

烟草自动浇水机的设计与试验研究

范连祥², 刘双喜^{1,2}, 王金星^{1,2},
刘杰², 牟华伟², 傅生辉², 孟凡荣², 李现道³

1 山东农业大学山东省园艺机械与装备重点实验室, 山东省泰安市岱宗大街 61 号 271018;

2 山东农业大学机械与电子工程学院, 山东省泰安市岱宗大街 61 号 271018;

3 山东烟草研究院有限公司, 山东省济南市高新区龙奥北路 1067 号 250098

摘要: 设计了一种基于接近开关控制的烟草自动浇水机。该机在作业前, 根据烟草株距和驱动轮半径调整无级变速器传动比, 使电磁阀每次运动到烟草正上方时, 接近开关均会被感应装置遮挡, 从而控制电磁阀完成浇水作业。试验表明: 烟草自动浇水机的浇水位置准确率为 99%, 浇水量可根据烟草生长需要在 0.48L~1.12 L 范围内调节, 效果满足烟草种植的农艺要求。

关键词: 浇水机; 自动; 烟草; 定量

烟草生产对水分要求较高, 土壤水分含量不足或过多都会影响烟株生长发育和生理代谢, 进而影响烟叶产量和品质^[1-10]。但是, 我国水资源严重匮乏, 人均水资源占有量约为世界人均水平的 1/4, 居世界第 109 位, 为 13 个贫水国之一, 而且南北水资源分配不均, 每年的降水也集中在夏秋两季, 水资源与烟草生产发展不相适应的程度突出^[11-12]。因此, 在干旱时保证烟株适时、适量的水分供应是烟农获得优质烟叶的重要措施。

目前, 美国、日本烟草田间管理已基本实现高度机械化^[13], 但没有专门的机械来完成烟草浇水作业。我国的烟草生产机械化水平较低^[14], 特别是在浇水这一环节费时费力, 大多数地方以人工和畜力为主, 成本高、效率低。因此, 实现烟草的机械化、自动化浇水是保障烟农经济效益的有效措施。

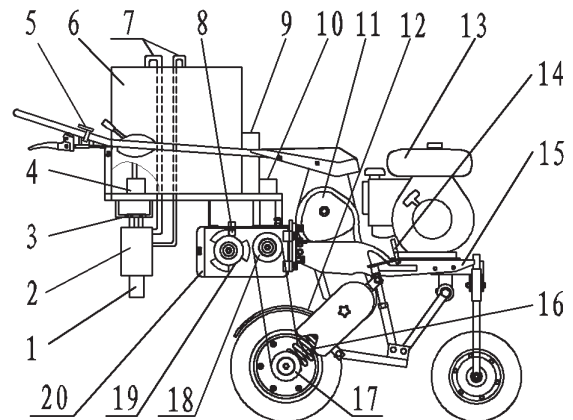
根据上述问题, 本文研制出一种自走式烟草自动浇水机, 该机可自动化实现一株烟一浇水功能。

1 整机结构及主要技术指标

1.1 整机结构

烟草自动浇水机采用自走式, 主要由行走系统、无级变速器 20、感应装置 19、接近开关 8、控制电

路 10 和电磁阀 1 等组成。结构简图如图 1 所示。感应装置安装在无级变速器输出轴上, 接近开关安装在无级变速器上方, 储水罐安装在机架后方中间位置, 其底部与电磁阀相连。一个 12V 蓄电池作为接近开关的启动电压, 两个 12V 蓄电池串联后作为潜水泵和电磁阀的启动电压, 所有负极接地。



注: 1. 电磁阀 2. 储水罐 3. 储水罐安装架 4. 潜水泵 5. 油门
6. 水箱 7. 输水管 8. 接近开关 9. 电瓶 10. 控制电路 11. 变速箱 12. 刮泥板 13. 发动机 14. 高度调节丝杠 15. 机架 16. 减震弹簧 17. 后轮驱动轴 18. 无级变速器输入轴 19. 感应装置 20. 无级变速器。

图 1 烟草自动浇水机结构简图

Fig. 1 Structure diagram of tobacco automatic watering machine

基金项目: 中国烟草总公司山东省公司科技重大专项和重点项目“烟叶生产全程机械化装备与标准体系研究”(201213)

作者简介: 范连祥(1989—), 在读硕士研究生, 主要从事烟草生产全程机械化研究, Email: 810035105@qq.com

通讯作者: 王金星(1970—), 教授, 博士生导师, 主要研究方向为精密工程与科学仪器, Email: jinjingw@163.com

收稿日期: 2014-04-12

1.2 工作原理

浇水前，首先调整烟草自动浇水机位置，使电磁阀位于第一株烟草的正上方。然后根据垄高调节高度调节丝杠，使机器在行走过程中避开烟草，以免对作物造成损伤。转动感应装置至遮挡住接近开关时停止，将感应装置固定。打开潜水泵开关，使储水罐中充满水。

浇水时，打开行走离合器，烟草自动浇水机在发动机的牵引下前进，其行进速度可通过油门进行调节。浇水机工作时，后轮驱动轴将动力传递给无级变速器，带动感应装置旋转。调整无级变速器的传动比，使电磁阀每次移动到烟苗上方时，接近开关均能被感应装置遮挡。随着浇水机的前进，感应装置旋转到遮挡接近开关的位置时，接近开关通过继电器控制电磁阀打开，开始浇水；当感应装置旋转到无法遮挡接近开关的位置时，接近开关通过继电器控制电磁阀闭合，浇水停止。浇水量的大小与感应金属片的面积和机器的行进速度有关，感应金属片面积越大，机器行进速度越慢，浇水量越大；反之，浇水量越小。

1.3 主要技术指标

根据烟草浇水农艺和浇水机功能特征要求，确定烟草自动浇水机主要技术指标如表 1 所示。

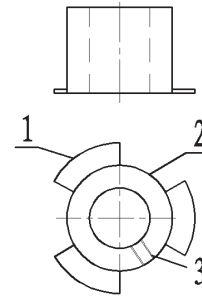
表 1 主要技术指标
Tab. 1 Main technical parameters

参数	数值
整机尺寸(长×宽×高)/ mm×mm×mm	1800×1140×1040
配套动力/kW	4~8
蓄电池/A·h	60
蓄电池电压/V	12
行进速度/km·h ⁻¹	0.6~1.5
作业行数	1
作业方式	自走式
可适应株距/mm	450~600
每株烟草浇水量/mL	280~1000

2 主要部件设计及选择

2.1 感应装置

感应装置材料为铁，与接近开关配合通过继电器来控制电磁阀。感应装置结构简图如图 2 所示。



注：1. 感应片 2. 套筒 3. 固定螺孔。

图 2 感应装置简图

Fig. 2 Induction equipment

感应装置包括圆柱形的套筒和 3 个扇形的感应片。套筒套在无级变速器输出轴上，套筒内径略大于无级变速器输出轴外径。3 个扇形感应片均匀固定在套筒上同一个圆周面上，每两个扇形感应片中心线之间的夹角为 120°，3 个扇形的圆心角均为 60°。3 个感应片旋转 1 周得到 1 个圆形轨迹。在烟草自动浇水机工作时，3 个感应片可有规律的交替遮挡接近开关，与无级变速器配合后能够实现“一株烟一浇水”的功能。

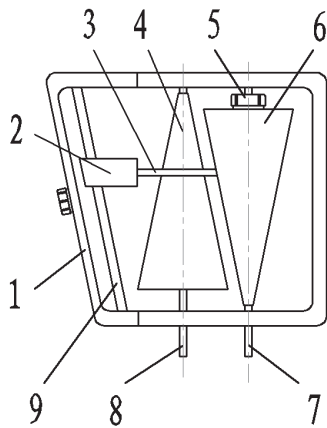
2.2 接近开关

电感式接近开关所能检测的物体必须是钢或铁物体^[15]。本浇水机选用 LJ18A3-8-Z/BX NPN 常开型电感式接近开关，其检测距离为 8 mm。当接近开关不被铁片遮挡时输出高电平；当接近开关被铁片遮挡时输出低电平。

接近开关通过悬挂架固定在无级变速器上方。悬挂架上开有滑槽，通过改变接近开关在滑槽上的固定位置可以调整接近开关的高度。调整接近开关外螺纹固定位置，使接近开关的头部与 3 个感应片所在平面的距离为 5 mm；确保在感应装置旋转时，3 个感应片可以交替遮挡接近开关头，从而控制电磁阀的开闭。浇水机其余部件在作业过程中对接近开关无影响。

2.3 无级变速器

无级变速器是烟草自动浇水机的核心部件。根据浇水机驱动轮半径，通过调整无级变速器的传动比，保证浇水机每前进 3 个株距的距离，感应装置恰好旋转一周。无级变速器输出轴与感应装置同轴安装，输入轴与浇水机后轮驱动轴连接。无级变速器的结构简图如图 3 所示。



注: 1. 控制架 2. 限位器 3. 锥环 4. 输出滚锥 5. 张紧装置 6. 输入滚锥 7. 输入轴 8. 输出轴 9. 导轨。

图3 无级变速器俯视图

Fig. 3 Top view of stepless speed variator

由于锥体的特殊形状, 当传递动力的锥环面与滚锥中心线呈垂直状态时, 锥环能够保持当前位置不变, 即无级变速器能够以恒定的传动比输出动力; 而当锥环平面与滚锥中心线的角度发生变化时, 锥环便会随着锥体的转动在锥体上相应的向左或向右移动, 调节传动比。

当无级变速器需要固定速比输出时, 这个控制架只需要保持锥环与滚锥轴线保持垂直状态即可, 当需

要改变速比时, 转动控制架, 相应改变锥环角度, 锥环便会随着滚锥的运动自行移动, 到达需要的速比时, 通过控制架将锥环转回垂直角度状态即可。

2.4 控制电路

控制电路是烟草自动浇水机的核心部件, 用来实现电磁阀的打开和关闭, 该电路原理图如图4所示。其中U1为LJ18A3-8-Z/BX NPN常开型接近开关, U2为TLP521型光电耦合器, R1—R5为电阻, U3为HHG1-0/32F-06型直流固态继电器, Q1为NPN型三极管, D1和D2为二极管, P1为2W500-50型电磁阀。U1的信号输出端(即图4中U1的OUT端)与U2的信号接收端(即U2的OUT端)相连。

直流固态继电器由光电耦合器和三极管驱动。光电耦合器起信号反向和隔离的作用^[16]。三极管可增加光电耦合器的线性斜率, 减少光电耦合器发热, 使得光电耦合器的动作更为灵敏, 同时经三极管的二次电流放大可轻松驱动继电器。

当接近开关被遮挡时, 其信号输出端输出低电平, 通过光电耦合器完成“电—光—电”的转变, 然后经过三极管的放大通过继电器控制电磁阀打开, 开始浇水; 当接近开关不被遮挡时, 接近开关输出高电平, 光电耦合器1、2引脚之间无电流, 继电器中开关断开, 电磁阀关闭, 结束浇水。

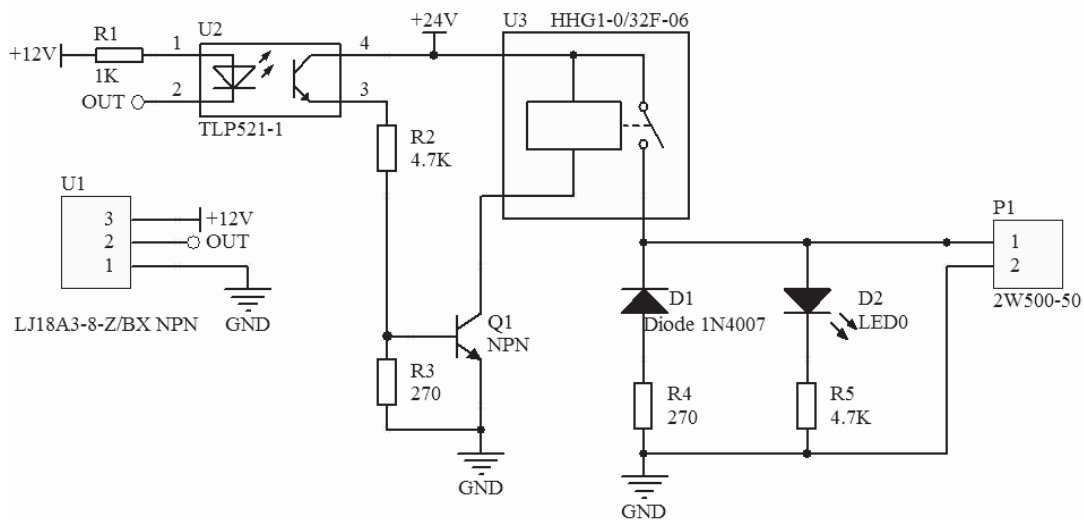


图4 控制电路

Fig. 4 Control circuit

3 无级变速器传动比

当驱动轮大小确定, 烟草自动浇水机前进固定的距离时, 无级变速器的传动比决定着感应装置的旋转圈数。浇水机后轮驱动轴通过链传动将动力传递给无级变速器, 两者之间传动比 $i=1$ 。

烟草自动浇水机驱动后轮的半径 $R=24.5\text{cm}$, 考虑到实际运动中的轮胎打滑现象, 取浇水机驱动后轮旋转一周时, 浇水机前进 150cm 。所以无级变速器的传动比为

$$i_1 = \frac{S_{\text{出}}}{S_{\text{入}}} = \frac{N_{\text{后}}}{N_{\text{感}}} = \frac{1}{\frac{150}{3 \times d}} = \frac{d}{50} \quad (1)$$

式中 $S_{\text{出}}$ ——无级变速器输出滚锥横截面积, cm^2

$S_{\text{入}}$ ——无级变速去输入滚锥横截面积, cm^2

$N_{\text{后}}$ ——浇水机后轮驱动轴转速, m/s

$N_{\text{感}}$ ——感应装置转速, m/s

d ——烟草移栽株距, cm

4 行进速度与电磁阀打开时间的关系

设浇水机的行进速度为 $V\text{ km/h}$, 烟草移栽株距为 $d\text{ cm}$, 则感应装置旋转 1 周所需时间为

$$t = \frac{\frac{36}{1000}}{\frac{150}{3d} \times \frac{V}{150}} = 0.108 \frac{d}{V} \text{ s} \quad (2)$$

因每两个扇形感应片中心线之间的夹角为 120° , 三个扇形的圆心角均为 60° , 所以每个感应金属片遮挡接近开关的时间, 即电磁阀的打开时间为

$$T = \frac{t}{6} = 0.018 \frac{d}{V} \text{ s} \quad (3)$$

当感应片的大小和烟草移栽间距为定量时, 由公式 (3) 可知, 浇水机行进速度越快, 电磁阀打开时间就越短, 浇水量越小, 二者成反比。

以烟草移栽株距为 50 cm 为例, 此时无级变速器的传动比 $i_1=1$, 即调整锥环在滚锥的中间位置时, 浇水机每前进 50 cm , 电磁阀均能打开浇水。当烟草移栽株距大于或小于 50 cm 时, 通过调整锥环的位置, 使无级变速器的传动比变大或变小即可。驱动后轮上方装有刮泥板, 在浇水机工作时可及时刮掉粘在轮胎上的泥土, 确保后轮的周长在工作过程中固定不变。后轮驱动轴上装有减震弹簧, 可减轻浇水机在工作过程中震动, 保证浇水机运动的平稳性, 从而确保浇水

位置的准确性。

5 田间试验

烟草自动浇水机的工作质量主要与机器行进速度、移栽间距的误差和土壤状况有关。对烟草自动浇水机进行田间作业性能检测试验, 以不同机器行进速度下浇水量和浇水位置作为试验评价指标, 检验作业效果能否达到设计的技术要求, 能否满足农艺要求。

田间试验采用区组设计, 试验按照 GB/T5262—2008《农业机械试验条件测定方法的一般规定》使用多次采样取平均值的方法对数据进行采集和分析^[17]。

5.1 试验条件

烟草自动浇水机田间作业性能试验在山东农业大学烟田试验基地进行, 试验用地经过机械深挖、旋耕、细整(土块细碎均匀, 无坚硬物, 无长杆茎类)、起垄。土壤含水量适宜(过湿、过干会影响作业效果)。实验条件如表 2 所示。

表 2 试验条件
Tab. 2 Test conditions

参数	数值
烟苗茎高/cm	10.3
行距/cm	120
株距/mm	500
垄高/mm	350
垄顶宽/mm	300
垄底宽/mm	600
行进速度/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	0.6~1.5
土壤含水率/%	23

5.2 试验仪器

所用试验仪器如表 3 所示。

表 3 试验仪器
Tab. 3 Test instrument

序号	名称	规格型号	量程	准确度
1	秒表	SJ9-2	12 h	$\pm 0.25\text{ s}/12\text{ h}$
2	卷尺	50 m	50 m	$\pm 2\text{ mm}$
3	土壤水分测试仪	TZS-1W	(0-50)%	$\pm 2\%$
4	量杯	2000 mL	0-2000 mL	$\pm 0.5\text{ mL}$

5.3 试验数据的测量

5.3.1 浇水量的测定

烟草自动浇水机选用的潜水泵型号为 BL-2512SI, 流量为 70 L/min, 口径为 25 mm; 电磁阀型号为 2W500-50, 流量孔径为 50 mm, 试验过程中使

用压力为 0.5 MPa。用秒表和量杯对烟草自动浇水机的浇水量做试验。在不同的机器行进速度下, 用量筒测量电磁阀的浇水量, 并用秒表记录电磁阀打开的时间。试验结果如表 4 所示。

表 4 浇水量试验
Tab. 4 Watering quantity test

测量次数	电磁阀打开时间 /s	机器行进速度 / (km·h ⁻¹)	浇水量 /mL	平均每秒浇水量 / (mL/s)	每秒浇水量平均值 / (mL/s)
1	0.7	1.286	710	1014	
2	0.8	1.125	815	1018	
3	0.9	1	925	1028	1026
4	1.0	0.9	1030	1030	
5	1.1	0.818	1145	1040	

由表 4 可以看出, 电磁阀每打开 1s, 平均浇水量为 1.026 L。根据不同的农艺要求, 选择不同的行进速度就能确定所需要的浇水量。

5.3.2 浇水位置的测定

在机器的工作过程中测量浇水中心位置与烟苗中心的直线距离。试验结果如表 5 所示。

表 5 浇水位置试验
Tab. 5 Watering position test

测量次数	机器行进速度 / (km·h ⁻¹)	浇水中心位置与烟苗中心的直线距离 /mm	平均值 /mm
1	1.286	10, 13, 17, 18, 21,	15.8
2	1.125	8, 12, 14, 17, 20,	14.2
3	1	6, 10, 13, 15, 18,	12.4
4	0.9	5, 10, 11, 15, 17,	11.6
5	0.818	5, 8, 11, 14, 16,	10.8

由表 5 可以看出, 不同行进速度下, 实际浇水位置与理想的浇水位置之间的误差均小于 20mm, 效果满足农艺要求。浇水机行进速度越慢, 误差越小。

5.4 试验结果

采集 1000 株样本进行分析, 试验结果如表 6 所示。

表 6 试验结果
Tab. 6 Test results

参数	数值
行进速度 /km·h ⁻¹	0.6~1.5
可连续工作时间 /h	30
浇水位置准确率 /%	99
单株烟草浇水量 /L	0.48~1.12
伤草率 /%	0
工作效率 / 亩 /h	3~5

6 结论与讨论

针对目前国内烟草浇水作业存在的成本高、劳动强度大、水资源浪费严重等问题,设计了一种适用于烟草移栽后浇水的烟草自动浇水机,该机可代替人工完成浇水作业,降低劳动强度,提高水资源的利用率。在试验过程中,浇水机性能稳定,浇水准确率达99%,无伤苗现象。而且无级变速器可使浇水机在一定范围内适用于各种移栽间距的烟田,调整方便,易于操作。

试验过程中偶尔出现浇水量不恒定或者浇水位置不准确的问题,分析其原因有:①烟草移栽时株距不均匀,误差较大。为避免误差积累,重新调整感应装置即可使浇水位置变准确。②作业时油门大小不恒定,导致浇水机作业速度不均匀,从而使电磁阀打开时间存在差异,每株烟草的浇水量略有不同。但浇水量差值较小,每株烟草的浇水量均符合农艺要求。

烟草自动浇水机作业时浇水量受机器行进速度以及电磁阀流量的影响,选用口径更大的电磁阀即可提升浇水机的作业效率。

参考文献

- [1] 罗占春, 杜伟, 张卫星. 土壤水分与烟草生长发育和生理代谢的相关研究进展 [J]. 山地农业生物学报, 2009, 28(5): 446-451.
- [2] 韩锦峰, 汪耀富, 钱晓刚, 等. 烟草栽培生理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 212-223.
- [3] 刘国顺, 王彦亭, 汪耀富, 等. 烟草栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 1-30.
- [4] Yan JQ, Wang J, Tissue D, et al. Photosynthesis and seed production under water-deficit conditions in transgenic tobacco plants that over express an Arabidopsis ascorbate peroxidase gene[J]. Crop Science, 2003, 43 (4):1477-1483.
- [5] 孙梅霞, 汪耀富, 张全民. 烟草生理指标与土壤含水量的关系 [J]. 中国烟草科学, 2000, (2): 30-33.
- [6] 刘树杰. 土壤水分与烟草生长发育和产量品质的关系 [J]. 中国烟草, 1985(3):9-12.
- [7] 张晓海, 苏贤坤, 廖德智, 等. 不同生育期水分调控对烤烟烟叶产质量的影响 [J]. 烟草科技, 2005(6):36-38.
- [8] 韩锦峰, 汪耀富, 张新堂. 土壤水分对烤烟根系发育和根系活力的影响 [J]. 中国烟草, 1992(3):14-17.
- [9] Ligon J T, Benoit G R. Morphological effects of moisture stress on burley tobacco[J]. Agronomy Journal, 1996, 58:35-38.
- [10] Clough B F, Milthorpe F L. Effects of water deficit on leaf development in tobacco[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1975, 2(3):291-300.
- [11] 王宇. 烤烟节水灌溉模式及决策专家系统研究 [D]. 南京: 河海大学, 2010.
- [12] 孙景生, 康绍忠. 我国水资源利用现状与节水灌溉发展对策 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 1-4.
- [13] 张传斌. 我国烟草生产机械化的现状及思考 [J]. 农业机械, 2009(3B): 66-67.
- [14] 陈恩明, 朱志伟, 张晓辉. 我国烟草田间生产机械化现状及发展对策 [J]. 农机化研究, 2008, (10): 227-229.
- [15] 陈锁发. 浅议接近开关的分类及应用 [J]. 装备制造技术, 2012 (11): 54-56.
- [16] 王永利. 光电耦合器的工作原理及检测 [J]. 家电检修技术, 2010 (8): 51-53.
- [17] 荣廷昭, 李晚沈. 田间实验与统计分析 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2001.

Design and experiment of a new automatic machine for tobacco watering

FAN Lianxiang², LIU Shuangxi^{1,2}, WANG Jinxing^{1,2}, LIU Jie², MOU Huawei², FU Shenghui², MENG Fanrong², LI Xiandao³
 1 Shandong Provincial Key Laboratory of Horticultural Machineries and Equipments, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China;
 2 College of Mechanical and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China;
 3 Shandong Tobacco Research Institute Limited Company, Jinan 250098, Shandong, China

Abstract: A new type of automatic machine for tobacco watering was designed based on proximity switch. The machine can adjust transmission ratio of stepless speed variator according to tobacco plant spacing and radius of driving wheel. The proximity switch was covered by induction device so that electromagnetic valve can be opened to complete watering operation when the electromagnetic was above each tobacco plant. Test results showed that watering position accuracy reached 99% and watering quantity can be adjusted from 0.48 L to 1.12 L.

Keywords: watering machine; automatic; tobacco; quantification

Citation: FAN Lianxiang, LIU Shuangxi, WANG Jinxing, et al. Design and experiment of a new automatic machine for tobacco watering [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015, 21(3)