

大型光伏电站火灾风险评估与智能预警系统研究

沈智春 冉佳 张克龙

三峡集团云南能源投资有限公司

DOI:10.32629/pe.v3i6.18016

[摘要] 大型光伏电站火灾风险评估及智能预警系统搭建具备重要价值,基于此,本文梳理了电站火灾核心诱因后,探索了科学风险评估维度与指标,并构建了适配实际运行场景的智能预警系统框架。该研究能精准识别火灾隐患并提前预警,降低火灾发生几率与损害,为电站安全稳定运转提供支持。通过完善风险管控策略与系统优化手段可进一步增强预警效果,推动光伏能源行业安全发展层次,为清洁能源领域火灾防控提供实践参照,助力化解光伏电站运行中的安全难点问题。

[关键词] 大型光伏电站; 火灾风险评估; 智能预警系统; 安全运行

中图分类号: TV74 文献标识码: A

Research on Fire Risk Assessment and Intelligent Early Warning System for Large-Scale Photovoltaic Power Plants

Zhichun Shen Jia Ran Kelong Zhang

China Three Gorges Corporation Yunnan Energy Investment Co., Ltd.

[Abstract] Fire risk assessment and the establishment of an intelligent early warning system for large-scale photovoltaic power plants are of significant value. This study identifies the core causes of fires in power plants and explores scientific risk assessment dimensions and indicators. It constructs an intelligent early warning system framework adapted to actual operating scenarios. This research can accurately identify fire hazards and provide early warnings, reducing the probability of fire occurrence and associated damage. It provides support for the safe and stable operation of power plants. Improving risk control strategies and system optimization methods can further enhance the early warning effect, promote the level of safe development in the photovoltaic energy industry, provide practical reference for fire prevention and control in the clean energy field, and help resolve safety challenges in the operation of photovoltaic power plants.

[Key words] Large-scale photovoltaic power plant; Fire risk assessment; Intelligent early warning system; Safe operation

引言

大型光伏电站作为清洁能源利用的重要载体,在能源结构转型中占据关键地位,不过其占地面积广、设备数量多、运行环境复杂的特点,让火灾风险成为威胁电站安全的重要隐患,火灾事故不仅会带来巨大经济损失,还可能影响能源供应稳定性并引发一系列连锁问题。深入剖析火灾风险形成机制,建立有效的风险评估模式,开发可靠的智能预警系统,已成为保障电站持续安全运行的迫切需求,也能为后续相关研究与实践提供方向指引,助力解决光伏电站安全运行中的关键问题,推动清洁能源领域安全发展水平提升。

1 大型光伏电站火灾风险现状与诱因分析

1.1 大型光伏电站火灾风险现状调研

对当前大型光伏电站运行中的火灾发生情形开展全面考察,

重点关注不同地区、不同规模电站的火灾事故频次、发生时段及造成的影响,从电站选址的气候条件分析,高温、大风、雷电等恶劣天气容易提升火灾发生概率。从电站运行年限来看,设备老化程度不同会导致火灾风险存在差异,运行时间较长的电站,线路、组件等设备出现故障引发火灾的可能性相对更高,火灾事故发生后,因电站内部设备密集且多为易燃材料,火势蔓延速度快且扑救难度大,往往会造成大面积组件损毁与严重经济损失,甚至可能对周边生态环境产生影响。

1.2 大型光伏电站火灾主要诱因识别

从设备层面分析,光伏组件故障是重要诱因,像组件热斑效应会使局部温度急剧上升,当温度超出材料耐受极限时,容易引发燃烧,逆变器、汇流箱等电气设备若出现线路接触不良、绝缘层破损等问题,会产生电弧或短路现象,进而点燃周围可燃物,

从管理层面来看,日常巡检不全面,无法及时发现设备隐患,或是运维人员操作不规范^[1]。在设备检修、维护过程中存在违规操作,都可能成为火灾发生的导火索,外部因素如人为纵火、周边环境易燃物堆积等,同样会增加电站火灾风险。

1.3大型光伏电站火灾风险传播特性研究

研究火灾在大型光伏电站内部的传播路径与规律,发现火灾通常会沿组件阵列、电缆线路等通道快速蔓延,光伏组件之间排列紧密且多采用支架支撑,一旦某一组件起火,火焰易通过热辐射、热对流等方式引燃相邻组件,形成连片火灾,电缆线路作为电站电力传输的关键部分。若发生火灾,火焰会顺着电缆蔓延至汇流箱、逆变器等核心设备,导致故障范围扩大,电站内部的通风条件、组件安装角度等因素,也会对火灾传播速度和方向造成影响,良好通风可能加快火势蔓延,合理的组件安装角度则在一定程度上可以延缓火灾扩散。

2 大型光伏电站火灾风险评估体系构建

2.1火灾风险评估指标筛选与确定

结合大型光伏电站运行特征及火灾诱因,从设备、环境、管理三个维度筛选评估指标,从设备维度选取组件健康状态、电气设备运行参数、设备老化程度等,通过检测组件输出功率、温度分布,监测电气设备电压、电流、温升等参数,评估设备故障引发火灾的可能性,环境维度纳入气温、风速、雷电活动频率、周边可燃物距离等,考量外部环境对电站火灾风险的影响。管理维度选取巡检频率、运维人员专业素养、应急预案完善程度等,评价电站管理对火灾风险的管控能力,经多次论证优化,确保所选指标科学、合理且可操作,能全面反映电站火灾风险状况。

2.2火灾风险评估方法选择与优化

对比分析安全检查表法、故障类型和影响分析法、模糊综合评价法等常用火灾风险评估方法,结合大型光伏电站实际情况选择适配方法,安全检查表法可全面排查电站各环节并初步识别风险点但主观性较强,故障类型和影响分析法能深入分析设备故障对火灾的影响但操作复杂^[2]。模糊综合评价法可有效处理评估中的模糊性问题并提高结果准确性,整合不同方法优势对评估方法优化,建立多层次、多维度评估模型,减少评估误差,使结果更贴合电站实际火灾风险水平,为后续风险管控提供精准依据。

2.3火灾风险评估体系有效性验证

选取不同地区、不同规模的大型光伏电站作为验证对象,运用构建的火灾风险评估体系开展风险评估,将评估结果与电站实际运行中的火灾隐患排查情况、历史火灾事故记录对比分析。若评估结果能准确识别电站高风险区域和关键隐患点且与实际高度契合,说明评估体系有效性良好,若存在偏差则根据验证结果调整完善评估指标、权重分配、评估方法等,经多次验证优化,确保构建的火灾风险评估体系能稳定、可靠应用于大型光伏电站火灾风险评估,为电站风险管控提供科学指导。

3 大型光伏电站智能预警系统设计与实现

3.1智能预警系统硬件架构搭建

结合大型光伏电站布局与监测需求搭建智能预警系统硬件架构,在电站组件阵列、汇流箱、逆变器室等关键区域安装温度传感器、烟雾传感器、火焰探测器等感知设备,实时采集环境温度、烟雾浓度及是否存在火焰等信息,部署数据采集终端对传感器采集的数据汇总并初步处理^[3]。借助无线通信模块将数据传输至数据中心,数据中心配备高性能服务器与存储设备,对接收的数据存储、分析及处理,为预警决策提供数据支撑,同时在电站监控中心设置显示终端,实时展示电站各区域监测数据与预警信息,便于工作人员及时掌握电站安全状况。

3.2智能预警系统软件功能开发

围绕火灾预警需求开发智能预警系统软件功能,数据处理功能可对采集的监测数据清洗、滤波及降噪,去除无效数据与干扰信息,保障数据准确性与可靠性,风险分析功能运用预设算法与模型对处理后的数据展开分析,判断电站各区域火灾风险等级。当风险等级达到预警阈值时自动触发预警机制,预警发布功能能通过短信、声光报警、系统弹窗等多种方式,将预警信息及时传递给电站运维人员与管理人员,确保相关人员第一时间接收预警信号,历史数据查询功能可存储电站长期运行中的监测数据与预警记录,方便工作人员追溯历史情况,开展火灾风险趋势分析与系统优化改进。

3.3智能预警系统联动机制设计

为提升预警系统实用性与应急响应效率设计智能预警系统联动机制,当系统发出火灾预警信号后,自动与电站内部消防设施联动,启动喷淋系统、排烟设备等及时控制火势发展,同时与电站电力控制系统联动,切断火灾区域电源供应,避免火灾因电力持续供应进一步扩大,此外还可与周边消防部门建立联动关系,将火灾位置、火势大小等信息自动发送给消防部门,为消防救援提供精准信息以缩短救援响应时间,通过多方面联动形成完整的火灾应急响应链条,最大程度降低火灾事故造成的损失。见表1:

表1 2023年我国部分省份光伏电站火灾事故统计数据

省份	光伏装机容量(GW)	火灾事故起数(起)	事故率(起/GW)	数据来源
山东	45.2	7	0.155	国家能源局《2023年可再生能源发展报告》
河北	38.6	5	0.129	国家能源局《2023年可再生能源发展报告》
青海	22.1	2	0.09	国家能源局《2023年可再生能源发展报告》
内蒙古	30.5	4	0.131	国家能源局《2023年可再生能源发展报告》
甘肃	25.8	3	0.116	国家能源局《2023年可再生能源发展报告》

4 大型光伏电站火灾风险管控与预警系统应用提升

4.1基于评估与预警的火灾风险管控策略制定

依托火灾风险评估结果及智能预警系统监测数据,制定针对性火灾风险管控策略,针对评估显示高风险的区域,增加巡检

频次并强化设备维护保养,及时更换老化、故障设备,对于预警系统频繁发送预警信号的部位,深入排查隐患根源并采取有效整改措施消除风险隐患,同时结合不同季节、不同天气条件下的火灾风险特征,制定差异化管控方案,比如高温季节加强组件温度监测与散热措施,在雷雨天气增加防雷设施检查与维护,确保各类场景下均能有效管控火灾风险,为电站安全运行筑牢防线。

4.2 智能预警系统运行效果监测与优化

持续监测智能预警系统运行效果,收集系统预警准确率、响应时间、数据传输稳定性等指标数据,分析系统实际运行中存在的问题,像预警误报、漏报以及数据传输延迟等,针对这些问题采取对应优化措施^[4]。若出现预警误报可调整预警阈值或优化数据处理算法,若存在数据传输延迟则改善通信网络环境或升级数据传输设备,通过持续监测与优化,提升智能预警系统运行稳定性与预警准确性,保障系统长期可靠发挥作用,为电站火灾预警提供有力支撑。

4.3 大型光伏电站火灾安全管理体系完善

以火灾风险评估与智能预警系统为核心,完善大型光伏电站火灾安全管理体系,建立健全安全管理制度,明确各部门、各岗位安全职责,规范日常巡检、设备维护、应急处置等工作流程,加强安全培训教育,提升运维人员与管理人员火灾风险意识及应急处置能力。使其能熟练操作智能预警系统与消防设施,定期组织火灾应急演练,检验应急预案可行性与应急响应机制有效性,并根据演练结果完善预案与机制,通过构建全方位、多层次火灾安全管理体系,实现大型光伏电站火灾风险有效管控,保障电站安全稳定运行。

5 结语

本文围绕大型光伏电站火灾风险评估及智能预警系统展开研究,在分析火灾风险现状与诱因后构建科学风险评估体系,设计并实现智能预警系统,还提出相应风险管控与系统应用提升措施,研究成果能有效识别电站火灾隐患并提前预警。为电站火灾风险管控提供有力支撑,后续需进一步结合电站实际运行需求,持续优化评估体系与预警系统,推动大型光伏电站安全运行水平不断提升,为清洁能源行业健康发展贡献力量,助力解决光伏领域安全运行中的关键问题。

[参考文献]

[1]黄威,王文,吴光军,等.光伏电站火灾监测预警技术应用[J].电力安全技术,2025,27(06):57-60.

[2]覃祚权,曾劲.农业光伏电站建设火灾成因及防范策略[J].中国电力企业管理,2025,(12):46-47.

[3]王金仕,陈民洪.基于多目标粒子群的光伏电站火灾综合管控一体化系统[J].自动化技术与应用,2025,44(08):52-56.

[4]乔荣锴.光伏电站火灾扑救要点分析[J].能源与节能,2024,(10):72-74.

作者简介:

沈智春(1991--),男,汉族,云南元谋人,本科,中级工程师,研究方向:新能源安全生产技术。

冉佳(1991--),男,汉族,云南姚安人,本科,中级工程师,研究方向:新能源项目质量安全环保管理及监督检查。

张克龙(1985--),男,汉族,四川叙永人,本科,中级工程师,研究方向:光伏、风电、储能等新能源安全。