

自走式果园喷雾机设计与试验

梁俊鹏¹, 王贤斐^{1,2}, 李景彬^{1,2}, 李亚丽¹, 丁龙朋^{1,2}, 温宝琴^{1,2}, 张志元¹, 丁惠哲¹

(1. 石河子大学 机械电气工程学院, 新疆 石河子 832000; 2. 现代农业机械兵团重点实验室, 新疆 石河子 833200)

摘 要: 针对新疆果园喷雾施药作业劳动强度大、雾滴穿透性差、机具适用范围小等问题, 结合果园农机农艺及病虫害防治要求, 设计了一款自走式果园喷雾机, 主要由履带式行走系统、喷雾系统和远程控制系统等组成。通过计算分析确定各部分主要结构参数, 并通过有限元模拟分析机架结构合理性。为验证喷雾机作业性能, 以喷头流量为试验因素, 以喷雾附着率与喷雾穿透性为试验指标, 针对整机喷杆喷雾装置与风送喷雾装置开展田间试验。结果表明: 在相同工作条件下, 喷杆式喷雾装置平均喷雾附着率高于风送式喷雾装置, 两种喷雾装置平均喷雾附着率分别为 71.99% 与 66.35%, 均能满足喷雾附着要求。在穿透性试验中, 风送式喷雾装置内外冠层药液沉积变异系数平均比喷杆式喷雾装置小 14%, 风送式喷雾装置穿透性明显强于喷杆式喷雾装置。喷雾机两种喷雾装置在附着率与穿透性上都有较好的作业效果, 可根据果树不同生长时期以及不同农艺需求选择适合的喷雾方式, 来达到更好的喷雾效果。

关键词: 果园; 喷雾机; 自走式; 风送式; 喷杆式

中图分类号: S491

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2024)08-0085-09

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.20240018.010

0 引言

植保作业是果园生产中一个重要的环节, 合理的植保作业可以有效提果品的产量与质量。果树每年植保施药次数约为 8~15 次, 果农作业频率高, 劳动强度大^[1]。目前, 我国果园喷雾作业机械化程度低, 作业效果较差, 果园药物喷洒大多是采用大剂量雨淋式喷洒方式达到虫害防治的目的^[2]。过量的药物喷洒势必会造成农药浪费、作物农药残留量过高和土地污染等问题, 同时在药物喷洒过程中需要人工直接参与作业, 工人不可避免地暴露在农药雾滴扩散范围内, 对人体造成损害^[3-6]。

目前, 果园喷雾机按其动力设备联结方式可分为牵引式、悬挂式及自走式 3 种^[7]。国内针对喷雾机械进行了相应的研究。姜红花等^[8]设计了履带式风送对靶喷雾机, 通过物联网技术对喷雾机进行远程控制喷雾作业, 实现了人机分离, 且使用风机辅助喷雾作业时雾滴沉积量提高了 34.57%, 变异系数降低了

13.39%。霍朋等^[9]针对矮化密植枣园喷雾穿透性低的问题, 对果园仿形喷杆装置进行了参数化设计、动力学建模与仿真分析, 通过在果园实地测试确定了仿形喷杆的合理性与可靠性。董祥等^[10]设计了 3WPZ-4 风送式喷雾机, 结合超声波靶标探测、精量喷雾控制等技术提高喷雾作业农药利用率, 且使用辅助风时药液平均沉积率提高了 17.2%, 平均地面流失率降低了 16.56%, 平均飘移率降低了 28.87%。刘冬梅等^[11]针对喷雾沉积性能进行了研究, 通过开展正交试验确定了冠层梯度对雾滴沉积密度有显著性影响。果园喷雾机具有较强的针对性, 但对于新疆果园不具备普遍适用性。另外, 针对果园喷雾机的研究多为单一喷雾装置, 而果园喷雾作业贯穿植物整个成长过程, 单一的喷雾方式无法在植物生长的每个时期都能达到良好的喷雾作业效果。

针对新疆果园喷雾施药作业存在的劳动强度大、雾滴穿透性差、机具适用范围小等问题, 结合当前研究现状, 以自走式喷雾机为原型, 将喷杆式喷雾装置与风送式喷雾装置相结合, 设计了一款能够远程控制的果园喷雾装置。同时, 通过确定地盘、喷雾方式、控制方式等对整机进行设计, 并使用有限元仿真对机构的合理性进行验证, 采用田间试验确定整机喷雾性能。研究结果对提高果园植保作业质量、降低农药污染程度以及促进果园植保喷雾作业机械化发展有着重要意义。

收稿日期: 2022-08-19

基金项目: 兵团财政科技计划项目 (2021BB003); 石河子大学创新发展专项 (KX01210205)

作者简介: 梁俊鹏 (1996-), 男, 新疆温泉人, 硕士研究生, (E-mail) 1483140983@qq.com。

通讯作者: 温宝琴 (1980-), 女, 宁夏吴忠人, 教授, 硕士生导师, (E-mail) wendy-wbq@163.com。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

自走式果园喷雾机主要用于南疆矮化密植果园植保喷雾作业环节,其设计采用风送喷雾结合喷杆喷雾、无线远程控制、电力驱动等技术,整机三维结构如图 1 所示。

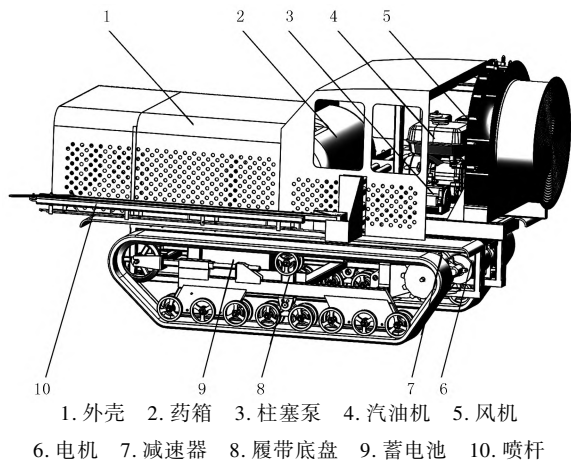


图 1 整机三维图

Fig. 1 Three dimensional drawing of complete machine

整机主要由履带式行走系统、喷雾系统、操作控制系统组成。其中,履带式行走系统由履带底盘、蓄电池、驱动电机和减速器等部件组成;喷雾系统由喷杆、风机、汽油机、柱塞泵及水箱等部件组成;操作控制系统由遥控器、信号接收器、信号处理器、工业路由器等部件组成,可通过 5G 网络使用平板远程控制,或者通过遥控器发射无线电信号进行控制。

喷雾机履带式行走系统、喷雾系统和操作控制系统分别由两个独立的动力系统提供动力。履带式行走系统通过电池组提供能源驱动整机行走,喷雾系统由汽油机提供动力带动轴流风机以及柱塞泵进行工作。动力分配示意图如图 2 所示。

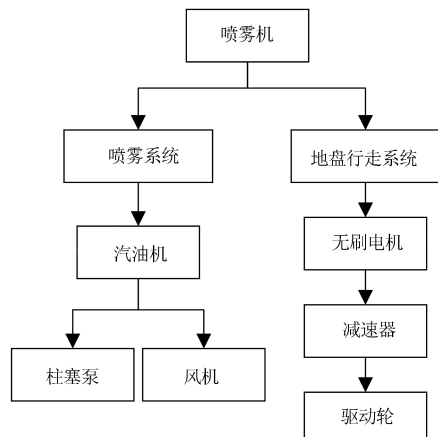


图 2 动力分配示意图

Fig. 2 Power distribution diagram

1.2 工作原理

喷雾机行走过程由电池提供能源,通过电路将电力输送到驱动电机,两个电机同时工作驱动喷雾机运动,通过控制差速器调节驱动轮转速完成喷雾机的转向掉头等动作。喷杆喷雾装置通过人工调节喷杆上下杆臂的张开角度能够达到仿形的效果,同时能够调整喷杆装置作业范围,以适应不同高度植株的喷雾作业。风送喷雾装置的风机引导气流通过导流板,气流根据导流板的结构轴向方向均匀扩散,气流吹动植物叶片翻转的同时约束雾滴运动方向,提高了喷雾的均匀度与穿透性。

整机控制过程中,由工作人员通过控制上位机将命令信号发送至信号接收器,信号接收器将信号传递到下机位控制传动系统的电机工作;驱动力由电机传出经过减速器,最终到达履带驱动齿轮,齿轮带动履带驱动整机运动,实现远程操控整机行走的功能。喷雾过程中,喷雾系统与驱动系统信号传递方式相同,由下机位接收命令,通过控制电推杆的伸缩来控制风机转速和液压泵流量。

1.3 技术参数

喷雾机主要技术参数如表 1 所示。

表 1 整机技术参数

Table 1 Machine technical parameters

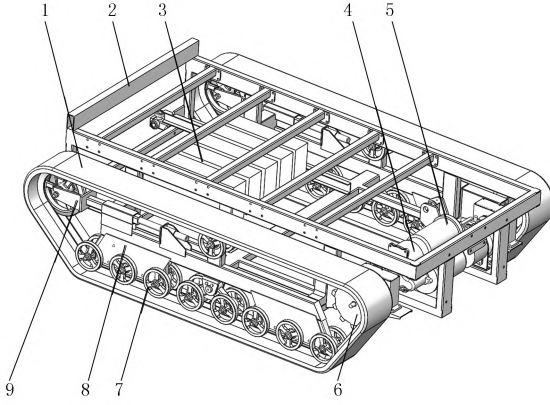
参数	单位	数值
质量	kg	400
外形尺寸(长×宽×高)	mm	2500×1400×1400
行驶速度	km/h	0~7
适合行距	mm	4000
喷杆调节宽度范围	mm	3200
喷杆调节高度范围	mm	1800~3500
药箱容积	kg	600
驱动方式		电动
电机功率	W	3500
电池数量		12

2 关键部件的设计

2.1 履带式行走系统设计

2.1.1 电动底盘结构

电动底盘主要由履带、车架、蓄电池、减速器、驱动电机、张紧轮、承重轮、承重支架及驱动轮等组成,如图 3 所示。



1. 履带 2. 机架 3. 蓄电池 4. 减速器 5. 驱动电机
6. 驱动轮 7. 承重支架 8. 承重轮 9. 张紧轮

图3 电动底盘结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of electric chassis structure

履带可增加接地面积,减少压强,防止底盘下陷,提高底盘行驶性能;承重轮可以保证履带压地力均匀,改善行走平稳性^[12];左右两侧独立电机驱动可以有效提高喷雾机的灵活性,在狭小的作业环境中安全作业;减速器可以控制两侧驱动轮同时输出不同的转速达到喷雾机转向与掉头的目的;两侧的张紧轮及张紧弹簧确保作业过程不会出现履带脱带松动现象^[13-14]。根据一般果园种植行距、机具作业要求以及整机设计布局,确定履带底盘外形尺寸(长×宽×高)为2500mm×1400mm×500mm。

2.1.2 行走系统计算与分析

自走式果园喷雾机的作业环境为规模化果园,尤其适用于矮化密植果园。由于果园大多位于平原地带,园内地面条件较为复杂但地面无较大坡度,履带式电动底盘作业时需要克服的阻力包括直线行驶阻力和转向阻力,转向阻力远远大于直线行驶阻力,故喷雾机转向时所消耗的功率也是最大的。根据行走装置转向所需驱动力与功率选择电机,履带核心域受力图如图4所示^[15]。

履带转向阻力矩为

$$\begin{cases} M_1 = \frac{\mu GL}{8} \left(1 + \frac{2C}{B}\right) \left[1 - \left(\frac{2e}{L}\right)^2\right]^2 \\ M_2 = \frac{\mu GL}{8} \left(1 - \frac{2C}{B}\right) \left[1 - \left(\frac{2e}{L}\right)^2\right]^2 \end{cases} \quad (1)$$

$$M_\mu = M_1 + M_2 = \frac{\mu GL}{4} \left[1 - \left(\frac{2e}{L}\right)^2\right]^2 \quad (2)$$

式中 M_μ —履带底盘转向阻力矩(N·m);
 M_1 —左侧履带转向阻力矩(N·m);
 M_2 —右侧履带转向阻力矩(N·m);
 B —履带中心距(m);
 C —横向偏心距(m);

e —纵向偏心距(m);

L —履带接地长度(m);

G —履带质心位置总质量(N);

μ —转向阻力系数。

履带转向驱动力为

$$\begin{cases} F_1 = \frac{fGL}{2} \left(1 + \frac{2C}{B}\right) + \frac{\mu GL}{4B} \left[1 - \left(\frac{2e}{L}\right)^2\right]^2 \\ F_2 = -\frac{fGL}{2} \left(1 - \frac{2C}{B}\right) - \frac{\mu GL}{4B} \left[1 - \left(\frac{2e}{L}\right)^2\right]^2 \end{cases} \quad (3)$$

$$M_{\max} = (F_{1\max} + F_{2\max}) r \quad (4)$$

$$W_{\max} = (F_{1\max} + F_{2\max}) v \quad (5)$$

式中 f —滚动阻力系数,取 $f=0.11$;

F_1 —左侧履带转向驱动力(N);

F_2 —右侧履带转向驱动力(N);

$M_{\max}$ —履带驱动轮最大驱动力矩(N·m);

$W_{\max}$ —履带驱动轮最大驱动功率(kW);

r —驱动轮节圆半径(m);

v —驱动轮线速度(m/s)。

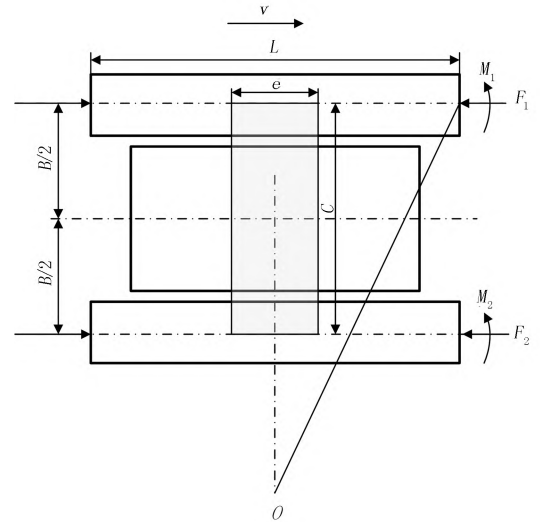


图4 履带接地示意图

Fig. 4 Schematic diagram of track grounding

所设计的喷雾机满载质量为1000kg,履带中心距 $B=0.9\text{m}$,横向偏心距 $C=0.45\text{m}$,纵向偏心距 $e=0.2\text{m}$,履带接地长度 $L=1.4\text{m}$,履带质心位置总质量 $G=4000\text{N}$,滚动阻力系数 f 与转向阻力系数 μ 分别为0.11、0.6,驱动轮节圆半径 $r=0.1\text{m}$,驱动轮最高线速度 $v=7\text{km/h}$ 。

将各参数带入式中计算,得到最大扭矩 $M_{\max}=547.58$,最大功率 $W_{\max}=6.54\text{kW}$ 。

减速器作用为减速增扭,能够很大程度上提高电机输出动力,增强底盘爬坡能力。选择减速器主要是确定最大传动比,根据电机转速以及底盘最大行驶速度,本机选用减速器传动比 $i_0=20$ 。

根据电动底盘在进行喷雾作业时的工作需求,同时减少整机质量,选择 60AH 锂电池作为动力电池,可保证喷雾机在果园正常作业的续航能力不低于 3h。

2.1.3 机架设计与优化

1) 机架设计。机架作为喷雾机关键部件,在喷雾机作业过程中除了承受压力外,还会产生力矩造成应力集中。因此,机架设计应当在满足强度要求的基础上尽可能结构简单、布局合理^[16-17]。

喷雾机机架结构主要由左前立柱、左承重梁、左履带轮支撑梁、左后立柱、右前立柱、右承重梁、右履带轮支撑梁及右后立柱等组成,如图 5 所示。其中,履带轮支撑梁是主要承重部位,机架与履带轮支承梁连接处承受应力较大,需要将其和机架一起进行结构强度分析^[18]。

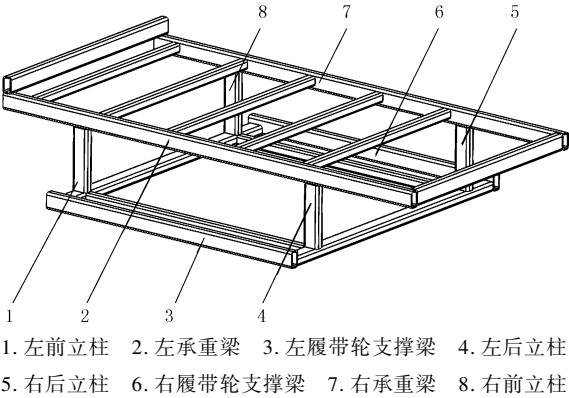


图 5 机架结构示意图
Fig. 5 Frame structure diagram

2) 仿真优化。机架主要承载部件有药箱(满载 600kg)及风送式喷雾装置(风机+汽油机+柱塞泵)(130kg),同时机架还受到自身重力影响。忽略外壳等质量较小的部件对机架的载荷影响,机架受力情况如图 6 所示。

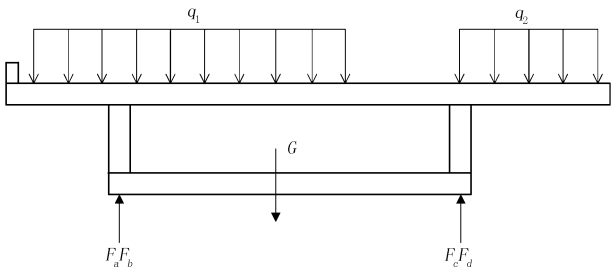


图 6 机架载荷分布示意图
Fig. 6 Schematic diagram of rack load distribution

机架所载荷方向垂直向下,将机架三维模型导入 Workbench 软件中,选择机架材料为 Q235 钢并设置模型参数,使用 10mm 四面体单元进行网格划分。根据机架实际受力情况施加相应载荷以及固定约束,进行仿真分析,结果如图 7 所示。

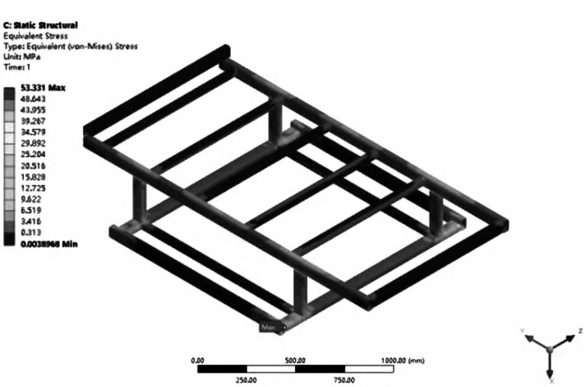


图 7 机架应力云图
Fig. 7 Rack stress nephogram

根据应力云图可以看出:应力集中发生在履带轮支撑梁以及机架主体连接处,应力为 51.35MPa,远小于材料的屈服极限(235MPa)。考虑到仿真中由于部分载荷未计算在内以及工作过程中有可能出现的冲击撞击等情况,此位置依然存在强度风险。

为了减少应力集中和避免形变,可通过增加支撑柱、架主体连接肋板和焊接支撑板对机架进行强度增加。

2.2 喷雾系统设计

喷雾系统是喷雾机主要工作部分,工作原理如图 8 所示。喷雾系统工作时,由汽油机带动柱塞泵工作,柱塞泵将药液从药箱中吸出并且加压,经过 3 路手动开关阀将药液分为 3 路分别输送至左右喷杆以及风送喷雾装置,开始喷洒作业,多余的药液经回流管道回流至水箱^[19]。

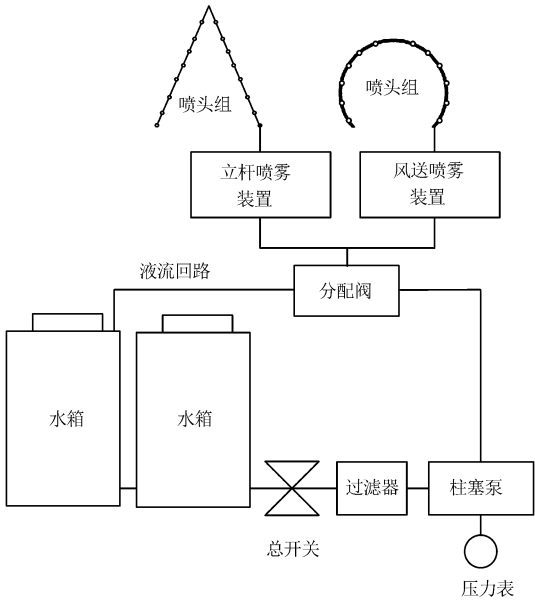


图 8 喷雾系统液路系统原理图
Fig. 8 Schematic diagram of liquid path system of spray system

2.2.1 喷杆式喷雾装置设计

喷杆喷雾装置需要根据果园种植模式设计相应

的结构才能更好的完成作业。矮化密植果园一般作物行距为 4m,植株高度为 1.5~1.8m,部分老龄果园行距与树高会有所不同^[20]。因此,将喷杆机架设计为可伸缩结构,能够根据不同的行距对喷杆间距进行调节。同时,对于不同生长时期的果树,通过调节喷杆底座液压杆伸缩改变喷杆与树冠之间的距离,来达到更好的喷雾效果。

喷杆常见的工作状态有两种(见图 9):第 1 种是针对树高低于 1.8m 低矮果树的工作状态,喷杆能够实现全包围式仿形,喷雾机单次行驶可对两行果树进行全面喷雾作业;第 2 种是针对树高 1.8~3.2m 的正常果树的工作状态,喷杆对果树进行半包围仿形,喷雾机单次行驶可对两行果树进行单面喷雾作业。

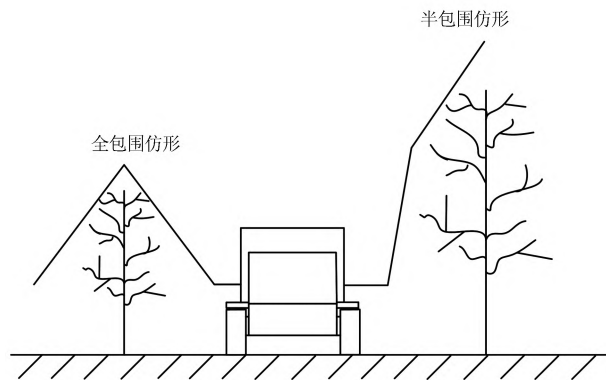
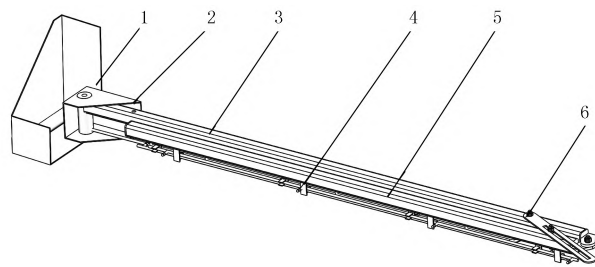


图 9 喷杆装置作业示意图

Fig. 9 Schematic diagram of spray bar device operation

设计的喷杆喷雾装置结构如图 10 所示。



1. 下底座 2. 上底座 3. 喷杆内臂
4. 喷杆外臂 5. 喷头 6. 定位板

图 10 喷杆结构示意图

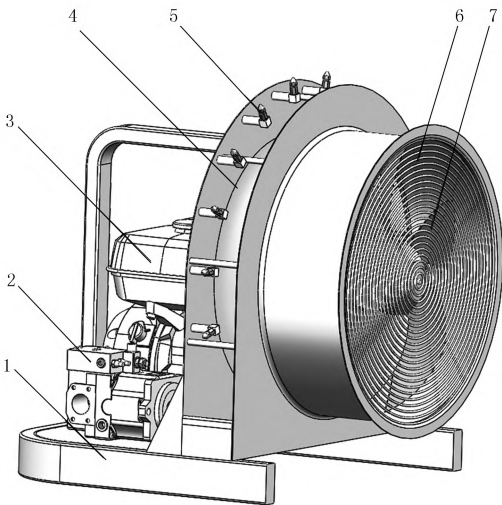
Fig. 10 Schematic diagram of spray rod structure

喷杆整体由 Q235 构成,喷杆下底座与上底座通过轴进行连接沿圆周方向可进行 90°旋转,上底座与喷杆内臂同样使用轴进行连接,且轴线方向与上下底座连接轴线方向交叉 90°。在喷杆结构上,喷杆整体由两部分组成,即喷杆外臂与喷杆内臂。喷杆外臂与喷杆内臂通过销钉进行连接内外臂之间可以进行 180°旋转,内外臂之间、内臂与底座之间的多角度旋转方便喷杆喷雾装置的灵活转动,喷杆装置在调整过程中可以以车身为基点进行三维角度的调整,对不同

高度作物进行喷雾作业。喷杆上均匀布置 8 个喷头,能够满足喷杆喷雾过程对树冠层全覆盖。

2.2.2 风送式喷雾装置设计

风送式喷雾系统包括风机、导流板、汽油机以及环绕风机外围的喷雾管道,如图 11 所示。通过皮带连接汽油机与风机,由汽油机为风机提供动力。风机工作时(见图 12),风扇转动产生负压气流从前端吸入风机内部,经过导流板整流后形成均匀风弧圈形风场,可通过调整喷头方向来应对不同高度作物的喷洒作业;喷头喷出的雾滴处于风机产生的气流风场内,由气流场带动雾滴喷洒扩散^[21-22]。



1. 底座 2. 柱塞泵 3. 汽油机 4. 导流板
5. 喷杆装置 6. 防护网 7. 风机叶片

图 11 风机装置结构图

Fig. 11 Structure diagram of fan device

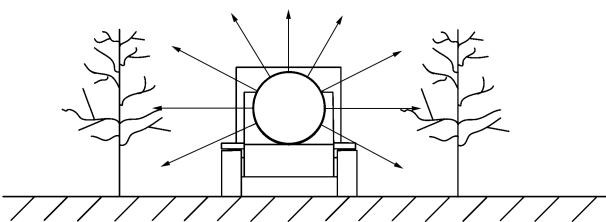


图 12 风送喷雾作业示意图

Fig. 12 Schematic diagram of air spray operation

1) 风量的确定。在风送喷雾装置中,风机产生的风量一般使用置换原理^[8],即喷雾机以一定速度行驶时风机吹出的风完全替换掉作业空间内全部空气所需要的风量^[23-25],故可以根据公式确定风机量,即

$$Q_f \geq 2VHKL \tag{6}$$

式中 Q_f —单风机风量(m^3/s);
 K —风量损失系数;
 V —机具行进速度(m/s);

H —植物高度(m);
 L —风机出风口与植物间距(m)。

出风口距离树冠距离适中且在室外工作,故 K 值选 1.4;喷雾机一般行驶速度为 0.5~1.5m/s,选取车速为 1m/s,植株高度选取 1.8m;出风口距离植物距离为 0.4m。将各个数据代入式中,得到 $Q=6.3\text{m}^3/\text{s}$ 。考虑到风量的损失,取 $Q=6.5\text{m}^3/\text{s}$ 。

2) 风压的确定。风压损失是指气流从风机到目标靶物过程中损失的压,一般包含动压损失与静压损失。动压损失指驱使气体流动时损失的压,静压损是指空气气流流动时撞击与摩擦时损失的压^[26-27]。由于本次选用轴流风机,气流不经过管道直接流出,因此静压损失中只包含局部压损失。

$$\text{动压损失 } p_d = \frac{1}{2} \rho v^2$$

(7)

$$\text{局部压损失总压 } p_j = \xi \frac{1}{2} \rho v^2$$

(8)

$$\text{总压 } p = p_d + p_j$$

(9)

式中 ρ —空气密度(kg/m^3);
 V —气流速度(m/s);
 ξ —局部阻力系数。

其中,空气密度 $\rho=1.23\text{kg}/\text{m}^3$;气流速度 $V=15\text{m}/\text{s}$;局部阻力系数 $\xi=0.2$ 。通过计算确定动压损失与局部压损失分别为 $P_d=138.37$, $P_j=27.77$,总压 $P=166.64$ 。考虑到本装置的作业模式与结构布局,选用轴流风机作为工作风机。

2.2.3 喷头的选型

喷头选型主要是确定喷头种类与喷头流量,根据作物农艺喷洒需求确定喷施药量,计算整体喷雾量。

$$Q = \frac{H M V}{600}$$

(10)

式中 Q —喷头总流量(L/min);
 H —作业幅宽(m);
 M —每公顷最大施药量(L/hm^2);
 V —机具行进速度(m/s)。

一般果园喷雾施药量为 $250\text{L}/\text{hm}^2$,喷雾机双侧同时喷雾,作业幅宽 6m,机具行走速度为 1m/s,喷雾机总流量 $Q=10\text{L}/\text{min}$;喷杆喷雾每侧放置 8 个喷头,共用 16 个喷头,风送喷雾共用 12 个喷头。因此,喷杆单个喷头流量为 $0.62\text{L}/\text{min}$,风送单个喷头流量为 $0.83\text{L}/\text{min}$ 。

在植保作业中,喷头一般分为扇形雾喷头与锥形雾喷头两种。根据不同的农艺需求,选取适合的喷头种类,本文选用防滴圆锥雾喷头。

2.3 控制系统设计

整机的控制方式分为两种:第 1 种是通过网络远程操控喷雾机工作,可以达到远距离控制的效果;第 2 种是通过遥控器发送无线电信号操控喷雾机工作,可在网络不佳的环境进行工作。控制系统分为 3 个部分:第 1 部分控制底盘的行走,第 2 部分控制汽油机油门大小,第 3 部分控制喷杆油缸的伸缩。控制系统由平板、遥控器、工业路由器、信号接收器及信号处理器等部分组成。使用平板操作时,通过连接车载路由器与平板之间的网络,由平板发送网络信号至车载路由器,信号传输至信号处理器。使用遥控器操作时,通过遥控器发出无线电信号,由信号接收器接收无线电信号转至信号处理器,使其成为电信号;控制指令在电信号之后,分别控制底盘两电机的正反转与转速,完成前进、后退、直行、转弯和原地掉头等动作;通过控制电推杆控制汽油机油门大小来改变风力与流量,通过控制油缸工作实现两喷杆之间距离的调节。

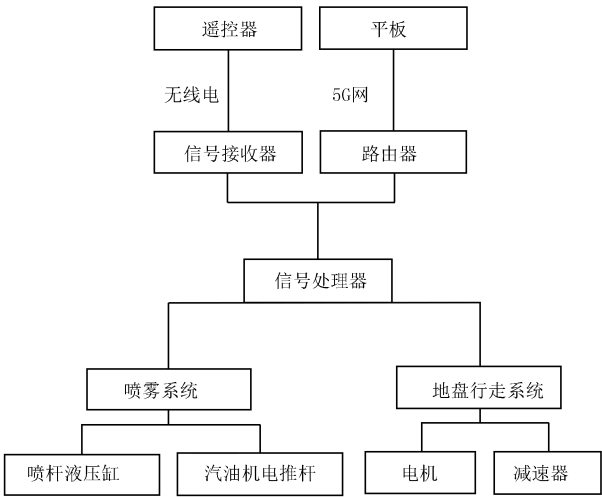


图 13 控制原理图
Fig. 13 Control schematic diagram

3 田间试验

3.1 试验条件

试验于 2021 年 7 月在新疆昆玉市昆仑枣业有限公司的矮化密植枣园进行。参照 JB/T 9782—2014《植物保护机械 通用试验方法》,对喷雾机进行进行喷雾性能试验^[28]。试验果园为沙质土地,种植行距 4m、株距 1.2m、果树冠形为纺锤形,树龄 7 年,平均冠幅 1.6m、平均树高 1.8m,如图 14 所示。

3.2 试验方法

在药液附着率试验中随机选取 3 株果树,测量树冠尺寸。将果树树冠平分为上中下 3 个部分,在每个部分中分别选取中间位置水平面作为雾滴采集卡布

置等高面,在每个等高面上均布 4 个观察点;3 层等高面观察点竖直方向分布相互交叉 30°分布,防止分布点处于同一轴线方向;使用曲别针将标签纸固定在树叶正反两面,每面各 1 张,在标签纸背面使用铅笔标记每张纸卡的编号和位置;选用食品级色素诱惑红作为染色剂,将染色剂调制成浓度 1%的溶液作为采样溶液开展喷雾试验,并分别对喷杆喷雾装置与风送喷雾装置进行试验。选取风机转速 1400r/min、行驶速度 1.11m/s 作为试验参数。为验证喷雾压力对药液附着率的影响,选择喷头压力间隔步长为 0.2MPa,控制喷头压力分别为 0.6、0.8、1MPa,进行喷雾作业^[8]。作业完成后,等待标签纸上雾滴完全干燥,收取标签纸计算喷雾附着率,试验重复 3 次。

在药液穿透性试验中,试验对象的选择以及采样点的分布方式与附着率试验相同。选取滤纸作为雾滴采集卡,将滤纸固定在采样点,选用与附着率试验中相同的试验条件进行试验。

试验采样后,使用纯净水将采样滤纸分别洗脱,待滤纸上诱惑红染色剂完全析出,使用分光光度计测定各采样滤纸的洗脱液吸光度,结合溶液的吸光度-浓度曲线确定洗脱液浓度,通过计算得出得出药液的沉积量^[29]。



图 14 田间试验
Fig. 14 Field experiment

3.3 结果与分析

3.3.1 药液附着率结果与分析

将附着率试验中 3 次测量数据收集统计,计算其附着率平均值,结果如表 3 所示。

使用分级法计算药液附着率,公式为

$$A = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4a} \tag{11}$$

式中 A—药液附着率(%) ;

- a_1 —药液附着面积为观察面积的 0 以上至 1/4 ;
- a_2 —药液附着面积为观察面积的 1/4 以上至 1/2 ;
- a_3 —药液附着面积为观察面积的 1/2 以上至 3/4 ;

- a_4 —药液附着面积为观察面积的 3/4 以上至全部 ;
- a —观察叶片总数。

表 3 雾滴附着率
Table 3 Droplet adhesion rate %

种类	位置	0.6MPa		0.8MPa		1.0MPa	
		正面	反面	正面	反面	正面	反面
立杆	上	82.31	56.25	85.42	56.25	93.75	64.06
	中	91.67	33.33	93.74	46.88	96.88	47.21
	下	73.44	29.17	70.08	39.58	87.50	46.88
风送	上	93.75	62.50	96.88	66.67	93.75	73.44
	中	95.30	59.38	91.67	53.64	87.50	57.81
	下	70.31	35.94	81.25	46.87	82.31	46.88

由试验数据统计分析得出:当喷杆喷雾压力分别为 0.6、0.8、1.0MPa 时,树冠内部标签纸正、反面平均药液附着率为 82.47%、39.58%、83.08%、47.57%、92.71%、55.84%;叶片的正面和背面药液均能够较好吸附,药液覆盖率平均可达到 61.02%、65.33%、72.71%。风送喷雾当压力分别为 0.6、0.8、1.0MPa 时,树冠内层水敏纸正、反面平均有 86.45%、52.61%、89.93%、55.72%、87.85%、59.37% 的药液附着率;叶片的正面和背面药液均能够较好吸附,药液覆盖率平均可达到 69.53%、72.83%、73.62%,满足药物喷洒附着率要求。

3.3.2 药液穿透性结果与分析

通过测定洗脱液吸光度并与吸光度-浓度曲线进行对比,确定药液浓度,从而得到喷雾机药液沉积量,如表 4、表 5 所示。药液沉积量计算公式为

$$c = \frac{c_{(a)} \times V}{S} = \frac{c_{(a)} \times V}{\pi r^2} \tag{12}$$

- 式中 c—单位面积沉积量;
 $c_{(a)}$ —洗出溶液浓度;
V—浸泡液体总量;
S—滤纸面积;
R—滤纸半径。

变异系数计算公式为

$$C.V = (S/X) \times 100\% \tag{13}$$

- 式中 C.V—变异系数(%);
S—样本浓度标准差(μg/mL);
X—样本浓度平均值(μg/mL)。

表 4 风送喷雾沉降量										
Table 4 Air spray settling										μg
采样位置		喷头压力 0.6MPa			喷头压力 0.8MPa			喷头压力 1.0MPa		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下
内冠层	1	4.33	4.79	4.51	4.78	5.13	5.38	5.13	5.26	5.53
	2	3.94	4.63	5.07	4.63	5.22	5.11	5.72	5.38	5.77
	3	4.73	4.82	4.92	5.08	5.43	5.37	5.31	5.66	5.34
外冠层	1	5.51	5.84	5.91	5.95	6.43	6.47	6.47	6.87	6.56
	2	5.59	5.82	5.77	6.45	5.64	6.51	6.23	6.54	6.72
	3	5.32	5.96	5.81	5.88	6.59	6.64	6.62	6.72	6.49
平均值		4.90	5.31	5.33	5.46	5.91	5.93	5.91	6.07	6.07
标准差		0.62	0.56	0.53	0.67	0.66	0.63	0.57	0.66	0.54
变异系数/%		0.13	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11	0.10	0.11	0.09
总沉积量		15.54			17.30			18.05		
平均异系数/%		0.11			0.11			0.10		

表 5 喷杆喷雾沉降量										
Table 5 Spray settling amount of spray rod										μg
采样位置		喷头压力 0.6MPa			喷头压力 0.8MPa			喷头压力 1.0MPa		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下
内冠层	1	3.97	3.81	3.28	4.58	4.08	3.88	4.93	4.66	4.15
	2	4.27	3.23	3.22	4.59	4.24	2.31	4.72	4.38	3.65
	3	3.86	4.22	3.15	4.64	4.39	3.36	4.61	4.22	2.24
外冠层	1	5.96	5.97	5.71	6.87	6.63	6.02	6.96	6.87	6.44
	2	6.29	6.24	5.57	6.85	6.41	4.88	7.27	7.01	6.75
	3	6.43	5.96	5.61	6.92	6.69	6.45	7.34	7.11	6.59
平均值		5.13	4.91	4.42	5.74	5.41	4.48	5.97	5.71	4.97
标准差		1.11	1.19	1.21	1.14	1.18	1.46	1.23	1.30	1.72
变异系数/%		0.22	0.24	0.27	0.20	0.22	0.33	0.21	0.23	0.35
总沉积量		14.46			15.63			16.65		
总变异系数/%		0.23			0.26			0.25		

对比分析内外冠层的雾滴沉积量,由于外冠层叶片的遮蔽导致内冠层叶片的雾滴沉积量小于外冠层,两种喷雾装置中风送式喷雾装置沉降变异系数明显小于喷杆喷雾装置沉降变异系数,故风送式喷雾装置穿透性更好、均匀度更高。在不同压力的情况下,沉降量有明显改变,穿透性和均匀度变化不大,对穿透性和均匀度来说药液压力是非显著性因素。

4 结 论

1) 基于南疆果园特点,设计了一种喷杆喷雾和风送喷雾结合作业的组合式喷雾机。该机具具有尺寸小、结构合理、转向灵活、有较强的行驶能力等特点。整机作业幅宽为 4m,作业适合高度 1.5~3.2m,配套功率 7kW,可满足大多数矮化果园的作业需求。

2) 设计了履带式行走系统,提高了整机在复杂环境下的通过性;设计了仿形喷杆结构,增加了作业果树高度范围,增强了作业效果;整机使用远程控制,避免工作人员与农药直接接触;通过力学仿真确定机架应力集中位置,并针对应力集中点进行结构优化。

4) 田间试验表明:在风机转速 1400r/min、行驶速度 1m/s 的作业状态中,喷杆喷雾装置与风送喷雾装置在喷头压力为 0.6、0.8、1.0MPa 的情况下,喷杆喷雾与风送喷雾叶面附着率分别为 61.02%、65.33%、72.71%、69.53%、72.83%、73.62%;药液沉积量分别为 14.46、15.63、16.65、15.54、17.30、18.05 μg ,药液附着率和沉积量随喷头压力提高而增加。

参考文献:

- [1] 董晶. 果树病虫害防治现状与对策[J]. 农业开发与装备, 2019(3):75.
- [2] 韩景红. 我国植保机械和施药技术的现状问题及对策[J]. 农业与技术, 2018, 38(12):91.
- [3] SE - WOON HONG, LINGYING ZHAO, HEPING ZHU. CFD simulation of airflow inside tree canopies discharged from air-assisted sprayers[J]. Computers and electronics in agriculture, 2018, 149: 121-132.
- [4] 边永亮, 杜亚光, 李建平, 等. 风机及导流装置在果园植保中的应用与前景分析[J]. 现代农业装备, 2020, 41(6): 17-24.
- [5] 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报, 2004(1):13-15.
- [6] 张海锋, 许林云. 果园喷雾机发展现状 & 展望[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(3):112-118.
- [7] 宋坚利, 何雄奎, 张京, 等. “II”型循环喷雾机设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4):31-36.
- [8] 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]. 农业机械学报, 2016, 47(S1):189-195.
- [9] 霍鹏, 李建平, 杨欣, 等. 果园仿形喷杆施药装置设计与动力学仿真[J]. 农机化研究, 2022, 44(1):31-37.
- [10] 董祥, 张铁, 燕明德, 等. 3WPZ-4 型风送式葡萄喷雾机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(S1):205-213.
- [11] 刘冬梅, 杨杭旭, 周宏平, 等. 密植矮化茶园地面低容量仿形喷雾液滴沉积性能研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(10):96-105.
- [12] 宋树杰, 瞿济伟, 李翊宁, 等. 农用车底盘偏置转向轴驱动轮运动与动力特性试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23):28-34.
- [13] 徐高伟, 宋裕民, 邱绪云, 等. 果园电动自走式履带底盘动力系统匹配设计与试验[J]. 农机化研究, 2022, 44(4):251-255.
- [14] 王韦韦, 谢进杰, 陈黎卿, 等. 3YZ-80A 型履带自走式玉米行间喷雾机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(9):106-114.
- [15] 迟媛, 蒋恩臣. 履带车辆转向时最大驱动力矩的计算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3):74-78.
- [16] 李耀明, 李有为, 徐立章, 等. 联合收获机割台机架结构参数优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18):30-37.
- [17] 吴伟斌, 廖劲威, 洪添胜, 等. 山地果园轮式运输机车架结构分析与优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(11):39-47.
- [18] 祝露, 王德成, 尤泳, 等. 履带式林间草带收割机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(4):126-133.
- [19] 邱威, 孙浩, 孙玉慧, 等. 低矮果园环流式循环风送喷雾机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2021, 37(6):18-25.
- [20] 刘洋, 李斌, 董云成, 等. 南疆红枣种植与收获现状调研[J]. 新疆农机化, 2021(3):32-34, 44.
- [21] 丁素明, 薛新宇, 张玲, 等. 自走式果园风送喷雾机的研制[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(4):54-58, 62.
- [22] 张晓辛, 吕晓兰, 丁素明, 等. 果园风送式喷雾机仿形喷雾试验研究[J]. 中国农机化, 2011(3):68-72.
- [23] 戴奋奋. 风送喷雾机风量的选择与计算[J]. 植物保护, 2008(6):124-127.
- [24] 李龙龙, 何雄奎, 宋坚利, 等. 果园仿形变量喷雾与常规风送喷雾性能对比试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(16):56-63.
- [25] DONALD DEKEYSER, ASHENAFI T DUGA, PIETER VERBOVEN, et al. Assessment of orchard sprayers using laboratory experiments and computational fluid dynamics modelling[J]. Biosystems engineering, 2013, 114(2):157-169.
- [26] 李超, 张晓辉, 姜建辉, 等. 葡萄园立管风送式喷雾机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(04):71-78.
- [27] LAV R KHOT, REZA EHSANI, GENE ALBRIGO, et al. Air-assisted sprayer adapted for precision horticulture: Spray patterns and deposition assessments in small-sized citrus canopies[J]. Biosystems engineering, 2012, 113(1):76-85.
- [28] 农业部南京农业机械化研究所. JB/T9782-2014 植保机械通用试验方法[S]. 北京: 中华人民共和国工业和信息化部, 2014.
- [29] PALLEJA T, LANDERS A J. Real time canopy density estimation using ultrasonic envelope signals in the orchard and vineyard[J]. Computers and electronics in agriculture, 2015, 115(3):108-117.

(下转第 150 页)

524091, China; 3. South Subtropical Crop Research Institute, China Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, China; 5. Combination of Guangxi Agricultural Machinery Co. Ltd., Nanning 530104, China)

Abstract: Sugarcane disease-free seed cane planting technology is one of the effective technical measures to improve the unit yield level and quality and reduce the production cost. At present, the domestic sugarcane mechanized planting technology is not mature, which directly limits the popularization and application of this technology. Aiming at this problems, this paper takes the orderly arrangement of sugarcane healthy seedlings and double bud sugarcane seeds as the research object, optimizes the seed metering performance of 2czd-2a semi-automatic double bud sugarcane planter developed by the team, designs a high-frequency electromagnetic vibration auxiliary feeder and profiling seed metering synchronous driver, uses solid edge ST5 three-dimensional software modeling for simulation analysis, establishes a test-bed for multi factor orthogonal combination test. Collect data and use SPSS to process, establish regression equation, use Design Expert to draw response surface, analyze the interaction between factors, use MATLAB to optimize parameters, and finally carry out field test verification. The results show that the synchronous driving mechanism increases the sowing uniformity; When the pulley speed is 10 r/s, the vibration amplitude is 18.5mm and the traveling speed is 0.65m/s, the sowing uniformity reaches 94.18%, and the deviation from the optimization result is less than 5%, which meets the design requirements; There is no interference between high-frequency vibration and power source vibration, which verifies the feasibility of vibrator carding scheme, and provides a reference for the research and development of full-automatic planter.

Key words: disease-free seed canes; double bud planter; seeding performance; optimization

(上接第 93 页)

Abstract ID: 1003-188X(2024)08-0085-EA

Design and Experiment of Self-propelled Orchard Sprayer

Liang Junpeng¹, Wang Xianfei^{1,2}, Li Jingbin^{1,2}, Li Yali¹, Ding Longpeng^{1,2}, Wen Baoqin^{1,2},

Zhang Zhiyuan¹, Ding Huizhe¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. Xinjiang Production and Construction Crops Key Laboratory of Modern Agricultural Machinery, Shihezi 832003, China)

Abstract: A self-propelled orchard spray was designed to solve the problems of high labor intensity, poor penetration of fog droplets and serious pesticide pollution in orchard spray in Xinjiang, combined with the requirements of orchard agricultural machinery, agronomy and pest control. The whole machine is mainly composed of crawler walking system, spray system and remote control system. The main structural parameters of each part are determined by calculation and analysis, and the rationality of the frame structure is analyzed by finite element simulation. In order to verify the operating performance of the spray, field tests were carried out on the whole machine spray bar spray device and air-driven spray device with the nozzle flow as the test factor and the spray adhesion rate and spray penetration as the test indicators. The test results show that under the same working conditions, the average spray adhesion rate of the spray bar spray device is higher than that of the air driven spray device. The average spray adhesion rates of the two spray devices are 71.99% and 66.35% respectively, which can meet the spray adhesion requirements. In the penetration test, the variation coefficient of the inner and outer canopy liquid deposition of the wind fed spray device is on average 14% smaller than that of the spray rod spray device, and the penetration of the wind fed spray device is significantly stronger than that of the spray rod spray device. The two kinds of spray devices of spray have good operating effects in terms of adhesion and penetration. At the same time, suitable spray methods can be selected according to different growth periods of fruit trees and different agronomic needs to achieve better spray effects.

Key words: orchard; sprayer; self propelled; air supply type; spray bar type