

在管道消声系统中水雾吸声的实验研究

张国军¹, 李晓东², 熊继军¹

(1. 中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051; 2. 中国科学院声学研究所, 北京 100080)

摘要: 关于水雾对声波的吸收作用, 前人已做了大量的研究工作。研究的目的是如何将水雾对声波的吸收这一现象应用到管道消声中来, 并通过搭建实验平台验证其可行性。实验中水雾的产生是通过 5 个超声换能器来实现, 且其雾化量的大小可通过改变电压来控制。实验方法是采用传递损失法, 即验证水雾的存在与否对声波是否具有吸收作用。实验的结果表明在雾柱长度 1m 左右, 对频率为 200Hz 以上的声波具有吸收作用, 且频率越高, 吸收越强烈。鉴于实验结果的良好性, 以及雾化量的可控性, 实验的方法可望推广到管道的主动噪声控制中。

关键词: 水雾; 管道消声; 吸声系数; 主动噪声控制

中图分类号: TB53

文献标识码: A

文章编号: 1000-363X(2007)01-0101-04

Experimental research of sound absorption by water fog in duct sound elimination system

ZHANG Guo-jun¹, LI Xiao-dong², XIONG Ji-jun¹

(1. Key Laboratory of the Ministry of Education on Instrumentation Science and Dynamic Measurement, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Much has been done on absorption of sound in water fog. The goal of this paper is to apply the phenomena "absorption of sound in water fog" to duct sound elimination system. In the experimental setup, the water fog is produced by 5 ultrasonic transducers. The fog quantity is controlled by altering the voltage. The method used in this experiment is to measure the transfer loss. The experimental results indicate that the water fog can effectively absorb sound above 200Hz. The higher the frequency, the stronger the absorption is. Based on the good experimental results and the controllability for the degree of water fog, the proposed method is useful in extending the field of active noise control in duct system.

Key words: water fog; duct sound elimination; sound absorption coefficient; active noise control

1 引言

由于现代工业技术的发展, 特别是大型强力风机、燃气轮机等装置的不断发展, 带来了日益严重的

噪声危害。在生活中, 强噪声容易使人烦躁、疲劳, 甚至伤害身心健康。管道系统是噪声传播的重要途径之一, 因而如何消除或减弱由这些系统和设备引起的强噪声的传播, 即管道消声已成为众多学者们研究的一个重要课题。

声波穿过水雾会引起强烈的衰减吸收, 这已是众所周知的现象。在国内外也有众多学者进行了大量的理论实验研究, 其中, 我国著名学者魏荣爵等人

收稿日期: 2005-08-18; 修回日期: 2005-12-02

作者简介: 张国军(1977-)男, 山东潍坊人, 助教, 目前从事物理声学、噪声控制方面的研究工作。

通信作者: 张国军, E-mail: zhangguojun1977@tom.com

为此做出了卓越的贡献。他早年运用分子的弛豫吸收理论成功地解释了低频声波在水雾中的反常吸收,指出声波导致气液两相转换是声能耗散的原因^[1],并对该理论与实验进行了持续研究,得出水雾吸声普适公式^[2]。

曾经有人提出利用声波消雾,但如何把‘水雾对声波的强烈吸收’这一现象应用到管道消声中来,却鲜有人报导,不能不说是一件憾事。因此,本文的目的就是通过实验验证能否把‘水雾对声波的强烈吸收’这一诱人现象应用到管道消声中来,为以后的工程实现打下一个好的基础。

2 实验平台的搭建和实验设备

实验平台的原理图如下所示:

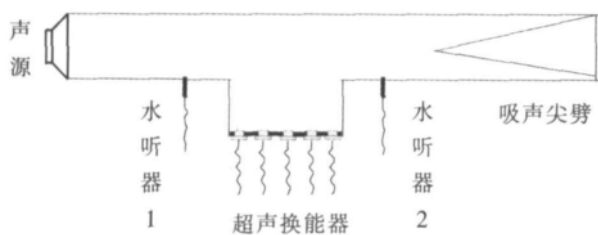


图1 水雾吸声测试实验平台

Fig.1 Test rig of absorbing sound for water fog

其中,声源采用自制喇叭(频响 20Hz~8000Hz)。管道材料采用有机玻璃,其主体结构为矩形腔体(4×4cm²,壁厚 1.5cm,总长 200cm)。安装超声换能器的水槽长为 28cm,宽为 4cm,深为 3cm,且距离声源 80cm。水听器采用中国科学院声学研究所自制的压电陶瓷水听器 2 套,水听器 1 距离吸声尖劈 150cm,水听器 2 距离吸声尖劈 30cm。数据采集系统采用 B&K3560C 及配套软件 pulse9.0。功率放大器采用立体声声频功率放大器(HY5885B-300)。吸声尖劈采用长为 70cm 的吸声海绵。超声换能器采用型号为 MU-360,频率为 1 700±50kHz,单个雾化量 350mL/h 的雾化器,总数为 5 个。

3 末段吸声尖劈的吸声系数的测定

为了便于研究管道中水雾对声波的吸收特性,应尽量使得声波在管道中接近行波传播。为此,除了让管道的截止频率尽可能高以外,还需要一个良好的吸声端,以免反射形成驻波,或者其它复杂的

波。本实验采用吸声海绵作为吸声尖劈。

为了确保实验的准确性需要检验该吸声尖劈的吸声特性,即测定其吸声系数。其实验装置原理图如下:

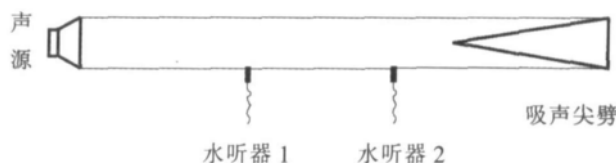


图2 吸声尖劈测试实验装置系统

Fig.2 Absorbing sound coefficient test system of splitter

本实验采用传递函数法^[3],该方法中声压反射系数 r_p :

$$r_p = \frac{-e^{ik_1x_2} + He^{ik_1x_1}}{e^{-ik_1x_2} - He^{-ik_1x_1}}$$

吸声系数:

$$\alpha = 1 - |r_p|^2$$

其中 $H = \frac{P_2}{P_1} e^{i(\theta_2 - \theta_1)}$ 为传递函数。由于管道中没有

气体流动,所以 $k_1 = k_r = \frac{2\pi f}{c_0}$, f 为声频率, c_0 为理想

空气中声速。 x_1 、 x_2 分别为水听器 1 与水听器 2 离吸声尖劈的距离,其中水听器 1 距离吸声尖劈 50cm,而水听器 2 距离吸声尖劈 30cm。

该实验的过程中,应注意以下几点:

(1) 因为应用传递函数法的前提条件是声波在两水听器之间是线性传播的^[4],所以声源的声压级尽量控制在 100dB 左右,这样既能保证一定的信噪比,又能避免产生非线性效应。

(2) 该管道的截止频率 $f_c = \frac{343}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{L}\right)^2} \approx 4.3\text{kHz}$,

其中 L 为矩形管道的边长 4cm。为了确保数据的可信度,本实验中声源发声上限截止频率为 3.2kHz,同样, pulse9.0 数据采集也截止到 3.2kHz。

(3) 在测传递函数的过程中为了消除两个水听器之间的差异性,需要交换水听器位置,重测一次。即:

$$H = \sqrt{H_{21} \cdot H_{12}}$$

H_{12} 为水听器 1 在上游,水听器 2 在下游情况时的传递函数。 H_{21} 为水听器 2 在上游,水听器 1 在下游情况时的传递函数。

对 pulse9.0 采集的数据,利用 matlab6.5 进行处理,结果如图 3:

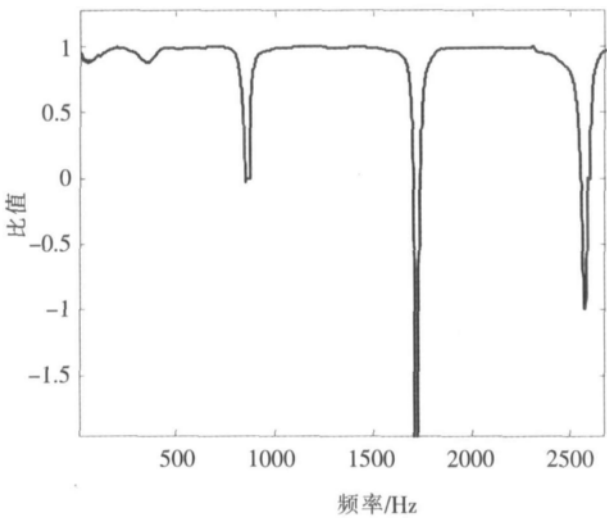


图 3 吸声尖劈的吸声系数
Fig.3 Sound absorption coefficient of splinter

在图 3 中,在 20Hz~3200Hz 频段内,除(800Hz~900Hz,1600Hz~1800Hz,2400Hz~2700Hz)内,吸声系数都大于 0.85。对于 800Hz~900Hz,1600Hz~1800Hz 以及 2400Hz~2700Hz 范围内出现异常,这是与两水听器的间距有关。按照传递函数法的严格理论,两水听器间距 L 应远小于 $\frac{c}{2f_{\max}}$ 。由于本实验 L 的值为 20cm,所以图 3 中的数据只有 700Hz 以下才是可信的,但根据声学常识既然该吸声尖劈的低频吸声效果不错,对高频应该更好。

综上所述,吸声尖劈还是有比较好的吸声特性,能够满足本实验的要求。

4 对管道中水雾吸声特性的测定

水雾的形成:通过超声换能器中雾化片的高频谐振,将水抛离水面而产生自然飘逸的水雾。

水雾的特征量:由于管道中的水雾浓度极高,且很容易在管壁凝结,所以具体确定水雾的特征量难度很大。但根据超声换能器厂家提供的资料可以粗略估计,雾滴的半径在 $0.5\mu\text{m}$ ~ $5\mu\text{m}$ 之间,水雾的浓度为几百到几千克/ m^3 (假定雾滴的平均半径为 $2\mu\text{m}$),水雾的雾柱长度固定在 1.0m。

本实验在常温、常压下利用传递函数法,测水雾的吸声特性。

具体步骤:

- (1)利用 pulse9.0 分别测出有无水雾时下游的水听器(图 1 中水听器 2)的功率自谱,以便对比效果。
- (2)利用 pulse9.0 分别测出有无水雾时传递函

数 H 。
(3)利用 matlab6.5 对 pulse9.0 采集到的实验数据进行处理。
数据处理结果如下图:

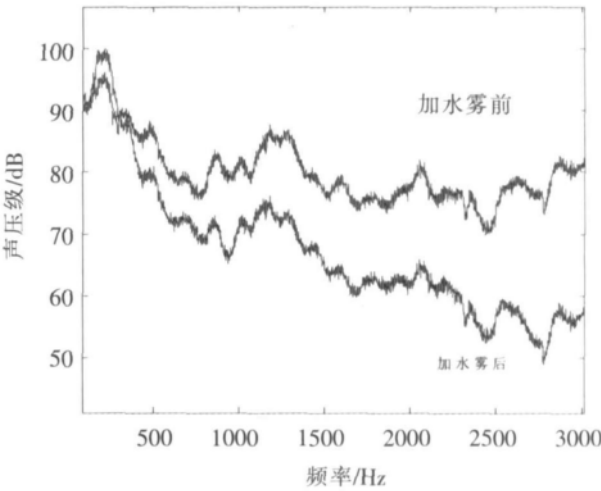


图 4 加水雾前后水听器 2 的声压级对比
Fig.4 Sound pressure level contrast of hydrophone2 between with and without water fog

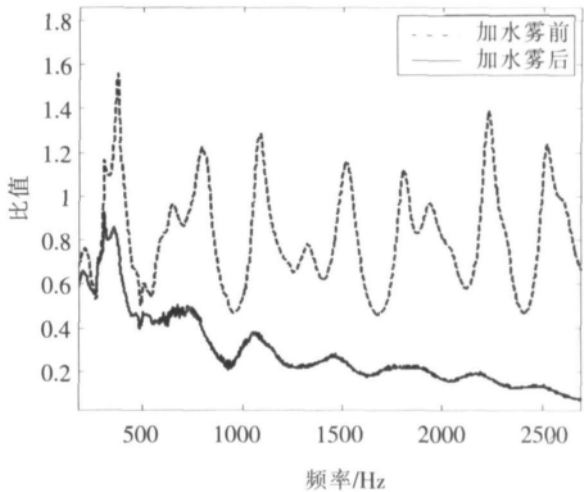


图 5 加水雾前后传递函数的对比
Fig.5 Transfer function contrast between with and without water fog

从图 4 及图 5 中明显看出从 200Hz 开始,管道中水雾对声波,特别是高频声波有着强烈的吸收作用。也就是说随着声波频率的升高,声波穿过水雾的本领就越低,这与魏荣爵等人研究的结果^[5]是相吻合的,从而也佐证了本实验结果的正确性。

5 结 论

本文通过搭建实验平台,验证了“水雾对声波的强烈吸收”这一现象应用到管道消声系统中的可行

性,实验结果非常令人鼓舞。该实验方法可望推广到主动噪声控制领域,但考虑到工程应用的实际情况,该项工作尚待进一步的努力。因为在工程应用中,管道中往往伴随着气体流动,进一步确定气流对水雾乃至其吸声特性的影响,无疑将对其实现工程应用具有深远影响。

参 考 文 献

- [1] WEI R J, WU J R. Absorption of sound in water fog [J] J. Acoust. soc. Am, 1981, 70(5): 1 213-1 219.
- [2] WEI Rongjue, TIAN Yuren, LU Qiujiang. Absorption of sound in water fog composed of submicron droplets

[J] J. Acoust. Soc. Am, 1987, 81(5): 1 350-1 354.

- [3] CHUNG J Y, Blaser D A. Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory[J] J. Acoust. Soc. Am, 1980, 68(3): 907-913
- [4] Payri F, Desantes J M, Broatch A. Modified impulse method for the measurement of the frequency response of acoustic filters to weakly nonlinear transient excitation[J] J. Acoust. Soc. Am, 2000, 107(2): 731-738.
- [5] 魏荣爵, 田裕人. 水雾中声波传播衰减问题的实验研究 [J] 中国科学 A 辑, 1986, 3: 285-292.
- WEI Rongjue, TIAN Yuren. The experimental research of sound attenuation in water fog[J] Science in china series A, 1986, 3: 285-292.

简 讯

上海市声学学会超声专业委员会举行学术研讨会

2006年5月27日,上海市声学学会超声专业委员会在同济大学声学所举行学术研讨会,出席会议的会员近30人。

同济大学的胡文祥教授作了题为“镀层表面波的传播及其与材料性质的关系”的报告,介绍了该领域的发展概况和他的最新研究成果,展示了其可能的应用前景。同济大学王军作了“薄板中导波波速与静应力的关系”的报告,用其深入的研究结果表明该项研究具有潜在的应用价值。

中船重工集团公司第726所的孙鹏介绍了“水下超声通讯”的基本概念、方案类型、技术特点和应用前景。中科院声学研究所东海研究站的周红生作了“声学技术与先进制造”的报告,详细介绍了在非圆形截面工件加工制造等应用领域中,机电换能器等声学技术的采用情况及其所起到的关键作用。上海交通大学寿文德教授作了“聚焦换能器的电声互易定理及其应用”的报告,介绍了在阐述聚焦换能器的电声互易定理的理论研究及其在换能器、水听器校准与声功率测量中的成功实验。

研讨会上学术气氛活跃,讨论交流热烈,体现了会员们对会议议题的浓厚兴趣和热心关注。许多人都表示收获较大,希望今后多组织这样的交流会。

上海市声学学会超声专业委员会 寿文德