

全自动测量轴圆度的 V 形法测量系统研究

刘 伟

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 为了寻找一种结构简单、精度高、造价较低而且能全自动地测量轴圆度的方法, 本文根据一般 V 形法的实际应用及测量精度, 对一般的 V 形法测量系统进行了全自动化研究。本文介绍了 V 形法的测量原理、数据处理方法、全自动 V 形法测量系统的研究以及主要单元部件的构成。通过计算机控制、直流伺服电机带动被测轴旋转、计数码盘计算被测轴转过的角度、测微头自动拾取测量数据、计算机计算并输出计算结果, 能够实现全自动测量轴的圆度, 测量精度可达到十纳米级。

关键词: 圆度; V 形法; 全自动 V 形法

中图分类号: TH741 文献标识码: A

1 引 言

超精密回转轴系的回转精度主要取决于回转轴的圆度。回转轴圆度的测量精度直接影响到轴系的回转精度。目前能够全自动测量轴圆度的仪器主要为圆度仪。圆度仪的测量方法属于半径测量法, 是一种比较理想的测量轴圆度的方法。但是圆度仪价格比较昂贵, 尤其是较高精度的圆度仪其价格更是一般测量单位和工厂所不能承受的, 因此一般的工厂和检测单位很少具备圆度仪。而且圆度仪在使用上也受到被测轴的重量、尺寸所限制。因此寻找一种结构简单、造价较低、精度高、不受被测轴的重量尺寸限制的测量轴圆度的方法很有实际应用意义。V 形法自 60 年代以来受到了广泛的应用。V 形法具有结构简单, 不受被测轴的重量、尺寸所限制, 测量精度也很高的优点。长春光机所研制的 0.2 圆光栅刻划机回转主轴的圆度及角度基准仪回转主轴的圆度都是用 V 形法测量出来的。其中角度基准仪回转主轴的圆度达 $0.03 \mu\text{m}$, 装配后轴系回转精度达到 $0.022 \mu\text{m}$ 。但是在一般的 V 形法测量过程中, 都是用人手来转动被测轴颈。由于人手的晃动、用力不匀、人眼的读数误差、人手温度的影响, 对于超精密回转轴的测量影响很大, 有时甚至严重地偏离了轴的实际精度; 而且有时测量时间比较长, 操作人员很容易疲劳, 测量状态不一致对测量结果影响也很大。

为了降低人为因素的影响, 研究出一种能够全自动测量的 V 形法对于超精密轴颈圆度的测量有着很高的实际应用意义。

2 V 形法测量原理简述

V 形法测量原理如图 1, 将工件放在 V 形块上, 在轴上放一个读数头, 通过旋转工件, 则在读数头上反映了 a、b、c 三点的变化:

$$\Delta y = \Delta r_a + \Delta r_b \frac{\cos(\alpha - \gamma)}{\sin 2\alpha} + \Delta r_c \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin 2\alpha}$$

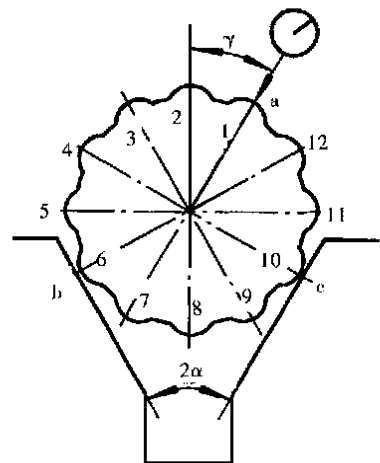


Fig. 1 V-shaped measuring principle

在实际测量中取 $2\alpha = 60^\circ; \gamma = 30^\circ$ 进行如下方法测量: 将轴横截面分为十二等分, 各等分点的半径误差为 $\Delta r_1, \Delta r_2 \dots \Delta r_{12}$, 测头反映的示值为 $\Delta y_1, \Delta y_2 \dots \Delta y_{12}$, 则

$$\Delta y_1 = \Delta r_1 + \Delta r_6 / \sin 2\alpha + \Delta r_{10} / \text{tg} 2\alpha$$

将轴顺时针旋转 30° 则 2 点的示值为

$$\Delta y_2 = \Delta r_2 + \Delta r_7 / \sin 2\alpha + \Delta r_{11} / \text{tg} 2\alpha$$

如此这样轴顺时针旋转一周停留 12 个位置, 就得到 12 个方程, 构成一个方程组:

$$\Delta y_1 = \Delta r_1 + \Delta r_6 / \sin 2\alpha + \Delta r_{10} / \text{tg} 2\alpha$$

$$\Delta y_2 = \Delta r_2 + \Delta r_7 / \sin 2\alpha + \Delta r_{11} / \text{tg} 2\alpha$$

.....

$$\Delta y_{11} = \Delta r_{11} + \Delta r_4 / \sin 2\alpha + \Delta r_8 / \text{tg} 2\alpha$$

$$\Delta y_{12} = \Delta r_{12} + \Delta r_5 / \sin 2\alpha + \Delta r_9 / \text{tg} 2\alpha$$

这个方程组的解是一系列不定解, 其数值均按正弦分布。为解此方程组, 按最小二乘圆算法, 加一条件——即使 r_i^2 为最小, 这样解得 $\Delta r_1, \Delta r_2 \dots \Delta r_{12}$, 其中圆度误差为: $\Delta = \text{Max} \Delta r - \text{Min} \Delta r$ 。

3 基础测量实验

将 V 形法设计为全自动测量系统的基础是 V 形法的测量精度接近或达到高精度圆度仪的精度。采用图 2 所示的 V 形法进行了大量的测量实验。对一直径 $\Phi 120\text{mm}$, 长 250mm 的轴, 分别用 V 形法和 Talorround73 圆度仪对其三个截面进行了圆度测量, 其最终测量结果如下:

V 形法测量结果

截面 $0.110\mu\text{m}$ 截面 $0.090\mu\text{m}$ 截面 $0.090\mu\text{m}$ Talorround73 圆度仪测量结果
 截面 $0.090\mu\text{m}$ 截面 $0.060\mu\text{m}$ 截面 $0.060\mu\text{m}$

通过测量实验结果可以看出, V 形法的测量结果虽然与圆度仪的测量结果存在一定的差距, 但是测量结果已经非常接近, 是在同一数量级。这种测量差距主要是测量过程中人手的晃动、人眼的读数误差、测量状态不一致产生的。因此通过对 V 形法进行自动化研究达到全自动测量, 能够消除人为因素的影响, 从而提高精度。

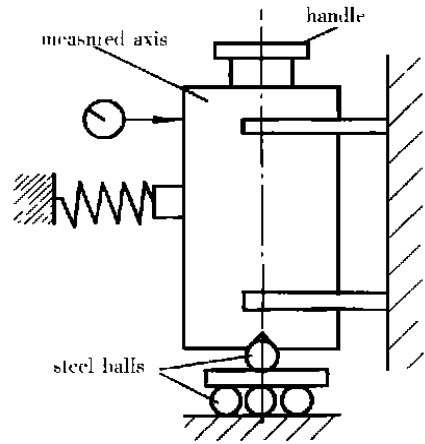


Fig. 2 Traditional V-shaped method

4 可用于测量轴圆度的全自动 V 形法测量系统

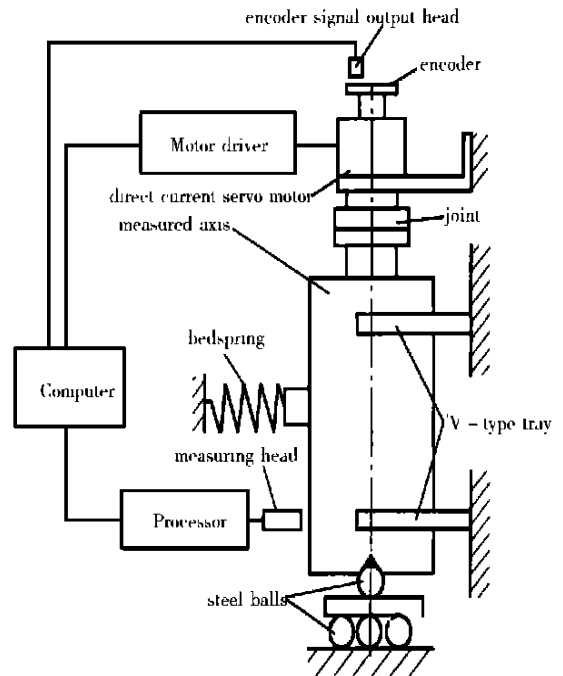


Fig. 3 Automatic measurement system with V-shaped method

全自动 V 形法测量系统如图 3。测量过程如下: 电机通过联轴节带动被测轴匀速地在 V 形块上转动, 转速控制在 $3\text{rpm} - 5\text{rpm}$, 计数码盘随被测轴一起转动; 测量头随时都在输出测量数据; 计算机通过计数码盘输出的信号能够计算出被测轴所转过的角度, 根据所需的一周测量点数, 每隔一个固定的角度计算机拾取一个测量数据; 被测轴

转动四周完成一个截面的一次测量, 计算机将所拾取的测量数据自动计算处理并显示测量结果。在这里采用了被测轴立式放置, 这样放置被测轴与 V 形块之间变形很小, 减小了由于被测轴与 V 形块之间的变形而带来的误差。

为了保证测量精度, 对各元部件的选取有一定的要求。

4.1 驱动电机的选取

驱动电机应选择速度稳定性好、振动小的直流伺服电机。在测量过程中由于每隔一个固定的角度来拾取一个测量数据, 要用计数码盘来计量被测轴所转过的角度。因此还需选择自带有计数码盘的直流伺服电机, 这样计算机就可以根据计数码盘的输出信号计算被测轴所转过的角度。由于直流伺服电机自带有计数码盘, 就大大地简化了结构, 易于安装控制。

4.2 联轴节的选取

在测量过程中, 直流伺服电机通过联轴节带动被测轴转动。被测轴在转动过程中径向上不能受到任何干扰力, 否则对测量精度影响很大。为了不使被测轴受到径向干扰力, 联轴节只能传递力矩, 而不能有径向扰力。又由于计数码盘在直流伺服电机上, 不能使直流伺服电机与被测轴之间产生扭转角度差, 联轴节必须有足够的刚度。因此联轴节选取为纯力偶刚性联轴节。

4.3 被测轴底部支撑结构的选取

在测量过程中, 被测轴的几何中心在旋转测量时相对于理论圆的中心而变化, 也就是相对 V 形块的几何中心而变化, 被测轴的圆度越差其变化越大。由于被测轴立式放置, 被测轴的底部支撑结构既要使被测轴灵活地转动和径向微小变动, 又不能产生径向干扰。

如果只用一个钢球支撑, 钢球不能滚动, 与支撑面只能滑动变动。当被测轴重量很大时, 钢球与支撑面之间的摩擦力很大, 阻碍被测轴在径向上的自由变动, 在径向上产生一定的干扰力, 影响测量精度。例如, 在实际测量实验中的被测轴重量为 23kg, 静摩擦系数为 $f = 0.15$, 则钢球与支撑面之间的摩擦力为 $F_1 = 23 \times 0.15 = 3.45\text{kg}$ 。这个摩擦

力直接成为径向扰力, 对测量影响很大。

为了减低这个摩擦力, 采用双层钢球结构, 如图 3, 上层由一个钢球支撑被测轴, 下层由多个钢球支撑, 上下层钢球之间有一个支撑板, 支撑板上下面的平面度与平行度都很高。这样, 被测轴的转动和径向微小变动由下层的多个钢球完成, 而下层的多个钢球可以自由滚动, 滚动摩擦力非常小。例如, 在实际测量实验中, 采用的下层钢球直径为 $\Phi 6\text{mm}$, 滚动摩擦系数为 0.01mm , 则下层钢球与支撑面之间的摩擦力为 $F_2 = 23 \times 0.01/6 = 0.04\text{kg}$, 这个摩擦力非常小, 对测量影响非常小。

4.4 扶持压力弹簧的设计

由于被测轴立式放置, 为了使被测轴在转动过程中保持稳定, 必须施加一个侧向压力使被测轴紧靠在 V 形块上。侧向压力既要使被测轴靠在 V 形块上稳定地转动, 又不能使被测轴表面与 V 形块之间产生大的变形而产生误差, 而且压力过大也会使被测轴与 V 形块之间的摩擦力增大, 使被测轴转动困难。因此弹簧的压力应该能够可以调节, 在实测中可以调节弹簧的压力而达到使用目的。

4.5 润滑油的选择

在实测时为了使被测轴能够转动灵活, 须在被测轴与 V 形块之间加入少量润滑油。润滑油应选择低粘度的仪表油或钟表油。润滑油要干净, 不能含有灰尘或颗粒。在使用之前用纱布过滤一下使用效果更好。

5 结 束 语

全自动 V 形法测量系统可用于轴圆度的测量。与一般的 V 形法相比, 它通过直流伺服电机带动被测轴转动、计数码盘计数、自动拾取信号、计算机自动处理, 能够实现全自动测量, 完全消除了人为的因素, 提高了测量精度。与圆度仪相比, 全自动 V 形法测量系统可达到高精度圆度仪一样的精度, 但是整个测量系统的造价却比圆度仪低得多, 预计整个测量系统不超过 10 万元, 因此是一种价格低廉、测量精度高的测量系统。

参考文献:

- [1] 邹自强. 不圆度的 V 形法测量[J]. 光学机械. 1978(2): 41- 57.
- [2] 张景和. V 形法测量中支撑对测量精度的影响[J]. 光学 精密工程. 1998, 6(5): 128- 132.
- [3] 刘伟. 圆度仪与 V 形法测量轴圆度的比较[J]. 光学 精密工程. 1999, 7(5): 135- 139.

Automatic measurement system for axis roundness

LIU Wei

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China*)

Abstract: In order to research a method with simple structure, high precision and low cost for automatically measuring axis roundness, the article redesigns the traditional V-shaped measuring system into automatic measuring system based on the practical application and measuring precision of the traditional V-shaped system. The article introduces the basis principle of V-shaped method, the structure of automatic V-shaped system and selection of its component. The automatic system can realize automatic measurement by following processes: computer controlling, direct current servo motor rotating measured axis, counting encoder calculating the angle of measured axis, measuring head automatically collecting measuring data, computer calculating the data and outputing measuring result. The cost of the whole equipment is less than a hundred thousand Yuan.

Key words: roundness; V-shaped method; automatic V-shaped method

作者简介: 刘 伟(1967-), 山东省沂水县人, 1990 年 7 月毕业于陕西机械学院精密仪器工程系, 并获学士学位, 自毕业以来一直从事精密仪器设计研究、精密几何量测试研究工作。