

文章编号: 1673-3851 (2011) 05-0749-04

顶出式水稻钵苗有序移栽机的研究

原新斌, 张国凤, 陈建能, 赵 匀

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

摘 要: 为使秧盘输送钵苗更加稳固、精确, 更利于顶杆对钵苗的可靠顶出, 针对水稻钵盘育秧, 设计一种杠杆顶出式有序移栽机。该移栽机由机动行走底盘、差速传动系统、钵苗顶出机构、秧盘输送机构和导秧分行装置组成。对移栽机差速传动系统、钵苗顶出机构、秧盘输送机构的结构和工作原理进行分析、论述; 对顶杆复位弹簧的结构参数进行优化, 确保顶杆在极短的时间内复位, 以免影响秧盘输送; 对秧盘输送机构进行改进。整机样机试验结果表明: 该移栽机可以满足水稻钵苗有序移栽的农艺要求。

关键词: 水稻钵苗移栽机; 凸轮杠杆顶出机构; 差速传动; 秧盘输送机构

中图分类号: S223.92 **文献标识码:** A

0 引 言

水稻钵苗有序移栽技术因其具有秧苗返青快、低节位有效分蘖多、增产效果明显等优势, 近年来受到国内专家学者的关注^[1]。

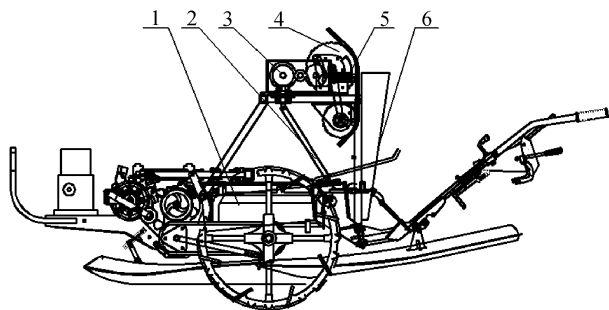
实现水稻钵苗机械有序移栽需要解决 3 个主要问题: 钵苗脱盘、自动输秧和落秧分行。国内学者分别提出不同的方案, 形成数种有序移栽机械^[2-7]。文献[8]对杠杆顶出式有序移栽机构的运动特性进行了分析并对机构的参数进行了优化, 文献[9]则对钵苗的下落特性进行了分析和试验。在此基础上, 本文对杠杆顶出式水稻钵苗有序移栽机整机设计进行了研究。

1 移栽机整机结构和工作原理

杠杆顶出式有序移栽机的基本结构组成如图 1 所示。其工作原理是: 动力通过万向节从底盘传给差速传动系统, 差速传动系统再分别驱动秧盘自动输送机构和杠杆顶出机构, 秧盘自动输送机构驱动秧盘, 将钵苗送至顶杆处, 顶杆顶出机构从秧盘底部顶出钵苗, 钵苗依靠自重再由导秧装置落入田中, 随着底盘的行走, 形成所需要的株距, 由此完成水稻钵苗的有序移栽。

1.1 底盘及差速传动系统

移栽机采用富来威牌 2 \approx 455 型机动插秧机底盘, 行走轮为直径 612 mm 的橡胶轮爪驱动轮形式。在该底盘基础上, 设计了差速传动系统。为保证钵苗能够



1. 底盘, 2. 万向节中间轴, 3. 差速传动系统, 4. 秧盘自动输送机构, 5. 杠杆顶出机构, 6. 导秧装置

图 1 移栽机结构示意图

收稿日期: 2010-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(50445005); 浙江省自然科学基金项目(Y104596); 浙江省科技厅重大专项(2006C12039)

作者简介: 原新斌(1983-), 男, 河南新乡人, 硕士研究生, 主要从事机构学及机械系统动力学研究。

通讯作者: 赵 匀, 电子邮箱: zhaoyun@zstu.edu.cn

利用自重落入田中的直立性和入土深度,移栽机工作部件即杠杆顶出机构必须与地面保持一定高度。因底盘与工作部件之间的距离较大,故采用万向节和锥齿轮传动将底盘动力传送给工作部件。整机传动路线如图2所示。发动机动力经过两级带轮传动,通过动力输入轴将动力传递给底盘传动箱,底盘传动箱将动力分为两路,分别驱动地轮和输出轴,输出轴通过万向节和两对锥齿轮传动驱动凸轮轴和齿盘驱动轴,分别驱动杠杆顶出机构和秧盘自动输送机构。

差速传动系统由图2中6,7,8以及a~h各级啮合齿轮组成。在差速传动系统中,凸轮轴转过一周,秧盘驱动轮转过一齿距,带动秧盘向下输送一行。图2中凸轮轴6和秧盘转轴8之间的传动比 p 是一个重要参数。 p 值太大,秧盘转轴相对凸轮轴的转速过小,需要多级传动并且增大秧盘驱动轮的尺寸,导致机构体积庞大,总质量增加; p 值太小,秧盘转轴相对于凸轮轴的转速过大,需增大复位弹簧的刚度以及减小秧盘驱动轮尺寸,使秧盘曲率增大,影响整机寿命和钵苗顶出的可靠性。综合分析,选取 $p=36$,采用4级传动,传动比分配为: $p=36=\frac{2}{1}\times\frac{3}{1}\times\frac{2}{1}\times\frac{3}{1}=\frac{d}{c}\times\frac{f}{e}\times\frac{h}{g}\times\frac{a}{b}$ 。按照该传动比,经初步计算,顶杆复位时间在0.03 s以内时,秧盘的位移小于0.5 mm,钵苗顶出试验表明,在钵秧盘该段位移内,顶杆与秧盘存在的接触,不影响秧盘的正常运转。各级齿轮模数及齿数见表1。

表1 各级齿轮模数和齿数

齿轮	a	b	c	d	e	f	g	h
模数/mm	1	1	1.5	1.5	1	1	1	1
齿数	108	36	32	64	36	108	45	90

1.2 杠杆顶出机构和秧盘自动输送机构

1.2.1 杠杆顶出机构

杠杆顶出机构和秧盘自动输送机构,按照一定传动比运动,分别完成分秧和输秧功能。

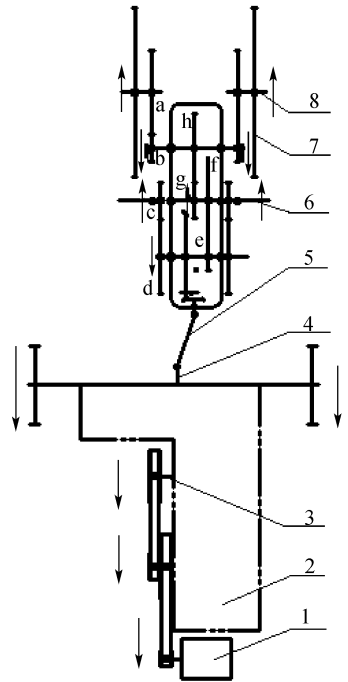
杠杆顶出机构由图3所示的成套凸轮、杠杆、顶杆和复位弹簧组成,分成两组左右对称排列。分秧机理如下:凸轮轴带动凸轮,驱动杠杆摆动,杠杆推动对应的顶杆移动,顶杆移动一定行程,从秧盘钵碗底部作用于秧苗土钵,将秧苗顶出钵碗,随后在复位弹簧的作用下迅速复位。文献[8]对该机构的运动特性进行了分析,建立了机构优化模型,优化得到杠杆轴心位置、杠杆输入力臂和初始安装角等参数,并未对复位弹簧参数进行优化。

1.2.2 秧盘自动输送机构

为实现定量精确地将钵苗送至顶出位置,以便顶杆顺利地将钵苗顶出秧盘,针对原鼠笼式秧盘输送机构^[10]存在顶杆与鼠笼栅条相互牵制的缺陷,为此设计了齿盘驱动式秧盘自动输送机构(如图4)。机构由同步带驱动的上、下秧盘驱动轮和导轨构成,上、下秧盘驱动轮均是具有矩形齿的齿盘,轮齿正好嵌入秧盘两侧的齿槽内,带动秧盘送进;导轨对秧盘起到压紧和导向的作用。当秧盘与上秧盘驱动轮脱离时,秧盘的最后2行钵苗未送至顶出位置,这时下驱动轮可以以同样的速度驱动秧盘,完成最后2行钵苗的移栽,并为秧盘的回收提供动力。

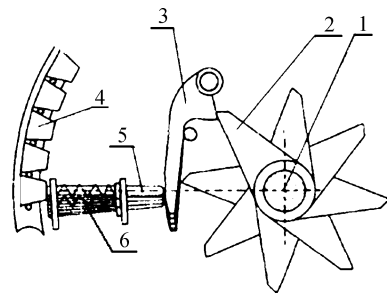
2 顶杆复位弹簧参数优化

由于秧盘需连续送秧,为避免顶杆干涉秧盘运动,实现顶杆迅速复位,弹簧刚度不能太小;但若弹簧刚度



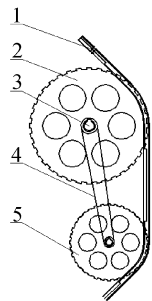
1. 发动机, 2. 底盘传动箱, 3. 输入轴, 4. 输出轴, 5. 万向节中间轴, 6. 凸轮轴, 7. 秧盘驱动轮, 8. 秧盘转轴, a~h 为各级啮合齿轮

图2 移栽机传动路线示意



1. 凸轮轴, 2. 凸轮, 3. 杠杆, 4. 秧盘, 5. 顶杆, 6. 复位弹簧

图3 杠杆顶出机构示意



1. 导轨, 2. 上秧盘驱动轮, 3. 秧盘转轴, 4. 同步带, 5. 下秧盘驱动轮

图4 自动输秧机构示意

太大,会使顶杆工作行程中的阻力增大。因此,弹簧结构参数的正确选择对整个机构的正常运转有重要影响,需对弹簧的有关参数进行优化设计。

2.1 弹簧复位过程特性分析

以弹簧最大压缩量位置为原点 O ,顶杆轴线为 x 轴,弹簧回位方向为 x 轴正方向,建立如图 5 所示坐标系。 x 为顶杆位移, S 为顶杆行程, Δx_0 为弹簧预压缩量,则 $S-x+\Delta x_0$ 为弹簧的总变形量,弹簧对顶杆的作用力 F 为:

$$F=k(S-x+\Delta x_0) \quad (1)$$

以顶杆为研究对象,设其质量为 m ,由牛顿定律可建立其运动微分方程

$$k(S-x+\Delta x_0)=m d^2 x/dt^2 \quad (2)$$

由式(2)可得

$$m v \frac{dv}{dx} = -k(x-\Delta x_0-S) \quad (3)$$

对式(3)进行积分得

$$\int_0^v m v dv = -\int_0^x k(x-\Delta x_0-S) dx,$$

即

$$v=dx/dt=\sqrt{k/m}\sqrt{(\Delta x_0+S)^2-(x-\Delta x_0-S)^2} \quad (4)$$

对式(4)移位转换并求积分

$$\int_0^t dt = \int_0^x \sqrt{m/k} \frac{1}{\sqrt{(\Delta x_0+S)^2-(x-\Delta x_0-S)^2}} dx \quad (5)$$

由此求得弹簧复形时间即顶杆复位时间

$$t=\sqrt{\frac{m}{k}} \left(\arcsin \frac{-\Delta x_0}{\Delta x_0+S} + \frac{\pi}{2} \right) \quad (6)$$

2.2 弹簧优化数学模型建立

选取弹簧钢丝直径 d 、弹簧有效圈数 n 、预压缩量 Δx_0 为 3 个独立设计变量,即

$$X=[x_1, x_2, x_3]=[d, n, \Delta x_0] \quad (7)$$

在满足顶杆复位要求条件下,以弹簧对顶杆的最大作用力 F 最小为目标函数。

$$\min F(X)=\min(k(S+\Delta x_0))=\min\left(\frac{Gd^4}{8nD^3}(S+\Delta x_0)\right) \quad (8)$$

约束条件:

$$0.5 \text{ mm} \leq d \leq 1.5 \text{ mm} \quad (9)$$

$$6 \leq n \leq 20 \quad (10)$$

$$t=\sqrt{\frac{m}{k}} \left(\arcsin \frac{-\Delta x_0}{\Delta x_0+S} + \frac{\pi}{2} \right) \leq 0.3 \text{ s} \quad (11)$$

2.3 优化结果

这是一个三维非线性优化问题,采用遗传算法优化方法和 Matlab 语言编程求解,得到的一组优化参数为: $d=0.7 \text{ mm}$, $n=14$, $\Delta x_0=5.4 \text{ mm}$ 。对应该组参数, $k=0.45$,弹簧最大作用力 $F=9.4 \text{ N}$, $t=0.0296 \text{ s}$ 。

3 样机研制及试验

研制的杠杆顶出式有序移栽机样机如图 6,基本参数为:工作行程为 4 行;行距为 30 cm。该移栽机在中国水稻研究所(杭州富阳)进

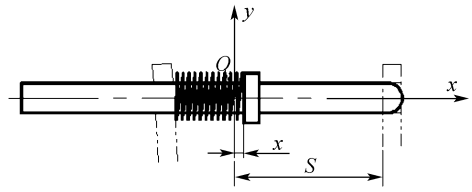


图 5 顶杆复位运动示意图



图 6 凸轮杠杆顶出式水稻钵苗移栽机

行了顶出性能试验。实验结果:钵苗土钵含水率在 20%~60%时,顶出率达到 85%以上。

4 结 论

a)移栽机的传动系统设计合理,动力传动稳定可靠;各机构能协调工作,完成钵苗有序移栽。

b)改进设计了齿盘驱动式秧盘自动输送机构,并优化了弹簧钢丝直径 d 、弹簧有效圈数 n 、预压缩量 Δx_0 3 个参数,保证了机构运动的可靠性。

c)研制出新一代样机,并进行了移栽机顶出性能试验,试验结果表明移栽机能较好地满足钵苗移栽的农艺要求。

参考文献:

- [1] 成永芳. 日本 RX-6 型水稻钵苗移栽机引进试验简报[J]. 农机与食品机械, 1999(3): 31-32.
- [2] 陈恒高, 田金和, 宋来田. 机械手式水稻抛秧机的研究[J]. 农业机械学报, 1998, 29(3): 48-52.
- [3] 吴崇友, 卢 晏, 涂安富, 等. 播秧机工作原理与使用经济效果[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 60-63.
- [4] 宋来田, 李延华, 田金和, 等. 齿板式水稻钵秧摆栽机的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 72-74.
- [5] 王玉兴, 罗锡文, 唐艳芹, 等. 气力有序抛秧机输秧机构动态模拟研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 109-112.
- [6] 包春江, 李宝筏, 李永奎, 等. 水稻钵苗空气整根气吸式有序移栽机的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 59-61.
- [7] 杨 坚, 阳潮声. 2ZB-8 小型水稻钵苗移栽机的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 84-87.
- [8] 张国凤, 陈建能, 李建桥, 等. 水稻钵苗有序抛秧机顶出机构的参数优化[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2008, 29(2): 101-105.
- [9] 张国凤, 赵 匀, 陈建能. 水稻钵苗在空中和导苗管上的运动特性分析[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2009, 43(3): 529-534.
- [10] 赵 匀, 张国凤, 陈建能, 等. 鼠笼旋转式有序丢秧机构: 中国, 200610052005[P]. 4, 2008-02-13.

Development on Rice Plotted-Seeding Sequential Transplanter of Ejection Type

YUAN Xin-bin, ZHANG Guo-feng, CHEN Jian-neng, ZHAO Yun

(School of Mechnery and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: To make transmission more stable, accurate and seeding to be ejected reliably, a new sequential transplanter of cam-lever ejection type is developed according to the characteristics of rice plotted-seeding. The transplanter is composed of chassis, differential transmission system, ejection mechanism for rice plotted-seeding, convey mechanism, and seeding guiding device, which are analysed and discussed in mechanisms and working principle. the parameters of the resert spring is optimized to insure that it can return within a little time lest transmission of the seedling tray is disturbed. Convey mechanism is improved, the teat-bed is developed and experimented, and the result indicates agronomic requirements are met.

Key words: rice plotted-seeding transplanter; cam-lever ejection mechanism; differential transmission; convey mechanism

(责任编辑: 杨元兆)