

车载式变量施药机控制系统设计与试验

翟长远¹, 朱瑞祥^{1*}, 随顺涛¹, 薛少平¹, 上官周平²

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要: 施药控制是提高作业质量、减少化学污染、降低生产成本的关键技术。该文基于单片机 AT89C52, 采用滞环控制法, 设计了一种车载式变量施药机控制系统。该系统能够根据施药机行走速度自动变更喷药量, 实现施药量不变。试验表明: 加速度小于 0.4 m/s^2 时, 实际施药量与设定施药量之间的误差不超过 8%, 且雾化效果良好、生产效率高, 还可以减少农药的残留和对环境的污染, 能够满足农业生产的需要。

关键词: 控制系统, 机械, 单片机, 变量施药

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.019

中图分类号: S49

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0105-05

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 Changyuan, Zhu Ruixiang, Sui Shuntao, et al. Design and experiment of control system of variable pesticide application machine hauled by tractor[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 105—109. (in Chinese with English abstract)

0 引言

化学防除是重要的农业生产技术之一, 在农业生产中发挥着重要的作用^[1]。据联合国粮农组织统计, 由于使用化学农药, 全世界每年挽回 20%~25% 的农产品, 价值 1 000 多亿美元。大体是投入一份农药可收回相当于农药 4~5 倍价值的农产品。中国每年因各种病虫害损失粮食约 4000 万 t, 约占全国粮食总产量的 8.8%。为了实现抗灾、减损、增效, 减少对环境的污染, 关键所在是提高施药装备的技术水平, 也是解决制约中国化学防除推广应用中的“瓶颈”问题^[2-3]。

目前世界各国对精准变量施药技术的发展潜力及应用前景有着广泛共识, 并将其作为发展农业高新技术应用的重要内容。西欧、美国和日本等发达国家在施药技术和施药机械上都有了较大的突破, 基本做到了精喷量、少污染和高功效。国内施药机械还处于发达国家 20 世纪 50~60 年代技术水平, 存在的主要问题是农药有效利用率低、施药作业效率低和施药安全性低。

为此, 本文设计了一种车载式变量施药机控制系统, 该系统能根据用户设定的单位面积的施药量, 在施药机行走速度变化时自动改变喷药量, 旨在实现变速行驶条件下的施药量不变。

1 系统设计

本研究的设计思路主要表现在两个方面: 机车行驶

速度变化时, 相应的改变其喷药量, 就可以实现单位面积的施药量不变^[4-8]; 喷药量是和输药管道内的流量成正比的, 而在电动球阀控制的流量系统中, 通过改变电动球阀的开度可以改变其流量, 进而改变喷药量。

1.1 系统构成

本文设计的变量施药机控制系统框图如图 1 所示。

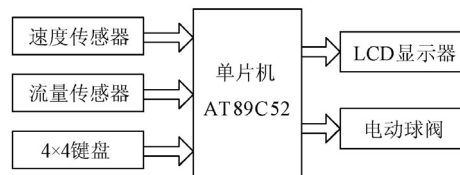


图 1 变量施药机控制系统结构

Fig.1 Structure of control system of variable pesticide application machine

系统的核心处理器是 AT89C52, 主要完成车速和实际流量的计算、键盘和电动球阀的驱动、LCD 的显示以及控制算法的实施; 速度传感器用来测量施药机具的行走速度; 4×4 键盘用于设定喷药幅宽和单位面积的施药量; LCD 显示屏用来实时显示施药机具的速度、喷药幅宽、用户设定的单位面积的施药量和实际瞬时施药量, 并能显示键盘对某些参数的修改过程; 电动球阀作为一个执行机构, 实时的调节施药管道中的流量。

1.2 控制方案设计

根据系统要求, 采用闭环控制法对变量施药机进行控制^[9-10]。

1) 控制系统 设计的控制系统如图 2 所示。

系统控制目标是无论施药机的行走速度是恒定还是变化, 系统自动使实际施药量与设定施药量基本保持一致。实际施药量和设定施药量的单位是“ L/hm^2 ”, 流量传感器测得的喷药量的单位是“ L/min ”, 实际施药量需要根据作业幅宽和机具速度进行换算得到。

收稿日期: 2009-02-13 修订日期: 2009-05-08

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重大项目 (2006BAD09B04)

作者简介: 翟长远 (1982—), 男, 中国农业工程学会会员 (E042600008M), 从事农业机械化工程技术研究。杨凌 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 712100。Email: zhaichangyuan@163.com

*通信作者: 朱瑞祥 (1956—), 男, 教授, 从事农业机械化工程技术研究。杨凌 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 712100。

Email: zrxjdx2006@sohu.com

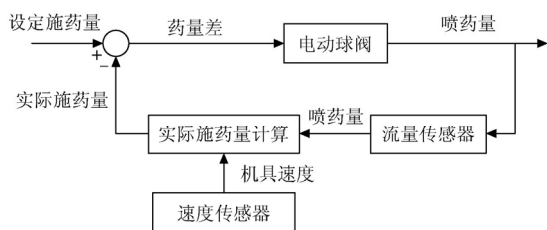


图2 变量施药机控制系统框图
Fig.2 System block diagram of control system of variable pesticide application machine

2) 滞环控制 系统控制采用滞环控制法^[11-14], 如图3所示。

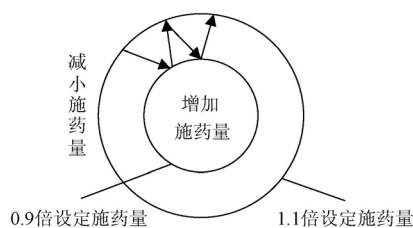


图3 滞环控制
Fig.3 Hysteresis control

根据实际要求, 设置药量控制环的内环为 0.9 倍设定施药量, 外环为 1.1 倍设定施药量。如果当前实际施药量大于外环值, 通过减小电动球阀的开度使施药量减小; 如果当前实际施药量小于内环值, 通过增大电动球阀的开度使施药量增加; 如果实际施药量在两个环的中间, 不改变电动球阀的开度。

1.3 控制算法

1) 行走速度计算 行走速度用速度传感器输出脉冲

数计量。行走速度 v 为:

$$v = \frac{2\pi rn}{N} \quad (\text{m/s})$$

式中: r ——行走轮作用半径, m ; n ——每秒单片机接收到的脉冲个数; N ——行走轮旋转一圈速度传感器输出的脉冲个数。

2) 实际施药量计算 实际施药量用流量传感器输出脉冲计量。实际施药量 q 为:

$$q = \frac{10000w}{dvW} \quad (\text{L/hm}^2)$$

式中: w ——每秒钟单片机接收到的脉冲个数; d ——喷药的作业幅宽, m ; v ——施药机行走速度, m/s ; W ——流过每升药液传感器输出脉冲个数。

2 模块设计

系统包含电源、键盘、LCD 显示和电动球阀驱动 4 个主要模块。

2.1 电源模块

供电电源是车上的 DC12V 电瓶, 而控制电路供电电压是 DC5V, 电动球阀供电电压为 DC24V, 所以必须有直流降压稳压电路和升压稳压电路。

如图4所示, 基于 LM2576 设计了一款 DC12V-DC5V 降压稳压电路, 该降压稳压电路实测输出电压为 5.02 V, 且非常稳定。DC12V-DC24V 升压直流电路的负载是电动球阀, 要求电流 $\geq 4 \text{ A}$, 电压稳定。选用深圳赛格股份有限公司的车载多功能逆变器, 该逆变器能实现 DC12V 向 DC14V、DC16V、DC18V、DC20V、DC22V、DC24V 和 DC26V 的转换, 输出电流 4~6 A, 并且输出电压稳定。

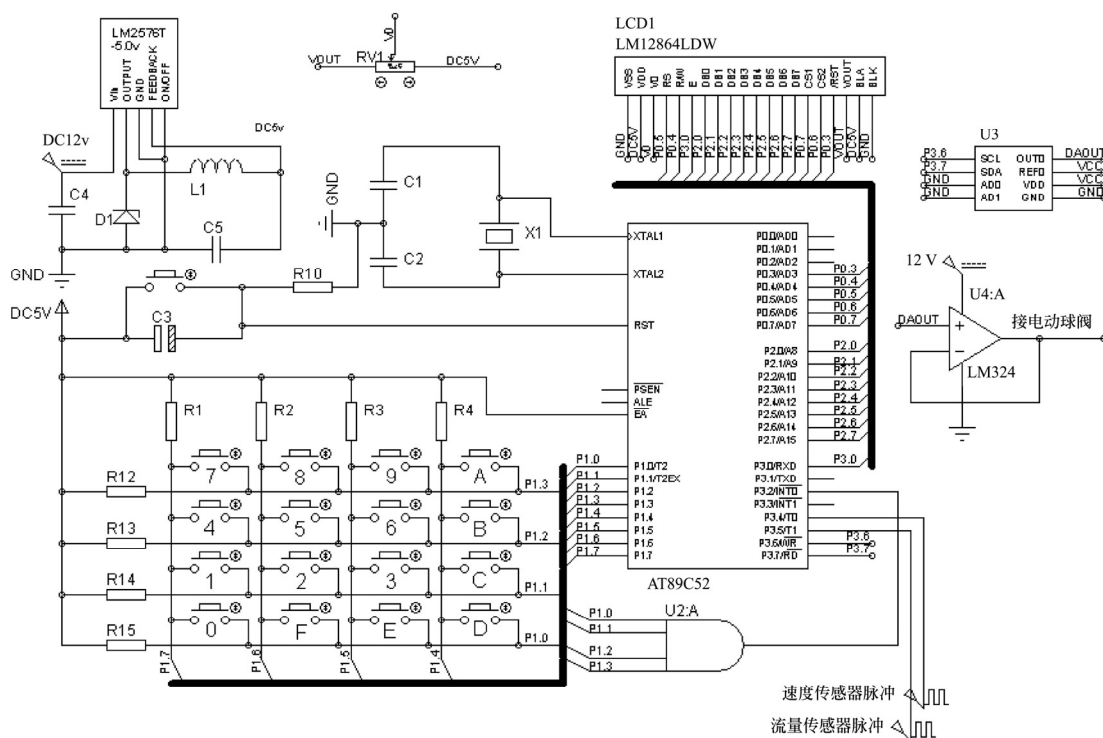


图4 变量施药机控制系统电路

Fig.4 Circuit diagram of control system of variable pesticide application machine

2.2 键盘模块

本系统采用的是 4×4 矩阵式键盘，一共有 16 个键，分别是数字键 0~9 和功能键 A~F。键盘模块的工作方式采用的是中断扫描方式，电路原理图如图 4 所示。

本文定义“A”键为“幅宽”修改键，该键被按下，LCD 的幅宽行上会显示星号，这时就可以使用键盘的数字键输入新的幅宽值，再按“A”键，系统就保存该值并使 LCD 返回到正常显示状态。“B”键为“设定流量”修改键，修改方式同“A”键。其他功能键暂作为保留键。

2.3 LCD 显示模块

LCD 与单片机的连接关系如图 4 所示。系统显示的字符有汉字、数字和单位，其中汉字是 16×16 点阵，数字为 8×16 点阵，为了显示整齐，单位采用 16×16 点阵字^[15]。

2.4 电动球阀驱动模块

本文采用数字电压信号直接控制电动球阀。将单片机输出的数字电压信号经过数模转换器转换为模拟电压信号，再用电压跟随器把电流放大后接到电动球阀的控制信号端，通过直接改变电动球阀的控制电压来改变其开度，进而改变喷药量。

本文选用了 8 位数模转换器 MAX517，数字电压信号经过数模转换后精度能达到 0.02 V。电压跟随器是基于运算放大器 LM324 而设计。电动球阀驱动模块电路原理图如图 4 所示。

电动球阀的开度由“控制信号电压”(DC1-5V)控制：当电压≤1 V 时，阀的开度为 0；当电压≥5 V 时开度为 100%，介于二者之间时开度与电压近乎呈线性关系。

3 试验结果及其分析

3.1 软件仿真

本文在 proteus 软件中搭建了该系统，并对其进行了仿真^[16]。仿真电路图如图 4 所示。

仿真用两个脉冲发生器分别代替速度传感器和流量传感器，用电压表测量电动球阀输出端电压以观察其输出结果。仿真结果表明：硬件电路设计合理，软件程序运行正确，系统精度较高。

3.2 试验及其结果

为了验证系统设计的可行性，根据设计的电路原理

图，搭建了实际电路，并在车载式施药机械上进行了试验，试验装置如图 5 所示。该装置使用的液泵带溢流阀，当压力达到 4 MPa 时，溢流阀自动打开，能使泵后压力控制在 2~4 MPa 之间。实际施药过程中，绝大部分时间，工作于溢流压力 4 MPa。

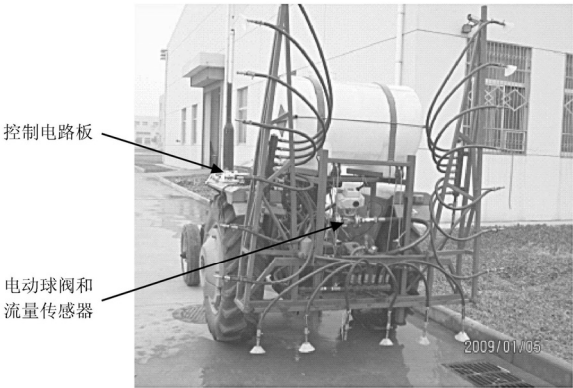


图 5 试验装置
Fig.5 Experimental device

1) 恒速试验 恒速试验是在不同机组速度(同一速度测试时保持速度不变)下，测试实际施药量在不同稳定行走速度情况下的变化。施药机械实际作业速度为 2~5 km/h，本文针对两个极值速度(2 km/h 和 5 km/h)分别做了 3 次试验，试验结果如表 1 所示。

2) 加速度试验 施药机在实际作业中，机具速度不可能保持不变，速度变化的快慢对实际施药量一般会有 一定的影响。本文通过编写程序，给定机具的加速度，使速度在 2~5 km/h 之间以特定的加速度循环式的增加和减小，以测试实际施药量受加速度的影响。施药机械施药过程中，加速度一般不大于 0.4 m/s²，本文针对加速度为 0.2 m/s² 和 0.4 m/s² 分别做了 3 次试验。试验结果如表 1 所示。

3) 田间试验 为了验证实际的应用效果，在长 111 m 的田间做了整体试验，幅宽 6 m，机具平均行走速度约为 3.5 km/h。设定施药量一般为 750~1 500 L/hm²，本文针对两种设定施药量 750 和 1 500 L/hm² 分别做了 3 次试验，试验结果如表 1 所示。整个施药过程中，喷药压力为 2~4 MPa，喷头虽说是常规喷头，但雾化效果很好。

表 1 试验结果
Table 1 Experimental results

试验	速度/(km·h ⁻¹)	加速度/(m·s ⁻²)	总时间/min	平均滞环外时间/s	设定施药量/(L·hm ⁻²)	平均实际施药量/(L·hm ⁻²)	平均误差/%
恒速试验 1	2	0	3	8	1 050	1 002	5
恒速试验 2	5	0	3	9	1 050	1 098	5
加速度试验 1	2~5	0.2	3	11	1 050	1 117	6
加速度试验 2	2~5	0.4	3	15	1 050	1 138	8
田间试验 1	3.5	随机	约 2	9	750	811	8
田间试验 2	3.5	随机	约 2	10	1 500	1 387	8

注：“平均滞环外时间”为实际施药量大于设定施药量的 1.1 倍，或小于设定施药量的 0.9 倍的时间平均值(精确到个位数)；“平均误差”为平均实际施药与设定施药量之间的误差。

3.3 试验结果分析

试验过程中，每秒记录 1 次当前施药状态(包括速

度和流量)，进而计算出当前的实际施药量。如果实际施药量处于药量控制环内，说明施药机械在该时刻处于很

好的控制状态, 否则说明该时刻施药质量(包括准确性和均匀性)较差。因此“平均滞环外时间”能从“实时性”方面反映施药质量的好坏。

从试验结果中可以看出:

1) 各个试验“平均滞环外时间”相对比例都较低(小于 9%), 整个施药过程处于较好的控制状态。

2) 不同稳定行走速度对施药质量影响不大, 这是因为在任何施药速度下, 液泵绝大部分时间都工作于溢流压力 4 MPa。各个影响因素基本恒定是恒速试验误差较小的原因。

3) 加速度小于 0.4 m/s^2 时, 实际施药量与设定施药量之间的误差不会超过 8%, 拖拉机田间作业时, 加速性能相对较差, 更有利于提高施药质量。

4) 实际田间试验结果令人较满意。只是在田间两端机具速度变化较大, 导致误差相对较大; 田间的中间位置机具速度变化不大, 实际施药量基本跟随设定施药量。

4 结 论

1) 本文基于 AT89C52 设计了的车载式变量施药机控制系统, 用户不仅可以根据实际情况方便地设定喷药幅宽和单位面积的施药量, 还可以实时观察系统运行情况进行控制。该系统能够根据施药机行走速度的变化, 改变其喷药量, 进而使实际施药量基本保持不变。不仅能提高农药利用率, 还可以减少农药的残留和对环境的污染。

2) 仿真和实际试验结果表明: 该系统设计合理, 使用方便, 雾化效果好, 加速度小于 0.4 m/s^2 时, 实际施药量与设定施药量之间的误差不超过 8%, 能够满足农业生产的需要。但是, 施药喷头使用的是常规喷头, 对雾化压力要求较高; 田间施药在田间两端开始和结束时误差相对较大, 需要进一步优化处理。

[参 考 文 献]

- [1] 夏书娥, 张锁荣. 稻麦连作田蔺草化学防除技术研究[J]. 杂草科学, 2008, (6): 45—47.
- [2] 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 with English abstract)
- [3] 卢秉福, 张祖立, 朱明, 等. 农业机械化发展关键影响因素的辨识与分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 114—117.
Lu Bingfu, Zhang Zuli, Zhu Ming, et al. Discrimination and analysis of key influencing factors for agricultural mechanization development[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(11): 114—117. (in Chinese with English abstract)
- [4] 郭克珩, 刘明刚, 毕武. 2YTF-6 型液体施肥施药自动控制系统设计[J]. 林业机械与木工设备, 2005, 33(8): 21—22.
- [5] Yu Q, Saseendran S A, Ma L, et al. Modeling a wheat-maize

- double cropping system in china using two plant growth modules in RZWQM[J]. Agricultural Systems, 2006, 89(2/3): 457—477.
- [6] 王金武, 纪文义, 冯金龙, 等. 液态施肥机的设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 157—159.
Wang Jinwu, Ji Wenyi, Feng Jinlong, et al. Design and experimental investigation of the liquid fertilizer applicator[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 157—159. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王锦江, 陈志, 杨学军. 基于 AT89C51 单片机的变量施药控制系统研究[J]. 农机化研究, 2007, (11): 147—149.
Wang Jinjiang, Chen Zhi, Yang Xuejun. Study on controlling system based on AT89C51 single-chip[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, (11): 147—149. (in Chinese with English abstract)
- [8] 杨青, 庞树杰, 杨成海, 等. 基于 GPS 和 GIS 的变量施水控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 134—138.
Yang Qing, Pang Shujie, Li Yongjun, et al. Variable rate irrigation control system integrated with GPS and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 134—138.
- [9] 史万莘, 王熙, 石莉莉. 基于脉宽调制的变量喷药技术喷雾锥角影响研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2007, 19(3): 51—54.
Shi Wanping, Wang Xi, Shi Lili. Study on the change of spray nozzle angle for PWM spray technology[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2007, 19(3): 51—54. (in Chinese with English abstract)
- [10] 耿向宇, 李彦明, 苗玉彬, 等. 基于 GPRS 的变量施肥机系统研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 164—167.
Geng Xiangyu, Li Yanming, Miao Yubin, et al. Development of variable rate fertilizer applicator based on GPRS[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11): 164—167. (in Chinese with English abstract)
- [11] Tang G Y, Li J. Optimal fault diagnosis for systems with delayed measurements[J]. Control Theory & Applications, 2008, (11): 990—998.
- [12] Bai L S, Tian Z H, Shi S J. Robust fault detection for a class of nonlinear time-delay systems[J]. Journal of the Franklin Institute, 2007, 344(6): 873—888.
- [13] 李娟, 叶若红, 尚书旗. 远程控制时滞系统的故障诊断和容错控制[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 145—149.
Li Juan, Ye Ruohong, Shang Shuqi. Fault diagnosis and fault-tolerant control for remote monitoring systems with delayed controls and measurements[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(11): 145—149. (in Chinese with English abstract)
- [14] Tang G Y, Zhao Y D, Zhang B L. Optimal output tracking control for nonlinear systems via successive approximation approach[J]. Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications, 2007, 66(6): 1365—1377.
- [15] 于永, 戴佳, 常江. 51 单片机 C 语言常用模块与综合系统设计实例精讲[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 74—131.
- [16] 张靖武, 周灵彬. 单片机系统的 Proteus 设计与仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 85—236.

Design and experiment of control system of variable pesticide application machine hauled by tractor

Zhai Changyuan¹, Zhu Ruixiang^{1*}, Sui Shuntao¹, Xue Shaoping¹, Shangguan Zhouping²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: Pesticide application control is the key technology to improve operation quality, reduce chemical pollution, and cut down costs of production. A control system of variable pesticide application machine hauled by tractor was designed based on AT89C52 using hysteresis control method. The system can automatically change spraying volume according to the speed of the tractor in order to stabilize pesticide application volume. Experiments show that: when the acceleration of the tractor is less than 0.4 m/s^2 , the error between the actual application pesticide volume and the pesticide application volume set does not exceed 8%. The highly efficient system has good atomization effect. It not only can reduce pesticide residues and environmental pollution, but also can meet the needs of agricultural production.

Key words: control system, machinery, microcomputers, variable pesticide application