

王珏, 杨欣, 侯为康, 等. 一器双排交错排种器及开沟装置的设计及其机制[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 207–211.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.053

# 一器双排交错排种器及开沟装置的设计及其机制

王珏<sup>1</sup>, 杨欣<sup>1</sup>, 侯为康<sup>1</sup>, 王建合<sup>2</sup>, 何建华<sup>1</sup>, 张亮<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学机电工程学院, 河北保定 071001; 2. 河北省农机化技术推广服务站, 河北石家庄 051001)

**摘要:**为使棉花实现机械化采收, 河北省棉花产业技术体系借鉴新疆的种植模式, 并结合河北省当地条件推行 (68+8) cm 宽窄行种植模式, 同时进行错位使棉株呈规律性的等腰三角形排列; 为适应河北省推行的种植模式, 设计一种棉花双排交错精量播种开沟组合装置, 该装置包括对称设置的空腔, 空腔内对称设置有双排播种装置, 左、右排种轮错位 15° 实现错位播种。通过分析计算, 确定棉花双排交错精量排种器和开沟装置关键部件的参数; 对棉花双排交错精量排种器进行排种机制的解析, 构建排种器主要工作过程的充种、清种、护种、投种的运动学与动力学模型。2016 年 4 月初在河北省石家庄鹿泉试验田进行作业试验, 结果显示排种器播种深度及穴距一致性良好, 双粒率 82.8%, 三粒率 9.6%, 多粒率 2.0%, 单粒率 4.4%, 空穴率 1.2%; 播种深度 26 mm, 播种深度合格率 91.0%; 基本实现错位种植等腰三角形排列。

**关键词:**棉花; 机械化采收; 双行错位排种器; 宽窄行种植模式; 田间试验; 开沟装置; 动力学模型; 播种深度; 穴距

**中图分类号:** S223.2<sup>+</sup>4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0207-05

棉花是我国主要的经济作物之一, 是纺织工业的主要原料, 也是人们的生活必需品, 棉花生产在农业生产中占有重要地位<sup>[1]</sup>。河北省地处我国黄河流域优势棉产区北界, 棉花种植面积占全国的 10%, 具有十分重要的地位<sup>[2]</sup>。但近几年, 河北省棉花种植面积呈逐年下降趋势。造成棉花种植面积减少的重要原因之一是棉花种植、管理和收获等主要靠人工作业, 该模式机械化程度低、劳动强度极大<sup>[3-4]</sup>。在国家棉花产业技术体系推动下, 我国新疆地区棉花种植机械化水平得到大幅提升。2014 年新疆地方系统棉花机播水平达 99.31%, 新疆生产建设兵团棉花机播达到 100%<sup>[5]</sup>。据目前国内几种主要使用的采棉机型收获作业技术要求, 棉花种植行距必须是 76 cm 等行距种植模式, 为了增加单位面积的株数和产量, 新疆多采用 (66+10) cm 的种植模式。

为了使棉花实现机械化采收, 河北省棉花产业技术体系借鉴新疆的种植模式, 并结合河北省当地条件推行的 (68+8) cm 宽窄行种植模式, 同时进行错位种植使棉株呈规律性的等腰三角形排列<sup>[6]</sup>。

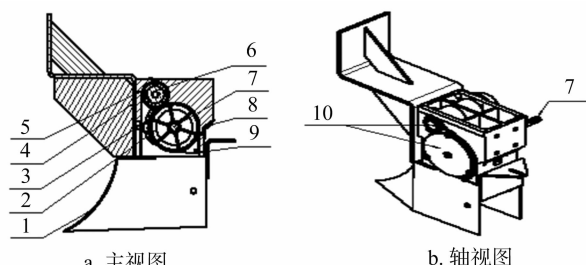
为了满足新种植模式棉花的播种要求, 设计一种一器双排交错排种器及开沟装置。排种器的充种能力、排种精度和排种效率等是衡量其设计和工作质量的重要指标<sup>[7-8]</sup>, 基于这些指标进行理论分析, 确定关键参数; 并对棉花双排交错精量排种器进行排种机制的解析, 构建排种器主要工作过程的充种、清种、护种、投种的运动学与动力学模型; 最后进行田

间试验, 验证其性能指标。

## 1 结构及工作原理

### 1.1 主要结构理论基础

根据机采棉种子的特性和棉花播种单体的技术要求, 设计棉花一器双排交错排种器及开沟装置<sup>[9]</sup>。该装置由开沟器、箱体、排种轮、排种轴、毛刷轮、毛刷轴、护种板、清种板、清种合页装置、密封装置组成 (图 1)。



1—开沟器; 2—排种轮; 3—护种板; 4—毛刷轮; 5—毛刷轴; 6—箱体; 7—排种轴; 8—清种合页装置; 9—清种板; 10—密封装置

图1 播种单体结构图示

在箱体的空腔内通过排种轴错位 15° 配装左排种轮和右排种轮; 左排种轮和右排种轮上分别均匀分布 12 个能存放 2~3 粒棉花种子的窝眼, 并且 2 排窝眼之间的距离是 8 cm。在箱体侧上方使用毛刷轴对称配装左右毛刷轮; 左右护种板对称配装在箱体侧壁上, 左右护种板上端与左右毛刷轮紧贴, 下方与左右排种轮相切; 右清种板和左清种板放置在左右护种板的下端, 通过双头螺栓对称固定在箱体上, 弧形端相切于排种轮的清种槽内, 清理从护种板回转下来的种子。开沟器配装在箱体下端, 其前连接板通过 U 型螺栓与机架前横梁连接, 牵引播种单体前进作业, 为排种器开沟。合页装置安装在箱体后下方, 在播种完成后, 可打开合页, 清理箱体里剩余的种子。

收稿日期: 2016-09-13

基金项目: 河北省棉花产业创新团队建设棉花配套农机具研发与农机农艺结合岗专项 (2013—2017 年度)。

作者简介: 王珏 (1990—), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事农业机械设计研究。E-mail: 649266760@qq.com。

通信作者: 杨欣, 博士, 教授, 主要从事农业机械设计研究。E-mail: yangxin@hebau.edu.cn。

## 1.2 工作原理

机具作业时,开沟器提前开沟,左右排种轮随着排种轴在外力的作用下作圆周回转运动。由于自身的重力,棉籽分别进入左右排种轴窝眼内,且随排种轮作圆周运动。左右毛刷轮可以清理掉多余的棉籽,只保留下窝眼内的 2~3 粒种子。紧接着左右护种板保护棉籽回转到水平及以下位置(此时不会由于自身的重力和惯性提前掉落),当棉籽到达左右清种板区域时,左右清种板清理掉窝眼内的棉籽,棉籽掉落在种槽内,完成 1 次播种周期。由于错位 15° 配装左排种轮和右排种轮,并且 2 排窝眼之间的距离是 8 cm,最终实现双行错位播种。

## 2 一器双排交错排种器及开沟装置结构参数

### 2.1 排种器基本结构参数

**2.1.1 排种轮型孔形状** 排种轮型孔尺寸受不同作物、不同种子和不同播种精度的影响,种子的物理特征、参数直接影响型孔的大小和形状。本研究选取新陆早 32 号棉籽进行研究,脱绒棉棉籽的外形接近椭球体,但棉籽两端差异很大,其中一端呈锥形,另一端呈半球球状,而且脱绒棉棉籽籽皮有部分凹陷和凸起。根据棉籽的粒型特点将棉籽的粒型基本界定在圆锥形和椭圆形之间。

本研究选取的有助于充种和减轻清种板对种子的损伤的半球形形状型孔带有倒角,根据技术要求,每个型孔须要容纳  $(2 \pm 1)$  粒种子,设计计算时,按 2 粒分析计算,型孔的直径  $d$  和高度  $h$  要满足:

$$\begin{cases} 2l_{\max} < d < 3l_{\min} \\ 2l_{\max} < h < 3l_{\min} \\ d = 2l_{\max} + K \end{cases} \quad (1)$$

式中: $d$  为型孔直径,mm; $h$  为型孔深度,mm; $l_{\max}$  为棉花籽最大尺寸,mm; $l_{\min}$  为棉花籽最小尺寸,mm; $K$  为间隙,mm。

根据经验,化简得:

$$d \approx 1.1l_{\max} \sim 1.3l_{\max}; \quad (2)$$

$$h \approx 0.9l_{\max} \sim 1.1l_{\max}。 \quad (3)$$

取  $l_{\max} \approx 9$  mm,代入公式(2)与公式(3)中,得  $d \approx 9.9 \sim 11.7$  mm,  $h \approx 8.1 \sim 9.9$  mm,实际设计中取  $d = 10.0$  mm,倒角为  $45^\circ$ ;  $h = 8.5$  mm。

**2.1.2 排种轮直径** 排种轮直径的设计也尤为重要,设计得较大会导致排种器及其他部件增大;设计得太小会导致充种困难。因此,排种轮直径设计时,既要满足种子良好的填充性能,又要保证相对合理的部件结构,窝眼式排种轮直径一般为 80~200 mm<sup>[10]</sup>,本研究选择直径为 130 mm 的排种轮。

**2.1.3 型孔数** 型孔数量与排种轮线速度  $v_p$ ,机具作业速度  $v_m$ ,排种轮直径  $D$  等有以下关系:

$$E = \pi D(1 + \delta) v_m / (v_p L)。 \quad (4)$$

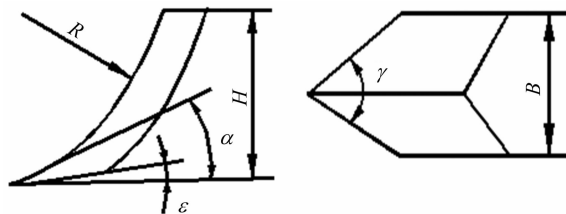
式中: $E$  为型孔数; $D$  为排种轮直径; $\delta$  为地轮滑移率; $v_m$  为机具作业速度; $v_p$  为排种轮线速度; $L$  为穴距或株距。

由“3.1”节可知,排种轮线速度不能大于 0.161 7 m/s,取  $v_p = 0.1$  m/s,设计中取播种机前进作业速度  $v_m = 3.0$  km/h,穴距  $L = 28.0$  mm,地轮滑移率  $\delta = 10\%$ ,得型孔数  $E = 12$ 。

### 2.2 开沟器基本结构参数

开沟器的结构简图如图 2 所示,为了增加开沟器的耐磨

性,使用 3 mm 厚的 65 锰钢板制造。图 2 中  $\alpha$  为入土角,其值较小时,入土能力强,工作阻力小,但会导致铧尖过长,强度和耐磨性差,同时沟槽深度也不够;其值较大时,强度和沟槽深度能达到要求,但是入土能力不足,前进阻力也比较大。所以,必须选择合适的入土角。试验研究表明,芯铧式开沟器入土角在  $15^\circ \sim 25^\circ$  最合适,此设计选择的入土角  $\alpha = 25^\circ$ 。



$\alpha$ —入土角;  $\epsilon$ —入土隙角;  $\gamma$ —斜切角;  $H$ —铧高;  
 $B$ —开沟器幅宽;  $R$ —工作阻力

图2 开沟器结构简图图示

入土隙角  $\epsilon$  是土壤表面和开沟器底面构成的夹角,开沟器入土性能也受  $\epsilon$  值的影响。 $\epsilon$  值过小,入土能力较差,增大了摩擦阻力致使底面磨损严重; $\epsilon$  值较大,致使沟槽底面不平,回土提前, $\epsilon$  值取  $5^\circ \sim 10^\circ$  最合理,本研究中入土隙角  $\epsilon = 5^\circ$ 。 $\gamma$  为斜切角,芯铧开沟器的斜切角过大,杂物不易通过,容易造成缠挂和堵塞;斜切角过小时,切断杂物的能力较弱,斜切角一般取  $60^\circ \sim 75^\circ$ ,本设计中斜切角  $\gamma = 60^\circ$ 。铧高  $H$  过高会壅土增加工作阻力,本研究中铧高取  $H = 140$  mm。开沟器幅宽  $B$  主要作用为控制垄作幅宽,由苗幅宽度决定,本开沟器幅宽  $B = 120$  mm。

## 3 排种过程力学分析

窝眼轮排种器作业时,可以分为充种过程、清种过程、护种过程和投种过程,且分别对应 4 个区域内完成<sup>[11]</sup>,具体情况如图 3 所示。设计排种器时,有必要对 4 个过程进行力学分析计算,为尺寸参数的进一步设计奠定理论基础。

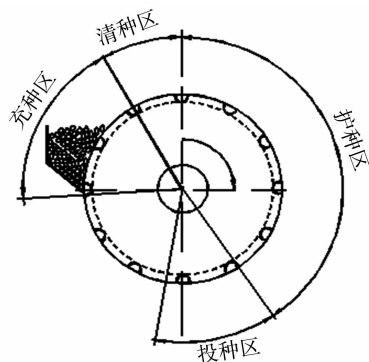
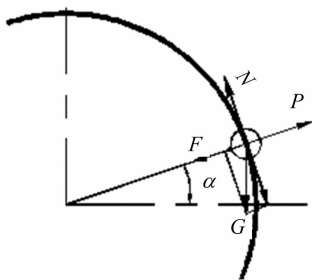


图3 排种器作业区域图示

### 3.1 充种过程力学分析

充种过程中,种子群底层种子随着排种轮的转动而转动,箱体内存积的种子产生垂直压力,从而产生摩擦力阻碍底层种子充种。此过程种子还受到诸多力的影响,为了便于分析计算,上层种子的厚度、空气阻力和底层种子的转矩等忽略不计<sup>[12]</sup>。

当排种轮作业转动时,流经窝眼的棉籽,受重力  $G$ 、离心力  $P$  和种群相互作用力  $F$  的作用,结果如图 4 所示。



$F$ —种群相互作用力;  $G$ —重力;  $P$ —离心力;  $N$ —支持力;  
 $\alpha$ —种子随播种器转动某一时刻的水平夹角

图4 种子充种受力图示

由图 4 种子受力分析可得:

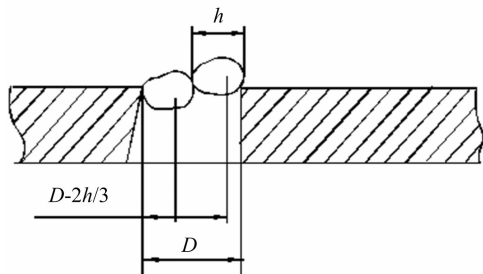
$$F + G \sin \alpha - P = ma; \quad (5)$$

$$N - G \cos \alpha = 0. \quad (6)$$

由公式(5)、(6)可知,当转速过大时,离心力  $P$  增大,大于重力  $G$  和  $F$  的合力,种子将无法落入型孔内,导致充种率下降。种子的中心恰巧运动到型孔的另一边时是临界状态,把这时的转速称为极限圆周速度。

如图 5 所示,由运动学原理可知,种子落入型孔的过程可分为沿型孔切线的匀速运动和法线的匀加速运动。假设尖端向下,种子充种用时为  $t$ ,则通过的切线位移为

$$vt = D - \frac{2}{3}h. \quad (7)$$



$D$ —型孔直径;  $h$ —种子长度

图5 种子充种图示

法向方向的位移为

$$\frac{b_{\max}}{2} = \frac{gt^2}{2}. \quad (8)$$

合并公式(7)与公式(8)可得:

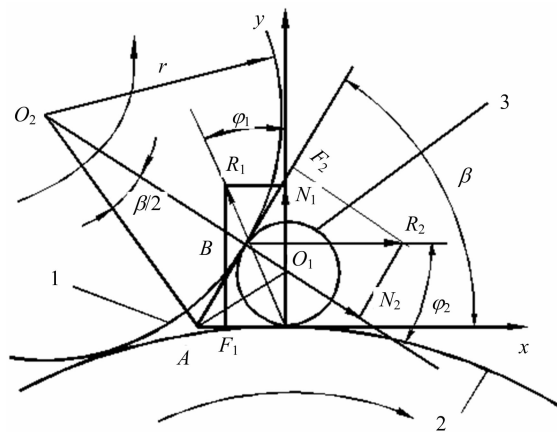
$$v = (D - \frac{2}{3}h) \sqrt{\frac{g}{b_{\max}}}. \quad (9)$$

式中: $v$  表示型孔的线速度,  $m/s$ ;  $D$  表示型孔的直径,  $m$ ;  $h$  表示种子长度,  $m$ ; 棉花光籽尺寸为  $0.009 m$ ;  $b_{\max}$  表示最大宽度,  $m$ ;  $t$  表示时间,  $s$ ; 棉籽尺寸为  $0.006 m$ ;  $g$  表示重力加速度,  $m/s^2$ , 取  $9.8 m/s^2$ 。

由“2.1.1”确定型孔直径为  $10 mm$ , 代入数据到公式(9)中, 得型孔的极限线速度为  $v = 0.1617 m/s$ 。

### 3.2 清种过程力学分析

在窝眼轮排种器中,清种过程存在 3 种互相作用的力,即种子、排种轮以及毛刷轮三者之间的作用力。多余的种子从排种轮与毛刷轮夹缝中被清除出来,种子破碎也多发生在此过程中<sup>[13]</sup>。因此,有必要研究种子在此状况下的受力情况,结果如图 6 所示。



1—毛刷轮; 2—排种轮; 3—种子  
图6 清种力学分析

毛刷轮切线与排种轮切线的夹角用  $\beta$  表示,种子与排种轮间的摩擦角用  $\varphi_1$  表示,正压力用  $N_1$  表示,摩擦力用  $F_1$  表示;  $O_1$ 、 $O_2$  分别为种子与毛刷轮圆心;  $R_1$ 、 $R_2$  分别为排种轮、毛刷轮对种子的支撑力与摩擦力的合力;  $r$  为毛刷轮半径;种子与毛刷轮之间的摩擦角用  $\varphi_2$  表示,正压力用  $N_2$  表示,摩擦力用  $F_2$  表示。当种子处于平衡状态时可得:

$$\begin{cases} F_x = -F_1 + N_2 \sin \alpha + F_2 \cos \alpha = 0 \\ F_y = N_1 + F_2 \sin \alpha - N_2 \cos \alpha = 0 \end{cases} \quad (10)$$

受力分析可知,棉籽不被夹住的力学关系为

$$F_1 \leq N_2 \sin \alpha + F_2 \cos \alpha. \quad (11)$$

或者

$$\begin{aligned} N_1 \tan \varphi_1 &\leq N_2 \sin \alpha + N_2 \tan \varphi_2 \cos \alpha; \\ N_1 &\leq N_2 \frac{\sin(\alpha + \varphi_2) \cos \varphi_1}{\sin \varphi_1 \cos \varphi_2}. \end{aligned} \quad (12)$$

则有

$$N_1 = N_2 \cos \alpha - F_2 \sin \alpha = N_2 \cos(\alpha + \varphi_2) / \cos \varphi_2. \quad (13)$$

公式(12)与(13)变换后可得:

$$\tan \varphi_1 \leq \tan(\alpha + \varphi_2). \quad (14)$$

即

$$\alpha \geq \varphi_1 - \varphi_2. \quad (15)$$

由公式(15)可得,种子不被毛刷轮与排种轮夹住,则夹角  $\alpha$  值应该不小于  $\varphi_1$  与  $\varphi_2$  之差。为解决种子被夹住或夹坏,可以通过改变排种轮的材料来缩减动摩擦因数  $\mu_1$ ,但会增加种子相对排种轮的速度,从而影响充种性能,所以此方法不可用。另一种减小种子损伤的途径是改变毛刷轮的反弹清种能力,加大毛刷轮摩擦力,或是减小毛刷轮直径,用来加大  $\alpha$  值。

由图 6 的几何关系可以求出:

$$\alpha = 2 \arctan \sqrt{\frac{r_0}{r}}. \quad (16)$$

式中: $r_0$  表示种子厚度,  $mm$ ;  $r$  表示毛刷轮半径,  $mm$ 。

在本设计中  $r$  取值为  $70 mm$ ,棉花种子厚度  $r_0$  取值范围为  $3.22 \sim 6.00 mm$ ,代入数值到公式(16)得  $\alpha$  取值在  $24.2^\circ \sim 32.9^\circ$ ,本研究取  $\alpha = 30^\circ$ 。

### 3.3 护种过程力学分析

种子在护种过程下的受力情况如图 7 所示。由此可知,种子在护种过程中受到的合力为

$$F_0 = N_0 + G + P_0 = mR\omega^2。$$
 (17)

式中： $F_0$  表示种子所受合力， $N$ ； $N_0$  表示排种轮作用在种子上的力， $N$ ； $G$  表示种子的重力， $N$ ； $P_0$  表示护种板作用在种子上的力， $N$ ； $m$  表示种子的质量， $kg$ ； $R$  表示种子与排种轴间的长度， $mm$ ； $\omega$  排种轮角速度， $n/min$ 。

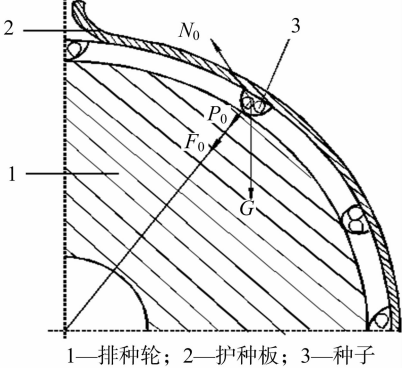


图7 护种力学分析

种子作圆周运动，按“3.1”节的结果线速度按 0.161 7 m/s 计算，种子的千粒质量为 95 g，可知  $F$  远小于种子能够承受的最小载荷 13.7 N<sup>[14]</sup>，得在护种区种子不会被压碎。

3.4 投种过程力学分析

种子在投种过程中的受力情况如图 8 所示，由此可知种子在护种过程中受到的合力为

$$F = N + G + T。$$
 (18)

式中： $N$  表示排种轮作用在种子上的力， $N$ ； $T$  表示清种板作用在种子上的力， $N$ 。当  $T = 0$  时，即种子还没有碰到清种板就下落，此种情况为理想效果，投种质量最好；当  $T \neq 0$  时，即种子没有自由下落，而是依靠清种板推送强制下落，以防止漏播。

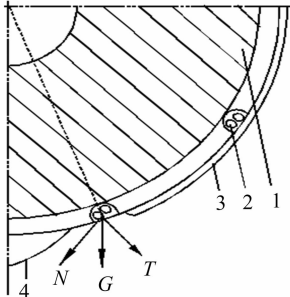


图8 投种力学分析

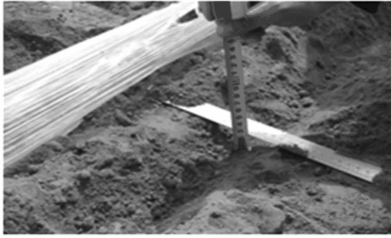
4 田间试验

4.1 试验条件及方法

参考 GB/T 6973—2005《单粒（精密）播种机试验方法》<sup>[15]</sup> 的标准，于 2016 年 4 月初棉花种植季节在河北省石家庄鹿泉试验田进行作业试验，结果如图 9 所示。石家庄市鹿泉区（38°01′N，113°58′E）位于石家庄市西部，海拔 492.0 m，年平均降水量 578.5 mm，年平均温度 12.9℃，无霜期 191 d，土壤类型为褐土，属于半湿润大陆性季风气候<sup>[15]</sup>。试验时，土壤含水率 20% 左右，地面坡度小于 5°，比较平坦。空气温度平均为 20°左右。



a.样机作业



b.测量播深  
图9 田间试验

4.2 试验结果与分析

4.2.1 穴粒数测定 根据农艺和旋播机技术要求，行距为（68+8）cm，穴距为 28 cm，播深 2~3 cm，每穴 2~3 粒种子，测定时按照双粒播种试验方法，种子之间小于 10 cm 按 1 穴计算，每穴种子多于 3 粒按多粒计算。

由于机具是膜下播种，作业完成后，把地块分为 5 个长条区域，在每个区域中找到播种行，在中间选取 1 点，以此点为始。移开薄膜，拨走土壤，连续测 50 个种穴，记录好每穴种粒数。分析计算数据可获得双粒率、3 粒率、多粒率、单粒率以及空穴率（表 1）。

表1 穴粒数分析

序号	双粒率 (%)	三粒率 (%)	多粒率 (%)	单粒率 (%)	空穴率 (%)
1	80.0	14.0	2.0	4.0	0.0
2	82.0	8.0	2.0	6.0	2.0
3	86.0	10.0	2.0	2.0	0.0
4	84.0	6.0	4.0	4.0	2.0
5	82.0	10.0	0	6.0	2.0
平均值	82.8	9.6	2.0	4.4	1.2

由表 1 可知，在机具作业速度为 3.0 km/h 时，排种器的部分性能指标分别为双粒率 82.8%，3 粒率 9.6%，多粒率 2.0%，单粒率 4.4%，空穴率 1.2%。

4.2.2 穴距均匀性测定 测定范围应在播种起始位置的 20 m 之外，测量长度大于理论设计的 250 个穴距长度。机具理论穴距  $X_t$  为 280 mm。利用习惯统计法，反映穴距均匀性的指标有粒距合格率、漏播率、重播率。其中穴距在  $X_t \pm 0.5X_t$  之间为合格，大于  $1.5X_t$  为漏播，小于  $0.5X_t$  为重播。本研究中小于 140 mm 为重播，大于 420 mm 为漏播。计算公式如下

合格率  $H = \frac{n_1}{N} \times 100\%$ ； (19)

漏播率  $L = \frac{n_2}{N} \times 100\%$ ； (20)

重播率  $C = \frac{n_3}{N} \times 100\%$ 。 (21)

式中: $n_1$  表示合格穴距数量; $n_2$  表示漏播穴距数量; $n_3$  表示重播穴距数量; $N$  表示实测穴距数量。

把测量数据统计分析后代入公式(19)~(21)中,汇总结果如表 2 所示。

表 2 播种质量指标			
数值	漏播指数 (%)	重播指数 (%)	穴距合格指数 (%)
国家标准	≤8.0	≤15.0	≥80.0
实测值	0.8	4.4	94.8

为更加直观地判断所测穴距与理论穴距的分布情况,对 250 个穴距样本进行编号,绘制成图 10。从图 10 可以看出,大部分测量值趋于理论值上下,不合格的样本数较少,说明穴距合格率较高,粒距均匀性优良,机具播种性能良好。

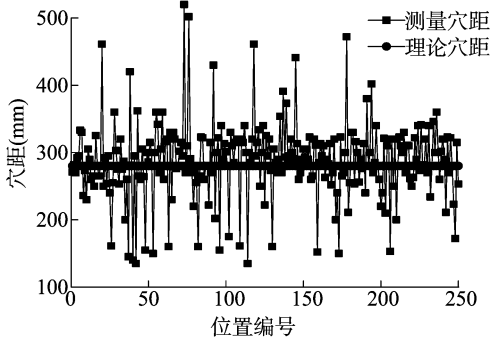


图10 测定位置与粒距关系拟合

4.2.3 播深一致性 为保证后期棉花出苗率,应满足本地农艺要求的播深,播深合格,则相应苗期长势好、整齐。依据 GB/T6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》<sup>[15]</sup>,检测设备包括钢尺、卷尺及取土铲;沿播种幅宽,在田间依照 S 形选取 5 个样本区段,1 个样本随机选取 20 穴测定播深;总数为 100 个样本,测量播深,统计数据见表 3。

表 3 播深合格率		
数值	播种深度 (mm)	播种深度合格率 (%)
国家标准	20~30	≥80
实测平均值	26	91

虽然田间试验可能会受到环境、操作、人为等一系列因素的影响,导致一些差异,但总体上来讲,该机具播种性能达到了国家相关标准,符合棉花产业体系及农艺技术要求<sup>[16-17]</sup>,能够满足现阶段棉花种植的需求。

5 结论

本研究结合河北省推行的种植模式,创新设计出一种棉花双排交错精量播种开沟组合装置,通过排种轴错位 15°装

配左、右排种轮,实现错位播种。通过分析计算,确定了棉花双排交错精量排种器和开沟装置关键部件的参数;对棉花双排交错精量排种器进行排种机制解析,构建排种器主要工作过程的充种、清种、护种、投种的运动学与动力学模型。本研究进行了田间试验和性能鉴定检测,结果表明,棉花双排交错精量播种开沟组合装置穴距合格指数为 94.8%,重播指数为 4.4%,漏播数为 0.8%。性能指标均达到设计要求,满足国家相关标准技术指标。

参考文献:

[1] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2013:66-70,82-83.

[2] 朱启荣. 中国棉花主产区空间布局变迁研究(1980—2002)[D]. 北京:中国农业大学,2005.

[3] 耿军义,郭宝生,王凯辉,等. 河北省棉花生产全程机械化管理技术[J]. 现代农村科技,2014(22):14-15.

[4] 彭海兰,郎勇,李明昊,等. 长江流域棉花生产现状及其育种对策[J]. 中国棉花,2013,40(2):12-15.

[5] 武建设,陈学庚. 新疆兵团棉花生产机械化发展现状问题及对策[J]. 农业工程学报,2015,31(18):5-10.

[6] 杨欣,王建合,杨淑华,等. 京津冀棉花种植机械化发展建议与配套机具研发[J]. 农业工程,2015,5(6):1-5.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 河北农业大学. 一种棉花双排交错精量播种开沟组合装置:10902698.0[P]. 2015-12-09.

[10] 王增垚. 三七精密播种机关键部件研发及整机设计[D]. 昆明:昆明理工大学,2015.

[11] 黄吉星. 集中型槽孔轮式油菜精量排种器设计及其破碎率试验研究[D]. 武汉:华中农业大学,2010.

[12] 王金武,唐汉,周文琪,等. 指夹式精量玉米排种器改进设计与试验[J]. 农业机械学报,2015,46(9):68-76.

[13] 孙静鑫,郭玉明,杨作梅. 不同型式小籽粒精少量排种器排种性能比较分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2016(1):65-71.

[14] 王吉奎. 穴播轮中棉种的运动规律与夹持取种机理研究[D]. 西安:西北农林科技大学,2010.

[15] 邸少楠. 石家庄市矿区统筹区域土地利用研究[D]. 保定:河北农业大学,2010.

[16] 王宁,周红,杨杰,等. 棉花新品系中 571 简化整枝适宜栽培密度研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):135-139.

[17] 金路路,徐敏,王子胜. 棉花最适播种密度及氮、磷、钾施肥量的关系[J]. 江苏农业科学,2017,45(17):81-84.