

# 智能化技术在水电站供电监控中的实践应用

丁照恩

中国南水北调集团中线有限公司渠首分公司 河南 南阳 473000

**摘要:** 随着智能化技术的飞速发展,其在水电站供电监控领域的应用日益广泛且深入。智能化技术通过集成物联网、大数据分析、人工智能等前沿科技,构建起实时感知、精准分析与智能决策的监控体系。从智能传感器实时采集机组振动、水位流量等关键数据,到大数据分析优化发电调度,再到机器学习模型预测设备故障,智能化技术显著提升了水电站供电的稳定性与安全性,降低了运维成本,推动了水电站向无人值守、少人值守的智慧运维模式转型。

**关键词:** 智能化技术;水电站供电监控;实践应用

引言:在能源转型与数字化发展的双重驱动下,水电站供电监控正面临高效化、智能化升级的迫切需求。传统监控模式依赖人工巡检与经验判断,存在响应滞后、精度不足等问题。智能化技术的融入,如物联网的广泛连接、大数据的深度挖掘以及人工智能的精准分析,为水电站供电监控提供了实时感知、智能决策与自主优化的能力。这不仅大幅提升了监控效率与准确性,更为水电站的安全稳定运行与能源高效利用奠定了坚实基础。

## 1 智能化技术基础理论

### 1.1 智能化技术概述

(1) 定义与核心特征:智能化技术是融合多学科理论,能模拟人类智能处理复杂任务的技术体系,核心特征体现为“三自”——自感知通过传感器等设备实时采集环境、设备数据;自决策依托算法对数据分析,自主生成最优执行方案;自适应可根据外部变化动态调整策略,保障系统稳定运行。(2) 相关技术体系:以物联网为数据采集核心,实现设备互联互通;云计算提供海量数据存储与高强度计算支撑;边缘计算降低数据传输延迟,满足实时处理需求;深度学习通过多层神经网络挖掘数据深层规律,为自决策提供智能算法支持,多技术协同构成智能化技术基石。

### 1.2 水电站供电系统特点与监控需求

(1) 水电站供电系统的组成:涵盖发电、输电、配电三大核心环节。发电环节依赖水轮发电机组将水能转化为电能;输电环节通过高压线路将电能输送至电网;配电环节经变电站降压,将电能分配至用户端,三者衔接形成完整供电链路。(2) 典型监控对象:包括设备状态(如发电机组转速、变压器温度)、电能质量(电压偏差、频率波动)、环境参数(机房温湿度、水库水位),实时监控这些对象是保障供电安全的关键。(3) 传统监控的痛点:采用人工巡检与定点监测结合的方式,存在

数据滞后问题,难以及时捕捉突发故障;依赖人工判断易导致误报率高,增加无效运维成本;且需投入大量人力定期维护,整体维护成本居高不下,难以适应电力系统高效运维需求<sup>[1]</sup>。

## 2 水电站供电智能化监控系统的架构设计

### 2.1 系统总体架构

(1) 分层架构设计:采用四层递进式架构,实现全流程智能化管控。感知层部署各类传感器(如温度、振动、电压传感器),实时采集设备、环境、电能数据,是系统数据来源核心;网络层融合LoRa、NB-IoT等无线通信与光纤有线通信,构建稳定数据传输通道,保障数据高效流转;平台层整合云计算与边缘计算资源,提供数据存储、算力支撑及算法运行环境,实现数据集中管理;应用层面向用户需求,开发设备监控、故障预警、运维管理等功能界面,直观呈现系统运行状态与决策建议<sup>[2]</sup>。(2) 功能模块划分:围绕数据全生命周期设计五大模块。数据采集模块通过感知层设备获取多维度数据,确保数据实时性与完整性;数据传输模块依托网络层协议,实现数据加密传输与断点续传,保障数据安全;数据存储模块采用分布式数据库,分类存储实时与历史数据,支持快速检索;数据分析模块运用大数据与AI算法,挖掘数据关联规律,识别异常信息;决策模块根据分析结果生成故障处理、运维优化方案,自动下达控制指令,实现智能化决策。

### 2.2 关键技术选型与实现

(1) 物联网技术:针对水电站复杂环境,在设备关键部位部署耐高温、抗振动传感器,如发电机组轴承温度传感器、输电线路电压传感器;采用LoRa协议实现远距离低功耗数据传输(覆盖半径可达10公里),NB-IoT用于机房等密集区域数据采集,保障数据传输稳定性。(2) 大数据分析:采用Hadoop分布式架构存储历史数据

(支持PB级数据存储),通过SparkStreaming实现实时数据处理(延迟低于1秒),可快速分析电能质量波动、设备运行趋势,为后续决策提供数据支撑。(3)人工智能算法:选用LSTM神经网络构建设备故障预测模型(预测准确率达90%以上),通过历史故障数据训练,提前预警设备潜在故障;采用CNN算法优化电能分配策略,根据用电负荷动态调整配电方案,提升供电效率。(4)数字孪生技术:基于水电站三维建模数据,构建与物理系统实时映射的虚拟模型,通过实时数据驱动,实现设备运行状态可视化监控,可模拟不同工况下系统运行情况,辅助运维方案优化。

### 3 智能化技术在水电站供电监控中的具体应用

#### 3.1 实时监测与状态感知

(1)多源数据融合:整合供电系统中电压、电流、温度、振动等多类型数据,通过物联网感知层实现全域数据采集。例如,在发电机组定子、转子部位部署振动传感器,实时捕捉设备运行振动频率;在输电线路杆塔安装电压、电流传感器,监测电能传输参数;在配电机房设置温湿度传感器,记录环境指标。借助边缘计算节点对多源数据进行预处理,去除噪声干扰后,通过数据融合算法(如加权平均法、卡尔曼滤波法)实现数据互补,构建完整的系统运行状态数据集,为后续分析提供精准数据基础,避免单一数据监测的局限性<sup>[3]</sup>。(2)设备健康度评估:针对发电机组、变压器、断路器等核心设备,建立多维度健康评估模型。以发电机组为例,结合实时采集的转速、振动、油温数据,以及历史运维记录,通过层次分析法确定各指标权重,量化设备健康分值(0-100分):90分以上为“健康”,70-89分为“亚健康”,70分以下为“异常”。对变压器,重点监测绕组温度、绝缘油介损值,当指标超出阈值时自动标记健康隐患;对断路器,跟踪分合闸时间、操作机构压力,评估机械性能稳定性,实现设备健康状态可视化呈现。

#### 3.2 故障诊断与预警

(1)基于机器学习的故障模式识别:利用历史故障数据(如发电机组轴承磨损、变压器渗漏油、断路器拒动等故障记录)训练机器学习模型。采用随机森林、支持向量机等算法,构建故障分类模型,通过实时数据与历史故障特征的比对,自动识别故障类型。例如,当监测到发电机组振动频率异常且油温骤升时,模型可快速匹配“轴承磨损”故障模式,准确率达92%以上;同时,结合实时数据动态更新模型参数,提升对新型故障的识别能力,减少人工诊断的滞后性与误判率。(2)剩余寿命预测(RUL)与维护计划优化:采用LSTM、GRU等深

度学习算法,基于设备运行数据与寿命衰减规律,构建剩余寿命预测模型。以变压器为例,通过分析绕组老化程度、绝缘油性能变化趋势,预测设备剩余运行寿命(误差控制在 $\pm 3$ 个月内)。根据预测结果,结合设备重要性与运维资源,生成差异化维护计划:对剩余寿命不足1年的关键设备,优先安排预防性维护;对健康状态良好的设备,延长维护周期,降低运维成本30%以上,避免过度维护与突发故障风险<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 智能调度与优化控制

(1)负荷预测与发电计划动态调整:融合气象数据(降雨量、气温)、用电负荷历史数据(工业用电、居民用电规律),采用ARIMA、Prophet等时间序列算法,实现未来24小时用电负荷预测(误差低于5%)。根据负荷预测结果与水库水位情况,动态调整发电机组运行方案:当预测负荷高峰时,增加机组开机台数,提升发电功率;当负荷低谷时,减少机组运行数量,降低能耗。同时,结合电网调度指令,优化电能输出曲线,确保供电供需平衡,减少弃水损失与电能浪费。(2)电网稳定性控制:通过实时监测电网频率、电压波动,采用PID控制、模型预测控制等算法,实现电网参数动态调节。当电网频率低于50Hz时,自动提升发电机组转速,增加有功功率输出,快速恢复频率稳定(调节响应时间 $< 1$ 秒);针对电压偏差,通过SVG(静止无功发生器)等设备,自动补偿无功功率,将电压偏差控制在 $\pm 2\%$ 范围内。此外,构建电网暂态稳定分析模型,模拟短路、负荷突变等极端工况下的系统响应,提前制定控制策略,保障电网运行稳定性。

#### 3.4 安全防护与应急响应

(1)入侵检测与网络安全防护:在系统网络层部署防火墙、入侵检测系统(IDS),采用深度包检测技术,识别非法访问、数据篡改等网络攻击行为。对感知层设备与平台层之间的通信数据,采用AES-256加密算法,防止数据泄露;定期对系统漏洞进行扫描与修复,更新病毒库与攻击特征库,抵御勒索病毒、DDoS等新型网络威胁。同时,建立用户权限分级管理体系,不同岗位人员赋予差异化操作权限,避免越权操作导致的系统安全风险<sup>[5]</sup>。(2)事故快速定位与隔离策略:利用故障录波装置、GPS同步时钟,实现事故发生时的精准定位(定位误差 $< 50$ 米)。当发生线路短路故障时,系统通过分析电流突变数据,快速确定故障线路段,并自动触发断路器跳闸,隔离故障区域(响应时间 $< 0.5$ 秒);同时,生成事故处理方案,推送至运维人员移动端,指导现场抢修。此外,构建事故应急演练虚拟场景,通过数字孪生技术模拟不同事故类型(如设备爆炸、线路覆冰),优化应急

处置流程,提升突发事故应对能力。

#### 4 实践案例分析

##### 4.1 案例选择与背景介绍

选取某省级重点中小型水电站(装机容量 $3 \times 12\text{MW}$ )作为案例,该水电站建于2005年,主要为周边县域工业企业与居民供电,承担区域电网调峰任务。此前采用传统人工巡检+定点监控模式,存在三大痛点:一是发电机组、变压器等核心设备依赖每周1次人工巡检,数据滞后超24小时;二是故障误报率高达15%,多次出现无效运维;三是近3年因设备突发故障导致平均年停机时间达86小时,供电可靠性难以满足区域用电需求。为解决上述问题,2023年该水电站启动供电智能化监控系统改造项目。

##### 4.2 智能化监控系统实施过程

(1)系统部署方案:硬件方面,根据设备特性与监控需求选型,在发电机组轴承、定子部署耐高温振动传感器(量程 $0\sim 50\text{g}$ ,精度 $\pm 0.1\text{g}$ ),变压器绕组安装光纤温度传感器(测量范围 $-50\sim 200^\circ\text{C}$ ),配电线路加装智能电表(采样频率 $1\text{Hz}$ );软件平台基于云边协同架构搭建,边缘端采用工业级边缘计算网关(支持 $5\text{G}/\text{以太网}$ 双模通信),云端部署国产化监控平台(集成数据存储、分析、可视化功能),实现硬件设备与软件系统无缝对接。(2)数据采集与传输网络构建:采用“无线+有线”混合组网模式,感知层设备中,分散的户外传感器(如线路杆塔传感器)采用LoRa协议传输数据(覆盖半径3公里,功耗 $\leq 50\text{mA}$ ),机房内密集设备传感器通过NB-IoT组网;核心传输链路采用千兆工业以太网,连接边缘网关与云端平台,同时部署数据加密模块(AES-128算法),保障数据传输安全;构建双链路冗余机制,当主链路故障时,备用链路可在 $100\text{ms}$ 内切换,避免数据中断。

##### 4.3 应用效果评估

(1)监控效率提升:系统上线后,数据采集间隔从传统人工巡检的168小时缩短至1秒,故障响应时间从原2小

时缩短至15秒;通过AI故障诊断模型优化,误报率从15%降至3%以下,有效减少无效运维次数,提升监控精准度与响应速度。(2)运维成本降低:人工巡检频次从每周1次调整为每月1次,结合远程监控与预警,运维人员数量减少30%,年人工成本节约约48万元;基于设备剩余寿命预测模型优化备件库存,备件积压率降低40%,年库存成本减少15万元,整体运维成本同比下降28%。(3)供电可靠性增强:故障提前预警率达92%,突发故障处理时间从原8小时缩短至2小时,年故障停机时间从86小时降至22小时;通过智能调度优化,电能质量指标(电压偏差、频率波动)达标率从92%提升至99.5%,供电可靠性显著增强,满足区域用电保障需求。

#### 结束语

智能化技术在水电站供电监控中的实践应用,已然成为提升水电站运行管理水平与能源利用效率的重要途径。通过智能化改造,水电站实现了从数据采集、分析到决策的全流程智能化,显著增强了供电的可靠性与安全性。展望未来,随着技术的不断进步与创新,智能化监控将更加深入地渗透到水电站的各个环节,推动其向更加智慧、高效、绿色的方向发展,为全球能源转型与可持续发展贡献力量。

#### 参考文献

- [1]印晶.智能化水电站监控系统的网络安全问题及对策研究[J].水上安全,2023,(16):64-65.
- [2]陈曦.智能化水电站监控系统网络安全问题与对策[J].水电站设计,2022,38(01):27-28.
- [3]陈敏,刘卫国,徐勇晖.智能化技术在水电站中的应用研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(06):88-89.
- [4]李英鸿.水电站运行标准化与智能化监测技术的创新与实践[J].中国高新科技,2024,(09):58-60.
- [5]马月姣,刘永瑛,胡丰,等.智能化水电站技术应用[J].科学技术创新,2020,(28):99-100.