

# 气力式水稻芽种精量旱直播机的设计与试验

翟建波<sup>1</sup> 夏俊芳<sup>2</sup> 周俊华<sup>2</sup> 周勇<sup>2</sup> 展鹏程<sup>2</sup>

1. 武汉轻工大学机械工程学院, 武汉 430023; 2. 华中农业大学工学院, 武汉 430070

**摘要** 为满足水稻大田精量旱直播的农艺要求,设计一种气力式水稻芽种精量旱直播机,可一次完成平地、开肥沟、正下方深施底肥、开厢沟、开种沟、播种、覆土、镇压等工序。采用气力式水稻芽种精量穴直播排种器可同时吸附2~4粒芽种,不伤芽种;利用微型水平摆式开沟犁开厢沟,采用前后双螺旋叶片实现直播田块的平整,采用双圆盘开沟器与外槽轮式排肥器实现芽种正下方深施肥。为解决直播机纵向尺寸过大,拖拉机前进时左右、前后倾斜对播种深度产生的影响,设计了仿形单体式排种装置。田间性能试验表明,该气力式水稻芽种精量旱直播机的播种穴粒数合格率为86.7%,芽种破损率为0.8%,主要性能指标均达到了国家相关标准的规定。

**关键词** 水稻直播;旱直播;水稻芽种;气力式;双螺旋叶片;单体式排种装置

**中图分类号** S 223.2<sup>+</sup>3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2017)01-0110-07

水稻栽培技术分为直播和移栽2种体系。水稻直播用机械化作业代替人工作业,省工、省力、省秧田,是一种轻简型、高效栽培技术<sup>[1-4]</sup>。水稻直播又分为旱直播和水直播,旱直播是在旱田状态下将水稻芽种直接播入大田,播种后灌水的一种节水种植方式<sup>[5-7]</sup>。由于目前我国水稻种植大部分以移栽为主,劳动强度大、工作效率低、耗水量大,因此,为解决农村劳动力不足和节约水资源,水稻直播尤其是精量旱直播逐渐成为我国水稻种植发展的方向<sup>[8-9]</sup>。

目前我国采用的水稻直播机大都是由小麦条播机改制而成,机具结构复杂、笨重,田间下陷量大,成穴性差,穴粒数难以精确控制,难以实现水稻精量穴直播,无法满足现代水稻种植农艺要求<sup>[10-12]</sup>。李志伟等<sup>[13]</sup>研制了电磁振动式水稻育秧穴盘播种机,具有结构简单、不伤种、播种量可调等特点,但容易出现断流和落种窜穴现象,仅适用于工厂化育秧。王林力等<sup>[14]</sup>设计了一种偏心顶杆式水稻芽种精量播种机,其结构简单,芽种破损率低,但缺乏开厢沟装置,不利于田间管理。任文涛等<sup>[15-16]</sup>研制了水稻种绳直播机,结构简单、成本低,但穴距调节精度差,生产效率较低。夏俊芳等<sup>[17]</sup>研制了1种芽种精量直播、侧行深施肥播种施肥机,可一次完成平地、开厢沟、作畦、施肥、盖种、盖肥等环节,但只适用于水直

播。梁宝忠等<sup>[18]</sup>设计了1种适用于旱田和湿、水田的水稻直播机,工作可靠,生产效率高,但播种量过大,容易伤芽种。由于水稻多采用芽种直播,气力排种器对种子适应好、芽种损伤较小,且可以高速作业,研究一种能够精量旱穴直播,穴粒数、穴距可满足农艺要求的气力式水稻直播机尤为必要。针对现有水稻直播机的不足,在分析现有精量直播机排种机理的基础上,本研究提出并设计了一种气力式水稻芽种精量旱直播机,该机作业时可一次完成平地、开肥沟、正下方深施底肥、开厢沟、开种沟、播种、覆土、镇压等工序,可实现水稻大田精量旱穴直播,能够有效减少水稻种植工序和劳动强度,达到节本增效的效果。

## 1 总体结构与工作原理

### 1.1 总体结构

气力式水稻芽种精量旱直播机主要由开厢沟装置、平地装置、主机架、施肥装置、气力装置、副机架、地轮系统、播种装置和覆土镇压装置等部分组成(图1)。其中,开厢沟装置、平地装置、主机架、施肥装置和气力装置共同组成旱直播机的主体部分,负责实现开厢沟、整地、施肥等功能。该机采用三点式悬挂机构正悬挂于轮式拖拉机后方,搭载气力式水

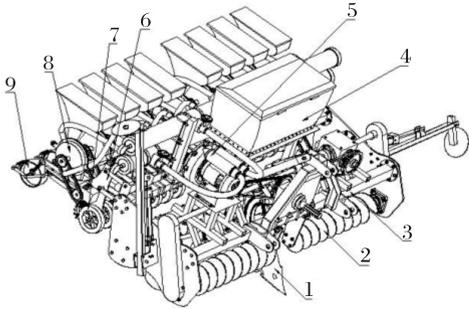
收稿日期: 2016-03-31

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD06B01); 公益性行业(农业)科技专项(201203059); 武汉轻工大学引进(培养)人才科研启动项目(2016RZ15)

翟建波, 博士, 讲师. 研究方向: 现代农业装备设计与测控. E-mail: zhajianbowh@163.com

通信作者: 夏俊芳, 博士, 教授. 研究方向: 现代农业装备设计及测控. E-mail: xjf@mail.hzau.edu.cn

稻芽种精量排种器,采用微型水平摆式开沟犁开厢沟,利用前后螺旋叶片装置平地,采用双圆盘开沟器与外槽轮式排肥器实现芽种正下方深施肥,通过挂接式单体播种装置实现随地仿形,能够在耕整好的旱地上一次完成平地、开肥沟、正下方深施肥、开厢沟、开种沟、播种、覆土、镇压等工序。依据水稻大田精量旱穴直播种植农艺技术规程和作业习惯,该气力式水稻芽种精量早直播机选用气力式精量排种器和外槽轮式排肥器,其整机质量为 620 kg,外形尺寸为 1 700 mm×2 330 mm×1 400 mm,作业速度为 2~4 km/h,作业幅宽为 2 200 mm,播种工作行数为 8 行,行距为 250 mm(可在±20 mm 范围内微调),播种株距为 100、150 和 200 等多档位可调,播种深度为 8~10 mm,纯生产率 0.63~0.9 hm<sup>2</sup>/h。



1.开厢沟装置 Opening furrows device; 2.平地装置 Leveling device; 3.主机架 Main frame; 4.施肥装置 Fertilization device; 5.气力装置 Pneumatic device; 6.副机架 Auxiliary frame; 7.地轮系统 Land wheel system; 8.播种装置 Seeding device; 9.覆土镇压装置 Covering and pressing device.

图 1 整机结构示意图

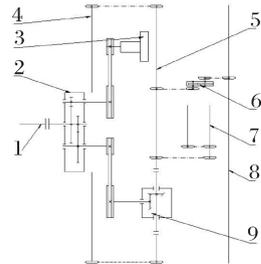
Fig.1 Structure diagram of the whole machine

1.2 工作原理

气力式水稻芽种精量早直播机的工作原理可分为各主动运动部件动力传递路线和播种作业 2 个部分。

1)动力传递路线。气力式水稻芽种精量早直播机与 62.5~73.5 kW 轮式拖拉机配套,拖拉机动力输出轴的动力经万向节传递至主齿轮箱,之后动力分为两部分,一部分通过齿轮传动和带传动进行加速,带动漩涡式气泵旋转,为气力式水稻芽种精量排种器提供正、负气压;另一部分通过齿轮传动和带传动减速,在经过 1 个锥齿轮变速箱变换旋转方向后,传递到中间轴上,中间轴通过链传动带动前螺旋叶片做正转运动实现推送土壤的功能,再经过 1 对齿轮传动换向后用链传动带动后螺旋叶片做反转运动

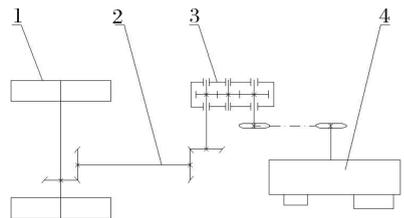
实现推送并压实土壤的功能;同时从中间轴上通过链传动带动排肥轴转动,实现排肥器的排肥功能。为了保证株距的稳定性,同时考虑到地轮在旱地的滑移率较小,采用地轮传动作为气力式水稻芽种精量排种器的排种动力。排种装置为单体式,整体结构需要小巧紧凑,故采用集成式的 2 对锥齿轮传动来代替传统的链条传动以减少空间;同时在动力传递路线上设置了 1 个多档位的变速箱来达到种子穴距可调的目的。地轮随着拖拉机行走而转动,之后通过 2 对锥齿轮传动将动力输入到变速箱,变速箱的输出端通过链传动带动排种轴转动,从而驱动排种器进行排种作业。拖拉机在田间、地头空行或者掉头转弯时可以通过三点悬挂装置将整机抬起,从而切断排种动力,避免了种子的浪费。拖拉机动力输出轴传动路线如图 2 所示,地轮动力传递路线如图 3 所示。



1.拖拉机动力输出轴 Outputting shaft of tractor; 2.主变速箱 Main gear box; 3.漩涡式气泵 Vortex air pump; 4.前螺旋叶片轴 Front helical blade shaft; 5.中间轴 Intermediate shaft; 6.齿轮传动 Gear drive; 7.排肥轴 Fertilizer metering shaft; 8.后螺旋叶片轴 Back helical blade shaft; 9.锥齿轮变速箱 Bevel gear transmission.

图 2 拖拉机动力输出传递路线图

Fig.2 Transmission road map of tractor power



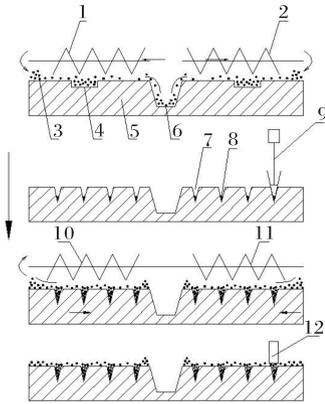
1.地轮 Land wheel; 2.锥齿轮传动 Bevel gear drive; 3.小变速箱 Small gear box; 4.排种器 Seed metering device.

图 3 地轮动力传递路线图

Fig.3 Transmission road map of land wheel power

2)播种作业。首先位于整机前下方的水平摆式双向犁在拖拉机的带动下在旱地田块开出厢沟,铲出的土壤颗粒会向两边抛送,在前右旋螺旋叶片和

前左旋螺旋叶片的作用下继续向旱直播机两侧移动,抹平拖拉机开过后在地表留下的轮辙印;然后双圆盘开沟器在旱地上开出肥沟,外槽轮式排肥器排出的肥料落于肥沟的底部;接着之前被移动到旱直播机两侧的土壤颗粒在后右旋螺旋叶片和后左旋螺旋叶片的作用下向中间移动,覆盖肥沟的同时抹平地表面;最后在挂接式仿形单体排种装置的作用下,在已覆盖土壤的肥沟正上方开出的种沟,气力式水稻芽种精量穴直播排种器播下芽种,经镇压轮镇压完成播种作业,气力式水稻芽种精量旱直播机播种过程如图 4 所示。



1.前右旋螺旋叶片 Front right helical blade; 2.前左旋螺旋叶片 Front left helical blade; 3.土壤 Soil; 4.轮辙 Wheel track; 5.田块 Field; 6.厢沟 Ditching furrows; 7.肥沟 Fertilizer furrows; 8.肥料 Fertilizer; 9.双圆盘开沟器 Double disk opener; 10.后右旋螺旋叶片 Back right helical blade; 11.后左旋螺旋叶片 Back left helical blade; 12.镇压轮 Pressing wheel.

图 4 播种作业过程图

Fig.4 Process diagram of seeding

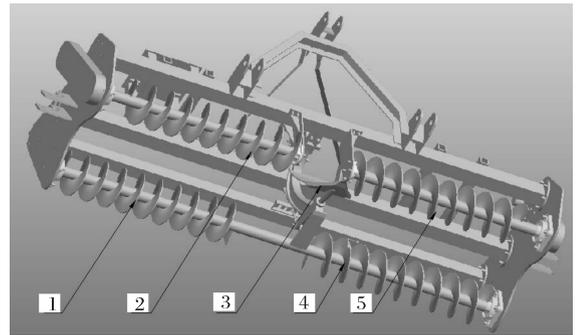
## 2 关键部件结构设计

### 2.1 开厢沟装置

双向犁是继普通犁之后发展起来的一种新型耕作机具,其犁体可交替向左右翻土,采用梭形作业,减少了田间地头的空行程。双向犁可分为翻转犁和水平摆式犁,其中水平摆式双向犁采用一组可换向犁体部件,可实现曲面对称、左右翻垡,与翻转犁相比具有结构简单、质量轻、振动小、成本低等特点,主要适用于土壤硬度较低的松软土壤,常用于水稻、小麦、油菜田块的开沟<sup>[19-20]</sup>。故气力水稻芽种精量旱直播机选用水平摆式双向犁作为开沟装置,安装在整机的前方中间位置,机器 1 次前进作业完成 2 个半厢的播种,并开出宽 20 cm、深 18 cm 的厢沟。

### 2.2 平地装置

水稻旱直播是在精细平整的地面上进行,而轮式拖拉机开过后会留下轮胎痕迹,以及开厢沟会有抛出的土壤堆积,故需在气力式旱直播机下方设置平地装置。本研究设计了 1 种“前后双螺旋平地”的装置,利用螺旋叶片能够推送物料的特性,将地表凸出来的土壤向设定的方向输送,以达到平地的功能,其结构如图 5 所示。前后双螺旋平地装置由 4 个双螺旋叶片构成,每一侧皆为双螺旋且可随田间底面仿形,工作时由齿轮箱带动。双螺旋叶片能将高处的土壤向两螺旋中间移动,前右旋螺旋叶片和前左旋螺旋叶片负责填平拖拉机开过后留下的轮辙印,后右旋螺旋叶片和后左旋螺旋叶片将肥沟填平。



1.后左旋螺旋叶片 Back left helical blade; 2.前左旋螺旋叶片 Front left helical blade; 3.水平摆式双向犁 Reversible plow; 4.后右旋螺旋叶片 Back right helical blade; 5.前右旋螺旋叶片 Front right helical blade.

图 5 前后双螺旋平地装置

Fig.5 Structure diagram of leveling double screw

1)螺旋叶片外径。由于要利用螺旋叶片切削松软拱起的土壤,并将旋松的土壤向两侧推送,所以叶片会有 10~20 mm 的深度在土壤里面,另外考虑到螺旋轴约有 60 mm,参考常用螺旋叶片外径尺寸,尽量满足结构小巧的要求,最终设计螺旋叶片的外径  $D=200$  mm。

2)螺旋叶片内径。内径的大小主要影响螺旋轴的强度,可采用螺旋输送器的推运量公式来估算其推运量  $Q$ :

$$Q = \frac{\pi}{24} [(D-2\lambda)^2 - d^2] \psi S n \gamma C \times 10 - 10 \quad (1)$$

式(1)中: $D$ 为输送器叶片外径,mm; $d$ 为输送器叶片内径,mm; $S$ 为输送器叶片螺距,mm; $\lambda$ 为输送器叶片与外壳间隙,mm; $n$ 为输送器转速,r/min; $\psi$ 为输送物料时的充满系数,一般取 0.3~0.4; $\gamma$ 为物料单位容积的质量,kg/m<sup>3</sup>;土壤容重一

般取  $1.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;  $C$  为输送器倾斜输送系数, 输送器水平时  $C=1$ 。

螺旋叶片功率消耗  $N$  可按式(2)计算:

$$N = Qg(LW_0 + H)\eta \times 10^{-3} \quad (2)$$

式(2)中:  $Q$  为螺旋输送器的推运量,  $\text{kg/s}$ ;  $L$  为输送器的水平投影长,  $\text{m}$ ;  $H$  为物料的提升高度,  $\text{m}$ ;  $W_0$  为物料颗粒沿外壳移动的阻力系数, 一般取 1.2;  $\eta$  为修正系数。按照公式(1)、(2), 以每片螺旋叶片为对象, 给各系数赋值可求得; 工况平稳时, 取  $\lambda=1$ 、 $\phi=0.3$ 、 $\gamma=1.2 \times 10^3$ , 求得  $Q_1=3.22 \text{ kg/s}$ ,  $N_1=0.04 \text{ kW}$ ; 工况较差时, 取  $\lambda=0$ 、 $\phi=1$ 、 $\gamma=1.4 \times 10^3$ , 求得  $Q_2=12.81 \text{ kg/s}$ ,  $N_2=0.15 \text{ kW}$ 。在工程实际中, 轴的力偶矩  $M$  与转速  $n$  和功率  $P$  具有如下关系:

$$M = 9549 \frac{P}{n} \quad (3)$$

可根据式(3)求得轴上最大的扭力偶矩为  $M=23.87 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。本研究取轴的外径为 60 mm, 内径为 54 mm, 其抗扭截面系数  $W_p$  可用下式求得:

$$W_p = \frac{2I_p}{D} = \frac{\pi D^3}{16} (1 - \alpha^4) \quad (4)$$

式(4)中:  $\alpha=d/D$ , 为内、外径的比值, 计算得到抗扭截面系数  $W_p=1.46 \times 10^{-5}$ 。轴的工作条件为所受的最大扭转切应力不得超过扭转许用切应力, 即:

$$\tau_{\max} = \left( \frac{M}{W_p} \right)_{\max} \leq [\tau] \quad (5)$$

由式(5)计算得  $\tau_{\max}=1.63 \text{ MPa}$ , 轴的材料为 45 钢, 查机械设计手册可知,  $[\tau]=50 \text{ MPa}$ , 故螺旋叶片的内径取 60 mm 时满足强度要求。

3) 螺旋叶片螺距。螺旋轴线与螺旋叶片上任一点的法线方向的夹角称之为螺旋角, 而螺距会影响螺旋角的大小。由于螺旋叶片同一元线上各点的半径不同, 所以螺旋角也不同, 外径上的螺旋角  $\alpha_R$  最小, 内径上的螺旋角  $\alpha_r$  最大, 螺旋角大时升运速度快, 过小时升运速度慢甚至不能升运, 螺旋叶片展开后如图 6 所示。

为使物料能顺利运输, 螺旋叶片的螺旋角  $\alpha_r$  和输送器叶片平均半径处螺旋角  $\alpha_g$  应满足如下条件:

$$\alpha_r \leq 90^\circ - \varphi \quad (6)$$

$$\alpha_g = 45^\circ - \varphi/2 \quad (7)$$

上式中:  $\varphi$  为物料摩擦角, 土壤与钢板约为  $30^\circ$ , 在外径为 200 mm, 内径为 60 mm 的情况下, 螺距  $S$  与螺旋角  $\alpha_r$  的关系可用式(8)表示:

$$\alpha_r = \arctan \frac{S}{2\pi r} \leq 90^\circ - \varphi \quad (8)$$

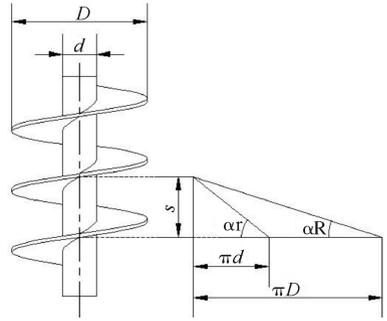


图 6 螺旋叶片展开图

Fig.6 Expanded view of helical blades

解得  $S \leq 326.49 \text{ mm}$ , 故螺距  $S$  取 160 mm。

4) 螺旋叶片转速。转速主要需要考虑与其他速度, 如前进速度、拖拉机动力输出轴转速的匹配, 以及本身的功率消耗问题, 综合考虑将螺旋叶片转速确定为 120 r/min。

### 2.3 施肥装置

水稻早直播用肥为颗粒复合肥, 流动性较好, 排肥器选用外槽轮式, 通过改变槽轮工作长度来调节排肥量。肥料深施可提高肥料的利用率, 故本研究采用底肥深施的方法来减少肥料的挥发和流失, 保证水稻的前期健康发育, 促进根系生长以防止后期倒伏现象的发生。气力式水稻芽种精量早直播机选用双圆盘式开沟器开肥沟, 开沟阻力较小, 入土性能好, 对土壤扰动少, 并且不易粘土。

1) 双圆盘直径。双圆盘直径的常用范围为 180~380 mm, 圆盘直径太小容易转动不灵和壅土, 增加工作阻力, 作业效果差; 圆盘直径过大会增加开沟器的质量和体积。所以在满足开沟深度 8~10 cm 的前提下应尽量减小其尺寸, 选择圆盘直径  $D_p=220 \text{ mm}$ 。

2) 双圆盘夹角。双圆盘夹角与沟宽有关, 夹角小时, 沟宽就小, 阻力也小, 但是夹角过小, 会使两圆盘之间距离过小造成无法安装排肥管。常用排肥管直径为 45 mm, 末端缩口处为 30 mm, 两圆盘夹角为  $\varphi$ , 在管口处的最大间距为  $s$ , 所以要使排肥管能够放进去, 需要满足条件  $s \geq 30$ , 由几何关系可得到如下不等式:

$$s = \sin \frac{\varphi}{2} \cdot (2D_p - \frac{30}{\cos \frac{\varphi}{2}}) \geq 30 \quad (9)$$

解得  $\varphi \geq 15.6^\circ$ , 所以圆盘夹角  $\varphi$  取常用的  $30^\circ$ 。

3) 双圆盘聚点  $m$  位置。如图 7, 聚点  $m$  的位置可用  $\beta$  角表示,  $\beta$  角越大开出的沟越大, 沟底部的凸尖越高。  $\beta$  角太小, 导致  $m$  点过低, 会使土壤从聚点上部进入圆盘之间, 造成圆盘夹土和堵塞。一般来说  $m$  点的高度等于最大开沟深度为宜, 所以此处  $m$  取值为 8 cm, 则  $\beta$  角可以计算得:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{110-80}{110}\right) = 74.17^\circ \quad (10)$$

故聚点  $m$  的位置,  $\beta$  角取整为  $75^\circ$ 。

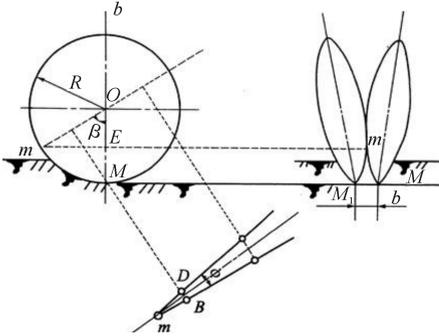
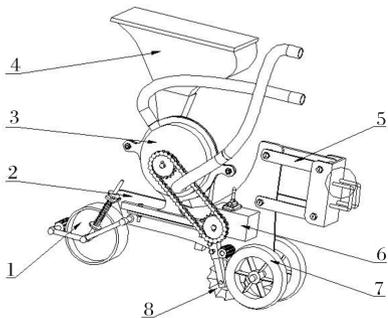


图 7 双圆盘开沟器聚点示意图

Fig.7 Schematic diagram of accumulation double-disk opener

## 2.4 仿形单体式排种装置

为解决旱直播机纵向尺寸过大, 防止拖拉机前进时左右、前后倾斜对播种深度造成影响, 本研究设计了仿形单体式排种装置, 其结构如图 8 所示。排种装置通过平行四杆机构连接在主机架上, 可以实现随地仿形; 具有左右两个地轮, 加大了与地面间的摩擦力, 减小地轮滑移率, 能更好地保证播种效果。为了减小整体尺寸, 采用两对锥齿轮传动, 经变速箱将动力传递给排种器; 种沟采用波纹盘开沟, 开沟深度为 10 mm 左右, 另外为了防止稻种播后被鸟类啄



1. 镇压轮 Pressing wheel; 2. 副机架 Auxiliary frame; 3. 排种器 Seed metering device; 4. 种箱 Seeding box; 5. 平行四杆机构 Parallel four-bar mechanism; 6. 变速箱 Small gear box; 7. 地轮 Land wheel; 8. 波纹盘开沟器 Ripple disc opener.

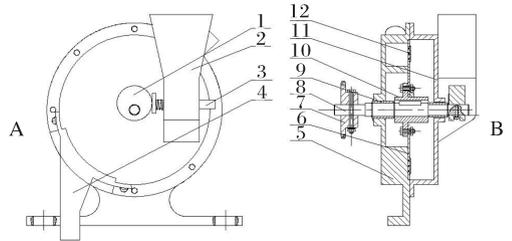
图 8 仿形单体式排种装置

Fig.8 Seeding device of copying monobloc

食和灌水时浮出水面, 设置有镇压装置, 镇压装置带有限位杆和调压弹簧, 可以控制镇压的深度和力度, 使得稻种不会因过度镇压而不能出苗。

## 2.5 排种器

排种器是精量旱直播机的核心工作部件, 其性能直接影响整机的播种性能。为抢农时水稻多采用芽种直播, 浸种催芽后的稻种含水率高, 流动性差, 容易出现架空、胚芽损伤等情况。气力式排种器适用性好、通用性强、不伤芽种, 并可高速作业, 已广泛应用于各种直播机上。本研究基于气吸—气吹播种原理, 设计了 1 种气力式水稻芽种精量穴直播排种器, 依靠漩涡式气泵为排种器提供正、负气压, 利用凸轮推杆与梳种条可以解决水稻芽种流动性差的架空问题, 其排种盘上均布有群组吸孔, 可同时吸附多粒 (2~4 粒) 水稻芽种, 伤种率低, 可满足杂交稻大田精量穴直播的需求。排种器主要由种箱、凸轮、推杆、排种轴、排种盘、气室、罩壳等构成, 如图 9 所示。



A: 主视图 Main view; B: 左视图 Left view; 1. 凸轮 Cam; 2. 种箱 Seeding box; 3. 推杆 Pushing rod; 4. 导种管 Guiding tube; 5. 气室 Air chamber; 6. 排种盘 Seeding plate; 7. 链轮 sprocket wheel; 8. 排种轴 Seeding axis; 9. 轴套 Axle sleeve; 10. 法兰 Flange; 11. 罩壳 Shell; 12. 梳种条 Combing strips.

图 9 排种器结构示意图

Fig.9 Structure diagram of the device

## 3 性能试验

### 3.1 试验材料

试验材料选取华中地区优质杂交稻品种黄华占, 将稻种晾晒一段时间后用清水浸泡, 滤除表面杂质, 然后进行催芽, 待种子破胸露白, 晾干表面水分后使用。黄花占芽种平均尺寸为  $9.57 \text{ mm} \times 2.41 \text{ mm} \times 1.99 \text{ mm}$  (长度  $\times$  宽度  $\times$  厚度), 含水率为 20.71%, 千粒重为 34.095 g, 滑动摩擦角为  $35.01^\circ$ 。

### 3.2 试验条件与方法

按照杂交稻种植农艺要求, 田间插秧时每穴需要  $(2 \pm 1)$  株秧苗, 机械穴直播时为了提高其田间芽种出苗率, 每穴需 2~4 粒芽种, 即可满足杂交稻大

田精量穴直播要求。因此,本研究首先对气力式水稻芽种精量穴直播排种器进行室内台架试验,然后参照国家标准《NY/T 987—2006 铺膜穴播机 作业质量》和 NY/T 1003—2006《施肥机械质量评价技术规范》对气力式水稻芽种精量早直播机进行田间试验。室内台架试验于2014年10月在华中农业大学排种器性能实验室进行,田间试验于2015年4月在华中农业大学试验田进行,试验田块采用旋耕机耕整,耕深为32~48 mm,耕后田面平整,土块细碎,平均土壤坚实度为416.8 kPa。早直播机牵引动力由东方红-LX854型拖拉机提供,试验时拖拉机的前进速度约为2.1 km/h。评价指标为:穴粒数漏播率、合格率、重播率、穴距、穴距均匀性变异系数、芽种破损率、各行排种、肥量一致性变异系数、总排种、肥量稳定性变异系数、施肥深度合格率等。

### 3.3 试验结果与分析

气力式水稻芽种精量穴直播排种器台架试验表明,当吸室真空度为4.5 kPa,排种盘转速为10 r/min时,排种器的穴粒数合格率为94%,漏播率为4.4%,重播率为1.6%,芽种破损率为0.8%。田间试验结果表明,气力式水稻芽种精量早直播机播种合格率为86.7%,漏播率为3.3%,播种平均穴距为151.7 mm,穴距均匀性变异系数为16.73%,各行排种量一致性变异系数小于等于9.5%,总排种量稳定性变异系数小于等于7%,各行排肥量一致性变异系数小于等于12%,总排肥量稳定性变异系数小于等于5.6%,排肥均匀性变异系数小于等于37%,施肥深度合格率大于等于83%,其各项指标均符合国家标准的规定。气力式水稻芽种精量早直播机纯小时作业效率约为0.63~0.90 hm<sup>2</sup>/h,作业效率远高于人工撒播和插秧。

## 4 讨论

为实现水稻大田精量早直播,设计了1种气力式水稻芽种精量早直播机,可一次完成平地、开肥沟、正下方深施底肥、开厢沟、开种沟、播种、覆土、镇压等工序,具有作业效率高、伤种率低等优点。对该机的整体结构和工作原理进行了说明与分析,对开厢沟装置、平地装置、施肥装置和排种装置等关键工作部件进行设计与计算。田间试验结果表明,该机开厢沟、平地、施肥、播种等关键部件工作可靠,作业效果好,生产效率高,其主要性能指标均达到了国家相关标准的规定,满足水稻大田精量穴直播的农艺

要求。

该直播机选用水平摆式双向犁作为开厢沟装置,安装在整机的前方中间位置,机器1次前进作业完成2个半厢的播种,并开出一条宽20 cm、深18 cm的厢沟,灌水后可保持厢沟内有水,使厢面土壤湿润,为稻种发芽生长提供水分。本研究在充分考虑农艺要求的基础上,结合工业上常用结构设计,创新性地设计出前后双螺旋平地装置,其主要结构包括4片不同旋向的螺旋叶片,以及相应的回转支撑部件、传动部件等,相比旋耕平地装置和圆盘耙平地装置具有结构简单、功率消耗低的优点,并且可配合施肥装置实现种子正下方深施底肥。该直播机选用双圆盘式开沟器来开设肥沟,其开沟阻力较小,开沟深度较大,入土性能好,对土壤扰动少,并且不易粘土,结合外槽轮式排肥器可将肥料定量、定位、均匀地施入肥沟,满足水稻种植时深施底肥的要求。由于该直播机播种幅宽较宽(2 200 mm),而播种深度较浅(10 mm),所以拖拉机前进时出现稍微左右、前后倾斜都会导致播种深度不一致,为解决这一问题,设计了仿形单体式排种装置,能够较好地保证播种效果。由于水稻早直播为芽种直播,芽种尺寸大,形状不规则,故选用笔者所在课题组前期研制的“推杆搅盘组合双向气力式水稻芽种直播精量排种器”。该排种器已获国家发明专利(201310235044.8),可同时吸附2~4粒芽种,对芽种适应性好、损伤小,能提高芽种在种箱中的流动性,且排种器台架试验表明当吸室真空度为4.5 kPa,排种盘转速为10 r/min时,排种器的穴粒数合格率为94%,可实现精量播种,减少种子浪费。由于直播机在竖直方向上的位置主要是由拖拉机通过三点悬挂装置进行控制的,随着拖拉机的上下颠簸,直播机在竖直方向会出现波动,影响作业效果,故该直播机目前可在平整后的田块中稳定工作。后续研究中可在直播机两侧板上加装限深轮,来保证其入土深度,该问题有待进一步研究。

## 参 考 文 献

- [1] 宋建农,庄乃生,王立臣,等.21世纪我国水稻种植机械化发展方向[J].中国农业大学学报,2000,5(2):30-33.
- [2] 吴崇友,金诚谦,卢晏,等.我国水稻种植机械发展问题探讨[J].农业工程学报,2000,16(2):21-23.
- [3] 何瑞银,罗汉亚,李玉同,等.水稻不同种植方式的比较试验与评价[J].农业工程学报,2008,24(1):167-171.

- [4] 孙永健,郑洪帆,徐徽,等.机械早直播方式促进水稻生长发育提高产量[J].农业工程学报,2014,30(20):10-18.
- [5] 曾山,黄忠林,王在满,等.不同密度对精量穴直播水稻产量的影响[J].华中农业大学学报,2014,33(3):12-18.
- [6] 罗锡文,蒋恩臣,王在满,等.开沟起垄式水稻精量穴直播机的研制[J].农业工程学报,2008,24(12):52-56.
- [7] 曹成茂,秦宽,王安民,等.水稻直播机气吹辅助勺轮式排种器设计与试验[J].农业机械学报,2015,46(1):66-72.
- [8] 赵永亮,梁宝忠,唐华晴,等.水稻不同种植方式的比较试验[J].农机化研究,2014(8):149-152.
- [9] 臧英,罗锡文,周志艳.南方水稻种植和收获机械化的发展策略[J].农业机械学报,2008,39(1):60-63.
- [10] 周俊,姬长英.水稻直播用精播绳制造设备研制[J].农业工程学报,2009,25(7):79-83.
- [11] 曾山,汤海涛,罗锡文,等.同步开沟起垄施肥水稻精量旱穴直播机设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(20):12-19.
- [12] 张国忠,臧英,罗锡文,等.水稻气力式排种器导向型搅种装置的设计与试验[J].农业工程学报,2013,29(12):1-8.
- [13] 李志伟,邵耀坚.电磁振动式水稻穴盘精量播种机的设计与试验[J].农业机械学报,2000,31(5):32-34.
- [14] 王林力,谢方平,孙松林,等.水稻芽种偏心顶杆式精量播种机设计[J].农业机械学报,2007,38(12):215-216.
- [15] 任文涛,吕小荣,张本华.水稻种绳直播机对地表不平度的动态响应[J].农业机械学报,2009,40(8):58-61.
- [16] 任文涛,吕小荣,孔爱菊,等.水稻种绳直播机的设计[J].沈阳农业大学学报,2009,40(1):62-66.
- [17] 夏俊芳,许绮川,王志山,等.2BFS-8型水稻芽种播种施肥机设计与试验[J].农业机械学报,2010,41(10):44-47.
- [18] 梁宝忠,赵永亮,赵金英,等.水稻直播机设计与试验[J].农业机械学报,2012,43(S):63-66.
- [19] 叶强,梅婷,李仲恺,等.林果园开沟机研究现状[J].农业装备与车辆工程,2013,51(5):18-22.
- [20] 王建,高峰,吴成武,等.双向犁翻转机构的分析与优化[J].农业机械学报,2005,36(5):36-41.

## Design and field trials of pneumatic precision drilling planter of rice budded seed in dry land

ZHAI Jianbo<sup>1</sup> XIA Junfang<sup>2</sup> ZHOU Junhua<sup>2</sup> ZHOU Yong<sup>2</sup> ZHAN Pengcheng<sup>2</sup>

1.School of Mechanical Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2.College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** A pneumatic precision drilling planter of rice was designed to meet agronomic requirement of planting rice budded seed in dry land. It levelled the land, opened the fertilizer ditch, fertilized under the rice budded seed, opened the furrows and seeding ditch with simultaneous sowing, covering and rolling. The drilling planter in dry land used double-sided pneumatic precision seed metering device to absorb 2 to 4 rice budded seeds with no damage to rice budded seeds. The micro-level swing plow was used to open the furrows and the before and after double helical blade was used to level the land. The double-disc opener and fertilizer metering device with outer sheave was used to put fertilizer under the rice budded seeds. To reduce the longitudinal length of the drilling planter and prevent the tilt of tractor affecting the sowing depth while walking, a seeding device of copying monobloc was designed. Results of field trials showed that the qualified rate of the drilling planter was 86.7%. The broken ratio of rice budded seed was 0.8%. This drilling planter fully meets requirement of the relevant national standards.

**Keywords** rice direct seeding; planting in dry land; rice budded seed; pneumatic; double helical blade; seeding device of copying monobloc

(责任编辑:陆文昌)