

精密坐标镗床 CNC 系统研究*

吴学忠 温熙森 梁建成 杨 林 唐丙阳

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

摘 要 介绍了作者研制的通用 CNC 系统,该系统以 AST 386 作为控制器,采用 PWM 驱动直流伺服电机,并配以软、硬件接口;文中对该系统的主要组成部分作了分析,在此基础上应用传统的 PID 控制方法设计数字控制器;最后通过实验验证了该系统的输出响应和控制器的性能。

关键词 CNC; PID; 控制器

分类号 TG502.34

继 1950 年 MIT 研制成功第一台数控(NC)机床之后,1974 年美国通用电气公司宣布研制成功世界上第一台微机数控机床(MNC)。它的研制成功是制造技术发展过程的一个重大突破,它标志着制造领域中计算机控制时代的开始。特别是近几年,以 Intel386/486 为代表的微机处理器和建立在现代控制理论基础上的高精度、高速响应的交流伺服系统的发展,使得数控系统的性能日臻完善,各项指标都大为提高。

CNC 技术的发展使加工精度大幅度提高,劳动生产率成倍增加。但随之而来的是,系统整体造价高昂,一般企业难以承受。因此,发展我国数控技术,必须依据我国国情,充分利用迅猛发展的计算机技术,在普通机床上开发出高性能的 CNC 系统。

本文着重介绍作者开发研制的一种新型微机数控系统。该系统以一台普通的精密坐标镗床为控制对象,采用直流伺服电机作驱动,配以简单的调速电路,使用一台 AST368 作数字控制器,并对整个系统的输入输出数据进行处理,由此组成了一个数-模混合控制系统。机床 X、Y 方向的精确位移由感应同步器测得,Z 方向的位移则由光电码盘确定,测量结果送计算机,处理完后再去控制机床的运行,从而形成一个闭环控制系统。

1 控制系统的分析与设计

1.1 系统的组成

系统的结构如图 1 所示。主要由 AST386 微型计算机及接口、D/A 转换、速度控制、位移检测等几部分组成。

* 1994 年 3 月 9 日收稿

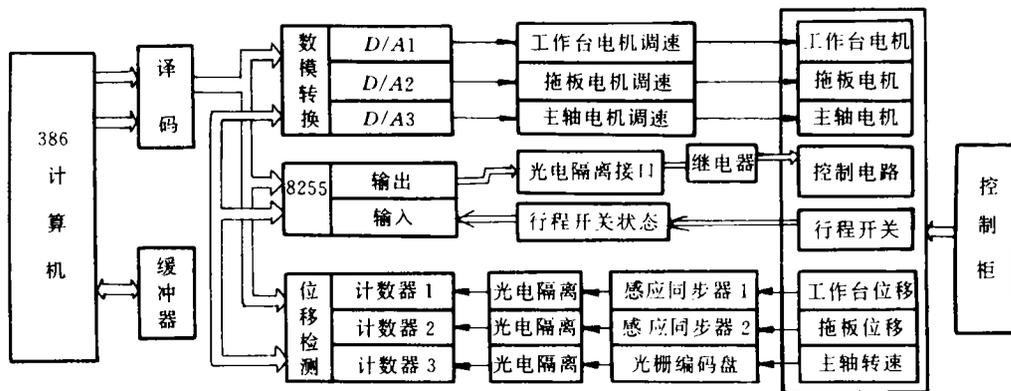


图1 CNC装置的硬件结构图

(1) 微型计算机及接口

计算机是本系统的核心，由它给定位置的数字量，对位置偏差进行计算并完成控制规律的运算等。为了控制二个以上的坐标运动，需要采用运算速度高的计算机。为满足系统位置控制精度的要求，采用 AST 386 作控制器（配有 80387），并扩展有 D/A 通道和并行输入输出接口 8255，8255 的 PA 口及 PC4、PC5 作为输出端，控制机床的继电器，以实现对机床工作台、拖板、主轴箱的正、反向控制，还有主轴电机的启动、切削液的开关、照明等的控制。8255 的 PB 口作为输入端。在普通输入方式下，可实现对机床各类开关元件（如行程开关、继电器、接触器等）的检测，并在系统运行而加工尚未开始之前对系统各类关键元件进行自检。中断输入方式下，在加工过程中，当机床超过行程范围或有其它意外事故发生（如继电器或接触器线圈断开）时，能及时向计算机申请中断。为提高系统的抗干扰能力，对给定、反馈和输出量均进行光电隔离后再与计算机相连。

(2) 速度控制

速度控制部分是位置环的内环，它由速度环和电流环组成。框图如图 2 所示。

该系统显然是个非线性系统。为减少运行时间，提高适时性，忽略非线性因素，速度环可近似为一个二阶振荡环节，它的传递函数为

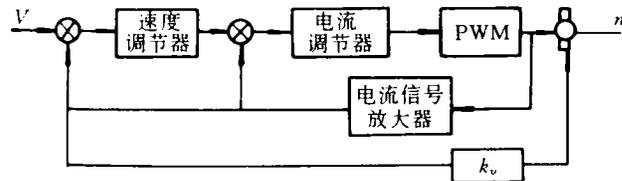


图2 速度控制环框图

$$G_p(s) = \frac{K_1}{T^2 S^2 + 2\zeta T S + 1}$$

系统参数可通过测得的输入电压与输出转速，系统辨识求得。根据 X 轴的响应数据，可求得传递函数为

$$G_x(s) = \frac{16.07}{0.001S^2 + 2 \times 4.07 \times 0.03S + 1}$$

(3) 位置控制

位置环结构如图 3 所示。

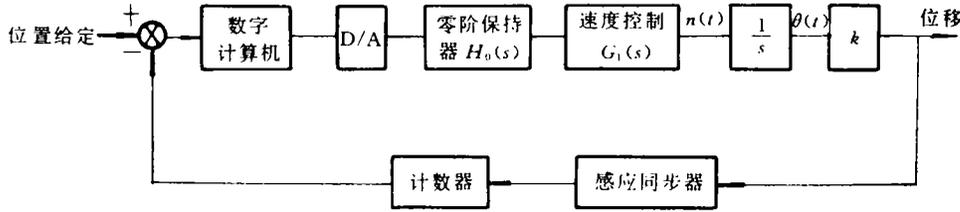


图 3 位置环结构图

选择足够高的采样频率，满足 $2\pi/T > 10\omega_c$ ，其中 T 为采样周期， ω_c 为系统的开环剪切频率，这样可以忽略零阶保持器的影响，将图 3 等效为单位反馈形式如图 4 所示。则位置环被控对象传递函数为：

$$G_3(x) = \frac{318.6}{S(0.024S^2 + 0.26s + 1)}$$

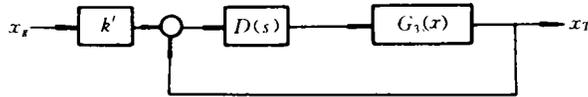


图 4 位置环等效图

同样可以求得 Y 轴的传递函数。

1.2 数字控制器设计

(1) 控制算法

该系统使用 AST386 作为数字控制器的 CPU。由于 PID 调节器是连续控制系统理论中技术最成熟、应用最广泛的一种控制方法，故本系统采用 PID 控制律。

数字 PID 控制器的 Z 传递函数可表示为

$$G_c(Z) = K_p + \frac{K_i T(Z + 1)}{2(Z - 1)} + \frac{K_d(Z - 1)}{TZ}$$

式中， K_p 、 K_i 、 K_d 是增益系数， T 是采样周期。数字 PID 控制的框图如图 5 所示，其中 $G_p(S)$ 是镗铣床某一坐标轴的传递函数，上式又可写成

$$G_c(Z) = \frac{a_1 + a_2 Z^{-1} + a_3 Z^{-2}}{1 - Z^{-1}} = \frac{u(Z)}{E(Z)}$$

式中 $a_1 = \frac{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T}{2T}$ ； $a_2 = \frac{K_i T^2 - 2K_p T + 4K_d}{2T}$ ； $a_3 = \frac{K_d}{T}$

写成差分方程形式为

$$u(t) = u(t - T) + a_1 E(t) + a_2 E(t - T) + a_3 E(t - 2T)$$

这样，电机的输入电压值可通过上式求得。由于驱动电机需要克服电机和传动系统的静摩擦，根据 PID 控制器求得的控制电压不能用来驱动电机，输入电压还必须包括一个电压偏移值，以克服伺服电机的死区。因此，实际输入电压为

$$u_c(t) = u(t) + \text{offset}(v)$$

考虑到死区偏置电压和饱和问题，电机驱动电压应如图 5 所示。对于这种具有过阻尼或大摩擦的系统，微分控制实际上没有多大作用，故本系统采用 PI 控制。

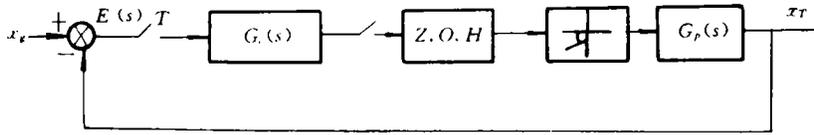


图5 数字控制系统方框图

(2) 控制算法的计算机实现

为了获得良好的控制性能，必须合理选择 K_p 、 K_i 等参数。可利用计算机仿真寻优的方法加以解决。为此，设目标函数 $J = \int_0^t |e(t)| dt$ 为最小值时参数最优。采用单纯形寻优方法 $K_{p,0} = 0.5$ ， $K_{i,0} = 0.06$ ， $\text{offset}_x = -1.5V$ ， $K_{y,p} = 0.6$ ， $K_{y,i} = 0.07$ ， $\text{offset}_y = -1.6V$ 。控制程序流程如图6所示。

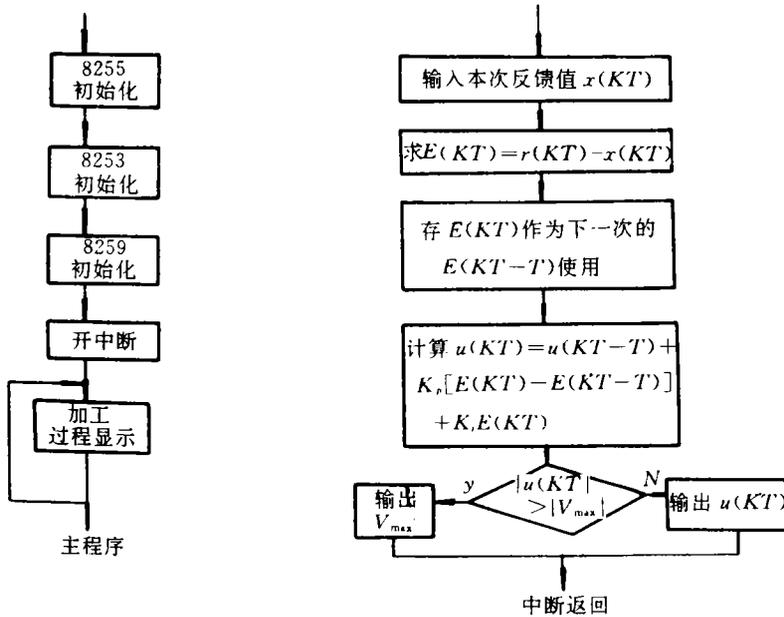


图6 控制系统程序流程框图

程序中 v_{max} 为数字调节器的限幅值。本系统中 $v_{max} = -5V$ 。

2 实验结果

2.1 阶跃响应

X 轴的阶跃响应如图 7(a) 所示，上升时间为 0.86s，无超调。Y 轴的阶跃响应如图 7 (b) 所示，上升时间为 0.62s，无超调。

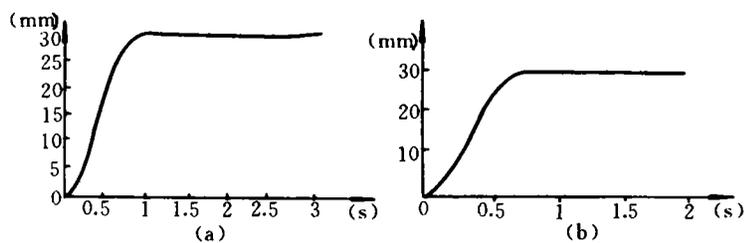


图7 阶跃响应曲线

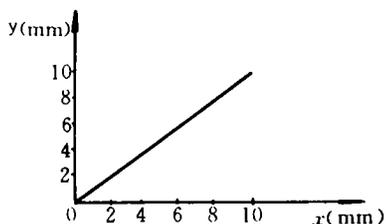


图8 X-Y平面直线运动

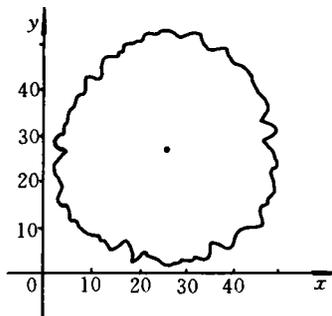


图9 X-Y平面圆弧运动

2.2 X-Y平面上的直线运动

控制器控制机床在X-Y平面上作直线运动,实现两轴联动。运动轴迹如图8所示。

2.3 X-Y平面上的圆弧运动

控制器控制机床在X-Y平面上作圆弧运动,圆弧半径为20mm,实现两轴联动。运动轨迹如图9所示。轨迹误差小于0.018mm。

3 结论

本文介绍了作者研制的一种新型CNC系统。与现行的CNC系统比较,该系统具有以下特点:

(1)系统具有较高柔性。由于采用386微型机作为控制器,可以引入各种先进的控制算法以弥补硬件控制的不足,且控制算法可以随具体加工对象或加工条件而定,以达到最佳控制效果。

(2)系统的可移植性强。对于普通机床,只要在线路上做适当改动并配以相应的硬件和软件接口,即可建立一套CNC系统。

(3)系统的性能价格比高。以AST386微型计算机作为控制器的CNC系统可以实现一般数控系统具有的所有功能,而价格却只是一般数控系统的1/5~1/8。

参 考 文 献

- 1 彭炎午. 计算机数控(CNC)系统. 西北工业大学出版社, 1988
- 2 毕承恩. 现代数控机床. 机械工业出版社, 1991
- 3 周明德. 微型计算机接口及应用. 清华大学出版社, 1987
- 4 何克忠. 计算机控制系统分析与设计. 清华大学出版社, 1988

A Study on CNC System for Milling Machine

Wu Xuezhong Wen Xishen Liang Jiancheng Yan Li Tang Bingyang

(Department of Mechatronics Engineering and Instrumentation,
NUDT, Changsha, 410073)

Abstract

This paper describes a general CNC system, which uses AST386 as the controller, with a D C servo-drive system and software and hardware interface, the main components in this system are analyzed, and a classical PID control method is used to design the controller for this system, finally, the system output response and the controller performance are investigated based upon the experimental data of this milling machine system.

Key words CNC; PID; controller