

文章编号:1671-251X(2020)06-0048-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17595

矿用带式输送机智能监测系统研究

毛清华^{1,2}, 毛金根^{1,2}, 马宏伟^{1,2}, 张旭辉^{1,2}, 李铮³

- (1. 西安科技大学 机械工程学院, 陕西 西安 710054;
2. 陕西省矿山机电装备智能监测重点实验室, 陕西 西安 710054;
3. 宁夏广天夏电子科技有限公司, 宁夏 银川 750001)



扫码移动阅读

摘要:针对矿用带式输送机运行过程中存在的托辊、滚筒等关键部件与输送带摩擦发热,钢丝绳芯输送带内部损伤与撕裂,运行功耗大等问题,设计了一种矿用带式输送机智能监测系统。该系统包括基于弱磁检测法的钢丝绳芯输送带损伤监测系统、基于红外热成像温度检测法的带式输送机关键部件故障诊断与预警系统和基于视觉检测法的煤流监测、异物监测、胶带撕裂监测及人员安全监测系统,详细介绍了各系统的实现原理。对钢丝绳芯输送带内部损伤识别及带式输送机关键部件故障诊断预警进行了实验验证,结果表明该系统对钢丝绳芯输送带损伤识别的准确率约为98%,且可准确识别带式输送机关键部件故障并发出预警。

关键词:矿用带式输送机;智能监测;输送带损伤监测;输送带撕裂监测;煤流监测;人员安全监测;故障诊断与预警

中图分类号:TD634.1 文献标志码:A

Research on intelligent monitoring system of mine-used belt conveyor

MAO Qinghua^{1,2}, MAO Jingen^{1,2}, MA Hongwei^{1,2}, ZHANG Xuhui^{1,2}, LI Zheng³

- (1. College of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;
2. Shaanxi Key Laboratory of Mine Electromechanical Equipment Intelligent Monitoring, Xi'an 710054, China;
3. Ningxia Guangtianxia Electronic Technology Co., Ltd., Yinchuan 750001, China)

Abstract:In view of the friction and heating between conveyor belt and key components such as idlers and rollers, the internal damage and tear of steel conveyor belt, and high running power consumption in operation process of mine-used belt conveyor, an intelligent monitoring system of mine-used belt conveyor was designed. The system includes damage monitoring system of steel conveyor belt based on weak magnetic detection method, fault diagnosis and early warning system of key components of belt conveyor based on infrared thermal imaging temperature detection method, and coal flow monitoring, foreign matter monitoring, belt tear monitoring and personnel safety monitoring system based on visual detection method, and implementation principle of each system is introduced in detail. The internal damage identification of steel conveyor belt and fault diagnosis and early warning of key components of belt conveyor are verified by experiments. The results show that the system can accurately identify damage of steel conveyor belt with an accuracy of about 98%, and can accurately identify faults of key components of belt conveyor and give early warning.

收稿日期:2020-05-07;**修回日期:**2020-05-22;**责任编辑:**王晖,郑海霞。
基金项目:国家自然科学基金面上项目(51875451);陕西省创新能力支撑计划资助项目(2018TD-032);陕西省矿山机电装备智能监测重点实验室开放基金资助项目(SKL-MEEM201909)。
作者简介:毛清华(1984—),男,江西吉安人,副教授,博士,主要研究方向为煤矿机电设备智能检测与控制、电磁无损检测、故障诊断等,E-mail:403675968@qq.com。
引用格式:毛清华,毛金根,马宏伟,等. 矿用带式输送机智能监测系统研究[J]. 工矿自动化,2020,46(6):48-52.
MAO Qinghua, MAO Jingen, MA Hongwei, et al. Research on intelligent monitoring system of mine-used belt conveyor[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(6): 48-52.

Key words: mine-used belt conveyor; intelligent monitoring; damage monitoring of conveyor belt; tear monitoring of conveyor belt; coal flow monitoring; personnel safety monitoring; fault diagnosis and early warning

0 引言

矿用带式输送机是煤矿主运输设备,其运行过程中存在托辊、滚筒等关键部件与输送带摩擦发热,易发生钢丝绳芯输送带内部损伤与撕裂,运行功耗大等问题,导致输送带着火、断带事故和电能浪费。为保证矿用带式输送机安全、可靠、节能运行,迫切需要研发矿用带式输送机智能监测系统。

目前对矿用带式输送机监测的研究主要从钢丝绳芯输送带损伤监测、关键部件故障诊断与预警、异物监测和输送带撕裂监测、煤流监测及人员安全监测等方面进行^[1-3]。

针对钢丝绳芯输送带损伤监测问题,目前主要有人工检测、X射线检测和弱磁检测等方法^[4-6]。人工检测法主要对接头变形进行简易检测,这种方法检测不准确,且不能实现在线检测。X射线检测法是一种基于射线投影成像及图像处理的无损探伤技术,比较成熟。但是X射线对人体有害且检测速度不高,无法对输送带钢丝绳芯疲劳损伤进行检测。弱磁检测法具有检测精度高、速度快等特点,对人体无害,且可以实现输送带钢丝绳芯疲劳损伤检测。

针对矿用带式输送机电动机、托辊、滚筒等关键部件故障检测问题,目前主要有接触式温度检测法^[7]和非接触式红外热成像温度检测法^[8-9]。接触式温度检测法需布置大量温度传感器,系统复杂,难以维护。非接触式红外热成像温度检测法具有响应速度快、灵敏度高、精度高等优点,可实现高温、高速等无法接近目标设备情况下的温度测量^[10]。

针对矿用带式输送机煤流监测问题,目前主要有超声波检测和视觉检测等方法^[11-12]。超声波检测法能够实现煤流监测,但是检测误差较大。视觉检测法可以实现煤流准确检测,是目前较先进的煤流检测方法,同时,被广泛应用于带式输送机异物、输送带撕裂和人员安全监测^[13-15]。

本文采用弱磁检测技术、红外热成像技术和视觉检测技术等,研发了一套矿用带式输送机智能监测系统,对矿用带式输送机安全、可靠、节能运行和煤矿安全生产具有重要意义。

1 系统总体方案

矿用带式输送机智能监测系统总体方案如图1所示。该系统集钢丝绳芯输送带损伤监测、关键部

件故障诊断与预警、异物和输送带撕裂监测、煤流监测及人员安全监测于一体。

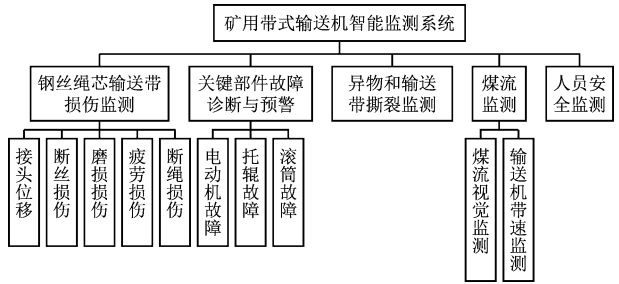


图1 矿用带式输送机智能监测系统总体方案
Fig.1 Overall scheme of intelligent monitoring system of mine-used belt conveyor

- 系统主要功能如下:
- (1) 钢丝绳芯输送带损伤监测:对钢丝绳芯输送带接头位移和断丝、磨损、疲劳、断绳等损伤进行监测,预防断带事故发生。
 - (2) 关键部件故障诊断与预警:对电动机、托辊、滚筒等关键部件进行故障诊断与预警。
 - (3) 异物和输送带撕裂监测:对异物和输送带撕裂进行监测,有效预防横向断带突发事件。
 - (4) 煤流监测:对输送机上的煤流量进行在线监测,并结合带式输送机调速控制系统,实现带式输送机智能调速。
 - (5) 人员安全监测:对输送机机头、机尾等高危区域人员进行实时监测,预防人员安全事故发生。

2 系统关键技术

2.1 钢丝绳芯输送带损伤监测

钢丝绳芯输送带损伤主要是输送带硫化接头损伤和输送带内部受损,产生的损伤有接头位移、断丝、磨损、疲劳等。采用弱磁检测法研发了钢丝绳芯输送带损伤监测系统,如图2所示。首先,采用磁加载模块对钢丝绳芯输送带进行磁化。其次,通过系统实时采集输送带内部损伤信号。然后,对损伤信号进行降噪处理,并对降噪信号进行特征提取。最后,通过以太网将弱磁检测信号实时传输到上位机,实现钢丝绳芯输送带损伤智能识别。

2.2 带式输送机关键部件故障诊断与预警

利用红外热成像温度检测法,结合计算机图像处理及识别技术,研发了带式输送机电动机、托辊和滚筒等关键部件故障诊断与预警系统,如图3所示。首先,通过红外热成像仪采集电动机、托辊和滚筒的红外图像。然后,通过对红外图像进行预处理、图像

分割、特征提取和分类识别,分别获得电动机、托辊和滚筒的温度场图像。最后,根据红外图像的温度特征,从故障库中调用故障诊断规则进行故障诊断和预警。

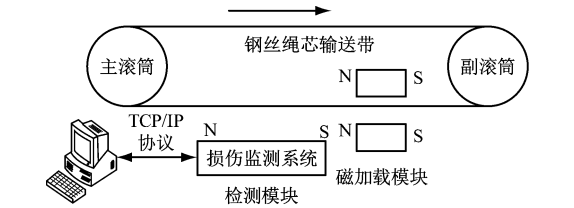


图 2 基于弱磁检测法的钢丝绳芯输送带损伤监测系统
Fig. 2 Damage monitoring system of steel conveyor belt based on weak magnetic detection method

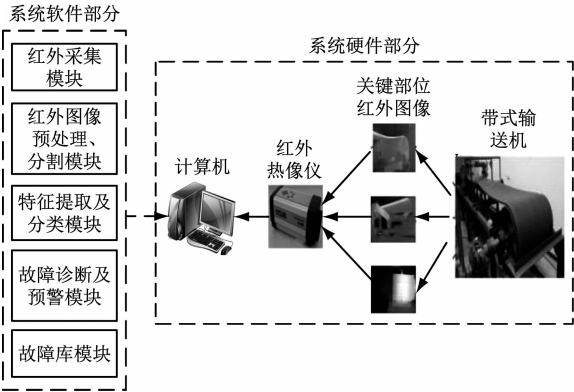


图 3 带式输送机关键部件故障诊断与预警系统
Fig. 3 Fault diagnosis and early warning system of key components of belt conveyor

带式输送机关键部件故障诊断与预警流程如图 4 所示。通过红外热成像仪沿巡检路径对各监测点处的带式输送机关键部件红外图像进行采集,获取图像最高温度值 $T_{\max}$,若 $T_{\max} > 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明该处部件可能存在热故障,则对关键部件进行识别,根据识别的部件类型,从故障库中调用相应的故障诊断规则,进行故障诊断和故障等级划分,若运行正常,则继续采集下一监测点处的红外图像,若存在故障,则依据故障等级的不同,采取相应的处理措施;若 $T_{\max} < 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明该处部件运行正常,继续采集下一监测点处关键部件的红外图像。

2.3 煤流监测

研发了基于视觉检测法的煤流监测系统,如图 5 所示,其中 w 为煤的宽度, h 为煤的高度。

通过防爆相机采集煤流图像,基于图像纹理特征数据计算输送带空载时 2 个像素点之间的实际距离,融合多帧统计分析和三维视觉手段,根据运煤时输送带凹槽煤的截面面积分析得出单位时间内通过的煤流体积,并结合煤的散密度,计算得出单位时间的煤流量。最后,结合带式输送机运行速度,得出带式输送机的累计煤流量。

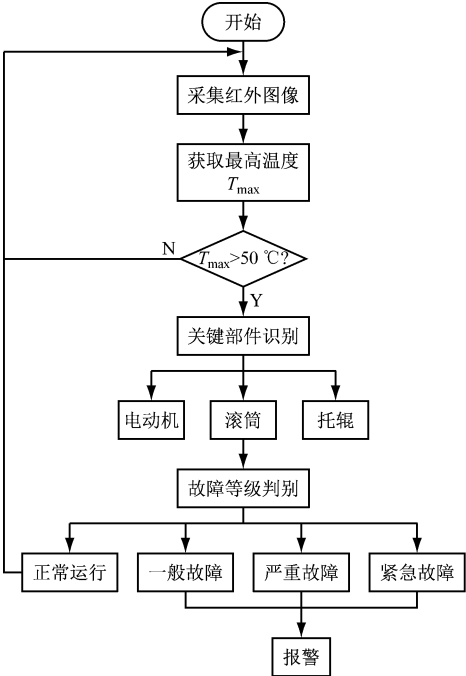


图 4 带式输送机关键部件故障诊断与预警流程
Fig. 4 Fault diagnosis and early warning process of key components of belt conveyor

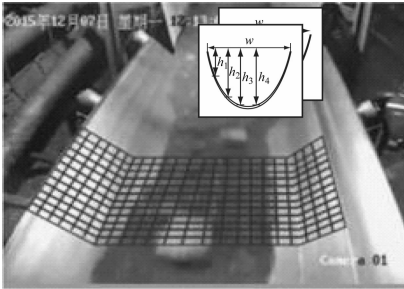


图 5 基于视觉检测法的煤流监测系统
Fig. 5 Coal flow monitoring system based on visual detection method

研发了基于煤流量监测的带式输送机远程监测系统,如图 6 所示。利用创建的煤流量检测模型计算输送带的煤流数据,通过嵌入式煤流量调节检测分析器发出的触发信号控制变频器调速,实现带式输送机智能调速控制,从而减少带式输送机电能损耗。

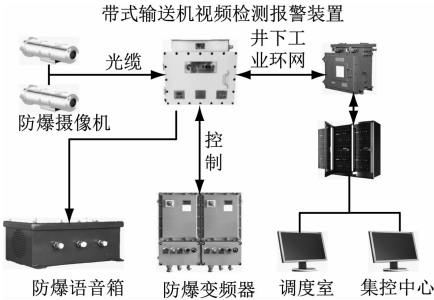


图 6 基于煤流量监测的带式输送机远程监测监控系统
Fig. 6 Remote monitoring and control system of belt conveyor based on coal flow monitoring

2.4 异物监测和输送带撕裂监测

运用视觉检测技术识别输送带锚杆等异物和输送带撕裂。异物识别流程如图 7 所示,运用傅里叶描述子提取异物形状特征,用 BP 神经网络方法对异物进行识别,实现了对落料仓处非煤异物的检测与报警,并及时通知煤矿现场工作人员处理,预防输送带撕裂事故发生。

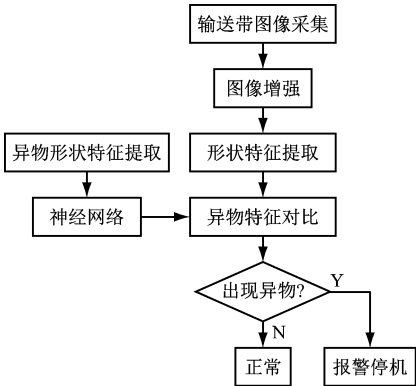


图 7 异物识别流程

Fig. 7 Flow of foreign matter recognition

输送带撕裂识别流程如图 8 所示,根据图像灰度落差提取输送带撕裂裂缝处的轮廓。首先,对图像进行增强,然后通过 Canny 边缘检测法识别输送带撕裂边缘,最后根据输送带撕裂面积判断是否发生撕裂,从而实现输送带撕裂的识别和报警。

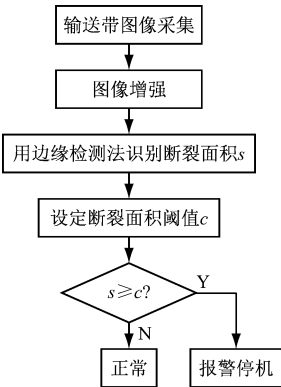


图 8 输送带撕裂识别流程

Fig. 8 Flow of conveyor belt tear identification

2.5 带式输送机人员安全监测

井下操作人员靠近带式运输机时,容易发生安全事故,必须在带式输送机的机头、机尾等高危区域进行人员安全监测,当有人进入这些高危区域时,发出警报或者使设备停机。基于视觉检测法的人员安全监测原理如图 9 所示。利用机器视觉技术,设置 2 道虚拟绊线,当人员触及第 1 道虚拟绊线时发出语音警报,当人员触及第 2 道虚拟绊线时带式输送机停机。

3 实验验证

为了验证矿用带式输送机智能监测系统的有效



(a) 触及第 1 道虚拟绊线 (b) 触及第 2 道虚拟绊线

图 9 人员安全监测原理

Fig. 9 Personnel safety monitoring principle

性,搭建了系统实验平台,如图 10 所示。该实验平台长为 11 m,宽为 0.8 m。限于篇幅,只对钢丝绳芯输送带内部损伤监测及带式输送机关键部件故障诊断与预警进行了验证。



图 10 带式输送机智能监测系统实验平台

Fig. 10 Experiment platform of intelligent monitoring system of belt conveyor

3.1 钢丝绳芯输送带损伤监测

通过弱磁监测系统获取 168 个输送带接头位移、断丝和疲劳 3 类损伤样本信号。提取样本信号的峰值、均方根值、方差、峭度和波宽共 5 个时域特征。采用粒子群优化的二叉树模糊支持向量机对接头位移、断丝和疲劳 3 类损伤弱磁信号的 168 个样本进行分类识别,其中 84 个样本用于训练,另外 84 个样本用于测试。识别结果如图 11 所示。结果表明,粒子群优化的二叉树模糊支持向量机有效地对钢丝绳芯输送带损伤进行分类识别,识别正确率约为 98%。

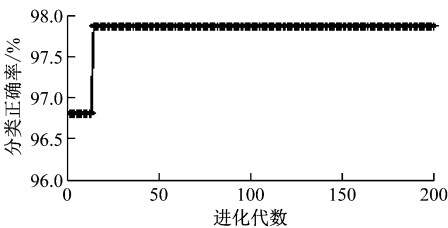


图 11 钢丝绳芯输送带损伤识别结果

Fig. 11 Damage identification result of steel cord conveyor belt

3.2 带式输送机关键部件故障预警

以托辊为对象,对带式输送机关键部件故障诊断与预警系统进行验证。启动实验平台,利用红外热成像仪沿巡检路径采集带式输送机托辊正常运行时的红外图像,将红外图像传输到上位计算机,并对红外图像进行分割和分类识别,界面如图 12 所示。

- conveyer belt[J]. Journal of China Coal Society,2003,28(1):91-95.
- [12] 张丽. 一种带式输送机物料流量多点超声检测方法[J]. 工矿自动化,2017,43(5):62-65.
ZHANG Li. A multi points ultrasonic detection method for material flow of belt conveyor [J]. Industry and Mine Automation,2017,43(5):62-65.
- [13] 闫来清. 基于机器视觉的输送带纵向撕裂在线检测系统研究与实现[D]. 太原:太原理工大学,2012.
YAN Laiqing. A study and implementation of on-line detection system for longitudinal rip of conveyor belt based on machine vision [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology,2012.
- [14] 李荣生,姚彬,李世奇. 选煤厂带式输送机防伤人安全保护系统设计[J]. 工矿自动化,2012,38(7):67-70.
LI Rongsheng, YAO Bin, LI Shiqi. Design of anti-assault safety protection system of belt conveyor in coal preparation plant [J]. Industry and Mine Automation,2012,38(7):67-70.
- [15] 毛清华,张大伟,张旭辉,等. 煤矿用钢丝绳芯输送带断带和撕带机理及检测方法研究进展[J]. 矿山机械,2011,39(7):70-73.
MAO Qinghua, ZHANG Dawei, ZHANG Xuhui, et al. Study progress on breaking and tearing mechanism of steel-corded conveyor belts used in collieries and detection methods [J]. Mining & Processing Equipment,2011,39(7):70-73.