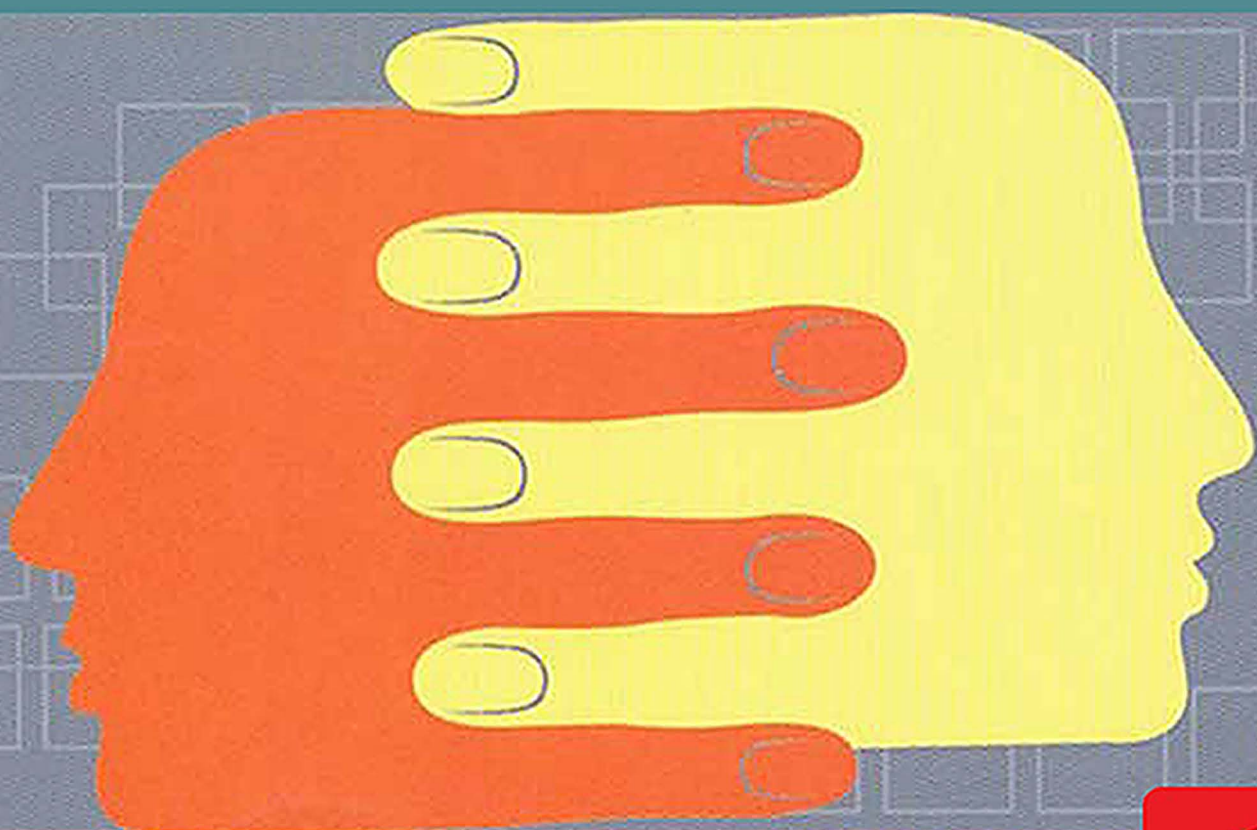


数控车床编程与操作

庄阳春, 李越胜 主编



江西高校出版社



图书在版编目(C I P) 数据

数控车床编程与操作/庄阳春,李越胜主编. —南昌:
江西高校出版社,2015.7

数控技术应用专业教材

ISBN 978-7-5493-3145-1

I. ①数... II. ①庄... ②李... III. ①数控车床-编
程与操作-中等专业学校-教材 IV. ①TG619.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 186573 号

| | |
|---------|------------------------|
| 出版发行 | 江西高校出版社 |
| 社 址 | 江西省南昌市洪都北大道 96 号 |
| 邮 政 编 码 | 330046 |
| 总编室电话 | (0791) 88504319 |
| 销 售 电 话 | (0791) 88511422 |
| 网 址 | www.juacp.com |
| 印 刷 | 南昌市光华印刷有限责任公司 |
| 照 排 | 江西太元科技有限公司照排部 |
| 经 销 | 各地新华书店 |
| 开 本 | 787mm×1092mm 1/16 |
| 印 张 | 7.5 |
| 字 数 | 156 千字 |
| 版 次 | 2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 |
| 书 号 | ISBN 978-7-5493-3145-1 |
| 定 价 | 15.00 元 |

赣版权登字-07-2015-561

版权所有 侵权必究

目 录

第一部分 数控车床编程

| | |
|---------------------------------|----|
| 第一章 概述 | 1 |
| 第一节 数控的发展史 | 1 |
| 第二节 数控机床的基本知识 | 2 |
| 第三节 数控机床工作原理 | 5 |
| 第四节 机床坐标 | 6 |
| 第二章 零件程序的结构 | 8 |
| 第一节 指令字的格式 | 8 |
| 第二节 程序段的格式 | 9 |
| 第三节 程序的一般结构 | 10 |
| 第四节 程序的文件名 | 10 |
| 第三章 华中数控系统的编程指令体系 | 11 |
| 第一节 辅助功能 M 代码 | 11 |
| 第二节 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T | 13 |
| 第三节 准备功能 G 代码 | 14 |
| 第四节 宏指令编程 | 54 |

第二部分 数控车床操作

| | |
|--------------------|----|
| 第四章 数控车床操作基础 | 63 |
| 第五章 程序结构 | 78 |
| 第六章 程序段的编制 | 84 |
| 第七章 编程举例 | 89 |
| 第八章 加工实训 | 94 |

第一部分 数控车床编程

第一章 概述

第一节 数控的发展史

一、概述

1. 1946 年世界上诞生了第一台电子计算机。

2. 第一台计算机诞生 6 年后,即在 1952 年,计算机技术应用到了机床上。1952 在美国诞生了第一台数控机床。从此,传统的机床产生了质的变化。

第一台数控机床诞生至今五十年以来,数控机床的核心—数控系统的发展经历了两个阶段和六代的发展。

(1) 数控(NC)阶段;

(2) 计算机数控(CNC)阶段;

(3) 数控(NC)阶段(1952—1970年)。

早期的计算机运算速度低,这对当时的科学计算和数据处理影响不大,但它不能适应机床实时控制的要求。人们不得不采用数字逻辑电路,搭成机床专用计算机作为数控系统,被称为硬件连接数控(HARD—WIRED NC),简称为数控(NC)。

随着电子元器件的发展,这个阶段又历经三代:

1952 年的第一代—电子管计算机组成的数控系统;

1959 年的第二代—晶体管计算机组成的数控系统;

1965 年的第三代—小规模集成电路计算机组成的数控系统。

二、计算机数控(CNC)阶段

这一阶段从 1970 年开始至今。1970 年研制成功大规模集成电路,并将其用于通用小型计算机。此时的小型计算机,其运算速度比五六十年代的计算机有了大幅度的提

高。比专门搭成的专用计算机成本低,可靠性高。于是,小型计算机被用作数控系统的核心部件,此进入了计算机数控(CNC)阶段。

计算机数控阶段也经历了三代:

1970年第四代—小型计算机数控系统;

1974年第五代—微处理器组成的数控系统;

1990年第六代—基于PC的数控系统。

数控系统近五十年来经历了两个阶段六代的发展,只是发展到了第五代以后,才从根本上解决了数控系统可靠性低,价格极为昂贵,应用很不方便等极为关键的问题,因此即使在工业发达国家,数控机床大规模地得到应用和普及也是在20世纪的七十年代末、八十年代初以后的事情,也就是说数控技术经过了近三十年的发展才走向普及应用。我国数控技术起步于20世纪50年代末期,经历了初期的封闭式开发阶段。

三、现代数控技术发展趋势

1. 高速、高精加工。
2. 数控系统具有多轴控制、多轴联动和复合加工的控制功能。
3. 数控系统开放化、智能化和网络化。

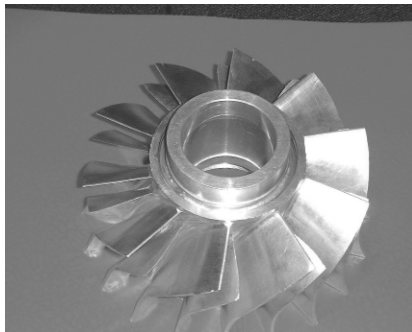


图 1-1

第二节 数控机床的基本知识

一、数控与数控机床的概念

数字控制(Numerical Control,简称数控或NC)技术,国家标准(GB8129-87)定义为:“用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”。装备了数控系统的机床称为数控机床。随着科学技术的发展,数控系统也采用专用或通用计算机及控制软件

与相关的电气元部件一起来实现数控功能,称为计算机数控(CNC)系统。

二、数控车床工作原理

传统观点认为数控机床由程序载体、输入输出设备、数控系统、伺服系统、机床主体等组成。但现代数控机床的数控系统都采用模块化结构,伺服系统中的伺服单元和驱动装置为数控系统中的一个子系统,输入输出装置也为数控系统中的一个功能模块,所以现在的观点认为数控机床主要由计算机数控系统和机床本体组成,

如图 1-2。其中每一部分的功用如下。

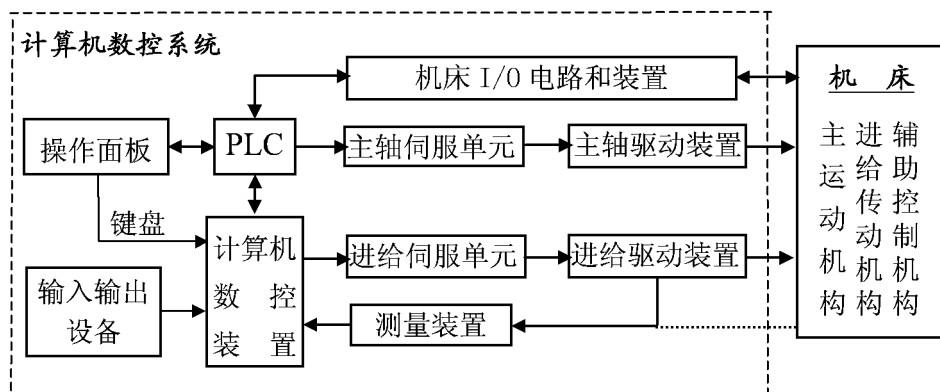


图 1-2 数控机床的组成

(一) 输入装置

数控机床是按照编程人员编制的工件加工程序运行的。在工件加工程序中,包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(走刀量、主轴转速等)和辅助运动等。通常编程人员将工件加工程序以一定的格式和代码存储在一种载体上,如录音磁带、软磁盘或硬盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到数控装置内。

输入装置的作用是将程序载体内有关加工的信息读入数控装置。根据程序载体的不同,输入装置可以是录音机或软盘驱动器等。

数控机床还可以不用任何程序载体,通过数控机床操作面板上的键盘,用手工将工件加工程序输入数控装置;或者将存储在计算机硬盘上的工件加工程序传送到数控装置。

(二) 计算机数控装置

数控装置是数控机床的核心。它根据输入的数据,完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制等。数控装置一般由专用(或通用)计算机、输入输出接口板及可编程序控制器(PLC)等组成。可编程序控制器主要用于对数控机床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能的控制。

(三) 伺服系统

伺服系统包括主轴伺服单元、进给伺服单元、机床控制线路、功率放大线路及驱动装置,它接受数控装置发来的各种动作命令,驱动数控机床传动系统的运动。它的伺服精

度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

(四) 测量装置

测量装置的作用是通过位置传感器将伺服电动机的角位移或数控机床执行机构的直线位移转换成电信号,输送给数控装置,使之与指令信号进行比较,并由数控装置发出指令,纠正所产生的误差,使数控机床按工件加工程序要求的进给位置和速度完成加工。

(五) 机床本体

机床本体包括:主传动系统、进给系统以及辅助装置等。对于数控加工中心,还有存放刀具的刀库、自动换刀装置(ATC)和自动托盘交换装置等。与传统的机床相比,数控机床的结构强度、刚度和抗震性,传动系统和刀具系统的部件结构,操作机构等方面都发生了很大的变化,其目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的效能。

三、数控系统的主要功能

数控系统的功能取决于数控系统硬件和软件的配置,一般说来,数控系统的主要功能可归纳为以下几点:

(一) 多轴控制功能

控制系统可以控制坐标轴的数目指的是数控系统最多可以控制多少个坐标轴,其中包括平动轴和回转轴,基本平动坐标轴是X、Y、Z轴,基本回转坐标轴是A、B、C轴。联动轴是指数控系统按照加工的要求可以控制同时运动的坐标轴的数目。如某型号的数控机床具有X、Y、Z三个坐标轴运动方向,而数控系统只能同时控制两个坐标(XY、YZ或XZ)方向的运动,则该机床的控制轴数为3轴(称为三轴控制),而联动轴数为2轴(称为两联动)。

(二) 插补功能

指数控机床能够实现的运动轨迹。如直线、圆弧、螺旋线、抛物线、正弦曲线等。数控机床的插补功能越强,说明加工的轮廓种类越多。

(三) 进给功能

包括快速进给(空行程移动)、切削进给、手动连续进给、点动,进给量调整(倍率开关)、自动加速减速功能等性能。进给功能与伺服驱动系统的性能有很大的关系。

(四) 主轴功能

可实现恒转速、恒线速度、定向停车及转速调整(倍率开关)等功能。恒线速度指的是主轴可以自动变速,使得刀具对工件切削点的线速度保持不变。主轴定向停车功能主要用于数控机床在换刀、精镗等工序退刀前,对主轴进行准确定位,以便于退刀。

(五) 刀具功能

指在数控机床上可以实现刀具的自动选择和自动换刀。

(六) 刀具补偿功能

包括刀具位置补偿、半径补偿和长度补偿功能。半径补偿中有车刀的刀尖半径、铣刀半径的补偿,长度补偿中有车刀长度变化的补偿。

(七) 机械误差补偿功能

指系统可以自动补偿机械传动部件因间隙产生的误差的功能。

(八) 操作功能

数控机床通常有单程序段运行、跳段执行、连续运行、试运行、图形模拟仿真、机械锁住、暂停和急停等功能,有的还有软件操作功能。

(九) 程序管理功能

指对加工程序的检索、编制、插入、删除、更名、锁住、在线编辑(即后台编辑,在执行自动加工的同时进行编辑)以及程序的存储通信等。

(十) 图形显示功能

在显示器(CRT)上进行二维或三维、单色或彩色的图形显示。图形可以进行缩放、旋转,还可以进行刀具轨迹动态显示。

(十一) 辅助编程功能

如固定循环、镜像、图形缩放、子程序、宏程序、坐标轴旋转、极坐标等功能,可减少手工编程的工作量和难度。

(十二) 自诊断报警功能

指数控系统对其软件、硬件故障的自我诊断能力。这项功能可以用于监视整个机床和整个加工过程是否正常,并在发生异常时及时报警。

(十三) 通讯功能

现代数控系统中一般到配有 RS232 接口或 DNC 接口,可以与上级计算机进行信号的高速传输。高档数控系统还可与 MAP 或 INTERNET 相连,以适应 FMS、CIMS 的要求。

第三节 数控机床工作原理

数控机床工作原理如图 1-3。

根据零件图样,进行工艺分析,确定工艺方案,依据数控系统的规定指令,编制零件的加工程序。视零件结构的复杂程度,可以采用手工或计算机编程,程序较小时,可以直接在车床的操作面板的输入区域操作;程序较大时,也可在装有编程软件的普通计算机上进行,编程软件国内一般采用模拟软件和专业软件,经过相应的后置处理,生成加工程序。再通过车床控制系统上的通信接口或其他存储介质(软盘、光盘等),把生成的加工程序输入到车床的控制系统中。进入数控装置的信息,经过一系列处理和运算转变成脉冲信号。有的信号输送到机床的伺服系统,通过伺服机构处理,传到驱动装置(主轴电机、步进或交、直流伺服电机),使刀具和工件严格执行零件加工程序规定的运动;有的信号送到可编程控制器,用以控制机床的其他辅助运动,如主轴和进给运动的变速、液压或气动装夹工件、冷却液开关等。

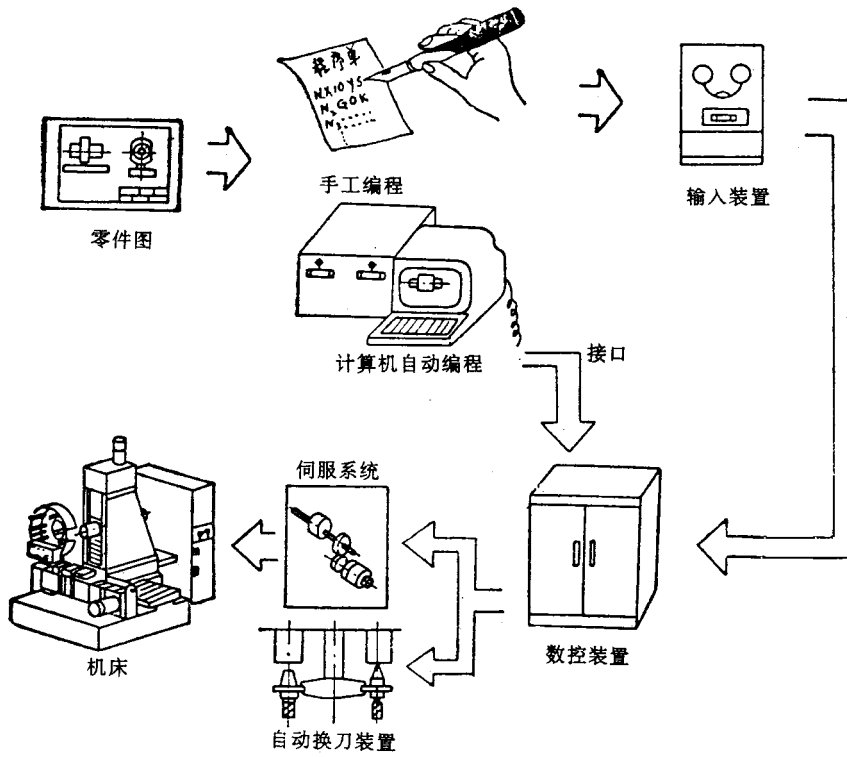


图 1-3

第四节 机床坐标

1. 机床坐标

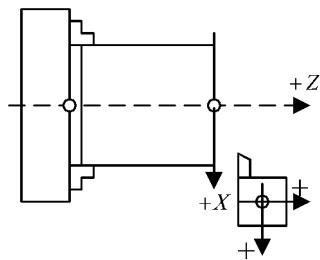


图 1-4

2. 机床原点、参考点、机床坐标系

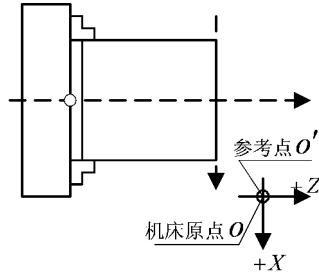


图 1-5

3. 工件原点和工件坐标系

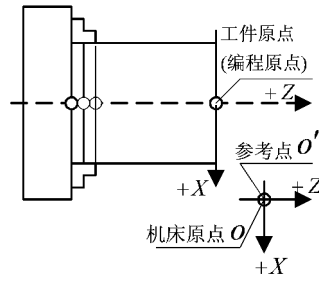


图 1-6

第二章 零件程序的结构

一个零件程序是一组被传送到数控装置中去的指令和数据。

一个零件程序是由遵循一定结构、句法和格式规则的若干个程序段组成的,而每个程序段是由若干个指令字组成的。如图 2-1 所示。

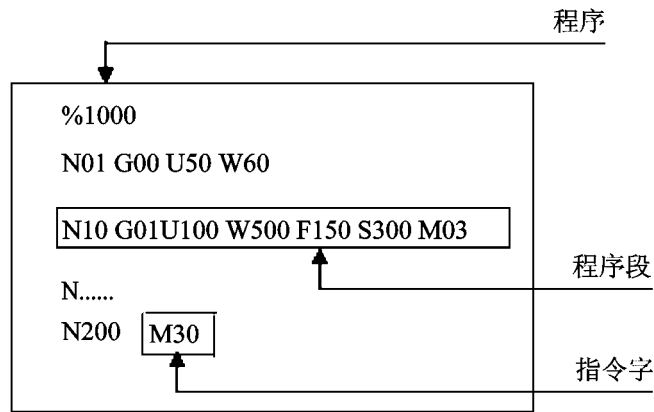


图 2-1 程序的结构

第一节 指令字的格式

一个指令字是由地址符(指令字符)和带符号(如定义尺寸的字)或不带符号(如准备功能字 G 代码)的数字数据组成的。

程序段中不同的指令字符及其后续数值确定了每个指令字的含义。在数控程序段中包含的主要指令字符如表 2-1 所示。

表 2-1 指令字符一览表

| 机能 | 地址 | 意义 |
|-------|----|-----------------------|
| 零件程序号 | % | 程序编号: %1~4294967295 |
| 程序段号 | N | 程序段编号: N0~4294967295 |
| 准备机能 | G | 指令动作方式(直线、圆弧等) G00-99 |

| 机 能 | 地 址 | 意 义 |
|--------|-------------------------|-----------------------|
| 尺寸字 | X,Y,Z A,B,C U,V,W | 坐标轴的移动命令±99999.999 |
| | R | 圆弧的半径,固定循环的参数 |
| | I,J,K | 圆心相对于起点的坐标,固定循环的参数 |
| 进给速度 | F | 进给速度的指定 F0~24000 |
| 主轴机能 | S | 主轴旋转速度的指定 S0~9999 |
| 刀具机能 | T | 刀具编号的指定 T0~99 |
| 辅助机能 | M | 机床侧开/关控制的指定 M0~99 |
| 补偿号 | D | 刀具半径补偿号的指定 00~99 |
| 暂停 | P,X | 暂停时间的指定秒 |
| 程序号的指定 | P | 子程序号的指定 P1~4294967295 |
| 重复次数 | L | 子程序的重复次数,固定循环的重复次数 |
| 参数 | P,Q,R,U,W,I,K,C,A | 车削复合循环参数 |
| 倒角控制 | C,R | |

第二节 程序段的格式

一个程序段定义一个将由数控装置执行的指令行。

程序段的格式定义了每个程序段中功能字的句法,如图 2-2 所示。

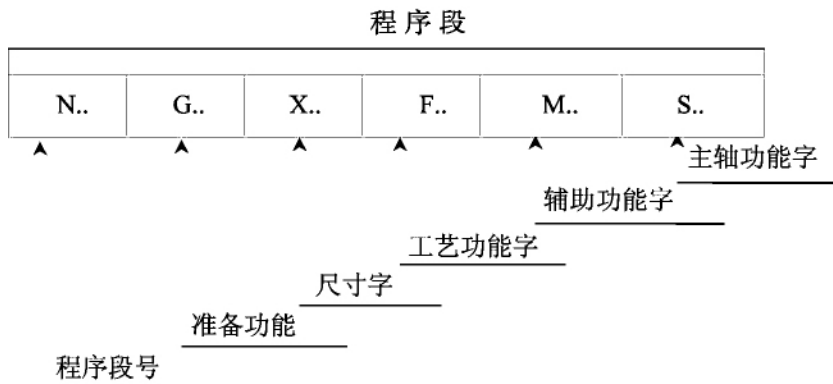


图 2-2 程序段格式

第三节 程序的一般结构

一个零件程序必须包括起始符和结束符。

一个零件程序是按程序段的输入顺序执行的,而不是按程序段号的顺序执行的,但书写程序时,建议按升序书写程序段号。华中世纪星数控装置 HNC-21T 的程序结构:程序起始符:%(或O)符,%(或O)后跟程序号;程序结束:M02或M30;注释符:括号()内或分号;后的内容为注释文字。

第四节 程序的文件名

CNC 装置可以装入许多程序文件,以磁盘文件的方式读写。文件名格式为(有别于DOS的其他文件名):Oxxxx(地址O后面必须有四位数字或字母)本系统通过调用文件名来调用程序,进行加工或编辑。

第三章 华中数控系统的编程指令体系

第一节 辅助功能 M 代码

辅助功能由地址字 M 和其后的一或两位数字组成,主要用于控制零件程序的走向,以及机床各种辅助功能的开关动作。

M 功能有非模态 M 功能和模态 M 功能二种形式。

非模态 M 功能(当段有效代码):只在书写了该代码的程序段中有效;模态 M 功能(续效代码):一组可相互注销的 M 功能,这些功能在被同一组的另一个功能注销前一直有效。

模态 M 功能组中包含一个缺省功能(见表 3.1),系统上电时将被初始化为该功能。

另外,M 功能还可分为前作用 M 功能和后作用 M 功能二类。

前作用 M 功能:在程序段编制的轴运动之前执行。

后作用 M 功能:在程序段编制的轴运动之后执行。

华中世纪星 HNC-21T 数控装置 M 指令功能如表 3-1 所示(▲标记者为缺省值):

表 3-1 M 代码及功能

| 代码 | 模态 | 功能说明 | 代码 | 模态 | 功能说明 |
|-----|-----|-------------|-----|-----|---------|
| M00 | 非模态 | 程序停止 | M03 | 模态 | 主轴正转起动的 |
| M02 | 非模态 | 程序结束 | M04 | 模态 | 主轴反转起动的 |
| M30 | 非模态 | 程序结束并返回程序起点 | M05 | 模态 | 主轴停止转动 |
| | | | M06 | 非模态 | 换刀 |
| M98 | 非模态 | 调用子程序 | M07 | 模态 | 切削液打开 |
| M99 | 非模态 | 子程序结束 | M09 | 模态 | 切削液停止 |

其中:

M00、M02、M30、M98、M99 用于控制零件程序的走向,是 CNC 内定的辅助功能,不由机床制造商设计决定,也就是说,与 PLC 程序无关;其余 M 代码用于机床各种辅助功能的开关动作,其功能不由 CNC 内定,而是由 PLC 程序指定,所以有可能因机床制造厂不同而有差异(表内为标准 PLC 指定的功能),请使用者参考机床说明书。

一、CNC 内定的辅助功能

1.程序暂停 M00 当 CNC 执行到 M00 指令时,将暂停执行当前程序,以方便操作者进行刀具和工件的尺寸测量、工件调头、手动变速等操作。暂停时,机床的进给停止,而全部现存的模态信息保持不变,欲继续执行后续程序,重按操作面板上的“循环启动”键。M00 为非模态后作用 M 功能。

2.程序结束 M02, M02 一般放在主程序的最后一个程序段中。当 CNC 执行到 M02 指令时,机床的主轴、进给、冷却液全部停止,加工结束。使用 M02 的程序结束后,若要重新执行该程序,就得重新调用该程序,或在自动加工子菜单下按子菜单 F4 键(请参考 HNC-21T 操作说明书),然后再按操作面板上的“循环启动”键。M02 为非模态后作用 M 功能。

3.程序结束并返回到零件程序头 M30, M30 和 M02 功能基本相同,只是 M30 指令还兼有控制返回到零件程序头(%)的作用。使用 M30 的程序结束后,若要重新执行该程序,只需再次按操作面板上的“循环启动”键。

4.子程序调用 M98 及从子程序返回 M99, M98 用来调用子程序。M99 表示子程序结束,执行 M99 使控制返回到主程序。

(1) 子程序的格式% * * * *M99 在子程序开头,必须规定子程序号,以作为调用入口地址。在子程序的结尾用 M99,以控制执行完该子程序后返回主程序。

(2) 调用子程序的格式 M98 P_ L_P: 被调用的子程序号 L,重复调用次数。

注:可以带参数调用子程序,G65 指令的功能和参数与 M98 相同。

例 1 如图 3-1(该例为半径编程)

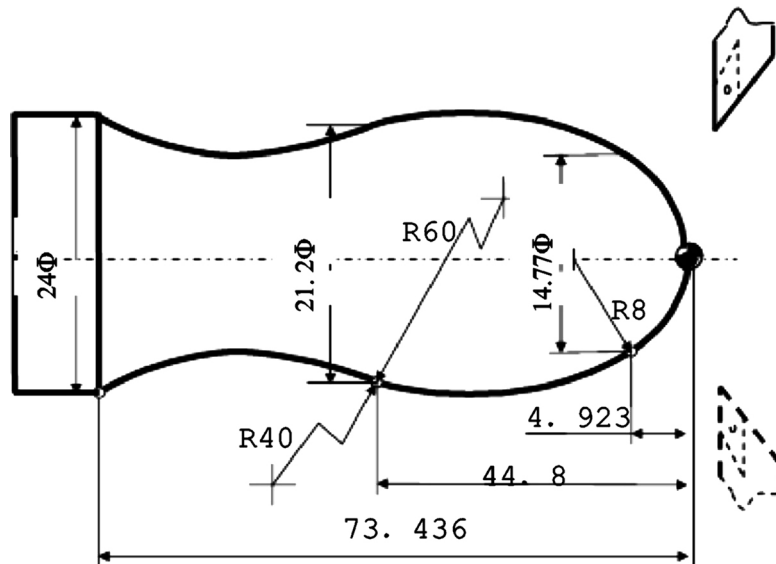


图 3-1

| | |
|--------------------------|------------------------|
| %3110 | (主程序程序名) |
| N1 G92 X16 Z1 | (设立坐标系,定义对刀点的位置) |
| N2 G37 G00 Z0 M03 | (移到子程序起点处、主轴正转) |
| N3 M98 P0003 L6 | (调用子程序,并循环 6 次) |
| N4 G00 X16 Z1 | (返回对刀点) |
| N5 G36 | (取消半径编程) |
| N6 M05 | (主轴停) |
| N7 M30 | (主程序结束并复位) |
| %0003 | (子程序名) |
| N1 G01 U-12 F100 | (进刀到切削起点处,注意留下后面切削的余量) |
| N2 G03 U7.385 W-4.923 R8 | (加工 R8 圆弧段) |
| N3 U3.215 W-39.877 R60 | (加工 R60 圆弧段) |
| N4 G02 U1.4 W-28.636 R40 | (加工切 R40 圆弧段) |
| N5 G00 U4 | (离开已加工表面) |
| N6 W73.436 | (回到循环起点 Z 轴处) |
| N7 G01 U-4.8 F100 | (调整每次循环的切削量) |
| N8 M99 | (子程序结束,并回到主程序) |

二、PLC 设定的辅助功能

1. 主轴控制指令 M03、M04、M05, M03 启动主轴以程序中编制的主轴速度顺时针方向(从 Z 轴正向朝 Z 轴负向看)旋转。M04 启动主轴以程序中编制的主轴速度逆时针方向旋转。M05 使主轴停止旋转。M03、M04 为模态前作用 M 功能; M05 为模态后作用 M 功能, M05 为缺省功能。M03、M04、M05 可相互注销。

2. 冷却液打开、停止指令 M07、M09, M07 指令将打开冷却液管道。M09 指令将关闭冷却液管道。M07 为模态前作用 M 功能; M09 为模态后作用 M 功能, M09 为缺省功能。

第二节 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T

一、主轴功能 S

主轴功能 S 控制主轴转速,其后的数值表示主轴速度,单位为转/每分钟(r/min)。恒线速度功能时 S 指定切削线速度,其后的数值单位为米/每分钟(m/min)。(G96 恒线速度有效、G97 取消恒线速度) S 是模态指令, S 功能只有在主轴速度可调节时有效。S 所编程的主轴转速可以借助机床控制面板上的主轴倍率开关进行修调。

二、进给速度 F

F 指令表示工件被加工时刀具相对于工件的合成进给速度, F 的单位取决于 G94(每

分钟进给量 mm/min) 或 G95(主轴每转一转刀具的进给量 mm/r) 。使用下式可以实现每转进给量与每分钟进给量的转化。 $f_m = f_r \times S$: 每分钟的进给量: (mm/min) f_r : 每转进给量: (mm/r) S : 主轴转数, (r/min) 当工作在 G01, G02 或 G03 方式下, 编程的 F 一直有效, 直到被新的 F 值所取代, 而工作在 G00 方式下, 快速定位的速度是各轴的最高速度, 与所编 F 无关。借助机床控制面板上的倍率按键, F 可在一定范围内进行倍率修调。当执行攻丝循环 G76、G82, 螺纹切削 G32 时, 倍率开关失效, 进给倍率固定在 100%。

注: 1. 当使用每转进给量方式时, 必须在主轴上安装一个位置编码器。

2. 直径编程时, X 轴方向的进给速度为: 半径的变化量/分、半径的变化量/转。

三、刀具功能(T 机能)

T 代码用于选刀, 其后的 4 位数字分别表示选择的刀具号和刀具补偿号。T 代码与刀具的关系是由机床制造厂规定的, 请参考机床厂家的说明书。执行 T 指令, 转动转塔刀架, 选用指定的刀具。当一个程序段同时包含 T 代码与刀具移动指令时: 先执行 T 代码指令, 而后执行刀具移动指令。T 指令同时调入刀补寄存器中的补偿值。刀具补偿功能将在第五节详述。

第三节 准备功能 G 代码

准备功能 G 指令由 G 后一或二位数值组成, 它用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作。G 功能根据功能的不同分成若干组, 其中 00 组的 G 功能称非模态 G 功能, 其余组的称模态 G 功能。非模态 G 功能: 只在所规定的程序段中有效, 程序段结束时被注销; 模态 G 功能: 一组可相互注销的 G 功能, 这些功能一旦被执行, 则一直有效, 直到被同一组的 G 功能注销为止。模态 G 功能组中包含一个缺省 G 功能, 上电时将被初始化为该功能。没有共同地址符的不同组 G 代码可以放在同一程序段中, 而且与顺序无关。例如, G90、G17 可与 G01 放在同一程序段。华中世纪星 HNC-21T 数控装置 G 功能指令见表 3-2。

表 3-2 准备功能一览表

| G 代码 | 组 | 功能 | 参数(后续地址字) |
|------|----|------|---------------|
| G00 | 01 | 快速定位 | X, Z |
| G01 | | 直线插补 | 同上 |
| G02 | | 顺圆插补 | X, Z, I, K, R |
| G03 | | 逆圆插补 | 同上 |
| G04 | 00 | 暂停 | P |
| G20 | 08 | 英寸输入 | |
| G21 | | 毫米输入 | |