

法布里-珀罗型告警器激光入射角度的测量方法分析

郭 豪¹, 马 娜², 王 敏¹, 张碧会¹

(1. 中国人民解放军 63892 部队; 2. 中国人民解放军 63891 部队, 河南 洛阳 471003)

摘 要:分析了法布里-珀罗(Fabry-Perot, F-P)型激光告警器的工作原理, 讨论了法布里-珀罗标准具摆动角、激光入射角度与折射角三者之间的关系, 分析了计算来袭激光入射角度的方法。以波长为 $1.064\mu\text{m}$ 的激光为例, 针对 3 种不同的入射角, 对透射光强随摆动角的变化情况进行了模拟计算。利用处理软件, 对 3 种来袭激光入射角度进行了模拟测量, 结果表明, 能够较精确地测量出来袭激光的入射角度。

关键词:激光技术; 激光告警; 干涉; 法布里-珀罗; 角度测量

中图分类号: TN247; TN977

文献标识码: A

Incidence Measurement Analysis in Laser Warning Device Based on Fabry-Perot Etalon

GUO Hao¹, MA Na², WANG Min¹, ZHANG Bi-hui¹

(1. 63892 Unit; 2. 63891 Unit, PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: Principle of operation was analyzed for laser warning device based on Fabry-Perot etalon, the relations were deduced among swinging angle of F-P etalon, laser incident angle and refraction angle. The method was achieved to calculate laser incident angle. Take laser of $1.064\mu\text{m}$ wavelength for example, the changing relations between transmission light intensity and swinging angle were calculated at 4 different incidence angle. Three different laser incident angles were measured by processing software. The results show that the method is valid in measuring laser incident angle.

Key words: laser technique; laser warning; interference; Fabry-Perot; incidence measure

1 引言

理想的激光告警器接收视场大, 光谱带宽足够宽, 能够覆盖敌方所有可能的军用激光波长, 虚警率低, 定位精度高, 反应时间短, 能够输出激光波长、入射方向、激光脉冲特性等^[1-2]。法布里-珀罗型激光告警器是相干型激光告警器中的一类, 它具有视场大、虚警率低、角度分辨率高等优点。典型产品是美国 Perkin-Elmer 公司生产的 AN/AVR-2 型激光告警器, 目前已广泛装备在美军的各种直升机和水面舰艇上^[3-5]。

由于对实现精确测角的相关测量原理和方法的研究还不够深入, 测量设备的工艺难度大, 成本高, 国内还很少见到能够实现精确测角功能的激光告警器装备实例的报道, 一般都是 22.5° 的测角精度, 本文对法布里-珀罗型告警器中激光入射角度的精确测量

方法进行了初步分析, 希望有助于此方面的研究。

2 法布里-珀罗标准具探测激光原理

法布里-珀罗型激光告警器的核心器件是法布里-珀罗标准具, 它主要由平行放置的两块平板组成, 在两个板相向的表面 G 和 G' 上镀有薄银膜或其他反射率适合的薄膜, 图 1 表示一入射角为 θ (折射角为 θ') 的光束的多次反射和透射^[6]。当 G, G' 面的反射率适合时, 由 G' 透射出来的各光束的振幅基本相等。这些透射光都是相互平行的, 如果一起通过透镜, 则在焦平面上形成薄膜干涉条纹。设两个平板的间隔为 d , 两个平板之间的折射率为 n , 相邻每

作者简介: 郭 豪 (1979 -), 男, 硕士, 主要从事激光侦察告警方面的研究。E-mail: whatbeam@yahoo.com.cn

收稿日期: 2007-09-05; **修订日期:** 2007-11-15

两束光在到达透镜的焦平面上的同一点时,彼此的光程差都相等,即:

$$\delta = 2nd\cos\theta' \quad (1)$$

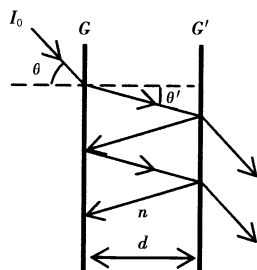


图1 F-P标准具光路图

Fig. 1 beam path in F-P etalon

设入射光的波长 λ ,由此引起的相位差为:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta = \frac{4\pi}{\lambda}nd\cos\theta' \quad (2)$$

结合折射定律:

$$n\sin\theta' = \sin\theta \quad (3)$$

可得到出射光的光强^[7]为:

$$I = \frac{I_0}{2}(1 + \cos\varphi) \quad (4)$$

3 可摆动的F-P标准具测量激光入射角度

3.1 可摆动的F-P标准具工作原理

图2中的F-P标准具可绕Z轴摆动,且摆动角 β 可被精确测量^[8]。

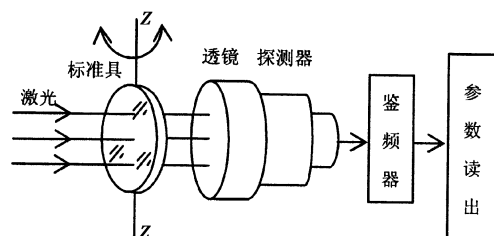


图2 可摆动F-P标准具原理图

Fig. 2 swinging F-P etalon

当标准具不动时,激光入射标准具,光电探测器接收到的相干光的光强与前面分析的完全一致,即若两相邻光束的光程差为波长的整数倍,则光电探测器接收到的光强最高;若光程差为半个波长的奇数倍,则探测器接收到的光强最低;其他情况则介于最大值与最小值之间。

当标准具绕Z轴以一定幅度周期性摆动,即入射光被调制,则两相邻光束之间的光程差就随之呈周期性变化,导致探测器接收到的光强也同步变化,如图3所示,此时经摆动着的标准具调制后的光信号照射在光电探测器上,探测器接收到的透射光强可由公式(2)、(4)导出。光强透过率为:

$$T(\theta) = \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi nd}{\lambda}\cos\theta'\right) \right] / 2 \quad (5)$$

式中, θ 为入射角; θ' 为透射角; d 为标准具厚度; n 为折射率; $T(\theta) = I/I_0$ 为光强透过率。

以 θ' 为横坐标, $T(\theta)$ 为纵坐标作出的 $T(\theta)$ 随 θ' 的变化曲线,如图3所示。

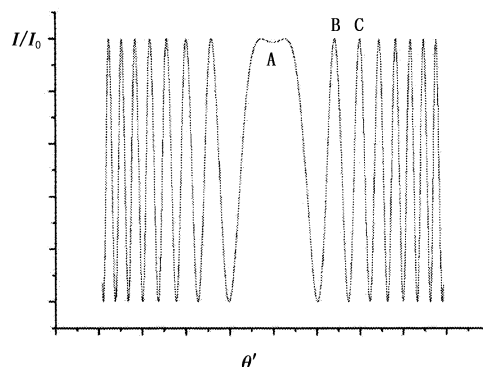


图3 光强透过率随透射光折射角的变化关系

Fig. 3 variability of light intensity transmittance with different refractive angle

图3中透射光线折射角 θ' 又受F-P标准具的摆动角 β 的调制,可以看出:

- (1) θ' 为某些特定值时,透射光产生相长干涉,为另一些特定值时,则产生相消干涉;
- (2)透射信号在垂直入射点($\theta = \theta' = 0$)两侧是完全对称的。

但对非相干光(如日光、雷电、火药、探照灯、白炽灯光等杂光)入射而言,由于它不具有相干性,因而透射标准具时不具有上述两个特点,这就明显地突出了激光的特征,提高了系统探测来袭激光的能力,同时使虚警率大大降低,增强了实用性。

3.2 激光入射角度的确定

如图4所示,设左侧为方位角的0角度,虚线为F-P标准具的法线, α 为激光入射方位角, β 为F-P标准具摆动角, θ 为激光入射标准具的入射角, θ' 为折射角,则 $\theta = \alpha - \beta$,结合折射定律公式(3)得:

$$n\sin\theta' = \sin(\alpha - \beta) \quad (6)$$

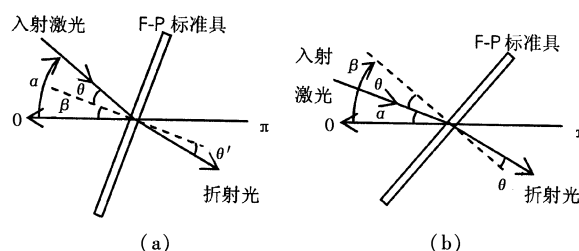


图4 摆动角、激光入射角度与折射角之间的关系

Fig. 4 relation among angles of swing, incidence and refraction

图4(a)表示的是入射激光在F-P标准具法线

的右侧时的角度关系,图4(b)表示的是入射激光在F-P标准具法线的左侧时的角度关系(F-P标准具法线在负角度时同理,未画出)。

由图3可知,A点即为垂直入射点,此时 $\theta = \theta' = 0$ 。由图4知,此时 $\alpha = \beta$,由于摆动角 β 可以被实时精确地测量出来,因此,控制标准具左右摆动,当光电探测器输出的电压波形出现如图3中A点时,此时对应的摆动角 β_A 即为激光入射角度 α ,即:

$$\alpha = \beta_A \quad (7)$$

4 计算示例

由 $\alpha, \beta, \theta, \theta'$ 之间的关系,易推导出透射光强 I 随摆动角 β 的变化曲线。在实际的法布里-珀罗型激光告警器中,得到的就是透射光强 I 随摆动角 β 的变化曲线,经探测器转换后输出的是一个调频波的电压信号。该电压经一定精度的模数转换后,输入到主机进行处理,在主机的主程序里找出波形的对称中心即为垂直入射点,此即为激光入射方向,由于摆动角可以被精确地测量出来,因此激光入射角度也可以较精确地被测出来。

文中设入射激光波长为 $1.06\mu\text{m}$,摆动角的变化范围为 $-\pi/4 \sim \pi/4$ 。下面是针对几种常见的激光入射角度的计算示例。

(1) 入射角 $\alpha = 0$ 时

光强透过率与摆动角之间的变化曲线如图5所示。

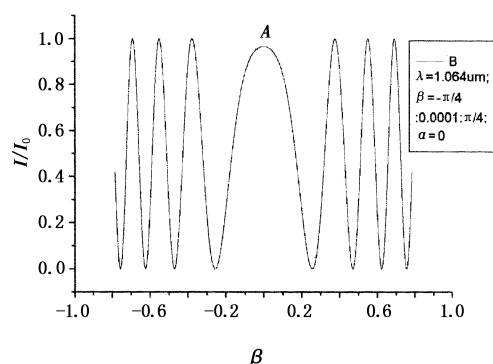


图5 透射光强与摆动角之间的变化曲线($\alpha = 0$)

Fig.5 curve between transmissivity of laser intensity and swing angle ($\alpha = 0$)

图5中A点两侧波形完全对称,过A点且与横坐标轴垂直的垂线为波形对称轴,A点处对应的折射角为0,其摆动角即为激光入射角。经软件处理后测得的摆动角大小为0.0000,即激光入射角为0.0000。

(2) 入射角 $\alpha = \pi/6$ 时

光强透过率与摆动角之间的变化关系如图6所示。经处理软件测得的入射角为 0.5236° 。

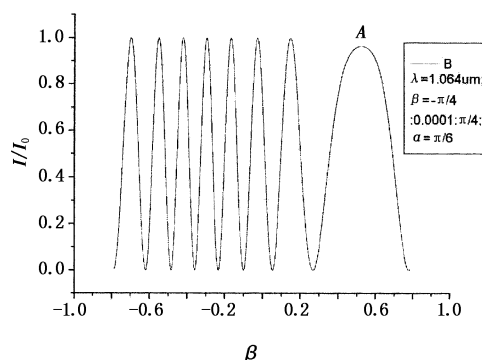


图6 透射光强与摆动角之间的变化曲线($\alpha = \pi/6$)

Fig.6 curve between transmissivity of laser intensity and swing angle ($\alpha = \pi/6$)

(3) 入射角 $\alpha = -\pi/6$ 时

光强透过率与摆动角之间的变化关系如图7所示。经处理软件测得的入射角为 -0.5236° 。

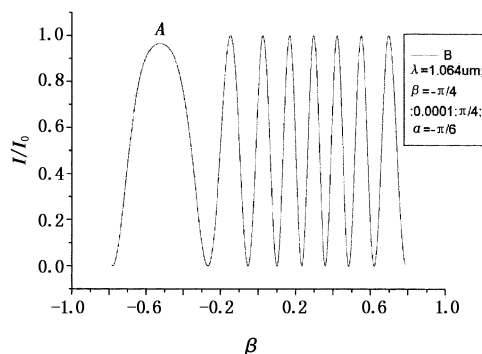


图7 透射光强与摆动角之间的变化曲线($\alpha = -\pi/6$)

Fig.7 curve between transmissivity of laser intensity and swing angle ($\alpha = -\pi/6$)

5 结论

本文介绍了法布里-珀罗型激光告警器的工作原理,分析了计算激光入射角度的方法,结合常见的 $1.064\mu\text{m}$ 激光,根据透射光强随摆动角的变化曲线,对3种入射角度进行了测量,较好地实现了对来袭激光入射角度的测量。

参考文献:

- [1] 魏光辉,杨培根,等. 激光技术在兵器工业中的应用[M]. 北京:兵器工业出版社,1995,07:214-217.
- [2] 张记龙. 光谱识别与相干识别激光告警接收机评述[J]. 测试技术学报,2006,20(2):95-101.
- [3] 潘慧,艾勇,蒋海丽. 激光威胁告警中传感器技术的应用与分析[J]. 红外与激光工程,2004,34(2):132-135.
- [4] 付伟. 激光侦察告警技术的现状及发展趋势[J]. 红外与激光工程,1999,28(2):6-9.
- [5] 施德恒,高宗江. 相干识别型激光警戒系统述评[J]. 激光与红外,1998,28(3):136-139.
- [6] 姚启钧. 光学教程[M]. 第3版,北京:高等教育出版社,2002,07:61-68.
- [7] 施德恒,等. 用四个法布里-珀罗标准具实现的机载激光报警装置[J]. 仪器仪表学报,1997,18(2):161-170.
- [8] 王永仲. 现代军用光学技术[M]. 北京:科学出版社,2003,01:389-390.