

文章编号: 1000-8055(2001)03-0283-04

# 非光滑叶片对叶栅出口流向涡系的影响

闻洁<sup>1</sup>, 赵桂林<sup>2</sup>, 何龙德<sup>2</sup>, 彭辉<sup>2</sup>

1. 北京航空航天大学 402教研室, 北京 100083;  
2. 中国科学院 力学研究所, 北京 100080

**摘要:** 在低速平面叶栅风洞中对光滑叶片及非光滑叶片叶栅进行了实验研究, 在叶栅出口进行了详细的测量, 通过测量结果的对比分析, 探讨非光滑叶片对叶栅出口流向涡系的影响。实验结果表明, 与光滑叶片相比, 非光滑叶片对叶栅出口流向涡系中, 通道涡在节距方向上移向叶栅通道中心处, 强度几乎不变, 尾缘涡发生展向扩展并分裂, 强度明显减弱。

**关键词:** 非光滑叶片; 流向涡系; 叶栅

中图分类号: V 232. 4

文献标识码: A

## 1 实验模型

气流通过叶栅流道后在叶栅出口形成了流向涡系<sup>[1]</sup>, 它主要包括通道涡、尾缘涡和壁角涡等。流向涡系中诸涡的位置、尺度和强度等决定着叶栅损失大小和叶轮机械性能的好坏。非光滑叶片能引起叶栅出口处能量损失系数减少<sup>[2]</sup>, 叶栅流道内通道涡的位置和强度变化<sup>[3]</sup>, 本文则通过实验来研究非光滑叶片对叶栅出口流向涡系的影响。

实验在低速平面叶栅风洞上进行, 实验叶栅用直叶片叶栅, 实验膜片的几何尺寸以及实验叶栅的主要几何和气动参数见文献[2]。

## 2 实验结果

图1是光滑叶片叶栅和3种非光滑叶片叶栅出口处主流垂直面内的二次流速度场, 该图可反映叶栅出口流向涡系中诸涡的变化。在光滑叶片叶栅出口(图1(a)), 靠近叶片中分面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。尾流区中叶展中部附近的二次流动比较复杂, 存在着一个

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。叶栅出口处的通道涡、壁角涡和尾缘涡构成了叶栅出口流向涡系。对非光滑叶片叶栅, 由图1(b), (c), (d)可观察到, 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, 从光滑叶片时的约20%节距移到约25%节距处, 在叶高方向上通道涡的位置则几乎不变, 比较图1(b), (c), (d)可见, 非光滑叶片对通道涡位置的这一影响不随叶片表面上流向微槽几何尺寸的变化而变化。由于难以在非常靠近叶栅端壁处进行详细测量, 因此叶栅出口的壁角涡的变化不易观察到。流向涡系中尾缘涡受非光滑叶片的影响最大, 首先, 与光滑叶片叶栅相比, 非光滑叶片叶栅出口尾迹区内靠近吸力面附近的二次流速度矢量减小, 其展向速度分量明显减小, 展向流动明显减弱, 说明尾缘涡的强度减弱了。其次, 在尾流区中, 尾缘涡的位置从吸力面附近向流道中心移动, 说明尾缘涡在节距方向上向流道中心处移动。第三, 尾缘涡的尺度在叶展方向上向叶栅端壁有所扩展。比较图1(a), (b), (c)和(d), 可以看出非光滑叶片对尾缘涡的影响以流向微槽高度为  $h = 60 \mu\text{m}$  的非光滑叶片最显著。

图2是光滑叶片叶栅和三种非光滑叶片叶栅

收稿日期: 2000- 09- 26; 修订日期: 2000- 12- 30

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(1964- ), 女, 北京航空航天大学402教研室副教授, 博士

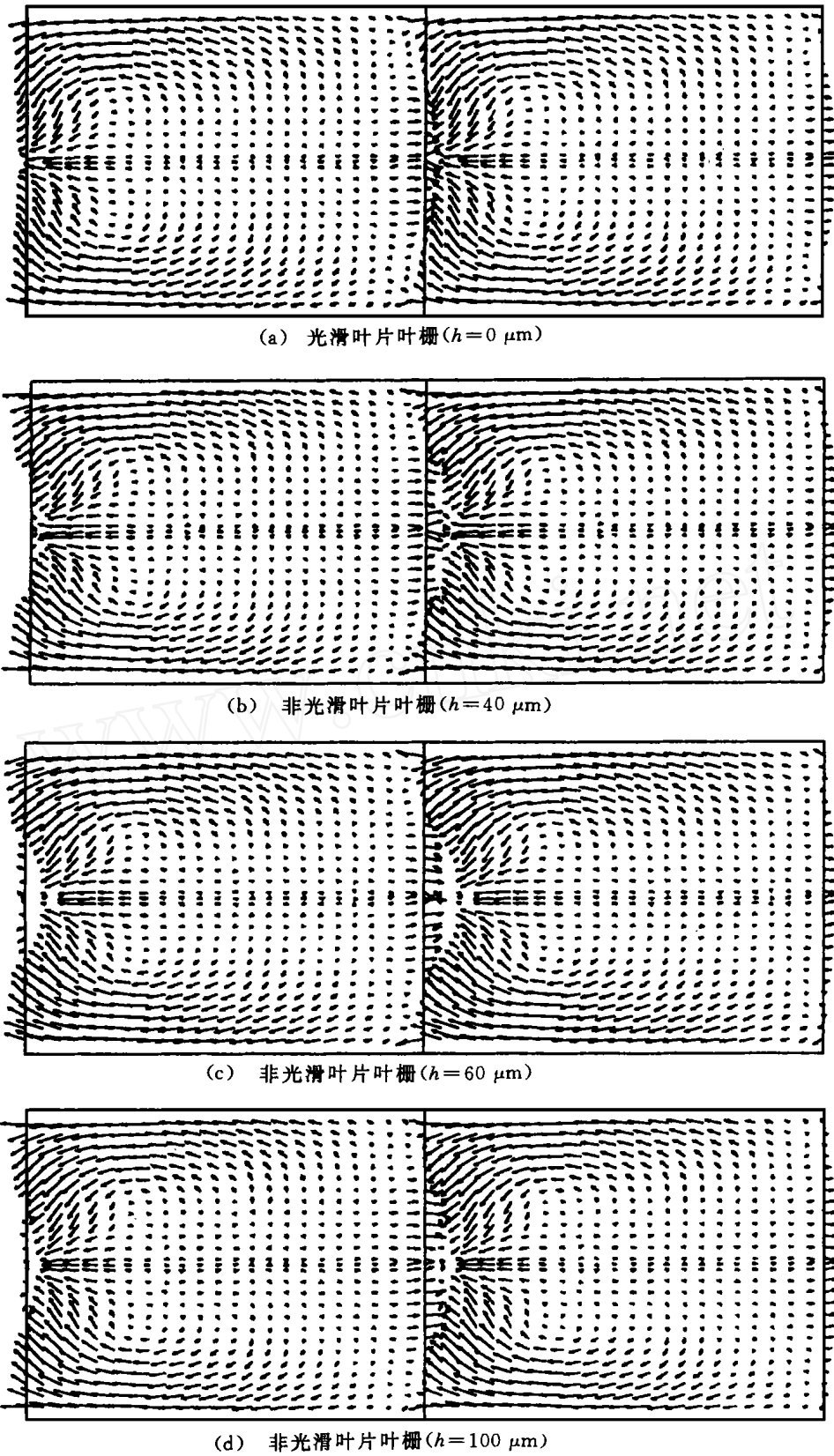


图1 4种叶片叶栅出口主流垂直面内的二次流速度场

出口主流垂直面内的二次涡量等值线分布, 该图可以反映叶栅出口流向涡系中诸涡位置和强度的

变化。图中取逆时针旋转的旋涡的二次涡量为正。对光滑叶片叶栅(图2(a)), 由进口马蹄涡的压力

面分支在叶栅出口截面内生成了靠近上端壁的正涡量区域和靠近下端壁

的负涡量区域, 这两个区域的核

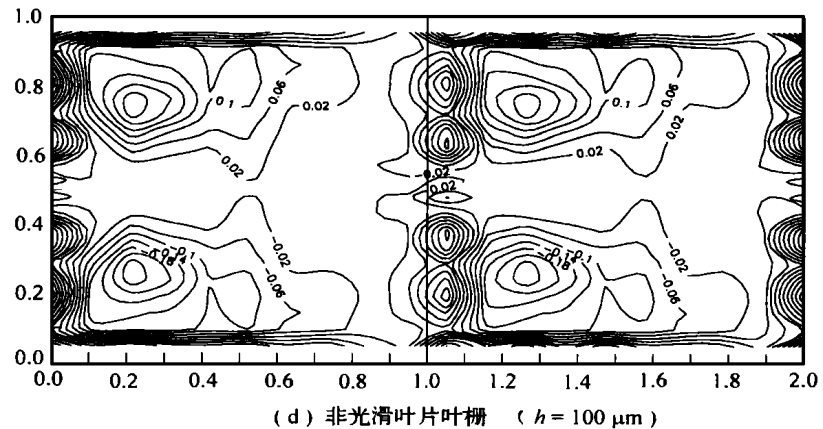
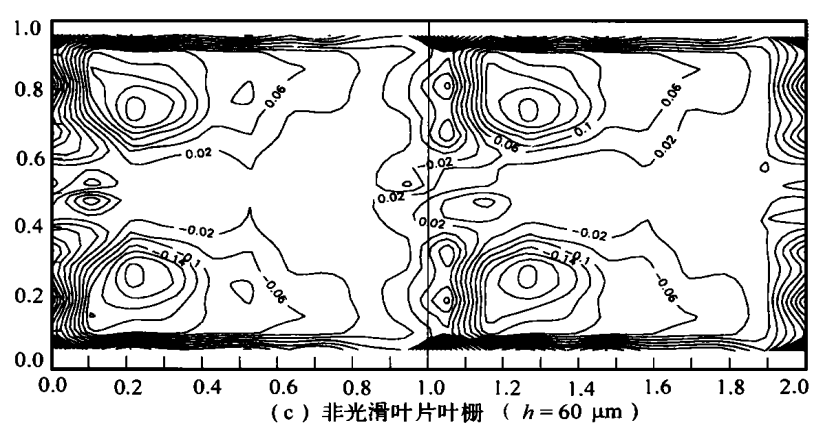
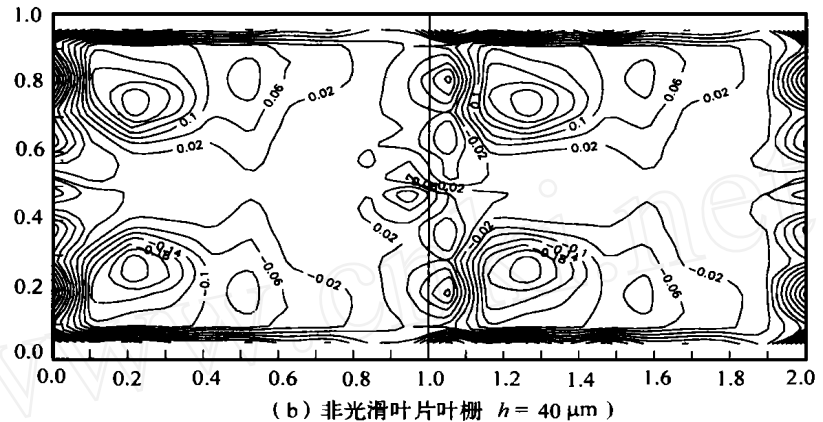
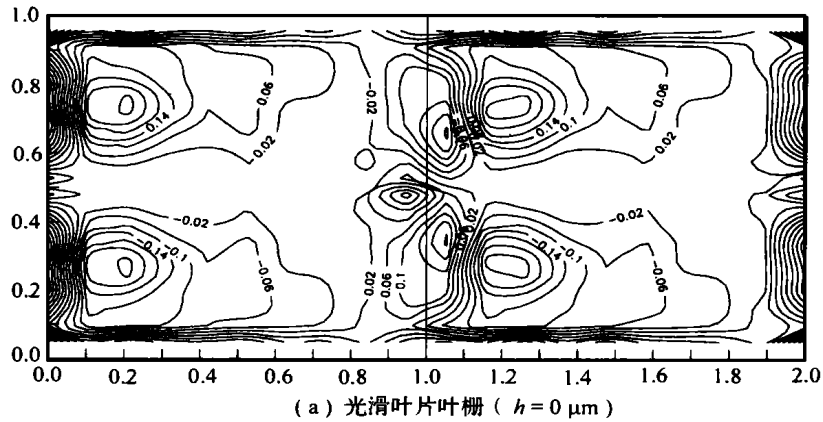


图2 4种叶片叶栅出口主流垂直面内的涡量等值线分布

节距处,这两个区域几乎控制着整个出口流场,这是流向涡系中的上、下通道涡。在尾流区中吸力面附近,存在靠近下端壁的正涡量区域和靠近上端壁的负涡量区域,其核心分别在约35%和65%叶高处,这是流向涡系中的尾缘涡。从图中可以看出相邻的通道涡和尾缘涡旋转方向相反。对非光滑叶片叶栅(图2(b), (c), (d)),叶栅出口流向涡系中诸涡有不同的变化。与光滑叶片叶栅出口相比,通道涡中心处的二次涡量值大小几乎不变,说明通道涡的强度不变,通道涡核心的位置沿叶高几乎没有移动,在节距方向上则向通道中心处移动,由光滑叶片的离吸力面约20%节距处移到约25%节距处,3种非光滑叶片叶栅通道涡位置的变化几乎相同。与光滑叶片叶栅相比,非光滑叶片叶栅出口流向涡系中尾缘涡的变化十分明显,其尺度在叶高方向上向叶栅端壁扩展,靠近上、下端壁的尾缘涡由于扩展的作用分裂为旋转方向相同的两个旋涡,靠近下端壁的两个旋涡的核心分别在20%和40%叶高处,靠近上端壁的两个旋涡的核心分别在60%和80%叶高处,这种现象随非光滑叶片表面上流向微槽几何尺寸的增大而加剧, $h=100\mu\text{m}$ 的非光滑叶片最为明显。尾缘涡的位置在尾流区内有从压力面向吸力面移动的趋势,在压力面附近的涡量明显减小,但尾缘涡核心的位置在节距方向上几乎不变。由于靠近上、下端壁的尾缘涡在展向扩展并发生分裂,因此尾缘涡的强度减弱,这在流向微槽高度为 $h=60\mu\text{m}$ 的非光滑叶片叶栅出口二次涡量等值线分布中最为明显。

实验结果(图1和图2)表明,与光滑叶片相比,采用非光滑叶片后,叶栅出口流向涡系中诸涡发生了诸多变化,尤其是尾缘涡的变化十分明显。分析原因认为,首先是叶片表面上的流向微槽阻止

了叶片表面上附面层沿流向的增长和分离,改变了叶片表面的流动特性,由于叶片表面上附面层的发展受到抑制,因此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。其次是叶片表面上的流向微槽抑制了附面层的展向(沿叶高方向)发展,因此尾缘涡的生成受到抑制,造成了尾缘涡在展向的扩展。第三是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,结果引起通道涡和尾缘涡位置发生移动。

### 3 结 论

与光滑叶片相比,采用非光滑叶片对叶栅出口流向涡系中的诸涡影响明显,第一,通道涡的位置在节距方向上也移向叶栅通道中心,在叶高方向位置不变,通道涡的强度几乎不变。第二,尾缘涡在展向扩展并产生分裂,分裂后生成的旋涡核心的位置有所变化,尾缘涡的强度明显减弱。叶栅出口流向涡系中诸涡的变化是由于叶片表面上流向微槽抑制了叶片表面附面层在流向和展向的发展,改变了叶片表面上的流动分布造成的。

### 参考文献:

- [1] 韩万今等. 透平叶栅内集中涡系控制方法的研究[J]. 动力工程, 1993, 11(3): 11- 16
- [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

(责任编辑 杨再荣)

## Effects of Non-Smooth Blades on the Cascade Exit Streamwise Vortex Systems

WEN Jie<sup>1</sup>, ZHAO Gui-lin<sup>2</sup>, HE Long-de<sup>2</sup>, PENG Hui<sup>2</sup>

1. 4th Dept., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;  
2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

**Abstract:** An experimental investigation on the cascades equipped with conventional smooth blades and non-smooth blades was carried out in the low speed plane cascade wind tunnel, so as to study the effects of non-smooth blades on the exit streamwise vortex systems. The experimental results show that the non-smooth blades exert a distinct influence on the exit streamwise vortex systems. The locations of the passage vortex and trailing vortex shift toward the centre of cascade passage, and the intensity of the trailing vortex weakens.

**Key words:** non-smooth blade; streamwise vortex systems; cascade