

用胶囊式液晶粒子同时测量 流场的温度和速度¹⁾

鞠向阳 伍小平 何世平

(中国科学技术大学近代力学系, 合肥 230026)

K. Jambunathan S. Ashforth-Frost B.N. Dobbins

(The Nottingham Trent University, UK)

摘要 胆甾相液晶在不同温度下显示不同的颜色, 这一特性已被广泛地应用于固体表面或流体的温度测量。胶囊式胆甾相液晶具有粒子形态和温度-颜色反应特性, 可以用来同时测量流体的速度和温度场。作者改进了粒子测速的测试精度; 还标定了色度-温度关系, 获得了自然对流流场中的速度和温度场。

关键词 粒子图像测速, 胆甾相液晶, 温度场测量, 自然对流

有一种能以不同颜色反映不同温度的液晶, 称为热色液晶。热色液晶对温度的敏感性已被广泛用于温度场的测量, 如热传导分析、流场显示以及无损检测等。

胶囊式液晶粒子被引进到粒子图像测速(PIV)技术中, 在测量流体全场速度的同时又实时显示了流体温度场。这就给流场显示及定量分析提供了更强有力的工具^[1]。但在国际上, 这类研究还很初步, 在国内, 这类研究还未见报道。本文将胶囊式胆甾相液晶粒子引进到 PIV 技术, 采用了录像 PIV 的互相关方法, 测量和分析了自然对流流场的速度场和温度场; 而且对液晶粒子测温测速技术作了改进, 提高了高速度梯度区流体速度测量的精度。

1 实验装置及测量系统

在 $150\text{mm} \times 186\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的有机玻璃容器内, 盛有 0.02% (质量密度) 的液晶粒子。粒子直径平均为 $100\text{ }\mu\text{m}$, 水温为 25°C 。距容器底面 25mm 处, 有一直径为 13mm 的不锈钢管通过容器不锈钢管与装有约 50°C 水的水槽相通, 热水循环流过。厚度为 2mm 的白光片光从垂直于容器 A 面的方向透? 像机, 从与 B 面垂直的方向上观察并记录自然热对流过程。整个热对流过程, 由 SONY U-Matic

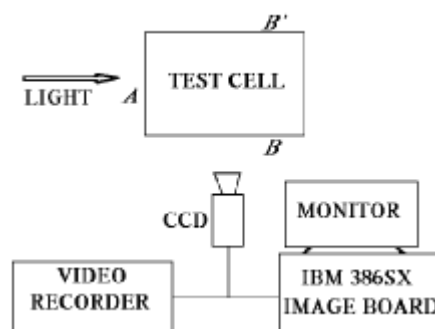


图1 图像采集系统的示意图

Fig. 1 Schematic image acquisition arrangement

¹⁾ 本文工作的第一作者为中英联合培养博士生, 该工作获得了国家自然科学基金资助。

1995-05-09 收到第一稿, 1995-11-27 收到修改稿。

Vo-5800ps 录像机存储在录像带上,由 Data Translation DT 2871 彩色图像板,直接从 CCD 摄像机或从录像带,经录像机采入一系列图像进行分析.实验装置如图 1.

对速度场的分析,采用 PIV 互相关方法.对温度场的分析中,图像可由 HSI(H 色度, S 饱和度, I 光强)模式采入,HSI 与 RGB 模式可以转换.本文采用 HSI 模式.采集两幅彩色图像时差为 0.5s,由两幅彩色图像的光强分量,进行互相关分析,提取速度场,由图像的色度分量,换算成温度数据.

2 改进的互相关方法分析速度场及温度场测定

PIV 的互相关分析法已经得到广泛的应用.其基本过程,是采集两幅有时差的粒子像,进行相关运算.运算时选择一个 $N \times N$ 的窗口,并假设了在窗口内 $f(i, j)$ 是常数.这个假定对于录像 PIV 方法,在速度梯度很高的流场中将失效,导致相关度计算的误差很大.本文用文献[2]的方法,即第 1 幅图 A 的点 (x_A, y_A) ,在第 2 幅图 B 上位于点 (x_B, y_B) ,其坐标点都是整像素.用通常的互相关运算,获得位移场 $(\Delta U, \Delta V)$,它们将不是整像素.现在由此位移场,构造一幅新的图 B1,坐标 $(x_{B1}, y_{B1}) = (x_B - \Delta U, y_B - \Delta V)$.对非整像素的坐标,要经过插值公式转换到整像素上,有 $I(x_{B1}, y_{B1}) = I(x_A, y_A)$,对图 A 和 B1 重复上述运算,可构造另一幅新的图 B2;如此重复 n 次,直至图 A 与 B_n 的相关度在零点处趋近于 1,即 $(x_{Bn}, y_{Bn}) = (x_A, y_A)$.其中, $x_A = x_{Bn} = x_B - \Delta U - \delta U$, $y_A = y_{Bn} = y_B - \Delta V - \delta V$,位移为 $U = \Delta U + \delta U$ 和 $V = \Delta V + \delta V$,其中 $(\delta U, \delta V)$ 为位移的修正值.经过修正的位移,有更高的精度.

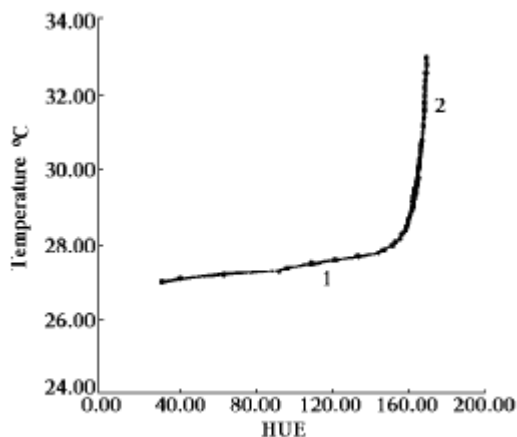


图 2 液晶的色度-温度关系
Fig. 2 Temperature-Hue relationship
for the liquid crystals used

热色液晶在白光照射下,反射光的颜色与液晶所处的温度,具有一一对应的关系,对于颜色的测量,已提出过若干种方法^[1,3].最近多采用色度-温度方法,即先计算图像的色度,然后由色度求温度场.主要优点是色度反映的光波长特性对应于颜色不受饱和度和光强的影响.在饱和度光强达到一定限值后,单独计算色度-温度来提取温度信息,就简化了颜色-温度测量的过程.本文直接利用了图像板的 HSI 模式,对液晶粒子温度-颜色的关系作了标定,标定之后的温度分布如图 2 所示.温度和颜色的标定是通过保持容器中水温度均衡,检测图像色度的直方图,其最大值为温度对应的色度值.

3 结果和讨论

实验中发现,当热流上升到水的自由表面后,形成了两个旋向相反的涡流区.在自然对流达到稳态后,提取了相隔 0.5s 的两幅彩色粒子图.图 3 显示了经过改进的互相关方法提取的流体速度场,其最大的速度在 0.1 m/s 量级.通过用人工模拟的流场进行验证,发现其误差在 5% 以下.

通过利用色度-温度标定曲线, 彩色图像的色度被转换成温度值, 图 4 即为试验区的温度分布. 液晶显示的温度范围为 $27^{\circ}\text{C} \sim 33^{\circ}\text{C}$. 图中间的一条灰色垂直线是上升热流的轨迹. 温度测试精度分为两部分, 如图 2 温度标定曲线的 1 和 2 两部分. 第一部分精度较高, 误差约为 0.01°C ; 而第二部分精度较低, 误差约为 0.2°C .

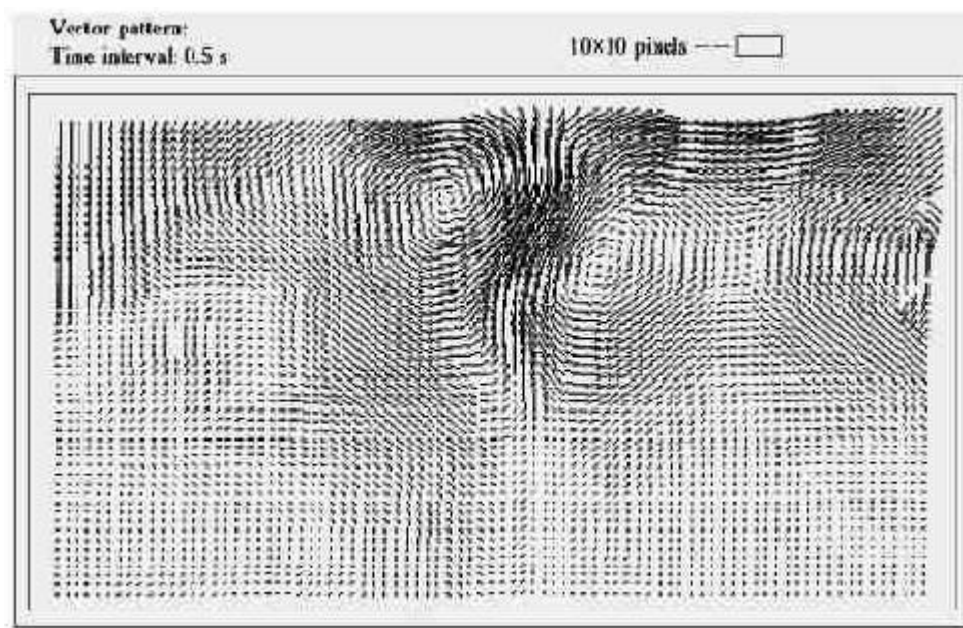


图 3 速度矢量图
Fig. 3 Velocity vectors



图 4 温度分布
Fig. 4 Temperature distribution

我们的研究工作表明, 用胶囊式液晶粒子同时测量流场的温度和速度分布是可行的, 而且能保证足够的测试精度.

参 考 文 献

- 1 Grant I. Particle Image Velocimetry. SPIE Press Volume MS99, 1994
- 2 Jambunathan K, Ju XY, Dobbins BN, Ashforth-Frost S. An improvement cross-correlation technique for particle image velocimetry. *Meas Sci & Tech*, 1994, 6: 1
- 3 Akino N, Kunugi T, Ichimiyin K, Mitsushiro K, Ueda M. Improved liquid crystal thermometer excluding human color sensation. *J Heat Transfer*. 1989, 111: 558

SIMULTANEOUS FLUID VELOCITY AND TEMPERATURE MEASUREMENTS BY USING ENCAPSULATED LIQUID CRYSTAL PARTICLES

Ju Xiangyang Wu Xiaoping He Shiping

(University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

K Jambunathan S Ashforth-Frost BN Dobbins

(The Nottingham Trent University, UK)

Abstract Cholestic liquid crystal shows different color under different temperature, and this property has been used to measure the temperature on a solid surface or in a fluid. Encapsulated cholestic liquid crystals has particulate shape and temperature-color reactive property which can be used to measure velocity field and temperature field simultaneously. In this paper the particle image processing method was improved and the higher velocity accuracy was obtained in the large velocity gradient area. The hue-temperature relation was calibrated. The velocity field and temperature field of natural convection are shown.

Key words particle image velocimetry, cholestic liquid crystal, temperature measurement, natural convection