

网络出版时间:2013-10-22 20:23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20131022.2023.031.html>

喷雾高度可调的果园风送喷雾机的设计

徐 莎,翟长远,朱瑞祥,郭俊杰,李 为,韩润哲

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】设计喷雾高度可调的牵引式果园风送喷雾机,以满足不同果树对喷雾机喷雾高度可调的要求。【方法】针对轴流风机式果园风送喷雾机难以满足不同果树喷雾高度可变的不足,基于喷雾高度可调的目的,设计了一种由 1 对转向相反的离心风机和角度可调的导流风箱为核心的牵引式果园风送喷雾机,在需求分析和虚拟三维建模的基础上,完成了各关键部件技术参数和整机结构的确定,并通过试验分析了该喷雾机在不同喷雾角度、风机转速、喷雾距离和喷雾压力条件下喷雾沉积量的分布情况。【结果】设计的以转向相反的离心风机和角度可调的导流风箱为核心的牵引式果园风送喷雾机,在离心风机转速为 1 200 r/min、喷雾距离为 2.5 m、喷雾压力为 0.7 MPa、导流风箱的角度为 0°和 15°时,喷雾沉积量适宜的施药高度分别为 0.8~2.4 m 和 1.6~3.2 m。【结论】所设计的果园风送喷雾机可以满足果园对不同高度果树施药的农艺要求。

【关键词】 果园喷雾机;喷雾高度;离心风机;农机设计

【中图分类号】 S491

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)11-0229-06

Design of an orchard air-assisted sprayer with adjustable spray height

XU Sha, ZHAI Chang-yuan, ZHU Rui-xiang, GUO Jun-jie, LI Wei, HAN Run-zhe

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 An orchard air-assisted sprayer with adjustable spray height was designed to meet the requirement of different orchards. 【Method】 The designed orchard air-assisted sprayer composed with a pair of centrifugal fans in the opposite direction of rotation and the angel of guide shell can be changed. Based on requirement analysis and three-dimensional modeling, the whole structure design and technology parameter of each crucial part were identified and the deposit distribution of the sprayer with different angles, different fan speeds, different spray distances and different spray pressures was obtained. 【Result】 The orchard air-assisted sprayer with adjustable spray height was designed. The proper heights of deposit distribution were 0.8—2.4 m and 1.6—3.2 m, respectively, when the guide shell angles were 0° and 15° while the speed of centrifugal fan was 1 200 r/min, the spray distance was 2.5 m, and the spray pressure was 0.7 MPa. 【Conclusion】 The sprayer can meet the requirements of fruit trees with different spraying agronomic heights.

Key words: orchard sprayer; spray height; centrifugal fan; agricultural machinery design

我国果园面积居世界第一。至 2007 年,我国水 果栽培总面积达 10.47 万 hm^2 ,病虫害防治任务十

【收稿日期】 2012-12-17

【基金项目】 “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD20B10-3);国家自然科学基金项目(31201128);国家“863”高新技术研究与
发展计划项目(2012AA101904)

【作者简介】 徐 莎(1988—),男,河南南阳人,在读硕士,主要从事农业机械化工程技术研究。E-mail: happyxs0906@126.com

【通信作者】 朱瑞祥(1956—),男,陕西三原人,教授,硕士生导师,主要从事农业机械化工程技术研究。

E-mail: zrxjdx2006@sohu.com

分艰巨^[1]。据统计,果树在一年的生长期内需喷施农药 8~15 次^[2]。目前,我国果园中使用的施药机械仍以手动药械为主,主要有手动喷雾器、踏板式喷雾器等。在一些经济条件较好的地区,使用部分机动植保机械,主要有担架式喷雾机和背负式喷雾喷粉机^[3]。落后的施药机械,造成了施药人员工作环境恶劣、工作效率低、农药利用率不高和农药残留污染环境等一系列问题。目前,国外普遍采用果园风送式喷雾机,形式和结构较为齐全,但难以满足我国低矮型果园的作业需求。近年来,我国一些高校和科研院所也研制了一批机械化程度较高的果园风送式喷雾机^[4-6],但多采用轴流式风机送风^[7-8],由于轴流风机位置固定,导致其对不同果园、不同高度果树的喷雾适应能力较差。在充分消化吸收国外果园植保机械先进技术的基础上^[9-15],本研究研制了由 1 对旋向相反的离心式风机和 1 对位置可旋转调整的导流风箱为核心的牵引式果园风送喷雾机,以期设计生产适应我国果园喷雾高度可调的农药施药机械提供技术支持。

1 喷雾机总体设计方案

1.1 需求分析及设计思路

据调查,一般果园行距为 4.0~5.0 m,株距 1.0~3.0 m,树高 2.4~3.2 m,冠层厚度 1.5~3.0 m,树干高度 0.4~0.8 m,树冠较矮,平均为 2.0~2.4 m。喷雾机常用喷头在无风送条件下的喷雾距离为 0.5~0.8 m,难以满足果园 4.0~5.0 m 行间距的作业需要,所以在该喷雾机的设计中考虑采用风送喷雾。不同果园的种植方式有所差异,且不同成长年限的果树所需的喷洒农药高度不同,也进一步增大了喷雾机作业的难度。为了提高喷雾机作业的适应范围,在本设计中,采用可旋转调整的导流风箱实现变高度喷雾,其工作原理如图 1 所示。

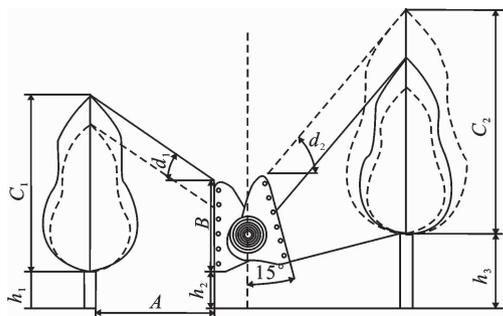


图 1 牵引式果园风送喷雾机的工作原理

Fig. 1 Principle of traction orchard air-assisted sprayer

在图 1 中,喷雾机行驶在两行果树中间,左侧导流风箱与铅垂线成 0°位置,右侧导流风箱与铅垂线成 15°位置,每侧导流风箱上安装有 6 个喷头,左右风箱可进行单独控制,在喷雾作业过程中,左侧导流风箱与铅垂线成 0°,在树干高度 $h_1=0.4$ m、导流风箱距地面高度 $h_2=0.4$ m、达到 2.4 m 喷雾高度时的喷雾角为 45°,故能实现的喷雾高度为:

$$C_1 = B + A \tan d_1.$$

式中: C_1 为喷雾果树的树冠高度, m; B 为导流风箱高度, m; A 为喷雾机出风口到树干的距离, m; d_1 为喷雾机导流风箱与铅垂线成 0°时的喷雾角, (°)。

根据果树行距通常为 4.0~5.0 m,风箱高度 1.2 m,设计喷雾机的 2 个风箱出风口之间的距离为 1.0 m,可得知喷雾机出风口到树干的距离为 1.5~2.0 m,由此求得喷雾机所能实现的喷雾高度为 2.0~2.4 m,可以满足喷雾要求。而对于冠层较低的果树(如图 1 左侧虚线所示),可通过关闭上端喷头来实现变高度施药。但导流风箱与铅垂线成 0°时难以满足树干高度为 0.4 m 及以上果树的施药,故需对导流风箱的角度进行调整(如图 1 右侧所示),当导流风箱的角度旋转调整至与铅垂线成 15°夹角时,其所能实现的喷雾高度 C_2 为:

$$C_2 = (B - A \sin 15^\circ) \cos 15^\circ + (A + B \sin 15^\circ) \tan(d_2 + 15^\circ).$$

代入数据计算得 C_2 为 2.6~3.0 m,可以满足喷雾要求,此时树干高度为:

$$h_3 = h_2 + A \tan 15^\circ.$$

代入数据求得树干高度 h_3 为 0.8~1.0 m,故该喷雾机在导流风箱旋转后可实现变高度喷雾,能满足果园变高度施药的农艺要求。

1.2 喷雾机总体设计方案

果园风送喷雾机采用牵引式作业,其配套的动力为上海纽荷兰 SNH350 型拖拉机,主要由动力机械、喷雾机底盘、传动系统、风送喷雾系统等组成,其构造如图 2 所示。该机采用整体式机架,机架上安装有药箱、前传动箱、活塞泵、后传动箱和离心风机。

在后传动箱体两侧安装有 1 对旋向相反的离心式风机和 1 对位置可旋转调整的导流风箱,通过万向联轴器将风送喷雾机与拖拉机连接。利用拖拉机的后动力输出轴将动力传递至前传动箱,在前传动箱处动力分为 2 路传递:1 路驱动传动主轴转动至后传动箱,通过 1 对齿轮实现反向等速转动,带动离心风扇工作;另 1 路通过带传动驱动活塞泵工作(图

2)。药液从药箱经主管道和流量调节阀后一部分回流到药箱,另一部分经喷雾管道和喷头喷出。其主要技术参数如下:整个喷雾机的长、宽、高尺寸分别为 1 500,900 和 1 700 mm,所选用的配套动力为 23.5 kW,药箱的体积为 200 L,三缸活塞泵的流量为 25 L/min,选用的离心风机的直径为 350 mm,离心风机的最高转速为 1 636 r/min,喷雾机的作业幅宽为 4~5 m。

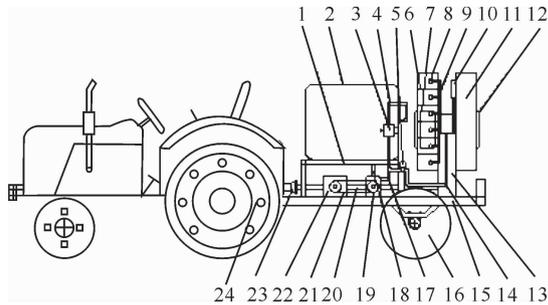


图 2 牵引式果园风送喷雾机的总体设计方案

1. 药箱固定架;2. 药箱;3. 流量调节阀;4. 回流管道;
 5. 压力表;6. 导流板;7. 左离心风扇;8. 喷头;9. 喷雾支路;
 10. 喷雾支路固定板;11. 右导流风箱;12. 风扇保护罩;
 13. 后传动箱;14. 喷雾管道;15. 底盘;16. 行走轮;17. 主管道;
 18. 进液管道;19. 三缸活塞泵;20. 传动主轴;
 21. 传动带;22. 前传动箱;23. 万向联轴器;24. 拖拉机
- Fig. 2 Structure of traction orchard air-assisted sprayer
1. Spray tank holder;2. Spray tank;3. Flow regulating valve;
 4. Reflux pipe;5. Pressure gauge;6. Guide plate;
 7. Left centrifugal fan;8. Spraying nozzle;9. Spray slip;
 10. Spray slip fixed board;11. Right centrifugal fan;12. Fan guard;
 13. Rear gearbox;14. Spray pipe;15. Chassis;
 16. Walking wheel;17. Main pipe;18. Inlet pipe;
 19. Piston pump;20. Drive spindle;21. Transmission belt;
 22. Front gearbox;23. Universal coupling;24. Tractor

2 喷雾机整机结构

2.1 传动系统设计

牵引式果园风送喷雾机的传动路线如图 3 所示。主要由前传动箱、传动轴、后传动箱和皮带等几部分组成。

喷雾机前传动箱由 1 对锥齿轮组成,该机组动力输出轴的标定转速为 720 r/min,为满足喷雾流量要求,该喷雾机所选用活塞泵的额定转速为 1 440 r/min,三缸活塞泵的传动比 i_{ab} 为:

$$i_{ab} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{720}{1\,440} = 0.5.$$

式中: n_1 为机组动力输出轴标定转速, r/min; n_2 为活塞泵额定转速, r/min。

为了提高三缸活塞泵的工作稳定性,设计传动

带的传动比 $i_b = 1$, 则侧传动的传动比 i_a 为:

$$i_a = \frac{i_{ab}}{i_b} = \frac{0.5}{1} = 0.5.$$

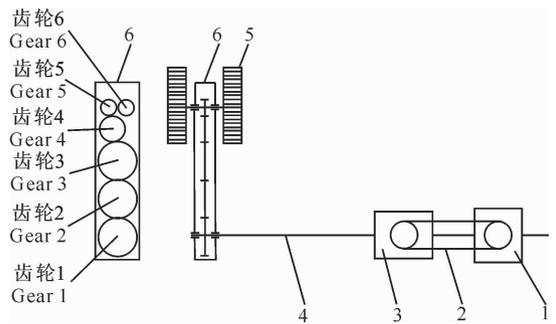


图 3 牵引式果园风送喷雾机的传动系统

1. 前传动箱;2. 传动带;3. 三缸活塞泵;
4. 传动主轴;5. 左离心风机;6. 后传动箱

Fig. 3 Transmission system of traction orchard air-assisted sprayer

1. Front gearbox;2. Transmission belt;3. Piston pump;
4. Drive spindle;5. Left centrifugal fan;6. Rear gearbox

后传动箱的作用是使 1 对离心风机实现反向旋转,同时也要实现 2 个导流风箱可以绕风机轴旋转调整,故后齿轮箱采用齿轮传动,保证在高速旋转时离心风机能稳定转动。

为了使所选择的导流风箱与传动主轴不发生干涉,确定风机轴与传动主轴的中心距不小于 500 mm。经计算,后传动箱整体由 6 个齿轮组成,其模数 $M = 3$ mm,用 $Z_1 \sim Z_6$ 表示齿轮 1~ 齿轮 6 对应的各个齿轮的齿数,则 $Z_1 = Z_2 = Z_3 = 59, Z_4 = 41, Z_5 = Z_6 = 26$,由此可知实际中心距为:

$$a = \frac{M}{2} \times (Z_1 + 2Z_2 + 2Z_3 + 2Z_4 + Z_5) = 604.5.$$

式中: a 为风机轴与传动主轴之间的中心距, mm。

在齿轮 Z_5 和齿轮 Z_6 处,分别从后传动箱的两侧各连接 1 根风机轴,安装离心风机,实现了箱体两侧左右离心风机的反向等速旋转。故风机轴与拖拉机动力输出轴之间的传动比 $i_{15}、i_{16}$ 为:

$$i_{15} = i_{16} = \frac{Z_5}{Z_4} \times \frac{Z_4}{Z_3} \times \frac{Z_3}{Z_2} \times \frac{Z_2}{Z_1} = 0.44.$$

则三缸活塞泵的工作转速为 1 440 r/min,风机轴的最高工作转速为 1 636 r/min。

2.2 风送喷雾系统的设计与选择

2.2.1 风送系统的选择 果园风送喷雾机风送系统采用 2 个离心风机和 2 个导流风箱,风箱高度为 1.2 m,出风口宽度为 0.16 m,每 1 个导流风箱上安装有 5 个导流板,且导流板的位置可旋转调整。导流风箱可绕风机传动轴旋转,旋转角度为 $0^\circ \sim 15^\circ$,

在作业的过程中,可根据果树高度调整。每个风箱安装 6 个圆锥喷雾头^[15-16],第 1 个喷头位于距导流风箱底部 150 mm 处,其余喷头的间距为 200 mm,具体结构如图 4 所示。

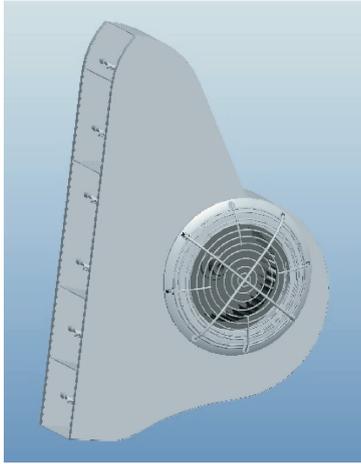


图 4 牵引式果园风送喷雾机风送系统的结构
Fig. 4 Air delivery system of traction orchard air-assisted sprayer

2.2.2 药液输送系统的设计 拖拉机通过前传动箱侧动力输出驱动三缸活塞泵工作,药液通过活塞泵增压后进入主管道,主管道通过 1 个三通接头与喷雾管道和回流管道相接,在回流管道上安装有 1 个两通流量调节阀,可以调节回流量大小,从药箱的后端中部回流入药箱。喷雾管道上安装有压力表,药液经喷雾管道进入各个喷雾支路由喷头喷出,具体工作路径如图 5 所示。

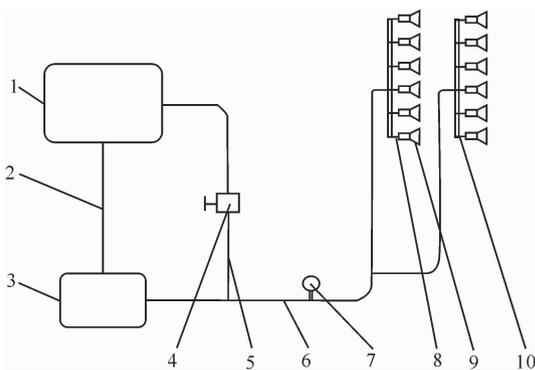


图 5 牵引式果园风送喷雾机的药液输送系统
1. 药箱; 2. 主管道; 3. 三缸活塞泵; 4. 流量调节阀;
5. 回流管道; 6. 喷雾管道; 7. 压力表; 8. 喷雾支路;
9. 喷头; 10. 喷雾支路固定板

Fig. 5 Pesticide delivery system of traction orchard air-assisted sprayer

1. Spray tank; 2. Main pipe; 3. Piston pump; 4. Flow regulating valve; 5. Reflux pipe; 6. Spray pipe; 7. Pressure gauge; 8. Spray slip; 9. Spraying nozzle; 10. Spray slip fixed board

3 喷雾机性能试验

3.1 试验装置

为了检验该喷雾机能否满足不同高度果树的施药需求,本研究进行了静态模拟田间试验。试验由拖拉机静态驱动喷雾机工作,调节风机转速和管道压力,以实现不同条件下的喷雾试验。如图 6 所示,在喷雾机两侧正对导流风箱上安装喷头的位置各放置 1 个雾滴收集装置,雾滴收集装置的高度为 3 500 mm,雾滴收集网的长、宽分别为 1 200 和 350 mm,其下安装的雾滴收集槽长、宽、高分别为 1 300, 400 和 20 mm,雾滴收集槽与雾滴收集网之间的间隙为 10 mm。收集网 1 到收集网 7,每一格对应的高度分别为 0.4~0.8 m, 0.8~1.2 m, 1.2~1.6 m, 1.6~2.0 m, 2.0~2.4 m, 2.4~2.8 m 和 2.8~3.2 m。在每一格雾滴收集槽左端中间位置焊接 1 个直径 8 mm 的导流管,用塑料软管将收集的液体导入 1 000 mL 的量杯中,以便读取喷雾量^[17-18]。

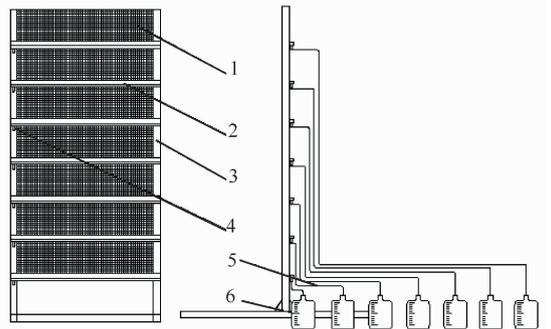


图 6 牵引式果园风送喷雾机的雾滴收集装置
1. 雾滴收集网; 2. 雾滴收集槽; 3. 安装支架;
4. 导流管; 5. 塑料软管; 6. 量杯

Fig. 6 Droplet collection device of traction orchard air-assisted sprayer

1. Collection net; 2. Collection tank; 3. Mounting bracket; 4. Diversion pipe; 5. Plastic hose; 6. Measuring glass

3.2 试验条件与方法

在试验过程中,用气象站实时监测外界环境条件。监测结果显示,试验过程中风速为 0.2~0.8 m/s,温度为 34~35 ℃。试验时,启动拖拉机,调整拖拉机油门位置,使脉冲计数器显示值为试验设定值。打开喷雾开关,调整压力表值以达到试验要求,测量一定时间内每一格雾滴收集网的集液量。试验结束后,读取并记录各个量杯的收集量。用上述试验方法,分别在两侧导流风箱与铅垂线成 0°和 15°,离心风机转速 1 200 r/min,喷雾压力分别为 0.3, 0.7, 1.1 和 1.5 MPa,单侧喷雾距离分别为 2.0 和

2.5 m 的条件下,进行重复试验。

3.3 试验结果与分析

牵引式果园风送喷雾机喷雾性能验证试验结果如表 1 所示。由表 1 可见,在导流风箱与铅垂线成 0° 夹角,树冠高度在 0.8~2.4 m 时的收集量占总喷雾量的 80% 以上,喷雾机在该作业条件下可以满足树冠高度为 0.8~2.4 m 果树的施药农艺需求。单

侧喷雾距离 2.5 m、喷雾压力 0.7 MPa 时,在导流风箱与铅垂线成 0° 的条件下,0.8~2.4 m 高度的喷雾收集网收集量占总喷雾量的 81.1%,而在导流风箱与铅垂线成 15° 的条件下,1.6~3.2 m 高度的喷雾收集网收集量占总喷雾量的 80.0%,故通过调整导流风箱的位置,可以实现不同喷雾高度的施药需要。

表 1 不同试验条件下牵引式果园风送喷雾机喷雾性能的田间静态模拟试验结果

Table 1 Trailed field static simulation results under different experiment conditions

风箱与铅垂线夹角/ $(^\circ)$ Angle between shell and plumb line	喷雾距离/m Spray distance	喷雾压力/MPa Spray pressure	收集量占总喷雾量的百分比/% Ratio of collected volume to total spray volume							
			收集网 1 Collection net 1	收集网 2 Collection net 2	收集网 3 Collection net 3	收集网 4 Collection net 4	收集网 5 Collection net 5	收集网 6 Collection net 6	收集网 7 Collection net 7	
0	2.0	0.3	16.75	14.42	20.92	32.77	14.65	0.49	0.00	
		0.7	15.73	16.92	23.38	29.54	13.58	0.85	0.00	
		1.1	15.93	17.42	23.20	29.15	13.14	1.16	0.00	
		1.5	16.41	17.25	23.06	29.30	12.61	1.37	0.00	
	2.5	0.3	13.31	14.41	22.60	25.95	20.08	3.65	0.00	
		0.7	14.74	15.91	24.46	23.57	17.16	4.16	0.00	
		1.1	16.41	16.75	23.49	23.51	16.48	3.36	0.00	
		1.5	15.22	17.34	23.55	23.83	16.44	3.62	0.00	
	15	2.5	0.7	1.51	6.54	11.92	13.62	24.37	23.05	18.99

4 结 论

1) 本研究设计的果园风送式喷雾机采用牵引式结构,由拖拉机后置动力提供喷雾机所需动力,结构合理,运行平稳可靠。在该机械的传动系统设计中,后传动箱采用一体式结构实现 2 个离心风机反向等速旋转,减小了机具的尺寸,改善了通过性,可以满足低矮型果园施药的作业要求;风送系统中采用可旋转调整的导流风箱和导流板,提高了机具的作业适应性,进而可满足不同高度果树的喷雾需要。

2) 田间静态模拟喷雾试验证明,所设计的风送式喷雾机具有良好的作业效果,在导流风箱与铅垂线夹角分别为 0° 和 15° 的条件下,喷雾沉积量适宜的施药高度分别为 0.8~2.4 m 和 1.6~3.2 m,说明通过调整导流风箱的位置可以实现不同喷雾高度的施药要求。

[参考文献]

[1] 湖州市统计局. 湖州统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
Huzhou Municipal Bureau of Statistics. Huzhou statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2007. (in Chinese)

[2] 何雄奎, 严苛荣, 储金宇, 等. 果园自动对靶静电喷雾机设计与试验研究 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 78-80.
He X K, Yan K R, Chu J Y, et al. Design and testing of the au-

tomatic target detecting, electrostatic, air assisted, orchard sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(6): 78-80. (in Chinese)

[3] 何雄奎. 改变我国植保机械施药技术严重落后的现象 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 13-15.
He X K. Improving severe dragging actuality of plant protection machinery and its application techniques [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 13-15. (in Chinese)

[4] 邱 威, 丁为民, 汪小昂, 等. 3WZ-700 型自走式果园风送定向喷雾机 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 26-30, 44.
Qiu W, Ding W M, Wang X C, et al. 3WZ-700 self-propelled air-blowing orchard sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 26-30, 44. (in Chinese)

[5] 刘洪杰, 冯晓静, 刘俊峰, 等. 果园风送式喷雾机设计 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(33): 20911-20913.
Liu H J, Feng X J, Liu J F, et al. Design and experiment of orchard air-blast sprayer [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2011, 39(33): 20911-20913. (in Chinese)

[6] 郭 峰, 陈建东, 郭 辉, 等. 3WF-8 型风送式果园喷雾机性能优化与改进 [J]. 农机化研究, 2010(11): 48-52, 56.
Guo F, Chen J D, Guo H, et al. Performance optimization and advance of 3WF-8 air-assisted orchard sprayer [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(11): 48-52, 56. (in Chinese)

[7] 翟长远, 朱瑞祥, 张佐经, 等. 精准施药技术现状分析 [J]. 农机化研究, 2010, 32(5): 9-12.
Zhai C Y, Zhu R X, Zhang Z J, et al. Status analysis of preci-

- sion pesticide application techniques [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(5): 9-12. (in Chinese)
- [8] 任丽春. 风送式喷雾风机液压无极调速控制系统设计与研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- Ren L C. Research on air-blast sprayer fan, hydraulic stepless speed regulation control system [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [9] 刘秀娟, 周宏平, 郑加强. 农药雾滴飘移控制技术研究进展 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 186-190.
- Liu X J, Zhou H P, Zheng J Q. Research advances of the technologies for spray drift control of pesticide application [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(1): 186-190. (in Chinese)
- [10] 邱宣怀, 郭可谦, 吴宗泽, 等. 机械设计 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- Qiu X H, Guo K Q, Wu Z Z, et al. Mechanical design [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 1997. (in Chinese)
- [11] 孙 恒, 陈作模. 机械原理 [M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- Sun H, Chen Z M. Mechanical principles [M]. 6th ed. Beijing: Higher Education Press, 2000. (in Chinese)
- [12] 胡开群, 周 舟, 祁力钧, 等. 直注式变量喷雾机设计与喷雾性能试验 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 70-74.
- Hu K Q, Zhou Z, Qi L J, et al. Spraying performance of the direct injection variable-rate sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6): 70-74. (in Chinese)
- [13] Hislop E C. Review of air assisted spraying [C]//Lavers A, Herrington P, Southcombe E S. Air assisted spraying in crop protection. Lavenham, Suffolk, U. K: Lavenham Press, 1991: 3-14.
- [14] 傅泽田, 祁力钧, 王俊红. 精准施药技术研究进展与对策 [J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 189-192.
- Fu Z T, Qi L J, Wang J H. Developmental tendency and strategies of precision pesticide application techniques [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1): 189-192. (in Chinese)
- [15] 翟长远, 朱瑞祥, 随顺涛, 等. 车载式变量施药机控制系统设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 105-109.
- Zhai C Y, Zhu R X, Sui S T, et al. Design and experiment of control system of variable pesticide application machine hauled by tractor [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(8): 105-109. (in Chinese)
- [16] 吕晓兰, 傅锡敏, 吴 萍, 等. 喷雾技术参数对雾滴沉积分布影响试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 70-75.
- Lü X L, Fu X M, Wu P, et al. Influence of spray operating parameters on droplet deposition [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 70-75. (in Chinese)
- [17] 宋坚利, 刘亚佳, 张 京, 等. 扇形雾喷头雾滴飘失机理 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 63-69.
- Song J L, Liu Y J, Zhang J, et al. Drift mechanism of flat fan nozzle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 63-69. (in Chinese)
- [18] 赵 辉, 宋坚利, 曾爱军, 等. 喷雾液动态表面张力与雾滴粒径关系 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 74-79.
- Zhao H, Song J L, Zeng A J, et al. Correlations between dynamic surface tension and droplet diameter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 74-79. (in Chinese)