

多传感器数据融合的闸门卡阻故障溯源机制研究

王启行 胡剑杰 高伟 李奇 韩争光

长江勘测规划设计研究有限责任公司 湖北 武汉 430010

摘要: 为了多传感器数据融合技术的应用,对闸门卡阻的故障特性进行了分析、数据融合模型的建立和故障溯源机制的建立,从而实现了闸门卡阻的精确辨识和溯源。通过对多传感器数据融合技术定义,原理和关键技术进行总结,并结合闸门卡阻故障种类,产生原因和特征提取,利用位移,力和振动等各类传感器进行数据采集和预处理。然后构建了以数据层,特征层及决策层为核心的数据融合模型来实现闸门卡阻故障特征识别及分类,同时利用模糊逻辑和遗传算法等决策算法实现故障溯源。研究证明,此技术可显著提高闸门卡阻故障诊断精度与效率,确保工业系统的安全运行。

关键词: 多传感器数据融合; 闸门卡阻故障; 故障溯源机制; 数据融合模型

引言

在工业自动化技术快速发展的今天,闸门是工业自动化系统关键控制元件之一,闸门运行状况的稳定性和可靠性对于整个系统安全、高效运行起着决定性的作用。闸门卡阻故障作为常见机械故障类型之一,准确诊断和快速溯源对防止系统停机和降低经济损失至关重要。但是,传统的故障检测方法大多依赖于单一传感器的数据监控,这种方法很难完整和精确地捕获故障的特点,从而导致诊断的结果出现误差^[1]。为解决闸门卡阻失效问题,本文介绍了一种多传感器数据融合技术来研究其溯源机制,其目的是通过将位移,力和振动多个传感器数据融合在一起,从而达到准确捕获和深入分析失效特征。在此过程中,既要涉及到数据预处理,特征提取等关键技术又要构建有效的数据融合模型及决策算法来保证故障溯源准确实时。本次研究将对闸门卡阻故障溯源过程中多传感器数据融合的具体作用机理进行深入研究,旨在为工业系统安全运行提供强大技术支撑。

1 多传感器数据融合技术概述

1.1 多传感器数据融合的定义与原理

多传感器数据融合技术作为最前沿信息处理技术的核心是对来自于不同传感器节点多样化的数据综合处理和分析,希望能得到较任何一种单一传感器更准确,更全面地描述系统状态的方法^[2]。该过程既涉及到数据获取和集成,又关键是对数据进行预处理,特征提取以及最后决策融合等,其目的是通过对信息交叉验证和补充来去除冗余信息和提高有用信号识别能力。这一技术的理

论基础植根于信息论,控制论和决策科学的诸多学科领域中,是对复杂系统进行智能化监控和故障预警的一种关键方法。

1.2 多传感器数据融合的关键技术

多传感器数据融合关键技术涉及数据处理至决策生成等环节,在这些环节中,经典递归滤波器卡尔曼滤波,通过预测和更新步骤有效地减少噪声干扰和提高动态系统状态估计精度;粒子滤波技术特别适合于非线性和非高斯系统的状态评估,它通过大量粒子的随机抽样和权重的更新,达到了对系统状态的近似估计;神经网络和支持向量机凭借其出色的非线性映射功能,在多传感器数据融合应用中,特别是在特征提取和模式识别方面,能够自动地识别和分类复杂的故障特征,从而显著提高了故障诊断的智能化程度^[3]。这些关键技术协同作用共同促进多传感器数据融合在故障诊断中的进一步应用。

1.3 多传感器数据融合在故障诊断中的应用

在故障诊断领域中,利用多传感器数据融合技术已经成为促进诊断效率和精度提高的重要手段。尤其在如水利闸门和航空航天器这样的复杂机械系统中,单一的传感器很难完整捕获到故障的所有特征,但多传感器的数据融合技术可以整合各种传感器提供的数据,例如振动和温度等、压力等多维度数据通过数据融合算法进行分析和处理达到准确识别和定位故障特征。另外,本技术可以基于历史数据和实时数据进行比对,对故障发展趋势进行预测,从而为维修决策的制定提供科学依据,并有效规避故障停机所带来的经济损失和安全风险。所以将多传感器数据融合技术运用到故障诊断当中,不仅能够提高诊断准确率,而且能够极大地缩短故障排查所需时间,对促进工业系统整体运行效率和安全性都有着

自主科研项目: 闸门及启闭机设备智能在线监测与安全预警系统研究

项目编号: CX2021Z54

十分重要的作用。

2 闸门卡阻故障特性分析

2.1 闸门卡阻故障的类型与成因

机械卡阻就是其中一种比较普遍的类型。材料老化就是其中一个不可忽视的因素,闸门在水环境中长期工作,金属部件容易被腐蚀,橡胶密封件老化硬化,造成移动不平稳。设计缺陷还会诱发机械卡阻现象,例如闸门轨道设计的不合理、有弯折或者凹凸不平等,都会导致闸门工作过程中出现障碍。零件的磨损也是不容忽视的,经常启闭将加剧闸门和轨道,齿轮及其他零件之间的摩擦,造成间隙或形变,增大运行阻力^[4]。异物卡塞现象也常发生,水中杂物,树枝等带入闸门运行区域后,将直接卡在闸门上。

电气问题往往是导致电气卡阻的主要原因。控制系统发生故障将使闸门收不到正确启闭指令、传感器发生故障将无法精确地反馈闸门的位置信息、电源波动将影响电气设备正常工作,继而造成闸门动作指令不能精确地执行。这些原因交织在一起,使闸门卡阻故障表现出高度复杂多样。

2.2 闸门卡阻故障的特征提取

为了有效地识别并解决闸门卡阻故障问题,准确提取闸门运行数据的相关特征参数显得尤为重要。这些参数就像故障诊断中的“密码”,可以揭示闸门的工作情况。位移,速度,加速度,振动频率以及电流这些特征参数与卡阻故障密切相关。闸门发生机械卡阻后,位移曲线将表现为不正常的波动,本来光滑的曲线也随之起伏,说明闸门工作时受阻而不能按照正常的轨迹运动。同时由于卡阻加大阻力使闸门的运动减慢而使速度显著减小。加速度还会变的无规律,体现了闸门受力的不均匀。当电气发生卡阻时,电流会经历不正常的波动,可能会异常地增加或出现频繁的波动。这是由于电气系统故障造成电机和其他设备运行不正常,从而影响了电流的稳定。通过对这些特征参数的准确提取,可以对闸门运行状况有一个深刻的认识,对后续数据融合与故障诊断打下坚实的基础,以便对闸门卡阻故障进行及时、准确的检测与处理。

2.3 闸门卡阻故障的多传感器数据采集

为了实现闸门卡阻故障精确诊断,综合利用多类型传感器采集数据是一项至关重要的措施。不同种类的传感器发挥着各自的作用,在不同的维度上捕获闸门的操作信息,从而为故障诊断奠定了全面而丰富的数据基础。

位移传感器就像闸门工作的“定位仪”,可以实时,准确的监测闸门位移变化。其一般是利用光电或者

磁感应的原理,在闸门运动过程中,传感器快速感应到位置的改变,将其转换成电信号进行输出,从而使我们对闸门运动轨迹有了一个清楚的认识,当位移发生异常起伏时,可及时感知潜在卡阻风险^[5]。

力传感器则是闸门受力的“测量仪”,可测量闸门受到的阻力大小。该设备有可能通过应变片或压电效应来进行精确测量。当闸门由于卡阻导致受力不正常时,力传感器能够敏感地捕捉到阻力的波动,从而为评估卡阻的程度提供了关键的参考依据。振动传感器就像闸门操作时的“听诊器”,其主要功能是捕获闸门在运行中产生的振动数据。通过对振动频率和振幅进行参数分析,可以检测出由于卡阻引起的振动异常情况,并对可能出现的故障进行提前报警。将这些传感器结合起来使用,可以完整地捕捉到闸门在工作时的多种信息,从而对故障溯源起到强有力的支撑作用,帮助大家及时发现和解决闸门卡阻故障问题,确保闸门的安全平稳运行。

2.4 闸门卡阻故障的多传感器数据预处理

多传感器数据采集完成之后,必须经过一系列预处理工作来提高其可用性与准确性。滤波作为预处理过程的一个重要步骤,能有效地去除掉数据中噪声成分并保留信号的有用特征。通过去噪处理,数据中的随机波动和异常值得到了进一步的消除,从而使数据变得更为平滑和稳定。归一化处理的目的是将数据转化为相同的量级,以方便后续的数据整合和分析工作。这些预处理步骤对改善数据质量,减少误诊率有重要的意义。例如,在任学平及其团队的研究里,他们采用了基于IMF熵的技术对滚动轴承的多传感器数据进行了前期处理,这大大增强了故障检测的准确率。

对闸门卡阻故障多传感器资料进行预处理时,还要特别关注其完整性与一致性。由于各种传感器可能会受到外部环境的影响或其自身的故障,这可能会导致收集到的数据出现丢失或不匹配的状况。所以在预处理阶段有必要检查数据的完整性并校验一致性,以保证后续分析结果准确可靠。

3 多传感器数据融合的闸门卡阻故障溯源机制

3.1 数据融合模型的构建

在基于多传感器数据融合闸门卡阻故障溯源机理研究方面,建立数据融合模型是一个基础而又至关重要的环节。模型的目的是通过集成不同传感器数据来达到完整,精确地感知闸门卡阻故障。该模型构建由数据层、特征层、决策层3大层面构成。数据层负责采集和集成各种传感器原始数据;在特征层对这批数据进行了特征抽取,目的是为了凸显与故障有关的核心信息;决策层根

据特征层结果采用决策算法进行故障识别与溯源。该层次化模型构建方式在提高数据处理效率的同时也加强了故障诊断精度与可靠性。

数据层需兼顾不同传感器数据同步,数据校准及数据格式统一,保证数据准确一致。特征层是采用信号处理和机器学习的方法,通过原始数据提取与闸门卡阻故障有关的位移异常和振动频率变化特征参数。这些特征参数对于后续故障识别与溯源具有重要意义。在决策层面,我们利用特征层提取出的特征参数,并结合决策树、支持向量机和神经网络等技术,对故障进行了精确的检测和定位。

3.2 故障特征的识别与分类

确定故障特征并对其进行分类,是利用多传感器数据融合技术实现闸门卡阻故障溯源的一项核心工作。采用数据融合技术能够综合分析从不同传感器采集到的数据以更加精确地确定故障有关特征参数。这些特征参数既反映出是否发生故障,又揭示出故障类型及发生部位。

在特征识别中,可通过比较正常状态和故障状态数据的不同来提取和故障密切相关的特征。比如闸门出现卡阻故障后,闸门的位移,速度和加速度参数常常有明显的改变。对这些参数变化情况进行监测可有效辨识故障特征。在进行特征分类时,我们可以采用如K-means聚类和SVM分类这样的机器学习技术,自动对所提取的特征进行分类,从而准确地确定故障的种类和具体位置。

3.3 故障溯源的决策算法

将多传感器数据融合技术应用于闸门卡阻失效溯源,决策算法至关重要。为准确溯源故障,有必要研发适合闸门卡阻的决策算法。这些算法应该能根据融合数据准确地识别并定位故障。

模糊逻辑算法在故障溯源决策中具有普遍应用。其通过构建模糊规则库来模糊化故障特征和故障类型及位置间的复杂联系,以达到准确识别故障的目的。遗传算法是通过模拟自然选择和遗传机制,对可能的故障源进行搜索和优化,从而找到最符合实际情况的故障溯源结果。除此之外,我们还可以融合神经网络、支持向量机

等先进的机器学习技术,来创建一个更加复杂且精确的故障追溯模型。

在实践中,各种决策算法也可结合优化来提高故障溯源精度与鲁棒性。如可先用模糊逻辑算法初步分类定位故障,再用遗传算法进一步优化调整初步结果。应用该组合算法既可提高故障溯源准确率又可增强自适应能力与鲁棒性。同时,在人工智能技术日益发展的今天,将来会有越来越多的先进决策算法用于闸门卡阻故障溯源,从而为工业系统安全运行提供了更强大的保障。

结论

本研究以闸门卡阻故障为研究对象,对多传感器数据融合技术用于故障溯源的机理进行深入探究。通过建立包括数据层,特征层以及决策层在内的多传感器数据融合模型来准确捕获闸门卡阻故障特征并进行全面分析。研究结果表明:多传感器数据融合技术可显著提升闸门卡阻故障诊断效率与精度。采用此技术对故障特征进行识别和分类更准确,故障溯源决策算法操作更有效。今后,在工业环境越来越复杂、故障类型越来越多样化的情况下,我们会进一步探索更加有效的数据融合算法、更加先进的决策方法来满足人们多变的要求,不断提高闸门卡阻故障诊断智能化程度。

参考文献

- [1]王英春.物联网环境下油田多传感器数据融合技术研究[J].信息系统工程,2025(1):87-90.
- [2]王亚朝,赵伟,徐海洋,等.基于多阶段注意力机制的多种导航传感器故障识别研究[J].自动化学报,2021(12):2784-2790.
- [3]李永德.多源传感器数据融合的电气设备故障诊断研究[J].长江信息通信,2018(3):104-106.
- [4]李薇,侯睿,杨文俊.基于合作域的无线传感器网络数据存储机制研究[J].传感器与微系统,2015(1):5-8.
- [5]任学平,辛向志,庞震,等.基于IMF熵的多传感器网络融合滚动轴承故障诊断方法研究[J].组合机床与自动化加工技术,2015(6):78-82.