

# 煤矿用带式输送机巡检机器人设计与研究

王影 罗家泮

合肥职业技术学院 安徽 合肥 230000

**【摘要】**：针对人工在带式输送机巡检工作中效率低、精度低及劳动强度大等问题，基于自动化技术和计算机技术设计无人巡检机器人。重点研究巡检机器人系统结构以及功能和特点，论述巡检机器人驱动系统、控制系统设计及机器人软件设计。巡检机器人不仅可以降低人工劳动强度，及时发现故障问题，而且也能为带式输送机的稳定运行提供保障。

**【关键词】**：带式输送机；巡检；机器人

## 引言

带式输送机在煤矿生产中应用十分广泛，然而在运行过程中极易出现输送带跑偏、断裂及托辊损坏等情况，造成生产设备的重大损失。煤矿生产工作环境较为恶劣，且照明效果较差，巡检人员在工作时不易发现故障问题。因此，设计与研究智能巡检机器人代替人工巡检工作，实时监测带式输送机运行状态十分必要。

## 1 带式输送机巡检机器人研究

### 1.1 巡检机器人系统组成

现阶段，巡检机器人在工业生产的各个领域都有着十分广泛的应用，与人工巡检相比，巡检机器人在巡检效能方面有着显著的优势。煤矿生产具有环境复杂性的特点，符合生产环境的机器人数量较少，为推动煤矿数据化建设，带式输送机巡检机器人的研究有利于解决煤矿巡检困难问题，对提高企业经济效益、强化安全生产管理以及提升自动化水平具有现实意义。

无人巡检机器人主要包括控制系统、驱动系统和用户界面。基于人工智能技术，可以实现巡检机器人的全程自动巡检，实现无人控制模式。巡检机器人驱动系统为自驱动式齿轮齿条转动驱动模式，驱动装置主要由直流电机、支撑轮组、齿轮齿条等部分组成；硬件控制系统包括传感器设备和硬件设备，可以实现对煤矿环境数据的实时监测；用户界面系统是基于 LabVIEW 环境开发，可以控制巡检机器人的巡检模式、采集数据处理等。

### 1.2 巡检机器人功能设计与特点

在带式输送机巡检方案、工作环境研究的基础上，分析巡检机器人系统功能，拟实现功能如下：

(1) 数据采集：巡检机器人拥有传感器设备，可以通过采集模块对煤矿环境数据进行实时采集。

(2) 监控功能：巡检机器人具备红外热像仪、可见光摄像头和拾音器等，可以实时传输巡检环境影像资料，且能够根据收集的影像资料分析输送设备是否存在故障，实现对

输送机工作环境的实时监控。

(3) 故障诊断：巡检机器人上位机通过对数据分析和处理，可以对异常环境进行报警，并利用声学诊断和图像处理技术判断输送机运行情况，并通过故障检测系统对故障情况进行预警。

(4) 无线通信：巡检机器人具备通信系统，可以实现无线数据传输。巡检机器人搭载 WIFI 模块，可以实现对监测数据进行实时传输。

(5) 定位功能：输送机巡检机器人自动对输送机运输方向及位置进行标记，可以实现对托辊和输送带的定位。此外，也可以对故障位置进行定位，以便于管理人员的检测和维修。

(6) 无线充电：为避免线路磨损老化、接触不良、布线困难等充电问题，输送机巡检机器人采用无线充电技术，不仅能够解决传统充电技术产生的问题，而且也能够保证巡检机器人能量传输效率。

## 2 带式输送机巡检机器人硬件设计

### 2.1 巡检机器人驱动系统设计

#### (1) 巡检机器人行走方式

鉴于带式输送机巡检目标单一、巡检线路固定、巡检距离过长的特点，巡检机器人的驱动方式采用自驱动式齿轮齿条传动驱动方案，通过直流电机驱动机器人移动。将齿条固定在运动轨道上，可以保证巡检机器人运动的平稳性。齿轮齿条转动方案，可以保证巡检机器人无论是在地势复杂还是轨道较滑的情况下都可以正常、稳定移动，与摩擦式传动、悬线式转动相比，具有更高的可靠性和稳定性。此外，巡检机器人驱动系统占用空间较小，运动齿条与轨道的啮合会产生夹紧力，从而进一步提高巡检机器人运行稳定性。

#### (2) 巡检机器人驱动设计

自驱动式齿轮齿条驱动系统主要由电机座、驱动齿轮、直流电机、减速器等设备组成。首先需要利用电机座将直流电机固定至支撑板上，其次连接减速器，最后将驱动齿轮与

减速器相连接。巡检机器人采用自驱动式齿轮齿条转动结构如图 1 所示。

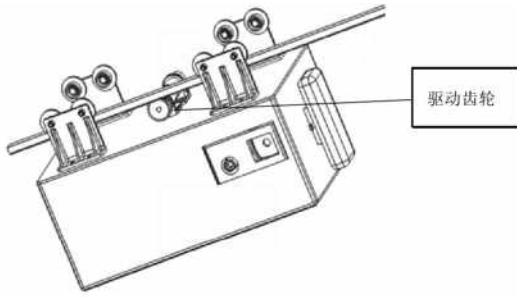


图 1 驱动机构

为保证巡检机器人巡检效果以及各传感器稳定运行，巡检机器人移动速度不能过快，应当保持在 0.5m/s。根据巡检机器人工作环境，在电机选型过程中需要计算电机启动扭矩、工作扭矩。对于施工环境复杂的煤矿生产而言，电机选型极为重要，不仅会影响巡检机器人的巡检性能，而且也会对煤矿生产工作产生一定影响。巡检机器人匀速、爬坡、加速运动等过程对驱动电机设计的要求如表 1 所示。

表 1 巡检机器人驱动电机设计要求

性能指标	参数
行走速度/(m·s <sup>-1</sup> )	0.1~0.5
最大行走加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	0.5
爬坡能力	≦25° 斜坡
巡检机器人质量/kg	60

在极限移动情况下，巡检机器人最大运动速度为 0.5m/s，多于斜坡运动，巡检机器人驱动系统最大牵引力计算公式如下：

$$F_T = F_f + F_r + F_j = 1.98N + 248.5N + 300N \approx 964.5N$$

式中： $F_f$ 为输送机巡检机器人移动过程中需要克服的空气阻力和滚动阻力； $F_j$ 为输送机巡检机器人在做加速运动过程中的驱动力； $F_r$ 为输送机巡检机器人沿斜坡向下运动的分力。

巡检机器人驱动电机输出功率计算公式为：

$$P = \frac{F_T V_{max}}{n\eta} = \frac{56.5N \times 0.5m/s}{2 \times 0.85} \approx 166W$$

式中： $V_{max}$ 为输送机巡检机器人行走速度最大值； $\eta$ 为电机驱动系统运行效率； $n$ 为电机驱动系统数量。

根据巡检机器人设计要求，驱动电机系统功率选择 200W。驱动电机稳定参数为：电机电压 DC24V；转速为

3000r/min；转矩 0.64N·m；输出功率 200W；电机质量 2.6kg。

巡检机器人驱动轮转速为：

$$n_w = \frac{60V_{max}}{\pi d} = \frac{60 \times 0.5m/s}{\pi \times 0.1m} \approx 95.5r/min$$

式中  $d$  为巡检机器人齿轮直径。

巡检机器人减速比为：

$$i = \frac{n_d}{n_w} = \frac{3000r/min}{95.5r/min} \approx 31$$

式中  $n_d$  为巡检机器人驱动电机转速。

## 2.2 巡检机器人控制系统设计

### (1) 控制系统硬件框架

由于巡检机器人需要在恶劣的环境中执行任务和运行，因此对控制系统的设计要求较高。控制系统可以对巡检机器人信息交互、动作执行、状态监测和信息采集等工作进行管理，一般硬件控制系统分为定位与传感器模块、主控制模块、通讯模块、驱动模块以及电源模块等，各模块关系如图 2 所示。

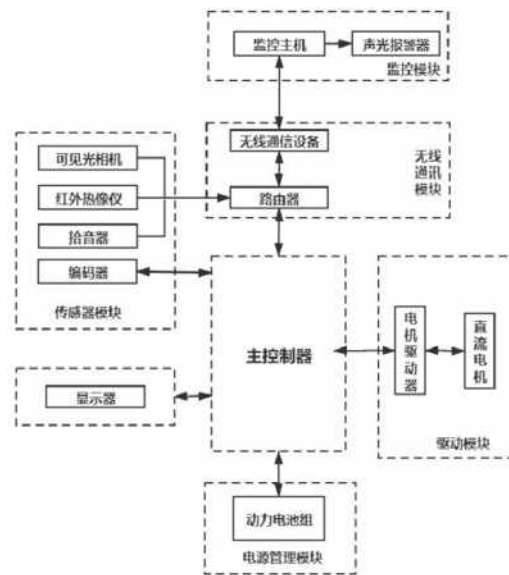


图 2 选件机器人控制系统硬件框架

①主控模块：其是巡检机器人的主要控制系统，是机器人的“大脑”，主要实现信息发送、判断、处理、接受等模块信号检测等。

②驱动模块：在接收到主控模块发出的信息后，驱动模块会执行转向、运动、启停等功能，并反馈运行信息。

③定位与传感器模块：对输送机运行参数进行实时检测，判断是否存在异常状态；定位模块主要显示巡检机器人和输送机运行位置，以及输送机故障点位置，以便于管理人员对故障点进行维修和判断煤矿输送进度。

④电源模块：主要对主控制模块反馈电池电流、温度、容量等信息，并在复杂环境下控制电池组充放电功能。

⑤通讯模块：实现上位机监控系统与控制系统的数据传输。

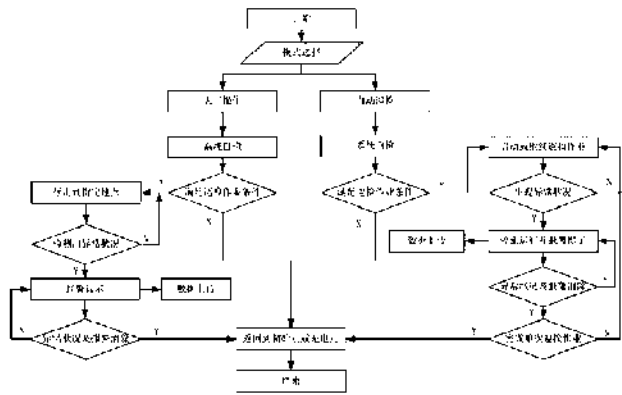


图 3 巡检机器人控制系统逻辑图

巡检机器人控制方式分为远程控制和自动巡检两种模式，如图 3 所示巡检机器人软件系统控制逻辑图。在远程控制模式下，用户可以通过用户界面对巡检机器人运行状态以及摄像头角度进行控制，让巡检机器人移动至故障地点进行判断，若带式输送机发生异常状态或者存在故障，巡检机器人会通过用户界面提醒管理人员检测情况。

自动巡检过程中，巡检机器人首先会在工作开始前对自身运行状态进行监测，若电量不足则会停止运行；当在巡检过程中出现电量不足的情况，巡检机器人会自动返回充电桩进行充电，并通过用户界面向管理人员发送停止工作通知；巡检机器人工作时，若出现电池温度、输出电压、传感器、电流故障以及托辊故障时，会自动发出异常警报，并返回管理处，直至异常消除才会重新启动，返回工作点开始巡检。

(2) 控制系统软件框架

巡检机器人软件控制系统主要是由两个独立部分组成，一部分为巡检机器人下位机控制系统软件；另一部分为上位机用户界面软件。巡检机器人下位机控制系统软件和上位机用户界面均是基于 LabVIEW 环境开发的。

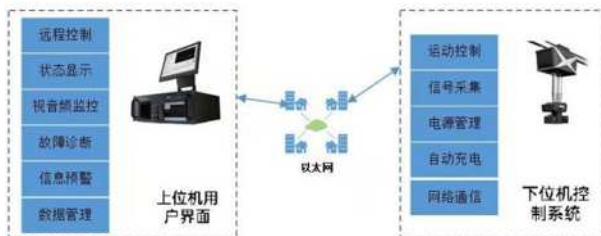


图 4 控制系统软件框架

如图 4 所示，巡检机器人软件控制系统是实现机器人信

息交互和运动控制的重要部分，关系到巡检机器人功能和系统的可靠性。通常软件控制系统主要负责巡检机器人传感器信号预处理及采集、电机控制、电源管理、通信数据发送与接受、充放电等功能，此外也具备信息保护功能，可以避免数据信息泄露和遗失。实际工作中，用户可以通过巡检机器人操作界面实时监控软件系统，实现对巡检机器人的运行情况显示、远程控制、故障诊断、数据处理、影像监控、信号预警等功能。

3 带式输送机巡检机器人软件设计

3.1 巡检机器人交互界面设计

上位机用户操作界面可以实现对巡检机器人的远程控制，是集故障检测、视频监控、机器人控制于一体的终端系统。用户可以通过用户界面对巡检机器人采集的信息进行判断和处理。此外用户界面也可以实时显示巡检机器人工作状态、以及托辊图像处理 and 采集等。巡检机器人用户界面主要是基于 LabVIEW 环境开发设计，主要包括登录界面、时间显示模块、温湿度采集模块、音频信号分析模块、数据存储模块、报表打印模块、控制模式选择模块以及视频采集模块等，可以实现对巡检机器人进行控制、确定巡检模式、对采集得到的数据信息进行处理等。

3.2 巡检机器人通讯系统设计

巡检机器人在完成数据采集后需要通过通信方式将数据传输至上位机处理中，由控制系统软件对传输的数据进行分析和诊断，最后通过用户界面向管理人员显示分析结果。巡检机器人通讯方式分为无线传输和有线传输，其中有线传输在数据及信号传输方面具有较强的可靠性、稳定性，并且抗干扰能力较强，但巡检机器人在工作中需要远距离移动，因此会增加线路铺设难度和施工成本。无线传输方式在维护、安装方面都较为简单，不需要采用无物质传输介质，主要通过电磁波形式对信号进行传播。

由于煤矿输送机运输巷道环境复杂，外界因素会干扰无线传输的性能和效果，因此对不同无线传输方式的电磁波特性和效果进行比较，选择合适的电磁频段，以满足巡检机器人设计要求。无线通信技术分析对比如表 2 所示。

表 2 无线通信技术对比

名称	蓝牙	ZigBee	WIFI	UWB
传输速率	1Mbps	250kbps	54Mbps	100Mbps
有效距离	10m	≤100m	100~300m	30m
功耗	一般	低	低	一般
组网性能	弱	强	强	强

成本	低	较低	一般	高
视频传输	满足	不满足	满足	满足
安全性	高	一般	低	高

(注: 上接表 2)

设计无线通信系统时, 需要综合考虑信号传输距离、传输功耗、传输速率及组网性能等问题, 根据巡检机器人的设计要求以及实际巡检要求选择合适的通讯技术。通过对无线通信技术比较发现, ZigBee 通讯技术虽然传输距离远, 组网能力强, 功耗低, 但是在信号传输速率方面, 不能满足巡检机器人实时影像传输要求; UWB 技术有另一种名称, 即脉冲无线电, 在传输速率方面较强, 但网络系统搭建单独较大, 且成本较高。蓝牙技术虽然可以满足对实时影响的传输要求, 但是组网能力相对较差, 且传输距离较短, 无法满足带式输送机的传输要求。因此, 采用 WIFI 技术作为巡检机器人

通信的主要传输方式。随着信息技术的飞速发展, WIFI 模块传输性能和组网能力不断增强, 不仅具有较强的适应能力, 而且在传输距离、传输速率方面也能满足输送机巡检要求。考虑到煤矿内部环境复杂, 输送机运输巷道过长且狭窄, 巡检机器人采用内置通信模块, 并根据信息传输距离安装巡检机器人, 将相邻机器人作为信号传输基站。

#### 4 结论

通过研究矿用带式输送机巡检机器人系统结构组成及功能设计和特点, 设计无人巡检智能机器人系统。基于智能机器人可以实现带式输送机全程自动巡检, 若发现带式输送机存在故障问题, 机器人就会通过用户界面向管理人员发出故障提醒, 并明确标注故障位置, 为管理人员的维修和检测提供依据。同时通过 LabVIEW 设计和开发巡检机器人上位机界面和下位机控制软件, 实现对巡检机器人的远程控制等操作。

#### 参考文献:

- [1] 宣鹏程,孙稚媛,周东旭,等.煤矿轨道式带式输送机巡检机器人系统设计[J].煤矿机械,2020,41(5):3.
- [2] 邵珠娟,邓晓刚,程豪杰,等.智能带式输送机巡检机器人在煤矿的应用[J].中国煤炭,2020,46(6):5.
- [3] 赵仁渔,朱波,张小松,等.智能带式输送机巡检机器人的研究与应用[J].中国煤炭,2020,46(10):4.
- [4] 刘晓宁.煤矿带式输送机运输系统故障巡检机器人设计[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(6):3.
- [5] 王新宇.带式输送机智能巡检机器人的研究设计[J].现代信息科技,2020,4(16):4.
- [6] 梁虎伟.矿用带式输送机防爆无人巡检智能机器人设计研究[J].矿业装备,2020(3):2.

作者简介: 王影, 女, (1985.07-), 汉族, 安徽淮南人, 硕士, 合肥职业技术学院, 讲师, 研究方向: 皮带机、数控加工。

罗家许, 男, (1991.09-) 汉族, 安徽合肥人, 硕士研究生, 合肥职业技术学院助教, 研究方向: 控制。

项目基金: 2020 年省级质量工程“合肥职业技术学院机械设计与制造专业群”(项目编号: 2020zyq70); 校级重点科研项目“矿井带式输送机无人巡检机器人关键技术研究”(项目编号: 2021KJA13); “双基示范教研室”(项目编号: 2020jys002)