

±800kV直流输电 技术研究

中国南方电网公司 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

$\pm 800\text{kV}$ 直流输电

技术研究

中国南方电网公司 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

世界上首个±800kV 直流输电工程(云南至广东)已进入实施阶段。依托该工程,中国南方电网公司在±800kV 直流输电技术研究取得了重大的进展,有些成果处于国际领先,解决了工程可研与初步设计的主要问题。为及时总结成果与经验,指导下一步研究与设计等工作,特出版本书。

本书分四篇共 22 章,具体包括±800kV 直流输电工程对南方电网稳定影响研究、过电压与绝缘配合研究、外绝缘研究、线路电磁环境研究四个方面的内容。

本书可供从事直流输电工程研究、设计、建设、运行的技术和管理人员学习使用,还可供高等院校教学人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

±800kV 直流输电技术研究/中国南方电网公司编著.

—北京:中国电力出版社,2006

ISBN 7-5083-4602-5

I. ±... II. 中... III. 超高压-直流-输电-电力
工程-技术-研究 IV. TM723

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 089492 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京盛通彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 21.5 印张 700 千字

印数 0001—5000 册 定价 88.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

《±800kV 直流输电技术研究》

编写组织人员

编 委 会

主 任：袁懋振

副主任：赵建国

委 员：陈允鹏 余建国 赵 杰 饶 宏 尚 春 李立涅 张 弥
尚 涛 方森华 吴宝英 李 欢 黎小林 金小明

编 写 组

主 编：赵 杰

副主编：饶 宏 李立涅

参 编：张 弥 黎小林 金小明 吕金壮 罗 兵 王 琦

序

电力是关系国民经济和社会发展的基础产业。我国一次能源与生产力分布不均衡,决定了“西电东送”是实现资源的合理开发、优化配置、高效利用的必然选择。中国南方电网公司成立以来,认真贯彻科学发展观,积极实施国家西部大开发、西电东送战略,“十五”时期南方电网已经形成“六回交流、三回直流”9条500kV西电东送大通道,输电能力超过1200万kW。根据规划,“十一五”期末,西电送广东最大电力将达到2240~2440万kW。

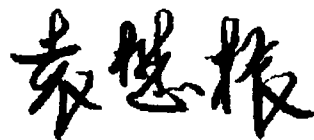
随着西电东送线路的增加,出现了输电走廊资源紧张、多回直流集中接入负荷中心带来的电网安全稳定等问题。如何安全、可靠、经济、高效地实现长距离大容量输电已成为电网发展迫切需要解决的课题。

从2003年下半年开始,中国南方电网公司从电网的实际情况出发,研究建设云南至广东±800kV直流输电工程的可行性,把研发、应用±800kV直流输电技术作为一项重点工作,组织国内外有关科研、设计、咨询和设备制造单位进行了深入的研究。研究结果表明,采用±800kV直流输电技术,有利于加大输电规模,节约大量的输电走廊资源,更加经济、更加合理;同时可以有效地解决负荷中心广东电网短路电流超标问题,提高电网的安全稳定水平。采用±800kV直流输电技术是南方电网自身的特点决定的,也是南方电网发展的需要。

目前,±800kV直流输电工程的关键技术、设备研制等主要问题已基本解决,云南至广东±800kV直流输电工程可研报告已通过审查,并由国家发展与改革委员会认定为国产化示范工程。世界上首个±800kV直流输电工程已进入实施阶段,设备国产化率将达到60%以上。中国南方电网公司将积极发挥企业作为自主创新主体的作用,进一步加大引进消化吸收再创新的力度,促进我国直流输电设备自主研发和制造水平的显著提高。

中国南方电网公司率先提出建设±800kV直流输电工程,并在关键技术研究取得了重大的进展,部分成果处于国际领先,解决了工程可研与初步设计的主要问题。这次将有关成果汇编出版,对于及时总结成果与经验、指导下一步的工作具有重要的意义,可喜可贺。希望广大技术人员继续努力,进一步做好±800kV直流输电技术的研发工作,逐步形成自己的直流输电核心技术知识产权,为我国直流输电技术自主创新做出新的贡献。

中国南方电网公司董事长

A stylized, handwritten signature in black ink, likely belonging to the Chairman of China Southern Power Grid Company mentioned in the text above.

2006年7月

目 录

序

第一篇 士800kV 直流输电工程对南方电网稳定影响研究

引言.....	1
1 潮流稳定研究	2
1.1 研究基础	2
1.2 主要研究原则及条件	2
1.3 2010 年潮流稳定计算分析	7
1.4 2011~2012 年潮流稳定计算分析	11
1.5 小结.....	24
2 小扰动分析研究.....	26
2.1 研究思路.....	26
2.2 2009 年小扰动分析研究结果	26
2.3 2010 年小扰动分析研究结果	27
2.4 小结.....	29
3 直流多落点相互影响 PSCAD 计算	30
3.1 研究思路.....	30
3.2 等值及建模.....	30
3.3 计算分析.....	30
3.4 小结.....	41
4 结论.....	43
附录 1A 南方电网地理接线图 (500kV 及以上)	44
附录 1B 南方电网潮流分布图	44
参考文献	55

第二篇 士800kV 直流输电工程过电压与绝缘配合研究

引言	57
5 研究内容与系统数据.....	58
5.1 研究内容.....	58
5.2 系统接线及基础数据.....	59
6 云广士800kV 直流换流站交流侧过电压.....	62

6.1	工频过电压	62
6.2	换流站交流侧暂时过电压与交直流谐振过电压	64
6.3	小结	68
7	云广±800kV 直流换流站直流侧过电压与绝缘配合	70
7.1	研究线路 1 及研究结果	70
7.2	研究线路 2 及研究结果	88
7.3	研究线路 3 及研究结果	100
7.4	分析与讨论	105
7.5	直流线路过电压	114
7.6	小结	114
8	云广±800kV 直流换流站雷电侵入波过电压	116
8.1	概述	116
8.2	换流站交直流场雷电冲击耐受电压允许值	117
8.3	楚雄换流站雷电过电压	118
8.4	穗东换流站雷电过电压	133
8.5	小结	142
9	结论	144
	参考文献	148

第三篇 ±800kV 直流输电工程外绝缘研究

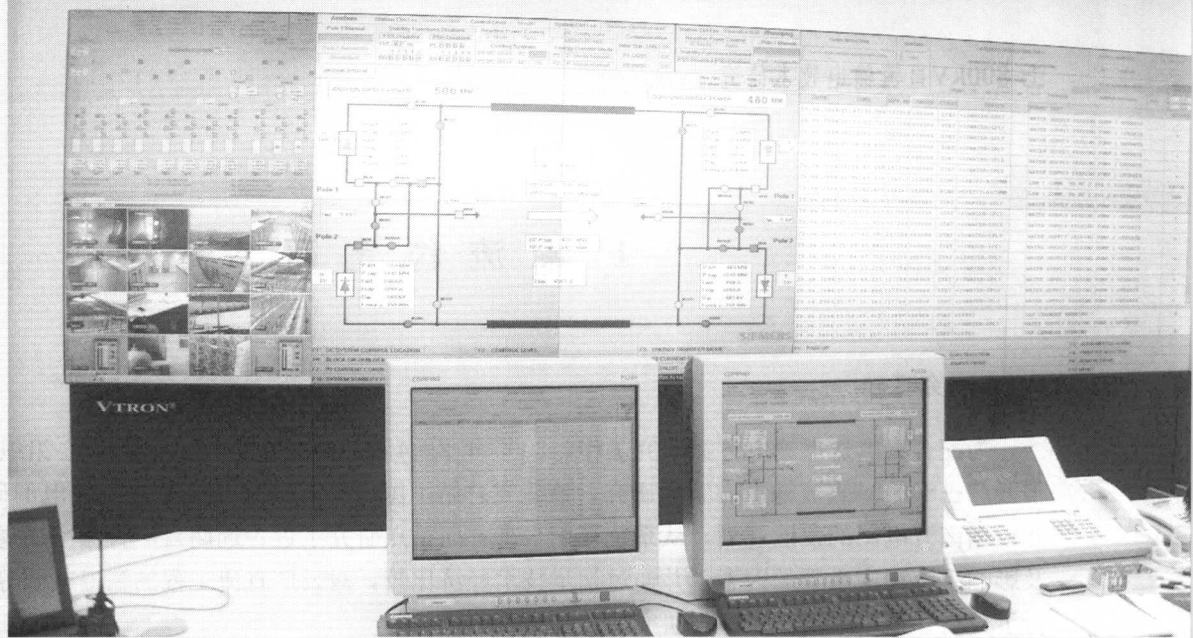
	引言	149
10	研究现状及需要解决的问题	150
10.1	±800kV 直流外绝缘研究现状	150
10.2	±800kV 直流外绝缘需要解决的问题	153
11	±800kV 直流空气间隙	154
11.1	空气间隙放电特性研究	154
11.2	换流站直流场极母线空气间隙放电特性研究	156
11.3	高海拔空气间隙冲击放电特性的校正	158
11.4	小结	160
12	±800kV 直流输电线路绝缘子选择及配置	161
12.1	平原及高海拔地区不同型式绝缘子的污闪特性	164
12.2	高海拔、污秽、覆冰地区绝缘子的闪络特性	167
12.3	线路绝缘子的选择及配置	176
12.4	小结	179
13	±800kV 直流复合绝缘子的选择及配置	181
13.1	复合绝缘子的应用概况	181
13.2	复合绝缘子老化特性研究	181
13.3	±800kV 直流复合绝缘子结构设计	188
13.4	±800kV 直流复合绝缘子的研制	190

13.5	±800kV 直流复合绝缘子的全电压全尺寸污秽试验	191
13.6	±800kV 直流复合绝缘子的配置	195
13.7	小结	197
14	±800kV 直流换流站外绝缘及配置	199
14.1	运行经验	199
14.2	国内外换流站外绝缘的研究结果	200
14.3	复合支柱绝缘子研究	203
14.4	云南禄丰直流自然积污站	204
14.5	穗东、楚雄换流站污秽预测及外绝缘配置	206
14.6	小结	208
15	±800kV 直流输电线路防雷保护及接地	209
15.1	±800kV 直流输电线路反击特性	209
15.2	±800kV 直流输电线路绕击特性	210
15.3	±800kV 直流输电线路杆塔接地	213
15.4	小结	213
16	直流输电线路污秽调研	215
16.1	云广±800kV 直流输电线路走廊污秽调研	215
16.2	天广、贵广线直流污秽运行经验调研	218
17	结论	220
附录 3A	不同绝缘子的串长反击耐雷水平	223
附录 3B	不同杆塔在不同配置下的绕击闪络率	226
参考文献		238

第四篇 ±800kV 直流输电工程线路电磁环境研究

引言	249
18 云广±800kV 直流输电线路电磁环境指标	250
18.1 直流输电线路电磁环境问题	250
18.2 云广±800kV 直流输电线路直流合成电场和离子流密度控制指标	251
18.3 云广±800kV 直流输电线路直流磁场控制指标	253
18.4 云广±800kV 直流输电线路无线电干扰控制指标	254
18.5 云广±800kV 直流输电线路可听噪声控制指标	257
18.6 小结	260
19 海拔高度对云广±800kV 直流输电线路电磁环境指标的影响	261
19.1 直流线路测点选择及概况	261
19.2 海拔高度对直流输电线路合成电场的影响	262
19.3 海拔高度对直流输电线路无线电干扰的影响	263
19.4 海拔高度对直流输电线路可听噪声的影响	265
19.5 小结	266
20 云广±800kV 直流输电线路对无线电台站的影响	267

20.1	云广±800kV 直流输电线路对无线电台站的无源影响	267
20.2	云广±800kV 直流输电线路对无线电台站的有源影响	271
20.3	小结.....	273
21	云广±800kV 直流输电线路与交流并列运行线路相互间的影响.....	275
21.1	交直流并列运行线路电磁干扰原理及计算模型.....	275
21.2	交流线路正常运行时对±800kV 直流输电线路的影响	275
21.3	交流线路发生单相接地故障时对±800kV 直流输电线路的影响	278
21.4	交流线路遭受雷击时对±800kV 直流输电线路的影响	280
21.5	拟建罗百二回交流线路对±800kV 直流输电线路的影响	281
21.6	小结.....	282
22	结论.....	283
附录 4A	导线类型与±800kV 直流输电线路电磁环境指标计算结果的关系	283
附录 4B	海拔高度对±800kV 直流输电线路电磁环境指标影响的测量结果	297
附录 4C	1.5~30MHz 频段范围内±800kV 直流输电线路对无线电台站的无源影响	307
附录 4D	30~1000MHz 频段范围内±800kV 直流输电线路对无线电台站的无源影响.....	312
附录 4E	±800kV 直流输电线路对相关无线电台站的影响的计算方法	324
附录 4F	线路电气参数和交流线路对直流线路电磁影响的计算方法	325
附录 4G	罗百二回线路不同类型和布置对±800kV 直流线路的影响	329
	参考文献.....	334
附录	工作单位与人员.....	335



第一篇 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电工程对南方电网 稳定影响研究

引 言

为满足南方电网西电东送战略需要,实现电网的可持续发展,节约输电通道资源,促进电网技术升级,提高电网技术含量,中国南方电网公司规划建设云南至广东的 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电工程。

南方电网的特点是大容量、远距离、多回交直流并联运行。为保证云广 $\pm 800\text{kV}$ 直流投产后电网的安全稳定运行,提高驾驭电网的能力,配合云广 $\pm 800\text{kV}$ 直流工程前期工作的推进,南方电网技术研究中心组织开展了云广 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电工程对南方电网稳定影响研究工作。

整个研究工作内容包潮流稳定研究、小扰动研究及直流多落点相互影响研究工作三个部分。由南方电网技术研究中心组织,南方电网技术研究中心、西南电力设计院、广东电力设计院、上海交通大学及中国电力科学研究院共同完成。

1 潮流稳定研究

1.1 研究基础

为配合云电送粤输电方案研究工作, 2005 年 2~4 月, 南方电网技术研究中心组织有关设计院开展了云广±800kV 直流输电方案的研究, 该研究总结了国内外有关±800kV 直流输电的研究及应用情况, 并根据南方电网的发展规划, 从系统稳定水平方面重点研究了近、远期云广直流不同规模对系统的影响及影响系统稳定水平的因素, 并通过初步技术经济比较, 对云广直流工程的输电电压等级、输电规模进行了分析, 提出了初步建议。研究的主要结论如下:

(1) 云南至广东直流工程是世界上第一个±800kV 直流输电工程。从国内外的设备生产及研究结果看, 技术上没有不可克服的障碍。

(2) 当交直流并联运行时, 到 2012 年, 在一定条件下, 直流规模过大时, 不能较好地发挥应有的作用。直流规模从 3000~6000MW 时, 直流利用效率逐步减低。

(3) 交流通道越强, 或广东受端电网电源支持越强, 则直流发挥的作用越好。

(4) 当直流规模在 5000MW 左右时, 到 2015 年左右可以获得较好的利用。

(5) 交直流并联运行时, 直流暂态过负荷能力对系统稳定水平有一定影响, 云广直流的暂态过负荷能力宜保持在 1.4 倍左右。

(6) 综合技术经济比较结果, 从系统近、远期的发展适应性, 促进科技进步和可持续发展, 系统的安全稳定运行水平, 国内外设备的生产能力和工程进度要求, 建议云广直流工程输电规模在 5000MW 左右, 输电电压采用±800kV。

(7) 南方电网稳定失稳情况很多是贺州和桂林电压失稳, 建议在这些变电站的无功功率补偿容量和形式的设计时, 一方面应考虑留有足够的容量, 另一方面要考虑有安装动态无功功率补偿的可能, 对高抗的配置方式也应进行研究。

(8) 昆明是云南电网的负荷中心, 地区内缺乏电源支持, 直流起点布置在昆西北地区后, 相当于又增加了一个巨大的负荷, 应高度重视今后昆明地区的电压支持问题, 在无功功率补偿的容量和型式选择上留有充分的裕度。

2005 年 4 月中旬, 中国电力工程顾问集团公司在广州组织召开了云电送粤输电方案审查会议, 会议审查确定“十一五”云电送粤直流输电工程输电规模按 5000MW, 输电电压等级采用±800kV。本阶段的研究是在评审意见的基础上, 根据电网变化情况, 研究云广±800kV 直流输电投产后对南方电网安全稳定运行的影响, 重点研究南方电网在各种运行方式下的稳定水平及影响因素, 主要包括电网负荷水平、送受端电网开机方式、电网接线、故障方式等, 发现电网可能存在的问题, 提出建议措施, 为今后电网的规划及±800kV 直流系统的运行提供参考。

1.2 主要研究原则及条件

1.2.1 云广±800kV 直流工程概况

云广直流工程的建设一方面是为了满足“十一五”期间云南向广东送电的需要, 也是为了兼顾“十二五”初小湾、金安桥等电站向广东送电的需要。工程送端换流站起点在昆明西北方向的楚雄州禄丰县

境内，即楚雄换流站，受端落点在广东增城东部，即穗东换流站。

云广直流工程输电规模为 5000MW，电压等级为±800kV，采用双 12 脉动阀组串联接线方式，输电线路长度约 1438km，导线截面为 $6 \times 630\text{mm}^2$ ，计划投产时间为 2009 年 6 月建成±400kV 或单极，2010 年建成±800kV。送端楚雄换流站通过 2 回 500kV 交流线路与云南主网的昆西北 500kV 变电站相连，西部的小湾水电站（装机容量 4200MW，计划 2009 年 9 月首台机组投产，2011 年全部建成）和西北部的小湾水电站（总装机 2400MW，计划 2009 年 9 月首台机组投产，2011 年全部建成）分别通过 3 回和 2 回 500kV 线路向楚雄换流站送电。楚雄换流站接入系统见图 1-1。

受端穗东换流站位于广东省增城东部，500kV 交流出线 6 回，分别以 2 回 500kV 线路接入增城、横沥和水乡站。穗东换流站接入系统见图 1-2。

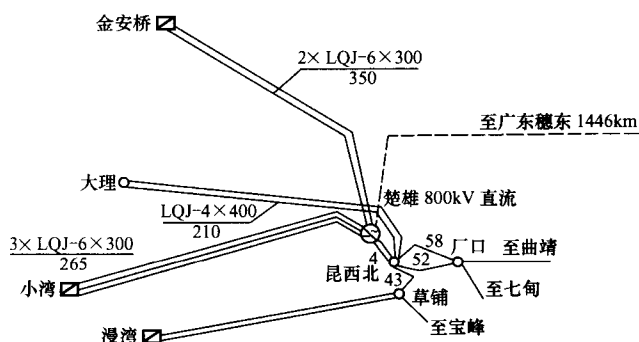


图 1-1 楚雄换流站接入系统

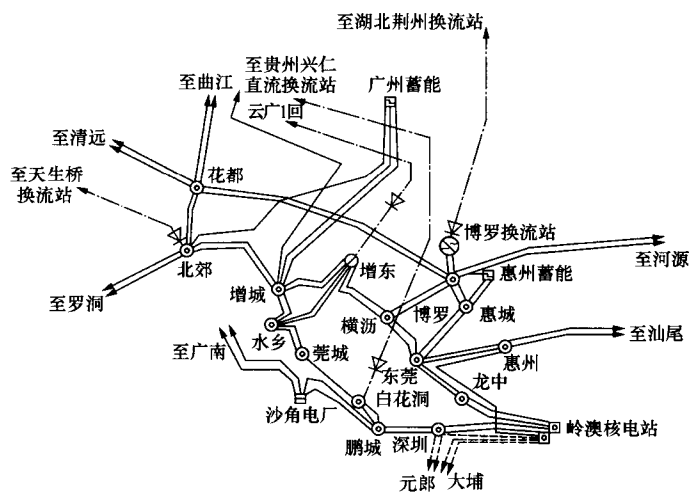


图 1-2 穗东换流站接入系统

1.2.2 主要研究原则及条件

1.2.2.1 系统负荷水平

本研究报告采用的负荷水平基本方案是南方电网“十一五”系统设计所采用的中方案水平，结果如表 1-1 所示。与第一阶段研究采用的南方电网调整的负荷水平相比，各省 2005 年基数水平有所降低，但到 2010 年及以后，云南、广西、广东、海南均有不同程度提高，2010 年分别增加了 1470、1240、7010MW 及 700MW，而贵州则基本没有改变。在计算过程中，对负荷水平的影响进行了敏感性分析。

1.2.2.2 电源建设规划

根据国家核准及优选项目情况，结合电网负荷水平调整结果，各省区在原“十一五”规划的基础上对电源建设项目进行了补充和调整，调整结果如表 1-2 所示。

与第一阶段研究时的电源安排相比，云南主要是大量提前了小湾和金安桥电站的建设进度，同时还有一些中小型水电。火电总规模和项目也有所调整。对于贵州电网来说，主要是提前了一些水电项目，如构

皮滩、思林、光照、董青、马马崖等水电站，同时也推迟了一些火电，如兴义等的投产时间。广西电网主要调整了火电电源的安排，如提前了防城电厂一期、来宾 A 厂扩建的投产时间，推迟了永福电厂等，对水电的投产时间和规模也有少量调整。广东电网主要是提前了平海、海门、台山等火电的建设时间。

到 2010 年，南方电网总电源装机容量约 162GW，其中水电约 53GW，火电 91GW，气电 8.6GW，核电 4.8GW，抽水蓄能 4.2GW。各省实际的电源建设安排还有调整，如云南的水电建设进度还要积极一些。

表 1-1 2005~2015 年南方五省（区）全社会负荷预测结果表

项目	2005 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2015 年	增长率	
								“十一五”	“十二五”
全社会用电量（亿 kWh）									
南方	4344	5678	6208	6788	7182	7598	8999	9.3%	5.8%
广东	2709	3509	3825	4170	4399	4641	5450	9.0%	5.5%
广西	520	683	749	820	871	925	1108	9.5%	6.2%
云南	520	698	770	850	905	964	1165	10.3%	6.5%
贵州	510	668	731	800	849	901	1076	9.4%	6.1%
海南	85	122	135	148	160	173	217	11.7%	8.0%
最大负荷（MW）									
南方	69970	93790	103410	114030	119846	125958	146230	10.3%	5.1%
广东	45000	60410	66640	73510	76965	80582	92490	10.3%	4.7%
广西	9100	11920	13040	14260	15073	15932	18810	9.4%	5.7%
云南	8970	12130	13410	14830	15705	16632	19750	10.6%	5.9%
贵州	8240	11000	12110	13330	14063	14837	17420	10.1%	5.5%
海南	1570	2350	2600	2850	3058	3281	4050	12.7%	7.3%

表 1-2 南方电网电源建设方案 MW

项 目 名 称	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	备 注
南方电网装机规模	90986	106651	120512	129894	146561	162396	
其中： 水电	28417	30647	34026	38241	47188	53376	
煤电	55309	67764	74726	78533	84773	91470	
气电	1080	2060	5580	6640	7520	8570	
核电	3780	3780	3780	3780	3780	4780	
抽水蓄能	2400	2400	2400	2700	3300	4200	
其中： 广东装机规模	48075	53914	58803	60894	65793	72990	
广西装机规模	13308	14141	17131	19777	22736	24024	
云南装机规模	12482	17214	20465	22715	26965	31165	
贵州装机规模	14951	18913	21343	23738	27947	30747	
海南装机规模	2170	2470	2770	2770	3120	3470	

1.2.2.3 电网建设规划

南方电网内各省的 500kV 网架已基本形成，因此“十一五”各省内 500kV 电网的建设主要是加强、完善和延伸。

广东电网的发展主要围绕从内、外双回路环网的完善和延伸及规划变电站接入、电源送出工程等进

行。到2010年,粤中负荷中心形成“江门—西江—罗洞—北郊—增城—增东—横沥—东莞—龙中—岭澳—深圳—鹏城—沙角—广南—南沙—顺德—江门”双回路环网,并在外围建成“蝶岭—高明—砚都—花都—博罗—惠城”双回路输电通道。

广西电网500kV主网架随着西电东送通道的建设而逐步形成,通过加强南北联系,以适应电源接入系统及满足供电的需要。“十一五”期间主要是为满足龙滩、钦州、防城、合山、贵港等电厂送出的需要,建设相应的送变电工程。

贵州电网已建成连接全网负荷中心的500kV环网,“十一五”期间500kV电网的建设主要是满足包括构皮滩、思林、光照、盘南、发耳、大方等大型水、火电源接入系统需要,同时,配合外送需要,建设兴仁换流站、施秉经黎平、桂林至广东的交流通道等交、直流输变电工程。

云南500kV电网在“十一五”期间随着一大批水、火电源的建成投产,在现有的单回“日”字型环网基础上将得到较大的扩展和加强。配合李仙江梯级及景洪电站的投产,建成从景洪至墨江经玉溪及红河至昆明地区的滇西南电源送出通道。配合牛栏江梯级及宣威扩建工程,向滇东北延伸。配合小湾、金安桥电站的投产,进一步延伸至滇西及滇西北地区。同时,配合云电送粤的需要,建设相应的交、直流输变电工程。

海南电网将于2007年左右实现与南方主网的500kV联网,有效地解决海南电网小网大机及安全水平低的问题。

1.2.2.4 西电东送容量安排及网架建设

(1)“十一五”西电东送容量安排及网架建设。根据广东与云南、贵州签订的送电框架协议,结合南方电网各省区负荷发展、电源建设的实际情况及今后的发展趋势,“十一五”南方电网西电东送逐年送电容量安排如表1-3所示。“十一五”期间共增加向广东送电13500MW,西电东送主网架也相应的加强,具体如下:

1) 云南新增6200MW(含小湾分电),规划建设罗百2回+滇南1回500kV交流线路,以及云南至广东±800kV直流,规模5000MW,形成“4交1直”的外送通道,满足云电送出的需要。

2) 龙滩新增送广东容量2100MW,目前已提前建成柳贺罗双回线路通道,可以满足其送电要求。

3) 贵州新增4000MW,结合“十二五”构皮滩向广东送电,规划建设贵州兴仁至广东百花洞的±500kV第2回直流,送电3000MW,以及贵州施秉经广西至广东清远的交流通道以满足贵州电力送出的需要。

表 1-3

“十一五”南方电网西电送广东容量规划

MW

	年 度	2000 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	十一五新增	备 注
	西电送广东合计	1420	10880	12080	15280	17980~19280	21380	22380~24380	13500	
1	天生桥	1420	1680	1680	1680	1680	1680	1680	0	
2	云 电		1600	2800	3300	3300~4600	4800	5800~7800	6200	2010 年 7800MW 含小湾外送
3	贵 电		4000	4000	5500	7000	8000	8000	4000	
4	鲤鱼江		600	600	1200	1800	1800	1800	1200	
5	三 峡		3000	3000	3000	3000	3000	3000	0	
6	龙 滩				600	1200	2100	2100	2100	

(2)“十二五”西电东送容量与网络规划。“十一五”期以后,南方电网还将根据广东电力市场的需要继续加大西电东送容量,采用直流、交流或特高压交流输电方案,具体将结合送电容量、送电距离、

系统条件、技术可行性等诸多方面的因素来确定。

2003年《南方电力工业“十一五”发展及2020年远景目标规划》规划云电2012、2015年送广东容量分别为7800、10800MW，贵电2012年为11000MW，2015年同2012年。龙滩扩机增加到5400MW，送广东容量增加到2700MW，增加600MW。

根据目前云南电源开发、水能资源情况，本次研究2012年云电仍按原规划，即7800MW，2015年云电送粤规模则拟增加到12800MW，即“十二五”期拟增加糯扎渡—广东的1回5000MW容量、±800kV直流工程。考虑到构皮滩建设进度加快，2011年贵州送广东容量可达到11000MW，比原规划提前1年。

南方电网2004、2010年及2012年电网接线示意图见附图1-1~附图1-3。

1.2.2.5 电网计算负荷及备用

电网2010及2011年丰大方式计算负荷、开机及备用情况如表1-4所示。

表 1-4 电网计算负荷及备用分配表 MW

序号		广东	广西	云南	贵州	海南	备 注
2010年丰大方式							
1	电网预测负荷	73510	14260	13201	10787	2620	
2	电网计算负荷	63555	11740	10760	12570	2360	贵州含外送周边负荷
3	潮流稳定计算负荷	61120	11350	10450	11160	2272	贵州含外送周边负荷
4	电网开机	47654	17260	20130	22320	2600	
	水电	799	12410	14260	9590	180	
	火电	40375	4850	5400	12730	2420	
	核电	3780					
	抽蓄	2700					
5	电网备用（旋转备用）	4428	1510	770	1190	168	
	水电	81	760	290	560	10	
	火电	4086	750	480	630	158	
	核电	0					
	抽蓄	261					
6	电网出力	43226	15750	18890	21130	2432	
	水电	718	11650	13970	9030	170	
	火电	36289	4100	4920	12100	2262	
	核电	3780					
	抽蓄	2439					
2011年丰大方式							
1	电网预测负荷	78290	15258	14104	11542	2800	
2	电网计算负荷	68440	12740	11750	13380	2540	
3	潮流稳定计算负荷	65940	12300	11520	12370	2430	
4	电网开机	49244	18460	21690	26220	2800	
	水电	799	12410	18390	12840	180	
	火电	40375	6050	3300	13380	2620	
	核电	4770					
	抽蓄	3300					
5	电网备用（旋转备用）	4486	1630	1750	1100	184	
	水电	81	760	880	430	10	
	火电	4086	870	870	670	174	
	核电	0					
	抽蓄	319					
6	电网出力	44758	16830	19560	25120	2616	
	水电	718	11650	17130	12410	170	
	火电	36289	5180	2430	12710	2446	
	核电	4770					
	抽蓄	2981					

1.3 2010 年潮流稳定计算分析

1.3.1 2010 年潮流计算结果及分析

1.3.1.1 丰大方式潮流计算结果及分析

2010 年南方 500kV 电网丰大方式潮流分布见附图 1-4, 主要 500kV 交流线路正常及 $(n-1)$ 开断后的潮流变化结果见表 1-5。直流单极停运后的潮流变化见表 1-6。

表 1-5 2010 年主要 500kV 线路正常及 $(n-1)$ 潮流情况 (丰大方式)

序 号	线 路 名 称	正常潮流 (MW)	$(n-1)$ 潮流 (MW)
1	罗平—百色	2×600	
2	红河—百色	750	
3	玉林—茂名	2×830	
4	茂名—阳江	2×930	1453
5	兴义—天二	92	
6	施秉—黎平	2×870	1558
7	黎平—桂林	2×710	
8	桂林—清远	2×857	
9	河池—柳东	2×780	
10	柳东—贺州	2×950	1403
11	贺州—罗洞	2×770	
12	天生桥—平果	2×630	
13	来宾—梧州	2×890	
14	梧州—罗洞	2×810	

表 1-6 2010 年直流单极闭锁后主要 500kV 线路潮流结果

序 号	线 路 名 称	云广单极闭锁 (MW)	贵广 I 单极闭锁 (MW)	贵广 II 单极闭锁 (MW)
1	罗平—天生桥	1273	182	149
2	罗平—百色	2×1024	2×650	2×663
3	红河—百色	1375	734	739
4	平果二—南宁	2×1128	2×766	2×800
5	南宁—玉林	2×853	2×697	2×713
6	玉林—茂名	2×1151	2×1019	2×1025
7	茂名—阳江	2×1215	2×1100	2×1105
8	兴义—天二	-600	573	805
9	独山—河池	2×577	2×677	2×631
10	施秉—黎平	2×1035	2×1098	2×1026
11	黎平—桂林	2×856	2×914	2×846
12	桂林—清远	2×1149	2×1058	2×1046
13	河池—柳东	2×953	2×967	2×951
14	柳东—贺州	2×1156	2×1103	2×1082
15	贺州—罗洞	2×977	2×904	2×901
16	天生桥—平果	2×962	2×768	2×845
17	平果—来宾	2×929	2×771	2×803
18	来宾—梧州	2×1129	2×1020	2×1025
19	梧州—罗洞	2×1061	2×948	2×954

从 2010 年各主要断面输送潮流看, 云南送出总共 7800MW, 其中直流送出 5000MW, 交流通道送出 2800MW, 交流通道每回线路 (不包括鲁天 2 回 220kV 线路) 平均输送潮流 550MW; 贵电送出

8300MW, 其中送广东 8000MW, 送广西容量 300MW, 直流通道送出 6000MW, 交流网络送出容量仅 2300MW, 送出断面交流 5 回线路, 平均 460MW, 送出潮流较轻。两广断面交流 8 回 500kV 线路, 平均输送潮流 850MW 左右。

送电通道上潮流较重的线路主要有茂名—阳江、施秉—黎平、柳东—贺州及来宾—梧州, 这些线路上的输送功率接近或超过 900MW。因此从输送潮流看, 总体上 2010 年西电东送主干网架潮流不重, 送电能力还有一定裕度。

主干网络上发生任意一回线路开断, 不会造成其他线路的过载。其中 $(n-1)$ 开断后, 潮流较重的线路主要有柳东—贺州 (一回线开断后另一回线路潮流达到 1403MW)、茂名—阳江 (1453MW)、施秉—黎平 (1558MW) 等。

电网最严重的 $(n-1)$ 故障是云广直流的单极停运。云广直流单极停运后, 若不考虑利用其他直流的过负荷能力多带功率, 将会使主网中多回线路潮流超过 1000MW, 其中最重的线路为红河—百色的线路, 单回线路送电功率达到 1375MW, 其次是罗平—天生桥及茂名—阳江线路, 潮流超过 1200MW。

贵广 I 单极停运潮流主要加重在施秉通道和柳贺罗通道, 贵广 II 主要加重柳贺罗通道北通道和天广 1、2 回中通道, 云广直流则主要是天广 1、2 回中通道和天广 3、4 回南通道; 云广直流单极停运贺州、桂林 3 组电压电容需全部投入、玉林增加投入 1 组低压电容电压可维持在 510~515kV 的水平。

由于 2010 年南方电网西电东送主干网架具备一定送电裕度, 在直流单极停运的方式下, 电网虽然部分线路潮流重载, 但系统电压及无功功率平衡不会存在大的问题, 通过送受端电网投入部分低压电容可以满足电网运行对电压、无功功率的要求。

1.3.1.2 其他方式潮流计算结果及分析

按照有关送电协议及电网实际情况, 在其他方式下, 西电东送总容量都将小于丰大方式, 因此, 总体上西电东送通道上的潮流要小于丰大方式。特别是在小方式下, 主干网络潮流均比较轻。从电源特性来说, 云南由于水电比重大, 而水电出力特性不佳, 丰枯出力相差比较大, 特别是在 2010 年小湾机组还未投完, 水库还不能发挥调节作用的情况下, 更是严重。因此在系统运行条件许可的情况下, 云南丰小方式下应尽量多送广东, 以节约能源。枯大方式下, 从省内负荷看, 云南、贵州和广西 (统调) 达到或接近最高负荷水平, 广东负荷则有较大下降, 因此, 从省内网架上的潮流分布看, 云南由于“东火西水”, 枯期潮流分布比丰水期好。贵州电网主要是火电, 枯期火电大发, 省内 500kV 网架上的潮流比丰水期重。广西 500kV 电网上的潮流主要受西电东送潮流的影响, 广东网内潮流主要受省内负荷水平和西电东送的影响, 总体上潮流比丰水期轻。对于通道来说, 云南送出约 5500MW, 贵州送出和丰水期基本接近, 但龙滩送广东容量下降, 同时由于枯水期水电出力均有所下降, 因此整个电网主干输电通道潮流一般均小于 900MW。

潮流分布图见附图 1-5~附图 1-7。

1.3.2 2010 年稳定计算结果及分析

1.3.2.1 $(n-1)$ 故障稳定计算结果及分析

2010 年丰大方式下云南送出 7800MW, 贵州送出 8300MW (广西 300MW), 天生桥送广东 1680MW, 龙滩送广东 2100MW。如前所述, 2010 年时, 由于云广±800kV 工程的投产, 交流通道上的潮流不是很重, 输电能力有一定富裕, 电网 $(n-1)$ 故障系统都能保持稳定, 不会影响送电。相对较为严重的故障是昆西北—楚雄换流站线路三相短路及云广直流单极闭锁。

1.3.2.2 严重故障稳定计算结果及分析

(1) 正常接线方式下的严重故障校核计算。2010 年时, 南方电网承受 $(n-2)$ 严重故障的能力是比较强的, 除云广±800kV 直流双极闭锁需要切除小湾和金安桥电站共计 3400MW 容量外, 其他直流