

# 一器多行环槽推送式排种器设计与试验\*

曹成茂 王安民 秦宽 孙燕 周敏

(安徽农业大学工学院, 合肥 230036)

**摘要:** 设计了一种适用于稻麦等小粒农作物条播的一器多行环槽推送式排种器,分析了排种器的工作原理和种子在出种口的受力情况,确定了排种盘的理论最大转速。以烟农19号小麦为试验对象,研究了单行种子排量、单行排量均匀性变异系数、各行排量一致性变异系数、总排量稳定性变异系数和破损率与排种盘转速的关系。试验表明,单行种子排量随排种盘转速的增大几乎呈线性增加关系。单行排量均匀性变异系数、各行排量一致性变异系数和总排量稳定性变异系数都随排种盘转速的增加呈现先减后增的趋势,并在转速为2.5 r/min时最小,分别为28.5%、1.33%和0.51%。种子的破损率随着转速的增加而增加,在转速高于2.5 r/min时,破损率增加较为明显。

**关键词:** 排种器 条播 环槽推送式 一器多行

**中图分类号:** S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0128-07

## 引言

排种器的充排种能力、排种精度和排种效率是衡量其设计和工作质量的重要指标<sup>[1-2]</sup>。我国条播播种常用的排种器多为传统的槽轮式,其结构简单、成本低、工作可靠。但由于其排种均匀性、稳定性不高,并且是一器单行型式,在完成多行播种作业时播种机上需同时安装多个排种器,导致播种机结构复杂、排种效率低,因此只能满足一般的播种要求<sup>[3-4]</sup>。

与传统排种器相比,集中式排种器能进行一器多行排种,可成倍提高排种效率,使播种机整体结构更为紧凑,满足高速、宽幅作业要求<sup>[5-6]</sup>。国外对集中式排种器的研究起步比较早,主要包括机械式和气力式两种类型。目前应用最多的是气力式精密播种机械,其中气流一阶集中排种系统已被欧美国家广泛应用在谷物条播机上,并取得了很好的作业效果<sup>[7-10]</sup>。在国内,学者们对集中式排种器的研究也比较多,目前也有开发研究的成功机型,如2BQ-10型气流一阶集排式排种系统<sup>[11]</sup>、一器多行离心式油菜排种器<sup>[12]</sup>、中央集排气送式玉米精量排种器<sup>[13]</sup>等。

本文设计一种一器多行环槽推送式排种器,适用于小麦、水稻等小粒农作物条播,可以满足高速、宽幅作业要求,提高排种效率。

## 1 排种器总体结构及工作原理

### 1.1 排种器总体结构

该排种器为一器八行环槽推送式排种器,主要由种箱、清种片、排种盘、接种斗、底盘和传动轴等构成,其总体结构如图1所示。排种器的种箱内有8个充种区,8个区可以同时进行充种。种箱下面是排种盘,排种盘呈环形,边缘均布80个种槽。排种盘装在底盘上,底盘下面设有8个出种口,每个出种口下方安装了接种斗,接种斗下面联接输种管。种箱和底盘通过4对螺栓螺母联接在一起,使得排种

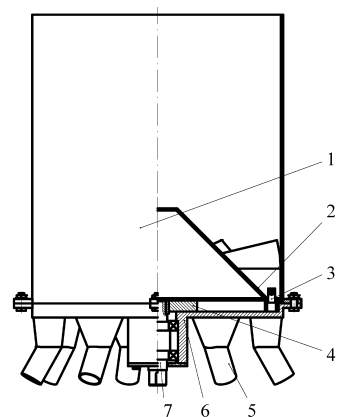


图1 一器多行环槽推送式排种器总体结构图

Fig.1 Overall structure of multi-line metering device with ring groove push movement

1. 种箱 2. 充种区 3. 清种片 4. 排种盘 5. 接种斗 6. 底盘  
7. 传动轴

收稿日期: 2013-11-15 修回日期: 2013-12-27

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD14B13)和安徽省农业机械管理局富民工程科技攻关资助项目(2012-1167)

作者简介: 曹成茂,教授,博士,主要从事智能检测与控制技术及农业机械化工程研究, E-mail: caochengmao@sina.com

器在更换排种盘时拆装非常方便。

## 1.2 关键部件结构设计

### 1.2.1 种箱

种箱外观呈圆柱桶状,箱底沿桶壁均匀分布8个进种口。每个进种口旁的种箱侧壁上都有一个螺栓孔,用于紧固清种刷。通往每个进种口的进种斜槽和导种斜面可以使种子有规律地分向进入各个进种口,实现种子的分流,其结构如图2a所示。一个进种口、进种斜槽以及与之相连的两个导种斜面构成一个充种区,负责一行种子的充种。每个充种区的进种斜槽和导种斜面都有一定的倾斜角度,以便种子能够更好地滑入进种口。通过对稻麦在不同含水率下滑动摩擦角的测量知,水稻芽种的滑动摩擦角在 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 之间,结合种子在种箱中摩擦力和下滑力之间的关系<sup>[14]</sup>,导种斜面倾角 $\theta_1$ 设计为 $45^{\circ}$ ,同样,进种斜槽倾角 $\theta_2$ 也设计为 $45^{\circ}$ ,如图2b所示。

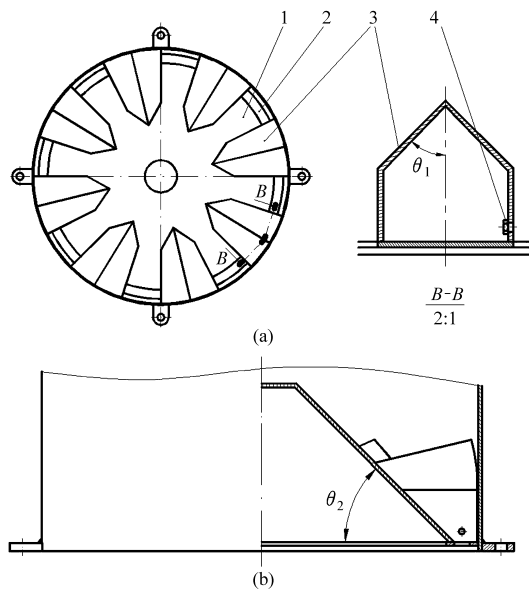


图2 排种器种箱的结构示意图

Fig.2 Structure of seed box

(a) 俯视图 (b) 剖视图

1. 进种斜槽 2. 进种口 3. 导种斜面 4. 螺栓孔

### 1.2.2 排种盘

排种盘是排种器的重要部件之一,排种盘的形状和型孔的结构参数是保证播种精度的充分条件<sup>[15-16]</sup>。排种盘呈环形,中间开有轴孔和键槽,用来联接传动轴。排种盘的边缘均布80个排种槽,排种器一共设计有8行,所以每10个排种槽负责一行种子的排播,其结构如图3a所示。该排种盘可以排播水稻、小麦等小籽粒种子,通过更换排种盘,改变种槽的形状和大小,还可以实现对大豆、玉米等大粒农作物种子的精播。两种排种盘对比如图3b所示,本文研究的是条播排种盘。

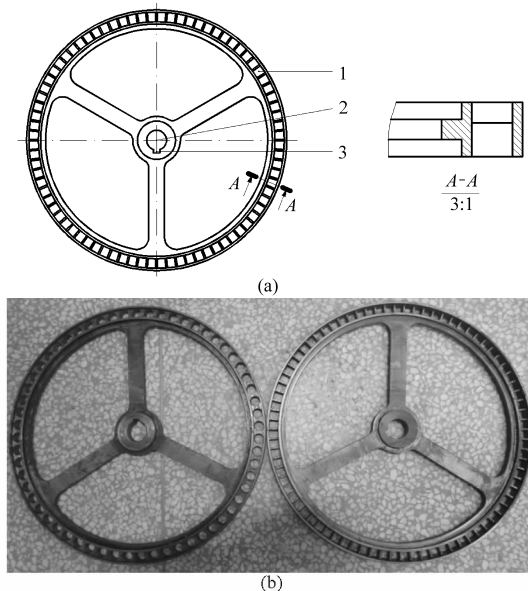


图3 排种盘的结构示意图

Fig.3 Structure of seed plate

(a) 排种盘俯视图 (b) 精播盘(左)和条播盘(右)

1. 排种槽 2. 轴孔 3. 键槽

### 1.2.3 清种片

排种器种箱进种口的末端侧壁上安装有清种片,清种片由弹性橡胶制成,以减少对稻麦种子的损伤。清种片可以拨去排种槽中多余的种子,使得排种槽中的种子以恒定的量进行排播。清种片通过螺钉联接,安装在种箱侧壁的螺栓孔上。清种片的安装位置和工作过程如图4所示。

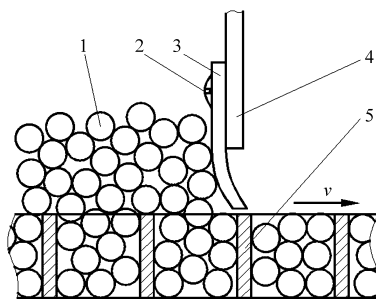


图4 清种片的安装位置和工作过程示意图

Fig.4 Installation position and working process

of seed piece

1. 种子 2. 螺钉 3. 清种片 4. 种箱进种口侧壁 5. 排种盘

### 1.2.4 底盘和传动装置

传动装置包括传动轴、滚动轴承、固定盘、螺栓等,如图5所示。传动轴是排种器动力的输入端,其一端联接排种盘,另一端联接原动件。传动轴通过滚动轴承和套筒安装在底盘下端,固定盘通过3个螺栓固定滚动轴承。排种器底盘的底部开有8个排种口,各排种口和进种口一样沿圆周均匀分布。每一个排种口对应着一个进种口,进种口和排种口相互错开,每个进种口在与之相邻的两个排种口正中

间。

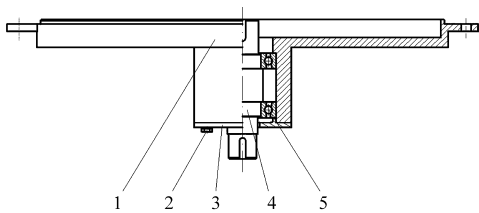


图5 排种器底盘和传动装置的剖面构造图

Fig.5 Structure of chassis and transmission part

1. 底盘 2. 螺栓 3. 固定盘 4. 传动轴 5. 滚动轴承

### 1.3 工作原理

一器八行排种器每行排播区域可以划分为充种区、推送区、排种区和待充区,如图6所示。充种区设计有4个等长种槽(可以充种充分),排种区设计有4个等长种槽(有充足的时间落种),剩下的2个种槽分别对应种子的待充区和推送区,即每个种槽从出种口末端经过1个种槽长度的待充区进入充种区进行充种,每个种槽中的种子从充种区末端经过1个种槽长度的推送区进入到出种口进行排种。充种区的末端安装有清种片,可以拨去种槽上方多余的种子,使得种槽中种子以恒定的量进行排播。

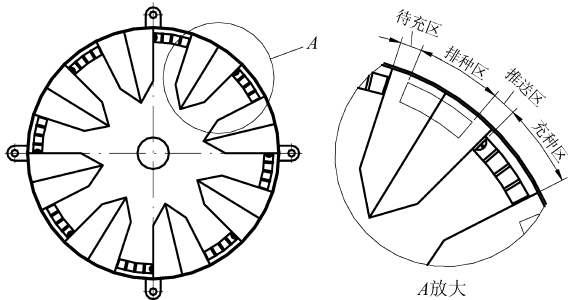


图6 排种器的工作原理图

Fig.6 Metering principle of metering device

工作时,排种器的种箱、底盘和接种斗都固定不动,传动轴带动排种盘以一定的转速逆时针方向旋转,种箱中各个充种区的种子往转动的种槽中充种。种槽中的种子在排种盘的转动下往前推进,清种片拨去种槽上方多余的种子,剩余的种子随排种盘转动,被推送到出种口,种子在自身重力作用下相继落入出种口下方的接种斗内,经过接种斗下面的输种管输送,进行多行、条播作业。

## 2 排种器主要参数分析

排种盘的转速对种子充种性能及投种准确性有直接影响<sup>[16-17]</sup>,是排种器的主要参数之一。排种器在排种过程中,排种盘以一定的转速  $n$  作匀速圆周运动。种子随着排种盘的转动被推送到排种区,然后在出种口落种。该一器八行排种器加长了出种口的长度,使其能够适应高速排播。出种口的长度是

一定的,种槽中的种子在出种口下落时,排种盘的转速不能大于一个临界值,这个临界值就是排种盘的理论最大转速  $n_{\max}$ 。

### 2.1 种子在出种口力学分析

若要分析排种盘的理论最大转速,必须对种子在出种口落种时的受力情况进行分析(忽略种子之间的相互作用力),如图7所示。

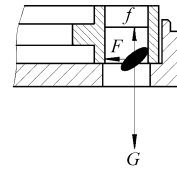


图7 种子在出种口落种时受力分析

Fig.7 Schematic diagram of force analysis on dropping seed

从图7的力学分析知,种子受到自身重力

$$G = mg \quad (1)$$

种槽内壁的作用力(向心力)

$$F = mr\omega^2 \quad (2)$$

与种槽内壁的摩擦力

$$f = \mu F \quad (3)$$

式中  $m$ ——种子质量,kg

$g$ ——重力加速度,  $m/s^2$

$r$ ——种子所在位置与排种盘中心轴之间的距离, m

$\omega$ ——排种盘角速度,  $rad/s$

$\mu$ ——种子与种槽内壁之间的滑动摩擦因数

### 2.2 排种盘理论最大转速 $n_{\max}$ 分析

种子在充种口充分充种后,清种片把每个种槽上方多余的种子拨掉。清种后,种槽中种子的几何中心不会高于种槽的上表面,落种口种槽上表面的种子有两种极限位置,分别是平躺和直立状<sup>[9,18]</sup>。种槽中的种子在落种口下落时,种子整体全部在种槽下表面才能算落种完成,种子在种槽下表面同样有平躺和直立两种极限位置。所以,由于种子在种槽中充种时的位置不同以及在落种时相互之间作用力的影响,种子在出种口开始落种到落种完成的极限位置有4种情况,分别是:①开始落种和落种完成都呈平躺状(图8a)。②开始落种呈平躺状,落种完成呈直立状(图8b)。③开始落种呈直立状,落种完成呈平躺状(图8c)。④开始落种和落种完成都呈直立状(图8d)。

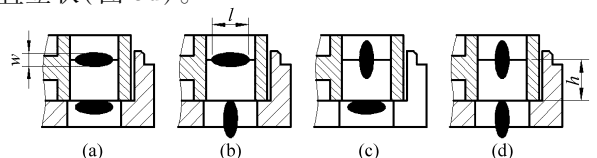


图8 种子落种时极限位置示意图

Fig.8 Schematic diagram of limit position of dropping seed

设种子的长度为  $l$ , 宽度为  $w$ , 种槽的高度为  $h$ , 种子在出种口开始落种到落种完成所下落的高度为  $H$ , 则第①种情况, 种子下落的高度为  $H_1 = h + \frac{1}{2}w$ ;

第②种情况, 种子下落的高度为  $H_2 = h + \frac{1}{2}l$ ; 第③

种情况, 种子下落的高度为  $H_3 = h + \frac{1}{2}w$ ; 第④种情

况, 种子下落的高度为  $H_4 = h + \frac{1}{2}l$ 。

由于  $l > w$ , 所以  $H_2 = H_4 > H_1 = H_3$ , 即种子下落的高度的最大值为

$$H_{\max} = h + \frac{1}{2}l \quad (4)$$

由前面力学分析可知

$$G - f = ma \quad (5)$$

$$\text{又} \quad t_1 = \sqrt{\frac{2H_{\max}}{a}} \quad (6)$$

$$t_2 = \frac{\theta}{\omega} \quad (7)$$

$$\omega = 2\pi n \quad (8)$$

式中  $a$ ——种子在出种口落种时的加速度,  $\text{m/s}^2$

$n$ ——排种盘的转速,  $\text{r/s}$

$\theta$ ——出种口所对应的弧度,  $\text{rad}$

$t_1$ ——种子从开始落种到落种完成所需要的时间,  $\text{s}$

$t_2$ ——排种盘转过一个出种口长度所需要的时间,  $\text{s}$

排种器若要正常排播, 种槽中种子落下的必要条件为

$$t_1 \leq t_2 \quad (9)$$

将式(1)~(8)代入式(9), 得

$$n \leq \frac{\theta}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{2h + l + \mu r \theta^2}}$$

$$\text{令} \quad n_{\max} = \frac{\theta}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{2h + l + \mu r \theta^2}} \quad (10)$$

由式(10)可知, 若排种器能正常排播, 排种盘的理论最大转速主要与出种口所对应的弧度  $\theta$ 、种子所在位置与排种盘中心轴之间的距离  $r$  和种槽的高度  $h$  有关。本文排种器出种口所对应的弧度为  $\theta = 0.314 \text{ rad} (18^\circ)$ , 种槽的高度为  $h = 0.01 \text{ m}$ , 试验测得小麦种子的平均长度  $l = 7.17 \times 10^{-3} \text{ m}$ , 种子与种槽内壁之间的滑动摩擦因数取  $\mu = 0.5$ <sup>[19]</sup>, 种子所在位置与排种盘中心轴之间的距离  $r = 0.31 \text{ m}$ , 重力加速度取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ , 代入式(10)得  $n_{\max} = 0.76 \text{ r/s} = 45.6 \text{ r/min}$ , 即排种盘的理论最大转速为  $45.6 \text{ r/min}$ 。由于种子之间的相互作用, 排种盘实际

的最大转速要比这个值略小。

### 3 排种性能试验

#### 3.1 试验材料和设备

以烟农19号小麦为试验材料, 其物理特性<sup>[20]</sup>为: 千粒质量  $41.8 \text{ g}$ , 平均长度  $7.17 \text{ mm}$ 。

试验设备: JPS-12型排种器性能检测试验台<sup>[21]</sup>, 精度为  $0.01 \text{ g}$  的电子天平, 自制的排种器试验台架。试验装置如图9所示。

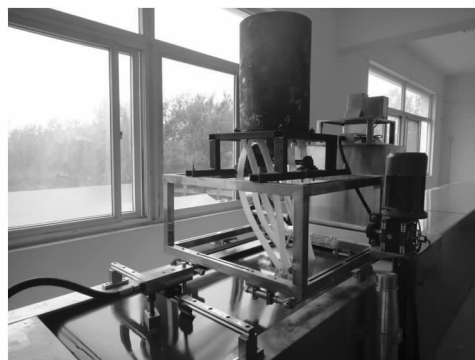


图9 试验装置

Fig.9 Experimental device

#### 3.2 排种性能的试验设计与结果分析

##### 3.2.1 试验设计

依据 GB/T 9478—2005《谷物条播机 试验方法》, 在一段播种长度内, 按单位间隔分段, 计算每段内的种子粒数; 或在一定转速下, 按单位时间, 统计多次种子的质量。

##### (1) 单行排量一致性测定

用图像法进行测定<sup>[21-23]</sup>。试验选择1号出种口作为测定对象, 试验转速  $0.5 \sim 3.5 \text{ r/min}$  取7个水平, 每个水平的转速测定5次, 每次测定的长度为  $5000 \text{ mm}$ , 区间长度  $100 \text{ mm}$ 。种床带的速度相当于条播机相对于地面的速度, 试验选取通常的作业速度  $v = 1.5 \text{ m/s}$ <sup>[24]</sup>。测定该行种子排量的平均值、标准差和变异系数。

##### (2) 各行排量一致性测定

用塑料袋收集各个出种口排出的种子, 分别进行称量, 每次收集种子的时间为  $60 \text{ s}$ 。试验转速  $0.5 \sim 3.5 \text{ r/min}$  取7个水平, 每个水平的转速测定5次。测定每行的平均排量后, 计算各行排量的平均值、各行间排量的标准差和变异系数。

##### (3) 总排量稳定性测定

将8个出种口的种子收集到一起称量, 每次收集种子的时间为  $60 \text{ s}$ 。试验转速  $0.5 \sim 3.5 \text{ r/min}$  取7个水平, 每个水平的转速测定5次。计算每个水平下的平均排量、标准差和变异系数。

#### (4) 破损率测定

将 8 个出种口的种子收集到一起称量, 试验转速 0.5 ~ 3.5 r/min 取 7 个水平, 每个水平的转速测定 5 次取平均值, 每次收集种子的时间为 60 s。计算破碎损伤种子质量占样本总质量的百分比, 再减去试验前测定的种子原始破损率<sup>[24-25]</sup>。

#### 3.2.2 试验结果分析

试验结果表明, 排种器单行种子排量随排种盘转速的增大而增加, 两者几乎呈线性关系, 如图 10 所示。从图 11 的转速对单行排量均匀性变异系数的影响曲线可以看出, 当排种盘转速较低时, 单行排量均匀性变异系数较大, 说明排种盘低速转动时播量不稳定, 各区间长度内种子的量差异比较大; 随着转速的增加, 单行排量均匀性变异系数逐渐降低, 在转速为 2.5 r/min 时, 变异系数最低, 为 28.5%, 随后又有所上升。

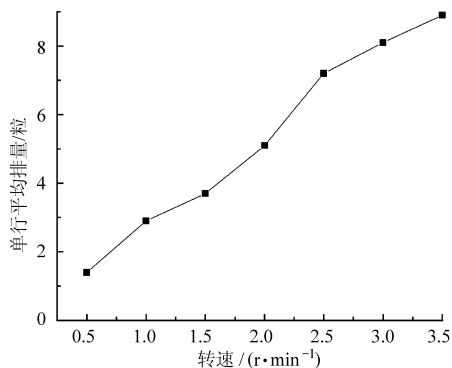


图 10 转速与单行平均排量的关系曲线 ( $v = 1.5$  m/s)

Fig. 10 Impact of rotation speed on single-line flow rate

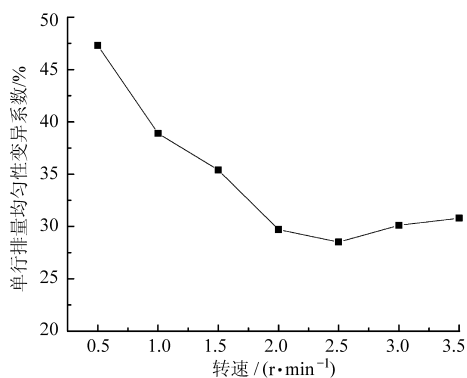


图 11 转速对单行排量均匀性变异系数的影响 ( $v = 1.5$  m/s)

Fig. 11 Impact of rotation speed on coefficient of variation of single-line flow rate

由图 12、13 分析可知, 各行排量一致性变异系数和总排量稳定性变异系数都随排种盘转速的增加呈现先减后增的趋势, 转速在 2.5 r/min 时最小, 分别为 1.33% 和 0.51%, 之后随转速的增加而增加, 增幅都不大。

图 14 是排种盘转速与破损率之间的关系曲线。从中可以看出: 转速低于 2.5 r/min 时, 破损率随着

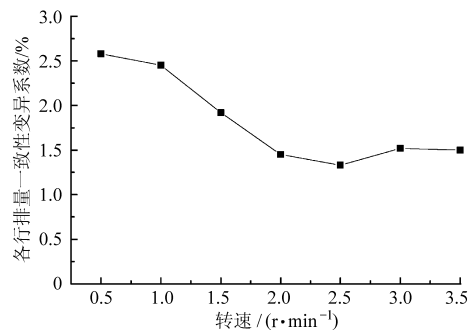


图 12 转速对各行排量一致性变异系数的影响

Fig. 12 Impact of rotation speed on coefficient of variation of flow rate among all lines

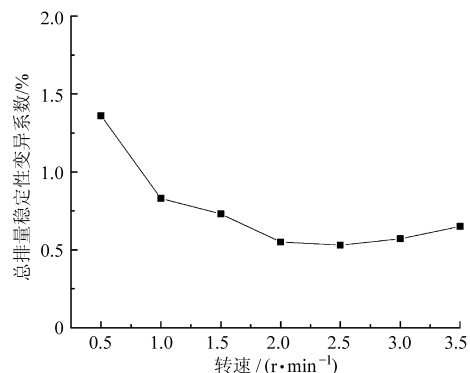


图 13 转速对总排量稳定性变异系数的影响

Fig. 13 Impact of rotation speed on coefficient of variation of total flow rate

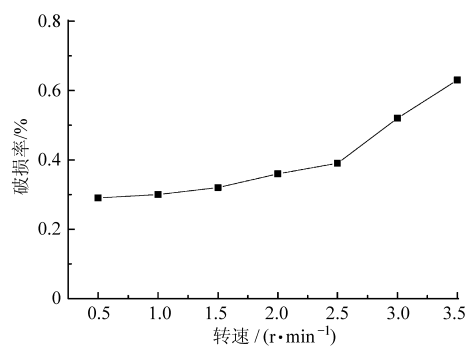


图 14 转速与破损率关系曲线

Fig. 14 Impact of rotation speed on damage rate

转速的增加而略有增加, 转速高于 2.5 r/min 时, 破损率增加较为明显。转速为 0.5 r/min 时, 破损率最低, 为 0.29%。

#### 3.3 同步转速试验

农艺对小麦播种粒距的基本要求为 2.5 ~ 6.0 cm<sup>[26]</sup>, 进而每 10 cm 区间内种子的平均播量为 1.7 ~ 4.0 粒。后续在设计条播机时, 可通过改变传动比的方式加装调速器来控制播量的大小。

试验时排种轴与种床带同步转速, 这种种床带速度就相当于条播机相对于地面的速度。根据图 10 中转速与单行平均排量的关系曲线 (种床带转速为 1.5 m/s), 将符合粒距要求的排种轴转速范围 0.6 ~

1.8 r/min 取 4 个水平。同步转速下,用图像法<sup>[21-23]</sup>分别检测种床带速度在 1.5、2.0 和 2.5 m/s 时排种器的平均播量和单行排量均匀性变异系数(以 1 号出种口为测定对象)。试验结果如表 1 所示。

表 1 同步转速试验结果

Tab.1 Test results on synchronous speed

种床带转速/ (m·s <sup>-1</sup> )	排种轴转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	平均播量/ (粒·(10 cm) <sup>-1</sup> )	单行排量均匀性 变异系数/%
1.5	0.6	1.9	43.7
	1.0	2.9	38.6
	1.4	3.7	37.1
	1.8	4.3	32.6
2.0	0.8	1.9	40.2
	1.3	2.7	34.5
	1.9	3.5	32.4
	2.4	4.1	27.6
2.5	1.0	1.8	39.3
	1.7	2.7	36.1
	2.3	3.4	29.8
	3.0	4.1	33.7

由表 1 可知,采用表中 4 个水平的调速(具体传动比要根据条播机行走轮的直径而定),排种器的

平均播量稳定,并能够满足农艺对小麦播种播量的基本要求。表中排种器的单行排量均匀性变异系数不大于 45%,满足 JB/T6274.1—2001《谷物播种机技术条件》要求。

## 4 结论

(1)排种盘的理论最大转速主要与出种口所对应的的弧度  $\theta$ 、种子所在位置与排种盘中心轴之间的距离  $r$  和种槽高度  $h$  有关。该排种器排种盘的理论最大转速为 45.6 r/min。

(2)试验结果表明,排种器单行种子排量随排种盘转速的增大而几乎呈线性增加。单行排量均匀性变异系数、各行排量一致性变异系数和总排量稳定性变异系数都随排种盘转速的增加呈现先减后增的趋势,并在转速为 2.5 r/min 时最小,分别为 28.5%、1.33% 和 0.51%。破损率随着转速的增加而增加,在转速高于 2.5 r/min 时,破损率增加较为明显。同步转速试验确定了后续条播机设计时满足农艺对小麦播种播量要求下的调速范围,单行排量均匀性变异系数不大于 45%,满足农艺要求。

## 参 考 文 献

- 王业成,邱立春,张文娇,等.摩擦型立式圆盘精密排种器的设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(1):22-26.  
Wang Yecheng, Qiu Lichun, Zhang Wenjiao, et al. Design and experiment of friction vertical plate precision seed-metering device [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1):22-26. (in Chinese)
- Bereket B Z. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter[J]. Turkish Journal of Agricultural and Forestry, 2004, 28(6): 435-441.
- 刘立晶,杨学军,李长荣,等.2BMG-24型小麦免耕播种机设计[J].农业机械学报,2009,40(10):39-43.  
Liu Lijing, Yang Xuejun, Li Changrong, et al. Design of 2BMG-24 no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 39-43. (in Chinese)
- 刘立晶,刘忠军,杨学军,等.气流输送式小麦免耕播种机设计和试验[J].农业机械学报,2011,42(2):54-57.  
Liu Lijing, Liu Zhongjun, Yang Xuejun, et al. Design and test on pneumatic no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 54-57. (in Chinese)
- 廖庆喜,张猛,余佳佳,等.气力集排式油菜精量排种器[J].农业机械学报,2011,42(8):30-34.  
Liao Qingxi, Zhang Meng, Yu Jiajia, et al. Pneumatic centralized metering device for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 30-34. (in Chinese)
- 张猛,余佳佳,刘晓辉,等.气力集排式油菜精量排种器的排种过程分析[J].华中农业大学学报,2012,31(1):116-120.  
Zhang Meng, Yu Jiajia, Liu Xiaohui, et al. Analysis of metering process in pneumatic centralized metering device for rapeseed [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 31(1): 116-120. (in Chinese)
- 秦军伟,张晓辉,姜忠爱.探讨集中式排种器的排种机理及其发展[J].农业装备技术,2004,30(4):22-23.
- 李国林,宋炜,毛俐,等.国内外几种主要排种器的特点[J].农业科技与装备,2011(8):70-73.
- 张波屏.播种机械设计原理[M].北京:机械工业出版社,1982.
- 张波屏.现代种植机械工程[M].北京:机械工业出版社,1997.
- 常金丽,张晓辉.2BQ-10型气流一阶集排式排种系统设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(1):136-141.  
Chang Jinli, Zhang Xiaohui. Design and test of one-step centralized type pneumatic seeding system [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 136-141. (in Chinese)
- 廖庆喜,张宁,张朋玲,等.一器多行离心式油菜排种器[J].农业机械学报,2012,43(2):48-52.  
Liao Qingxi, Zhang Ning, Zhang Pengling, et al. Centrifugal metering device for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 48-52. (in Chinese)
- 祁兵,张东兴,崔涛.中央集排气送式玉米精量排种器设计与试验[J].农业工程学报,2013,29(18):8-15.  
Qi Bing, Zhang Dongxing, Cui Tao. Design and experiment of centralized pneumatic seed metering device for maize [J].

- Transactions of the CSAE, 2013, 29(18): 8–15. (in Chinese)
- 14 李顺, 马荣朝, 古强, 等. 水稻播种机排种装置的设计[J]. 农机化研究, 2012(9): 135–138.  
Li Shun, Ma Rongchao, Gu Qiang, et al. The design of seeding apparatus of paddy planter [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012(9): 135–138. (in Chinese)
- 15 廖庆喜, 高焕文, 臧英. 玉米水平圆盘精密排种器型孔的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 109–113.  
Liao Qingxi, Gao Huanwen, Zang Ying. Experimental study on the cell of the horizontal plate precision meter for corn seed [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(2): 109–113. (in Chinese)
- 16 王冲, 宋建农, 王继承, 等. 穴孔式水稻排种器投种过程分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8): 39–42.  
Wang Chong, Song Jiannong, Wang Jicheng, et al. Dropping process of rice seed metering device with hole [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 39–42. (in Chinese)
- 17 廖庆喜, 黄吉星, 刘光, 等. 油菜播种机槽孔轮式精量排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 63–66.  
Liao Qingxi, Huang Jixing, Liu Guang, et al. Design and experiment of precision metering device for slot wheeled seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 63–66. (in Chinese)
- 18 夏连明, 王相友, 耿端阳, 等. 丸粒化玉米种子精密排种器[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 53–57.  
Xia Lianming, Wang Xiangyou, Geng Duanyang, et al. Precision seed-metering device for pelleted corn seeds [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 53–57. (in Chinese)
- 19 程绪铎, 陆琳琳, 石翠霞. 小麦摩擦特性的试验研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(4): 15–19.
- 20 李德福, 李金才, 王成雨. 优质小麦烟农 19 的特征特性及丰产高效栽培技术[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2659–2660.
- 21 JPS-12 型排种器性能检测试验台使用说明书[M]. 哈尔滨: 博纳科技有限公司, 2007.
- 22 王玉顺, 郭俊旺, 赵晓霞. 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. 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)
- 23 Alchanatis V, Kashti Y, Brikman R, et al. A machine vision system for evaluation of planter seed spatial distribution [J]. CIGR Journal-Agricultural Engineering International, 2002, 4: 1–10.
- 24 GB/T 9478—2005《谷物条播机 试验方法》[S]. 2005.
- 25 夏连明, 王相友, 耿端阳. 倾斜圆台型玉米精密排种器种子破损试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 67–71.  
Xia Lianming, Wang Xiangyou, Geng Duanyang. Corn seed damaging experiment in truncated cone precision metering [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 67–71. (in Chinese)
- 26 梁素钰, 封俊, 曾爱军, 等. 新型组合吸孔式小麦精密排种器性能的试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 84–87.  
Liang Suyu, Feng Jun, Zeng Aijun, et al. Performance experiments of the seed-meter device with combined suckers [J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(2): 84–87. (in Chinese)

## Multi-line Metering Device with Ring Groove Push Movement

Cao Chengmao Wang Anmin Qin Kuan Sun Yan Zhou Min

(College of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**Abstract:** A multi-line metering device was designed for drill seeding of wheat and rice with ring groove push movement. Working principle of the multi-line metering device and force on dropping seed were analyzed, and the theoretical maximum speed of the metering plate was investigated. The Yannong-19 wheat was taken as the testing object, and the relationship among several parameters was studied, which were rotation speed with single-line delivery capacity, coefficient of variation of single-line flow rate, coefficient of variation of flow rate among all lines, coefficient of variation of total flow rate and damage rate through the captive test of seeding device. The experimental results showed that a linear increase was observed with increasing rotation speed. Coefficient of variation of single-line flow rate, flow rate among all lines and total flow rate firstly increased and then descended with increasing rotation speed, and the lowest coefficient of variation (28.5%, 1.33% and 0.51%) were observed at 2.5 r/min rotation speed. The damage rate increased with the increasing rotation speed, and increased obviously when rotation speed was higher than 2.5 r/min.

**Key words:** Seed-metering device Drill seeding Ring groove push type One-machine-multi-line