

角区分离对声激励响应的初步研究*

贵州 011 基地二所 肖 波** 北京航空 航天大学 徐力平

【摘要】 对一小展弦比扩压器内的分离流的声激励控制进行了实验研究,并对此类声控的机理进行了初步探索。实验结果表明用外部声激励的方法可以控制小展弦比扩压器内的复杂分离流动;声控分离的效果依赖于激励强度和频率,而对激励位置并不敏感。介于未分离区和分离区间之间的分离过渡区中的湍流脉动模式决定了所观察到的非定常湍流分离的基本结构。在激励声波的作用下,角区旋涡被其调制加强,使过渡区的湍流脉动模式发生了很大的变化,加强了向分离区的能量输运,推迟角区旋涡在扩压器内逆压梯度作用下卷起,因而削弱了大尺度的分离流动。

主题词: 声激励 分离流动 控制问题 扩散管流动
分类号: O429 O357.5

1 引 言

国内、外许多研究者的研究成果表明利用弱激励的方法可以抑制附面层流动分离,而声波是常见的弱激励形式之一。Ahuja 和 Hsiao 等人分别用外部或内部声激励成功地控制了二维机翼的分离流动^[1-3]。但声控分离的机理迄今尚不清楚,且研究对象基本上是二维几何形状的外流或管道内流动。本文报道首例以小展弦比扩压器内的三维流动分离为对象,实施声激励成功减小分离尺度的实验研究,并探讨了在声波作用下附面层湍流结构的变化及声控分离的机理。实验结果表明:外部声激励可以有效控制小展弦比扩压器内的复杂分离流动。由于声波对角区旋涡的作用,加强了由未分离区向分离区的能量输运,增加流动动能从而推迟了角涡的卷起以及由此诱发的大尺度三维分离。

2 实验模型与设备

实验在北航动力系的低速射流式校准风洞上进行。实验模型为一小展弦比二元扩压器(图 1),扩张角为 20° ;由于扩张角较大,沿流向的逆压梯度将迫使角隅区的角涡折向,两分枝在扩压器中心汇合并向上卷起,形成复杂的三维分离流型。实验设备及测量系统见图 2。作为声激励源的扬声器标称功率 150 W。脉动速度测量

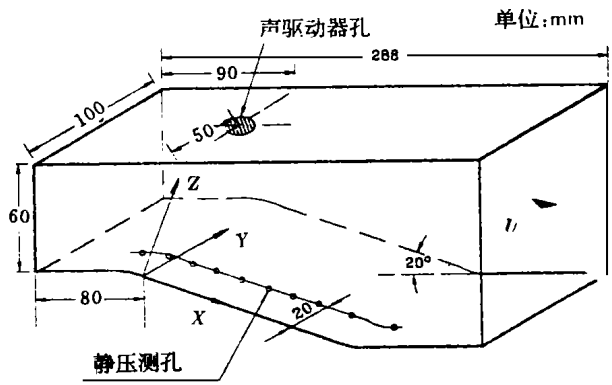


图 1 小展弦比二元扩压器

感头为 TSI 1287 分裂热膜探头, 可以测出两个速度分量的瞬时值并确定其方向, 其工作原理、

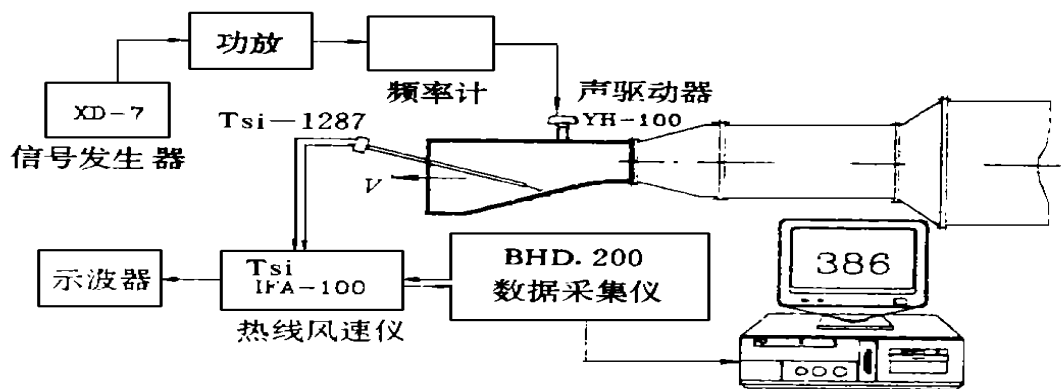


图 2 测量系统示意图

校准及使用、数据处理方法见文献 [4]。

3 实验测量结果和讨论

测量表明该扩压器内的分离为三维非定常分离, 分离的起源在扩压器底板与侧壁形成的角隅区内。声激励可有效地控制此类复杂分离流动。在声波作用下, 角隅区分离流动区内的速度分布由逆流型变成顺流型。在频率 $f = 340\text{ Hz}$, 激励水平 $SDL = 117\text{ dB(A)}$ 的声波作用下, 扩压器 $X = 32.5\text{ mm}$ 处的压力系数可提高 34.6% (图 3 中 $\square f = 340\text{ Hz}, V = 18.18\text{ v}$; $\triangle f = 280\text{ Hz}, V = 19.02\text{ v}$; $* f = 280\text{ Hz}, V = 20.55\text{ v}$; $+ f = 280\text{ Hz}, V = 15.36\text{ v}$; $\times f = 300\text{ Hz}, V = 19.00\text{ v}$; $\diamond f = 310\text{ Hz}, V = 19.20\text{ v}$), 低速区明显减小, 扩压器内的流场更趋均匀。外部声激励的参数实验表明, 控制效果强烈依赖声激励的频率和强度, 而对激励位置并不敏感。图 4 表明声控分离效果对激励频率的依赖关系, 在 $f = 300\text{--}400\text{ Hz}$ 间存在 3 个明显的峰区。在有效频率上, 存在一控制分离的激励强度“阈值”。气流 Re 数越低, 则控制效果越好 (图 3)。

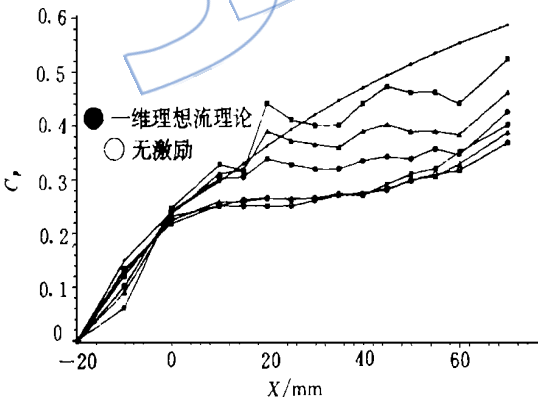


图 3 声控分离效果—沿流程压力系数分布

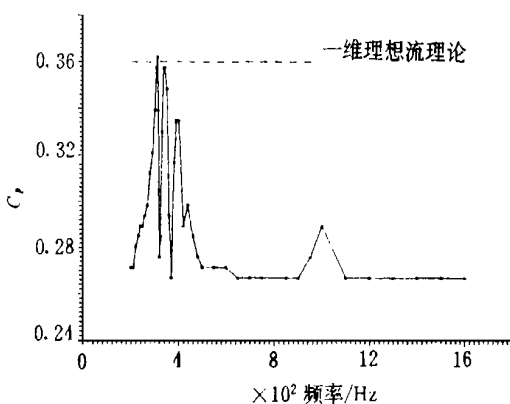


图 4 频率对激励效果的影响

声激励前后分离流场湍流结构的变化。非定常分离程度可用逆流率 γ 来表示:

$$\gamma = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T A \cdot dt$$

$$A = \begin{cases} 1 & \text{逆流} \\ 0 & \text{顺流} \end{cases}$$

图 5(a) 为声激励前后扩压器流场的逆流率变化, 激励后分离区的逆流率由 60%–70% 骤降至 10% 以下, 足见声波激励对流动分离的控制效果。在介于未分离区与分离区之间的过渡区, 对应于角涡中心位置, 间歇性在此区表现突出, 逆流率平均为 50% 左右。

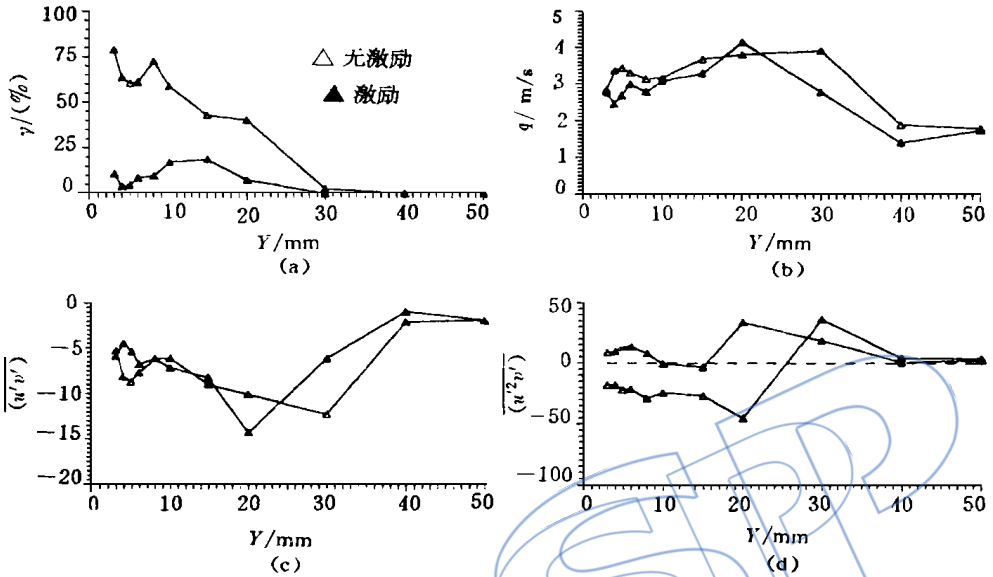


图 5 声激励前后气流动态参数沿扩压器展向的变化 ($X = 32.5 \text{ mm}, Z = 3 \text{ mm}$)

激励前后湍流的脉动 $q = (1/2) \sqrt{\overline{u'^2} + \overline{v'^2}}$, 见图 5(b), 声激励加剧了分离过渡区中的脉动, 但削弱其它区域内的脉动强度。分离过渡区的速度脉动因声激励增强, 动量输运增加, 因此雷诺应力较大。图 5(c)、(d) 为声激励对脉动动能输运的影响; 未受激励的流动分离区内, 脉动动能向外输运, 而分离区的外边界动能向壁面内输运; 而声激励加强了未分离区向分离区的动能输运, 增强了原分离区中的流动动能。

4 结 论

(1) 外部声激励可以有效地控制小展弦比二元扩压器内的三维非定常分离流动, 声控的效果强烈地依赖于激励声波的频率和激励水平, 而对激励位置不敏感。气流的雷诺数越低则声控分离的效果越好。(2) 在激励声波的作用下, 分离流场的湍流脉动模式发生了很大的变化, 加强了未分离区向分离区的能量输运, 推迟了分离。

参 考 文 献

- 1 Ahuja K K, Burrin R H. Control of Flow Separation by Sound. AIAA: 84- 2298
- 2 Hsiao F B, Liu C F, Shyu J Y. Control of Well- Separated Flow by Internal Acoustic Excitation. A IAA JOURNAL, 28: 1440 - 1446
- 3 卢奇正. 非定常涡升力的实验研究. 气动实验与测量控制, 1990, 4(2)
- 4 肖波. 湍流附面层及其分离流对声激励的响应: [硕士学位论文]. 北京航空航天大学, 1993
- 5 肖波, 李雨春, 徐力平. 一种应用分裂热膜测量节回流复杂湍流的方法. 航空学报, 1994, 5(12)