

表 6 观众厅背景噪声和空调运行时的噪声级

测定条件	倍频程声压级 (dB)							A 声级 (dB)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	
观众厅内背景噪声级	41.5	36.0	25.0	20.5	15.0	13.5	15.0	27.0
空调运行时,厅内噪声级	44.0	38.0	28.0	24.5	19.5	17.0	16.0	31.0

见是:京剧和地方戏剧演出时,唱词清晰、低音有一定的厚度,高音亮、拢音,后排听众在自然声条件下也有足够的响度;

当混响时间调至下限值时,会议和放映电影,语言清晰,电影还原真实;

音乐演出都通过扩声系统演奏(唱)流行歌曲和轻音乐,普遍反映较好。由于至今还未在自然声条件下演唱和演奏交响乐、室内乐,因此,要作出评价为时尚早。

四、初步结论

通过北京工人俱乐部的工程设计和使用后反映,并参考了国外有关资料,可提出如下二点初步结论

1.多用途剧场是我国剧场建筑的发展方向,在多用途剧场内,采用可调混响结构,可使

多种剧目在声学上都能达到较为满意的效果,同时,在构造上并不复杂,施工上也不困难;

2.多用途剧场内的可调混响结构,仅采用可调的多孔性吸声材料(或结构)达不到所要求的低频可调幅度,实践证明,采用大容积可调吸声腔结构是有效的。同时,造价也很低,北京工人俱乐部的可调结构仅占总造价的 0.86%;北京良乡剧场占总造价的 1%。

北京市建筑设计研究院王峰、陈金京和葛砚刚同志参加了混响时间、噪声级和座椅的吸声测定工作,笔者谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 项端祈、王峰,工程声学,北京大学出版社,1988年。
- [2] 项端祈,建筑师,中国建筑工业出版社,1987年。
- [3] Webb J. D., Noise Control in Industry, 1978年 S. R. L. L(London)。
- [4] 项端祈,王峰,声学技术,2(1988)。

半消声室声场的研究*

蔡彪

(华东交通大学)

王季卿

(同济大学)

1989年2月27日收到

本文运用作者以前提出的消声室声场的计算公式,算出了点声源在半消声室内声场的解。其结果与声源离地面的高度有明显关系。从而定量地指出了鉴定半消声室时所知的声场与测试机器时的实际声场的区别,特别是纯音的声场,这种区别与人们以前的预想相差甚大。

一、引言

不少文献^[1-3]都提到,由于地面反射声对直

达声的干扰,半消声室的声场是复杂的。但他

* 本工作属“国家自然科学基金”资助项目。

们只是给出一些定性论述。

本文作者曾对消声室的声场提出了两个较精确的计算公式^[4-7],基本思想是只考虑一次反射声的干扰,通过波动方程求解声场的三维解,其结果与实测符合得很好,比以前的公式^[8-10]进了一步。

用这两个公式,只需把原求解条件中地面的吸声系数由 0.99 改为 0.01,就可以分别得出半消室内纯音声场和宽频带声场的解,从而能定量地描述半消声室声场的“复杂性”,得出一些非常有用的结果。

本文以 1976 年建成的上海内燃机研究所半消声室为例进行了具体计算和分析。这个半消声室的净空间为 $6.8\text{m} \times 6.8\text{m} \times 5.4\text{m}$,水磨石地面(吸声系数 $\alpha_0 = 0.01$),其他五个面在 70 Hz 以上的吸声系数 $\alpha_{1-5} \geq 0.99$ 。可以认为,这是一个标准半消声室,其结果是有典型意义的。

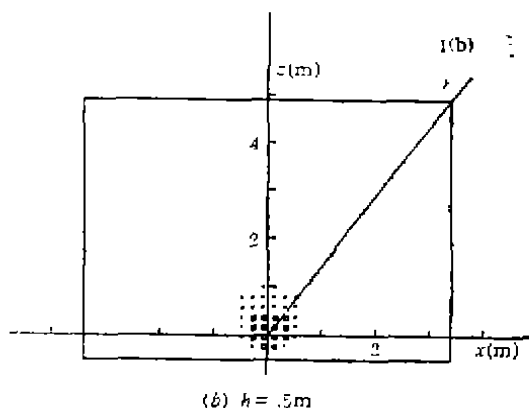
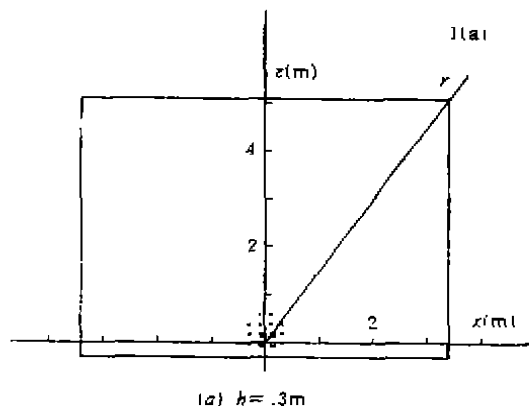
按照 ISO3745(E) 的规定,在鉴定半消声室时,“测试声源的辐射表面和反射面之间的最大距离应足够小”^[1]。设声源为点声源,置于地面上($h = 0$),地面为全反射($\alpha_0 \approx 0$),其他五面为全吸声($\alpha_{1-5} \approx 1$),在这种理想情况下,半消声室的声场为自由声场加 3dB (对于宽带噪声)或加 6dB (对于纯音)。换一种说法,将室内各点声压级值减去 3dB (或 6dB),即为理想的自由声场。如果 $h = 0$,但 $\alpha_{1-5} \geq 0.99, \alpha_0 \approx 0.01$ (如上述实例),其声场也与理想情况接近,计算结果: 宽带噪声在全室的偏差 $|\Delta L - 3| < 1\text{dB}$; 纯音在全室的偏差 $|\Delta L - 6| < 2\text{dB}$,在以声源为中心的 3m 半径范围内 $|\Delta L - 6| < 1\text{dB}$ 。可见,从鉴定半消声室的自由声场的要求看,该室是符合标准的。

但是,半消声室内的实际使用情况是,置于半消声室内的机器设备,一般不能象鉴定扬声器时那样,将声中心贴在地面上,而是其声中心距地面有一定高度。根据被测设备的尺寸,声中心的高度 h 往往大于数十 cm 乃至 1m。由于声源和地面声象点不在同一位置,且直达声和地面反射声的强度相当,迭加声场比较复杂。这时,仅仅在贴近地面的空间,声场可以近似地

看成自由声场加 3dB (宽带噪声)或加 6dB (纯音),其他位置便不这样简单。下面我们以上述半消声室为例,对宽带噪声和纯音分别予以计算和讨论。

二、宽频带噪声

宽带声,用傅里叶变换可得等效的时间域声脉冲,根据对声波的时间相干性的计算,得出下面两个结果: 1. 对于全消声室,点声源置于室中心,若带宽为 oct (甚至 $1/3\text{oct}$),除非中心频率极低,一般来说都不存在相干性。2. 对于半消声室,其主要反射声为地面反射声,它和直达声的波程差不超过 $2h$,而 h 大多在几十 cm 到 1m 之间,要忽略相干性,频带的线性宽度需达 170Hz ($h \approx 1\text{m}$) 甚至 340Hz ($h \approx 0.5\text{m}$)。下面,我们先讨论可忽略相干性的宽频带噪声的声场。我们的宽频带声场公式^[5,7]是建立在



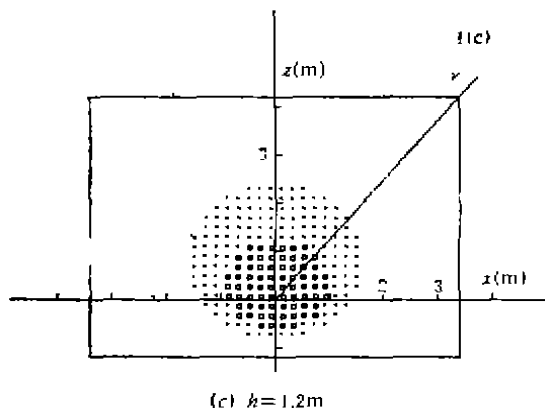
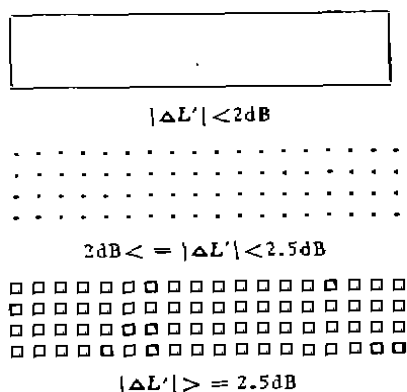


图1 xoz平面上,声场偏差 $\Delta L'$ 的分布
($\Delta L' = |\Delta L - 3|$ dB)



能量相加的基础上,完全忽略了直达声和反射声的相干性. 图1—2及表1是利用这个公式计算出来的.

设点声源距地面高度 h 分别为 0.3m、0.5m 和 1.2m, xoz 平面内的偏差 $\Delta L'$ ($\Delta L' = |\Delta L - 3|$, ΔL 为对完全自由声场的偏差) 的分布如图 1(a)(b)(c) 所示, 其中沿 or 方向 $\Delta L'$ 的分布如图 2(a)(b)(c) 所示.

从图1可以看出,点声源离地面越高,理论偏差超过允许值^[1]的范围越大,且均出现在声源附近. 从图2看出, $h = 0.3$ m 时,在 $r < 0.5$ m 内 $\Delta L' > 2$ dB; $h = 0.5$ m 时,在 $r < 1$ m 内, $\Delta L' > 2$ dB; $h = 1.2$ m 时,在 $r < 2$ m 内, $\Delta L' > 2$ dB. 因此,在半消声室中测量时,测点以适当远离声源为宜,尤其是在声源离地面高度较大时.

ISO3745(E) 关于半消声室内的声源声功率级的计算公式:

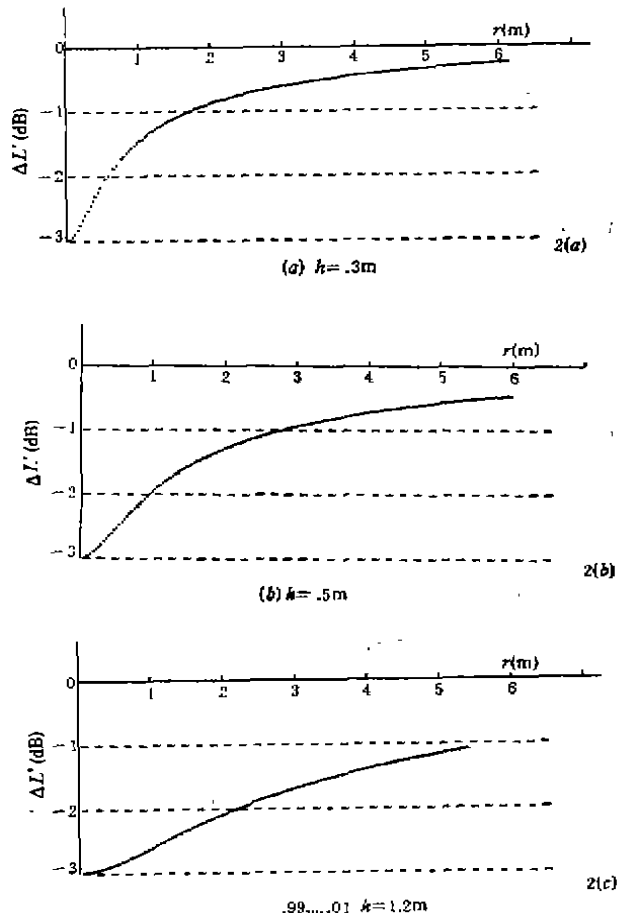


图2 前图中,沿 or 方向的 $\Delta L'$ 的分布.

$$L_w = \bar{L}_p + 10 \lg \frac{2\pi r^2}{S_0} + C(\text{dB}) \quad (1)$$

与式

$$L_w = (\bar{L}_p - 3) + 10 \lg \frac{4\pi r^2}{S_0} + C(\text{dB}) \quad (1a)$$

等效. 和消声室内的公式对比,可知 $(\bar{L}_p - 3)$ 相当于自由声场的声压级值. 式(1)是根据声中心在地面上而得来的. 若声中心离开地面,则室内任何一点到声源的距离总小于地面象声源到那一点的距离,这时两声波迭加后,声压级和自由声场声压级之差一般总是小于 3dB. 而建造半消声室的目的主要是对较大较重的机器设备进行声学测量,因此, h 对声场的影响是不可忽略的.

以前述半消声室为例,我们计算了点声源在不同高度 (h), 室内声场相对于自由声场的

表1 点声源在不同高度,半消声室内声场偏差值的空间平均

$h(m)$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$\Delta \bar{L}(dB)$	3.02	2.79	2.60	2.43	2.27	2.13	2.00	1.89	1.78	1.68	1.60	1.52	1.44

偏差值的平均值 $\Delta \bar{L}$ (见表1),由它可以估计在不同 h 的情况下半消声室内声场相对于自由声场的偏差的不同。

因此,考虑到实测时声源高度对声场的影响,式(1a)应改为

$$L_w = [\bar{L}_p - 3 + \Delta(h)] + 10 \lg \frac{4\pi r^2}{S_0} + C(dB) \quad (2)$$

式(2)与式(1a)相比较,前者多一个以高度 h 为自变量的修正函数 $\Delta(h)$ 。从表1可以看出,在允许的高度内(按机器体积最好小于半消声室体积的0.5%^[4]来考虑) $\Delta(h)$ 的变化不大,可近似取1,从而得近似公式

$$L_w = (\bar{L}_p - 2) + 10 \lg \frac{4\pi r^2}{S_0} + C(dB) \quad (3)$$

式(3)较之式(1)或(1a)更接近实际情况。对前例,我们计算 $|\bar{L}_p - 2|$ 相对于自由声场的偏差 $\Delta L''$,发现在允许范围内 ($0 \leq h < 1.2m$),全室内偏差 $\Delta L''$ 均不超过2dB,不存在声中心附近超过允许值的情况,即全室在 $h \approx 0$ 的情况下仍符合测试要求。因此,在半消声室内测定机器噪声时,计算其声功率的公式由(1)改为(3)更为恰当。

三、纯音

某些机器具有纯音成分,在对它进行测定时,必须明白,在半消声室中纯音声场相对于自由声场的偏差与宽频带噪声有很大不同。因为,声源发出稳定的纯音,直达声波和反射声(室内五面的 $\alpha_{1-5} \approx 1$,可忽略多次反射声而仅考虑一次反射声)的初相差恒定、频率相同,它们的迭加是相干迭加,结果在室内形成稳定的干涉声场。如果点声源在地面上,声源和象声源几乎处于同一点,使得半消声室内纯音的声压

应用声学

振幅为自由声场的两倍,即其声压级比自由声场的大6dB,于是式(1)应改为

$$L_w = (\bar{L}_p - 6) + 10 \lg \frac{4\pi r^2}{S_0} + C(dB) \quad (4)$$

这一点,ISO3745(E)没有提到。

但是,若点声源离地面有一定高度时,直达声波和地面反射声波(还有其他五面的一次反射声波)相干迭加,使得声场非常复杂(特别是中、高频纯音)。对于这种情况,我们利用消声室的纯音声场公式^[4,6],对前述半消声室进行了计算。下面是计算的结果。

图3为室内每隔0.2m离散取点,在不同 h 和不同 f 的情况下计算出来的声场的 $|\Delta L|$ 分布。由于存在两波迭加后相消的情况,以致使某些点的声压级小于直达声10dB以上, $|\Delta L|$ 或者 $|\Delta L - 6|$ 小于2.5dB(或2dB)的范围很小,远不够实用所需。 ($|\Delta L - 6|$ 的分布与 $|\Delta L|$ 的分布相比,原则上没有什么改善)。

图4描述了图3(c)中沿 or 和 oz 方向的 ΔL 分布情况。

只有当 $h \ll \lambda/4$ (λ 为纯音声波的波长)时,才可实现相当大的范围内不影响测试精度。例如 $f = 70Hz$ ($\lambda/4 = 1.2m$), $h = 0.3m$ 时, $|\Delta L - 6| \leq 2.5dB$ 的范围几乎充满全室;但同样是 $h = 0.3m$, 如果 $f = 500Hz$ ($\lambda/4 = 0.17m$), 则 $|\Delta L - 6| \leq 2.5dB$ 的范围就不合要求了(见图5)。

需要指出一点,若点声源不在地面上,仅仅沿着声源到室顶面边缘(或角点)的斜线来测定室内 ΔL 的分布,往往不能代表 ΔL 的平面或空间分布情况。例如图3(c),沿 or 方向的偏差 ΔL 并不大(具体见图4(a)),但在 or 和 oz 之间声场偏差的变化却异常的大(见图4(b)),这是不能忽视的。

常有人在半消声室中,为了改善纯音的自

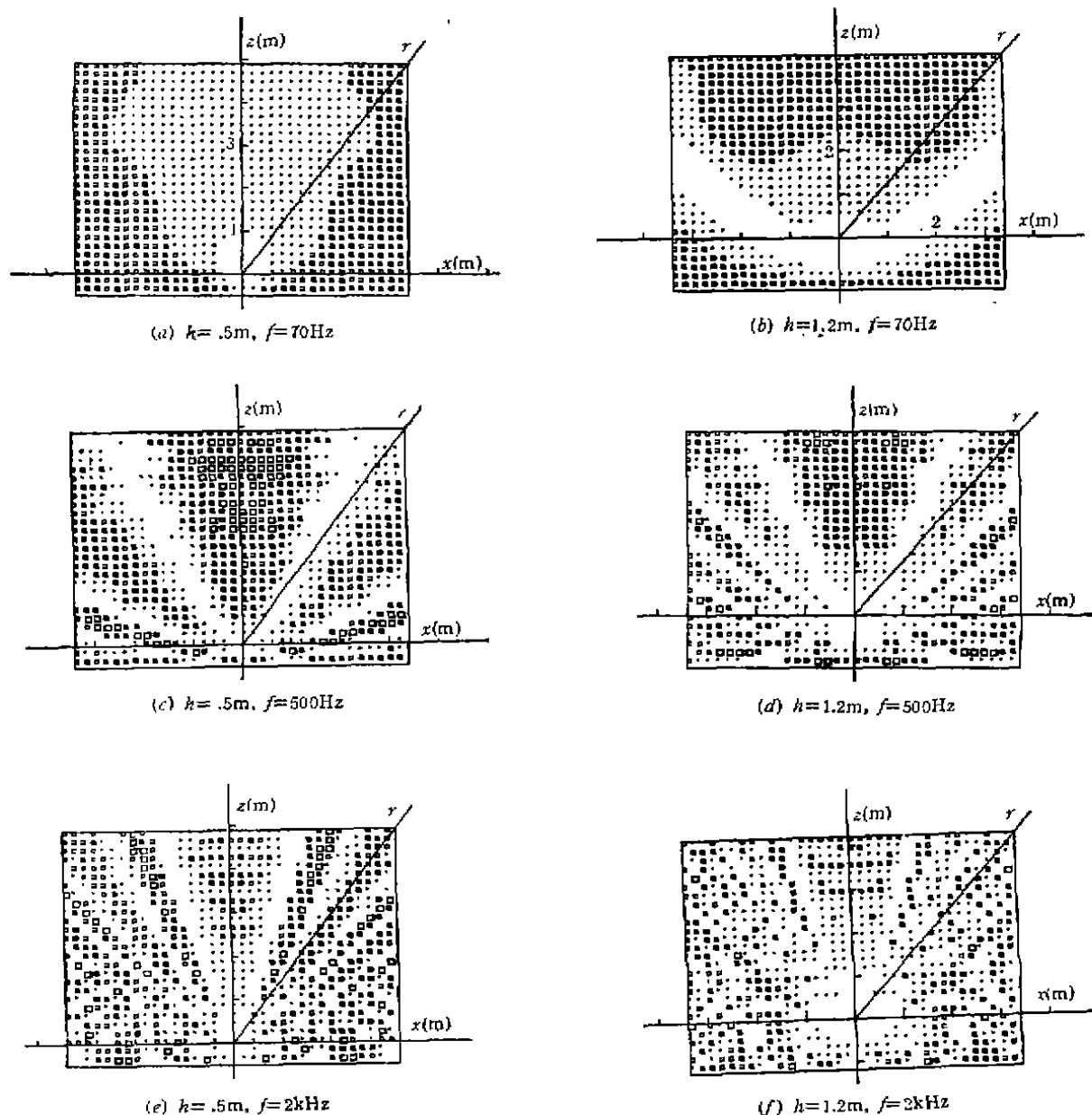
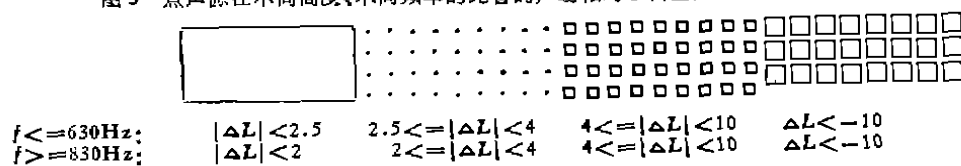
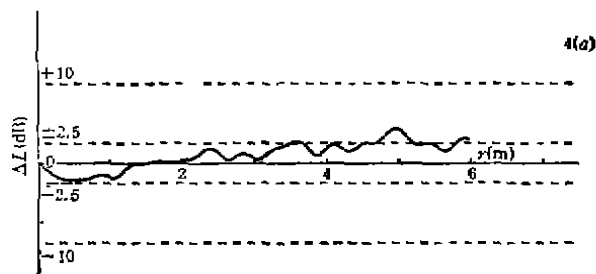


图3 点声源在不同高度、不同频率的纯音的声场相对于自由声场的偏差 ΔL 的分布图。

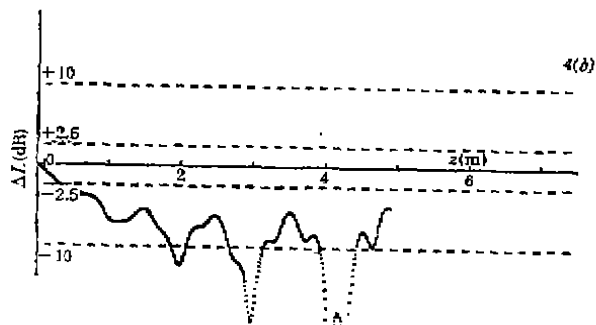


由声场的范围，地面上放置可移动的简易吸声尖劈或其他吸声材料，我们对地面加垫吸声材料(如 $\alpha_0 = 0.90$)的情况进行了模拟计算，这时

声场有明显改善，但在中、高频段的纯音仍不太理想。这已不属半消声室的范畴，故本文不拟讨论。

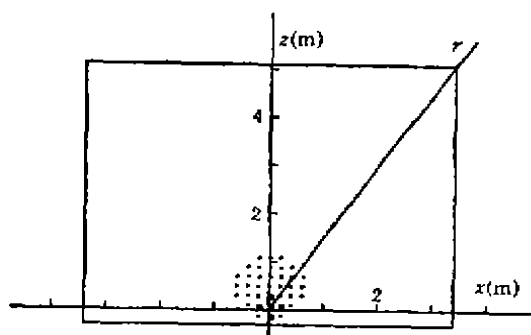


(a) 沿 or 方向

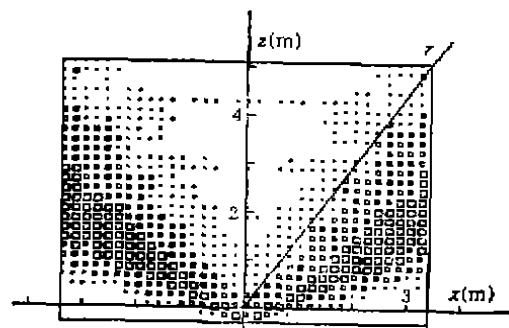


(b) 沿 oz 方向

图4 图3(c)中 or 和 oz 线上 ΔL 的分布

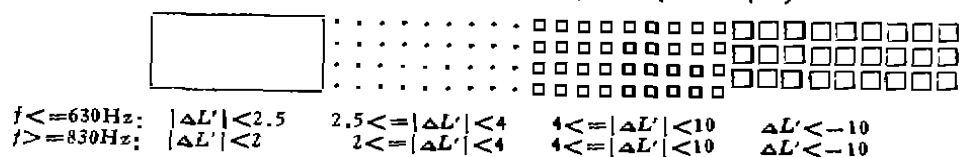


(a) $f=70\text{Hz}$, $h=.3\text{m}$



(b) $f=500\text{Hz}$, $h=.3\text{m}$

图5 xoz 平面内 $\Delta L'$ 的分布 ($\Delta L' = |\Delta L - 6| \text{dB}$)



四、结 束 语

虽然我们仅介绍了某个半消声室的计算结果,但对其他尺寸的半消声室,原则上与以上规律相符。因此,半消声室在用来测定较大机器应用声学

的噪声时(此时声中心离地面有一定高度),我们得出如下结论:

1. 测定宽频带噪声是完全符合要求的(其带宽必须宽到直达声和反射声完全没有相干性),但声中心离地面的高度是要考虑的。
2. 测定纯音成分时,其准确度在理论上受

到很大限制,其性能远不如全消声室;只有当 $h \ll \lambda/4$ 时,才可在较大范围内符合 ISO 要求,而这一点在中、高频是难以实现的。

3. 窄频带声,其直达声和反射声具有相干性或部分相干性。具有相干性的声场,其规律与纯音声场较接近;具有部分相干性的,其结果介于以上两者之间,具体要视其带宽和频段而定。

参 考 文 献

[1] ISO3745(E)(1977)

- [2] 孙广荣,电声技术,5(1988),9—14.
 [3] Richard, A. D. and Donald, E. B., *Sound and Vibration*, May, 1977.
 [4] 蔡彪、王季卿,声学技术,6-2(1987),20—21.
 [5] 蔡彪、王季卿,声学技术,6-3(1987),8.
 [6] Wang, J. and Cai, B., *J. Acoust. Soc. Am.*, 85-3 (1989), 1207.
 [7] Wang, J. and Cai, B., *J. Acoust. Soc. Am.*, 85-3 (1989), 1210.
 [8] Olson, H. F., *Acoustical Engineering*, Van Nostrand New York, 1957, 445.
 [9] Duda, J., *Noise Control Engineering*, 9-2(1977) 60—62.
 [10] 孙广荣,电声技术,2(1980),63—65.

正弦式语音分析/合成系统的计算机实现和初步评价

任 艳 田 严 普 强

(清 华 大 学)

1989年1月23日收到

正弦语音模型是一种新的语音信号处理模型。为考察这一模型的效果,我们在微机上实现了一个基于该模型的语音分析/合成系统。本文介绍该系统的基本原理,并通过比较输入、输出系统的语音波形形状及对音节/so/的非正式辨听,对这种分析/合成方法进行非正式评价。结果表明,该方法失真较小。

一、引 言

基于正弦模型的语音分析/合成方法是由 R. J. McAulay 和 T. F. Quatieri 于 1985 年提出的^[1-2]。最近,他们用此方法初步做出了中码率(8kbit)语音通讯实验系统^[3]。本文简单介绍这种方法及我们在 PC-XT 机上实现的非实时正弦式分析/合成实验系统,并用非正式方法对其效果进行初步评价。

二、正弦语音模型^[1-2,4]

语音产生模型中,语音波形 $S(t)$ 假设为由激励波 $e(t)$ 通过一线性时变的,代表声道特性

的滤波器而产生。设声道滤波器的时变单位冲激响应为 $h(\tau, t)$, 则

$$S(t) = \int_0^t h(t - \tau; t) e(\tau) d\tau \quad (1)$$

将激励信号表达成任意幅值、频率、相位的正弦波的叠加

$$e(t) = Re \sum_{i=1}^{L(t)} a_i(t) \exp \left\{ j \left[\int_0^t \omega_i(\sigma) d\sigma + \phi_i \right] \right\} \quad (2)$$

其中,对第 i 个正弦分量, $a_i(t)$ 、 $\omega_i(t)$ 表示幅值、频率, ϕ_i 表示固有相角偏置。将时变的声道传递函数表达成

$$H(\omega, t) = M(\omega, t) \exp[j\phi(\omega, t)] \quad (3)$$

假设式(2)中声门激励参数在时刻 t 对声道滤波器的冲激响应时段的作用效果恒为常值。将