

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2022.09.002

花生收获机自动驾驶作业系统设计与试验

胡 炼^{1,2} 关锦杰¹ 何 杰¹ 满忠贤¹ 田 力¹ 罗锡文^{1,2}

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;
2. 岭南现代农业科学与技术广东省实验室, 广州 510642)

摘要: 为提高花生收获机的智能化水平,设计了花生收获机自动驾驶作业系统。以东泰机械 4HBL-2 型自走式花生联合收获机为平台,针对花生收获机操作台、变速机构和作业机构设计了具有 CAN 总线接口的手自一体化电控系统,采用 PD 控制算法和 Bang-Bang 控制算法实现了行走和作业系统的控制。针对花生收获作业农艺要求,设计了花生收获机联合作业策略、自动导航路径规划和路径跟踪控制方法。以行驶速度 0.25 m/s 在水泥路面和沙质土壤花生地进行了自动驾驶收获作业试验。水泥路面试验结果表明,花生收获机直线跟踪平均绝对偏差为 4.34 cm,最大偏差为 9.30 cm;沙质土壤田间试验结果表明,花生收获机直线跟踪平均绝对偏差为 5.12 cm,最大偏差为 12.20 cm,满足花生联合收获作业要求。

关键词: 花生收获机; 自动导航; 作业系统; 控制策略

中图分类号: S225.7⁺3; S24 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)09-0021-07 **OSID:** 

Design and Experiment of Automatic Driving Operation System of Peanut Harvester Based on BDS

HU Lian^{1,2} GUAN Jinjie¹ HE Jie¹ MAN Zhongxian¹ TIAN Li¹ LUO Xiwen^{1,2}

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China
2. Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The intelligentization of agricultural machinery is an inevitable trend of modern agricultural production. In order to improve the intelligence level of peanut harvester, the automatic driving operation system of peanut harvester was designed. Taking Dongtai Machinery's 4HBL-2 self-propelled peanut combine harvester as the research platform, a manual and automatic integrated electronic control system with CAN bus communication interface was designed for the peanut harvester operating table, speed change mechanism and operating mechanism. PD control algorithm and Bang-Bang control algorithm were used to control the walking and operating system. According to the agronomic requirements of peanut harvesting operation, the joint operation strategy, automatic navigation path planning and path tracking control method of peanut harvester were designed. The automatic driving harvesting experiment was carried out on the cement road and the sandy soil peanut field at a driving speed of 0.25 m/s. The results showed that the average absolute deviation of the straight line tracking of the peanut harvester on the cement road was 4.34 cm and the maximum deviation was 9.30 cm. The results of the field test on sandy soil showed that the average absolute deviation of the straight line tracking of the peanut harvester was 5.12 cm and the maximum deviation was 12.20 cm, which met the requirements of the combined peanut harvesting operation.

Key words: peanut harvester; automatic navigation; operation system; control strategy

收稿日期: 2022-04-29 修回日期: 2022-05-23
基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2019B020224001)、岭南现代农业科学与技术广东省实验室科研项目(NT2021009)、财政部和农业农村部:国家现代农业技术体系项目(CARS-13)和佛山市科技创新项目(2120001008424)
作者简介: 胡炼(1984—),男,教授,主要从事智能农机装备和无人农场研究,E-mail: lianhu@scau.edu.cn
通信作者: 罗锡文(1945—),男,教授,中国工程院院士,主要从事精准农业研究,E-mail: xwluo@scau.edu.cn

0 引言

花生是我国主要的油料作物之一,也是我国为数不多的优势出口农作物之一^[1]。2019 年全国花生种植面积超 $4.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$,总产量 $1.7332 \times 10^7 \text{ t}$,占全世界总产量 40%,且年均增长 2%,居国内大宗农作物种植面积第 7 位,在国际上位居第 2 位^[2]。虽然我国花生种植面积大,但是花生种植和收获环节机械化和智能化程度仍然较低。此外,我国花生收获机械化程度不均,山东、河南等花生主产区收获机械化水平达到 80%,非主产区仍靠人工采摘,工作效率低^[3]。花生收获是花生生产工序最多的环节,从挖土起秧到摘果晾晒,整个环节约占花生生产总时间的 1/3。且花生适宜收获期较短,过早或过晚收获均会影响花生的品质和产量。

提高农业机械化和智能化水平有助于提高农业生产效率和效益,缓解高技能劳动力的不足,促进农业经济发展^[4-6]。随着土地流转进程加快,我国农业生产向规模化发展,对农机自动驾驶系统的需求也持续增长^[7]。基于北斗的自动驾驶拖拉机、播种机、水稻收获机等已有研究应用^[8],如采用比例阀、换向电磁阀和导航控制器实现拖拉机自动驾驶^[9],采用推杆电机、电动方向盘、运动控制器和导航控制器实现插秧机自动驾驶作业^[10-14],通过串并联液压转向系统、工控机和导航控制器实现联合收获机自动驾驶作业^[15-16],而花生收获机仍无这方面的研究报道。

目前对于花生收获机作业自动化控制的相关研究较少,仅是通过 CAN 总线对花生收获机工况进行监测,并通过电磁阀控制收获机液压系统^[17-19]。为提高花生收获的智能化程度,实现花生收获机的全自动化操作,本文以东泰机械 4HBL-2 型自走式花生联合收获机为研究平台,根据花生收获机变速机构和操作机构的特点,设计手自一体电控系统;根据收获机无人化作业要求,设计自动作业控制系统和自动驾驶系统;并通过田间试验验证自动作业系统的准确性和可靠性。

1 花生收获机手自一体电控系统设计

东泰机械 4HBL-2 型自走式花生联合收获机主要操作机构包括左右转向、收获台升降、粮仓卸粮、作业离合、HST 变速和 3 挡(空挡、作业、行走)变速操纵机构,各操作机构均为机械式手动操作方式。为实现收获机自动作业并保留人工操作功能,各机械式操作机构需设计手自一体电控系统。

1.1 花生收获机自动驾驶电控方案

花生联合收获机通过主变速操纵杆和副变速操纵杆联合控制实现行走,主变速操纵杆控制调节 3 挡齿轮变速箱,副变速操纵杆调节液压泵输出流量间接控制收获机移动速度。作业功能包括转向、收获架升降、限深轮升降、卸粮和作业离合,其中转向、收获架升降、限深轮升降和卸粮功能均通过推杆操控液压换向阀驱动液压油缸伸缩实现,作业离合功能则通过自锁式拉杆带动铰接张紧轮张紧传动带传递动力。采用电控手柄(开关量操作杆)、推杆电机、三位四通电磁阀组、柴油机电动油门、限位开关、3 挡拨片开关和底层控制器,设计了花生联合收获机的底层电控系统,如图 1 所示,其中底层控制器通过接收手柄和开关或导航控制器指令进行花生收获机行走和作业系统控制。

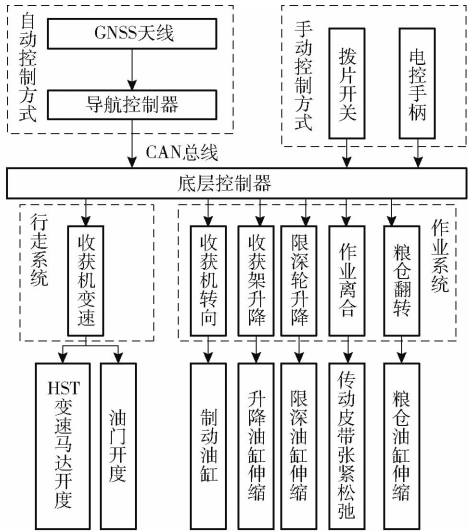


图 1 收获机底层控制系统总体设计示意图

Fig.1 Schematic design of operation control system for harvester

1.2 行走变速机构电控设计

变速机构电控由 HST 调速和油门调速组成,电控设计示意图如图 2 所示。变速机构电控采用摇杆手柄(BLEE 飞行手柄带 4 个方向微动开关,两按钮输出,顶部为怠速按钮,侧面为安全自锁按钮)替代收获机变速手柄以实现无级变速,电动手柄输出 0 ~ 5 V 信号经底层控制器(SPC-WTW-2612CM 型)A/D 采样,并控制带电位计的推杆电机(迪亦姆 D5-H3-100 型),控制驱动变排量液压泵转动轴实现手动调速;推杆电机采用底层控制器 1 路 H 桥驱动,其控制方式有两种,除上述手动手柄控制外,还可由控制器 CAN 总线接收导航控制器控制命令,驱动推杆电机实现对收获机的变速调整。油门控制采用柴油发动机电动油门控制器(HY-PL 型)进行发动机油门开度调节,使用 3 挡拨片开关对其进行

控制。

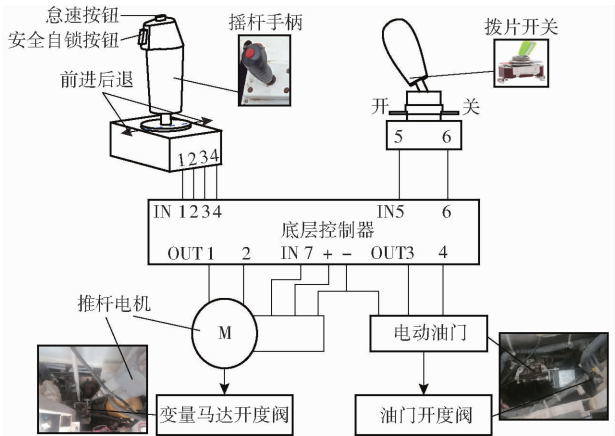


图2 收获机行走变速电控设计示意图

Fig.2 Electric control design of walking speed change of harvester

1.3 作业操控机构电控设计

针对原收获机作业操控机构采用手动换向阀(转向、升降、卸粮、限深)和机械自锁拉杆(作业离合)控制的特点,采用 HJ60 型电控手柄(陈工 HJ60 型开关量操纵杆)、SC2M 系列多路阀组、拨片开关和电动推杆设计手自一体化电控装置,电控装置结构如图 3 所示。HJ60 型电控手柄为两轴霍尔 6 键操作杆,替换原手动换向阀手柄,输出 8 路开关量控制转向、升降、限深和卸粮电磁阀。SC2M 系列多路阀组可实现收获机的割台上升降,粮仓的卸粮等操作单独动作,其中升降选用 4WE6Y - 11SN - ED12H 型电磁阀,转向选用 4WE6H - 11SN - ED12H 型电磁阀,卸粮和限深选用 4WE6O - 11SN -

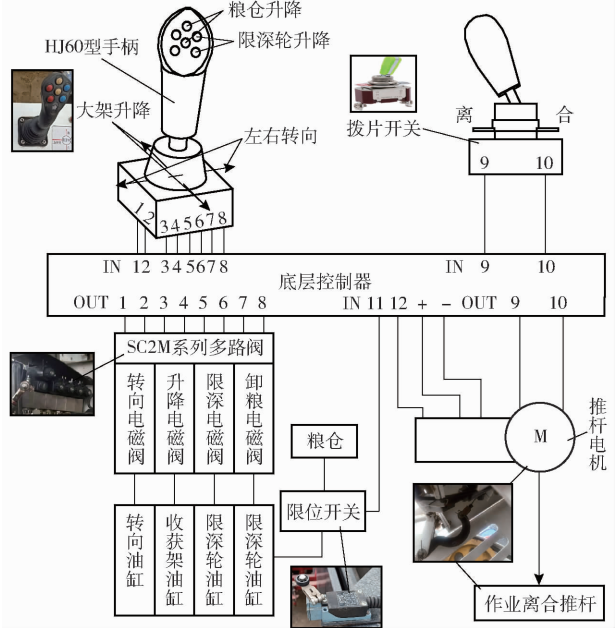


图3 收获机作业机构电控结构图

Fig.3 Electric control structure diagram of harvester operating mechanism

ED12H 型电磁阀。粮仓安装限位开关(昌得 TZ - 8104 型)作为粮仓翻转角度的反馈信息,形成闭环控制。通过 3 挡拨片开关控制推杆电机推动作业离合杠杆实现作业离合操作。作业机构的手动操作、自动操作及切换方式与变速机构相同。

1.4 底层自动作业控制系统设计

根据花生收获机田间操作规范及人工驾驶经验,收获机联合控制策略如表 1 所示,控制逻辑如图 4 所示。收获机作业开始时,收获架下降,下降停止后作业离合结合,以作业速度行驶,到达地头时收获机收获架上升,上升停止后作业离合分离,停止收获作业,并以转弯速度进行转向,到达下一作业行重复以上操作。

表 1 收获机联合控制策略

Tab.1 Harvester joint control strategy

状态	作业操作	速度控制
开始作业	收获架降→作业离合(合)→转向	怠速→高速
地头转向	收获架升→作业离合(离)→转向	高速→低速
异常	作业离合(离)	怠速
停止作业	收获架升→作业离合(离)	怠速

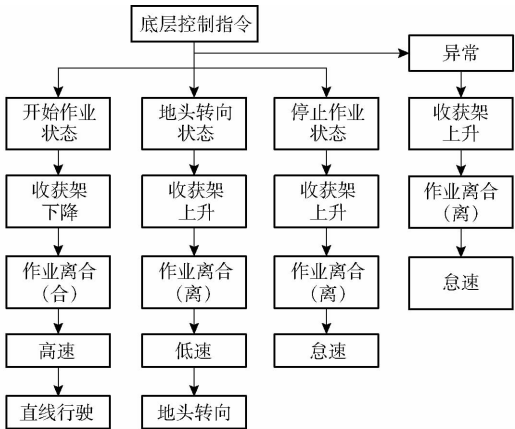


图4 收获机控制逻辑图

Fig.4 Harvester control logic diagram

花生收获机行走系统采用直流电机控制变量马达开度阀、油门开度阀和作业离合旋杆,作业系统采用多路电磁阀对转向、卸粮翻转、收获架升降和限深轮升降进行控制。根据以上特点采用底层控制器对直流电机和电磁换向阀进行控制,其控制原理如图 5 所示。

当手动控制时,底层控制器接收到外部发送来的高电平信号,对其进行解析并与操作指令集进行对照,再由 Bang - Bang 控制器(也称开关控制)对制动、升降、限深和粮仓电磁阀分别进行控制,以及 PD 控制器对 HST 变速马达开度阀、作业离合旋杆和电动油门分别进行正、反转控制。当自动控制时,底层控制器接收 CAN 指令并解析得到给定速度、油

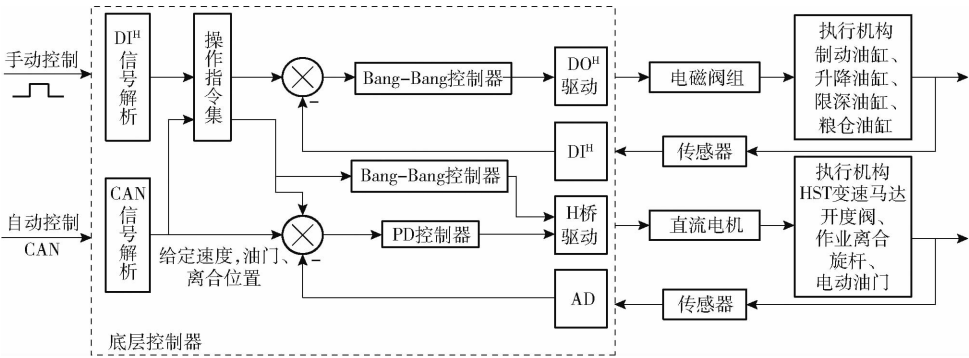


图 5 收获机行走和作业系统控制原理图

Fig. 5 Control schematic of walking and working system of harvester

门大小和离合状态等,由相应的 Bang - Bang 控制器和 PD 控制器控制相应的电磁阀和直流电机实现作业控制。

根据收获机行走系统设计原理,对于直流电机等连续运动的执行元件,为了消除控制动作频繁而引起系统震荡,使系统更加平稳且手自切换冲击小、抗干扰能力强,采用带死区的增量 PD 控制,计算式为

$$u(t) = \begin{cases} 0 & (\Delta e(t) \leq |e_0|) \\ \Delta y(t) & (\Delta e(t) > |e_0|) \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$\Delta y(t) = k_p(e(t) - e(t-1)) + k_d(e(t) - 2e(t-1) - e(t-2)) \quad (2)$$
$$\Delta e(t) = e(t) - e(t-1)$$

式中 e_0 ——死区
 k_p 、 k_d ——PD 控制系数,取 k_p 为 2, k_d 为 0.3
 $e(t)$ —— t 时刻位置误差
 $e(t-1)$ —— $t-1$ 时刻位置误差
 $e(t-2)$ —— $t-2$ 时刻位置误差

2 自动驾驶系统设计

2.1 路径规划

花生收获机作业过程中,在单边制动转向方式下,转向中心即转弯方向履带外侧田面会受到挤压破坏,除在空间位置受限制的情况下采用原地转弯外,一般采用边前进边转向的方式,为了避免碾压未收获花生,应在地头留出足够的转向空间。因 4HBL-2 型花生收获机为左侧单垄收获,故花生收获机作业规划路径采用逆时针作业的套行法,如图 6 所示。

2.2 路径跟踪控制

农田作业环境复杂多变,农机具有大延迟、大惯性和高度非线性特征,因此要求路径跟踪控制算法具备一定的自适应性和鲁棒性。常用的农机路径跟踪控制方法有 PID 控制、模糊控制、纯追踪控制、滑模变结构控制、最优控制和模型预测等^[20]。为了避免建模不准确或者模型参数多变对农机路径跟踪

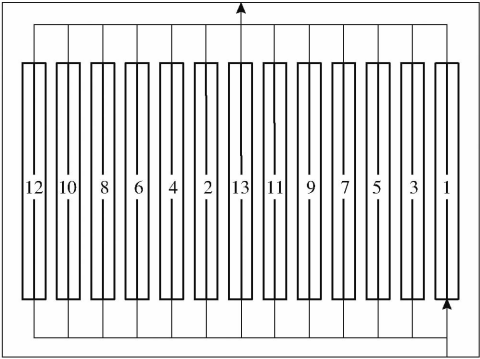


图 6 收获机路径规划示意图

Fig. 6 Receiver path planning diagram

控制性能所产生的负面影响,常采用与模型无关的控制方法进行农机路径跟踪控制器设计^[21],如 PID 控制,根据系统已知的航向偏差和横向位置偏差,自适应调整比例、积分和微分系数,达到预期的控制效果,且结构简单、鲁棒性强。

花生收获机采用的导航控制器由北斗板卡、差分传输模块和 MCU 核心板等组成,利用双天线定位技术获取收获机的当前位置与航向信息。因花生收获机转向采用开关量控制,在保证收获机的收获质量的同时,避免过于频繁的转向控制产生振荡,设计了航向偏差和横向位置偏差作为反馈修正的 PD 控制算法,当 PD 控制输出控制量大于阈值后,执行对制动油缸的 Bang - Bang 控制,实现收获机路径跟踪控制。收获机运动示意图 7 中直线 a 为规划路线, b 为实际运动路线,由收获机运动示意图可知,当收获机存在横向位置偏差 α 且作为修正量时,在消除位置偏差 α 时亦会导致航向偏差 β 产生,据此设计以

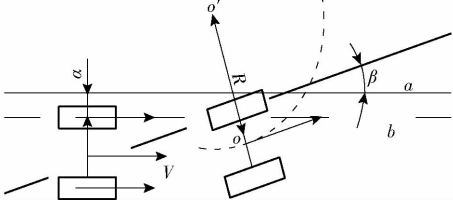


图 7 收获机运动示意图

Fig. 7 Motion diagram of harvester

航向偏差为主要控制量、横向位置偏差为补偿的 PD 控制器和 Bang - Bang 控制器原理如图 8 所示。PD 控制器输出为

$$E = k_{p1} \Delta \alpha_k + k_{d1} \frac{d^2}{dt^2} \Delta \alpha_k + k_{p2} \Delta \beta_k + k_{d2} \frac{d^2}{dt^2} \Delta \beta_k \quad (3)$$

式中 E ——PD 控制器输出控制量
 $\Delta \alpha_k$ —— k 时刻横向偏差
 $\Delta \beta_k$ —— k 时刻航向偏差
 k_{p1} 、 k_{p2} 、 k_{d1} 、 k_{d2} ——PD 控制系数, $k_{p1} = k_{p2} = 5$, $k_{d1} = 0.1$, $k_{d2} = 0.3$

Bang - Bang 控制器输出为

$$u = \begin{cases} 1 & (|E| > E_0) \\ 0 & (|E| \leq E_0) \end{cases} \quad (4)$$

式中 u ——制动阀状态量
 E_0 ——控制阈值,取 5

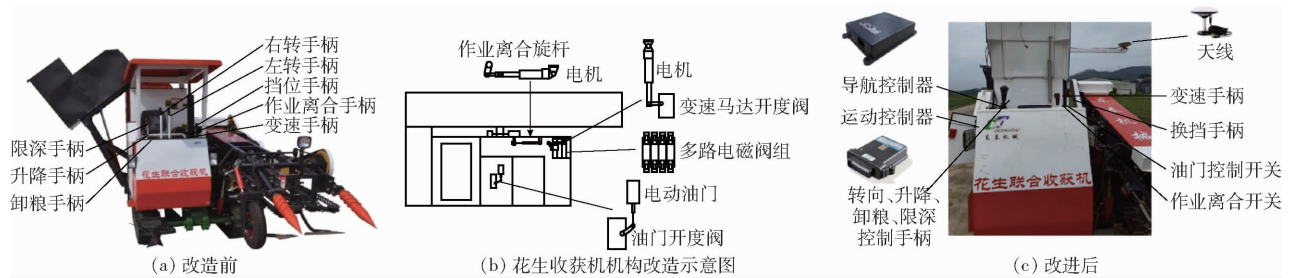


图 9 收获机试验平台

Fig. 9 Harvester test platforms

如图 9c 所示,自动驾驶作业花生联合收获机平台上集成了导航控制器和作业(运动)控制器,其中自动导航控制系统为试验提供作业路径、作业速度和作业状态等信息以及控制指令。

为了验证花生收获机自动驾驶作业系统性能,在平坦水泥路上验证收获机的手自一体化电控系统、联合控制策略效果以及直线跟踪精度;在沙质花生地上进行直线跟踪精度和作业效果试验。自动驾驶作业系统控制频率为 10 Hz,以直线速度为 0.25 m/s,转向速度为 0.15 m/s 进行直线及转向试验,验证作业速度控制、作业机构控制和路径跟踪控制的准确性和稳定性。

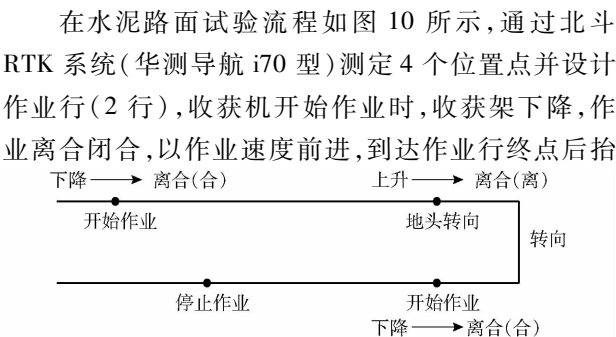


图 10 收获机作业流程

Fig. 10 Harvester process

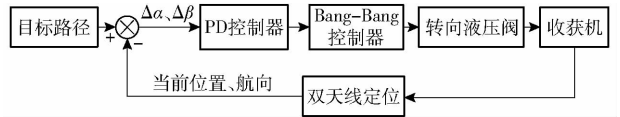


图 8 收获机路径跟踪原理模型

Fig. 8 PD control principle model of harvester navigation

3 试验与分析

3.1 试验材料与方法

东泰机械 4HBL - 2 型自走式花生联合收获机原控制台如图 9a 所示,采用电控手柄替代机械操纵手柄,利用电控手柄对移动、转向、升降、卸粮和限深功能进行控制;采用拨片开关替代原作业离合开关和机械油门拉线机构。花生收获机机构改造示意图如图 9b 所示,改造完成后收获机控制台如图 9c 所示。

起收获架,作业离合分离,以转弯速度进行转向,到达下一行起点时进行重复作业。

在沙质土壤花生地上通过 RTK 测定田角 4 个位置点,进行路径规划和收获作业,验证花生收获机田间收获作业功能和性能。

3.2 试验结果

水泥路面试验的作业路径跟踪曲线、作业路径跟踪误差和联合作业状态分别如图 11 ~ 13 所示。

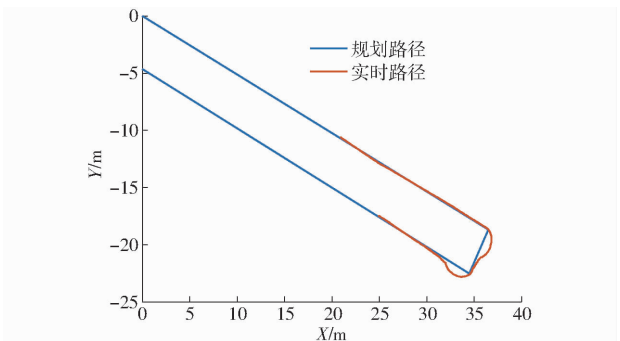


图 11 自动驾驶作业路径跟踪曲线(水泥路面)

Fig. 11 Automatic work path tracking curve

试验结果表明,花生收获机开始作业时,收获架下降,作业离合结合,以速度 0.25 m/s 进行收获工作,在非作业路径时收获架上升,作业离合分离,以速度 0.15 m/s 进行转向,作业控制与人工操作一

参 考 文 献

- [1] 万书波,张佳蕾. 中国花生产业降本增效新途径探讨[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(5): 657-662.
WAN Shubo, ZHANG Jialei. Discussion on new ways to reduce cost and increase efficiency of peanut industry in China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(5): 657-662. (in Chinese)
- [2] 廖伯寿. 我国花生生产发展现状与潜力分析[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(2): 161-166.
LIAO Boshou. A review on progress and prospects of peanut industry in China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2020, 42(2): 161-166. (in Chinese)
- [3] 房庆柳. 花生联合收获机摘果装置的创新设计与性能分析[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2021.
FANG Qingliu. Innovative design and performance analysis on the picking device for peanut combine harvester[D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science & Technology, 2021. (in Chinese)
- [4] LOWENBERG-DEBOER J, HUANG I Y, GRIGORIADIS V, et al. Economics of robots and automation in field crop production[J]. Precision Agriculture, 2020, 21(1): 278-299.
- [5] MARINOUDI V, SØRENSEN C G, PEARSON S, et al. Robotics and labour in agriculture. A context consideration[J]. Biosystems Engineering, 2019, 184: 111-121.
- [6] 秦佳虹,王成军. 农业机械化能否改善农业劳动力错配[J]. 农业现代化研究, 2019, 40(6): 1021-1028.
QIN Jiahong, WANG Chengjun. Can mechanization alleviate agricultural labor misallocation[J]. Research of Agricultural Modernization, 2019, 40(6): 1021-1028. (in Chinese)
- [7] 杨涛,李晓晓. 农机自动驾驶系统研究进展与行业竞争环境分析[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(11): 222-231.
YANG Tao, LI Xiaoxiao. Research progress of agricultural machinery autopilot system and analysis of industry competition environment[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(11): 222-231. (in Chinese)
- [8] 张智刚,王进,朱金光,等. 我国农业机械自动驾驶系统研究进展[J]. 农业工程技术, 2018, 38(18): 23-27.
- [9] 罗锡文,张智刚,赵祚喜,等. 东方红 X-804 拖拉机的 DGPS 自动导航控制系统[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 139-145.
LUO Xiwen, ZHANG Zhigang, ZHAO Zuoxi, et al. Design of DGPS navigation control system for Dongfanghong X-804 tractor[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 139-145. (in Chinese)
- [10] 张智刚,罗锡文,周志艳,等. 久保田插秧机的 GPS 导航控制系统设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(7): 95-97.
ZHANG Zhigang, LUO Xiwen, ZHOU Zhiyan, et al. Design of GPS navigation control system for rice transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(7): 95-97. (in Chinese)
- [11] 胡炼,罗锡文,赵祚喜,等. 插秧机电控操作机构和控制算法设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 118-122.
HU Lian, LUO Xiwen, ZHAO Zuoxi, et al. Design of electronic control device and control algorithm for rice transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 118-122. (in Chinese)
- [12] 胡炼,罗锡文,张智刚,等. 基于 CAN 总线的分布式插秧机导航控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 88-92.
HU Lian, LUO Xiwen, ZHANG Zhigang, et al. Design of distributed navigation control system for rice transplanters based on controller area network[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 88-92. (in Chinese)
- [13] 何杰,朱金光,张智刚,等. 水稻插秧机自动作业系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 17-24.
HE Jie, ZHU Jinguang, ZHANG Zhigang, et al. Design and experiment of automatic operation system for rice transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(3): 17-24. (in Chinese)
- [14] 刘兆朋,张智刚,罗锡文,等. 雷沃 ZP9500 高地隙喷雾机的 GNSS 自动导航作业系统设计[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 15-21.
LIU Zhaopeng, ZHANG Zhigang, LUO Xiwen, et al. Design of automatic navigation operation system for Lovol ZP9500 high clearance boom sprayer based on GNSS[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(1): 15-21. (in Chinese)
- [15] 丁幼春,王书茂. 联合收获机视觉导航控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 137-142.
DING Youchun, WANG Shumao. Vision navigation control system for combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 137-142. (in Chinese)
- [16] 关卓怀,沐森林,吴崇友,等. 履带式联合收获机水田作业转向运动学分析与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(13): 29-38.
GUAN Zhuohuai, MU Senlin, WU Chongyou, et al. Steering kinematic analysis and experiment of tracked combine harvester working in paddy field[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(13): 29-38. (in Chinese)
- [17] 赵艳华,龚丽农,于艳,等. 花生收获机智能工况测控系统设计[J]. 农机化研究, 2017, 39(4): 217-220.
ZHAO Yanhua, GONG Linong, YU Yan, et al. Design of working-condition detecting and controlling system for peanut harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(4): 217-220. (in Chinese)
- [18] 张守海,李洪迁,李政平,等. 4HBLZ-2 智能型半喂入花生联合收获机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2020, 42(9): 93-98.
ZHANG Shouhai, LI Hongqian, LI Zhengping, et al. Design and test of intelligent semi-feed peanut combine harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(9): 93-98. (in Chinese)
- [19] 岳丹松,王东伟,尚书旗,等. 4HL-6 型三垄六行智能花生联合收获机的设计和试验[J]. 农机化研究, 2021, 43(9): 109-112.
YUE Dansong, WANG Dongwei, SHANG Shuqi, et al. Design and experiment on 4HL-6 intelligent peanut combined harvester with three ridges and six rows[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(9): 109-112. (in Chinese)
- [20] 张漫,季宇寒,李世超,等. 农业机械导航技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2020, 51(4): 1-18.
ZHANG Man, JI Yuhuan, LI Shichao, et al. Research progress of agricultural machinery navigation technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(4): 1-18. (in Chinese)
- [21] 胡静涛,高雷,白晓平,等. 农业机械自动驾驶技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10): 1-10.
HU Jingtao, GAO Lei, BAI Xiaoping, et al. Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(10): 1-10. (in Chinese)