

文章编号:1006-1355(2021)04-0259-05

吸油烟机在国标及用户体验下的噪声差异分析

黄 朴, 肖林辉, 乌胜斌

(广东中山百得厨卫有限公司, 广东 中山 528478)

摘要:针对吸油烟机在国标及用户体验两种不同条件下噪声具有较大差异的问题,采用瞬态CFD(Computer Fluid Dynamic)方法求解吸油烟机内部流场分布,基于Actran提取瞬态流场信息后计算噪声的远场传播。研究在国标和用户体验条件下,吸油烟机在电机转速、风量、内部流场及噪声监测点设置方面的差异性,模拟计算噪声监测点数值,并与实际测量的噪声值进行比较。研究表明:在用户体验条件下吸油烟机内部流场相对混乱,在国标条件下其外部流场相对混乱。在用户体验条件下,噪声监测点未在噪声传播核心区以及外接烟管的导流作用,使得吸油烟机噪声值比在国标条件下平均低2.1 dB。噪声模拟值与实际值的误差在10%以内,从侧面验证了声学模拟方法的正确性。

关键词:声学;Actran;吸油烟机;气动噪声;用户体验

中图分类号:TH432;TB535

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2021.04.040

Noise Difference Analysis of Range Hoods between National Standard and User's Experiences

HUANG Pu, XIAO Linhui, WU Shengbin

(Guangdong Zhongshan Baide Kitchen Co., Ltd., Zhongshan 528478, Guangdong, China)

Abstract: Aiming at the large noise differences of range hoods between national standard and user's experiences, transient CFD was used to solve the internal flow distribution of the range hoods. The transient flow field information was extracted based on Actran and the far-field propagation of noise was calculated. The distinctions of motor speed, volume flow rate, internal flow and noise monitoring points between the domestic standard and user's experiences were studied respectively. The noise at monitoring points was simulated and the results were compared with those of actual noise. The results of the study indicate that internal flow of the range hood is relatively disordered in the condition of user's experience and the external flow of the range hood is disordered in national standard condition. In the condition of user's experience, the diversion of external tube and the noise monitoring points are beyond the core area of noise propagation so that the average noise is 2.1 dB lower than that in national standard condition. The difference between simulated noise and actual noise is within 10%, which verifies the correctness of the acoustic simulation method.

Key words: acoustics; Actran; range hood; flow noise; user's experience;

在国家标准《GB/T 17713—2011 吸油烟机》中采用全球包络法对吸油烟机噪声进行测定。按国标规定,测定吸油烟机噪声时不外接烟管,4个噪声测试点A、B、C、D分别处于比被测吸油烟机风机叶轮中心低1 m的水平平面与球表面相交形成的周围上均布的4个位置。而在用户体验条件下,吸油烟机需通过弯曲的烟管连接公共烟道,往往在出口处形

成了背压,对噪声有较大影响。另外,在用户体验条件下,噪声测试点应为在实际烹饪情况下人耳所处的位置,与国标噪声测试点有所不同。综上,吸油烟机在国标与用户体验下的噪声有很大的差异性^[1]。

Actran是比利时FFT(Free Field Technologies)公司开发的噪声分析软件^[2],其中Aero-Acoustic是预测湍流噪声的声学模块,多应用于航空、汽车、船舶行业的气动噪声计算。白长安等^[3]采用CFD软件与Actran结合的方法,对汽车风噪声进行了计算,并分析了声壁面脉动压力和湍流壁面脉动压力对车内驾驶员人耳处的贡献率。张咏鸥等^[4]利用Actran基于Lighthill声类比理论对舰船管路系统中阀门水力流噪声进行了求解,与实际测量值误差仅3%。

收稿日期:2020-08-20

基金项目:中山市科技发展专项资金资助项目
(180301091906082)

作者简介:黄朴(1994-),男,湖南省汨罗市人,硕士,主要研究方向为吸油烟机风道系统开发。

E-mail: 17378252983@163.com

文中基于瞬态CFD与Actran联合方法对吸油烟机在国标和用户体验两种情况下的噪声进行了模拟研究,并与实际测量结果进行了对比,分析了其差异性。

1 数学建模

1.1 气动噪声方程

风机气动噪声主要由两类噪声构成,分别为叶片倍频噪声(由于叶片周期性转动所导致在特定基频与倍频处的噪声)和涡流噪声(由于湍流产生的宽频噪声,在整个频率区间无非常明显的起伏)^[5]。Lighthill声类比方法对于马赫数低于0.3的气流噪声有很好预测性,依据高斯定理将离心风机中紊乱体声源项积分得到面声源项,将面上的声源波动作为风机的声源项,从而进行气动噪声的传播计算,高斯方程^[6]如下:

$$\int_V \frac{\partial F_i}{\partial x_i} dV = \oint_S F_i n_i dS \quad (1)$$

式中: F_i 为向量场, x_i 为点坐标, n_i 为曲面通量,方程左侧为封闭空间里的声源体积分项,方程右侧为封闭空间曲面的声源面积分项。基于瞬态CFD的计算结果,在Actran中提取流场声源后以体声源和面声源的方法计算风机的气动噪声,其计算理论方程如下:

$$\begin{aligned} \omega^2 \int_V N_a \rho dV - \int_V \frac{\partial N_a}{\partial x_i} c_0^2 \frac{\partial \rho}{\partial x_i} dV = \\ i\omega^2 \oint_S N_a \rho v_i n_i dS + \int_V \frac{\partial N_a}{\partial x_i} \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j} dV \end{aligned} \quad (2)$$

式中: N 为向量场, x_i 为点坐标, n_i 为曲面通量, ρ 为气体密度, c_0 为声速, ω 为通量密度, T_{ij} 为Lighthill应力张量,方程左侧为声音波动算子项,方程右侧为基于流场数据提取的面声源项和体声源项。

1.2 仿真计算模型

在Actran中计算旋转机械类噪声有3种方法:

(1) 解析声源法:对于大型旋转机械,如果划分网格进行流体计算,计算量会很大,这时往往会采用解析生源法,采用Rotor Noise直接算叶片倍频噪声。

(2) CFD稳态法^[7]:通过提取稳态CFD流场数据计算叶片倍频噪声,相比于解析声源法有更高的精度。

(3) CFD瞬态法^[8]:通过提取周期性瞬态CFD流场数据计算叶片倍频噪声和涡流噪声,相比于以上两种方法有更高的精度,但是计算量较大。

本文采用第3种瞬态CFD方法计算欧式吸油烟机在国标和用户体验下的气动噪声,将吸油烟机三维模型简化后,得到最终的仿真模型如图1所示。

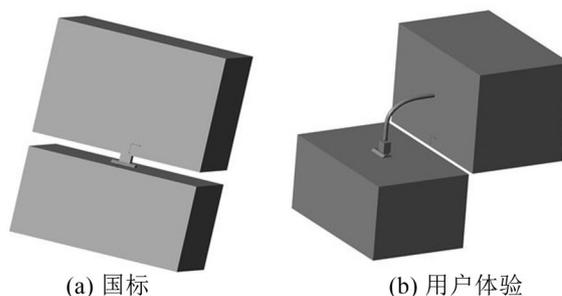


图1 仿真模型

将三维模型划分网格后导入FLUENT中进行瞬态流场计算^[9]。首先采用RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型结合SIMPLEC速度-压力算法求解离心风机内部稳态流场,待其收敛后,基于稳态流场采用大涡模拟LES (Large Eddy Simulation)进行瞬态计算^[10],待其监测点静压呈现周期性变化后,以Enight Gold中间格式输出瞬态流场的速度项和密度项,以便导入Actran进行噪声计算。在Actran中,通过ICFD Analysis提取瞬态流场噪声源,并将噪声时域信息转换为频域信息,基于其结果通过直接频谱分析DFR (Direct Frequency Response)计算远场噪声传播^[11]。以吸油烟机风轮中心为坐标原点,在国标下噪声监测点坐标分别为A(1,1,0)、B(0,1,1)、C(-1,1,0)、D(0,1,-1),在用户体验下取身高1.6 m的家庭主妇人耳所在处为噪声监测点,其坐标分别为a(1,0.1,0)、b(0,0.1,1)、c(-1,0.1,0)、d(0,0.1,-1)。因吸油烟机采用交流电机,其转速随着外部背压的变动而有所波动,为使模拟设置更加贴近实际情况,对电机转速、风量及最大静压进行了实验,转速、风量及最大静压曲线图如图2所示。

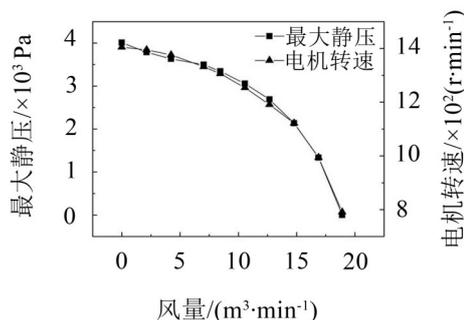


图2 转速、风量及最大静压曲线图

当背压为0时为国标情况,此时风轮转速为790 r/min。在实际用户条件下接烟管后对烟机进行了风量测试,此时风量相比于国标情况减少了1 m³/min,对应图2可知此时电机转速约为820 r/min。在模拟过程中将国标和用户体验下实际测量的电机转速设为参数以减少误差。

2 数值分析

2.1 流场分析

基于CFD-POST对吸油烟机在国标及用户体验条件下内部流场进行了分析,吸油烟机子午面的速度云图如图3所示。

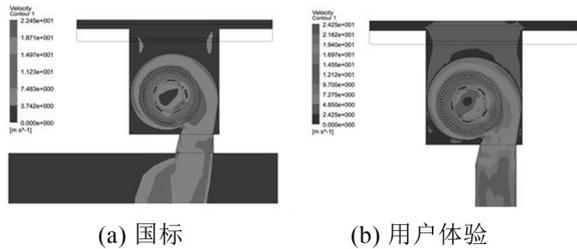


图3 子午面速度云图

从图3可以看到,在国标情况下,吸油烟机未接烟管而气流直接吹向大气,据伯努利原理,流体流动管道面积突然扩大到无限大,流体与壁面分离并形成漩涡,必然产生局部的流动能量损失,且在烟机出口处形成紊乱的气流区。在用户体验的情况下,吸油烟机出口处有一定的背压存在,导致机转速也有所提升,所以吸油烟机内部气流相对紊乱,其最大气流速度达到24.25 m/s,相比国标增大了8%。但是,外接烟管的导流作用使气流的紊乱区远离烟机,这也是在用户体验情况下,虽然其转速上升但噪声体验却会更好的原因之一,烟机气流流线图如图4所示。

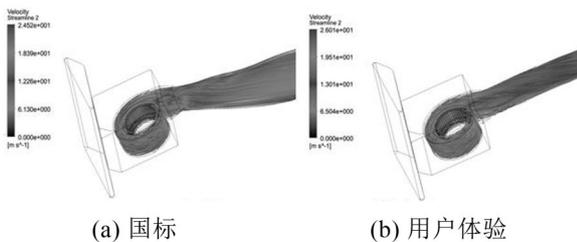


图4 气流流线图

2.2 噪声场分析

采用Actran VI模块进行瞬态流场噪声源的提取和声传播的计算,以lighthill surface及lighthill volume设置噪声源。将风轮转动区域体积噪声积分到风轮与风柜的交界面作为面生源,将风柜区域作为体生源^[12],计算得到吸油烟机表面的声压云图如图5所示。

从图5可以看出,在国标和用户体验条件下,吸油烟机内部的声压级分布基本一致,最大声压级区域主要分布在风轮和风柜处,可知离心风机为吸油烟机的主要噪声源,用户体验条件下烟机内部最大声压值为77.3 dB,比国标条件下高出2.4 dB。在

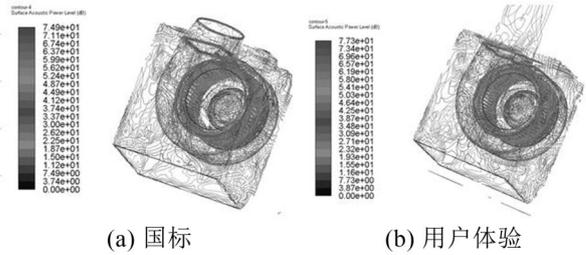


图5 声压云图

Actran PLT模块中对所监测的噪声点进行分析,声压1/3倍频图如图6所示。

从图6可以看出,吸油烟机噪声主要集中在中频500 Hz~1 500 Hz之间,低频区间噪声较小,高频区间噪声较为稳定,针对吸油烟机在特定频率下噪声较大的现象,可通过被动消声降低特定频率下的噪声。用户体验条件下各频率区间的噪声值都要小于国标条件下的噪声值,噪声模拟数值表如表1所示。

表1 噪声模拟数值表/dB

	A/a	B/b	C/c	D/d	均值
国标	53.1	52.3	56.7	49.1	52.8
用户体验	50.3	51.1	53.3	48.3	50.7
差值	2.8	1.2	3.4	0.8	2.1

从表1可以看出,用户体验下各监测点噪声比国标下噪声平均低2.1 dB,其一是因为外接烟管的导流作用使气流紊乱区远离了噪声监测点,其二是因为欧式烟机特定的结构使噪声由油网向下传播,而用户体验噪声监测点不在噪声的传播核心区,从而使噪声相对较低^[13]。

3 噪声测试及比较分析

为验证模拟结果的可靠性,对吸油烟机进行了噪声的实际测量。设备采用AWA6290L型多通道信号分析仪,采用GB/T6882-2008消声室和半消声室精密法能达到1级准确度。AWA14423型测试传感器放置位置与模拟过程中设置的噪声监测点一致,噪声测试图如图7所示。

将噪声监测点A/a实际测量频谱图与模拟计算频谱图进行对比,得到声压频谱图对比如图8所示。从图8可以看出,两个噪声监测点A/a模拟计算频谱图和实际测量频谱图趋势基本吻合。模拟噪声频谱图声压上下幅值的跳动更加明显,实际噪声频谱图声压上下幅值的跳动相对平稳,主要原因是在瞬态模拟过程中采用的LES大涡模拟精确求解了某个尺度上所有湍流尺度的运动,从而捕捉到RANS(Reynolds-average navier-stokes)方法无法求出的许

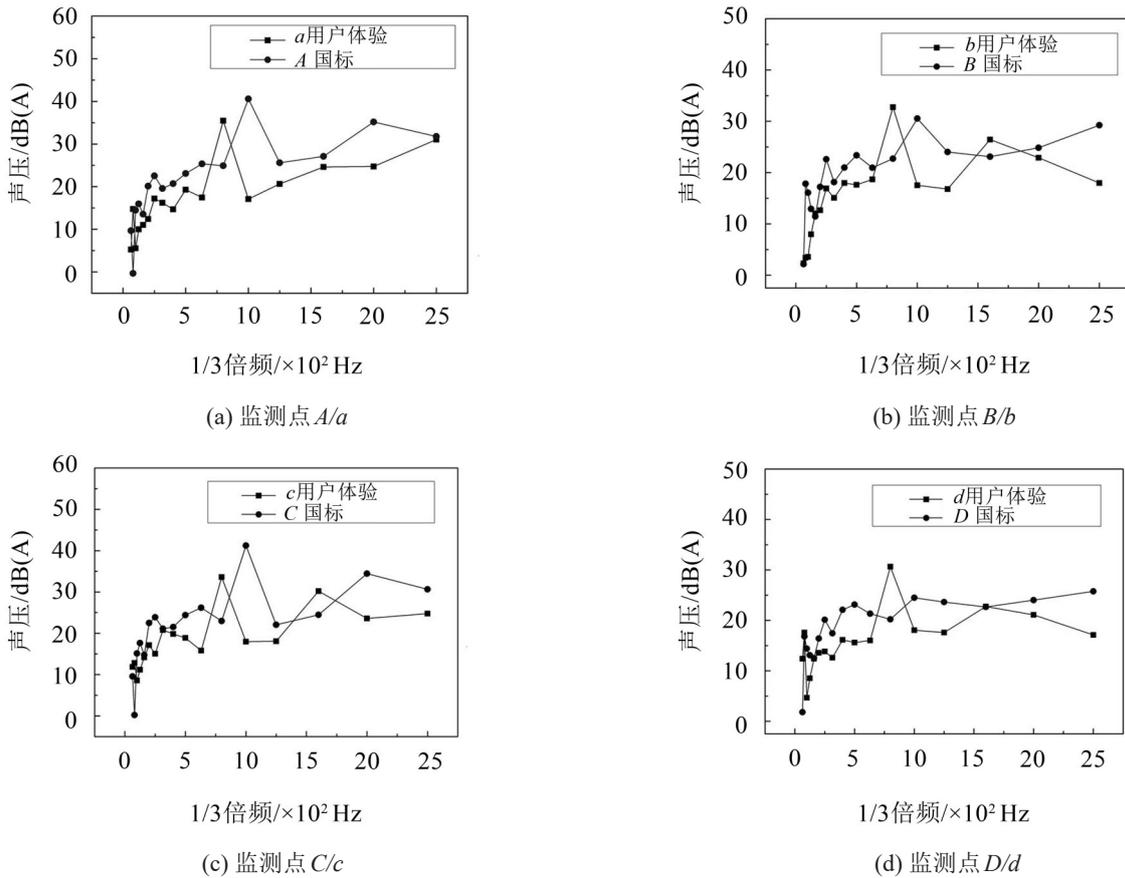


图6 声压1/3倍频图

多非稳态、非平衡过程中出现的大尺度效应和拟序结构。将模拟计算噪声值与实际测量噪声值进行对比,噪声模拟与实际数值表如表2所示。



图7 噪声测试图

从表2可以看出,噪声实际值比模拟值普遍要高出2 dB~4 dB,但是误差均在10%以内。用户体验下噪声模拟值比国标下噪声模拟值平均要低2.1 dB,用户体验下噪声实际值比国标下噪声实际值平均要低1.28 dB,噪声模拟值在国标和用户体验两种条件下的变化趋势与噪声实际值的变化趋势趋同,从而进一步验证了噪声模拟计算方法的正确性。

4 结语

本文基于声学仿真软件 Actran 对吸油烟机在国标和用户体验两种不同条件下的噪声进行了模拟研

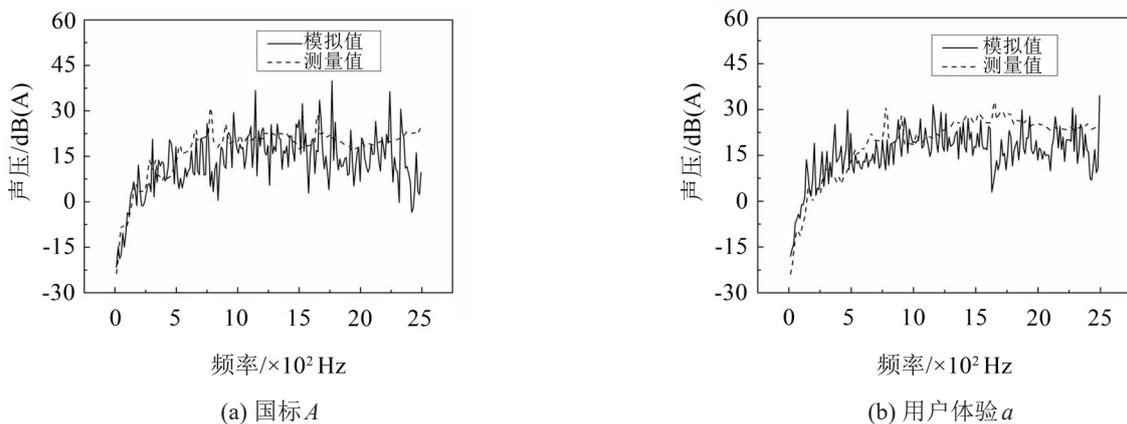


图8 声压频谱图对比

表2 噪声模拟与实际数值表/dB

	<i>A</i>	<i>a</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>d</i>
模拟值	53.14	50.28	52.32	51.11	56.71	53.34	49.12	48.26
实际值	55.83	54.36	57.53	55.28	55.18	54.52	52.03	51.29
误差/(%)	5	8.1	9.9	8.2	2.8	2.2	5.9	6.3

究,并与实际测量的数据和频谱进行了对比,探究了在国标和用户体验条件下吸油烟机的噪声差异,为家电行业制定吸油烟机的噪声评判标准提供了新参考,主要结论如下:

(1) 基于瞬态CFD+Actran的声学模拟方法对吸油烟机噪声有很好的预测能力,模拟值和实际值噪声频谱趋势一致且数值误差保持在10%以内。

(2) 吸油烟机噪声主要来源于风轮风柜,用户体验条件下吸油烟机内部声压比国标条件下高2.4 dB,噪声最大值稳定在频率500 Hz~1 500 Hz之间,属于中频噪声。

(3) 由于受到欧式吸油烟机的特定结构以及用户体验下的特定工况影响,用户体验条件下噪声数值比在国标条件下平均低2.1 dB。

参考文献:

- [1] 刘小民,王星,汤虎.我国吸油烟机性能改进技术研究进展[J].轻工机械,2011,35(3):122-127.
- [2] ZHANG CHUN LIANG, YAO MING JING, YUE XIA. Fault detection of structural vibro-acoustical radiation based on Actran[J]. Journal of Guangzhou University. 2015, 15(23): 45-55.
- [3] 白长安,隋洪涛,李奇.基于Actran某车型后视镜风噪声计算[J].计算机辅助工程,2013,22(S1):124-130+138.
- [4] 张咏鸥,张涛,刘继明.基于Lighthill声类比的流激噪声三维计算及验证[J].舰船科学技术,2014,36(9):55-59+64.

- [5] SHANNON C E. Communication in the presence of noise [J]. Proceedings of the IRE. 1949, 86(10): 10-21.
- [6] ZHANG LI QIANG, HOU HONG, YANG JIAN HUA. Noise control of a range hood by a guide flow dome with micro-perforation[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2010, 47(28): 58-62.,
- [7] WACHEM B G M VAN, SCHOUTEN J C, BLEEK C M VAN DEN. Comparative analysis of CFD models for dense gas-solid systems[J]. AIChE Journal, 2010, 47(5): 1035-1051.
- [8] 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,2005,12(9):81-85.
- [9] 姜鸿,张凯.吸油烟机气动噪声的数值模拟[J].中国计量大学学报,2016,81(1):63-67.
- [10] 徐俊伟,吴亚锋,陈耿.气动噪声数值计算方法的比较与应用[J].噪声与振动控制,2012,32(4):14-18.
- [11] SPARROW VICTOR, MIGEOT JEAN LOUIS, COYETTE JEAN PIERRE. Use of the student edition of Actran in acoustics education[J]. Acoustical Society of America Journal, 2016, 140(4): 3314-3314.
- [12] JOSHI RAVINDRA PRABHAKAR, BHOSALE SAHANA, PATIL PRAKASH H. Analysis and simulation of noise in power line communication systems[C]// First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 2008: 125-214.
- [13] 张伟.吸油烟机噪声测试及风机内部流场数值模拟[D].阜新:辽宁工程技术大学,2013:32-54.

(上接第202页)

参考文献:

- [1] 阿·斯·尼基福罗夫.船体结构声学设计[M].北京:国防工业出版社,1998:83-91.
- [2] CREMER L, HECKL M, PETERSOHN BAT, et al. Structure-borne Sound, 3rd Edition[M]. Berlin: Springer, 2005: 84-93.
- [3] 计方.船体结构声波动特性及阻波技术应用研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.

- [4] 姚熊亮,计方,钱德进,等.典型船舶结构中振动波传递特性研究[J].振动与冲击,2009,28(8):20-24.
- [5] 车驰东,陈端石.成任意角度连接的两块平板转角处阻振质量对平面弯曲波传递的影响分析[J].声学学报,2007,32(32):282-288.
- [6] 朱瑞仪.船舶结构振动传递规律的工程预报及抑制[D].上海:上海交通大学,2014.