

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.02.019

大轴圆度误差在线测量新技术

曾汉平¹, 王标², 余晓芬²

(1. 安徽省长江计量所, 合肥 230088; 2. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 合肥 230009)

摘要: 针对大型轴类零件进行圆度误差测量存在的不足, 提出一种采用电感测微系统和计算机实现大轴圆度误差在线测量的新方法。采用最小二乘法, 通过电感测微仪获取被测零件的表面轮廓参数数据, 由自编的数据处理软件对零件的表面轮廓参数数据处理和检测。理论分析与实验结果比较表明, 该测量系统技术先进、测试精度高、仪器性能可靠、操作方便、可在线使用, 能解决对大型轴类零件进行圆度误差测量的实际问题。

关键词: 大轴; 圆度误差; 在线测量**中图分类号:** TP206⁺.1 **文献标志码:** A

New Technology of Roundness-Error Measurement for Macro-Axis Online

Zeng Hanping¹, Wang Biao², Yu Xiaofen²

(1. Changjiang Institute of Metrology of Anhui Province, Hefei 230088, China;

2. School of Instrument Science & Opto-electronic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Aiming at the problems of attribution on measurement of the roundness-error for macro-axis, a new technology on the measurement of the roundness-error for macro-axis with combination of inductance micrometer and computer is introduced. Adopting the least square circle, gathering the parameter date of the surface profile of measured parts by using the inductance micrometer, testing and dealing with the parameter date with the SFKSWs made by ourselves. It is testified by theoretical analysis and experiments that the measurement system has many advantages, such as advanced technique, high-test precision, reliable performance, convenient operation and measurement online. The practical problem of the error-measurement for macro-axis online is solved by using the method.

Keywords: macro-axis; roundness-error; measurement online

0 引言

圆度误差是机械零件常见的形状误差之一, 直接影响零部件的配合、旋转等工作精度和互换性, 导致摩擦、振动、噪声等现象产生, 大大降低了零部件的使用寿命。目前, 圆度误差的测量方法主要有: 1) 圆度仪测量法, 属于接触式相对测量法, 其精度高, 由于测量范围有限, 对大型轴类工件无法测量; 2) 影像测量法, 该方法效率较高, 但测量过程中存在成像瞄准误差和读数误差, 数据处理过程繁复, 测量精度不高; 3) 两点或三点测量法, 属于特征参数测量法, 该测量法虽然较为简单方便, 但存在较大的测量误差, 只能用于测量精度要求较低的零件的圆度误差。笔者提出一种利用高精度电感测微仪实现大轴圆度误差在线测量与评定的新技术。

1 测量原理与方法

国家标准规定, 圆度误差为包容同一横截面实际轮廓, 且半径差最小的两个同心圆间的距离。圆

度误差应按最小区域法评定, 实际用于圆度误差评定的常用方法有: 最小二乘法(LSC)、最大外接圆法(MMC)和最大内切圆法(MIC)等。

为了满足大轴圆度误差在线高准确度测量的要求, 采用以下几种方法: 首先, 选择满足使用要求的测微传感器, 以确保测量精度; 其次, 通过机械滤波和电路的优化设计, 确保采集的信号准确、可靠; 再次, 选择适当的圆度误差评定方法, 科学编制数据处理程序软件, 确保数据处理正确; 最后, 通过仿真和实验, 验证所设计的系统能否满足设计要求。

测量原理: 电感测微仪传感器与被测大轴充分接触, 在大轴转动过程获取其表面轮廓参数数据, 输入计算机系统, 利用自编处理软件对数据进行处理和检测。主要步骤如下: 1) 轮廓边缘提取; 2) 采用多项式曲线拟合法, 将所提取的轮廓上的有限点拟合成连续曲线; 3) 根据所拟合的曲线, 按最小二乘法确定用于圆度误差评定的 2 个同心圆的圆心位置; 4) 按国家标准规定, 进行圆度误差的测量与

收稿日期: 2010-09-10; 修回日期: 2010-09-25

基金项目: 国防军工计量“十五”重点项目(60104008)

作者简介: 曾汉平(1972—), 男, 安徽人, 高级工程师, 从事现代测试技术研究。

评定, 输出测量结果。

2 测量系统设计

测量系统组成结构框图如图 1, 测量系统组成主要是由电感测微数据采集系统和计算机数据处理系统组成。

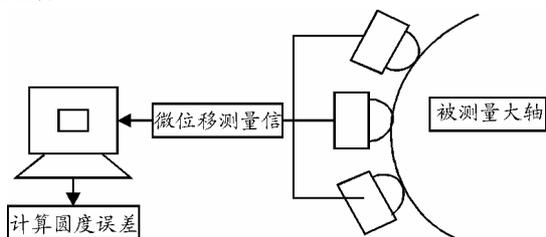


图 1 测量系统组成结构框图

1) 电感测微系统设计

选择螺管形差动变压器式的电感测微仪, 其结构如图 2。电感测微传感器包括测量电桥、交流放大器、相敏检波器、振荡器、稳压电源等。

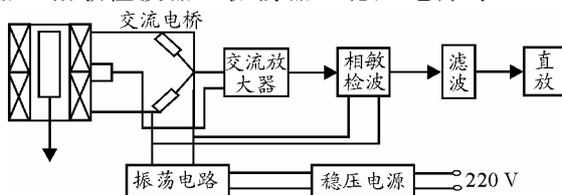


图 2 电感测微仪的结构图

振荡电路的作用就是为电感提供所需要的激励电源, 频率为 11 kHz, 峰峰值为 3.8 V 的正弦信号。电感就是利用了交变的电流产生交变的磁场, 在电磁感应的作用下将磁棒的位移转换为变化的交流电, 这个变化的交流电就是测微头测量的轮廓参数信号, 如何将这个变化的电流转换为需要的直流电压, 必须设计合理的调理电路。

调理电路由激励源缓冲电路、交流放大、相敏检波和直流放大几部分组成。交流放大电路的作用就是将原来小幅度的原始信号变成符合幅度大小要求的放大信号; 相敏检波电路是将交流信号变成了和原始信号有同相位的直流电压信号, 保证了磁芯在向不同的方向移动的时候, 其电压正负正好反映了物体具体的位移方向, 实际的应用中是将整个的 $\pm 5\text{ V}$ 的信号改变成 $(0\sim 10)\text{ V}$ 的电压, 从而知道物体的绝对位移; 这个信号最后由直放环节完成, 再经过一道滤波后作为最终信号输出交给采集卡处理。

2) 电感信号的滤波

① 机械滤波

测量时, 为避免测头磨损影响测量精度, 在测头前端增加如图 3 所示的保护套, 电感头装在套管内, 通过一个直线位移传动棒和大轴的表面接触。

从图 3 中可以看到接触头的前端是个半球的形状, 既能有效避免电感头的磨损, 又能保证与大轴的表面接触, 起到一个机械滤波的作用, 可以滤掉大轴表面影响圆度误差测量的一些小的高频的起伏。

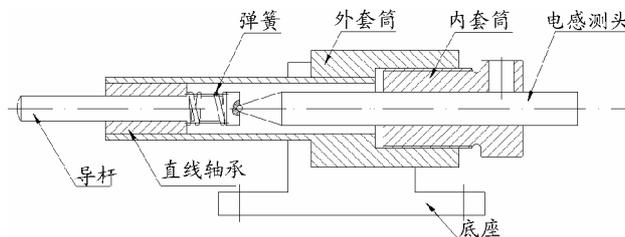


图 3 电感头的安装套筒结构

② 电子滤波

根据电感头在实验中测量的数据, 在其测量量程为 5 mm 的时候, 输出电压的范围为 $\pm 7.4\text{ V}$ 左右, 假设其工作范围为线性 (实际不是这样的, 这样处理只是便于分析) 可以算出电感的位移电压对应量大约为 $3\text{ mV}/\mu\text{m}$, 根据系统精度的要求, 传感测微仪的系统误差不大于 $0.3\ \mu\text{m}$, 也就是说电压的稳定在 1 mV 以内。但是在实际的观察中却发现从电感头自带的调理电路输出的电压存在一个 20 mV 到 50 mV 的跳动量, 如图 4, 这就造成电感测微仪远远达不到系统精度的要求。

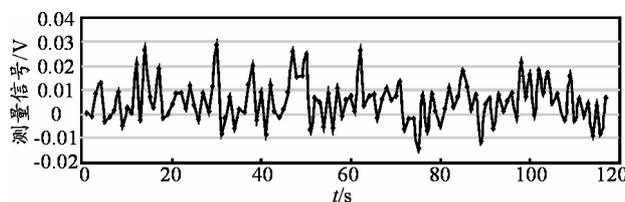


图 4 滤波前的信号跳动量

增加 RC 滤波电路, 根据 RC 滤波电路的参数配置, 截止频率 $F=1/(2\pi RC)$, 系统中大轴表面的轮廓为一个低频信号, 所以可以将截止频率选得很低, 即采用 $15\text{ K}\cdot 0.1\ \mu\text{F}$ 的参数配比, 此时由公式可以算出截止频率在 10 Hz 左右。

在电感调理箱中存在着多种信号: 有高频也有低频、有直流也有交流、有高压也有低压, 总体的工作环境很差, 在信号的传输过程中容易受到静电和其他噪声的干扰。为减小这些不确定因素对信号的影响, 将传输的电缆换成屏蔽线, 同时将裸露在外边的导线部分都用套管绝缘。并将箱体接地, 使整个系统独立起来。经过这些措施以后, 用采集卡采集数据, 最后分析数据的稳定度在 3 个分辨率以内, 即 1 mV, 满足系统对精度的要求。处理后的数据测量信号如图 5, 可见综合这些措施以后信号的精度和稳定度有了极大的提高。

3) 数据采集系统设计

① 采集卡选择

根据系统精度要求, 所选用传感器的测量范围为 $\pm 1\ 000\ \mu\text{m}$, 要求精度为 $\pm 0.2\ \mu\text{m}$, 输出信号经调理电路调理后输出的是(0~10)V直流电压, 所以需要A/D的精度 $\Delta \leq 1\ \text{mV}$ 。

依据本系统输出模拟量的特点, 选用AC1082数据采集卡。AC1082是一款通用高分辨率A/D板, 采用大规模可编程门阵列设计, 提高可靠性。

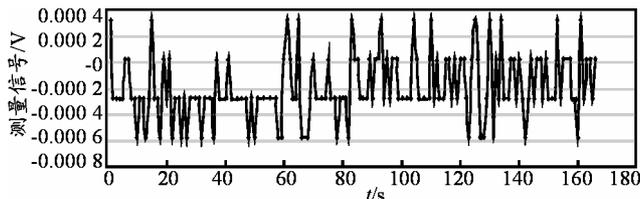


图5 滤波后的信号跳动感

② 采集程序及硬件设计

系统中, 只要利用AC1082板卡对电感传感器的调理后输出的标准电压信号进行采集和AD转换, 变成微机能够识别和容易处理的数字信号。选用板的双极性采集方式, 采集范围是(-5~+5)V。AD取样的流程图如图6。

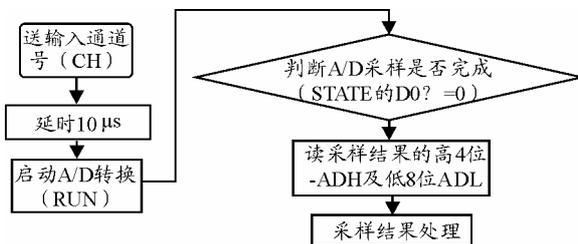


图6 A/D采集程序的流程图

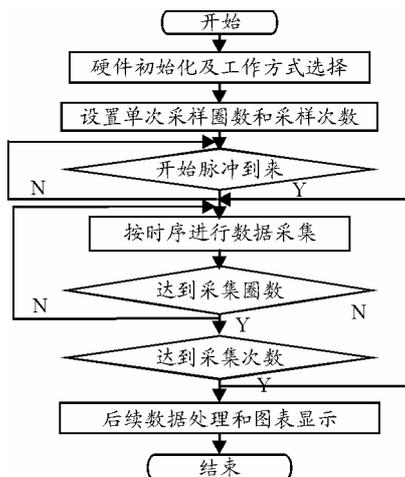


图7 数据采集和控制软件流程图

由于A/D的一次转换时间为 $10\ \mu\text{s}$, 因此延时可以进行1~2次A/D转换来实现。AC1082可以对取样信号进行处理, 能够得到16位的分辨率。由

于AC1082的噪声为高斯分布, 因此可以采用数字滤波器或简单的多次平均来对取样结果滤波, 通常4~8次平均处理已经能够满足要求。

本系统各个传感器信号的起停是通过零位控制脉冲准确控制, 其采样频率通过软件进行调控。测量控制软件必须首先捕获兼有控制采样起停的光电开关脉冲信号, 在采样起始脉冲到来时, 快速启动数据采集系统对电感传感器有序采样和存储; 继而在停止采样脉冲信号到来时, 快速终止采样, 控制计算机对所采集到的数据做后续处理、图形显示、给出测量结果等, 数据采集和控制软件流程如图7。

3 圆度误差评定

圆度误差的基本评定方法有: 最小二乘法、最小外接圆法、最大内接圆法及最小区域法4种。最小二乘法评定最适宜用计算机实现, 是实际轮廓上各点到该圆的距离的平方和为最小的圆。以被测实际轮廓的最小二乘圆作为理想圆, 其最小二乘圆圆心至轮廓的最大距离与最小距离之差即为圆度误差。最小二乘法评定圆度误差流程如图8。

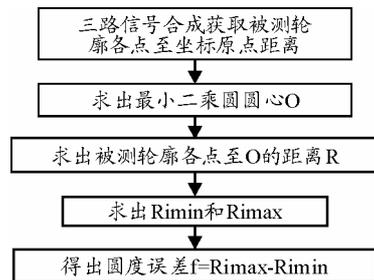


图8 最小二乘法评定圆度误差流程图

4 实验结果

用自行研制的大轴直径和圆度误差测量系统, 对一件已经完成加工还没有下线的大轴($\Phi 3\ 681.910\ \text{mm}$)工件的圆度误差进行现场测量, 并与激光跟踪仪现场测量结果比对, 测量值如表1。

表1 测试结果

测量方法	电感测微法	激光跟踪仪测量法
1	40.9	40.4
2	44.4	40.9
3	41.5	41.2
4	42.4	39.9
5	43.4	40.3
6	42.0	41.0
7	41.5	40.6
8	43.3	39.8
9	40.9	41.9
10	40.7	40.0
圆度误差平均值/ μm	42.1	40.6
测量结果 不确定度/ μm	$U=0.8$ ($k=2$)	干涉测长极限误差: ($10+0.8 \times 10^{-5}D$) D:被测大轴直径/m

5 结论

经多次实验证明, 该测量系统实现了对大型轴类工件的圆度误差在线、动态、高精度测量。大轴圆度误差测量扩展不确定度为: $U \leq 1.5 \mu\text{m} (k=2)$ 。理论分析和实验结果比较表明, 该方法具有较高的测量准确度, 可实现数据自动处理, 测量过程简单易行, 测量装置具有通用性, 易于推广。

参考文献:

[1] 玄兆燕, 孙荣平. 滚轮法测量大直径的探讨[J]. 河北理

(上接第 49 页)

2 HTTP 请求中信息篡改、伪造及解决措施

目前, B/S 系统对数据的操作往往以对象为最小单元, 对象的处理过程如图 3。

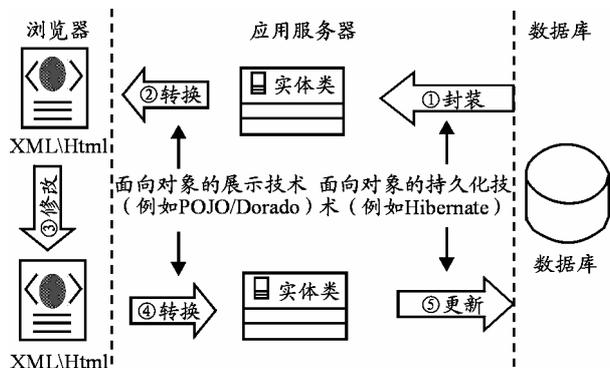


图 3 B/S 系统数据处理示意图

- 1) 应用服务器从数据库检索一行数据, 通过面向对象的持久化技术封装成一个实体类对象;
- 2) 应用服务器使用面向对象的展示技术, 将实体类对象转换成 XML, 通过 HTTP 响应传送到浏览器客户端;
- 3) JavaScript 脚本再次将 XML 封装成 JavaScript 的对象实现界面交互操作, 修改对象;
- 4) 浏览器把修改过的 JavaScript 对象转换成 XML 提交给应用服务器, 再次转换成实体类对象;
- 5) 在应用服务器处理完业务逻辑后, 通过面向对象的持久化技术将对象持久化到数据库。

可见, 如果在第 4 步之前拦截 Http 提交的请求, 分析请求数据, 恶意用户可以利用伪造数据和面向对象处理不当的缺陷跨权访问数据。

在保证面向对象的编码技术前提下, 建立解决业务数据访问控制的模型, 如图 4。

由于业务数据访问控制的核心技术是面向方面的编程技术 (AOP), 是对部分关心的方法调用进行

工学院学报, 1998, 20(2): 47-50.
 [2] 杨宏宇, 谢丽霞, 殷镇良. 高精度大直径测量的新方法研究与实现[J]. 仪器仪表学报, 2000, 21(6): 597-603.
 [3] 王标, 余晓芬, 曾汉平. 高精度大直径在线测量系统数据采集控制方法研究[J]. Key engineering materials, 2008(381): 129-132.
 [4] 张宇华, 王晓林. 三点法圆度测量精度分析[J]. 光学精密工程, 1998, 6(4): 127-131.
 [5] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
 [6] 曾汉平, 余晓芬. 三点法测量大型轴类工件圆度误差分离和评定方法研究[J]. 工业计量, 2008(4): 17-19.

拦截, 通过分析方法所操作的业务数据, 是否满足业务数据的多维访问规则, 只要有访问规则不通过, 则方法的调用失败。这样, 即使将实体伪造成另外一个实体对象后, 试图在提交给数据库时被拦截, 并将作为新的对象进行安全访问过滤, 由于新的实体具有不同的安全属性, 如果没有被授权给该当前用户, 则该请求将被终止。这种访问机制不但能够满足防止篡改和伪造进行跨权访问的控制, 而且能够实现多维的安全访问控制的需求。

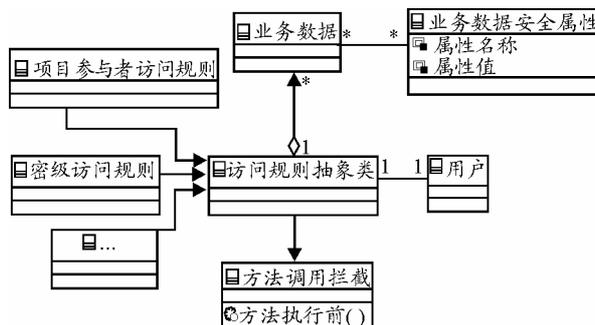


图 4 业务数据访问过滤模型图

3 结语

该技术有效地解决了 B/S 系统中的跨权访问问题。在涉密系统中, 对涉密数据的访问存在多种访问规则, 也可使用“业务数据的访问控制模型”来实现多维数据的访问控制逻辑。

参考文献:

[1] 熊策. AOP 技术及其在并发访问控制中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2005(8): 1-3.
 [2] 陆庭辉. B/S 结构下的用户访问控制方法[J]. 计算机工程与设计, 2010(4): 1-3.
 [3] 黄凯. 基于角色的 B/S 系统访问控制的研究与应用[J]. 计算机工程与应用, 2009(1): 1-4.
 [4] 凯耶尔. Java EE 设计模式—Spring 企业级开发最佳实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.