

## 利用图象分析法求湍流剪切层的 光学密度分布曲线

陈海韬

(中国科学院力学研究所)

**提要** 本文介绍利用一个Microneye Bullet 摄像头, 一台Apple II Plus 微计算机及一台Epson RX-80 打印机从干涉条纹读出信息并由此求出剪切层中光学密度的方法, 讨论了在编写计算机程序时考虑过的问题, 从一张由湍流不均匀剪切流的实验中取得的Mach-Zehnder 干涉照片画出流场中的光学密度分布以及剪切层的扩展情况, 最后还用同样方法画出激光通过剪切层后相位角偏差的均方根变化曲线。

**关键词** 湍流剪切层; 图象分析法; 光学性质; 干涉图象。

### 一、引言

在气流混合、燃烧以及高能激光等过程中, 都存在着湍流剪切层, 例如在气动激光和化学激光器的谐振腔中, 由列阵喷管喷出的高速射流所引起的剪切层及尾流, 对激光输出的相位及功率有很大的影响, 因此, 研究激光通过这些剪切层后引起的激光相位及强度的变化, 对于研制这样的激光器是很重要的。

Mach-Zehnder 干涉仪(简称为马氏干涉仪)是一种可以用来测定气流混合时的剪切层中折射率改变的仪器, 由此可以求出剪切层内气流密度的变化, 过去, 定量地从干涉照片的条纹直接计算出密度变化的报导并不多, 原因是要用人工精细测算一幅干涉照片中各处的条纹中心位置, 这是一件既繁琐又费时的事情。

本文介绍利用微处理机从干涉条纹读出信息并由此计算出流场中光学密度的方法, 作者相信, 这种方法同样适合于其他的空气动力实验, 特别是燃烧实验和风洞实验中需要从干涉条纹算出数字结果的研究工作。

### 二、设备概述

本研究所用设备为一个Microneye Bullet 摄像头, 一台Apple II plus 微计算机以及一台Epson RX-80 打印机, 摄像头由美国玻色微技术公司所产, 它长 $3\frac{1}{2}$ 英寸, 直径 $1\frac{1}{2}$ 英寸, 里面装有IS32 OpticRAM 光敏元件, 将摄像头对准干涉照片, 把插件插入微计算机的第二槽中, 运行附件中的MICRONEYE 程序, 便可以将照片的一部份显示在计算机的屏幕上, 屏幕上共有 $280 \times 128$ 个点, 每个点有黑白二种颜色, 改变光圈及曝光时间, 可以变换屏幕图象的明暗, 各点信息, 可以在磁盘内贮存, 也可以用打印机打印出来。

本文于1985年9月9日收到。

表1 为所用的摄像头操作参数.

表1 摄像用参数

摄像头图片尺寸	512×128点
屏幕图片尺寸	280×128点
拍摄距离	0.3米
曝光时间	250毫秒
光 圈	f/8 - f/11
光 度	40 - 60%

### 三、干涉照片

本文所用的干涉照片是从一个研究湍流剪切层的实验室取得的<sup>(1)</sup>. 气体射流通过一个二维喷管流出. 出口面积为 $1.4\text{cm} \times 1.4\text{cm}$ . 前面有为整流用的收缩段. 收缩比为6:1. 收缩角为 $45^\circ$ . 出口后面为试验段, 长7.5cm. 有三块光学玻璃紧接在出口的的边缘并顺着气流流动方向放置. 另一边缘自由开放, 让空气流入并与气流的自由边界形成剪切层. 所用气体为He, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>和He-Ar的混合气. 气流速度范围为 $M = 0.1$ 到0.9.

图1 为实验装置的平面图. 图中TS 为试验段的横截面. H 为功率为1 mW的He-Ne激光器. 激光束通过平行光管T 扩大直径至80mm后, 进入由两块半透镜和两块全反射镜构成的马氏干涉仪中, 再经凸透镜L 放大, 在一次成像照相机C 中成像. 干涉仪的一条光路穿过试验段, 平行于剪切层. 半透镜和反射镜的直径均为76mm. 放置在与喷管分离的光学平台上. 所用感光底片为3000ASA 高速Polaroid片. 每组实验中, 至少要拍摄一张没有气流通通过喷管时的对比照片, 为计算时的参考.

图2 (a) 为用62% Ar-38% He的混合气, 在流速 $M = 0.3$ 时摄得的干涉照片. 图的上部为流动气体. 流动方向为自左至右. 图的下部为空气. 弯曲部份为剪切层. 图2 (c) 为剪切层的开始部份在屏幕上显示并在打印机印出的图象. 对比照片的条纹近似为等距的直线, 与图2 (a) 下半部的直线条纹相同.

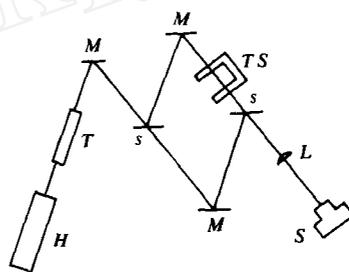


图1 实验装置

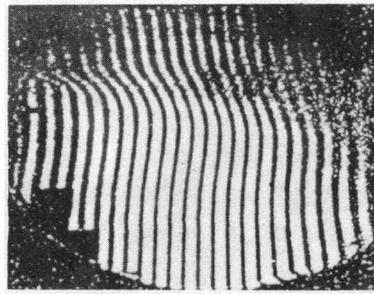
H He-Ne激光器	T 平行光管
M 全反射镜	s 半透镜
TS 试验段	L 透镜
S 照相机	

### 四、编写程序时的一些考虑

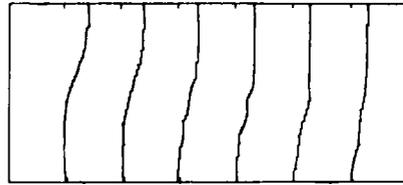
因为市上并没有专门从干涉照片条纹求解气体密度分布的计算机程序, 这个程序必需自己编写. 这个程序包含有从微计算机屏幕上的黑白点取出信息再进行数字运算的特性, 所以有别于一般的计算程序. 下面是在编写时所考虑过的一些问题.

#### 1. 屏幕上字节的地址

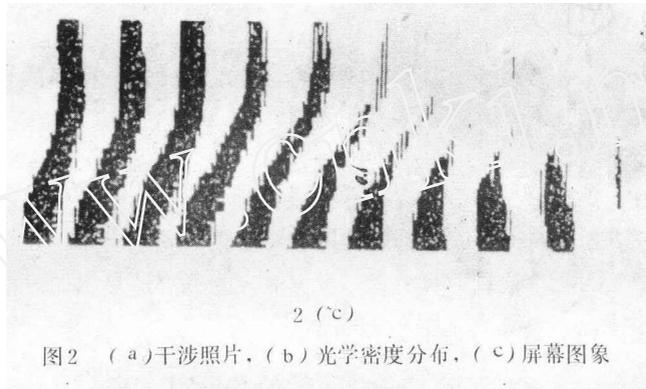
运行MICRONEYE 程序之后, 干涉条纹显示在微计算机高分解度图象屏幕 (High-Resolution Graphic Screen) 上. 这是一个水平方向280个点, 垂直方向128个点的矩



2 (a)



2 (b)



2 (c)

图2 (a)干涉照片, (b)光学密度分布, (c)屏幕图象

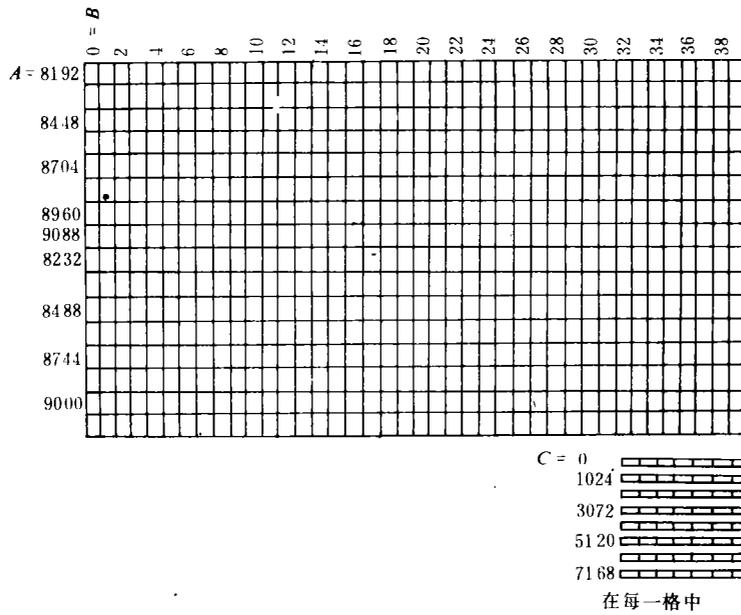


图3 图象屏幕的地址

阵, 占整个屏幕的 $2/3$ . 从每行第一个点算起, 每7个点为一个字节. 因此, 在这个矩阵中, 每行有40个字节, 每列有128个字节. 根据字节的位置, 按照图3找出相对应的A、B、C三个数然后相加. 这个和就是这个字节的地址, 是从8192到16388中的一个数.

### 2. 从图象到数字的转换

利用PEEK(地址)的指令, 可以将矩阵中任一字节的七个黑白点, 按二进制数读出, 再以十进制数的形式存入微计算机的内存中. 以2除这个十进制数再除所得的商, 共除7次, 按顺序列出所得的7个余数便得到和这字节黑白点相对应的7个数字. 数字0表示黑点, 数字1表示白点.

在屏幕图象中按等距离画出16条水平线. 这些线是图3上 $C = 4096$ 所有的线. 从第一条线的第一个字节起到最后一条线最后一个字节止, 依次用上述方法读出所有的余数. 这样, 这些线上的黑白信息全部转换成数字信息.

### 3. 灰色问题

由于湍流的影响, 干涉照片中剪切层内部的条纹比较灰暗, 在屏幕上不够清楚, 给计算机正确判断条纹位置带来困难. 这就是灰色问题.

改变摄像头的光圈, 可以改变屏幕上黑白点的比例. 白点占全部黑白点的百分数称为光度(Light Level). 光度较大, 剪切层外部条纹清晰而内部灰白. 光度较小, 剪切层外部一片黑暗而内部条纹清晰. 对同一张干涉照片摄取五张不同光度(40—60%)的图象, 用上述方法读取每张图象的数字信息, 再将每一个点对应的五个信息相加, 根据相加后的信息最大值来判断条纹的位置. 便解决上述灰色问题.

## 五、光学密度分布计算

与对比照片比较, 干涉照片上条纹的位置偏移量 $\Delta N$ 和试验段气体折射率有下列关系<sup>[1]</sup>:

$$\Delta N = \frac{L}{\lambda} \Delta n \quad (1)$$

式中 $L$ 为试验段宽度(1.4 cm),

$\lambda$ 为激光波长(6328 Å),

$\Delta n$ 为气体折射率与空气折射率之差.

由于

$$n = 1 + \beta\rho \quad (2)$$

式中 $\beta$ 为Gladstone-Dale常数, 因而有

$$(\beta\rho) = \frac{\lambda}{L} \Delta N + (\beta\rho)_0 \quad (3)$$

式中 $\beta\rho$ 为试验段中气体的光学密度,

$(\beta\rho)_0$ 为空气的光学密度.

因此, 如能测出流场某处的 $\Delta N$ , 即可由(3)式求到此处的光学密度. 如能知道当地的 $\beta$ 值, 则此处的气体密度 $\rho$ 便可求出.

## 六、计算程序及结果

计算程序由DEN和SITY两部份组成. 程序DEN将干涉照片及对比照片按上法<sup>2</sup>分别读出各条纹的数字信息, 对条纹编码并求出各条纹在16条水平线上的中心位置. 程序SITY将条纹与中心位置同时显示在屏幕上, 作人工修正后, 根据(3)式, 求出全部流场的光学密度分布, 在屏幕显示并打印.

图2(c)是中心位置与条纹同时显示的图象. 图2(b)是这个流场的光学密度分布曲线图.

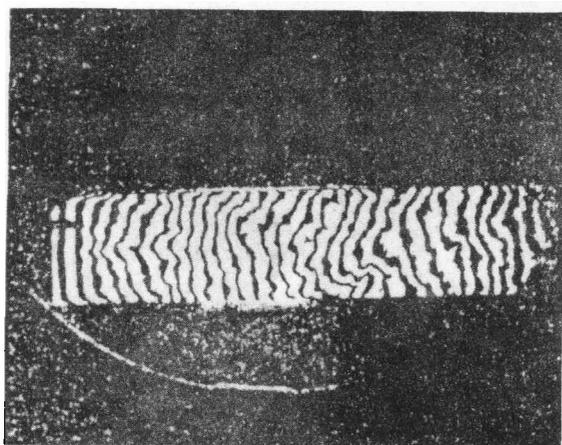
连结图2(b)中的短垂线, 可以得到6条垂直线. 图上6条分布曲线分别对应于这些垂直线. 垂直线上任何一点的 $(\beta\rho)_x - \beta\rho$ 等于该点到曲线的水平距离. 这样就可以定量地求出各点的光学密度.

曲线的倾斜部份是剪切层. 可以看出, 剪切层内密度是逐渐变化的, 剪切层是逐渐扩大的, 而且逐渐向空气方面偏移.

## 七、激光通过剪切层后的相位变化

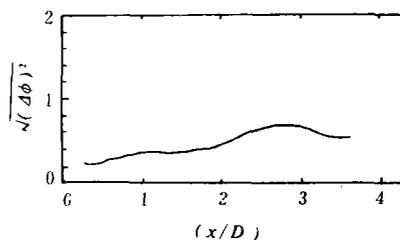
本文介绍的方法, 同样可以测量激光通过剪切层后的相位变化.

图4(a)为用脉宽100ns的Q调红宝石激光束, 垂直通过剪切层后拍摄的干涉照片<sup>2</sup>. 因为曝光时间很短, 湍流的结构很明显地显示在照片上. 湍流的存在, 使激光束发生强烈的相位偏差.



(a)

图4 (a) 干涉照片.



(b)

(b) 相位差均方根分布

因为条纹宽度对应于相位角偏差 $2\pi$ . 如果知道某处与对比照片相比, 干涉条纹偏差 $\Delta N$ , 则该处的相位角偏差为

$$\Delta\phi = 2\pi\Delta N \quad (4)$$

图4(b)是按(4)式沿气流流动方向求出的相位角偏差的均方根变化曲线。可以看出,图4(a)上弯曲比较利害的位置,图4(b)的偏差比较大。

本研究是在美国华盛顿大学空间与航空系Walter H. Christiansen 教授的指导下完成的。作者对他表示感谢。在实验工作中,得到H. Johari, H. Poling和D. W. Bogdanoff 等先生的大力协助,作者一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Johari, H. Poling, H. Chen, H. T. Bogdanoff, D. W. and Christiansen, W. H., A Preliminary Study of Optical Properties of Inhomogeneous Shear Layers AIAA 17th Fluid Dynamic Plasma Dynamic and Laser Conference (1984).
- [2] Christiansen, W. H., Johari, H. Bogdanoff, D. W., A Study of Inhomogeneous Shear Layer and Their Effect on Laser Beam Degradation Proceedings of the Fifth Gas Flow and Chemical Laser Conference, Oxford, England (1984), 345.

## THE DETERMINATION OF THE OPTICAL DENSITY PROFILES IN THE TURBULENT SHEAR LAYERS BY MEANS OF THE IMAGE PROCESSING METHOD

Chen Haitao

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

**ABSTRACT** The optical density profiles in a turbulent shear layer can be determined by means of the Mach-Zehnder interferometer. The quantitative counting of the number and the center location of each fringes in a interferogram manually is always a tedious work. In this paper, an automated method is introduced for this purpose by means of a Microneye Bullet and a Microcomputer.

The Mach-Zehnder interferogram is taken from a test of a nozzle flow with gas mixture of 62% Ar/38% He. The apparatus used is a set of a Microneye Bullet, an Apple II plus Computer and an Epson RX-80 Printer. After running the MICRONEYE program, the image of the interferogram is optically focused on the photosensitized array inside the Bullet and a picture composed of black and white dots is displayed on the screen of the computer.

A computer program for counting the number and the center location of each fringes along 16 horizontal lines, calculating the optical density at different position and plotting the result by a printer is created. Due to the turbulent effect of the jet, the fringe pattern inside the shear layer is always blurred, so that, the computer can not distinguish easily. For solving this problem, five pictures of different brightness of the same interferogram are used. A tare interferogram (without gas flow) is used for comparison.

The calculation of the optical density profile is based on the fact that the fringe shift of the test and tare interferograms at the same point is equal to the phase angle difference and also equal to the optical length difference of two coherent laser

beams which combine and form fringe pattern in the Mach-Zehnder interferometer. The plot of the optical density profile is given with the corresponding interferogram and the screen picture.

This technique can also be applied in the determination of the laser beam phase angle deviation according to the fact that each fringe shift of the test and tare interferograms at the same point is equal to a phase angle  $2\pi$ . A plot of the root mean square phase angle deviation versus the distance downstream from the nozzle exit is also given. From this picture, one can see that, the more wrinkle of the fringes is, the higher of the phase angle deviation exists.

**KEY WORDS** turbulent shear layer, optical property, image processing method, in terferogram.

www.cnki.net