

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.02.011

轴承径向游隙自动测量装置的设计与精度分析*

薛玮珠

(浙江机电职业技术学院 机械技术系, 浙江 杭州 310053)

摘要:针对目前轴承径向游隙检测过程中,人工手动检测效率低、精度差等问题,采用超高精度的激光传感器,研制了一种新的轴承径向游隙自动测量装置。通过测试条件的设计、数据的采集与处理,对装置的测量不确定度进行了分析,并与超高精度 Mahr 测长仪进行了比对测量。研究结果表明:该装置实现了对轴承径向游隙的自动检测,满足测量的精度要求。

关键词:轴承径向游隙;自动测量;测量不确定度;比对测量

中图分类号:TH133.3025;TP23

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)02-0168-04

Accuracy analysis and design of the automatic measuring device for bearing radial clearance

XUE Wei-zhu

(School of Mechanical Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract: Aiming at the current status of bearing radial clearance detection, manual measuring methods have low detection efficiency and poor precision, using ultra-high precision laser sensor, a new type of bearing radial clearance automatic measuring device was developed. Through the design of the test conditions, data acquisition and processing, the measurement uncertainty of the device was analyzed and compared with the ultra-high precision Mahr length measuring instrument. The results show that the automatic detection of the radial clearance of the bearing can be realized by the device, and satisfy the accuracy requirement of measurement.

Key words: bearing radial clearance; automatic measurement; testing uncertainty; comparative measurement

0 引言

轴承常用于支撑机械旋转体,减少运动摩擦系数,保证机械设备的回转精度和使用寿命^[1-2]。影响轴承精度的主要参数有:旋转精度、轴向游隙、径向游隙等。其中,径向游隙对轴承疲劳寿命、旋转精度、温升、噪声以及振动的影响比较显著,是轴承重要检测项目之一^[3-4]。

目前,轴承径向游隙的检测方法有:人工手动检测法和在线自动测量法。人工手动检测法有:塞尺法、打表法、轴承径向游隙检测专用仪法等,这些方法测量效

率低、精度低^[5-6]。在线自动测量法能实现线上实时检测,但其成本高,且抽样检测部分仍以人工检测为主^[7-8]。

为了解决上述问题,本研究将研制一种径向游隙自动测量装置。

1 装置设计介绍

轴承径向游隙自动测量装置包括:送料机构、夹紧机构、施力机构、分选机构及检测系统,可实现轴承的自动送料、自动定位、自动夹紧、自动检测与自动分选。该装置的模型如图 1 所示。

收稿日期:2019-07-01

基金项目:浙江省教育厅科研项目(Y201534342)

作者简介:薛玮珠(1972-),女,江苏常州人,讲师,主要从事机械工程设计方面的研究。E-mail:xwz720118@163.com

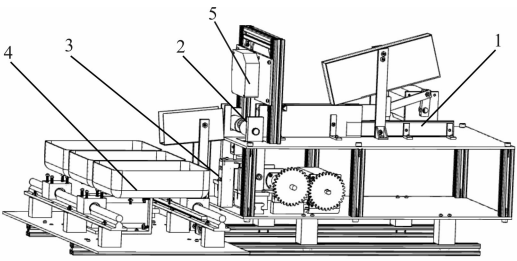


图1 装置模型

1 - 送料机构;2 - 夹紧机构;3 - 施力机构;4 - 分选机构;5 - 检测系统

1.1 送料机构

送料机构由步进电机、轴承存储盒、弹性挡片、曲柄滑块机构和定位槽组成,其执行过程为:
步进电机正转,曲柄推动滑块前行,待检轴承被推入定位槽中,实现自动定位,此时,弹性挡片将定位槽中的待检轴承与后面的轴承隔离;步进电机反转,曲柄控制滑块后行,当滑块离开轴承储存盒下端的口子时,轴承存储盒中的轴承借助重力作用顺势掉下,开始下一轮的送料过程。

整个送料机构如图2所示。

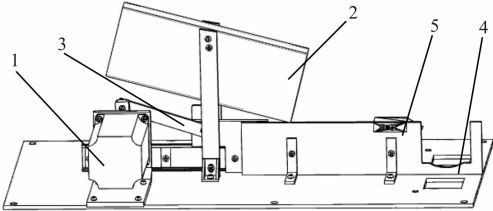


图2 送料机构

1 - 步进电机;2 - 轴承存储盒;3 - 曲柄滑块机构;4 - 定位槽;5 - 弹性挡片

1.2 夹紧机构

夹紧机构主要由正反牙丝杆、传动齿轮、电机、导轨滑块等组成,其执行过程为:
电机驱动齿轮,齿轮带动正反牙丝杆旋转,使得导轨滑块相向而行,带动两夹头迅速靠近,将轴承内圈夹紧;由于夹头轴线位置较待检测轴承中心线偏高,在夹紧内圈的同时,抬升了轴承,使其离开定位槽而悬空;待测量完成后,齿轮反向旋转,带动正、反牙丝杆旋转使得导轨滑块相背向而行,使两夹头迅速分离归位。

夹紧机构如图3所示。

1.3 施力机构

施力机构主要由硅胶轮、推杆、步进电机、电磁铁组成,其执行过程为:
夹紧机构固定内圈后,步进电机控制电磁铁驱动推杆向上运动,产生一个向上的径向力,使轴承外圈上

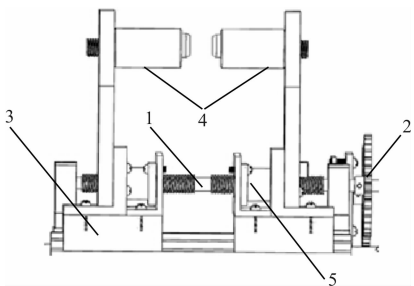


图3 夹紧机构

1 - 正反牙丝杆;2 - 传动齿轮;3 - 导轨滑块;4 - 夹头
5 - 电机

移至极限位置;当电磁铁推杆向下运动时,在轴承重力的作用下,外圈即可产生向下的极限位移;施力机构同时设置有硅胶转轮,当一个径向位置测量完成时,转动硅胶转轮,使轴承外圈转过一个角度,以便进行下一个径向位置的测量。

施力机构如图4所示。

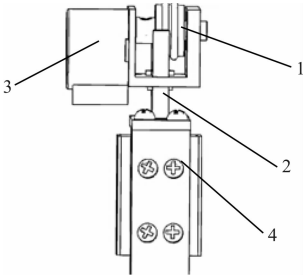


图4 施力机构

1 - 硅胶轮;2 - 推杆;3 - 步进电机;4 - 电磁铁

1.4 分选机构

分选机构的功能是根据测量数据,按轴承径向游隙的大小进行分组,并将轴承运送至相应的游隙区存储。

分选机构如图5所示。

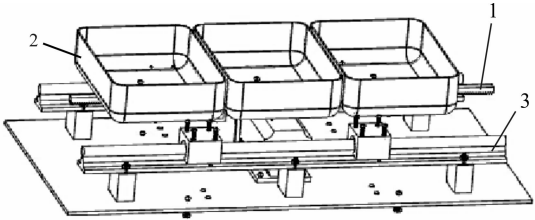


图5 分选机构

1 - 齿轮齿条机构;2 - 存储区;3 - 直线导轨

1.5 检测系统

该装置选用德国米纳型号为 optoNCDT1401 的超高精度激光传感器(其重复精度为 $\pm 0.3\text{ }\mu\text{m}$,分辨率为 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$),其径向游隙测量原理,如图6所示。

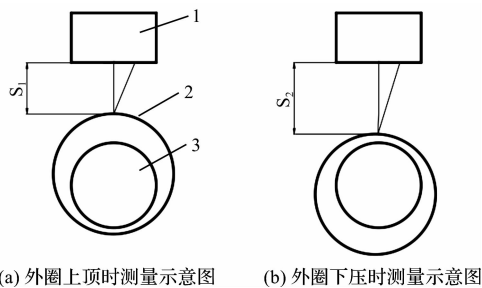


图 6 激光位移传感器游隙测量原理

1—激光位移传感器;2—轴承外圈;3—轴承内圈

图 6 中,进行游隙测量时,轴承内圈已被夹紧机构夹头夹紧而位置固定;当施力机构上顶时,记录下轴承外圈顶点至激光传感器的位置 S_1 ;当施力机构收回时,记录下轴承外圈顶点至激光传感器的位置 S_2 ;该径向轴承游隙 S 为 $S = S_2 - S_1$;然后转动硅胶转轮,使轴承旋转大约 120° 。

重复以上步骤,总共测量 3 次,最后以平均值作为该轴承的径向游隙值。

2 测量不确定度测试与分析

2.1 测试条件

装置的测量不确定度测试条件设定为:

- (1)测试环境:温度 $20.0\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度 $52.2\%\text{ RH}$;
- (2)测试载体:6208 标准轴承。

2.2 数据采集

在测试环境基本相同,且测试人员不变的情况下,笔者对同一径向的 6208 型标准轴承径向游隙进行 36 次测量,所得测量数据如表 1 所示。

表 1 测量数据					
序号	测试值/ μm	序号	测试值/ μm	序号	测试值/ μm
1	16.7	13	18.2	25	15.4
2	15.4	14	13.8	26	14.5
3	13.5	15	18.3	27	17.2
4	14.8	16	13.7	28	17.3
5	17.4	17	15.8	29	15.2
6	18.5	18	15.9	30	14.3
7	14.8	19	14.6	31	13.9
8	15.8	20	15.6	32	14.8
9	14.1	21	14.3	33	15.3
10	15.9	22	14.3	34	15.7
11	14.5	23	15.8	35	14.5
12	15.2	24	14.7	36	16.7

2.3 数据处理

该径向游隙自动测量装置的扩展不确定度 u 主要受到几个因素的影响,现分述如下。

2.3.1 由示值变动性引起的不确定度分量 u_1

u_1 主要包括仪器示值变动性不确定度 u_{L1} 和测量重复性引起的标准不确定度 u_{L2} 。

(1) u_{L1} 值计算

如表 1 所示,仪器示值变动量 $R = \text{Max} - \text{Min} = 18.5 - 13.5 = 5\text{ }\mu\text{m}$,参照测厚表校准规范 JJF1255 - 2010,则 u_{L1} 为:

$$u_{L1} = \frac{R}{C} = \frac{5}{2.33} = 2.15\text{ }\mu\text{m} \quad (1)$$

式中: u_{L1} —仪器示值变动性; R —仪器示值变动量; C —扩展系数。

(2) u_{L2} 值计算

根据表 1 数据,先计算测量列平均值:

$$\bar{L} = \frac{L_1 + L_2 + \cdots + L_{36}}{36} = 15.46\text{ }\mu\text{m} \quad (2)$$

式中: $\bar{L}$ —测量列平均值; $L_1, L_2, \cdots, L_{36}$ —单次测量值。

再计算单次测量标准差:

$$s(L_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n - 1}} = 1.34\text{ }\mu\text{m} \quad (3)$$

式中: $s(L_i)$ —单次测量标准差; L_i —单次测量值; $\bar{L}$ —测量列平均值; n —测量次数。

则 u_{L2} 为:

$$u_{L2} = \frac{s(L_i)}{\sqrt{n}} = 0.233\text{ }\mu\text{m} \quad (4)$$

式中: u_{L2} —平均值标准差; $s(L_i)$ —单次测量标准差; n —测量次数。

(3) u_1 值计算

$$u_1 = \sqrt{u_{L1}^2 + u_{L2}^2} = 2.16\text{ }\mu\text{m} \quad (5)$$

2.3.2 激光位移传感器精度引起的不确定分量 u_2

高精度激光传感器的最大允许误差是 $4\text{ }\mu\text{m}$,取覆盖因子 $k = \sqrt{3}$,则有:

$$u_2 = \frac{4}{\sqrt{3}} = 2.309\text{ }\mu\text{m} \quad (6)$$

2.3.3 由仪器与轴承间温差引入的不确定度分量 u_3

仪器与轴承间存在的温度差以等概率落在 $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内,则有:

$$u_3 = \frac{1\text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \times 1\text{ }005\text{ }\mu\text{m} \times \frac{11.5 \times 10^{-6}}{^\circ\text{C}} = 0.007\text{ }\mu\text{m} \quad (7)$$

2.3.4 标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 3.16\text{ }\mu\text{m} \quad (8)$$

2.3.5 评定扩展不确定度 U

当置信概率为 95.45% 时,取 $k_p = 2$,则有:

$$U = k_p \times u_c = 2 \times 3.16 = 6.32 \mu\text{m} \quad (9)$$

式中: U — 评定扩展不确定度; k_p — 扩展系数。

3 比对测量及分析

本文用分辨率为 0.01 μm ,最大允许误差为 (0.15 + L/600) μm 的 Mahr 测长仪,与该装置进行比对测量。测量条件设定为:

(1)环境条件:温度 20.0 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 52.2% RH;

(2)测量对象:6208 标准轴承,为验证该装置的测试精度,预先标记好 25 个被测位置。

采用上述两种测量仪器测得的轴承径向游隙结果如表 2 所示。

表 2 两种仪器测量比较值			
位置	Mahr 测长仪 / μm	轴承径向游隙检测 装置/ μm	偏差值绝对值 / μm
1	13.4	15.8	2.4
2	13.9	14.9	1.0
3	14.7	16.2	1.5
4	14.6	14.2	0.4
5	15.0	12.8	2.2
6	15.2	15.4	0.2
7	15.5	16.2	0.7
8	12.9	13.7	0.8
9	15.4	16.2	0.8
10	13.7	14.3	0.6
11	14.6	14.1	0.5
12	15.2	13.8	1.4
13	15.8	15.4	0.4
14	13.5	15.3	1.8
15	14.9	16.3	1.4
16	15.1	15.6	0.5
17	14.8	17.2	2.4
18	12.9	15.6	2.7
19	14.5	14.8	0.3
20	13.9	15.9	2.0
21	15.9	14.3	1.6
22	15.2	15.9	0.7
23	14.9	14.8	0.1
24	15.2	17.1	1.9
25	14.7	16.8	2.1

根据表 2 计算可得:相对超高精度 Mahr 测长仪,径向游隙自动测量装置的最大偏差绝对值为: $\delta = |12.9 - 15.6| = 2.7 \mu\text{m}$ 。由此可见,该装置可以满足轴承径向游隙的检测精度要求。

4 结束语

针对目前轴承径向游隙检测过程中存在的问题,本研究研制了一种新型的径向游隙自动测量装置;通过测量不确定分析结果显示,装置的测量不确定为 6.32 μm (置信概率为 95.45%),与超高精度 Mahr 测长仪比较测量结果显示,两者的最大偏差绝对值 2.7 μm ,满足测量的精度要求。

该装置可实现轴承的自动送料、自动定位、自动夹紧、自动检测与自动分选,实现线下轴承径向游隙快速而准确的检测。

参考文献(References):

[1] 胡翰篇,林福严,杨小双. 滚动轴承径向游隙测量研究[J]. 煤矿机械,2017,38(8):32-33.

[2] 张博文,奚强,杜晓宇,等. 滚动轴承径向游隙标准的演变[J]. 轴承,2017(8):62-66.

[3] 刘海君,张智超,徐龙吟. 轻系列外圈无挡边圆柱滚子轴承径向游隙的测量[J]. 哈尔滨轴承,2015,36(2):30-31,34.

[4] 赵景周. 调心球面滚子轴承径向游隙的测量[J]. 机械工程师,2014(4):195-196.

[5] 张晓鹏,郭靖,彭兰. X095 型轴承游隙仪测量不确定度评定[J]. 轴承,2011(11):56-57.

[6] 张瑜,张慧,宋晓波,等. X095J 径向游隙动态测量仪[J]. 轴承,2011(6):32-34.

[7] 张文义,刘广义. X094 测量仪的改造与调心轴承径向游隙测量[J]. 哈尔滨轴承,2008,29(4):46-47.

[8] 王学辉,孙如华,刘瑞实. 轴承原始径向游的确定[J]. 轴承,2007(2):6-8.

[编辑:李辉]