

路永玲¹ 陶风波¹ 周志成¹ 刘洋¹

气象灾害对江苏电网设备的影响及防御分析

摘要

随着全球气候特征的明显变化及江苏工业经济的高速发展,江苏电网设备因气象灾害所引发的故障呈现逐年递增的态势,污闪、风偏等故障次数明显增多.在广泛调研收集资料的基础上对江苏地区典型气象条件的时空分布、气象灾害形成原因进行统计分析,得出大风、雷暴、雾霾、覆冰天气条件下电网设备的故障特征,明确了故障时的主要气象要素及影响规律;同时结合江苏电网运行经验和目前采取的防御措施,提出加强电网设备抗灾设计、采用防灾新技术、建立电网灾害监测及预警系统的总体防御思路,可为具有类似气象灾害的电网设计、运行及事故预防提供重要参考.

关键词

气象灾害;电网设备;故障防御;气象预警;在线监测

中图分类号 TM71

文献标志码 A

收稿日期 2014-04-02

作者简介

路永玲,女,工程师,从事架空输电线路防雷防污工作.15105182955@163.com

¹ 江苏省电力公司 电力科学研究院,南京,211103

0 引言

随着经济社会发展,电网系统变电站、输电线路的覆盖面不断扩大,大风、雷电、雾霾等灾害性天气对电网安全运行产生的侵扰随之增大,尤其是一些极端天气会直接导致线路故障停运.目前,国内外在电网气象灾害风险评估及预防方面的研究越来越多,美国、日本及欧盟各国逐步实现了灾害信息的共享.随着国内雾霾、覆冰等恶劣天气不断增多,电网设备正常运行受到了极大影响,许多电力科研单位开展了对电网气象灾害的深度分析并寻求防治措施^[1].中国电力科学研究院发起了“中国电网应对极端自然灾害技术现状”的广泛调研^[2],明确了我国电网所面临的气象灾害类型及特点.北京、上海等电力单位通过与各地气象部门合作,研究了各自地区电网灾害的气象影响因素及时空分布特征^[3-4],为气象灾害预警及防御策略奠定了基础.

江苏地处亚热带和暖温带的气候过渡带,属东亚季风气候区.在太阳辐射、大气环流以及江苏特定的地理位置、地貌特征的综合影响下,气象灾害频发,且种类多、影响面广.根据运行经验,可对江苏电网造成影响的主要气象灾害有大风、雷暴、雾霾、高温、暴雨洪涝、覆冰、降雪等,其中大风、雾霾等往往会造成倒塔、污闪等严重电网事故.在全球气候变暖的大背景下,江苏气候特征也发生了明显的变化,电网设备因气象灾害所引发的故障呈逐年递增的态势,做好气象信息的收集应用及灾害防御对电网安全稳定运行至关重要.

本文对江苏电网近年来发生的气象灾害案例、电网设备故障特征、采取的防御措施及主要气象要素进行了广泛调研,并通过与气象、环保等部门的合作,将全省气象观测站、雷电定位系统以及环境监测站的监测数据同电网经验数据相融合,对各类气象灾害对江苏电网的影响及防御进行分析研究.

1 主要气象灾害及防御现状

1.1 风灾

1.1.1 江苏电网设备受风灾的影响

基于气象观测数据和数学统计得出江苏各月均可出现大风,一年中春季的3—4月和夏季的7—8月大风日数较多,区域性大风平均每年有22.4 d,最多的一年是1965年,为78 d,最少的是1995年和1999年,仅6 d,连续最长达6 d(1963年1月20—25日、1964年5月

13—18日)。

2013年8月9日,江苏500 kV东三线因风偏跳闸,阳城电厂—东明—三堡送出通道全部中断,当时飊线风瞬时极大风力达12级,风速33.0 m/s,为多年来遇到的最大强风,超过设计最大风速30 m/s,造成单I串导线对酒杯塔塔身放电,放电痕迹如图1所示。除此之外,2004—2007年东三线曾发生过6次飊线风风偏跳闸。2013年8月10日无锡地区出现大风、雷雨等强对流天气,现场出现的最大风速为29 m/s,超出铁塔的设计风速(25 m/s),造成110 kV西亭线3基铁塔折倒(图2)。历史数据表明,江苏地区还发生过数次500 kV输电塔的风毁事故,例如2005年6月14日,国家“西电东送”和华东、江苏“北电南送”的重要通道江苏泗阳500 kV任上5237线发生风致倒塔事故,一次性串倒10基塔^[5],造成大面积的停电,当时飊线风最大瞬时风速为32.9 m/s,已超过最大设计风速30 m/s。



图1 东三线风偏故障导线放电痕迹

Fig. 1 Discharge traces of wind deflection fault of East-III-line



图2 西亭线倒塔现场

Fig. 2 Collapsed power transmission tower of Xiting-line

除了龙卷风和飊线风造成的输电塔倒塌之外,台风过境江苏也会出现大风和降雨,造成很多配网设备因灾受损^[6],例如受2013年第11号强台风“海葵”影响,苏州和无锡176条10 kV线路因树木倒塌而跳闸、停运,约13万户居民用户受到停电影响。

1.1.2 风灾防御措施

1) 在输变电设备设计阶段,应综合考虑地区环境因素,确保满足抗风设计标准。对于连云港、盐城等易出现大风天气的沿海地区或飊线风等微气象盛行地区的输变电设备设计应严格按照相关规范中要求的重现期、风速规定,并留有适当裕度。

2) 与各地气象监测部门密切配合,开展不同地形特征下不同高度的风况观测,探讨设计中气象条件的选定条件。

3) 采用“悬垂串改为双串‘八’型布置”、“悬垂串重锤配重法”、“牵制法”、“支撑法”、“阻挡法”、“包裹法”等措施提高线路铁塔在恶劣大风天气下的防风偏闪络能力。

4) 对于调爬或更换加长型合成绝缘子的交、直流线路应结合所在区域风区图或气象条件全面校核风偏间隙。

5) 研究输电线路塔上气象参数及导线风偏的在线监测系统,以确定线路杆塔上最大瞬时风速、风压不均匀系数和强风下的导线运动轨迹。

6) 在大风过境前后,加强电网设备的运行维护和巡视,特别是在河岸、海边、开阔地带等风口位置的变电站及走线方向与台风方向接近垂直的走廊和杆塔;同时深入变电站周围和输电线路通道内的施工临时棚屋、农村塑料大棚和农用塑料薄膜地,提醒和督促用户加强管理,防止异物被风吹起造成电网设备损坏及短路。

1.2 雷暴灾害

1.2.1 江苏电网设备受雷害的影响

以江苏雷电定位系统近8年的雷电监测数据为基础,运用雷电参数统计软件对江苏电网地闪密度 N_g (单位:次/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$))进行分析可知江苏大部分地区处于多雷区($2.78 \leq N_g < 7.98$),无少雷区($N_g < 0.78$),另外中雷区($0.78 \leq N_g < 2.78$)、强雷区($N_g \geq 7.98$)面积少^[7]。据统计2011年全省落雷数大幅增多,是近年来雷电活动最强烈的一年。从空间分布来看,淮安、苏州、盐城、南通、宿迁等地平均落雷数最多(表1)。

表 1 2005—2012 年江苏省落雷统计

Table 1 Ground lightning statistics in cities of Jiangsu province from 2005 to 2012

地区	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	8 年平均
南京	34 662	44 035	44 057	19 777	27 445	17 530	43 353	24 191	31 881.3
南通	30 447	35 797	28 522	44 198	28 012	30 072	51 125	32 722	35 111.9
宿迁	36 359	30 358	22 673	46 055	23 446	18 856	56 894	34 707	33 668.5
常州	15 375	22 207	23 622	20 117	17 609	10 453	27 281	17 544	19 276.0
徐州	48 100	30 490	38 416	30 428	41 541	18 919	19 461	18 725	30 760.0
扬州	50 625	32 290	25 599	21 441	18 580	17 217	42 238	34 515	30 313.1
无锡	16 974	21 196	29 442	31 106	20 783	17 683	41 586	19 559	24 791.1
泰州	31 546	22 972	20 745	21 198	12 352	15 156	45 630	28 866	24 808.1
淮安	64 344	48 920	44 095	47 068	34 798	28 224	62 480	46 550	47 059.9
盐城	62 354	46 916	28 133	59 330	28 931	25 302	42 695	36 757	41 302.3
苏州	27 452	30 942	38 303	50 107	35 941	32 117	52 448	32 207	37 439.6
连云港	22 284	14 296	13 442	25 377	16 313	14 526	12 788	11 502	16 316.0
镇江	20 429	18 905	30 745	12 729	11 164	10 547	44 804	25 213	21 817.0
总计	46 0951	399 324	387 794	428 931	316 915	256 602	542 783	363 058	—

近几年雷击成为影响江苏电网安全稳定运行的重要因素之一。据统计,2005—2013 年江苏电网 220 kV 及以上输电线路雷击跳闸共 304 次,其中 500 kV 跳闸 67 次,220 kV 跳闸 237 次。仅 2013 年全省 220 kV 及以上线路雷击跳闸共 19 次,均发生在迎峰度夏期间,其中 500 kV 线路 6 次(4 次重合成功,2 次重合不成三跳),220 kV 线路 13 次(全部重合成功);35~110 kV 线路共发生雷击跳闸故障 408 起,占当年全省雷击跳闸故障总数的 93.36%。在多雷、土壤电阻率高、地形复杂的山区,雷击输电线路引起的事故率更高。从江苏 220 kV 及以上输电线路近 5 年雷击跳闸次数(表 2)来看,全省输电线路 2011 年跳闸次数最多,受雷害影响也最为严重。

表 2 近 5 年 220 kV 及以上线路雷击跳闸数

Table 2 Times of lightning trips on transmission lines of 220 kV and above in recent 5 years 次

月份	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
6	13	1	5	1	0
7	4	13	18	11	11
8	10	15	21	16	9

1.2.2 雷害防御措施

1) 在设计阶段,充分收集沿线气象资料信息并进行系统分析,尽可能避开多雷区。

2) 在运行阶段,参照雷区分布图,对地闪密度多雷区加强防雷与接地装置的巡视检查,确保防雷设施的可靠性和完整性。

3) 在 500 kV 及以上的重要线路安装线路型氧化锌避雷器。

4) 对于 35~110 kV 雷击跳闸次数较多的线路可架设耦合地线。

5) 对 10(20) kV 架空绝缘导线采用防雷屏蔽线、过电压保护器、防雷绝缘子等防断线措施。

6) 采用输电线路雷电预警及数字化雷电定位技术,实现雷击故障点定位、雷击事故鉴别、雷电短时预警等,提高电力系统综合防灾和安全保障能力。

1.3 雾霾

1.3.1 江苏电网设备受雾霾的影响

雾霾天气不仅使电网设备外绝缘表面受潮而且造成表面污秽度增加,容易引起污闪^[8]。随着江苏工业经济的快速发展,江苏全省污染源点出现较大变化,严重雾霾天气频发,其导致的污闪事故已经成为威胁江苏电网运行的主要不安全因素之一。

据统计,2007—2013 年间因雾霾造成的严重污闪事故有 2008 年 500 kV 汉桥 5296 线、2010 年 500 kV 东三一线、2010 年 220 kV 杨台变电站、2013 年 500 kV 东三一线和 2013 年 500 kV 东明开关站发生的污闪跳闸事故,其中 500 kV 东明开关站污闪故障是由于开关站被多家当地石化工业污染源包围,工业粉尘在设备表面大量沉积,当出现持续重雾霾天气时,外绝缘表面受潮形成高导电层,使支柱绝缘子沿面击穿而引发的。

1.3.2 雾霾灾害防御措施

1) 对局部污染较严重的线路组织调爬,应将瓷

绝缘子更换为合成绝缘子或在塔头尺寸允许范围内增加绝缘子片;对于重污区输电线路,如果外绝缘无法再次增加时,应将瓷绝缘子喷涂 RTV 涂料,增加防污性能;对于变电设备应采取喷涂 RTV、加装伞裙、更换设备、停电清扫、带电清扫、带电水冲洗等措施。

2) 加强对各种气象信息的统计和分析,为设计和运行维护提供依据.例如在进行变电站或输电线路的选址时,应充分考虑有关气象因素,尽量使变电设备避开污染源的下风处等。

3) 加强与气象部门的联系,做好对具有高含水量的浓雾的预报工作,尽可能及早掌握其发生时间和范围;在长时间干旱少雨地区,应高度重视各种高湿天气及逆温天气的出现,防止加重输变电设备的积污,降低污闪概率。

4) 建立污染源动态更新机制,根据污染源变化情况,适当缩短污区图局部修订的周期.各地运行维护部门可根据最新局部修订结果及时动态调整设备防污闪策略。

5) 加强冬春季节毛毛雨、雾霾、长期干旱等极端天气下输变电设备的巡视。

6) 建立电网污秽预警系统,根据现场监测数据,分析环境对输变电设备的影响,判断当前防污闪形势,做好防污闪工作。

1.4 覆冰

1.4.1 江苏电网设备受冰灾的影响

1) 覆冰灾害.江苏省线路覆冰事故相对较少,2008 年南方冰灾并未对江苏电网造成影响,但 2009 年在南京发生 1 起线路覆冰灾害,覆冰形式为雨淞或混合淞,造成南京地区输电线路跳闸 16 次,其中 220 kV 线路 1 次,110 kV 线路 9 次,35 kV 线路 6 次;110 kV 及以上单相故障 4 起,相间故障 6 起.其中 110 kV 苏殷线 22#—23#覆冰厚度达 10 mm,超出南京地区常规设计冰厚,使得导线的比载增大,对交叉跨越物放电.经调查发现,覆冰区靠近长江,所处地段大多位于风口且起伏度较大,属于微地形区形成的雨淞覆冰现象。

2) 覆冰舞动灾害.当风速在 5~15 m/s,风向与线路走向夹角大于 45°时,覆冰线路易发生舞动.2010 年 2 月 10 日前后,受冷空气南下影响,江苏省发生大风雨雪冰冻天气,最大风力 7~8 级,受其影响,连云港、淮安、徐州等地区发生了线路覆冰并引起舞动,涉及 220 kV 输电线路 6 条,110 kV 线路 9

条,造成旗唐 2W84 线、凤香 4912 线、芦薈 2W11 线、芦薈 2W12 线线路跳闸以及导线损伤和金具损坏.根据气象观测,当地气象条件为雨夹雪,持续时间为 2 d,导线覆冰厚度约 5 mm 左右.其中芦薈 2W11、2W12 线位于连云港云台山和花果山之间,最高海拔高度 625 m,为空旷风道,风力较大,且靠近东海,水汽丰富,易形成覆冰。

1.4.2 冰灾防御措施

1) 采取合理的规划设计方法.规划设计部门在选择新建线路走廊时,要尽量避免跨越大河、道路、风道等易覆冰地带,对于无法避开的覆冰区,应在设计时采取必要的预防性抗冰措施,避免大高差和大转角,适当增加耐张塔,提高杆塔过载能力,以增强线路的抗冰能力^[9]。

2) 采取有效的融冰、除冰措施.采用电流融冰技术、机械除冰方法、被动防冰方法等及时对覆冰设备进行处理,避免电网跳闸事故的发生^[10]。

3) 采取有效的防导线覆冰舞动措施.在输电线路路上安装相间间隔棒、双摆防舞器和线夹回转式间隔棒等有效防舞动装置,抑制不均匀覆冰导线的舞动及脱冰跳跃,降低舞动灾害的发生。

4) 采取有效的覆冰监测观测措施.采用准确的监测分析方法和实用的数学模型,建立输电线路覆冰状态在线监测系统,对恶劣大气环境中运行的高压输电线路及变电站绝缘子的覆冰(雪)情况进行在线监测;采用能在高寒大雾等恶劣天气中飞行的无人驾驶自动飞行系统,通过空中拍摄完成覆冰观测,提供有效现场资料。

1.5 其他灾害

受近年来气候异常因素的影响,江苏除以上主要气象灾害以外,还会出现雪灾、高温、冰雹、暴雨洪涝等灾害,同样对电网安全运行造成了一定影响^[11-12].比如 2009 年 11 月南京局部地区遭受罕见大到暴雪袭击,共造成多条 35 kV 及以上电压等级输电线路跳闸;2013 年 8 月淮安 10 kV 韩庄线 16# 杆负荷开关因高温重载时间长,加剧了设备本体老化,最后导致 C 相桩头烧断,形成相间短路;2013 年 6 月南京沿北线沿警支线 3#杆因暴雨冲刷造成杆基不稳、侧向倾倒,导致导线碰相短路。

2 气象灾害防御总体建议

2.1 适当提高设备抗灾设计水平

收集电网设施附近气象台站的多年气象要素,

并综合考虑风区、冰区、污区以及雷电的分布及发生情况,从设计上尽量消除能引起电网事故的各种气象灾害因素。

2.2 深化灾害研究,采用新的防灾技术及设备

深入研究灾害(如雷电、台风、覆冰等)影响电力设备正常运行的机理,并建立相应的故障概率模型,在线评估灾害对于电网设备的影响。在应对电网灾害方面,应与气象部门合作,开展输配电系统抗风新技术和新设备研究^[13],防止大面积的倒塔和大电网事故。

2.3 建立电网灾害在线监测及预警机制

全面开展输变气象地震精确监测工作,收集基础数据信息,并以现有灾害性事故信息及研究成果为基础,将灾害的地理数据、属性数据及评估结果同 GIS 技术相结合,建立气象灾害的事故预警机制^[14-15]、应急机制以及灾后快速恢复和重建机制。

3 结语

1) 影响江苏电网设备的主要气象灾害类型为大风、雷暴、雾霾和覆冰,不同地区因气象条件不同,引起的灾害类型存在差异。

2) 全省风灾多出现在春夏季,故障形式多表现为风速超过输电线路杆塔设计值而导致倒塔和风偏闪络;雷暴天气集中在 6—8 月,全省大部分地区属于多雷区,苏南地区更为严重,会直接造成高压输电线路闪络跳闸;雾霾和覆冰灾害主要发生在冬春季,在苏北污染严重地区雾霾天气增加了输变电设备产生污闪的风险。

3) 江苏电网应在现有防御措施的基础上,通过提升设备抗风、抗冰及外绝缘爬距设计水平,利用防风偏、防雷击等新技术,建立电网灾害监测及预警系统,提升电网抵御气象灾害的能力。

参考文献

References

- [1] 胡毅,胡建勋,刘庭.我国南方地区电网大范围覆冰灾害的特点分析与防治措施[J].电力设备,2008,9(6): 1-4
HU Yi, HU Jianxun, LIU Ting. Analysis and countermeasures for large area icing accident on power grid in northern China [J]. Electrical Equipment, 2008, 9(6): 1-4
- [2] 王昊昊,罗建裕,徐泰山,等.中国电网自然灾害防御技术现状调查与分析[J].电力系统自动化,2010,34(23):5-10

- WANG Haohao, LUO Jianyu, XU Taishan, et al. Questionnaire survey and analysis of natural disaster defense techniques of power grids in China [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(23): 5-10
- [3] 甘璐,叶宽,张德山,等.北京市电网灾害的时空分布特征及与气象因素的关系[J].气象,2012,38(3): 349-352
GAN Lu, YE Kuan, ZHANG Deshan, et al. Temporal-spatial distributive characteristics of power grid disasters and their relation with meteorological factors over Beijing [J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(3): 349-352
- [4] 韩昌.上海常见气象灾害及电力系统安全应对策略[J].上海电力,2008(5):440-442
HAN Chang. Countermeasure strategy of common meteorological disasters in Shanghai and electric power system safety [J]. Shanghai Electric Power, 2008(5): 440-442
- [5] 谢强,张勇,李杰.华东电网 500 kV 任上 5237 线爬线风致倒塔事故调查分析[J].电网技术,2006,30(10): 59-63
XIE Qiang, ZHANG Yong, LI Jie. Investigation on tower collapses of 500 kV Renshang 5237 transmission line caused by downburst [J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 59-63
- [6] 彭向阳,黄志伟,戴志伟.配电线路台风受损原因及风灾防御措施分析[J].南方电网技术,2010,4(1): 99-102
PENG Xiangyang, HUANG Zhiwei, DAI Zhiwei. Analysis on the cause of distribution line's damage during typhoon and counteract measures [J]. Southern Power System Technology, 2010, 4(1): 99-102
- [7] 刘贞瑶,顾林,叶辉.江苏电网 2004—2006 年架空输电线路雷击跳闸分析[J].江苏电机工程,2008,27(2):42-45
LIU Zhenyao, GU Lin, YE Hui. Analysis of lightning flashover for overhead transmission lines from 2004 to 2006 in Jiangsu power grid [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2008, 27(2): 42-45
- [8] 袁贵中,罗森波,罗秋红.广东电网电力污闪事故气象研究[J].云南电力技术,2011,39(4):82-83
YUAN Guizhong, LUO Senbo, LUO QiuHong. Meteorological research on contamination flashover of Guangdong power grid [J]. Yunnan Electric Power, 2011, 39(4): 82-83
- [9] 李强.2008 年雨雪冰冻灾害分析及对电网的启示[J].电力建设,2008,29(6):18-21
LI Qiang. Analysis of the freezing rain and frost disaster of year 2008 and its significance to power grid [J]. Electric Power Construction, 2008, 29(6): 18-21
- [10] 李再华,白晓民,周子冠,等.电网覆冰防治方法和研究进展[J].电网技术,2008,32(4):8-14
LI Zaihua, BAI Xiaomin, ZHOU Ziguan, et al. Prevention and treatment methods of ice coating in power networks and its recent study [J]. Power System Technology, 2008, 32(4): 8-14
- [11] 王兆坤.洪涝灾害下电力损失及停电经济影响的综合评估研究[D].长沙:湖南大学经济与贸易学院,2012: 4-6
WANG Zhaokun. The comprehensive assessment of the

power loss and the economic impact of the power outages under the flooding [D]. Changsha: School of Economy & Trade, Hunan University, 2012:4-6

- [12] 张树林. 高温天气对输电设备的影响及应对措施 [J]. 山西电力, 2011(3):35-37
ZHANG Shulin. The influences of high temperature on transmission equipment and countermeasures [J]. Shanxi Electric Power, 2011(3):35-37
- [13] 从荣刚. 自然灾害对中国电力系统的影响: 文献综述 [J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2013, 32(1): 105-112
CONG Ronggang. Impact of natural disasters on electric power systems of china: A literature review [J]. Journal of

- Xihua University; Natural Science, 2013, 32(1):105-112
- [14] 周卫, 缪升, 屈俊童, 等. 电网系统气象灾害的精细化预警研究 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(增刊2):286-290
ZHOU Wei, MIAO Sheng, QU Juntong, et al. Research on precise warning of meteorological disasters in electric network system [J]. Journal of Yunnan University, 2008, 30(sup2):286-290
- [15] 谢强, 李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4):126-131
XIE Qiang, LI Jie. Current situation of natural disaster in electric power system and countermeasures [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4):126-131

Analysis of influence and prevention of meteorological disasters on Jiangsu's power grid equipment

LU Yongling¹ TAO Fengbo¹ ZHOU Zhicheng¹ LIU Yang¹

¹ Electric Power Research Institute, Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 211103

Abstract With the obvious change of global climate characteristics and rapid development of industrial economy, the number of faults on grid equipment in Jiangsu Power Grid caused by meteorological disasters is showing an increasing trend year by year, especially the contamination flashover faults and wind deflection faults. On the basis of extensive investigation, this paper presents the fault characteristics of power grid equipment under wind, thunderstorm, haze or ice. And furthermore it pinpoints the main meteorological elements and the related influence law. Combining with the existing operation experience and prevention measures, this paper gives the overall defense advice for power grid against meteorological disasters, including improved design and plan of power grid equipment, employment of new technology, meteorological disaster monitoring and warning system. The results above can provide important reference for the designing, maintaining and fault prevention of power grids with similar meteorological conditions.

Key words meteorological disasters; grid equipment; fault prevention; meteorological warning; on-line monitoring