

# 移动式焊接烟尘净化器的设计及其净化性能的实验研究

范浩楠<sup>1,2</sup>, 谢 东<sup>1,2</sup>, 张玉贵<sup>1,2</sup>, 张振峰<sup>1,2</sup>, 周立峰<sup>1,2</sup>

(1. 南华大学 土木工程学院, 湖南 衡阳 421001;

2. 建筑环境气载污染物治理与放射性防护国家地方联合工程研究中心, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:**针对目前移动式焊接烟尘净化器体积重量大、使用不便以及人机交互性差的问题,设计了一种基于 PLC 的移动式焊接烟尘净化器控制系统。此控制系统采用西门子 S7-200 CPU224 型 PLC 为核心控制器,通过与 PM2.5 传感器、无刷直流风机和 4G 网关协同配合,实现了对移动式焊接烟尘净化器的运行控制、操作以及远程监控等功能。对此系统的硬件选型、设计以及软件开发、组态建立进行了详细说明。通过实验对样机进行了性能测试,测试结果表明样机最大处理风量为 591.98 m<sup>3</sup>/h,净化效率达 99.75%,具有较好的净化效果。

**关键词:**PLC; 焊接烟尘; 控制系统; 人机交互; 性能测试

中图分类号:TP23

文章编号:1000-0682(2024)03-0083-06

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.03.015

## Experimental study on design and purification performance of mobile welding dust purifier

FAN Haonan<sup>1,2</sup>, XIE Dong<sup>1,2</sup>, ZHANG Yugui<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhenfeng<sup>1,2</sup>, ZHOU Lifeng<sup>1,2</sup>

(1. School of Civil Engineering, University of South China, Hunan Hengyang 421001, China;

2. National & Local Joint Engineering Research Center for Airborne Pollutants Control and Radioactivity

Protection in Buildings, Hunan Hengyang 421001, China)

**Abstract:** Aiming at solving the problems of large volume and heavy weight of mobile welding fume purifier and poor man-machine interaction, a mobile welding fume purifier control system based on PLC was designed. The control system adopts Siemens S7-200 CPU224 PLC as the core controller, and cooperates with the PM2.5 sensor, brushless DC and 4G gateway to realize the functions of operation control, operation and monitoring of the mobile welding fume purifier. The hardware selection, design, software development and configuration of the system are described in detail. The test results show that the maximum air volume of the prototype is 591.98 m<sup>3</sup>/h, the purification efficiency is 99.75%, and the prototype has a good purification effect.

**Keywords:** PLC; welding fume; control system; human-computer interaction; performance test

## 0 引言

焊接工艺作为当今制造业的一种基本工艺,

正慢慢从传统的连接工艺发展成为集计算机、机械、电气和材料等多学科的热成型工艺<sup>[1]</sup>。焊接的过程中会产生大量的焊接烟尘和有害气体,同时存在着噪声、高温和弧光辐射。不仅会对工作人员的身体健康造成严重危害,还会污染环境<sup>[2-3]</sup>。对于噪声、高温、弧光等,工人可利用耳塞及面罩获得较好的保护效果,但对焊接烟尘防控效果差<sup>[4]</sup>。焊接烟尘会诱发肺水肿、肺炎、支气管炎、哮喘、神经系统等疾病<sup>[5-6]</sup>。针对这一问题,我国市面上相继研发

收稿日期:2024-02-04

第一作者:范浩楠(1999—),男,浙江衢州人,硕士研究生,从事气溶胶净化装备研究。E-mail:425160612@qq.com

通信作者:谢东(1978—),男,湖北荆州人,博士,教授,主要从事核通风智能控制与空气净化、CFD模拟与风洞试验、多孔介质传热传质等方向研究。E-mail:nxiedong@126.com

了多种类型的焊烟净化装置。移动式焊接烟尘净化器便是其中的一类装置,主要用于中小型工件焊接的烟尘处理<sup>[7]</sup>。目前市场上的移动式焊接烟尘净化器,体积重量大,在狭小的空间中无法作业,加之国内移动式焊接烟尘净化器在自动化、智能化方面的研究较少,仅能实现简单的启停控制,人机交互性差。随着现代化社会建设不断加快,更加节能环保、轻巧便携,有着更好的人机交互形式的设备越来越被人们所需要<sup>[8]</sup>。

综上,该文选用工业上常用的可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC)作为核心控制器,其具有强大的抗干扰能力,较好的可靠性,能适应比较恶劣的工业环境,并且编程简单、维护方便<sup>[9-12]</sup>。此系统由 PLC、PM2.5 传感器、无刷直流风机、4G 网关四个部分组成,使移动式焊接烟尘净化器控制系统具有高可靠性以及更好的人机交互形式。样机尺寸长 350 mm,宽 350 mm,高 460 mm,重量为 15 kg,轻巧便携。

## 1 净化器的控制原理及运行过程

移动式焊接烟尘净化器的运行过程主要有传感器的初始化、颗粒物浓度的检测、风机启动运行、风机调速、风机停止运行、远程操控这 6 个部分,此系统的组成部分主要有 PLC、PM2.5 传感器、无刷直流风机、4G 网关、继电器、选择开关、按钮和指示灯,系统的整体设计如图 1 所示。当控制器接收到来自按钮、PM2.5 传感器以及 4G 网关的输入量时,PLC 的内部程序对这些输入量进行分析处理,发出相应的指令,控制指示灯、继电器以及无刷直流风机等输出量执行相应的指令<sup>[13]</sup>。

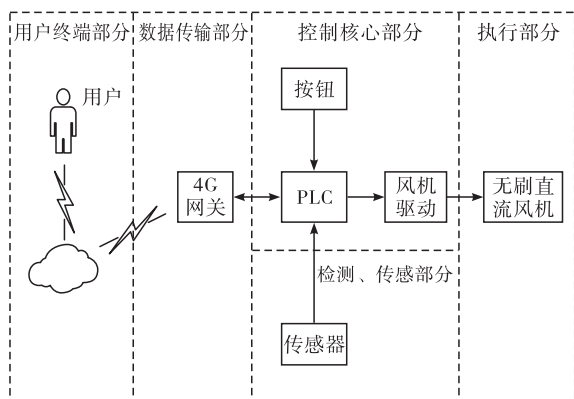


图 1 系统的整体设计框图

用户通过机身上的按钮和手机 APP、小程序对系统进行操作,PLC 控制器接收到相关指令,控制相应的元器件完成指令。此系统能够对净化器的运行

模式进行选择,并对净化器的运行状态进行实时监控,查看粉尘浓度、风机转速等数据以及在必要时给予人为干预。

### 1.1 自动运行模式

操作者按下启动按钮将开始指令送入 PLC,PLC 执行已下载的程序,对 PM2.5 传感器采集到的粉尘浓度数据进行分析处理,同时给风机驱动发送相应的指令以控制风机运行状况,进而完成完整的净化过程,整个过程不需要人为的干预。

### 1.2 手动运行模式

出于对设备可靠性和安全性的考虑,防止设备发生故障(例如传感器失灵、4G 网关断连)导致设备无法正常运行,设计了手动运行模式。在移动式焊接烟尘净化器使用过程中,用户能够通过机身上的按钮和旋钮给 PLC 发送相应的指令,对净化器的运行状态进行控制。

### 1.3 远程操控模式

考虑到机器在实际使用过程中会遇到一些特殊工况,如工人在高处作业、罐内作业等,不方便通过机身按钮控制机器运行情况,设计了远程操控模式。操作者可以通过手机 APP 或者微信小程序对焊接烟尘净化器的运行状态进行远程操控。此外,用户也可以通过 PC 端对多台净化器的运行状态进行监控,便于对设备的集中管理,实现工业物联网。

## 2 控制系统的硬件设计

### 2.1 I/O 以及通信端口的分配

系统的输入元件主要由 1 个旋钮、3 个按钮开关组成。旋钮开关主要用于风机转速档位的选择(低档、中档、高档)。3 个按钮分别用于净化器的停止、启动和手动模式选择。系统所用到的输出元件有无刷直流风机、继电器和指示灯。系统所需的通讯设备有传感器和 4G 网关。传感器部分主要选择 PM2.5 传感器来检测颗粒物浓度情况。传感器通过通信转换器(uart 转 RS485)数据线连接 PLC 的 RS485 通信端口进行通讯。4G 网关通过数据线连接 PLC 的 RS485 通信端口进行通讯。

系统本身需要 6 个输入点,5 个输出点,2 路 RS485 通信,1 路模拟量输出,预留了可开发的 8 个输入点,5 个输出点,具体分配如表 1 所示。系统的输入、输出量与对应的输入、输出元件相连接,传感器和 4G 网关连接对应的通信端口。

### 2.2 PLC 的选型

综上所述,此系统一共需要 2 路 RS485 通信,1

路模拟量输出,6个输入点,5个输出点。因此选用德国西门子公司S7-200系列CPU224型PLC,数字量输入继电器输出<sup>[14]</sup>。此型号PLC主机具有2个RS485通信端口,1路模拟量输出,14个数字量输入点,10个继电器输出点,能够满足该系统的设计需求。

表1 I/O以及通信端口分配表

输入量	PLC 端子量	输出量	PLC 端子量
启动按钮	I0.0	继电器	Q0.0
停止按钮	I0.1	故障指示灯	Q0.1
手动模式按钮	I0.2	低转速指示灯	Q0.2
低转速旋钮开关	I0.3	中转速指示灯	Q0.3
中转速旋钮开关	I0.4	高转速指示灯	Q0.4
高转速旋钮开关	I0.5	风机驱动	V
可开发预留	I0.6 ~ I1.5	可开发预留	Q0.5 ~ Q1.1
通讯设备		PLC 通信端口	
PM2.5 传感器		PORT0	
4G 网关		PORT1	

### 2.3 PM2.5 传感器的选型

在系统运行中需要考虑对颗粒物浓度采样的精确性和实时性,因此该设计选用A4-CG激光颗粒物浓度传感器。此传感器可实现对不同大小颗粒物的测量,产品拥有体积小、重量轻、成本低、高性价比的特点,以数字接口或PWM形式输出且稳定可靠。其测量范围为 $0.3 \sim 10 \mu\text{m}$ ,量程为 $0 \sim 6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,工作电压为5V,符合设计需求。

### 2.4 无刷直流风机的选型

在系统运行中需要考虑对风机的启停、转速控制以及降低系统功耗问题,因此该设计选用BL-300型无刷直流风机。相较于轴流风机其风机全压更高,其风压为3800Pa,风量为 $650 \text{ m}^3/\text{h}$ ,最大转速为6800r/min,可通过对风机驱动输入 $0 \sim 5 \text{ V}$ 可变化的直流电压来控制风机转速,可以满足该设计需求。

### 2.5 4G 网关的选型

在系统远程操控部分需要考虑用户终端和PLC进行信息交互的可靠性和实效性,因此本设计选用AMX-IOT-M201型4G网关。AMX-IOT-M201是工业物联网解决方案中的数据采集网关,用于连接工业PLC、HMI以及仪器仪表等设备,并采集设备数据传送到艾莫迅云工业物联网平台,实现从计算机、平板电脑、手机端,对设备进行远程在线诊断,远程调试上下载PLC程序,从而提高设备管控效率,降低售后服务成本。

## 3 控制系统的软件设计

### 3.1 程序设计

程序设计部分分为3个部分设计(自动运行模式、手动运行模式和远程操控模式),系统程序流程图如图2所示。

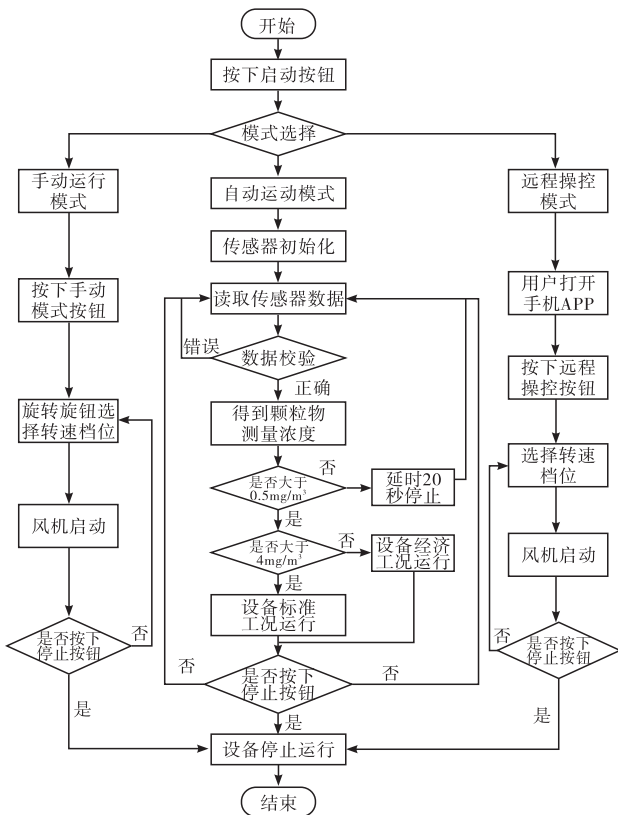


图2 系统程序流程图

#### (1) 自动运行

具体设计流程为:用户按下启动按钮,设备转入传感器巡检模式,PLC读取传感器数据,当探测区域的气溶胶浓度大于等于设定值 $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 时,设备启动,当探测区域的气溶胶浓度位于 $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 至 $4 \text{ mg}/\text{m}^3$ 之间,风机以3400r/min经济工况运行;当探测区域的气溶胶浓度大于 $4 \text{ mg}/\text{m}^3$ 时,风机以6800r/min标准工况运行;当探测区域的气溶胶浓度低于 $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 时,设备延迟20秒后自动关闭,且能够手动按下停止按钮将设备关闭。

#### (2) 手动运行

手动运行的设计是由于设备在运行期间可能会发生一些紧急情况和故障,需要工人根据现场实际情况来对机器进行手动控制。

详细设计流程为:按下手动模式按钮,设备切换到手动运行模式(此时设备运行不受传感器控制,

可在不连接传感器以及传感器故障的时候使用), 操作人员通过设备身上的旋钮来选择转速档位对风机进行调速, 以满足实际工况需要。

### (3) 远程操控

远程操控的设计是考虑到机器在实际使用过程中会遇到一些特殊工况(如工人在高处作业、罐内作业等), 不方便通过机身按钮控制机器运行情况, 工人可以通过手机 APP 或者微信小程序对焊接烟尘净化器的运行状态进行远程操控。详细设计流程为: 用户打开手机 APP, 进入人机交互界面, 按下远程操控按钮, 设备进入远程操控模式, 用户选择相应的转速档位, 4G 网关接收到相应的指令, 向 PLC 输入对应的指令, PLC 输出 0~5 V 模拟量电压到风机驱动, 风机驱动控制无刷直流风机的转速。同时, 4G 网关将设备相关数据(颗粒物浓度, 风机转速)传送到云平台, 用户可以通过手机 APP 或者微信小程序实时查看设备运行状态。当焊接作业结束时, 用户在人机交互界面按下停止按钮, 净化器停止运行。

## 3.2 组态设计

控制系统采用的是艾莫迅自动化科技有限公司研发的 AMXConfig 组态软件, 与上位机进行通讯<sup>[15]</sup>。

### (1) 人机交互界面的设计

人机交互界面在组态中的设计如图 3 所示。系统设计了多个指示灯、按钮和仪表盘, 并且能够直接反映出当前移动式焊接烟尘净化器运行状况<sup>[16]</sup>。

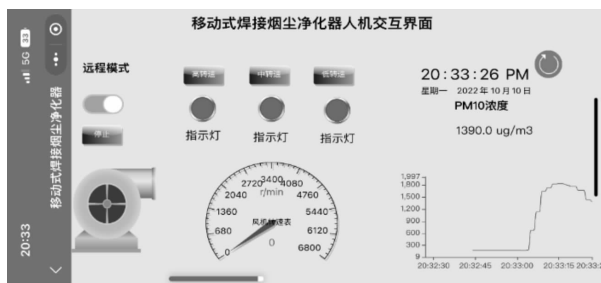


图 3 人机交互界面图

该界面由 1 个滑动开关, 3 个指示灯, 4 个按钮和 1 个仪表盘组成。界面从左到右依次设有启停区, 调速区和监控区。启停区设有远程模式开关和停止按钮。调速区包括低、中、高 3 个转速指示灯、3 个转速档位按钮以及一个风机转速表, 用于控制风机的运行速度。监控区则提供了数据窗口, 实时显示颗粒物浓度数据曲线。界面设计简洁, 功能区布局合理, 使操作者能够轻松理解和使用。指示灯、仪表盘和数据窗口实时直观地反映了移动式焊接烟尘

净化器的运行状态, 帮助操作者迅速了解设备的工作情况<sup>[17]</sup>。

### (2) 组态软件设备窗口的设定

在 AMXConfig 与 PLC 之间建立通信, 通过组态软件对整个系统的运行状态进行监视与控制。系统的设备组态如图 4 所示, 选择工业数据采集网关 AMX-IOT-M201, 通过 BOX 列表添加 4G 网关和西门子 S7-200, 完成设备窗口设置。最后, 按照设备的通讯要求对 4G 网关属性进行参数设置, 完成对西门子 S7-200 PLC 设备的连接。

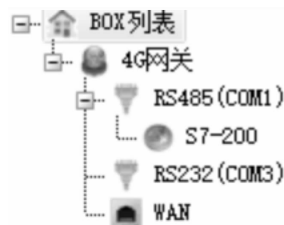


图 4 设备组态

### (3) 组态软件数据对象的定义

AMXConfig 组态软件的核心是实时数据库, 用于系统的数据处理和交换。共定义了 2 个数值型、5 个开关型数据对象, 以满足系统设计需要。停止按钮、远程模式滑动开关以及高、中、低转速指示灯分别与对应的开关量相关联。粉尘浓度数据存储在变量 VD306 中, 可以直接读取。风机调速则和变量 VW20 有关, 在人机交互界面中按下对应的高、中、低转速档位能够直接给变量 VW20 赋上相应的值达到风机调速的目的。风机转速则是将变量 VW20 的数据进行线性转换成实际转速显示在风机转速表上。实时数据库设置如图 5 所示。

变量ID	变量名称	变量地址	数据类型
0	停止	I0.1	bool
1	远程模式	M5.1	bool
2	调速	VW20	int16
3	转速	VW20	int16
4	粉尘浓度	VD306	float32
6	低转速指示灯	Q0.2	bool
7	中转速指示灯	Q0.3	bool
8	高转速指示灯	Q0.4	bool
9	低转速档位按钮	VW20	int16
10	中转速档位按钮	VW20	int16
11	高转速档位按钮	VW20	int16

图 5 实时数据库设置

### (4) 组态软件动画与设定

将指示灯、风机转速盘和数据窗口这些动画组件与数据库里的数据对象连接起来, 当数据库里的数据对象发生变化时, 这些动画组件也随之显示相应的动画效果。人机交互界面通过指示灯、风机转



速盘和颗粒物浓度曲线的动画对移动式焊接烟尘净化器实时的运行状态进行了模拟。当系统发出低速、中转速、高转速档位时,界面中相应的指示灯会亮起,风机转速表的指针会随之转动并停在对应的刻度;系统采集到的颗粒物实时浓度会显示在界面左边的数据窗口区,并以颗粒物浓度为纵坐标,时间为横坐标绘制出颗粒物浓度曲线。

#### 4 系统性能测试

样机在风机三种工况下的处理风量数据如表2所示,每一种工况下吸气罩口的空气流速均由风速计测量3次取平均值所得,已知吸气罩直径为350 mm,通过计算得出样机的处理风量<sup>[18]</sup>。样机实物图如图6所示。

表2 三种工况下的样机处理风量

风机工况	高转速档位	中转速档位	低转速档位
空气流速	1.71 m/s	1.05 m/s	0.74 m/s
处理风量	591.98 m <sup>3</sup> /h	363.49 m <sup>3</sup> /h	256.18 m <sup>3</sup> /h



图6 样机实物图及现场测试

样机净化性能实验装置如图7所示,用亚克力板搭建了体积为1 m<sup>3</sup>的箱体,顶部设有吸气口与样机吸气罩相连,侧边设有采样口与直读式粉尘浓度测量仪相连。在室内温度15℃,湿度71%实验环境下,利用切割机切割石块产生气溶胶(每次实验切割次数为5次),开启样机使其在三种不同工况下运行,直读式粉尘浓度测量仪每10秒采样一次,采集时间10分钟,测量到箱体内部的颗粒物浓度变化情况如图8所示<sup>[19-20]</sup>。

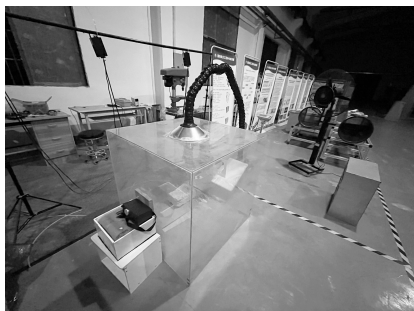


图7 净化性能实验装置

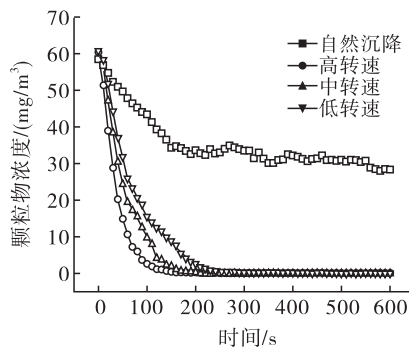


图8 颗粒物浓度变化曲线

由图8可知,在自然沉降的情况下,箱内颗粒物的浓度在0~200 s时间内从58.48 mg/m<sup>3</sup>缓慢下降到32.37 mg/m<sup>3</sup>,最终缓慢波动下降至28 mg/m<sup>3</sup>左右,基本趋于稳定,净化效率达到52.12%。在样机高转速运行的工况下,箱内颗粒物浓度在0~90 s时间内从60.39 mg/m<sup>3</sup>迅速下降至3.71 mg/m<sup>3</sup>,在90~180 s时间内缓慢下降至0.15 mg/m<sup>3</sup>趋于稳定,净化效率达99.75%。在样机中转速运行的工况下,箱内颗粒物浓度在0~130 s时间内从59.70 mg/m<sup>3</sup>迅速下降至3.69 mg/m<sup>3</sup>,在130~280 s时间内缓慢下降至0.15 mg/m<sup>3</sup>趋于稳定,净化效率达99.75%。在样机低转速运行的工况下,箱内颗粒物浓度在0~190 s时间内从60.79 mg/m<sup>3</sup>迅速下降至3.32 mg/m<sup>3</sup>,在190~440 s时间内缓慢下降至0.15 mg/m<sup>3</sup>趋于稳定,净化效率达99.75%,相较于自然沉降情况下的净化效率提高了47.63%。

#### 5 结论

该文利用PLC、PM2.5传感器和4G网关实现了移动式焊接烟尘净化器的三种运行模式,满足了用户对移动式焊接烟尘净化器的需求;采用颗粒物传感器对气溶胶浓度进行实时采集,设备根据传感器数据在相应的工况下运行;此外,设计的人机交互界面功能区布局合理、界面简洁,使操作者能够轻松理解和使用,指示灯、仪表盘和数据窗口实时直观地反映了移动式焊接烟尘净化器的运行状态,使操作者能够实时了解设备的工作情况。通过实验对样机进行了性能测试,样机最大处理风量为591.98 m<sup>3</sup>/h,净化效率达99.75%,相较于自然沉降情况下的净化效率提高了47.63%,具有较好的净化效果。

#### 参考文献:

- [1] 朱琳奇. 研究现代焊接技术发展的现状及展望[J]. 商品与质量, 2019(25):154.
- [2] 宋永伦. 焊接环境、健康与安全的相关技术及其发展路线[J]. 电焊机, 2011, 41(2):12-15.

- [3] GONSER M, HOGAN T. Arc Welding health effects, fume formation mechanisms, and characterization methods [M]. In Tech, 2011.
- [4] FLOROS N. Welding fume main compounds and structure [J]. Welding in the World, 2018, 62(2):311-316.
- [5] 朱珍文,石珏,顾玉芬,等.焊接烟尘的危害及综合治理研究现状[J].电焊机,2022,52(05):1-12.
- [6] 吴洋.焊接烟尘对健康的影响及防护措施[J].技术与市场,2017,24(11):167.
- [7] 代志刚,颜晓飞.焊接烟尘的污染及净化设备分析[J].环境保护与循环经济,2020,40(04):34-36.
- [8] 滕建礼,莫杏梅,高晓晶,等.电焊烟净化设备生产现状及存在的问题[J].中国环保产业,2018(09):36-37.
- [9] 张峰,徐明娜.基于PLC的全自动工业洗衣机控制系统的设计[J].国外电子测量技术,2021,40(01):87-91.
- [10] 徐和林.一种便携式空气净化器的创新设计与研究[J].中国新技术新产品,2019(17):17-18.
- [11] 陈长锋.现代电气控制及PLC应用技术分析[J].中国设备工程,2022(18):186-188.
- [12] 高浩源.多功能清洁净化器系统电气控制办法[J].物联网技术,2022,12(02):73-75.
- [13] 宋云飞,常博景,朱磊,等.智能可移动的空气净化器器的设计[J].机电工程技术,2020,49(11):46-47.
- [14] 邢满荣,张鹏,王晓冬,等.基于PLC和MCGS组态的机械手控制系统的设计[J].制造业自动化,2015,37(07):11-23.
- [15] 吴海翔,盛亚英.基于PLC组态分析原理的自动化编程控制系统设计[J].制造业自动化,2021,43(11):153-156.
- [16] 李志瑶,王颖,李金秋,等.人机交互式空气净化器控制系统的设计[J].信息与电脑(理论版),2022,34(12):73-75.
- [17] 戴艺,孙慧霞,申立朝,等.基于物联网的智能空气净化系统的设计[J].机电产品开发与创新,2021,34(06):31-33.
- [18] 王领,何志超,张岩,等.车载空气净化器的设计与性能研究[J].日用电器,2022(11):117-120.
- [19] 庞宗强,吴浩,王严晖,等.基于STM32的智能物联空气净化系统[J].国外电子测量技术,2022,41(01):87-92.
- [20] 李宏燕,刘行宇,陈浩浩,等.多功能空气净化器设计及试验[J].机械设计与研究,2023,39(01):230-235.