

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.03.10

高温环境激光测振实验研究

徐佳, 张炳毅

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 根据激光测振原理, 搭建了一套高温环境下的激光测振试验系统。利用该系统进行实验, 分析了动圈连接杆对振动的传递效果, 在中频下的传递误差较小, 高频下传递误差较大, 并为激光测振实验选取了合适的激励频率。进行了高温环境下的比较法测振和激光测振实验, 通过与参考加速度计的测量结果进行对比, 得到高温下的比较法测振和激光测振相对误差, 并对误差影响因素进行了分析。实验表明, 激光测振能够弥补压电加速度计在高温下测振的不足, 且具有较好的稳定性和较高的精度。

关键词: 高温; 激光; 测振; 比较法

中图分类号: TB936

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2015) 03-0039-04

Research of Vibration Measurement Experiment by Laser in High Temperature

XU Jia, ZHANG Bingyi

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: Based on the principle of vibration measurement by laser, a system of vibration measurement by laser in high temperature is built. Experiments are conducted to analyze the transferring effect of the connecting pole. In medium frequency, the transferring error is small and in high frequency it is large, and an appropriate simulating frequency is determined for vibration measurement experiment by laser. Compared with the referenced accelerometer, relative error of vibration measurement by laser and comparison method in high temperature is obtained, and the error influencing factors are analyzed. Experiments indicate that vibration measurement by laser can make up the shortage of accelerometer in high temperature, vibration measurement by laser in high temperature is stable and the measurement precision is high.

Key words: high temperature; laser; vibration measurement; comparison method

0 引言

目前, 振动测量技术在航空航天、建筑交通、兵器船舶、企业制造等领域得到了广泛应用。振动测量方法分为接触式测量和非接触式测量两类^[1]。接触式测量主要应用压电加速度计对振动进行测量, 其安装方式、安装位置对测量有较大影响。激光测振技术是一种重要的非接触式无损测量技术。该技术测量精度高、动态范围大, 同时不影响被测物体的运动, 有着广阔的应用与发展前景^[2]。

随着现代科学技术的发展, 对高温环境下的振动测量提出了工程需求。压电加速度计在实际应用中存在灵敏度特性随温度变化的问题, 单纯依靠温度响应

曲线进行灵敏度修正难以获得准确的加速度, 且使用压电加速度计进行测量能够达到的温度具有一定局限性^[5]。激光测振技术在高温环境下具有显著的优势。本文对高温环境下的激光测振技术进行了研究。

1 高温激光测振试验系统及工作原理

高温激光测振试验系统结构如图 1 所示。该系统主要由激光干涉仪、高温试验箱和振动台组成, 搭配计算机控制及采集系统, 共同组成功能完整的实验系统。振动台由功率放大器连接至计算机, 为试验提供振动激励信号。振动台台面中心刚性安装参考加速度计, 由该加速度计提供室温下的标准加速度作为参考。高温试验箱提供高温环境, 其顶部和底部中心分别开观察孔。振动台通过安装在动圈上的动圈连接杆经底部观察孔将振动传递至高温试验箱内部。激光干涉仪发出激光, 经高温试验箱顶部的观察孔投射至动圈连接杆上表面并反射回激光干涉仪, 干涉信号经激光干

收稿日期: 2015-03-25; 修回日期: 2015-05-11

基金项目: 航空科学基金资助项目(20122244003)

作者简介: 徐佳(1987-), 女, 河北承德人, 蒙古族, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向为振动和声学计量测试。

涉仪发送至计算机, 计算得出被测加速度。

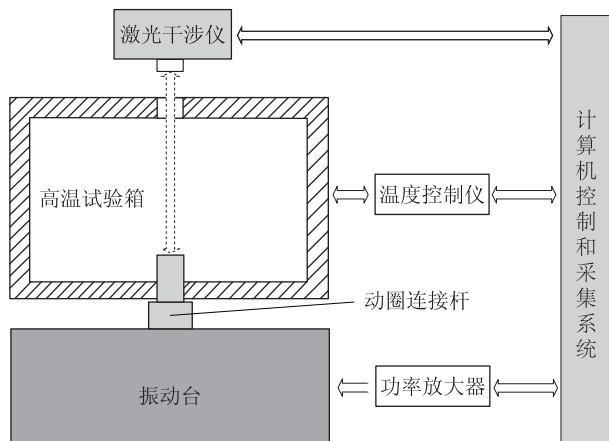


图1 高温激光测振试验系统结构图

为保证高温试验箱气密性及温度均匀性, 顶部观察孔用石英片覆盖, 底部动圈连接杆与温箱壁之间用隔热物质填覆, 以减少高温试验箱工作时热辐射及高温空气逸出对振动台工作的影响。

2 实验及结果分析

本实验中使用的激光干涉仪为 Ometron VH300 + , 灵敏度为 $10 \text{ V}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$; 高温试验箱为中仪国科 DHG-9070B, 温度范围为室温加 10°C 到 300°C , 温度均匀度为 $\pm 2^\circ\text{C}$; 振动台为东菱 ESS-025; 参考用加速度计为 PCB 301A11, 灵敏度为 100.6 mV/g 。

2.1 动圈连接杆传递效果分析

动圈连接杆结构如图 2 所示, 采用分段设计, 顶部和底部采用 45 号钢, 便于安装固定, 中间采用氧化铝陶瓷, 更好地进行隔热。动圈连接杆底部连接件为空心结构, 为参考加速度计的安装预留空间。由于动圈连接杆的材料、结构设计、安装方式的影响, 采用动圈连接杆将振动台的激励信号传递至高温试验箱内部将会引入一定的误差^[4]。为减少误差源, 先就动圈连接杆对振动信号传递效果进行分析。

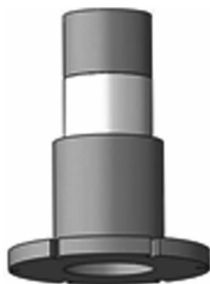


图2 动圈连接杆结构图

在室温下, 先将参考加速度计 301A11 与加速度计 ENDEVCO 2270M8 以“背靠背”方式刚性安装在振动台台面中心, 如图 3(a) 所示。计算机控制振动台给出 $20 \sim 3000 \text{ Hz}$ 标准正弦信号, 采用比较法对 2270M8 在各频率下的灵敏度进行测量^[3], 测量结果见图 4。再将参考加速度计 301A11 刚性安装在振动台台面中心, 动圈连接杆刚性安装在动圈上, 并将加速度计 2270M8 刚性安装在动圈连接杆顶部中心, 使三者同轴, 如图 3(b) 所示。计算机控制振动台给出 $20 \sim 3000 \text{ Hz}$ 标准正弦信号, 采用比较法对 2270M8 在各频率下的灵敏度进行测量, 测量结果见图 4。

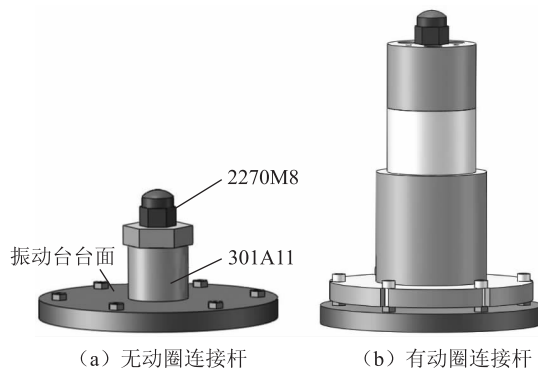


图3 加速度计安装示意图

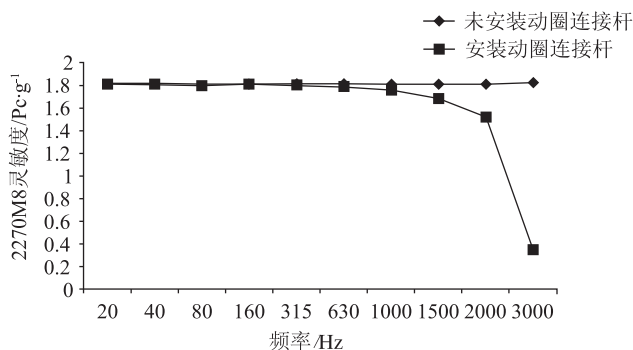


图4 动圈连接杆传递效果

由图 4 可知, 动圈连接杆对振动的传递效果与振动频率有关。当振动频率小于等于 1000 Hz 时, 传递误差绝对值在 2.60% 以内, 且随着振动频率的增加传递误差逐渐增大。当振动频率大于 1000 Hz 时, 随着振动频率的增加传递误差迅速增大, 当振动频率为 3000 Hz 时, 传递误差达到 -81.21% 。可见, 动圈连接杆在中频下传递误差较小, 高频下传递误差迅速增大, 这与动圈连接杆的安装扭矩、横向振动和谐振有关。因此, 本文所设计的动圈连接杆结构仅适用于中频实验。在后续激光测振试验中, 试验频率选定为 160 Hz , 以减小动圈连接杆引入的传递误差。

2.2 高温环境下激光测振实验及结果分析

2.2.1 高温环境下加速度计温度响应

首先对高温环境下加速度计 2270M8 温度响应进行实验。由于 2270M8 温度响应范围为 $-54 \sim 177\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，设定高温试验箱的温度由 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 逐步增加至 $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，温度间隔为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。将参考加速度计 301A11 刚性安装在振动台台面中心，动圈连接杆套在参考加速度计上且与振动台台面刚性连接，两者不接触，2270M8 安装在动圈连接杆顶部中心，三者同轴，如图 3(b) 所示，采用比较法对 2270M8 加速度进行测量。测量结果见表 1。

由表 1 可知，使用比较法测得的 2270M8 加速度均略小于参考加速度，随着温度的升高，加速度计灵敏度逐渐增大，导致比较法测得加速度与参考加速度的相对误差逐渐增大。此外，常用压电加速度计的工作温度范围通常不超过 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，使得高温环境下加速度测量具有一定的温度局限性。

表 1 高温环境下 2270M8 温度响应			
温度/ $^{\circ}\text{C}$	参考加速度/ g	输出加速度/ g	相对误差/ $\%$
50	2.098	2.080	-0.85
70	2.092	2.061	-1.47
90	2.093	2.047	-2.18
110	2.085	2.031	-2.58
130	2.081	2.019	-2.96
150	2.076	2.009	-3.24
170	2.077	2.001	-3.66

2.2.2 高温环境下激光测振与参考加速度对比

计算机控制振动台输出频率为 160 Hz ，设定高温试验箱的温度由 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 逐步增加至 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，温度间隔为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，采用激光测振法对动圈连接杆上表面进行加速度测量。同时，将参考加速度计 301A11 刚性安装在振动台台面中心，对加速度进行测量作为参考。测量结果见表 2。

由表 2 可知，在高温环境下激光测振法测得的加速度均略小于参考加速度。激光测振结果与参考值的相对误差分布在 -0.71% 到 -5.63% 之间，在 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，相对误差最大。为找到影响因素，按照本节方法再进行 3 组实验，所得激光测振法加速度与参考加速度相对误差如图 5 所示。

表 2 不同温度下激光测振结果

温度/ $^{\circ}\text{C}$	参考加速度/ g	激光加速度/ g	相对误差/ $\%$
50	2.136	2.069	-3.14
70	2.131	2.011	-5.63
90	2.128	2.110	-0.85
110	2.124	2.109	-0.71
130	2.118	2.102	-0.76
150	2.119	2.094	-1.18
170	2.119	2.099	-0.94
190	2.122	2.051	-3.35
210	2.120	2.086	-1.60
230	2.117	2.090	-1.28
250	2.115	2.096	-0.90

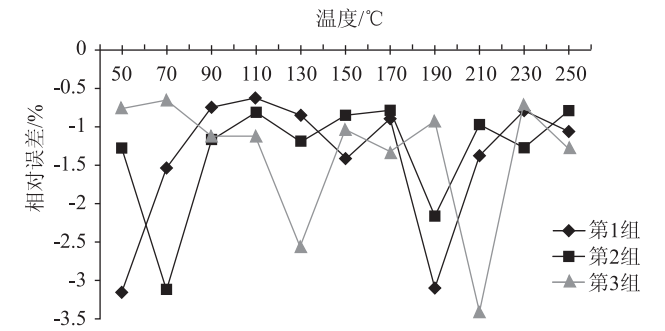


图 5 激光测振加速度与参考加速度相对误差

由图 5 可知，激光测振所得加速度与参考加速度之间的相对误差在 -3.5% 以内，随温度变化随机分布。其影响因素主要包括以下几方面：①高温试验箱控温均匀度为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，内部空气温度不同导致的密度不同，使得激光在传播中发生折射，从而影响测振结果；②每次测量时振动台提供的振动加速度不完全相同，振幅也不完全相同，从而激光在动圈连接杆上表面发生反射的位置也不相同。动圈连接杆上表面未进行抛光处理，不同位置的激光反射角度存在差异，从而影响测振结果。此外，表 2 中 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时相对误差较大，还可能与高温试验箱发生振动等其他干扰有关。

采用该激光测振试验系统，在 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下激光测振依然能正常工作，弥补了压电加速度计在高温条件下测振的不足，且激光测振在高温条件下具有较好的稳定性和较高的精度。

参考文献

- [1] 赵锦春. 激光测振在振动计量中的发展概况及作用[J]. 计量与测试技术, 2011, 38(6): 11-13, 15.
- [2] 郑光亮. 激光非接触测振方法在振动试验中的应用[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [3] 任红磊, 邵新慧. 加速度计高频振动校准中的相关技术问题[J]. 计测技术, 2010, 30(4): 33-35.
- [4] 李军强, 史楠楠. 深井高温对钻柱横向振动固有频率影响研究[J]. 石油机械, 2006, 34(6): 14-16.
- [5] 洪宝林. 力学计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.

参考文献

- [1] 白春礼. 扫描隧道显微术及其应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1991.
- [2] 陆伯印, 朱鸿锡, 曲兴华, 等. 大位移纳米级精度分子测量机的研究[J]. 仪器仪表学报, 1993, 14(1): 107-112.
- [3] SIOS Technology. Nanopositioning and Nanomeasuring Machine User Manual[M/CD]. San Mateo, California: SIOS Technology Corp, 2006/2007.
- [4] THK. 滚珠丝杠综合产品目录[M/CD]. 东京都: Toho Seiko Co. Ltd, 2010.
- [5] 百度文库. 滚珠丝杠设计选型及校核强度计算[EB/OL]. [2012-03-17]. <http://wenku.baidu.com/view/4e383063-48d7c1c708a14564.html>.
- [6] NSK. 滚动轴承技术手册[M/CD]. 东京都: 日本精工株式会社, 2008.
- [7] Nanomotion LTD. HR2 Ultrasonic Motor User Manual [EB/CD]. Yokneem, Israel: Nanomotion LTD, 2002.