

采用前置凸台结构改善压气机性能

上海交通大学

杜朝辉* *

西北工业大学

刘志伟

【摘要】设计了一种新型处理结构,前置凸台式处理结构。改变转子尖部深入凸槽的深度及转子叶片前缘与前置凸台之间的距离,通过测量发现该结果存在一种最佳尺寸,即可扩大压气机的稳定裕度又能提高其效率,并可方便地在压气机结构中得以实现,具有工程实用价值。

关键词: 压气机 机匣处理 前置凸台结构 效率试验

1 结构设计及实验方法

这是一种新型处理结构,目前还没有见到有关研究报告。文献[1,2]对各种沟槽式处理进行了试验对比,评估了沟槽斜度和深度的变化、转子叶片伸入沟槽的长度、相对于叶片边缘的沟槽起始和终止处的距离以及转子叶尖间隙等。确定每一种几何参数对压气机效率和失速裕度的影响,发现其中有一种结构可以在不降低稳定裕度的情况下提高了 0.5% 的效率。目前国内多种先进发动机上都采用了该结构,取得了很好的效果。但该处理的作用机理还不清楚,其结构尺寸参数没有公开报道。

在分析比较文献[1]的基础上,设计了一种新型结构,称之为前置凸台式机匣处理,见图 1。同原沟槽处理结构相比有结构简单易于加工及安装等优点,又与原结构具有相似的作用原理,便于实验研究,特别是由于叶片尖部省略了延伸部分,对于改型机种更有其方便之处。

将设计的处理装置在单级轴流压气机实验台上进行改装。采用组合式三孔探针测量了叶片排进出口处的气流流场,并在处理部位及叶片尾迹区加密测点^[3]。测量误差:压力 1mm 高水柱,效率 0.2%,流量 1%。通过试验了解各种结构尺寸参数的改变对压气机性能的影响,以找到最佳结构尺寸。根据测量结果分析前置凸台式机匣处理的作用机理。

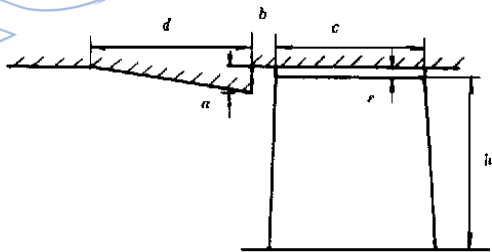


图 1 前置凸台式处理结构

2 试验结果及分析

2.1 总性能比较

在比较压气机性能时,主要依据传统的三项指标,即稳定裕度的改进量:

$$\bar{m} = [(G_{s0}/G_{ss})(\pi_{ts}/\pi_{t0}) - 1] \times 100\%$$

稳定边界绝热效率的改进量:

$$\eta_s^* = (\eta_{ss}^* / \eta_{so}^* - 1) \times 100\%$$

峰值绝热效率的改进量:

$$\eta_m^* = (\eta_{ms}^* / \eta_{mo}^* - 1) \times 100\%$$

其中: G 为流量, π 为压比, so 为实壁机匣稳定边界点, ss 为处理机匣稳定边界点, mo 为实壁机匣最高效率点, ms 为处理机匣最高效率点。

试验中重点了解两种尺寸参数的改变对压气机性能的影响, 一是转子叶片尖部伸入凸槽的相对深度 a/h (符号如图 1 所示, 下同); 二是转子叶片前缘与凸槽端面的相对距离 b/c 。对 a/h 共做了 5 组试验, $a/h=3.5\% \sim 0.3\%$; 对 b/c 做了两组比较, $b/c=6.2\%、3.1\%$ 。其中对可能出现较好效果的几种结构尺寸都做了重复试验。与 $a/h=0$ 的原结构相比, 其性能变化如下。

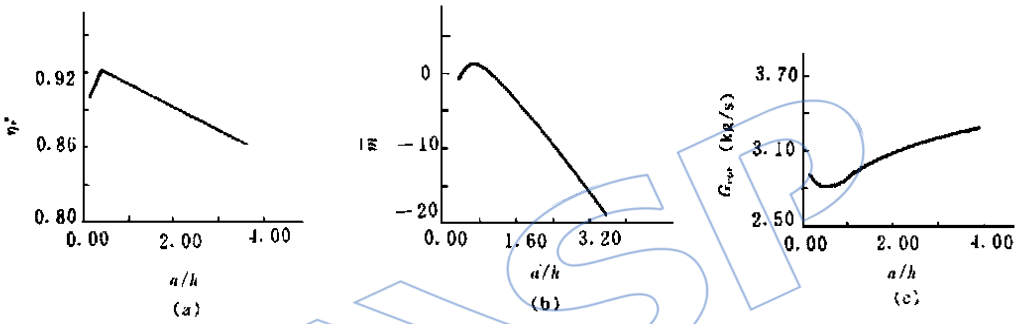


图 2 (a) 效率、(b) 边界点流量、(c) 稳定裕度随 a/h 变化

前置凸台式处理最高效率点的效率及失速点流量随 a/h 的变化如图 2(a)、(b) 所示。可以看出, 此种结构处理如果伸入沟槽中太深及太浅都不好, 它存在一个最佳效率点, 其值略大于未经处理的实壁结构的设计点效率, 即效率略有提高。本试验中最佳点的 $a/h=0.5\%$, 效率提高 0.4%。还应指出的是效率最高点恰好与失速流量最小点对应, 且该点流量值小于处理前实壁机匣的稳定边界点流量值, 其综合效果就是稳定裕度增大, 本试验测得的增量为 2%, 图 2(c) 绘出了其变化过程。同文献[1]对比, 本文所设计的前置凸台式处理结构具有明显的优点, 试验结果表明它不仅稳定裕度有提高, 且效率也略有提高(见表 1)。说明这两种不同结构型式的沟槽处理各具特点, 原因是它们的作用机理是相似的。

表 1 前置凸台式处理机匣性能的提高

型 式	$\bar{n}$	$G_w(\text{kg/s})$	π^*	$\bar{m}$	η_s^*	η_m^*
实壁机匣	0.54	2.852	1.0711	0	0	0
处理机匣	0.54	2.807	1.0715	1.7%	-1.4%	0.4%

如果增大轴向间距($b/c=6.2\% \sim 3.1\%$), 其效率和稳定裕度都减小, 即增加叶片前缘与沟槽的距离将产生不利的影响。

图 3 是未处理原机匣与带前置凸台式处理机匣在最佳结构点 $a/h=0.5\%$ 的转子总性能比较。可以看出它同常规的机匣处理有相同的变化趋势, 压力—流量曲线自然延伸, 所不同的

是在很大的流量范围内其效率没有下降,而略有提高。这是一个非常有价值的现象,为进一步采用组合式机匣处理^[3]奠定了基础,也可在一定程度上说明许多先进发动机采用最佳尺寸的沟槽处理是有利的。为我们自行设计沟槽式处理装置提供了试验依据,对于设计高性能压气机具有一定的实用价值,是一种值得深入研究和发展的新型处理结构。

2.2 机理分析

压气机叶型压力面上的高压气体有通过叶尖间隙向吸力面泄漏的趋势,并由此产生了叶尖间隙涡,带来了相应的损失。由于叶片的转动,部分泄漏流向上游方向移动。通常向后移动的壁面附面层气流与自叶尖间隙泄漏的向前移动气流相互作用,由此产生气流损失。因此可以设计这样一种结构,将此叶尖间隙埋入槽或沟中以减少损失改善压气机的性能。

在本文所设计的前置凸台式结构中,在沟槽的前部的壁面上具有一突变的台阶。此台阶使得向后流动的附面层自壁面分离并减小了来自叶尖间隙涡的气流向前流动,斜向开槽使得后方的台阶变得平滑过渡而将槽中的气流引向主流。由于叶片前部增加了凸台势必会带来损失,但是凸台的存在可以阻挡间隙涡的形成和发展,捞回一部分损失以弥补凸台的存在而产生的损失,从而得以效率的提高,即得以偿失,这样就会出现效率增加的情况;否则就会得不偿失。很明显凸台尺寸直接影响损失的大小,合理选择凸台尺寸参数就能收到最佳效果,这就是存在最佳状态的原因。

从结构尺寸上可以发现,起最佳效果的 $a/h=0.5\%$ 值恰好等于或略大于叶尖与机匣的间隙 $e/h=0.4\%$ 。可以做这样的解释,这个台阶的高度正好遮盖了叶尖的间隙,减少了气流漏泄损失。如果 a/h 较大则气流进入叶栅槽道时会产生较大回旋流增加损失,若小于这个间隙则处理不起作用。一般情况下 d 的距离较大,当气流进入叶片通道时不会产生较大的回流损失。

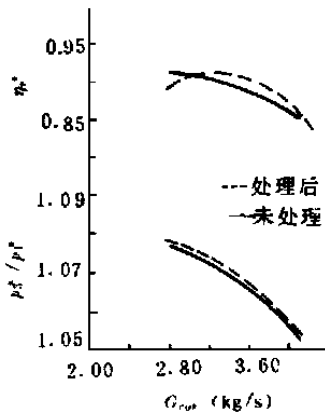


图3 单级性能比较

参 考 文 献

- 1 Wisler D C, Beacher B F. Improved Compressor Performance Using Recessed Clearance (Trenches) Over the Rotor. AIAA 86-1745
- 2 Offenbergl L S, Fischer J D. An Experimental Investigation of Turbine Case Treatments. AIAA 87-1919
- 3 杜朝辉. 轴流压气机槽式机匣处理的理论和实验研究: [学位论文]. 西北工业大学博士学位论文, 1992

(责任编辑 魏星禄)

HEAT-MASS TRANSFER ANALOG OF AIR-COOLING ROTATING DISC WITH NAPHTHALENE SUBLIMATION

Cao Yuzhang, Lin Yuzhen, Feng huazhong, Xu Guoqiang, Qiu Xuguang
(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

The heat transfer characteristics of rotating disc have been investigated experimentally by means of a mass transfer analog of naphthalene sublimation. Two models are used: free rotating disc and shrouded rotor-stator system. Mass transfer test results of free disc are in good agreement with experimental results of heat transfer and theoretical prediction. The test results of local Sherwood number are obtained, which are dependent on rotational Reynolds number, flow coefficient, gap ratio and shroud-clearance ratio.

TECHNICAL NOTES

EFFECT OF STEAM INJECTION INTO GAS GENERATOR ON COMBUSTION EFFICIENCY AND PRESSURE LOSS

Liu Gao'en, Wang Huafang
(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

The influence of steam injection into combustor on combustion efficiency and pressure loss in the combustor is investigated. The testing was conducted with a WZ-5 gas generator burning low BUT gaseous fuel ($H_{uv} = 8172 \text{ kJ/N} \cdot \text{m}^3$). The steam injection was arranged in either the diffuser or the dilution zone of the combustor. The test results show that the steam injection has only a little effect on combustion efficiency and a considerable effect on pressure loss. In the case of the ratio of steam flow rate to air flow rate being 10%, the steam injection into dilution zone would cause an 12% increase in pressure loss, and even larger than that the steam injection into diffuser would cause.

FRONTALLY TAPERED SQUARED TRENCH CASING TREATMENT FOR IMPROVEMENT OF COMPRESSOR PERFORMANCE

Du Zhaohui (*Shanghai Jiaotong University*)
Liu Zhiwei (*Northwestern Polytechnical University*)

ABSTRACT

A new type of frontally tapered squared trench casing treatment was designed and tested over the rotor tip in a single axial-flow compressor. Variations in the rotor tip penetration into the trench and the distance of the trench front from the blade leading edge were investigated. Through the measurements of velocity and pressure, the effects of each geometric parameter upon compressor efficiency and stall margin were evaluated. An optimal configuration has been found which gives not only 0.4% improvement in efficiency but 2% in stall margin in comparison with the smooth wall baseline. The mechanism of enhancement in the efficiency and the reason for existence of optimum configuration for frontally tapered squared trench casing treatment are considered in this paper.