

加工长杆异型螺杆数控铣床的开发与应用

申晓龙, 张来希, 胡佳英

湖南工业职业技术学院, 长沙 410208

摘要 异型螺杆零件具有螺距和底径随角度变化的特点, 在通用数控车、铣床上难以实现加工。本文设计了一种新型长杆异型螺杆专用数控铣床, 应用 FANUC Oi-MC 数控系统; 采用卧式铣床结构, 由 c 轴带动工件旋转, x 轴和 z 轴交流伺服电机驱动实现切削进给, 铣刀主轴采用交流变频无级调速, 数控螺杆铣床三轴三联动。研究表明, 该成果对提高加工异型螺杆的生产效率和加工质量, 拓展数控铣床的功能, 具有广泛的实际工程意义。

关键词 异型螺杆; 数控铣床; 进给驱动单元; 主轴单元; 系统整机调试

中图分类号 TG659

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.26.009

Development and Application of CNC Milling Machine for Processing Long Special Shaped Spiral Rod

SHEN Xiaolong, ZHANG Laixi, HU Jiaying

Hunan Industry Polytechnic, Changsha 410208, China

Abstract The special shaped spiral rod can not be machined on a universal CNC lathe or a milling machine because its pitch and the bottom diameter vary with the angle. In this paper, a new type special CNC milling machine for processing long special shaped spiral rod is designed with the FANUC Oi-MC CNC system with the horizontal structure. The CNC milling machine is of three-axis linkage. The rotation of the workpiece is driven by axis c , and the milling feed is provided by the Alternating Current (AC) servo motor on the axes x and z . The AC frequency conversion stepless adjustment is adopted to control the rotation speed of the milling spindle. It is shown that the new machine has a wide range of practical engineering applications in view of improving the productivity and machining quality for processing special shaped spiral rod, and extending the functions of CNC milling machines.

Keywords special shaped spiral rod; CNC milling machine; feed drive unit; spindle unit; machine system debug

0 引言

长杆异型螺杆是压缩机、冷冻机、注塑机械、自动包装线的关键性基础零件。异型螺杆由于螺距与底径随角度的变化分别或同时变化^[1-2](如变螺距, 变直径, 变螺距变直径, 变齿高, 单头、多头螺距螺纹), 且螺杆零件较大, 单件加工时间长, 要求系统能长时间稳定运行。为满足实际生产需要, 研究与开发经济实用的长杆异型螺杆专用数控铣床加工设备, 对拓展数控机床的应用领域, 提高市场竞争力具有很高的应用价值。

本文针对长杆异型螺杆零件的加工, 在通用型 FANUC Oi-MC 数控系统的基础上开发螺杆专用加工铣床, 设计了一种新型螺杆数控铣削加工设备。

1 整机技术方案

根据长杆异型螺杆工件的形状与结构, 设计螺杆专用数控机床采用卧式铣床结构。滚珠丝杠传动, 由 c 轴带动工件旋转, x 轴和 z 轴带动主轴箱移动实现主轴铣刀进给切削, 其中 z 轴运动实现变螺距, x 轴运动实现变底径。

螺杆数控铣床外观结构如图 1 所示。工件主轴(c 轴)的转动、铣头的前后移动(x 轴)、左右移动(z 轴)均由伺服电机驱动; 铣头的垂向移动、左右转动以及尾架的左右移动均通过手动进行调整; 控制柜结构由强电控制柜+吊挂箱组成。要求系统能长时间稳定运行, PLC 功能灵活、强大, 用户可编程, 具有宏变量、函数化编写加工程序的功能^[3]。

螺杆铣床主要技术参数见表 1。

收稿日期: 2011-06-03; 修回日期: 2011-08-09

基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目(11C0448); 湖南工业职业技术学院自然科学科研项目(GYKYZ201004)

作者简介: 申晓龙, 副教授, 研究方向为机械工程、数控技术, 电子信箱: shenxl64@126.com

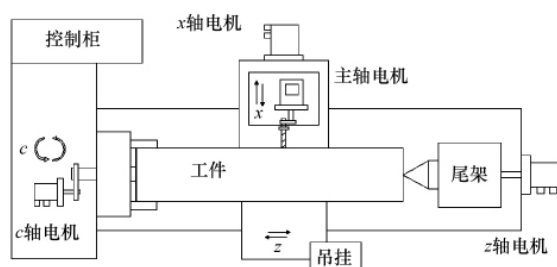


图 1 螺杆铣床外观结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the screw milling machine

表 1 螺杆铣床主要规格及参数

Table 1 Main specifications and parameters of the screw milling machine

序号	项目	规格及参数
1	最大加工直径	300mm
2	顶尖距	5000mm
3	工件主轴通孔直径	95mm
4	加工导程范围	0.01—500mm
5	铣刀主轴转速范围(无级)	140—1500r/min
6	溜板纵、横向进给速度	0—2000mm/min
7	定位精度	z 轴/0.08, x 轴/0.04
8	重复定位精度	z 轴/0.04, x 轴/0.02

2 螺杆数控铣床硬件结构

2.1 机床硬件结构框图

根据上述功能要求, 机床硬件结构如图 2 所示, 主要由 CNC 单元、逻辑电路与辅助设备、伺服驱动单元(包括伺服进给电机)、主轴单元、机床本体(机械结构)等 5 个部分组成。

2.2 电源与辅助设备

螺杆数控铣床设备设计中,为提高整个系统的抗干扰能力,伺服变压器、控制变压器及开关电源均采用带屏蔽层的隔离变压器^[4-5],其技术参数及用途见表2。

表 2 电源设备

Table 2 Power equipment

序号	名称	规格及参数	主要用途
1	伺服变压器	3 相 AC380/ 200V 10kW	为伺服驱动器提供动力电源、开关电源供电, 热交换器及交流接触器电源, 照明灯电源
2	控制变压器	AC380/200V 300W	提供伺服控制电源
3	开关电源	AC220/DC24V 145W	提供 HNC-21MD 及 PLC 电路电源

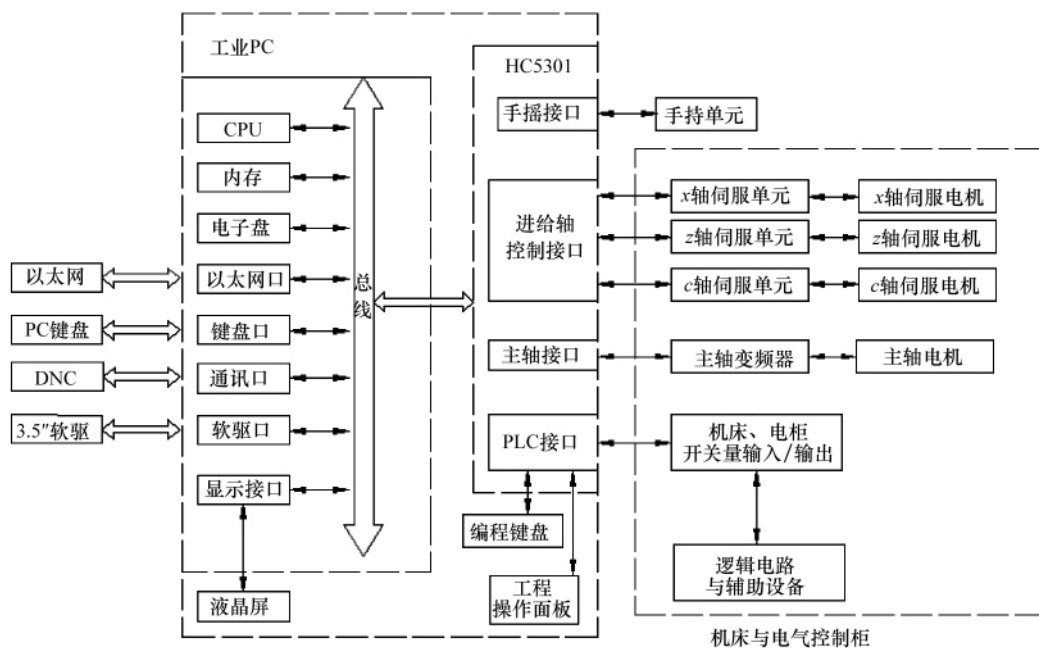


图 2 螺杆铣床硬件结构框图

Fig. 2 Machine hardware block diagram

HNC-21MD 采用 DC24V 100W, 数控装置内部用。

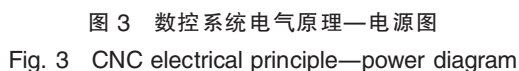
PLC 电路采用 DC24V 45W,用于驱动器逻辑信号、机床和电柜开关量输入信号、继电器控制等。其中输入信号小于 10W,输出信号小于 20W,电源线采用屏蔽电缆。

图3为螺杆铣床数控系统电气原理图,总电源进线、变压器

输入端等处的抗干扰磁环和高压瓷片电容未在图中表示出来。

2.3 进给驱动单元

进给伺服系统采用串级控制方式。系统采用安川全数字式交流伺服、半闭环控制;位置控制方式为脉冲指令控制方式;位置控制环、速度控制环以及电流控制环均在伺服侧完成^[6-7]。



FANUC Oi-MC 数控系统螺杆铣床的进给驱动单元部分的电气原理及连接如图 4 所示。



3 系统软件设计

3.1 系统软件介绍

系统软件基于 DOS 操作系统设计, 数控系统能进行手动、自动和 MDI 等方式的加工, 具有程序编辑、文件管理、刀具管理、参数输入、PLC 状态显示、故障诊断等功能。采用嵌入式软件 PLC, 功能灵活丰富, 尤其适用有特殊功能需求的高级用户使用。

3.2 系统软件结构及运行配置

FANUC Oi-NC 数控系统是实时操作系统, 底层软件包括系统软件的实时任务管理模块 (RTM) 和系统的基本输入/输出系统 (NCBIOS)。内嵌式 PMAC 板可以完成系统功能中的轴控制、主轴控制、I/O 控制和 PLC 管理。

系统软件配置不同的驱动程序适用数控机床不同的进给单元, 通过不同的 PLC 程序适应电气设计上的不同。便于文件系统管理, 通过配置文件对系统文件进行分类管理, 配置文件为 NCBIOS.CFG。操作系统采用 MSDOS 6.22, 采用电子盘存放系统软件。

3.3 系统软件的任务调度

数控系统中主要任务有位置控制任务、插补计算任务、PLC 任务、零件程序解释任务和界面任务, 多任务的调度是实现数控系统实时控制的关键技术。系统中多任务的实现是通过任务的实时调度实现的, 数控系统的实时多任务操作系统由不同的任务模块实现。

对于实时性任务采用基于优先级的抢占式调度策略, 高优先级任务可以中断低优先级任务; 当没有实时性任务运行时, 采用时间片轮转算法, 系统轮流执行人机界面任务和零件程序解释任务。

3.4 PLC 程序设计

PLC 程序结构如图 6 所示。

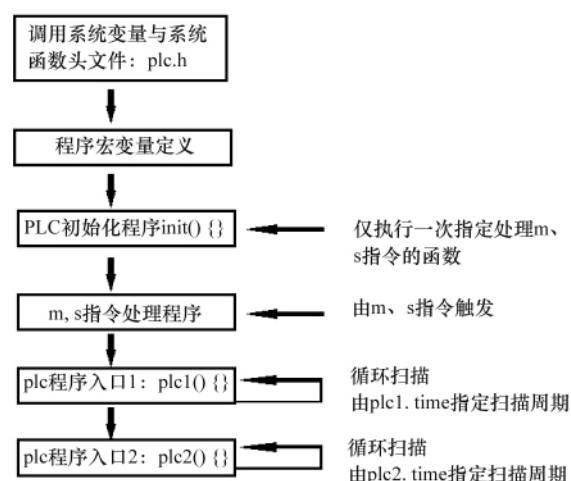


图 6 PLC 程序结构

Fig. 6 PLC program structure

(1) 系统初始化 PLC 时, 将调用 PLC 提供的 init() 函数。系统初始化完成后, 将周期性地运行如下过程:

① 从硬件端口及数控系统成批读入所有 X、F、P 寄存器的内容。

② 如果 plc1_time 所指定的周期时间已到, 调用函数 plc1(); plc2_time 指定的周期时间已到, 即调用函数 plc2()。

③ 系统成批输出 G、Y、B 寄存器。

一般地, 函数 plc1() 较 plc2() 调用的频率要高, plc1() 函数和 plc2() 须根据 X、F 及 P 寄存器的内容正确计算出 G 及 Y 寄存器的值。

(2) 软件滤波、上升沿及下降沿信号的捕捉

PLC 对输入点信号进行软件滤波可使系统更加稳定、可靠性更高。软件滤波的主要是始终记录最近几个均匀时间间隔内 (如 4 个采用周期) 对输入信号的采样值。通过 EMC 实验, PLC 程序中上述软件滤波方法对于快速瞬变电脉冲群抗扰性有特别显著的效果。

(3) PLC 运动的控制

机床轴有回参考点、点动、步进和手摇进给等运动的控制; 主轴包括旋转方向、档位变换和转速的运动控制。

4 系统整机调试与应用加工

4.1 整机调试

螺杆数控铣床整机装配, 电气调试过程中有两个主要难点。

(1) z 轴惯性负载太大, 引起动态振荡

z 轴方向行程较长, 丝杠长度接近 6m, 丝杠直径为 80mm (一般为 60mm)。电机与丝杠直联, 电机负载惯量远大于电机自身的惯量, 超过电机惯量的 10 倍以上 (为保证机床动态特性, 该比例通常在 1 倍左右)。调试中 z 轴电机非常容易振荡, 为防止丝杠弯曲, 增加了跟随支撑机构, 反而振荡情况加剧。

经过数次实验, 调整丝杠预紧力、丝杠副的同心、省略支撑机构、修定驱动单元参数等解决振荡现象。各部分机械与电气的调整余量较小, 当机床最高快移速度为 6000mm/min, 丝杠螺距为 10mm, 此时电机转速为 600r/min; 而电机最高转速可达 1500r/min, 设计 1:2.5 的减速机构, 既可保证 z 轴最高快移速度, 又可使其惯性负载减小为原来的 1/2.5, 减小振荡发生的几率, 解决振荡问题。

(2) 主轴模拟指令接口输出不标准

模拟电压范围大于 10V, 且有死区, 当主轴指令输出与 S 指令一一对应时, 电压输出不是 0—10V, 主轴实际转速与 S 指令的设定不一致。

经仔细测量指令输出与实际电机转速的关系, 利用参数来调整 PLC 程序中的要求, 即 S 指令 0— S_{max} 时, 模拟指令不是 0— D_{max} , 而是为 D_0 — D_{10} , 如图 7、图 8 所示。

4.2 应用加工

调试后现场试验, 为检验应用程序, 对增量式子程序和绝对式子程序分别进行了验证, 进行了多种异型螺杆的试验加工 (包括变螺距、变直径、变螺距变直径、变齿高螺杆、多头

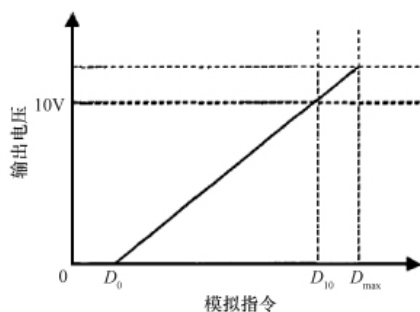


图 7 输出电压

Fig. 7 Output voltage

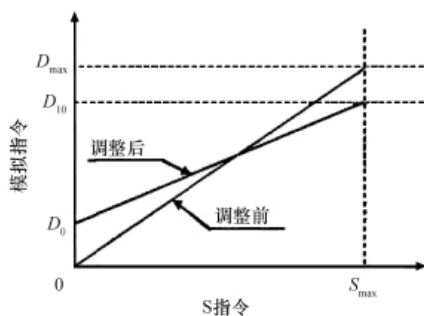


图 8 模拟指令

Fig. 8 Simulation commands

异型螺杆),以及不同类型的异型螺杆相接时的混合加工。

实际加工中增量式子程序有累积误差,使得余数(c 总角度不能被每步角度整除时)的处理产生困难;绝对式子程序只存在一次计算误差,可以方便准确地处理余数,所以一般情况常采用绝对式子程序。应用中要注意当批量加工工件的 c 轴圈数很多或选择较小的步距时,为避免溢出,每当工件加工前应作 c 轴回参考点的操作,以使 c 轴机床坐标值归零。图9为加工的变齿高变螺距螺杆。



图 9 变齿高变螺距螺杆

Fig. 9 Screw of variable pitch and variable gear step

5 结论

设计的螺杆专用数控机床采用卧式铣床结构,由 c 轴带动工件旋转, x 轴和 z 轴带动的主轴箱实现切削,其中 z 轴运动实现变螺距, x 轴运动实现变底径。应用 FANUC 公司生产的 Oi-MC 数控系统,进给系统采用交流伺服电机驱动,高精

度滚珠丝杠传动,铣刀主轴采用交流变频无级调速。通过 c 、 x 、 z 三轴三联动,可实现各种单头、多头导程及变底径的长杆异形螺杆的加工,能满足实际生产的要求。

参考文献 (References)

- [1] 张辉,叶佩青,尹文生,等. 渐变导程锥形螺杆的数控加工原理与建模[J]. 中国机械工程, 2002, 13(11): 28-30.
Zhang Hui, Ye Peiqing, Yin Wensheng, et al. China Mechanical Engineering, 2002, 13(11): 28-30.
- [2] 陈伟珍,梁建和. 用经济型数控铣床加工蜗杆的研究与实践[J]. 机械传动, 2008, 32(4): 88-90.
Chen Weizhen, Liang Jianhe. Journal of Mechanical Transmission, 2008, 32(4): 88-90.
- [3] 罗敏. 典型数控系统应用技术: FANUC 篇[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
Luo Min. The application technology of typical numerical control system: FANUC parts[M]. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [4] 陈炳森,胡华丽,杨鸿锋. 简易改造立式数控铣床进行螺杆的铣削加工[J]. 制造业自动化, 2009, 31(9): 122-125.
Chen Bingsen, Hu Huali, Yang Hongfeng. Manufacturing Automation, 2009, 31(9): 122-125.
- [5] 王可,孙兴伟,陈欣,等. 锥形双螺杆挤出机螺杆转子的数控制造技术研究[J]. 沈阳工业大学学报, 2007, 29(4): 361-364.
Wang Ke, Sun Xingwei, Chen Xin, et al. Journal of Shenyang University of Technology, 2007, 29(4): 361-364.
- [6] Baykasoglu A, Dereli T. Heuristic optimization system for the determination of index positions on CNC magazines with the consideration of cutting tool duplications [J]. International Journal of Production Research, 2004, 42(7): 1281-1303.
- [7] Briz F, Degner M W, Lorenz R D. Current and flux regulation in field weakening operation [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2001, 37(1): 42-51.
- [8] 申晓龙,陈方,张来希. 数控机床故障排除方法及应用[J]. 制造技术与机床, 2007(4): 108-110.
Shen Xiaolong, Chen Fang, Zhang Laixi. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2007(4): 108-110.

(责任编辑 代丽)

《科技导报》“书评”栏目征稿

“书评”栏目发表图书评论文章,被评论的图书以高级科普、学术专著及科学文化图书为主,兼顾科学精神、科学方法、科技哲学、科学人文、科学家传记、经典科学著作、科学通俗读物、科学道德等内容。欢迎投稿,择优刊登。每篇书评以 2100 字左右为宜,需配书影,并含书名、作者、出版单位、出版年份、定价等信息。栏目责任编辑:陈广仁,投稿邮箱:chenguangren@cast.org.cn。