

HOE 在光测高温中的应用研究

康 辉 孙其越

(南开大学物理系)

提 要

本文讨论了 HOE 在光测高温技术中的应用问题,并给出了初步实验结果。
关键词: 全息光学元件, 色温测量。

一、引 言

全息光学元件(HOE)是利用光全息或计算机全息技术制作的薄膜型光学元件,它是利用光栅衍射原理实现对光波的相位变换^[1]。因而它能象透镜、棱镜等普通光学元件那样,对光束具有会聚、发散、偏转、色散等功能。

与普通光学元件相比,全息光学元件具有重量轻、成本低、容易制作,容易复制和多功能等特点而受到广泛的重视。并且自七十年代起,由于重铬酸盐明胶材料处理工艺的发展,为用光全息法制备衍射效率高、杂散光小的高质量 HOE 找到了较为理想的记录材料,从而使 HOE 可能具有广泛的实际应用。目前,HOE 作为普通光学元件的重要补充,正在许多领域进行开发性应用研究^[2]。在某些特殊领域显示出比普通光学元件更具有吸引人的应用前景。全息光栅就是一个最好的例证。近些年来,这方面的研究成果不断出现^[3~6]。例如,全息光波导耦合器,光纤系统全息波分器,单模光纤耦合器,HOE 应用于导弹控制系统、飞行员的头盔显示系统,全息扫描器和全息激光防护镜等。

本文所讨论的是利用 HOE 进行光测高温的实验研究,利用一单片全息透镜就可起到色散和聚焦的双重功能。因此可利用它代替测温装置中的色散和聚焦系统,从而有可能使光测高温的光学系统得到简化。

二、比色测温原理及其所需要的光学系统

1. 比色测温原理简介

光测高温是一种非接触测量温度的方法,其中比色测温法是较好的一种。比色测温原理是根据维恩定律,它的基本点是:

(1) 黑体的光谱辐射度分布为

$$\gamma_{\lambda T_0} = c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T_0}}, \quad (1)$$

其中 c_1 和 c_2 为常量, T_0 是黑体的温度。

收稿日期: 1986年8月18日; 收到修改稿日期: 1986年10月21日

(2) 当黑体温度发生变化时, 峰值辐射波长将发生移动, 并且满足下面的规律:

$$\lambda_{\max} T_c = b. \quad (2)$$

即温度升高, 峰值波长向短波移动。

根据维恩定律, 我们可通过测定已知波长 λ_1 和 λ_2 的辐射能量分布求得黑体的温度 T_s , 其关系式为

$$T_s = \frac{c_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \frac{\gamma_{\lambda_1, T_s}}{\mu_{\lambda_1, T_s}} - 5 \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1}}. \quad (3)$$

对于被测的实际物体, 当它在温度 T 时的辐射能量分布曲线和温度为 T_s 的黑体的分布相同时, 则由上式求得的温度称为物体的比色温度(简称色温)。由物体的色温求它的实际温度可通过下式进行:

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_c} = \frac{\ln \frac{\epsilon_{\lambda_1}}{\epsilon_{\lambda_2}}}{c_2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}, \quad (4)$$

其中, ϵ_λ 为物体的发射本领, 当物体为黑体时, $\epsilon_\lambda = \epsilon_{\lambda_1} = \epsilon_{\lambda_2} = 1$, $T = T_s$ 。当物体为灰体时, $\epsilon_{\lambda_1} = \epsilon_{\lambda_2} < 1$, $T = T_s$ 。对于一般物体, $\epsilon_{\lambda_1} \neq \epsilon_{\lambda_2}$ 。当 $\epsilon_{\lambda_1} > \epsilon_{\lambda_2}$ (λ_1 为短波长), $T < T_s$, 即物体的实际温度低于它的色温。反之, 当 $\epsilon_{\lambda_1} < \epsilon_{\lambda_2}$ 时, $T > T_s$, 即物体的实际温度高于它的色温。

根据以上原理, 光测高温的原理方块图可用图 1 表示。其中, S 为待测物体。集光系统收集到物体所发射的光, 通过色散系统和聚光系统形成分立的光谱。然后由光电接收器转换成电信号, 处理系统利用两信号的比值随温度的变化关系计算出所测温度 T , 最后由输出系统显示出结果。

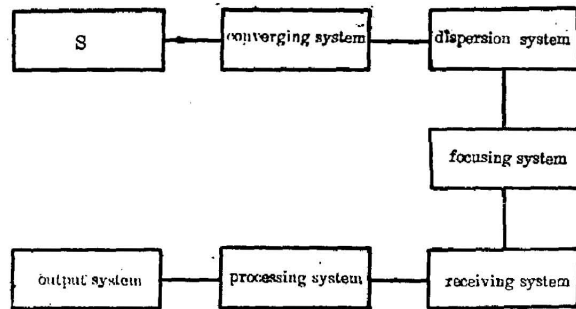


Fig. 1 Block diagram of optical measurement of high temperature

2. 对光学系统的要求

由以上所介绍的比色测温原理可知, 光测高温装置的光学系统应由三部分组成, 即集光系统、分光系统和聚焦系统。它们的可行光路结构应如图 2 所示。由于物体一般是位于较远处, 所以近于平行光入射。

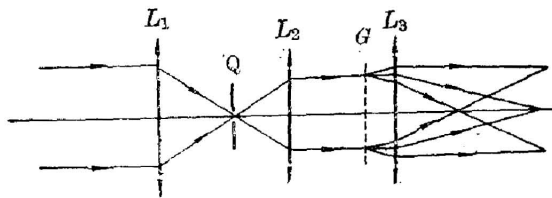


Fig. 2 Optical arrangement of temperature measurement system

透镜 L_2 为色散元件提供平行光。物距的变化由调整 L_1 得到补偿。 L_2 、 G 和 L_3 实际上是一个光谱仪, 在 L_2 的后焦平面形成光阑 Q 的光谱象。 L_1 的口径决定着集光能力, 为提供足够光能, 应选择相比口径大的物镜。光阑孔直径, 光栅常数和 L_3 的焦距适当匹配, 可得到近于单色的工

作波长 λ_1 和 λ_2 。

三、全息透镜的设计思想及制作

根据上述分析可知,光学系统的主要功能是象光谱仪那样提供点源的光谱象。根据 HOE 的多功能特性,一个全息透镜本身就具有透镜和棱镜(或光栅)的作用。因此图 2 中的色散元件和聚光元件可用一单片全息透镜代替。

由全息成像理论可知,记录全息透镜应选用厚记录介质,这样可提高衍射效率。为具有足够色散和光谱带宽,应记录透射型离轴基元全息图,这是因为厚透射型全息图的波长选择性差,而离轴角越大,色散率越高。关系全息透镜的象差,由于两种颜色的光单独调整象面,所以色差、场曲和畸变均不作考虑,主要是球差、彗差和象散的影响。又因这种系统的主要特点是能量的传递,因而不象成像系统那样对对象差要求高。只要两种色光的象差均衡,其大小又不致造成象点的照度分布不均匀,那就可被认为是允许的。况且在制备 HOE 时只要选择与使用情况相同的条件记录全息图,则全息图产生的象差不大。即使有一定的象差,它对测量只造成系统误差,通过标定以后可以消除,所以这里对象差的影响可不予考虑。

全息透镜的记录光路如图 3 所示。因物在无限远,所以选用平行光作为参考光。记录介质为自制重铬酸盐明胶板,全息透镜口径 $D=100\text{ mm}$, 焦距 $f'=200\text{ mm}$, 衍射效率为 55%。

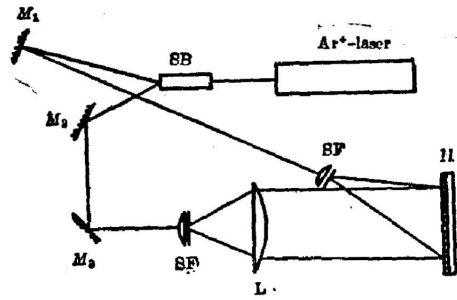


Fig. 3 Recording geometry

全息透镜的记录光路如图 3 所示。因物在无限远,所以选用平行光作为参考光。记录介质为自制重铬酸盐明胶板,全息透镜口径 $D=100\text{ mm}$, 焦距 $f'=200\text{ mm}$, 衍射效率为 55%。

四、实验结果及讨论

利用制作的全息透镜作为集光分色和聚焦系统进行了模拟测温实验,其实验装置见图 4 所示。其中待测物体 S 选为标定过的黑体灯,通过改变加在灯上的电压来改变温度。

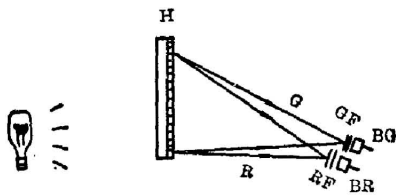


Fig. 4 Schematic of temperature measurement system

RF 和 GF 分别是红色和绿色滤色片,用以在未加光阑的情况下提高两工作波长的单色度。 B_R 和 B_G 是光电二极管,它将光信号转换成电信号用以读出。由于全息透镜的口径较大,衍射效率也较高,在辐射源的辐射度较弱的情况下也能够进行测量。测量结果列于表 1 中。由这些数据

可以看到,实测温度普遍较标定温度要高,这主要是因为全息透镜对不同波长的光有不同的衍射率和光点面积所致。尽管如此,测量误差也不是很大。又因为工作波长是固定的,所以这属于系统误差,可根据全息透镜的性能进行实际标定修正,从而会得到更精确的测量结果。

通过本文的分析和初步实验结果,可以清楚地看到 HOE 在光测高温中的应用潜力。它

不仅可以简化所用的光学系统,而且还有可能用组合的 HOE 完全替代普通光学元件系统,因此是有实际应用价值的。

Table 1

Measured temperature	1480°	1620°	1680°	1790°	1820°
Scaling temperature	1450°	1570°	1670°	1760°	1800°
Relative error	2.0%	3.2%	0.6%	1.7%	1.1%

在测温实验中,曾得到天津大学老师的支持和帮助,母国光教授给予了指道,在此表示致谢。

参 考 文 献

- [1] 于美文;《光学全息及信息处理》, (国防工业出版社,北京, 1984), 412。
- [2] D. H. Glose; *Optical Engineering*, 1975, 14, No. 5 (Sep), 408.
- [3] *United States Patent*, 3864016, (Feb 4, 1975).
- [4] J. L. Horner *et al.*; *Proceeding of SPIE*, 1980, 215.
- [5] T. Yoshino *et al.*; *Appl. Opt.*, 1983, 22, No. 12 (Jun), 1800.
- [6] B. D. Guenther *et al.*; AD-A064354.
- [7] K. G. Johnson *et al.*; AD-A112305.
- [8] Y. G. Jiang; *Appl. Opt.*, 1982, 21, No. 17 (Sep), 3138.
- [9] 吴永生等;《热工测量及仪表》, (水利电力出版社,北京, 1978), 88.
- [10] 陈守仁;《自动检测技术》, (机械工业出版社,北京, 1975), 24.

Application of HOE in optical measurement of high temperature

KANG HUI AND SUN JIYUE

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin)

(Received 18 August 1986; revised 21 October 1986)

Abstract

This paper discusses the application of HOE in optical measurement of high temperature and gives primary experimental results.

Key Words: Holographic optical element; colorimetric temperature measurement.