

皮带机智能巡检系统的研究与运用

曾耀虎

华电曹妃甸储运有限公司 河北 唐山 063210

【摘要】煤炭专业码头输送系统巡检工作作为港口业务的重要部分，作业任务繁重，条件环境恶劣，目前仍然采用传统的人工作业方式，存在安全性低，作业环境差，漏报现象严重，无法及时快速追踪现场情况等诸多问题。无人值守智能巡检系统集日常巡检、设备监控、环境监测、火灾预警、故障预警和报警、数据采集和传输于一体，实时向控制中心传输巡检数据，并接收控制中心发出的巡检指令。结合现场原有的设备和系统进行辅助判断，提高故障识别的准确率，提高运行的工作效率和质量，真正实现减员增效、安全可靠运行，全面提升设备管理水平。

【关键词】无人值守；智能巡检；Mini 机器人；皮带撕裂检测

1.背景

近年来，信息技术和人工智能蓬勃发展。智能巡检系统可以有效代替人工巡检，弥补了固定式、离散式在线监测系统不能实现对输送机系统的完全覆盖，发生紧急情况时无法将现场情况第一时间最清晰地采集到监控中心，无法在必要时对输送机的特定部位采取有效处理措施等不足。而且可以在第一时间将现场的视频、图像报警等数据发送回指挥中心，起到更好的防灾减灾效果^[1]。华电曹妃甸储运公司为响应华电集团公司“五三六战略”和“十四五”发展规划号召，提出了“国际先进、国内一流、安全高效、绿色智能”建设目标，并且在工程建设中采用皮带机智能巡检系统。BH3-2 皮带机率先垂范，以无人值守智能巡检系统打开华电储运智慧码头的大门，为建设具有竞争力的世界一流企业赋能。

2.智能巡检系统组成

华电曹妃甸储运 BH3-2 无人值守智能巡检系统由智能巡检机器人及配套系统、撕裂检测装置、无线测温测振模块、人员安全监测系统、上位机工作站、系统软件及其他相关设备组成。实现皮带机环境监测、可燃气体检测、粉尘检测、温湿度检测、振动检测、异响检测、胶带跑偏实时检测、胶带纵向撕裂检测、胶带撕边检测、撒料检测、皮带打滑检测、人员越界和安全帽佩戴检测等系列功能。

2.1 智能巡检机器人

智能巡检机器人本体搭载环境监测传感器、双目摄像机（包括可见光摄像头、红外热成像仪）、双向语音系统、声光报警系统、智能化辅助单元等，实现对皮带机环境监测、设备状态监测（温度检测、异响检测）、智能辅助巡检功能（自动巡检功能与自主学习功能、双向语音和人机交互、自动充电功能、精确定位）。智能巡检机器人达到 IP66 防护等级，具备防尘、防潮、防

腐蚀等功能，防风等级能够抵御不低于 7 级风力，可以应对各种复杂环境^[2]。

2.1.1 卧轨式巡检机器人参数：

转弯半径	1000mm
防护等级	IP66
运动环境	环境温度：-20℃~+60℃ 环境相对湿度：5%~95%
可见光	分辨率为 2500*1600；
红外热成像	测温精度±2℃热成像分辨率 388*214
拾音系统	灵敏度≥-30dB
环境探测	温湿度、CO、粉尘浓度
智能视觉	设备状态异常、声音异常、温度异常、设备缺陷识别；

2.1.2 通讯系统

无线通讯系统采用 5.8G 网桥通讯方式，该通讯方式采用了稳定可靠的无线网络链路和云链路，支持视频、语音和多协议数据同时传输，单个基站的带宽和接入容量大，具备良好的应用扩展能力。智能巡检机器人行驶中能够稳定传输监控视频、语音或控制数据，避免丢失数据包或产生较大的延时。实现机器人与上位机软件之间的通信，实现图像等数据传输和运动控制命令传输。为保证无线通讯系统的可靠性，每个基站配置通讯控制箱一套。

2.1.3 专用轨道

安装轨道采用铝型材为原材料，具有支持快速安装调试、抗挠性强、耐腐蚀等优点，配备可调轨道吊架，保证设备在现场安装便捷、可靠。

2.2 撕裂检测装置

SAN-SLIC-2400 输送带纵撕检测装置,由上位机、控制主机、本安型激光发射器(以下简称“发射器”)、KBA12 本安型摄像仪(以下简称“摄像仪”)、隔爆电机等组成。装置可实现输送带图像实时显示、输送带纵向撕裂自动分析报警,历史图像查看等功能于一体,组成设备性能可靠稳定,结构简单,是工矿企业输送带纵向撕裂检测的理想产品。

2.3 无线测温测振模块

无线测温测振模块可实现重点部位振动检测功能,无线温度振动采集器读取温度振动探头的数据通过专用无线网络传递给无线温度振动接收器,无线温度振动接收器可汇总同网络下所有温度振动探头数据,再将收集到的数据传递给上位机。温度数据与振动数据同时显示在后台系统中。

设备参数:

参数名称	性能参数
供电电压	3.6V (DC)
功率	20dbm (MAX)
测量方向	三轴
频率测量范围	10-1600Hz
温度测量范围	-40-150℃
精度	±1.5%和 0.5℃
供电方式	电池
电池寿命	24 (月)
防爆等级	矿安型
防护等级	IP67
外形尺寸	Φ 40mm×70mm
安装方式	螺栓或磁吸

2.4 人员安全监测系统

通过机器人上自带的高清摄像头及固定式高清变焦相机,实现功能包括:人员越界检测、安全帽检测。远距离人员越界检测摄像头,使用 1080P 网络红外高清夜视摄像机,通过 YOLOV5 目标识别算法,可全天实现 50 米范围内人员识别,并结合图像处理技术,可判断

人员越界情况。

2.5 系统软件

上位机通过 JAVA 和 javascript 语言进行开发,底层导航 C++语言为平台,可以兼容其他编程语言,打破了对未来扩展升级的局限性。上位机系统采用 BS 架构,可以在 Windows 和 Linux 上完美运行,跨平台工作可以保证稳定性。系统可连接多台机器人,可自由控制巡检机器人的运行状态,现场截图及视频录制;并利用红外摄像对设备进行温度检测^[3]。

上位机可以通过 TCP 协议和 HTTP 协议对读取的高清图像和异常图像进行实时高效的传输;并且将检测到的异常数据实时数据保存并上传至上位机的数据库;上位机可以对现场设备进行测温测振的实时监测;对于数据存储,上位机可以将检测数据及报警数据实时存储,生成数据趋势图,并进行数据查询;系统可查询指定时间段所有报警数据,导出数据报告至本地;系统可进行用户管理注册,用户登录日志查询等。

3.智能巡检系统功能

3.1 皮带机环境监测

通过安装定点摄像头和巡检机器人的方式,对现场的环境进行全方位视频覆盖。巡检机器人自身携带的环境监测模块,具备监测环境中的可燃气体、温度、湿度、粉尘等环境信息。机器人实时采集的环境信息及时传输到控制中心,为操控人员提供现场环境信息,当监测到有害气体超标时,系统将进行报警,并联系运维人员及时进行处理。

3.1.1 可燃气体

巡检机器人的可燃气体检测,基于电化学原理采用检测高稳定性气体传感器、高性能微处理器,精确的自动化标定、检测设备,减少了人为因素干扰。对所有可燃气体的响应有广谱性,在空气中对可燃气体爆炸下限浓度以下的含量,其输出信号接近线性;对非可燃气体没有反应,只对可燃气体有反应,无干扰;不受水蒸气影响,对环境的温湿度影响不敏感,适于工业环境。

可燃气体包括:甲烷、丙烷、异丁烷、异辛烷、甲醇、氢、氨、乙烯等气体。

3.1.2 粉尘检测

巡检机器人的粉尘检测采用激光散射原理,即令激光照射在空气中的悬浮颗粒物上产生散射,同时在某一特定角度收集散射光,得到散射光强随时间变化的曲线,进而微处理器利用基于米氏 (MIE) 理论的算法,得出

颗粒物的等效粒径及单位体积内不同粒径的颗粒物数量。该工作原理能得到空气中 1~100 微米悬浮颗粒物质量浓度,数据稳定可靠,数字化输出,集成度高。寿命是激光粉尘传感器的关键指标之一,我方使用高质量长寿命的进口激光器与感光部件,使用寿命长达 8000 小时。

3.1.3 环境温湿度监测

巡检机器人的温湿度检测包括一个电容式感湿元件和一个 NTC 测温元件。它应用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术,具有超快响应、抗干扰能力强等特点;传感器都在极为精确的湿度校验室中进行校准,校准系数以程序的形式储存在 OTP 内存中,确保产品具有极高的可靠性与卓越的长期稳定性^[4]。

3.2 现场火情监测

通过巡检机器人自带的热成像摄像头,在行走时自动识别视角区域内的最高温度情况,判断现场是否出现阴燃、明火等高温现象,从而实现实现火情检测及预防功能。

3.3 全场视觉监测

在输煤系统现场重要区域安装固定式摄像头,通过配合巡检机器人的行走路径,实现对整个现场区域的视觉监控,可以有效地提升现场整体的管控效率。同时也方便工作人员的日常远程巡检、应急指挥等。

3.4 皮带机设备状态监测

3.4.1 温度检测

巡检机器人自身搭载的红外热像仪对滚筒、电机、托辊轴承等重要设备进行温度检测判别,当被检测设备超过设定温度值时,机器人能够自动报警并记录数据信息。

3.4.2 重点部位振动检测

无线测温测振模块可实现对设备重点部位的温升及振动实时监测功能。皮带机、管带机重要滚筒及托辊轴承温度、振动检测。温度数据与振动数据同时显示在后台系统中,并做智能分析,实现故障预警,提升设备的管理水平。

3.5 异响检测

巡检机器人可对托辊异响分析,拾音器实时获取现场声音片段,上位机接收声音信号后,使用端点检测技术,即现场声音超过设定分贝数,则提取现场 3 秒钟音频,通过梅尔频率倒谱系数(简称 MFCC)变换,将音频转换成图谱,然后将其送入已训练神经网络模型生

成特征向量,通过计算与已知异响托辊欧式距离,根据计算结果判断是否出现故障现象。

3.6 跑偏检测

将摄像机安装于皮带顶部处于正上方,能够拍摄整个皮带运行区域且画面水平。使用过程,通过摄像头获取皮带图像,计算皮带边缘线条位于金属支架边缘区域线条位置,超过未跑偏阈值时判定皮带发生跑偏,否则未跑偏。

3.7 撕裂检测

采用光学三角原理和回波分析原理成像,使用非接触测量皮带撕裂裂缝宽度和深度的精密传感器。激光器和摄像头分别装置在上皮带的左右下侧,激光器向皮带底部发射一条激光,在皮带表面反射后由摄像头采集,并自动提取激光条纹中心,根据三角测距法分析皮带断面的高度和深度参数,实时输出到控制计算机。经计算机软件分析和数据还原,得到皮带底 3D 图像。可以直观判断皮带是否发生撕裂现象。

3.8 撒料检测

通过固定式摄像机和机器人搭载的高清摄像机采集现场高清视频图像,通过深度学习算法进行图像识别,能够有效判断输煤系统现场皮带机周围地面是否有煤粉及细小的物料,并将异常图片和告警信息及时反馈至控制中心,由工作人员及时进行处理。

3.9 人员安全防护

3.9.1 安全帽佩戴检测

对进入区域内人员安全帽的检测,如有出现不带安全帽进入的,给予声光语音警告并在控制室的系统上进行预警显示。

必要时由工作人员远程进行警告劝退或通知就近工作人员到现场进行驱赶处理;

3.9.2 人员越界检测

通过使用远焦摄像头实现运输机皮带区域图像获取,在后台软件标注越界警戒线,通过深度学习目标检测识别人体及坐标,根据人体坐标与警戒线是否存在交点,判定是否出现人员越界。检测有效距离在 50 米之内,具体会根据现场光照环境而波动。

当人员非法进入时,给予强烈警告并在控制系统上进行预警显示,情节严重时自动通知附近转运站的运行人员到现场进行跟进处理。

4. 智能巡检系统现场应用

4.1 日常巡检

BH3-2 皮带机智能巡检系统以 Mini 卧轨机器人例常执行巡检计划为主体, 配套摄像头、皮带撕裂检测仪、温振传感器与打滑开关等设备实时监测。Mini 机器人本体应用高清摄像头、红外传感器、声光报警系统等多种探测设备, 依照指定路线和时间对皮带、托辊以及现场环境进行常规内容的例检, 巡检数据经系统后台处理完毕会自动生成一份巡检任务报告。智能巡检系统集日常巡检、环境和设备实时监测、人员安全监测、火情预警、故障预警以及设备定位报警等于一体, 根据程控中心发出的巡检指令与预警方式, 实时向中控大厅传输巡检数据, 能准确发出报警提示并定位故障点^[5]。智能巡检机器人日常巡检不受大风、雾霾、雷雨、冰雹等恶劣环境因素影响, 数据记录安全可靠, 存储稳定, 易于追溯。此外, 智能巡检机器人操作便捷, 稳定性好, 可进行智能清洁与充电, 日常维护方便, 降低维运人员的现场出勤, 降低安全风险。

4.2 缺陷追踪

BH3-2 智能巡检系统具有缺陷追踪功能, 程控人员可以通过系统的规律性预警以及智能巡检机器人的报警定位, 从时间和空间上实现对设备故障缺陷和人员安全的追踪。设备监测方面, 巡检机器人与固定摄像头、温振传感器等固定设备相互配合, 将预警信息和报警数据传输至中控大厅, 程控人员可以根据预(报)警来源确定故障设备, 及时通知维运人员第一时间达到现场排查, 并核实报警信息, 迅速制订响应策略。人员安全方面, 多组智能摄像头全面覆盖 BH3-2 皮带机工作区域, 对于作业区未戴安全帽、皮带机工作期间异常越界行为进行截图并上传报警, 程控人员第一时间联系做好安措并通知巡视员及现场作业人员。

4.3 深度学习

BH3-2 智能巡检系统具有目标检测、目标分类、特征匹配算法的深度学习功能。对于现场新型故障与环境

变化进行数据采集与样本分析, 如安全帽新增种类以及堆料形式变化, 算法学习扩展样本识别数据库, 提升检测报警准确性, 保障人员安全与现场故障及时准确定位。BH3-2 现场配有 9 台智能摄像头、1 台云台卡片机、2 台工业摄像仪, 在工作中采集现场各种各样的新增样本, 不断优化算法模型数据库, 适应现场复杂的故障预警与安全检测。同时, 系统算法的学习记忆功能, 对于现场温度、光线的季节性变化也有较强适应性, 保证系统功能运行稳定可靠。

5. 结语

针对华电曹妃甸储运煤码头长距离带式输送机采用人工巡检存在的作业强度大、工作效率低、误检漏检等问题, 设计并应用了一种皮带输送机智能巡检系统, 代替人工巡检, 降低人员安全风险, 大大提高了巡检效率, 促进了安全、高效、高质量生产。华电曹妃甸储运 BH3-2 皮带机智能巡检系统的应用, 是一个里程碑式的探索与实践。在实际生产工作中, 智能巡检系统应用于皮带机设备、环境以及人员安全监测, 能够防患于未然, 降低生产作业安全风险, 在煤炭输送系统生产运行中起到了重要作用, 该系统的投用为该公司智慧化、数字化港口建设再添新力量, 为煤炭专业码头智能化发展提供有益经验和借鉴。

【参考文献】

- [1]陈志明, 宁艳. 基于实时数据的变电站在线智能巡检系统设计[J]. 电子设计工程, 2022, 30(14).
- [2]张举世. 智能巡检系统在东风水电厂的探索与应用[J]. 红水河, 2022, 41(06): 140-144.
- [3]韩光, 赵春雪, 兰明菊, 敖开栓, 刘凡. 油气田智能巡检系统研究[J]. 中国管理信息化, 2022, 25(20): 104-106.
- [4]刘承志, 程飞, 孟涛, 杨昊, 黄琪, 吕惠. 风电场智能巡检系统研发与应用研究[J]. 中国设备工程, 2022(18): 181-183.
- [5]高志敏. 长距离带式输送机巡检系统研究[J]. 煤炭科技, 2022, 43(02).