

压力探针临壁效应的试验研究*

西北工业大学 林其勋** 许都纯 刘松龄

【摘要】 在窄通道中测量时(如全台压气机试验),临壁效应会使压力探针的测量结果发生误差。对几种常用型式的压力探针的试验研究表明,由于探针多属非流线形物体,所以其临壁效应的机理与流线形的机翼不同,不应简单套用机翼临壁效应的结论。临壁效应所造成的测量误差与探针的形状有关。

关键词: 压力探针 临壁效应 转动法 三角点

分类号: O 357. 43

1 压力探针临壁效应的机理

众所周知,飞机贴地飞行时,因临壁效应而使机翼升力减少。这是因为沿机翼下表面气流加速,压力下降之故^[1]。压力探针亦有临壁效应,它使探针的感压值产生误差^[2,3]。在全台压气机试验中主要使测得的气流角度产生误差^[2]。但是至今对其研究的还很不够,特别是在机理方面。以转动法圆柱三孔针为例,若沿用机翼临壁效应的概念,当探针临壁时位于下表面的测压孔3(参看图1)所测压力值 p_3 将下降,使 $p_3 < p_1$,为保持 $p_3 = p_1$,就必须使探针绕针杆逆时针转动,这样,就把平行于壁的气流测成有一个向下的冲角。但是,试验表明结果恰恰相反,探针临壁时 $p_3 > p_1$,因此探针反而应顺时针转动才能使 $p_3 = p_1$ 。越靠近壁,转角越大。由于临壁效应,探针把本来平行于壁的气流方向测成有一个向上的攻角了。

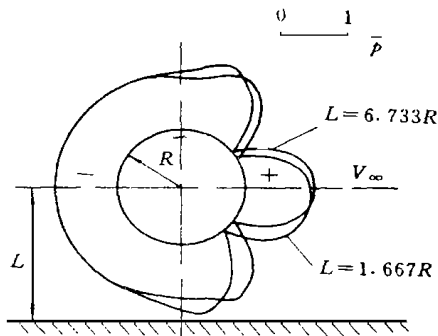


图1 圆柱三孔针临壁图案

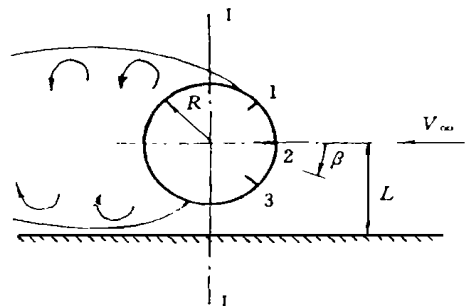


图2 沿圆柱表面 $\bar{p}$ 分布随 L/R 的变化

为了探索这种现象的机理,我们详细测量了沿圆柱表面的压力分布随 L/R 的变化情况。图2例示出两个典型的结果。一是探针远离壁面, $L/R = 6.733$ 。另一是 $L/R = 1.667$,此时探针相当靠近壁面但还远未到达附面层边界。从图2清晰可见,整个压力系数($\bar{p}$)分布图随 L/R 的减小而顺时针转移,上表面的分离点前移,下表面的分离点后移,驻点下移,从而使其与机翼的临壁效应现象相反。这是因为压力探针多为非流线形(如圆柱、楔形等等),由于气流的分离在探针下游造成了一个很宽的尾迹。当探针临壁时,尾迹使下侧面流道堵塞,从而减小下侧面的流速,使其压力上升。同时,改变了上、下侧的分离点位置和驻点位置,改变了探针的绕流特性(如图1和图2所形象表示的)。

临壁效应不同于压力探针进入附面层时由于探针空间分辨力不够而引起的误差,这是两个不同的概念。实验表明,某种情况下,探针还未进入附面层,临壁效应就已起着可观的作用。当然,压力探针进入附面层后,这两种作用将同时存在。

试验在二元回流风洞中进行。采用薄平板作壁而不用风洞壁是为了保证在探针所在截面 I-I 有尽可能小的附面层厚度。以圆柱三孔针试件为例,附面层相对厚度 $< 0.2R$ 。这意味着当 $L > 1.2R$ 时,探针就完全处于附面层之外。这样,就可以在很广的 L/R 范围使临壁效应成为独立的因素。探针借助坐标架可绕自身轴线转动及向薄平板靠近以改变 L/R 值。

2 临壁效应所造成的测量误差

图3示出转动法圆柱三孔针的角度测量误差与 L/R 的关系。图4与图5为相应的总压测

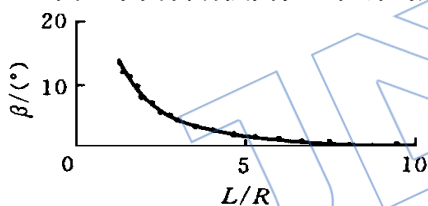


图3 圆柱三孔针角度测量误差

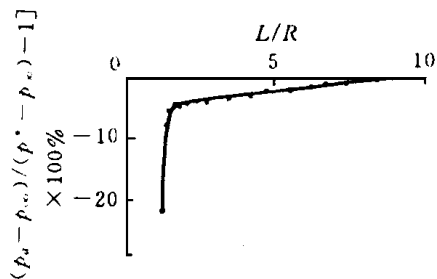


图4 圆柱三孔针总压测量误差

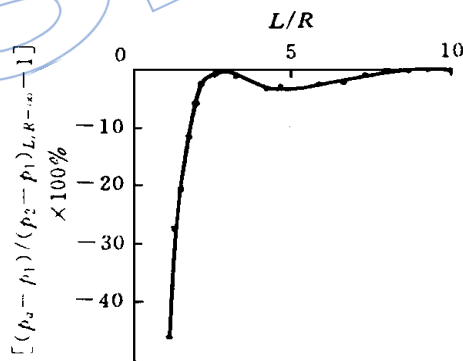


图5 圆柱三孔针速度头测量误差

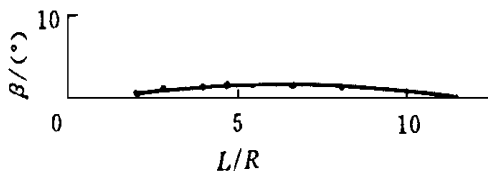


图6 三管形三孔针角度测量误差

量误差及速度头测量误差。从图3可见 $L/R \geq 7$ 时临壁效应不起作用,从 $L/R < 7$ 开始,测针必须顺时针转动以求重新平衡,把本是平行于薄平板的气流误测成有一个向上的攻角。 L/R 愈小, β 愈大,相应的总压及速度头测量误差也愈大。

探针形状不同,其尾迹形状与宽度也不同,临壁效应所造成的误差值也就不同。图6、图7

示出三管形三孔针临壁效应的试验结果。与图 3 至图 5 对比可见, 其临壁效应的误差比圆柱形的要小得多。由于临壁过程中需转动探针以使两侧孔压力相等, 这使三管形的迎风形状发生改变, 多了一个影响因素, 因此从图 6、图 7 可见规律也就不那么单调。

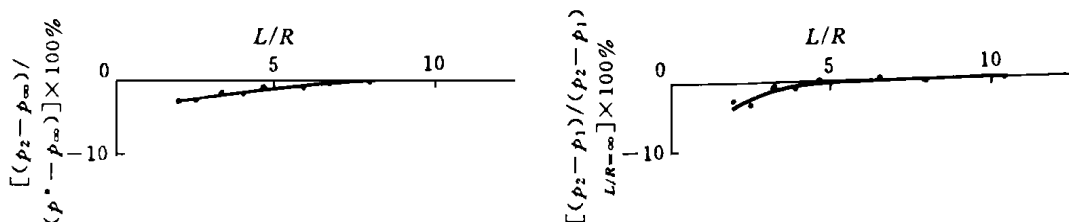


图 7 三管形三孔针的总压及速度头测量误差

压力探针的特性对工艺因素的影响很敏感。以圆柱形为例, 些小的不圆度会使它在自由流中的沿圆周压力分布变得不对称, 并使数值偏离经典情况, 从而使临壁效应的影响也会有差别。另外, 分离点的位置还受探针雷诺数的影响。

参 考 文 献

- 1 Joseph Katz, Allen Plotkin Low-Speed Aerodynamics from Wing Theory to Panel Method Mc Graw-Hill, Inc 1991
- 2 Venkateswaran S. Experimental Study of Casing Boundary Layers in a Multistage Axial Compressor. Trans. of ASME, Journal of Fluid Engineering, 1991, 113(1): 51
- 3 Murthy M V A. Wall Proximity Effects on the Measuring Accuracy of Wedge Probes. Proceedings of the Fourth Asian Congress of Fluid Mechanics, 1989, 1: 50

(责任编辑 魏星禄)