

表面具有流向微槽的叶片叶栅气动性能分析*

闻 洁

赵桂林

(北京航空航天大学 402 教研室) (中国科学院力学研究所)

【摘要】在综合考虑了叶片叶栅损失机理和流向微槽表面减阻机理的基础上,分析了叶片表面和叶栅端壁上具有流向微槽时叶片叶栅的气动性能。分析认为流向微槽可以改善叶栅流道内的流动状况,起到降低叶栅损失、提高叶栅效率的作用。

关键词: 叶片 叶栅 气动性能 流向微槽

0 前 言

提高叶轮机械效率的重要途径之一是提高其通流部分的效率,因此降低静叶片叶栅和动叶片叶栅流道中的能量损失,改善流道内的流动分布,是提高叶轮机械效率的关键研究课题之一。

要合理、有效地降低叶栅损失,改善叶轮机械的气动性能,提高其效率,有必要深入了解叶轮机械内部的复杂流场和损失机理。经过各国研究者多年的研究,对叶栅流场和损失机理有了一定的了解,认为叶栅损失主要包括叶型损失、二次流损失、尾迹损失和尖漏气损失等。其中叶型损失与叶片表面附面层的生长有关,包括叶片表面附面层摩擦损失和附面层分离引起的涡流损失。二次流损失与叶栅通道内的一系列漩涡如前缘涡、通道涡、尾涡等有关,包括叶栅端壁飞机附面层的生长以及各种漩涡和分离流动引起的损失。尾迹损失主要包括叶片表面附面层的分析和发展生成的漩涡在叶栅出口处尾迹区中造成的涡流损失。叶尖漏气损失主要指动叶叶尖与叶栅外环端壁之间间隙漏气所造成的损失。上述叶栅损失的几部分除叶尖漏气损失外,其余3种都与叶片形状及叶栅本身有关,

而且它们占总损失的绝大部分^[1,2]。

经过几十年的努力,各国学者在减少叶栅损失的研究中取得了很大的进展,提出了一些方法,如通道子午收缩及内外壁成型法、可控涡法、附面层隔离法、漩涡控制附面层法、绕流控制法、机匣处理法、弯扭叶片等,这些方法中有的已经得到实际应用,推动了现代高效叶轮机械的发展。但是,各国研究者寻找更好的减少叶栅损失、提高叶轮机械效率方法的努力一直没有停止,在此情况下,根据流向微槽表面减阻机理的研究结果,分析了流向微槽用于叶片表面和叶栅端壁时叶片叶栅的气动性能,以期为进一步改善叶轮机械的气动性能、提高其效率提供更有效的方法。

1 流向微槽表面的减阻机理

很久以来,许多人都认为表面越光滑,其摩擦阻力越小。可是,70年代前后,有研究者发现,在某些条件下,非光滑表面的摩擦阻力反而要比光滑表面的要小。这一发现立刻引起了许多研究者的兴趣,经过二十多年的研究,至今已提出了多种几何形状不同而且表面摩擦阻力小的非光滑表面,如流向微槽表面(Riblets)、表面大涡破碎装置(LEBUs)、D型粗糙面等,其中流向微槽表面减阻及其减

收稿日期:1998-01-05

* 国家自然科学基金资助项目

阻机理的研究最为成功。

最早Walsh^[3]发现表面具有流向微槽的平板与光滑平板相比,摩擦阻力减少了约8%,此后许多研究者都得到了相似的结论。Choi^[4]通过流动显示对流向微槽表面减阻机理进行的研究发现,流向微槽改变了湍流的近壁结构,抑制了流向涡的横向运动,减弱了流向涡的发展,同时在微槽内集聚了大量的低动量流体,减少了近壁动量交换,进而减少了表面摩擦阻力。

虽然目前关于流向微槽表面减阻及减阻机理的研究仍在进行中,但是其应用研究已经十分广泛,主要是将流向微槽用于飞机、船舶、各种管道等的减阻研究,而且已得到令人满意的结果^[5~7]。其中令我们感兴趣的是Moore, et al^[7]将流向微槽应用于矩形管道的实验研究,结果表明流向微槽不但使矩形管道内的表面摩擦阻力系数减少了约10%,而且减弱了矩形管道内的二次流。这些研究结果对分析流向微槽应用于叶片表面和叶栅端壁上时叶片叶栅气动性能的变化具有很重要的指导意义。

2 叶片表面和叶栅端壁上具有流向微槽的叶片叶栅气动性能分析

前面分别介绍了叶轮机机械叶片叶栅的损失机理、流向微槽表面减阻机理以及流向微槽表面的应用研究结果,在综合了这些研究结果后,我们认为叶片表面和叶栅端壁上具有流向微槽时对叶片叶栅的气动性能会有很大的影响,下面进行更详细的分析。

首先,叶片表面上具有流向微槽时,流向微槽可以阻止叶片表面上附面层的生长和分离。一方面减少了叶片表面的摩擦损失,另一方面减少了附面层的分离在叶栅流道内及叶栅出口处造成的损失,从而达到了减少叶型损失和尾迹损失的效果;其次,叶栅端壁上具

有流向微槽时,流向微槽可以抑制叶栅端壁附近附面层的生长,阻碍流动的分离,减弱流向涡的发展进而减弱叶栅流道内的漩涡运动,最终可减少二次流损失。

通过以上分析可见,流向微槽用于叶片表面和叶栅端壁时对叶片叶栅气动性能影响很大,可以起到降低叶栅损失,改善叶栅通道内的流动状况,提高叶栅通流部分的效率的作用。在叶片表面和叶栅端壁上使用流向微槽可为改善叶轮机的气动性能、提高其效率提供一个新方法。

3 推论

通过综合分析叶栅损失机理和流向微槽表面减阻机理及应用的研究结果,提出了一种新想法,这种想法是在叶片表面和叶栅端壁上使用流向微槽,使常规的光滑叶片叶栅变为叶片表面和叶栅端壁上都具有流向微槽的非光滑叶片叶栅。分析认为,这种叶片叶栅可以降低叶栅损失,减弱叶栅通道内的漩涡,改善叶栅流道内的流动状况,提高叶栅效率。这种叶片叶栅为提高叶轮机效率提供了一个新方法,开辟了一个新思路。

参考文献

- 1 L S Langston, M L Nice and R M Hooper. Three-dimensional flow with in a turbine blade passage. *ASME J. of Eng. for Power*, 1977, 99(1): 21~ 28
- 2 O P Shama and T L Butler. Prediction of endwall losses and secondary flow in a axial flow turbine cascade. *ASME J. of Turbomachinery*, 1987, 109(2): 229~ 236
- 3 M J Walsh. Turbulent boundary layer drag reduction using riblets. *AIAA paper* 82- 0169, 1982
- 4 K S Choi. Near-wall structure of a turbulent boundary layer with riblets. *J. of Fluid mech.*, 1989, 208: 417~ 458
- 5 M J Walsh. "Riblets". *DM*. In Bushnell and J N Hefner (eds). *Viscous drag reduction in turbulent boundary layer*, 1990, 203~ 261
- 6 E Coustols and A M Savill. Turbulent skin friction drag reduction by active and passive means part 1 and part 2. In AGARD rep 768, *Special course on skin friction drag reduction*, 1992, 8- 1~ 8- 55
- 7 A R Moore and M V Lowson. Drag reduction in a rectangular duct using riblets. *Aeronaut. J.*, 1995, 99 (985): 187~ 193