

温室悬挂喷施机跨垄作业控制系统设计

张二鹏 马锒宏 耿长兴 李伟*

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

摘要 为提高温室悬挂喷施机效率,实现单台机器对温室全方位覆盖,设计基于 PLC 通信的温室悬挂喷施机跨垄作业控制系统。该系统采用 SIEMENS PLC 之间的 PPI 通信及 SIEMENS PLC 与 Delta 变频器之间的 MODBUS 通信方式,结合多传感器位置融合技术,通过主从 PLC 通信编程,对动作流程进行决策,实现了温室悬挂喷施机全自动换轨。在温室环境下对换轨作业精度与单次换轨时间进行试验结果表明,换轨车行驶速度为 0.15 m/s 时,作业精度 <1 mm,单次换轨时间为 185 s。与人工换轨相比作业精度大幅提高,单次换轨时间明显缩短,满足工程应用需要。

关键词 悬挂喷施机; 跨垄作业; PLC 通信; 农药

中图分类号 S 24

文章编号 1007-4333(2013)06-0170-05

文献标志码 A

Control system for automatic track transferring of greenhouse hanging sprayer

ZHANG Er-peng, MA Zeng-hong, GENG Chang-xing, LI Wei*

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

Abstract In order to improve the utilization of greenhouse hanging sprayer, and to make it possible for one sprayer to cover the whole area of the greenhouse, the control system for automatic transferring of greenhouse hanging sprayer was designed based on PLC communication. Using the SIEMENS PPI communication between 2 SIEMENS S7-200 PLCs, the system combined two controllers in different machines as one. The Modbus communication protocol between SIEMENS S7-200 PLC and Delta VFD-M motor controller made it possible for the real-time adjusting of the sprayer running speed, thus allowing the sprayer to run under a low and safe speed during the transferring period, and a relatively high running speed during the working period. The position sensors at different positions decided whether the sprayer was in the transferring period or the working period. Through proper programming of the control flow, the sprayer and the transfer cart cooperated effectively, the cart carried the sprayer to the next working position after work finished in one row, the system stopped working when all the rows were covered. Experiments have proved that the control system was of high stability. Compared with manual transferring, which costs about 30 min in general, the automatic transferring is remarkably time-saving. Under the running speed of 0.15 m/s, the transfer cart has a positioning precision lower than 1 mm, and the whole transferring process consumes only 185 s, which is about 10 times shorter than the manual transferring. Comprehensive consideration suggests the speed of 0.15 m/s as the most appropriate running speed for the transfer cart.

Key words hanging sprayer; automatic transferring; PLC communication; pesticides

温室内部空间密闭,施药作业环境恶劣,危险系数高,劳动任务繁重,因而对机械自动化作业的需求

非常强烈^[1]。近年来,国内外温室自动施药设备的研究发展较快^[2-10],对于实用机型的研究开发取得

收稿日期:2013-04-19

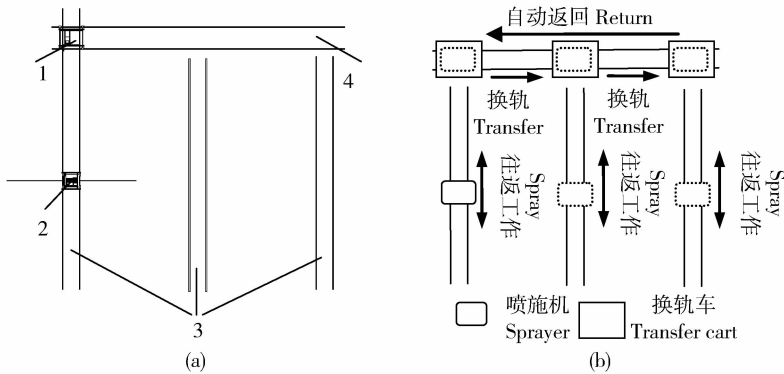
基金项目:国家“863”计划项目(SS2012AA041507)

第一作者:张二鹏,硕士研究生,E-mail:birdinfebruary@163.com

通讯作者:李伟,教授,主要从事农业机器人研究,E-mail:liww@cau.edu.cn

了很大进展^[11-12],尤其悬挂喷施机^[13-14]。该类型喷施机往返行走于平直轨道上,采用悬挂式作业方式完成喷洒作业。

换轨装置是满足温室工厂化生产、系统化控制要求而与喷施机配套使用的设备。目前国内外对于温室喷施机与换轨车配合自动化换轨,整体系统化控制方面研究尚未见报道。本研究旨在设计基于通信^[15-18]的自动化跨垄作业控制系统,实现温室悬挂喷施机自动换轨作业。



1. 换轨车 Transfer car; 2. 喷施机 Sprayer; 3. 喷施机工作轨道 Rails for the spray; 4. 换轨车工作轨道 Rails for the transfer cart.

图 1 温室喷施机跨垄作业系统原理图(a)和流程示意图(b)

Fig. 1 Vertical view of the working system and the flow chart of the system

换轨车内部安装有与工作轨道相接的连接轨道,在连接轨道内设计有连接销,连接销为圆锥型设计,外径 42 mm,锥度 0.48。换轨到位后由电动推杆带动连接销,插入工作轨道,确保外径 48 mm 的工作轨道与换轨车内部轨道之间无缝连接。

2 温室悬挂喷施机跨垄作业系统控制系统

2.1 控制系统总述

喷施机与换轨车核心控制器件同为 SIEMENS S7-200 PLC,工作中 2 台 PLC 实时采集系统输入信息,其中包括系统启动按键以及多个位置传感器。PLC 的系统控制输出主要为喷施机电机变频器、换轨车电机变频器与轨道连接推杆。两控制 PLC 通过 PPI 通信的方式实现信息实时互换,使得 2 台机器作为整体协调工作。整个控制系统要求喷施机需工作于不同的行驶速度,喷施机 PLC 通过 MODBUS 通信控制电机变频器,实现根据工作位

1 温室悬挂喷施机作业系统整体规划

本研究以通州国际种业科技园内一联栋温室为试验场所,内部种植面积划分为 10 个工作垄,单垄宽度 9.5 m,单垄长度 40 m。温室内架设 2 种工作轨道:喷施机行走轨道以及与其垂直搭设的换轨车行走轨道。喷施机单垄作业完成后自动行驶入换轨车,换轨车携带喷施机转换于不同垄位,实现对温室种植面积全方位覆盖(图 1)。

置调整行驶速度的功能,控制系统原理见图 2。

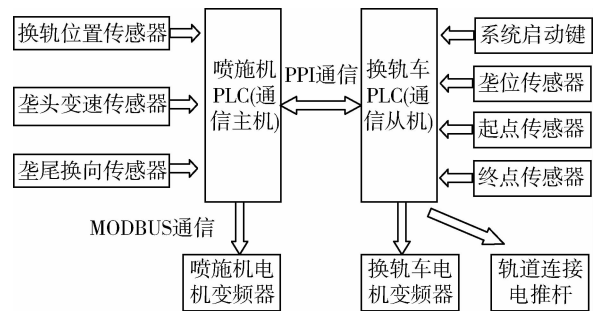


图 2 控制系统原理图

Fig. 2 Block diagram of the automatic transferring control system

2.2 喷施机与换轨车之间 PPI 主从通信

PPI 通信是一种主从协议通信,主站器件发送要求到从站器件,从站器件只接收信息,等待主站的要求并做出响应。在喷施机作业系统中,喷施机作为主要工作机器,完成喷洒农药、液肥等工作,换轨

车作为一个辅助装置,在喷施机完成单垄工作后,将其转移到下一工作位置。就其工作性质而言,喷施机居于主位,换轨车属于从属位。在通信中,喷施机 PLC 作为通信主机,换轨车 PLC 作为通信从机。系统中主从 PLC 采用 RS485 串行连接方式实现 PPI 通信,喷施机和换轨车之间处于实时通信中,喷施机(通信主机)向换轨车(通信从机)发送数据或读取信息,两者配合执行换轨作业。

2.3 喷施机控制 PLC 与电机变频器之间 MODBUS 通信

MODBUS 通信协议是一种标准、开放的通信协议,支持多种接口形式。本系统中采用支持 MODBUS 协议的台达 VFD-M 系列变频器。

执行换轨工作时,为保证作业安全,喷施机需以安全工作速度驶入换轨车。行驶速度实时切换,亦即电机转速的实时切换,反应在电机控制器上,即对变频器的输出频率进行切换,通信的方式可以实现

控制器对于变频器的在线读写,实时改变变频器输出频率。

本设计中,喷施机 PLC 作为 MODBUS 通信的主机,喷施机电机变频器作为从机,地址设为 01, PLC 通过通过串口向变频器发送控制字节,对喷施机变频器的频率进行写操作。喷施机工作阶段, PLC 向变频器发送喷洒模式数据,将喷施机的运行速度设定在工作速度。按照相关标准,喷施机行驶速度一般为 0.1~0.3 m/s,在本设计中设定为 0.1 m/s。控制器 PLC 收到换轨信号时,向变频器发送换轨模式数据,将喷施机的运行速度设定在换轨速度,本设计中为 0.05 m/s。

2.4 温室悬挂喷施机跨垄作业系统软件设计

系统主从机软件采用 SIEMENS STEP 7 编程软件编写。按照功能模块化思想,采用子程序调用的编程结构,根据输入条件的不同进入不同的功能子程序。主机程序流程图与从机程序流程图见图 3。

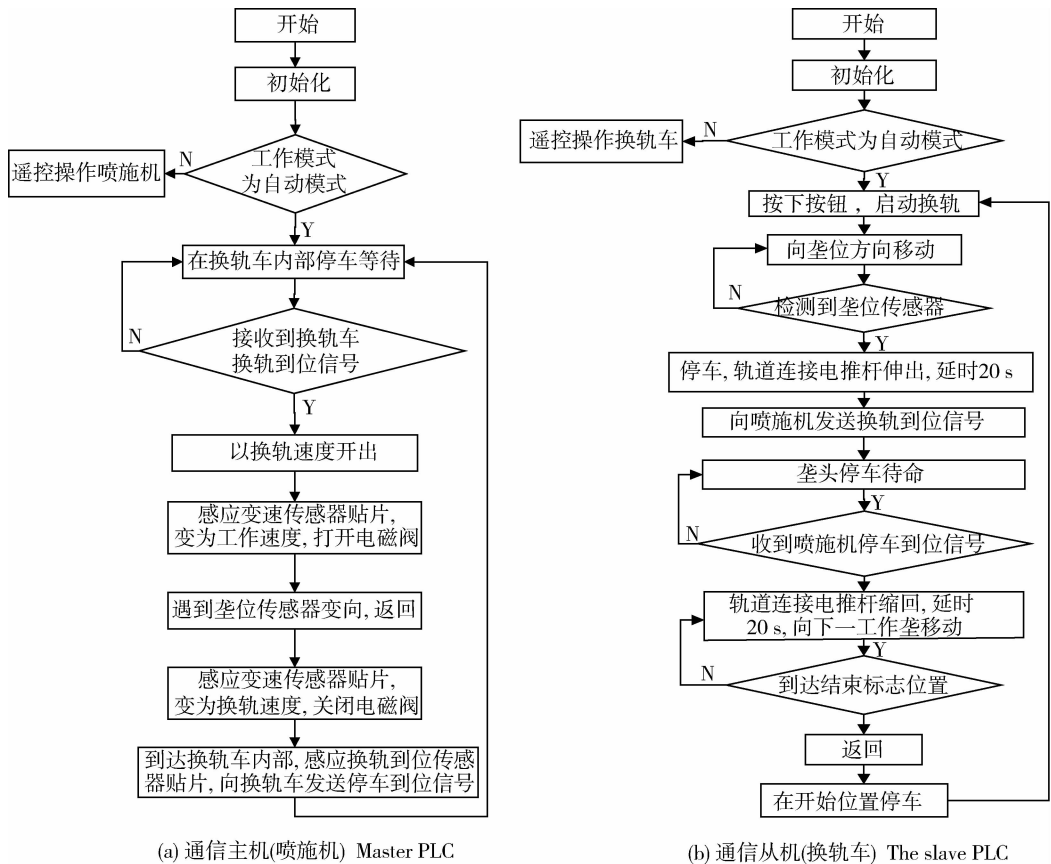


图 3 PPI 通信主机与从机程序流程图

Fig. 3 Flow charts of the master PLC and the slave PLC

喷施机开始工作后,PLC 首先进行初始化,将通信端口 0 设置为 PPI 通信模式,端口 1 设置为自由口通信模式,并对通信波特率等参数进行设置。喷施机设有“自动”与“遥控”2 种工作模式。遥控模式下,喷施机所有动作均由遥控器控制。自动模式下喷施机将自动完成对农作物实施喷雾施肥作业,并在完成单垄作业后自动换轨。换轨车换轨到位,向喷施机发送信号,喷施机以换轨速度开出,感知垄头变速传感器,改变行驶速度,以工作速度行走,电磁阀打开,开始喷雾。感知垄尾变向传感器,改变行驶方向。

返回过程再次感知垄头变速传感器,机器速度切换为换轨速度,电磁阀关闭,结束喷雾。喷施机完全驶入换轨车,换轨位置传感器感应到信息,通过 PPI 通信,向换轨车写入停车已到位信号。换轨车收缩连接销,向下一工作垄位行驶,完成 1 次换轨作业。

作为通信从机的换轨车,主控制 PLC 在开机后亦要执行初始化,内容主要为通信参数的设定。在控制模式上,采取同喷施机相同的“遥控”与“自动”双模式操作。换轨车接收到启动按键信息,向工作垄位行驶,检测到垄位传感器,停车并将连接销伸出,完成轨道对接,向喷施机发送换轨到位信号。受此信号触发,喷施机开出换轨车,进入工作轨道执行喷洒作业。喷施机完成单垄喷洒作业,停入换轨车内部,向换轨车发送停车到位信号。受此信号触发,换轨车将轨道连接销缩回,并向下一工作垄方向行驶。换轨轨道设置有机器起点位置与终点位置传感器贴片,贴片决定了换轨车工作起止位置。通过改变贴片的位置可将工作位限定在特定工作垄,或者增加新工作垄。在不改变内部编程的情况下,可适应工作垄数量变化的工况。

3 试验结果与分析

为测试跨垄作业控制系统工作效果,在温室工况下对换轨车不同行驶速度下的停车精度以及完成 1 次换轨作业的工作时间进行测量。在换轨车车身一固定点用记号笔做标记,同时在与车身平行的轨道上对应点做标记,采用第 1 次停车位置作为标准,测量后续试验停车位置与之偏差;换轨时间为从喷

施机即将进入换轨车,行走速度切换为换轨速度时刻算起,到喷施机驶入下一工作垄切换到工作速度时刻经历的时间。机器在变速传感器感应到贴片位置时进行行走速度切换,垄头变速传感器贴片距离工作轨道末端 1 m。换轨车不同行驶速度下停车位置误差与单次换轨时间关系如表 1。

表 1 换轨车不同行驶速度下的工作效果
Table 1 Test results under different running speeds of the transfer cart

行驶速度/(m/s) Running speed of the transfer cart	停车位置 误差/mm Positioning error	单次换轨时间/s Time consumed during one transfer
0.05	0.2	450
0.10	2.5	260
0.15	4.5	185
0.20	6.6	155
0.25	8.1	140
0.30	10.0	130

换轨车轨道对准精度为 10 次试验结果取绝对值平均值;因换轨过程历时较长,结果受随机因素干扰小,故换轨时间测量采用 3 次试验结果平均。试验结果表明换轨车行驶速度与停车位置误差呈现正相关关系,而与换轨时间呈现负相关关系。

电机行走控制系统为开环控制系统,换轨车停车位置误差受多种因素影响。PLC 程序执行时间与变频器停车加减速时间为程序固化,重复试验中变化微小,所以对试验结果影响很小。轨道在喷施机与换轨车重力作用下变形,对停车效果产生随机性影响,但变形量微小不足以产生运动。换轨车直线运动速度越大,产生的冲量越大,惯性作用下停车时间会越长,停车距离相应变长,与试验结果一致,因此分析停车精度的主要影响因子为行驶速度。

根据试验观察,当误差 > 6 mm 时,对于轨道连接销连接效果产生影响,综合考虑,将换轨车行驶速度设定为 0.15 m/s,此时单次换轨时间为 185 s,而普通人工手动换轨作业时间大约为 30 min,效率有很大提升。

4 结论

本研究设计的温室悬挂喷施机跨垄作业自动控

制系统,实现了中间过程无人操作的喷施机自动跨垄作业。在换轨车不同的行驶速度下对轨道对准精度与单次换轨时间进行试验结果表明:换轨车运行速度越慢,换轨轨道连接处对准精度越高,但相应的换轨时间越长,换轨车工作速度为 0.15 m/s 时系统运行效果最佳。温室悬挂喷施机跨垄作业精度满足使用要求,换轨时间较人工换轨大幅提升,满足无人化工厂化作业的要求。

参 考 文 献

- [1] 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 13-15
- [2] 耿长兴, 曹峥勇, 张俊雄, 等. 温室黄瓜病害对靶施药机器人设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 177-180
- [3] 曹峥勇, 张俊雄, 耿长兴, 等. 温室对靶喷雾机器人控制系统[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊 2): 228-233
- [4] 莽璐, 祁力钧, 冀荣华, 等. 温室自动变量施药系统设计[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(4): 114-118
- [5] Rowe D E, Malone S. Automated greenhouse spray system for increased safety and flexibility[J]. Crop Science, 2000, 40(4): 1176-1179
- [6] Sammons P J, Furukawa T, Bulgin A. Autonomous pesticide spraying robot for use in greenhouse [C] // Australian Conference on Robotics and Automation, Sydney, Australia, 2005: 1-8
- [7] 耿爱军, 张晓辉, 曹胜柱, 等. 烟草抑芽剂智能对靶施药系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 35-40
- [8] 林怡飞, 王库, 候天星, 等. 篱架型作物高效施药技术自适应控制系统的研究与实现[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(6): 108-114
- [9] 魏新华, 蒋杉, 孙宏伟, 等. PWM 间歇喷雾式变量喷施控制器设计与测试[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 87-93, 129
- [10] 王锦江, 陈志, 杨学军. 基于 AT89C51 单片机的变量施药控制系统研究[J]. 农机化研究, 2007(11): 147-149
- [11] 张学军, 张书谦, 蔡峰, 等. 多功能自走式喷灌机: 中国, 200320103129. 2[P]. 2005-02-09
- [12] 郭艳玲, 李志鹏. 可定制功能温室自动喷灌系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 99-101
- [13] 卜云龙, 杨仁全, 王刚, 等. JYG-1 型移动喷灌机的研制[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 286-290
- [14] 卓杰强, 卜云龙, 周增产, 等. 温室具有自动转移装置的移动喷灌机研究开发[J]. 农机化研究, 2012(10): 226-229, 233
- [15] 陈进, 吕世杰, 李耀明, 等. 基于 PLC 的联合收获机作业流程故障诊断方法研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(Z1): 112-116, 121
- [16] 王增强, 曹芳, 段武滨, 等. S7_200 系列 PLC 与变频器在珩磨机中的通信设计与应用[J]. 电气自动化, 2012, 34(6): 79-81
- [17] 孟彬, 王传松, 孙晋勇, 等. 西门子 PLC 与英格索兰压风机之间的 Modbus 通信[J]. 工矿自动化, 2013, 39(1): 118-120
- [18] 沃磊, 孟国营, 汪爱明, 等. 基于 MODBUS 通信协议的减速器监测系统的开发[J]. 仪表技术与传感器, 2008(1): 44-46

责任编辑: 刘迎春