

小球型五孔探针在压气机试验中的应用

沈阳航空发动机研究所 闫久坤* 吴昌明

气流在叶片机中的实际流动过程极其复杂, 必须利用各种测试手段来了解叶片机级间三元流场。本文介绍一种小球型五孔探针测量系统用于压气机级间参数测量的结果。该系统具有一些突出的特点。其一是探针头部尺寸小, 对气流的干扰小; 其二是数据处理手段先进, 探针校准程序及测量结果的处理程序比较成熟。实践证明, 其测试结果与常规探针所测得的结果非常接近, 重复性较好。由测量结果整理出的压气机性能参数与设计值也比较接近。

一、五孔探针的校准及其使用

由于球头和感压孔 (见图 1) 的加工误差, 同一批制造的同类型五孔探针其气动特性也不相同, 需要单支校准, 给出校准结果。本文介绍的校准方法为近似函数法。即通过校准建立气流参数 α (速度偏斜角)、 β (速度俯仰角)、 Ma (气流马赫数)、 k_T 和 k_S (分别反映总压、静压的无因次量) 与无因次参数 k_{α} 、 k_{β} 、 k_M (分别反映 α 角、 β 角及 Ma 数的无因次量) 之间的近似函数。并利用三元函数多项式的最小二乘条件, 近似五孔探针的校准值, 求出其函数式, 从而得到误差最小的近似函数。

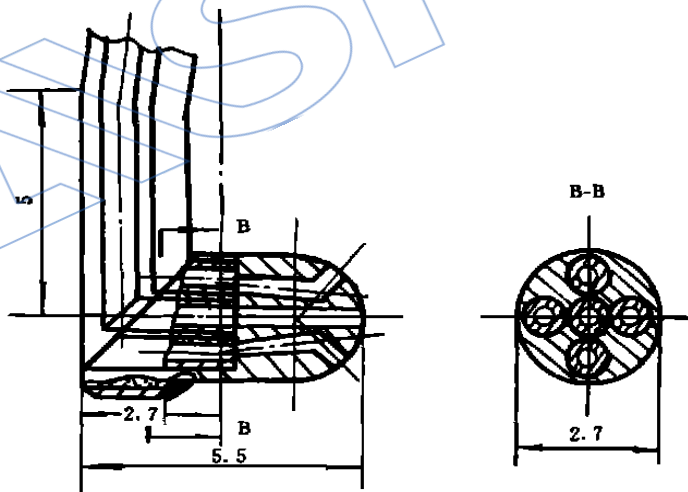


图 1 小球型五孔探针简图

小球型五孔探针的校准范围
为, $\alpha = \pm 20^\circ$; $\beta = \pm 16^\circ$; $Ma = 0.1 \sim 0.7$ 。

实际测量时, 由微机将探针所测的各孔压力及气流的静压值 P 录取下来。利用数据处理程序算出 k_{α} 、 k_{β} 、 k_M 、 k_T 、 k_S 值。由校准时已求得的五个近似函数的已知系数, 得出每一点的气流参数, 从而描绘出整个流场的气流参数分布图。

在使用五孔探针之前, 要进行气动零位校准, 最后计算气流的偏转角 α 时应计入这个气动零位角。

二、探针系统在压气机试验中的应用

1. 测试系统 小球型五孔探针系统主要由一支球头直径为 2.7mm 的球型五孔探针、径向位移机构、位移机构的驱动装置及控制器和数据采集系统组成。本套系统的特点是，探头对气流的干扰小，移位机构小巧灵活，移位误差小，测量准确度高。

2. 应用情况 该套系统在压气机试验中应用过多次，并曾将五孔探针与带套总压管、总温管及 T 型静压管进行了比较测量，如图 2 所示。结果证明，两种测量方法测得的规律一致，五孔探针测的总压均比总静压管略高 0.3%，总温相差不大于 0.4%，故测量结果是可信的。

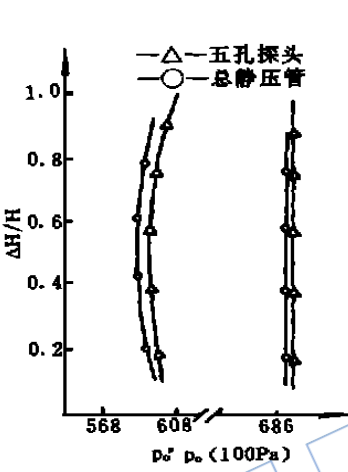


图 2 五孔探针与常规探针测量结果比较

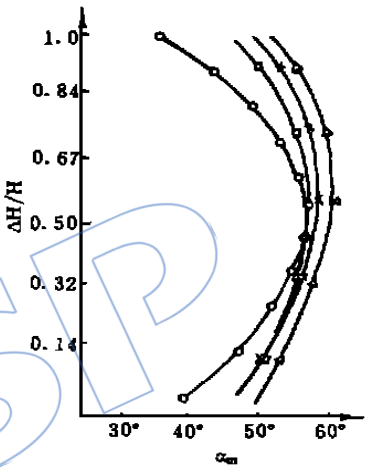


图 3 第二级级间处绝对气流角沿叶高分布

重点介绍小球型五孔探针在一台四级压气机试验件上的应用情况。

为了了解该压气机第二、三级转子出口流场，用五孔探针进行了测量。探针安装在这两级静子前缘槽道中心处，开孔直径为 11mm。

试验在设计转速下进行，所有试验状态点均位于设计点下方。

由于这二级的转子出口绝对气流角沿叶高均超出五孔探针 α 角的校准范围，所以在完成了探针零位校准后，将探针在 α 方向加个预转角，其中第二级出口预转了 42° ；第三级出口预转 36° 。

受位移机构的限制，探针只径向移动，测点按等环面分布。部分测量结果见图 3 至图 6 (图 3、4 中符号含义为 “ $\triangle$ ”： $\Pi_i^* = 3.276$, $G_{BPP} = 65.24$ ；“ $\square$ ”： $\Pi_i^* = 3.289$, $G_{BPP} = 65.45$ ；“ $\times$ ”： $\Pi_i^* = 3.38$, $G_{BPP} = 65.45$ ；“ $\circ$ ”：设计。图 5、6 中符号含义为 “ $\cdot$ ”： $\Pi_i^* = 3.41$, $G_{BPP} = 64.91$, $\Delta\alpha = -6^\circ$ ；“ $\square$ ”： $\Pi_i^* = 3.62$, $G_{BPP} = 64.82$, $\Delta\alpha = -6^\circ$ ；“ $\square$ ”： $\Pi_i^* = 3.33$, $G_{BPP} = 65.25$, $\Delta\alpha = -9^\circ$ ；“ $*$ ”： $\Pi_i^* = 3.43$, $G_{BPP} = 65.35$, $\Delta\alpha = -9^\circ$ ；“ $\circ$ ”：设计)。

三、测量结果分析、结论

从第二级的整个测量结果看，总压比及静压比沿叶高分布，在 14% 流线以下，其测量结果变化规律与设计值相似；14% 流线以下，其结果偏低。图 3 表明，除叶根、叶尖处绝对气流角 α_m 比设计值略高外，其余基本接近或相似于设计值。图 4 说明，设计点的相对气流角 β_n 沿叶高分布与设计值基本相似，但叶尖部较设计点偏大，说明尖部加功量大。

从第三级级间测量结果看, 总压比沿叶高分布, 当试验状态点接近设计状态点时, 其试验基元压比大于设计值。而静压比沿全叶高均小于设计值。从图 5 绝对气流角沿叶高分布可以看出, 测量结果与设计结果分布相似。在静叶关小 6 的情况下, 试验得到的 α_m , 除尖部某点稍大于设计值外, 其它分布接近设计值。还可看出当静叶尖关小 9 时, α_m 沿叶高分布均比 6 时的结果小 4 左右, 符合调节规律。图 6 为相对气流角沿叶高分布, 其测量结果分布规律与设计相似, 平均量值比设计值大 15%。由此说明试验压比大是合理的。

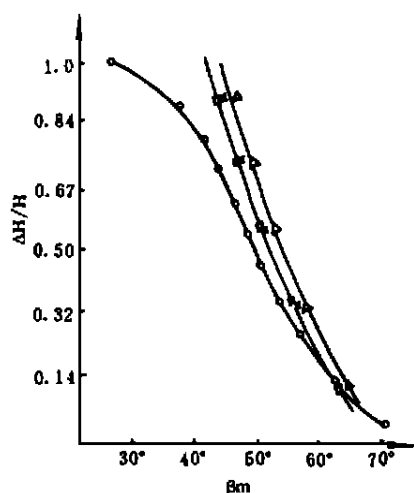


图 4 第二级级间相对气流角沿叶高分布

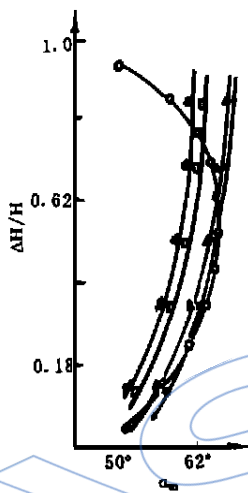


图 5 第三级级间处绝对气流角沿叶高分布

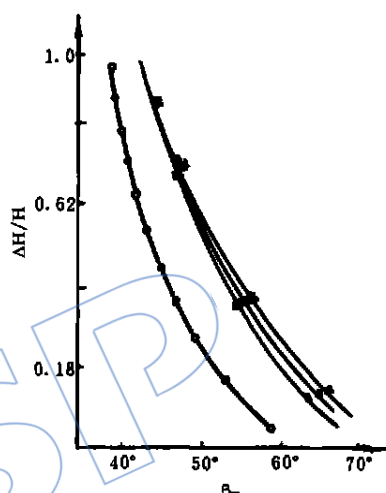


图 6 第三级级间处相对气流角沿叶高分布

由上面的分析可得出如下的结论:

- (1) 用于三元流场测量的小球型五孔探针系统性能稳定, 测量值准确, 重复性好。
- (2) 五孔探针数据处理程序手段先进, 数值拟合合理, 得到的探针性能可信度高, 使用可靠。
- (3) 级间参数测量结果规律正确, 数值合理, 可达到验证设计参数合理程度的目的。

参 考 文 献

- [1] Treaster, A. L., "The Calibration of Sin Probes for Sensing Three-Dimensional Fluid Flow Properties", 1974.
- [2] "Kalibrierung Ber 5-Loch-Kugelkephsonden", 22-981233, 1984.

(责任编辑 魏星禄)

TECHNICAL NOTES

MIXTURE RATIO FAILURE DETECTION FOR LIQUID PROPELLANT ROCKET ENGINE

Feng Xin, Zhang Yulin, Chen Qizhi
(*National University of Defence Technology*)

ABSTRACT

The mixture ratio failure detection for liquid propellant rocket engine has been studied by means of Kalman filtering and statistical hypotheses testing. A computer simulation of a variable thrust rocket engine demonstrates that the algorithm developed by authors can effectively detect mixture ratio deviation. The simulation also gives some significant results useful for the practical application and the further research of the algorithm.

APPLICATION OF COMPOUND LEANED BLADES TO CONTROLLING SECONDARY FLOW

Su Jiexian, Feng Guotai, Wang Zhongqi
(*Harbin Institute of Technology*)

ABSTRACT

Mechanism of controlling secondary flow by using positive leaned blades or compound leaned blades is considered in this paper. The conclusion is that the positive leaned blades produce a converse radial pressure gradient at the hub. Under its action the low-energy fluid in the blade surface boundary layer is migrated from hub to midspan, the blade-to-blade transverse pressure gradient is reduced, passage vortices is weakened and hence the secondary flow losses are decreased. A computation of the compound leaned blades applied to guide vanes in a small engine has been performed as an example. Its results show that by comparison with conventional blades, the degree of reaction and static pressure at the hub of the compound leaned blades are increased, the flow behavior near the hub of working blades is improved; the degree of reaction at the tip is reduced and therefore the leakage losses are cut down too. It is proved that the positive leaned or the compound leaned blades are applicable to controlling the spanwise pressure gradient, the stage reaction and the downstream effect of the secondary flow.

A SMALL FIVE-HOLE SPHERICAL PRESSURE PROBE FOR COMPRESSOR EXPERIMENTS

Yan Jiukun and Wu Changming
(*Shenyang Aeroengine Research Institute*)

ABSTRACT

A small five-hole spherical pressure probe instrumentation system is developed and applied to compressor interstage parameter measurement. This instrumentation system has two features: One is smallness of flow disturbance due to small dimensions of the probe head, the other is an advanced data processing method of this system which comprises perfect probe calibration and data processing procedure. The analysis of the test results demonstrates that its performance is stable, its accuracy and data repeatability of its measurements are quite well. This instrumentation system can be applied to verification of the design parameters.