

3WYP900 型旱地胡麻喷药机设计与试验

张方圆¹ 魏万成¹ 戴飞¹ 张锋伟¹ 赵武云¹ 杨照刚²

(1. 甘肃农业大学机电工程学院, 兰州 730070; 2. 陕西慧途智能装备有限公司, 渭南 714000)

摘要: 针对目前旱地胡麻机械化喷药作业中存在作业效率低、配套机型少、自动化程度低、药雾对操作人员伤害大等问题, 设计了 3WYP900 型旱地胡麻喷药机, 该机可实现远程遥控及滑移转向。对样机行走转向装置、喷洒装置、喷杆升降折叠装置等关键部件进行了设计, 并结合作业要求进行了理论分析计算。设定不同的喷头施药压力进行喷头施药量及喷幅试验, 试验结果表明, 当压力为 0.3 MPa 时, 单个喷头变异系数最小为 0.009 6, 稳定性最优, 且该压力下喷幅稳定为 9.423 ~ 9.622 m。在 0.3 MPa 压力下发生滴漏喷头数目均小于 3, 单个喷头的滴液量最大为 3 滴, 滴漏液滴数为 5 滴, 防滴性能符合国家标准。同时整机调速转向以及制动灵活, 控制反馈精准迅速, 试验过程中未发生侧翻、失速、喷药中断等现象, 表明整机基本达到设计要求, 具备田间试验的相关条件。

关键词: 胡麻; 喷杆喷药机; 喷头; 喷幅

中图分类号: S224.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)S2-0268-07

Design and Test of 3WYP900 Dry Area Flax Spraying Machine

ZHANG Fangyuan¹ WEI Wancheng¹ DAI Fei¹ ZHANG Fengwei¹ ZHAO Wuyun¹ YANG Zhaogang²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China
2. Shanxi Huitu Intelligent Equipment Co., Ltd., Weinan 714000, China)

Abstract: As an important oil crop in the north of China, the demand for flax had been increasing in recent years. Due to drought and little rain in flax growing area, the yield reduction caused by various diseases, insects and weeds is very serious. However, flax plant protection in arid areas was mainly manual operation or used relatively mature spraying machinery such as wheat and corn. The 3WYP900 type of dryland beard spraying machine was designed for the current dryland beard mechanized spraying operation with low operational efficiency, few supporting models, low degree of automation, mist on the operator injury and other problems, which could realize remote control and skid steering. The key components of the prototype walking steering device, spraying device, spraying rod lifting and folding device were designed and theoretically analyzed and calculated in combination with operational requirements. Different spray nozzle application pressure was set for spraying and spray width test, the test results showed that when the pressure was 0.3 MPa, a single spray nozzle coefficient of variation was minimum (coefficient of variation of 0.009 6) with the best stability, and the pressure under the most stable spray width (spray width of 9.423 ~ 9.622 m). In the 0.3 MPa pressure occurred under the number of dripping nozzle were less than 3, the maximum volume of a single nozzle was 3 drops, the total number of drops of dripping liquid was 5, anti-drip performance was in line with national standards. At the same time, the machine speed steering and braking flexibility, control feedback accurate and rapid, no rollover during the test, stall, spraying interruptions and other phenomena, indicating that the basic machine can meet the design requirements, with the relevant conditions of the field test. The research result could provide reference for the whole mechanization of dryland flax.

Key words: flax; spraying machine; nozzle; spray width

收稿日期: 2020-08-01 修回日期: 2020-09-20
基金项目: 国家特色油料产业技术体系专项(CARS-14-1-28)、甘肃省自然科学基金项目(17JR5RA143)和甘肃农业大学伏羲青年英才培养计划项目(Gaufx-03Y01)
作者简介: 张方圆(1998—),女,硕士生,主要从事农业装备研究,E-mail: 459267017@qq.com
通信作者: 戴飞(1987—),男,副教授,博士,主要从事小差异混杂特色经济作物收获研究,E-mail: daifei@gsau.edu.cn

0 引言

胡麻作为我国北方重要的油料作物,近年来需求量不断增加,种植地区主要集中在甘肃、宁夏、内蒙古等地^[1-4],种植范围较为分散。由于胡麻种植地区常年干旱少雨,各种病、虫、草害造成的减产现象十分严重,在严重的干旱缺水地区病害率甚至高达 10% 左右^[5]。然而,旱区胡麻植保作业主要以人工作业或是套用小麦、玉米等相对成熟的喷药机械为主。成熟的喷药机械体积庞大且成本高,无法满足旱地小规模种植户的需求。胡麻田间管理中长期以来缺少操控性能好且适合旱地胡麻病虫害防治的植保机械。

我国喷药机发展起步较晚,普遍存在系列化程度低、技术性能落后、推广力度不够等问题^[6]。近年来随着我国农作物全程机械化的推进,喷药植保机械逐渐成为研究热点。王相等^[7]为解决现有喷药机施药方式不合理、控制方式单一的问题,设计了一种多回流式变量喷药控制系统,能实现依靠喷药机前进速度调节比例控制阀,从而达到变量喷药的目的。魏新华等^[8]将超声波测距传感器引入喷药机喷杆高度调控中,有效保障了喷药机在行驶过程中喷杆与冠层间始终保持近似平行,避免地面起伏引起喷药不均^[9-10]。同时,采用遗传算法的多变量优化方法及有限元模态分析法对喷药机喷杆的研究具有一定生产指导意义。

本研究根据当前植保机械发展现状以及农业装备智能化趋势^[11-12],针对旱地胡麻小规模种植用户需求,设计一种成本低、体积小、运输方便、药雾对人体危害小、操作稳定的 3WYP900 型旱地胡麻喷药机,为验证设计机型工作稳定性开展喷头施药量及喷幅试验,以期为旱地胡麻全程机械化的推进提供参考。

1 整机设计

1.1 整机结构与工作原理

3WYP900 型旱地胡麻喷药机主要由车架、行走装置、动力控制系统、药箱、喷洒装置、喷杆升降装置等组成(图 1)。喷药作业时由操作员给出启动信号,控制系统接收到信号后启动行走装置的 4 个驱动电机。直行作业时,驱动电机带动车轮以一定的速度行驶,通过操作员远程遥控给出喷药信号,喷药泵开启执行喷药作业。当需要调节喷杆高度时,操作员通过遥控器发出信号,喷洒装置内的电推杆通电后推动喷杆主支架进行升降。当需要转向或倒车时,由操作信号控制驱动电机转速来实现滑移转向

和倒车。作业结束后操作员可通过手持遥控器给出信号使电推杆通电,拉动喷杆两侧的翼支架回缩成折叠状态。

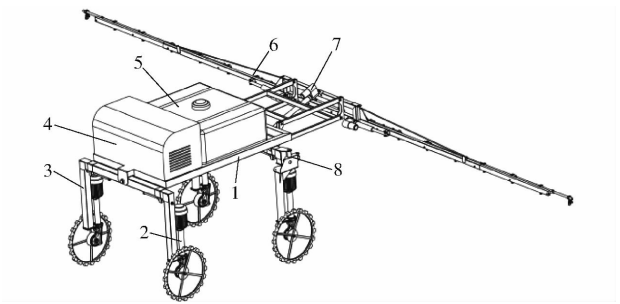


图 1 整机结构示意图

Fig. 1 Diagram of whole machine structure

1. 车架 2. 行走装置 3. 前支架 4. 动力控制系统 5. 药箱
6. 喷洒装置 7. 喷杆升降装置 8. 后支架

1.2 技术参数与设计要求

设计的遥控式喷药机主要作业对象为旱区油用胡麻,要求整机在作业过程中无异常振动、响声、紧固件松动等现象,整机启停和喷杆折叠升降等反应灵敏,转向协调、同步。其次还要求喷药机喷幅稳定、喷头防滴性能好。根据以上作业要求,该机主要技术参数如表 1 所示。

表 1 整机主要技术参数

Tab. 1 Main parameters of machine

参数	数值/形式
配套功率/kW	4
药箱容积/L	260
行驶速度/(km·h ⁻¹)	0~8
操作方式	远程遥控
遥控距离/m	200
作业幅宽/m	9
喷杆高度/mm	120~1 500
控制系统	微控制器
作业速度/(km·h ⁻¹)	1.2

2 关键部件设计与工作参数分析

2.1 行走转向装置

行走转向装置主要由车轮、前支架、前桥仿形装置、机架、直流无刷电机、减速器等组成(图 2)。工作时,操作员通过遥控器给出信号,主控单元接收到信号后控制电机接通电源并启动,将动力传输到减速器,减速器再驱动车轮以一定的速度向行驶。行驶过程中当路面平整度较差时,通过车前部的 前桥摆动仿形结构可以调整车姿态,从而保证整机处于水平状态,有效防止药液外溅撒漏。当操作员给出倒车或者停车信号时,主控单元接收到信号,控制电机断电或反转以实现停车和倒车。其中,电机为

永磁直流无刷电机,减速器为涡轮蜗杆减速器。

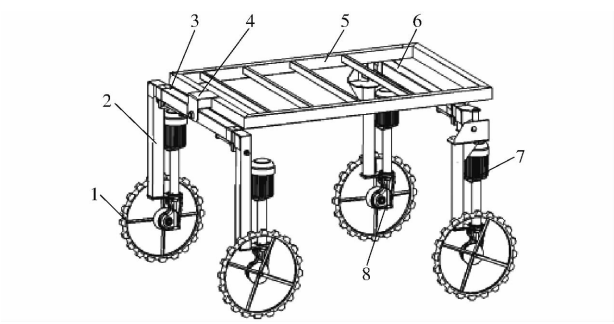


图2 行走转向装置结构示意图

Fig.2 Schematic of walking and steering devices

1. 车轮 2. 前支架 3. 前桥仿形装置 4. 仿形铰链 5. 机架
6. 后支架 7. 直流无刷电机 8. 减速器

3WYP900 型旱地胡麻喷药机通常在无风或者风力极小的环境下工作,所以忽略空气阻力,经过受力分析,该机在行驶过程中受到的总阻力包括滚动阻力、加速阻力和坡道阻力。各阻力计算式为^[13-14]

$$F_f = m f c \cos \alpha \tag{1}$$

$$F_a = \delta m \frac{dv}{dt} \tag{2}$$

$$F_t = m g s \sin \alpha \tag{3}$$

式中 F_f ——滚动阻力,N
 F_a ——加速阻力,N
 F_t ——坡道阻力,N
 m ——整机总质量,kg
 f ——滚动阻力系数
 α ——路面坡度,(°)
 v ——前进速度,m/s
 δ ——转动惯量系数

传统自走式喷药机工作时存在稳定性能差、转向装置复杂、转弯半径大、转向侧滑、机动性能弱等问题,3WYP900 型旱地胡麻喷药机则采用单侧制动(滑移)转向的方式来解决这些问题。转向原理为改变左右两侧车轮速度使其整车实现转向,当右侧车轮速度大于左侧时,车辆出现向左的转矩,当左侧车轮速度大于右侧车轮时,形成向右的转矩,从而实现整机的转向。这一转向技术由于成本低、转向灵活、转弯半径小等优点被广泛应用于果园、矿山、月球车等领域^[15-16],为了分析方便建立整机转向受力图(图3)。图3中 C 为转动中心; F_{f1} 、 F_{f2} 、 F_{f3} 、 F_{f4} 为驱动轮纵向阻力,N; F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 为驱动轮纵向驱动力,N; F_{r1} 、 F_{r2} 、 F_{r3} 、 F_{r4} 为驱动轮侧向阻力,N; M 为驱动力矩,N·m; M_r 为转向阻力矩,N·m; B 为轮距,m; L 为轴距,m; F_c 为作用在质心的离心力,N; R 为瞬时转弯半径,m。

由于在喷药作业中整机始终保持在低速状态,

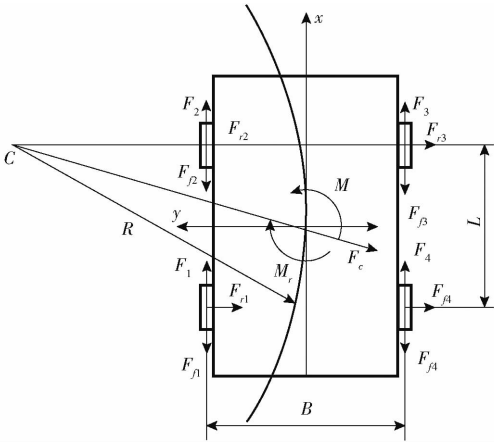


图3 整机转向受力分析图

Fig.3 Force analysis of steering

根据四轮车滑移转向原理,此处仅分析整机在低速行驶状态下的转向性能并将整机行驶状态做如下限定^[17-18]:轮胎与地面接触为点接触;忽略整机转向离心力和纵向速度;每个轮胎上的附着力相等;忽略空气阻力;驱动轮不打滑。

每个轮胎上附着力计算式为

$$F_{\varphi i} = \frac{G \varphi}{4} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \tag{4}$$

式中 $F_{\varphi i}$ ——第 i 个车轮上附着力,N
 φ ——附着系数 G ——整机重力,N
每个车轮上滚动阻力和侧向阻力为

$$F_{fi} = \frac{G f}{4} \operatorname{sgn} v_{xi} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \tag{5}$$

$$F_{ri} = \frac{G \mu}{4} \operatorname{sgn} v_{yi} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \tag{6}$$

式中 F_{fi} ——第 i 个车轮上滚动阻力,N
 F_{ri} ——第 i 个车轮上侧向阻力,N
 μ ——侧向力系数

$\operatorname{sgn} v_{xi}$ 、 $\operatorname{sgn} v_{yi}$ ——摩擦力与车辆前进速度的乘积
根据式(4)~(6)可得整机转向时两侧车轮驱动力为

$$\begin{cases} F_R = \frac{G \mu}{2} + \frac{L}{2B} G \mu \\ F_L = \frac{G \mu}{2} - \frac{L}{2B} G \mu \end{cases} \tag{7}$$

式中 F_R ——右侧驱动力,N
 F_L ——左侧驱动力,N

通过上述分析可知,滑移转向性能与整机结构参数和地面性质有关,一般通过判别法来对四轮车辆滑移转向条件进行分析:即 $F_R \leq F_{\varphi 1} + F_{\varphi 2}$ ^[19],结合转向受力图(图3)可得出整机实现滑移转向的判别关系为

$$\frac{B}{L} \geq \frac{\mu}{\varphi - f} \tag{8}$$

在喷药作业过程中,整机作业工况为土壤表面,因此工况条件为 $\varphi = \mu = 0.45, f = 0.07^{[14-15]}$ 。

根据式(8)得

$$F_R = 0.475 G \quad F_\varphi = 0.45 G \quad F_R < F_\varphi$$
$$\frac{B}{L} > \frac{\mu}{\varphi - f}$$

由此可以判断整机转向外侧的驱动力小于该侧的附着力,满足滑移转向条件,可以实现滑移转向。

2.2 喷洒装置

喷洒装置主要由药箱、喷药泵、喷头等组成。喷药泵采用高压电动隔膜水泵,额定电压 24.0 V,最大功率 100 W,开口流量 8.0 L/min,工作压力 80 N,垂直吸程 1.5 m,扬程 70.0 m。喷头采用植保专用高压雾化喷头,材料为高强度尼龙,配有 80 目不锈钢过滤网,可拆换塑料喷嘴,开启压力 0.10 MPa,关闭压力 0.06 MPa,正常工作压力 0.30 MPa,关闭时间为 2 s,安装间距 500 mm。

2.3 喷杆升降折叠装置

传统的大型自走式喷药机喷杆的升降和折叠通常都采用液压缸驱动方式来实现,但液压缸密封原件容易产生磨损从而发生漏油,最终引起秧苗损伤,并且安装维护成本高。电推杆具有运动精准可靠、安装方便、成本低、维护方便、无污染等优点,且 3WYP900 型旱地胡麻喷药机喷杆的升降折叠不需要过大推力。因此,选择电推杆作为喷杆升降和折叠的执行元件也符合设计要求^[18]。喷杆升降折叠装置主要由平行四杆机构、1 级电推杆、翼支架、主支架、2 级电推杆、铰链等组成(图 4)。其中平行四杆机构和机架后端支撑梁连接,翼支架通过旋转铰链安装于主支架两侧。1 级电推杆和平行四杆机构铰接控制喷杆整体的升降,2 级电推杆铰接在主支架和翼支架之间控制翼支架的折叠和展开。工作时,操作员给出信号后主控装置接收到信号并发出指令使电推杆通电。当 1 级电推杆通电伸缩时驱动平行四杆机构连接杆摆动实现喷杆整体的升降,升降范围为 120 ~ 1 500 mm。当主支架两侧的 2 级电推杆完全伸出时,翼支架在推力作用下转动直到与主支架夹角为 0°,此时翼支架呈展开状态。当 2 级电推杆完全回缩时翼支架在推杆拉力作用下旋转至收拢状态,此时与主支架夹角为 90°。

2.3.1 主支架升降装置

主支架升降装置主要由机架、平行四杆机构、1 级电推杆、铰链等组成(图 5)。1 级电推杆主要负责喷杆升降,为使其能稳定工作,推力和行程是两个必要条件。因此选择前需分析喷杆的结构和运动轨迹,计算出行程后再选择合适型号的电推杆^[18]。

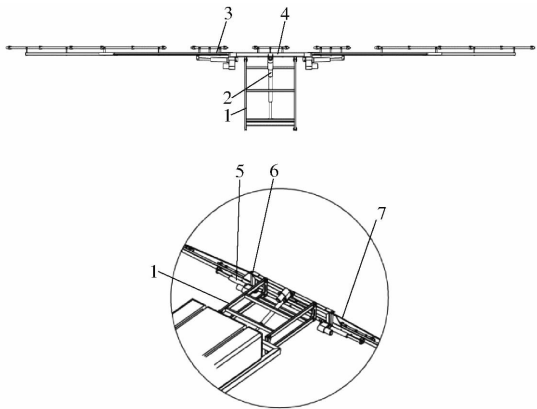


图 4 喷杆升降折叠装置

Fig. 4 Spray rod lifting and folding device

1. 平行四杆机构 2. 1 级电推杆 3. 翼支架 4. 主支架 5. 2 级电推杆 6. 铰链 7. 平衡拉杆

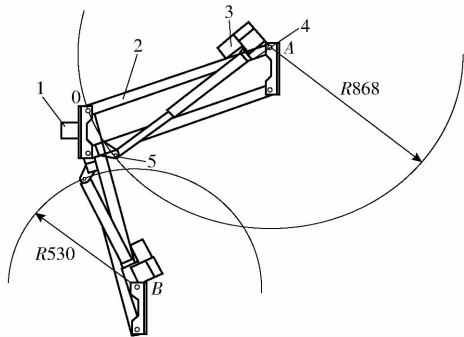


图 5 主支架升降装置原理图

Fig. 5 Schematic of main bracket lifting device

1. 机架 2. 平行四杆机构 3. 1 级电推杆 4. 安装座 5. 活塞杆铰链

根据设计要求双平行四杆机构连杆长度为 844 mm,两旋转中心间距为 240 mm。电推杆安装座位于下连接杆上,活塞杆铰接点位于主支架上。根据升降装置工作原理(图 5),当升降装置调整到最高位置时喷头离地间隙 1 500 mm,活塞铰接点位于点 A,此时 1 级电推杆处于伸长或完全伸长状态。当升降装置调整到最低位置时喷头离地间隙为 120 mm,活塞铰接点位于点 B,此时 1 级电推杆处于收缩或完全回缩状态。由图 5 可知,在点 A 活塞杆总长为 868 mm,在点 B 为 530 mm,两者之差为 338 mm,因此 1 级机电推杆行程最大值需大于 338 mm。因此选择 1 级电推杆为 XTL500 系列电推杆,最大行程 500 mm,最大推力为 1 300 N,额定电压 24 V,速度 12 mm/s,最大功率 30 W,带自锁。

2.3.2 翼支架折叠装置

翼支架折叠装置主要由电推杆安装支座、主支架、旋转中心、翼支架、2 级电推杆和活塞杆铰链组成(图 6)。当翼支架为展开状态时经过测量安装支座和活塞杆铰链的间距为 582 mm。此时 2 级电推杆处于伸长或完全伸长状态。当翼支架由展开状态

运动至折叠状态的过程中活塞杆铰链由点 N 移动到点 P , 且点 P 到安装支座间距为 410 mm, 此时 2 级电推杆处于回缩或完全回缩状态。折叠过程中安装支座与活塞铰链的距离差即为活塞行程, 计算后得折叠过程中活塞行程为 172 mm。因此为了保证折叠过程的平稳和可靠, 2 级电推杆选择时其最大行程需大于 172 mm。参考电推杆选型标准, 选择型号为 XTL300 系列电推杆。最大行程 300 mm, 最大推力 1 000 N, 额定电压 24 V, 速度 7 mm/s, 最大功率 30 W, 带自锁。

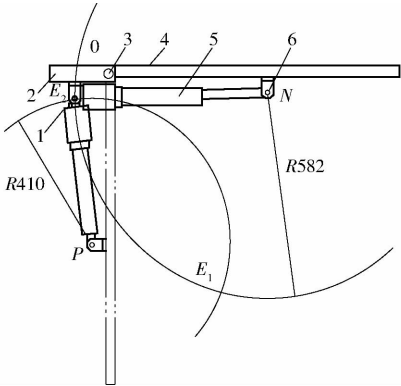


图 6 翼支架折叠装置工作原理

Fig. 6 Working principle of wing bracket folding mechanism
1. 推杆安装支座 2. 主支架 3. 旋转中心 4. 翼支架 5. 2 级电推杆 6. 活塞杆铰链

3 试验材料与方法

2019 年 5 月, 在陕西慧途智能装备有限公司空地中开展试验(图 7), 试验场地环境温度为 19℃, 空气湿度为 28%, 风速为 2.8 m/s。此条件适于开展喷头试验及喷幅试验。试验中观察记录是否有车身侧翻、失速、喷药中断等现象发生, 并检测喷杆能否平稳实现升降和折叠。



图 7 试验现场图

Fig. 7 Test site diagram

3.1 喷头试验

喷头试验参照 GB/T 24677. 2—2009《喷杆喷雾机 试验方法》^[20] 进行。试验仪器和材料有秒表、量杯、电子秤、纯净水。以单侧独立喷头为研究对象, 进行施药量检测, 依次对喷头标号并分别调节其施药压力, 将其设定为 0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、

0.35、0.40 MPa, 开启喷药泵使其正常工作。1 min 后将喷头喷出的滴液收集后放入量杯中测量, 重复上述试验 3 次^[21-22]。

3.2 喷幅试验

喷幅试验参照 GB/T 17997—2008《农药喷雾机(器)田间操作规程及喷洒质量评定》^[23] 进行。试验器材有米尺、水、粉笔。试验开始前将喷杆调节至合适位置(喷头离地间隙为 500 mm), 喷头的喷射角为 110°(喷头标准参数), 根据测试原理(图 6)计算出理论喷幅为 9.928 m。试验时, 操作人员通过遥控器给出信号进行标准喷药作业。设置 0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.40 MPa 7 个喷药压力, 作业速度为 1.2 km/h, 作业过程中观察喷药情况并对喷洒在地面的液滴最大范围进行标记。运行 10 m 左右后给出信号停止作业, 采用米尺测量 10 个标记点距离, 重复试验 3 次记录数据并对其和理论喷幅进行对比分析^[24-25]。

4 试验结果与分析

试验过程中整机运行平稳、转弯灵活可靠、喷药均匀, 行驶过程中未发生翻车和失速现象。同时, 喷杆能平稳实现升降和折叠, 整体性能表现良好。整机初步达到了设计要求, 能为后续开展田间试验做条件准备。

4.1 喷头试验

试验结束后采集相关数据得到喷头施药量测试结果(表 2)。施药量的检测过程中为了消除测量与量纲对数据的影响, 通过变异系数与喷头施药量关系(图 8)来描述数据的离散程度, 进一步描述喷头的稳定性。由图 8 可知, 当喷头压力上升时喷头的平均施药量也会逐渐增加。而在喷药作业中喷头施药量的稳定性是保证喷药效果最关键因素。变异系数可以反映喷头稳定性, 变异系数越小说明喷头施药量越稳定, 当压力为 0.3 MPa 时变异系数最小值为 0.009 6, 说明该压力下喷头抗干扰能力强, 施药量最稳定。

4.2 喷幅试验

喷幅测试及结果统计如图 9 及表 3 所示, 随着压力提高喷幅逐渐增大, 当喷药机施药压力为 0.30 MPa 时变异系数最小, 说明该压力下喷幅最稳定, 当喷药压力为 0.10~0.40 MPa 时, 实际喷幅为 9.423~9.622 m, 均小于理论值(9.928 m)。造成这一现象的主要原因是在实际喷药作业中由于喷杆会产生振动、弯曲、倾斜等造成一定的漏滴现象, 以及自然风力造成的药液飘移等^[21-22]。发生滴漏喷头数目小于 3, 单个喷头的滴液量最大为 3 滴, 滴漏液

表 2 喷头施药量测试结果

Tab.2 Test results of nozzle spray dosage

喷头编号	压力/MPa						
	0. 10	0. 15	0. 20	0. 25	0. 30	0. 35	0. 40
1	278. 60	303. 04	348. 68	385. 09	417. 36	441. 77	482. 21
2	262. 33	296. 46	332. 34	390. 33	404. 00	424. 13	446. 88
3	250. 28	282. 88	320. 88	373. 45	407. 45	443. 57	489. 50
4	270. 84	293. 37	338. 18	374. 27	404. 39	438. 58	486. 49
5	254. 61	310. 67	323. 47	363. 13	408. 29	447. 17	492. 14
6	263. 27	295. 09	332. 72	377. 04	404. 27	439. 09	483. 28
7	271. 60	295. 08	333. 04	373. 20	408. 36	438. 57	487. 39
8	264. 29	296. 00	334. 67	376. 98	406. 23	439. 01	488. 12
9	286. 37	298. 90	333. 77	385. 00	404. 78	443. 02	484. 39
均值/mL	266. 91	296. 83	333. 08	377. 61	407. 23	439. 43	482. 26
标准差/mL	10. 65	7. 05	7. 55	7. 67	3. 93	6. 06	12. 84
变异系数	0. 039 9	0. 023 7	0. 022 6	0. 020 3	0. 009 6	0. 013 8	0. 026 6

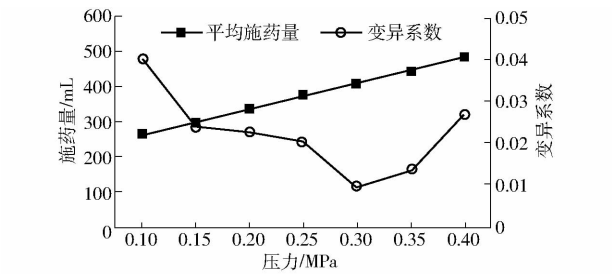


图 8 施药量与变异系数

Fig. 8 Spraying dosage and coefficient of variation

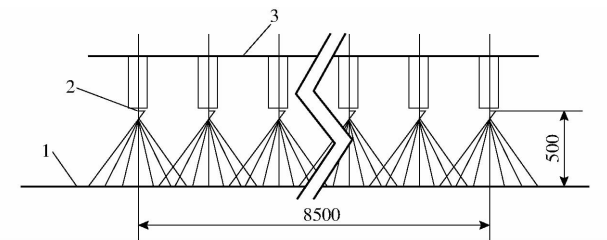


图 9 喷幅测试原理图

Fig. 9 Schematic of spray width test

1. 地面 2. 喷头 3. 喷杆

表 3 喷幅测试结果

Tab.3 Results of spray width test

参数	压力/MPa						
	0. 10	0. 15	0. 20	0. 25	0. 30	0. 35	0. 40
均值/m	9. 423	9. 470	9. 479	9. 520	9. 568	9. 588	9. 622
标准差/m	0. 033 1	0. 325 4	0. 312 0	0. 038 8	0. 283 6	0. 294 4	0. 337 5
变异系数	0. 486 5	0. 475 2	0. 453 9	0. 463 0	0. 403 3	0. 421 1	0. 482 5

滴数为 5 滴,防滴性能符合国家标准。

5 结论

(1)针对旱地胡麻小规模种植需求,设计了 3WYP900 型旱地胡麻喷药机,确定了整机关键部件系统,并对样机行走转向装置、喷洒装置、喷杆升降折叠装置等关键部件进行了设计,并结合作业要求进行理论分析计算。

(2)喷药机采用四轮独立驱动及滑移转向的方式,简化了转向机构,提高了喷药机运行的稳定性,具备了良好的田间通过性和转向机动性。且喷药机喷杆高度从 12 ~ 150 cm 范围可调,适用于胡麻、小麦等中低秆作物从幼苗到成熟不同阶段的喷药和液体施肥作业,喷杆宽幅能实现左、右半幅及全幅喷药

作业。

(3)对样机开展了喷头、喷幅试验,结果表明,当压力为 0. 3 MPa 时,单个喷头施药量和喷幅变异系数最小分别为 0. 009 6、0. 403 3,说明该压力下喷头喷药时抗干扰能力强,喷药量和喷幅最稳定;实际喷药幅宽为 9. 423 ~ 9. 622 m。发生滴漏喷头数目小于 3,单个喷头的滴液量最大为 3 滴,滴漏液滴数为 5 滴,防滴性能符合国家标准。

(4)试验过程中,喷药机整机运行平稳、转弯灵活可靠、喷药均匀,行驶过程中未发生翻车和失速现象。同时,喷杆能平稳实现升降和折叠。说明整机初步达到了设计要求,已具备田间试验的相关条件,后期研究将通过田间试验进一步验证整机作业效果。

参 考 文 献

- [1] 魏万成, 戴飞, 张锋伟, 等. 旱区胡麻仿生收获割台设计[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(8): 44-48.
WEI Wancheng, DAI Fei, ZHANG Fengwei, et al. Design of bionic harvest cutting table of flax in dry area [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(8): 44-48. (in Chinese)
- [2] 戴飞, 赵武云, 刘国春, 等. 胡麻脱粒物料分离清选机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 140-147.
DAI Fei, ZHAO Wuyun, LIU Guochun, et al. Design and experiment of separating and cleaning machine for flax threshing material[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 140-147. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190816&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.08.016. (in Chinese)
- [3] 戴飞, 赵武云, 宋学锋, 等. 胡麻脱粒物料分离清选作业机参数优化与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(7): 100-108.
DAI Fei, ZHAO Wuyun, SONG Xuefeng, et al. Parameters optimization and experiment on separating and cleaning machine for flax threshing material[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(7): 100-108. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20200712&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.07.012. (in Chinese)
- [4] 刘元祥, 戴飞, 赵武云, 等. 手扶式胡麻割晒机的设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(12): 26-29.
LIU Yuanxiang, DAI Fei, ZHAO Wuyun, et al. Design and test of hand-supported flax windbreaker[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(12): 26-29. (in Chinese)
- [5] 安雄太, 曹秀霞, 岳国强. 胡麻栽培及病虫害防止技术[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2009.
- [6] 贾卫东, 张磊江, 燕明德, 等. 喷杆喷雾机研究现状及发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(4): 19-22.
JIA Weidong, ZHANG Leijiang, YAN Mingde, et al. Current situation and development trend of boom sprayer[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(4): 19-22. (in Chinese)
- [7] 王相友, 胡周勋, 李学强, 等. 多回流式变量喷药控制系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 123-131.
WANG Xiangyou, HU Zhouxun, LI Xueqiang, et al. Design and experiment of multi-reflux variable spraying control system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(2): 123-131. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190213&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.02.013. (in Chinese)
- [8] 魏新华, 邵菁, 缪丹丹, 等. 喷杆式喷雾机喷杆高度及平衡在线调控系统[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 66-71.
WEI Xinhua, SHAO Jing, MIAO Dandan, et al. Online control system of spray boom height and balance[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 66-71. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150811&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.011. (in Chinese)
- [9] OOMS D, RUTER R, LEBAU F, et al. Impact of the horizontal movements of a sprayer boom on the longitudinal spray distribution in field conditions[J]. Crop Protection, 2003, 22(6): 813-820.
- [10] LARDOUX Y, SINFORT C, ENFALT P, et al. Test method for boom suspension influence on spray distribution, Part I: experimental study of pesticide application under a moving boom original research article[J]. Biosystems Engineering, 2007, 96(1): 29-39.
- [11] BATTE M T, ZHSANI M R. The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 53(1): 28-44.
- [12] ZAMAN Q U, ESAU T J, SCHUMANN A W, et al. Development of prototype automated variable rate sprayer for real-time spot-application of agrochemicals in wild blueberry fields[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76(2): 175-182.
- [13] 陈清泉. 现代电动车技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
- [14] 张巨岭. 远程遥控式喷雾机的设计与试验[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
ZHANG Juling. Design and test of remote control spray[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [15] 汪明德, 赵毓芹, 祝嘉光. 坦克行驶原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983.
- [16] 熊光明, 龚建伟, 徐正飞, 等. 轮式移动机器人滑动转向研究综述[J]. 机床与液压, 2003(6): 9-12.
XIONG Guangming, GONG Jiangwei, XU Zhengfei et al. Overview of research on skid-steer wheeled mobile robot [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2003(6): 9-12. (in Chinese)
- [17] 冯昆林, 张国君, 杨世文. 四轮车辆滑移转向的结构条件分析[J]. 机械管理开发, 2007(3): 24-26.
FENG Kunlin, ZHANG Guojun, YANG Shiwen. Geometrical condition analyses of four-wheel vehicle skid-steering[J]. Mechanical Management and Development, 2007(3): 24-26. (in Chinese)
- [18] 张国君, 杨世文. 四轮车辆滑移转向结构条件分析[J]. 拖拉机与农用运输车, 2007(4): 22-24.
ZHANG Guojun, YANG Shiwen. Geometrical condition analyses of four-wheel vehicle skid-steering[J]. Tractor & Farm Transporter, 2007(4): 22-24. (in Chinese)
- [19] 李涛斌. 探入式自动变行距均匀喷药机研制和试验[D]. 南昌: 江西农业大学, 2018.
LI Taobin. Development and test of immersed even-spraying sprayer with automatic-variable-spacing[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2018. (in Chinese)

- [13] 邱威,丁为民,汪小岳,等. 3WZ-700 型自走式果园风送定向喷雾机[J/OL]. 农业机械学报,2012,43(4):26-30,44. QIU Wei, DING Weimin, WANG Xiaochan, et al. 3WZ-700 self-propelled air-blowing orchard sprayer [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 26-30, 44. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20120406&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.04.006. (in Chinese)
- [14] RYSZARD H, GRZEGORZ D, WALDEMAR S, et al. Variable air assistance system for orchard sprayers, concept, design and preliminary testing[J]. Biosystems Engineering, 2017, 163:134-149.
- [15] MIRANDA-FUENTES A, RODRÍGUEZ-LIZANA A, GIL E, et al. Influence of liquid-volume and airflow rates on spray application quality and homogeneity in super-intensive olive tree canopies[J]. Science of the Total Environment, 2015, 537: 250-259.
- [16] FRISO D, BALDOIN C, PEZZI F. Mathematical modeling of the dynamics of air jet crossing the canopy of tree crops during pesticide application[J]. Applied Mathematical Sciences, 2015, 9:1281-1296.
- [17] SALCEDO R, GARCERA C, GRANELL R, et al. Description of the airflow produced by an air-assisted sprayer during pesticide applications to citrus[J]. Spanish Journal of Agricultural Research,2015,13:1-15.
- [18] 俞龙,洪添胜,赵祚喜,等. 基于超声波的果树冠层三维重构与体积测量[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 204-208. YU Long, HONG Tiansheng, ZHAO Zuoxi, et al. 3D-reconstruction and volume measurement of fruit tree canopy based on ultrasonic sensors[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 204-208. (in Chinese)
- [19] 李瀚哲,翟长远,张波,等. 果园喷雾靶标探测技术现状分析[J]. 农机化研究, 2016, 38(2): 1-5. LI Hanzhe, ZHAI Changyuan, ZHANG Bo, et al. Status analysis of orchard spray target detection technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(2): 1-5. (in Chinese)
- [20] 刘理民,王金宇,毛文华,等. 基于传感器融合阵列的果树冠层信息采集方法[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊): 347-353,359. LIU Limin, WANG Jinyu, MAO Wenhua, et al. Canopy information acquisition method of fruit trees based on fused sensor array[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.):347-353,359. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2018s046&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.046. (in Chinese)
- [21] 刘理民,张晓辉,石光智,等. 多态自动对靶风送式喷雾试验台的设计与试验[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(13): 260-263. LIU Limin, ZHANG Xiaohui, SHI Guangzhi, et al. Design and test of polymorphic automatic target air-blast spray test-bed [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(13): 260-263. (in Chinese)
- [22] 姜红花,刘理民,张晓辉,等. 面向精准喷雾的果树冠层体积在线计算方法[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(7): 120-129. JIANG Honghua, LIU Limin, ZHANG Xiaohui, et al. Online calculation method of fruit trees canopy volume for precision spray[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(7): 120-129. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190712&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.07.012. (in Chinese)
- [23] 姜红花,白鹏,刘理民,等. 履带自走式果园自动对靶风送喷雾机研究[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(增刊): 189-195. JIANG Honghua, BAI Peng, LIU Limin, et al. Caterpillar self-propelled and air-assisted orchard sprayer with automatic target spray system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(Supp.): 189-195. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s029&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.029. (in Chinese)

(上接第 274 页)

- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 24677.2—2009 喷杆喷雾机 试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [21] 王佳文,杨自标. 自动调平喷杆式喷药机设计与试验研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(7): 162-166. WANG Jiawen, YANG Zidong. Design and experimental research on automatic levelling boom sprayer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(7): 162-166. (in Chinese)
- [22] 王凯坡,方春伟,孙广斌,等. 基于 ABAQUS 卧式螺旋离心机转鼓系的模态分析[J]. 石化技术, 2016, 23(6): 3-4. WANG Kaipo, FANG Chunwei, SUN Guangbin, et al. Modal analysis of drum system for horizontal screw centrifuge by ABAQUS[J]. Petrochemical Industry Technology, 2016, 23(6): 3-4. (in Chinese)
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 17997—2008 农药喷雾机(器)田间操作规程及喷洒质量评定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [24] 王深研,杨柏松,房欣. 低漂移低药量喷杆喷雾机试验研究[J]. 现代化农业, 2017(5): 71-72. WANG Shengyan, YANG Baisong, FANG Xin. Experimental study on low drift and low dose sprayer[J]. Modernizing Agriculture, 2017(5): 71-72. (in Chinese)
- [25] 李锟,付亚萍,王伟全,等. 微型喷药机设计与试验研究[J]. 农机化研究, 2018, 40(8): 118-123. LI Kun, FU Yaping, WANG Weiquan, et al. Design and experimental research of the small sprayer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(8): 118-123. (in Chinese)