

## 稻麦联合收割机碎草机构实时监控系统的研制

杨腾祥 陈满 金诚谦\* 徐金山 倪有亮

(农业农村部 南京农业机械化研究所,南京 210014)

**摘要** 针对现有稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置智能化水平不高,相关参数监测系统缺乏等问题,基于机电一体化控制技术,研制稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置监控系统。该系统由推杆电机、霍尔传感器、扭矩传感器、位移传感器、人机交互终端以及电子控制单元(ECU)等组成,人机交互终端采用组态触摸屏,通过485总线与电子控制单元进行实时信息交互,实现转速、开度等系统参数实时采集、显示与存储,并能够根据作业要求控制推杆电机控制撒布板开度,实现秸秆半幅和全幅抛撒。实时调整抛撒效果。将此系统应用于秸秆切碎抛撒试验台,在秸秆切碎抛撒试验台上进行系统性能测试试验,结果表明:监控系统操作简单,参数测量精度达到94%以上,推杆的控制精度达到90%以上,系统具有良好的鲁棒性,能够满足稻麦机械化收获的相关要求。

**关键词** 稻麦联合收割机; 秸秆; 数据采集; 实时控制

中图分类号 S24 文章编号 1007-4333(2019)08-0114-06 文献标志码 A

## Design of real-time monitoring system for grass breaking mechanism of combine harvester

YANG Tengxiang, CHEN Man, JIN Chengqian\*, XU Jinshan, NI Youliang

(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

**Abstract** In order to solve the problems of low intelligence and lacking of monitoring system for relevant parameters in the existing straw shredding and throwing device of rice-wheat combine harvester, a monitoring system for straw shredding and throwing device of rice-wheat combine harvester is developed based on the mechatronic control technology. The system is composed of push-rod motor, hall sensor, torque sensor, displacement sensor, man-machine interaction terminal and electronic control unit (ECU) and so on. The man-machine interaction terminal uses configuration touch screen to carry out real-time information interaction with the electronic control unit through RS485 bus to realize real-time collection, display and storage of system parameters such as rotation speed and opening degree. This terminal can control push rod motor to control the opening degree of spreader plate according to operation requirements to realize half-width and full-width scattering of straw and adjust the throwing effect in real time. The system is applied to the straw chopping and throwing test bench and the performance test of the system is carried out on the straw chopping and throwing test bench. The results show that the monitoring system is simple to operate, the parameter measurement accuracy reaches more than 94%, the control accuracy of the push rod reaches more than 90%. The system also has good robustness and can meet the relevant requirements of rice and wheat mechanized harvesting.

**Keywords** combine-harvester; straw; data collection; real-time control

收稿日期: 2018-12-07

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2016YFD0702003); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-04-PS26)

第一作者: 杨腾祥, 硕士研究生, E-mail: tengxiang28@163.com

通讯作者: 金诚谦, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业机械及其智能化研究, E-mail: 412114402@qq.com

随着农村劳动力的减少、土地规模化经营的发展,现代农业生产迫切希望农机装备实现现代化、智能化<sup>[1-4]</sup>。稻麦联合收获机是我国水稻和小麦收获的主要农业机械装备,近几年得到飞速的发展,但是国内联合收获机智能化程度相对较低。设计联合收割机碎草机构在线监控系统对于提高联合收割机的智能化水平具有重要意义。

目前,稻麦联合收获机的智能化研究多针对联合收割机的某一工作过程展开。对于履带式联合收割机在线监测系统的研究主要集中在以下几个方面:1)谷物喂入量与籽粒流量的在线监测<sup>[5-6]</sup>;2)脱粒滚筒转速与负荷的在线监测<sup>[7-8]</sup>;3)联合收割机清选系统的在线监测<sup>[9]</sup>;4)联合收割机监控系统的集成化研究<sup>[10-15]</sup>。以上相关研究在一定程度上提高了联合收割机的智能化水平、降低了机手的劳动强度,但是前期研究均未涉及到秸秆切碎抛撒系统的监测与调整。

本研究拟采用机电一体化技术以及自动控制技术,对联合收割机切碎器刀轴扭矩与转速的在线监测方法和抛洒装置的监控方法进行研究,以期根据在线监测系统获取的数据得到切碎器在工作过程中消耗功率的变化规律,为切碎抛撒装置的改良提供数据支持。

### 1 系统构成

本研究以国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项资助设计的稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置为实验平台,结合当前国内外稻麦联合收割机作业参数在线监控系统的研究现状,研制了稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置作业状态实时监控系。主要包括推杆电机、霍尔传感器、扭矩传感器、位移传感器、人机交互终端以及电子控制单元(ECU)等(图 1)。ECU 根据位移传感器的位置信息计算撒布板的实时开度,并根据作业要求控制推杆电机正反转驱动撒布板执行机构,调整撒布板的开度;同时能够实时的采集霍尔传感器和扭矩传感器的数据,经过换算得到刀辊的转速和功率,实时监测刀辊的工作状态。人机交互终端使用标准 MODBUS 协议与 ECU 进行通信,可以使实时调节抛撒机构的抛撒幅宽与显示秸秆切碎抛撒装置的操作参数。

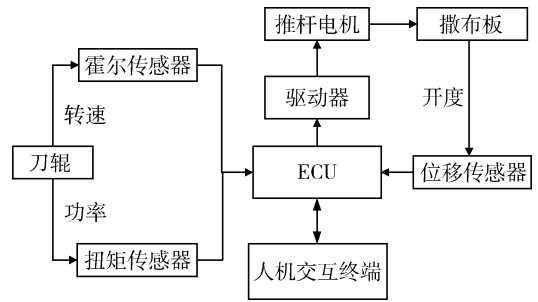


图 1 碎草机构实时监控系统的构成

Fig. 1 Structure of real time monitoring system for crushed grass institution

## 2 硬件系统设计

### 2.1 ECU 设计

ECU 作为稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置作业状态实时监控系统的核心,用于接收 1 路霍尔传感器的脉冲信号、1 路位移传感器的模拟信号、1 路扭矩传感器的模拟信号,控制直流电机运行及与人机交互终端进行实时通信。根据上述系统功能要求,本研究选用了 STM32F103ZET6 主控芯片为中央处理器,外围电路主要包括时钟电路、1 个串口驱动芯片 MAX3232、1 个 485 驱动芯片 MAX3485、1 个脉冲计数器 CD4040、1 个 D/A 转换芯片 MCP3204、1 路光耦隔离继电器驱动电路等。ECU 电路原理框图如图 2 所示。

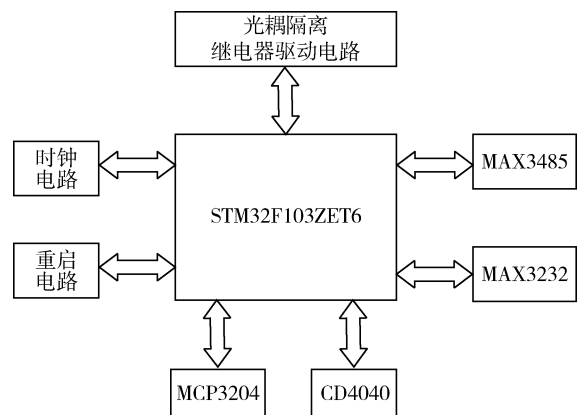


图 2 ECU 电路原理框图

Fig. 2 Diagram of ECU circuit

### 2.2 刀辊转速与功率监测系统

稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置刀辊转速与功率传感器的安装示意图见图 3,其中转速监测选用的是上海翰西生产的 EM12-M10DN-T45 霍尔传

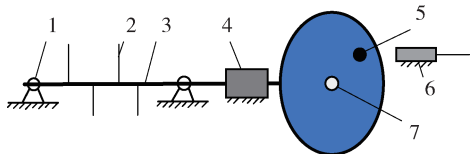
感器,霍尔传感器安装在机架上,磁钢安装在皮带轮上,当皮带轮转动时,传感器就可以输出方波信号。皮带轮转速与方波信号的周期成反比例关系,通过ECU捕获方波信号的周期就可以计算皮带轮的转速 $n$ :

$$n = \frac{60}{dT} \quad (1)$$

式中: $d$ 为磁钢的数量; $T$ 为方波信号周期。

刀辊的功率是通过刀辊的扭矩和转速计算获得的。刀辊扭矩监测选用的是南京冉控科技有限公司制造的R K0605-2000双法兰扭矩传感器,该传感器的量程为5~2 000 N·m,输出信号为1~5 V电压信号。传感器在零扭矩时输出3 V,正向满量程时输出5 V,反向满量程时输出1 V。结合监测得到的扭矩和转速信息,便可以得到刀辊的实时功率 $P$ :

$$P = \frac{nM}{9\ 500} \quad (2)$$

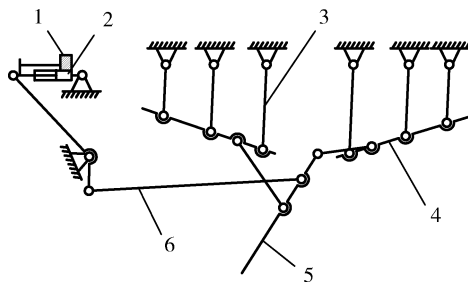


1. 轴承座;2. 动刀;3. 刀辊;4. 扭矩传感器;5. 磁钢;6. 霍尔传感器;7. 皮带轮

1. Bearing block; 2. Cutter; 3. Roller; 4. Torque sensor; 5. Magnetic steel; 6. Hall element; 7. Belt pulley

图3 传感器安装示意图

Fig. 3 Schematic diagram of sensor installation



1. 位移传感器;2. 推杆电机;3. 撒布板;4. 连杆机构;5. 手动调节手柄

1. Displacement sensor; 2. Push-rod motor; 3. Spreading plates; 4. Link mechanism; 5. Manual handle

图4 撒布板调整机构示意图

Fig. 4 Setting position of spreading plates

## 2.4 软件设计

根据稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置基本作业要求,设计的ECU控制流程见图5。首先系统上电初始化后,开启外部输入自动捕获功能,计算刀辊

式中的: $M$ 为刀辊的扭矩; $n$ 为刀辊的转速。

为精准测量扭矩传感器电压信号,选用MCP3204将模拟信号转换为数字信号输出。MCP3204是一款带有采样保持电路的逐次逼近型12位精度A/D转换器,芯片使用了SPI通信接口极大的方便了单片机与芯片的连接,增强程序的可移植性。

## 2.3 撒布板开度控制

稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置撒布板开度控制机构见图4。该机构能够实现手动调节和自动调节的功能。手动调节时,通过手动调节手柄控制撒布板的朝向,从而改变撒布板开度,调整秸秆的抛撒宽幅。自动调节功能是ECU根据设定的撒布板目标开度,控制推杆电机正反转驱动连杆机构改变撒布板的朝向,实现秸秆的抛撒宽幅在线调节。

本系统采用的位移传感器是台州市椒江西域电子厂WXY31-0808-V1拉绳位移传感器,测量量程为0~1 200 mm,线性精度0.02%。推杆电机选用普菲德生产的24 V推杆电机,最大行程为200 mm,负载能力6 000 N。本研究所设计的秸秆抛撒幅宽调节包括:左半幅、右半幅以及全幅抛撒3种工作模式,经标定位移传感器测量值为90 mm,电压值为4.50 V,实现秸秆左半幅抛撒;位移传感器测量值为60 mm,电压值为3.00 V,实现秸秆全幅抛撒;位移传感器测量值为30 mm,电压值为1.50 V,实现秸秆右半幅抛撒。

转速的大小;接着判断是否接收到开口调节指令,如果有则调节开口的大小;然后读取扭矩传感器与位移传感器的数据并计算刀辊的实时功率;最后利用人机交互终端显示实时作业状态。

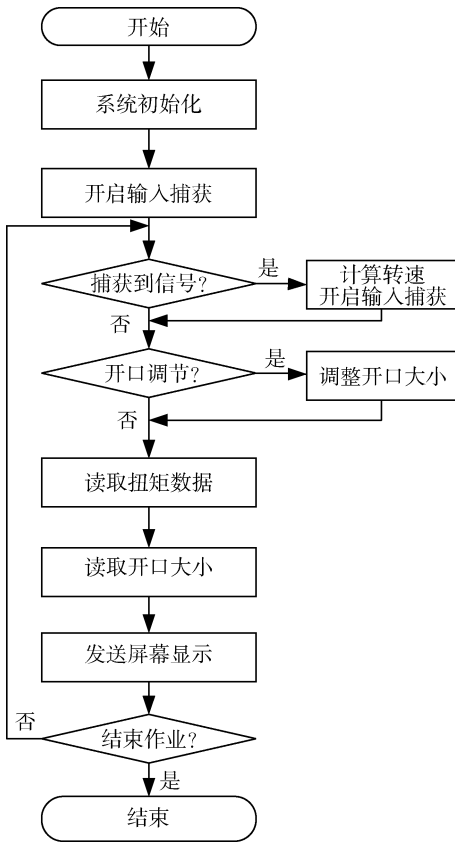


图 5 ECU 工作流程

Fig. 5 Flow chart of ECU work

### 2.5 人机交互终端设计

为便于系统操作和状态显示,本研究采用组态触摸屏作为人机交互终端,触摸屏通过 485 总线与 ECU 进行通信。人机交互界面包括显示控制界面与数据查询界面。显示控制界面主要包括各个传感器的数据、刀辊的功率以及撒布板开度显示模块,撒布板位置左右调节模块以及数据查询功能模块。数据查询界面主要由历史数据表格和数据刷新与保存功能(图 6)。



图 6 人机交互界面屏幕截图

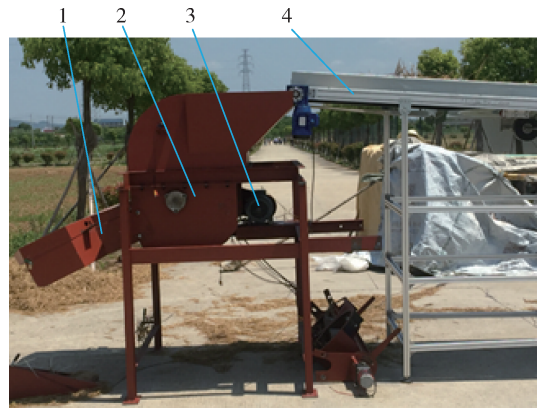
Fig. 6 Screenshot of human machine interface

### 3 测试试验与数据分析

为了测试该稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置监控系统的工作性能,将监控系统在秸秆切碎抛撒试验台上进行系统的可靠性和准确性测试。

试验时间:2018-05-16—05-17。试验地点:农业农村部南京农机化研究所白马基地。试验平台:秸秆切碎抛撒试验台。试验对象:所研制的稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置监控系统。

试验过程中,通过变频器控制三相交流电机驱动稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置模拟稻麦联合收割机实际作业情况。试验过程中模拟刀辊转速设定为 2 000、2 500、3 000、3 500、4 000 r/min,推杆位移设定为 90、60、30 mm。系统运行过程中,ECU 通过 485 总线将刀辊转速、推杆位移等采集计算数据实时发送给触摸屏。每一组试验过程中,利用优利德 UT371 转速表和游标卡尺进行刀辊转速和推杆位移人工测量,试验重复 10 次。



1. 抛撒装置;2. 切碎装置;3. 三相电机;4. 输送机

1. Spreading device; 2. Chopper device; 3. Three-phase Motor; 4. Conveyor

图 7 秸秆切碎抛撒试验台

Fig. 7 Straw chopping and scattering test bed

表 1 示出秸秆切碎抛撒模拟实验中所获得的转速数据。可见:稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置监控系统采集的刀辊转速均值与优利德 UT371 转速表测量的差值最大值为 450 r/min,最小值为 3 r/min,转速的测量精度达到 94% 以上。

所获得的推杆位移试验数据见表 2:稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置监控系统采集的推杆位移的误差值最大为 11.0 mm,最小 0 mm,推杆的控制精度达到 90% 以上。试验结果表明:稻麦联合收割

表1 刀辊转速试验数据与分析

Table 1 Experiment data analysis of roller rotate speed

计算转速 Speed calculated	实测转速 Speed measured	最大误差 Maximum error	最小误差 Minimum error	平均误差 Average error
1 979	1 972	186	13	95
2 586	2 517	175	3	90
3 103	3 014	259	57	140
3 616	3 431	450	88	185
3 959	4 010	295	18	176

表2 推杆位移试验数据与分析

Table 2 Experiment data analysis of push-rod motor

计算位移 Distance calculated	实测位移 Distance measured	最大误差 Maximum error	最小误差 Minimum error	平均误差 Average error
95.2	90.0	11.0	0	5.1
58.8	60.5	5.5	0.3	2.5
29.6	29.7	3.5	0.1	1.9

机秸秆切碎抛撒装置监控系统具有良好的鲁棒性,能够实现秸秆切碎抛撒装置各部件作业参数的精确采集。

#### 4 结 论

1) 稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置监控系统,能够实时采集秸秆切碎抛撒装置各部件作业参数,并根据作业需求控制撒布板开度,实现秸秆抛撒宽幅在线调节。

2) 该系统采用组态触摸屏作为人机交互界面,能够在线显示系统作业参数,调节撒布板开度,可适用于不同作业要求的稻麦收获作业。

3) 试验表明,研制的稻麦联合收割机秸秆切碎抛撒装置监控系统操作简单具有良好的鲁棒性,参数测量精度达到94%以上,推杆控制精度达到90%以上。

#### 参考文献 References

[1] 徐扬. 智能制造技术与农业装备的融合与思考[J]. 当代农机, 2018, 56(7): 102-104  
Xu Y. Integration and thinking of intelligent manufacturing technology and agricultural equipment[J]. *Agricultural*

*Equipment & Vehicle Engineering*, 2018, 56(7): 102-104 (in Chinese)

- [2] 李永涛. 浅谈我国水稻联合收割机的现状与发展趋势[J]. 农产品加工, 2017(1): 118-120  
Li Y T. Brief discussion on present situation and development trend of rice combine harvester in China[J]. *Farm Products Processing*, 2017(1): 118-120 (in Chinese)
- [3] 陈旭, 吴崇友, 张敏. 我国油菜联合收割机发展现状及趋势分析[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(10): 28-31  
Chen X, Wu C Y, Zhang M. Development status and trend analysis of rapeseed combine harvester in China[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2018, 39(10): 28-31 (in Chinese)
- [4] 王刚, 吴崇友, 伍德林. 我国通用型联合收割机现状与发展思考[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(6): 6-8  
Wang G, Wu C Y, Wu D L. Current situation and development of universal combine harvester in China[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2013, 34(6): 6-8 (in Chinese)
- [5] 梁学修, 陈志, 张小超, 伟立国, 李伟, 车宇. 联合收获机喂入量在线监测系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S2): 1-6  
Liang X X, Chen Z, Zhang X C, Wei L G, Li W, Che Y. Design and experiment of on-line monitoring system for feed quantity of combine harvester[J]. *Transactions of the Chinese Society*

- for Agricultural Machinery*, 2013, 44(S2):1-6 (in Chinese)
- [6] 介战. 喂入量智能监控系统田间装机试验[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(1):38-40  
Jie Z. Field test in intelligent controlled system of feeding quantity[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2002, 18(1):38-40 (in Chinese)
- [7] 张成文. 联合收割机脱粒滚筒负荷监测系统研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013  
Zhang C W. Study on load monitoring system of threshing cylinder of combined harvester[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013 (in Chinese)
- [8] 闫兰娟, 师帅兵, 李小红, 孙新城. 联合收割机脱粒滚筒转速监控系统[J]. 农机化研究, 2007, 29(2):103-105  
Yan L J, Shi S B, Li X H, Sun X C. An auto-control system of revolution speed of threshing cylinder for combine harvester [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007, 29(2):103-105 (in Chinese)
- [9] 杨小华, 吕新民, 杨兵力, 陈绍斌. 基于单片机控制的清选试验台监控系统[J]. 微计算机信息, 2007(8):128-129  
Yang X H, Lv X M, Yang B L, Chen S B. The monitor system of the cleaning testing platform based on single Chip [J]. *Microcomputer Information*, 2007(8):128-129 (in Chinese)
- [10] Chen D, Wang S M, Zheng Y J. An ARM-based environment for combine harvester process monitor via CAN bus [J]. *Physics Procedia*, 2011, 22:258-262
- [11] 陈进, 徐凯, 王学磊, 丁松. 基于 BPNN 与 DS 理论的联合收割机监控系统设计[J]. 电子科技, 2016, 29(12):152-155  
Chen J, Xu K, WANG X L, Ding S. Monitoring system of combine harvester based on BPNN and DS theory [J]. *Electronic Science and Technology*, 2016, 29(12):152-155 (in Chinese)
- [12] 王吉中, 柏雨岑, 伟利国, 刘畅, 李阳, 赵博. 基于 CAN 总线的冲量式谷物流量联合收割机测产系统[J]. 农业工程, 2018, 8(5):25-30  
Wang J Z, Bai Y, Wei L C, Liu C, Li Y, Zhao B. Yield monitor system of impulse type grain flow combine harvester based on CAN bus[J]. *Agricultural Engineering*, 2018, 8(5):25-30 (in Chinese)
- [13] 陈进, 季园园, 李耀明. 基于 PLC 和触摸屏的联合收割机监控系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2014(7):78-81  
Chen J, Ji Y Y, Li Y M. Monitoring system of combine harvester based on PLC and touch-screen [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2014(7):78-81 (in Chinese)
- [14] 张建军, 杜莉. 基于 WSN 和嵌入式系统的收割机智能监测优化设计[J]. 农机化研究, 2017, 39(9):66-70  
Zhang J J, Du L. Optimization design of intelligent monitoring system based on WSN and embedded system [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(9):66-70 (in Chinese)
- [15] 魏新华, 李耀明, 陈进, 宋寿鹏, 顾建, 左志宇, 倪军. 联合收割机工作过程智能监控装置的系统集成[J]. 农业工程学报, 2009, 25(S2):56-60  
Wei X H, Li Y M, Chen J, Song S P, Gu J, Zuo Z Y, Ni J. System integration of working process intelligent monitoring and controlling devices for combine harvester [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(S2):56-60 (in Chinese)

责任编辑：刘迎春