

曲面薄壁零件非接触在线精密测量

黄 强

(重庆工业管理学院,重庆 400050)

摘要 设计了利用计算机进行误差补偿强化曲面薄壁零件轮廓面非接触测量的实用方案,介绍了解决问题的思路和原理,并提出采用 LC 振荡法的数字式涡流测微传感器,阐述了自动定标原理

关键词 曲面薄壁零件;非接触在线测量;误差补偿;数字式涡流传感器

分类号 TP274.5

0 前 言

随着科技、国防及生产的发展,某些重大设备关键零件的形状越来越复杂,精度越来越高。其中异形薄壁回转曲面一类,被广泛应用于核、强激光等国防尖端技术及某些高技术产品中,而这类零件的加工、测量往往受到一些特殊条件的限制。解决这类零件的精密测量,是保证产品质量、提高生产效率以及实现高技术指标的必要手段。图 1 是一个被测异形曲面零件参考图。零件表面形状复杂,检测项目包括内外型面半径及壁厚(对指定测点处)、内外型面高度、内外圆柱面直径及圆度等,测量精度要求达到微米量级。且要求在密闭微负压环境中进行。针对以上情况,现有的文献资料^[1~8],尚无现成方法可寻。作者基于坐标测量法原理,提出了一种新的测量方法,以求解决这类实际测量问题。在应用此方法进行测量的过程中,必须处理好以下关键问题:

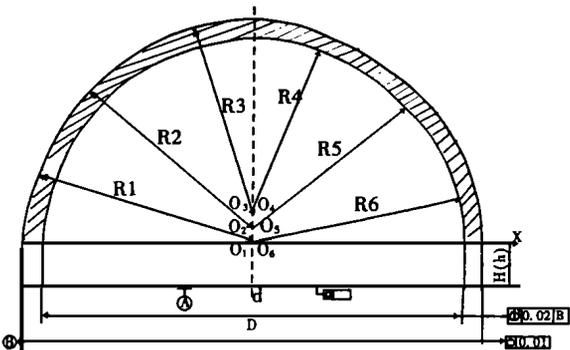


图 1 被测试件图

1) 非接触测量尺寸信息的获取。在坐标法测量中,利用球形测头进行接触测量的技术目前是成熟的,但是改成非接触传感器,都存在如何实现自动定标及仪器读数的稳定性、可靠性受电路参数及温度等变化的影响而影响其测试精度的问题

2) 数据处理问题。测量精度要求达到微米量级,而在线测量时,机床主轴的回转误差、

轴向串动、导轨的直线度及相互垂直度误差等,都对测量结果有所影响,使零件的实际误差难以确定。现成的误差分离方法和技术对于本文所针对的实际情况还不能完全适应,实施起来也较困难。

3) 受空间尺寸限制,曲面测量不可能采用三坐标测量机方法。

1 在线自动测量方案

图 2 是自动测量原理图。图中测头部件采用微型涡流传感器,将它安装在小型步进电机轴上,并被固定在刀架上。利用机床的数控系统,通过数控编程,使测头回转中心的轨迹,沿着工件理想轮廓的等距曲线(图中点划线)运动。与此同时,通过主控微机及步进电机驱动电源,控制步进电机转动角度 α , 保证测头轴线始终与曲面法向一致。数控机床按照预先算出的等距曲线轨迹依次走向下一测点,停留数秒以保证足够的测量时间,然后读取该点的法向间隙 δ , 接着走向下一测点,如此完成全部轮廓测量。

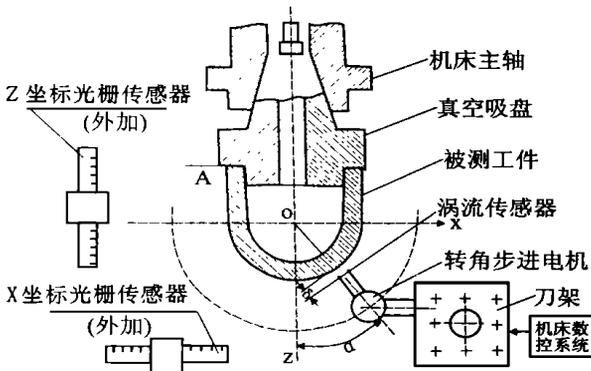


图 2 自动测量原理

头回转中心 O 的精确坐标(不一定与理想的工件轮廓等距线重合)。根据 X 、 Z 光栅的坐标值 x_i 、 z_i , 步进电机转角 T_i 及涡流测微仪测得间隙 W , 经微机进行误差分离和补偿处理后,可以精确算出工件一个截面的轮廓误差。

2 误差分离与补偿

在线测量时,测量数据中包含零件轮廓形状误差与机床、量仪等引起的测量误差。测量误差中有系统和随机误差两种,对于加工图 1 所示零件的精密机床,随机误差较小;而对系统误差,则可以通过测试、计算、控制等办法进行分离和补偿。为此,有必要找出系统误差的根源,以便采取相应的措施。由于影响测量误差的因素很多,关系复杂,以下只就其中的主要影响因素作出简要分析。

某测点上工件表面法线方向精确的工件形状误差设为 Δ , 测量该值的准确性受以下因素的影响:

$$\Delta = f(W, x, z, \epsilon_r, e, \dots)$$

其中: W — 测头表面与工件之间的法向间隙。

x, z — 测头中心的坐标。

ϵ_r — 主轴的径向位移。

e —— 主轴的轴向位移

按照误差传递关系, 可以将轮廓误差变动量 (即测量误差) Δ , 以全微分的形式表达:

$$\Delta = \frac{\partial f}{\partial W} \Delta W + \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z + \frac{\partial f}{\partial e_x} \Delta e_x + \frac{\partial f}{\partial e_z} \Delta e_z$$

式中: ΔW —— 涡流测微仪的测量误差

$\Delta x, \Delta z$ —— 测头中心的光栅坐标读数误差 包括机床导轨不直度, 导轨间的垂直度、平行度误差, 光栅自身的误差及安装误差等。

Δe_x —— 主轴的径向跳动量。

Δe_z —— 主轴的轴向串动量

实际上, 通过查阅资料可以发现, 对于加工图 1 所示零件的一部高精密机床, 一般主轴回转精度都达到了较高水准, 精密主轴系统的径向跳动及轴向串动, 完全可控制在 $2 \mu\text{m}$ 以下。这样, 其误差量级在线测量误差中所占比例较小, 可暂不考虑。而 $\Delta W, \Delta x, \Delta z$ 将另文专题讨论。

3 非接触传感器

3.1 非接触传感器的选择分析

经过分析, 非接触传感器用于本测量中应满足 5 个要求:

- 1) 分辨率优于 $0.1 \mu\text{m}$, 精度 $0.5 \mu\text{m}$, 工作量程 $> 0.2 \text{mm}$ 。
- 2) 传感器尺寸小, 且安装调整容易。
- 3) 传感器在测量过程中参数稳定
- 4) 能实现现场定标或现场自动定标。定标中不但要求确定仪器灵敏度, 同时还需确定被测间隙的绝对数值
- 5) 解决被测凹凸曲面曲率不同时测试数据的补偿。

目前常用的位移传感器有电容式测微仪、涡流式测微仪、气动测微仪 3 大类。其中气动测微仪因不适合测量环境 (密封微负压的空间) 而不能考虑。电容式测微仪分辨率高, 国内已有产品。但这种传感器的有效量程小且无法确定工件表面与测头端面间隙的绝对值, 不符合测量要求 4)。近年来发展了一批光学测微仪, 其精度能够满足测量要求, 但这些光学测微仪的精度稳定性与商品化、实用化尚有一段距离。相对来讲, 涡流传感器在工业上已获得广泛使用, 并已商品化, 技术比较成熟, 经反复分析比较, 涡流传感器应是一种现实的选择。

3.2 涡流传感器的自动定标

测试是在密闭有限空间内进行的, 因此, 传感器的现场定标必须是自动定标

3.2.1 自动定标系统的优势

1) 可以较好地解决传感器的非线性特性带来的测试误差, 并扩大了有效的测量范围; 2) 避免了定标过程中人为操作及读数带来的失误, 并可显著节约定标所花的时间; 3) 由于工件轮廓自动测量是紧接着自动定标后进行的, 在此期间电路参数及温度变化较小, 有利于保证测试结果的准确性; 4) 还解决了不同材料零件的测量问题

3.2.2 自动定标原理 见图 3(a), 以工件表面作定标基面, 定标开始后, 点动安装在数控机床刀架上的涡流传感器沿负 Z 方向前进。当进至传感器的有效量程后, 输出电压开始发生变化, 这时改作间歇方式的微量进给, 在停留期间, 微机读取 Z 坐标光栅的位移量 δ 及涡

流传感器此时的电压输出信号 L_i (L_i 是输出电压 V_i 的 A/D 转换量) 当涡流传感器前进到输出电压信号刚好不再变化时, 表明此时传感器端面正好与被测基面接触, 恰是 $\delta = 0$ 之处, 于是微机发出信号, 通知操作人员停止刀架前进, 定标运动过程结束 (可重复进行以检验稳定性) 之后, 微机将自动建立 δ 与 L_i 的关系曲线 (见图 3(b)) 及相应的定标数据表格 (存入微机) 在以后的轮廓测量中, 微机将根据传感器的输出电压 L_i 查表得出工件与测头之间的间隙 δ 。

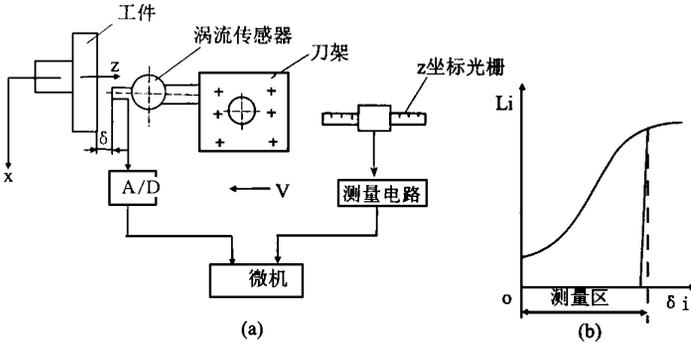


图 3 自动定标原理

3.3 新型数字式涡流传感器原理

为了使传感器输出信号尽量少受电路参数的影响, 进一步提高传感器的工作稳定性、分辨率和精度, 现提出研制一种新型数字式涡流传感器的设想

3.3.1 传感器的“一步数字化” 主要是为使传感器的输出信号尽量少受电路参数的影响。为此, 传感器采用了“一步数字化”措施。办法是将传感器做成微型 LC 振荡电路, 则振荡频率 f 只取决于电感 L 和电容 C 的值: $f \approx 1/(2\pi \sqrt{LC})$ 。其中: L 为涡流传感器线圈的等效电感, 其值仅取决于被测间隙 δ 的大小, 等效电容 C 选择稳定性高的电容。则通过谐振电路向单片微机输出的频率信号将仅与 δ 值保持对应的关系。由于该信号属于数字信号, 在传输过程中, 信息不再丢失或改变, 从而能有效克服通常涡流传感器输出电压易受电路参数的变化影响的问题。需要指出的是, 传感器的输出信号频率 f 通常与电感 L (或被测间隙 δ) 存在非线性关系, 不过只要通过前述的定标实验确定出 f 与 δ 的关系, 列表输入微机, 在以后的测量过程中, 微机就很容易从接收的频率信号确定出对应的 δ 值。这一方式将以足够的精度大大扩展测量的量程

3.3.2 数字式涡流测微仪工作原理 图 4 是以数字式涡流传感器为基础的“传感器 微机”

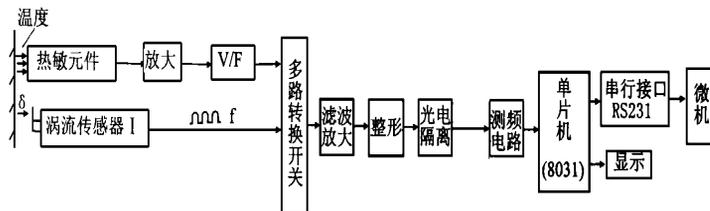


图 4 数字式涡流传感器工作原理

测量系统组成框图。图中与被测间隙 δ 相对应的涡流传感器振荡频率信号 f , 经过多路选择开关后, 进行滤波、放大、整形处理, 得到与 f 相对应的方波信号, 然后经过光电隔离, 送入测频电路, 测出传感器谐振信号的频率, 再通过单片微机进行线性补偿 (依据定标实验的 $f-\delta$ 曲线) 及温度补偿, 求得对应的 δ 值。该测微仪设有 RS232 串行数据传送端口, 可以将数字化的 δ 值直接送给上一级的控制微机, 进行轮廓误差测量。

4 结 语

作者提出的曲面薄壁零件轮廓面非接触在线测量方法在密闭空间中的实施是成功的, 经过计算机误差补偿后的实验数据与三坐标机测试结果的比较, 证明这种利用计算机进行自动测量的方法具有一定的实用价值。在计算机辅助设计、计算机辅助制造日益发展的今天, 利用计算机进行自动测量是一种有益的探索。

参 考 文 献

- 1 Kanada T. Sampling space in discrete measurement of cylindrical form. Ball JSPE, 1986, 20(3): 165~ 170
- 2 Kakioetal Y. In-Measurement of Cylindricity. Annals of CIRP, 1978, 27(1): 371~ 375
- 3 林友德, 郭亨礼. 传感器及其应用技术. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1992
- 4 甘永立, 宁芸, 何改云. 形状和位置误差检测. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- 5 花国梁. 精密测量技术. 北京: 中国计量出版社, 1990.
- 6 张国雄. 误差修正——提高坐标测量精度的重要方向. 机床, 1986, (8)
- 7 姜琪玉. 机械运动方案及机械设计. 北京: 高等教育出版社, 1991.
- 8 傅琪麟. 微型计算机接口技术与通讯. 北京: 清华大学出版社, 1988.

Non-contact Online Precision Measurement of Camber Thin-wall Parts

Huang Qiang

(Chongqing University of Industry Management 400050)

Abstract This paper designs a designing plan which strengthens the noncontact measurement of the contour surfaces of camber thin-wall parts by means of applying computer to conduct error compensation. It introduces the train of thoughts and principles to solve problems, and presents digital eddy current sensor in which LC Oscillation is used as well as its automatic scaling principles.

Key-words camber thin-wall parts; non-contact on-line measurement; error compensation; digital eddy current sensor

(责任编辑: 秦和平)