

# 混响时间及测量方法简介

李敏毅<sup>1</sup>, 孙海涛<sup>2</sup>, 吴杰歆<sup>1</sup>, 杨德俊<sup>1</sup>

(1. 广东省计量科学研究院, 广东 广州 510405; 2. 华南理工大学建筑学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 评价厅堂音质的混响时间  $T_{60}$  和计算公式是上世纪初 W·C·赛宾教授(W. C. Sabine)提出来的, 在此以后, 混响时间一直是室内声学中的一个最重要、最稳定的指标。本文对混响时间及其测量方法作一个简介。

**关键词:** 混响时间; 测量方法; 测量仪器

中图分类号: TB52<sup>+</sup>9

文献标识码: A

文章编号: 1672-4984(2005)01-0018-03

## Introduction of reverberation time and its measuring method

LI Min-yi<sup>1</sup>, SUN Hai-tao<sup>2</sup>, WU Jie-xin<sup>1</sup>, YANG De-jun<sup>1</sup>

(1. Guangdong Institute of Metrology, Guangzhou 510405, China;

2. Architecture and Civil Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract** Reverberation time  $T_{60}$  and the calculation formula used to evaluate the hall timbre were advanced by professor W. C. Sabine last century. From then on, reverberation time has been the most important and steadiest reference of indoor acoustics. Both reverberation time and its measuring method are introduced in this paper.

**Key word:** Reverberation time; Measuring method; Measuring instrument

## 1 引言

混响时间不仅在音质评价方面, 而且在材料声学性能的测试、噪声控制等许多领域都是最基本的参数, 一直是被公认的、具有明确概念的、与主观感受良好相关的客观参数。适度的混响, 可以明显的改善声音质量, 改变音乐的音色和风格。我们已经知道, 室内的声波遇到四周墙面以及地面和顶棚会产生反射, 而这种反射过程是往复多次的。如果这些反射声在直达声到达听者 50ms 后仍多次反射而继续存在, 直到一段时间后才衰减消失, 听起来有一种余音不绝的感觉。这种过程与现象称为混响, 即交混回响之意。声学专家赛宾通过研究后提出: 当声源停止发声后, 残余的声能在室内往复反射, 经吸收衰减, 其声能密度下降为原来值的百万分之一所需要的时间, 或者说, 室内声能密度衰减 60dB 所需要的时间称为混响时间, 其计算公式如下:

$$T = \frac{0.163V}{\bar{\alpha}S} \quad (1)$$

式中:  $T$  为混响时间, 单位为秒;

$V$  为房间容积, 单位为立方米;

$\bar{\alpha}$  是房间内所有表面材料的平均吸声系数;

$S$  是室内总表面积, 单位是平方米。

从上面公式可见, 当一座厅堂容积  $V$  已经确定时, 通过选取不同吸声系数的内表面材料, 可以控制房间的总吸声量, 进而控制房间的混响时间。

## 2 混响时间测量方法及相关测试仪器综述

混响时间的测量方法主要有稳态噪声切断法、脉冲响应积分法, 最近不少仪器还可以使用 MLS 最大长度序列数法测量脉冲响应。

### 2.1 稳态噪声切断法

稳态噪声切断法是最常见的, 使用起来也最方便, 它先在房间内用声源建立一个稳定的声场, 然后使声源突然停止发声, 用传声器监视室内声压级的衰变, 同时记录衰变曲线, 最后从衰变曲线计算声压级下降 60dB 的时间而测得混响时间。但这种方法有一个缺点就是声衰变严重地受到无规过程中不可避免的瞬时起伏的影响, 所以对相同的声源和传声器点必须测量多次进行平均。其测量原理图如图 1 所示。

稳态噪声切断法测量混响时间测得的响应和声压级衰变曲线如图 2、图 3 所示。

使用切断噪声法测量混响时间的有 B&K 2260D (配 7204 软件)、B&K 4417/4418 型建筑声学分析仪、杭州爱华 AWA6290A、嘉兴红声 HS5660X、北京恒智的 RT1、Norsonic 的 RTA 840 (配 Ctrl-SIC 与 Nor-SIC 软件)、法国的 01dB 等。它们的工作原理都是计算

收稿日期: 2004-09-25; 收到修改稿日期: 2004-11-16

作者简介: 李敏毅(1974-), 男, 工程师, 华南理工大学在读博士生, 研究方向为声学和振动。

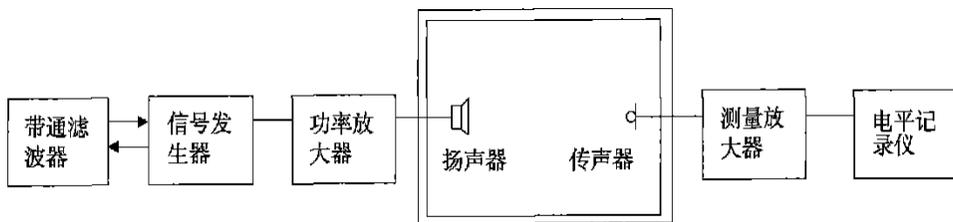


图 1 稳态噪声切断法测量混响时间原理图

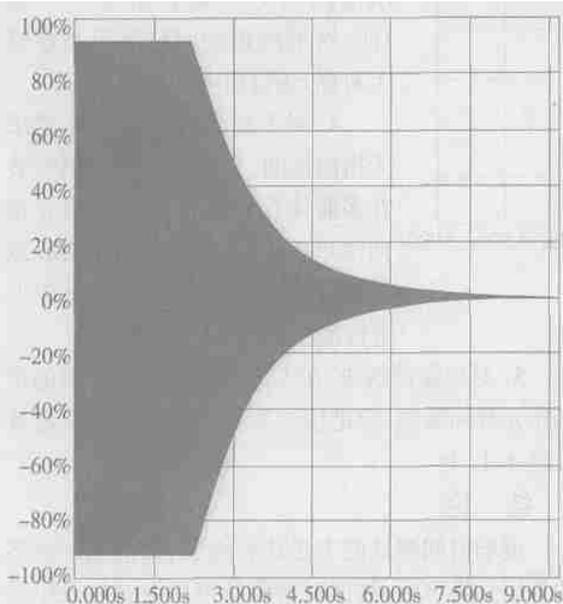


图 2 使用稳态噪声切断法在混响室中测得的响应

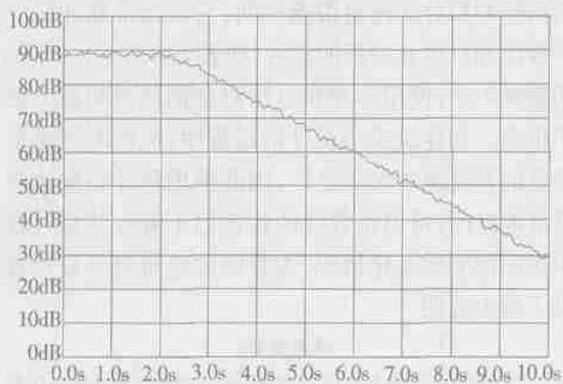


图 3 稳态噪声切断法测量混响时间得到的声压级衰变曲线

—5dB 和—35dB 两个电平之间的时间,然后推算出混响时间。

### 2.2 脉冲响应积分法

德国哥廷根大学的声学家 M. R. Schroeder 在 1965 年提出了测量混响时间的脉冲积分法,脉冲积分法是对常规测量方法的巨大改进。这一方法是基于下面的公式:

$$\langle S^2(t) \rangle = N \cdot \int_t^\infty r^2(x) dx \quad (2)$$

式中:  $S^2(t)$ ——稳态噪声的声压衰减函数;

$N$ ——谱密度;

$r(x)$ ——被测房间的脉冲响应。

它表明,在同样的声场条件下,连续稳态的白噪声停止后,声场的声能密度衰减的群体平均  $\langle S^2(t) \rangle$ ,和一次脉冲响应  $r(x)$  的平分从  $t$  到无穷的积分相等。群体平均要求对噪声衰减测量多次;而脉冲响应只要测一次,这是脉冲积分法的一大优点。用它测量混响时间得到的曲线比较平滑,波动小,不但能很精确得出混响时间,还能算出 EDT 等声学参数。

脉冲响应积分法测量混响时间测得的响应和声压级衰变曲线如图 4、图 5 所示。

使用脉冲响应积分法测量混响时间的有 B&K 2260G(配 7207 软件)、法国 01dB、北京恒智 RT1、Norsonic N 118 等。在测量中,如果无法激发足够的能量,脉冲响应积分法是一个不错的选择。表 1 列出 4 种常用简单的脉冲信号源的各种特性。

表 1 4 种常用简单脉冲信号源的各种特性

名称	气球	信号枪	爆竹	电火化
发声机理	爆炸	爆炸	爆竹声	高压放电
功率	中等	中等	较大	中等
频响	较宽	中高频声	中高频声	高频声

### 2.3 MLS 最大长度序列数法测量脉冲响应

上面我们提到用 Schroeder 提出的脉冲积分法获得的衰变曲线的无规性大大减少,相当于多次常规测量的平均。若采用具有随机性、自相关近似为  $\delta$  函数、长度为  $N$  的周期序列信号作声源,可以很简便地求出系统的脉冲响应,并可抑制背景噪声的影响,在低信噪比的情况下测量混响时间。此时,系统脉冲响应等于输入输出互相关:

$$h(t) = \frac{1}{T} \int_0^t S_i(\tau - t) S_o(\tau) d\tau \quad (3)$$

式中:  $h(t)$ ——系统的脉冲响应;

$S_i$ ——输入信号;

$S_o$ ——输出信号。

若输出信号的采样速率等于输入信号的时钟频率,上式可写成矩阵形式:

$$[h] = [M] [S_o] / N \quad (4)$$

其中,  $[M]$  为包含  $N$  个右循环延时的  $M$  序列矩阵。

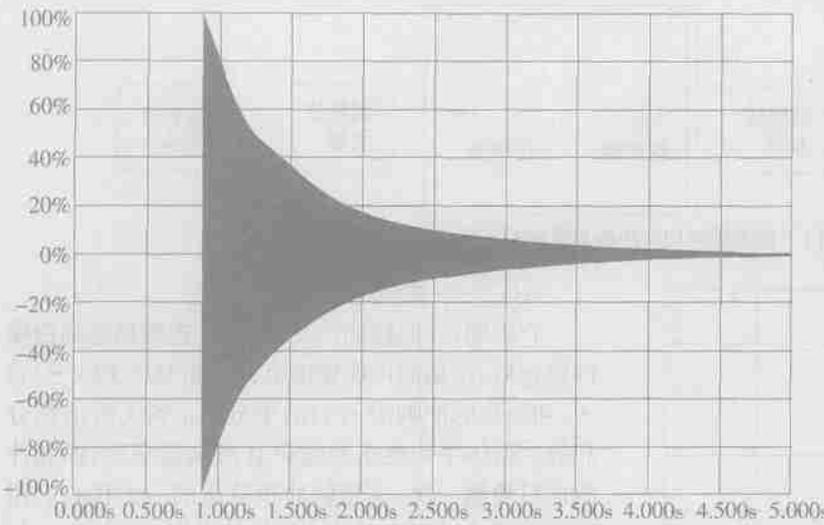


图4 混响室内测得的脉冲响应

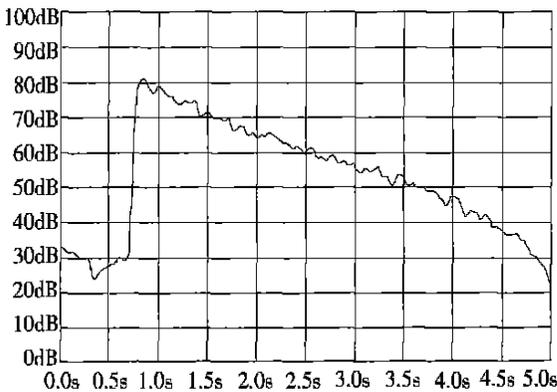


图5 脉冲响应积分法测量混响时间得到的声压级衰变曲线

通过构造置换矩阵可将  $M$  序列矩阵转化为 Hadamard 矩阵, 然后利用 Hadamard 变换快速计算脉冲响应。

如果是在环境很嘈杂或是房间实在是太大, 用常规的方法无法获得足够的信噪比, 使用 MLS 模式来测量效果很不错。使用 MLS 模式测量混响时间的有 B & K 2260D (配 7841 软件), Norsonic 的 RTA 840 (配 Nor-1012 软件), 法国 01dB 等。

### 3 测量方法及注意事项

1. 混响时间测量时信噪比至少满足 40dB 要求 (MLS 可低至 20dB)。一般在空场条件下进行;
2. 所有测点必须离墙 1.5m 以上, 测点高度距地面 1.5m 左右。对于有楼座的厅堂, 测点应包括楼座区域。为了保证测量数据的可靠性, 建议作 6 次以上的测量作平均, 而不是只进行一两次测量;

3. 测点应均匀分布在厅内, 一般不得少于 (4~9) 点。对于对称的歌舞厅其主要活动区的测点的最低要求如下: 100 平米以下的厅测 4 点, (100~200) 平米的厅测 6 点。200 平米以上的厅测 9 点。要求测点均匀分布在对称的一侧 (注: 这里所指的对称不仅是建筑上对称, 还包括声场对称);

4. 对于测试用声源, 通常要求无指向性的, 它由多个扬声器安装在多面体箱内组成。当使用无指向性声源时, 如 B&K 4295/4296 或爱华 AWA5510, 要放置在房间中央进行截断法测量;

5. 对声源截断法, 在大的房间为了对房间的声场作充分的激励, 应把信号发生器启用初始时延长至 4s 以上。

### 4 结论

混响时间测量的方法还有很多, 目前用的较多的为切断噪声法, 测试时需配备声压级测量及记录设备、功放、扬声器及附属配件, 携带较为不便。而采用脉冲积分法测量混响时间, 只需携带脉冲积分声级计和产生脉冲声的设备 (如表 1 中所列)。相比切断噪声法, 使用脉冲积分法测量混响时间就方便了很多。在建筑声学设计的过程中, 混响时间是最重要的客观声学参数之一, 因此采用脉冲积分法测量混响时间, 可以很方便的让我们了解在装修过程中房间混响的变化情况, 为我们的建筑声学设计提供了极大方便。

#### 参考文献

- [1] 吴硕贤. 建筑声学设计原理 [M]. 北京: 中国建工出版社, 2000
- [2] 华南理工大学. 建筑物理 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002
- [3] M. R Schroeder, New Method of Measuring Reverberation Time [J], Acou Soc Am, 1965, 37: 409-412
- [4] Richards EJ, Wills JL, Underwater Acoustics [M], Chapter, Ed By Albers V M, Plenum Press 1961.