

智能餐厨垃圾处理装备控制系统设计与试验

韩越强 张 锐 路成宇 王国业 韩向辉 徐东鑫

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要:为解决餐厨垃圾资源化利用率不足、垃圾处理高污染和垃圾处理装备能耗高、操作不便等问题,设计一种智能餐厨垃圾处理装备控制系统,以提高餐厨垃圾处理的自动化水平。该系统主要由 STM32 主控系统、电机驱动系统、质量控制系统、温度调控系统、辅助控制系统、净化系统和存储系统组成。基于 USART HMI 软件设计智能串口屏界面,智能串口屏通过 TTL 串口与 STM32 单片机进行串口通信,能够完成餐厨垃圾处理工作参数设置和显示控制系统运行状态信息,实现对餐厨垃圾处理装备的精确控制。搭建试验硬件平台,以系统工作的温度区间和餐厨垃圾与高温好氧复合微生物菌种的配比为试验因素,以餐厨垃圾的减重率和用电量为试验指标进行试验。试验结果表明,系统工作的温度区间和餐厨垃圾与高温好氧复合微生物菌种的配比对餐厨垃圾处理有显著影响;当控制系统运行的温度区间为 85 ~ 95℃,餐厨垃圾与高温好氧复合微生物菌种的比例为 15:1 时,30 kg 餐厨垃圾和 2 kg 菌种经过 5 h 处理,减重率为 90.38%,平均用电量为 1.96 kW·h,处理餐厨垃圾效果显著。该系统实现餐厨垃圾无害化处理,餐厨垃圾处理后的有机物通过好氧堆肥技术转化成腐殖质,用于田间施肥或者制作动物饲料,提高垃圾资源化利用率。

关键词:餐厨垃圾; 高温好氧; STM32 单片机; 控制系统; 减重率

中图分类号: TP271.4; S216.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2022)S2-0161-09

Design and Test of Control System for Intelligent Kitchen Waste Treatment Equipment

HAN Yueqiang ZHANG Rui LU Chengyu WANG Guoye HAN Xianghui XU Dongxin

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve the problems of insufficient resource utilization of kitchen waste, high pollution of waste treatment and high energy consumption and inconvenient operation of waste treatment equipment, an intelligent kitchen waste treatment equipment control system was designed to improve the automation level of kitchen waste treatment. The system was mainly composed of STM32 main control system, motor drive system, weight control system, temperature control system, auxiliary control system, purification system and storage system. The interface of intelligent serial port screen was designed based on USART HMI software. The intelligent serial port screen communicated with STM32 through TTL serial port, which could complete the working parameters setting of kitchen waste treatment and displayed the operation status information of the control system to realize the accurate control of kitchen waste treatment equipment. The experimental hardware platform was built, the temperature range of the system and the ratio of kitchen waste and high temperature aerobic microbial strains were used as experimental factors. The weight-loss ratio and power consumption of kitchen waste were used as experimental indexes. The experimental results showed that the temperature range of the system and the ratio of kitchen waste and high temperature aerobic microbial strains had very significant effect on kitchen waste treatment; when the temperature range of the control system was 85 ~ 95℃, the ratio of kitchen waste and high temperature aerobic microbial strains was 15:1, 30 kg kitchen waste and 2 kg bacteria were treated for 5 h, the weight-loss ratio was 90.38%, the average power consumption was 1.96 kW·h, and the treatment effect of kitchen waste was remarkable. The system realized the harmless treatment of kitchen waste. The

收稿日期: 2022-06-13 修回日期: 2022-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51775548)

作者简介: 韩越强(1998—),男,硕士生,主要从事农业装备智能控制系统研究,E-mail: hanyueqiang123123@163.com

通信作者: 王国业(1963—),男,教授,博士,主要从事车辆机电控制及智能化研究,E-mail: wgy1615@126.com

organic matter after kitchen waste treatment was converted into humus by aerobic composting technology, which was used for field fertilization or animal feed production to improve the utilization rate of waste resources.

Key words: kitchen waste; high temperature aerobic; STM32 single-chip microcomputer; control system; weight-loss ratio

0 引言

随着国家城市化进程的不断加快和人民生活水平的持续提高,城市餐饮业日益繁荣,国内外超大城市每天产生餐厨垃圾高达几千吨,且呈现不断递增的趋势^[1-3]。目前,我国餐厨垃圾处理能力远低于产生量。“十四五”期间,我国餐厨垃圾处理从技术到处理产能都需要得到快速提升。《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》提出,为推动行业高质量发展,2025 年底全国城市生活垃圾资源化利用率要达到 60%^[4]。因此对于城镇生活垃圾的无害化处理和资源化利用具有重要的现实意义。在国外,欧盟和日本等国家循环利用城市垃圾和餐厨垃圾,加强营养物质的回收,如波兰政府要求从 2020 年到 2025 年,城市垃圾循环利用从 20% 增加到 55%^[5-6]。

当前,餐厨垃圾具有高油、高盐、含水率高、有机质含量高的特点^[7]。餐厨垃圾处理方式^[8-10]主要包括高温好氧微生物降解技术、厌氧发酵、好氧堆肥和饲料化技术。其中厌氧发酵、好氧堆肥等技术在处理餐厨垃圾时,气味重、易滋生有害细菌、污染环境且处理不彻底,而高温好氧微生物降解技术是一种餐厨垃圾生化处理技术^[11-12]。其基本原理是选取自然界生命活力和繁殖能力特别强的高温好氧复合微生物菌种,在装备中进行高温发酵,发酵过程中高温好氧复合微生物菌种产生多种酶,如蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、几丁质酶、纤维素酶、氧化酶和水解酶等,能快速分解餐厨垃圾^[13],生成二氧化碳、水和有机物。处理后的有机物通过好氧堆肥技术把有机物转化成腐殖质,用于田间施肥或者制作动物饲料^[14-15]。其优点为处理速度快、范围广、无异味。因此采用高温好氧微生物降解技术有利于餐厨垃圾处理的减量化、资源化和无害化。

本文设计一种智能餐厨垃圾处理装备控制系统,通过高温好氧微生物降解技术处理餐厨垃圾,该系统在装备满载工作状态下,灵活调节电机正反转,以及精确控制装备工作温度,保证高温好氧复合微生物菌种在最适宜的温度下与餐厨垃圾充分接触,加快餐厨垃圾分解,改善餐厨垃圾处理效果。

1 系统结构与工作原理

智能餐厨垃圾处理装备控制系统^[16-18]主要由 STM32 主控系统、电机驱动系统、质量控制系统、温度调控系统、辅助控制系统、净化系统和存储系统组成,如图 1 所示。其中 STM32 主控系统由 STM32 单片机和智能串口屏^[19-20]组成;电机驱动系统由变频器和三相电机组成;质量控制系统由轮辐压力传感器和称量变送器组成;温度调控系统由加热管、温度变送器、热风机和温度传感器组成;辅助控制系统由交流接触器和继电器组成;净化系统由镇流器和 UV 光氧灯组成;存储系统由 STM32 单片机中的 TF 卡模块和 SD 卡组成。

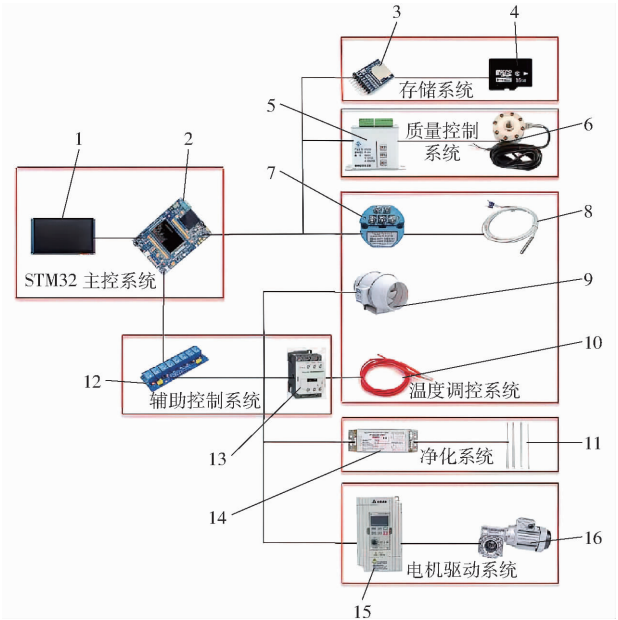


图 1 智能餐厨垃圾处理装备控制系统示意图
Fig. 1 Schematic of intelligent kitchen waste disposal equipment control system

- 1. 智能串口屏 2. STM32 单片机 3. TF 卡模块 4. SD 卡 5. 称量变送器 6. 轮辐压力传感器 7. 温度变送器 8. 温度传感器 9. 热风机 10. 加热管 11. UV 光氧灯 12. 继电器 13. 交流接触器 14. 镇流器 15. 变频器 16. 三相电机

智能餐厨垃圾处理装备控制系统工作过程主要包括试验准备阶段和餐厨垃圾处理阶段。试验准备阶段包括餐厨垃圾的称量和配比相应的高温好氧复合微生物菌种^[21]。试验阶段在 STM32 主控系统控制下,电机开始转动,餐厨垃圾在辊轴的搅拌下与菌种充分混合接触,餐厨垃圾与菌种充分混合后,进行

分解反应^[22]。其具体步骤包括:电机按照设定时间循环进行正转、反转和停止。电机启动的同时,UV 光氧灯打开,UV 光氧灯安装在排气管道出口处,对搅拌仓内餐厨垃圾分解产生的气体进行杀菌消毒,实现无害化。加热管开始对搅拌仓进行加热,使搅拌仓内温度上升,菌种逐渐活跃,加快餐厨垃圾分解,当搅拌仓内的温度大于设定温度上限时,加热管

停止加热,热风机启动,对搅拌仓内进行降温;当搅拌仓内的温度小于设定温度下限时,加热管继续加热,热风机关闭。当餐厨垃圾减重至一个设定减重率时,系统停止工作,热风机关闭,加热管关闭,电机停止,UV 光氧灯关闭。智能串口屏控制电机反转,将餐厨垃圾处理后的有机物从出料口排出,工作完成,试验过程流程图如图 2 所示。

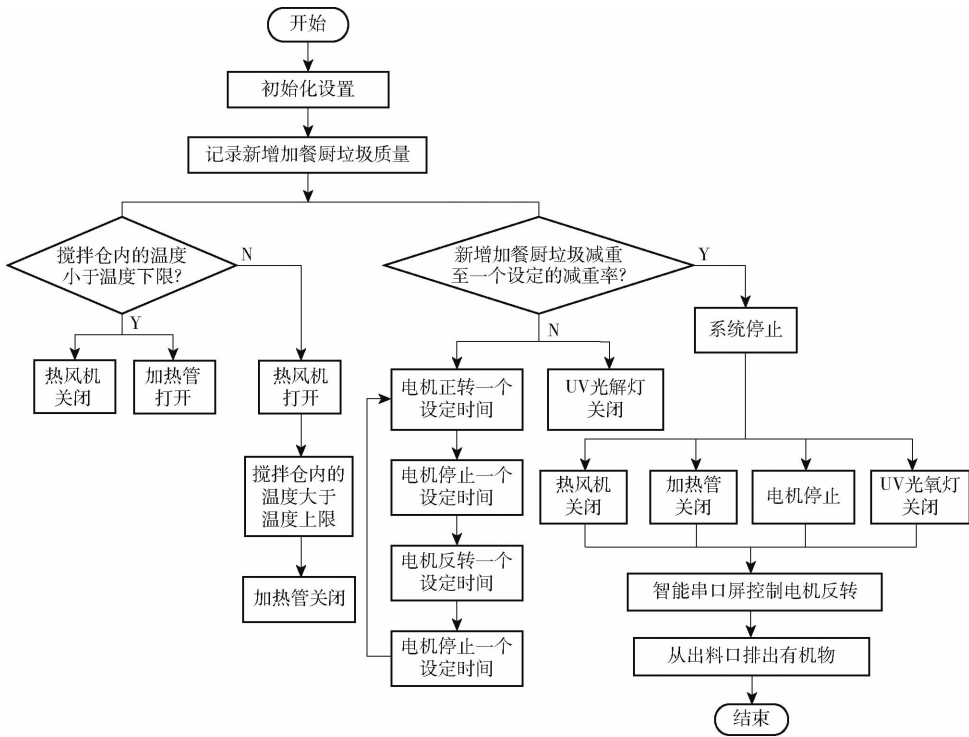


图 2 试验过程流程图
Fig.2 Test process flow chart

2 控制系统硬件设计

2.1 控制系统总体设计

智能餐厨垃圾处理装备控制系统由 STM32 单片机作为下位机,智能串口屏作为上位机,对智能串口屏进行界面设计,通过 TTL 串口与 STM32 单片机进行串口通信^[23]。通过 SDIO 接口驱动 SD 卡,实现读写操作,应用 FATFS 文件系统管理 SD 卡,实现在 SD 卡里新建文件。通过模数转换模块将传感器的模拟信号转换为数字信号。通过 STM32 单片机输出高低电平控制继电器通断,进而控制电机、热风机、加热管、UV 光氧灯。系统整体方案如图 3 所示。

2.2 控制系统设计

2.2.1 STM32 主控系统

STM32 单片机作为 STM32 主控系统的核心模块,主要完成对智能串口屏指令信息的接收与反馈,采集并记录轮辐压力传感器的压力和温度传感器的温度,控制电机、热风机、加热管以及 UV 光氧灯等

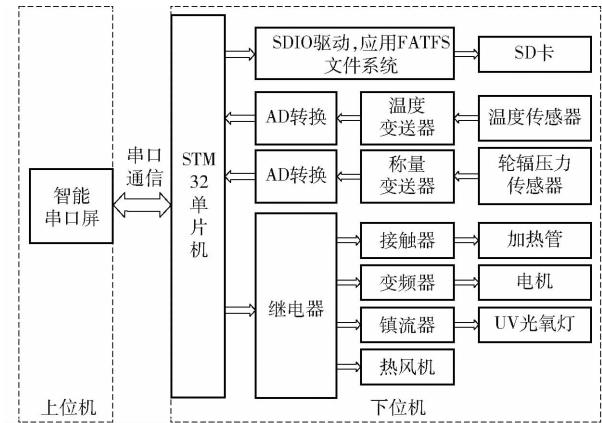


图 3 系统整体方案图
Fig.3 System scheme

功能。采用以 STM32F103ZET6 为主芯片的单片机,CortexM3 为系统内核,具有 512 K 的 Flash 存储器,主频为 72 MHz,共有 112 个 IO 端口和 144 个引脚,11 个定时器和 13 个通信接口,满足智能餐厨垃圾处理装备控制系统的需求^[24]。

智能串口屏与 STM32 单片机进行串口通信,智能串口屏的 TX 端和 RX 端分别连接 STM32 单片机

串口的 RX 和 TX 的 IO 端口,两者波特率应一致。本文选用 TJC1060X570_011 型智能串口屏。

2.2.2 电机驱动系统

电机驱动系统通过驱动辊轴粉碎餐厨垃圾,实现搅拌仓内餐厨垃圾与高温好氧复合微生物菌种均匀接触,便于分解反应,电机作为整个智能餐厨垃圾处理装备的动力源,驱动辊轴进行转动,系统选用三相电机,额定功率 750 W,额定转速 1 380 r/min。STM32 单片机不能直接驱动变频器,因此 STM32 单片机与三相电机之间通过变频器和继电器模块连接。变频器采用深圳市中达电气技术有限公司生产的 VFD007M21A 型台达变频器,输入电压 220 V,额定功率 750 W。三相电机转速与频率的关系为

$$n = \frac{60f(1 - s)}{p} \tag{1}$$

式中 n ——三相电机转速
 f ——三相电机频率
 s ——三相电机转差率
 p ——三相电机极对数

由式(1)可知,转速 n 与频率 f 成正比,改变电机频率 f ,三相电机转速改变。通过改变变频器输出频率,进而改变电机转速和扭矩。STM32 单片机通过向继电器发送高低电平信号,控制继电器负载端变频器的通断,实现电机正转、反转、起动和停止。电机与主减速器连接,主减速器与辊轴连接,实现电机驱动辊轴进行正转或反转搅拌餐厨垃圾。

2.2.3 质量控制系统

质量控制系统^[25]用于实时检测餐厨垃圾处理过程中的质量变化。选取 4 个 DYLF-102 型轮辐式压力传感器分别固定在智能餐厨垃圾处理装备的底部四周,选用的轮辐式压力传感器量程 0~100 kg,4 个轮辐式压力传感器通过四合一接线盒与称量变送器连接。

dy500 型称量变送器输入电压 24 V,将轮辐压力传感器输出毫伏电压信号放大,使 STM32 单片机识别电压信号,通过模数转换的功能测量智能餐厨垃圾处理装备的质量。在接线前,称量变送器与上位机软件通过 RS485 通信进行传感器的标定。标定结束后,称量变送器模拟输出端与 STM32 单片机 IO 端口连接。测量的智能餐厨垃圾处理装备质量与称量变送器电压成线性比例关系。

2.2.4 温度调控系统

温度调控系统选用 PT100 型温度传感器和 SBWZ 温度变送器。由于温度传感器输出的是毫伏电压信号,STM32 单片机 IO 端口无法识别毫伏电压信号,因此要经过温度变送器将温度传感器输出电

压放大,放大后电压输出信号连接至 STM32 单片机 IO 端口。SBWZ 温度变送器输入电压 24 V,量程 0~150℃,输出电压 0~5 V,测量的搅拌仓温度与输出电压成线性比例关系。通过 STM32 单片机模数转换功能检测智能餐厨垃圾处理装备的温度。STM32 单片机无法直接驱动加热管和热风机,因此 STM32 单片机与加热管和热风机之间连接继电器。加热管功率过大,继电器与加热管之间需要连接接触器,起到过载保护和控制电路通断作用。高低电平信号经过继电器,控制加热管和热风机的通断,实现加热管和热风机打开或关闭。

3 控制系统软件设计

3.1 控制程序设计

控制系统控制程序设计分为主程序模块、定时中断模块、串口通信模块、数据采集模块和数据存储模块。

控制系统正常工作下主要有自动模式和手动模式。在自动模式中,搅拌仓内餐厨垃圾减重至一个设定的减重率时,系统停止运行。切换手动模式,通过智能串口屏发出一个新的触发指令,控制系统恢复自动运行模式。

3.1.1 主程序模块

主程序模块中,系统进行初始化,调用子函数模块,设置串口波特率,设置 IO 端口高低电平,实现控制电机正反转或停止。通过延时函数和循环函数设置电机起动和停止的时间。

3.1.2 串口通信模块

初始化 USART1 后,接收中断开启,当智能串口屏发送十六进制数据时,STM32F1 的串口接收寄存器内即为非空,触发接收中断。为确认 USART1 是否发生接收中断,调用读取串口中断状态标志位函数 USART_GetITStatus,如果确实产生接收中断事件,执行 if 内的语句,将串口接收到的数据保存在 Res 变量里,usart1ReCount 为接收每一帧数据的字节数。智能串口屏发送每一帧数据的帧头为 0XB562,当识别到 0XB562 时,usart1ReCount 往下计数保存这一帧数据,在帧尾处通过累加校验算法检验这一帧数据是否正确,当通过累加校验时,U1_RX_OKflag 标志位赋值为 1。如果识别数据帧头不是 0XB562,usart1ReCount 重新计数识别数据帧头。智能串口屏上点击不同的按钮时,通过串口向 STM32 单片机发送不同的十六进制数,当 STM32 单片机识别不同的按钮下发的指令时,将做出不同的动作。智能串口屏发送程序流程图如图 4 所示。

定义数值发送函数 HMI_SendNum,在函数参数

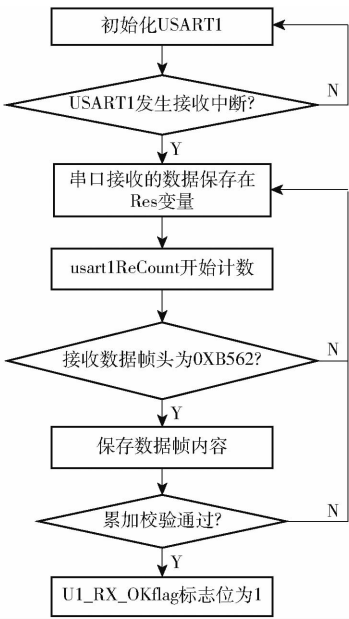


图4 智能串口屏发送程序流程图

Fig. 4 Program flowchart of intelligent serial screen sending

里设置选择串口输出、数值代码、数值代码长度、串口输出显示数值和显示数值位数。根据不同数值代码长度和数值的位数在 for 循环里通过 USART_SendData 函数给上位机发送数据。等待数据发送结束,向上位机发送 0XFF,表示发送结束。定时中断引用数值发送函数 HMI_SendNum,通过 STM32 单片机向智能串口屏发送数值,智能串口屏上显示 STM32 单片机采集的数据,如显示装备的温度和质量。智能串口屏接收流程图如图 5 所示。

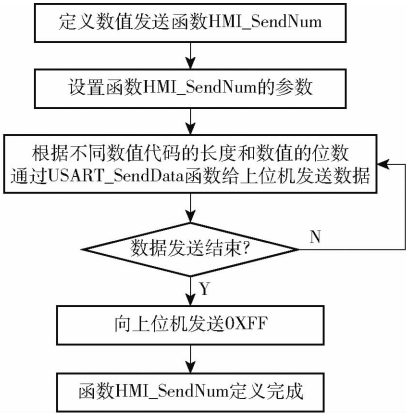


图5 智能串口屏接收程序流程图

Fig. 5 Program flowchart of intelligent serial screen receiving

3.1.3 数据采集模块

定义 ADC_ConvertValue 数组存储 3 个 ADC1 通道的变量值,由于需要采集 3 个不同的数值,需要通过多通道 AD 采集和多通道 DMA 传输模式的方式,配置 ADC1 的通道 4、5、7。根据对应的通道配置相应的模拟输入引脚。将数据采集模块设置成连续转换模式,同时对应 DMA 通道开启循环模式,数据采集模块一直进行数据采集,通过 DMA 传输模式将

采集的数据搬运至数组中。
为了提高控制系统的精度,使测量结果更接近真实值,对模拟量进行多次采样,运用去极值平均滤波法对采样值进行平滑处理,去掉明显的脉冲干扰^[26]。控制系统对目标参数连续采样 10 次数据,对 10 次数据进行从小到大排序,去掉最大值和最小值,将剩余的 8 个数据求其算术平均值,得到本次模数转换的数字量。

3.1.4 数据存储模块

数据存储模块用于记录相关的试验数据。对 SD 卡进行初始化,先定义 Write_TFCard 函数,在 SD 卡上注册一个工作区域。创建一个文本文档。移动文件在指针上开始记录时间、试验数据和智能餐厨垃圾处理装备的状态信息,记录完试验数据后关闭这个文本文档。进入下一次中断时重复执行上述操作,记录试验数据,方便后续进行试验分析。数据存储模块程序流程图如图 6 所示。

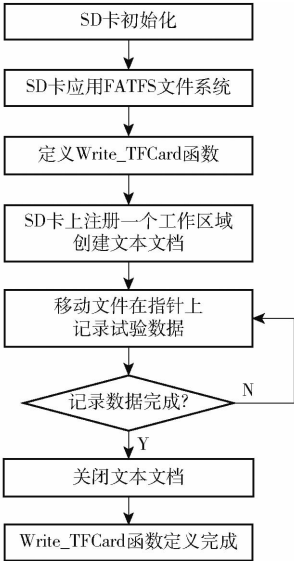


图6 数据存储模块程序流程图

Fig. 6 Program flowchart of data storage module

3.1.5 定时中断模块

定义定时中断初始化函数,进入定时器中断服务程序来判断中断是否发生,当中断产生时,清除中断标志,将 ADC_ConvertValue 数组中的变量值根据对应关系转换成电压,采集电压和温度的关系为

$$t = \frac{t_l U}{U_{\max}}$$
 (2)

式中 t ——搅拌仓内温度
 t_l ——温度传感器量程
 $U_{\max}$ ——温度传感器输出电压最大值
 U ——单片机采集电压

4 个轮辐压力传感器的量程为 400 kg,STM32 单片机采集质量 IO 端口测量最大电压为 5 V,采集

电压和装备质量的关系为

$$G=\frac{G_1U}{U_{1max}}-G_2\tag{3}$$

式中 G ——搅拌仓内混合物总质量

G_1 ——轮辐压力传感器量程

G_2 ——装备质量

U_{1max} ——单片机采集 IO 端口测量最大电压

调用 HMI_SendNum 函数显示 STM32 单片机采集的数据和状态信息。调用 Write_TFCard 函数,记录试验数据。如果 U1_RX_OKflag 标志位为 1,说明此时智能串口屏向 STM32 单片机发出控制指令,此时 STM32 单片机识别到指令,并做出相应的动作。定时中断模块程序流程图如图 7 所示。

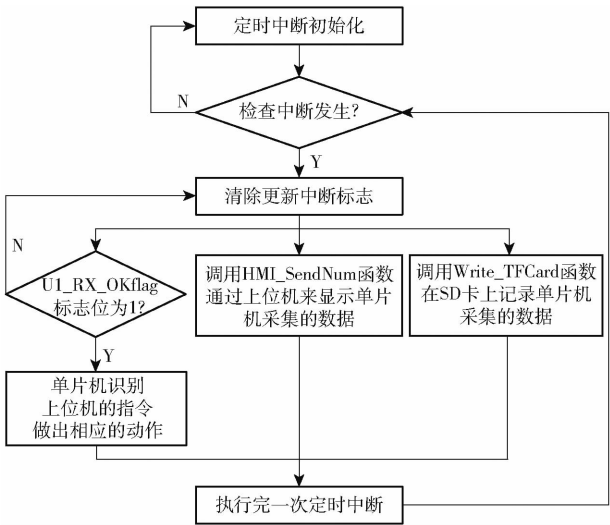


图 7 定时中断模块程序流程图

Fig. 7 Program flowchart of timing interrupt module

3.2 智能串口屏设计

智能串口屏界面设计采用 USART HMI 软件进行,基于 C 语言编译代码配置波特率和屏幕亮度。本次界面设计有 5 个页面,分别为开机页面、系统状态页面、系统操作页面、系统设置页面和使用说明页面。系统状态页面中,实时显示温度调控系统和质量控制系统所检测装备的温度和质量,显示加热管、热风机、电机实时状态信息,方便实时观察装备运行状态。系统操作页面中,控制加热管、热风机和电机,实现手动模式控制智能餐厨垃圾处理装备。系统设置页面中,设置热风机和加热管打开或关闭的温度值,使智能餐厨垃圾处理装备在较优的参数情况下运行。使用说明页面给予用户一个使用说明文档。系统状态页面如图 8 所示。

4 试验与分析

4.1 试验装备与试验材料

为了验证试验的稳定性和可靠性,同时对硬件

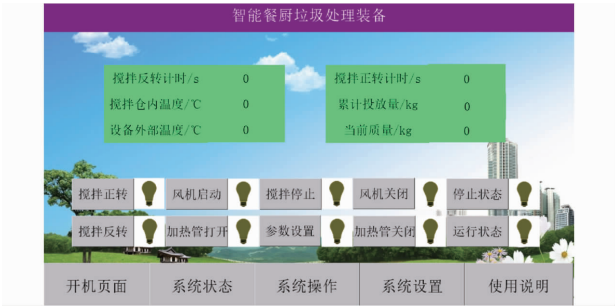


图 8 系统状态页面

Fig. 8 System status interface

部分的参数进行优化,基于餐厨垃圾处理装备设计智能餐厨垃圾处理装备的控制系统,装备外观及控制系统实物连接图如图 9 所示。本次试验的材料是滤去泔水的餐厨垃圾和相应配比的高温好氧复合微生物菌种。



图 9 装备外观及控制系统连接图

Fig. 9 Equipment appearance and control system connection diagram

4.2 试验方法与指标

4.2.1 试验因素

为验证餐厨垃圾处理装备控制系统的可行性及最优控制策略,本试验主要分析不同系统工作温度区间和餐厨垃圾与高温好氧复合微生物菌种配比对餐厨垃圾处理的影响。

4.2.2 试验内容与指标

选择餐厨垃圾的减重率和用电量作为试验指标,由于好氧复合微生物菌种的活跃温度在 75 ~ 105℃ 之间,分析不同系统工作温度区间和餐厨垃圾与高温好氧复合微生物菌种配比对餐厨垃圾处理性能的影响规律,进行 5 组试验,设定系统工作 5 h 或者减重率达到 90% 时,停止工作。每次试验记录搅拌仓内温度和质量,每组试验结束后,通过电表观察并记录每组试验的用电量,每组试验的试验变量如表 1 所示。

根据搅拌仓内混合物质量计算不同试验条件下的搅拌仓内混合物减重率,减重率计算公式为

$$q=\frac{G_4-G_3}{G_4}\times 100\%\tag{4}$$

式中 q ——搅拌仓内混合物减重率

G_4 ——搅拌仓内混合物反应开始的质量

G_3 ——搅拌仓内混合物反应结束的质量

表 1 不同试验条件下的试验变量

Tab.1 Test variables under different test conditions				
试验组	系统工作温度上限/℃	系统工作温度下限/℃	餐厨垃圾质量/kg	菌种质量/kg
试验 1	85	75	30	2
试验 2	95	85	30	2
试验 3	105	95	30	2
试验 4	95	85	30	1
试验 5	95	85	30	3

4.3 试验结果与分析

4.3.1 试验结果

试验过程中,控制系统运行正常,稳定可靠,参数设置方便快捷,实现了对餐厨垃圾处理装备的稳定控制,未出现系统停顿现象。通过对比试验找到合适的垃圾处理条件。基于参数优化的试验结果,绘制搅拌仓内温度和搅拌仓内混合物质量随时间的变化关系,如图 10、11 所示。减重率和用电量试验结果如表 2 所示。

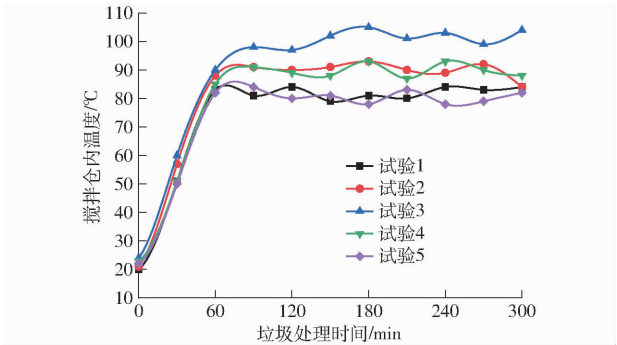


图 10 不同试验条件下搅拌仓内温度随时间变化曲线
Fig. 10 Temperature change curves of mixing chamber with time under different test conditions

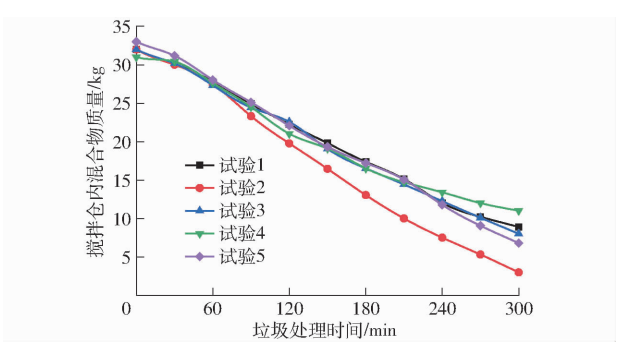


图 11 不同试验条件下搅拌仓内混合物质量随时间变化曲线
Fig. 11 Variation curves of mixture quality in mixing chamber with time under different test conditions

为进一步研究反应时间对试验结果的影响,排除外界因素干扰,结合上述试验结果,在试验 2 的条件下,增加几组试验。分别设定系统工作 4、5、6 h 或者减重率达到 90% 时,停止工作。进行试验并记录试验数据,在不同反应时间下,绘制搅拌仓内温度

和搅拌仓内混合物质量随时间的变化曲线,如图 12、13 所示。

表 2 减重率和用电量试验结果

Tab.2 Test results of weight loss rate and power consumption			
试验组	减重率/%	总用电量/(kW·h)	平均用电量/(kW·h)
试验 1	72.16	8.45	1.69
试验 2	90.38	9.80	1.96
试验 3	74.91	12.35	2.47
试验 4	64.42	9.90	1.98
试验 5	89.21	9.75	1.95

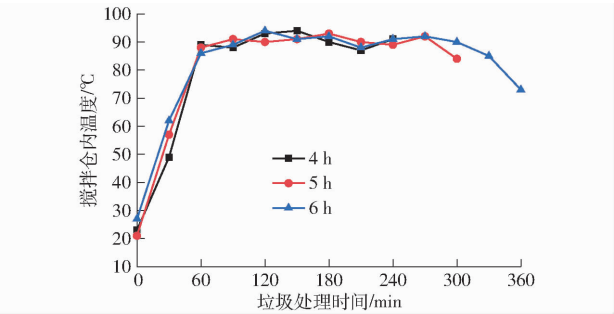


图 12 试验 2 在不同反应时间下搅拌仓内温度随时间变化曲线

Fig. 12 Experiment 2 temperature variation curves with time in mixing chamber at different reaction times

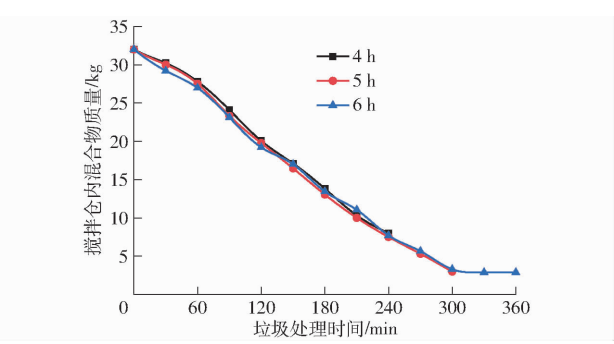


图 13 试验 2 在不同反应时间下搅拌仓内混合物质量随时间变化曲线

Fig. 13 Experiment 2 variation curves of quality of mixture in mixing chamber with time at different reaction times

4.3.2 结果分析与讨论

对比试验 1、2、3,当系统工作温度从室温上升至 75℃ 以上时,餐厨垃圾单位时间减重率上升,反应进行至最后阶段,餐厨垃圾单位时间减重率下降,原因是在最后阶段,由于菌种经过长时间分解餐厨垃圾,菌种的活跃程度和质量下降,分解过程逐渐缓慢。通过对比观察看出,当设定系统工作温度上限为 95℃,系统工作温度下限为 85℃ 时,菌种处于相对活跃的状态,处理效果较佳,减重率最高。试验 2 在工作至 300 min 时,温度下降至 84℃,系统已达到设定减重率,达到预期效果。当温度低于 85℃,或

者高于 95℃ 时,其菌种的活性略低,反应迟缓,餐厨垃圾分解慢,减重率低。试验 1 和试验 3 在工作至 300 min 时,系统未达到设定减重率。

对比试验 2 和试验 4 可知,当放入菌种量减少,即餐厨垃圾与菌种配比减小时,处理效果明显变差,由此可见,菌种量对餐厨垃圾分解的影响大。通过对比试验 2 和试验 5 可知,餐厨垃圾高温好氧复合微生物菌种比例为 15:1 时,餐厨垃圾处理效果较好,因此菌种量不是越多越好。

通过观察 5 组试验用电量情况,结合每组试验设定的温度值可知,系统工作的温度区间对用电量有很大影响,系统工作的温度越高,耗电越多。此外,装备刚开始启动时,由于温度低,装备需要借助加热管加热进行升温,此过程耗用电量较高,装备温度达到稳定状态后,单位时间用电量趋于稳定。

通过对比分析 5 组试验数据可知,当餐厨垃圾为 30 kg、菌种为 2 kg、系统工作温度上限为 95℃、系统工作温度下限为 85℃ 时,餐厨垃圾处理效果显著,总用电量为 9.80 kW·h,平均用电量为 1.96 kW·h,耗能较低,经济效益较好。

通过对比试验 2 在不同反应时间下试验数据可知,对于本试验所选配比的餐厨垃圾与菌种混合物,

试验进行至 5 h,餐厨垃圾处理达到极限状态,餐厨垃圾与菌种在高温下的分解反应逐渐停止。

5 结论

(1)设计了智能餐厨垃圾处理装备控制系统,以 STM32 单片机为控制核心,搭建试验硬件平台,采用智能串口屏进行人机交互,具有良好的操作性,能够完成餐厨垃圾处理参数设置和显示控制系统运行状态信息,实现了对餐厨垃圾处理装备的精确控制。

(2)试验分析得出,系统运行的温度区间为 85 ~ 95℃,餐厨垃圾与高温好氧复合微生物菌种比例为 15:1,30 kg 餐厨垃圾和 2 kg 菌种经过 5 h 处理,减重率为 90.38%,平均用电量为 1.96 kW·h,效果最好。

(3)试验表明,智能餐厨垃圾处理装备控制系统运行平稳可靠,具有状态稳定、信号传输快、操作便捷等特点。在整个控制系统的相互配合作用下,实现餐厨垃圾无害化处理,并且在该状态下处理餐厨垃圾,能耗低,成本低。通过好氧堆肥技术将餐厨垃圾处理后剩余的有机物转化成腐殖质,用于田间施肥或者制作动物饲料,提高垃圾资源化利用率。

参 考 文 献

- [1] 周俊,王梦瑶,王改红,等.餐厨垃圾资源化利用技术研究现状及展望[J].生物资源,2020,42(1):87-96.
ZHOU Jun, WANG Mengyao, WANG Gaihong, et al. Research status and prospect of kitchen waste resource utilization technology[J]. Biological Resources, 2020,42(1):87-96. (in Chinese)
- [2] AN Ying, LI Guangming, WU Wenqing, et al. Generation, collection and transportation, disposal and recycling of kitchen waste: a case study in Shanghai[J]. Waste Management & Research, 2014(32):245-248.
- [3] REN Yuanyuan, YU Miao, WU Chuanfu, et al. A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: research updates and tendencies[J]. Bioresource Technology, 2018(247):1069-1076.
- [4] 《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》印发[J]. 工程建设标准化,2021(6):25.
- [5] JAN DEN B, GUDRUN O, SEBASTIAN G, et al. Enhancement of food waste management and its environmental consequences[J]. Energies, 2021,14(6):1790.
- [6] MICKY A B. A benefit-cost analysis of food and biodegradable waste treatment alternatives: the case of Oita City, Japan[J]. Sustainability, 2020,12(5):1916.
- [7] 任海静,马一祎,王攀.我国城市餐厨垃圾处理与再生利用技术发展分析[J].建设科技,2021(17):26-30.
REN Haijing, MA Yiyi, WANG Pan. Analysis on the development of urban kitchen waste treatment and recycling technology in China[J]. Construction Technology, 2021(17):26-30. (in Chinese)
- [8] 吴树彪,郎乾乾,张万钦,等.微量元素对餐厨垃圾厌氧发酵的影响实验[J].农业机械学报,2013,44(11):128-132.
WU Shubiao, LANG Qianqian, ZHANG Wanqin, et al. Effect of trace elements on anaerobic fermentation of kitchen waste[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(11):128-132. (in Chinese)
- [9] 李铁,李磊,张大雷,等.餐厨垃圾和牛粪混合厌氧发酵工艺优化[J].农业机械学报,2012,43(增刊):180-185.
LI Tie, LI Lei, ZHANG Dalei, et al. Optimization of mixed anaerobic fermentation process of kitchen waste and cow dung[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.):180-185. (in Chinese)
- [10] WANG Huihui, LI Zifu, ZHOU Xiaoqin, et al. Anaerobic co-digestion of kitchen waste and blackwater for different practical application scenarios in decentralized scale: from wastes to energy recovery[J]. Water, 2020,12(9):2556.
- [11] 王新杰,郁昂,黄韦辰,等.超高温好氧堆肥技术对隔离区餐厨垃圾处理的应用可行性分析[J].厦门大学学报(自然科学版),2020,59(3):354-359.
WANG Xinjie, YU Ang, HUANG Weichen, et al. Application feasibility analysis of ultra-high temperature aerobic composting technology in kitchen waste treatment in isolation area[J]. Journal of Xiamen University (Science Edition), 2020,59(3):

- 354 – 359. (in Chinese)
- [12] 李秀艳, 吴星五, 高廷耀, 等. 接种高温菌种的生活垃圾好氧堆肥处理[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2004, 32(3): 367 – 371.
LI Xiuyan, WU Xingwu, GAO Tingyao, et al. Aerobic composting of domestic waste inoculated with high-temperature bacteria [J]. Journal of Tongji University (Science Edition), 2004, 32(3): 367 – 371. (in Chinese)
- [13] 郝春霞, 陈灏, 赵玉柱. 餐厨垃圾厌氧发酵处理工艺及关键设备[J]. 环境工程, 2016, 34(增刊 1): 691 – 695.
HAO Chunxia, CHEN Hao, ZHAO Yuzhu. Kitchen waste anaerobic process and key equipment [J]. Environmental Engineering, 2016, 34(Supp. 1): 691 – 695. (in Chinese)
- [14] 盛维杰, 靳晨曦, 李光明, 等. 厨余垃圾好氧堆肥技术研究进展[J]. 上海节能, 2021(6): 554 – 563.
SHENG Weijie, JIN Chenxi, LI Guangming, et al. Research progress on aerobic composting technology of kitchen waste [J]. Shanghai Energy Conservation, 2021(6): 554 – 563. (in Chinese)
- [15] LI Fan, CHEN Jinhai, WANG Lei, et al. Effects of turning frequency on the reduction, humification and stabilization of organic matter during composting: a laboratory-scale research [J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2014, 23(10): 2381 – 2387.
- [16] 侯志伟, 包理群, 杜青青. 基于 STM32 的多通道温度测量系统研究与设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2021(5): 50 – 55.
HOU Zhiwei, BAO Liqun, DU Qingqing. Research and design of multi-channel temperature measurement system based on STM32 [J]. Industrial Instrumentation and Automation Equipment, 2021(5): 50 – 55. (in Chinese)
- [17] 韦宏利, 周建波, 王晴悦, 等. 基于模糊 PID 的温度控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(9): 111 – 116.
WEI Hongli, ZHOU Jianbo, WANG Qingyue, et al. Design of temperature control system based on fuzzy PID [J]. Foreign Electronic Measurement Technique, 2021, 40(9): 111 – 116. (in Chinese)
- [18] 张宝峰, 张耀, 朱均超, 等. 基于模糊 PID 的高精度温度控制系统[J]. 传感技术学报, 2019, 32(9): 1425 – 1429.
ZHANG Baofeng, ZHANG Yao, ZHU Junchao, et al. High precision temperature control system based on fuzzy PID [J]. Journal of Sensor Technology, 2019, 32(9): 1425 – 1429. (in Chinese)
- [19] 李梁京, 张雪芹, 刘华波. 基于 USART – HMI 智能串口屏的节能恒温控制系统设计[J]. 制造业自动化, 2021, 43(9): 140 – 143.
LI Liangjing, ZHANG Xueqin, LIU Huabo. Design of energy saving and constant temperature control system based on USART – HMI intelligent serial port screen [J]. Manufacturing Automation, 2021, 43(9): 140 – 143. (in Chinese)
- [20] 刘寺杰, 徐敏, 张晨宇, 等. 基于 HMI 智能串口屏显示的温湿度测量系统[J]. 科教导刊, 2018(24): 59 – 60, 84.
LIU Sijie, XU Min, ZHANG Chenyu, et al. Temperature and humidity measurement system based on HMI intelligent serial display [J]. Journal of Science and Education, 2018(24): 59 – 60, 84. (in Chinese)
- [21] 王琬, 孙远波, 孙大禹. 一种新型厨余垃圾自动处理系统设计[J]. 机械科学与技术, 2013, 32(7): 1046 – 1048.
WANG Wan, SUN Yuanbo, SUN Dayu. Design of a new kitchen garbage automatic processing system [J]. Mechanical Science and Technology, 2013, 32(7): 1046 – 1048. (in Chinese)
- [22] 吴昊, 宗志敏, 张赣道. 生活垃圾处理机中复合微生物降解厨余垃圾的机理研究[J]. 环境工程, 2017, 35(5): 103 – 106.
WU Hao, ZONG Zhimin, ZHANG Gandao. Study on mechanism of degradation of kitchen waste by composite microorganisms in domestic waste disposal machine [J]. Environmental Engineering, 2017, 35(5): 103 – 106. (in Chinese)
- [23] DANNY S, MILTON F R, DIEGO S B, et al. A real-time vehicle identification system implemented on an embedded ARM platform [C] // 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON). IEEE, 2017.
- [24] 程修沛, 李洪文, 王庆杰, 等. 小麦小区播种机排种控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(7): 30 – 38.
CHENG Xiupei, LI Hongwen, WANG Qingjie, et al. Design and experiment of wheat seeding control system in plot seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(7): 30 – 38. (in Chinese)
- [25] 朱银龙, 华超, 苏晓芳, 等. 柔性压力传感器阵列及信号采集系统研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 400 – 405, 413.
ZHU Yinlong, HUA Chao, SU Xiaofang, et al. Investigation on flexible pressure sensor array and signal acquisition system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(8): 400 – 405, 413. (in Chinese)
- [26] 王海宁. 基于单片机温度控制系统的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.
WANG Haining. Design of temperature control system based on microcontroller [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2008. (in Chinese)