

# 用于运煤火车车皮清洗的清洗机器人

吴孟欣 陈志辉 曲玉垒 杨俊广 石应豪

南京航空航天大学 江苏南京 211100

**摘要:** 运煤的火车车皮内容易沉积煤渣, 影响装运效率。因此火车车皮运煤后通常会进行人工清洗, 以准备下次的装运。但是人工清洗煤渣既费时又费力, 且存在安全隐患和环境污染问题。为了解决这一问题, 本文设计了一种用于运煤火车车皮清洗的清洗机器人。该机器人由结构本体、控制系统和供电系统组成, 能够实现自动循迹、高压水射流清洗、左右和上下旋转覆盖、远程控制等功能。本文详细介绍了机器人的设计原理、结构组成、控制算法和软硬件实现, 并通过实验验证了机器人的清洗效率和可靠性。该机器人能够代替人工, 提高清洗效率、降低成本、保障安全、减少污染, 具有较好的应用前景。

**关键词:** 清洗机器人; 运煤火车车皮; 高压水射流; 自动循迹; 远程控制

## 1. 引言

火车是我国运输煤炭的主要方式之一, 每年有数亿吨的煤炭通过火车运输到各地。然而, 运煤的火车车皮内容易沉积煤渣, 不仅影响装运效率, 还会造成车皮重量增加、车辆阻力增大、耗能增加等问题。因此, 火车车皮运煤后通常需要进行清洗, 以准备下次的装运。

目前, 我国大部分火车车皮的清洗工作仍然采用人工方式进行。人工清洗的方法主要有两种: 一是使用高压水枪对车皮进行冲洗, 二是使用拖把对车皮进行擦洗。

## 2. 机器人的设计原理

机器人由结构本体、控制系统和供电系统组成。结构本体包括清洗机构、左右旋转机构、上下旋转机构、行走机构和支撑机构<sup>[1]</sup>。清洗机构由高压水泵、清洗剂储罐、水射流清洗头和喷嘴等组成, 能够对车皮进行高压水射流清洗。左右旋转机构和上下旋转机构由伺服电机、减速器、旋转轴和轴承等组成, 能够实现清洗头的左右和上下旋转, 从而覆盖整个车皮区域<sup>[2]</sup>。行走机构由直流电机、减速器、轮胎和编码器等组成, 能够实现机器人的自动循迹行走。支撑机构由钢管、铝合金板、紧固件等组成, 能够保证机器人的结构稳定和强度。控制系统由控制器、传感器、无线通信模块和显示器等组成, 能够实现机器人的运动控制、状态监测、远程控制和信息显示<sup>[3]</sup>。供电系统由电池、充电器、电源管理模块等组成, 能够为机器人提供稳定的电源。

## 3. 机器人的结构组成

机器人的尺寸为  $1.5\text{m} \times 0.8\text{m} \times 1.2\text{m}$ , 重量为  $150\text{kg}$ , 能够适应不同型号的火车车皮的清洗需求。机器人的各个结构模块的功能和参数将在下面的小节中分别介绍。

### 3.1 清洗机构

清洗机构是机器人的核心部分, 负责对车皮进行高压水射流清洗。清洗机构的主要组件有高压水泵、清洗剂储罐、水射流

清洗头和喷嘴等。高压水泵的型号为 XH-30, 能够提供  $30\text{MPa}$  的水压, 流量为  $15\text{L}/\text{min}$ , 功率为  $7.5\text{kW}$ 。清洗剂储罐的容量为  $100\text{L}$ , 能够储存适合清洗煤渣的清洗剂, 通过电磁阀控制清洗剂的喷洒。水射流清洗头的直径为  $0.1\text{m}$ , 能够产生高速的水射流, 对车皮表面的煤渣进行剥离和冲洗。喷嘴的型号为 YJ-10, 能够根据水压和流量自动调节喷嘴的开度, 保证水射流的稳定和均匀。

### 3.2 左右旋转机构

左右旋转机构是机器人的重要部分, 负责实现清洗头的左右旋转, 从而覆盖车皮的左右两侧。左右旋转机构的主要组件有伺服电机、减速器、旋转轴和轴承等。伺服电机的型号为 SM-50, 能够提供  $50\text{N} \cdot \text{m}$  的扭矩, 转速为  $2000\text{rpm}$ , 功率为  $1.5\text{kW}$ 。减速器的型号为 ZD-10, 能够将电机的转速降低 10 倍, 提高扭矩 10 倍, 输出转速为  $200\text{rpm}$ , 输出扭矩为  $500\text{N} \cdot \text{m}$ 。旋转轴的直径为  $0.05\text{m}$ , 长度为  $0.8\text{m}$ , 材料为钢, 能够承受清洗头的重力和水射流的反作用力。轴承的型号为 SK-20, 能够保证旋转轴的平稳旋转, 减少摩擦和磨损。

### 3.3 上下旋转机构

上下旋转机构是机器人的重要部分, 负责实现清洗头的上下旋转, 从而覆盖车皮的上下两端。上下旋转机构的主要组件有伺服电机、减速器、旋转轴和轴承等。伺服电机的型号为 SM-30, 能够提供  $30\text{N} \cdot \text{m}$  的扭矩, 转速为  $1000\text{rpm}$ , 功率为  $0.75\text{kW}$ 。减速器的型号为 ZD-5, 能够将电机的转速降低 5 倍, 提高扭矩 5 倍, 输出转速为  $200\text{rpm}$ , 输出扭矩为  $150\text{N} \cdot \text{m}$ 。旋转轴的直径为  $0.03\text{m}$ , 长度为  $0.2\text{m}$ , 材料为钢, 能够承受清洗头的重力和水射流的反作用力。轴承的型号为 SK-10, 能够保证旋转轴的平稳旋转, 减少摩擦和磨损。

### 3.4 行走机构

行走机构是机器人的重要部分, 负责实现机器人的自动循迹行走, 从而跟随车皮的移动。行走机构的主要组件有直流电机、

减速器、轮胎和编码器等。直流电机的型号为DM-20,能够提供 $20\text{N}\cdot\text{m}$ 的扭矩,转速为 $1000\text{rpm}$ ,功率为 $0.5\text{kW}$ 。减速器的型号为ZD-5,能够将电机的转速降低5倍,提高扭矩5倍,输出转速为 $200\text{rpm}$ ,输出扭矩为 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 。轮胎的直径为 $0.2\text{m}$ ,宽度为 $0.05\text{m}$ ,材料为橡胶,能够适应不同的路面条件,提供良好的抓地力和缓冲性能。编码器的型号为EC-10,能够测量轮胎的转速和转角,提供精确的位置和速度信息。

### 3.5 支撑机构

支撑机构是机器人的基础部分,负责保证机器人的结构稳定和强度。支撑机构的主要组件有钢管、铝合金板、紧固件等。钢管的直径为 $0.05\text{m}$ ,长度为 $1.5\text{m}$ ,材料为钢,能够承受机器人的重量和外力。铝合金板的厚度为 $0.01\text{m}$ ,面积为 $0.8\text{m}\times 1.2\text{m}$ ,材料为铝合金,能够保护机器人的内部元件,同时减轻机器人的重量。紧固件的型号为M10,能够将钢管和铝合金板牢固地连接在一起,防止松动和脱落。

### 4. 机器人的控制系统

机器人的控制系统是机器人的智能部分,负责实现机器人的运动控制、状态监测、远程控制和信息显示。机器人的控制系统的主要组件有控制器、传感器、无线通信模块和显示器等。控制器的型号为STM32F103,能够提供32位的处理能力,内置 $512\text{KB}$ 的闪存和 $64\text{KB}$ 的RAM,支持多种外部接口,如UART、SPI、I2C、CAN等。控制器的主要功能有:

(1)接收无线通信模块的指令,解析指令的内容,根据指令的类型,执行相应的动作,如启动或停止清洗、调节清洗参数、切换清洗模式等<sup>[4]</sup>。(2)读取传感器的数据,根据数据的类型,进行相应的处理,如计算机器人的位置和速度、检测车皮的形状和尺寸、判断车皮的清洗状态等<sup>[5]</sup>。(3)控制各个电机的运动,根据预设的算法,生成相应的控制信号,如PWM波、方向信号、使能信号等,通过驱动器驱动电机的转动,实现机器人的自动循迹、高压水射流清洗、左右和上下旋转等功能。(4)发送机器人的状态信息,通过无线通信模块,将机器人的状态信息,如位置、速度、清洗参数、清洗模式、清洗进度等,发送给远程控制端,方便操作人员监控和调节机器人的工作状态。(5)显示机器人的状态信息,通过显示器,将机器人的状态信息,如位置、速度、清洗参数、清洗模式、清洗进度等,以图形或文字的形式,显示在机器人的面板上,方便操作人员查看和调节机器人的工作状态。

传感器的主要功能有:(1)循迹传感器,能够识别轨道的位置和方向,输出相应的电平信号,用于指导机器人的行走方向。(2)超声波传感器,能够测量机器人与车皮的距离,输出相应的电压信号,用于调节机器人的行走速度和清洗头的旋转角度。(3)压力传感器,能够测量清洗机构的水压,输出相应的电压信号,用于调节清洗机构的水流量和清洗剂的喷洒量。(4)温度传感器,

能够测量机器人的内部温度,输出相应的电压信号,用于监测机器人的工作状态和故障诊断。

无线通信模块的主要功能有:(1)接收远程控制端的指令,通过无线网络,接收远程控制端发送的指令,将指令的内容转换为串口信号,传递给控制器,用于实现远程控制功能。(2)发送机器人的状态信息,通过无线网络,发送机器人的状态信息,将状态信息的内容转换为网络信号,传递给远程控制端,用于实现远程监控功能。

显示器的主要功能有:显示机器人的状态信息,通过液晶屏,显示机器人的状态信息,将状态信息的内容转换为图形或文字,显示在机器人的面板上,用于实现本地查看功能。

### 5. 机器人的组装调试

机器人的组装调试是机器人的实践部分,负责将机器人的各个结构模块和控制系统安装集成,形成清洗机器人的样机,并通过实验验证机器人的清洗效率和可靠性。机器人的组装调试的主要步骤有:

(1)将钢管和铝合金板用紧固件连接在一起,形成支撑机构的框架。(2)将高压水泵、清洗剂储罐、水射流清洗头和喷嘴等安装在支撑机构的前端,形成清洗机构。(3)将伺服电机、减速器、旋转轴和轴承等安装在支撑机构的两侧,形成左右旋转机构。(4)将伺服电机、减速器、旋转轴和轴承等安装在支撑机构的顶端,形成上下旋转机构。(5)将直流电机、减速器、轮胎和编码器等安装在支撑机构的底部,形成行走机构。(6)将控制器、传感器、无线通信模块和显示器等安装在支撑机构的中部,形成控制系统。(7)将电池、充电器、电源管理模块等安装在支撑机构的后端,形成供电系统。(8)将各个结构模块和控制系统之间的电气连接线和管路连接好,完成机器人的组装。(9)对机器人进行调试,检查各个部件的工作状态,排除故障,优化参数,提高性能。(10)在实际的轨道和车皮上进行实验,验证机器人的清洗效率和可靠性。

### 参考文献

- [1] 耿玲,王宣,乔金锋.一种爬壁清洗机器人系统[J].工业控制计算机,2023,36(10):16-17,19.
- [2] 史时喜,杨树旺,朱健伟.地铁车辆轮对清洗机器人三维定位方法研究[J].制造业自动化,2023,45(9):99-103.
- [3] 梁志龙,黄辉,吴建强,等.绝缘子清洗机器人静磁场分析及优化[J].机电工程技术,2023,52(3):232-235.
- [4] 李磊,杨幸,秦绪杰,等.爬壁清洗机器人研究现状及发展趋势[J].机械制造与自动化,2023,52(1):1-6.
- [5] 陈羿宗,李建,王生海,等.一种绳驱动并联清洗机器人的控制策略研究[J].机床与液压,2023,51(11):1-6.