

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.011

喷杆式喷雾机喷杆高度及平衡在线调控系统*

魏新华¹ 邵菁¹ 缪丹丹¹ 李林¹ 解晓薇²

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013; 2. 南通黄海药械有限公司, 南通 226600)

摘要: 为保证喷杆式喷雾机工作过程中, 喷杆与冠层之间始终保持近似平行并相距适当距离, 以保证施药效果, 并避免喷杆倾斜刮伤作物, 设计了一套喷杆式喷雾机喷杆高度及平衡在线调控系统。该系统采用超声波测距传感器实时检测喷杆两端的实际对地距离, 并根据其与喷杆设定作业高度的差别, 控制油缸动作, 对喷杆高度及喷杆平衡进行实时调整。给出了喷杆式喷雾机样机的总体结构, 介绍了喷杆高度液压调节系统的组成和工作原理, 详细阐述了喷杆高度及平衡在线调控系统的软、硬件设计方法, 设计了一种对地距离检测信号枝叶遮挡干扰的滤波算法, 并对喷杆高度及平衡在线调控系统的调节性能进行了场地和田间试验。场地试验表明, 该调控系统可以有效改善阶跃激励路面引起的喷杆高度变化, 并将喷杆高度变化值控制在 ± 3 cm 范围内。田间试验表明, 喷杆高度信号滤波程序可以有效滤除分行器下方偶有棉花枝叶的干扰, 实现喷杆高度及平衡的在线调控。

关键词: 喷杆式喷雾机 喷杆高度 喷杆平衡 在线调控 数字滤波

中图分类号: S493⁺.1; TP272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)08-0066-06

Online Control System of Spray Boom Height and Balance

Wei Xinhua¹ Shao Jing¹ Miao Dandan¹ Li Lin¹ Xie Xiaowei²

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Nantong Huanghai Chemical Machinery Co., Ltd., Nantong 226600, China)

Abstract: In order to ensure the application effect and avoid spray boom scratching crops in the work process, spray boom and plant canopy need to be maintained approximately parallel and proper distance. An online control system of spray boom height and balance was designed. The online control system used ultrasonic sensors to detect the height from ground to spray boom. The controller calculates the direction and speed of hydraulic cylinders by comparing the set spray boom height with the actual spray boom height which was detected by ultrasonic sensors. Then the controller sends out control signals of hydraulic cylinders to adjust spray boom height and balance. The structure of boom sprayer and the composition and working principle of spray boom height and balance hydraulic system were described. The software and hardware design of spray boom height and balance online control system were elaborated, and a spray boom height signal filtering algorithm of branches and leaves interference was designed and the online control method of spray boom height and balance was elaborated. The online control system of spray boom height and balance was tested by ground test and field test. Ground test showed that the system could effectively improve the spray boom height change caused by step excitation pavement. The spray boom height change could be controlled within ± 3 cm. Field test showed that the spray boom height signal filtering procedure could effectively filter occasional interference of a small amount of cotton branches and leaves and realize online control of spray boom height and balance.

Key words: Boom sprayer Spray boom height Spray boom balance Online control Digital filtering

收稿日期: 2015-04-08 修回日期: 2015-06-17

* 江苏省农业科技支撑计划资助项目 (BE2013401)、公益性行业 (农业) 科研专项资助项目 (201503130)、国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2013AA10230704) 和江苏高校优势学科建设工程资助项目 (苏政办 (2014) 37 号)

作者简介: 魏新华, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业装备智能控制和精确变量高效施药技术研究, E-mail: wei_xh@126.com

引言

喷杆式喷雾机喷雾压力高、雾化效果好、喷幅宽、作业效率高,是一种高效的大田植保机械,随着我国农业种植规模的快速扩大,其应用越来越广。但由于喷杆式喷雾机的喷杆较长,常用的都在12 m以上,甚至可达42 m^[1],在田间作业时,地面起伏和颠簸会引起喷杆的倾斜和振动^[2-8],不仅影响雾量分布均匀性^[9-15],达不到预期的施药效果,而且会出现喷杆刮碰作物现象,甚至发生喷杆末端触地现象^[2],对作物和喷雾机造成严重损害。此外,为保证施药效果,喷杆与作物冠层之间有一个最佳施药距离,喷杆的高度必须根据作物的冠层高度进行动态调整,以提高施药均匀性并减少雾滴漂移^[16]。为此,陈文坊等^[17]设计了一套基于超声波传感器的喷杆位姿控制系统,在喷杆式喷雾机作业过程中,可以实时检测喷杆的位姿,并自动调节喷杆平衡,但无法实时调节喷杆的作业高度。王松林等^[18]设计了一种喷杆高度调节系统,能够在作业过程中,根据地形对喷杆高度进行实时调整,但设置喷杆作业高度时,需要调节接触传感器,使用不便。

本文在现有成果的基础上,改进并设计一种喷杆高度及平衡在线调控系统,同时实现喷杆高度和喷杆平衡的实时调控,并设计一种对地距离检测信号枝叶遮挡干扰的滤波算法,以克服枝叶遮挡对喷杆高度检测的影响,防止误调节。

1 喷杆式喷雾机样机

1.1 总体结构

喷杆式喷雾机样机主要由药箱、施药系统、固定支架、喷杆、喷杆高度液压调节系统和分行器等组成,可以实现分行冠层内施药,其总体结构如图1和图2所示。

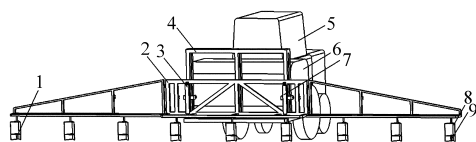


图1 喷杆式喷雾机示意图

Fig. 1 Schematic diagram of boom sprayer

- 1, 9. 超声波测距传感器 2. 喷杆 3, 7. 高度调节油缸 4. 固定支架 5. 拖拉机 6. 药箱 8. 分行器

喷雾机的固定支架通过三点悬挂装置挂载在拖拉机上,拖拉机为喷雾机的施药系统提供动力,喷雾机的喷杆高度液压调节系统则由拖拉机液压系统提供油源。喷杆通过分别安装在固定支架左、右两侧的2个高度调节油缸连接到固定支架上,并可沿着

固定支架上的导轨上、下移动。2个超声波测距传感器分别安装在喷杆左、右两端最外端分行器的内侧,分行器分开作物冠层的中、下部枝叶,以便传感器能够测量到喷杆的对地距离。通过比例换向阀控制2个高度调节油缸动作方向和速度,带动喷杆沿着固定支架上的导轨上、下移动,实现喷杆的高度和平衡调节。当2个油缸以相同的速度和方向调节时,可实现喷杆高度的调节;当2个油缸以不同的速度或方向调节时,可实现喷杆平衡的调节。



图2 喷杆式喷雾机样机

Fig. 2 Prototype of boom sprayer

- 1, 6. 分行器(内有超声波测距传感器) 2. 电瓶 3. 控制柜 4. 比例换向阀 5. 高度调节油缸

1.2 喷杆高度液压调节系统

喷杆高度液压调节系统由拖拉机液压系统供油,组成原理如图3所示。施药过程中,拖拉机液压系统一直工作,通过电磁溢流阀控制液压系统的工作状态。当电磁溢流阀断电关闭时,液压系统处于工作状态,电磁溢流阀起限压作用,原拖拉机液压系统和喷杆高度液压调节系统都可正常工作;当电磁溢流阀通电打开时,液压系统处于卸荷状态,系统失压,以减少拖拉机液压泵的磨损。

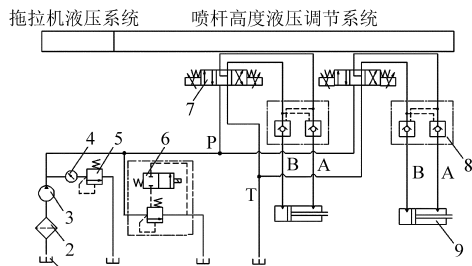


图3 喷杆高度液压调节系统原理图

Fig. 3 Principle diagram of hydraulic system

1. 油箱 2. 过滤器 3. 油泵 4. 压力表 5. 溢流阀 6. 电磁溢流阀 7. 比例换向阀 8. 液控单向阀 9. 高度调节油缸

该系统采用HSG双作用单杆活塞式工程液压缸,缸径80 mm,杆径40 mm,速比1.33,最大行程640 mm,公称压力16 MPa。2个液控单向阀起油路锁止作用,当液压系统卸荷时,2个油缸保持锁止状态,以维持喷杆稳定。采用上海科先BCDD系列内置驱动式三位四通比例换向阀,该比例换向阀可通

过 $-10 \sim 10$ V 电压信号控制阀的方向及开度,该阀的流量特性为线性,响应时间小于 30 ms。采用 2 个内置驱动式三位四通比例换向阀分别控制左、右侧高度调节油缸的流量和升降,以对喷杆进行高度及平衡调节。

2 喷杆高度及平衡在线调控系统设计

2.1 硬件设计

为提高系统可靠性,喷杆高度及平衡在线调控系统基于 PLC 开发而成,其硬件结构如图 4 所示。测距传感器采用 UC2000 型超声波测距传感器(德国倍加福公司),该传感器自带温度补偿功能,检测范围为 $80 \sim 2\,000$ mm,盲区 $0 \sim 80$ mm,响应延时 65 ms;控制器采用 S7-200 CPU 224CN PLC(德国西门子公司);模拟量输入模块采用 S7-200 EM231(德国西门子公司),可提供 4 路模拟量隔离输入,采样频率可设为 100 Hz;模拟量输出模块采用德国西门子公司生产的 S7-200 EM232,可提供 2 路模拟量隔离输出。测距传感器输出信号经 EM231 转换后传送至 CPU 224CN,经程序处理后,发出控制信号,控制信号经 EM232 传送至内置驱动比例换向阀组,由比例换向阀组控制油缸的流量和升降,从而实现喷杆高度及平衡的调节。通过德国西门子公司生产的显示触摸屏 SMART 700IE,可以输入工作参数并显示系统工作状态。整个系统的供电电压为 24VDC,可由车载 12VDC 电源升压提供。

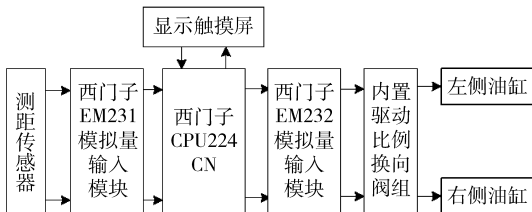


图4 喷杆高度及平衡在线调控系统硬件结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of height and balance control system

2.2 软件设计

2.2.1 喷杆高度及平衡在线调控主程序

喷杆高度及平衡在线调控系统软件要实现喷杆高度信号的采集和转换,喷杆高度调节油缸比例换向阀控制指令的生成及输出,以及工作参数输入和系统工作状态显示等功能。控制器主程序流程如图 5 所示。

系统启动后,开始自检并初始化。通过显示触摸屏输入工作参数后,系统读取并判断工作参数是否正常,不正常则重新输入,正常则启动喷杆高度信号采集定时中断程序进行喷杆高度的定时循环采集和更新。之后系统读取最新的喷杆两端对地高度并

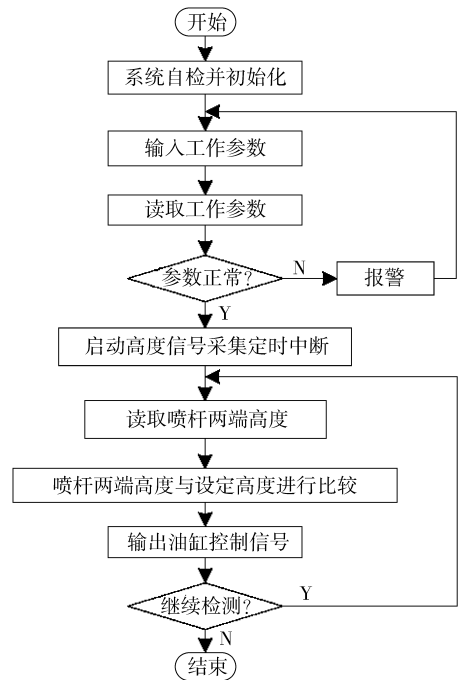


图5 主程序流程图

Fig.5 Flowchart of main program

与喷杆的设定高度进行比较,生成喷杆高度调节油缸比例换向阀控制指令并输出。

2.2.2 对地距离检测信号中枝叶遮挡干扰的滤除

喷杆式喷雾机样机田间作业时,分行器将作物中、下部冠层的枝叶分开,为超声波测距传感器检测对地距离提供一个缝隙。但由于分行器底面与地面之间仍有一定距离(30 cm 左右),对于棉花等作物,偶尔仍会有零星枝叶从分行器下面扫过,对超声波传感器造成干扰,误将传感器与枝叶之间的距离作为喷杆对地距离,而引起喷杆高度调节系统的误动作。考虑到机组前进作业过程中,零星的枝叶干扰在超声波传感器输出信号中会表现为尖脉冲或窄脉冲的特性,在喷杆高度信号采集中断程序中,设置了枝叶遮挡干扰滤波程序,其流程如图 6 所示。

由于作物枝叶比地面距离测距传感器更近,所以当分行器下方有作物枝叶遮挡干扰时,当前高度 C 相对于有效高度 A 会发生较大变化,差值 D 会是一个较大的负值。根据田间实际情况,设 -10 cm 为有、无枝叶遮挡干扰的判断阈值。当差值 $D \leq -10$ cm 时,说明 C 与 A 差距较大,此时有枝叶遮挡干扰,此次测量值无效;当 $D > -10$ cm 时,没有枝叶遮挡干扰,此次测量值有效;只有连续 10 次的测量值都有效时,才确认一个喷杆有效高度,将连续 10 次无枝叶遮挡干扰的测量值均值作为本轮喷杆有效高度输出。

2.2.3 喷杆高度及平衡在线调控方法

首先算出左、右侧油缸的调节方向及调节量,

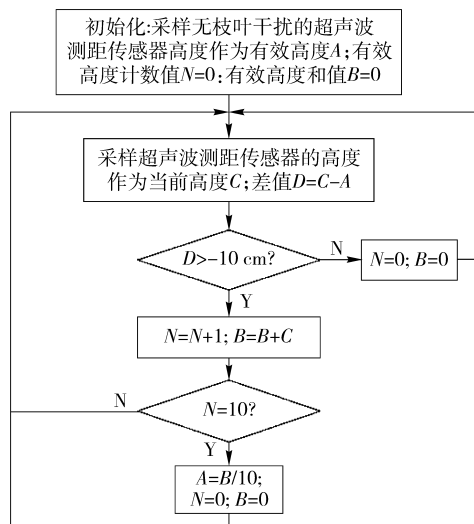


图 6 枝叶遮挡干扰滤波程序流程图

Fig. 6 Flowchart of filtering program

然后算出油缸在各自调节方向上将喷杆调节至设定高度所需的最少时间,再选取油缸调节的基准时间,并算出油缸各自在基准时间上的调节速度,最后发出油缸各自的方向及速度控制信号。

其中,油缸所需的调节方向及调节量可以通过油缸调整所引起的喷杆高度变化反向推导得出。首先,假设左、右油缸分别调整,观察喷杆高度发生的变化。当左侧油缸单独调整时,喷杆左、右两端的高度变化如图 7a 所示。

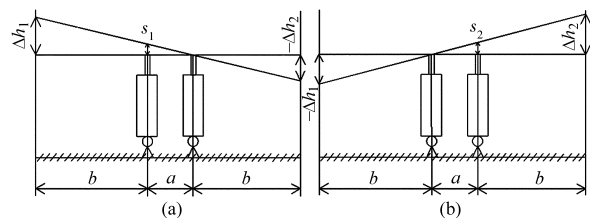


图 7 调整油缸喷杆高度的变化

Fig. 7 Change of spray boom height

- (a) 调整左侧油缸喷杆高度的变化
- (b) 调整右侧油缸喷杆高度的变化

设左侧油缸调整量为 s_1 , 此时喷杆左端高度变化值为 Δh_1 , 则由 $\frac{s_1}{\Delta h_1} = \frac{a}{a+b}$ 得出 $\Delta h_1 = \frac{a+b}{a} s_1$ 。

喷杆右端高度变化值为 $-\Delta h_2$ (与 s_1 方向相反), 则由 $\frac{s_1}{-\Delta h_2} = \frac{a}{b}$ 得出 $\Delta h_2 = -\frac{b}{a} s_1$ 。

当右侧油缸单独调整时, 喷杆左、右两端的高度变化如图 7b 所示。

设右侧油缸调整量为 s_2 , 此时喷杆左端高度变化值为 $-\Delta h_1$ (与 s_2 方向相反), 则由 $\frac{s_2}{-\Delta h_1} = \frac{a}{b}$ 得出 $\Delta h_1 = -\frac{b}{a} s_2$ 。

此时喷杆右端高度变化值为 Δh_2 , 则由 $\frac{s_2}{\Delta h_2} = \frac{a}{a+b}$ 得出 $\Delta h_2 = \frac{a+b}{a} s_2$ 。

由此, 当两侧油缸同时调整时, 左侧油缸调整量 s_1 和右侧油缸调整量 s_2 引起的喷杆左端高度变化值 Δh_1 和右端高度变化值 Δh_2 为

$$\begin{cases} \Delta h_1 \approx \frac{a+b}{a} s_1 - \frac{b}{a} s_2 \\ \Delta h_2 \approx \frac{a+b}{a} s_2 - \frac{b}{a} s_1 \end{cases}$$

喷杆左端高度变化值 Δh_1 和右端高度变化值 Δh_2 计算公式为

$$\begin{cases} \Delta h_1 = h_1 - h \\ \Delta h_2 = h_2 - h \end{cases}$$

式中 h_1 —— 左侧喷杆实际对地高度
 h_2 —— 右侧喷杆实际对地高度
 h —— 喷杆设定作业高度

此时对应的油缸调整量 s_1 和 s_2 计算公式为

$$\begin{cases} s_1 = \frac{a+b}{a+2b} \Delta h_1 + \frac{b}{a+2b} \Delta h_2 \\ s_2 = \frac{b}{a+2b} \Delta h_1 + \frac{a+b}{a+2b} \Delta h_2 \end{cases}$$

而当喷杆高度发生变化, 需要将喷杆调节至平衡状态时, 油缸实际所需调整量 s'_1, s'_2 与 s_1, s_2 呈反向关系, 即

$$\begin{cases} s'_1 = -s_1 \\ s'_2 = -s_2 \end{cases}$$

由 s'_1, s'_2 得出两侧油缸调整方向及调整量后, 将两侧油缸的调整量除以各自调整方向上的最大调节速度, 得出各自所需调节时间 t_1, t_2 。以 t_1, t_2 中较大的作为基准调节时间 t , 所需调节时间较大一侧油缸以其调节方向上的最大速度作为调节速度, 再将所需调节时间较小一侧油缸的调节量除以 t 得出该侧油缸所需的调节速度。之后, 控制器发出油缸各自所需调节方向及调节速度 (调节速度与比例溢流阀的流量相对应) 的控制信号, 同时调节两侧油缸, 使喷杆两侧以最快的速度同时调平。为避免喷杆频繁调节, 系统设置喷杆高度调节阈值 δ , 当 $-\delta \leq \Delta h_1 \leq \delta, -\delta \leq \Delta h_2 \leq \delta$ 同时满足时, 喷杆达稳定状态, 停止调节。

3 试验与结果分析

3.1 场地试验

本文仿照 Jeon 等^[8]的试验方案, 让拖拉机一侧的前、后轮相继通过阶跃激励路面来进行场地试验, 以检验喷杆式喷雾机喷杆高度及平衡在线调控系统

的有效性。试验方案如图8所示。

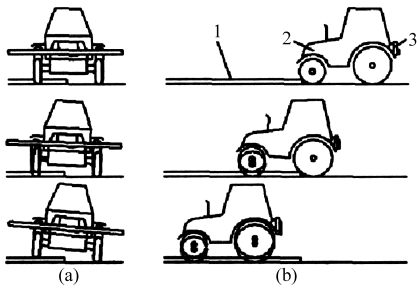


图8 喷杆喷雾机系统阶跃过程示意图

Fig. 8 Process of boom sprayer across step track

(a) 喷杆喷雾机后视图 (b) 喷杆喷雾机左视图

1. 阶跃路面 2. 喷杆喷雾机 3. 喷杆

为模拟田间实际情况,将阶跃激励试验路面的高度设为0.1 m,拖拉机的行驶速度设为田间正常作业速度4.8 km/h。将喷杆设定作业高度分别设为105、110、115 cm,并在试验前先将喷杆调整到设定作业高度。喷杆高度调节阈值 δ 分别设为7、5、3、2 cm。分别在关闭和打开喷杆高度及平衡在线调控功能的情况下,驾驶拖拉机,使其左侧前、后轮相继驶上阶跃激励路面,并记录拖拉机后轮驶上阶跃激励试验路面1.5 m后喷杆左、右两端的对地距离。试验结果如表1所示。

表1 场地试验结果

Tab. 1 Result of ground test

在线调控功能 开闭状态	喷杆设定作业 高度 h /cm	喷杆高度调节 阈值 δ /cm	喷杆最终高度/cm	
			左	右
关闭	105		155	57
	110		158	60
	115		163	65
开启	105	7	106	100
	110	7	110	107
	115	7	116	110
	105	5	103	102
	110	5	113	108
	115	5	115	111
	105	3	104	103
	110	3	111	108
	115	3	117	114
	105	2		
	110	2		
	115	2		

由表1可见,关闭喷杆高度及平衡在线调控功能时,机组经过0.1 m高的阶跃激励路面时,喷杆左右两侧的高度变化值较大,可达0.5 m,甚至会发生分行器触地情况。

开启喷杆高度及平衡在线调控功能,当喷杆高度调节阈值 $\delta \geq 3$ cm时,经过喷杆高度及平衡在线调控系统的调节,可以有效减小因阶跃激励路面而

引起的喷杆倾斜。 δ 越小,系统的控制精度越高,可将喷杆高度误差控制在 ± 3 cm范围内。但当喷杆高度调节阈值 $\delta = 2$ cm时,由于喷杆振动等影响,2个高度调节油缸一直处于运动状态,系统难以达到稳定状态。

3.2 田间试验

田间试验在新疆建设兵团农八师进行,试验场景如图9所示。试验田块为实际棉田,根据田间棉花冠层高度,将喷杆设定作业高度设为110 cm,喷杆高度调节阈值 δ 设为5 cm,拖拉机作业速度设为田间正常作业速度4.8 km/h,进行了田间施药试验。



图9 田间试验

Fig. 9 Field test

试验结果表明,喷杆高度及平衡在线调控系统田间工作正常,在地面起伏时虽偶有晃动,但能够很快恢复平衡,未发生分行器底部触地现象;对地距离检测信号中枝叶遮挡干扰的滤波效果良好,在偶有棉花枝叶从分行器下方扫过时,喷杆没有发生误调节现象,系统工作平稳。

4 结论

(1) 以西门子S7-200 CPU 224CN PLC为核心,设计了喷杆喷雾机喷杆高度及平衡自动在线调控系统。该系统采用超声波测距传感器实时检测喷杆两端的实际对地距离,并根据其与喷杆设定作业高度的差别,控制油缸动作,对喷杆高度和喷杆平衡进行实时调整。并设计了一种对地距离检测信号枝叶遮挡干扰的滤波算法,以克服枝叶遮挡对喷杆高度检测的影响,防止误调节。

(2) 场地试验表明,喷杆高度及平衡自动在线调控系统开启之后,可以有效改善阶跃激励路面引起的喷杆高度变化,并将喷杆高度变化值控制在 ± 3 cm范围内。

(3) 田间试验表明,对地距离检测信号枝叶遮挡干扰滤波算法可以有效滤除分行器下方少量棉花枝叶的遮挡干扰,增加了调控系统的可靠性。喷杆高度及平衡在线调控系统田间工作正常,在地面起伏时虽偶有晃动,但能够很快恢复平衡,未发生分行器底部触地现象。

参 考 文 献

- 1 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 Agricultural Mechanization Research,2013, 34(4): 19-22. (in Chinese)
- 2 邱白晶,杨宁,徐溪超,等. 喷雾机前后轮相继激励下喷杆理想运动响应提取[J]. 农业机械学报,2012,43(2):55-60.
Qiu Baijing, Yang Ning, Xu Xichao, et al. Ideal spray boom response extraction with front and rear tires excited by step track[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(2):55-60. (in Chinese)
- 3 邱白晶,何耀杰,盛云辉,等. 喷雾机喷杆有限元模态分析与结构优化[J]. 农业机械学报,2014,45(8):112-116,105.
Qiu Baijing, He Yaojie, Sheng Yunhui, et al. Finite element modal analysis and structure optimization of spray boom[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(8):112-116,105. (in Chinese)
- 4 Kennes P, Ramon H, Baerdemaeker J D. Modelling the effect of passive vertical suspensions on the dynamic behaviour of sprayer booms[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1999,72(3):217-229.
- 5 陈树人,韩红阳,陈刚,等. 喷杆喷雾机机架动态特性分析与减振设计[J]. 农业机械学报,2013,44(4):50-53.
Chen Shuren, Han Hongyang, Chen Gang, et al. Dynamic characteristic analysis and vibration reduction design for sprayer frame[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(4):50-53. (in Chinese)
- 6 张际先. 喷雾机喷臂悬架性能的动态分析[J]. 农业机械学报,1996,27(增刊):134-138.
Zhang Jixian. Dynamic analysis of the suspension performance of spray boom[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1996,27(Supp.):134-138. (in Chinese)
- 7 Ramon H. A design procedure for modern control algorithms on agricultural machinery applied to active vibration control of a spray boom[D]. Belgium: K U Leuven,1993.
- 8 Jeon H Y, Womac A R, Wilkerson J B, et al. Sprayer boom instrumentation for field use[J]. Transactions of the ASAE,2004, 47(3):659-666.
- 9 Ramon H, Baerdemaeker J D. Spray boom motions and spray distribution: part 1, derivation of a mathematical relation[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1997,66(1):23-29.
- 10 Ramon H, Baerdemaeker J D. Spray boom motions and spray distribution: part 2, experimental validation of the mathematical relation and simulation results[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1997,66(1):31-39.
- 11 Clijmans L, Swevers J, Baerdemaeker J D, et al. Sprayer boom motion, part 1: derivation of the mathematical model using experimental system identification theory[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,2000,76(1):61-69.
- 12 Deprez K, Anthonis J, Roman H, et al. Development of a slow active suspension for stabilizing the roll of spray booms part 1: hybrid modeling[J]. Biosystems Engineering,2002,81(2):185-191.
- 13 Ooms D, Ruter R, Lebeau 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.
- 14 Lebeau F, Bahir L E, Destain M F, et al. Improvement of spray deposit homogeneity using a PWM spray controller to compensate horizontal boom speed variations[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2004,43(2):149-161.
- 15 王俊,董祥,严荷荣,等. 风幕式喷杆喷雾机玉米田间施药试验[J]. 农业机械学报,2015,46(7):79-84.
Wang Jun, Dong Xiang, Yan Herong, et al. Experiment on spraying performance of air-assisted boom sprayer in corn field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2015,46(7):79-84. (in Chinese)
- 16 王立军,孙文峰,陈宝昌,等. 喷杆式喷雾机的研究[J]. 农机化研究,2008(7):63-65.
Wang Lijun, Sun Wenfeng, Chen Baochang, et al. Research on the type of boom sprayer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2008(7):63-65. (in Chinese)
- 17 陈文坊,邱白晶,杨宁,等. 基于超声波传感器的喷杆位姿控制系统[J]. 农机化研究,2013(3):84-87.
Chen Wenfang, Qiu Baijing, Yang Ning, et al. Spray boom position control system based on ultrasonic sensors[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2013(3):84-87. (in Chinese)
- 18 王松林,赵春江,王秀. 喷杆高度调节系统设计与试验[J]. 农机化研究,2014(8):161-164.
Wang Songlin, Zhao Chunjiang, Wang Xiu. Design and experiments on boom height adjusting system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2014(8):161-164. (in Chinese)