

给煤机控制系统故障预测与健康管理技术研究

王 斌

华电邹县发电有限公司 山东邹城 273500

摘 要：给煤机控制系统对煤炭生产极为关键，却常遇故障检测难与稳定性差状况，本文探究其故障预测、健康管理与优化技术，借助信号处理和人工智能算法剖析运行数据，构建数据驱动的故障预测模型，结合健康管理达成系统实时监控与智能调节。优化控制策略增强响应速度与稳定性，保障长期稳定运行，基智能算法的相关技术大幅提升系统可靠性与工作效率。

关键词：给煤机控制系统；故障预测；信号处理；人工智能；健康管理

一、给煤机控制系统现状与主要故障问题分析

1. 给煤机控制系统的结构与工作原理

系统借助DCS（分布式控制系统）所提供的启停信号以及给煤率指令，实时采集煤质与煤量相关数据，以此实现给煤机运行状态的精准调适，控制系统在接收称重传感器、测速电机等装置所反馈的信号后，展开速度与给煤率的闭环管控运作，保证给煤量得以精确输出。称重模式下，系统凭借对传感器信号的处理及分析，对皮带运行速度予以计算与调节，以便契合生产进程中的给煤需求；而在容积模式中，系统依据煤质以及物料密度的预设数值，借由调整电机转速来维系稳定的给煤量。

2. 常见故障类型与故障模式分析

硬件故障涵盖称重传感器失灵、A/D转换器异常以及驱动电机损毁等情形，A/D转换器出现故障往往是因传感器受损或接线存在问题，致使反馈信号难以正常传输，进而对调节功能产生影响^[1]。测速电机反馈缺失通常源测速传感器与电机齿轮间隙失当或者传感器故障，软件故障主要体现PID控制流程中无法即时响应信号变动，造成给煤量波动显著。出口堵塞为常见故障，一般呈现报警并停机状态，其成因可能是出口阀门关闭或者传感器设定有误，对上述故障予以及时诊断与处置意义重大，可切实保障系统的平稳运行。

二、给煤机故障预测技术的应用与方法

1. 基数据驱动的故障预测方法

在对历史故障数据予以清洗与预处理操作时，先行剔除异常数据，而后运用特征提取技术自原始信号中抽取诸如频域特征、时间序列特征以及信号的峰值、均值、方差等具有代表性的特征，这些特征具备反映系统

运行状态与健康状况的能力。借助回归分析、支持向量机（SVM）、随机森林等算法针对故障数据展开训练活动，进而构建故障预测模型，这些模型可实时针对当前运行数据实施比对与分析工作，对系统可能产生的故障类型以及发生概率予以预测。

当系统电流发生波动或者传感器反馈呈现异常波动情形时，预测模型能够提前发出预警并对潜在故障事件加以预测，深度学习算法，诸如长短时记忆网络（LSTM）与卷积神经网络（CNN），鉴其处理时序数据方面所具备的优势，逐步成为针对故障实施精准预测与诊断的关键工具。数据驱动的方法能够自大量实时运行数据里提炼出隐含规律，并提前识别出可能存在的故障模式，有助达成早期预警目标，规避突发性故障所引发的损失。

2. 基模型的故障诊断与预测技术

其依赖针对给煤机控制系统的物理特性展开建模作业，涵盖皮带传动系统、调速电机控制、电流反馈以及振动信号等方面^[2]。对系统数学模型予以求解与仿真操作，获取在正常工作条件下的各类参数与变量，诸如皮带速度、给煤量、驱动电机转速等。这些模型能够依据物理方程（动力学方程、传热方程等）或者统计学模型（卡尔曼滤波器）对系统动态行为予以描述。对比实际测量所得系统输出与模型预测的输出结果，若偏差超出设定阈值，则可能存在故障迹象。

基模型的方法还可结合故障树分析（FTA）或故障模式影响分析（FMEA）等手段，进一步甄别系统中可能出现的薄弱环节与潜在故障，构建故障诊断算法，例如卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波（EKF）等，能够实时估

算系统状态，并预测未来可能的故障发展走向。利用这些模型，可针对给煤机工作过程实施动态监测与优化调节操作，在故障发生时，凭借模型与实际输出的比较结果，能够迅速定位故障源，并实施故障类型分类与严重程度评估工作。

三、健康管理技术在给煤机控制系统中的应用

1. 健康管理系统框架与实施方案

借助布置传感器以采集系统众多关键参数，诸如电机电流、电压、振动状况、温度情况、给煤量数值、皮带速度数据以及称重信号信息等，此类数据实时传输至中央处理单元，且凭借边缘计算设备展开初步的处理与分析作业。数据传输期间，运用高效的通讯协议以及网络架构，保障数据具备准确性与实时性特征，经处理后的数据被输送至健康评估模块，结合系统实时运行状态以及历史数据资料，实施系统健康评估以及趋势预测活动。

健康评估运用多层次的监控算法开展，涵盖基模型的状态监测、基数据的故障预测以及基规则的健康状态评估等方面，构建系统的健康模型，结合动态调整的阈值设定，能够判定设备是否处正常运行区间，抑或是趋近故障边界。基机器学习与深度学习的相关技术，可针对历史数据予以学习操作，逐步增进健康评估的精确程度以及预警的提前时长，在出现潜在故障际，系统能够自发生成告警信息，并预测故障可能发生的时间以及影响范畴，进而为操作人员给予决策辅助，防止故障的蔓延以及停机事件的出现。如图1所示：

2. 传感器融合与实时监测技术的集成

在给煤机系统中，一般配备有多种类型的传感器，像温度传感器、电流传感器、振动传感器、压力传感器以及称重传感器等，这些传感器各自监测不同的物理量，为电机负载、皮带张力、工作环境等多个维度提供数据资料^[3]。由单一传感器在精度、响应速度或者环境因素

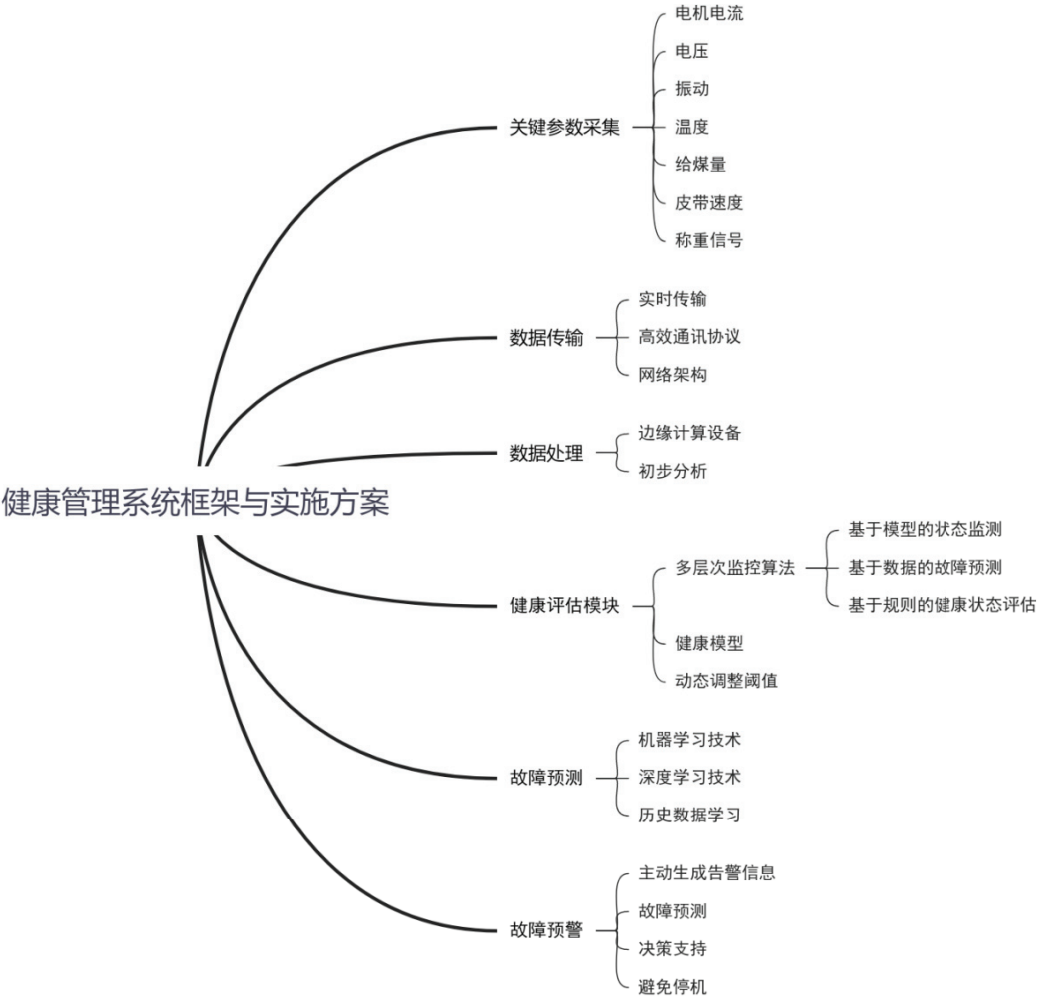


图1 健康管理系统框架与实施方案

方面存在局限，难以全方位且精准地反映系统的实际状态。传感器融合技术能够切实有效地提升数据的可靠性与精确程度，借助数据预处理技术，针对源自不同传感器的信号实施去噪以及标准化的处理流程，融合技术便能够把多个传感器的输出信号予以集成整合。

常见的融合算法包含卡尔曼滤波、互信息最大化、最小二乘法等，卡尔曼滤波能够凭借对当前系统状态进行预测，并结合实际测量数值予以修正，进而有效地估算出系统的真实状态，尤其在动态变化较为迅速的环境里，展现出颇为强劲的适应性。经过融合后的数据不但提升了系统的精度水平，而且能够更为精确地预估系统状态，防止因单一传感器发生故障或者失效而引发的数据失真现象或者误判情形，实时监测技术的集成运用促使系统能够在每一个运行周期当中，依据实时采集的多源数据持续地对给煤机的运行状态展开评估工作。

四、给煤机控制系统的故障检测与诊断技术

1. 基信号处理的故障检测技术

在信号的预处理环节，涵盖去噪与干扰抑制工作，常用手段包含小波变换以及滤波器设计，小波变换可在时频领域展开多尺度剖析，对处理非平稳信号较为适用，而滤波器则凭借设定截止频率来有效剔除外界干扰所引发的高频噪声。特征提取阶段，信号的幅度、频率、相位等参数能够呈现系统的工作状态，电机电流信号可反映负载变动情况，一旦电流波形呈现显著波动，即表明或许存在电机过载或堵转等故障情形。振动信号的频谱分析则有利识别机械故障，尤其在传动系统里，松动、磨损或者不平衡等问题会致使振动频谱成分产生变化，借助傅里叶变换把信号转换为频域特征，能够精准识别设备运行异常状况，并精确定位故障源头。

时频域分析手段（诸如短时傅里叶变换、希尔伯特-黄变换等）在故障检测领域得到广泛运用，这些方

法同时考量信号在时间与频率域的变化关联，适宜处理非线性以及非平稳系统。将多种信号处理方法加以结合运用，能够大幅提升故障检测的精确程度，在给煤机系统当中，结合电流、振动、温度等传感器信号实施联合分析，可实时监测系统状态，及时察觉潜在故障，防止故障蔓延并确保系统稳定运行。

2. 基人工智能的故障诊断方法

与传统基模型的方法有所差异，人工智能方法能够从海量历史数据里学习系统的运行模式，自动甄别出故障模式，并开展故障分类、位置诊断以及严重度评估工作^[4]。依靠数据采集模块，收集众多源自给煤机控制系统的实时数据，涵盖传感器反馈信号、电机运行参数、设备状态信号等，运用数据预处理技术对原始数据予以清洗、去噪以及归一化处理，保障数据的质量与一致性。采用机器学习算法（决策树、支持向量机（SVM）、随机森林等）实施故障模式的分类训练操作，对系统历史故障数据的学习，模型能够识别出不同种类的故障模式，诸如电机故障、传感器故障、皮带异常等。

基卷积神经网络（CNN）或循环神经网络（RNN）的深度学习模型能够自动从原始数据中提取出更为繁杂的特征，进而识别出潜在故障，尤其在给煤机系统里，系统的动态变化以及非线性特性致使传统算法难以精确诊断故障，而深度学习模型凭借多层次的数据处理与特征抽取，能够有效提升诊断的精度。利用长短时记忆网络（LSTM）针对时间序列数据进行建模，能够更好地捕捉系统动态行为中的时序依赖关系，从而识别出异常波动并做出故障预测。借助基人工智能的故障诊断方法，不但能够达成对现有故障的精准诊断，还能够进行故障预测，提前识别出潜在的故障风险，该方法的优势在其自动化程度颇高，能够实时处理海量数据，并持续学习提升诊断的精确性。如表1所示：

表1 给煤机控制系统各项传感器数据及处理结果

传感器类型	测量值	处理结果	异常检测结果	故障类型	处理建议
电流传感器	15 A	数据标准化	波动异常	电机过载	检查电机负载
振动传感器	3.5 mm/s	傅里叶变换分析	高频噪声增加	传动系统松动	紧固连接件
温度传感器	75℃	信号滤波处理	温度逐渐升高	电机过热	检查冷却系统
速度传感器	120 rpm	短时傅里叶变换	频率波动异常	皮带打滑	调整张紧力
称重传感器	100 kg	多重传感器融合	正常	无异常	无需处理
压力传感器	2.5 MPa	卡尔曼滤波	正常	无异常	无需处理

数据来源：给煤机控制系统实时监测数据

五、给煤机控制系统的优化与性能提升技术

1. 控制策略优化与智能调节技术

传统的PID控制器给煤机控制系统中虽应用广泛，然其复杂工况下的表现常常难以尽如人意，尤其在煤质出现波动、负荷有所变化等情形时，时常产生响应滞后或者过调的现象。为增进系统的动态响应速率与稳定性，可运用自适应控制策略抑或模糊控制手段，自适应控制技术借助实时监测系统状态，依据运行环境的变动对控制参数予以调整，使得给煤机在各异的条件下始终能够维持最为理想的工作状态。

结合模糊逻辑控制，能够依据实际状况开展模糊推理，处置那些传统PID控制器难以精确建模的非线性或者不确定性难题，智能调节技术进一步提升了系统的自学习与自调节本领。引入机器学习算法，控制系统在长期运行过程中可不断优化控制参数，减少人为干涉。基传感器所进行的数据采集与实时反馈，系统能够依据当下的煤质、皮带速度、给煤量等信息，智能调节电机转速与给煤速率，确保给煤机稳定运行的持续性。

2. 系统可靠性提升与故障预防技术

提高可靠性的途径涵盖设备冗余设计、定期的维护与检查以及基数据分析的故障预测与预防，设备冗余设计能够保证在某一部位发生故障时，其他部位仍可继续运作，保障系统的持续运行^[5]。给煤机的控制系统中，关键的传感器、执行器以及电源部分可设计为冗余配置，如此一旦出现故障，系统便能迅速切换至备用设备，进而规避停机状况。

定期的维护与故障检测是提升系统可靠性的关键举

措，将定期巡检与实时监控相结合，能够及时察觉设备潜藏的问题，防止小故障演变为大故障，基大数据分析

与机器学习的故障预测技术，可提前识别设备的老化、磨损等状况。对电机温度、振动数据以及电流波形等加以分析，能够预测电机是否存在过热或者过载风险，提前安排维护事宜，避免因设备故障致使系统停运，为进一步预防故障，可构建基风险评估的预防机制，结合历史故障数据，剖析系统中各个部件的可靠性，并依据风险评估结果拟定相应的预防举措。

结语

本文聚焦给煤机控制系统的故障预测与健康管理技术，提出基信号处理、人工智能的故障检测诊断方法，还优化控制策略提升系统稳定性与响应速度。系统故障预测、诊断能力显著增强，减少停机时间，提升设备运行可靠性，未来会探索更精准故障预测模型与智能控制策略，助力煤炭生产自动化控制及行业发展。

参考文献

- [1] 刘鹏. 桥式叶轮给煤机控制系统优化方案设计与实现[J]. 机械工程与自动化, 2024, (05): 194-196.
- [2] 陈国民, 王浩. 1000 MW超超临界机组磨煤机顺序控制系统设计[J]. 设备管理与维修, 2024, (15): 157-160.
- [3] 承浩, 张科, 叶君辉, 等. 浅谈燃煤电厂叶轮给煤机智能控制系统设计[J]. 中国设备工程, 2024, (13): 38-40.