

室内声学测量中常用声源性能的比较

赵跃英, 盛胜我, 刘海生

(同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘要:在室内声学测量中,参数的测量结果受到测试技术和系统的影响。从测试技术来看,传统的方法是使用模拟信号源(气球、发令枪等),而现代的方法是使用计算机产生的数字的信号,通过扬声器发出。本文扼要阐述了室内声学传统的测量方法,对气球破裂,电火花及白噪声等三种常用声源的瞬态时频特性及其典型实用测量作了对比分析研究,得出电火花频谱较宽,且较接近于理想的白噪声谱,信号的重复性也较好,是其中最佳的声源。但这些传统测量方法的共同缺点就是信号不能完全重复,测量精度不够,一般只适用于混响较长的房间的测量,文中对它们的适用范围及其局限性作了讨论,为进一步研究工作提供了基础。

关键词 室内声学; 脉冲响应函数; 声源

中图分类号: TB52

文献标识码: A

Comparison of characteristics of popular sound sources for room acoustical measurements

ZHAO Yue-ying, SHENG Sheng-wo, LIU Hai-sheng

(Institute of Acoustics of Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In room acoustic measurement, the results of objective parameters can be influenced by the measurement techniques and instruments used. Traditional techniques are based on common sources (balloon, spark or pistols), and new techniques on the loudspeakers driven by digital signals. In this paper, traditional methods for room acoustical measurement are described. For three types of popular sound sources, i. e. balloon explosion, spark and random noise, their characteristics in both the time and frequency domains as well as the results of typical applications are compared and analyzed. It is concluded that among the three sources, spark is the best. All these sources do not have a satisfactory repeatability. They are most adequate for the measurements in rooms with long reverberation time. The applicability and limitation of these sources are discussed. It provides a foundation for further investigation.

Key words: room acoustics; impulse response; sound source

1 概述

在室内声学设计中,测量能反映房间声学特性的各种参量具有重要的实际意义。其中表征房间混响特性的混响时间一贯受到人们特别重视^[1]。对于混响时间,传统的测量方法一般是采用白噪声作为声源,当房间内建立起稳态声场后,突然关闭声源,让房间内声场平稳地自然衰减,根据测点处声压级随时间降低的斜率,求出房间的混响时间。由于白噪声随机起伏的影响较大,实际测量需要重复多次进行时间与空间的平均,才能获得较满意的结果,因此这种测量方法的实验工作量相当庞大。

1965年,施罗德发展了采用猝发声测量混响时间的技术^[2]。在时域上,当声源发出的 δ 脉冲直达测量处时作为时间的起始点,测点先后接收到的直达声与壁面反射声信号可以视作为 δ 脉冲对房间产生的瞬态响应函数。实际上,白噪声可以视作在时域上统计均匀分布的一系列随机 δ 脉冲的迭加。这样,把脉冲的响应函数在时域上从时间 τ 至 ∞ 作能量积分 $E(\tau)$,它随 τ 的衰减规律与房间内白噪声声场随时间自然衰减的相应规律是等价的,因此由脉冲响应函数的能量积分 $E(\tau)$ 也可以方便地求出混响时间。

用脉冲响应函数的观点来分析室内声场具有很大的优越性。由于它是给定房间的固有属性,即当声源与测点的位置固定时, δ 脉冲的响应是个确定的函数,因此,它可以更准确更细致地反映室内声场衰减的物理过程及其瞬态变化特性,借助现代信号处理技术可以获得更多的有用信息,除了房间混响

收稿日期:2002-03-12;修回日期:2002-09-29
基金项目:国家自然科学基金资助项目前期研究成果之一“中国古戏场声学研究”(50078038)
作者简介:赵跃英(1963-),女,上海人,讲师,在职硕士研究生,研究方向:室内声学。

时间外,还可以获得诸如早期反射声,房间的明晰度 D ,清晰度 C 、声场强度 G 及内耳相关函数 $IACC$ 等参量。

用猝发的脉冲声来替代由电声系统产生的传统白噪声,使激发室内声场的声源增加了可供选择的多样性。如可用发令枪、鞭炮及气球破裂等产生的爆破声或用锣、钹等乐器产生的打击声,也可用火花发生器产生的放电声。这类声源结构简单,易于实现,不需要复杂的电声系统,有一定的特点与优点。

由于各种声源具有自己的特性,因此对于测量所得的数据宜相应采用不同的处理方法。在本文内选择了气球破裂、电火花及白噪声三种有代表性的声源,对它们的瞬态时频特性及其典型实用测量进行对比分析,为进一步的研究工作提供基础。至于现代室内声学测量中已广泛应用的数字化声源,我们将另文深入阐述,本文内暂不讨论。

2 常用声源的时频特性

为了消除周围环境对测试结果的干扰,我们在消声室内对几种常用声源进行对比测试。接收装置主要由测量传声器及具有采集、分析及显示功能的计算机系统组成。数据采集器的最大采样速率为 $44k$,可根据实际需要选取,各次实验的采样个数可预先设置。测试时测点与声源中心的距离为 $1m$ 。在测试过程中,接收系统的工作状态保持不变,先把时域上接收到的原始声压信号,转换成数字信号储存在计算机硬盘内,测试结束后,再把数据从硬盘调出进行分析处理。

对比测试的结果阐述如下:

2.1 气球破裂声

把气球充气至一定大小,戳破气球时瞬间会发出较强的破裂声。典型的时域与频域特性如图 1 所示

用多个气球进行同样的实验,结果表明,气球破裂产生的声信号不能重复,它不但与气球的体积及其压力大小有关,而且与戳破的操作方式也有密切的关系,所得声信号的强度、持续时间及频带宽度等特性都有相当大的变化,很难加以控制。

从时域上看,气球破裂声的响应特性近似为一系列随时间衰减的波包,第一个波包为主要的成份,信号最强,持续时间也最长,对于不同气球约在 $10ms$ 到 $30ms$ 范围内。后续波包的信号逐步减弱,持续时间相应缩短,最后形成一条拖长的“尾巴”。从频域上看,气球破裂具有宽频带噪声的特点,主要

声学技术

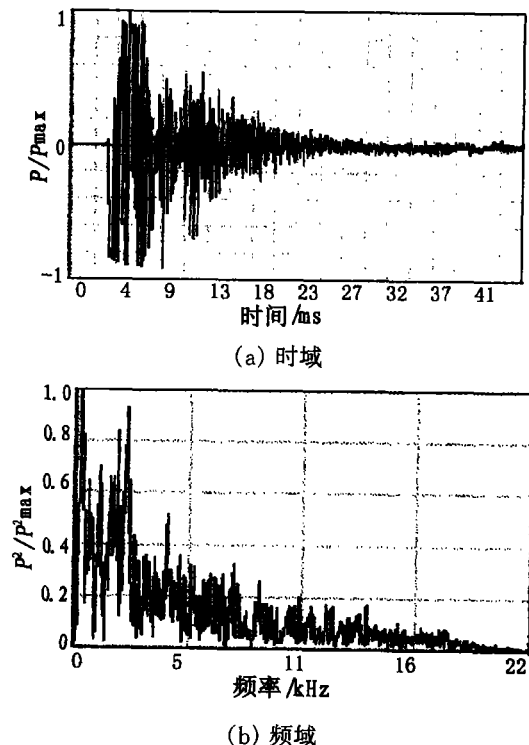


图 1 气球破裂声的典型时域与频域特性

能量集中在 $500Hz$ 以下的频率范围内。

上述特性可作理论解释如下:

把气球内原始压力较高的气体隔离作为分析对象,气球破裂后,气体突然膨胀,压力相应迅速下降,当压力降低至大气压时,由于惯性作用,气体运动并不停止而将继续膨胀。当压力达到最低点后,气体将由膨胀转变为收缩,直至压力回复到最大值。这样,在气体向外扩张过程中,伴随着来回胀缩的振荡过程。由于气球在局部受戳开裂再扩张至整个球面,气体的膨胀运动并不对称而带有不规则的随机特性,因此各种不同模式的高次声波都被激发,它们的强度随膨胀气体的压力及速度而变化,在气体整体胀缩振荡作用的调制下,就形成了一系列调幅的波包信号。

由上可知气球破裂产生的脉冲声与理想的 δ 脉冲信号有很大的差距,它具有难以控制的调幅波包特性,因此它只能适用于在混响时间较长的房间内作较粗略的测量。

2.2 电火花

电火花发声装置的原理如图 2 所示,闭合电键 K 后,高压电源 E 通过电感 L 及可变电阻 R 向电容 C 充电。当电容 C 上的电压达到一定阈值时,气隙 S 内的空气被击穿,产生火花放电而发出脉冲声。放电后电容 C 上储存的电荷释放完毕,即重新开始

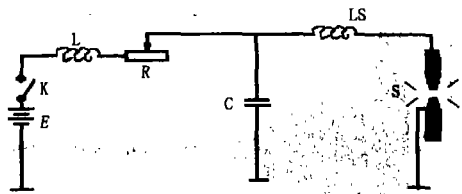


图2 电火花发声装置原理图

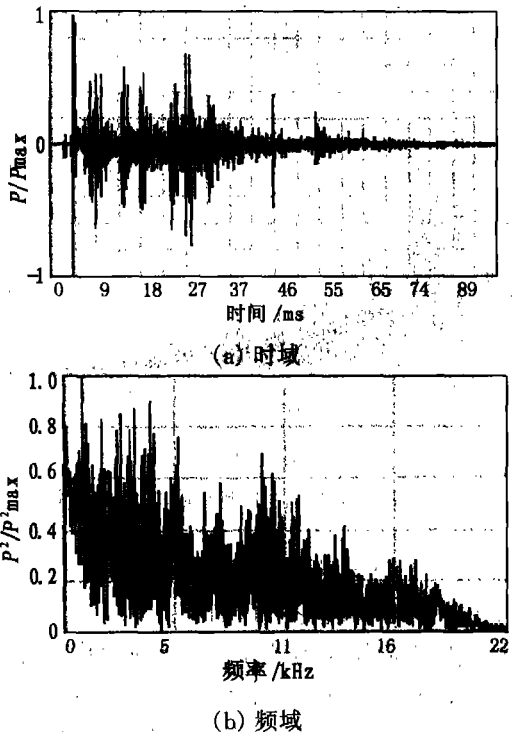


图3 电火花发声的时域特性

充电。因此电火花发声可以自动重复产生，而每次发声间的时间间隔可以借助可变电阻R加以调节。

电火花一次发声的时频信号如图3所示。从时域上看，它并不是单个 δ 脉冲，而在持续时间达60ms范围内的一系列脉冲。从频域上看，频谱覆盖范围很宽，其强度随频率的变化也较平缓，较接近于理想的白噪声频谱。

上述特性可作为理论解释如下：

当气隙S内的空气被击穿后，部分气体分子电离使气隙成为带有一定随机特性的通路。由于放电电路中存在一定的电感 L_s ，它与电容C组成交变振荡回路，使放电过程成为不太规则的衰减振荡。

对电火花发声重复产生的各次脉冲声进行对比分析，结果表明信号的强度、持续时间及频谱等特性有良好的重复性，但对声压的瞬态特性也有相当大的起伏变化，相邻两次声脉冲的时间间隔也不能保证准确地相符。

2.3 白噪声

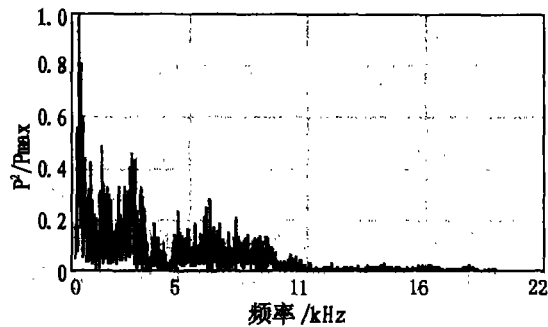


图4 电声系统产生白噪声的典型功率谱

白噪声通常借助电声系统产生。我们采用统计均匀的随机电信号作为激发源，使信号强度在时域内的统计平均值保持不变，信号经功放后，输入到12面体无指向性扬声器发声。因白噪声的随机性，只有在统计平均的意义下，声信号的时频特性才趋向稳定。白噪声在频域上的典型功率谱如图4所示。

可以看出，频谱曲线并不平坦，与理想的白噪声频谱有相当大的差距。其原因主要是由于扬声器系统的频响特性随频率变化而有所不同。在低频存在明显的峰值，可以解释为来源于扬声器与音箱组成系统的共振现象。在中频段信号强度较大且较平坦，而在高频段信号显著减弱，这可以解释为扬声器设计在中频段才有较高且较稳定的电声转换效率。

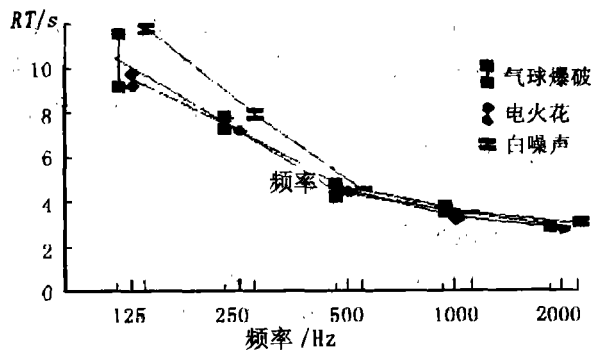


图5 混响室内混响时间对比测量

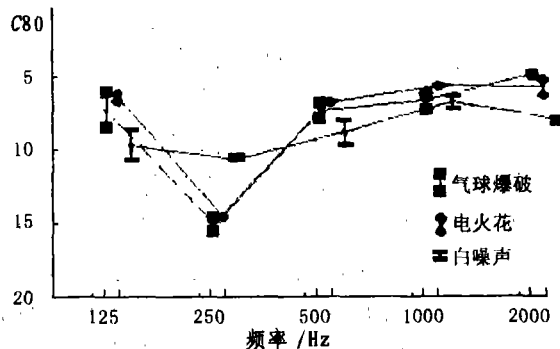


图6 房间清晰度 C_{80} 对比测量

我们以 δ 电脉冲测试所用电声系统相应的响应函数,表明其持续时间约达 10ms 的量级,与气球或电火花产生的声脉冲持续时间相差并不大。这表明用电声系统产生的白噪声作为声源时,在突然切断激发源后,由于电声系统本身的响应特性,声源仍将持续发声一段时间。

由上可知,作室内声学测量时,传统的白噪声并不是很理想的声源,特别是应注意避免电声系统对测量结果产生的干扰。

3 室内声学测量

现代室内声学测量的基本手段是要先测得房间的脉冲响应函数,然后用能量积分等处理方法得到所需的各个声学参量。用上述气球破裂声或电火花发声作为声源,由于所发脉冲声有一定的持续时间 ΔT ,时域上实测所得的房间响应函数相当于以 ΔT 作为时间间隔单位作了能量带权平均后的结果。用电声系统产生的白噪声作为声源,受到电声系统本身响应特性的干扰较大,要得到的脉冲响应函数还需作相关运算,同样要作某种能量带权平均。故这些声源都是只适宜在混响时间较长的房间内采用。

反映房间声学特性的参量一般与频率有关。如果要得到所测参量的频率响应特性需要相应采用滤波技术。但脉冲信号经滤波后在时域上会使脉冲尖峰拉宽、移位,并在脉冲起始段产生畸变。滤波频带越窄,在时域上对脉冲波形的影响就越大,这对一些声学参量的测量精度会产生较大的不利影响。通常采用倍频程或 1/3 倍频程带宽进行测量,所得结果实际是在该频带范围内的某种频率带权平均值。

我们以混响时间 RT 及房间清晰度 C_{80} 为例,在混响室内对上述声源进行对比测量。其中 C_{80} 定义为房间 δ 脉冲响应函数的 80ms 前与 80ms 后到达的脉冲能量之比(从直达声到达时刻算起)。

根据房间脉冲响应函数所得混响时间的测量结果如图 5 所示。3 种声源的结果大致相同,以气球作为声源时的测量精度稍差一些。

房间清晰度 C_{80} 的结果如图 6。可见,以气球和电火花作为脉冲声源时所得结果大致相同,以白噪声作为声源时,由于受到电声系统响应特性的干扰,所得结果有明显的差别。

4 结论与讨论

根据上述对比测量结果,可得结论如下:

(1) 用气球破裂声作为声源时,实验不能重复,其时频特性不大稳定,测量精度较低,但其装置成本低廉,操作简单且便于携带,如与便携式录音机配合使用,适宜作为一般普查性的测量手段。

(2) 用电火花发声器为声源时,可作为稳定宽频带噪声,也可作为可重复的脉冲声,对于室内声学的一般测量,可获得较满意的测量结果。

(3) 用电声系统产生的白噪声作为声源时,可满足以稳态声场为基础的一般声学测量要求,但其声信号不能重复,统计平均的功率谱也并不真正平坦,对于涉及声场随时间变化的测量要注意电声系统本身响应特性的影响,特别是非线性因素产生的干扰的影响。

由上可知。电火花是其中最佳的声源。

上述常用声源的共同缺点是实验不能完全重复,所得的声信号着重于声压有效值而把有用的相位信息丢失。由于实测的房间脉冲响应函数实际上是在一定时间间隔内作过能量平均后的结果,因此只能适用于混响时间较长的房间,在测量内容及测量结果的精度等方面都存在一定的局限性。现代室内声学测量中已越来越广泛地采用了数字化信号源,通过迭加技术和相关分析等数据处理方法,可以克服上述常用声源存在的缺陷,获得更细致更精确的测量结果。对此,我们将另文详加阐述。

参考文献:

- [1] 克雷默等著,王季卿等译. 室内声源设计原理及其应用[M]. 上海: 同济大学出版社, 1995. 119-200.
- [2] M. R Schroeder. New method of measuring reverberation time[J]. Acoust. Soc. Am., 1965, 37(3): 409-412.