

非光滑叶片对叶栅出口能量损失系数的影响^{*}

闻 洁

安柏涛

(北京航空航天大学 402 教研室) (哈尔滨工业大学能源科学与工程学院)

赵桂林

(中国科学院力学研究所)

【摘要】在低速平面叶栅风洞中对 4 种具有不同几何尺寸流向微槽的非光滑叶片叶栅进行了实验研究,主要研究非光滑叶片对叶栅出口能量损失系数的影响。实验结果表明,采用非光滑叶片可以减少叶栅损失,相对减少最多 16.5%,最少 9.1%。

关键词:非光滑叶片 叶栅损失 流向微槽

分类号:V231.3

Effects of Non - smooth Blade on the Cascade Exit Loss Coefficients

Abstract: In the low speed plane cascade wind tunnel, the experiments for the cascades equipped with conventional smooth blades, three non - smooth blades were carried out to study the effects of non - smooth blades on the cascade exit loss coefficients. The experiments results show that using non - smooth blades can reduce the exit blade losses by 9.1% ~ 16.5%.

Key words: non - smooth blade cascade loss coefficient riblets

0 前 言

提高叶轮机效率的重要途径之一是提高其通流部分的效率,因而作为叶轮机重要部件之一的叶栅,其性能的好坏直接影响叶轮机的性能指标。因此,如何降低静叶片叶栅和动叶片叶栅流道中的能量损失,改善流道内的气动参数分布,提高叶栅的气动性能,是提高叶轮机效率的关键研究课题之一。

要合理、有效地降低叶栅损失,改善叶轮机的气动性能,提高其效率,首先要了解叶轮机内部的复杂流场和损失机理,经过各

国研究者多年的努力,认为叶栅损失主要包括叶型损失、二次流损失、尾迹损失和叶尖漏汽损失等^[1~2],其中除叶尖漏汽损失外,其余 3 种损失都与叶片叶栅的几何参数有关。在对叶栅损失机理有了比较全面的了解后,各国研究者提出了许多有效的减少叶栅损失的方法,如子午流道成型法、旋涡控制附面层法、绕流控制法^[3]、弯扭叶片法^[4]等,这些方法中有的已得到实际应用,推动了现代高效叶轮机的发展。但是,迄今为止,各国研究者寻找更好的减少叶栅损失、提高叶轮机效率方法的努力一直没有停止,在此情况下,本文作者提出了一种新型叶片——非光滑叶片^[5],这是一种叶片表面具有流向微槽的叶片,分析认为这种叶片一方面可以减少叶片

收稿日期:1999 - 01 - 10

* 本课题得到国家自然科学基金青年基金资助(59606002)

闻 洁 博士 北京(100080) 北京航空航天大学热能工程(402)教研室副主任

表面的摩擦损失,另一方面可以减少附面层的分离在叶栅流道内及叶栅出口处的损失,从而达到减少叶型损失和尾迹损失的效果。

本文对非光滑叶片进行了详细的风洞实验,主要包括常规光滑叶片及3种具有不同几何尺寸流向微槽的非光滑叶片等4种叶栅的风洞实验,对叶栅出口流动参数进行了详细的测量,通过数据处理,得到了能量损失系数在叶栅出口的各种分布,最后分析、研究非光滑叶片对叶栅出口能量损失系数的影响。

1 试验设备及实验件

本实验是在哈尔滨工业大学热力发动机教研室的低速平面叶栅风洞上进行的。风洞的详细介绍见文献[6]。实验数据的采集由自动测试系统完成,其采集过程是五孔探针感受到的压力经压力传感器后转变为数字信号,通过A/D转换器传送到计算机采集记录,同时系统也采集记录大气温度、风洞内温度、大气压等需要的气动参数。根据采集的数据经过数据处理得到实验结果。

试验叶片的叶型坐标见文献[6]。实验中使用的是4种具有不同几何尺寸流向微槽的实验膜片,一种为光滑表面膜片($h=0\mu\text{m}$),其余3种为具有不同几何尺寸流向微槽的膜片($h=40\mu\text{m}$ 、 $h=60\mu\text{m}$ 、 $h=100\mu\text{m}$),如图1所示,这种实验膜片一面带胶,一面加工成流向微槽表面,其厚度很薄,实验中采用粘贴的方法贴于叶片表面上,由于实验膜的厚度相同,可以认为对叶栅的几何参数无影响,或其影响忽略不计。

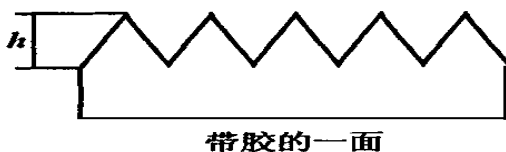


图1 实验膜片示意图

实验叶栅主要的几何和气动参数为:叶片弦长 $b=120.5\text{mm}$,轴向弦长 $B=118.5$

mm ,叶片高度 $H=110\text{mm}$,节距 $t=92\text{mm}$,节弦比 $t/b=0.763$,展弦比 $h/b=0.913$,叶栅进口气流角 $\alpha_1=50^\circ$,叶栅出口气流角 $\alpha_2=-63^\circ$,栅前总压 $p_0^*=10302.5\text{Pa}$,叶栅出口叶展中部马赫数 $M=0.055$,叶栅进口附面层厚度 $\delta=35\text{mm}$ 。

2 实验结果分析

图2是叶栅出口能量损失系数叶高平均值沿节距的分布。图中横坐标 $\bar{i}=0.0$ 处表示吸力面, $\bar{i}=1.0$ 处表示压力面。由图可见,无论是光滑叶片还是非光滑叶片,在靠近叶片表面(吸力面或压力面)附近,能量损失系数都较大。对光滑叶片叶栅,吸力面附近约10%节距处存在一个损失峰值,这一峰值对应的是通道涡核心的位置。采用非光滑叶片后,这一损失峰值远离了吸力面,移到约18%节距处,损失峰值对应的最大能量损失系数几乎相同。可见非光滑叶片引起通道涡位置发生变化,移离吸力面,向通道中心移动,通道涡造成的能量损失系数的大小几乎不变。而无论在吸力面附近还是在压力面附近,非光滑叶片叶栅出口能量损失系数都有较大的减小,由于叶栅出口吸力面和压力面附近的能量损失主要是由叶片的叶型损失和

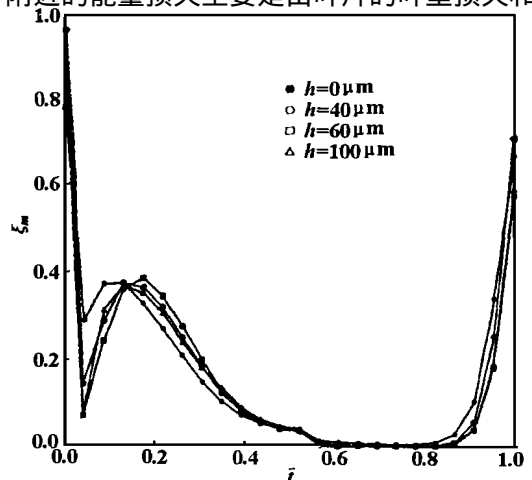


图2 叶栅出口能量损失系数叶高平均值沿节距的分布

尾迹损失引起的,可见非光滑叶片可以减少叶型损失和尾迹损失,这一实验结果与作者提出非光滑叶片设想时的分析结果相吻合。

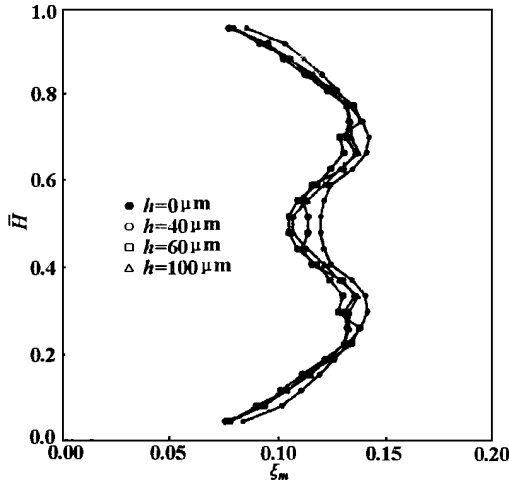


图3 叶栅出口能量损失系数节距平均值沿叶高的分布

图3是叶栅出口能量损失系数节距平均值沿叶高的分布。由图可见,相对于光滑叶片叶栅,采用非光滑叶片的叶栅出口能量损失系数沿整个叶高都明显减小,这主要是由于非光滑叶片引起叶栅出口靠近叶片吸力面和压力面附近能量损失系数较大减小造成的。图中30%和70%叶高处损失峰值对应的是叶栅出口截面内通道涡核心的位置,可见采用非光滑叶片,通道涡核心的位置沿叶高不变,但其对应的能量损失系数有所减小。由于能量损失系数节距平均值中包含有叶型损失、尾迹损失以及通道涡引起的二次流损失等,因此难以区分出非光滑叶片对何种损失有影响。

图4是叶栅出口能量损失系数随流向微槽几何尺寸的变化图。可见,相对于光滑叶片($h=0\mu\text{m}$),采用非光滑叶片叶栅出口能量损失系数都有所减小,非光滑叶片有减少叶栅出口能量损失系数的作用。同时可见,在流向微槽高度 $h=60\mu\text{m}$ 附近时,叶栅出口能量损失系数最小,可见在一定的实验条件下,存在非光滑叶片的最佳几何尺寸。通过数据处理,得到在叶栅出口处,光滑叶片叶栅的总

损失系数为12.1%,几种非光滑叶片叶栅的总损失系数分别为11.0% ($h=40\mu\text{m}$), 10.1% ($h=60\mu\text{m}$), 10.3% ($h=100\mu\text{m}$), 损失系数减少的绝对值分别为1.1%、2.0%、1.8%,减少的相对值分别为9.1%、16.5%和14.8%。

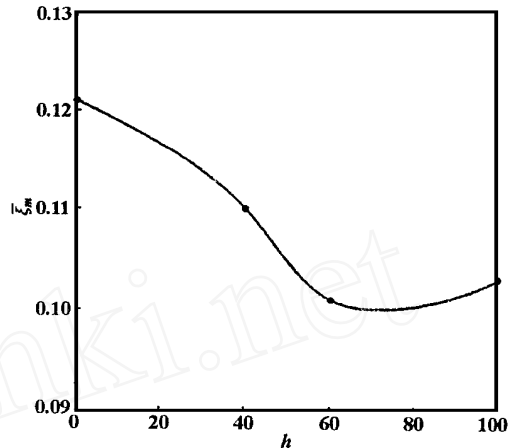


图4 叶栅出口能量损失系数随流向微槽几何尺寸的变化图

3 结 论

1. 采用非光滑叶片能够减少叶栅损失,相对减少量最大为16.5%,最小为9.1%;
2. 采用非光滑叶片主要是减少了叶型损失和尾迹损失。

参 考 文 献

- 1 L H Smith. Secondary flow in axial flow turbomachinery. Trans. of the ASME, 1995, 77(7): 1064 ~ 1076
- 2 L S Longston, et al. Three - dimensional flow within a turbine blade passage. ASMEJ. of Eng. for power. 1977, 99(1): 21 ~ 28
- 3 韩万今. 透平叶栅内集中涡系控制方法的研究. 动力工程, 1993, 11(3): 11 ~ 16
- 4 王仲奇等. 在低展弦比透平静叶中叶片的弯曲作用. 工程热物理学报, 1990, 11(3)
- 5 闻 洁, 赵桂林. 表面具有流向微槽的叶片叶栅气动性能分析. 汽轮机技术, 1998, 40(3): 149 ~ 150
- 6 安柏涛. 矩形叶栅流减阻实验研究: [硕士学位论文]. 哈尔滨工业大学, 1998