

光固化快速成型高分辨激光液位检测系统的开发

王伊卿¹, 赵万华¹, 施乐平², 乐光¹, 卢秉恒¹

(1. 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 710049, 西安; 2. 陕西省计量研究院电磁中心, 710049, 西安)

摘要: 为了精确控制光固化快速成型的树脂液位, 开发了基于倾角测量原理的高分辨激光液位检测系统. 系统中采用亮度可变的激光源, 克服了除法器的运算误差, 通过闭环控制回路, 测量出正比于位置传感器(PSD)输出电流的端电压, 由此可精确地反映出光束位置. 采用交流调制激光分离背景光和暗电流, 不仅提高了 PSD 的检测敏感度, 而且有效地消除了杂散光和暗电流对检测精度的影响. 经过检测系统的精度标定, 高分辨激光液位检测系统在液位为 1~7 mm 的变化范围内, 分辨率可以达到 1.5 μm .

关键词: 快速成型; 液位检测; 分辨率

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)11-1394-04

Development of High-Resolution Liquid-Level Laser Detecting System for Stereolithography Apparatus

WANG Yiqing¹, ZHAO Wanhua¹, SHI Leping², LE Guang¹, LU Bingheng¹

(1. State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Department of Electromagnetism, Shaanxi Provincial Institute of Metrology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A set of inclination measurement-based high-resolution liquid-level laser detecting system is developed to detect the liquid-level of stereolithography apparatus, where a brightness-variable laser source is adopted to remove the computational error of divider, and a closed-loop circuit is set to measure the terminal voltage directly proportional to the output current of position sensitive device and hence the position of laser beam can be accurately indicated. An AC-modulated laser enables to separate background light and dark current to effectively eliminate the influence of stray light and dark current on the detection accuracy. By means of the precision calibration of detecting system, the resolution of this system can reach to 1.5 μm in the liquid-level varying range of 1-7 mm.

Keywords: rapid prototyping; liquid level detection; resolution

光固化快速成型工艺以其成型精度高、成型能力强、制作效率高及材料利用率接近 100% 等诸多优势, 成为产品开发阶段被广泛应用的模型制作手段. 在光固化成型工艺过程中, 由于温度的变化、网板的升降以及树脂固化后的体积变化, 液面会发生改变, 因此保持树脂液面位置的恒定是光固化快速成型的关键技术^[1-2]之一.

目前, 液位检测大多采用直射式激光测距仪^[3], 测量原理是以激光直射液面, 然后从侧面收集散射

光, 经过透镜聚焦在位置传感器(PSD)或 CCD (Charge Coupled Device)上形成光点成像, 通过检测光点的位置变化, 测得液位的高低.

直射式激光测量方法有几点不足, 首先激光测量装置的激光反射角较小, 在实际液位测量中, 大部分激光穿过了树脂, 反射信号极弱, 因此测量敏感度不高. 在测量透明树脂时, 直射式激光将穿过树脂, 不发生反射, 测量时还需增加另外的部件, 如在液面上增加浮标等. 因此, 直射式激光测量方法在光固化

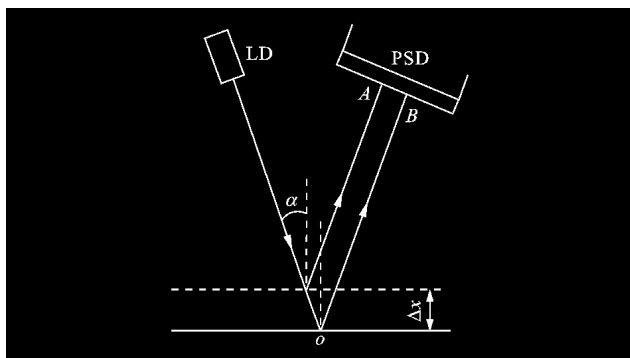
成型机的液位检测应用方面受到一定程度的限制. 其次,此方法对接收透镜的精度要求较高,被测物移动后,激光发射光线需要透镜聚焦后才能照射在 PSD 上,因此结构较复杂.

本文针对光固化快速成型的需求,开发了高分辨激光液位检测系统,对精度进行了标定,并在光固化快速成型中得到了成功应用.

1 高分辨激光液位检测系统

1.1 光路的设计

高分辨激光测量方法原理如图 1 所示,光源(LD)所发出的激光束经发射透镜变成近似平行光束,经液面反射,照射在 PSD 的敏感表面上. 根据成像光斑在 PSD 的位置,可以计算出被测物体到传感器的距离.



A:零位反射的光点;B:检测位反射的光点;O:液面检测光点;
 α :激光入射角; Δx :液面位置

图 1 斜射式测量法中的几何关系

在图 1 中, Δx 、反射光点在 PSD 上相应地移动的距离为

$$d = 2\Delta x \sin \alpha, \Delta x = d / 2 \sin \alpha$$

即光点中心在 PSD 上面的位置变化与液位变化成正比,比例系数是 $1/2 \sin \alpha$.

1.2 检测系统的设计

本文开发的液位检测系统由 PSD、激光器、选频放大处理电路、激光强度控制电路和机械部分等组成.

1.2.1 电气部分设计 图 2 为常用的信号处理电路,并分为 2 部分:①前置运放电路,其作用是对 PSD 输出的光电流进行电流-电压转换,并对电压信号进行放大;②后置处理电路,根据 PSD 类型,通过加、减运算电路对信号进行相加和相减,最后通过除法器相除,得到与光能大小无关的位置输出信号. 信号处理电路输入为 PSD 的输出信号 v_1 、 v_2 ,最终输出为电压信号 v_0 .

出为电压信号 v_0 .

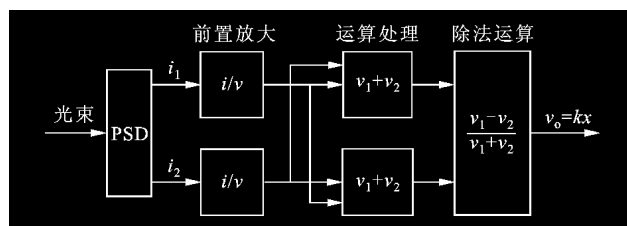


图 2 PSD 信号处理的方框图

根据 PSD 的基本原理,随着入射光点位置 x 的不同,2 个信号电极的输出电流将随之变化. 经过 PSD 信号处理电路的处理后,输出的电压值与 x 的坐标值成正比关系.

如果将图 2 所示的液位检测系统运算结构用于透明树脂的检测,则反射的光能量较弱,PSD 的输出电流将会很小,并且与输出电流成正比的 $(v_1 + v_2)$ 也很小,因此增大了除法运算的误差,甚至无法正确运算而停止工作. 为了解决这一问题,本文提出了一种不需要除法器的高分辨激光液位检测系统^[4],其原理如图 3 所示. 系统中采用亮度可控的激光光源,通过闭环控制回路,使正比于 $(I_1 + I_2)$ 的电压 $(V_1 + V_2)$ 始终保持恒值,在这种条件下,测量出正比于 I_1 的 V_1 ,即可精确地反映出光束位置 $L-x$.

影响液位检测精度的因素是多方面的,检测中除了工作激光外,还有杂散光线,如日光灯和成型机中的照明灯等,都会在 PSD 上造成影响. 若不消除杂散光的影响,则信噪比会很小,甚至有用的信号也会被噪声所淹没^[5].

在没有激光束入射时,PSD 的两输出电极有暗电流输出,暗电流的存在不仅会带来误差和噪声,而且具有类似背景光产生的不利效应,因此使用时应加以消除. 在本次高分辨激光液位检测系统的开发中,在光路上加滤光片,滤去了大部分的杂散光,但用滤光片不能完全滤除杂散光,因此还需考虑用电学途径来消除.

在检测装置使用过程中,杂散光的特点是亮度变化缓慢,在 PSD 上造成的响应为直流或低频信号. 对工作激光进行高频调制,使其在 PSD 上的响应为高频脉冲信号,则可在电路中采用带通滤波的方法将信号与干扰分离,再通过线性检波,将交流信号转换为直流信号. 为保证位置解计算的完成和在 PSD 上产生较高的目标物光强,采用矩形波调制,这种方法可有效地消除杂散光和暗电流对测量零点

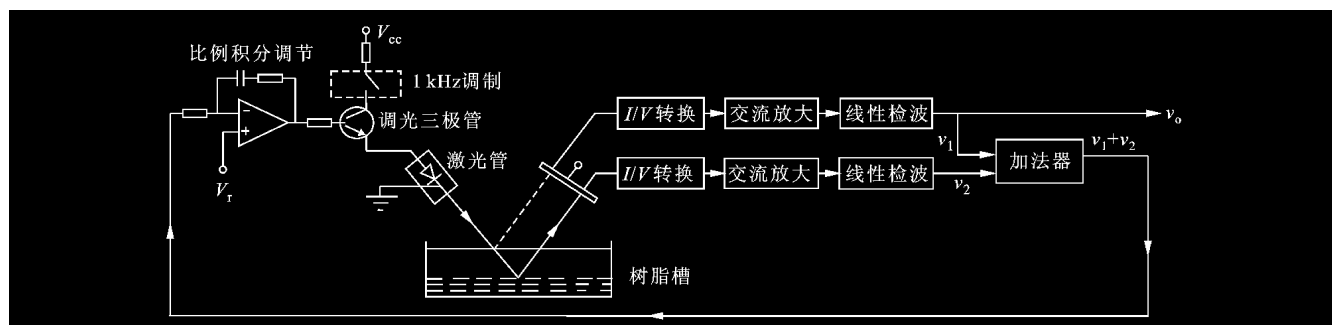


图3 液位检测系统原理框图

和分辨率的影响^[5]。

1.2.2 激光束反射角的确定 当光从光疏介质空气(空气折射率为1.000 3)射向光密介质树脂(树脂折射率为1.512~1.515)时,根据光学原理,入射角越大,则反射率越高,但入射角太大会导致器件安装空间的问题,太小则反射率较低。

根据 Fresnel 公式^[6],对入射角为 α 、折射角为 r 的光束,能量反射率为

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\alpha - r)}{\sin^2(\alpha + r)} + \frac{\tan^2(\alpha - r)}{\tan^2(\alpha + r)} \right] \quad (1)$$

根据折射定律,有

$$\sin\alpha/\sin r = n \quad (2)$$

在本文的使用环境下,由于安装尺寸的限制,取入射角 $\alpha=32^\circ$,此时反射率仅为4.21%,因此激光功率损失很多。采用高频调制激光,提高激光瞬时功率,可以提高系统的检测灵敏度。

2 激光液位检测系统的标定

2.1 液位检测系统的非线性分析

PSD的非线性是系统误差的主要来源,液位检测系统的非线性既包括PSD输出电流和光斑位移的非线性,也包括转换、放大及后续处理电路的非线性,使得PSD线性动态范围的提高受到一定限制^[3,5]。为了减小非线性误差,一方面通过光学系统来设计压缩被测光点的移动范围,使光点的运动范围限制在PSD线性度较好的区间内;另一方面可以采用合理的数据处理方法,以软件方法来减小非线性误差。

本文采用最小二乘线性拟合方法^[7-8],根据被测液位每次移动确定的输入量,测得其对应的输出电压值,得到的拟合曲线即认为是修正了非线性误差的液位电压关系曲线。

2.2 液位检测系统的标定

2.2.1 标定装置 标定装置原理如图4所示。装置

由待测树脂液容器、导柱、托板、底板、螺旋测微器、精密数字万用表等组成。测量时,由旋转螺旋测微器驱动托板做定量移动,从而通过改变容器的高度来改变被测液面的高度。

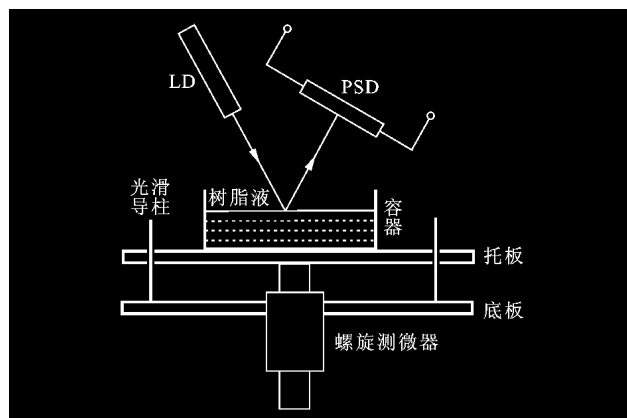


图4 检测系统装置原理图

通过螺旋测微器的精确位移和数字电压表的精密电压值,可以得到PSD的位移和电压的关系曲线,再通过曲线拟合就得到了标定曲线。

2.2.2 标定实验步骤及数据处理 逐步(步长为0.5 mm)旋转螺旋测微器的旋钮使托板上升,等待液面稳定后,使用数字万用表读取电压值。标定的电压液位关系结果见图5,可以看出,两端处的线性度明显不如中间部分,从拟合结果可知拟合标准差 $S_d=0.045$ (偏大)。产生这种现象的主要原因是由于PSD元件本身的非线性,所以应该使用中间线性度较好的部分(1~7 mm)再次进行线性拟合,拟合曲线如图6所示。线性回归分析结果如下。

在液位为1~7 mm的范围内,拟合方程 $Y=2.977\ 1+0.665\ 49\ X$, $S_d=0.003$,数字电压表的分辨率为0.001 V,因此高分辨激光液位测量装置的测量分辨率为1.5 μm 。

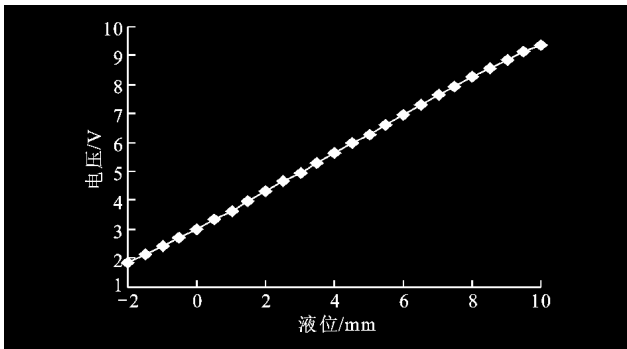


图 5 量程为 12 mm 时的电压/液位数据线性拟合曲线

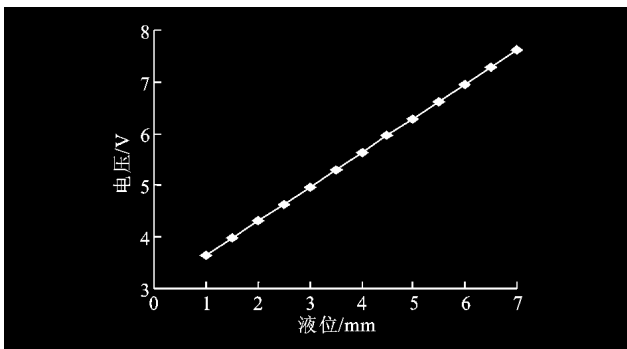


图 6 量程为 7 mm 时的电压/液位数据线性拟合曲线

3 结 论

本文开发了一种基于倾角激光测量原理的高分辨率激光液位测量装置,系统中采用光源亮度可变的调制激光源,克服了除法器带来的运算误差.通过闭环控制回路,使正比于输出电流的电压始终保持恒值,而测量出正比于输出电流的电压,即可精确地反映出光束的位置.采用加滤光片和交流调制激光来分离背景光和暗电流,可有效地消除杂散光和暗电流对检测精度的影响,经过检测系统精度标定,高分辨激光液位检测系统在液位为 1~7 mm 的变化范围内,分辨率可以达到 $1.5 \mu\text{m}$.

参考文献:

[1] 赵万华. 激光固化成形的精度研究 [D]. 西安:西安交

通大学机械工程学院,2000.

[2] 李元超,邓攀,赵万华,等. 高精度光固化快速成形系统关键技术研究 [J]. 机床与液压,2003(5):42-43.

LI Yuanchao, DENG Pan, ZHAO Wanhua, et al. Key techniques of high precision stereolithography system [J]. Machine Tool and Hydraulics, 2003(5):42-43.

[3] 王晓东,赵杰,蔡鹤皋. 使用 PSD 设计非接触测距传感器及其性能分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报,1996,28(4):100-104.

WANG Xiaodong, ZHAO Jie, CAI Hegao. The design of non-contact laser range finder by using PSD and its performance analysis [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 1996,28(4):100-104.

[4] 王伊卿,卢秉恒,施仁,等. 一种用于光固化快速成形工艺的树脂液位检测方法:中国,200510096499.1[P]. 2005-12-07.

[5] 王广志,丁海曙,丁辉. 位置敏感器件(PSD)的杂光干扰研究 [J]. 清华大学学报,1997,37(1):61-64.

WANG Guangzhi, DING Haishu, DING Hui. Light disturbance to position sensitive detectors: pattern and methods to overcome [J]. Journal of Tsinghua University, 1997, 37(1):61-64.

[6] 石顺祥,张海兴,刘劲松. 物理光学与应用光学 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000:30-34.

[7] 邝小磊. 动态测量中传感器非线性拟合方法 [J]. 传感器技术,2002,21(7):38-40.

KUANG Xiaolei. Fitting method for non-linearity of sensor in dynamic measurement [J]. Journal of Transducer Technology, 2002,21(7):38-40.

[8] 刘敢峰,谢锋,娄为,等. 传感器特性曲线自动拟合法 [J]. 化工自动化及仪表,2002,29(4):45-47.

LIU Ganfeng, XIE Feng, LOU Wei, et al. An automatic fitting method of the sensor's characteristic curve [J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2002,29(4):45-47.

(编辑 管咏梅)