

内置式双位投种穴播器*

刘芳¹ 杜瑞成²

(1. 菏泽学院机电工程系, 菏泽 274000; 2. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

【摘要】 设计了一种内置式双位投种穴播器,在牵引工作状态下自动滚动、实现入土成穴器入土。采用内置式双位投种方式,且上位一次变量排种器布置在轮盘的定盘中心,以减小向入土成穴器的输种距离和省略传动装置。入土成穴器采用定、动两瓣结构,非开启状态为常闭,动瓣在达到最大入土深度后按杠杆原理打开,完成下位二次投种、出土后关闭。样机试验证明,穴播器各项性能符合设计和农艺要求。

关键词: 穴播机 穴播器 内置式 双位投种 入土成穴器

中图分类号: S223.2⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)08-0035-06

Embedded Double-position Throwing Seeds Dibbler

Liu Fang¹ Du Ruicheng²

(1. Department of Electrical and Mechanical Engineering, Heze University, Heze 274000, China

2. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract

A dibbler with embedded double-position throwing seeds was presented. Variable seed-metering device on the position was layout in the center of helm-shaped wheel for shortening the distance of dropping seeds and omitting gearing device. Boring and caving device was composed with fixed part and rotatable part, always closed in the state of non-opening. Based on the lever principle, rotatable part was opened when the most depth in the soil was reached. The second lower position throwing seeds was completed, and then rotatable part was came up out of soil and closed. The experiment results showed that the proposed dibbler could meet the design and agriculture requirements.

Key words Hill-drop planter, Dibbler, Embedded, Double-position throwing seeds, Digger of boring and caving

引言

目前,精密穴播已成为机械播种的一个重要发展方向,国内外各种穴播机应运而生^[1~8],其中穴播器和排种器的发展对精密穴播技术的发展起着举足轻重的作用^[9]。舵轮式多功能种肥穴播器能较好地完成穴播施肥任务,但因穴播器是由凸轮的径向力克服弹簧和土壤的阻力来打开成穴鸭嘴,所需作用力和能耗较大、开启困难、滑移率较大、机构易自锁、凸轮易损坏;套筒内装有顶杆,种子要通过套筒和顶杆的空隙进入土壤,运动空间较小,种子易堵塞

造成空穴^[10~12]。为克服这些缺点,本文设计一种舵轮内置式双位投种穴播器,其成穴器按摆动凸轮从动件原理打开,使开启成穴器的力较小,成穴器内种子的运动空间较大。

1 内置式双位投种穴播器结构与工作原理

1.1 结构

穴播器结构示意图如图1所示,其外形似舵轮状,各入土成穴器均布于周边、似舵柄,故名舵轮式。上位变量排种器布置在舵轮中心并固定在动盘上,以减小向入土成穴器输送种子的距离,并省略排种

收稿日期: 2010-12-02 修回日期: 2011-01-16

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BD11A05-3)

作者简介: 刘芳,讲师,主要从事农业机械化工程、机械制造及其工艺自动化研究,E-mail: liufang1202@yahoo.cn

通讯作者: 杜瑞成,教授,主要从事农业机械化工程、系统工程研究,E-mail: drc@sdu.edu.cn

器传动装置。上位变量排种器上方布置种腔并固定在定盘上,动盘、定盘、入土成穴器组成整个穴播器的轮盘。导种板的作用是将排种器排出的种子导入处于关闭状态的入土成穴器下端。入土成穴器分为定瓣和动瓣,定瓣与动盘一体,动瓣用螺栓铰接在动盘上,部分嵌入定瓣,在复位弹簧作用下扣紧形成密闭的投种腔,投种腔中空,没有内置零件,种子运动空间大,可以顺利通过种腔排入土壤^[13]。在定盘上装有挡块,用于挡开动瓣、保持开度,以排出种子、防止夹土,挡块用螺栓固定在定盘上。与种腔相连的输种管,其下端设计有漏种口,可以在播种完成后打开此口,将种腔内多余的种子漏出。

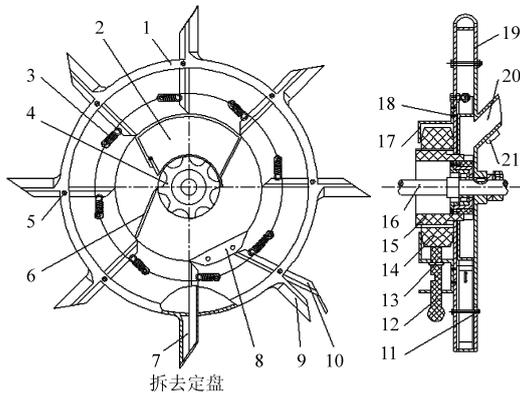


图1 穴播器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of structure for dibbler

1. 动盘 2. 种腔 3. 复位弹簧 4. 上位变量排种器 5. 螺栓
6. 导种板 7. 入土成穴器 8. 挡块 9. 定瓣 10. 动瓣 11. 螺母
12. 定位手柄 13. 圆柱销 14. 调节螺母 15. 螺旋调节器
16. 轮轴 17. 定位板 18. 螺钉 19. 定盘 20. 输种管 21. 漏种口

1.2 工作原理

机组工作时,种箱中的种子经输种管落入到种腔。机组前进时,在拖拉机牵引力和土壤对插入土壤内的入土成穴器的反作用力作用下,形成牵引力矩,使安装在机架上的舵轮式杠杆开启内投种穴播器的动盘作滚动运动;固定在其上的可调式窝眼排种器随之转动,将种子成穴排出;种子经导种板落入闭合的入土成穴器下端,完成上位排种器排种。由于在转动过程中,每个窝眼只对准一个成穴器,因此成穴器内的种子数为一个窝眼排出的种子数,也就是说,播种精度取决于上位变量排种器精度。

随机组前进,入土成穴器在重力作用下逐个插入土壤,当一个入土成穴器达到入土最深位置后(与地面垂直),入土成穴器动瓣的顶部与挡块接触,在挡块作用下绕螺栓轴转动,入土成穴器开始沿挡块升程打开并迅速增大开度到预定的最大值。当入土成穴器开度大于种子长度时,已位于其底部的种子便落入土壤,在重力作用下投入在土壤中。为

使入土成穴器不夹土,当其开度达到最大时入土成穴器动瓣的顶端沿挡块的保持段运动,保持入土成穴器的最大开度直到完全出土,然后沿挡块的回程运动,在复位弹簧作用力下关闭。入土成穴器出土时,部分土壤回落,将种子埋入土壤,完成一穴播种。各入土成穴器依次完成上述动作,实现一行连续穴播。

2 上位排种系统

传统穴播机中穴播器和排种器通常分开安装,中间通过链轮传动,机构较复杂^[14]。本设计把窝眼排种器和穴播器作成一体,排种器的上位一次排种过程由外排种变为内排种,与入土成穴器的下位二次排种合为一体,都在穴播器内部完成,省去了部分零部件和中间传动装置,简化了机构,降低了成本。

上位排种系统的核心部件——上位变量排种器置于轮盘中央,固定在动盘上,在其上方构造一个空间作为种腔。动盘滚动时,排种器随之绕轮轴同步转动,省略了传动机构,缩短了投种距离,排出的种子在盘内经导种板下落到入土成穴器内,比在轮盘上方设置上位排种器输种距离大为减小。这种内置布置形式,要求动盘与定盘的内部间距和轮盘直径要满足排种器和种腔的空间要求,而排种器和种腔的大小则取决于种子的大小。

2.1 螺旋调节机构

上位变量排种器的排种量由螺旋调节机构调节,螺旋调节机构主要由两块定位板、调节螺母、螺旋调节器、销子、定位手柄等部件组成(图1)。螺旋调节器后部固接螺纹轴,调节螺母与螺纹轴螺纹连接,压紧在动盘外端面上,定位板的下端抵住调节螺母使其无径向运动。机组工作时,定位手柄用销子销住并压紧调节螺母使其无转动,保持工作过程排种量不变;需要调节排种量时,撤掉销子,提起定位手柄并将其卡住,转动调节螺母,螺旋调节器随之径向移动使排种量可在一定范围内调节。本设计可调节最大长度为25 mm。

2.2 排种器外径

轮轴紧固在机架上,排种器固定在轮盘中心,所以排种器外径为

$$r_c = \frac{\phi_z}{2} + L_p + h_w \quad (1)$$

式中 ϕ_z ——内孔直径,mm

L_p ——窝眼最底部到轴承孔之间的距离,一般取2~3 mm

h_w ——窝眼深度,一般取略大于种子的宽度,mm

本设计取 $r_c = 42$ mm。

2.3 种腔结构与外径

种腔靠动盘一面封闭,靠定盘一面开口,固定安装在定盘上形成相对封闭的种腔。种腔要能存放一定量的种子,以保证上位变量排种器充种,种腔对应的定盘上有落种口,则种腔外径 $R_N = r_c + H_z$, H_z 为种腔最外边缘到排种器最外边缘的高度 (mm),此高度要大于定盘上与输种管连接的输种口的长度。本设计取 $R_N = 100$ mm。

2.4 导种板

导种板受力较小,用薄铁板制作,其顶端与种刷之间相距约一个排种窝眼的空间,与上位变量排种器外边缘之间的间隙取 $1 \sim 2$ mm,其长度在与动瓣顶端不干涉的情况下取最大值。安装时,当上位变量排种器排出的种子开始沿导种板下落时,导种板底端刚转过对应的入土成穴器顶端。

导种板倾角要求能在最短的时间内将种子导入对应的入土成穴器,以免种子分散造成空穴。设导种板与竖直方向夹角为 θ ,长度为 s ,穴播器转过一个入土成穴器时间为 T_1 ,种子在导种板上的运动时间为 t_1 ,加速度为 a ,与导种板的动摩擦因数为 f ,入土成穴器的个数为 z ,轮盘角速度为 ω ,则有 $T_1 = 2\pi/(z\omega)$, $a = g(\cos\theta - f\sin\theta)$,若加速度 a 小于零,种子在导种板上作减速运动,用时会较长,所以只考虑加速度 a 大于零的情况,即 $\theta < \arctan(1/f)$,由运动学公式得 $t_1 = \frac{\sqrt{v_s^2 + 2as} - v_s}{a}$,其中 $v_s = r_c\omega\cos\theta$ 为种子沿导种板方向的初速度。为使种子顺利落入相应的入土成穴器,应有 $t_1 \leq T_1$,即 $\frac{\sqrt{v_s^2 + 2as} - v_s}{a} \leq \frac{2\pi}{z\omega}$,根据设计位置有 $s = \sqrt{R_N^2 - r_c^2 \cos^2\theta} - r_c \sin\theta$ 。代入已知数据计算, θ 最佳范围为 $15^\circ \sim 35^\circ$,本设计取 $\theta = 20^\circ$ 。

2.5 轮轴

轮轴直径 d 取决于作业速度、穴播器所受牵引力等^[15]。根据经验,作业速度取 $1.5 \sim 2.5$ km/h,牵引力 $F_L \approx 30$ N,则 $d \geq C \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$ (mm),其中 $P = vF_L/3600$ (W),为轴所传递的总功率; C 为与材料有关的系数; n 为轮盘转速 (r/min)。考虑到主轴与定盘采用键连接,会有键槽存在,故需将估算直径加大 $3\% \sim 5\%$,经计算,取轮轴直径 $d = 25$ mm。

3 下位排种系统

3.1 入土成穴系统

3.1.1 轮盘

轮盘半径 R 由种腔外径 R_N 、穴距 L 、播深 h_1 、入

土成穴器个数 z 等综合确定^[16]。设入土成穴器在轮盘外的高度为 h_0 ,实际滚动半径为 R_s , h_0 由作物播深 h_1 决定,并且 $h_0 \geq h_1$,通常取 $h_0 = h_1 + 20$,则入土成穴器个数为

$$z = \frac{2\pi R_s}{L} = \frac{2\pi R + \pi(h_1 + 40)}{L} \quad (2)$$

$$R = \frac{zL}{2\pi} - \frac{h_1 + 40}{2} \quad (3)$$

由式(3)初步选定 R (根据经验 R 一般取 $150 \sim 300$ mm),代入式(2)计算 z , z 确定后,再用式(3)确定 R 。

轮盘的厚度 B 与种子颗粒大小有关,种子颗粒大,入土成穴器内径就大,轮盘就厚,则轮盘厚度为

$$B = B_1 + B_2 + d_1 + \lambda \quad (4)$$

式中 B_1 ——动盘端面厚度,mm

B_2 ——定盘端盖厚度,mm

d_1 ——定瓣内腔直径,mm

λ ——入土成穴器与定盘端盖安装间隙,mm

经分析,轮盘各参数取值为: $R = 200$ mm, $z = 8$, $B = 32$ mm, $d_1 = 26$ mm, $B_1 = B_2 = 3$ mm。

3.1.2 挡块结构及偏角

按成穴开启要求,挡块设计为升程、保持、回程3段结构形式。安装时要保证入土成穴器入土最深时开始打开。设 α_1 、 α_2 、 α_3 分别为挡块升角、保持角、降角, R_1 为入土成穴器尖端到穴播器中心的距离,为保证种子播深 h_1 ,挡块升角应为 $\alpha_1 = \arccos \frac{R + h_1}{R_1}$ 。为使挡块易于加工、成穴器关闭时振荡小,取 $\alpha_1 = \alpha_3$,且 α_1 越小,成穴器打开越快,实现播深越准确。为保证成穴器打开时不堵土,关闭时不夹土,应使其入土最深时开始打开,出土后再开始关闭,因此挡块保持角应为

$$\alpha_2 \geq \arccos \frac{R}{R_1} - \arccos \frac{R + h_1}{R_1} \quad (5)$$

对实际参数进行计算,取 $\alpha_1 = \alpha_3 = 15^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$,凸轮基圆半径 $r_0 = 140$ mm。

入土成穴器关闭时理论上其开度为零,考虑到安装误差,设其关闭时角度为 ϕ_1 ,开启到最大时角度为 ϕ_2 。当入土成穴器开度达到最大时必须使种子顺利排出,即最大开度要大于种子长度 d_z ,所以应满足关系式 $2d_0 \sin \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \geq d_z$,即 $\phi_2 \geq \phi_1 + 2\arcsin \frac{d_z}{2d_0}$, d_0 为入土成穴器长度 (mm)。为使种子有足够的空间排出,入土成穴器开口尺寸应满足 $(1.2 \sim 1.5)d_z$,取 $\phi_1 = 0$,则应有

$$2\arcsin \frac{1.2d_z}{d_0} \leq \phi_2 \leq 2\arcsin \frac{1.5d_z}{d_0} \quad (6)$$

3.1.3 动瓣和定瓣

定瓣与动盘一体,其内径 d_1 取决于种子大小,一般取 $d_1 \geq \frac{4d_z}{3}$,本设计取 $d_1 = 26 \text{ mm}$,定瓣外径 $d_w = B$,动瓣外径 d'_w 与定瓣内径 d_1 有一定装配间隙,取 $d'_w = 24_{-0.5}^{0.2} \text{ mm}$,动瓣内径 $d_2 = d_1 - 2\Delta'_r - \lambda_3$,式中 Δ'_r 为动瓣壁厚, λ_3 为动、定瓣之间安装间隙,动瓣高度为 $H = h_0 + h'_0 = h_0 + R - R_N$,式中 h'_0 为动瓣在轮盘内的高度。经分析 $d_1 = 26 \text{ mm}$, $H = 130 \text{ mm}$,入土成穴器倾角 β 一般取 $30^\circ \sim 40^\circ$ 为宜,本设计取 $\beta = 35^\circ$ 。

3.2 下位成穴器参数运动方程

以轮轴中心为原点,机组前进方向为 x 轴,竖直向上为 y 轴建立坐标系,如图2所示。设定瓣上任一点 $A(x_A, y_A)$ 到轮盘中心的距离为 $r_A = \sqrt{x_A^2 + y_A^2}$,由于定瓣与动盘一体,则定瓣上任一点的参数运动方程为

$$\begin{cases} x = R_s\theta - r_A \sin\theta = R_s \int_0^t \omega(t) dt - r_A \sin\left(\int_0^t \omega(t) dt\right) \\ y = R + h_0 - r_A \cos\theta = R + h_0 - r_A \cos\left(\int_0^t \omega(t) dt\right) \end{cases} \quad (7)$$

式中 t ——穴播器运动时间, s

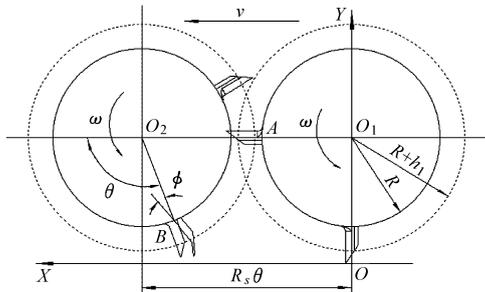


图2 成穴器运动分析图

Fig. 2 Movement analysis of caving device

动瓣入土成穴时随轮盘一起转动的同时以螺栓轴为转轴转动打开,设定瓣上任意一点 $B(x_B, y_B)$ 到轮盘中心的距离为 $r_B = \sqrt{x_B^2 + y_B^2}$,则动瓣上螺柱转轴以下任意一点的参数运动方程为

$$\begin{cases} x = R_s\theta - r_B \sin\theta - d_b \sin(\theta + \phi) + d_b \sin\theta \\ y = R + h_0 - r_B \cos\theta - d_b \cos\theta + d_b \cos(\theta + \phi) \end{cases} \quad (8)$$

当入土成穴器处于关闭状态即 $\phi = 0$ 时,动瓣与定瓣的参数运动方程在形式上相同。式中 ϕ 为入土成穴器的开启角度, d_b 为 $B(x_B, y_B)$ 到螺柱转轴的距离。动、定瓣在滑移率分别为 $\delta = 0\%$ 和 $\delta = 10\%$ 时的轨迹如图3所示。动、定瓣轨迹线在土壤

线以下围成的空间即为成穴器所成穴孔的形状。

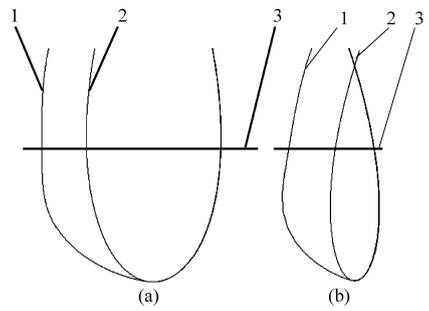


图3 穴孔形状拟合线

Fig. 3 Fitting line of caving hole form

(a) $\delta = 0\%$ (b) $\delta = 10\%$

1. 动瓣尖点轨迹 2. 定瓣尖点轨迹 3. 土壤分界

3.3 下位成穴器顺利投种条件分析

设种子离开导种板到达入土成穴器下端的实际运动时间为 t_2 ,如图4所示。入土成穴器由 N 点运动到 J 点即从种子离开导种板运动到开度最大时的极限运动时间为 $T_2 = (\theta_1 - \gamma_1 + \alpha_1)/\omega$,式中 γ_1 为种子离开导种板时与相应入土成穴器之间的夹角, θ_1 为种子与竖直方向的夹角。 γ_1 的极限值为 $2\pi/z$,

所以 $T_2 = \frac{\theta_1 - \frac{2\pi}{z} + \alpha_1}{\omega}$,下位成穴器顺利投种的条件为

$$t_2 \leq \frac{\theta_1 - \frac{2\pi}{z} + \alpha_1}{\omega} \quad (9)$$

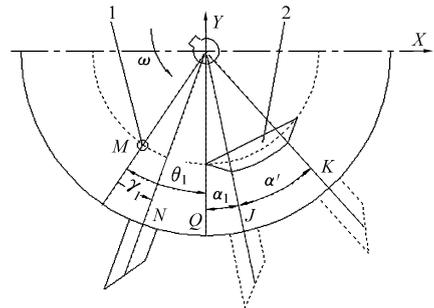


图4 投种条件分析

Fig. 4 Condition analysis of throwing seeds

1. 种子 2. 挡块

由式(9)可知,其他参数不变时, θ_1 越大,种子越易落入土壤;穴播器角速度 ω 越大,种子越不易落入土壤,当 ω 大于一定值时种子还可能溅出。由图4可知,穴播器由 N 点到转出土壤表面的极限时

间为 $T_3 = \frac{\theta_1 - \frac{2\pi}{z} + \alpha_1 + \alpha'}{\omega}$,其中 $\alpha' = \arccos \frac{R}{R_1} - \arccos \frac{R + h_1}{R_1}$ 为入土成穴器由 J 点到转出土壤时转

过的角度。若 $t_1 + t_2 \geq \frac{\theta_1 - \frac{2\pi}{z} + \alpha_1 + \alpha'}{\omega}$,即若

$$\omega \geq \frac{\theta_1 - \frac{2\pi}{z} + \alpha_1 + \alpha'}{t_1 + t_2} \quad (10)$$

则在入土成穴器出土以后种子溅落在土壤表面,造成空穴,不能完成穴播。

3.4 投种距离比较

穴播器采用上位排种装置内置,上下双位排种在穴播器内部紧密衔接,简化了外槽轮、链传动、输种管等组成的较长距离输种装置,缩短了输种距离,提高了投种的准确性。与传统排种方式的投种机构和投种距离比较如图 5 所示。

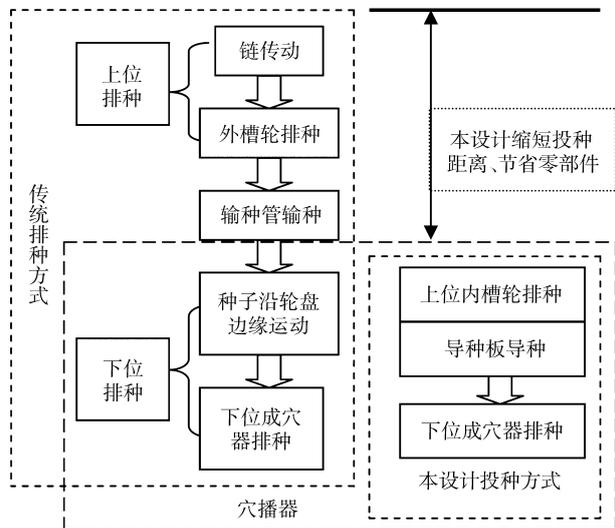


图 5 投种距离比较

Fig. 5 Comparison among distances of throwing seeds

4 穴播性能试验与结果分析

4.1 试验目的及安排

内置式双位投种穴播器可实现玉米、大豆、花生等大粒作物的穴播,属于一种半精量穴播机械。为检验内置式双位投种穴播器的穴播性能,制作了内置式双位投种穴播器的试验样机,并在多行覆膜联合作业机组上进行了试验,以测试穴播器的播深、穴距、穴孔大小、穴粒均匀性、空穴率等指标。在成穴器倾角 β 一定的情况下,分析影响这些指标的主要因素:滑移率 δ 、穴播机前进速度 v 、入土成穴器入土深度 h 等。本试验选用优质玉米种子为试验用种,其农艺要求为:穴粒数 (2 ± 1) 粒,穴粒数合格率在 90% 以上,播种深度 45 ~ 65 mm,行距 520 mm,穴距 20 ~ 30 mm。

试验以 8.82 kW 拖拉机为动力,试验地点为山东理工大学农机实验室土槽,试验时土槽内的土壤条件为:土壤平整,略微压实;含水率为 15.5% ~ 18.5%。

4.2 三行覆膜穴播机

穴播、覆膜、覆土等联合作业能力是考察一种穴

播器作业性能的重要指标^[17]。为验证内置式双位内投种穴播器的穴播、覆膜等综合作业能力,设计了以 8.82 kW 拖拉机为动力的三行覆膜穴播机。整机由牵引装置、仿形整平机构、覆膜机构、穴播装置、覆土机构、机架组成,如图 6 所示。

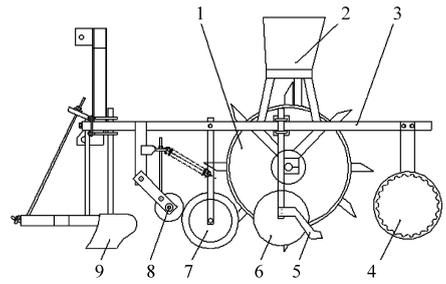


图 6 三行覆膜穴播机结构简图

Fig. 6 Experiment scheme of hill-drop performance

- 1. 穴播器 2. 种箱 3. 机架 4. 覆土滚筒总成 5. 覆土铲
- 6. 驱动地轮 7. 压膜轮 8. 地膜轴 9. 整平器总成

4.3 试验结果分析

根据玉米种子对播深的农艺要求,在三行覆膜穴播机上调节地轮高度使试验时入土成穴器的入土深度为 65、60、55、50 mm 进行试验。前进速度控制在 $v = 1.0 \text{ m/s}$,前进速度对播深的影响不大,因为播深主要是受土壤表面松软度和成穴器入土深度的影响。每次试验选择 20 个穴孔测量其长度,并测量计算穴播器的滑移率;穴孔的形状是在入土成穴器成穴运动后测量穴孔的最大长度得到的,以增加穴孔测量的精确性和穴孔连续性。测量结果如表 1 所示。

表 1 穴孔长度测量值

Tab. 1 Measurement value of hole length mm

入土成穴器 入土深度 h/mm	滑移率 $\delta/\%$			
	0	5	10	15
65	82.6	70.9	65.4	71.2
60	79.5	65.7	56.6	66.1
55	70.8	60.6	52.6	59.7
50	66.2	54.9	47.9	55.2

由表 1 可知,入土深度与滑移率对穴孔大小均有显著影响,当穴播器滑移率一定的情况下,穴孔的大小随入土深度的增大而增大,且滑移率越小入土深度的变化对穴孔大小的影响越大;入土深度一定的情况下,穴孔的大小随滑移率的增加先减小再增大。其原因是由于动瓣出土时的运动轨迹随滑移率的增加逐渐包络在成穴器入土时的轨迹内而造成的。所以应在满足播深的条件下选择相对较小的成穴器入土深度,并尽量调整以减小滑移率。

在试验中,随机记录了 100 穴玉米种子穴粒数

试验数据,试验结果与农艺要求对比^[18]如表2所示。

表2 三行覆膜穴播机试验结果分析

Tab.2 Results analysis on three lines covering membrane bunch planting machine

试验指标	农艺要求	试验结果
播种深度/mm	40~65	52.5
穴距合格率/%	≥90	95.4
穴粒数合格率/%	≥85	94.6
重播率/%	≤2	0.5
空穴率/%	≤2	1.1
飘子率/%	≤2	0.5
穴孔长度平均值/mm	18~35	64.1
穴播滑移率/%	≤10	5.7
种子机械破损率/%	≤0.5	0.2
覆土厚度合格率/%	≥90	96.5
膜孔全覆土率/%	≥95	96.7

其中只有一穴空穴,空穴率极低;有95穴的穴粒数在 2 ± 1 范围内(其中1粒17穴,2粒57穴,3粒20穴,4粒5穴),穴粒数合格率95%。

5 结论

(1) 两次投种合为一体,均在穴播器内部完成,由螺旋调节装置调节排种量,无需传动装置,投种距离缩短,投种更加准确。

(2) 挡块三段结构按杠杆原理强制打开入土成穴器,入土成穴器采用定、动两瓣结构,定瓣与动盘成一体,开启力较小,机构不自锁,整体结构类似摆动凸轮机构。

(3) 样机试验表明穴播器穴播性能良好,穴粒数合格率、穴距、穴孔长度、种子破损率、穴播滑移率等指标均能满足农艺要求。

参 考 文 献

- Carry J W. Punch planting to establish lettuce and carrots under adverse conditions[J]. Agronomy Journal, 1967, 59(5): 406~408.
- Wilkins D E, Adrian P A, Conley W S. Punch planting of vegetable seeds[J]. Transactions of the ASAE, 1979, 22(4): 746~749.
- Wijewardene E. Systems and energy in tropical farming[C]. ASAE Paper No. 78-99, 1978.
- 杜瑞成, 杨自栋, 张俊亮, 等. 射水成穴播种试验装置的设计及试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(7): 52~55.
Du Ruicheng, Yang Zidong, Zhang Junliang, et al. Design of the punch planting with water jet equipment and its experimental research [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(7): 52~55. (in Chinese)
- 刘军干, 王天辰, 阎发旭, 等. 直插式覆膜小麦穴播机的设计[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 55~58.
Liu Jungan, Wang Tianchen, Yan Faxu, et al. Design of film-mulching wheat hill seeder with vertical dropping mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(5): 55~58. (in Chinese)
- 王吉奎, 坎杂, 吴杰, 等. 夹持自锁式棉花精量穴播器的设计与试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 54~56.
Wang Jikui, Kan Za, Wu Jie, et al. Design and experiment on clamping and self-locking cotton precision dibbler [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 54~56. (in Chinese)
- 王吉奎, 郭康权, 吐鲁红, 等. 夹持自锁式棉花精量穴播轮的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 125~128.
Wang Jikui, Guo Kangquan, Tu Luhong, et al. Improved design of the clamping and self-locking cottonseed precision dibbler [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(6): 125~128. (in Chinese)
- 赵立新, 郑立允, 王玉果, 等. 振动气吸式穴盘播种机的吸种性能研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 122~125.
Zhao Lixin, Zheng Liyun, Wang Yuguo, et al. Seed suction performance of vibrational air-suction tray seeder [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(4): 122~125. (in Chinese)
- 马成林, 李成华, 于海业. 打穴播种机研究的发展与现状[J]. 农业机械学报, 1999, 30(1): 101~105.
Ma Chenglin, Li Chenghua, Yu Haiye. Development and status of research on punch planter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1999, 30(1): 101~105. (in Chinese)
- 杜瑞成, 郭志东, 蔡善儒, 等. 舵轮式成穴播种器: 中国, 02135209.7 [P]. 2003-12-31.
- 王凤芹, 杜瑞成. 舵轮式双环带分区分种(肥)多功能穴播器研究[J]. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2005, 19(1): 27~30.
Wang Fengqin, Du Ruicheng. Study on helm-shaped multifunctional hill-drop planter with double zoning girdles to distribute seeds and fertilizer [J]. Journal of Shandong University of Technology: Science and Technology, 2005, 19(1): 27~30. (in Chinese)

刚度;在70%的颗粒填充率下,颗粒阻尼器的减振效果最好,这与试验结果有很好的 consistency,进一步说明仿真算法是可行的。

7 结束语

提出了一种能够对颗粒阻尼器减振性能进行快

速预测的仿真算法——离散元-有限元耦合算法,并进行了试验验证。结果表明:提出的耦合算法是有效的;影响颗粒阻尼器减振性能的主要参数是填充率和颗粒密度。颗粒密度越大,颗粒阻尼器的减振效果越好。

参 考 文 献

- 1 Panossian H V. An overview of NOPD: passive damping technique[J]. Shock Vibration, 1991,1(6):4~10.
- 2 Papalou A, Masri S F. An experimental investigation of particle damper under harmonic excitation[J]. Journal of Vibration and Control, 1998,4(4):361~379.
- 3 Panossian H V. Structural damping enhancement via non-obstructive particle damping technique[J]. ASME Journal of Vibration and Acoustics, 1992,114(1):101~105.
- 4 Simonian S S. Particle beam damper[C]//Proceedings of SPIE Conference on Passive Damping, SPIE, 1995:149~160.
- 5 Ramachandran S, Lesieutre G. Dynamics and performance of a harmonically excited vertical impact damper[J]. ASME Journal of Vibration and Acoustics, 2008,130(2):1002~1008.
- 6 Wu C J, Liao W H, Wang M Y. Modeling of granular particle damping using multiphase flow theory of gas-particle[J]. ASME Journal of Vibration and Acoustics, 2004,126(2):196~201.
- 7 Ashley S. A new racket shakes up tennis[J]. Mechanical Engineering, 1995,117(8):80~81.
- 8 Mishra B K. A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method; part I—contact mechanics[J]. International Journal of Mineral Processing, 2003,71(1~4):73~93.
- 9 Rayleigh. On waves propagated along the plane surface of an elastic solid [C]. Proceedings of the London Mathematic Socieity, 1887,17:4~11.

(上接第40页)

- 12 杜瑞成,杨善东,郭志东. 三种覆膜穴播成穴器方案设计与理论研究[J]. 山东理工大学学报:科技版,2003,17(2):15~18.
Du Ruicheng, Yang Shandong, Guo Zhidong. Design and theoretical analysis of three kinds of punch planting indenting tools[J]. Journal of Shandong University of Technology: Science and Technology, 2003,17(2):15~18. (in Chinese)
- 13 杜瑞成,郭志东. 舵轮式动定瓣成穴播种器:中国,200910015503.5[P]. 2009-10-07.
- 14 张泽平,马成林,左春桢. 精播排种器及排种理论研究进展[J]. 吉林工业大学学报,1995,25(4):112~117.
Zhang Zeping, Ma Chenglin, Zuo Chuncheng. The development of the seed-metering device for precision planter and its theoretical study[J]. Journal Jilin University of Technology, 1995,25(4):112~117. (in Chinese)
- 15 夏俊芳,许绮川,吴一鸣,等. 旱作多功能精密穴播轮成穴机理的研究[J]. 农业工程学报,2001,17(5):11~14.
Xia Junfang, Xu Qichuan, Wu Yiming, et al. Mechanism study of forming sinus and casting seed for multi-functional precision hill-drop sowing wheel for dry land crop[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001,17(5):11~14. (in Chinese)
- 16 张学军,杨莹,周岭. 滚筒式穴播器的重要参数选择与确定[J]. 农业机械学报,1998,29(增刊):63~65.
Zhang Xuejun, Yang Ying, Zhou Ling. Selection and definitiveness on main pain parameters of bunch planting cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1998,29(Supp.):63~65. (in Chinese)
- 17 聂潮海,付汝杰,王维祥. ZBMG型滚筒式穴播机设计原理 [C]//中国农业机械学会种植机械专业组,精密播种技术论文集,1983.
- 18 JB/T 7732.1—2006 铺膜播种机[S].
- 19 陈学庚,卢勇涛. 气吸滚筒式棉花精量穴播器排种性能试验[J]. 农业机械学报,2010,41(8):35~38.
Chen Xuegeng, Lu Yongtao. Sowing-performance of air-suction cylindrical cotton precision dibbler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(8):35~38. (in Chinese)