

基于 PLC 的变量喷雾系统的设计与试验

齐亚聪¹, 陈毅飞^{2,3}, 杨会民^{2,3}, 喻晨^{2,3}, 王学农^{1,2,3}

(1. 新疆农业大学机电工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院农业机械化研究所, 乌鲁木齐 830091; 3. 农业农村部林果棉装备科学观测实验站, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 精准农业是农业生产的发展方向, 故根据精准农业中变量喷雾技术的发展需求, 对变量喷雾技术进行研究。在此, 主要介绍了一种基于可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 的变量喷雾系统, 通过试验验证该变量喷雾系统的变量性能。变量喷雾系统主要由 PLC、触摸屏 (Touch Panel Monitor)、电磁阀、药水泵、压力表及电源模块等组成, 使用触摸屏通过 RS232 通讯给 PLC 发送变量信号, PLC 接收到信号后调节电磁阀的开度, 达到变量喷雾的目的。通过在 3 个不同管路压力、10 个不同电磁阀开度的试验, 建立管路压力、电磁阀开度和喷头喷雾量的模型参数。试验结果表明: 喷雾系统有较好的变量能力, 在同一压力、不同开度条件下的最大变量能力为 6.77, 在不同压力、不同开度工作条件下最大变量能力为 9.91。在不同压力下, 分析并验证了电磁阀开度与喷雾量之间函数关系, 曲线拟合结果表明: 利用线性函数、指数函数、多项式函数拟合电磁阀开度和喷雾量, 决定系数均大于 0.9, 最大为 0.9998。相对误差分析结果表明: 利用指数函数和多项式函数拟合的平均相对误差均在 4% 以内, 可为变量喷雾机的设计与应用提供技术与数据支撑。

关键词: 变量喷雾; PLC; 电磁阀; 开度; 喷雾量

中图分类号: S491; S275.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2024)09-0162-07

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2024.11.017

0 引言

虽然我国农作物种植面积位居前列, 但是农业科技相对落后^[1]。目前, 针对病虫害我国主要利用化学方法进行防治, 且在很大程度上依赖人力来完成, 在农药的使用上具有盲目性和随意性, 农药利用率低, 造成了水源和土壤的污染, 给人体带来了隐患^[2-3]。我国喷雾技术和智能化机械与国际水平还有一定的差距, 变量喷雾对农业可持续发展有着重要意义, 可以提高产量, 减少能耗和污染。因此, 研究使用精准喷雾设备对作物进行精准施药已迫在眉睫^[4]。

目前, 变量喷雾主要应用的决策执行技术手段有压力调流式、恒压变流式及浓度调节式^[5]。压力调流式变量喷雾系统主要是通过控制喷雾管路的调压阀来改变喷雾系统压力, 从而实现变量喷雾^[6]。常相铖等^[7]对压力式变量喷雾喷头进行了研究, 发现当压力

在 0.1~0.35MPa 范围变化时, 喷雾量的调节区间为 2。李素璇等^[8]设计的精准变量喷雾系统主要通过二通电磁阀比例阀进行喷雾量调节, 可以根据车速的变化, 实时记录控制器的流量和实际流量并进行分析, 系统具有较高的稳定性和可靠性。陈晓明^[9]设计的实时精准变量喷雾系统, 在作业过程中可实时精准改变药液浓度, 药液混合浓度误差在 5% 以下。总的来说, 压力调流式变量喷雾系统结构简单、容易实现, 不断改变喷雾管路压力会导致喷头雾化效果差、喷雾均匀度降低且调节范围小^[10]。压力调流式流量反应较为滞后, 不适合应用于实时变量喷雾系统。采用浓度调节式的变量喷雾系统虽然能够提高药液的利用率减少药液浪费, 但药液浓度改变较为滞后^[11]。基于上述研究, 设计了一种基于 PLC 的变量喷雾系统, 并搭建了试验系统进行试验。系统采用恒压变流式来调节流量, 测量同一压力下不同开度的喷头喷雾量, 研究电磁阀不同开度与流量之间的关系, 建立模型并验证该系统的变量能力。

1 变量喷雾原理介绍

1.1 变量喷雾机介绍

系统的设计主要应用于变量喷雾机上, 变量喷雾机是相比于连续式恒定喷雾机来讲的。变量喷雾机

收稿日期: 2022-11-03

基金项目: 新疆农业科学院自主培育项目 (nkyztd-003); “新疆设施农业智能管控技术重点实验室”项目 (XJYS1703); 教育部第二批新工科研究与实践项目 (E-SPNL20202326, 地方高校组)

作者简介: 齐亚聪 (1996-), 男, 河南兰考人, 硕士研究生, (E-mail) 1477605991@qq.com。

通讯作者: 王学农 (1964-), 男, 陕西汉中, 研究员, 硕士生导师, (E-mail) xjwxn2010@sina.com。

基于软件与硬件的配合,可根据不同喷施空间内的不同叶面积密度实时调整喷雾流量^[12]。喷雾机的探测装置位于喷雾机的最前端,对作物叶面积密度进行探测,生成喷雾处方。喷雾机的后端为喷雾装置,根据喷雾处方进行变量喷雾作业^[13]。将喷雾宽度、喷雾高度、喷雾深度作为一个喷施空间,对应的喷雾量随着作物叶面积密度的改变而改变。喷雾机探测装置为三维激光雷达,采用激光点云测量叶面积的方法,通过对植株点云来估算植株的叶面积。根据叶面积计算叶面积密度,叶面积密度作为喷雾量的依据^[14]。

1.2 流量控制原理介绍

无论是在线混药喷雾系统还是喷雾前在药箱内配比农药的喷雾系统,都是通过控制流量达到变量喷雾的目的^[15]。系统采用恒压变流的方式来控制系统的喷雾量,在不改变管路压力的前提下改变通过电磁阀门的流量,达到控制喷雾量的目的^[16]。采用 PLC 程序控制单位时间内电磁阀开启时长的变量喷雾手段。设单位时长为 T ,电磁阀开启时长为 t ,则电磁阀的开启度为开启时长 t 与单位时长 T 的比值。流量公式为

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \frac{1}{\xi} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \cdot t \quad (1)$$

式中 Q —通过电磁阀的流量 (mL);

π —圆周率;

D —管道直径 (mm);

ξ —阻力系数;

Δp —管路压力差 (MPa);

ρ —液体密度 (kg/m^3);

t —电磁阀开启时长 (s)。

由式(1)可知:通过电磁阀的流量 Q 在管道直径 D 、阻力系数 ξ 、管路压力差 Δp 、液体密度 ρ 不变的情况下,只与电磁阀的开启时长 t 有关,开启时间越长通过电磁阀的流量 Q 就越大。因此,只需要控制电磁阀的开启时长即可以调整喷雾量的大小^[17]。

2 变量喷雾系统搭建

2.1 系统整体设计

试验系统主要由药水箱、药水泵、压力表、电源、PLC、触摸屏、电磁阀、电源模块及管路等组成,如图1所示。在本系统中,由 PLC 控制电磁阀的开启度来改变实际的喷雾量,PLC 与触摸屏通过 RS232 端口连接,遵循 Modbus 通讯协议建立通讯,操作者通过触摸屏给 PLC 提供电磁阀的开启度。电源模块为药水泵、PLC、触摸屏和电磁阀等设备供电。药水泵不仅可以提供管路压力,还可以调节管路压力的大小,保证管

路在试验期望的恒定压力下工作,排除压力对电磁阀喷雾量的影响。电磁阀两端的压力表主要用于直观观察管路压力大小及管路经过电磁阀之后压力是否有大幅度波动。

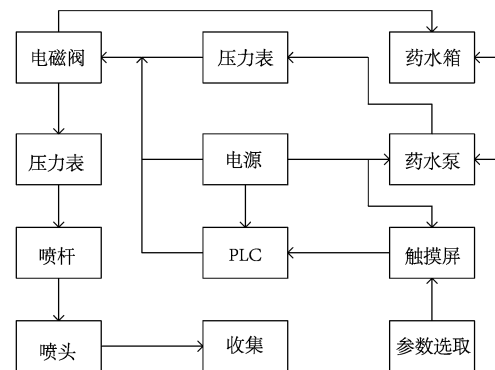


图1 变量喷雾系统整体结构图

Fig. 1 Overall structure diagram of the variable spray system

2.2 系统的主要硬件选择

控制器是本系统的核心部件,为了达到实时变量的目的,要求具有速度快、通讯功能强大、稳定性高等特点^[18]。因为单片机开发系统需要设计外围电路,且单片机抗干扰能力较弱^[19],故系统选用 XD3-16RT-C 信捷 PLC,如图2所示。该款 PLC 为 XD 系列中的标准机型,功能齐全,具有更快的处理速度,且 8 点位输入、8 点位输出,24V 电源供电,可满足本变量喷雾系统的使用。



图2 XD3-16RT-C 信捷 PLC

Fig. 2 XD3-16RT-C Xinjie PLC

电磁阀是整个变量喷雾系统必不可少的执行部件,直接安装在系统管路上,接收 PLC 的控制信号,通过控制信号来改变其开启度控制喷头的喷雾量^[20]。电磁阀的可靠性和启闭能力直接影响着变量喷雾系统的性能。本系统选用电磁阀为阿斯科(Asco) D332 系列的干式二位三通常闭高频隔离电磁阀,如图3所示。该电磁阀反应迅速,启闭时间均小于 30ms,可运用于频繁启闭的实时变量喷雾系统。二位三通型电磁阀一共 3 接口,电磁阀通电时,接口 2 通向接口 1,

接口 3 关闭,电磁阀断电时,接口 3 通向接口 2,接口 1 关闭,保证管路压力稳定。

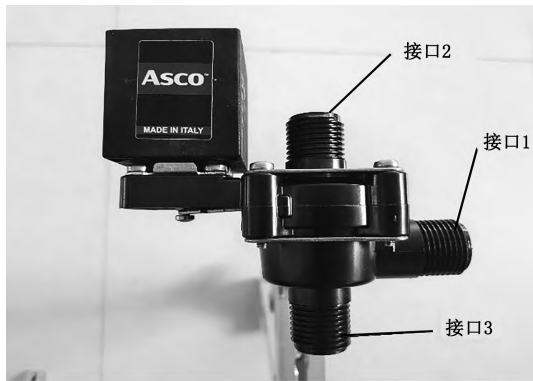


图 3 电磁阀实物图

Fig. 3 Physical drawing of the solenoid valve

触摸屏作为系统的上位机,承担着向 PLC 传递信息的功能,是交互式图形化人机交互作业不可或缺的一部分,是目前比较理想的操作面板设备,可通过图画的形式显示各关键部件的工作状态以便于直观观测系统的运行情况。本系统选用信捷的 TG 系列型号为 TG765S-XT 的触摸屏。

药水泵承担着提供系统管路压力的功能,药水泵稳定的压力输出可以提高变量喷雾系统的精度。药水泵分直流式和回流式,直流式药水泵在管路堵塞的情况下会损坏管道和泵自身。所以,本系统采用福老大双核动力回流式药水泵,可以调节输出压力,最高压力可达 0.85MPa;当管路压力过大时还可以实现药水泵自动内部循环以达到减压的目的,保护管路及泵自身不受损坏。

2.3 系统程序设计

变量喷雾系统主要的程序就是控制整个系统的启停,包括药水泵的启停、控制电磁阀的启停及开度。系统采用信捷 PLC 作为下位机,通过信捷 PLC 编程工具软件进行程序编写。该软件不仅可以进行程序编写,还具有硬件配置、通讯设置及程序测试等功能。

本程序对电磁阀开度的控制以 1s 为单位,假如电磁阀在这 1s 内开启 100ms,关闭 900ms,此时将电磁阀的开度定义为 10%;以此类推,将电磁阀的开度分为 0、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%。在整个 PLC 程序中,每个开度试验程序均由 3 个时间继电器组成,第 1 个时间继电器 T_0 控制电磁阀开启时长,第 2 个时间继电器 T_1 控制电磁阀的闭合时长,第 3 个时间继电器 T_2 控制该开度试验的时长。图 4 中,程序中左侧 M 代表常开开关,右侧 M 代表程序的衔接,无现实意义; Y_0 代表电磁阀, Y_7 代表药水泵。PLC 接收到上位机发来的启动指令后,将接

收到的信号发送至电磁阀和药水泵,控制电磁阀的开度和药水泵的开启。电磁阀 10% 开度试验的程序梯形图如图 4 所示。

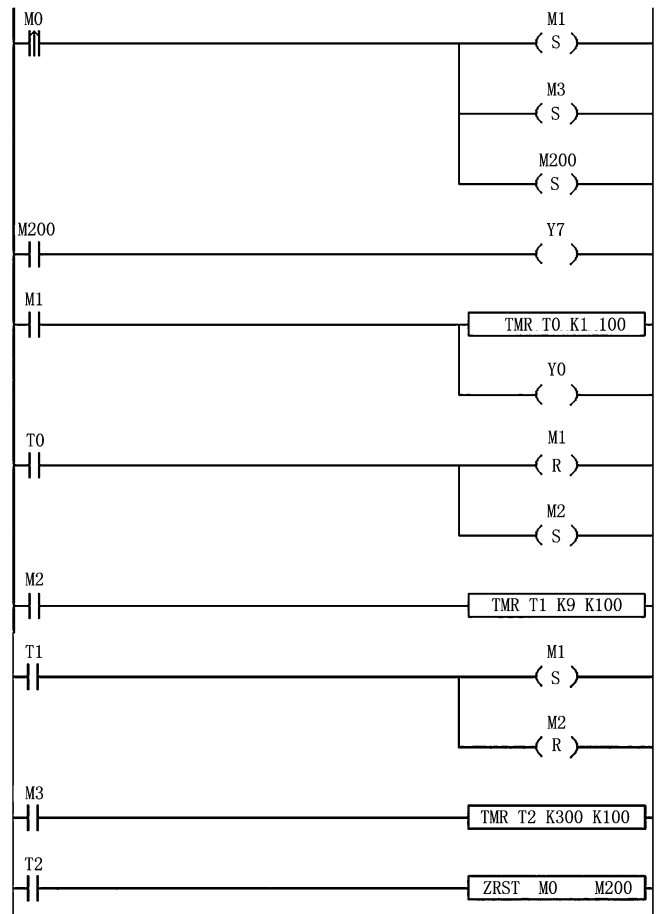


图 4 控制程序部分梯形图

Fig. 4 Part trapezoid diagram of control procedure

为方便信息传递,应用信捷触摸屏配套的 Touch-win 编辑软件对人机交互页面进行编辑,该人机交互页面不仅可以控制程序的启闭还可以直观观测系统的运行状态。在人及交互页面中共 11 个按钮开关,即 10 个传递电磁阀 10 个不同开度的信号,每个按钮开关对应着 1 个电磁阀的开度,当某个开度程序运行时,另 1 个用于传递急停信号。该开度对应的按钮开关为绿色,反之则为红色。电磁阀和药水泵的开闭状态由 2 盏信号灯表示,同理,绿色代表开启,红色代表关闭。人机交互页面如图 5 所示。

3 变量喷雾试验

3.1 试验设计

试验在新疆农业科学院农机化研究所实验室进行,为减少试验污染保障人员安全,采用清水代替药水进行喷雾试验。系统采用国产 PL D-5 喷头,最高工作压力达 1.0MPa,在 0.1MPa 的情况下也具有较好

的雾化效果。试验前,先调节药水泵保证系统喷雾压力为期望值,普通喷雾器的工作压力一般为 0.1MPa。所以,试验分为 3 组,在 0.1、0.15、0.20MPa 3 种压力下分别进行变量喷雾试验。电磁阀开度 0~100%,每 10% 试验 1 次,利用量具收集喷雾,测量每个喷头的喷雾量。试验系统喷头为 4 个,将 4 个喷头分别进行编号,标定管路最远端的喷头为 4 号,由远及近依次为 4、3、2、1 号。每次试验时间 30s,为减少试验误差,每次试验重复 3 遍,取平均值记录,并将 4 个喷头的平均喷雾量相加,记录为喷雾总量。试验现场如图 6 所示。

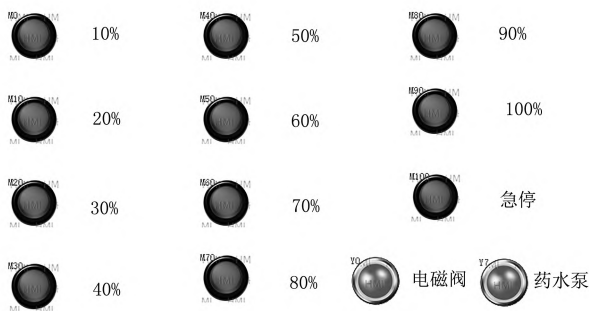


图 5 人机交互页面

Fig. 5 Human-computer interaction page

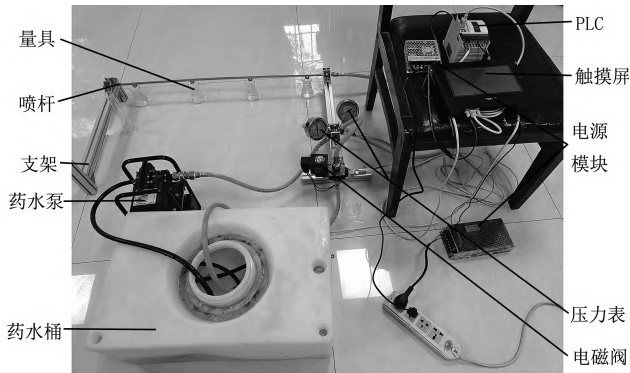


图 6 试验现场图

Fig. 6 Test field diagram

3.2 结果分析

由表 1 可知:本喷雾系统在电磁阀同一开度、管路同一压力下,4 个喷头的喷雾量最大相差 9mL,系统的最大喷雾量与最小喷雾量的比值为系统的变量能力,在 0.1MPa 压力下本系统的变量能力达 6.77,在 0.15MPa 压力下本系统的变量能力达 6.45,在 0.20MPa 压力下本系统的变量能力达 6.23,本系统在改变压力的工作条件下变量能力可达到 9.91。

开度和压力是影响喷头喷雾量的重要因素,合理调节电磁阀开度和管路压力的大小,可以实现对作物的按需喷雾^[21]。研究发现:电磁阀的开度和管路压力对喷头的喷雾量会产生显著影响。通过多元线性回

归分析方法,建立了喷头喷雾量 y_1 与电磁阀开度 x_1 和管路压力 x_2 之间方程,即 $y_1 = -122356 + 498.283x_1 + 1014x_2$ 。对上述方程进行拟合,拟合决定系数 $R^2 = 0.909$,拟合决定系数 R^2 用于判断拟合效果, R^2 越接近 1 表现出的拟合效果越好^[22]。图 7 是不同压力和电磁阀开度对总喷雾量影响的散点图。

表 1 不同压力和开度对喷雾总量的影响

Table 1 Effects of different pressures and openings on the total spray volume

开度 /%	压力 /MPa	单个喷头喷雾量				差值	总量
		1	2	3	4		
10	0.10	17	17	16	16	1	66
	0.15	22	22	21	21	1	86
	0.20	28	27	25	25	3	105
20	0.10	21	20	19	20	2	80
	0.15	26	26	25	25	1	102
	0.20	34	33	31	31	3	129
30	0.10	26	25	24	24	2	99
	0.15	32	31	30	30	2	123
	0.20	42	41	38	37	5	158
40	0.10	32	31	30	30	2	123
	0.15	39	38	36	34	5	147
	0.20	50	48	45	44	6	187
50	0.10	40	38	37	37	3	152
	0.15	50	48	45	42	8	185
	0.20	61	59	57	55	6	232
60	0.10	49	48	47	45	4	189
	0.15	58	56	53	51	7	218
	0.20	73	72	69	66	7	280
70	0.10	60	59	58	56	4	233
	0.15	72	70	66	66	6	274
	0.20	88	82	82	81	7	333

续表1

mL

开度 /%	压力 /MPa	单个喷头喷雾量				差值	总量
		1	2	3	4		
80	0.10	76	74	72	72	4	294
	0.15	92	90	87	86	6	355
	0.20	112	110	107	106	6	435
90	0.10	92	90	88	88	4	358
	0.15	116	114	111	111	5	452
	0.20	140	137	133	132	8	542
100	0.10	113	112	111	111	2	447
	0.15	142	141	139	133	9	555
	0.20	168	165	162	159	9	654

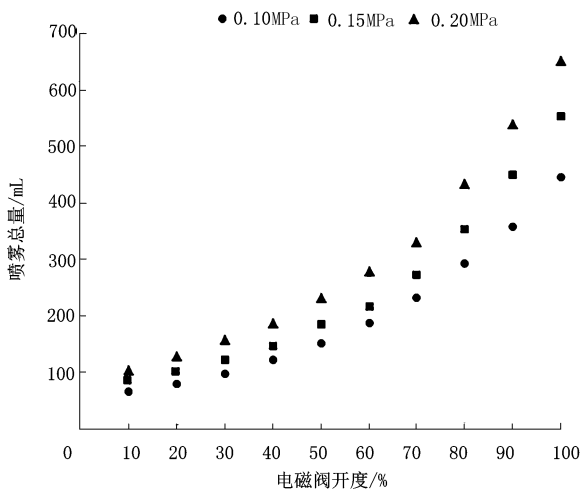


图7 压力与电磁阀开度对喷雾量的影响

Fig.7 Effect of pressure and solenoid valve opening on spray amount

由图7可知:当管路压力一定时,总喷雾量随着电磁阀开度的增大而增大;当电磁阀开度保持同一水平时,总喷雾量随着管路压力的增大而增大。

在管路压力为0.1MPa的情况下,采用函数拟合法建立电磁阀开度与喷雾量的关系模型,本次拟合包含线性函数、指数函数和多项式函数。设横坐标为电磁阀的开度,纵坐标为该次试验中4个喷头在30s的喷雾总量,拟合结果如图8~图10所示。在电磁阀开度0~100%范围内变化的3种拟合函数分别为:

1) 线性函数拟合方程, $y=4.0709x-19.8$, 决定系数 $R^2=0.9324$;

2) 指数函数拟合方程, $y=52.465e^{0.0214x}$, 决定系数 $R^2=0.9998$;

3) 多项式函数拟合方程: $y=0.0428x^2-0.6333x+74.283$, 决定系数 $R^2=0.9982$ 。

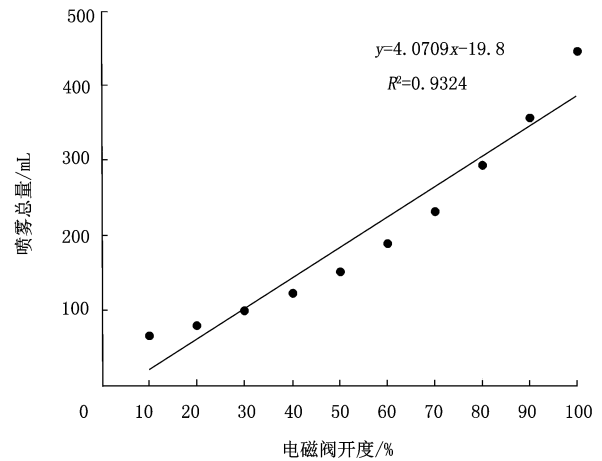


图8 线性函数拟合分析图

Fig.8 Linear function fitting analysis plot in fig

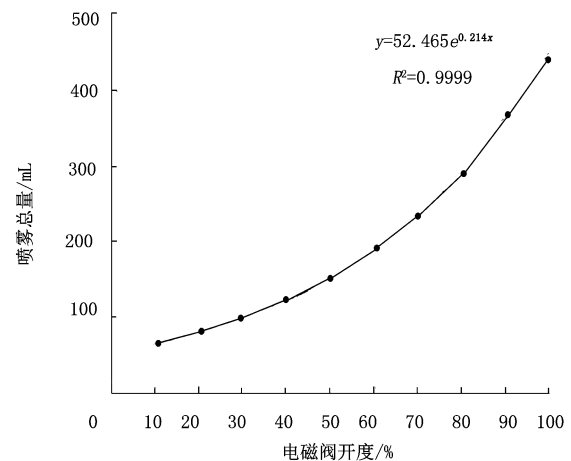


图9 指数函数拟合分析图

Fig.9 The exponential function fit analysis plot in fig

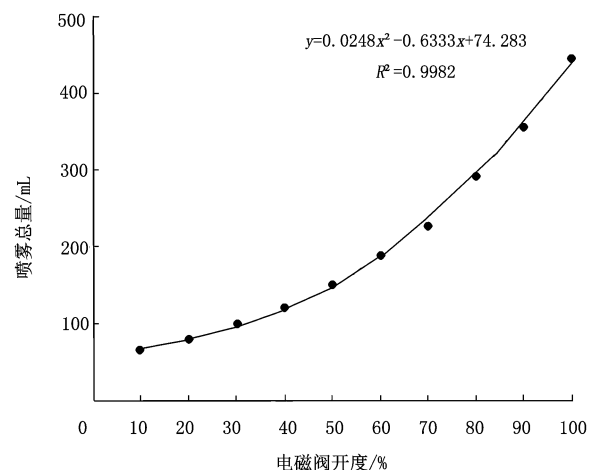


图10 多项式函数拟合分析图

Fig.10 Polynomial function fitting analysis of fig

拟合结果表明:上述3种拟合函数的拟合效果较好,且指数函数拟合效果最好;系统的电磁阀开度在0~100%范围内变化时,喷头的喷雾量与电磁阀的开度

有较强的函数关系。

在管路压力为0.15MPa的情况下,采用同样的分析方法,3种拟合函数分别为:

1)线性函数拟合方程, $y=4.997x-25.133$,决定系数 $R^2=0.9106$;

2)指数函数拟合方程, $y=65.978e^{0.0209x}$,决定系数 $R^2=0.9963$;

3)多项式函数拟合方程, $y=0.0606x^2-1.6739x+108.28$,决定系数 $R^2=0.9965$;

4)线性函数拟合方程, $y=5.8806x-17.933$,决定系数 $R^2=0.9259$;

5)指数函数拟合方程, $y=84.66e^{0.0203x}$,决定系数 $R^2=0.9998$;

6)多项式函数拟合方程, $y=0.0642x^2-1.1819x+123.32$,决定系数 $R^2=0.9966$ 。

结果表明:决定系数 R^2 均大于0.90,且指数函数和多项式函数的拟合决定系数 R^2 均大于0.99,表明电磁阀开度与喷雾量之间存在一定的函数关系。

3.3 误差分析

试验统计的喷雾量 y_i 与由电磁阀开度经拟合函数方程计算的喷雾量 y_n 之间的误差 e_i 为

$$e_i = \frac{|y_n - y_i|}{y_i} \times 100\% \quad (2)$$

拟合函数方程计算的喷雾量平均误差为 e' 为

$$e' = \frac{\sum_{i=1}^{10} e_i}{10} \quad (3)$$

根据管路压力不同分为3个类型,即0.10、0.15、0.20MPa。将试验统计的喷雾量分别与3种拟合函数方程得到的喷雾量计算相对误差,计算结果如表2所示。

表2 相对误差统计表
Table 2 Relative error statistics table %

压力 /MPa	线性函数		指数函数		多项式函数	
	最小	平均	最小	平均	最小	平均
0.10	3.19	18.50	0.24	0.68	0.22	0.71
0.15	1.44	21.01	0.42	3.77	0.18	0.57
0.20	0.31	17.97	0.69	2.00	0.15	1.07

由表2可知:管路压力为0.10MPa时,在3种函数拟合结果的相对误差比较中,采用多项式函数拟合计算的喷雾量与试验统计的喷雾量之间的相对误差最小为0.22%;采用指数函数拟合计算的喷雾量与试验统

计的喷雾量之间的平均相对误差最小为0.68%。管路压力为0.15MPa时,采用多项式函数拟合计算的喷雾量与人工试验统计的喷雾量之间的相对误差最小为0.18%,平均相对误差最小为0.57%。管路压力为0.20MPa时,采用多项式函数拟合计算的喷雾量与人工试验统计的喷雾量之间的相对误差最小为0.15%,平均相对误差最小为1.07%。利用指数函数和多项式函数拟合的平均相对误差均在4%以内,表明该变量喷雾系统具有较好的精度,可应用于变量喷雾机。

4 结论

1)通过分析变量喷雾机的作业机理,利用PLC建立变量喷雾系统,可满足变量需求及应用于变量喷雾机,以实现针对不同长势作物的变量喷雾作业。

2)进行了基于PLC的变量喷雾试验,结果表明:系统的最大变量能力为9.91,在不同压力下,分别基于线性函数、指数函数与多项式函数对电磁阀开度与喷雾总量进行曲线拟合,决定系数均大于0.90。分析结果证明电磁阀开度与喷雾总量存在一定的函数关系,可以实现根据电磁阀开度和管路压力对喷头总喷雾的设定,可为喷雾量的快速确定提供数学模型和理论指导。

3)利用指数函数和多项式函数拟合的平均相对误差均在4%以内,表明该变量喷雾系统可拥有较好的变量精度。变量喷雾系统是变量喷雾机实现变量手段的核心技术,但要实现变量喷雾机的完全自主变量作业,后续将进一步研究把作物探测系统与变量喷雾系统相结合,从而实现变量喷雾机根据作物的长势进行按量喷雾。

参考文献:

- [1] 邱白晶,闫润,马靖,等.变量喷雾技术研究进展分析[J].农业机械学报,2015,46(3):59-72.
- [2] 王帅军,李明贵,俞雪奇.我国生态施药技术现状与发展趋势[J].农机使用与维修,2018(8):22-23.
- [3] 何雄奎.我国植保无人机喷雾系统与施药技术[J].农业工程技术,2018,38(9):33-38.
- [4] 张波,翟长远,李瀚哲,等.精准施药技术与装备发展现状分析[J].农机化研究,2016,34(10):1-15.
- [5] 余昭南,胡军,初鑫,等.变量喷雾系统的喷雾控制方式研究现状及展望[J].中国农机化学报,2019,40(9):72-79.
- [6] 孙文峰,刘海洋,王润涛,等.基于神经网络整定的PID控制变量施药系统设计与试验[J].农业机械学报,2020,51(12):55-64,94.
- [7] 常相铨,王熙,刘鹏.压力式变量喷雾喷头特性研究[J].

- 农机化研究,2014,36(4):1-6,28.
- [8] 李素璇,高明,魏东辉,等. 精准变量喷雾控制系统的设计[J]. 农机化研究,2018,40(6):71-75.
- [9] 陈晓明. 实时精确变量喷雾系统的设计与研究[J]. 中国农机化学报,2018,39(5):64-67.
- [10] 魏新华,蒋杉. 农药变量喷施技术的研究现状及发展趋势[J]. 农机化研究,2011,33(2):9-14.
- [11] 黄胜,朱瑞祥,王艳芳,等. 变量施药机的恒压变量控制系统设计及算法[J]. 农机化研究,2011,33(2):19-22.
- [12] 翟长远,赵春江,WANG N,等. 果园风送喷雾精准控制方法研究进展[J]. 农业工程学报,2018,34(10):1-15.
- [13] 乔白羽,何雄奎,王志翀,等. 基于LiDAR扫描的高地隙宽幅喷雾机变量施药系统研制[J]. 农业工程学报,2020,36(14):89-95.
- [14] 范道全,张美娜,潘健,等. 基于靶标叶面积密度参数的变量喷雾控制系统开发与性能试验[J]. 智慧农业(中英文),2021,3(3):60-69.
- [15] SHEN Y, ZHU H. Embedded computer-controlled premixing inline injection system for air-assisted variable-rate sprayers[J]. Transactions of the ASABE, 2015, 58: 39-46.
- [16] 张佳琛,邓巍. 基于恒压变流控制的变量喷雾试验研究[J]. 农机化研究,2021,43(4):191-195,207.
- [17] LI L L, HE X K, SONG J L, et al. Design and experiment of variable rate orchard sprayer based on laser scanning sensor[J]. Int J Agric. & Biol. Eng., 2018, 11(1): 101-108.
- [18] 朱千锋. PLC 在小麦喷雾器精准施药控制中的应用[J]. 农机化研究,2021,43(10):227-230,235.
- [19] 冯耀宁,裴亮,李晔,等. 喷杆喷雾机变量喷雾控制与测试试验台设计[J]. 中国农机化学报,2021,42(11):43-49.
- [20] YAN T, ZHU H, SUN L. Investigation of an experimental laser sensor-guided spray control system for greenhouse variable-rate application[J]. Transactions of the ASABE, 2019, 62(4):899-911.
- [21] CHEN Y, ZHU H P, H E OZKAN. Development of a variable-rate sprayer with laser scanning sensor to synchronize spray outputs to tree structures[J]. Transactions of the ASABE, 2012, 55(3):773-781.
- [22] 马立平. 现代统计分析方法的学与应用(十)-多元线性回归分析[J]. 北京统计,2000(10):38-39.

Design and Test of Variable Spray System Based on PLC

Qi Yacong¹, Chen Yifei^{2,3}, Yang Huimin^{2,3}, Yu Chen^{2,3}, Wang Xuenong^{1,2,3}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Ürümqi 830052, China; 2. Agricultural Mechanization Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Science, Ürümqi 830091, China; 3. Scientific Observation and Experimental Station of Forest Fruit, Cotton and Facility, Agriculture Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Ürümqi 830091, China)

Abstract: Precision agriculture is the development direction of agricultural production. According to the development needs of the variable spray technology in precision agriculture, the variable spray technology is studied. This paper mainly introduces a variable spray system based on Programmable Logic Controller (PLC) to verify the variable performance through the test. The variable spray system is mainly composed of PLC, touch screen (Touch Panel Monitor), solenoid valve, drug water pump, pressure gauge and power supply module. The system uses the touch screen to send the variable signal to the PLC through the RS232 communication. After receiving the signal, the PLC adjusts the opening degree of the solenoid valve to achieve the purpose of the variable spray. Establish the model parameters of line pressure, solenoid valve opening and head spray amount through the tests of solenoid valve opening. The test results show that the spray system has a good variable power of 6.77 under the same pressure and 9.91 under different pressure and different opening operating conditions. The function between the solenoid valve opening and the spray amount is analyzed and verified at different pressures. The curve fitting results show that by using the linear function, index function and polynomial function, the determination coefficient is greater than 0.9, where the maximum is 0.9998. The relative error analysis results show that the average relative error of the exponential function and the polynomial function fitting is within 4%, which provides technical and data support for the design and application of the variable sprayer.

Key words: variable spray; PLC; solenoid valve; opening degree; spray volume