

圆度误差算法的研究

畅为航^{1,2} 雷贤卿¹ 薛玉君¹ 李济顺¹

¹ 河南科技大学 ² 南阳理工学院

摘要: 阐述了圆度误差的定义,介绍了评定圆度误差的几种方法,研究了迭代法、单纯形法等优化算法求解圆度误差的优缺点,对于进一步研究圆度误差的算法提供了一定的依据。

关键词: 圆度误差, 优化算法, 迭代法, 单纯形法

Study on Roundness Error Algorithm

Chang Weihang Lei Xianqing Xue Yujun et al

Abstract: The definition of roundness error is expatiated, and the methods of roundness error evaluation are introduced. The merits and faults of iteration method and simplex method are discussed, providing witness for further studies on roundness error.

Keywords: roundness error, optimizing algorithm, iteration method, simplex method

1 圆度误差算法的定义

国标(GB1183-80)规定,截面圆度误差是在垂直于被测圆柱体轴线截面上的圆轮廓对其理想圆的变动量。圆度误差值根据从一特定圆心算起,以包容被测轮廓两同心圆的最大和最小半径差来确定。

收稿日期:2007年12月

评定方法有最小区域法、最小二乘法、最大内切圆法和最小外接圆法,而核心内容是寻求理想圆的圆心。用最小区域法所评定的圆度误差值最小,是国家标准规定的圆度误差评定方法。最小二乘圆法评定的圆度误差值具有唯一性,但数值不是最小,在技术条件允许的情况下也可应用^[1~4]。其它两种准则在我国应用较少。从20世纪80年代开始,人们就在圆度误差的测量和评定方面作了大量研究,提出了很

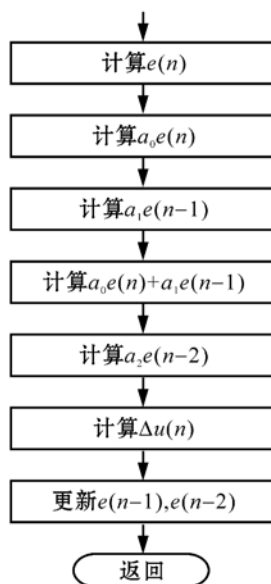


图4 数字PID算法程序流程图

4 电机控制的增量型数字PID程序的实现

电机控制模块也是测试系统的一个重要组成部分,其控制质量的高低将直接影响时栅转台的定位精度,进而影响转台标定的准确性。为防止转角每次转动时的累加误差,控制器采用数字PID的增量型控制算法。其程序框图如图4所示,算法公式为

$$Vu(n) = a_0e(n) + a_1e(n-1) + a_2e(n-2)$$

式中 $a_0 = K_p(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_D}{T})$, $a_1 = -K_p(1 + \frac{2T_D}{T})$, $a_2 = K_p \frac{T_D}{T}$

其中, K_p 为比例系数, T_i 为积分时间常数, T_D 为微分时间常数, T 为采样周期。

5 结语

该全自动测控系统在高精度时栅转台产品的测试中效率突出,取代了繁杂的人工劳动,自动完成转台的标定工作,对时栅传感器完成产品化开发起到极大的推动作用。实践证明,这套测试系统完全可行,大幅度提高了测试效率,测试效果良好。

参考文献

- 1 彭东林,刘成康,谭为民等.时空坐标转换理论与时栅位移传感器研究.仪器仪表学报,2004(4)
- 2 李鸿吉.VB6.0编程方法详解.科学出版社,2001
- 3 杨乐平,李海涛,杨磊.LabVIEW程序设计与应用.电子工业出版社,2005
- 4 刘小康.智能电激型场式时栅位移传感器系统.重庆大学硕士论文,2001

第一作者:高忠华,工程师,硕士研究生,重庆工学院,400050 重庆市

Author: Gao Zhonghua, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China

多寻找评价基准圆心的有效方法。

2 评定方法

2.1 最小区域法

圆度误差最小区域法的判断准则:两同心包容圆至少应与被测实际轮廓成内外相间的4点接触,即圆图像上的两等值最大与最小半径点相间分布(即二高二低判断准则),如图1所示。评定形状误差时,必须遵循国标《形状误差和位置公差——检验规定》中的“最小条件原则”,即评定时被测要素相对于理想要素的最大变动量应为最小。对于截面圆度误差的评定,即被测实际轮廓最小包容区域的半径差为圆度误差值。

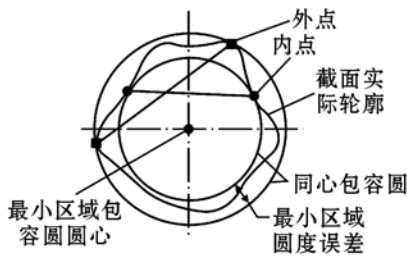


图1 圆度误差最小区域判别准则

采用基于“最小条件原则”的最小区域法评定圆度误差的方法为:如图2所示, O 是实际轮廓图形的坐标原点, $P_i(u_i, v_i) (i = 0, 1, 2, \dots, N - 1)$ 为圆轮廓上 N 个测得点的坐标值, $O'(a, b)$ 为符合最小条件的两同心圆的圆心,令目标函数为 $F(a, b)$,则

$$F(a, b) = R_{\max} - R_{\min} = \sqrt{(u_{\max} - a)^2 + (v_{\max} - b)^2} - \sqrt{(u_{\min} - a)^2 + (v_{\min} - b)^2} \quad (1)$$

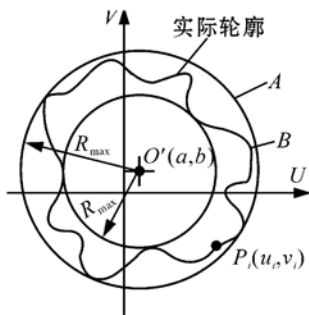


图2 圆度误差最小区域法算法原理图

式(1)求解包容实际轮廓两同心圆 A 和 B 的半径差。当用优化方法求得 $F(a, b)$ 的最小值 F_{\min} 时, (a, b) 就是满足最小条件的最小区域圆的圆心坐标值, F_{\min} 就是最小区域圆度误差值。

2.2 最小二乘法

最小二乘圆是实际轮廓上各点到该圆距离的平方和为最小的圆,以其为理想圆评定圆度误差的方

法称为最小二乘圆法。其目标函数由图3建立, O 是实际轮廓图形的坐标原点, O' 、 R 分别为最小二乘圆的圆心和半径, $P_i(u_i, v_i)$ 为 N 个测得点的坐标值,令目标函数为 $F(a, b, R)$,则

$$F(a, b, R) = \sum_{i=0}^{N-1} (R_i - R)^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (\sqrt{(u_i - a)^2 + (v_i - b)^2} - R)^2 = \min \quad (2)$$

式(2)的含义是实际轮廓各测点到最小二乘圆距离的平方和为最小。当用最优化方法求得 $F(a, b, R)$ 的最小值时, (a, b) 就是满足最小条件的最小二乘圆的圆心坐标值,以该圆心作包容实际轮廓的两同心圆,其半径差就是最小二乘圆度误差值。

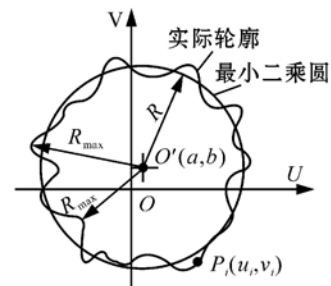
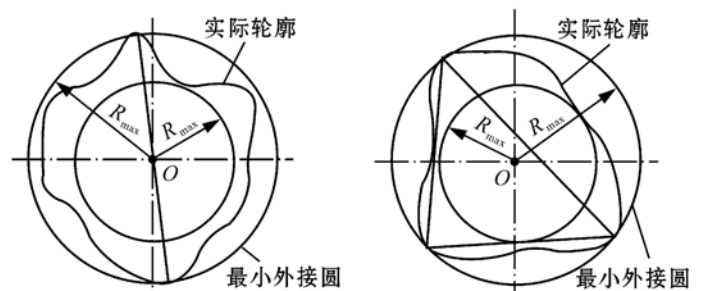


图3 圆度误差最小二乘法算法原理图

2.3 最大内接圆法和最小外接圆法

最大内接圆是指内接于实际被测轮廓的可能最大圆,用最大内接圆法评定圆度误差,是把被测圆的最大内接圆作为内包容圆,并以其圆心为中心作外包容圆(此圆与被测实际圆至少一点接触),将两同心圆的半径差作为被测实际圆的圆度误差值。

最小外接圆是指外接于实际被测轮廓的可能最小圆,用最小外接圆法评定圆度误差,是把被测圆的最小外接圆作为外包容圆,以其圆心为中心作内包容圆(此圆与被测实际圆至少有1点接触),将两同心圆的半径差作为被测实际圆的圆度误差值。



(a)直线准则 (b)三角形准则

图4 圆度误差最小外接圆法判断准则

目前判断的最大内接圆法和最小外接圆法的准则如下:

(1)直线准则——用最大内接圆包容实际被测

轮廓时,实际被测轮廓上有两个测点与包容圆接触,而由这两点连成的直线恰为该圆直径,此时包容圆为被测实际轮廓的最大内接圆(见图4a)。

(2)三角形准则——用最大内接圆包容实际被测轮廓时,实际被测轮廓上与包容圆接触的三个测点连接成锐角三角形,且该圆心位于此三角形内,此时包容圆为被测实际轮廓的最大内接圆(见图4b)。

最小外接圆法和最大内接圆法能最逼近地描述配合件中的定位性质,具有很好的实用价值。

3 优化算法

国内外学者对圆度误差的评定算法提出代表性方法的有迭代法、单纯形法等。

(1)迭代法

求解圆度误差时的一种逐次逼近的迭代算法,建立相应的数学模型,用最小二乘圆简化模型的线性迭代运算去逼近最小二乘圆精确模型的优化解,并以该最优解的必要条件作为收敛判别条件之一,能快速得到圆度误差值的优化解。该方法大大提高了测试速度和精度^[5~7]。借用均匀分布和数论的思想,以及普通优化迭代算法,可得若干个局部最优点,选择使圆度误差最小的一点作为圆度误差评价结果,也是一种精度比较高的快速算法^[8]。通过最大内接圆法和最小外接圆法评定圆度误差时用迭代法,分别用直线和三角形判断准则确定移心方向,给出步长的计算公式,得到圆度误差。对实际零件进行数据处理,其结果能满足一定的精度要求^[9~12]。最小区域圆法的评价方法采用找步长的算法求解圆度误差值,计算结果能满足一定的精度要求,根据最小区域判别准则,利用计算机快速精确算法求解圆度误差值,是一种速度快、精度高的圆度误差评定方法^[13,14]。

采用迭代算法,每计算一步都需选择步长和确定下一步的移心方向,测量点较多时,算法较复杂,也不直观,一旦选点不准就使工作量倍增,且迭代方向和速度不好判断,求解圆度误差值比较复杂。

(2)单纯形法

将单纯形方法应用于圆度误差的评定,建立线性的圆度误差评定目标函数和一系列的约束条件来求解。结果表明,该方法提高了计算结果的准确性和运算速度,较最小二乘法的计算结果有很大提高^[15~17]。但该算法有时陷入局部最优解,有时可能有多个最优解,或无解。

(3)全局最优法

采用遗传算法、混沌机理算法、神经网络法等计算圆度误差,可在设计变量的全局范围内有效评价圆度误差,结果能满足一定的精度要求^[18~23]。采用遗传算法进行处理,要得到真正的最优结果,终止代数要取得比较大,数据占用计算机内存较大,并无法保证所得结果是最优解。

4 结语

本文主要介绍了圆度误差的评定方法和计算中常用的优化方法,但圆度误差算法的研究决不局限于此。如最近有学者采用了VB图解法、离散傅立叶变换的方法等^[24],测量点数与圆度误差的关系也是一个研究热点^[25,26];另外许多算法误差虽然小,但计算量大不适合实时的实现,因此探寻误差与计算量的最优平衡点是一个值得研究的问题。

参考文献

- 1 颜毅. 评定圆度误差的一种快速算法. 长沙大学学报, 2004, 2(18): 19~21
- 2 康牧. 一种测试圆度的新算法. 河南师范大学学报, 2005, 1(33): 133~135
- 3 于铁民, 李振华. 测量圆度误差数学建模与实践. 吉林建筑工程学院学报, 2006, 3(23): 63~65
- 4 刘平, 杜丽杰. 圆度误差目标函数特性的研究. 宇航计测技术, 2007, 2(27): 1~3
- 5 骆建华, 王子文. 虚拟圆度仪中圆度误差的评定算法. 机械工程师, 2005(9): 61~63
- 6 傅师伟. 圆度误差测量的一种新方法. 计量与测试技术, 2004(9): 7~9
- 7 岳奎. 最小二乘圆法评定圆度误差的程序设计. 工具技术, 2006(4): 79~80
- 8 田社平. 基于均匀分布的圆度误差评价. 计量技术, 2004(5): 53~55
- 9 刘顺芳, 石建玲. 最大内接圆法评定圆度误差值的快速精确算法. 计量技术, 2006(3): 17~19
- 10 范淑果, 郝宏伟, 杨建芳. 最大内接圆法评定圆度误差值的程序设计技术. 燕山大学学报, 2005(5): 264~266, 282
- 11 侯静. 利用最小外接圆法评定圆度误差. 内蒙古师范大学学报, 2006(9): 290~292
- 12 刘顺芳, 倪素环. 最小外接圆法评定圆度误差值的计算机实现方法. 计量技术, 2006(2): 26~29
- 13 玄兆燕, 常秀辉. 圆度误差评定中最小区域圆法的计算机叠代算法. 河北理工学院学报, 2004(5): 58~61
- 14 郝宏伟, 刘顺芳, 范淑果. 最小区域法评定圆度误差的计算机实现方法. 河北科技大学学报, 2006(6): 150~154
- 15 A I Propoi. Simplex method for dynamic linear program solution. Lecture Notes in Control and Information Sciences

轮叉类零件对称度误差的检测与矫正

赵 军 朱维斌 冯海萍

中国计量学院

摘 要: 轮叉类零件是自行车和摩托车中的关键零件,其位置误差对使用性能影响很大。针对此类零件误差提出了检测和校正的解决方案,提高了零件的成品率,降低了生产成本。

关键词: 轮叉类零件, 对称度误差, 矫正, 行驶安全

Measurement and Straightening of Symmetrical Degree Error of Fork Part

Zhao Jun Zhu Weibin Feng Haiping

Abstract: As key components of bicycles and motorcycles, fork parts' positioning errors influence their functions seriously. The solution on the error measurement and straightening of fork parts is presented. The ratio of the finished products is improved, and the cost of production is reduced.

Keywords: fork parts, error of symmetrical degree, straightening, drive safety

1 引言

轮叉类零件是自行车和摩托车的主要零件,其位置误差(如对称度和平行度误差)对整车的使用性能有很大影响。对称度误差会破坏整车的平衡性能,使车轮产生侧滑力,在高速、转弯、雨雪路面行驶时的危险系数将大幅增大,是造成驾驶失灵、产生事故的原因之一;还会使轮胎产生非对称性不均匀磨损,降低使用寿命。为纠正这一平衡误差,驾驶者必须靠自身重心去调整,影响了行驶的直线性和乘坐的舒适性。平行度误差虽不及对称度误差严重,但也不容忽视。这些误差在装配前都经过严格检测,不合格件常作为修理配件销售,但由于这类零件都是焊接件,合格件也容易产生一定的时效变形。为

此,有必要检测并校正这类零件的误差,以提高零件的合格率和整车的使用性能。为此,我们研制了自行车前叉件对称度误差的矫正装置。

2 位置误差的检测方案的设计

轮叉类零件比较简单,为降低成本,厂家都使用焊接工艺,其位置公差要求如图 1 所示,大部分零件可靠工装保证其位置精度,而将少数不合格零件转化为合格品十分可行。根据经验,对称度误差在 1mm、平行度误差在 0.5mm 量级以内都不会明显影响产品的使用性能。而焊接应力的释放可导致自行车前轮叉架的对称度误差达到 5mm 或更大的量级,必须进行检测与校正。首先要了解实际误差,才能进行校正试验,确定校正量。为此利用简单工具制成误差检测仪,可精确方便地测得位置误差值及其偏向(见图 2)。偏向一般可通过视觉判别,后续的

收稿日期:2007 年 12 月

- 16 蒋文兵, 郑 鹏, 侯伯杰. 单纯形算法在圆度误差评定中的应用. 中原工学院学报, 2004(3): 37 ~ 40
- 17 张永春, 赵明友, 王庆武. 形状误差数据处理的线性规划和单纯形解法. 计量技术, 2004(12): 46 ~ 49
- 18 Juan Frausto-Solís, Alma Nieto-Yúñez. An Improved Simplex-genetic method to solve hard linear programming problems. Computational Science, 2007, 449: 665 ~ 663
- 19 田社平. 基于遗传算法的圆度误差评价. 计量技术, 2004(4): 3 ~ 5
- 20 田社平. 再论基于遗传算法的圆度误差评价. 计量技术, 2005(7): 3 ~ 4, 7
- 21 倪厚强, 朱兴龙, 高龙琴等. 基于混沌机理的圆度误差测量数据的处理方法. 机电产品开发与创新, 2006, 6(19): 143 ~ 145
- 22 吴新杰, 陈跃宁, 许 超. 基于线性神经网络处理圆度误差. 电子质量, 2007(5): 39 ~ 40, 61
- 23 Mao Jian, Cao Yanlong, Yang Jiangxin *et al.* A novel method for uncertainty evaluation of roundness errors based on geometrical product specification. Measurement Theory, 2006(12): 635 ~ 738
- 24 李益林. VB 图解法评定圆度误差探索. 现代制造工程, 2006(7): 75 ~ 76
- 25 赵前程, 邓善熙, 丁兴号. 圆度测量中测量点数的确定. 农业机械学报, 2004, 35(1): 137 ~ 140
- 26 林志熙, 黄富贵, 周景亮. 具有最少采样点的圆度误差测量研究. 福建工程学院学报, 2006, 4(4): 455 ~ 458
第一作者: 畅为航, 硕士研究生, 河南科技大学机电工程学院, 471003 河南省洛阳市
Author: Chang Weihang, School of Mechanical and Electrical Engineering, Henan University of Science & Technology, Luoyang, Henan 471003, China