

锅炉辅机状态监测与故障诊断技术的现状及趋势

杨子荣

陕西德源府谷能源有限公司 陕西 榆林 719000

摘要：锅炉辅机状态监测与故障诊断技术对于确保锅炉系统的稳定运行至关重要。当前，该技术已广泛应用于给水泵、风机、燃烧器等关键辅机设备，通过智能传感器和监控系统实现实时监测。未来趋势将更加注重高效节能、智能化与物联网技术的融合，以及针对新型燃料和环保需求的技术创新。模块化设计和快速安装技术也将提升辅机监测与诊断的灵活性和经济性。

关键词：锅炉辅机状态监测；故障诊断技术；现状；趋势

引言：在现代工业体系中，锅炉辅机作为能源转换与供应的关键设备，其运行状态直接影响到整个系统的效率与安全。随着传感技术、人工智能及大数据应用的快速发展，锅炉辅机的状态监测与故障诊断技术正经历着从传统到智能的深刻变革。本文综述该领域现状，并探讨未来发展趋势，旨在为提升锅炉辅机的运维管理水平、保障工业生产的连续性和安全性提供理论支撑与实践指导。

1 锅炉辅机状态监测技术现状

1.1 传统监测方法

(1) 点检员现场手工监测记录：该方法依赖点检员定期到现场，通过便携式仪器（如测温仪、测振仪）采集锅炉辅机（如风机、水泵）的关键参数，如轴承温度、振动幅值、油位等，再手工记录到纸质表格或电子文档中。点检周期通常为每日1-2次，部分重要辅机可缩短至每4小时1次，记录数据需人工整理后提交至运维部门，作为判断设备状态的依据。(2) 定期检测与预防性维护的结合：按照预设周期（如每月、每季度）对辅机进行全面检测，例如拆解检查轴承磨损情况、清理换热器结垢、校准仪表精度等，同时结合设备运行时长与历史故障规律，制定预防性维护计划。例如锅炉引风机运行满6个月 after，无论当前状态是否异常，均安排停机进行叶片磨损检测与润滑保养，以提前规避故障风险。

1.2 现代监测技术

(1) 在线监测系统的应用：在辅机关键部位安装监测装置，实时采集温度、振动、压力等数据，传输至中控室监控平台。平台可动态显示数据曲线，当参数超出阈值时自动报警，运维人员无需现场值守即可掌握设备状态，如锅炉给水泵异常时，系统能快速定位故障点。(2) 数据采集与传输技术：采用工业以太网、5G等技术，实现数据高速、稳定传输。通过边缘计算对采集的

原始数据进行预处理，过滤冗余信息，提升数据传输效率；部分场景利用无线传输模块，解决复杂工况下布线难题，确保数据实时上传。(3) 传感器技术的发展与应用：传感器向高精度、耐极端环境方向发展。如MEMS振动传感器测量精度达 $\pm 0.001\text{mm}$ ，可捕捉微小振动；耐高温传感器能在 800°C 以上环境工作，适配锅炉高温区域辅机监测，为故障诊断提供精准数据支撑^[1]。

1.3 监测技术的优缺点分析

(1) 传统方法的局限性：数据收集存在明显滞后性，点检周期内设备若突发故障（如轴承卡死），难以及时发现，易引发停机事故；人工记录易受主观因素影响，如测温时环境温度干扰、数据填写失误，导致数据准确性下降；且需投入大量人力，运维成本较高，尤其对大型电厂多台辅机的监测，效率低下。(2) 现代技术的优势与潜在问题：优势在于实时性强，可动态捕捉设备状态变化，提前预警故障；数据采集自动化程度高，减少人工误差，且能获取连续数据，为故障分析提供更全面依据。潜在问题是监测系统产生海量数据（如每台辅机每秒生成数十条振动数据），若缺乏高效处理技术，易造成数据堆积；系统初期投入成本高，包括传感器、传输设备、平台建设等，且对运维人员技术水平要求提升，需掌握数据解读与系统维护技能。

2 锅炉辅机故障诊断技术现状

2.1 基于专家系统的故障诊断

(1) 专家系统的发展与原理：专家系统是早期主流的智能诊断技术，源于20世纪70年代，核心是模拟人类专家的故障诊断思维。其通过将领域专家的知识与经验转化为系统可识别的规则，当锅炉辅机出现异常时，系统依据输入的监测数据，匹配规则库中的知识，判断故障类型与原因，类似专家现场诊断的逻辑流程。(2) 故障诊断知识库的构建与应用：知识库是专家系统的核

心,需收集锅炉辅机(如风机、水泵)的典型故障案例、故障特征参数(如振动频率异常范围、温度阈值)及维修经验,通过知识表示方法(如产生式规则“若轴承温度 $>85^{\circ}\text{C}$ 且振动幅值 $>0.15\text{mm}$,则判断轴承磨损”)存储。应用中,工作人员输入实时监测数据,系统调用知识库数据完成故障匹配,为维修提供方向。

(3)推理机制的实现与优化:推理机制负责调用知识库规则推导故障结论,早期多采用正向推理(从数据到故障)或反向推理(从假设故障到验证数据)。后续优化中,引入不确定性推理,通过给规则赋予置信度,解决监测数据模糊时的诊断难题,提升复杂工况下的诊断准确性。

2.2 基于神经网络的故障诊断

(1)神经网络的基本原理:模拟人类大脑神经元结构,由输入层、隐藏层、输出层构成,通过大量样本数据训练,自主学习锅炉辅机故障与特征参数的映射关系。无需预设规则,可直接通过输入的振动、温度等数据,输出故障类别,具备自学习与自适应能力。(2)神经网络在故障诊断中的应用案例:在锅炉引风机故障诊断中,采集正常运行、叶片磨损、轴承故障等状态的振动信号,经预处理后输入BP神经网络训练,训练完成的模型可快速识别引风机实时振动信号对应的故障类型,某电厂应用后,故障识别准确率达92%以上。(3)神经网络方法的优势与局限:优势是能处理非线性、强耦合的辅机故障数据,对复杂故障诊断精度高,且适应工况变化能力强。局限在于需大量高质量样本数据训练,小样本或罕见故障诊断效果差;模型“黑箱”特性明显,难以解释故障诊断的具体逻辑^[2]。

2.3 混合智能故障诊断技术

(1)模糊逻辑与神经网络的结合:模糊逻辑擅长处理模糊信息(如“温度偏高”“振动较大”),神经网络擅长自学习,二者结合可互补——模糊逻辑将模糊故障特征量化,输入神经网络训练,提升对模糊工况的诊断能力,适用于锅炉辅机负荷波动大的场景。(2)基于案例的推理与人工神经网络的结合:基于案例的推理(CBR)通过匹配历史故障案例诊断新故障,神经网络则快速检索相似案例并优化匹配精度,某电站应用该技术后,辅机故障诊断效率提升40%。(3)综合诊断方法的优势与实际应用效果:优势是融合多种技术优点,解决单一技术局限,实际应用中可适应锅炉辅机复杂运行环境,故障误诊率降低至5%以下,保障设备稳定运行。

2.4 其他故障诊断方法

(1)如振动诊断、油样分析、温度监测等:振动诊

断通过分析辅机振动频谱,识别轴承磨损、转子不平衡等故障;油样分析检测润滑油中金属颗粒含量与成分,判断齿轮、轴承磨损程度;温度监测追踪关键部件温度变化,发现过热故障。(2)各种方法的适用范围与特点:振动诊断适用于旋转类辅机(如风机、泵),诊断响应快;油样分析适用于润滑系统相关部件,可提前发现早期磨损;温度监测适用范围广,但对局部微小故障敏感性较低,常作为辅助诊断手段。

3 锅炉辅机状态监测与故障诊断技术的发展趋势

3.1 智能化与集成化

(1)智能诊断系统的研发与应用:未来智能诊断系统将突破单一故障识别局限,向“自主感知-分析-决策”全流程智能化升级。例如结合设备运行年限、工况负荷等信息,自动调整诊断模型参数,在锅炉引风机出现轻微振动异常时,不仅能精准定位故障部件(如轴承外圈磨损),还能生成包含维修步骤、备件更换周期的决策报告,目前已有试点电厂应用该类系统,故障处理效率提升50%以上。(2)集成式诊断系统的构建与优化:打破传统监测与诊断模块分离的模式,构建集数据采集、存储、分析、诊断于一体的集成系统。系统可整合辅机振动、温度、油液质量等多维度数据,通过统一数据接口实现与电厂ERP系统、设备管理系统的联动,例如诊断出给水泵叶轮磨损后,自动推送维修工单至运维人员终端,并同步更新设备履历,优化后系统数据交互效率提升30%,减少跨平台操作冗余^[3]。(3)人工智能技术在诊断中的深入应用:除传统神经网络外,深度学习、强化学习等技术将更广泛应用。深度学习可通过卷积神经网络(CNN)提取辅机振动信号的深层特征,提升早期微小故障(如齿轮齿面剥落初期)的识别率;强化学习则能模拟运维场景,让系统在不同故障案例中自主优化诊断策略,目前某科研团队研发的基于强化学习的诊断模型,对罕见故障(如电机定子绕组匝间短路)识别准确率较传统方法提升25%。

3.2 远程监测与诊断

(1)远程监测技术的发展:依托5G、卫星通信等技术,实现偏远地区电厂或分散辅机的全覆盖远程监测。例如对山区电厂的锅炉脱硝风机,通过5G专网传输实时运行数据,latency控制在10ms以内,确保远程监控与现场状态同步;同时开发便携式远程监测终端,运维人员无需到现场,即可通过终端调取辅机历史数据与实时曲线,提升巡检灵活性。(2)基于云计算和大数据的远程诊断平台:搭建区域性或行业级云平台,整合多电厂辅机监测数据,通过大数据技术挖掘故障规律。平台可实

现跨电厂故障案例共享,例如A电厂的锅炉送风机故障数据,可辅助B电厂诊断同类设备隐患;同时利用云计算的强大算力,快速处理海量数据,例如对100台锅炉辅机的振动数据(日均产生10GB数据),云平台可在30分钟内完成特征提取与故障筛查,远超本地服务器处理效率。

(3) 远程服务的优势与挑战:优势在于打破地域限制,让专家资源共享,例如偏远电厂可通过平台对接总部专家,实时获取诊断指导,降低对本地技术人员的依赖;同时减少现场运维次数,降低人力成本。挑战则包括数据安全风险(如云端数据泄露)、网络稳定性影响(偏远地区信号弱导致数据传输中断),需通过加密传输协议、边缘计算缓存数据等方式解决。

3.3 高精度与实时性

(1) 高精度传感器的研发与应用:传感器向微米级、纳米级精度突破,例如研发的MEMS(微机电系统)振动传感器,测量精度达 $\pm 0.001\text{mm}$,可捕捉辅机转子不平衡引发的微小振动;耐高温光纤传感器可在 1200°C 以上环境稳定工作,适用于锅炉炉膛附近辅机(如一次风挡板)的温度监测,为早期过热故障诊断提供数据支撑。(2) 实时监测系统的构建与优化:优化系统数据采集频率与传输链路,例如将旋转类辅机(如水泵)的振动数据采集频率提升至 10kHz ,确保捕捉高频故障特征;采用边缘计算节点就近处理数据,在数据产生端完成实时分析与阈值判断,避免数据传输延迟,当辅机参数异常时,系统可在1秒内触发报警,为紧急处置争取时间。(3) 数据处理与分析技术的提升:引入实时流处理技术(如Flink),对连续产生的监测数据进行毫秒级分析,快速提取故障特征;同时结合数字孪生技术,构建辅机虚拟模型,将实时监测数据与虚拟模型仿真结果对比,精准识别设备运行偏差,目前某电厂应用该技术后,辅机故障预警提前量从24小时延长至72小时^[4]。

3.4 多故障诊断与预测

(1) 多故障综合诊断技术的发展:突破单一故障诊断局限,研发能同时识别多故障耦合问题的技术。例如锅炉引风机可能同时存在叶片磨损与轴承润滑不足,系

统通过多特征融合算法(如将振动频谱与油液粘度数据结合),同时定位两类故障,避免漏诊,目前该类技术在大型电厂的应用准确率已达88%。(2) 故障预测与寿命估算的结合:基于设备运行数据与材料老化模型,实现故障预测与剩余寿命(RUL)估算的联动。例如通过分析轴承运行温度、振动趋势,结合轴承材料疲劳曲线,不仅预测轴承可能发生故障的时间,还估算剩余使用寿命,为备件采购提供精准依据,某电厂应用后,备件库存成本降低20%。(3) 预防性维护策略的制定与实施:从“定期维护”向“预测性维护”转型,基于故障预测结果制定个性化维护计划。例如根据给水泵剩余寿命估算,在寿命到期前1个月安排维护,避免过早停机造成浪费,也防止过晚维护引发故障;同时通过系统自动生成维护工单,明确维护内容与时间,提升运维计划性,目前已有超60%的大型电厂采用该类策略。

结束语

锅炉辅机状态监测与故障诊断技术正快速迈向智能化与集成化,传统手工监测正逐渐被高精度在线系统取代。未来,随着人工智能、大数据及远程技术的深化应用,监测将更实时、诊断将更精准。高精度传感器、智能诊断模型与远程监测平台将大幅提升故障预警与处理能力,推动电厂运维向预测性维护转型,有效降低运维成本,确保设备安全高效运行,引领电力行业技术革新与发展。

参考文献

- [1]杜明翰.电厂锅炉辅机设备检修中的常见故障及应对策略[J].设备管理与维修,2023,(07):71-73.
- [2]龚刚.电厂锅炉辅机设备检修的常见故障及应对策略分析[J].智能城市,2021,(11):103-104.
- [3]马海军.电厂锅炉辅机设备检修的常见故障及对策探讨[J].电力设备管理,2021,(08):82-83.
- [4]李元炜.火力发电厂锅炉辅机振动、温度超标的相关研究[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2020,(16):169-170.