

# 阻抗管中采用伪随机信号的三点测量技术

王毅刚 俞悟周 盛胜我

(同济大学声学研究所 上海·200092)

本文在分析双传声器——传递函数测量技术缺陷的基础上,提出了伪随机信号的三点测量技术。该技术很好地解决了双传声器——传递函数技术存在的两传声器间距不能为半波长整数倍的问题,采用伪随机信号解决了声场不一致问题以及采用单通道测量避免了双通道测量的不匹配问题。该技术在传统的驻波管中具有实际应用价值。

## Three-microphone-position method using pseudorandom signal in the impedance tube measurement

WANG Yigang YU Wuzhou SHENG Shengwo

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

By analyzing disadvantages of the two-microphone transfer function technique, the three-microphone-position method using a pseudorandom signal is presented in this paper for measuring acoustic properties in the impedance tube. The problem due to the distance between the two microphones being not an integer multiple of the half-wavelength of sound in the two-microphone-transfer function technique can thus be solved in our new method. By using a pseudorandom signal as the noise source, the same sound field is set up for a broadband analysis and the mismatch of the amplitude or phase responses in two-channel measurement is avoided by using single channel only. This method is practicable in the traditional standing wave tube measurement.

### 1 引言

借助于驻波比法来确定吸声材料和吸声结构声学特性的测量技术,是一种经典、传统的测量方法。该方法测量精度较高,但它要求以纯音为测量信号,在驻波管中移动探头以确定极大、极小声压以及精确测量极小声压位置,以确定试件反射系数的相位因子,因

而,显得异常繁琐和费时,随着电子技术和信号处理技术的发展,专家们在不断寻求新的测量技术。1977年, A. F. Seybert 和 D. F. Ross 首次提出了双传声器白噪声激励技术<sup>[1]</sup>;到了80年代初, J. Y. Chung 和 D. A. Blaser 发展了上述理论,提出了双传声器——传递函数技术<sup>[2]</sup>。这种技术把信号处理技术应用到管道中的声学测量,使测量过程快速,测量时间(与驻波比法相比)大幅度降低。美

• 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 95-3-21

国已对这种测量技术建立了标准<sup>[3]</sup>,丹麦的B&K公司已应用该技术形成了产品。但是,这种测量技术存在着几个重要的且至今没有解决的问题,这些问题直接影响测量精度。主要有以下几个问题:<sup>[4]</sup>

(1)理论本身的局限性:

该理论采用的一个最基本的关系式是:

$$R = \frac{H_{12} - e^{jks}}{e^{jks} - H_{12}} e^{2jkl} \quad (1)$$

其中: $R$ 为试件的复反射系数, $H_{12}$ 为两测点间的传递函数, $S$ 为两测点间距, $l$ 为试件到最远一个测点间的距离, $k$ 为波数。在上式中,当两测点间距 $S$ 等于半波长整数倍时,分子、分母趋向于零,使反射系数无法确定。由于这个条件的限制,将带来两个问题:首先测量的上限频率不能提高;其次,在 $S$ 等于半波长整数倍的频率附近,由于上式中分子、分母趋向于极小,使测量精度变差。

(2)实际测量中存在的问题:

为了解决双通道测量系统的不匹配问题,该方法采用了双传声器交换技术。这种技术虽然解决了双通道的不匹配问题,亦带来了两个缺陷:首先,要交换传声器,就需作两次测量,但对随机噪声的宽频带测量,实际中两次难以保证声场完全一样;其次,由于两次放置传声器,不可能使对应的位置重合,对高频测量带来误差。

本文针对上述问题,提出了伪随机信号的三点测量方法。

## 2 采用伪随机信号的三点测量法

### 2.1 基本原理

这种测量方法是在双传声器——传递函数技术基础上的一种改进。图1为阻抗管测量示意图。1,2,3点为3个测点,管右端为被

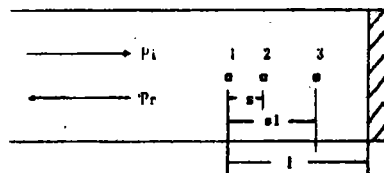


图1 阻抗管测量示意图

测试件,声源发出伪随机信号,在阻抗管中形成驻波场,入射波为 $P_i$ ,反射波为 $P_r$ 。分别对1,2,3 3个测点进行时域声压测量,可以分别计算出1,2点声压的传递函数 $H_{12}$ 及1,2,3点声压的传递函数 $H_{13}$ 。于是对(1)式进行变换,可由1,2两测点得出如下关系:

$$(e^{jks} - H_{12})R = (H_{12} - e^{-jks})e^{2jkl} \quad (2)$$

给(2)式两边分别乘以 $(e^{jks} - H_{12})$ 的共轭 $(e^{jks} - H_{12})^*$ 得:

$$(e^{jks} - H_{12})(e^{jks} - H_{12})^* R = (H_{12} - e^{-jks})e^{2jkl}(e^{jks} - H_{12})^* \quad (3)$$

同理,由1,3点也可以得出如下关系式:

$$(e^{jks_1} - H_{13})(e^{jks_1} - H_{13})^* R = (H_{13} - e^{-jks_1})e^{2jkl}(e^{jks_1} - H_{13})^* \quad (4)$$

(3)、(4)式相加再经变换得试件的复反射系数:

$$R = \frac{(H_{12} - e^{-jks})(e^{jks} - H_{12})^* + (H_{13} - e^{-jks_1})(e^{jks_1} - H_{13})^*}{(e^{jks} - H_{12})(e^{jks} - H_{12})^* + (e^{jks_1} - H_{13})(e^{jks_1} - H_{13})^*} \cdot e^{2jkl} \quad (5)$$

(5)式同样存在分子、分母同时为零的情况,为此,要求3个测点间的距离不能互为整数倍。现解释如下:

设 $S_1 = nS$ ,  $S = m\lambda/2$ ,  $n, m$ 为整数, $\lambda$

为波长。

则: $S_1 = n \times m \times \lambda/2$ ,此时, $n \times m$ 亦为整数。即:当 $S$ 为半波长的整数倍时, $S_1$ 也如此,同样可使(5)式分子、分母同时为零,不可

避免地出现  $R$  无法确定的问题。只要取  $S_1$ 、 $S_2$  不互为整数倍,便可解决这一问题。

## 2.2 伪随机信号源<sup>[6]</sup>

驻波管中的吸声试件测量,至少需作两个状态测量,而且对宽频带测量还要作多次平均以减小随机误差,对于三点测量方法,点数增多就意味着重复测量的次数增多,这些都希望每次测量的声场尽可能不变,对于随机信号实际中难以实现声场的不变,为此,本文采用伪随机信号作为信号源来解决这一问题。

伪随机信号是一种长周期信号,若观察时间大于一个周期便是确定性的周期信号,并显示它的非随机性,若观察时间小于一个周期它便是一个真实的随机信号。本文便是利用它的可确定性和随机性来实现测试所需要的信号。本文采用一个周期内序列长度为 32767 的伪随机信号,由计算机编制并控制,每次每点测量都是在一个周期内完成,这样可以保证每次每点测量具有相同的声场。

## 3 测量结果比较

实验是在常用的驻波管中进行的,测试框图如图 2。被测试件选用的是 30mm 厚的

玻璃棉,分别用该方法和驻波比方法进行了测量。吸声系数、反射系数及相位的测量结果见图 3~5,从测量结果比较来看,除低频测

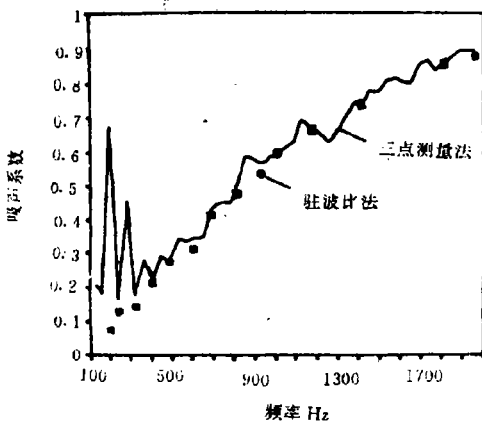


图 3 吸声系数比较

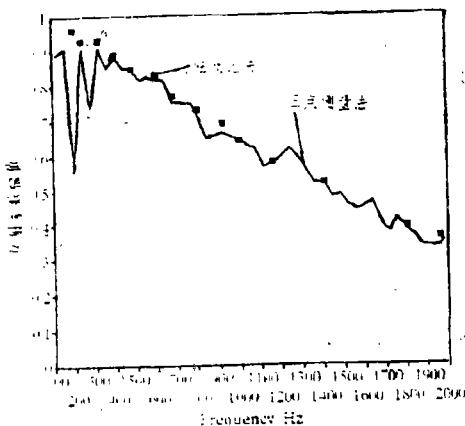


图 4 反射系数幅值比较

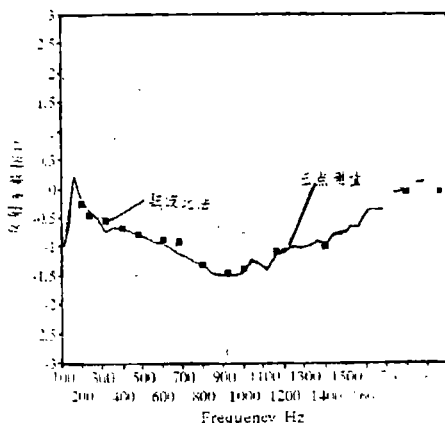


图 5 反射系数相位比较

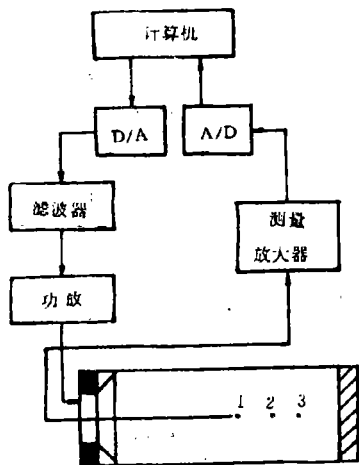


图 2 测试框图

量结果不一致外,在其它频段两种测量结果比较一致。低频差的原因主要有两点:首先,对于宽频带测量,测点既不能远离被测试件,也不能离被测试件太近,因而,当测点一旦确定,那么在低频段,测点将会位于驻波的波腹附近,在这些点上测得的量值接近,使得传递函数的测量不准确,给测量结果带来误差;其次,管中存在有低频共振。

#### 4 结论

通过上面的分析可看出,该方法具有以下几个优点:

(1)它解决了双传声器——传递函数理论中,两传声器间距不能等于半波长整数倍的问题。

(2)由于伪随机信号的使用,解决了宽频带多次测量声场不一致的问题。

(3)由于伪随机信号的使用,使测量系统得到简化,双通道简化为单通道,避免了对双

通道不匹配的修正及其带来的误差。

(4)该方法可在传统的驻波管中实现,因而,使传统的驻波管得到充分利用,具有实际应用价值。

#### 参考文献

1 A. F. Seybert and D. F. Ross. Experiment determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation technique. J. Acoust. Soc. Am., 1977, 61(5)

2 J. Y. Chung and D. A. Blaser. Transfer functions method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory, II, Experiment. J. Acoust. Soc. Am., 1980, 68(3).

3. AST E1050-86, Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphone, and a digital frequency analysis system.

4 王毅刚. 双传声器——传递函数测量技术的研究与探索. 同济大学研究生毕业论文, 1995

5 李白男. 伪随机信号及相关辨识. 科学出版社

### 会议报道

## 第二届全国环保产业暨第四届国际环保展览会在京举行

由国家环保局主办、中国环保产业协会承办、慕尼黑博览会有限服务公司协办的第二届全国环保产业暨第四届国际环保展览会于1995年9月12日至16日在北京农展馆举行。来自美国、欧共体、日本、新加坡等16个厂家和国内中央各部委、各省市环保产业公司等428个单位参加了展览。其中从事噪声与振动控制的厂家有20余个。这次展览会的规模是空前的,内容丰富,参观者踊跃,展台布满了六个大厅,展示了国际国内环保产业技术的最新成果。参加上

海代表团参展的厂家有38个,江苏有35个,北京有23个。会议期间进行了技术交流,举办了中国-欧共体环境保护技术研讨会。全国人大环境与资源保护委员会主任曲格平教授为展览会剪彩并出席了技术研讨会。通过上述活动,促进了国内和国际间的环保技术交流与合作,为吸收国外资金,引进先进的环保技术与设备,加速国内环保产业的发展和环保事业的进步,创造了良好的机会。

(中国船舶工业总公司第九设计研究院 吕玉恒)