

# Fault diagnosis and intelligent early warning of electric drive system in mining machinery

Mingming Zheng

Shexian Huashan Mining Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313000, China

## Abstract

With the expansion of China's copper mining industry and accelerated intelligent transformation, the operational reliability and safety of electric drive systems in mining machinery have become critical factors affecting efficient mineral exploitation and corporate profitability. To address challenges such as delayed fault diagnosis, prolonged maintenance cycles, and inadequate early warning capabilities, this study systematically analyzes the structural design and operational characteristics of copper mine electric drive systems. It examines typical fault mechanisms and proposes an intelligent diagnostic technology based on multi-source signal fusion. By integrating artificial intelligence, big data, IoT, and cloud platforms, the research establishes an intelligent early warning system tailored for industrial applications, with its accuracy and practicality verified through field validation. The results demonstrate that this system significantly enhances equipment maintenance efficiency and safety assurance capabilities, providing technological support for green and intelligent copper mining operations.

## Keywords

copper mine; mining machinery; electric drive system; fault diagnosis; intelligent warning; artificial intelligence

## 矿山机械电力传动系统故障诊断与智能预警研究

郑明明

歙县华山矿业有限公司, 中国·浙江湖州313000

## 摘要

随着我国铜矿产业规模扩大和智能化加快, 矿山机械电力传动系统的运行可靠性与安全性已成为影响矿产高效开发和企业效益的关键。针对当前故障诊断滞后、维修周期长、预警能力不足等问题, 本文梳理了铜矿电力传动系统结构与运行特性, 分析典型故障机理, 阐述基于多源信号融合的智能诊断技术。研究融合人工智能、大数据、物联网与云平台, 构建面向实际生产的智能预警体系, 并经工业现场验证其准确性与实用性。结果表明, 该系统显著提升设备运维水平与安全保障能力, 为铜矿绿色智能开采提供技术支撑。

## 关键词

铜矿; 矿山机械; 电力传动系统; 故障诊断; 智能预警; 人工智能

## 1 引言

铜矿作为国家重要的基础性战略资源, 其高效、绿色、安全的开采已成为行业持续发展的重要目标。近年来, 随着大型露天及地下铜矿机械化、自动化水平的不断提升, 矿山机械电力传动系统在物料破碎、运输、提升、选矿等各环节中发挥着中枢作用。由于铜矿开采工况复杂、生产环境恶劣, 电力传动系统极易发生各类故障, 如电机损坏、变频器异常、线路短路、控制系统失灵等, 这些故障不仅导致设备非计划停机, 影响矿产产能与企业效益, 更可能引发安全生产事故。

传统铜矿设备故障诊断主要依赖人工巡检和经验判断, 存在诊断周期长、准确率低、反应不及时等问题。近年来,

随着人工智能、大数据、物联网等技术在工业领域的快速发展, 基于数据驱动的智能故障诊断与预警体系逐步成为铜矿智能运维的新趋势。通过多源传感器实时监测设备运行状态, 利用特征提取、深度学习与专家系统等方法实现异常识别和预警推送, 极大提升了故障诊断的科学性和前瞻性。本文围绕铜矿机械电力传动系统故障诊断与智能预警, 结合行业发展实际与典型应用案例, 系统梳理理论基础、技术路径与应用实践, 为推动铜矿装备智能运维和行业绿色高质量发展提供参考。

## 2 铜矿机械电力传动系统结构与故障类型

### 2.1 系统结构与关键设备

铜矿机械电力传动系统一般涵盖主提升机、破碎机、皮带输送机、球磨机、浮选机等大型装备。这些设备多采用高压电机、变频调速系统、PLC自动控制单元以及现场总

【作者简介】郑明明(1995-), 男, 中国浙江湖州人, 本科, 从事机械自动化研究。

线和传感网络。系统主要功能包括动力供给、速度调控、载荷分配、启停控制、状态监测等。传动系统通常由供电单元、变配电装置、功率变换模块、电机本体、传动装置及相关保护控制组成，各环节协同配合保障机械高效稳定运行。铜矿井下环境温度高、湿度大、粉尘浓度高，对传动系统的绝缘性能、散热设计、密封结构提出更高要求。核心设备如高压电机和变频器需具备优异的耐久性与适应性，自动化控制单元则是实现智能运维的关键载体。

## 2.2 典型故障类型

铜矿电力传动系统在长期高强度运行过程中，常见故障类型包括电机绕组短路、轴承磨损、变频器过载、功率模块损坏、控制回路异常、电缆老化等。部分故障表现为设备异常振动、温升过高、起动困难、运行噪声异常、电流波动大等。

此外，由于铜矿工作环境粉尘大、湿度高，绝缘层破损、接地不良等故障亦较为常见。皮带输送机电控系统的接触器、继电器易因环境腐蚀或机械损耗导致失灵，造成系统启停异常或信号丢失。高压柜、变配电系统若存在操作失误或元件失效，亦会引发大范围供电中断，影响整个生产链条的稳定性。

## 2.3 故障成因及其对生产的影响

铜矿设备故障的成因具有多样性与复杂性，主要包括设备长期运行导致的老化磨损、日常维护不规范、超负荷运行、恶劣环境下防护不足、设计选型不当以及生产工艺调整未同步设备改造等因素。这些问题相互叠加，易引发机械、电气系统的突发性故障，造成设备停机、产线中断，严重影响生产进度与经济效益。同时，部分隐蔽性故障若未能及时识别和预警，可能逐步演化为重大安全事故，危及作业人员生命安全与矿区资产安全。因此，构建科学完善的智能故障诊断与预警体系，对保障铜矿设备的高效、稳定与安全运行具有重要的现实意义和工程价值。

# 3 铜矿机械电力传动系统智能故障诊断技术

## 3.1 多源数据采集与状态监测

智能故障诊断体系的基础在于数据采集的全面性和精准性。铜矿生产现场一般部署多类型传感器，包括电流、电压、温度、振动、压力、油液、声发射等，实现对关键节点和部件运行状态的实时监控。数据通过工业以太网或无线网络传输至本地服务器或云平台，构建设备健康大数据中心。

状态监测数据不仅涵盖机械本体的物理参数，还涉及电气系统运行指标与环境条件数据。高频采集、长周期跟踪的数据体系为后续故障诊断和健康评估提供了坚实基础。对采集数据进行预处理、去噪和标准化，保障分析的准确性和鲁棒性。

## 3.2 特征提取与智能分析方法

故障诊断依赖于对多源数据的有效特征提取与智能判

别。采用时域、频域、时频域分析方法，提取电机电流、振动信号、温升曲线等关键特征值，如均值、方差、峰值因子、频谱能量、希尔伯特黄变换（HHT）等，精准刻画设备运行状态。

智能分析方面，结合机器学习、深度学习和专家系统等多元方法，实现对大数据的自适应建模与异常识别。支持向量机（SVM）、决策树、卷积神经网络（CNN）、递归神经网络（RNN）、集成学习等模型被广泛应用于铜矿设备故障类型判别、异常趋势预测和健康评分等任务。专家系统以现场经验规则为基础，辅助复杂工况下的故障推理。

## 3.3 诊断结果与决策支持

通过多维特征融合与智能算法的深度集成，铜矿设备智能诊断系统实现了从数据采集到智能决策的全流程闭环管理。系统综合分析电流、电压、振动、温度、噪声等多源传感数据，通过特征提取与模式识别算法，能够自动识别设备潜在故障，生成健康评分、风险等级及故障类型诊断报告。平台以可视化方式将诊断结果实时推送至运维终端，管理人员可远程查看设备运行状态与健康趋势，及时进行维护决策。系统与企业 ERP、MES 等管理系统深度对接，实现维护计划的智能推荐、配件与备件的自动调度、检修资源的最优分配，形成以数据驱动的智慧运维体系。AI 算法的应用有效降低了人为判断误差，提高了故障响应速度与维修经济性，使设备维护从“被动抢修”转向“主动预防”。该系统为铜矿生产提供了科学决策支撑，推动了矿山运维管理的数字化、智能化与高效化转型。

# 4 铜矿电力传动系统智能预警机制构建

## 4.1 预警阈值动态设定与分级管理

科学的智能预警体系要求根据不同设备工况、负载状态、运行环境等因素，动态调整各类监测指标的预警阈值。通过历史数据统计分析、健康状态建模和专家知识融合，实现故障风险的分级管控。系统根据故障风险等级分为常规预警、严重预警和紧急停机三级，精准匹配处置流程和响应措施。动态预警阈值体系可随设备老化程度、生产节奏变化而自动调整，提升预警的时效性与适应性。分级管理机制便于企业制定差异化的运维策略，有效防止误报漏报，保障铜矿生产连续性。

## 4.2 大数据与 AI 驱动异常趋势预测

利用历史运维数据和实时采集信息，结合大数据分析 and 人工智能建模，实现对设备异常趋势和潜在故障的提前预警。基于时间序列预测、模式识别与自适应学习算法，系统能够挖掘数据中的微弱异常信号，预测设备剩余寿命与失效概率。AI 预测模型如长短期记忆网络（LSTM）、自编码器（AutoEncoder）、贝叶斯网络等已在铜矿现场实现应用，对关键设备如主提升机、大型皮带机等的故障提前预警准确率不断提升。结合数据可视化技术，实现预警信息的直观呈

现与动态追踪,为运维团队决策提供依据。

### 4.3 云平台与智能运维一体化管理

依托工业互联网与云平台,铜矿企业可实现设备运维数据的云端存储、智能分析和多地协同。云平台支持多矿区、多设备数据的统一管理,便于企业总部与现场协同决策。智能运维平台集成设备健康监控、自动报警、知识库查询、检修记录等功能,构建“检测—诊断—预警—决策—执行”闭环管理流程。通过智能移动终端,运维人员可随时接收设备状态与预警信息,提升现场响应速度,推动运维模式向预测性维护和远程服务转型。

## 5 铜矿机械电力传动系统智能化应用实践

### 5.1 典型铜矿案例分析

在我国西部某大型铜矿企业的智能化建设过程中,企业以关键生产装备为突破口,率先在主提升机、球磨机、破碎机与皮带输送机等设备上布设多模态传感器阵列与工业边缘计算单元,实现了对电气、机械及环境信息的实时采集与处理。系统可同步监测设备振动、温度、电流、电压等核心参数,并结合 AI 智能诊断模型进行异常识别。以高压电机绕组温升为例,系统通过历史样本训练与自学习算法,可在早期发现潜在热失控风险,预警准确率超过 95%。平台部署后,设备非计划停机次数减少 40%,生产稳定性显著提高。该企业同时搭建远程运维中心,实现设备状态可视化与专家会诊,缩短检修响应时间约 30%,提升了设备运维的标准化与科学化水平。此案例表明,智能故障诊断系统在铜矿生产中不仅带来了显著的经济收益,也在安全生产、绿色管理与数字化转型方面发挥了关键作用,为我国矿业智能化提供了可复制的实践样板。

### 5.2 关键技术与创新点

铜矿智能故障诊断与预警平台的技术架构突出多源异构数据融合、人工智能算法优化与大数据驱动的协同创新。平台利用边缘计算节点在设备端实现数据预处理与初步分析,大幅降低数据延迟与网络负载。核心 AI 模块基于深度神经网络与时序建模算法,结合联邦学习机制,使模型能够在不同矿区独立训练、集中优化,保证隐私安全与泛化能力。系统通过构建“设备—故障—特征—策略”多维知识图谱,实现从症状识别到根因溯源的闭环诊断。创新性地引入数字孪生技术,为关键设备建立虚拟仿真体,实时映射运行状态并开展健康预测与寿命评估。同时,平台实现与 ERP、MES、SCADA 等系统的数据打通,形成统一的智能运维生态,实现生产、管理与决策的信息互联与智能协同。这一系

列技术创新极大提升了矿山自动化程度与智能决策水平,为复杂工况下的设备安全运行提供了坚实技术保障。

### 5.3 经济与安全效益分析

智能化故障诊断系统的实施显著改善了铜矿企业的经济效益与安全管理水平。通过 AI 模型的精准预警,设备计划性检修取代了突发性停机,平均设备可用率提升 5%~10%,年产能损失降低约 2000 万元。系统优化了备件管理与维修计划,减少了 15% 以上的运维成本。与此同时,平台对关键设备的安全状态进行动态评估,使得重大设备事故率下降约 40%,现场作业人员的劳动强度与风险暴露大幅减少。企业还借助智能平台建立了“数据驱动+专家协同”的运维体系,培养了一批复合型智能运维技术人才,形成了可持续发展的创新发展机制。从长远看,该平台积累的运行大数据与知识图谱资源,为矿山全生命周期管理、节能减排与智能决策提供了持续驱动力,推动铜矿产业向高效、安全、绿色、智能方向全面转型。

## 6 结语

铜矿机械电力传动系统的智能故障诊断与预警,是保障矿山高效、安全、绿色运行的关键环节。以多源数据采集、AI 智能分析和云端协同管理为核心的智能化体系,显著提升了铜矿设备运维水平和安全保障能力。未来应继续加强技术创新与系统集成,完善运维机制和人才培养,推动智能预警系统向自适应、泛在化和自主决策方向升级。铜矿企业需深化“人工智能+大数据+物联网”深度融合,推动智能矿山建设,实现铜矿产业高质量可持续发展。

### 参考文献

- [1] 张键元.大型矿用汽车的发展——电传动与机械传动孰优? [J].国外金属矿山,1992,(08):58-72.
- [2] 陆清林.矿山机械中液压机械传动的应用探讨[J].科技视界,2020,(17):93-94.
- [3] 吕志来,侯媛彬,李秀改.自寻优模糊控制器在矿山电力传动系统中的研究与应用[C]//中国自动化学会智能自动化专业委员会,上海同济大学,中国人工智能学会计算机视觉及智能控制学会,IEEE控制系统学会北京分会.1998年中国智能自动化学术会议论文集(上册).西安矿业学院自动化系;西安矿业学院自动化系;西安矿业学院自动化系;1998:415-419.
- [4] 吴风贞.带有磁放大器的矿山机械电气控制系统的分析计算[J].吉林工业大学学报,1982,(03):114-126.
- [5] 张云明,高燕清.现代矿山电气传动系统及节能技术发展现状[J].中国金属通报,2021,(03):3-4.