doi:10.3969/j.issn.1005－0329.2025.01.007

离心风机蜗壳型线改进设计

周　浩[1],张世毛[1],任明琪[1],夏　齐[1],黄克涛[1],张慢来[1,2]
(1.长江大学 机械工程学院,湖北荆州 434023;2.中国石油气举试验基地多相流研究室,武汉 430000)

摘　要:针对传统设计的蜗壳型线未能完全包围叶轮的问题,探讨了型线不完整度对风机性能的影响,并提出了一种新的型线设计方法。该方法以蜗舌为起点,围绕叶轮设计完整一周的阿基米德螺线,确保蜗壳内的气流均匀且充分发展。建立了 CFD 模拟模型,确定了包角变化对风机流场、效率及噪声特性的影响。结果表明,包角为 360°的风机性能相对最优,在包角从传统设计的 315°逐渐增大至改进设计方法后的 360°过程中,离心风机的效率得到显著提高,工作噪声明显降低,在出口背压 2 000 Pa 的设计工况下,全压效率提高了 7.67%,噪声降低了 3.89 dB。这种通过使蜗壳型线完整地包围叶轮一周,实现了包角为 360°的新蜗壳型线设计方法,可显著提升风机工作性能,对风机设计具有重要指导价值。

关键词:离心风机;双吸入式离心风机;计算流体动力学;蜗壳型线;气动噪声
中图分类号:TK221　　**文献标志码:**A

Improvement design of volute profile for centrifugal fan

ZHOU Hao[1],ZHANG Shimao[1],REN Mingqi[1],XIA Qi[1],HUANG Ketao[1],ZHANG Manlai[1,2]
(1.School of Mechanical Engineering,Yangtze University,Jingzhou 434023,China;
2.Laboratory of Multiphase Pipe Flow Gas Lift Innovation Center,CNPC,Wuhan 430000,China)

Abstract: Aiming at the issue that the conventional volute profile fails to completely enclose the impeller,the imPact of the profile's incompleteness on the fan's performance is explored,and a novel profile design approach is proposed. This method commences from the tongue and designs the Archimedes spiral around the impeller for an entire cycle to guarantee the uniformity and full development of the airflow within the volute. Through CFD simulation,the influence of the variation of the envelope angle on the flow field,efficiency,and noise characteristics of the fan is determined. The results indicate that when the envelope angle is gradually increased to the shape line encomPassing the impeller,the efficiency of the centrifugal fan is significantly enhanced and the operational noise is reduced. Under the design condition,the total pressure efficiency is elevated by 7.67% and the noise is decreased by 3.89 dB. A new line design method with complete impeller envelopment can notably improve the fan′s performance and holds significant guiding value for the fan design.

Key words:centrifugal fan;double suction centrifugal fan;CFD;volute profile;aerodynamic noise

0　引言

离心风机作为空调系统、锅炉行业中不可或缺的核心通风设备,应用历史悠久。经过研究人员对离心风机结构不断改进[1-6],其性能已有了显著的提升,但仍存在一些问题。首先在通风环境下,由于出风口受到过滤网或其他遮挡物的限制,出气阻力增加,导致流量减少[7]。这一变化不仅使风机的压力急剧下降,转化效率迅速降低,甚至可能引发旋转失速的激增[8]。因此,针对小流量运行条件下的风机性能提升与降噪技术进行研究,具有极为重要的研究价值。

近年来,研究人员围绕叶轮叶片核心部件开展了大量研究,但是鲜有深入探讨蜗壳型线对风机性能的影响,蜗壳作为离心风机中关键固定元件,起到导流扩压作用,不同的蜗壳形状会影响蜗壳壁面与流体的相互作用,进而影响风机性能,同时也影响着离心风机的性能与工作噪声[9]。多

收稿日期: 2024－04－03　**修回日期:** 2024－10－08
基金项目: 国家自然科学基金项目(621743049)

年来，国内外学者对离心风机蜗壳型线及蜗壳与叶轮的参数匹配进行了一系列研究。

祁大同等[10]利用蜗壳进口循环内流动参数的非均匀分布，提出变蜗壳螺旋角设计方法，改变蜗壳型线上气流角，最终对风机的性能，尤其是噪声方面得到了较好的改善。QI 等[11]通过试验验证了蜗壳进、出口角对风机性能的重要影响，并通过优化蜗壳型线方案，显著降低了风机的噪声水平。ZHOU 等[12]通过引入动力矩修正系数对蜗壳的开度进行修正，再通过试验验证优化后蜗壳的降噪效果。张子健等[13]采用正交试验设计方法、CFD 技术和试验验证等相结合的方法，对叶轮与蜗壳的上盖板间隙、下盖板间隙和叶片前安装角进行多因素的正交试验优化设计，优化后的风机气动性能有所提高。蒲晓敏等[14]通过改变蜗壳与叶轮前后盘间距，对风机进行了数值计算，并得出了最佳气动性能对应的叶轮出口宽度与蜗壳总宽度的相对值。

上述研究充分表明，蜗壳在离心风机工作性能和噪声方面具有较大的影响。目前对蜗壳型线的研究都是基于以叶轮边缘处为起点、围绕叶轮一周为前提，然而，由于蜗舌与蜗壳型线起点之间存在一定距离，实际情况下蜗壳型线包围叶轮基圆的角度并不是完整一周，因此设计的蜗壳型线的基圆半径应略大于叶轮半径[15]。

通过大量文献调研和现有风机模型测试的基础，发现绝大部分的离心风机蜗壳型线所包围叶轮角度主要集中在 315°～330°之间，蜗壳内部的流场分布显得极不均匀，导致风机的内流场特性并不理想，从而影响了其效率表现。因此，有必要探讨包角变化对风机性能的影响变化，在此基础上研究型线实际包围叶轮完整一周的设计方法，运用 CFD 方法，在小流量、变工况的模拟条件下，探究上述包围角度对离心风机的气动性能和噪声的影响。研究表明，全包角的蜗壳型线设计能够显著提高风机的效率并降低噪声，对离心风机的实际应用具有重要的指导意义。

1 离心风机蜗壳型线传统设计及改进方法

1.1 传统蜗壳型线设计存在的问题

传统蜗壳型线设计需要考虑叶轮内径 R_1、叶轮外径 R_2、叶轮宽度 b，以及离心风机厚度 B、开度 A 和蜗舌间隙 t；根据阿基米德螺线，以及基圆半径 R_3=R_2、开度 A，绘制离心风机蜗壳的内壁型线，则传统离心风机的蜗壳型线如图 1 所示，其蜗壳内壁型线（即阿基米德螺线）的极坐标函数可用下式表示：

$$r = R_2 + \frac{A}{2\pi} \times \theta \tag{1}$$

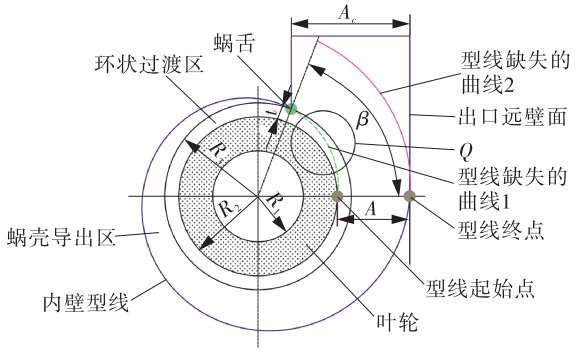


图 1 离心风机蜗壳型线示意

Fig.1 Simplified profile of volute of centrifugal fan

从图中可以看出，在蜗壳的内壁型线的起始点与叶轮的外缘重合处，因蜗舌需要与叶轮外缘离开间隙 t，所以蜗壳内壁型线并不是包围叶轮 360°的阿基米德螺线，而是缺少了虚线的部分曲线，缺少的部分曲线的圆心角为β。此时，出口的远壁面在内壁型线的终点与其相切，且出口的宽度 A_c 一般设计成 $A_c > A$，使得导出区流动的气流在经过起始点与终点连线的过流面之后，过流面积突然增大。由于在过渡区和导出区内流动的气流有较高的静压，因此区域 Q 相当于一个压力释放区，在 Q 处气流速度突然增加，破坏了气流在蜗壳内流动的稳定性。

倘若蜗壳的内壁型线的起始点在上述蜗舌的端部，其基圆半径为 R_3=R_2+t，蜗舌的端部与叶轮外缘的间隙为 t，此时的内壁型线的极坐标方程为：

$$r = R_2 + t + \frac{A}{2\pi} \times \theta \tag{2}$$

离心风机蜗壳的内壁型线，如果是用式（1）表示，上述风机是缺少阿基米德螺线的后段（即图 1 中型线缺失的曲线 2），如果是用式（2）表示，就是缺少阿基米德螺线的前段（即图 1 中型线缺失的曲线 1）。因此传统的离心风机蜗壳的内壁型线并不完整。

1.2 离心风机蜗壳型线的改进设计方法

根据上述对蜗壳型线起始点的改变，将蜗壳型线起始点定在蜗舌端部，再绘制完整包围一周的阿基米德螺线，如图 2 所示。

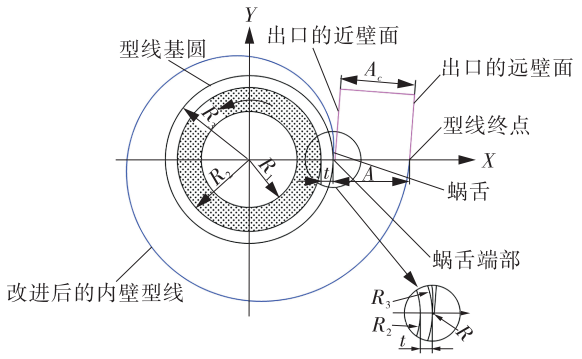


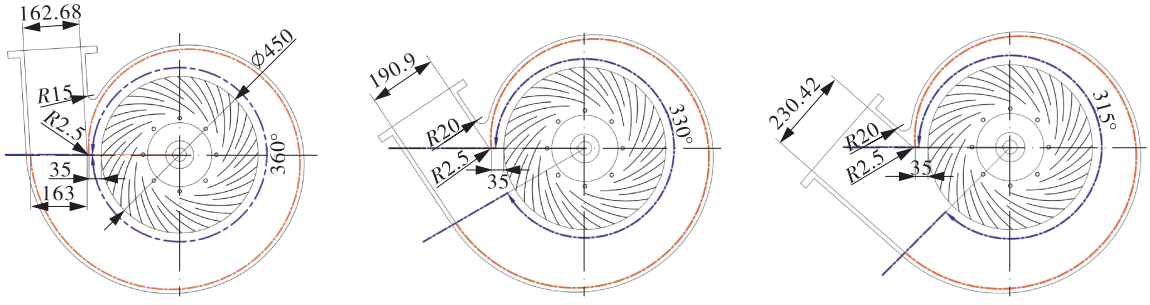
图 2　改进后的蜗壳型线示意

Fig.2　Simplified diagram of the improved volute profile

具体设计方法如下。首先根据离心风机的外特性参数确定叶轮内径 R_1、叶轮外径 R_2、叶轮宽度 b 及离心风机厚度 B、开度 A 和蜗舌间隙 t，如图 2 所示。然后基于传统离心风机蜗壳型线的数学模型，以半径 $R_3=R_2+t$ 为基圆，起始点在蜗舌的端部，绘制阿基米德螺线（即蜗壳内壁型线），包围叶轮角度为 360°，使得实际的蜗壳型线能完整包围叶轮一周，出口的近壁面与远壁面平行，近壁面与内壁型线的起始端构成蜗舌，蜗舌的前端具有半径为 R 的圆角。

此时，在改进后的蜗壳型线中，气流在经过由蜗舌的端部与内壁型线的终点的连线所确定的过流面以后，不再有气流从过渡区进入导出区。另外，风机出气口的远壁面在内壁型线的终点与内壁型线相切，又因为蜗舌前端的圆角半径较小，所以出气口的宽度 A_c 与内壁型线的开度 A 非常接近，从内壁型线的起始点与终点的连线的截面到出口处，过流面积无明显变化，因此从导出区进入出气口的气流的流速和压力基本保持不变。

为探究蜗壳内壁型线包围叶轮角度对离心风机性能的影响，将阿基米德螺线包围叶轮角度定义为一个新参数——包角α。基于上述新型离心风机蜗壳型线设想，设计包角分别 360°，330°，315°的 3 种离心风机蜗壳型线方案，后 2 种代表了传统的离心风机的蜗壳型线，如图 3 所示。



（a）360°方案　（b）330°方案　（c）315°方案

图 3　不同包角的蜗壳型线尺寸

Fig.3　Volute profile sizes with different wrapping angles

2　风机模型及数值方法

2.1　建立模型

不同包角的三维模型如图 4 所示，其结构包括叶轮、蜗壳、集流器等。



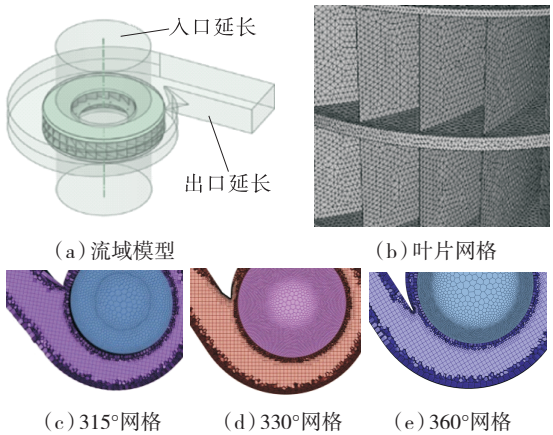
（a）360°模型　（b）330°模型　（c）315°模型

图 4　三维结构

Fig.4　Three-dimensional structure

2.2　计算模型及网格

建立计算流域，将进口流域段适当延长。对计算流域进行划分，蜗壳区域以及进气口采用多面体网格并对蜗舌区域网格进行适当加密，使其足以体现流动细节，如图 5 所示。



（a）流域模型　（b）叶片网格

（c）315°网格　（d）330°网格　（e）360°网格

图 5　流域及网格划分

Fig.5　Watershed and meshing

对 5 种不同网格数量模型进行模拟，以出口总压作为指标，对 3 种包角的离心风机模型进行网格无关性验证，结果如图 6 所示。当网格数量达到 489 万时，出口总压开始趋于稳定，考虑稀疏的网格计算误差超过 2%，最终选取 489 万的网格数量，叶轮区域网格数量 432 万，计算节点数量 92 万。蜗壳区域网格数量 57 万，计算节点数量 11 万。

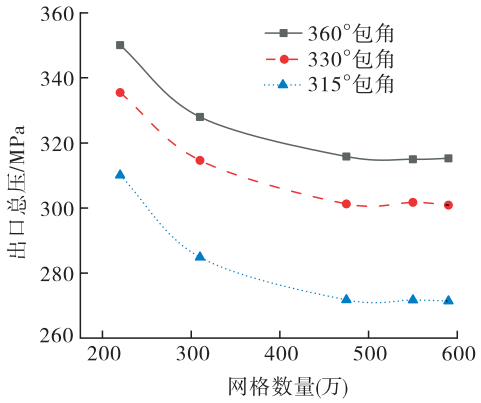


图 6 网格无关性验证

Fig.6 Grid-independent verification

2.3 气动噪声模拟方法

离心风机的气动噪声一般分为旋转噪声和湍流噪声。旋转噪声是由叶轮旋转时形成，在频谱图中呈离散分布，上下幅度跳动很大，其产生的频率与风机的转数和叶片数有关[16]：

$$f = nz_i / 60 \tag{3}$$

式中，n 为风机的转速；z 为叶轮叶片数；i 为谐波序号，i=1，2，3，…，当 i=1 时为基频。

湍流噪声是一种宽带噪声，即在较宽频率范围内具有较高的噪声值，是离心风机的主要噪声源。人耳能听到的声音频率在 0~20 kHz 之间，其中对 0~4 000 Hz 频率的声音最为敏感，现将分析的频率带宽适度拓宽，分析 0~8 000 Hz 范围的气动噪声[17]。

目前所存在的声学计算方法主要有直接声学计算法（精确但计算量大）、宽带噪声法（计算简便但不提供频谱曲线）、声学类比法。声学类比法通过 FW-H 波动方程进行求解计算，FW-H 模型[18]能够将监测点设置在任意位置，获得其声压级频谱曲线，是 Ffowcs-Williams 及 Hawkings 在 Curle 改进的 Lighthill 方程基础上又引入了 Heaviside 广义函数理论而得到：

$$\left(\frac{1}{c_0^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}-\frac{\partial^2}{\partial i\partial j}\right)p' = \frac{\partial\left\{\left[\rho_0 v_n+\rho\left(u_n-v_n\right)\right]\delta\left(f\right)\right\}}{\partial t} - \frac{\partial\left\{\left[P_{ij}n_j+\rho u_i\left(u_n-v_n\right)\right]\delta\left(f\right)\right\}}{\partial x_i}+\frac{\partial^2\left[T_{ij}\delta\left(f\right)\right]}{\partial x_i\partial x_j} \tag{4}$$

式中，c_0 为流体介质远场声速；p' 为观测点在 t 时刻的声压值；ρ 为流体密度；ρ_0 为空气密度；u_i 为 x_i 方向上的流体速度分量；u_n，v_n 分别为垂直于声源面的流体速度分量和垂直声源面方向的声源面移动速度分量；$\delta(f)$ 为狄利克雷函数；P_{ij} 为应力张量；n_j 为控制面上的单位外法向矢量；T_{ij} 为 Lighthill 应力张量。

本文采用声学类比法来获得离心风机一定距离的噪声，并提高其计算速度。

2.4 数值分析参数设置

离心风机风轮及所包络的旋转区域采用多重参考系运动，设定转速 2 930 r/min。离心风机风轮旋转域与蜗壳、进出风流道静止域之间采用 Interface 交界面，进口边界条件采用压力入口，出口边界采用压力出口。湍流模型选用 LES 模型[16]；压力速度采用 SIMPLE 耦合；压力方程采用 PRESTO 离散，其他方程采用二阶迎风格式离散。在非定常流动模拟中，取时间步长为 Δt=5.688×10^{-5} s。将噪声监测点 S 设置在进口轴线上，与进口中心的距离为标准长度 L=1 m 处[19-26]。

2.5 测试验证

为验证模拟数据预测的准确性，根据离心风机在实际运行中出风口可能受到过滤网或其他遮挡物的限制，导致出气阻力增加、流量减少的问题，设置了 2 000~2 600 Pa 的出口背压工况进行模拟分析，如表 1 所示。

表 1 模拟条件

Tab.1 Simulation conditions

边界条件	转速 /(r·min^{-1})	入口压力 /Pa	出口背压 /Pa
Ⅰ	2 930	0	2 000
Ⅱ	2 930	0	2 200
Ⅲ	2 930	0	2 400
Ⅳ	2 930	0	2 500
Ⅴ	2 930	0	2 600

模拟数据与现场测试数据的对比结果如图 7 所示，随着出口背压的增大，风机全压值逐渐提

高，在背压 2 600 Pa 下误差较大，在背压 2 000 Pa 下误差较小，其他工况下误差均在 1% 左右，采用的模拟方法具有较高的准确性。

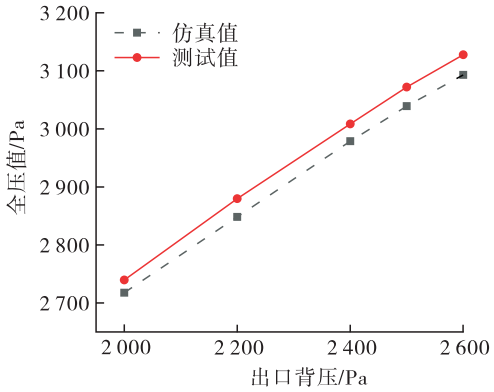


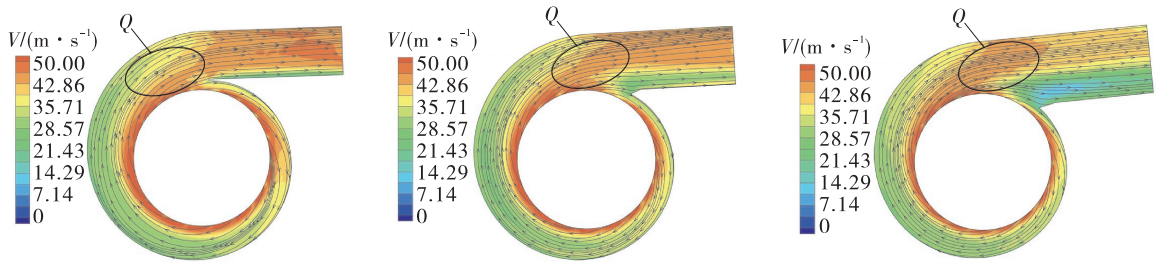
图 7　模拟计算值与试验值对比

Fig.7　Comparison of calculated and test values

3　仿真结果分析

3.1　包角对风机内部流场的影响

在出口背压 2 000 Pa 下，3 种包角模型在轴向 Z=5 mm 截面处的速度及流线图如图 8 所示，360°包角时风机蜗壳区的流速随着导出区的扩大逐渐增大，流线分布流畅均匀。在 330°包角的风机蜗壳区域内，流线分布呈现出相对均匀的状态。但在靠近蜗舌的出口区域，气流导出的均匀性却显著减弱。而 315°包角风机在导出区与出口交界处的区域 Q 处，由于过流面积的骤然增大，导致该区域的流速急剧提升，却无法持续高速通过出口，且在蜗舌处直至出气口，形成了一个明显的低速区，这不仅导致了蜗壳内部流速分布的不均匀，还进一步出现了流速的分层现象，极大地影响了风机的性能。

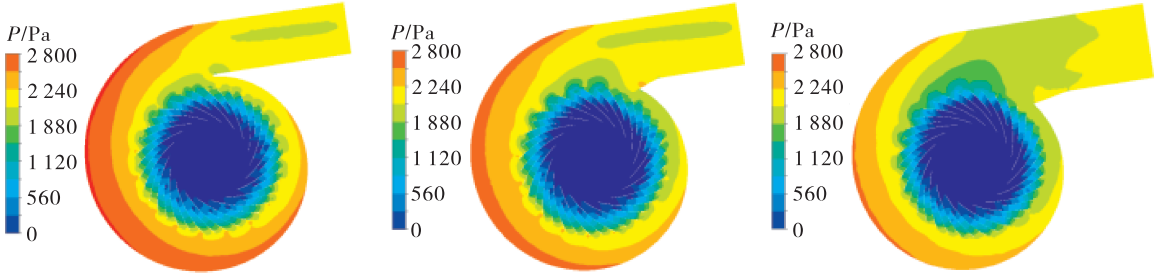


（a）360°包角　（b）330°包角　（c）315°包角

图 8　轴向 Z=5 mm 截面速度、流线图

Fig.8　Axial Z=5 mm section velocity and flow diagram

出口背压 2 000 Pa 时，轴向 Z=5 mm 平面上的压力分布情况如图 9 所示，3 种包角风机的压力都在进气口处最低，并沿着叶道逐渐升高。其中，330°和 315°包角的风机在临近出气口的叶轮外缘处，由于局部流速增大，均形成一个低压区，导致蜗壳内整体压力扩散极度不均匀，影响风机通风性能；而 360°风机蜗壳内压力分布过度比较均匀，流动损失较小。



（a）360°包角方案　（b）330°包角方案　（c）315°包角方案

图 9　轴向 Z=5 mm 截面压力分布

Fig.9　Pressure distribution of axial Z=5 mm cross section

3.2　包角对风机性能的影响

3 种风机在不同工况下的全压效率η和出口总压对比如图 10 所示。

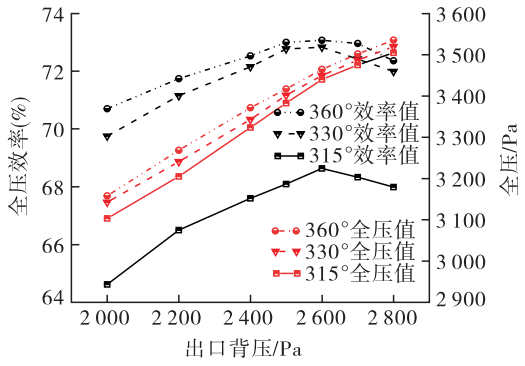


图 10 不同包角风机全压效率、全压对比

Fig.10 Comparison of total pressure efficiency and total pressure of different angle fans

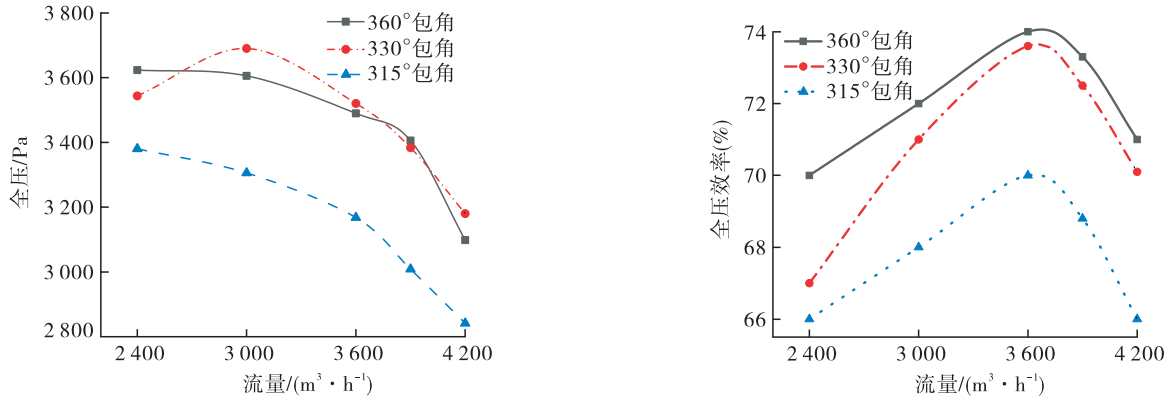
全压效率η计算式为：

$$\eta = \frac{P_t Q_p}{M\omega} \tag{5}$$

式中，P_t 为风机出口全压，Pa；Q_p 为风机出风量，m^3/s；M 为风机叶轮的转矩，N/m；ω为风机的旋转角速度，rad/s。

随着出口背压的增大，3 种包角的风机出口总压不断增大，全压效率得到提高。在各工况下，360°包角风机的全压和效率均高于其他 2 种，其扩压能力最强。315°包角风机整体性能与其他 2 种相比较差，330°包角风机的整体性能与 360°时相差不大。360°包角风机在相同工况下较 315°时效率提升 7% 左右，与 330°包角风机相比，提升 0.5%~1.0% 左右。

不同包角风机的性能模拟曲线对比如图 11 所示，360°包角风机全压值变化相较于 330°包角风机更加平稳，360°与 330°包角风机的全压值均高于 315°包角风机。360°包角风机的全压效率均高于 330°与 315°的包角风机，相较于 330°风机效率平均提高 1.74%，相较于 315°风机效率平均提高 6.35%。



(a) 全压性能曲线 (b) 全压效率性能曲线

图 11 不同包角风机性能曲线对比

Fig.11 Comparison of performance curves of fans with different corners

通过上述分析可知，包角的变化对风机流场的分布和全压效率都有很大的影响，360°包角的风机流场具有更好的内特性，效率较高。

3.3 包角对风机噪声的影响

出口背压 2 000 Pa 下，360°，330°，315°的 3 种包角风机监测点的噪声频谱预测如图 12 所示。3 种包角风机 S 监测点的总声压级分别为 101.998，100.124，98.11 dB，360°包角监测点噪声较 315°降低了 3.88 dB。在基频 3 516 Hz 下，360°包角风机的叶片通过频率 BPF 声压级为 62.54 dB，330°包角风机声压级为 67.42 dB，315°包角风机声压级为 78.55 dB。基频下的 315°包角风机声压级显著高于 360°包角和 330°包角的风机，且整体的声压级振幅都大于其他 2 种，360°包角风机振幅最小。

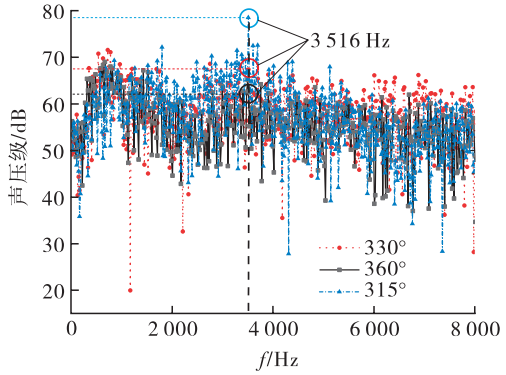


图 12 出口背压 2 000 Pa 下 S 监测点的声压级频谱

Fig.12 Spectrogram of sound pressure level at monitoring point S at outlet back pressure of 2 000 Pa

监测点 S 下的 1/3 倍频程图如图 13 所示，3 种包角的离心风机监测点的声压级主要集中在高频

带且声压级较高。在 0~630 Hz 低频范围内，3 种包角模型的声压级相差不大，然而在 1 000 Hz 以上时，315°包角风机的声压级偏高，且振幅较大；360°包角风机的声压级明显低于其他 2 种包角风机，振幅很小。

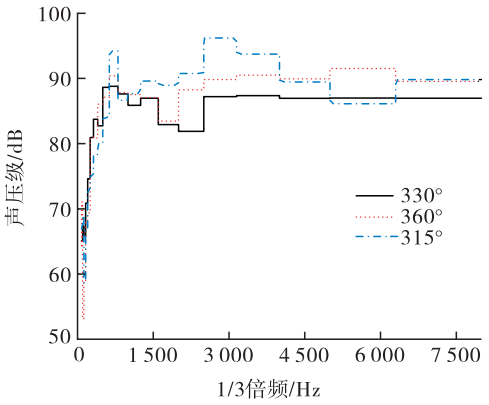


图 13　出口背压 2 000 Pa 下 *S* 监测点的 1/3 倍频程

Fig.13　1/3 octave diagram of the *S* monitoring point at outlet back pressure of 2 000 Pa

4　结论

（1）传统型线设计因起始点固定在叶轮边缘处，与蜗舌之间存在一定距离，导致蜗壳型线未完全包围叶轮一周，严重影响了风机整体性能。改进后的型线设计方法将型线起始点移至蜗舌端部，并绘制一圈阿基米德螺线完整包围叶轮一周，使出气口宽度与型线开度匹配，有效地提升了风机整体性能。

（2）随着蜗壳型线实际包围叶轮的角度——包角的减小，蜗壳内的气流动态变得不稳定，导致流速和压力分布出现不均匀性。特别是在临近出气口的叶轮外缘处，形成一个高速低压区，严重影响了风机的内流场特性、效率以及工作噪声。

（3）在设计的小流量、背压工作条件下，随着出口背压的增大，风机效率呈现出逐渐增大的趋势。改进后的完整全包角（360°）设计的风机，其全压效率相较于普通包角（315°）风机平均提高了 7.01%，工作噪声则降低了 3.89 dB，为离心风机蜗壳型线的改进设计提供参考。

参考文献：

[1] 张琦，邵准远，徐淑君 . 双进气高效离心风机的设计优化[J]. 风机技术，2016，58（6）：57 – 61.
ZHANG Q，SHAO Z Y，XU S J.Design and optimization of a double inlet for a high efficiency centrifugal fan [J].Chinese Journal of Turbomachinery，2016，58（6）：57 – 61.

[2] PREZELJ J，NOVAKOVI T.Centrifugal fan with inclined blades for vacuum cleaner motor[J].Applied Acoustics，2018，140：13 – 23.

[3] WANG J H，LIU X M，TIAN C Y，et al.Aerodynamic performance improvement and noise control for the multi-blade centrifugal fan by using bio-inspired blades [J].Energy，2023，263：125829.

[4] 古应华，吕海波，焦俊龙，等 . 基于仿生蜗舌的离心风机降噪研究[J]. 风机技术，2023，65（6）：11 – 16.
GU Y H，LY H B，JIAO J L，et al.Research on noise reduction of centrifugal fan based on bionic volute tongue[J].Chinese Journal of Turbomachinery，2023，65（6）：11 – 16

[5] XIAO Q H，WANG J，YANG X P，et al.An empirical noise model of centrifugal fans with different volute tongues based on langevin regression[J].Journal of Building Engineering，2023，79：107876.

[6] 李建建 . 蜗舌深度对离心风机气动性能和噪声影响研究[J]. 流体机械，2024，52（2）：48 – 53.
LI J J.Study on the influence of volute tonguedepth on the performance and noise of centrifugal fan[J].Fluid Machinery，2024，52（2）：48 – 53.

[7] 付燕霞，袁寿其，袁建平，等 . 离心泵小流量工况下的内部流动特性[J]. 排灌机械工程学报，2014，32（3）：185 – 190.
FU Y X，YUAN S Q，YUAN J P，et al.Internal flow characteristics of centrifugal pump at low flow rates [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering，2014，32（3）：185 – 190.

[8] 周彪 . 小流量工况下双吸后向离心通风机非定常特性研究[D]. 杭州：浙江理工大学，2021.
ZHOU B.Study on unsteady characteristics of double suction backward centrifugal fan under low flow condition[D].Hangzhou：Zhejiang Sci-Tech University，2021.

[9] LUN Y X，YE X X，LIN L M，et al.Unsteady characteristics of forward multi-wing centrifugal fan at low flow rate [J].Processes，2019，7（10）：691.

[10] 祁大同，姚承范，朱营康，等 . 离心风机蜗壳型线的改进设计与实验[J]. 流体机械，1995，23（9）：9 – 12.
QI D T，YAO C F，ZHU Y K，et al.Improved design and experiment of volute profile of centrifugal fan[J]. Fluid Machinery，1995，23（9）：9 – 12.

[11] QI D T ,POMFRET M J,LAM K.A new approach to the design of fan volute profiles[J].ARCHIVE Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C:Journal of Mechanical Engineering Science, 1996,210(3):287 – 294.

[12] ZHOU S Q,LI Y B.Volute characteristics of centrifugal fan based on dynamic moment correction method[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A:Journal of Power and Energy,2019,233(2): 176 – 185.

[13] 张子健,余晴阳,邓业林,等.考虑叶轮与蜗壳间隙的风机多因素正交优化设计[J].流体机械,2023, 51(6):26 – 32.
ZHANG Z J,YU Q Y,DENG Y L,et al.Multi-factor orthogonal experimental optimizationdesign of an industrial fan considering the clearance between impeller and casing[J].Fluid Machinery,2023, 51(6):26 – 32.

[14] 蒲晓敏,王军,肖千豪,等.蜗壳与叶轮相对位置对多翼离心风机性能的影响[J].流体机械,2019, 47(8):50 – 56.
PU X M,WANG J,XIAO Q H,et al.Effect of relative position of impeller to volute on the performance of a multi-blade centrifugal fan[J].Fluid Machinery, 2019,47(8):50 – 56.

[15] RAO Z,TANG L F,ZHANG H.Double-tongue worm shell structure on plastic centrifugal pump performance study[J].Applied Sciences,2023,13(14):8507.

[16] DARVISH M,TIETJEN B,BECK D,et al.Tonal noise reduction in a radial fan with forward-curved blades [C]//ASME Turbo Expo 2014:Turbine Technical Conference and Exposition American Society of Mechanical Engineers,2014.

[17] 郑欣.离心风机气动噪声数值模拟与降噪设计[D].成都:电子科技大学,2015.
ZHENG X.Numerical simulation and noise reduction design of aerodynamic noise of centrifugal fan[D]. Chengdu:University of Electronic Science and Technology of China,2015.

[18] WILLIAMS J E F,HAWKINGS D L.Sound generation by turbulence and surfaces in arbitrary motion[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society Amathematical Physical and Engineering Sciences, 1969,264(1151):321 – 342.

[19] 吴志伟,王通,王彦龙,等.高效管换热器壳程传热强化效果及机理[J].压力容器,2023,40(8): 44 – 52.
WU Z W,WANG T,WANG Y L,et al. Shell-side heat transfer enhancement effects and mechanisms of heat exchangers with high-efficiency tubes[J].Pressure Vessel Technology,2023,40(8):44 – 52.

[20] 徐韧,李君宇,周明,等.基于 WPSO BP 和 L MBWO 的多翼离心风机优化研究[J].机电工程,2024, 41(10):1833 – 1843.
XU R,LI J Y,ZHOU M,et al.Optimization of multi blade centrifugal fan based on WPSO BP and L MBWO [J].Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2024,41(10):1833 – 1843.

[21] 李建建.蜗舌深度对离心风机气动性能和噪声影响研究[J].流体机械,2024,52(2):48 – 53.
LI J J.Study on the influence of volute tongue depth on the performance and noise of centrifugal fan[J].Fluid Machinery,2024,52(2):48 – 53.

[22] 霍忠堂,高建松,张丁丁.基于 MOBWO–MCKD 的风机滚动轴承故障特征提取方法[J].机电工程, 2024,41(1):123 – 129.
HUO Z T,GAO J S,ZHANG D D.Fault feature extraction of wind turbine rolling bearing based on MOBWO–MCKD[J].Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2024,41(1):123 – 129.

[23] 胡斯特,吴金鑫,胡小文,等.油烟机多翼离心风机气动噪声源及贡献度研究[J].流体机械,2023, 51(12):64–70.
HU S T,WU J X,HU X W,et al.Study on main noise sources and partition contribution of a multi-blade centrifugal fan in a range hood[J].Fluid Machinery, 2023,51(12):64 – 70.

[24] 袁春田,钱雅兰,林千,等.直流过热刺刀管式蒸汽发生器设计分析[J].压力容器,2023,40(6):63 – 71.
YUAN C T,QIAN Y L,LIN Q,et al. Design analysis of once-through superheated bayonet tube steam generator[J].Pressure Vessel Technology,2023, 40(6):63 – 71.

[25] 宋家祺,王彤.蜗壳宽度与粗糙度对小型高速离心风机性能特性的影响[J].流体机械,2023,51(11): 57 – 62.
SONG J Q,WANG T.Analysis of the influence of the width and roughness of the volute on the performance characteristics of a small high-speed centrifugal fan [J].Fluid Machinery,2023,51(11):57 – 62.

(下转第 67 页)

964 – 974.

[18] 彭斌,朱兵国 . 涡旋型线对涡旋压缩机性能的影响[J]. 流体机械,2016,44(6):17 – 23.
PENG B,ZHU B G.Effect of scroll profiles on the performance of scroll compressors[J].Fluid Machinery,2016,44(6):17 – 23.

[19] 程军明,王澈,张帅,等 . 型线偏置对涡旋压缩机动盘尺寸和动力学特性的影响[J]. 流体机械,2023,51(7):46 – 52.
CHENG J M,WANG C,ZHANG S,et al.Influences of profile offsetting on orbiting scroll radius and dynamic characteristics of a scroll compressor[J].Fluid Machinery,2023,51(7):46 – 52.

[20] 程哲铭,欧阳新萍,雷蓉 . 涡旋式压缩机涡旋型线的研究综述与前景[J]. 流体机械,2015,43(1):51 – 56.
CHENG Z M,OUYANG X P,LEI R.Overview and prospect of the research on profile of scroll compressor[J].Fluid Machinery,2015,43(1):51 – 56.

[21] 李雪琴,韩奕,奚周瑾,等 . 涡旋压缩机非对称变壁厚涡旋齿的设计与受力特性分析[J]. 流体机械,2021,49(12):35 – 41.
LI X Q,HAN Y,XI Z J,et al.Design and analysis of mechanical performance of asymmetric variable thickness scroll wraps for scroll compressor[J].Fluid Machinery,2021,49(12):35 – 41.

[22] 刘强,曹晨燕,王君,等 . 涡旋压缩机新型渐变壁厚涡旋齿的设计和工作特性研究[J]. 流体机械,2018,46(12):18 – 24.
LIU Q,CAO C Y,WANG J,et al.Design and performance study of a novel tapered thickness wrap for scroll compressors[J].Fluid Machinery,2018,46(12):18 – 24.

[23] 詹振乾,冯健美,张宁,等 . 涡旋压缩机排气孔面积与基本参数的最佳选择[J]. 流体机械,2003,31(3):13 – 15.
ZHAN Z Q,FENG J M,ZHANG N,et al.The discharge port area of scroll compressor and the optimization of basic parameters[J].Fluid Machinery,2003,31(3):13 – 15.

[24] CHOI S.Asymmetric scroll compressor:US 6478556[P].2001–10–12.

[25] PARK I,CHOI S,LEE B,et al.Scroll compressor with an arcuate and a logarithmic spiral sections:US 9605675[P].2017–03–28.

[26] KIM E S,KIM B,KIM D H,et al.Scroll compressor:US 0072092[P].2019–03–07.

[27] 曹晨燕 . 新型不对称涡旋齿的构建与涡旋压缩机工作特性研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2019.
CAO C Y.Generations of novel asymmetric wraps and investigation of working characteristics for scroll compressors[D].Qingdao:China University of Petroleum(East China),2019.

[28] 王贤文 . 涡旋压缩机瞬态流动数值模拟及吸气流道改型研究[D]. 西安:西安理工大学,2020.
WANG X W.Numerical simulation of transient flow and investigation on the modifications of the scution flow passage in a scroll compressor[D].Xi'an :Xi'an University of Technology,2020.

作者简介:张羽丰(2000),男,硕士研究生,研究方向为微型涡旋压缩机,E – mail:17852163523@163.com。

通信作者:李连生(1962),男,教授,研究方向为压缩机及制冷系统,通信地址:266061 山东省青岛市崂山区青岛科技大学机电工程学院,E – mail:lianshengli@126.com。

本文引用格式:
张羽丰,王宇轩,赵远扬,等 . 非对称腔微型无油涡旋空压机性能研究[J]. 流体机械,2025,53(1):59 – 67.
ZHANG Y F,WANG Y X,ZHAO Y Y,et al.Performance study of miniature oil–free scroll air compressor with asymmetric working chambers[J].Fluid Machinery,2025,53(1):59 – 67.

(上接第 58 页)

[26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会 . 风机和罗茨鼓风机噪声测量方法:GB/T 2888—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
General Administration of Quality Supervision,Inspection and Quarantine of the People's Republic of China,China National tandardization Administration.Methods of noise measurement for fans blowers compressors and Roots blowers:GB/T 2888—2008[S].Beijing:China Standards Press,2008.

作者简介:周浩(1999),男,硕士,主要从事流体机械优化设计方面的研究,E – mail:1603147939@qq.com。

通信作者:张慢来(1979),男,博士,副教授,主要从事流体机械优化设计和凝胶力学测试分析方面的研究,通信地址:434000 湖北省荆州市荆州区长江大学东校区机械工程学院,E – mail:zhmanlai@163.com。

本文引用格式:
周浩,张世毛,任明琪,等 . 离心风机蜗壳型线改进设计[J]. 流体机械,2025,53(1):51 – 58.
ZHOU H,ZHANG S M,REN M Q,et al.Improvement design of volute profile for centrifugal fan[J].Fluid Machinery,2025,53(1):51 – 58.