

数字式测高仪定位误差的测量及补偿^{*}

陈洪芳, 林 虎, 殷建杰

(北京工业大学 机械工程及应用电子技术学院, 北京 100124)

摘要:定位误差是测高仪的主要误差源之一,为了提高测高仪的测量精度,研究了数字式测高仪定位误差的测量及补偿方法。以某公司生产的数字式测高仪为研究对象,以德国 SIOS 公司微型双平面镜干涉仪 SP-D 为高精度的标准量,实现了数字式测高仪定位误差的测量。采用二次多项式拟合的方法对测量数据进行曲线拟合,拟合前后的测量数据差值作为校正定位误差的偏差值,从而实现定位误差的补偿。实验结果表明,当测高仪滑座向上移动时,定位误差由 0.009 3 mm 减小到补偿后的 0.004 6 mm,测高仪滑座向下移动时,定位误差由 0.010 7 mm 减小到补偿后的 0.004 8 mm。

关键词:测高仪;定位误差;激光干涉仪

中图分类号:TH816;TN711

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)02-0141-03

Measurement and compensation method of positioning error in digital height measuring instrument

CHEN Hong-fang, LIN Hu, YIN Jian-jie

(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology,
Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Positioning error is one of the main error sources in the height measuring instrument. In order to increase measurement accuracy, the measuring method and compensating process of positioning error in the digital height measuring instrument were studied. Based on a digital height measuring instrument, positioning error was measured by miniature double plane mirror interferometer SP-D of German SIOS corporation. The measurement results were fitted by quadratic polynomial fitting method. With the difference between the original data and the fitting data as the deviant of alignment positioning error, positioning error was compensated. The results of the experiment indicate that positioning error is reduced from 0.009 3 mm to 0.004 6 mm when slide of the height measuring instrument moves upward and positioning error is reduced from 0.010 7 mm to 0.004 8 mm when slide of the height measuring instrument moves downward.

Key words: height measuring instrument; positioning error; laser interferometer

0 引 言

数字式测高仪是以光栅作为测量元件的立式单坐标数字化几何计量仪器,可用来测量平行平面之间距离、孔轴直径、中心距及形位公差等^[1]。测高仪的误差来源很多,如仪器的垂直度、重复性、示值误差、测量力的影响、定位误差等^[2-5],其中定位误差^[6-8]是影响

测高仪测量精度的重要因素之一。测高仪为接触式测量仪器,在其进行测量采样之前,测头必须正确定位于测量工件表面,由定位所产生的误差应该在测高仪的最大允许误差范围内,才能保证测高仪的测量精度。因此使用测高仪进行测量之前,仅检定其测量力、重复性、示值误差等是不足够的。

本研究以某公司生产的测量范围为 350 mm 的数

收稿日期:2010-09-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50627501)

作者简介:陈洪芳(1980-),女,黑龙江安达人,工学博士,硕士生导师,主要从事光电检测及信号处理、精密测试等方面的研究. E-mail: hfchen@bjut.edu.cn

字式测高仪为研究对象,以德国 SIOS 公司微型双平面镜干涉仪 SP-D 为高精度的标准量,对测高仪的定位误差测量方法及补偿进行研究。

1 数字式测高仪的定位误差测量方法

笔者研究的数字式测高仪将光栅技术用于直线导轨运动系统中,测头由电机控制在导轨上运动,测头的位置由位移传感器记录,测头自动接触工件表面,自动找拐点,实现了自动测量。由此可见,定位误差是影响测高仪测量精度的重要因素之一。由于测高仪为立式导轨测量,同时考虑到测高仪测杆比较细的特点,本研究选用了德国 SIOS 公司生产的微型双平面镜干涉仪 SP-D 来测量该测高仪的定位误差,该干涉仪的测量反射平面镜的直径仅 5 mm,很容易固定于测高仪的测杆上,且允许有若干分的准直角度误差而不影响激光束的正常工作^[9]。用激光干涉仪测试测高仪定位误差的光路示意图如图 1 所示。

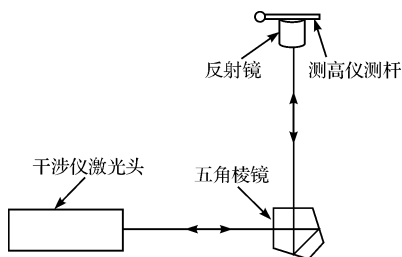


图 1 激光干涉仪测量测高仪定位误差光路示意图

测量光路置于 00 级平台上,五角棱镜用于将光束转向 90°,平面反射镜用橡皮泥固定于测高仪的测杆上。激光干涉仪测头发出的激光束经五角棱镜后入射到反射镜并被反射回激光器测头,当测高仪测头上下移动时,平面反射镜的运动将转换为光学干涉信号,经光电信号处理后输出为长度测量值。

用激光干涉仪测试测高仪的定位误差时,需在无气浮的情况下使测高仪回原点,此时测高仪的坐标值作为相对零点,同时使激光干涉仪的测量数据清零,然后使测高仪测头以一定速度移动一段距离,按停止键采集测高仪数据 l_i ,同时读取激光干涉仪数据 L_i ,在测高仪量程范围内测量 n 组数据($i=1,2,\dots,n$),测高仪测量数据与干涉仪测量数据差值 $\Delta l_i = l_i - L_i$ 的最大值与最小值之差即为测高仪滑座向上移动时的定位误差:

$$\Delta l = \{ \Delta l_i \}_{\max} - \{ \Delta l_i \}_{\min} \quad (1)$$

当测高仪滑座从顶端向下移动测量时,按上述方法测试,可以得到测高仪滑座向下移动时的定位误差。

2 测高仪的定位误差测量及补偿实验

2.1 定位误差测量实验

激光干涉仪测试测高仪定位误差的实验装置如图 2 所示。本研究使用的 SP2000-D 型微型双平面镜干涉仪长度测量范围为 2 000 mm,长度测量分辨率为 1.24 nm,激光频率稳定性可以达到 2×10^{-8} ,移动镜最大速率可以达到 600 mm/s^[10]。



图 2 激光干涉仪测试测高仪定位误差的实验装置

参照数字式测高仪检定规程 JJG929—1998 及数字式测高仪的使用手册,实验室满足室内温度 (20 ± 1 °C),温度变化每小时不超过 0.5 °C,激光干涉仪及测高仪在室内平衡温度的时间超过 12 h,室内无影响工作的振动等各种干扰。

在无气浮的情况下先使测高仪回原点,激光干涉仪的测量数据清零,设定测高仪移动速度为 3 档,在测高仪全量程范围内使测高仪测头每移动一小段距离即采集一点数据,同时记录测高仪位移和激光干涉仪测量位移。实验结果如图 3 和图 4 所示,图 3 为测高仪滑座向上移动时得到的测量数据,图 4 为测高仪滑座向下移动时得到的测量数据。根据式(1)定位误差测量方法,得到测高仪滑座向上移动时的定位误差为 0.009 3 mm,测高仪滑座向下移动时的定位误差为 0.010 7 mm。从测量结果可以看出,定位误差是综合误差,由导轨运动误差、阿贝误差、测长系统误差等引起,测量力和采样误差对定位误差的大小没有影响,在提高导轨精度的前提下,可以考虑对定位误差进行修正。

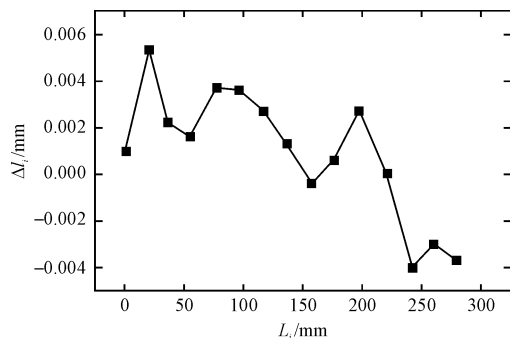


图 3 测高仪滑座向上移动时的测量数据

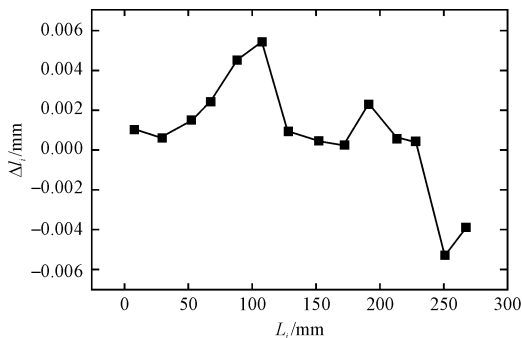


图4 测高仪滑座向下移动时的测量数据

2.2 定位误差的补偿实验

数据拟合是一种重要的数据处理方法^[11],多项式曲线拟合又是一种较常用的数据拟合方法,即用连续曲线近似地比拟平面上离散点组函数关系。本研究采用二次多项式拟合的方法,来获得最接近的拟合曲线。

根据图3和图4所测量的定位误差数据,经计算得到测高仪滑座向上移动和向下移动时二次多项式模型分别为:

$$y_1 = 0.00238 + 1.80035 \times 10^{-5}x_1 - 1.48921 \times 10^{-7}x_1^2 \quad (2)$$

$$y_2 = -1.46146 \times 10^{-7} + 5.69044 \times 10^{-5}x_2 - 2.7486 \times 10^{-7}x_2^2 \quad (3)$$

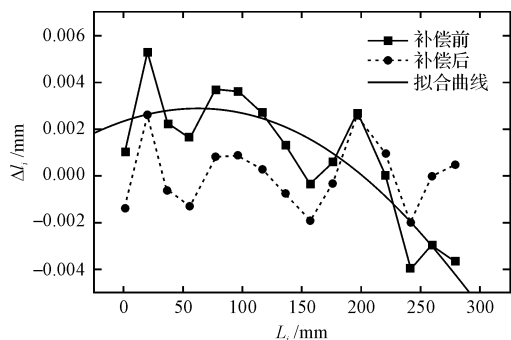


图5 测高仪滑座向上移动时的测量误差拟合曲线

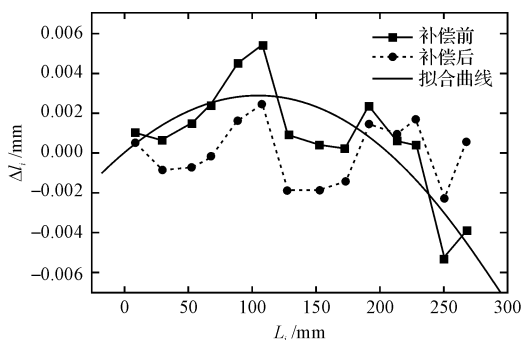


图6 测高仪滑座向下移动时的测量误差拟合曲线

拟合前后的数据差值作为校正定位误差的偏差值,可以对测量数据进行补偿。根据式(2)和式(3)的拟合公式得到的拟合曲线如图5和图6所示。根据式

(1)计算,补偿后测高仪滑座向上移动和向下移动时的定位误差分别为0.0046 mm和0.0048 mm。从图5和图6所示的实验结果可以看出,本研究提出的测高仪定位误差测量和补偿方法具有正确性和可行性。

3 结束语

本研究以某公司生产的数字式测高仪为研究对象,以德国SIOS公司微型双平面镜干涉仪SP-D为高精度的标准量,研究了数字式测高仪定位误差的测量及补偿方法。定位误差是综合误差,测量力和采样误差对定位误差的大小没有影响,定位误差的结果主要反映测高仪的导轨制造误差,可采用多项式拟合的方法补偿定位误差。实验结果表明,当测高仪滑座向上移动时,定位误差由0.0093 mm减小到补偿后的0.0046 mm,测高仪滑座向下移动时,定位误差由0.0107 mm减小到补偿后的0.0048 mm。因此,在提高导轨精度的前提下,通过对测高仪的定位误差进行测量并补偿,可以提高仪器的测量精度。

参考文献(References):

- [1] 中国科学院光电技术研究所. JJG929-1998 数显测高仪检定规程[S]. 国家技术监督局,1998.
- [2] 叶震宇. 利用固有导轨进行垂直度测量[J]. 中国测试技术,2006,32(5):59-60.
- [3] 曹利波. 数显测高仪示值误差的测量不确定度分析[J]. 计量技术,2001(8):51-52.
- [4] 何英. 数显测高仪示值误差的测量不确定度评定[J]. 计测技术,2008,28(1):40-41.
- [5] CASTRO H F F, BURDEKIN M. Dynamic calibration of the positioning accuracy of machine tools and coordinate measuring machines using a laser interferometer[J]. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 2003, 43(9):947-954.
- [6] 程维明,孙麟治,章海涛. 利用补偿提高精密定位平台的定位精度[J]. 光学精密工程,2008,16(5):884-888.
- [7] 孙麟治,李鸣鸣,程维明. 精密定位技术研究[J]. 光学精密工程,2005,13(S):69-75.
- [8] 胡自强,凌宁,潘君骅,等. 基于PZT的非球面能动抛光盘定位误差分析[J]. 光学精密工程,2008,16(9):1577-1581.
- [9] [作者不详]. Miniature Plane-Mirror Interferometer, SP-Series[EB/OL]. [2010-03-02]. http://www.sios.de/english/produkte/spd1_e.htm.
- [10] [作者不详]. Laser Interferometric Vibrometer[EB/OL]. [2010-03-02]. http://www.sios.de/english/produkte/sp_d_e.pdf.
- [11] 石照耀,谢华钨,费业泰. 累积法的基本原理及其在测量数据处理中的应用[J]. 光学精密工程,2000,8(1):87-90.