

用X热线探针测量二元非定常流速度的方法

南京航空学院 汤国才

一、测量方法

为同时测得气流速度 $\vec{V}(t)$ 的大小和方向, 一般就需要二条互成一定角度 (2α) 的热线。这时气流方向通常与热线不垂直。这时输出电压 (E) 与气流有效冷却速度 (V_e) 的关系为:

$$E^2 = A + BV_e^{0.5} \quad (1)$$

并且 $V_e = Vf(\theta)$, $f(\theta)$ 为将气流速度 V 转换成有效冷却速度 V_e 的偏航角 θ 影响修正函数。

由于 $f(\theta) \approx \cos \theta$, 因而引入文献(1)的修正函数 $f(\theta) = \cos^m \theta$,

如图1, 将两条热线做成互相垂直 ($2\alpha = 90^\circ$), 并直接利用X热线的输出信号, 则

$$1, V_{e1}(t) = |\vec{V}(t)| \cos^m \theta(t)$$

$$\text{对热线2, } V_{e2}(t) = |\vec{V}(t)| \cos^m [90^\circ - \theta(t)]$$

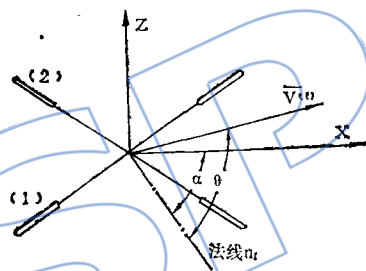


图1 X热线、速度及坐标系统

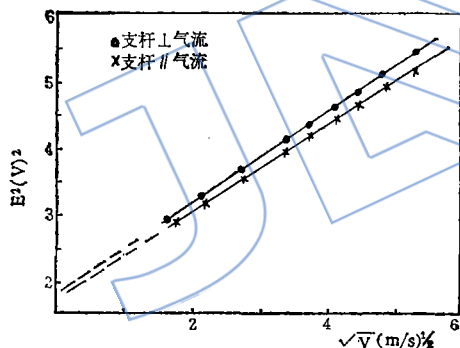


图2 热线的校准曲线

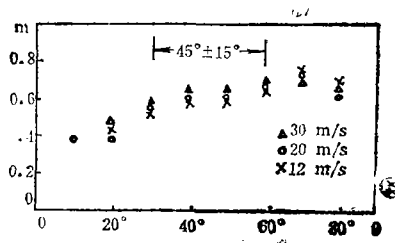


图3 偏航角影响修正系数m的变化

或者

$$V_{e2}(t) = |\vec{V}(t)| \sin^m \theta(t)$$

因此

$$\tan \theta(t) = [V_{e2}(t)/V_{e1}(t)]^{1/m}$$

其中 $V_{e1}(t)$, $V_{e2}(t)$ 分别由热风仪输出信号, 从校准曲线图2得到, m 则由偏航角修正关系图3得到。从而求出 $|\vec{V}(t)|$

二、实验结果和讨论

所用之热风仪为DISA56 col和65c16, 该仪器允许取不同周期之时间平均值以消除微小的气流脉动影响。具体设备和步骤可参阅文献(2)。对于热线垂直于气流的情况, 按支杆垂

直于气流或平行于气流分别作了校准;对于偏航角影响,做了支杆垂直于气流的情况。

1. 支杆方向的影响 由图 2 可见,垂直支杆的情况下,输出电压较大。由公式(1)可得

$$dV/V = [4/(1 - A/E^2)](dE/E) = Dde/E$$

式中 $D = 4/(1 - A/E^2)$, 其数值如右:

(V m/s)	30	20	10
D_1 (支杆平行于气流)	5.94	6.26	6.94
D_2 (支杆垂直于气流)	5.89	6.23	6.89
$\Delta D = D_1 - D_2$	0.05	0.03	0.05

可见速度相对误差约为输出电压相对误差的 6 倍。若想使速度相对误差小于 1%, 则电压相对误差应在 0.17% 之内。虽然用垂直支杆能得到较大一些的输出电压, 似乎可得到较小的速度相对误差, 但上述比较表明(因 ΔD 很小), 从测量精度方面考虑, 两种支杆方向并无很大差异。因此支杆方向的选择主要决定于具体问题的按排。

2. 偏角修正系数变化引起的误差 由图 3, 随偏航角的增大, 参数 m 一般倾向是由小到大。当 $\theta < 30^\circ$ 时 m 很小, 在 $30^\circ < \theta < 80^\circ$ 范围内 m 由 0.55 左右上升到 0.75 左右, 当 $\theta > 80^\circ$ 后, m 又很快下降。从应用角度看, 参数 m 的变化越小越好因此 $\theta < 30^\circ$ 及 $\theta > 80^\circ$ 两个范围内不宜用 $\cos \theta$ 的关系进行修正。在 $30^\circ < \theta < 80^\circ$ 范围内, 参数 m 变化缓慢, 是较为适宜的应用范围。但仍需估计以某一平均角度下的 m 值作为某一角度范围的 m 值使用时所引起的误差。因采用 X 热线时, 常以 $\theta = 45^\circ$ 为气流的平均方向, 现列出以 $\theta = 45^\circ$ 的 m 值用于 $30^\circ < \theta < 60^\circ$ 范围所引起之速度相对误差。

θ	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
(V = 30 m/s) $\Delta V/V$	0.011	0.008	0.001	0	0.002	0.011	0.032
(V = 20 m/s) $\Delta V/V$	0.008	0.006	0.002	0	0.003	0.021	0.048
(V = 10 m/s) $\Delta V/V$	0.012	0.009	0.001	0	0.001	0.016	0.039

可见, 若气流角度偏离平均气流方向 $\pm 15^\circ$, (这相当于 Z 向速度分量相当大, 达 X 方向的 1/4)。则会有 4% 的相对误差。若气流角度变化 $\pm 10^\circ$ (Z 向速度分量达 X 向的 1/5)。则相对误差为 2%。若气流速度偏离 $\pm 5^\circ$ (Z 向速度分量达 X 向的 1/10), 则相对误差将小于 0.1%。在这种情况下, 使用 $\theta = 45^\circ$ 时的参数 m 值于 $40^\circ < \theta < 50^\circ$ 范围, 可得到很准确的结果。这里值得指出, 如果以求出的 θ 的 m 值进行迭代一次, 则 $30^\circ < \theta < 60^\circ$ 范围内的相对速度误差均可降低到 1%, 甚至更低!

3. 速度变化引起的误差 m 随速度变化很小, 若以中等速度 ($V = 20$ m/s) 的 m 值用于速度为 10 m/s 和 30 m/s, 其误差为 $\Delta V/V$ 分别为 0.002、0.014。可见, 当主流速度变化 $\pm 40\%$ 时, 才会引起 1% 的相对误差。故在速度变化幅度较大的情况下仍可使用, 在测量准确度方面有所提高。

参 考 文 献

- [1] Bruun, H. H., "Hot-wire Data Corrections in Low and in High Turbulence Intensity Flows," J. Sci. Instr., Vol. 5, 1972.
- [2] Tang, Guocai, Sisto, F., "Calibration of a Single Hot-wire Probe and Its Application in Measuring Two-dimensional Unsteady Flow Velocity", SIT-ME-RT-810013, Stevens Institute of Technology, U.S.A.

ted. The flighttest study provides valuable data for research on inlet-engine compatibility.

EFFECT OF WAKE-TYPE INLET VELOCITY PROFILES ON PERFORMANCE OF SUBSONIC DIFFUSER

Chen Xiao

(Nanjing Aeronautical Institute)

Abstract

The paper discusses the experimental investigation on subsonic diffuser. When in the front of the subsonic two-dimensional diffuser an elliptic bar is placed perpendicular to the flow stream and parallel to the diverging wall of the diffuser, the wake-type inlet velocity profile is created and the core-stream turbulence level at the entrance of the diffuser is increased, which results in flatter velocity profile implying an increase in momentum transport across the boundary layer. The value of the boundary layer shape factor is therefore decreased. Consequently, the flow separation is delayed and the separation range is reduced. As a result, the static and the total pressure recovery coefficients of the diffuser rise by 30% and by 3% respectively when the maximum Mach number of the diffuser inlet reaches 0.7.

A METHOD FOR MEASURING TWO-DIMENSIONAL UNSTEADY FLOW VELOCITY WITH X-HOT-WIRE PROBES

Tang Guocai

(Nanjing Aeronautical Institute)

Abstract

A method is presented for measuring two-dimensional unsteady flow velocities with X-hot-wire probes. Based on the well-known calibration law incorporated with the yaw angle correction function $f(\theta) = \cos^m \theta$, the magnitude and the direction of the velocity are determined. The applicable range for this method and the errors caused by variation of parameter m with flow angles and velocities are also discussed. Since no approximation is introduced in the calculation, the accuracy of measurement is enhanced. This method can be employed where the magnitudes and the directions of the velocities vary to a great extent. Moreover, the formula provided is simple to use.