

PHC-1 型 35 mm 小型全息照相机 用于扬声器的振动分析

张凤林 张全荣
(天津大学, 300072)

关爱光
(天津电声器材厂)

提要: 本文以测量扬声器振动为例, 论述用一种小型全息相机实现振动分析的方法; 对实验结果进行了讨论。

关键词: 全息照相机, 全息干涉仪, 振动分析

Application of PHC-1 35mm holographic camera to vibration analysis of loudspeakers

Zhang Fenglin, Zhang Quanrong
(Tianjin University, Tianjin)

Guan Aiguang
(Tianjin Electroacoustic Material Factory, Tianjin)

Abstract: Optical holographic interferometry has shown remarkable advantages in the vibration analysis of loudspeakers. Taking the vibration testing of the loudspeakers as an example, this paper describes the principle and the method of testing, introduces a portable holographic camera used for the testing. Some experimental results are presented.

Key words: holographic camera, holographic interferometry, vibration analysis

一、引 言

用全息照相时间平均干涉法进行扬声器的振动分析, 早在七十年代就开始了, 但由于全息照相装置的造价昂贵、体积庞大而工作不便等原因, 一直没有得到普遍应用。PHC-1 型 35 mm 小型全息相机克服了普通全息照相装置的一些缺点。可以不要防震台, 在普通三脚架上就可以记录全息图, 并成功地用于扬声器振动状态分析, 对提高质量, 指导设计, 提供了有用信息。

随着电子工业的发展, 作为终端发声器件的扬声器需要量日益增加, 对性能要求越来越高, 为此必须提高扬声器的设计水平和工艺水平, 特别是改变高频区的频率响应特性, 因此, 电声工作者迫切要求对扬声器的振动模式有一直观的了解, 以便有效地改进设计与工艺。PHC-1 型 35 mm 小型全息照相机为扬声器的振动分析提供了一种有效手段。

二、检测装置及程序

利用 PHC-1 型 35 mm 小型全息相机对扬声器作振动分析的原理装置如图 1 所示。整个

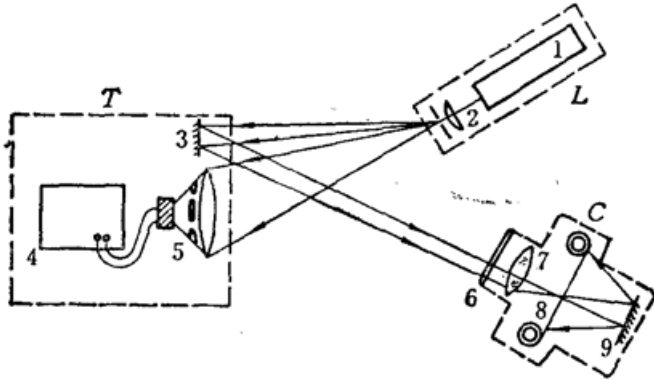


Fig. 1

L-laser; *T*-table; *C*-holographic camera;

2—He-Ne Laser; 2—spacial filter; 3—mirror;

4—signal generator; 5—loudspeaker; 6—filter;

7—photographic lens; 8—holographic film; 9—mirror

装置由激光器 (*L*), 工作台 (*T*) 和全息相机 (*C*) 三部分组成。被检测的扬声器 (5), 小反射镜 (3) 和信号发生器 (4) 安放在普遍的工作台 (*T*) 上。激光器 (1) 为单模 He-Ne 气体激光, 输出 14~16 mW, 全息相机和激光器分别安装在两个三脚架上。

由激光器 *L* 发出的激光束经滤波和扩束后照射到扬声器上。在扬声器起振之后, 全息相机对底片 (8) 曝光, 底片为 8E75 全息胶片, 曝光时间为 0.3~5s。在曝光过程中, 一部分入射光经小反射镜 (3) 反射后直接进入

全息相机, 被作为参考光, 再经过相机内的反射镜 (9) 反射, 这束反射光同来自扬声器的物光波相干涉, 结果形成扬声器在不同振动状态下的全息图。由于曝光时间远大于振动周期, 最终得到的全息图实际上是对应无数个不同位置的物体全息图的迭加。

使用 PHC-1 型全息相机的特点是, 检测装置简单, 灵活, 抗振性强。这是因为该相机采用了光学共轴干涉原理, 即形成全息图的物光和参考光来自同一光源, 通过几乎相同的光程之后到达全息底片, 两光束之间的夹角很小, 接近共轴; 此外, 由于光程基本相同, 两光束在传播过程中受到外界的干涉也几乎相同, 物光和参考光产生相同的位相变化, 即 $\Delta\phi_o \approx \Delta\phi_R$, 设 A_o, ϕ_o, A_R, ϕ_R 分别为物光和参考光的振幅和相位, 则两光波干涉强度为

$$\begin{aligned} I &= A_o^2 + A_R^2 + 2A_o A_R \cos[(\phi_o + \Delta\phi_o) - (\phi_R + \Delta\phi_R)] \\ &= A_o^2 + A_R^2 + 2A_o A_R \cos[(\phi_o - \phi_R) + (\Delta\phi_o - \Delta\phi_R)] \\ &\approx A_o^2 + A_R^2 + 2A_o A_R \cos(\phi_o - \phi_R) \end{aligned} \quad (1)$$

公式 (1) 的结果和普通两束光干涉结果相同, 说明这种全息相机的光学系统对外界扰动具有自动补偿作用, 因此, 在没有特殊防振条件下可以得到高质量的全息图像。

三、测试结果分析与比较

最早用于观察振膜振动图案的方法, 是在振膜表面撒上粉笔末或滑石粉, 当扬声器振膜随着输入正弦信号振动时, 粉末堆集在波节处显示驻波的存在, 这种方法只能在振幅足够大时才能发挥作用。由于振幅大约与频率的平方成反比, 随着输入信号频率升高, 振膜的振动模式变得非常复杂, 出现一阶、二阶及高阶的振动, 且振幅很微小。使观测变得十分困难, 而采用激光全息摄影方法就可以观测到这些振动模式非常复杂的微小位移。

设计制造比较好的扬声器, 要求在较宽的频率范围内应做活塞振动, 即整个振膜作为一个整体进行振动, 振膜各点的相位和振幅基本趋于一致, 但随着振动频率的升高, 必然会出现分

割振动。分割振动又分为轴对称的分割振动和非轴对称的分割振动，前者在振膜上产生同心圆的节点，后者在振膜上产生复杂放射状节线。非轴对称的分割振动是由于振膜材料的不均匀性和驱动力的非对称性引起的。这种振动严重影响扬声器的特性，并使失真加大，因此应尽量减少这种非轴对称式的分割振动，这也是提高扬声器质量的重要指标。

随着计算机技术的发展，我们已经开始把有限元法用于扬声器振膜的振动解析上，用有限元法可计算出扬声器振膜母线上各点的位移，但由于计算是在假定扬声器是做轴对称振动的条件下进行，因此只能计算出轴对称形的分割振动，而非轴对称形的分割振动仍不能计算，而采用激光全息照相就可以把振动的全息信息记录在全息底片上，从而可清晰地观察到振膜的振动模式，既能观察到轴对称式的分割振动，又能观察到非轴对称式的分割振动。

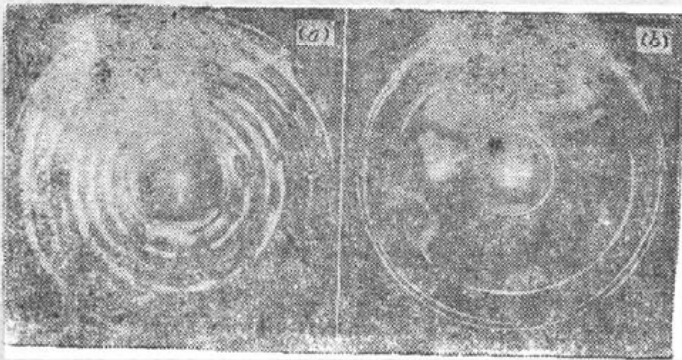


Fig. 2

(a) $\phi 165$ mm, $f=5000$ Hz; (b) $\phi=130$ mm, $f=1000$ Hz

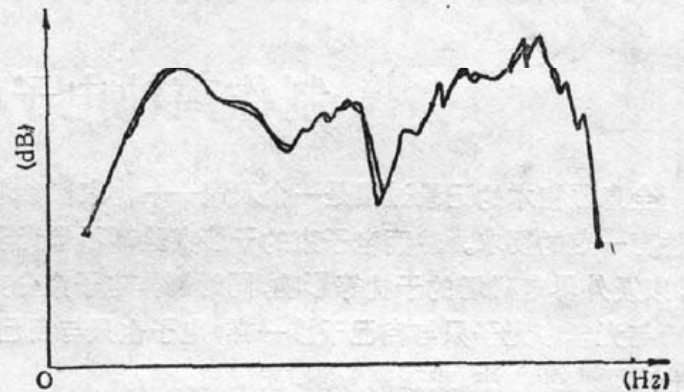


Fig. 3

图 2(a) 为口径 $\phi 165$ mm 扬声器在频率为 5000 Hz 时的振动模式，从图形上可以看出该扬声器在 5000 Hz 时基本上是做轴对称的分割振动(当然也出现了非轴对称振动的迹象)。图形上为许多同心圆的节圆，说明该扬声器的振膜均匀性较好。图 2(b) 给出了口径 $\phi 130$ mm 扬声器在 1000 Hz 时的振动模式，从图中可以看出在振膜折环与锥体分界处有一节圆(亮环圆)，显示出折环与锥体是做反相位振动，因此频响曲线上出现了谷点(如图 3 所示)。

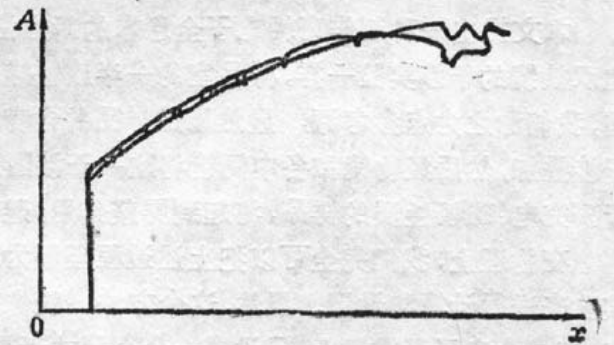


Fig. 4

图 4 为用有限元法计算出的振动模式图。图中锥体是向上振动，折环向下振动，用有限元法只能看出振膜母线上各点的位移，但从全息图上可以看出此时锥体已出现了非轴对称式的分割振动，显示出材料的不均匀性及材料扬氏模量偏低等缺欠，这一结论为产品的质量改进提供了依据。

四、结 论

用 PHC-1 型 35 mm 小型全息相机研究扬声器的振动特性是成功的，它完全可以代替过去的笨重昂贵的全息照相装置，所得到的振膜振动状态全息图的质量可以和国内外已公开发表资料相媲美。为满足快速准确的测量与分析，直接给出振膜的振幅与位相参数，把 PHC-1

型全息相机与全息图实时判读系统结合应该是进一步的努力方向。

参 考 文 献

- 1 Erf, R. (Ed.), *Holographic Nondestructive Testing*, Academic Press, New York, 1974
- 2 Kjell J. Gasvik, *Optical Metrology*, John Wiley & Sons 1987
- 3 Caulfield, H. J., *Handbook of Optical Holography*, Academic Press, New York, 1979

快 讯

制作离轴电子全息图的新方法

全息照相术的记录过程是一个双束——物束和参考束的干涉过程,因此,它对电子束源的空间和时间相干性有一定的要求。然而电子束的干涉实验却不像光学那样简单,这不仅是电子束的相干性受很多因素限制,以及外界电磁场的干扰等影响,同时制作电子束分束器有着一定的困难。

与光学中光子只与自己干涉一样,电子也只与自己干涉,因此获得两束相干的电子束也只能设法使同一束分成两束的办法,或振幅分割,或波前分割。

1953年 Marton 模仿光学方法,用三块薄晶片构成一类似于马赫-陈德尔干涉仪,首次直接观察到双光束干涉条纹,然而这个实验如此艰难,以至于难以再进一步开展工作。当然 Marton 的这种思想,后来在中子干涉仪中获得了成功的应用。1954年, Mollenstedt 和 Duker 研制成命名为 Mollenstedt 静电双棱镜,它与光学中的 Fresnel 双棱镜极其相似,这是迄今被广泛应用的一种电子分束器,它推动了电子全息术的发展,使离轴电子全息术成为可能。80年代还出现了混合型干涉仪,由于制作上的困难和其它某些因素,没有得到发展。

本文提出一种制作离轴电子全息术的新方法,这个方法的最大特点是不需要电子分束器,像通常具有静电双棱镜的干涉实验一样,样品室的一半放置样品,另一半作为参考束,现在只是在这个位置放置一限孔光阑,我们称之为点参考源,显然透过样品并含有样品信息的电子束将和点参考束经过一定距离之后将发生相干涉叠加,然后经物镜和各中间镜将这一干涉图形放大并记录在底片上。特别要指出的是,这一限孔光阑,对于研究电、磁场性质的样品,将起到屏蔽作用,避免了物束对参考束的影响。

在物理上,我们完全可以把上述过程理解为双孔干涉,因此,干涉条纹间距等物理参数可以仿照扬氏双缝实验来进行计算和设置。显然,这个方法,既像盖伯同轴式电子全息一样简单,又具备离轴电子全息术的优点,在一个电子显微镜上,只设置一个小尺寸光阑,就可以从事电子干涉和电子全息术的实验研究工作,无疑,它将会促进电子全息术的发展。

(中国科学院上海光机所 王之江 陈建文 1992年5月12日收稿)