

机床传动链测试系统及滚齿机精化实用技术

郑永^① 郑方燕^② 高忠华^② 陈自然^① 董淳^②

(^①合肥工业大学仪器科学与光电工程学院,安徽 合肥 230009 ;

^②重庆理工大学机械检测技术与装备教育部工程研究中心,重庆 400054)

摘要 :介绍了全微机化传动误差检测分析系统和机床传动链误差谐波分析法。利用 FMT 系统对 Y3180H 滚齿机进行传动误差测量,对误差进行谐波分析。通过对该滚齿机传动链的分析,结合谐波分析的结果,找出产生误差环节的部件。根据传动链中每个传动件传动误差传递的规律,计算出需要的修正量。针对不同的误差环节采用不同的修正方法,最终将机床精化为一台高精度的滚齿机。

关键词 FMT 系统 谐波分析法 滚齿机 精化

Refinement Practical Technology for Testing System of Machine Transmission Chain and Gear Hobbing Machine

ZHENG Yong^①, ZHENG Fangyan^②, GAO Zhonghua^②, CHEN Ziran^①, DONG Chun^②

(^①School of Instrument Science and Opto - electronics Engineering ,

Hefei University of Technology , Hefei 230009 , CHN ;

^②Engineering Research Center of Mechanical Testing Technology and Equipment , Ministry of Education , Chongqing University of Technology , Chongqing 400054 , CHN)

Abstract : The paper introduced the Full Microcomputerized Testing and Analysis System (short for FMT), analyzed error harmonic of machine transmission chain , measured transmission error for the gear hobbing machine Y3180 based on FMT and analyzed the error harmonic. Based on the analysis of gear hobbing machine chain combining the result of harmonic analysis , we can find out the part of producing the error. According to the error transmitting law of every transmission part in chain , the required adjustment can be calculated ; then , using the different modification methods according to different error tache ; finally , the machine tool can be refined to be a high precision gear hobbing machine.

Keywords : FMT System ; Harmonic Analysis Method ; Gear Hobbing Machine ; Refinement

FMT^[1-3]系统是“全微机化传动误差检测分析系统”的简称,在原有计数法测量传动误差基础上开创采用了新式的脉冲细分方法,使测量精度得到提高。它摒弃了传统仪器中复杂的电器箱部分,只保留传感器部分,所有的信息处理全由计算机完成,使得全套系统因结构大大简化而成本降低、故障率低、环节误差少,同时测量精度高、分析功能强、操作简便。FMT系统在国防和机床、齿轮行业应用效果突出,于1995年

获国家教委科技进步二等奖,1996年被国家科委列为“国家级科技成果重点推广计划项目”。由于FMT系统自身性能优越,测试可靠,在陕西第二机床厂等十多个国内主要齿轮和齿轮机床生产厂家得到应用,深受用户厂家的欢迎。笔者采用基于谐波分析的修正技术对低精度机床进行精化改造,将普通滚齿机精化成为高精度蜗轮加工机床,实现了高精度蜗轮加工的低成本化。

mission Signals[J] . CIRP ,1985 ,34 (1) .

[5]Tonshoff , H. K. ; Friemuth , T. ; Becker , J. C. : Process Monitoring in Grinding. Annals of the[J] CIRP ,2002 ,51(2) :551 - 571.

[6]Karpuschewski , B. ; Wehmeier , M. ; Inasaki , I. : Grinding Monitoring System Based on Power and Acoustic Emission Sensors. Annals of the CIRP ,2000 ,49(1) 235 - 240.

第一作者 迟玉伦,男,1983年生,硕士研究生,主要从事精密检测,现代制造技术。

(编辑 孙德茂) (收稿日期 2009-12-27)

文章编号 10932

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

1 机床传动链误差谐波分析法

在有关电信号处理的理论体系中,除了电磁波等少数领域涉及的物理量外,大多为时域或频域,自变量为时间,即可认为电信号的变化与空间无关,只与时间有关。常见的表达式为

$$E = A \sin(2\pi ft + \phi) = A \sin(2\pi t/T + \phi) \quad (1)$$

式中, T 为信号交变的时间周期。

正如电信号总是与时间相关,机械信息则总是与空间相关。典型的例子就是旋转机械运动,以一个圆周 $W = 360^\circ$ 为空间周期,其函数表达式为

$$E = A \sin(2\pi x/W + \phi) \quad (2)$$

即信息是随空间位置 x 的变化周期性地改变。只是由于机械一旦运动起来,同时也就成为时间的函数,而人们又习惯于时域的思维方式和成熟的理论体系,因此较少有人采用式(2)反映的“空间域”或空域的概念去分析问题。但是针对一些具体问题,采用空域分析将更为方便^[4]。

在机床的齿轮传动链中,每个齿轮的转速不同,均有各自的轴频(每转变化一次)误差和齿频(每齿变化一次)误差,所有的误差叠加在一起,构成了机床总的传动误差。

传动链中每个回转传动件传动误差的主要部分,均为其转角正弦(或余弦)函数,如式(2)。研究表明,对于这种以式(2)反映的数学模型为其变化规律的误差信息,采用等空间间隔采样的测试效果,要远远好于按等时间间隔采样的测试效果。只要在机床传动链的两端各安装一个按空间均匀分度的栅式传感器(如光栅),以其中一个为基准,每到一个脉冲(每过一段同样的空间间隔)进行一次采样,由此得到的一条实测曲线。显然这是一条空域曲线,它的横坐标是空间间隔,与时间、运动速度无关。

由于机械转动的速度很难保持恒定,因此基于时域(等时间间隔)的数据采集很难保证空间数据的整周期性。但空域即等空间间隔的数据采集则容易做到,通常取旋转一周的采样数据点为 $N = 2^n$, 其中 n 为整数,最有利于 FFT。 N 取多少取决于研究者欲观测的最高谐波次数 m ,按采样定理, $N \geq 2m$ 。据此测得空域离散数据 $x(i) (i = 1, 2, \dots, N-1)$, $x(i)$ 的具体物理含义可以是转矩、转速、加速度、传动误差等。对其进行与 FFT 相似的空间傅里叶变换(SFFT)则有:

$$X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i) e^{-j\frac{2\pi}{N}ik} \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (3)$$

式中: $X(k)$ 为序号 k 对应的谐波分量幅值; k 为频谱中

位置序号,即谐波次数。空域 FFT 和时域 FFT 的算法相似,但物理意义和谱位置计算不同。空域曲线表征了被测动态参数随角位移变化的情况,其傅里叶结果表征了该参数随空间频率的分布情况。

传动链中每个传动件传动误差的传递,符合卡拉希尼柯夫误差传递理论,该理论运用在机床齿轮传动中,可归结为误差按传动比传递^[5]。可以表达为

$$A_{i\text{总}} = A_i N_i / N_k = A_i I_i \quad (4)$$

式中: $A_{i\text{总}}$ 为 i 传动件绝对传动误差模值; N_k 为 k 传动件转速; N_i 为 i 传动件转速; A_i 为传动误差曲线中 N_i/N_k 次谐波对应幅值; I_i 为 i 传动件对于 k 的传动比。

因此,对传动误差曲线进行 SFFT,就能获取传动链中任一环节的误差,然后根据这一误差进行修正。

2 传动误差测量及分析

机床传动链传动误差动态测量采用 FMT 系统进行测量。本项目中采用德国海德汉 886 型光栅(36 000 线, $\pm 1''$ 精度)作为低速端(工作台)传感器,高速端(刀杆轴)采用长春宇衡 ZKT-58A 型传感器。利用 FMT 系统对 Y3180H 滚齿机进行精化。现场测试如图 1。



图1 FMT系统图

图 2 是 Y3180H 滚齿机的传动链图。该机床最大加工直径为 800 mm,最大模数为 10,加工等级 6 级。将滚齿机的传动链调节成(通过调节分齿挂轮组 a、b、c、d、e、f 来实现)刀杆和工作台转速比为 100:1,也就是加工蜗轮头数为 1,齿数为 100 的工作状态。

安装调整好传感器后,启动滚齿机,使其处于正常工作状态,这时开启 FMT 系统进行测试。测试的原始误差曲线和频谱如图 3 所示。

由图 3 可知该机床传动误差为 24.96'', 累积误差为 15.92'', 周期误差为 9.16'', 其误差主要的谐波频次为 1、96、400,幅值分别为 7.07'', 3.19'', 1.14''。结合图

距离(凸轮半径的变化量),也就是折算系数。设摆杆长度为 $R_{摆}$,b'轴对工作台的传动比为 $I_{摆}$,那么折算系数 k 为

$$k = R_{摆} \theta = R_{摆} \frac{A_{摆} \times (60 \times 60)}{180} \pi \approx \frac{R_{摆} A_{摆}}{206} = \frac{R_{摆} A_i I_{摆}}{206} \quad (6)$$

由式(6)可以看出,为了使计算方便,设计摆杆 $R_{摆} = 206 \text{ mm}$ 将会简化公式,当 $A_i = 1''$ 时,折算系数 $k = I_{摆}$ 。由图7中的传动链可以得出 $I_{摆} = 288$,因此折算系数 $k = 288$,单位为 $\text{mm}/('')$ 。算出折算系数后,就可以根据图7b中的曲线数据计算凸轮的半径偏移量。设曲线中第 i 个点的数值为 D_i (单位为 $('')$),那个 i 点对应的半径 Δr_i 为

$$\Delta r_i = D_i k - 288 D_i \quad (7)$$

设 r 为凸轮没有半径变化时的半径(也就是凸轮初始时是个圆),凸轮第 i 点的半径 $r_{凸i}$ (单位为 mm)为

$$r_{凸i} = r + \Delta r_i \quad (8)$$

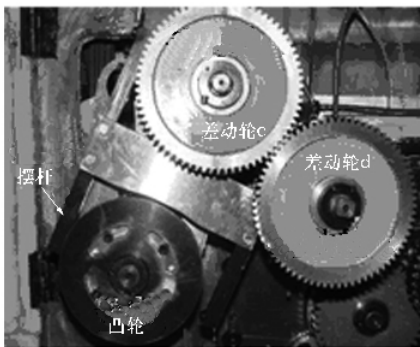


图9 凸轮安装实拍

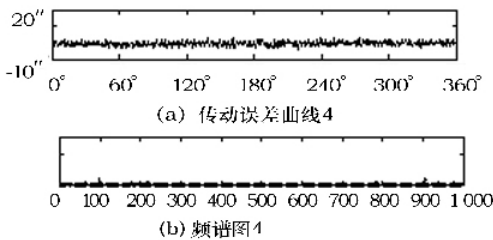


图10 经过蜗轮修正后的测试结果

凸轮半径数据计算出来后,要对得出的数据进行适当的处理,使其可以在线切割机床中加工出来。AutoCAD 中可以使用命令窗口输入命令,由于传动误差曲线每周的采样点数为 1 000,每个点对应的角度值为 $360/1\ 000 = 0.36^\circ$,因此设计一个等差数列,从 0° 开始,依次增加 0.36° ,一直增加到 360° ,第 i 个角度值对应的半径为 $r_{凸i}$,然后以极坐标命令形式画出凸轮。将画好的图纸导出成线切割可以辨识的文件格式,导入

线切割机床主控系统后就可以加工凸轮了。安装后的凸轮如图9所示。

凸轮安装完后测试,得到最终的传动误差曲线及频谱如图10所示。测试数据为:传动误差 $7.55''$,周期误差 $4.23''$,累积误差 $3.41''$ 。

5 结果分析与总结

国标 GB10089 - 88 中蜗轮副传动切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$ (可理解为传动误差),传动一齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$ (可理解为周期误差),可根据国标中给出的公式和数据表进行计算得出。对照这两项指标,以精度较低的等级为准,表明本机床已从出厂规定的 6 级加工精度,提高到 1 级或 2 级精度。其效果是非常明显的。而实际加工精度还要取决于刀具、装夹和操作等因素。

此外还可看出,经过三次误差修正后,传动误差曲线基本上是一条比较直的曲线,基于谐波分析修正技术行之有效。下一步采取两条途径可以进一步改进测量效果,一条是增大采样点数,使传动误差曲线更能反映真实的误差情况;另一条是采用新的方法加工凸轮,使凸轮的精度进一步提高。计划采用时栅空心转台(提高凸轮的分度精度)和带钼丝直径补偿系统的线切割机床加工凸轮。这个新式的线切割机床将另文介绍。第三就是在轴承、机床刚性等环节再下功夫,有可能将高频误差进一步缩小。

参考文献

- [1] 彭东林,谭为民,刘小康,等. 机床传动误差测量中的空域法分析[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 123 - 125.
- [2] 彭东林,张光辉,郭松涛,等. 传动误差检测系统 FMT[J]. 制造技术与机床, 1996(5): 20 - 22.
- [3] 彭东林,张光辉,郭晓东,等. 传动误差测量数学模型及 FMT 系统实践[J]. 制造技术与机床, 1996(6): 13 - 15.
- [4] 彭东林. 时栅位移传感器与新型机床动态检测系统[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [5] 和子康. 机床传动精度测量和提高[M]. 北京: 中国计量出版社, 1987.
- [6] 洪迈生,蔡萍. 多步法误差分离技术的比较分析[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(6): 877 - 881.
- [7] 曹麟祥,谢会崇,王红,等. 全谐波误差分离技术[J]. 宇航计测技术, 1992(6): 1 - 3.
- [8] 任克强,刘晖. 微机控制系统的数字滤波算法[J]. 现代电子技术, 2003(3): 15 - 18.

第一作者:郑永,男,1983 年生,在读博士,研究方向为传动误差测试领域和仪器仪表中的微电子设计。

(编辑 余捷)

(收稿日期 2010 - 04 - 14)

文章编号 10933

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。