

南方交直流并联电网电压调控分析

王斌

(南方电网总调调度处,广东广州 510623)

摘要: 南方电网是世界上少有的长距离、大容量输电、交直流并联运行的电网。影响系统电压运行的因素较多,电压调控工作也是电网运行中的一个难题。通过对南方电网运行特性的分析,提出系统电压调控的主要措施,解决电压调控的难点,并提出相应的建议。

关键词: 南方电网; 电压; 调控; 交直流并联

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)12-0077-03

1 南方电网的主要特点

南方电网是国内第一个远距离、大容量、超高压输电、交直流并联运行的现代化大电网,覆盖广东、广西、贵州、云南、海南五省(区),东西跨度近 2 000 km,输电能力超过 1 000 万 kW。目前南方电网主网架已形成了“六交三直”的西电东送大通道(天广直流、高肇直流、江城直流及天广交流四回线、贵广交流双回线)。

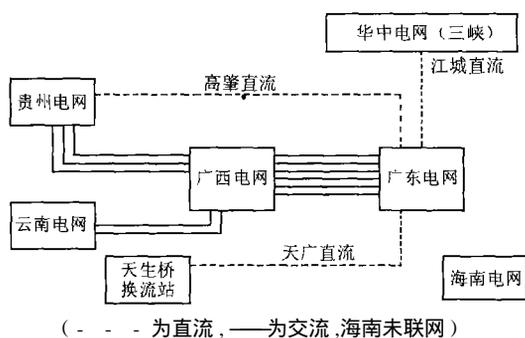


图 1 南方电网示意图

Fig 1 Schematic diagram of China Southern Power Grid

至 2004 年底,南方电网统调装机已达 2 339 万 kW,其中火电装机 3 404 万 kW,水电装机 1 458 万 kW,核电装机 394 万 kW,抽水蓄能装机 180 万 kW。500 kV 变电站 37 座,变电容量 52 000 MVA,500 kV 交流线路 109 条,线路长度 12 109 km。220 kV 变电站 305 座,变电容量 88 048 MVA,220 kV 交流线路 743 条,线路长度 27 174 km。直流换流站 4 座,直流线路 1 842 km。2004 年南方电网统调最高负荷达 4 607 万 kW,统调发电量达 2 803.44 亿 kWh,西电送广东最大电力 1 088 万 kW,电量 355.73 亿 kWh。

南方电网的主要特点是:1) 负荷主要分布在经济发达的珠三角地区,导致了南方电网西电东送的主要运行模式;2) 南方电网是最复杂的交直流并联运行电网,送电距离远、容量大,稳定问题突出;3) 负荷高速增长,电网规模不断扩大,网间交换功率不断增大,运行方式多变,电网运行调控困难;4) 电网运行季节特性明显,水电厂来水情况影响电力电量平衡和电网调控;5) 直流光触发、交流可控串补等新技术在电网中得到应用,对电网的调控工作提出了更高的要求。

将电压调控于合理的范围内运行,对于提高电网的安全稳定水平,保证设备安全、提高电网运行的经济性具有重要的意义。南方电网的运行特点,决定了电压调控工作的特殊要求。首先,为了保证设备安全运行,必须将电压控制于正常范围以内;其次,由于南方电网动态稳定问题突出,又要求高峰时段电压尽可能运行在较高水平;再次,不同时段功率波动、直流系统、串补设备对于交流电压运行的影响也要充分考虑;最后,在电网规划和建设中遗留的一些问题也要在运行中加以克服。本文从电网电压调控的实际工作出发,结合有关分析和计算,归纳电压调控的手段和措施,并针对实际工作中存在的一些问题,提出有关建议。

2 影响南方电网电压运行的主要因素

在南方电网的运行中,影响电压运行的主要因素有以下几个方面:

1) 电网规划建设对电压运行的影响。南方电网建设缺乏统一规划,局部地区无功补偿不足,无功出现跨层跨区输送,无法满足分层分区、就地平衡的原则,增大了电压调控的难度,降低了电网运行的经

济性。在电网运行中表现为:丰水期大方式下,广西 220 kV 电网从 500 kV 主网吸收无功,广西段 500 kV 电网从广东和贵州吸收无功,向云南电网送出无功。例如 2004 年 8 月 4 日 19:30 电网运行数据显示,云南电网从主网吸收无功 21 Mvar,贵州电网向主网送出无功 31 Mvar,广东电网向主网送出无功 197 Mvar,广西 220 kV 系统通过主变从 500 kV 系统吸收无功 440 Mvar。同时,局部地区电压偏低或偏高,在大方式下贺州站、梧州站、罗洞站电压偏低,在小方式下河池站、平果站、来宾站电压偏高。

2) 负荷变化对电压运行的影响。随着南方电网负荷水平的变化、网间交换功率大小的变化,电压也会发生较大幅度的变化。一般来说,南方地区最大负荷出现在夏季,即迎峰度夏期间,此时电网供电负荷极重,网间交换功率也较大,全网电压水平偏低。南方电网最小负荷出现在冬季(扣除节假日的影响),此时电网供电负荷较轻,网间交换功率也较小,全网电压水平偏高。例如 2004 年直调系统平果变、来宾变、梧州变 500 kV 母线电压最高都达到 550 kV,都是出现在 1 月份,最低电压分别是 526 kV、524 kV、517 kV,都是出现在 6 月份。

另外南方电网同一天内峰谷差也较大,造成电压波动也较大。例如 2004 年 8 月 4 日来宾变 500 kV 电压(在已采取了调压措施的情况下)一天内的波动范围是 532 ~ 545 kV,其中 532 kV 出现在晚高峰时段 18:50,545 kV 出现在低谷时段 4:15。

3) 电网调频调峰对电压运行的影响。南方电网负荷主要分布在广东珠三角地区,该地区负荷比重大、峰谷差大,但机组调节性能不好。西部地区水电比例较大,调节性能好,但峰谷差小,负荷水平不高。这就使南方电网的调频调峰工作非常困难,在实际运行中,经常需要快速、大幅度地调整有功出力,造成电压也同时发生快速、大幅度的波动。例如 2004 年 3 月 4 日 11:45 梧州变来梧双线功率 34 万 kW,此时母线电压为 542 kV,到 12:00 来梧双线功率变为 22 万 kW,此时母线电压为 547 kV。

4) 直流输电系统、串补设备对电压运行的影响。正常运行时,直流输电系统已配有无功补偿设备,可以平衡换流过程中的无功消耗,可是当直流系统输送最小功率时,所需的无功较少,但由于消除谐波的要求,至少要投入 2 组交流滤波器,这样会向交流系统送出无功,导致相邻交流系统电压升高。例如 2004 年 3 月 4 日 12:00 天广直流双极带最小功率 180 MW,此时马窝换流站投入 2 组交流滤波器,

无功为 160 Mvar,而此时直流系统消耗的无功只有 88 Mvar,有 72 Mvar 的剩余无功送给交流系统。另外,在直流功率调整时,交流功率会同步变化,引起电压发生变化。在大方式下,系统潮流较重时,投入串补设备可以提高系统稳定水平,降低网损。但在小方式下,潮流较轻时,串补投入会导致系统电压进一步升高。例如 2004 年 11 月 4 日 23:22 河池变母线电压 545 kV,在退出清河双线串补后,母线电压降至 539 kV。

5) 系统事故对电压运行的影响。电网中发电设备、输变电设备故障停运后,都将改变系统的潮流分布,对电压运行造成影响。目前南方电网中,对电压影响较大的是重要交流联络线故障跳闸,以及直流输电系统故障停运。上述设备输送的功率较大,故障停运后,全部或部分功率将瞬时转移至交流系统,造成电压大幅下降。例如 2004 年 8 月 15 日 18:50 高肇直流极二带 750 MW 功率闭锁,功率全部转移至交流系统,造成交流系统电压大幅下降,详见表 1。

表 1 高肇直流单极闭锁后部分厂站母线电压变化情况

Tab 1 Partial station bus-voltage change after DC single end blocking of Gaozhao

电压/kV	河池变	沙塘变	天二厂	平果变	来宾变	南宁变	玉林变
直流跳闸前电压	541	528	537	538	540	529	526
直流跳闸后电压	531	520	532	530	531	520	520

另外无功补偿设备故障当然也会对电压的运行造成影响。

6) 监控测量系统对电压运行的影响。在实际的电网运行中,经常发生变电站监控系统与调度监控系统显示电压值不一致的现象,甚至同一变电站内,两条 500 kV 母线电压值显示不一致,有时会相差 3 ~ 5 kV。对调度运行人员的判断和控制造成一定影响。

总之,影响南方电网电压运行的因素较多,也比较复杂,因此对南方电网的电压调控工作也提出了更高的要求。

3 南方电网电压调控的主要手段

南方电网电压调控的原则是分层分区、就地平衡的原则,以及逆调压的原则。在实际的调度运行工作中,电压调控主要有以下几种手段:

1) 投切低压电容器、电抗器和调整发电机组的无功出力。这是电压调控经常使用的手段,简捷方

便。一般电压偏高时应退出主变低压侧并联电容器、投入并联电抗器,机组则进相运行,从系统吸收无功。电压偏低时,调节方法相反。在投切低压电容器、电抗器时应注意避免主变低压侧发生过流或过压(在实际运行中出现过该问题),另外在投切低压电容器、电抗器调压时,应注意相邻变电站之间的配合,避免出现相邻变电站的电容器和电抗器同时投入的情况。发电机调压有时会影响有功出力,在有功出力不变的情况下,增开机组调压,会增加损耗,降低经济性。

2)调整直流功率,改变交直流系统潮流分布。这是交直流并联运行电网的优势之一,即利用直流功率可控的特点,在交直流断面总输送功率不变的前提下,通过调整直流输送功率,改变交流系统的输送功率,从而达到交流电压控制的目的。在调控时应注意不能超出设备的负载能力,并且主要断面功率不能超出稳定控制极限。另外改变送受电计划,从而改变交流系统潮流的大小,也可以达到调压的目的,但会影响计划的完成。

3)调整主变的分接头。这是电压调控的重要手段之一,但由于南方电网 500 kV 主变多数为无载调压主变,调整主变分接头需主变停电才能进行,因此该种手段的灵活性较差。对于无载调压主变,一般每年丰水期、枯水期交替时各安排一次停电,调整主变分接头。其他时段如无特殊要求,不会再调整分接头。有载调压主变则可以在运行中根据需要实时调整分接头。调整主变分接头可以改变 500 kV 侧与 220 kV 侧的无功分布,从而达到调压的目的。但如果主变 500 kV 侧与 220 kV 侧电压均偏高或偏低,则调整主变分接头就很难解决问题。

4)投退串补设备。在系统负荷较重的大方式下,投入串补设备对于提高电压水平,提高系统稳定水平,增加送电能力有明显的的作用。在系统负荷较轻的小方式下,电压偏高,则退出串补设备可以达到调压的目的。但目前只有平果变、河池变安装了串补设备,串补的投退只对本站调压有较好的效果。一般在枯小方式下,系统稳定问题不突出,可以安排串补长期退出运行。

5)停运 500 kV 交流线路。在系统潮流较轻(一般在低谷段),电压偏高难以控制时,停运交流线路可以起到明显的调压作用。但这种调压手段会降低系统接线的可靠性,并且停电调压的线路一般

在高峰段需要恢复运行,如果频繁操作线路停送电,会降低设备寿命。因此这种调压方式一般作为最后的调压手段使用。

总之,根据南方电网运行的特点,存在多种调压手段,这些调压手段各有利弊,在实际电压调控工作中应根据电网运行情况灵活使用。例如在调压手段充裕的情况下,可优先采用投切低压电容器、电抗器及调整交直流功率分配等手段,而让机组少发无功,增加系统的动态无功储备,以便在事故状态下迅速调用。

4 电压调控工作中存在的问题及有关建议

目前,南方电网的电压调控基本上可以满足电网运行的需要,但有时已很勉强,建议从以下几个方面优化,以进一步提高南方电网的电压运行水平。

1)加强电网建设的统一规划,加强电网无功优化的计算和分析,避免南方电网出现先天不足的状况,以减轻电网调控的压力。

2)目前一些电厂的无功调节能力较差,甚至没有调节能力,这对于电网的安全运行十分不利。建议加强对电厂的无功管理和考核,在机组设计时就应提出无功调节要求,并在并网协议中明确。

3)主变低压侧电容器、电抗器在调压过程中投切频繁,经常出现损坏,有些甚至长期退出运行,对电压调控工作造成了一定的影响。建议加强无功补偿设备的运行维护,在关键的变电站可以考虑冗余配置。

4)建议尽可能采用有载调压的主变,以增加电网运行中电压调控的灵活性。

随着南方地区社会经济的高速发展,南方电网亦将不断壮大,电网结构将更为复杂,高新技术的应用将更为广泛,电网运行方式也将更为复杂多变,因此电网运行控制也将更为困难。这就要求我们加强对电网的跟踪分析,不断研究和解决新问题,优化调控手段,使系统电压运行于更为科学的水平下,保证南方电网的安全、优质和经济运行。

收稿日期: 2005-12-21

作者简介:

王斌(1973-),男,工程师,从事电网调度运行工作。
E-mail wangbin@csg.net.cn

(下转第 87页 continued on page 87)

ator Gap Distance, Magnetic Field Strength and Shaft Voltage[J]. Large Electric Machine and Hydraulic Turbine, 2003, (2): 6-9.

- [3] 胡高举,郑才刚,韦云隆. 大电机轴电压研究[J]. 机械, 2001, 28(3): 65-67.

HU Gao-ju, ZHENG Cai-gang, WEI Yun-long Study on Axis Voltage of Large Electric Machine[J]. Machinery, 2001, 28(3): 65-67.

收稿日期: 2005-12-29; 修回日期: 2006-04-19

作者简介:

黄玉轩(1967-),男,高级工程师,从事电气专业工作;

Email: hyx2205@163.com

俞佳芝(1956-),女,高级讲师,主要从事机电一体化研究。

Discussion on auxiliary protection of main equipment

HUANG Yu-xuan¹, YU Jia-zhi²

(1. Huaneng Nantong Power Plant, Nantong 226003, China; 2. Xuchang Vocation Technical College, Xuchang 461000, China)

Abstract: In recent years, the level of relay protection equipment in our country is continuously rising, and many new types of protective functions for the main equipment have been developed, such as protection for generator faulty energization, protection for startup and shutdown, switch change, shaft current protection and large motor differential protection, etc. However, these protections may still appear to be insufficient and complicated in functioning. Renovation and simplification are recommended.

Key words: main equipment; auxiliary protection; principle; simplification

(上接第 79 页 continued from page 79)

Analysis of regulating and controlling of voltages in South China AC/DC Hybrid Power Grid

WANG Bin

(Department of System Operation, China Southern Power Grid, Guangzhou 510623, China)

Abstract: China Southern Power Grid is the first long-distance and huge capacity power grid with AC and DC power networks in parallel in China. There are many factors that affect the voltages of the AC/DC hybrid power grid, and regulating and controlling of voltages is a difficult problem of the system operation. The paper analyzes the characteristic of the system operation in China Southern Power Grid. The main measures for regulating and controlling of voltages are brought forward. Its difficulties to be settled are analyzed, and some relevant suggestions are proposed.

Key words: China Southern Power Grid; voltage; regulating and controlling; AC/DC hybrid power grid

(上接第 82 页 continued from page 82)

Applying design patterns to the development of the relay plot library

ZHU Zhong-ting¹, PENG Lu-chang², WANG Jian-fang¹, ZHU Yong-rong¹, ZHANG Pei-chao³

(1. East China Electric Power Design Institute, Shanghai 200063, China; 2. State Power Corporation of Xinjiang Bingtuan, Bachu 843803, China; 3. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: With the help of many new technologies, digital relays can perform much better than traditional relays. A large number of new relays have been developed recently. The operating behaviors of different relays vary a lot, which makes it difficult to develop flexible software for protective relay testing. So it is valuable to develop a library which is applicable to all kinds of relays. The library should be well encapsulated, easily reusable and expandable. Captured by experienced object-oriented designers, design patterns can be applied to solve some kinds of object-oriented design problems. During the development of the RelayPlot library many problems came out. By using the following design patterns of Facade and Strategy, the problems have been solved. The library, has been successfully used in a relay testing software.

Key words: design patterns; relay; characteristic curve; object-oriented