

# 玉米免耕精量播种机排种质量监测系统

纪超<sup>1</sup> 陈学庚<sup>1</sup> 陈金成<sup>1</sup> 王士国<sup>1</sup> 赫鹏亮<sup>2</sup>

(1. 新疆农垦科学院机械装备研究所, 石河子 832000; 2. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832000)

**摘要:**为实现玉米免耕精播作业质量实时监控,设计了基于反射式红外光电感应的播种机排种监测系统。以红外发射二极管、光电二极管为信号发射、接收端的监测探头,并通过对监测盲区评估计算,优化了探头结构及安装参数。为提高监测系统对多尘作业环境的适应性,设计了以旋转式透明防尘罩为核心的自清洁除尘装置,可保护探头免受尘土侵蚀。开发了集种粒信号拾取、车速采集、防尘电机控制和报警显示等功能的硬件电路,研究了以落种时差为关键参数的测算方法,实现对播种量、重播、漏播等性能指标的判定。播种监测系统台架试验结果表明,系统对播种总量、漏播量、重播量的监测精度分别为98.5%、95.1%、85.6%;模拟灰尘粘附工况,系统对播种总量监测精度达98.1%,具备良好的抗尘效果。该系统满足免耕精量播种机排种质量实时监控要求,有助于提升机具作业性能。

**关键词:**免耕播种机;玉米;排种监测;光电传感器;自清洁;精度试验

**中图分类号:**S223.2      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-1298(2016)08-0001-06

## Monitoring System for Working Performance of No-tillage Corn Precision Seeder

Ji Chao<sup>1</sup> Chen Xuegeng<sup>1</sup> Chen Jincheng<sup>1</sup> Wang Shiguo<sup>1</sup> He Pengliang<sup>2</sup>

(1. Mechanical Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** In order to monitor the seeding performance of no-tillage corn precision seeder in real time, a seeder monitoring system was developed based on photoelectricity induction of infrared reflection. For optical signal acquisition, a detector of monitoring system was designed with infrared emission diode and infrared photodiode as signal transmitting terminal and receiving end. Through evaluating and calculating the monitoring blind area, the structural and installation parameters of detector were optimized. To improve the dust-laden environmental adaptability of monitoring system, a self-cleaning device for dedusting using a rotary transparent dust cover was designed to protect the monitoring system from dust erosion. A hardware circuit of monitoring system with functions of seeding signal acquisition, working speed gathering, dedusting motor control and alarm display was developed. And a software algorithm with time difference of neighbor falling seeds as key parameter was studied to judge normal seeding, seed missing and reseeding. To test the precision of monitoring system, a bench experiment was conducted. The experimental results showed that the monitoring system had accuracies of 98.5% in seeding quantity, 95.1% in seed missing, 85.6% in reseeding, and had an accuracy of 98.1% in seeding quantity in the emulated environment of dust adhesion, which indicated that the monitoring system had high precision in monitoring the seeding performance, and achieved good effect for dedusting. This system can meet the requirement of working monitoring for no-tillage precision seeder, and it can help to improve sowing quality.

**Key words:** no-tillage seeder; corn; seeding monitoring; photoelectric sensor; self-cleaning; precision experiment

## 引言

免耕精量播种机在作业过程中,常发生排种器卡种、排种口堵塞或种箱排空等现象,影响播种质量,若发生断条漏播,将造成作物大幅减产。随着自动传感技术在精细农业上的广泛应用,为播种机配备排种质量监测系统已成为精量播种技术的研究热点。

目前国内外相关研究一般以下落种粒为待测对象,并通过传感器将落种过程产生的非电信号转换为利于电路拾取的电信号。根据传感器类型不同可分为以下几种监测方法:光电感应法<sup>[1-5]</sup>,利用光敏电阻、光电二极管等光感应元件采集种粒对光线的遮挡信息,实现光信号向电信号转变。压电感应法<sup>[6-7]</sup>,采用压电薄膜等压力传感器感应种粒下落冲击力,实现压力值向电压脉冲信号的转变。电容感应法<sup>[8-9]</sup>,将2块电容感应极板置于种粒下落轨迹两侧,建立种粒质量与电容变化量的线性关系。机器视觉法<sup>[10-17]</sup>,利用视觉相机对下落种粒进行高速摄像,通过图像处理获得种粒位序信息。其中,光电感应法具有良好的响应速度,系统构建简单,但其检测精度易受农田灰尘粘附影响。压电感应法需要将感应元件置于导种管内,影响种粒下落轨迹,不仅可能改变种粒入土位置,并且增加了种管堵塞可能性。电容感应法易受温度变化和寄生电容干扰,其田间试验的可靠性、稳定性等方面还达不到实际使用的要求。机器视觉方法检测精度高,但对检测环境要求严格,限制了在现实生产中的应用<sup>[18]</sup>。就实际应用来看,光电感应法因其系统稳定、成本低廉,成为当前应用最为广泛的检测手段。

传统光电感应法的传感器排布多为对射式,发光与接收元件位于导种管两侧且对称安装,形成双作业面,极易受到灰尘侵蚀。本文提出基于反射式光电感应法的玉米免耕精量播种机排种质量监测系统,发光与接收元件位于同侧,减少作业面,且监测系统内置自清洁除尘装置。

## 1 监测原理

### 1.1 探头工作原理

排种作业时,玉米种子由排种器分离为单颗种粒后依次落入导种管,后经下导种口排出并入土。涉及排种过程的各作业部件中,导种管结构形式最为简单,且最为靠近落种点,因此优选在导种管上设置种粒监测探头,如图1a所示。

监测探头采用红外发射二极管和光电二极管分别作为光信号发射端与接收端。探头水平安装于导

种管窄面一侧,光信号发射端通过监测窗口将红外光线射入导种管,光线遇种粒后反射回探头接收端,并通过信号采集电路转换为电脉冲信号,实现种粒监测。排种过程中,玉米种粒在导种管中近于竖直下落,其三轴尺寸小(一般为3~12 mm)、落种速度快,若探头竖直方向发光及感应范围过大,则极易将相邻下落的2颗甚至多颗种粒判定为单颗,因此,本研究中优选将探头内各二极管水平平行排布。同时将红外发射二极管数量增至4,且均分为2组平行排布于光电二极管两侧,从而增强探头在水平方向上的监测覆盖能力,如图1b所示。

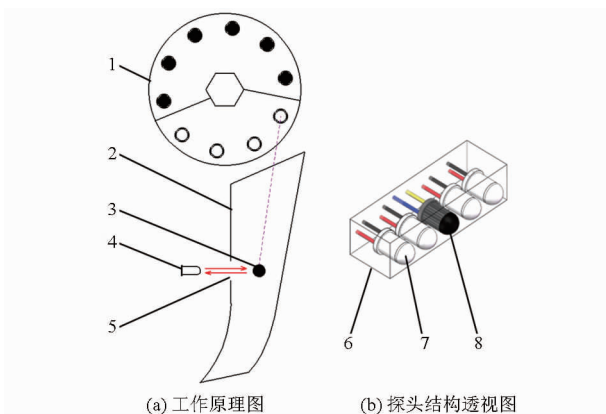


图1 探头工作原理图

Fig. 1 Sketch of working principle of detector

1. 排种器 2. 导种管 3. 种粒 4. 监测探头 5. 监测窗口  
6. 二极管支架 7. 红外发射二极管 8. 光电二极管

此外,为便于安装与加工,导种管水平截面应为矩形(本文所选排种管探头安装截面尺寸为50 mm×30 mm),其内表面呈黑色且质地粗糙,对红外光线具有较强的吸收和漫反射能力,从而保证在无种粒下落时由导种管反射回探头接收端的光线强度足够微弱,不会被误判为种粒对象。

### 1.2 监测盲区

受红外发射二极管发光角度及探头结构尺寸限制,系统将产生监测盲区。如图2所示为探头监测平面俯视图,导种管截面的中心对称线与光电二极管管径轴线重合,设探头发射端发光角度为 $\theta$ ,各二极管间距为 $d$ ,导种管监测截面长为 $a$ ,宽为 $b$ ,导种管截面与监测探头垂直距离为 $l$ ,可以看出,近似扇形的阴影区域即为探头所发射红外光线的覆盖区域,其余为监测盲区。为保证导种管内的下落种粒具有良好的光线反射效果,监测探头应尽量靠近导种管且保证导种管截面所覆盖区域避开监测盲区。监测探头及导种管加工完成后,相关结构参数固定,安装尺寸变量 $l$ 即成为监测系统削弱盲区干扰的关键参数,根据几何关系可知变量 $l$ 的最优值 $l_{opt}$ 计算公式为

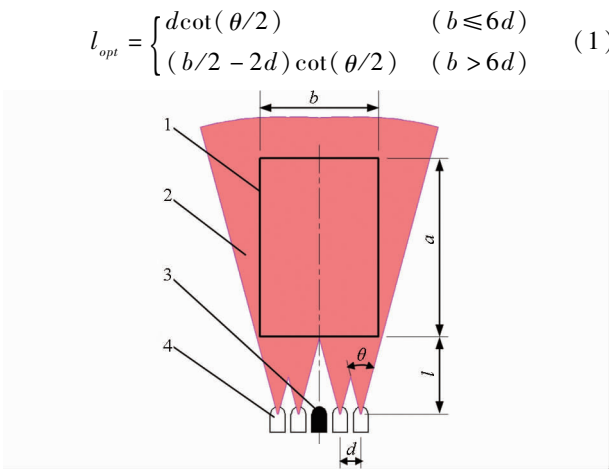


图 2 监测平面俯视图  
Fig. 2 Top view of monitoring plane  
1. 导种管截面 2. 红外光线覆盖区  
3. 光电二极管 4. 红外发射二极管

2 自清洁除尘装置设计

实际作业过程中,探头感应元件通常直接暴露于外界环境中<sup>[19-21]</sup>,田间尘土、轻杂等易通过上下落种口进入排种管,粘附于探头表面,削弱红外光线穿透能力,不仅降低探头发光强度,而且对系统感光效果造成较大影响。为提高探头抗尘能力,保证系统监测精度,本文设计了自清洁除尘装置,一方面可替代探头与环境接触,使其免受灰尘侵蚀;另一方面具有自我清洁功能,免去繁琐的拆卸清理工作。

该装置主要由透明防尘罩、除尘毛刷、微型电机、传动齿轮、轴承和装置外壳等组成,其空间结构如图 3 所示。其中,装置外壳主要用于支撑并固定内部各元件相对位置,同时在监测作业时保证探头到排种管的最优安装距离  $l_{opt}$ 。透明防尘罩为自清洁装置核心部件,材质为有机玻璃,透光率大于 92%。该罩体为薄壁圆柱形状,其一侧完全开口,通过轴承与装置外壳侧壁的薄壁凸台相连,从而实现单侧支撑、密封,同时罩体也可轴向转动;防尘罩另一侧为加工有内齿的凸台,经齿轮与微型电机输出

轴相连,从而实现另一侧的密封支撑与动力输入。透明防尘罩外侧沿轴线方向布有除尘毛刷,毛刷通过支架固定于装置外壳侧壁。装置外壳前面板开有矩形监测窗口,与导种管监测窗口边缘吻合安装。

自清洁除尘原理为:红外监测探头位于透明防尘罩内部,通过二极管支架与装置外壳侧壁固连,密封后的透明防尘罩即对监测探头形成包络,从而代替探头接触作业环境,使其免于尘土侵蚀。系统作业时,探头发出红外光线穿过透明防尘罩并经监测窗口进入导种管,遇下落种粒后,光线反射回探头接收端。与此同时,透明防尘罩在微型电机驱动下自转,与固定的除尘毛刷产生相对运动,使罩体外表面不断被擦拭,使旋转至探头前端的罩体表面一直处于洁净状态,从而保持了良好的透光效果。自清洁除尘装置不仅能够对监测探头提供良好的保护作用,并且具有自我清洁功能,大大削弱作业环境中尘土对系统灵敏度的影响。

3 排种质量监测系统

3.1 硬件电路

监测系统电路主要包括落种信号拾取、车速采集、电机控制、报警显示等子功能电路,核心处理器为 STC89C52 系列单片机。其电路原理图如图 4 所示。其中,系统电源取自拖拉机车载 48 V 蓄电池,通过电源转换模块降压后,获得硬件电路所需的 12 V 及 5 V 电压。

落种信号拾取电路:电路通电后,红外发光二极管(L1 ~ L4)向导种管内发射红外光线,遇下落种粒后,光信号反射至光电二极管(X1),并转换为电压信号。为免除因小颗粒杂物反射引入的干扰信号,设计了电压比较、放大电路。测定并统计光电二极管在实际工况环境下的等效电阻阻值范围,将其下限值定为  $R_u$ 。同理可测定获得有下落种粒时光电二极管的等效电阻阻值范围,定义其上限值为  $R_d$ 。为提高检测系统鲁棒性,设定比较电阻  $R_c = (R_u +$

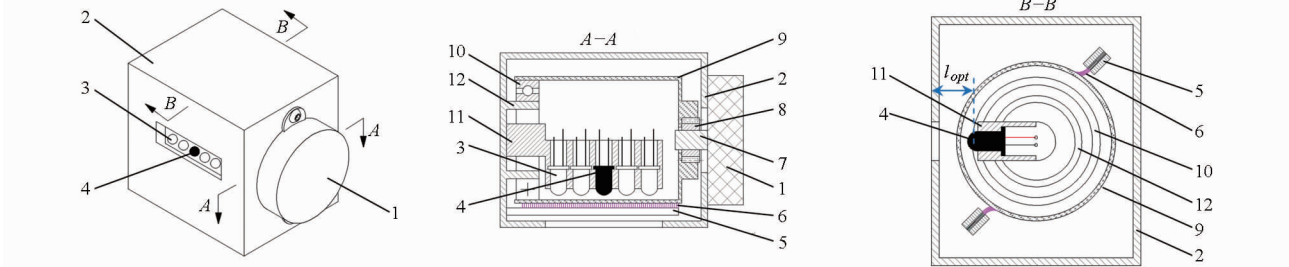


图 3 自清洁装置结构图  
Fig. 3 Structure diagrams of self-cleaning device

1. 微型电机 2. 装置外壳 3. 红外发射二极管 4. 光电二极管 5. 毛刷支架 6. 除尘毛刷 7. 电机输出轴 8. 传动齿轮 9. 透明防尘罩  
10. 轴承 11. 探头支架 12. 轴承支撑薄壁凸台

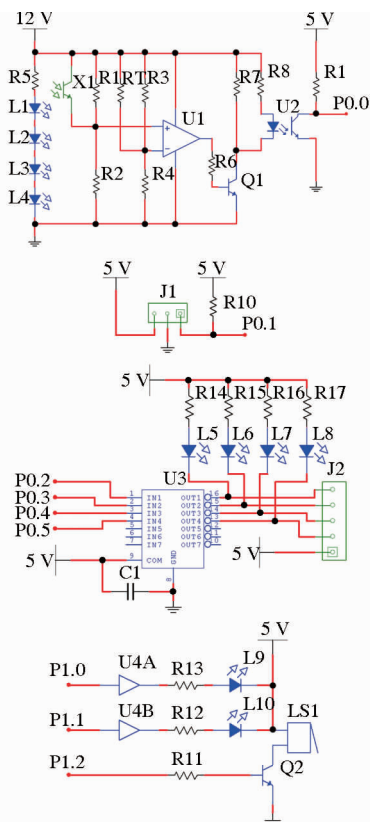


图4 系统硬件电路原理图

Fig. 4 Schematic circuit diagram of system hardware

$R_d)/2$ 。分析电路可知,当无种粒下落时,光电二极管等效电阻  $R_g > R_c$ ,电压比较器输出低电压;反之检测到下落种粒时,  $R_g < R_c$ ,输出高电平。电压比较器(U1)输出信号通过光耦(U2)传输至单片机引脚 P0.0,不仅完成信号降压转换,同时可隔离上级电路对单片机信号输入的干扰。

车速拾取电路:系统采用霍尔接近开关(接口 J1)实时感应拖拉机车轮上圆周均布的6组磁铁,并将监测信号以电平脉冲形式发送至单片机 P0.1口,单片机统计单位采样周期(1 s)内的脉冲次数( $N$ )。结合车轮外径( $D$ ),可换算获得播种作业行进速度( $v_t = \pi ND/6$ )。

除尘电机驱动电路:自清洁除尘装置动力源选用28BYJ-48-5V型微型步进电机(接口 J1),电机驱动芯片选择高耐压、大电流复合晶体管 ULN2003 芯片(U3),脉冲控制信号取自单片机引脚 P0.2~P0.5。

声光报警电路:系统监测到漏播、重播现象后通过单片机引脚 P1.0 与 P1.1 将报警信号发送至反相电流放大器(U4),点亮漏播、重播显示灯(L9、L10),同时将单片机 P1.2 口置高电平使蜂鸣器发出声音报警,提示作业人员停车检修。

### 3.2 软件控制流程

根据 GB/T 6973—2005,实际相邻种粒间距( $d$ )与标准粒距( $d_0$ )的比值是评判播种机排种质量的

基准。实际粒距除现场测量获得外,一般通过播种机前进速度( $v_t$ )乘以相邻种粒落种间隔时间( $t$ )进行估算。其中,播种机前进速度( $v_t$ )可通过车速拾取电路获得,因此,对实际粒距与标准粒距的比较判定即可转换为实际相邻种粒下落时间间隔( $t$ )与标准时间间隔( $t_0$ )的数值比较。

根据上述方法,规划软件控制流程,如图5所示。初始化系统参数后,开启定时器  $T_0$ ,一方面实时获取播种机行进速度  $v_t$ 并计算标准落种间隔时间  $t_0$ ;另一方面向步进电机发送电平脉冲,驱动自清洁除尘装置工作。与此同时,为获得目标参数  $t$ ,系统设置了外部中断服务主程序,监测到信号脉冲后开启定时器  $T_1$ 进行时间累加,遇到下一脉冲信号后,保存当前相邻脉冲的累计间隔时间  $t$ ,随后定时器清零并重新计算下一间隔时间。根据 GB/T 6973—2005 进行换算可知,若实际种粒间隔时间  $t > 1.5t_0$ ,则判定为漏播,若  $t \leq 0.5t_0$ ,即为重播,其余为正常落种。为防止由于极少次重、漏播种粒引起的过于“灵敏”的报警干扰,系统对重、播总次数( $C/L$ )及连续重、漏播数( $C_c/L_c$ )进行分别统计,若总数或连续数高于预定警戒阈值( $C_0/L_0, C_{c0}/L_{c0}$ )将发出报警提示。

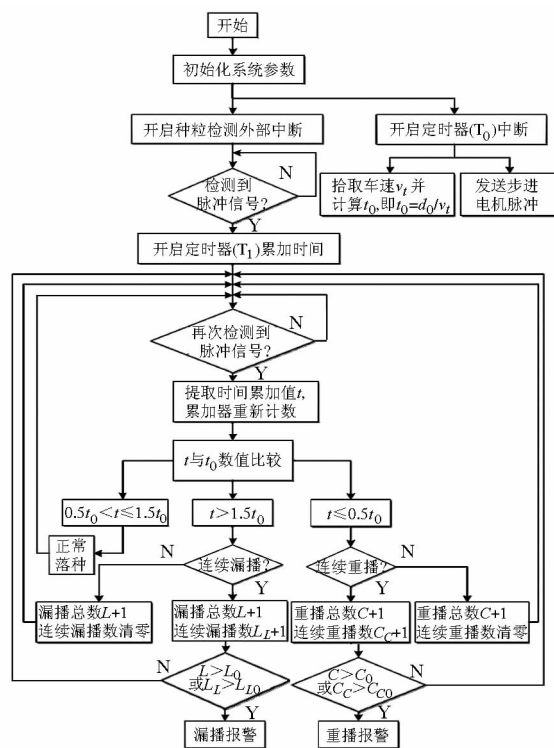


图5 软件控制流程图

Fig. 5 Flowchart of software control

## 4 试验结果及分析

### 4.1 试验准备

试验所用排种器为新疆科神农业装备科技开发股份有限公司生产的2BMJ-8型气吸式玉米免耕

精量播种机的排种器单体。玉米品种为兵团地区普遍选用的新玉 41 号。导种管下方设有传送带,落种口与传送带垂直距离为 20 mm,传送带表面涂有宽 100 mm、厚 3 mm 油层,种粒下落后粘附于油层表面,可减小因落种弹跳引起的测量误差。试验采用高速黑白线阵相机采集种粒下落后的视频图像,根据相机参数与安装尺寸可将图像中相邻种粒像素距离换算为实际粒距。试验过程中,参照实际作业工况,设置排种器排种速度为 360 粒/min,传送带行进速度为 4 km/h。

4.2 排种监测精度试验

设计了 3 组排种监测精度试验,分别对排种量、漏播量和重播量进行统计。试验 1 为排种器正常排种工况,为增加漏播、重播种粒样本数量,试验 2、3 中,在排种器与导种管之间加装了小挡板,下落种粒有一部分会撞击挡板,影响相邻种粒下落间隔与落种位序,从而模拟外界干扰引起的下种不畅等状况。试验结果如表 1 所示。

表 1 排种监测精度试验

Tab.1 Precision experiment of seeding monitoring system

| 试验号 | 项目    | 排种量   | 漏播量   | 重播量   |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 1   | 实际值/粒 | 1 016 | 87    | 32    |
|     | 测量值/粒 | 1 006 | 83    | 28    |
|     | 精度/%  | 99. 0 | 95. 4 | 87. 5 |
| 2   | 实际值/粒 | 957   | 137   | 78    |
|     | 测量值/粒 | 940   | 130   | 66    |
|     | 精度/%  | 98. 2 | 94. 9 | 84. 6 |
| 3   | 实际值/粒 | 967   | 102   | 70    |
|     | 测量值/粒 | 951   | 97    | 60    |
|     | 精度/%  | 98. 3 | 95. 1 | 85. 7 |
| 总计  | 实际值/粒 | 2 940 | 326   | 180   |
|     | 测量值/粒 | 2 897 | 310   | 154   |
|     | 精度/%  | 98. 5 | 95. 1 | 85. 6 |

试验表明,本系统对播种总量和漏播量具有较高的监测精度,分别达到 98. 5% 与 95. 1%。相比来讲,重播监测精度略低,为 85. 6%。其原因在于系统的工作原理是通过监测光反射信号将实际种粒间距转换为相邻种粒落种时差,对于存在全部或部分重叠的相邻种粒,不能产生光电信号间隔脉冲,故系统无法监测到落种时差,造成对重叠种粒的漏判。

4.3 自清洁除尘装置抗尘试验

根据有、无安装自清洁除尘装置,将待测探头分

别编号为 A 和 B,并在 A 探头的透明防尘罩外侧以及 B 探头表面均匀撒下粉状细土,1 min 后将探头朝下,抖落不能粘附于表面的细土,模拟因长期田间作业造成的尘土粘附探头表面的情况。将 A、B 探头分别安装于导种管侧面,进行落种总数监测试验。试验结果如表 2 所示。

表 2 监测系统抗尘性试验

Tab.2 Dedusting experiment of monitoring system

| 项目    | A 探头  | B 探头  |
|-------|-------|-------|
| 实际值/粒 | 977   | 963   |
| 测量值/粒 | 958   | 861   |
| 精度/%  | 98. 1 | 89. 4 |

试验表明:安装自清洁除尘装置的 A 探头监测精度为 98. 1%,下降不明显;尘土粘附对 B 探头影响较为显著,监测精度下降至 89. 4%。观察作业过程,在透明防尘罩旋转清洁作用下,粘附于罩体表面的灰尘能够被除尘毛刷刷除,虽有极少量灰尘粘附,但罩体仍保持了良好的透光度。因此,自清洁除尘装置具备良好的除尘效果,可使监测探头免受尘土粘附影响,从而保证了系统监测精度。

5 结论

(1)系统设计了基于反射式红外光电感应的排种监测探头,用于获取种粒在导种管中的运动信息,通过估算监测盲区,获得了探头内各二极管最优空间排布方式及探头最佳安装参数。

(2)设计了旋转式自清洁除尘装置,其核心元件透明防尘罩对监测探头形成保护,避免尘土侵扰,提高了系统的环境适应性 with 作业可靠性。

(3)设计了信号拾取、车速采集、电机控制、报警显示等功能电路,通过计算光电脉冲间隔时差获得种粒运动位序信息,规划了种粒监测软件控制流程,为排种量、漏播、重播等参数的测定提供了软硬件参考。

(4)试验结果表明,系统对播种量、漏播量、重播量的监测精度分别为 98. 5%、95. 1%、85. 6%;尘土粘附工况下,播种量监测精度仍达 98. 1%。系统对漏播现象具有较高的灵敏度,而重播监测效果有待进一步提高;系统在高尘环境下具有良好的适应性与稳定性。

参 考 文 献

1 刘春旭,赵德春,单爱军. 红外反射式播种机电子监测装置的设计[J]. 农机化研究,2010(6):117-120.

LIU Chunxu, ZHAO Dechun, SHAN Aijun. Design of infrared reflective electro-monitor for seeding machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2010(6):117-120. (in Chinese)

2 吴艳艳,朱瑞祥,常芳. 播种机播种质量检测预警系统[J]. 农机化研究,2013(5):196-199.

- WU Yanyan, ZHU Ruixiang, CHANG Fang. Monitoring and warning system on sowing quality for seeder[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013(5): 196 – 199. (in Chinese)
- 3 窦钰程, 欧阳斌林, 陈海涛. 光敏式气吸播种机监测装置研究[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(9): 133 – 136.  
DOU Yucheng, OUYANG Binlin, CHEN Haitao. Study on photosensitive-type suction planter monitoring apparatus[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(9): 133 – 136. (in Chinese)
- 4 宋鹏, 张俊雄, 李伟, 等. 精密播种机工作性能实时监测系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 71 – 74, 79.  
SONG Peng, ZHANG Junxiong, LI Wei, et al. Real-time monitoring system for accuracy of precision seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 71 – 74, 79. (in Chinese)
- 5 LAN Y, KOCHER M F, SMITH J A. Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds[J]. Journal of Agricultural Engineering, 1999, 72(2): 119 – 127.
- 6 黄东岩, 贾洪雷, 祁悦, 等. 基于聚偏二氟乙烯压电薄膜的播种机排种监测系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 15 – 22.  
HUANG Dongyan, JIA Honglei, QI Yue, et al. Seeding monitor system for planter based on polyvinylidene fluoride piezoelectric film[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(23): 15 – 22. (in Chinese)
- 7 黄东岩, 朱龙图, 贾洪雷, 等. 基于压电薄膜的免耕播种机播种深度控制系统[J]. 农业机械学报, 2015, 46(4): 1 – 8.  
HUANG Dongyan, ZHU Longtu, JIA Honglei, et al. Automatic control system of seeding depth based on piezoelectric film for no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(4): 1 – 8. (in Chinese)
- 8 周利明, 王书茂, 张小超, 等. 基于电容信号的玉米播种机排种性能监测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 16 – 21.  
ZHOU Liming, WANG Shumao, ZHANG Xiaochao, et al. Seed monitoring system for corn planter based on capacitance signal[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(13): 16 – 21. (in Chinese)
- 9 周利明, 张小超, 苑严伟. 小麦播种机电容式排种量传感器设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 99 – 103.  
ZHOU Liming, ZHANG Xiaochao, YUAN Yanwei. Design of capacitance seed rate sensor of wheat planter[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(10): 99 – 103. (in Chinese)
- 10 王安, 丁晓迪, 马旭, 等. 基于改进形状因子的钵体秧盘播种质量检测方法研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 29 – 35, 8.  
WANG An, DING Xiaodi, MA Xu, et al. Research on the method of seeding quantity detection in potted seedling tray of super rice based on improved shape factor[J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11): 29 – 35, 8. (in Chinese)
- 11 刘长青, 陈兵旗, 张新会, 等. 玉米定向精播种粒形态与品质动态检测方法[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 47 – 54.  
LIU Changqing, CHEN Bingqi, ZHANG Xinhui, et al. Dynamic detection of corn seeds for directional precision seeding[J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 47 – 54. (in Chinese)
- 12 张亚秋, 吴文福, 王刚, 等. 基于逐步改变阈值方法的玉米种子图像分割[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 200 – 204.  
ZHANG Yaqiu, WU Wenfu, WANG Gang, et al. Separation of corn seeds images based on threshold changed gradually[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 200 – 204. (in Chinese)
- 13 王玉顺, 郭俊旺, 赵晓霞, 等. 基于机器视觉的条播排种器性能检测及分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 50 – 54.  
WANG Yushun, GUO Junwang, ZHAO Xiaoxia, et al. Performance detection and analysis of a machine vision based metering mechanism of drill[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 50 – 54. (in Chinese)
- 14 陈进, 边疆, 李耀明, 等. 基于高速摄像系统的精密排种器性能检测试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 90 – 95.  
CHEN Jin, BIAN Jiang, LI Yaoming, et al. Performance detection experiment of precision seed metering device based on high speed camera system[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 90 – 95. (in Chinese)
- 15 胡少兴, 查红彬, 马成林. 基于序列图像的排种器性能检测方法[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 52 – 55, 64.  
HU Shaoxing, ZHA Hongbin, MA Chenglin. Detection method to quality of the seed metering based on the serial of images[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 52 – 55, 64. (in Chinese)
- 16 KIM D E, CHANG Y S, KIM H H, et al. An automatic seeding system using machine vision for seed line-up of cucurbitaceous vegetables[C]//2006 ASAE Annual Meeting, ASAE Paper 061206, 2006.
- 17 URENA R, RODRIGUEZ F, BERENGUEL M. A machine vision system for seeds germination quality evaluation using fuzzy logic[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2001, 32(1): 1 – 20.
- 18 谭祖庭, 马旭, 齐龙, 等. 振流式精密播种装置种层厚度检测及控制系统研制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(21): 10 – 16.  
TAN Zuting, MA Xu, QI Long, et al. Detection and control system of seed-layers thickness for vibration-flow precision seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(21): 10 – 16. (in Chinese)
- 19 刘春旭. 智能播种监视系统的研制及产品化设计[J]. 农机化研究, 2012(8): 69 – 72.  
LIU Chunxu. Design of the intelligent plant monitoring system's development and product[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012(8): 69 – 72. (in Chinese)
- 20 张祥星, 张建军, 谢守勇, 等. 基于红外对管的油菜籽播种器检测系统的研究[J]. 农机化研究, 2012(4): 156 – 159.  
ZHANG Xiangxing, ZHANG Jianjun, XIE Shouyong, et al. Seeder detection system of rapeseed based on infrared emitting diode[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012(4): 156 – 159. (in Chinese)
- 21 郑一平, 花有清, 林斐, 等. 水稻直播机的排种数检测方法[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(4): 471 – 474.  
ZHENG Yiping, HUA Youqing, LIN Jie, et al. Research on methods of working out seeding quantity of rice drill[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2005, 31(4): 471 – 474. (in Chinese)