

# 高压变电站电气火灾隐患排查与消防防控对策研究

金春辉 孙静

国网嘉兴供电公司

DOI:10.32629/pe.v4i4.21772

**[摘要]** 高压变电站是电力系统核心枢纽,电气火灾严重威胁电网安全稳定运行。结合高压变电站设备运行特点与火灾成因,梳理设备老化、绝缘破损、线路过载、运维不当及消防设施滞后等电气火灾隐患,剖析各类隐患的诱发原因与排查难点。针对隐患排查流程不规范、防控体系不完善、应急处置能力不足等问题,搭建常态化、标准化的隐患排查机制,细化设备巡检、实时监测、风险分级管控等工作内容。从设备运维、消防升级、制度完善、人员培训、应急处置五个层面,搭建全面的变电站电气火灾防控体系。该研究可降低高压变电站电气火灾事故发生率,提升变电站消防安全管控水平,为电力系统消防安全规范管理提供技术支撑与实践依据。

**[关键词]** 高压变电站; 电气火灾; 隐患排查; 消防防控; 安全运维

**中图分类号:** TB63 **文献标识码:** A

## Research on Hidden-danger Investigation and Fire-prevention Countermeasures of Electrical Fires in High-voltage Substations

Chunhui Jin Jing Sun

State Grid Jiaxing Power Supply Company

**[Abstract]** High-voltage substations serve as the core hubs of the power system, and electrical fires pose a serious threat to the safe and stable operation of power grids. Combined with the operation characteristics of substation equipment and fire causes, this paper sorts out electrical fire hazards including equipment aging, insulation damage, circuit overload, improper operation-maintenance and backward fire-fighting facilities, and analyzes the inducing factors and investigation difficulties of various hidden dangers. Aiming at the problems such as non-standard hidden-danger investigation procedures, imperfect prevention-control systems and insufficient emergency-response capacity, a normalized and standardized hidden-danger investigation mechanism is established, and the work contents of equipment inspection, real-time monitoring and risk hierarchical management-control are refined. A comprehensive electrical fire prevention-control system for substations is constructed from five dimensions: equipment operation-maintenance, fire-facility upgrading, system improvement, personnel training and emergency disposal. The research results can reduce the occurrence rate of electrical fire accidents in high-voltage substations, improve the fire-safety management level of substations, and provide technical support and practical reference for standardized fire-safety management of power systems.

**[Key words]** high-voltage substation; electrical fire; hidden-danger investigation; fire-prevention and control; safe operation and maintenance

### 引言

电力能源保障社会经济稳定发展,高压变电站负责电能转换、输送与分配,运行状态关乎电网稳定与公共安全。高压设备长期高负荷运行,易出现绝缘失效、线路过载、设备老化等问题,引发电气火灾,造成设备损毁、电网瘫痪等严重损失。变电站现行消防排查标准与防控体系存在不足,难以适配复杂运维场景。

依托电气火灾风险特点与防控短板探究排查及防控策略,可夯实电网消防安全基础,保障电力系统长效安全运行,具备重要现实意义。

### 1 高压变电站电气火灾主要隐患及成因分析

#### 1.1 一次设备本体故障引发的火灾隐患

高压变压器、断路器、隔离开关等一次设备为变电站电能

传输核心设备,长期运行于高电压、大电流环境,环境侵蚀与设备损耗会滋生隐蔽火灾隐患<sup>[1]</sup>。户外一次设备长期暴露于雨雪、雾霾、沙尘环境,外壳密封结构老化失效后,水汽与粉尘侵入设备内部,致使铁芯、绕组受潮积污,引发绝缘下降、局部放电等设备故障。某220kV城郊变电站主变压器出现绝缘油劣化问题,绝缘介质耐压性能下降,设备运行产生局部过热,高温灼烧周边绝缘与密封材料,引发内部起火,造成主设备停运损坏。此类隐患隐蔽性较强,初期异常难以通过常规巡检发现,缺陷不断积累会形成热故障,超出设备承受范围即引发电气火灾,威胁变电站主设备运行安全。

### 1.2 二次回路及辅助系统安全隐患

变电站二次电缆、控制回路、直流电源等辅助系统负责设备控制、信号传输与保护联动工作,线路排布密集、布线结构繁杂,属于电气火灾高发区域。二次电缆贴合设备柜体与墙体桥架铺设,设备震动与环境高温会损伤电缆外层绝缘,造成表层磨损、开裂及老化脱落,裸露芯线易触发相间短路、接地短路故障。某110kV城区变电站二次电缆老化破损后,夜间负荷波动诱发线路短路,短路电弧引燃周边粉尘与老化绝缘碎屑,火势顺着电缆桥架快速扩散,全站二次保护装置失去作用,造成区域电网短暂停运。直流电源屏、蓄电池组密闭运行状态下散热效果不佳,极板老化、内部虚接产生的热量无法及时散逸,持续高温会引燃周边线路与柜体阻燃材质,衍生连锁火灾风险。

### 1.3 运维管理与环境诱发的隐性火灾隐患

变电站日常运维管控缺位、现场环境管理不严,都会诱发电气火灾事故。设备检修作业残留的金属碎屑、废旧线缆与防尘杂物滞留于高压设备及电缆通道周边,堆积物形成可燃载体,设备运行产生的电火花与局部高温可直接引燃杂物引发火情<sup>[2]</sup>。某35kV乡镇变电站电缆沟长期堆积落叶与施工废料,夏季设备高温运行产生的热辐射引燃沟内杂物,密闭空间火势扩散难以快速控制,造成多条出线电缆烧毁。运维作业中的不规范接线与紧固操作,会造成设备接头接触不良,设备运行持续出现接触过热,长期高温持续灼伤周边设备构件。变电站消防设施未按时校验、防火封堵存在破损空缺,会削弱火情初期处置能力,扩大火灾事故的破坏范围。

## 2 高压变电站电气火灾隐患排查体系优化方案

### 2.1 构建设备全周期精细化排查机制

结合高压变电站设备运行周期规律,建立涵盖设备投运、日常值守、检修养护、设备淘汰的全流程排查机制,改善传统定期巡检存在的不足。结合一次设备、二次设备差异化运行属性,制定适配不同设备、区域、工况的排查标准,检查设备绝缘、密封、接线及绝缘介质等关键部位。结合不同电压等级变电站设备与负荷特征,细化排查内容与作业标准,规范排查执行流程,实现全面精准排查。某500kV枢纽变电站对主变、高压开关柜、电力电缆建立全周期设备台账,记录设备参数、投运时间、运行状态、检修及整改信息。动态核查模式替换传统固定巡检,掌握设备性能变化情况,及时发现设备隐性热缺陷、绝缘老化、接触

异常等问题,遏制隐患发展,提升火灾排查实效,弥补传统巡检工作的固有不足。

### 2.2 搭建智能化实时监测排查系统

贴合电力智能运维发展趋势,融入物联网感知、在线监测、大数据分析等前沿技术,构建适配高压变电站复杂工况的智能实时隐患监测排查体系,弥补人工巡检的监测空白、时段束缚与判断滞后问题<sup>[3]</sup>。在设备接头、密闭开关柜、电缆夹层、蓄电池室、电容器室等火灾高发密闭区域,布设温度传感、电弧监测、智能烟感等采集设备,持续捕捉设备温度异动、隐性电弧、空间积热、微量烟雾等危险数据。某220kV智能变电站完成全域智能监测升级后,依托后台大数据平台处理前端运行数据,甄别人工巡检难以察觉的局部过热、隐性放电、绝缘微击穿等隐蔽隐患。系统可自主完成隐患预警、点位定位、状态追踪等系列工作,消除环境、时段与人员经验差异带来的巡检局限,让变电站隐患排查从被动事后核查转为主动事前预判,整体提升电气火灾隐患排查的综合效能。

### 2.3 建立隐患分级管控与闭环核查流程

结合高压变电站电气火灾隐患的危害等级、扩散速度、影响范围与事故演化规律,搭建科学规范的隐患分级判定体系,构建覆盖隐患排查、信息登记、风险研判、专项整改、验收复核、归档留存的全闭环管控流程,杜绝隐患漏查、整改不彻底、问题反复复发的管理漏洞。各类电气隐患依据对电网设备运行与消防安全的威胁程度划分层级,为不同等级隐患配套专属管控方案、整改处置标准与管控责任体系,实现隐患差异化、精准化、规范化管控。某110kV工业园区变电站落地闭环管控体系后,对电缆沟防火封堵破损、设备表层绝缘轻微损伤、回路接线轻微松动等一般性隐患建立常态化台账跟踪模式,定期核查隐患状态变化。设备持续过热、内部隐性放电、主干线缆老化破损等高风险隐患可及时启动紧急整改流程,暂停关联设备重载运行,全程监督整改施工并完成多重验收复核。标准化闭环管控模式打通隐患排查与整改落实的衔接壁垒,解决排查整改脱节、管控责任模糊的问题,全面消除消防安全管理漏洞,持续夯实变电站火灾隐患治理的标准化管控基础。

## 3 高压变电站电气火灾系统化消防防控实施对策

### 3.1 升级变电站硬件消防防护设施配置

高压变电站配套的专业消防硬件设施是阻隔火情、扑灭初期电气火灾的重要物理屏障,贴合高压电气设备运行属性的硬件配置,能够从物理层面遏制火灾萌芽与扩散蔓延,有效降低事故持续扩大的运行风险。高压电气设备本身存在忌水、怕潮湿、怕短路冲击的运行特质,传统常规水基消防设备极易造成设备绝缘击穿、回路短路等二次安全事故,无法满足变电站内部防火防护需求<sup>[4]</sup>。结合变电站不同功能分区的设备布置形式与火灾风险等级差异,针对性开展消防硬件升级改造工作,在主变压器场区、高压封闭式开关柜、电容器室、继电保护室等高危防火区域,批量布设超细干粉自动灭火装置与七氟丙烷洁净气体灭火系统,依托洁净灭火介质快速降温、隔绝氧气的优良特性,实

现无残留、无设备损伤的电气火灾高效扑救。同步推进全站防火分隔与密闭封堵改造工作,对贯穿各个功能隔间的电缆桥架、设备柜体穿线孔洞、电缆沟进出口、墙体贯通缝隙等关键点位,采用阻燃密封材料、防火隔板、防火堵料进行严实密闭处理,搭建分区隔离、层层阻断的立体化防火阻隔体系,有效阻挡火势依托电缆通道、设备缝隙出现跨区域蔓延。某500kV大型变电站完成全域消防硬件系统化升级后,分区独立灭火系统可精准识别火情并自动启动处置流程,搭配完备的防火封堵结构,可在一次设备突发局部电弧起火故障时快速扑灭火源,切断火情扩散路径,实现火灾原地可控处置,未出现设备连片损毁与片区电网停运问题,充分彰显专业化适配消防硬件的核心防控功效。

### 3.2 规范变电站现场消防常态化管控

常态化、标准化的现场消防管控模式,能够持续净化变电站日常运维作业环境,从源头清除各类潜在的火灾诱发隐患,构建全天候、全覆盖的常态化消防安全防护体系。高压变电站具备封闭式运行、设备精密化、运行风险高的整体特征,站内场地可依据使用功能完成科学划分,厘清设备运行核心区、检修作业施工区、备品备件堆放区的具体边界,严格规范各区域的现场作业流程与物料堆放标准。可燃保温材料、废旧线缆、施工废渣及粉尘杂物等易燃易爆物品,严禁堆放于设备防火安全间距范围内,持续保障站内消防通行通道、设备检修通道、应急疏散通道全程通畅,规避通道拥堵阻碍火情快速处置的各类问题。消防设施落实全周期养护与常态化校验管理机制,设定固定养护校验周期,定期核查站内自动灭火装置、火灾探测传感器、声光报警设备、应急照明疏散装置及各类消防器材的实际运行性能。工作人员及时更换老化失效、性能衰减、超期使用的消防配件,对现场故障设备开展检修调试工作,保障全站消防设施长期处于完好可用的待命状态。某220kV城市枢纽变电站长期落实标准化现场消防管控体系,严格执行场地分区管理与设施常态化养护制度,有效规避杂物堆积自燃、消防设施失效、疏散通道堵塞等消防风险,持续维持站内消防环境的规范有序与安全稳定,弥补电力运维领域重视隐患排查、轻视日常管控的行业短板。

### 3.3 完善电气火灾应急处置与消防保障体系

科学完善的应急处置与消防保障体系,是快速处置突发电气火灾、压缩事故扩散范围、减少设备损毁与电网运行损失的重要兜底举措,可改善火情突发后处置流程混乱、响应速度滞后、现场处置方式不规范等各类实操问题。结合高压变电站一次设备起火、二次回路燃爆、密闭空间设备阴燃、电缆通道火势蔓延等差异化火灾场景,依托站内设备整体布局、供电网架结构与实时运行工况,编制专业化、场景化的电气火灾应急处置预

案。细化不同火情对应的风险研判标准、设备安全隔离方式、停电操作规范、现场扑救流程与灾后隐患核查内容,明确各岗位运维人员的应急岗位职责,形成统一标准、规范有序的应急处置流程。运维班组常态化开展贴合真实运维场景的消防实战演练,摒弃传统形式化的演练模式,围绕火情快速识别、故障设备精准隔离、紧急断电操作、专用灭火器材使用、初期火情扑救等核心实操内容,持续锤炼运维人员的现场应急处置能力。主动联动属地专业消防救援机构搭建内外协同处置机制,打通站内自主救援、火情信息上报、外部专业救援的衔接渠道,实现火情快速联动、高效闭环处置。某110kV城郊变电站出现二次回路突发起火故障时,在岗运维人员严格依照专项预案规范操作,快速完成系统断电、区域隔离、初期火情扑救等系列操作,配合站内消防设施彻底扑灭火源,最大限度缩减事故影响范围,保障区域电网持续稳定供电。

## 4 结语

本文系统梳理高压变电站电气火灾各类诱发隐患,剖析一次设备、二次回路与运维环境对应的火灾成因,贴合电力运维实际场景搭建标准化、智能化隐患排查体系。依托硬件设施升级、常态化现场管控、应急体系优化多重维度,搭建结构完整的电气火灾消防防控体系。依托多类变电站真实隐患处置案例,验证精细化排查、智能监测与闭环管控模式的实际应用价值,化解传统消防管控排查片面、防控薄弱、应急响应滞后等突出问题,提升变电站整体火灾风险抵御水平。整套防控思路与实施策略可适配各电压等级变电站的消防安全管理工作,优化电力系统消防安全管控模式,为电网安全稳定、长效可靠运行提供扎实的消防技术支撑与实践借鉴。

## 【参考文献】

- [1]董迪.特高压变电站电缆沟火灾预警系统设计[J].电工技术,2023,(23):178-180+184.
- [2]马志宏,张玉.特高压变电站消防重点与规范问题及改进措施研究[J].消防界(电子版),2023,9(9):93-95.
- [3]侯鲁生.全面加强特高压变电站消防能力建设[J].中国电力企业管理,2022,(15):80-81.
- [4]郭杨,陈昊,汤宗尧,等.特高压变电站综合消防能力提升研究[J].湖北电力,2022,46(1):71-76.

## 作者简介:

金春辉(1992--),男,汉族,江苏兴化人,职称:工程师,本科,研究方向:变电消防技术。

孙静(1991--),男,汉族,安徽宣城人,职称:工程师,硕士,研究方向:变电运维技术。