

如果避免选择过份细小的目标,避免选择接近黑色的目标或水面;注意使激光入射方向与目标平面的夹角不要小于 20° ;不要在恶劣的天候(如雾天、细雨)下工作,这样,偶然误差就主要由计数器精度所决定。本仪器读

数精度为 ± 1 米,而系统误差可以通过性能试验作出系统误差改正曲线,这样系统误差就可由总误差中分离出来。因此,本仪器的精度就达到了 ± 1 米的要求。实际上,通过性能试验,其误差只有0.5米左右。

激光自动校正系统在丝杠磨床上的应用

北京机床研究所 北京机床配件厂三结合小组

激光自动校正系统,或叫激光自动反馈系统,应用在丝杠磨床上,就是用氦-氖激光波长,作为长度基准,与角度基准——特殊条纹的圆光栅,组成“理论螺旋基准”,来测量丝杠磨床的传动链误差,并把机床误差动态测量信号,反馈到由步进电机等组成的校正执行机构,对机床误差进行“随机”的自动校正,在丝杠磨削过程中,使机床误差接近于“零”,以达到积极、主动控制高精度丝杠磨削精度的目的。

本文着重介绍在恒温机加工车间条件下,激光直接应用在精密机床上的几个问题,如激光波长小数有理化、振动干扰,温度气压修正,激光防护等问题。

我们把激光自动校正系统用在 SG 7430 型丝杠磨床上,重点解决丝杠周期误差精度问题。经过一年多对 200 根次丝杠的试磨表明:激光自动校正系统比较稳定可靠,效果显著,能稳定磨出零级精度丝杠,并于 1977 年 10 月进行了鉴定。

一、激光测量及自动校正的原理和装置

带有激光自动校正系统的 SG7430 型丝杠磨床外观图见封四。图 1 为机床误差测量

与校正示意图。图中机床主轴箱里装了圆光栅,在床身后面装了激光干涉仪,组成了临床测量系统。校正机构基本上是原来的,只不过加了步进电机自动校正机构。测量棱镜安装在工作台上,并装有防油雾保护罩。机床旁边的电气柜即为激光自动校正的控制柜。

要对机床误差进行自动校正,必须对机床误差进行测量。我们用由圆光栅旋转产生的“莫尔”条纹作为角度基准信号,由氦-氖激光的干涉条纹作为长度基准信号。两路信号通过相位计进行比较来测量机床的误差,图 2 为比相示意图。

在图 2 中,光栅信号是均匀的标准信号,激光信号由于机床有误差而不均匀。在第一对脉冲里,激光脉冲本应在虚线位置出现,因机床有 $+\Delta S$ 螺距误差,致使滞后 $+4\phi$,同样在第三对脉冲里,机床有 $-\Delta S$ 误差,激光脉冲导前 -4ϕ ,这 4ϕ 就是代表机床误差的相位变化。激光信号迟来或早来,就造成相位计输出方波宽窄的变化,经过解调,即取出方波宽窄的平均电位,就表示此比相点的机床误差,并可记录出误差曲线。激光信号在比相前若经过 B 分频,则分频后的波长为 $B \cdot \frac{\lambda}{2}$, $B \cdot \frac{\lambda}{2}$ 就是相位角为 360° 所占据的位移量,所以机床螺旋误差 ΔS 和相位误差

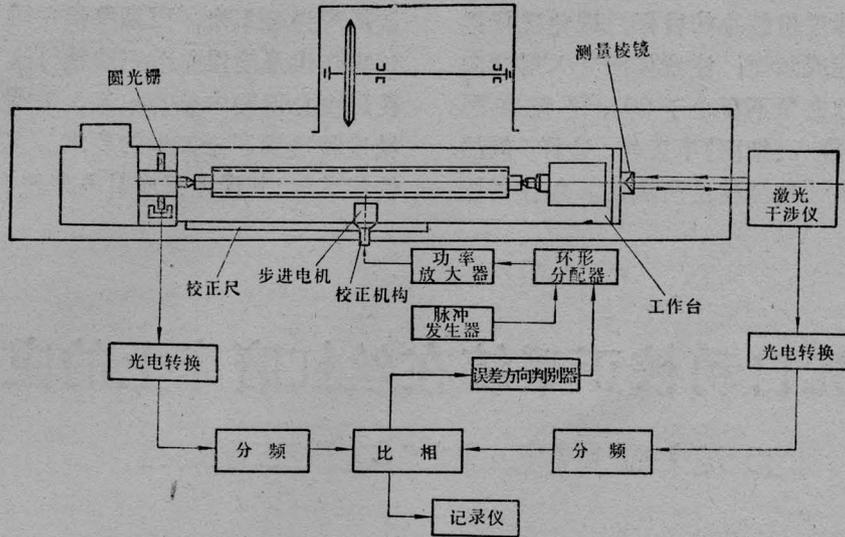


图1 机床误差与校正示意图

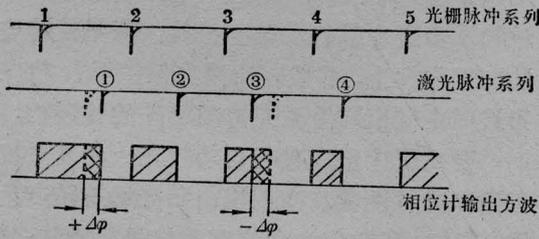


图2 比相示意图

$\Delta\varphi$, 就建立下列线性函数关系式

$$\Delta S = \frac{B \cdot \lambda}{360^\circ} \cdot \Delta\varphi。$$

以上是测量系统, 现介绍自动校正原理和装置。图3为自动校正的机械结构示意图。由测量系统测量出机床误差的正负, 控制步进电机1“反”或“正”地旋转, 通过小螺杆2和螺母套3, 使杠杆臂摆动, 和杠杆臂固定在一起的丝杠螺母8就有微量转动, 通过机床母丝杠, 使工作台有一个附加补偿位移。步进电机每走240步, 即转动一圈, 上下位移1毫米, 工作台补偿3微米。图4是误差方向判别器逻辑图。误差方向判别器是自动校正电气系统关键部件, 它判别机床误差的正负, 从而确定步进电机的旋转方向。

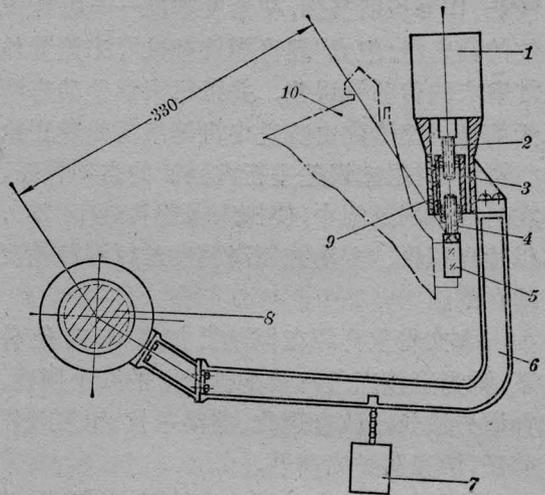


图3 自动校正机械结构示意图

1—BF159075型步进电机; 2—与步进电机相接的M10×1 螺杆; 3—上、下移动的螺母套; 4—刀口销; 5—有机玻璃夹; 6—连接母丝杠及校正机构的校正臂; 7—重锤(10公斤重); 8—SG7430母丝杠; 9—V型导轨; 10—机床工作台

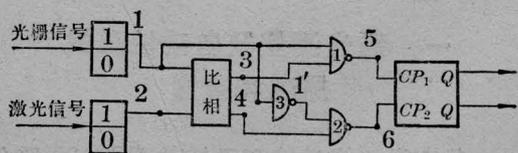


图4 误差方向判别器逻辑图

由此,进行工作台位移的“正或负校正”。图1中的环形分配器和功率放大器是步进电机本身所需要的,分配方式是三相六拍。脉冲发生器是步进电机脉冲源,它的振荡频率决定了校正速度。

由上面自动校正机构介绍里,我们可以看出:这个系统的校正原理,是“随机”的自动反馈原理,它具有连续性、封闭性及“自动拉零”的特点,是把“有差系统”逼进“无差系统”。它和一般丝杠磨床或精密丝杠车床机械校正装置的显著差异,是有一个不断旋转的步进电机,通过小螺杆和螺母,变成上下行程的位移,来代替校正尺的高低不平。所以能很方便地校正机床周期误差和累积误差。并且机床误差变化的因素,如机床母丝杠的热伸长误差,也能进行自动校正。

二、激光波长小数有理化问题

氩-氟激光波长,在标准状态下, $\lambda = 0.63281983$ 微米,则每毫米的条纹数为 N , $N = 3160.45746$ 条/毫米。 N 是个无理数,通常用近似计算的增减脉冲方法,来解决所谓“小数有理化”问题,如三级近似替代法等等。我们是用特殊条纹数的圆光栅,来解决这个问题,使电气线路大大简化。这个解决有理化方法的实质是,用一个近似分数 N_1 来代替无理小数 N ,选择一个理想的光栅条纹数,使不同种类、不同螺距的丝杠螺距 S 和两路信号的分频系数 A 和 B 呈一个简单的常数关系。因此,两路信号频率必须相等。即有下列关系式 $\frac{M}{A} = \frac{S \cdot N}{B}$,式中 M 为光栅条纹数, A 为光栅信号分频系数, B 为激光信号分频系数, S 为被磨丝杠螺距。由于公、英制丝杠用同一圈光栅, $S = \frac{b}{a}$, M 、 A 、 B 、 a 、 b 都为自然整数,如果 N_1 是一个分数的话,则就解决了小数有理化问题。令 $N_1 = \frac{69530}{22} =$

3160.4545 ,代替 $N = 3160.45746$,设公、英制的光栅条纹数 $M = 2 \times 6953 = 13906$,则 $\frac{M}{A} = \frac{S N_1}{B}$ 等式,即可写成 $S = \frac{b}{a} = \frac{B}{A} \cdot \frac{M}{N_1} = \frac{B}{A} \cdot \frac{22}{5}$,从这里可以看出螺距 S 和分频系数之比,只有 $\frac{22}{5}$ 简单的常数关系,这样我们根据螺距 S ,就可确定 A 和 B 的数值,满足两路信号频率相等的比相条件。例如螺距为 $(1/6)''$ 的英制丝杠, $S = \frac{25.4}{6}$, $S = \frac{127}{5 \times 6} = \frac{127}{30}$,即 $a = 30$, $b = 127$,选 $A = 132$, $B = 127$ 即可。

同理,对于模数丝杠,螺距 $S = \frac{b}{a} \pi$, a 、 b 为整数。每毫米激光条纹数 $N = \frac{1}{\pi} \cdot \pi \times 3160.45746$ 条/毫米, $N = \frac{1}{\pi} \times 9928.86701$ 条/毫米,用分数 N_2 来代替 $N \pi$,

$$N_2 = \frac{35 \times 79 \times 79}{22} = 9928.86363,$$

来代替 9928.86701 。令模数丝杠的光栅条纹数 $M = 35 \times 4 \times 79 = 11060$,则 $\frac{b}{a} \frac{1}{\pi} = \frac{B}{A} \cdot \frac{88}{79}$, $S = \frac{b}{a} \pi \cdot \frac{1}{\pi} = \frac{B}{A} \cdot \frac{88}{79}$, $\frac{b}{a} = \frac{B}{A} \cdot \frac{88}{79}$ 。只要确定 a 、 b 即可选用 A 和 B 的数值,例如, $S = \frac{1}{2} \pi$ 时,取 $B = 158$, $A = 352$ 。所以圆光栅刻了两圈光栅条纹数,外圈 $M = 13906$ 条,内圈 $M = 11060$ 条,两圈之间有一找正基准圆。

当然 M 的选择,除满足信号频率相等的原则,使 A 、 B 为合适的整数外,还要考虑光栅盘的刻制工艺,比相频率,以及一个分频后的波长代表的微米值范围等等因素,以分数代替无理小数,要精确到有效数字的第七位,这样有理化误差在1微米以内。例如我们的系统里,公、英制有理化误差0.9微米/米,模数0.6微米/米,这个系统误差可以和温度、气压一起进行综合修正。

三、振动干扰的问题

激光很灵敏,因而也很“娇气”,怕振动,只要有0.3微米振幅的影响,就产生一个干扰条纹,对振动极为“敏感”。一般激光应用在精密仪器上,如光电、光波比长仪、激光丝杠检查仪等,它们都使用在条件比较好的计量室,有的还放在地下室的弹簧地基上。激光直接应用在丝杠磨床上,振动干扰是排除不了的。这不仅存在机加工车间其他机床的环境振动干扰,而且丝杠磨床本身也有好几个“振源”,必须采取防振措施。首先,在机床主机地基周围,设有防振沟,将环境振动干扰限制在很小的范围内。其次,加强激光干涉箱的刚性,并和床身分开另置于地基上,对砂轮电机和砂轮仔细平衡,砂轮架与床身加有防振措施,这样减少了高频振动的干扰。对于低频振动,引起的低频干扰信号,迭加在高频激光工作信号上,只起了“调幅”的作用,因放大器的限幅,它对系统几乎没有影响。

解决振动干扰的另一条途径,是用可逆计数器,我们没有采用这个办法。因为机床工作台移动,已有一个前进速度,在一般情况下,振动使工作台后退的可能性是很小的,采取措施后的振动干扰,只不过使工作台走快一点或慢一点而已。而且砂轮架的振动干扰,并不是偶然现象,在磨削中自始至终存在的。不用可逆计数器,电气和光学系统比较简单,也比较可靠。经一年多对200根次丝杠磨削试验表明,当采取了一定措施后激光应用在恒温机加工车间条件下的精密机床上是可以的,而且比较稳定可靠。所以对激光的“娇气”要有确切的理解。

四、温度、气压修正

氦-氖激光波长与空气的温度、气压、湿度和二氧化碳成分等有关(主要和温度、气压

有关)。另外丝杠工件的热膨胀、波长小数有理化误差等因素的存在,所以,要对激光波长进行修正。在一米长度内,修正公式如下:

$$\Delta S = 0.93(t - 20^{\circ}\text{C}) - 0.358(P - 760) - 11.5(t_1 - 20) - 0.9$$

式中11.5为工件膨胀系数, t_1 为工件温度,0.9为用特殊圆光栅的有理化误差。激光应用在丝杠磨床上,工件线膨胀误差是主要矛盾。而空气温度、气压的变化在磨削过程中(约15分钟)变化是很小的,其系统误差可以修正。我们引用一个“理想工件温度”的概念,进行综合修正。即从量出的 t 和 P ,查表得“理想工件温度” t_0 ,再量工件实际温度 t_1 ,两者之差即 $t_0 - t_1$,可查表得修正量和分频系数。这样免于计算,使用也方便。所谓“理想工件温度”就是在 t 和 P 确定时,使修正公式 ΔS 为零的工件温度。温度、气压修正和丝杠磨削的恒温冷却油装置及淋浴装置配备,可以控制工件的累积误差。

五、激光的保护

激光应用在丝杠磨床上,在磨削时,油雾很重,影响镜面光束的反射和空气折射率,所以激光干涉箱要密封防油雾。干涉箱的出光口和测量棱镜,要加防护镜片。工作台和干涉箱之间的测量光束,加一个防护罩。防护罩的设计,在工作台移动时,防止罩内气压变化,并尽量稍离干涉箱,防止磕碰。为了防止由激光信号出现不正常现象而引起丝杠磨糊、烧伤和报废,在自动校正系统中,要有自动保护措施。激光管要用稳频装置,以保证在工作过程中不产生激光“跳模”现象。另外还要注意电源干扰、空间磁场干扰等。

六、激光自动校正系统的精度和效果

图5为原SG7430型丝杠磨床部分周期

误差重复测量曲线。图6为加激光自动校正系统,磨削 Y7520 丝杠机床残存的误差曲线。

原机床不加自动校正的周期误差为 3 微

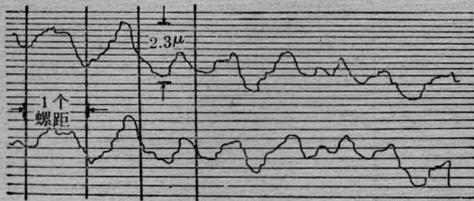


图5 机床部分周期误差重复测量曲线
定标: 0.23 微米/格 (1.6 毫米)



图6 磨削 Y7520 丝杠自动校正曲线
螺距: 6 牙/英寸, 螺纹长度: 540 毫米 (图示局部)

米, 机床热平衡后的累积误差为 30~40 微米。加激光自动校正后, 机床传动链残存误差为 0.5 ± 0.2 微米。加上校正系统本身的系统误差, 可以保证机床传动链误差 (周期和累积) 在 1 微米以内。用此机床加工丝杠的精度: 工件的周期误差为 1.5 ± 0.5 微米, 单扣误差在 1 微米以内, 25 毫米累积误差在 1~1.5 微米之内。全长累积 (540 毫米) 在 5 微米之内。这样, 过去无法校正的机床周期误差和变化因素的误差 (如母丝杠在磨削过程中的热伸长) 均可在磨削过程中自动校正, 且生产率也大大提高。这台精磨用的激光自动校正磨床, 每班可以磨削两根零级丝杠, 精度比较稳定可靠。这种原理还可以推广应用到精密丝杠车床、蜗杆、滚刀磨床等。

激光与地震预报*

李守中

(北京大学地球物理系)

吕大炯 高建国

(中国科学院物理研究所)

地震是一种严重的自然灾害, 因此, 地震预报问题愈来愈引起人们的关注。

我国古代在地震科学上曾有过卓越的贡献。张衡发明了地动仪, 这是世界上第一台测量地震的仪器。我国古代的县志曾经记载了大量的关于地震前后的宏观现象及地震破坏的情况, 为现今的研究工作提供了宝贵的资料。

解放后, 周总理代表毛主席和党中央多次亲自过问地震工作, 作过许多重要指示, 鼓舞着每一个研究地震预报的科学工作者和群测群防工作人员。在周总理的亲切关怀下, 我国的地震预报研究工作取得了很大的成绩, 成功地预报了若干次强烈地震, 保护了人

民的生命和财产。

周总理指示: “地震是有前兆的, 可以预测的, 可以预报的。” 这是由于构造地震是地壳运动使岩层达到破裂所造成的。作为一种运动, 有其自身发生发展的过程。在地震孕育和趋近爆发的过程中, 必然伴随着各种物理、化学、生物等异常现象。就是这些与地震有着联系的现象为人们提供了预报地震的信息, 称为地震前兆。

现在用于地震预报研究的前兆手段有许多种, 如地形变、地应力、重力、地电、地磁、水氡、水位的变化及动物异常等。如何根据这些异常预报地震, 也有不少方法。在这些作为前兆的异常现象中有的和地壳运动有较为

* 本文在印刷过程中, 震中位置 (包括远震) 的预报已有所突破。