

基于 MATLAB 的形位误差测量数据处理软件设计

李芳,张硕,康逸凡,杨杰

大连交通大学

摘要: 工件形位误差评定是保证工件表面质量的重要环节,包括直线度和圆度等。各个误差评定项目有不同的数据处理方法,实现过程较复杂且结果精度不同。采用 MATLAB 软件建立图形用户界面软件,以圆度和直线度为例,分析了多种数据处理方法及其实现过程,同时实现多种误差项目的测量数据处理,并得到数据的仿真图像,提高了数据处理的速度和精度。

关键词: 形位误差评定;圆度误差;数据处理;MATLAB

中图分类号: TG83;TH161.24

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.10.023

Design of Data Processing Software for Shape and Position Error Measurement Based on MATLAB

Li Fang,Zhang Shuo,Kang Yifan,Yang Jie

Abstract: The evaluation of workpiece shape and position error is an important link to ensure the surface quality of workpiece. Shape and position error items include straightness, roundness and other items. Each error evaluation item has different data processing methods, the realization process is complex and the result precision is different. MATLAB software is used to build GUI software. Taking roundness and straightness as an example, the paper analyzes a variety of data processing methods and their implementation process, which can realize the measurement data processing of a variety of error items at the same time. The simulation image of data can be obtained, which improves the speed and precision of data processing.

Keywords: form and position error evaluation; roundness error; MATLAB

1 引言

形位误差的大小直接反映了工件表面质量,合

理处理测量数据是误差评定的重要环节。利用 MATLAB 软件中的 GUIDE 工具箱建立人机交互界面,软件包括主界面和多个项目的处理界面。主界面如图 1 所示。

各项目界面中将多种评定方法的思路编成数据

基金项目: 大连交通大学大学生创新创业项目(201910150296)
收稿日期: 2019 年 5 月

根据需要对激光能量进行校准。

5 结语

分析了激光对中仪的测量原理及算法,推导了该类激光对中仪的测量数学模型,获得了水平方向的平行偏差 X_0 及偏摆角度偏差 $\theta_{//}$ 、垂直方向的平行偏差 Y_0 及俯仰角度偏差 θ_{\perp} 的表达式,利用仪器验证了该算法的正确性,提出了双激光和一维激光对中仪的校准方法。

本文提出的激光对中仪校准方法属国内首创,并于 2010 年通过了 CANS 现场评审考核。多年来,已为全国的大型高端装备、新能源风力发电以及船舶、高铁行业所使用的激光对中仪进行了大量的校准。

参考文献

[1] 梁平. 测量两轴之间对中对中偏差量的方法[P]: 中国专

- 利, CN107727007, 2020.
- [2] 闰天彦. 激光对中数学模型研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.
- [3] 孟海星. 激光对中仪的设计与研制[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2010.
- [4] 冷梅. 激光对中仪数学模型的建立及其标定研究[D], 沈阳: 沈阳工业大学, 2009.
- [5] 杜希鹏. 激光对中测量系统的研究与开发[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2005.
- [6] 邓淘文. 基于 PSD 激光对中检测系统的研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2016.
- [7] 马喜来. 一种基于 PSD 的具有多测量方法的双光束激光对中仪的研制[J]. 计量与测试技术, 2004(11): 10-12.
- 第一作者: 梁平, 高级工程师, 广东省计量科学研究院, 510405 广州市
- First Author: Liang Ping, Senior Engineer, Guangdong Institute of Metrology, Guangzhou 510405, China

处理软件,包括数据输入部分、测量数据结果显示界面及图形显示界面三部分。用户输入测点数据并选择评定方法可得到误差值,绘出相应误差评定图形。直线数据处理界面见图2,其他项目界面采用类似方法建立。

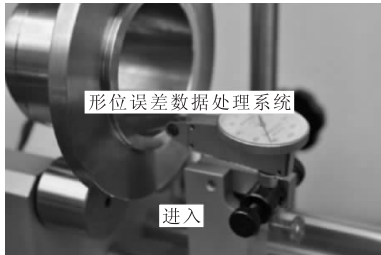


图1 主界面

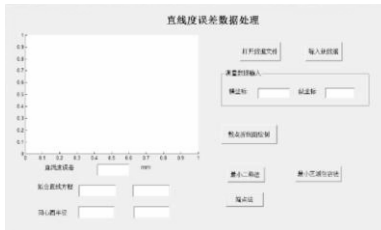


图2 直线度数据处理界面

2 数据输入

数据输入包括两种方式,可选择采用读取数据文件(.txt格式),也可从界面上输入测量数据,输入后在图形中显示其散点图。

```
[Filename,Pathname] = uigetfile('*.txt','Select Input file');
```

```
if (Filename == 0 & Pathname == 0)
```

```
    msgbox('您没有选择文件,请重新选择!','确认','error');
```

```
else
```

```
    fid = fopen(Filename,'r');
```

```
    if fid == -1
```

```
        msgbox('打开文件出错','确认','error');
```

```
    else
```

```
        xxx = fscanf(fid,'%f');% 此处,采用%d和%f读取数据均可。
```

```
        fclose(fid);
```

```
    end
```

```
end
```

本设计中,各个误差项目的界面设计与数据输入基本相同,以圆度和直线度为例来说明程序设计思路。

3 圆度误差

圆度误差是指垂直于回转体轴线截面上的轮廓

对其理想圆的变动量,是评定工件形位误差中的重要参数。

3.1 圆度误差评定方法

圆度误差评定过程是通过不同方法确定基准圆的中心,并得出被测零件轮廓最大半径和最小半径之差,以确定被测截面的圆度误差。圆度误差的评定方法主要有最小二乘法、最小区域法、最大内切圆法和最小外接圆法,区别在于所用的基准圆不同^[1]。

(1) 最小二乘法

最小二乘法评定圆度误差^[2]原理见图3。实际轮廓上各点的圆周距离平方和最小圆称为最小二乘圆,与最小二乘圆同心,作实际轮廓的外接圆和内接圆,将内外接圆的半径作为圆度误差。最小二乘法求得基准圆唯一,此评定方法适用于圆度仪测得数据的极坐标分析和三坐标测量机的直角坐标分析,其原理是实际轮廓上各点到最小二乘圆心的距离与最小二乘圆半径的距离平方和为最小。此时的圆度误差可表示为

$$\Delta = R_{\max} - R_{\min}$$

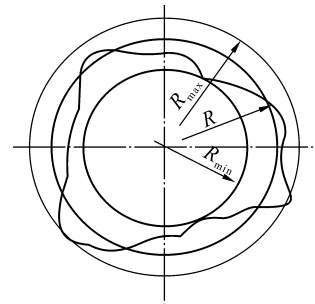


图3 最小二乘法

(2) 最小外接圆法及最大内切圆

如图4所示,最小外接圆法是基于光滑圆柱塞规检测原理建立的评定方法:以实际被测圆的最小外接圆作为外包容圆,以最小外接圆的圆心作被测轮廓的内包容圆,两同心圆的半径差为圆度误差。

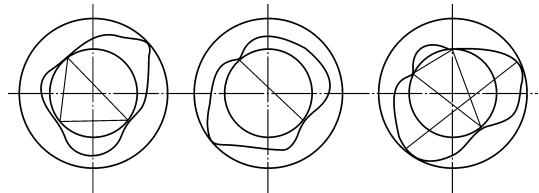


图4 最小外接圆法

如图5所示,最大内切圆法是基于光滑圆柱环规检测原理建立的评定方法:以实际被测圆的最大内切圆作为内包容圆,以最大内切圆的圆心作被测轮廓的外包容圆,此两同心圆的半径差为圆度误差。体现了所测孔能通过的最大配合轴,由此获得

的圆度误差可视为被测孔与最大配合轴之间的最大间隙。

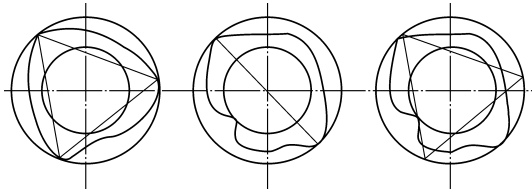


图5 最大内接圆

(3) 最小区域法

用包容被测轮廓最小同心圆区域的半径差作为圆度误差。由两同心圆包容被测轮廓,要求被测轮廓上至少有4点内外相间与两圆接触,此两同心圆的半径差为圆度误差。此方法评定精度最高,但计算较复杂,一般采用区域搜索和迭代的方法实现^[3]。

3.2 各种评定方法的算法实现

(1) 最小二乘法算法

最小二乘算法已经有成熟的算法,此处省略。

(2) 最小外接圆算法

本文简算,处理速度快,能满足一般测量的精度要求。

步骤①:从点集中随机选出两个点作为直径对圆进行初始化;

步骤②:判断下一个点 p 是否在圆中,若在,则继续本步骤,若不在,则进行步骤③;

步骤③:使用 p 作为新圆的一个边界点,另一个边界点为距离 p 最远圆上的点,用这两个点为直径构造新圆;

步骤④:继续步骤②,直到检测完所有点。

(3) 最大内接圆法算法

本方法的实质是找出所有点的两点直径,同时保证其余所有点都在以这两点为直径的圆外。算法实现的步骤如下:

步骤①:输入第一个点的坐标,连接第一点到其余所有点的直线;

步骤②:计算第一点和第二点连接直线的中心点坐标,以第一点和第二点为直径的圆心坐标;

步骤③:从第三点开始计算其余所有点到圆心的距离,如果距离小于半径,说明此点在圆内,则将第二点坐标换成此点坐标,回到步骤②重新计算,如果距离大于直径,说明此点在圆外,继续计算下一点,直到所有的点计算判断计算完成;

步骤④:继续从第二点开始,重复进行步骤①~③,直至所有的点计算完成;找出能保证其余所有点

都在其圆外的最大直径,记下值及圆心坐标,即为最大内接圆的直径和坐标;

步骤⑤:以其圆心为圆心,所有点到圆心的最大值为半径画圆,得到即为最大内接圆的区域,两同心圆的半径差即为圆度。

(4) 最小区域法

本文实现最小区域法的算法是从数据点中任选4点连接成2条直线,判断是否交叉。若不交叉,则重新选择点;若交叉,求两直线垂直平分线的交点,过交点为圆心,到两直线作2个同心圆,判断其余点是否都在同心圆区域内。若在,则两同心圆区域即为最小区域;若不满足,则返回选点的步骤重新开始,直至得到满足要求的同心圆。记录下同心圆的圆心和半径差,半径差即为所求圆度大小^[4]。

3.3 处理结果显示

选择圆度误差的最小外接圆法、最大内切圆法、最小二乘法和最小包容区域法进行计算,结果见图6和图7。图中显示出数据连接曲线和各种方法的两个同心圆,其半径差为圆度误差。按照菜单操作即可得到图形和处理结果数据,显示检测数据曲线和包容线及数值以及各评定方法计算后的误差值。

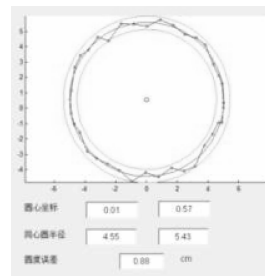


图6 最小二乘法

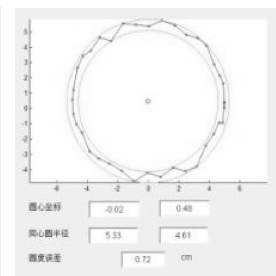


图7 最小外接圆法

4 直线度误差

4.1 直线度误差的评定方法

直线度误差的定义为实际被测直线对理想直线的变动量^[5]。常用两端点连线法和最小二乘中线法等。

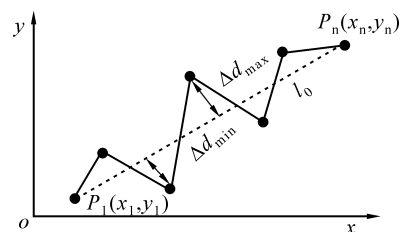


图8 两端点法原理

如图8所示,两端点法的基本原理是将采样数据点(数据点应事先按横坐标升序或者降序排列)

中首尾端点连接所得的直线作为评定直线度误差的理想直线 l_0 (即评定基线), 求出各采样点相对于基线 l_0 的偏离值 Δd_i (在基线上侧、下侧分别取正、负值), 最终求得被测对象的直线度误差 f 。

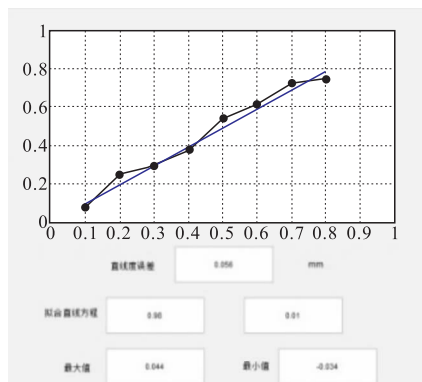


图9 两端点法

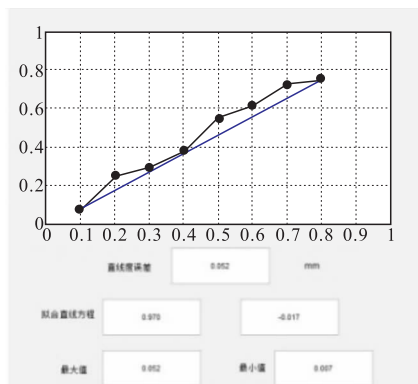


图10 最小二乘法

最小二乘中线法是利用测点数据, 采用最小二乘原理, 将拟合得到的最小二乘中心线 L_0 作为理想直线 (即评定基线), 求得评定基线两侧数据点相对

于 y 基线在平行于轴方向的偏差值 Δh_i (在基线上侧、下侧的分别取正、负值), 确定其最大值 Δh_{\max} 和最小值 Δh_{\min} , 然后评定直线度误差 f 。图9和图10为运用 MATLAB 软件分别采用上述方法对同一组测量数据的处理结果。

5 结语

本文采用 MATLAB 软件建立图形用户界面, 针对典型的误差项目, 如圆度、直线度的测量数据进行了数据采集、图形绘制和算法评定, 实现了数据的可视化, 使得数据的描述更为生动, 对被测实体的形状有了更为直观的体现。本软件可以方便快捷地绘制出误差曲线, 简化数据处理流程, 提高效率, 处理结果可用于工件形位精度等级的评定。

参考文献

- [1] 葛磊, 邹鲲. 基于 MATLAB 的圆度误差分析[J]. 机床与液压, 2011, 39(22): 99-101.
- [2] 周剑平. 基于 MATLAB 的圆度评定方法[J]. 计量与测试技术, 2005, 32(2): 5-7.
- [3] 刘飞, 梁霖, 徐光华, 等. 一种圆度误差最小区域评价方法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2011(7): 49-51.
- [4] 畅为航, 雷贤卿, 薛玉君, 等. 圆度误差算法的研究[J]. 工具技术, 2008, 42(9): 97-99.
- [5] 张永超, 李冬梅, 高峰, 等. 直线度误差评定方法简述[J]. 现代机械, 2005(4): 34-35.

第一作者: 李芳, 讲师, 大连交通大学, 116028 辽宁省大连市

First Author: Li Fang, Lecturer, Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning 116028, China