

# 台风对电网的影响分析及应对措施

徐湘忆,毛玮韵,高凯,任辰

(国网上海市电力公司电力科学研究院,上海 200437)

**摘要:**台风是中国中东及东南沿海地区较为常见的灾害性天气,伴随台风的大风、降水及次生灾害会严重威胁电网设备安全运行,且传统气象部门台风预报精度有限,对电网制定防台应对措施指导意义不强。文中对近年来台风对沿海地区电网设备的主要影响进行了分析,介绍了基于国网台风监测预警中心的台风监测预警机制,主要包括台风监测预警中心总体架构、主站和子站功能以及中期、短期预警发布机制;提出了调度应急处置、设备性能提升、隐患排查治理、加强沟通联动等电网设备抗台风相关技术和管理措施。通过对电网遭受台风侵袭的危害特征、监测预测技术以及应对措施进行讨论,为电网防台抗风工作提供有益经验。

**关键词:**台风;电网防台抗风;监测预警;应对措施

**中图分类号:**TM 732 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2022)06-0031-04

**DOI:**10.16527/j.issn.1003-6954.20220605

## Impact Analysis of Typhoon on Power Grid and Its Countermeasures

XU Xiangyi, MAO Weiyun, GAO Kai, REN Chen

(State Grid Shanghai Electric Power Research Institute, Shanghai 200437, China)

**Abstract:** Typhoon is a common disastrous weather in the middle east and southeast coastal areas of China. Strong winds, precipitation and secondary disasters associated with typhoons can seriously threaten the safe operation of power grid equipment. Moreover, the accuracy of typhoon prediction in traditional meteorological departments is limited, which is not of strong guiding significance for power grid to formulate typhoon prevention countermeasures. The main impact of typhoons on power grid equipment in coastal areas in recent years is analyzed, and the typhoon monitoring and early warning mechanism based on State Grid typhoon monitoring and early warning center is introduced, mainly including the overall structure of typhoon monitoring and early warning center, the functions of main station and substations, and the medium-term and short-term early warning release mechanism. The technologies and management measures related to typhoon resistance for power grid equipment, such as dispatching emergency disposal, equipment performance improvement, hidden danger troubleshooting and treatment, and strengthening communication and linkage, are proposed. It is hoped that the discussion on the hazard characteristics, monitoring and prediction technologies and countermeasures for power grid suffering from typhoon will provide useful experiences for the typhoon prevention and wind resistance work of power grid.

**Key words:** typhoon; typhoon prevention and wind resistance for power grid; monitoring and early warning; countermeasures

## 0 引言

中国位于亚洲东部,太平洋西岸,背陆面海,中东及东南沿海地区属于亚热带季风气候,每年6月至10月属于台风高发期。中国习惯将形成于26℃

以上热带洋面上的热带气旋(tropical cyclones)称为台风,依据国家标准 GB/T 19201—2006,热带气旋按中心附近地面最大风力划分为6个等级:热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风<sup>[1]</sup>。

据统计,2018—2021年期间,每年登陆中国的

热带气旋平均 7.25 个,其中 3.25 个达到台风及以上等级,台风经常在福建、浙江、广东等地登陆,影响范围包括江西、安徽、江苏、山东、辽宁及上海等地。伴随台风的大风、降水天气不仅会造成拔树倒屋、农田受淹等直接经济损失,也会严重威胁电网安全<sup>[2]</sup>。目前中国特高压交直流输电电网架主要集中在用电需求大、经济社会发展水平高的沿海及部分内陆地区,更容易遭受台风灾害侵袭;对于分布更为广泛的 500 kV 及以下电压等级输电线路,由于其杆塔抗风设计水平一般随电压等级逐级降低,台风灾害可能会导致线路倒塔、断线等严重后果;伴随台风的大暴雨更可能会引发滑坡、泥石流等次生地质灾害,严重威胁线路杆塔、变电站等输变电设备的安全运行。

随着电网规模的不断扩大,电网对台风灾害监测预警技术的需求日益迫切。目前,国内外相关学者结合台风气象因素进行电力系统风险评估已有一定研究。文献[3]从整体进行了电力系统风险评估;文献[4]对台风的风场进行了研究;文献[5-9]对输电线路风偏特性开展了研究,分析风偏特性的影响因素和防护措施,还从台风对电网运行的实际危害中汲取防范经验<sup>[10-13]</sup>。但现有文献对台风侵袭下电网的预警预报及应对措施研究较少。因此,有必要研究台风对电网的影响以及电网防台抗风的预警机制与应对措施,减小台风带来的危害,保障电力供应。下面针对近年来台风对电网的影响进行分析,梳理台风过境期间基于国网台风监测预警中心的台风预测预警响应机制,提出电网设备防台抗风能力提升的技术手段和管理措施。

## 1 台风对电网的主要危害

2016 年福建遭遇台风“莫兰蒂”侵袭,造成多条 500 kV 线路损坏<sup>[14]</sup>。2017 年台风“天鸽”在广东珠海南部沿海登陆,导致广东电网 35 kV 及以上变电站停运 77 座,110 kV 及以上线路跳闸 138 条,影响用户 292.1 万户<sup>[15]</sup>。2019 年台风“利奇马”登陆浙江,造成浙江电网 500 kV 线路跳闸 32 条次、220 kV 线路跳闸 87 条次,3 个 220 kV 变电站全停<sup>[16]</sup>。2020 年强台风“黑格比”在浙江沿海登陆,造成上海电网线路跳闸 92 起(停运 39 起),其中 110 kV 2 起、35 kV 4 起、10 kV 86 起,影响台区停电 296 个。

2021 年,强台风“烟花”前后两次在浙江登

陆,7 月 24 日 8 时左右开始影响上海,至 7 月 27 日 8 时,台风主要影响基本结束。台风“烟花”强度强、移速慢,对上海影响持续时间长,期间上海电网共计发生线路跳闸 402 起,其中 110 kV 5 起、35 kV 39 起、10 kV 358 起,影响台区停电 4292 个。受恶劣天气不可抗力影响,部分故障抢修时间较长。

综合来看,台风登陆前后,登陆地及附近地区的电网可能出现设备密集跳闸的情况,容易引发极端薄弱供电方式,造成变电站全停,导致电网局部供电能力下降。台风影响过程中,树木倒伏(见图 1)、树枝碰线(见图 2)、异物短路为台风天气下引起跳闸的主要原因,部分树木修剪不到位、户外设备裸露点等问题仍然存在,防台抗灾方面仍有大量工作要做。



图 1 台风引起树木倒伏



图 2 台风引起树枝碰线

## 2 基于国网台风监测预警中心的台风监测预警机制

### 2.1 台风监测预警中心架构

以提升电网防台抗风减灾能力为宗旨,国家电网有限公司在 2016—2021 年期间,逐步建成国网台风监测预警中心,实现九省两市(浙江、福建、江西、安徽、江苏、上海、山东、辽宁、吉林、黑龙江、天津)110 kV 及以上电压等级电网台风监测的全面覆盖和台风预报预警信息的高精准发布。

台风监测预警中心由主站和九省两市子站以及相关台风监测、数据传输和处理硬件设施构成。台风监测预警中心总体架构如图 3 所示。

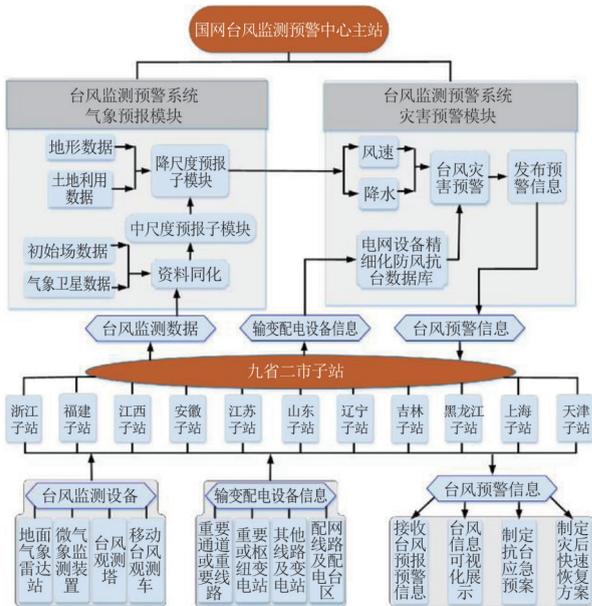


图3 台风监测预警中心系统架构

## 2.2 台风监测预警中心主站和子站

九省两市子站将各自区域内的气象监测数据通过上行数据传输网实时上传至中心主站;同时收集各电网输变配电设备信息,主要包括特高压输电线路或受台风灾害影响严重地区重要线路的三维建模信息、设计文件、计算载荷等以及其他线路运行资料、设计风速等,将上述信息上传至中心主站。

中心主站接收汇集九省两市子站上传的实时气象监测数据,结合接入的气象卫星数据和全球大气初始场数据先通过中尺度台风预报子模块获得 $9\text{ km}\times 9\text{ km}$ 精度台风预报结果,再应用降尺度技术获得九省两市电网亚公里级( $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ )台风预报结果,同时对台风路径、强度、风场、降雨量等进行可视化展示。中心主站基于九省两市输变配电设备信息,建立各自电网输变配电设备精细化防风抗风特性数据库,结合相应电网台风监测结果及 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 分辨率预报数据,及时、准确、有效发布台风预警信息,并将该预报预警信息通过下行数据传输网实时分发至相应的九省两市子站。九省两市子站在接收到由中心主站发布的台风预报预警信息后,根据各自电网防风抗台软硬件支撑能力,制定科学、经济、合理的防风抗台应急预案及灾后快速恢复方案,同时可视化展示各自电网风场、降雨量等信息及台风路径、强度等信息。

## 2.3 台风监测预警发布机制

台风监测预警中心可提前72 h从多层次实时监测台风中心轨迹的风速、风向以及重要输电通道

局部风速、降雨量等重要信息,并在台风来临前及过境期间发布中期和短期预警。其中中期预警为对未来72 h的台风灾害预警,每天发布2次;短期预警为对未来24 h的台风灾害预警,每天可发布4次。特高压等重要输电通道已完成杆塔三维力学分析数据库建设,台风灾害预警可精确至主材级别,对电网防风抗风工作起到了技术支撑作用。针对不同的预警等级,可制定对应的应急措施<sup>[17]</sup>。

2021年9月台风“灿都”期间,上海电网依托台风中心主站和子站,跟踪观察预测风速变化和局部地区风速、雨量监测数据,对比线路杆塔设计值评估上海地区受台风影响的110 kV及以上杆塔风偏或倒塔预警等级。风偏闪络、异物外破等预警信息以日报的形式发送至运行单位。“灿都”期间,上海电网共发出台风灾害高风险线路预警信息80条、中低风险线路预警信息440余条,有力支撑各单位提前做好防范措施和应急准备。例如,上海金山供电公司在收到预警后,及时巡查线下大棚加固情况,加强输电通道隐患整改落实,提前完善应急抢修行动方案,有效防止了特高压复奉直流重要输电通道下蔬菜大棚、薄膜、彩钢板等异物被大风吹起碰线的意外发生,有序控制了台风次生灾害的扩展。

## 3 电网设备抗台风技术与管理措施

### 3.1 调度应急处置

台风登陆前,为增强电网网架强度,应对电力系统的运行方式提前进行调整,尽可能使全网保持全接线运行,具备复电条件的输变电设备提前复电,部分备用线路或备用主变压器可考虑将其转为正常运行;将沿海变电站无人值守模式恢复为有人值守模式,全方位做好防风抗风部署准备<sup>[12]</sup>。台风影响下,需迅速辨识网架薄弱环节,结合风险危急程度排序,关注高电压等级线路故障跳闸及重合情况,及时开展故障线路试送。若地区电网存在孤岛运行的潜在风险,应提前做好孤岛运行的预控准备,控制该地区内电厂出力,尽量保持发电用电自平衡<sup>[12-13,16]</sup>,最大限度地减少台风造成的不良后果及经济损失,维护国家安全、社会稳定和人民生命财产的安全<sup>[18]</sup>。

### 3.2 设备性能提升

配电设备防风抗风设计水平通常较主网设备

低,因此更易遭受台风侵袭和影响。以上海电网为例,其配电网建设起步早,部分区域老旧设备仍然占一定比例。架空户外设备受到近年来生态环境改善影响,树线矛盾、小动物(鸟、松鼠)、外部异物(风筝、气球)等数量呈现上升趋势。另外,由于杆塔基础周围土壤变化、拉线松弛等原因,少数线路存在杆塔倾斜风险。针对户外架空设备,一是全面选用全绝缘杆刀、全绝缘断路器,全绝缘熔断器、全绝缘横担等全绝缘设备,防止异物接地短路;二是对于线夹、接地环、避雷器导线连接处等裸露点,加装专用绝缘罩,使用绝缘自固包材进行绝缘包覆,实现线路全绝缘化;三是在架空线分段联络处,使用全绝缘杆刀,不使用断路器,减少二次设备故障导致的运行风险。

### 3.3 隐患排查治理

台风来临前需全面开展隐患排查整治:1)加强线路巡视工作,尤其是台风影响范围内的关键厂站和重要输电通道的特巡工作,对线路通道沿线的易漂浮物、大棚、彩钢瓦、树线矛盾等做好排查、清理、加固、拆除和修剪工作,加强对业主的危险源告知和风险宣传,在政府相关部门的支持下开展树木紧急修剪和大棚加固与拆除工作,增加户外设备抵御大风等极端天气的能力。2)对变电站门、窗户外构架、高型布置、排水沟、室外端子箱等做一次专项检查,检查清除站内及周边易漂浮物,部分受影响范围内重要变电站要安排有人值守。3)加强变配电站防汛设施检查,特别是地下变电站、地势低洼变配电站和电缆隧道,确保排水设施完好、防汛材料配备充足到位,做好防止暴雨倒灌的相关措施。4)排查施工现场临时工棚、线路跨越架、脚手架、井字架、塔吊、围墙及施工驻地隐患,并落实治理措施,组织好人员撤离工作。5)排查城市排水泵站等重要用户供电设施以及环网柜、配电箱、分支箱浸泡受潮隐患,检查临江防汛墙及排水设施,做好防汛防台各项措施,并加强运维保障。6)密切保持与重要用户、敏感用户的联系,认真开展重要用户、人员密集场所、用户地下站、泵站、码头、下立交和水产养殖户的安全用电服务。

### 3.4 加强沟通联动

借助防汛指挥部、气象等相关部门信息交互渠道及时掌握汛情灾情等紧急信息,有条件的可开展智能巡视<sup>[19]</sup>;强化与地方政府、防汛办、海事局、消防局、绿化、园林、市政等相关部门单位的联动机制,

加强沟通和联系,解决树线矛盾等问题,消除隐患源。同时做好抢修队伍、物资及配套保障等各项准备,增强 95598 接派单人员配置,确保故障报修通道畅通、信息流通快速、事故抢修便捷、应急支援迅速,更好地应对台风灾害影响。

## 4 结 论

上面分析了近年来台风对沿海地区电网设备的主要影响,介绍了基于国网台风监测预警中心的台风监测预警机制,提出了电网设备抗台风相关技术和管理措施,得出如下结论:

1) 台风对沿海地区的电网影响较为明显,台风登陆前后,登陆地及附近地区的电网可能出现设备密集跳闸、变电站全停,电网局部供电能力下降等情况。

2) 鉴于气象部门台风预报不具备电网自身抗台属性,国网公司建设了台风监测预警中心,基于九省两市输变配电设备信息,结合相应电网台风监测结果及 1 km×1 km 分辨率预报数据,及时、准确、有效发布台风中期和短期预警信息。

3) 为提升电网抗台风能力,应做好台风登陆前全接线运行、输变电设备复电、部分备用设备转正常运行,变电站无人值守模式调整等增强电网网架强度的各项抗台部署准备,并在台风影响期间做好故障线路试送、潜在孤岛系统发用电平衡调节等调度应急处置工作。

4) 为增强设备抗台风水平,建议配电设备选用全绝缘设备,裸露点处加装专用绝缘罩,架空线分段联络处使用全绝缘杆刀。同时加强台风来临前的隐患排查治理,开展针对性的线路巡视工作,检查清除站内及周边易漂浮物,实施变配电站防汛设施检查,排查施工现场临时搭建物,排查排水泵站等重要用户供电设施,与重要用户保持联络并提供安全用电服务。

5) 与相关部门加强沟通联动,及时掌握汛情灾情等紧急信息,合力解决树线矛盾等问题,消除隐患源;同时做好抢修队伍、物资及配套保障等各项准备,事故抢修便捷,应急支援迅速。

### 参考文献

- [1] 张勇,赵勇,王景亮,等.台风对电网运行影响及应对措施[J].南方电网技术,2012,6(1):42-45.

- International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems(EPECS), 2011;1-7.
- [9] 师立涛. 电力系统谐波谐振及防治措施的研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [10] 马晓兰. 计及背景谐波及背景负序影响的牵引供电系统谐波与负序评估[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [11] 李尚盛, 吴楠, 查晓明. 基于电容器分组投切的电网谐波阻抗特性研究[J]. 高电压技术, 2016, 42(10): 3354-3360.
- [12] 吴命利, 吴丽然, 杨少兵, 等. 交流电气化铁道牵引网阻抗频率特性测试装置: 104090182A[P]. 2014-10-08.
- [13] 姜昊. 电网阻抗特性测试与辨识[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- [14] 师洪涛, 卓放, 杨祯, 等. 基于改进正弦调制电流注入的三相交流电源系统谐波阻抗测量研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(8): 257-264.
- [15] 惠锦, 杨洪耕, 叶茂清. 基于阻抗归一化趋势判别的谐波发射水平估计[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(10): 73-80.
- [16] 王诗超, 沈沉, 李洋, 等. 基于波动物量法的系统侧谐波阻抗幅值估计精度评价方法[J]. 电网技术, 2012, 36(5): 145-149.
- [17] 惠锦, 杨洪耕, 林顺富, 等. 基于独立随机矢量协方差特性的谐波发射水平评估方法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(7): 27-31.
- [18] BO Z Q, LIN X N, WANG Q P, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power System, 2016, 1: 8PP.
- [19] 王能进, 周子洋, 李飞, 等. 主变压器低压侧三相空载电压不平衡分析[J]. 四川电力技术, 2019, 42(5): 92-94.
- [20] XU Wilsun, LIU Yilu. A Method for Determining Customer and Utility Harmonic Contributions at the Point of Common Coupling[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(2): 804-811.

#### 作者简介:

张晓斌(1994), 男, 工程师, 从事输配电工作。

(收稿日期: 2022-10-14)

(上接第 34 页)

- [2] 陈佩燕, 杨玉华, 雷小途, 等. 我国台风灾害成因分析及灾情预估[J]. 高电压技术, 2009, 18(1): 64-73.
- [3] HOU H, HE X K, LI Z T, et al. Risk assessment of power system under typhoon disaster[J]. International Journal of Security and Its Applications, 2014, 8(3): 289-296.
- [4] MENG Y, MATSUI M, HIBI K. A numerical study of the wind field in a typhoon boundary layer[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1997, 68(1): 437-448.
- [5] 楼文娟, 罗罡, 杨晓辉, 等. 输电线路动态风偏响应特性及频域计算方法[J]. 高电压技术, 2017, 43(5): 1493-1499.
- [6] 龙立宏, 胡毅, 李景禄, 等. 输电线路风偏放电的影响因素研究[J]. 高电压技术, 2006, 32(4): 19-21.
- [7] 范亚洲. 沿海架空输电线路防风防雷的综合治理[D]. 广州: 华南理工大学, 2011: 7-22.
- [8] 孙保强, 候镭, 孟晓波, 等. 不同风速下导线风偏动力响应分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(11): 2808-2813.
- [9] 李震宇, 武国亮, 王志利, 等. 电力微气象风偏灾害监测预警技术及系统实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(1): 125-131.
- [10] 张勇, 赵勇, 王景亮, 等. 台风对电网运行影响及应对措施[J]. 南方电网技术, 2012, 6(1): 42-45.
- [11] 周中秋. 台风对配电网的影响和防御对策[J]. 广东电力, 2009, 22(5): 29-31.
- [12] 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.
- [13] 杨民京, 董锴, 吴龙腾, 等. 广东电网台风调度应急处置系统及策略[J]. 电工技术, 2021, (16): 121-123.
- [14] 李大虎, 袁志军, 何俊, 等. 面向台风气象的电网运行风险态势感知方法[J]. 高电压技术, 2021, 47(7): 2301-2313.
- [15] 侯慧, 俞菊芳, 黄勇, 等. 台风侵袭下输电线路风偏跳闸风险评估[J]. 高电压技术, 2019, 45(12): 3907-3915.
- [16] 谷炜, 朱炳铨, 沈绍斐, 等. 超强台风“利奇马”调度应急处置经验及启示[J]. 浙江电力, 2020, 39(8): 35-41.
- [17] 程向辉, 刘俊勇, 杨嘉湜, 等. 电力系统运行状态分析和识别方法研究[J]. 四川电力技术, 2009, 32(S1): 20-23.
- [18] 夏志军, 王刚. 地市供电企业遭受重大自然灾害时的应急处置[J]. 四川电力技术, 2008, 31(S2): 70-73.
- [19] 杨翮, 卢瀚顺, 李祥, 等. 基于信息比对的电力系统监控信息全面巡视工作研究[J]. 四川电力技术, 2016, 39(4): 41-44.

#### 作者简介:

徐湘忆(1986), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电网设备状态监测;

毛玮韵(1991), 女, 学士, 工程师, 研究方向为输电线路台风预警监测;

高凯(1975), 男, 博士, 正高级工程师, 研究方向为电力设备状态检测与诊断技术;

任辰(1993), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为电网设备状态感知。  
(收稿日期: 2022-09-11)