

糯扎渡特高压直流规模对广东电网影响研究

邱伟, 钟杰峰, 李峰, 王路, 朱志芳

(广东省电力设计研究院, 广州 510660)

摘要: 根据广东电网规划, 研究糯扎渡特高压直流输电工程采用 5 000 MW 和 6 400 MW 两种输电规模对广东电网安全性、稳定性的影响, 并分析不同直流规模对广东电源、电网发展的适应性。建议糯扎渡直流规模采用 5 000 MW。

关键词: 特高压直流, 输电规模, 多馈入直流, 稳定性

Study on Nuozhadu UHVDC Transmission Project's Capacity Affecting the Guangdong Power Grid

QIU Wei, ZHONG Jiefeng, LI Feng, WANG Lu, ZHU Zhifang

(Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou 510660, China)

Abstract: By giving the future plan of Guangdong Power Grid, analysis are carried out on the security and stability of Guangdong Power Grid when Nuozhadu UHVDC system choosing the transmission capacity of 5 000 MW or 6 400 MW. The adaptability of Guangdong electric power supply and power grid development under different UHVDC transmission capacities are discussed. It is concluded that the transmission capacity of Nuozhadu UHVDC system should be 5 000 MW.

Key words: UHVDC; transmission capacity; multi-infeed HVDC; stability

糯扎渡直流受端广东电网是一个典型的多回直流馈入、交直流并联混合运行系统, 且负荷分布十分集中, 导致多回直流落点很近, 新增直流工程规模对广东电网的影响变得更为复杂, 因此受端电网的安全稳定问题需要高度关注^[1-4]。需要研究的问题包括(在不同直流规模下)^[5-7]: 正常与事故方式下电网潮流分布的影响; 单一及严重故障下对电网稳定(包括电压稳定)的影响; 受端多回直流的相互影响; 直流运行条件; 对电网不定因素的适应性等。

本文研究糯扎渡特高压直流输电工程采用 5 000 MW 和 6 400 MW 两种输电规模对广东电网安全性、稳定性的影响, 并分析不同直流规模下, 广东电源、电网发展适应性, 研究水平年取 2015 年。

1 电力系统发展规划

1.1 外区送电广东容量规划

根据“十一五”期间向广东送电框架协议, 到 2010 年外区送电广东容量为 24 380 MW。

本研究考虑“十二五”期间外区送广东容量新增 13 000 MW ~ 15 140 MW, 主要是构皮滩电站(3 000 MW)、糯扎渡水电站(5 000 MW~5 850

MW)、溪洛渡右岸电站(5 000 MW~5 850 MW); 到 2015 年, 外区送广东容量达到 37 380 MW~39 530 MW, 详见表 1。

表 1 外区送电广东容量规划

年份	天生桥	云南	贵州	龙滩	鲤鱼江	三峡	合计
2005	1 680	1 600	4 000		600	3 000	10 880
2010	1 680	7 800	8 000	2 100	1 800	3 000	24 380
2015	1 680	17 800~ 19 950	11 000	2 100	1 800	3 000	37 380~ 39 530
“十一 五”新增		6 200	4 000	2 100	1 200		13 500
“十二 五”新增		1 000~ 12 150	3 000				13 000~ 15 150

1.2 广东电网规划

预计 2015 年, 广东省全社会用电量 6 000 GWh, “十二五”年均增长 6.9%。全社会用电最高负荷达到 103 400 MW, “十二五”年均增长 7.1%, 见表 2。

“十二五”期间广东省内电源建设存在许多不确定性。本研究考虑“十二五”期间省内规划安排电源 20 100 MW, 其中粤西 9 700 MW、粤东 10 400 MW, 到 2015 年广东省内电源装机总容量为 91 383 MW。

表 2 广东省社会用电需求预测表

Tab.2 Power Demand Forecasting in Guangdong Province

年份	电量/TWh	增长率/%	最高负荷/GW	增长率/%
2007	339.4	13.00	55.8	12.30
2010	430	9.40	73.5	10.30
2015	600	6.90	103.4	7.10

注: 2010 年、2015 年的增长率分别是“十一五”后期和“十二五”期间的年均增长率。

2 糯扎渡特高压直流输电工程概况

糯扎渡水电站位于云南省普洱市思茅区和澜沧县境内, 装机规模为 9×650 MW。糯扎渡电站送电广东采用 ± 800 kV 特高压直流输电方案, 直流规模采用 5 000 MW 或 6 400 MW, 计划 2012 年单极投运, 2013 年双极投运。

从广东电源布局、负荷分布和电网结构特点来看, 糯扎渡直流电力宜送往广州、佛山南部地区消纳。考虑到受端地区地理环境影响, 受端换流站选址在江门市鹤山, 接入系统方案为: 换流站 500 kV 出线 4 回, 至江门、顺德各 2 回, 如图 1 所示。

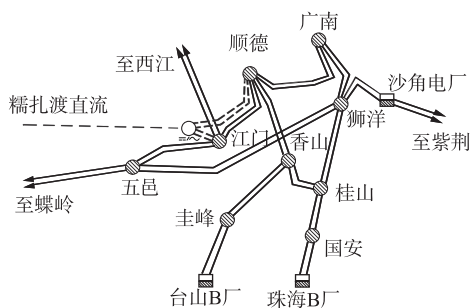


图 1 糯扎渡受端换流站接入系统方案示意图

Fig.1 Access System Scheme of Nuozhadu UHVDC Inverter Station

3 直流规模对广东电网安全影响

3.1 直流运行条件

糯扎渡直流落点广东江门, 近区电网联系紧密, 且江中珠大型电源较多, 台山电厂、阳江核电及台山核电的接入使近区 500 kV 站点短路电流较大。

2015 年广东电网丰腰方式下, 受端换流站在糯扎渡直流 5 000 MW 和 6 400 MW 规模时, 正常和最严重“N-1”方式(换流站—江门一回线)下短路比(SCR)和有效短路比(ESCR)计算结果见表 3。

不同直流规模下, 糯扎渡换流站的短路容量均比较大, 正常方式甚至“N-1”方式下受端换流站的有

效短路比(ESCR)均超过 4.0, 直流运行条件较好。

表 3 糯扎渡直流不同规模时受端换流站短路比

Tab.3 SCR and ESCR of Nuozhadu UHVDC Inverter Station under Different Transmission Capacity

直流规模	运行方式	短路容量/MVA	SCR	ESCR
5 000 MW	正常方式	34 176	6.84	6.20
	“N-1”方式	29 708	5.94	5.30
6 400 MW	正常方式	34 337	5.37	4.87
	“N-1”方式	29 853	4.66	4.16

3.2 潮流分析

在南方电网西电送广东规模一定的情况下, 由于糯扎渡直流落点广东中西区, 直流规模采用 5 000 MW 或 6 400 MW, 广东电网东西断面潮流交换基本相同。在 2015 年丰大方式下, 同和—博罗、穗东—横沥线路断面上功率交换约 3 300~3 400 MW。

糯扎渡直流采用 5 000 MW 或 6 400 MW 时, 主要线路潮流变化如表 4 所示。

表 4 丰大方式主要线路不同直流规模时潮流变化

Tab.4 Power Flow of Main Transmission Line under Different Nuozhadu UHVDC Transmission Capacity MW

线路	5 000 MW 规模	6 400 MW 规模	变化量
贤令山—花都	2 295	2 055	-240
贺州—三水	2 495	2 246	-249
梧州—罗洞	1 417	1 177	-240
茂名—螺岭	912	424	-488
西江—罗洞	164	810	646
穗东—增城	1 831	1 713	-118

相对而言, 直流规模采用 5 000 MW 西电送广东交流通道潮流较重, 贤令山—花都通道潮流增加约 240 MW, 贺州—三水通道潮流增加约 250 MW, 梧州—罗洞通道潮流增加约 300 MW, 线路无功损耗较大, 广东西部电网主要节点的电压水平有所下降。

西电交流落点大部分在广东北部内外环网, 相对而言, 直流规模采用 6 400 MW, 减少了西电东送交流通道电力, 广东内环网潮流有所减轻, 穗东—增城线路潮流减少约 120 MW。

由于直流落点近区电力市场空间较大, 糯扎渡直流规模的变化对近区电网潮流分布影响不大。不管直流规模采用 6 400 MW 还是 5 000 MW, 直流电力基本在顺德、广州南部地区就地消化, 广东南部内环网线路潮流合理, 均可满足电网运行安全要求。

4 直流规模对广东电网稳定影响

4.1 交直流严重故障分析

丰大方式下, 不管直流采用何种规模, 主要线路发生“N-1”故障, 系统能保持稳定; 送入广东任一直流单极闭锁, 或受端电网近区主要线路发生三相短路切双回故障, 系统均能保持稳定。

丰腰方式下, 由于燃机和抽水蓄能电站停机, 系统动态无功支撑较较大运行方式弱, 受端系统稳定性有所下降。在 2015 年丰腰方式下, 对广东电网主要线路三相短路切双回、直流单重及多重单极闭锁、双极闭锁等严重故障进行稳定计算, 结果见表 5。

表 5 丰腰方式广东电网严重故障稳定情况

Tab.5 System Stability under Serious Fault of Guangdong Power Grid

稳定校核元件	故障形式	5 000 MW 规模		6 400 MW	
		稳定情况	采取措施	稳定情况	采取措施
糯扎渡 +溪洛渡	单极闭锁	失稳	切糯 3 台机 +溪 2 台机	失稳	切糯 3 台机 +溪 2 台机
糯扎渡 +云广 I	单极闭锁	失稳	切糯 4 台机	失稳	切糯 4 台机
糯扎渡 +贵广 I	单极闭锁	稳定		稳定	
糯扎渡直流	双极闭锁	失稳	切糯 4 台机	失稳	切糯 6 台机
罗洞—北郊	三相短路跳双回	稳定		稳定	
换流站—顺德	三相短路跳双回	稳定		稳定	
换流站—江门	三相短路跳双回	稳定		稳定	
顺德—江门	三相短路跳双回	稳定		稳定	

从表 5 可知, 落点近区主要线路发生三相短路切双回严重故障, 系统均能保持稳定。直流规模增加到 6 400 MW 时发生双极闭锁故障需多切 2 台机才能维持系统稳定。但增加直流规模可减轻西电东送交流通道压力, 提高通道稳定裕度。当其他直流双极闭锁故障及其他直流组合型单极闭锁故障时, 为维持系统稳定可送端切机 1~3 台, 对系统稳定性较为有利。

4.2 三相短路中开关拒动故障分析

在常规故障下无法深入剖析直流规模对电网安全稳定影响时, 本文采用单开关失灵故障作为区分不同直流规模时系统稳定程度的一种条件。

2015 年丰腰方式下, 直流落点近区交流线路发生三相短路中开关拒动故障稳定计算结果见表 6。

直流规模增加, 在受端电网交流线路发生三相短路中开关拒动故障时, 系统稳定水平有所下降。直流规模增加到 6 400 MW 时, 故障失灵保护极限切除时间减少 2~3 个周期, 顺德—广南、江门—西

江线路发生三相短路中开关拒动故障时系统失稳。

表 6 丰腰方式广东电网中开关拒动故障稳定情况

Tab.6 System Stability under Middle Breaker Refuse to Act Fault of Guangdong Power Grid

故障线路	故障类型	5 000 MW 规模		6 400 MW 规模	
		稳定情况	极限切除时间	稳定情况	极限切除时间
江门—顺德	中开关拒动	稳定	20 周期	稳定	17 周期
顺德—广南	中开关拒动 跳香顺线	稳定	16 周期	失稳	14 周期
江门—西江	中开关拒动 跳江五线	稳定	18 周期	失稳	15 周期
北郊—罗洞	中开关拒动 跳北增线	稳定	>30 周期	稳定	>30 周期

需要说明的是, 单开关失灵故障是一种非常严重的故障, 在电网发展的各个阶段都有可能存在, 并不是由糯扎渡特高压直流引发的新问题。根据电力系统规划设计导则, 单开关失灵故障不应作为电力系统规划设计的条件。

4.3 对多条直流电压跌落影响分析

广东电网多条直流的逆变站间的电气距离较近, 故障时会引起多个逆变站交流母线电压同时下降, 在恶劣情况下有可能导致多个逆变站同时发生换相失败。在糯扎渡直流不同规模下, 主要交流线路三相短路故障对广东电网其他直流换流站的电压跌落影响进行分析, 计算结果见表 7。

表 7 丰腰方式广东电网直流换流站电压跌落

Tab.7 Voltage Drop of Inverter Station in Guangdong Power Grid p.u.

故障线路	5 000 MW				6 400 MW			
	溪洛渡	云广	贵广 I	贵广 II	溪洛渡	云广	贵广 I	贵广 II
顺德—广南	0.53	0.44	0.65	0.21	0.55	0.46	0.68	0.22
顺德—江门	0.52	0.44	0.65	0.21	0.55	0.46	0.68	0.22
江门—五邑	0.59	0.50	0.69	0.24	0.59	0.50	0.69	0.25
江门—西江	0.59	0.50	0.69	0.24	0.59	0.50	0.69	0.25

在故障过程中, 广东电网其他直流换流站交流母线电压均会跌落到 0.7 p.u.以下, 可能发生换相失败, 但恢复时间较快, 不会连续发生换相失败, 系统均能保持稳定。糯扎渡直流规模增加, 对故障时其他直流换流站的电压跌落幅度有一定影响, 直流规模越大, 则电压跌落幅值稍大, 但相对差别较小, 不足以在系统稳定性上造成差异。

5 直流规模对广东电网适应性分析

5.1 粤西电源建设进度适应性

粤西电源建设存在较多不明确因素, 有较大

型电源项目(如阳西电厂 2×600 MW、台山电厂二期扩建工程 $2 \times 1\,000$ MW等)正开展前期工作,具备在“十二五”期间投产的条件。

粤西电源规模增大,将进一步加大广东电网内环网通道送电压力,若粤西电源增加 $3\,000$ MW,糯扎渡直流两种规模下穗东—横沥线路“ $N-1$ ”时均过载,不能满足电网安全要求。相对而言,直流规模 $5\,000$ MW时,穗东—横沥“ $N-1$ ”时线路过载更为严重。

从换流站近区电网潮流分布来看,粤西电源规模增大,粤西地区将有大量盈余电力送往顺德站,对糯扎渡直流电力送出影响较大。相对而言,糯扎渡直流 $6\,400$ MW时,换流站出线潮流分布不均情况更加严重,换流站—江门线路“ $N-1$ ”时潮流达到 $3\,600$ MW,接近该线路最大输送容量;而直流规模采用 $5\,000$ MW时,换流站近区电网潮流明显减轻,换流站—江门线路“ $N-1$ ”时潮流约 $2\,800$ MW,满足电网安全运行要求。

5.2 对广东南部规划网架适应性

五邑—南沙双回线路是向珠三角西南部负荷中心送电的重要通道,线路走廊非常紧张,建设难度很大,项目进度存在很大不确定因素。

1) 潮流计算表明,2013年糯扎渡直流双极投产时,广东的阳江核电、台山核电尚未投产,若五邑—南沙双回线路推迟建成投产,对广东主网向珠三角西南地区内部负荷中心供电影响较大,将会加重江门—顺德线路潮流,糯扎渡直流规模不管采用 $6\,400$ MW还是 $5\,000$ MW,江门—顺德线路“ $N-1$ ”时均出现过载情况。

2015年阳江核电、台山核电全部投产后,增加了省网向珠三角西南地区内部负荷中心供电能力,潮流计算表明,五邑—南沙双回线路推迟建成投产对糯扎渡直流送出影响不大,广东主网仍能保证对珠三角西南地区内部负荷中心安全供电。

2) 稳定计算表明,五邑—南沙推迟投产对系统稳定性不利,丰腰方式下不同糯扎渡直流规模,广东北部电网罗洞—北郊,博罗—横沥线路发生三相短路中开关拒动故障时系统均会失稳。

6 结论

综合上述研究:糯扎渡直流采用 $6\,400$ MW或 $5\,000$ MW规模,规划的受端广东电网均能满足要求,受端换流站有效短路比高,直流运行条件较好。

直流规模采用 $6\,400$ MW时,对受端电网稳定影响较大,当顺德—广南、江门—西江线路发生三相短路中开关拒动故障,受端系统将失稳;对受端电源、电网变化的适应性稍差;糯扎渡直流规模增加对故障时其他直流换流站的电压跌落幅度有一定影响,但相对差别较小,不足以在系统稳定性上造成差异。

因此,从减少直流对受端广东电网的完全稳定影响,及对广东电源、电网发展的适应性角度,建议糯扎渡直流规模采用 $5\,000$ MW。

参考文献:

- [1] 金小明,赵杰.云广特高压直流规模对南方电网的影响分析[J].南方电网技术研究,2005,1(3):5-9.
JIN Xiaoming, ZHAO Jie. Analysis of the Effect of Yunnan-Guangdong UHVDC System's Capacity on China Southern Power Grid [J]. Southern Power System Technology Research, 2005, 1(3): 5-9.
- [2] 吴宝英,陈允鹏,陈旭,等. ± 800 kV云广直流输电工程对南方电网安全稳定的影响[J].电网技术,2006,30(22):5-12.
WU Baoying, CHEN Yunpeng, CHEN Xu, et al. Study on Impacts of ± 800 kV Yunnan-Guangdong HVDC Transmission Project on Security and Stability of China Southern Power Grid [J]. Power System Technology, 2006, 30(22): 5-12.
- [3] 毛晓明,吴小辰.南方交直流并联电网运行问题分析[J].电网技术,2004,28(2):6-9,13.
MAO Xiaoming, WU Xiaochen. Analysis On Operational Problems In South China AC-DC Hybrid Power Grid [J]. Power System Technology, 2002, 28(2): 6-9, 13.
- [4] 伍文城,李新,丁君,等.云广 ± 800 kV直流输电工程输电容量探讨[J].电力设备,2006,7(5):27-30.
- [5] 陈志刚.广东电网需重点研究的问题[J].电网技术,2002,26(9):64-66,84.
CHEN Zhigang. Some Problems to be Emphatically Researched in Guangdong Power Grid [J]. Power System Technology, 2002, 26(9): 64-66, 84.
- [6] 陈旭.关于建设坚强广东电网的若干建议[J].电网技术,2004,28(24):61-64.
CHEN Xu. Some Suggestions on Constructing Strong Guangdong Power Network [J]. Power System Technology, 2004, 28(24): 61-64.
- [7] 周保荣,陈志刚,陈建福,等.南方电网西电东送通道无功补偿应用研究[J].南方电网技术,2007,1(2):58-62.
ZHOU Baorong, CHEN Zhigang, CHEN Jianfu, et al. Some Suggestions on Constructing Strong Guangdong Power Network [J]. Southern Power System Technology, 2007, 1(2): 58-62.

收稿日期:2009-07-06

作者简介:

邱伟(1982),男,湖北人,工程师,硕士,主要从事电力系统规划设计工作(e-mail)xjtuqwei@gmail.com;

钟杰峰(1973),男,广东人,高级工程师,硕士,主要从事电力系统分析、规划设计工作;

李峰(1980),男,河南人,工程师,硕士,主要从事电力系统规划设计工作。