

文章编号: 1673-3851 (2012) 05-0683-05

# 蔬菜钵苗自动移栽机送苗装置的设计与试验

裘利钢, 俞高红

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

**摘 要:** 针对国内半自动移栽机工作效率提升受限于人工喂苗速度的问题,对自动移栽机的送苗装置进行分析与设计。通过对设计要求的详细分析,提出了横向送苗机构和纵向送苗机构,并对其结构进行详细设计,确定自动送苗装置的各项结构参数,并研制送苗装置试验台。试验表明:本设计是合理的,且试验台喂苗速度可达 120 株/min,能够满足自动移栽机高速送苗的工作要求。

**关键词:** 自动移栽机; 送苗装置; 设计; 试验

**中图分类号:** S223      **文献标识码:** A

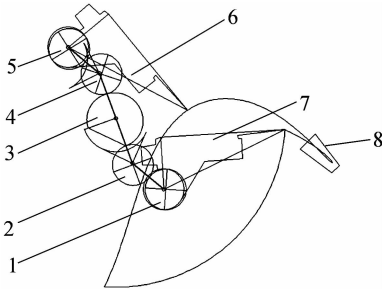
## 0 引 言

至今,蔬菜机械移栽技术在农业机械领域已是一个耳熟能详的话题。目前国内外广泛使用的旱地移栽机主要有五种形式:钳夹式、链夹式、导苗管式、挠性圆盘式和吊杯式<sup>[1-5]</sup>,但是这些移栽机都属于半自动蔬菜移栽机,由手工实现取苗和喂苗,植苗由机械完成。由于移栽的速度受限于人工的喂苗速度,单行移栽效率仅为 30~40 株/min,可见喂苗速度的提升已经成为蔬菜移栽技术发展的迫切要求。日本、美国等农业机械大国已有自动蔬菜移栽机的应用,自动移栽机从取苗、喂苗到植苗操作都是由机械自动完成,工作效率高,可节约人力。近几年来,开展自动蔬菜移栽机的研究在国内外已引起农机专家和相关企业的重视。

近两年来,本课题组对自动移栽机进行了深入的研究,已研发出多种自动取苗机构<sup>[6-7]</sup>,通过试验表明,能够较好地实现夹取式取苗。但是,在自动取苗操作过程中,还必须配套自动送苗装置,在横向和纵向实现钵苗自动输送。目前,国内对自动送苗装置尚未有研究报道,因此,开展自动送苗装置的设计与试验研究,对于旱地自动移栽机的研发具有非常重要的意义。

## 1 送苗装置的设计要求分析

蔬菜钵苗自动移栽机送苗装置的作用是将钵苗分别沿着横向和纵向准确、适时地输送到取苗机构的取苗位置,这也是送苗装置的核心要求。所以钵苗盘和取苗装置的选择都会对送苗装置的设计产生影响。在此设计中选取的钵苗盘规格为横向 8 穴,纵向 16 穴,穴口大小为 32 mm×32 mm,穴深 43 mm,横向穴孔间中心距 36 mm,纵向穴孔间中心距 36.6 mm。取苗机构选择一套旋转式蔬菜取苗机构<sup>[6]</sup>。图 1 为该取苗机构的结构示意图和工作轨迹,该机构配有两个取苗爪,中心主轴旋转一周可完成两次取苗作业,“啄木鸟形”曲线为该取苗爪的针尖轨迹。



1、5. 行星椭圆齿轮, 2、4. 中间轮, 3. 不完全圆柱齿轮,  
6、7. 取苗爪, 8. 钵苗盘

图 1 取苗机构简图及其工作轨迹

收稿日期: 2012-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(51175477)

作者简介: 裘利钢(1985—),男,浙江临安人,硕士研究生,主要从事机构学与机械动力学方面的研究。

在送苗装置总体方案设计时,将取苗机构位置固定,横向送苗机构带动秧箱横向往复间歇移动完成横向送苗作业,纵向送苗机构带动秧箱纵向间歇移动完成纵向送苗作业,钵苗盘的放置位置以 8 穴为横向,16 穴为纵向。根据以上背景,分析送苗装置的设计要求主要有:①秧箱横向做直线往复运动,并以 36 mm 为间隔做间歇运动,取苗爪旋转一周,秧箱完成两次移动,秧箱在取苗位置需停止运动,以方便取苗爪进入钵苗盘内部取出钵苗,同时不能发生干涉,静止时间须以取苗爪深入钵苗盘滞留时间为依据;②钵苗盘纵向做间歇进给,待横向一排 8 个穴的钵苗全部取出之后,纵向进给一次,同时横向运动换向移动;③正常工作状态下取苗次数能够达到 120 株/min。将横向 8 个穴孔的取苗位置记为  $N=0、1、2、3、4、5、6、7$ ,整个送苗与取苗的工作流程图如图 2 所示。

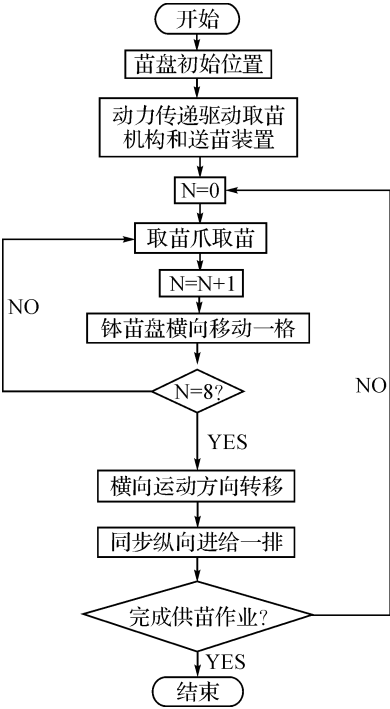


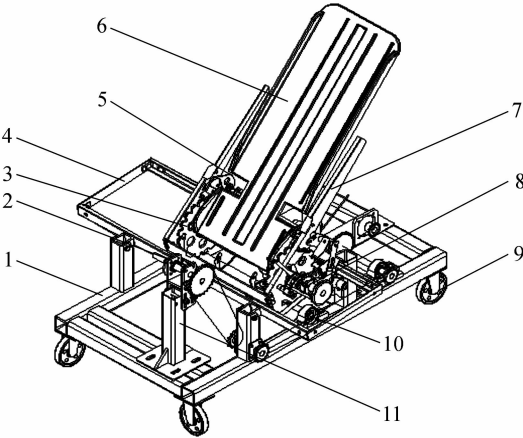
图2 送苗与取苗的工作流程

2 蔬菜钵苗自动移栽机送苗装置的结构和工作原理

图 3 为蔬菜钵苗自动移栽机送苗装置的整体结构,其组成主要分为秧箱总成、机架、动力传动部分、纵向送苗机构和横向送苗机构。

由图 3 可见,秧箱总成由秧板 6、秧箱支架 7 及附属零部件组成,秧箱前后位置各安装有两个滚动轴承,通过四个滚动轴承架于滑轨 4 之上。电机提

供源动力,通过链传动将各部分的运动进行匹配。纵向送苗机构主要由棘轮机构 8、链轮 3 和链滑丝 5 组成,链轮和链滑丝上套有带动穴盘的链条。穴盘置于秧板之上,通过链轮上的链条作用向前移动,链轮与棘轮同轴,通过棘爪对棘轮的控制实现纵向的间歇送苗。横向送苗机构分为凸轮式分割器和双螺旋轴机构两部分,分割器输入端由电机提供动力,输出端连接双螺旋轴,控制双螺旋轴做间歇转动,双螺旋轴机构中的滑块和滑套在间歇机构和螺旋轨道的共同作用下,做横向往复间歇运动。连接于滑套之上的秧箱连接杆提供动力带动秧箱横向移动,秧箱在横向作用力下沿着滑轨横向往复移动。通过横向、纵向间歇送苗机构的协调工作,即可实现全自动送苗功能。在与取苗机构的配合下,便可完成机械化的全自动送苗取苗工作。



1. 机械, 2. 取苗机构连接轴, 3. 链轮, 4. 滑轨, 5. 链滑丝, 6. 秧板, 7. 秧箱支架, 8. 棘轮支架, 9. 万向轮, 10. 双螺旋轴机构, 11. 取苗爪支座

图3 蔬菜钵苗自动移栽机送苗装置的结构和工作原理

3 关键部件的分析与设计

3.1 横向送苗机构的分析与设计

因为取苗机构工作时需要进行匀速转动,而秧箱需要实现横向直线往复间歇运动,分析后将横向送苗机构方案确定为双螺旋轴机构和间歇机构配合实现横向的送苗作业。双螺旋轴机构可较好地实现“转动→横向往复直线运动”的转换,从而只要在电机输出到双螺旋轴输入之间加置一套满足要求的间歇机构便可实现设计目标。故而横向送苗机构的设计即转化为双螺旋轴机构和间歇机构的设计与选型。

本设计中,由间歇机构控制双螺旋轴在转动时

按周期停顿,作为与间歇机构匹配的双螺旋轴,对双螺旋轴有其特殊的要求,重点在于向左运动和向右运动的时候需要在双螺旋轴八个对应的位置停顿,不至于影响取苗爪取苗。

设间歇机构作用一个周期的时间为  $T$ (其中运动时间设为  $T_1$ ,静止时间设为  $T_2$ ),双螺旋轴在  $T$  时间转过圈数为  $k$  ( $k > 1$ ),双螺旋轴螺距为  $X$  (mm),滑块从双螺旋轴最左端至最右端双螺旋轴需转过  $n$  圈( $n$  为整数),双螺旋轴外径  $D$ (mm)。根据双螺旋轴展开图(如图 4(b)所示)可知, $k \times X$  即为一个周期时间秧箱的横向移动量,由此可得出单程 8 个静止取苗位置。从  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$  为秧箱换向移动阶段,其运动时间应等于  $T_1$ ,双螺旋轴转过圈数也为  $k$ 。

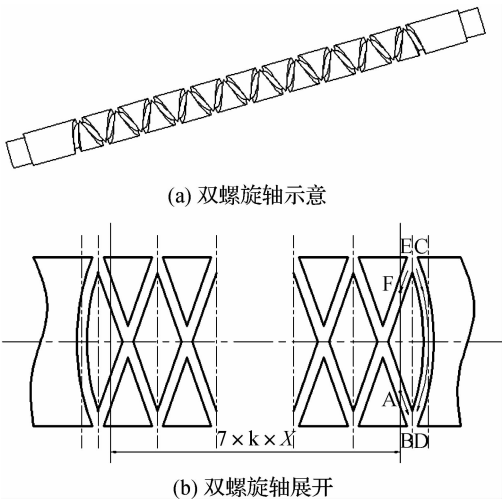


图 4 双螺旋轴

分析可得以上参数需满足:

$$\begin{cases} k \times X = 36 \\ k + 7 \times k = n \end{cases} \quad (1)$$

可以看出  $k$  和  $X$  的值不唯一。

当  $n=9$ ,得  $k=1.125, X=32$ ;

当  $n=10$ ,得  $k=1.25, X=28.8$ ;

当  $n=11$ ,得  $k=1.375, X=26.18$ ;

$\vdots \qquad \qquad \vdots$

$n=9$  时取苗停顿位置比较靠近螺旋线交叉处,故而不选。 $n=10$  时,双螺旋轴每转过 1.25 圈停顿一次,以配合取苗工作,在位置要求上可以满足要求。 $n \geq 11$  相对于  $n=10$ ,同一效率要求下双螺旋轴需要转过更多的圈数才能完成,对双螺旋轴的耐磨损要求更高,故而取  $n$  的值为 10。根据送苗装置设计要求及原设计经验,取双螺旋轴直径  $D$  为 26 mm,检验螺旋升角是否合适。

螺旋轴的螺旋升角  $\phi$  表达式为:

$$\phi = \arctan(X/\pi D) \quad (2)$$

则当  $D$  取 26 mm 时,  $\phi = \arctan(28.8/26\pi) = 19.43^\circ$ ,可以满足运动要求。

对于间歇机构选取,由于取苗机构完成一次取苗放苗的周期时间与间歇机构周期一致,根据取苗机构的运动特性<sup>[6]</sup>,取苗爪深入穴孔期间,取苗机构主轴转过角度  $\theta$  为  $46^\circ$ ;取苗爪完成一次取苗工作,取苗机构主轴转角  $\eta$  为  $180^\circ$ 。从而可得取苗爪针尖取苗时在钵苗盘内的滞留时间为:

$$\tau = (\theta/\eta) \times T \approx 0.25T \quad (3)$$

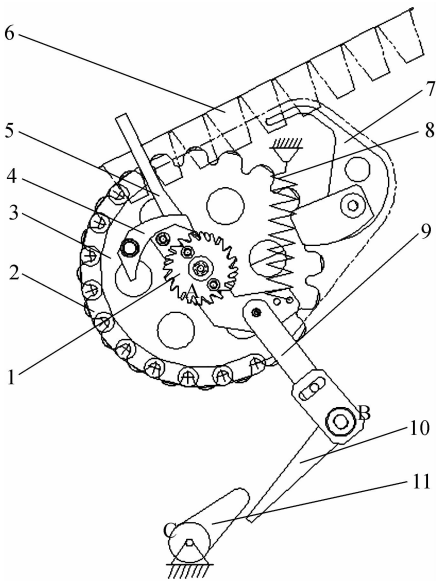
为了实现秧箱停滞时间与取苗爪深入钵苗盘的取苗时间相匹配,则间歇机构的停歇时间  $T_2$  应大于等于  $\tau$ 。经初步分析,以市场常见的凸轮式分割器为主要研究对象,根据设计要求平行凸轮分割器为首选机构。

平行凸轮分割器是输入轴上的平面凸轮与输出轴分度轮上的从动滚子平行啮合的传动装置。平行凸轮轮廓面曲线段驱使分度轮转位,直线段使分度轮静止、定位自锁,通过机构将连续的输入回转运动转化为间歇的回转运动。该类型分割器特别适用于要求一个周期内停歇次数较少的场合。以停歇时间为标准,常见的凸轮式分割器规格有 1/4 周期、1/6 周期和 1/8 周期;以运动阶段的运动特性为标准,其运动曲线形式有变形一型曲线、变形正弦曲线、变形等速曲线和有理式仿线四种。根据此前的设计分析,停歇时间为 1/4 周期,运动曲线为变形正弦曲线的凸轮式分割器可以较好地满足设计要求。故而本次设计中的间歇机构选取停歇周期为 1/4 周期的平行式凸轮分割器,该规格分割器的运动特性为:输入轴连续匀速转动,以  $360^\circ$  为一周期,其中输入轴连续转过  $270^\circ$  时,输出轴按正弦曲线特性转过  $360^\circ$ ;输入轴继续转动  $90^\circ$  期间,输出轴停止转动。

3.2 纵向送苗机构的分析与设计

图 5 为纵向送苗机构的设计方案。根据钵苗盘纵向有 16 穴,采用单向轴承与棘轮机构的配合实现钵苗盘纵向间歇,并设计与棘轮同轴同角速度的链轮带动钵苗盘实现进给。在秧箱横向移动完成一排钵苗的取苗作业后,驱动棘轮转过一个棘齿,即可实现钵苗盘的纵向间歇进给。

其工作原理为:双螺旋轴两端分别安装一凸轮 11,摆杆 I 9 连接摆杆 II 10 固接组成摆杆组件。当秧箱移动到两端位置时,凸轮 11 顺时针转动,拨动摆杆组件摆动,摆杆组件逆时针转过一定角度  $\alpha_1$ ;



1. 棘轮, 2. 链条, 3. 链轮, 4. 棘爪, 5. 摇杆, 6. 秧盘, 7. 链滑丝, 8. 弹簧, 9. 摆杆 I, 10. 摆杆 II, 11. 凸轮

图5 纵向送苗机构设计方案

摆杆组件驱动摇杆 5 摆动,其顺时针转过角度记为  $\alpha_2$ ,且此时弹簧 8 被拉长,因摇杆 5 上的套筒和棘轮 1 之间有单向轴承作用,故而杆摇杆 5 顺时针转动时棘轮 1 不运动;当凸轮 11 脱离摆杆组件下端摆杆 II 10 时,被拉伸的弹簧 8 拉动摇杆 5 逆时针摆动,此时棘轮 1 由于单向轴承作用随摇杆 5 逆时针转过同样的角度。在连接件的作用下,棘轮 1 通过轴的传递驱动链轮 3 转动,链轮上的链节 2 配有销轴,通过销轴最后带动秧盘 6 实现纵向进给。

在纵向送苗机构的设计中,主要是针对棘轮机构的功能分析和链轮的参数确定,才能确保纵向送苗的准确性。根据设计要求,凸轮拨动摆杆 II 一次棘轮转过一个棘齿,所以要求弹簧 8 被拉伸后至恢复原长过程能使棘轮转过角度大于  $360^\circ/16=22.5^\circ$  且小于  $45^\circ$ ,从而保证拉簧有足够的动力驱动棘轮转过一个棘齿的角度,另加置棘爪 4 对棘轮进行限位,保证棘轮每次转过的角度恰好为  $22.5^\circ$ 。

因钵苗盘纵向穴孔的间距  $\lambda$  为 36.6 mm,所以棘轮齿数与链轮半径需满足:

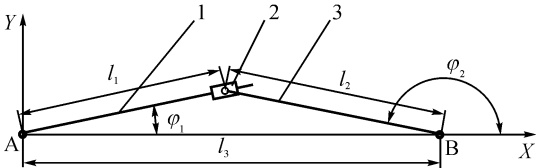
$$\frac{1}{Z} \times 2\pi \times R = \lambda \tag{3}$$

式中:  $Z$ —棘轮齿数,  $R$ —链轮分度圆半径 (mm)。

以 16 齿棘轮试算,可得  $R \approx 93.25$  mm,经尺寸校核可以满足要求,则棘轮转过 1 周,链轮转过 1 周,且恰好完成 16 排钵苗的送苗工作。

在纵向送苗机构设计时,先确定图 5 中所示 A、

B、C 三处旋转轴心位置,以棘轮转角  $22.5^\circ$  为目标即可确定各杆件长度。以 AB 连线为 X 轴建立坐标系,设摇杆有效长度为  $l_1$ ,摆杆 I 有效长度为  $l_2$ ,A、B 两旋转轴心距离  $l_3$ 。分析摆杆 I 和摇杆的长度 (如图 6 所示)。



1. 摇杆, 2. 滑块, 3. 摆杆 I

图6 杆件长度分析示意

由图 6 可得:

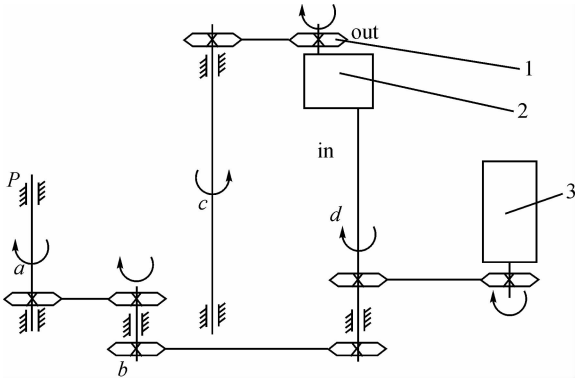
$$\begin{cases} l_1 \cos \varphi_1 = l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \\ l_1 \sin \varphi_1 = 0 + l_2 \sin \varphi_2 \end{cases} \tag{4}$$

为了使滑块 2 相对摇杆 1 有最小的滑动位移,故而摇杆 1 的摆动角位移应以 X 轴为对称轴,则  $\varphi_1$  的变化范围为  $-11.25^\circ \sim 11.25^\circ$ 。由结构尺寸确定  $l_3$  和  $l_2$  的长度,继而即可确定  $l_1$  的杆长范围及  $\varphi_2$  的变化范围。

### 4 试验台的加工与试验

#### 4.1 送苗装置的传动方案布置

纵向送苗机构的动力由凸轮和弹簧提供,此处不再赘述,需要布置的传动方案主要为取苗机构与双螺旋轴机构之间的运动关系匹配。图 7 为试验台传动方案的布置 (俯视),其中 2 为分割器,3 为电机,轴 a 的 P 端用以安装取苗机构,轴 b 起过渡作用,轴 c 为双螺旋轴,轴 d 为动力输入。



1. 链轮, 2. 分割器, 3. 电机

图7 试验台传动方案布置

在传动方案的设计中,以下三点作为主要设计依据:

a) 根据旋转式取苗机构的特点,轴 a 的转向需为逆时针转动方向;

b) 由纵向送苗机构的设计方案,轴  $c$  两端安装有凸轮,轴  $c$  的转动方向需为顺时针方向;

c) 根据取苗机构与双螺旋轴机构的运动关系,即轴  $a$  转 0.5 圈,轴  $c$  需转 1.25 圈恰能完成送苗、取苗工作的一个周期,故应满足传动比  $i_{ac}=n_a/n_c=0.5/1.25=0.4$ 。

故而在设计中以轴  $d$  作为设计基准,定其工作转速为 120 r/min,设计  $i_{da}=n_d/n_a=2$ ,即一个送苗、取苗周期中轴  $d$  转过  $360^\circ$ ,轴  $a$  转过  $180^\circ$ ,轴  $c$  转过  $450^\circ$ ,从而可完成整机的传动比匹配。

4.2 试验台样机试验

图 8 为本次设计的蔬菜钵苗自动送苗装置的试验样机。试验台测试的目的是验证实际中送苗装置的横向和纵向送苗功能是否与理论设计一致,分析误差存在的原因。由于目前条件限制,高速下无法测得间歇位置之间秧箱移动的距离,故本次测试状态为点动、低速环境。以横向间歇送苗为例,测试结果数据见表 1。测试方法为往复移动 3 次,依次测取横向停歇的 8 个位置时,秧箱与滑轨端部的绝对距离,继而计算相邻两个间歇位置之间的相对移动量。

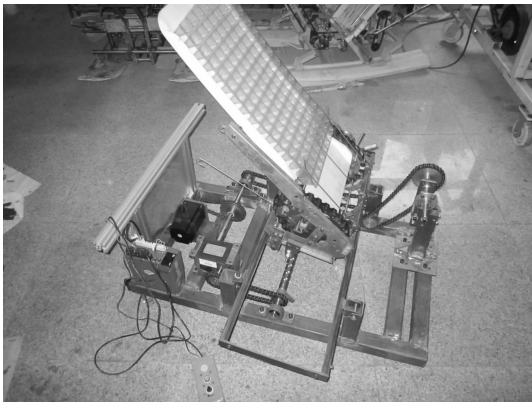


图 8 送苗装置试验台

表 1 试验台横向间歇位置之间的距离

序号	相邻间歇位置之间的相对移动量/mm						
第一组	36.3	36.2	35.6	36.1	35.9	36.1	35.8
第二组	35.4	35.9	36.2	35.8	36.4	35.9	36.4
第三组	35.5	36.0	36.2	36.0	35.9	36.2	36.2

将测试结果与设计要求对照,可以看出实际数据在设计值附近波动,在原设计的预期之中,可以满足使用要求。同时试验样机与理论研究之间还有少

许差距,原因可能是加过时的制造误差和间歇机构的转角精度所引起。用同样方法测试纵向送苗机构的进给情况,取定送苗机构的一个指定位置为基准,测取每次待取苗穴孔与基准间的距离见表 2,取距离 73.5 mm 为基准参照计算波动值,可见同样是在预期的误差范围内波动,可以满足使用要求。

表 2 试验台纵向送苗停歇位置及波动值 mm

停歇位置	波动值	停歇位置	波动值	停歇位置	波动值
74.5	+1	72.5	-1	73.5	0
75	+1.5	72	-1.5	74	+0.5
72	-1.5	74.5	+1	73.5	0

5 结 论

- a) 设计了一种蔬菜钵苗移栽机的自动送苗装置,与旋转式取苗机构配合可以有效地完成自动送苗,分苗和取苗工作。
- b) 样机试验台的测试表明其各项性能均在设计的预期中,可以有效地完成自动送苗作业。该试验台的最高喂苗速度可以达到每分 120 株以上,其应用将有效地促进国内蔬菜钵苗自动移栽机的高速化发展。

参考文献:

[1] 武 科,陈永成,毕新胜. 几种典型的移栽机[J]. 新疆农机化, 2009(3): 12-14.

[2] 封 俊. 论我国旱地栽植机械的开发前景与方向[J]. 中国农机化, 2000(4): 12-13.

[3] 刘 磊,陈永成,张 茜. 兵团移栽技术的应用与发展概况[J]. 农机化研究, 2008(9): 240-243.

[4] 何扬清,尹文庆,章士秀. 3 种旱地移栽机栽植器的性能分析[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(24): 6722-6723, 6725.

[5] 刘 磊,陈永成,毕新胜. 吊篮式移栽机栽植器运动参数的研究[J]. 农机化研究, 2004(3): 42-43.

[6] 俞高红,刘炳华,赵 匀,等. 椭圆齿轮行星轮系蔬菜钵苗自动移栽机构的运动机理分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4):53-57.

[7] 叶秉良,俞高红,陈志威,等. 偏心齿轮-非圆齿轮行星系取苗机构的运动学建模与参数设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12):7-12.

# Dynamic Characteristic of a Spindle System Based on the ANSYS Workbench

JIN Jing<sup>1</sup>, PAN Jun<sup>1</sup>, HAN Jun-zhao<sup>1</sup>, ZHU Xu-yang<sup>1</sup>, JIA Yi<sup>2</sup>

(1. School of Machinery and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;  
2. Hangzhou OZMA CNC Equipment Co., Ltd., Hangzhou 311113, China)

**Abstract:** The spindle system of a winding machine is the key system component. Its dynamic characteristic significantly influences the vibration of the entire machine. It can also affect the precision and working noise of the winding machine. We use SolidWorks to establish a model and analyze the motion of the traversing mechanism mounted on the spindle system. The motion is simulated based on ADAMS to obtain the contact force time history curve. Modal and transient analyses of the spindle system are performed based on the ANSYS Workbench. The fundamental frequency is 451.93 Hz and the maximum distortion is 0.13  $\mu\text{m}$ .

**Key words:** winding machine; spindle system; finite element; dynamics analysis  
(责任编辑: 朱松英)

(上接第 687 页)

# Design and Test of a Seedling-Delivering Device on an Automatic Transplanter for Pots of Vegetable Seedlings

QIU Li-gang, YU Gao-hong

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

**Abstract:** The working efficiency of domestic semi-automatic transplanters is limited by the manual speed of feeding the vegetable seedlings. This study analyzed and designed a seedling-delivering device on an automatic transplanter. Through the detailed analysis according to design requirements, both crosswise and lengthwise seedling-delivering mechanisms are proposed. A detailed design of the structures is presented, including the structural parameters of the automatic seedling-delivering device. A prototype of the test bed for this device is developed. The result indicates that the design is reasonable. The maximum test speed of feeding the seedlings can reach 200 individual plants per minute, which satisfies the working requirements of high-speed seedling delivery for automatic transplanters.

**Key words:** automatic transplanter; seedling-delivering device; design; test  
(责任编辑: 朱松英)