

频谱分析在共振系统中的应用*

熊小敏, 丁喜冬, 张进修

(中山大学物理学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 采用频谱分析的方法对机械系统中的振动模式进行分析, 使系统中的共振模式的测定规范化、定量化。此方法应用于液体切变波共振吸收谱仪的研制中, 取得了良好的效果。

关键词: 共振系统; 频谱; 频谱分析; 共振吸收谱仪

中图分类号: O329 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 04-0045-03

在各种物理系统中, 存在着多种共振模式, 如电共振、机械共振。机械振动由于频率较低、易收外界干扰, 振动模式及其频率较难判断和测定。最简单的方法是通过直接观测来确定有无异常的转动或旁振, 具有较大的不确定性。为了解决这个问题, 我们采用频谱分析的方法对系统的机械振动进行了分析。通过对频谱分析方法的改进, 在系统振动频谱图上, 各种振动都有明显的谱线出现, 因而能用来准确的判断系统中的本振、转动、旁振以及各种相互耦合振动的存在性, 并测量其频率。该振动频谱图提高了实验结果的可信程度。在我们自行研制的液体切变波共振吸收谱仪中, 通过以上方法, 取得了初步的结果。

1 共振系统中的振动情况

在一个物理体系中, 由于存在多个自由度, 因而可存在多种振动模式。机械共振系统中, 最简单的振动模式如图1所示。图中, 质点M通过弹簧固定在基座D上, 竖直方向的振动A是实际要测量的振动模式, B为水平振动(旁振动), C为转动。如果质点M做强迫振动, 由于外力施加不可能是严格的竖直方向, 所以会诱发旁振B和转动C。振动模式B、C在测量中是不希望出现的。固定基座D由于受外界影响也存在着一定的无规震动, 会诱发一些其它的振动, 使系统中的振动变得更加复杂。

在以前的测量系统中, 主要通过直接的人眼

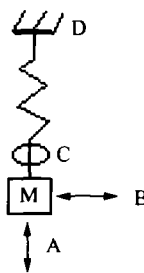


图1 机械共振系统的振动模式

Fig.1 Vibrative modes in a mechanical resonant system

观察来调节和减小旁振和转动; 通过使用减震平台(如光学气叠减振平台)来减小基座的震动。因此, 调节的精度基本取决于实验者的经验和技巧, 难以做到一致性和定量分析, 对实验结果的准确性有较大的影响。

在实际的测量系统中, 被测样品一般安装在质点M位置。由于装样位置存在一定的误差, 往往会使振动系统的重心发生偏移, 从而使已经调试好的测量系统在装样后, 振动情况有所改变, 直接影响测量结果, 甚至决定实验的成败。因此, 在实验过程中, 对共振系统中的共振情况的实时监测是非常有用的。

2 振动的频谱分析及其改进

在机械共振系统中, 往往通过测量振动部件对周期性外力的强振情况来获取结果, 其实际的系统结构比上述模型要复杂得多。例如, 液体切变波的共振吸收谱仪是利用机械振动的方法, 测

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19974077, 10027001, 10004017); 教育部重点科技项目及博士点基金资助项目(99055, 99055806); 广东省科技攻关资助项目(99M011007G, 2KM01101G); 广东省自然科学基金资助项目(001246); 广东省教育厅专项资助项目

收稿日期: 2001-01-18; 作者简介: 熊小敏(1970-), 男, 讲师; 通讯联系人: 张进修。

量液体中的切变波的吸收,从而测得液体中的共振吸收峰.在该谱仪中,与对机械共振进行频谱分析的有关装置如图2所示.

图2中,扭转机构(摆竿)在激励信号作用下产生强迫振动(扭转振动),因此摆竿就是振动部件.振动部件上粘贴一块小镜片e,光束d以一定的角度照射在镜片上,通过光电转换

反射光,并转换为电信号;振动部件的振动情况将通过接收光的位移量反应出来(垂直方向振动除外);代表此位移量的电信号经放大后,由高速A/D数据采集器采样;计算机频谱分析软件对采样数据进行频谱分析后,即可得到系统中振动部件的振动频谱图.

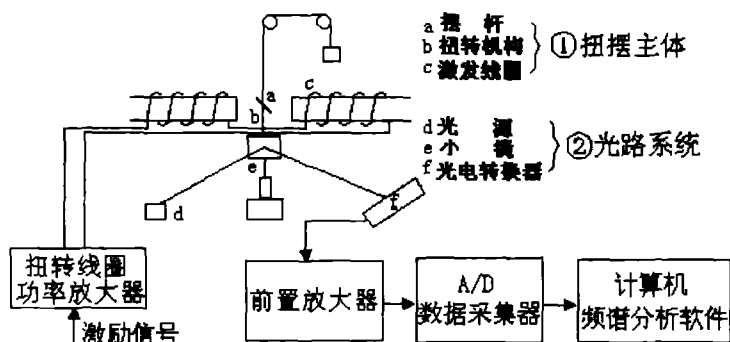


图2 共振吸收谱仪的频谱分析装置

Fig.2 Scheme of spectrum analysis for the resonant absorbing apparatus

频谱分析采用富氏变换,即:

$$F(k) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{N-1} a(n) \exp(-2\pi jnk/N), & 0 \leq k \leq N-1 \\ 0, & k \leq 0 \text{ 或 } k \geq N \end{cases}$$

其中, $a(n)$ 是在时刻 n 电信号的采样值, $F(k)$ 即为离散频率点 k 的频率谱.

由于被采样的信号为有限长度,频谱图上将出现频率扩散现象,如图3曲线a所示(采样的正弦波数为10).因此,有必要对频谱分析方法进行改进.

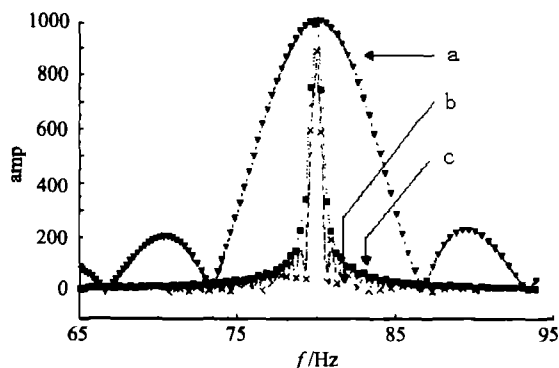


图3 频谱分析方法的改进

Fig.3 Improvement of the frequency spectrum analyzing technique

改进的方法是对序列 $a(n)$ 作加权处理,即在变换前用一个窗口 $w(n)$ 乘采样序列.在采用高斯函数作为窗口函数时的频谱如图3中曲线b所示.

另外,也要适当增加序列 $a(n)$ 的长度.图3中曲线c为 $a(n)$ 的长度等于100个正弦波,同时采用高斯窗口函数时的频谱图.

3 振动频谱分析在液体切变波共振吸收谱仪中的应用结果

液体切变波共振吸收谱仪是利用机械振动的方法,测量液体中产生波数为 $10^{-4} \sim 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 的切变波,从而测得液体中的共振吸收峰的凝聚态物质共振吸收谱的新型测量仪器.在该研制过程中我们发现,前述各种振动(旁振、转动等)很容易使实验结果产生假象,严重影响测量.用频谱分析方法对该谱仪的机械振动进行分析,结果如图4.图4中,横坐标为频率,纵坐标为振幅,因此谱线的横坐标位置表示振动频率,谱线的高低表示振动的强弱;谱线a为谱仪在外激励信号作用下的强迫振动,谱线b为系统共振频率,谱线c为旁振动.可见,本方法能准确的判断系统中的各种机械振动,具有直观、定量的优点.

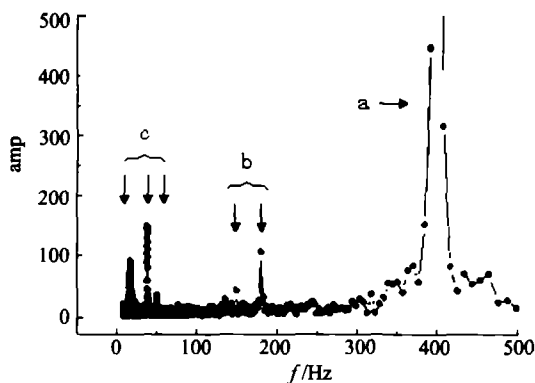


图4 共振吸收谱仪的振动模式的频谱分析结果
Fig.4 Spectrum analyzing results of vibration modes
in the shear wave resonant absorbing apparatus

4 结论与讨论

(1) 频谱分析方法用来判断共振系统中的机

械振动具有简单、直观、定量的优点, 能极大的简化机械系统的调试, 提高测试结果的可信度;

(2) 为了提高频谱的分辨率, 有必要对频谱分析方法进行适当改进, 从初步结果来看, 时域加权处理和增加序列长度对提高频谱分辨率有较好的效果;

(3) 本方法应用于液体切变波共振吸收谱仪的研制中, 取得了良好的效果.

参考文献:

- [1] MARSHALL A G, VRDUN F R. Fourier transforms in NMR, optical, and mass spectrometry[M]. 1990, 45 - 50.
- [2] 丁喜冬, 龚康, 熊小敏, 等. 固体内耗仪测控系统的改进设计[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39 (6): 30 - 34.

Application of the Spectrum Analyzing Technique in Syntonical System

XIONG Xiao-min, DING Xi-dong, ZHANG Jin-xiu

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The application of the frequency spectrum in mechanical system is discussed, and then the process for quantitative analysis of its vibration modes is regularized. The proposed technique was demonstrated in detection of mechanical vibration with our home-made shear wave resonant absorbing apparatus.

Keywords: syntonic system; spetrum; spectrum analyzing; resonant absorbing apparatus