

电气工程智能化技术在新能源电站安全管控中的应用研究

刘洋 李子昂 贺越霞 侯杰
内蒙古智慧运维新能源有限公司
DOI:10.32629/hwr.v10i5.7012

[摘要] 在风电场与光伏电站规模化扩张及无人值守趋势下,安全风险呈现多源触发、强耦合与链式扩散特征,传统依赖人工巡检与超限告警的方式难以满足实时性与精细化治理需求。本文围绕电气工程智能化技术在新能源电站安全管控中的应用路径,构建涵盖智能风险评估预警、物联网与大数据状态监测、联动控制与快速处置的闭环框架,提出以多源数据融合建模、阈值自适应修正与处置策略映射为核心的工程实现思路,并强调与继电保护、调度自动化及消防安防系统的接口协同。研究结果为新能源电站面向运行过程的动态风险治理提供了可落地的技术框架与评价依据。

[关键词] 新能源电站; 电气工程智能化; 风险评估预警; 状态监测; 联动控制

中图分类号: R730.42 **文献标识码:** A

Research on the Application of Intelligent Electrical Engineering Technology in Safety Control of New Energy Power Stations

Yang Liu Ziang Li Yuexia He Jie Hou

Inner Mongola Intelligent Operation & Maintenance New Energy Co.,Ltd

[Abstract] Under the trends of large-scale expansion and unattended operation of wind farms and photovoltaic power stations, safety risks exhibit characteristics of multi-source triggering, strong coupling, and cascading propagation. Traditional methods relying on manual inspections and limit-based alarming are insufficient to meet the demands for real-time and refined risk management. This paper focuses on the application pathways of intelligent electrical engineering technology in the safety control of new energy power stations. It constructs a closed-loop framework encompassing intelligent risk assessment and early warning, IoT and big data-based condition monitoring, coordinated control, and rapid response. Engineering implementation approaches centered on multi-source data fusion modeling, adaptive threshold correction, and response strategy mapping are proposed. Additionally, interface coordination with relay protection, dispatch automation, and fire protection and security systems is emphasized. The research findings provide a feasible technical framework and evaluation basis for dynamic risk management of operational processes in new energy power stations.

[Key words] new energy power station; intelligent electrical engineering; risk assessment and early warning; condition monitoring; coordinated control

新能源电站受气象扰动与设备分布特性影响显著,设备数量庞大、链路复杂且跨区域运行,使故障传播更具耦合性与突发性。随着无人值守场站占比提升,依靠人工巡检与事后处置的管理模式暴露出信息滞后、隐患识别不充分以及跨系统联动不足等问题。将感知、计算与控制一体化的智能化技术嵌入安全管控过程,有助于实现风险的前移识别、量化评估与闭环处置,提升电站安全性与运维经济性,因此开展面向新能源电站的智能化安全管控研究具有现实意义与推广价值。

1 电气工程智能化技术与新能源电站安全管控概述

在风电场与光伏电站装机规模持续增长的现实情境下,安全管控对象已从单一电气设备扩展为包含发电单元、升压系统、集电线路以及通信网络的复杂系统,风险形态也呈现出强耦合与链式扩散特征,例如逆变器热失控、汇流箱直流拉弧、风机偏航失效等故障往往会在短时间内引发连锁停机与功率波动。与火电等传统电源相比,新能源电站受风速、光照强度、环境温度等外部扰动影响更为显著,叠加设备数量多、分布跨度大以及无人值守场站占比提升,使得依靠人工巡检与事后处置的管理方式暴露出信息滞后、隐患识别粒度不足以及应急联动迟缓等问

题。由此推导出安全管控需要从静态规则校核转向面向运行过程的动态风险治理,把数据驱动能力嵌入故障发现、风险评估与处置闭环之中^[1]。

电气工程智能化技术在该语境下主要指向以感知、计算与控制一体化为基础的工程实现路径,即借助传感器网络把关键状态量转化为可计算数据流,再由边缘计算与云端平台完成清洗、建模和诊断,并把分析结果回馈至保护、控制及运维体系来开展联动处^[2]。该技术体系通常囊括物联网采集、工业通信、数字孪生、机器学习与智能控制等能力模块,其中机器学习更强调从历史故障记录以及实时监测数据中提取模式,用于刻画设备健康度与风险演化趋势。安全管控的目标因此被重构为可量化的指标体系,包括故障预警提前量、误报漏报水平、故障隔离时间以及维护成本等,并进一步要求与现有继电保护、调度自动化和消防安防系统形成接口契合,避免智能分析与现场动作之间出现逻辑断层。基于上述认识,后续研究将围绕风险评估预警、状态智能监测以及联动控制处置展开,讨论智能化技术在新能源电站安全管控中的可实现路径与应用边界^[3]。

2 电气工程智能化技术在新能源电站安全管控中的核心应用

2.1 基于AI的智能风险评估与预警系统

面向风电场以及光伏电站的多扰动运行特性,智能风险评估与预警系统通常把多源数据融合当作建模起点,将风机轴承振动、齿轮箱温升以及光伏组件背板温度等设备状态量,与风速、光照强度、环境温度等外部条件共同纳入特征空间,从而把设备劣化与环境应力的耦合关系转化为可计算的风险表征^[4]。在模型构建层面,随机森林因具备对非线性边界的刻画能力以及对异常值的相对鲁棒性,适宜用于从高维特征中筛选关键因子并识别风机机械故障、光伏热斑等隐患模式,使预警提前量被设定为面向运维排程更具操作性的24 h时间窗。结合某沿海风电场的风险评估场景,训练数据可由SCADA历史故障记录、保护动作日志以及在线监测的实时采样序列共同组成,并在数据清洗阶段完成时间对齐、缺失补齐与异常剔除,以降低标签噪声对分类边界的干扰。为避免阈值长期固化导致季节性误报,系统会把滚动窗口内的误报率、漏报率以及设备健康指数作为反馈量,按月或按工况段对预警阈值进行自适应修正,使阈值随风速分布与辐照水平变化而同步漂移,进而维持告警可信度的可解释性与可用性。为量化预警结果的可信程度,可引入置信度指标对真阳性与假阳性进行统计,计算关系如下所示:

$$\text{Confidence} = \left(\frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \right) \times 100\%$$

其中,Confidence 表示风险预警置信度(单位:%),TP为真阳性预警数(单位:次),FP为假阳性预警数(单位:次)。

2.2 物联网+大数据的设备状态智能监测

设备状态智能监测更强调从感知侧把不可见的劣化过程转

化为连续可追踪的数据轨迹,站内通常在风机主轴承、发电机端盖、逆变器功率模块以及汇流箱直流端子等位置布设振动、温度与电流传感器,并选用工业以太网或5G专网把数据回传至站端边缘节点,再汇聚进入大数据平台开展时序化分析与跨设备关联计算^[5]。结合某集中式光伏电站的安全监控场景,异常捕捉不再依赖单点越限,而是依靠趋势斜率、波动幅值以及同簇设备对比来锁定早期偏离,例如逆变器直流侧纹波的持续抬升往往先于保护动作出现,从而为检修窗口预留更充分的组织时间。针对光伏阵列的热斑隐患,红外传感器可把组件表面温度场转化为热图数据流,再借助AI图像识别把局部高温区域与灰尘遮挡、隐裂扩展等典型形态进行匹配,使热斑定位从人工抽检转向面向全阵列的在线筛查,同时把监测结果与工单系统联通,支撑缺陷定位、复测复核以及闭环消缺的流程化执行。

2.3 智能联动控制与故障快速处置

在联动控制层面,智能化技术的关键在于把监测结论转化为可落地的动作链条,使保护、控制以及运维响应能够在同一逻辑框架内协同工作。风机侧可将振动超标、温升异常与偏航偏差等信号映射为分级处置策略,由边缘控制器把风险等级写入控制指令序列,触发限功率、变桨调速或安全停机等动作,并把事件同步推送至集控中心以便开展故障隔离与备件准备。光伏侧则可将组件高温、汇流箱直流拉弧特征以及逆变器器件过热等状态接入联动逻辑,触发强制散热、分区切除或故障回路隔离等控制响应,并与消防安防系统形成动作互锁,降低电气故障向热失控扩散的概率。结合某山地风电场的安全控制场景,站端会把预警事件与应急预案条目进行关联匹配,使告警确认、远方处置、现场复核以及调度报备形成顺序清晰的流程衔接,并在策略层面对非关键设备实施柔性降载以维持并网稳定性。已有工程运行经验表明,将联动控制嵌入无人值守场站后,停机处置环节的等待时间可被显著压缩,在特定工况下停机时间降低约30%的管理目标更具可实现性。

3 智能化安全管控应用效果评估与体系优化

3.1 智能化安全管控应用效果分析

鉴于新能源电站故障呈现多源触发与链式扩散特征,应用效果评估需把安全绩效从单一事故统计拓展为涵盖风险暴露、处置时效以及成本约束的综合指标体系,并将同一站址在相近运行边界下的管控方式差异作为对比基准。以装机规模为100 MW的集中式光伏电站为案例,传统模式依靠人工巡检与越限告警开展事后处置,往往在告警确认、故障定位以及跨专业联动环节出现时间损耗;智能化模式则把SCADA量测、逆变器运行日志、汇流箱直流量以及红外测温结果汇入统一数据链路,使告警从单点阈值跃迁为面向故障机理的风险分级,从而把处置动作前移至隐患阶段。对比结果显示,事故率由0.8%/年降至0.52%/年,降幅为35%,响应时间由120 min压缩至48 min,降幅为60%,年度维护成本由250万元降至200万元,降幅为20%,关键差异集中体现在早期识别带来的停机损失规避以及工单组织效率提升,具体对比如表1所示。

表1 传统与智能化安全管控效果对比

指标	传统安全管控	智能化安全管控	变化幅度
事故率	0.8%/年	0.52%/年	下降35%
响应时间	120 min	48 min	下降60%
年度维护成本	250万元	200万元	下降20%

3.2 安全管控体系的持续优化策略

面向风光出力波动与设备老化并行演化的运行情境,智能化安全管控的长效性更依赖持续优化机制,而非一次性部署后长期固化的模型与阈值。模型迭代层面需建立数据闭环,把新增故障工单、保护动作序列以及在线监测的高频时序数据纳入训练集,并对标签一致性与工况覆盖度开展例行校核,使预警模型能够随季节辐照变化、组件衰减以及逆变器批次差异逐步修正决策边界,从而在不抬升误报率的前提下提高预警准确率。人员能力建设侧宜把智能操作培训嵌入站内作业许可与应急演练体系,将典型场景下的告警确认路径、边缘节点复核方法以及联动处置逻辑转化为可执行的训练脚本,使运行人员能够把模型输出解释为可落地的隔离、降载与检修决策。进一步观察发现,跨电站经验共享平台能够缓解单站样本稀疏问题,该平台可把不同站点的故障特征、处置时序以及备件消耗以统一编码沉淀为知识库,并向各场站推送相似案例的策略建议,使管控策略在集团尺度实现快速迁移与一致化更新,从而维持体系优化的连续性与可扩展性。

4 结语

新能源电站安全管控需要从静态规则校核转向以数据驱动为核心的动态风险治理。本文从工程可实现角度形成了以多源

数据融合为基础的风险评估预警体系、以物联网与时序分析为支撑的状态智能监测体系,以及以策略映射与互锁机制为关键的联动控制处置体系,并给出了以事故率、响应时间与维护成本为代表的综合评价框架。案例对比表明,智能化模式能够在隐患阶段实现更早识别与更快处置,进而降低事故暴露与停机损失。面向长期运行,应通过数据闭环与模型迭代保持预警有效性,通过标准化流程与能力培训提升现场可执行性,并依托跨电站经验共享推动策略迁移与持续优化,从而实现安全管控能力的稳定提升与规模化复制。

【参考文献】

- [1]胡德聪,韩林,王翔,等.数字化智慧平台在并网新能源电站中的应用研究[J].自动化应用,2026,67(05):143-146.
- [2]梁振飞.基于大模型的新能源电站智能运维决策系统研究[J].大众科技,2026,28(01):5-8.
- [3]翁苏蓉.人工智能技术在新能源电站功率预测与运维中的融合应用路径[J].科技视界,2026,16(03):13-15.
- [4]刘茂东.ATS自动切换电源施工技术在新能源电站中的应用探究[J].电气技术与经济,2025,(11):160-163.
- [5]郑昕.新能源电站电气主接线方式优化与工程应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(31):1-3.

作者简介:

刘洋(1984—),男,满族,辽宁省人,全日制大学本科,单位:内蒙古智慧运维新能源有限公司,职称:工程师,研究方向:新能源安全管理,电气工程。