



倾斜蜗舌对多翼离心通风机内部 非定常流动及噪声特性的影响

王佳君, 王政道, 杨 徽, 朱祖超, 张 炜, 魏义坤

(浙江理工大学流体传输系统技术国家地方联合工程实验室, 杭州 310018)

摘 要: 以不同倾斜蜗舌的多翼离心通风机为研究对象, 采用数值模拟方法, 对风机内部流动特性以及气动噪声进行了非定常计算, 讨论了倾斜蜗舌结构对多翼离心通风机内流场和噪声的影响。结果表明: 蜗舌附近的压力分布随着蜗舌半径的增大而减小; 对蜗舌处压力脉动和三维涡量的分析表明, 倾斜蜗舌结构和合理的蜗舌间隙比减低了蜗舌和蜗壳出口附近局部流动损失; 在设计工况下, 采用蜗舌倾斜角为 14.7° 的改进模型, 其出口处可降低噪声 2.5 dB。因此, 采用倾斜蜗舌结构可以有效改善离心通风的流动状况, 减低流动损失和降低噪声。

关键词: 多翼离心通风机; 倾斜蜗舌; 间隙比; 气动性能; 噪声特性; 局部流动损失

中图分类号: TH432.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2022) 05-0371-11

Influence of the inclined volute tongue on the unsteady flow inside multi-blade centrifugal fan and its noise characteristics

WANG Jiajun, WANG Zhengdao, YANG Hui, ZHU Zuchao, ZHANG Wei, WEI Yikun

(National-Provincial Joint Engineering Laboratory for Fluid Transmission System
Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Taking multi-blade centrifugal fans with different inclined volute tongues as the research object, unsteady flow calculation was performed on the internal flow characteristics and aerodynamic noise using numerical simulation method. The influence of inclined volute tongue on the internal flow field and noise of multi-blade centrifugal fan was discussed. The results show that the pressure distribution near the volute tongue decreases with the increase of the radius of the volute tongue. The analysis of pressure pulsation and three-dimensional vorticity at the volute tongue shows that the inclined volute tongue structure and reasonable clearance ratio can reduce the local flow loss near the volute tongue and the exit of the volute. On the design condition, when using an improved model with the volute tongue inclination angle of 14.7° , the noise at the exit can be reduced by 2.5 dB. Therefore, the inclined volute tongue structure can effectively improve the flow condition of the centrifugal fan, reduce the flow loss and noise.

Key words: multi-blade centrifugal fan; inclined volute tongue; clearance ratio; aerodynamic performance; noise characteristics; local flow loss

0 引 言

风机是依靠输入机械能增加气体压力并排送气

体的一种流体机械, 被广泛应用于冶金、炼钢、能源、国防工业等行业^[1-3]。离心通风机是一种常见的风机产品, 其利用高速旋转的叶轮使气体改变速度与

收稿日期: 2021-04-11 网络出版日期: 2021-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (11872337, 11902291); 浙江省重点研究开发项目 (2020C01027); 浙江省科技计划项目 (LGG21E060003)

作者简介: 王佳君 (1996—), 男, 浙江平湖人, 硕士研究生, 主要从事流体输送技术方面的研究。

通信作者: 魏义坤, E-mail: yikunwei@zstu.edu.cn

流动方向,可将动能转化为势能^[4-6]。多翼离心风机具有压力系数高、体积小、噪声低等优点,已成为工业界通风机配置的重要选择^[7]。

多翼离心通风机的内部流动和气动声场是风机技术的重要研究方向,国内外学者对此开展了大量的研究。Lun 等^[8]采用数值模拟方法研究了斜对称蜗舌离心风机的内部流动特性,发现该结构能有效改善复杂涡结构,提升风机性能。Wu 等^[9]对蜗舌进行仿生重建,结合计算流体动力学和航空声学对流动和声特性进行了数值研究,发现优化后可降噪 1.5 dB。王志鹏等^[10]在传统蜗舌结构基础上进行开槽,采用数值计算的方法得出的结果表明,开槽蜗舌有助于改善风机的运行效率,抑制蜗舌壁面的非定常压力脉动。相关研究^[11-12]表明,通过增大叶轮与蜗舌之间的距离,可以改善蜗舌区域的流动状况,减少蜗壳内的不均匀流动,从而提升离心通风机的气动性能。另外,蜗舌对周向压力分布的影响随蜗舌与叶轮外径距离的增大而减小。Younsi 等^[13]采用大涡模拟(Large eddy simulation, LES)和动态 Smagorinsky 亚格子模型来模拟用于冷却电子设备的小型离心风机,比较了湍流和非湍流条件下叶片周围流场和叶片表面压力脉动的均方根值,并对同一系列多翼离心风机的噪声特性进行了研究,发现蜗舌与叶轮出口之间气流强烈的相互作用是导致该系列离心风机噪声大的重要原因,所以降低风机噪声的主要方法之一是改进蜗舌结构。

离心风机噪声分为气动噪声、机械结构噪声和电机噪声,其中气动噪声是影响风机噪声的主导因素^[14-16]。关于气动声学的理论研究已有几十年的历史,许多学者对离心通风机的噪声特性进行了大量的研究。赵婷等^[17]在研究原始模型基础上改变蜗舌结构、叶片进口角、出口角等参数,通过数值模拟与实验结果的对比分析,得到了优化模型,有效降

低了风机噪声。蔡建程等^[18]通过实验研究倾斜蜗舌对离心风机气动噪声和性能的影响,发现蜗舌间隙和蜗舌半径是影响蜗舌性能和噪声的重要参数。蜗舌间隙的增大有助于降低噪声,改善离心风机的内部流动状况。因此,蜗舌的几何结构对于降低噪声以及改善离心通风机内部流动状况具有重要意义^[19-20]。

本文以一款新型的集成灶用多翼离心通风机为研究对象。由于该离心通风机的电机安装在叶轮一侧,会导致风机两侧进风不均匀且易受到二次流的影响,因而严重影响了风机内部气流的稳定性。蜗舌作为离心通风机的重要部件,其几何结构对于离心风机噪声及内部流动均具有重要影响。本文主要研究该多翼离心通风机在设计工况下的三种不同倾斜蜗舌结构的内部流动以及噪声特性,通过对周期内蜗壳的三维涡核变化、蜗舌处监测点压力脉动以及离心风机噪声的分析,得出倾斜蜗舌结构对于离心通风机气动性能的及噪声的影响规律,并将倾斜蜗舌结构的离心通风机推广到集成灶行业。

1 模型构建与验证

1.1 多翼离心风机参数

本文研究的多翼离心通风机原始模型广泛应用于高性能的现代厨房集成灶。蜗壳与叶轮区域的几何模型示意图如图 1(a)所示,其中蜗壳区域主要由进口、集流器、壁面、蜗舌和出口四个部分组成。本文对离心通风机的实物进行了简化,将其模型的计算域划分为半圆形入口、叶轮、蜗壳和出口四个区域,原始离心通风机整体计算模型示意图如图 1(b)所示。为设定较为符合实际的边界条件,对通风机的出口进行适当延长,将出口延长段的长度设为叶轮直径的 4 倍。离心通风机模型叶轮与蜗壳的主要几何参数见表 1。

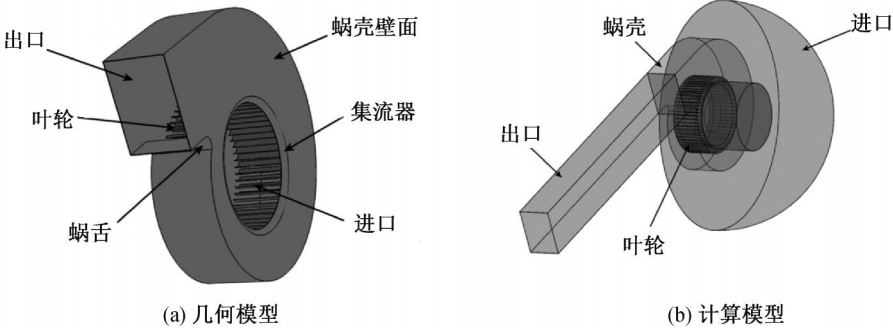


图1 离心通风机几何模型与计算模型的示意图

表 1 离心通风机模型叶轮与蜗壳的主要几何参数

参数	参数值
叶轮外径 D_2/mm	280
叶轮内径 D_1/mm	243
蜗壳宽度/mm	120
叶轮宽度/mm	100
叶片入口角/ $^\circ$	67.9
叶片出口角/ $^\circ$	163.7
叶片厚度/mm	0.4
叶片数/片	60
蜗舌半径/mm	17
蜗舌间隙比	0.084

1.2 倾斜蜗舌改型设计

为减少叶轮旋转时引起蜗舌与气流的周期性相互作用,提高多翼离心通风机的气动性能,本文提出了改进多翼离心通风机蜗舌结构的研究方案,主要包括改进倾斜角度、蜗舌半径和蜗舌间隙三个参数。

原始模型与三个改进模型的蜗舌参数见表 2。 r_1 、 r_2 分别为蜗舌近入口端和远入口端的圆弧半径,模型 A 保持圆弧半径不变,仅改变蜗舌倾角为 14.7° 。模型 B 和模型 C 改变蜗舌一端半径分别为 23 mm 和 30 mm,同时改变蜗舌倾角为 3.9° 和 7.9° 。从而得到模型 A、B 和 C 的无量纲间隙比分别为 0.069、0.091 和 0.094。

表 2 原始模型与改进模型的蜗舌参数

模型	r_1/mm	r_2/mm	蜗舌倾角/ $^\circ$	蜗舌间隙比
原始模型	17	17	0	0.084
模型 A	17	17	14.7	0.069
模型 B	17	23	3.9	0.091
模型 C	17	30	7.9	0.094

1.3 网格划分

网格的质量是影响计算流体力学 (Computational fluid dynamics, CFD) 计算精度和效率的重要因素。本文研究的模型由于几何尺寸小、叶片数目多,叶轮叶片的壁厚薄(仅为 0.5 mm)等原因,流场参数局部变化剧烈,生成高质量网格存在一定难度。为确保数值计算的稳定性和收敛性,在叶片、蜗舌处采取网格加密的措施。

蜗壳区域与风机整体网格划分示意图如图 2 所示。进口、中盘、叶轮和出口流域均采用了结构网格,网格质量均在 0.5 以上;蜗壳部分由于结构复杂而选择非结构网格,网格质量在 0.35 以上,通过测试计算表明,上述网格能够确保计算的稳定性和收敛性。

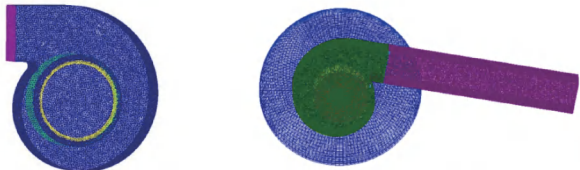


图 2 蜗壳区域与风机整体网格划分示意图

在设计流量下,对网格数量分别为 486 万、552 万、611 万、689 万和 756 万等 5 组网格的模型进行计算,并得到风机静压。网格数和风机静压之间的关系曲线如图 3 所示,从图中可以看出:当网格数超过 611 万时,静压相对偏差有明显减小,可以认为网格的增加对数值计算结果的影响降低,同时为兼顾计算资源的使用效率,本文采用的网格数为 611 万。

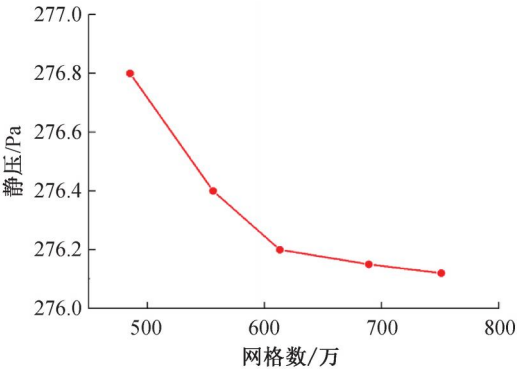


图 3 网格数和风机出口静压的关系曲线

1.4 数值方法及验证

离心风机内部常发生复杂的湍流流动,采用湍流模型对其内部流动进行数值模拟。雷诺平均法是在时间域上对流场物理量进行雷诺平均化处理,以获得工程问题的平均量^[20]。离心风机流动计算的控制方程为:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = f_i - \frac{\partial P^*}{\partial x_i} + \frac{\partial \left[u_e \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right]}{\partial x_j} \tag{2}$$

其中: x_i 和 x_j 是直角坐标系 3 个方向的分量; u_i 和 u_j 是速度分量; ρ 为流体密度; P^* 为折算压力; f_i 为体积力分量; μ_e 为有效黏度系数。

本文选用 RNG $k-\epsilon$ 湍流模型,其动能 k 方程和 ϵ 扩散方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \tag{3}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\epsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} + G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon + S_\epsilon \quad (4)$$

其中: G_k 表示由层流速度梯度而产生的湍动能; Y_M 表示可压缩湍流中转捩扩散产生的波; G_b 表示浮力产生的湍动能; $C_{1\epsilon}=1.42$; $C_{2\epsilon}=1.68$ 。

利用 ANSYS FLUENT 软件进行数值计算, 计算域进口为质量流量边界, 出口设置压力出口为一个标准大气压。数值方法采用有限体积法和 SIMPLE 算法, 收敛标准为 10^{-3} 。采用多重参考坐标系设置动静域。

本文比较了不同流量下的离心风机静压数值计算与实验结果, 以此来验证数值方法的准确性。设计工况下数值模拟与实验静压对比曲线如图 4 所示。从图 4 中可以看出: 随着流量的增加(从 $400\text{ m}^3/\text{h}$ 增加到 $1150\text{ m}^3/\text{h}$), 实验和数值计算的静压值都逐渐减小, 数值结果与试验的静压趋势有较好的吻合性, 试验结果与数值结果的最大静压差小于 5%, 这表明数值计算方法有较强的可靠性, 可用于离心风机的内部流动分析。本文在定常数值计算和验证的基础上开展非定常计算研究。

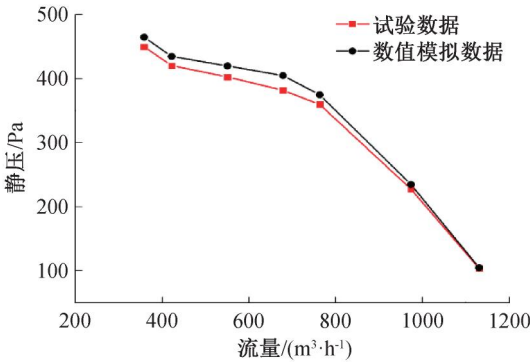


图 4 离心风机数值模拟与实验静压对比曲线

2 结果与讨论

2.1 周期内蜗壳内部的涡核结构变化

为了研究倾斜蜗舌结构对蜗壳内部流动特性的影响, 本文分析了所有模型在 $800\text{ r}/\text{min}$ 转速下旋转周期内的涡核变化情况。涡的三维形状由速度梯度张量第二不变量 Q 值的等值面图表征, 选取等值面为 0.1 表示涡。从整个流动周期看, 涡核主要产生于蜗壳内叶轮的出口区和蜗舌区。叶轮出口产生大量涡核的主要原因是流速不均匀引起尾涡而产生。原始模型旋转周期内不同时刻蜗壳内涡核变化情况如

图 5 所示。以图 5 的原始模型为例, 定义一个旋转周期为 T 。当周期为 $\frac{1}{6}T$ 时, 小型涡核结构初步形成; 在 $\frac{2}{6}T$ 时, 涡核的结构尺度明显增大, 数量也有所增多; 达到 $\frac{3}{6}T$ 时, 较大尺度的涡核沿叶轮旋转相反的方向形成并脱落, 进入蜗壳流道; 在 $\frac{4}{6}T$ 时, 涡核结构破碎并分离成小型涡核; 在 $\frac{5}{6}T$ 和 $\frac{6}{6}T$ 时, 涡结构的数量明显减少, 蜗舌区涡核结构在前、后半周的变化规律相似, 整个周期涡核较为密集。

改进模型周期内涡核的变化情况如图 6—图 8 所示。对比图 6—图 8 可以看出, 不同模型涡核的变化趋势与原始模型基本一致。所有改进模型的涡核数量均少于原始模型, 尤其是在蜗舌附近。这主要是由于改进后模型的蜗舌间隙增大, 气流对蜗舌的冲击减弱。总体来看, 改进模型的涡流尺度在不同程度上都有所减小, 其中模型 A 的涡流尺度最小, 流动损失最少, 这说明倾斜蜗舌对它的流动状况有明显的改善。

2.2 蜗舌表面压力脉动分析

为进一步研究倾斜蜗舌设计对气流非定常流动特性的影响, 本文通过压力脉动特性分析叶轮出口气流对蜗舌的冲击作用。压力脉动监测点示意图如图 9 所示。在四个模型相同的蜗舌顶部设置三个压力脉动监测点, 其中 P_1 靠近蜗壳前盖板, P_2 位于蜗舌中间位置, P_3 靠近蜗壳后盖板, 每一个点的间距约 30 mm , 用以研究叶轮出口气流对不同蜗舌结构的影响。

四个模型在其蜗舌表面 P_1 、 P_2 、 P_3 点的压力值随倾斜角变化的曲线如图 10 所示。从图 10 中可以看出: 在不同倾角下, P_2 点的平均压力最高, 此处气流对于蜗舌中间位置的冲击最大; 位于蜗壳后盖板侧的 P_3 点附近压力最低, 气流对于此位置的冲击最小。对比所有四种模型发现, 所有改进模型在 P_2 、 P_3 点的压力均低于原始模型, 而在 P_1 点均高于原始模型, 这是因为倾斜角度的增大使高压区从蜗舌中部转移到后侧, 压力分布更加均匀; 就三个改进模型而言, 模型 C 的蜗舌冲击压力最小。因此, 倾斜蜗舌使气流对于蜗舌的冲击压力分布更加均匀, 改善蜗舌附近气流的流动状态。

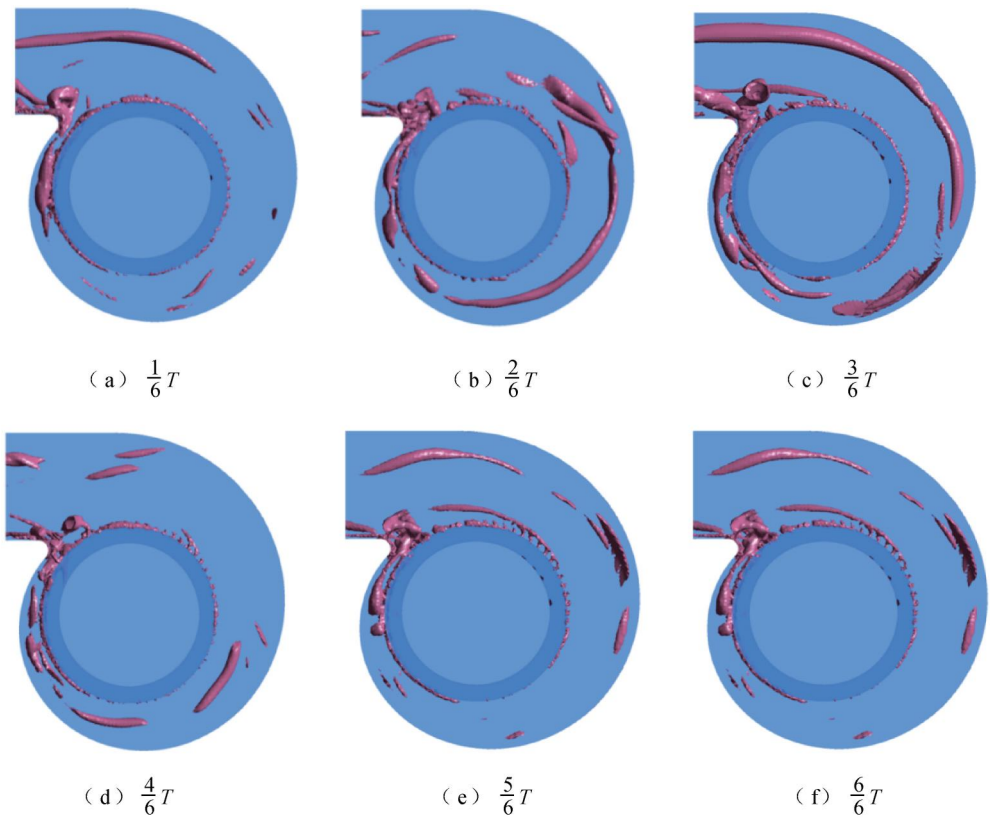


图 5 原始模型旋转周期内不同时刻蜗壳内涡核变化情况

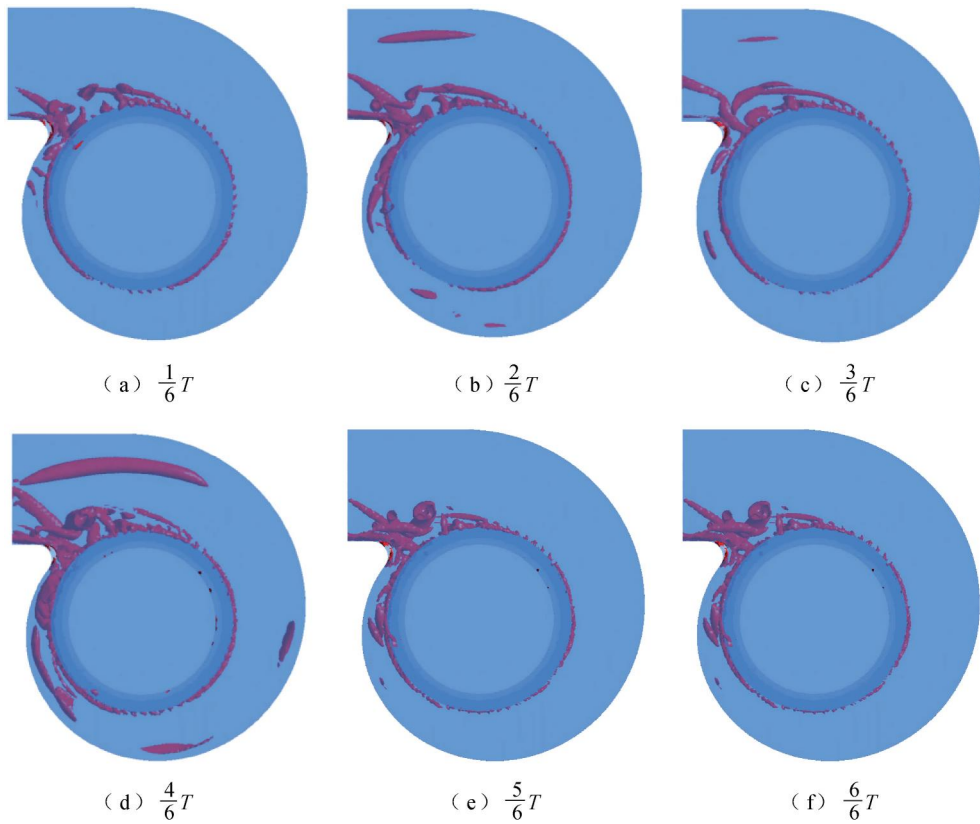


图 6 模型 A 旋转周期内不同时刻蜗壳内涡核变化情况

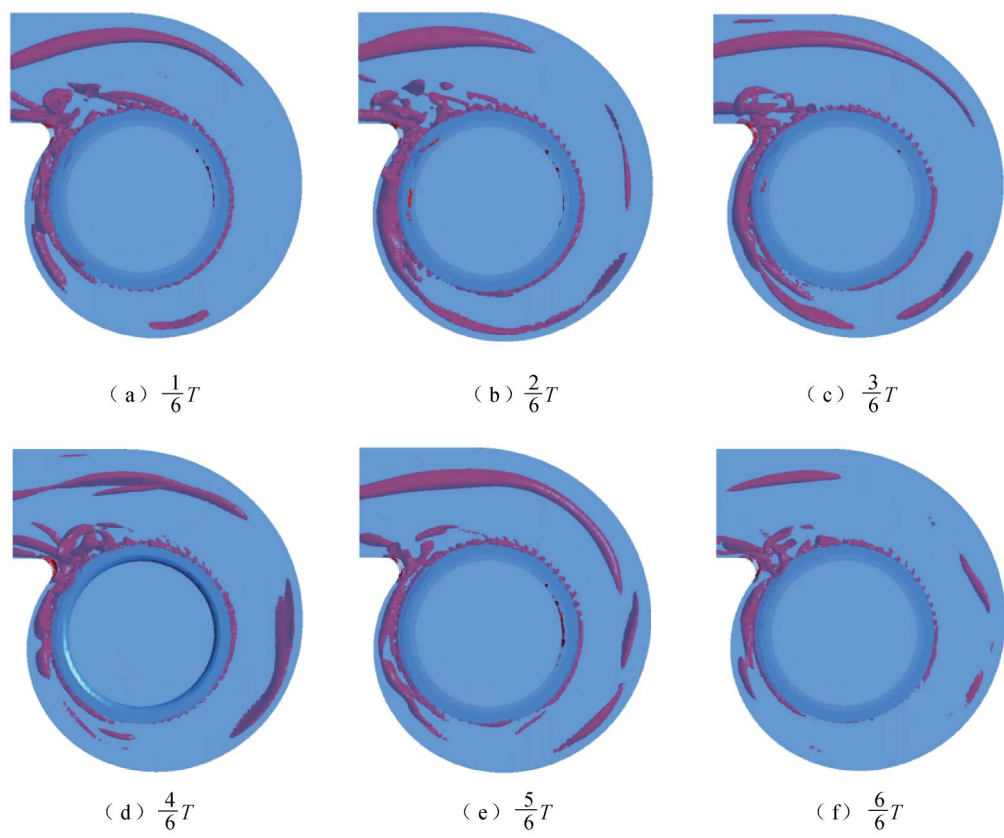


图 7 模型 B 旋转周期内不同时刻蜗壳内涡核变化情况

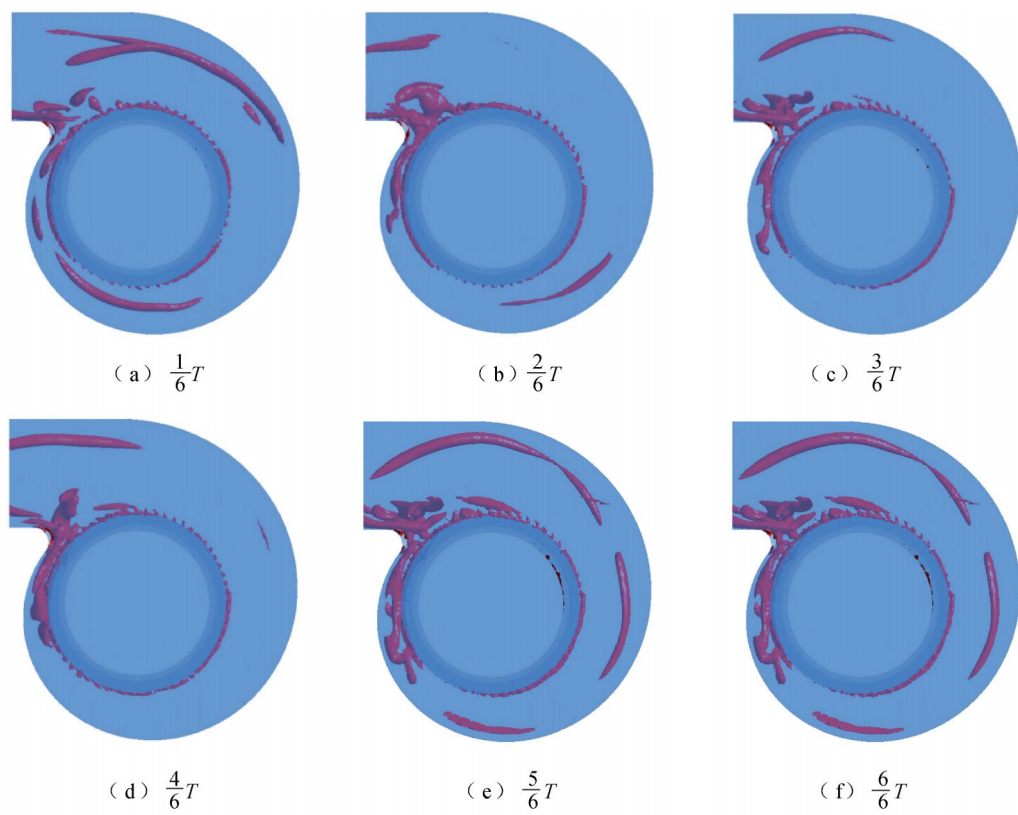


图 8 模型 C 旋转周期内不同时刻蜗壳内涡核变化情况

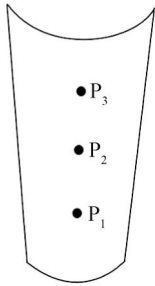


图 9 压力脉动监测点示意图

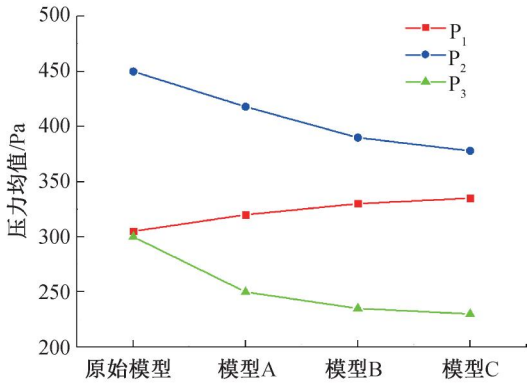


图 10 各模型在不同监测点的压力均值曲线

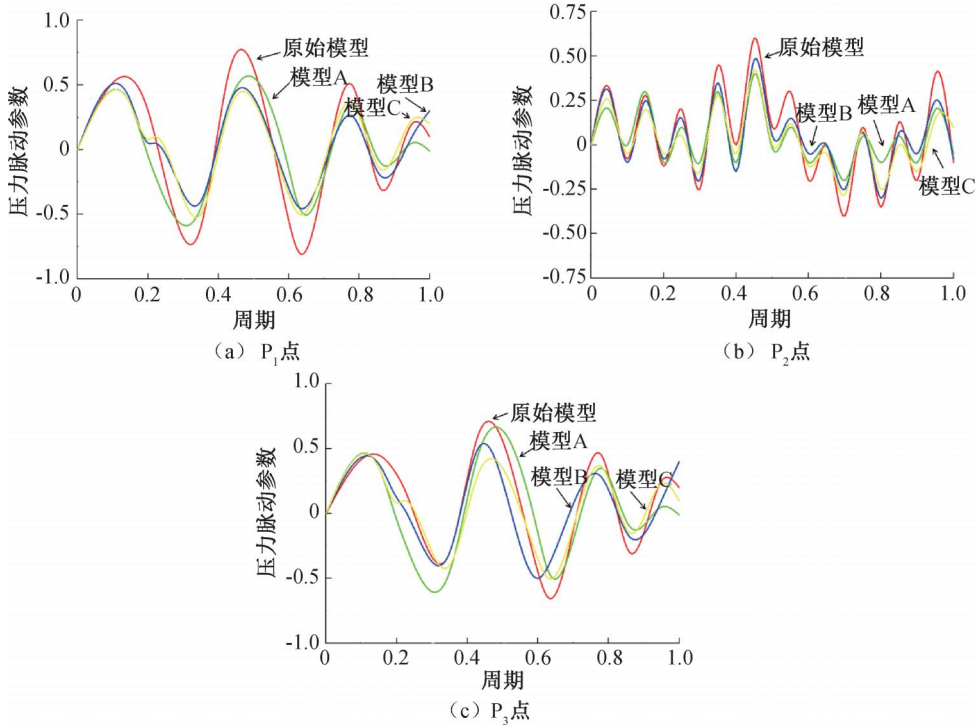


图 11 各模型在蜗舌的监测点压力脉动曲线

为了进一步分析倾斜蜗舌结构对蜗舌表面压力脉动特性的影响,将蜗舌处各监测点压力脉动的时域特征,经过快速傅里叶变换(Fast Fourier transform,FFT)得到压力脉动的频域图。原始模型与改进模型蜗舌监测点压力脉动频域图如图 12

为了进一步研究蜗舌表面的压力脉动,引入无量纲压力脉动参数 C_p :

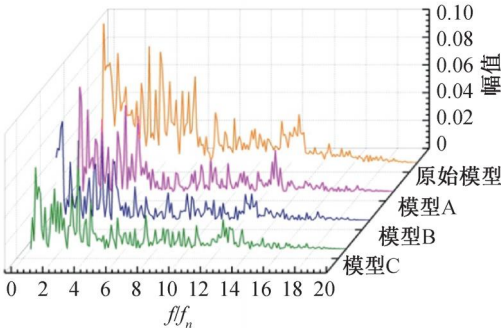
$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho u^2} \tag{5}$$

式中: Δp 为瞬时压力与压力均值差, ρ 为气体密度, u 为叶轮出口速度。叶轮的转动频率 f_n 可以通过计算得到: $f_n = \frac{n}{60} = 13.3$ 。

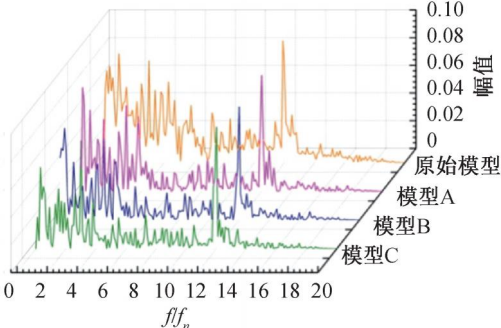
设计工况下蜗舌表面监测点 P_1 、 P_2 和 P_3 对应的时域特性曲线如图 11 所示。 P_1 和 P_3 的波形曲线趋势几乎一致,一个周期内较大的压力脉动次数均为 4 次。而 P_2 的曲线形状为不规则的正弦曲线,周期内共发生 10 次较大的压力脉动。由于叶片的数量是 60 个,正好为 10 的 6 倍,说明以 6 个叶片为一个单位的叶片数对 P_2 点的压力脉动影响较大。此外,原始模型在三个监测点的压力脉动明显大于改进模型。在 P_1 点和 P_3 点,改进模型之间压力脉动没有明显差异,模型 A 略高于其他两个改进模型。在 P_2 点,模型 B 的压力脉动比其他模型小,模型 A 和 C 的差异不显著。

所示。 P_1 点的原始模型与模型 A 的最大压力脉动幅值出现在 2.5 倍转频处,模型 B 和模型 C 的最大压力脉动幅值出现在 2 倍转频处。原始模型的最大压力脉动幅值均高于改进模型,其中模型 C 的最大压力脉动幅值低于模型 A、B。此外,在不同蜗舌的

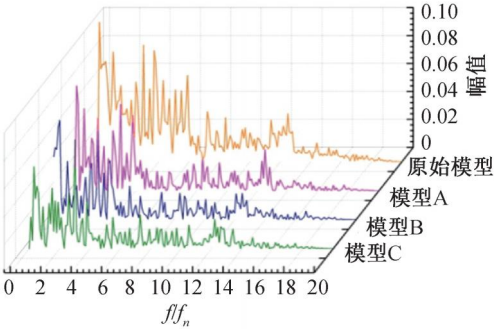
倾角下,叶片通过频率处的脉动振幅相差不大。 P_2 点的最大压力脉动幅值随蜗舌倾角的增大而减小,模型C与原始模型相比,脉动频率降幅最大,这说明,倾斜蜗舌的设计有效减弱了叶轮气流的冲击,改善了离心风机的流动状况。



(a) P_1 表面压力脉动频域特性



(b) P_2 表面压力脉动频域特性



(c) P_3 表面压力脉动频域特性

图 12 原始模型与改进模型蜗舌监测点压力脉动频域图

2.3 倾斜蜗舌离心通风机的噪声分析

2.3.1 不同转速下离心通风机声压分析

为了研究倾斜蜗舌结构对于离心通风机噪声特性的影响,本文模拟实验装置选取两个噪声监测点进行噪声计算。噪声监测点示意图如图 13 所示,其中监测点 a 位于风机蜗壳出口 1 m 处,监测点 b 位于距风机蜗壳出口向下斜 45°、距离 $\sqrt{2}$ m 处。

监测点 a 处在流量 $Q=762.5\text{ m}^3/\text{h}$ 时各模型不同转速下的声压曲线如图 14 所示。在距风机蜗壳出口 1 m 处,原始模型在所有转速下的声压级都

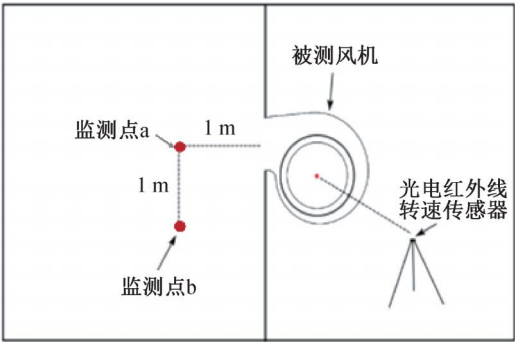


图 13 噪声监测点示意图

高于改进模型。当 $n=600\text{ r/min}$ 时,模型 C 的声压级是所有模型中最低的,比原始模型低 1.5 dB;在设计工况下, $n=800\text{ r/min}$ 时,模型 C 和模型 A 的噪声比原始模型低 1.6 dB 和 2.5 dB。随着叶轮转速的增加,所有模型的声压级增加,其中模型 A 的声压级增量最小。

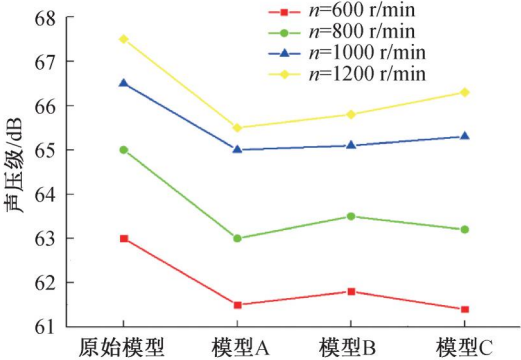


图 14 四种转速下监测点 a 处的各模型声压

从监测点 b 声压级如图 15 所示,从图中可以看出,改进模型在不同转速下的声压级均有不同程度的降低。其中,模型 A 在四个转速下最低。综上所述,模型 A 在两个监测点的降噪效果最好,模型 C 次之,因此可以得出结论:倾斜蜗舌增加了蜗舌间隙,减小了气流对蜗舌的冲击,有效降低了气流冲击引起的风机噪声。

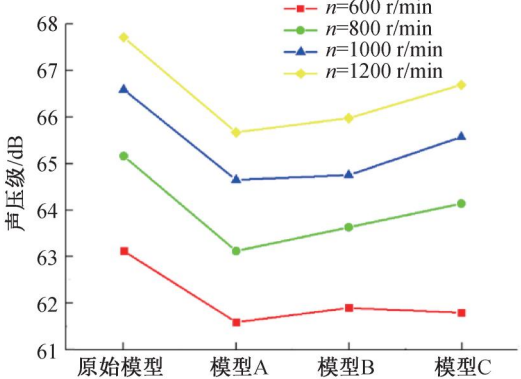


图 15 四种转速下监测点 b 处的各模型声压

2.3.2 离心通风机出口噪声频谱

为了更好地研究倾斜蜗舌结构对离心通风机出口噪声的影响,本文对相同工况下原始模型及三种改进模型的噪声频谱预测进行分析。四个模型离心通风机出口噪声频谱如图 16 所示,从图中可以看出:各模型出口的噪声频谱在低频段处声压级较高,表现为离散噪声,而高频段的宽频噪声声压级明显增大。对于原始模型来说,在 2000 Hz 以下的频段内,其声压级在 45.1 dB 左右,并且在 400 Hz 和 800 Hz 附近出现了 67 dB 和 58 dB 的离散峰值。分析可知,这些峰值的频率与风机基频及其二次谐

波相近。改进模型 A 的噪声频谱规律与原始模型类似,但在 400 Hz 时的声压峰值略低于原始模型,为 64.5 dB。模型 B 在整个频率范围内共出现了四次明显的离散峰值,最大值在 60 dB 以上,计算可知其频率与风机的基频及其谐波相近。对于改进模型 C,声压级在大部分频率下都位于 45.0 dB 附近,峰值约为 62.5 dB。同时,原始模型在叶片通过频率处的声压级振幅高于三个优化模型,其中,模型 B 的声压级振幅略低于原始模型,略高于模型 A 和模型 C。在 2000~2500 Hz 频率范围内,各模型的振幅下降都十分明显。

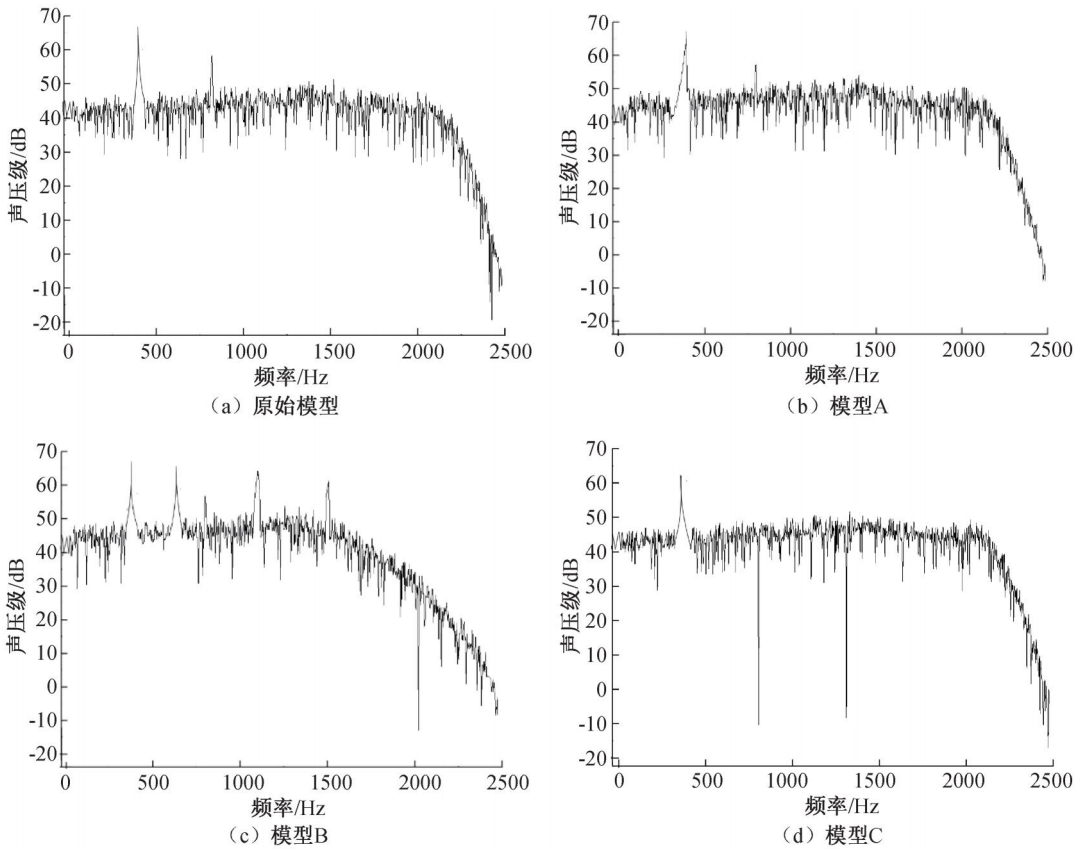


图 16 四个模型离心通风机出口噪声频谱

2.3.3 不同转速的离心风机声压级指向性分布

为了研究各离心风机模型的远场噪声指向特性,如图 17 所示,在叶轮轴向中心截面设置远场监测点,在距离叶轮中心点 1.5 m 处,沿着叶轮轴向截面,从 $\theta=0^\circ$ 到 $\theta=360^\circ$ 每隔 30° 设置监测点,研究不同转速下监测点在基频下的声压级指向性分布。

转速为 800 r/min 时基频下的噪声指向性分布如图 18 所示,从图中可以看出:当转速为 800 r/min 时,原始模型声压明显高于改进模型,而三个改进模型中,中心截面在 $Y=0$ 平面 30° 到 110° 范围内,模型 B 的声压表现好于其他两个模型,模型 C 其次;

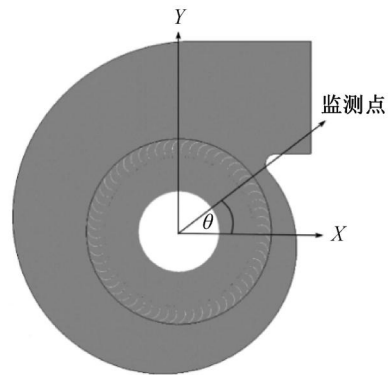


图 17 监测点分布图

而当中心截面在 $Y=0$ 平面角度大于 110° 时,模型 A 的声压表现明显优于模型 B 和模型 C。因此整体来看,在转速为 800 r/min 时模型 A 的降噪效果最佳,模型 C 在三个改进模型中降噪效果较差。

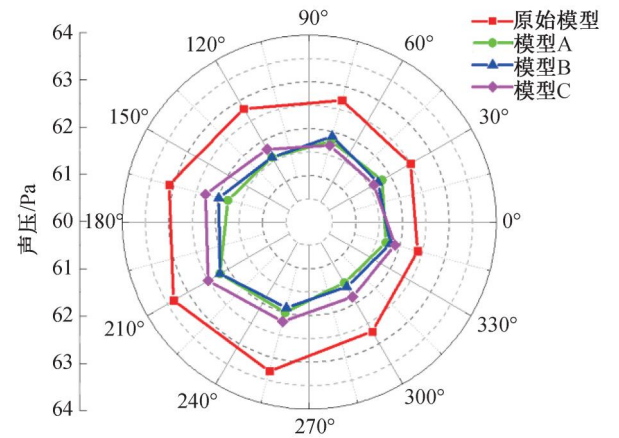


图 18 转速为 800 r/min 时基频下的噪声指向性分布

调整转速至 1200 r/min,进一步对各监测点的声压进行分析。如图 19 所示,原始模型整体声压明显高于三个改进模型,三个改进模型中,XY 面在 $Y=0$ 平面 30° 到 120° 范围内,三个改进模型的声压表现差别不大。而当 XY 面在 $Y=0$ 平面角度大于 120° 时,模型 A 和模型 B 的声压表现明显优于模型 C。因此,在转速为 1200 r/min 时,模型 A 和模型 B 的降噪效

果最佳。模型 C 的声压级与转速为 800 r/min 时相差不大,降噪效果在三个改进模型中略低。

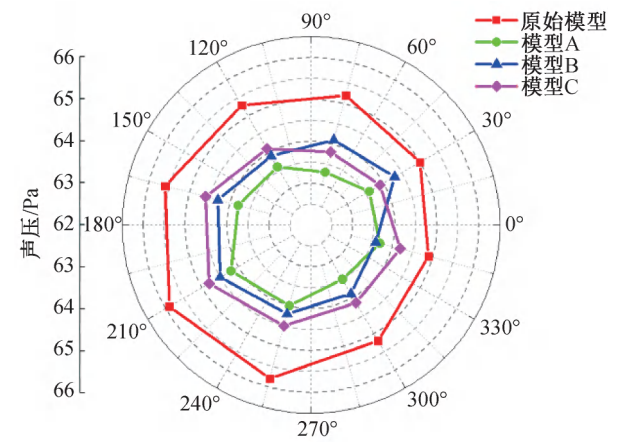


图 19 转速为 1200 r/min 时基频下的噪声指向性分布

2.3.4 不同转速和流量下的噪声 1/3 倍频分析

图 20 显示了原始模型和改进模型在不同转速和流量下的 1/3 倍频图,从图中可以看出:在低频段,原始模型的声压级明显高于改进模型;在 $900\sim 2000$ Hz 频段,模型 A 的声压级最低,在设计流量下,预测噪声可降低 2 dB;模型 B 的 1/3 倍频程是所有型号中最高的。对比可以看出,在不同转速下,四种模型的 1/3 倍频趋势大致相同;模型 C 在低频段的声压级最低,模型 A 在不同流量下的高频段降噪效果最好。

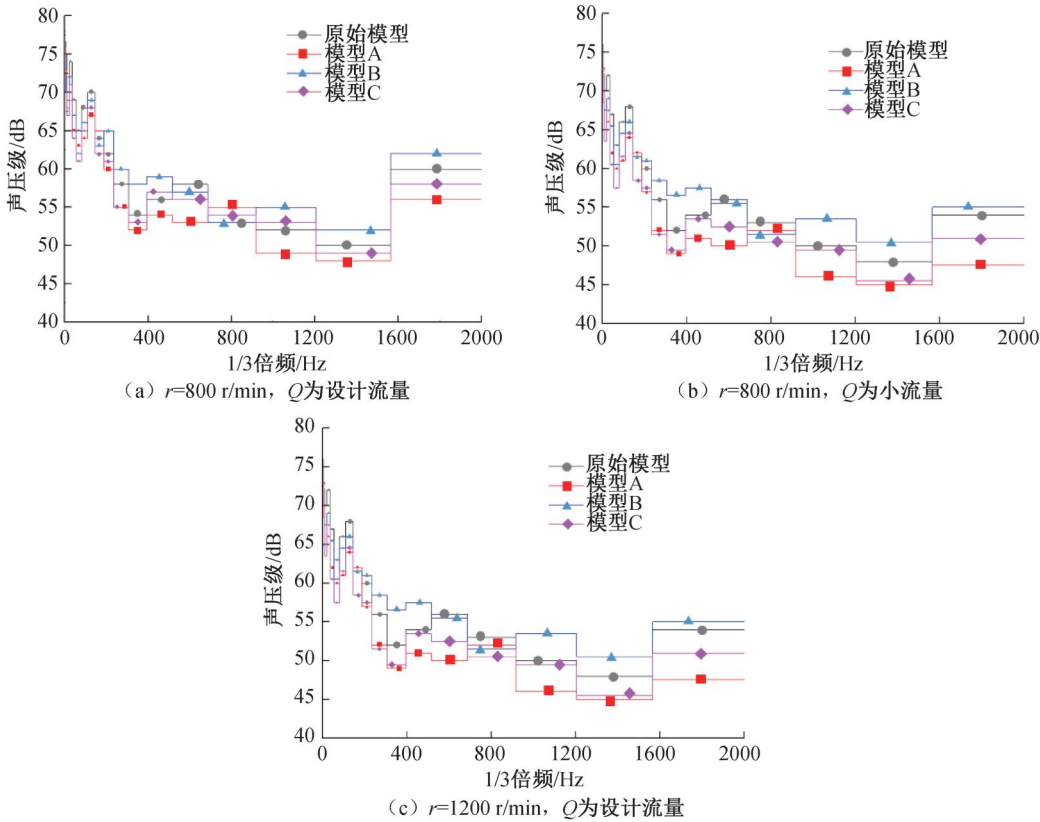


图 20 不同转速和流量下的噪声 1/3 倍频图

3 结 论

本文主要研究了非定常流动下倾斜蜗舌结构对风机气动性能与噪声特性的影响。通过对蜗舌区域监测点的压力脉动特性分析,以及倾斜蜗舌对离心风机噪声特性影响的研究,得出的主要结论如下:

a)随着蜗舌半径的增大,蜗舌附近的压力分布明显减小。倾斜蜗舌结构可以有效改善风机的流动状况,减小气流对蜗舌的影响,优化气动性能。

b)通过对蜗舌区域的涡结构分析可知,倾斜蜗舌结构有利于改善蜗舌区域的涡结构,蜗舌处的流动损失明显减小。

c)对蜗舌处压力脉动的分析可知,同一位置的监测点压力脉动时域与频域组成相似。蜗舌中间监测点的压力脉动最大,幅值随蜗舌倾斜角度的增大而降低,两侧监测点的压力脉动主频为叶轮转频或两倍转频。倾斜蜗舌设计有利于减弱气流对于蜗舌的冲击,改善风机的内部流动状况。

d)在设计流量下,与原始模型相比,模型C的出口平均声压级降低了1.6 dB,模型A的出口平均声压级降低了2.5 dB。

参考文献:

- [1] 石雪松,邱明杰. 新型工业化时期我国离心风机行业发展趋势分析[J]. 通用机械, 2009(1):15-21.
- [2] 庄镇荣. 集流器对前向多翼离心通风机气动性能的影响分析[J]. 风机技术, 2002, 44(3):14-15.
- [3] 吕伟领,席光,宫武旗,等. 前向多翼离心风机叶片尾迹和蜗壳二次流动的试验研究[J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(1):21-25.
- [4] 宫武旗,吕伟领,席光,等. 前向多翼式离心风机蜗舌附近流场的PIV试验研究[J]. 机械工程学报, 2005, 41(1):166-171.
- [5] 毛义军,祁大同,刘秋洪. 基于非定常流场的离心风机气动噪声分析[J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(9): 989-993.
- [6] 李春曦,雷泳,王松岭,等. 加装防涡圈的离心风机蜗壳内空气动力学特征和降噪研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(17):117-121.
- [7] 王企鲲,戴韧,陈康民. 离心风机梯形截面蜗壳内旋涡流动的数值分析[J]. 工程热物理学报, 2004, 25(1):

66-68.

- [8] Lun Y X, Lin L M, He H J, et al. Effects of vortex structure on performance characteristics of a multiblade fan with inclined tongue [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2019, 233(8): 1007-1021.
- [9] Wu L M, Liu X M, Wang M H. Effects of bionic volute tongue on aerodynamic performance and noise characteristics of centrifugal fan used in the air-conditioner[J]. Journal of Bionic Engineering, 2020, 17(4): 780-792.
- [10] 王志鹏,孙洪军,李国平,等.开槽蜗舌对离心风机流场特性的影响[J].船舶工程, 2021, 43(2): 73-77.
- [11] Meakhail T, Park S O. A study of impeller-diffuser-volute interaction in a centrifugal fan [J]. Journal of Turbomachinery, 2005, 127(1): 84-90.
- [12] Ballesteros-Tajadura R, Velarde-Suárez S, Hurtado-Cruz J P, et al. Numerical calculation of pressure fluctuations in the volute of a centrifugal fan [J]. Journal of Fluids Engineering, 2006, 128(2):359-369.
- [13] Younsi M, Bakir F, Kouidri S, et al. Influence of impeller geometry on the unsteady flow in a centrifugal fan: numerical and experimental analyses [J]. International Journal of Rotating Machinery, 2007, 2007:34901.
- [14] 朱之墀,唐旭东,李嵩,等. 离心通风机叶轮气动设计工程方法的改进[J]. 风机技术, 2001, 43(3): 3-5.
- [15] Jiang B Y, Wang J, Yang X P, et al. Tonal noise reduction by unevenly spaced blades in a forward-curved-blades centrifugal fan [J]. Applied Acoustics, 2019, 146: 172-183.
- [16] Ali H, Hamid K, Homayoon M I A. Noise control of a backward-curved centrifugal fan by reducing pressure fluctuations between the impeller and cut-off surface [J]. Applied Acoustics, 2021, 178(2):107996.
- [17] 赵婷,赵付,任刚,等. 倾斜蜗舌对离心风机降噪影响的试验研究[J]. 流体机械, 2012, 40(3): 1-7.
- [18] 蔡建程,何鹏. 前向多翼离心通风机噪声的试验研究[J]. 风机技术, 2002, 44(4): 3-5.
- [19] 刘昶. 倾斜蜗舌在离心风机降噪中的应用研究[J]. 风机技术, 2019, 61(4):36-39.
- [20] 郭君,赵琪,张志民,等. 吸油烟机气动噪声降噪的仿真分析[J]. 噪声与振动控制, 2020, 40(3): 225-228.

(责任编辑:康 锋)