

智能弱电运维系统的故障诊断与预测模型构建

柏树籽¹ 叶仙军² 赵 晴³ 周振庭⁴

1. 浙江柏冠电力工程技术有限公司 浙江 杭州 310000

2. 杭州峻烽科技有限公司 浙江 杭州 310000

3. 浙江永通科技发展有限公司杭州分公司 浙江 杭州 310000

4. 杭州知管家信息科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：随着智能化发展，智能弱电运维系统在各领域广泛应用，其稳定性至关重要。围绕智能弱电运维系统的故障诊断与预测模型构建展开研究，先阐述弱电系统架构、数据采集传输及智能算法等关键技术基础。接着深入构建故障诊断模型，包括特征提取、框架设计及训练优化。对故障预测模型从时间序列分析、机器学习模型构建、评估验证等方面探究。然后探讨模型系统集成、性能优化及动态更新维护。该研究成果对保障智能弱电运维系统稳定运行意义重大，有望推动相关领域技术进步，提升运维效率与可靠性。

关键词：智能弱电运维系统；故障诊断；故障预测；机器学习

1 引言

在数字化浪潮下，智能弱电系统广泛渗透于社会各领域，成为支撑现代设施高效运转的神经中枢。从智能建筑的自动化调控，到智慧工厂的精密监测，它承担着信息交互、设备协同等重任。然而，智能弱电系统架构繁复、设备众多且运行环境复杂，故障频发成为棘手难题。一个微小故障，都可能引发连锁反应，致使设备停摆、业务中断，造成经济损失与安全风险。传统运维方式依赖人工经验，效率低下、响应滞后，难以满足系统高可靠性需求。构建智能化的故障诊断与预测模型迫在眉睫，这将为智能弱电系统的稳定运行筑牢根基，大幅提升运维水平。

2 智能弱电运维系统关键技术基础

2.1 弱电系统架构与组成原理

智能弱电系统是一个复杂且精密的体系，主要涵盖通信网络系统、安防监控系统、楼宇自动化系统及综合布线系统等。通信网络系统如同人体的神经系统，负责数据的高速传输与交换，保障各类信息顺畅流通；安防监控系统则像敏锐的眼睛，通过摄像头、传感器等设备，24小时实时监测环境，守护安全；楼宇自动化系统宛如智能管家，对建筑内的照明、空调、电梯等设备进行自动化调控，实现高效节能；综合布线系统则是整个弱电系统的物理链路基础，为各子系统提供稳定的线路连接，确保信号传输稳定，如图1所示。理解这些子系统的架构与组成原理，是构建智能弱电运维系统故障诊断与预测模型的根基。

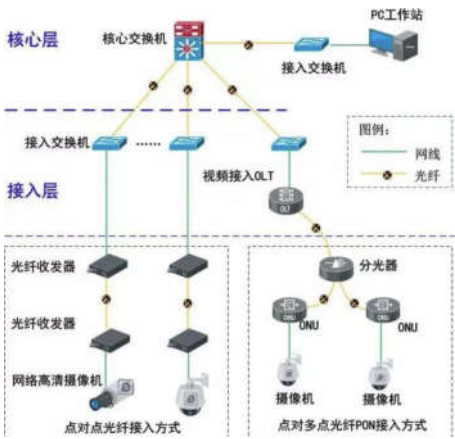


图1 通信网络系统拓扑结构的示意图

2.2 数据采集与传输技术

数据采集与传输是智能弱电运维的关键环节。在数据采集方面，温湿度、电流、电压等传感器广泛分布于弱电系统各节点，能实时感知设备运行状态与环境参数，并转化为电信号或数字信号^[1]。传输技术上，有线传输中光纤因带宽宽、低损耗承担大量高速数据传输；无线传输借助Wi-Fi、蓝牙、ZigBee等，为移动和分散节点提供便利连接。可靠的数据采集与传输技术，确保运维系统获取全面准确数据，为故障诊断和预测奠定坚实基础，保障智能弱电运维系统稳定运行。

2.3 智能算法基础概述

智能算法是故障诊断与预测模型的核心驱动力。机器学习算法中的决策树，通过对数据特征进行层层划分，构建树形决策模型，可直观地对故障类型进行判断；神经网络则模仿人类大脑神经元结构，通过大量数

据训练学习复杂的模式和规律，具有强大的非线性拟合能力，能精准识别弱电系统中隐蔽的故障特征^[2]。深度学习算法如卷积神经网络（CNN），在处理图像和时序数据方面表现出色，可用于分析监控视频中的异常行为以及设备运行数据的趋势预测。这些智能算法凭借其独特的优势，使模型能够从海量数据中挖掘出有价值的信息，实现对弱电系统故障的精准诊断与有效预测。

3 故障诊断模型核心构建

3.1 故障特征提取方法

故障特征提取是故障诊断的关键起点。首先是时域

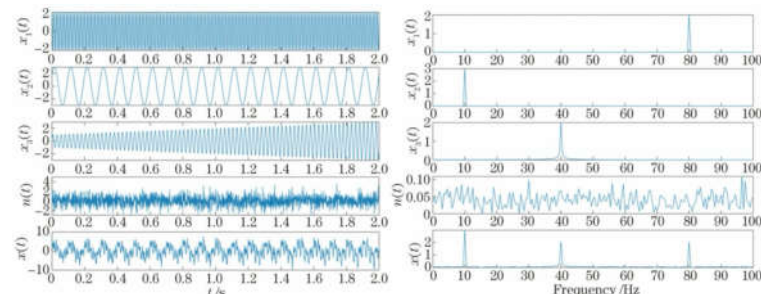


图2 设备振动信号时域分析波形图（左）和频域分析的频谱图（右）

3.2 故障诊断模型框架设计

故障诊断模型框架需兼具科学性与实用性。整体采用分层架构，底层为数据采集层，负责收集弱电系统各设备的运行数据。中间层是数据处理与特征提取层，运用前文所述方法提炼有效故障特征。顶层是诊断决策层，包含多种诊断算法模型。可选用支持向量机（SVM），它基于结构风险最小化原则，在小样本分类问题上表现卓越，能准确划分正常与故障状态^[3]。还可结合专家系统，将领域专家的经验知识转化为规则库，对复杂故障进行综合判断。各层之间相互协作，数据从底层向上流动，诊断结果从顶层反馈到底层，形成一个高效、智能的故障诊断体系，快速且准确地定位故障。

3.3 模型训练与优化策略

模型训练是赋予其诊断能力的关键步骤。首先准备大量涵盖正常与各类故障工况的历史数据，对模型进行有监督训练。以神经网络为例，通过反向传播算法不断调整网络权重，使模型输出与实际标签的误差最小化。在训练过程中，引入正则化方法，如L1、L2正则化，防止模型过拟合，增强其泛化能力。同时，采用学习率衰减策略，随着训练轮次增加逐渐降低学习率，让模型收敛更稳定。优化器选择也很重要，像Adam优化器，结合了Adagrad和Adadelta的优点，能自适应调整学习率，加快模型收敛速度。定期评估模型性能，根据评估结果调整训练参数，持续优化模型，提升故障诊断的准确性与可靠性。

分析，通过直接分析原始数据在时间维度上的特征，像均值、方差、峰值指标等，能直观反映设备运行状态的变化。比如，设备振动信号的方差增大，可能预示着部件磨损加剧。频域分析则借助傅里叶变换等手段，将时域信号转换为频域信号，从频率成分中挖掘故障特征。例如，特定频率处出现异常峰值，往往与某些机械故障相关联。如图2所示。小波分析是一种时频局部化分析方法，它能聚焦信号的任意细节，在检测短暂冲击性故障时优势显著，可精准定位故障发生时刻及对应的频率特征，为后续故障诊断提供关键线索，帮助准确识别故障类型。

4 故障预测模型深度探究

4.1 时间序列分析在故障预测中的应用

时间序列分析在智能弱电运维系统故障预测中扮演着重要角色。它基于弱电设备运行数据的时间顺序特征，挖掘数据随时间变化的规律和趋势^[4]。通过自回归移动平均（ARMA）模型，利用历史数据的线性组合来预测未来值。例如，依据过去一段时间内网络流量数据，预测后续时段的流量情况，若流量异常增长，可能暗示网络故障隐患。季节性分解方法则能将时间序列分解为趋势、季节性和残差成分，从而更清晰地分析数据规律，对具有季节性变化特点的设备运行参数，如某些时段用电负荷的波动，进行准确的预测，提前察觉可能引发故障的异常波动，为运维人员预留充足时间采取防范措施。如图3所示。

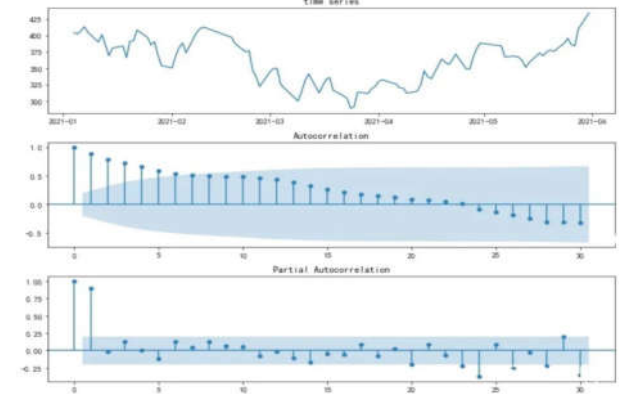


图3 ARMA模型的网络流量预测结果图

4.2 基于机器学习的故障预测模型构建

机器学习为故障预测提供了强大的工具。以随机森林算法为例,它通过构建多个决策树并综合其预测结果,有效降低过拟合风险。在智能弱电系统中,将设备的多种运行参数,如电压、温度、设备使用率等作为特征输入,训练随机森林模型,让其学习正常运行状态与潜在故障状态之间的关系。支持向量回归(SVR)模型也常被应用,它在高维空间中寻找一个最优超平面,使预测值与真实值之间的误差最小化。通过对大量历史故障数据的学习,SVR模型能够根据当前设备运行特征预测故障发生的概率或时间,为运维决策提供有力依据,显著提升系统的故障预警能力。

4.3 预测模型评估指标与验证

准确评估预测模型性能至关重要。常用的评估指标包括均方根误差(RMSE),它衡量预测值与真实值之间误差的平均幅度,RMSE值越小,表明模型预测越精准。平均绝对误差(MAE)则反映预测值与真实值误差的平均绝对值,能直观体现预测偏差程度。决定系数(R^2)用于评估模型对数据的拟合优度,越接近1表示模型对数据的解释能力越强。在验证环节,采用交叉验证方法,如k折交叉验证,将数据集分成k份,轮流将其中一份作为测试集,其余作为训练集,多次训练和测试模型,取平均结果作为评估指标,以此全面、可靠地评估模型性能,确保故障预测模型在实际应用中的有效性和可靠性。

5 系统集成与性能提升

5.1 故障诊断与预测模型的系统集成

故障诊断与预测模型的系统集成是将模型融入智能弱电运维系统的关键步骤。首先,要确保模型与现有系统的数据接口兼容,能顺畅获取各类实时和历史运行数据。同时,要在系统架构层面合理规划模型的位置,将诊断与预测功能模块与系统的监控、控制、管理等模块有机整合,形成一体化的运维体系。这样一来,当模型检测到故障隐患或发生故障时,能迅速将信息反馈至监控界面,提醒运维人员,并联动控制模块采取相应措施,实现故障的快速响应与处理,提升整个系统的运维效率。

5.2 系统性能优化策略

为提升智能弱电运维系统性能,可从多方面入手。在硬件资源优化上,根据系统负载和数据处理需求,合理配置服务器内存、CPU等硬件,确保模型运行和数据处理有充足的计算资源,避免因硬件瓶颈导致系统响应迟缓。软件算法优化方面,对故障诊断与预测模型的算法进行改进,采用更高效的计算方法和数据结构,减

少计算复杂度,加快模型运算速度。网络优化也不容忽视,合理规划网络拓扑,采用高速稳定的网络设备,保障数据传输的低延迟和高可靠性,确保模型能实时获取数据并及时反馈结果,全方位提升系统性能。

5.3 模型的动态更新与维护机制

模型的动态更新与维护机制是保障其长期有效性的关键。随着弱电系统运行环境变化、设备老化以及新故障类型的出现,模型需要不断更新。定期收集新的运行数据和故障案例,利用增量学习算法对模型进行更新训练,使模型能够适应新的情况^[5]。例如,当出现新的设备故障模式时,将相关数据加入训练集,重新训练模型,更新故障诊断和预测规则。同时,建立模型健康监测机制,实时监控模型的性能指标,如准确率、召回率等,一旦发现性能下降,及时进行评估和调整。此外,还需定期对模型进行备份,防止数据丢失或模型损坏,确保模型在智能弱电运维系统中持续稳定地发挥作用。

6 结语

智能弱电运维系统故障诊断与预测模型的构建,整合了多领域关键技术,搭建起了精准高效的分析体系。故障诊断与预测模型能有效识别隐患、预警故障,极大提升了系统运行的稳定性与可靠性,在保障业务连续性、降低运维成本等方面作用显著。未来,随着物联网、人工智能技术的持续进步,可进一步挖掘多源数据价值,优化模型架构与算法,提升模型泛化性与自适应性。还应聚焦跨系统协同运维,推动智能弱电运维系统向智能化、自动化、一体化方向迈进,为各行业数字化转型筑牢根基。

参考文献

- [1]邱禄全.基于人工智能的火电厂锅炉燃烧系统故障预测与诊断[J].现代制造技术与装备,2024,60(10):131-133.
- [2]李晶,邓显俊,曲全方,等.深度学习驱动的电气自动化系统智能故障诊断与预测技术研究[J].电气技术与经济,2024,(08):7-9.
- [3]胡少强.基于神经网络的城市道路智能照明系统故障诊断与预测研究[J].光源与照明,2025,(01):72-74.
- [4]中国石油天然气股份有限公司.一种阴保系统恒电位仪故障的智能诊断模型构建方法:CN116258054A[P/OL].2023-06-13[2025-04-01].
- [5]李怀珠,曹鹏,孙伟.基于人工智能的煤矿掘进电气系统故障诊断与预测方法研究[J].电气技术与经济,2024,(08):4-6.