

doi: 10.7690/bgzd.2014.01.023

八工位组合机床数控系统

张健¹, 李杰¹, 高毅², 徐岩彬², 王权²

(1. 中国兵器工业第五八研究所数控技术部, 四川 绵阳 621000;
2. 嘉兴绵嘉数控设备有限公司研发部, 浙江 嘉善 314100)

摘要: 为了满足对零件进行钻孔、扩孔、攻丝等工序的加工要求, 设计一款与八工位组合机床配套的数控系统。通过分析八工位组合机床的工作原理和控制过程, 设计一种基于 IPC 和运动控制卡的硬件结构, 通过对钻孔攻丝等加工工艺分析, 开发出相应的参数化编程软件。该数控系统最多可控制 12 轴, 完全满足八工位组合机床工艺软件的开发需求。

关键词: 八工位; 组合机床; IPC; 运动控制卡; 数控系统

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

NC System for 8 Workstations Modular Machine Tool

Zhang Jian¹, Li Jie¹, Gao Yi², Xu Yanbin², Wang Quan²

(1. Department of CNC Technology, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China;
2. Department of Research & Development, Jiaying Mianjia CNC Equipment Co., Ltd., Jiashan 314100, China)

Abstract: For meeting the requirements of drilling, reaming and tapping the work piece, design a NC system for 8 workstations modular machine tool. Through analyze working principle and control procedure of 8 workstations modular machine tool, design a hardware based on IPC and motion control card. Through analyzing arts and crafts of drilling and tapping, design the corresponding parameter programming software. The NC system can control 12 axis, which satisfying the development requirement of 8 workstation modular machine tool.

Keywords: 8 workstations; modular machine tool; IPC; motion control card; NC system

0 引言

组合机床是针对特定工件进行特定加工而设计的一种高效率自动化专用加工设备, 大多能多刀同时工作, 并具有自动循环的功能。笔者针对组合机床的特点, 设计开发出与之配套的数控系统, 嵌入了钻孔、攻丝等工艺程序, 实现了编程的参数化。

1 组合机床工作原理与过程分析

组合机床通常由标准通用部件和加工专用部件组合构成, 动力部件采用电动机驱动或液压系统驱动^[1], 由电气系统进行工作自动循环的控制, 是典型的机电或机电液一体化的自动化加工设备。常见的组合机床, 标准通用部件有动力滑台各种加工动力头以及回转工作台等, 可用电动机驱动, 也可用液压驱动^[2]。

笔者所述组合机床为八工位组合机床, 有 8 个滑台, 各载 1 个加工动力头, 组成 8 个加工工位。除此之外, 还有 8 个夹具、8 个辅助工装(用于装夹工件)以及冷却和液压系统, 如图 1。机床的 8 个加工动力头可以同时 8 个工件进行钻孔、攻丝和扩孔等加工, 1 道工序就能生产出 1 个合格的零件。

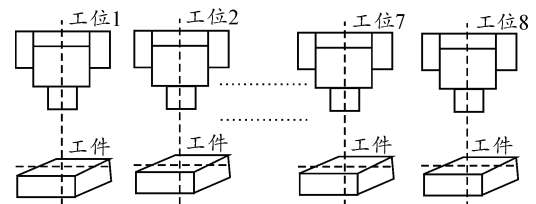


图 1 八工位组合机床示意图

2 加工工艺分析

首先将一个工件安装在上料工位工装 1(上料工位可以设置)上, 按下启动键后, 各工作台先回到工作原点, 启动冷却, 启动主轴。各工位根据系统设置的参数快速定位到工件安全表面, 执行相应的工艺加工(钻孔、攻丝、扩孔)操作, 完成后回到工作原点, 并等待其他工位完成加工。在等待期间, 上料工位可以执行工件装夹操作。待所有工位都完成加工, 工作台抬起旋转到下一工位, 等待启动按钮进入下一次循环。

回转工作台的工作原理为: 按下启动回转工作台按钮, 回转工作台松开, 控制工作台上升的电磁阀通电, 使工作台慢慢抬起, 待抬起到位行程开关后, 工作台停止抬起, 控制工作台旋转的电磁阀通电, 使得工作台开始旋转, 当碰到第 1 个旋转到位

收稿日期: 2013-08-29; 修回日期: 2013-10-11

作者简介: 张健(1981—), 男, 四川人, 本科, 工程师, 从事数控相关技术研究。

行程开关后，工作台开始低速回退，待脱离旋转到位行程开关后，工作台开始反靠，碰到第 2 个旋转到位开关后，工作台停止转动，工作台落下并夹紧。

3 数控系统硬件组成

如上所述，八工位组合机床数控系统应具有以下功能：1) 控制至少 10 轴运动(攻丝工位采用伺服主轴)；2) 内嵌钻孔、攻丝等工序的加工工艺；3) 多轴多通道加工；4) 运动轴坐标及系统的状态显示。根据上述功能要求，笔者采用了上位机工业计算机(IPC)+下位机运动控制卡(MC)的结构，运动控制卡采用 FPGA 器件，两者通过 PC104 总线接口连接，采用 FIFO 技术实现并行数据交换。

数控系统组成框图如图 2 所示，其中操作箱采用防尘密闭机箱结构，由控制面板、主机(IPC 板卡)和从机(运动控制卡)等部件组成。

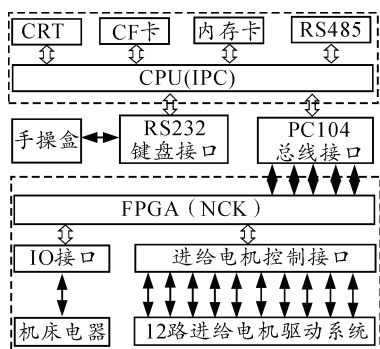


图 2 数控系统硬件框图

主机(IPC 板卡)采用研祥 EC3-1641，该板卡采用 AMD LX800-500MHz 微处理器，板载 256M DDR 内存，1 个 ATA100 IDE 接口，支持 2 个 IDE 设备，1 个 TYPE I/II CompactFlash 接口，1 个 PC104 接口，3 个 USB2.0 接口，4 个串口(可选择 RS232/422/485)^[3]，硬件资源满足设计需求。控制面板表面采用全覆膜按键，控制芯片采用 TI 公司的 TMS320F28035，该芯片主频 60 MHz，45 个可复用的多功能 GPIO 接口，3 个 32 位的 CPU 时钟，板载 Flash、SARAM 等存储功能，标准 SCI 传输功能，完全满足键盘的按键扫描、信号点灯以及和主机通讯的要求。从机(运动控制卡)采用 Actel 公司的 Cortex_M3 内核的 FPGA，该芯片采用 ARMv7-M 架构，具有 16 Gbit/s 带宽的 AHB 总线矩阵，单周期乘法指令，Thumb-2 指令集等特点^[4]，完全满足运动控制的要求。

这样的硬件设计构成 IPC 与 FPGA 组成前后台方式的主、从多 CPU 并行处理结构。软件开发平台 IPC 采用 DOS6.22 操作系统，BorlandC++3.3 开发平台，主要完成系统的人机接口界面和与外部网络的互联以及部分数据处理任务，完成指令解释工作，生成粗插补数据，这些开发内容涉及到程序流程控制、数据类型定义、重载函数、类定义及对象声明

等^[4-5]；FPGA 采用 VHDL 语言开发，主要完成实时控制任务，包括开关信号采集与控制、加减速控制、插补控制、各种补偿和 PLC 等控制功能，实现数据精插补功能。该平台在多个数控系统产品上有成功应用，这样的系统开发平台既可以满足数控系统与计算机网络的互连，便于系统升级和数据交换与共享，也可以满足系统实时控制要求，实现数控系统的控制功能。

4 系统软件设计

通过对钻孔攻丝等加工工艺分析，结合八工位组合机床特点，开发出相应的参数化编程软件。软件开发主要包括：1) 控制面板软件设计；2) 开发钻孔攻丝等工序加工的参数输入界面；3) 开发系统状态显示界面；4) 根据参数自动生成加工程序，控制机床自动加工。

4.1 控制面板功能介绍

控制面板包括 PC 键盘和 NC 键盘 2 部分。PC 键盘上包括 26 个英文字符按键、0~9 数字键、字符编辑按键和一些功能按键。PC 键盘主要实现数据(包括程序、参数等)的输入、编辑以及模式切换等操作。NC 键盘上共有 30 个功能按键，每个按键后面都配置有一个 LED 灯，用来显示按键的状态。表 1 介绍了 NC 键盘的按键功能。

表 1 NC 键盘功能

NC 键盘	功能描述
主轴转动	控制主轴正转、反转、停止
气吹开关	控制吹气阀门的打开和关闭
冷却开关	控制冷却电机的打开和关闭
程序归零	回到程序零点
机床会令	回到机床零点
增量模式	切换到增量模式，控制机床按增量运动
手轮模式	切换到手轮模式，手轮控制机床运动
倍率+	改变系统控制机床运动输入速度倍率
进给+	控制机床正向负向运动
工位 1~8	切换到工位 1~8
程序停止	从加工过程中退出
程序暂停	控制程序暂停，按启动键后继续运行
程序启动	控制机床开始加工

表 2 介绍了系统中特殊按键功能。

表 2 特殊按键功能

按键	功能描述
K1	单工位运动和多工位联动模式切换
K2	单轴回零模式和多轴回零模式切换
K3	手动控制螺纹回退
K4	手动控制转台运动
字母 A	当前工位加工深度补偿
字母 T	修改当前时间
字母 D	修改当前日期
字母 Z	清零当前工件计数
字母 M	打开关闭前罩门的控制开关
字母 C	拷贝当前选中程序
字母 R	重命名当前选中程序
数字 1	切换工位 1 等待启动状态和直接启动状态
数字 2	切换工位 2 等待启动状态和直接启动状态
数字 7	切换工位 7 的钻孔功能和攻丝功能
数字 8	切换工位 8 的钻孔功能和攻丝功能

4.2 运动控制板 I/O 地址分配

根据控制工艺的要求，笔者设计了如表 3 和表 4 所述的 I/O 地址分配：运动控制板输入输出接口采用 25 芯 D 型插头。由于篇幅限制，这里只列出其中板 0(控制工位 1~3)的输入接口定义。

表 3 板 0 输入接口定义^[6]

引脚	符号	功能定义
1	I_MI0	工位 1 正限位
2	I_MI2	工位 1 零位
3	I_MI4	工位 2 正限位
4	I_MI6	工位 2 零位
5	+24VG	24V 电源地
6	+24VG	24V 电源地
7	I_MI8	工位 3 正限位
8	I_MI10	工位 3 零位
9	I_MI12	机床急停按钮
10	I_MI14	机床预启动按钮
11		NC
12	+24 V	24V 电源+
13		NC
14	I_MI1	工位 1 负限位
15	I_MI3	工位 1 主轴报警
16	I_MI5	工位 2 负限位
17	I_MI7	工位 2 主轴报警
18	+24VG	24V 电源地
19	+24 V	24V 电源+
20	I_MI9	工位 3 负限位
21	I_MI11	工位 3 主轴报警
22	I_MI13	机床启动按钮
23	I_MI15	
24		NC
25		NC

表 4 板 0 输出接口定义^[6]

引脚	符号	功能定义
1	+24 V	24 V 电源+
2	+24 V	24 V 电源+
3	O_MQ0	主轴 1 正转
4	O_MQ2	工位 1 吹气阀 1
5	O_MQ4	工位 1 冷却水阀
6	O_MQ6	主轴 2 反转
7	O_MQ8	工位 2 吹气阀 2
8	O_MQ10	主轴 3 正转
9	O_MQ12	工位 3 吹气阀 1
10	O_MQ14	工位 3 冷却水阀
11		NC
12		NC
13	GDNA	模拟地
14	+24V	24 V 电源+
15	+24VG	24 V 电源地
16	O_MQ1	主轴 1 反转
17	O_MQ3	工位 1 吹气阀 2
18	O_MQ5	主轴 2 正转
19	O_MQ7	工位 2 吹气阀 1
20	O_MQ9	工位 2 冷却水阀
21	O_MQ11	主轴 3 反转
22	O_MQ13	工位 3 吹气阀 2
23	O_MQ15	预留
24		NC
25	A OUT	

4.3 工艺软件设计

控制系统采用两级插补方案，粗插补由主机软件完成，系统主机软件采用 C++语言开发，完成对实时性要求不高的操作，负责人机交互、文件编辑

与管理、参数管理、NC 按键处理、NC 程序预编译、信息集成与管理、与从机的数据交换控制等。系统的精插补由从机系统 FPGA 实现，从机软件完成实时性要求较高的控制功能。图 3 是系统控制流程。

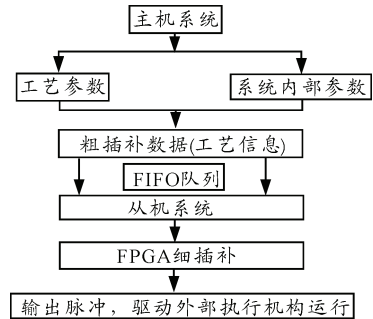


图 3 软件控制流程

工艺参数输入界面式直接面向最终用户。笔者采用填表式输入方式设计工艺参数输入界面。每个工位都有对应的参数输入界面，用户通过上下按键来选择不同的工位，立即保存输入的参数，方便了用户的操作，图 4 是工艺参数输入界面。

工位选择	参数设置	
工位一	空程速度: 2 000	回程速度: 2 000
工位二	加工速度: 100	工作零位: -100.00
工位三	空程距离: -50.00	加工深度: -10.00
工位四	回退距离: 2.00	深度分段: 5
工位五	分段时间: 100	吹气时间: 200
工位六	启用工位: 1	启用主轴: 1
工位七	启用冷却: 1	启用吹气: 1
工位八		

图 4 工艺参数输入界面

数控系统嵌入了钻孔攻丝等加工工艺信息，工艺参数以填表的方式呈现给用户。工艺参数的内容主要包括进刀参数、辅助参数和控制参数 3 个部分。进刀参数主要是设置加工零件的尺寸参数，包括工作零位、加工深度、回退长度、进刀速度、退到速度等；辅助参数包括启用工位、启用主轴、启用冷却等参数；控制参数包括吹气时间、深度分段、分段暂停时间等参数。

多工位的数控机床，每一个工位都可以根据实际加工需要配置成为钻孔工位或者攻丝工位，如果采用手动编程的方式，每一次工艺信息的更改都需要修改程序，这样不但要求操作者具有编程的能力，而且修改过程相当繁琐，不方便推广应用。内嵌工艺信息的技术解决了上述问题，操作者只需要根据工艺图纸的需要修改相应工位的参数，数控系统根据参数自动生成加工程序。用户还可以通过参数设置相关的辅助信息，控制外部输出信号，实现慢速调试的功能。

5 结束语

实践结果证明：由主机 IPC 和从机运动控制卡为硬件平台的数控系统，完全能够满足八工位组合机床工艺软件的开发需求。目前，在该硬件平台上的数控系统已经研制成功，并且和组合机床成功配套，投入到正常使用中。

参考文献：

[1] 王昕, 何沛霖. 大型汽轮发电机转子线圈槽衬加工机床

(上接第 62 页)

温度变化范围与筛选度有密切的关系，根据式 (1) 可知，温变率的大小和循环次数对筛选度的影响很大。为了增加筛选度，提高筛选的效果，可适当增大应力筛选的量值。

环境应力筛选是一项系统的工作^[5]，通过环境应力参数的数据采集分析和积累，建立环境试验数据资源，依据 GJB/Z-34，定量地对试验数据进行分析。环境应力筛选必须和系统的设定可靠性指标结合，才能有效地验证可靠性设定的指标，计算出激发其潜在缺陷的应力筛选度和作用时间。提高环境应力筛选应力水平，使施加的应力超出国军标 GJB1032^[4] 和 GJB/Z-34 的范围，向美军标 MIL-HDBK-2164A 靠近，如温度循环的温变率从 5℃/min 提高至 10℃/min。环境应力筛选是一项依赖试验的工作，试验数据应真实可信，无散热系统的设备，机箱内外温度试验温差 10℃，实时采集机箱敏感部位的温度，才能真正反映温度试验效果。依据可靠性目标值，结合试验实施筛选度，根据筛选结果不断修正，找到合理有效的筛选条件，可为产品的可靠性提供验证试验和试验数据^[6]。

(上接第 81 页)

[41] 李飞, 等. 基于P-PSO算法的室内有障碍通风环境下的多机器人气味源搜索[J]. 自动化学报, 2009(12): 1573-1579.
[42] 雷斌, 李文锋. 基于粒子群优化的多机器人合作目标搜索算法[J]. 武汉理工大学学报, 2009(15): 73-76.
[43] De, D., et al. An Evolutionary SPDE Breeding-Based Hybrid Particle Swarm Optimizer: Application in Coordination of Robot Ants for Camera Coverage Area Optimization[C]. England, 2005: 1-12.
[44] Chatterjee, A., et al. A particle-swarm-optimized fuzzy-neural network for voice-controlled robot systems[J]. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2005, 52(6): 1478-1489.
[45] 刘钊, 陈建勋. 基于粒子群算法的足球机器人动作选

[J]. 兵工自动化, 2013, 32(4): 40-41.

[2] 张接信. 组合机床及其自动化[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009: 1-289.
[3] 研祥智能科技股份有限公司. 研祥 EC3-1641 产品说明书[S]. 深圳: 研祥智能科技股份有限公司, 2008: 1-56.
[4] 徐欣. 基于FPGA的嵌入式系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 1-238.
[5] 王秀娟. Borland C++ Builder 3.0/4.0 高级类参考详解[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 1-316.
[6] 李杰. 圣维 MC072 运动控制卡设计说明书[S]. 四川: 绵阳维博电子科技有限公司, 2012: 1-8.

3 结论

笔者在分析、归纳试验数据的基础上，定量地计算出环境应力筛选的筛选度，并根据筛选度的大小适当调整应力筛选强度，提高环境应力筛选强度，析出第一次方案未能暴露的故障，达到了环境应力试验方案调整的目的。

参考文献：

[1] 国防科学技术工业委员会. GJB/Z34-1993 电子产品定量环境应力筛选指南[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1993.
[2] 何国伟. 可靠性试验技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995: 20-30.
[3] 周源泉, 翁朝曦. 可靠性增长[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 15-49.
[4] 国防科学技术工业委员会. GJB 1032-1990 电子产品环境应力筛选方法[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1993.
[5] 姜兴渭. 可靠性工程技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005: 33-57.
[6] 陈卓, 王爱斌, 汪元蛟, 等. 装备可靠性监督及控制[J]. 兵工自动化, 2012, 31(8): 17-18.

择研究[J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2006(1): 83-85.

[46] Zuo G., Fan Y., Qiao J. Doorplate Recognition for a Mobile Robot Based on PSO and RBF Neural Network[C]//in Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2010 International Conference on. China, 2010: 30-33.
[47] Hsu-Chih, H., C. Chien-Po, W. Pei-Ru. Particle swarm optimization for solving the inverse kinematics of 7-DOF robotic manipulators[C]//2012 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2012). Proceedings, Taiwan, 2012: 3105-3110.
[48] 芮挺, 等. 多自由度机器人逆运动粒子群优化求解方法[J]. 系统仿真学报, 2009(10): 2930-2932.
[49] 魏明生, 等. 基于粒子群-拟牛顿混合算法的管道机器人定位[J]. 仪器仪表学报, 2012(11): 2594-2600.