

3QXZ-6型制种玉米去雄机设计与试验

王锦江¹ 陈志² 杨学军¹ 王俊¹ 吴俭敏¹ 郝朝会¹

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 中国机械工业集团有限公司, 北京 100080)

摘要: 为了提高制种玉米生产管理的机械化水平, 设计了3QXZ-6型制种玉米去雄机, 主要由仿形机构、液压传动系统和仿形控制系统等组成。仿形机构采用平行四连杆结构; 抽雄滚轮旋转运动由负载敏感液压系统传动实现; 仿形机构高度调节由比例控制液压系统驱动升降油缸实现; 以一定距离内下光电信号连续无表示玉米植株低, 一定距离内上光电信号连续有表示玉米植株高为控制依据, 实现玉米植株高度仿形模糊控制。对抽雄滚轮转速同步性能及控制系统响应时间、升降油缸运动速度进行了测试试验, 结果表明: 发动机转速在2300 r/min附近时, 滚轮转速最大偏差率极值为4.4%, 同步误差率小于3%; 响应时间为0.04 s; 油缸上升速度为0.21 m/s, 下降速度为0.27 m/s, 最后确定了控制信号 t 与抽雄部件垂直位移量间的函数关系。田间试验表明, 设计的3QXZ-6型制种玉米去雄机工作稳定, 作业效率高, 去雄率均值为87.7%, 能够满足机械化去雄作业的要求。

关键词: 玉米去雄机; 仿形控制; 性能试验

中图分类号: S224.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)07-0112-07

Design and Experiment of 3QXZ-6 Seed Corn Detasseling Machine

Wang Jinjiang¹ Chen Zhi² Yang Xuejun¹ Wang Jun¹ Wu Jianmin¹ Hao Zhaohui¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

2. China National Machinery Industry Corporation, Beijing 100080, China)

Abstract: The 3QXZ-6 seed corn detasseling machine was designed to improve the mechanical level during corn cultivation. The machine was consisted of profiling mechanism, hydraulic driving system and plant-profiling controlled system. The profiling mechanism was structured as a parallelogram. Roller was motivated by the load-sensing hydraulic system, and height adjustment was manipulated by cylinder, which was driven through proportional control hydraulic system. In a set distance, if the lower photoelectric signal is continuously lost, it indicates the plant is short, and if the upper photoelectric signal is continuously received, it indicates the plant is relatively tall. This is how the plant height profiling is fuzzily controlled. The test on synchronization performance of roller rotation speed, response time of controlling system, and hydraulic cylinder speed shows that when the engine rotation speed is around 2300 r/min, the maximum deviation ratio of roller rotation speed is 4.4%, synchronization tolerance rate is less than 3%, responding time is 0.04 s, cylinder lifting-up speed is 0.21 m/s, and dropping-down speed is 0.27 m/s. Based on the data collected from experiment, a function was built by using control signal t as variable and vertical movement of tassel removal component. Field experiment proves that the 3QXZ-6 seed corn detasseling machine is reliable and highly efficient. It sufficiently meets the agronomy detasseling requirement with a detasseling ratio 87.7% averagely.

Key words: corn detasseling machine; profiling control; performance testing

收稿日期: 2015-12-28 修回日期: 2016-03-05

基金项目: 国家国际科技合作专项(2013DFA31560)和科研院所技术开发研究专项(2013EG119159)

作者简介: 王锦江(1980—),男,博士生,主要从事农业机械设计及关键技术研究,E-mail: lazio320@163.com

通信作者: 陈志(1955—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业机械化工程技术研究,E-mail: chenchi@sinomach.com

引言

去雄作业作为玉米制种的关键环节,直接影响着玉米种子的质量^[1]。目前,我国制种玉米去雄作业以人工为主,作业效率低,劳动强度大,作业条件恶劣且容易受到天气条件影响,而玉米去雄机作业效率高,受自然条件影响小,机械去雄是必然趋势。在发达的玉米种植大国,玉米去雄机已被广泛应用,典型的机具有美国 Hagie 公司 204SP、美国 Big John 公司 PDF752D、美国 Oxo 公司 TS2 和法国 Bourgion 公司 BD864 等。我国对玉米去雄机研究起步较晚,以仿制国外机型为主,研究多集中于底盘液压传动系统、雄穗识别方法、仿形自动控制系统等领域,而对玉米去雄机整机的设计研究鲜见报道^[1-6]。

本文针对制种玉米去雄作业机械化水平低的现状,利用已设计的轮式抽雄部件,设计一种可根据玉米植株高度自动仿形、负载敏感液压同步传动、作业效率高的 3QXZ-6 型制种玉米去雄机。

1 整机结构与工作原理

3QXZ-6 型制种玉米去雄机可同时进行 6 行去雄作业,主要由动力底盘(采用现代农装科技股份有限公司生产的 3WZG-3000A 型多功能底盘)、悬挂架、仿形机构、平行四连杆、雄穗识别装置、抽雄部件、升降油缸、测速传感器等组成,如图 1 所示。

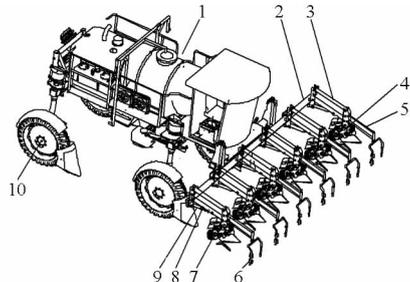


图 1 3QXZ-6 型玉米去雄机结构图

Fig. 1 Structure diagram of 3QXZ-6 seed corn detasseling machine

1. 动力底盘 2. 悬挂架 3. 仿形机构 4. 电动推杆 5. 平行四连杆
6. 雄穗识别装置 7. 轮式抽雄部件 8. 位移传感器
9. 升降油缸 10. 测速传感器

机具作业前,先根据制种玉米品种及生长状态调节电动推杆,设置高度识别装置与抽雄部件间的相对位置,使抽雄部件处于最佳工作位置。机具作业时,动力底盘通过液压系统及控制单元将动力传递给轮式抽雄部件,使抽雄滚轮处于旋转状态;由一对光电传感器组成的雄穗识别装置探测喂入玉米植株雄穗位置,经高度仿形控制系统分析处理,输出控制信号给液压执行元件,调节升降油缸伸缩量以带

动仿形机构(抽雄部件)至合适高度;在抽雄滚轮挤压、拉拨的作用下,将玉米雄穗抽出并抛向地面,完成玉米去雄的机械化作业。

2 关键部件设计

2.1 仿形机构设计

考虑到作业过程中抽雄部件根据玉米植株高度变化进行位置调节时需保持滚轮倾角不变,并结合调节动作需响应的技术要求,仿形机构采用平行四连杆结构^[7-8]。

以液压缸和平行四连杆固定边铰接点 O 为坐标原点^[1],水平方向为 x 轴,垂直方向为 y 轴,建立直角坐标系,如图 2 所示。

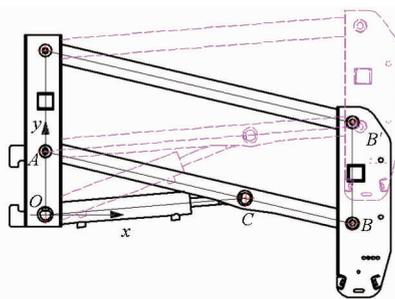


图 2 仿形机构简图

Fig. 2 Diagram of profiling mechanism

由平行四连杆结构参数可知,点 B 沿 y 方向的位移即为抽雄部件沿 y 方向的位移。点 B 在图示位置的纵坐标为

$$y_B = L_{OA} - L_{AB} \frac{L_{OA}^2 + L_{AC}^2 - L_{OC}^2}{2L_{OA}L_{AC}} \quad (1)$$

式中 L_{OA} —— OA 之间的长度, mm
 L_{AB} —— AB 之间的长度, mm
 L_{AC} —— AC 之间的长度, mm
 L_{OC} —— OC 之间的长度, mm

当点 B 连续移动到 B' 时,点 B' 的纵坐标为

$$y_{B'} = L_{OA} - L_{AB} \frac{L_{OA}^2 + L_{AC}^2 - (L_{OC} + s)^2}{2L_{OA}L_{AC}} \quad (2)$$

其中 $s = vt$ (3)

式中 s ——油缸伸缩量,伸长为正,收缩为负, mm
 v ——油缸运动速度, mm/s
 t ——调节执行时间, s

由式(1)~(3)可得点 B 的垂直位移为

$$y_{B'} - y_B = L_{AB} \frac{2L_{OC}vt + v^2t^2}{2L_{OA}L_{AC}} \quad (4)$$

根据底盘结构参数和制种玉米植株抽雄期性状特征, L_{OA} 取 200 mm, L_{AB} 取 1 000 mm, L_{AC} 取 650 mm, L_{OC} 取值范围为 535 ~ 765 mm。则由式(2)、(4)可以得出,抽雄部件垂直方向的调节量受 L_{OC} 当前取值、油缸运动速度 v 、调节执行时间 t 以及油缸运动状态

(伸/缩)的影响。

2.2 液压传动设计

3QXZ-6型制种玉米去雄机包含6组工作单元,每组工作单元由抽雄部件旋转和高度调整2个独立的动作组成。为了保证每组工作单元的作业效果,应满足下述条件:当各组抽雄部件从同一高度同时上升或下降时,抽雄部件垂直移动速度一致;各组抽雄滚轮旋转速度保持一致。

2.2.1 仿形机构高度调整液压系统

该系统的执行机构为6根双作用油缸,通过升降油缸的伸缩运动实现抽雄部件的高度调整,系统原理图如图3所示。由比例换向阀控制油缸伸出/缩回的动作及速度,通过设置每组阀芯开度,使各组抽雄部件从同一高度同时上升或下降时,抽雄部件垂直移动速度保持相等。当比例换向阀处于中间位置时,压力油通过泄荷阀回到油箱,减小能量损耗。溢流阀起过载保护和系统压力设定作用,液压锁用来防止换向阀泄漏导致的抽雄部件高度变化现象发生^[9-11]。根据负载以及速比等确定液压缸缸径为50 mm,杆径为28 mm,行程为230 mm。

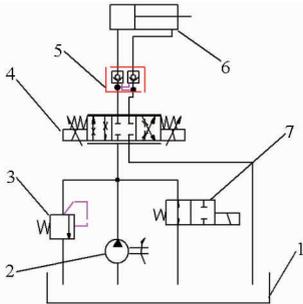


图3 仿形机构高度调节液压原理图(单路)

Fig.3 Diagram of hydraulic system (single channel) of profiling mechanism height adjustment

- 1. 油箱 2. 液压泵 3. 溢流阀 4. 比例换向阀 5. 液压锁
- 6. 升降油缸 7. 泄荷阀

2.2.2 抽雄滚轮同步驱动系统

该系统的执行机构为6个同型号马达,分为 I_1 、 I_2 、 I_3 3路,采用两两串联然后并联的方式进行驱动,如图4所示。抽雄滚轮驱动系统主要由变量泵、负载敏感单元、单向阀、电磁换向阀、马达等组成。

不考虑阀泄漏和液压油压缩效应时,通过节流阀的流量方程为^[12]

$$q = CA \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (5)$$

式中 q ——通过节流阀流量

C ——流量系数

A ——节流阀开口截面积

Δp ——节流阀两端压差

ρ ——液压油密度

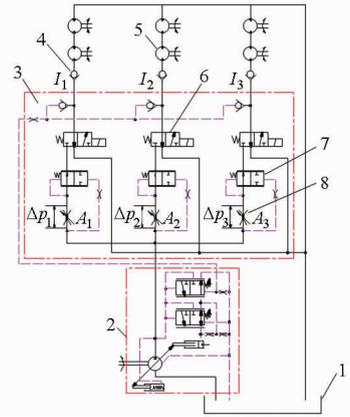


图4 抽雄滚轮驱动液压原理图

Fig.4 Diagram of hydraulic system of roller driving

- 1. 油箱 2. 变量泵 3. 负载敏感单元 4. 单向阀 5. 马达
- 6. 电磁换向阀 7. 压力补偿器 8. 节流阀

由式(5)可知,当 C 、 A 、 ρ 恒定时,流量 q 只与 Δp 有关。由于作业时要求6个马达转速恒定,因此设计 I_1 、 I_2 、 I_3 油路上节流阀的开口截面积相等,即 $A_1 = A_2 = A_3$,则取 $\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = \Delta p$ 时可使系统 I_1 、 I_2 、 I_3 3条油路的流量始终保持一致,其中 Δp 通过变量泵设定^[13-14]。

当系统压力因工作负载变化时,假设 I_1 路负载压力 p_h 高于其余两路负载压力, p_h 压力信号通过负载敏感单元传递给变量泵,使变量泵的输出压力变为 $p_h + \Delta p$,则 I_1 路节流阀两端的压差仍保持为 Δp ,剩余两路在压力补偿阀的作用下使节流阀压差也保持为 Δp ,从而满足 I_1 、 I_2 、 I_3 3路流量一致的要求。本文设计抽雄滚轮转速为450 r/min,每路马达的启动(停止)通过电磁换向阀控制。

2.3 仿形控制系统设计

高度仿形控制系统结构框图如图5所示,系统主要由PLC控制器、触摸显示屏、测速传感器、位移传感器、光电传感器、比例换向阀等组成。

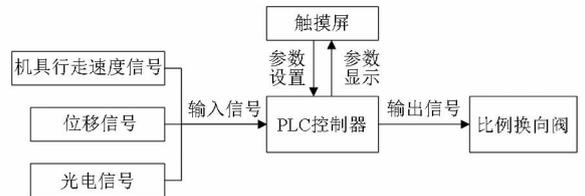


图5 仿形控制结构框图

Fig.5 Structural block of profiling control

该系统采用开环控制的方式。首先,PLC控制器通过通信端口读取触摸屏设定参数数值,通过上一对高度识别光电传感器判别雄穗位置,通过拉线位移传感器采集 L_{oc} 起始数值,通过速度传感器采集机具行走速度;然后,PLC控制器根据触摸屏的设定参数值和采集的3个信号进行分析处理;最后,输出控制信号给比例换向阀,调节油缸伸缩动作使

抽雄部件位于最佳作业高度。

仿形机构高度调整的最终目的是使玉米穗处于 2 个传感器中间^[1], 考虑土壤养分、地面平整度以及玉米生长姿态等因素造成的制种玉米植株长势不整齐、叶片与玉米行的相对空间位置不确定现象, 本文以一定距离(S_1)内下光电信号连续无表示玉米植株低(相对), 一定距离(S_2)内上光电信号连续有表示玉米植株高(相对)为控制依据, 实现高度仿形模糊控制, 具体程序流程图^[15-17]如图 6 所示。

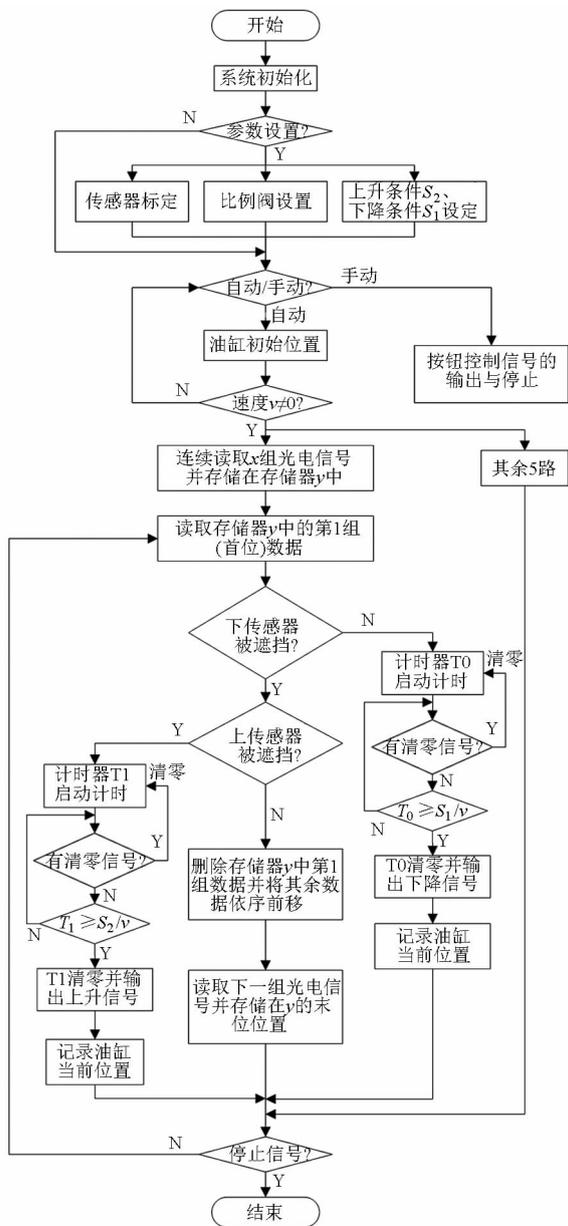


图 6 系统程序流程图

Fig. 6 Flow chart of system program

3 试验与分析

3.1 抽雄滚轮转速同步试验

为了验证抽雄滚轮的转速同步性能, 分别在发

动机转速(额定转速为 2 300 r/min, 转速经底盘仪表读取; 仪表型号: HWE - FY12, 转速传感器型号: HWE - F - LC, 郑州豪威尔电子科技有限公司)为 2 000、2 100、2 200、2 300、2 400 r/min 下对抽雄滚轮主动轮进行试验, 转速由光电转速计(型号: HIOKI 3402, 日本日置)测定, 其中第 1、2 个马达, 第 3、4 个马达, 第 5、6 个马达分别为串联关系。每组进行 3 次重复试验, 结果取均值(整数), 测试结果见表 1。

表 1 抽雄滚轮转速测试结果

Tab. 1 Result of roller rotation speed testing

转速/ (r·min ⁻¹)	抽雄滚轮主动轴序号						最大偏 差率/%	同步误 差率/%
	1	2	3	4	5	6		
2 000	438	440	445	447	433	436	3.8	3.1
2 100	447	446	452	453	440	442	2.2	2.9
2 200	451	452	460	462	450	452	2.7	2.7
2 300	456	458	466	468	455	456	4.0	2.9
2 400	459	463	469	470	458	458	4.4	2.7

表 1 中最大偏差率计算式为

$$P = \frac{|x' - x|_{\max}}{x} \times 100\% \quad (6)$$

式中 P ——最大偏差率, %

x' ——每组滚轮转速测量值, r/min

x ——滚轮设计转速, 取 450 r/min

同步误差率计算式^[18]为

$$\delta = \frac{x'_{\max} - x'_{\min}}{x} \times 100\% \quad (7)$$

式中 x'_{\max} 、 x'_{\min} ——每组滚轮转速最大值和最小值

由表 1 可以得出, 在发动机额定转速附近, 滚轮转速最大正偏差为 20 r/min, 最大负偏差为 17 r/min, 最大偏差率极值为 4.4%; 同步误差率小于 3%, 其中在 2 000 r/min 时, 数值大于 3% 是由于进入负载敏感回路流量欠饱和造成的; 第 3、4 组滚轮转速普遍高于其余组滚轮转速, 是由于油管压力损失小以及制造安装精度不一致等因素导致的。结果表明, 发动机转速在 2 200 r/min 附近时, 抽雄滚轮转速基本保持在 450 r/min 左右, 与设计转速基本保持一致。

3.2 仿形控制系统响应时间测定

由于传感器信号的采集和 PLC 运算在系统扫描周期内完成, 分析系统响应时间可忽略不计; 从发出控制信号起至油缸运动 1 mm 停止, 将此时间记为响应时间^[15]。本文参照上述方法, 测定系统响应时间。

在发动机额定转速下, 分别从油缸行程最小和最大位置开始, 使仿形机构进行上升和下降运动, 测

定系统响应时间,油缸运动通过位移传感器采集(型号:LXW-510-400,北京杰凌朗日科技有限公司),位移传感器安装如图7所示,系统响应时间曲线如图8所示。



图7 位移传感器布置

Fig. 7 Arrangement of displacement sensor

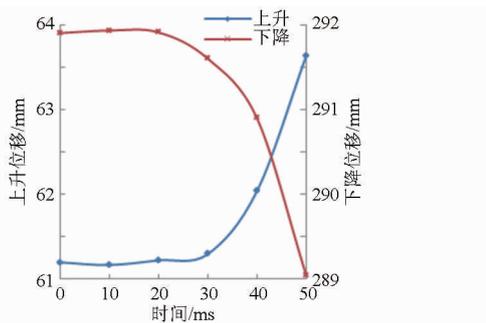


图8 系统响应时间位移曲线

Fig. 8 Curves of system response time and displacement

从图8中可以看出,上升、下降时的系统响应时间都保持在0.04 s左右,所以将系统响应时间 t_0 定为0.04 s。

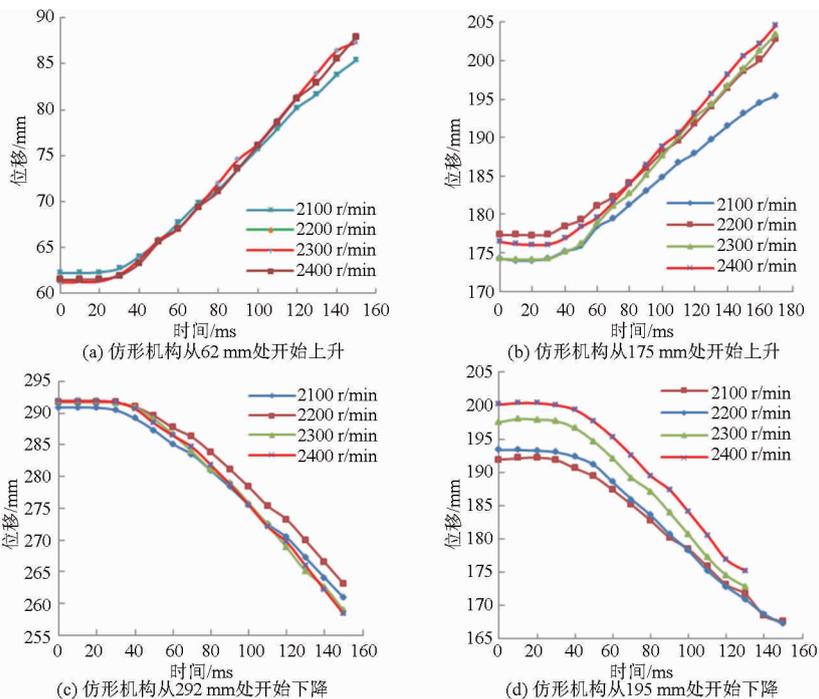


图9 仿形机构从不同位置运动时时间位移曲线

Fig. 9 Curves of time and displacement of profiling mechanism moving from different positions

3.3 仿形控制系统传递函数的确定

3.3.1 油缸运动速度 v 的测定

上下光电传感器的垂直安装距离为100 mm,将 $|y_B - y_A|$ 定为100 mm,代入式(3)、(4)可计算得仿形机构运动时 s 取值范围:上升时 $s \in (16, 24)$ mm;下降时 $s \in (-25, -18)$ mm。因此,当分析油缸运动速度时,取位移传感器变化量前25 mm区域即可。

分别在位移传感器显示值为62 mm(最小值)、175 mm(中间位置)附近进行不同发动机转速下仿形机构上升运动,采集时间和位移数值,绘制曲线如图9a、9b所示;分别在位移传感器显示值为292 mm(最大值)、195 mm(中间位置)附近进行不同发动机转速下仿形机构下降运动,采集时间和位移数值,绘制曲线如图9c、9d所示。

从图9可以看出,在响应时间结束后的前25 mm位移区域内,位移与时间基本成正比关系。图9中线性区域曲线的斜率(油缸速度)如表2所示。

从图9和表2中可知,图9a中发动机转速对斜率影响不显著,斜率均值为0.212;图9b中,发动机转速在2100 r/min时的斜率为0.163,其余转速下曲线斜率均值为0.214;图9c中,曲线斜率均值为0.278;图9d中,发动机转速在2100 r/min时斜率为0.221,其余转速下曲线斜率均值为0.268。

因此,仿形机构上升时,油缸速度 v_1 取0.21 m/s;仿形机构下降时,油缸速度 v_2 取0.27 m/s。同时,

表2 不同工况下的曲线斜率(油缸速度)

Tab.2 Curve slopes (cylinder speed) under different operating conditions

工况	发动机转速/(r·min ⁻¹)			
	2 100	2 200	2 300	2 400
图 9a	0.197	0.214	0.215	0.224
图 9b	0.163	0.196	0.227	0.219
图 9c	0.261	0.267	0.294	0.290
图 9d	0.221	0.253	0.273	0.281

为了保证油缸速度基本保持不变,应使发动机工作在 2 300 r/min 附近。

3.3.2 函数关系的确定

根据式(4)、响应时间 t_0 、油缸速度 v_1 (v_2) 和仿形机构机械结构参数,可得 PLC 输出控制信号 t 与抽雄部件垂直位移量 $|y_{B'} - y_B|$ 之间的函数关系为

$$\begin{cases} y_{B'} - y_B = \frac{1}{260} [0.0441(t - t_0)^2 + 0.42L_{OC}(t - t_0)] & (\text{上升}) \\ y_{B'} - y_B = \frac{1}{260} [0.0729(t - t_0)^2 - 0.54L_{OC}(t - t_0)] & (\text{下降}) \end{cases} \quad (8)$$

将 $|y_{B'} - y_B| = 100$ mm 代入式(8)求解得

$$t = \begin{cases} \frac{\sqrt{L_{OC}^2 + 26000} - L_{OC}}{210} + 0.04 & (\text{上升}) \\ \frac{L_{OC} - \sqrt{L_{OC}^2 - 26000}}{270} + 0.04 & (\text{下降}) \end{cases}$$

3QXZ-6型制种玉米去雄机设计作业速度为 4~6 km/h,当机具行走速度为 6 km/h 时,根据 t 可求得 $S_1 \geq 0.233$ m, $S_2 \geq 0.267$ m。为了避免仿形机构处于频繁动作状态,减少机械结构疲劳损害,将 S_1 定为 0.8 m,将 S_2 定为 1 m,此时油缸速度 v_1 (v_2) 能够满足调节要求,同时 S_1 、 S_2 数值可根据制种玉米整齐度等实际作业情况在触摸屏上进行调整。

3.4 田间去雄试验

田间去雄试验于 2015 年 8 月在河北省保定市中国农业机械化科学研究院试验地进行,母本为 PH6WC,播种行距为 60 cm,株距为 20 cm,生长期 56 d。作业时,发动机转速保持在 2 300 r/min 左右,速度控制在 4~6 km/h 内,仿形控制系统开启自动模式,田间作业情况及作业效果如图 10、11 所示。试验结果采用抽样统计的方法进行计算分析,以去雄率来评价作业效果^[1]。采样时随机选取 5 个抽样区域(不选取地头 and 转弯处区域),每个抽样区域取 5 行(另 1 行为父本),长度取 5 m,试验结果统计如表 3 所示。



图 10 田间去雄作业

Fig.10 Detasseling in corn field



图 11 去雄作业效果

Fig.11 Effect of detasseling

表 3 试验结果统计

Tab.3 Statistics of experiment result

序号	区域内玉米总数/株	成功去雄玉米数/株	去雄率/%
1	116	102	87.9
2	109	98	89.9
3	110	96	87.3
4	105	89	84.8
5	98	87	88.8

田间作业过程中,3QXZ-6型制种玉米去雄机工作稳定,高度仿形系统灵敏,去雄率均值为 87.7%,能够满足机械化去雄作业的要求。

4 结论

(1) 设计了 3QXZ-6 型制种玉米去雄机以及仿形机构、液压传动系统和仿形控制系统,并通过田间试验验证了其去雄效果。

(2) 试验研究了抽雄滚轮转速同步性能,在发动机额定转速附近时,最大偏差率极值为 4.4%,同步误差率小于 3%,与设计转速基本保持一致。

(3) 通过试验测试了仿形控制系统响应时间以及油缸运动速度等参数并确定了控制信号 t 与抽雄部件垂直位移量间的函数关系。响应时间为 0.04 s,油缸上升速度为 0.21 m/s,下降速度为 0.27 m/s。

(4) 田间试验表明,设计的 3QXZ-6 型制种玉米去雄机工作稳定,去雄率均值为 87.7%,能够满足机械化去雄作业的要求。

参 考 文 献

- 1 薛涛, 谢斌, 毛恩荣, 等. 玉米去雄机去雄作业控制系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 49-54.
XUE Tao, XIE Bin, MAO Enrong, et al. Design and experiment of emasculation control system of corn detasseling machine[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(4): 49-54.
- 2 王晓明, 马法杰, 燕纪伦. 自走式玉米去雄机液压系统的设计[J]. 液压传动与控制, 2011, 46(3): 27-29.
WANG Xiaoming, MA Fajie, YAN Jilun. Design of the hydraulic system for self-propelled corn emasculation machine[J]. Fluid Power Transmission & Control, 2011, 46(3): 27-29. (in Chinese)
- 3 MOREIRA J N, SILVA P S L, SILVA K M B. Effect of detasseling on baby corn green ear and grain yield of two maize hybrids [J]. Horticultura Brasileira, 2010, 28(4): 406-411.
- 4 MAÑGASER V T. Detasseling and rate of seeding of young cob corn intercropped with okra during wet season[J]. International Scientific Research Journal, 2013, 5(3): 47-52.
- 5 KURTULMUS F, KAVDIR I. Detecting corn tassels using computer vision and support vector machines[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(16): 7390-7397.
- 6 唐文冰, 张彦娥, 张东兴, 等. 基于双目立体视觉的玉米雄穗识别与定位研究[C]//中国农业工程学会2011年学术年会论文集, 2011.
- 7 尹建军, 刘丹萍, 李耀明. 方捆机捡拾器高度自动仿形装置参数分析与试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 86-92.
YIN Jianjun, LIU Danping, LI Yaoming. Design and parameters analyses of automatic height profiling device of quadrate-bale baler pickup[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 86-92. (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): 62-64.
HE Lei, LIU Xiangxin, ZHOU Yali, et al. Vertical lift type single profiling cotton topping machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 2): 62-64. (in Chinese)
- 9 宋锦春, 陈建文. 液压伺服与比例控制[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- 10 张利平. 液压控制系统及设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- 11 胡炼, 罗锡文, 林潮兴, 等. 1PJ-4.0型水田激光平地机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(4): 147-149.
HU Lian, LUO Xiwen, LIN Chaoxing, et al. Development of 1PJ-4.0 laser leveler installed on a wheeled tractor for paddy field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 147-149. (in Chinese)
- 12 景俊华. 负载敏感系统的原理及其应用[J]. 流体传动与控制, 2010, 43(6): 21-23.
JING Junhua. Principle and applications of load-sensing system[J]. Fluid Power Transmission and Control, 2010, 43(6): 21-23. (in Chinese)
- 13 黄新年, 张志生, 陈忠强. 负载敏感技术在液压系统中的应用[J]. 流体传动与控制, 2007, 24(5): 28-30.
HUANG Xinnian, ZHANG Zhisheng, CHEN Zhongqiang. Application of load sensing technique in hydraulic systems[J]. Fluid Power Transmission and Control, 2007, 24(5): 28-30. (in Chinese)
- 14 苏东海, 韩国惠, 于江华, 等. 液压同步控制系统及其应用[J]. 沈阳工业大学学报, 2005, 27(4): 364-367.
SU Donghai, HAN Guohui, YU Jianghua, et al. Design and application of hydraulic synchronization control system[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2005, 27(4): 364-367. (in Chinese)
- 15 赵金辉, 刘立晶, 杨学军, 等. 播种机开沟深度控制系统的设计与室内试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 35-38.
ZHAO Jinhui, LIU Lijing, YANG Xuejun, et al. Design and laboratory test of control system for depth of furrow opening[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(6): 35-38. (in Chinese)
- 16 杨传华, 方宪法, 杨学军, 等. 基于PLC的蔬菜钵苗移栽机自动输送装置[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 20-23.
YANG Chuanhua, FANG Xianfa, YANG Xuejun, et al. Automatic deliver mechanism of potted seeding for vegetable transplanter based on PLC[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 20-23. (in Chinese)
- 17 吕华芳, 杨汉波, 丛振涛, 等. 基于PLC控制的室内降雨入渗自动测定系统[J]. 农业机械学报, 2014, 45(9): 145-148.
LV Huafang, YANG Hanbo, CONG Zhentao, et al. Indoor automatic measurement system for rainfall infiltration based on PLC [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 145-148. (in Chinese)
- 18 王才东, 王立权, 赵冬岩. 多马达液压同步控制系统设计及试验研究[J]. 机床与液压, 2013, 41(11): 6-9.
WANG Caidong, WANG Liqun, ZHAO Dongyan. Design and experimental study of multi-motors hydraulic synchronization control system[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2013, 41(11): 6-9. (in Chinese)