

海南电网台风期间运行方式研究

庞 准¹, 李邦峰¹, 俞 悦¹, 李 献¹, 吴小辰², 赵 勇², 俞秋阳², 李 鹏²

(1. 海南电网公司, 海南省 海口市 570203; 2. 南方电网技术研究中心, 广东省 广州市 510623)

Study on Operating Modes of Hainan Power Grid during Typhoon Periods

PANG Zhun¹, LI Bang-feng¹, YU Yue¹, LI Xian¹, WU Xiao-chen², ZHAO Yong², YU Qiu-yang², LI Peng²

(1. Hainan Power Grid Corporation, Haikou 570203, Hainan Province, China;

2. China Southern Power Grid Technology Research Center, Guangzhou 510623, Guangdong Province, China)

ABSTRACT: By means of analyzing the law of tropical cyclones which land at Hainan Island and impact Hainan power grid as well as adequately drawing lessons from Zhejiang and Fujian power grids in respect of drafting predetermined plan to prevent the disaster of typhoon, principles of scheduling operating modes of Hainan power grid during typhoon periods are decided; according to different intensity of tropical cyclones, their landing positions and time intervals of landing, sets of operating modes of Hainan power grid against the attack of severe natural disasters such as typhoon and so on have been drafted to meet the requirement of different operation conditions; in order to make the dispatching dynamic during the prevention of disaster of typhoon, the principles for dispatching of Hainan power grid and accident treatment during the attack of typhoon are proposed to guide the tracking adjustment of dispatching and accident treatment during the hit of typhoon. In addition, some suggestions and requirements on the problems related to typhoon periods are put forward.

KEY WORDS: Hainan power grid; typhoon; tropical cyclone; operating modes

摘要: 通过分析掌握登陆和影响海南的热带气旋及其对海南电网的影响规律, 并充分借鉴浙江、福建等电网在防台风预案方面的经验, 确定了海南电网台风期间运行方式安排的原则; 针对不同台风强度、不同登陆路径、不同登陆时段, 编制了多套台风等严重自然灾害来袭前电网的运行方式并进行了分析研究, 以适应不同运行情况的需要; 提出了台风袭击过程中调度调整原则和电网事故的处理原则, 指导台风等自然灾害袭击过程中的调度跟踪调整和事故处理, 使防台风调度动态化; 同时对台风期间的有关问题提出了建议和要求。

关键词: 海南电网; 台风; 热带气旋; 运行方式

0 引言

2005 年由于“达维”特大台风引起的海南电网

“9.26”大面积停电事故既暴露了海南电网网架薄弱、大机小网、二次设备陈旧等突出问题, 也说明目前海南电网在防台风预案、调度调整等方面有许多亟待完善的地方^[1]。如果能在充分把握电网特征及台风对海南电网影响规律的基础上, 在台风来袭前安排好适当的运行方式、台风袭击过程中有相应的调度跟踪调整策略、局部障碍发生后有相应的处理原则, 则有可能做到电网的可控和在控, 提高电网应对类似自然灾害的能力, 避免电网大面积停电事故的发生, 提高电网的安全运行水平。

本文将在分析掌握登陆和影响海南的热带气旋及其对电网影响规律的基础上, 借鉴其它电网在防台风预案方面的经验教训, 研究确定台风期间电网运行方式安排的原则; 针对热带气旋来袭前的多种可能工况安排电网的运行方式, 并进行分析研究; 提出台风袭击过程中调度调整原则和电网事故的处理原则, 指导台风等自然灾害袭击过程中的调度跟踪调整和事故处理; 同时对台风期间确保电网安全生产的有关问题提出建议和要求。

1 登陆和影响海南省的热带气旋规律分析

热带气旋(tropical cyclone, TC)是生成于热带或副热带洋面上具有有组织的对流和确定的气旋性环流的非锋面性涡旋的统称, 按照热带气旋底层中心附近最大平均风速的不同, 我国预报责任区内的热带气旋划分为 6 个等级, 见表 1^[2]。登陆和影响海南的热带气旋有以下统计规律^[3-6]:

(1) 影响海南的热带气旋从 4 月一直持续到 12 月, 其中 6—10 月的热带气旋数占全年总数的 89.8%, 8、9 月达到盛期。登陆海南的热带气旋从

表1 热带气旋的等级划分

Tab.1 Grade classification of tropical cyclones		
热带气旋的等级	底层中心附近最大 平均风速/(m/s)	底层中心附近 最大风力/级
热带低压(TD)	10.8~17.1	6~7
热带风暴(TS)	17.2~24.4	8~9
强热带风暴(STS)	24.5~32.6	10~11
台风(TY)	32.7~41.4	12~13
强台风(STY)	41.5~50.9	14~15
超强台风(SUPERTY)	≥ 51.0	16或以上

4月持续到11月,其中6—10月登陆的热带气旋数占全年总数的88.6%,8、9月也是达到盛期。

(2)从登陆地点看,在东部沿海(包括文昌、琼海和万宁)登陆的热带气旋最多,其中又以文昌最多;其次是南海沿海(包括陵水、三亚和乐东),西部沿海则没有热带气旋登陆。5月登陆的热带气旋以南部沿海为主,6—9月以东部沿海占绝对优势,10月和11月在东部沿海和南部沿海的登陆次数相当,其中10月在三亚登陆的次数最多。从强度来看,东部沿海的热带气旋最强。

(3)登陆海南的热带气旋在岛上的持续时间一般在18h以内。建省以来登陆海南的热带气旋中,35%在02:00—08:00登陆,20%在08:00—14:00登陆,30%在14:00—20:00登陆,15%在20:00—02:00登陆。

2 热带气旋对海南电网的影响

海南电网的调度生产报表表明^[7],在热带气旋影响和登陆海南电网前后,往往会引起海南电网负荷降低和线路故障跳闸。热带气旋对电网的影响有很大的随机性,往往是距离登陆点越近,负荷下降越多,故障越频繁;同时热带气旋的强度越大,对电网的影响也越大。

根据历史数据,台风影响区域的110kV线路故障概率较大,主网中牛红、兴陵、牛屯、金屯、林陵、林荔、南鸭等线路故障跳闸次数偏多(海南电网地理接线如图1所示)。台风期间因树压导线,架空地线、引下线、光缆脱落,异物挂接,避雷线断股,线路舞动等原因,也会引发220kV线路故障跳闸,其中220kV带鸭线故障概率偏大。在台风影响下,南山电厂也因首站阀门关闭出现过4次全停,分别在2000年9月的台风“悟空”、2001年7月的台风“榴莲”、2002年9月的热带风暴“米克拉”、2003年11月的台风“尼伯特”期间。

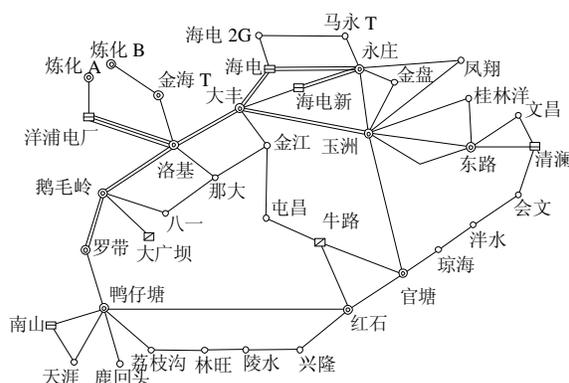


图1 海南电网地理接线图

Fig.1 Geographical connection diagram of Hainan power grid

3 海南电网台风期间运行方式安排的目标及原则

3.1 台风期间运行方式安排的目标

海南电网台风期间运行方式安排的目标是针对台风期间可能发生的系统工况,合理确定开机方式,充分利用各种可能的调节手段,使系统在发生各种可能的故障时不发生稳定破坏事故,尽可能保证主网和主设备的安全运行,将损失降到最低限度,避免电网大面积停电事故的发生,提高电网的安全运行水平。

确保电网的安全稳定运行,应重点做好海口、三亚重点城市尤其是重要负荷的保供电工作,条件允许时应最大限度地保证台风期间的电力供应。

3.2 台风期间运行方式安排的原则

根据海南热带气旋及其对海南电网的影响规律,借鉴广东、浙江、福建等省网防御台风的措施^[8-12],确定热带气旋影响期间海南电网的运行方式安排原则如下:

(1)台风期间应尽量保持系统全接线、全保护运行。

(2)为减小线路跳闸等故障对系统的冲击,开机方式的安排上应体现分层分区运行的要求,加强联络线潮流的调整,控制联络线潮流不应过大,并做好电网分片运行的预想。

(3)为减小大容量发电机组跳闸对电网的冲击和影响,尽量压低大机组的出力。

(4)注意按规定留足运行备用,注意备用的均匀分布,控制各电厂出力尽量均匀,避免单个电厂出力过大。

(5)牛路岭、大广坝电厂执行保厂用电方案,

各自解列 1 台机组自带厂用电运行。

(6) 低谷负荷时段, 尽量安排有进相能力的机组运行。

(7) 注意留足旋转无功备用, 及时和充分利用地区无功补偿装置、机组无功出力以及主变有载调压装置进行调整, 控制 220kV、110kV 电压在规定的范围内, 特殊情况下经中调值班领导批准才可通过停运线路进行调压。

(8) 对于小水电, 不主动将其与主网解列, 但应要求地调限制其上网无功。

2005 年“达维”台风袭击期间, 220kV 玉官线故障, 玉洲侧线路保护因直流电源异常而拒动是导致海南电网大面积停电事故扩大的主要原因之一。为避免这种情况的再次发生, 有观点认为在台风将要袭来时先将容易发生故障的电网与主网解列运行, 避免事故扩大。本文认为解列运行固然可以避免局部电网内的故障影响扩大到全岛, 但解列后, 与主网解列的局部电网发生故障后因缺少主网的支援更容易崩溃, 而主网发生故障也往往会造成系统进一步解列, 造成事故逐步扩大; 另外, “9.26”大停电之后, 海南电网公司在保直流电源防止保护拒动方面也做了大量的工作。综合以上考虑, 建议台风期间尽可能保持系统全接线的运行方式, 同时继续加强保护专业行业管理, 提高保护设备的正确动作率, 防止保护误动、拒动。

4 预想工况下的运行方式安排及分析

4.1 预想工况及其负荷确定

根据热带气旋及其对海南电网的影响规律, 结合海南电网的特点, 本文将针对以下预想工况安排运行方式并进行分析研究:

(1) 对于热带气旋的强度, 考虑 2 个等级: 强热带风暴、台风及以上等级。

(2) 对于热带气旋登陆和影响的地点, 考虑以下 3 种情况: 热带气旋在文昌和海口一带登陆; 热带气旋在琼海和万宁一带登陆; 热带气旋在三亚一带登陆。

(3) 对于登陆时的负荷水平, 考虑以下 2 种情况: 高峰时段(负荷大方式)、低谷时段(负荷小方式)。

预想工况下的负荷水平按以下方法确定: 首先确定热带气旋影响前负荷高峰时段(称为基础方式)电网的负荷水平; 按海南电网调度范围的不同将海南电网分为东部、南部、西部和北部 4 个区域; 不

同路径和强度的热带气旋来临时大方式下各区域中的负荷分别按一定的比例系数进行变化, 所确定的比例系数见表 2。

表 2 不同热带气旋下海南各地区大方式负荷变化的比例系数

Tab.2 Coefficients of load variation for heavy load conditions of each part of Hainan power grid during different tropical cyclones

登陆地点	气旋强度	东部电网	南部电网	西部电网	北部电网
文昌海口	强热带风暴	0.65	0.8	0.65	0.5
	台风及以上	0.5	0.7	0.5	0.4
琼海万宁	强热带风暴	0.5	0.6	0.6	0.7
	台风及以上	0.3	0.5	0.5	0.6
三亚一带	强热带风暴	0.65	0.5	0.65	0.8
	台风及以上	0.5	0.3	0.5	0.7

现举例说明表中数据的含义: 当强热带风暴在文昌海口一带登陆时, 大方式下东部地区的负荷取为基础方式下东部地区负荷的 0.65 倍。不同热带气旋等级和登陆地点情况下各变电站小方式下的负荷取为该站大方式下负荷值的 0.5~0.6 倍。

根据负荷性质的不同, 在上述确定的负荷基础上对部分以工业负荷为主的节点负荷做了适当修正, 如考虑炼化具有 $3 \times 10^5 \text{ t}$ 的储油罐可维持半个月的生产, 台风期间仍可保持 100MW 不变。

4.2 预想工况下运行方式安排的具体原则

在开机安排上主要考虑海南电网统调机组的调峰能力和无功调节能力, 以及机组停机后再并网加负荷的时间等因素。

热带气旋登陆前后系统负荷显著降低, 按分区平衡的原则, 开机方式做如下考虑: 海口电厂 50MW 机组停机, 保持 3 台 125MW 机组和 1 台 330MW 机组运行, 负荷继续降低时可考虑停 330MW 机组和 1 台 125MW 机组; 清澜电厂考虑开 1 套联合循环机组, 必要时可考虑增开 1 台燃机机组; 洋浦电厂保持 1 套联合循环机组运行(12 号和 14 号); 南山电厂全开或 1 套联合循环机组运行(受天然气瞬时流量限制最大出力为 85MW 左右); 牛路岭和大广坝分别安排 3 台机组并网发电, 1 台机组解列带厂用电运行。当南山电厂受热带气旋的影响而停机时仍可按上述原则安排开机方式; 当南山和洋浦电厂同时受影响而停机时, 应考虑开海口电厂 50MW 机组, 同时考虑清澜机组全开。

此外, 充分考虑和利用 220kV 变电站无功补偿设备、220kV 有载调压变压器档位和变比、机组进相能力等调节手段进行调压, 必要时停运有关线

路, 以将系统电压控制在规定范围内。

4.3 相关计算分析

计算分析表明, 在所安排的各种方式下, 各区域电厂出力和负荷基本平衡, 因此联络线潮流均不重, 仅海口电厂外送断面功率偏大, 典型故障情况发生时可以较好地保持系统的安全稳定运行。

计算分析中发现, 热带气旋影响时负荷偏低, 系统电压往往偏高, 有时甚至需要停运线路进行调压, 影响了系统供电的可靠性, 因此必须提高海南电网的感性无功补偿度。

稳定计算结果显示, 在线路 $N-1$ 、 $N-2$ 故障情况下, 如保护正确动作, 系统均可保持稳定运行。但一旦发生较严重的双机或三机故障(如目前执行的低周方案所控制负荷在风暴期间损失严重), 在不计及调速器动作的前提下, 可能出现安稳装置切荷量不足, 直接威胁到系统的频率稳定。

5 台风期间调度调整原则和事故处理原则

5.1 调度调整的基本原则

台风期间负荷和网架接线发生变化时, 电网的调度调整应按照 3.2 节中的要求, 适当增减机组的出力, 必要时停运有关机组, 做好负荷的分区平衡, 控制联络线潮流不要太大; 适当限制单台发电机和单个发电厂的出力; 及时、充分利用无功补偿装置、机组无功出力以及主变有载调压装置进行调整, 必要时停运有关线路, 控制系统电压在规定范围内。

5.2 事故处理的基本原则及注意事项

事故处理过程中, 调度员应根据系统频率及电压变化、继电保护及自动装置的动作情况、远动装置及 EMS 屏幕指示分析判断事故性质及其原因, 处理事故应做到: ①迅速限制事故发展, 消除事故根源并解除对人身设备的威胁; ②阻止系统运行参数继续恶化, 采取一切必要措施防止电网稳定破坏, 阻止系统频率和主要中枢点电压的大幅度下降; ③协助发电厂及枢纽变电站保厂(站)用电; ④消除设备的过电流及过电压状态; ⑤尽快恢复用户供电; ⑥调整运行方式, 使系统恢复正常。

6 确保台风期间电网安全生产的建议和要求

为确保台风期间电网的安全生产, 除应遵循上述方式安排原则和调度调整原则外, 还应落实以下建议和要求:

(1) 为防止机组连锁故障对系统频率稳定的

恶劣影响, 海南电网低周减载装置作为最后一道防线应尽可能多地将负荷接入装置, 设定不同方式, 以供选择。台风影响时应特别加强对低周实控负荷的核实分析, 确保所需的低周切荷量。

(2) 为避免南山、洋浦电厂供气中断, 导致电网调度运行困难, 安全稳定裕度严重下降, 建议洋浦、南山电厂建设相应的储气设备。

(3) 提高海南电网的感性无功补偿度, 在部分变电站(鹅毛岭、永庄、玉洲)加装低压并联电抗器, 同时要求有关电厂特别是海口、清澜、牛路、洋浦电厂尽快全面开展机组的进相试验, 落实其进相能力。

(4) 继续抓紧开展保护及直流电源设备的改造工作, 加强保护专业管理。重点是防止保护拒动、误动, 切实提高保护正确动作率并核实保护定值对海南电网非全接线方式的适应性。台风来临前各供电公司及统调各电厂应组织人员对重要厂站的保护设备、直流系统进行特巡, 确保其运行的可靠性。

(5) 台风登陆海南后, 调度调控电网优先以电网的安全稳定和可靠供电为原则, 兼顾电压、频率等电能质量, 发电厂和变电站 220 kV 和 110 kV 母线电压与额定值的偏差可控制在 $-10\%U_n \sim +10\%U_n$ (U_n 为额定电压)。

(6) 在台风袭击海南电网时, 为加快线路复电的操作速度, 避免台风引起更多的线路同时故障, 建议采用以下强送原则: 如跳闸线路关乎重点区域的供电可靠性或电网结构的完整性, 调度员可以不检查线路保护的動作情况和开关的外部情况, 而直接下令强送一次。

(7) 在处理因台风造成多次跳闸的线路时, 不宜在短时间内多次强送电(重要的联络线除外), 应结合考虑台风移动的速度等具体因素, 有条件时可在现场风力下降后再进行强送电。

(8) 台风登陆前, 各电厂和变电站应加派人员值班, 检修人员预先进站, 加强事故处理能力。

(9) 事先编制好电网黑启动方案并安排演练, 做好按照电网黑启动方案进行电网恢复的准备。

(10) 台风影响海南电网后, 海南中调应安排专门计算人员做好跟踪计算, 及时为调度提供技术支持。

(11) 台风登陆前应加强相关设备的维护工作, 要及时采取措施, 保证杆塔完好性、安全性。应高度重视电力线路走廊安全, 特别是东部沿线

110 kV 线路与 220 kV 带鸭、红鸭、官红、玉官线路走廊的维护工作,保证线路走廊的宽度和安全距离。台风高发季节应加强线路巡视,重点是在河岸、海边、开阔地带等风口位置且走线方向与台风方向接近垂直的线路走廊和杆塔开展特巡工作,及时消除隐患。

(12) 台风登陆前停止所有检修工作,采取拆除临时脚手架、加固厂站控制室门窗等安全措施。

(13) 通信部门应在平时加强对调度电话系统的维护,避免出现通信失灵、频繁中断的现象。同时重点电厂、变电站增配移动通信设备,杜绝出现通信中断的情况。

(14) 建议尽快在海南电网重要厂站装设 PMU 装置,不断通过事故拟合对电厂机组(如洋浦电厂机组)和负荷的频率特性进行深入研究,提高建模和计算分析的准确度。

7 结论

本文在国内首次全面、系统、深入地研究了台风对电网的影响,并提出了有效可行的应对措施。在掌握登陆和影响海南的热点气旋及其对海南电网影响规律的基础上,通过借鉴兄弟单位的经验,结合海南电网实际,提出了海南电网台风期间运行方式安排的目标和原则,以及台风袭击过程中调度调整原则和电网事故的处理原则,并在上述工作的基础上对基础建设、设备维护、电压调控、强送原则等分别提出了建议和要求,目标明确,可操作性强,对于确保台风期间电网的安全生产具有重要的指导意义。本文的研究成果在 2006 年 8 月“派比安”台风期间的系统运行中发挥了很好的指导作用。

参考文献

- [1] 唐斯庆,张弥,李建设,等.海南电网“9.26”大面积停电事故的分析与总结[J].南方电网技术研究,2006,2(1):13-18.
Tang Siqing, Zhang Mi, Li Jianshe, et al. A review of “9.26” blackout in Hainan grid: causes and recommendations[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(1): 13-18(in Chinese).
- [2] GB/T 19201-2006, 热带气旋等级国家标准[S]. 2006.
- [3] 吴慧. 影响海南的热带气旋气候特征及其与 ENSO 的关系[J]. 气象, 2005, 31(12): 61-64.
Wu Hui. Climatic features of tropical cyclone in Hainan island and its relationship with ENSO[J]. Meteorological Monthly, 2005, 31(12): 61-64(in Chinese).
- [4] 邢旭煌. 海南地温变化与热带气旋影响频数关系[J]. 广东气象, 2005, (4): 7-10.
Xing Xuhuang. The relationship between the TC frequency affecting Hainan and the variation of soil temperature in Hainan[J]. Guangdong Meteorology, 2005, (4): 7-10(in Chinese).
- [5] 许向春,郑艳,刘丽军. 登陆海南岛台风季节特征的对比分析[J]. 广西气象, 2005, 25(3): 14-17.
Xu Xiangchun, Zheng Yan, Liu Lijun. Comparatively analysis and seasonal characteristics of loading typhoons in Hainan[J]. Journal of Guangxi Meteorology, 2005, 25(3): 14-17(in Chinese).
- [6] 香港天文台. 1990—2004 年热带气旋报告[R/OL]. <http://www.weather.gov.hk/informtc/informcc.htm>.
- [7] 海南电网公司电力调度通信中心. 2000—2005 年海南省电力系统运行日报表(海南电网调度生产日报表)[R].
- [8] 张锋,吴秋晗,李继红. 台风“云娜”对浙江电网造成的危害与防范措施[J]. 中国电力, 2005, 38(5): 39-42.
Zhang Feng, Wu Qiuhang, Li Jihong. Hazards of typhoon Rananim to Zhejiang power grid and its preventive measures[J]. Electric Power, 2005, 38(5): 39-42(in Chinese).
- [9] 龚坚刚. “云娜”台风对浙江输电线路的危害分析与对策[J]. 浙江电力, 2005, (3): 17-19.
Gong Jiangan. Hazards of typhoon Rananim to Zhejiang power line and its preventive measures[J]. Zhejiang Electric Power, 2005, (3): 17-19(in Chinese).
- [10] 林少华,陈浩,易仕敏,等. 台风伊布都在广东电网产生的破坏及应对措施[J]. 江苏电机工程, 2004, 23(5): 62-64.
Lin Shaohua, Chen Hao, Yi Shimin, et al. The demolishment on Guangdong power system resulted from Typhoon IMBUDO and the measure of handling[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2004, 23(5): 62-64(in Chinese).
- [11] 黄志明,高志华,陈浩. 台风“尤特”侵袭期间广东电网的可靠性分析[J]. 广东电力, 2003, 16(1): 61-64.
Huang Zhiming, Gao Zhihua, Chen Hao. Analysis of reliability of Guangdong power system during typhoon season[J]. Guangdong Electric Power, 2003, 16(1): 61-64(in Chinese).
- [12] 黄文英. 14 号强台风对福建电网造成的危害及防范措施[J]. 福建电力与电工, 2000, 20(2): 24.
Huang Wenying. Hazards of the 14th typhoon to Fujian power grid and preventive measures[J]. Fujian Power and Electrical Engineering, 2000, 20(2): 24(in Chinese).

收稿日期: 2006-12-25。

作者简介:

庞准(1963—),男,高级工程师,从事电力系统运行与控制方面的研究;

李邦峰(1968—),男,高级工程师,从事电力系统运行与控制方面的研究;

俞悦(1973—),女,高级工程师,从事电力系统分析方面的研究;

李猷(1973—),男,高级工程师,从事电力系统运行与控制方面的研究;

吴小辰(1972—),男,高级工程师,从事电力系统分析与安全稳定控制方面的研究;

赵勇(1976—),男,高级工程师,从事电力系统分析与安全稳定控制方面的研究, E-mail: zhaoyong@csg.cn;

俞秋阳(1979—),男,工程师,从事电力系统分析与安全稳定控制方面的研究;

李鹏(1977—),男,工程师,从事电力系统分析与安全稳定控制方面的研究。

(责任编辑 沈杰)