

DOI: 10.13606/j.cnki.37-1205/td.2025.01.016.

# 煤矿提升机天轮安全运维在线监测系统研究

马智宏

(晋能控股集团煤峪口矿, 山西 大同 037000)

**摘要:**为解决矿井提升机天轮传统运维方式存在的效率较低、运行监控难度较大、安全运维成本较高、智能化不足等问题,本文对煤矿提升机天轮结构组成进行分析,研究了煤矿提升机天轮常见故障机理的基础上,搭建出天轮平台音视频协同安全运维在线监测系统,对硬件系统和软件控制系统进行研究,实现了对天轮振动、偏振、音频信号的全方位采集和实时远程监控运维,搭建出天轮监控评价指标体系。经试验和现场调试后表明,测试得到的天轮端面圆跳动 $\leq 9$  mm,设备异常识别精度达 0.01,响应时间仅为 1.97 s,取得了满意的实验和应用结果。

**关键词:**煤矿提升机;天轮;安全运维在线监测;多传感器

**中图分类号:**TD533 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-0797(2025)01-0091-07

## Research on online monitoring system for safety operation and maintenance of coal mine hoist

MA Zhihong

(Jinneng Holding Group Meiyukou Mine, Datong 037000, China)

**Abstract:** In order to solve the problems existing in the traditional operation and maintenance mode of mine hoist crane, such as low efficiency, difficulty in operation and monitoring, high cost of safety operation and maintenance, and lack of intelligence, this paper analyzes the structure composition of coal mine hoist crane, and builds an online monitoring system for safety operation and maintenance of crane platform based on the study of common fault mechanism of coal mine hoist crane. By studying the hardware system and software control system, the full range acquisition and real-time remote monitoring operation and maintenance of the vibration, polarization and audio signals of the wheel are realized, and the monitoring and evaluation index system of the wheel is built. The results show that the runout of the end face of the sky wheel is less than 9 mm, the accuracy of anomaly recognition is 0.01, and the response time is only 1.97 s. Satisfactory experimental and application results are obtained.

**Key words:** Coal mine elevator; day wheel; online monitoring of safety operation and maintenance; multi-sensor

## 0 引言

近年来,随着我国各行各业对能源需求的不断增大,煤矿的开采强度也在逐年增大,煤矿现场设备的稳定运行成为决定煤矿开采效率和产量的关键因素<sup>[1]</sup>。煤矿提升机是联系煤矿井上和井下设备的咽喉,用于提升和运送人员、设备以及物料,也是联系井上和井下的唯一通道,直接影响着煤矿的产量,在煤矿生产系统中矿井提升机发挥着非常重要的作用<sup>[2]</sup>。天轮是煤矿提升机中的关键部件,主要是用于支撑钢丝绳和引导钢丝绳<sup>[3]</sup>。在提升机运行过程中,天轮非常容易出现轴承振动异常,影响煤矿提升机的平稳运行,煤矿迫切要求对天轮进行安全运维,保证煤矿提升机的稳定运行<sup>[4]</sup>。目前我国煤矿对天轮运维采用的安全防护措施是通过人工定期点检和维护的方式,这种方式存在巡检不到位、轴承异常识别准确度不高、异常难以及时发现以及

振动检测困难等问题,无法保证煤矿提升机天轮的安全可靠运行,并且上天轮和后天轮都是位于提升机的顶部,位置相对较高,天轮平台湿滑且伴随有油污,在巡检过程中容易发生滑跌受伤风险<sup>[5]</sup>。本文通过对煤矿提升机结构组成进行分析,研究了提升机天轮常见故障类型以及特征,搭建出一种天轮平台音视频协同安全运维在线监测系统,利用多种传感器实时采集天轮的运行信号,包括温度信号、振动信号等,并且利用软件控制系统和上位机监控系统实现对天轮的在线监控和远程运维,并且搭建出了天轮安全评价指标体系。

## 1 提升机结构组成与天轮故障机理

### 1.1 提升机结构组成

煤矿提升机承担着煤矿 89% 左右的提升任务,包括对人员、设备和物料的提升,直接联系到井下和井上,是煤矿生产系统中重要的机械设备<sup>[6]</sup>。煤

矿提升机种类较多,包括多绳摩擦式、单绳缠绕式、多绳缠绕式、永磁电机内装式等。不同的提升机都是通过天轮实现钢丝绳的导向,图1为煤矿提升机结构组成示意图。

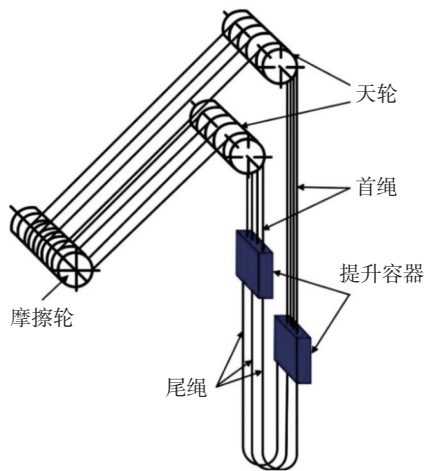


图1 煤矿提升机结构组成示意图

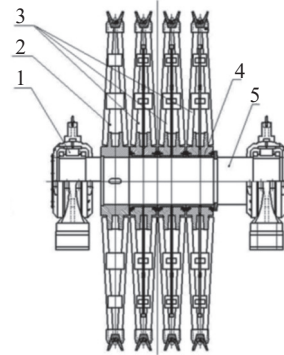
煤矿提升机是由上下天轮、钢丝绳、提升容器、驱动摩擦轮等部分组成,利用电动机驱动摩擦轮拉动和释放钢丝绳运动,将锁紧在钢丝绳上的提升容器实现上提和下放,提升机天轮是保证罐笼正常上下运动的关键,当天轮出现异常时将会直接影响提升容器的平稳性,并且当天轮出现轴承振动异常、天轮偏摆等故障时将会导致钢丝绳的磨损加大,有可能造成钢丝绳断裂而引发坠罐事故<sup>[7]</sup>。天轮在运转时受到反复的交变力作用,以及高空平台的恶劣环境,因此在长时间运行下难免出现不同程度的损耗。传统的人工巡检对人员的经验有很高要求,且高空作业容易引起人身伤害事故。因此,为了实时掌握天轮的运行状态并进行远程运维,提出天轮在线监测系统方案,利用多种传感器采集天轮的各项参数上传到工控机中,并且由软件控制系统实现对异常信号的智能分析和故障诊断,为实现对天轮的远程运维需要研究天轮的结构组成及常见故障类型和特征。

### 1.2 天轮结构组成与常见故障机理

天轮主要用于对钢丝绳进行导向,间接起着支撑罐笼的作用,天轮的稳定运行对于整个提升系统的安全性至关重要。为了研究天轮的故障机理需要分析天轮的结构组成,图2为煤矿提升机天轮结构组成示意图。

工作原理为由轴承座支撑主轴,轴承座内部有滚动轴承,主轴上连接有1个固定轮和3个游动轮,

游动轮和天轮之间是采用滑动轴瓦,游动轮可以和固定轮之间产生相对运动,钢丝绳卡在天轮的绳槽中,底部有耐磨衬垫,通过钢丝绳拉动固定轮转动同时也使得游动轮转动,消除钢丝绳不同线速度对衬垫的磨损作用<sup>[8]</sup>。



1、轴承座 2、固定轮 3、游动轮 4、轴瓦 5、主轴

图2 天轮结构组成示意图

由于煤矿提升机工作环境比较恶劣,长期处于潮湿、多尘等环境中,工作温度范围基本保持在 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ ,提升机天轮承受罐笼的自重以及内部载荷的重量,长期处于重载环境以及内部载荷的冲击等,这些都会导致天轮故障频发。最常见的故障类型有滚动轴承的内部剥落、轴瓦磨损以及轴承主轴的损坏等。表1为提升机天轮常见故障类型与特征。

表1 天轮常见故障类型与特征

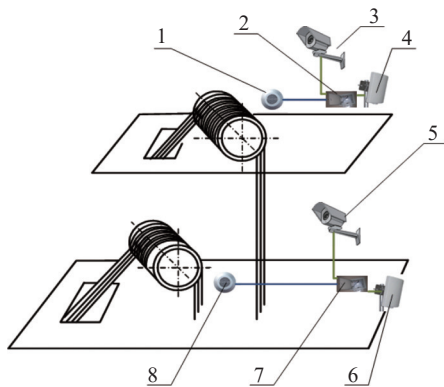
故障位置	故障类型	异常特征	识别方法
轴承座	基础松动	振动严重	振动信号检测
轴承	滚动体点蚀、内外圈损坏、保持架断裂	振动异常,温度升高,异常响动	振动、温度、音频信号采集
主轴	主轴断裂	运转异音	音频采集
天轮衬垫	磨损严重	刚性接触	视频信号采集

煤矿提升机天轮受恶劣环境和提升机运行工况双重作用,导致提升机天轮时常发生各种运行故障,包括存在异音、振动、温度异常等。轴承是提升机天轮的关键部件,连接天轮轴与两端支承的滚动轴承作为天轮系统的重要承载部件,承载着提升机正常运行时的提升载荷、自身重量和工作过程中系统产生的冲击载荷等<sup>[9]</sup>。复杂的重载载荷、恶劣的工作环境以及落后的润滑技术,使其工作表面极易发生点蚀剥落,长期转动过程中容易引起轴承损坏,包括内部点蚀、保持架损坏等引起轴承的振动异常、

声音异常。此外,提升机天轮主轴受到交变载荷作用,应力集中产生微小的裂纹,长期的交变应力作用使裂纹逐渐扩大最终出现突然断裂,为实现对主轴应力检测,需要实时采集主轴的振动信号。

## 2 协同安全运维天轮音视频在线监测系统

天轮一旦出现故障将会直接导致提升机瘫痪,甚至有可能造成人员伤亡。通过对提升机天轮常见故障进行分析可看出,为解决提升机天轮衬垫和轴承座异常特征提取,需要建立音视频协同安全运维检测系统,整个音视频监控系统包括音视频采集发射和音视频接收系统两部分,图3为天轮音视频采集与发射系统方案。

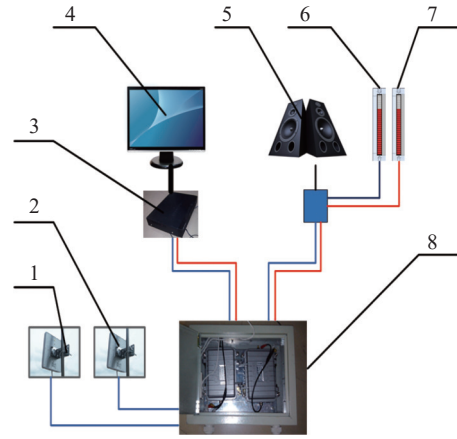


1、上天轮拾音装置 2、上天轮无线模块配电箱 3、上天轮防爆监控摄像头 4、信号发射天线 5、下天轮防爆监控摄像头 6、发射天线 7、下天轮无线配电箱 8、下天轮试音设备

图3 天轮音视频采集发射系统方案

从图3可知,天轮音视频采集与发射系统是由拾音装置、防爆摄像头、无线发射模块以及配电箱等部分组成,通过使用拾音装置和防爆摄像头采集天轮的音频信号和图像信号,根据现场实际情况及安装位置,此处摄像头采用6 mm镜头的红外摄像机,利用配电箱和控制器将采集到的物理信号转变为电信号,由无线发射系统将采集到的电信号发送到接收端。图4为天轮音视频接收系统方案。

由图4中可知,天轮信号接收系统是由无线接收天线、显示器、配电箱等部分组成,通过天轮平台发射出来的音视频信号由天线接收,通过显示器和音响进行播放。监控得到的图像清晰度较高,整个传递过程中信号不会丢失,信号没有延时和压缩损耗、监控中心是通过对音频信号和视频信号进行转换,将采集到的音频信号在室内进行外放可以获取到天轮部位的音频信息。并且现场采集音频的基本原理是由麦克风和放大器组成拾音器最小系统,



1、上天轮信号接收天线 2、下天轮信号接收天线 3、视频监控服务器 4、显示器 5、音响 6、上天轮音频状态显示器 7、下天轮音频状态显示器 8、无线配电箱

图4 天轮音视频接收与智能分析系统方案

通过麦克风拾音电路对混合声音信号进行采集,将实时采集到的混合声音信号转变为音频信号,并且对音频信号进行降噪处理,当音频信号被处理之后此时是可以提取到所需要的异常频率和幅值,这种异常频率会经放大器进行放大后处于低失真状态,所以通过无线接收得到的音频信号能够准确判断异常。

## 3 基于多传感器融合的天轮轴承振动检测系统

天轮是通过左右2个轴承座进行支撑,轴承故障是天轮常见的一种故障形式,并且轴承位于轴承座内部,在日常巡检过程中不易发现,但是轴承在出现异常后直接表现就是轴承的振动<sup>[10]</sup>。为此提出利用多种传感器实时采集提升机天轮的运行状态,包括轴承的振动信号、温度信号、偏振信号以及声音等信号,将采集到的信号进行智能分析和处理,从而实现对信号异常的智能诊断。图5为煤矿提升机天轮监测系统方案。

从图5可看出,在天轮轴承位置安装三向振动传感器,实时采集上天轮和上天轮的东和西轴承,利用电感式位移传感器实时采集上天轮和下天轮的轴承位移信号,通过行程开关和速度传感器实时采集天轮的上行和下行信号,由电流传感器采集天轮的供电信号等,利用多种传感器采集提升机的运行信号,将采集到的物理信号通过中间控制器变为电信号,由数字量隔离输入模块将信号输入到对应的接线端子,由PCI总线输入到工控机,并用LabVIEW搭建软件系统对信号实现显示、存储和诊断等功能。采集发射装置是将采集到的电信号通过

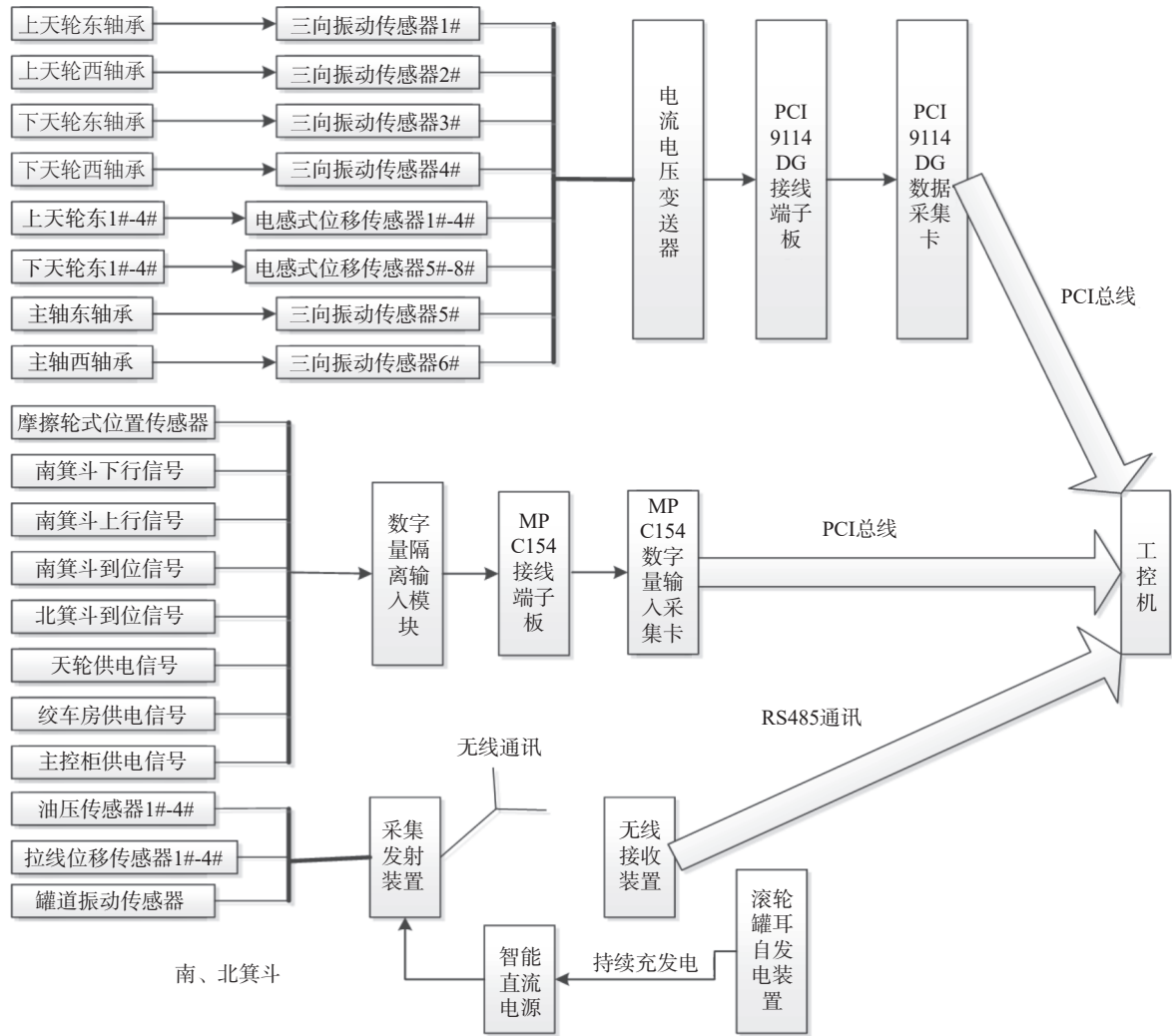


图 5 基于多传感器融合的天轮轴承振动及运行监测方案

天线发射到距离较远的无线接收器端，由 RS485 总线将信号传递到工控机中，利用智能直流电源对采集发射装置进行供电。

## 4 硬件系统与软件控制

### 4.1 硬件系统选型

天轮安全运维在线监测系统使用高灵敏度三向振动传感器与电感式位移传感器分别拾取天轮各轴承座的振动信号与各子天轮的偏摆信号，图 6 为提升机天轮振动参数实时采集系统硬件组成。

从图 6 中可知，采用三向振动传感器拾取天轮各轴承座的振动信号，经过电流电压变送器传至 PCI9114DG 模拟量数据采集卡，由工控机对数据进行处理。其中振动传感器选用 CA-YD-3152 三向振动传感器，内部安装有 IEPE 前置放大器，测量范围为 250 g，频率响应为 4000 Hz，6 V 模拟信号输出，分辨率为 0.006。偏摆位移传感器选用 FD-

R31W，额定电压为 12 V，工作行程为 24，并且额定电流为 220 A。选用 BR-ZS1 声音传感器，输出为 4~20 mA 的噪声输出。选用 PCI9114DG 数据采集卡实现对数据的采集和分析，将接收到的物理信号转变为电信号便于后期进行处理。选用 DS18B20 型温度传感器，测温范围为 -55℃~+125℃，精度为 ±0.5℃，抗干扰能力强，精度高、性能完全满足监测需要。

### 4.2 软件控制系统

为实现对提取到的天轮运行状态进行在线监测与智能分析，需要采用对应的控制算法进行智能诊断。首先对输入的轴承振动信号进行滤波处理并设定阈值，实际采集到的值与设定的阈值进行比较判断，当实际值大于阈值时表面轴承出现异常，图 7 为轴承振动智能诊断算法流程图。

从图 7 可看出，天轮轴承振动异常诊断系统首先是将采集到的振动信号进行简单的滤波降噪，在

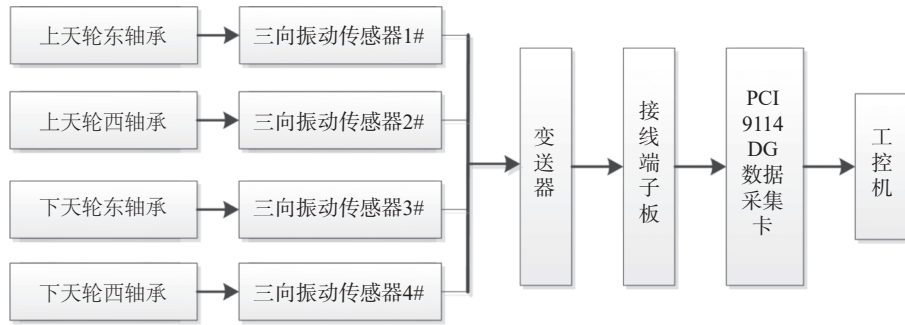


图 6 提升机天轮状态参数实时采集硬件组成

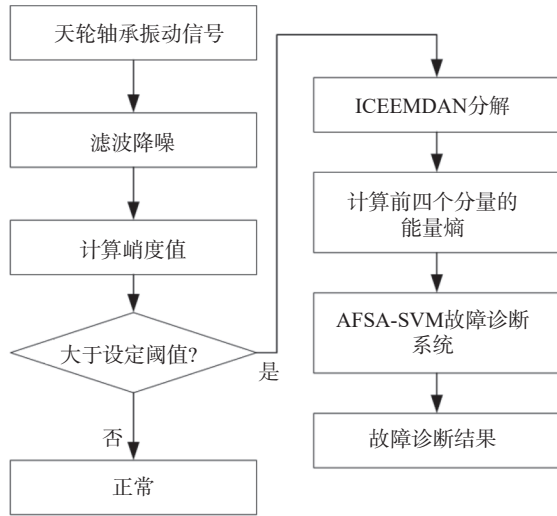


图 7 轴承振动异常智能诊断算法流程图

系统中预设一个阈值作为标准，随后是计算实际输入信号的峭度值，当最终计算值大于设定的阈值，就对信号进行详细的诊断。对待诊断的信号进行分解，计算分量的能量熵，并以此构建用于测试的特征向量。将测试集输入优化训练好的诊断系统中进行诊断，从而得到故障诊断结果。由振动传感器采集到的振动数据与主轴振动信号进行对比，最终形成天轮振动相对评价指标，表 2 为天轮振动相对诊断标准。

### 5 系统调试与现场应用效果

为验证提升机天轮安全运维在线监测系统效果，在山西省某煤矿井下进行试验和调试，以现场使用的 CD1 多绳摩擦式提升机作为试验对象，首先将选择的振动传感器布置在提升机天轮轴承座对应位置，上天轮和上天轮共 4 个轴承座，采用 4 个振动传感器安装在轴承座的轴向上。选用的偏振位移传感器用于采集天轮的偏振信号，安装在 8 个天轮轴向位置。将选择的 2 个声音传感器安装在上天轮和上天轮的平台，用于采集天轮的声音信号，图 8 为振动

表 2 提升机天轮相对诊断标准

主轴东轴承 (SKF-241/800 ECAK 30/W33)						
故障类型	内环故障	外环故障	滚动体故障1	滚动体故障2	保持架	备注
特征频率 (HZ)	9.431	7.435	6.216	3.108	0.338	
	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	水平
	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	轴向
	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	垂直
测试特征值 (V)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	三向最大
	0.025	0.026	0.025	0.025	0.025	水平
	0.03	0.028	0.028	0.025	0.025	轴向
	0.03	0.03	0.025	0.027	0.025	垂直
	0.03	0.03	0.028	0.027	0.025	三向取最大
测试特征值 (g)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	三向取最大 (空载)
	0.006	0.006	0.0056	0.0054	0.006	三向取最大 (重载)
基准特征幅值 (g)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	取最大 (空载, 重载)
故障特征频域	0~10 HZ					
频域基准幅值	0.006 g, 实际取0.01 g					
健康判据	频域最大特征幅值<0.01 g					
亚健康判据	0.01 g<=频域最大特征幅值<0.04 g					
故障判据	0.04 g<=频域最大特征幅值					

传感器安装示意图。

传感器安装完成后将振动、偏振以及声音信号实时采集并将信号经过调理电路之后输入到 LabJackT 系列数据采集卡，采集到的现场的温度信号输入至温度采集变送器、采集到的振动信号输入到振动变送器，由工业交换机与工控机进行连接，从而实现数据的实时传输。本监控系统的软件在工控机上运行，从而实现了数据的处理、显示、存储及故障诊断等功能。硬件系统安装完成后将软件控制系统连接到上位机监控端，实现对现场采集到的

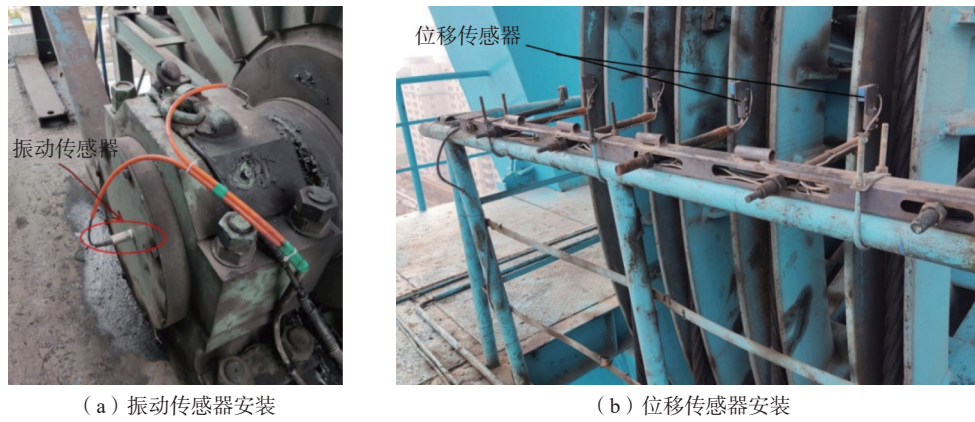


图8 传感器现场安装

信号高清显示。图9为天轮安全运维在线监测系统应用效果图。

通过现场应用,天轮安全运维在线监测系统实现对矿井提升机运行状态的在线监测和智能诊断,不仅对提升机天轮进行有针对性的监控,也能够对提升机的主轴、提升载荷、罐笼的运行状态实现了实时监控,采集状态参数并进行智能分析,提高了

设备的智能化程度,提升机的运行更加可靠安全。从2023年8月将天轮安全运维在线监测系统应用到现场,经过一段时间的调试后表明,提升机天轮端面圆跳动 $\leq 9\text{ mm}$ ,设备异常识别精度达0.01,当现场出现轴承振动异常时,实际的响应时间仅为1.97 s,可以实时获取现场的运行状态,取得了满意的应用结果。

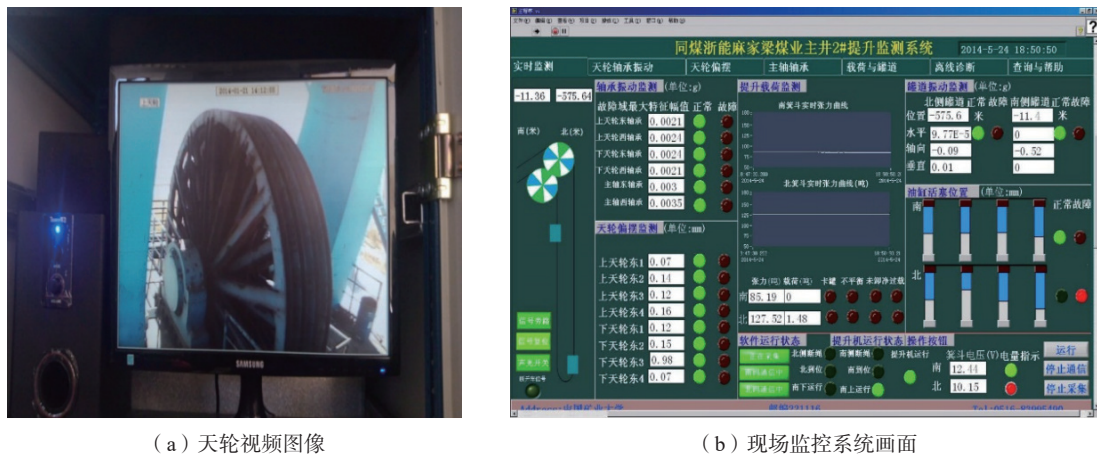


图9 提升机天轮在线监测系统应用现场

## 6 结 语

针对煤矿提升机天轮传统检测方式存在效率较低、检测结果不准确、危险系数较高等问题,本文通过对煤矿提升机天轮结构组成进行分析指出了天轮常见故障类型及形成机理,搭建出天轮平台音视频协同安全运维在线监测系统,利用多种传感器融合对天轮轴承振动进行监测,完成了硬件系统选型和软件控制系统设计,最终实现了对天轮轴承振动、偏摆位移以及视频信号的实时采集与智能分析,并建立了天轮轴承振动健康指标。经现场调试和应用

后表明提升机天轮安全运维在线监测系统可以实现对提升机天轮的高灵敏度监测与远程运维,检测得到的数据与现场一致。

### 参考文献:

- [1] 高志康,李玉辉,刘坤良.多绳摩擦式提升机天轮装置常见故障及解决方案[J].矿山机械,2022,50(8): 24-28.
- [2] 张光辉.多绳摩擦式提升机天轮智能监测系统研究及应用[J].机械管理开发,2022,37(4): 249-250,253.

(下转第101页)

范围,进一步验证了本文方法的可行性。

## 5 总结

提出了一种煤矿供电系统在线无功补偿提高功率因数的方法,该方法能够很有效的提高系统功率因数,可以有效的改善煤矿供电系统的供电质量,提高供电系统的可靠性,降低电网网损,降低煤矿经济的损失,有利于我国煤矿产业的可持续发展。因此,具有一定的经济价值和实用价值,并且为今后在线提高功率因数的设计方案提供了一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 邓雷,郭兆明.煤矿主要通风机配电系统双电源切换装置应用研究[J].能源与环保,2021(10): 264-269.
- [2] 许志文.煤矿地面供配电系统方案设计[J].能源与节能,2021(12): 141-142,221.
- [3] Kirill Varnavskiy, QingGuang Chen, Fedor Nepsha. Structure orderliness assessment of grid development to improve the reliability of coal mine external electrical power supply[J]. Electric Power Systems Research, 2020, 183.
- [4] Xiucui Guo, Pengfei X, Xiaoping Shao. Comprehensive evaluation of power quality of coal mine power grid based on equilibrium empowerment and improved grey relational projection method[J]. Energy Reports, 2022, 8(4): 1680-1688.
- [5] 李宏生.矿井电力系统无功功率补偿技术的应用研究[D].华北电力大学(北京),2011.
- [6] 倪少军,李双良.煤矿井下供电系统无功补偿和功率因数

调节方法[J].煤矿机械,2022(3): 139-142.

- [7] 陈辉,闫新,吴思宇.南水北调中线工程专网供电系统无功补偿方式[J].人民黄河,2019,41(6): 142-145.
- [8] 常栋梁,何立柱,李洋,等.配电网功率平衡调节与无功补偿研究及装置[J].电力系统及其自动化学报,2019,31(4): 132-138.
- [9] S. Geng, Q. Ding, B. Cai, et al. Research on multi-objective monitoring system of power network in coal mine[J]. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, 2012, pp. 1-5.
- [10] 郝小绘.煤矿井下供电设计可视化软件系统理论研究与应用[D].太原理工大学,2011.
- [11] 郭强.煤矿井下综合自动化系统的设计[J].机械管理开发,2022(4): 319-320,330.
- [12] 王占飞,刘小东,张登山,等.煤矿智能化数字变电所建设基本要求与实施条件[J].煤炭科学技术,2015(S2): 108-112.
- [13] 安学君,舒新建.电力电子技术在现代化煤矿企业中的应用[J].煤炭技术,2012(1): 46-47.
- [14] 臧海祥,郭镜玮,黄蔓云,等.基于深度迁移学习的时变拓扑下电力系统状态估计[J].电力系统自动化,2021,24: 49-56.
- [15] 徐恒山,李文昊,赵铭洋,等.基于最小二乘和自适应蛇优化算法的直驱风机 LVRT 特性辨识[J].电力系统及其自动化学报: 1-12.

### 作者简介:

王海川(1978-),男,山西长治人,高级工程师,2016年毕业于中国矿大采矿工程专业,从事煤矿技术管理工作。

(收稿日期:2024-1-29)

(上接第96页)

- [3] 王晓花.矿用提升机天轮常见故障现象分析与监测方法研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(5): 57-59.
- [4] 滕虎.提升机天轮状态监测与故障诊断研究[D].中国矿业大学,2023.
- [5] 韩璐.多绳摩擦式提升机天轮智能监测系统研究应用[J].能源与节能,2021(12): 179-181.
- [6] 尚双贵.煤矿提升机天轮故障分析及监测方法研究[J].能源与环保,2021,43(8): 147-149,153.
- [7] 史小凤.矿用多绳摩擦式提升机天轮监测装置应用[J].机械管理开发,2023,38(6): 299-300.
- [8] 蔡晓炜,徐靖雯,杨朋霖,等.提升机天轮状态监测与故障

诊断系统[J].煤矿机械,2020,41(1): 160-162.

- [9] 张潇涵.矿井提升机天轮健康诊断与预测[D].中国矿业大学,2019.
- [10] 陈建红,宋玉鹏,张衍阳,等.多绳摩擦式提升机天轮在线监测系统研究[J].煤炭科技,2015(3): 59-60.

### 作者简介:

马智宏(1994-),女,山西大同人,2019年毕业于辽宁工程技术大学机械制造及其自动化专业,本科,助理工程师,从事安全方向工作。

(收稿日期:2024-1-8)