

气固两相压气机平面叶栅表面 压力分布的试验研究

西安交通大学 伊景海** 马材芳 高晶石 徐 忠

【摘要】 试验研究了气固两相流流过压气机平面叶栅时,叶栅表面压力分布随粒子浓度、叶栅进口气流速度和冲角改变而变化的规律。结果表明:随着粒子浓度、气流速度升高,叶栅表面的气相与纯气流的压力之间的差别增大;冲角不同叶栅表面的气相相对纯气流的压力系数变化规律不同。文中还对栅后沿栅距分布的气流速度进行了测量,发现气相速度在叶片附近不同于纯气流速度。

关键词: 气固两相流 压气机叶栅 表面压力

1 试验装置

在气固两相流条件下透平喷嘴叶栅的试验研究已有文献介绍^[1]。但迄今尚未有过关于气固两相压气机叶栅试验的报道,而压气机在很多使用场合存在气固两相流问题。为此,本文在气固两相流平面叶栅吹风试验风洞上研究了压气机平面叶栅表面压力分布随粒子浓度、气流速度和冲角改变而变化的规律以及粒子存在对栅后沿栅距分布的气流速度的影响。

试验叶栅是由 6 只单圆弧压气机叶片组成的平面叶栅。试验采用叶片表面开设静压孔的方法测量叶片表面压力,使用三孔探针测量栅后气流速度。叶型几何尺寸和叶片表面静压孔的分布情况如图 1 所示。由于试验选用尺寸较大的固体粒子不会堵塞测压孔,同时这种粒子对叶片的磨损也十分小。

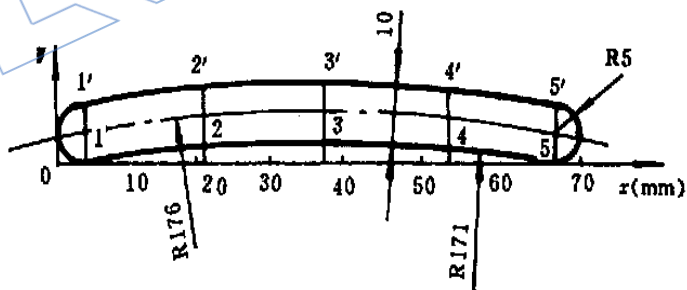


图 1 叶型尺寸及叶片表面静压孔分布

固体粒子的平均直径 $d_p = 700 \mu\text{m}$, 材料密度 $\rho_p = 1340 \text{ kg/cm}^3$ 。

2 试验结果与讨论

测量了粒子质量浓度 $\alpha = 1.1\%$ 、 1.2% 、 2.0% 、 4.5% , 气流速度 $C = 10$ 、 22 m/s , 叶栅进口气体雷诺数 Re 分别为 2.0×10^5 、 4.4×10^5 和冲角 $i = 7^\circ$ 、 27.5° 多种工况下叶栅表面的气相压力分布。同时还测量了单相纯气流流经平面叶栅时的表面压力分布。以下将 $\alpha = 0$ 时的气

流压力简称为纯气流压力, 将 $\alpha > 0$ 时的气流压力简称为气相压力, 用压力系数 C_p 表示各测点实际测得的压力, 并绘制成相应的叶片表面压力分布曲线。

2. 1 粒子浓度对叶栅表面压力系数的影响

图 2 (a) 和 (b) 为 $i = 27.5^\circ$ 、 $C = 10\text{m/s}$ 和 $i = 7^\circ$ 、 $C = 22\text{m/s}$ 时, 几种不同浓度的气固两相流流过叶栅时, 叶片表面压力系数分布曲线。 $i = 27.5^\circ$ 、 $C = 10\text{m/s}$ 时, 在叶片的吸力面和压力面上, 气相压力系数均高于纯气流的。 $i = 7^\circ$ 、 $C = 22\text{m/s}$ 时, 在叶片的吸力面, $0.05 <$

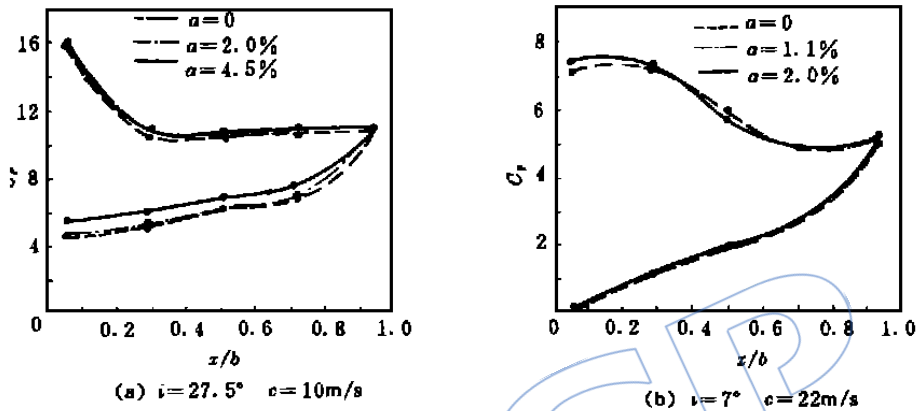


图 2 粒子浓度对叶栅表面压力的影响

$x/b < 0.3$, $0.7 < x/b < 0.9$ 的区域里气相压力系数高于纯气流的, 在其他区域里气相压力系数低于纯气流压力系数。随着粒子浓度升高, 气相与纯气流的压力系数之间的差别增大。

2. 2 气流速度和冲角对叶栅表面压力系数的影响

$i = 27.5^\circ$ 、 $\alpha = 1.1\%$ 气流速度分别为 15、22m/s 时, 叶栅表面上的压力系数分布曲线如图

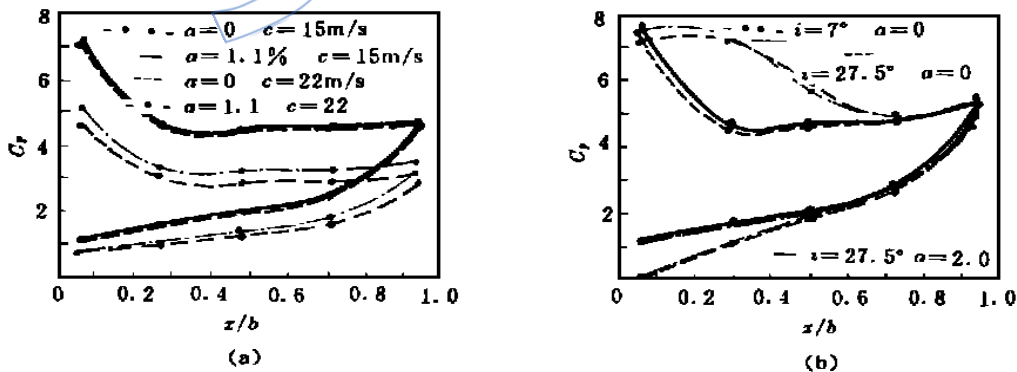


图 3 (a) $i = 27.5^\circ$ 时气流速度、(b) $C = 22\text{m/s}$ 时冲角对叶栅表面压力的影响 (--- $i = 7^\circ$; $\alpha = 2.0$)

3 (a) 所示。 $C = 15\text{m/s}$ 时, 在叶片的吸力面和压力面上, 气相与纯气流的压力系数相差很小; 而当气流速度升至 22m/s 时, 在叶片的吸力面上, 气相压力系数明显高于纯气流的, 在叶片的压力面上, 气相也略高于纯气流的。由此可得: 叶栅进口气流速度愈高, 气相压力系数与纯气流压力系数相差得也愈大。当气流速度、粒子浓度一定时, 冲角对叶栅表面压力系数的

影响如图 3 (b) 所示 ($C = 22 \text{ m/s}$, $\alpha = 2.0\%$, i 分别为 7° 、 27.5°)。当 $i = 7^\circ$ 时, 在叶片的压力面上气相与纯气流的压力系数之间的差别比较小; 而在吸力面上, $0.05 < x/b < 0.3$, $0.7 < x/b < 0.9$ 的区域里气相压力系数高于纯气流的, $0.3 < x/b < 0.7$ 的区域里气相压力系数低于纯气流压力系数。而当 $i = 27.5^\circ$ 时, 在叶片的吸力面上气相压力系数高于纯气流压力系数。以上表明: 冲角不同, 叶栅表面上气相压力系数相对纯气流压力系数的变化规律不同。

2. 3 粒子浓度对叶栅后沿栅距分布的气流速度的影响

试验中取探针与叶栅出口边的轴向距离 $y = 0.15t$ ($t = 67 \text{ mm}$ 为叶栅栅距)。鉴于气流速度 $C = 22 \text{ m/s}$ 、冲角 $i = 27.5^\circ$ 时叶栅表面气相与纯气流的压力系数之间的差别比较大, 所以在该工况下测量了单相纯气流和 $\alpha = 2.0\%$ 的气固两相流的气相在栅后沿栅距分布的气流速度。并将其换算成速度系数 C_v 绘制成沿栅距分布的速度特性曲线, 如图 4 所示。由图可知, 在主流区气相与纯气流的速度系数相差很小; 而在靠近叶片吸力面的区域, 气相速度系数低于纯气流的, 在靠近压力面的区域, 气相速度系数高于纯气流的。同时, 气相速度系数最低点的位置相对纯气速度系数最低的位置发生了偏移, 偏向吸力面一侧。

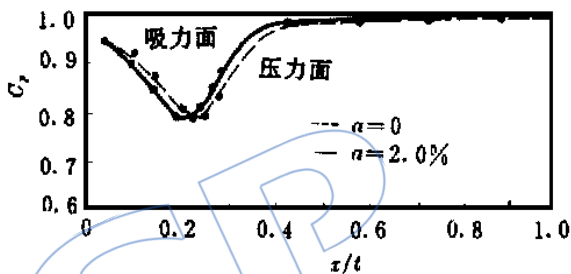


图 4 粒子浓度对栅后沿栅距分布的气流速度的影响

下面从气固两相流的流动特点出发, 分别定性分析粒子浓度、气流速度和冲角对叶栅表面压力分布的影响。气固两相流流过叶栅时, 气、固两相的速度不同, 其结果两相必然发生动量交换作用, 引起叶栅内的气相流场相对纯气流流场发生变化, 即所谓流场畸变。

粒子浓度对气体流场的影响, 可从气固两相流粒子质量浓度的定义 $\alpha = m_p / m_g$ 看出。如果固体粒子和气体的运动行为一定, 那么当粒子浓度变增大以后, 与单位质量气体相互作用的固体粒子的质量增加, 固体粒子对气体流动的影响就会增大。因此, 粒子浓度升高以后, 叶栅表面的气相与纯气流的压力系数之间的差别也就愈大。当固体粒子的物性参数 (粒径、材料密度等) 一定时, 叶栅进口气流速度愈高, 气固两相流中的气相与固相之间的相对滑移速度愈大, 由此引起气固与固相之间的动量交换作用加强, 即固体粒子对气体流场的影响愈大。

冲角不同, 叶栅内部固体粒子的运动轨迹、速度以及气体流线亦不相同。由于冲角改变, 气相与固相的运动行为发生变化, 固相对气体流动影响的强弱程度不同, 影响趋势也不一样。由此造成气体流场的畸变程度和趋势不同, 表现在叶栅表面气相相对纯气流的压力系数的变化规律不同。叶栅内气固两相流的气相流场相对纯气流的流场的变化, 也会影响栅后气流速度分布。造成沿栅距分布的气相与纯气流的速度不同, 现象是叶栅的尾迹区发生偏移。

参 考 文 献

- 1 伊景海, 马材芬. 气固两相平面叶栅气动特性的试验研究. 工程热物理学报, Aug. 1991, 12 (3): 279- 282

(责任编辑 魏星禄)

by the method of digital simulation; (c) to discuss theoretical range of the calculated interval of the dynamic cycle and the model influenced by the fuel-control regulation law. Two models are non-linear, non-iteration and full range. Simulation results show that the accuracy of models is quite good, and most relative errors are less than 3 percent, the biggest is about 5 percent. The calculated interval was reduced to 16ms (on the PC/AT with an Intel 80287 floating point coprocessor and C language programming).

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ENDWALL FLOW CONTROL IN A COMPRESSOR PLANE CASCADE WIND TUNNEL

Li Xihong, Wu Guohua, Peng Zeyan

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

ABSTRACT

A comparative experimental investigation on three kinds of end-treatment cascade in relation to an original cascade is presented. Three end-treatment techniques are end-bend, end-forward-sweep, and end-sweep-bend. The last one is a new kind of endwall flow control technique. Experimental results show that: (1) The end-forward-sweep cascade can be used to delay flow separation and improve the distribution of flow parameters at the cascade exit; (2) For a shrouded stator, the end-bend cascade with increasing turning angle at the end of the blade would increase the loss around the endwall region and induce flow separation in the mid-span region; (3) For the case when it is required to increase the turning angle in the endwall region, the end-sweep-bend cascade has better performance than the end-bend blade.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON EFFECT OF SOLID PARTICLES ON BLADE PRESSURE DISTRIBUTION IN COMPRESSOR CASCADE FLOW

Yi Jinghai, Ma Caifen, Gao Jingshi, Xu Zhong

(Xi'an Jiaotong University)

ABSTRACT

The blade pressure distribution of gas-particle two-phase flow in a compressor cascade has been investigated experimentally. Detailed measurements were made for three mass concentrations 1.1%, 2.0% and 4.5%, and for two inlet velocities 10 and 22m/s, and for two inlet angles of attack 7° and 27.5° . The results for two inlet angles of attack 7° and 27.5° indicate that the solid phase has certain effect on the blade pressure distribution of the gas phase. With increasing inlet velocity and mass concentration, the effects of solid particles on the blade pressure distribution are enhanced and wake deviation is obvious. Also, the variation of the effects depends on the inlet angle of attack.