

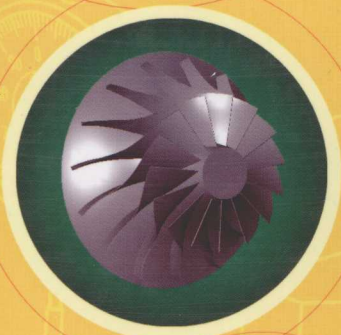
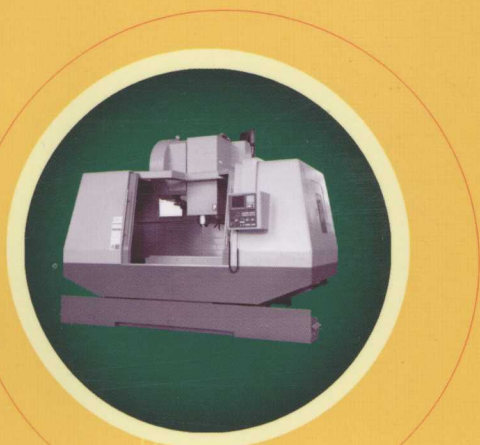
图解机电一体化技术入门丛书

图 解

数 控 机 床

顾 京 王振宇 编著

编程方法与加工实例



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



图解机电一体化技术入门丛书

顾京 王振宇 编著

图解 数控 机床

编程方法与加
工实例



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书重视实践技能的培养,通过大量图形和编程实例介绍,让读者有机会运用所学的数控编程知识达到巩固知识、培养能力的目的。读者亦可从实例中总结出各类数控机床的编程思路 and 办法。

全书在内容上分为数控程序编制的基本概念、数控车床、加工中心三部分。其中数控车床和加工中心部分由切削加工基础知识、程序编制、机床的加工调整、典型加工案例4个章节构成。每个章节均有指令的详细介绍和大量的详实案例。

本书可作为一般本科、高等职业技术学院和中等专业学校数控技术应用专业、机电类专业的教学用书,也可作为工程技术人员学习数控编程技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

图解数控机床编程方法与加工实例/顾京,王振宇编著. —北京:中国电力出版社,2008

ISBN 978-7-5083-7367-6

I. 图… II. ①顾…②王… III. ①数控机床-程序设计-图解②数控机床-加工-图解 IV. TG659-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第086932号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年1月第一版 2009年1月北京第一次印刷

1000毫米×1400毫米 B5开本 14.375印张 291千字

印数 0001—3000册 定价 29.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言



全球制造业重心正在向中国转移,中国制造业的技术进步将成为参与国际化竞争的必备条件。数控机床是先进制造技术的基础设备,是典型的计算机控制机电一体化产品。掌握数控编程技术是充分利用好这类装备的关键,也是提高数控加工技术水平的重要标志。了解编程的基本原理,掌握编程的基本方法,学习编程指令是对数控专业技术人员最基本的训练内容之一。本书重视实践技能的培养,通过大量编程实例的介绍,让读者有机会运用所学知识,达到巩固知识、培养能力的目的,并可从中总结各类数控机床编程的思路和办法。

本书总结了编者在数控机床应用领域的教学经验和工程实践经验,内容上分为数控程序编制的基本概念、数控车床、加工中心三大部分。各部分主要内容如下:

数控程序编制的基本概念部分,主要介绍了数控程序编制的内容及过程、编程语言的标准等数控加工程序编制的基本概念。

数控车床和加工中心分别各有四章,主要介绍数控车床和加工中心的切削加工基础知识、程序编制、加工调整和典型加工案例。

本书在内容的安排上,不同于过去传统的理论教材,每个章节均以丰富的图来解释相关的理论和实践知识,期望能为读者提供直观和易于理解的信息,获得解决编程问题的思路和方法。本书在机床操作、数控加工刀具、数控加工工艺方面,也作了详细的介绍,期望能让读者看完本书后能顺利制订合理的加工方案以适应机床操作。本书目的是通过简单的文字说明结合丰富的图形解释,培养读者的动手能力、综合应用能力和创新能力。

本书由顾京、王振宇编写。编写过程中得到了Walter刀具有限公司的大力支持和帮助,在此表示衷心地感谢。

俗话说,“熟能生巧”。如果您愿意学习,本书的系统结构内容会使您受益。在学习的大道上是没有坦途的,仅根据个人原有知识基础和现有的数控机床,找到问题的最佳解决办法并不容易。解决单项案例的最好办法不仅取决于技术环境、数控机床加工工艺,还取决于个人对生产加工模式的偏爱。本书中介绍的方法是作者的建议,而准备好的答案未必是完备的最佳解决方案,希望读者参与研讨。

最后,希望您学习之后能喜欢本书,并能很快获得成功。由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免有疏漏和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

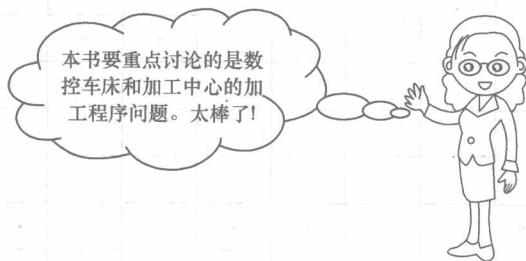
前言	
第一章 数控加工程序编制基本概念	1
第一节 数控机床概述	1
第二节 数控程序编制的内容及过程	3
第三节 数控程序编制的方法	4
第四节 编程语言的标准	5
第二章 数控车床切削加工基础知识	10
第一节 数控车床的配置	10
第二节 数控车床的工艺范围	12
第三节 切削用量	21
第四节 数控车床的工艺设计	23
第五节 加工技术文件	34
第三章 数控车床加工调整及操作	39
第一节 操作面板及功能	39
第二节 工件的装夹	40
第三节 刀架与刀具的装夹	42
第四节 加工参数设置	43
第五节 数控车床使用安全规范	47
第六节 加工报警及说明	49
第四章 数控车床的程序编制	51
第一节 程序格式	51
第二节 常用指令代码表	53
第三节 常用指令编程方法	54
第五章 数控车床典型加工案例	84
第一节 数控车床编程准备工作	84
第二节 数控车床编程	87
第六章 加工中心切削加工基础知识	90

第一节	加工中心的工艺范围	90
第二节	刀具选用	94
第三节	切削用量	107
第四节	工艺性分析	113
第五节	加工工艺设计	119
第六节	数学处理	125
第七节	加工技术文件	127
第七章	加工中心的加工调整及操作	132
第一节	操作面板的功能	132
第二节	刀具与工件的装夹	133
第三节	加工参数设置	140
第四节	对刀方法	146
第五节	加工中心回转工作台的调整	148
第六节	加工中心使用安全规范	150
第七节	加工报警及说明	154
第八章	加工中心的程序编制	156
第一节	程序格式	156
第二节	常用准备功能指令及编程方法	159
第三节	固定循环功能	177
第四节	宏指令编程方法	190
第九章	加工中心典型加工案例	199
第十章	CAD/CAM 入门	214
第一节	CAD/CAM 的典型应用过程	214
第二节	CAD 模块功能	216
第三节	CAM 模块功能	217
第四节	典型的 CAD/CAM 软件	220
参考文献		223



第一章 数控加工程序编制基本概念

数控机床是一种高效的自动化加工设备，它严格按照数控加工程序，自动对工件进行加工。从数控系统外部输入，直接用于加工的程序称为数控加工程序，简称数控程序，它是机床数控系统的应用软件，是本书研究的重点。与数控系统应用软件相对应的是数控系统内部的系统软件，系统软件是用于数控系统工作控制的，它不在本书研究的范围内。



第一节 数控机床概述

一、数控机床的分类

数控机床可按控制系统功能特点、伺服系统控制原理、加工工艺方式来分类，从加工的角度看，可按加工工艺方式将数控机床分为以下几类。

切削机床类：数控车床、数控铣床、镗床、钻床和加工中心等。

成型机床类：数控冲压机床、数控弯管机床、数控折弯机床等。

特种加工机床类：数控电火花机床、数控线切割机床、数控激光加工机床、数控等离子切割机床等。

其他机床类：数控坐标测量机等。

不同的加工工艺方式所达到的加工精度是不同的。例如，表 1-1 列出了采用各种机加工和特种加工方法所得到的表面粗糙度值。表中数据范围对应各加工方法在一般情况下的常规值，若适当调整工艺参数，也可得到较常规值更高或更低的粗糙度值。

表 1-1

机加工和特种加工方法与表面粗糙度

加工方法	表面粗糙度值 (Ra, μm)											
	25.4	17.7	6.25	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	
钻孔				*	*							
铣				*	*	*						



续表

加工方法	表面粗糙度值 (Ra, μm)											
	25.4	17.7	6.25	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	
铰孔					*	*						
镗孔、车削				*	*	*	*	*				
EDM				*	*							
激光				*	*	*	*					
拉削					*	*	*					
磨削					*	*	*	*	*			
珩磨							*	*	*			
抛光								*	*			
火焰切割		*										
热轧		*										
冷轧					*	*						
锻造			*	*								
砂型铸造		*										
压铸							*					

本书重点研究机械加工企业中常用的、金属切削数控机床类中的数控车床和加工中心的应用。

二、数控机床的加工工作过程

高度自动化是数控机床的显著特点，其使用涉及到机床功能、工艺设计、刀具及夹具选用、程序编制等数控加工技术，数控机床的工作过程如图 1-1 所示。

(1) 加工准备。数控加工的准备工作内容丰富、过程复杂，主要包括对被加工

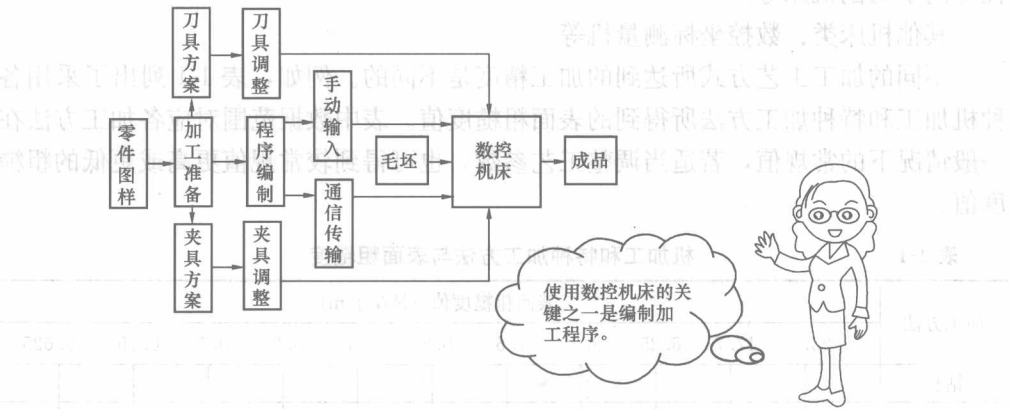


图 1-1 数控机床的工作过程

零件的图样分析、工艺性分析、工艺方案的制订和工艺装备选用等。

(2) 工艺系统调整。主要涉及机床、刀具、夹具等工艺系统组成部分,包括刀具编号、刀具安装、刀具偏置设置、夹具安装、工件安装、加工原点设置和机床状态设置等。

(3) 数控程序编制。按数控系统编程规则,编制加工程序。通过程序的模拟运行或试切加工,以动态方式检验程序,并对工艺过程、刀具及夹具、程序等进行调整,直至满足加工要求。

(4) 工件加工。用调试完成的加工程序对工件进行正式加工,并检查加工结果。

可见,在数控机床的工作过程中,加工准备、工艺系统调整、程序调试均为待机状态,其中工艺系统调整、程序调试需要占机调整时间,仅工件加工是机床的正式生产过程。为提高工作效率,充分发挥机床作用,应尽可能缩短待机状态所占时间,尤其是占机调整时间。



第二节 数控程序编制的内容及过程

在编制数控加工程序前,应首先了解数控程序编制的主要工作内容,程序编制的工作步骤,每一步应遵循的工作原则等,最终才能获得满足要求的数控程序(见图1-2)。

数控编程是指从零件图样到获得数控加工程序的全部工作过程。数控程序编制的内容及步骤如图1-3所示。

一、分析零件图样和制定工艺方案

这项工作的内容包括:①对零件图样进行分析,明确加工的内容和要求;②确定加工方案;③选择适合的数控机床;④选择或设计刀具和夹具;⑤确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。这一工作要求编程人员能够对零件图样的技术特性、几何形状、尺寸及工艺要求进行分析,并结合数控机床使用的基础知识,如数控机床的规格、性能、数控系统的功能等,确定加工方法和加工路线。

二、数学处理

在确定了工艺方案后,就需要根据零件的几何尺寸、加工路线等,计算刀具中心运动轨迹以获得刀位数据。数控系统一般均具有直线插补与圆弧插补功能,对于加工由圆弧和直线组成的简单平面零件,只需要计算出零件轮廓上相邻几何元素交点或切点的坐标值,得出各几何元素的起点、终点、

```
O1000
N10 G54 G90 G01 Z40 F2000
N20 M03 S500
N30 G01 X-50 Y0
N40 G01 Z-5 F100
N50 G01 G42 X-10 Y0 H01
N60 G01 X60 Y0
N70 G03 X80 Y20 R20
N80 G03 X40 Y60 R40
N90 G01 X0 Y40
N100 G01 X0 Y-10
N120 G01 G40 X0 Y-40
N130 G01 Z40 F2000
N140 M05
N150 M30
```

图1-2 程序样本

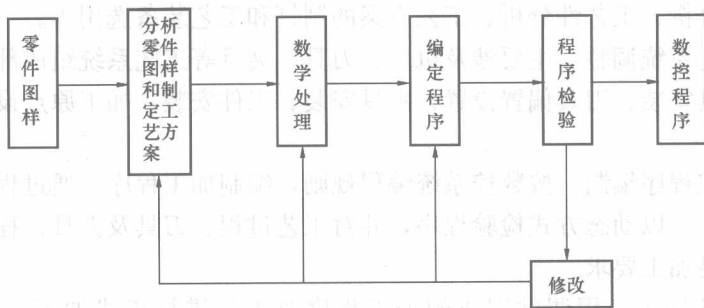


图 1-3 数控程序编制的内容及步骤

圆弧的圆心坐标值等，就能满足编程要求。当零件的几何形状与控制系统的插补功能不一致时，就需要进行较复杂的数值计算，一般需要使用计算机辅助计算，否则难以完成。

三、编写加工程序

在完成上述工艺处理及数值计算工作后，即可编写零件加工程序。程序编制人员使用数控系统的程序指令，按照规定的程序格式，逐段编写加工程序。程序编制人员应对数控机床的功能、程序指令及代码十分熟悉，才能编写出正确的加工程序。

四、程序检验及修改

将编写好的加工程序输入数控系统，就可控制数控机床的加工工作。一般在正式加工之前，要对程序进行检验。通常可采用机床空运转的方式来检查机床动作和运动轨迹的正确性，以检验程序。在具有图形模拟显示功能的数控机床上，可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程，对程序进行检查。对于形状复杂和要求高的零件，也可采用铝件、塑料或石蜡等易切材料进行试切来检验程序。通过检查试件，不仅可确认程序是否正确，还可知道加工精度是否符合要求。若能采用与被加工零件材料相同的材料进行试切，则更能反映实际加工效果，当发现加工的零件不符合加工技术要求时，可修改程序或采取尺寸补偿等措施。



第三节 数控程序编制的方法

数控加工程序的编制方法主要有两种：手工编制程序和自动编制程序。

一、手工编程

一般对几何形状不太复杂的零件，所需的加工程序不长，计算比较简单，用手工编程比较合适。

手工编程的特点：耗费时间较长，容易出现错误，无法胜任复杂形状零件的编程。据国外资料统计，当采用手工编程时，一段程序的编写时间与其在机床上运行



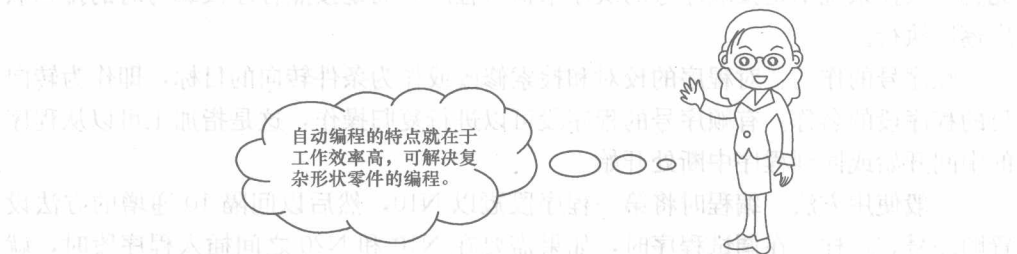


加工的实际时间之比，平均约为 30 : 1，而数控机床不能开动的原因中有 20% ~ 30% 是由于加工程序编制困难，编程时间较长。

二、计算机自动编程

计算机自动编程是指在编程过程中，除了分析零件图样和制定工艺方案由人工进行外，其余工作均由计算机辅助完成。

采用计算机自动编程时，数学处理、编写程序、检验程序等工作是由计算机自动完成的，由于计算机可自动绘制出刀具中心运动轨迹，使编程人员可及时检查程序是否正确，需要时可及时修改以获得正确的程序。又由于计算机自动编程代替程序编制人员完成了繁琐的数值计算，可提高编程效率几十倍乃至上百倍，因此解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。



根据输入方式的不同，可将自动编程分为图形数控自动编程、语言数控自动编程和语音数控自动编程等。图形数控自动编程是指将零件的图形信息直接输入计算机，通过自动编程软件的处理，得到数控加工程序。目前，图形数控自动编程是使用最为广泛的自动编程方式。语言数控自动编程指将加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后，输入到计算机中，再由计算机进一步处理得到零件加工程序。语音数控自动编程是采用语音识别器，将编程人员发出的加工指令声音转变为加工程序。



第四节 编程语言的标准

一、字符与代码

字符是用来组织、控制或表示数据的一些符号，如数字、字母、标点符号、数学运算符等。国际上广泛采用两种标准代码：



(1) ISO 国际标准化组织标准代码。

(2) EIA 美国电子工业协会标准代码。

这两种标准代码的编码方法不同,在大多数现代数控机床上这两种代码都可以使用,只需用系统参数来选择或用 G 功能指令来选择。

二、字

在数控加工程序中,字是指一系列按规定排列的字符,作为一个信息单元存储、传递和操作。字是由一个英文字母与随后的若干位十进制数字组成,这个英文字母称为地址符。

如:“X2500”是一个字,X 为地址符,数字“2500”为地址中的内容。

三、字的功能

组成程序段的每一个字都有其特定的功能含义,以下内容中若未作特别说明,则是以 FANUC 数控系统的规范为主来介绍的,实际工作中,请遵照机床数控系统说明书来使用各个功能字。

(1) 顺序号字 N。顺序号又称程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首,由顺序号字 N 和后续数字组成。顺序号字 N 是地址符,后续数字一般为 1~4 位的正整数。数控加工中的顺序号实际上是程序段的名称,与程序执行的先后次序无关。数控系统不是按顺序号的次序来执行程序,而是按照程序段编写时的排列顺序逐段执行。

顺序号的作用:对程序的校对和检索修改或作为条件转向的目标,即作为转向目的程序段的名称。有顺序号的程序段可以进行复归操作,这是指加工可以从程序的中间开始或回到程序中断处开始。

一般使用方法:编程时将第一程序段冠以 N10,然后以间隔 10 递增的方法设置顺序号,这样,在调试程序时,如果需要在 N10 和 N20 之间插入程序段时,就可以使用 N11、N12 等。

(2) 准备功能字 G。准备功能字的地址符是 G,又称为 G 功能或 G 指令,是用于建立机床或控制系统工作方式的一种指令。后续数字一般为 1~3 位正整数,见表 1-2。

表 1-2 G 功能字含义表

G 功能字	FANUC 系统	SIEMENS 系统
G00	快速移动点定位	快速移动点定位
G01	直线插补	直线插补
G02	顺时针圆弧插补	顺时针圆弧插补
G03	逆时针圆弧插补	逆时针圆弧插补
G04	暂停	暂停
G05	—	通过中间点圆弧插补



续表

G 功能字	FANUC 系统	SIEMENS 系统
G17	XY 平面选择	XY 平面选择
G18	ZX 平面选择	ZX 平面选择
G19	YZ 平面选择	YZ 平面选择
G32	螺纹切削	—
G33	—	恒螺距螺纹切削
G40	刀具补偿注销	刀具补偿注销
G41	刀具补偿——左	刀具补偿——左
G42	刀具补偿——右	刀具补偿——右
G43	刀具长度补偿——正	—
G44	刀具长度补偿——负	—
G49	刀具长度补偿注销	—
G50	主轴最高转速限制	—
G54~G59	加工坐标系设定	零点偏置
G65	用户宏指令	—
G70	精加工循环	英制
G71	外圆粗切循环	米制
G72	端面粗切循环	—
G73	封闭切削循环	—
G74	深孔钻循环	—
G75	外径切槽循环	—
G76	复合螺纹切削循环	—
G80	撤销固定循环	撤销固定循环
G81	定点钻孔循环	固定循环
G90	绝对值编程	绝对尺寸
G91	增量值编程	增量尺寸
G92	螺纹切削循环	主轴转速极限
G94	每分钟进给量	直线进给率
G95	每转进给量	旋转进给率
G96	恒线速控制	恒线速度
G97	恒线速取消	注销 G96
G98	返回起始平面	—
G99	返回 R 平面	—

(3) 尺寸字。尺寸字用于确定机床上刀具所在点的坐标位置。

其中,第一组 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R 用于确定终点的直线坐标尺寸;第二组 A、B、C、D、E 用于确定终点的角度坐标尺寸;第三组 I、J、K 用于确定圆弧轮廓的圆心坐标尺寸。在一些数控系统中,还可以用 P 指令暂停时间、用 R 指令圆弧的半径等。

多数数控系统可以用准备功能字来选择坐标尺寸的制式,如 FANUC 系统可用 G21/G22 来选择公制单位或英制单位。采用公制时,一般单位为 mm,如 X100 指令的坐标单位为 100mm。当然,一些数控系统可通过参数来选择不同的尺寸单位。

(4) 进给功能字 F。进给功能字的地址符是 F,又称为 F 功能或 F 指令,用于指定切削的进给速度。对于车床,F 可分为每分钟进给和主轴每转进给两种,对于其他数控机床,一般只用每分钟进给。F 指令在螺纹切削程序段中常用来指令螺纹的导程。

(5) 主轴转速功能字 S。主轴转速功能字的地址符是 S,又称为 S 功能或 S 指令,用于指定主轴转速,单位为 r/min。对于具有恒线速度功能的数控车床,程序中的 S 指令用来指定车削加工的线速度数。

(6) 刀具功能字 T。刀具功能字的地址符是 T,又称为 T 功能或 T 指令,用于指定加工时所用刀具的编号。对于数控车床,其后的数字还兼作指定刀具长度补偿和刀尖圆弧半径补偿用。

(7) 辅助功能字 M。辅助功能字的地址符是 M,后续数字一般为 1~3 位正整数,又称为 M 功能或 M 指令,用于指定数控机床辅助装置的开关动作,M 功能字含义见表 1-3。

表 1-3

M 功能字含义表

M 功能字	含 义	M 功能字	含 义
M00	程序停止	M07	2 号冷却液开
M01	计划停止	M08	1 号冷却液开
M02	程序停止	M09	冷却液关
M03	主轴顺时针旋转	M30	程序停止并返回开始处
M04	主轴逆时针旋转	M98	调用子程序
M05	主轴旋转停止	M99	返回子程序
M06	换刀		

四、程序格式

(1) 程序格式。程序段是可作为作为一个单位来处理的、连续的字组,是数控加工程序中的一条语句。一个数控加工程序是若干个程序段组成的。

程序段格式是指程序段中的字、字符和数据的安排形式。现在一般使用字地址



可变程序段格式，每个字长不固定，各个程序段中的长度和功能字的个数都是可变的。地址可变程序段格式中，在上一程序段中写明的、本程序段里又不变化的那些字仍然有效，可以不再重写。这种功能字称之为续效字。

程序段格式举例：

N30 G01 X88.1 Y30.2 F500 S3000 T02 M08

N40 X90（本程序段省略了续效字“G01，Y30.2，F500，S3000，T02，M08”，但它们的功能仍然有效）

程序段各组成要素如图 1-4 所示。

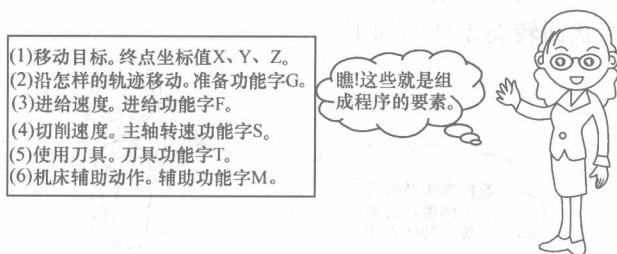


图 1-4 程序段各组成要素

(2) 加工程序的一般格式。

1) 程序开始符、结束符。程序开始符、结束符是同一个字符，ISO 代码中是%，EIA 代码中是 EP，书写时要单列一段。

2) 程序名。程序名有两种形式：①英文字母 O 和 1~4 位正整数组成；②由英文字母开头，字母数字混合组成的，一般要求单列一段。

3) 程序主体。程序主体是由若干个程序段组成的，每个程序段一般占一行。

4) 程序结束指令。程序结束指令可以用 M02 或 M30，一般要求：单列一段。

加工程序的一般格式为

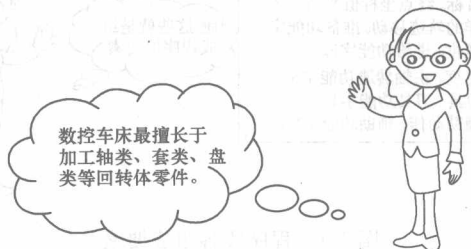
```

%                               //开始符
O1000                           //程序名
N10 G00 G54 X50 Y30 M03 S3000 }
N20 G01 X88.1 Y30.2 F500 T02 M08 }9
N30 X90                           //程序主体
N300 M30
%                               //结束符
    
```



第二章 数控车床切削加工基础知识

数控车床是目前使用最广泛的数控机床之一。在数控车床上,通过数控加工程序的运行,可自动完成内外圆柱面、圆锥面、成型表面、螺纹和端面等工序的切削加工,并能进行车槽、钻孔、扩孔及铰孔等工作。车削中心可在一次装夹中完成更多的加工工序,有效提高加工精度和生产效率,特别适合传统车床和传统加工方法无法加工的复杂形状回转类零件的加工。



第一节 数控车床的配置

数控车床一般采用斜床身形式安置回转刀架,由水平主轴前端的卡盘来装夹零件。当然,根据零件加工的不同需求,为提高机床的生产效率,数控车床还具有以下常见配置:附加回转刀架、快速换刀系统、刀具偏置设置装置、动力刀架系统、棒料进给系统、双主轴、高速主轴等。

一、数控车床一般形式

数控车床的主轴实现旋转主运动,回转刀架沿主轴径向移动实现 X 轴运动,沿主轴轴向的运动为 Z 轴运动。数控车床一般形式如图2-1所示。

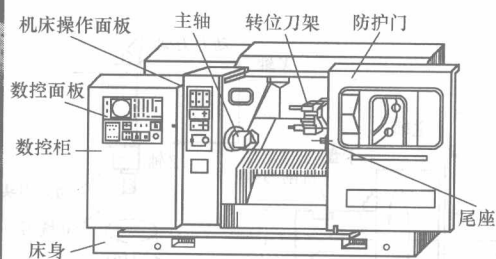
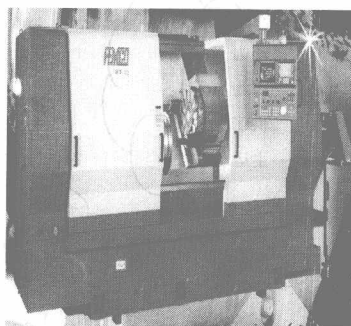
二、双主轴数控车床

双主轴数控车床通常设计有两个在同一轴线上的主轴,还会再配置一个附加回转刀架,可同时对不同工件进行加工,也可同时加工相同工件,大大提高了机床的加工能力。若配备机械手,可实现工件的一次装夹,自动完成正反两端面加工,双主轴数控车床如图2-2所示。

三、车削中心

车削中心具有车削和铣削等复合功能。这种机床的回转刀架上配有带驱动装置的动力刀架系统,从而带动刀具作旋转切削运动;同时主轴控制系统具有旋转定位控制的 C 功能,可实现铣槽、铣面、钻孔、攻丝等加工。配有动力刀架的车削中心如图2-3所示。





工件安装在卡盘上，作旋转主运动；刀
具安装在刀架上，作切削进给运动。

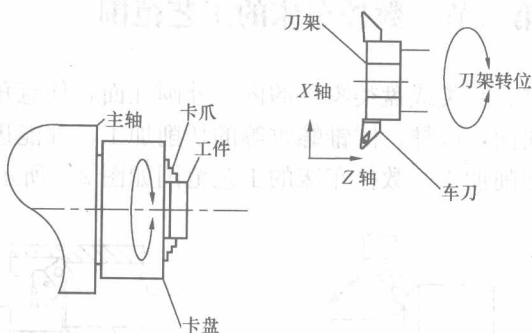


图 2-1 数控车床一般形式

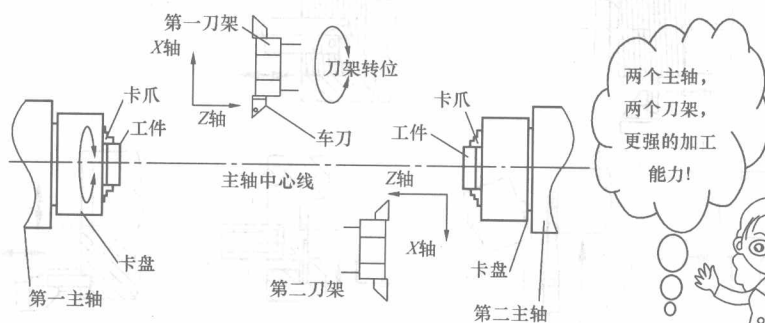


图 2-2 双主轴数控车床

