

山地果园液压驱动轨道运输机控制系统的设计

李家学^{1,2}, 李善军^{1,3,4,5,6*}, 张衍林^{1,3,4}, 曾杨康², 刘明迪², 高志远²

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 广东理工学院工业自动化系, 肇庆 526000; 3. 国家现代农业(柑橘)产业技术体系, 武汉 430070; 4. 农业农村部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070; 5. 国家柑橘保鲜技术研发专业中心, 武汉 430070; 6. 农业农村部柑橘全程机械化科研基地, 武汉 430070)

摘要:设计适用于山地果园液压驱动轨道运输机的控制系统,为山地果园液压驱动轨道运输机械的设计提供支持,以提高运输车的安全性和智能性,实现自动控制。在分析液压驱动轨道运输机整机结构和该运输机频繁换向、小范围无极调速等工况基础上,基于PLC、电磁阀和无线通信模块等设计液压驱动山地果园运输机的控制系统。重点对控制系统进行总体分析,对控制装置的驱动模块、速度控制模块、制动模块、遥控和手动控制模块和抗干扰性着重设计,最后通过运输机各项功能和远程遥控试验,对控制系统的稳定性和功能进行试验研究。试验结果表明,该运输机控制系统性能可靠,能够实现运输车启动、制动、速度调节和急停等功能;PLC控制系统体积仅为继电器控制系统的14.8%,接线触点为1/20;山地远程遥控距离达455m。所设计的控制系统运行稳定可靠、适应性强且体积小,满足运输机智能化和安全性控制要求。

关键词: 山地果园; 液压驱动; 控制系统; PLC

中图分类号: S229.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2020)05-0856-07

Design of control device for hydraulic driven track transporter in mountain orchard

LI Jiaxue^{1,2}, LI Shanjun^{1,3,4,5,6}, ZHANG Yanlin^{1,3,4}, ZENG Yangkang², LIU Mingdi², GAO Zhiyuan²

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; 2. Department of Industrial Automation, Guangdong Polytechnic College, Zhaoqing 526000; 3. China Agriculture (Citrus) Research System, Wuhan 430070; 4. Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-lower Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070; 5. National R&D Center for Citrus Preservation, Wuhan 430070; 6. Citrus Mechanization Research Base, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070)

Abstract: The control system of hydraulic drive rail conveyor suitable for mountain orchard was designed to provide support for the conveyor, so as to improve the safety and intelligence of the conveyor and realize automatic control. Based on the analysis of the whole structure of the hydraulic-driven rail conveyor and its frequent diversion and small range stepless speed regulation, the control system of the hydraulic-driven mountain orchard conveyor is designed based on PLC, solenoid valve and wireless communication module. The paper focuses on the overall analysis of the control system, the design of the driving module, speed control module, brake module, remote control and manual control module, and the anti-interference of the control device. Finally, the stability and function of the control system are studied through the tests of various functions and remote-control of the transport aircraft. The test results show that the control system of the performance of the transport control system is reliable, and it can realize the functions of starting, braking, speed regulation and emergency stop of the transporter. The volume of PLC control system is only 14.8% of that of the relay control system, and the wiring contact is 1/20, and the remote-control distance can reach 455m in mountainous area. The designed control system has the advantages of stable and reliable operation, strong adaptability and small volume, which can meet the requirements of intelligent and security control of the conveyor.

收稿日期: 2020-01-15

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0202001), 现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项资金项目(CARS-26), 柑橘全程机械化科研基地建设项目(农计发[2017]19号), 湖北省农业科技创新行动项目, 广东省普通高校青年创新人才类项目(2018KQNCX311), 广东理工学院科技项目(GKJ2018004, 2019GKJEK001)共同资助。

作者简介: 李家学, 讲师。E-mail: lijiaxuevip@163.com

* 通信作者: 李善军, 博士, 副教授, 博士生导师。E-mail: shanjunlee@mail.hzau.edu.cn

Key words: mountain orchard; hydraulic drive; control system; PLC

我国柑橘产地主要分布在南方丘陵地区, 复杂地形给农资和柑橘运输带来极大的麻烦, 增加了果农的劳动强度和劳动成本^[1-2]。然而一般的农用运输机械难以满足山地果园需求, 因此研制一种适用于山地果园的运输机械具有重大的意义^[3]。目前, 国内的学者针对丘陵地形的特点研制出了多种形式的山地果园运输机^[4]。按原动机的驱动形式, 分为柴油机式^[5]、汽油机式^[6]、电动机式以及无动力式运输机^[7-8]; 按运输的结构方式, 分为轨道式^[9-13]、索道式和无轨式运输机^[14-15]。这些山地果园运输机的研制, 极大地改善了我国在丘陵地带运输问题^[16]。

现有的运输机主要采用机械传动或机电传动方式, 运输机工作过程中, 难以实现无级调速, 换向不太灵活。以电动机为原动力的运输机, 还会受电网的影响, 严重制约了山地果园运输机的推广^[7]; 自走式的运输机, 由于柴油机或汽油机的自身重量, 也在一定程度上影响了运输机的运输效率^[5-6]。本研究团队在牵引式单轨运输机的基础上, 设计了山地果园液压驱动遥控轨道运输机^[17]。该运输机以柴油机作为原动力, 经带传动将动力传递给液压泵, 液压泵将油液输送到液压系统后, 各类液压阀控制液压马达正、反转和速度调节, 从而使拖车沿轨道运行。该运输机结构简单, 但作业时仍需人工辅助操作, 在复杂地形和恶劣环境下操作人员难以舒适且有效观察和控制运输机, 不能很好的满足山地果园液压驱动轨道运输作业要求。因此, 研究适用于山地果园液压驱动轨道运输机的控制系统对提高运输车的安全性和智能性, 实现自动控制具有重要的研究意义。

除了对各类运输机的机型进行设计和关键部件研究外, 专家学者对运输机的控制系统也有一定的研究。目前, 欧阳玉平等针对可拆装双轨运输机进行控制系统研究, 采用编码器定位系统实现了载物滑车定位停车^[18]。罗瑜清等以单片机为核心, 设计电动单轨运输机控制装置, 对不同工况电动机的性能进行分析^[19]。张俊峰等以电动推杆为核心采用单片机实现对运输机各项功能的控制^[20]。上述研究为液压驱动轨道运输机的控制系统提供了参考。

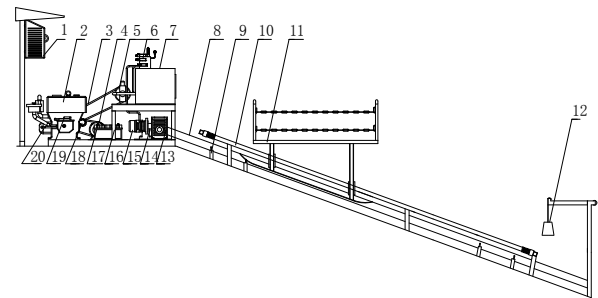
为此, 针对液压驱动轨道运输机的作业特性, 以该运输机为研究对象, 在前期研究的基础上, 本研究设计基于 CX3G-48M PLC 为核心的控制系统, 以期实现对运输机上行、下行、停止和变速等动作的手动和远程遥控控制, 降低劳动人员的劳动强度,

进一步提高运输机的稳定性、安全性和自动化水平。

1 材料与方法

1.1 运输机总体结构

山地果园液压驱动遥控轨道运输机主要由控制系统、驱动装置、支撑轨道、拖车、钢丝绳、配重装置和行程控制装置组成, 其结构如图 1 所示。



1.控制系统 Control system; 2.柴油机 Diesel engine; 3.皮带 Belt; 4.发电机 Generator; 5.变量柱塞泵 Variable Piston Pump; 6.控制阀块 Hydraulic manifold; 7.液压油箱 Hydraulic tank; 8.牵引绳 Traction rope; 9.行程开关 Travel switch; 10.轨道 track; 11.拖车 Trailer; 12.配重装置 Counterweight device; 13.蜗轮蜗杆 Worm; 14.驱动轮 Driving wheel; 15.液压马达 Hydraulic motor; 16.机架 Frame; 17.蓄电池 Battery; 18.电马达 Electric motor; 19.油门电动推杆 Throttle electric push rod; 20.减压阀电动推杆 Decompression valve electric push rod.

图 1 山地果园液压驱动轨道运输机整机结构图

Figure 1 Structure chart of hydraulic driven track transporter in mountain orchard

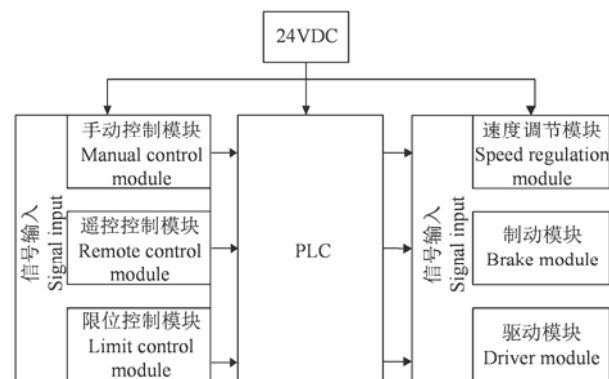


图 2 液压运输机控制装置原理框图

Figure 2 Principle block diagram of hydraulic conveyor control device

控制系统实现对整个运输机运行状态的控制; 驱动装置包括柴油机、液压泵、液压马达、蜗轮蜗杆、驱动轮和钢丝绳等组成; 配重装置靠重力作用拉紧钢丝绳, 使钢丝绳具有足够的预紧力; 行程控

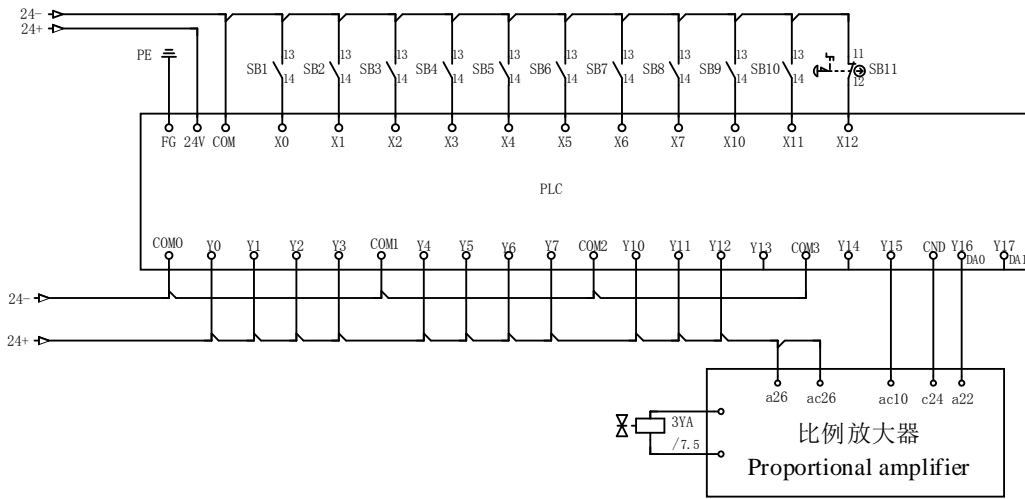


图 3 液压输送机控制系统 PLC 控制电路接线图

Figure 3 Connection diagram of PLC control circuit for hydraulic conveyor control system

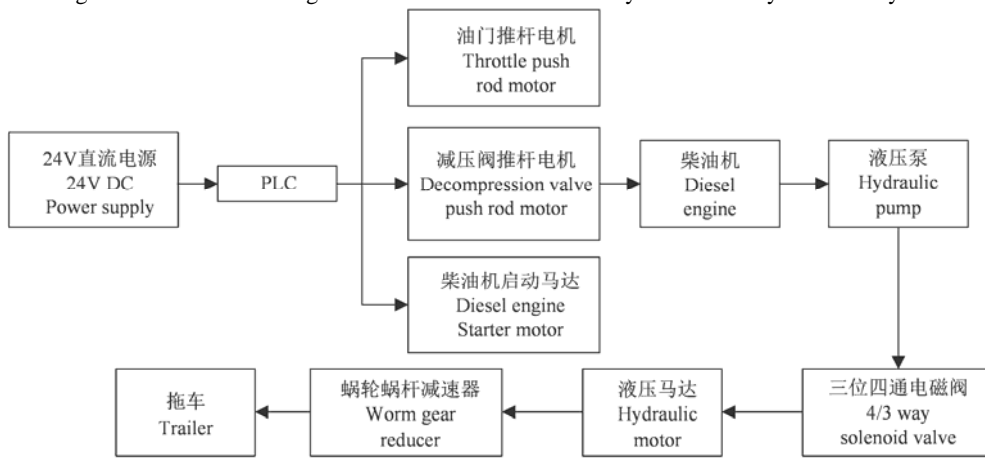


图 4 控制装置驱动模块框图

Figure 4 Control device drive module block diagram

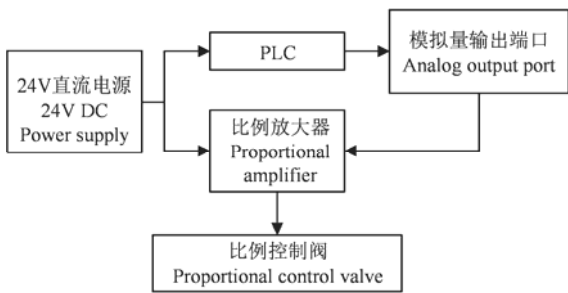


图 5 速度控制模块框图

Figure 5 Block diagram of speed control module

制装置由上行程开关和下行程开关组成并设在轨道始末两端。拖车骑跨在轨道上，在驱动装置的牵引下沿轨道运行^[21]。

1.2 控制系统总体设计

控制装置设计要求：①用户能够通过手动控制面板和无线遥控器控制运输车的各种功能；②在运输车的速度范围内，能随意调节运输车的行驶速度；

③能够灵活地控制运输车的启动与制动、上行与下行；④在运输车轨道的首末两端，设置限位开关，避免运输车冲出轨道，对人员及设备造成伤害。

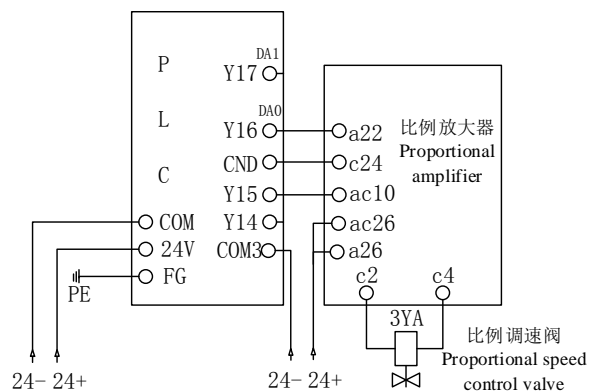


图 6 比例调速阀控制电路图

Figure 6 Control circuit diagram of proportional speed regulating valve

控制系统原理框图如图 2 所示, PLC 控制电路接线如图 3 所示。该控制装置由 24 V 直流电源、手动控制模块、遥控控制模块、限位控制模块、PLC、驱动模块、速度调节模块和制动模块组成^[22]。CX3G-48M PLC 接收来自输入信号部分模块的电位信号, 经 PLC 处理后, 将信号传输到相应的输出模块。手动控制模块与遥控控制模块功能一致, 其中包括柴油机启动、油门加减、系统启停、上下行、加减速和急停等功能; 限位控制模块用于实现拖车运行到轨道首末两端时自动停车功能; 驱动模块用于驱动拖车沿轨道运行; 速度调节模块控制液压系统的流量, 从而改变液压马达转速, 调节拖车的运行速度^[23-24]; 制动控制模块用于拖车沿轨道任一点制动和紧急状态制动。

1.2.1 驱动模块设计 驱动模块包括 24 V 直流电源、柴油机、油门推杆电机、减压阀推杆电机、柴油机启动马达、液压泵、三位四通电磁阀、蜗轮蜗

杆减速器和液压马达, 控制原理如图 4 所示。系统通电后, PLC 不断检测输入信号, 当接收到常柴 R192 型柴油机启动信号后, 油门推杆和减压阀推杆到达预定位置, 柴油机启动马达经齿轮啮合带动柴油机旋转, 若干秒后, 减压阀关闭, 柴油机启动。柴油机经带传动驱动 V25A2R10X 液压泵, 液压泵开始往液压系统供油, 通过 4WE10J50B/AG24 三位四通电磁阀改变 BMR-50 液压马达旋转方向, 马达输出轴经联轴器与 NMRV-P110 蜗轮蜗杆减速器连接, 蜗轮蜗杆带动驱动轮旋转, 驱动轮通过钢丝牵引拖车沿轨道运行。

1.2.2 速度控制模块设计 速度控制模块由 24 V 直流电源、PLC、比例放大器、电液比例调速阀组成, 如图 5 所示。在液压系统中, 使用了 EFBG-03 系列电液比例调速阀来调节液压系统内的流量。比例调速阀与恒美斯 EZ305 比例放大器配套使用, 电气接线图如图 6 所示。

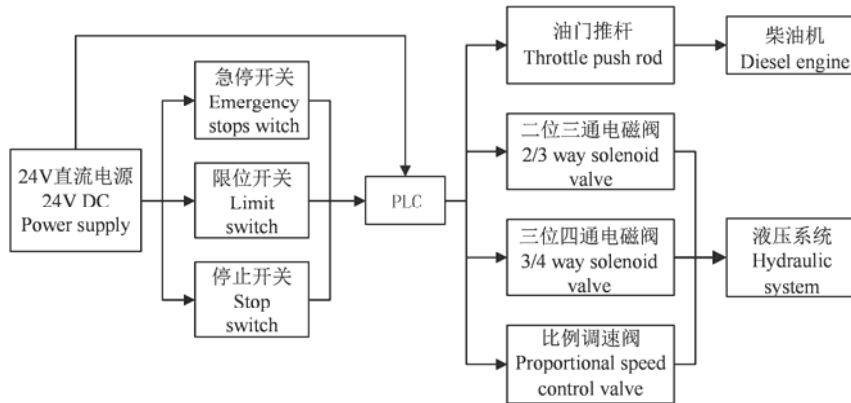


图 7 制动模块框图

Figure 7 Block diagram of brake module

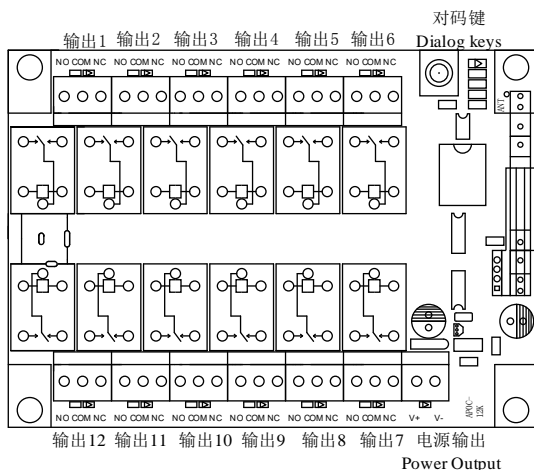


图 8 无线接收模块原理图

Figure 8 Schematic diagram of wireless receiving module

在加、减速阶段, PLC 从模拟量输出端口输出

一定的数字量给比例放大器, 比例放大器接收到数据后, 把数字量转化为相应的电压值并输出给比例调速阀, 比例调速阀调节阀口大小, 控制液压系统流量, 改变液压马达转速, 调节拖车运行速度。

1.2.3 制动模块设计 制动模块主要由 24 V 直流电源、各类制动开关、PLC、油门推杆、二位三通电磁阀、三位四通电磁阀、比例调速阀和柴油机组成, 实现拖车的任一点制动、急停和极限位置制动, 如图 7 所示。

限位开关设置在运输车轨道的首末两端, 当拖车底板碰到限位开关, PLC 接收到信号, 比例调速阀阀口逐渐关闭, 拖车减速, 三位四通电磁阀回到中位, 运输车停止运行, 3WE6A50B/AG24 两位三通电磁阀回到常态位, 保证液压油无压流会油箱; 按下停止开关, 使拖车在轨道上的任何位置停止,

其功能和限位开关控制相同，只是信号输入方式不同；当按下急停按钮时，液压系统停止工作，油门

推杆后退使油门关闭，柴油机停止工作，整个动力系统停止运行。

表 1 IO 分配表
Table 1 IO distribution table

输入信号 Input signal	功能 Function	输出信号 Output signal	功能 Function
X0	启动 Start	Y0	油门（准备） Throttle (preparation)
X1	油门+ Throttle+	Y1	减压阀（打开） Pressure relief valve (open)
X2	油门- Throttle-	Y2	减压阀（关闭） Pressure relief valve (closed)
X3	系统启动 System boot	Y3	启动电机 Starting motor
X4	停止 pack up	Y4	油门（加、减） Throttle (add or subtract)
X5	上行 Upstream	Y5	1YA（二位三通） 1YA (two-bit three-way)
X6	下行 Down	Y6	2YA（三位四通） 2YA (three-way and four-way)
X7	加速 Accelerate	Y7	2YB（三位四通） 2YB (three-way and four-way)
X10	减速 Slow down	Y10	系统运行灯 System operating lamp
X11	急停 Emergency stop	Y11	急停灯 Emergency stop lamp
X12	行程开关 Travel switch	Y12	停止灯 Stop lamp
		Y15	比例放大器使能 Proportional amplifier enablation
		Y16	模拟量输出 Analog output

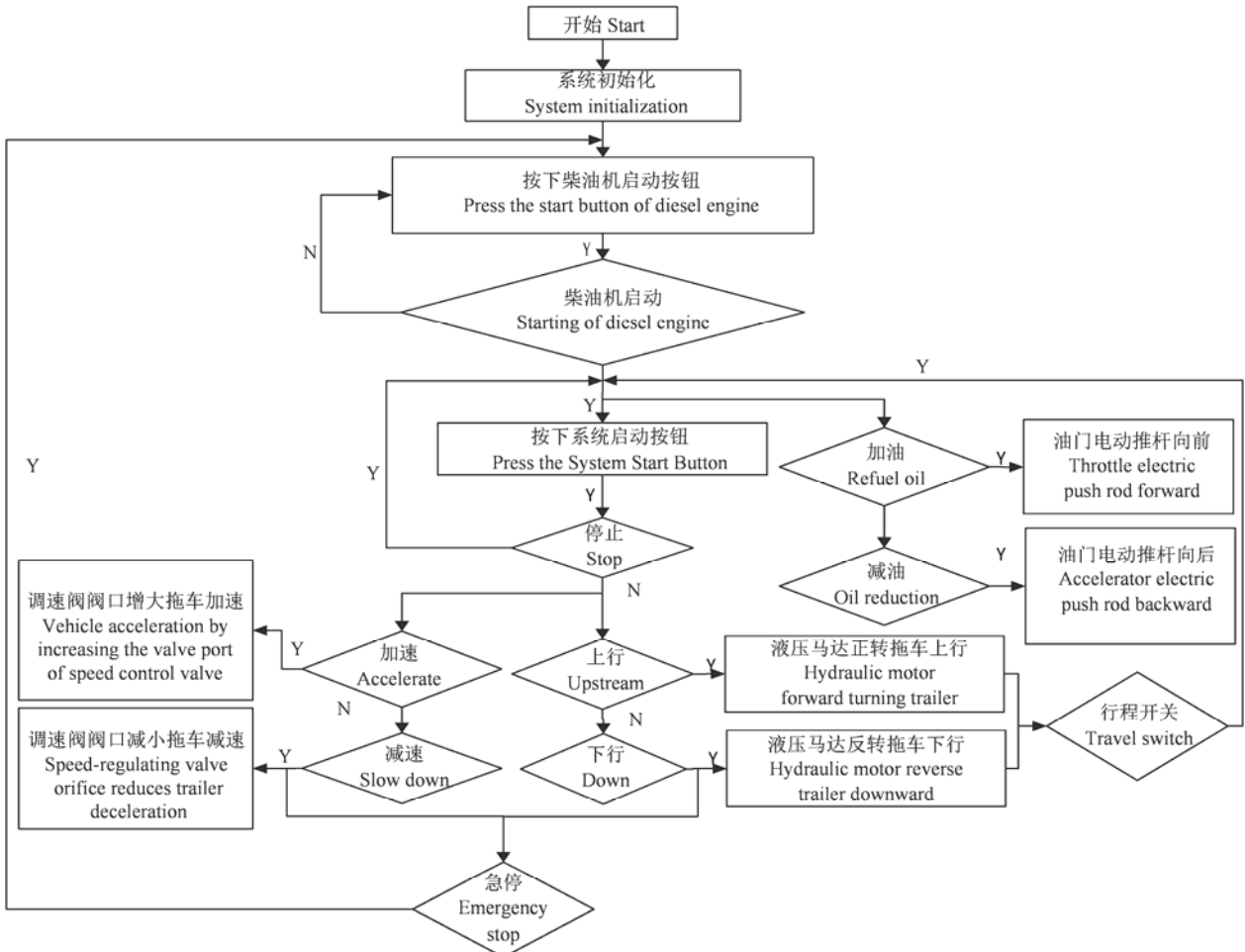


图 9 控制系统流程图

Figure 9 Flow chart of control system

1.2.4 遥控及手动控制模块 遥控及手动控制模块由 24 V 电源、PLC、开关按钮、无线接收模块及遥

控器组成。手动控制模块通过控制面板相应的按钮即可实现对运输机的控制。遥控控制模块和手动控

制模块原理基本一致,只是输入信号方式有所区别。

遥控控制模块采用深圳安平电子公司的 APDC-12K 型 12 路无线接收控制器(如图 8)及其配套使用的遥控器。这款收发装置只需通过遥控器发送无线信号,让接收模块相应的控制块接收储存信号即可。其中,除输出 12 设置为信号自锁型,且用常闭接线柱外,其余 11 个输入都是信号非锁,并且用常开接线柱。当按下 1 号键,对应的 1 号继电器吸合,接信号传送到 PLC,PLC 接收到信号后,经过内部程序执行相应的命令。

1.3 软件设计

PLC 控制程序使用三菱编程软件 GX WORKS2 进行程序编写。PLC 的 IO 控制表如表 1 所示,控制系统流程图如图 9 所示^[25]。

1.4 抗干扰设计

果园运输机安置于山地环境,因此 PLC 控制系统工作环境恶劣,不仅容易受到空间辐射和湿度过大等外部环境干扰,而且受到 PLC 系统本身引起的干扰^[26]。PLC 控制系统的可靠性直接影响到运输机的安全生产和运行。为此,针对系统软、硬件采取了适当的抗干扰措施^[27],主要为:①因 PLC 控制系统属于高速低电平系统,固 PE 端采用单独直接接地方式,且将电源线和 I/O 线尽可能的分布于不同线槽布线,对于只能在一一线槽布线时,采用金属板将线隔开并屏蔽,且将金属板接地;②PLC 控制系统电源与柴油机启动电源分开,采用独立且性能优良的 24 V 电源;③在系统安装中,PLC 控制柜注意远离了高压柜、大动力设备和高频设备,并且远离发热的柴油机和液压设备,并放置在通风良好的位置,而且在 PLC 的外部设置防水系统,防止雨水进入,造成机器损坏;④为了避免空间辐射对 PLC 通信网络干扰,在电源线之间接滤波电容,以提高装置和系统的抗干扰能力;⑤在软件中设置过载延时,过热延时等参数项,进一步提高 PLC 的抗干扰能力。

2 结果与分析

2.1 运输机性能测试

通过使用遥控器和手动控制面板分别对液压驱动轨道运输机启动、制动、加减速、换向等预设功能分别在有无振动的情况下进行 10 次验证,得出运输机在两种不同方式的控制下,实现拖车上、下行,任一点瞬间制动,紧急状态下急停,频繁换向,拖车起步匀加速后匀速运动及极限位置自动停止功能,满足控制系统的功能性和稳定性设计要求,试

验现场如图 10 所示。

2.2 运输机控制系统性能试验

本系统使用 PLC 代替继电器后,大量的开关动作由无触点的半导体电路完成,减少了大量的中间继电器和时间继电器,体积由原来的 $500\text{ mm}\times 240\text{ mm}\times 450\text{ mm}$ 缩小到 $257\text{ mm}\times 160\text{ mm}\times 195\text{ mm}$,为原来体积的 14.8%,并且 PLC 的配线比继电器控制系统的配线大量减少,接线触点为继电器控制系统的 1/20,降低了接线的复杂程度和减少因触点接触不良造成的故障率。采用远程遥控信号接收器确定发射信号是否有效,使用皮卷尺测量远程遥控距离,分别在华中农业大学狮子山和华中农业大学柑橘园进行试验,如图 11 所示。两地植被密度分别为 $1\ 200\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-3}$ 、 $800\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-3}$,两地植被密度均在我国柑橘种植密度 $800\text{ hm}^3\sim 1600\text{ hm}^3$ 范围内,两地植被高度分别为 $\leq 5\text{ m}$ 、 $2.5\sim 3\text{ m}$,我国柑橘种植高度一般为 $\leq 3\text{ m}$ 。因此信号接收器高度以 3 m 为界,得出植被密度越大,对遥控距离的影响程度越高,接收器安装高度大于植被高度和天线拉出时,遥控距离大幅提高,最远距离可达 455 m,成功率为 100%。



图 10 运输机性能试验

Figure 10 Conveyor performance test



图 11 远程遥控装置

Figure 11 Remote control device

3 讨论

本研究的山地果园液压驱动轨道运输机控制装

置,设计 24 V 直流电源供电,PLC 为核心,使用 GX Works 2 软件进行程序的编写与调试,通过手动控制模块、遥控控制模块及限位停车模块的开关量输入,驱动模块、速度调节模块及急停/停止模块为输出,对山地果园运输系统进行控制。试验表明,在该控制系统的操作下,实现了运输车前进、后退、停止和速度调节等功能,该系统的功能性与稳定性满足设计要求,并且解决传统继电器控制系统可靠性差、接线复杂、体积大和不易维修等问题。

使用 APDC-12K 型 12 路无线接收控制器,试验表明以遥控接收器为测试中心,接收器安装在 3 m 以上高于植被高度和天线拉出时,遥控距离大可达 455 m,成功率为 100%。

参考文献:

- [1] 宋月鹏,张红梅,高东升,等.国内丘陵山地果园运输机械发展现状与趋势[J].中国农机化学报,2019,40(1):50-55.
- [2] 吴伟斌,赵奔,朱余清,等.丘陵山地果园运输机的研究进展[J].华中农业大学学报,2013,32(4):135-142.
- [3] 邹宝玲,刘佛良,张震邦,等.山地果园机械化:发展瓶颈与国外经验借鉴[J].农机化研究,2019,41(9):254-260.
- [4] 李善军,刘辉,张衍林,等.单轨道山地果园运输机齿条齿形优选[J].农业工程学报,2018,34(6):52-57.
- [5] 李善军,邢军军,张衍林,等.7YGS-45 型自走式双轨道山地果园运输机[J].农业机械学报,2011,42(8):85-88.
- [6] 李学杰,张衍林,张闻宇,等.自走式山地果园遥控单轨运输机的设计与改进[J].华中农业大学学报,2014,33(5):117-122.
- [7] 刘岳,李震,洪添胜,等.山地果园蓄电池驱动单轨运输机传动系统设计[J].农业工程学报,2017,33(19):34-40.
- [8] 刘杰,张衍林,张闻宇,等.山地果园无动力运输机设计[J].华中农业大学学报,2017,36(1):117-122.
- [9] 邢军军.自走式大坡度双轨道果园运输机的设计及仿真[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [10] 李敬亚.山地果园单轨运输机的研制[D].武汉:华中农业大学,2011.
- [11] 汤晓磊.7YGD-45 型单轨果园运输机的设计[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [12] 孙同彪.山地果园单轨运输车的应用及性能分析[C]//中国农业工程学会(CSAE).中国农业工程学会 2011 年学术年会论文集.重庆:中国农业工程学会,2011:468-473.
- [13] 株式会社 IHI スター.牵引式农作机械:2009-67A [P].2009-01-08.
- [14] 洪添胜,苏建,朱余清,等.山地橘园链式循环货运索道设计[J].农业机械学报,2011,42(6):108-111.
- [15] 孟亮,张衍林,张闻宇,等.遥控牵引式无轨山地果园运输机的设计[J].华中农业大学学报,2015,34(4):125-129.
- [16] 何劲,祁春节.中外柑橘产业发展模式的比较与借鉴[J].经济纵横,2010(2):110-113.
- [17] 李善军,李家学,张衍林,等.一种液压驱动遥控轨道运输装置:CN207434425U[P].2018-06-01.
- [18] 欧阳玉平,洪添胜,黄志平,等.山地果园拆装牵引式双轨运输机控制系统的设计[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(5):215-221.
- [19] 罗瑜清,洪添胜,李震,等.山地果园电动单轨运输机控制装置的设计[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(3):215-221.
- [20] 张俊峰,张衍林,张唐娟,等.自走式山地单轨运输机遥控系统的设计[J].华中农业大学学报,2012,31(6):792-796.
- [21] 李善军,李家学,张衍林,等.一种液压驱动遥控轨道运输系统及控制方法:CN107738877A[P].2018-02-27.
- [22] 徐大健.某高速供弹装置控制系统研究[D].南京:南京理工大学,2012.
- [23] 胡忠康,刘英,王立杰,等.大型膨胀节试验装置液压系统设计[J].机床与液压,2019,47(2):74-78.
- [24] 赵华洋,高晓辉,李理,等.蓖麻收获机液压提升系统设计及特性分析[J].制造业自动化,2018,40(12):125-128.
- [25] 李亚男,姚瑞央.基于 PLC 的高海况下大型舰船救助艇收放装置控制系统设计与仿真[J].舰船科学技术,2019,41(8):220-222.
- [26] 德毅.PLC 抗干扰分析及措施[J].电气传动,2010,40(4):78-80.
- [27] 殷佳琳,谭孝辉,罗华富.PLC 控制系统干扰及抗干扰措施研究[J].控制工程,2013,20(4):766-768.