

相移全息 CT 技术测量双烛火焰温度场

是度芳 钟志有 王 荣 陈韶华

(华中理工大学物理系, 武汉 430074)

摘 要 提出了相移全息 CT 技术。实验中采用双参考光相移方法在再现阶段引入相移, 重建了双烛火焰层面的温度场, 结果表明, 这一技术能够快速、高精度地获取各个投影响方向上的位相分布, 重建出令人满意的结果。

关键词 相移技术, 全息 CT, 温度场.

1 引 言

全息干涉 CT 技术运用于光学 CT 技术成功地测量了流场的浓度场、温度场^[1~3]。尽管三位作者的光路设计各有特色, 但都面临一个共同的问题——在全息干涉图上获取位相分布信息。从全息干涉图上进行条纹细化等处理以获取位相分布信息是一项复杂、费时、且技术要求高的工作^[4]。尤其是当干涉条纹较少、光学噪声又较大时就会严重地影响重建场的精度。

作者在前期工作^[3,4]的基础上, 将相移方法运用于全息 CT 以形成相移全息 CT 技术, 就能在很大程度上克服上述全息 CT 之不足。火焰场是一个瞬态场, 无法在记录阶段引入相移, 因此本文在再现阶段引入相移——使用双参考光相移技术。在光路设计上, 对应每一物光束安排两束参考光。这一双参考光相移全息 CT 技术, 通过测量相对光强分布来得到位相分布, 且每一点测量值与周围点的光强分布无关, 这就有效地消除了光学噪声, 从而就能得到高精度的位相分布。每一幅处理出来的位相分布都包含了 CCD 摄像机 512×512 个像素值, 因此测量快捷。本文采用一相移全息 CT 技术成功地测量了双烛火焰温度场, 得到了满意的结果。

2 实验系统和测量原理

双参考光相移全息 CT 技术实验系统如图 1 所示。它是在正交双物光全息 CT 光路系统^[3]上改进得到的。相对于每一物光束增加了一束插有 PZT 相移器的参考光束。图像处理系统由 CCD 摄像机、CA-P30 图像卡、IBM486 微机等组成, 并由相关软件支持。CCD 摄像机可沿圆形导轨滑动和径向移动。

记录全息干涉图时, 采用双曝光方法在两块全息干板上同时记录下双烛火焰全息图: 首先用不带 PZT 相移器的参考光 R_1 和没有物体时的物光 O_1 记录一次光强, 然后用带有 PZT 相移器的参考光 R_2 和有物体时的物光 O_2 再记录一次光强。将处理过的全息干板精确复位

后,再现时使用 R_1 和 R_2 两束参考光。改变 R_1 和 R_2 之间的位相,用 CCD 摄像机将再现的双烛火焰干涉图拍摄下来并贮存在 IBM486 的 RAM 中。对每一个方向而言,首先得到一幅未加相移的干涉图之光强分布:

$$I_1(x, y) = A + B \cos[\varphi(x, y)] \quad (1)$$

然后用 PZT 分别以 $2\pi/3$ 和 $4\pi/3$ 相移,又可得到两幅相应的干涉图之光强分布:

$$I_2(x, y) = A + B \cos[\varphi(x, y) + 2\pi/3] \quad (2)$$

$$I_3(x, y) = A + B \cos[\varphi(x, y) + 4\pi/3] \quad (3)$$

于是可得到该方向干涉图的位相分布^[5]:

$$\varphi(x, y) = \arctg \left(\sqrt{3} \frac{I_3 - I_2}{2I_1 - I_2 - I_3} \right) \quad (4)$$

由(4)式可知,得到了该投影方向上与 CCD 摄像机相对应的 512×512 个像素上的位相分布。在正交的两个方向,以步距角 1° 共在 37 个方向上拍摄到了 37×3 幅干涉图,经自动处理后得到的 37 幅位相分布图用于重建双烛火焰层面的温度场。图 2 为 $\theta = 90^\circ$ 方向上的三步相移火焰干涉图。

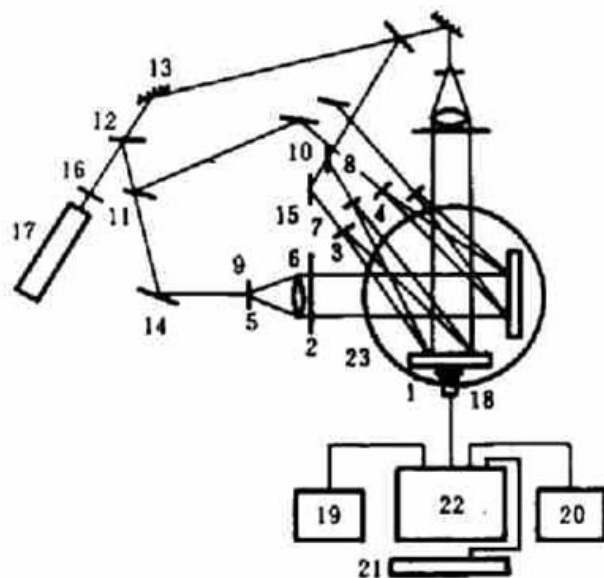


Fig. 1 Two-reference-beam phase-shifting holographic CT system.

0, object; 1, hologram; 2, ground glass; 3~5, optical shutter; 6, collimating lens; 7~9, focusing; 10~12; beam splitter; 13~14, reflectpr; 15, PZT phase-shifter; 16, shutter; 17, He-Ne laser; 18, CCD camera; 19, monitor; 20~22, computer system; 23, circular guide

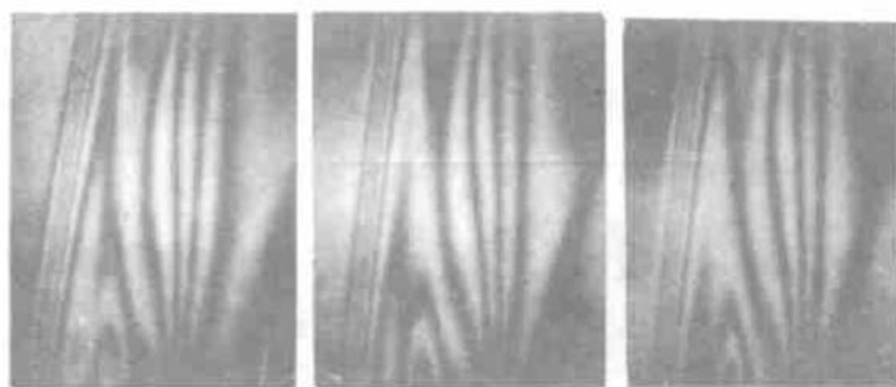


Fig. 2 $\theta = 90^\circ$ three-step phase-shifting interferograms

3 实验结果与分析

图像处理系统可以从一个方向上的三幅相移干涉图之光强分布按照(4)式直接自动处理得到该方向上的整幅位相分布图,进而得到某一高度层面上的位相分布(经过平滑处理)。图 3 为高度 $z = 1.40$ cm 层面、 $\theta = 90^\circ$ 方向的位相分布图。得到全部 37 个方向上同一层面的位相分布(即投影数据)后,即可采用网格法将物场区 1.20 cm \times 2.20 cm 按 0.05 cm \times 0.05 cm

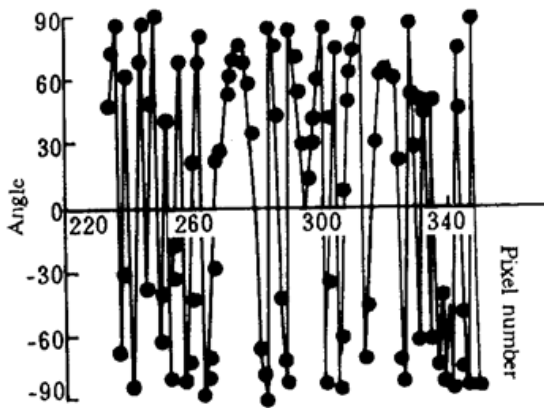


Fig. 3 The phase distribution graph of the cross section at $z = 1.40$ cm

为一个像素划分成 K 个网络, 然后应用联合代数重建技术(SART)重建该层面之折射率场^[6]

$$\Delta\varphi_m^{(i)} = \varphi_m - \frac{2\pi}{\lambda} + \sum_{k=1}^K A_{mk} \Delta n_k^{(i)} + \sum_m A_{mk} \varphi_m^{(i)} \quad (5)$$

$$\Delta n_k^{(i+1)} = \Delta n_k^{(i)} + \frac{\sum_{m=1}^K A_{mk}}{\sum_m A_{mk}} \quad (6)$$

式中 A_{mk} 为第 m 条投影线在第 k 个网格内的长度, i 为迭代次数。再利用 Gladstone-Dale 公式将折射率场转换为温度场。图 4 为 $z = 1.40$ cm 高度处双烛火焰层面温度场三维图、等温线图和通过双芯剖面的温度分布。

作者应用这一相移全息 CT 技术重建双烛火焰温度场得到了满意的结果。双参考光相移全息 CT 技术在再现阶段引入相移来获得干涉图的位相分布比全息 CT 技术中对干涉条纹进行细化等自动处理来获得干涉图的位相分布要简单得多, 而且处理速度快, 精度高, 具有实用价值。

作者应用这一相移全息 CT 技术重建双烛火焰

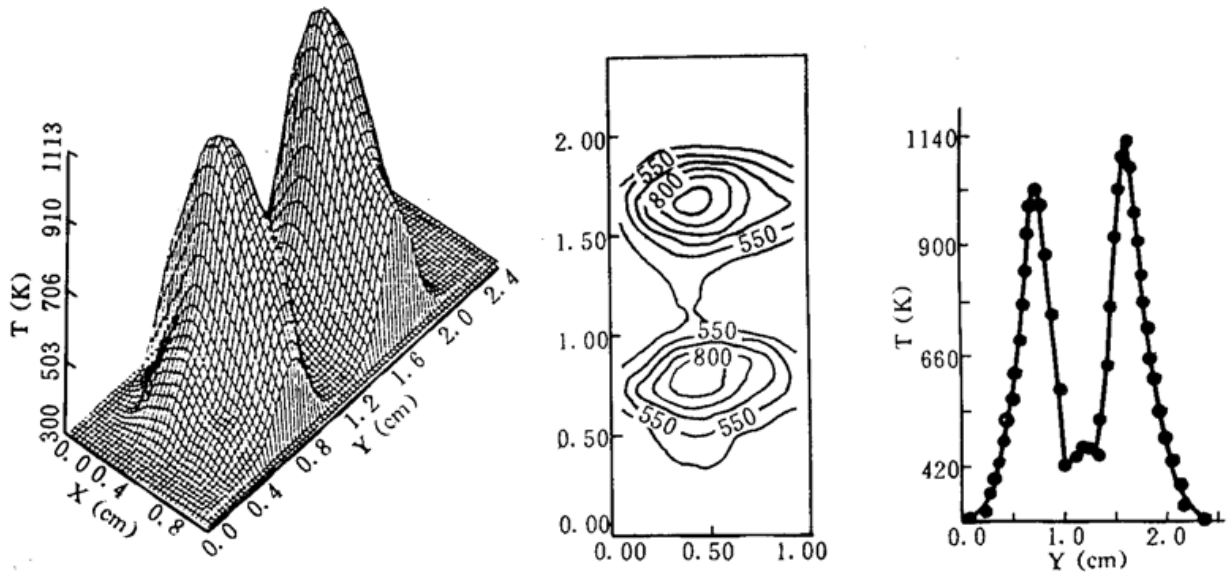


Fig. 4 The temperature field of two-candle flame at $z = 1.40$

参 考 文 献

- [1] R. Snydes, L. Hesselik, Measurement of mixing fluid flows with optical tomography. *Opt. Lett.*, 1988, 13(2): 87~89
- [2] Sato S., Kunmakara T., Measurement of temperature pattern in a flame by holographic interferometry and CT technique. *Prepr. Book, 24th Combust. Symp.* (in Japanese), 16, 1986
- [3] 是度芳, 肖旭东, 陈韶华等, 正交双物光全息有限角 CT 技术重建燃烧器温度场. *光学学报*, 1995, 15(9): 1240~1244
- [4] Dufang Shi, Shaohua Chen, Rong Wang *et al.*, Automatic image processing system and fast reconstruction technique for holographic interferometry computer tomography. *Appl. Opt.* 1995, 34(17): 3064~3068
- [5] R. Dandliker, R. Thalmann, J. F. Willemin., Fringe interpolation by two-reference-beam holographic interferometry; reducing sensitivity to hologram misalignment. *Opt. Commun.*, 1982, 42(5): 301~305
- [6] 陈韶华, 是度芳, 王荣等, 应用联合代数重建技术重建热气流三维温度场. *量子电子学*, 1994, 11(3): 192~197

Measurement of Two-Candle Flame Temperature Field by Phase-Shifting Holographic CT Technique

Shi Dufang Zhong Zhiyou Wang Rong Chen Shaohua

(*Department of Physics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

(Received 13 January 1995)

Abstract The phase-shifting holographic CT technique is presented in this paper. Using two-reference-beam phase-shifting method and introducing phaseshifts during reappearance, we reconstruct the temperature field of two-candle flame. The results show that the phase distribution in certain projection direction was obtained rapidly and accurately by this technique. It is satisfied for reconstruction result.

Key words phase-shifting technique, holographic CT, temperature field.