

# 倾斜圆盘式谷子精少量排种器的设计与试验

崔清亮, 侯华铭, 郑德聪, 武志明

(山西农业大学工学院, 太谷 030801)

**摘要:** 为解决谷子等小籽粒种子播种难的问题, 根据谷子免间苗精少量播种的农艺要求, 设计了一种倾斜圆盘式谷子精少量排种器, 阐述了排种器的工作原理和谷粒的运动过程, 计算确定了主要的结构参数。以种子破损率、总排量稳定性变异系数、穴距合格指数、重播指数、漏播指数、合格穴距变异系数为指标, 对其进行了排量稳定性和均匀性试验。结果表明, 该排种器的排量稳定性变异系数小于 0.7%, 穴距合格指数大于 86%, 重播指数小于 12%, 漏播指数小于 7%, 合格穴距变异系数小于 5%, 谷子破损率小于 0.05%, 满足行业标准要求。该研究可为小籽粒精少量排种器的设计分析提供了参考。

**关键词:** 机械化; 设计; 农作物; 排种器; 谷子; 倾斜圆盘; 性能试验

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.12.003

中图分类号: S223.2<sup>+</sup>3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-12-0017-07

崔清亮, 侯华铭, 郑德聪, 武志明. 倾斜圆盘式谷子精少量排种器的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 17-23. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.12.003 http://www.tcsae.org

Cui Qingliang, Hou Huaming, Zheng Decong, Wu Zhiming. Design and test of tilt disc-type fine and small-amount seed metering device for foxtail millet[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(12): 17-23. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.12.003 http://www.tcsae.org

## 0 引言

谷子是中国特有的农作物, 在中国分布极其广泛, 几乎全国都有种植。近年来, 谷子生产面积不断扩大, 谷子产业发展势头良好<sup>[1]</sup>。谷子籽粒和千粒质量小, 播种多采用传统人畜力耩播, 播种量大, 播种均匀性差, 后续间苗、定苗工作量大, 且易出现“苗弱、苗荒”的现象。国内学者寻求农机与农艺相结合的方法, 设计精少量播种装备以解决上述问题<sup>[2]</sup>。

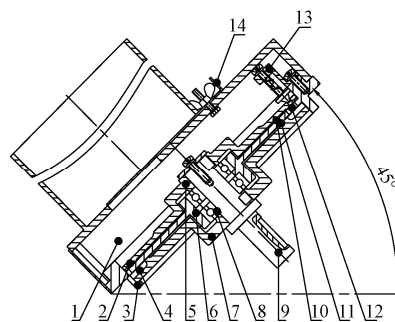
排种器是播种装备的核心部件, 国内学者对谷子精少量排种器做了一定的研究, 按其工作原理可分为机械式、气力式及各类排种器。机械式排种器着重于结构创新, 利用其特定的结构, 满足谷子精少量播种要求, 包括环槽振动式、中心传动强推式<sup>[3-5]</sup>、带清种槽的窝眼式、多头螺旋网络孔式、推种齿强推式、锥盘式、往复式等, 但其也存在卡种、伤种、不成穴, 结构复杂, 加工精度要求高的问题<sup>[6-11]</sup>; 气力式排种器对气密性要求高, 结构复杂, 能耗大<sup>[12]</sup>; 新型排种器包括利用微机控制的排种器、液体排种器等, 微机控制的排种器需建立复杂的闭环控制系统, 系统设计要求高, 成本高; 液体排种器对悬浊液的配制要求高, 实现均匀排种难度大<sup>[13-14]</sup>。

国内学者将倾斜圆盘式排种器用于大籽粒种子的精密播种, 该类排种器利用重力柔性清种, 不伤种; 结构简单, 有碟式、勺式、铲式、圆台式结构; 原理可靠,

可满足花生、大蒜、棉花、玉米的精密播种要求<sup>[15-20]</sup>。本文基于倾斜圆盘式排种器的工作原理, 根据谷子的排种特性和播种农艺要求, 设计了一种倾斜圆盘式谷子精少量排种器, 并对其进行了排量稳定性和均匀性试验。

## 1 排种器基本结构及其工作原理

倾斜圆盘式谷子精少量排种器主要由充种盘、排种器壳体、排种盘、弹性推种器、排种器轴等零部件组成, 如图 1 所示。排种器的工作分为充种、清种、落种、护种、排种 5 个过程。



1.充种室 2.充种孔 3.排种孔 4.排种槽 5.充种盘 6.排种器壳体 7.排种盘 8.滚动轴承 9.排种器轴 10.壳体上表面 11.壳体下表面 12.落种孔 13.弹性推种器 14.插板  
1.Filling room of seed 2.Filling hole 3.Dropping hole 4.Seed groove 5.Seed filling disc 6.Seed-metering device shell 7.Discharging disc 8.Rolling bearing 9.Drill shaft 10.Upper surface of shell 11.Lower surface of shell 12.Passing hole 13.Elastic flipping device 14.Spindle

图 1 排种器结构示意图

Fig.1 Structure diagram of seed-metering device

该排种器的充种盘与壳体上表面相配合, 排种盘与壳体下表面相配合, 充种盘的充种孔与排种盘的排种槽

收稿日期: 2015-10-23 修订日期: 2016-04-10

基金项目: 山西省科技攻关项目 (20120311035)

作者简介: 崔清亮, 男, 山西繁峙人, 博士, 研究方向为旱作农业机械化关键技术及装备。太谷 山西农业大学工学院, 030801。Email: qlcui@126.com

一一对应, 同步转动; 使用两个滚动轴承定位, 轴承装在壳体的上、下轴承孔内, 充、排种盘分别压在两个轴承的内圈上, 依靠充、排种盘自身的结构, 形成与壳体上、下表面的配合间隙。

工作时, 充种室内的谷粒靠重力充入充种孔内, 随充种盘转动至壳体的落种孔处; 充种孔周围多余的谷粒在重力作用下自动滚落, 实现柔性清种, 弹性推种器将少数卡在充种孔内的谷粒推下; 谷粒穿过落种孔, 落入排种盘的排种槽内; 排种槽为斜槽, 谷粒在重力和摩擦力的共同作用下停留在槽的根部, 随盘继续转动; 当槽转动至与水平方向夹角大于谷子的摩擦角时, 谷粒在槽内开始运动, 运动到槽的末端后被壳体挡住, 随盘继续转动, 转至排种孔处时, 穿过排种孔, 进入输种管。

## 2 排种器关键零部件设计

### 2.1 总体设计

由充种盘、排种盘和排种器壳体的结构设计和选材需要, 测量了谷子与不同材料的摩擦系数。根据 GB 10006-1988《塑料薄膜和薄片摩擦系数测定方法》的要求, 使用 MXD-01 摩擦系数仪, 济南兰光机电技术有限公司生产, 精度为 1 级, 测量了黄金吨谷、晋谷 21 号和沁州黄谷子在铁板、钢板、铝板、木板、塑料板、橡胶板六种介质上的动摩擦系数和静摩擦系数<sup>[21]</sup>。综合考虑材料的质量、耐磨性、刚度、强度、防锈等因素后, 选定 7075 铝合金作为零件材料。

### 2.2 充种盘的设计

#### 2.2.1 充种孔孔数的设计

为确定充种孔孔数  $N_h$ , 需确定播种穴距  $D_h$ , 播种机作业速度  $V$ , 地轮直径  $D_w$ , 链传动比  $i_1$ , 锥齿轮传动比  $i_2$  5 项参数, 由上述参数可确定排种器角速度  $\omega_d$ 、转速  $n_d$ , 则充种盘上充种孔间隔角度  $\alpha_r$  可由式 (1)、式 (2) 求得

$$\frac{\omega_d}{\alpha_r} = \frac{V}{D_h} \quad (1)$$

即

$$\alpha_r = \frac{\omega_d \cdot D_h}{V} \quad (2)$$

式中  $\alpha_r$  为充种孔间隔角, rad;  $\omega_d$  为排种器角速度, rad/s;  $D_h$  为播种穴距, m;  $V$  为播种机作业速度, m/s。将弧度  $\alpha_r$  换算为角度  $\alpha$ , 则孔数  $N_h = 360^\circ / \alpha$ 。

谷子穴距一般为 6~10 cm<sup>[22]</sup>, 一般取地轮直径为 40 cm<sup>[4]</sup>, 为使结构紧凑, 采用链传动和锥齿轮传动, 从链传动优先传动比中选取传动比  $i_1=2:1$ ; 选用 45° 直齿锥齿轮, 选取传动比  $i_2=1:1$ 。初步设定播种机作业速度  $V=1$  m/s。地轮将动力通过链传动、锥齿轮传动传递给排种器, 由作业速度、地轮直径和传动关系可得排种器角速度  $\omega_d=2.5$  rad/s, 由式 (1) 可得:  $V$  与  $\omega_d$  不变时,  $\alpha$  与  $D_h$  成正比。取  $D_h=6\sim10$  cm 时,  $\alpha=8.59^\circ\sim14.32^\circ$ 。

随着播种机作业速度的增快, 排种器转速也随之增快, 转速过快会出现小籽粒种子卡住、磨损、被剪断的情况, 作业速度、穴距一定时, 减小充种孔间隔  $\alpha$ , 可降

低转速;  $\alpha$  不能过小, 否则会使孔数过多, 也会出现卡种、剪种的情况。取  $\alpha=10^\circ$ , 则孔数  $N_h=36$ 。

#### 2.2.2 充种型孔的设计

为设计型孔, 需先测定谷粒形状尺寸。测量小籽粒种子外形尺寸的方法主要有: 游标卡尺测量法、数字摄影测量法和投影法。卡尺测量法为接触式测量法, 损伤种子, 对种子轴向定位不准确, 测量效率低。数字摄影测量法对设备及摄影技术要求高, 后期图像处理工作量大。投影法为非接触测量法, 使用显微镜测量, 精度高, 操作简便, 测量效率高。

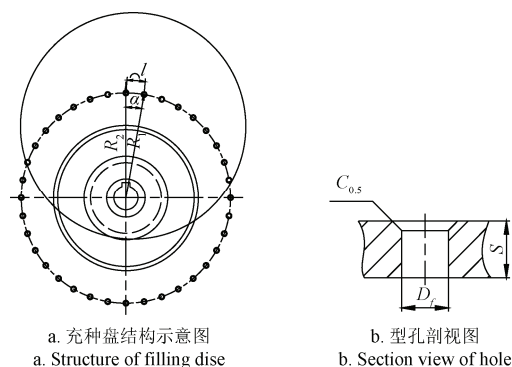
本文采用投影法测量了山西具有代表性的谷子品种沁州黄、晋谷 21 号和黄金吨谷谷子的尺寸, 从每种谷子中随机抽取 50 粒进行测量, 分析数据可得谷粒呈扁长型, 以  $a$ 、 $b$ 、 $c$  分别代表谷粒的长、宽、高, 则测量数据如表 1 所示。

表 1 谷粒尺寸测量数据  
Table 1 Dimension datum of millets measured

谷子品种 Species	尺寸参数 Dimension	均值 Average/g	标准误差 Standard error/%	置信区间(95%) Confidence interval of average (95%)
沁州黄	$a$	2.48	3.2	2.42~2.55
	$b$	1.84	1.4	1.81~1.87
	$c$	1.46	1.8	1.43~1.50
晋谷 21 号	$a$	2.38	1.3	2.36~2.41
	$b$	1.91	1.3	1.89~1.94
	$c$	1.40	1.2	1.38~1.43
黄金吨谷	$a$	2.48	1.4	2.45~2.51
	$b$	1.86	1.9	1.83~1.90
	$c$	1.43	2.2	1.38~1.47

农艺试验结果表明, 种穴内有 2~3 粒谷子时, 利于出苗<sup>[2]</sup>, 谷粒形状为扁长型, 设计充种型孔为圆柱型通孔, 型孔上开设 45° 倒角, 利于充种, 如图 2b 所示。以试验方式确定型孔直径  $D_f$  和深度  $S$ 。参照表 1 中谷粒尺寸, 分别在厚度为 2 和 3 mm 的铝板上加工出孔径分别为 2、2.5 和 3 mm 的通孔, 谷子与铝板的摩擦角  $\gamma$  为 44.54°, 将铝板倾斜于水平方向 45° 放置, 将型孔底部挡住, 将谷子缓慢均匀地倒在型孔内, 记数其中的谷子数量。

取孔径  $D_f=2.5$  mm, 深度  $S=3$  mm, 倒角尺寸为 0.5 mm 时, 充种孔内可充入 2~3 粒谷子。



注:  $D_f$  为型孔直径, mm;  $S$  为型孔深度, mm;  $C_{0.5}$  为倒角尺寸;  $R_1$  为充种孔分布半径, mm;  $R_2$  为充种盘结构半径, mm;  $l$  为孔距弧长, mm。  
Note:  $D_f$  is diameter of hole, mm;  $S$  is depth of hole, mm;  $C_{0.5}$  is chamfer size;  $R_1$  is distribution radius of filling hole, mm;  $R_2$  is structure radius of filling disc, mm;  $l$  is arc length between 2 holes, mm.

图 2 充种盘结构及型孔剖视图

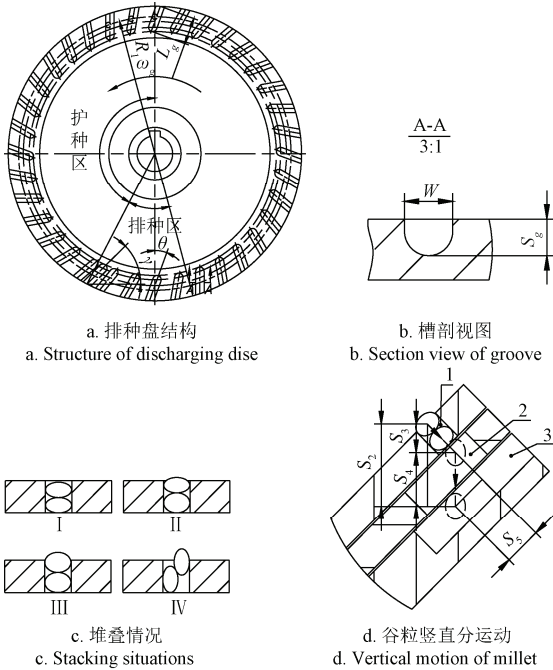
Fig.2 Structure of filling disc and section view of filling hole

根据充种孔结构尺寸、孔数, 并分析谷粒运动情况, 确保顺利落种, 设计充种孔分布半径  $R_1=65$  mm, 充种盘结构半径  $R_2=70$  mm。

### 2.3 排种盘的设计

设计在排种盘圆周方向上均布 36 条排种槽, 排种槽位于壳体下表面下方, 其位置与壳体上表面上方的充种孔相对应, 是排种盘的主要结构, 如图 3a 所示。排种槽承接充种孔充入的谷粒, 并把谷粒输送至排种孔。排种槽形状尺寸的设计, 要求谷粒能准确落入槽内; 输送过程中避免谷粒与壳体的摩擦; 到达排种孔时, 及时将谷粒排出。排种槽的参数设计包括槽宽  $W$ 、槽深  $S_g$ 、槽长  $L_g$  及槽与中心线的夹角  $\theta$ 。

排种槽承接谷子的粒数为 2~3 粒, 根据表 1 谷粒尺寸, 设计槽宽  $W$  为 4 mm, 槽深  $S_g$  为 3 mm, 槽型为 U 型槽, 如图 3b 所示。谷粒在槽底前后排列, 利于顺畅排出。设计槽与中心线成夹角  $\theta$ , 可缩短谷粒与壳体接触的距离; 设计夹角及槽长时需分析谷粒的运动过程, 保证其落入排种槽, 避免伤种。



1. 充种孔 2. 落种孔 3. 排种槽  
1. Filling hole 2. Passing hole 3. Seed groove

注:  $\omega_g$  是排种盘的角速度,  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $\gamma$  是排种槽与水平方向的夹角, 图中夹角值与谷粒与铝材间的摩擦角值相等, ( $^\circ$ );  $L_g$  是排种槽的长度, mm;  $\theta$  是排种槽与排种盘径向的夹角, ( $^\circ$ );  $W$  是排种槽的宽度, mm;  $S_g$  是排种槽的深度, mm; 图 3c 中的 I、II、III、IV 分别是 4 种谷粒堆叠情况;  $S_2$  是谷粒在落种过程中的竖直位移, mm;  $S_3$  是谷粒落入排种孔的竖直位移, mm;  $S_4$  是谷粒穿过落种孔进入排种槽的竖直位移, mm;  $S_5$  是谷粒沿排种盘径向的分位移, mm。  
Note:  $\omega_g$  is angular velocity of discharging disc,  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $\gamma$  is included angle between seed groove and horizontal direction, and its value is equal to value of frictional angle between millet and aluminum in diagram, ( $^\circ$ );  $L_g$  is length of groove, mm;  $\theta$  is included angle between groove and center line in radial direction of discharging disc, ( $^\circ$ );  $W$  is width of groove, mm;  $S_g$  is depth of groove, mm; I, II, III and IV are 4 kinds of stacking situations of millets in Fig. 3c;  $S_2$  is vertical displacement during passing process, mm;  $S_3$  is vertical displacement while millet is moving in filling hole, mm;  $S_4$  is vertical displacement while millet passes through passing hole and goes into groove, mm;  $S_5$  is displacement in radial direction of discharging disc, mm.

图 3 排种盘结构及谷粒堆叠、运动情况

Fig3 Structure of discharging disc and stacking situation, motion of millet

谷粒充入充种孔, 随充种盘一起绕轴线做匀速圆周运动, 到达落种孔时, 在重力及弹性推种器的作用下, 可忽略充种孔内壁对谷粒的作用力, 谷粒在重力作用下做近似平抛运动穿过落种孔, 落入排种槽, 谷粒在水平与竖直方向上的运动方程如式 (3)、式 (4) 所示。

水平方向:

$$S_1 = V_h t. \quad (3)$$

竖直方向:

$$S_2 = \frac{1}{2} g t^2. \quad (4)$$

式中  $S_1$  为水平位移, m;  $V_h$  为谷粒在水平方向上的分速度, 其值与谷粒做匀速圆周运动的线速度值相等, m/s;  $t$  为落种过程中谷粒运动时间, s;  $S_2$  为竖直位移, m;  $g$  为重力加速度,  $9.8 \text{ m/s}^2$ 。

谷粒在竖直方向上的位移  $S_2$  由其落入充种孔的竖直位移  $S_3$  和穿过落种孔进入排种槽的竖直位移  $S_4$  组成, 即  $S_2 = S_3 + S_4$ 。根据谷粒尺寸, 不妨设谷粒形状为长 2.45 mm, 宽 1.87 mm, 高 1.43 mm 的椭球形; 根据充种孔的形状尺寸, 利用空间几何知识可确定谷粒在充种孔内的堆叠情况, 如图 3c 所列 4 种情况, 在第 III 种情况时, 谷粒在落种过程中的竖直位移最大, 如图 3d 所示,  $S_3 = 2.6446$  mm,  $S_4 = 5.0265$  mm, 则  $S_2 = 7.6711$  mm, 谷粒沿排种盘径向的分位移  $S_5 = S_4 \times \cos 45^\circ = 3.5543$  mm, 由式 (4) 可得  $t = 0.03957$  s。

本文所设计最大行进速度为 1 m/s, 最小行进速度为 0.5 m/s, 设计 3 种粒距 6、8 和 10 cm, 在 2.2 节中的传动关系下, 不同行进速度、不同粒距所对应的最大转速  $n_a$ 、角速度  $\omega_a$ 、最小转速  $n_i$ 、角速度  $\omega_i$  分别为:  $n_a = 27 \text{ r/min}$ ,  $\omega_a = 162 \text{ }^\circ/\text{s} = 2.8274 \text{ rad/s}$ ,  $n_i = 8.5 \text{ r/min}$ ,  $\omega_i = 51 \text{ }^\circ/\text{s} = 0.8901 \text{ rad/s}$ 。

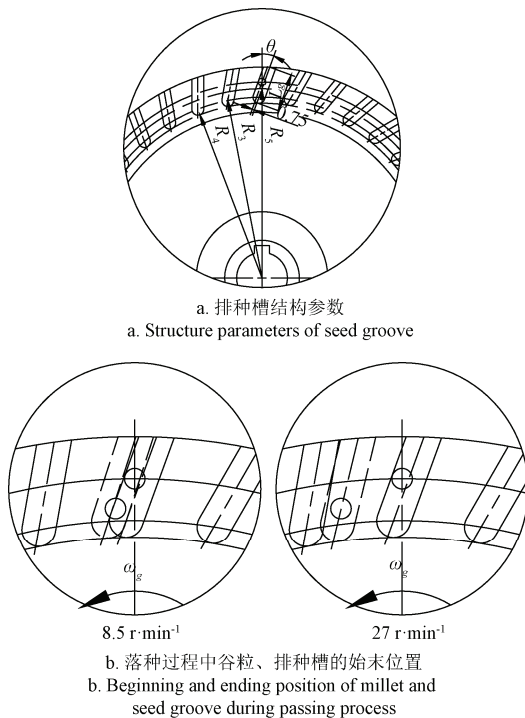
在时间  $t$  内, 排种盘在最大、最小转速下转过的角度  $\beta_a$ 、 $\beta_i$  分别为  $6.4103^\circ$  和  $2.0181^\circ$ 。

充种孔心距轴心的距离  $R_4$  为 0.065 m, 在时间  $t$  内, 谷粒在最大、最小转速下的水平分速度  $V_a$ 、 $V_i$  及水平位移  $S_a$ 、 $S_i$  分别为 0.1838 m/s, 7.2730 mm, 0.0579 m/s, 2.2911 mm。

综上可得谷粒在落种过程中的始末位置。设计排种槽的长度及倾斜角度, 需保证谷粒落入排种槽, 如图 4 所示, 以图中最上边的排种槽为例进行设计, 设计排种槽与排种盘径向成一夹角, 是为了在护种过程中使谷粒停留在排种槽根部, 到达排种区后使谷粒迅速运动至排种槽出口, 到达落种孔后排出。 $\theta$  不宜过大, 否则在最低处排种的原则下, 排种区将缩小, 可能导致谷粒无法及时排出而漏播, 初步取  $\theta = 20^\circ$ ; 充种孔心距轴心 65 mm, 且充种孔直径 2.5 mm, 为使排种盘旋转过程中在落种孔区域内仅出现 1 个排种槽, 设计排种槽侧面延伸面与充种孔圆周面相切, 则可确定排种槽中心线的位置; 为确定排种槽长度, 需确定其半圆根部的圆心与轴心间的距离  $R_3$ , 由  $S_5 = 3.5543$  mm, 谷粒长度的一半为 1.225 mm, 则排种槽半圆根部的圆心应至少位于距充种孔心 4.7793 mm 的圆周上, 取整为 5 mm, 则  $R_3 = 60$  mm, 由槽



宽为 4 mm, 则槽半圆根部与  $R_4=58$  mm 的圆相切, 排种槽中心线与排种盘边缘、槽半圆根部相交两点间的距离即为槽长  $L_g=12.5997$  mm。



注:  $R_3$  为排种槽半圆根部圆心与轴心间的距离, mm;  $R_4$  为排种槽半圆根部与轴心间的距离, mm;  $R_5$  为排种槽中心线与排种盘径向中心线交点至轴心的距离, mm。

Note:  $R_3$  is distance between center of semicircular end and center of shaft, mm;  $R_4$  is distance between semicircular end and center of shaft, mm;  $R_5$  is distance between point of intersection between center line of seed groove and center line of discharging disc and center of shaft, mm.

图 4 排种槽结构及其与谷粒的相对运动位置

Fig.4 Structure of seed groove and corresponding motion position between millet and seed groove

分析落种过程中谷粒与排种槽的相对位置得: 上述排种槽结构不会干涉谷粒的落种运动, 可确保谷粒准确落入与充种孔一一对应的排种槽内, 如图 4b 所示; 谷粒到达排种区后, 沿排种槽侧面做加速度逐渐增大的斜面运动, 不妨假设谷粒以初速度值为最大、最小转速下的线速度值, 沿  $45^\circ$  斜面滑动, 由运动学第二定律计算出谷粒运动至排种槽出口所需的时间, 此时排种盘转过的最大角度为  $10.88^\circ$ , 距排种盘最下端还有  $34.12^\circ$ , 显然, 实际运动时间更短, 转过角度更小, 可满足在最低处排种, 所以最终确定  $\theta=20^\circ$ ,  $L_g=12.5997$  mm。

## 2.4 排种器壳体的设计

排种器壳体结构包括外凸缘、上凸台、上下轴承孔、内凸缘、落种孔和排种孔, 如图 5 所示。本文对落种孔、壳体定位结构及排种孔进行了设计。

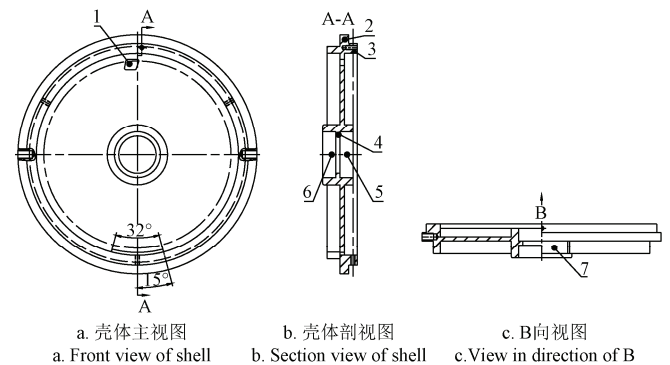
### 2.4.1 落种孔的设计

根据谷粒在最大最小转速下由充种孔到排种槽整个运动过程的始末位置和相邻两个排种槽间的空间尺寸, 在确保谷粒顺利通过落种孔的前提下, 设计在排种盘转动过程中, 在落种孔空间内始终仅同时出现 1 个排种槽,

避免充种孔内的谷粒无法准确落入与之相对应的排种槽内, 而落在排种盘面上或落入其他排种槽内, 避免伤种。设计落种孔如图 5 所示。

### 2.4.2 壳体定位结构的设计

壳体中心通孔内设置内凸缘, 将中心孔分为上、下两轴承孔, 两孔内分别装有 1 个滚动轴承, 两轴承内圈分别与充、排种盘中心孔处凸台相接触, 充、排种盘利用自身的结构, 形成了与壳体上、下表面间各  $0.2$  mm 的配合间隙, 充、排种盘圆周侧面与壳体内表面的配合间隙也为  $0.2$  mm, 避免了充、排种盘与壳体间的摩擦, 极小的配合间隙不会使谷粒卡入受损, 如图 5 所示。



1.落种孔 2.外凸缘 3.上凸台 4.内凸缘 5.上轴承孔 6.下轴承孔 7.排种孔  
1. Passing hole 2. External flange 3. Upper boss 4. Internal flange 5. Upper bearing hole 6. Lower bearing hole 7. Dropping hole

图 5 壳体结构

Fig.5 Structure of shell

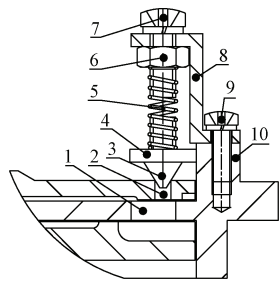
### 2.4.3 排种孔的设计

为降低排种高度, 设计排种孔位于壳体最下端, 排种槽的结构可确保谷粒在到达排种孔前就已运动至槽口, 待排种槽转至排种孔时, 穿过排种孔排出。为确保谷粒全部排出, 设计排种孔的开口角度为  $15^\circ$ , 排种孔为槽孔, 如图 5 所示。

## 2.5 弹性推种器的设计

在落种过程中, 出现谷粒卡在充种孔内, 无法及时穿过落种孔的情况, 导致排种不均。为确保顺畅落种, 在壳体上设置柔性推种装置: 弹性推种器, 弹性推种器由推种头、弹簧、支持架、连接螺钉、螺母组成, 如图 6 所示, 将推种器安装在落种孔上方的壳体上凸台上表面上, 预先弯曲弹簧, 推种头压入充种孔内约  $1$  mm, 推种头由推种头顶部和内缘组成, 顶部为圆锥形, 高  $4$  mm; 凸缘为圆柱形, 直径  $10.4$  mm, 高  $2$  mm, 圆柱侧面与壳体凸台内表面接触, 确保顶部中心指向充种孔心。工作时, 充种孔内的谷粒到达落种孔时, 依次受到推种头顶部轻微的推力后, 进入落种过程。以试验方式确定推种器的安装角度、位置及弹簧型号尺寸, 确保落种过程顺利进行。本文选择圆柱螺旋压缩弹簧, 型号为 YA  $0.8 \times 4.5 \times 16$  GB/T 2089: 材料直径  $0.8$  mm、弹簧中径  $4.5$  mm、自由高度  $16$  mm<sup>[23]</sup>。施加压力适中, 可及时将

谷粒推下，且不伤种，工作可靠。



1.落种孔 2.充种孔 3.推种头顶部 4.推种头凸缘 5.弹簧 6.连接螺母  
7.连接螺钉 8.支持架 9.固定螺钉 10.壳体上凸台  
1. Passing hole 2. Filling hole 3. Cusp of Flipping roof 4. flange of flipping roof 5. Spring 6. Connecting nut 7. Connecting screw 8. Support frame 9. Fixing screw 10. Upper boss of shell

图 6 弹性推种器结构及其工作位置

Fig.6 Structure and working position of elastic flipping device

3 试验与结果分析

试验材料选用金谷绿宝牌沁州黄谷子，千粒质量 3.154 g，含水率 11.8%，原始破损率为 0。根据 GB/T 9478-2005《谷物条播机试验方法》<sup>[24]</sup>和 GB/T 6973-2005《单粒（精密）播种机试验方法》<sup>[25]</sup>的要求，对排种器进行了排量稳定性和均匀性试验，并测定了谷粒的破损率。

3.1 排量稳定性试验

该试验为静态试验，试验指标为排量稳定性变异系数  $a$ 。试验前先设定播种作业长度为 50 m，理论作业速度分别为 0.5、0.8、1 m/s，理论播种穴距分别为 6、8、10 cm，根据排种试验装置，分别计算出排种器的转速和排种时间。试验前调节插板的位置，控制充种室内谷子量不超过充种盘的凸起结构，可保证不断流、不影响清种、不堆积堵塞卡种。试验时测量排种器在不同转速、不同排种时间下的排种量，重复测量 5 次，分别计算平均排量  $\bar{x}$ ，并按式（4）计算  $a$ ，试验结果如表 2 所示。

$$a = \frac{100 \cdot s}{\bar{x}} \quad (4)$$

其中： $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x - \bar{x})^2}$ ， $n$  为测量次数， $x$  为每次排量， $g$ ； $\bar{x}$  为平均排量， $g$ 。

表 2 排量稳定性试验结果

Table 2 Steadiness of seeding rate experiment

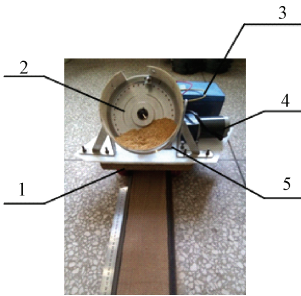
行进速度 Marching speed/ (m·s <sup>-1</sup> )	穴距 Hole spacing/cm	排种器转速 Rotate speed/ (r·min <sup>-1</sup> )	平均排量 Average discharge/g	变异系数 Variable coefficient a/%	破损率 Percentage of damage/%
0.5	10	8.5	3.35	0.50	0
	8	10.5	4.31	0.41	0
	6	13.5	5.16	0.31	0
0.8	10	13.6	3.65	0.66	0
	8	16.8	3.95	0.38	0
	6	21.6	4.80	0.19	0.02
1	10	17	3.95	0.38	0
	8	21	3.93	0.39	0.02
	6	27	4.17	0.39	0.03

在不同理论作业速度、不同理论穴距所对应的每种转速下，分别取 5 份谷子样本，每份质量约 50 g，选出其中破碎损伤的谷子称其质量，称量精度 10 mg，计算破碎损伤谷子质量占样本总质量的百分比，再减去试验前测定的谷子原始破损率，重复 5 次<sup>[24]</sup>，取平均值，试验结果如表 2 所示。

由表 2 可知，在理论作业速度所对应的转速下，排种器的排量稳定性变异系数均小于 0.7%，谷子破损率均小于 0.05%，满足 JB/T 6274.1-2013《谷物播种机第 1 部分：技术条件》的要求<sup>[26]</sup>。

3.2 排量均匀性试验

该试验为动态试验，试验指标包括穴距合格指数 A、重播指数 D、漏播指数 M 和合格穴距变异系数 C。将排种器安装在四轮平板小车上，由电机为排种器和小车提供动力，小车载着排种器以设定的作业速度沿沙槽行进，排种器按所设计的转速运行，将谷子排在细沙上，如图 7 所示。每次试验播种 251 穴，测量 250 个穴距，计算 4 项指标，试验结果如表 3 所示。



1.轮式移动平台 2.排种器 3.移动电源 4.驱动电机 5.调速器  
1.Wheeled mobile platform 2.Seed-metering device 3.Mobile power 4.Driving motor 5.Governor

图 7 排量均匀性试验装置及过程示意图

Fig.7 Diagram of device and process for uniformity of seeding rate experiment

表 3 排量均匀性试验结果

Table 3 Uniformity of seeding rate experiment

行进速度 Marching speed/ (m·s <sup>-1</sup> )	排种器 转速 Rotate speed/ (r·min <sup>-1</sup> )	理论穴距 Theoretical Hole spacing/ cm	合格指数 Qualified index/%	重播指数 Over- sowing index/%	漏播指数 Miss- seeding index/%	变异系数 Variable coefficient /%
0.5	8.5	10	91.25	1.90	6.84	4.29
	10.5	8	92.12	5.81	2.07	4.46
	13.5	6	87.34	10.92	1.75	1.87
0.8	13.6	10	92.83	6.33	0.84	1.82
	16.8	8	88.21	10.48	1.31	2.58
	21.6	6	90.21	8.09	1.70	2.48
1	17	10	86.34	11.89	1.76	2.28
	21	8	88.21	10.48	1.31	2.65
	27	6	88.50	11.06	0.44	2.91

由表 3 可知，排种器在所设行进速度和转速下排种的穴距合格指数均大于 86%；重播指数均小于 12%；漏播指数均小于 7%；合格穴距变异系数均小于 5%。满足 JB/T 10293-2013《单粒（精密）播种机技术条件》<sup>[27]</sup>的要求。

## 4 结 论

1) 设计的倾斜圆盘式谷子精少量排种器可稳定充种, 靠重力柔性清种, 充种、清种性能可靠。

2) 弹性推种器可将卡在充种孔内的谷粒拨下, 确保谷粒及时穿过落种孔, 且不损伤谷粒, 工作可靠。

3) 排量稳定性试验表明, 排种器在理论作业速度所对应转速下排种的排量稳定性变异系数均小于 0.7%, 排量稳定。

4) 排量均匀性试验表明, 排种器在所设行进速度和转速下排种时, 谷子穴距接近于理论穴距, 合格指数大于 86%, 重播指数小于 12%, 漏播指数小于 7%, 合格穴距变异系数小于 5%, 排量均匀, 工作性能可靠。

## 参 考 文 献

- [1] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 等. 中国谷子产业现状、发展趋势及对策建议[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(5): 531—535. Li Shunguo, Liu Fei, Liu Meng, et al. The current industry situation, development trend, and suggestions for the future of foxtail millet in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2014, 35(5): 531—535. (in Chinese with English abstract)
- [2] 任丽敏. 基于农机农艺结合的谷子少(免)间苗播种试验研究[D]. 太古: 山西农业大学, 2014. Ren Limin. Research of Seedling Thinning Sowing Test for Foxtail Millet with Agricultural Machinery Combined with Technology[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [3] 崔清亮, 秦刚, 王明富. 几种典型精密排种器的对比分析[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2003, 23(1): 69—71. Cui Qingliang, Qin Gang, Wang Mingfu. The analysis and comparison on several kinds of precision feed mechanism[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2003, 23(1): 69—71. (in Chinese with English abstract)
- [4] 郭玉明, 张东光, 郑德聪. 2BX 系列谷子精少量播种机的开发与研制[J]. 农业技术与装备, 2012(12): 18—21. Guo Yuming, Zhang Dongguang, Zheng Decong. Development and research of 2BX series seed-metering device for millet[J]. Agricultural Technology Equipment, 2012(12): 18—21. (in Chinese with English abstract)
- [5] 秦理平, 马过胜, 赵振军. 谷子机械化精少量播种的实践与创新[J]. 农业技术与装备, 2013(11): 73—77. Qin Liping, Ma Guosheng, Zhao Zhenjun. Practice and innovation of mechanized precision sowing for millet[J]. Agricultural Technology Equipment, 2013(11): 73—77. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张本源. 带清种槽窝眼式谷子精少量播种机的研究[J]. 农业机械, 2014(1): 138—141. Zhang benyuan. Research of indented precision seeder with cleaning groove for millet[J]. Agricultural machinery, 2014(1): 138—141. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王伟均. 多头螺旋网络孔精密排种器介绍[J]. 农业机械, 2010(20): 78—79. Wang Weijun. The introduction of multiheaded helical precision seed-metering device with pore tree[J]. Farm Machinery, 2010(20): 78—79. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张宇文. 机械式多功能精密排种器的设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 51—53, 50. Zhang Yuwen. Research and design for making a new type of mechanized and multiple functions of precision seed-drilled appliance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 51—53, 50. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张宇文, 张文超, 李冬肖. 中心传动强推式精密排种器设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 78—81, 121. Zhang Yuwen, Zhang Wenchao, Li Dongxiao. Design for precision metering device with center transmission[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 78—81, 121. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张波屏, 刘格兰. 万能通用精准播种机的研究与试验[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2): 34—37. Zhang Boping, Liu Gelan. Experimental study on a general precision planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2): 34—37. (in Chinese with English abstract)
- [11] 边胤, 马永康, 张振国. 往复排种器用于谷子精密播种机的初探[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 122—127. Bian Yin, Ma Yongkang, Zhang Zhenguo. Reciprocating feeder applied to precision seed-grain sowing machines[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(2): 122—127. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王磊, 廖宜涛, 韦跃培, 等. 基于气力式精量排种器的谷子吸种与排种试验[J]. 湖南农业大学学报, 2014, 40(6): 655—659. Wang Lei, Liao Yitao, Wei Yuepei, et al. Seed-grain sucking and metering test based on pneumatic precision metering device[J]. Journal of Hunan Agricultural University, 2014, 40(6): 655—659. (in Chinese with English abstract)
- [13] 曹慧鹏. 2BG-6 型电子智能谷子精量播种机的创新设计[J]. 农业开发与装备, 2014(11): 55—56. Cao Huipeng. Innovative design of 2BG-6 type precision seeder for millet with Electronic Intelligence[J]. Agricultural Development Equipments, 2014(11): 55—56. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李岩. 小籽粒流体排种的试验研究[D]. 太古: 山西农业大学, 2013. Li Yan. Experimental Study of Fluid Seeding for Small-sized Seed[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [15] 杨然兵, 柴恒辉, 尚书旗. 花生播种机倾斜圆盘碟式排种器设计与性能试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 79—84. Yang Ranbing, Chai Henghui, Shang Shuqi. Performance of metering device with declined disc on peanut seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6): 79—84. (in Chinese with English abstract)
- [16] 翟殿波, 张祖立. 倾斜圆盘式大蒜播种试验装置的设计与试验[J]. 农机化研究, 2012, 34(9): 143—145, 149. Zhai Dianbo, Zhang Zuli. Design and experimental of tilt disc-type garlic seeding test device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(9): 143—145, 149. (in Chinese with English abstract)
- [17] 王晓东, 王维新, 李树峰, 等. 倾斜圆盘式棉花精量排种器的设计[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(8): 118—119. Wang Xiaodong, Wang Weixin, Li Shufeng et al. Design of Tilt Disc-type cotton precision seed-metering device[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2009, 15(8): 118—119. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张庆峰, 耿端阳, 李丹, 等. 倾斜圆台式精量排种器的设计研究[J]. 农机化研究, 2011, 33(12): 54—58. Zhang Qingfeng, Geng Duanyang, Li Dan, et al. Study on the declined cone frustum type precision seed-metering[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011,

- 33(12): 54—58. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李成华, 夏建满, 何波. 倾斜圆盘勺式精密排种器清种过程分析与试验[J]. 农业机械学报, 2004, 35(3): 68—71. Li Chenghua, Xia Jianman, He Bo. Analysis and experiment of seed metering procedure in scoop metering device with declined disc[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(3): 68—71. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李成华, 夏建满, 何波. 倾斜圆盘勺式精密排种器投种过程分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 48—50. Li Chenghua, Xia Jianman, He Bo. Analysis of seed throwing procedure by declined scope metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 48—50. (in Chinese with English abstract)
- [21] GB 10006-88, 塑料薄膜和薄片摩擦系数测定方法[S]. GB 10006-88, Plastics-Film and sheeting-Determination of the coefficients of friction[S].
- [22] 张东光, 郭玉明, 郑德聪. 谷子机械化精少量种植工艺的研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2011, 31(6): 563—567.
- Zhang Dongguang, Guo Yuming, Zheng Decong. Research on mechanized hill-drop planting processes for millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2011, 31(6): 563—567. (in Chinese with English abstract)
- [23] GB/T 2089-2009, 普通圆柱螺旋压缩弹簧尺寸及参(两端圈并紧磨平或制扁) [S]. GB/T 2089-2009, Cylindrical coiled compression spring dimensions and parameters[S].
- [24] GB/T 9478-2005, 谷物条播机试验方法[S]. GB/T 9478-2005, Testing methods of sowing in lines[S].
- [25] GB/T 6973-2005, 单粒(精密)播种机试验方法[S]. GB/T 6973-2005, Testing methods of single seed drills (precision drills)[S].
- [26] JB/T 6274.1-2013, 谷物播种机第 1 部分: 技术条件[S]. JB/T 6274.1-2013, Grain drill—Part 1: Specifications[S].
- [27] JB/T 10293-2013, 单粒(精密)播种机技术条件[S]. JB/T 10293-2013, Specifications for single seed drills (precision drills)[S].

## Design and test of tilt disc-type fine and small-amount seed metering device for foxtail millet

Cui Qingliang, Hou Huaming, Zheng Decong, Wu Zhiming

(College of Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract:** In order to solve the difficulties of sowing for small grain seeds, such as foxtail millet, we firstly study the agricultural requirements of precision drill of millet without thinning out seedlings. After analyzing the advantages and disadvantages of different seeding devices, we design a kind of tilt disc-type fine and small-amount seed-metering device for foxtail millet. We measure the shape and dimension of the millets with the microscope using the projection method, and the friction coefficient of millet with different materials as requested by the national standard of China. We analyze the motor process of millet, which helps us design the structure of this device. It is mainly made up of filling disc, shell, discharging disc, elastic flipping device and drill shaft. It has many advantages. Its structure is simple, and its working principle is reliable. Its working position tilt is from  $45^\circ$  to horizontal direction. The overflowing seeds from filling holes are flexibly cleaned under the action of gravity, so they will not be damaged. There are 36 filling holes in the filling disc, and they are uniformly distributed on the circumference of filling disc. Matched with filling holes, there are 36 seeding grooves in the discharging disc, which are uniformly distributed on the circumference of discharging disc. The filling disc is above the shell, and the discharging disc is below the shell, both of which synchronously rotate. There is a passing hole between them in the shell. The millets fall in the filling holes, and revolved around the drill shaft together with filling holes. When they arrive at the passing hole, the millets leave the filling holes, then pass through the passing hole and enter the seeding grooves. The millets continue to revolve around the shaft together with the grooves. There is a dropping hole at the bottom of the shell. Before they arrive at it, the millets move to the end of the grooves. When they arrive at the dropping hole, the millets leave the groove, pass through the dropping hole, and fall into the seeding tube. According to the movement characteristics of millets, on the premise of not damaging them, we design the shapes and dimensions of the filling hole, seeding groove, passing hole and dropping hole. This device is expected to seed 2-3 millets from every seeding groove, and the intervals of millets are kept steady on the soil. We especially design an elastic flipping device to flip the millet stuck in the filling hole out of it, which is installed on the upper boss above the passing hole of the shell. We design the fit clearance of 0.2 mm between filling disc, discharging disc and shell simultaneously, thus eliminating the friction between them. In order to test the performance of this device, we use 6 indices from the national standards of China. They include the percentage of damaged seeds, variability coefficient of steadiness of total seeding quantity, qualified index of hill spacing, repeated sowing index, miss-seeding index and variability coefficient of qualified hill spacing. We design and conduct the experiments of the steadiness of total seeding quantity and the uniformity of seeding rate with this device. We also measure the percentage of damaged seeds discharged from this device. The results show that the variability coefficient of steadiness of total seeding quantity is less than 0.7%, the qualified index of hill spacing is greater than 86%, the repeated sowing index is less than 12%, the miss-seeding index is less than 7%, the variability coefficient of qualified hill spacing is less than 5%, and the percentage of damaged millet is less than 0.05%. All the indices meet the requirements of the industrial standards of China. It will provide a theoretical reference for the design and analysis of fine and small-amount seed-metering device for small grain seeds.

**Keywords:** mechanization; design; crops; seed metering device; foxtail millet; tilt disc; performance experiment