

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.008

肥料抛撒机抛撒系统幅宽控制技术*

张睿 王秀 周建军 马伟 邹伟 冯青春

(国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

【摘要】 基于 PWM 技术设计了一种闭环控制肥料抛撒幅宽调控系统。设计并确定了系统电路、传感器安装和 PWM 闭环反馈方法以及阀门开启最小占空比等参数。通过试验建立了幅宽与圆盘转速的关系,该系统可根据作业需要直接输入幅宽,使圆盘能够按照指定的转速进行抛撒作业,进一步提高了机具的可操作性和智能性。试验表明:在不同作业速度和不同抛撒幅宽试验下,实际抛撒幅宽与目标抛撒幅宽之间误差最大值为 5.50%,最小值为 2.86%,能够较好地满足实际生产要求。

关键词: 肥料抛撒机 抛撒系统 幅宽控制 脉宽调制

中图分类号: S224.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)S0-0039-05

Breadth Control of Scatter System for Fertilizer Spreader

Zhang Rui Wang Xiu Zhou Jianjun Ma Wei Zou Wei Feng Qingchun

(National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract

A closed loop control system for adjusting fertilizer scatters breath was developed based on the PWM technology. The module circuit, sensor installation and close-loop feedback method were designed. The relation of disc rotation speed and scatters breath was built with experiment. The breadth value could be input to system directly according to the operation needs, so the rotating disk could work under specifying speed which improved operated performance and intelligence of the machine. Experiment showed that with the different operation speed and different width scatters, the maximum error and the minimum error between actual scatters breadth and target scatters breadth was 5.50% and 2.86%, respectively. The designed system can meet the practical production requirements.

Key words Spreader device, Scatter system, Breadth control, Pulse width modulation

引言

肥料抛撒机具有作业效率较高,撒肥均匀等特点。国外早在 1962 年就开始研究针对肥料粒子在圆盘上的运动^[1~4]。之后,许多研究者对圆盘式变量施肥模型及田间试验等作了大量工作,并实现了基于处方图的变量作业^[5~10]。在我国,张睿等应用变量施肥技术,针对国内进行大面积作业需求设计了一种能够进行变量施肥的抛撒机^[11];秦朝民等对离心式撒肥机撒肥板在撒肥盘上的布置进行了分

析^[12];宋卫堂等设计了一种通过地轮驱动撒肥盘旋转的撒肥机^[13];吴辉针对国外圆盘式施肥机进行了相关的抛撒试验及撒肥规律研究^[14]。肥料抛撒机抛肥系统作为抛撒机重要的部件之一,肥料抛撒幅宽调节主要通过提高撒肥盘转速获得。目前大部分肥料抛撒机的抛撒幅宽主要借助拖拉机 PTO 提供较稳定的转速,人为调节撒肥盘抛肥叶片来实现,自动化程度低,且由于撒肥机构加工较复杂,引进成本高,研究试验量大,我国相关研究较少。

采用拖拉机液压系统进行撒肥幅宽调节时,拖

收稿日期: 2012-07-04 修回日期: 2012-08-02

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA10A503)

作者简介: 张睿,博士生,主要从事智能农机装备技术及可持续农业生产研究,E-mail: zhangr@nercita.org.cn

通讯作者: 王秀,研究员,主要从事智能农机装备和机电一体化研究,E-mail: wangx@nercita.org.cn

拖拉机动力驱动液压泵为液压马达提供压力油,液压马达通过流量调节阀控制。在作业过程中,由于对不同作业幅宽的要求,需要对作业幅宽进行调节,因此需要通过流量调节阀对液压马达进行控制,以实现撒肥幅宽的可调。本文基于脉宽调制(pulse width modulation,简称 PWM)对撒肥系统幅宽控制进行研究,从而使圆盘转速能够按照目标幅宽需要的转速进行抛撒作业,以保证抛撒作业中幅宽的稳定和一致。

1 抛肥机构设计

肥料抛撒系统主要由横梁、撒肥机构固定梁、撒肥盘、液压马达、拨肥叶片、圆盘托、落肥装置、支撑梁、输肥轮轴、电动推杆和肥箱等组成,如图 1 所示。

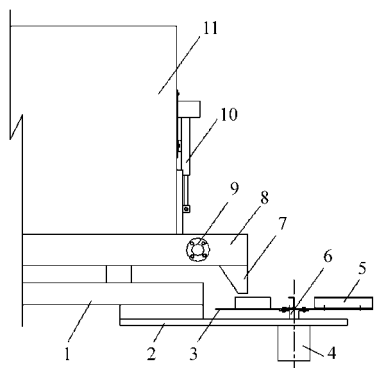


图 1 撒肥机抛肥机构

Fig. 1 Scatter fertilizer structure of spreader

1. 横梁 2. 撒肥机构固定梁 3. 撒肥盘 4. 液压马达 5. 拨肥叶片 6. 圆盘托 7. 落肥装置 8. 支撑梁 9. 输肥轮轴 10. 电动推杆 11. 肥箱

在肥料抛撒作业过程中,当输肥机构将肥料输送到落肥口后,经落肥装置,将肥料均分成两路,使肥料同时落入 2 个高速旋转的圆盘。当肥料从落肥口落到旋转的圆盘上时,由于旋转圆盘产生的离心力以及肥料和圆盘间摩擦力的作用,使肥料在圆盘以及拨肥叶片上运动,最终通过拨肥叶片将肥料均匀抛撒到地表。

2 抛肥幅宽控制系统设计

2.1 幅宽控制系统设计

施肥抛撒幅宽控制系统框图如图 2 所示。整个系统由单片机、转速传感器、LCD 显示屏、键盘、信号放大电路以及液压系统组成。

系统由 C8051F020 芯片、电源转换芯片 AS1117-5.0、AS1117-3.3、SP3232EEA 串口电路芯片以及 22.1184M 晶振等组成。显示部分采用液晶模块,与主控芯片用串口(UART0)相连。撒肥盘转速反馈控制采用霍尔传感器,与处理芯片外部中断 0

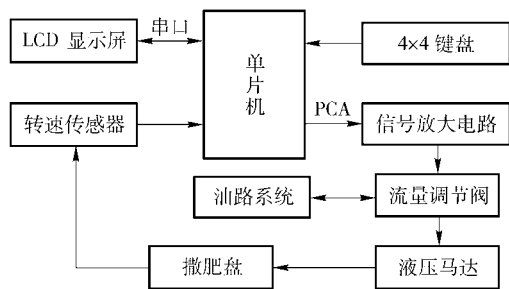


图 2 施肥抛撒幅宽控制系统框图

Fig. 2 Block diagram of control system of fertilization breadth

(INT0)相连,实现对液压马达转速的采集;对于输出 PWM 信号则是采用处理芯片的可编程计数器/定时器阵列(PCA),生成 8 位 PWM 脉冲信号,脉冲频率为 100 Hz。输出控制撒肥幅宽 PWM 脉冲信号由 TIP122 大功率三极管组成的信号放大电路放大。

(1) LCD 模块

考虑经济性,系统选用了 1602 型液晶显示器,系统显示的字符有汉字、数字和单位,工作中实时显示目标幅宽以及实际幅宽。

(2) 键盘设计

采用 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中断扫描方式。本文定义 A 键为幅宽输入键,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或修改新的幅宽,再按 A 键,系统就保存该值并使 LCD 返回到正常显示状态。其他功能键暂作保留键。

(3) PWM 信号放大模块

本控制系统的 PWM 信号输出执行单元主要靠流量阀来完成,改变 PWM 的脉冲宽度可以改变流量阀上电磁阀的供给电压来控制阀口大小,进而实现转速的可调。

由于 PWM 信号的输出是通过软件的设置从单片机的 I/O 口输出的,所以 PWM 输出的驱动电流比较小,它不能直接驱动电磁阀,因此需要加入信号电流的放大。本控制系统信号放大电路采用 TIP122 来完成,TIP122 电路设计如图 3 所示。

(4) 稳压电源模块

由于系统电源通过拖拉机 12 V 电瓶供电,且系统工作主要在 5 V 电压环境中,所以拖拉机内部 12 V 的电瓶输出的直流电压必须要经过降压、整流、滤波和稳压后才能得到需要的电压。为此系统采用了稳压电源 7805,它可以输出 5 V 的电压。稳压电源模块电路图设计如图 4 所示。

(5) 流量控制阀

流量控制阀采用美国 RAVEN 公司变量施肥机

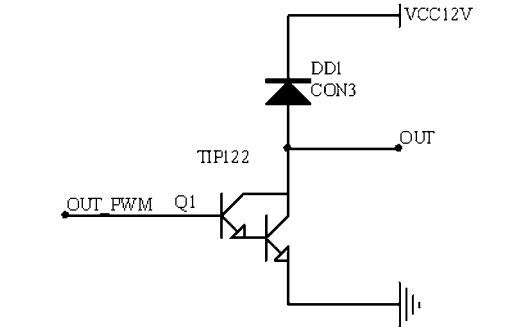


图 3 TIP122 电路图
Fig.3 Circuit diagram of TIP122

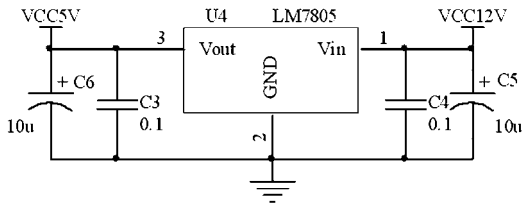


图 4 稳压模块电路图

Fig.4 Circuit diagram of regulated power supply module

专用流量控制阀,它集成了流量阀和溢流阀的功能,根据阀口开度把油分配到圆盘旋转马达,响应时间为 375 ms,剩余的液压油经回油管路回油箱。

(6) 传感器选择

系统采用了国产 HBB 系列 HBB10-1K 型 NPN 三线常开霍尔传感器,工作电压为 3~28 V,频率为 5 000 Hz,利用霍尔传感器开闭产生的脉冲数对圆盘转速进行反馈控制。传感器安装如图 5 所示。

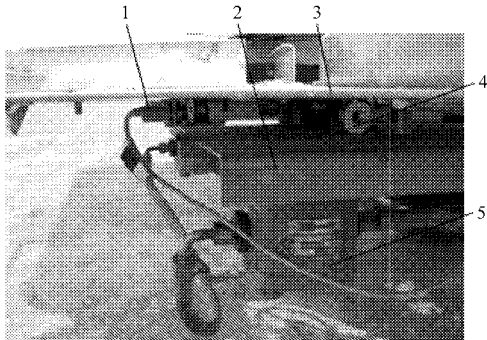


图 5 撒肥盘速度反馈系统

Fig.5 Feedback system of rotation speed of disc

1. 霍尔传感器 2. 液压马达固定梁 3. 液压马达 4. 磁铁
5. 撒肥盘

2.2 PWM 控制的液压系统

PWM 控制的液压系统包括控制器、流量阀、液压马达等。液压系统动力由拖拉机自身液压系统提供。当圆盘转动时,固定于圆盘上的磁铁块控制霍尔传感器的开启,控制电路采集霍尔开关的脉冲信号到单片机,从而使单片机发出 PWM 信号,经驱动电路放大后,驱动与液压马达相连的流量阀。由此不断反馈撒肥盘转速,调节 PWM 信号占空比,控制

流量阀开度,实现系统闭环控制,进而控制液压马达,调节撒肥圆盘转动。系统多余液压油通过流量阀自身溢流阀流回油缸。系统原理如图 6 所示。

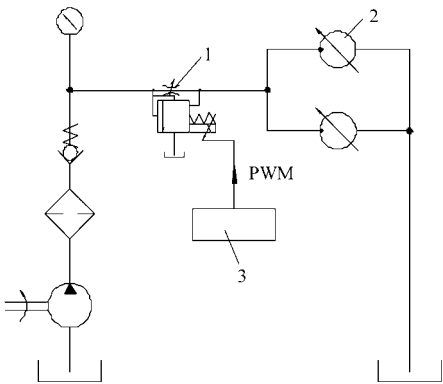


图 6 液压系统原理图

Fig.6 Operating diagram for hydraulic system

1. 流量阀 2. 马达 3. 控制器

2.3 系统实现

(1) PWM 控制方法

控制系统采用单片机设有的 PWM 生成模块,因此单片机输出 PWM 信号需要利用 I/O 口来模拟 PWM 输出,具体实现如下:在定时中断函数中首先设定好 PWM 信号发生的频率,然后在每一个定时周期内把时间分为 400 份,使 PWM 最小分辨率达到 0.25,以保证系统控制精度,通过设定一个 PWM 对应的数值,当计时时间达到该数值时 I/O 口输出为 1,达到 400 时 I/O 口输出为 0,从而使 I/O 口电平依次来回翻转,实现 PWM 方波信号的输出。

在工作时,系统上电后首先进行系统初始化,初始化主要完成 LCD 液晶显示器的显示和单片机键盘的扫描;初始化完成后用户手动输入肥盘转速,通过单片机内部公式的运算得到一个实际的 PWM 值,PWM 信号通过信号放大后输出,驱动电磁阀,此时流量阀呈比例地打开,液压驱动肥盘转动,与此同时,单片机通过霍尔测速传感器实时采集肥盘转速来实时调节输出的 PWM 值,闭环控制转速为输入的转速,从而达到系统在工作状态下转速的稳定。系统工作流程如图 7 所示。

(2) 撒肥盘转速与脉宽信号关系

在时间 T 内通过被测信号对转速传感器所测脉冲进行计数,圆盘转速为

$$v = \frac{Q}{Tn} \tag{1}$$

式中 Q ——时间 T 内圆盘旋转产生的脉冲数

n ——被测圆盘上磁铁个数,取 3 个

转速与占空比的关系如图 8 所示。

由图 8 可以看出,撒肥盘转速与 PWM 占空比存在较好的相关关系,其关系式为

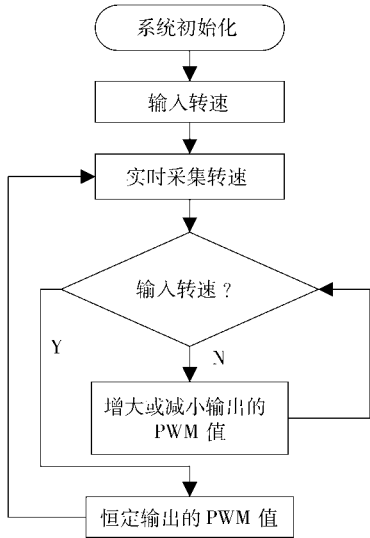


图7 系统工作流程图

Fig.7 Operating flow chart of system

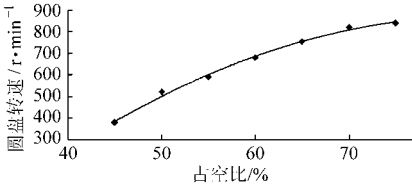


图8 转速与占空比关系

Fig.8 Relation of PWM and rotation of disc

$y = -0.311x^2 + 52.75x - 1\,356 \quad (R^2 = 0.995) \quad (2)$

式中 x ——占空比, %

y ——圆盘转速, r/min

通过试验可建立目标幅宽与流量调节阀大小的关系为

$y = 22.61X + 54.51 \quad (3)$

式中 X ——幅宽, m

由此,便可在作业时直接输入作业幅宽,从而根据目标幅宽对圆盘转速进行调节,使圆盘转速能够按照指定的转速进行抛撒作业。

3 试验

3.1 PWM 占空比试验

在针对 PWM 控制给阀的占空比与电压之间的关系进行了试验,试验结果如图9所示。

试验结果显示,本系统 PWM 占空比小于 45%,撒肥圆盘不能转动,说明流量阀电磁打开小,流经撒肥盘马达的液压油流量太小,不能驱动马达转动;通过对不同频率下 PWM 占空比与流量阀电压关系看,二者之间存在很好的线性相关关系,但二者之间的线性关系与频率基本没有关系。然而,频率的高低对阀体有较大的影响,频率高的情况下,阀体振动增大,伴随噪音增强,对阀体寿命有一定的影响,试验最终选择频率为 80 Hz。

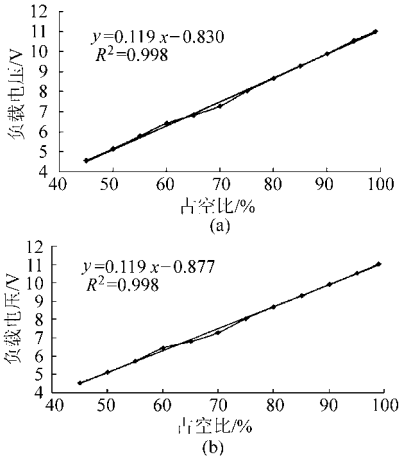


图9 占空比与负载电压的关系曲线

Fig.9 Relation of PWM and load voltage

(a) 频率为 50 Hz (b) 频率为 110 Hz

3.2 不同作业速度下幅宽变化

为了检验系统的实际操作性能,对施肥抛撒系统在不同作业速度下进行了抛撒幅宽的试验。试验在国家精准农业示范基地的试验地进行,所用肥料为尿素,牵引动力为福田-90型拖拉机;使用 350 mm × 250 mm × 90 mm 的接肥盒来接撒施于地表的化肥。

参照美国农业工程师学会的标准 ASAE S341.2 的试验说明^[15],试验采用二维矩阵收集的方法。施肥区域为 30 m × 35 m 的矩形区域,在横向施肥幅宽上每间隔 1.5 m 安放一系列收集肥料的盒子,纵向施肥距离上每 3.5 m 安放一行盒子。其中,±2.0 m 两列之间为拖拉机行驶的区域。试验在无风条件下进行,拖拉机要求沿中轴线方向前进,保证纵向中线对准中轴线。试验结果如表1所示。

表1 不同作业速度下抛撒幅宽

Tab.1 Scatter breadth under different work speeds

圆盘转速 /r·min ⁻¹	目标幅宽 /m	实际 幅宽/m	相对 误差/%
490	20	18.9	5.50
610	25	23.7	5.20
700	28	29.2	4.29

由表1得知,肥料抛撒幅宽的稳定性较好,相对误差最大为 5.50%,同时根据实际试验表明,作业速度适当提高有利于提高幅宽稳定性。

4 结论

(1) 针对采用拖拉机液压系统进行撒肥幅宽的调节,基于 PWM 设计开发了一种闭环控制的幅宽调控系统。用户可根据作业需要直接输入幅宽,便可使圆盘转速能够按照指定的转速进行抛撒作业,

并能进行实时显示,进一步提高了机具的可操作性和智能性。

(2) 确定了 PWM 占空比与转速的关系,二者具有很好的二次多项式关系,从而可通过调节 PWM 占空比对肥料抛撒幅宽进行控制。

(3) 不同频率下 PWM 占空比与负载电压试验结果表明,二者之间具有较好线性关系,但与频率的

关系不大,但试验发现选择频率高情况下,阀体振动加剧,伴随噪音增大。

(4) 在不同速度下进行幅宽试验,结果表明,该系统设计合理,使用方便,幅宽稳定性较好,不同作业速度和不同抛撒幅宽试验下,实际抛撒幅宽与目标抛撒幅宽之间误差在 5.50% 以内,能够较好地满足实际生产要求。

参 考 文 献

- 1 Patterson D E, Reece A R. The theory of the centrifugal distributor: I: motion on the disc, near-centre feed[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1962, 7(3): 232 ~ 240.
- 2 Inns F M, Reece A R. The theory of the centrifugal distributor: II: motion on the disc, off-centre feed[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1962, 7(4): 345 ~ 353.
- 3 Mennel R M, Reece A R. The theory of the centrifugal distributor: III: particle trajectories [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1963, 8(3): 78 ~ 84.
- 4 Hofstee J W, Huisman W. Handling and spreading of fertilizers part I: physical properties of fertilizers in relation to particle motion [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1990, 47(1): 213 ~ 234.
- 5 Fulton J P, Shearer S A, Stombaugh T S. Pattern assessment of a spinner disc variable-rate fertilizer applicator[C] // Sacramento Convention Center, Sacramento, California, 2001.
- 6 Fulton J P, Shearer S A, Chabra G, et al. Performance assessment and model development of a variable-rate, spinner-disc fertilizer applicator[J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(5): 1 071 ~ 1 081.
- 7 Molin J P, Menegatti L A A, Pereira L L, et al. Testing a fertilizer spreader with VRT[C] // ASAE International Meeting of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, Iguacu Falls, Brazil, 2002: 13 ~ 15.
- 8 Fulton J P, Shearer S A, Stombaugh T S, et al. Simulation of variable-rate application of granular materials[C] // ASAE Annual International Meeting, Chicago, Illinois, 2002: 28 ~ 31.
- 9 Hayden G Lawrence, Ian J Yule. Accessing spreader performance for variable rate fertilizer application[C] // ASAE Annual International Meeting, Tampa, Florida, 2005: 17 ~ 20.
- 10 Tony E, Giyoung Kweon. Development of a uniformity controlled granular fertilizer spreader[C] // ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon, 2006: 9 ~ 12.
- 11 张睿,王秀,赵春江,等. 链条输送式变量施肥抛撒机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 20 ~ 25.
Zhang Rui, Wang Xiu, Zhao Chunjiang, et al. Design and experiment of variable-rate fertilizer spreader with conveyor chain [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6): 20 ~ 25. (in Chinese)
- 12 秦朝民,刘君辉. 离心式撒肥机撒肥部件研究设计[J]. 农机化研究, 2002(10): 100 ~ 102.
Qin Chaomin, Liu Junhui. Study and design on spreading mechanism of centrifugal fertilizer spinner [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2002(10): 100 ~ 102. (in Chinese)
- 13 宋卫堂,封俊,刘亚佳. 地轮驱动离心式化肥撒布机的设计与试验[J]. 农业机械学报, 2002, 33(1): 39 ~ 42.
Song Weitang, Feng Jun, Liu Yajia. Design and performance test of a centrifugal type of fertilizer broadcaster with land-wheel driven [J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(1): 39 ~ 42. (in Chinese)
- 14 吴辉. 圆盘式施肥机抛撒试验系统开发与撒肥规律研究[D]. 保定:河北农业大学, 2007.
Wu Hui. Development and distribution study on the spreading test system for a spinner spreader[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2007. (in Chinese)
- 15 S341.2. Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating granular broadcast spreaders[S]. ASAE Standards, USA: Joesph, 1997.