

## 钵盘苗扇形齿轮式取苗机构的凸轮设计及试验

高翔宇<sup>1,2</sup>, 全伟<sup>1,2</sup>, 孙松林<sup>1,2\*</sup>, 肖名涛<sup>1,2</sup>

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

**摘 要:**为实现 2Y-2 型半自动钵盘苗移栽机的自动化取苗, 设计了一种由扇形齿轮、沟槽凸轮及伸缩式苗夹组成的钵盘苗自动取苗机构。由于核心部件沟槽凸轮的轮毂形状影响苗夹的运动轨迹, 对其主要结构参数包括中心距、摆杆长度和极半径进行了设计计算。对影响机构取苗效果的入苗深度、安装角度、基质含水率和转速进行了正交试验验证。结果表明: 当入苗深度为 34 mm, 安装角度为 75°, 基质含水率为 22%, 转速为 18 r/min, 钵盘苗的基质脱落量、断根总长度及漏苗率最小。

**关 键 词:** 钵盘苗; 扇形齿轮取苗机构; 凸轮

中图分类号: S223.94

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)04-0431-04

## Design and test of a cam for the plug seedling pick-up mechanism with sector gear

GAO Xiang-yu<sup>1,2</sup>, QUAN Wei<sup>1,2</sup>, SUN Song-lin<sup>1,2\*</sup>, XIAO Ming-tao<sup>1,2</sup>

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha 410128, China)

**Abstract:** To realize the auto-pick up of plug seedlings by 2Y-2 type semi-auto transplanter, an auto plug seedling pick-up mechanism constituted with sector gear, grooved cam and retractable seedling clip is designed. As the wheel hub-shaped grooved cam influences the motion trajectory, main structural parameters including the law of motion, center-to-center spacing, the length of swing rod and polar radius were designed and calculated. And orthogonal test was applied on the depth reached, the installing angle, the moisture content of the matrix and the rotational speed which influence seedling picking of the mechanism. The results showed that when the depth of the seedlings is 34 mm, the angle is 75°, the moisture content of the matrix is 22% and the rotational speed is 18 r/min, the amount of matrix falling off the plug seedlings, the total length of the broken roots and the seedling leakage rate all reached the minimum.

**Key words:** plug seedlings; pick-up mechanism with sector gear; cam

钵盘苗移栽机分为半自动移栽机和全自动移栽机<sup>[1-3]</sup>。全自动钵盘苗移栽机主要由取苗机构和栽植机构组成。取苗机构将穴盘苗从空穴中夹取出来并喂入到栽植机构<sup>[4-6]</sup>。笔者针对 2Y-2 型半自动钵盘苗移栽机设计了一种新型的扇形齿轮式取苗机构, 以期实现自动取苗。由于该机构的主要运动形式为箱体绕轴的回转运动, 通过沟槽凸轮的轮毂形状来控制扇形齿轮的摆动, 而扇形齿轮的摆动直

接关系到伸缩式苗夹末端的轨迹形态, 因此, 沟槽凸轮的形状设计是实现取苗机构精确取苗投苗的关键环节。运用解析法对凸轮的中心距、摆杆长度和极半径等参数进行设计, 并对取苗机构进行了仿真试验。

### 1 取苗机构的工作原理

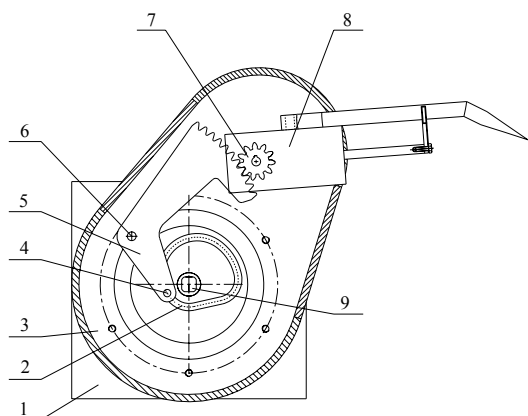
取苗机构主要由机架、沟槽凸轮、箱体、销钉、

收稿日期: 2013-12-21

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD20B08)

作者简介: 高翔宇(1988—), 男, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 主要从事农业机械设计与研究, 252944320@qq.com; \*通信作者, hnndssl@163.com

扇形齿轮、转动轴、从动齿轮、伸缩式苗夹和动力输入轴组成,如图1所示。



1 机架;2 沟槽凸轮;3 箱体;4 销钉;5 扇形齿轮;6 转动轴;7 从动齿轮;8 伸缩式苗夹;9 动力输入轴。

图1 取苗机构结构

Fig.1 Structural diagram of the seedling pick-up mechanism

输入轴通过方形凸台和法兰与箱体固联在一起。在输入轴转动的同时带动箱体转动。箱体内安装有扇形齿轮和与之啮合的配合齿轮。扇形齿轮的另一端安装有销子,卡在沟槽凸轮内。沟槽凸轮通过螺栓与机架固结,配合齿轮与苗夹通过中间轴连接,带动整个苗夹的摆动。苗夹采用伸缩式苗夹,通过拉杆控制苗夹的张合。拉杆的另一端安装有滚柱,与箱体外侧的沟槽配合,用来控制苗夹的张合时间。箱体通过输入轴作圆周运动,而苗夹的支点在箱体上。苗夹支点在作绕输入轴的匀速圆周运动的同时,通过扇形齿轮控制其摆动,实现类似“6”字形的取苗轨迹。

## 2 沟槽凸轮的解析法设计

试验苗盘采用烟草通用式苗盘。由于苗盘是泡沫硬式苗盘,取苗时需保证苗盘不与下方的栽植机构发生干涉,苗盘安装角度应大于 $45^\circ$ <sup>[7]</sup>,否则下移的苗盘将干涉栽植机构的运行。

苗盘的苗腔为倒锥形结构,上方为 $28\text{ mm}\times 28\text{ mm}$ 的正方形,下端为 $18\text{ mm}\times 18\text{ mm}$ 的正方形,深 $50\text{ mm}$ 。在兼顾机构尺寸的同时要保证取苗轨迹的准确性,应选择较大的传动比齿轮,以保证苗夹在绕轴转动中能顺利取苗,以免碰撞苗腔。现有国标最小齿轮为10齿,结构较小,强度差,不利于中间轴的安装固定。综合考虑整个机构尺寸,选用88齿的扇形齿轮,11齿的配合齿轮。

传动比为8:1。

凸轮机构属于摆动从动件凸轮机构,对生产制造精度要求较高,普通作图法难以完成。根据摆动从动件运动规律,运用极坐标公式,在Excel中导入数据,再在CAD、Pro/E中生成凸轮外形,可以较精确地设计凸轮,达到所需技术要求。

根据取苗的设计要求,确定凸轮的位移曲线,如图2所示。根据扇形齿轮的传动比为8:1,苗夹摆动角度约为 $180^\circ$ ,确定凸轮升程为 $23^\circ$ 。选用余弦角速度运动规律,虽有柔性冲击但无刚性冲击,适合中速中载的场合,确定推程运动角为 $160^\circ$ ,远休止角 $50^\circ$ ,回程运动角 $90^\circ$ ,近休止角 $60^\circ$ 。

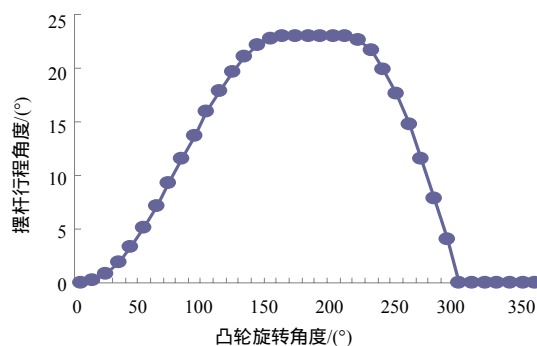


图2 凸轮位移曲线

Fig.2 Displacement curve of the cam

采用反转法<sup>[8]</sup>设计凸轮形状。运用余弦定理,可得极半径<sup>[9]</sup>:

$$r_i = \sqrt{h^2 + L^2 - 2 \times h \times L \times \cos(\psi_0 + \psi_i)}$$

式中: $h$ 为转动中心到凸轮中心的距离; $L$ 为摆杆长度; $\psi_0$ 为摆杆夹角; $\psi_i$ 为扇形齿轮摆动角度。摆杆长度 $L$ 和中心距 $d$ 的计算参照文献[10-11]。

根据角度与弧度的换算方法,分别在Excel表中输入A列( $\theta$ 转角)、B列( $\psi_i$ )、C列( $\psi_0 + \psi_i$ 对应的弧度)、D列( $r_i$ )、E列(凸轮压力角 $\alpha$ )。 $\theta$ 为输入轴带动箱体转过的角度, $\theta = \omega \cdot t$ 。 $\omega$ 根据栽植机构的工作效率来确定, $\omega = (\eta/3600) \cdot 2\pi$ ,机构设计为转1圈取苗1次,其中 $\eta$ 为栽植机构的工作效率(株/h), $t$ 为时间。凸轮压力角的计算公式为:

$$\tan \alpha = \frac{h \cdot \cos(\psi_0 + \psi_i) + L \cdot (d\psi/d\theta) - L}{h \cdot \sin(\psi_0 + \psi_i)}$$

结果如表1所示。

表 1 凸轮的设计参数

| Table 1 Parametric design for the cam |                     |                            |                        |                            |
|---------------------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| 凸轮转角<br>$\theta/(^{\circ})$           | $\psi_i/(^{\circ})$ | $\psi_0+\psi_i/(^{\circ})$ | 极半径<br>$r_i/\text{mm}$ | 压力角<br>$\alpha/(^{\circ})$ |
| 0                                     | 0.000               | 0.447                      | 22.023                 | 0.000                      |
| 10                                    | 0.221               | 0.450                      | 22.200                 | 4.979                      |
| 20                                    | 0.875               | 0.462                      | 22.725                 | 9.049                      |
| 30                                    | 1.938               | 0.480                      | 23.578                 | 11.930                     |
| 40                                    | 3.368               | 0.505                      | 24.726                 | 13.540                     |
| 50                                    | 5.111               | 0.536                      | 26.121                 | 13.938                     |
| 60                                    | 7.099               | 0.570                      | 27.710                 | 13.256                     |
| 70                                    | 9.256               | 0.608                      | 29.428                 | 11.655                     |
| 80                                    | 11.500              | 0.647                      | 31.207                 | 9.300                      |
| 90                                    | 13.744              | 0.686                      | 32.978                 | 6.359                      |
| 100                                   | 15.901              | 0.724                      | 34.670                 | 2.997                      |
| 110                                   | 17.889              | 0.759                      | 36.221                 | -0.626                     |
| 120                                   | 19.632              | 0.789                      | 37.573                 | -4.351                     |
| 130                                   | 21.062              | 0.814                      | 38.676                 | -8.039                     |
| 140                                   | 22.125              | 0.833                      | 39.493                 | -11.566                    |
| 150                                   | 22.779              | 0.844                      | 39.994                 | -14.835                    |
| 160                                   | 23.000              | 0.848                      | 40.163                 | -17.776                    |
| 170                                   | 23.000              | 0.848                      | 40.163                 | -20.476                    |
| 180                                   | 23.000              | 0.848                      | 40.163                 | -22.985                    |
| 190                                   | 23.000              | 0.848                      | 40.163                 | -25.218                    |
| 200                                   | 23.000              | 0.848                      | 40.163                 | -27.111                    |
| 210                                   | 23.000              | 0.848                      | 40.163                 | -28.618                    |
| 220                                   | 22.651              | 0.842                      | 39.896                 | -29.580                    |
| 230                                   | 21.613              | 0.824                      | 39.100                 | -29.878                    |
| 240                                   | 19.919              | 0.794                      | 37.795                 | -29.528                    |
| 250                                   | 17.619              | 0.754                      | 36.011                 | -28.524                    |
| 260                                   | 14.784              | 0.705                      | 33.795                 | -26.826                    |
| 270                                   | 11.500              | 0.647                      | 31.207                 | -24.354                    |
| 280                                   | 7.866               | 0.584                      | 28.322                 | -20.955                    |
| 290                                   | 3.994               | 0.516                      | 25.227                 | -16.373                    |
| 300                                   | 0.000               | 0.447                      | 22.023                 | -10.196                    |
| 310                                   | 0.000               | 0.447                      | 22.023                 | -5.239                     |
| 320                                   | 0.000               | 0.447                      | 22.023                 | 0.000                      |
| 330                                   | 0.000               | 0.447                      | 22.023                 | 5.239                      |
| 340                                   | 0.000               | 0.447                      | 22.023                 | 10.196                     |
| 350                                   | 0.000               | 0.447                      | 22.023                 | 14.633                     |
| 360                                   | 0.000               | 0.447                      | 22.023                 | 18.383                     |

经计算，摆杆长度为 46 mm，中心距 51 mm。由于摆动从动件凸轮许用压力角的最大推程范围为 40°~45°，回程范围为 70°~80°<sup>[12]</sup>，因而本研究满足设计要求，其中负值代表与摆杆的运动反向的夹

角方向不同。

3 沟槽凸轮验证试验

3.1 试验材料

由湖南省植物保护研究所提供的三生烟，苗龄约 4 周，平均苗高 19.3 mm。烟草钵盘苗尺寸 670 mm×340 mm，长度方向上 20 个苗腔，宽度方向上 10 个苗腔，共 200 个苗腔。



图 3 样机作业情况

Fig.3 Model mechanism under working

3.2 试验方法

将穴盘安装在可调式试验台上。试验台的支撑板和底板通过铰链连接，可调节苗盘安装倾角。通过固定实验台的位置，可调节取苗点与苗腔的横向尺寸。

检测取苗机构苗夹在取苗时是否和苗腔发生碰撞，取苗轨迹是否与苗盘发生干涉。选取入苗深度、安装角度、基质含水率和取苗转速进行 4 因素 3 水平  $L_9(3^4)$  正交试验<sup>[10]</sup>(表 2)，考察 4 因素对基质脱落量、断根总长度和漏苗率的影响<sup>[11]</sup>。

表 2 正交试验因素

| Table 2 Factors and levels for the orthogonal test |               |            |              |                                   |
|--|---------------|------------|--------------|-----------------------------------|
| 水平   | 入苗深度 A/<br>mm | 安装角度 B/(°) | 基质含水率<br>C/% | 取苗转速 D/<br>(r·min <sup>-1</sup> ) |
| 1  | 30            | 70         | 20           | 18                                |
| 2  | 34            | 75         | 22           | 21                                |
| 3  | 38            | 80         | 24           | 24                                |

经测试，样机动作平稳流畅，无机构干涉，协调性能良好。苗夹在取苗时与苗腔无碰撞，同时苗夹在运苗时与已取苗盘无干涉。

正交试验结果(表 3)表明，影响基质脱落量大小的因素依次为取苗转速、安装角度、基质含水率、入苗深度；影响断根总长度大小的因素依次为安装

角度、基质含水率、入苗深度、取苗转速；影响漏苗率大小的因素依次为入苗深度、基质含水率、取苗转速、安装角度。根据各指标不同水平的平均值确定各因素的优化水平组合，结果，基质脱落量的最优组合为  $A_2B_2C_3D_1$ ，断根总长度最优组合为  $A_1B_2C_1D_1$ ，漏苗率最优组合为  $A_2B_2C_2D_3$ 。根据因素

的影响主次顺序，确定最优组合为  $A_2B_2C_2D_1$ 。但是此优化组合不在 9 次试验当中，需要追加试验加以验证。通过试验，得出基质脱落量为 1.58 g，断根总长度 18 mm，漏苗率 7%，比正交试验方案更优，即入苗深度为 34 mm，安装角度为  $75^\circ$ ，基质含水率为 22%，转速为 18 r/min。

表 3 正交试验结果

| Table 3 Result of the orthogonal test |          |          |          |          |         |          |       |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|-------|
|                                       | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | 基质脱落量/g | 断根总长度/mm | 漏苗率/% |
| 1                                     | 30       | 70       | 24       | 21       | 2.89    | 31       | 12    |
| 2                                     | 30       | 75       | 20       | 18       | 1.63    | 20       | 13    |
| 3                                     | 30       | 80       | 22       | 24       | 4.61    | 30       | 10    |
| 4                                     | 34       | 70       | 22       | 18       | 2.13    | 34       | 8     |
| 5                                     | 34       | 75       | 24       | 21       | 2.34    | 22       | 8     |
| 6                                     | 34       | 80       | 20       | 21       | 4.39    | 30       | 9     |
| 7                                     | 38       | 70       | 20       | 24       | 5.11    | 31       | 11    |
| 8                                     | 38       | 75       | 22       | 21       | 3.64    | 34       | 9     |
| 9                                     | 38       | 80       | 24       | 18       | 2.31    | 29       | 12    |
| $R_1$                                 | 0.733    | 1.233    | 1.197    | 1.997    |         |          |       |
| $R_2$                                 | 4.33     | 6.67     | 5.67     | 4.00     |         |          |       |
| $R_3$                                 | 3.33     | 0.33     | 2.00     | 1.33     |         |          |       |

参考文献:

- [1] 胡敏娟, 尹文庆. 穴盘苗变形滑针式取苗器的研究[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(1): 154-158.
- [2] 胡敏娟, 吴崇友, 袁文胜, 等. 穴盘苗自动取苗机构的研究分析[J]. 农机化研究, 2011, 34(7): 154-158.
- [3] 叶炳良, 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优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 7-12.
- [4] 肖卫兵, 孙松林. 我国烟草移栽机械现状及发展趋势[J]. 湖南农机, 2009, 36(1): 4-10.
- [5] 丁文芹, 毛罕平, 胡建平, 等. 穴盘苗自动移栽机的结构设计及运动仿真分析[J]. 农机化研究, 2011, 33(10): 75-77.
- [6] 肖名涛, 孙松林, 蒋赓, 等. 烤烟烟苗物理特性与自动取苗方案分析[J]. 湖南农机, 2010, 37(1): 4-6.
- [7] 惠东志. 烟草自动移栽机取苗机构的设计与实验研究[D]. 长沙: 湖南农业大学工学院, 2010.
- [8] 张俊. 摆动从动件凸轮机构基本尺寸确定的 CAD 动画画法[J]. 机床与液压, 2005(7): 167-168.
- [9] 鲁春发. 摆动从动件盘形凸轮轮廓曲线的精确绘制[J]. 十堰职业技术学院学报, 2011, 24(6): 100-101.
- [10] 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [11] 李桂文, 全腊珍, 邹运梅, 等. 漂浮育棉苗拔取力学特性分析与试验[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2013, 39(3): 217-221.

责任编辑: 罗慧敏  
英文编辑: 罗 维