

共振仪共振相位差测量系统设计

李端勇¹,刘教瑜²,乐承双¹,秦平力¹

(1. 武汉工程大学理学院,湖北 武汉 430074,2. 武汉理工大学自动化学院,湖北 武汉 430070)

摘 要:针对波尔共振仪的共振相位差测量,提出了同步跟随相位测量方法.设计了一套跟随振动系统摆盘的受控刻度盘系统,刻度盘以振动系统的摆盘的最大转速为转动速度,刻度盘上的任意一点在水平方向的投影与振动系统摆盘的摆动为等效的振动.完整的同步跟随相位测量系统由振动系统摆盘测量系统、受控刻度盘系统和驱动同轴盘测量系统组成.同步跟随刻度盘根据振动系统摆盘测量系统所采集的数据取代摆盘,并与驱动同轴盘同轴,当同步跟随的刻度盘与振动系统摆盘达到同步时,在共振发生时同步跟随的刻度盘和驱动同轴盘也几乎同步转动,所以驱动同轴盘零指针总指向同步跟随的刻度盘一个相位值,驱动同轴盘与刻度盘之间给出相位差.同步跟随相位测量方法将不受环境因素影响,便于在不同照明条件下布置多台实验仪器.

关键词:共振;相位差;测量;跟随

中图分类号:O329

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2013.11.014

0 引 言

振动是自然界中普遍的现象,振动系统在一定条件下出现共振的现象是人们在科学研究和工程技术应用上十分关注的现象.作为对振动现象的初步认识与研究,波尔共振仪是一个较好的认知振动现象的实验仪器,在大学物理实验中得到广泛使用.

现有的商品级波尔共振仪均采用弹簧、电磁阻尼线圈及电机周期性驱动的结构模式构成阻尼振动系统,这种模式的共振仪操作方便、原理简明、仪器结构直观,在共振相位测量方面均采用了频闪法测量相位差,能够揭示共振状态时周期性外力与振动系统的相位差^[1-5].

实际应用中,在一个实验室中往往有多台仪器同时工作或多人同时使用,因此出现了对波尔共振仪的扩展性改进^[6-8].但是在使用频闪法测相位差时,各实验组间存在相互干扰,且频闪强光使眼睛产生疲劳^[9].这是频闪法在同室多台同时使用时所存在的不足.作为补充,本文介绍一种非频闪技术的相位差测量方法,即振动跟随测量方法.

1 跟随测量原理

跟随测量原理实际上是用与驱动系统同轴、且与驱动盘可以直接比较的受控盘跟踪替代共振

系统的振动盘(摆盘),由此获得相位差.

波尔共振仪中的弹簧为卷曲型弹簧,其一端固定在振动系统摆盘的轴上提供弹性力矩,另一端固定在驱动曲柄摇杆机构的一根活动的立杆的端点上,可以随驱动做周期性位移.弹簧端点周期性位移的驱动是由步进电机带动曲柄摇杆机构完成的,曲柄摇杆机构与驱动的关系如图 1 所示.弹簧端点位移实际结果是张紧弹簧,等效于施加了周期性力矩.当弹簧端点位移达到最大值时,驱动施加的力矩也达最大值, $M = M_m \cos(\omega_F t + \theta_0) = \pm M_m$,即:

$$\cos(\omega_F t + \theta_0) = \pm 1, \omega_F t + \theta_0 = n\pi,$$

ω_F 为驱动源圆频率,令初始时刻 $\omega_F t + \theta_0 = 0$,即选择驱动初始相角 $\theta_0 = 0$,此时 $M = \pm M_m$,对应弹簧端点位移最大.

若设计如图 1 所示的联动结构,则同轴盘上的曲柄 A 处在水平位置时(图 2)对应弹簧端点位移最大.同时步进电机在这个位置启动负载最小,利于电机启动.

当驱动力矩施加后,阻尼系统作受迫振动,经过一段时间后将达到稳定状态,出现共振现象.振动系统的摆盘的振动频率接近或等于驱动源的频率,但两者的相位不相等,若驱动机构处在如图 1 所示的状态时,对应相位 $\omega_F t + \theta_0 = n\pi$,如果能够把此刻振动系统的摆盘的相位测出来,就能获得两者的相位差.

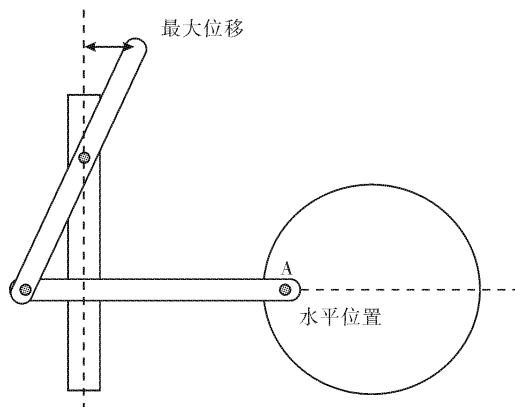


图 1 驱动系统的一个状态

Fig. 1 A state of the drive system

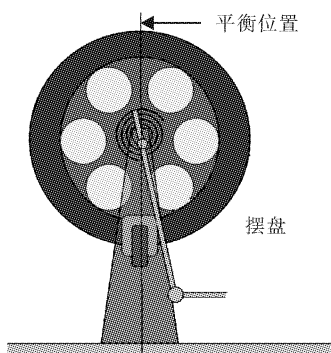


图 2 振动系统摆盘处在平衡位置

Fig. 2 The equilibrium position for the wobble plate of the vibration system

实际相位差测量有多种方法, 相位跟随测量相位的方法是用一个另外的转动盘同步跟踪替代振动系统的摆盘, 即设计一套跟随振动系统摆盘的受控刻度盘系统, 刻度盘以振动系统的摆盘的最大转速为转动速度, 刻度盘上的任意一点在水平方向的投影与振动系统摆盘的摆动为等效的振动。

刻度盘上的任意一点在水平方向的投影:

$$x = x_m \cos(\omega_0 T + \varphi_1)$$

振动系统摆盘的摆动角位移: $\theta = \theta_m \cos(\omega_0 t + \varphi_2)$

ω_0 为振动系统的圆频率, 受控刻度盘模拟振动系统摆盘需同步, 应取 $\varphi_1 = \varphi_2$, 这可由测量系统完成, 这是同步跟随的要点。值得注意的是, 当振动系统摆盘处在平衡位置 (如图 2 所示) 时: $\theta = \theta_m \cos(\omega_0 t + \varphi_2) = 0$, 对应的相位是 $(2n+1)\frac{\pi}{2}$, 因此同步跟随的刻度盘应显示 90° 相位或 $(2n+1)\frac{\pi}{2}$ 相位。

当同步跟随的刻度盘与振动系统摆盘达到同步时, 当共振发生时同步跟随的刻度盘和驱动同轴盘几乎同步转动, 所以驱动同轴盘零指针总指向同步跟随的刻度盘一个相位值, 驱动同轴盘与刻度盘之间给出相位差。

2 结构与测控流程

同步跟随刻度盘设计成与驱动盘同轴 (如图 3 所示), 驱动盘设为主盘, 由步进电机带动; 同步跟随刻度盘按外套轴设计, 通过齿带传动, 由步进电机驱动, 并由在线检测数据启停, 跟踪振动系统摆盘。

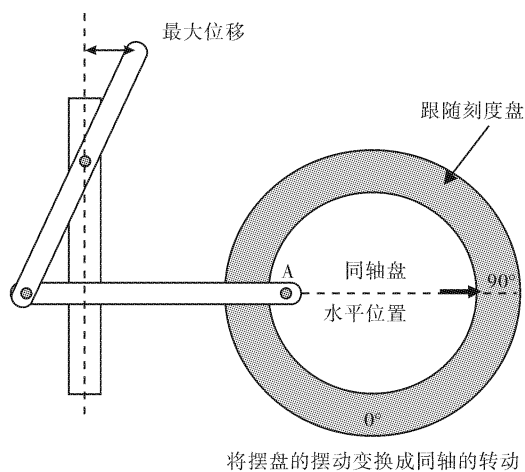


图 3 刻度盘与驱动同轴盘同轴

Fig. 3 The dial and drive coaxial disks

驱动力矩初始时的初相位为零相位, 对应最大驱动力矩。摆盘平衡位置对应零角位移, 对应初相位为 $x/2$ 。约定逆时针方向为角度增加方向, 按逆时针方向设计刻度盘的刻度线, 同时约定刻度盘按顺时针方向转动。驱动同轴盘也按顺时针方向转动, 当共振发生时两盘几乎同步转动, 所以驱动同轴盘零指针总指向刻度盘一个相位值, 可以给出共振相位的实时变化。

实际使用时, 当转速较低时, 可以看清各盘上的刻度线, 驱动同轴盘和跟随刻度盘近同速运动, 非常直观的给出了相位差的实时数据。当系统振动频率较高时, 刻度线将看不清楚, 可以将驱动盘的零刻度线另外设在固定的水平位置, 当驱动同轴盘运动到图 2 位置时, 停止跟随器刻度盘 (对整个系统不会产生影响), 对应水平位置的角度值就是相位差。跟随器相位测量系统测控流程如图 4 所示。

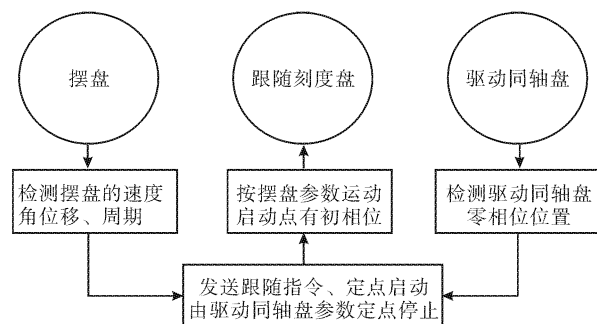


图 4 跟随器相位测量系统测控流程

Fig. 4 The control flow for the phase measurement system of Follower

3 结 语

波尔共振仪一般能够完成简谐振动、阻尼振动和受迫振荡实验研究,其中阻尼振动和受迫振荡实验的设计非常直观,共振时的驱动源相位与振动系统的相位差是一个随系统参数变化的动态参数,同时也是实验中比较重要的参数,频闪法是一种较好的动态测量方法,只是多台同时使用时有所不便。作为补充的设计,同步跟随相位测量系统由振动系统摆盘测量系统、受控刻度盘系统和驱动同轴盘测量系统组成。同步跟随刻度盘根据振动系统摆盘测量系统所采集的数据取代摆盘,并与驱动同轴盘同轴,只要启动相位正确,两盘的相位差值就是共振相位差。这种测量方法将不受环境因素影响,便于在不同照明条件下多台布置实验仪器。

致 谢

感谢武汉工程大学对本研究提供的物理实验室平台。

参考文献:

- [1] 陆廷济,胡德敬,陈铭南. 物理实验教程[M]. 上海: 同济大学出版社,2000:66.
LU Ting-ji, HU De-jing, CHEN Ming-nan. Physics Experiment Course [M]. SHANG HAI: TONGJI UNIVERSITY PRESS,2006:66. (in Chinese)
- [2] 朱鹤年. 波尔共振仪受迫振动的运动方程[J]. 大学物理, 2006,25(11): 47-48.
ZHU He-nian. The equations of motion of forced damped vibrations in Pohl resonator[J]. COLLEGE PHYSICS, 2006,25(11):47-48. (in Chinese)
- [3] 朱华泽. 用波尔共振仪研究受迫振动特性[J]. 大学物理实验,2011,24(3):57-60.
ZHU Hua-ze. Research of force vibration characteristics based on pohl resonator[J]. Physical Experiment of College, 2011, 24 (3): 57-60. (in Chinese)
- [4] 李建设. 波尔共振实验被测量相互验证技术研究[J]. 新乡学院学报: 自然科学版, 2010, 27(1): 28-30.
LI Jian-she. The Research of Mutual Proof Technique for Physical Quantity Survey Used in the Pohl Resonator Experiment[J]. Journal of Xinxiang University: Natural Science Edition, 2010,27(1):28-30. (in Chinese)
- [5] 董霖,王涵,朱洪波. 波尔共振实验“异常现象”的研究[J]. 大学物理,2010,29(2): 57-60.
DONG Lin, WANG Han, ZHU Hong-bo. Studies on two unexpected phenomena from the Pohl resonance experiment [J]. COLLEGE PHYSICS, 2010: 29 (2):57-60. (in Chinese)
- [6] 方恺,陈铭南,李五旗. 波尔共振仪实验的网络化教学[J]. 物理与工程 2006,16(1):32-34.
FANG Kai, CHEN Ming-nan, LI Wu-qi. Internet Based Intelligent Pohl Resonator System[J]. Physics and Engineering,2006, 6(1):32-34. (in Chinese)
- [7] 储琪,田玉龙,蒋达娅. 利用光电鼠标实现波尔共振仪混沌现象的数据采集[J]. 物理实验, 2006, 26 (10):46-48.
CHU Qi, TIAN Yu-long, JIANG Da-ya. Data collection on chaos phenomena in Pohl resonator system by using photoelectric mouse[J]. PHYSICS EXPERIMENTATION, 2006, 26 (10): 46-48. (in Chinese)
- [8] 方恺,陈铭南. 智能型波尔共振仪网络系统的设计[J]. 实验室研究与探索, 2006,25(7):771-772,812.
FANG Kai, CHEN Ming-nan. Design of Intelligence Pohl Resonator Network System[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2006, 25 (7): 771-772, 812. (in Chinese)
- [9] 徐少磊,孙文光,何雨华. 波尔共振仪相位差测量方法的改进[J]. 物理与工程,2004,14(5):36-38.
XU Shao-lei, SUN Wen-guang, HE Yu-hua. Improving the Measuring Method of Phase Difference Using the Pohl Resonator [J]. Physics and Engineering,2004,14(5):35-38. (in Chinese)

Measurement system design of resonance phase difference for resonance spectrometer

LI Duan-yong¹, LIU Jiao-yu², LE Cheng-shuang¹, QIN Ping-li¹

(1. School of Science, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: A synchronous phase follow method was presented, which is different from the stroboscopic method. A rotating disk was used to synchronously track a wobble plate that substituted for the vibration system. A set of controlled dial-disc system with following the swing disk of vibration system was designed, the maximum speed of the wobble plate in vibration system was seen as the rotational speed of dial-disc, the vibration of horizontal direction projection of a point in the dial-disc was also seen as the swing of the wobble plate in the vibration system. The complete synchronization phase measuring system consists of the wobble plate measuring system, the controlled dial-disc system and the driven coaxial disk measurement system. Synchronous tracking dial-disc was coaxial to the driven coaxial disk, and obtained the data from the wobble plate measuring system. When the dial-disc synchronized the wobble plate of the vibration system, the dial-disc synchronized the driven coaxial disk almost at the same time with the occurrence of resonance. Then, the zero pointer of the driving coaxial disk always pointed to a phase value of the synchronous tracking dial-disc, and the resonance phase difference was got from the comparison between the driven coaxial disk and the dial-disc. The method will not be affected by environmental factors, and is very convenient to arrange the multiple test instruments under different lighting conditions.

Key words: resonance; phase difference; measurement; follow

本文编辑: 龚晓宁