

红外干涉仪调试和测量技术的研究

黄深旺 陈 磊 陈进榜 金国佑
(南京理工大学电光分院, 南京 210094)

摘要 从干涉计量术方面对自行研制的移相式 CO₂ 红外激光干涉仪进行了研究并提供了精确定位红外光路的调试技术, 应用该干涉仪对红外光学元件及系统进行了测量; 最后, 对本干涉仪的系统误差作了测试和分析。结果表明, 本仪器系统误差优于 $\lambda/20$ ($\lambda=10.6\mu\text{m}$)。

关键词: 红外干涉仪; 移相干涉术

1 引 言

红外干涉仪主要可用于红外光学零部件及红外光学系统(如前视红外系统 FLIRS)等的测试, 也可用于测量可见光波段粗糙表面和与标准球面偏离较大的非球面^{[1]~[3]}。目前, 国内在红外领域内对红外干涉的研究与红外干涉计量测试仪器的生产和国外相比还有一定差距。现在国内仅有一个单位进口了一台英国 Sira 公司的红外干涉仪, 不但价格昂贵, 而且不带干涉图自动分析系统, 只能作定性判读分析。

我们利用 CO₂ 激光器、红外光学零部件及热释电探测器等研制了移相式红外干涉仪, 成功地将移相术应用于红外干涉测试中, 实现了对红外干涉图象的自动测试和分析。曾利用该干涉仪为西安 205 所国防计量一级站进行了两块大口径锗平板光学均匀性的测试, 其精度可达 10^{-6} 数量级。本文对红外干涉仪的测试技术进行了研究和探讨, 利用可见光和红外光的共光路调试技术, 解决了精确定位红外光路的技术难题; 此外, 应用该干涉仪对红外光学元件及系统进行了测量; 最后还对仪器的系统误差进行了测试分析, 利用移相术对测试图象进行自动处理, 输出实测结果。结果表明, 本干涉仪的系统误差优于 $\lambda/20$ ($\lambda=10.6\mu\text{m}$)

2 仪器工作原理

干涉仪采用 Fizeau 型干涉系统, 其光路图如图 1 所示。由 CO₂ 激光器(1)发出的红外激光束, 经反射镜(2)后被扩束镜(3)聚焦在小孔光栏(4)外, 小孔光栏(4)位于离轴抛物镜(7)的面上。经扩束后的光束经过分光镜(5), 再经反射镜(6)折转, 由离轴抛物面(7)反射后成为平行光。该平行光束经标准锗平板(8)后表面(标准面)反射得到参考光束, 该参考光束与测试反射镜(9)反射的测试光束干涉, 干涉图由分光镜(5)反射到接收光路经成像透镜(10)成象在热释电探测器(11)的靶面上。锗平板(8)上装有移相器(16), 它使参考位相连续变化, 从而使热释电

探测器(11)接收到的干涉图热场变化,由于存在热释电效应,探测器便可输出视频信号。图中(15)是两个空间滤波器,在调试过程中,将 He-Ne 激光器(12)的可见光束与 CO₂ 激光束都设法引入空间滤波器(15)中,借助一定的手段,便可完成可见光与红外光的共光路调试。

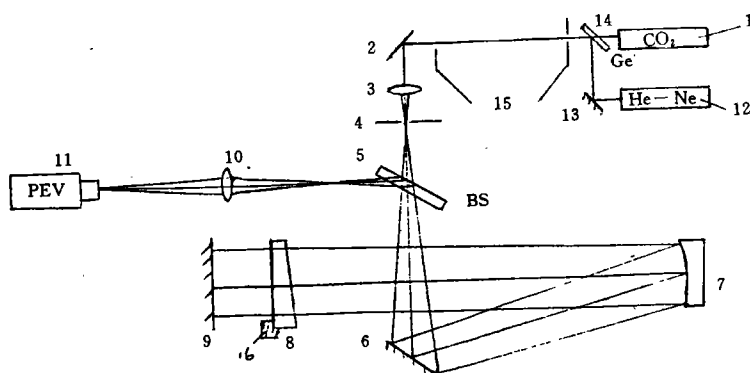


图 1 红外干涉仪光学系统图

Fig. 1 Schematic of infrared interferometric optical system

图 2 为移相式红外干涉系统框图。由热释电探测器 (PEV) 接收到的干涉图,一方面可送至监视器实时显示;另一方面经过图象捕获器送到微机,通过微机操作将图象数字化。最后再根据利用移相算法编制的用于象质评价的一系列软件包,对红外光学测试图象进行实时定量分析,可得到有关被测红外光学零部件和系统波象差的一系列象质指标,如斯特列尔值、几何点列图、点扩散函数、轴上点几何象差和调制传递函数等,并可用直观形象的二维等值图和三维立体图显示结果,所有结果均可由打印机或绘图仪输出。

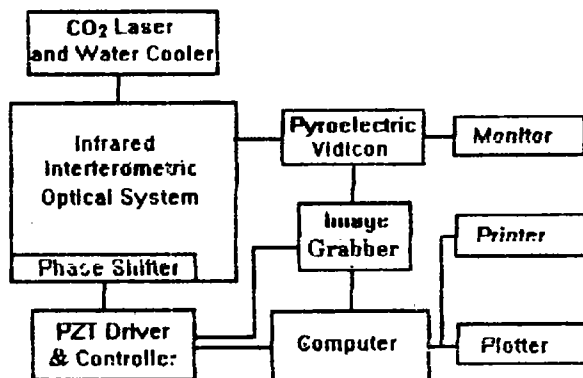


图 2 移相式红外干涉系统框图

Fig. 2 Diagram of phase-shifting interferometric system

3 光路调试

由于红外光的不可见性以及大功率 CO₂ 激光器红外辐射具有一定的伤害性,因此在红外干涉系统中,红外光路调试是一个技术关键。本系统通过选用一些用特殊材料做成的光学零部件,它们既能透可见光也能透红外光,并采用 He-Ne 激光器作为引导光源,将可见光路作为引导光路,实现了红外光与可见光的共光路调试。光路调试主要步骤如下:

a. 定中心高。在调试干涉仪前,先要确定中心高,即干涉系统的光轴高度,同时激光管、各光学零部件及探测器也要相应地调整到同一高度。

b. 红外光轴方向的确定,由于 CO₂ 激光管调节比较麻烦,所以首先要定好红外光路的走向。如图 1,在光路中放置两个相距一定距离的空间滤波器(相距越远,红外光路的定位精度越高),设法让红外光通过这两个滤波器,以确定红外光轴方向。有一点必须注意的是,在此过程

中,开启 CO₂ 激光器以前,光路的最末端要加一石棉板阻挡红外光,以防造成对人身伤害。

c. 共光路调试。关闭 CO₂ 激光器,将 He-Ne 激光器的可见光引入上述的两个空间滤波器中,然后用可见光对仪器光路进行调试,直至离轴抛物镜出射平行光为止。因此要使扩束镜和离轴抛物镜的焦点精确重合,这样离轴抛物镜出射的才是严格的平行光,可以通过两种方法来达到此目的:一是在抛物镜出射光路中放一块面形很好的剪切平板,通过看剪切条纹来确定;另一种方法是采用自准直原理,在抛物镜出射光路中放一块面形精度高的平面反射镜,然后找到离轴抛物镜的焦面位置,看是否与扩束镜的焦面位置重合。

d. 反向光路校准。为了进一步校正光路,还可通过反向光路来判定激光管或其它光学元件是否失调。若不正确时,再进一步校准。

经过上述步骤,干涉仪光路的调试基本完毕。这时,开启 CO₂ 激光器,微调参考反射镜,通过热释探测器便可接收到反映被测波面信息的红外干涉图了。

4 测量与结果分析

利用经过精确调试后的红外干涉仪,我们对红外光学元件及系统、干涉仪的系统误差进行了测量,如图所示。图 3、图 4 和图 5 是红外光学元件及系统测量原理图和干涉图,图 6 是反映干涉仪系统误差的数据和波形图。

在对红外干涉图的测试处理过程中,我们主要应用了移相干涉术算法和红外干涉图象自动测试和分析技术。

移相干涉术是在干涉仪的参考反射镜上,通过移相器使之发生微位移,从而使干涉条纹按预定的移相模式移动,用光电探测器采集多幅干涉图,经过计算机按一定算法处理,就可测得被测位相分布,在测量过程中,我们采用的是“四步阶梯式”相位测量术^[4],即每个周期内采四幅干涉图,参考波面的位相在 0~2π 内逐次变化 π/2,则被测位相可由下式得到:

$$\varphi(x, y) = \arctg \left[\frac{I_4(x, y, \frac{3\pi}{2}) - I_2(-x, y, \frac{\pi}{2})}{I_1(x, y, 0) - I_3(x, y, \pi)} \right]$$

由于上式中含有减法和除法运算,所以干涉场中光强的固定噪声和探测器增益变化的影响将被自动消除。

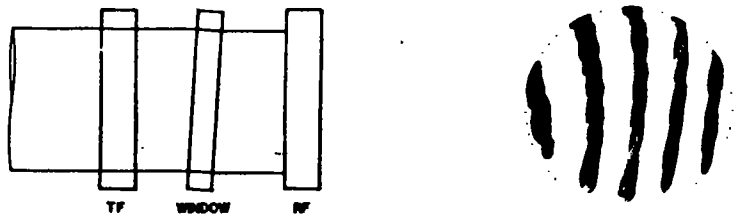


图 3 $\varnothing 140 \times 36$ 锗平板综合误差检测

Fig. 3 Test of total error of Ge plate ($\varnothing 140 \times 36$)

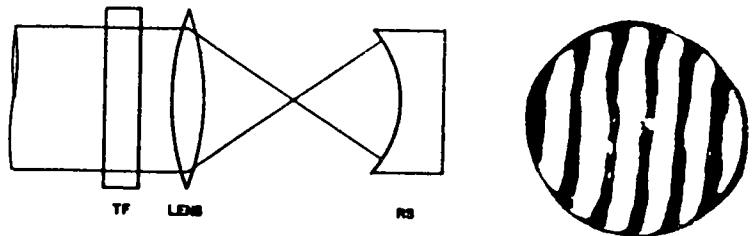


图 4 锗透镜波像差检测 ($D/f=0.5$)

Fig. 4 Test of Ge lens quality ($D/f=0.5$)

在光学干涉测试中。要求保证环境条件的稳定性,环境温度的变化、气流、振动,杂散光等都会给测量精度带来严重影响。针对这个问题,我们提出了重叠平均法。^[5],这种方法的指导思想是:在采样过程中,使参考位相总位移量为几个周期,每个周期内采四幅图,用四步法计算一次,最后取平均值。这样可显著地抑制由于环境等因素所带来的随机误差,从而获得很高的波面复原精度。

根据上述原理和方法,我们自行研制了 PSI (Phase-shifting Interferometry) 软件处理系统。图 6 所示的数据和二维、三维波形图就是利用 PSI 系统处理得到的。由测试结果可见,本干涉仪的系统误差优于 $\lambda/20$ ($\lambda=10.6\mu\text{m}$)。

5 结 论

利用可见光和红外光的共光路调试技术,解决了精确定位红外光路的技术难题,成功地进行了红外干涉仪的调试;

将移相干涉术用于红外干涉测试中,提出了重叠平均法以抑制系统的随机误差,并研制了 PSI 软件处理系统,完成了对红外干涉图象的自动测试和分析;

利用自行研制的红外干涉仪对红外光学元件及系统进行了测试,并给出了有关本干涉仪系统误差的结果数据和二维、三维波形图。结果表明,本红外干涉仪的系统误差优于 $\lambda/20$ ($\lambda=10.6\mu\text{m}$)。

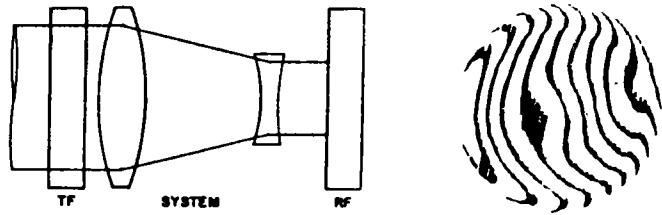


图 5 红外望远系统波像差检测
Fig. 5 Test of quality of infrared telescope system

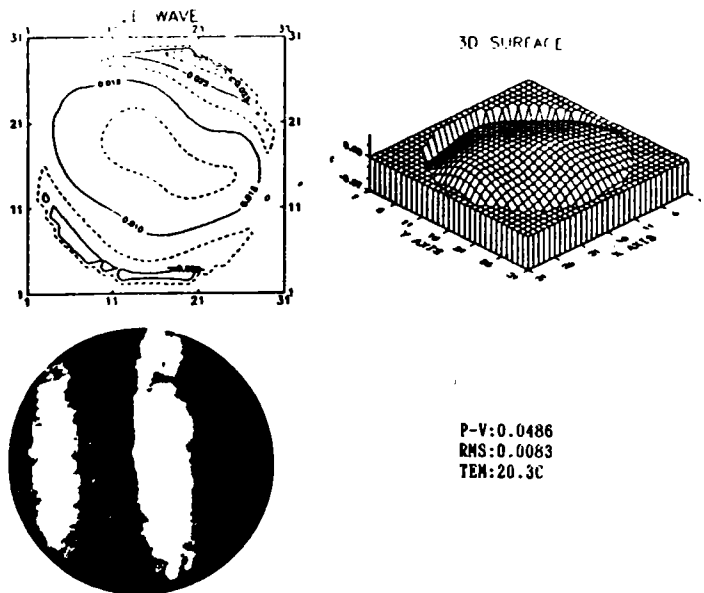


图 6 红外干涉仪系统误差波形图及结果
Fig. 6 Wavefront and result of system error of infrared interferometer

参 考 文 献

- [1] Peter L. Domenicali, Infrared Laser Interferometer. Proc. SPIE. 1979, **192**, 6-12
- [2] Osuk Kwon, J. C. Wyant, C. R. Hayslett, Rough Surface Interferometry at 10.6 μ m. Appl. Opt., 1980, **19** (11), 1862-1869
- [3] Paul Kuttner, Improvements in the Design and Manufacture of Infrared Optical Systems. Proc. SPIE, 1988, **916**: 2-12
- [4] Katherine Creath, Phase - measurement Interferometry, Beware These Errors. Proc. SPIE. 1991, **1553**: 213-220
- [5] Zhu Rihong, Chen Jin bang, Chen Lei, Chen Dao jiong, Accuracy of Phase - shifting Interferometry. Proc. SPIE, 1991, **1553**

Research on Techniques of Alignment and Measurement about Infrared Interferometer

Huang Shenwang, Chen Lei, Chen Jinbang and Jin Guoyou
(*Electro-optics Dept., Nanjing University of
Science & Technology, Nanjing 210094*)

Abstract

This paper does some researches on the self-developed phase-shifting CO₂ infrared interferometer from the aspect of interferometry, and provides a technique which is used to align infrared interferometer precisely. Measurements of infrared components and systems are taken on this infrared interferometer. Finally, the system error of the infrared interferometer is measured and analysed, which is better than $\lambda/20$ ($\lambda=10.6\mu\text{m}$) as shown in results.

Key words: Infrared interferometer, Phase-shifting interferometry

黄深旺 1970年出生, 1991年获得南京理工大学光学仪器学士学位, 现为在读博士生。在研究生在读期间, 一直从事光电计量检测, 光学测试图像自动处理方面的研究, 博士研究课题是研制“红外干涉仪及红外图像自动测试装置”。