

用激光多卜勒风速仪 (LDA) 测量 自由射流流场

西北工业大学

林其勋 姜正行 杜琴芳 肖宁芳

一、概 述

研究射流规律是航空、宇航及一般工程研究中的一个重要课题。目前紊流理论尚不完善，实验研究必不可少。LDA是一种先进的非接触式测速工具，用它研究射流在国内尚属初探。本文总结了在自由射流流场的大规模实验研究中积累的测量经验，并介绍一些典型的测量结果。

测量在我校同轴射流风洞上进行^[1]。使用DISA55X二维后向散射LDA系统。图1

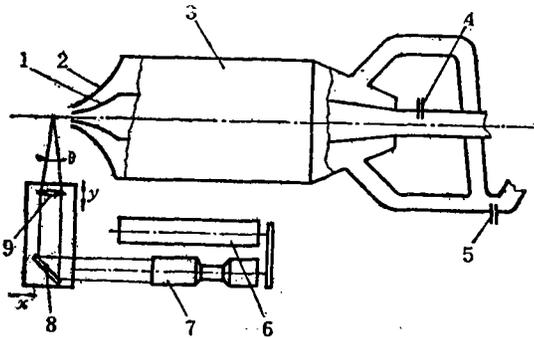


图1 同轴射流风洞与测量装置

图中：1—内喷管；2—外喷管；3—稳压箱；
4—内流道加粒子管；5—外流道加粒子管；
6—氩离子激光器；7—光学部件；8—反射
镜单元；9—前透镜。

示出整个布置的概况。在只装内喷管的情况下，测量了各种喷口尺寸收敛喷管的亚音速自由射流的流场。在同轴自由射流研究中，测量了内外喷管的各种尺寸组合和射流速度的各种组合的同轴自由射流流场。还初步尝试用LDA测量简单收敛喷管的超临界射流场。

二、测量结果典型示例

图2示出收敛喷管喷口直径为50mm，唇厚为12mm，核心流速为64m/s时的时均速度。图3则是其紊流度场。从图2可清晰看

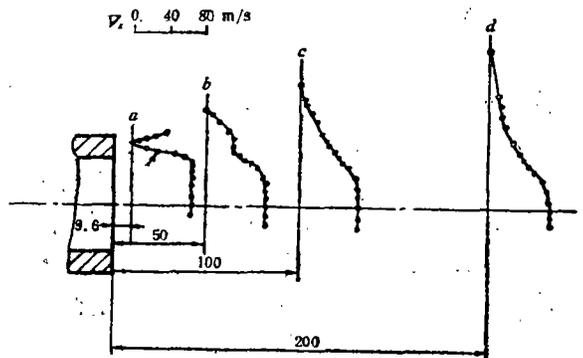


图2 收敛喷管自由射流的时均速度场

1986年2月7日收到

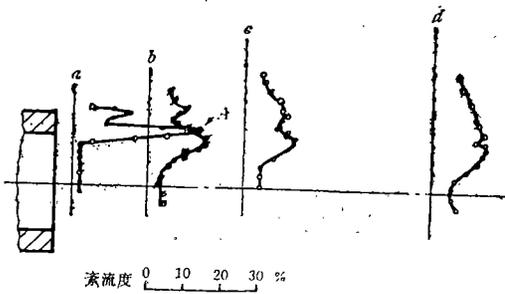


图 3 收敛喷管自由射流的紊流度场

出厚唇对射流初始段形状的影响,使它变得与经典的不同^[2]。从图3则可清楚看到厚唇对紊流度分布的影响,厚唇的两个尖缘就是两个扰动源,对应地使紊流度分布曲线产生两个尖峰。

图 4 示出同轴射流外喷口直径为 80mm, 内喷口为 30mm, 唇厚均为 12mm, 中心射流核心流速为 170m/s, 环形射流核心流速为 85

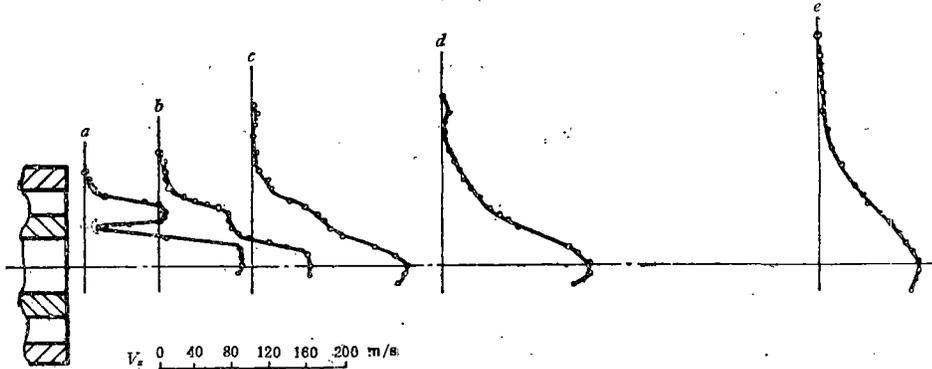


图 4 同轴自由射流的时均速度场

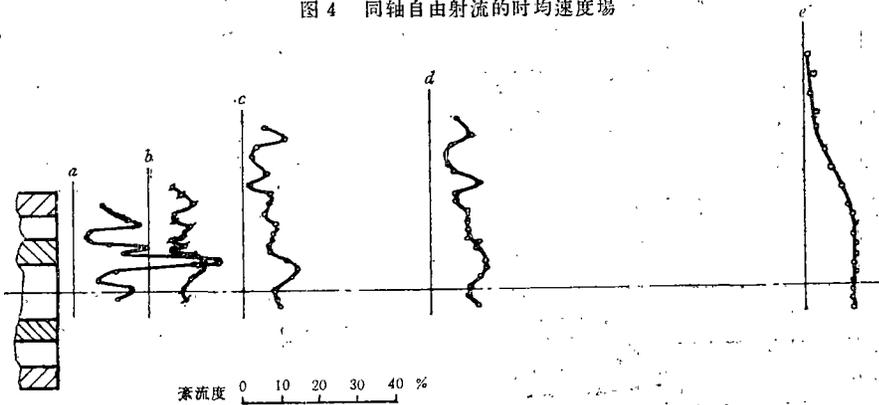


图 5 同轴自由射流的紊流度场

m/s时的时均速度场。图5则是其紊流度场。从图 4 可清晰看出中心射流与环形射流渗混合一的过程。从图 5 可看到两个厚唇的四个尖缘作为扰动源对紊流度分布曲线的复杂影响,以及曲线峰谷的拉平过程,这与用热线测得的结果相当一致^[1]。

图 6 示出收敛喷管喷口直径为 30mm, 唇厚为 12mm, 气流 $\pi=0.2261$, $T^*=290K$ 时的超临界时均速度场。图中测量截面 a、b 分别距喷管出口 9.6 和 16.6mm。从图 6 可

图 6 收敛喷管超临界自由射流的时均速度场

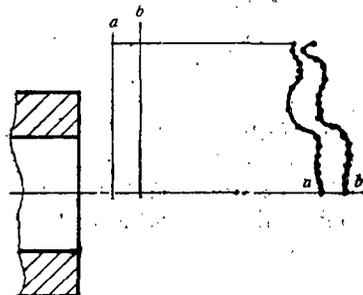


图 6 收敛喷管超临界自由射流的时均速度场

看出各截面的射流核心及经一斜冲波后轴向分速值的降低情况。用LDA测得的射流核心速度值与按 π 及 T^* 算得的相差不到3%。

三、几个测量技术问题

1. 粒子问题

本风洞的供气是经清洁与干燥处理的,故需加入粒子。我们的经验是用1.5:1的水与甘油溶液效果最佳。为使粒子在气流中均匀,并让大粒子在流出喷口前能尽量沉淀以提高粒子的跟随性,应使加粒子管在设备允许的范围內尽可能远离喷口,如图1中的4和5所示,它们分别距喷口5m和6m。另外,测高速状态时粒子加入量应比低速时多,而在同一状态测靠喷口的初始段边界层时也要比测远离喷口的截面加入量多。这是因为在初始段静止的外围气体才被带入边界层,物质交换还不充分^[2],散射粒子难以进入边界层之故。

2. 频移问题

自由射流流場中虽无回流区,但在边界层中因紊流度很大,某些点的瞬时速度可能为负,例如图2、3中的A点,其 V_x 为28m/s, $\sqrt{V_x'^2}$ 为21.1m/s,这样,即使按最简单的正弦规律估计,脉动分量最大值也达29.8m/s,实际上还要大些。因此必需采用40MHz的光频移以测出瞬时正负值。

3. 超临界的测量问题

LDA的混频器其通频带为10~50

MHz^[3]。若让干涉条纹迎流速移动,就必需保证光电倍增管的输出频率 f_{PM} 处于40MHz $\leq f_{PM} \leq 50$ MHz范围。但10MHz的量程远不够用,即使用最小的光束夹角 θ (0.857°),10MHz也只能测344m/s。我们的办法是把光学系统绕轴旋转180°,使干涉条纹顺流速方向移动。这样,流速越高, f_{PM} 越低,使处于10MHz $\leq f_{PM} \leq 40$ MHz范围。可测的速度值提高三倍。即使如此,超临界时仍需用小 θ 。但用小 θ ,椭球探测体沿光轴的长度相当大,沿光轴的空间分辨力就很低。对于测轴对称射流这就有问题。在核心部份,速度分布平直,还可以有满意的精度(3%),但在冲波附近,它把冲波的阶跃测成斜坡状了,如图6示。解决的办法只能是先用纹影仪确定冲波系位置^[1],从而把流場划区,然后用LDA对各区进行测量。这样来克服其空间分辨力不足的缺点,而发挥其非接触测量的长处,不仅可测出各区的时均值,且可测出各种紊流参数,而这正是其他办法在超临界时所难以办到的。

参 考 文 献

- [1] 姜正行、何克敏、张彬乾、陈毅新、张毅,射流装置与射流場品质的实验研究,西北工业大学科技资料SHJ 8345期。(1983)。
- [2] Г. H. 阿勃拉莫维奇,实用气体动力学,高等教育出版社,(1957)。
- [3] DISA, Instruction Manual of DISA 55N10 LDA Frequency Shifter, DISA ELEKTRONIK, (1978), Denmark.

**APPLICATION OF A LASER-DOPPLER ANEMOMETER(LDA)
TO MEASURE THE FLOW FIELD IN FREE JETS**

Lin Qixun, Jiang Zhengxing, Du Qinfang and Xiao Ningfang

(North-Western Polytechnical University)

Abstract

The flow fields of subsonic free jets, co-axial free jets and overcritical free jets have been researched experimentally and by using the LDA. The measured typical results are shown in figures 2, 3, 4, 5 and 6. The turbulent jets involve with a wide range of velocity and turbulence, and involve with the influence of shock waves, the phenomena are complex. For obtaining the good measurement results, the scattering particles must be seeded correctly at first. The flow rate of seeding is dependent on the magnitude of the measured velocity and the field position which will be measured. Then, the optical frequency shift must be used, though in the free jets there is not recirculating zone. At overcritical status, the velocity values in the jet core and behind the oblique shock front can be measured correctly by LDA. But the LDA is lack of the resolution to decide on the position of shock front, as shown in figure 6.