

基于 CODESYS 的多功能动力平台便携式 标定系统开发

胡友耀^{1,2}, 孔令泉^{1,2}, 洪嘉伟^{1,2}, 雷 军^{1,2}, 章 明^{1,2}

(1. 智能农业动力装备全国重点实验室, 河南 洛阳 471039; 2. 第一拖拉机股份有限公司, 河南 洛阳 471003)

摘要: 基于 CODESYS 平台开发了一款工具系统, 既能在产品下线时, 辅助精确装配角度传感器, 标定空挡位置等, 又能在田间使用时, 灵活智能化调整车速、作业施肥量、播种量等, 提高产品可靠性的同时, 增加了用户的操作体验感。开发的系统, 标定对象主要为: 电动推杆、角度传感器、左/右速度传感器、施肥电机等。开发的工具系统交付用户, 于生产线和田间实际使用, 经过便携式、智能化的标定功能的测试, 既验证提高了关键零部件的系统可靠性, 又验证了开发工具系统的功能性。

关键词: 关键零部件; 标定系统; 控制系统; 智能化调整

中图分类号: S24

文献标志码: B

文章编号: 1006-0006(2024)04-0054-06

Development of a Portable Calibration System for a Multifunctional Power Platform Based on CODESYS

HU Youyao^{1,2}, KONG Lingquan^{1,2}, HONG Jiawei², LEI Jun^{1,2}, ZHANG Ming^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Intelligent Agriculture Power Equipment, Luoyang 471039, China;

2. First Tractor Company Limited, Luoyang 471003, China)

Abstract: In this paper, a tool based on CODESYS platform is developed, which not only assists in precise assembly of angle sensor and calibration of neutral position on the production line, but also flexibly and intelligently adjusts the speed, operation fertilization amount, seeding amount, etc. In the field it is used to improve the reliability of the product and enhance the user's operating experience. The system developed in this paper mainly calibrates electric rods, angle sensors, left/right speed sensors, fertilization motors, etc. It has been delivered to users for practical use on production lines and fields. After testing with portable and intelligent calibration functions, it has not only verified the improvement of the system reliability of key components, but also verified the functionality of the tool system developed in this paper.

Key words: Key parts; Calibration system; Control system; Intelligent adjustment

传统的辣椒种植耗费人力大, 尤其在育苗移栽环节, 需要人工移栽。现今, 用工难、用工贵的问题突出, 成为制约辣椒规模化种植的直接因素。通过应用自主作业多功能动力平台——智能辣椒直播机, 可以自动实现旋耕、精量施肥及播种一体化工序, 省去了传统的育苗、移栽环节, 提升了全程机械化、智能化水平, 提高生产效率^[1-2]。

近年, 辣椒种植农户对本公司开发的智能辣椒直播机的需求量增多, 订单逐渐增加, 对于该机的技术升级应用, 智能化改进的需求也日益迫切, 如: 在整机生产的现场, 安装角度传感器时, 旋转安装轴仅凭记号安装, 总是出现安装误差, 无法精确安装; 整

车装配变速箱电动推杆后, 由于机械安装偏差、电动推杆位置反馈电阻电气特性偏差, 导致空挡电压位置存在一定的偏差, 此时需要直观地显示、标定装备, 作为线下调整的工具。否则, 需要更改、下载程序调整, 步骤繁琐, 效率低; 在用户田间施肥作业时, 由于地块不同, 需要的施肥量存在差别, 每次需要调整时, 均为更改、下载程序, 效率低, 用户体验感差, 增加了售后服务的工作量。

本文设计了一种基于 32 位单片机的模拟量采集、CAN 通讯、EEPROM 内存管理及电动推杆驱动等模块的便携式标定系统^[3-5]。此 32 位单片机平台具备优良的嵌入式实时性能, 出色的 CAN 通讯处

理能力及高性能的容错能力^[6]。本嵌入式标定系统软件匹配智能辣椒机整机,完成了生产现场的功能验证、田间功能性测试验证。

1 标定控制系统组成

标定控制系统的组成如图 1 所示,主要包括(a)电动推杆在整个机组中,用于实现机组的变速箱区段变速及空挡停车的功能;(b)转速传感器,用来采集变速箱输出轴转速,辅助计算整机车速;(c)角度传感器,用来标识机具提升/下降的具体位置;(d)

遥控器,用来发送整机目标车速、空挡等命令,辅助标定控制系统实现对整机车速控制;(e)施肥电机,用于驱动施肥轴旋转,不同的转速形成的下肥量不同,从而实现精确施肥;(f)系统控制器,用于接收并解析标定命令、整车控制命令等,并计算输出对各执行器的驱动信号,如:电动推杆驱动、施肥电机驱动等;(g)显示屏,用于输入并设置相应部件的参数,并显示整车的状态信息。如前所述,系统标定对象涉及的智能辣椒机的关键零部件,主要包括:电动推杆、角度传感器及施肥电机等。



图 1 某型号辣椒机关键零部件标定控制系统组成示意图

Fig.1 Schematic Diagram of Calibration Control System for Key Parts of a Pepper Seeder Machine

2 标定控制系统方案

2.1 显示屏标定功能开发

基于便携式的标定用显示屏,开发相关标定、显示功能,控制系统功能主要包括:角度传感器信号显示、整车车速标定、整车加速性能标定、空挡位置标定、机具工作位置标定及播种/施肥参数标定等,具体工作流程如图 2 所示。

首先通过 CAN 总线连接标定工具系统——显示屏与整车控制器。整车控制器采集模拟信号、频率信号、CAN 总线数字信号。其中,采集的模拟信号,如:机具提升/下降位置角度、HST 变速箱电动推杆位置电压等,经过本模块的滤波算法处理得到,机具当前位置角度值和变速箱推杆当前位置电压值;采集的频率信号,如:左/右变速箱输出轴转速信号,该信号通过模块的滤波算法及取平均值算法,计算得到变速箱输出轴转速,该值经过处理计算得到整车车速。通过 CAN 总线将前述的本系统采集并处

理后的数据传递至显示屏上显示。

(1)整车车速及整车加速性能标定:标定人员或用户根据经验判断带农机具作业时,整车前进/后退时的车速、整车避障/转弯时的车速及整车前进/后退时的加速性能,是否满足当前作业需求。如不满足,需要增加/减小前进车速或避障/转弯时的前进车速,通过本工具系统的显示屏标定调整相应的参数项值,如:减小/增加前进车速系数、减小/增加前进避障车速系数;如需要增加/减小后退车速,则通过本工具系统的显示屏标定减小/增加后退车速系数;如需要增加/减小前进的加速性能,则通过本工具系统的显示屏标定增加/减小前进加速系数;如需要增加/减小后退的加速性能,则通过本工具系统的显示屏标定增加/减小后退加速系数;由于更改加速性能参数对整机性能影响较更改车速参数大,考虑到安全地调整整车性能,所以在显示屏标定调整加速性能参数时,调整的步长限定为 0.1,而调整车

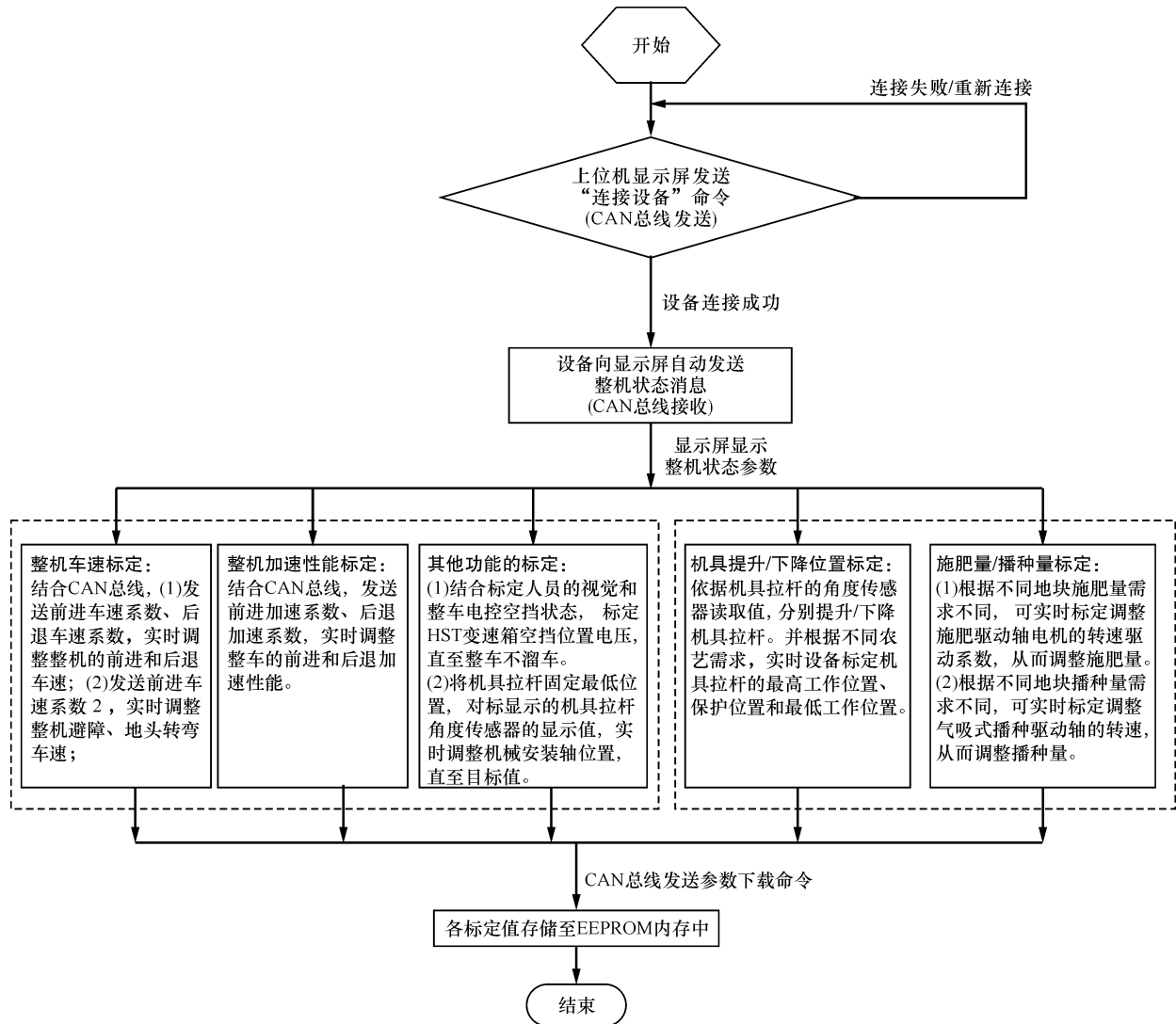


图2 标定控制程序流程示意图
Fig.2 Schematic Diagram of Calibration Control System

速参数时,调整的步长限定为1。调整后的参数通过CAN总线传递给系统控制器。

(2)变速箱空挡电压标定:先将整车处于遥控命令的空挡状态,且机械挡位处于非空挡状态,此时标定人员或用户观察实际整车的状态,是前进,还是后退状态。通常由于整车装配时的不一致性,会导致设置的变速箱电动推杆空挡电压值,与实际装配后变速箱电动推杆的空挡电压值不一致,导致整车“溜车”现象。通过显示屏,实时调整HST变速箱目标的空挡位置电压的值,考虑到安全地调整整车性能,所以在显示屏标定调整该参数时,调整的步长限定为0.1。此值通过CAN总线传递给整车系统控制器。

(3)农机具作业标定:(a)标定人员将机具拉杆下降为最低位置,产线标定人员根据显示屏显示的角度传感器的角度值,旋转调整角度传感器的安装轴位置,直至达到目标的最低位置值,从而可以精确装配角度传感器总成。否则如无此工具系统,产线

标定人员下线时,只能“盲”调角度传感器安装轴,且往往角度值不精确;(b)根据地块不同及农艺需求不同,如旋耕作业深度等不同,通过显示屏可设置最高工作位置,保护位置及最低工作位置,并通过CAN总线将值传递给整车系统控制器。(c)根据不同地块播种量/施肥量需求不同,标定人员或用户,于显示屏上实时标定调整施肥驱动轴电机的转速驱动系数和气吸式播种驱动轴需求转速,并通过CAN总线将值传递给整车控制器。

2.2 系统控制器标定功能开发

(1)整车车速及整车加速性能标定:系统控制器根据CAN通讯协议,读取解析得到相关系数(车速系数和加速系数)。调整车速系数时,整车控制器将其乘与前进/后退车速PID闭环控制的目标车速输入,即调整实际车速与目标车速的差,通过PID闭环控制算法,得到驱动变速箱电动推杆的PWM占空比,从而通过整车控制器的PWM输出模块驱动变速箱电动推杆继电器,驱动电动推杆变动位置,直至整

车车速达到目标车速;调整加速系数时,整车控制器将解析得到的加速系数,直接乘与车速 PID 闭环控制 P 参数,即比例系数,通过 PID 闭环控制算法,得到驱动变速箱电动推杆的 PWM 占空比,从而通过整车控制器的 PWM 输出模块驱动变速箱电动推杆继电器,驱动电动推杆变动位置,直至整车车速加速达到目标车速。整个标定、调整过程直至实际整车作业状况,如:整车车速和加速性能满足当前整机作业需求。

(2) 变速箱空挡电压标定:系统控制器通过 CAN 总线接收空挡位置电压的设置参数后,其通过对变速箱电动推杆位置电压闭环 PID 控制,使其达到空挡位置,即:通过位置电压 PID 闭环控制算法,得到驱动变速箱电动推杆的 PWM 占空比,从而通过整车控制器的 PWM 输出模块驱动变速箱电动推杆继电器,驱动电动推杆变动位置,直至达到显示屏设置的空挡电压位置。此时,整车也停止“溜车”的运动,即完成了整车空挡电压标定工作。

(3) 农机具作业标定:(a) 整车系统控制器接收并解析 CAN 总线的最高位置参数 HH1、最低位置参数 HL1、保护位置参数 HP1 后,同时比较当前机具角度传感器的值 HC1,与设置的各参数值 HH1、HP1、HL1 比较大小。当 HC1 小于 HH1 时,则整车控制器将最高工作位置状态置 1,其它位置状态置 0,此时如农机具提高到此状态,此时整车控制器将停止所有农机具的输出,如:停止驱动施肥电机、停止驱动播种风机、停止驱动 PTO 输出电磁阀等;当 HC1 大于 HH1 且小于 HP1 时,则整车控制器将过渡位置状态置 1,其它位置状态置 0,此时如农机具处于此状态,整车控制器将停止驱动 PTO 输出电磁阀;当 HC1 大于 HP1 且小于 HL1 时,则整车控制器将保护位置状态置 1,其它位置状态置 0,此时如农机具处于此状态,整车控制器将开始驱动 PTO 输出电磁阀、驱动施肥电机、驱动播种风机等;当 HC1 大于 HL1 时,则整车控制器将最低位置状态置 1,其它位置状态置 0,此时如农机具处于此状态,整车控制器将驱动农机具提升/下降的电磁阀均使能输出、且驱动 PTO 输出电磁阀、驱动施肥电机、驱动播种风机等;从而本系统实现了对农机具工作位置的配合实际农艺需求控制的设置。(b) 整车控制器解析 CAN 总线上的施肥驱动轴电机的转速驱动系数,将此值乘与施肥电机轴转速 PID 闭环控制算法的 P 参数,通过施肥轴转速 PID 闭环控制算法,得到施肥轴驱动电机的 PWM 占空比,从而通过整车控制器的 PWM 输出模块驱动施肥电机驱动模块,其驱动施肥电机旋转,直至施肥电机转速达到实际的农艺需求

转速。(c) 整车控制器将解析出的 CAN 总线上的播种风机驱动轴需求转速,经过处理生成相应的发动机目标转速,再通过 CAN 总线向发动机控制器 ECU 发送发动机目标转速命令。发动机转速变化,随之 PTO 转速也相应变化,直至气吸式播种风机达到实际的农艺需求转速。从而实现调整播种风机转速及播种量。

(4) 内存 EEPROM 管理是标定控制系统的重要组成部分之一,其功能在于:在显示屏处点击参数下载按钮命令,通过 CAN 总线将参数“下载”命令传递给整车系统控制器后,整车系统控制器执行下载保存参数值命令,即程序自动执行将内存 RAM 中的所有前述参数依次保存至 EEPROM 中的指定起始地址 0x30 后的内存中。整车控制器每次掉电又重新上电后,控制器初始状态从 EEPROM 的起始地址 0x30 后的内存中依次读取所有标定的参数至 RAM 中的相应变量中。出于安全使用考虑,整车控制器读取完参数后,判断参数是否为零,如为零则将另外的默认参数代替读取出的值赋值给 RAM 中。整车控制器按照 RAM 中标定完的参数值运行,从而配合完成整个标定、调整整车控制系统的功能。

3 标定控制系统程序开发

鉴于前述的便携式标定控制系统功能方案,本文基于 CODESYS 平台完成了相关控制功能的程序设计。主要包括以下内容:

(1) 基于 CAN 总线,设计了显示屏与整车系统控制器间的通讯协议及通讯程序。其中,显示屏的地址为 0xD6,整车控制器的地址为 0xD1。显示屏向系统控制器发送的参数标定值及相关命令参数,其 CAN 消息的 ID 号分别为:0x0c03D1D6、0x0c04D1D6、0x0c05D1D6。而系统控制器向显示屏反馈整车状态、标定状态等信息,其 CAN 消息的 ID 号分别为:0x0c03D6D1、0x0c04D6D1、0x0c05D6D1、0x0c06D6D1。如表 1 所示,为标定显示屏与整车系统控制器间的连接和设置命令等消息的具体格式。总共八字节的 CAN 数据消息中,前六个字节为需要传递的标定参数,如:前进加速系数、后退加速系数等。第七字节为设置完参数后,点击屏幕上的设置按钮发出的命令。第八字节为点击屏幕开始连接的按钮发出的命令。

(2) 基于 CODESYS 软件平台开发的控制系统软件,主要包括:模拟信号采集模块、电动推杆标定控制模块、CAN 通讯模块、内存 EEPROM 读写模块等。

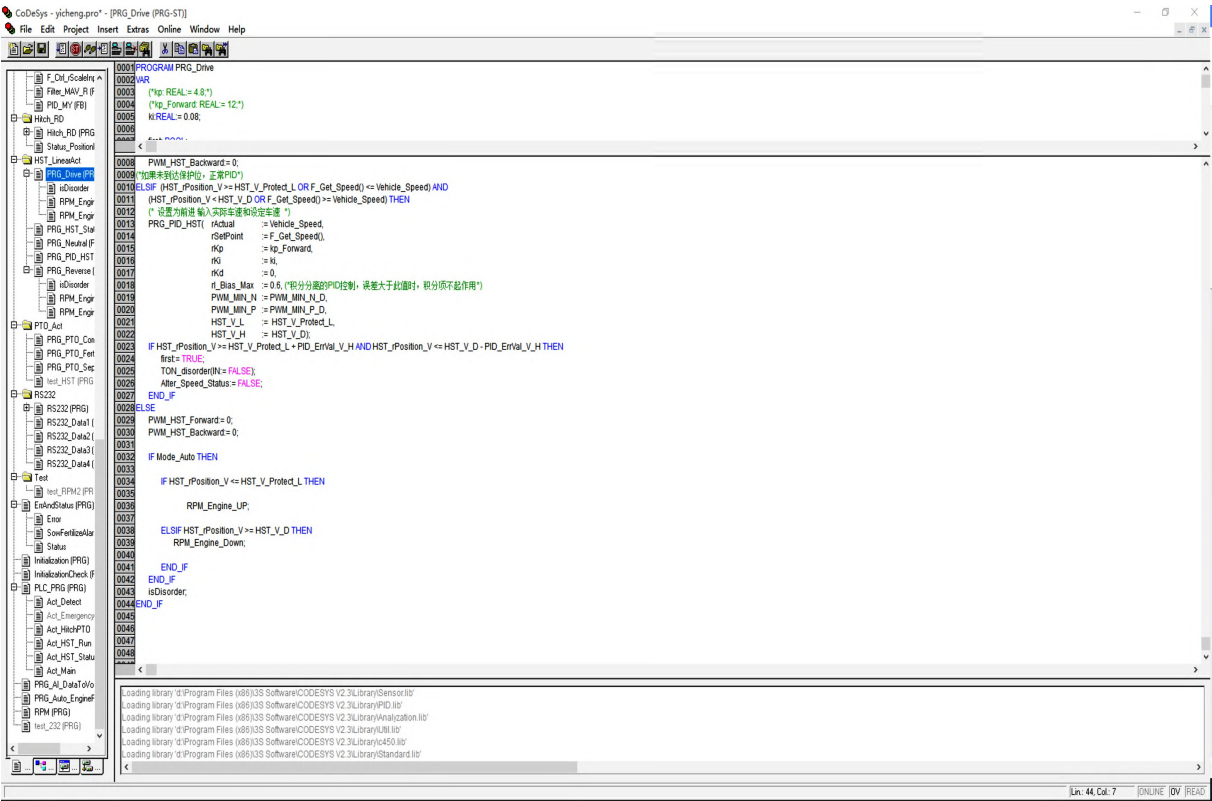


图 3 电动推杆控制模块开发示意图
Fig.3 Development Diagram of Electric Pushing Rod Controlling Module

表 1 标定连接及设置参数命令的消息格式
Tab.1 Message Format for Calibration Connection and Parameter Setting Commands

第一字节.....第六字节	第七字节	第八字节
各标定参数系数	设置参数命令(1—设置,0—不设置)	系统连接命令(1—连接,0—不连接)

如图 3 所示,为本系统控制程序中主要的电动推杆标定控制模块。模块标定控制程序,基于 PID 闭环控制基础完成。控制程序首先判断是否处于急刹或急停状态,此时便将驱动电动推杆的两路通道清零。否则,先判断采集到的电动推杆实际位置电压及遥控发送过来的目标车速与实际采集计算得到的整车车速的关系,调用 PID 系统库文件。此时通过将来自 CAN 总线上的便携式标定工具设置的前进车速系数输入给 PID 闭环控制的 P 比例参数,及输入目标车速等,通过调用 PID 库计算得出最终的电动推杆驱动值,从而达到配合标定整车前进车速目的。

4 试验验证

本文开发的某自主作业多功能动力平台——智能辣椒直播机的标定系统匹配整车,在整机装配线现场和田间进行了整车的系统标定功能测试。标定系统的功能测试包括:角度传感器安装的角度辅助显示、电动推杆空挡电压标定测试、整车车速和加速性能参数标定测试、机具提升/下降位置标定、施肥

电机驱动参数标定及播种参数标定等功能。具体的标定功能测试方法,如前第二小节所述。

(1)如图 4 所示,为某生产装配车间,调试装配

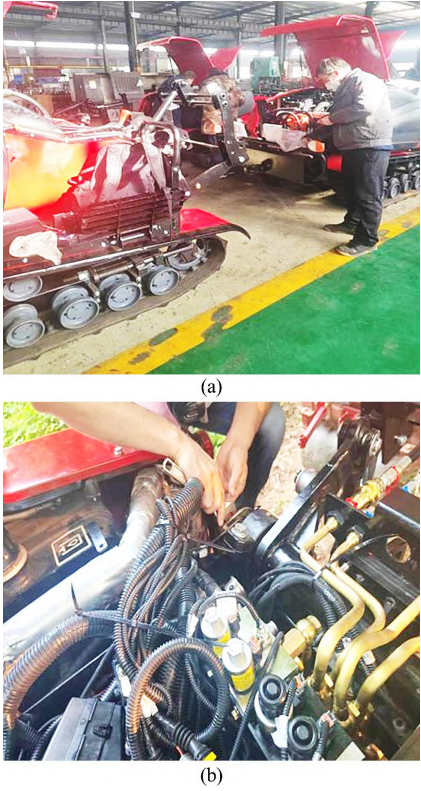


图 4 标定控制系统功能产线应用示意图
Fig.4 Schematic Diagram of Production Line Application of the Calibrating Controlling System

整机。图 4a 为调试装配机具提升/下降时相关的角度传感器,图 4b 为在现场使用本标定系统的显示屏显示角度传感器实际值,从而辅助安装角度传感器。

(2)如图 5 所示,图 5a 为标定人员使用标定系统,调试标定前进、后退车速系数及加速系数等整车运行参数。图 5b 为标定人员使用标定系统,调试标定空挡位置电压。

(3)如图 6 所示,为农户使用本标定控制系统,针对旋耕施肥时的施肥量,进行施肥系数的调整。



图 5 控制系统场地功能标定示意图
Fig. 5 Schematic Diagram of Field Function Calibration of the Controlling System



图 6 控制系统标定施肥参数示意图
Fig. 6 Schematic Diagram of Fertilizing Parameter Calibration of the Controlling System

应用本文开发的标定系统,在某智能辣椒机车上进行了装配场地、田间等的实际标定功能测试。达到了灵活地标定调整此整机零部件各性能参数的目的,如:前进/后退车速参数、前进/后退加速性能参数、施肥风机参数等,同样也验证了此系统的功能性和可靠性。

5 结论

此便携式标定控制系统,既能实现用户调整整车多项性能参数时,且标定工具便携灵活,又能辅助售后服务团队排查问题,如角度传感器是否因为长时间使用松动,脱离,导致角度偏移等,节省售后服务的时间及成本,提高效率。

本项目开发的系统不仅可自动化标定电动推杆、转速传感器、角度传感器等,同样也可经过稍加改造,根据装配、农艺等需求,标定其它拖拉机、收获机用驱动上、下筛的电动推杆、转速传感器;同样由于系统有 PWM 驱动输出功能,也可用来标定、检测施肥电机、播种风机等关键零部件,具有较广阔的适用性。

参考文献:

[1] 曾山,姚腊梅,李凝,等. 气吸式辣椒精量穴直播机的研制与试验[J]. 华南农业大学学报,2020,41(3):102-109.
[2] 刘娇,徐国华. 物联网在规模化辣椒种植生长分析中的应用[J]. 农机化研究,2020,42(9):238-242.
[3] 朱凤武,岳仕达,于丰华,等. 基于电动推杆的玉米剥皮机角度控制系统[J]. 吉林农业大学学报,2014,36(3):366-370.
[4] 宋纪元,朱爱斌,屠尧,等. 单兵救援助力外骨骼机器人的设计与特性分析[J]. 兵工学报,2022,43(9):2037-2047.
[5] 周文娟. 遥控变速系统中电动推杆式换向与遥控装置的研究[D]. 沈阳:东北农业大学,2016.
[6] 董笑辰,马晨普,王雪迪. 内燃电传动拖拉机电传动及控制系统的设计[J]. 拖拉机与农用运输车,2020,47(1):44-47.

(编辑 张晓超)

作者简介:胡友耀(1981-),男,江西吉安人,高级工程师,研究方向主要是发动机、智能收获机、智能农机具等电控系统软件设计。