

基于多特征融合的电厂输煤设备状态检测研究

王小兵 韩学文

内蒙古京能检修工程管理有限公司 内蒙古 丰镇 012199

摘要：电厂输煤设备是火力发电厂燃料供应系统的关键部分，其运行状态影响发电效率与安全。本文介绍了输煤设备状态检测基础理论，阐述多特征融合技术原理、层次及在输煤设备状态检测中的应用，包括特征选择与提取、融合方法等。还设计了基于多特征融合的状态检测系统，涵盖架构、数据采集处理、特征提取融合及状态检测诊断。最后指出多特征融合在提高故障诊断准确性、适应工况变化、实现早期预警及智能化管理方面的优势。

关键词：电厂输煤设备；状态检测；多特征融合

1 电厂输煤设备状态检测基础理论

1.1 输煤设备概述

电厂输煤设备是火力发电厂燃料供应系统的关键组成部分，承担着将煤炭从煤场或码头等储存地点，高效、稳定地输送到锅炉燃烧室的重要任务。其正常运行对于保障电厂的安全、经济发电起着至关重要的作用。常见的电厂输煤设备主要包括带式输送机、斗式提升机、给煤机、破碎机等。带式输送机以其运输量大、运行平稳、成本相对较低等优点，成为输煤系统中的核心设备，它通过输送带的连续运动实现煤炭的长距离输送。斗式提升机则用于垂直或大倾角提升煤炭，以适应不同的地形和工艺布局。给煤机负责精确控制进入锅炉的煤量，保证燃烧的稳定性 and 效率。破碎机则将大块煤炭破碎成符合锅炉燃烧要求的粒度，确保煤炭充分燃烧^[1]。输煤设备在运行过程中，会受到多种因素的影响，如煤炭的湿度、粒度、流量变化，设备的长期磨损、疲劳，以及恶劣的工作环境（如粉尘、潮湿）等，这些因素都可能导致设备出现故障，影响输煤系统的正常运行，进而影响电厂的发电效率和安全性。因此对输煤设备进行状态检测，及时发现设备潜在的问题，对于预防设备故障、保障电厂稳定运行具有重要意义。

1.2 状态检测原理与方法

状态检测的原理是通过对设备运行过程中产生的各种信号进行采集、分析和处理，提取能够反映设备状态的特征信息，进而判断设备的运行状态是否正常，是否存在潜在故障以及故障的类型和严重程度。常用的状态检测方法包括振动检测、温度检测、噪声检测、油液分析等。振动检测是通过在设备的关键部位安装振动传感器，采集设备运行时的振动信号。不同故障类型会导致振动信号在频率、幅值、相位等方面产生不同的特征变化，通过对振动信号的分析，如时域分析、频域分析、

时频分析等，可以识别设备的故障模式。温度检测则是利用温度传感器监测设备关键部位的温度变化，设备在正常运行时温度通常处于一定范围内，当出现故障（如轴承磨损、电机过载等）时，温度会异常升高，通过实时监测温度可以及时发现设备潜在问题。噪声检测通过分析设备运行过程中产生的噪声信号，不同故障产生的噪声具有独特的频率和声压级特征，利用噪声分析技术可以判断设备是否存在故障。油液分析主要针对含有润滑系统的设备，通过对润滑油中磨损颗粒、化学成分、粘度等指标的检测，了解设备内部零部件的磨损情况和润滑状态，从而判断设备的健康程度。

2 多特征融合技术概述

多特征融合技术是指将来自不同传感器、不同检测方法或不同特征空间的多个特征信息进行综合处理，以获得更全面、准确和可靠的信息，从而提高对目标对象的识别、分类和决策能力。在电厂输煤设备状态检测中，单一特征往往只能反映设备状态的某一方面信息，存在局限性。多特征融合技术通过整合多种特征信息，充分利用不同特征之间的互补性，能够更全面地描述设备的运行状态，提高故障诊断的准确性和可靠性。多特征融合技术可以根据融合的层次分为数据层融合、特征层融合和决策层融合。数据层融合是在原始数据层面进行融合，将不同传感器采集的数据直接进行综合处理，其优点是保留了最多的原始信息，但对数据同步性和处理算法要求较高。特征层融合是对提取的特征信息进行融合，将不同特征进行组合和优化，形成更具代表性的特征向量，该层次融合计算量相对较小，且能充分利用不同特征的优势。决策层融合是在各个特征分别进行决策的基础上，对决策结果进行综合判断，得出最终的结论，这种方法具有较好的灵活性和容错性，但需要各个决策模块具有较高的准确性^[2]。

3 多特征融合技术及其在电厂输煤设备状态检测中的应用

3.1 特征选择与提取

在电厂输煤设备状态检测中,特征选择与提取是多特征融合技术的基础和关键环节。特征选择是从大量的原始特征中挑选出对设备状态描述最有效、最具代表性的特征,以减少特征维度,降低计算复杂度,同时提高特征的质量和可靠性。对于振动信号,常用的时域特征包括均值、方差、峰值、峭度等,这些特征可以反映振动信号的统计特性;频域特征则通过傅里叶变换等方法将时域信号转换为频域信号,提取如频率成分、功率谱密度等特征,不同故障会在频域上产生特定的频率特征。温度特征可以选择设备关键部位的温度值、温度变化率等。噪声特征可以提取噪声的声压级、频率分布等。在特征提取过程中,还需要考虑特征的稳定性和可区分性。稳定性是指特征在不同工况、不同时间下应保持相对一致,以准确反映设备的真实状态;可区分性则要求不同故障状态下的特征具有明显差异,便于故障分类和诊断。通过合理的特征选择与提取方法,可以为后续的特征融合和状态检测提供高质量的特征数据。

3.2 特征融合方法

特征融合方法是将选择和提取的不同特征进行有机结合,以形成更全面、有效的特征表示。常用的特征融合方法包括加权平均法、主成分分析(PCA)、神经网络融合法等。加权平均法是一种简单直观的融合方法,根据不同特征对设备状态检测的重要性赋予相应的权重,然后将各特征进行加权求和,得到融合后的特征。该方法的优点是计算简单,但权重的确定需要一定的先验知识或经验,且难以充分考虑特征之间的非线性关系。主成分分析(PCA)是一种线性降维和特征融合方法,它通过正交变换将原始特征空间映射到新的特征空间,使得新特征空间的各个维度之间相互独立,并且按照方差大小排序。选取前几个方差较大的主成分作为融合后的特征,这样可以去除特征之间的冗余信息,降低特征维度,同时保留主要信息。神经网络融合法利用神经网络的强大非线性建模能力,将不同特征作为神经网络的输入,通过网络的学习和训练,自动调整网络参数,实现特征的融合和状态的识别。神经网络可以处理复杂的非线性关系,对特征之间的交互作用有较好的建模能力,但需要大量的训练数据,且训练过程可能较为复杂和耗时。

4 基于多特征融合的电厂输煤设备状态检测系统设计与实现

4.1 系统架构设计

基于多特征融合的电厂输煤设备状态检测系统通常采用分层架构设计,主要包括数据采集层、数据处理与分析层、状态检测与诊断层以及用户界面层。数据采集层负责从各种传感器(如振动传感器、温度传感器、噪声传感器等)实时采集设备运行数据,并将数据传输到数据处理与分析层。数据处理与分析层对采集到的原始数据进行预处理(如滤波、去噪等),然后进行特征提取与融合,生成能够反映设备状态的特征向量。状态检测与诊断层利用融合后的特征,采用合适的算法(如机器学习算法、深度学习算法等)对设备状态进行检测和诊断,判断设备是否存在故障以及故障的类型和严重程度。用户界面层为操作人员提供直观、友好的交互界面,显示设备状态信息、故障诊断结果以及相关统计数据,方便操作人员实时监控设备运行情况并做出决策。

4.2 数据采集与处理

数据采集作为整个状态检测系统的基石,其准确性和完整性直接决定了后续状态检测与诊断的可靠性。在电厂输煤设备这一复杂且关键的现场环境中,科学合理地布置传感器至关重要。不同检测需求对应着不同的监测重点,设备特点也千差万别,因此要依据这些因素精准定位传感器安装位置。同时,采样频率和精度的选择也需谨慎考量。采样频率过低可能遗漏重要信息,过高则会产生大量冗余数据,增加处理负担;精度不足则无法准确反映设备真实状态。采集到的原始数据由于现场环境复杂,不可避免地包含各种噪声和干扰。为提高数据质量,需进行一系列预处理操作^[1]。滤波处理中,低通滤波器可有效滤除高频噪声,保留信号中的低频有效成分;高通滤波器则能去除低频漂移,使信号更加稳定。数据归一化处理能将不同量纲和范围的数据统一到特定区间,避免因数据尺度差异影响后续分析。数据去噪处理方面,小波变换和经验模态分解等方法可根据数据特性,精准去除噪声成分,让数据更准确地反映设备运行状态,为后续处理奠定坚实基础。

4.3 特征提取与融合

在数据处理与分析层,特征提取与融合是关键环节,直接影响着状态检测与诊断的准确性和有效性。针对采集到的不同类型数据,需采用针对性的方法进行特征提取。对于振动数据,因其蕴含丰富的设备运行状态信息,需从时域、频域和时频域等多个角度提取特征。时域特征如均值、方差等能反映振动信号的统计特性;频域特征通过傅里叶变换等方法获取,不同故障在频域上会产生特定频率特征,可据此识别故障类型;时频域

特征则能兼顾时间和频率信息,更全面地描述振动信号。温度数据方面,提取温度值和温度变化率等特征,温度值可直接反映设备热状态,温度变化率则能体现温度变化趋势,有助于及时发现设备异常。噪声数据中,提取声压级和频率分布等特征,不同故障产生的噪声具有独特特征,通过这些特征可判断设备是否存在故障。提取的特征经过预处理后,需采用合适的融合方法进行有机结合。加权平均法根据特征重要性赋予权重,简单直观但难以考虑非线性关系;PCA能线性降维并去除冗余信息,保留主要特征;神经网络融合法利用其强大非线性建模能力,可处理复杂特征关系。通过选择合适的融合方法,生成更具代表性的融合特征向量,全面、准确地反映设备运行状态,为后续状态检测与诊断提供可靠依据。

4.4 状态检测与诊断

状态检测与诊断层是系统的核心部分,利用融合后的特征向量,采用机器学习或深度学习算法对设备状态进行检测和诊断。常用的机器学习算法包括支持向量机(SVM)、决策树、随机森林等,这些算法通过对大量已知状态的特征数据进行学习,建立设备状态与特征之间的映射关系,从而对新的未知状态数据进行分类和判断。深度学习算法如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体(如LSTM、GRU)等,在处理复杂的非线性关系和大规模数据方面具有优势。CNN可以自动提取特征中的局部模式和空间结构信息,适用于处理振动、图像等数据;RNN及其变体则擅长处理序列数据,如温度、振动等随时间变化的数据,能够捕捉数据中的时间依赖关系。通过训练好的模型对设备状态进行实时检测和诊断,当检测到设备状态异常时,系统能够及时发出警报,并提供故障的类型、位置和严重程度等信息,帮助维修人员快速定位和解决问题,保障设备的正常运行。

5 多特征融合在电厂输煤设备状态检测中的优势

多特征融合技术在电厂输煤设备状态检测中具有显著的优势。首先,通过融合多种特征信息,能够更全面、准确地描述设备的运行状态,克服单一特征检测的局限性,提高故障诊断的准确性和可靠性。不同特征从

不同角度反映设备状态,相互补充,使得对设备故障的判断更加准确,减少了误诊和漏诊的可能性。其次,多特征融合技术可以更好地适应设备运行工况的变化,电厂输煤设备在实际运行中,工况复杂多变,不同工况下设备的特征表现也会有所不同。多特征融合能够综合考虑不同工况下的特征信息,通过对特征的动态调整和优化,提高系统在不同工况下的适应性和稳定性,确保状态检测和诊断的有效性^[4]。再者,多特征融合有助于实现设备的早期故障预警,一些早期故障在单一特征上可能表现不明显,但通过融合多种特征,能够捕捉到故障的早期征兆,提前发出预警,为维修人员争取更多的时间进行设备维护和检修,避免故障的进一步扩大,降低设备维修成本和停机时间,提高电厂的运行效率和经济效益。另外,多特征融合技术还可以与先进的算法(如深度学习算法)相结合,充分发挥算法的强大建模能力,进一步提高状态检测和诊断的智能化水平。通过不断学习和优化,系统能够自动适应设备的变化和新故障类型的出现,实现更高效、准确的设备状态管理。

结束语

基于多特征融合的电厂输煤设备状态检测研究,为保障电厂输煤系统稳定运行提供有效手段。通过融合多种特征信息,充分利用不同特征间的互补性,显著提高故障诊断的准确性和可靠性,增强系统对复杂工况的适应性,实现设备的早期故障预警。未来,随着技术的不断发展,该检测系统将不断完善,为电厂的安全、高效发电提供更有力的支持,推动电力行业向智能化、自动化方向迈进。

参考文献

- [1]任贵春.热电厂输煤系统除尘方法与实施输煤状态检修的原则[J].黑龙江科技信息,2020(28):77.
- [2]于德水,肖永健.状态检修在输煤设备工作中的应用分析[J].现代工业经济和信息化,2020,6(24):57-58.
- [3]李莉,曹红英.基于物联网的输煤设备监测系统的设计[J].煤炭技术,2022,41(04):189-192.
- [4]张盛.输煤系统常见设备故障检修与治理举措探析[J].电力设备管理,2020(09):176-178.