

用双传声器法测量声强时的干涉效应

一、前言

目前,声强测量已越来越多地用于机械噪声研究。最普通的声强测量法就是用一对靠得很近的传声器作为探测器。最近许多刊物介绍了这种方法及其可能的误差^[1-7]。

对于声强测量,虽然每对传声器可能有三种配置方法,但目前仅使用两种方法,即边靠边配置和面对面配置。Fahy 和 Elliot 已讨论过三种配置方法的优缺点^[4]。边靠边传声器装置的主要优点是:可采用标准传声器和前置放大器,两传声器间的距离容易改变,两传声器间的相位误差也不难校正。该系统有两个主要缺点。(1)对于测量轴线缺少几何对称性。(2)传声器柱面、前置放大器及其支承装置造成的声波散射会产生有害的干涉效应。面对面传声器装置的优点是:结构紧凑,容易转动,两传声器间距可以很小。其主要缺点是两只传声器的入射角不同,若对第二只传声器的入射角是 0° ,则对第一只传声器是 180° 。结果造成每只传声器的散射效应不同。若在两传声器格栅间插入一个实心圆垫片,让声波只沿垫片的圆周边沿通过传声器格栅,就可以消除这种有害的影响。至今进行的种种研究都表明,在面对面传声器装置的两格栅间插入实心圆垫片后,其测量精度比边靠边装置更高^[4,8]。

Tichy (作者)、Rasmussen 和 Brock 都研究过边靠边装置的干涉效应^[5, 6, 7, 9]。Tichy 研究的结果指出,散射效应能产生明显的测量误差,该误差大小取决于两传声器的尺寸及其间距^[5]。他对边靠边装置测量精度的研究表明,若减小夹持装置的尺寸并使

它尽可能远地背离传声器格栅,就可以明显地减小小散射误差^[9]。

本文专门对边靠边和面对面的干涉效应做了详细研究。研究过程包括:在消声室远场声源中,测量声学间距(由声相位测量推得)相对于几何间距的偏差来分析声强测量的精度。

二、实验方法

声强探测器是由面对面配置或边靠边配置的两只传声器组成的声强探测器,它被放置在消声室内扬声器声源的轴线上。用随机信号发生器驱动扬声器。用两通道快速付立叶变换分析仪测定两传声器感受的压力相位差 θ° 。每种频率的声学间距用下式计算:

$$d = \frac{C\theta}{360f}$$

式中 d 为声学间距; C 为声速; f 为声频。根据由几何间距得出的声学间距偏差来确定每种频率处的干涉效应。

在消声室内对远场扬声器声源,将声场法测量的结果与声压级测量所得的声强结果相比较,即可验证这两种声强探测器的测量精度。

采用丹麦 B.K. 公司生产的直径分别为 6.35 和 12.70mm 的两种传声器,在几种间距情况下进行了研究。对于边靠边装置,两只标准电容传声器安装在两只 12.70mm 的标准前置放大器上。对于 6.35mm 的传声器则配用生产厂供应的长约 80mm 的转接器。Tichy 在论文中提到了研究两只 6.35mm 传声器和两只 12.70mm 传声器相位差的方法,即把两组传声器暴露在直径为 25mm 和 50

mm 管子内同相位声场中[3]。测量表明,对高于 250Hz 的频率,6.35mm 传声器对和 12.70mm 传声器对所测得的相位差都小于 1°。既然在高频段,声波散射的干涉效应更明显,故对两组传声器系统的相位失配误差未进行任何校准。在研究边靠边装置时,用两种紧固装置支承传声器和前置放大器。一是直角板夹具,其长 160mm,宽 32mm,高为 60mm,它可在较宽的间距范围调整传声器;二是细棒夹具,对 12.70mm 传声器,其直径为 25mm,长为 143mm,对 6.35mm 传声器,其直径为 13mm,长为 101mm。这两种夹具都能使传声器固定在两种间距上。

丹麦 B.K. 公司生产了一种特殊的面对面探测器,备有多种尺寸的实心圆垫片,用来试验干涉特性。生产厂提供的一对 12.70mm 和一对 6.35mm 自由声场型传声器都进行过相位匹配。面对面探测器总是固定在一根长约 300mm 的细棒上。可以预料,支承装置没有严重的干涉现象。

在消声室内,将这两台装置分别置于距扬声器正面 300mm、1.5 米和 3 米处,安装高度为离地面尖劈 1.5 米多些。然后测量它们的声学间距。在离该声源 3 米远的地方测量远场声强。

三、边靠边传声器装置的干涉效应

图 1 和图 2 显示了对几何间距为 16mm,而平板夹具至传声器格栅距离不同时,所测得的声学间距。因未对相位失配进行校正,故对低于 250Hz 的结果是不正确的。当夹具靠近扬声器格栅时,几何间距引起的偏差明显增加。夹具至传声器格栅的距离加大时,该偏差明显变小。当夹具至扬声器格栅距离超过 200 毫米时,6.35mm 和 12.70mm 传声器在整个频率范围的声学间距几乎与几何间距相同。

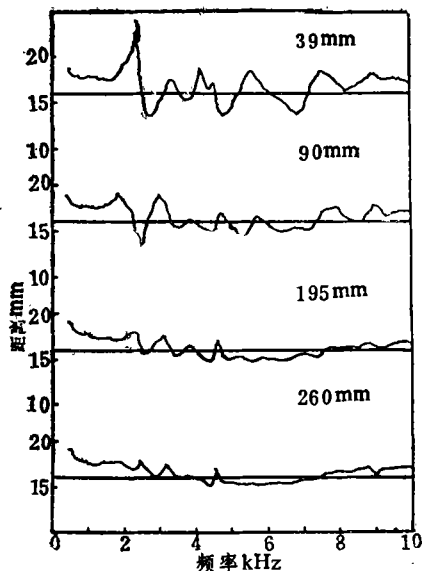


图 1 边靠边装置测量的声学间距(12.70mm 传声器间距为 16mm, 平板夹具在四个不同位置)

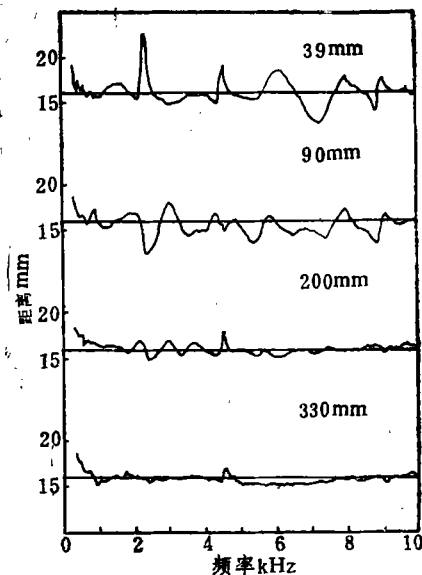


图 2 边靠边装置测量的声学间距(6.35mm 传声器间距为 16mm, 平板夹具在四个不同位置)

在较接近传声器格栅的一些夹具位置(如 39mm),测量的结果很相似,这使人联想到,声学间距相对几何间距的偏差主要是由夹持装置的声波散射引起的。在此夹具位

置，在2KHz频率附近，这两种尺寸的传声器都出现最大偏差。

对于12.70mm传声器，当夹具置于39mm处时，根据声学间距与几何间距的比值所确定的，声强测量的误差仅在2KHz附近才为1.75dB。在其他频率，此误差将小于0.63dB。若把夹具移到90mm处，在所有频率范围，该误差会小于0.7dB。若夹具在195mm处，声学间距相对几何间距的偏差明显减小，预计误差小于0.45dB。若进一步增大夹具与传声器的距离，误差不再明显降低，说明这些偏差是由传声器和前置放大器柱体的声散射产生的。对于6.35mm传声器，其变化趋势与此非常相似。若将夹具从90mm移到260mm处，最大误差从1.50dB减小到0.3dB。

图3和图4是当平板夹具与细棒夹具离传声器格栅39mm时的性能比较。使用细棒夹具产生的偏差要比平板夹具小。对于12.70mm传声器，最大偏差可从7.50mm减小到3.00mm，对6.35mm传声器，最大偏差可从6.50mm减小到5.50mm。采用细棒夹具而得到的最大偏差的减小，对提高6.35mm传声器的测量精度不是十分明显的。

对于其他各种(传声器间)的距离对，干涉效应的测量表明，虽然对于间距较大的传

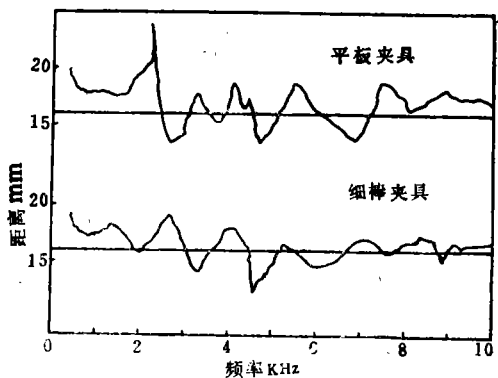


图3 用平板夹具与细棒夹具固定的边靠边装置测得的声学间距的比较(两只12.70mm传声器的间距为16mm)

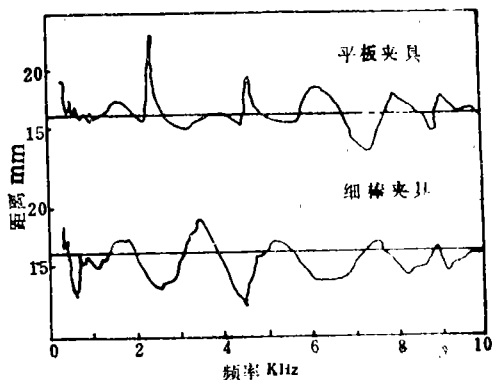


图4 用平板夹具与细棒夹具固定的边靠边装置测得的声学间距的比较(两只6.35mm传声器的间距为16mm)

声器对，当夹具移近格栅时偏差增加，但所产生的误差总是小于传声器在小间距时的误差；声强测量误差取决于声学间距与几何间距的比值。对于6.35mm传声器对，在有限差分近似所限定的频率以内，若间距为7.50mm，其误差小于0.7dB；若间距为32mm，其误差为0.14dB。

四、面对面传声器的干涉效应

探测器所用传声器和前置放大器都已经过相位匹配，因此低频测量不受相位失配误差的影响。对面对面配置的两组12.70mm和6.35mm传声器，将平板夹具置于探测器轴线外的三个不同位置，其测量结果见图5和图6。这些结果与边靠边传声器装置测量结果相似。当夹具靠近探测器轴线时，声学间距相对于几何间距的偏差则需要考虑。在2KHz处，偏差又出现峰值，这是因为夹具的固有特性造成的。因为由夹具接近传声器轴线引起的峰值偏差略有增加，所以面对面装置的声强测量误差总是略高于相同间距的边靠边装置的误差。若夹具在39mm处，对于6.35mm传声器对和12.70mm传声器对夹具引起的误差接近2dB。若夹具固定在工厂提供的细棒端部这时夹具离探测器轴线约

300mm), 则偏差明显减小。当夹具固定在细棒的端部时, 对于具有这些选定间距的两传声器夹具的干涉效应有可能低于 0.70dB。

若夹具固定在细棒端部, 各种传声器间的声学间距测量值如图 7 所示。间距为 51mm 的 12.70mm 传声器的误差可小于 0.25

dB; 在高频范围, 间距为 5mm 的 6.35mm 传声器的误差接近 2dB, 这可能会使人感到很奇怪。尽管测量的偏差很小, 但当传声器间距较小时, 引起的误差却是相当大的。这些结果表明, 在低频范围, 当面对面装置的两个传声器完全相位匹配时, 测量精度很高。

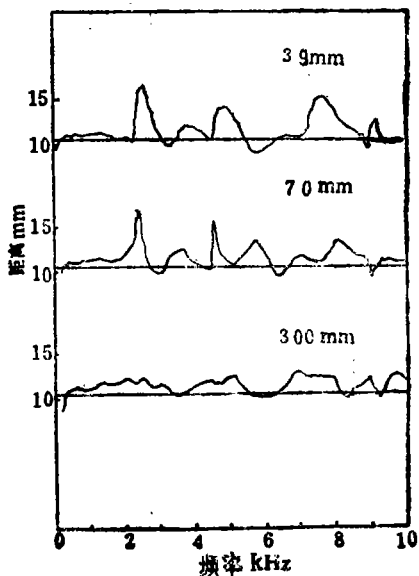


图 5 面对面传声器装置测得的声学间距 (两只 12.70mm 的传声器相距 11mm)

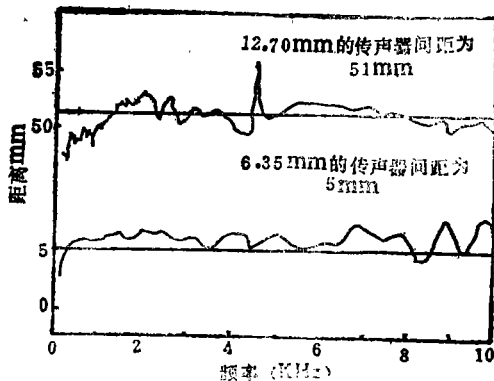


图 7 面对面装置测量的声学间距 (6.35mm 的传声器间距为 5.0mm, 12.70mm 的传声器间距为 51mm)

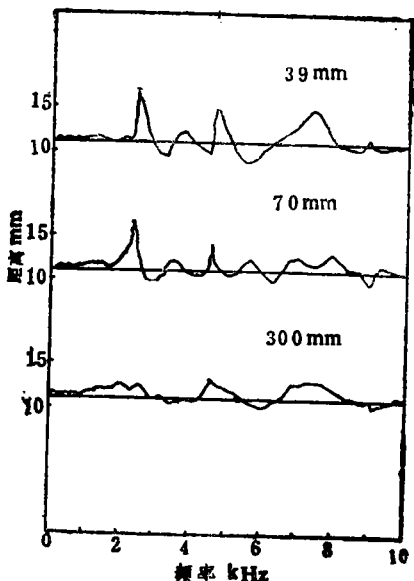


图 6 面对面传声器装置测得的声学间距 (两只 6.35mm 的传声器相距 10.50mm)

五、声强测量

比较用边靠边传声器装置测得的远场声强和用单个传声器测得的声压级, 就能获得 6.35mm 传声器对和 12.70mm 传声器对用平板夹具在两种位置时声强测量的精度。比较表明, 对于 12.70mm 传声器对, 若间距为 13mm, 夹具在 260mm 处, 则在 250Hz 到 6KHz 的频率范围内, 声强的测量的精度很高。若夹具在 70mm 处, 在 2KHz 到 3.5KHz 和 5KHz 到 6KHz 的频率范围内, 散射误差增到 2dB。若把夹具置于 330mm 处, 用间距为 7.5mm 的 6.35mm 传声器对测量声强, 在高于 300Hz 的频率范围, 测量精度仍是很高。值得注意, 当夹具移到传声器格栅 70mm 处, 在 2 千赫到 3.5 千赫和 5 千赫到 6 千赫的频率范围内, 散射误差增到 2dB 引起的误差可到 1.5dB。若夹具离传声器格栅距离

较大,两种尺寸的传声器间距都为 32mm,则在低于有限差分近似间距起作用的频率范围^[8],干涉效应引入误差不明显,测量结果非常精确。

面对面探测器的声强测量是利用细棒夹具进行的,夹具固定在细棒的端部。在夹具靠近探测器轴线的位置,未做任何测量。如果进行这种测量的话,夹具的表面应产生散射效应。从声强测量结果看,在不受传声器间距有限差分近似法影响的频率范围内,精度很高,有些情况,误差小于 1dB。值得注意的是,在低频范围,当传声器间距为 51 mm 时,测量精度特别高。

六、讨 论

一般认为,面对面传声器格栅间插入实心圆垫片要比边靠边传声器装置的性能好些^[4, 8]。但是我们研究的结果清楚地表明,若夹具至测量点的距离相似,则两种装置声强测量的精度没有明显差别。在早先报导的边靠边装置的频率范围,干涉效应引入的误差是由于夹持装置接近测量点而造成的^[5, 6]。Tichy 的实验研究明确地证实了这一点^[5]。当夹持装置距测量点很远时,在所有频率范围内,干涉效应都减小。早先的研究报导中,说两种结构形式的性能有差别,这可能是由于两种装置的夹具距测量点的距离不同造成的。两个边靠边传声器的固定位置可以离两传声器的格栅很近,而面对面探测器却固定在一根细长棒上。探测器生产厂提供的长棒可能会造成这种差别。本文介绍的结果表明,当夹具靠近传声器时,两种传声器装置的干涉效应都很严重。当夹具远离传声器时,两种传声器装置的声强测量精度都非常满意,若传声器间距适当,在传声器间距有限差分近似成立的频率范围内,测量精度有可能高于 $\pm 0.5\text{dB}$ 。值得注意的是,若夹具在远处,看来传声器尺寸对测量精度没

有任何明显影响。

至此,本文介绍的关于声学间距的所有测量都是在离声源 0.3 米处进行的。除此以外,在离声源 1.5 米和 3 米处也进行了一些有限的测量。此时,除了曲线有些波动外,与在 0.3 米处测量的结果相似。这被认为是由于远离声源时,背景噪声级比较高。即使在低背景噪声级的情况下,其他人也观测到这种波动现象。离声源 3 米处,在高于 6KHz 的高频范围,测量的结果特别不好。这时,来自声源的噪声级很低,大约比 1KHz 到 2KHz 范围处的峰值低。

本文仅讨论了干涉效应引入的误差。其他与声强测量有关的误差因素,包括信号处理方法引起的误差未被考虑。采用快速付立叶变换方法测量声强时,有很多误差因素。在此研究中仔细地避免了这些误差。

考虑到各种误差因素,本研究得出的测量精度非常满意。下一步将是各级组织考虑建立标准的问题了。

七、结 论

实验研究结果清楚地表明,边靠边装置产生的干涉效应,是因为夹具太接近测量点造成的。而面对面装置,若夹具太接近测量点,其效应也一样。若夹具距离都相同,则两传声器装置的性能差别很小。若夹持装置距离大于 20 厘米时,两传声器装置的干涉效应可以消除。当夹具在很远处,无疑两种装置的测量精度都会很满意。

于治会译自 "Noise Control Engineering Journal" November—December 1983. P. 126—135 王佐民 校