

文章编号: 1007-6735(2001)03-0229-04

非光滑叶片对叶栅气动特性影响的实验研究

赵桂林¹, 闻洁², 何龙德¹, 彭辉¹

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 北京航空航天大学 动力系, 北京 100083)

摘要: 在低速平面叶栅风洞中对光滑叶片及 3 种非光滑叶片进行了实验研究, 分析了非光滑叶片对叶栅出口流动特性的影响. 实验结果表明, 采用非光滑叶片改变了叶栅出口旋涡结构及流动分布, 使叶栅出口的流场趋于均匀, 叶片可以承受更大的负荷.

关键词: 非光滑叶片; 叶栅; 气动特性

中图分类号: O 354 **文献标识码:** A

作者通过实验研究发现, 与光滑叶片相比, 非光滑叶片, 叶栅出口处的能量损失系数明显减少^[1, 2], 非光滑叶片对叶栅流道内通道涡的位置和强度有明显影响^[3].

作者对光滑叶片及 3 种非光滑叶片进行了风洞实验, 在叶栅出口进行了测量, 分析了非光滑叶片对叶栅出口流动特性的影响.

1 实验模型

本实验是在低速平面叶栅风洞上进行的. 实验叶栅采用常规直叶片叶栅, 实验叶栅主要的几

何和气动参数见文献[3]. 加工了 4 种光滑实验膜片^[3], 实验中采用粘贴的方法将膜片贴在叶片表面上, 粘贴后膜片上的流向微槽顺流向方向, 即可得到光滑叶片或具有不同尺寸流向微槽的非光滑叶片. 由于 4 种实验膜片的厚度相同, 可以认为实验膜片对叶栅的几何参数无影响, 或其影响忽略不计, 实验结果具有可比性.

2 实验结果

图 1 是常规光滑叶片和 3 种非光滑叶片出口处主流垂直面内的二次流速度场, 图 1 直观地反映

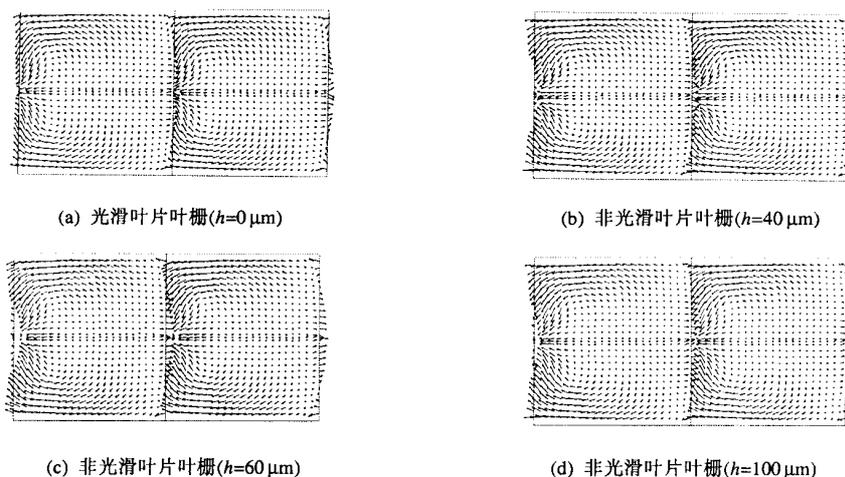


图 1 4 种叶片叶栅出口主流垂直面内的二次流速度场

Fig.1 Vector diagrams of secondary flow velocity at the exit plane of 4 blade cascades

收稿日期: 2001-05-19

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(59606002)

作者简介: 赵桂林(1965-), 男, 副研究员.

出叶栅出口流动分布特性,尤其是各种涡的位置、尺度的变化.在光滑叶片叶栅出口(图 1a),叶片中分面附近的旋涡支配着叶栅出口流场,这个旋涡为通道涡.尾流区中在靠近端壁附近可观察到微弱的逆时针旋转运动,这是由压力面和吸力面的壁角涡引起的.尾流区中距端壁 40% 叶高处,存在着另一个相反的旋涡,它的旋转方向与相邻通道涡的旋转方向相反,这一旋涡就是尾缘涡.气流通过叶栅通道后在叶栅出口处形成的这 3 种涡称为流向涡系.流向涡系是叶栅出口流动分布中的主要特性,其各种涡的位置、尺度和强度决定叶栅损失的大小.采用非光滑叶片以后(图 1b、1c、1d),流向涡系中通道涡的位置在节距方向上移向叶栅通道中心,从光滑叶片的约 15% 节距移到约 20% 节距处,在叶高方向上通道涡的位置则几乎不变,通道涡位置的这一变化不受非光滑叶片表面上流向微槽几何尺寸的影响.采用非光滑叶片,叶栅出口的壁角涡的位置和尺度几乎都不受影响.流向涡系中的尾缘涡受非光滑叶片的影响最大,其在尾流区中的位置从压力面移向吸力面,即在节距方向上移向流道中心,而在叶展方向上拉伸并移向叶栅端壁,引起叶栅尾流区中吸力面附近展向流动减弱,其结果是叶栅损失减小.

叶栅出口流向涡系中各种涡的位置、强度和尺度的变化将影响叶栅出口能量损失系数分布.相对于光滑叶片,采用非光滑叶片的叶栅出口能量损失系数沿整个叶高均明显减小(图 2),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处能量损失系数的较大减小造成的.图中 30% 和 70% 叶高处的损失峰值对应的是叶栅

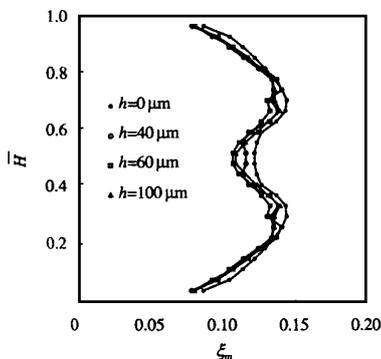


图 2 叶栅出口能量损失系数节距平均值沿叶高分布
Fig.2 Distributions of pitch averaged energy loss coefficients at cascade exit along the blade height

出口截面内通道涡核心的位置,由此可见,采用非光滑叶片,通道涡核心的位置沿叶高不变.由于能量损失系数节距平均值中包含有当地叶高处的叶型损失、尾迹损失以及通道涡引起的二次流损失等,因此,由图 2 难以区分出非光滑叶片对何种损失有影响.

光滑叶片叶栅出口垂直面内平均能量损失系数为 12.1% (见图 3),几种非光滑叶片叶栅出口处能量损失系数分别为 11.0% ($h = 40 \mu\text{m}$)、10.1% ($h = 60 \mu\text{m}$)、10.3% ($h = 100 \mu\text{m}$).相对于光滑叶片,几种非光滑叶片出口垂直面内平均能量损失系数减少的绝对值分别为 1.1%、2.0%、1.8%,其相对值分别为 9.1%、16.5%和 14.8%.

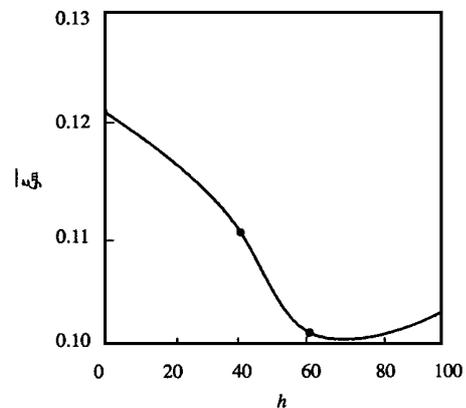


图 3 叶栅出口平均能量损失系数随叶片表面流向微槽深度的变化

Fig.3 Changes of averaged energy loss coefficients at cascade exit along with the changes of driblets height

叶栅出口气流角定义为出口主流与节距方向的夹角,其变化可以反映出所处叶高处流体的流通能力和叶片负荷的大小.对光滑叶片,叶栅出口气流角沿叶高的变化非常大(图 4),在端壁至 35% 叶高区域内从气流角的极小值(13.6°)剧增到极大值(26°),气流要无冲击地进入下一排叶栅流道,叶片的扭曲必然很剧烈,尤其在短叶片级中,动叶一般是按中径气动参数设计的,如果在其两端形成较大的冲角,则不仅会产生损失,而且会使动叶流道内高波动区扩大.采用非光滑叶片后,叶栅出口气流角沿叶高的分布趋势几乎不受影响,但气流角却有所减小,说明非光滑叶片可以承受更大的负荷.

叶栅出口静压系数节距平均值沿叶高的分布

与叶栅出口流向涡系有密切关系. 光滑叶片叶栅出口静压系数呈反“ε”分布(图5), 这是由于靠近上、下端壁的通道涡和尾缘涡不断从端壁及吸力面卷吸低能流体, 在旋涡中心处形成了较低的静压区. 采用非光滑叶片以后, 由于通道涡的位置移向通道中心处, 而尾缘涡不但位置移向通道中心处, 而且其强度也有所减弱, 使负压区减小, 静压场趋于均匀.

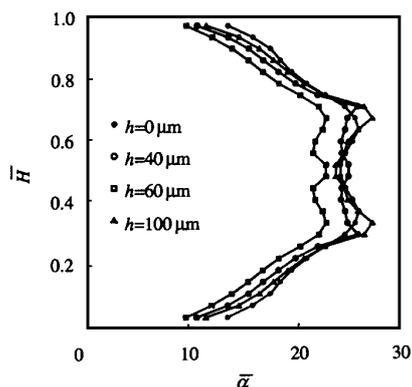


图4 叶栅出口气流角节距平均值沿叶高的分布

Fig.4 Distributions of pitch averaged flow angles at cascade exit along the blade height

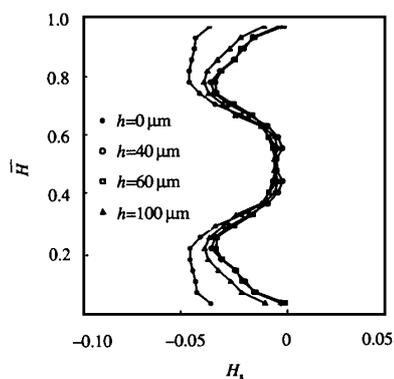


图5 叶栅出口静压系数节距平均值沿叶高的分布

Fig.5 Distributions of pitch averaged static pressure coefficients at cascade exit along the blade height

实验结果表明, 采用非光滑叶片后叶栅出口处流动分布特性发生了明显变化, 产生这些变化的原因是叶片表面上的流向微槽阻止了叶片表面上附面层的生长和分离, 减少了叶片表面的摩擦损失, 由于叶片表面上附面层的发展受到抑制, 因此, 在叶栅出口尾流区内流体离开叶栅尾缘时的分离也必然减弱, 从而减弱了尾缘涡. 由于叶片表面上附面层受流向微槽的影响发生了变化, 因此, 沿叶片表面的压力分布也会改变, 这必将改变马蹄涡的分支在叶栅流道内流动的发展, 结果引起叶栅出口处通道涡和尾缘涡位置发生移动. 可见, 非光滑叶片表面上的流向微槽通过改变叶片表面上的流动特性来改变叶片表面上附面层及叶栅进口马蹄涡分支在叶栅流道内的发展变化, 进而改变叶栅出口的流动分布特性.

3 结论

a. 采用非光滑叶片改变了叶栅出口流动分布特性. 非光滑叶片对叶栅出口流动特性的影响是由于叶片表面上的流向微槽改变了叶片表面上流体的流动特性造成的.

b. 采用非光滑叶片减少了叶栅损失. 相对于光滑叶片, 非光滑叶片减少叶栅损失的相对值最大约为 16.5%, 最小约为 9.1%.

c. 采用非光滑叶片, 叶栅出口流场趋于均匀, 叶片可以承受更大的负荷.

参考文献:

- [1] 赵桂林, 闻洁, 何龙德等. 非光滑叶片叶栅的气动性能[A]. 中国工程热物理学会热机气动热力学学术会议论文集[C], 1997.
- [2] 闻洁, 赵桂林. 非光滑叶片对叶栅出口损失分布影响的实验研究[J]. 航空动力学报, 2000, 15(1): 44~46.
- [3] 赵桂林, 闻洁, 何龙德等. 非光滑叶片对叶栅流道内通道涡影响的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2000, 21(6): 386~390.

