



# 基于偏振片的结构光传感器 光学系统建立

马兆瑞,刘正文,程 柏,潘际奎  
(清华大学 机械工程系,北京 100084)

**摘要:**结构光传感器是焊接自动跟踪研究的重要研究方向。目前对于结构光传感器的研究主要集中在弧光的滤除和图像的处理。实验表明,对于反光强烈的光洁金属表面,杂光的强度与结构光接近,普通的滤光手段难以克服。由于光源激光为偏振光,通过菲涅耳公式计算可知,结构光和杂光也具有偏振性。分析了偏振片在结构光视觉焊缝跟踪传感器中的作用,实验结果显示,通过偏振滤光可以有效消除杂光对于坡口条纹图像的干扰,既可以在光洁表面,又可以在一半光洁一半粗糙的工件表面提取清晰的图像。

**关键词:**焊缝跟踪;传感器;光学系统;偏振

**中图分类号:** TG441

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-2303(2007)11-0037-04

## Establishing of optical system for laser-stripe sensor based on polarizer

MA Zhao-rui, LIU Zheng-wen, CHENG Bai, PAN Ji-luan

(Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Structure light sensor is of great importance in automatic welding. The current researches on structure light sensor are mainly about arc light disturbance filtering and image processing. However, in case of highly reflective metal, it's very hard to filter stray light from structure light. Since the laser light is polarized, so according to Fresnel equation, the structure light and stray light are both polarized but with different direction. The effect of polarizer in structure light sensor system is studied, research shows that stray light disturbance can be greatly restricted by polarizer, and can get clear structure light image of highly reflective metal.

**Key words:** seam tracking; sensor; optical system; polarization

## 0 前言

跟踪传感器的研究是发展自动化、智能化焊接的重要保证,一直是国内外众多学者研究的热点和难点。经过几十年的研究和实践,出现了种类繁多的焊缝跟踪传感器,如最初的接触式传感器,电磁式传感器和后来的电弧传感器,超声波传感器以及光电式传感器等。其中结构光传感器以其精度高、灵敏性好、信息量丰富和适应范围广等优点,在传感器

中占有越来越大的比例<sup>[1-2]</sup>。国内外对此进行的研究主要集中在焊缝图像的处理方法,而对于传感器中的光学系统的研究尚不够深入<sup>[3]</sup>。

基于此,清华大学的工作者在原有的研究基础上<sup>[4]</sup>,采用偏振片作为光学系统的滤光器件,不仅进一步提高了原结构光传感器的性能,而且可以很好地采集到铝板和冷轧钢板表面坡口图像。

## 1 传感器的光学系统

### 1.1 系统硬件设计

结构光传感器的主体部分由半导体激光器和

收稿日期:2007-09-05

作者简介:马兆瑞(1979—),男,河北沧州人,博士,主要从事焊接自动化方面的研究工作。

CCD 摄像机组成。激光器发出的光带斜射在工件上，位于工件正上方的 CCD 摄像机通过滤光片组拍摄光带和工件的交线，从而获取坡口信息。这里所说的光学系统是指半导体激光器和滤光片组。从 MIG 焊和 CO<sub>2</sub> 焊的光谱分析可以看出，在 600~700 nm 波长区间，弧光成分相对较低，因此选择的半导体激光器波长为 650 nm 左右。表 1 为激光器主要技术参数，图 1 为所选激光器的发光谱线。

表 1 半导体激光器主要技术参数

标称输出波长 $\lambda$ /nm	出瞳功率 $P$ /mW	发散度 $D$ /mrad	额定电压 $U$ /V	外形尺寸 /mm
650	60	1.0	5.0	$\varphi$ 12×34

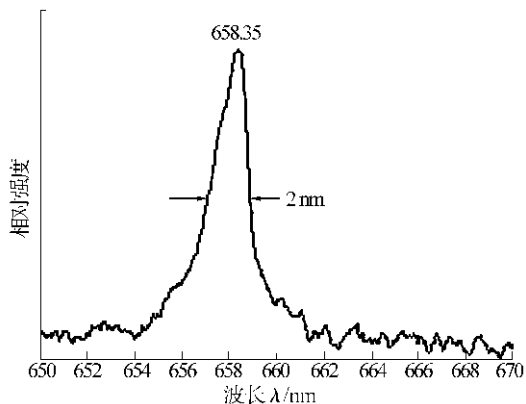


图 1 半导体激光器发光谱线

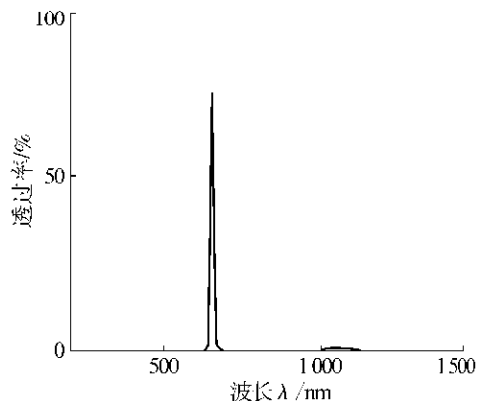
### 1.2 光学系统设计

激光器和滤光片存在着一个匹配的问题，即应选择的干涉滤光片的中心波长要与激光器的波长保持一致。为此采取了配做的方式，即测得激光器波长后，依此制作干涉滤光片。从尽量滤除弧光干扰的角度考虑，干涉滤光片的半带宽应尽可能窄。但是，半导体激光器的波长易随温度变化发生漂移。为了使激光在通过干涉滤光片时不被过多削弱，干涉滤光片的半带宽定为 10 nm。另外，滤光片组还包括一定数量的中性密度滤光片，干涉滤光片和中性密度滤光片的透过率曲线如图 2 所示。

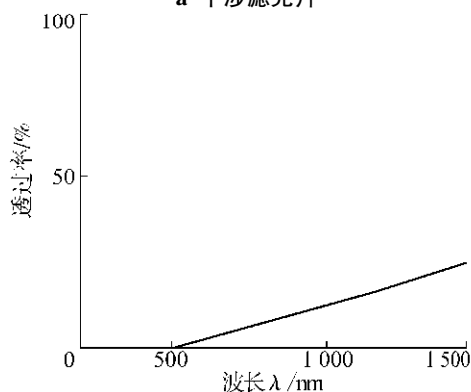
通过将一定比例的两种滤光片组合，可以采集到 V 型坡口清晰的激光条纹图像，如图 3 所示。

### 1.3 现有系统的不足

图 3 为非光洁表面钢板的坡口情况。通过实验可知，在钢材表面激光的反射光强度差异较大，最大值和最小值之间的误差大于一个数量级，因此传感器中 CCD 采集激光的散射光作为入射光源。这样，传感器对于光洁表面的金属如冷轧钢板和铝板等



a 干涉滤光片



b 中性密度滤光片  
图 2 透过率曲线

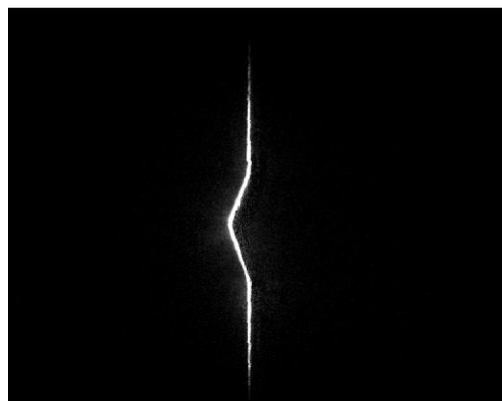


图 3 坡口图像

图像采集效果不理想。

图 4 为传感器在打磨后的光亮钢板表面采集的坡口图像，从图 4 中可以看到，由于反光强烈，在坡口周围有比较明显的杂光。

图 4 中的图像经过一定的计算机程序处理，尚可提取到完整的坡口信息，但是对于铝板这样的金属表面则无能为力。图 5 为传感器采集的铝板搭接坡口图像，从图 5 可以看到，坡口附近杂光非常强烈，难以获取条纹信息。

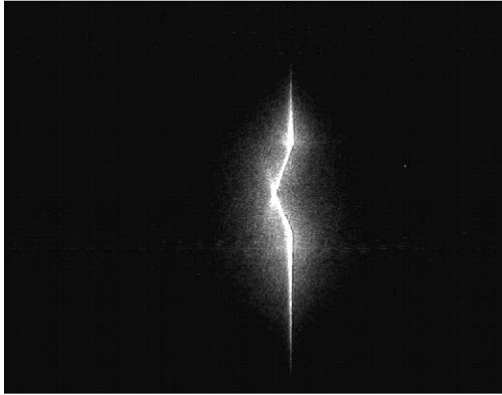


图 4 打磨后钢板表面坡口图像

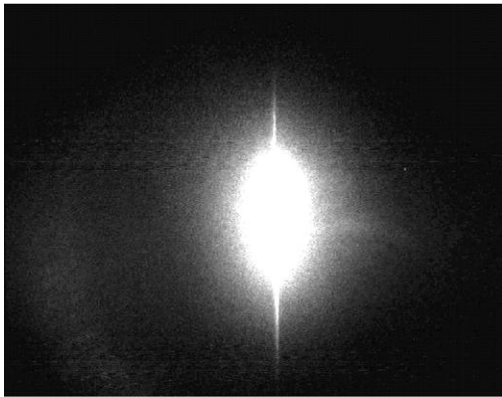


图 5 铝板搭接坡口图像

## 2 偏振片的作用

普通金属大多可以认为是理想漫反射体,根据朗伯定律,辐射表面在某方向上的辐强度随与该方向和表面法线之间夹角的余弦而变化,这就是理想漫反射表面的余弦特性。即

$$I_{\theta} = I_0 \cos \theta, \quad (1)$$

式中  $I_0$  为表面在其法线方向上的辐强度;  $I_{\theta}$  为与表面法线成  $\theta$  角方向的辐强度。

由此可知,传感器的 CCD 摄像机采集到的坡口处的激光条纹理论上应该是光强最大的。

光线在金属表面的反射情况与其他晶体有所不同,根据菲涅耳公式

$$\sin \theta_2 = \frac{1}{n(1+ik)} \sin \theta_1, \quad (2)$$

$$r_s = -\frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}, \quad (3)$$

$$r_p = \frac{\text{tg}(\theta_1 - \theta_2)}{\text{tg}(\theta_1 + \theta_2)}, \quad (4)$$

$$\frac{r_s}{r_p} = \left| \frac{r_s}{r_p} \right| e^{i\alpha}, \quad (5)$$

式中  $n$  是金属折射率;  $k$  是衰减系数;  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  分

别是入射角和折射角;  $r_s$  和  $r_p$  分别是 s 波和 p 波中反射光与入射光的振幅分量的比值。

由公式可知,  $\theta_2$  是复数,故反射光相对于入射光, s 波和 p 波都发生了相位变化,其大小为  $\alpha$ 。图 6 为金属铝表面入射光变化时反射光的相位变化。

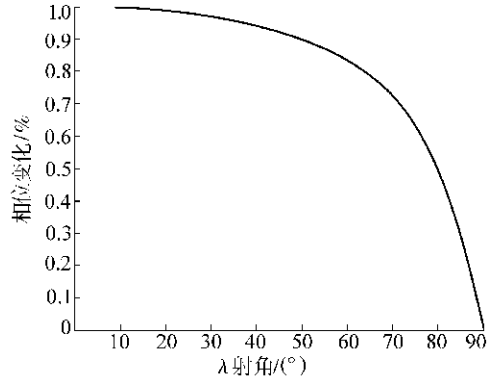


图 6 相位变化随入射角变化曲线

通过实验测得,半导体激光器发出的激光为线偏振光。金属表面线偏振光在金属表面反射后,反射光为椭圆偏振光。由于传感器中激光器与 CCD 摄像机夹角只有 15°,由图 6 可知,此时反射光的相位变化接近 180°,即反射光的椭圆度很小,可以近似认为是线偏振光<sup>[5]</sup>。基于此,可以认为在光学系统中加入偏振片,可以有效地起到滤除杂光的作用。

实验中选用的偏振片参数如表 2 所示。

表 2 实验中偏振片参数

尺寸公差	透射率(λ =633 nm)/%	消光比	视场角/(°)
+0.0/-0.15	>50	>100	>±45

图 7 为经过偏振滤光后得到的铝板搭接坡口的图像,可以看到坡口附近的杂光基本被滤除,可以得到清晰的条纹图像。

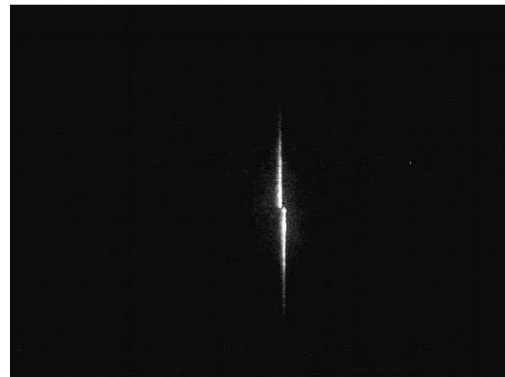


图 7 偏振滤光后的铝板搭接坡口图像

将传感器分别在奥氏体不锈钢和 1Cr13 马氏体不锈钢上进行实验,效果良好,均可获得

能用于提取跟踪信息的图像,如图 8 所示(其中奥

氏体不锈钢为 V 型坡口,马氏体不锈钢为对接坡口)。



a 奥氏体不锈钢

b 1Cr13 马氏体不锈钢两侧抛光

c 1Cr13 马氏体不锈钢一侧抛光

图 8 光洁钢板表面坡口图像

由此看出,采用偏振片滤光后,对于反光强烈的光洁金属表面,传感器依然能够有效采集图像。经验证,改进后的传感器并不影响原来的未经处理表面钢板的坡口跟踪。

### 3 结论

对比实验表明:在结构光视觉焊缝跟踪传感器的光学系统中,增加偏振片作为滤光片,可以有效地滤除坡口附近的杂光,从而实现光洁金属表面的坡口图像跟踪,同时并不影响未经处理钢板表面的图像信息提取,进一步增大了该传感器的使用范围。

### 参考文献:

- [1] 毛鹏军,黄石生,薛家祥,等.弧焊机器人焊缝跟踪系统研究现状及发展趋势[J].电焊机,2001,31(10):9-12,22.
- [2] 王伟,邹奇仕,朱六妹,等.视觉传感焊缝跟踪技术的发展状况及实施方案[J].电焊机,2002,32(5):1-8.
- [3] 石永华,钟继光,刘桑,等.视觉传感及图像处理技术在焊接中的应用[J].电焊机,1999,29(9):1-4.
- [4] 张虢,马兆瑞,郑军,等.结构光视觉焊缝跟踪传感器光学系统的研究[J].电焊机,2006,36(3):22-26.
- [5] 赵小松,张国雄,张宏伟.测量强反射表面的测头研究[J].天津大学学报.2004,37(3):274-277.