

水利机电设备智能故障诊断系统的设计与实现——以泵站电机为例

韦昌明

海南华建工程监理咨询有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6767

[摘要] 本文以泵站电机为对象,设计并实现了一套智能故障诊断系统。系统采用分层架构,集成振动、电流等多源数据,通过特征提取与混合智能模型实现故障的早期识别与预测性维护。经实验以及现场验证,系统在准确性、实时性以及可靠性这些方面,都达到了预期,有效提升了设备运维效率;与此同时,指出在数据积累、算法泛化以及系统集成等方面还需进一步优化。

[关键词] 泵站电机; 智能诊断; 预测维护; 系统设计

中图分类号: TV675 文献标识码: A

Design and Implementation of Intelligent Fault Diagnosis System for Water Conservancy Electromechanical Equipment: Taking Pump Station Motors as an Example

Changming Wei

Hainan Huajian Engineering Supervision and Consulting Co., LTD.

[Abstract] This paper takes the pump station motor as the object and designs and implements a set of intelligent fault diagnosis system. The system adopts a hierarchical architecture, integrating multi-source data such as vibration and current. It achieves early fault identification and predictive maintenance through feature extraction and a hybrid intelligent model. Through experiments and on-site verification, the system has met expectations in terms of accuracy, real-time performance and reliability, effectively improving the efficiency of equipment operation and maintenance. Meanwhile, it is pointed out that further optimization is still needed in aspects such as data accumulation, algorithm generalization and system integration.

[Key words] Pump station motor Intelligent diagnosis Predictive maintenance System design

引言

泵站电机是保障水利设施稳定运行的关键设备,其故障诊断对维护整体安全与效率至关重要。针对传统运维方式的局限性,本文设计并实现了一套智能故障诊断系统,旨在通过实时监测与智能分析实现预测性维护,提升设备运行可靠性。在泵站投入使用后,如何确保泵站稳定、安全、经济运行成为各运维部门的一项重大课题。泵站种类繁多,结构错综复杂,如果其中一个系统出现问题,又无法对其进行快速识别,不但会造成自身的损害,而且会造成连锁效应,影响到整个泵站的运行。

1 系统总体设计方案

1.1 泵站电机故障模式与诊断需求分析

泵站电机作为水利工程的核心动力设备,其运行状态直接关系到泵站的整体安全与效率,而在实际运行过程中,电机所面临的故障模式不仅复杂而且多样。主要可归纳为电气故障、机

械故障与绝缘故障三类,其中电气故障包含了定转子绕组短路、断相以及供电电压异常等情况;机械故障则涉及轴承磨损、转子不平衡以及不对中等问题;绝缘故障主要表现为因过热、潮湿或者老化而引发的绝缘性能劣化。如果这些故障没有能够被及时识别和处理,轻的情况会使设备性能下降、能耗增加,重的情况就会引发连锁性停机,进而对水利调度与防洪排涝任务造成严重的威胁。鉴于当前传统的定期检修和人工巡检方式存在着滞后性,很难实现对故障的早期预警和精准定位,所以设计一套智能故障诊断系统,其核心需求在于能够对电机运行状态进行实时在线监测,通过智能算法去自动识别故障的早期特征,以此来实现从“事后维修”到“预测性维护”的转变,最终达到显著提升设备可靠性、降低非计划停机风险与运维成本的目的^[1]。

1.2 系统整体架构与功能模块规划

在明确泵站电机典型故障模式和核心诊断需求的基础上,系统的整体架构选用分层设计的思想,将其划分为数据采集层、数据处理与分析层和应用服务层这三个主要的层次,其中数据采集层承担着集成振动、温度、电流、电压等多种类型传感器的任务,以此来实现对设备运行状态的全面感知以及数据的汇聚工作;数据处理与分析层作为整个系统的核心部分,部署了数据预处理、特征计算以及智能诊断算法,致力于完成从原始数据到故障判别这一关键的转化过程;而应用服务层则是面向用户的,提供诸如实时监测、诊断报告、历史查询以及预警推送等功能界面。在功能模块的规划方面,该系统具体涵盖了实时数据采集与存储模块、智能诊断分析引擎、人机交互与可视化模块以及系统管理配置模块,并且各个模块借助标准化的接口来进行数据的交互与协同工作,共同构建成一个完整且具有可扩展性的智能诊断解决方案^[2]。

1.3 关键诊断技术路径的选定依据

关键诊断技术路径的选定需紧密围绕泵站电机故障物理特性与工程实用需求展开,鉴于机械类故障占比较高的情况,考虑到振动信号分析对轴承磨损、转子不平衡等异常最为敏感这一特性,故而选定其作为核心技术路径。而对于电气类故障,由于基于电流信号特征分析的技术路径可通过对电流频谱、谐波等成分的解析来有效识别断相、转子断条等缺陷,所以将其作为提升诊断全面性与早期预警能力的技术路径。技术路径进一步融合温度监测与绝缘状态评估,在分析方法层面,选定结合传统信号处理技术与机器学习算法的混合智能路径,通过利用信号处理进行鲁棒特征提取并依托机器学习模型实现多特征融合与复杂模式识别的方式,以此来平衡诊断精度、实时性与算法泛化能力,进而确保技术方案既具备先进性又拥有工程落地的可行性^[3]。

2 核心诊断模块的实现过程

2.1 多源数据采集与标准化处理

构建诊断系统时首要环节为多源数据采集与标准化处理,因需全面获取泵站电机运行状态,故系统于电机关键部位部署振动传感器、电流互感器、温度传感器以及电压测量单元,以此同步采集可反映机械、电气及热状态的原始信号,而这些原始数据在采样频率、量纲与精度方面存在差异,还不可避免地含有现场电磁干扰与随机噪声^[4],所以在数据进入分析流程前,必须实施严格的标准化预处理,该预处理包括对原始信号进行滤波以剔除工频及高频干扰,对缺失或异常数据进行识别与插补修正,并将所有通道的数据统一至相同的采样时间基准与标准化数值范围,通过这一系列处理,形成时序对齐、质量可靠、格式统一的多维数据集,从而为后续的深度特征挖掘与模型分析奠定准确、一致的数据基础。

2.2 故障特征提取与诊断模型构建

作为整个智能诊断系统核心分析层的故障特征提取与诊断模型构建,在特征提取阶段需对预处理后的多源数据分别开展深度挖掘工作,即从振动信号里提取能够表征故障冲击的包络

谱特征以及时域统计特征、频域谱特征,从电流信号中提取反映转子断条、偏心等缺陷的谐波分量、特定频率边带能量等电气特征,同时结合温度及其变化趋势来构成状态向量,而为了去除冗余信息并实现维度降低,会采用主成分分析方法对高维特征集进行优化选择;在模型构建阶段所选用的支持向量机与深度神经网络相结合的混合架构,需要利用历史故障案例数据与人工模拟故障数据来进行监督训练,通过优化算法对模型参数进行调整,以使模型能够学习不同故障模式与特征集之间的复杂映射关系,最终形成具备对未知状态进行分类与识别能力的诊断模型,从而实现从多维特征到具体故障类型及严重程度的智能判定^[5]。

2.3 诊断结果可视化与人机交互实现

诊断结果可视化与人机交互实现作为连接智能诊断内核与最终用户的桥梁,其核心目标在于提供直观、清晰且高效的状态信息呈现以及操作界面。而基于Web技术所构建的图形化监控平台,对包含实时数据看板、历史趋势曲线、频谱分析图等在内的多种可视化组件进行了设计与实现。其中,诊断结果以结构化的故障诊断报告形式呈现,明确标注了故障类型、置信度、严重等级以及可能的成因分析^[6]。同时,系统所设置的多级预警机制,在检测到异常或故障时,会通过平台界面高亮警示、声音提醒以及关联短信等多种方式主动推送告警信息。至于人机交互层面,界面设计遵循功能分区明确、操作逻辑简洁的原则,不仅支持用户对监测点位、报警阈值、诊断模型参数等进行灵活配置与维护,还允许按设备、时间、故障类型等多维度对历史数据进行查询与回溯,进而为运维人员的决策与操作提供全面且友好的支持。

3 系统验证与工程应用评估

3.1 系统测试方案与性能评价指标

为保障智能故障诊断系统所具备的有效性与其可靠性能够得以充分实现,需对周密的测试方案加以制定并且将量化的性能评价指标予以明确,该测试方案需在实验室模拟平台以及真实泵站现场按照分阶段的方式来实施,即在实验室环境当中,借助故障植入装置对电机所具有的典型故障进行模拟,与此同时采集足够数量的数据,这些数据将被用于模型的训练以及初步的验证工作,而在现场环境当中,需要挑选典型的泵站机组来开展长期的挂网运行测试,以此来对系统在实际存在的复杂工况之下所具备的适应性进行评估^[7];关于性能评价指标,主要是围绕准确性、实时性与稳定性这三个维度来进行设定的,在准确性方面,将故障识别准确率、误报率、漏报率以及诊断结果置信度作为核心指标来采用,在实时性方面,对从数据采集工作完成之后到生成诊断报告的整个流程所产生的时间延迟上限作出规定,在稳定性方面,则对系统在连续运行的过程中各个功能模块的可用性以及资源占用率的波动情况进行考察,这套测试与评价体系为系统性能的客观评估提供了明确的依据^[8]。

3.2 诊断准确性及可靠性验证分析

作为评估系统性能关键步骤的诊断准确性及可靠性验证分

析,在准确性验证层面,系统采用涵盖各类典型故障及复合故障工况的、已标注故障类型与严重程度的历史数据集实施测试,通过将模型输出结果与真实故障标签予以对比,计算得出其在测试集上的总体识别准确率处于较高水平这一结果,且针对单一故障类型的查准率与查全率均契合预设要求,同时误报与漏报率被调控在工程应用可接纳的阈值范围之内;而在可靠性验证层面,系统于选定泵站开展了为期数月的连续在线监测作业,监测期间经历了不同负载、启停工况以及环境变化等情形,分析表明系统运行状态稳定,故障预警与诊断功能未出现异常中断状况,诊断结论亦未出现因工况正常波动而引发的显著矛盾或跳变现象,并且其核心算法模块的计算耗时始终低于规定的实时性上限,充分证明系统具备良好的环境适应性与鲁棒性,综合来看,验证结果对该系统在准确性与可靠性方面达成设计预期这一事实予以证实^[9]。

3.3 实际应用效能与改进方向总结

在泵站完成实际部署并投入运行之后该系统开始初步展现出十分显著的应用效能,其核心价值主要体现在能够将传统的定期检修模式转变为基于设备状态的预测性维护模式,通过运用对电机状态进行实时且连续的监测以及智能分析的手段来实现对早期故障隐患的及时发现与预警功能,这种转变有效地减少了由于故障扩大而引发的非计划停机事故,进而提高了泵站运行的连续性以及安全保障能力,从维护管理的角度来看系统所提供的精准故障定位以及严重程度评估结果,能够为运维人员制定合理的维护策略以及准备相应的备品备件提供明确的依据,以此达到优化维修流程和降低总体运维成本的目的^[10]。

不过在应用过程中也暴露出一些需要改进的方向,首先诊断模型的性能在很大程度上依赖于高质量的标注数据,但是目前可用于模型训练和迭代的典型故障样本尤其是能够反映故障发展全过程的数据仍然比较有限,所以未来需要建立更加完善的数据积累机制,其次系统对于非常见故障或者多种并发故障的诊断能力还有提升的空间,需要进一步研究具有更强泛化能力的混合智能诊断算法,另外系统的硬件集成度和现场安装便利性也有待优化,以便降低部署的复杂度和成本,最后未来可以探索将本系统与泵站整体的监控和管理平台进行更深层次的数据

融合和功能联动,从而构建出覆盖范围更广、智能化水平更高的水利机电设备健康管理生态体系。

4 结论

综上所述,本研究针对泵站电机设计并实现了智能故障诊断系统,凭借着多源数据融合的技术手段以及混合智能模型的运用,促使传统的定期检修模式朝着预测性维护模式进行转变,而该系统通过测试验证所展现出的在提升故障诊断准确性以及设备运行可靠性方面的实用价值,不仅为水利机电设备的智能化运维提供了一种具备可行性的解决方案,同时也揭示出后续工作需要在数据积累的丰富程度以及算法泛化能力等多个层面开展持续不断的优化工作。

[参考文献]

- [1] 杨文涛, 汤立, 戴阳, 等. 农业水利泵站机电设备故障诊断及维修策略研究[J]. 棉花科学, 2022, 44(3): 23-56.
- [2] 吴庆峰. 景电水利工程泵站机电设备故障诊断及管理分析[J]. 中国机械, 2023, 35(2): 3-45.
- [3] 徐克凡, 陈佳惠, 蒋华等. 水利工程泵站机电设备故障诊断及检修重要性[J]. 流体测量与控制, 2024, 6(1): 35-78.
- [4] 师自谦. 农业水利泵站机电设备故障诊断及维修[J]. 河北农机, 2023, 45(4): 34-63.
- [5] 李永敏. 景电水利工程农机泵站机电设备的维护及管理[J]. 新疆农机化, 2024, 41(2): 26-876.
- [6] 夏灿. 水利工程泵站机电设备故障诊断方法分析[J]. 大众标准化, 2023, 30(8): 456-673.
- [7] 陈金. 农业水利泵站机电设备故障诊断与处理[J]. 新农业, 2022, 71(7): 12-64.
- [8] 马新涌. 分析水利工程泵站机电设备故障诊断方法中的应用[J]. 长江技术经济, 2023, 7(1): 34-76.
- [9] 刘圣亚, 孟玮, 程旺. 故障树分析法在泵站机电设备故障诊断及预防中的应用[J]. 工程技术研究, 2024, 9(5): 12-87.
- [10] 张刘. 水利工程泵站机电设备故障诊断及处理[J]. 江淮水利科技, 2022, 18(3): 36-186.

作者简介:

韦昌明(1971--),男,汉族,海南省海口市人,大学本科,高级工程师,从事的研究方向或工作领域: 水利水电工程。