



# 海德汉进给传动精度系列讲座

## 第1讲 进给传动系统的结构

海德汉(天津)光学电子有限公司 Jan Braasch, Dr. Ing.

每年新型机床在效率与功率方面都有进步。进给速度与加速度值的不断提高使机械加工时间一再减少。同时,机床准确度的提高使得工件的公差越来越小。一方面,这使得可进行加工的大难度工件越来越多;另一方面也简化了复杂组件的组装。人工选择公差相应的单件进行组件组装,以及为满足组装所需配合公差对单件进行的后加工工序可以因此而省去。另外,更高的部件精度通常能够使部件的性能更佳。比如说,发动机传动部件尺寸准确度的提高,能够增加使用寿命并降低噪声。在机床的总误差中,进给轴的定位误差相当重要。本文将详细介绍该误差,并将其与其他类型的误差进行比较。

如今,测量检验现代机床准确性的新方法越来越多。以往通常仅对机床进行几何精度的验收测试,而今动态性能的测试方法,如圆周测试、自由曲线测试、按 IS230—3 进行的热力学测试及对生产用机床验收时进行的“能力测试”和使用过程中的定期检查,得到了越来越广泛的应用。多样的测试手段使得用户得以区分影响机床精度的不同因素,如切削工艺、几何和热力学精度、静态和动态刚度及进给系统的定位性能等。

考虑到目前零件多样性的上升和相应的批量生产规模减小,通过极为费时的对单个生产步骤的优化来减少热力或系统误差的方法越来越不可行了。零件首次被加工时可达到的精度越来越受到机床用户的重视。和机床其他类型的误差相比较,热误差对机床精度的影响显得越来越重要。我们将通过以下文章来说明热误差的重要性,特别是对于进给轴而言。与结构变形不同的是,可以通过选择合适的测量手段简单方便地大幅减小进给轴的误差。

用系统。

### 4. 铣床数控系统

广州数控设备厂现在拥有三款铣床数控系统: GSK990M、GSK980M、GSK928MA。其中以 GSK990M 的功能性能最高,  $\mu\text{m}$  级分辨率可以控制四轴四轴联动,内置 1~127/1~127 可调电子齿轮比,最高快移速度高达 24 000mm/min,最高进给速度可达 15 000mm/min,具有刀具长度补偿和刀具半径补偿 B、C,配置 DA98 系列全数字交流伺服驱动单元,对于模具行业是一款很好的普及型高性价比的数控系统; GSK928MA 可以控制四轴三轴联动,最高快移速度高达 16 000mm/min,最高进给速度可达 3 000mm/min,同时可以配置 1 200p/r 主轴编码器进行刚性攻螺纹; GSK980M 可以控制三轴两轴联动,最高快移速度高达 7 600mm/min,最高进给速度可达 4 500mm/min,可以根据加工要求配置伺服、步进电机,对于二维平面加工是一款高精度低价位的经济型数控系统。

### 5. DA98 系列全数字交流伺服驱动单元

DA98 系列全数字交流伺服驱动单元采用数字

信号处理器(DSP)和大规模可编程门阵(CPLD),集成度高、可靠性高,同时采用三菱智能功率模块(IPM),具备完善的保护功能;可以接受单脉冲、双脉冲和两相 A/B 正交脉冲三种不同方式的信号,可适配多家数控系统,内置 1~32 767/1~32 767 可调电子齿轮比,反馈脉冲高达 10 000 脉冲/r,具有速度控制和位置控制两种控制方式,可以通过参数调整适配国内多家伺服电机。

### 6. DY3 系列和 DF3 系列步进电机驱动单元

DY3 系列三相混合式步进电机驱动单元采用数字技术实现矢量细分,电机旋转定位精度高、运行平稳、噪声低;采用三菱智能功率模块(IPM),具备完善的保护功能;用户可设置 15 种电机步距角,可以接受单脉冲、双脉冲两种不同方式的信号。

DF3 系列三相反应式步进电机驱动单元引入单片机进行软环分及矢量细分,实现 1:1 平滑细分及 5、10、20 倍矢量细分,使步进电机低速运行平稳,避免震荡及失步。

(待续)(收稿日期:20031128)





在对由编码器加丝杠组成的进给传动系统的定位精度作误差分析之前,有必要先研究一下常见进给传动系统的结构。

尽管机床的设计多种多样,但其进给传动装置的结构大多相同(见图1)。在通常情况下,滚珠丝杠被用于实现伺服电机旋转运动到滑台线性运动的转变。丝杠的轴承承受滑台传来的所有轴向力。通常,伺服电动机和滚珠丝杠直接通过联轴器来进行联接。在实际应用中,由于其紧凑的结构和可通过选择传动比来配合电机转速的优点,齿形带轮也得到了广泛的应用。总的来说,数控机床位置值的取得可通过两种方式进行。一是使用直线光栅尺,二是使用旋转编码器加上滚珠丝杠。

在使用旋转编码器加滚珠丝杠进行位置控制时,控制环中仅包含了伺服电机(见图1虚线)。这意味着机床的数控系统仅仅实现了对电机转子角度位置的控制而非机床滑台的直线位置控制。为了从电机转子的角度位置,精确地推算出滑台的直线位置,驱动电机及滑台之间一切传动系统的性能必须是已知的,而且更为重要的是,这些性能必须是高重复性的。

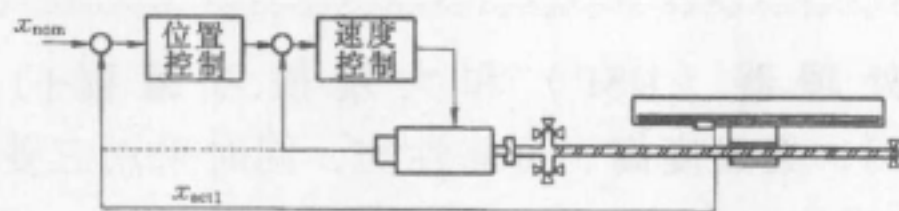


图1 典型带直线光栅尺及伺服编码器的数控机床进给系统。与丝杠/编码器定位系统所不同的是,通过使用直线光栅尺可使位置控制环包括整个进给传动机构。

与此相反,由直线光栅尺组成的位置控制环包含了整个进给传动系统。机械传动系统的误差由安装在滑台处的直线光栅尺检测出并可通过数控系统进行补偿。

### 1. 不同的位置控制环

我们使用了不同的术语来区别位置控制的这两种方法。通常在德语国家和一些英语国家中使用不是太精确的术语“直接与间接测量”来进行描述。不过,这个术语的选择显得有些恰当,因为从严格意义上讲,这两种测量方法都是直接的。一种是使用直线光栅尺的光栅刻线作为测量标准,另一种则是使用滚珠丝杠的螺距作为测量标准。后一种情况下,旋转编码器仅起到了提高定位分辨率的作用。日本将该概念称为“半闭环与全闭环控制”则

显得更加合适,因为这更恰当地描述了实际的内在联系。

### 2. 进给轴的数字化趋势

顺应进给轴数字化趋势,大多数新型伺服电机都配备了能够与滚珠丝杠一起完成位置控制的旋转编码器。在使用这种进给系统时,需要决定的是通过一个附加的直线光栅还是仅使用滚珠丝杠与已存在的电机编码器一起工作来达到所需的要求。

在使用旋转编码器和滚珠丝杠进行位置测量时,您需要考虑下文将要谈到的一些问题。由这些问题所导致的机床精度不足以使一台所谓便宜的机床在生产使用中导致高额的损失。

### 3. 运动误差

直接因采用旋转编码器/丝杠系统而带来的误差为丝杠螺距误差、进给机构的间隙及所谓的螺距损失。由于滚珠丝杠的螺距被用来作为直线测量的标准,因此滚珠丝杠的螺距误差直接影响到测量的结果。进给机构内的间隙会导致背隙的出现。丝杠在开始运动的一瞬间,滚珠需要一定的时间来到达平稳运动时的位置。这个过程会导致丝杠定位时轻微的非线性特性。这种被称为螺距损失的现象会导致 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 左右的背隙。

### 4. 误差补偿

大多数数控系统都可以对螺距误差和背隙进行补偿。不过,为了确定补偿值,必须使用外部测量元件,如激光干涉仪或双坐标光栅进行复杂的测量。另外,从长期来看,背隙会随时间变化,因此必须经常通过重新测量来获得新的补偿值(见图2)。

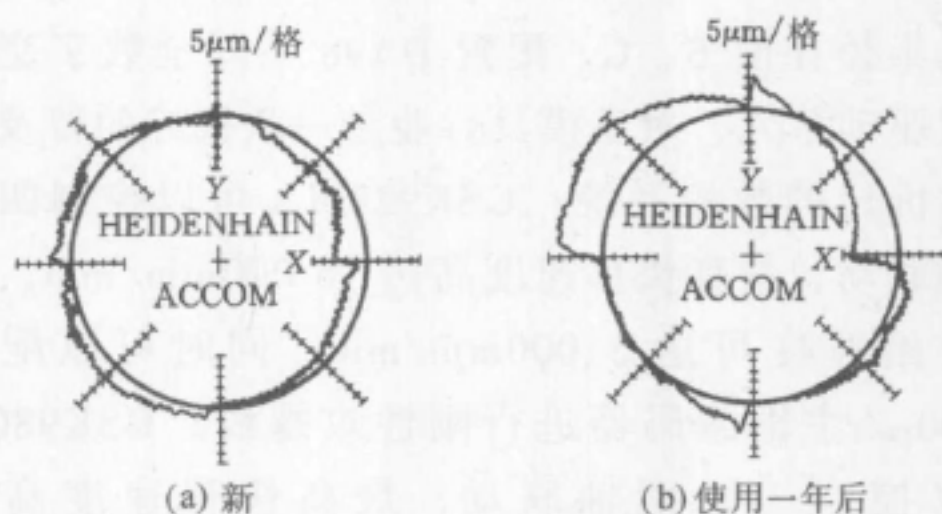


图2 不带直线光栅尺的加工中心在全新状态和使用一年后的圆周测试结果。 $X$ 轴的背隙明显增加。

(待续) (收稿日期: 20031201)