

厅堂音质测量中的四传声器接收技术

贺加添

(同济大学声学所 上海·200092)

1 引言^[1]

传统的厅堂音质测量,如混响时间(RT_{60})、早期衰减时间(EDT)、语言传输指数(STI)、调制函数(MTF)等等,都是使用一个传声器的。近年来,采用人工头双传声器录音重放技术,还可以重建主观感觉上的空间声场。但是,由于声场的空间结构不同,特别是前次反射声的空间结构不同,我们往往在混响时间和声压级都相同的两厅堂内得到不同的主观声学感受。传统的方法不能用来分析到达某接收点的反射声波的空间结构。

为了解决由复杂的反射声形成的声场的空间结构问题,日本大学的 Katsuaki Sekiguchi 在80年代初提出了用好几种测量系统,来探测虚声源的位置。以后又经松下通信工业有限公司的 Matsumi Takeuchi, 及 Eta-ni 电子有限公司的 Shokichiro Hino 等人进一步发展完善成四传声器系统。1986年底在欧洲进行的大规模厅堂音质测量中,四传声器系统作为一种新型的厅堂音质测量技术,充分展示了它的魅力^[3]。

2 原理和方法^{[1][2][4]}

众所周知:不在同一平面上的四点,可以确定一个空间。四传声器接收技术正是利用了这一原理,通过相互稍微分开且不在同

一平面的四传声器,测量空间某点的点声源发出的声波传到各个传声器的时间,计算点声源到各传声器的距离,确定点声源的位置;若到达传声器的声波为点声源的反射声,则可确定虚声源的位置。

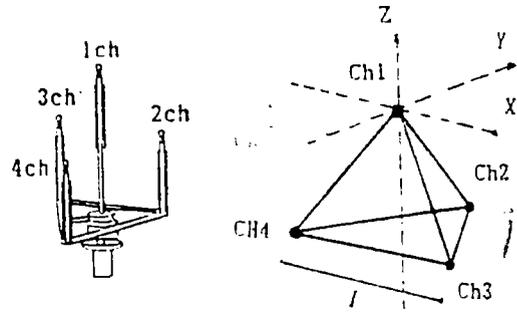


图1 四传声器组合形式一

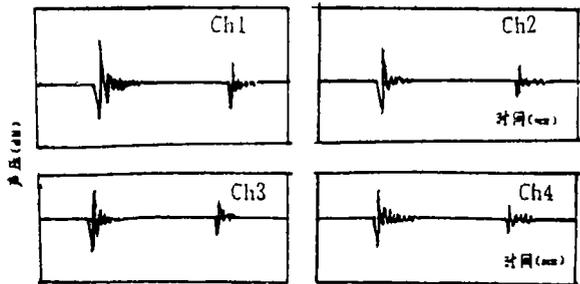


图2 一块反射板时的脉冲响应

例如我们把一个扬声器、一块刚性平板和按图1所示方式组成的四传声器放在消声室内,且让扬声器发出一个脉冲信号,则四传声器将分别测得各自的脉冲响应。如图2所示:直达声首先到达,然后是从刚性板

收稿日期: 93-4-20

上来的反射声。若用 t_1 到 t_4 分别表示波阵面(直达声或反射声)到达四传声器的时间, c_0 为声速, 由下式即可求出(直达声)声源或(反射声)虚声源的坐标:

$$x = -c_0^2(t_4^2 - t_3^2) / 2L$$

$$y = \left\{ c_0^2(t_4^2 + t_3^2 - 2t_2^2) / 2L \right\} / \sqrt{3}$$

$$z = \left\{ c_0^2(t_4^2 + t_3^2 + t_2^2 - 3t_1^2) / L - 3L \right\} / 2\sqrt{6}$$

(1)

在实际室内声场中, 存在大量的反射声, 反射声之间还有可能发生重叠或兼并, 那么怎样来区分各个反射声呢? 通常所采用的手段有相关技术、短时声强技术及重叠合法。

2.1 相关技术

用相关技术确定虚声源位置的方法是:

a 声源发出一个脉冲激励信号, 四传声器在接收点附近的四个位置测量房间的脉冲响应。

b 对四传声器采集的脉冲信号反复进行平均, 以提高它的信噪比。

c 通过相关运算, 确定相应的反射声。

d 根据方程(1)确定虚声源的位置。

通常用宽度为 $5\mu s$, 幅值为 $100V$ 的单位脉冲驱动扬声器发出脉冲声。传声器的输出信号通过16位的AD转换器转换为数字信号(采样频率为 $44.1kHz$, 或 $48kHz$), 然后对数字信号平均 $32\sim 256$ 次。次数的多少依据背景声的强弱而定。

在现场测量中, 往往由于背景噪声太高, 或不容许占用大量的计算时间, 这时最佳的选择是采用M序列伪随机噪声。M序列能提供高信噪比的脉冲响应函数。

2.2 短时声强技术

若把一个传声器置于原点, 另外三个传声器沿坐标轴正向等距离放置, 如图3所示, 则可很方便地计算出相互垂直的三个方向的

声学技术

声强矢量, 由短时间的声强矢量, 求出虚声源的方向、距离和强度。利用声强技术还可以求出各频带的虚声源, 步骤如下:

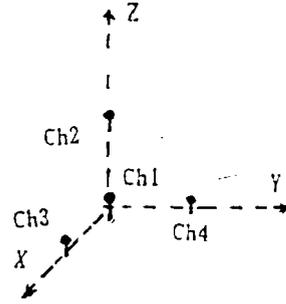


图3 四传声器组合形式二

a 将脉冲响应通过一个频带滤波器。

b 通过一个时间窗口, 从脉冲响应中截下一小段。

c 由传声器的三对输出(Ch1和Ch2, Ch1和Ch3, Ch1和Ch4)及相关谱的虚部, 即可计算短时间声强。

d 由短时声强, 确定虚声源坐标。

e 窗口移到下一个位置, 重复上述过程, 直到找出所需的虚声源来。

2.3 重叠合法

图4(1)表示一段 $2kHz$ 音频信号, 图4(2)为探测到的20个上述信号的重叠波形, 用肉眼是无法分辨各个信号的到达时间、声级的高低及信号的个数。通过计算机将原信号与重叠信号进行重叠合运算, 即可确定各信号到达的时间和声级的高低, 如图4(3)所示。

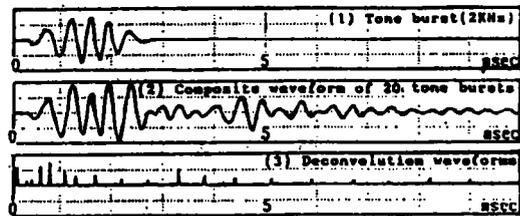


图4 重叠合法示例

3 结构 [1][2]

四传声器测量系统的原理如图5所示,

大致可分为六个功能，即控制，信号发生，传声器、模数转换和滤波，信号处理，数据贮存及显示。且要求系统能产生10秒左右的测量信号，如M序列伪随机信号及其它所需信号(白噪声等)。通过相互稍微分开的四传

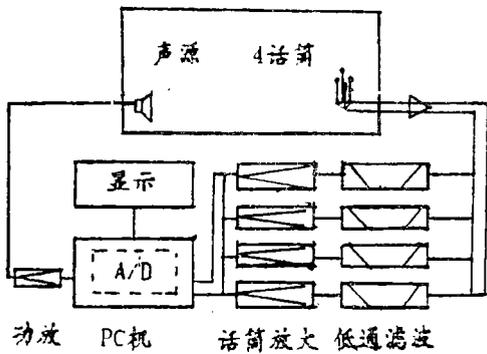


图5 结构框图

声器来测量室内某点的声场结构。传声器输出信号经放大，再通过低通滤波器馈入A/D转换器，然后取样和贮存。测量结果可在彩色显示器上显示。

图1中，四个传声器垂直放置，组成一个正四面体。也可以是一个传声器放在原点，其它三个传声器等距离分别放在直角坐标系的三个坐标轴上，如图3。理论上讲，四个传声器不能在同一个平面上，且它们相互之间的距离应比波长小得多。在实际应用中，考虑到机械构造的精度及数值计算的可能，一般来说，用四个8mm直径，间距为50mm的膜片静电传声器来作普通的厅堂测量，对于较小的房间，则间距改为33mm。若为模型，则使用直径为3mm，间距为5mm的四传声器系统。

4 应用^[3]

4.1 虚声源分布

图6为大厅的脉冲响应。图7为用相关技术得到的虚声源在水平面上的投影分布。

图中圆心点表示虚声源的位置，圆圈的面积表示虚声源的强度，观察点为坐标原点，与声源相距12m。

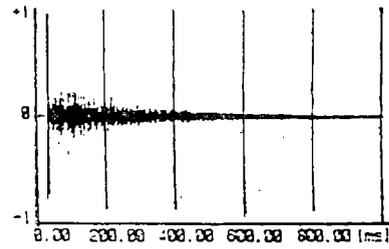


图6 脉冲响应

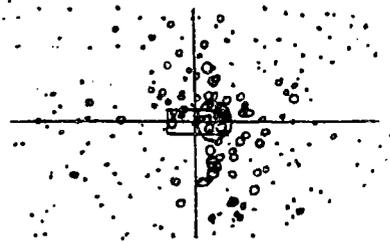


图7 虚声源在水平面上的投影分布

4.2 指向性图

通过虚声源的三维分布，我们可以计算接收点上反射声的指向特性，如图8所示。假定垂直方向的接收范围为 $\pm 45^\circ$ ，水平范围为 1° ，1格表示10dB。

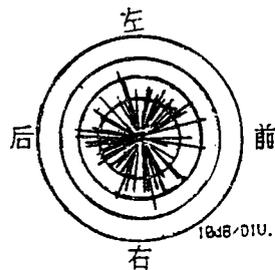


图8 指向性图

4.3 脉冲响应的恢复

从四传声器系统得到的虚声源的分布，可重新恢复脉冲响应函数。图9中，图a表示原来的脉冲响应，图b为从虚声源计算得到的脉冲响应。

4.4 其它应用

四传声器系统可以求出各时间段内虚声

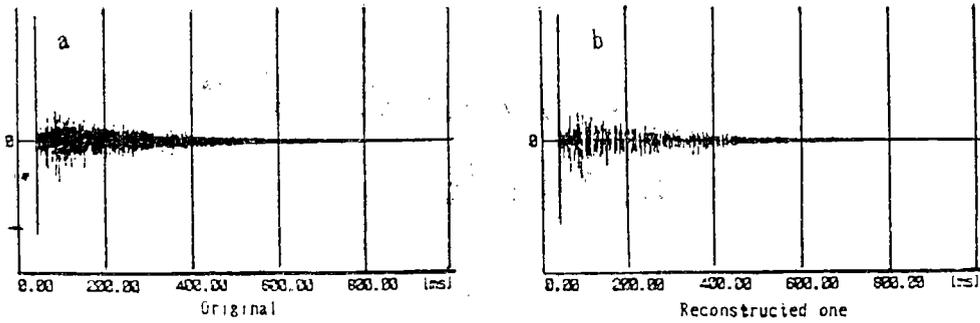


图9 脉冲信号的恢复(a: 原脉冲信号, b: 恢复信号)

源的分布规律,如0—50ms、50~100ms等时间间隔内的虚声源分布;可以展示虚声源的空间范围分布。如用两平面($Z=10$, $Z=-10$)将空间分为三部分,则该系统可分别表示这三部分的虚声源分布。还可以得到对应各频带的虚声源的分布等等。

5 结论

四传声器系统能提供我们一种探测声波阵面的有力手段;对于我们了解声场的空间结构,特别是前次反射声的空间结构大有帮助。但也应看到:随着反射声的增加,它的分辨率还有待提高。从图9中就可以看出这一点,图中重新恢复的脉冲响应明显比原脉冲响应要“瘦”。

参考文献

- 1 Yuji Korenaga. The FOURMIC method for acoustical measurements Sound & Video Contractor 1992; Oct, 20; 56~61.
- 2 Yoshio Yamasaki & Takeshi Itow. Measurement of spatial information in sound fields by closely located four point microphone method J. Acoust. Soc. Jpn.(E) 1989;10(2); 101~110.
- 3 Hideki Tachibana et al. Acoustic survey of auditoriums in Europe and Japan J. Acoustic. Soc. Jpn. (E)1989; 10(2); 73~85.
- 4 Katsuaki Sekiguchi et al. Analysis of sound field on spatial information using a Four-Channel Microphone System based on regular tetrahedron peak point method. Applied Acoustics 1992; 37; 305~323.

