

# 脉冲法测定吸声壁面的吸声系数

方 启 文

(同济大学声学研究室)

## 一、引 言

对于吸声材料或者吸声结构的吸声系数, 通无驻波管法或混响时间法进行测量。驻波管法只能测定小面积试件的法向吸声系数, 对于较大的构件, 例如吸声尖劈, 由于它的单个尺寸较大, 必须采用大型驻波管。截面  $60 \times 60$  厘米<sup>2</sup> 的驻波管, 测量的频率应在 250 赫以下, 最高不得超过 500 赫。

混响时间法只能测出大面积试件的无规入射吸声系数, 而不能测量不同入射角时的吸声系数。用混响时间法进行现场测量时, 由于实际房间往往并不满足完全扩散的条件, 因此测量结果并不真实反映壁面的吸声系数。

为了弥补上述常规测量方法的缺陷, 本文探讨采用脉冲法进行壁面吸声系数的测量, 由于“纯粹”的脉冲包含众多的频率成分, 经壁面反射后, 各频率成分的衰减不同, 因此所得的反射脉冲产生畸变。为此, 我们采

用的脉冲由给定频率的正弦波经方波调制后获得, 这种调制的方波脉冲在测量过程中既保持脉冲的特点, 又具有所需的频率选择性, 因此收到良好的效果。对于中高频段, 用脉冲法可以方便地在现场测出正入射或斜入射时的壁面声压反射系数, 从而求出不同入射角的吸声系数。

## 二、测量装置

测量装置如图 1。我们采用 1022 差频振荡器产生给定频率  $f_0$  的正弦讯号, 经 4440 选通系统进行键控, 获得脉冲宽度为  $\tau$ , 填充频率为  $f_0$ , 脉冲重复频率为  $f$  的脉冲串。这个正弦脉冲讯号经功率放大器放大后馈至扬声器, 使扬声器按需要的角度对准被测吸声壁面辐射声脉冲, 经壁面反射后的声脉冲用 4165 电容传声器接收, 并用 2114 型频谱分析仪进行放大。在使用此分析仪时我们只使用“线性”, 不使用滤波器, 因使用滤波器后对接收到的脉冲将会产生延迟及失真。将此接

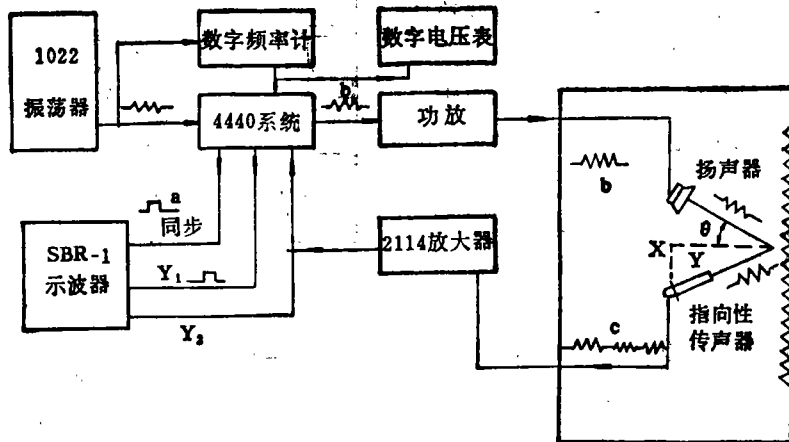


图1 实验室装置示意图(不同  $\theta$  角时)

收到的讯号经放大后再用4440选通系统进行控制,馈至选通系统另一选通门II进行选择。此选通门II的控制讯号是一个延迟电路控制,延迟时间和脉冲宽度均可变。如果把此延迟时间调整至 $2l/c$ 秒,脉冲宽度等于发射声的宽度,则与接收到的第一个反射声相对应的峰值电压经选通门II输出。使用数字式电压表直接读出峰值电压,此电压正比于测得的声压。由于选通门II受延迟电路的控制,这样借助于示波器的监视,就可以任意选读需要的反射讯号。

### 三、实验方法

用重复频率为 $f$ ,脉冲宽度为 $\tau$ ,的方波去调制一个正弦讯号,此讯号经放大后由扬声器转换成脉冲声,面向吸声壁面辐射。设扬声器距离壁面为 $l$ ,入射角为 $\theta$ ,当此脉冲声经过 $l/c$ 秒到达吸声面后,一部分能量被反射回去。如果将一传声器放在与被测壁面距离亦为 $l$ ,反射角为 $\theta$ 的测点上,则在 $2l/c$ 秒时传声器就能收到该壁面的反射声。传声器所输出的电压与所接收到的声压大小成正比。为了分离直达声及其他方向来的反射声波的影响,需要另外一选通门II,只让通过延迟 $2l/c$ 秒、宽度为 $\tau$ 的脉冲讯号经检波后可在数字电压表读得所需的压电 $V_R$ 。测量吸声系数或反射系数都需要测量反射声,同时又要测量直达声。当然,直达声的大小可以通过距离衰减来换算求得。但是由于扬声器本身均有一定指向性,因此计算的精度可能要降低。为了提高数据可靠性,我们采用固定辐射功率,使用相同的装置,只是将扬声器及指向性传声器相对放置,使扬声器和传声器的声轴重合并保持 $2l$ 的距离,调节延迟电路的延迟时间,在SBR-1示波器上观察,使选通门II的导通时间正好在直达声脉冲的位置上,即可在数字电压表上读出相应于直达脉冲声压成比例的电压值 $V_A$ 。

上面所叙述的是测量具有入射角和反射角均为 $\theta$ 时的情况。但是对于 $\theta$ 角为 $0^\circ$ 时的情况就有所不同。因为 $\theta$ 为 $0^\circ$ 时,意味着用于辐射的扬声器和接收用的传声器均是在一个点上,而扬声器和传声器均具有一定大小,它们的声轴始终不能重合, $\theta$ 角不能为 $0^\circ$ ,如果两者放置的太近,由于距离差太大,直达声波与反射声波之比太大,使放大器在收到直达声时已工作在过载状态,反射声反而十分微弱,影响到测量的准确度。为此在 $0^\circ$ 入射时须改变传声器和扬声器的放置位置,放置方法如图2所示。

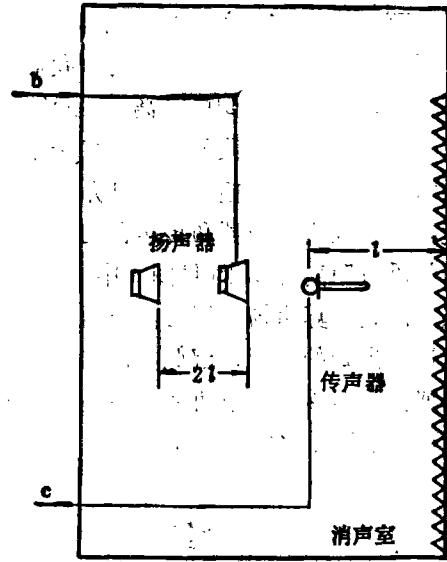


图2 在 $\theta=0$ 时扬声器与传声器布置情况

此时扬声器与传声器在同一轴线上,首先,扬声器在传声器后面适当的距离位置上辐射声脉冲,按上节所述的方法读取与反射声压成比例的电压值 $V_R$ ,然后把传声器转动 $180^\circ$ ,并与扬声器的声轴重合,将扬声器从原来的位置上移动 $2l$ 的距离,再读取与入射声脉冲成比例的电压值 $V_A$ 。通过上述的装置和读数的方法,我们就可以得到各组条件的 $V_A$ 及 $V_R$ 的电压值。众所周知,吸声系数 $\alpha$ 的定义是:

$$\alpha = 1 - R^2$$

式中 $R$ 为声压反射系数。

$$R = \frac{P_R}{P_\lambda} \times 100\%$$

由于在测量过程中，实际测得的结果是与入射声压成正比的电压  $V_\lambda$  以及与反射声压成比例的电压  $V_R$ ，因此  $R$  也可由下式决定。

$$R = \frac{V_R}{V_\lambda} \times 100\%$$

在实验过程中为了使脉冲声的重复性较好，我们使用 PM802 型数字式频率计对频率监测。每次均调节到频率误差在 1 赫左右。为了保证读数的精度，除了保持输入至扬声器的电功率不变和发射系统的电平不变外，我们尽可能使 2114 频率分析仪上的量程范围不改变，在测量  $\theta$  等于  $0^\circ$  入射时，我们只使扬声器的位置改变了  $2l$  的距离。所以  $V_R$  的数值可直接计算。但是我们在测量各个不同的  $\theta$  角入射时，由于希望声程和  $\theta$  角有一定的精度，采取固定扬声器和传声器与吸声壁面之间的垂直距离为 2 米（见图 1 中的  $y$ ），然后用三角函数计算出扬声器与传声器的位置  $x$ ，同时计算出  $2l$  的声程，因此在测量入射声压时再把扬声器移动使用两者的声程等于  $2l$ ，之后再测量  $V_\lambda$ ，并计算出  $R$ 。

#### 四、测量结果

我们来用脉冲法对同济大学大消声室中吸声尖劈进行声学性能测量。此消声室的体积较大。除去尖劈的长度，净空间是  $16 \times 11.5 \times 6.5$  米<sup>3</sup>。消声室顶面装置长为 1.2 米，底部截面为  $60 \times 60$  厘米<sup>2</sup> 吸声尖劈，它的骨架由直径 4 毫米的钢筋焊接而成，吸声材料用直径约 20 微米的玻璃纤维，外面使用一层玻璃纤维布，及一层塑料窗纱作保护层。此尖劈的低频吸声性能，在安装之前曾抽样在直立式大型驻波管中进行测定，吸声系数均可达 99% 以上。但中高频部分未作测试。消声室的底部和侧面等五个吸声壁面，是用矿棉成型板切成长为 1.2 米尖劈形式，直接堆

砌起来的，不另用尖劈骨架，在吸声尖劈的整个劈面的表面上平挂一层玻璃纤维布和一层窗纱为护面。这种吸声结构的低频吸声性能，也曾用直立式大型驻波管进行实际测量，吸声系数也在 99% 以上。由上可知，这个消声室既具有普通玻璃纤维尖面的吸声劈面，也具有矿棉成型板尖壁的吸声劈面，并且矿棉成型尖劈壁面的护面可以在测量时取下，这样便于进行三种不同吸声性能的对比试验。此外由于消声室的空间较大，各方向来的反声脉冲的延迟时间足够长，便于把各次反射声区分开来。在实验过程中，我们又进一步在接收传声器上装上超指向性传声器耦合器，使传声器具有很强的指向性，指向性图见图 3。这样对于来自非测量方向的声脉冲能抑制到最小限度，不致于干扰所要读数的反射声。

对于脉冲声讯号的产生，我们是使用 4440 型选通系统，此系统所产生的脉冲正弦讯号也非常理想。它不但选通宽度  $\tau$  可从 30 微秒连续调到 1 秒，而且重复频率由 0.5 赫至 15 赫，延迟时间和选通宽度也是以 30 微秒至 1 秒，所以使用很方便。更值得指出的是它的脉冲讯号的稳定性和频率都由讯号发生器

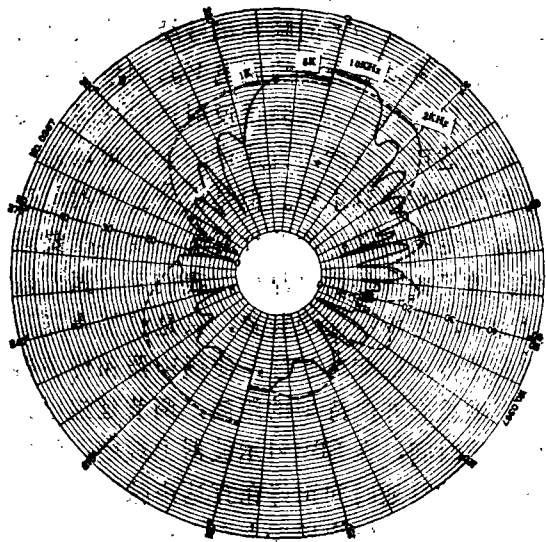


图 3 超指向性传声器耦合器指向性图

来保证，所发生的正弦脉冲波起点和终点均保持在零相位上。

产生脉冲声的扬声器是飞乐12.5厘米的中频扬声器，能辐射高至16千赫的声波。但该扬声器的盆架是密封的，纸盆后面与盆架之间存在一空间，由于盆架的反射，发射出的脉冲声波形不好。我们在安装纸盆工艺之前，先在盆架上贴一层吸声材料，便能改进它的脉冲波形。在测量壁面声压反射系数时，扬声器和传声器离壁面垂直距离为2米。在测量顶面时放置距离3米。由于放置的困难对顶面的零度入射数据未能测出。测量结果如表1，表2。声压反射系数和吸声系数随频率的变化规律见图4、图5。

从上面的数据里可以看出，二种尖劈的中高频性能相差不多，大部分吸声系数均在99%以上，在有骨架的玻璃纤维尖劈个别频率吸声系数在99%以下，特别在16千赫时下降至95%，估计是由于骨架钢筋的反射所引起。对于悬挂在尖劈壁面的玻璃纤维布对于吸声系数有一定影响，假如悬挂形式改变成折皱形可能影响较小。在声压反射系数R的曲线上我们可看到有相当的起伏。

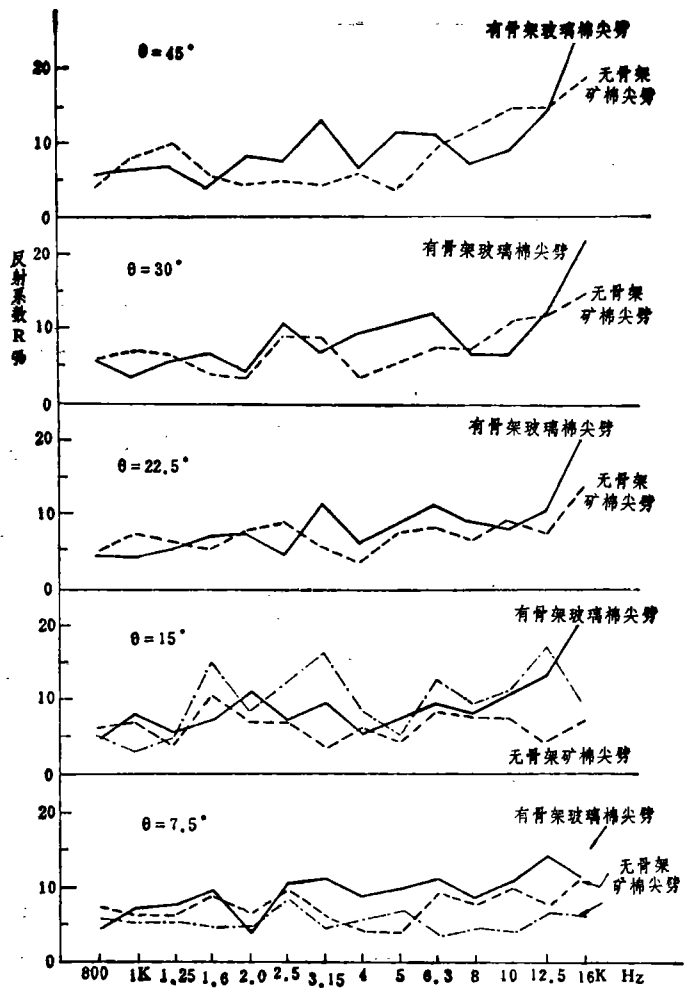


图4 二种尖劈在不同 $\theta$ 时的声压反射系数R

伏。由于使用具有指向性的扬声器，反射面是漫反射，传声器所接收到的声波并不是从一点反射回来，因此在一定范围内各点反射声共同作用在传声器上，由于它们有一定的声程差，故引起了相位差，使得吸声系数与频率有依赖关系，所以出现一定的起伏。

表1 不同 $\theta$ 角入射时顶面声压反射系数

频率	800	1K	1.25K	1.6K	2K	2.5K	3.1K	4K	5K	6.3K	8K	10K	12.5K	16K
R 7.5°	4.36	7.16	7.64	9.59	4.24	10.59	11.44	8.83	9.45	10.8	8.47	10.6	14.1	10.7
R 15°	4.88	8.18	5.46	7.22	11.3	7.22	9.35	5.27	7.27	9.63	8.26	10.8	13.8	21.2
R 22.5°	4.16	4.27	5.25	7.07	7.26	4.42	11.8	6.08	8.35	11.5	9.26	8.25	10.79	20.7
R 30°	5.08	3.32	5.44	6.87	4.22	10.87	6.98	9.03	10.17	11.95	6.66	6.60	12.74	21.83
R 45°	5.52	6.22	6.79	3.80	7.96	7.51	13.01	6.39	11.43	11.29	6.93	8.82	14.06	27.97

表2 不同 $\theta$ 角入射时壁面声压反射系数

频率	800	1K	1.25K	1.6K	2K	2.5K	3.1K	4K	5K	6.3K	8K	10K	12.5K	16K
R 0°	5.9	5.5	5.44	4.58	4.48	7.83	4.59	5.37	6.49	3.26	4.12	3.48	5.65	5.56
R 7.5°	7.35	6.44	6.32	8.41	6.45	9.43	6.00	4.27	4.46	8.86	7.46	9.18	7.26	11.74
R 15°	6.16	7.03	3.78	10.54	7.16	7.06	3.81	5.93	4.36	8.56	7.99	7.77	4.70	7.12
R 22.5°	5.06	7.38	6.22	5.77	7.38	9.10	5.93	3.71	7.51	8.43	6.67	9.19	9.34	13.82
R 30°	5.67	7.16	6.56	4.14	3.50	8.95	8.79	3.46	5.14	7.51	6.91	10.75	12.18	14.59
R 45°	3.96	7.87	9.93	5.62	4.28	4.86	4.46	5.60	3.56	8.85	7.17	14.5	14.7	18.4

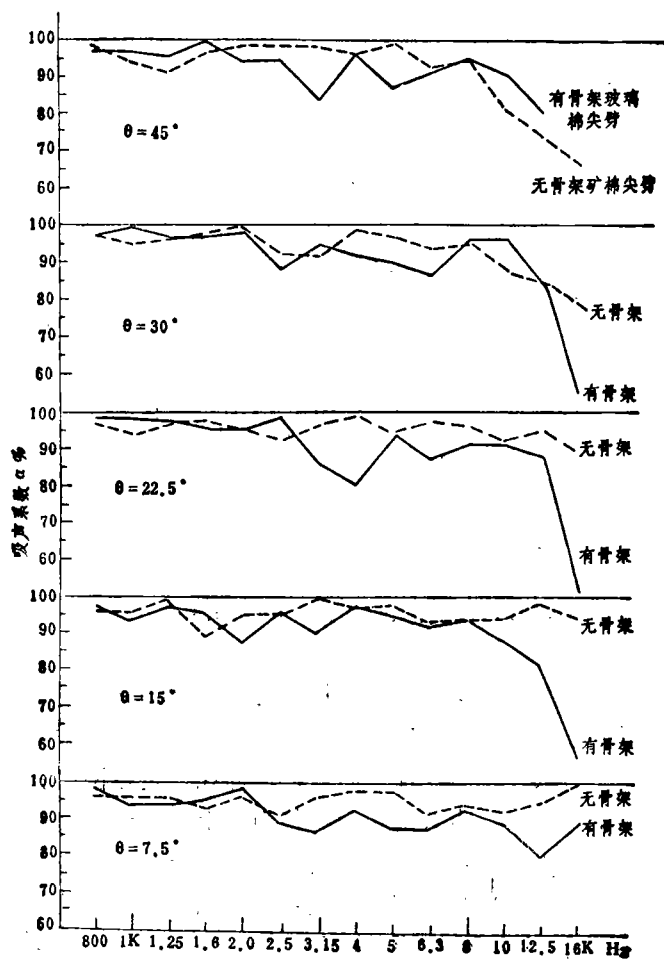


图5 二种尖劈在不同 $\theta$ 时的吸声系数 $\alpha$

## 五、结 论

通过这项工作我们总结出此测量方法具有下列特点：

1. 可以测量大型吸声构件或者吸声壁面中高频吸声系数和反射系数。
2. 可以测量各种不同入射系数和反射系数。
3. 只要现场的空间足够大，使直达声波和各次反射声波能分辨开，如一般会堂、剧院等，就能使用于现场测量各个不同入射角时壁面的吸声系数。

本项工作得到赵松令教授的指导。

## 参 考 文 献

- [1] 《声学》，白瑞纳克。
- [2] E/K4440型选通系统使用说明，及维修说明。