

多段组合穿孔板声衬降低对旋风机噪声的实验研究

北京航空航天大学 史伟**

【摘要】通过对一台自行设计的高效高噪声对旋轴流通风机进行降噪实验研究表明:多段组合穿孔板声衬可大幅度降低对旋风机的离散噪声。使用有效长度为600 mm的多段组合穿孔板声衬降噪,风机的总声压级降低了9 dB。

主题词: 风力发动机 穿孔板声衬 噪声降低

分类号: V 216.54

1 新型对旋轴流通风机的噪声特性

实验用风机是一台采用了前掠叶片,处理机匣等新技术自行设计的新型对旋轴流式矿用局部通风机。风机的流量 $Q = 12194.7 \text{ m}^3/\text{h}$,叶轮直径 $D_{r1} = D_{r2} = 450 \text{ mm}$,前后级电机转速 $n_1 = n_2 = 2900 \text{ r/min}$,前后级转子叶片 $B_{r1} = 7, B_{r2} = 8$,前后级静子(电机支杆)叶片数 $B_{s1} = B_{s2} = 3$,效率高达85.14%,在室外测得风机进口噪声101 dB,而本次实验是在室内做的,因室内未作任何吸声处理,由于室内的混响效应,致使风机进口噪声高达106 dB。

将两个CH-13型电容传声器1号和2号分别布置在风机进口外1 m处与轴线成45°方向对称安放,经AD转换后的数据,在计算机中进行FFT分析获得频谱。原型机频谱如图1,由叶片表面附面层分离

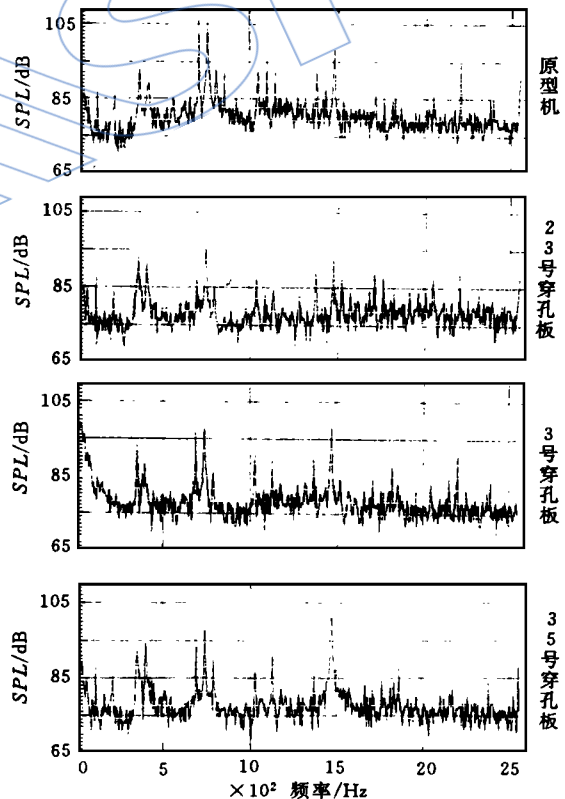


图1 实验状态下的噪声频谱

及尾缘旋涡脱落、大气紊流干扰等因素引起的宽频噪声,即连续谱,谱级在 85 dB 以下,说明该风机的涡旋噪声低、流动损失分离现象少。而叠加在连续谱上的离散噪声峰值高出宽频噪声 10~20 dB,频率范围为 300~2500 Hz。这些离散噪声分量,是由叶片与来流周期性相互作用以及上游叶片尾迹与下游叶片相互作用形成的具有偶极子声源特性。文献[1]指出,一般地说两个不同转向的转子间的干涉噪声是对旋风机的主要噪声源。对旋风机的干涉噪声包括:前级静叶与动叶干涉引起的气动噪声离散地分布在叶片的通过频率及其谐波。 $f_s = [(n_1 B_{R1})/60]i$, ($i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$)。后级动叶与静叶干涉,频率参数为叶片通过频率 BPF 及谐波。 $f_d = [(n_2 B_{R2})/60]i$, ($i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$)。前后级动叶之间的干涉频率参数及各分量的谱级。 $f = [(n_1 B_{R1} + n_2 B_{R2})/60]i$, ($i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$)。

表 1 描述了该风机离散噪声的各分量谱级。最高的两个离散噪声分量集中在中频段,因此要求所设计的消声器在中频段应有较大消声量,消声频带应满足 300~1500 Hz 在两个最高峰值处最好要有 20 dB 的消声量,其它各阶 BPF 的峰值也应下降 10 dB 左右。有希望使该风机噪声降至 85 dB 左右。

表 1 静/转、转/转与转/静干涉频率(f_s , f_d 和 f)的各分量谱级

谐波 i	1	2	3	4	5
f_s (Hz)/声压级 (dB)	341/94	682/106.5	1023/93.5	1364/94	1705/87
f_d (Hz)/声压级 (dB)	393/90	785/93	1173/92	1571/83	1964/80
f (Hz)/噪声值 (dB)	734/107	1468/99	2202/95		

2 声衬结构参数设计

为满足消声器设计需要,采用了多段穿孔板声衬设计方案,声衬结构设计基于下述几个原则: (1) 声衬的共振频率计算公式由文献[2]给出。(2) 每块穿孔板分成两段,设计出两种不同几何参数(见表 2),每段轴向长 150 mm,这样设计不但增加了共振吸收峰值的个数,扩大吸收频带,又可利用声波在两段不同声阻抗界面上发生的反射,进行消声。(3) 声波在管道内传播,声

表 2 各声衬穿孔板的几何参数及设计的针对频率(轴向长度均为 300 mm,腔深 L 均为 40 mm)

声衬穿孔板序号	孔径 $2a$ (mm)	孔间距 (mm)		穿孔率 (%)		设计频率 (Hz)		孔间排列方式
		d_1	d_2	σ_1	σ_2	f_1	f_2	
1	2	20	30	0.785	0.349	856	570	正方形
2	2	10	15	3.142	1.40	1711	1141	正方形
3	3	20	30	1.767	0.785	1048	698	正方形
4	0.8	5.4		1.99		825		三角形
5	0.8	1.7		20.08		1730		三角形

波对声衬的入射角 θ 在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间变化,设计时假设 $\theta = 45^\circ$ 。(4) 由于主要目的是研究反射的影响,因此每块声衬穿孔板轴向长度只取 300 mm,板厚 1 mm。(5) 声衬的结构形式为,壳体内安装穿孔板内层,内层与外层距离 $L = 40$ mm,穿孔板与声衬壳体用螺钉联接,可根据实验研究的需要随时更换各种穿孔板。声衬壳体做成两个结构尺寸相同,可单独或串联在一起使用。

3 实验结果分析及结论

对表 2 中列出的 5 种声衬管道和无声衬的管道进行风机降噪对比实验。结果表明: 3 号声衬降噪效果优于其它声衬, 总声压级降低了 5.5 dB。由频谱看出(见图 1), 400~ 1400 Hz 范围内均有降噪效果, 中频段效果明显, 风机最高的两个峰值, 静/转干涉二阶 BPF= 682 Hz 处降得最多 10 dB, 转/转干涉一阶 BPF= 734 Hz 处降了 7 dB, 这与 3 号声衬设计的共振频率有关, 其中 $f_1 = 698$ Hz, 最接近风机的 682 Hz 这个高峰值, 因而有较好的降噪效果。5 号声衬降噪效果最差与光筒相似, 原因是该声衬只有一个设计频率 $f = 1730$ Hz, 远离风机最高峰值所在频段, 声阻抗间断面少, 吸收频带窄, 因而降噪效果最差。

将二个声衬串接起来, 分别将两块穿孔板声衬任意并联组合, 使得共振频率由原来的 1~ 2 个增加到 3~ 4 个(如 3 号板为 $f_1 = 698$ Hz, $f_2 = 1048$ Hz; 2, 3 组合板为 $f_1 = 698$ Hz, $f_2 = 1048$ Hz, $f_3 = 1141$ Hz, $f_4 = 1711$ Hz; 3, 5 组合板为 $f_1 = 698$ Hz, $f_2 = 1048$ Hz, $f_3 = 1730$ Hz), 声阻抗间断面也随之增加, 共振阻尼消声与声波在声阻抗间断面上的反射消声效果增强。实验结果表明: 2, 3 号声衬组合后, 消声效果最好, 总声压级降低了 9 dB, 与 3 号声衬单独降噪频谱比较, 风机各阶 BPF 均有更进一步降低, 下降值详见表 3。

中、高两个频段内降噪明显, 400~ 2500 Hz 范围内均有降噪效果, 尤其是静/转干涉二阶 BPF= 682 Hz 处下降了 18 dB, 转/转干涉一阶 BPF= 734 Hz 处下降 10 dB, 正是由于这两个最高峰值大幅度降低才有总声压级降低了 9 dB

实验中发现并非所有声衬组合后, 由于增加了共振峰值的个数, 加长了声衬的轴向长度, 就可以得出多段声衬比单段声衬降噪效果好的结论, 3 号声衬与 5 号声衬组合后声衬长度增加, 对比结果表明不但没有增加降噪效果, 反而削弱了 3 号声衬的降噪能力。只有通过恰当地声阻抗匹配也就是声衬几何参数的优化设计^[3], 才能得到预期效果, 否则会适得其反。

表 3 各阶 BPF 噪声峰值下降对比

原型机各阶 BPF (Hz) 噪声值 (dB)	341	393	682	734	785	1023	1178	1468	2202	总声压级 (dB)
	94	90	106	107	93	93	92	99	95	106
2, 3 组合板下降值 (dB)	0	1	18	10	8	5	8	3	3	97
3 号板下降值 (dB)	1	2	10	7	7	3	3	0	2.5	100.5
3, 5 组合板下降值 (dB)	1.5	- 5	9	4	3	6	0	- 4	17	104

结论 (1) 干涉噪声是对旋风机的主要噪声源。(2) 恰当地声阻抗匹配, 使多段组合声衬的消声效果明显优于单段声衬。这种多段组合声衬, 结构简单, 由于声衬通道壁面光滑, 轴向尺寸短, 阻损及再生噪声较低, 并且不受使用环境与制做条件的限制, 重量轻, 体积小, 是对旋轴流式矿用局部通风机理想的消声设备。(3) 多段组合声衬的声阻抗匹配是多段组合声衬的关键。

参 考 文 献

1 Dipl- Ing F Holste, Dr- Ing W Neise Experimental Detemination of Main Noise Aource in a propfan Model by A nalysis of the Scoustic spinning Models in the Exit Plane DGLR/Ä IAA 92- 02- 138
2 Dowling A P. Vortex Sound Interaction. Cambrige University, 1996
3 吕亚东. 航空发动机短舱管道气动声学研究 [学位论文]. 北京航空航天大学, 1993

(责任编辑 魏星禄)

green ent

Key Words Noise propellers Fuselages Effect Noise measurements

COMPARISON BETWEEN TWO KINDS OF CONVENTIONAL LABYRINTH

Wu Dingyi

(7th Dept Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

ABSTRACT Straight- through and stepped labyrinths are often used in aircraft engine. According to large amounts of experimental data, the empirical formulas of mass flow factor for these two kinds of labyrinth have been provided which are superior to their theoretical formulas due to various corrections. The seal characteristics of the two kinds of labyrinth were compared and analyzed in detail so that their features and reasonable conditions of their application were found out. Finally, the new empirical formulas for calculating their critical pressure ratio were derived too.

Key Words Sealing Flow coefficients Leakage

MULTISECTION LINERS FOR NOISE REDUCTION OF COUNTER- ROTATING FAN

Shi Wei

(4th Dept Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 210016)

ABSTRACT It has been found that multisection liners not only attenuate the sound waves in ducts, but also to suppress sound wave through the wave reflection at impedance discontinuities. As a consequence, the maximum noise reduction in a duct of given length can be realized by designing each section liner and different combination. In the present investigation, different combinations of multisection liners have been designed to suppress the discrete noises generated by a counter- rotating fan. The experimental results testified that, the noise was reduced by 9 dB in far field under the condition of 60 cm liner length.

Key Words Fans Perforated plate sound absorption Noise reduction

DIGITAL SIMULATION ON TOOTH CUTTING AND MESHING OF SPIRAL BEVEL GEARS

Wang Sanmin and Jia Minggang

(Mechanical Dept Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

ABSTRACT The conventional methods for determining the tooth geometry and tooth contact of spiral bevel gears are based on differential geometries of rigid body movement, and consequently make description of tooth surface and analysis of tooth contact behavior very complicated. In this paper, the authors work out a digital simulation method for tooth cutting and meshing of spiral bevel gears. A numerical model of tooth surfaces is set up by digital simulation of tooth cutting. The analysis of tooth contact behavior is completed with the numerical model of tooth surfaces. Solution of the meshing equation $\mathbf{v} \cdot \mathbf{n} = 0$ in conventional methods is replaced by minimizing the normal distance between points on the tooth