

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2021.02.29

表面传声器校准技术研究

付强

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 表面传声器作为风速环境噪声测量工具广泛应用于航天、车辆领域,但由于其为扁平型结构,且前端无腔体,所以无法用常规手段进行多频率点的校准。本文研究一种表面传声器校准技术,采用扁平型非对称短耦合腔、大直径扁平表面传声器安装压盖等思路,经仿真分析与试验验证,可以有效地对表面传声器进行多频率点校准。

关键词: 空气声计量; 表面传声器; 非对称耦合腔

中图分类号: TB95

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2021)02-0190-04

Study on Surface Microphone Calibration Technology

FU Qiang

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: As a measurement tool of wind speed environmental noise, surface microphone is widely used in aerospace and vehicle fields. It is a flat structure and has no cavity in the front end, so it can only be calibrated by conventional means. In this paper, a kind of surface microphone calibration technology is studied. The methods of flat asymmetric short coupling cavity and large diameter flat surface microphone mounting gland are adopted. Through simulation analysis and test verification, the surface microphone can be calibrated effectively.

Key words: air acoustic metering; surface microphone; asymmetric coupled cavity

0 引言

表面传声器主要应用于民机外形气动噪声的测量和定位中,由于其为扁平型,厚度通常小于5 mm,可以表面贴装或者螺钉安装,具有受风阻力小、安装牢固等优点,并且其前端没有空腔,不会引起附加的气动噪声,一般直接安装于飞机、车辆模型或者样机的表面进行气动噪声测量。

由于表面传感器结构的特殊性,若用常规校准装置会产生几点问题:①表面传声器无法探入耦合腔中,只能用转接工装转接,而转接环节存在变径,变径处声场会发生畸变,具体为变径处的截面将会产生径向反射声波,从而导致变径截面两侧声场不均匀^[1];②表面传声器前端无腔体,因此无论是否转接,均无法实现对称安装,使表面传声器与标准传声器的耦合前腔体积相等^[2];③表面传声器的直径一般大于常规耦合腔与配套压盖夹具的直径,因此难以安装稳固,也不易对中。

目前,表面传声器的校准采用转接工装在单频活塞发生器中进行。转接工装的特点是内部直径与表面

传声器声波接受口一致,外部安装长度与活塞发生器深度一致,转接工装直接插入到活塞保护罩位置,避免变径发生。但该方法只适用于单频活塞发生器下进行校准,一般有250 Hz与1000 Hz两种规格^[3]。

考虑表面传声器特点,采用扁平型非对称短耦合腔、大直径扁平表面传声器安装压盖等思路,重新设计表面传声器校准装置,研究表面传声器校准技术,使表面传声器与标准传声器直接对向耦合,避免腔内转接;尽量保证对称安装,使表面传声器与标准传声器的耦合前腔体积相等;对于不可避免的外部结构转接与夹持,也力求尽量简化,减少设计时间与加工费用,从而降低校准工作周期与成本。经仿真分析与试验验证,本文阐述的装置与方案可以有效地对表面传声器进行多频率点校准。

1 比较法校准基本原理

由于表面传声器属于工作传声器,不具有互易性,不能发声,因此采用有源耦合腔、即腔内存在声源的方式^[4],使标准传声器与被校准传声器均有输出,通过比较输出结果对被校准传声器进行校准,公式为^[5]

$$\frac{U_0}{M_0} = \frac{U}{M} \quad (1)$$

式中: U_0 为标准传声器输出电压; M_0 为标准传声器灵敏度; U 为被校准传声器输出电压; M 为被校准传声器灵敏度。

已知标准传声器灵敏度, 测得标准传声器与被校准传声器输出电压, 即可计算被校准传声器灵敏度, 但前提是耦合腔内声场在轴向上均匀分布, 标准传声器与被校准传声器测得的是同一声压值。

2 仿真分析

按照现有设计方案, 使用 ACTRAN 对有源耦合腔进行初步的仿真分析, 仿真表面网格划分如图 1 所示。

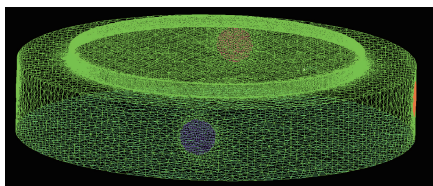


图1 仿真表面网格

网格的大小由所需分析的最高频率所决定, 最大网格尺度 h 应满足^[6]

$$h \leq \frac{\lambda}{4} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{c - v}{f}$$

式中: λ 为当地声波波长; f 为声源频率; c 为当地声速; v 为当地流速。

在此研究中频率范围为 20 Hz ~ 20 kHz, 当地流速可以忽略, 声速 c 选取 340 m/s, 因此 h 应该小于等于 4.25 mm^[7]。在计算中, 选取网格尺寸约为 0.4 mm^[8], 因此网格的选择远远满足计算的要求, 保证了计算的准确度。

设置声源为压力边界条件, 声场直径 80 mm, 高度 20 mm, 壁面为刚性边界条件, 反射系数为理想条件的全反射。采用频域求解方式, 分析耦合腔内声压分布情况。输入声源选取 84, 124 dB 两个点, 频率选取 20, 1000, 10000, 20000 Hz 四个点。分析不同输入声源强度、不同频率下耦合腔内声压分布情况, 如图 2 所示。

由图 2 可知, 在相同的频率下, 不同的输入声源强度对耦合腔内部的声场分布是没有影响的, 声场的分布基本一样, 只是声场的强度随输入声强的改变而

改变。在不同频率下, 声场分布在竖直方向为均匀分布, 水平方向上即横切方向可在一定直径范围内保护均匀, 其范围随频率变化而变化。

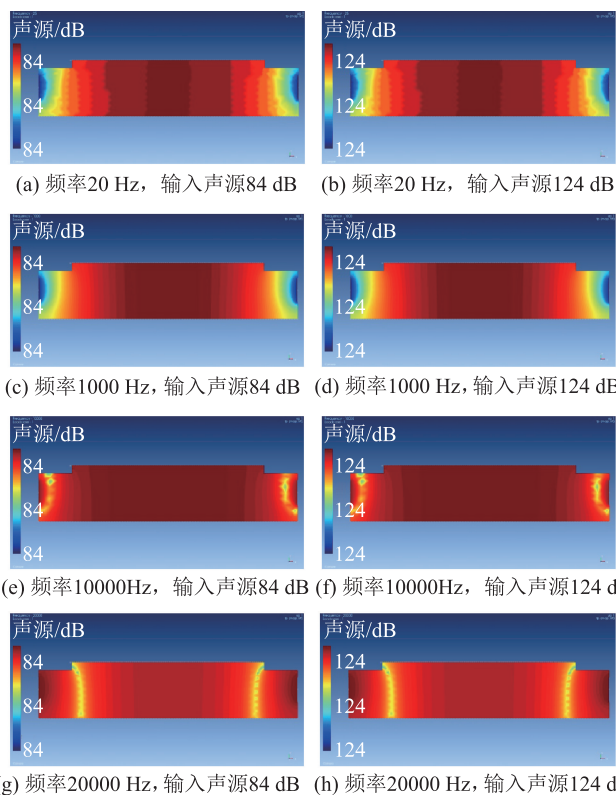


图2 不同声源强度下耦合腔中心切片声场对比云图

此外, 在轴向中心位置切片处长度 80 mm 的直径线上, 进行各频率仿真对比, 如图 3 所示。

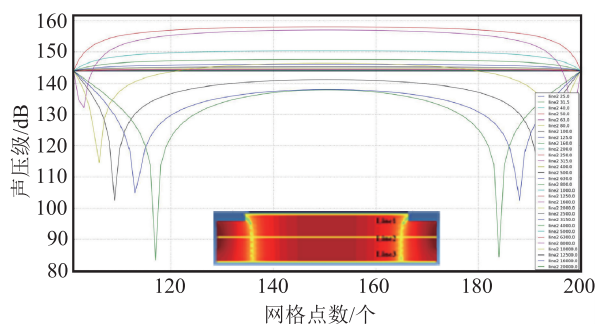


图3 轴向中心位置切片处声强分布

从图 3 可以看出, 基本遵循频率越低越均匀的规律, 如 2500 Hz 之前, 80 mm 内直径线上基本保持平直, 最高如 20000 Hz, 其较为平滑无畸变范围不超过 60 个网格点即 24 mm, 在 16 mm 内较为理想。而腔内高次谐波在此范围内不会破坏声场稳定性^[9]与均匀性^[10]。

依照初步仿真结果, 在水平方向上声压保持均匀

的直径范围不小于 16 mm (20000 Hz), 因此耦合腔直径实际加工尺寸不宜大过 16 mm。

3 方案实施与验证

3.1 装置设计

表面传声器校准装置总体结构如图 4 所示。装置本体包含: 底座部分, 起到支撑装置的作用; 耦合腔部分, 为装置主体, 利用其内腔进行校准; 夹持部分, 对被校准表面传声器进行夹持与固定。

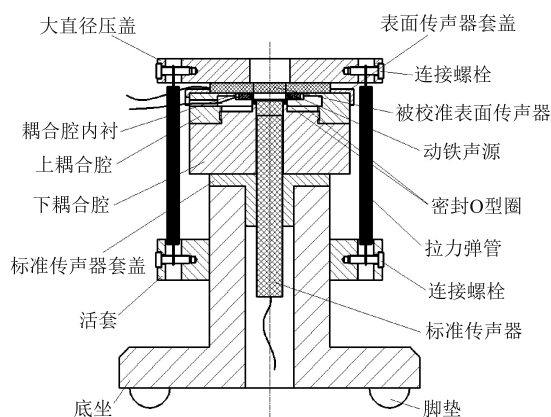


图4 表面传声器校准装置

校准工作前, 先做如下装配: 带脚垫的底座放置在水平面上; 活套套在底座上并用螺栓紧固, 通过拉力弹簧与大直径压盖相连, 螺栓放松状态下活套可在底座轴向上移动, 来调节拉力弹簧的张紧力; 标准传声器套入标准传声器套盖中, 一并压入底座内腔上部; 以标准传声器为支点, 套入下耦合腔与上耦合腔组成的耦合空腔中。

校准工作时, 先将表面传声器套盖的下开口套在上耦合腔之上, 再将被校准表面传声器放入表面传声器套盖的上开口内, 最后将大直径压盖压在被校准表面传声器的上表面之上。由于表面传声器套盖下开口内径与上耦合腔外径相同, 上开口内径与被校准表面传声器外径相同, 结合拉力弹簧张紧力转化成的压力, 校准表面传声器便被套接且压紧在上耦合腔的平面上, 配合密封 O 型圈达到固定及密封效果。

耦合腔的内部细节如图 5 所示, 此时由下耦合腔、耦合腔内衬、密封 O 型圈、被校准表面传声器、标准传声器围成了封闭的内耦合空腔, 空腔长度不超过 3 mm, 即被校准表面传声器与标准传声器直接对向耦合, 避开了腔内转接影响。并且根据预先计算的不对称设计, 动铁声源的装配轴线下移, 使被校准表面传声器的实际耦合腔容积 a 等于标准传声器耦合腔容积 b

加上标准传声器自身前空腔容积 c , 保证了被校准表面传声器与标准传声器的实际耦合腔容积相等, 进而使二者接收到的声场基本一致, 达到提高表面传声器校准准确度的目的。

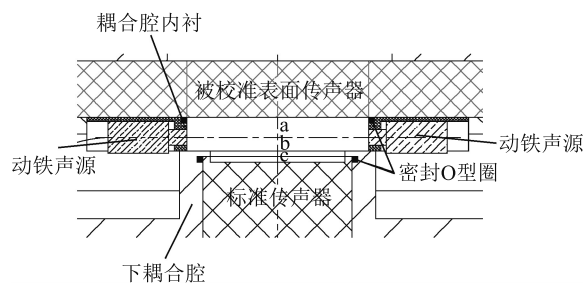


图5 耦合腔内部细节图

全部装配完成后, 控制动铁声源依照检定规程发声, 比较标准传声器与被校准表面传声器的响应, 进而对被校准表面传声器进行校准。

表面传声器校准装置实施效果如图 6、图 7 所示。



图6 耦合腔实施效果



图7 整体校准装置

3.2 试验验证

为验证方法的有效性, 进行了校准试验验证。校准试验对象为声量 MPS471 表面传声器, 数据采集系统为 NI9234 + 9171, 声校准器采用 BK4228 (250 Hz) 与 BK4231 (1 kHz), 软件自行编写。在 100 ~ 10000 Hz 范围内取倍频程频率点, 对表面传声器声压灵敏度进行直接测量, 记录校准结果见表 1。对 250 Hz 频率的表面传声器声压灵敏度进行直接测量 6 次, 数据见表 2。

表 1 表面传声器灵敏度频率响应校准结果

频率/Hz	灵敏度/(mV · Pa ⁻¹)	频响/dB
100	0.205	0.15
125	0.202	0.03
250	0.202	0.00
500	0.202	0.03
1000	0.205	0.15
2000	0.209	0.33
4000	0.211	0.39
8000	0.214	0.50
10000	0.227	1.04

表 2 表面传声器 250 Hz 灵敏度重复性校准结果

测量次数	灵敏度/(mV · Pa ⁻¹)	出厂灵敏/(mV · Pa ⁻¹)	偏差/dB
1	0.2015	0.200	0.06
2	0.2012		0.05
3	0.2007		0.03
4	0.2018		0.07
5	0.2012		0.05
6	0.2017		0.07

由表中数据可知，本文方法可以在 100 ~ 10000 Hz 范围内对表面传声器进行有效校准，参考点灵敏度偏差不大于 0.07 dB，重复测试偏差范围 0.03 ~ 0.07 dB，重复性良好；频率响应最大偏离不超过 1.04 dB(10000 Hz)，小于一般要求的 1.5 dB(10000 Hz)。

4 结 论

研究了一种表面传声器校准技术，通过非对称短耦合腔等技术，理论上可以保证耦合腔内声场对称，从而使表面传声器这种非标传声器也可以满足比较法的校准要求。实际实施效果上，通过校准试验，验证了方法可以在 100 ~ 10000 Hz 频率范围内对表面传声器校准的有效性、准确性，相比以往的转接单频点校准方法，本文方法的校准频率范围得到了极大提升。

设计理论上，本文频率范围可达到 20 ~ 20000 Hz。但受动铁声源频率所限，目前方案实施后在 100 ~ 10000 Hz 内有较好的校准结果。下一步工作是研究 20 ~ 20000 Hz 的小型声源问题，替代目前动铁声源后可将频率范围扩展至 20 ~ 20000 Hz。

参 考 文 献

[1] 马大猷，沈豪．声学手册[M]．北京：科学出版社，2004.

[2] 国防科工委科技与质量司．声学计量[M]．北京：原子能出版社，2002.

[3] R. G. Barham. The NPL Laser Pistonphone[J]. Journal of Low Frequency Noise and Vibration, 1993, 12(2): 36 ~ 38.

[4] 王利，王同庆．一种传声器校准装置及其校准方法：CN101895809A[P]．2010.

[5] Ryuzo Horiuchi, Takeshi fujimori, Sojun Sato. Development of a laser-pistonphone for an infrasonic measurement standard[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2006, 120 (5): 3233.

[6] 吴石林，张圻．误差分析与数据处理[M]．北京：清华大学出版社，2010.

[7] 张炳毅，曾吾．传声器校准用活塞发生器的数学模型[J]．计测技术，2009(1)，15 ~ 17.

[8] 杜功焕，朱哲民，龚秀芬．声学基础[M]．南京：南京大学出版社．2001.

[9] 蒋剑，刘克强．非线性驻波管声场研究[J]．声学技术，1997，(3)：5 ~ 8.

[10] 刘克，马大猷．闭管中非线性驻波场问题探讨[J]．声学技术，1997，(3)：120 ~ 122.

收稿日期：2021 - 01 - 31

基金项目：工信部民用飞机专项科研项目(MJ-2013-J-32)

作者简介

付强(1983 -)，男，山东日照人，高级工程师，主要从事振动与噪声计量测试等方面的研究。

