

# 水稻直播用精播绳制造设备研制

周俊, 姬长英

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

**摘要:** 水稻直播栽培技术具有省工、节本、增效等优点, 但现有的直播机无法适应精确定量栽培的农艺要求。为此, 设计了一种水稻直播用精播绳制造机械设备, 该设备主要由送纸机构、排种机构、加捻机构和种绳卷绕成形机构等部分组成。其在工厂内将稻种按照设定的穴距和每穴粒数卷在 4~7 cm 宽的纸带内, 并捻制成种绳, 而后再将种绳卷绕成圆柱状供大田播放。大田作业时, 通过将精播绳铺放在平整后的田块中, 实现水稻的有序栽培。试验结果表明, 研制的机械设备工作性能稳定, 生产的种绳穴距变异系数不超过 3.15%, 每穴粒数变异系数不超过 13.42%, 种绳直播的水稻产量达 10 290 kg/hm<sup>2</sup>, 与当地的机插或人工手插相比无显著差异, 但明显高于中国目前水稻平均单产。

**关键词:** 栽培技术, 精播绳制造机械, 水稻直播机, 直播, 精播绳

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.014

中图分类号: S233.71

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0079-05

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.

Zhou Jun, Ji Changying. Development of machine for producing precision seeding rope with paper for rice direct sowing[J].

Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 79—83. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

水稻直播具有显著的省工、节本、增效等作用。随着高效除草剂的成功研制、早熟高产新品种的育成以及劳动力成本的增加, 水稻直播技术越来越受到重视。美国和澳大利亚等发达国家, 水稻种植已全部采用机械直播<sup>[1]</sup>。亚洲的马来西亚和斯里兰卡水稻直播种植面积已达 70% 以上<sup>[2]</sup>; 日本、印度等国家也在积极探索水稻直播栽培方式<sup>[3-4]</sup>。由于农业劳动力持续转移等原因, 中国的水稻直播栽培面积同样呈逐年增加趋势, 因此也促进了相应机具<sup>[5-9]</sup>、栽培技术等方面的研究工作<sup>[10-12]</sup>, 甚至被认为是现代水稻栽培方式的必然选择<sup>[13]</sup>。

目前的水稻直播机械大部分是由小麦播种机改制而成, 存在着机具笨重、田间下陷量大、成穴困难、每穴粒数难以准确控制等问题, 无法适应现代水稻精确定量栽培的农艺要求。同时, 中国水稻种植具有明显的多样性特点<sup>[14]</sup>, 分布地域广泛, 决定了任何单一的模式都难以胜任水稻种植机械化。为此, 任文涛<sup>[15]</sup>等人试验了水稻种绳直播栽培技术, 该技术不仅可以节本增效, 而且有利于在更广泛的地区促进水稻种植机械化。但是, 其推广应用的先决条件是具备性能完善的水稻精播绳制造设备。从目前公开资料可知, 只有任文涛等人曾经研制过一种直播种绳捻制机<sup>[15]</sup>, 但该机型在穴距调节精度、生产效率、种绳卷绕成形等方面都难以满足实际规模生产要求。因此, 本文针对现有设备的不足, 设计了一种水稻直播用精播绳制造设备。

## 1 水稻精播绳制造设备设计

### 1.1 设计要求

使用普通皱纹纸, 规格为 28~32 g/m<sup>2</sup>, 纸带宽度为 4~7 cm。穴距能够任意设定, 每穴粒数可以调整。单组生产率约 1 m/s。为了方便存储以及大田播放, 卷绕后的种绳卷形状为两端具有锥度的圆柱体。每卷种绳长度能够设定。此外, 要求设备操作简单。

### 1.2 机械系统设计及工作原理

设计的种绳捻制机工作原理如图 1 所示。该机主要由送纸机构、排种机构、种绳加捻机构、卷绕成形机构以及测量部件等组成。种绳生产前, 纸带厂家提供的纸带卷 (13) 为盘状, 直径约 50 cm, 纸带在卷绕机构的牵引下运动。为了节约用纸, 纸带的厚度薄, 纵向抗拉强度小, 直接利用牵引纸带让纸带盘被动旋转放开纸带的方式, 容易导致纸带断裂, 试验中还发现, 被动放纸容易引起纸带

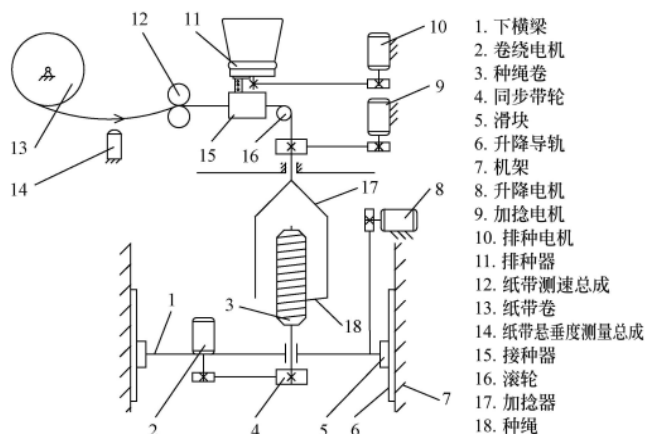


图 1 水稻精播绳生产机械原理简图

Fig.1 Schematic diagram of machine for producing precision seeding rice rope with paper

收稿日期: 2007-12-04 修订日期: 2009-05-11

项目基金: 江苏省镇江市科技计划项目 (NY2006011)

作者简介: 周俊 (1974—), 男, 博士, 教授, 中国农业工程学会高级会员, 主要研究方向: 农业机器人, 自动化农业装备。南京 南京农业大学工学院, 210031。Email: zhoujun@njau.edu.cn

缠结。因此,设计了纸带盘主动送纸方式,即运用送纸电机(与纸带盘同轴,图中因遮挡而未画出)驱动纸带盘转动来放纸。为了控制电机送纸速度,选用一对光电开关组(14)测量纸带的悬垂度来控制送纸速度。

纸带从纸带盘上放开后,在卷绕机构的牵引下前进,方向如图 1 中箭头所示。它首先通过纸带速度测量总成(12)来检测纸带前进的速度,该装置主要由测速辊和增量式光电编码器组成。纸带测速后进入接种器(15),接种器内部是呈圆锥形的空腔,圆锥顶部朝向与纸带前进方向一致。圆锥形空腔底部有同心但直径略小的挡板,纸带从挡板与圆锥形空腔之间形成的缝隙中进入接种器。接种器内部空腔的约束使纸带由两边向中间卷起,呈近似圆锥面。

接种器与排种器(11)相连接,以承接排种器播出的水稻种子。由于固定的工厂化生产环境,让排种器选择获得极大的自由度,包括一些新颖的但无法在室外移动播种机上使用的排种器都可以考虑,以满足精确播种要求。样机设计中,由于时间限制,暂采用了水平圆盘式排种器,它由排种电机(10)驱动,每穴粒数通过更换不同尺寸型孔的排种盘来调节。穴距由操作人员根据农艺要求设定,而后通过机器控制系统调节电机与纸带间的相对速度关系来实现。种子在水平圆盘排种器的作用下被间歇地播在接种器内已呈圆锥面的纸带上,排种盘出口与纸带间的距离非常近,样机中此距离约为 7 cm。圆锥形空腔越来越小的顶部空间,使水稻种子落到纸带上后几乎立即被纸带包卷住,所以,种子基本上不会因弹跳等原因而难以良好成穴,保证了穴距的精确性。

包卷有种子的纸带通过接种器后,经过转向滚轮(16),此时前进方向由水平方向变为垂直方向,然后进入加捻器(17)。样机中,加捻器由加捻电机(9)通过同步带驱动。加捻器由中心转轴以及呈 U 形的转臂组成。中心转轴是空心轴,U 形转臂的一臂杆上开有槽,并与中间转轴的空腔相连,一起构成种绳经过此部件的通道。加捻器工作时作高速旋转运动,要求在设计制造过程中保证其对中心转轴的动平衡。加捻器的高速旋转使纸带拥有了相应的捻度,调节纸带前进速度与加捻电机转速之间的相对关系,可以任意改变纸带捻度的大小。实际上,由于纸带捻度的向前传播,纸带离开接种器后就已经具备了轻微的捻度,越过转向滚轮后,捻度突然增加,变得很大。获得捻度的纸带,纵向抗拉强度增加,并紧紧地包裹住水稻种子,成为种绳。种绳顺着空心轴以及转臂上的槽继续前进,进入卷绕成形环节。

无论是从大田播放,还是从储藏运输来说,都必须要求生产出的种绳最后能卷绕成一定的形状。为了避免塌边,希望种绳最后卷绕成两端有锥度的圆柱体,卷绕芯筒材料可以为纸质或普通塑料管。卷绕成圆柱状的过程中至少要有两个运动的协调才能完成:一是芯筒的旋转运动,以便把种绳绕起来;二是芯筒的上下往复运动,以使种绳在芯筒上能够分布均匀。为此,样机中设计了卷绕电机(2)通过同步带轮(4)驱动卷绕轴转动,卷绕芯筒套接在卷绕轴上,固定后与之一起旋转。当种绳卷绕到设定长度后,设备在程序的控制下自动停机,人工松开卷绕芯筒和卷绕

轴之间的快速固定装置,取下种绳卷。同时,卷绕电机和卷绕轴都固定在下横梁(1)上,下横梁又与滑块(5)连接在一起。升降电机(8)通过链轮链条传动牵引下横梁在导轨(6)上作往复运动,以使种绳在芯筒上一圈一圈依次分布。

在上述各机构的相互协调运动下,纸带和水稻种子就会按要求被加工成直播用种绳,最后卷绕在芯筒上,形成种绳卷产品。图 2 为水稻精播绳生产机械样机。

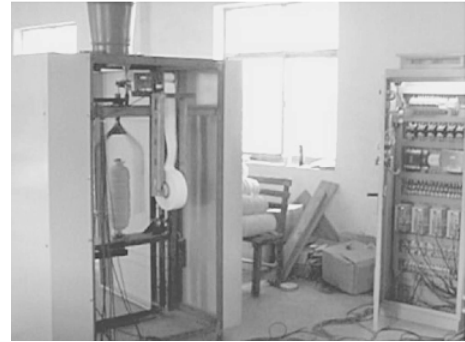


图 2 水稻精播绳生产机械样机

Fig.2 Prototype machine for producing precision seeding rice rope with paper

### 1.3 系统运动分析

系统设计中,送纸机构、排种机构、加捻机构、卷绕机构和升降机构由 5 个不同的电机各自独立驱动,这样可以减少它们之间的机械传动链。但是,为了保证系统正常工作,必须要求 5 个电机之间的协调运动,下面具体分析这种运动协调关系。

对于送纸机构而言,需要保证纸带测速前处于自由状态,以尽量减小纸带承受的纵向拉力,但同时又不能太松而导致纸带缠结。综合考虑成本和系统精度要求,选用一对光电开关来感知纸带的悬垂度,如果纸带悬垂太小则光电开关 1 输出信号(即  $s_1=1$ ),系统控制器将立即增加送纸电机的转速。反之,悬垂太大,光电开关 2 动作(即  $s_2=1$ ),送纸电机的转速将减小。当两个光电开关都不动作时,维持送纸速度不变。因此,送纸电机的转速  $n_1$  (r/min)

$$n_1(k+1) = n_1(k) + \eta \Delta \quad (1)$$

$$\text{式中: } \eta = \begin{cases} 1 & s_1 = 1 \\ -1 & s_2 = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}; k \text{ —— 控制周期的序号;}$$

$\Delta$  —— 送纸电机每控制周期的速度增量。

包裹有种子的纸带必须获得一定的捻度才能成为种绳,捻度是单位长度(m)上捻的个数,所以捻度  $T$

$$T = \frac{n_2}{60v} \quad (2)$$

式中:  $v$  —— 纸带的运动速度, m/s;  $n_2$  —— 加捻器的转速, r/min。

工作时当需要的捻度设定好后,加捻电机的转速立即确定。

纸带前进是由种绳最终卷绕时的牵引而产生的,它是加捻器旋转和卷绕轴旋转两个运动合成后的结果,因此

$$v = (n_3 - n_2)r_t \frac{2\pi}{60} \quad (3)$$

式中:  $n_3$ ——种绳卷绕轴的转速, r/min;  $r_t$ —— $t$  时刻种绳卷的半径, m。

把式 (2) 带入式 (3), 可以求出卷绕电机的转速, 卷绕过程中种绳卷半径逐渐增大, 导致纸带前进速度有增加趋势, 因此, 为了维持稳定的生产效率, 保证恒定的纸带运动速度, 卷绕电机的转速需要实时控制。

种绳在进入卷绕前, 其位置是固定不变的, 为了能均匀地将其卷绕成圆柱状, 则要求芯筒上下往复运动。生产过程中, 随着种绳卷的卷绕半径增加, 在生产效率恒定前提下, 种绳卷旋转一周的时间将会延长, 结果上下往复的速度也必须作相应减小, 才能保证种绳卷绕的均匀一致。因此, 卷绕芯筒的往复速度  $v_r$  (m/s) 为

$$v_r = \frac{vd}{2\pi r_t} \quad (4)$$

式中  $d$ ——种绳的直径, m。由于种绳并不是一理想的圆柱形, 此值不容易精确测定, 但在实际生产中, 结合测量值和试机调整, 完全可以确定出满意的往复速度。

把式 (3) 带入式 (4), 就可计算出  $v_r$ 。样机设计中, 升降电机通过链轮链条机构来驱动下横梁在导轨上往复运动, 进而带动卷绕芯筒的上下往复运动, 所以升降电机的转速  $n_4$  (r/min) 为

$$n_4 = \alpha v_r \quad (5)$$

式中  $\alpha$ ——升降电机转速和卷绕芯筒往复运动速度之间的传动系数, 当机械结构尺寸确定后, 为一常数。

在水平圆盘排种器间隔地把种子排布到移动的纸带上这一成穴过程中, 穴距受纸带前进速度和排种器转速共同影响

$$h = \frac{60v}{n_5 N} \quad (6)$$

式中:  $h$ ——穴距, m;  $N$ ——排种盘上的型孔数;  $n_5$ ——水平圆盘排种器的转速, r/min。

当根据农艺要求设定好穴距后, 立即可以确定水平圆盘排种器的转速, 进而排种电机的转速也可以确定。

上述 5 个转速之间的协调关系, 在工作过程中需要实时保证。设计中采用了 FBs-PLC 来对所有电机进行协调控制, 同时该 PLC 还连接有触摸显示屏, 能够方便地设定种绳穴距、每卷长度、捻度等工作参数。

#### 1.4 系统控制方法

由上述系统运动分析可知, 精播绳制造设备良好的工作性能需要单台电机的速度跟随误差以及 5 台电机之间的同步误差都必须很小。其中种绳卷绕电机的速度控制尤其重要, 控制精度直接决定着设备能否正常生产, 误差稍大就会导致种绳断裂。

然而, 纸带在牵引、卷绕中, 受纸带不均匀性、每穴种数变异性等因素的影响, 其实际长度相对卷绕前会出现随机性改变。同时, 种绳卷在生产过程中直径由小变大, 质量和几何尺寸都在实时变化。这些都使该系统在本质上成为一非线性时变系统, 给控制增加了难度, 容易出现纸

绳断裂的故障。因此, 这里利用单神经元 PID 控制算法的自学习、自适应等特点来克服系统参数的变化, 以实现卷绕电机的实时在线速度控制。

单神经元 PID 控制算法源于传统 PID 思想, 结构与传统 PID 算法相似, 不同的是神经元的权值有自学习性, 代替了传统 PID 的固定增益。单神经元 PID 控制器的结构如图 3 所示。

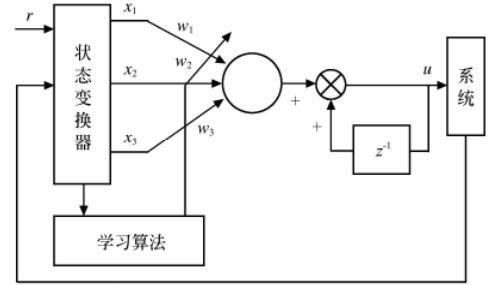


图 3 单神经元 PID 控制器

Fig.3 Single neuron PID controller

其中  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  为输入信号,  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$  为神经元的权值。  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  分别为

$$\begin{cases} x_1(k) = e(k) \\ x_2(k) = e(k) - e(k-1) \\ x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $e(k)=r(k)-y(k)$ ——取样时间  $k$  的系统误差;  $r(k)$ ——输入信号;  $y(k)$ ——反馈信号;  $u(k)$ ——神经元的输出, 由输入信号的加权求和得出神经元的输出  $u(k)$  为

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 w_i(k) x_i(k) \quad (8)$$

式中  $K$ ——输出的增益。

神经元输入权值调整的学习算法中, 借用最优控制中的二次型性能指标思想, 从而实现对输出误差的控制, 以保证种绳卷绕速度控制的精度。取目标函数

$$J(k) = \frac{1}{2} [r(k) - y(k)]^2 = \frac{1}{2} e^2(k) \quad (9)$$

权值的修正, 要以  $J(k)$  相应于  $w_i(k)$  的负梯度方向进行

$$\begin{cases} w_1(k+1) = w_1(k) + \eta_1 K e(k) \lambda(k) x_1(k) \\ w_2(k+1) = w_2(k) + \eta_2 K e(k) \lambda(k) x_2(k) \\ w_3(k+1) = w_3(k) + \eta_3 K e(k) \lambda(k) x_3(k) \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $\eta_i$ ——学习速率,  $\eta_i > 0$ ;  $\lambda(k) = \frac{e(k) - e(k-1)}{u(k) - u(k-1)}$ 。

由于单神经元 PID 算法的权值具有在线自适应调节能力, 后面试验将显示该控制算法能较好地克服了系统时变不确定性给控制系统性能造成的不良影响, 并且简化了系统控制参数的整定。

## 2 样机性能试验与分析

### 2.1 室内生产试验

按照传统播种机试验中习惯使用的方法, 去除任一卷精播绳中开始的 10 m, 以连续 250 个粒距作为样本, 统计穴距数据, 以观察精播绳生产设备的工作性能, 结果如

表 1 所示。其中, 设定穴距是根据播种量和大田种植密度等农艺要求得出的。由  $t$  检验可以发现, 当显著性水平为 0.01 时, 实测数据的均值与设定值间均无显著差异, 系统

控制精度完全达到设计指标。 $F$  检验还可以知道, 当显著性水平为 0.01 时, 两组数据的方差之间也无显著差异, 表明系统总体工作性能稳定, 不会因工作参数的改变而变化。

表 1 水稻精播绳中的穴距和每穴粒数

Table 1 Hill-drop distance and number of seeds per hill in precision seeding rice rope

品 种	穴 距				每穴粒数			
	设定值/cm	实际平均值/cm	标准差/cm	变异系数/%	设定值	实际平均值	标准差	变异系数/%
常优 1 号	16	16.11	0.69	2.65	4	4.00	0.51	12.75
武粳 15	15	15.01	0.71	3.15	6	5.66	0.70	13.42

目前在样机设计中由于时间等原因, 暂选用了简单的水平圆盘排种器, 但由于是固定的工厂化生产条件, 精确的播种量控制基本能够实现。结果如表 1 所示。 $t$  检验表明, 显著性水平为 0.01, 当种子粒数为 4 粒时, 实际平均粒数和理论设定粒数之间没有显著差别, 且变异系数也相对较小。而当理论设定粒数增加时, 由于水平圆盘排种器充种过程中的不确定性也相应增加, 导致实际平均粒数偏小, 变异系数也有所增加。

实际上, 由于遵循了模块化设计思想, 排种器总成在结构上完全独立, 如需要改为其他更好形式的排种器也非常方便。

## 2.2 大田种植试验

2007 年 6 月在江苏省的扬中、常熟、姜堰、丹徒 4 个县进行了大田试验。由于篇幅限制本文对田间试验只略作介绍。大田试验中, 采用手工方式把精播绳直接铺放在田中, 其实这种方式对小面积田块而言会更加方便、有效。



a. 2007 年 7 月 7 日



b. 2007 年 9 月 15 日

图 4 种绳直播方式不同时期水稻在大田中的生长情况

Fig.4 Growth conditions of rice with precision seeding rope direct sowing in the field at different stages

图 4 就是扬中新坝双新农场实验点的田间照片, 此实验点面积约  $0.5 \text{ hm}^2$ 。采用宽窄行种植, 其中宽行距是

33.3 cm, 窄行距为 16.7 cm。水稻品种是杂交粳稻“常优 1 号”。其中, 2007 年 6 月 7 日的照片为播后 2 d 的田间情况, 2007 年 9 月 15 日的照片中, 水稻处于抽穗期。可见利用该样机生产出的种绳, 能够方便地实现水稻成行成穴有序种植。

由于可以实现精确定量的栽培, 使得田间基本苗数量合适, 水稻根系发达、茎秆健壮、成穗率高。在收获前 1 d, 利用对角线法, 统计出在该试验点处, 每平方米有效穗为 281.86 穗, 每穗实粒数 137.1 粒, 千粒重为 26.8 g, 计算理论产量达  $10\ 365 \text{ kg/hm}^2$ , 收获后称量实际产量为  $10\ 290 \text{ kg/hm}^2$ 。这与当地的机插或人工手插相比基本相同, 但明显高于中国目前水稻  $6\ 024 \text{ kg/hm}^2$  的平均单产<sup>[16]</sup>。

以试验为例, 用纸量约为  $69.12 \text{ kg/hm}^2$ , 这样成本约  $345.6 \text{ 元/hm}^2$ , 精播绳生产费用随生产规模不同会有所变化, 一般要小于  $150 \text{ 元/hm}^2$ 。而目前的水稻机插方式种植, 仅机插环节就达到  $600 \text{ 元/hm}^2$ <sup>[12]</sup>, 事实上中国大部分地区的实际作业费用更高。此外, 精播绳直播的用种量也只有常规机械直播的  $1/2 \sim 1/3$ , 可以明显节省水稻良种。

## 3 结论与展望

本文设计了一种水稻直播用精播绳制造设备, 制造了原型样机, 进行了工厂生产和大田种植试验。结果表明, 该设备性能稳定, 生产的种绳穴距变异系数不超过 3.15%, 每穴粒数变异系数不超过 13.42%, 可以满足直播农艺需求。水稻大田种植产量达到  $10\ 290 \text{ kg/hm}^2$ , 与当地传统的机插或人工手插相比无显著差异。

该设备改变了传统的水稻直播作业形式, 能够将播种等复杂的作业环节工厂化, 进而使田间作业轻型化。这对促进在更广泛地区实现水稻种植机械化具有重要的意义, 尤其适宜一些小面积田块、现有机具不易进入的田块的水稻种植机械化。

本文中描述的实际上是单组生产单元, 如果要提高生产效率, 只须在该设备上并列多组生产单元即可, 其中的电机拖动以及控制系统等保持不变。高效可靠的人力或机械动力的种绳大田播设备还有待继续开发, 以满足不同应用的需求。

### [参 考 文 献]

- [1] 吴文革, 陈烨, 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 with English abstract)
- [2] 邹应斌. 亚洲直播稻栽培的研究与应用[J]. 作物研究, 2004, (3): 133—136.
- [3] 李耀明, 徐立章, 向忠平, 等. 日本水稻种植机械化技术的最新研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 182—185.  
Li Yaoming, Xu Lizhang, Xiang Zhongping, et al. Research advances of rice planting mechanization in Japan[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(11): 182—185. (in Chinese with English abstract)
- [4] Sunil K Mathanker, Singh V V. Ridge seeding of pre-germinated rice in puddle fields[Z]. ASABE Paper, No: 078042.
- [5] 郑一平, 花有清, 陈丽能, 等. 水稻直播机播种监测器研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 77—80.  
Zheng Yiping, Hua Youqing, Chen Lineng, et al. Seeding detectors for rice drill[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 77—80. (in Chinese with English abstract)
- [6] 罗锡文, 欧洲, 蒋恩臣, 等. 抛掷成穴式水稻精量直播排种器试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(9): 37—39.  
Luo Xiwen, Ou Zhou, Jiang Enchen, et al. Experimental research on precision rice direct-seeder with hill sowing [J]. Transactions of the CSAM, 2005, 36(9): 37—39. (in Chinese with English abstract)
- [7] 罗锡文, 刘涛, 蒋恩臣, 等. 水稻精量穴直播排种轮的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 108—112.  
Luo Xiwen, Liu Tao, Jiang Enchen, et al. Design and experiment of hill sowing wheel of precision rice direct-seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(3): 108—112. (in Chinese with English abstract)
- [8] 夏萍, 张建华, 马有华, 等. 水稻包衣直播机设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 99—103.  
Xia Ping, Zhang Jianhua, Ma Youhua, et al. Design and experimental study on a new rice seed-coating and direct sowing machine[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(3): 99—103. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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.
- [10] 任文涛, 胡忠飞, 崔红光, 等. 激光平地乳芽直播节水效果的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 72—75.  
Ren Wentao, Hu Zhongfei, Cui Hongguang, et al. Effect of laser-controlled land leveling and baby rice seedling direct planting on saving water[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(3): 72—75. (in Chinese with English abstract)
- [11] 罗锡文, 谢方平, 区颖刚, 等. 水稻生产不同栽植方式的比较试验[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 136—139.  
Luo Xiwen, Xie Fangping, Ou Yinggang, et al. Experimental investigation of different transplanting methods in paddy production[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 136—139. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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.  
He Ruiyin, Luo Hanyu, Li Yutong, et al. Comparison and analysis of different rice planting methods in China[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 167—171. (in Chinese with English abstract)
- [13] 江仕文. 水稻直播是现代水稻栽培方式的必然选择[J]. 江西农业科技, 2001, (6): 7—8.
- [14] 朱德峰, 陈惠哲, 徐一成. 我国水稻机械种植的发展前景与对策[J]. 农业装备技术, 2007, (1): 14—15.
- [15] 任文涛, 李显生, 张亚双. 水稻种绳捻制机的研制与试验[J]. 农机化研究, 2005, (6): 169—172.  
Ren Wen-tao, Li Xiansheng, Zhang Yashuang. Development and experiment on a rice seed rope twisting machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005, (6): 169—172. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王洋, 张祖立, 张亚双, 等. 国内外水稻直播种植发展概况[J]. 农机化研究, 2007, (1): 48—50.  
Wang Yang, Zhang Zuli, Zhang Yashuang, et al. Research and progress of rice direct sowing at home and abroad[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, (1): 48—50. (in Chinese with English abstract)

## Development of machine for producing precision seeding rope with paper for rice direct sowing

Zhou Jun, Ji Changying

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

**Abstract:** Direct seeding technology is characterized by labor and cost saving, high efficiency, etc., the current direct seeding machine, however, can not adapt well to the agronomic requirement of rice precision cultivation. So a prototype machine for producing precision seeding rice rope with paper was designed and manufactured. The machine consisted of paper tape feeding mechanism, seed metering mechanism, twisting mechanism and seed rope rolling mechanism. By the use of the machine, in factory seeds were firstly arranged on a paper tape of 4–7 cm wide in the setting hill distance and the number of seeds per hill, and then the paper tape with seeds was twisted into a seed rope, finally the seeding rope was rolled up and the roller of seeding rope with cylindrical shape was produced. In the field, the precision seeding rope made with paper was roller out in lines on surface of the tilled soil to achieve orderly planting of rice. The experimental results showed that the machine performed well, and coefficient of variation of drop-hill distance and the number of seeds per hill were less than 3.15% and 13.42%, respectively. And the rice yield was 10 290 kg/hm<sup>2</sup>, compared with that of traditional mechanical or manual transplanting there was no significant difference between them, but it was obviously greater than the average rice yield in China.

**Key words:** cultivation techniques, machine for producing precision seeding rope with paper, paddy planter, direct sowing, precision seeding rope