

气象灾害信息在输电线路运行维护中的应用分析

任双赞¹, 李力², 蒲路¹, 王南¹, 高峰¹

(1. 国网陕西省电力公司电力科学研究院; 2. 国网陕西省电力公司西安供电公司)

摘要: 针对目前因各种气象灾害所频频引发的电网事故, 详细介绍了我国主要的气象灾害, 以及不同气象灾害对电力系统尤其是输电线路的安全运行所造成的危害及影响; 对如何有效利用已有的气象预报信息以及输电线路状态监测技术, 在实现输电线路的防灾减灾能力提高以及进一步建立相应的预警机制等方面进行了总结归纳, 为进一步研究输电线路的防灾减灾技术方面提供了参考。

关键词: 气象灾害; 输电电路; 运行维护

中图分类号: TM755

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)03-0141-04

Application and Analysis of Meteorological Disaster Information on the Operation and Maintenance of Transmission Line

REN Shuangzan¹, LI Li², PU Lu¹, WANG Nan¹, GAO Feng¹

(1. State Grid Shanxi Electric Power Research Institute, Xi'an, 710100, China;

2. State Grid Xi'an Electric Power Supply Company, Xi'an, 710032, China)

Abstract: According to the many accidents that caused by the various meteorological disasters the harm and influence of the meteorological disasters on the safe operation for power systems, especially on the transmission line are detailed introduced in this paper. Besides, how to utilize the existing weather forecasting information and the condition monitoring technology of transmission line, to improve the disaster prevention of transmission line effectively are present, and how to establish appropriate early warning mechanism is described as well, some conclusions would provide reference for the further study on disaster prevention of transmission line.

Key words: meteorological disaster; transmission line; operation and maintenance

随着社会的不断发展, 国家对坚强智能电网建设的持续推进, 气象灾害信息在电网安全、稳定运行方面的影响越来越大, 特别是近些年来雨雪冰冻、高温干旱、雷电、雾霾以及台风等灾害性天气对电网及其输变电设备安全运行和可靠供电的影响呈逐年递增趋势^[1]。据统计, 造成电网系统事故的原因中, 自然灾害成为仅次于设备自身导致故障的第二大因素, 其中, 气象灾害造成的损失会占到每年全部自然灾害损失的70%^[2]。

输电线路在电网中的作用是输送电能, 且大部分建于野外, 恶劣天气因素对其影响作用尤为明

显: 如雷暴天气引起的线路跳闸、大风天气引发的线路舞动、冰冻天气引起的线路覆冰、倒塔等。其中仅2008年我国南方发生的雪灾及冻雨天气就造成全国范围电网停运电力线路3万6740条^[3](截止2008年3月4日17:00, 电监会公布数据)。

因此为保证电网系统的安全稳定运行, 针对输电线路, 与气象部门通力合作, 开展输电线路沿线的气候信息预测及线路状态监测数据分析, 加强输电线路在这些灾害发生前的预警工作, 采用先进可靠的新技术和新装备以提高电网防御能力, 对提高输电线路故障气象信息应用及线路安全运行维护水平具有重要意义。

1 我国主要气象灾害及其对输电线路的影响

输电线路相对变电设备而言, 途经平原山脉,

跨越河流湖泊, 沿线地形、地貌不同, 受自然环境影响程度也不尽相同, 如雷电活动、覆冰及导线舞动、绝缘子污秽、强风浓雾等均会对输电线路的安全稳定运行带来严重威胁。

我国是一个地域辽阔, 气候复杂的国家, 气候的复杂性给我国输电线路的安全运行带来了一定的影响。根据气象灾害特征及对输电线路影响程度, 可将我国气象灾害分为7大类20种^[4], 其中对电网输电线路的影响及危害如表1所示^[5-8]。

表1 中国主要气象灾害分类及对输电线路的影响

Tab. 1 Classification of meteorological in China and the influence on transmission line

类	种	天气表征	对输电线路的危害
洪涝	洪水	暴雨	冲毁杆塔、导致线路断线
	雨涝	大雨	
干旱	干、旱	少雨	热风气旋引发输电线路导线风偏放电
	干热风	久晴	
	热浪	高温	
台风	台风	狂风	引发线路舞动、倒杆(塔)、输电导线断线及风偏放电
	冷害	强冷空气	
冷冻灾害	冰冻	雨淞、寒潮	线路覆冰、倒杆(塔)、断线、线路舞动、覆冰闪络、脱冰跳跃、线路跳闸
	冻雨	霜冻	
	雪灾	积雪	
	风灾	飓风	
	冰雹		
局地风暴	风害	强对流	线路舞动、断线、倒杆(塔)、输电导线风偏放电、雷击过电压
	龙卷风	下击气流	
	雷电		
连阴雨	连阴雨	阴雨、低温、潮湿	线路绝缘子串湿闪
其它	沙尘暴	强风、浓雾、雾霾	线路舞动、线路绝缘子串污闪、雾闪
	浓雾	大气污染	

2 气象灾害信息在输电线路状态监测预警系统中的应用

2.1 输电线路状态监测信息

国网公司在《国家电网智能化规划总报告(修订稿)》中已提到, 在智能电网的发展过程中, 要努力提高输电线路的输电效率和状态监测水平。我国智能电网要求的输电线路状态监测信息主要包括基础信息、运行管理、灾害预警和环境监视等方面^[9], 具体内容如表2所示。

一般来说, 可以通过输电线路状态监测信息反映出输电线路实际的运行工况, 采取合适的检测手段获取线路准确的相关气象信息, 并做到在隐患发

表2 目前电网输电线路主要状态监测信息

Tab. 2 Condition monitoring information of gird transmission line

类别	内容
基础信息	台账资料、地理信息、运维数据
运行管理	缺陷资料、故障隐患、载流能力、导线及接头温度、弧垂、外绝缘及风偏、荷载信息等
灾难预警	雷电、强对流天气、冰灾、台风等预警
环境监测	气象监测、山火监测、人为破坏监测等

生前及时发布预警: 如提前发布大雪预警可以提醒电力部门近期加强线路巡视, 做好及时清扫线路积雪及对输电线路开展融冰工作等相关预案, 避免后期造成线路绝缘子污闪或线路杆塔承重不足而导致的倒塔事故; 寒潮、冰冻预警可以提醒电力部门做好输电线路的防冻、覆冰工作; 大风预警提醒电力部门应注意以防输电线路舞动造成倒塔以及高温造成的用电负荷过高而引起的线路跳闸事故等。

2.2 电网气象信息系统

目前, 国家电网公司已全面进入推进坚强智能电网建设的新阶段, 可是电网现有的雷区分布图、纸质污区图、风区监测数据、覆冰观测影像、导线舞动记录、线路鸟害等资料, 信息散、数据乱、展现方式不统一、不全面, 不具备统计分析等数据挖掘功能, 尚未建立适用于电网运行的特定灾害性天气预警模型, 更无法为电力部门提供决策支撑等特点, 难以有力支撑电网规划设计, 也给输变电设备运行状态的全面监测和管理带来不便, 严重制约着智能电网建设工作的纵深推进。

针对上述现状, 科研人员对气象灾害信息在电网防灾减灾系统中的应用进行了大量有益的研究和探索^[1, 10-17]。

在气象信息传输和接收方面, 电子科技大学杨洋等人^[10]研发了一套基于无线传感器网络的输电线路微气象环境监测系统, 该系统综合利用了 Zigbee 和 GPRS 两种技术的特点, 充分实现了系统稳定、数据远距离传输及成本因素的有机结合。此外, 在移动通信网络范围内, 通过 GPRS 业务进行数据正常的远距离传输, 在没有移动通信网络的偏远地区, 则可以依靠 Zigbee 节点的[9]中继传输功能继续正常工作。

在气象灾害信息预警建模方面, 以输电线路导线覆冰为例, 华北电力大学王计朝等人^[11]提出可以通过采集导线倾斜角度、弧垂等参数, 结合输电

线路相关状态方程、线路参数及微气象环境等参数,拟合计算出线路覆冰后的比载、重量、厚度等覆冰参数,并对覆冰的危险等级作出判定,以及及时给出除冰信息;或通过建立影响输电线路安全的主要气象因素的故障率模型,应用灰色模糊理论构建多气象因素组合的输电线路风险评判方法^[12-13]。在实际中,绝缘子表面的覆冰极不均匀,无法进行厚度精确测量,国际上普遍用覆冰重量衡量绝缘子的覆冰程度,并认为架空输电线路绝缘子的闪络电压随覆冰程度的增加而明显降低并趋于饱和。

在气象信息预警方面,使用格点气象数值预报生成变电站或重要输电线路的现地预报值,并根据此预报值进行预警,其原理是通过将天气预报中尺度数值预报模式生成的格点数值预报值覆盖在电网地理信息系统 GIS (Geographic Information System) 图上,使网格点和输电线路的地理位置相叠加,实现气象信息图与电力接线点有机结合,并通过 GIS 的地理分析功能,将距离杆塔或线路最近的 4 个格点预报值拟合成现地预报值。因大多输电线路或变电站都有相应的气象防灾参数,对温度、风速、湿度及降水量等气象因素有限值规定,在实际工作中,通过将气象实时值和这些限值进行比对,从而产生预警信息^[1,14]。格点气象数值预报的优点是可在指定区域内生成格点预报数据,每个格点内容可包括温度、降雨、湿度、风速以及风向等气象要素。

任何系统功能的完美发挥都必须依赖数据的丰富程度和精确程度。云南大学周卫^[15]等人提出的基于 GIS 的电网气象预警系统依靠其准确的地理信息、气象信息、地质信息、电网系统结构设计参数以及应急预案信息等实现精细化的预警。在该系统中,预警需要的各种数据库分属不同部门管理,因此需通过制定一定的合作框架,建立数据库之间的共享机制,以实现各数据库间不同数据的无障碍流通。

运用系统模型库中特定的数学模型,结合已获取的气象信息及 GIS 基础地理信息等数据,即可实现气象灾害信息在电网系统中危害点的准确定位及精细化预警。基于以上理论,江苏省电力公司目前已开发一套基于 GIS 的电网气象灾害监测预警系统,并已投入应用^[16],系统构架图如图 1 所示。

此外,基于 Flex 技术的电网气象预警系统通过与 FlashGIS/Web GIS 结合,既弥补了传统 GIS 系

统交互性和用户体验较差的不足,还可实现多维度气象信息预览,构建完善的灾害性气象预测报体系,为电网人员既可提供专业的灾害性气象预警服务,还可提供人性化的用户体验^[17-18],如通过 Flex 富客户端可以将系统集成的众多气象数据源以曲线图、柱状图、等值线、列表等形式,并结合 GIS 地图进行更直观展示。

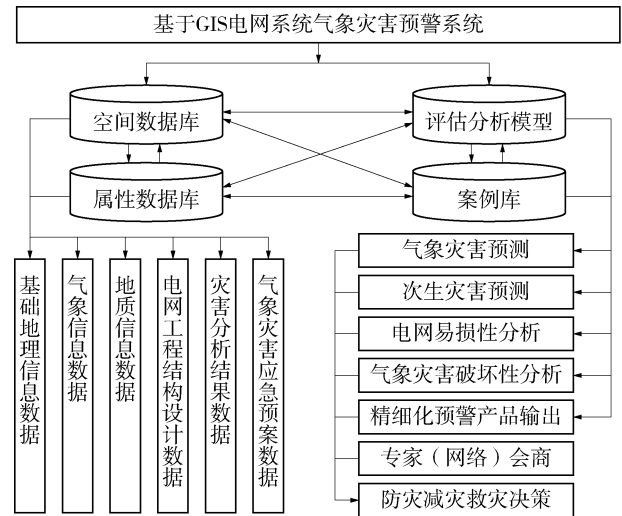


图 1 电网系统气象灾害预警系统构架

Fig. 1. Architecture of grid weather disaster monitoring and warning system

3 电网系统中区域性利用气象信息的典型应用

3.1 输电线路的差异化防雷评估系统

2006 年,我国已建成覆盖全国电网的雷电监测网,可以准确的捕捉地闪时间、位置及雷电流幅值等信息。在后续研究中,国网电力科学研究院结合输电线路的基础信息、地形地貌等参数,利用全线路雷击故障风险逐杆塔分析方法研制出输电线路差异化防雷评估系统,该系统可逐基评估杆塔/线路雷害风险等级,定量获得各基杆塔雷击跳闸率,筛选出线路高风险杆塔,并形成相应的防雷改造方案^[19]。

3.2 输电线路覆冰自动监测系统

2008 年初,我国南方地区电网遭受大范围、长时间的雨雪冰冻灾害,覆冰倒塔 70 万余基,京广电气化铁路停运 7 天,1 亿多人口停电、停水,直接经济损失 250 亿元,严重影响了正常的社会生活秩序。国网湖南电科院陆佳政博士率领团队成员刻

苦攻关,从海量的覆冰因子关系图中发现了影响电网覆冰的17个关键因子,首次揭示了“日地气耦合”电网覆冰规律,研究提出了电网覆冰长、中、短期预报方法,开发了国际首套电网覆冰自动预报系统,为后续研发成功的直流融冰装置、防冰闪复合绝缘子等成果提供了良好基础。

此外,针对大风,冰害以及沙尘暴气象条件所引起的输电线路舞动,依托国网河南电科院成立的输电线路舞动防治技术实验室在输电线路舞动试验技术、防舞装置性能定量评估、舞动气象预警、输电杆塔舞动破坏机理等多个方面均达到国际领先水平。研究成果已经应用于19个网省公司数千条线路的设计、改造,为电网安全运行提供了有力支撑。

4 结论

目前电网系统中多数网省公司已基本绘制了本区域的灾害性环境如雷区、风区、冰区、污区等参数分布图,并依据上述环境参数分布开发了相应防雷、覆冰监测以及气象灾害预警等系统,但在全球气候变化背景下,自然灾害呈高发态势,冰雪、山火、雷电、雾霾、洪涝、地震等极端灾害事件频发,对特高压及大电网的安全稳定运行构成了严重威胁。而特高压及跨区电网线路的快速建设,越来越多的输电线路将延伸至自然灾害高发区,经济社会的发展和特高压与跨区大电网的互联对电网安全稳定运行提出了非常高的要求。

为保证电网系统尤其是输电线路的安全运行,建议电网部门和气象部门能在自然灾害研究和防御方面开展良好合作,建立政府领导、部门联动、社会参与的重大气象灾害防御体系。充分整合应用及开发已有的卫星遥感、地理信息、计算机技术及通讯技术,对气象灾害进行实时的监测预警评估,为电力相关专业部门提供及时、准确、可靠的决策信息,使电网系统防灾减灾工作有更充分的科学预警依据,并能够建立科学的应对极端气象灾害的应急机制,不断提高输电线路的防灾减灾技术水平。

参考文献:

[1] 周海松,陈佩琳,张建伟. 格点气象数值预报在电网防灾减灾中的应用[J]. 山西电力, 2013(2): 1-3.
ZHOU H S, CHEN P L, ZHANG J W. The application of grid-based numerical weather prediction in the disaster prevention

and mitigation of the electric power grid [J]. Shanxi Electric Power, 2013(2): 1-3.

- [2] 金磊,明发源. 责任重于泰山-减灾科学管理指南[M]. 北京: 气象出版社, 1996.
- [3] 杨建平,殷丽平,顾峻源. 科普到位,宣传入心——科学认识低温、雨雪、冰冻气象灾害对电网安全运行的影响[J]. 中国电力教育, 2008(3): 4-9.
YANG J P, YIN L P, GU J Y. Popular science in place to promote the heart-scientific understanding the influence of low temperature, freezing rain and snow on safe operation of power grid [J]. China Electric Power Education, 2008(3): 4-9.
- [4] 郭进修,李泽椿. 我国气象灾害的分类与防灾减灾对策[J]. 灾害学, 2005, 20(4): 106-110.
GUO J X, LI Z C. Classification of meteorological disasters and strategies for hazard prevention and reduction in China [J]. Journal of Catastrophology, 2005, 20(4): 106-110.
- [5] 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 Q, LI J. Current situation of natural disaster in electric power system and countermeasures [J]. Journal of Nature Disasters, 2006, 15(4): 126-131.
- [6] 胡浩军. 浅析雷电对输电线路的影响及防范措施[J]. 中国电力教育, 2009(增刊2): 368-370.
HU H J. Countermeasures on the influence of thunder and lightning on transmission line [J]. China Electric Power Education, 2009(Supp. 2): 368-370.
- [7] 吴昕婷. 基于电力系统的自然灾害应急管理研究[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 21(2): 188-191.
WU X T. Research on natural disaster emergency administration of electric power system [J]. Wuhan University of Technology, 2008, 21(2): 188-191.
- [8] 郭应龙,李国兴,尤传永. 输电线路舞动[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [9] 赵文彬,李慧星,费正明,等. 基于智能电网需求的输电线路状态监测系统建设[J]. 华东电力, 2010(8): 30-35.
ZHAO W B, LI H X, FEI Z M, et al. Construction of transmission line state detection system based on smart grid requirements [J]. East China Electric Power, 2010(8): 30-35.
- [10] 杨洋. 一种输电线路微气象环境监测系统的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
YANG Y. A monitoring system design in transmission lines based on wireless sensor networks [D]. Chendu: University of Electronic Science and Technology, 2012.
- [11] 王计朝. 输电线路状态检修技术的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009.
- [12] 熊小伏,王尉军,于洋,等. 多气象因素组合的输电线路风险分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(6): 11-15+28.
XIONG X F, WANG W J, YU Y, et al. Risk analysis method for transmission line combining of various meteorological factors [J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2011, 23(6): 11-15+28.

表2 垃圾场对水质的影响结果

Tab. 2 Results of the impact on water quality caused by landfill

单因子指数	井0	井1	井2	井3
氨氮	5.7	6.8	4.4	4.6
硝酸盐	2.1	0.06	0.09	0.01
亚硝酸盐	29.5	3.5	2.0	0.5
砷	20.0	476.0	420.0	174.0
氯	0.5	0.9	0.6	0.4
高锰酸钾指数	0.7	1.4	1.3	1.6
综合污染指数	9.7	81.4	71.4	30.2
内梅罗污染指数	22.0	341.5	301.3	124.9

5 结论

根据检测结果对比的评价结果,结合对某地区存量垃圾填埋场的地质环境效应调查情况,得出如下结论:

1)文中提及的存量垃圾填埋场地质情况具有代表性,其地质条件代表了下伏黏性土层较薄区域的基本地质情况。垃圾场渗滤液对地下水造成污染,是防污性能较差区域的普遍问题,根据前期工作统计,在已知的1 011处某地区存量垃圾填埋场中,此类情况最为突出。

2)通过水质检测结果分析,该垃圾场对其下伏的第一层地下水已经造成严重影响,对比上游背景

监测井检测结果,其综合污染指数为5.0,单项污染组分(如砷、高锰酸钾指数等)高于背景值几倍甚至几十倍。对比地下水Ⅲ类水质标准,该层地下水污染程度更为突出,污染物砷在临近垃圾场的监测井中超标倍数高达476倍。

3)对没有进一步治理计划的存量垃圾填埋场,应开展上游背景点的调查工作,积累数据库,同时对垃圾场下游及周边开展密切监控,实现对存量垃圾填埋场的防控,对已知污染较重的填埋场应采取积极措施应对,控制或切断污染源。

4)该项工作的开展,为全国存量垃圾填埋场的工作提供大量的借鉴经验,为加快全国风险评价和存量垃圾填埋场的治理工作提供依据。

参考文献:

- [1] 刘长礼,张云,王秀艳,等.垃圾卫生填埋处置的理论方法及工程技术[M].北京:地质出版社,1999:1-10.
- [2] 陆雍森.环境评价[M].上海:同济大学出版社,1999:433-456.
- [3] 刘兆昌,张兰生,聂永丰,等.地下水系统的污染与控制[M].北京:中国环境科学出版社,1989:278-308.
- [4] 国家技术监督局.地下水质量标准:GB/T 14818—93[S].北京:中国标准出版社,1994.

(责任编辑 郑文棠)

(下接第144页 Continued from Page 144)

- [13] 陈璨.架空线路中PGW融冰技术的研究[J].南方能源建设,2016,3(2):82-87.
CHEN C. Research on overhead line OPGW ice-melting technology [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 82-87.
- [14] 刘秀英,朱金花,张曼,等.电力气象灾害决策服务显示系统的构建[J].科技情报开发与经济,2008,18(36):117-118.
LIU X Y, ZHU J H, ZHANG M, et al. Construction of the display system of decision-making service of meteorological disasters for electric power [J]. Sci-tech Information Development & Economy, 2008, 18(36): 117-118.
- [15] 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,2008,30(增刊2):286-290.
ZHOU W, MIAO S, QU J T, et al. Research on precise warning of meteorological disasters in electric network system [J]. Journal of Yunnan University, 2008, 30 (Supp. 2): 286-290.
- [16] 姚楠,陈哲,刘玉林.基于GIS的电网气象灾害监测预警系统的研制[J].电力信息化,2013,11(3):41-45.
YAO N, CHEN Z, LIU Y L. Research of grid weather disaster

monitoring and warning system based on GIS [J]. Electric Power IT, 2013, 11(3): 41-45.

- [17] 刘金长,杨成月,庄玉林,等.基于Flex的电网气象预警系统的研发与开发[J].电力信息化,2010,8(10):18-21.
LIU J C, YANG C Y, ZHANG Y L, et al. Research and development of grid meteorological early warning system based on Flex [J]. Electric Power IT, 2010, 8(10): 18-21.
- [18] 薛丽芳,王亦宁,谢凯,等.基于防灾预警电网气象信息系统的设计与实现[J].水电自动化与大坝监测,2013,37(2):5-9.
XUE L F, WANG Y N, XIE K, et al. Design and implementation of grid meteorological information system based on disaster warning [J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2013, 37(2): 5-9.
- [19] 陈家宏,赵淳,谷山强,等.电网雷电监测与防护技术现状及发展趋势[J].高电压技术,2016,42(11):3361-3375.
CHEN J H, ZHAO C, GU S Q, et al. Present status and development trend of lightning detection and protection technology of power grid in China [J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(11): 3361-3375.

(责任编辑 郑文棠)