

前向离心风机吸声蜗壳降噪的试验研究

刘晓良, 祁大同, 刘天一, 袁民建

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 采用在蜗板外衬贴吸声材料,并在吸声材料与外层隔板之间设置空腔的方法对某前向离心风机进行了蜗壳吸声降噪的试验测量,分析了不同转速、不同的吸声材料厚度和空腔厚度对吸声蜗壳降噪效果的影响.此外,还进行了吸声蜗壳与倾斜蜗舌2种降噪措施的叠加降噪试验.试验结果表明:与原风机相比,在整个运行工况范围内,使用吸声蜗壳后,风机的气动性能都略有下降;增加吸声材料与空腔厚度有利于提高吸声蜗壳的降噪效果,但吸声材料厚度和空腔厚度过大时对降噪效果的提高并不明显;在流量较小的工况下,吸声蜗壳的降噪效果相对较好,同时使用吸声蜗壳与倾斜蜗舌2种降噪措施可以取得一定的叠加降噪效果.

关键词: 离心风机;气动性能;降噪;吸声蜗壳

中图分类号: O42;O35 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)03-0092-05

Experiment Study of Noise Reduction with Sound-Absorption Volute for Forward-Swept Centrifugal Fan

LIU Xiaoliang, QI Datong, LIU Tianyi, YUAN Minjian

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A noise reduction experiment was conducted on a forward swept centrifugal fan with absorption material and cavity in its volute. The influence of different thickness of absorption material and cavity on the noise reduction of the sound-absorption volute at different speed was analyzed. A superimposed noise reduction test of the volute combined with an incline tongue was performed. Experimental results show that the aerodynamic performance of the modified fan is decreased slightly compared with that of the original fan. However, the sound absorption property of the volute is improved with the increase of the thickness of absorption material or cavity in a certain range of the thickness, especially at smaller flow rate or lower speed. The combination of absorption material and cavity in the volute with the incline tongue will lead to superimposed noise reduction.

Keywords: centrifugal fan; aerodynamic performance; noise reduction; sound-absorption volute

国内外的一些研究表明:离心风机的蜗壳壁面通常是风机的主要气动噪声源区^[1-4].当风机蜗壳不吸声时,钢板是强发射面,即所谓声学上的硬壁面,入射的声能被吸收的少,被反射的多.采用吸声饰面的蜗壳是声学上的软壁面,入射的声能被吸收的相对较多,反射的相对较少,建立起来的声场声压级就会降低.降噪量的多少主要受吸声材料的厚度、吸声系数及其背后的空腔厚度等方面的影响^[5-6].

Bartenwerfer等人^[7]曾采用在穿孔的蜗板外包一层吸声材料制成吸声蜗壳的方法对某离心风机进行了降噪的试验研究,使改进后风机的A声级降低了9~12 dB,但没有考虑吸声材料厚度对降噪效果的影响.文献^[8]则报道了蜗板在选用不同孔径、穿孔率以及选用不同吸声材料对吸声蜗壳降噪效果的影响.到目前为止,国内外对吸声蜗壳的研究还比较少,因此本文对采用吸声蜗壳的某前向离心风机进

行了试验测量,研究了吸声材料及其背后空腔的厚度在不同转速下对吸声蜗壳降噪性能和风机气动性能的影响。此外,同时采用多种降噪措施,其结果并不具有叠加性,本文还对吸声蜗壳与文献[9]中已取得较好降噪效果的倾斜蜗舌进行了叠加降噪试验,并分析了2种措施的降噪叠加性。

1 试验装置和测试方法

本文所研究的前向离心风机叶轮进口直径 $D_1=156$ mm,叶片出口直径 $D_2=400$ mm,无叶旋转扩压器出口直径 $D_3=460$ mm,叶片数 $Z=12$,叶片进口安装角 $\beta_{1A}=38^\circ$,出口安装角 $\beta_{2A}=126^\circ$,叶轮进口宽度 $b_1=70$ mm,叶轮出口宽度 $b_2=36$ mm,蜗壳宽度 $B_1=64$ mm,蜗壳出口长度 $B_2=128$ mm,图1示出本文试验所用的模型风机。在风机的内部流通部分,使用吸声蜗壳的风机(下文简称改进风机)与原风机仅在蜗板的结构上有区别,其他几何尺寸均不变。改进风机的蜗板采用板厚为3 mm、孔径为5 mm、穿孔率约为45%的穿孔钢板,而原风机采用的是光滑钢板。蜗板外部的吸声材料通过软薄穿孔板来固定,并与外层隔板之间形成一定厚度的空腔。图1中 H_1 为吸声材料的厚度, H_2 为空腔的厚度,本文分别选取吸声材料厚度 $H_1=25, 50, 75$ mm,空腔厚度 $H_2=0, 25, 50$ mm,在风机运行转速 $n=2\ 900, 1\ 450$ r/min 下进行试验测量。

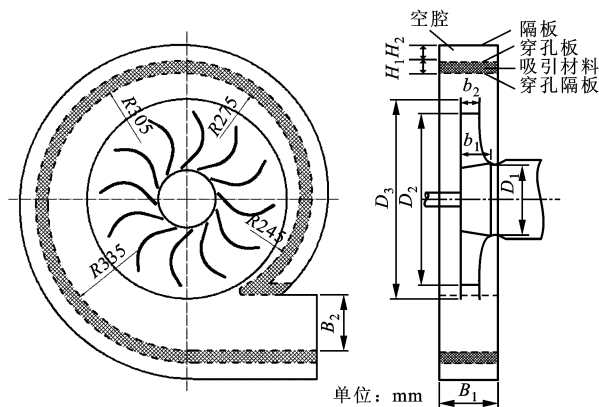


图1 试验风机的结构示意图

本次试验在西安交通大学流体机械国家专业试验室的消声室内进行,试验装置和噪声测点布置如图2所示。试验按照中华人民共和国国家标准《GB/T1236—2000 通风机空气动力性能试验方法》和《GB/T2888—91 风机和罗茨鼓风机噪声测量方法》进行。

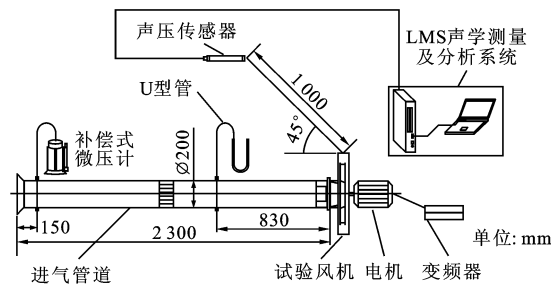


图2 风机试验台示意图

2 试验结果及分析

2.1 吸声蜗壳对风机气动性能的影响

在不同的吸声材料和空腔厚度下,改进风机的气动性能基本保持不变。试验所得的气动性能对比见图3和图4。试验结果表明:由于穿孔的蜗板有较高的壁面摩擦阻力,改进风机的全压和效率在整个运行工况范围内都有所下降。在转速 $n=2\ 900$ r/min 时,全压降低了约50~200 Pa,效率下降了约3%~5%,风机输出的最大容积流量减少了约4%。在转速 $n=1\ 450$ r/min 时,全压降低了约10~40 Pa,效率下降了约1%左右,风机输出的最大容积流量减少了约3%。不同工况下的全压和效率损失不同,在流量较小的工况下,全压和效率损失相对较小。可见,由于蜗板穿孔,改进风机的气动性能受气流流速的影响增大。随着风机流量的增大,其内部气流流速增大,此时因蜗板穿孔引起的流动损失也增大。

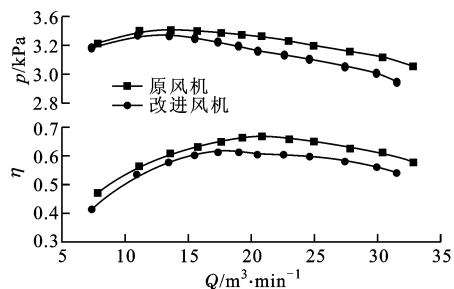


图3 转速 $n=2\ 900$ r/min 下的气动性能对比

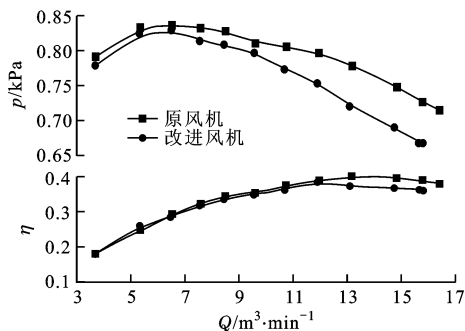


图4 转速 $n=1\ 450$ r/min 下的气动性能对比

2.2 吸声材料厚度对吸声蜗壳降噪效果的影响

对于选定的吸声材料,其厚度关系到吸声材料的吸声系数,从而会影响吸声蜗壳的降噪效果.图5为吸声蜗壳在选取不同厚度的吸声材料(保持空腔厚度 $H_2=0$ 不变)时,风机出口总A声级随流量的变化曲线对比图.

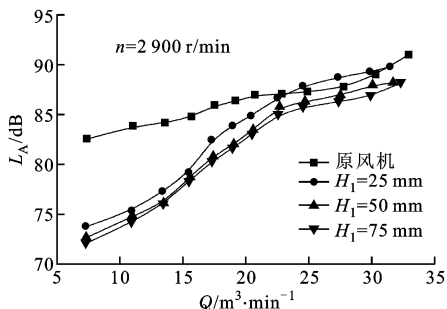
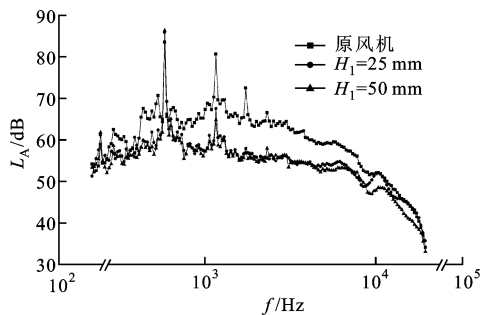


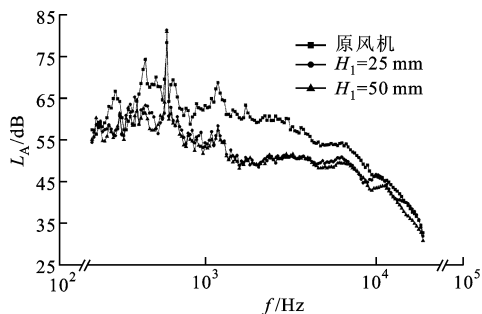
图5 改进风机与原风机的总A声级对比

图5的试验结果表明,在不同流量下,吸声蜗壳的降噪效果不同.随着流量的减小,降噪效果明显增强,这主要是因为流量较大的情况下,气流流速较高,而流速对吸声材料的吸声性能影响较大^[5-6].当吸声材料厚度 $H_1=25$ mm时,与原风机相比,在大流量区域,总A声级略有增加,最大增量约有1.5 dB,在高效点($Q_{\text{BEP}}=20.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),总A声级下降约2 dB,在小流量区域,总A声级降低约5~7 dB.随着吸声材料厚度的增加,吸声蜗壳的降噪效果略有增强.当吸声材料厚度 H_1 从25 mm增加为50 mm时,降噪量增加了约1~2 dB;当吸声材料厚度 H_1 从50 mm增加为75 mm时,降噪量增加不明显,最大增量约为0.5 dB.

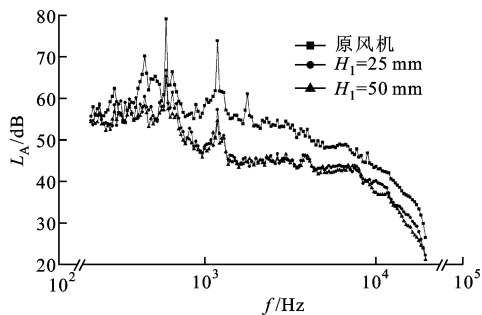
从图6可以看出,与原风机相比,改进风机在3个不同流量下、频率在0.4~10 kHz的范围内、高频噪声都下降得比较明显,这主要与所选的吸声材料(岩棉)在该频带的吸声系数较大有关.当吸声材料厚度 H_1 从25 mm增加为50 mm时,各频带的降噪量也略有增加.从图6的大流量和高效点频谱中可以看出,虽然大部分中高频噪声都普遍降低,但在0.58 kHz的频率下基频噪声却有所增加.由于蜗板穿孔导致叶轮出口气流与蜗壳之间的非定常干涉加剧,气流再生噪声增大,气流流速越高,气流再生噪声也越大,其频率与风机离散噪声的频率一致^[6],从而使风机的基频噪声增大.因为在大流量区域,基频噪声在该风机气动噪声中占有主导地位^[9],所以导致风机出口总A声级在大流量区域随基频噪声的增加而增大,这也就是图5中改进风机在大流量区



(a) 大流量



(b) 高效点



(c) 小流量

图6 改进风机与原风机的噪声频谱对比图
 $n=2900 \text{ r/min}$

域没有明显降噪的原因。

2.3 空腔厚度对吸声蜗壳降噪效果的影响

增加吸声材料背后的空腔厚度对提高吸声材料的吸声系数有利^[5-6].从图7可以看出(保持吸声材料厚度 $H_1=25$ mm不变),空腔厚度对风机噪声的影响与吸声材料的影响类似.随着空腔厚度的增加,总A声级略有下降,但降幅相对较小.为了提高吸声蜗壳的降噪效果,可以在吸声材料背后增加一定厚度的空腔,这相当于增加了吸声材料的有效厚度,比单纯增加吸声材料的厚度更为经济.

2.4 转速变化对吸声蜗壳降噪效果的影响

改变风机的运行转速,风机的流量和气流的速度也将随之改变,这对吸声材料的吸声系数有一定的影响^[5-6],从而会影响吸声蜗壳的降噪效果.图8($n=1450 \text{ r/min}$,保持空腔厚度 $H_2=0$)与图5($n=$

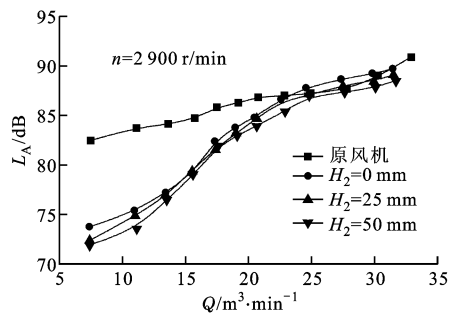


图 7 改进风机与原风机的总 A 声级对比

2 900 r/min)吸声蜗壳的降噪效果相比,低转速下的降噪效果更加明显,而吸声材料厚度对降噪效果的影响与风机在转速 $n=2\ 900\ \text{r/min}$ 下的类似.在所测量的整个运行工况范围内,总 A 声级降低约 5~7 dB,说明不同的工况下的降噪量比较接近.这一结果表明:在流量较小、流速较低时,气流速度对降噪量的影响比较小,吸声蜗壳的降噪效果也就更加明显.

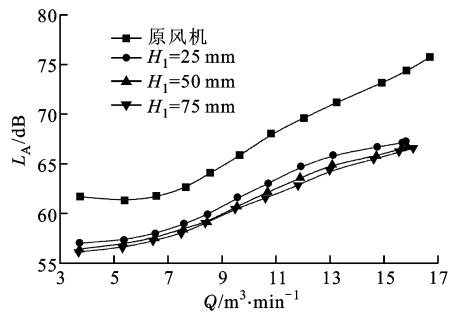


图 8 转速 $n=1\ 450\ \text{r/min}$ 下的风机总 A 声级对比

2.5 吸声蜗壳与倾斜蜗舌的叠加降噪分析

有些降噪措施在单独使用时能取得很好的降噪效果,但在叠加使用时却不能取得更大的降噪量^[5,9].文献[9]中所设计的倾斜蜗舌在本文所研究的风机上取得了较好的降噪效果,其蜗舌的结构形式如图 9 所示,图中 R_1 为后侧板处的蜗舌半径, R_2 为前侧板处的蜗舌半径, θ 为蜗舌的倾角.本文根据

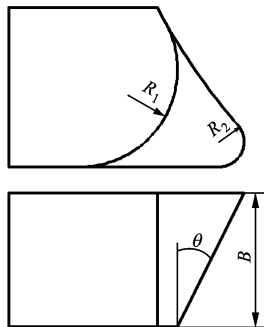


图 9 倾斜蜗舌示意图

文献[9]的研究成果,将吸声蜗壳($H_1=25\ \text{mm}$, $H_2=0$)的直蜗舌替换成倾斜蜗舌,并对风机进行了叠加降噪的试验.从图 10 中可以看出,2 种降噪措施同时实施后风机取得了更大的降噪量,二者有一定的叠加性,但降噪叠加量并不等于 2 种降噪措施单独取得的降噪量之和.当转速 $n=2\ 900\ \text{r/min}$ 时,在风机的整个运行工况范围内,总的降噪量约为 7~10 dB.图 11 给出风机在大($1.5Q_{\text{BEP}}$)、高效点(Q_{BEP})、小($0.5Q_{\text{BEP}}$)流量下的噪声频谱对比.

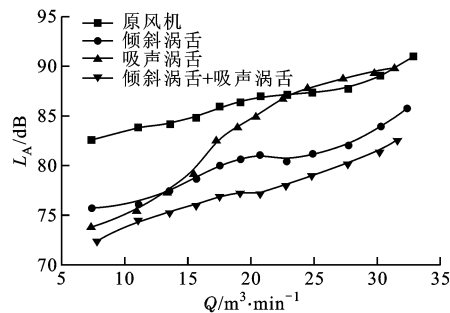
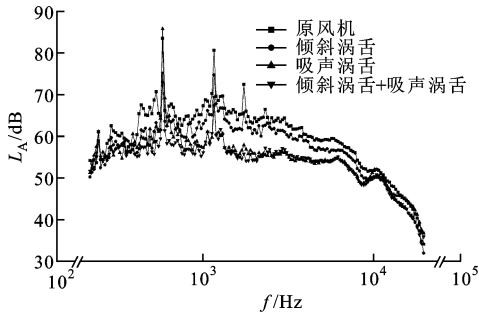
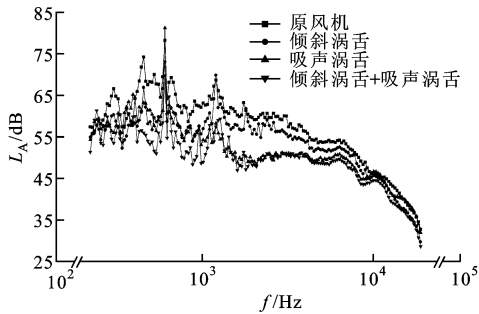


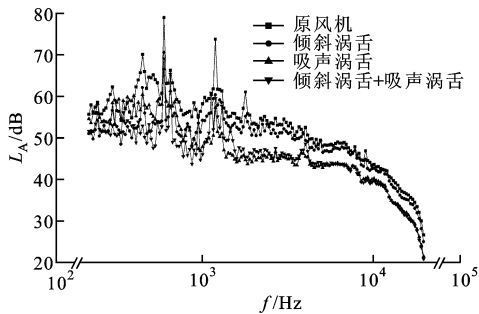
图 10 转速 $n=2\ 900\ \text{r/min}$ 下的总 A 声级对比



(a)大流量



(b)高效点



(c)小流量

图 11 风机的噪声频谱对比图($n=2\ 900\ \text{r/min}$)

从图 11 的频谱上可以看出,使用倾斜蜗舌后,风机在 0.58 kHz 处的基频噪声明显降低,而吸声蜗壳能够使中高频的噪声明显降低.2 种降噪措施施加后,降噪效果更加明显.此时,因为倾斜蜗舌已经使风机的基频噪声明显降低,基频噪声对风机出口总 A 声级的贡献减小,因此吸声蜗壳在中高频的良好降噪效果便能够显现出来.这就是为什么单独使用吸声蜗壳,在大流量区域没有降噪效果,而采用吸声蜗壳与倾斜蜗舌叠加降噪后取得了比单独使用倾斜蜗舌更大降噪量的原因.

3 结 论

(1)由于吸声蜗壳在内蜗板上穿孔,增加了流动阻力,导致风机全压和效率有所下降,这仍有待于下一步寻求更加合理的吸声蜗壳设计,改善风机的节能性.

(2)增加吸声材料或空腔厚度都能不同程度地提高吸声蜗壳的降噪效果,但当吸声材料厚度达到一定值后,继续增加厚度对降噪效果的提高并不明显.

(3)针对本文使用的吸声材料,吸声蜗壳的降噪效果受气流速度影响较大.在转速降低、流量减小的工况下,降噪效果相对较好.

(4)通过合理的设计,采用吸声蜗壳可以在不过多增加风机体积时取得比较明显的降噪效果.同时,采用吸声蜗壳与倾斜蜗舌 2 种降噪措施,其降噪效果具有一定的叠加性,可以取得更大的降噪量.

参考文献:

- [1] Suárez S V, Tajadura R B. Numerical prediction of the aerodynamic tonal noise in a centrifugal fan [C/CD]// Proceedings of ASME'02 Engineering Division Sum-

mer Meeting. New York, USA: ASME, 2002: FEDSM 2002-31210.

- [2] LIU Qihong, QI Datong, MAO Yijun. Numerical calculation of centrifugal fan noise [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers; Journal of Mechanical Engineering Science, 2006, 220: 1167-1178.
- [3] 刘秋洪. 离心通风机气动噪声数值分析方法的研究及工程应用 [D]. 西安:西安交通大学能源与动力工程学院, 2007.
- [4] 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): 123-127.
- MAO Yijun, QI Datong, LIU Qihong. An analysis of the aeroacoustic source and noise type of a centrifugal fan based on the unsteady flow [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(9): 123-127.
- [5] 智乃刚, 萧滨诗. 风机噪声控制技术 [M]. 北京:机械工业出版社, 1985.
- [6] 张林. 噪声及其控制 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2002.
- [7] BARTENWERFER M, GIKADI T, NEISE W, et al. Noise reduction in centrifugal fans by means of an acoustically lined casing [J]. Noise Control Engineering, 1977, 8(3): 100-107.
- [8] 姚贵喜, 白蔚君, 李国兴. 船用离心通风机降噪的试验研究:吸声蜗壳对噪声的影响 [J]. 流体机械, 1998, 26(3): 6-9.
- YAO Guixi, BAI Weijun, LI Guoxing. The Experimental study on the noise reduction of marine centrifugal fan; the noise effect of absorption-volute [J]. Fluid Machinery, 1998, 26(3): 6-9.
- [9] 马健峰. T9-19 系列小型号离心风机的降噪研究 [D]. 西安:西安交通大学能源与动力工程学院, 2008.

(编辑 王焕雪)

[文摘预登]

两轮独立驱动电动车转矩协调控制研究

许鹏, 曹秉刚, 曹建波, 郭桂芳

(西安交通大学电动汽车研究开发中心, 710049, 西安)

为了使独立驱动电动车 2 个驱动轮的转矩能够协调控制,给出了驱动系统的结构,建立了电动车运动模型.根据电动车的转动平衡,得出电动车在高速转弯时,外侧轮的受力明显高于内侧轮;当 2 个车轮受到的滚动摩擦系数不同时,2 个车轮的受力也不同,因此采用神经网络 PID 控制方法,对 2 台轮毂式电动机分别进行了控制.仿真实验数据表明,该模型及控制方法可很好地反映电动车在各种工况下的响应特性,并提高了电动车的运行安全性与稳定性.