

一种测量功率超声振动系统振速比的简单方法^{*}

林书玉

(陕西师范大学应用声学研究所 西安 710062)

1999年6月14日收到

摘要 本文提出了一种测量功率超声振动系统中振动速度比的简单方法。与传统的测量方法相比,本方法将力学量转变为电学量的测量,将绝对测量变成了相对测量,降低了对实验设备的要求,有利于提高测试精度。

关键词 振动速度比, 超声振动系统, 测量

A new method for the measurement of velocity ratio of high power ultrasonic vibrating system

Lin Shuyu

(Applied Acoustics Institute, Shaanxi Teachers University, Xian 710062)

Abstract In this paper, a new method for the measurement of velocity ratio of high power ultrasonic vibrating systems is presented. Compared with traditional methods, this method converts the measurement of mechanical quantities into electrical quantities, and absolute measurement into comparative measurement. Therefore, the measurement precision can be increased, and the requirement for the equipment is lowered. This method can be used in practical applications.

Key words Velocity ratio, Ultrasonic vibrating system, Measurement

1 引言

在功率超声应用技术中,如超声焊接、超声加工以及超声处理等,超声振动系统主要由三部分组成,即超声换能器、超声变幅杆及工具头等^[1,2]。为了提高超声技术的处理效果,达到预期的技术要求,需要提高换能器的前后振动

速度比以及变幅杆的放大系数。因此必须对振动系统的振动速度及振动速度之比进行测试。

在传统的关于振动速度及振动速度比的测量方法中,如显微镜法、干涉法以及全息法等,基本上利用绝对测试,或者对相对测试结果进行事先校准。由于绝对测试以及校准需要比较精

^{*} 国家自然科学基金资助项目 (19874041)

密的实验设备, 并且测试过程较复杂, 因此, 不便于实际应用技术中超声振动系统的振动速度及振动速度之比的测试。鉴于上述问题, 本文提出了一种测试超声振动系统振动速度比的简单方法。在本方法中, 利用压电材料的压电效应, 结合振动速度之比的测量特点, 将振动速度的测量变成了对电压的测量。由于电测量的精度较高, 而且将振动速度之比的测量变成了电压之比的测量, 将绝对测量变成了相对测量, 降低了对实验设备的要求, 有利于测试精度的提高。同时, 易于对实用状态下的振动系统进行测试。

2 测试原理

图 1 是利用压电陶瓷振子测量振动系统振动速度的几何示意图。其中 TR 是待测的振动系统, PZT 是接收型压电陶瓷振子, ES 是振动系统的激励源。当振动系统在激励源作用下产生机械振动时, 根据压电效应, 压电陶瓷振

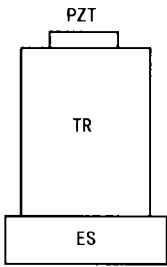


图 1 利用压电效应测试振动系统位移的原理框图

子两端将出现电压。利用测定的电压值就可以间接获得系统的振动位移或振动速度。根据压电材料的压电效应, 对于一个厚度振动的薄片振子, 在准静态的情况下, 其压电方程可表示为,

$$S_3 = d_{33} E_3 = d_{33} V_3 / t \tag{1}$$

$$\xi_3 = S_3 t = d_{33} V_3 \tag{2}$$

式中 S_3 及 ξ_3 分别是压电陶瓷振子的轴向应变

和位移, d_{33} 是压电常数, V_3 和 E_3 分别是振子的端电压和电场强度, t 是厚度。从上述公式可以看出, 利用压电效应, 可将振动系统的振速或位移测试变为电压的测试。本文就利用这一原理对振动系统的两端振速比进行测试。在实验过程中, 在待测系统的两端粘接两个材料性能、几何尺寸及厚度分别相同的接收型压电陶瓷振子, 其输出分别连接数字示波器。当待测振动系统被一振源激励时, 将产生振动, 在振动系统的不同部分, 其振动位移及速度不同。利用压电陶瓷振子的压电效应将机械振动转变为电输出量, 通过测量接收型压电陶瓷振子的端电压, 就可以间接得到待测振动系统不同部位的振速比。令待测振动系统两端的振动速度分别为 v_1 和 v_2 , 则其两端的振动速度比为,

$$M = v_2 / v_1 \tag{3}$$

根据简谐振动情况下振速与位移的关系, 即 $v = j\omega\xi$, 当发射及接收压电陶瓷振子由同一材料制成时, 结合上述公式, 可得以下公式,

$$M = V_{32} / V_{31} \tag{4}$$

式中 V_{32} 和 V_{31} 分别是接收型压电陶瓷振子的端电压, 其具体数值可通过数字示波器直接得出。

从上述分析可以看出, 利用压电陶瓷的压电效应, 振动系统两端的振动速度或位移比的测量变成了端电压的测量。由于电压的测量比较精确, 而且是以比值的形式出现, 因此可以提高测试精度, 回避了传统测试方法中振动速度或位移的绝对测量。

另一方面, 利用本方法还可以直接测量振动系统的共振频率。具体的测试电路如图 2 所示, 其中 ET 及 RT1 和 RT2 分别是发射及接收型压电陶瓷换能器, 实际上就是工作于厚度振动模式的圆形压电陶瓷晶片 (对于振动系统共振频率的测试, 图 2 中接收型压电陶瓷换能器 RT1 可不要)。具体步骤是: 改变激励源信号发生器的频率, 当接收压电陶瓷振子的输出

端电压达到最大值时，待测振动系统处于共振状态，此时，激励信号发生器的频率就是系统的共振频率。为了保证测试精度，激励振子以及接收压电陶瓷振子的基频应远高于待测振动系统的共振频率，以保证在待测频率范围内，发射及接收压电陶瓷振子的频率响应曲线基本平直。另外，有一点需要注意，利用这一方法测试振动系统的共振频率时，必须事先了解振源即待测系统激励源的频率特性，以避免在测试频率范围内出现激励源的共振而出现误测。

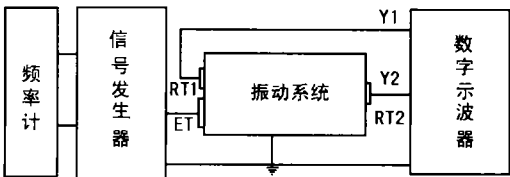


图 2 振动系统振速比的测试框图

3 实验测试

图 2 是本文中用于测量振动系统振速比的几何示意图。其中 RT1 和 RT2 分别是粘于待测系统两端的接收型压电陶瓷振子，其材料、振动模式和几何尺寸皆相同。具体的几何尺寸为：直径 12mm，厚度 1mm，陶瓷材料为收发两用型。ET 是待测系统的激励振子。Y1 和 Y2 是数字示波器的两个输入信号，分别代表两个接收型压电陶瓷振子的端电压。在本文的实验中，分别对两种振动系统的振速比进行了测试。一种是被动振动系统，即功率超声技术中的变幅杆。另一种是主动振动系统，即夹心式压电超声换能器。图 2 适用于被动振动系统的测试。在这种情况下，变幅杆由一个宽带信号激励源激发。在一般的情况下，变幅杆的激发是通过一个压电换能器，如发射型压电陶瓷振子等。在这种情况下，发射及接收振子的最低共振频率应远高于待测系统的共振频率，这一点在本文实验中是完全满足的。对于主动振动

系统的测试，其测试框图与图 2 略有不同。在这种情况下，功率超声换能器直接由信号源产生的电信号激发产生振动。通过测量换能器两端压电陶瓷振子的输出电压，就可以得到换能器的前后振速比。

表 1 是利用上述方法对两个超声变幅杆和两个夹心式压电超声换能器的测试结果。表中 V_{31} 和 V_{32} 分别是两个接收型压电陶瓷振子的端电压， M 是变幅杆在空载情况下前后振速比的理论计算值， M_m 是其测试值。实验中利用的变幅杆为阶梯型。由于夹心式换能器的前后振速比计算比较复杂，因此表中未能列出其振速比的计算值。另外，电压的单位是伏特。实验过程中，待测换能器以及变幅杆水平放在垫有海绵的测试台上，因此待测系统的状态可基本看成是自由的。

关于测量结果的误差来源，主要有以下几点：(1) 发射以及接收型压电陶瓷振子的材料性能及几何尺寸有差异。(2) 发射及接收压电陶瓷振子与振动系统的粘接引起不同的误差。(3) 系统的损耗，包括粘接引起的损耗以及材料的损耗对测量结果都有影响。(4) 相对于待测的振动系统，发射及接收型压电陶瓷换能器为待测系统的外部负载，对待测系统的两端自由状态有些影响。另外，在实验中发现，为了提高测量精度，测试系统必须采取良好的接地和屏蔽措施。同时，必须提高压电陶瓷振子两端电压的测试精度。本文实验采用进口数字示波器 HP54601A，该示波器可以同时四路输入信号进行测量。

表 1 振动系统振速比的测试结果

样品	$V_{33}(V)$	$V_{31}(V)$	M	M_m
变幅杆 1	1.57	0.26	6.25	6.04
变幅杆 2	0.89	0.34	2.78	2.62
换能器 1	0.48	0.18		2.67
换能器 2	1.92	0.75		2.56

通过上述分析及实验，我们可以看出，利用这一方法不仅可以测量振动系统的振速比，而且可以测量振动系统的共振频率。另一方面，

利用这一方法还可以研究振动系统振速比的频率特性。同时,对于夹心式压电超声功率换能器,还可以探讨换能器前后振速比与其激发功率或激发电压的关系。在传统的测试方法中这一点是很难做到的,因为当振动系统处于非共振状态时,系统的振动位移是很小的,无论是显微镜法还是干涉法,对小位移的测试是比较困难的,并且这两种方法对实验设备的要求比较高,也不能对实用状态下的振动系统进行测试。

4 结论

本文提出了一种测量功率超声振动系统振

速比以及共振频率的简单方法。与传统的测试方法相比,本方法将力学量,如振速和位移等,变成了电学量的测试,将绝对测量变成了相对测量,因此,不仅降低了对测量设备的要求,有利于提高测试精度,而且可以对实际工作状态下的超声振动系统进行测试。另外,利用本方法还可以对功率超声振动系统的共振频率进行测试,以及对振动系统的振速比与频率和激发电压之间的相互关系进行研究,从而有利于功率超声振动系统的优化设计。

参 考 文 献

1 林仲茂. 超声变幅杆的原理和设计. 北京: 科学出版社, 1987.
2 陈桂生. 超声换能器设计. 北京: 海洋出版社, 1984.



北京声学学会第五届年会 — 贺杜连耀教授 90 华诞
暨杜连耀声学奖颁奖会在京召开

2000 年 6 月 14 日上午,北京声学会在北京大学正大国际会议中心隆重聚会,热烈庆贺杜连耀教授 90 岁华诞。同时,北京声学会召开了第五届学术年会,进行了学术交流,并进行了第二届“杜连耀声学奖”的颁奖活动,以特殊的方式,为杜连耀教授的 90 华诞献上一份有意义的贺礼。

杜连耀教授是我国声学界老前辈,是我国声学科学事业的奠基人之一。50 年代从美国回国以来,从事声学科学研究和教育事业达四十余载,为我国声学科技事业作出重大贡献,也培养了大批年轻声学科学家。“杜连耀声学奖”就是由杜连耀先生在海外的弟子发起,由众多海内外学生捐资设立基金,专门用于奖励对声学事业有重要贡献的我国青年声学工作者的奖项。

这次杜连耀声学奖是继 1995 年 6 月第一次颁奖后的第二次颁奖。此前,北京声学会向全国征集论文,

共收到稿件 30 余篇,内容涉及超声、水声、语声、噪声、建声、换能器等众多领域。经过专家们的认真评审,从中选出优秀学术论文 10 篇,予以奖励。

参加此次学术及庆祝活动的来宾有我国著名声学科学家,杜连耀教授的挚友马大猷教授和应崇福教授。著名声学科学家关定华教授、张仁和教授等以及北京声学界中青年科学工作者共有 80 余人参加了会议。北京大学电子学系、北京市科协有关领导也到会祝贺并致贺词。

会上,获奖作者宣读了自己的论文,应崇福教授与许多同行极有兴趣地听取了全部学术报告。与会者一致认为,此次论文的评选客观、公正、获奖论文具有较高的学术水平。

北京声学会第五届学术年会推出了学术论文集《工程声学》第三卷。

(北京大学电子学系 李朝晖)