

定量热场显示的液晶方法研究

许文增 廖光煊 何世平 李奕伟 周 鹏

(中国科学技术大学 合肥 230026)

摘 要

本文描述定量热场显示的液晶方法及应用。讨论了热敏液晶测温原理,提出并建立热敏液晶颜色—温度关系的实验标定方法。在此基础上,应用液晶热场显示及其重构技术,研究撞击射流的传热规律,所得实验结果表明热敏液晶方法用于定量热场显示是成功的。

关键词:热敏液晶 热场显示 热场重构

1. 引言

热流动现象普遍存在于火灾过程中,诸如油池火上部的热羽流;室内火灾的顶棚撞击射流及反浮力流;林火蔓延过程中的火漩涡等等。研究火灾过程中的热流动现象,弄清流动过程和热过程的内在关系,对揭示火灾发生、发展规律有重要意义。

在火灾热模拟实验研究中,感兴趣的是如何获取速度场及热场等物理信息。对热场诊断,传统的有机探针方法,例如:热偶技术以及冷线方法等。当今,热场诊断的光学方法则越来越为热物理科学工作者所广泛采用。其中近年来,液晶热场诊断技术的研究尤为活跃,它在热流动现象的研究中应用也十分广泛。液晶方法与传统的探针方法相比,有诸多特色:它能提供瞬态热场的全场信息,实施简便;特别是和图像处理技术相结合,为人们提供了一种新的定量热场显示的测量手段。

本文首先描述热敏液晶测温原理,提出并建立热敏液晶颜色—温度关系的实验标定方法。在此基础上,应用液晶热场显示及其重构技术,研究撞击射流的传热规律并给出实验结果。

2. 定量热场显示的液晶方法

2.1 热敏液晶测温原理

液晶是介于固态晶体和各向同性的液体之间的一种中间相,它同时具有晶体和液体

的某些特性。其外形类似流体,具有流动性及粘滞性。而分子结构又类似于晶体,具有规则的分子排列。呈现光学各向异性。

液晶可以通过加热某些结晶体而得到,也可以由某些材料的各向同性的液体在冷却过程中获得。液晶的种类很多,许多液晶具有热敏效应,即能够以色彩的变化反映温度的变化,因而被称为热敏液晶。热敏液晶又可分为两种:其中之一是在某一温度以下反射一种特定的颜色,超过此温度则无色,这个温度称为转变温度。另一种则有两个明显的熔点(转变温度),处于这两个熔点之间,随温度的不同呈现不同的颜色。其它温度则无色。而液晶仅是介于这两个熔点之间的过渡相。

本文用于热场显示的热敏液晶具有胆甾相。该晶体的柱状分子分层而整齐地排列着。在每一层中,分子的长轴互相平行且平行于层面。但对不同的层面,长轴方向按螺旋线而缓慢地变化。胆甾相液晶由于具有这种层状、扭曲型的分子结构,使其具有很强的旋光性和圆二向色性等光学性能。其圆二向色性使得白光照射到液晶能分成旋向相反的两束偏振光,一束反射,一束透射。反射光波的频率与分子层距有关。当温度变化造成分子间距改变时,液晶所反射光的频率也不同,从而呈现一系列色彩变化,某种颜色都与一定的温度对应。根据所呈现的色彩,就能准确确定物体的温度。

2.2 热敏液晶颜色—温度关系的标定

如前所述,热敏液晶的光学性质对温度变化十分敏感。它在温度较低时是无色的(本实验中,表现为板上的底色即黑色)。当受热时,开始先转变为红色,随着温度升高,其颜色依次转变为橙、黄、绿和兰色,温度继续变高,便又成为无色。其颜色转变的两个温度点,即为转变温度。从红色开始到兰色的温差定义为彩色带宽。通常,用色度、饱和度和明度来表征彩色特性,其中,色度(*Hue*, *H*)是表示彩色的各种光波长辐射比例的物理量。在本文的标定实验中,仅用色度 *H* 一个变量区分颜色,以消除照明条件不同以及照明均匀的影响,从而确保标定结果的通用性。

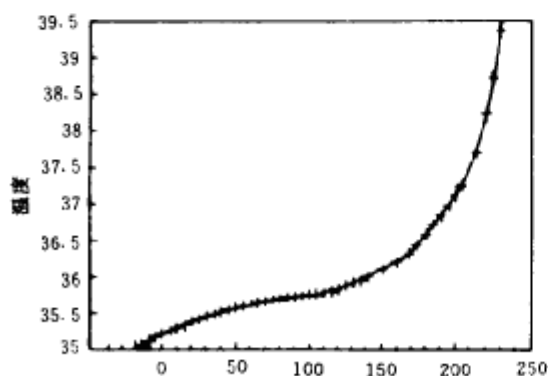


图1 色度—温度关系曲线

样的温度。均匀涂有热敏液晶的铜片试样以及数字电压表的读数数码管均置于彩色摄像机的视场中,用光照明,改变试样的温度,此时,试样表面的温度变化以及热敏液晶的颜色

标定实验采用如下方法制备试样:用小喷枪在铜片试样表面喷涂一层黑色涂料;然后再在其上喷涂一层热敏液晶,以便确保观察时颜色有良好的反差。同时,在铜片试样的正面埋设一支铜—镍铜细热偶,并做适当标记指示出它在试样中所处方位;在试样的反面贴有带绝缘基的导电纸,并由二端引出电极 AB。对试样加热的热源由可控稳压电源提供。这样,试样导电纸、可控稳压电源构成一加热回路。热电偶、数字电压表(PZ—8)则构成一测温回路。调节 AB 的电压,就可以改变试

变化分别由数字电压表和彩色摄像系统同时记录下来。然后利用 Chpis Pc Video 图像板和图像处理软件,获取不同时刻的温度、色度,就得到了一组温度—色度数据。温度—色度函数关系曲线给出在图 1。

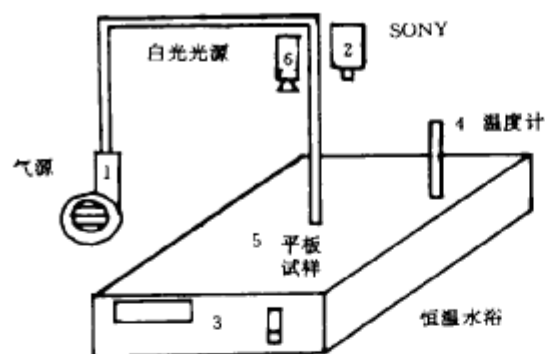


图2 实验装置

位移支架上,以便改变撞击射流的高度。喷管的内径 12mm, $L/D=100$,以保证射流充分发展。中心线的平均速度用皮托管测量,并由如下公式给出:

$$U_c/U_s = 0.811 + 0.038[\log(Re) - 4]$$

式中: U_c ——喷管中心线的平均速度; U_s ——喷管的体积速度; Re ——雷诺数。

射流撞击的平板试样为 410mm×310mm×3mm 的玻璃板。为了得到反差好的等色图,其表面用一种特殊的黑色材料喷涂之后,再用小喷枪均匀喷涂热敏液晶。

本文实验研究所用热敏液晶型号为 BM/R35C1W/C17-10,它的红色转变温度为 35℃,彩色带宽 2.0℃,颜色分辨可达 0.05℃。实验时,恒温水浴(功率 1000W,温度 30—100℃可调)盛满水,并将平板试样置于其上。试样通过自动控温的该恒温水浴加热,并保持试样表面温度恒定。

3.2 热场显示与重构

实验中,将恒温水浴置于 35℃左右,以加热平板试样,使其表面温度稳定在液晶的敏感温度上限值,此时平板试样呈现兰色。在撞击射流作用下试样出现彩色圆环,随着时间推移,圆环逐渐扩大,最后达到一稳态。用摄像机记录试样表面的彩色图像。拍摄的彩色图像经图像板数字化后转换成色调图像,并对其进行中值和均值滤波处理。利用图像处理软件逐点采集色度并同已标定好的曲线比较、取值,便获得了各点的温度。为了定量考察热场,可用软件进行热场重构后给出其等温线。定量热场显示与重构实现的软件流程如图 3 所示。

3. 应用热敏液晶对撞击射流传热规律的研究

3.1 实验装置

实验装置如图 2 所示。其由气源(离心式风机)、气路、喷管以及射流撞击的平板试样等构成。喷管被固定在

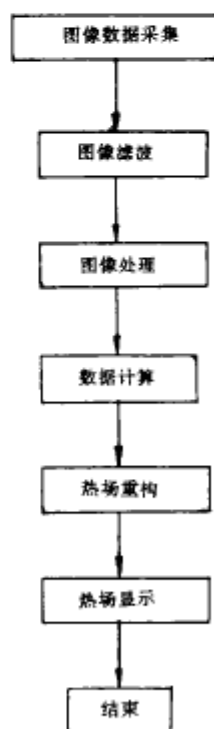


图3 热场重构软件流程图

3.4 实验结果与讨论

图 4 给出了 $Z/D=8$ 时垂直射流与平板试样作用后的等温线。从图中可见,以落止点

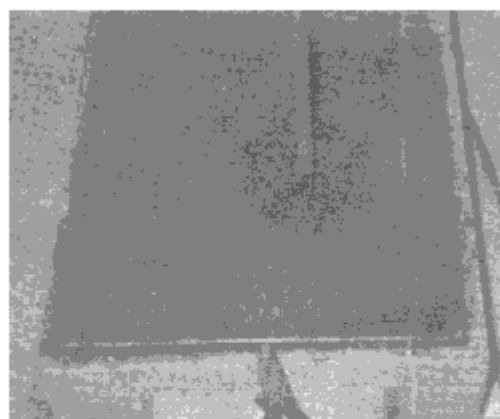


图 4 垂直热场分布

为圆心的环形彩色图像,其不同颜色对应不同的温度,因此,直观性地反映了垂直射流与平板试样之间的气流换热特性。

对图 4 所给图像经过图像处理所给出的热场示于图 5 中。显而易见,不同的颜色对应不同的等温线。

图 5 给出了射流出口 $Re=20000$ 在轴止高度 $Z/D=4, 8, 10$ 二种工况下,努森数 Na 沿平板试样的变化。 Na 从前二点开始变小,然后在 $Z/D=8$ 处形成一峰值,这是由于射流撞击平板后速度的突然改变及射流在沿板的扩散停止的与外边界周围空气动量交换的结果。

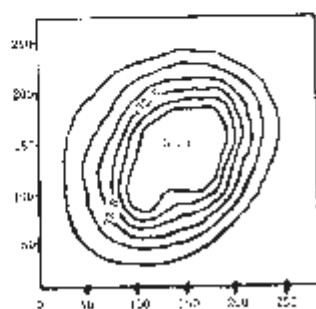


图 5 热场分布 ($Z/D=8$)

4. 结论

本文应用定量热场显示的测量方法及其结构技术研究了垂直射流的对流换热特性,所得实验结果合理,满意,说明热场测量测温技术的可行性。可以预测该方法在火灾现象热

模拟研究中将有其良好的应用前景。

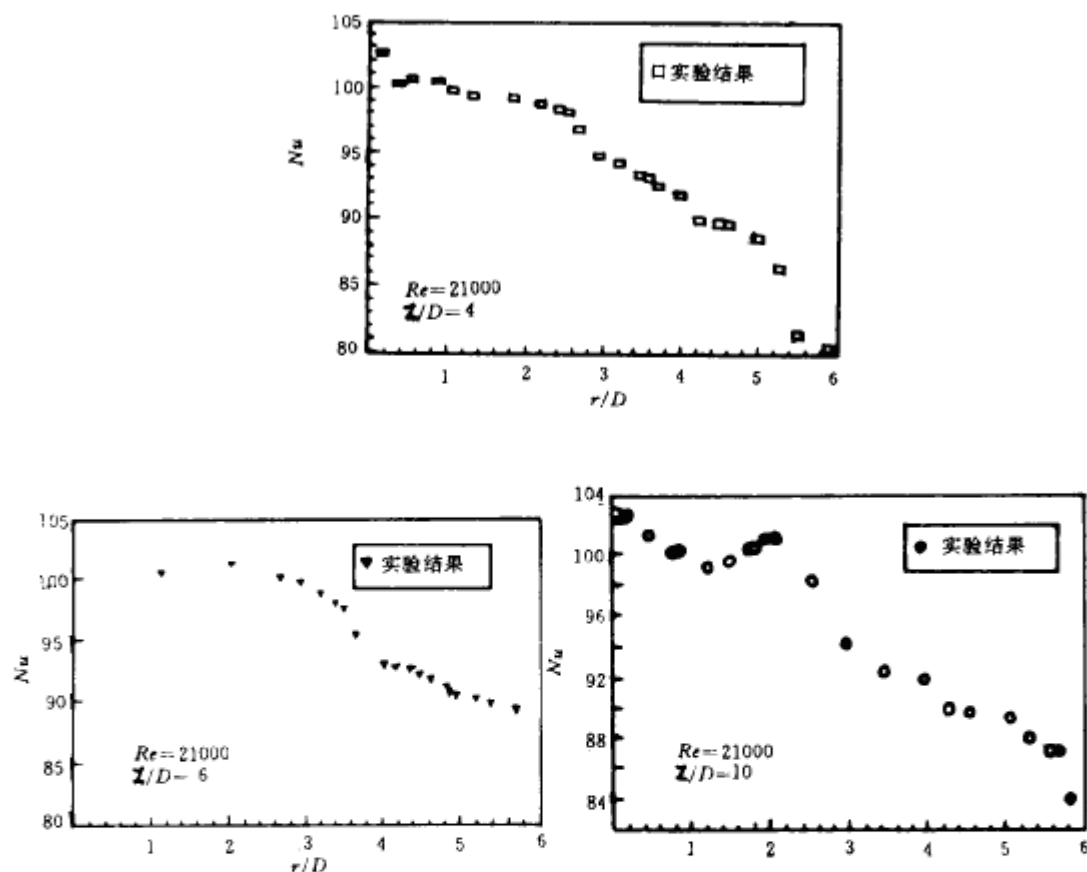


图 6 沿平板的对流传热

参 考 文 献

- [1] T. Nozaki, etc Application of Liquid crystal Thermometry to Drop Temperature Measurements, Experiments in Fluid Vol. 18 PP137~144, 1995
- [2] Baughn, J. W, etc Improvements in a New Technique for Measuring and Mapping Heat Transfer coefficients, Review of Scientific Instruments, Vol. 57, PP650~654, 1986
- [3] 范维澄主编, 火灾科学导论, 湖北科技出版社, 1992
- [4] White, F. M, Fluid Mechanics, 2nd Edition, PP310, McGraw Hill, New York, 1986
- [5] 汪柳生, 何世平等, 基于液晶测温技术的二维热传导自动分析, 中国科学技术大学学报, 第 20 卷 (1993), 第 2 期, 第 110 页~128 页
- [6] P. 英克鲁佩斯等著, 葛新石等译, 传热学基本原理, 第一版, 安徽科技出版社, 1995

The Study Of Quantitative Liquid Crystal Thermography

W. Z. Xu G. X. Liao S. P. He Y. W. Li P. Zhou

(Univ. of Sei. and Tech. of China Hefei Anhui 230026)

ABSTRACT

The quantitative liquid crystal thermography is described in the Present study. The paper introduces the fundamental of the technique and Presents a new method of calibration on the relationship of Hue — temperature. The thermo — field reconstruction technique is also developed . Then, these techniques used to study the convective heat transfer on impinging jets . The results is reasonable.

Key Words: Thermochromic liquid crystal Thermo — field visulization Thermo — field reconstruction.