



世纪高职高专精品书系

数控加工编程 与CAM

SHUKONG JIAGONG BIANCHENG YU CAM

主 编 丁昌滔
副主编 胡晓东

浙江科学技术出版社

机械工程系列



世纪高职高专精品书系

浙江省高等教育重点教材

数控加工编程与CAM

主 编 丁昌滔

副主编 胡晓东

江苏工业学院图书馆
藏书章

浙江科学技术出版社

机械工程系列

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程与 CAM/丁昌滔主编. —杭州:浙江科学技术出版社,2008.3

世纪高职高专精品书系·机械工程系列

ISBN 978-7-5341-3260-5

I. 数… II. 丁… III. 数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 012547 号

丛 书 名 世纪高职高专精品书系·机械工程系列

书 名 数控加工编程与 CAM

主 编 丁昌滔

副 主 编 胡晓东

出版发行 浙江科学技术出版社

杭州市体育场路 347 号 邮政编码:310006

联系电话:0571-85152486

E-mail: ycy@zkpress.com

排 版 杭州大漠照排印刷有限公司

印 刷 杭州浙大同济教育彩印有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 16.75

字 数 385 000 印数 0 001—2 000 册

版 次 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5341-3260-5 定价 28.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现倒装、缺页等印装质量问题,本社负责调换)

丛书策划 郑汉阳 策划组稿 张祝娟

责任编辑 余春亚 封面设计 金 晖

责任校对 张 宁 责任印务 李 静

前 言

本书是根据教育部数控技能型紧缺人才培养方案的指导思想和国家职业技能鉴定标准,结合编者多年从事数控加工技术领域和工程实践的经验编写而成的。

数控加工技术是集机械制造技术、计算机技术、微电子技术、现代控制技术、网络信息技术、机电一体化技术于一体的多学科高新制造技术,数控加工技术水平的高低、数控机床的拥有量已经成为衡量一个国家工业现代化的重要标志。目前,数控加工技术已广泛应用于制造业,许多企业改造或引进了数控加工生产线,急需大批能熟练掌握数控机床编程、操作、维护的工程技术人员。

本书针对数控加工技术的使用,详细介绍了数控加工编程的基础知识,数控车床、数控铣床和加工中心的加工工艺、程序编制和加工操作等内容。同时,本书还详细介绍了典型CAD/CAM 软件的应用、CAD 造型、模具设计、数控加工等方面的知识。

本书为浙江省普通高等教育重点建设教材。本书由丁昌滔担任主编,胡晓东担任副主编。其中,第一章由丁昌滔编写,第二章的第一节由贾春扬编写,第二章的第二至第四节由杜海清编写,第三章的第一至第三节由胡晓东编写,第三章的第四节由陈妙芳编写,第四章由王华锋编写,第五章的第一节和第二节由范伟编写,第五章的第三节由王卫东编写。本书是编者多年工作实践和教学经验的结晶,是浙江工业职业技术学院老师的集体智慧和成果。

本书特别适应中等和高等职业技术学校数控、模具、机电类专业学生学习数控加工技术或参加国家职业技能鉴定等级考试者使用,也可作为数控加工技术工人的培训教材。

由于编者水平有限,书中难免有谬误及欠妥之处,恳请读者批评指正。

编著者

2007 年 10 月



目 录

第一章 数控机床及加工程序编制概述.....	1
第一节 数控机床加工概述.....	1
第二节 数控机床的坐标系.....	4
第三节 数控加工程序的基本概念.....	5
习 题	10
第二章 数控车床加工程序的编制	11
第一节 数控车床加工工艺分析	11
第二节 数控车床程序编制及实例分析	19
第三节 数控车床的基本操作及步骤	36
第四节 数控车床操作实训	39
习 题	49
第三章 数控铣床加工程序的编制	53
第一节 数控铣床加工工艺分析	53
第二节 数控铣床程序的编制及实例分析	67
第三节 数控铣床的基本操作步骤.....	108
第四节 数控铣床操作实训.....	115
习 题.....	125
第四章 加工中心程序的编制.....	130
第一节 加工中心加工工艺分析.....	132
第二节 加工中心程序编制及实例分析.....	136
第三节 加工中心的基本操作步骤.....	155



第四节 加工中心操作实训.....	157
习 题.....	167
第五章 CAD/CAM 技术的应用	171
第一节 CAD/CAM 技术概述	171
第二节 典型 CAD/CAM 软件介绍	175
第三节 CAD/CAM 应用举例——外壳加工实例	178
习 题.....	258
参考文献.....	260

第一章 数控机床及加工程序编制概述

第一节 数控机床加工概述

一、数控加工和数控机床

数控加工是指对产品、零件的制造过程利用计算机进行数字控制的加工,是机械制造中的先进加工技术。数控加工的广泛运用给机械制造业的生产方式、产品结构、产业结构都带来了深刻的变化,是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。

采用数控加工,离不开必要的硬件设施——数控机床。数控机床为数控加工提供了必要的加工环境,它是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物,是典型的机电一体化产品。在数控机床上,工件加工全过程由数字指令控制,它不仅能提高产品的质量,提高生产效率及降低生产成本,还能大大改善工人的劳动条件。因此,发展数控机床是当前我国机械制造业技术改造的必由之路,是未来工厂自动化的基础。

二、数控机床的分类

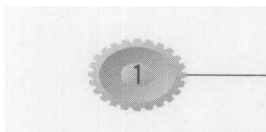
数控机床的分类有很多种形式,主要有按加工方式和工艺用途分类、按加工联动轴数分类、按控制方式分类、按运动方式分类等。下面主要介绍按加工方式和工艺用途分类的数控机床:

1. 数控车床

数控车床是目前使用比较广泛的数控机床,主要用于轴类、盘类和套类等回转体工件的加工,能自动完成内外圆面、柱面、锥面、圆弧、螺纹等工序的切削加工,并能进行切槽、钻、扩、铰孔等加工。典型数控车床如图 1-1 所示,其典型加工零件如图 1-2 所示。

2. 数控铣床

数控铣床可以进行平面铣削、平面型腔铣削、外形轮廓铣削、三维及三维以上复杂型面铣削,还可进行钻、扩、铰、镗、螺纹切削等孔加工。典型数控铣床如图 1-3 所示,其典型加工零件如图 1-4 所示。



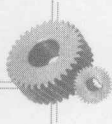


图 1-1 典型数控车床

图 1-2 数控车床典型加工零件

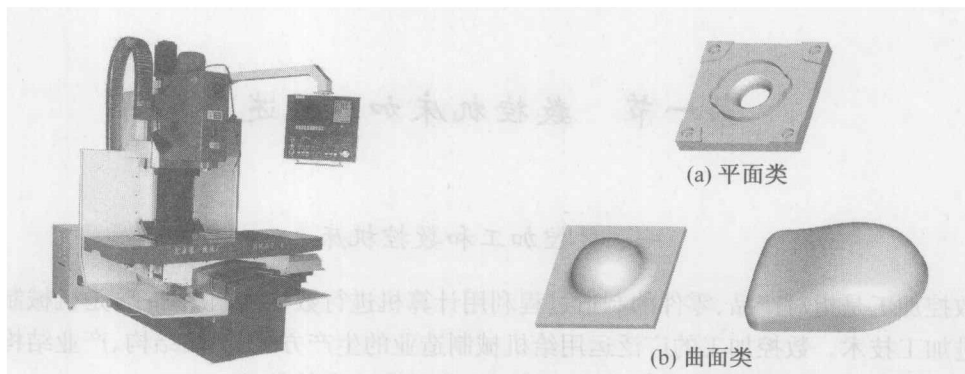


图 1-3 典型数控铣床

图 1-4 数控铣床典型加工零件

除了上述几种常用的普通数控机床以外,还有数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床、数控线切割和数控电火花等数控机床。这些数控机床在自动化程度上还不够完善,刀具的更换与零件的装夹仍需人工来完成,加工效率较低。

3. 加工中心

加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床,它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合在一起,零件在一次装夹后,可以将其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰及攻螺纹等多工序加工。由于加工中心能有效地避免因多次安装造成的定位误差,所以它适用于产品更换频繁、零件形状复杂、精度要求高、生产批量不大而生产周期短的产品。典型立式加工中心如图 1-5 所示。

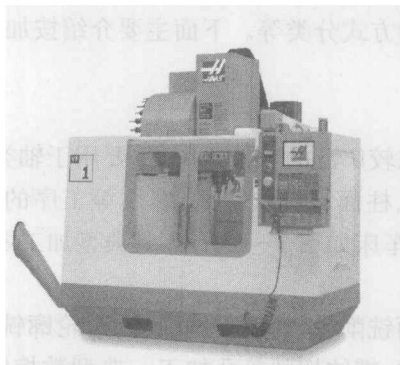
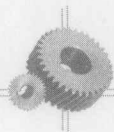


图 1-5 立式加工中心



三、数控机床的组成及工作原理

数控机床由程序及程序载体、输入装置、数控装置(CNC)、伺服驱动及位置检测、辅助控制装置、机床本体等几部分组成,如图 1-6 所示。

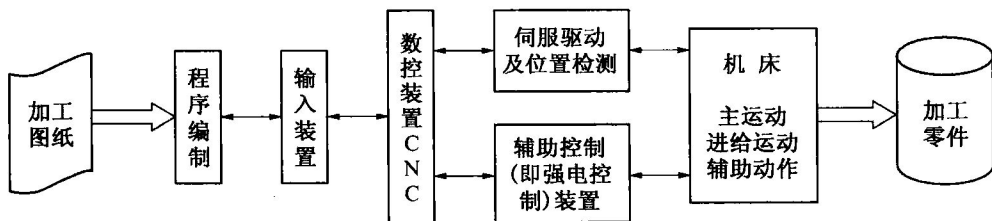


图 1-6 数控机床工作原理

1. 程序及程序载体

数控程序是数控机床零件自动加工执行的工作指令。它包括:零件在机床上的安装位置;刀具与零件相对运动的尺寸参数;零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。编程人员得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标准数控代码,按规定的方法和格式编制成数控加工程序。对于形状复杂的零件,则借助于计算机辅助设计与制造(CAD/CAM 技术)软件完成零件程序的编制。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序可通过键盘用手工方式直接输入数控系统,也可由编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工(数控系统内存较小时),即在线加工;另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从内部存储器中逐段地调出并进行加工。

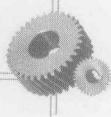
3. 数控装置(CNC)

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制机床各部分工作,使其进行规定的有序运动和动作。

4. 驱动装置和位置检测装置

驱动装置接受来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件,以加工出符合图样要求的零件。因此,它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器(含功率放大器)和执行机构两大部分。目前,大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到机床的数控装置之后,数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按照指令设定值运动。



5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过编译、逻辑判别和运动,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启动、停止,工件和机床部件的松开、夹紧,分度工作台转位分度等开关辅助动作。

6. 机床本体

数控机床的机床本体是加工运动的实际机械部件,主要包括:主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等。

第二节 数控机床的坐标系

机床的运动形式是多种多样的,为了描述刀具与零件的相对运动,简化编程,我国根据 ISO 标准统一规定了数控机床坐标轴的代码及其运动方向。

一、标准坐标系

1. 命名原则

由于机床运动结构设计的不同,有些机床是刀具运动,零件不动;有些机床则是刀具固定,零件运动等。为了编程方便,一律规定为零件固定不动,刀具运动,并且将刀具远离工件的方向规定为坐标轴的正方向。

2. 标准机床坐标系

标准机床坐标系主要有 X、Y、Z 三个基础轴,并附一些旋转轴。X、Y、Z 坐标轴的相互关系由右手笛卡儿直角坐标系决定。伸开右手,拇指、食指、中指相互垂直,拇指为 X 轴的正方向,食指为 Y 轴的正方向,中指为 Z 轴的正方向,如图 1-7 所示。也可由右手螺旋法则来判别,如图 1-7 所示中。三个旋转坐标轴 A、B、C 相应表示其轴线平行于 X、Y、Z 的旋转运动,其正方向根据右手螺旋法则确定。

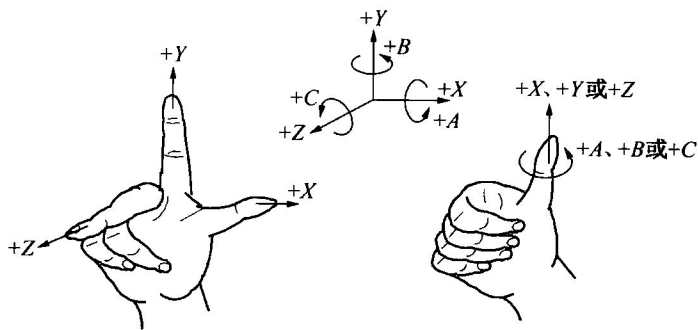
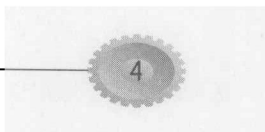
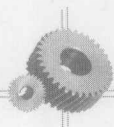


图 1-7 笛卡儿坐标系





二、机床坐标轴的确定

在数控机床上,机床的动作是由数控装置来控制的。为了确定数控机床上运动的位移和运动方向,必须在机床上建立机床坐标系来作为机床运动位移和方向的基准,这个坐标系被称为机床坐标系。

在确定机床坐标轴时,一般先确定 Z 轴,然后确定 X 轴和 Y 轴,最后确定其他轴。JB3051—82 标准中规定,机床运动的正方向是指增大工件和刀具之间距离的方向。

1. Z 轴

一般规定平行于机床主轴轴线的坐标轴为 Z 轴,其正方向为刀具离开工件的方向。如图 1-8 所示。

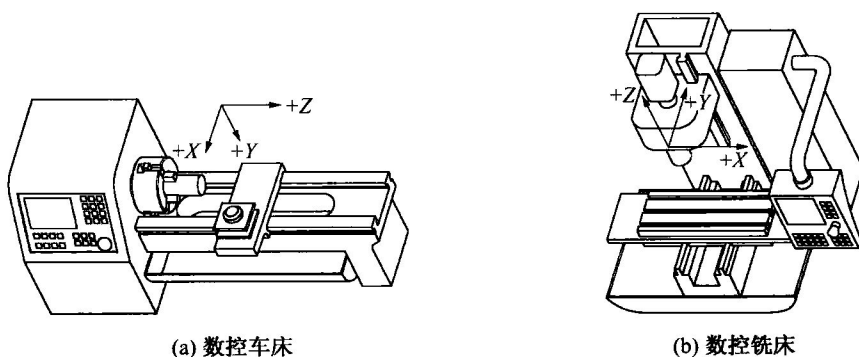


图 1-8 机床坐标系的确定

2. X 轴

X 轴是水平的,平行于工件的装卡面,且垂直于 Z 轴,这是在刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。对于工件旋转的机床(如车床、磨床等), X 坐标的方向是在工件的径向上,且平行于横滑座;刀具离开工件旋转中心的方向为 X 轴正方向。对于刀具旋转的机床(铣床、镗床、钻床等),如 Z 轴是垂直的,当从刀具主轴向立柱看时, X 运动的正方向指向右;如果 Z 轴是水平的,当从主轴向工件方向看时,主轴的正方向指向右。

3. Y 轴

Y 轴方向根据已确定的 Z 轴、 X 轴方向,用右手笛卡儿坐标系来确定。

4. 旋转运动

围绕坐标轴 X 、 Y 、 Z 旋转的运动,分别用 A 、 B 、 C 表示,它们的正方向用右手螺旋法则判定。

第三节 数控加工程序的基本概念

一、数控加工程序编制的方法

数控机床加工所需要的程序是按数控系统一定格式并以代码的形式编制的,一般称为数控加工程序。数控加工程序的编制方法目前主要有两种:手工编程和 CAD/CAM 技术

自动编程。

1. 手工编程

编程人员利用一般的计算工具,通过数学处理计算加工轮廓各节点的坐标,并利用程序代码编制刀具轨迹的方法,称为手工编程。一般来说,对几何形状不太复杂的回转体类零件、盘类零件、套类零件、平面类零件和数学函数关系比较容易确定的规则面类零件,所需的加工程序不长、计算量不大的程序编制,用手工编程比较合适。这种方式比较简单,很容易掌握,适应性比较大,但耗费时间较长,容易出现错误,无法胜任复杂形状零件的编程。手工编程是学习数控编程的基础,对数控操作人员来说是必须要掌握的。

2. CAD/CAM 技术自动编程

利用 CAD/CAM 计算机辅助软件(如 Pro/Engineer、UG、MasterCAM、Cimatron 等)进行零件的设计、分析、数学处理、模拟加工及其程序的生成,称为 CAD/CAM 技术自动编程。这种方法目前被广泛用于制造业。由于计算机可自动绘制出刀具中心运动轨迹,不需要人为地处理数学关系和程序的编制,所以适合曲线轮廓、三维曲面等复杂型面零件程序的编制,如图 1-9 所示。该编程方式适应面广、效率高、程序质量好,但投资大,掌握起来比较困难。

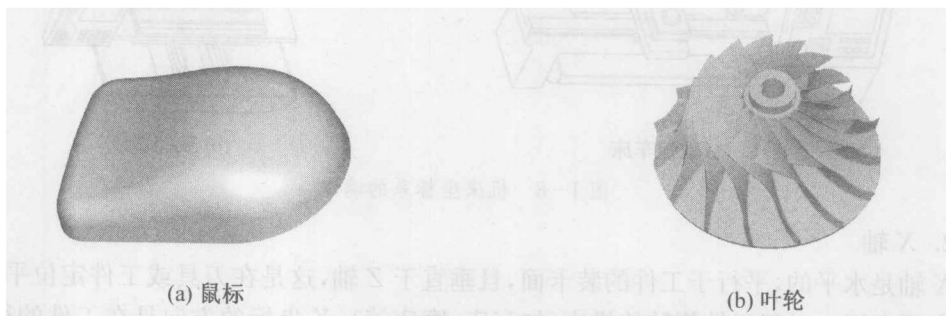


图 1-9 自动编程加工零件

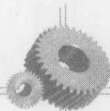
二、数控程序基本格式

1. 程序结构

一个完整的加工程序,一般由程序号、程序内容和程序结束三部分组成。

例如:

O0001;	程序号
N1 G90G54G00X0Y0;	第一程序段
N2 S800M03;	第二程序段
N3 Z100.0;	
N4 Z5.0;	
N5 G01Z-10.0F100;	
N6 G41X5.0Y5.0 D1 F200;	
.....	



N11 G40X0Y0;

N12 G00Z100.0;

N13 M05;

N14 M30;

程序结束

(1) 程序号。程序号是程序的开始符,供在数控装置存储器中的程序查找与调用。程序号由地址符和四位编号数字组成,如上例中的地址符“O”和编号数字 0001。不同的数控系统可能采用不同的地址符,如用“%”表示程序的开始。

(2) 程序内容。程序内容是整个数控程序的核心部分,记录了零件的加工指令,包括程序序号、准备功能指令、刀具运动轨迹坐标和各种辅助功能指令。

(3) 程序结束。一般用辅助功能指令 M30(程序结束并返回起点)或 M02(程序结束)来表示整个程序的结束。

注:可以用()来进行程序段内容注释或在分号“;”后面直接进行程序段的注释。例如:

N5 S600 M06;(主轴顺时针旋转)

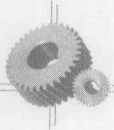
数控程序段中包含的主要指令字符见表 1-1。

表 1-1 地址码主要指令字符的意义

地址码	意 义	地址码	意 义
A	关于 X 轴的角度尺寸	N	程序段号
B	关于 Y 轴的角度尺寸	O(%)	程序编号
C	关于 Z 轴的角度尺寸	P	子程序编号
D	刀具半径的偏置号	Q	固定循环参数
F	进给速度的指定	R	圆弧半径或固定循环参数
G	准备功能	S	主轴旋转速度的指定
H	刀具长度偏置号	T	换刀指令
I	圆心坐标相对于静止坐标在 X 轴方向的代数和	U	平行 X 轴的第二尺寸
J	圆心坐标相对于静止坐标在 Y 轴方向的代数和	V	平行 Y 轴的第二尺寸
K	圆心坐标相对于静止坐标在 Z 轴方向的代数和	W	平行 Z 轴的第二尺寸
L	固定循环次数	X	X 轴方向的主运动坐标
M	辅助功能	Y	Y 轴方向的主运动坐标
		Z	Z 轴方向的主运动坐标

2. 程序段格式

一个程序段由一个或若干个指令字组成,每个指令字又由地址符和数字组成(数字前可



以有±号构成数值量)。指令字代表某一信息单元,它代表机床的一个位置或一个动作。我国 1985 年颁布了 JG3832—85 数控机床点位切削和轮廓加工用可变程序段格式。可变程序段,即指程序段的长度可变。一个程序段是以程序段的序号开始的,后跟功能指令,由结束符号结束(如用符号“;”或“LF”)。

可变程序段格式见表 1-2。

表 1-2 可变程序段格式

N.....	G.....	XYZ.....	F.....	S.....	T.....	M.....	LF.....
程序段号	准备功能	坐标字	进给功能	主轴转速功能	换刀功能	辅助功能	程序段结束符

例如:

N20 G90 G17 G54 G00 Z100 S800 M03;

值得注意的是,可变程序段中各字的先后排列顺序并不严格;不需要的字以及与上一程序段相同且继续使用的字可以省略;数据的位数可多可少,如 G01 等同于 G1。但同一性质的功能指令字不允许在同一程序段中出现。

(1) 程序段号(简称顺序号)。通常用标识符号“N”和数字表示,如 N02、N20 等。序号不一定连续,可适当跳跃。顺序号一般都以从小到大的顺序排列,在实际加工中不参与加工,只是为了便于程序的编程、检查及修改。现代 CNC 系统中,很多都不要求程序段号,即程序段号可有可无。

(2) 准备功能(简称 G 功能)。它由准备功能地址符“G”和数字组成,如 G01 表示直线插补功能。

(3) 坐标字。由坐标地址符(如 X、Y、Z 等)及数字组成,且按一定的顺序进行排列。坐标字表示刀具在指定的坐标轴上给定方向和数量运动到坐标字所表示的位置。例如,数值 100、100. 和 100. 0。有些数控系统会将 100 视为 100 μ m,而不是 100mm;写成 100. 或 100. 0 则均被认为是 100mm。

(4) 进给率 F。表示刀具轨迹速度,是所有移动坐标轴的速度的矢量和。坐标轴速度是刀具轨迹在坐标轴上的分矢量。进给率 F 在 G01、G02、G03 插补方式有效,并一直有效,直到被新的进给率 F 替代为止;而工作在 G00、G60 方式下,快速定位的速度是各轴的最高速度,与所编 F 无关。

进给率由进给地址符“F”及数字组成,数字表示所选定的进给速度,其单位取决于直线进给率 G94 (mm/min)和旋转进给率 G95(mm/r)指令的设定。在 F 值为整数时,可以省略小数点后的数据,如 F100。

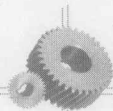
【例 1-1】 N10 G94 F200; 进给量毫米/分钟

.....

N20 S200 M03; 主轴旋转

N22 G95 F2. 5; 进给量毫米/转

注意: G94 和 G95 更换时要求写入一个新的进给率,且使用旋转进给率 G95 时只有主轴旋转才有意义。



同时,可以借助操作面板上的进给倍率按键在一定范围内进行进给倍率修调。当执行攻丝循环 G84、螺纹切削 G33 时,倍率开关失效,进给倍率固定在 100%。

(5) 主轴转速功能 S。由主轴地址符“S”及数字组成,数字表示主轴转数,单位为 r/min。主轴旋向与主轴运动起始点和终止点由 M 指令指定。

当 S 值为整数值时,可以省略小数点后的数据,如 S625。如果程序段中不仅有 M03 或 M04 指令,而且还写有坐标轴运动指令,则 M 指令在坐标轴运动之前生效。

【例 1-2】

N10 G01 X10 Y20 F200 S560 M03;(在 X、Y 轴运动之前,主轴以 560r/min 顺时针启动)

.....

N60 S1000; (主轴改变速度为 1 000r/min)

.....

N80 G00 Z100 M05; (Z 轴运动,主轴停止)

.....

S 是模态指令,S 功能只有在主轴速度可调节时有效。同时,S 也可以借助操作面板上的倍率按键在一定范围内进行倍率修调。

(6) 刀具功能 T。由地址符“T”及数字组成,用于刀具的选择。刀具的选择有如下两种方式:

① 用 T 指令直接更换刀具(如数控车床中常用的刀具转塔刀架)。

② 用 T 指令预选刀具,再配合 M06 换刀指令进行刀具的更换。

需要说明的是,T0 号没有刀具,有些系统定义为刀具还刀指令。

【例 1-3】 不用 M06 更换刀具:

N5 T1; (1 号刀具)

.....

N10 T12; (12 号刀具)

用 M06 更换刀具:

N5 T1 M06; (预选 1 号刀具,并执行刀具的更换,1 号刀具有效)

或

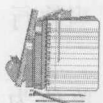
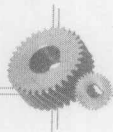
N5 T1; (预选 1 号刀具)

N10 M06; (执行刀具的更换,1 号刀具有效)

T 指令被调用时,同时调入刀补寄存器中的刀补值(刀补长度 H 和刀补半径 D)。T 指令为非模态指令,但被调用的刀补值一直有效,直到再次换刀调入新的刀补值。

(7) 辅助功能(简称 M 功能)。由辅助操作地址符“M”和两位数字组成。例如,M08 表示冷却液开。

(8) 程序段结束符 LF。表示程序段的结束。采用 EIA 标准代码时,结束符以硬回车表示;采用 ISO 标准代码时,用“LF”或“;”表示。



习 题

- 1.1 数控机床的分类有哪些,分别适合加工什么样的产品?
- 1.2 数控铣床与加工中心有什么区别?
- 1.3 数控机床的组成及工作原理是什么?
- 1.4 数控机床坐标系的命名原则是什么,如何确定?
- 1.5 数控加工程序的编制主要有哪几种方法?
- 1.6 一个完整的数控加工程序主要由哪几部分组成,各部分的主要功能是什么?

第二章 数控车床加工程序的编制

第一节 数控车床加工工艺分析

一、概 述

1. 数控车床的加工工艺范围

与普通车削一样,数控车削也是由工件(主轴)回转做主运动,刀具(刀架)沿纵向导轨或横向导轨做进给运动。这种切削成形运动的形式,决定了车削主要适宜于加工回转体零件。

随着机床制造技术水平的突飞猛进,各类全功能型数控车床、车削中心等设备的不断出现,许多在传统机械制造业中划属铣削、钻削、铰削的加工工艺逐渐以各种灵活的形式融入数控车床中来,使现代数控车床的加工工艺范围不断扩大。但就数控车床的特点而言,仍然适合于加工各种精度要求高、结构形状复杂、表面粗糙度要求高、尺寸一致性要求好、批量大小合适的轴、环、套、轮、盘等回转体零件,如图 2-1 所示。

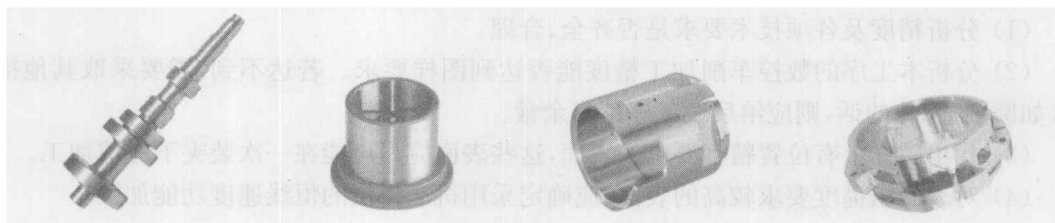


图 2-1 适合数控车床加工的常见零件

2. 数控车床加工工艺分析的主要内容

工艺分析是数控车削加工的前期准备工作。工艺制定得合理与否,对程序编制、加工效率、加工精度等都有重要影响。因此,应遵循一般的工艺原则,并结合数控车床的特点,认真而详细地制定好零件的数控车削加工工艺。

数控车削加工工艺包括以下主要内容:

- (1) 分析被加工零件的工艺性。
- (2) 拟定加工工艺路线,包括划分工序、选择定位基准、安排加工顺序和组合工序等。
- (3) 设计加工工序,包括选择工装夹具与刀具、确定走刀路径、确定切削用量等。