

T_{MAT} 计算可靠时, 相反的结论却很少出现. 该现象值得进一步探讨, 有参考价值.

本文工作得到了华东工学院科学发展基金的资助, 对此深表感谢.

参 考 文 献

[1] Paris, P.C. et al., ASTM STP668 (1979), 5-36.

[2] Ernst, H A. et al., ASTM STP 743(1981), 476-502.

[3] 尹晓春, 第六届全国断裂学术会议文集, (1991), 509-512.

[4] Yin, X C. SMIRT 11, Tokyo, Transaction Vol. G (1991), 509-512.

[5] Joyce J A. et al., ASTM STP743 (1981), 525-542.

(本文于1991年12月3日收到第一次稿, 1992年5月10日收到修改稿)

低密度流场的光学测量

张 越 杨仕润 吴宝根 郭传保

(中国科学院力学研究所, 北京, 100080)

提要 用灵敏度四倍于 Mach-Zehnder 干涉仪的多波长多光束 Fabry-Perot 干涉仪对较低密度流场进行了测量. 根据二维射流混合理论, 在混合气体摩尔比不变的条件下, 导出了描述流场光学质量的 Strchi 比与压力 p 的关系式, 并进行了实验验证. 结果表明, 换算值与实验值吻合很好. 从而为低密度流场中光学质量的模拟和估算提供了一种分析处理的方法.

关键词 高灵敏度干涉仪, 低密度流场测量, 湍流混合, 光束质量

1. 引言

在混合型流动化学激光器的光腔中, 存在低压、低密度的混合流场, 采用常规的干涉仪测量是比较困难的. 利用具有多纵模的 He-Ne 激光器照明 F-P 干涉仪, 通过适当调整两块平晶之间的距离来改变相邻两干涉条纹之间所代表的波长数, 从而提高了干涉仪测量的灵敏度^[1]. 此外, 根据二维射流混合理论, 假定混合过程等压、等温, 当混合气体的成分和摩尔比不变时, 其浓度剖面不变^[2], 推导出不同混合压力时流场光学质量的关系. 下面将依次介绍这方面的工作.

2. 实验方法及数据处理

用多纵模的 He-Ne 激光器垂直照明由两块平晶组成的 F-P 干涉仪, 将两块平晶之间的距离调整为 He-Ne 激光器腔长的二分之一,

这时两相邻干涉条纹之间的距离所代表的波长数为四分之一波长, 和 M-Z 干涉仪相比, 如果视场中干涉条纹的总数不变, 则灵敏度提高了三倍.

实验中采用斩波光源, 用 CCD 摄像机逐次记录若干张瞬时参考干涉图和有气流混合时的干涉图, 并输入计算机进行判读处理.

干涉测量中的基本公式为:

$$\varphi(x, y, z) = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^L [n(x, y, z, t) - n_0(x, y, z, t)] dz \quad (2.1)$$

其中 $\varphi(x, y, z)$, $n(x, y, z, t)$ 及 $n_0(x, y, z, t)$ 分别代表 t 时刻光线沿 Z 轴穿过扰动流场所引起的位相畸变、扰动流场中 (x, y, z) 点的折射率和未扰动流场中对应点上的折射率. λ 为波长, L 为光程. 本文中认为未扰动流场中折射率分布均匀且不随时间变化, 即 $n_0(x, y, z, t) = \text{常数}$. 光束质量 S_R 与位相畸变均方差的关系^[3]:

$$1 - S_R = \langle \Delta\varphi^2 \rangle \quad (2.2)$$

3. 光束质量与压力的关系及实验验证

对于二维稳定平面狭缝射流混合流场, 光线平行穿过混合层时产生的位相畸变 $\varphi(x, y)$ 由式(2.1)得:

$$\varphi(x, y) = \frac{2\pi L}{\lambda} [n(x, y) - n_0] \quad (3.1)$$

混合气体的折射率为:

$$n - 1 = \sum_i K_i \rho_i \quad (3.2)$$

K_i 为第 i 种气体的 Gladstone-Dale 常数, ρ_i 为第 i 种气体的分密度。对于两种气体的混合场,由(3.1)、(3.2)可得:

$$\varphi(x, y) = \frac{2\pi L}{\lambda} [K_1 \rho(1 - c) + K_2 \rho c - K_1 \rho_{10}] \quad (3.3)$$

其中 ρ, ρ_{10} 分别为混合气体的密度和气体 1 混合前的密度, c 是气体 2 的质量分数。混合气体密度 ρ 由状态方程得到:

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 = \frac{pW_1}{RT \left[1 - c \left(1 - \frac{W_1}{W_2} \right) \right]} \quad (3.4)$$

W_1, W_2 分别为两种气体的分子量, R 是普适气体常数, T 为温度。若假定混合过程等温、等压,将(3.4)代入(3.3),整理后得:

$$\varphi(x, y) = \frac{2\pi L \rho_{10}}{\lambda} \left[\frac{c(K_2 W_1 - K_1 W_2)}{(1 - c)W_2 + cW_1} \right] = F(c, K_1, K_2, W_1, W_2, L, \lambda) \quad (3.5)$$

如果气体的成分、探测光波长以及实验装置的条件均不变,式(3.5)中 F 仅是浓度 c 的函数。对于二维射流,如果参与混合的两种气体的摩尔比不变,只考虑不同压力下的光束质量退化,

则 $\varphi(x, y)$ 只是 ρ_{10} 的函数。由

$$\langle \Delta\varphi^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum_i \Delta\varphi_i^2 = \frac{1}{N} \sum_i (\varphi_i - \varphi_s)^2 \quad (3.6)$$

其中 $\langle \Delta\varphi^2 \rangle$ 为指定区域上位相畸变的均方差, φ_i 为离散点上的位相畸变值, φ_s 为该域上位相畸变的平均值, N 为域内所取的离散点数。将(3.6)、(3.5)代入(2.2),整理后得:

$$1 - S_R = A \rho_{10}^2 \quad (3.7)$$

其中 A 为与 ρ_{10} 无关而与浓度、混合气体的分子量以及测量参数有关的量。如果认为试验段温度为室温,则不同压力下光束质量的转换关系由(3.7)得到:

$$S_{R2} = 1 - (1 - S_{R1}) \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 \quad (3.8)$$

至此,只要保证混合气体的摩尔比不变,并且混合前、后压力、温度的相对变化可以忽略,式(3.8)可以实现不同压力下实验数据的转换。下面将实验结果与由(3.8)换算的结果进行比较。

实验在一抽吸式风洞上进行,见图 1。试验段的压力由真空泵的阀门调节, SF_6 气体由试验段入口的喷管注入,空气由大气经临界喷

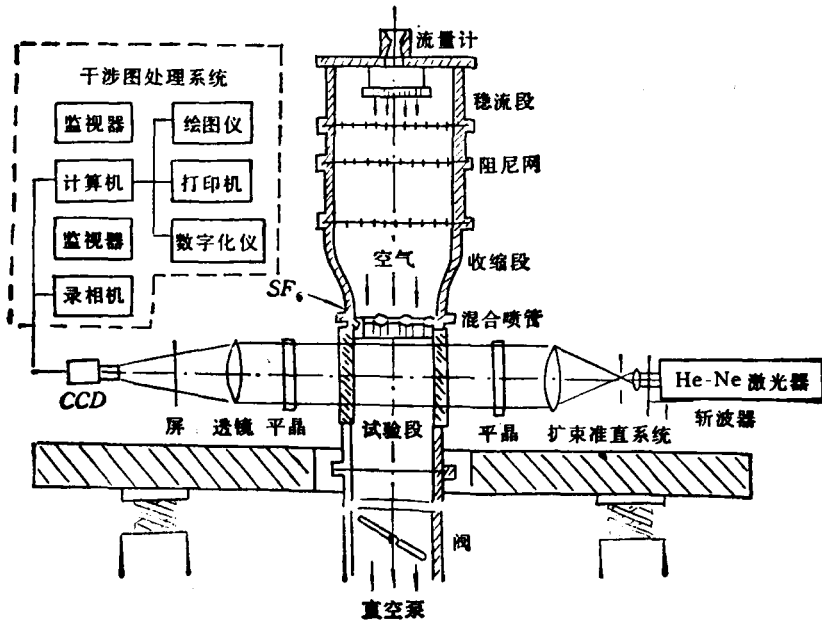


图 1

管吸入收缩段后进入试验段。两者摩尔比为1:4。我们用以下两种喷管作了实验：一种是平面狭缝喷管，喷管出口尺寸为 0.25×90 (mm^2)。另一种是列阵多孔喷管，在 50×90 (mm^2)上有两排小孔喷管。前者为平面射流混合，后者为多孔射流混合。分别在压力为50 mmHg和20mmHg时作了实验。结果列在表1、表2中。表中的实验值为由(2.2)式处理、在

表1 平面狭缝喷管实验结果及其 S_R 换算值

x	p	S_R	
		50mmHg	20mmHg
		实验值	实验值 换算值
2.40cm		0.7369	0.9348 0.9357
3.20cm		0.9070	0.9717 0.9770
4.00cm		0.9813	0.9902 0.9968

表2 列阵多孔喷管实验结果及其 S_R 换算值

x	p	S_R	
		50mmHg	20mmHg
		实验值	实验值 换算值
2.87cm		0.9904	0.9973 0.9980
3.68cm		0.9817	0.9935 0.9961
4.48cm		0.9802	0.9919 0.9958

半径为1cm的圆内的 S_R 值,换算值为50 mmHg的实验值由(3.8)式换算到20 mmHg时的 S_R 值。

结果表明,换算的 S_R 值与由实验直接得到的 S_R 值吻合得非常好。这说明在一定条件下可以用较高压力下测得的光束质量模拟低压下的光束质量。

4. 结论

用高灵敏度的多波长多光束干涉仪对较低压力下的混合流场进行了测量,在读数精度相同时提高了测量灵敏度,结果是可信的。对于二维射流混合流场,只要混合气体的摩尔比不变,混合前、后压力、温度的相对变化可以忽略时,本文提出的(3.8)式可以用来将较高压力下的测量结果换算到低压情况,实验证明是可行的,因此免去了直接测量低密度流场的困难。

参 考 文 献

- [1] Harvey, R.J., High Resolution Two-Dimensional Interferometry, *Rev. Sci. Instrum.*, 41, 8 (1970), 1142.
- [2] 张越等,平面狭缝射流湍流混合的理论研究,第一届全国强激光技术青年学术交流会文集,(1991.6)3031.
- [3] Mahajan, V.N., Strehl ratio for primary aberrations in terms of their aberration variance, *J. Opt. Soc. Am.*, 73,6(1983),860.

(本文1992年1月29日收到第一次稿,于1992年3月30日收到修改稿)

薄壁截面梁接头的近似相容条件

何裕民 黄文彬

(北京农业工程大学,100083)

提要 本文通过引入节点截面的概念,采用修正势能原理处理薄壁梁接头两侧轴向位移的不相容。与通常采用的接头近似相容条件相比,本文的方法更适于处理开口截面梁在连接处形成闭口截面的接头。

关键词 薄壁截面,接头相容条件,节点截面,修正势能原理

通常假定连接处截面翘曲因子不连续,在最小二乘意义下实现轴向位移的近似相容^[1-3]。这样得到的近似相容条件未考虑连接处形成的截面形式,用于处理开口截面梁在连接处形成闭口截面的接头结果很坏。本文将连接处形成的截面定义为节点截面,在梁端和节点截面上分别定义位移变量,根据允许位移不连续的修正势能原理处理接头轴向位移的不相容。

薄壁梁的轴向位移在连接处一般不相容,