

旱地全膜双垄沟播直插式玉米播种装置的仿真优化

郭笑欢,石林榕,赵武云,戴 飞,王久鑫,赵瑞营

(甘肃农业大学 工学院,甘肃 730070)

摘 要: 针对膜上播种需求,设计了一种新型曲柄滑块机构驱动平行四杆机构直插式播种装置,该装置结构简单,能够实现播种时成穴器“零速”播种,不易挑膜、撕膜。以成穴器相对于机架 x 方向的速度差 v 、排种管入出土后水平位移差 s 为优化目标,在 Solidworks Motion 中进行了该装置结构优化仿真。得到结果为:当以 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 为前进速度时,曲柄II长度 69 mm、连杆长度 167 mm、曲柄机构转速 $100\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的播种装置能得到较好的直插播种性能。

关键词: 直插式;玉米播种装置;仿真优化

中图分类号: S223 **文献标志码:** A

Optimization of simulation of direct-insert corn planting
furrow seeder for whole plastic-film mulching
on double ridges in dry land

GUO Xiao-huan, SHI Lin-rong, ZHAO Wu-yun, DAI Fei, WANG Jiu-xin, ZHAO Rui-ying

(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730030, China)

Abstract: To meet the demand of seeding on film, a new type of direct-seeding device, with a parallel four-bar mechanism driven by crank slider mechanism, was designed. Due to its simple structure and high precision, the device could achieve “zero speed” sowing of hole-forming device. Aiming at the optimization of the speed difference v of the hole forming device with respect to the x direction of the frame, and the horizontal displacement difference s between buried and the pipe line, the structure of the device was optimized in Solidworks Motion. It was found that when using $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ as the forward speed, the length of the crank II and the length of connecting rod were 69 mm and 167 mm respectively, and the speed of crank was $100\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$. Thus the optimal direct seeding performance could be achieved.

Keywords: direct insert; furrow seeder of corn; simulation optimization

近年来,甘肃省旱地玉米全膜双垄沟播模式得到有效推广,经济效益明显^[1-4],对具有增温、保墒、促熟和增产效果显著的地膜覆盖技术的推广起到了积极作用^[5]。对应机具的研究也较多,但目前,甘肃省玉米全膜双垄沟播种植的播种环节中配套机具的研发较少。现有的玉米点播器和手推式玉米穴播机劳动强度大生产效率低;传统的滚轮式穴播器受余摆线的影响撕膜、挑膜现象严重^[6-11]。赵建托等研究的直插式播种装置,撕膜、挑膜现象减少,但穴播杆水平位移不精确;赵武云等设计研制了直插式精量穴播机,播种精度高,但结构较复杂;李星瑞等对双面凸轮的研究,穴播杆水平位移精确,但双面凸轮结构复杂成本高;其余相关研究未见详细报道^[6-8,12]。

为此设计了一种新型直插式玉米播种装置。该装置以曲柄滑块机构驱动平行四杆机构,结构简单,有较高的精度,能实现播种时成穴器的“零速”直插播种,可改善播种作业过程中成穴器撕膜、挑膜的问题,满足了旱地玉米全膜双垄沟农艺技术要求^[13]。本文通过 Solidworks 三维造型软件设计了一种直插式玉米播种装置,并通过自带的 Motion 插件,以播种时水平位移差为指标,对该装置进行了结构优化仿真,得到了最佳工作组合参数。在 ADAMS 虚拟样机软件中对在最优工作组合参数的条件下的直插式玉米播种装置进行了指标验证。

收稿日期:2015-12-16
基金项目:甘肃省科技重大专项计划资助项目(143NKDF016);国家自然科学基金资助项目(51405086);“十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD08B01)
作者简介:郭笑欢(1991—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事农业工程技术与装备研究。E-mail:270407626@qq.com。
通信作者:赵武云(1966—),男,甘肃兰州人,教授,博士生导师,主要从事农业工程技术与装备研究。E-mail:zhaowuy@gsau.edu.cn。

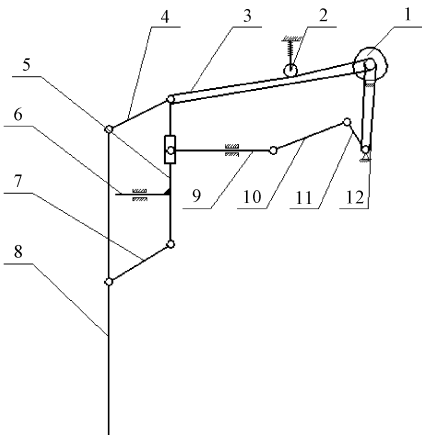
1 装置机构和工作原理

1.1 装置机构

直插式玉米播种装置由电机、弹簧张紧轮、传动链 I、曲柄 I、杆身、水平杆、从动杆、入土成穴杆、顶杆、连杆、曲柄 II 和传动链 II 组成。曲柄 I、入土成穴杆、从动杆和杆身通过铰接形成平行四连杆机构,杆身与机架水平方向平动连接。电机通过传动链 I 与平行四杆机构的曲柄 I 相连,传动链 I 上设置了弹簧张紧轮,电机通过传动链 II 与固定在机架上的曲柄 II 中心连接,顶杆与水平方向平行,一端通过连杆与曲柄 II 连接,另一端通过铰接与平行四杆机构杆身连接,中间与机架水平方向平动连接。直插式玉米播种装置结构简图如图 1 所示。

1.2 工作原理

曲柄 I 在电机驱动下作回转运动,带动入土成穴杆和从动杆回转,曲柄 II 在电机驱动下,带动顶杆推动整个平行四杆机构水平移动,两路运动并联驱动入土成穴杆在前进方向“零速”播种。曲柄 I 回转一周,入土成穴杆也回转一周,同时,曲柄 II 带动顶杆推动整个平行四杆机构水平移动,两路运动并联驱动入土成穴杆在前进方向完成一次“零速”播种过程。整机运动过程中,入土成穴杆始终与地面保持垂直。在入土成穴杆上端设置排种器,排出的种子通过导种管落入成穴杆下端部内腔中,当达到规定的播深时入土成穴杆下端强制开启,使处于内腔里的种子在重力作用下落入穴孔中。



1.电机;2.弹簧张紧轮;3.传动链 I;4.曲柄 I;5.杆身;6.水平杆;7.从动杆;8. 入土成穴杆;9.顶杆;10.连杆;11.曲柄 II;12.传动链 II
1. Power-driven; 2. Spring tensioner; 3. Drive chain I; 4. Crank I; 5. Rod; 6. Horizontal rod; 7. Driven rod; 8. The soil plug rod; 9. Push rod; 10. Connecting rod; 11. Crank II ; 12. Drive chain II

图 1 直插式玉米精量播种机结构示意图

Fig.1 Structure diagram of direct insert precision seeder of corn

2 仿真优化

2.1 仿真模型的建立

在 Solidworks 中设计并建立直插式播种装置的简化三维模型,在装配体中为各零件添加相应约束。新建一个运动算例,在 Solidworks Motion 中为曲柄 I 和曲柄 II 添加同方向的旋转马达,为直插式播种装置添加水平方向的线性马达,开始仿真分析。直插式播种装置的简化仿真模型如图 2 所示。

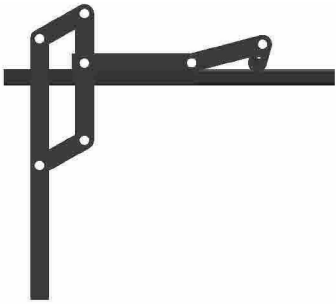


图 2 直插式播种装置仿真模型

Fig.2 Simulated model of direct-insert planting device

2.2 仿真分析

设定整机的前进速度为 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,入土成穴杆初始长为 494 mm ,杆身初始长为 247 mm ,曲柄 I 初始长为 127 mm ,曲柄 I 转速 w_1 与曲柄 II 转速 w_2 相等。以曲柄 II 长度 l_1 、连杆长度 l_2 及曲柄机构转速 w 为仿真对象,以成穴器相对于机架 x 方向的瞬时速度差 v 、排种管入出土的水平位移 s 为目标进行仿真。成穴器相对于机架前进方向的瞬时速度差越小,越容易实现“零速”直插播种,排种管入出土的水平位移差越小,精确度高,越不容易撕膜、挑膜^[14]。直插式播种装置仿真数据如表 1 所示。

由表 1 仿真试验结果可得直插式播种装置的最优工作参数组合为:当曲柄 II 长度为 69 mm ,连杆长度为 167 mm 和曲柄转速为 $100\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,成穴器相对于机架前进方向的瞬时速度差为 $5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,排种管入出土的水平位移为 6 mm ,在这组工作参数组合下,成穴器相对于机架前进方向的瞬时速度差小,容易实现“零速”直插播种;排种管入、出土的水平位移差小,精度高,不容易撕膜、挑膜。最优工作参数组合的鸭嘴运动轨迹如图 3 所示。

由图 3 可知,最优工作参数组合的鸭嘴运动轨迹出现了适量余摆线,但余摆线水平位移量很小,不足以引起撕膜、挑膜,因此该工作参数组合下可实现“零速”直插播种。在最优工作参数组合下,仿真得到成穴器在 x 方向的瞬时速度,及 x 、 y 方向的位移,如图 4 所示。

表 1 直插式播种装置仿真数据

Table 1 Data of simulated direct planting device

曲柄Ⅱ 长度 l_1 /mm The length of crank Ⅱ	连杆长 度 l_2 /mm The length of push rod	曲柄机 构转速 w $/(r \cdot \min^{-1})$ The speed of crank mechanism	速度差 v $/(mm \cdot s^{-1})$ Velocity difference	入出土位移 s /mm The displacement of coming in and out of the ground
64	164	90	24	9
64	164	100	18	13
64	164	110	46	13
64	167	90	40	8
64	167	100	22	18
64	167	110	36	21
64	170	90	33	10
64	170	100	66	17
64	170	110	36	21
69	164	90	69	7
69	164	100	38	5
69	164	110	49	3
69	167	90	53	2
69	167	100	5	6
69	167	110	56	2
69	170	90	45	4
69	170	100	9	7
69	170	110	34	15
74	164	90	170	1
74	164	100	163	1
74	164	110	154	2
74	167	90	233	1
74	167	100	66	1
74	167	110	58	5
74	170	90	65	1
74	170	100	70	2
74	170	110	156	3

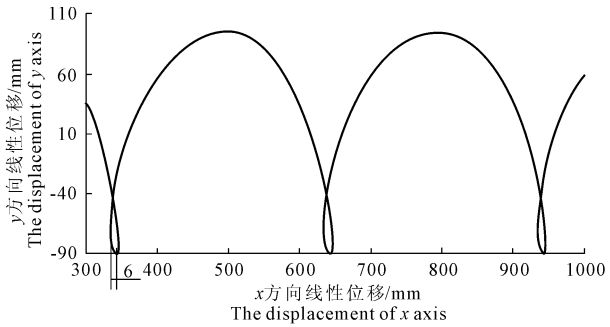


图 3 最优工作参数组合的鸭嘴运动轨迹

Fig.3 The trajectory of the optimal operational parameter of duckbill

以第一个周期为例,播深要求为 25 mm,测得最低点的 y 轴坐标为 -90 mm,取 y 轴坐标为 -65 mm 来研究其瞬时时间,第一次到达 -65 mm 的时间是 0.07 s,第二次到达 -65 mm 的时间是 0.23 s。在 0.07 s 与 0.23 s 时,测得成穴器相对与机架前进方向的瞬时速度差为 $5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,表明投种时实现“零速”直插播种;在时间为 0.07 s 时,x 轴的位移坐标是 35 mm,在时间为 0.23 s 时,x 轴的位移坐标是 41 mm,可得出成穴器相对地面滑行了 6 mm,表明水平位移量很小,精确度高,不易撕膜、挑膜。

3 验证

将在 Solidworks 中建立的直插式播种装置的简化三维模型导入 ADAMS 中。为曲柄Ⅰ与杆身、杆身与从动杆、从动杆与入土成穴杆、入土成穴杆与曲柄Ⅰ、电机与曲柄Ⅱ、曲柄Ⅱ与连杆、连杆与顶杆之间添加转动副,为顶杆与机架之间添加移动副,为顶杆与从动杆之间添加固定副。施加 Rotational Motion 驱动曲柄Ⅰ、曲柄Ⅱ同方向转动,施加 Translational Motion 驱动直插式播种装置水平运动。在入土成穴杆下端点运用创建轨迹曲线功能,得到鸭嘴的运动轨迹仿真图如图 5。

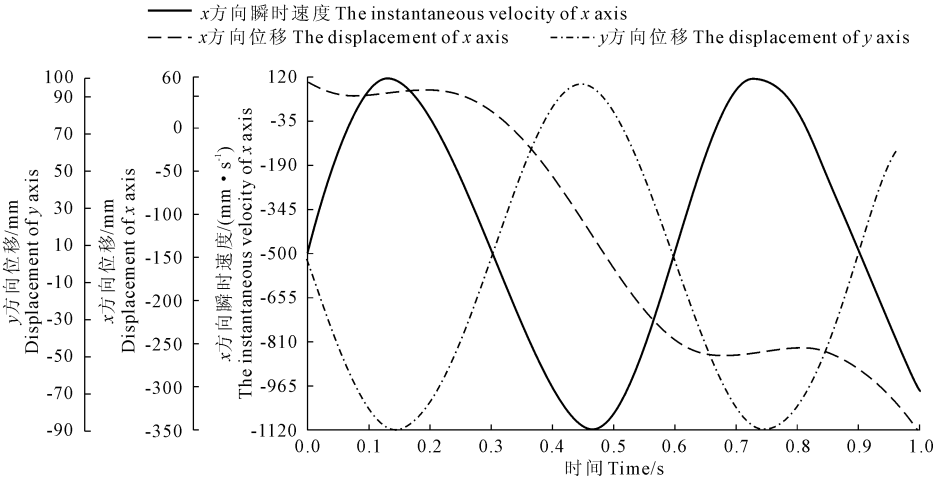


图 4 成穴器 x 方向的瞬时速度,x、y 方向的位移图

Fig.4 The instantaneous velocity of the hole forming device of x axis, and the displacement of x、y axis

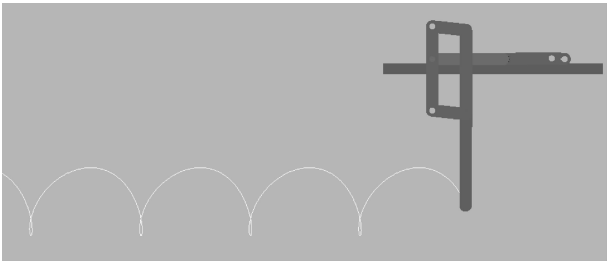


图 5 鸭嘴的运动轨迹仿真图

Fig.5 Simulated diagram of trajectory of duckbill device

在仿真过程中得到成穴器在 y 方向的位移图, x 方向的位移图及 x 方向的瞬时速度图。分别如图 6,图 7,图 8 所示。

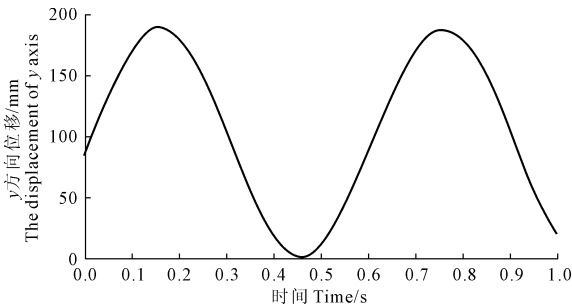


图 6 成穴器在 y 方向的位移图

Fig.6 The displacement of the hole forming device of y axis

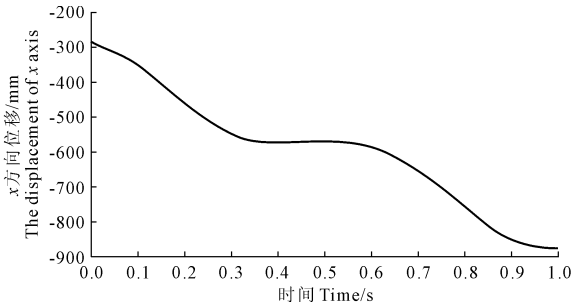


图 7 成穴器在 x 方向的位移图

Fig.7 The displacement of the hole forming device of x axis

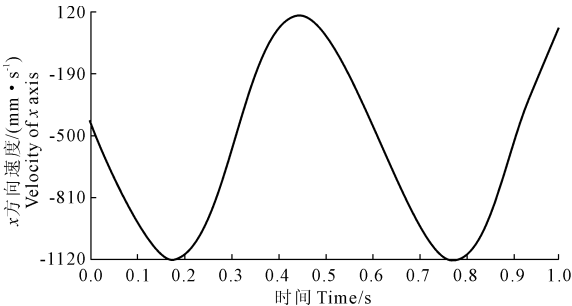


图 8 成穴器在 x 方向的瞬时速度图

Fig.8 The instantaneous velocity of the hole forming device of x axis

由图 6 可测得两次到达播深为 25 mm 的时间分别为 0.38 s 和 0.54 s。由图 7 得当时间为 0.38 s 和 0.54 s 时, x 方向的水平位移分别为 - 554 mm 和

- 548 mm,得出成穴器相对地面滑行了 6 mm;由图 8 测得 x 方向成穴器相对与机架前进方向的瞬时速度差为 $5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 。与在 Solidworks 中得到的结论相同。表明当以 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 为前进速度,曲柄 II 长度 69 mm、连杆长度 167 mm、曲柄机构转速 $100\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的工作参数组合为最佳工作参数组合。表明该参数组合下可实现“零速”直插播种,精确度高,不易撕膜、挑膜,为直插式播种机的设计提供了理论基础。

4 结 论

设计了一种新型曲柄滑块机构驱动平行四杆机构直插式播种装置,以成穴器相对于机架 x 方向的瞬时速度差 v、排种管入出土后水平位移差 s 为优化目标,在 Solidworks Motion 中进行了该直插式播种装置的结构优化仿真。得到最佳工作组合参数为:当以 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 为前进速度时,曲柄 II 长度 69 mm、连杆长度 167 mm、曲柄机构转速 $100\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的播种装置能实现“零速”直插播种。与优化前相比,余摆线不明显,水平位移量减小,不足以引起撕膜、挑膜,满足直插播种性能要求。

参 考 文 献:

[1] 赵 凡.旱地玉米全膜覆盖双垄面集雨沟播栽培技术[J].甘肃农业科技,2004,(11):22-23.

[2] 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进展[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):114-115.

[3] 胡全平,张春霞.旱(坪)地集流增墒覆盖播种法[J].山西农业,1995,(4):13.

[4] 黄高宝,方彦杰,李玲玲,等.旱地全膜双垄沟播玉米高效用水机制研究[J].干旱地区农业研究,2010,(6):116-121.

[5] 陈晓光,左春桢,高 峰.直插式播种机的研究—Ⅰ直插式成穴器[J].农业工程学报,1993,(3):66-70.

[6] 赵建托,赵武云,任颜华,等.玉米全膜覆盖双垄沟播机直插式播种装置设计与仿真[J].农业机械学报,2010,(10):40-41.

[7] 石林榕,吴建民,赵武云,等.基于离散单元法的水平圆盘式精量排种器排种仿真试验[J].农业工程学报,2014,30(8):40-48.

[8] 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.

[9] 孙 伟,吴建民,黄晓鹏,等.勺匙式玉米精量取种器的设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(10):17-21.

[10] 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,(S1):39-45.

[11] 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,(3):283-288.

[12] 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,(1):94-98.

[13] 赵武云,吴建民,王芬娥,等.旱地玉米全膜覆盖双垄沟播精密播种机:中国 200910022858.7[P].2011-07-20.

[14] 郭德卿,王卫兵,李盛林,等.免耕精量直插点播偏置滑块机构的参数优化[J].农机化研究,2015,(5):40-43.