

自由流紊流度对串列叶栅性能的影响

南京航空航天大学 周正贵** 吴国钊

【摘要】 通过实验,测量了自由流紊流度(T_u) 在 1.4%- 6.7% 范围内,一双圆弧串列叶栅总压损失系数、气流转角、附面层内速度分布以及吸力面压力系数。结果表明: (1) 当 T_u 小于大约 3% 时,随着 T_u 增加,总压损失明显降低; 当 T_u 大于 3% 时, T_u 变化对总压损失几乎无影响。 (2) T_u 在 1.4%- 6.7% 范围内变化对气流转角无影响。 (3) T_u 增加,对前排叶片吸力面靠近前缘部分附面层有利影响。

关键词: 串列叶栅 紊流流动 总压损失系数 流动特性

分类号: V 231.3 TK474.8

气流流经多级轴流压气机通道时,其紊流有很大变化^[1]。明确自由流紊流度对叶栅性能影响可以帮助预测在低紊流度的常规风洞中吹风实验过的叶栅,在实际工作环境中的性能变化;可以通过改变紊流度改进叶栅性能。文献[2]详细研究了 C-4 叶型压气机叶栅,在不同自由流紊流度下的叶片表面附面层转捩和分离情况。文献[3]通过实验和研究了自由流紊流度对叶栅损失和气流转角的影响。以上研究均限于单列叶栅。本文通过实验研究了自由流紊流度对一串列叶栅总压损失、气流转角以及叶片吸力面附面层的影响。

1 实验设备及测量手段

实验平面叶栅风洞试验段截面面积为 $400\text{ mm} \times 250\text{ mm}$,端壁上开有吸气槽,一 2 kW 离心风机用于端壁附面层吸除。实验叶栅为双圆弧串列叶栅,其主要几何参数列于表 1。

表 1 串列叶栅主要几何参数

C_F (mm)	C_R (mm)	β_{2KR} (°)	a (mm)	h (mm)	C_T (mm)	l (mm)	β_{2KR} (°)
150.0	102.7	99.0	22.5	75.3	157	110.5	36.0

为了改变叶栅进口处气流紊流度,采用了 4 种规格紊流网。紊流网由纵横向等间距的圆棒搭叠而成;相邻圆棒间距 M 分别为 45、40、38、28 mm,圆棒直径 b 分别为 10、8、6、6 mm。紊流网平行于叶栅前缘线位置,并且网平面与叶栅前缘线之间距离不小于 600 mm (见文献[4])。

叶栅进口紊流度采用 TSI 公司恒温式热线风速仪在叶栅上游一个弦长(C_T)处测量;叶栅出口总压和速度方向在叶栅下游一个弦长处测量,叶片表面附面层内速度分布采用微型皮托管沿壁面垂直方向测得壁面附近总压分布,根据该处壁面静压计算出对应的速度分布。

2 实验结果分析

所有实验都在 0 攻角, 以总弦长 C_T 为特征长度的雷诺数为 6.0×10^5 条件下完成的。

自由流紊流度增加, 使前排叶片吸力面前部分压力系数变化明显, 而对后半部分影响较小, 见图 1 (图 1- 图 4 中 $\circ T_u = 1.4\%$, $\square T_u = 3.2\%$, $+ T_u = 6.7\%$)。当 $T_u = 1.4\%$ 时, 在吸力面很大一部分区域压力系数基本保持不变, 原因可能是在此产生了层流分离气泡。这是因为前排叶片前部分附面层为层流, 而层流附面层与主流动量交换能力相对较弱, 当来流紊流度增加时, 可显著加强附面层与主流的动量交换, 改变附面层内流动, 因而对这个区域的压力系数改变较大。而对于前排叶片吸力面后半部分区域, 由于附面层已处于紊流状态, 紊流度增加对其影响较小。图 2(a- c) 为前排叶片吸力

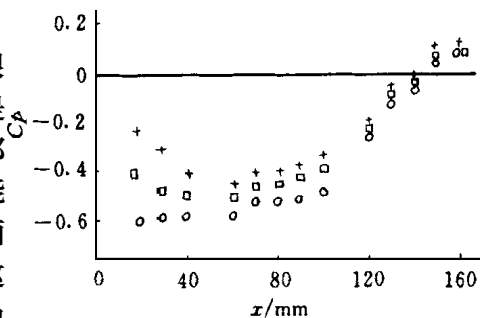


图 1 前排叶片吸力面压力系数

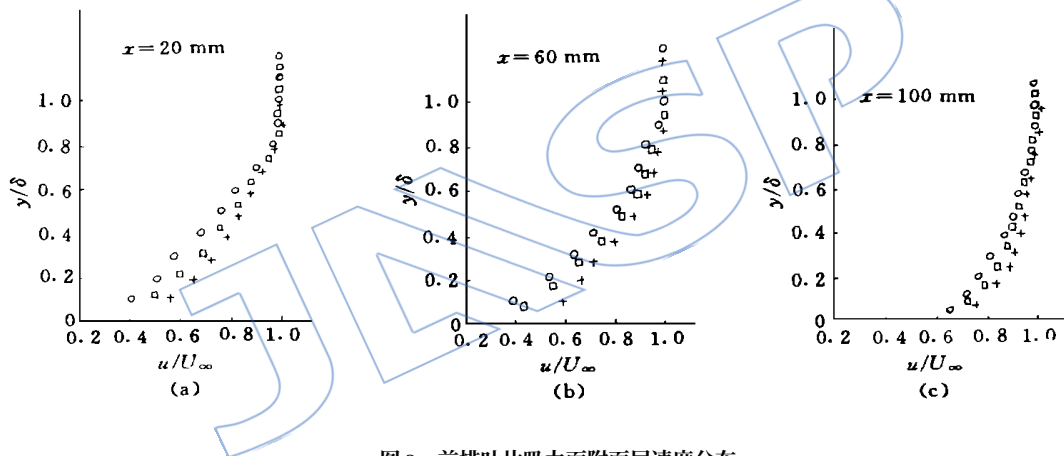


图 2 前排叶片吸力面附面层速度分布

面三个截面附面层内的速度分布。图中显示, 增加自由流紊流度可使附面层内速度分布变饱满; 而随着对下游推进, 紊流度对附面层速度分布影响越小, 这种趋势与压力系数分布是一致的。

由图 3 知, 紊流度改变, 对后排叶片吸力面压力系数几乎无影响; 而对距后排前缘 40、60、100 mm 处附面层内速度分布测量表明紊流度对其速度分布也无影响, 如图 4。前排叶片和后排叶片之间间隙使得流经此处的气流被加速, 这样后排叶片叶背附面层动量较高, 加之后排叶片叶背附面层原本处于紊流状态, 因而增加紊流度对附面层与势流区动量交换影响较小, 故对附面层本身影响较小。

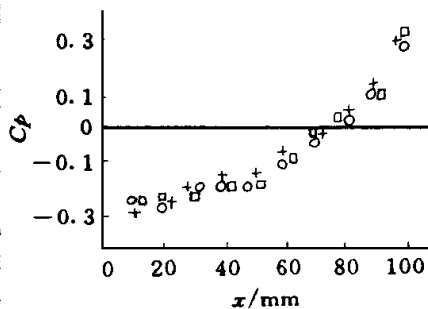


图 3 后排叶片压力面压力系数

增加自由流紊流度可明显改善前排叶片吸力面部分附面层状态, 减小或消除层流分离; 同时由于附面层内动量增加, 使得前后排叶片在尾缘附近维持较大的逆压梯度而不分离, 即推迟尾缘附近的紊流分离。但是紊流度增大, 气流的紊流粘性耗散也相应增加。紊流度较小时, 增

加紊流度,粘性耗散的影响较次要,因而叶栅总压损失系数 ω 下降;紊流度较大时,增加紊流度,上述作用相互抵消,总压损失系数不再随自由流紊流度而变化,如图5所示。

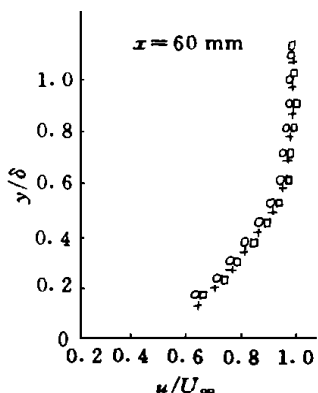


图4 后排叶片吸力面附面层内速度分布

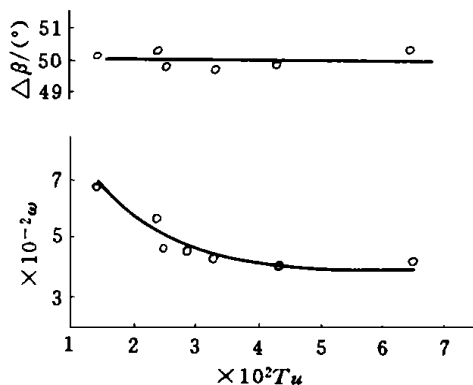


图5 叶栅总压损失系数和气流转角

对于单列叶栅,紊流度分别在1%-3%及1%-5%范围内,随着自由流紊流度增加,由于其对吸力面附面层的有利影响,因而气流转角 $\Delta\beta$ 增加^[1,3]。本文对串列叶栅实验结果表明, T_u 在1.4%-6.7%范围内变化, $\Delta\beta$ 基本不变(见图5)。 T_u 增加对前排叶片叶背附面层有明显有利影响,结合文献[1,3]结论,可认为前排叶片气流转角增大,落后角减小。而前排叶片落后角减小,相当于后排叶片进口攻角减小,只要减小数值不大,对后排叶片落后角就不会产生影响,而又由于后排叶片吸力面附面层对紊流度变化不敏感,因而总的来说,可以认为 T_u 变化对后排叶片落后角不会产生明显影响。而叶栅气流转角 $\Delta\beta$ 仅与进气角和后排叶片落后角有关,因而 T_u 变化,对 $\Delta\beta$ 无明显影响。由此,自由流紊流度变化,对串列叶栅加功量无影响。

结论 (1)当自由流紊流度小于大约3%时,随着 T_u 增加,总压损失系数明显下降;当 $T_u \geq 3\%$ 时, T_u 变化对总压损失系数几乎无影响。(2) T_u 在1.4%-6.7%范围内变化时,对串列叶栅气流转角无影响。(3) T_u 增加,对前排叶片吸力面靠近前缘部份附面层有有利影响。

参 考 文 献

- 1 Dzung L S 编,张文清等译 叶栅流的研究 国防工业出版社,1978
- 2 Evans B J. Freestream Turbulence Effects in a Compressor Cascade Ph D. Thesis, Cambridge University, 1970
- 3 Evans R L. The Effects of Freestream Turbulence on the Profile of Boundary Layer and Losses in a Compressor Cascade A S M E Paper 84- GT- 242, 1984
- 4 Baines W D, Peterson B G. Investigation of Flow Through Screens Trans of A S M E 50- A - 23, 1951: 467- 480
- 5 Hoffmann J A et al The Influence of Freestream Turbulence on Turbulent Boundary Layers with Mild Adverse pressure Gradients N A S A - CR- 184677, 1989

(责任编辑 魏星禄)