因此, 非常有必要进行分析和探讨。

1 特高压输电契合四川经济发展需要

1.1 四川水电送出需要大通道

四川水力资源丰富, 是中国水电能源基地建设的大省。全省技术可开发量为 120 GW, 占全国的 22%; 经济可开发量为 103 GW, 占全国的 26%; 技术可开发量 and 经济可开发量均居全国第一位; 省委、省政府非常重视水电资源开发, 2000 年确定为西部开发战略的主导产业, 在“十一五”期间, 省委、省政府已将水电列为全省的一大支柱产业推出。本届政府又在原来的基础上作了进一步规划: 四川要建全国最大的水电能源基地, 要把省内这些重点工程都建成水电开发的标志性工程。据统计, 四川省境内目前开展前期项目的水电站装机, 已经超过了 40 GW。仅在金沙江一条江上, 即规划有 20 座梯级电站, 总装机容量高达 60 GW, 这些项目绝大多数将在“十一五”期间开工建设。“十一五”期间, 四川新增水电装机容量力

争超过 15 GW; 到 2010 年底, 全省水电装机容量达到 30 GW 左右, 川电外送能力达到 6 GW; 到 2020 年底, 全省水电装机容量达 73 GW 左右, 川电外送能力将达到 33 GW 左右。目前全省在建水电项目约 70 座, 主要有溪洛渡、向家坝、锦屏一级、锦屏二级、官地、瀑布沟、深溪沟、龙头石、沙湾、狮子坪、柳洪、坪头、仁宗海、金窝、大发、大岗山、沙坪、灵关、偏桥等, 在建规模约 34 GW。

四川水电的开发, 无论是庞大投资对相关产业的拉动还是税收的增加, 对四川国民经济的发展都将做出巨大的贡献。但是, 要把四川的水电资源优势变为经济优势, 实现四川水电大发展的关键还在于解决川电外送的输电通道的建设。按照 2020 年外送 33 GW 的规模, 采用现有 500 kV 电压等级需要 30 多条通道, 这既不经济, 也使现有土地资源难以承受, 输电大通道需要特高压。

1.2 四川电源和电网结构改善需要大联网

由于四川能源资源以水电为主, 多年来, 四川电源结构一直呈现出“三多三少”(水电多, 火电少; 丰期多, 枯期少; 小机组多, 大机组少)的局面。从电源结构上, 到 2020 年, 四川水、火电比例将达到 85 : 15, 丰水期水火电出力比例将达到 90 : 10, 这样的结构难以满足电网的稳定要求, 必须将大量水电外送, 为四川火电和核电的发展换来容量空间。

在电网结构方面, 虽然近年来电网建设加快, 电网结构有所加强, 但是电网稳定水平低, 电网线路输送能力偏低; 尤其是川电外送通道少, 送电裕度不足。在四川大型水电建成后, 更是无法满足大规模水电外

送的要求。所以,构建以特高压为骨干网、500 kV 为主干网,与华中、华东、西北多通道联网的大电网是加强四川电网的必然选择。

1.3 四川电力交易和资源配置需要大平台

表 1 为四川 2010~2020 年的电力平衡预测表,从中即可看出,今后十年,四川富余电力外送要求十分巨大。

表 1 电力平衡表

四川	2010年		2015年		2020年	
	丰	枯	丰	枯	丰	枯
1 负荷水平	2 750	2 700	4 071		5 500	5 390
2 装机容量	4 752				10 092	
其中:水电	3 252		6 684		8 592	
火电	1 500		1 500		1 500	
3 电源出力	3 400	3 350	6 150	4 000	8 100	6 985
水电	2 600	1 950	5 350	8 184	7 300	5 585
火电	800	1 400	800	1 400	800	1 400
4 电力盈亏	+650	+650	+2 080	+1 500	+2 600	+1 593

从四川省内电力市场需求预测看,今后一段时期,四川水电在省内是无法完全消纳的,也是国家能源战略所不许可的。必须将相当大一部分送出省外,才是实现变资源优势为经济优势的唯一出路。

同时,根据四川资源结构特点,随着国民经济发展,在枯水期,在发生大的灾害和四川电网故障时,同样需要从省外获得电力支援。在今年“5.12”大地震期间,四川获得的支援就是明证。因此必须通过特高压电网,构筑全国范围内资源配置和电力交易的平台。

国家电网公司根据能源资源优化配置的总体布局,提出了配合四川水电开发,建设特高压输电的战略规划。把四川建成全国水电能源基地,对促进四川经济的跨越式发展,具有十分重大的战略意义和现实意义。

2 四川特高压电网规划概况

2.1 溪洛渡、向家坝水电站外送直流特高压电网规划

金沙江一期的溪洛渡、向家坝电站是金沙江干流最下游的两个联系紧密、效益互补的梯级电站,溪洛渡电站装机 18×700 MW,总容量为 12.6 GW,向家坝电站装机 8×750 MW,总容量为 6 GW,两电站总装机容量为 18.6 GW,是中部西电东送的重要电源,2020 年前全部投产,电力主要送往华中和华东电网。

为满足溪洛渡、向家坝水电站电力外送需要,金

沙江一期溪洛渡和向家坝送出工程将采用 2 回 ±800 kV 特高压直流线路送出,其中向家坝复龙换流站至上海奉贤换流站 1 回、溪洛渡左岸双龙换流站至浙西换流站 1 回至华东电网,分别于 2011 年和 2016 年建成投运,溪洛渡右岸罗场换流站至南方电网换流站 1 回至南方电网,2014 年建成投运。

2.2 锦屏等水电站直流外送特高压电网规划

雅砻江的锦屏一级电站装机 6×600 MW,总容量为 3.6 GW,锦屏二级电站装机 8×600 MW,总容量为 4.8 GW,官地电站装机 4×600 MW,总容量为 2.4 GW,三电站总装机容量为 10.8 GW。

根据电力电量消纳方案,锦屏一、二级和官地水电站有 7.2 GW 电力在华东消纳,2 GW 在重庆消纳,其余在四川消纳。华东消纳的 7.2 GW 电力通过 1 回西昌长村换流站至江苏同里换流站的 ±800 kV、输电能力 7.2 GW 的特高压直流线路输送,该输电工程预计在 2013 年建成投运。另有 1 回四川—湖南 ±660 kV 高压直流输电线路。

2.3 金沙江二期乌东德、白鹤滩等水电站外送直流特高压电网规划

金沙江二期乌东德电站装机 12×720.5 MW,总容量为 8.7 GW,白鹤滩电站装机 16×750 MW,总容量为 12 GW,两电站总装机容量为 20.7 GW。

为满足乌东德、白鹤滩水电站电力外送需要,将建设 3 回 ±800 kV 以上电压等级、输电规模为 6.4 GW 以上容量的特高压直流输电工程,其中 2 回至华东电网,1 回至华中电网,分别是乌东德换流站至福建泉州换流站 ±1 000 kV 1 回、白鹤滩换流站 1 站至鄂东换流站 1 回、白鹤滩换流站 2 至浙西换流站 1 回。

2.4 四川特高压交流电网规划

“十二五”期,为了满足 2020 年四川水电通过交流通道外送 18 GW 的要求,结合大渡河、雅砻江流域大型水电站接入系统研究成果,初步推荐 2020 年四川交流特高压外送方案采用双通道方案,即:四川电网内规划建设雅安、绵阳、乐山三座特高压变电站,重庆电网规划建设重庆特高压变电站和万县特高压变电站,规划建设南、北两个特高压交流外送通道:北通道为雅安—绵阳—万县—荆门双回特高压线路,南通道为雅安—乐山—重庆—恩施—长沙双回特高压线路。届时四川将有 4 回特高压交流输电线路及 3 座特高压变电站。

综上所述,到 2020 年中国将形成坚强的特高压

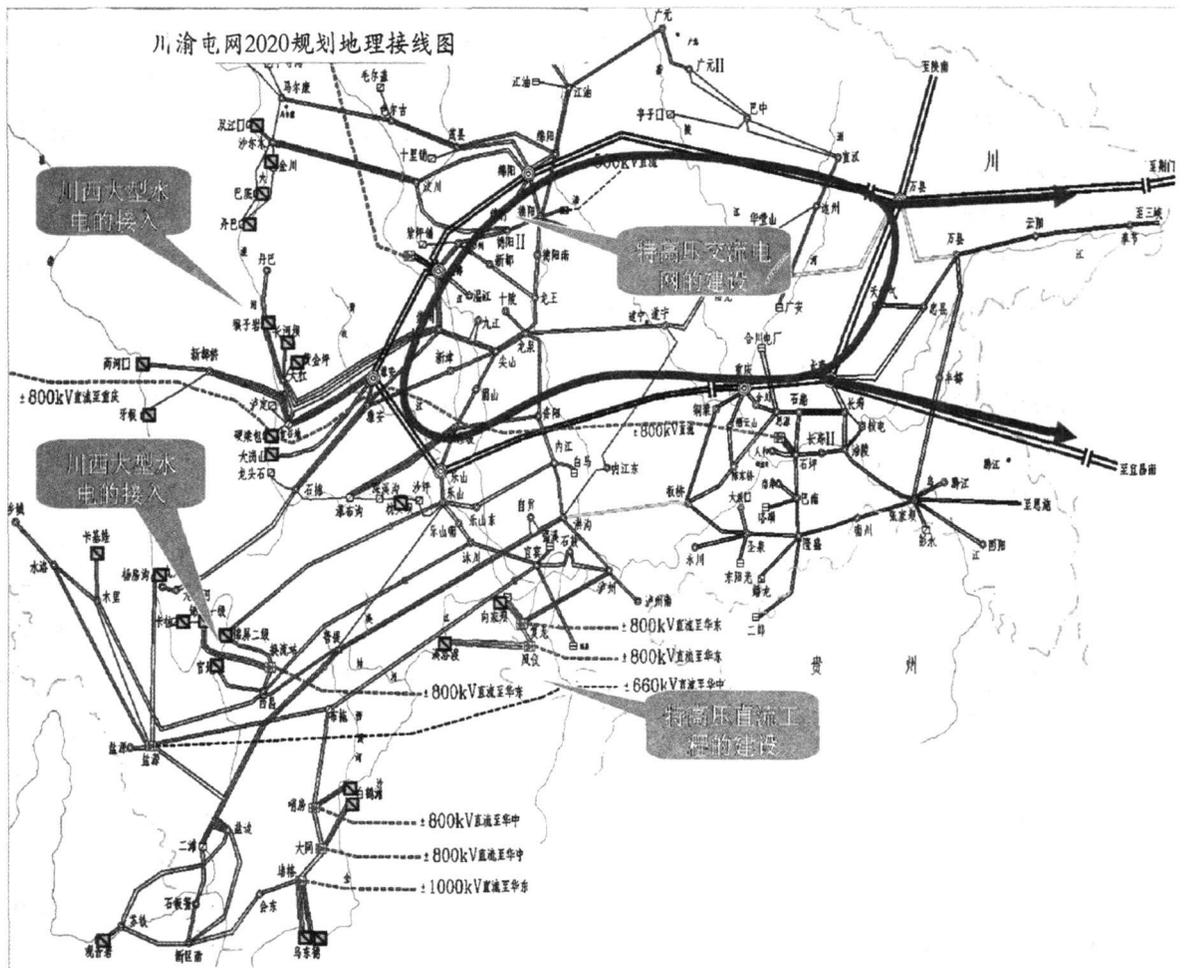


图 1 川渝电网 2020 年规划地理接线图

电网,届时,四川将有 7 回特高压直流输电线路及相应的 7 座特高压直流换流站和有 4 回特高压交流输电线路及 3 座特高压变电站(即“四交七直”的规模)。四川省在特高压电网建设中处于相当重要的地位,通过坚强的交直流特高压电网,四川电网将在跨大区、跨流域水火电互济、全国范围内能源资源优化配置中受益匪浅。

3 特高压输电利国利川

在电力建设和发展过程中,电源分布和电力传输的协调规划,是一个需要进行综合考虑的问题,既涉及资源在较大范围内的优化配置和有效利用,又涉及节约土地资源,节约投资,节省运行费用以及减少煤电对环境污染的影响等方面的问题。实践表明,随着用电需求的快速增长,不断发展更高电压等级的输电技术,对实现远距离、大容量输电,优化资源配置,降低环境影响具有重要意义。根据中国能源储备和电力负荷分布极不均衡的状况,发展特高压输电势在必

行,这不仅是国家能源战略的必然选择,对四川经济的发展也将发挥巨大的作用。

3.1 有利于四川大水电能源基地战略地位的确立

四川作为全国水电资源最大的省份,其水电资源的开发和利用必须纳入全国能源总体规划。这一方面是全国能源资源优化配置需要;二是大规模水电的开发必须依赖于全国的资金和技术,举全国之力才能办到;三是仅在省内无法消纳如此多的电量,从电源结构和电源支撑的要求,只有外送也才能为四川火电和核电装机留出空间。因此,四川水电如何外送一直是长期研究的课题。采用特高压方式输电,使四川通过坚强庞大的特高压电网与华中、华北紧密联系起来,不仅是四川水电得以外送,变资源优势为经济优势,同时,四川作为在全国能源体系中的极其重要的大能源基地的作用将得以凸现,有利于四川在全国经济及能源战略地位的提升。

3.2 有利于四川节省线路走廊和土地资源

输电线路走廊是指线路路径的通道,线路走廊宽度一般由地面电场强度满足有关要求来确定。输电

线路输送自然功率与电压的平方成正比,与线路的波阻抗成反比。用自然输送功率作为比较,采用 1 000 kV 特高压输电,一回 1 000 kV 的线路相当于五回 500 kV 线路。按照中国环保标准规定的线路走廊宽度,一回 1 000 kV 电压输电线路的走廊宽度约为五回 500 kV 线路走廊宽度的 40%。也就是说,输送同样的功率,采用 1 000 kV 线路输电与采用 500 kV 的线路相比,可节省 60% 的土地资源。±800 kV、6 400 MW 直流输电方案的线路走廊宽度约 76 m,单位走廊宽度输送容量约为 84 MW /m,是 ±500 kV、3 000 MW 方案的 1.3 倍。总体来看,特高压交流输电可节省约 2/3 的土地资源,特高压直流输电可节省约 1/4 的土地资源。

在四川规划的“四交七直”特高压线路,如果采用 500 kV 电压等级输电,将需要三十多条线路走廊。仅在四川境内,就可节省近 20 条 500 kV 线路走廊,按四川境内每条平均 300 km 计算,就可节约 300 (km)² 的土地资源,这是一笔难以想象的巨大财富。因此,发展特高压电网,可以显著提高线路走廊的输电效率,节约宝贵土地资源,实现电力工业的可持续发展。

3.3 有利于四川投资拉动和扩大就业

1) 投资的直接和间接拉动: 2006~2020 年,四川水电开发投资约 4 000 亿元,带动 GDP 增长数万亿元。2007~2020 年间,特高压输电通道及配套线路投资约 1 000 亿元,对带动相关产业的发展具有巨大的推动作用,必将拉动地区经济的大幅增长。

2) 税收的增加: 到 2010 年,电力销售可累计增加增值税和地方税 140 亿元。虽然目前输电电量税收还未与地方税收挂钩,但可增加电网公司的输电收入和税收,且相关各方也正在提出研究输电与沿线地方税收分享的可能和办法。

3) 创造就业机会: 中国科学院曾就锦屏一级水电站建设对四川省国民经济的拉动作用做过一项研究预测。报告指出,除了能推动四川省 5 000 亿左右的经济增长外,雅砻江水电开发还将带动就业。按照一年 260 个劳动日计算,雅砻江流域近 30 GW 装机的建设相当于提供了 115 万个就业机会,平均每年可安排约 7 万人就业。特高压输电上千亿的投资,必将为四川提供数十万个就业机会。

3.4 有利于四川电网的加强,并提供更为广阔的交易空间

1) 按照国网公司“一特四大”(特高压、大电网、大水电、大核电)发展战略,四川既是全国能源体系中的大水电基地,又是特高压电网的送端电源支撑点,在国家能源体系中占有十分重要的战略地位。在四川“四交七直”特高压电网建成后,四川电网将真正成为“特高压骨干网坚强可靠,500 kV 主干网结构完善,220 kV 支撑网覆盖广泛,城乡配电网安全经济”的多电压等级协调发展的大电网,打造为“东接三华(华中、华东、华北)、西纳新藏(新疆、西藏)、北联西北、南通云贵”的全国电力交换大枢纽,构筑成跨省区、跨流域的“水火购送灵活、交换方便”的全国电力资源配置大平台。

2) 特高压工程的建成,将进一步打开四川外送电、外购电的通道,大大促进四川电网与华中、华东电网交易电量,促进不同地域的水火互济和丰枯互济,并将对四川电网电力电量平衡和省公司的经济效益带来有利的影响。无论是在电力紧缺或电力富余时期,都将为四川电网和其它电网的电力互惠交易提供更为广阔的空间和手段。据预测,仅 2009 年,四川水电富余量约 7 TWh。由于晋东南—荆门特高压交流的联网投产,可解决 45 亿左右的富余水电量。在四川目前金沙江、雅砻江、大渡河流域的大水电发电后,外送输电的要求将更为急迫。在四川特高压网架全面建成后,完全可形成丰期送得出、枯期进得来的良好局面。按照国网公司安排,宜宾向家坝—上海特高压直流输电工程将在 2010 年实现双极投运,届时,四川电网除了由泸州提供特高压工程的调试电源外,在向家坝水电站全面建成投产之前,还可利用特高压通道,为四川电力外送、消纳富余电量做出贡献。

3) 发展特高压输电网,把送端和受端之间大容量输电的主要任务转到特高压输电上来,可减少输电网损,提高电网的安全性,使整个电力系统能继续扩大覆盖范围,有效地利用整个电网内各种可以利用的发电资源。另外,通过交流特高压同步联网,可以大幅度缩短电网间的电气距离,提高稳定水平,发挥大同步电网的各项综合效益,包括错峰、调峰、水火互济、互为备用和减少弃水电量等,增强网络功率交换能力,减少负荷中心地区的发电装机容量,实现全国范围内的能源资源优化配置。通过特高压电网,实现分层分区布局,还可以优化包括超高压在内的系统结构,从根本上解决短路电流超标的问题。

4) 特高压输电,不仅是一次革命性的电网升级,

也是一次世界性的重大创新,对四川相关产业和企业带来重要的发展机遇。在电力企业中,对设计院、试研院、送变电、铁塔厂、金具厂、电建公司来说都将是一个促进技术进步向电力高端发展的大好机会。利用特高压在四川的地域优势,抓住机遇,就将为今后的发展赢得更为广阔的空间。

综合考虑特高压输电技术的优越性,可以看出,

发展特高压电网有着巨大的经济效益和社会效益。中国经济飞速发展,发展特高压输电势在必行。发展特高压输电,对实现四川“工业强省”战略,对建设环境友好型、资源节约型的美好四川都将具有强大的推动作用。

(收稿日期:2008-12-30)

(上接第 17 页)

表 2 四出线时的模极大值情况及选线结果

故障类型	线路 1	线路 2	线路 3	线路 4	选线结果
20 km 处短路	0.224	0.222 9	3.034	0.222 4	线路 3
0.5 km 短路, 不考虑 C	$7.93e^{-2}$	$7.887e^{-2}$	$9.147e^{-1}$	$7.856e^{-2}$	线路 3
0.5 km 短路, 考虑 C	$7.447e^{-4}$	$7.459e^{-4}$	$7.44e^{-1}$	$7.576e^{-4}$	线路 3
母线处短路	$2.665e^{-3}$	$2.648e^{-3}$	$2.673e^{-3}$	$2.641e^{-3}$	母线

4 结 论

在对中性点非有效接地/不接地系统单相接地故障行波传输规律分析的基础上,提出了基于复小波变换的相电流行波选线算法。由于复小波的时移不变性克服了实小波变换结果的不稳定性,从而使本选线算法更可靠。本算法简单,仅需判定幅值即可,不必做大量计算,适于在线分析。实际变电站母线端都含有分布电容,而通过理论和仿真证明了分布电容对所提出的选线算法不但不影响选线效果,反而能增强选线灵敏度,从而使选线结果更准确。理论与仿真表明,本算法不受过渡电阻、补偿方式、故障相角和故障距离的影响,在各类出线线路类型相同的变电站均适用。

参考文献

[1] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

[2] 郝玉山,杨以涵,任元恒. 小电流接地微机选线的群体比幅比相原理 [J]. 电力情报. 1994, 5(2): 15-19.

[3] 陈奎,唐轶. 小电流接地系统电弧接地选线方法的研究 [J]. 继电器. 2005, 33(16): 5-9.

[4] 桑在中,张慧芬,潘贞存. 用注入法实现小电流接地系统单相接地选线保护 [J]. 电力系统自动化. 1996, 20(2): 11-13.

[5] 徐青山. 电力系统故障诊断及故障恢复 [M]. 北京: 中

国电力出版社, 2007.

[6] 施慎行,董新洲,周双喜. 单相接地故障行波分析 [J]. 电力系统自动化. 2005, 29(23): 29-33.

[7] 张帆,潘贞存,等. 基于方向行波的小电流接地系统故障选线 [J]. 中国电机工程学报. 2007, 27(34): 70-75.

[8] 徐青山,陈锦根,唐国庆. 考虑母线分布电容影响的单端行波测距法 [J]. 电力系统自动化. 2007, 31(2): 70-73.

[9] 董新洲,毕见广. 配电线路暂态行波的分析 and 接地选线研究 [J]. 中国电机工程学报. 2005, 25(4): 1-6.

[10] 孔瑞忠,董新洲,毕见广. 基于电流行波的小电流接地选线装置的实验 [J]. 电力系统自动化. 2006, 30(5): 63-67.

[11] 毕见广,董新洲,周双喜. 基于两相电流行波的接地选线方法 [J]. 电力系统自动化. 2005, 29(3): 17-21.

[12] N. G. Kingsbury. Shift invariant properties of the dual-tree complex wavelet transform, in "Proc ICASSP 99, Phoenix AZ paper SPTM 3. 6, March 16 - 19, 1999."

作者简介:

周登登 (1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统故障诊断。

刘志刚 (1975-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为现代信号处理及其在电力系统中的应用。

(收稿日期:2008-12-20)