

柜式空调器室内机蜗壳结构的优化设计

金听祥，王镜儒

(郑州轻工业学院能源与动力工程学院，郑州 450002)

(Tel:15670626739, Email:txjin@126.com)

摘要: 为提高柜式空调器的节能降噪效果，对室内机的蜗壳原始结构进行优化，将扩压口的左、右侧型线沿顺时针分别旋转角度 α 、 β ，得到多种蜗壳型线的改进方案。通过数值计算，将最佳模拟结果对应的型线方案制作手板模型。模拟结果表明：在改进型线后的蜗壳蜗舌、扩压口的左、右侧型线附近以及出口处的流速、静压、总压分布都得到了较大改善，提高了蜗壳出口处的静压和总压。实验结果表明：在不同风速模式下，装有手板蜗壳的整机风量较原型蜗壳提高了 3.38~19.9m³/h，噪声降低 1.0~1.2dB(A)，风速提高了 0.1~0.53m/s。说明改进蜗壳型线对优化风机性能，提高空调器的整机风量和出口风速，降低噪声等起到了积极作用。

关键词: 蜗壳；柜式空调器；室内机；数值模拟；实验验证

OPTIMIZATION DESIGN OF VOLUTE STRUCTURE OF CABINET AIR CONDITIONER INDOOR UNIT

Jin Tingxiang, Wang Jingru

(School of Energy and Power Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002)

Abstract In order to improve the effect of energy saving and noise reduction of cabinet air conditioner, the original structure of the volute of indoor unit is optimized. The left and right lines of the diffuser are rotated angle of α and β along the clockwise. Multiple kinds of improved schemes of the volute line are obtained. After calculating the different schemes by commercial software, the best simulated results corresponding to volute line scheme is made into hand model. The simulated results showed that the flow velocity, static pressure and total pressure distribution near the volute tongue, left and right lines of the diffuser and outlet of the modified volute are improved significantly. So the static pressure and total pressure at the outlet of the volute are raised. In addition, the experimental results showed that under different wind speed patterns, the air volume of the modified volute is increased by 3.38~19.9m³/h. The noise value is reduced by 1.0~1.2dB (A) and the wind speed is enhanced by 0.1~0.53m/s. It illustrates that improve the volute line has played a positive role in optimizing the performance of the fan, increasing the air volume and outlet wind speed. Meanwhile, the noise is reduced effectively.

Keywords Volute Cabinet air conditioner Indoor unit Numerical simulation Experimental verification

0 前言

蜗壳作为流体机械中的一个重要结构，起着导流与扩压的作用，因此，国内外多从蜗壳的结构、安装位置、材料等方面进行优化改进，取得了大量的研究成果。同时，蜗壳作为柜式空调器室内机风道系统的组成部分之一，对多翼离心风机以及空调器的整体性能影响也较大。

包佳勇等^[1]采用数值模拟方法，研究蜗壳形状对涡轮增压器压气机性能的影响，依据蜗壳的成型方法，取不同的经验值进行数值计算，结果表明，在一定范围内随着经验值的增大，流量和效率均得到提高，流动分离也得到抑制。赵婷等^[2]针对某型离心风机，通过试验研究

作者简介：金听祥，(1976-)，男，博士后，副教授，从事制冷空调设备新技术研究。

了倾斜蜗舌和蜗舌的安装位置对风机气动性能和噪声特性的影响,结果表明,随着蜗舌倾角和安装间距的减少,风机噪声降低,且对风机性能的影响具有交互性。许文明等^[3]为优化柜式空调器室内机风道内部流场,通过分析其气流的组织情况,对原蜗壳的扩压口型线进行优化改进,模拟和实验结果均表明风机风量得到提升,增幅分别为 5.1%和 4.7%。孙少明等^[4]利用逆向工程法,通过提取长耳鹤翼型的降噪元素,设计了一种仿生降噪蜗舌,试验结果表明,声压级较原型风机平均降低 2.3 dB,并得出了影响降噪效果的因素。

本文从柜式空调器室内机原型蜗壳的结构出发,对其型线进行优化改进,设计了多种改进方案并进行数值计算,最后,通过实验验证了最佳型线方案对应的改型蜗壳对风量、噪声、风速等的影响。

2 原型蜗壳数值计算

将整机模型进行简化,为保证计算结果的稳定性,将出风口以 5 倍叶轮直径延伸,并采用弧形进风口,如图 1。在 ICEM CFD 中划分网格时,均采用非结构网格,网格总数约为 650 万,网格质量大于 0.2。图 2 为简化后的蜗壳网格。

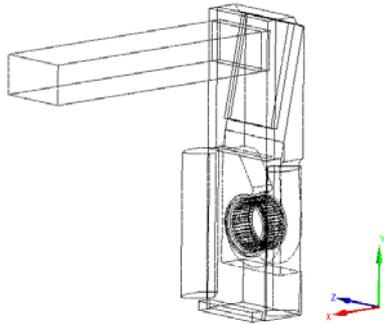


图 1 整机简化模型

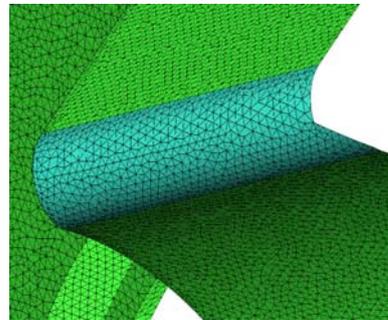


图 2 蜗壳网格

2.1 计算方法

稳态计算时,压力与速度耦合选用 SIMPLE 算法,压力修正选择 Standard 方式,离散方程均采用二阶迎风格式,进出风口均采用压力进、出口边界条件,蒸发器采用多孔介质模型,风机旋转区域采用多重参考系(MRF)。

非稳态计算时,采用大涡模拟(LES),压力与速度耦合采用 PISO 算法,其时间步长为 1.07×10^{-4} ,计算收敛后开启声学模型,选择 FW-H 方程进行噪声计算,并以叶轮、蜗壳、蜗舌为声源。

2.2 计算结果与分析

将装有原型蜗壳的整机实验数据与模拟数据进行比较,如表 1。结果显示,风量和噪声数据的误差均在允许范围内,说明模型的简化和计算方法的选择较为合理。

表 1 原型蜗壳的实验与模拟数据

项目	实验	模拟	绝对误差	相对误差
风量/ m^3/h	917.81	894.6	23.21	2.5%
噪声/ dB(A)	46.2	50.4	4.2	9.1%

3 蜗壳型线改进方案与数值分析

3.1 蜗壳型线改进方案

由于在靠近蜗舌和左侧型线处存在较大回流,且扩压口的出口左侧还存在着较大漩涡,

如图 3，可见原型线并不利于气流的输出。故将扩压口的左、右侧型线分别沿顺时针旋转角度 α 、 β ，蜗舌半径也发生相应变化，如图 4， α 分别为 4° 、 3° 、 2° 、 2° 、 2° ， β 分别为 5° 、 5° 、 5° 、 3° 、 2° ，蜗舌半径 r 分别为 32.1mm 、 32.1mm 、 32.1mm 、 29.7mm 、 28.89mm 。

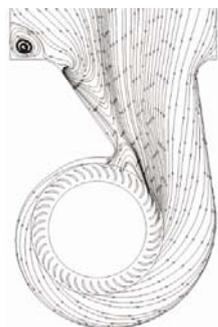


图 3 原型蜗壳的流线分布

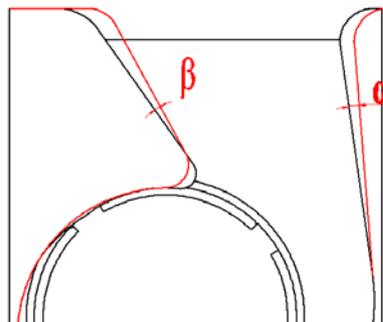


图 4 蜗壳型线改进示意图

3.2 改型蜗壳计算结果与分析

表 2 为上述五种方案的模拟结果，方案 1、2、3 的模拟风量较原型蜗壳有所增加，但噪声值降低的幅度较小，而方案 4、5 的模拟风量较原型机的增幅较大，噪声也有明显改善。同时，相比于方案 1、2、3 的风量和噪声数据，方案 4、5 也有明显提高。说明扩压口的左、右侧型线沿顺时针旋转的角度不宜过大，不仅对整机性能的提升有限，而且扩压口的实际作用也难以发挥，故确定以方案 5 对应改型蜗壳的气动性能为最佳。

表 2 不同方案的模拟结果

方案	风量/ m^3/h	噪声/ dB(A)
1	897.2	49.6
2	901.36	48.8
3	906.54	48.3
4	916.25	47.6
5	927.38	46.2

原型蜗壳与改型蜗壳在 $X=70\text{mm}$ 截面处的速度分布云图，如图 5。原型蜗壳的蜗舌以及扩压口左侧型线附近的速度较低，而改型蜗壳在相同位置处的速度明显增加，但在扩压口左侧出口处的低速区域的面积明显扩大，右侧出口处的流速却基本不变。图 6 为两种蜗壳的流线分布 ($X=70\text{mm}$)，流体在改型蜗壳左侧型线处的流线分布较好，而扩压口左侧出口处的漩涡明显增大。此外，在改型蜗壳的蜗舌处仍然存在气体回流，但流体的流向改变较缓。因此，改进蜗壳型线能改善多翼离心风机流场的流速分布并扩大流体输出的有效范围。

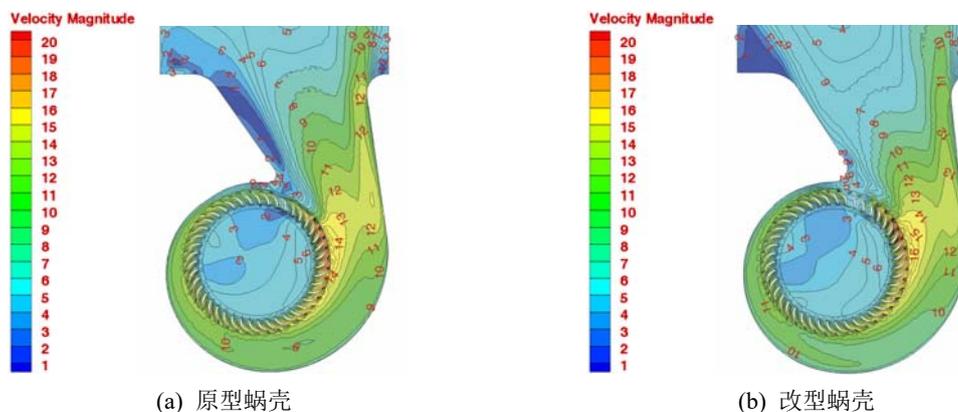


图 5 $X=70\text{mm}$ 处的速度分布



图 6 $X=70\text{mm}$ 处的流线分布

图 7 为两种蜗壳($X=70\text{mm}$)的静压分布, 其中, 改型蜗壳低压区的静压降低, 而在扩压口出口和改型蜗舌处的静压提高, 如图(b)。图 8 为二者的总压分布($X=70\text{mm}$), 在改型蜗壳左侧型线处的总压较原型蜗壳相同位置处的压力有明显提高, 且扩压口出口处的总压变大, 但低压区域的总压降低。说明改型蜗壳能提高蜗壳出口处的静压和总压, 使风机内部的静压压力分布也较为均匀。

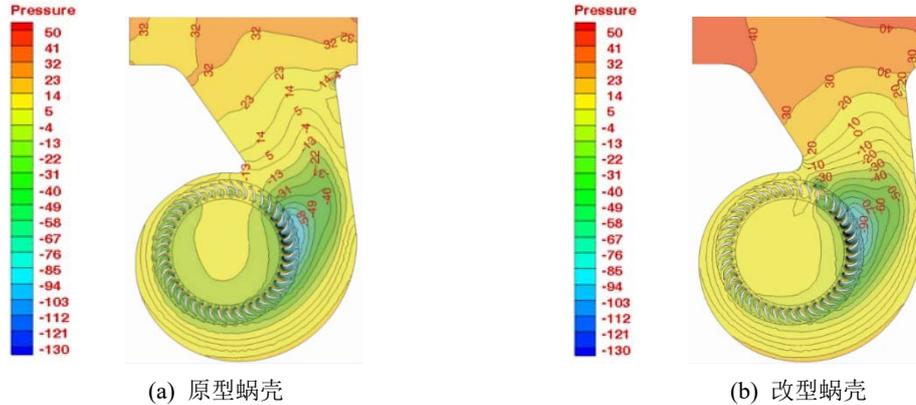


图 7 $X=70\text{mm}$ 处的静压分布

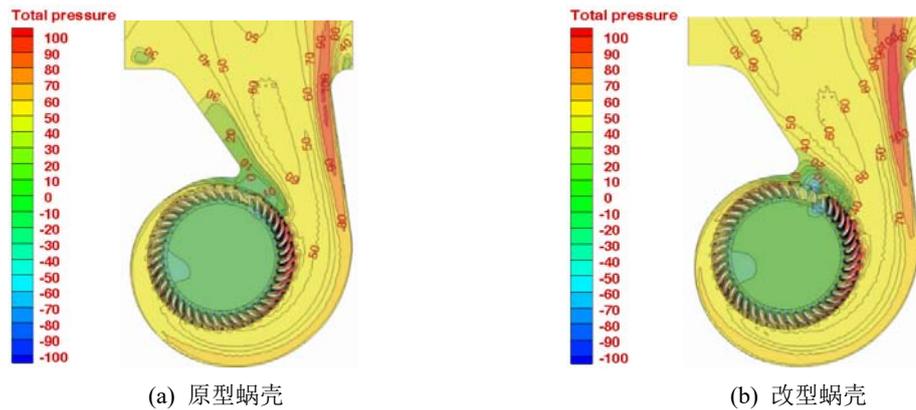


图 8 $X=70\text{mm}$ 处的总压分布

4 实验验证

4.1 实验方法

本实验在广东志高空调有限公司进行, 将原型蜗壳与方案 5 对应的蜗壳手板模型分别安装在某型柜式空调器室内机中, 在与室外机不连接且处于通风状态的情况下, 按

GB/T7725-2004 的相关标准^[5]进行风量和噪声测试。

在风量实验室中，选择直径为 70mm 和 100mm 的喷嘴，按不同的风速模式进行测试，当风量实时曲线达到稳定时记录数据。噪声测试在半消声实验室进行，如图 9，为与进行模拟时的整机简化模型一致，拆除出风口横向导流叶片，除蜗壳不同外，其余零部件均不变。



图 9 半消声实验室

4.2 实验结果

表 3 为两种蜗壳的实验数据，结果表明，装有改型蜗壳的整机风量较原型机提高了 3.38~19.9m³/h，噪声值较原型机降低了 1.0~1.2dB(A)，风速提高了 0.1~0.53m/s。

表 3 原型蜗壳与改型蜗壳实验数据对比

方案	转速/r/min	风量/m ³ /h	噪声/dB(A)	风速/m/s
原型	500	917.81	46.2	27.29
	412	764.57	42.2	22.67
蜗壳	365	669.71	39.7	19.85
	489	937.71	45.1	27.82
改型	392	774.45	41.0	22.96
	345	673.09	38.7	19.95

5 结论

针对原型蜗壳中流动状况不佳的现象，通过优化蜗壳型线，得到以下结论：

(1) 方案 5 对应的蜗壳型线，使流体输出的有效范围扩大，左侧型线附近的流动不均匀性得到了改善，低速区域的分布范围大幅减少，同时提高了蜗壳出口处的静压、总压，其出口流速、风量，以及静压的压力梯度分布也得到了优化，但低压区域的压力值变小。

(2) 在通风状态下，安装有改型蜗壳的整机风量较原型蜗壳提高 3.38~19.9m³/h，噪声值降低 1.0~1.2dB(A)，风速提高 0.1~0.53m/s。

综上，优化改进柜式空调器室内机的蜗壳型线，使整机性能得到大幅提升，有效降低了流动损失和气动噪声。

参考文献

- [1] 包佳明, 童正明, 等. 涡轮增压器压气机蜗壳型线变化的性能研究[J]. 能源工程, 2016(2): 75-79.
- [2] 赵婷, 赵付, 等. 曲线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.
- [3] 许文明, 郑祖义, 等. 空调器柜机多翼离心风机扩压口的优化设计[J]. 制冷与空调, 2011, 11(6): 63-65.
- [4] 孙少明, 任露泉, 等. 仿生降噪蜗舌试验研究与数值模拟分析[J]. 振动与冲击, 2009, 28(5): 32-34.
- [5] GB/T 7725-2004 房间空气调节器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.