

打孔式油菜移栽机栽种机构的设计

刘振亚¹ 孙 江¹ 陈 超² 胡俊康³

(1. 嘉兴学院机电工程学院, 浙江嘉兴 314001;

2. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 浙江杭州 310018;

3. 浙江工业大学机械工程学院, 浙江杭州 310014)

【摘 要】 针对长江流域一般土壤含水率较高、粘重, 且田间稻茬较多的情况, 设计了一种针对粘重土壤的打孔式油菜栽种机构. 该打孔机构具有可在移栽机水平移动的过程中垂直打孔的特点, 且打孔后, 钵苗可直接投入打好的孔中, 不需覆土, 打孔效果好, 且株距稳定. 通过机构运动分析, 给出了打孔机构曲柄与连杆的合理比例尺寸. 为今后粘重土壤移栽机的研制和发展提供更多的理论依据和实验数据.

【关键词】 油菜移栽; 粘重土壤; 打孔机构

【中图分类号】 TH182 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-3079(2017)06-0089-05

油菜种植大多采用移栽和直播的方式, 长江流域是我国冬油菜的主要种植地, 一般采用移栽的方式, 这主要是因为这一区域采用水稻、油菜的轮作模式, 而水稻与油菜的播种时间有冲突, 致使油菜不能及时播种, 常常利用一些场地先育苗再移栽至大田, 以使油菜顺利过冬.

水稻油菜轮作的种植模式常常是水稻收获后立即种植油菜, 水稻收割后留有秸秆且未经翻耕的田地被称为“稻板田”. 稻板田中有较多的杂草、稻草, 导致移栽机在开沟作业时会发生缠草、拥堵现象; 另外, 由于稻板田的土壤板结、粘度较大, 移栽机在开沟作业时受到的阻力比较大. 为此, 本文对粘重土壤移栽机栽种机构进行了重新设计, 以适应粘重土壤的栽种需要.

针对油菜移栽机及粘重土壤油菜移栽, 目前已有一些研究. 袁文胜、吴崇友等人对油菜移栽机, 特别是粘重土壤油菜移栽机械的发展做过一些研究, 分析了粘重土壤的特点, 指出现有一些移栽机在粘重土壤遇到的问题^[1-3]于晓旭、赵匀、陈宝成等人对国内外移栽机械发展现状和研究水平做了综述, 并对移栽机发展方向做了展望;^[4] 赵志国在分析了粘重土壤油菜移栽的基础上, 提出在稻板田移栽中最好免去开沟、覆土过程, 这可解决稻板田油菜移栽的一些难题^[5] 袁群英等人对浙江省油菜种植状况、机械化情况、油菜机械化的发展对策做了较全面的分析^[6] 汤庆、吴崇友、袁文胜等在分析稻板田特点的同时, 设计了适用于油菜钵苗高速移栽机的覆土镇压装置.^[7] 杜晟、王卫兵则以吊篮式移栽机栽植机构为例, 对栽植部件与土壤接触条件下的运动学特

¹收稿日期: 2016-09-17

基金项目: 嘉兴市科技局科技项目 (2015AY21002)

作者简介: 刘振亚 (1992 —), 男, 山东聊城人, 嘉兴学院机电工程学院机械系 13 级学生; 孙江 (1963 —), 女, 辽宁沈阳人, 嘉兴学院机电工程学院教师, 主要从事机械设计理论教学与研究.

网络出版时间: 2017-10-24 13: 35: 11 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1273.Z.20171024.1335p26.html>

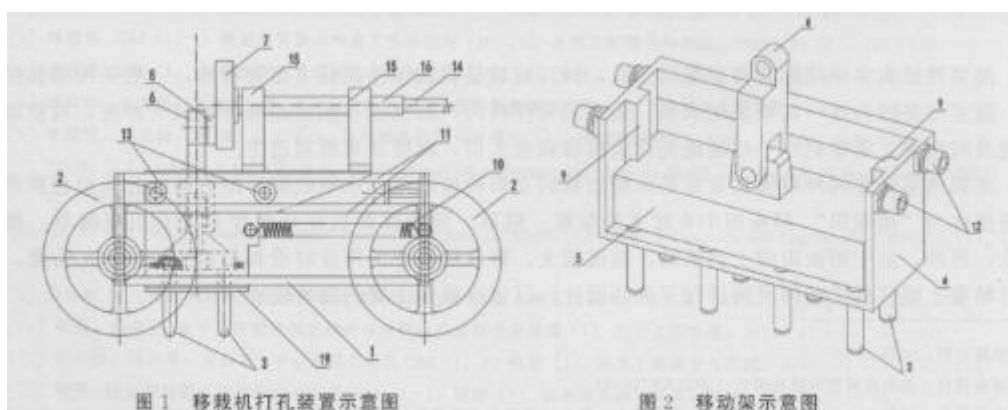
征进行了分析研究^[8]. WG. V. PrasammnaKumar 设计了钵苗蔬菜移栽机, 其钵苗输送机构与栽种机构配套工作, 省去了人工投苗的工作^[9]; T. Vamerali 在文献^[10]的基础上, 对犁地翻耕的阻力进行了分析研究.

一般秧苗移栽需开沟、投苗、覆土几道工序. 在投苗前, 要给秧苗挖出一个洞穴. 目前, 移栽打孔有三种方式. 第一种是人工移栽, 这种移栽主要由人手持打孔工具为秧苗挖出沟穴, 这类移栽株距不稳定, 效率低, 劳动强度大, 目前, 已有人不断改进手持类打孔工具^[11-12]. 第二种是移栽机移栽, 目前主要是膜上移栽技术, 移栽机大多是吊杯式移栽机, 这类移栽机的打孔装置为安装在一转轮上的吊杯, 吊杯依次插入地里, 利用吊杯下端的鸭嘴开合, 将松散的土排开, 并顺势将秧苗放入土中, 一次完成开沟、覆土, 这样的移栽机效率高, 株距稳定, 但缺点是对土质、墒情要求高, 已有一些文献对吊杯式移栽机做了些改进^[13-14]. 第三种是机械打孔,^[15]机械式打孔株距稳定, 费用不高, 打孔效率好, 但需人机配合. 另外, 在一些粘重或桔杆多的土壤上, 打孔设备易被杂草、稻草缠绕, 易被粘土粘附, 设备不易自清理, 所以打孔效率下降.

本文在对粘重土壤移栽做分析和研究的基础上, 设计了一种打孔式栽种机构, 并对打孔机构的运动性能进行了分析计算, 该机构可配于钵苗油菜移栽机, 为移栽机的设计提供更多的适用机构或机型.

1 打孔式栽种机构的设计

浙江地区一般土壤含水率较高、粘重, 且田间稻茬较多. 在耕种时, 土易粘附于耕种机械, 易使机构堵塞, 且粘附于机械上的土壤不易破碎, 自然回土无法实现, 开沟器过后土表容易形成沟痕. 因此, 普通的开沟、投苗、覆土类移栽机和吊杯式移栽机都不宜使用. 本文所设计的移栽机主要针对粘重土质的移栽 (参见图 1、图 2), 移栽对象为苗龄 30 天、高约 15~25cm、5~6 片叶的钵苗油菜.



所设计的移栽机打孔机构主要是由车体、打孔机构和活动车架三部分组成. 其中, 车体由车架 1、车轮 2、弹簧 10、滑槽 11、花键轴承座 15 和轴套 16 组成; 打孔机构由打孔头 3、滑块 5、连杆 6、偏心轮 7、花键轴 14 组成; 活动车架由车架 4、滑块 9、刮板 19、滚轮 12、13 组成.

车体由前轮驱动带动整个车体水平移动, 打孔机构由花键轴 14 带动偏心轮 7、连杆 6、滑动 5 及

打孔头 3 在垂直方向打孔; 活动车架 4 通过滚轮 12、13 与滑槽 11 运动保持与车体 1 的连接, 且又通过滑块 5 与滑块导路 9 的运动保持与打孔机构的连接, 打孔机构通过花键轴 14 与花键套 16 的静连接保持与车体的连接.

打孔装置可相对车架 1 垂直运动, 实现打孔操作, 一次性可打 8 个孔, 提高了打孔效率. 打孔机构在垂直方向打孔时, 花键轴 14 与花键套的配合及滚轮 12、13 与滑槽 11 的配合可保证打孔机构在水平方向做短暂停留, 之后弹簧的复位作用使打孔机构

在水平方向复位，并随车体水平移动。活动车架 4 的下部设有刮板 19，其作用是在打孔收回时将打孔头 3 上的土壤刮掉。

如前所述，目前市场上有各类移栽机，大致可分为开沟、投苗、覆土类移栽机和打孔、投苗类移栽机。前者在粘性的土壤移栽时，不易覆土。打孔类移栽机省去了覆土工序，提高了移栽效率。打孔装置有不同类型，目前使用的打孔类移栽机大多为滚轮式打孔，这主要是考虑到移栽机在移动过程中能连续打孔。但滚轮式打孔的一个致命弱点就是打孔的力度不够，主要是靠轮子的碾压将冲子刺入土壤中；另外还容易出现杂草缠绕和粘土粘附滚轮使打孔工序无法正常进行的情况。

众所周知，要使打孔效果好，最好是采用垂直打孔。垂直打孔可利用装置的自重，再给以一定的加速度，提高冲击惯性，增加打孔的力度。移栽机打孔不好解决的就是在移动中，如何实现垂直打孔。因为在移栽机水平运动过程中，垂直下落与水平运动复合，其结果就是一斜线，打孔不直，力不能全用在打孔方向上。本文设计的移栽机，在车体移动过程中，通过花键 14 与花键 16 在轴向的滑动，使打孔装置所在的活动架可在水平方向短暂停留，以确保车体移动过程中打孔装置在垂直方向的打孔可正常进行，这也就可以克服上述几个弱点，这种设计更适合应用于粘重土质。

2 打孔机构主要参数

本移栽机主要应用于粘重土质的钵苗移栽，钵苗尺寸为 40mm×40mm 大小，栽种株距为 300~400mm，栽种的频率 60 次/min。

2.1 栽种的频率 f

栽种频率也即本机构的打孔频率，反映栽种的效率，单位为次/min，一般习惯频率为 50~60 次/min。

栽植株距 s

这一参数与钵苗的大小及种植的间距有关，一般是 300~400mm，本设计取为 300mm。

2.3 曲柄的角速度 ω_1

由于曲柄的角速度与栽种频率有关，所以可根据栽种频率得出 ω_1 为 6.28rad/s。

2.4 地轮的转速 ω_d

地轮与曲柄为一个驱动源，二者之间通过一链传动连接，地轮半径 r_d 可根据苗高，并考虑结构特点设计，本文设计定为 150mm。

有了上述 4 个参数，则移栽机作业速度 v 与栽种频率 f 、栽种株距 s 之间的关系为：

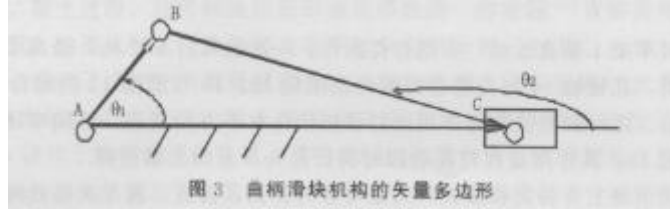
$$v = \frac{fs}{60} \text{ mm/s}$$

将 f 、 s 代入式 (1)，可得出地轮的转速 ω_d 为 2rad/s，链传动比为 3.14，在合理范围内。

3 打孔机构运动参数分析

3.1 打孔头的位移方程

打孔机构为一曲柄滑块机构. 在用矢量法建立机构的位置方程时, 需将构件用矢量来表示, 并做出机构的封闭矢量多边形, 如图 3 所示. 设各式中 $AB=L_1$ 、 $BC=L_2$ 分别是曲柄和连杆的长度, 单位为 mm; s 是滑块至曲柄回转中心的距离, 即 AC , 单位为 mm, θ_1 、 θ_2 为曲柄和连杆相对于水平线逆时针的转角; ω_1 、 ω_2 分别是曲柄和连杆的角速度, 单位为 rad/s, v_3 是滑块的移动速度, 单位为 mm/s; ϵ_2 是连杆的角加速度, 单位为 rad/s^2 , a_3 是滑块的加速度, 单位为 mm/s^2 .



机构的封闭矢量方程为:

$$L_1 + L_2 = s_3 \quad (2)$$

位移方程为:

$$\begin{aligned} L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2 &= s_3 \\ L_1 \sin \theta_1 - L_2 \sin \theta_2 &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

由方程 (3) 可得滑块的位移为

$$s_3 = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2 \quad (4)$$

其中连杆 2 的位移转角为:

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{L_1}{L_2} \sin \theta_1\right) \quad (5)$$

其中 θ_1 表示曲柄 1 在不同位置的转角.

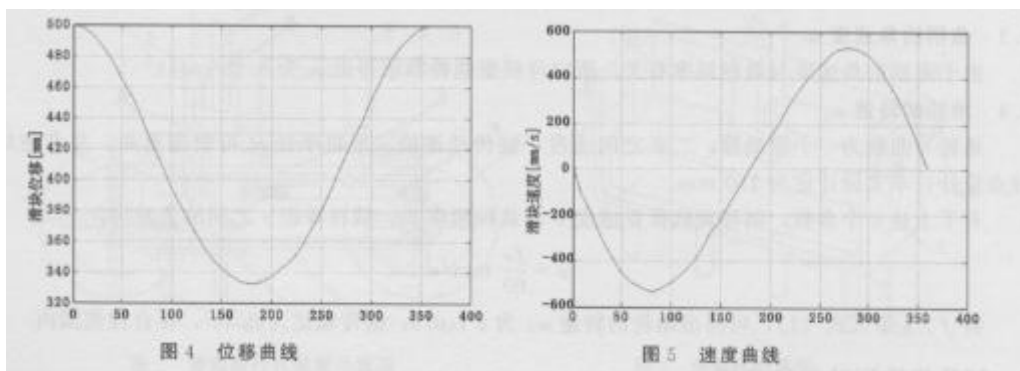
3.2 打孔机构的速度和加速度方程

将方程 (3) 分别对时间求一次导数和二次导数, 可得机构的速度方程和加速度方程分别为:

$$\begin{bmatrix} 1 & L_2 \sin \theta_2 \\ 0 & L_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_3 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \omega_1 \begin{bmatrix} -L_1 \sin \theta_1 \\ L_1 \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} L_2 \sin \theta_2 & 1 \\ L_2 \cos \theta_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_1 \cos \theta_1 & -L_2 \cos \theta_2 \\ -L_1 \sin \theta_1 & L_2 \sin \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$L_1=100\text{mm}$ 、 $L_2=400\text{mm}$ 、 $\omega_1=6.28\text{rad/s}$ 时, 可做出角位移 θ_2 、位移 s 、角速度 ω_2 、速度 v_3 、角加速度 ϵ_2 、加速度 a_3 随 θ_1 的变化关系, 如图 4、图 5、图 6 所示.



为使打孔效果好,自然是希望打孔的瞬间冲击力要大,也即加速度 a_3 要大. 从上图可以看出, 曲柄转角为 180° 时, 加速度最大, 惯性力也大, 打孔效果就好. 滑块距曲柄中心的最远距离是 L_1+L_2 , 这个长度受机构结构限制, 一般是一定值. 如何使打孔时曲柄转角接近 180° , 即 a_3 达到较大值, 主要看 L_1 与 L_2 的比值. 图 7 所示是 L_1 与 L_2 比值 b 不一样时, 曲柄转角与加速度的关系, b 增大, 打孔时加速度有增大的趋势, 但在 $b > 0.3$ 后, 增大不明显. 在 $b = 0.3$ 时, 加速度在曲柄的一段转角范围内保持平稳. 表 1 分别列出 L_1 与 L_2 比值不一样时 a_3 的变化, 可以看出, 比值 b 为 0.4 时, a_3 最大, 但从图 7 可以发现, 在 $b = 0.3$ 时, 加速度保持时间较长, 另外从结构的需要考虑, 本文设计取 $b = 0.3$.

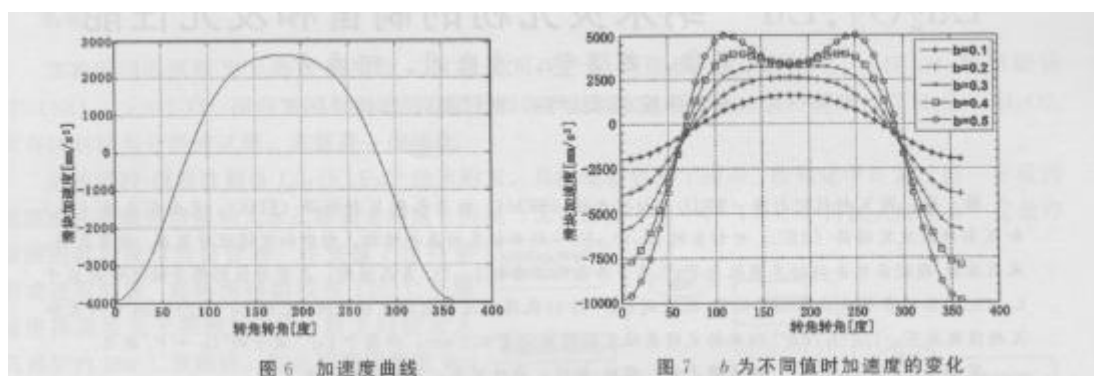


表 1 曲柄与连杆长比值与滑块加速度的关系

L_1/L_2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
a_3 [m/s^2]	1.613	2.629	3.185	3.380	3.286

4 结论

本文开发的打孔装置活动连架与移栽机巧妙配合, 在移栽机移动的过程中可使打孔装置在水平方向短暂停留, 在垂直方向打孔, 打孔后, 钵苗可直接投入打好的孔中, 不需覆土, 打孔效果好, 且株距稳定. 为加大打孔的冲击力, 基于运动参数分析, 给出了打孔机构曲柄与连杆的合理比例尺寸. 上述分析研究旨在为今后粘重土壤移栽机的研制和发展提供更多的理论依据和实验数据, 为移栽机设计提供更多的适用机构或机型.

参考文献:

[1] 吴崇友, 夏晓东, 袁文胜, 等. 我国油菜生产机械化技术的发展历程[J]. 农业开发与装备, 2009(10): 3-6.

[2] 袁文胜, 吴崇友, 于修刚, 等. 粘重土壤条件下油菜移栽机械化研究前景初探[J]. 中国农机化, 2011(1): 69-71.

-
- [3]袁文胜, 吴崇友. 我国油菜移栽机械的现状和发展趋势分析[J]. 中国农机化, 2007(6):60-63.
- [4]于晓旭, 赵匀, 陈宝成, 等. 移栽机械发展现状与展望[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 44—53.
- [5]赵志国. 稻板田油菜移栽机技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(11): 6364-6365.
- [6]袁群英, 张尧锋, 张冬青, 等. 浙江省油菜生产机械化现状及对策[J]. 浙江农业科学, 2009(5): 861-863.
- [7]汤庆, 吴崇友, 袁文胜, 等. 油菜毯状苗高速移栽机覆土镇压装置结构设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(3): 20-22.
- [8]杜晟, 王卫兵. 土壤接触条件下的移栽部件运动学分析[J]. 机械设计与制造, 2016(1): 246-249.
- [9]Kumar G V P, Raheman H. Development of a Walk-behind Type Hand Tractor Powered Vegetable Transplanter for Paper Pot Seedlings [J]. Biosystems Engineering, 2011, 110: 189—197.
- [10]Vamerali T, Bertocco M, Sartori L. Effects of a New Wide-sweep Opener for No-till Planter on Seed Zone Properties and Root Establishment in Maize (*Zea mays*, L.): A Comparison with Double-disk Opener [J]. Soil Tillage Research, 2006, (89): 196-206.
- [11]王旭红. 楞形幼苗移栽打孔器:中国, 205052103[P]. 2016-03-02.
- [12]刘建军, 王静, 张喜峰, 等. 烤烟膜下移栽打通气孔工具: 中国, 204741767[P]. 2015-11-11.
- [13]赵承浩, 赵继周, 赵楠, 等. 一种移栽机打孔移栽装置: 中国, 202197542[P]. 2012-04-25.
- [14]张桂荣, 戚源明, 孙光军, 等. 一种打孔移栽装置: 中国, 203313636[P]. 2013-12-04.
- [15]李志. 移栽打孔装置及移栽打孔机: 中国, 204616320U[P]. 2015-09-09.