

南方电网交直流输电断面暂态安全传输极限分析

孙士云,常 勇,杨 毅

(昆明理工大学 电力工程学院,云南 昆明 650051)

摘要: 分析了南方电网 2005 年和 2006 年丰大运行方式下制约东送断面以及送端云南系统的外送输电断面的传输极限的因素,以 FASTEST 为仿真工具,通过设置负荷、发电机变化模式,分别计算了在静态负荷模型和动态负荷模型下系统的暂态安全传输极限、负荷极限以及临界安全稳定裕度等.由程序自动搜索断面或线路极限传输能力,帮助调度部门的工作人员在此项工作中节省大量的时间,是对工作的一次解放.并对提高断面输电能力的措施进行了仿真计算.

关键词: 南方电网; 输电断面; 暂态安全; 传输极限

中图分类号: TM721.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2008)04 - 0063 - 06

Analysis on Transient Transmission Limit of AC/DC Transmission Cross - Section of South Power Grid of China

SUN Shiyun, CHANG Yong, YANG Yi

(Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: Factors affecting transmission limit of west to east and Yunnan power grid cross section of south power grid of China in the year of 2005 and 2006 are analyzed by using the simulation tool FASTEST. Transient stability transmission limit, load limit and critical transient stability margin are calculated under static and dynamic load models. Measures to increase transmission limit of cross section are also simulated and analyzed.

Key words: south power grid of China; transmission section; transient security; transmission limit

0 引言

随着南方电网送端系统大量电厂的陆续投产,以及广东、广西电网负荷需求的不断增长,西电东送的容量将持续增加.为确保南方电网的安全稳定运行,对西电东送输电断面的暂态安全传输极限^[1-3]进行深入研究,分析制约送电能力的因素,提出提高送电能力的措施^[4-8],提高通道送电效益是十分必要的.

调度部门在计算断面传输极限时通常使用 BPA 程序, BPA 给出仿真曲线后,要人工给出定性的判断,而且在计算过程中工作人员要花费大量的时间对潮流文件进行修改以找到线路的稳定极限,而 FASTEST 软件通过设置负荷、发电机变化模式,可以由程序自动搜索断面或线路极限传输能力,帮助调度部门的工作人员在此项工作中节省大量的时间,是对繁复工作的一次解放.

本文以 FASTEST 为仿真工具,分析了南方电网 2005 年和 2006 年丰大运行方式下制约东送断面以及送端云南系统的外送输电断面的传输极限的因素,分别计算了在静态负荷模型和动态负荷模型下系统的暂态安全传输极限、负荷极限以及临界安全稳定裕度等.并对提高断面输电能力的措施进行了仿真计算.

收稿日期: 2008 - 01 - 10 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (项目编号: 90610024, 50347026, 50467002); 云南省科技攻关项目 (项目编号: 2003GG10); 云南省自然科学基金项目 (项目编号: 2005F0005Z, 2002E0025M, 2004E0020M); 昆明理工大学校基金 (项目编号: 校青 2007 - 028).

第一作者简介: 孙士云 (1981 -), 女, 助教. 主要研究方向: 交直流系统动态行为分析.

E - mail: sunshiyun81@yahoo.com.cn

1 2005年南方电网断面传输极限研究

2005年南方电网接线图如图 1 所示,东送断面包括天生桥—百色线、天生桥—平果双回线和惠水—河池双回线;云南出口断面包括罗平—天生桥线和鲁布革—天生桥线.限制东送输电断面传输能力的约束故障是安顺—天生桥 500 kV 线路安顺侧三相永久短路;限制送端云南电网外送断面传输极限的故障是曲靖—罗平 500 kV 线路罗平侧三相永久短路.断面的潮流初值及传输极限如表 1、表 2 所示.

调整方式 即广东 YZ区减负荷,贵州 2、4、5 分区发电机减出力下,2005年南方电网东送输电断面极限为 4 107.01MW;云南电网滇东、昆明地区减负荷,广西电网加负荷云南出口断面在考虑鲁布革电厂的 598MW 的外送后,为 1 699.42MW.

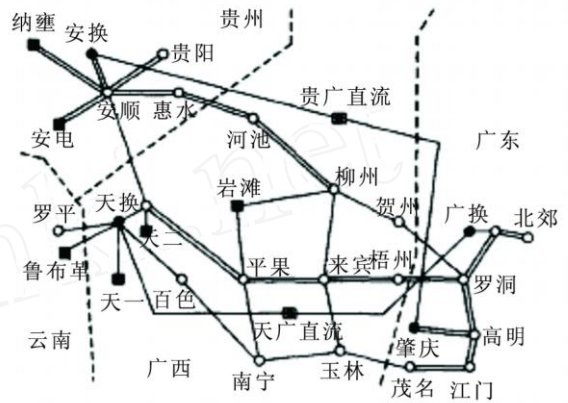


图1 2005年南方电网结构图
Fig.1 Diagram of Southern China Power Grid in 2005

表 1 东送断面传输极限 (单位:MW)

Tab 1 West - east cross - section transmission limit (unit MW)

约束故障	调整方式	负荷极限	断面潮流极限	负荷初值	断面潮流初值	临界安全裕度
安	1	22 912.59	4 107.01	22 927.28	4 218.88	24.89
天	2	29 500.34	4 074.59	29 514.81	4 218.88	31.04
安	3	29 451.69	4 076.92	29 514.81	4 218.88	2.43
侧	4	29 482.37	4 075.67	29 514.81	4 218.88	17.79

注: 广东 YZ区减负荷,贵州 2、4、5分区发电机减出力; 贵州电网机组减出力,广东电网减负荷; 云南电网机组减出力,广东电网减负荷; 云南、贵州电网机组减出力,广东电网减负荷.

表 2 云南出口断面 (单位:MW)

Tab 2 Yunnan cross - section transmission limit (unit MW)

约束故障	调整方式	负荷极限	断面潮流极限	负荷初值	断面潮流初值	临界安全裕度
曲罗	1	1879.42	1219.74	1761.11	1101.42	0.56
罗侧	2	1879.42	1219.74	1761.11	1101.42	0.56

注:调整方式为 云南电网滇东、昆明地区减负荷,广西电网加负荷; .云南电网滇东、昆明地区机组增加出力,广西电网加负荷.

2 2006年南方电网断面暂态安全传输极限研究

2006年南方电网接线图如图 2 所示,较 2005年丰大运行方式下断面上的主要变化为盘南电厂 接入安顺—天生桥 500 kV 线路,加设罗平—百色 500 kV 线路,以及百色—南宁—玉林—茂名 500 kV 输电通道由单回线改为双回线,电网的网架结构得到了加强,系统的暂态稳定性得到了提高.东送断面包括百南双回线、天平双回线和惠河双回线.云南出口断面包括罗平—百色线、罗平—天生桥线和鲁布革—天生桥线.

首先对输电断面传输极限的约束故障进行了分析,

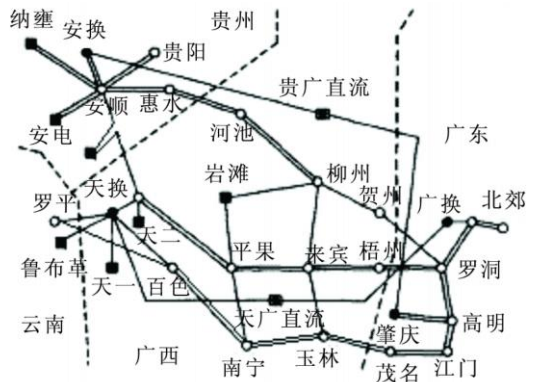


图2 2006年南方电网结构图
Fig.2 Diagram of Southern China Power Grid in 2006

输电断面上发生三相永久短路时,系统的暂态稳定裕度如表 3 所示. 2006 年盘南电厂 接入安顺—天生桥 500 kV 线路后,系统的暂态稳定性得到了较大程度的提高. 安顺—兴仁线路安顺侧故障时系统的暂态功角稳定裕度为 90.18%,稳定裕度为 90.18% (较 2005 年安顺—天生桥线路安顺侧故障时的功角稳定裕度 70.30% 提高了 28.27%).

2.1 提高断面传输极限的措施的仿真

根据计算线路输送功率的理论公式 $P = U_1 U_2 / X_L \sin(\theta)$ (U_1, U_2 分别为线路始端和末端的电压, X_L 为线路电抗, θ 为线路始端和末端之间的相角), 在 U_1, U_2 、一定的前提下,减少 X_L 可提高线路的输送极限. 通过在 500 kV 交流线路上串补电容补偿 X_L , 缩小线路的等效电抗即可提高线路的输送极限.

在 BPA 中对线路串补仿真实现时,通常是在潮流及稳定文件中将容抗值加入线路的数据卡或根据母线电压投切电容器,

而未考虑实际中电容器的投入是受 MOV 能量值、增长速度和线路电流值等参数限制的,一旦超过其最大值,立即将串补旁路,过一段时间满足投入条件时再重投,起到对电容器的保护作用. 本文在仿真中对这一点进行了如下改进,设置了 MOV 能量限制门槛值,当超过该值时,立即将串补旁路;经过设定的重投延时时间,进行重投条件是否满足判断,满足时,将电容器重新投入.

本节考查了在罗平—百色,天生桥(马窝)—百色 500 kV 线路上装设串补对断面传输极限的影响. 所采用的串补参数如表 4 所示.

表 4 串补参数

Tab 4 Parameter of series compensating capacitance

补偿地点	固定串补容抗值 /pu	线路额定电流 /A	过电压保护水平倍数	MOV 能量限值 /MJ	串补重投的延时时间 /cycle
罗百	0.0111	2700	2.3	21.2	10
马百	0.0114	2400	2.3	21.2	10

本节对串补措施仿真实现方法改进前后的断面传输极限均进行了仿真计算,仿真结果如表 5 所示.

由表 5 可以看出,罗百及马百线未投串补时,东送断面的传输极限为 4870.43 MW,云南出口断面的传输极限为 1704.12 MW. 对罗百、马百投入串补后,串补措施仿真方法改进前的仿真结果为东送断面的传输极限为 5527.86 MW,云南出口断面的传输极限为 2287.64 MW. 东送断面的传输极限增加了 657.43 MW,增加了 13.50%,云南出口断面的传输极限增加了 583.52 MW,增加了 34.24%. 对串补仿真方法改进后的仿真结果为东送断面的传输极限为 5359.27 MW,云南出口断面的传输极限为 2135.51 MW. 东送断面的传输极限增加了 488.84 MW,增加了 10.03%,云南出口断面的传输极限增加了 431.39 MW,增加了 25.31%. 未考虑补偿电容的实际投切情况时计算出的断面暂态传输极限值偏大.

表 5 不同串补方案下的断面传输极限 (单位: MW)

Tab 5 Cross-section transmission limit under different compensating schemes (unit: MW)

断面	方案 1	方案 2	方案 3
东送	4870.43	5527.86	5359.27
云南出口	1704.12	2287.64	2135.51

注: 罗百、马百未投串补; 罗百、马百串补仿真方法改进前; 罗百、马百串补仿真方法改进后

2.2 静态负荷模型下的断面传输极限

本节对系统在静态负荷模型下,系统的断面暂态传输极限进行了仿真,马百、罗百线均投入了串联电容补偿.断面暂态传输极限如表 6、表 7 所示.调整方式^[1],即云南电网滇东、昆明地区机组减出力,广东电网广州地区减负荷下,东送输电断面极限为 5 359.27MW,考虑鲁布革电厂的外送 598MW 后,云南出口断面极限为 2 733.51MW.

表 6 东送断面暂态安全传输极限(单位:MW)

Tab 6 West-east cross-section transmission limit(unit MW)

约束故障	调整方式	负荷极限	断面潮流极限	负荷初值	断面潮流初值	临界安全裕度
罗马罗侧	1	6 969.74	5 359.27	7 199.85	5 598.37	8.99
	2	39 143.32	5 309.05	39 368.32	5 598.37	17.68

注:调整方式^[1] 云南电网滇东、昆明地区机组减出力,广东电网广州地区减负荷; 云南电网机组减出力,广东电网减负荷.

表 7 云南出口断面暂态安全传输极限(单位:MW)

Tab 7 Yunnan cross-section transmission limit(unit MW)

约束故障	调整方式	负荷极限	断面潮流极限	负荷初值	断面潮流初值	临界安全裕度
罗马罗侧	1	6 969.74	2 135.51	7 199.85	2 351.43	8.99
	2	39 143.32	2 071.23	39 368.32	2 351.43	17.68

注: 云南电网滇东、昆明地区机组减出力,广东电网广州地区减负荷; 云南电网机组减出力,广东电网减负荷.

表 6、表 7 对比表 1、表 2 可以看出,云南电网出口在加设了罗平—百色 500 kV 线路,以及百色—南宁—玉林—茂名 500 kV 输电通道由单回线改为双回线后,系统的断面暂态安全传输极限得到了较大幅度的提高.

2.3 动态负荷模型下的断面传输极限

本节对系统在动态负荷模型下系统的暂态传输极限进行了仿真研究,电网动态负荷模型分别采用了“IEEE-6 感应电动机模型”和南方电网典型电动机模型的参数.广东、香港电网感应电动机模型比例为 40%,云南、贵州和广西等电网感应电动机模型比例取 30%.

系统在 IEEE-6 动态负荷模型下,限制系统的断面传输极限的约束故障仍为罗平—天生桥侧罗平侧故障,马百、罗百线投入了串联电容补偿后,断面上发生故障时系统的暂态稳定裕度如表 8 所示,系统的断面暂态传输极限如表 9、表 10 所示.

系统在典型电动机模型参数下,马百、罗百线投入了串联电容补偿后,断面上发生故障时系统的暂态稳定裕度如表 11 所示,系统的断面暂态传输极限如表 12、表 13 所示.

对比表 6~表 13 可以发现,采用调整方式^[1],即云南电网滇东、昆明地区机组减出力,广东电网广州地区减负荷的调整方式下,系统在静态负荷模型下东送输电断面极限均为 5 359.27MW,考虑鲁布革电厂的外送 598MW 后,云南出口断面极限均为 2 733.51MW;在 IEEE-6 动态负荷

表 8 断面扰动系统暂态稳定裕度表

Tab 8 Transient stability margin of faults on cross-section

算例描述	功角稳定裕度	电压安全裕度	频率安全裕度
1 清河 青侧	49.08	34.65	40.57
2 青河河侧	56.88	0.14	75.13
3 天平天侧	67.97	49.49	66.74
4 天平平侧	87.31	14.05	71.73
5 罗马罗侧	-48.38	-99.99	-99.99
6 罗百	23.31	42.36	61.62
7 百南南侧	74.37	48.12	73.15
8 马罗马侧	34.31	3.15	27.17
9 安兴线安侧	93.06	15.52	52.44

模型参数下,东送输电断面极限为 5 363.40MW,考虑鲁布革电厂的外送 598MW 后,云南出口断面极限均为 2 737.23MW;在南方电网典型动态负荷模型参数下,东送输电断面极限均为 5 349.72MW,考虑鲁布革电厂的外送 598MW 后,云南出口断面极限为 2 724.91MW.在调整方式^[1]下分别采用以上三种不同的负荷模型时,采用 IEEE-6 动态负荷模型,东送输电断面和云南外送输电断面的传输极限最大,而采用南

方电网典型动态负荷模型参数断面传输极限最小.

而当采用调整方式 ,即云南电网机组减出力,广东电网减负荷时,系统分别采用静态负荷模型、IEEE - 6 动态负荷模型参数和南方电网典型动态负荷模型参数时,东送输电断面和云南外送输电断面的传输极限未发生改变.

表 9 东送断面暂态安全传输极限 (单位:MW)

Tab 9 West - east cross - section transmission limit (unit MW)

约束故障	调整方式	负荷极限	断面潮流极限	负荷初值	断面潮流初值	临界安全裕度
罗马罗侧	1	6 974. 01	5 363. 40	7 199. 85	5 598. 37	5. 68
	2	39 143. 32	5 309. 05	39 368. 32	5 598. 37	17. 68

注:调整方式 云南电网滇东、昆明地区机组减出力,广东电网广州地区减负荷; 云南电网机组减出力,广东电网减负荷.

表 10 云南出口断面暂态安全传输极限 (单位:MW)

Tab 10 Yunnan cross - section transmission limit (unit MW)

约束故障	调整方式	负荷极限	断面潮流极限	负荷初值	断面潮流初值	临界安全裕度
罗马罗侧	1	6 974. 01	2 139. 23	7 199. 85	2 351. 43	8. 99
	2	39 143. 32	2 071. 23	39 368. 32	2 351. 43	17. 68

注:调整方式 云南电网滇东、昆明地区机组减出力,广东电网广州地区减负荷; 云南电网机组减出力,广东电网减负荷.

表 11 断面扰动系统暂态稳定裕度表

Tab 11 Transient stability margin of faults on cross - section

算例描述	功角稳定裕度	电压安全裕度	频率安全裕度
1 清河 青侧	- 80. 81	- 99. 99	- 99. 99
2 清河河侧	96. 34	2. 53	6. 48
3 天平天侧	- 100	- 99. 99	- 99. 99
4 天平平侧	54. 05	13. 68	61. 29
5 罗马 罗侧	- 58. 09	- 99. 99	- 99. 99
6 罗百	- 83. 96	- 99. 99	- 99. 99
7 百南百侧	57. 9	33. 36	72. 58
8 马罗马侧	68. 79	10. 73	25. 15
9 安兴线安侧	- 100	- 99. 99	- 99. 99

表 12 东送断面暂态安全传输极限 (单位:MW)

Tab 12 West - east cross - section transmission limit (unit MW)

约束故障	调整方式	负荷极限	断面潮流极限	负荷初值	断面潮流初值	临界安全裕度
罗马罗侧	1	6 969. 85	5 349. 72	7 199. 85	5 598. 37	0. 69
	2	39 143. 32	5 309. 05	39 368. 32	5 598. 37	17. 68

注:调整方式 云南电网滇东、昆明地区机组减出力,广东电网广州地区减负荷; 云南电网机组减出力,广东电网减负荷.

表 13 云南出口断面暂态安全传输极限 (单位:MW)

Tab 13 Yunnan cross - section transmission limit (unit MW)

约束故障	调整方式	负荷极限	断面潮流极限	负荷初值	断面潮流初值	临界安全裕度
罗马罗侧	1	6 959. 85	2 126. 91	7 199. 85	2 351. 43	0. 69
	2	39 143. 32	2 071. 23	39 368. 32	2 351. 43	6. 34

注:调整方式 云南电网滇东、昆明地区机组减出力,广东电网广州地区减负荷; 云南电网机组减出力,广东电网减负荷.

3 结论

(1) 盘南电厂 接入安顺—天生桥 500 kV 线路, 加设了罗平—百色 500 kV 线路, 将百色—南宁—玉林—茂名 500 kV 输电通道由单回线改为双回线后, 电网的网架结构得到了加强。

(2) 本文在仿真中对电容器的投切作了改进, 加入了模拟串补投切动作的环节, 仿真结果表明, 未考虑串补电容保护时得到的断面传输极限的仿真结果偏大。

(3) 罗百及马百 500 kV 线路上投入串补之后, 在静态负荷模型和动态负荷模型下均发现, 南方电网东送输电断面和云南出口断面的极限都得到了提高。

参考文献:

- [1] 管秀鹏, 孙元章, 荆勇, 等. 南方电网西电东送暂态功率极限的研究 [J]. 电网技术, 2004, 28(2): 1 - 5.
- [2] 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.
- [3] 董俊, 束洪春, 唐岚, 等. 2010 云南电网的稳定运行与控制问题 [J]. 电网技术, 2005, 29(10): 20 - 29.
- [4] 李响, 郭志忠. N - 1 静态安全潮流约束下的输电断面有功潮流控制 [J]. 电网技术, 2005, 29(3): 29 - 32.
- [5] 潘雄, 徐国禹. 基于最优潮流并计及静态电压稳定性约束的区域间可用输电能力计算 [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(12): 86 - 91.
- [6] 樊纪超, 余贻鑫. 考虑暂态稳定约束的临界割集功率传输极限和发电经济调度 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(1): 4 - 7.
- [7] 张永平, 陈寿孙, 童小娇, 等. 基于半光滑牛顿法的可用输电能力新算法 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 35 - 38.
- [8] 汪峰, 白晓民. 基于最优潮流方法的传输容量计算研究 [J]. 中国机电工程学报, 2002, 22(11): 35 - 40.

(上接第 57 页)

截排水: 为了雨季期间坡面汇流及渗流形成的地下水对边坡稳定带来的不利影响, 在场外及场内的适当位置设置了截排水沟。

3 结束语

边坡支护是一项科学、严谨的重要技术工作, 同时又是一个综合性较强的工作, 需要综合考虑地质、边坡性质、工艺技术、环境保护、安全经济与合理可行等多方面的因素, 并权衡利弊, 考虑越周到, 方案就会越趋于合理。维护边坡稳定的可选支护形式很多, 但采用何种支护手段最好, 需要设计者进行综合研究。因此, 一是要有丰富翔实的基础资料并进行综合研究; 二是要因地制宜, 针对性强; 三是进行多方案比选, 推荐最为合理可行的方案; 四是注意综合支护手段的应用, 根据不同情况, 采用不同的支护结构形式, 做到有的放矢。

参考文献:

- [1] 重庆市建设委员会. GB 50330 - 2002 建筑边坡工程技术规范 [S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2002.
- [2] 原国家冶金工业局. GB 50086 - 20110 锚杆喷射混凝土支护技术规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2001.
- [3] 中国建筑科学研究院. 建筑桩基技术规范 (JGJ 94 - 94) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [4] 《岩土工程手册》编写委员会. 岩土工程手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [5] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册 (第四版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [6] 中华人民共和国建设部. 建筑地基基础设计规范 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.