基于智能监测的冶金设备液压系统可靠性提升策略研究

张庆贺[1]　李　君[2]　李岭音[3]
1. 宁波钢铁有限公司　浙江　宁波　315000
2. 宁波钢铁有限公司　浙江　宁波　315000
3. 宁波百诺科技服务有限公司　浙江　宁波　315000

摘　要：本文聚焦基于智能监测的冶金设备机电液系统可靠性提升策略。概述了冶金设备机电液系统重要性及面临挑战，阐述智能监测技术在传感器选型布置、数据采集传输、软件平台开发等方面的应用。随后研究故障诊断与预测方法并进行验证评估，建立可靠性评估指标体系，提出提升策略并评估实施效果。旨在通过智能监测技术提升冶金设备机电液系统可靠性，推动冶金工业高质量发展。

关键词：智能监测；冶金设备；机电液系统；可靠性提升

引言：冶金设备机电液系统作为冶金生产线的核心动力与传动单元，承担关键设备的驱动、控制与执行任务，具有机械结构复杂、电气控制精密、液压传动高压大流量等特点。在冶金生产中，机电液系统长期处于高温、高粉尘、强振动等恶劣环境，需满足连续高负荷生产需求，其运行稳定性直接影响作业效率与产品质量。随着冶金行业智能化、绿色化转型，传统以单一液压或机械为主的维护模式难以适配系统集成化需求。因此，研究基于智能监测的冶金设备机电液系统可靠性提升策略具有重要意义。

1 冶金设备机电液系统概述

冶金设备机电液系统是冶金生产线的核心动力与传动单元，承担着高炉、转炉、连铸机、轧机等关键设备的驱动、控制与执行任务，具有机械机构复杂、电气控制精密、液压传动高压大流量的显著特征。其系统组成涵盖机械传动部件（齿轮箱、联轴器、轴承）、电气控制单元（PLC 控制器、变频器、伺服驱动器）、液压子系统（液压泵、液压缸、液压阀）及传感器与执行机构，各部件协同工作，实现冶金设备运动姿态、速度及力的精准控制。在冶金生产场景中，机电液系统需长期承受高温、高粉尘、强振动的恶劣环境，且需满足连续化、高负荷的生产需求，其运行稳定性直接决定冶金生产线的作业效率与产品质量。随着冶金行业向智能化、绿色化转型，传统以单一部件为主的维护模式已难以适配机电液系统集成化的发展需求，亟需通过技术升级提升其可靠性与智能化水平，为冶金工业的高质量发展提供动力保障[1]。

2 智能监测技术在冶金设备机电液系统中的应用

2.1 适用于冶金设备机电液系统的智能监测传感器选型与布置

冶金设备机电液系统智能监测的核心前提是传感器的科学选型与合理布置，需结合系统工况与监测目标精准匹配。传感器选型方面，针对机械传动部件，选用振动加速度传感器监测齿轮箱与轴承运行状态，选用转速传感器实时采集传动轴转速；针对电气控制单元，选用电流互感器、电压传感器监测电机与变频器运行参数，选用温度传感器监测电气柜内部温度；针对液压子系统，选用耐高温、抗粉尘的压力变送器、涡轮流量传感器监测液压系统核心参数。布置上，需聚焦齿轮箱输入输出端、电机与联轴器、液压泵出口及阀组等关键部位，振动传感器布置于齿轮箱与电机壳体，电流传感器安装于变频器输出端，压力传感器布置于泵出口及各支路主管路，确保传感器可实时捕捉机电液多源数据，同时避免冶金环境粉尘、振动对传感器精度的干扰，为后续数据采集奠定基础。

2.2 数据采集与传输系统设计

冶金设备机电液系统数据采集与传输系统是连接传感器与智能监测平台的关键纽带，需兼顾实时性、稳定性与抗干扰性，实现机械、电气、液压三类数据的同步采集与融合传输。数据采集端采用分布式采集架构，通过工业以太网、CAN 总线等通信协议，对接入各传感器的采集模块进行数据统一汇总，支持多通道同步采集，采样频率可根据监测需求灵活调整，满足高频动态监测需求。传输系统设计中，针对冶金现场强电磁干扰、复

杂环境的特点，采用工业级无线传输模块与有线传输相结合的方式，关键数据链路采用有线传输保障稳定性，非关键区域采用无线传输提升灵活性；同时设置数据加密与冗余传输机制，防止数据泄露或丢失。另外，系统支持边缘计算预处理，可在本地对采集数据进行初步筛选与清洗，实现机械振动、电气参数、液压信号的统一对齐与特征提取，减少传输带宽占用，确保监测数据的精准性与传输效率。

2.3 智能监测系统的软件平台开发

冶金设备机电液系统智能监测软件平台以数据可视化、智能分析、预警提醒为核心功能，采用 B/S 架构开发，支持多终端访问。平台前端搭建直观的人机交互界面，分模块实时展示机械振动频谱、电气运行参数、液压压力流量等关键数据的动态曲线，同步呈现设备运行状态指示灯，支持用户远程查看实时数据与历史趋势；后端构建数据库集群，存储海量监测数据与设备档案，实现数据的分类管理、快速检索与长期备份[2]。平台内置机电液多源数据融合校准算法，可自动修正传感器采集误差，同时支持与企业生产管理系统的互联互通，实现数据共享。软件平台预留接口，可后续对接故障诊断、可靠性评估等模块，形成“机械-电气-液压一体化监测-分析-决策”的智能管理体系，为机电液系统的智能化运维提供技术支撑。

3 基于智能监测的冶金设备机电液系统故障诊断与预测

3.1 故障特征提取方法研究

故障特征提取是冶金设备机电液系统智能故障诊断的核心环节，旨在从海量监测数据中筛选出能反映系统故障状态的关键信息。针对机电液系统故障类型，采用多维度特征提取策略：机械域提取振动统计特征与齿轮啮合、轴承故障频率；电气域提取电流电压谐波分量与功率因数；液压域提取压力流量波动幅度与脉动频率。同时引入跨域关联特征，如机械振动与液压压力波动关联性、电气负载变化与机械响应关联性，构建多维度故障特征向量，为故障诊断模型提供高质量输入。

3.2 基于机器学习的故障诊断模型构建

基于机器学习的冶金设备机电液系统故障诊断模型，旨在实现故障类型的精准分类与定位。模型以机电液多维度故障特征为输入，常见故障为输出标签，选取随机森林、支持向量机、卷积神经网络等算法训练优化。针对故障样本不均衡问题，采用 SMOTE 算法增强少数类样本，通过交叉验证优化超参数。引入注意力机制强化跨域关联故障特征权重，提升诊断精度。最终模型可实现故障实时自动诊断，快速输出类型、部位及程度，为故障处置提供精准依据。

3.3 基于时间序列分析的故障预测方法研究

基于时间序列分析的冶金设备机电液系统故障预测，核心是通过历史监测数据挖掘系统运行规律，实现故障的提前预警。选取 ARIMA 模型、LSTM 长短期记忆网络、灰色预测模型 GM（1,1）等时间序列分析方法，构建故障预测模型。以机械振动、电气参数、液压参数等关键参数的历史监测数据为基础，通过时间序列建模，捕捉参数的变化趋势与波动规律，预测未来时段内系统运行状态的变化情况。针对机电液系统的非线性、非平稳特征，对原始数据进行平稳化处理与归一化，消除工况波动与环境干扰的影响；结合滑动窗口技术，实现模型的动态更新，确保预测结果的时效性与准确性[3]。通过故障预测模型，可提前识别机电液系统的故障隐患，量化故障发生的概率与时间节点，推动系统从“事后维修”向“预测性维护”转型，降低故障停机风险。

3.4 故障诊断与预测模型的验证与评估

故障诊断与预测模型的验证与评估是确保其工程实用性的关键环节，需从精准性、可靠性、时效性三个维度开展全面测试。模型验证选用实际故障案例、实验室模拟及现场工况数据作为测试样本，对比诊断准确率与预测误差，采用混淆矩阵、ROC 曲线评估分类能力，重点验证机电液耦合故障与早期微弱故障识别效果。可靠性评估通过现场试运行统计误报率、漏报率，分析模型稳定性。时效性评估聚焦运算速度与响应时间。结合专家经验与运维反馈优化调整模型，完善其鲁棒性与适用性，确保故障诊断与预测模型可有效应用于冶金设备机电液系统的实际运维工作。

4 冶金设备机电液系统可靠性评估与提升策略制定

4.1 冶金设备机电液系统可靠性评估指标体系建立

冶金设备机电液系统可靠性评估指标体系需全面覆盖机械、电气、液压多维度特征，遵循科学性、可操作性、系统性原则构建。从机械系统层面，设置齿轮箱振动烈度、轴承温度、传动精度等指标，反映机械传动可靠性；从电气系统层面，纳入电机绝缘电阻、变频器故障率、控制信号传输稳定性等指标，体现电气控制可靠性；从液压系统层面，设置压力控制精度、流量稳定性、油液污染度等指标，反映液压传动可靠性；从系统集成层面，设置机电液协同响应时间、跨系统故障耦合

度等指标，体现整体运行协调性。从运行状态层面，纳入平均无故障工作时间、故障发生率、故障修复时间等指标；从环境适应性层面，设置耐高温、抗粉尘、抗振动能力等指标。通过层次分析法确定各指标的权重，构建层次分明、指标量化的评估体系，确保可全面、客观地反映机电液系统的可靠性水平。

4.2 基于智能监测数据的可靠性评估方法研究

基于智能监测数据的冶金设备机电液系统可靠性评估方法，其核心在于借助实时监测数据对系统可靠性水平进行精准量化。为全面、科学地开展评估，选取了模糊综合评价法、灰色关联分析法、贝叶斯网络等多种评估方法，并紧密结合前期精心构建的可靠性评估指标体系，展开定量评估工作。在实际操作中，充分利用智能监测系统，采集机械振动、电气参数、液压信号以及故障等多维度数据。对这些数据进行细致的量化赋值与归一化处理，确保数据具有可比性和规范性；依据预先通过层次分析法等确定的指标权重，结合所选评估模型，精确计算系统的可靠性综合得分，并依据得分情况划分出优秀、良好、合格、不合格等不同可靠性等级。为使评估更具时效性和前瞻性，还引入了动态评估机制。通过结合时间序列分析与机器学习模型，能够实时更新可靠性评估结果，及时捕捉系统可靠性的动态变化趋势[4]。另外，开展敏感性分析，精准识别出影响系统可靠性的关键指标，特别是机械、电气、液压各子系统之间的耦合影响指标，为后续制定针对性强、行之有效的可靠性提升策略提供精准方向，显著提升评估方法的实用性与指导性。

4.3 冶金设备机电液系统可靠性提升策略制定

针对冶金设备机电液系统的可靠性短板，结合智能监测数据与评估结果，制定机电液协同的多维度可靠性提升策略。针对易磨损的齿轮箱、轴承等部件，采用耐磨、耐高温的新型材料，优化润滑系统，应用智能润滑技术；电气系统层面，针对变频器、PLC 控制器等关键电气元件，采用冗余设计与热备方案，加强电气屏蔽与接地保护，提升抗干扰能力；针对易泄漏、易污染的液压子系统，采用高精度过滤装置与密封结构，优化液压油选型与更换周期。系统集成层面，构建机电液协同控制策略，通过智能监测数据实时优化机械、电气、液压各子系统的运行参数匹配，提升系统的协同响应速度与容错能力。基于故障预测结果构建预测性维护体系，替代传统的定期维护模式，根据设备实际状态精准安排维护计划，降低维护成本与停机时间；建立完善的备件管理体系，优化备件库存结构，确保故障部件可快速更换。完善系统运维管理制度，规范操作流程与维护标准，减少人为因素导致的故障。

4.4 可靠性提升策略的实施效果评估

实施效果评估从可靠性、经济性、运维效率三个维度开展。可靠性方面，对比策略实施前后的平均无故障工作时间、故障发生率、协同故障率、可靠性综合得分；经济性方面，统计维护成本、备件消耗成本、停机损失成本；运维效率方面，评估维护计划精准度、故障修复效率、综合技能提升情况。通过现场长期跟踪监测，收集多组数据对比分析，验证策略可行性与有效性。针对评估中发现的问题，及时调整优化策略，形成“评估-优化-再评估”的闭环管理模式，持续提升冶金设备机电液系统的可靠性水平，为冶金生产线的稳定运行提供坚实保障。

结束语

本文围绕基于智能监测的冶金设备机电液系统可靠性提升展开研究，涵盖智能监测技术应用、故障诊断与预测、可靠性评估及提升策略制定与实施效果评估等方面。通过研究，为冶金设备机电液系统可靠性提升提供了理论支撑与实践指导。未来，随着技术不断进步，需持续优化智能监测技术与机电液融合的可靠性提升策略，以更好地适应冶金工业发展需求，保障冶金生产线稳定高效运行。

参考文献

[1] 李玉烽. 关于冶金设备机械与液压系统的保养与维护分析 [J]. 冶金与材料,2025,45(11):64-66.

[2] 白铭. 冶金设备机械与液压系统的保养与维护探讨 [J]. 中国设备工程，2023(22):50-52.

[3] 马艳峰. 冶金设备机械与液压系统保养及维护技术研究 [J]. 中国金属通报,2024(24):22-24.

[4] 孟孝洲. 冶金设备机械与液压系统的保养及维护分析 [J]. 中国设备工程,2023(24):85-87.