

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.006

稻麦联合收获开沟埋草一体机播种系统设计与试验

秦 宽 丁为民 方志超 杜涛涛 赵思琪 王 朕

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

摘要: 目前免耕播种机多为收获后免耕播种作业,未有将免耕播种系统与收获、秸秆还田相结合的复式机型,为了满足此种集成作业需要,达到抢农时、提高作业效率、减少机器下地次数的目的,设计了一种免耕播种系统与稻麦联合收获开沟埋草一体机相结合的机型,该播种系统主要由排种装置、种沟开沟装置、抛土装置构成。性能试验结果表明:设计的小型免耕开沟器开沟深度为3.1 cm,开沟宽度为3.6 m,破茬率为83.4%;延伸板长度为12 cm的抛土装置单侧抛土幅宽为105 cm,覆土厚度为2.2 cm,碎土率为97.8%,抛土均匀性为91.7%。播种系统水稻旱直播田间试验表明:当播种系统播种水稻干种、湿种播量分别为112.5 kg/hm²、135 kg/hm²时,产量分别为6 532.4、6 510.0 kg/hm²,满足一体机免耕旱直播的播种需求。

关键词: 免耕播种; 联合作业; 水稻直播; 种沟开沟器; 抛土装置; 试验

中图分类号: S225.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)05-0054-09

Design and Experiment of Seeding System for Harvest Ditch and Stalk-disposing Machine

QIN Kuan DING Weimin FANG Zhichao DU Taotao ZHAO Siqi WANG Zhen

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: With the aim to reach the requirement of combined work harvest with no-tillage seeding, the seeding system matching with harvest ditch and stalk-disposing machine was designed. The seeding system designed included seeding device, furrow opener and throwing soil device. The seeding system used external force feed for sowing of crop and through a set of three link mechanism controlled start-stop. Furrow opener was designed small size no-tillage opener that had arc shovel. The throwing soil device designed included guide plate and extension plate. The experimental results of furrow opener showed that furrow width was 3.1 cm, furrow depth was 3.6 cm and straw of broken rate was 83.4%, and the furrow opener reached requirement of ditching and breaking straw. The experimental results of designed throwing soil device showed that when length of extension board was 12 cm, throwing soil width was 105 cm, thickness of covering soil was 2.2 cm, rate of breaking soil was 97.8% and uniformity of throwing soil was 91.7%, and throwing soil device reached requirement of seed covering. The paddy direct seeding field experiment of seeding system was done in Hongchang farm, Shengao town, Jiangyan district, Taizhou city, Jiangsu province and in the experiment the sowing in line after rotary tillage(CK1) and the traditional transplant rice seedlings(CK2) was done as control group. The experiment result showed that to dry direct-seeding of dry seed rice, the yield peak was 6 532.4 kg/hm², when seeding rate was 112.5 kg/hm². To dry direct-seeding of soaking seed rice, the yield peak was 6 510.0 kg/hm², when seeding rate was 135 kg/hm². The yield of paddy direct seeding field was less than that of CK1, but it had no significant difference compared with the yield of CK1. The yield of paddy direct seeding field was less than that of CK2, but the difference value of yield was within a rational range.

Key words: no-tillage seeding; integration of operation; paddy direct seeding; furrow opener; throwing soil device; experiment

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-22

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203059)

作者简介: 秦宽(1989—),男,博士生,主要从事农业机械装备研究,E-mail: qinkuan_njau@163.com

通信作者: 丁为民(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备研究,E-mail: wmding@njau.edu.cn

引言

江淮稻麦轮作区是我国粮食的主要产区,在保护性耕作推广的大背景下,稻、麦免耕直播种植方式发展迅速^[1-3],国内外均有成熟免耕直播机,例如美国凯斯公司研制的 CaseSDX30 免耕播种机,其开沟器为单圆盘式,排种器为气力式,可适应高留茬覆盖地多种作物的播种。中国农业机械化科学研究院研制的 2BMG-18 型免耕施肥精少量播种机^[4],采用控制式密齿型排种器、波纹圆盘和双圆盘组合式开沟器,一次性完成切茬、开沟、施肥、播种、覆土、镇压等联合作业,实现小麦精量播种。除单独针对免耕播种作业设计的免耕播种机外,将免耕播种与秸秆还田相结合的复式作业机已有成熟机型,例如薛惠岚等^[5]研制的 9QBF-150/8 型秸秆覆盖免耕施肥播种联合作业机,在完成秸秆粉碎还田的基础上进行免耕播种。但针对水旱轮作,稻麦收获后破茬免耕旱直播并与收获后秸秆集沟还田相结合的复式机型未见报道,本文针对此种免耕播种复式作业模式进行研究。

为了收获后可即时完成秸秆集沟还田及稻、麦的破茬免耕播种作业,以达到抢农时,提高作业效率,减少机器下地次数,节约作业成本的目的,本文设计一套免耕播种系统,与本课题组设计的稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机相结合^[6-9],完成功

能融合,为收获后秸秆集沟还田与免耕播种相结合的复式作业模式提供研究思路。

1 播种系统结构特点与工作原理

在稻麦轮作免耕直播的种植环境下,本课题组研制的稻麦联合收获开沟埋草一体机^[8-10](简称一体机)可一次性完成收获、集草沟开沟、秸秆入沟^[10-12]。本文在一体机原有基础上设计一套播种系统与之相匹配,同时完成稻、麦旱直播。

一体机基础结构由收获机(4LL-1.8 型全喂入联合收获机)、机器后方导草通道与集草沟开沟器组成,导草通道安装于集草沟开沟器上方。以此为基础集成播种系统,播种系统包括种箱、排种器、种沟开沟器与抛土装置。播种系统与一体机集成后结构如图 1 所示,主要参数、安装位置说明见表 1。

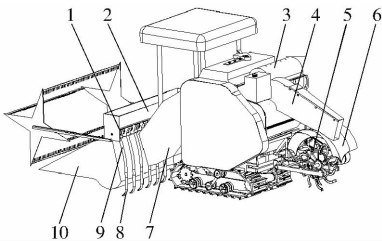


图 1 一体机播种系统结构示意图

Fig. 1 Seeding system structural diagram of harvest ditch and stalk-disposing machine

1. 排种器 2. 种箱 3. 收获机 4. 导草通道 5. 集草沟开沟器
6. 抛土装置 7. 谷物输送槽 8. 种沟开沟器 9. 排种管 10. 割台

表 1 一体机主要参数及各部件安装位置

Tab. 1 Main parameters and installing location of machine

项目	说明	项目	说明
整机动力/kW	63	种箱位置	割台与谷物输送槽结合处上方
作业效率/(hm ² ·h ⁻¹)	0.30~0.45	排种器型式(标准)	外槽轮式排种器(JB/T 9783—1999) ^[13]
工作幅宽/m	1.8	排种器位置	种箱下方
集草开沟器型式	刀盘式开沟器	种沟开沟器位置	排种器下方
集草开沟器位置	收割机后方中心位置	抛土装置位置	集草沟开沟器上方

一体机对上季作物进行收获时,秸秆通过导草通道落入集草开沟器所开集草沟内。排种器同时对下季作物进行直播,排种器播出种子通过排种管落入种沟开沟器所开种沟内,集草沟开沟器开沟抛出土壤与抛土装置相撞击后,落在播种区域土表,对种子进行覆土,一次性完成种沟开沟、排种入沟、覆土的播种过程。

2 排种装置起停机构工作原理

播种系统选用外槽轮排种器对小麦、水稻进行收获后直播。为了给排种器提供工作动力且方便控制排种器工作闭合与收获作业起停一致,设计一套

排种装置起停机构,使收获机行走履带为排种器提供工作动力且使排种器作业闭合与收获作业起停一致,当收获机割台放下进行收获时,排种器同时进行排种作业,反之则停止排种作业。

如图 2a 所示,排种装置起停机构为三连杆机构,其工作原理如图 2b 所示,连杆 I 的 A 点与一体机割台相连接,割台升降沿轨迹弧线 G₁G₂运动从而带动连杆 I 同步运动,连杆 I 通过 B 点带动连杆 II 沿 J₁方向做直线往复运动,连杆 II 通过 C 点带动连杆 III 的 D 点沿 J₂方向做直线往复运动。当一体机放下割台进行收获时,连杆 I 的 A 点随割台向 G₁端靠近,此时连杆 I 的 B 点与连杆 II 共同向下做直线

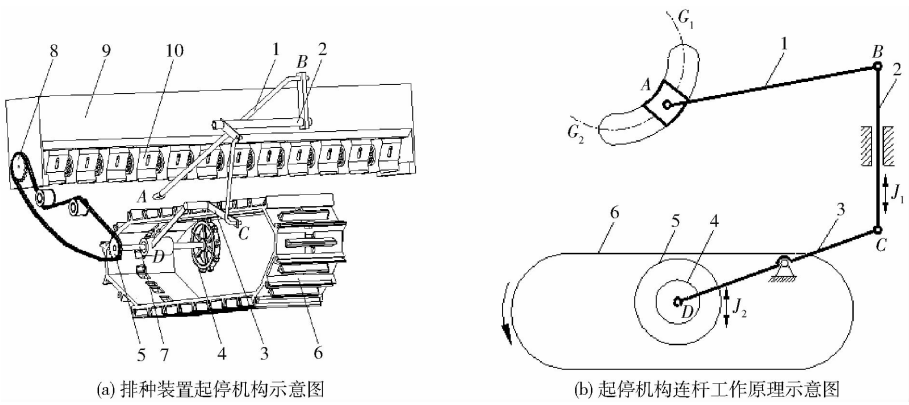


图2 播种系统排种连杆控制机构

Fig.2 Seeding connecting rod control mechanism of seeding system

1. 连杆Ⅰ 2. 连杆Ⅱ 3. 连杆Ⅲ 4. 传动链轮 5. 履带驱动盘 6. 行走履带 7. 传动轴 8. 排种链轮 9. 种箱 10. 外槽轮排种器

运动,连杆Ⅱ向下运动使连杆Ⅲ的D点向上做直线运动,连杆Ⅲ的D点连接传动轴,传动轴一端安装履带驱动盘,另一端安装传动链轮,连杆Ⅲ的D点向上运动使履带驱动盘与履带啮合,履带驱动盘被履带驱动旋转,此时履带驱动盘通过传动轴将动力传递给传动链轮,传动链轮驱动排种链轮工作,从而达到使排种器工作的目的;反之,当一体机割台升起停止收获作业时,履带驱动盘与履带分离,排种动力被切断,排种器停止工作。

3 小型免耕开沟器设计与试验

一体机收获后直接在免耕地上进行破茬播种,此时地表土壤板结且多茬^[14],特别是夏季水稻旱直播,田间麦秸秆残茬较多,为避免种子落在残茬表面^[15],保证种子可以与土壤接触且具有一定入土深度,播种前需要使用种沟开沟器进行开沟破茬^[16],为种子提供良好种床环境^[17]。一体机机构多,种沟开沟器安装空间小,因此在保证作业质量的情况下,开沟器自身体积应尽量减小。开沟器安装于排种器下方、割台与履带之间,一体机播种幅宽为1.8 m,为保证稻、麦播种行距20 cm的农艺要求,种沟开沟器安装9个,为等距离安装。

3.1 设计

设计的小型免耕开沟器如图3所示,为提高开沟器在免耕留茬地入土性能,开沟器设计为锐角式^[18]。底端尖角点O为入土初始点,以圆柱为开沟器主体,通过工作面圆弧过渡至安装轴。开沟器底端尖角易于打破板结地表而入土,减少动力消耗,开沟器工作面弧线便于后期入土,开出一定深度的种沟,且不易于缠草。出种口位于开沟器后方,可以保证种子顺利入沟。

3.1.1 入土角

入土角α为开沟器工作面圆弧与开沟器底面

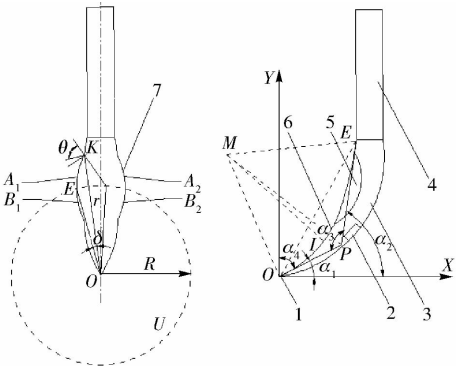


图3 小型免耕开沟器示意图

Fig.3 Diagram of small size no-tillage opener

1. 底端尖角 2. 出种口 3. 圆柱主体 4. 安装轴 5. 圆弧翼铲 6. 工作面圆弧 7. 圆弧翼铲外侧曲线

之间的夹角。α过大,入土性能变差,阻力增加,土层抬高,不利于保墒;过小,则底端尖角变长,强度减弱,α应该在20°~60°范围内。假设开沟器工作面弧线所在圆方程为

(X-a)²+(Y-b)²=R² (1)

式中 a、b——圆心坐标

R——圆半径,mm

如图3所示,设开沟器工作面圆弧底端尖角点O坐标为(0,0),端点与安装轴连接点E坐标为(40,100),角α₁、α₂分别为O、E点的入土角,为满足开沟器入土性能,适应不同土层的破茬开沟,取α₁=25°、α₂=60°。M为工作面圆弧所在圆的圆心,P为圆弧上O、E点的切线交点。在四边形OEMP和△OMP、△OEM中,有关系式

sin(α₂-α₁)/2=sin(180°-α₃)/2=sinα₄=l_{OE}/2R (2)

式中 l_{OE}——O点与E点之间距离,mm

由E点坐标得出l_{OE}=108 mm。将α₁、α₂代入式(2)得R=180 mm。将O点(0,0)、E点(40,100)以及R代入式(1),得开沟器工作面弧线曲线方程为

$$(x + 140)^2 + (y - 114)^2 = 180^2 \tag{3}$$

则工作面圆弧 OE 上任意一点的入土角 α 计算式为

$$\sin \frac{\alpha_2 - \alpha}{2} = \frac{l}{2R} \tag{4}$$

式中 l ——入土角 α 所对应工作面圆弧上的点到坐标原点的距离,mm

小型免耕开沟器入土深度为 40 mm 的 I 点,其坐标为 (40,70),代入式(4),得到 I 点的入土角 α 为 36° 。

3.1.2 圆弧翼铲

小型免耕开沟器采用尖角入土,开沟时工作面自下而上起土,为了保证开沟器起出的土壤和残茬被拨向两侧,避免种沟上方留有残茬及产生大量回土现象,在开沟器上表面设计一对圆弧翼铲。如图 3 所示,圆弧翼铲两条外侧曲线采用渐开线设计,保证开沟器起出的土壤与残茬沿圆弧翼铲外侧曲线顺利滑至种沟两侧。翼铲外侧曲线由两条上下对称渐开线 A_1 、 B_1 组成, A_1 、 B_1 相交于 E 点, A_1 极坐标方程为

$$\begin{cases} r = \frac{R_j}{\cos\theta} \\ \delta = \tan\theta - \theta \end{cases} \tag{5}$$

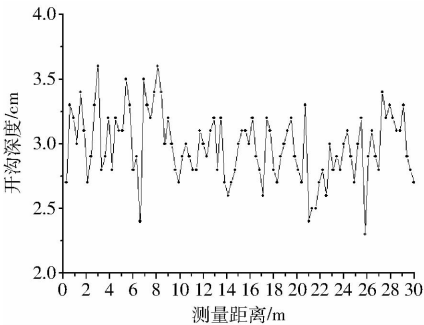
式中 r ——渐开线向径,mm
 δ ——渐开线展角, ($^\circ$)
 R_j ——渐开线基圆 U 半径,mm
 θ ——渐开线压力角, ($^\circ$)

为确保圆弧翼铲外侧曲线与工作表面圆弧更好结合,基圆 U 半径 R_j 与工作面圆弧半径 R 同为 180 mm,基圆 U 圆心与起始入土点 O 点重合,压力角 θ 为 50° ,根据式(5),得向径 r 为 278 mm,展角 δ 为 18° ,渐开线轨迹端点与圆柱主体表面圆弧相交于 K 点。另一条圆弧翼铲外侧曲线由渐开线 A_2 、 B_2 组成,与 A_1 、 B_2 以中心线相对称。

3.2 性能试验

3.2.1 试验条件

2015 年 3 月 25 日在江苏省扬州市江都区真武



镇杨庄村对设计的小型免耕开沟器进行开沟性能试验,试验田为免耕留茬地,土质为黏土,试验田环境特性参数如表 2 所示。

表 2 试验田环境特性参数
Tab.2 Characteristics parameters of experimental field environment

参数	数值
土壤坚实度/N	213.5
土壤含水率/%	28.5
土壤容重/(g·cm ⁻³)	1.26
前茬作物	华粳 5 号
留茬高度/cm	16~22
秸秆覆盖量/(kg·m ⁻²)	2.65

将 9 个小型免耕开沟器等距离安装在排种器下方,一体机作业速度为 0.3 m/s,牵引开沟器进行开沟作业,开沟器入土深度为 40 mm,以 30 m 为试验行程。一体机其它机构不进行工作,试验过程考察开沟深度与宽度、破茬率。

3.2.2 开沟深度与宽度

开沟器开沟后,在一个行程内连续选取 100 个测量点测量开沟深度和宽度。

3.2.3 破茬率

在试验地开沟播种带上随机选取 10 个测量点,每个测量点位置选取长 1 m、宽 3 cm 区域,试验前测量该区域内的根茬数量;试验后,再次测量此区域内的根茬数量。破茬率计算公式为

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{10} N_i - n_i}{\sum_{i=1}^{10} N_i} \times 100\% \tag{6}$$

式中 N_i ——试验前第 i 个测量点区域内根茬数量,株
 n_i ——试验后第 i 个测量点区域内根茬数量,株

3.2.4 试验结果与分析

由图 4 可知,30 m 行程内开沟深度最大值与最小值相差 1.3 cm,开沟宽度最大值与最小值相差

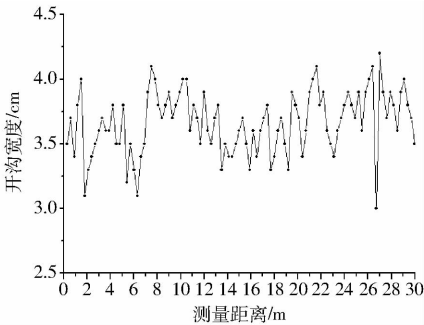


图 4 开沟深度与宽度试验结果

Fig.4 Experiment results of furrow depth and width

1.4 cm,通过计算可知,开沟深度平均值为 3.1 cm,开沟宽度平均值为 3.6 cm,开沟深度变异系数为 7.14%,开沟宽度变异系数为 7.85%;通过式(6)计算可知,开沟器破茬率达到 83.4%。

由试验结果可知,开沟器所开种沟沟深在 3 cm 上下浮动,沟宽在 3.5 cm 上下浮动,沟型满足种子入土深度与宽度要求,开沟深度与宽度变异系数均小于 10%,说明沟深与沟宽稳定。开沟器破茬率达到 83.4%,说明开沟器可以有效切断秸秆残茬且将残茬移出播种带位置。试验结果表明小型免耕开沟器满足一体机播种系统免耕地种沟开沟破茬的需要。

4 抛土装置设计与试验

一体机播种后,利用集草开沟器开沟作业抛出土壤并对已播种子进行覆盖,为满足种子覆土需求,在集草沟开沟器上方加装抛土装置,使开沟器抛出土壤与抛土装置相撞击后,落入已播种区域,达到种子覆土目的。设计的抛土装置要求抛出土壤与其碰撞后,土壤细碎、抛土均匀、覆土厚度与抛土幅宽适中。

集草沟开沟器工作状态下旋转方向与前进方向相反,刀片由沟底向地表切土的过程中,将沟中土壤抛出,土壤抛出位置多集中在开沟器圆盘上半部分边缘处,为了使抛出土壤与抛土板发生碰撞后落入理想区域内,使土壤细碎,增加抛土均匀性,重新设计的抛土装置由一对对称的导流板与延伸板构成^[19]。

4.1 抛土装置导流板的设计

如图 5 所示,为了使圆盘开沟器铣切碎土能抛出一定距离,与土壤初步接触的导流板主体设计为圆弧形状。一体机集草沟开沟器半径 R_d 为 350 mm,为了保证抛土均匀,设计导流板内圆、外圆与开沟器同心,为了防止导流板与开沟器相干涉,且为土壤抛出留出空间,设计导流板内圆与开沟器边缘距离 l 为 100 mm,因此内圆半径 R_1 为 450 mm。由于开沟器抛出土壤多从开沟器上半部分边缘抛出,因此设计整个导流板张角 γ 为 150° 。为了使大部分碎土抛出一定距离,与延伸板相撞击后落入理想区域,避免在开沟器附近落下,设计导流板过渡弧线为最速降线 L_A ,使抛出碎土容易沿 L_A 过渡至延伸板。 L_A 参数方程式为^[20]

$$\begin{cases} x = r_p(\beta - \sin\beta) \\ y = r_p(1 - \cos\beta) \end{cases} \quad (7)$$

式中 x ——导流板宽度,cm
 y ——导流板纵向最高点至内圆竖直距离,mm

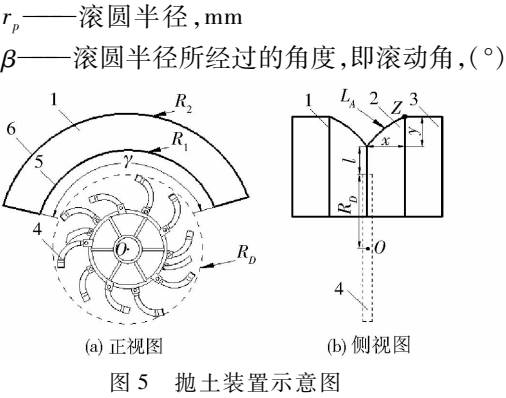


Fig. 5 Schematic diagrams of throwing soil device

1. 抛土装置 2. 导流板 3. 延伸板 4. 集草沟开沟器 5. 导流板内圆 6. 导流板外圆

由于开沟器抛出土壤多从开沟器边缘位置飞出,为了使抛出土壤可以沿导流板最速降线 L_A 移动,令滚圆半径与开沟器半径 R_d 一致,即 r_p 为 350 mm。导流板最速降线 L_A 在与延伸板衔接点 Z 处切线为水平线,即此点处 β 角度为 90° ,将 r_p 、 β 值代入公式(7),可得 x 为 199.5 mm, y 为 350 mm,即导流板宽度为 199.5 mm,导流板外圆半径 R_2 为 y 、 l 与 R_d 之和,即导流板外圆半径 R_2 为 800 mm。

4.2 抛土装置延伸板的设计

抛土装置在原有导流板的基础上设计延伸板,以控制抛土装置的抛土距离,延伸板是以导流板外圆为基础向外延伸的水平板。

如图 6 所示,假设开沟器抛出土壤颗粒从开沟器边缘位置被抛出,即土壤颗粒沿虚线抛出,与延伸板碰撞后落在土壤表面,延伸板长度 L 计算式为

$$L = S - N - x \quad (8)$$

式中 S ——最大抛土幅宽,cm
 L ——延伸板长度,cm
 N ——与延伸板最外端碰撞后土壤颗粒飞行距离,cm

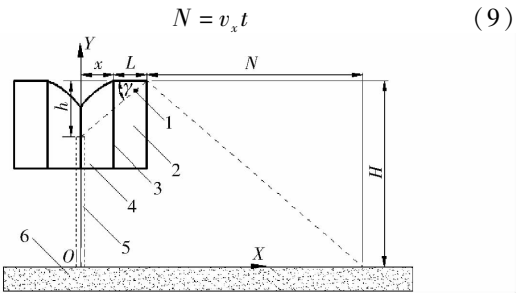


图 6 土堡与抛土装置碰撞示意图

Fig. 6 Schematic diagram of collision soil with throwing soil device

1. 土壤颗粒 2. 延伸板 3. 抛土装置 4. 导流板 5. 集草沟开沟器 6. 田间土壤

式中 v_x ——土壤颗粒与延伸板碰撞后水平速度，
m/s

t ——土壤颗粒与延伸板碰撞后下落时间，s
$$v_x = v_a \cos \gamma \tag{10}$$

式中 v_a ——土壤从集草沟开沟器边缘抛出速度，
m/s

γ ——土壤颗粒飞出点与延伸板撞击点连线
与延伸板夹角，($^\circ$)
$$\gamma = \arctan \frac{h}{x + L} \tag{11}$$

式中 h ——延伸板与开沟器中心距离，cm

$$H = v_y t - \frac{1}{2} g t^2 \tag{12}$$

式中 H ——延伸板离地距离，cm

v_y ——土堡与延伸板碰撞后垂直速度，m/s
$$v_y = v_a \sin \alpha \tag{13}$$

根据抛土幅宽要求，最大抛土幅宽范围在 100 ~ 110 cm，已知抛土装置导流板宽度 x 为 20 cm，土壤从集草沟开沟器边缘抛出速度 v_a 为 6.7 m/s，延伸板与开沟器中心距离 h 为 45 cm，延伸板离地距离 H 为 115 cm，将已知数据代入各式，可得延伸板长度范围应为 10.6 ~ 14.2 cm。

4.3 抛土装置性能试验

4.3.1 试验条件

2015 年 3 月 27 日在江苏省扬州市江都区真武镇杨庄村对设计的抛土装置进行抛土性能试验，试验田环境特性与种沟开沟器试验田相同，见表 2。

分别将延伸板长度 L 为 11、12、13、14 cm 的抛土装置安装在集草沟开沟器上方，进行抛土性能试验。试验时，一体机以 0.3 m/s 速度前进，30 m 为一个行程，其它机构不进行工作，集草沟开沟器以 350 r/min 反转进行开沟作业，开沟深度为 20 cm，抛土量为每转抛土 570 g，开沟器作业抛出土壤与抛土装置撞击后覆盖在土壤表面。试验后，考察单侧抛土幅宽、覆土厚度、抛土均匀性、碎土率，试验方法参照 NY/T 740—2003《田间开沟机械作业质量》，具体试验方法如下。

4.3.2 单侧抛土幅宽

沿行程方向每 3 m 取一点，共取 5 点，沿垂直集草沟沟壁方向，测量抛土区域外沿至沟边距离，共测 3 个行程。

4.3.3 覆土厚度

在 4.3.2 节测试方法对应的各测量点处，沿垂直于集草沟沟壁方向，由内向外依次分别收集测定 20 cm × 20 cm 区域内所抛土堡体积、质量，并依据体积计算各区域覆土厚度。

4.3.4 抛土均匀性

依据 4.3.3 节测量方法所收集称量的各区域内土堡质量，计算抛土质量标准差 Q 及抛土均匀性 a 。

$$Q = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum (M - m_1)^2} \tag{14}$$

$$a = \left(1 - \frac{100Q}{m_1} \right) \times 100\% \tag{15}$$

式中 Q ——抛土质量标准差

M ——抛土质量，g

n ——测定点数，个

m_1 ——平均抛土质量，g

a ——抛土均匀性，%

4.3.5 碎土率

将 4.3.3 节测试方法所收集的各区域内土堡，按边长小于 5 cm 和大于等于 5 cm 分 2 级，并分别称量，计算碎土率 E 。

$$E = \frac{W_a}{W_b - W_a} \times 100\% \tag{16}$$

式中 W_a ——边长小于 5 cm 的土堡质量，g

W_b ——边长大于等于 5 cm 的土堡质量，g

4.3.6 抛土装置试验结果与分析

由表 3 结果可知，4 种不同延伸板长度 L 的抛土装置覆土厚度均在 2 ~ 3 cm 之间；碎土率均在 95% 以上；抛土均匀性均在 90% 以上，满足种子覆土农艺要求。已知单侧播种幅宽为 100 cm，为了完全覆盖播种区域，单侧抛土幅宽应大于单侧播种幅宽，但过大会造成抛出土壤污染未收获作物，且抛土重叠区域覆土厚度过大。因此单侧抛土幅宽为 105 cm、延伸板长度 L 为 12 cm 的抛土装置最适合一体机覆土需求。

表 3 抛土装置试验结果

Tab.3 Experiment result of throwing soil device

延伸板 长度/cm	试验指标			
	单侧抛土	覆土	碎土率/	抛土均匀
	幅宽/cm	厚度/cm	%	性/%
11	99	2.1	95.3	90.3
12	105	2.2	97.8	91.7
13	109	2.2	96.1	91.8
14	111	2.3	97.6	92.5

5 播种系统水稻田间试验

一体机播种系统在稻麦轮作地区对于小麦免耕旱直播技术相对成熟，且产量稳定，而此种轮作模式下水稻旱直播难点较多，包括收获后田间麦秸秆残茬较多，易造成稻种与土壤接触不够充分，难以为水

江苏东洋机械有限公司生产的 P600 型插秧机,插秧时间为 2016 年 6 月 12 日。

5.3 试验结果与分析

一体机播种系统水稻田间试验结果如表 6 所示。由表 6 可知,播种系统对水稻干种进行旱直播,播量由 90 kg/hm² 增加至 112.5 kg/hm²,产量增加 320 kg/hm²,增幅为 5.2%,产量增幅较明显,播量由 112.5 kg/hm² 增加至 135 kg/hm²,产量减少了 7.4 kg/hm²,减幅为 0.1%,产量未有明显变化。播种系统对水稻湿种进行旱直播,播量由 90 kg/hm² 增加至 112.5 kg/hm²,产量增加 387 kg/hm²,增幅为 6.5%,产量增幅较明显,播量由 112.5 kg/hm² 增加至 135 kg/hm²,产量增加 178.5 kg/hm²,增幅为 2.8%,产量增幅较小。当播量同为 90、112.5、135 kg/hm² 时,播干种小区较播湿种小区产量分别

提高 4.5%、3.2%、0.2%。在播量基本一致时,干种播种田块与湿种播种田块同旋耕整地后条播田块相比,产量分别低 11.9% 与 12.1%。干种播种田块与湿种播种田块同插秧田块相比,产量分别低 28.3% 与 28.5%。

试验结果表明,当播量值在合理范围内时,一体机播种系统对干、湿稻种的免耕旱直播产量稳定,其中对于水稻干种旱直播,播量为 112.5 kg/hm² 时,产量最高,为 6 532.4 kg/hm²;对于水稻湿种旱直播,播量为 135 kg/hm² 时,产量最高,为 6 510.0 kg/hm²。在播量相同时,播种系统播种水稻干种产量高于播种水稻湿种产量。一体机播种系统免耕旱直播最高产量虽低于旋耕条播田块产量,但差值小于 900 kg/hm²;一体机播种系统免耕旱直播最高产量低于插秧田块产量,但差值小于 2 600 kg/hm²。

表 6 一体机播种系统水稻田间试验结果

Tab.6 Field experiment rice planting result of seeding system of harvest ditch and stalk-disposing machine								
小区编号	T1	T2	T3	T4	T5	T6	CK1	CK2
产量/(kg·hm ⁻²)	6 212.4	6 532.4	6 525.0	5 944.5	6 331.5	6 510.0	7 404.8	9 097.5

6 结论

(1)设计的一体机播种系统包括排种装置、种沟开沟装置、抛土装置。排种装置动力来源于行走履带,通过一组三连杆机构控制排种闭合与收割作业起停同步;小型免耕开沟器具有圆弧翼铲结构,在免耕地平均开沟深度为 3.1 cm,平均开沟宽度为 3.6 cm,破茬率为 83.4%;抛土装置具有延伸板结构,其长度为 12 cm 时,单侧抛土幅宽为 105 cm,覆土厚度为 2.2 cm,碎土率为 97.8%,抛土均匀性为 91.7%。

(2)使用一体机播种系统对水稻进行免耕旱直播田间试验,结果表明,在播量相同时,播种系统播

种干种产量高于播种湿种产量。一体机播种系统免耕旱直播最高产量虽低于旋耕条播田块产量,但差值小于 900 kg/hm²;一体机播种系统免耕旱直播最高产量低于插秧田块,但差值小于 2 600 kg/hm²。当播种系统播种水稻干种播量为 112.5 kg/hm² 时,产量为 6 532.4 kg/hm²,当播种系统播种水稻湿种播量为 135 kg/hm² 时,产量为 6 510.0 kg/hm²,此播种系统可满足一体机免耕旱直播的播种需求。

(3)此套播种系统结构紧凑,与一体机其它机构相匹配,一次性下地可以完成收获、开沟、集草、喷施、播种、覆土作业,减少机具下地次数,提高作业效率,节约经济成本,具有连收带播抢农时的优点。

参 考 文 献

1 高焕文,李洪文,姚宗路. 我国轻型免耕播种机研究[J]. 农业机械学报,2008,39(4):78-82.
GAO Huanwen,LI Hongwen,YAO Zonglu. Study on the Chinese light no-till seeders[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(4):78-82. (in Chinese)

2 刘世平,陈后庆,聂新涛,等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J]. 农业工程学报,2008,24(5):51-56.
LIU Shiping, CHEN Houqing, NIE Xintao, et al. Comprehensive evaluation of tillage and straw returning on soil fertility in a wheat-rice double cropping system[J]. Transactions of the CSAE,2008,24(5):51-56. (in Chinese)

3 吴文革,陈焯,钱银飞,等. 水稻直播栽培的发展概况与研究进展[J]. 中国农业科技导报,2006,8(4):32-36.
WU Wenge,CHEN Ye,QIAN Yinfei,et al. The current status and progresses of the research on direct seeding rice[J]. Review of China Agricultural Science and Technology,2006,8(4):32-36. (in Chinese)

4 龚万涛. 开沟施肥播种联合作业机的设计与试验研究[D]. 南京:南京农业大学,2012.

5 薛惠岚,薛少平,杨青,等. 秸秆粉碎覆盖与施肥播种联合作业的实现及机具设计[J]. 农业工程学报,2003,19(3):104-108.
XUE Huilan,XUE Shaoping,YANG Qing,et al. Implementation of combined work of straw crushed for mulching and seeding with

- fertilizer and design of the machine[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(3): 104 – 108. (in Chinese)
- 6 陈玉仑, 丁为民, 汪小昆, 等. 稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 62 – 66.
CHEN Yulun, DING Weimin, WANG Xiaochan, et al. Design of harvest ditch and stalk-disposing machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 62 – 66. (in Chinese)
- 7 陈玉仑, 丁为民, 方志超, 等. 全喂入式联合收割机碎草脱粒装置的改进设计[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 11 – 16.
CHEN Yulun, DING Weimin, FANG Zhichao, et al. Improved design of straw-cutting type threshing mechanism of full-feeding combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(24): 11 – 16. (in Chinese)
- 8 陈玉仑, 丁为民, 姚立健, 等. 稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机开沟功耗研究[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(2): 101 – 104.
CHEN Yulun, DING Weimin, YAO Lijian, et al. Research on power consumption of ditcher device of harvest ditch and stalk-disposing machine[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2010, 33(2): 101 – 104. (in Chinese)
- 9 陈玉仑, 丁为民, 杨宏图, 等. 墒沟集草型稻麦联合收获机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 73 – 78.
http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2012s15&journal_id=jcsam DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2012. S0. 015.
CHEN Yulun, DING Weimin, YANG Hongtu, et al. Design and experiment of combine harvester with function of stalk-discharging to ditch[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 73 – 78. (in Chinese)
- 10 方志超, 陈玉仑, 丁为民, 等. 稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机喷菌装置的设计及试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 32 – 38.
FANG Zhichao, CHEN Yulun, DING Weimin, et al. Design and test of bacteria spraying device for harvest ditch and stalk disposing machine[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(14): 32 – 38. (in Chinese)
- 11 方志超, 陈玉仑, 丁为民, 等. 稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机行走及脱粒性能改进[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 26 – 33.
FANG Zhichao, CHEN Yulun, DING Weimin, et al. Improvement of walking stability and threshing performance for harvest ditch and stalk-disposing machine[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(18): 26 – 33. (in Chinese)
- 12 方志超, 刘玉涛, 丁为民, 等. 微生物菌喷施对集沟还田稻麦秸秆的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 187 – 194.
FANG Zhichao, LIU Yutao, DING Weimin, et al. Effect of microbial spraying on wheat and rice straw returning to ditch[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(23): 187 – 194. (in Chinese)
- 13 JB/T 9783—2013 播种机 外槽轮式排种器[S]. 2013.
- 14 姚宗路, 高焕文, 王晓燕, 等. 小麦免耕播种机开沟器对作物生长的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 117 – 120.
YAO Zonglu, GAO Huanwen, WANG Xiaoyan, et al. Effect of three furrow openers for no-till wheat seeder on crop growth performance[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 117 – 120. (in Chinese)
- 15 顾耀权, 贾洪雷, 郭慧, 等. 滑刀式开沟器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 38 – 42. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130208&journal_id=jcsam DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2013. 02. 008.
GU Yaoquan, JIA Honglei, GUO Hui, et al. Design and experiment of sliding knife furrow opener[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 38 – 42. (in Chinese)
- 16 张军昌, 闫小丽, 薛少平, 等. 秸秆粉碎覆盖玉米免耕施肥播种机设计[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 51 – 55. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20121210&journal_id=jcsam DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2012. 12. 010.
ZHANG Junchang, YAN Xiaoli, XUE Shaoping, et al. Design of no-tillage maize planter with straw smashing and fertilizing[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 51 – 55. (in Chinese)
- 17 朱惠斌, 李洪文, 何进, 等. 稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(6): 39 – 44. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130608&journal_id=jcsam DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2013. 06. 008.
ZHU Huibin, LI Hongwen, HE Jin, et al. No-till wheat seeder with two-axel drive anti-blocking in rice stubble field[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6): 39 – 44. (in Chinese)
- 18 何进, 王庆杰, 李洪文, 等. 华北一年两熟区免耕开沟种床对农田作物生长的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 50 – 56. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130809&journal_id=jcsam DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2013. 08. 009.
HE Jin, WANG Qingjie, LI Hongwen, et al. Effect of no-till opening seedbed on crop growth in annual double cropping areas innorthern China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 50 – 56. (in Chinese)
- 19 陈玉仑, 丁为民, 方志超, 等. 联合收获免耕直播机开沟分土装置抛土性能研究[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(6): 135 – 140.
CHEN Yulun, DING Weimin, FANG Zhichao, et al. Soil dispersing performance research of ditcher and reflector of machine with combinative harvesting and no-till planting[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2013, 36(6): 135 – 140. (in Chinese)
- 20 老大中. 变分法基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.