

气象条件对湖州输电运维的影响分析

周雪婧¹, 陆璐², 周凌峰¹

¹湖州市气象局, 浙江 湖州

²国网浙江省电力有限公司湖州供电公司, 浙江 湖州

收稿日期: 2025年9月18日; 录用日期: 2025年9月30日; 发布日期: 2025年10月30日

摘要

输电线路的安全稳定运行与所处气象条件密切相关, 本文以长三角电力枢纽的湖州为研究对象, 结合其亚热带季风气候、“西电东送”特高压通道战略定位及总长6356千米输电线路现状, 系统分析暴雨、大风、雷电、高温及低温雨雪冰冻五类关键气象要素对输电运维的影响机制, 结合近十年数据与灾害案例分析其致灾特征, 指出湖州电力运维气象服务存在精细化气象监测不足、数据共享机制缺失、专业技术滞后三大短板, 并提出构建精细化气象监测网络、提升电力专项预警精准度、深化气象-电力数据协同、强化复合型人才支撑四大对策, 为提升湖州电网抗灾与区域电力保障水平提供科学依据。

关键词

气象条件, 输电运维, 灾害机理, 防御措施

Analysis of the Impact of Meteorological Conditions on Huzhou Power Transmission Operation and Maintenance

Xuejing Zhou¹, Lu Lu², Lingfeng Zhou¹

¹Huzhou Meteorological Bureau, Huzhou Zhejiang

²Huzhou Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Huzhou Zhejiang

Received: September 18, 2025; accepted: September 30, 2025; published: October 30, 2025

Abstract

The safe and stable operation of power transmission lines is closely related to the meteorological conditions of their location. Taking Huzhou, a power hub in the Yangtze River Delta, as the research object, this paper systematically analyzes the impact mechanisms of five key meteorological factors—

heavy rain, strong winds, thunder and lightning, high temperatures, and low-temperature rain, snow, and freezing—on power transmission operation and maintenance. The analysis is conducted in combination with Huzhou's subtropical monsoon climate, its strategic position as an ultra-high voltage (UHV) corridor for the "West-to-East Power Transmission" project, and the current status of its 6,356-kilometer-long power transmission lines. By integrating data from the past decade and disaster cases, the disaster-causing characteristics of these meteorological factors are examined. The paper points out three major shortcomings in meteorological services for Huzhou's power operation and maintenance: insufficient refined meteorological monitoring, a lack of data sharing mechanisms, and lagging professional service technologies. Corresponding countermeasures are proposed, including constructing a refined meteorological monitoring network, improving the accuracy of power-specific early warnings, deepening meteorological-power data collaboration, and strengthening the support of interdisciplinary talents. This study provides a scientific basis for enhancing the disaster resistance capacity of Huzhou's power grid and improving regional power security.

Keywords

Meteorological Condition, Power Transmission Operation and Maintenance, Disaster Mechanism, Defensive Measure

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在现代电力系统中，输电线路作为电力传输的骨干通道，长期暴露于复杂多变的大气环境中，其可靠性深受沿途地质、气候、环境等外部条件制约[1]。数据统计表明，自然灾害、气象因素是造成中国电网架空输电线路非计划停运的主要原因[2][3]。雷暴、强风、暴雨、冰冻等极端天气事件极易引发电网故障，显著增加了线路运维的复杂性。我国极端灾害性天气伴有年际和区域群发性特征并呈现出类型多、强度强、频率高、危害重等特点[4]。特别是近年来随着全球气候变暖加剧，极端气象事件的强度和频率有增强的趋势，高温、暴雨、干旱等事件[5]对电网安全稳定运行构成严峻挑战。

湖州市地处长三角腹地，地势西高东低，地形以平原和丘陵为主，东部为水乡平原，西部则以山地、丘陵为主。属于典型亚热带季风气候，全年四季分明、降水丰沛、光照较丰，气候资源丰富。但也是浙江省气象灾害较为严重的地区之一，除沙尘暴以外，其他各类气象灾害时有发生。暴雨和台风是湖州最严重的两大气象灾害，此外，冬季常有低温雨雪冰冻天气，春夏季强对流天气多发，夏季多暴雨、高温天气。而作为浙江北部电力枢纽，截至 2025 年 7 月湖州输电线路共有 414 条，总线路长度 6356 千米。其中包括“湖州廊道”这一特高压输电通道，含 8 回特超高压交直流线路，总长 110 公里，额定输送容量达 2980 万千瓦，是“西电东送、北电南供”的重要节点。湖州电网以 1000 千伏安吉变作为主网支点，主网电源一部分来自境内 500 千伏含山变和妙西变，另一部分则是依托区域内长兴二厂、长兴电厂等作为电源补充，是全国少有的各电压等级齐全、电网分布密集的电力输送核心区。区域内途径高山、丘陵、平原河网、社会经济活跃区等多种地理环境，微地形与微气象现象显著，导致输电线路易受到电线覆冰、强风、高湿等气象条件的影响，从而导致输电设备故障、线路舞动甚至倒塔事故。如 2005 年 8 月台风“麦莎”肆虐湖州，造成多条 10 千伏、35 千伏、110 千伏线路受损停电；2024 年 2 月，浙江发生持续性大范围低温雨雪天气，期间，湖州安吉梅溪山区的输电线路出现覆冰，严重威胁电网可靠性和区域经济发展。

因此,深入研究湖州地区气象灾害与电网运行的关系,制定针对性的防灾减灾措施,对于提升输电线路抗灾能力、保障电力供应稳定以及支撑区域经济持续健康发展具有至关重要的意义。

2. 气象条件对输电线路的影响

2.1. 暴雨

暴雨是对湖州影响严重的气象灾害之一,指的是 24 小时雨量 ≥ 50 mm 的降水。近年来湖州短时暴雨多发频发,具有突发性、局地性、降雨强度大、致灾性强等特点。据统计,近十年小时雨强 ≥ 50 mm 的暴雨发生站点数占比达 67%。从空间分布来看,呈南部多于北部、沿湖多于内陆、山区多于平原的特征,高频区主要集中在安吉南部、德清大部、长兴煤山镇、吴兴东北部、市区及南浔个别地区。

暴雨对输电线路的影响主要体现在物理损坏线路设备和造成设备电气故障两大方面:强降水及由此引发的山洪、滑坡、泥石流等次生灾害,易冲刷杆塔基础,导致基础掏空、边坡失稳,甚至引发杆塔倾斜或倒塌;同时,雨水附着于绝缘子表面,大幅降低其外绝缘强度,尤其在污秽严重的绝缘子上,易引发污闪(湿闪)事故,此外暴雨常伴随的强对流天气也可能引起线路跳闸。

2.2. 大风

大风是指风力达 8 级(17.2 m/s)或以上的风。湖州大风一年之中各月均有可能出现,7~8 月份和 3~4 月份多发。根据不同天气系统,大致可以分为冷空气大风、台风、雷雨大风以及低压造成的偏南大风四类。其中冷空气大风主要出现在冬春季节,具有范围广、时间长等特点,并伴随强降温过程;雷雨大风以春夏季为主,具有范围小、时间短、强度大、破坏严重等特点;台风则以夏秋季节为主,常常伴有暴雨。从近十年湖州大风发生情况来看,发生频次呈沿湖多于内陆、山区多于平原,且离散型强的特点,高频区主要集中在安吉山区、德清莫干山和下渚湖、长兴泗安和龙山街道、太湖沿岸濮涇和幻溇及吴兴区升山一带。

大风对输电线路的影响主要表现为机械荷载与电气间隙的变化。强风对杆塔、导地线及金具产生巨大风压荷载,可能超过设计校核条件,导致塔材变形、构件损坏甚至整体失稳;在特定风速和攻角下,导线易产生低频、大振幅的舞动现象,严重时会导致相间闪络、金具疲劳断裂,此外风偏可能使导线与塔身或周边物体间的电气间隙不足,引发放电跳闸。

2.3. 雷电

雷电是一种伴随闪电和雷鸣的大气中的放电现象,自然界中大部分闪电为云闪,发生在云和地面之间的闪电称为地闪,发生在云和云之间的闪电称为云间闪。据湖州雷电 2007~2021 年统计资料表明,年地闪变化呈现单峰型,主要集中发生在 6~9 月,占到全年地闪总数的 90.2%;12 月至次年 1 月只有零星闪电发生,仅占全年的 0.02%。长兴县北部、吴兴区南部、德清县西部和安吉县北部的部分地区是地闪密度的高值区。

输电线路纵横旷野,覆盖面积大,线路易遭受雷电危害。强烈的雷电电流通过输电线路,可能会超过线路的承载能力,导致导线熔断、断股或金具烧蚀,不仅会中断电力输送,还可能引发火灾等次生安全事故,其对电力系统的危害可沿网络蔓延,波及变电站及发电厂等关键节点[6]。

线路遭受雷击时,危害最大的是导线直击雷,直击雷是雷电直接击中导线,在导线上产生很高的雷电过电压引起绝缘设备闪络。另外,在平原地区,单地线线路有 1/4 概率雷击杆塔,双地线线路有 1/6 的机会塔顶遭受雷击。正常运行时,杆塔是地电位。雷击杆塔或避雷线,导线将高于杆塔电位的工频电压施加给线路绝缘子,使得杆塔电位骤然升高,而且远远超过标称电压,以超高电压施加给绝缘子,称为

“反击”。还有一种感应雷，是由于雷击线路附近的大地，使线路上产生感应过电压。当雷击距线路 65 m 以外与地放电时，在线路上产生感应过电压，这个感应过电压为随机变量，其最大值可达 300~400 kV，对绝缘水平较低的 35 kV 以下线路威胁尤为显著。为提升线路耐雷性能，通常采取综合防护措施，包括架设避雷线、降低杆塔接地电阻、架设耦合地线、装设自动重合闸装置、加强绝缘等[7]。

2.4. 高温

高温是指日最高气温达 35℃ 或以上的天气，湖州高温天气一般出现在 7 月到 8 月，个别年份部分地区在 5~6 月和 9 月份也会有高温出现。从历年变化看，湖州高温日数呈三段分布，总体有增多趋势，70 年代前较多，70~80 年代较为平稳，90 年代起增多，21 世纪 10 年代达到顶峰。

高温对输电线路运行的影响主要体现在导线热力学效应与设备运行工况上。一方面，由于导线热胀冷缩的物理特性，弧垂会增大，导致导线对地距离减小，可能使对地安全距离或交叉跨越距离不足，引发放电现象，存在安全隐患。另一方面，环境温度升高加剧导线电阻的欧姆热效应，导致电线损耗和通电风险增加，同时可能造成接头等连接部位因接触电阻增大而过热。输电线路若处在长期高温运行的环境下，会加速输电线路的老化，缩短设备的使用寿命，甚至可能引发火灾等安全事故。

2.5. 低温雨雪冰冻

自 1956 年有气象记录以来，湖州站年最低气温变化平稳，略有上升趋势，常年(1991~2020 年)最低气温为 -5.6℃。历年来，年最低气温最低值为 -11.1℃，出现在 1969 年。

低温环境同样会对输电线路产生不利影响。一方面，雨雪冰冻天气在导线、绝缘子及金具上形成覆冰，额外增加机械荷载，可能导致金具损坏、导线断股、倒塔等恶性事故。另一方面，低温还会使导线、钢芯及金属材料的脆性增加、韧性降低，覆冰脱落时导线弹性势能瞬间释放，引发剧烈的垂直跳跃运动，可能导致相间短路或金具受损。

3. 电力运维气象服务保障工作存在的主要短板

1) 精细化气象监测需进一步提升。大量输电线路分布在山区，其沿线尚未布设自动气象站，存在一定的监测盲区，特别是强对流天气发生具有一定的局地性，强对流大风造成的电杆倒塌，暴雨造成的线路跳闸常未能提前精准捕捉。

2) 数据共享机制要进一步完善。气象与电力间缺乏完善的数据信息共享机制，气象监测数据与电力设备运行状态、故障录波等信息未能实现深度融合与实时交互，从而影响气象预警与电力运维决策之间的联动效率。

3) 专业服务能力要进一步增强。针对电力运维新技术应用程度较低，部分电力服务产品仍以主观预报为主，气象预报向影响预报转变需继续探索，气象保障技术科研投入还不够，基于气象条件的动态增容、线路舞动/覆冰预测等高级应用技术研究投入不足，气象灾害对电网影响的量化指标体系尚不完善。

4. 电力运维气象服务保障工作能力提升的对策建议

1) 构建精细化气象监测网络。分析湖州电力受气象原因导致的灾情情况，在灾害易发点新建自动气象站，并试点部署导线覆冰、图像视频等在线监测装置，实现对关键线路走廊的立体化、精细化气象感知。重点监测风速、降雨量等气象要素，实现重点输电线路监测全覆盖。

2) 提升电力专项预警精准度。加强气象灾害预警指标阈值的研究，实现传统天气预报向影响预报和风险预警的转变，针对重点输电线路，结合历史灾情数据开发基于输电线路的预报预警模型，优化预警服务时效，为电力应急巡检争取时间。

3) 深化气象 - 电力协同应用。通过构建数据共享平台, 实现气象监测数据与电力设备数据互通, 加强技术融合, 按照“需求 - 服务 - 需求 - 改进”的封闭式标准化持续改进服务机制。

4) 强化复合型技术人员支撑。培育气象服务专业人才队伍, 特别是加强气象与输电专业的跨学科人才培养与技术交流, 定期开展专项技术培训, 建立和完善与气象服务多元化相适应的岗位管理制度和开放灵活的用人政策。

参考文献

- [1] 胡志鹏. 输电线路多因素风险评估及巡检策略研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [2] 陈丽娟, 胡小正. 2010 年全国输变电设施可靠性分析[J]. 中国电力, 2011, 44(6): 71-77.
- [3] 陈丽娟, 李霞. 2011 年全国输变电设施可靠性分析[J]. 中国电力, 2012, 45(7): 89-93.
- [4] 封国林, 侯威, 支蓉, 等. 极端气候事件的检测、诊断与可预测性研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [5] 中国气象局. 中国气候变化蓝皮书 2023 [M]. 北京: 气象出版社, 2023: 42-45.
- [6] 王建. 输电线路气象灾害风险分析与预警方法研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [7] 周长江. 气象灾害对克拉玛依电力设施的影响浅析[J]. 农业灾害研究, 2021(10): 11.