

基于机器学习的水电厂泵站设备运行状态监测与故障预警方法

黄利平

(大唐雅安电力开发有限公司, 四川 雅安 625000)

摘要 水电厂泵站设备作为保障水电厂正常运作的核心设施, 其稳定运行对于保证电力供应和水资源调度具有重要意义。随着水电行业对设备监控需求的不断提升, 传统的设备运行状态监测方法已无法满足实时性、准确性和预警功能的要求。近年来, 机器学习技术在设备状态监测和故障预警中展现出了巨大潜力, 通过数据驱动的智能分析与预测手段, 能够有效提升泵站设备的运行安全性和可靠性。本文探讨了机器学习在水电厂泵站设备监测中的应用背景, 分析了机器学习在故障预警中的基本原理, 提出了基于机器学习的故障预警优化措施, 以期为相关人员提供参考。

关键词 水电厂; 泵站设备; 机器学习; 运行状态监测; 故障预警

中图分类号: TV738; TP181

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.20.012

0 引言

水电厂泵站设备在系统运行中发挥至关重要的作用, 承担水流调度与能量转换的核心功能, 其运行稳定性直接决定水电厂供电可靠性与整体运行效益。传统设备状态监测与故障预警方法多依靠人工经验与定期检查, 该方法具有实时性不强、预测能力受限、故障反应落后等缺点^[1]。在如今智能化、自动化飞速发展的时代背景下, 机器学习这种可以自动从数据中提取出规律及特征的技术已成为增强水电厂设备监测及故障预警能力的主要途径。在水电行业数字化转型背景下, 泵站设备监测逐渐从“事后检修”提升为“状态检修”“预测性维护”。通过在已有监控系统中嵌入机器学习, 可将分散于SCADA、振动监测、视频监控及检修记录等多源数据整合为一个涵盖“设备—运行条件”的整体数据链条。一方面提供运行人员可视化健康指数及风险等级以协助制定最佳运行方式; 另一方面为设备选型优化、寿命评估及备品备件管理等提供了量化依据, 使其由单台装备安全过渡到全寿命周期及全站系统级的安全与经济运行。

1 水电厂泵站设备运行状态监测技术

1.1 数据采集与预处理技术

对水电厂泵站设备进行监控时, 数据采集为智能化管理及故障预测提供了依据。设备运行状态取决于

海量传感器数据, 涉及温度、压力、振动、流量和转速等众多关键参数^[2]。该装置的工作环境通常比较复杂和动态变化, 在进行数据采集时可能会受到传感器故障和环境干扰的干扰, 必须采取有效措施对数据进行预处理。数据预处理环节主要包括数据清洗、去噪以及异常值检测和修复, 其目的是剔除不相关或者不正确的信息以保证后续的分析结果。优质的预处理既有利于改善故障检测及预测模型性能, 又可以减少噪声对模型预测结果的扰动, 增强系统可靠性和精度^[3]。在数据采集环节, 可采用多类型传感器结合方式, 包括温度传感器、振动传感器、压力传感器及流量计等, 实现关键运行参数的全方位采集。

1.2 特征选择与特征提取方法

特征选择的核心目标是从大量传感器采集的多维数据中, 筛选出与设备运行状态变化高度相关的变量, 从而降低维度、减少冗余信息并提升模型训练效率。常见的方法包括相关性分析、互信息、方差筛选、LASSO回归以及基于树模型的重要性排序等^[4]。同时, 还需结合设备历史故障数据与专家经验, 确保所选特征具备实际工程意义, 能够真实反映设备健康状态。特征提取则是在原始数据基础上构造新的、更具判别力的特征。例如: 可通过傅里叶变换提取频域特征, 揭示周期性故障模式; 或利用小波变换提取多尺度下的瞬时信息, 以捕捉运行中微小但关键的变化。

作者简介: 黄利平(1982-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 电力生产设备智能监测。

1.3 模型训练与验证方法

模型训练和验证是保证水电厂泵站装置运行状态监控系统正确性的核心步骤。在模型训练过程中,训练集及测试集需先对历史数据进行抽取,以保证数据具有代表性和多样性。针对各种不同的任务要求,常见的机器学习方法有支持向量机(SVM)、随机森林(RF)、神经网络(NN)以及决策树(DT)等技术^[5]。对于设备故障分类,模型训练要注意优化分类准确率和避免过拟合现象。交叉验证通过将原始数据集划分为若干个子集,轮流将其中一个子集作为验证集,其余作为训练集,反复进行训练与测试,不仅能够最大程度地利用有限数据,还能有效防止模型因过拟合而导致在实际应用中的性能下降。在实际工程应用中,为进一步提升模型在不同运行条件下的泛化能力,常采用增量学习与在线训练策略。通过持续更新模型参数和引入新的运行数据,能够实时适应泵站运行环境变化,提高故障预测的准确性和可靠性。同时,结合模型不确定性评估,可对预测结果进行置信度判断,为运维人员提供更具参考价值的决策依据。

2 水电厂泵站设备运行状态监测中的故障分析

2.1 泵轴振动异常

泵轴振动异常在水电厂泵站设备故障当中属于一种常见故障,一般由设备内各零件磨损、变形或者失衡造成。泵轴出现异常振动情况下,不但影响泵站正常工作,而且有可能造成设备长时间工作存在隐患。泵轴振动异常一般是指振动幅度增大或者频率不正常,这可能会影响泵站效率及设备寿命。通过泵轴振动信号的频谱分析可确定设备在工作过程中是否出现异常情况。但在实际使用过程中因设备状态动态变化及环境因素干扰等原因,振动信号常受噪声影响而造成故障模式不易准确辨识。对水电厂泵站设备而言,发现泵轴振动异常现象并加以分析,可以有效地降低对设备损伤,减少维修成本,促进设备运行稳定安全。

2.2 管道泄漏与水流异常

管道泄漏和水流不正常是泵站设备常见的严重故障类型,出现泄漏一般会造成水流量改变、泵站效率降低和能源浪费等。管道泄漏在影响泵站正常工作的同时,也会造成环境污染和资源浪费等一系列负面后果。泄漏一般出现在管道接头,连接部位或因管道老化而开裂。水流异常对泄漏发生有密切关系,水流急剧波动、流量减小往往预示着泄漏或者堵塞。传统监测方法主要依靠人工巡检、水流测量等手段对管道状

态进行判断,既消耗了大量人力物力,又不能实时检测出可能出现的故障。但是,现代传感器的提出可以实时地监测水流量和压力,并且与机器学习算法相结合进行数据分析,有利于及时发现管道泄漏和准确定位泄漏发生部位。除泵轴振动异常与管道泄漏外,泵站设备常见故障还包括轴承磨损、叶轮腐蚀及阀门卡滞等问题。如轴承磨损会导致泵轴偏心振动,进而引起机械疲劳;叶轮腐蚀则影响泵站效率,增加能耗;阀门卡滞可能造成水流异常,威胁系统安全。针对这些故障,可结合多传感器融合与机器学习算法进行实时监控与预测分析,通过异常特征识别实现早期预警。

2.3 数据噪声与异常值处理

水电厂泵站设备运行时,受传感器精度、环境干扰、设备震动等因素的影响,其采集数据常包含噪声及异常值,这些噪声及异常值若没有得到很好的处理就有可能造成后续的分析及故障诊断错误。数据噪声会在信号上呈现波动,突变等特征,异常值就是数据中与正常范围显著背离的值。对设备进行监控时,出现异常值通常会和设备故障、传感器故障或者外界干扰等因素相关(见表1)。

3 水电厂泵站设备故障优化与预警措施

3.1 基于模型的实时监控与异常检测

在对水电厂泵站设备进行实时监控时,利用机器学习模型对其进行异常检测,可以有效识别出设备运行过程中可能出现的故障。通过历史运行数据训练得到的故障预测模型能够对设备振动、温度和压力等多种参数进行实时分析,及时发现设备异常状态。当该装置某一参数超过正常值范围后,监控系统立即报警,提醒维护人员及时排查。为提高监控系统运行的实时性与准确性,监控平台要具有高效数据处理能力与精确异常检测算法。实践中需综合考虑数据传输实时性、传感器精度和数据采集频率,以保证系统能对设备状态迅速做出反应和精确判断。将实时监控和异常检测相结合,既能提高设备故障早期发现率,又能在故障早期介入,避免设备损坏和较大的停机事故。

3.2 强化设备维护和预防性保养机制

传统维护方式通常依靠经验判断与定期检查,但该方法通常不能满足设备状态动态变化的要求。基于机器学习故障预警系统可以对设备运行状态进行实时监控,依据设备历史数据及预测模型有针对性地给出维修建议。通过数据驱动设备健康评估使管理人员能够预先制定维护计划并执行预防性保养。进一步结合机器学

表 1 水电厂泵站设备监测中的数据噪声与异常值类型及来源

噪声 / 异常值类型	描述	可能的来源
信号波动噪声	传感器输出信号在正常运行情况下的随机波动	传感器本身的精度限制、环境温度波动、电磁干扰
突变噪声	短时间内的异常数据波动，通常表现为极值或剧烈波动	外部因素（雷电、环境振动）、传感器突然故障
偏离正常范围的异常值	数据显著偏离预设正常工作范围，可能为异常的大幅波动	设备故障（泵轴磨损）、传感器老化、操作不当
重复性异常值	相同数值多次出现在数据中，通常是系统错误或故障的表现	传感器故障（死点）、通信延迟或错误、数据采集系统问题
漂移异常值	数据随时间逐渐偏离正常值，通常为缓慢变化的趋势	设备磨损、传感器老化、长期运行引起的机械偏移
外部干扰噪声	设备数据中出现由于外部环境干扰造成的信号误差	电磁干扰、机械振动、天气变化等环境因素

习算法对保养策略进行优化，并通过对设备保养周期的不断调整与改进，能够保证设备始终处于最佳运行状态，从而避免由于设备故障而造成生产中断与亏损。

3.3 引入自适应算法，提高噪声过滤能力

水电厂泵站设备监测数据常伴有大量噪声，其可能源于传感器误差、环境变化和其他诸多因素。机器学习模型训练时，噪声严重地影响了模型精度与可靠性。为增强监测系统鲁棒性及预测准确度，自适应算法的引入可有效增强噪声过滤。自适应算法对实时数据进行分析并动态地调整模型参数，使其能够适应各种环境情况下的数据特征。常用的自适应算法有卡尔曼滤波和自适应噪声滤波等，这些算法能显著降低噪声对数据的影响，从而提升数据的稳定性和可靠性。通过与自适应算法相结合，水电厂泵站设备监测系统能更准确地对设备故障进行识别与预测，并提供更多的可靠预警信息。实际项目实施时，可以根据“感知层—传输层—平台层—应用层”体系结构构建基于机器学习的泵站监控系统。感知层采用智能传感器与在线检测装置相结合的方式，实现对关键部件运行参数综合采集；传输层在工业以太网或者 5G 专网的支持下，实现了现场数据向数据平台的稳定和安全传输；平台层完成数据清洗、特征计算以及模型的在线更新；应用层通过故障预警、运行优化建议以及检修决策支持的方式，通过图表、告警信息向调度及运维人员推送模型的输出结果。采用闭环应用的方式，可以不断地利用新的现场数据对模型进行校正，从而使得系统能够在长时间的运行过程中维持很高的预测精度，具有一定的工程适用性。同时，可以结合企业安全生产考核指标量化评估预警效果并不断完善。

4 结束语

水电厂泵站设备的运行状态监测与故障预警技术在提升设备运行可靠性和保障电力生产安全方面发挥了重要作用。结合机器学习技术的监测系统，能够有效解决传统监控方式中的局限，提升故障预测的精度和实时性。设备数据的采集、特征提取及模型训练和验证是确保监测系统准确有效的关键环节，通过分析泵轴振动异常、管道泄漏及数据噪声等常见故障，能够针对性地优化故障检测与预警机制。实时监控、预防性保养和自适应噪声处理等措施为泵站设备的安全高效运行提供了坚实保障。综上所述，基于机器学习的水电厂泵站设备运行状态监测与故障预警技术，不仅能够提高设备运行安全性，还能有效提升泵站运行效率，实现能源节约和成本降低。

参考文献：

[1] 胡瑞东. 新能源发电系统中的智能监测与故障诊断方法研究 [J]. 家电维修, 2025(02):140-142.
[2] 唐万菲. 基于一次设备的油浸式变压器状态监测与故障预警研究 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2024(11):61-63.
[3] 朱建成. 基于机器学习的立式离心泵典型故障诊断方法研究及实现 [D]. 镇江: 江苏大学, 2021.
[4] 付恩强, 黎天双, 杨佳林, 等. 基于机器学习的风机发电机绕组温度故障诊断与预警分析 [J]. 计算机时代, 2023(01): 4-7.
[5] 张凤仪. 配电电气设备状态监测与故障诊断的智能化方法研究 [J]. 电气时代, 2024(06):95-97.