行波探管测声装置

龚农斌

(同济大学)

一、引　言

对于高速气流通道，腐蚀性汽雾或高温火焰等环境的噪声测量，采用通常的测试传声器是十分困难的。在这类特殊环境中，由于高速气流的冲击、各类汽雾的侵蚀和高温火焰的灼烤，不仅会使传声器的灵敏度产生严重变化，甚至还可能使传声器结构直接受到不可恢复的损坏。

为避免上述影响通常采取套筒探管进行这类特殊场合的噪声测量[1]，但由于测试传声器膜片端存在着的声波反射，在探管内不可避免地会产生一个随频率而变化的驻波声场，因而难以对探测管的影响作出可靠的修正。为了克服套筒探管的上述缺点，经多年的研制和改进，本文介绍一种实用的行波探管测声装置。

二、行波探管的结构设计

行波探管测声装置由探管、测声三通、无末端反射盘管和围蔽箱体所组成。测声三通的一端与探管联接，另一端与无末端反射盘管联接，并通过联接支架固定在围蔽箱体上。围蔽箱体的另一个作用是装置和固定无末端反射盘管。行波探管的整体结构见图 1 所示。

它的工作原理是，通过探管把特殊场合的声压波引出，并经过与探管联接的测声三通进入无末端反射盘管，从而获得最大幅度的衰减，以便让插入测声三通内的测试传声器始终检测到一个不存在声反射的行波场。这时只要把所测量到的结果附加上由于 (1) 测试传声器在测声三通内因掠入射接收造成的损失，和(2) 声压波在探管内传播时产生的衰减这两项修正，就可获得测试点的实际声压。

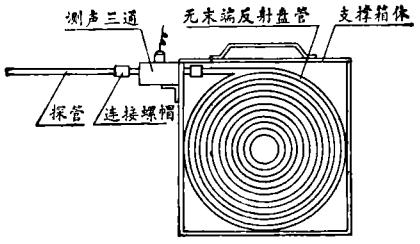


图 1　行波探管装置简图

探管可用空心金属圆管制作。对于气流风道内的声测量，探管可设计为带导流锥的和平口的两种型式(见图 2 所示)。带导流锥的探管主要用于声级较高而风速中等 (<20 米/秒)的风道内声测量。设计导流锥目的是为了避免探管管口因气流湍流所产生的风噪声影响。在导流锥后部并沿探管的外表面匀布透声的小孔，孔经一般不大于 1 毫米。因为孔径过大会使探管的附加气流噪声提高，干扰测试结果。透声孔的总面积通常等于或稍大于探管内截面积。如果开孔总面积过小，声阻抗不匹配，声波不易进入探管，从而会

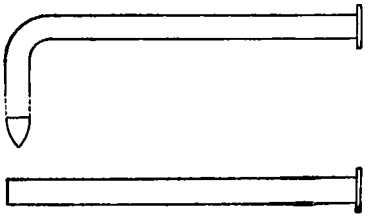


图 2　探管构造

使探管系统的测试灵敏度显著降低。探管弯头应远离透声区，相隔距离应不小于探管直径的10倍。因为在这里气流与探管垂直，气流产生的噪声较强，如果弯头过分靠近透声孔区，就有可能影响到测试结果。

探管通常宜选用壁厚约 1 毫米的金属管制作，使它具有良好的机械性能与隔声性能。探管直径一般选择在 6～8 毫米范围内。直径过大会对风道内流场和声场产生较大的干扰；反之，探管直径过小，声波衰减严重，会使探管系统在高频段的灵敏度显著降低，从而影响正常使用。

平口探管主要用于风道侧壁开孔测试噪声。在风道侧壁开孔进行测试，可以避免由于在风道内引人测试装置而产生的附加噪声，从而可以不受气流速度的限制。很显然，平口探管对于汽雾和高温场合的噪声测试也是适宜的。两种型式的探管对于气流风道内声测量的具体使用方法可参见文献[1]。

由声学的基本理论可知[2]，当所选用的探管内半径满足 $R_p>10\sqrt{\eta/\rho_0\omega}$ 时，声波在探管内传播的衰减主要表现为内摩擦耗损和热传导的吸收，其衰减量 ΔL_I 可由下式表示[3]：

$$\Delta L_I=-1.67\times10^4\alpha L_p \text{分贝} \qquad (1)$$

式中 L_p 为探管长度(米)；α 为声衰减系数，由下式决定：

$$\alpha=\frac{1}{R_pC_0}\cdot\sqrt{\eta/2\rho_0}\left[1+\left(\sqrt{\gamma}-\frac{1}{\sqrt{\gamma}}\right)\frac{\chi}{C_p\eta}\right]^2 \qquad (2)$$

式中 η 为探管内媒质的切变粘滞系数，ρ_0为媒质密度，ω 为声的角频率，γ 为气体比热之比，χ 为气体的热传导系数，C_p 为气体的定压比热。利用式(1)和式(2)遂可根据各类场合及噪声源的实际情况，合理地选择探管的直径和长度。

探管通过紧固螺帽与测声三通的一端加以联接。为避免刚性接触而传递振动，在刚性联接处应采取软橡皮垫圈隔振。测声三通的横向通道截面积应与探管内截面积严格保证一致，以免在联接处由于截面积的不连续而引起声波的反射(见图 3)。

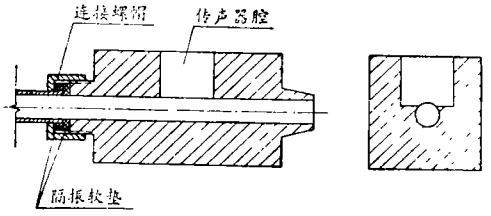


图 3　测声三通结构

测声三通的纵向腔体用于支撑和固定测试传声器，其直径与所用的传声器外径应严格配合，并与横向通道直接连通，使得插入到纵向腔体内的传声器膜片能完全暴露在横向通道的声场中，这时的传声器膜片对于测声三通横向通道内传播的声波可看作为声阻抗无限大的元件，因而消除了在测声三通内产生驻波或共振的可能性。测声三通可以采用有机玻璃或硬铝等轻质金属材料加以制作。

与测声三通另一端联接的无末端反射盘管实质上是一根与探管内截面积完全相等的细管，并具有足够的长度，以便由探管引入的声压波进入长细管后沿程获得最大幅度的衰减，以致由长细管末端反射过来的声波在测声三通内与探管引入的入射波相比可忽略不计，保证测声三通的测试传声器处始终能检测到一个稳定的行波声场。

试验表明，当测声三通另一端的无末端反射盘管的长度取 15 米时，在噪声测试频率范围和常见的噪声强度范围内，由无末端反射盘管所产生的反射声波对测声三通内声场的影响可予忽略。进行的对比试验还表明，采用橡皮细管或金属细管的盘管，对于声波的衰减具有同样的效果[4]。显然，采用橡皮细管制作无末端反射盘管，在重量、经济和加工等方面更具有优点。在实际加工制作中，

为装配方便，可把橡皮细管盘绕成一个内径为20厘米的螺旋形的圈环，并装置在围蔽箱体内。由于噪声测试频率范围内的声波波长一般要远大于橡皮细管的内径，因而在环形橡皮细管内传播的声波不致产生反射或产生高次模式声波。

围蔽箱体有两个用途，一是固定和支撑测声三通；二是装置无末端反射盘管。组装后的围蔽箱体便于携带，用于现场测量。同时，设计的围蔽箱体还应能防止环境噪声通过无末端反射盘管透入至测声三通内的测试传声器，以保证测量数据的可靠性。

三、行波探管的声学性能

行波探管的声学性能在这里定义为使用行波探管测量噪声时各测试频率的附加损失，即在同一个声场中确定的测量位置上用带探管的传声器和用不带探管的传声器测量声压时的测定值之差值。行波探管的声学性能可以在消声室或在模拟管道开孔侧壁处进行测量时而在一个具有行波声场的管道内进行校准。利用无规噪声发生器、声频频谱分析仪及电平记录仪即可获得行波探管的测试频响特性曲线。在不同的场合使用各种方法对行波探管所作的校准表明，行波探管的测试性能稳定，校准的附加修正值重复性很好。图4是探管内径为8毫米，无末端反射盘管采用橡皮细管的行波探管系统的声学性能曲线。

行波探管的声学性能可采用置换法进行校准。先把不带探管的测试传声器置于声场中某一特定点进行频响测量。令声源保持不变，在同一测点上用带有行波探管的同一只测试传声器进行相同的测量，测定时应将探管的引声口置于原测试传声器膜片的精确位置。采用同一只测试传声器显然可以免去采用两只测试传声器的灵敏度误差修正。前后两次测量的差值即可作为行波探管的附加衰减修正值。

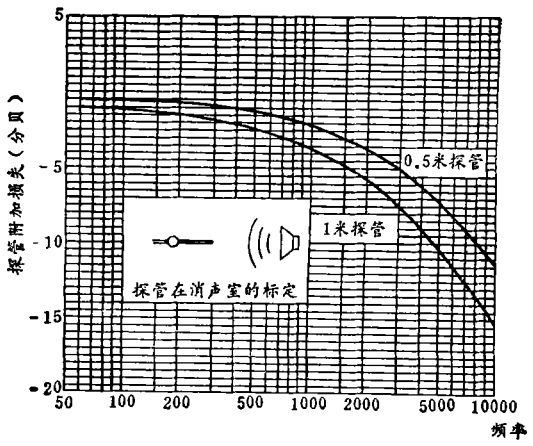


图4　行波探管的声学性能曲线

从图4看出，在高频段行波探管有较大幅度的衰减，这可归之为测试传声器在测声三通中由于掠入射接收所产生的附加损失。

四、结　　语

行波探管可保证测试传声器能检测到一个稳定的行波声场，采用成型性好的橡皮细管作为无末端反射装置，比之在测试传声器后用人工插入一定数量的吸声材料来达到无末端反射的目的具有更可靠的稳定性。因为插入的吸声材料仍不可避免地会产生声波的反射，从而在探管内引起驻波。由于现场测量时的搬移频繁，必然会使插入的吸声材料产生位置变迁，从而使探管的工作性能无法保持稳定可靠。同时，这类探管的声学性能随着时间而变异的例子也并不罕见[5]。

在设计上行波探管的测声三通有利于测试传声器的膜片可直接暴露在由探管引入的行波声场中，从而排除了行波探管在声频范围内的共振现象，因而具有较高的测试灵敏度。

假如测声三通的纵向腔体是为适配直径1英寸的传声器而设计的，则在采用其它直径的测试传声器时，只需另加一个适配环，

（下转第63页）

我国第一部《声学手册》已出版

《声学手册》马大猷、沈嵘编著，科学出版社 1983 年。

声学是一门历史悠久的学科。早在中国古代(公元前1000年以前)就已掌握发声的规律而制作编钟，这一成就充分地说明中华民族的祖先对声学的贡献，随着近代文明的发展，声学的应用遍及近代工业生产的各个方面，不仅应用范围广泛，而且涉及的理论基础也十分广博。因此一本完整而齐全的手册是广大声学工程技术人员迫切需用的工具书，目前国内外这类参考用书尚付缺如，本书的出版必将有助于声学工作者，大专院校有关专业师生的使用和参考。

马大猷教授是我国著名的声学家，蜚声于国际声学界，自 1973 年以来广泛搜集资料和沈嵘同志一起，十易寒暑编成此书，这是对我国声学界作出的一大贡献。

本书共分廿四章。第一章到第三章介绍基本声学术语、单位、符号和常数；第四章到第十六章介绍声学中的基本原理、公式、图表和数据；第十七章到第廿四章则分别就声学中各分支学科的资料进行介绍。尽管本书涉及的内容非常广泛，由于编著者学识渊博，充分掌握材料，广采博撷包罗万象，使本书成为声学这门学科中目前最为完备的手册。

诚如编著者所指出的：最近十年来，声学理论和实践变化很大。因此，有些内容需要在再版时增补，例如，计算技术和微型计算机和在声学中的应用等。

本书编写体例恰当，便于查阅，但对编列的数据图表如能列出来源，使读者便于进一步查考，则将更便于读者采用。此外，书末的英汉词汇若编成名词索引显然会更便于读者应用和查考。

冯绍松　于一九八三年六月

(上接第 56 页)

十分简便。

当使用行波探管进行风道内噪声试量时，如果测试点处的静压达到一定数值（如静压 P＞40 毫米水柱)，这时应采用其膜片压力均衡孔包含在保护网罩内该类的测试传声器(如 BK4131,4133 型等)，以免传声器膜片承受过大的压力导致灵敏度变化甚至受到损坏。

由于行波探管制作简单，体重轻巧，适宜于现场携带，因而在一些特殊场合的噪声测量中得到了实际的运用。

行波探管的研制是在赵松令教授指导下完成的，方启文老师和陈如杰同志曾参加行波探管的校准工作，谨致感谢。

参考文献

[1] 赵松令，龚农斌，《存在气流时管道中的声学测试》，劳动保护技术，(1980)2期。

[2] 杜功焕等，《声学基础》，上海科技出版社，1981年。

[3] 龚农斌，《阀门管道系统噪声的研究与控制》，噪声与振动控制，(1982)5期

[4] Knezek, R. A. Faulkner, L. L. and Moran, M. J. 《*Microphone probe for sound measurement in flames and inaccessible places*》, Applied Acoustics, Vol.10. No.2, (1977)

[5] Blackshear, P. L. Rayle, W. D. and Tower, L. K. 《*Study of screeching combstion in a 6-inch simulated afterburner*》, NACA, TN3567 (1955).