

# Innovation and Practice of Intelligent Operation and Maintenance Technology for Electrical Equipment

Yuhai Chen

Yunnan Xinsi New Energy Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650051, China

## Abstract

At present, the application of electrical equipment in various fields is becoming more and more in-depth, and the traditional power operation and maintenance mode still cannot meet the actual needs of its efficient and reliable operation. Based on this, this paper focuses on the innovative practice of intelligent operation and maintenance technology of electrical equipment, and intends to deeply analyze the dilemma of traditional electrical operation and maintenance mode in terms of fault prediction and operation and maintenance efficiency, so as to build a core technical framework of intelligent operation and maintenance covering intelligent sensing and data analysis. On this basis, the innovative practice path of intelligent operation and maintenance technology of power equipment is elaborated, mainly covering the innovative application of intelligent sensing technology. Breakthrough in big data-driven condition monitoring technology; Optimize AI-based fault diagnosis algorithms, and more. After multi-dimensional evaluation, it is shown that intelligent operation and maintenance can significantly improve the reliability and operation and maintenance efficiency of power equipment, thereby providing a guarantee for the safe and stable operation of electrical equipment.

## Keywords

electrical equipment; intelligent operation and maintenance; technological innovation; equipment reliability; Predictive maintenance

# 电气设备智能化运维技术的创新与实践

陈有海

云南鑫硅新能源有限公司, 中国·云南 昆明 650051

## 摘 要

当前电气设备在各领域的应用愈发深入, 传统电力运维模式已然无法满足其高效可靠运行的实际需求。基于此, 本文聚焦电气设备智能化运维技术的创新实践, 拟深度剖析传统电气运维模式于故障预判、运维效率等方面的困境, 从而搭建了涵盖智能传感、数据分析等的智能化运维核心技术框架。在此基础上, 详细阐述电力设备智能化运维技术的创新实践路径, 主要涵盖创新性应用智能传感技术; 突破大数据驱动的状态监测技术; 优化基于 AI 的故障诊断算法等。经多维评估, 显示智能化运维可显著提升电力设备可靠性及其运维效率, 由此为电气设备安全稳定地运行提供保障。

## 关键词

电气设备; 智能化运维; 技术创新; 设备可靠性; 预测性维护

## 1 引言

在当今数字化、智能化快速发展的时代下, 电气设备已然成为各行业运行关键基础, 其运行稳定可靠至关重要。智能化运维技术凭借其精准监测、智能诊断等诸多优势, 逐渐成为提升电气设备运维效率的必然选择。因此, 下述将深入探究电气设备智能化运维技术创新路径, 并结合实际案例分析其实践方案。

## 2 智能化运维技术体系构建基础

### 2.1 传统电气运维模式痛点解析

对于电气设备, 其在长期运行实践中, 传统运维模式暴露了诸多痛点。一方面, 预防性维护缺乏精准性。传统运维往往依据固定周期进行巡检维护, 这一过程不考虑设备实际运行状态, 极易造成过度维护或维护不足的情况。例如部分设备频繁检修, 浪费资源的同时也可能引入新故障风险, 而一些设备却因维护不及时埋下安全隐患。另一方面, 传统电气设备故障诊断过于依赖人工经验。运维人员凭借个人经验、简单工具判断故障, 面对一些较为复杂的电气故障时, 这一方式效率低且准确性差, 无法快速定位故障根源。再加上信息传递滞后, 电力设备运行数据收集反馈不及时, 致使相关工作人员无法实时掌握设备运行状态, 故障发生时响应缓慢, 影响设备正常运行及其生产效率。

【作者简介】陈有海（1983-），男，中国云南牟定人，高级工程师，从事电气设计和新型电力系统研究。

## 2.2 智能化运维核心技术框架搭建

搭建智能化运维核心技术框架是实现电气设备高效运维的关键手段。该框架是以智能传感技术为基础，基于各类传感器实时采集电气设备温度、振动、电流、电压等关键参数，为设备状态监测提供数据支持。大数据处理与分析技术则负责挖掘分析所采集到的海量数据，从中提取有价值信息，以此精准评估电力设备运行状态。此外，基于人工智能算法，如机器学习、深度学习等，可用于构建故障诊断模型，自动识别设备故障模式并预测潜在故障。通过这些核心技术有机整合，可助力形成智能化运维的技术支撑体系。

## 2.3 设备全生命周期管理理论支撑

对于电气设备智能化运维，设备全生命周期管理理论可提供重要理论依据。该理论涵盖设备从规划设计、采购安装、运行维护到报废处理全过程。在规划设计阶段，充分考虑电气设备智能化需求，预留数据接口、智能监测装置安装位置，为后续运维奠定基础。采购安装时，选择具有智能化功能的设备，确保设备与运维系统兼容性。运行维护阶段则利用智能化技术实施监测并进行故障诊断，依据设备状态制定个性化维护策略。在设备报废处理环节，通过分析总结电力设备运行数据，为新设备选型、运维策略优化提供有效参考。由此可见，设备全生命周期管理理论的有效应用，可助力实现电气设备全流程、精细化管理。

## 3 电力设备智能化运维技术创新与实践路径

### 3.1 智能传感技术的创新性应用实践

在电力设备智能化运维中，智能传感技术发挥着关键作用。传统电力设备监测主要依靠人工巡检、少量固定传感器，存在数据采集不全面、实时性差等问题。而智能传感技术创新应用，可有效改善这一现状。

例如在电力系统变压器运维中，创新应用光纤光栅温度传感器。借助这一传感器可精确测量变压器绕组、油液温度，其精度可达  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，远高于传统温度计。且光纤光栅温度传感器具有抗电磁干扰的基本特性，在复杂电磁环境中实现稳定工作。通过在变压器关键部位安装多个类似传感器，形成相应的温度监测网络，运维人员可实时获取变压器各部分温度分布情况。一旦发现某一部位温度异常升高，系统立即发出警报，提醒电力设备工作人员及时采取措施，避免因过热造成设备损坏。

此外，在高压输电线路监测中，可尝试采用振动传感器、倾角传感器相结合的方式。振动传感器可实时监测线路因风力、覆冰等因素引起的振动情况，通过深度解析振动频率、振幅，可精准判断线路是否存在异常情况。倾角传感器则用于监测杆塔倾斜角度，及时发现因地基沉降等原因导致的杆塔倾斜问题。这些智能传感器采集的相关数据，将基于无线通信技术实时传输至运维中心，为电力设备安全运行提供有力保障。

## 3.2 大数据驱动的状态监测技术突破

在电力设备智能化运维实际场景中，大数据驱动的状态监测技术发挥着核心作用。以往电力设备运维面临数据孤立、分析手段有限困境，随着大数据技术深度融入，电力设备运维趋于智能化发展。

在大型发电厂中，各类电气设备数量众多且运行工况复杂。对于发电机，可通过安装智能温度传感器、振动传感器、电流电压传感器等，实时收集发电机在不同负载下温度变化、振动频率、电气参数等海量数据。这些数据迅速传输至大数据平台整合存储。借助数据挖掘算法可深度剖析电力系统发电机长期运行数据，精准查找诸如发电机绕组温度在高负荷运行时异常上升趋势，或是轴承振动频率出现细微变化。依据数据分析结果，运维人员可提前察觉发电机过热、磨损等潜在故障，及时安排检修维护，避免设备突发故障造成发电中断、重大损失。

在城市电网配电站中，断路器、隔离开关等设备运行状态监测同样重要。大数据平台收集电力设备分合闸次数、触头温度、操作机构压力等数据后，利用机器学习算法建立设备状态评估模型。以断路器为例，模型可依据触头温度历史数据、实时监测数据，精准预测触头是否存在接触不良、过热等故障隐患。当设备发生故障跳闸时，大数据系统可快速回溯故障发生前一段时间内相关数据，诸如电流、电压的瞬间波动，操作机构动作情况等，准确找出导致断路器跳闸的根本原因，为故障修复、后续预防提供有力支持。

### 3.3 基于 AI 的故障诊断算法优化创新

在电力设备智能化运维实际场景中，卷积神经网络（Convolutional Neural Network，简称 CNN）是基于人工智能的先进故障诊断算法，凭借卓越性能为电力设备稳定运行提供保障。具体参照变电站中的关键设备变压器，在其长期运行过程中，绕组过热、局部放电等故障隐患严重威胁变压器正常工作。利用红外热像仪可实时获取变压器运行状态下红外热像图，这些图像中蕴含丰富设备状态信息。基于 CNN 便可实现对红外热像图自动特征提取及精准故障分类。

CNN 核心组成部分卷积层，通过卷积核与输入图像实现卷积运算提取特征。其具体运算公式如下：

$$x_{i,j}^l = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} w_{m,n}^l \cdot x_{i+m,j+n}^{l-1} + b^l$$

其中  $x_{i,j}^l$  代表第  $l$  层特征图中坐标为  $(i, j)$  位置值， $w_{m,n}^l$  是第  $l$  层的卷积核参数，这些参数在网络训练过程中不断调整优化，以学习到最具代表性的图像特征。 $x_{i+m,j+n}^{l-1}$  为第  $l-1$  层对应位置的值， $b^l$  为偏置项，用于调整特征图数值分布。

除卷积层外，池化层也是 CNN 重要组成部分。具体参照最大池化，其运算公式如下：

$$y_{i,j}^l = \max_{m,n} x_{2i+m,2j+n}^l$$

其中  $m, n \in \{0, 1\}$ 。池化层基于下采样操作，可有效减

少网络中参数数量,降低计算复杂度,还在一定程度上避免过拟合现象发生,使模型具备较强的泛化能力。为使 CNN 模型准确识别变压器各种故障类型,需准备大量包含变压器绕组过热、正常运行等不同状态的红外热像图,以此为训练数据。在训练过程中,通过反向传播算法灵活地调整网络参数,使损失函数  $L(\theta)$  最小化。常用损失函数如交叉熵损失函数,其表达式为:

$$L = - \sum_{i=1}^C y_i \log \hat{y}_i$$

其中  $C$  为类别数,  $y_i$  表示样本的真实标签,  $\hat{y}_i$  即模型预测的概率值。经多轮训练、参数调整, CNN 模型逐渐学习不同故障状态下红外热像图特征模式。

在实际应用中,当新的变压器红外热像图输入至预先训练好的 CNN 模型中时,模型可迅速准确地识别变压器运行状态,判断是否存在故障以及故障具体类型。相较于传统人工分析方法,基于 CNN 的故障诊断算法可在短短数秒内完成诊断过程,且准确率高达 90% 以上,由此为其他电力设备故障诊断提供可借鉴范例。

4 智能化运维实践成效评估及发展趋向

4.1 项目概况

研究以广东某大型钢铁厂的电气设备智能化运维项目为例。该钢铁厂规模庞大,拥有各类电气设备如电弧炉、轧钢电机、高低压配电柜、大型变压器等数千台套。传统运维方式依赖人工巡检,存在效率低,难以满足生产连续性、设

备可靠性要求。

为有效解决此类问题,该钢铁厂引入智能化运维系统。在设备上安装智能传感器,实时采集电流、电压、温度、振动等运行参数。同时搭建大数据分析平台,运用机器学习、深度学习算法分析处理相关电气设备数据,以此实现对电气设备状态的实时监测、故障预警。同时建立远程运维中心,运维人员通过电脑、移动端随时查看设备状态并进行远程诊断控制。项目从规划到实施历时 2 年,总投资约 8000 万元,涵盖硬件设备采购、软件系统开发、人员培训等多个层面。

4.2 智能化运维应用的效益多维评估

在广东某大型钢铁厂成功引入电气设备智能化运维系统后,其在经济效益、运维效率、设备可靠性、安全效益和环境效益等多个维度均取得了显著成效,具体表现如下:

从经济效益来看,智能化运维系统通过设备状态监测精准监测及预测性维护,大幅减少不必要设备维修成本。通过实时分析设备运行数据,可预先发现潜在故障并及时处理,避免因设备突发故障导致的长时间停机。据统计,设备维修成本相较于传统运维模式降低 28.5%,年均减少约 560.35 万元。且每年因避免停机而增加的产值约为 1200.40 万元,有效提升企业盈利能力。对于运维效率,该系统实现设备状态实时监控、自动预警,极大地缩短故障响应处理时间。以往依赖人工巡检发现故障,平均需要 1.5 小时,现有系统能在故障发生瞬间自动报警,将响应时间缩短至 0.3 小时。在故障处理方面,借助智能诊断算法和远程运维功能,处理时间从平均 4 小时降至 1.2 小时,运维效率显著提升。

表 1 智能化运维技术应用效益评估

| 效益维度  | 具体表现            | 数据指标                                                   |
|-------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| 经济效益  | 减少设备维修成本,降低停机损失 | 设备维修成本降低 28.5%,年均减少约 560.35 万元;每年因避免停机增加产值约 1200.40 万元 |
| 运维效率  | 缩短故障响应和处理时间     | 故障响应时间从平均 1.5 小时缩短至 0.3 小时,故障处理时间从平均 4 小时缩短至 1.2 小时    |
| 设备可靠性 | 降低设备故障率,延长设备寿命  | 主要设备故障率降低 35.2%,设备平均使用寿命延长约 15.3%                      |
| 安全效益  | 减少运维人员安全风险      | 高危环境下人工巡检次数减少 70.0%,安全事故发生率降低 60.5%                    |
| 环境效益  | 优化能源利用,降低能耗     | 通过设备运行优化,单位产品能耗降低 8.8%,年减少碳排放约 5000.60 吨               |

5 结论

综上所述,研究中深度剖析电气设备智能化运维技术。剖析传统运维模式痛点,由此搭建了相应的技术框架,阐述电气设备智能化运维技术创新实践路径。研究表明,智能化运维技术可显著提升设备可靠性、运维效率,带来显著的经济、安全等效益。在后续的发展中,电气设备智能化技术将趋于智能、集成、标准化方向。因而仍需持续推进其创新应用,助力电气设备实现高效稳定运行。

参考文献

[1] 王雷. 冶金工程中电气设备智能化监控与管理 [J]. 造纸装备及

材料, 2025, 54 (04): 122-124.

[2] 苏霄鹏. 电气设备智能化改造与升级技术研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2025, 15 (02): 282-284+290.  
[3] 昌吕靖. 冶金企业电气设备的智能化管理与维护 [J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39 (02): 34-36.  
[4] 蔡翔. 变电运维智能化远程管理系统的应用策略探究[C].《中国建筑金属结构》杂志社有限公司. 2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(四). 国网银川供电公司;, 2024: 199-200.  
[5] 刘义卿,隋君. 物联网技术在电气设备智能化管理中的应用研究 [J]. 信息记录材料, 2024, 25 (09): 108-110+113.