

基于开放式运动控制器的数控滚齿系统的研究

杜建铭 吴序堂

吴宏

(西安交通大学机械工程学院 西安 710049) (洛阳工学院机电工程系)

摘要: 讨论了一种基于开放式运动控制器的数控滚齿体系结构, 通过对其进行深入的研究, 在国内首次提出了电子差动齿轮箱的概念, 开发出相应的数控滚齿软件, 给出了运动控制系统软件的基本模块, 以及该数控系统成功用于 YG6132B 机械滚齿机数控改造的实例。

关键词: 数控 滚齿机床 运动控制

中图分类号: TG659

0 前言

齿轮被广泛地应用于机械设备的传动系统中, 滚齿是应用最广的切齿方法^[1], 传统的机械滚齿机床机械结构非常复杂, 一台主电机不仅要驱动展成分度传动链, 还要驱动差动和进给传动链, 各传动链中的每一个传动元件本身的加工误差都会影响被加工齿轮的加工精度, 同时为加工不同齿轮, 还需要更换各种挂轮调整起来复杂费时^[2], 大大降低了劳动生产率。

以德国西门子、日本发那科公司数控系统为主流的数控滚齿机的出现, 大大提高了齿轮加工能力和加工效率。我国目前真正能够生产数控滚齿机的只有 2 - 3 个厂家, 且使用的多是德国西门子数控系统, 加工中模数齿轮, 没有自主知识产权的核心技术, 缺少国际竞争力。

注意到以上问题, 并根据近来数控技术, 尤其是开放式运动控制器飞速发展的现状, 本文针对小模数、少齿数、大螺旋角斜齿轮滚齿加工迫切要求数控化的实际需求, 进行了深入的研究, 成功地开发了一套基于开放式运动控制器的数控滚齿系统并用于实际生产。

1 基于开放式运动控制器的数控体系结构

该体系结构的核心是一块具有 PC104 总线并且自带高速 DSP 芯片的开放式多轴运动控制卡, 与嵌入式 PC 主机构成多处理器结构, 提供 4 路 16 位 D/A 模拟电压 (+ / - 10 V) 控制信号, 4 路 4 倍频差动式光电编码器反馈信号接口, 输入信号频率最高可达 8 M H Z , 32 路光电隔离输入输出接口。可

编程数字 PID+速度前馈+加速度前馈滤波方式, 卡上自带 DSP 芯片以实现实时高速插补、计算功能, 可完成空间直线、圆弧插补, 大大减轻了主机负担, 还提供了程序缓冲区, 降低了对主机通讯速度的要求^[3]。该运动控制卡通过 PC104 总线和计算机通讯, 一方面将从各控制轴采集到的数据送给主机进行计算, 另一方面, 将主机根据工艺及数学模型进行运算生成的运动控制指令经过进一步处理送各轴伺服驱动器, 完成各轴的运动控制, 加工出满足工艺要求的合格零件。由于使用标准的 PC104 型工控机作为主机, 采用标准化接口, 可灵活地选用电机、驱

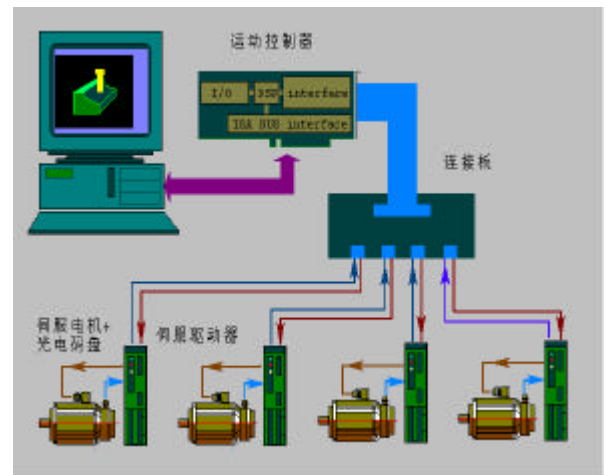


图 1 基于开放式运动控制器的数控系统结构

动装置和反馈元件, 支持包括以太网甚至是 Internet 网在内的多种网络协议及拓扑结构, 可方便地实现远程控制, 组网技术十分灵活而且技术成熟^[4]。适应网络化数控的未来发展要求, 系统硬件控制部分结构如图 1 所示。

2 系统控制软件

本系统控制软件是在纯 DOS 下用 C 语言开发的，DOS 系统的开放性、单任务、准确的时钟中断管理及其良好的稳定性，为工业化生产提供了可靠的保证。软件框图如图 2 所示。

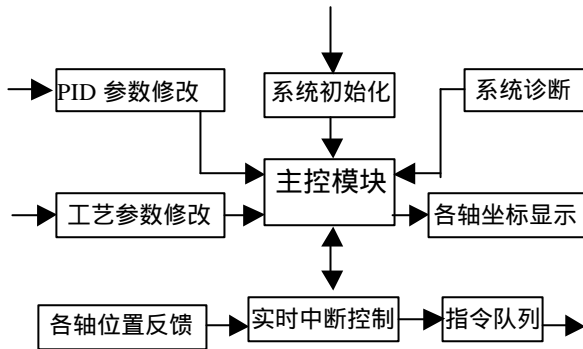


图 2 控制软件框图

其中系统初始化包括自制小汉字字模的装入，显示器图形方式的初始化，控制器滤波参数的整定等；系统诊断模块的作用是监控各被控轴的运动状态，如：各轴有无运动误差超限、伺服报警、运动完成、限位开关动作等；实时控制模块，由中断服务程序实现，它在每个时钟中断周期内读入各轴位置，根据加工对象的加工工艺要求计算出新的运动控制指令送运动器解释执行。

3 基于电子齿轮箱的数控滚齿系统

齿轮加工的关键在于实现滚刀和工件之间的展成分度运动关系，也就是要准确地满足两者之间的速比关系，即滚刀转过一转，工件转过 K/z_c 转，如下式(1)所示：

$$\frac{n_c}{n_b} = \frac{K}{z_c} \quad (1)$$

式中 n_c, n_b - 分别为工件轴转速和滚刀轴转速

z_c, k - 分别为工件齿数和滚刀头数

而在加工斜齿轮和蜗轮时，要求在完成分齿运动的同时，还要完成 Z 轴或 Y 轴的附加运动，其运动学方程式如下：

$$n_c = \frac{K}{z_c} n_b \pm f_z \frac{\sin b}{m_n z_c p} \pm f_r \frac{\cos l}{m_n z_c p} \quad (2)$$

式中 f_z, f_r - 分别为 Z、Y 轴的进给量

b, l - 分别为斜齿轮的螺旋角和刀具安装角

m_n - 为斜齿轮法面模数。

由式(2)可见，在加工斜齿轮和蜗轮时，输入和输出的关系已不再是一个简单的单输入、单输出的定比传动问题，而是一个多输入、单输出的问题。一般的电子齿轮方式无法解决这类问题，为此本系统成功地开发了电子齿轮箱功能，电子差动齿轮箱是指：对于任何一个通过机械差动变速机构将两个以上（含两个）不同运动，按一定的速比传动关系合成输出的运动轴，都可以改由计算机控制的交、直流伺服电机单独驱动，去掉原有的机械差动传动链，通过计算机读取安装在各输入轴上传感器反馈回来的运动参数（如转速，进给量等），用软件编程的方法实时计算合成输出轴的运动，实现机械差动传动链的功能。

4 应用实例

上述数控滚齿系统已成功地应用到一台宁江机床厂生产的小模数机械滚齿机 YG3612B 的改造中，改造前该滚齿机用于批量生产模数 1，齿数 4，螺旋角 20 度以上的斜齿轮轴加工，由于我国尚无适应这种小模数、少齿数工件的数控滚齿机，对这种类型工件，该机械滚齿机是目前加工精度最高的滚齿设备，但是由它加工出来的零件成品率仅达 80% 左右，造成了巨大的浪费，同时在更换加工品种时需要繁琐地更换各种挂轮，使生产效率大为降低。为此生产厂家强烈要求进行数控改造以便提高加工精度，提高生产效率。

经分析造成零件加工精度低的主要原因如下：

(1) 滚刀至工件两末端传动件之间各传动元件的加工、装配误差直接影响了展成分度的精度，从而影响工件的加工精度

(2) 工件至 Z 进给轴两末端传动件之间各传动元件的加工误差直接影响了被加工工件螺旋角的准确性

(3) 由于是加工 4 个齿的斜齿轮，单头滚刀每转 1 转工件要转过 90 度，这就决定了滚刀到工件之间的末端传动副不能像通常的滚齿机那样使用大降速比的蜗轮 - 蜗杆传动副，以便大大降低前面传动副的误差对展成分度的影响⁽⁵⁾（如采用大降速比的蜗轮 - 蜗杆传动副作末端传动副，蜗杆的高速转动将造成其迅速磨损而失去精度）因此该机床采用了一对 19/76=1/4 的空间相交轴传动的螺旋齿轮副作末端传动副，从而使得上述(1)、(2)两点成为影响被加工齿轮轴精度的关键。

针对以上问题，同时考虑生产厂家担心改造后一旦不成功将造成机床报废的顾虑，本文把以最小的改动、最小的投入加工出满足精度要求的小模

数、少齿数、大螺旋角斜齿轮作为目标，创造性地建立了如下的改造方案：

(1) 彻底断开工件轴和滚刀轴、工件轴和进给轴之间原有的机械传动联系，除去原有的差动传动链

(2) 保留滚刀轴至工件轴之间 19/76 的末端传动副，在工件轴的上一级传动轴上直接安装交流伺服电机，单独驱动工件轴

(3) 滚刀转动和 Z 轴进给仍采用原来普通电机带动

(4) 沿 Z 轴丝杆进给方向加装高分辨率光栅尺 A，直接从末端件提供进给量反馈，从而排除了进给传动链误差对工件螺旋角的影响

(5) 在滚刀轴的上一级飞轮轴上加装高分辨率的光电编码盘 B，提供滚刀转速反馈

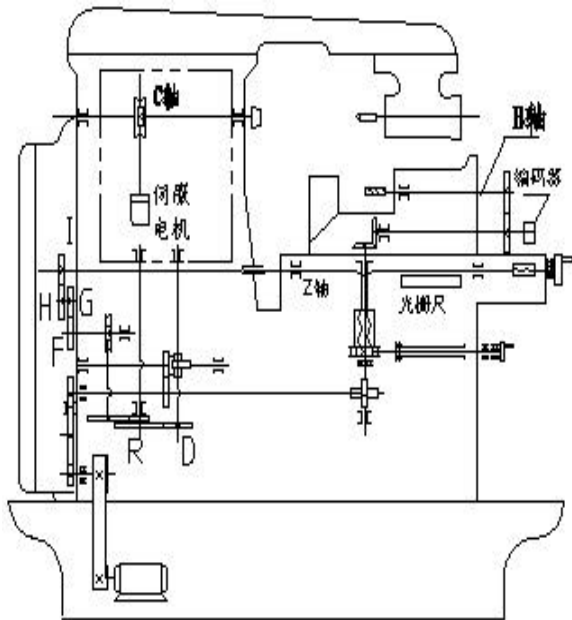


图3 机床改造后的结构

改造后的机械结构如图 3 所示，本数控系统通过实时中断读取光电编码盘 B 和光栅尺 A 的读数，由电子差动齿轮箱自动进行合成、数据处理后，经运动控制卡发出指令，控制伺服电机的运转，最终加工出满足精度要求的齿轮轴，并使产品合格率达到 96% 以上。

对以上改造的加工小模数、少齿数、大螺旋角数控滚齿机的进一步完善，应从以下几个方面着手：

(1) 在滚刀轴的上一级 B 轴上加装直流或交流主轴电机，以满足输出功率大，调速范围宽，进一步稳定转速的加工要求^[6]

(2) 工件伺服驱动电机轴与工件轴之间，滚刀

驱动电机轴与滚刀轴之间都只保留一对高精度降速齿轮传动，这两对齿轮传动副要进行消除处理，如采用两薄片齿轮弹簧消除装置

(3) 将轴向进给 Z 轴上的普通丝杠换成具有预紧、消除功能的滚珠丝杠，并用交流伺服电机直接驱动滚珠丝杠实现匀速进给，消除进给爬行

(4) 如需进一步提高该滚齿机的加工能力(加工鼓形齿、非圆齿轮等)，进一步提高生产效率，降低劳动强度的话，可对径向进给 X 轴，切向进给 Y 轴和滚刀刀盘搬角度 A 轴，都采用单独的伺服电机控制，但这些已不存在原理和技术上的难点，用户只需根据需求和成本进行取舍。

5 结论

(1) 本数控系统经小模数机械滚齿机 YG3612B 改造证明是成功的实用系统，且该系统操作简单，运行可靠

(2) 本系统在国内首先提出了区别于电子齿轮的电子差动齿轮箱概念

(3) 本系统采用国产开放式运动控制卡摆脱了国外进口的限制

(4) 充分发挥了 PC 平台上的软硬件优势，丰富和改善了开发环境。

(5) 支持数控机床进一步向的智能化、集成化、网络化方向发展。

参考文献

- 1 齿轮制造手册编辑委员会. 齿轮制造手册. 北京: 机械工业出版社. 1997
- 2 韩彦成. 金属切削机床构造与设计. 国防工业出版社. 1991
- 3 固高公司. GT-400-SV 四轴运动控制器用户手册, 2001
- 4 毛军红. 机床数控软件化结构体系. 机械工程学报. 2000. 36(7): 48-51
- 5 会田俊夫[日]. 圆柱齿轮的制造. 中国农业机械出版社. 北京. 1984
- 6 孙汉卿. 数控机床原理与维修. 中国第一汽车集团公司. 1998

A STUDY ON NUMERICAL CONTROL Gear HOBBING SYSTEM BASED ON OPEN MOTION CONTROLLER
Du Jianming WuXutang
(Xi'an Jiaotong University)
Wu Hong
(Luo yang Institute of Technology)

Abstract: A numerical control gear Hobbing

architecture system based on open motion controller is discussed. Through study deeply on it, an idea of electronic differential gearbox is put forward primarily in our country. The numerical control gear Hobbing software is developed. Basic software modules for motion control system and a successful instance that YG3612B model gear Hobbing machine tools is changed by the numerical control system are given.

Key word: Numerical control Gear Hobbing machine tools Motion control

作者简介：杜建铭，男，1963 年出生，高级工程师，博士研究生，中国第一拖拉机集团公司优秀专家，主要从事数控技术、高精度位置伺服控制和复杂曲面的研究工作