

丝杠副动态综合精度的计算机辅助评定

阳 佳 宾鸿赞

(华中理工大学机械学院 武汉 430074)

摘要 根据最新精度标准,采用优化算法处理机床梯形螺纹丝杠和滚珠丝杠副的螺旋线动态测量误差,并对机床梯形螺纹丝杠的螺旋线轴向误差、螺距误差、螺距累积误差和滚珠丝杠副行程精度的四大指标进行精度自动验收。在自行研制的EMCD-II误差测控仪上实现其梯形螺纹丝杠的螺旋线误差数据采集与验收。

关键词 丝杠副 动态综合精度 优化算法 计算机辅助评定

1 引言

丝杠副是把主动件的圆周上角位移转换成从动件的轴向线位移,并满足角位移与线位移的关系为一常数的要求,而上述要求靠丝杠的螺旋面精度来保证,其中起决定作用的是丝杠的螺旋线精度,因此在JB 2886-92中把丝杠的螺旋线轴向公差作为主要指标。用动态测量法能比较全面地反映丝杠的工作精度。

重新修订的JB 3162-91等效采用了对应的ISO标准,在行程精度方面达到了国际先进水平,在表达方式上采用对行程误差曲线的回归线进行直线性和方向性的控制,推荐采用最小二乘法求回归系数,用行程精度的四大指标—— e (有效行程内平均行程偏差)、 V_u (有效行程内行程变动量)来反映渐进性误差, V_{300} (任意300mm行程内行程变动量)反映长周期误差, $V_{2\pi}$ (2π 弧度内行程变动量)反映短周期误差。

为贯彻实施新标准,本文开发出基于Windows运行的验收程序。此程序除了作为自行研制的EMCD-II误差测控仪软件系统的一部分外,还针对不同丝杠动态测控仪,只要对其数据采集程序提供的数据格式设计一数据接口,便能对其误差数据进行处理,以适应所开发的软件产品化的需要。

2 丝杠副动态精度验收程序

2.1 应用程序的结构特点

用可视性较好的BorlandC++ 4.5作为开发工具,利用ResourceWorkshop生成Windows

运用程序窗口所需的主菜单、对话框、图标、光标等资源,采用事件驱动的程序设计方法使用户可方便地进行控制,同时享受Windows提供的图形用户界面和多任务功能,具有良好的人机操作和管理界面。应用程序的消息循环接受来自运用程序队列的消息,并把每条消息送给相应的窗口函数。本系统由窗口函数处理采样设置、控制、数据处理、打印等过程,开发帮助文件便于用户使用该系统。程序结构框架如图1所示。

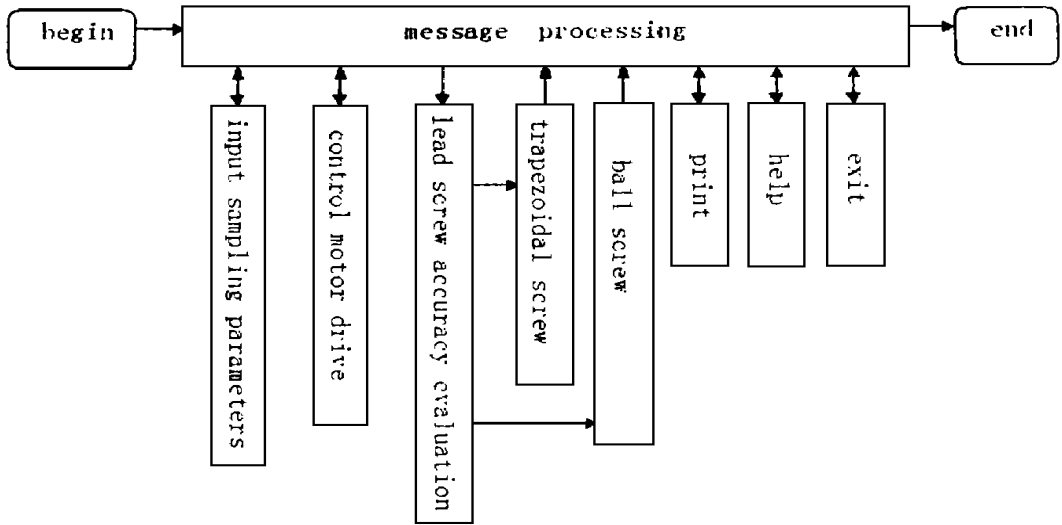


Fig. 1 Frame of program structure

2.2 求误差值的算法

在处理各类误差值时,都涉及到大量的数据排序工作,为了达到最优,编写两个排序基本函数。快速排序是由C. A. R Hoarse发明并命名的,被公认为是目前最好的排序算法。其基本思想是选取中间“比较数”,分割排序对象,对分出的部分采用递归算法。但当数据量小时(比如少于100个),快速排序递归调用所带来的附加负担可能会抵消巧妙算法所带来的好处,这时,可用插入排序还特别适合对象基本有序的情况。

在求任意300mm误差值时工作量非常大,但由于数据排序出现大量重复现象,可巧妙处理使工作量达到最小。所有的采样数据预先存储,从第一个采样点开始,在对第一组300mm数据排完序并求出最大值与最小值之差后,通过折半查找从排序的数组中去掉第一个采样点,其后的数据依次前递,这样,从第二个采样点开始的300mm的数据数组除最后一点外成完全顺序状态,排序时可最大程度减少比较交换次数,同样的方法求出第二组最大差值后与第一组作比较留下较大值,再去掉第二个采样点,以此类推到最后一个300mm数组,即可快速求出最大的误差。

为了找出丝杠上各类最大误差值产生的位置,便于分析误差源,需采用顺序查找的方法,步长设为2,将比步长为1节省运算时间约30%。

2.3 滚珠丝杠副误差曲线回归线的求法及各种误差分量的求取

1) 回归线 $e = a + bY$ 中系数 a, b 的求法

根据最小二乘原理: 正则方程组 $G^T G \alpha = G^T Y$ 的解必定存在, 若系数矩阵 $G^T G$ 是满秩的, 则定义 $\alpha = (G^T G)^{-1} G^T Y$ 为方程组的最小二乘解。

在本测量系统中: $G = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \gamma_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \dots & \gamma_n \end{bmatrix}$ $\alpha = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ $Y = \begin{bmatrix} e_0 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$ 代入正则方程组

可得系数:

$$a = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i^2 e_i - \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i e_i}{n \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i^2 - \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i}$$

$$b = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i e_i - \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i e_i}{n \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i^2 - \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i}$$

其中 γ_i ——测量点 i 的旋转角, rad; e_i ——测量点 i 的实际行程偏差, um; n ——测量点数。一般来说, 采样是等间隔(或等角度)的, 令采样间隔为 1, a, b 公式中的转角值系列 $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_n$ 以整数系列 $0, 1, \dots, (n - 1)$ 代之; 并利用求和公式 $\sum_{i=0}^{n-1} i = \frac{n(n-1)}{2}$ 和 $\sum_{i=0}^{n-1} i^2 = \frac{n(n-1)(2n-1)}{6}$ 可使计算量大为减小。

2) 各类误差分量的求法

在如图 2 所示坐标系 xoy 中, 横坐标 x 是对应于相应转角 γ 的丝杠的公称行程, 单位为 mm; y 为测量点的实际行程偏差, 单位为 μm 。四大精度指标都是以回归线为基准的, 为方便计算, 需将坐标轴旋转变成以回归线为 x' 轴的新坐标系 $x'oy'$, 这样, 满足 $y_i = y_i \cos \delta - x_i \sin \delta = (y_i - x_i \text{tg} \delta) \cos \delta$, 且 $\text{tg} \delta = b$ 。以求有效行程为 1m, 基本行程为 2mm, 每转采样 16 个点滚珠丝杠的 V300 为例, 从第一个采样点开始的 300mm 到最后一个 300mm, 需分段: $1000 / 300 + 1 = 701$, 每段有 $300 / 2 \times 16 = 2400$ 个点需比较出最大值、最小值并求其差值, 再在各段之间比较出最大的差值 V_{300} , 即 $V_{300} = |y_{\max} - y_{\min}|_{\max}$, 则 $V_{300} = V_{300} / \cos \delta$ 。

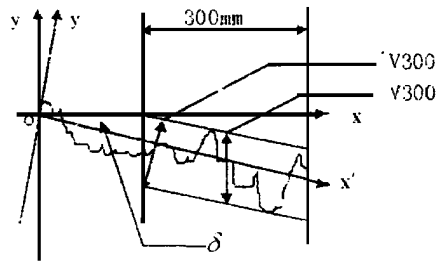


Fig 2 Illustration of getting error component V300

3 测试及验证结果

3.1 EM CD—II 误差测控仪的测量原理及误差数据采集

EM CD—II 误差测控仪的系统总体构成如图 3 所示。其工作原理: 55BF004 步进电机通过一对皮带轮驱动梯形丝杠转动, 带动机架前进, 编码盘(LBJ- 001- 1000)反映丝杠的角位移, 光栅尺(SGC—3.1)反映丝杠的线位移, 对两个信号进行处理得到丝杠传动的运动误差。55BF001 步进电机通过丝杠螺母摆杆机构使差动螺母进行误差补偿。因而, BM /PC 计算机专用接口板的设计原理为: 光栅尺每移动一定距离便给 CPU 发一个中断信号, CPU 响应中断后读出编码盘在光栅尺每移动一定距离的过程中所发出的脉冲数, 把这个脉冲数与理论上应读

出的脉冲数进行比较得到误差值,把误差值记入一个误差文件中,用来进行数据处理。与此同时,CPU 控制补偿电机进行补偿。

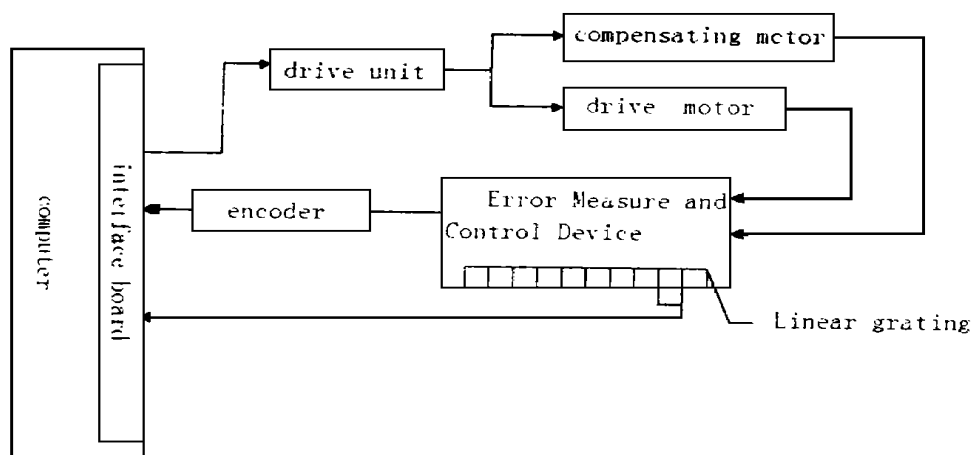


Fig. 3 Illustration of system configuration structure of EM CD- II error measurement and control device

3.2 评定图形及精度级别的判定

JB 2886- 92要求3、4、5、6级精度丝杠检测螺旋线轴向误差,7、8、9级精度丝杠检测螺距误差和螺距累积误差。设定误差坐标平面,在 X 轴以mm为单位标定丝杠公称长度, Y 轴(单位为 μm)反映误差数据的大小。先设置一定的采样密度对EM CD- II误差测控仪采样所得误差数据用本软件进行处理,作出梯形丝杠螺旋线轴向误差曲线,并求出任意 2π 弧度、任意25mm、任意100mm及丝杠有效长度的内考核的最大的误差值,如图4所示。通过查询丝杠螺旋线轴向公差表,判定该丝杠达不到3、4、5、6级精度。再设采样密度为1或静态方法求出螺距误差,作出累积误差曲线,并求出丝杠螺纹的任意60mm及螺纹有效长度内考核的最大的误差值,如图5所示。再查询丝杠螺纹的螺距公差和螺距累积公差表,判定EM CD- II误差测控仪的梯形丝杠的精度等级为:8级。因为该丝杠是在普通车床上切削的,其结论正确反映出其精度等级。因此可通过该系统的误差补偿机构使丝杠在工作中达到较高精度。

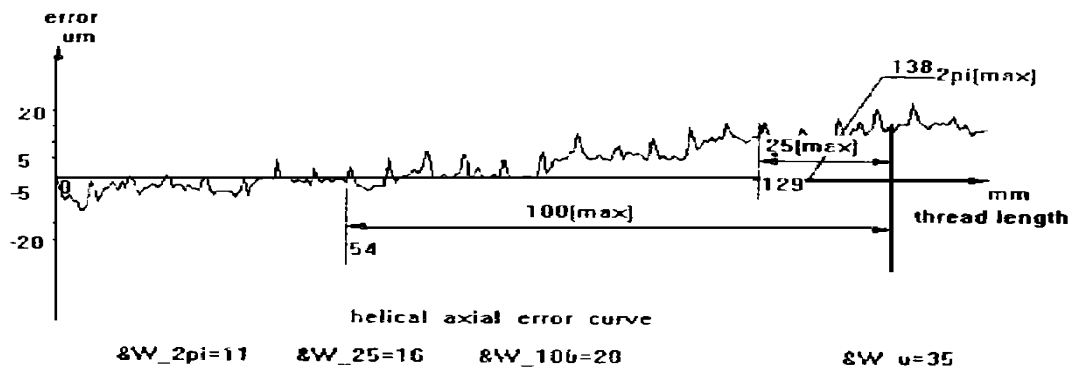


Fig. 4 Evaluation graph of helical axial error of trapezoidal screw

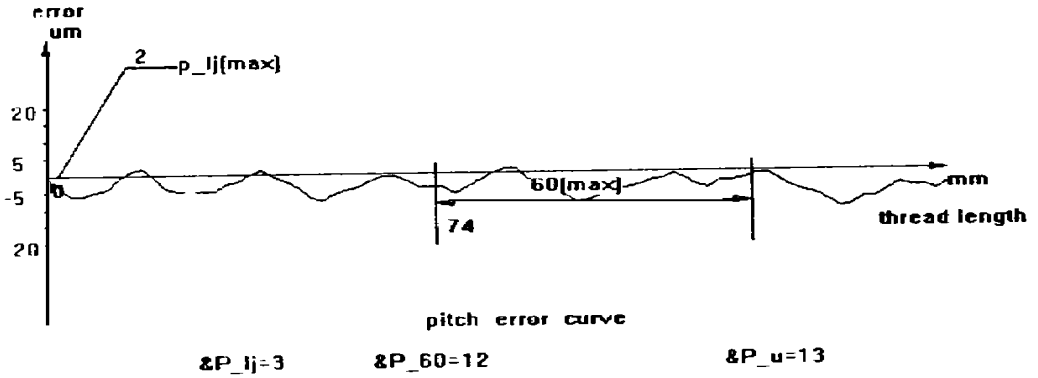
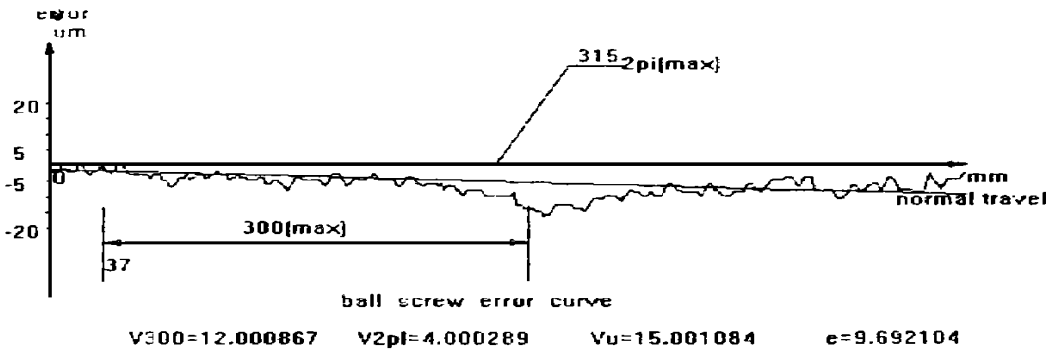


Fig 5 Evaluation graph of pitch error and cumulative pitch error of trapezoidal screw

在微机上虚拟实现滚珠丝杠副动态精度评定。给出一组动态误差数据, 画出滚珠丝杠副误差曲线, 求出回归线及最大的 $e, V_{in}, V_{300}, V_{2\pi}$ 值, 查询滚珠丝杠副允差表, 对于传动滚珠丝杠副, 评定精度等级: 4级, 如图6所示。



Fgi 6 Evaluation graph of dynamic accuracy of ball screw

因此, 利用微机系统可以高效地实现丝杠副动态综合误差的验收。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国机械行业标准: 机床梯形螺纹丝杠、螺母技术条件 JB 2886- 92
- 2 中华人民共和国机械行业标准: 滚珠丝杠副 验收技术条件 JB3162 2- 91
- 3 卢有杰等 C 语言高级程序设计. 北京: 清华大学出版社, 1992
- 4 李舜酩等 Borland C++ for Windows 应用程序设计及实例 西安: 西安交通大学出版社, 1996

Computer Aided Evaluation of Dynamic Comprehensive Accuracy of Lead Screw

YANG Jia, B N Hong-Zan

(*Machinery Institute, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

Abstract

According to the latest standard, an optimal algorithm is adopted to deal with the dynamic measurement error of machine tool trapezoidal screw and ball screw, and the accepting programs of helical axial error, pitch error, cumulative pitch error of machine tool trapezoidal screw and specifications of travel accuracy of ball screw are carried out automatically. On EMCD- II (Error Measurement and Control Device), developed by the research group, the spiral error data collection and acceptance of its trapezoidal screw have been realized.

Key words: Lead screw, Dynamic comprehensive accuracy, Optimal algorithm, Computer aided evaluation

阳 佳 女, 1967年生, 讲师, 华中理工大学在职硕士生, 从事加工过程误差的计算机测控、处理与补偿等研究工作。