

利用光电鼠标和霍尔元件测量玻尔共振仪的振幅与相位

陈亮 李渊

(北京邮电大学物理实验中心, 北京 100876)

摘要: 目前光电门计数和频闪法是玻尔共振仪中常用的测量方法。本论文介绍一种以计算机光电鼠标和霍尔元件为传感器, 利用 LabVIEW 为工具, 测量扭摆振幅和驱动盘与扭摆盘的相位差的方法。实验结果表明计算机不仅能方便观测扭摆的运动信号, 而且通过比较光电鼠标测量的扭摆信号与霍尔元件测量的驱动力信号, 可以方便地得到摆轮和驱动的相位差。

关键词: 共振, 光电鼠标, 霍尔元件

1 引言

振动是一种非常常见的现象。机械振动是指一个物体在其平衡位置附近作的往复运动。机械振动可以分为自由振动和受迫振动。一个振动系统在外力(约束)作用下会偏离其平衡位置, 当外力撤销时, 系统在其自身弹性恢复力的作用下在平衡位置附近振动, 称为自由振动。如果系统中存在阻尼, 这种振动会逐渐衰减。振动系统在外界周期驱动力的持续作用下, 也会发生振动, 称为受迫振动。玻尔共振仪是研究扭摆振动的最常见的教学仪器, 其实验内容丰富, 物理图象清晰, 在各高校普遍开设该实验。

在目前的玻尔共振仪中, 用的是 2 个光电门计数和频闪法来分别测量振幅和相位, 采用了电路控制方法, 其振幅的最小分辨率是 2 度。为了连续观察和显示扭摆的运动过程, 特别是能够记录和处理阻尼振动和受迫振动时扭摆的运动规律, 在测量振幅时, 我们采用了价廉和方便的光电鼠标作为扭摆振幅的测量传感器。在测量相位差时, 我们利用霍尔元件来测量驱动盘的信号, 将此信号与光电鼠标采集到的被驱动扭摆盘的信号进行比较, 并计算多周期平均的相位关系,

从而得到具有较高的精度相位差。进一步, 我们采用了 LabVIEW 作为信号记录和处理的工具软件实时观察运动过程, 为进一步准确和细致研究振动的各种动力学行为(比如扭摆混沌[2]) 提供了一种新手段和方法。计算机参与物理实验, 虚拟与现实仪器相结合是当前科学与技术实验的一种趋势, 本实验在玻尔共振仪中的有效尝试, 能够有助于我们理解物理现象, 开展实验研究活动。

2 实验原理

在大学物理实验中, 玻尔共振仪是被广泛采用的一套仪器。利用玻尔共振仪可以研究摆轮的自由振动和受迫振动, 通过绘制幅频和相频特性曲线来表征摆轮振动的基本性质。

当摆轮偏离平衡位置时, 将受到弹簧提供的恢复力矩的作用, 在平衡位置附近摆动。若给摆轮加上周期性的强迫力矩, 则摆轮在驱动力作用下作受迫振动。为了研究阻尼对振动的影响, 我们给摆轮施加一个电磁阻尼。在弹性恢复力矩、阻尼力矩和周期性强迫力矩的作用下, 摆轮的动力学方程为[1]

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = -K\theta - B \frac{d\theta}{dt} + M_0 \cos\omega t \quad (1)$$

其中, J 是摆轮的转动惯量, $K\theta$ 为弹性力矩,

$B \frac{d\theta}{dt}$ 为阻尼力矩, M_0 为强迫力矩的幅值, ω 为强迫力矩的角频率。方程(1)的解为[1]

$$\theta = \theta_1 e^{-\beta t} \cos(\omega' t + \alpha) + \theta_2 \cos(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

$$\theta_2 = \frac{M}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}} \quad (3)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{2\beta\omega}{\omega^2 - \omega_0^2} \quad (4)$$

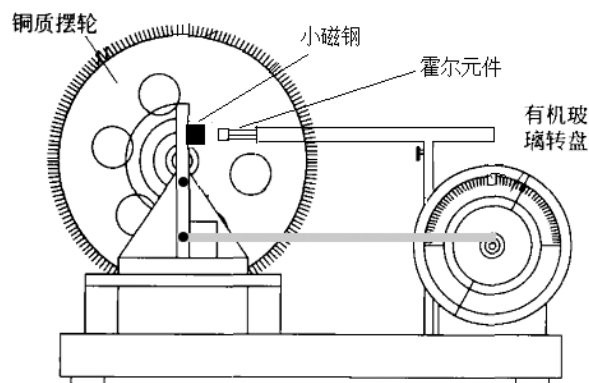
3 测量方法

图 1 (a) 所示的是由同济大学和成都世纪中科共同研制的玻尔共振仪。它包括振动仪(结构如)和电控制箱两部分。摆轮的外围为齿轮状,平衡位置附近的凹槽比其他凹槽长许多。在平衡位置设置两个光电门,一个检测外围齿轮,一个检测长凹槽,通过这两个光电门的信号计算摆轮的振动幅度。用长凹槽光电门的信号控制闪光灯,记录摆轮过平衡位置时驱动力转盘的角度,由此得出驱动力和摆轮的相位差,这种测量相位差的方法称为频闪法。

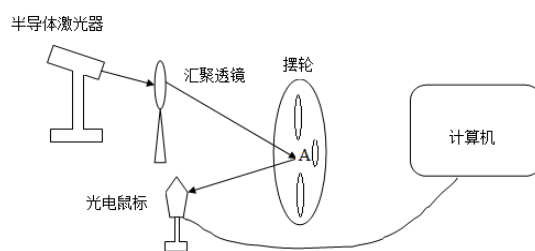
由于测量方法的限制,导致该仪器在使用中有许多限制,比如,实验中只能测量摆轮的最大振幅,不能随时测量摆轮的角度;频闪法测量相位差,用肉眼观察,精度不高。在参考文献[2、3]中提出了一种用鼠标来采集摆轮运动的方法,成功采集了扭摆的混沌信号。但是,该文只采集了摆轮的运动信号,并没有测量驱动轮和摆轮的相位差。因此,我们提出用霍尔元件测量驱动轮角度的方法,并改进了鼠标采集系统,从而比较精确的测量了摆轮和驱动力的角度,以及它们的相位差。

3.1 振幅的测量

光电鼠标是一个常用的计算机配件,其本质是一个位移传感器。鼠标将自身的移动



(a)集成霍尔元件测驱动轮角度示意图



(b)光电鼠标测摆轮振幅示意图

图1测量方法示意图

方向和大小转换成数字信号传输给计算机,操作系统根据该信号相应改变光标在计算机显示器上的位置,鼠标左右或上下移动,光标也相应改变。光电鼠标测量自身的移动是采用的图像处理传感器,通过对比前一时刻和后一时刻采集到的图像,计算鼠标的移动方向和大小,实现非接触测量。相反,如果鼠标不动,而鼠标垫移动,也一样能够测量出移动的大小和方向。我们将光电鼠标直接对着摆轮,当摆轮摆动时鼠标就能够检测到移动信号,显示器上的光标也随之摆动。但是,由于鼠标的发光二极管功率较低,鼠标必须和摆轮靠的非常近才能正常工作。我们用半导体激光器代替鼠标的发光二极管,使鼠标可以在离摆轮教远的距离上正常工作,如图1 (b) 所示。激光的斑点大小对鼠标的稳定性有较大的影响,故用一个透镜来控制激光斑点的大小,也可以直接调节半导体激光器自带的透镜。当摆轮摆动时,鼠标

检测到摆轮的移动，显示器上光标的位置也相应变化。记录鼠标的位置，就可以得到摆轮的摆动信息。

值得注意的是，当摆轮振幅较大时，光标会移出显示器，导致移动信息丢失。文献[2]采用将鼠标的灵敏度调到最低，而且由于混沌状态时振幅本来就比较小，因此没有出现光标移出显示器的现象。为了解决这个问题，我们在Labview中调用了windows自带的库函数（user32.dll中的SetCursorPos函数）来控制光标的位置，使得光标移出屏幕后，从另一侧进入屏幕，相当于将扩大了屏幕的尺寸，圆满的解决了上述问题。

3.2 相位差的测量

驱动轮角度的测量方法是直接在与驱动轮相连的竖直连杆上吸附一个小磁钢(如图1(b)所示)，集成霍尔元件(UGN3503)则固定在离磁钢较近的位置上。驱动轮转动时，带动水平、竖直连杆及磁钢一起左右摆动，导致霍尔元件的输出电压周期性变化。霍尔电压与驱动轮角度的关系如图2所示。

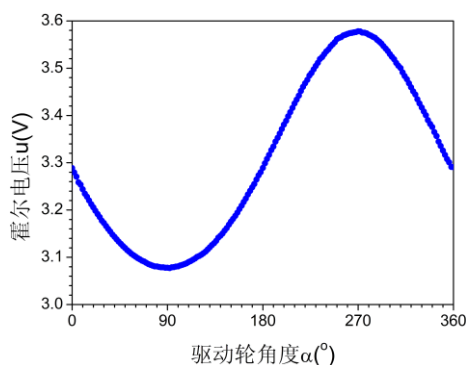


图2 驱动轮角度与霍尔电压的关系曲线

测量摆轮和驱动轮之间的相位差是采用比较鼠标信号和霍尔电压信号的相位来计算的。如图3所示，首先，根据霍尔电压测量驱动力的周期T，然后根据鼠标信号和霍尔电压信号的极大值之间的时间差t的平均值来计算出摆轮滞后于驱动力的相位差。

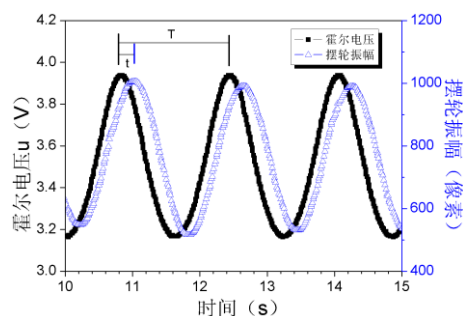


图3 霍尔电压和鼠标信号的时序图

四、测量结果讨论

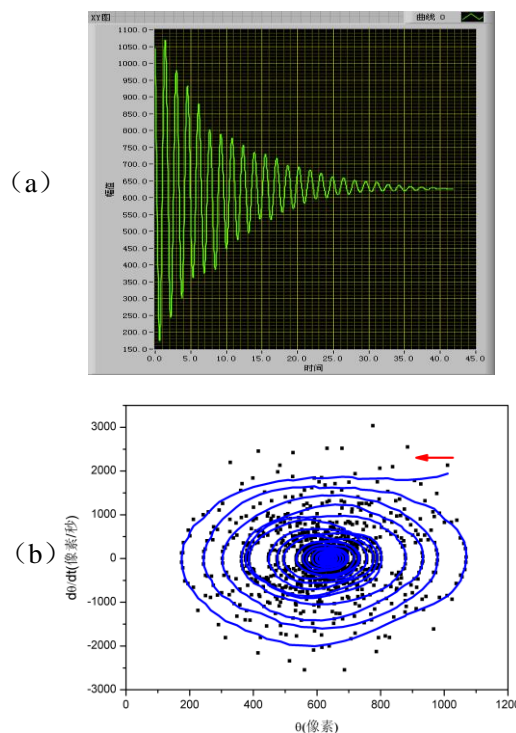


图4 摆轮角度随时间变化的时序图(a)和相图(b)

对于阻尼振荡，原来的仪器只能记录振幅的极大值随时间的变化，现象比较单一。通过改进后的方案能够连续测量摆轮的角度，由此，可以得到摆轮角度随时间逐渐变化的时序图，如图4(a)所示。如果将摆轮的角度对时间求导，则可以得到 $\theta - \frac{d\theta}{dt}$ 相图，如图4(b)所示。摆轮振幅逐渐衰减至零时，从相图中可看出摆轮在平衡点附近进行螺旋状的运动，半径逐渐减小，直到最后停止。

为了比较两种方法的差别，我们分别用

原来的方法和改进后的方法测量了摆轮的幅频特性曲线和相频特性曲线，如图 5、6 所示。由图可以看出，两种方法的结果基本一致。由于频闪法测相位差的误差较大，因此我们测量的相频特性曲线更接近理论曲线。

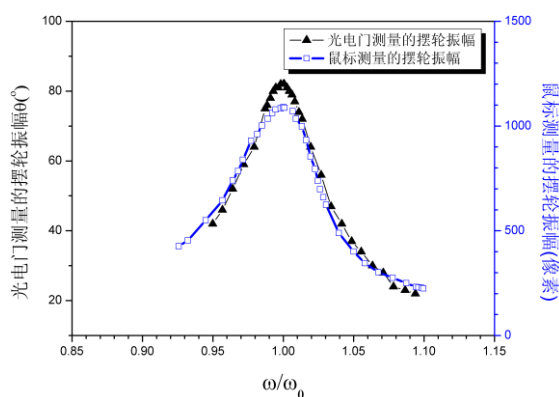


图 5 摆轮幅频特性曲线

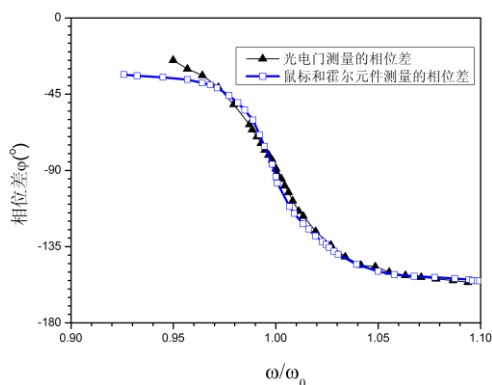


图 6 摆轮的相频特性曲线

四、结论

Data collection in Pohl resonator system by using photoelectric mouse and Hall element

Abstract: The data collection methods of Bohr resonance instrument have been improved. We can measure the amplitude of the balance wheel by using a optical mouse and the phase difference between balance wheel and driving force by using Hall element.

Key words: resonate, photoelectric mouse, Hall element

本文改进了鼠标测量摆轮振幅的方法，并利用光电鼠标和霍尔元件来联合测量玻尔共振仪摆轮滞后驱动力的相位差，实验结果更加精确，利用Labview实时采集、处理和显示信号，实现了在实验中能够即时测量摆轮的角度与周期，显示其波形和相图，使得实验过程更加直观，而且克服了由频闪法测量相位差时所带来的视觉误差，进一步提高了实验的精度。

谨向在实验过程中悉心指导我们的杨胡江和肖井华老师表示衷心的感谢！

参考文献

- [1] 蒋达娅, 肖井华, 朱洪波, 陈以方. 大学物理实验(第二版). 北京: 北京邮电大学出版社, 2005.
- [2] Daya Jiang, Jinghua Xiao, Haihong Li and Qionglin Dai. New approaches to data acquisitions in a torsion pendulum experiment. *European Journal Physics*, 28, 977-982(2007).
- [3] 储琪, 田玉龙. 利用光电鼠标实现玻尔共振仪混沌现象的数据采集. *物理实验*. 2006, 26(10):46-48.