

充水管道中用传递函数法测量 吸声材料的声学性能

雷 彬

赵松龄

(中船总701所噪声室 武汉·430064)

(同济大学声学所 上海·200092)

本文结合实际工作经验,对在充水管道中利用传递函数法测量吸声材料的声学性能方法中存在的一些技术问题进行了深入的讨论,它们包括测量频率范围的确定、水听器的安装、两测量通道失配误差的修正、管壁的影响及数字信号处理等。文章最后给出了一个测量实例,测量结果的重复性良好。

The sound-absorbed properties measurement in water-filled tube with transfer function method

Lei Bin

Zhao Songling

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

Based on practical experience, we have discussed some technical problems in the method with which we can measure the sound-absorbed properties of materials in water-filled tube with transfer function method. The problems include the measurement frequency range, the fixation of the hydrophones, modified error from the mismatch of the measurement channels, the influence of the tube wall, the digital signals processing system and so on. Finally, showed a actual measurement example. The repeatability of the results is quite well.

1 概述

在管道中用传递函数法测量吸声材料的吸声性能是一种新颖的声学测量方法,它首先由A.F.Seybet等在1977年提出^[1], Y. Chung在1980年^[2], W.T.Chu在1986年^[3]进一步加以完善,使它达到了可供实用的阶段。

传递函数法的测量原理如图1所示,管道左端声源产生的入射声波与右端试样表面上反射的声波相叠加,设两者都是平稳的

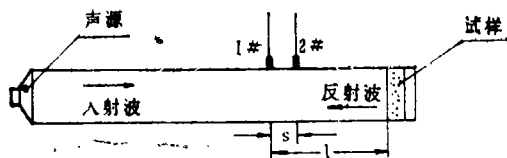


图1 传递函数法测量原理图

收稿日期: 92-12-28

声学技术

平面声波。在管壁上测点1和测点2处分别装置两个声压响应特性一致的接收换能器,测量所得的声压信号在频域内进行分析,可导出试样表面的复反射系数 $R(f)$ 为:

$$R(f) = \frac{H_{12}(f) - e^{-jk^s}}{e^{jk^s} - H_{12}(f)} \cdot e^{i2kl} \quad (1)$$

式中,宗量 f 为频率, k 为波数, s 为测点1至测点2的距离, l 为测点1至试样表面的距离。 $H_{12}(f)$ 为声压信号自测点1至测点2的传递函数,它由下式定义:

$$H_{12}(f) = \frac{P_2(f)}{P_1(f)} \quad (2)$$

式中 $P_1(f)$ 和 $P_2(f)$ 分别为测点1和2处的声压。

在实际测量时,可采用宽频带噪声声源,借助微机分析技术,在时域采样,经FFT变换后,可以方便地测量出复反射系数的频谱,从而可求出法向吸声系数、声阻抗率等重要声学参量。与传统的驻波管法相比较,可以大幅度地缩短测量时间。

对于空气声测量,这种测量方法已趋向成熟,1986年美国已经制订了相应的测量规范^[4],1991年丹麦B&K公司已推出了专用的仪器产品^[5]。

对于水声测量,原则上可以推广应用这种测量方法,但在具体测量技术上尚不够完善。1992年朱蓓丽等^[6]阐述了一种可加压的充水管道测量系统,并对它的测量误差作了讨论。在该系统中,水听器装在管道内的一个叉形结构上,在管外操作,可把它旋转 180° 以实现交换测量通道的目的。不过,由于管道内径较大,测量的上限频率只能达到4 kHz,不能完全满足水声吸声材料测量的需要。为了大幅度提高测量的上限频率,我们利用小内径管道,采用侧壁测量技术进行了这方面的研究。由于水与空气的声学特性有很大差别,在充水管道中用传递函数法进

行测量分析时有许多特殊性。下面,我们将根据实践经验,对其中一些带有普遍性的测量技术问题进行分析讨论。

2 充水管道中测量的几个技术问题

2.1 测量的频率范围

在管道中用传递函数法测量吸声材料的声学性能时,有一定的适用测量频率范围。测量的上限频率受到下列两个条件的限制,一个是测量频率应低于管道的截止频率。这是由于当声波频率高于截止频率时,管道中会出现随距离衰减的高次波,平面声波的假设不再适用。令管道内径为 D ,声速为 c ,对应于最低阶高次波的截止频率 f_c 为:

$$f_c = \frac{1.84}{\pi} \cdot \frac{c}{D} \quad (3)$$

另一个限制是两测点间的距离 S 应小于声波半波长。这是由于当 S 等于半波长时, $kS = \pi$,式(1)中的分母会趋近于零而难以采用。记相应的上限频率为 f_s ,可得:

$$f_s = \frac{c}{2S} \quad (4)$$

在实际管道系统中,宜选择测点间距离 S ,使它为管径 D 的0.85倍,使 f_s 与 f_c 相等。这对于充分利用有效测量频率范围是较适宜的。

测量的下限频率并没有什么原则性的限制,不过,实际上它受到测量精度要求的制约。因为当频率降低时,两测点间的声压信号的相位差减小,相应的信噪比降低,使测量结果的误差增大。

$$\text{记 } f = \alpha \cdot f_s \quad (5)$$

文献[6]表明,当系数 α 值在0.2~0.8范围内时,可获得满意的结果。在实际测量中,把 α 值的变化范围放宽到0.1~0.9也是可行的。

由上述可知,当测点间距离选择合理时,测量的频率范围主要由管道内径决定。例如当管道内径为60mm时,水中的测量上限频率可达到13.6kHz。

在实际工程中,水声吸声材料的工作频率往往需要扩展到10kHz以上,因此管道内径一般不宜超过60mm。

2.2 换能器的安装

当管道内径控制在60mm以下时,作为接收的水听器一般应装置在管道外面,因为如果把水听器伸入到管道内部,它的截面积将对管内声场产生严重干扰。如果采用微型水听器来减小它的截面积,其灵敏度将明显降低,往往得不偿失。

一种适宜的安装结果如图2所示,水听器先固定于一个空腔内,再把空腔固定在管道侧壁上,通过管壁上所开的小孔使空腔与管道连通。这样,水听器的有效接收面积得到了保证,不影响其灵敏度。另一方面,由于空腔与小孔组成的旁路系统的共振频率易控制在20kHz以上,它对管道内的声场不致产生明显的干扰。

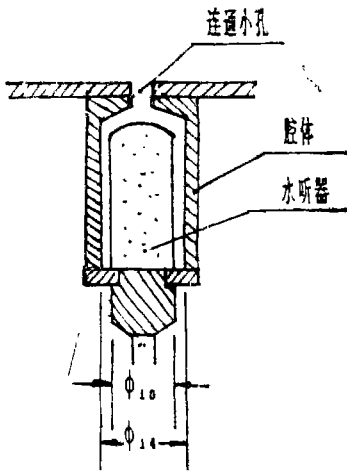


图2 水听器安装图

作为声源的发射换能器,应采取隔振措施,使它与管壁不作刚性接触,以降低沿管壁传播的结构噪声的影响。

2.3 管道系统的安装

声学技术

在充水管道中进行测量时,水中所含气泡会对测量结果产生明显干扰。为此,我们把管道倾斜放置,如图3所示。试件在管道底部,水听器装置在管壁下方,发射换能器装置在管道顶部的一个腔体内,而在该腔体的最高处开有排气孔。这样,不但能保证管道及水听器空腔内充满水,而且可以保证气泡不致附着在发射换能器及试样表面上。

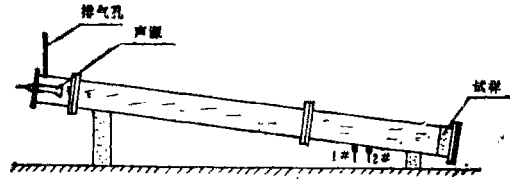


图3 管道的安装图

2.4 两测量通道失配误差的修正

实际测量时,由于测点1和2处接收系统响应一般皆有所不同,必须预先加以修正。传统的修正措施是交换接收器后,进行重复测量,根据前后两次测量所得的表观传递函数作几何平均,求出其真实传递函数。对于空气声测量来说,这种措施是简单易行的。但是对于水声测量来说,要交换两个装置在管壁上的水听器是不方便的,尤其是在加压的情况下。特别是先后两次测量由于水听器安装差异引起的随机误差很难加以消除或修正。

众所周知,两测量通道之间的误差包括两部分,一个是增益失配误差,另一个是相位失配误差。在我们的试验中,两个水听器的位置固定不动,对于两测量通道之间的增益失配误差,我们通过调节测量放大器上的微调,使其一致。对于两测量通道之间的相位失配误差,一般很难通过简单的调节测量系统而使其一致。于是我们采用了全反射试样对其相位失配误差进行修正。根据文献[7]可知,在全反射情况时,管中声场中的两点的声压不是同相,就是反相,对比两测点声压的实测值的相位差,就可确定两测量通道的相位修正值,对于不同频率的修正值应作

某种平滑处理,以减小其随机误差。

2.5 数据分析处理

测点1和2处接收到的声压信号,经放大后输入微机,由A/D板采样,再经FFT变换得到相应的频谱,然后进行分析运算就可获得所需的结果。在数据处理时应注意下面两个问题:首先是混叠效应问题。设采样A/D板的采样频率为 f_m ,则如果实际信号的频率高于 $f_m/2$,经采样后所得的表观频谱仍处在0至 $f_m/2$ 的范围内,与频率小于 $f_m/2$ 的信号频谱混叠在一起。为了避免这种混叠现象,通常采取的技术措施是在接收系统中接入低通滤波器,把 $f_m/2$ 以上的高频信号滤掉。但这样一来,有用的高频信号也随之遗失。较好的处理办法是引入带通滤波器,这样能大大提高A/D板的分析频率范围。我们所用的A/D板的实际采样频率为25.7kHz;双通道采样的频率 f_m 降到12.85kHz。因此它的分析频率上限只能达到6.4kHz。为了要使工作频率扩展到10kHz以上,我们采用了用低速A/D板分析高频信号的技术^[8],借助带通滤波器,把频谱分段后加以分析。例如,对于频率在 $f_m/2 < f < f_m$ 范围内的信号,采用带通滤波器把该频率范围外的信号滤掉后,再按常规方法采样分析,所得的表观频率为 $f' = f_m - f$,这时,由频率在 $0 < f' < f_m/2$ 范围的表观频谱,可以方便地得出实际频谱。在实际测量中,我们用1/3倍频程滤波器来避免混叠效应,可以方便地把A/D板的分析频率扩展到6.4kHz以上。

其次是滤波器的接法问题。在通常情况下,滤波器应接在接收系统中。实践表明:在充水管道测量中,把滤波器接在声源系统中是比较适宜的。因为这样不但可以减少一台滤波器,而且由于声源的激励信号集中在较窄的频带内,电声系统输出的功率集中,能有效地提高声源的发射功率。

2.6 声导管中声速的修正

由于水的声阻抗率与钢的声阻抗率相差

不是很大,其边界条件不能认为是刚性的,只能认为是弹性边界,因此,声导管中的声速要发生变化,声波也会随距离有所衰减。实践表明:由于水听器离试样表面的距离较小,声波的衰减可略去不计,但声速的变化必须加以修正。

此外,由于噪声信号带有随机特性,根据传递函数法所得的结果随频率有较大的起伏。从实用的角度考虑,应在一定的频带范围内对所得结果作某种统计平均。关于这方面的问题,本文内暂不深入讨论。

3 测量实例

我们的测量系统是由长1.5m、内径58mm、壁厚4mm的钢管组成,如图3所示。水听器之间的距离为0.064m,试样至水听器的距离为0.38m。测量的频率范围是500Hz到10kHz。

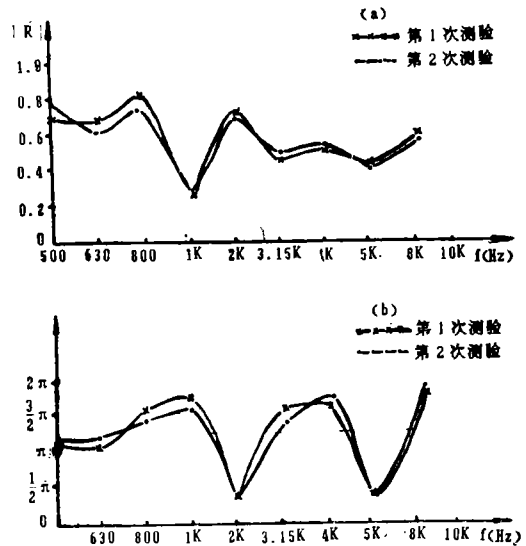


图4 反射系数的幅值(a)及相位(b)

选用的试样是已知共振频率在1kHz厚20mm的共振吸声板。我们对该试样分别进行了两次测量,测量结果如图4所示。图4(a)是1/3倍频程频带平均的反射系数幅值,图4(b)是相对应的相位。

上海音波声电科技公司简介

上海音波声电科技公司是由上海市声学学会集资兴办的经济实体,具有声学、电子学方面科技人才荟萃的优势。公司以科技经营为主,实行技、工、贸一体化,独立核算、独立经营、自我发展、自我约束,促进科技成果更有效地转化为生产力。公司以技术服务、研制、营销为经营方式。主营:声学、电子学领域新产品的开发,营销及四技服务。兼营:电子产品、仪器仪表、声电元器件等营销。

公司宗旨是以严谨、严格的科学精神,创造出优质产品,以优良技术竭诚为社会各界服务。

公司董事长:冯绍松,总经理:王建明(法人代表)

公司地址:上海徐汇区零陵路东安三村64号 邮编:200032

上海市声学学会供稿

从图中可以看出,两次测量的结果基本吻合,其中细小的差异,可能是由于两次安装试样的细小差别造成的。

参考文献

- 1 A.F.Seybet and D.F.Ross. Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation technique. J.A.S.A., 1977, 61(5): 1362~1369
- 2 J.Y.Chung and D.A.Blaser. Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties, I. Theory. II. experiment J.A.S.A., 1980, 88(3): 907~921
- 3 W.T.Chu. Transfer function technique for impedance and absorption measurements in an impedance tube using a single

microphone. J.A.S.A., 1986, 80(2): 555~560

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

- 5 丹麦B&K公司1991年产品目录

- 6 B.Zhu and J.Xiao, Transfer function method for measuring low-frequency acoustic properties of materials in water-filled tube. Proceeding of 14th ICA, Vol. 4, 1992

- 7 雷彬, 声导管法研究水声吸声结构的声学特性. 同济大学硕士学位论文1992: 30~34

- 8 赵松龄, 雷彬. 用低速采样A/D板分析稳态高频信号. 声学技术, 1992, 11(4): 4~6