

煤矿机电设备运行故障智能监测方法研究

武 龙

鄂尔多斯市昊华红庆梁矿业有限公司 内蒙古鄂尔多斯 017000

摘 要：煤矿机电设备运行故障的智能监测方法研究是当前煤矿智能化建设的核心领域之一。近年来，在煤矿机电设备运行故障智能监测领域已取得了一定成果，但实际应用中仍面临诸多挑战。煤矿生产环境具有高湿度、高粉尘、强电磁干扰等特点，这也对煤矿机电设备智能监测系统的稳定性和可靠性提出了更为严苛的要求。基于此，开发一种智能、高效且成本可控的煤矿机电设备故障监测技术尤为重要。这项技术应能够实时、准确地监测机电设备的运行状态，并提前预警潜在故障，为及时维修和更换部件提供科学依据，从而有效提升设备运行的可靠性和安全性。

关键词：煤矿机电设备；运行故障监测；振动功率；智能监测

煤矿机电设备在充满粉尘、高温、高湿环境下，长时间和高负荷运行过程中容易引发各种故障，当前以振动信号阈值为基础的检测模式，由于所在区域过大造成信号衰减，检测效果较差。

一、主要监测方法与技术

1. 基于振动信号的智能监测

煤矿机电设备运行故障的智能监测是保障煤矿安全生产、提高设备运行效率的关键技术。其中，基于振动信号的智能监测技术因其非侵入性、实时性和高灵敏度，成为当前研究和应用的重点。振动信号监测技术概述，振动信号监测技术通过采集设备运行时的振动数据，分析其频率、幅值、相位等特征，从而判断设备状态。该技术适用于煤矿输送机、水泵、风机、齿轮箱等关键设备的故障诊断。核心技术与方法，数据采集与传感器技术，采用加速度传感器、速度传感器等设备采集振动信号，并通过无线振动传感器实现实时监测。例如，基于MEMS的传感器可结合ZigBee技术构建边坡位移监测系统。信号处理与特征提取，时域分析：提取均值、方差、峰值等特征。频域分析：通过傅里叶变换识别故障频率特征。时频分析：结合短时傅里叶变换（STFT）或小波变换，捕捉非平稳信号中的故障特征。自适应滤波与盲分离：用于噪声环境下的特征分离。智能诊断算法，机器学习模型：如支持向量机（SVM）、一维卷积神经网络（1D-CNN）等，用于故障分类与识别。预测性维护：结合物联网、云计算技术，实现设备寿命预测和主动维护。应用案例与效果，故障诊断准确率：基于振动分析的故障诊断系统对轴承故障识别准确

率达95%以上，齿轮箱故障识别率达92%。实时性：某煤矿掘进机故障诊断系统响应时间仅1.28秒，故障发现率达97.8%。能源优化：智能化监测可降低设备能耗，提升能源利用效率^[1]。挑战与发展方向，数据价值挖掘：当前系统存在“重监测轻分析”问题，需加强数据建模与深度分析。行业适配性：需开发专属煤机设备的故障诊断模型，避免跨行业通用算法的兼容性问题。系统集成：推动监测系统与日常检修工作的融合，实现从被动维护到主动维护的转变。

2. 多传感器融合与物联网技术

多传感器融合技术，技术原理，多传感器数据融合技术通过整合来自不同传感器的冗余或互补信息（如温度、振动、电流等），利用算法（如LSTM神经网络、模糊控制）进行一致性分析，提升监测准确性和可靠性。例如，在采煤机滚筒轴承监测中，结合温度、振动和负载数据，故障预警准确率可达92%。应用场景，采煤机监测：通过加速度计和温度传感器实时追踪截割滚筒状态，降低断链事故率。皮带机故障预测：分布式光纤传感器结合运行数据，提前预警托辊断裂等故障，减少停机时间70%。物联网技术架构，边缘计算与云端协同，井下部署边缘网关对原始数据预处理，减少传输延迟；云端平台通过数字孪生技术构建设备虚拟镜像，实现故障模拟与维护推演。智能分析算法，预测性维护：基于历史数据与实时工况的剩余寿命预测模型（RUL），可提前48小时预警设备失效风险。自适应控制：如带式输送机通过PLC模糊控制，根据煤流量自动调节速度，实现节能运行。关键技术突破方向，薄煤层无人化开采：研

发高精度智能感知系统（融合IMU、视觉传感器）和数字孪生平台，推动智能自适应模式。深井智能开采：解决大型装备与环境智能协同问题，优化冲击地压监测与调控。标准化数据融合：依据《智能化矿山数据融合共享》规范，统一传感器性能、数据采集与传输标准。实践案例与效益，洗选设备管理：振动传感器阵列监测破碎机锤头磨损，量化关联磨损程度与产量损失，节约备件成本。液压支架动态监测：压力与倾角传感器联动，将支架失效预警响应时间从2小时缩短至15分钟。通过多传感器融合与物联网技术的深度结合，煤矿机电设备监测正从“事后维修”向“预测性维护”转型，显著提升安全性与生产效率。

3. 深度学习与智能算法应用

煤矿机电设备运行故障的智能监测方法与技术正深度融合深度学习与智能算法，推动煤矿维护模式从被动维修向主动预防转变。智能监测技术体系，多源数据采集，通过振动传感器、温度传感器、激光雷达等设备实时采集设备运行参数（如温度、压力、振动频率）及环境数据。例如，皮带输送机采用激光雷达构建三维轮廓，检测精度达 $\pm 2\text{mm}$ 。数据处理与特征提取，对原始数据进行清洗、去噪和特征提取，利用时序分析（如LSTM）消除瞬时干扰，提升数据质量。故障诊断模型构建，专属模型开发：针对煤机设备特性，采用“一机一方”策略，避免跨行业通用模型的不兼容问题。例如，YOLOv7改进模型用于皮带跑偏识别，准确率达98.7%。算法融合：结合可见光与红外热成像双分支网络检测堆煤，误报率降至0.3%；支持向量机、神经网络等用于预测设备健康状态。深度学习与智能算法应用，计算机视觉技术，AI视频监控通过高清摄像头识别设备异响、部件松动等12类故障，某煤矿应用后故障率下降42%。预测性维护，基于时间函数累加算法，自动计算零部件寿命（如采煤机链轮运行60天预警），并推送至移动终端。多系统联动，将视频监控与人员定位、应急指挥系统融合，实现故障快速定位与应急处置。应用成效，安全提升：王坡煤矿等示范矿井实现设备故障率显著降低，维护响应时间缩短至15分钟内。成本优化：年节约停机损失超300万元，维护成本降低30%以上。智能化升级：从单体设备监测扩展到设备集群诊断，推动维护模式向数据驱动转变。

4. 巡检机器人智能诊断

智能监测方法，在线监测系统，通过振动传感器、

温度传感器等设备实时采集机电设备的运行数据（如振动频率、温度、油压等），并利用嵌入式系统进行初步处理和分析。例如，振动监测分析仪可精准输出轴承损耗位置，实现故障的早期预警。数据驱动与模型库，针对煤机设备特性，建立“一机一方”专属故障诊断模型库，避免跨行业通用模型的不匹配问题。系统通过时间函数累加算法（如零件运行时长、合闸次数）预测设备寿命，触发维护提醒。巡检机器人智能诊断技术，自主导航与数据采集，巡检机器人采用激光雷达、红外热成像仪等传感器，沿预设路线自主移动，实时采集设备图像、温度、声音等数据。例如，煤矿的轨道式机器人可24小时监测皮带跑偏、电机异响等问题。多传感器融合与智能分析，结合计算机视觉和AI算法，机器人对采集的数据进行深度分析，与标准参数对比后判断异常类型及严重程度。综采工作面巡检机器人还能通过三维扫描实现地质实时建图，指导液压支架自动修正。远程监控与预警，机器人将分析结果上传至后台管理系统，通过声光报警或短信通知相关人员，并支持远程干预。例如，轴承在线监测系统可预判故障寿命，减少突发停机风险。技术挑战与发展方向，数据价值挖掘：当前系统多侧重数据采集，需加强数据分析以指导实际维护。行业适配性：需开发更贴合煤机场景的专用算法，避免“万能模型”的局限性。人机协同：推动系统与日常检修流程深度融合，提升维护人员的使用效率。

二、系统功能与挑战

1. 功能实现

煤矿机电设备运行故障智能监测系统通过传感器实时采集设备运行数据，结合大数据分析和人工智能算法实现故障预警与诊断。系统核心功能包括运行状态实时监测、故障智能诊断、预测性维护和集中管理展示。系统主要功能，系统通过振动传感器、温度传感器等硬件设备持续监控设备运行参数。数据分析模块利用历史数据和实时信息识别异常模式，实现故障早期预警。预测性维护功能可评估设备健康状态，制定精准维修计划^[2]。系统还提供集中管理平台，实现数据可视化展示和报警信息推送。关键技术实现，智能监测系统采用“一机一方”策略，针对不同设备建立专属故障诊断模型。数据处理流程包括数据采集、清洗处理、特征识别和模型构建。无线测温技术解决了传统布线难题，实现秒级数据采集和温度异常预警。电子记录检修模式通过手机App集成标准作业流程，提升检修效率。面临的主要挑战，

当前系统建设存在重监测轻分析的问题，海量设备数据未被充分挖掘利用。跨行业应用的通用诊断模型与煤矿设备兼容性不足，影响故障识别准确性。系统与日常检修工作融合度较低，维护人员需要时间适应新的工作方式。此外，煤矿恶劣环境对传感器可靠性和数据传输稳定性提出更高要求。未来需加强数据价值挖掘，开发煤矿专用算法模型，并推动系统与检修流程深度融合。

2. 现存不足

智能监测方法，实时监测与数据采集，通过部署传感器（如温度、振动、电流传感器）实时采集设备运行参数，结合无线传输技术（如无线测温系统）实现数据秒级上传，确保监测的实时性和灵活性。“一机一方”故障诊断策略，针对煤机设备特性，建立专属故障诊断模型库，避免跨行业通用模型的不兼容问题，实现精准故障识别。例如，王坡煤矿、曹家滩煤矿通过该策略实现了设备健康状态预测。历史数据复用与预测性维护，利用长历史数据训练机器学习模型，分析设备故障规律，预测潜在风险（如采煤队误时原因分析），推动维护从“事件驱动”转向“数据驱动”。系统功能，实时监测与预警，系统集成多源数据（如红外测温、气体浓度），通过阈值设定和智能算法实现异常预警，如变电所巡检机器人可自动识别设备热缺陷。能耗管理与智能运维，对设备能耗进行多维度分析（时间、区域、分类），生成报表优化能源使用；同时支持设备全生命周期管理，包括智能巡检、故障报修等。多系统融合与可视化，通过综合管控平台集成供电、排水、安全监控等子系统，实现数据统一展示与决策支持。现存不足与挑战，重监测轻分析，多数系统仅实现数据采集与报警，缺乏深度数据分析，导致海量数据未转化为资产价值。技术瓶颈与标准缺失，复杂地质条件下精准建模、数据高效利用等技术尚未突破。智能化验收标准模糊（如地质模型精度要求不明确），影响推广效果。系统与维护工作脱节，故障诊断模型现场应用效果不佳，未给出可靠维护指导，导致维护人员使用积极性低。外部环境压力，煤电企业面临电煤品质下降、深度调峰等挑战，加剧设备故障风险（如锅炉“四管泄漏”频发）。

3. 优化方向

智能监测方法，智能监测方法主要基于物联网、大数据和人工智能技术，通过多维度数据采集与分析实现故障预警与诊断。具体步骤包括：数据采集：通过振动、温度、压力等传感器实时采集设备运行参数。数据处理：利用滤波、降噪等技术清洗数据，提取有效特征。故障诊断：采用机器学习算法（如支持向量机、神经网络）建立专属故障模型，实现异常识别与定位。预测性维护：基于设备健康状态预测剩余寿命，制定维护计划。系统核心功能，智能化系统需具备以下功能模块：实时监控：通过可视化平台展示设备运行状态，支持多层次预警（预警/报警/紧急报警）。智能分析：集成大数据分析引擎，实现故障诊断、根因分析及维护建议生成。闭环管理：将监测结果与检修流程联动，支持工单派发、整改跟踪及效果评估。资产管理：记录设备全生命周期数据，优化资源配置与投资决策。当前主要挑战，尽管技术已取得进展，但仍面临以下瓶颈：数据价值挖掘不足：多数系统仅实现数据采集与展示，缺乏深度分析能力，未形成数据资产。模型普适性差：跨行业通用诊断模型在煤机设备上存在兼容性问题，需开发“一机一方”专属模型。系统融合度低：监测系统与日常检修工作脱节，维护人员从“不会用”到“善于用”的转变进程缓慢。环境适应性要求高：煤矿高粉尘、高湿度环境对传感器精度与通信可靠性提出严苛要求。

总之，基于振动信号的智能监测技术通过多维度信号处理与智能算法，显著提升了煤矿机电设备故障诊断的准确性和时效性。未来需进一步优化数据驱动模型，加强系统集成，以实现更高效的预测性维护。

参考文献

- [1] 左桂权. 煤矿机电设备运行故障智能监测方法研究[J]. 工程技术与质量管理, 2025, 1(5). DOI: 10.37155/3041-0827-0105-18.
- [2] 吴闯闯, 葛夏夏, 李震. 基于人工智能技术的煤矿机电设备状态识别研究[J]. 矿业装备, 2025(4): 111-113. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1418.2025.04.036.