

在PC上实现的多轴多通道数控软件系统

A Multiaxes and Multichannel NC Software System Based on PC Hardware

北京航空航天大学教授 郇极

CH-2000数控软件系统是本文作者经多年工作开发的以PC机为硬件的多轴多通道结构全功能数控软件系统。系统用C语言开发，充分利用通用的PC机外部设备作为CNC系统的外部设备，具有开放式的位置控制与机床PLC接口。CNC开发单位可在此软件系统基础上根据本身需要设计位置控制和PLC接口硬件，短期内开发出自己的CNC系统。

1. 利用PC机构成CNC系统的特点与可行性

由于当前的数控系统必须不断设法以合理的价格去满足用户所提出的多方面要求，以及电子元件和计算机外围设备的飞速发展，CNC系统开发和制造厂必须充分利用电子元件与计算机及其外围设备的最新发展去扩充产品的功能，加强产品的市场竞争能力。因此，一般CNC系统的产品寿命周期只有5~7年。也就是说，每5~7年将有一次较大的产品结构设计和新一轮的软件开发工作。CNC系统结构和功能的引进要求软件与硬件密切的配合与协调。系统的全面测试与优化，是一项费时、费钱和易出错的工作。

根据CNC系统的这一发展趋势，我们希望能尽可能把CNC系统建立在某种已被广泛应用并将不断发展的计算机硬件和外围设备基础之上，一次性地开发出高性能CNC系统基础软件，满足大多数数控系统的要求。此后，只需少量的外围设备配置工作，即可利用硬件与外围设备的自身发展自动提高CNC系统的性能。因此可以大大缩短开发周期，降低开发费用。

近几年来PC机的飞速发展和广泛应用为我们解决上述问题提供了一种有效途径。PC机从80年代初期作为办公室计算机已经发展成为当今计算机的主流，并且已经被工业控制领域所接受，广泛地被应用于过程控制与自动化领域。目前常用的具有33MHz主频的80386 CPU+80387协处理器或具有50MHz主频的80486 CPU的PC机完全可以满足高性能CNC系统运算速度要求。PC机丰富的外围设备和有关软件也都可以直接用于CNC系统。目前，PC机的绝大部分元件已经被全部集成在几片大规模集成电路芯片之上，大大缩小了系统的体积，降低了功耗，提高了系统的可靠性。这是自行开发专用CNC系统硬件所难以做到的。PC机的广泛应用、大批量生产和高度集成化使它具有绝对的性能价格优势，建立在此基础上的CNC系统也将占有这一优

势，而且其性能随PC机发展而自然提高，价格也随其降低而降低。

几乎所有的PC机外围设备都可以直接用于CNC系统。例如：彩色或单色显示器，软盘驱动器，硬磁盘，电池RAM存储器，EPROM盘，网络接口卡等。很多PC软件工具也可以被直接用于CNC系统或作为软件开发工具使用。例如：DOS操作系统，C语言开发工具，窗口和菜单应用软件，文字编辑器等。

把PC机转换成CNC控制器的核心问题是构造开放式的与PC兼容的数控系统软件，充分利用PC机现有的与未来的功能和外围设备，满足大多数数控系统的要求。

CH-2000数控软件系统就是基于上述思想用C语言开发的多轴多通道数控系统软件，在DOS操作系统环境下，在80286以上PC机硬件上运行。它是面向CNC系统生产厂的软件，CH-2000软件用户可以根据系统要求，设计符合AT总线标准的位置控制和PLC输入/输出接口卡，即可在它的支持下，开发出用于车床、加工中心和柔性制造单元的数控系统产品系列。CH-2000数控软件系统目前已被国内两个数控系统开发项目所采用，均取得显著的效果。

2. 硬件和接口

CH-2000软件系统所配置的硬件的核心部分是PC机主板或工业PC主板(图1)。主板上的AT总线插槽允

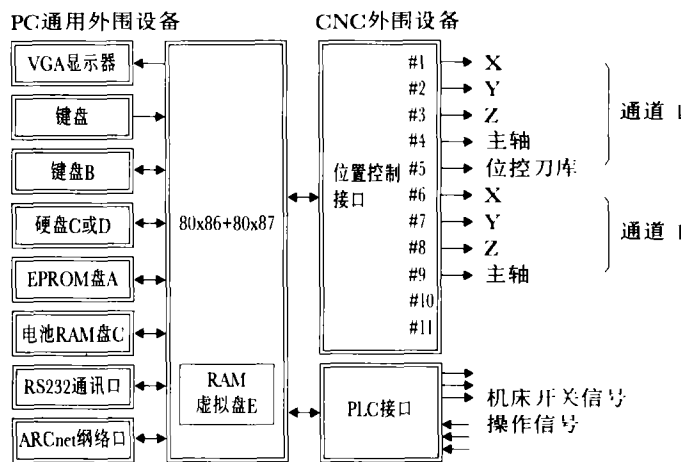


图1 CH-2000硬件配置

许CH-2000系统选用标准的PC外围设备卡作为CNC系统的外围设备，例如：

- (1)显示器接口卡(EGA, VGA)；
- (2)软盘与硬盘驱动卡；
- (3)RS232串行接口卡或ARCnet网络接口卡；
- (4)电池RAM盘和EPROM盘卡。

此外，还可以根据控制系统需要接入面向机床控制的机床接口卡。PC主板CPU的性能选择与CNC系统的性能与价格有直接关系，主要选择依据为CNC控制对象所要求的运算速度及系统的价格。对于控制轴数较少的车床或铣床控制系统可选20MHz主频的80286+80287主板。对于多轴多通道系统或要求高速曲线运动的机床应选择33MHz主频80386+80387或50MHz主频的80486主板。CH-2000软件系统可以在上述所有计算机上直接运行。

CH-2000系统通过AT总线操作位置控制卡，控制进给电机或主轴电机运动。对应于每个坐标轴，位置卡上都有相应的细插补器和位置控制环，可以控制交流伺服电机、直流伺服电机或步进电机，把CH-2000发出的位置指令转换成机床运动。除进给电机外，CH-2000还可以通过位置控制卡控制加工中心刀库所需要的伺服控制刀库轴和调速主轴。使用CH-2000软件的数控系统开发厂应该按照CH-2000接口协议的要求自行设计位置控制卡。对于多轴多通道数控系统，位置控制卡应该采用标准模块方法设计。例如：每块位置控制卡可以控制3个伺服轴或主轴，选用多块位置控制卡，可以完成多轴多通道系统控制。

CH-2000系统允许用户通过设置参数将位置控制卡上的控制口分配给对应通道的进给轴、刀库轴或主轴。如图1所示，系统控制一台3轴加工中心和一台3轴数控铣床。控制口#1~#3分配给第一通道的X, Y, Z轴，#4分配给主轴，#5分配给刀库轴。控制口#6~#8分配给第二通道铣床的X, Y, Z轴，#9分配给主轴。CH-2000按照系统配置，通过控制协议操作位置控制卡，控制机床运动。

CH-2000系统允许使用1~12个通道，每个通道1~8轴。使用CH-2000系统开发的数控系统可以复盖相当大的应用范围。

机床PLC逻辑控制功能用C语言编写，在PC机上与CNC功能分时完成。通过用户设计的PLC输入/输出卡可以将机床控制信号输出给机床，也可由该卡读入机床侧的各种开关量信号和机床操作信号。输入/输出卡应该具有足够的控制点数和机床操作所需要的特殊功能，例如手摇脉冲发生器接口和倍率开关，以便满足各类数控系统的需要。

NC操作面板既可以采用标准的PC键盘，也可以专门制做带有PC键盘接口的专用键盘。PC键盘主要执行软键(Softkey)、字符键、编辑键的功能。其他机床操作功能，如进给倍率、手摇盘、循环启动、主轴开关等功能均由PLC输入/输出卡进入系统。

CH-2000利用C语言提供的文字和图形函数操作VGA图形卡。因此系统可以使用所有的PC-VGA彩色或单色显示器。同时也为未来使用更高分辨率显示器保留了发展余地。

PC外围设备制造厂为促进PC机在工业环境中的应用，开发出一批适合于工业环境的外围设备产品。特别是为PC和CNC控制器提供了各种可供选择的数据存储媒介。例如：EPROM盘和电池RAM盘，它们被集成在PC外围设备卡上，具有抗干扰、抗振动、环境适应性强等优点。CH-2000系统允许用EPROM盘存储CNC系统程序、DOS操作系统、汉字库和其他支持软件，可以大大提高系统的可靠性。电池RAM盘可以用来存储工件加工程序和机床参数。

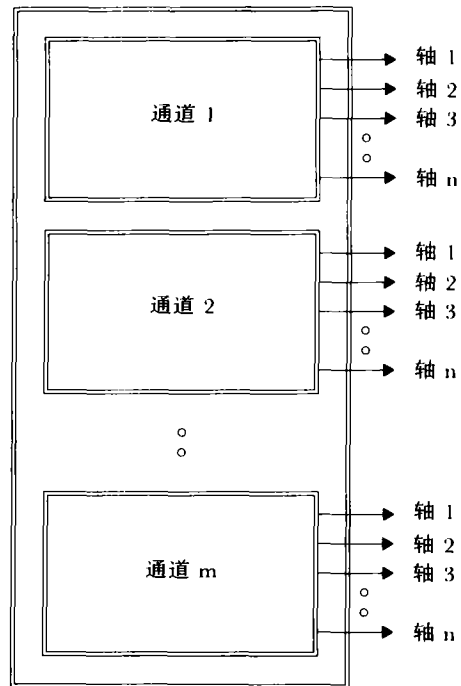


图2 CH-2000软件系统多通道数控系统结构

利用软盘可以长期保存机床参数和数控程序，并且可以与其他数控系统、数控编程系统或CAD系统交换数据。若使用硬盘，系统可以存储大量的数控程序、图形数据以及系统运行记录数据。

此外CH-2000系统还使用DOS系统提供的RAM虚拟盘作为过渡存储器，存储一些系统运行过程中的中间数据，例如图形数据的暂时存储，给系统的开发和运行都带来很大方便。

CH-2000系统可以通过RS232串行接口或ARCnet网络接口卡与管理计算机或FMS控制器联网，进入车间管理或FMS控制系统。

由以上配置及规划可以看出，CH-2000系统充分考虑和利用了PC机外围设备资源去完成CNC控制功

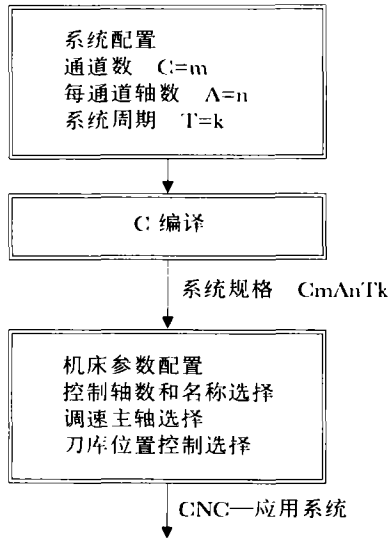


图3 CNC—应用系统生成

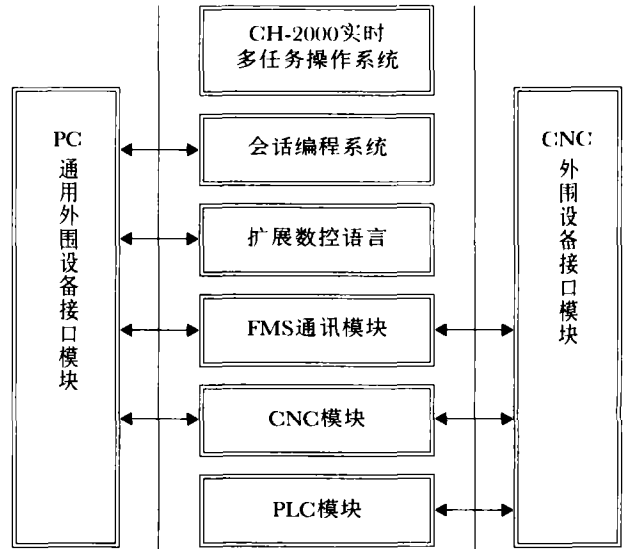


图4 CH-2000 软件系统的构造

能，满足当今用户对数控系统的各种要求，并储备有继续发展的能力。

3. 可自由配置的多轴多通道数控软件

CH-2000数控软件系统是在DOS环境下运行的可自由配置多轴多通道的数控软件。通道是指一组CNC控制功能，例如：伺服轴X，Y，Z……，主轴，刀库位置控制轴，PLC功能。一个通道相当于通常一台CNC控制器。多通道系统能在一个硬件环境下，甚至只用一个CPU，利用软件的多通道结构，并行控制多台数控机床(图2)。从外部看，各个通道独立运行，互不干扰，而通道之间允许根据需要互相交换数据。

通道结构软件使我们有可能用同一软件去复盖一个较大的应用领域。单独从软件方面考虑，CH-2000系统允许运行无限个轴与通道。由于在实际的系统中，每个通道都必须占用一定的内存空间并消耗一定的计算时间，所以应该将系统通道数和轴数选择设计成可自由配置方式，以便最佳发挥PC机的性能去满足控制任务的需要。

CH-2000软件在33MHz主频80386+80387上运行的基本数据为：

系统最小控制周期=3ms+2ms/通道，其中3ms为系统运行所需的基本时间，与通道数无关。在此基础上，每个通道还需占用2ms时间。

系统内存占用=300kb+30kb/通道，其中300kb为系统的基本内存占用量，与通道无关。在此基础上，每个通道还需占用30kb内存。

从上述数据可以看出，系统控制多通道时，必须选择速度较高的计算机或增加系统控制周期。为了方便用户使用，CH-2000软件采用二级系统配置方式：第一级为系统配置级，第二级为参数配置级。系统配置级给出系统配置的上限，如最大通道数，每通道最大轴数，系统控制周期。在参数配置级，用户可以在给定的系统

最大配置范围内，以参数方式设置机床的控制轴数、进给轴名称、是否要刀库位置控制、是否要调速主轴等(图3)。

图3中CH-2000软件在系统配置级设置以下数据：

- 通道数 $C=m$ ($m=1\sim 12$)
- 每通道轴数 $A=n$ ($n=1\sim 8$)
- 系统周期 $T=k$ ($k=4\sim 32ms$)

经过C语言编辑后，CH-2000生成一个CNC系统程序，具有给定的配置 $C_m A_n T_k$ 。在这个配置范围内，用户可以用机床参数方式做参数配置，与具体被控制机床匹配。

完成一次系统配置大约需要30分钟时间，就是说，CH-2000每30分钟就可以生成一类数控系统。普通的系统用户不必自己完成系统配置，用一个 $C_1 A_5 T_5$ 配置

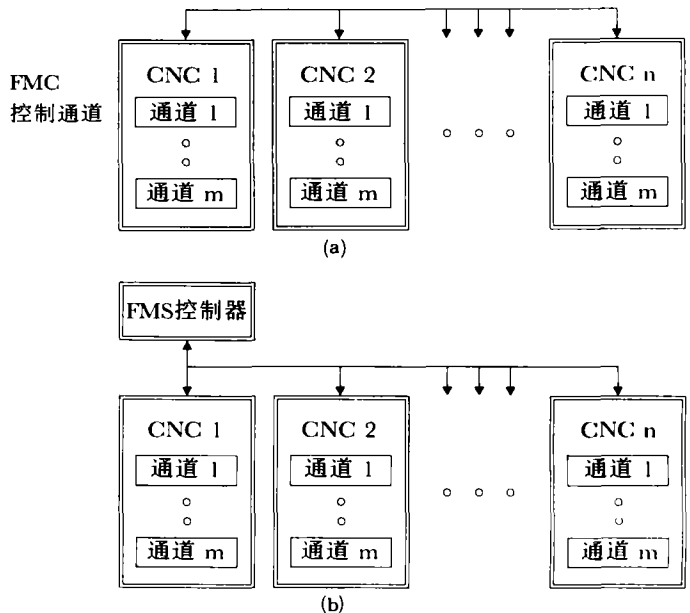


图5 CH-2000 构成柔性制造单元或系统

(一个通道, 5轴, 5ms系统周期)的系统可以满足大部分车床、铣床和加工中心数控系统的需要。用户只需要在此基础上设置参数和编写PLC程序。

4. 系统功能与应用

CH-2000软件由5个基本模块组成(图4): CNC; PLC; 会话编程; 扩展数控语言; FMS网络通讯。

上述模块均由C语言编写, 与计算机硬件和操作系统基本无关, 具有向类似计算机移植的可能性。在DOS操作系统下实现的CH-2000的实时多任务操作系统使上述5个基本功能模块在DOS环境下实时运行, 它是CH-2000软件与DOS操作系统之间的系统接口。

通用外围设备接口模块是CH-2000系统与PC通用外围设备之间的软件接口, 如显示器、磁盘和键盘等。该模块全部用C或BIOS函数编写, 确保与目前及未来PC外围设备的兼容性。若未来的CH-2000采用新的PC外围设备, 例如: 更高分辨率的显示器和新型网络卡等, 只需要部分地修改或增强本模块, 对系统的其他部分没有影响。

CNC外围设备接口模块是CH-2000与机床进给伺服和PLC输入/输出之间的接口模块。当位置控制接口板上的元件或原理上有较大变化时, 需要做适当的修改。

CNC模块包括以下主要功能:

- (1)每通道8轴联动, 直线、圆弧和螺旋线插补。
- (2)刀具长度补偿、半径补偿、刀尖补偿和3D刀偏补偿。
- (3)随机刀具管理、刀具寿命管理。
- (4)伺服漂移补偿、螺距误差补偿、反向间隙补偿、导轨不直度补偿和导轨不垂直度补偿。
- (5)可对称加工、比例缩放和软限位。
- (6)运行状态自动记录和系统故障诊断。
- (7)窗口和菜单方式操作, 中、英文提示。
- (8)3维/2维图形仿真, 可存储图形数据。
- (9)多种车削、铣削和钻削固定循环。

CH-2000软件除了运行ISO代码数控指令外, 还向用户提供一种开放式的扩展数控语言。CNC制造厂和最终用户都可以利用扩展数控语言自行开发特殊控制功能。例如利用扩展数控语言可以把CH-2000扩展到步冲机、火焰切割机、弯管机等应用领域。CH-2000扩展数控语言主要包括以下主要功能:

- (1)数学运算、逻辑运算;
- (2)机床各轴运动指令、主轴运转指令;
- (3)与PLC输入/输出接口交换数据;
- (4)通道之间的数据交换与运行同步;
- (5)磁盘数据管理和运行状态记录;
- (6)子程序调用和跳转指令;
- (7)系统运行控制, 例如, 通道启动、暂停和复位等。

CNC系统所需的一些特殊功能, 例如, 刀具长度

自动测量补偿, 工件安装定位误差自动补偿和刀具自动替换等。

以上功能均可由扩展数控语言实现。在扩展数控语言支持下, CH-2000系统可以以一台系统的一个通道为主通道(FMC控制通道), 控制多个系统, 独立完成柔性制造单元控制任务(图5a)。

CH-2000软件提供在CNC背景下操作、面向加工工艺的图形交互会话编程系统(车床、加工中心)。编程由中文或英文菜单引导, 由图形窗口支持。此外系统还能读入由AUTOCAD系统生成的CAD几何数据(DXF), 附加必要工艺信息, 直接生成数控加工程序。

CH-2000提供适用于FMS控制系统或车间管理的通讯协议。接口硬件可以数据通讯速度要求选择RS232接口或ARCnet通讯卡。ARCnet卡是一种标准的PC外围设备卡, 通讯速度快、可靠性强、特别适用于PC机在工业环境下的联网使用。CH-2000通讯协议主要包括以下内容:

- (1)CNC操作命令: 启动、复位和暂停等;
- (2)CNC运行状态查询;
- (3)CNC文件管理: 发送、接收、复制和删除等;
- (4)PLC操作命令: 输入和输出。

图5b所示是用CH-2000软件由ARCnet联网构成的柔性制造系统。

PLC模块是完全向系统用户开放的模块。CH-2000向用户提供一些与系统内部有关的应用函数, 例如: 定时器、输入和输出函数等。机床厂可以用C语言编写PLC模块。用C语言编写的PLC程序定义直观、逻辑性强、运行速度快、调试方便。CH-2000向用户提供CNC模块与PLC模块之间的数据交换接口, 功能丰富, 可以传递多种控制数据, 为机床厂自行开发特殊功能提供方便。

综上所述, 用CH-2000数控软件系统开发的数控系统适用于以下几类数控机床:

- (1)单通道, 2~5轴, 用于车床、钻床、铣床和加工中心。
- (2)2通道, 每通道3轴(包括C轴), 用于双刀架车床或车削中心, 以及带上、下料机械手的车床。
- (3)6通道, 每通道2轴, 用于多轴多刀自动车床。
- (4)4~10通道, 每通道1~3轴, 用于多工位数控组合机床。

5. 结论

CH-2000数控软件系统的核心技术是充分利用PC机所提供的高性能硬件和丰富的外部设备开发开放式可自由配置多轴多通道的CNC软件, 最终由CNC系统生产厂利用此开放式软件形成CNC系统产品系列。此方案可以缩短开发时间, 降低开发成本, 保证软、硬件的可靠性并为未来系统升级保留了发展余地, 是我国今后自行开发高性能数控系统的可行途径之一。□