

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.06.06

激光对中仪校准装置及校准方法的研究

龙宽¹, 陈峰¹, 乔磊², 孙安斌², 瞿剑苏^{2*}

(1. 中国航发南方工业有限公司, 湖南 株洲 412000; 2. 航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 目前激光对中仪校准主要采用的方法为垫量块法, 但是该方法存在操作复杂、工作效率低、可靠性低等缺点。本文提出了一种集光束对准与二维定位误差校准于一体的激光对中仪快速校准方法, 并研制了相应的校准装置。该装置采用激光头固定器安装对中仪的被测单元, 利用光栅式二维移动平台改变被测单元位置, 通过三维回零偏置转台安装和调整对中仪的基准单元, 利用自研的光栅数显表实时观测和显示 X , Y 轴位置及状态信息。该装置测量范围为 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$, 测量扩展不确定度为 $3.2\text{ }\mu\text{m}$, 具有准确性高、操作方便快捷、可靠性好等优点, 具有实际应用价值和技术借鉴意义。

关键词: 激光对中仪; 快速校准; 二维定位; 光束对准

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)06-0031-05

Research on Calibration Device and Method of Laser Alignment Instrument

LONG Kuan¹, CHEN Feng¹, QIAO Lei², SUN Anbin², QU Jiansu^{2*}

(1. Aecc South Industry Company Limited Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412000;

2. Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095)

Abstract: At present, the calibration method of laser centering instrument is mainly based on the cushion gauge block method, but this method has the disadvantages of complex operation, low efficiency and low reliability. In this paper, a fast calibration method of laser centering instrument is proposed, which integrates beam alignment and two-dimensional positioning error calibration, and develops the corresponding calibration device. The device uses the laser head holder to install the measured unit of the centering instrument, uses the grating type two-dimensional mobile platform to change the position of the measured unit, installs and adjusts the reference unit of the centering instrument through the three-dimensional zero return offset turntable, and uses the self-developed grating digital display meter to observe and display the X -axis and Y -axis position and status information in real-time. The measurement range of the device is $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$, and the expanded uncertainty of measurement is $3.2\text{ }\mu\text{m}$. It has the advantages of high accuracy, convenient operation and good reliability. It has practical application value and technical reference significance.

Key words: laser alignment instrument, rapid calibration method, two-dimensional positioning method, beam alignment

0 引言

激光对中仪是利用激光感应技术实现两个旋转设备转轴中心相对位置测量的仪器, 广泛应用于装配过程中转动轴体的对准^[1]。它通过两个激光信号发射单元和对应的接收单元对两个相连设备的相对位置进行检测和调整, 以保证两个转轴位于同一条直线上^[2-3], 在快速轴对中测量中, 具有精度高、重复性好、稳定性好等特点。

目前, 激光对中仪校准^[4-6]普遍采用传统的“垫量块法”, 即将激光对中仪相对固定在某一物体上, 以一个测量单元(激光头)作为基准, 上、下移动另一测量单元(激光头), 同时加垫标准量块, 将

标准量块固有尺寸差与激光对中仪相对移动时产生的位移示值进行比较, 从而实现激光对中仪的校准工作^[7]。但是“垫量块法”存在人工操作复杂、效率低、校准位置不连续、重复性差等缺点。针对此问题, 本文提出了一种集光束对准与二维定位误差校准于一体的激光对中仪快速校准方法, 该方法无需重复装卡, 操作简捷高效, 校准可靠性高, 在 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 范围对中校准不确定度达到 $3.2\text{ }\mu\text{m}$ 。

1 设计方案

本文研制的激光对中仪校准装置主要包括激光头固定装置、光栅式二维移动平台装置、三维回零偏置转台、基座、读数显示装置等^[8-11], 如图 1 所示。激

光头固定装置用于安装对中仪的被测单元,光栅式二维移动平台装置用于改变被测单元的位置,三维回零偏置转台用于安装和调整对中仪的基准单元。整套系统集成在一个基座上,可实现对中仪的快速安装、调整和校准测量。

激光对中仪校准装置技术指标为:测量范围 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$; X , Y 向轨道移动直线度 0.003 mm ; X , Y 向移动的相互垂直度 $0.002\text{ mm}/50\text{ mm}$; 光栅系统全程范围测量误差 $\pm 0.003\text{ mm}$; 回零偏置转台调节角度 $\pm 12^\circ$ 。

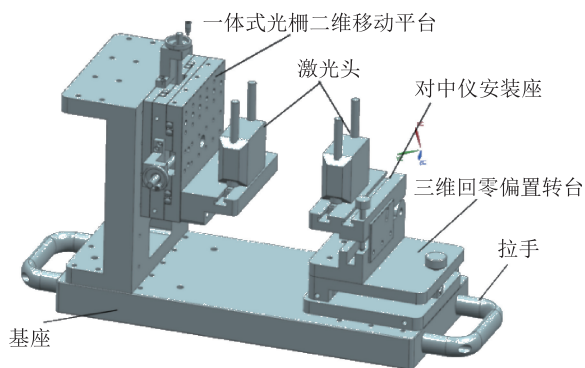
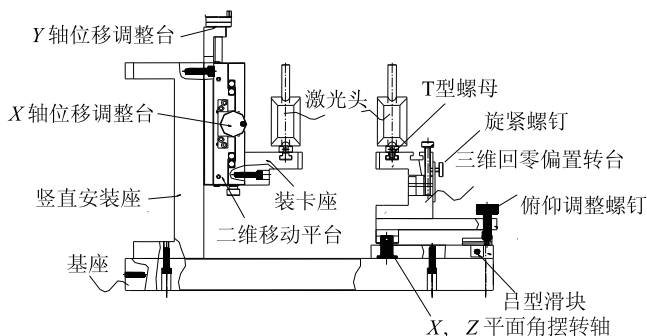


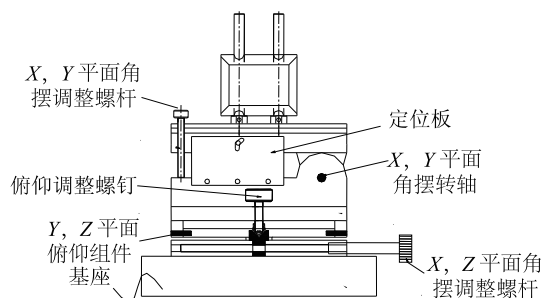
图1 激光对中仪校准装置效果图

1.1 激光头固定装置

如图2所示,激光头固定装置安装在基座的一端,



(a) 正面结构示意图



(b) 右侧部分结构示意图

图2 三维回零偏置转台详细结构示意图

1.3 三维回零偏置转台

三维回零偏置转台安装在基座的另一侧,用于调整对中仪基准单元的俯仰角(YZ 面)、偏摆角(XZ 面)和滚转角(XY 面),使基准单元与被测单元对准。

三维回零偏置转台包括偏摆调整台、俯仰调整台、滚转调整台和激光头安装卡座。偏摆调整台与基座相连,俯仰调整台位于偏摆调整台上,滚转调整台位于俯仰调整台上,激光头安装卡座与滚转调整台上的连接板固连在一起。详细结构如图2所示。

它包括一个竖直的安装座、一个二维移动平台和一个激光头装卡座。竖直安装座与基座通过螺钉固连,二维移动平台与竖直安装座固连,激光头装卡座安装在二维移动平台上,二维移动平台移动时带动激光头装卡座移动。

激光头装卡座上开有T型槽,T型槽上有2个T型螺母,用于锁紧对中仪被测单元上的2个安装柱。使用时只需将安装柱调整至合适位置,就能够很方便地将对中仪被测单元固定。

1.2 光栅式二维移动平台装置

光栅式二维移动平台由 X 轴位移调整台、 Y 轴位移调整台组成,用于调整安装在移动平台上的激光对中仪装卡座位置。 X , Y 轴均配有光栅尺,可用于测量对中仪被测单元沿两个方向的位移值。该平台可实现 X , Y 两轴 $\pm 40\text{ mm}$ 直线移动。

光栅数显表集成有在线测量软件,通过采集光栅尺的数据实时观测和显示激光发射单元 X , Y 轴位置及状态信息,数字分辨力达到 0.0002 mm ,同时可设置修正参数对数据进行线性修正。此外光栅数显表可在任意位置进行清零设置。校准过程中避免了因人工操作手法、装夹定位、紧固手感等因素引入误差。

三维回零偏置机构包括:用于安装激光接收单元的第一安装座部件,布设在第一安装座部件上的激光接收单元,在 X , Y 平面调整偏摆角度的第一偏摆部件,用于支撑第一安装座部件并带动第一安装座部件在 Y , Z 平面俯仰和 X , Z 平面偏摆的旋转台,用于调节激光接收单元在 Y , Z 平面俯仰角度的俯仰部件,用于调节激光接收单元在 X , Z 平面偏摆角度的第二偏摆部件,布设在旋转台与基座之间用于支撑旋转台和装配第二偏摆部件的底板。底板与旋转台之间具有一定

的空隙以便于旋转台相对于底板转动,第一安装座部件安装在旋转台上并通过螺钉固定,第二偏摆部件调节旋转台转动,以带动第一安装座部件上的激光接收单元在 X, Z 平面偏摆,俯仰部件调节旋转台转动以带动第一安装座部件上的激光接收单元在 Y, Z 平面俯仰,第一偏摆部件调节第一安装座部件转动以带动激光接收单元在 X, Y 平面偏摆。

从图2中可以看出,俯仰调整台通过俯仰转轴与转轴组件相连,需要调整俯仰角时,旋转安装在角度调整块上的俯仰调整螺钉,三维回零偏置,转台围绕转轴做动作,通过螺钉的顺时针及逆时针旋转,三维回零偏置转台与下端底座距离发生高低变化,即可实现调整激光头B对定位激光头A的 Y, Z 面俯仰的调整。

X, Z 平面角摆调整螺杆安装在基板上的连接板上,通过吕型滑块及V型偏摆调整槽与角摆调整螺杆

连接,调整偏摆时,旋转偏摆调整螺杆,使得三维回零偏置转台以转轴为中心旋转,运动过程中吕型滑块与V型偏摆调整槽相互牵制,保持位置不变。螺纹旋进、旋出带动三维回零偏置转台位置发生改变,从而实现调整激光头B对定位激光头A的 X, Z 平面偏摆的调整。

X, Y 平面角摆调整螺杆安装在安装座上,安装座由上、下两个交叉咬合结构板构成,结构板通过转轴相连接。需要调整 X, Y 平面角摆时,旋转偏摆调整螺杆,即可带动安装台以转轴为中心上、下移动,从而实现调整激光头B对定位激光头A的 X, Y 平面偏摆的调整。第一安装板和第二安装板之间还设有定位板,可通过定位板上的旋紧螺钉实现稳固定位。

调整激光头B相对于定位激光头A的三维动作模拟如图3所示。

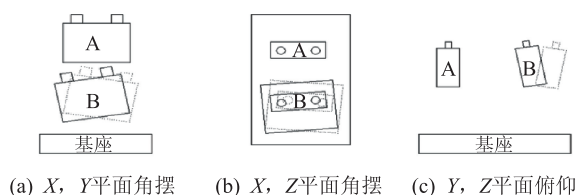


图3 三维回零偏置转台动作模拟

1.4 读数显示装置

为实现校准装置的高度可视化及操作独立化,读数显示装置采用自研的光栅数显表。在线测量软件集成在光栅数显表内,通过采集光栅尺的数据,实时观测和显示 X, Y 轴位置及状态信息。读数显示装置数字分辨率达到 0.0002 mm ,同时可设置修正参数对数据进行线性修正。此外数显表可在任意位置进行清零设置,操作方便。

2 激光对中仪校准项目、方法及不确定度评定

2.1 确定校准项目及要求

根据激光对中仪的技术指标,需要校准的项目有示值误差和重复性,校准要求分别是示值误差为 $\pm(0.01\text{ mm} + 1\% \text{ 显示值})$;重复性为 0.005 mm 。

2.2 校准方法

2.2.1 外观检查

用目测方法进行外观检查,判断激光发射窗口是否完好,确认无明显裂痕,无污物附着。

2.2.2 示值误差

激光对中仪包含S单元(固定不予调整的测量单元)和M单元(可移动调整的测量单元),将激光对中

仪标准装置各个附件组装好后,将S测量单元架设在校准装置的固定端,M测量单元架设在调整端,之后将S测量单元与M测量单元面对面架设,并确认两测量单元架设高度、角度基本一致。先通过移动校准装置的二维移动平台进行粗对中,再通过调整标准装置的底座角度以及S、M测量单元上的旋钮,将激光束调整至接收靶的中心处。

调整三维回零偏置转台使S、M单元产生的两激光束保持在同平面内且相互平行,此时对中仪S和M两显示单元角度值相互趋近于 0.0° ,再通过调节S、M测量单元上的垂直微调旋钮和水平微调旋钮,使对中仪显示界面中S和M示值分别趋近于“ 0.00 mm ”,此时表示激光对中仪两测量单元已完成校准前的对中。激光对中仪示值误差校准前的操作步骤为:①架设测量单元;②在测量软件中输入测量距离;③测量单元粗调整;④调整各部分使激光束至靶心处,测量软件及校准装置同时清零;⑤精度校准。

校准方法:激光对中仪水平方向(X 向)与垂直方向(Y 向)的示值误差校准,应根据激光对中仪的测量范围进行,以测量范围为 $\pm 4\text{ mm}$ 的激光对中仪为例,在 X 方向上、 Y 方向上正反行程分别选择 $-4, -3,$

-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4 mm 共 9 个位置进行测量, 从 0 mm 位置开始向正方向受检点方向进行测量, 测量完毕后返回 0 mm 位置, 清零后再进行负方向受检点测量, 分别记录出 S, M 测量单元的 X, Y 向各点的实测值, 与标准装置上的读数值进行比较。

受检点应根据激光对中仪测量范围增加或减少, 每间隔 1 mm 设置一个校准点为最优。激光对中仪示值误差应满足 2.1 中的要求。

2.2.3 重复性与示值误差

将激光对中仪标准装置各附件组装好后, 通过调整标准装置的底座角度以及 S, M 测量单元上的旋钮, 将激光束调整至接收靶的中心处。然后选取水平 (X) 方向或垂直 (Y) 方向的任一检测点重复测量 4 次, 取示值最大值与最小值之差的二分之一作为重复性校准值。

测量结果的处理:

对水平 (X)、垂直 (Y) 方向不同位置进行测量, 取校准装置实际测量值 V_0 与激光对中仪测量单元移动距离值 V_s 差值, 作为激光对中仪的示值误差 E 。即

$$E = V_s - V_0 \quad (1)$$

2.3 激光对中仪的校准测试

使用激光对中仪校准装置, 对激光对中仪进行校准试验, 现场校准情况如图 4 所示, 校准结果如表 1 所示。

表 1 激光对中仪示值误差校准数据

方向	受检点/mm	示值误差/ μm	
		S 测量单元	M 测量单元
X 向	-4	+12	-48
	-3	+15	-29
	-2	+14	-16
	-1	+10	+4
	+1	-5	-7
	+2	-10	-4
	+3	-10	-22
	+4	-25	-32
Y 向	-4	+42	+32
	-3	+30	+22
	-2	+22	+15
	-1	+15	+10
	+1	-16	-7
	+2	-25	-13
	+3	-34	-13
	+4	-45	-29

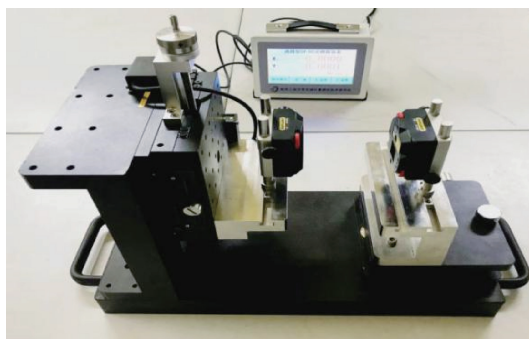


图 4 现场校准图

2.4 激光对中仪示值误差的测量结果不确定度评定

2.4.1 校准装置引入的不确定度分量

激光对中仪校准装置引入的不确定度为 $1 \mu\text{m}$, 服从正态分布, 取 $k=2$, 则

$$u_1 = \frac{1 \mu\text{m}}{2} \approx 0.5 \mu\text{m} \quad (2)$$

2.4.2 测量重复性引入的不确定度

在同一条件下, 选择 X 向的同一尺寸进行 6 次为一组的连续测量, 得到一个测量列 (3.954, 3.954, 3.952, 3.953, 3.955, 3.953 mm), 则重复测量引入的标准偏差为

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 1.1 \mu\text{m} \quad (3)$$

校准过程中进行 1 次读数, 取其值作为最终实测值, 则

$$u_2 = \frac{S(x)}{\sqrt{1}} \approx 1.1 \mu\text{m} \quad (4)$$

2.4.3 激光对中仪分辨力引入的不确定度分量

激光对中仪的分辨力为 $1 \mu\text{m}$, 服从均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_3 = \frac{1 \mu\text{m}}{2\sqrt{3}} \approx 0.3 \mu\text{m} \quad (5)$$

2.4.4 激光对中仪示值不稳定性引入的不确定度分量

激光对中仪示值的不稳定性为 $1 \mu\text{m}$, 服从均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_4 = \frac{1 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} \approx 0.6 \mu\text{m} \quad (6)$$

2.4.5 激光对中仪两测量单元校准过程中出现的对中偏差引入的不确定度分量

激光对中仪两测量单元校准过程中出现的对中偏差为 1 个分辨力 (分辨力最小档位), 即 $2 \mu\text{m}$, 服从均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_5 = \frac{1 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} \approx 0.6 \mu\text{m} \quad (7)$$

2.4.6 合成标准不确定度评估

由于各标准不确定度分量互不相关, 合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \approx 1.6 \mu\text{m} \quad (8)$$

2.4.7 扩展不确定度评估

取包含概率 $p = 95\%$, $k = 2$, 则

$$u = 2 \times u_c \approx 3.2 \mu\text{m} \quad (9)$$

5 结 论

为规避激光对中仪常规校准中垫量块法的缺点, 提出了一种集光束对准与二维定位误差校准于一体的激光对中仪快速校准方法, 并研制了相应的校准装置。该校准装置利用激光头固定器安装激光对中仪的被测单元, 采用光栅式二维移动平台改变被测单元位置, 利用三维回零偏置转台安装和调整对中仪的基准单元, 通过自研的光栅数显表实时观测和显示 X 、 Y 轴位置及状态信息。该校准装置测量范围为 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$, 测量扩展不确定度为 $3.2 \mu\text{m}$, 具有结构紧凑、操作简单、安装方便、准确性高等优点, 可对多种型号的激光对中仪进行校准, 促进了激光对中仪校准技术的发展。

参 考 文 献

- [1] 帕哈提·赛买提, 希林古丽·阿尔肯, 肉鲜古丽·阿不都吉力. 激光对中技术在设备轴对中的应用[J]. 设备管理与维修, 2019(19): 116-117.
- [2] 李俊峰, 王越, 杨忠杰, 等. 激光对中找正的原理及应用[C]//第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会论文集, 2015.

- [3] 邓华. 激光对中仪在使用过程中的问题分析[J]. 石化技术, 2019, 26(7): 191, 206.
- [4] 梁平, 张勇, 黄耀坤. 激光对中仪测量算法和校准[J]. 工具技术, 2020, 54(10): 99-103.
- [5] 刘志全. 激光对中仪的实用型校准技术方法研究[J]. 工业计量, 2018, 28(4): 24-26.
- [6] 杨思凡, 李玮, 薛树旗. 激光对中仪校准方法的研究[J]. 计量与测试技术, 2017, 44(11): 69-70, 73.
- [7] 陈俊百. 基于光栅式指示表检定仪的线位移传感器校准方法[J]. 中国计量, 2018(1): 107-109.
- [8] 李石. 机械结构设计中的创新设计[J]. 科学技术创新, 2020(11): 189-190.
- [9] 曹劲草. 数控机床机械结构设计和制造技术优化[J]. 内燃机与配件, 2020(19): 70-71.
- [10] 苏进. 精密二维运动平台的设计与系统开发[D]. 广州: 广东工业大学, 2019.
- [11] 张英, 吕佳, 李军. 位移传感器校验装置的研制[J]. 计测技术, 2019, 39(5): 44-50.

收稿日期: 2020-11-21; 修回日期: 2020-12-01

基金项目: 国家“十三五”技术基础科研项目 (JSJL2019205A001)

作者简介

龙宽(1985-), 男, 工程师, 主要从事长度计量技术相关研究。

