

小矩形室内低音扬声器和传声器互易性的研究

顾善勇, 沈小祥, 沈 勇

(南京大学声学研究所, 南京 210093)

摘 要:在矩形小房间内,低音扬声器和传声器的位置互换后,测量得到的低音扬声器的频响曲线与互换前是一致的。文章根据波动声学的观点对房间内的低频段声场做分析,理论和实验都验证了这个结论。这个结论应用于确定低音扬声器摆位时,将省去把低音扬声器搬来搬去的麻烦。

关键词:矩形小房间;互换;一致性

中图分类号:TN64

文献标识码:A

Reciprocity between microphone and woofer in small rectangular room

GU Shan-yong, SHEN Xiao-xiang, SHEN Yong

(Institute of Acoustics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: When positions of a microphone and a woofer are exchanged in a small rectangular room, a similar frequency response curve can be obtained. Based on wave acoustics, the low frequency sound field is analyzed in this paper, and reciprocity is verified both theoretically and experimentally. Moving the woofer can be replaced by moving the microphone in finding the best placement of the woofer.

Key words: small rectangular room; exchange; coherence

1 前 言

早在 Hi-Fi 年代,音箱及其在房间中的摆位一直是发烧友津津乐道的问题。随着家庭影院的普及,人们对音响效果的要求越来越高,音箱的摆位显得尤为重要。甚至有人故弄玄虚把摆位问题说成是一本永远读不懂的天书。在矩形房间中,低音扬声器($f < 120\text{Hz}$)在房间内所激起的声场分布是不均匀的。摆位不同时,声场分布也不同。但是,当低音扬声器和测量用的传声器位置互换后,所测得的低音的频响曲线却是惊人的一致,暂且称之为低音扬声器和传声器的互易性。这种现象无法用房间中的统计声学来解释。而且,在矩形小房间中,室内不可能形成一个均匀稳定的混响场,用统计声学来考虑是不恰当的^[1]。即使在物理大房间中,低于某个频率的低频段,也没有办法形成混响场。这时,可称之为声学小房间,稳态房间声频率曲线如图 1 所示。 F_L 是声学小房间和声学大房间的分界点,是与房间的尺寸和吸声系数有关的一个量。频率大于 F_L

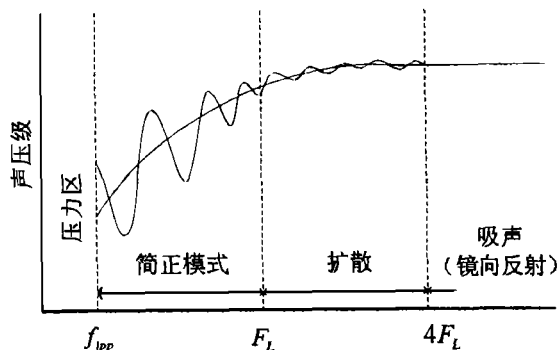


图 1 稳态房间声频率曲线

时,房间表现出声学大房间的特性,适合用统计声学分析室内声场;频率小于 F_L 时,则表现为声学小房间,适合用波动声学来分析室内声场。在物理小房间中, F_L 一般很高,所以,对矩形小房间中低音的分析,采用波动声学来处理是比较合理的。

本文采用波动声学的方法,考虑室内的声场分布,对低音和传声器的互易现象做一点讨论。

2 理论计算

三维的波动方程^[2]在有源的情况下,直角坐标系中可表示为:

收稿日期:2002-01-04;修回日期:2002-03-27

资助项目:高等学校骨干教师资助计划资助

作者简介:顾善勇(1978-),男,江苏省金湖县人,硕士研究生,从事声学与环境声学研究。

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -\rho_0 \frac{\partial q}{\partial t} \quad (1)$$

假设房间壁面为刚性壁,声源为点源。房间的长、宽、高分别为 L_x 、 L_y 、 L_z 。选取房间的一个角为坐标原点。

简谐振动的点源表示为:

$$q(x, y, z, t) = q_0(x, y, z)e^{j\omega t} \quad (2)$$

$$q_0(x, y, z) = \begin{cases} q_0 & (x = x_0, y = y_0, z = z_0) \\ 0 & (x \neq x_0, y \neq y_0, z \neq z_0) \end{cases} \quad (3)$$

得到特解:

$$p = \frac{-j\rho_0 c_0^2 \omega}{V} Q_0 \sum_{n_x=1}^{\infty} \sum_{n_y=1}^{\infty} \sum_{n_z=1}^{\infty} D_{n_x, n_y, n_z} \Psi_{n_x, n_y, n_z}(x_0, y_0, z_0) \cdot \frac{\Psi_{n_x, n_y, n_z}(x, y, z)}{\omega^2 - \omega_{n_x, n_y, n_z}^2} e^{j\omega t} \quad (4)$$

其中 $V = L_x L_y L_z$ 为房间体积, $Q_0 = q_0 dV$ 为点源强度, (x_0, y_0, z_0) 为点源的位置, 即低音扬声器的位置, (x, y, z) 为传声器的位置, $D_{n_x, n_y, n_z} = D_{n_x} \cdot D_{n_y} \cdot D_{n_z}$

$$D_{n_x} = \begin{cases} 1 & (n_x = 0) \\ 2 & (n_x \neq 0) \end{cases}, \quad D_{n_y} = \begin{cases} 1 & (n_y = 0) \\ 2 & (n_y \neq 0) \end{cases}$$

$$D_{n_z} = \begin{cases} 1 & (n_z = 0) \\ 2 & (n_z \neq 0) \end{cases}$$

$$\Psi_{n_x, n_y, n_z}(x, y, z) = \cos \frac{n_x \pi}{L_x} x \cos \frac{n_y \pi}{L_y} y \cos \frac{n_z \pi}{L_z} z \quad (5)$$

当声源的圆频率 ω 等于室内的固有圆频率 ω_{n_x, n_y, n_z} 时将引起共振, 与此对应的驻波振幅将趋于无限。实际的情况是, 因为墙壁不可能是刚性壁, 总会存在吸声, 峰值为一个有限值而不是无限大。通过式(4)可以计算出在固定听音位置的声频响曲线的大致形状。

分析式(4), 当音源和传声器互换后, 仅仅是 $\Psi_{n_x, n_y, n_z}(x_0, y_0, z_0)$ 和 $\Psi_{n_x, n_y, n_z}(x, y, z)$ 在式(4)中位置的互换, 这对声压 p 没有任何影响, 从而对频响曲线没有影响。这在理论上证明了, 互易性是成立的。

3 实验过程和结果

本文作者做了大量实验, 所得的实验数据都证明, 在矩形房间中, 低音扬声器和传声器的互易性是成立的。现在选取几个典型实验来说明。

实验用的设备是加拿大 ETF 公司的 ETF 5.0 音频测试软件, B&K 4191 型传声器及 B&K 2610 型前置传声放大器, 专业测试声卡, 功率放大器, 自制的带通式低音扬声器, 其连接示意图如图 2 所示。

实验是在一个 $3.1\text{m} \times 4.5\text{m} \times 2.7\text{m}$ 的矩形普通房间里进行的。房间的具体情况如图 3 所示。普通的墙壁, 木质地板。在房间中还有两个柜。一个在图 3 中已经显示, 紧贴 A 墙放于地面上; 另一个, 则是在 B 墙上方与天花板交界处的一个吊柜。两个柜都是薄板结构, 这将对测量结果有影响。

在房间中的测量点为:

1. 距 A 墙 0.4m, 距 B 墙 0.4m
2. 距 A 墙 0.4m, 距 B 墙 0.7m
3. 距 A 墙 1.55m, 距 B 墙 0.4m
4. 距 A 墙 1.55m, 距 B 墙 2.25m

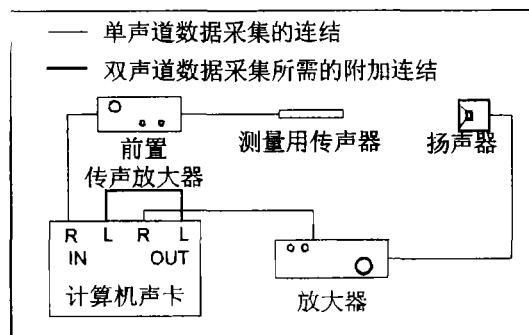


图 2 ETF 软件的硬件连结图

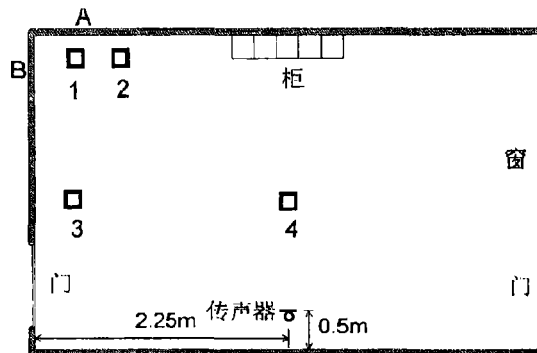


图 3 房间中测试点示意图

这些距离均为墙壁到低音音箱辐射口的距离。以图示的低音扬声器和传声器的摆放测出的频响曲线记为 Spk, 低音扬声器和传声器互换后测得的频响曲线记为 Mic, 在 ETF 软件上通过叠加, 得到图 4 的四幅图。

4 分析

图 4 所示的四幅图, 暂且不论曲线的好坏, 仅仅看每幅图上的两条不同曲线的一致性情况。他们的

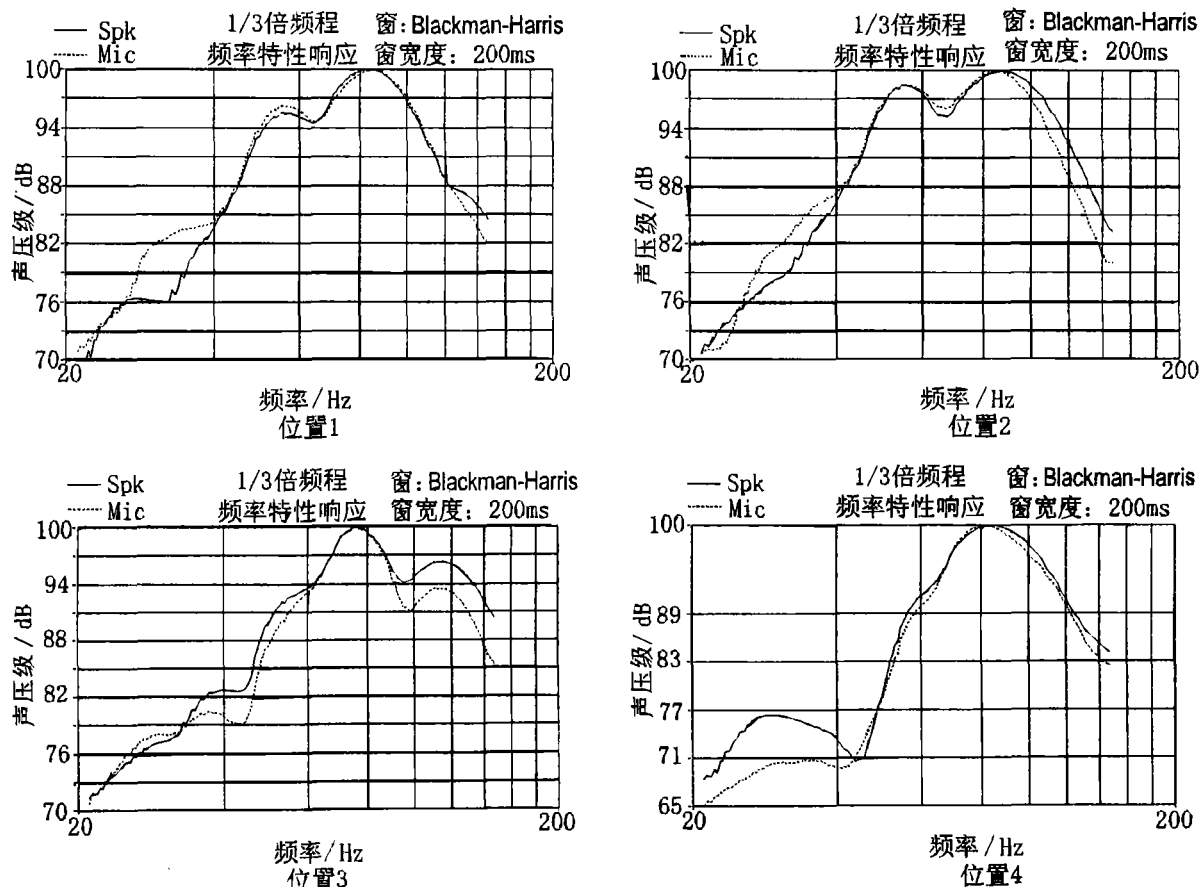


图 4 在不同的测量点,低音和传声器互换前后的测量结果

大致形状是一样的,两条曲线几乎重合,绝大部分地方两条曲线的声压级相差在 3dB 之内。

作者认为,某些地方存在误差的原因,在于低音扬声器和传声器互换后,传声器不是原低音扬声器所在的位置,低音扬声器互换后的位置也是如此。另外,在 20Hz~40Hz 频段有稍微大的出入,因为 ETF 测量用的是 MLS 方式,低频部分测量结果的可信度还有待商榷。同时,房间中的两个木柜会对互易性产生影响。

5 结 论

理论和实验都证明,低音扬声器和传声器互换性是成立的,尽管互换后室内的声场分布不一致。

据此,我们进行低音扬声器的测量或摆放时,可

以利用低音扬声器和传声器的互易性。低音扬声器一般既大又重,传声器就轻便得多。将低音扬声器和传声器位置互换后,移动传声器以代替以往移动低音扬声器来进行测量,就方便得多。在进行低音扬声器的摆放时,将低音扬声器放在听音位置,听音者走动,试听效果最好时听音者的位置,便是低音扬声器将要摆放的位置,这样就省去了把低音扬声器搬来搬去的麻烦。

参考文献:

- [1] Don Davis, Carolyn Davis. Sound System Engineering [M]. 2nd Edition. New York: Focal Press, 1997. 216-230.
- [2] 杜功焕,朱哲民,龚秀芬. 声学基础(第二版)[M]. 南京:南京大学出版社,2001. 432-499.