

齿形尾缘小型轴流风扇的气动性能研究

钱红玉, 金英子, 赵 屹, 张 立, 李 博

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

摘 要: 小型轴流风扇是计算机散热的主要部件,其通风量和噪声等会直接影响计算机的正常运行和寿命,散热风扇的高性能和低噪声已成为计算机配置的关键问题之一。为此,设计了一种尾缘齿形化小型轴流风扇,该风扇齿形从叶根到叶顶由密到疏分布。并用流体力学软件对尾缘齿形化小型轴流风扇进行静态特性和声学性能模拟,对其进行流场和气动声学分析。结果表明:尾缘齿形化后对小型轴流风扇的静态特性基本没有影响,但在大流量下,效率比原型风扇低;对叶顶间隙和出口区某点的噪声监测发现叶顶间隙处的噪声基本没有变化,而出口区的噪声降低很多;尾缘齿形化后的转子表面的声功率级比原型风扇低,且低声功率级的区域比原型风扇大。

关键词: 轴流风扇; 尾缘; 齿形; 噪声

中图分类号: TM925. 11

文献标识码: A

0 引 言

随着计算机行业的飞速发展和小型家用空调的普及,在小空间内产生较多热量的快速散热问题已成为影响相关产品稳定性和寿命等性能的关键。小型轴流风扇安装空间小、使用方便、成本低,已成为计算机和小型家电散热方案的首选,高性能和低噪声小型风扇的设计和制造也成为风扇设计主要研究目标。

很多学者通过改变转子几何尺寸以实现改善风扇的性能和噪声:文献[1]在转子前加不同的阻碍物进行了研究,发现加正弦阻碍物不仅能减小噪声,而且对静特性没有影响;文献[2]对叶片进行合理的穿孔,以达到减小噪声的目的;文献[3]对齿形尾缘离心式通风机进行了降噪实验研究,发现齿形化尾缘可以降低噪声 2.5 dB;文献[4]对空调用轴流风轮叶片尾缘出口加锯齿和不加锯齿的内流特性进行了对比研究,研究结果显示,叶片尾缘齿形化可以降低转子尾迹,降低噪声;文献[5]对叶轮机械动叶周向前弯进行了研究,发现周向前弯叶片比直叶片和向后弯的风扇性能好且噪声小。改变风扇转子达到降

噪目的的研究有很多,本文对小型轴流风扇尾缘进行合理的齿形化以达到降噪的目的,并对其内部流场进行分析,为高性能低噪声小型轴流风扇的设计提供一定的方法和途径。

1 小型轴流风扇的几何配置及齿形设计

本文研究的小型轴流风扇原型外径 84 mm,轮毂比 0.4,轮毂高 14.7 mm,转速 3 000 r/min,叶片数 7,基频 350 Hz,原型转子几何模型如图 1 所示。齿型叶片尾缘共有 8 个齿,叶根到叶顶齿形由密变疏,从叶根到叶顶,齿宽分别为 1、1.1、1.1、1.1、1.2、1.6、2、2 mm,齿高 1.5 mm,齿根线和原型风扇转子的尾缘重合。数值模拟时对实机进行了适当的结构简化,即不考虑电机及其支架的影响。

根据文献[6],正弦形齿形比三角形齿形降噪效果好,故本文选用正弦形齿形。由于风扇做功时,越靠近叶根输送的气体越少,所以齿形设计时,从叶根到叶顶,由密到疏分布,这样对风扇输送的气流影响不大而且对风扇的效率也没有什么影响。叶片尾缘齿形化主要是为了增加尾缘的长度,所以齿形放置

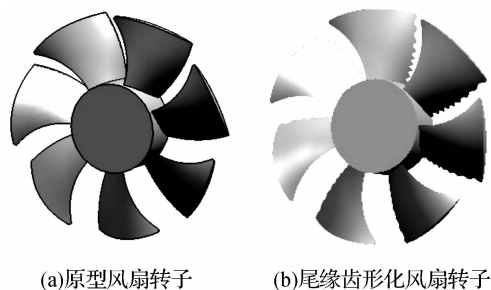


图 1 转子几何模型

时要以不影响其原来的静态特性为前提,齿根线和尾缘重合,由于齿形比较疏,故对静特性基本没有影响。

2 数值计算

计算域划分为 4 个区,分别为进口区、管道区、旋转区和出口区。转子的中心为坐标原点,如图 2 所示。为保证计算流场的稳定性,对风扇的进出口进行了适当的延伸。管道区用来模拟叶顶间隙处的流动,旋转区用来模拟转子旋转区的流动,出口区对经过转子做功后的流体进行模拟。进出口延长段采用六面体 cooper 网格,旋转区及其周围的管道区采用非结构化网格。原型风扇总网格数为 1 398 374,进口区网格数为 100 283,管道区网格数为 73 001,旋转区网格数为 630 390,出口区网格数为 594 700。齿形尾缘风扇的网格数和原型风扇相似。图 3 为齿形尾缘风扇转子上的网格图,图 4 为进口区、旋转区和出口区的网格图。



图 2 计算域划分示意图

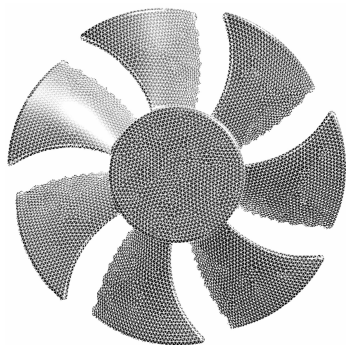


图 3 齿形尾缘风扇转子上的网格图

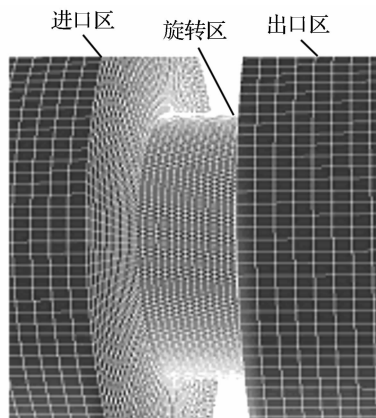


图 4 进口区、旋转区和出口区的网格图

借助计算流体力学软件对有无齿形尾缘的两款小型轴流风扇进行三维流场模拟。采用三维不可压缩雷诺时均 Navier-Stokes 方程求解,计算域给定流量进口和压力出口边界条件,壁面采用无滑移边界条件。

定常计算选取 RNG $\kappa\epsilon$ 湍流模型,压力-速度耦合采用 SIMPLE 算法,采用非耦合隐式求解器(segmented)。为了提高数值精度,控制方程的数值离散方法采用二阶精度迎风差分格式。非定常计算以定常计算收敛以后得到的流场数据作为计算初场,采用大涡模拟 (LES),压力与速度耦合采用 PISO 算法,交界面处使用滑移网格,叶轮旋转区采用参考坐标系,各项的收敛残差为 10^{-4} 。在非定常计算流场的基础上,噪声预测采用 FW-H 声学模型来模拟,并用 FFT 技术对噪声数据进行处理,获得噪声频谱分布特性。

3 模拟结果及分析

对原型和齿形尾缘两款小型轴流风扇模型进行定常模拟计算,得到静压-流量曲线图和效率-流量曲线图。

图 5 为静压-流量曲线。由图 5 可以看出:

a) 由原型和齿形尾缘模拟曲线可以看出,在小流量和大流量时,原型风扇的静压比齿形风扇的静压高,但当 $0.01 \text{ kg/s} < Q < 0.02 \text{ kg/s}$ 时,齿形风扇的静压比原型风扇的静压高。由此可见,在工况点附近,齿形尾缘风扇的静特性比原型风扇略好;

b) 由静压-流量曲线还可以看出,数值模拟结果和实验结果基本吻合,即随着流量的增大而减小。在整个流域内,数值模拟结果比实验结果偏大,其原因主要是由于数值模拟是在理想状态下研究分析,而由于环境、系统等原因,导致实验结果偏小,但整体趋势保持一致。

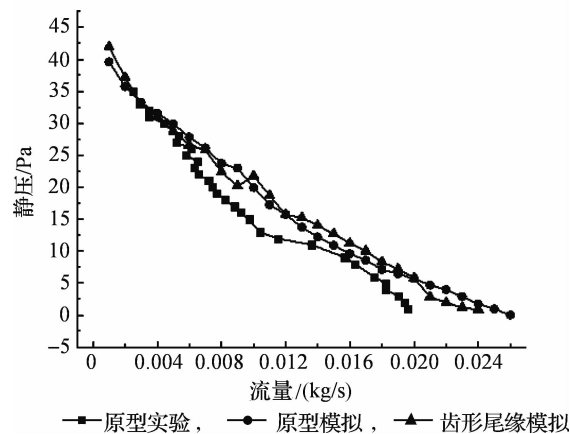


图5 静压-流量曲线

图6为效率-流量曲线。由图6可以看出：

a)当 $Q < 0.008 \text{ kg/s}$ 时,两款风扇的效率曲线基本相同;当 $0.008 \text{ kg/s} < Q < 0.014 \text{ kg/s}$ 时,两款风扇的效率曲线比较混乱,齿形尾缘风扇的曲线在 $Q = 0.011 \text{ kg/s}$ 时突然增大然后又减小;当 $0.014 \text{ kg/s} < Q < 0.02 \text{ kg/s}$ 时,齿形尾缘风扇的效率比原先风扇的效率低;当 $Q > 0.02 \text{ kg/s}$ 后,原型风扇的效率比齿形尾缘风扇的效率低;

b)两条模拟曲线趋势一致,都是先增大后减小,两款风扇模型的工况点也相同,但原型风扇的流域比齿形尾缘风扇的流域广。

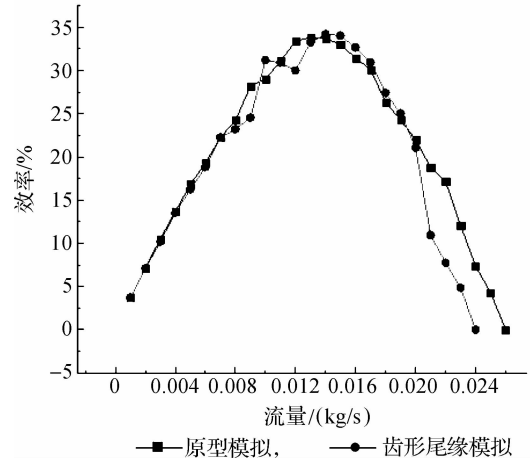


图6 效率-流量曲线

对比分析图5和图6可知,与原型风扇比较,风扇的尾缘齿形化以后,静压和效率几乎没有变化,说明风扇尾缘齿形化对静特性影响不明显。

图7为两款风扇的静压在工况点处沿Z轴的分布。由图7可以看出：

a)进口区和出口区的静压有压差,进口处和出口处的静压有突变,齿形风扇在进口处比原型风扇略低,其它的地方都相似,故齿形尾缘风扇在工况点

的静压差比原型风扇高,与图5所示曲线相吻合;

b)在旋转区,由于转子做功,两个模型的静压均变大,齿形尾缘风扇的静压值比原型风扇的静压值大,流体流入出口区后,静压恢复平稳,在出口区离转子中心大约40 mm处,静压凸出,但在出口处齿形尾缘风扇的静压稳定性没有原型风扇好。

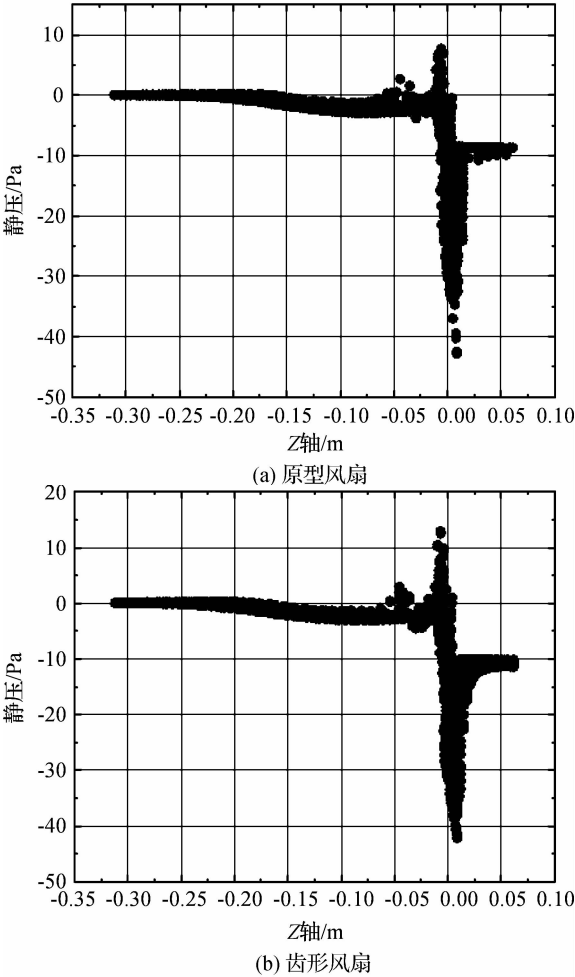


图7 静压沿Z轴分布

图8为在设计工况流量下,不同时刻在叶顶间隙处和出口区50 mm处噪声测点的声压级。由图8可以看出：

a)当噪声接收点在叶顶间隙处时,两款风扇的声压级基本相同,且在不同的时刻声压级比较稳定。当噪声接收点在出口区50 mm处时,齿形尾缘风扇的声压级明显比原型风扇低约10 dB,齿形风扇在 $t = 0.51375 \text{ s}$ 时,声压级相对较大,但在下一时刻声压级减小且以后保持平稳,原型风扇在 $t = 0.51375 \text{ s}$ 时,声压级相对较小,在下一时刻声压级增大,但以后又慢慢减小直至平稳;

b)位置对噪声的影响较大,时间对噪声影响不大,叶顶间隙处的噪声比出口区的噪声大,在风扇出

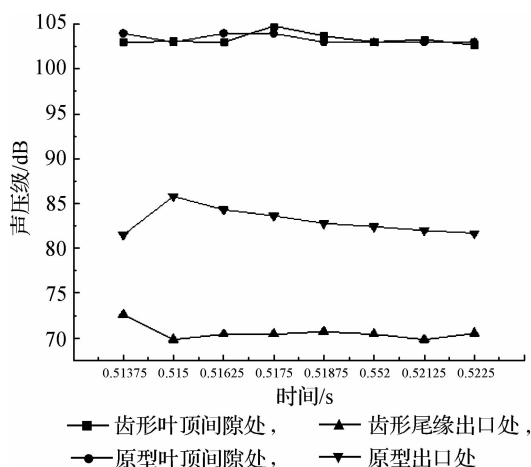


图 8 不同时刻声压等级分布

口处,齿形风扇的噪声明显比原型风扇低,这说明风扇尾缘齿形化以后,对出口区的噪声起到很好的抑制作用。

图 9 为壁面上的声功率分布图,由图 9 可以看出:

a)声功率级强的大部分集中在机匣上,其中叶顶部位声功率级最大;

b)在出口区离转子中心 20~80 mm 范围内的壁面上也有声功率大的部位,但是齿形尾缘的面积比原型的大。

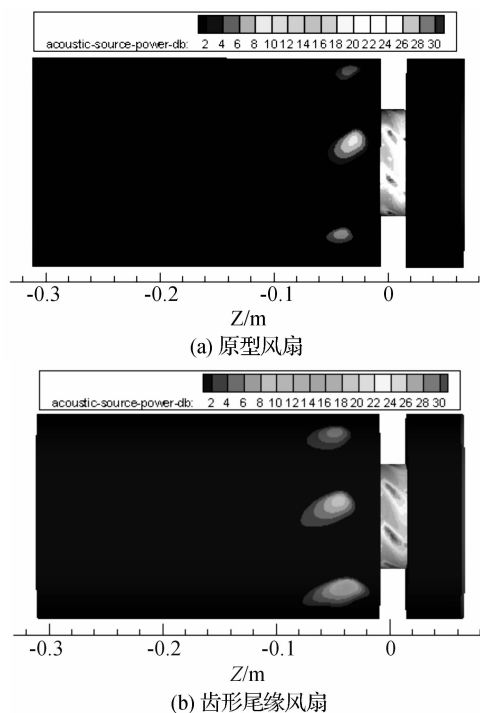


图 9 壁面上气动噪声声功率级分布

图 10 为风扇转子吸力面和压力面上的声功率级分布图。由图 10 看出,无论是吸力面还是压力面,声功率强度大的部位都出现在叶片前缘,加上齿形后,声功率强度大的部分明显比原型风扇小,声功

率级小的部分面积比原型风扇大,且最高声功率级也比原型风扇低。

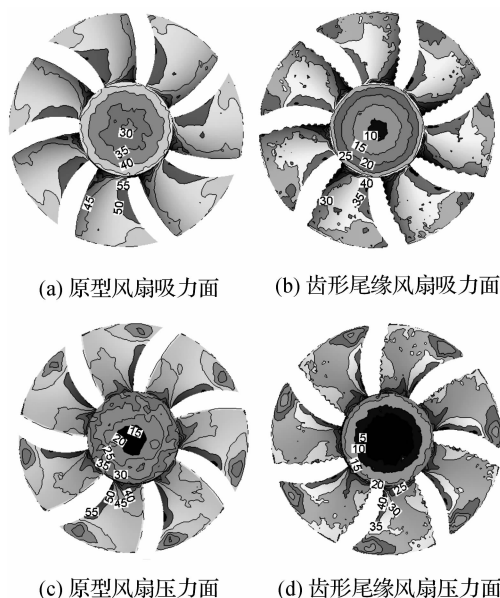


图 10 风扇转子吸力面和压力面上的声功率级分布

4 结 语

设计了一种尾缘齿形化小型轴流风扇,应用 RNG 和 $k-\epsilon$ 湍流模型对其静特性进行模拟,用 LES 对气动声学特性进行模拟,其结果如下:

a)对叶顶和出口区的某点进行声学监测,发现尾缘齿形化后对叶顶处的噪声基本没有影响,但出口区的噪声比原型风扇降低了 10 dB 多;

b)尾缘齿形化后,转子上的声功率级比原型风扇低,且低声功率级的面积也比原型风扇大。

参考文献:

- [1] Ge'arda A, Berrya A, Massona P, et al. Experimental validation of tonal noise control from subsonic axial fans using flow control obstructions [J]. Journal of Sound and Vibration. 2009, 321(1): 8-25.
- [2] 方开翔,李豪杰,高 慧. 基于 Fluent6.0 的风机流场模拟与噪声预估[J]. 江苏科技大学学报, 2008, 22(4): 42-47.
- [3] 陆晓军. 齿形叶片降低离心式风机噪声的实验研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(5): 86-88.
- [4] 游 斌,程志明,马 列,等. 齿形尾缘轴流叶轮内流数值分析与实验研究[J]. 工程热物理学报, 2007, 28(4): 592-594.
- [5] 欧阳华,钟芳源. 叶轮机械气动噪声及周向前弯动叶降噪技术的研究[J]. 风机技术, 2002(5): 11-15.
- [6] 宫武旗,王 芳,付 裕,等. 叶片尾缘齿对空调器室外机气动噪声影响的试验研究[C]//中国工程热物理学会. 中国工程热物理学会学术会议论文集. 南京: 2010: 188-188.

Aerodynamic Performance Study on Small Axial Fan with Tooth Shaped Trailing Edge

QIAN Hong-yu, JIN Ying-zi, ZHAO Yi, ZHANG Li, LI Bo

(School of Machinery and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The small axial flow fan is a key cooling element of computer. So the air volume and noise have effect on the normal work and life span of computer directly. High-performance and low-noise of cooling fan already become one of the key problems of the computer configuration. A small axial fan with tooth shaped trailing edge which tooth density is enlarging from hub to leaf is designed. CFD software is used to simulate the static performance and aerodynamic performance. Further more, the flow filed and aerodynamic are analyzed. The small axial flow fan with tooth shaped trailing edge has no effect on the static performance. However, under the large flow rate, the efficiency is lower than that of the prototype fan. The certain points in the tip clearance and export area are monitored for noise. The result shows that the noise in the tip clearance is almost same. The noise in the export area is lower than the prototype fan. The acoustic-surface power on rotator surface of the fan with tooth shaped trailing edge is lower than that of prototype fan. And the region of lower acoustic power is lager than the prototype fan.

Key words: small axial flow fan; trailing edge; tooth shaped; noise

(责任编辑: 杨元兆)

(上接第 360 页)

Analysis of the Body Figure Features of Boys Aged 3~6 in China's Three Large Areas

SUN Lei, ZHU Xiu-li, TU Ye, KONG Yuan

(School of Fashion, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The article studies northern, central and southern boy's body characteristics. Representative area is selected in the national scope. Three to six years old boys are selected at random and static measurements. In this paper the mean analysis and variance analysis are applied to analyze boy for bodily form feature analysis in three regions, different regional boy of bodily form feature difference and correspondence to the national standard and the contrast between the parts. Boys' characteristics in height and circumferences in these three areas are greatly distinctive except head circumference. Compared with other two areas, boys in Northern area is much higher. The boy's waistline is partial thick in the central area, so it is not obvious in Chest-waist difference and Hip-waist difference to boys in central area. Through the coverage we see in 100 cm, 110 cm, 120 cm file height chubby boy ratio increased. The result can provide a guide for the improvement of size design of the children and product research.

Key words: three large area of the boy; body characteristics; body difference

(责任编辑: 张祖尧)