doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2021.07.009

棉花打顶机自动对行装置设计与试验

张晋国[1,2]　郑　超[1,2]　赵　金[3]　张瑞星[4]　赵西哲[4]　李峰涛[4]

(1.河北农业大学机电工程学院,保定 071001;2.河北省棉花产业协同创新中心,保定 071001;
3.石家庄学院机电学院,石家庄 050031;4.河北双天机械制造有限公司,定州 073000)

摘要:为了提高棉花打顶机的自动化水平,以高地隙底盘棉花打顶机为载体,利用传感器技术、电机控制技术和PLC控制技术,结合机采棉品种棉花种植模式,设计了棉花打顶机自动对行装置。该装置主要由检测机构、对行机构、电机控制系统、电子控制系统和控制软件组成。采用RecurDyn软件对检测机构进行运动仿真,探究运动规律,为角度传感器选取提供理论依据;利用角度传感器获取棉株偏行量,建立检测杆转动角度与步进电机步进量和转动方向之间的对应关系,通过控制步进电机的步进量和转动方向实现对偏行棉株的精确打顶;通过人机交互界面对控制系统进行实时监测,以提高驾驶直线度。为避免侧枝干扰,对两侧低侧枝情况控制系统采用位置信息对比方法获取主茎秆位置;对单侧低侧枝情况按原程序执行,田间实测表明该误差可忽略。田间试验表明,与人工对行相比,自动对行平均偏行量减小了8.08 cm,同比降低56.62%,无偏行率同比提高275%。

关键词:棉花打顶机;自动对行;检测机构;控制系统

中图分类号:S224.9　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2021)07-0093-09　　**OSID**:

Design and Experiment of Auto-follow Row Device for Cotton Topping Machine

ZHANG Jinguo[1,2]　ZHENG Chao[1,2]　ZHAO Jin[3]　ZHANG Ruixing[4]　ZHAO Xizhe[4]　LI Fengtao[4]

(1. *College of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei Agricultural University, Baoding* 071001, *China*
2. *Co-Innovation Center for Cotton Industry of Hebei Province, Baoding* 071001, *China*
3. *Mechanical and Electrical College, Shijiazhuang University, Shijiazhuang* 050031, *China*
4. *Hebei Shuangtian Machinery Manufacturing Co., Ltd., Dingzhou* 073000, *China*)

Abstract: In view of the development of cotton topping mechanization, it was found that in addition to cutting off the top branch, the highest lateral branch should also be cut off. Although the highest lateral branch will also produce cotton boll, the cotton boll bearing capacity is far lower than that of the lower lateral branch. The topping machine which can cut off the top branch and the highest lateral branch at the same time was designed by some scholars, but the auto-follow row problem was involved, which may result in the highest lateral branch being missed or over hit. Machine-harvested cotton planting patterns were combined, a set of auto-follow row device of cotton topping machine was designed by using sensor technology, motor control technology and PLC control technology. The device was mainly composed of testing mechanism, auto-follow row mechanism, motor control system, electronic control system and control software. RecurDyn software was used to simulate the motion of the testing organization, explore the law of motion, and provide a theoretical basis for the selection of angle sensor. The deviation of cotton plant was obtained by angle sensor, and the corresponding relationship between the rotation angle of detection rod and the stepping and rotation direction of stepper motor were established. The accurate topping of deviation cotton plant was realized by controlling the stepping and rotation direction of stepper motor. In order to improve the driver's straightness, the control system was monitored in real time through the human machine interface. In order to avoid the disturbance of lateral branches, the position of the main stem was obtained by comparing the position information of the low lateral branches on both sides; for the case of single low side branch, the error can be ignored by field measurement. It was showed that

收稿日期:2021-01-25　修回日期:2021-05-03

基金项目:河北省棉花产业协同创新中心项目(2014—2019)和国家重点研发计划项目(2017YFD0300907)

作者简介:张晋国(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备研究,E-mail:zhangjinguo@hebau.edu.cn

the average deviation of the auto-follow row was reduced by 8.08 cm, 56.62% and the rate of not auto-follow row was increased by 275% by field experiments. In the past, most of the topping machines only used the way of flat cutting to remove the top of the cotton plant, and the inhibition of the highest lateral branch was still controlled by chemical control. Therefore, only the topping machine was highly modeled. A device was designed to cut the top branch and the highest side branch at the same time. The intelligent control technology was integrated into the machine, and the auto-follow row device was designed, so the topping quality of the cotton topping machine was raised. The design had great innovation.

Key words: cotton topping machine; auto-follow row; detection device; control system

0 引言

棉花具有无限生长的习性,其顶端优势尤为明显,棉花顶端的无限生长将消耗果枝的营养,导致棉花产量降低[1-2]。因此需通过摘除顶心来提高产量。棉花打顶方式可分为:人工打顶、化学打顶和机械打顶[3-4]。人工打顶费时、费力,化学打顶和机械打顶可大幅度提高打顶效率,将逐渐取代人工打顶[5-8]。

研究发现,打顶时除切除顶尖外还需切除最高侧枝,虽然最高侧枝也会结桃,但结桃能力远低于下面的果枝[9]。相关学者设计了同时切除顶尖与最高侧枝的打顶机,但并未涉及自动对行问题[10-11],再加上导航播种技术尚未完全普及,使人工对行播种行距不一,棉株偏行时打顶效果差[12-13]。为此,本文设计一款同时切除顶尖与最高侧枝的高地隙底盘棉花打顶机,并融入智能控制技术,设计自动对行装置,以期提高打顶机的作业质量。

1 总体设计

1.1 打顶刀仿形布置

为适应棉花全程机械化,机采棉品种果枝短不易缠绕,大多采用 76 cm 等行距单行种植,种植密度 4.5 株/m^2以上,株距 24 ~ 30 cm[14-16]。

对打顶时期机采棉品种实测,如图 1 所示,机采棉品种相对于手采棉品种,其最低侧枝距地面较高,平均高度可达 23 cm,棉株底部主茎秆偏离中心线长度在 0 ~ 15 cm。

若要切除顶尖和两侧最高侧枝,本文设计 3 片刀片同时工作,中间刀片切除顶尖,两侧刀片切除最高侧枝。生长笔直的棉株通过检测机构获取底部主茎秆位置后对行打顶,打顶效果如图 2a 所示,若未对行,则可能会造成侧枝漏打或过打,如图 2b 所示。但部分棉株生长不是笔直的,顶尖与底部主茎秆存在偏差,实测发现该偏差多在 15 cm 内。设计刀片长度为 30 cm,对行系统使刀片对准主茎秆后,打顶效果如图 2c 所示,其效果虽不如图 2a,但相对图 2d,自动对行系统对提高打顶质量有很大帮助。

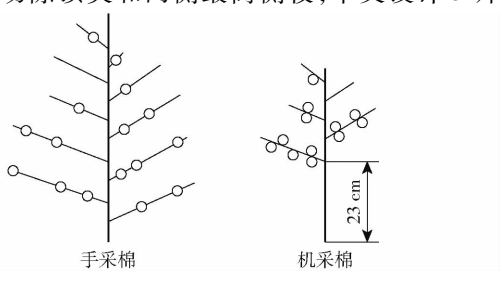

图 1 手采棉品种与机采棉品种株型对比

Fig. 1 Comparison of plant type between hand picked and machine picked cottons

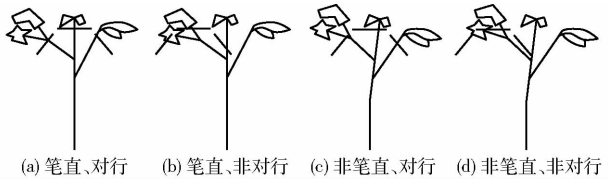

图 2 打顶效果

Fig. 2 Topping effects

1.2 整机结构与原理

1.2.1 整机结构

结构如图 3 所示,主要包括主枝打顶机构、侧枝打顶机构、升降机构、对行机构和检测机构。整机通过悬挂机构安装于驱动底盘后端,主枝打顶机构两侧固定连接侧枝打顶机构,两打顶机构连接对行机构,检测机构安装在打顶机下方。

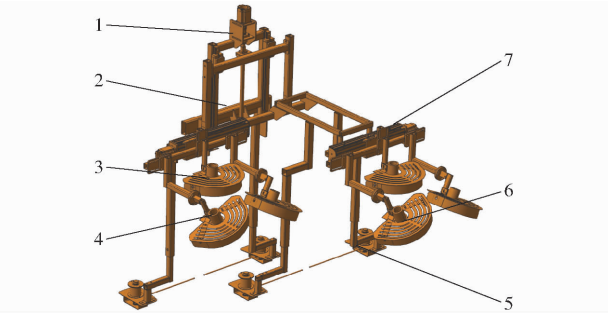

图 3 整机结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of whole machine

1. 升降机构 2. 悬挂机构 3. 主枝打顶机构 4. 直流电机 5. 检测机构 6. 侧枝打顶机构 7. 对行机构

1.2.2 工作原理

本机通过四点悬挂的方式与驱动底盘连接。工作时,直流电机通电带动刀片工作;通过控制升降机构中步进电机调节打顶高度;检测机构获取棉株位

置信息，通过控制对行机构中滑块横向移动，进而带动主枝打顶机构和侧枝打顶机构移动实现对行打顶。

1.2.3　打顶机主要技术参数

主要技术参数如表 1 所示。

表 1　主要部件性能参数

Tab. 1　Main components performance parameters

部件	参数	数值
驱动底盘	匹配功率/kW	36.8
	两侧轮距/cm	152
	底盘高度/cm	135
	作业速度/(km·h^{-1})	1～1.5
侧枝打顶机构	转动角/(°)	0～180
升降机构	调节范围/cm	70～120
对行机构	对行范围/cm	－17～17

2　关键部件设计

2.1　检测机构

2.1.1　结构设计

检测机构如图 4 所示，棉株底部主茎秆一侧偏移，则带动该侧检测机构的检测杆摆动，进而主轴与角度传感器转动，从而将棉株横向偏移量转换为角度变化量；当检测机构通过棉株后，则扭簧使检测杆回位。

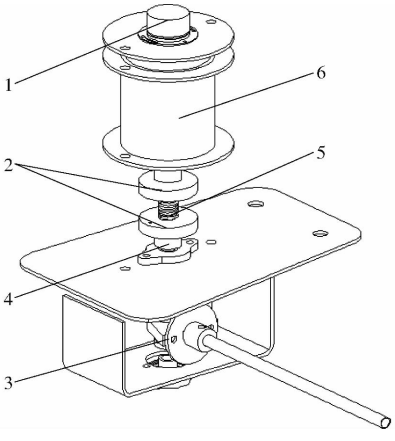

图 4　检测机构结构示意图

Fig. 4　Structure diagram of detection device

1. 角度传感器　2. 扭簧卡块　3. 检测杆　4. 主轴　5. 扭簧　6. 连接护罩

为了避免检测杆频繁转动，导致控制信号的频繁跳变，棉株主茎秆与检测杆间留有间距。如图 5 所示，检测杆转动角与偏移量间的关系式为

$$L = R(1-\cos\beta) - r + h - \frac{d}{2} \tag{1}$$

式中　β——检测杆转动角，(°)

L——棉株偏移量，mm

R——检测杆长度，mm

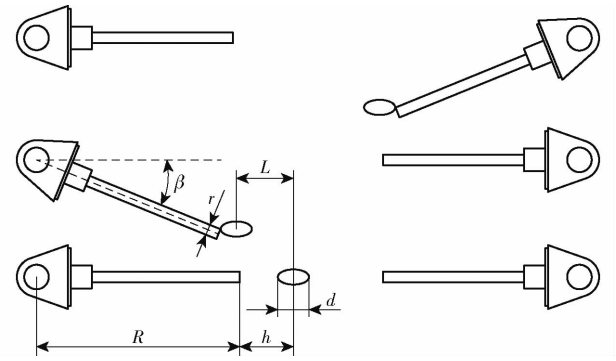

图 5　对行检测动作示意图

Fig. 5　Schematic of follow row detection

r——检测杆半径，mm

h——主茎秆与检测杆间距，mm

d——棉株底部主茎秆长轴，mm

结构设计上，检测杆采用半径为 5 mm 的钢管，即 $r = 5$ mm，检测杆转动角范围为 $-60° \sim 60°$。田间试验时测得轮胎下陷最大深度为 5 cm，试验时将检测杆高度调节距地面 15 cm。经实测得，棉株距离地面高度 10～15 cm 处，主茎秆平均长轴 $d = 20$ mm；同行棉株小偏移量多为 0～3 cm，即 $h = 30$ mm；由上文得 L 多为 0～15 cm。由式(1)可看出 L 与 β 为正比关系，设计选取 $\beta = 60°$，$L = 15$ cm 时，代入式(1)得 $R \geqslant 25$ cm，由于棉花种植行距为 76 cm，且棉株最大偏离为 15 cm，则 $R \leqslant 61$ cm，设计取 $R = 450$ mm。则式(1)可简化为

$$L = 450(1-\cos\beta) + 15$$

田间作业环境复杂，难免出现杂草等干扰，但杂草硬度比棉株茎秆小很多，为避免干扰，需控制扭簧扭矩，使得只有棉株茎秆才可带动检测杆转动。本设计选用线径 2 mm、圈数 9 的扭簧，通过田间试验发现，该扭簧不受杂草干扰。

2.1.2　运动仿真

在三维设计软件中绘制实体模型后导成 x－t 格式，并在动力学软件 RecurDyn 中模拟检测机构运动轨迹[17－18]。在软件中将实体模型简化，添加移动副、转动副和接触实现检测机构的运动仿真模拟，如图 6 所示。

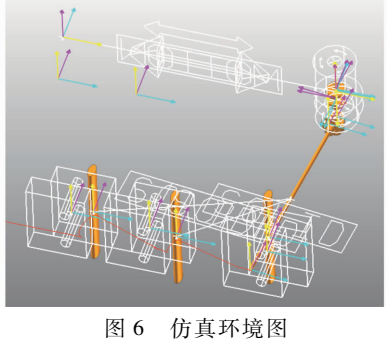

图 6　仿真环境图

Fig. 6　Simulation environment diagram

经求解可得检测杆的运动轨迹,接触棉株后,检测杆与前进方向夹角逐渐减小,直至完全通过棉株后,扭簧扭力将检测杆复位。因此检测杆经过棉株后,其与前进方向夹角变化曲线会产生一个极小值点。通过在仿真环境中设置 3 棵棉株,其夹角变化曲线出现了 3 个极小值点,如图 7 所示。因此可通过读取角度传感器输出模拟量变化曲线的极值点得出棉株横向偏移量。

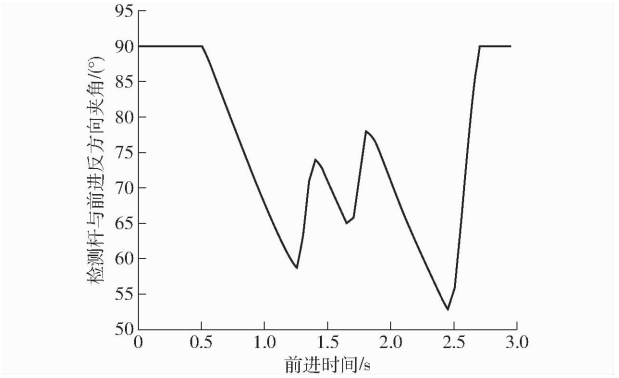

图 7 夹角变化曲线

Fig. 7 Angle change curve

2.2 对行机构

对行机构如图 8 所示,具体机构及原理如下:步进电机转动,通过联轴器带动丝杠转动;丝杠与螺母螺纹连接,则丝杠转动带动螺母移动,螺母与滑块固定连接,滑块与主枝打顶机构和侧枝打顶机构固定连接,从而带动两打顶机构移动实现精确打顶。

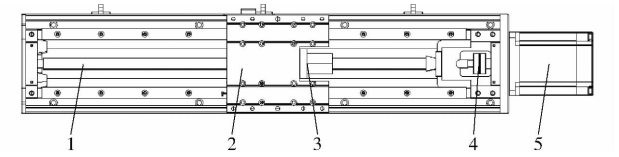

图 8 对行机构

Fig. 8 Diagram of follow row mechanism

1. 丝杠 2. 滑块 3. 螺母 4. 联轴器 5. 步进电机

棉花种植株距小、偏行量大、步进电机转速有限,为保证滑块能及时移动至棉株位置,工作时,同行相邻的 3 棵棉株中,控制器程序读取中间棉株的位置信息,但步进电机不执行该棵棉株位置偏差运动。

采用 5 点梅花法[19],实测得棉花株距为 24 ~ 30 cm,棉株单侧偏行量多为 0 ~ 15 cm。驱动底盘工作速度为 1 ~ 1.5 km/h,丝杠总长度需大于 34 cm,导程为 5 ~ 20 mm。电机转速计算式为

$$n = \frac{Dv}{2St} \times 60 \tag{2}$$

式中 S——株距,m

v——底盘速度,m/s

D——滑块移动量,m

t——丝杠导程,m

n——电机转速,r/min

为保证滑块能反应及时,则电机转速应取最大值,则变量 S_{min} = 24 cm, v_{max} = 1.5 km/h, D_{max} = 30 cm。丝杠长度选取 36 cm,导程 t 取最大值 2 cm,则通过式(2)得 n_{max} = 781 r/min,设计取 n = 800 r/min,作为电机的工作转速。

3 控制系统设计

3.1 系统方案

系统结构框图如图 9 所示,检测机构获取棉株位置信息,将棉株偏移量转换为角度传至角度传感器。控制器获取角度信息,并分析处理后输出步进电机的控制信号,进而控制丝杠转动。编码器检测丝杠转速反馈至电机驱动器。光电传感器对滑块进行限位,报警器用于提醒驾驶员驾驶偏行量是否过大,并通过人机交互界面显示偏行方向。

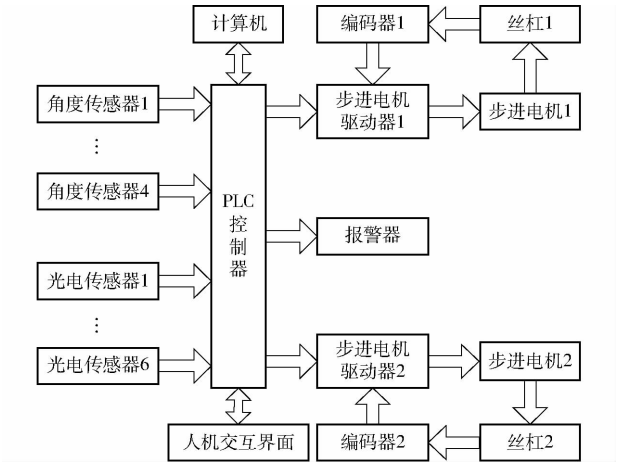

图 9 控制系统结构框图

Fig. 9 Control system structure diagram

3.2 硬件选型与设计

3.2.1 角度传感器

为保证采集精度,检测模块采用 GT - C 型角度传感器,分辨率 4 096 位(12 位)。

3.2.2 光电传感器

由于丝杠的长度有限,则滑块两侧移动量有限。理想环境下,若底盘按导航直线行走,则滑块两侧可移动量大于棉株两侧最大偏移量,但人工驾驶无法走出理想直线[12]。若底盘单侧偏移,则可能会造成另一侧检测杆转动角度过大,此时滑块移动量将超过丝杠导程,硬件系统将会损坏。为此需设计报警系统提醒驾驶员驾驶偏行量是否过大。此外棉株无偏行时,滑块需回零,则每行都需 3 个限位传感器。在滑块顶部中心处安装挡光片,可通过检测挡光片确定滑块位置,因此槽型光电传感器与挡光片较匹配,本系统选用 EE - SX672 - WR 型槽型光电传感

器，安装实物如图 10 所示。

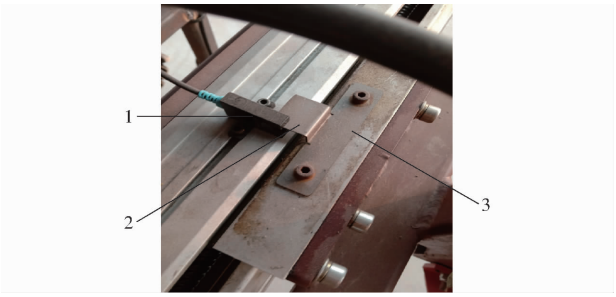

图 10　光电传感器安装实物图

Fig. 10　Photo sensor installation

1. 光电传感器　2. 挡光片　3. 滑块

3.2.3　驱动电机

本系统选用 86 系列闭环步进电机作为对行执行部件。驱动器的选取需要与步进电机配套，则选取 ZDM－2HA860 型驱动器[20]。

3.2.4　触摸屏

选用速控云（上海）智能科技有限公司的 HC－Suk8070 型触摸屏作为控制系统的人机交互界面[21－22]。

3.2.5　控制器

PLC 需完成对模拟信号和开关信号的采集，并输出开关信号和脉冲控制执行部件工作，通过串口通讯与触摸屏连接。PLC 具体型号依据系统架构、I/O 端口数、参考精度和经济性进行选择[23]。为满足系统自动对行需求，选择三菱 FX2N－32MT PLC。

3.2.6　高度升降模块

打顶时期棉株高度为 80～110 cm，若打顶高度固定，则会造成过打或漏打现象，不同打顶高度会对产量带来影响[24－25]，为此需将打顶高度设为可调。本系统中利用脉冲发生器控制步进电机，遥控装置控制脉冲发生器的启/停和正/反。遥控装置选用 TAD－T70P 四路智能无线遥控开关。脉冲发生器型号为 CS10－3，可控制步进电机和伺服电机。

3.2.7　硬件电路

硬件电路如图 11 所示，PLC 作为从机，需由上位机控制，通过 RS－485 远程遥控网关实现从机与上位主机的通讯。

3.3　软件设计

3.3.1　控制策略

编程环境中，使用 PLSY 指令控制步进电机，使用该指令需计算脉冲频率

$$P=\frac{6mn}{\theta} \tag{3}$$

式中　P——输出脉冲频率，Hz

θ——电机固有步距角，(°)

m——细分数，取 8

由式（2）计算得出步进电机工作转速为 800 r/min，依据式(3)可得输出脉冲频率为 21 333 Hz，控制程序如图 12 所示。

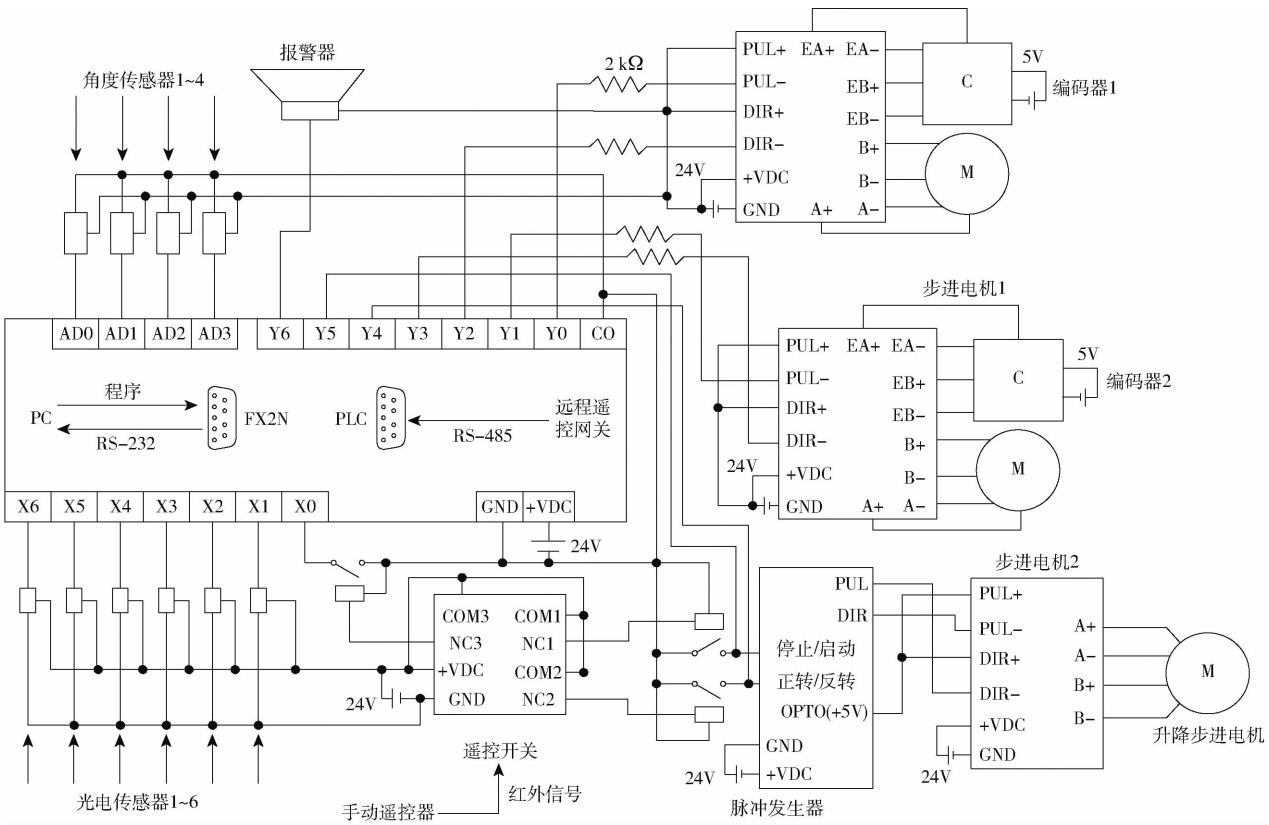

图 11　系统硬件电路

Fig. 11　System hardware circuit diagram

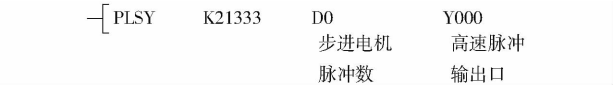

图 12 电机控制程序梯形图

Fig. 12 Ladder diagram of motor control program

虽然机采棉品种最低侧枝平均高度可达 23 cm，但棉株生长不一，难免有侧枝高度低于检测杆。若两侧侧枝高度相近，且均低于检测机构，如图 13a 所示，则对比两侧检测杆转动量，判定主茎秆偏离中心线方向为转动角度较大的检测杆一侧，偏离量估算为大角度检测杆量减小角度检测杆量后的一半。若仅单侧侧枝高度低于检测杆，如图 13b 所示，则难以与主茎秆进行区分，但通过对打顶时期 4 行棉株实测发现，侧枝茎秆高度低于 15 cm（检测杆高度）的棉株中，多数与图 13a 类似，两侧侧枝高度相近，单侧侧枝高度低于检测杆的棉株数仅占低侧枝样本的 10%，因此可对该部分误差忽略。

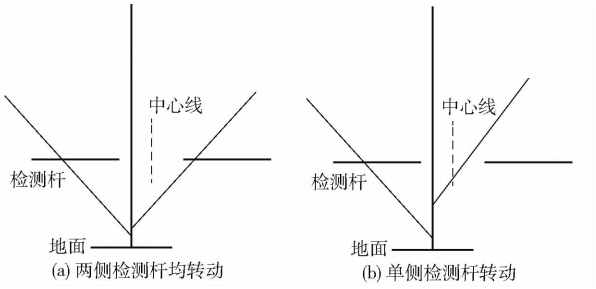

图 13 侧枝影响分析

Fig. 13 Analysis chart of lateral branch influence

滑块移动程序流程图如图 14 所示，工作时，首先需判断是否有偏行棉株，若两侧偏行，则直接结束；若单侧偏行，则判断偏行方向。第 1 次对行结束后，对行程序要记录第 1 次棉株的偏行方向以及偏行量 D1。检测到下棵偏行棉株时，需将该次偏行方向与上次对比，若偏行方向相同，则将该次偏行量与上次对比；若偏行方向不同，滑块先回零，再执行该次偏行运动。该次对行工作结束后，去除上次棉株偏行信息，记录该次偏行信息。

为防止驾驶偏行过大，需设报警程序，全程监测滑块位置信息，并通过人机交互界面实时显示。报警程序流程图如图 15 所示，滑块运动至一侧光电传感器，即令滑块停止运动并判断滑块位置，判断结束后控制报警器报警，并将滑块位置信息传至人机交互界面，从而提醒工作人员调节前进方向。

3.3.2 人机交互界面

通过在 HMI 组态软件中添加 PLC 的 I/O 通道，进而将 PLC 采集到的工作数据传输至触摸屏中。依据自动对行棉花打顶机的监控需求，人机交互界面设计如图 16 所示，在主控制界面中，用户可完成对打顶高度的调节和程序的切换；实时显示棉株偏行量和滑块位置。驾驶人员可通过人机交互界面判

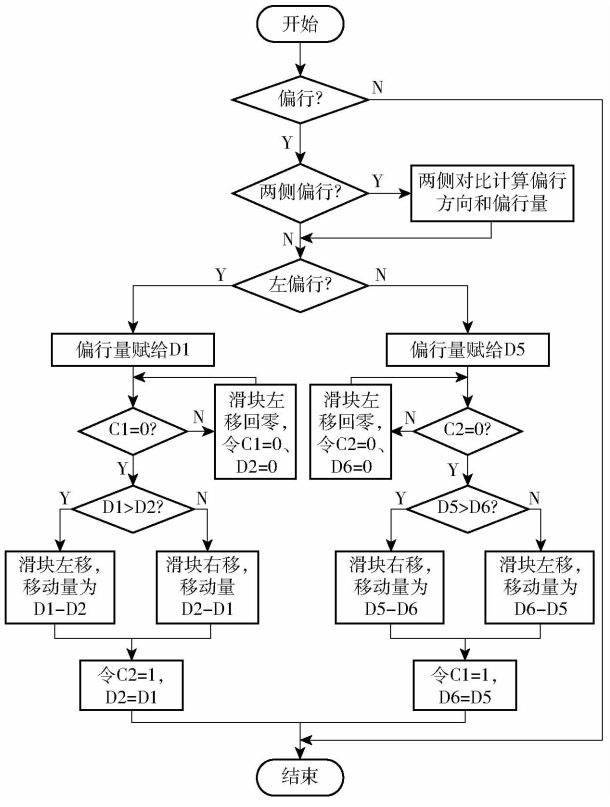

图 14 滑块移动程序流程图

Fig. 14 Flow chart of slider movement program

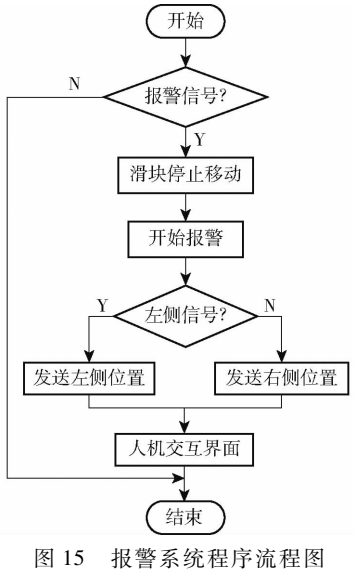

图 15 报警系统程序流程图

Fig. 15 Flow chart of alarm system program

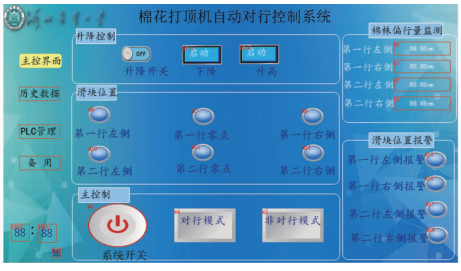

图 16 人机交互界面

Fig. 16 Human machine interface

断驾驶是否有单侧偏行过大的现象，尽量使底盘走出理想直线。

3.3.3　通讯协议

本系统中从站打顶机与监控终端主站之间基于 Modbus 通过 RS－485 无线网关通讯传输数据。终端主站通过组态程序经 RS－232 通讯与上位机触摸屏连接，显示此时棉株横向偏移方向与偏移量，通讯协议如图 17 所示。

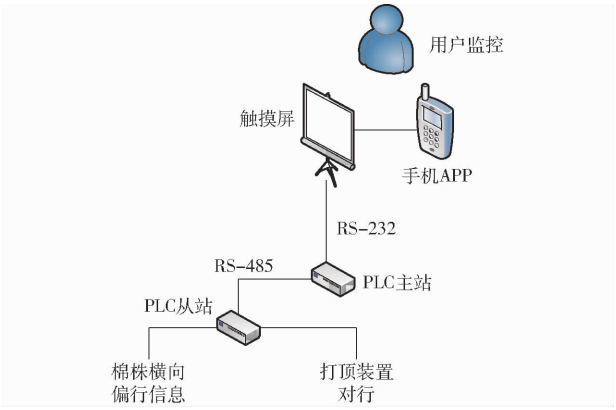

图 17　通讯协议

Fig. 17　Communication protocol

通过触摸屏配套的手机 APP：HMI Smart，实现手机界面与触摸屏界面同步显示并控制。

PLC 主站与触摸屏之间采用比特率 9 600，数据位 7，停止位 1，偶校验（EVEN）的 RS－232 通讯。PLC 主站与 PLC 从站之间采用比特率 9 600，数据位 8，停止位 1，无校验（N）的 RS－485 通讯。主站通讯模块设定为服务器，从站通讯模块设定为客户端，并启用相同监听端口，即可实现远程 RS－485 通讯。

4　田间试验

2020 年 12 月在河北农业大学三分场棉花试验地进行了试验，如图 18 所示。试验地行距为 76 cm，平均株距为 24 cm。为了方便观察打顶机对行系统的对行效果，试验前人工将棉株顶部切除，只留距地面 10～20 cm 的主茎秆。此外，在打顶机中间刀片顶部固定安装滴水装置，以便于追寻打顶装置的行走轨迹。

使用自动对行系统行走 4 行。停止自动对行，在人工对行下行走 4 行。自动对行下，滴水装置滴出褐色水；人工对行下，滴水装置滴出蓝色水。打顶速度设定为 1～1.5 km/h，在自动对行与人工对行试验结束之后，分别测其每行的平均偏行量，如图 19 所示。定义水滴在打顶机前进方向左侧为左偏行，在打顶机前进方向右侧为右偏行。由上述可知，同行棉株最小偏移量多为 0～3 cm，因此棉株左右两侧 3 cm 内的水滴定义为无偏行，试验结果如表 2 所示。



图 18　田间试验

Fig. 18　Field experiment



(a) 人工对行偏量　　(b) 自动对行偏量

图 19　试验结果对比

Fig. 19　Comparison of test results

1. 褐水滴　2. 蓝水滴

表 2　打顶试验结果

Tab. 2　Analysis of topping test results

行号	平均左偏量/cm	平均右偏量/cm	平均偏行量/cm		无偏行率/%	
			自动对行	人工对行	自动对行	人工对行
1	6.50	8.92	7.71	8.50	20.00	10.00
2	6.00	7.42	6.71	18.35	15.00	0
3	3.40	6.73	5.07	8.70	25.00	10.00
4	4.48	6.09	5.29	17.50	15.00	0
平均	5.10	7.29	6.19	14.27	18.75	5.00

经过试验统计，人工对行工作 4 行平均偏行量为 14.27 cm，无偏行率为 5.00%。而自动对行工作 4 行平均左偏量为 5.10 cm，平均右偏量为 7.29 cm，平均偏行量为 6.19 cm，无偏行率为 18.75%。通过对比可以看出采用自动对行技术后，平均偏行量减小了 8.08 cm，同比降低 56.62%，无偏行率提高了 275%。由此可以看出设计的自动对行打顶机相对于非对行棉花打顶机能够提高打顶工作的质量。

5　结论

（1）设计的自动对行装置由检测机构、对行机构、电机控制系统、电子控制系统和控制软件组成。检测机构将棉株横向偏量转换为角度变化量传至控

制系统,电机控制系统控制对行机构执行对行指令。打顶过程中通过人机交互界面对控制系统进行实时监测,以提高驾驶直线度。

(2)为避免侧枝干扰,控制系统对两侧低侧枝情况采用位置信息对比方法获取主茎秆位置;对单侧低侧枝情况按原程序执行,田间实测表明该误差可忽略。试验表明,相对于人工对行,自动对行平均偏行量减小了 8.08 cm,同比降低 56.62%,无偏行率同比提高 275%,提高了打顶作业质量和种植户的经济效益。

参 考 文 献

[1] AYDIN J, ARSLAN S. Mechanical properties of cotton shoots for topping [J]. Industrial Crops and Products, 2018, 112(1):396 - 401.

[2] 崔延楠,韩文婷,聂志勇,等. 不同密度下三种打顶方式对棉花株型结构及产量的影响[J]. 新疆农业科学,2018,55(11):1968 - 1976.
CUI Yannan, HAN Wenting, NIE Zhiyong, et al. Effects of three topping methods on cotton plant type structure and yield under different densities [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2018,55(11): 1968 - 1976. (in Chinese)

[3] 邹茜,刘爱玉,王欣悦,等. 棉花打顶技术的研究现状与展望[J]. 作物研究,2014,28(5):570 - 574.
ZOU Xi, LIU Aiyu, WANG Xinyue, et al. Research status and prospect of cotton topping technology[J]. Crop Research, 2014,28(5): 570 - 574. (in Chinese)

[4] 郝延杰,石磊,曹龙龙,等. 棉花顶芽识别定位技术研究现状及展望[J]. 中国农机化学报,2018,39(11):72 - 78.
HAO Yanjie, SHI Lei, CAO Longlong, et al. Research status and prospect of cotton terminal bud identification and positioning technology [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018,39(11): 72 - 78. (in Chinese)

[5] 彭强吉,康建明,宋裕民,等. 3MDZ - 4 型自走式棉花打顶喷药联合作业机设计[J]. 农业工程学报,2019,35(14):30 - 38.
PENG Qiangji, KANG Jianming, SONG Yumin, et al. Design of 3MDZ - 4 self propelled cotton topping spraying combined machine [J]. Transaction of the CSAE, 2019,35(14): 30 - 38. (in Chinese)

[6] 陈长林,谢庆,张爱民,等. 我国黄河流域棉区棉花机械化打顶的生产技术路线探析[J]. 中国农机化学报,2020,41(12): 12 - 14,167.
CHEN Changlin, XIE Qing, ZHANG Aimin, et al. Analysis on the production technology route of mechanized topping of cotton in the Yellow River Basin of China [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020,41(12): 12 - 14,167. (in Chinese)

[7] 周海燕,尹素珍,朱立成,等. 3WDZ - 6 型自走式棉花打顶机设计[J]. 农业机械学报,2010,41(增刊):86 - 89.
ZHOU Haiyan, YIN Suzhen, ZHU Licheng, et al. Design of model 3WDZ - 6 self-propelled cotton topping machine [J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(Supp.): 86 - 89. (in Chinese)

[8] 何磊,刘向新,周亚立,等. 垂直升降式单体仿形棉花打顶机[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊 2):62 - 67.
HE Lei, LIU Xiangxin, ZHOU Yali, et al. Vertical lifting single profiling cotton topping machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(Supp.2): 62 - 67. (in Chinese)

[9] 陈昭阳. 高度自动调节棉花打顶机设计与试验研究[D]. 北京:中国农业科学院,2016.
CHEN Zhaoyang. Design and experimental research on cotton topping machine with automatic height adjustment [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016. (in Chinese)

[10] 姜学森. 棉花仿形纵横切割打顶机: 20172111772.1[P]. 2017 - 09 - 01.

[11] 姜学森. 一种绳式棉花打顶整形机: 201920983769.8[P]. 2019 - 06 - 27.

[12] 赵金,郑超,苏磊峰,等. 秸秆粉碎种行旋耕苗带覆盖棉花播种机的设计与试验[J]. 农机化研究,2021,43(6):66 - 72.
ZHAO Jin, ZHENG Chao, SU Leifeng, et al. Design and experiment of cotton planter with straw crushing row and rotary seeding belt mulching [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021,43(6): 66 - 72. (in Chinese)

[13] 郑巍,黄盛杰,陈智. 北斗卫星导航系统在农业领域上的发展现状分析[J]. 农业装备技术,2020,46(4):4 - 6.
ZHENG Wei, HUANG Shengjie, CHEN Zhi. Analysis on development status of Beidou satellite navigation system in agricultural field [J]. Agricultural Equipment & Technology, 2020,46(4): 4 - 6. (in Chinese)

[14] 贺小伟,刘金秀,王旭峰,等. 密植棉秆对行铲拔铺放机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2020,51(10):142 - 151.
HE Xiaowei, LIU Jinxiu, WANG Xufeng, et al. Design and test of cotton stalk double row spade spreader for close planting [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020,51(10): 142 - 151. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20201016&flag = 1&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.10.016. (in Chinese)

[15] 姜艳,王鹏,徐飞,等. 种植模式对机采棉生长及棉田水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报,2021(1):1 - 9.
JIANG Yan, WANG Peng, XU Fei, et al. Effects of planting patterns on growth and water use efficiency of machine harvested cotton [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2021(1): 1 - 9. (in Chinese)

[16] 侯英俊. 研究机采种植模式下棉花种植密度[J]. 现代农业研究,2020,26(10):95 - 96.
HOU Yingjun. Research on cotton planting density under mechanized harvesting mode [J]. Modern Agricultural Research, 2020,26(10): 95 - 96. (in Chinese)

[17] 马永根,王祖进. 基于 RecurDyn 软件的列车车门辅助锁优化方法研究[J]. 城市轨道交通研究,2020,23(11):130 - 133.
MA Yonggen, WANG Zujin. Optimization method of train door auxiliary lock based on RecurDyn software [J]. Urban Mass Transit., 2020,23(11): 130 - 133. (in Chinese)

[18] 纪龙龙,谢焕雄,杨红光,等. 基于 EDEM_RecurDyn 耦合的马铃薯干式清土装置仿真分析[J]. 中国农机化学报,2021,42(1):109 - 115.

JI Longlong, XIE Huanxiong, YANG Hongguang, et al. Based on EDEM_ Simulation analysis of RecurDyn coupling potato dry soil cleaning device [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021,42(1): 109 - 115. (in Chinese)

[19] HOSSAIN M M. The impact of HRM practices on job satisfaction in bangladesh: evidence from women employees of private sector[J]. China-USA Business Review,2020,19(1):10 - 24.

[20] 李世超,曹如月,季宇寒,等.基于不同电机的拖拉机自动导航转向控制系统性能对比[J/OL].农业机械学报,2019,50(增刊):40 - 49.
LI Shichao, CAO Ruyue, JI Yuhan, et al. Performance comparison of tractor automatic navigation steering control system based on different motors [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(Supp.): 40 - 49. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=2019s007&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.007. (in Chinese)

[21] 郭建斌,牛红林,韩玉花,等.基于 PLC 的养殖场氨气生物氧化装置设计与试验[J/OL].农业机械学报,2017,48(3):310 - 316.
GUO Jianbin, NIU Honglin, HAN Yuhua, et al. Design and test of ammonia biological oxidation device based on PLC [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017,48(3): 310 - 316. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no=20170339&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.039. (in Chinese)

[22] 陈浩,彭天博,肖路.基于 PLC 和 HMI 的工业窑炉监控系统设计[J].工业控制计算机,2020,33(11):46 - 47,52.
CHEN Hao, PENG Tianbo, XIAO Lu. Design of industrial kiln monitoring system based on PLC and HMI [J]. Industrial Control Computer, 2020,33(11): 46 - 47,52. (in Chinese)

[23] 王昱,吴鹏,曾志雄,等.规模化猪舍废气复合净化系统设计与试验[J/OL].农业机械学报,2020,51(4):344 - 352.
WANG Yu, WU Peng, ZENG Zhixiong, et al. Design and test of compound purification system for waste gas from large-scale piggery [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020,51(4): 344 - 352. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no=20200439&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.04.039. (in Chinese)

[24] 孙杰. 棉花打顶机打顶高度自动控制系统的设计与试验研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
SUN Jie. Design and experimental study of automatic control system for topping height of cotton topping machine [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015. (in Chinese)

[25] 孙杰,张学军,史增录,等.棉花打顶机自动测距控制系统的设计[J].安徽农业科学,2015,43(12):369 - 370,390.
SUN Jie, ZHANG Xuejun, SHI Zenglu, et al. Design of automatic ranging control system for cotton topping machine [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015,43(12): 369 - 370,390. (in Chinese)

(上接第 140 页)

[19] 罗雪莲, 刘桂英, 刘香银. 基于小波变换与希尔伯特-黄变换的微电网暂态电能质量扰动检测及辨识研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(3):182 - 188.
LUO Xuelian, LIU Guiying, LIU Xiangyin. Study on detection and identification of transient power quality disturbances of micro grid based on wavelet transform and Hilbert - Huang transform[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(3):182 - 188. (in Chinese)

[20] 曾祥, 周晓军, 杨辰龙,等.基于经验模态分解和 S 变换的缺陷超声回波检测方法[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(11):414 - 420.
ZENG Xiang, ZHOU Xiaojun, YANG Chenlong, et al. Ultrasonic defect echoes identification based on empirical mode decomposition and S transform[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11):414 - 420. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20161156&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.056. (in Chinese)

[21] ZHANG Junrong, TANG Huiming, WEN Tao, et al. A hybrid landslide displacement prediction method based on CEEMD and DTW - ACO - SVR-cases studied in the three gorges reservoir area[J]. Sensors, 2020, 20(15):4287.

[22] ZHANG Yongan, YAN Binbin, AASMA Memon. A novel deep learning framework: prediction and analysis of financial time series using CEEMD and LSTM[J]. Expert Systems with Applications, 2020, 159:113609.

[23] ZHU Lida, LIU Changfu, JU Changyu, et al. Vibration recognition for peripheral milling thin-walled work pieces using sample entropy and energy entropy[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 108(9):3251 - 3266.

[24] 但长林, 李三雁, 张彬. 基于样本熵和 SVM 的滚动轴承故障诊断方法研究[J].中国测试, 2020, 46(11):37 - 42.
DAN Changlin, LI Sanyan, ZHANG Bin. Research on fault diagnosis method for rolling element bearings based in sample entropy and SVM[J]. China Measurement and Test, 2020, 46(11):37 - 42. (in Chinese)

[25] RICHMAN J S, RANDALL M J. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy[J]. American Journal of Physiology Heart & Circulatory Physiology, 2000, 278(6): 2039 - 2049.