

煤矿架空乘人装置安全保护装置优化研究

宋凉亭

四川川煤华荣能源有限公司斌郎煤矿 四川 达州 635756

【摘要】：煤矿井下运输环境复杂，架空乘人装置在长期运行中易出现保护装置响应滞后、联动性不足等问题，影响运行安全。针对保护系统单一、监测精度不足及故障识别能力有限等情况，构建多参数协同监测与联动控制机制，优化过速、断绳及越位等保护功能，实现状态实时感知与快速处置。经工程应用验证，装置运行稳定性明显提升，故障响应效率显著提高，安全风险得到有效控制。

【关键词】：架空乘人装置；安全保护；联动控制；故障识别；煤矿运输

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.073

引言

井下人员运输环节对安全性的要求极为严格，架空乘人装置在提升运输效率的同时，也承载着持续运行与复杂工况叠加带来的风险压力。运行环境中存在粉尘、湿度变化及设备负载波动等因素，均可能对安全保护系统产生干扰，导致保护动作不及时或识别偏差。部分装置在设计阶段侧重单一保护功能，缺乏多维信息融合能力，使潜在隐患难以及时捕捉。随着智能化技术的引入，对保护系统的响应速度、识别精度及联动能力提出更高要求。通过对关键保护环节进行系统梳理与优化设计，有助于构建更加可靠的安全保障体系，为装置稳定运行提供支撑。

1 运行环境约束下的装置安全特征分析

1.1 井下复杂工况对运行状态的影响

井下空间封闭且环境多变，粉尘浓度、湿度水平及温度波动对架空乘人装置运行状态形成持续扰动。粉尘附着易导致传感器灵敏度下降，影响速度与位置检测精度；高湿环境加剧电气元件绝缘性能衰减，增加误动作概率；温差变化引起钢丝绳张力与机械结构尺寸的微幅变形，改变运行受力状态。复杂工况还会对润滑效果与摩擦系数产生影响，进而改变驱动系统负荷分布，造成运行平稳性下降。多因素叠加作用下，装置状态呈现出非线性波动特征，对安全保护系统提出更高的实时感知与抗干扰能力要求。

1.2 载荷变化与速度波动特征识别

乘员数量及分布变化直接影响装置载荷水平，进而引发驱动系统输出功率与运行速度的动态调整。载荷突变会导致牵引力与制动力之间的平衡关系发生偏移，使运行速度出现瞬态波动。钢丝绳在不同载荷作用下表现出不同的弹性响应特征，张力变化与位移变化之间存在耦合关系，影响速度检测结果的稳定性^[1]。速度波动在启停阶段表现更为明显，惯性作用叠加控制延迟，容易形成短时超速或减速不足现象。通过对载荷与速度变化规律进行精细化识别，有助于提升保护装置对异常运行状态的判别准确度。

1.3 关键部件失效风险分布规律

驱动装置、钢丝绳及制动系统构成安全运行的核心环节，其失效风险在不同工况下呈现差异化分布特征。驱动部件在长期高负荷运行中易产生热积累与机械磨损，影响输出稳定性；钢丝绳受反复弯曲与张力交替作用，内部结构逐步疲劳，局部损伤具有隐蔽性与渐进性；制动系统在频繁动作条件下摩擦材料性能衰减，制动力输出存在不确定性。风险分布与运行时间、负载强度及环境条件密切相关，呈现由局部劣化向整体性能下降扩展的趋势，对保护系统的预警与干预能力提出更高要求。

2 现行保护系统结构及功能缺陷剖析

2.1 单一监测模式导致信息获取不足

现行安全保护系统多依赖单一参数进行状态判定，监测对象集中于速度或张力等局部指标，难以全面反映装置运行的整体状态。数据采集维度有限，导致不同工况下的动态变化无法被完整捕捉，异常信号易被掩盖或误判。传感器布置缺乏系统性，信息采集点分布不均，使关键运行节点存在监测盲区。数据处理环节多采用固定阈值判断方式，对复杂工况适应性较差，无法实现精细化识别。信息孤立状态明显，缺乏多源数据融合机制，制约了安全保护系统对潜在风险的提前感知能力。

2.2 保护动作响应滞后现象分析

保护系统响应过程涉及信号采集、传输、处理及执行等多个环节，各环节延时叠加形成整体响应滞后。信号采集频率不足或传输链路稳定性较差，导致关键状态信息更新不及时。控制单元计算能力受限，复杂判断逻辑处理周期延长，使保护指令输出存在时间差。执行机构动作响应速度与控制信号之间存在匹配偏差，影响制动与停机效果^[2]。部分保护策略依赖固定触发条件，对动态变化缺乏灵敏调整能力，造成异常状态未能及时触发保护机制，增加运行风险。

2.3 多保护环节之间协同不足问题

安全保护系统由多种功能单元构成，各保护环节之间缺乏统一协调机制，导致信息共享与动作联动效率偏低。不同保护模块之间接口标准不统一，数据传递存在延迟或失真，影响整

体判断准确性。控制逻辑独立运行,缺乏统一调度策略,使各类保护措施难以形成协同响应。异常状态下可能出现多种保护动作相互叠加或冲突,降低系统稳定性。系统结构设计侧重单点防护,缺乏整体性与系统性思维,难以满足复杂工况下对多层次安全防护的需求。

3 多源信息融合的安全保护优化路径

3.1 构建多参数实时监测体系

多参数实时监测体系以运行安全需求为导向,对速度、张力、位移、振动及环境参数进行系统集成采集,形成覆盖关键运行环节的感知网络。传感器布设需遵循结构分区与风险分布原则,在驱动端、承载段及制动区域实现重点监测,保证数据来源具有代表性与连续性。数据采集单元通过高频采样与边缘处理技术,对原始信号进行滤波与特征提取,减少噪声干扰对判断结果的影响。信息传输环节采用稳定性较高的通信方式,确保数据传递过程低延时与高可靠性。多源数据在控制平台内进行融合处理,通过构建关联模型,实现不同参数之间的耦合分析,提升异常识别精度。监测系统与安全保护逻辑实现深度融合,动态阈值与自适应判定机制同步引入,使系统能够根据运行状态变化自动调整判断标准,增强对复杂工况的适应能力。数据存储与分析模块对历史运行数据进行持续积累与对比,为故障预警提供依据,逐步形成以数据驱动的安全管理模式。

3.2 完善过速与断绳联动控制策略

过速与断绳属于高风险故障类型,其控制策略需建立在快速识别与协同响应基础之上。速度检测系统通过多点测量与冗余校验,提高数据准确性与稳定性,避免单点失效对判断结果产生影响。过速判定采用分级阈值控制方式,将预警、限速与紧急制动划分为不同响应层级,实现渐进式控制过程。断绳监测依托张力变化与位移异常信号的联合分析,通过实时比对动态特征,提升故障识别的灵敏度。控制逻辑层对过速与断绳信号进行综合判断,避免单一信号误触发保护动作。执行层在接收到控制指令后,联动驱动系统与制动系统快速响应,实现动力切断与制动动作的同步完成^[1]。系统内部设置反馈机制,对控制效果进行实时校验,确保制动过程符合安全要求。控制策略通过持续优化参数配置与逻辑结构,使保护动作更加精准,提升整体安全控制水平。

3.3 优化越位与制动协同响应机制

越位保护与制动系统之间的协同关系直接影响装置运行安全性,需通过系统化设计实现高效联动。位置检测模块通过高精度传感技术,对运行轨迹进行连续跟踪,确保越位判定具备可靠依据。越位信号触发后,控制系统迅速启动分级响应机制,依据偏移程度确定制动强度与响应方式。制动系统在执行过程中通过调节制动力输出,实现平稳减速与有效制停之间的

平衡,避免因制动冲击引发结构附加应力。控制逻辑将越位信息与速度、张力等参数进行综合分析,形成多条件联动判断,提高响应准确性。执行过程中引入实时反馈调节机制,对制动效果进行动态修正,确保装置在不同工况下均能保持稳定状态。协同机制通过优化控制路径与响应流程,使越位保护与制动动作形成有序衔接,增强系统整体运行的安全性与可靠性。

4 关键故障识别与快速处置机制构建

4.1 异常状态识别模型精细化设计

异常状态识别模型以多源数据融合结果为基础,通过构建多维特征参数体系,对运行过程中的细微变化进行精准刻画。模型设计强调特征提取的层次性,将速度、张力、位移及振动信号进行多尺度分解,提取反映系统状态变化的关键指标。识别过程引入动态阈值与趋势分析方法,对短时波动与持续异常进行区分,避免误判与漏判问题。模型结构采用分层判定逻辑,将初级筛查与深度识别相结合,实现由粗到细的逐级分析。数据处理环节通过算法优化提高计算效率,确保识别结果具备实时性与稳定性。模型参数依据运行数据持续修正,使识别能力与实际工况保持一致,提升对复杂运行环境的适应水平。识别结果直接接入安全保护系统,为后续控制决策提供可靠依据。

4.2 故障分级响应与自动干预方法

故障分级响应机制依据异常程度与影响范围,对运行状态进行层级划分,实现差异化控制策略。轻微异常状态对应预警级响应,通过信号提示与参数调整实现运行修正;中等异常状态触发限制运行措施,控制系统对速度与负荷进行调节,防止风险扩大;严重异常状态直接进入紧急处置阶段,执行动力切断与制动联动操作。自动干预方法通过控制系统与执行机构的深度耦合,实现响应过程的自动化与标准化^[4]。控制指令在多通道传输机制支持下同步下达,减少延迟对处置效果的影响。系统内部设置状态反馈通路,对干预效果进行实时监测,确保响应动作执行到位。分级响应与自动干预相结合,使故障处理过程更加有序,提高整体运行安全保障能力。

4.3 安全保护逻辑的动态调整策略

安全保护逻辑动态调整以运行状态变化为依据,通过实时数据分析对控制策略进行持续优化。逻辑结构采用模块化设计,将各类保护功能划分为独立单元,通过统一调度机制实现协同运行。参数设定引入自适应调节方法,根据负载变化与环境条件对触发阈值进行动态修正,提升保护策略的适配性。控制逻辑通过学习历史运行数据,对常见异常模式进行归纳分析,形成可持续更新的决策规则。系统在运行过程中持续校验保护动作的有效性,对不匹配的逻辑进行调整,避免无效或重复响应。动态调整机制强化保护系统对复杂工况的适应能力,使安全控制由固定模式向智能化调节转变,保障装置在多变环境下保持稳定运行状态。

5 优化方案实施效果与运行稳定性提升

5.1 保护系统响应效率提升表现

保护系统经优化后在信号采集、数据处理及执行控制各环节形成高效衔接机制,整体响应时间明显缩短。多参数协同监测体系使关键状态信息能够同步获取,避免单一信号延迟带来的判断滞后。数据处理模块通过算法优化实现快速判定,减少冗余计算环节,提高控制指令生成效率。通信链路稳定性提升,保障信号传输过程连续可靠,使保护动作触发更加及时。执行机构在控制指令驱动下实现快速响应,制动与动力切断动作协调一致,减少动作间隙。响应过程中的反馈机制进一步完善,对执行效果进行实时校验,确保保护措施有效落实。系统整体表现出响应链条缩短、处理效率提高及动作执行精准等特征。

5.2 故障发生率与停机时间变化情况

优化方案实施后,装置运行过程中潜在隐患能够被提前识别并及时处理,故障发生频率呈现下降趋势。多源信息融合提高异常识别精度,使早期劣化状态得到有效控制,避免发展为严重故障。分级响应机制使不同程度异常均能匹配相应处置措施,降低突发性停机概率。自动干预系统减少人为延误因素,使故障处理过程更加迅速规范。设备运行连续性得到增强,非计划停机时间明显缩短,维护周期趋于稳定^[5]。关键部件运行

状态通过持续监测得到有效掌控,减少因突发失效引发的长时间停运情况。整体运行效率提升,生产组织协调更加顺畅。

5.3 装置安全运行水平综合改善特征

安全保护系统优化后形成多层次防护结构,装置运行稳定性与可靠性同步提升。各保护单元之间实现信息共享与协同控制,安全防护由单点响应转向系统联动,提升整体抗风险能力。运行状态监测精度提高,使设备处于可控范围内,减少不确定因素对运行过程的干扰。控制逻辑动态调整能力增强,使保护策略能够适应不同负载与环境条件变化。装置运行过程中波动幅度减小,关键参数保持在合理区间,运行过程更加平稳。安全管理由被动处置转向主动预防,形成连续监测、及时干预与动态优化相结合的运行模式。

6 结语

安全保护装置优化使架空乘人系统形成多参数感知、联动控制与动态调节相结合的运行模式,关键故障识别能力与响应速度同步提升。各保护环节实现有效协同,异常状态处置更加精准有序,设备运行稳定性明显增强。安全管理逐步由被动防护向主动预警转变,整体运行风险得到持续压降,为井下运输环节提供可靠保障。

参考文献:

- [1] 王东.矿井架空乘人装置安全保护系统优化设计研究[J].矿业装备,2025,(11):67-69.
- [2] 李文照.架空乘人装置安全保护及有效性验证分析[J].能源与节能,2025,(10):194-196.
- [3] 孟泽宇.煤矿架空乘人装置常见运行问题及优化措施研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(8):177-179.
- [4] 李伟.煤矿架空乘人装置无人值守系统设计与应用[J].陕西煤炭,2025,44(5):136-140.
- [5] 刘志国,王鑫.煤矿环境中架空乘人装置的安全性能检测与验证[J].设备管理与维修,2025,(6):103-105.