

在线混药式变量喷雾系统设计与试验^{*}

刘志壮¹ 徐汉虹¹ 洪添胜¹ 张文昭² 朱余清¹ 张昆¹

1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642;

2. 湖南科技学院电子工程系, 永州 425100)

【摘要】 为实现在线混药式变量喷雾技术, 设计了药、水独立存放混药装置, 差压式流量计, 流量控制阀, 以及相应的控制系统。应用该系统对药、水分别进行流量计量和对药流量控制, 达到变量喷雾的目标。试验结果表明, 流量计误差在 $\pm 2.0\%$ 以内, 药流量控制误差在 $\pm 3.0\%$ 以内。

关键词: 精细农业 变量喷雾 在线混药 流量计 流量控制阀

中图分类号: S499 文献标识码: A

Key Technology of Variable-rate Spraying System of Online Mixing Pesticide

Liu Zhizhuang¹ Xu Hanhong¹ Hong Tiansheng¹ Zhang Wenzhao² Zhu Yuqing¹ Zhang Kun¹

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Department of Electronic Engineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425100, China)

Abstract

This paper developed a mixing pesticide device, a differential pressure flow meter, and a flow metering valve, with the corresponding control system, to achieve variable rate spraying based on online mixing pesticide. Variable rate spraying was implemented by using the system to measure flow of water and pesticide, and control chemical flow in real time. The experimental results show that the errors of the flow meter are within $\pm 2.0\%$, and the controlling errors of chemical flow are within $\pm 3.0\%$ in this system.

Key words Precision agriculture, Variable-rate spraying, Online mixing pesticide, Flow meter, Flow metering valve

引言

目前,我国的植保机械处于发达国家 20 世纪 50~60 年代的水平,落后欧美发达国家 30~50 年^[1],农药的有效利用率仅为 20%~40%^[2],喷施的大部分农药流失到环境中,不仅浪费资源,而且造成环境污染、农产品中农药残留超标、作物药害等负面影响。提高植保机械技术水平,进行高效、低污染施药技术的研究及机具开发是一项迫切的任务^[3]。目前,国内外为解决以上问题所采取的主要

技术手段是精准喷雾技术,如静电喷雾、仿形喷雾^[4]、自动对靶喷雾^[5]、变量喷雾等技术,而变量喷雾成为喷雾技术的一个重要发展方向和众多植保专家研究的热点。然而,目前变量喷雾的主要手段是采用预混药式,主要通过脉宽调制(PWM)或喷雾压力来改变喷施量实现变量喷雾^[3,6~9]。另外,近年来国内外不少机构开始了农药在线混合装置的研究^[10~12],这些装置的共同特点是喷雾浓度相对固定,不能根据需求进行实时改变喷雾浓度,缺乏对流量的实时监控能力,主要难点是没能解决农药流量

收稿日期: 2009-03-05 修回日期: 2009-05-13

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2008AA100901)、国家自然科学基金资助项目(30971698)和现代农业产业技术体系建设专项资金(农科教发[2007]14号)

作者简介: 刘志壮,教授,主要从事精细农业与计算机检测与控制技术研究,E-mail: liuzz168@126.com

通讯作者: 洪添胜,教授,博士生导师,主要从事农业工程、信息技术研究,E-mail: tshong@scau.edu.cn

检测与控制等关键技术。

本文针对现有变量喷雾装置的情况,提出一种药水流量实时检测、流量自动控制、在线自动混药的变量喷雾控制系统,并在实验室进行试验。该喷雾方式的特点是恒定喷施量,而通过改变药液浓度进行变量喷雾,以保证最佳喷雾流量和压力进行喷施,确保最佳喷施效果。

1 混药装置

混药装置是变量喷雾在线混药的执行机构,也是本系统的核心部件之一,如图1所示。混药装置由水箱、单向阀、水流量计、药箱、药流量计、流量控制阀、混药室、液泵、电磁阀、喷头等组成。单向阀主要用于防止药水混合液的倒流。水流量计和药流量计用来检测水和药的流量,这两个流量计采用自行研制的差压式液体流量计^[13]。流量控制阀用于控制药液的流量。混药室是药与水混合的场所,采用比输送管粗的不锈钢管或铜管制成,混药室的一端接水流量计再接至水箱,混药室的另一端接液泵,其侧面开孔接至药箱,药与水在液泵叶轮的高速搅拌下均匀混合。电磁阀用于控制喷头状态,喷头的个数根据喷雾机大小和喷杆的长度具体确定。在液泵的驱动下,水流过单向阀和水流量计到混药室,药流过药流量计和流量控制阀到混药室与水混合,混合药液经过液泵和电磁阀后由喷头喷出。控制系统根据喷雾对象的病虫草害等信息和作物特性控制每个喷头的工作状况、药液浓度,达到变量喷雾精确控制的目的。

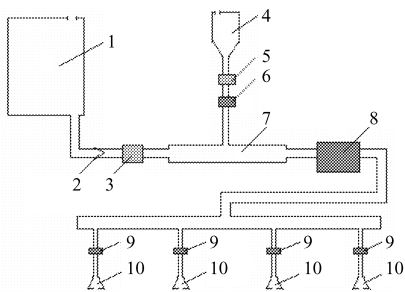


图1 喷雾机混药装置结构示意图

Fig.1 Structure of mixing pesticide equipment

1. 水箱 2. 单向阀 3. 水流量计 4. 药箱 5. 药流量计 6. 流量控制阀 7. 混药室 8. 液泵 9. 电磁阀 10. 喷头

2 流量计设计

流量检测是变量喷雾重要环节,当喷雾量发生变化或施药浓度发生变化时,必须改变农药的流量以满足药液浓度的要求。所以需要实时检测水和药的实际流量,并控制药的流量,以达到作物所需要的施药浓度。所研究的车载式喷雾机喷雾量为60~

600 mL/s,农药的流量为0.2~3.0 mL/s,目前市场上难以找到这种小规格的流量计,为此自行设计了药流量计和水流量计。

2.1 流量传感器原理

农药的流量非常小,为了解决农药流量的检测问题,设计了一种差压式流量计,其结构如图2所示,主要由导液管、取压管(也称分支管)和差压传感器组成。导液管由输入管、节流管和输出管组成。导液管尺寸根据流量进行设计。2个取压管的一端分别接输入管和输出管,用于检测节流管上、下游两端的压力差,取压管的另一端接差压传感器。差压传感器采用美国 Honeywell 公司生产的 26PC 系列传感器。

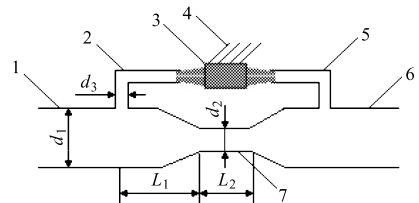


图2 流量传感器结构示意图

Fig.2 Structure and size of flow sensor

1. 输入管 2,5. 取压管 3. 差压传感器 4. 传感器接级端
6. 输出管 7. 节流管

当液体流过导液管时,由于节流管的节流作用,输入管压力略大于输出管的压力而产生压力差。通过2个取压管传递到差压传感器,由差压传感器检测节流管上、下游两端的压力差,压力差随流过导液管内液体流量的变化而变化,其关系式为^[14]

$$Q_v = \alpha Y \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (1)$$

式中 Q_v ——单位时间的体积流量

α ——流量计的转换系数

Y ——流体膨胀率,对于液体 $Y = 1$

g ——当地重力加速度

p_1, p_2 ——输入管与输出管的压力

ρ ——流体密度

差压传感器检测到节流管两端的差压后转换成电压信号,经仪表放大电路(INA128)放大后得到输出电压 V_o 。另外,由于输出电压 V_o 与压力差成线性关系^[13], $V_o = k(p_1 - p_2)$,所以式(1)可以写成

$$Q_v = \alpha Y \sqrt{\frac{2gV_o}{\rho k}} \quad (2)$$

式中 k ——转换系数

由式(2)可知,液体的流量与输出电压的平方根成线性关系,通过带有10位AD转换的微处理器(STC12C5410AD)检测传感器输出的电压就可以换算出液体的流量。

2.2 药流量计设计

喷雾机农药的流量极小,流量范围在0.2~3.0 mL/s之间。为了检测农药流量,设计流量传感器的输入管和输出管内径 $d_1=3.0$ mm,节流管内径 $d_2=1.4$ mm,节流管长 $L_2=60.0$ mm,取压管内径 $d_3=1.4$ mm,取压管到节流管端部距离 $L_1=20.0$ mm。影响流量数值的参数是节流管内径和长度。

在21.6℃的情况下,以水为流质对流量计进行标定得出其拟合曲线方程^[15]为

$$Q_v = 0.2096\sqrt{V_o} - 0.1475 \quad (3)$$

式(3)与式(2)相似,流量值与输出电压的平方根成线性关系,实际等式与理想情况相比相差一个常数项。对标定后的药流量计进行定点流量测量试验,其相对误差分布如图3所示。

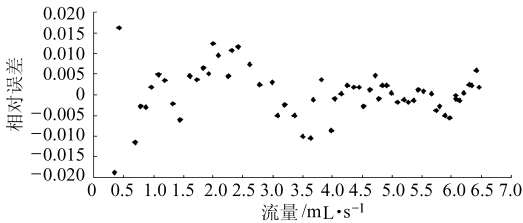


图3 药流量计定点测量误差

Fig. 3 Fixed points measurement errors of pesticide

由图3可知,药流量传感器流量测量范围在0.2~6.0 mL/s,测量相对误差在±2.0%以内。低端误差大,高端误差小,误差随机性大,这与液体流动的特点密切相关。

2.3 水流量计设计

水流量计的流量范围60~600 mL/s之间,设计参数为:输入管和输出管内径 $d'_1=10.0$ mm,节流管内径 $d'_2=8.0$ mm,节流管长 $L'_2=80.0$ mm,取压管内径 $d'_3=3.0$ mm,取压管到节流管端部距离 $L'_1=20.0$ mm。

在15.0℃的情况下,以水为流质对流量计进行标定得出其拟合曲线方程^[15]为

$$Q'_v = 20.684\sqrt{V_o} - 60.415 \quad (4)$$

式(4)与式(3)相似,这里不再详述。

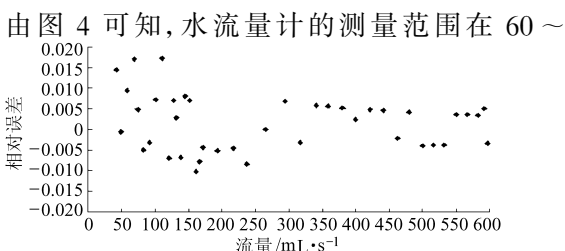


图4 水流量计定点测量误差

Fig. 4 Fixed points measurement errors of water flowmeter

600 mL/s之间,测量误差在±2.0%以内,分布特点与药流量计相似。

3 流量控制阀设计

为了连续控制农药的流量,设计了如图5所示的流量控制阀。此机电式流量控制阀主要是为华南农业大学和梅州风华喷灌喷雾有限公司联合研制的车载式喷雾机控制农药的流量而设计,在喷雾机特定的压力作用时,其流量控制范围为0~3.3 mL/s。流量控制阀由小型针阀、联轴器、电动机及减速器组成。针阀具有1个输入口和1个输出口用于连接输液管,电动机接上1个微控制器,微控制器使用模糊控制算法实现控制。通过微控制器来控制电动机正、反转,经减速器和联轴器后带动针阀旋转,从而控制阀的开闭,进而控制液体的流量。

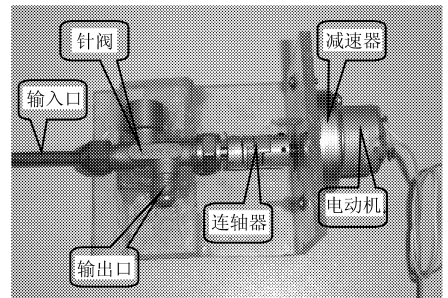


图5 流量控制阀结构

Fig. 5 Structure of flow metering valve

通过对流量控制阀仿真和实验测试可知,该用于控制农药的流量是可行的^[16]。

4 控制系统

为了使混药装置、药流量计、水流量计和流量控制阀等整套装置能实现变量喷雾,构建以微处理器STC12C5410AD为核心的控制系统,硬件结构如图6所示。系统主要由水流量检测、药流量检测、药流量控制、压力检测、喷头控制、按键电路、串口通信、显示与报警等电路组成。

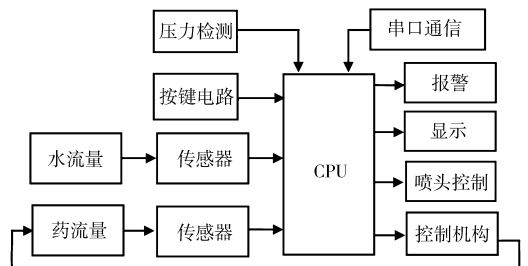


图6 控制系统硬件结构方框图

Fig. 6 Hardware structure of control system

控制系统由通信口接收上位机的喷雾指令,喷雾指令主要包括药水的配比和喷雾的位置,这样控制系统可根据作物的病虫害灾情况实时控制药液浓度

和喷头的喷施状况。

5 控制系统性能测试

流量控制是影响喷雾药液浓度的主要因素,为检验本控制系统的实际效果,对系统的硬件与软件的性能进行了综合测试,其中主要包括药液流量跟踪测试、实时响应测试和稳态误差测试。流量跟踪测试结果如表1所示^[15]。

表1 药液流量跟踪控制(部分数据)

Tab.1 Following control of pesticide flow

目标流量 $/\text{mL}\cdot\text{s}^{-1}$	显示流量 $/\text{mL}\cdot\text{s}^{-1}$	绝对误差 $/\text{mL}\cdot\text{s}^{-1}$	相对误差 /%
0.44	0.45	-0.01	-2.3
0.99	0.97	0.02	2.0
2.00	1.99	0.01	0.5
2.80	2.76	0.04	1.4
3.60	3.57	0.03	0.8
4.80	4.78	0.02	0.4
5.60	5.65	-0.05	-0.9

表1数据表明,流量跟踪控制显示流量与目标流量的最大相对误差不超过 $\pm 3.0\%$,由于流量阀的机械性能和流量计稳定性方面的原因,误差具有一定随机性。

6 结论

(1)设计了车载式喷雾机药水单独存放、药水实时自动混合装置。

(2)研制了一种差压式液体流量计,适合于低、微流量的检测。流量检测在整个测量范围的相对误差为 $\pm 2.0\%$ 以内,高端在 $\pm 1.0\%$ 以内。另外,流量计标定是在单点温度下完成的,没有对温度变化时进行系数修正,所以在其他温度条件下,流量检测误差可能会增大,需要进行温度修正。

(3)设计了药液流量控制阀,适合于微小流量的连续控制。

(4)进行了控制系统性能测试,显示流量与目标流量的最大相对误差在 $\pm 3.0\%$ 以内。

参 考 文 献

- 何雄奎. 植保机械化现状与对策[J]. 农机科技推广, 2005(7):9~11.
- 杨学军, 严荷荣, 徐赛章, 等. 植保机械的研究现状及发展趋势[J]. 农业机械学报, 2002, 33(6):129~132.
Yang Xuejun, Yan Herong, Xu Saizhang, et al. Current situation and development trend of equipment for crop protection [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(6):129~132. (in Chinese)
- 邱白晶, 李佐鹏, 吴昊, 等. 变量喷雾响应性能的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11):148~152.
Qiu Baijing, Li Zuopeng, Wu Hao, et al. Experimental study on variable-rate spraying equipment response capability[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11):148~152. (in Chinese)
- 王贵恩, 洪添胜, 李捷, 等. 果树施药仿形喷雾的位置控制系统[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3):81~84.
Wang Guien, Hong Tiansheng, Li Jie, et al. Position control system of profile modeling spray for fruit trees [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(3):81~84. (in Chinese)
- 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 Zetian, Qi Lijun, Wang Junhong. 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)
- 焦俊生, 张伟. 脉宽调制型变量喷雾控制 ECU 设计与分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1):123~126.
Jiao Junsheng, Zhang Wei. Design and analysis of the ECU for PWM spraying[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1):123~126. (in Chinese)
- 吴春笃, 杜彦生, 张伟, 等. 脉宽调制型变量喷雾系统雾量沉积分布[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12):70~73.
Wu Chundu, Du Yansheng, Zhang Wei, et al. Study on the deposit distribution of modulated variable rate spray system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12):70~73. (in Chinese)
- 邓巍, 丁为民. 基于 PWM 技术的连续式变量喷雾装置设计与特性分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6):77~80.
Deng Wei, Ding Weimin. Variable-rate continuous spray equipment based on PWM technology and its spray characteristics [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6):77~80. (in Chinese)
- 陈勇, 郑加强, 周宏平, 等. 精确农业管理系统可变量技术研究现状与发展[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6):156~159.
Chen Yong, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, et al. R&D of variable rate technology in precision agriculture management system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(6):156~159. (in Chinese)

究发现液压成型模具锥角是影响成型的关键参数,锥角大小影响压缩过程中的等效应力和摩擦力。当模具锥角在 $5.5^{\circ}\sim 6.0^{\circ}$ 范围内,成型模具受力均匀,物料压缩流动性和成型性好。

(2) 模具锥角对成型块的成型密度和成型品质影响显著。经优化后的成型模具挤压成型的成型块

较优化前成型品质好,成型密度高,宜于使用、存储和运输。

(3) APDL 参数化建模能较好地模拟生物质物料挤压成型过程。当改变操作条件或选取不同物料时,只需修改相关参数,便可经过优化得到不同的优化结果。

参 考 文 献

- 胡建军,雷廷宙,何晓峰,等.小麦秸秆颗粒燃料冷态压缩成型参数试验研究[J].太阳能学报,2008,29(2):241~246.
Hu Jianjun, Lei Tingzhou, He Xiaofeng, et al. Experimental research on the compressing molding parameter under cold conditions for wheat straw pellet fuel[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2008, 29(2):241~246. (in Chinese)
- 回彩娟,俞国胜.影响生物质块状燃料常温高压致密成型因素的研究[J].林业机械与木工设备,2005(11):10~14.
Hui Caijuan, Yu Guosheng. A study on the influencing factors of biomass briquette forming with high pressure of general conditions of bio-materials solidification fuel[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2005(11):10~14. (in Chinese)
- Lindley J A, Vossoughi M. Physical properties of biomass briquets[J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(2):361~366.
- 何晓峰,雷廷宙,李再峰,等.生物质颗粒燃料冷成型技术试验研究[J].太阳能学报,2006,27(9):937~941.
He Xiaofeng, Lei Tingzhou, Li Zaifeng, et al. Research of biomass fuel cold compression molding technic[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2006, 27(9):937~941. (in Chinese)
- O'Dogherty M J, Wheeler J A. Compression of straw to high densities in closed cylindrical dies[J]. Journal of Agriculture Engineering Research, 1984, 29(1):61~72.
- 马孝琴.生物质(秸秆)成型燃料燃烧动力学特性及液压秸秆成型机改进设计研究[D].郑州:河南农业大学,2006.
Ma Xiaoqin. Study on kinetic characteristics of biomass (straw) briquettes combustion and improvement design of hydraulic straw briquetting press[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 董玉平,高名望,孙启新.秸秆类生物质固化成型有限元模拟[J].山东大学学报:工学版,2005,35(5):9~14.
Dong Yuping, Gao Mingwang, Sun Qixin. The finite element simulation of straw and stalk biomass press briquetting[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2005, 35(5):9~14. (in Chinese)
- Butler B J, McColly H F. Factors affecting the pelleting of hay[J]. Agricultural Engineering, 1959, 40(8):442~446.
- 王建祥,蔡红珍.生物质压缩成型燃料的物理品质及成型技术[J].农机化研究,2008,30(1):203~205.
Wang Jianxiang, Cai Hongzhen. Review on physical properties and forming technology of biomass fuel compressed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(1):203~205. (in Chinese)
- 盛奎川,吴杰.生物质成型燃料的物理品质和成型机理的研究进展[J].农业工程学报,2004,20(2):242~245.
Sheng Kuichuan, Wu Jie. Review on physical properties and forming mechanisms of biomass briquettes[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(2):242~245. (in Chinese)

(上接第96页)

- Landers A. A compressed air direct injection crop sprayer[J]. Optimising Pesticide Applications, 1997, 48(3):25~32.
- 周凤芳,徐幼林,周宏平.喷雾机混药装置的研究现状与发展[J].中华卫生杀虫药械,2005,11(6):319~320.
Zhou Fengfang, Xu Youlin, Zhou Hongping. Research situation and development of mixing pesticide equipment for sprayer [J]. Chinese Journal of Hygienic Insecticides of Equipments, 2005, 11(6):319~320. (in Chinese)
- 吴萍,陈长林,赵刚.背负式手动喷雾器混药装置研究[J].中国农机化,2005(5):33~35.
Wu Ping, Chen Changlin, Zhao Gang. Research of mixing device for knapsack sprayer [J]. Chinese Agriculture Mechanization, 2005(5):33~35. (in Chinese)
- Liu Zhizhuang, Hong Tiansheng, Zhang Wenzhao, et al. Novel liquid flow sensor based on differential pressure method [J]. Review of Scientific Instruments, 2007, 78(1):015108-1~015108-5.
- Saleh J M. 流体流动手册[M].邓敦夏,译.北京:中国石油出版社,2004:258~262.
- 刘志壮.药液实时精确计量与变量喷雾控制[D].广州:华南农业大学,2008.
Liu Zhizhuang. Real-time gauging of accuracy and variable rate spraying control[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 刘志壮,洪添胜,李震,等.基于模糊控制的流量阀仿真[J].农业工程学报,2009,25(2):83~86.
Liu Zhizhuang, Hong Tiansheng, Li Zhen, et al. Simulation of flow control valve based on fuzzy control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(2):83~86. (in Chinese)