

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.02.017

混药质量浓度在线检测装置*

邱白晶 贾方闻 邓斌 王立伟 陆洪兰
(江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 根据溶液质量浓度不同,其折光率不同的原理,设计了一种混药质量浓度在线检测装置。采用波长 650 nm 二极管激光器作为光源,PSD 作为光斑位置探测器,设计和制造了有机玻璃材质的三角形检测管和以 OPA4277 芯片为主的信号调理电路。在流量为 4.7、5.4 和 6.1 L/min 时得到的光斑位置与质量浓度拟合曲线的决定系数 R^2 均大于等于 0.983 1,且随着流量的减小,其拟合曲线的决定系数逐渐增大。在流量为 6.1 L/min 时,在线测量混药质量浓度存在最大偏差为 0.075 1 g/L,平均相对误差为 8.99%。表明该装置可用于混药质量浓度的在线检测。

关键词: 混药质量浓度 折射率 二极管激光器 位置敏感探测器 检测管

中图分类号: S237; S49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)02-0099-06

引言

在线混药避免了人工混药和清洗,便于实现施药量与机器行驶速度的自动匹配,提高了施药过程的安全性,有助于减少农药的超量使用^[1]。我国植保机械检测标准中对混药装置尚无定量检测指标,因此需要发展混药质量浓度定量检测方法与装置。

Miller 等采用微孔流量计测量了一种混药装置的混药质量浓度变化情况^[2]。刘志壮等对进入混药器的农药流量和水流量同时进行测量,然后通过计算得出混合后溶液的质量浓度^[3]。上述方法都是通过精确配比得出混药质量浓度,并没有给出混药后质量浓度的测量值。

Zhu 等采用计量泵来严格控制进入水流中的农药药剂量,同时在雾场中等间隔放置取样容器收集雾滴,再根据化学计量学方法给出取样容器中精确的农药含量^[4]。Ozkan 等根据光散射的原理设计了一种检测药箱混药质量浓度的装置^[5]。郭宇波等以荧光示踪剂代替农药,使用量杯采集相邻 50 cm 的 4 个喷头喷出的溶液,然后使用荧光仪测量其质量浓度^[6]。上述方法虽然给出混药后溶液的质量浓度,但是无法实现在线检测。

Vondricka 等根据透光率原理设计了一种质量浓度检测传感器^[7],该方法需要根据检测质量浓度的范围,调整光源的强度。Fetisov 等设计了一种光路可变式的浊度测量装置,通过调整光源到光学测

量装置的距离,实现质量浓度检测^[8]。Chen 等使用表面等离子共振仪和外差干涉法测量液体质量浓度^[9],但是该装置体积较大,难以实现在线测量。Koller 等使用近红外光谱法检测了颗粒流的混合过程^[10],但是该方法给出的是体积浓度。

本文根据溶液质量浓度不同,其折光率不同的原理,设计一种混药质量浓度在线检测装置。

1 混药质量浓度在线检测装置整体设计

1.1 整体结构

检测装置与混药器的配置关系如图 1 所示,箭头方向为液体流动方向。该检测装置主要由光源、

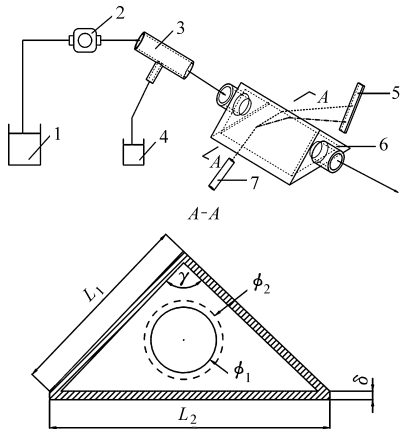


图 1 混药质量浓度在线检测系统

Fig. 1 Mixing mass concentration online detection system

1. 药桶 2. 水桶 3. 柱塞泵 4. 混药器 5. 光斑位置探测器
6. 透明检测管 7. 光源

收稿日期: 2013-03-06 修回日期: 2013-04-10

* 国家农业科技成果转化资金资助项目(2012GB2C100154、2010C10046)、国家自然科学基金资助项目(31271620)、江苏省高校自然科学研究重大资助项目(10KJA47007)、国家公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203025-04)和江苏高校势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8号)

作者简介: 邱白晶,教授,博士生导师,主要从事农业机械化工程与植保机械研究,E-mail: gbj@ujs.edu.cn

检测管和光斑位置探测器组成。

1.2 光斑位置探测器和光源

1.2.1 光斑位置探测器

溶液质量浓度变化时,到达光斑位置探测器上的光线位置会产生相应移动(图1)。光斑位置探测器的作用是实现光线位置的检测,并将该检测结果由光信号转换成电信号。本文选用位置敏感探测器(Position sensitive detector, PSD)作为光斑位置探测器,与 CCD (Charge-coupled device) 图像传感器相比,其信号调理电路简单。在相同价位下,PSD 具有较高的分辨率,并且由于质量浓度变化引起的光强变化不会对光斑位置的检测产生影响^[11]。PSD 检测光斑位置的原理如图2所示, x 为光斑入射点, I_1 和 I_2 为 PSD 输出的两路电流值。

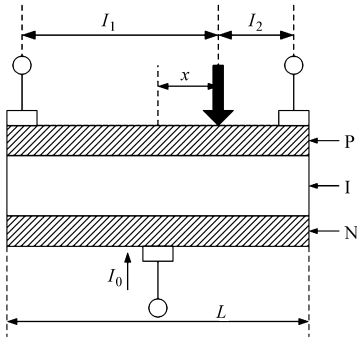


图2 一维 PSD 原理图
Fig.2 Schematic of 1-D PSD

以 PSD 几何中心设定为坐标原点时,其检测公式为

$$x = \frac{L}{2} \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \tag{1}$$

选用武汉搏盛科技有限公司生产的 BS - PSD0018 型 PSD 作为光斑位置探测器,其参数为:位置分辨率 0.2 μm,有效光敏面长度 8 mm,光谱响应范围 300 ~ 1 100 nm。

1.2.2 光源

与氙灯、汞灯、LED 等常用光源相比,激光具有平行度高、单色性好的优点^[12-14],满足折光率法对光源的要求。为了使光源适应 PSD 对光强和波长的要求,选用 RD650 - 50G1 型二极管激光器作为光源(陕西日成科技发展有限公司生产),其输出波长为 650 nm,输出功率 0.5 ~ 30 mW。

1.3 透明检测管

(1)检测管材料

检测管需要使用透明材料制造,以便能够使光线穿过其内部照射到 PSD 受光面上。与石英玻璃相比,有机玻璃具有机械强度大、密度小,耐腐蚀等优点;其折射率为 1.492,光透率超过 92%^[15]。

(2)结构与尺寸

检测管横截面有矩形和三角形^[16-17]。矩形检测管只能依靠增大横截面积使光线在检测管中路线变长的方式提高装置的检测分辨率。这种方式会使装置体积过大,并且会增加气泡从检测管排出的时间。三角形检测管还可以通过调节光线出射点到 PSD 的距离提高装置的检测分辨率^[17],因此采用三角形检测管,其参数如表1所示。

表1 检测管结构参数
Tab.1 Structure parameters of detector tube

参数	数值
连接端内径 ϕ_1 /mm	32
连接端外径 ϕ_2 /mm	40
厚度 δ /mm	3
顶角 $\gamma/(\circ)$	90
边长 L_1 /mm	45
边长 L_2 /mm	64

1.4 光路

光线轨迹如图3所示。图中, α 为光线入射角, γ 为三角形的顶角, D 为检测管内的溶液为清水(折射率为 n)时,光线出射点到 PSD 探测面的距离, Δd 为溶液质量浓度变化时 PSD 上的光斑移动距离。 Δd 的变化率为

$$\frac{\Delta d}{\Delta n} = D \frac{\sin(\gamma - \arcsin(\sin\alpha/n)) + \frac{\cos(\gamma - \arcsin(\sin\alpha/n)) \sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}}{\sqrt{1 - [n\sin(\gamma - \arcsin(\sin\alpha/n))]^2}} \tag{2}$$

由式(2)可以看出, α 越大分辨率越低, γ 和 D 越大分辨率越高。

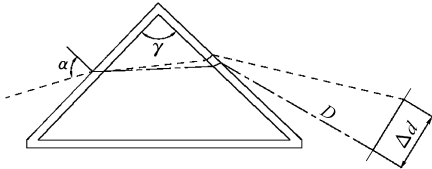


图3 光线轨迹示意图
Fig.3 Sketch map of light track

1.4.1 溶液选定与折射率最小变化值

农药具有毒性,因此选用胭脂红作为模拟农药^[18-19],并使用 WAY - 2S 型(上海光学仪表有限公司)阿贝折射仪测量不同质量浓度胭脂红溶液的折射率。

如表2所示,质量浓度变化为 1 g/L 时,其测量的折射率差值最大为 $\Delta n_{\max} = 0.000\ 5$,最小为 $\Delta n_{\min} = 0.000\ 3$ 。参考草甘膦农药的施药质量浓度不小于 0.1 g/L,所以在进行装置设计过程中,要求该装置可以检测到的质量浓度变化量最小为 0.1 g/L,即质量浓度检测误差允许范围不大于 0.1 g/L。要

求在使用胭脂红溶液作为模拟农药时,该装置可以检测到的溶液折射率变化值最小为 $\Delta n_{\min}=3 \times 10^{-4}$ 。

表 2 胭脂红溶液的折射率

Tab.2 Refractive index of cochineal solution

质量浓度 /(g·L ⁻¹)	1	2	3	均值	差值
0	1.333 3	1.333 3	1.333 3	1.333 3	
1	1.333 8	1.333 7	1.333 9	1.333 8	0.000 5
2	1.334 2	1.334 0	1.334 1	1.334 1	0.000 3
3	1.334 4	1.334 4	1.334 3	1.334 4	0.000 3
4	1.334 7	1.334 6	1.334 7	1.334 7	0.000 3
5	1.335 0	1.334 9	1.335 0	1.335 0	0.000 3

1.4.2 光学参数

(1)入射角 α :由表 3 可知,清水的折射率 $n=1.333\ 3$,因此设置入射角 $\alpha=65^\circ$,此时出射光线不会发生全反射,且入射角较小。

(2)光斑出射点到 PSD 的距离 D :将 $\gamma=90^\circ$, $\Delta n=3 \times 10^{-5}$, $\alpha=65^\circ$ 代入式 (2) 得 $\Delta d=23.83 \times 10^{-5}D$ 。根据 PSD 的分辨率推出光线出射点到 PSD 的距离 D 在微米级就可以达到检测要求。但是受激光器的光斑质量^[20]、光照方式^[21-22]、信号处理电路噪声及液体流动的影响,实际试验时设置距离 D 为 27 cm。

2 混药质量浓度在线检测装置信号处理单元

由溶液质量浓度变化引起的光线偏折是小角度偏折,并且 PSD 的输出信号是 μA 级电流信号,环境光、暗电流和信号干扰都会对信号产生影响^[23-24]。因此,为了提高装置的检测灵敏度,采用单片机加信号调理电路作为其信号处理单元以完成混药质量浓度在线检测。

2.1 信号处理单元功能与参数

信号处理单元的功能包括提供电压转换、微电流信号的 I/U 转换和放大、A/D 转换和显示。整体结构示意图如图 4 所示。

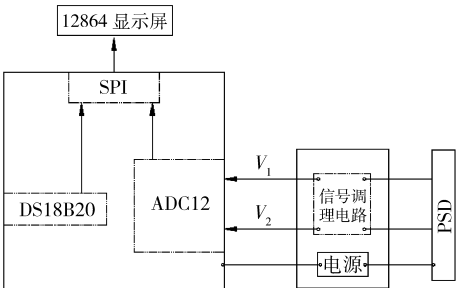


图 4 信号处理单元的结构示意图

Fig.4 Structure diagram of signal processing unit

参数要求为:①电路使用 24 V 稳压电源供电。
② μA 级电流信号转换为 0 ~ 3.3 V 的电压信号。

③A/D 模块处理精度不低于 12 位。④单片机具有足够的 I/O 口可以用于扩展显示模块。

2.2 核心器件的选取和信号调理电路

2.2.1 单片机和运算放大器

(1)单片机的选取:要求具有集成 12 位多通道 ADC 模块,足够的存储空间,多种串口和 flash 存储等,以完成信号的模数转换、数据显示、便于通信和扩展。本文选用 MSP430F149 单片机。

(2)运算放大器的选取:输入失调电压 V_{os} 和输入偏置电流 I_b 小表示运算放大器对称程度高且对被测电流信号的干扰小。四运放集成的运算放大器可以减小信号调理电路的体积。本文选用 OPA4277 型运算放大器。

2.2.2 信号调理电路

信号调理电路为 I/U 转换及放大电路,如图 5 所示。

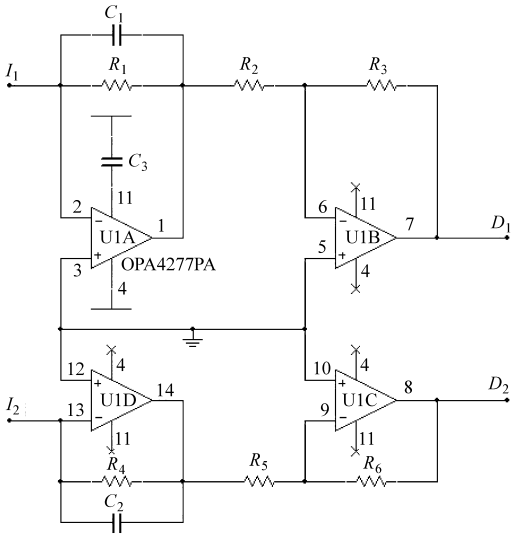


图 5 电流转换放大电路

Fig.5 Circuit of current conversion and amplification

C_1 和 C_2 为高频滤波电容,为了提高滤波效率,此处选用钽电容, C_3 为电源的去耦电容。 $R_1 \sim R_6$ 在电路中起 I/U 转换和放大作用。其值如表 3 所示。

表 3 电容和电阻的取值

Tab.3 Value of capacitance and resistance

参数	数值
$C_1、C_2/\mu\text{F}$	0.01
$C_3/\mu\text{F}$	0.1
$R_1、R_4/\text{k}\Omega$	448
$R_2、R_5/\text{k}\Omega$	22
$R_3、R_6/\text{k}\Omega$	200

为了减少噪声对 PSD 输出信号的干扰,直接将 PSD 设计安装在双面覆铜的 PCB 板上^[25],附着信号调理电路的 PCB 板尺寸为 50 mm × 50 mm。

2.3 软件实现

编程环境为 IAR 5.3。软件实现整体方法为：①初始化时钟和端口。②使用单片机内部的 ADC 模块将信号调理输出的两路电压信号进行模数转换并存储。③取一定时刻的采样值，代入式(1)得到光斑位置信息。④将位置信息转换成十进制数后，取小数点后 4 位有效数字通过 12864 液晶屏进行显示。

3 混药质量浓度在线检测装置性能测试

3.1 验证方法

3.1.1 标定方法

溶液质量浓度和检测装置输出的光斑位置之间的对应关系尚不知道，所以在进行性能验证前需要对检测装置进行标定。

(1)因为溶液的类型和流量都会对质量浓度检测的结果产生影响^[26-27]，所以需要对其进行设定(详见 3.2 节)。

(2)在药桶和水桶中放入相同质量浓度的溶液。调节柱塞泵，使溶液经混药器后进入透明检测管。

(3)记录检测数据。在药桶和水桶中放入另一相同质量浓度的溶液重复上述过程。试验共进行 3 次。

(4)调节溶液流量，重复上述过程。

3.1.2 性能验证方法

在药桶中依次放入不同质量浓度的溶液，在水桶中放入清水，对药和水混合后的溶液进行检测。每次检测过程中，用试管收集混合溶液，使用分光光度计测量其质量浓度，将检测结果与分光光度计的测量结果进行比较，从而对混药质量浓度在线检测装置进行性能验证。

3.2 混药质量浓度在线检测装置标定

3.2.1 标定参数

(1)溶液类型和质量浓度：使用胭脂红溶液代替真实农药，标定时配置的溶液质量浓度分别为 0、0.5、1.0、1.5 和 2.0 g/L。

(2)溶液流量：安装 16 个 110-01 型扇形喷头的高地隙喷杆式喷雾样机^[28]喷雾流量为 5.4 L/min，因此设定混药器出口处溶液的流量分别为 4.7、5.4 和 6.1 L/min。

(3)采样频率和采样时间：采样在液体流动平稳之后进行，采样频率为 1 s，采样时间为 20 s。

3.2.2 标定结果

在流量为 4.7 L/min 时，将每次试验采集到的 20 个数据取平均值。在 5 个质量浓度点分别得到了 3 个光斑位置数据，然后将每个质量浓度点的

3 个数据再取其平均值并采用最小二乘法^[29-31]进行线性拟合，得到的光斑位置与质量浓度的拟合曲线如图 6 所示。

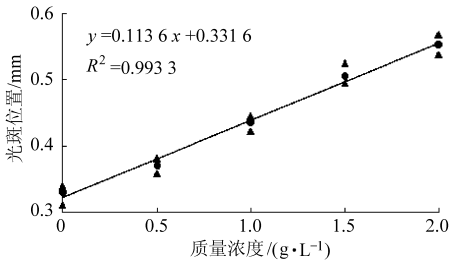


图 6 流量为 4.7 L/min 时的光斑位置和质量浓度拟合曲线

Fig.6 Position/mass concentration fitted curve at flow of 4.7 L/min

流量为 5.4 L/min 时的光斑位置与质量浓度拟合曲线及其决定系数分别为： $y = 0.0971x + 0.3475$, $R^2 = 0.9867$ 。流量为 6.1 L/min 时的光斑位置与质量浓度拟合曲线及其决定系数分别为 $y = 0.0923x + 0.3294$, $R^2 = 0.9831$ 。流量越小，拟合曲线的决定系数越大。

因此，利用上述 3 种流量的拟合曲线可以解决 3 种流量下的质量浓度测量。对于处于 3 种流量之间的质量浓度，可以利用已经得到的 3 条曲线进行差值运算得到需要流量下的拟合曲线，然后进行测量。

3.3 混药浓度在线检测装置的验证

药桶中溶液的质量浓度依次为 1、2、3、4 和 5 g/L。检测结果如表 4 所示。

表 4 混药质量浓度在线检测					
Tab.4 Mixing mass concentration online detection					
流量/ (L·min ⁻¹)	药液 质量 浓度 /(g·L ⁻¹)	检测质 量浓度 /(g·L ⁻¹)	分光光度 计测量质 量浓度 /(g·L ⁻¹)	偏差 /(g·L ⁻¹)	相对 误差 /%
4.7	1	0.323 9	0.326 6	0.007 8	2.39
	2	0.453 3	0.467 6	0.019 2	4.11
	3	0.670 8	0.667 3	0.001 0	0.15
	4	0.867 1	0.869 5	0.007 0	0.80
	5	0.980 6	0.969 7	0.006 2	0.64
5.4	1	0.266 3	0.288 9	0.022 6	7.83
	2	0.501 5	0.477 8	0.023 7	4.97
	3	0.579 2	0.620 1	0.040 9	6.59
	4	0.789 7	0.862 5	0.072 8	8.44
	5	1.060 0	1.006 0	0.054 0	5.37
6.1	1	0.321 9	0.264 1	0.057 8	21.89
	2	0.453 1	0.450 3	0.002 8	0.62
	3	0.674 1	0.620 7	0.053 4	8.60
	4	0.853 4	0.801 2	0.052 2	6.52
	5	1.102 2	1.027 1	0.075 1	7.31

由表 4 可得出,在流量为 4.7、5.4 和 6.1 L/min 时,混药质量浓度在线检测装置测量的质量浓度值与用分光光度计测量的质量浓度值平均值偏差分别为:0.008 3、0.042 和 0.048 3 g/L。平均相对误差分别为:1.62%、6.64% 和 8.99%。在流量 6.1 L/min 时有最大偏差,为 0.075 1 g/L,平均相对误差为 8.99%,说明该装置可用于混药质量浓度的在线检测。

4 结论

(1)根据溶液质量浓度不同,其折光率不同的原理,设计了一种混药质量浓度在线检测装置。以二极管激光器作为光源,PSD 作为信号接收器,设计

了有机玻璃材料的三角形检测管和信号处理单元,实现了混药质量浓度的在线检测。

(2)在流量为 4.7、5.4 和 6.1 L/min 3 种情况下,分别得到了光斑位置与质量浓度拟合曲线,其决定系数均大于等于 0.983 1,说明该装置可用于这 3 种流量的测量。

(3)在 4.7、5.4 和 6.1 L/min 3 种流量下,以及 1、2、3、4 和 5 g/L 5 种药液浓度下分别进行了试验验证。在流量为 6.1 L/min 时,混药质量浓度在线检测装置测量的质量浓度值与用分光光度计测量的质量浓度值存在最大偏差为 0.075 1 g/L,平均相对误差为 8.99%。说明该装置可用于混药质量浓度的在线检测。

参 考 文 献

- 1 邱白晶,徐溪超,邓斌,等.射流混药装置面积比对混药均匀性的影响[J].农业机械学报,2011,42(10):95-100.
Qiu Baijing, Xu Xichao, Deng Bin, et al. Effect of area ratio on mixing homogeneity in jet-mixing apparatus[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10):95-100. (in Chinese)
- 2 Miller M S, Smith D B. A direct nozzle injection controlled rate spray boom[J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(3):781-785.
- 3 刘志壮,徐汉虹,洪添胜,等.在线混药式变量喷雾系统设计与试验[J].农业机械学报,2009,40(12):93-96.
Liu Zhizhuang, Xu Hanhong, Hong Tiansheng, et al. Key technology of variable-rate spraying system of online mixing pesticide[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12):93-96. (in Chinese)
- 4 Zhu H, Ozkan H E, Fox R D, et al. Mixture uniformity in supply lines and spray patterns of a laboratory injection sprayer[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1998, 14(3):223-230.
- 5 Ozkan H E, Ackerman K D. Instrumentation for measuring mixture variability in sprayer tanks[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1999, 15(1):19-24.
- 6 郭宇波,何雄奎,宋坚利,等.静态混合器在自动混药装置中的应用[J].农机化研究,2008,30(2):147-149.
- 7 Vondricka J, Schulze Lammers P. Measurement of mixture homogeneity in direct injection systems [J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(1):61-66.
- 8 Fetisov V S, Melnichuk O V. Turbidimeters with variable gauge length[C]//EUROCON 2009, IEEE, 2009:1123-1128.
- 9 Chen Kunhuang, Chen Jingheng, Kuo Shouwei, et al. Non-contact method for measuring solution concentration using surface plasmon resonance apparatus and heterodyne interferometry[J]. Optics Communications, 2010, 283(10):2182-2185.
- 10 Koller D M, Posc A, Horl G, et al. Continuous quantitative monitoring of powder mixing dynamics by near-infrared spectroscopy [J]. Power Technology, 2011, 205(1):87-96.
- 11 裴先登,罗春,黄浩. PSD 高精度位置测量系统的研究与设计[J]. 华中科技大学学报, 2004, 32(2):7-9.
Pei Xiandeng, Luo Chun, Huang Hao. Research of high precision position measurement system and its design based on PSD[J]. J. Huazhong University of Science & Technology, 2004, 32(2):7-9. (in Chinese)
- 12 Yeh Yen-Liang. Real-time measurement of glucose concentration and average refractive index using a laser interferometer [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2008, 46(9):666-670.
- 13 Nath Pabitra, Datta Pranayee, Ch Sarma Kanak. All fiber-optic sensor for liquid level measurement [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50(7):1982-1984.
- 14 Samedov F. Laser-based optical facility for determination of refractive index of liquids [J]. Optics & Laser Technology, 2006, 38(1):28-36.
- 15 崔建英. 光学机械基础[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- 16 王锡兵,陈良才,程祖海. 光屏两点投射法测量超临界流体折射率的光路分析计算[J]. 光学与光电技术, 2005, 3(2):30-32.
Wang Xibing, Chen Liangcai, Cheng Zuhai. Optical path analysis of refractive index measurement of supercritical fluid by two point projecting method[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2005, 3(2):30-32. (in Chinese)
- 17 谢家兴,茹占军,于助. 光折射法测量牛乳乳糖质量分数单双式样盒的对比研究[J]. 哈尔滨理工大学学报:科技版, 2005, 10(2):93-96.
Xie Jiaxing, Ru Zhanjun, Yu Zhu. Contrast and investigation of mono-and bi-triangle sample case on the content of milk lactose with laser refraction[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology: Science & Technology, 2005, 10(2):93-96. (in Chinese)
- 18 何雄奎,曾爱军,何娟,等. 果园喷雾机风速对雾滴的沉积分布影响研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4):75-77.
He Xiongkui, Zeng Aijun, He Juan, et al. Effect of wind velocity from orchard sprayer on droplet deposit and distribution[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(4):75-77. (in Chinese)

- 19 吕晓兰,傅锡敏,宋坚利,等. 喷雾技术参数对雾滴飘移特性的影响[J]. 农业机械学报,2011,42(1):59-63.
Lü Xiaolan, Fu Ximin, Song Jianli, et al. Influence of spray operating parameters on spray drift[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011, 42(1):59-63. (in Chinese)
- 20 丁小昆,刘铁根,宋殿友. 激光光斑质量对基于 PSD 的激光三角长时间连续测量精度的影响[J]. 中国激光,2012,39(2):1-7.
Ding Xiaokun, Liu Tiegeng, Song Dianyou. Impact of accuracy of laser spot quality in laser triangulation long-term continuous measuring based on PSD[J]. Chinese Journal of Lasers, 2012,39(2):1-7. (in Chinese)
- 21 吕爱民,袁红星,贺安之. 位置指示光源对 PSD 定位精度影响的实验研究[J]. 激光技术,2000,24(3):192-195.
Lü Aimin, Yuan Hongxing, He Anzhi. Experimental study of the effect of light source on position precision of PSD[J]. Laser Technology, 2000,24(3):192-195. (in Chinese)
- 22 尚鸿雁,张广军. PSD 位置响应特性与光源照射方式的关系研究[J]. 光学技术,2005,31(3):445-448.
Shang Hongyan, Zhang Guangjun. Relative study of position response characteristic of PSD with illuminating modes of light source [J]. Optical Technique, 2005, 31(3):445-448. (in Chinese)
- 23 袁红星,贺安之,李振华,等. PSD 位置特性与光斑及背景的关系研究[J]. 东南大学学报,1999,29(2):145-149.
Yuan Hongxing, He Anzhi, Li Zhenghua, et al. Relation study of position characteristic of PSD with light spot and back ground [J]. Journal of Southeast University,1999,29(2):145-149. (in Chinese)
- 24 张大兴,贾建援,段亚博. 基于光电位移检测的振动主动被动复合控制[J]. 西南交通大学学报,2007,42(3):362-367.
Zhang Daxing, Jia Jianyuan, Duan Yabo. Active and passive compound vibration control based on optical-electric displacement detection[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2007, 42(3):362-367. (in Chinese)
- 25 莫伟. 基于 PSD 的高速激光距离传感器的信号检测与处理[D]. 武汉:华中科技大学,2009.
Mo Wei. Signal detection and process of high-speed laser distance sensor based on PSD[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology,2009. (in Chinese)
- 26 Krishna V, Fan C H, Longtin J P. Real-time precision concentration measurement for flowing liquid solutions[J]. Review of Scientific Instruments, 2000, 71(10):3 864-3 868.
- 27 Mitsuhiro Fukuta, Tadashi Yanagisawa, Masao Shimasaki, et al. Real-time measurement of mixing ratio of refrigerant/refrigeration oil mixture[J]. International Journal of Refrigeration, 2006, 29(7):1 058-1 065.
- 28 邱白晶,杨宁,徐希超,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):55-59.
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, 42(2):55-59. (in Chinese)
- 29 王伊卿,赵万华,施乐平,等. 光固化快速成型高分辨激光液位检测系统的开发[J]. 西安交通大学学报,2008,42(11):1 394-1 397.
Wang Yiqing, Zhao Wanhua, Shi Leping, et al. Development of high-resolution liquid-level laser detecting system for stereo lithography apparatus [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University,2008,42(11):1 394-1 397. (in Chinese)
- 30 吴恩启,柯映林,李江雄. 基于位置传感器的微细管道内表面无损检测[J]. 光电子·激光,2005,16(9):1 080-1 084.
Wu Enqi, Ke Yinglin, Li Jiangxiong. Non-contact inspection based on laser-psd for the inner surface of small-diameter pipes [J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2005,16(9):1 080-1 084. (in Chinese)
- 31 张晓芳,俞信,蒋诚志,等. 位置敏感探测器 PSD 特性的试验研究[J]. 仪器仪表学报,2003,24(4):250-253.
Zhang Xiaofang, Yu Xin, Jiang Chengzhi, et al. The experiment study on PSD[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24(4):250-253. (in Chinese)

Online Detector of Pesticide Mixing Concentration

Qiu Baijing Jia Fangwen Deng Bin Wang Liwei Lu Honglan

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

Abstract: An online detector of pesticide mixing mass concentration was developed based on the fact that different concentrations of solution had different refractive index. A 650 nm diode laser was used as the light source and a PSD as the light spot position detector. A PMMA triangular detector tube and a signal adjustment circuit based on OPA4277 chip were designed and manufactured. The experimental results showed that at the flow of 4.7, 5.4 and 6.1 L/min, the determination coefficient of position/concentration fitted curves were all above or equal to 0.983 1, and it increased with the flow decreased. At the flow of 6.1 L/min, the maximum deviation was 0.075 1 g/L and the average relative error was 8.99%, which showed that the developed detector could be applied to mixing mass concentration online detection.

Key words: Mixing mass concentration Refractive index Diode laser PSD Detector tube