

大转角透平叶栅叶片正弯曲的实验研究*

中科院工程热物理研究所 谭春青**
哈尔滨工业大学 王仲奇 韩万今

【摘要】 在与大转角透平叶栅叶片反弯曲的实验研究相同实验条件下,对大转角透平叶栅叶片正弯曲进行了实验研究。结果表明:在大转角透平叶栅中,叶片正弯曲后同常规直叶片叶栅相比,前缘涡、通道涡增强,前缘涡的气泡型分离损失和通道涡的粘性耗散损失增加,整个叶栅的通流能力下降 8.8%,质量流量平均总损失提高 11.4%,同时,叶栅出口气流条件也进一步恶化。

主题词: 叶栅流动 二次流动 大转角 正弯曲

分类号: V232.4

自 60 年代初弯曲叶片成型的思想被提出以来,在透平叶栅中有关弯曲叶片的大量理论与实验研究几乎都是针对具有较小转折角的透平静叶栅,并都证明采用正弯曲叶片可控制叶栅中的二次流动,改善透平叶栅的气动性能。然而,对于大转角透平叶栅,其流动特点与损失分布同小转角透平叶栅有很大不同^[1,2],而且二次流损失很高,因此,研究在大转角透平叶栅中叶片的弯曲作用具有重要意义。作者的近期研究发现:在大转角透平叶栅中,叶片反弯曲可颇大改善叶栅流场性能,大幅度降低二次流损失^[3]。本文与文献[3]相对应,实验研究了在大转角透平叶栅中叶片的正弯曲作用,这为全面认识大转角透平叶栅叶片的不同弯曲作用及其二次流控制提供重要依据。

1 实验装置、实验结果讨论

实验是在低速平面叶栅风洞上进行的。实验叶栅模型为:在两端倾斜角各为 15° 并对称于中分面的正弯曲叶片叶栅,见图 1。测量面位置、叶栅的主要几何和气动参数与文献[3]相同。

1.1 上游及前缘附近流动

为了给出正弯曲叶片叶栅进口流场特性,在第 1 测量面测量了叶栅上游进口段流场。测得的附面层厚度 $\delta = 34.0\text{mm}$, 平均密流 $\overline{\rho_{cx}} = 40.3\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。而文献[3]对于常规直叶片叶栅的测量结果为: $\delta = 26.9\text{mm}$, $\overline{\rho_{cx}} = 44.2\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 δ 及 $\overline{\rho_{cx}}$ 的变化是由于不同型式叶栅的粘性包括前缘涡的排挤效应不同引起的。可见,同直叶片叶栅相比,叶片正弯曲后进口附面层明显增厚,总平均密流降低,叶栅的通流能力减少 8.8%。对于正弯曲叶片叶栅,第

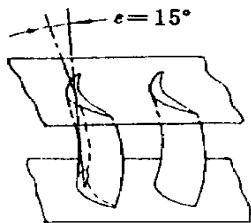


图1 正弯曲叶片叶栅

2 测量面来流仍很均匀, 二次流速度极小; 但在第 4 测量面, 叶栅端部前缘附近二次流速度较直叶片叶栅明显增大。再从损失分布看, 叶片正弯曲后对应于前缘涡位置的叶栅前缘端部区损失也较直叶片叶栅明显提高, 因此, 叶片正弯曲使前缘涡显著增强; 这种变化逆传播, 影响波及上游, 使正弯曲叶片叶栅进口附面层增厚, 叶栅通流能力下降。

1.2 栅内流场

同常规直叶片叶栅相比, 叶片正弯曲有助于通道涡更快地形成与发展。从第 5 测量面开始, 栅内各测量面的通道涡尺度、强度均较直叶片叶栅明显增大, 其中第 6、8 测量面二次流速度矢量图可见图 2(a)、(b); 上、下通道涡在第 7 测量面即已相遇, 而直叶片叶栅在第 9 测量面

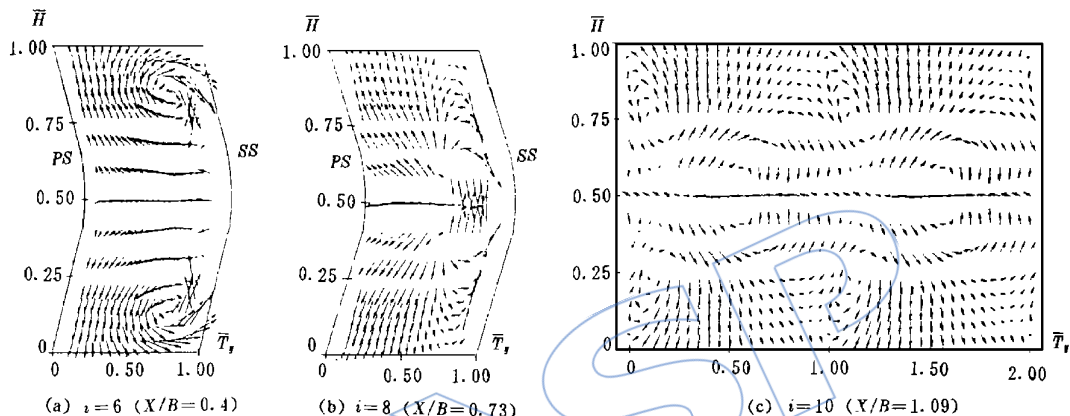


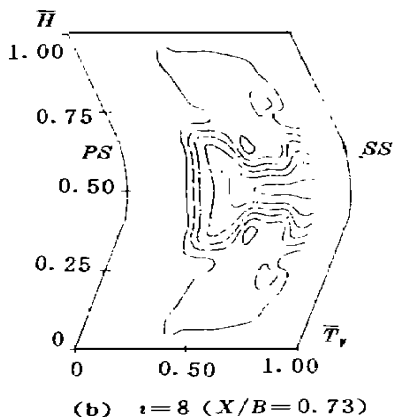
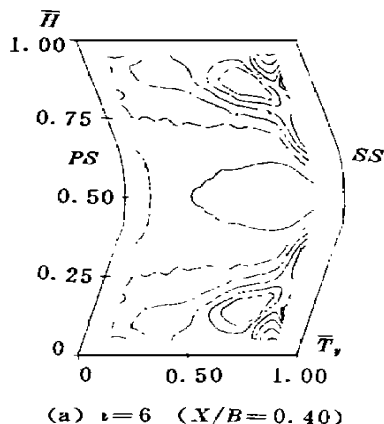
图 2 正弯曲叶片叶栅部分测量面二次流速度矢量图

相遇; 到第 9 测量面正弯曲叶片叶栅上、下通道涡涡心更靠近中分面, 且偏向压力面。作为二次流增强的另一重要标志, 正弯曲叶片叶栅流场的二次流速度沿叶高方向分量 w 的变化较直叶片叶栅显著增大, $|w|_{\max}$ 也提高较大。由于通道涡明显增强, 端部低能流体较直叶片叶栅更迅速地卷吸入通道涡中(图 3(a)), 并因上、下通道涡提前在叶栅中部相遇, 涡心距离减小以及涡心进一步向压力面发展, 最高能量损失系数等值线在叶栅中部汇为一体(图 3(b))。正弯曲叶片叶栅通道涡的增强提高了通道涡的粘性耗散损失。

1.3 出口流场

在第 10 测量面, 正弯曲叶片叶栅上、下通道涡涡心相距仅为 0.12 相对叶高, 见图 2(c), 而直叶片叶栅为 0.20 相对叶高^[3]。通过涡量计算还可得到, 正弯曲叶片叶栅通道涡同直叶片叶栅相比尺度接近, 但前者涡量绝对值更大; 对于正弯曲叶片叶栅, 由于通道涡增强, 叶片尾缘压力面与吸力面附近沿叶高方向的速度差增加, 使尾涡增强, 其尺度及强度略小于该测量面的通道涡, 这样强烈的尾涡必将严重影响尾迹及下游流动; 在出口边没有测到壁角涡的存在, 这同文献[2]的显示结果一致, 但测到一个微弱的尾涡反向涡, 它是由尾涡诱导产生的。从损失分布看, 叶片正弯曲后同直叶片叶栅相比, 受通道涡增强的影响, 端部区域尾迹损失减小; 另外, 叶栅中部损失明显提高, 最高能量损失系数等值线合二为一, 见图 3(c)。如果计及质量流量的影响, 正弯曲叶片叶栅出口测量面总的质量流量平均总损失系数为 0.2430, 而直叶片叶栅为 0.2181, 前者损失比后者提高 11.4%。

叶片正弯曲后, 出口气流



角更趋不均,由周向测起的最大气流角虽然由直叶片叶栅的 41.2° 降为 40.3° ;略趋向叶栅出口几何角 25.5° ;但最小气流角由直叶片叶栅的 19.7° 降为 16.7° ;使叶栅出口总的气流偏转角增大。

结论 (1) 在大转角透平叶栅中,叶片正弯曲使前缘涡强度及其气泡型分离损失提高,叶栅通流能力下降 8.8% 。

(2) 叶片正弯曲可促进通道涡形成与其强度增长,通道涡粘性耗散损失提高。

(3) 正弯曲叶片叶栅质量流量平均总损失系数为 0.2430 ,而直叶片叶栅为 0.2181 ,前者比后者损失提高 11.4% 。

(4) 叶片正弯曲使叶栅出口气流角更趋不均,恶化了叶栅出口气流条件。

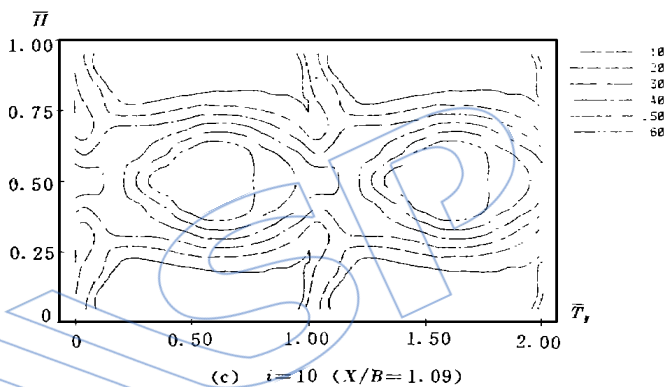


图 3 正弯曲叶片叶栅部分测量面当地能量损失系数等值线

参 考 文 献

- 1 Moustapha S H, Paron G J, Wode J H. Secondary Flows in Cascades of Highly Loaded Turbine Blades. T. of ASME, J. of Engineering for Gas Turbines and Power, 1985, 107(4)
- 2 康顺, 王仲奇, 徐文远. 矩形透平叶栅内流动的彩色氦气泡显示研究. 中国工程热物理学会第六届年会论文集, 1988, 882067
- 3 王仲奇, 谭春青, 韩万今, 周谟春. 大转角透平叶栅叶片反弯曲的实验研究. 航空动力学报, 1993, 8(3)

(责任编辑 魏星禄)

EXPERIMENTAL STUDY ON BLADE POSITIVE CURVING IN TURBINE CASCADE WITH TURNING ANGLE

Tan Chunging

(*Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Wang Zhongqi and Han Wanjin

(*Harbin Institute of Technology*)

ABSTRACT

As contrasted with the experimental study on blade negative curving in turbine cascade with large turning angle, an experimental study of blade positive curving was also carried out under identical conditions. The experimental results show that blade positive curving intensifies the leading edge vortex and the passage vortex in comparison with conventional straight cascade, and increases the bubble separation loss of the leading edge vortex and the viscous dissipation loss of the passage vortex. As a result, the flux capability of the cascade is cut down by 8.8%, the mass flux averaged overall loss coefficient increases by 11.4%, at the same time the outlet conditions of the cascade further deteriorate.

Key words Cascade flow Turning angle Secondary flow

TECHNICAL NOTES

DAMAGE TOLERANCE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DISK WITH CRACKS IN SLOTBASE

Chen Guanghao, Wang Rongqiao, Hong Qilin

(*4th Dept., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083*)

ABSTRACT

The damage tolerance of an experimental disk is analyzed in the light of fracture mechanics. The relation of crack tip parameter and crack length, a , is determined by combination of the FEM and the J-integral method. The critical crack size a_c is obtained based on the material toughness K_{IC} . Then the crack propagation life of the disk is determined. The calculated results are consistent with the experimental data. Therefore, the present method as well as the computer program can be used for strength evaluation of a turbine disk.

Key words Wheels (Machine elements) Fatigue crack Finite element J-Integral Stress intensity factors

MONITORING PARAMETER PREDICTION AND FAULT IDENTIFICATION

Chen Zhiying and Li Qihan

(*4th Dept., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083*)

ABSTRACT

The time series analysis method is applied to condition monitoring and fault diagnosis of aero-engine. The trending values of monitoring parameters can be predicted by building and estimating auto-regressive model. Then the time series analysis and the mode identification technique are combined and through determining classification function and conducting correlation analysis among the parameters, some typical faults of the engine can be identified.

Key words Aircraft engines Time series analysis Fault detection Monitoring