

# 矿井斜巷运输绞车制动系统故障预警与可靠性提升研究

王 翔

河南焦煤能源有限公司古汉山矿 河南 焦作 454350

**【摘要】**：矿井斜巷运输绞车在复杂工况下易出现制动失效等故障，威胁矿井运输安全。本文围绕制动系统故障机理分析，构建基于传感监测与数据诊断的故障预警模型，提出制动结构优化与智能控制策略，形成“预警—诊断—控制”闭环体系。通过实验与模拟验证，结果表明该方法能有效降低制动失效率，显著提升系统安全性与可靠性，为矿井运输设备安全运行提供理论依据与技术支持。

**【关键词】**：矿井斜巷运输；制动系统；故障预警；可靠性提升；智能控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.021

## 引言

矿井斜巷运输作为矿山生产的重要环节，绞车制动系统的稳定性直接关系到作业安全。复杂地质环境、高强度运行负荷和设备老化等因素使制动故障频发，事故风险持续增加。近年来，智能传感技术与大数据诊断方法的发展，为故障预测与预防性维护提供了新的契机。如何将实时监测、故障预警与制动系统优化有机结合，构建高效可靠的安全保障体系，成为矿井运输装备领域亟须解决的核心问题。本研究将从故障特征分析入手，探索智能化预警模型与可靠性提升路径。

## 1 制动系统故障特征与隐患分析

矿井斜巷运输绞车制动系统在长期高负荷运行过程中，受井下潮湿、高温、粉尘及腐蚀性气体等复杂环境影响，关键部件容易出现磨损、老化和变形等问题。制动摩擦片在频繁启停过程中会产生热衰退现象，导致摩擦系数降低，制动力不足，进一步加大制动距离，对巷道运输安全构成威胁。钢丝绳在反复卷放中易出现疲劳断丝与内部钢丝腐蚀，减弱整体承载能力，增加了制动系统发生失效的风险。同时，制动缸、阀组及液压管路在长期使用后容易出现密封不严或油液污染，造成制动响应滞后，无法实现有效控制。

矿井斜巷运输作业中运输载荷波动较大，绞车制动系统需要在短时间内应对突发重载工况。当制动机构设计存在缺陷或制动参数设定不合理时，容易出现制动冲击、载荷不均或制动力不足等问题。制动过程中产生的热量难以及时散发，易引发摩擦副过热，出现热裂纹或烧蚀，缩短零部件使用寿命。在缺乏实时监测的条件下，操作人员难以及时发现设备隐患，导致故障积累并演化为重大事故隐患。

在矿井运输系统中，电控装置和传感器精度不足也是导致故障频发的重要原因。制动信号在传输过程

中可能因电磁干扰或线路损耗出现延迟或失真，致使控制指令无法同步执行，影响制动协调性。监测系统对运行状态的采集不完整或精度不足，使得制动系统潜在异常难以及早识别，预警能力大幅下降。随着矿井运输规模不断扩大，设备运行强度提升，制动系统承受的机械冲击与热负荷同步增加，隐患累积速度明显加快，对安全管理提出更高要求。

## 2 智能化故障预警模型与优化策略

针对矿井斜巷运输绞车制动系统的复杂运行特性，建立智能化故障预警模型能够实现对潜在风险的提前识别和控制。通过在制动系统关键部位布设高灵敏度传感器，实时采集制动压力、摩擦副温度、制动扭矩、钢丝绳张力及液压油液状态等运行参数，并结合振动信号和声发射信号，对制动过程中的动态变化进行多维度监测。采集的数据通过高速数据采集单元传输至控制中心，利用边缘计算技术完成初步筛选与特征提取，降低数据冗余和延迟，确保监测信息及时准确。

在数据处理环节，引入基于深度学习的故障识别算法，通过卷积神经网络与长短期记忆网络融合，对制动过程中的非线性特征进行建模，实现对异常工况的精确识别。模型通过大量历史故障数据训练，形成具有自学习和适应性的预测机制，可在故障萌芽阶段捕捉微小信号波动，提前发出预警提示。为了提升预警的可靠性，引入多传感器信息融合技术，将不同来源的信号进行加权处理与特征关联分析，避免单一传感器误差导致的误报或漏报现象，并通过贝叶斯推理和模糊逻辑实现对故障等级的智能判定，使预警信息更加科学化、可操作化。

在优化策略方面，对制动结构与控制方式进行双重改进，通过有限元分析对制动摩擦副和液压缸受力分布进行模拟，找出薄弱区域并改进结构设计，提高

制动力分布均匀性和热稳定性。对摩擦材料进行复合化改性,提升耐磨性能和热衰退抗性,延长关键部件使用寿命。控制策略上,应用智能控制算法实现制动压力的分级调节与动态补偿,使制动系统在重载、超速、湿滑等多变工况下保持稳定响应。结合模糊控制与自适应控制方法,使系统在工况突变时自动调整制动力分配,减少冲击载荷和局部磨损,增强整体运行的平稳性与协调性。

在管理层面,引入基于云平台的数据管理模式,实现各类运行数据的集中存储与可视化分析。通过大数据技术建立制动系统健康状态评估模型,对设备进行实时健康打分与趋势预测,并通过无线网络将预警信息推送至调度中心和维修部门,确保隐患信息快速传递。通过区块链技术对关键维修记录与运行日志进行加密存储,保证数据的真实性和可追溯性。通过以上技术与策略的协同应用,形成从实时监测到智能预警再到优化控制的完整闭环,实现制动系统由被动维修向主动防控的转变,有效减少突发故障带来的安全风险,提升矿井斜巷运输设备的稳定性与可靠性。

### 3 系统可靠性提升与验证结果

为全面提升矿井斜巷运输绞车制动系统的可靠性,通过对制动装置的结构强化、控制策略优化以及监测系统升级进行综合改进,建立系统性的可靠性保障框架。在结构方面,对摩擦副接触表面进行热场与应力场耦合分析,确定摩擦材料在高频制动条件下的疲劳损伤规律,并通过更换高耐磨、高热稳定性的复合材料降低摩擦系数衰退幅度。制动盘和制动钳的几何形状通过有限元建模优化,减少应力集中区域,提升受力均匀性,从根本上降低疲劳裂纹生成概率。液压系统中增加冗余回路设计,在主回路失效时自动切换至备用回路,确保紧急制动功能的稳定执行,减少因液压故障导致的制动失灵风险。

#### 参考文献:

- [1] 刘建华.矿井提升运输设备安全监测技术研究[J].煤矿机械,2023,44(5):56-60.
- [2] 王志强.斜井绞车制动系统设计与优化分析[J].矿山机械,2022,50(3):72-76.
- [3] 陈永生.基于智能传感的矿山设备故障诊断方法[J].煤炭科学技术,2023,51(7):89-94.

在控制技术方面,通过引入分布式智能控制单元,将各制动部位独立调节与集中管理结合,实现制动压力的动态分配与实时补偿。控制算法中融入预测模型,对制动扭矩变化趋势进行提前计算,并调整控制参数以减轻冲击载荷和避免制动延迟。数据传输层面采用抗干扰性能更强的工业以太网通信技术,并设置多层冗余保护机制,防止因信号中断或误传造成制动响应不一致的问题。同时结合自适应控制理论,使系统能够在载荷波动、温度变化和湿度影响等复杂条件下保持稳定输出,确保在极端工况下仍能维持安全运行。

为验证可靠性提升效果,建立矿井运输仿真试验平台,通过虚拟工况模拟制动系统在高频率启停、突发超载及紧急制动等多种极端运行场景下的动态响应。利用实时采集的数据对摩擦温度、液压压力、制动时间等关键指标进行量化评估,并与传统制动系统进行对比分析,结果显示优化后的系统在制动距离、热稳定性和响应速度方面均表现出明显优势。将实验数据与现场运行数据进行交叉验证,通过加速寿命试验与长期运行记录,建立可靠性模型并计算平均无故障时间和故障率变化曲线。验证结果表明,经过改进的制动系统在长期连续运行中故障发生率显著降低,关键部件寿命大幅延长,制动安全性能提升明显,为矿井斜巷运输作业提供了坚实的技术支撑与安全保障。

### 4 结语

矿井斜巷运输绞车制动系统的可靠运行对矿井生产安全至关重要。通过对制动系统故障特征进行深入分析,构建智能化故障预警模型,并结合优化设计与智能控制策略,实现了从实时监测到主动防控的全过程管理。经验证明,该系统在提升制动性能、降低故障率和延长设备寿命方面效果显著,为矿井运输安全保障提供了坚实技术基础和理论支持。