



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

模具数控加工技术

(模具设计与制造专业)

主编 周志强 张晓红



前 言

本书是根据教育部 2001 年颁发的中等职业学校模具设计与制造专业主干课程“模具数控加工技术”教学基本要求并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的,是中等职业教育国家规划教材。

本书共八章,总学时为 60 学时。其内容包括数控加工概述(2 学时)、数控编程的基础知识(6 学时)、数控车床及其编程(12 学时)、数控铣床及其编程(12 学时)、加工中心及其编程(8 学时)、线切割和电火花成形加工(4 学时)、自动编程(8 学时)、模具数控加工实例(8 学时)等。

本书由中山市中等专业学校周志强、张晓红老师主编。其中第一、二章由中山市中等专业学校工程师、讲师张晓红编写,第三章及第八章的第一节由中山市中等专业学校高级讲师胡焕成编写,第四、五、七章及第八章的第二节由中山市中等专业学校高级工程师、高级讲师周志强编写,第六章由中山市中等专业学校陈华键编写。在编写过程中得到了中山市中等专业学校、中山市技工学校、广东省机械学校等单位的支持和帮助,在此表示感谢。

本教材通过全国中等职业教育教材审定委员会审定,由天津大学张世昌教授担任责任主审,天津大学李佳、邓广敏副教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

因教材涉及内容广泛,编者水平有限,难免有错误和不妥之处,请读者批评指正。

编 者

2001 年 5 月于中山

目 录

第一章 数控加工概述	1
第一节 数控加工的基本概念	1
第二节 数控机床的组成	2
第三节 数控机床的分类	5
第四节 数控机床的发展趋势	8
习题与思考题一	9
第二章 数控编程的基本知识	10
第一节 程序编制的一般步骤	10
第二节 数控编程方法	11
第三节 程序编制中的指令代码	13
习题与思考题二	29
第三章 数控车床及其编程	30
第一节 数控车床介绍	30
第二节 数控车床编程基础	31
第三节 数控车床基本编程功能指令	35
第四节 数控车床编程实例	46
第五节 数控车床的操作	51
习题与思考题三	55
第四章 数控铣床及其编程	56
第一节 数控铣床的组成部分及主要参数	56
第二节 数控铣床及其工艺装备	57
第三节 数控铣床各类参考点及坐标系的定义	59
第四节 数控铣床编程实例	61
第五节 数控铣床加工实例	62
习题与思考题四	67
第五章 加工中心及其编程	68
第一节 加工中心	68
第二节 加工中心编程实例	69
习题与思考题五	77
第六章 电火花和线切割成形加工	78
第一节 电火花加工的特点	78
第二节 电火花加工原理及设备	78
第三节 线切割加工设备 & 原理	81
第四节 线切割编程	83

第五节 公差编程的尺寸计算与间隙补偿量	90
第六节 线切割机床的操作实例	92
习题与思考题六	97
第七章 自动编程	98
第一节 自动编程简介	98
第二节 语言输入方式自动编程	98
第三节 图形输入方式自动编程	100
习题与思考题七	115
第八章 模具数控加工实例	116
第一节 塑料瓶吹塑模的加工	116
第二节 电话机手柄模的加工	120
习题与思考题八	130

第一章 数控加工概述

第一节 数控加工的基本概念

一、什么是数控

数控是数字控制(Numerical Control,缩写为 NC)的简称,是指用数字指令来控制一台或一台以上机械的动作。它所控制的一般是位置、角度及速度等。

科学技术和社会生产的迅速发展,对机械产品的精度要求越来越高,产品的表面形状越来越复杂且改型频繁。这不仅对机床设备提出了精度与效率的要求,也提出了通用性与灵活性的要求。尤其在模具制造行业,加工的模具大多为小批(或单件)生产,其形状复杂,经常改型且精度要求高。使用普通机床加工,不仅劳动强度大、生产效率低、精度难以保证,而且对于表面形状复杂的零件或模具甚至都无法加工。

计算机的出现和广泛地应用,使人类实现了机械加工工艺过程自动化的理想。近年来,随着计算机技术的不断发展及其软、硬件技术的不断提高,数控机床也得到了迅速地发展和广泛地应用。

二、什么是数控机床

数控机床是以数字化的信息实现机床控制的机电一体化产品,它把刀具和工件之间的相对位置、机床电动机的启动和停止、主轴变速、工件夹紧和松开、刀具的选择、冷却系统的启停等各种动作信息,用代码化的数字保存在计算机中(或软盘中),然后将数字信息送入数控机床的控制装置,经过译码、运算并发出各种指令,控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需工件。

三、数控机床的发展

世界上第一台数控机床是为了适应航空工业制造复杂工件的需要而研制生产的。1952年美国麻省理工学院和帕森斯公司合作研制成功了世界上第一台具有信息存储和处理功能的新型机床,即数控机床。后来又经过三年的改进与自动程序编制的研究,于1955年进入了实用阶段。

数控机床是综合应用了计算机、微电子、自动控制、自动检测及精密机械等技术的最新成果而发展起来的完全新型的机床,四十多年来,它经历了研制、工业应用和高速发展三个阶段,在品种、数量、加工范围和加工精度等方面都有了惊人的发展。

我国从1958年开始研制数控机床,1975年研制出了第一台加工中心。近年来,随着经济的

不断发展和改革开放的不断深入,数控机床在我国的应用领域不断扩大,数控机床的生产水平不断提高,我国同先进工业国家之间的差距不断缩小。随着我国国民经济的迅速发展,各行各业对各种数控机床的需求量将大幅度增加,这将有力地促进数控机床的发展。

第二节 数控机床的组成

数控机床是一种利用数控技术来控制机床的伺服系统或其他驱动元件,自动加工出所需工件的机电一体化设备。

数控机床通常由以下几部分组成:控制介质(或数据传输接口)、数控装置、伺服系统、机床和反馈系统,如图 1-1 所示。

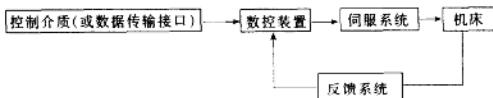


图 1-1 数控机床的组成

一、控制介质

要对数控机床进行控制,就必须在人与机床之间建立某种联系,这种联系的媒介物即称为控制介质。在控制介质上保存着加工零件所必需的全部操作信息和刀具移动、工件移动信息。控制介质这一概念随着数控技术和计算机技术的发展,赋予了它不同的内涵。控制介质可以是穿孔纸带、磁带和磁盘,从更广的意义上理解,计算机直接控制(DNC)也可属于控制介质之列。

目前,数控加工程序的保存和传送(到数控机床)有三种方法:

(1) 使用穿孔纸带或磁带作为信息载体。它是把零件加工指令及数据先用规定的文字、数字与符号书写在程序单上,即手工编制零件程序,再按一定的规则在纸带上穿出一排排的孔。纸带上孔的不同排列表示不同的代码,国际上通常使用 EIA(Electronic Industries Association)代码和 ISO(International Organization for Standardization)代码。我国规定 ISO 代码为标准代码。

使用穿孔纸带或磁带的数控机床,它本身必须备有读带机(如光电阅读机),纸带上的代码由读带机逐行地转换为数控装置可以识别和处理的电信号并送入机床数控装置。

程序编制与穿孔纸带等控制介质的准备,在一定程度上影响了数控机床的使用效率,并且穿孔纸带易受潮损坏,存储的信息量也有限,满足不了人们的更高要求,现在已逐渐被淘汰。早期的数控机床使用的都是这种方式。

(2) 使用磁盘作为信息载体。它是把零件加工指令及数据先用规定的文字、数字与符号,书写在程序单上,既可以手工编制零件程序,也可直接在计算机中自动编程,再把编制好的程序拷贝到磁盘上。当然,数控机床本身也必须备有可以阅读磁盘的磁盘驱动器。

相对于穿孔纸带来讲,使用磁盘作为信息载体的优点很明显,它不但使存储数据的信息量大,而且使用起来也较方便快捷。目前,还有许多数控机床(大多为线切割机床)使用这种方式。

(3) 计算机直接控制。计算机直接控制就是直接在计算机中进行编程,再把编制好的加工程序通过 DNC 系统直接传送到数控机床进行数控加工。同时它也可以把数控机床中的数据传送到计算机中,实现双向传送。它的优点是传送的数据量几乎不受限制,使用起来方便快捷,目前大多数数控机床(特别是数控铣床、加工中心等)都采用了这种方式来进行数据的交换。

二、数控装置

数控装置是数控机床的中枢,目前绝大部分数控机床都采用微型计算机控制。数控装置接受控制介质输入的信息,经过处理与运算后去控制机床的动作。图 1-2 为数控装置结构框图,虚线内为数控装置,它由输入装置、输出装置、运算器、控制器、存储器等组成。

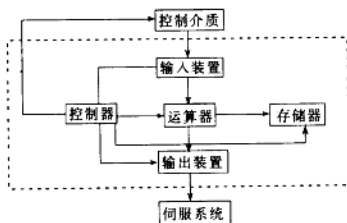


图 1-2 数控装置结构框图

输入装置接受由控制介质送入的代码信息,经过识别与译码之后分别输送到各相应的寄存器,作为控制与运算的原始数据。

控制器接受输入装置的指令,根据指令控制运算器和输出装置,实现对机床的各种控制。

运算器接受控制器的指令,将输入装置送来的数据进行某种运算,并不断向输出装置送出运算结果,控制伺服系统的相应动作。

输出装置根据控制器的指令,将运算器送入的结果输送到伺服系统。

三、伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的运动指令转变成机床移动部件的运动,使工作台和主轴按规定的轨迹运动,加工出符合要求的产品。

伺服系统包括驱动装置和执行装置两大部分。它的伺服精度和动态响应是影响数控机床加工精度、表面质量与生产效率的重要因素之一。常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

四、机床

与传统的机床相比,数控机床具有加工精度高、加工效率高等特点,因此对机床床身的刚度和抗震性也提出了更高的要求,其设计要求比通用机床更严格。

五、反馈系统

反馈系统的作用是将机床导轨和主轴移动的位移量、移动速度等参数检测出来,通过模数转换变成数字信号,并反馈到数控装置中,数控装置根据反馈回来的信息进行判断并发出相应的指令,纠正所产生的误差。

六、数控机床的坐标轴及其运动方向

数控机床的坐标轴命名及其运动方向的规定,是一个十分重要的问题。每一个数控机床的编程员和操作人员都必须对坐标轴及其运动方向有一个正确的理解,否则编程就会发生混乱,操作就会发生事故。因此,ISO 对数控机床的坐标轴及其运动方向作了以下规定:

1. 数控机床的坐标系

数控机床的坐标系采用右手笛卡尔坐标系。基本坐标轴为 XYZ 直角坐标轴,相对于每个坐标轴的旋转运动为 A 、 B 、 C ,如图 1-3 所示。

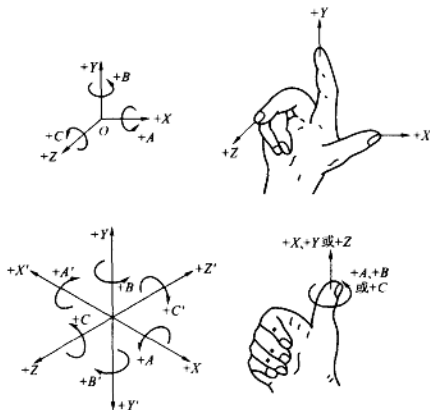


图 1-3 右手直角笛卡尔坐标系

2. 数控机床的运动方向

无论数控机床的具体运动方式是工件静止、刀具运动,还是工件运动、刀具静止,为便于数控编程,都规定数控机床的运动是刀具相对于静止的工件坐标系的运动。

Z 轴作为平行于机床主轴的坐标轴,其正方向定义为刀具远离工件的方向。

X 轴作为水平轴(平行于工件装夹平面的轴)平行于主要的切削方向,且此方向为正。

Y 轴的运动方向则根据 X 轴和 Z 轴按右手法则确定。

旋转运动 A 、 B 和 C 相应地在 X 、 Y 和 Z 坐标轴正方向上,按右手螺旋前进的方向来确定。

第三节 数控机床的分类

目前应用在机械制造行业(包括模具行业)的数控机床大致上可分为以下几种:

一、数控铣床

数控铣床在模具制造行业中的应用非常广泛,各种具有平面轮廓和立体曲面的零件(如模具的凸凹模型腔等)都采用数控铣床进行加工。数控铣床还可以进行钻、扩、铰、镗孔和攻螺纹等加工。数控铣床分为立式数控铣床和卧式数控铣床两种,图 1-4 为各类数控铣床的示意图,其上的坐标系符合 ISO 标准的规定,即符合右手定则。数控铣床有两轴联动、三轴联动、四轴联动和五轴联动等不同档次,现在应用最广泛的是三轴联动的数控铣床,四轴联动和五轴联动的数控铣床一般都应用在军工、汽车和航天工业。

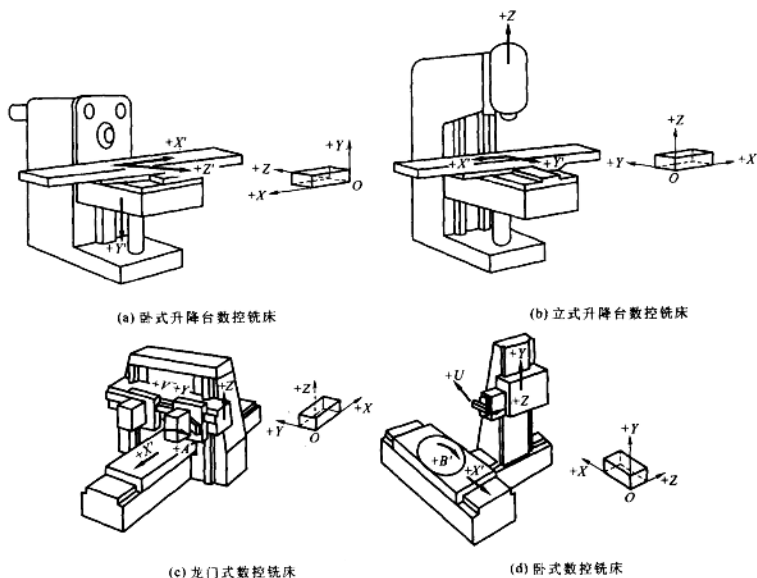


图 1-4 各类数控铣床的示意图

二、加工中心

加工中心与数控铣床的区别在于加工中心备有可自动换刀的装置和刀库系统,刀库中存放着若干事先准备好的刀具和检具,可对工件进行多工序加工。加工中心也分为立式和卧式两种(见图1-5)。其上的坐标系符合ISO标准的规定,即符合右手定则。加工中心在模具制造行业中的应用非常广泛,各种平面轮廓和立体曲面的零件(如模具的凸凹模型腔等)都可在加工中心上加工。加工中心同样可以进行钻、扩、铰、镗孔和攻螺纹等加工。加工中心有两轴联动、三轴联动、四轴联动和五轴联动等不同档次,现在应用最广泛的是三轴联动的加工中心,四轴联动和五轴联动的加工中心一般都应用在军工、汽车和航天工业,在模具制造行业中的应用较少。

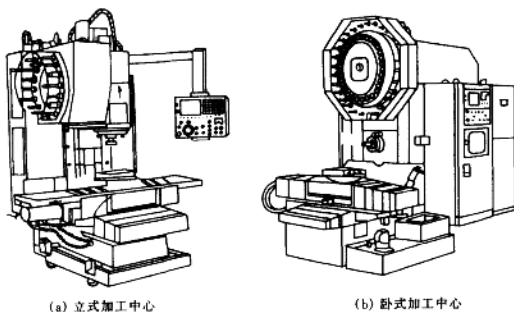


图1-5 加工中心

三、数控车床

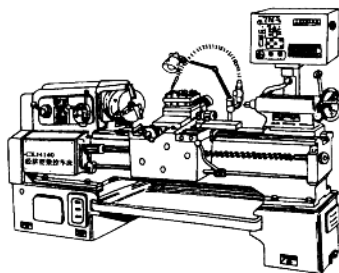
数控车床是目前应用较为广泛的一种数控机床,主要用于轴类或盘类等回转体零件的车、钻、铰、镗孔和攻螺纹等加工。一般能自动完成内外圆柱面、圆锥面、球面、圆柱螺纹、圆锥螺纹、切槽及端面等工序的切削加工。数控车床都具备两轴的联动功能。图1-6是各类数控车床的示意图。

四、线切割机床

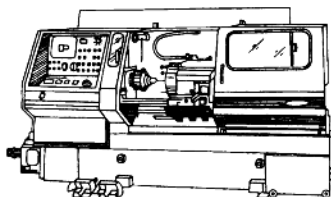
线切割机床是在模具加工中应用较为广泛的一种数控机床,主要分为慢走丝线切割机床和快走丝线切割机床两种,主要用于圆孔、异型孔以及各种轮廓的加工。它是用电极放电腐蚀的原理来切割工件的。常用的电极一般为钼丝(快走丝线切割机床)和铜丝(慢走丝线切割机床)。线切割机床都具备两轴的联动功能,有些还具有四轴联动的功能。图1-7为线切割机床的示意图。

五、电火花机床

电火花机床是在模具加工中应用较为广泛的一种数控机床,主要用于模具型腔的放电加工。



(a) 经济型数控车床



(b) 数控车削中心

图 1-6 各类数控车床的示意图

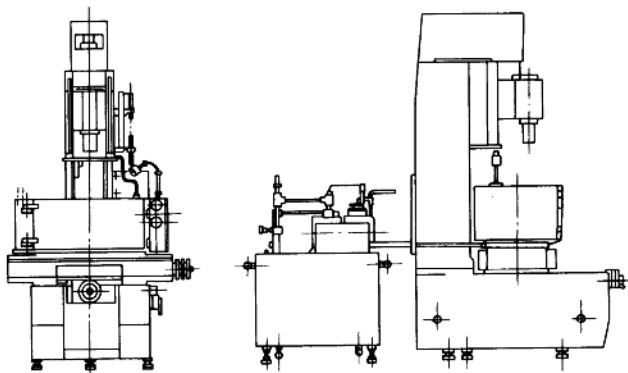


图 1-7 线切割机床示意图

它是用电极放电腐蚀的原理来加工工件的,常用的电极一般为紫铜和石墨。图 1-8 为电火花机床的示意图。

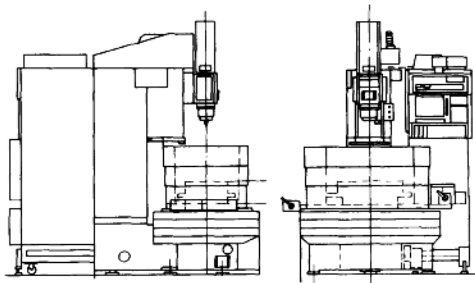


图 1-8 电火花机床的示意图

六、其他数控机床

除了以上在模具行业较常用的数控机床以外,还有一些其他类型的数控机床,如专门用来镗孔的数控镗床,专门用来钻孔、攻螺纹的数控钻床,专门用来磨削各种表面的数控磨床等。

第四节 数控机床的发展趋势

数控机床是在微电子、计算机、自动控制、自动检测及精密机械制造等技术的基础上发展起来的新型机床。目前,数控机床正朝着高速、高精度、高可靠性的方向发展。

一、更高的加工速度和精度

随着数控技术的不断发展,数控机床的主轴转速、进给速度和分辨率都有很大的提高,从而极大地提高了数控加工的生产率和加工精度。高速数控铣床的主轴转速一般为 15 000 r/min 以上(普通的数控铣床或加工中心的主轴转速一般为 4 000 r/min 以下),由于提高了主轴的转速,使加工速度大大提高,其效率大约为普通数控铣床的 3 倍左右。

二、更高的可靠性

数控机床的可靠性主要取决于数控系统的可靠性。现代数控机床的数控系统采用模块化硬件结构形式,根据不同用户对数控机床数控功能的不同需求,可选择不同功能的模块进行组合。这些功能模块的设计与制造,是在标准化、通用化和优化的原则指导下进行的,因而大大地提高了数控机床的可靠性。

习题与思考题一

1. 数控机床是什么样的机床？
2. 数控机床由哪几部分组成,各有什么作用？
3. 数控机床大致有哪些种类？
4. 简述数控机床的右手笛卡尔坐标系。
5. 简述加工中心与数控铣床的相同之处和不同之处。

第二章 数控编程的基本知识

在数控机床上加工零件,首先要编制好控制数控机床的加工程序。加工程序是根据零件的图样和工艺方案,用数控机床规定的程序格式和指令代码编制的,其给出工作台和主轴运动的方向和坐标值以及其他辅助动作(主轴启停、主轴转速、正反转、冷却液开闭、换刀等)信息,并把它记录在控制介质上,用以控制数控机床运动。在数控加工中,从零件图开始到获得数控机床控制介质的过程,称为数控编程。

第一节 程序编制的一般步骤

程序编制一般要经过制定加工工艺、数学运算、编制加工程序、制作控制介质和程序校验与试运行等五个步骤,其过程如图 2-1 所示。

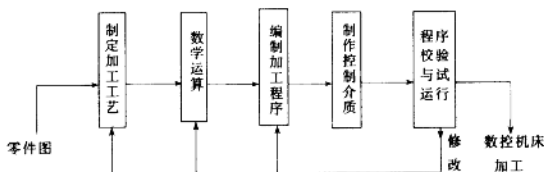


图 2-1 程序编制的一般过程

一、制定加工工艺

根据零件图制定合理的加工工艺时,要对工件的形状、材料、技术条件、精度、毛坯种类和工艺方案等进行详细分析,进而确定加工方法、定位夹紧及加工工步顺序,并合理选用数控机床及使用刀具和切削量等。制定合理的加工工艺除考虑一般的工艺原则外,另一个原则是使加工走刀路线最短,走刀次数和换刀次数尽可能少。

二、数学运算

根据图样确定工件坐标系,计算出零件的坐标表达方式,确定运动轨迹的坐标值、走刀路径等,为编程做好准备。

三、编制加工程序

根据计算确定的运动轨迹坐标值,确定操作顺序、走刀路线、刀具参数、切削参数、刀具补偿量以及辅助动作,按照数控机床规定使用的功能代码及程序,在加工程序单上编制加工程序。

四、制作控制介质

零件的加工程序编制好后,可把加工程序单上的加工程序输入到计算机里。如有必要,也可把程序保存在磁盘和穿孔纸带上。也可使用 DNC 系统直接把加工程序输入到数控机床中。

五、程序校验与试运行

零件的加工程序必须经过程序校验和试运行以后才可以使用。在数控机床上运行调试程序的方法一般是进行程序空运行,观察刀具的运动轨迹。

需要指出的是,随着计算机辅助设计及计算机辅助制造(CAD/CAM)的普及,以上所说的程序校验完全可以在计算机上模拟进行。这不仅节省了数控机床的空运行对机床的磨损,同时也提高了生产效率。

第二节 数控编程方法

对数控机床进行程序编制的方法有两种,即手工编程和自动编程。

一、手工编程

手工编程就是程序编制的全过程由人工完成。这种方法主要用于二维简单零件的编程,特别是对简单的点位加工(如钻孔)和简单的轮廓加工(如仅仅由直线和圆弧组成的轮廓)。但是对于一些复杂的零件(如二维中的二次曲线、复杂模具表面的曲面等)或者编程时工作量很大的零件,用手工编程就显得力不从心了。

二、自动编程

自动编程就是使用计算机进行辅助编程。随着计算机辅助设计及计算机辅助制造技术的迅速发展,产生了各种不同的自动编程方法。目前所说的自动编程,就是指把运用计算机辅助设计(CAD)技术产生的模型(曲线、曲面、实体等),运用计算机辅助制造(CAM)技术,输入刀具参数、刀具加工路径、加工精度等参数,计算机会自动产生加工程序并可在计算机上对所产生的加工程序进行模拟现场的加工分析,经过后置处理即可生成数控机床使用的加工程序。

计算机自动编程减轻了编程人员的劳动强度,提高了工作效率和产品质量,尤其适于复杂零件(如注射模型腔等三维曲面)的程序编制。

三、加工程序结构

一个完整的加工程序通常由若干程序段组成。程序段是一个完整的机床控制信息,表示机

床的一种操作。程序段由一个或若干个字组成。地址字符(字符是用来组织、控制或表示数据的一些符号)是字的第一个符号,在要求代数符号时,地址字符之后是代数符号,然后是数字数据。每一个字都是控制系统的指令。

例 1-1 某一加工程序:

```
%  
O110  
N001 G00 X10 Y20 Z50 LF  
N002 G01 X100 Y100 Z0 F1000 S1500 T1 M03 LF  
N003 X200 Y100 LF  
:  
N188 G00 X10 Y20 Z50 M30(M02) LF
```

该加工程序由 188 条程序段按操作顺序排列而成。整个程序由符号“%”开始,以 M30(M02)结束。

四、程序段格式

程序段格式是指程序段中数字、字母和符号的规定排列形式。常见的程序段格式有可变程序段格式和固定程序段格式两种,而可变程序段格式又包括地址程序段格式和分隔符程序段格式。

1. 地址程序段格式

地址程序段格式是国内外目前广泛采用的一种格式。

例 1-2 某程序段格式:

```
N002 G01 X100 Y100 Z0 F1000
```

例 1-1、1-2 中:

N002 是顺序号字,表示程序段序号,字长为 4 个字符;

G01 是准备功能字,代表直线插补,字长为 3 个字符;

X100 是尺寸字,表示 X 轴正向移动到 X=100 mm 的坐标位置,字长为 4 个字符;

Y100 是尺寸字,表示 Y 轴正向移动到 Y=100 mm 的坐标位置,字长为 4 个字符;

Z0 是尺寸字,表示 Z 轴正向移动到 Z=0 mm 的坐标位置,字长为 2 个字符;

F1000 是进给功能字,表示进给量为 1 000 mm/min,字长为 5 个字符;

S1500 是主轴转速功能字,表示主轴转速为 1 500 r/min,字长为 5 个字符;

T1 是刀具功能字,表示使用 1 号刀,字长为 2 个字符;

M03 是辅助功能字,表示主轴正转,字长为 3 个字符;

LF 是程序段结束字符。

从以上的例子可以看出,地址程序段格式的每个程序段都由若干个字组成。而每个字都由英文字母开头,与随后的数字等组成,它代表数控系统的一个具体指令。

地址程序段格式对不需要或与上一程序段相同的续效字都可以省略不写,而且尺寸字的长度不固定。

地址程序段格式对字的前后顺序没有规定,一般按照习惯,编程时常按一定的顺序排列。

2. 分隔符程序段格式

这种程序段格式的特点是:要预先规定输入时所有可能出现的字的顺序,但所有字的地址均用分隔符“HT”表示,对不需要或与上一程序段相同的续效字都可以省略不写,但要写上分隔符“HT”。

下面的例子是地址程序段格式程序与分隔符程序段格式程序的对比:

地址程序段格式程序:

N002 G01 X100 Y100 Z0 F1000 S1500 T1 M03 LF

N003 X200 Y150 LF

分隔符程序段格式程序:

HT002 HT01 HT100 HT100 HT0 HT1000 HT1500 HT1 HT03 LF

HT003 HT HT200 HT150 HT HT HT HT HT LF

分隔符程序段格式的缺点是程序不直观,容易出错。

第三节 程序编制中的指令代码

前面已提到,用于数控机床的加工程序首先被记录在控制介质上,而后将代表各种不同功能的指令代码输入数控装置,经过处理与运算后去控制机床的动作。

目前,世界各国普遍使用的孔代码、准备功能代码和辅助功能代码采用的是统一的通用标准,即 ISO(国际标准化组织)标准。我国基本沿用 ISO 标准,但也制订了一些相应的数控标准。但因目前国内外各式各样的数控机床所使用的标准并未完全统一,有关指令代码及其含义也有少许区别,因此,在具体为某台数控机床编程时,应严格按这台机床使用说明书的规定进行。

一、穿孔纸带及其代码

穿孔纸带是数控机床常用的输入介质之一。常用的标准纸带有五单位(五列孔,宽 17.5 mm)和八单位(八列孔,宽 25.4 mm)两种。现在所说的穿孔纸带一般都是指八单位穿孔纸带。八单位穿孔纸带规格标准及解释见图 2-2,主要分为信息孔和同步孔两部分。信息孔比同步孔略大,从基准边起依次编出孔道序号 1~8,孔道 3~4 之间是由同步孔组成的同步孔道。每行八个信息孔上孔的不同组合,可以表示各种信息代码。国际上通用的数控穿孔带代码有 EIA 代码和 ISO 代码,表 2-1 为 EIA 代码和 ISO 代码的穿孔带编码形式。EIA 代码与 ISO 代码主要区别是:EIA 代码每行孔数必为奇数,也就是奇校验。EIA 代码的第五列为补奇孔,如表 2-1 第二

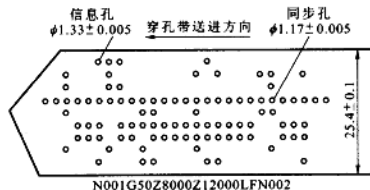


图 2-2 八单位穿孔纸带规格标准及解释