

齿轮齿条式光栅位移数显装置

北京依品非标准设备有限公司 (100023) 崔殿龙

近10年来欧美一些工业发达国家的重大型二手机床大量流入我国,这些机床都配有齿轮齿条式光栅位移数显装置(以下简称齿式装置),它们产于20世纪50~90年代末,以捷克斯柯达公司的落地镗铣床(160、200、250)及重型立式车床、卧式加长车床等居多,其次有前苏联、德国、英国、意大利及美国等国的多家机床,从这些机床生产时间顺序我们可以清晰地看到齿式装置技术发展的全过程。齿式装置由以下几部分组成:①位移运动部件(机床自身)。②位移测量元件(精密齿轮齿条),光电传感器。③指针式仪表,后期为数字式显示仪表组成。

我国从20世纪50年代初进口斯柯达新机床,该机床配制的齿式装置是由齿轮(带有弹性节的双齿轮消除侧隙)、齿条、倍增机构(机械倍频或称机械细分,倍比1:50)及旋转变压器等组成,直流趋动指标刻度式仪表(刻度细分,0.05mm/格)0.05mm以下估读,坐标定位精度0.05mm/m,每增加1m增加0.01mm(注意可正可负),累积误差与导轨几何精度有关,与齿条制造、安装调试有关,与温度变化有关。齿式装置发挥了重中之重的作用。在那个时期各工业发达国家以齿式装置作为大位移测量的最佳选择。受当时技术发展限制齿式装置也存在一些不尽人意的地方:①齿式倍增机构传动比大(相当于费力杠杆),当与齿条啮合的双齿轮带动倍增机构起动与停止时产生很大的运动惯量与冲击,这就要求双齿轮弹性节的扭簧具有足够的弹性扭力承受转动惯量冲击。以上原因使齿轮磨损较快,齿轮分度圆展开长 $\pi d = 100\text{mm}$,模数 $m \approx 1.768$,齿数 $z = 18$,压力角 $\alpha = 22.5^\circ$ 。②齿条的制造为铣齿。齿形、压力角不理想,系统精度稳定工作5年左右。

第一次改进,20世纪50年代末~60年代初,改变了齿条的结构和制造工艺,将直齿的线啮合改为(齿向)弧形齿的点啮合,将铣齿改为磨齿,针对齿条加工

的特点,各国全采用一维空间两个自由度的磨削方式,但各国各公司参数都不一致(英美采用英寸制标准,其他国家采用米制非标准或称为模数制非标准),这种加工方式对传统齿条制造工艺产生了重大突破,使齿条精度大幅度提高,确保坐标精度的稳定性。

第二次改进,也是改动变化最大的一次,齿轮齿条模数改小,减小齿轮的转动扭矩,分度圆展开长 $\pi d = 50\text{mm}$ (减小测量力),模数 $m \approx 0.7579$,齿数 $z = 21$,压力角 $\alpha = 25^\circ$ (减小三齿误差干涉)。齿轮改小的原因,是淘汰了倍增机构与旋转变压器,取而代之的是光电脉冲编码器(光学细分量达1250p/n),双齿轮安装在编码器输出轴上转动扭矩极小。淘汰了指针式仪表,改为数字式四倍频光栅数显表,分辨率=0.01mm,坐标精度达0.03mm/m,累积误差每增加1m增加0.01mm,组成初期的机光电一体化大位移测量数显装置。

1987年,我们对使用近25年的齿式装置(斯柯达160镗床)修理改造,对齿轮、齿条检测,齿轮(带弹性节的双齿轮)精度4级,齿条的任意分齿误差IT2~IT3之间,齿轮、齿条的精度没有任何降低,结论是它们可以作为永久性的位移检测组件使用。而光电脉冲编码器(热光源)与光栅数显表(分离元件)也已落后于我国。通过更换编码器与数显表并对齿条安装精度进行调整,改造后系统稳定,效果良好,并于1991年研发出精密齿条(齿向为圆弧形齿)的加工制造工艺。齿条经中国计量科学研究院检测,任意分齿在IT1~IT2之间,齿形压力角非常理想,累积可靠加工机床的校正机构调控,250mm控制在IT1以内。

各国的齿式装置按结构可分为两类,第一类双齿轮结构,产于捷克、德国(我们只见到这两家)。双齿结构的优点是,啮合力极小,安装得适当则齿轮齿条(以使用40年为限)看不出精度有任何降低,可视为永久或终生位移检测组件,不尽人意的是误差因素较多,安

装复杂,安装人员要具备多方面的知识与经验,要具有极强动手能力。第二类单齿轮结构(无间隙啮合是靠弹性支架完成),单齿结构产于美国(多家公司生产)、英国、意大利、前苏联等,这种结构只要弹性支架设计合理可保坐标精度长期稳定,安装较简单,相当于绝对摩擦式的滚动光栅。

我国开放市场以来工业界人士一直关注日本的发展,称日本机床配置的经济型线纹尺与光学读数显微镜(几何光学位移测量装置)是机械加工与测量的工业革命,但它与欧美的齿式装置相比水平还稍差一筹,前者为几何光学的静态测量,后者为机光电一体化的动态测量。我国有一段前者的历史(精密坐标镗床光学定位系统),却没有后者的历史(大约40~50年左右)。

目前我国市场有这样几类(大位移测量组件)产品:感应同步器、光栅(玻璃光栅、带状光栅)与球栅(以10m为例)在7.5~10万元之间,带状光栅与带状磁栅价格较低,但受拉压弹性模数与水平安装产生的挠度影响温差变形大,换季误差大。以上产品共同缺点是,只要划伤与磕碰全部报废,而齿式装置只更换有故障的齿条,与整体坐标精度没有任何影响。齿轮、齿条一次投资终生受益,编码器与数显表使用寿命在15年以上。以上介绍的这些位移检测元件按计量仪器测量方法设计原则,它们只能违反阿贝原则平行于机床导轨,即测量线(位移检测组件)与被测线(刀具切削点或面)平行,导轨直线度与间隙直接影响坐标精度,它们产生的误差称阿贝误差,并联当距大小与阿贝误差成正比,导轨直线度误差和间隙与阿贝误差成正比,因此改造机床时修复导轨,特别是对导向面的修复,可使导轨直线度与配合间隙获得理想的效果,可以将阿贝误差控制在极小状态,否则将出现位移检测元件精度很高而坐标精度确不理想的现象,业内人士称为金鞍配劣马。

近年来,我们看到精密齿轮齿条机构不仅只是用于位移测量与位移信号回馈,它已作为重大型数控机床的传动机构(趋动组件)无间隙传动(刚性消除齿轮组)被广泛采用,例瑞士大型平板式绘图仪、法国数控立车、日本东芝大型落地数控镗铣床等。其中东芝数控镗铣床的立柱移动就采用此传动机构。

我们非常看好精密齿轮组(刚性消除)齿条结构的发展与未来,特别是重大型机床制造业,与滚珠丝杠相比,滚珠丝杠已无法满足大位移传动的要求(制造长度

是有限的),特别是水平传动时受重力而产生的挠度,使滚动螺母滚道下半部受力较大,再有润滑不好与粉尘等因素造成滚珠丝杠与螺母急剧磨损,而且丝杠的局部损坏只能整体报废。受滚珠丝杠结构限制,丝杠的轴向定位端与加工原点永远不会重合,产生线性温漂,两点的关系成正比。针对滚珠丝杠的缺憾,精密齿条的优势显现出来:①齿条可无限接长。②可局部更换。③不存在两点不重合的问题。④采用精密齿轮组可实现无间隙传动(刚性消除)。⑤采用静压导轨可实现重载小功率配置达到理想驱动效果。与蜗杆蜗母条相比,其结构属于低幅运动,磨损较快,采用同轴双蜗杆液压消除机构(前苏联产于20世纪80年代的重型龙门铣床工作台采用此机构)可以解决重载无间隙传动与定位与锁紧的问题,但蜗母条制造精度不会太高,精度保持期也不会太长。

我国重大型加工制造业与世界工业先进国家还存在一段差距,特别是重大型机床制造业,以上因素成为重大型加工制造业的瓶颈。据市场调查可知,国内一家矿山机械厂为了满足市场需要进口了一批重大型二手机床(如果在国内采购5年也不可能完成),一些齿式装置在这家矿山机械厂引进的二手机床上使用至今仍然完好。第一台160斯柯达镗床改造后齿式装置以无故障使用7年之久。2007年4月又成功改造了前苏联6.3m立车(单齿结构)和捷克8m卧车(双齿结构),投资少,见效快,施工时间短,得到用户满意。冷

(收稿日期:20070808)

《测量》栏目征稿启事

测量栏目现向广大读者朋友征稿,征稿内容如下:

- (1) 零件检测的工艺方法。
- (2) 在线检测技术、无接触测量技术等先进的检测技术在金属加工中的应用。
- (3) 机床测试技术。
- (4) 零件检测中的小经验、小技巧。
- (5) 先进计算器具的设计原理和设计方法。
- (6) 先进量具在零件检测中的具体应用。

请按《机械工人》的格式书写,字数不超过3000字,图样清晰。

来稿请通过E-mail或寄送软盘、光盘的形式发来;用E-mail发送时,请将文章以附件的形式发来,如有图,请将图粘贴在WORD文档中。