

## 双圆弧串列叶栅流动性能的试验研究

南京航空学院 庄表南 吴国钊 郭秉衡

本文研究了三种不同弦长比、弯度比的双圆弧串列叶栅,并改变其轴向位移和周向位移等参数,在 $M_1=0.3$ ,  $Re=2 \times 10^5$ 下进行了吹风试验。得到了该叶栅的主要流动特性,如气流转角 $\Delta\beta$ 和气流流动损失系数 $\overline{\omega}$ 随气流攻角 $i$ 的变化关系;找出最佳工作状态下的主要几何参数变化范围。并将试验结果绘制成图表和曲线,供设计压气机串列叶片时参考。

试验件有三套,分别参考透默 IIIc、J69、J85串列叶片某截面叶型的几何进出口角、弦长、弯度、稠度等参数,用双圆弧叶型座标的计算机程序设计成。每套叶栅又按不同的轴向距离、周向偏距、叶片安装角等排列成几种组合,共有24组。为了便于分析比较,规定叶栅试验件的编号如下:参考透默 IIIc设计的为241型,其中又有8种组合,编号分别为2411~2418。参考J69设计的为242型,其中又有9种组合,编号分别为2421~2429。参考J85设计的为243型,其中又有7种组合,编号分别为2431~2437。试验是在我院叶栅风洞实验室进行的。它有一套精密的测试装置和自动控制装置,故测试所得数据及运算结果是相当精确的。

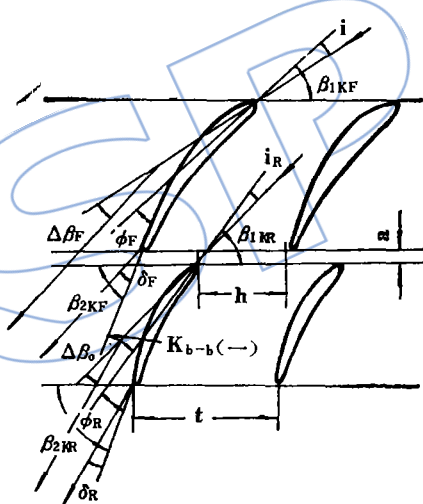


图1 串列叶栅示意图

### 一、试验结果和讨论

1. 由241型串列叶栅的正常特性线(图2和3)可见:当攻角相同时,2416的 $\Delta\beta$ 为最大,2417的 $\Delta\beta$ 为小,两者相差接近 $4^\circ$ 。损失系数 $\overline{\omega}$ 以2418为最小,约为0.04;若 $\overline{\omega}$ 限为不大于0.06,则2418的 $\Delta\beta_{\max}$ 为最大,达到 $60^\circ$ ,工作范围最宽,为 $-4.3^\circ \sim +7.5^\circ$ ,综合性能也最好。其相对偏距 $h/t$ 达0.833,亦即其缝隙宽度较小,使气流在缝隙槽道中加速流动,前叶片低压面上的扩压度较小,边界层厚度减小,故前叶片损失较小。同时因更多地吹除了后叶片上的附面层,改善了气流在后叶片上的流动性能,从而也减小了后叶片上的损失,由此看来,2418号串列叶栅的 $h/t$ 和相对轴向距离 $a/C_F$ 的配合是比较好的。

2. 由242型串列叶栅的正常特性线(图4~5)可见,当攻角相同时,2424的 $\Delta\beta$ 最大,

2423的最小, 两者差 $6^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 。2423和2427的损失系数 $\bar{\omega}$ 最小, 分别为0.055和0.054。若 $\bar{\omega}$ 限为不大于0.06, 则仍以2424的 $\Delta\beta_{\max}$ 为最大,  $\Delta\beta_{\max} = 53.3^{\circ}$ , 2427的工作范围最宽, 为 $-4^{\circ} \sim 3.4^{\circ}$ 。进一步分析图4和图5的试验结果, 看出综合性能最好的是2424。 $\Delta\beta_{\max}$ 最大为 $\bar{\omega}_{\min}$ 比最小的稍大一些, 为0.056, 工作范围为 $-4.5^{\circ} \sim +1^{\circ}$ , 其性能较好的原因,  $53.3^{\circ}$ , 主要是 $h/t$ 较大, 并与 $a/C_F$ 的配合较适中, 改善了前、后叶片的流动状况。

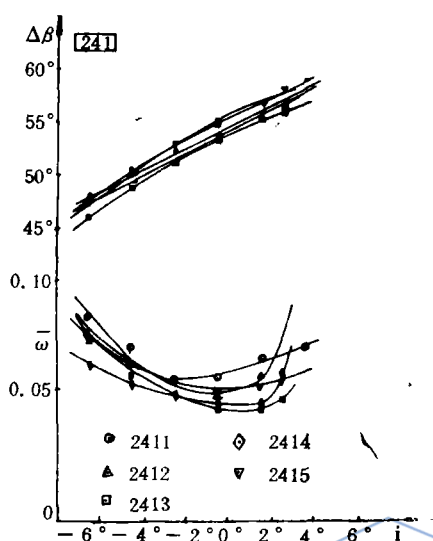


图2 2411~2415号特性线

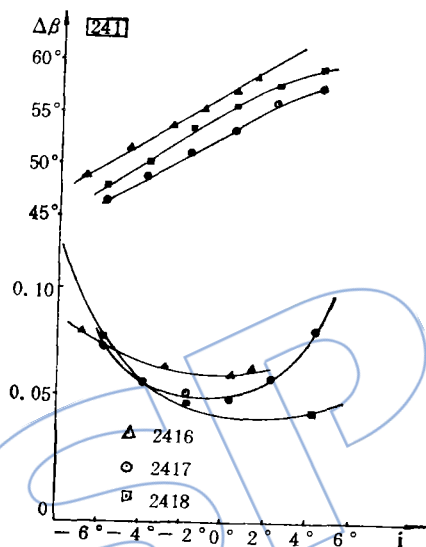


图3 2416~2418号特性线

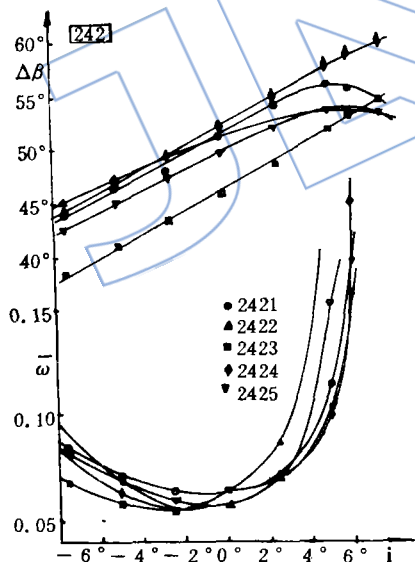


图4 2421~2425号特性线

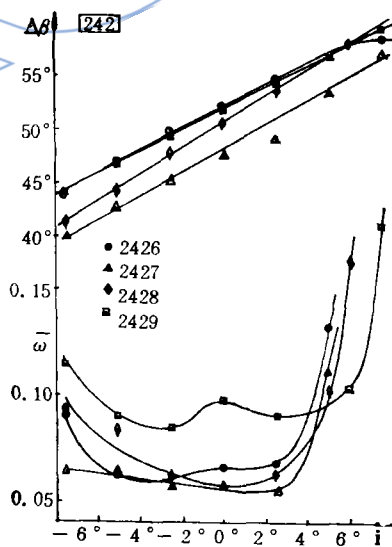


图5 2426~2429号特性线

3. 由243型串列叶栅的正常特性线(图6)可见, 当攻角相同时, 2432的 $\Delta\beta$ 最大, 2433的最小, 两者差 $8^{\circ} \sim 9^{\circ}$ , 其余5种组合的 $\Delta\beta$ 相差不大, 2432的 $\bar{\omega}$ 最大, 2433的最小, 两者相差4.5%以上。243型叶栅的损失系数都比较大,  $\bar{\omega}$ 都大于0.06, 故若 $\bar{\omega}$ 限为不大于0.08, 则2437的 $\Delta\beta_{\max}$ 最大, 约 $44.8^{\circ}$ ; 2433的最小, 为0.06; 2433的工作范围最宽, 为 $-7^{\circ} \sim$

+8.5°。总的看来,2434和2437的性能较好些, $\Delta\beta_{\max}$ 比较大些,分别为44.5°和44.8°; $\bar{\omega}_{\min}$ 分别为0.07和0.069。243型叶栅性能较差的原因之一是, $C_R/C_F$ 值较大,即后叶片弦长相对来说较长,附面层厚度增长较大,故叶片损失增加。

4. 几何参数变化对性能的影响:相对周向偏距 $h/t$ 和相对轴向距离 $a/C_F$ 的变化对串列叶栅流动性能的影响,由试验结果分析得出的结果列出如下:

| 叶型<br>编号 | $a/C_F$         | $(h/t)_{\text{opt. } \Delta\beta_{\max}}$ | $(h/t)_{\text{opt. } \bar{\omega}_{\min}}$ |
|----------|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 241      | $\approx 0.06$  | 0.8~0.85                                  | 0.8                                        |
| 242      | $\approx 0.036$ | 0.7~0.8                                   | 0.7~0.8                                    |
| 243      | $\approx -0.03$ | 0.8~0.9                                   | 0.8                                        |

我们从试验结果中还看出,最大气流转角为最大值时的最佳周向偏距、最佳轴向距离与最小损失系数为最小值时的最佳参数并不一定相等,目的不同,要求不同,选择就不同。一般说,选择周向偏距和轴向距离不仅要兼顾气流转角和损失系数,而且还要考虑叶栅的工作范围。我们分析了各种试验方案中气流转角和损失系数性能好的,工作范围又宽的 $h/t$ 和 $a/C_F$ 为: $h/t > 0.75$ ,或者用下式表示:

$$(h/t)_{\text{opt}} = 0.730 + 0.824 \times |a/C_F + 0.042|$$

这与Bammert文章中提出的 $h/t$ 和 $a/C_F$ 的最佳值很接近。

## 二、几点简要的结论

1. 串列叶栅具有气流转角 $\Delta\beta$ 大,损失系数 $\bar{\omega}$ 小的特点。在 $\bar{\omega} = 0.06$ 时,最大气流转角 $\Delta\beta_{\max}$ 可达60°,最小损失系数 $\bar{\omega}_{\min}$ 为0.04。
2. 串列叶栅的相对周向偏距 $h/t = 0.75 \sim 0.85$ 比较好,不宜过小,也不宜过大。
3. 相对轴向距离 $a/C_F$ 应与 $h/t$ 相配合,可用下式来计算:  

$$(h/t)_{\text{opt}} = 0.730 + 0.824 \times |a/C_F + 0.042|$$
4. 串列叶栅的稠度选高一些较好,宜选 $C_T/t \approx 2.0$ 。
5. 串列叶栅的弦长比 $C_R/C_F$ 可在0.6~1.0内选择。
6. 串列叶栅的弯度比 $\phi_R/\phi_F$ 应大于1为宜。

(责任编辑 冯毓诚)

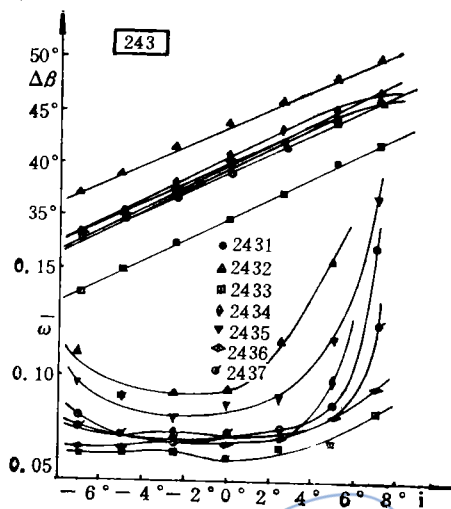


图6 2431~2437号特性线

ment with those of the experiments. It is shown that this technique meets the requirements for quantitative estimation.

## ANALYSIS OF HEAT TRANSFER OF FLUIDS OSCILLATING WITHIN PIPES

Zhu Gujun, Zhao Lingde, Cao Yuzhang

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

### Abstract

Heat transfer can be enhanced when fluid oscillates axially within pipes. A numerical analysis is given using the finite difference method. The relationship derived from differential equations and unambiguous conditions is written in the

form of  $\frac{a_e}{a} = f \left( \text{Wom}, \frac{\Delta S}{R}, \text{Pr}, \frac{L}{R} \right)$

where  $a_e$  — the effective thermal diffusivity,  $a$  — the thermal diffusivity,  $\Delta S$  — the tidal displacement of oscillation,  $R$  — the radius and  $L$  — the length of the pipe. The results obtained show that  $a_e/a$  is independent of  $L/R$  as  $L \gg \Delta S$  and proportional to the square of  $\Delta S/R$ , and its value increases with an increase in  $\text{Wom}$  or  $\text{Pr}$ . The numerical solution is in good agreement with the data of experiments.

## TECHNICAL NOTES

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON FLOW PERFORMANCE OF TANDEM BLADE CASCADES WITH DOUBLE CIRCULAR ARC PROFILES

Zhuang Biaonan, Wu Guochuan, Guo Bingheng

(Nanjing Aeronautical Institute)

### Abstract

Wind tunnel experiments have been made with 24 types of tandem blade cascades with different geometrical parameters. Under the conditions that the inlet Mach number is 0.3 and the Reynolds number is  $2.7 \times 10^5$ , the main flow characteristics of tandem cascades have been obtained, and the operation ranges of main geometrical parameters under optimum conditions have been found.

## SUPERSONIC AND TRANSONIC AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF SB301 TWO-DIMENSIONAL CASCADE WIND TUNNEL

Jiang Zhengli and Ma Jinxian

(Gas Turbine Establishment)

### Abstract

SB301 wind tunnel was designed to test two-dimensional cascades of compres-