

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.010

基于近等速机构的玉米全膜双垄沟穴播机设计与试验

戴飞¹ 赵武云¹ 石林榕¹ 唐学鹏² 王久鑫¹ 刘小龙¹

(1. 甘肃农业大学工学院, 兰州 730070; 2. 新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 针对传统膜上播种机具作业存在的撕膜、挑膜、穴孔错位等问题,通过应用转动导杆机构与正弦机构进行串联,结合强排播种机构、直插播种装置及排种系统,设计了基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式电动穴播机,并对其关键部件结构参数进行了设计。田间试验表明,通过近等速补偿机构与放大机构相配合,对直插播种装置进行控制、协调,实现了成穴器位于播种段与出土段的水平分速为零,穴孔布置及播种作业运动轨迹合理;强排播种机构能够实现成穴器扎入覆膜种床后的准确开启投种、快速闭合,可有效缓解膜下播种多粒、空穴与成穴器堵塞问题。作业机田间播种性能试验指标均达到了国家相关作业质量评价技术规范要求,与一代样机作业性能相比有较大改进与提升,符合玉米全膜覆盖双垄沟播的农艺技术要求。

关键词: 玉米; 全膜双垄沟穴播机; 近等速机构

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)11-0074-08

Design and Experiment of Hill-seeder with Whole Plastic-film Mulching on Double Ridges for Corn Based on Mechanism with Approximate Constant Speed

Dai Fei¹ Zhao Wuyun¹ Shi Linrong¹ Tang Xuepeng² Wang Jiuxin¹ Liu Xiaolong¹

(1. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

(2. Institute of Mechanical Engineering and Transportation, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The furrow sowing with whole plastic-film mulching on double ridges was widely used in the arid region of northwest China, because it could resist drought and increase production. So the mechanical plowing and filming on seedbed was an inevitable trend in farming. With aim to solve these problems about picked film, tore film and kind of holes with seedlings dislocation which were caused by the traditional film seeding machine, an electric direct insert hill-seeder was designed based on the mechanism with approximate constant speed with corn whole plastic-film mulching on double ridges. The electric direct insert hill-seeder was designed by applying the rotating guide rod mechanism in series with the sine institutions and forced seeding mechanism, direct insert sowing mechanism and feeding system. And the structural parameters of its key parts were analyzed. Field experiment showed that through the mechanism with approximate constant speed to match the amplification mechanism, can control and coordinate the direct insert sowing mechanism. It achieved that the hole-former horizontal velocity component was zero in sowing period and excavating period, the planting distance could be adjusted within a certain range, and the arrangement of the soil hole and the hole-former motion trajectory were all reasonable. It adopted forced seeding mechanism to control the hole-former precision opening and rapid closing in fixed-point, which could effectively alleviate more seed, positive hole and the hill-seeder blocking under the plastic-film. The operation machine field planting performance test related indicators

收稿日期: 2015-11-06 修回日期: 2015-12-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51405086)、甘肃省青年科技基金计划项目(1506RJYA020)和甘肃省科技重大专项计划项目(143NKDF016)

作者简介: 戴飞(1987—),男,讲师,主要从事北方旱区作物生产装备工程研究,E-mail: daifei@gsau.edu.cn

通信作者: 赵武云(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事旱区农业工程技术与装备研究,E-mail: zhaowuy@gsau.edu.cn

were up to the relevant work quality evaluation specification requirements, and compared with the generation of prototype work performance had greater improvement and upgrading, which was to meet the requirements of agronomic techniques of dry-land corn furrow seeder with whole plastic-film mulching on double ridges.

Key words: corn; hill-seeder with whole plastic-film mulching on double ridges; mechanism with approximate constant speed

引言

全膜双垄沟播技术是近年来我国西北旱作农业发展的一项突破性技术,主要针对玉米生产种植提出,要求先起垄铺膜,后在小垄垄沟内完成膜上播种^[1-6]。该农艺技术分为秋覆膜和顶凌覆膜两种类型,主要集覆盖抑蒸、膜面集雨、垄沟种植技术为一体,最大限度地保蓄自然降水,使地面蒸发降到最低,特别是能使春季 10 mm 以下的降雨集中入渗于作物根部,被作物有效利用,达到了集雨、保墒、抗旱、增产的显著效果^[7-9]。

全膜双垄沟播技术的配套农机装备研究还不够深入,课题组于 2013 年设计并试验了玉米全膜双垄沟直插式精量穴播机,该机采用凸轮-曲柄滑块机构实现了成穴器的投种控制与定点强制开启,能够实现成穴器位于播种段与出土段的水平分速为零^[3]。但同时受制于凸轮轮廓的内凹段影响,作业部件(推杆)在接触过程中偶有拐点和死区等现象产生;作业机在田间工作时其推杆与凸轮内凹段会产生瞬间冲击,出现推杆折弯或者卡死,不能平滑过渡,持续长时间作业可导致水平分速为零的补偿滞后,影响膜上播种作业质量^[10]。为此,设计一种基于近等速补偿机构的玉米全膜双垄沟直插式电动穴播机,以满足玉米全膜双垄沟播作业农艺技术要求。

1 整机组成与工作原理

1.1 结构组成

如图 1 所示,设计的基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式穴播机主要由直流减速电动机、近等速机构(转动导杆机构与正弦机构串联)、直插播种装置(包括曲柄-连杆机构和成穴器)、放大机构、传动系统、强排播种机构、驱动轮、排种系统、尾轮及操作手柄等部件组成。

1.2 传动方案

如图 2 所示,基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式穴播机以直流减速电动机作为动力源进行驱动,其动力输出轴上同轴安装有一对大、小链轮,其中大链轮通过链传动将动力传至转动导杆机构,转动导杆机构进一步带动其右侧链轮转动,并通过

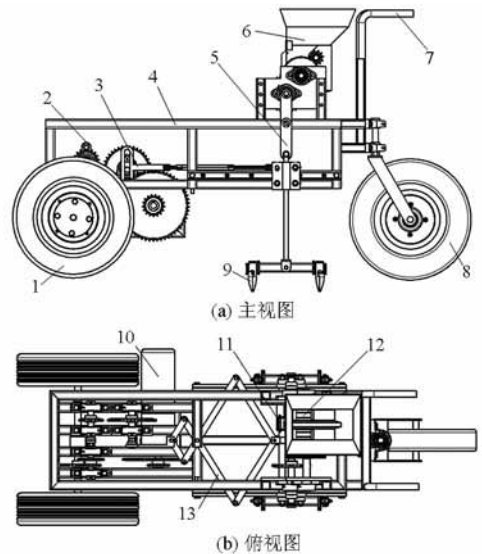


图 1 基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式穴播机结构图

Fig. 1 Structure diagram of direct insert hill-seeder based on approximate constant speed mechanism with corn whole plastic-film mulching on double ridges

1. 驱动轮 2. 转动导杆机构 3. 正弦机构 4. 机架 5. 曲柄-连杆机构 6. 种箱 7. 操作手柄 8. 尾轮 9. 成穴器 10. 直流减速电动机 11. 拉片基座 12. 窝眼式排种器 13. 放大机构

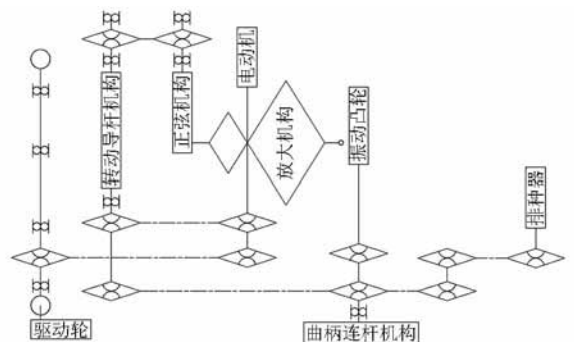


图 2 作业机传动方案

Fig. 2 Transmission scheme of operation machine

链传动将动力传输至正弦机构和放大机构,实现转动导杆机构与正弦机构的串联。电动机输出轴小链轮向驱动轮轴上链轮进行动力传递,完成作业机的前进驱动;转动导杆机构左侧端部链轮通过 3 级链传动分别将动力传递至强排播种装置振动凸轮与窝眼式排种器,作业机在各传动系统的共同配合作用下实现“直插、破膜、成穴、零速投种”的动态播种特性。

1.3 工作原理及主要技术参数

样机工作时,电动机由蓄电池供电转动作业,通过动力输出端的大链轮传递动力,同时带动转动导杆机构与正弦机构运行,实现近等速机构(转动导杆机构与正弦机构串联)、放大机构与曲柄-连杆机构共同控制成穴器的运动,以补偿成穴器在机具前进方向上的位移^[11-12]。如图3所示,当成穴器入土和出土时,近等速机构通过放大机构为曲柄-连杆机构中的滑块部件提供近等速补偿,使得成穴器相对于地面的水平分速度近似为零,成穴器近似垂直破膜入土、出土完成膜上播种作业。电动机动力输出轴上的小链轮通过链传动使得驱动轮转动前行,曲柄-连杆机构在进行回转直插运动的同时带动排种系统工作,完成排种作业。

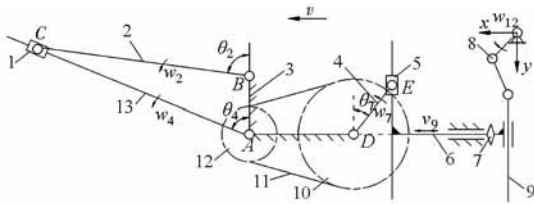


图3 工作原理图

Fig. 3 Principle diagram of operation

1. 导杆滑槽 2. 主动杆 3. 机架 4. 曲柄 5. 平移杆滑槽
6. 平移杆 7. 放大机构 8. 曲柄-连杆机构 9. 成穴器 10. 大链轮
11. 传动链 12. 小链轮 13. 导杆

玉米全膜双垄沟直插式穴播机的主要技术参数如表1所示。

表1 作业机主要技术参数

Tab. 1 Main technical parameters of operation machine

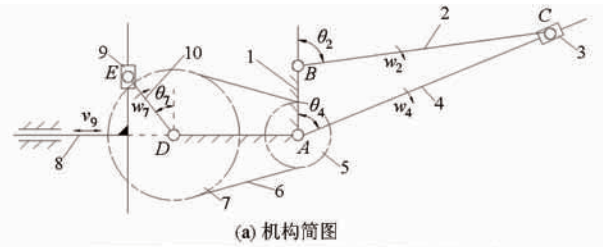
参数	取值	参数	取值
配套动力/W	750	两播种装置间	400
驱动轮直径/mm	400	行距/mm	
曲柄轴转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	70	播种深度/mm	40 ~ 50
成穴器个数	4	直流减速电动机转	47
作业速度/($m \cdot s^{-1}$)	0.5	速/($r \cdot \min^{-1}$)	
主动杆转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	136	穴粒数/粒	1
		生产率/($hm^2 \cdot h^{-1}$)	0.22
		播种株距/mm	360

2 关键部件设计与分析

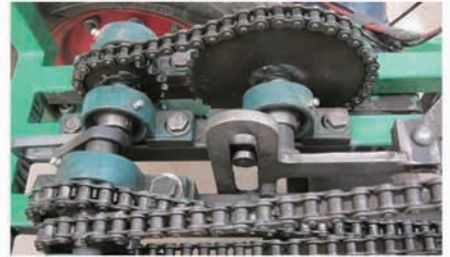
2.1 近等速机构设计

如图4所示,设计的近等速机构由转动导杆机构与正弦机构串联而成,主要由机架、主动杆、导杆滑槽、导杆、小链轮、大链轮、曲柄、平移杆滑槽和平移杆等部件组成。其中机构的主动杆与机架铰接,导杆滑槽与主动杆通过移动副连接,导杆固定在小链轮上并随其转动,小链轮、大链轮通过链传动连接

且均与机架铰接,曲柄同轴固定在大链轮上并与其同步转动,其中曲柄与平移杆滑槽通过移动副连接,平移杆与放大机构铰接相连。



(a) 机构简图



(b) 实物图

图4 近等速机构简图

Fig. 4 Structure diagrams of mechanism with approximate constant speed

1. 机架 2. 主动杆 3. 导杆滑槽 4. 导杆 5. 小链轮 6. 传动链
7. 大链轮 8. 平移杆 9. 平移杆滑槽 10. 曲柄

近等速补偿机构应近似补偿作业机成穴器相对于覆膜垄沟的水平分速度为零,实现近似垂直破膜入土、出土。每完成一次播种作业,曲柄由 F 点转至 A 到 G 点(伸长补偿段),并由 G 点转至 B 到 F 点(收缩复位段)。在正弦机构中平移杆运动极限位置位于如图5所示的 F 与 G 点时,其分别对应放大机构复位与补偿工段。按照播种株距(360 mm)设计,要求近等速机构在 $T = 0.72$ s 周期内完成往复水平补偿作业。基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式穴播机作业速度为 0.5 m/s,设计放大机构的放大比例为 $1:2$,计算可得平移杆位移 L_{FG} 为 120 mm。因此,曲柄长度为

$$L_{DE} = \frac{1}{2} L_{FG} \quad (1)$$

计算可得: $L_{DE} = 60$ mm。

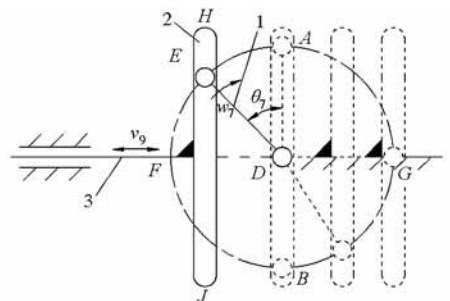


图5 正弦机构简图

Fig. 5 Structure diagram of sine generator

1. 曲柄 2. 平移杆滑槽 3. 平移杆

为保证正弦机构运行过渡平稳, 曲柄 DE 平移杆滑槽内往复运动不出现卡死现象, 平移杆滑槽长度 L_{HJ} 应不小于平移杆位移 L_{FC} , 即 $L_{HJ} \geq 120 \text{ mm}$, 取 $L_{HJ} = 130 \text{ mm}$ 。

为保证补偿机构水平方向运行相对平稳, 设定大、小链轮的传动比为 2, 选取大、小链轮齿数分别为 49 齿、24 齿。在转动导杆机构设计中取主动杆长度 $L_{BC} = 75 \text{ mm}$, 主动杆与导杆固定于机架两轴承座间的距离 L_{AB} 设定为 35 mm。导杆滑槽是顺接主动杆与正弦机构的核心部件, 因此确定导杆滑槽 L_{AC} 长度是关键。

如图 6 所示, 在 $\triangle ABC$ 中主动杆长度 L_{BC} 、固定主动杆与导杆两轴承座间的距离 L_{AB} 及导杆滑槽长度 L_{AC} 之间的几何关系为

$$L_{AB} + L_{BC} > L_{AC} \quad (2)$$

$$\text{即} \quad L_{AC} - L_{BC} < L_{AB} \quad (3)$$

当主动杆与机架竖直方向的夹角为 0° 时, 即在连杆机构中主动杆 BC 及导杆 AC 运动至 C_1 点重合时, 其长度的几何关系为

$$L_{AC} - L_{BC} = L_{AB} \quad (4)$$

当主动杆长度 L_{BC} 、固定主动杆与导杆两轴承座间的距离 L_{AB} 为定值时, 由式(3)、(4)可以得出, 主动杆 BC 及导杆 AC 运动至 C_1 点重合时的导杆滑槽长度 L_{AC} 为最大值, 即

$$L_{AC} = L_{AB} + L_{BC} \quad (5)$$

得 $L_{AC} = 110 \text{ mm}$ 。

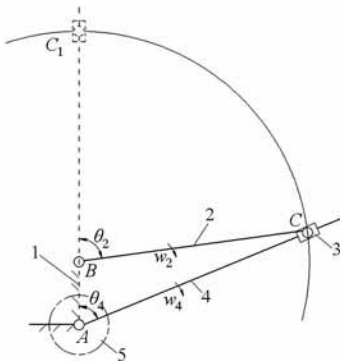


图 6 转动导杆机构简图

Fig. 6 Structure diagram of rotating guide-bar mechanism

1. 机架 2. 主动杆 3. 导杆滑槽 4. 导杆 5. 小链轮

为保证转动导杆机构运行稳定, 主动杆 BC 在导杆滑槽内往复运动不出现死点、撞击等现象, 滑槽应当留有空间余量, 即 $L_{AC} \geq 110 \text{ mm}$, 取 $L_{AC} = 116 \text{ mm}$ 。

如图 7 所示, 借助 ADAMS 软件通过仿真分析可以看出, 转动导杆机构中导杆角速度 w_4 在 2 个周期内出现的 3 次最小值可以将正弦机构中平移杆速度 v_9 在一个周期内出现的 3 次峰值逐渐拉平, 从而

使平移杆速度 v_9 出现往复两段近等速运动。

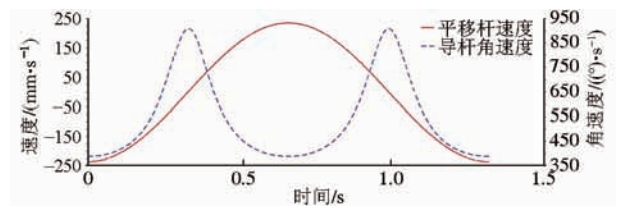


图 7 平移杆速度与导杆角速度的对比曲线

Fig. 7 Contrast curves for shift lever velocity and guide rod angular velocity

2.2 近等速机构运动分析

如图 4a 所示, 将正弦机构和转动导杆机构通过大、小链轮串联起来, 取曲柄与 x 方向的夹角为 θ_7 , 角速度为 w_7 , 平移杆的线速度为 v_9 , 取主动杆与机架竖直方向的夹角为 θ_2 , 取导杆与机架竖直方向的夹角为 θ_4 , 主动杆的角速度为 w_2 , 导杆的角速度为 w_4 , 则有

$$L_{AC} \sin \theta_4 = L_{BC} \sin \theta_2 \quad (6)$$

$$L_{AC} \cos \theta_4 = L_{BC} \cos \theta_2 + L_{AB} \quad (7)$$

由式(6)、(7)可得

$$\tan \theta_4 = \frac{L_{BC} \sin \theta_2}{L_{BC} \cos \theta_2 + L_{AB}} \quad (8)$$

$$\text{即} \quad \theta_4 = \arctan \frac{L_{BC} \sin \theta_2}{L_{BC} \cos \theta_2 + L_{AB}} \quad (9)$$

由式(9)可知: 在转动导杆机构中, 当主动杆与导杆两轴承座间距位置固定, 主动杆长度一定时, 导杆的起始位置仅由主动杆与机架竖直方向的夹角 θ_2 决定。

将式(10)两边对 θ_2 求导得

$$\frac{d\theta_4}{d\theta_2} = \frac{w_4}{w_2} = \frac{L_{BC}^2 + L_{AB} L_{BC} \cos \theta_2}{L_{BC}^2 + 2L_{AB} L_{BC} \cos \theta_2 + L_{AB}^2} \quad (10)$$

$$\text{即} \quad w_4 = \frac{w_2 (L_{BC}^2 + L_{AB} L_{BC} \cos \theta_2)}{L_{BC}^2 + 2L_{AB} L_{BC} \cos \theta_2 + L_{AB}^2} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \theta_7 = \frac{1}{2} \theta_4 \\ w_7 = \frac{1}{2} w_4 \end{cases} \quad (12)$$

$$v_9 = L_{DE} w_7 \cos \theta_7 \quad (13)$$

将式(11)、(12)代入式(13)可得

$$v_9 = \frac{w_2 (L_{BC}^2 + L_{AB} L_{BC} \cos \theta_2)}{2(L_{BC}^2 + 2L_{AB} L_{BC} \cos \theta_2 + L_{AB}^2)} L_{DE} \cos \frac{\theta_4}{2} \quad (14)$$

由式(9)、(14)可以得出, 近等速机构中平移杆补偿速度 v_9 与 L_{AB} 、 L_{BC} 、 L_{DE} 、主动杆与机架竖直方向夹角 θ_2 及主动杆角速度 w_2 5 个因素有关。当主动杆与机架竖直方向的夹角为 90° 或导杆与机架竖直方向的夹角为 180° 时, 平移杆补偿瞬时速度为 0 m/s , 此时与平移杆相连接的作业机放大机构正好处于伸长(或收缩)补偿的两端极限位置, 能够有效缓解平

移杆在该极限位置对近等速补偿机构产生的瞬间冲击、惯性振动,可降低平移杆折弯机率,防止曲柄在平移杆滑槽内运动卡死,最终避免因上述因素所引发的作业机近等速机构的补偿滞后。因此,为寻求平移杆瞬时零速的补偿位置,可在作业机播种前预先将主动杆调整至水平方向(即与机架竖直方向的夹角为 90°)或将导杆调整至垂直向下方向(即与机架竖直方向的夹角为 180°)。

2.3 成穴器播种运动轨迹分析

为观察基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式穴播机入土、出土播种运动过程,分析作业机成穴器的运动轨迹是否符合设计要求,利用 Solidworks - Motion 功能进行运动轨迹仿真观察。为了便于仿真分析,将整机模型简化,简化模型由近等速机构、放大机构、曲柄-连杆机构、机架和成穴器等组成。在运动算例界面中,在曲柄-连杆机构中的曲柄与机架铰接处添加旋转马达 1,转速值为 70 r/min ;在近等速机构主动杆旋转中心处添加旋转马达 2,转速值为 136 r/min ;在机架水平方向添加线性马达 1,转速值为 0.5 m/s ,仿真时间为 4.32 s ,如图 8a 所示。仿真结束后选择路径跟踪,对成穴器下端的两个点进行路径跟踪,得到成穴器的运动轨迹,如图 8b 所示。

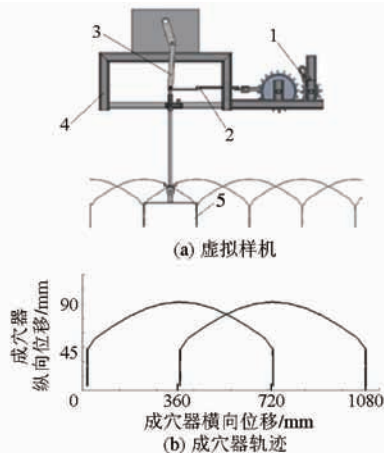


图 8 成穴器运动轨迹分析

Fig. 8 Kinematic analysis of hole-former

1. 近等速机构 2. 放大机构 3. 曲柄-连杆机构 4. 机架 5. 成穴器

由作业机成穴器的运动轨迹可以看出,其播种轨迹不再是一条余摆线,成穴器在播种入土、出土的运动过程中做近似垂直运动,播种深度为 45 mm ,株距为 360 mm ,该播种方式能够有效避免传统膜上播种机具作业所产生的挑膜、撕膜、种穴与幼苗错位等问题,与一代样机相比,运动轨迹得到进一步优化提升,符合玉米全膜双垄沟播农艺技术要求。

2.4 强排播种机构设计

为避免传统压板式成穴器存在的鸭嘴开启不及

时、入土堵塞、种子不易入穴等现象,设计了强排播种机构,主要由振动凸轮、强排拉线(4组)、拉片基座、拉片、拉片转轴及成穴器(4个)组成,如图 9 所示。

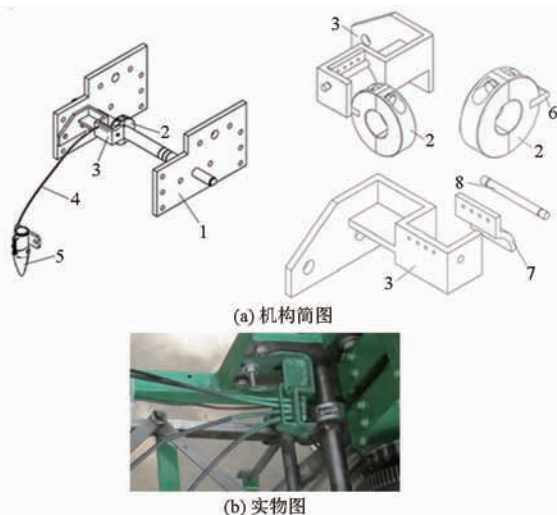


图 9 强排播种机构图

Fig. 9 Structure diagrams of forced seeding mechanism

1. 机架 2. 振动凸轮 3. 拉片基座 4. 强排拉线 5. 成穴器
6. 凸轮头 7. 拉片 8. 拉片转轴

强排拉线外层是由可弯曲但无伸缩的螺旋金属层构成,其内部芯线为直径 2 mm 的钢丝绳,钢丝绳通过其一端 5 mm 的小螺栓头与拉片固定连接,另一端安装在成穴器活动鸭嘴的固定座上,通过拉紧收缩钢丝绳可牵动开启成穴器活动鸭嘴。通过限定强排拉线长度及其两端位置,实现直插播种装置与强排播种机构的同步协调作业。

如图 10a 所示,振动凸轮与曲柄-连杆机构同轴安装,当振动凸轮逆时针转动时,凸轮头从 A 点向 B 点运动。当凸轮头与拉片即将接触时,对应的成穴器已插入覆膜种床预定播种深度;当凸轮头进一步转动与拉片滑动接触并在 B 点对拉片进行挤压时,拉片则在拉片基座的支撑下绕着拉片转轴作顺时针转动。为避免成穴器开启后卡种,拉片由 M 点向 N 点转动产生的位移 L_1 (即活动鸭嘴开启位移)应大于种子外形最大尺寸。通过对甘肃省主要种植区不同类型玉米种子三轴尺寸进行调研测定,玉米种子外形最大尺寸平均值为 9.7 mm ,取 $L_1 = 11 \text{ mm}$ 。在振动凸轮、拉片基座、拉片及拉片转轴的共同作用下,强排拉线快速收缩,进而打开成穴器活动鸭嘴完成播种作业;当凸轮头转过拉片后,由于其具有瞬间恢复基圆位置的特性,使得作业机直插成穴器快速关闭,避免种床土壤堵塞^[13]。

如图 10 所示,设计中拉片竖直部分长度 L_2 为 25 mm ,拉片弧长部分为半径 $R = 30 \text{ mm}$ 的四分之一

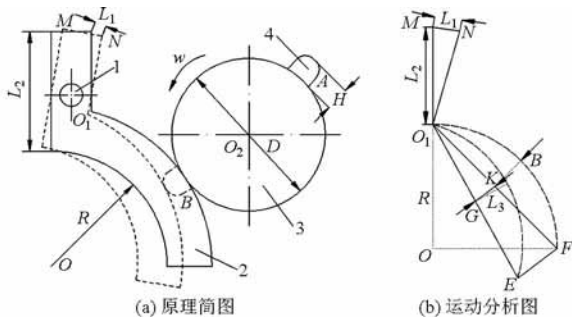


图 10 强排机构原理图

Fig. 10 Principle diagrams of forced mechanism

1. 拉片转轴 2. 拉片 3. 振动凸轮 4. 凸轮头

圆弧(即圆心角 $\alpha = 90^\circ$), O_1F 与 O_1E 分别是拉片未受到振动凸轮头挤压及接触挤压后其弧长部分所对应的弦长, 则有

$$\begin{cases} L_{O_1F} = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \\ \frac{L_1}{L_{EF}} = \frac{L_2}{L_{O_1F}} \end{cases} \quad (15)$$

由式(15)可以得出, $L_{EF} = 18.7 \text{ mm}$ 。

设计的振动凸轮直径 $D = 60 \text{ mm}$, 其转动中心 O_2 定位安装后需保证凸轮头与拉片弧长部分的接触点在拉片 $1/4$ 圆弧的中点处(图 10b 中 B 点)。当凸轮头完成转动、与拉片滑动接触及挤压过程后, 拉片弦长中点由 K 点移动至 G 点, 则在 $\triangle O_1EF$ 中有

$$L_3 = \frac{1}{2} L_{EF} \quad (16)$$

由式(16)可以得出, $L_3 = 9.35 \text{ mm}$ 。因此, 当振动凸轮转动过程中与拉片弧长部分接触、挤压时, 为保证强排拉线牵引活动鸭嘴有足够的开启位移量, 凸轮头的高度应当满足 $H \geq L_3$, 取凸轮头高度 $H = 10 \text{ mm}$ 。

成穴器入土的难易程度与成穴器对土壤的正压面有关, 选用锥形成穴器入土要比楔形成穴器受力小, 成穴器鸭嘴直径与锥角大小是影响成穴器入土受力的关键结构参数^[14]。设计的作业机成穴器结构如图 11 所示。

本设计选取作业机成穴器锥角为 60° , 鸭嘴直径为 32 mm , 成穴器由固定鸭嘴与活动鸭嘴组成, 通过固定板与曲柄-连杆机构相连接, 强排拉线通过与其固定座相连接, 并在复位弹簧的作用下实现活动鸭嘴的准确开启与闭合。

2.5 排种系统部件设计

如图 12 所示, 作业机排种系统主要由喂入口、毛刷轮、窝眼轮式排种器等组成。为保证在覆膜种床上实现单粒播种, 排种系统采用直径 d_w 为 120 mm 的窝眼轮式排种器与直径 d_q 为 80 mm 的清种毛刷

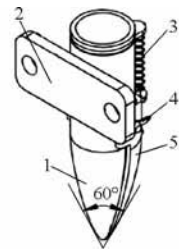


图 11 成穴器结构图

Fig. 11 Structure diagram of hole-former

1. 固定鸭嘴 2. 固定板 3. 复位弹簧 4. 强排拉线固定座 5. 活动鸭嘴

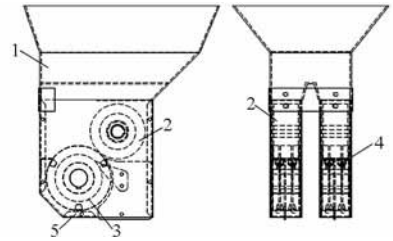


图 12 排种系统结构简图

Fig. 12 Structure diagram of feeding system

1. 喂入口 2. 毛刷轮 3. 窝眼轮式排种器 4. 窝眼型孔 5. 投种口

轮, 通过相对转动配合完成排种作业, 既提高了排种器窝眼囊种率, 又可刷去多余种子, 满足玉米精量播种的作业要求。

窝眼轮式排种器型孔设计为半球形, 为实现单粒穴播功能, 窝眼型孔直径 D_1 和型孔深度 H_1 依照试验选用的玉米种子外形最大尺寸 d_{\max} 确定^[15], 即

$$\begin{cases} d_{\max} + 0.5 \leq D_1 \leq d_{\max} + 1 \\ d_{\max} - 1 \leq H_1 \leq d_{\max} - 0.5 \end{cases} \quad (17)$$

其中, 甘肃省玉米主要种植区种子外形最大平均尺寸 $d_{\max} = 9.7 \text{ mm}$, 因此根据式(17)确定窝眼型孔直径 $D_1 = 10.4 \text{ mm}$, 型孔深度 $H_1 = 9.0 \text{ mm}$ 。

排种器窝眼型孔数目是影响作业机播种效果的重要参数。型孔数目过少, 易出现漏播现象; 型孔数目过多, 则重播率上升。排种器窝眼型孔数目计算式为^[15]

$$Z = \frac{\pi d_w v_m}{S v_w} \quad (18)$$

其中

- 式中 Z ——窝眼型孔数目, 个
 d_w ——窝眼轮式排种器直径, 取 0.12 m
 r_w ——窝眼轮式排种器半径, 取 0.06 m
 v_m ——样机作业速度, 取 0.5 m/s
 S ——播种株距, 取 0.36 m
 v_w ——窝眼轮式排种器线速度, m/s
 n ——窝眼轮式排种器转速, 依照传动比计算为 104 r/min

由式(18)计算取整可得,排种器窝眼型孔数
 $Z = 10$ 。

3 田间试验与分析

2015年4月,在甘肃省洮河拖拉机制造有限公司-临洮旱作农机装备专家大院试验田进行了基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式穴播机田间播种性能试验,如图13所示。试验地面积为 0.24 hm^2 ,地势平坦,土壤为黄绵土,土壤含水率为 $14.9\% \sim 16.1\%$ ^[5]。试验地依照玉米全膜双垄沟播农艺技术要求,先应用双垄耕作施肥喷药覆膜机进行覆膜种床铺设准备,覆膜厚度为 0.01 mm (白色),玉米种植品种为宁单12号(采取包衣处理),种子千粒质量为 368 g ,种子外形尺寸平均值为 $8.2\text{ mm} \times 7.8\text{ mm} \times 5.0\text{ mm}$,播种量为 44.6 kg/hm^2 。作业机选用 24 V 直流电源(12 V 蓄电池两块串联)供电,播种前进速度为 0.5 m/s ^[16-17]。



图13 作业机田间性能试验

Fig. 13 Field performance test of operation machine

样机播种作业完成后,按照标准 NY/T 987—2006《铺膜穴播机 作业质量》对播种机作业性能的测定要求,结合文献[3,5]试验方法对相关膜上播种作业试验指标进行测定计算,作业机田间播种性能试验结果如表2所示^[18]。

由试验结果可以看出,基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式穴播机播种作业质量与一代样机相比有较高改进、提升^[3],各项试验指标均符合 NY/T 987—2006《铺膜穴播机 作业质量》的规范要求。

在试验过程中发现当样机由电动机驱动进行播种作业时,整机运行平稳,能够避免因柴(汽)油机作为动力源引起的机械振动,可保证排种系统均匀

表2 田间播种性能试验结果

Tab. 2 Test results of field seeding performance

参数	试验值	技术要求
种子破碎率/%	0.18	≤ 0.5
空穴率/%	0.43	≤ 2
穴粒数合格率/%	98.5	≥ 85
膜下播种深度合格率/%	95.1	≥ 75
穴位错孔率/%	0.42	≤ 6
地膜采光面机械破损程度/ $(\text{mm} \cdot \text{m}^{-2})$	30.6	≤ 55

充种、排种^[19]。近等速补偿机构运行平稳、可靠,能够保证直插播种装置位于播种段与出土段的水平分速为零,避免撕膜、挑膜、穴孔错位等问题的出现;强排播种机构可实现成穴器扎入垄沟覆膜种床后的准确开启投种与快速闭合,可有效缓解采用穴播作业方式易出现多粒、空穴的问题,试验结果理想,符合玉米全膜覆盖双垄沟播的农艺技术要求。

4 结论

(1)针对传统膜上播种机具作业存在撕膜、挑膜、穴孔错位等问题,通过应用转动导杆机构与正弦机构进行串联,并结合强排播种机构、直插播种装置及排种系统,设计了基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式电动穴播机。

(2)作业机采用直流减速电动机作为动力,通过近等速机构与放大机构相配合,对直插播种装置进行控制、协调,实现了成穴器位于播种入土段与出土段的水平分速为零,穴孔布置及播种作业运动轨迹合理;强排播种机构能够实现成穴器扎入垄沟覆膜种床后的准确开启投种、快速闭合,可有效缓解采用穴播作业方式易出现的多粒、空穴与成穴器堵塞问题。

(3)田间试验表明,基于近等速机构的玉米全膜双垄沟直插式电动穴播机作业后种子破碎率为 0.18% ,空穴率为 0.43% ,穴粒数合格率为 98.5% ,膜下播种深度合格率为 95.1% ,穴位错孔率为 0.42% ,地膜采光面机械破损程度为 30.6 mm/m^2 。田间播种性能试验相关指标均达到了 NY/T 987—2006《铺膜穴播机 作业质量》评价技术规范要求,与一代样机作业性能相比有较大改进、提升,满足玉米全膜覆盖双垄沟播的农艺技术要求。

参 考 文 献

- ZHOU Limin, JIN Shengli, LIU Changan, et al. Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem[J]. Field Crops Research, 2012, 126: 181 - 188.
- QIN Shuhao, ZHANG Junlian, DAI Hailin, et al. Effect of ridge-furrow and plastic-mulching planting patterns on yield formation and water movement of potato in a semi-arid area[J]. Agricultural Water Management, 2014, 131: 87 - 94.
- 赵武云,戴飞,杨杰,等. 玉米全膜双垄沟直插式精量穴播机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11): 91 - 97.

- ZHAO Wuyun, DAI Fei, YANG Jie, et al. Design and experiment of direct insert precision hill-seeder with corn whole plastic-film mulching on double ridges [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44 (11): 91 - 97. (in Chinese)
- 4 刘广才, 杨祁峰, 段襁全, 等. 甘肃发展旱地全膜双垄沟播技术的主要模式 [J]. 农业现代化研究, 2008, 29 (5): 629 - 632. LIU Guangcai, YANG Qifeng, DUAN Rangquan, et al. Main modes for Gansu developing techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows in dry land [J]. Research of Agricultural Modernization, 2008, 29 (5): 629 - 632. (in Chinese)
- 5 戴飞, 赵武云, 唐学鹏, 等. 旱地玉米全膜覆盖双垄沟精量播种机工作参数优化 [J]. 农业机械学报, 2013, 44 (增刊 1): 39 - 45. DAI Fei, ZHAO Wuyun, TANG Xuepeng, et al. Parameters optimization of precision seeder with corn whole plastic-film mulching on double ridges in dry land [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44 (Supp. 1): 39 - 45. (in Chinese)
- 6 戴飞, 赵武云, 马明义, 等. 双垄耕作施肥喷药覆膜机工作参数优化 [J]. 农业机械学报, 2016, 47 (1): 83 - 90. DAI Fei, ZHAO Wuyun, MA Mingyi, et al. Parameters optimization of operation machine for tillage-fertilization and spraying-filming on double ridges [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47 (1): 83 - 90. (in Chinese)
- 7 李来祥, 刘广才, 杨祁峰, 等. 甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与应用进展 [J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27 (1): 114 - 118. LI Laixiang, LIU Guangcai, YANG Qifeng, et al. Research and application development for the techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows in dry land [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27 (1): 114 - 118. (in Chinese)
- 8 刘晓伟, 何宝林, 郭天文. 全膜双垄沟不同覆膜时期对玉米土壤水分和产量的影响 [J]. 核农学报, 2012, 26 (3): 602 - 609. LIU Xiaowei, HE Baolin, GUO Tianwen. Effects of full mulching on double ridges with different mulching methods on soil water content and maize yield in dryland [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26 (3): 602 - 609. (in Chinese)
- 9 BORUT G, DEA B. Incorporation of a ridge-furrow-ridge rainwater harvesting system with mulches in high-value plant production [J]. Irrigation and Drainage, 2011, 60 (4): 518 - 525.
- 10 李星瑞, 石林榕, 赵武云, 等. 全膜双垄沟播直插式玉米播种装置双面凸轮的设计 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2015, 41 (1): 94 - 98. LI Xingrui, SHI Linrong, ZHAO Wuyun, et al. Design of double-track cam of direct insert corn planting furrow seeder for whole plastic-film mulching on double ridges [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2015, 41 (1): 94 - 98. (in Chinese)
- 11 王洪欣. 基于转动导杆的齿轮机构与正弦机构组合的近似等速比机构设计 [J]. 机械设计, 2007, 24 (6): 37 - 38. WANG Hongxin. Approximate constant speed ratio mechanism design based on the combination of rotary guiding-rod gear mechanism and sinusoid mechanism [J]. Journal of Machine Design, 2007, 24 (6): 37 - 38. (in Chinese)
- 12 华大年, 华志宏, 吕静平. 连杆机构设计 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1996.
- 13 徐芳, 周志刚. 基于 ADAMS 的凸轮机构设计及运动仿真分析 [J]. 机械设计与制造, 2007, 9 (9): 78 - 80. XU Fang, ZHOU Zhigang. Design and kinematics simulation of cam mechanism based on ADAMS [J]. Machinery Design & Manufacture, 2007, 9 (9): 78 - 80. (in Chinese)
- 14 孙伟, 吴建民. 鸭嘴式成穴器的选型与研究 [J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44 (5): 140 - 142. SUN Wei, WU Jianmin. Shape select and study on the duck-rostra type punching-opener [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2009, 44 (5): 140 - 142. (in Chinese)
- 15 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册 (上册) [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- 16 史增录, 赵武云, 马海军, 等. 全膜双垄沟播起垄施肥铺膜机的研制 [J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30 (2): 169 - 174. SHI Zenglu, ZHAO Wuyun, MA Haijun, et al. Whole plastic-film double furrow sowing cultivation of the design and manufacture of ridge fertilization filming machine [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30 (2): 169 - 174. (in Chinese)
- 17 赵武云, 戴飞, 张锋伟, 等. 全膜双垄沟玉米种植全程机械化作业方法: 中国, 201310492318.1 [P]. 2015 - 04 - 01.
- 18 NY/T 986—2006 铺膜机作业质量 [S]. 2006.
- 19 李同辉, 戴飞, 赵武云, 等. 玉米全膜双垄沟电动式精量播种机设计与试验 [J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33 (3): 283 - 288. LI Tonghui, DAI Fei, ZHAO Wuyun, et al. Design and field trial of an electric corn precision seeder for whole film double furrow sowing [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33 (3): 283 - 288. (in Chinese)