

# Maintenance Measures and Emergency Response Practices for Substation Equipment under Extreme Weather Conditions

Qiuping Xia<sup>1</sup> Wenchao Tian<sup>1</sup> Zhilin Xia<sup>2</sup>

1. State Grid Zhangjiakou Power Supply Company, Zhangjiakou, Hebei, 075000, China

2. Changchun University of Engineering, Changchun, Jilin, 130012, China

## Abstract

Frequent extreme weather events such as strong winds, snowfall, ice accumulation, and heavy rainfall in northern regions pose significant threats to the safe and stable operation of electrical equipment in substations. Drawing on practical field operation experience, this study systematically analyzes typical failure mechanisms and risk evolution patterns of substation equipment under various extreme weather conditions. Targeted maintenance solutions are proposed, with practical emergency response strategies outlined focusing on meteorological warning coordination, on-site incident management, and multi-stakeholder collaboration mechanisms. To ensure comprehensive lifecycle protection for substation equipment during extreme weather events, a closed-loop control model integrating “proactive prediction—real-time monitoring—efficient response—rapid power restoration” should be established, employing categorized technical measures. This research aims to provide references for enhancing the defense capabilities and emergency response capabilities of substation equipment against extreme weather disasters in power grids.

## Keywords

extreme weather; substation equipment; operation and maintenance support; emergency response; northern regions

# 极端天气下变电设备运维保障措施与应急处置实践

夏秋萍<sup>1</sup> 田文超<sup>1</sup> 夏志林<sup>2</sup>

1. 国网张家口供电公司, 中国·河北 张家口 075000

2. 长春工程学院, 中国·吉林 长春 130012

## 摘要

北方区域频发的强风、降雪、覆冰及强降雨等极端气象条件, 对变电站各类电气设备的安全稳定运行构成显著威胁。本文结合电网现场运维实操经验, 系统剖析不同极端天气工况下变电设备的典型故障机理与风险演化特征, 提出针对性运维保障方案, 并围绕气象预警联动响应、现场突发事件处置、政企多方协同机制等方面梳理应急处置实务路径。面向极端天气的变电设备全周期保障, 需建立“超前预判—实时监测—高效处置—快速复电”的闭环管控模式, 综合采用分类施策技术手段。此次研究, 旨在为电网变电设备极端气象灾害防御能力与应急处置水平的提升提供参考。

## 关键词

极端天气; 变电设备; 运维保障; 应急处置; 北方地区

## 1 引言

国内各类极端气象灾害呈现出频次增高、影响范围扩大的发展趋势, 对现代电力系统的安全稳定运行构成持续性威胁。国家电网有限公司所辖电线路廊道跨越广阔地理区域, 沿线地形条件复杂、气候类型多样, 致使输变电设施面临极端天气的冲击风险持续加剧。近年来, 北方地区强风、暴雪、线路覆冰等灾害性天气频发, 张家口等区域局地强降雨引发的内涝灾害, 亦对变电站安全可靠运行形成显著威胁。立足电网现场运维实践场景, 系统提炼极端气象条件下

变电设备运维保障策略与应急处置经验, 对增强电网综合防灾减灾能力、保障电力持续稳定供应具有重要的工程应用价值与现实指导意义。

## 2 北方极端天气下变电设备风险分析

### 2.1 大风天气风险特征

北方地区春季大风天气具有显著季节性特征, 局部区域瞬时最大风速可达7级及以上, 强风伴随沙尘侵袭易造成站内设备金属构件积污受潮、绝缘水平劣化乃至操作机构卡滞等问题<sup>[1]</sup>。大风工况下变电设备典型安全风险主要体现在三方面。其一为异物搭接风险, 农田地膜、防风抑尘网、轻型建筑板材等轻质漂浮物在强风作用下侵入变电站场区, 极易引发电气设备相间或相对地短路跳闸。其二为风偏闪络

【作者简介】夏秋萍(1993-), 女, 中国重庆人, 硕士, 工程师, 从事变电站设备运行与维护研究。

风险,大跨距输电导线在强风荷载下产生显著侧向位移与摆动,易导致导线对构架或塔身放电击穿。其三为构件松动风险,持续强风振动可能引发设备引线接头松脱、接地网连接件破损等结构性安全隐患。

## 2.2 降雪与覆冰风险特征

北方地区冬季降雪与覆冰过程,是威胁变电设备安全运行的关键气象致灾因素。覆冰现象本身是融合流体力学、热力学及气象学等多学科机理的复杂自然过程,其形成与发展会直接破坏电力装备的正常工作状态。相关监测数据显示,在极端覆冰工况下,设备表面覆冰厚度往往显著超出现行设计规范限值,进而诱发冰凌闪络、导线舞动、雾凇闪络等多重故障,极端情况下可引发导线断股、绝缘子破损、杆塔结构形变乃至倒塌等严重事故。

## 2.3 暴雨天气风险特征

张家口市域夏季暴雨灾害具有显著的区域性特征,降水时空分布离散性强、持续历时长、短时雨强偏高,对变电站设备安全构成多重威胁。暴雨工况下主要致险类型表现为:站区积水与内涝倒灌造成主设备浸水失效,电缆廊道进水导致绝缘性能急剧劣化,户外端子箱、控制柜渗漏引发二次控制回路短路或误动,杆塔基础受水流冲刷产生不均匀沉降与结构倾斜等。

# 3 极端天气下变电设备运维保障措施

## 3.1 大风天气运维保障措施

### 3.1.1 设备巡视与隐患排查

在强风天气预警发布前,运维作业人员需对变电站内外环境实施全域化排查整治,全面清除站区围墙外侧及邻近区域内地膜、塑料布、轻质板材等各类漂浮隐患源,并对站内标识标牌、户外照明装置、设备隔离围栏及构架防鸟设施等附属构件开展结构紧固性专项核验<sup>[2]</sup>。与此同时,对高压断路器操作箱、集成控制柜、户外端子箱等箱体的密封性能进行逐台核查,对密封胶条老化、箱体缝隙超标等问题及时采取防尘防渗封堵处置。针对大风诱发的异物搭接、构件松脱等典型风险,重点对接地引下线、设备引线接头等关键部位开展扭矩复检与加固。

### 3.1.2 技术防控措施

针对大跨距输电线路,可将常规复合绝缘子串替换为力学稳定性与抗风性能更优的瓷质防污型绝缘子串,从结构层面抑制风偏闪络事故的发生。对于强风区域内变电站构建筑物,对避雷针等高耸构件实施风振控制。强风天气过程结束后,运维人员需采用红外测温设备,对主变套管、母线接头、隔离开关触头等关键载流部位开展精细化测温检测,完整留存温度监测数据并建立动态跟踪比对机制,及时识别潜在过热隐患。

## 3.2 降雪与覆冰天气运维保障措施

### 3.2.1 设备特巡与防冻检查

在降雪与覆冰天气期间,需对户外 GIS 开关站开展特

巡,逐一对端子箱、操作机构箱、综合控制柜内伴热除湿装置运行状态进行核验,保障防冻加热系统可靠投入。针对设备密封结构、保温防护体系及防冻驱潮电伴热回路,需全面检查控制回路完整性、电源开关工况、供电电缆绝缘及伴热元件本体性能。运维人员应重点监测充油类设备油位、气体压力指标,确保各项参数维持在额定区间内,及时清除箱体顶部积雪积冰,严格检查箱体密封性能,防范融雪水渗入引发电气短路及二次回路故障。

### 3.2.2 覆冰监测与除冰技术

在覆冰状态监测领域,传感检测技术具备高灵敏度与实时监测优势,可对变电设备、母线、绝缘子覆冰状态进行连续监测,为变电设备覆冰演化过程提供可靠技术支持。在防冰除冰技术应用方面,变电站内配置直流融冰装置,主要为输电线路提供融冰电源,实现线路快速除冰;针对站内设备、母线及绝缘子覆冰,优先采用机械除冰、电伴热融冰等站内适用技术,在持续低温雨雪冰冻环境下保障变电设备安全运行,实时监测设备覆冰发展趋势,协同完成线路与站内设备的融冰除冰作业。

## 3.3 暴雨天气运维保障措施

### 3.3.1 防汛隐患排查与排水系统维护

暴雨气象预警前置阶段,需对运维辖区内变电站、输电线路及配电装置等关键电力设施实施全域化隐患排查治理。重点核验变电站排水管网通畅性、设备基础结构稳定性,核查输电铁塔及杆塔有无倾斜变形、不均匀沉降及拉线松弛失效等结构性隐患<sup>[1]</sup>。针对排查识别的各类风险点,建立标准化隐患台账,编制专项整治方案,落实责任主体与闭环整改时限,确保隐患动态清零。将地势低洼变电站及洪涝高风险区段线路列为特级防控对象,强化电缆沟渗漏水与积水状态监测,对已出现积水的部位立即组织应急排涝与防渗加固处置。

### 3.3.2 设备防护与物资准备

运维作业人员需对变电站户外端子箱、动力配电箱及各类电缆穿墙孔洞的封堵完整性进行专项核验,采取防渗密封加固措施,避免雨水侵入引发二次系统异常及故障。通过红外测温装置对站内各类电气连接节点开展温升检测,重点核查室外变压器引线接头过热隐患及箱体、管路等部位的渗油漏油缺陷。在防汛应急物资保障层面,需前置配置抽排水泵、防汛沙袋、防汛挡板等抢险装备,并完成性能校验与状态核查,确保灾时可快速投入使用。

## 3.4 智能巡检与数字化支撑手段

依托智能巡检系统及远程视频监控装置,对无人值守变电站实现全天候不间断状态监测,根据气象预警动态提升专项巡检与夜间巡检频次,重点强化防冻抗寒、防风加固及防汛排涝等防控措施。结合站内综合辅助监控平台,对变压器、隔离开关、互感器等设备的引线及接头部位开展常态化红外测温监测。具备条件的运维单元可搭建“GIS 电网地理信息+实时气象数据”一体化可视化调度管控平台,将内

涝高风险线路及低洼区域变电站纳入重点监测清单,实现设备运行工况、抢修人员定位、应急处置进度的全域实时可视化管控。

## 4 极端天气下应急处置实践

### 4.1 预警响应与应急指挥体系

极端气象条件下应急处置的核心效能,取决于风险前置预判能力与快速响应效率。在接收官方气象预警信息后,须立即启动对应等级的应急处置预案,组建由单位主要负责人牵头的应急指挥机构,下设线路特巡组、设备抢修组、物资保障组等专业执行单元,构建“企业—职能部门—基层站所”三级协同联动的指挥调度体系。依托视频会议平台常态化召开防汛、防风及防冻专题研判会议,实时统筹各单位应急处置推进情况,并依据气象演变趋势动态优化防控部署。强化与气象、水利等行业主管部门的横向协同,建立多维度信息互通共享机制,精准获取高精度气象预报与水文监测数据,为应急决策的科学性与针对性提供坚实支撑。

### 4.2 现场应急处置要点

#### 4.2.1 大风应急处置

强风天气影响期间,须严格落实全天候值班值守与管理人员带班机制,加密对道路沿线、农田区域及施工场地周边电力设施的巡检频次。现场排查发现异物搭接设备时,在满足安全作业条件的前提下迅速开展清除处置;若监测到设备构件松动或结构性损伤,应先行实施临时补强加固,待气象条件好转后开展系统性抢修作业。针对风偏引发的线路跳闸故障,需快速定位故障区段,制定临时旁路供电或分段复电方案,优先保障关键负荷与重要用户的连续供电。

#### 4.2.2 降雪覆冰应急处置

降雪及覆冰天气过程中,运维人员需克服低温严寒环境,常态化开展雪后专项巡检与夜间特巡工作,全面排查站内充气设备、充油类装置、设备引流线、机构箱伴热系统等关键部件运行状态,同时重点监测绝缘子覆冰及积雪情况,提前完善应对覆冰闪络、污秽放电等突发故障的防控预案。对覆冰厚度超标的线路区段,应及时启动融冰作业流程,采用直流融冰装备或交流短路融冰技术快速消除覆冰风险。构建“异常告警—智能研判—快速处置”的闭环响应模式,确保设备隐患能够实现早期识别、及时处置与闭环消缺。

#### 4.2.3 暴雨应急处置

强降雨期间,需加大对低洼地段、电缆管沟及配电室

内外设施的巡查力度,严密防范积水漫溢与设备淹浸风险。一旦出现积水态势,须立即启动应急排涝作业,并同步开展设备绝缘状态检测与评估。对已发生内涝积水的变电站,应果断实施停电避险处置,避免因短路击穿引发事故扩大化与次生灾害。渍水消退后,立即组织抢修力量对受淹电气设备开展全面检测、清污与干燥处理,在严格核验安全条件的基础上,快速推进供电恢复工作。

### 4.3 政企协同与应急联动

极端气象灾害应急处置效能的提升,有赖于政府主管部门、电网企业和社会应急力量的多方协同联动。针对变电站外围市政管网排涝能力不足等问题,需主动对接住建与市政管理部门推进综合治理;针对水库泄洪预警信息滞后等情况,应与水利管理机构构建常态化信息互通与汛情联动机制。轻质漂浮物、违规超高林木等外部隐患对电力设施安全构成持续威胁,必须依托属地政府及行政执法部门联合管控,方能实现源头治理与长效管控。面对重特大气象灾害,应充分发挥多级应急指挥体系的统筹调度功能,高效整合各类社会应急资源,凝聚多方协同的防灾减灾合力。

## 5 结语

变电设备在极端气象条件下的可靠运行,是电网防灾减灾体系建设的核心环节。北方地区强风、暴雪、覆冰及张家口区域性强降雨等典型灾害性天气,对变电设备安全稳定运行构成持续严峻挑战,运维保障工作须恪守“预防优先、防抢结合”的基本方针,搭建贯穿风险预判、在线监测、应急处置至灾后恢复的全流程闭环管控模式。设备本体层面,应持续深化防风补强、抗冰融冰、防汛防渗等针对性技术升级改造,强化设备固有安全裕度。运维管控层面,应深度融合智能巡检、状态在线监测、数字孪生调度等技术手段,实现风险精准预警与事件快速处置。应急保障层面,应完善分级预警触发机制,健全政企协同联动框架,全面提升现场应急处置实战能力。

### 参考文献

- [1] 吉林松原公司:应用智能巡检技术应对极端天气[J].农村电气化,2023,(02):80.
- [2] 刘景森.变电运维的设备状态监测与故障预警[J].大众标准化,2025,(21):43-45.
- [3] 程云,王雪慧,冯华.基于电力系统安全的设备运维管理策略研究[J].灯与照明,2025,49(05):157-159.