

数控机床——新技术应用与发展

北京蓝拓机电设备有限公司 (100013) 赵晓明

由于数控机床是机、电(计算机技术)、液、光学检测为一体的多领域工程技术的结合,所以展望数控技术的发展与进步,必然脱离不开这些技术的发展。本文主要从下述几个方面分析数控系统的发展与新技术的应用。

- (1) 机床机械结构的变化导致电气控制方式的变化。
- (2) 计算机技术的进步带动数控系统新技术的应用。
- (3) 制造技术对数控系统新的要求。
- (4) 全数字化驱动实现高速度、高精度控制。
- (5) 系统网络化、人性化,平台进一步兼容开放。

1. 数控机床的结构创新

数控机床今后的机械结构趋势——结构简洁。

(1) 直线电动机(Linear Motor)取代滚珠丝杠,如图1所示。

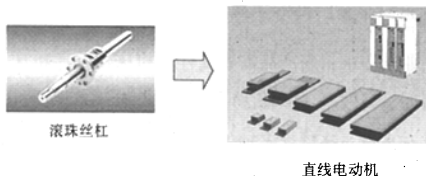


图 1

其特点是:直线电动机结构简单,控制精度高。

传统的滚珠丝杠传动链结构需要丝杠轴承座、滚珠丝杠、联轴器,结构复杂,传动链中精度损失多(如轴承游隙、丝杠螺距误差、丝杠反向间隙等)。而采用直线电动机可以克服由机械传动链丢失的精度,另外从电气角度看,参数设置更直接、简便、精确。

(2) 扭矩电动机(Synchronous Built-in Servo Motor)取代蜗杆蜗轮,如图2所示。

其特点是:

- ① 机构简单、成本低、便于维修保养。由于蜗杆蜗

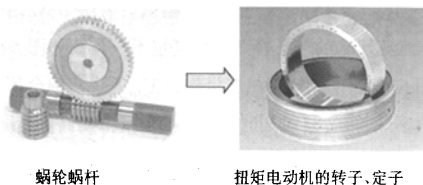


图 2

轮隶属齿轮类加工,精度与成本成正比,高精度齿轮成本高,并且长期使用后,精度损失很难恢复。而力矩电动机克服了上述问题。②控制精确高:由于蜗杆蜗轮需要速比换算,在数控系统应用中被称之为“柔性齿轮比”计算,而力矩电动机直接驱动负载末端,传动比为1:1,电气参数设置简单、精确。

(3) 内装式高速主轴(Built-in High Speed Spindle)取代主轴变速箱,如图3所示。

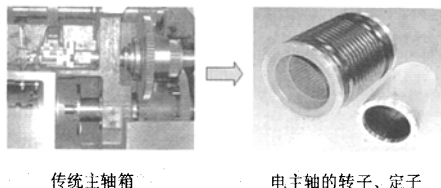


图 3

其特点是:结构简单,制造成本低。

由于传统的主轴变速需要通过机械齿轮的切换,而机械齿轮箱结构复杂、换挡需要的控制信号多,制造、维修成本高。随着变频调速技术以及电动机制造技术的发展,现在制造技术可以使变频调速范围调宽。另外采用陶瓷轴承、油雾润滑等新技术,高速主轴电动机轴承可达2~5万r/min。同时低速大转矩特性也在进一步提高。

(4) 其他机械结构创新——重心驱动(DCG——Driven at the Center of Gravity)

从力学角度分析,在推动物体移动时,如果作用点不是在物体重心,则会产生一个扭矩 M ,对机床运动和

定位来讲就是一个不稳定因素,影响轮廓加工精度和稳定性。

通常的单滚珠丝杠驱动力与工件受力点总是随着加工轨迹的变化而变化的(加工过程中随着刀具的移动,作用力与反作用力总是不同心的),也就是说工作台所受的扭矩总是存在的。

那么采用重心驱动就能解决上述问题,最显著的作用就是减小振动,提高加工精度。图 4a 表明是通常单丝杠传动, b 是 DCG 驱动的振动幅值。采用 DCG 结构的机床加工出来的产品表面粗糙度也不一样,如图 5 所示。图 6 是采用 DCG 的机械机构, X、Y、Z 轴全部使用 2 根滚珠丝杠, 3 轴同时进行重心驱动来提高加速度。

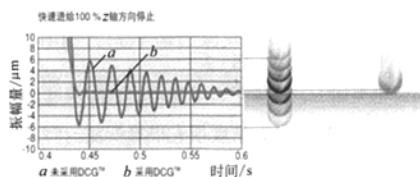


图 4

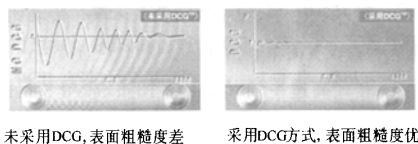


图 5

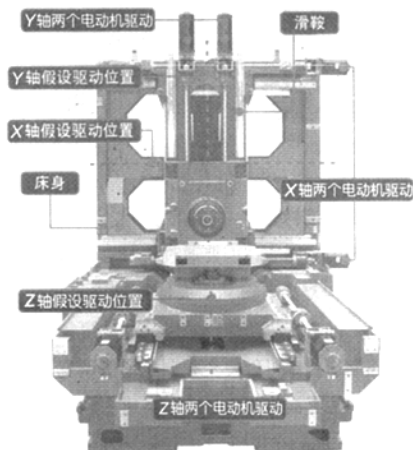


图 6 3轴双驱结构

(5) 其他机械结构创新——现有结构基础上的变革
采用内冷式滚珠丝杠。由于走刀产生大量的热量,通过滚珠丝杠内冷装置有效地将热量带走,减小了丝杠的热变性,保证了运动定位的精度和稳定性。如图 7 所

示。

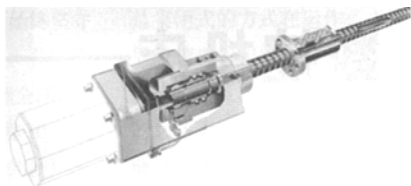


图 7

(6) 带内置铣削电动机的转塔 传统的铣削机构涉及传动链、齿轮等机械部件,结构复杂、制造工艺复杂,装置会产生大量的热和振动。而带内置铣削电动机的转塔结构最大程度上减少了热量和振动的产生,避免了传输损耗,并且提高了加工精度和切削性能。结构如图 8 所示。

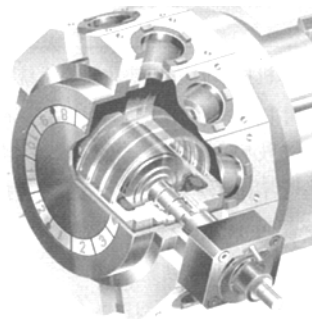


图 8

2. 制造业需求——机床结构进步——数控系统性能提高

产业链需求:新产品需要高性能机床,这些机床具有高精度、高效率、多轴法向加工的特点;高性能机床呼唤具有高速、高精度多轴矢量插补性能的高级数控系统;而高性能数控系统的进步促进新机床、新工艺、新刀具的出现。

3. 新技术在数控系统中的应用

为了适应现代制造技术,数控系统应符合以下特点:①高速, CPU 采用 64 位专用总线结构,数控插补周期在 2ms 以内,内装式 PLC 扫描周期可达 0.003 3μm/步。②高精度,采用全数字伺服,纳米级控制精度,运用 AI (Advance Interpolation)、HRV、简易指令集 (RISC) 等高精度轮廓控制功能。③界面友好、仿真,各系统厂家将 CAD/CAM 技术嵌入到系统内,通过图形输入,取代了传统的 G 代码编程。④网络化, CNC 与

外设通过以太网连接, I/O 与外部继电器等硬件通过 Profibus 连接。⑤简洁的硬件结构—广泛采用专用 LSI, 系统体积减小。⑥开放式系统市场分额加大, OpenCNC 被广泛采用。

(1) 采用专用总线结构专用 LSI, 其特点是: ①为提高插补速度采用高速 CUP 专用总线结构。②采用专用 LSI 适于插补运算和接口控制。③过去许多用硬件实现的功能由软件来实现, 便于调试、在线诊断(如伺服动态波形显示、接口 TRACE 跟踪诊断等)。④CNC 与伺服放大器的连接采用专用协议串行总线(如西门子、FANUC 数字伺服均如此)。

(2) 伺服软件与 NC 软件的结合——实现高精度控制 AI (Advanced Interpolation) 提前预测控制可以预读多个加工程序段, 实现了切削速度最佳的加/减速控制。从而有效地减少了工件形状转角处或小半径圆弧的伺服跟踪误差, 并有效地提高了加工速度和加工精度。

AI 轮廓控制已被 SIEMENS 和 FANUC 等系统采用, 德国 HEIDENHAIN iTNC530 系统可以预读 1024 个程序段。

如发那科具有 HRV4 伺服系统, 其特点是: ①伺服位置指令以纳米为单位采样。②使用 α 脉冲编码器, 16 million pulses/rev 超高分辨率检测 (HRV4 功能)。③采用超高响应速度伺服控制处理电流环和速度环。④通过 HRV filter 过滤器, 最大幅度地减少外部扰动。

采用平顺的高刚性伺服电动机, 高精度电流检测、高响应和高分辨率脉冲编码器等硬件, 与伺服“高速响应矢量控制”运算有机的融为一体, 实现高精度轮廓控制, 同时 HRV 滤波器还可以避免因频率变动引起的机械共振, 真正实现纳米级精度控制。

纳米级插补——前馈控制, 用于高速、高精度轮廓加工。通过采用前馈伺服控制方式使单节处理的影响退居幕后, 缩短了程序段处理时间, FANUC 公司产品还采用了 RISC 指令(简易指令集)功能, 进行微小程序段处理。

HEIDENHAIN 公司 iT530 采用前馈控制处理微小程序段(插补), 处理时间不超过 1ms。

iT530 加工 3-D 线段无刀具补偿时, 其微小程序段处理时间为 0.5ms。即: 用 24m/min 的进给速率加工时, 可以铣削约 0.2mm 的直线段。

这种微小程序段加工可实现免磨削加工 (grinding

free), 即铣削加工达到磨削加工的精度。

(3) 网络化功能的应用 采用以太网连接数控系统与 host 计算机可以实现: ①双向传输保存在异地的零件程序、刀具表等。②起动机床。③备份数据。④查看诊断机床实时状态。

I/O 与外部继电器连接采用 Profibus。

传统的 I/O 输出, 是通过内装式 PLC 经过 I/O 模块并行输出信号线, 这样会造成系统与刀库或交换工作台等设备间的连接信号线繁多, 坦克链托架结构复杂, 维修不方便等。

采用 Profibus 后, I/O 到外部站点间的连接仅通过双绞线(串行传送)即可。故障率低, 便于维修诊断。

(4) 数控功能强化 由于数控系统采用的 CPU 速度不断提高, 过去许多专用机床的软件被移植到通用 CNC 中, 例如: 齿轮加工、多轴联动工具磨软件、凸轮轴及曲轴的加工软件、法向矢量插补等作为数控系统的选项内容。

另外, 冲床软件、等离子切割软件、折弯软件等也可作为数控选项, 方便不同行业用户的选择。

(5) 友好的界面、简便易行的编程 引导编程、车间编程、自由轮廓编程等图形对话编程输入将 CAD/CAM 嵌入数控系统中, 并且有编程提示信息, 使数控编程加工更接近通用“工程语言”, 用图形符号“说话”。

SIEMENS 840D 具有 shopmill 或 shopturn 编程软件, 不但编程简便易行, 并且仿真能力强。HEIDENHAIN iT530 具有 2D 轮廓加工对话编程, 铣、钻、镗固定循环, 以及通过数控系统安装通用的 CycleDesign 软件建立自己的固定循环程序。并且可以通过参数设置完成简单的 3D 轮廓加工。

FANUC 系统则采用“manual guide i”辅助编程, 操作者可以根据蓝图输入图形尺寸, 无需 G 代码编程。

(6) 数控系统发展的另一侧面——OpenCNC 随着计算机硬件成本的降低, 软件平台的开放, 以及计算机应用的普及, OpenCNC 目前在欧美市场发展非常快, 1993 年美国数据公司生产的产品最具有代表性, 其特点是: ①价格便宜。②开放性不与任何硬件捆绑, 运动控制相关硬件(位置反馈、伺服指令输出、I/O 数

(下转第 34 页)

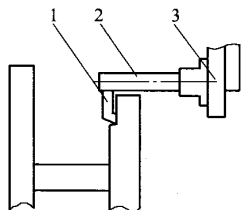


图 4 加工大平面例图 2

1. 刀具 2. 刀杆 3. 平旋盘

采用平旋盘“倒刮”平面时除了需要注意“正刮”平面相同的问题外,还要注意一点,为防止加工振动而影响加工质量,刀具不能伸出太长,因而加工平面的尺寸有限(主要是Y轴方向尺寸)。

(3) 加工外圆 采用数控平旋盘加工外圆与加工内孔的原理及程序相似, 最主要区别在于刀具在刀杆上的安装方向。如图 5 所示, 如果刀具安装在刀杆 B 位置, 刀具回转中心为机床主轴中心, 用于加工内孔; 若刀具安装在刀杆 A 位置, 刀具的回转中心也为机床主轴中心, 则可用于加工外圆。加工外圆时程序编制的基本思路是: 先使平旋盘移动到合适坐标, 然后使主轴旋转并 Z 向进刀, 即可车削外圆, 然后, 通过改变平旋盘的坐标位置 (平旋盘向正方向移动), 从而改变刀具切削回转直径, 直到加工出合格的工件为止。需要强调的一点是, 由于与车床切削机理的不同, 在镗床上加工外圆时容易出现“退把”的现象, 因此, 在编制程序时, 最后精加工时平旋盘的移动量要小, 一般为 0.10mm 以下, 以减小切削力对刀具刚性的影响, 提高外圆的加工质量。此外, 要注意刀具长度的补正方向。如要加工直径为 $\phi 200\text{mm}$, 长度为 $\phi 200\text{mm}$ 的外圆, 那么车该零件外圆时 U 轴的坐标位置 U 应为:

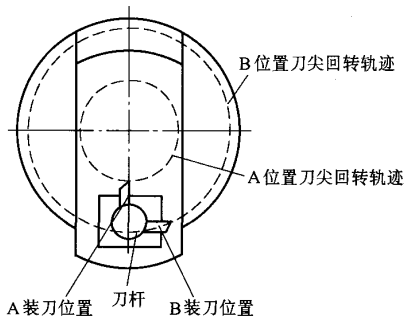


图 5 加工内孔与外圆时刀具安装位置

$$U = (576 - 200) / 2 = 188 \text{ mm}$$

其加工程序如下：

G90 G54 G00 X0 Y0 Z100; 选用工件坐标系

U0 F600: 滑块移动回归到零位

G43 D1 Z50; 插入刀长补正

M03 S80; 主轴旋转

G01 U+188 F200; 平旋盘向内移动使刀具到指定位置
(加工外圆直径坐标位置)

Z-200 F120: Z 方向进给车削外圆

SPOS = (0); 平旋盘回零位并使主轴停止

Z500: 刀具退回

M30: 程序结束

3. 效果

应用 SIEMENS 840D 数控系统控制的平旋盘, 可以获得极高的位置精度和控制效果, 实现在数控镗床上“以镗代车”, 扩大数控镗铣床的加工应用范围, 并可以在满足加工质量的前提下, 充分降低刀具采购成本, 提高加工效率, 程序编制也非常容易, 适合工件的批量化生产需要。

(收稿日期: 20050901)

（上接第 19 页）

据转换等)也是市场上可以买到的通用或配套产品。③高可靠性(采用工控机、军用机箱、OA 计算机)。④友好的人机界面,开放的 API(应用编程接口),用户可以根据控制对象不同,使用 V-Basic 开发个性化界面。⑤强大的网络功能。⑥及时的软件升级。

4. 数控系统的发展对维修和改造的影响

(1) 对维修的影响: ①由于系统的自诊断能力的加强和结构的大幅度简化, 现场的系统故障判断将越来越方便。②现场的维修要求不仅仅局限于数控系统的故障判断, 同时需要对外围电路、机械、液压、气动、光学检测, 甚至加工等多种因素的综合判断能力。③对印刷电路板的维修将越来越困难, 直至彻底采用直接更换的方式。④随着外设的不断扩展和网络化发展, 对数控机床与其外部设备的连接及调整会越来越多。

(2) 对改造的影响: ①小型、简易机床的改造需求会逐步降低, 机床改造将进一步向大型化、全功能化、复杂化方向发展。②改造市场将进一步细分。③对改造承揽单位的要求将不断提高, 要求具有系统、机械、液压、光学甚至二次开发的综合能力。