

# 激光三角法测距传感器的设计与实现

The Design and Implementation of Laser Distance Transducer by Using Trigonometry

朱尚明(合肥经济技术学院机电系,安徽合肥 230052)  
葛运建(中科院合肥智能机械研究所,安徽合肥 230031)

**摘要** 介绍了激光三角法测距的基本原理,利用新型位敏元件 PSD 设计并实现了一种高分辨率、大量程的测距传感器,并对不同条件下的测试结果进行了分析。

**关键词:** 测距传感器 激光三角法 位敏元件 散射光斑 运算电路

**Abstract** The basic principle of distance measurement by using laser trigonometry is introduced. A distance transducer with high resolution and wide range is designed and implemented by adopting the novel position sensitive device (PSD). The test results under different conditions are analyzed.

**Key words:** Transducer for distance measurement  
Laser trigonometry Position sensitive device  
Scattering light speck Operation circuit

激光三角法测距传感器是利用光电技术对距离进行非接触测量的一种新型传感器<sup>[1,2]</sup>。该传感器具有测量速度快、抗干扰能力强、测量点小、适用范围广等优点,目前在国内外日益受到重视。

## 一、激光三角法测距的基本原理

激光三角法测距的基本原理是基于平面三角几何,如图 1 所示。其方法是让一束激光经发射透镜准直后,照射到被测物体表面上,由物体表面散射的光线通过接收透镜,聚到高分辨率的光电检测器件上,形成一个散射光斑,该散射光斑的中心位置由传感器与被测物体表面之间的距离决定,而光电检测器件输出的电信号与光斑的中心位置有关;因此,通过对光电检测器件输出的电信号进行运算处理,就可获得传感器与被测物体表面之间的距离信息。

为了达到精确的聚焦,发射光束和光电检测器件受光面以及接收透镜平面必须相交于一点<sup>[3]</sup>。在图 1 中,假设发射光束和接收透镜光轴之间的夹角为  $\theta$ ,光电检测器件的受光面和接收透镜光轴之间的夹角为

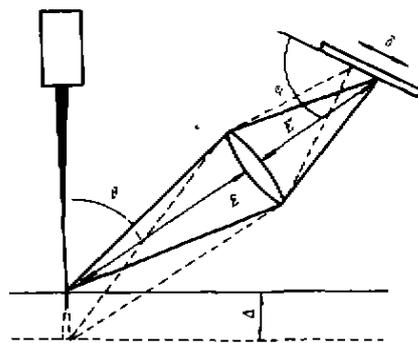


图 1

$\varphi$ ,接收透镜在基准距离处的物距和像距分别为  $E$  和  $E'$ ,不难推出被测物体的距离变化  $\Delta$  和散射光斑像点的位置变化  $\delta$  之间的关系为

$$\Delta = E \sin \varphi \times \delta / [E' \sin \theta - \delta \sin(\theta + \varphi)] \\ = (D_1 \times \delta) / (D_2 - \delta) \quad (1)$$

式中  $D_1 = E \sin \varphi / \sin(\theta + \varphi)$

$$D_2 = E' \sin \theta / \sin(\theta + \varphi)$$

由于式(1)的推导不带任何先行假设或近似,因此这一关系是严格精确的,它对任何距离的变化都成立。基于这一关系进行运算处理,便可实现激光三角法测距传感器的高分辨率和大量程。

## 二、激光三角法测距传感器的设计与实现

### 1. 系统组成

所设计的激光三角法测距传感器的系统组成如图 2 所示,它由传感头、激光驱动电路和信号处理电路三大部分组成。

### 2. 传感头

传感头主要包括光路系统和对光电检测器件输出的电信号进行放大变换的前置电路。其中,光电检测器件采用新型位敏元件(position sensitive detector,简称 PSD)<sup>[4]</sup>。

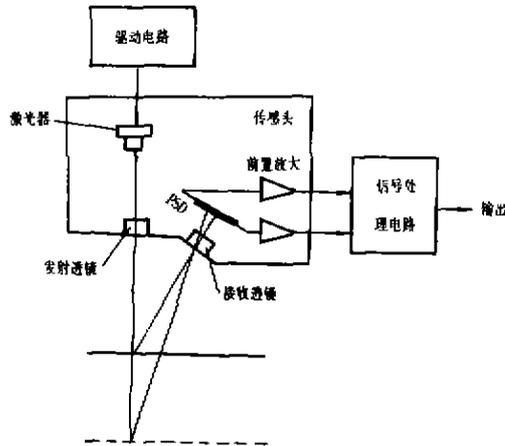


图 2

位敏元件 PSD 是为适合位置、位移、距离等精确实时测量而发展起来的一种新型半导体光电敏感器件,它利用半导体的横向光电效应来测量入射光点的位置。PSD 不同于电荷耦合器件 CCD,它属于非离散型器件,其输出电流随光点位置不同而连续变化,具有体积小、灵敏度高、噪声低、分辨率高、频谱响应宽、响应速度快、价格低等优点,目前在光学定位、跟踪、位移、距离及角度测量等方面获得了广泛的应用。

PSD 分一维和二维两种类型,在位移和距离的测量中一般使用一维 PSD。一维 PSD 的结构如图 3 所示。如果有光斑入射到 PSD 的表面上,将在光斑位置产生一个与光能量成正比的光生电荷,当 PSD 的公共端加上正电压时,其两端输出电极便会产生光电流  $I_1$  和  $I_2$ ,而且电流  $I_1$ 、 $I_2$  与光斑中心位置到输出电极  $x_1$ 、 $x_2$  间的距离成反比。

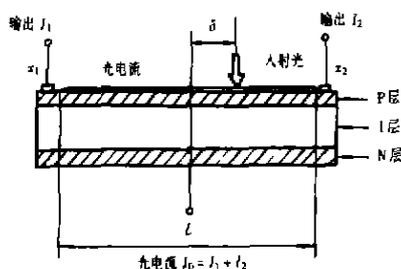


图 3

如果以 PSD 的中心为零点,并假设  $\delta$  为光斑中心位置对零点的偏移,  $L$  为 PSD 两电极之间的距离,则有

$$\delta = \frac{L}{2} \times \frac{(I_1 - I_2)}{(I_1 + I_2)} \quad (2)$$

可见,通过式(2)便可由 PSD 的输出电流  $I_1$  和  $I_2$  计算出入射光斑的中心位置,再利用上面的式(1)即可计算出相应的距离变化量。

### 3. 激光驱动电路

激光驱动电路的功能是为半导体激光器提供恒定的、无浪涌的脉冲驱动电流。为了提高激光测距传感器的抗干扰能力,半导体激光器工作在脉冲状态,也就是采用调制光源。由于半导体激光器抗“浪涌”电流的能力非常弱,为此在设计激光光源驱动电路时,采用了自动电流控制(ACC)电路,使注入半导体激光器的电流保持恒定,并使该电路具有慢启动功能,以便保护激光器免遭“浪涌”损坏。另外,为提高半导体激光器的抗静电能力,驱动电路里还采取了一定的防静电措施。同时为了调整半导体激光器的光输出功率,还设计了光输出功率的监测电路。

### 4. 信号处理电路

信号处理电路的主要功能是将位敏元件 PSD 的输出电流  $I_1$  和  $I_2$  经过放大和运算处理,转换成与距离相对应的电压信号。

信号处理电路由前级放大电路、脉冲解调电路、算术运算电路、后级放大电路、自动控制增益电路和监测指示电路几部分组成。其中,算术运算电路是最核心的部分。由于各光学器件的实际定位值与理论设计值之间有一定的差别,这些差别都会以非线性的形式反映在传感器的输出上。为此,所设计的算术运算电路除了能实现式(1)和式(2)所要求的算术运算功能外,还能够通过调整电路参数来改善传感器的非线性。可以说,该部分电路的性能直接影响了测距传感器的测量精确度和线性度。

设计能够实现式(1)和式(2)所要求的算术运算电路,实质上就是要设计一个除法电路。设计除法电路的方法有很多种,这里采用的是时间分割式脉冲宽度高度调制法。用该方法设计的除法电路具有稳定性好、精度高以及参数调整方便等优点。

## 三、性能测试及分析

对所设计的激光三角法测距传感器样机,在室温和自然光下,以不同的物体作被测目标,对其应用特性进行了测试。测试结果表明:以具有均匀散射特性的物体作为被测目标时,可以达到较好的精确度和线性度,如以白纸为目标,测距范围可达 60 ~ 140mm,分辨率可达 0.1mm;以非均匀散射的物体作被测目标时,该传感器的精确度和线性度略有下降;以黑色物体(如橡胶)作被测目标时,由于散射光斑较弱,位敏元件 PSD 的输出较小,测距误差较大,而以非匹配表面(粗糙度太高或太低)的物体及透明体作被测目标时,由于位敏

(下转第 26 页)

从表 1 可知,8 次测试的平均值较接近,绝对误差:功率为 0.16kW,油耗为 0.07kg,比油耗为 4g/kW·h。为了将所测数据进行对比,将表 1 中的数据换算成表

2。从表 2 可知,研制的测功仪与电涡流测功仪相比,其相对误差:功率为 0.06%,油耗为 0.98%,比油耗为 0.84%。

表 2 试验数据换算

序号	研究的功率油耗自动检测仪测				质检站动力室电涡流测功仪测			
	转速 r/min	功率 kW	油耗 kg/h	比油耗 kW·h	转速 r/min	功率 kW	油耗 kg/h	比油耗 kW·h
1	2 200	11.10	2.90	261.24	2 200	11.38	3.13	275.55
2	2 200	11.38	3.19	280.00	2 200	11.01	3.08	279.80
3	2 200	11.02	3.39	308.00	2 200	11.00	3.06	278.20
4	2 200	11.35	3.47	306.00	2 200	11.02	3.02	273.70
5	2 200	11.59	3.10	291.87	2 200	10.87	2.99	275.18
6	2 200	10.29	3.00	290.74	2 200	10.92	3.02	277.33
7	2 200	11.15	3.10	267.75	2 200	10.87	3.00	275.80
8	2 200	11.10	2.40	214.61	2 200	10.96	3.01	275.00
均值	2 200	11.00	3.069	278.65	2 200	11.03	3.04	276.32
标准差		0.36	0.31	28.15		0.15	0.04	1.85

## 六、结 束 语

① 本测功仪所用传感器具有分辨率和灵敏度高、线性度好等优点。油耗称重传感器的分辨率为 0.5g,灵敏度为 2.16mV/V。压力传感器分辨率为 0.3kg,灵敏度为 1.12mV/V。整机精度为 3 级,仪表精度为 0.5 级,达到设计要求。

② 试验结果表明:测出的数据相对误差小,功率为 0.06%,油耗为 0.98%,比油耗为 0.84%,测试误差远小于国内同类机型。

③ 检测仪在测功时可同步测出油耗转速,不同于国内同类机型的延时,“同步”检测方法,实现了真正意义上的同步测量,而且能循环显示测试过程中的任一瞬时数据。

④ 检测仪整机重 5.4kg,远远低于国内同类机型,

(上接第 11 页)

元件 PSD 接收不到散射光斑,传感器基本上无输出。

## 四、结 束 语

不能使用具有非匹配表面的物体以及透明物体作被测目标,这是激光三角法测距传感器的主要不足之外。但在实际测量中大多数物体表面都具有散射特性,因此该传感器无论在工业自动检测领域还是在机器人上都有着广阔的应用前景。

### 参 考 文 献

- 1 Frank E. Goodwin. Laser proximity sensor. United States Patent,

因而携带方便。测试时需要的工作人员较少,测试时间短,操作方便,安全可靠。

⑤ 检测仪的测功范围仅在 0~14.7kW(0~20 马力)之间,还有待于更进一步扩大它的测量范围。

### 参 考 文 献

- 1 严普强,黄长艺. 机械工程测试技术基础. 北京:机械工业出版社,1985
- 2 卢文祥,杜润生. 机械工程测试、信息、信号分析. 武汉:华中理工大学出版社,1990
- 3 赵依军,胡 戎. 8098 单片机原理及系统设计技术. 武汉:华中理工大学出版社,1990

收稿日期:1998-03-29

第一作者李锡文,男,28 岁,1991 年毕业于西南农业大学,1994 年获硕士学位,现为华中理工大学在读博士生。

4733609, 1988-05-29

- 2 Michael T. Breen. Laser distance measuring method and apparatus. United States Patent. 4856893. 1989-08-15
- 3 Z. Ji, M. C. LEU. Design of optical triangulation devices. Optics & Laser Technology, 1989, 21(5)
- 4 朱尚明. 位置敏感检测器 PSD 及其应用研究. 仪表技术与传感器, 1996(2)

收稿日期:1997-06-07, 补充稿收到日期:1998-10-05。

第一作者朱尚明,男,28 岁,1993 年于中国科技大学获硕士学位,工程师。主要研究领域为计算机应用、智能仪表和测试技术。