



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112414353 B

(45) 授权公告日 2022.03.01

(21) 申请号 202011249324.0

CN 101038159 A, 2007.09.19

(22) 申请日 2020.11.10

CN 109655017 A, 2019.04.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

DE 19907880 A1, 2000.08.24

申请公布号 CN 112414353 A

CN 109458958 A, 2019.03.12

(43) 申请公布日 2021.02.26

申涛,等.《凸轮测量偏心校正方法》.《研究与开发》.2012,

(73) 专利权人 重庆市计量质量检测研究院

周森,等.《用于圆柱体工件分段截面直径高精度测量方法》.《计量学报》.2017,

地址 401121 重庆市渝北区杨柳北路1号

N. Alami Mchichi等.《Axis location

(72) 发明人 徐健 周森 颜宇 吴小丽 陈龙

errors and error motions calibration for

(74) 专利代理机构 重庆博凯知识产权代理有限公司

a five-axis machine tool using the SAMBA

公司 50212

method》.《6th CIRP International

代理人 周玉玲

Conference on High Performance Cutting,

(51) Int. Cl.

HPC2014》.2014,

G01B 21/20 (2006.01)

So Ito等.《Measurement of form error

G01B 21/24 (2006.01)

of a probe tip ball for coordinate

(56) 对比文件

measuring machine (CMM) using a rotating

CN 107560583 A, 2018.01.09

reference sphere》.《Precision

CN 102818544 A, 2012.12.12

Engineering》.2019,

JP H05209744 A, 1993.08.20

审查员 崔涌波

权利要求书2页 说明书5页 附图5页

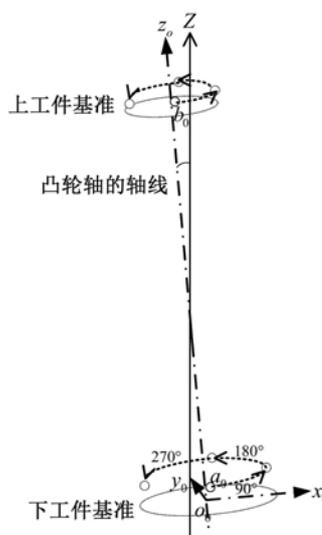
(54) 发明名称

准确采样打下基础,自动高效。

凸轮轴偏心误差修正方法

(57) 摘要

本发明公开了一种凸轮轴偏心误差修正方法,将工件装夹在仪器转台上,通过仪器顶尖竖向固定工件上的凸轮轴;在上、下工件基准的定位区域内分别选取标记点 $a_0$ 、 $b_0$ ;从初始位置 $0^\circ$ 开始,分别旋转工件至 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 和 $270^\circ$ 位置,仪器测头对标记点进行四次采样;分析仪器测头在四个采样位置时是否处于自身的可控范围内,若否,重新装夹工件;若是,则根据预先标定的仪器测头的最大探测误差确定凸轮轴的轴心线相对于仪器坐标系的Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ ;根据采样点分别计算凸轮轴的轴心线相对于仪器坐标系的X轴与Y轴的偏心修差量;根据偏心修差量将凸轮轴坐标系转换到仪器坐标。本发明解决了如何修正凸轮轴偏心误差的技术问题,为凸轮轮廓的



CN 112414353 B

1. 一种凸轮轴偏心误差修正方法,其特征在于,包括以下步骤:

将工件装夹在仪器转台上,通过仪器顶尖竖向固定工件上的凸轮轴;

在上、下工件基准的定位区域内分别选取标记点 $a_0$ 、 $b_0$ ;

仪器测头对标记点进行采样:

在初始位置进行第一次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_1(x_{a,1}, y_{a,1}, z_{a,1})$ 和 $b_1(x_{b,1}, y_{b,1}, z_{b,1})$ ;

转台带动工件从初始位置旋转 $90^\circ$ 后,进行第二次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_2(x_{a,2}, y_{a,2}, z_{a,2})$ 和坐标 $b_2(x_{b,2}, y_{b,2}, z_{b,2})$ ;

转台带动工件从初始位置旋转 $180^\circ$ 后,进行第三次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_3(x_{a,3}, y_{a,3}, z_{a,3})$ 和坐标 $b_3(x_{b,3}, y_{b,3}, z_{b,3})$ ;

转台带动工件从初始位置旋转 $270^\circ$ 后,进行第四次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_4(x_{a,4}, y_{a,4}, z_{a,4})$ 和坐标 $b_4(x_{b,4}, y_{b,4}, z_{b,4})$ ;

分析仪器测头在四个采样位置时是否处于自身的可控范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则根据预先标定的仪器测头的最大探测误差确定凸轮轴的轴心线相对于仪器坐标系的Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ ;

根据采样点分别计算凸轮轴的轴心线相对于仪器坐标系的X轴与Y轴的偏心修差量;根据偏心修差量将凸轮轴坐标系转换到仪器坐标系。

2. 根据权利要求1所述的凸轮轴偏心误差修正方法,其特征在于,当仪器测头为接触式测头时,分别判断仪器测头在四个采样位置时的受力是否都在可控受力范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则以预先标定的仪器测头的最大探测误差的三分之一作为凸轮轴的轴心线相对于Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ 。

3. 根据权利要求1所述的凸轮轴偏心误差修正方法,其特征在于,当仪器测头为非接触式测头时,分别判断测头在四个采样位置时的位姿是否在可控位姿范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则以预先标定的仪器测头的最大探测误差的三分之一作为凸轮轴的轴心线相对于Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ ;测头的位姿是指测头在仪器坐标系下的空间坐标和空间夹角。

4. 根据权利要求1所述的凸轮轴偏心误差修正方法,其特征在于,凸轮轴的轴心线相对于X轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于X轴的夹角 $\alpha_0$ 以及位移量 $\Delta x$ ,分别按如下方式计算:

以点 $\bar{a}_{1,3}$ 与点 $\bar{b}_{1,3}$ 的连线与Z轴的夹角作为所述夹角 $\alpha_0$ ,其中,点 $\bar{a}_{1,3}$ 为采样点 $a_1(x_{a,1}, y_{a,1}, z_{a,1})$ 与 $a_3(x_{a,3}, y_{a,3}, z_{a,3})$ 的中间点,点 $\bar{b}_{1,3}$ 为采样点 $b_1(x_{b,1}, y_{b,1}, z_{b,1})$ 与采样点 $b_3(x_{b,3}, y_{b,3}, z_{b,3})$ 的中间点;

夹角 $\alpha_0$ 的计算公式如下:

$$\alpha_0 = \arctan \frac{(x_{b,1} + x_{b,3}) - (x_{a,1} + x_{a,3})}{(z_{b,1} + z_{b,3}) - (z_{a,1} + z_{a,3})};$$

位移量 $\Delta x$ 的计算公式如下:

$$\Delta x = \frac{x_{a,1} + x_{a,3}}{2} + \frac{(x_{b,1} + x_{b,3}) - (x_{a,1} + x_{a,3})}{(z_{b,1} + z_{b,3}) - (z_{a,1} + z_{a,3})} \cdot (z + \Delta z - \frac{z_{a,1} + z_{a,3}}{2});$$

式中,  $z$  为测点在  $Z$  轴方向的坐标。

5. 根据权利要求1所述的凸轮轴偏心误差修正方法, 其特征在于, 凸轮轴的轴心线相对于  $Y$  轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于  $Y$  轴的夹角  $\beta_0$  以及位移量  $\Delta y$ , 分别按如下方式计算:

以点  $\bar{a}_{2,4}$  与点  $\bar{b}_{2,4}$  的连线与  $Z$  轴的夹角作为所述夹角  $\beta_0$ , 其中, 点  $\bar{a}_{2,4}$  为采样点  $a_2(x_{a,2}, y_{a,2}, z_{a,2})$  与  $a_4(x_{a,4}, y_{a,4}, z_{a,4})$  的中间点, 点  $\bar{b}_{2,4}$  为采样点  $b_2(x_{b,2}, y_{b,2}, z_{b,2})$  与  $b_4(x_{b,4}, y_{b,4}, z_{b,4})$  的中间点;

夹角  $\beta_0$  的计算公式如下:

$$\beta_0 = \arctan \frac{(y_{b,2} + y_{b,4}) - (y_{a,2} + y_{a,4})}{(z_{b,2} + z_{b,4}) - (z_{a,2} + z_{a,4})};$$

位移量  $\Delta y$  的计算公式如下:

$$\Delta y = \frac{y_{a,2} + y_{a,4}}{2} + \frac{(y_{b,2} + y_{b,4}) - (y_{a,2} + y_{a,4})}{(z_{b,2} + z_{b,4}) - (z_{a,2} + z_{a,4})} \cdot (z + \Delta z - \frac{z_{a,2} + z_{a,4}}{2});$$

式中,  $z$  为测点在  $Z$  轴方向的坐标。

6. 根据权利要求1所述的凸轮轴偏心误差修正方法, 其特征在于, 凸轮轴坐标系按如下方式建立:

在仪器坐标系内以仪器测头对上、下工件基准进行采样, 以最小二乘法对上、下工件基准的采样点进行拟合得到上、下工件基准的圆心坐标, 以上、下工件基准的圆心连线作为凸轮轴的  $Z_0$  轴, 并以垂直于  $Z_0$  轴并通过下工件基准圆心的平面作为  $X_0Y_0$  平面;

$$x = (x_0 \cdot \cos \alpha_0 + \Delta x) \cdot \cos \theta;$$

$$y = (y_0 \cdot \cos \beta_0 + \Delta y) \cdot \cos(\frac{\pi}{2} + \theta);$$

$$z = z_0 \cdot \cos \alpha_0 \cdot \cos \beta_0 + \Delta z;$$

式中,  $(x_0, y_0, z_0)$  表示在凸轮轴坐标系下的点,  $(x, y, z)$  表示将点  $(x_0, y_0, z_0)$  转换到仪器坐标系下的坐标; 凸轮轴的轴心线相对于  $X$  轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于  $X$  轴的夹角  $\alpha_0$  以及位移量  $\Delta x$ ; 凸轮轴的轴心线相对于  $Y$  轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于  $Y$  轴的夹角  $\beta_0$  以及位移量  $\Delta y$ ;  $\theta$  表示当前测量点相对于初始测量点的旋转角度, 范围为  $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

## 凸轮轴偏心误差修正方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及凸轮轴测量技术领域,尤其涉及一种凸轮轴偏心误差修正方法。

### 背景技术

[0002] 凸轮轴是汽车摩托车、航天航空、船舶、高铁等使用的制动系统的重要组成部分,其关键尺寸的测量直接关系到制动系统的性能和使用寿命。凸轮轴偏心误差的修正是保证其高精度测量的关键。在对凸轮轮廓进行测量时,凸轮轴被装夹到仪器转台上,通过仪器上下顶尖固定,其仪器上下顶尖的连线为平行于仪器坐标系的Z轴,凸轮轴的中心轴线与顶尖连线不平行,存在空间夹角,导致偏心误差,也叫安装误差。由于凸轮安装在凸轮轴上,凸轮轴的偏心误差会影响仪器对凸轮轮廓的采样。采样前,仪器根据输入的凸轮设计参数生成相应的采样路径,并控制传感器按照所生成的采样路径进行采样。但是,由于凸轮轴的偏心误差,使得所生成的采用路径不能匹配凸轮在仪器坐标系内的空间姿态,导致传感器不能沿着凸轮的真实轮廓曲线进行采样,最终通过采样点拟合出来的凸轮轮廓与实际的凸轮轮廓存在较大偏差。因此,如何对凸轮轴的偏心误差进行修正,对于准确拟合凸轮轮廓曲线是亟需解决的问题。

### 发明内容

[0003] 针对上述技术的不足,本发明提供了一种凸轮轴偏心误差修正方法,解决如何修正凸轮轴偏心误差的技术问题。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明的技术方案如下:一种凸轮轴偏心误差修正方法,包括以下步骤:

[0005] 将工件装夹在仪器转台上,通过仪器顶尖竖向固定工件上的凸轮轴;

[0006] 在上、下工件基准的定位区域内分别选取标记点 $a_0$ 、 $b_0$ ;

[0007] 仪器测头对标记点进行采样:

[0008] 在初始位置进行第一次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_1(x_{a,1}, y_{a,1}, z_{a,1})$ 和 $b_1(x_{b,1}, y_{b,1}, z_{b,1})$ ;

[0009] 转台带动工件从初始位置旋转 $90^\circ$ 后,进行第二次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_2(x_{a,2}, y_{a,2}, z_{a,2})$ 和坐标 $b_2(x_{b,2}, y_{b,2}, z_{b,2})$ ;

[0010] 转台带动工件从初始位置旋转 $180^\circ$ 后,进行第三次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_3(x_{a,3}, y_{a,3}, z_{a,3})$ 和坐标 $b_3(x_{b,3}, y_{b,3}, z_{b,3})$ ;

[0011] 转台带动工件从初始位置旋转 $270^\circ$ 后,进行第四次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_4(x_{a,4}, y_{a,4}, z_{a,4})$ 和坐标 $b_4(x_{b,4}, y_{b,4}, z_{b,4})$ ;

[0012] 分析仪器测头在四个采样位置时是否处于自身的可控范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则根据预先标定的仪器测头的最大探测误差确定凸轮轴的轴心线相对于仪器坐标系的Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ ;

[0013] 根据采样点分别计算凸轮轴的轴心线相对于仪器坐标系的X轴与Y轴的偏心修差

量;根据偏心修差量将凸轮轴坐标系转换到仪器坐标系,使得仪器测头能够在仪器坐标系内相对于凸轮轴调整采样位姿。

[0014] 进一步的,当仪器测头为接触式测头时,分别判断仪器测头在四个采样位置时的受力是否都在可控受力范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则以预先标定的仪器测头的最大探测误差的三分之一作为凸轮轴的轴心线相对于Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ 。

[0015] 进一步的,当仪器测头为非接触式测头时,分别判断测头在四个采样位置时的位姿是否在可控位姿范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则以预先标定的仪器测头的最大探测误差的三分之一作为凸轮轴的轴心线相对于Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ ;测头的位姿是指测头在仪器坐标系下的空间坐标和空间夹角。

[0016] 进一步的,凸轮轴的轴心线相对于X轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于X轴的夹角 $\alpha_0$ 以及位移量 $\Delta x$ ,分别按如下方式计算:

[0017] 以点 $\bar{a}_{1,3}$ 与点 $\bar{b}_{1,3}$ 的连线与Z轴的夹角作为所述夹角 $\alpha_0$ ,其中,点 $\bar{a}_{1,3}$ 为采样点 $a_1(x_{a,1}, y_{a,1}, z_{a,1})$ 与 $a_3(x_{a,3}, y_{a,3}, z_{a,3})$ 的中间点,点 $\bar{b}_{1,3}$ 为采样点 $b_1(x_{b,1}, y_{b,1}, z_{b,1})$ 与采样点 $b_3(x_{b,3}, y_{b,3}, z_{b,3})$ 的中间点;

[0018] 夹角 $\alpha_0$ 的计算公式如下:

$$[0019] \quad \alpha_0 = \arctan \frac{(x_{b,1} + x_{b,3}) - (x_{a,1} + x_{a,3})}{(z_{b,1} + z_{b,3}) - (z_{a,1} + z_{a,3})};$$

[0020] 位移量 $\Delta x$ 的计算公式如下:

$$[0021] \quad \Delta x = \frac{x_{a,1} + x_{a,3}}{2} + \frac{(x_{b,1} + x_{b,3}) - (x_{a,1} + x_{a,3})}{(z_{b,1} + z_{b,3}) - (z_{a,1} + z_{a,3})} \cdot (z + \Delta z - \frac{z_{a,1} + z_{a,3}}{2}).$$

[0022] 进一步的,凸轮轴的轴心线相对于Y轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于Y轴的夹角 $\beta_0$ 以及位移量 $\Delta y$ ,分别按如下方式计算:

[0023] 以点 $\bar{a}_{2,4}$ 与点 $\bar{b}_{2,4}$ 的连线与Z轴的夹角作为所述夹角 $\beta_0$ ,其中,点 $\bar{a}_{2,4}$ 为采样点 $a_2(x_{a,2}, y_{a,2}, z_{a,2})$ 与 $a_4(x_{a,4}, y_{a,4}, z_{a,4})$ 的中间点,点 $\bar{b}_{2,4}$ 为采样点 $b_2(x_{b,2}, y_{b,2}, z_{b,2})$ 与 $b_4(x_{b,4}, y_{b,4}, z_{b,4})$ 的中间点;

[0024] 夹角 $\beta_0$ 的计算公式如下:

$$[0025] \quad \beta_0 = \arctan \frac{(y_{b,2} + y_{b,4}) - (y_{a,2} + y_{a,4})}{(z_{b,2} + z_{b,4}) - (z_{a,2} + z_{a,4})};$$

[0026] 位移量 $\Delta y$ 的计算公式如下:

$$[0027] \quad \Delta y = \frac{y_{a,2} + y_{a,4}}{2} + \frac{(y_{b,2} + y_{b,4}) - (y_{a,2} + y_{a,4})}{(z_{b,2} + z_{b,4}) - (z_{a,2} + z_{a,4})} \cdot (z + \Delta z - \frac{z_{a,2} + z_{a,4}}{2}).$$

[0028] 进一步的,凸轮轴坐标系按如下方式建立:

[0029] 在仪器坐标系内以仪器测头对上、下工件基准进行采样,以最小二乘法对对上、下工件基准的采样点进行拟合得到上、下工件基准的圆心坐标,以上、下工件基准的圆心连线作为凸轮轴的 $Z_0$ 轴,并以垂直于 $Z_0$ 轴并通过下工件基准圆心的平面作为 $X_0Y_0$ 平面;

[0030] 按如下公式将凸轮轴坐标系转换到仪器坐标系:

$$[0031] \quad x = (x_0 \cdot \cos\alpha_0 + \Delta x) \cdot \cos\theta_0;$$

$$[0032] \quad y = (y_0 \cdot \cos\beta_0 + \Delta y) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta_0\right);$$

$$[0033] \quad z = z_0 \cdot \cos\alpha_0 \cdot \cos\beta_0 + \Delta z;$$

[0034] 式中,  $(x_0, y_0, z_0)$  表示在凸轮轴坐标系下的点,  $(x, y, z)$  表示将点  $(x_0, y_0, z_0)$  转换到仪器坐标系下的坐标; 凸轮轴的轴心线相对于X轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于X轴的夹角 $\alpha_0$ 以及位移量 $\Delta x$ ; 凸轮轴的轴心线相对于Y轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于Y轴的夹角 $\beta_0$ 以及位移量 $\Delta y$ ;  $\theta_0$ 表示当前测量点相对于初始测量点的旋转角度, 范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

[0035] 与现有技术相比, 本发明具有以下有益效果:

[0036] 1、本发明是在保证仪器测头在可控范围内的前提下进行偏心量修正, 保证了仪器测头的正常工作, 避免在采样过程中与工件发生碰撞, 能够持续的完成采样。

[0037] 2、本发明针对凸轮轴的安装误差进行修正, 是对凸轮轴上的凸轮轮廓进行准确采样的基础, 使得仪器测头能够在根据被测对象设计参数所生成的采样路径的基础上调整采样位姿, 即使得仪器测头能够在仪器坐标系内相对于实际安装的凸轮轴的轴线调整采样位姿。

[0038] 3、本发明所需采样点数量少, 采样效率高, 能够方便快捷的进行凸轮轴偏心误差修正。

[0039] 4、本发明对夹角和偏移量进行误差补偿, 从而使得仪器测头能调整角度以垂直凸轮轴的轴线, 当被测对象(凸轮、轴颈)与凸轮轴同轴时, 能在仪器坐标系内将采用路径上的点移动到被测对象轮廓上。

## 附图说明

[0040] 图1为工件装夹示意图;

[0041] 图2为采样过程示意图;

[0042] 图3为接触是测头的可控受力范围示意图;

[0043] 图4为凸轮轴线相对于X轴的偏心修正原理图;

[0044] 图5为凸轮轴线相对于Y轴的偏心修正原理图。

## 具体实施方式

[0045] 一种凸轮轴偏心误差修正方法, 包括以下步骤:

[0046] 参考图1所示, 将工件装夹在仪器转台上, 通过仪器顶尖竖向固定工件上的凸轮轴;

[0047] 在上、下工件基准的定位区域内分别选取标记点 $a_0$ 、 $b_0$ 。

[0048] 参考图2所示, 仪器测头对标记点进行采样, 采样时, 仪器测头与工件同步旋转, 保持相对静止, 避免引入仪器测头的移动误差。

[0049] 在初始位置进行第一次采样, 获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_1(x_{a,1}, y_{a,1}, z_{a,1})$ 和 $b_1(x_{b,1}, y_{b,1}, z_{b,1})$ 。

[0050] 转台带动工件从初始位置旋转 $90^\circ$ 后, 进行第二次采样, 获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样

坐标 $a_2(x_{a,2}, y_{a,2}, z_{a,2})$ 和坐标 $b_2(x_{b,2}, y_{b,2}, z_{b,2})$ 。

[0051] 转台带动工件从初始位置旋转 $180^\circ$ 后,进行第三次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_3(x_{a,3}, y_{a,3}, z_{a,3})$ 和坐标 $b_3(x_{b,3}, y_{b,3}, z_{b,3})$ 。

[0052] 转台带动工件从初始位置旋转 $270^\circ$ 后,进行第四次采样,获得标记点 $a_0$ 和 $b_0$ 的采样坐标 $a_4(x_{a,4}, y_{a,4}, z_{a,4})$ 和坐标 $b_4(x_{b,4}, y_{b,4}, z_{b,4})$ 。

[0053] 分析仪器测头在四个采样位置时是否处于自身的可控范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则根据预先标定的仪器测头的最大探测误差确定凸轮轴的轴心线相对于仪器坐标系的Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ 。

[0054] 根据采样点分别计算凸轮轴的轴心线相对于仪器坐标系的X轴与Y轴的偏心修差量;根据偏心修差量将凸轮轴坐标系转换到仪器坐标。

[0055] 参考图3所示,当仪器测头为接触式测头时,分别判断仪器测头在四个采样位置时的受力是否都在可控受力范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则以预先标定的仪器测头的最大探测误差的三分之一(根据误差的三分之一原则)作为凸轮轴的轴心线相对于Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ 。仪器上存在测量力值传感器,会反馈受力大小信息。

[0056] 当仪器测头为非接触式测头时,分别判断测头在四个采样位置时的位姿是否在可控位姿范围内,若否,则重新装夹工件;若是,则以预先标定的仪器测头的最大探测误差的三分之一(根据误差的三分之一原则)作为凸轮轴的轴心线相对于Z轴的偏心修差量 $\Delta z$ ;测头的位姿是指测头在仪器坐标系下的空间坐标和空间夹角。空间坐标指在仪器坐标系下的X轴、Y轴、Z轴方向的坐标,空间夹角是指测头不仅可以沿坐标轴移动,同时可以旋转与坐标轴形成夹角,为空间夹角。

[0057] 参考图4所示,图中圆柱坐标系是指凸轮轴坐标系,凸轮轴的轴心线相对于X轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于X轴的夹角 $\alpha_0$ 以及位移量 $\Delta x$ ,分别按如下方式计算:

[0058] 以点 $\bar{a}_{1,3}$ 与点 $\bar{b}_{1,3}$ 的连线与Z轴的夹角作为所述夹角 $\alpha_0$ ,其中,点 $\bar{a}_{1,3}$ 为采样点 $a_1(x_{a,1}, y_{a,1}, z_{a,1})$ 与 $a_3(x_{a,3}, y_{a,3}, z_{a,3})$ 的中间点,点 $\bar{b}_{1,3}$ 为采样点 $b_1(x_{b,1}, y_{b,1}, z_{b,1})$ 与采样点 $b_3(x_{b,3}, y_{b,3}, z_{b,3})$ 的中间点;

[0059] 夹角 $\alpha_0$ 的计算公式如下:

$$[0060] \quad \alpha_0 = \arctan \frac{(x_{b,1} + x_{b,3}) - (x_{a,1} + x_{a,3})}{(z_{b,1} + z_{b,3}) - (z_{a,1} + z_{a,3})};$$

[0061] 位移量 $\Delta x$ 的计算公式如下:

$$[0062] \quad \Delta x = \frac{x_{a,1} + x_{a,3}}{2} + \frac{(x_{b,1} + x_{b,3}) - (x_{a,1} + x_{a,3})}{(z_{b,1} + z_{b,3}) - (z_{a,1} + z_{a,3})} \cdot (z + \Delta z - \frac{z_{a,1} + z_{a,3}}{2}).$$

[0063] 参考图5所示,图中圆柱坐标系是指凸轮轴坐标系,凸轮轴的轴心线相对于Y轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于Y轴的夹角 $\beta_0$ 以及位移量 $\Delta y$ ,分别按如下方式计算:

[0064] 以点 $\bar{a}_{2,4}$ 与点 $\bar{b}_{2,4}$ 的连线与Z轴的夹角作为所述夹角 $\beta_0$ ,其中,点 $\bar{a}_{2,4}$ 为采样点 $a_2(x_{a,2}, y_{a,2}, z_{a,2})$ 与 $a_4(x_{a,4}, y_{a,4}, z_{a,4})$ 的中间点,点 $\bar{b}_{2,4}$ 为采样点 $b_2(x_{b,2}, y_{b,2}, z_{b,2})$ 与 $b_4(x_{b,4},$

$y_{b,4}, z_{b,4}$ ) 的中间点;

[0065] 夹角 $\beta_0$ 的计算公式如下:

$$[0066] \quad \beta_0 = \arctan \frac{(y_{b,2} + y_{b,4}) - (y_{a,2} + y_{a,4})}{(z_{b,2} + z_{b,4}) - (z_{a,2} + z_{a,4})};$$

[0067] 位移量 $\Delta y$ 的计算公式如下:

$$[0068] \quad \Delta y = \frac{y_{a,2} + y_{a,4}}{2} + \frac{(y_{b,2} + y_{b,4}) - (y_{a,2} + y_{a,4})}{(z_{b,2} + z_{b,4}) - (z_{a,2} + z_{a,4})} \cdot (z + \Delta z - \frac{z_{a,2} + z_{a,4}}{2}).$$

[0069] 凸轮轴坐标系按如下方式建立:

[0070] 在仪器坐标系内以仪器测头对上、下工件基准进行采样,以最小二乘法对对上、下工件基准的采样点进行拟合得到上、下工件基准的圆心坐标,以上、下工件基准的圆心连线作为凸轮轴的 $Z_0$ 轴,并以垂直于 $Z_0$ 轴并通过下工件基准圆心的平面作为 $X_0Y_0$ 平面;

[0071] 按如下公式将凸轮轴坐标系转换到仪器坐标系:

$$[0072] \quad x = (x_0 \cdot \cos \alpha_0 + \Delta x) \cdot \cos \theta_0;$$

$$[0073] \quad y = (y_0 \cdot \cos \beta_0 + \Delta y) \cdot \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_0);$$

$$[0074] \quad z = z_0 \cdot \cos \alpha_0 \cdot \cos \beta_0 + \Delta z;$$

[0075] 式中, $(x_0, y_0, z_0)$ 表示在凸轮轴坐标系下的点, $(x, y, z)$ 表示将点 $(x_0, y_0, z_0)$ 转换到仪器坐标系下的坐标;凸轮轴的轴心线相对于X轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于X轴的夹角 $\alpha_0$ 以及位移量 $\Delta x$ ;凸轮轴的轴心线相对于Y轴的偏心修差量包括凸轮轴的轴心线相对于Y轴的夹角 $\beta_0$ 以及位移量 $\Delta y$ ; $\theta_0$ 表示当前测量点相对于初始测量点的旋转角度,范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

[0076] 本发明针对凸轮轴的安装误差进行修正,是对凸轮轴上的凸轮轮廓进行准确采样的基础,使得仪器测头能够在根据凸轮设计参数所生成的采样路径的基础上调整采样位姿,即使得仪器测头能够在仪器坐标系内相对于实际安装的凸轮轴的轴线调整采样位姿。本发明对夹角和偏移量进行误差补偿,从而使得仪器测头能调整角度以垂直凸轮轴的轴线,当被测对象(凸轮、轴颈)与凸轮轴同轴时,能在仪器坐标系内将采用路径上的点移动到被测对象轮廓上。

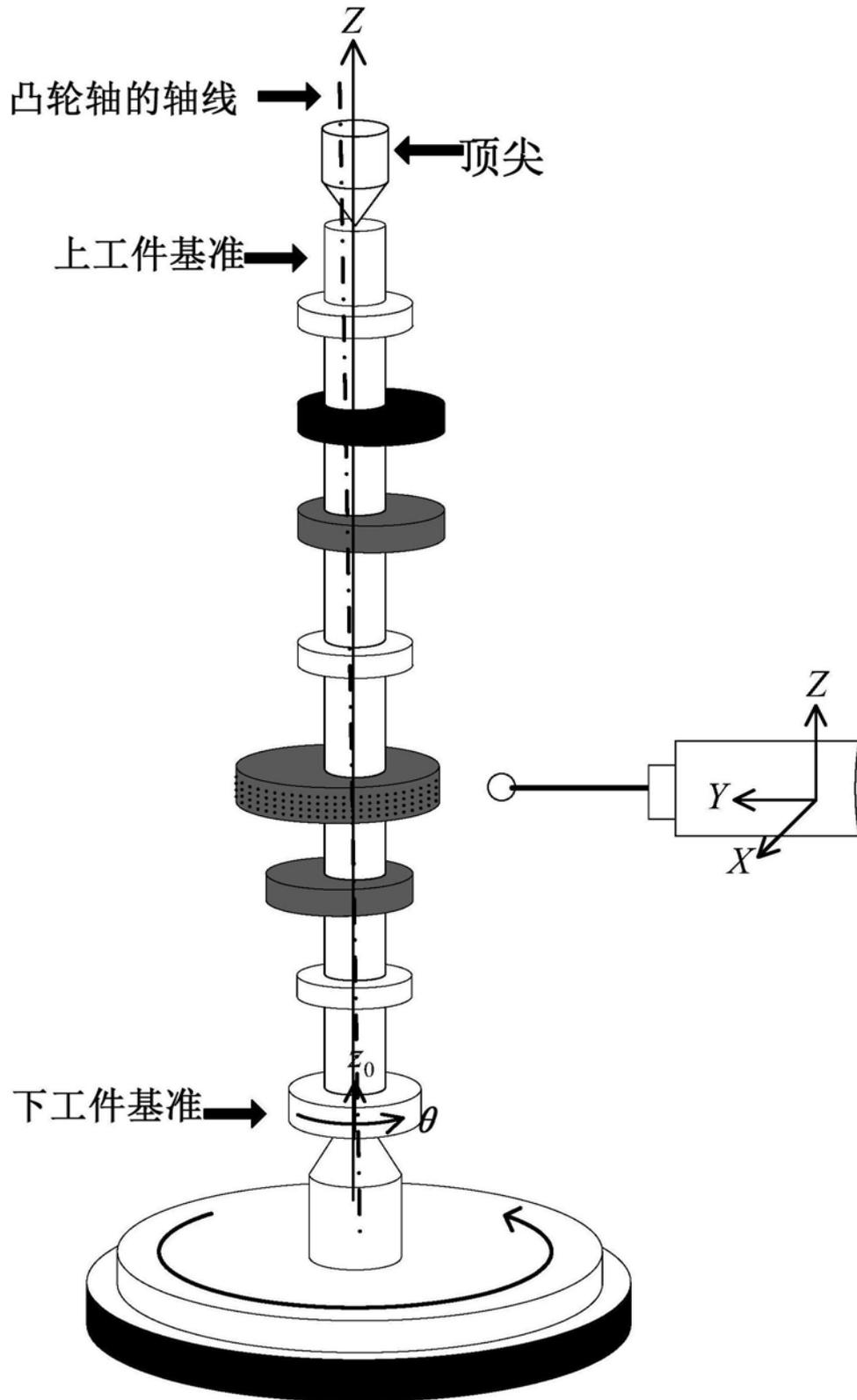


图1

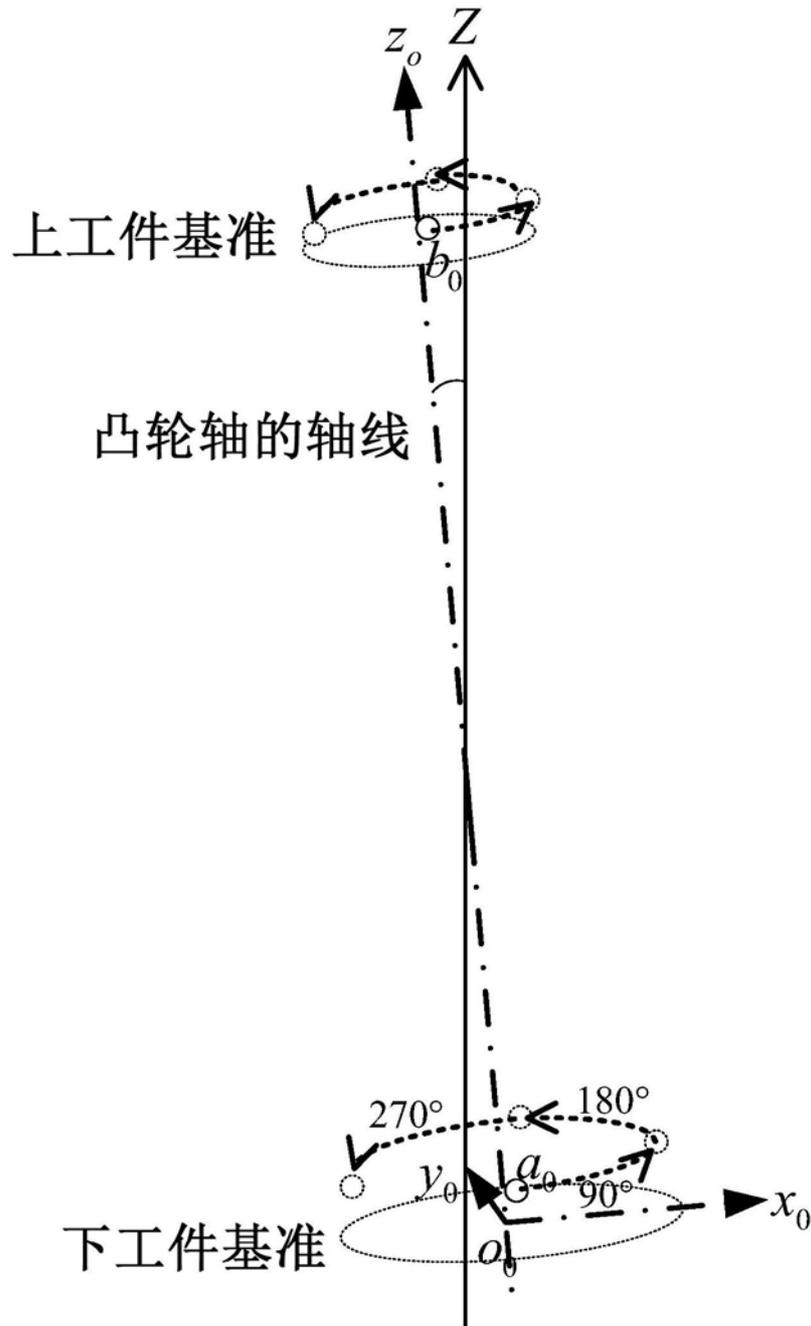


图2

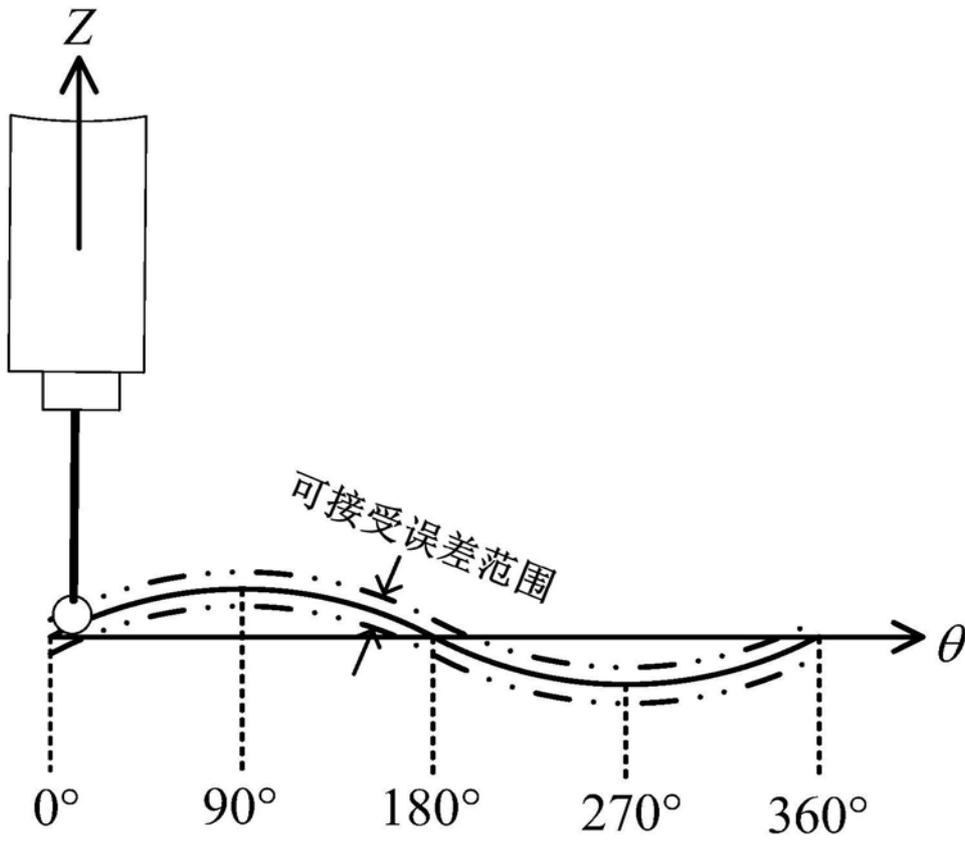


图3

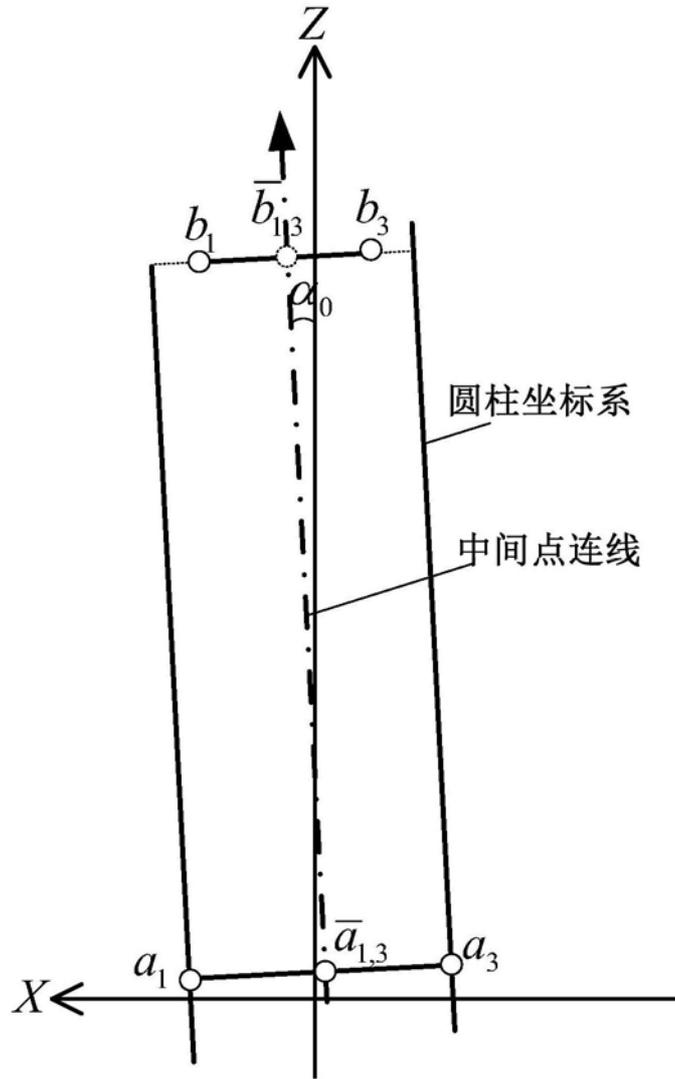


图4

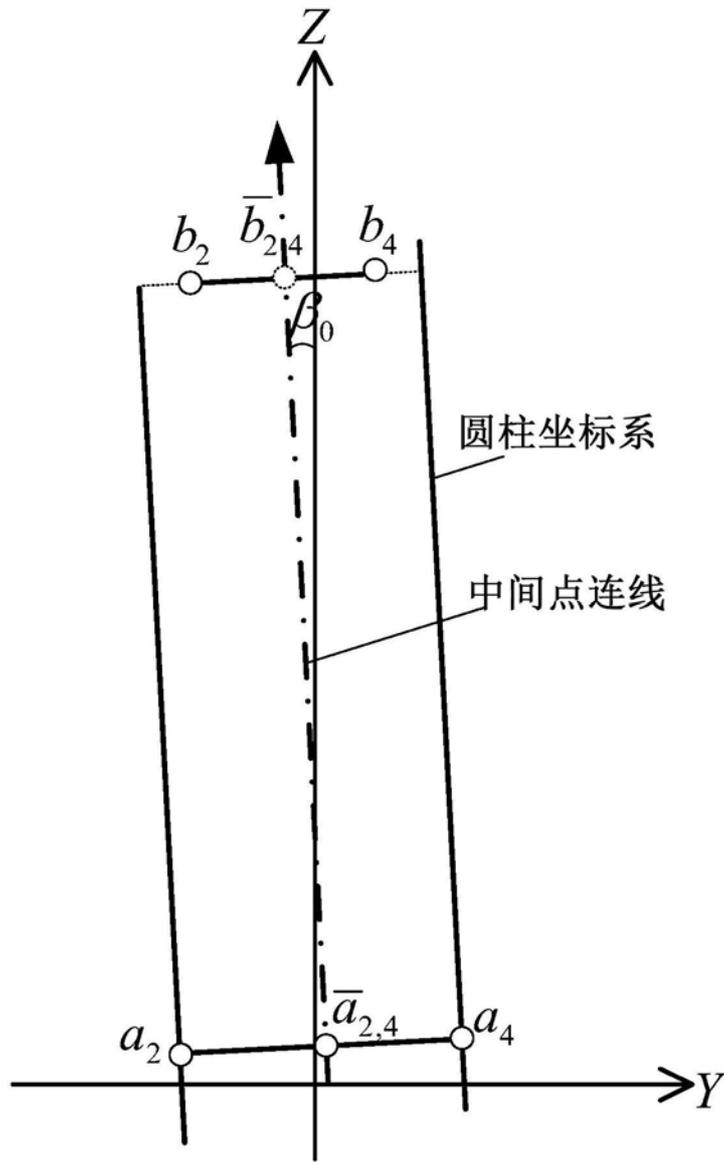


图5