

# 智能化手段在发电设备异常排查与安全生产中的应用研究

康永

国家电投集团内蒙古新能源有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010

DOI:10.61369/EPTSM.2025070006

**摘要 :** 本文聚焦智能化手段在发电设备异常排查与安全生产中的应用, 结合区域新能源结构与极端气候特征, 构建适配当地场景的智能化应用模式, 明确安全生产落地路径。同时从经济、安全、管理、社会四维度搭建综合效益评估体系, 剖析地域性挑战, 并提出针对性对策, 为发电行业实现从传统运维向智能运维转型、保障区域电力安全稳定供应提供理论支撑与实践参考。

**关键词 :** 智能化手段; 发电设备; 异常排查; 安全生产管理

## Research on the Application of Intelligent Means in Anomaly Detection and Safe Production of Power Generation Equipment

Kang Yong

SPIC Inner Mongolia New Energy Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia 010010

**Abstract :** This paper focuses on the application of intelligent means in anomaly detection and safe production of power generation equipment. By considering the regional new energy structure and extreme climate characteristics, it constructs an intelligent application model tailored to local scenarios and clarifies the implementation path for safe production. Meanwhile, a comprehensive benefit evaluation system is established from four dimensions: economy, safety, management, and society. It analyzes regional challenges and proposes targeted countermeasures, providing theoretical support and practical references for the power generation industry to transition from traditional operation and maintenance to intelligent operation and maintenance, and to ensure a safe and stable power supply in the region.

**Keywords :** intelligent means; power generation equipment; anomaly detection; safe production management

## 引言

随着工业转型升级加速、新型城镇化建设稳步推进, 以及国家“双碳”目标下风电、光伏等新能源发电项目的大规模并网, 全区电力需求持续攀升。传统依赖人工巡检的运维模式, 不仅难以应对广袤地域内分散电站的全覆盖监测, 更在极端气候下存在响应滞后、排查效率低等问题。本文立足发电行业实际, 系统研究智能化手段在发电设备异常排查与安全生产中的应用, 构建涵盖状态感知、数据诊断、故障预测与数字孪生全生命周期管理的设备异常排查智能化应用模式, 梳理包含风险辨识、过程监控、应急指挥与安全文化建设的安全生产管理智能化路径。通过效益评估、地域特异性挑战剖析与对策提出, 为发电企业落地智能化技术提供适配性强的理论框架与实践方案, 助力行业实现从传统运维向智能运维转型, 为区域电力系统安全稳定运行与能源高质量发展提供有力支撑。

## 一、智能化手段在发电设备异常排查中的应用模式构建

### (一) 设备状态智能感知与数据采集体系

大数据分析指的就是一个基于数据, 来整理、转换、建模的整个过程, 主要旨在找出有助于业务决策的信息。通过数据分析专业技术的应用, 可提取出海量数据内的有用信息, 并基于数据

分析结果正确做出决策<sup>[1]</sup>。为应对气候对风电、光伏设备造成的故障风险与数据采集中断问题, 需构建气候适配的设备状态智能感知与数据采集体系, 以实现全面、实时、高精度的状态监测, 为故障诊断与预测提供高质量数据支撑。在感知维度上, 除常规物理量监测外, 还针对风沙增设外壳磨损与滤网堵塞监测, 针对严寒强化润滑油粘度、蓄电池容量与启停响应监测, 并同步采集环境参数以捕捉异常前兆<sup>[2]</sup>。硬件选型优先采用耐低温、抗风

沙、防腐蚀并具备边缘计算功能的工业级传感器，关键部位实施冗余部署，确保数据采集连续可靠<sup>[3]</sup>。数据预处理通过边缘网关进行滤波、异常修正与缺失填补，消除噪声干扰，随后将数据按层级结构存入时序数据库并同步备份至本地与云端，保障数据稳定可用。

### （二）基于数据驱动的设备异常诊断

基于数据驱动的设备异常诊断是异常排查的核心环节，旨在通过挖掘发电设备在极端气候下的运行数据规律，精准识别隐性异常与显性故障，替代传统人工经验，减少误判与漏判，提升诊断效率与准确率<sup>[4]</sup>。在特征工程中，结合设备运行机理与气候特性构建多维度特征集，重点关注气候与异常的关联性，形成“时域+频域+时频域+气候影响因子”的特征体系<sup>[5]</sup>。诊断模型构建上，针对单一异常采用SVM、随机森林等模型，通过离线训练与在线推理实现动态诊断；对复杂叠加故障则采用CNN、LSTM等深度学习模型，融合设备与气候数据通道提升精度。

### （三）设备故障预测与寿命评估

设备故障预测与寿命评估是异常排查的前瞻环节，旨在结合极端气候对设备的长期影响，提前预判故障发生时间与剩余寿命，为预知性维护提供依据，减少突发停机与过度维护成本，尤其适用于偏远电站的设备管理<sup>[6]</sup>。在故障预测方面，针对线性退化设备采用线性回归或Weibull分布模型拟合衰减曲线；对非线性、多因素影响的设备则采用“物理机理+数据驱动”混合模型，结合Miner损伤模型与双向LSTM提升预测精度<sup>[7]</sup>。寿命评估从部件级到设备级分层开展，部件级结合材料特性、运行应力与老化机制评估剩余寿命；设备级则通过故障树分析与贝叶斯网络考虑部件间关联及气候协同效应。同时建立“实时数据反馈—模型动态修正”机制，根据季节性气候更新模型参数，并定期验证预测精度，优化输入因子，保障长期预测有效性。

### （四）基于数字孪生的设备全生命周期管理

基于数字孪生的设备全生命周期管理是异常排查的全景平台，核心是构建与发电设备及其运行环境1:1映射的数字孪生体，通过实时数据交互、虚拟仿真与协同优化，实现设备从设计到退役的全生命周期可视、可预测、可优化管理，解决偏远电站运维困难与极端气候下故障模拟难题。

## 二、智能化手段在发电安全生产管理中的应用路径

### （一）安全风险的智能辨识与动态评估

安全风险的智能辨识与动态评估是发电安全生产管理的前置防线，旨在打破传统静态评估局限，结合极端气候、偏远区位与新能源占比高的特点，通过多源数据融合与智能算法，实现全场景风险的全面识别、精准量化与动态更新，推动管理从“被动应对”转向“主动发现”<sup>[8]</sup>。在风险数据库构建上，整合典型事故案例、地方安全标准及企业历史记录，形成“结构化+非结构化”风险知识库。结构化数据按风险类型、影响因素与后果等级分类存储；非结构化数据通过NLP与图像识别提取关键信息，强化地域特征<sup>[9]</sup>。在数据采集上，覆盖“设备—人员—环境—管理”全

场景，重点采集极端气候下的设备耐受数据、人员北斗定位与作业资质、实时气候与地理环境数据，以及针对低温、火灾等的管理措施信息。在动态评估模型构建上，打造“气候敏感性风险评估模型”，采用AHP确定风险因素权重，通过模糊综合评价法动态调整风险等级。

### （二）安全生产过程的智能监控与预警

为保障发电安全生产，系统通过AI监控技术实现全流程全天候无死角监控，构建实时屏障，以早期预警、精准定位隐患，避免风险演变为事故<sup>[10]</sup>。系统融合视觉、数据与联动监控，部署抗寒抗沙摄像头识别叶片结冰、防护缺失、光伏板沙尘覆盖等问题，整合设备、气候与人员定位数据实时显示异常率与风险等级，实现系统—设备—人员联动，如自动启动消防并推送应急预案。针对本地场景开发设备、人员、环境三类预警模型，如风机结冰厚度预测、人员冻伤风险监测、草原火灾概率预测，设定阈值自动触发预警。预警采用分级推送机制，一般情况推送班组，严重及以上同步至管理部门与监管机构；通信弱时启用本地缓存与卫星备份，确保预警附带位置、风险描述与处置建议送达最近人员，提升响应效率。

### （三）应急指挥与决策支持的智能化

应急指挥与决策支持的智能化是发电安全生产管理的应急中枢，旨在通过实时数据整合、虚拟仿真推演和最优方案生成，解决传统指挥中信息不全、依赖经验、协同低效的问题，提升偏远地区及极端气候下的应急处置效率，减少损失。为此系统构建了适配内蒙古地域特点的应急数据中台，整合设备、人员、资源及环境等多源数据，具备快速接入与离线存储能力，支持以事故点为中心的可视化资源展示。针对典型事故场景，系统基于数字孪生技术构建仿真模型，模拟不同处置方案的效果，并考虑气候因素对处置的影响，为指挥决策提供科学依据。同时，建立企业、地方政府与协作单位的三级协同指挥平台，打破部门与地域壁垒，支持卫星与短波双备份通信，确保指令畅通，实现统一高效的应急指挥。

### （四）构建主动预防型安全生产文化

构建主动预防型安全生产文化，核心是利用智能化手段推动全员从“要我安全”向“我要安全、我会安全、我能安全”转变。通过打造个性化沉浸式本地化培训平台，结合VR模拟大风、低温等场景及移动端离线学习功能，确保培训达标；开发“风险随手拍”应用，鼓励员工上报隐患并自动判定风险等级，辅以奖励机制与线上风险研讨会，形成跨电站经验共享库；同时建立涵盖风险辨识、培训达标、违章行为、应急响应等维度的数据化考核体系，系统自动采集数据生成绩效报告，奖优罚劣，引导员工主动关注安全，营造“人人讲安全、事事为安全”的文化氛围。

## 三、智能化应用的效益、挑战与对策

### （一）综合效益评估体系构建

结合本地发电行业特点，构建经济效益、安全效益、管理效益、社会效益四维综合效益评估体系，打破传统单一经济指标局

限,通过定量与定性结合全面量化智能化应用价值,为企业决策提供数据支撑。经济效益聚焦成本节约与效率提升,包括减少突发停机损失、延长设备维护周期、降低巡检人力成本、提高故障处置效率,叠加地方新能源补贴政策,综合体现智能化改造的直接经济回报。安全效益围绕事故率下降、人员伤亡减少、隐患整改闭环率提升等量化指标,突出极端气候下的风险防控能力与应急处置效率,体现智能化对安全生产的核心保障作用。管理效益体现流程优化、决策质量提升与人员能力增强,通过管理成本降低率、决策准确率等指标量化管理模式升级成效。社会效益强调能源供应保障、生态保护与就业带动,结合绿色电力输送量、生态保护面积等指标,展现智能化对区域发展与“双碳”目标的贡献。

### (二) 面临的主要挑战与制约因素

尽管智能化应用为发电行业带来显著效益,但在实际推进中仍面临技术、成本、管理、人才四类地域特异性挑战,部分因素成为阻碍智能化落地的瓶颈。技术层面,极端气候导致部分智能设备故障率高、识别精度下降,同时不同厂商系统兼容性差,形成“数据孤岛”,制约数据融合与诊断效果。成本层面,智能化改造前期投入大、回报周期长,加之偏远地区维护成本高,使企业尤其是中小企业资金压力显著。管理层面,传统“重经验、轻数据”模式与智能化流程不匹配,部门协同不畅、基层认知不足,导致预警难以转化为行动。人才层面,复合型人才严重短缺,现有员工技能无法适配智能化需求,内部培养体系不完善,形成“技术有了但没人会用”的困境。

### (三) 推动智能化应用的对策与建议

为应对发电行业智能化应用在技术、成本、管理、人才等方面挑战,构建“企业主导实践、行业协同赋能、政府政策引导”三维推进体系,从多维度制定精准化对策。技术方面,企业联合设备供应商开发耐低温、抗沙尘的定制化设备,优化AI算法提升识

别准确率;行业牵头制定统一数据标准与接口协议,破除“数据孤岛”,建立技术适配库供企业参考。成本方面,企业通过专项贷款、融资租赁减轻前期投入压力,行业推动共享运维中心降低成本,优先部署短周期见效项目,挖掘数据服务收入以优化投资回报。管理方面,企业完善智能系统运维与数据安全制度,建立“数据—决策—执行”闭环,设立跨部门协同小组并开展培训与复盘,提升认知与执行力。人才方面,企业借助地方政策引进高端人才,与高校合作定向培养,开发本地化培训课程,举办技能大赛,设置专项津贴与晋升通道以增强归属感。政府提供税收优惠与人才补贴,出台智能化安全监管标准;行业建立案例库与应用指南,组织技术交流会促进经验共享。通过多方协同发力,推动智能化从“单点试点”走向“全面普及”,助力发电行业实现智能运维转型,为电力安全稳定与“双碳”目标提供坚实支撑。

## 四、结束语

本文立足发电行业实际,围绕智能化手段在设备异常排查与安全生产中的应用展开研究,结合区域极端气候与新能源结构特点,构建了涵盖状态感知、数据诊断、故障预测及数字孪生的智能化应用模式,并梳理了安全生产的智能化落地路径,同时建立四维综合效益评估体系,针对地域挑战提出“企业—行业—政府”协同对策,形成完整理论与实践框架。研究核心价值在于打破通用性局限,针对严寒、大风、沙尘等特征与电站分散痛点,提出针对性技术方案与实施路径,为智能化落地提供可操作参考。未来需加强极端工况技术适配研究,完善地方标准体系,探索“智能化+新能源”融合创新模式,助力地区发电行业向智能、高效、安全、低碳方向转型,为国家电力安全与能源高质量发展贡献力量。

## 参考文献

- [1] 方占萍.大数据分析技术在风电设备异常预测中的应用 [J].石河子科技,2021,(03):16-17.
- [2] 钮志峰.发电厂柴油发电机启动异常的处理 [J].华电技术,2016,38(8):28-29. DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2016.08.008.
- [3] 李治富.汽轮机异常振动故障排查技术的应用 [J].今日自动化,2024(8):70-72. DOI:10.3969/j.issn.2095-6487.2024.8.jrzdh202408026.
- [4] 娄腾升.发电电动机摆度异常增大分析及处理 [J].水电站机电技术,2024,47(7):16-18. DOI:10.13599/j.cnki.11-5130.2024.07.005.
- [5] 胡仕明.1.5MW双馈型风力发电机组异常响声分析 [C]//2014全国风电后市场专题研讨会论文集.2014:60-67.
- [6] 倚裕洪.海上采油平台应急柴油发电机电压异常故障分析及处理 [J].石化技术,2019,26(5):188-189. DOI:10.3969/j.issn.1006-0235.2019.05.115.
- [7] 郑有全.电站厂用变高压开关柜设备接头过热成因分析与处理 [J].水电与新能源,2025,39(4):87-89. DOI:10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2025.04.024.
- [8] 王宝磊.1000MW机组闭式冷却水系统进空气事件的异常分析及故障排查 [J].数字化用户,2018,24(49):32,34. DOI:10.3969/j.issn.1009-0843.2018.49.030.
- [9] 陈林.火电厂汽轮机异常振动故障排查技术分析 [J].大科技,2017(23):70-71.
- [10] 卞启涛.火电厂汽轮机异常振动故障排查技术分析 [J].百科论坛电子杂志,2021(22):2172-2173. DOI:10.12253/j.issn.2096-3661.2021.22.1720.