

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)03-0036-06

一种新型食用菌液体菌种自动接种机的设计与实现

白智峰¹, 姜雪¹, 边海宁², 刘明¹, 孟凡文¹, 聂余泽¹

(1. 济宁职业技术学院 机电工程系, 山东 济宁 272000; 2. 山东公用热电集团有限公司, 山东 济宁 272000)

摘要:为破解我国食用菌产业液体菌种接种定位难、效率低、设备故障率高及杂菌污染严重等痛点,满足产业现代化、规模化生产对高效精准接种的需求,提升接种效率与菌种品质,研发一种新型食用菌液体菌种自动接种机。研究以 PLC 智能控制系统为核心,采用三维建模与 3D 打印技术,完成接种机总体结构设计,创新构建菌液接种、菌包输送、菌液储存与控制、定位机构四大核心模块;同时开展控制系统软硬件设计,硬件选用西门子 S7-1200 系列 PLC、昆仑通态 MCGS 触摸屏等器件完成设计,软件基于 TIA Portal V18 平台编写主程序与接种子程序,基于 MCGS 组态环境设计设备运行状态实时监控。为验证设备性能,进行多次调试与试验,以 15 cm×20 cm 规格菌包为接种对象,采用一筐 8 个菌包的分组接种模式开展测试。实验结果表明,该自动接种机实现了菌包运输、智能定位、喷射接种等工序的自动化连续作业,有效降低了人工作业强度,规避了人工接种导致的杂菌污染风险。

关键词:食用菌;液体菌种;接种机;智能控制;工厂化生产

中图分类号: TP273;S646.1

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)03-0036-06

Design and implementation of a new type of edible fungi liquid strain automatic inoculation machine

BAI Zhifeng¹, JIANG Xue¹, BIAN Haining², LIU Ming¹, MENG Fanwen¹, NIE Yuze¹

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Jining Polytechnic, Jining 272000, Shandong, China;

2. Shandong Public Thermal Power Group Co., Ltd., Jining 272000, Shandong, China)

Abstract: In order to solve the pain points of liquid strain inoculation in my country's edible fungi industry such as difficulty in positioning, low efficiency, high equipment failure rate and serious bacterial contamination, meet the needs of industrial modernization and large-scale production for efficient and precise inoculation, and improve inoculation efficiency and strain quality, this study develops a new edible fungus liquid strain automatic inoculator. The research takes the PLC intelligent control system as the core, using 3D modeling and 3D printing technology to complete the overall structural design of the inoculation machine, and innovatively constructs the four core modules of bacterial liquid inoculation, bacterial package transportation, bacterial liquid storage and control, and positioning mechanism; at the same time, the control system software and hardware design is carried out. The hardware is designed using Siemens S7-1200 series PLC, Kunlun Tong-state MCGS touch screen and other devices to complete the design. The software is based on TIA Portal the main program and inoculation subprogram are written on the V18 platform, and real-time monitoring of equipment operating status is designed based on the MCGS configuration environment. In order to verify the performance of the equipment, multiple debugging and tests are conducted. The bacteria packages with a size of 15 cm × 20 cm are used as the inoculation objects, and the group inoculation mode of 8 bacteria packages in a basket is used to conduct the test. Experimental results show that the automatic inoculation machine realizes automatic and continuous operations of bacteria package transportation, intelligent positioning, spray inoculation and other processes, effectively reducing the intensity of manual work and avoiding the risk of bacterial contamination caused by manual inoculation.

Keywords: edible mushrooms; liquid strain; vaccination machine; intelligent control; factory production

我国的食用菌品类丰富,有着漫长的种植食用历程,然而食用菌在生产装备和技术这两方面的发展却较为滞后。对于食用菌栽培来讲,菌包接种是其关键的生产步骤。按照接种的食用菌菌种的外形状态,接种分为液体菌种接种和固体菌种接种^[1]。目前固体菌种接种绝大多数

处在人工接种阶段,接种过程机械化程度较低,接种过程菌包很难保证清洁度,接种后极易造成杂菌感染,出现坏包^[2]。液体菌种因其具有菌种纯度高、菌丝发育快、发菌质量高、适合智能化作业等优点成为食用菌工厂化发展的方向^[3]。因此本文基于可编程控制器 PLC 设计一种食用

收稿日期:2024-12-27;录用日期:2025-03-14

基金项目:山东省教育科学“十四五”规划课题(2023QY012)

作者简介:白智峰(1991—),女,硕士,讲师,研究方向:智能控制与电气自动化。

通信作者:姜雪(1991—),女,讲师,研究方向:工业设计、农业机械设计。

引用本文:白智峰,姜雪,边海宁,等.一种新型食用菌液体菌种自动接种机的设计与实现[J].自动化技术与应用,2026,45(3):36-40,98.(BAI Zhifeng, JIANG Xue, BIAN Haining, et al. Design and implementation of a new type of edible fungi liquid strain automatic inoculation machine[J].

Techniques of Automation and Applications, 2026,45(3):36-40,98.)

菌液体菌种自动接种机,可实现自动运输、定位、喷射接种、检测和输送等工序,完成食用菌菌包的自动化、智能化接种,可有效减少人工作业强度,减少外界环境杂菌侵入,提高菌种接种的工作效率和接种后菌包的出菇质量^[4]。

1 结构设计

为满足食用菌液体菌种接种工厂化、规模化生产的需求,针对目前食用菌液体接种定位难、接种效率低、接种后杂菌多等问题,设计研发了一种新型食用菌液体菌种自动接种机。该接种机总体设计分两部分开展,即接种机设置、控制系统设计。技术路线如图1所示。

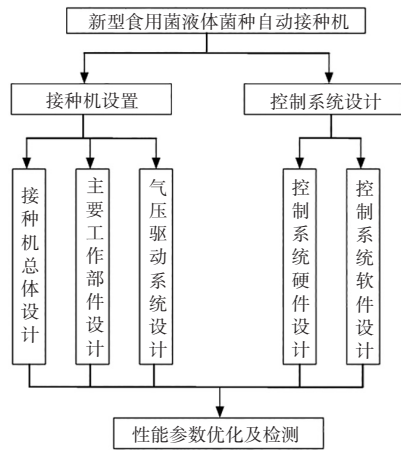


图1 新型食用菌液体菌种自动接种机技术路线

Fig. 1 Technical route of new edible fungi liquid strain automatic inoculator

接种机的设计包括总体设计、主要工作部件设计和气压驱动系统设计3个方面。采用三维建模设计与3D打印技术实现设备创新设计与制作。控制系统设计包括控制系统的硬件设计和控制系统的软件设计。最后通过对接种机的组装和整机调试完成对系统的性能参数优化和检测。

接种机以控制器 PLC 智能控制系统为核心,其结构如图2所示。接种机可实现自动输送、定量接种、自动检测、精准定位等功能。基于接种机工作原理与控制要求,控制软件运用工业组态软件开发出人机交互系统,其中包含自动、手动控制系统。接种时,能实时监测各部件状态,遇意外警报可及时停止和复位以保生产安全^[5]。综合考虑接种效率和精度,结构设计以系统可靠性为基础,简化机构并增加智能控制功能。该系统具有整机控制自动化程度高、稳定性好、生产成本低等优点,通过触摸屏设定可实现定量喷射接种,确保接种量准确、均匀且可调,菌种渗透快速。在全面考虑接种效率、精度的情况下,结构设计以系统可靠性为基础,尽量简化机构,增加智能控制功能,具有整机控制自动化程度高、稳定性好,生产成本低等优点,通过触摸屏设定可调节量喷射接种,实现接种量准确、均匀、可调,菌种渗透快的特点。

食用菌液体菌种自动接种机的整体结构主要包括菌液储存模块、菌液接种模块、菌包输送模块、定位机构等。

1) 菌液接种模块。包括菌液接种装置、菌液输送装置、菌液分配装置和气动装置等部分,主要负责将菌液按照设定的量均匀喷入到标准化菌包中。创新设计的菌液接种机构如图3所示。

2) 菌包输送模块。包括传送带、驱动机构、菌包引导机构等,主要负责生产线中菌包的输送。

3) 菌液储存与控制模块。包括 PLC 控制系统、触摸屏系统、菌液输送装置、换气口等组成,主要负责存储菌种菌液,PLC 控制设备接种、触摸屏参数设定等,完成菌液精准定量输出。

4) 定位机构。包括传感器、定位挡板,气动装置等组成,主要负责将运送到接种设备器下方的菌包精准定位并固定,接种后定位挡板复位。

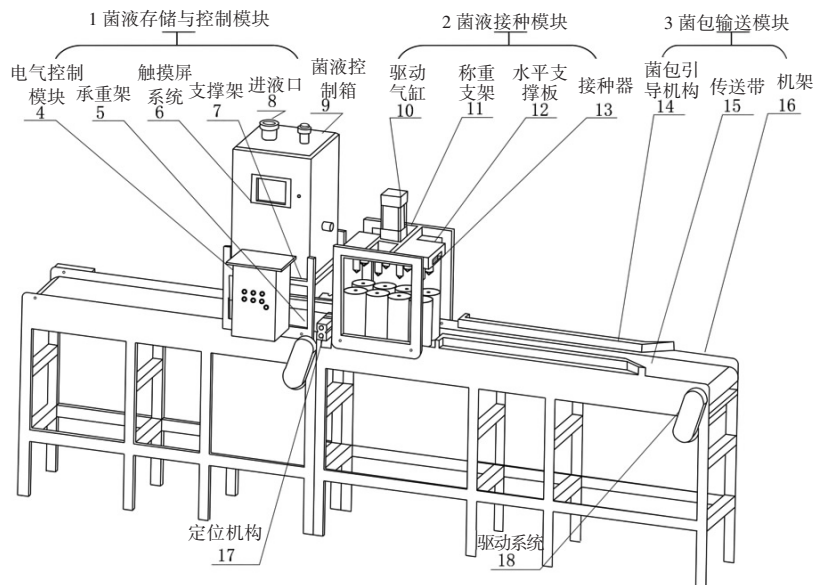


图2 新型食用菌液体菌种自动接种机总体结构

Fig. 2 Overall structure of new edible fungi liquid strain automatic inoculator

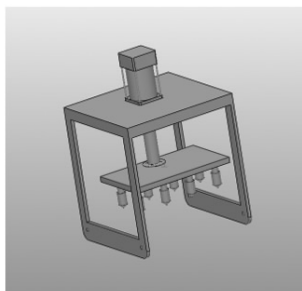


图3 食用菌菌液接种机构设计

Fig. 3 Design of edible fungi liquid inoculation mechanism

2 总体方案

2.1 控制系统设计分析

新型食用菌液体菌种自动接种机控制系统主要由控制器 PLC、HMI 触摸屏、变频器、喷液电磁阀、光电传感器、输送电机、接种驱动气缸等器件构成^[6]。自动接种机控制系统的主控制模块为 PLC，触摸屏中的组态界面可实现人机互动，可用于监控系统运行，设置接种控制模式，实现数据的收集与发送^[7]。接种机的工作过程按照其工艺要求，由运输、定位、接种 3 个工序顺序进行，每道工序之间为自动连续作业。自动接种机控制系统的输入信号主要包括菌包筐入口段位置、液面检测、流量传感器等，由相对应的传感器完成信号采集。输出信号主要包括种位置的挡筐挡板气缸的移动、接种驱动气缸的升降、输送电机的启停等，由相对应执行机构完成动作输出。系统软件部分主要由 PLC 梯形图编写控制程序根据新型食用菌液体菌种自动接种机的控制要求，进行软硬件系统设计。

该接种机适用于食用菌菌包尺寸为 15 cm×20 cm (直径×长度) 菌包接种，传送带上可供一筐 8 个菌包 (可调整) 同时进行接种作业。

2.2 菌液流量控制原理

食用菌菌液的接种量可通过触摸屏进行设定。该系统采用恒压变流的方式对控制系统的出菌量进行控制^[7]。菌液输送管导管内管路压力不变，通过改变电磁阀的流

量，进而改变菌种的出菌量^[8]。编写 PLC 程序时，以单位时间内电磁阀开启的时间作为变量处理，设单位时长为 T ，流量公式为

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \frac{1}{\xi} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho} \Delta t} \quad (1)$$

式中， Q 为通过电磁阀的流量，mL； D 为管道直径，mm； ξ 为阻力系数； Δp 为管路压力差，MPa； ρ 为液体密度， m^3 ； t 为电磁阀开启时长，s。

式中，菌液输送管的直径 D 、阻力系数 ξ 、输送管压力差 Δp 、液体密度 ρ 全部不变的情况下，通过电磁阀的流量 Q 只与电磁阀的开启的时间 t 成对应关系，电磁阀的开启的时间 t 越长通过电磁阀的流量 Q 就越大^[5]。因此，只需要控制电磁阀的开启的时间的长短即可以调节食用菌接种量的大小。

3 控制系统软硬件设计

3.1 控制系统硬件设计

控制器 PLC 选用西门子公司的 S7-1200 系列产品，其核心部件为 CPU 型号 1215C DC/DC/DC^[9]。这款 PLC 具备高可靠性、强大的处理能力和丰富的扩展模块支持，最多可扩展 8 个信号模块，完全满足接种机控制系统的 IO 点需求。其内置的 IE 通讯端口可支持与变频器、触摸屏的通信，与编程电脑进行数据交互^[10]。系统选用西门子 G120C 系列的变频器，可通过 PLC 与变频器通信，实现对电机转速的控制，实现对电机的多种转速控制以及系统运行参数的实时读取^[11]。

触摸屏模块选用昆仑通态 MCGS，操作界面直观，易于操作^[12]。该系统选用了外形小巧、安装简单、灵敏度高的 OMRON 小型光电检测传感器，为菌包的到位检测提供了可靠的保证。接种程序中，通过接近开关数据采集，确保气缸精准定位接种位置，进行喷射接种输入点可对各开关量信号状态进行实时监测，输出点用于控制驱动电磁阀、菌液输送电磁阀等装置。其结构图如图 4 所示。

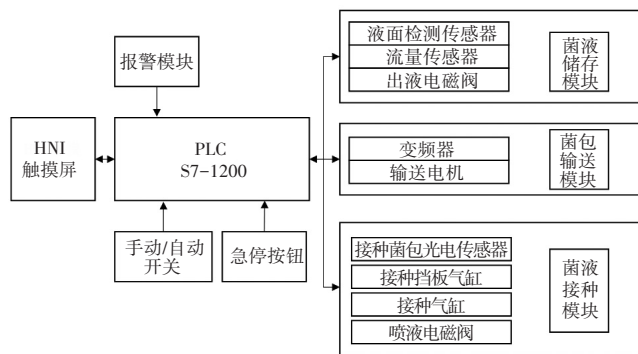


图4 控制系统结构图

Fig. 4 Control system structure diagram

控制系统结构图主要由主控模块 PLC S7-1200、HMI 触摸屏、报警模块、开关模块、菌液存储模块、菌包输送模

块、菌液接种模块组成。PLC 通过液面传感器能够检测液体菌液的剩余量。可在触摸屏上对接种量进行设定，通过

流量传感器控制出液电磁阀,进而控制液体菌液的接种量。PLC通过控制变频器实现菌包输送速度的调整。PLC通过光电传感器感知到装有菌包的菌包筐进站位置,接种挡板控制接种筐的位置,通过接种气缸和喷液电磁阀动作实现定量接种。控制系统设定急停按钮和报警指示灯,保障控制系统安全运行^[12]。

根据工艺要求,分析出任务要求,采用西门子S7-1200系列PLC控制接种过程,确定所需的设备及元件,制定接种控制系统I/O配置表如表1所示。

绘制接种控制系统I/O接线图如图5所示。

3.2 人机界面的设计

人机界面程序在MCGS组态环境软件下完成编程,进入MCGS组态环境,新建工程“食用菌接种机控制系统”,如图6所示。

表1 接种控制系统I/O配置表

Tab. 1 I/O configuration table of vaccination control system

端口	地址	功能
输入端	I0.0	手动自动切换
	I0.1	停止按钮
	I0.2	复位按钮
	I0.3	液位检测传感器
	I0.4	流量传感器1
	I0.5	流量传感器2
	I0.6	接种位置传感器
输出端	Q0.0	出液电磁阀
	Q0.1	接种挡板电磁阀
	Q0.2	接种动作电磁阀
	Q0.3	注菌液开关
	Q0.4	报警信号输出
	Q0.5	变频器输出
	Q0.6	电机传输系统

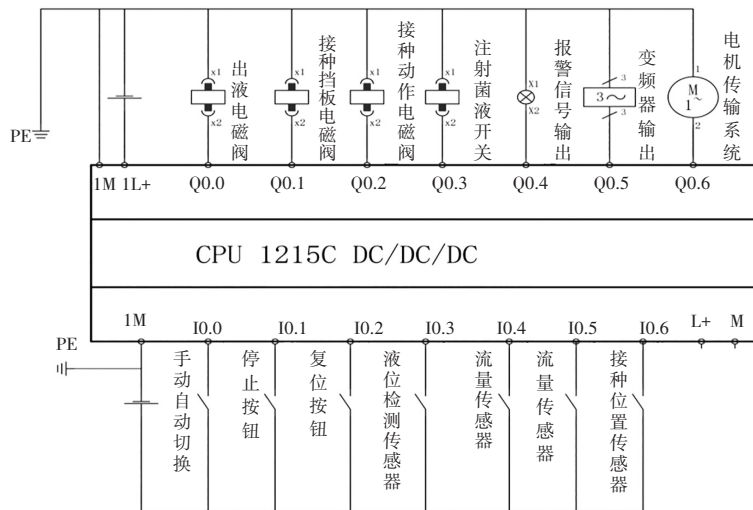


图5 控制系统硬件接线

Fig. 5 Control system hardware wiring



图6 新建工程图界面

Fig. 6 New engineering drawing interface

人机交互界面,通过组态程序设计,接种机接种控制系统的操作界面被分为设备控制部分、系统显示部分和参数设置部分。用户可以通过触摸屏上的操作按钮对设备进行手动和自动控制,同时可以在数值显示框中看到已接种量^[13-14]。此外,系统还具有故障报警功能,当机器发生

故障时,相对应的故障灯会闪烁报警,操作人员能够根据系统提示快速发现故障点,维修人员排除故障后,操作人员可根据实际情况选择在当前状态下继续自动接种,也可回到初始状态后重新工作^[15]。人机触摸屏主操作界面如图7所示。

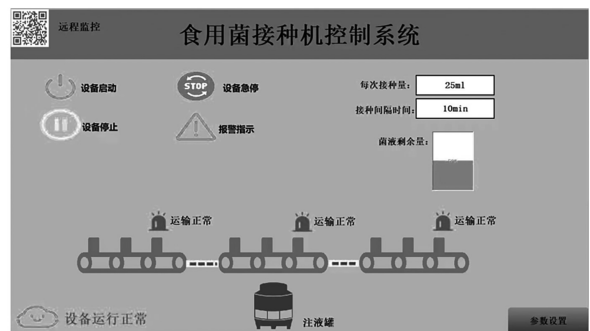


图7 人机触摸屏主操作界面

Fig. 7 Human-machine touch screen main operation interface

整个系统参数如接种量、接种间隔时间等,可在触摸屏上进行设定、修改和显示。同时可以监控系统的运行状态。通过多次试验发现,适当地调整气缸工作时间间隔,能够大幅度提高接种机的工作效率。

3.3 PLC 程序设计

软件选用的西门子博途(TIA Portal V18)软件平台,该平台集成了STEP 7、SINAMICS Startdrive 等设计软件,使得程序编写、变频器调试等工序都可以在同一平台上完成。系统程序设计主要包括主程序、接种子程序等多个部分。主程序流程如图8所示。程序按照食用菌液体菌种的接种工艺流程编写设计^[16-17]。

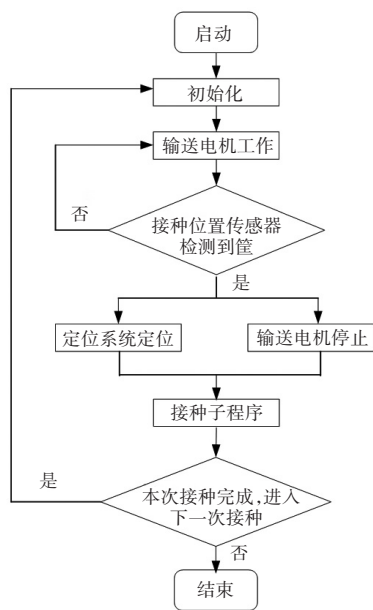


图8 PLC 主程序流程图

Fig. 8 PLC main program flow chart

主程序中,系统进行初始化确保上电处于安全状态,后输送电机进行工作,菌包筐到达接种指定位置后,光电传感器判断是否检测到筐,如果检测到,传送带停止,定位系统定位,进入接种子程序。系统具有严格的逻辑控制和互锁功能^[18-19]。接种子程序如图9所示。

按照接种工艺过程进行设计,进入该子程序中后,先进入接种驱动装置,然后进行判断是否到达接种的合适位置,确定后进行喷射接种,接种完毕后驱动装置退出,退出

子程序。系统中涉及的气缸和电机都设计了手动模式,方便单个设备出现故障时精准检修。

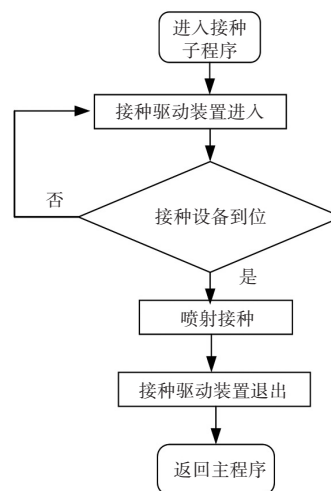


图9 接种过程子程序流程图

Fig. 9 Inoculation process subprogram flow chart

4 试验结果与分析

试验现场图如图10所示。



图10 试验现场照片

Fig. 10 Test site diagram

设备经过反复调试与测试,调整相关参数,调整模型结构,优化程序的逻辑关系,最终达到每组菌包接种时间为4.5 s,实现接种效率≥5 500包/h,最大相对接种量误差≤10%。试验时,按照一筐8个菌包为一组,试验结果如表2所示。菌种感染率低于1%。各项指标均满足设计要求。通过系统试验,整机运行稳定、参数设定合理,已达到控制要求^[20]。

表2 食用菌液体菌种自动接种机性能试验结果

Tab. 2 Performance test results of automatic inoculation machine for edible fungi liquid strains

测试指标	设备接种量/(mL·次 ⁻¹)	菌包接种量/(mL·包 ⁻¹)	菌包接种时间/s	接种能力/(包·h ⁻¹)	菌包污染概率/%
检测结果	120	15	4.5	5 800~ 6 400	1

5 结论

本研究设计了一种食用菌液体菌种自动化接种机。对关键部件进行设计,主要包括接种机接种喷头、接种喷头基座和接种筐定位机构等,进行智能接种机硬件设计与选型,基于人机友好基本原则,设计智能接种机人机交互界面,通过触摸屏可对接种量和接种时间进行设定,实现

了液体菌种的智能化接种,并通过传感器收集环境数据。在试验验证过程中,所开发的新型食用菌液体菌种自动接种机表现出了较高的接种速度和作业效率,与传统接种机相比较,本研究开发的接种机可以有效地提高作业效率,降低成本。设计的接种机自动化程度高、稳定性好,接种量均匀可调,接种后菌包杂菌率低,设备结构简洁且紧
(下转第98页)