

# 形态学滤波在表面轮廓测量中的应用

张天微

哈尔滨量具刃具集团有限责任公司

**摘要:** 结合触针式测量方法的原理和优缺点,研究形态学滤波中腐蚀算法的原理和腐蚀算法在杠杆式轮廓仪接触式测量法中的应用,分析腐蚀算法计算过程中结构元素的选取对评定结果的影响。设计相应的触针针尖检定方法,得到触针针尖的实际形状,并在腐蚀计算过程中,以触针针尖的实际形状作为结构元素,结合实际情况对腐蚀算法进行相应修改,得到了被测轮廓真实的表面信息。

**关键词:** 接触式测量;针尖检定;形态学滤波;算法修正

**中图分类号:** TG84;TH741

**文献标志码:** A

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.08.025

## Application of Morphological Filter in Surface Profile Measurement

Zhang Tianwei

**Abstract:** Combined with the theory and characteristics of contact measurement, researched the theory of erosion arithmetic and the application of the erosion arithmetic in contact measurement. Analyze the effect of structuring element on results. Design a method to test the probe aim to get the fact profile of needle tip. The profile of needle is used as structuring element. Corrosion algorithm is modified correspondingly according to the actual situation and the real surface information of the measured contour is obtained.

**Keywords:** contact measurement; probe test; morphological filter; modified algorithm

## 1 引言

表面轮廓测量必须最大限度的呈现测量工件的形貌特征,并消除噪音的影响。采用形态学滤波对测量数据进行信号处理,不仅能够有效地消除噪音,还能够保留原始信号的全局和局部特征而广泛应用于采样信号处理中。触针式测量可以看作形态学滤波中的膨胀过程,对测量数据进行相应的腐蚀计算,

在消除针尖半径影响的同时又起到滤波的效果,从而得到最接近被测工件表面实际轮廓的信息。本文将针对这一算法对实际测量应用进行介绍。

## 2 表面轮廓测量方法

表面轮廓测量仪根据测量原理的不同可分为非接触式测量方法和接触式测量方法<sup>[1]</sup>。非接触式测量方法是在被测表面没有受到损坏的情况下,间接获取表面轮廓信息的一种测量方式,具有测量速度快,无需进行测头补偿等优点,但是其测量精度不

收稿日期: 2018年3月

[4] Wang Weilin, Li Changying, Ernest W Tollner. Development of software for spectral imaging data acquisition using LabVIEW [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 84:68-75.

[5] M Mahmoodi, L A James, T Johansen. Automated advanced image processing for micromodel flow experiments, an application using LabVIEW [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018, 167:829-843.

[6] Cui Zihao, Tian Zhaoshuo, Zhang Yanchao, et al. Study on real time 3D imaging of streak tube lidar based on LabVIEW [J]. Optik, 2018, 157:768-773.

[7] 刘麒, 王影, 李硕. 基于光纤传输和 LabVIEW 虚拟仪器的压力测量系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2018(9): 75-78.

[8] 郭斯羽, 翟文娟, 唐求, 等. 结合 Hough 变换与改进最小

二乘法的直线检测[J]. 计算机科学, 2012, 39(4): 196-200.

[9] 张跃强, 苏昂, 刘海波, 等. 基于多直线对应和加权最小二乘的位姿估计[J]. 光学精密工程, 2015, 23(6): 1722-1731.

[10] 刘君, 郭晓然, 晏克俊. 基于 IMAQ Vision 的小模数直齿圆柱齿轮测量方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(5): 1044-1048.

[11] 曾志强, 祝锡晶, 王俊元, 等. 基于 LabVIEW 的药筒梯形槽宽视觉精确测量研究[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(9): 173-175, 200.

第一作者: 刘超, 博士, 高级工程师, 贵州航天电器股份有限公司, 550009 贵阳市

First Author: Liu Chao, Doctor, Senior Engineer, Guizhou Aerospace Electronics Co., Ltd., Guiyang 550009, China

高,工件表面反射特性直接影响测量结果,难以去除噪声信号的干扰,而且处理边线、凹孔和不连续形状时比较困难;接触式测量方法在测量设备中的探测位置会直接与表面接触,从而获得被测表面的信息。接触式测量具有重复性好,测量结果稳定可靠,测量精度高等优点。常用的有比较法、印模法和触针测量法。对于硬质材料、定位方便、轮廓形状简单的被测件,一般采用接触式测量。试验采用接触式测量中的触针式测量方法,使用仪器为哈量集团的LINKS-2300A-C表面轮廓测量仪。

### 2.1 触针式测量方法及原理

触针式测量方法又称接触法或针描法,是一种测量表面形状的基本方法。由于触针式测量法具有操作简单、直观可靠、通用性强等优势,故在工程表面形状测量中具有重要地位。

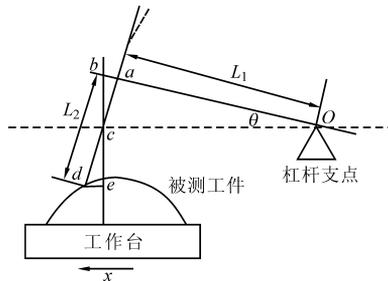


图1 杠杆式轮廓仪触针式测量

触针式测量方法的原理为:驱动器的触针随工件表面形状的变化,围绕杠杆的支点转动,将触针的上下摆动反映在弧度的变化上,通过采集圆光栅的读数并记录,经过软件的线性补偿计算,得到工件表面的形貌数据。触针式测量方法的测量原理如图1所示。

线性补偿原理为:利用罗列块规的方式,将块规标称值和当前光栅读数相对地存储起来,确保所有块规的标称值涵盖传感器全行程,采用多项式拟合,找到圆光栅读数与块规标称值之间的多项式关系,并以此作为传感器线性补偿的依据。

### 2.2 触针式测量方法存在的问题

触针式测量方法虽然操作更简单,结果更可靠。但理论上,只有达到触针半径为零的位置时,其运动才能反映出真实的轮廓表面信息。显然实际工作中触针半径不可能为零,采集到的轮廓并非工件表面实际轮廓,而是触针针尖圆心的运动轨迹,影响测量结果。以标准球的测量为例,如果不考虑触针针尖半径的影响,直接对所测轮廓进行评定,就会导致拟合出的半径数值偏大。

数据处理时需要在最大限度保留原始信号特征

的同时,将针尖半径的影响去除,即对针尖半径进行适当补偿。所以需要一套合理的针尖检定方法得到真实的针尖形状,从而应用适当的补偿算法去除针尖半径的影响。

### 2.3 触针针尖形状的检定方法

触针式测量方法中,传感器上的触针直接接触工件表面,采集工件轮廓信息。触针的针尖形状和尺寸会直接影响表面轮廓的测量结果<sup>[2]</sup>。在应用形态学滤波算法时,将针尖形状作为腐蚀算法的结构元素。因此需设计合理的针尖检定方法,精确地得到触针针尖形状的真实信息。

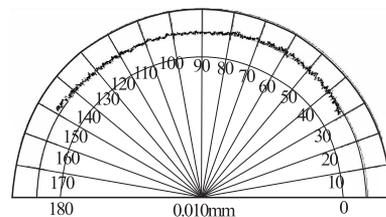


图2 触针针尖形状

触针针尖形状检定方法通过测量标准棒,反求出针尖的实际形状,将所得针尖形状的数据进行存储,并进行多项式拟合<sup>[3]</sup>,将所得到的拟合曲线作为形态学滤波腐蚀算法的结构元素,用于形态学腐蚀计算,以去除触针针尖形状对表面轮廓测量的影响,从而可得到真实的轮廓信息。图2为扩大一百倍的触针针尖形状。

## 3 形态学运算

数学形态学是一种非线性图像(信号)处理和分析工具。数学形态学以集合来描述目标信号,其思想是设计一个称作结构元素的“探针”(相当于滤波窗)收集信号的信息,通过该结构元素在信号中不断移动,对信号进行匹配,以达到提取信号、保持细节和抑制噪声的目的。

基本的形态学运算符为膨胀和腐蚀。膨胀是将与物体接触的所有边界点合并到物体中使边界向外扩张的过程。腐蚀算法可看作是膨胀算法的对偶运算<sup>[4]</sup>。

### 3.1 腐蚀算法的基本原理

腐蚀是消除边界点,使边界向内部收缩的过程。由于二维表面轮廓测量信号,只涉及 $X$ 轴及 $Z$ 轴的数据,本文仅研究 $Z$ 轴信号的腐蚀算法。设被测轮廓的 $Z$ 轴的数据 $f(n)$ 其定义域为 $D_f = \{0, 1, \dots, N-1\}$ ,相应的结构元素 $g(m)$ 其定义域为 $D_g = \{0, 1, \dots, M-1\}$  ( $N \geq M$ )。则 $f(n)$ 关于 $g(m)$ 的腐蚀算

法为<sup>[5]</sup>

$$(f \ominus g)(n) = \min \{ f(n+m) - g(m) \} \quad (1)$$

式中,  $n+m \in D_f$ ;  $m \in D_g$ 。

一维离散数据的腐蚀效果见图3<sup>[6]</sup>。

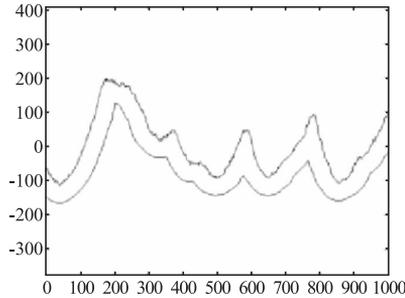


图3 一维离散数据的腐蚀效果

### 3.2 结构元素

在形态学滤波中,结构元素的选择对信号处理有较大影响。传统的结构元素选取是将触针的针尖形状视为标准的圆弧,将标准圆盘的公式代入式(1),作为结构元素进行腐蚀计算,从而得出被测轮廓的信息。

考虑到触针的加工误差和使用过程中针尖的磨损,实际上触针的针尖形状并非理想圆弧(见图4),若仍用标准圆盘作为结构元素去进行形态学腐蚀计算,必将给测量结果带来误差。而表面测量属于高精度测量,不能忽略针尖形状带来的误差影响。为了使所得测量轮廓更接近被测工件的真实轮廓,在表面形状测量中,将触针针尖的真实形状作为结构元素。应用触针针尖半径检定方法,得到能够反映触针针尖的实际形状的数据,再将其离散为数据点的形式或拟合成多项式的形式,便于进行后续的腐蚀计算。考虑到仪器采样间隔的灵活性,采用多项式拟合的方式。

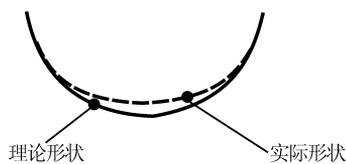


图4 针尖误差

### 3.3 腐蚀算法的修正

由于形状测量后的数据不能直接使用,需要进行精度补偿和校准,所以补偿和校准后所得数据会发生变化,如果再以标准的形态学腐蚀算法去计算,

将造成形状失真。所以需要修正,以适应补偿后的数据。图5为形态学腐蚀算法修正前后的对比效果,可以明显看出,修正后的腐蚀算法能够有效避免因所得轮廓非等间隔而造成的失真。

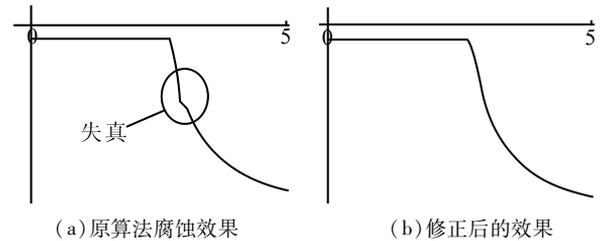


图5 腐蚀算法修正前后对比

## 4 结语

结合接触式测量中,触针式测量方法的原理和优缺点,得出测量结果与针尖半径有关;设计了一种触针针尖形状的检定方法。详细介绍了形态学滤波中腐蚀算法在表面形状测量中的应用,并将针尖的实际形状作为结构元素进行计算。根据实际情况对标准形态学腐蚀算法进行了修正,在消除针尖半径影响的同时又起到滤波的效果,还能保留原始信号的全局和局部特征;得到了最接近被测工件表面实际轮廓的测量结果。

### 参考文献

- [1] 袁颖杰,常素萍,谢铁邦.大量程触针杠杆式轮廓仪的非线性误差分析和补偿[J].计量技术,2012(11):7-11.
- [2] 吕会娣,郎岩梅.触针式轮廓仪的测针形状及其检定[J].工具技术,2003,37(7):70-71.
- [3] 李锐.轮廓仪测针误差修正算法的研究[J].工具技术,2013,47(6):70-71.
- [4] 李晓飞,马大玮,粘永健,等.图像腐蚀和膨胀的算法研究[J].影像技术,2005(1):37-39.
- [5] 胡爱军,唐贵基,安连锁.基于数学形态学的旋转机械振动信号降噪方法[J].机械工程学报,2006,42(4):127-130.
- [6] ISO/DTS 16610-40:2002. Morphological profile filters[S].  
作者:张天微,硕士,哈尔滨量具刀具集团有限责任公司,150040 哈尔滨市  
Author: Zhang Tianwei, Master, Harbin Measuring & Cutting Tool Group Co., Ltd., Harbin 150040, China