

MASTERCAM SHUKONG ZIDONG BIANCHENG
YU JICHUANG JIAGONG SHIPIN JIAOCHENG



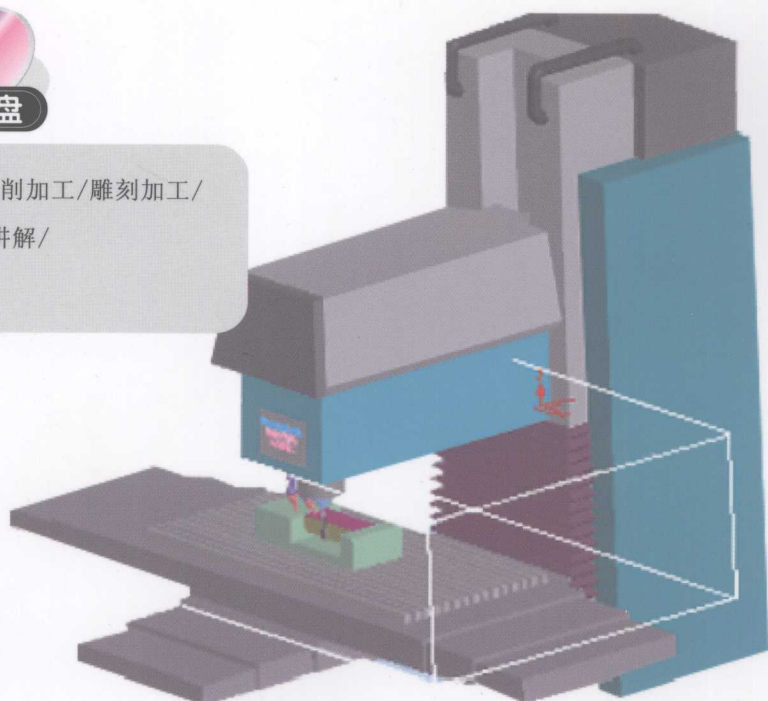
MasterCAM

数控自动编程 与机床加工视频教程

肖爱民 杨建新 汪光远 编著



数控编程基础/车削加工/铣削加工/雕刻加工/
线切割加工/典型数控系统讲解/
典型实例CNC加工视频



化学工业出版社

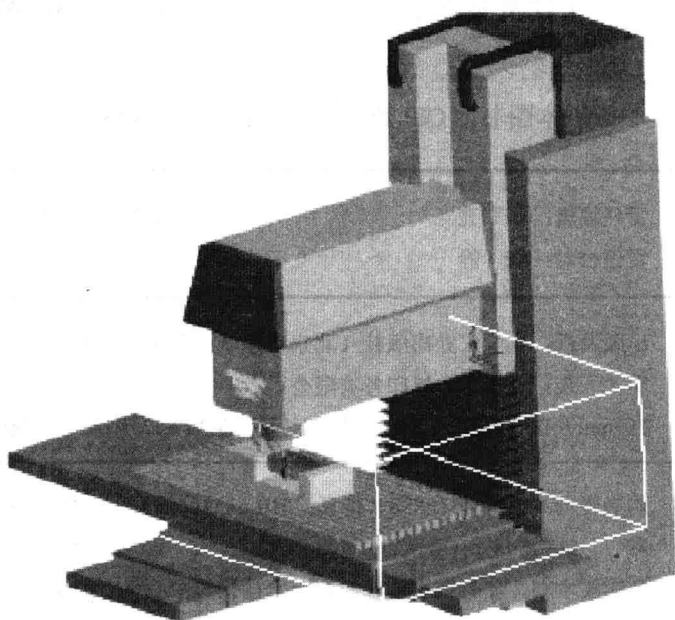
MASTERCAM SHUKONG ZIDONG BIANCHENG
YU JICHUANG JIAGONG SHIPIN JIAOCHENG



MasterCAM

数控自动编程 与机床加工视频教程

● 肖爱民 杨建新 汪光远 编著



内容简介 查阅地址



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

Master CAM 数控自动编程与机床加工视频教程 / 肖爱民,
杨建新, 汪光远编著. —北京: 化学工业出版社, 2009.1

ISBN 978-7-122-03951-4

I. M… II. ①肖…②杨…③汪… III. 模具-数控机床-
加工-计算机辅助设计-应用软件, MasterCAM-教材
IV. TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 168753 号

责任编辑: 李军亮

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 陈 静

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 21¼ 字数 547 千字 2009 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

MasterCAM

前言

数控机床是 20 世纪 70 年代发展起来的一种自动加工设备,数控机床按照预先编写好的数控程序进行零件加工,因此在数控机床的使用过程中,数控编程是一项非常重要的工作。数控编程分为手工编程和自动编程,手工编程只用于一些简单的零件,复杂的零件一般都使用自动编程,而 MasterCAM 是众多自动编程软件中的佼佼者。

MasterCAM 软件是美国 CNCSoftware.INC 开发的 CAD/CAM 系统,是一款经济实用的软件系统,可以高效率地编写数控程序。其软件功能模块众多,包括设计、数控铣、数控车、电火花/线切割等模块,对硬件的要求不高,使用、安装都很方便,在美国、日本、德国等工业大国普遍使用。MasterCAM 为全球 PC 级 CAM,是工业界及学校广泛采用的 CAD/CAM 系统。

本书以 MasterCAM x10 为基础,采用由浅入深的讲述方法,循序渐进地介绍了 MasterCAM x10 各加工模块的使用方法。由于 MasterCAM 生成的数控程序不能在实际的数控机床上使用,为了解决这个问题,本书详细讲解了如何自定义后处理程序,如何根据特定的数控系统修改由 MasterCAM 自动生成的数控程序。

本书将编程与实际加工相结合。在实际加工部分,讲解了车刀的类型及选择,并以 Simens 802C 和 FUNAC 0iM 两种数控系统为对象,详细介绍了控制面板各按键的功能,以及对刀方法。同时从工厂选择了三个典型零件,分别讲解线切割、数控车和数控铣操作。在讲解时先使用 MasterCAM 生成数控程序,然后利用自定义的后处理程序生成数控程序,使用模拟加工软件验证数控程序的准确性,并送到数控机床进行实际加工,这个过程被做成视频文件,读者可以通过随书光盘观看和学习这三个零件的实际加工操作过程。

本书结构安排合理,内容翔实,实例丰富,包含了大量的实例详解,使读者在学习相关内容后能通过实例学习牢固地掌握相关内容。

本书可供从事数控加工的技术人员以及大中专院校相关专业师生参考学习。

本书由肖爱民、杨建新和汪光远编写,其中,杨建新是江苏大学附属工厂的线切割机操作技师,汪光远为附属工厂的数控编程工程师。光盘中的线切割操作由杨建新完成,车削和铣削视频由附属工厂数控教学组相关技师完成。参加本书编写的人员还有毛卫平、潘海彬、刘珍、戴亚春、任国栋、沈春根、赵峰、杨德勇、郭子刚、吴莹、顾红霞、李娟、陈建华、邹俊红、陈敏、孙国辉、陆繁、刘中华、章再俊、付永忠、朱江、李秀明、王文军、李文超、丁华等,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,恳请读者批评指正。

MasterCAM

目 录

第1章 数控编程基础知识 1

- 1.1 数控机床基本概念 1
 - 1.1.1 数控机床以及数控系统 1
 - 1.1.2 数控机床分类 2
 - 1.1.3 数控机床的坐标系 3
- 1.2 数控编程与工艺参数 7
 - 1.2.1 数控编程步骤 7
 - 1.2.2 切削用量的选择 8
- 1.3 数控加工工艺过程 11
 - 1.3.1 数控加工工艺分析 11
 - 1.3.2 数控加工工艺路线设计 12
- 1.4 刀具材料 13
 - 1.4.1 刀具材料基本性能 13
 - 1.4.2 刀具材料的类型 14
- 1.5 数控车床车刀 16
 - 1.5.1 数控车床刀具类型 16
 - 1.5.2 可转位刀片型号 17
- 1.6 数控铣床刀具 19
- 1.7 数控程序 22
 - 1.7.1 程序结构 22
 - 1.7.2 车削指令介绍 23
 - 1.7.3 数控铣削指令介绍 29

第2章 MasterCAM 二维车削加工 33

- 2.1 车床加工基础知识 33
 - 2.1.1 数控车床组成 33
 - 2.1.2 数控车床适合加工的零件 34
- 2.2 外圆车削 35
 - 2.2.1 粗车外圆 35
 - 2.2.2 精车外圆 45
- 2.3 端面车削 47
- 2.4 钻孔加工 51
- 2.5 车削螺纹 60
- 2.6 切槽车削加工 65
- 2.7 立轴加工实例 68
 - 2.7.1 车端面 68
 - 2.7.2 粗车外圆 71
 - 2.7.3 精车外圆 74
 - 2.7.4 切槽 76
 - 2.7.5 螺纹加工 78
 - 2.7.6 掉头车端面 80
 - 2.7.7 钻孔 83

第3章 2.5轴加工 85

- 3.1 孔加工 85
 - 3.1.1 钻孔刀具路径的创建 85
 - 3.1.2 钻孔加工的程序设定 88
 - 3.1.3 发动机箱体孔加工实例 91

3.2 雕刻加工	97	3.3.1 挖槽加工参数	117
3.2.1 雕刻相关概念	97	3.3.2 粗加工/精加工参数	119
3.2.2 雕刻加工参数设置	105	3.3.3 夹具体加工	122
3.2.3 MasterCAM Art 浮雕加工	107	3.4 端面铣削加工	127
3.2.4 充电器底座模具 雕刻加工	114	3.4.1 端面铣削的操作步骤	127
3.3 挖槽加工	116	3.4.2 加工参数设置	127
		3.4.3 夹具体表面加工	128

第4章 曲面加工

4.1 曲面加工的共有参数设置	131	4.2.4 曲面流线	156
4.1.1 曲面选择对话框	131	4.2.5 等高外形	163
4.1.2 工件形状选择对话框	132	4.3 曲面精加工	169
4.1.3 切削深度	133	4.3.1 平行铣削精加工	169
4.1.4 间隙设定	135	4.3.2 平行陡坡式精加工	172
4.1.5 高级设置	138	4.3.3 残料清角精加工	175
4.1.6 曲面参数标签	139	4.3.4 放射状精加工	180
4.2 曲面粗加工	141	4.3.5 投影精加工	183
4.2.1 平行铣削	141	4.3.6 浅平面精加工	187
4.2.2 放射状加工	148	4.3.7 交线清角精加工	190
4.2.3 投影加工	153	4.3.8 环绕等距精加工	193

第5章 刀具路径管理

5.1 刀具路径管理器	197	5.2 后置处理	207
5.1.1 刀具路径管理器概述	197	5.2.1 控制器定义	207
5.1.2 Tool Settings (机床 设置)	198	5.2.2 机床管理	215
5.1.3 Files (文件) 标签	199	5.3 创建自定义后处理文件	218
5.1.4 Stock Setup (毛坯 设置)	200	5.3.1 MasterCAM 后处理 文件	218
5.1.5 Safety Zone (安全 区域)	205	5.3.2 SIMENS 802C 后处理 文件创建实例	221

第6章 标牌雕刻加工

6.1 创建标牌 Art 模型	231	6.2.1 创建刀具路径	234
6.2 创建刀具路径并模拟加工	234	6.2.2 模拟加工	235

第7章 手柄车削加工 239

- 7.1 加工工艺分析 239
- 7.2 机床介绍 240
 - 7.2.1 控制面板介绍 240
 - 7.2.2 屏幕划分 242
 - 7.2.3 开机步骤及回参考点 243
 - 7.2.4 创建新刀具及对刀 245
- 7.3 编制数控程序 249
 - 7.3.1 粗车外圆 249
 - 7.3.2 精车外圆 252
 - 7.3.3 车槽 253
 - 7.3.4 创建倒角刀具路径 256
 - 7.3.5 创建倒圆角刀具路径 257
- 7.4 生成数控程序 259
- 7.5 数控加工 262
 - 7.5.1 Simens 802C 开机及安装刀具 263
 - 7.5.2 调入数控程序 267
 - 7.5.3 对刀 268
 - 7.5.4 模拟加工 273

第8章 线切割加工 275

- 8.1 线切割相关知识 275
 - 8.1.1 电火花线切割加工原理 275
 - 8.1.2 电火花线切割机床 278
 - 8.1.3 电火花线切割加工工艺 286
 - 8.1.4 电火花线切割机床的维护与保养 295
- 8.2 编制数控程序 296

第9章 雕刻机滑座加工 301

- 9.1 零件加工工艺分析 301
- 9.2 创建零件模型 302
- 9.3 编制加工程序 308
 - 9.3.1 粗铣底面 308
 - 9.3.2 创建钻孔刀具路径 312
- 9.4 FUNAC 0im 机床介绍 316
 - 9.4.1 机床控制面板介绍 316
 - 9.4.2 开机和回零点 319
 - 9.4.3 移动坐标轴 319
 - 9.4.4 启停主轴 320
 - 9.4.5 加工程序 320
- 9.5 数控加工实例 321
 - 9.5.1 读入数控程序 322
 - 9.5.2 修改钻孔数控程序 326
 - 9.5.3 修改底面粗铣数控程序 328
 - 9.5.4 创建刀具 330
 - 9.5.5 铣刀对刀并加工 332
 - 9.5.6 钻头对刀并加工 337

第1章

数控编程基础知识

本章讲述数控编程基础知识，内容包括数控机床坐标系、数控加工工艺、刀具等方面的知识，本章内容是学习后续章节的基础。通过本章的学习，读者能学习到以下知识：

- ☐ 数控机床基本概念
- ☐ 各种不同数控机床坐标系定义
- ☐ 数控编程以及工艺参数选择
- ☐ 刀具材料
- ☐ 车刀和铣刀结构
- ☐ G 代码的结构以及含义

1.1 数控机床基本概念



1.1.1 数控机床以及数控系统

数控机床是一种装有程序控制系统的自动化机床，该系统称为“数控系统”，英文名称为 NC (Numerical Control)。数控系统能够处理使用符号表示的程序，具体讲，就是将程序表示的刀具轨迹，通过译码、运算，从而实现控制刀具与工件的相对运动，然后加工出所需要的零件。

(1) 数控机床的工作原理

首先按照零件和工艺要求编制数控加工程序，然后将加工程序输入到数控装置，最后通过数控装置控制机床主轴运动、进给运动、更换刀具、工件的加紧、冷却和润滑泵开关，使刀具、工件和其他辅助装置严格按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作，从而加工出符号图纸要求的零件。

(2) 数控机床的组成

现代机床采用计算机作为控制系统，其组成如图 1-1 所示，由图可见，数控机床由 CNC 系统、机床主机及辅助装置组成。

数控机床的核心为 CNC 装置，数控装置的基本功能如下所述。

- 输入，主要指将零件加工程序及各种参数输入到计算机。
- 插补，插补是根据给定的数学函数，例如线性函数、圆弧函数或高次函数，在理想的轨迹或轮廓上已知点之间，确定一些中间点。CNC 插补功能主要由软件完成，主要有两种方法：脉冲增量法和数字增量法。

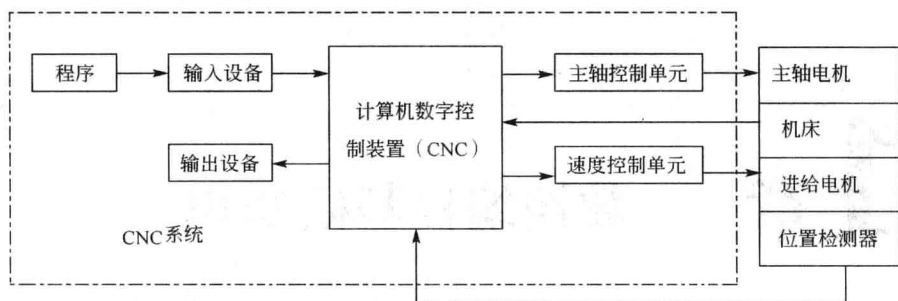


图 1-1 数控机床组成框图

■ 伺服控制，将计算机送出的位置进给脉冲或进给速度指令，经变换和放大后转化为伺服电机的转动，从而带动机床工作台移动。



1.1.2 数控机床分类

数控机床可以按照不同方式进行分类，可以按照刀具相对于工件轨迹、伺服系统控制方式、加工方式进行分类。

(1) 按照刀具相当于工件轨迹

按照这种分类方法，可以将数控机床分为两大类。

① 点位控制 这类机床只能控制工作台从一个位置精确移动到另外一个位置，在移动过程中不进行加工，各个运动轴可以同时移动，也可以依次移动。数控镗床、钻床和冲床均属于此类。

② 轮廓控制 这类机床的控制系统能够同时对两个以上的坐标轴进行连续控制，例如，2.5 轴、3 轴和 5 轴等。控制时不仅控制轮廓的起点和终点，而且还控制轨迹上每一点的速度和位置，例如车床、铣床、磨床、加工中心等。

(2) 按照伺服系统的控制方式

按照伺服系统的不同控制方式，可以将数控机床分为以下几类。

① 开环控制机床 这类机床不带位置检测反馈装置。开环控制系统的数控机床工作比较稳定，反应快，调试简单，但是控制精度低，例如雕刻机，如图 1-2 所示。

这类系统的控制框图如图 1-3 所示。

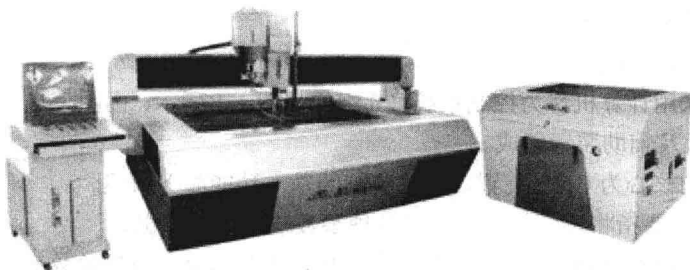


图 1-2 雕刻机



图 1-3 开环控制系统框图

② 闭环控制系统 这类机床带有位置检测反馈装置。位置检测装置按照在机床工作台上，用以检测机床工作台实际运行位置，并与 CNC 装置的指令位置进行比较，控制系统框图如图 1-4 所示。

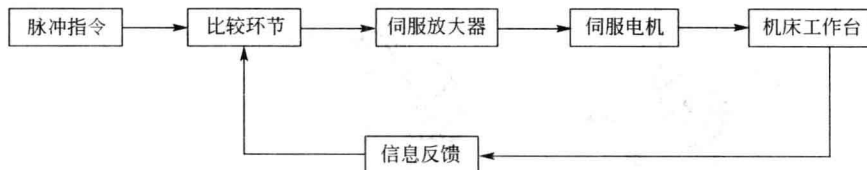


图 1-4 闭环控制系统

闭环控制系统由于能够减小，乃至消除由于传动部件制造、装配所带来的误差，因而可以获得很高的加工精度。

③ 半闭环控制系统 这种控制系统的位置检测元件不是测量工作台的实际位置，而是测量伺服电机的转角，进而推算得出工作台位移值，并输入比较环节，用比较的误差控制伺服电机工作，如图 1-5 所示。

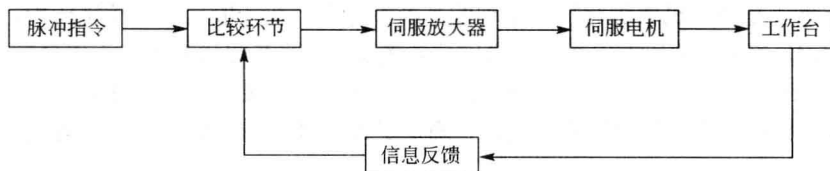


图 1-5 半闭环控制系统

这种用推算间接测量工作台位移，不能补偿数控机床传动链零件误差，因此成为半闭环控制系统。

(3) 按照加工方式

按照加工方式的不同，可以将数控机床分为以下几类。

- ① 金属切削类 属于此类的有数控车床、钻床、铣床、镗床、磨床和加工中心等。
- ② 金属成形类 该类包括数控折弯机、回转头压力机等。
- ③ 特种加工 对于特种加工数控机床、如线切割数控机床，对硬度很高的工件进行加工；如电火花成形机床，采用电火花原理对工件型腔进行加工。



1.1.3 数控机床的坐标系

在编写数控加工时，理解机床的坐标系是非常重要的。在国际标准中，数控机床坐标系和运动方向设定均以标准化。

(1) 坐标系确定原则

- ① 刀具相对于静止工件而运动的原则 该原则规定不论数控机床是刀具运动还是工件

运动, 编程时均以刀具的运动轨迹来编写程序, 这样可按照零件图的加工轮廓直接确定数控机床的加工过程。

② 标准坐标系的规定 标准坐标系是一个直角坐标系, 如图 1-6 (a) 所示, 按右手直角坐标系规定, 右手的拇指、食指和中指分别代表 X 、 Y 、 Z 直角坐标轴的方向; 如图 1-6 (b) 所示, 旋转方向按右手螺旋法则规定, 四指顺着轴的旋转方向, 拇指与坐标轴同方向为轴的正旋转, 反之为轴的反旋转。图中 A 、 B 、 C 分别代表围绕 X 、 Y 、 Z 坐标轴的正旋转方向。

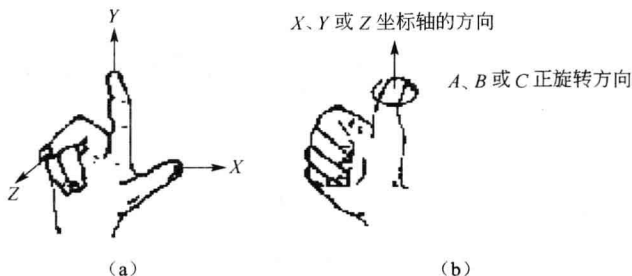


图 1-6 直角坐标系

③ 坐标轴正负的规定 使刀具与工件之间距离增大的方向规定为轴的正方向, 反之为轴的负方向。

(2) 数控铣床坐标系的规定

机床坐标系是指机床上设置的一个固定点, 即机床坐标系原点, 它在机床装配、调试时就已确定下来, 是数控机床进行加工运动的基准参考点。在一般立式数控铣床中, 原点为运动部件在 X 、 Y 、 Z 坐标轴反方向运动的极限位置的交点, 即在此状态下的工作台的左上角上。

确定机床坐标轴时, Z 轴表示传递切削动力的主轴, X 轴平行于工件的装夹平面, 一般取水平位置。根据右手直角坐标系的规定, 确定了 X 轴和 Z 轴的方向, 自然就能确定 Y 轴的方向。

① 立式铣床坐标系 如图 1-7 所示, Z 坐标轴与立式铣床的直立主轴同轴线, 面对主轴, 向右为 X 坐标轴的正方向, 根据右手直角坐标系的规定, 确定 Y 坐标轴的方向向前。

② 数控车床坐标系 Z 轴与车床的主轴同线, 刀具横向运动方向为 X 坐标轴的方向, 如图 1-8 所示。根据右手定则确定 Y 轴方向。

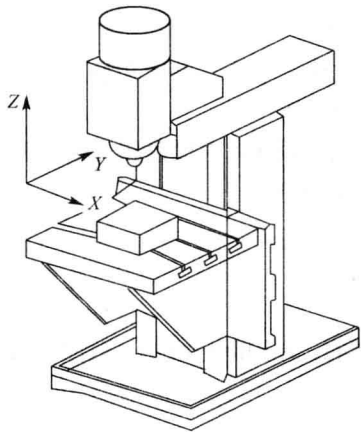


图 1-7 立式铣床坐标系

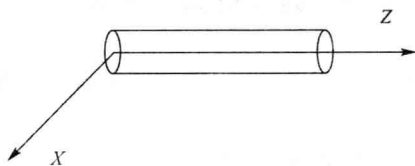


图 1-8 数控车床坐标系

③ 卧式铣床坐标系 如图 1-9 所示, Z 轴与卧式铣床的水平轴同轴, 而对主轴, 向左为 X 轴的正方向, 根据右手直角坐标系确定 Y 轴方向。

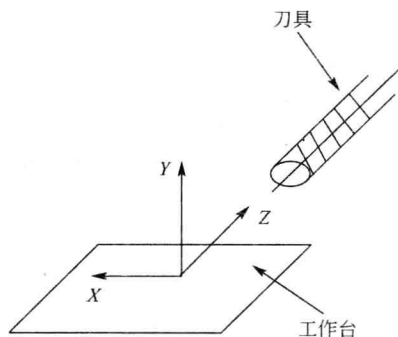


图 1-9 卧式铣床坐标系

(3) 坐标原点

① 机床原点 数控机床一般都有一个基准点, 称为机床原点或机床绝对原点, 是机床制造商在机床上的物理位置, 其作用是使机床与控制系统同步, 建立测量机床运动坐标的起始点。如图 1-10 所示的车床, 原点为卡盘端面与主轴轴线的交点。

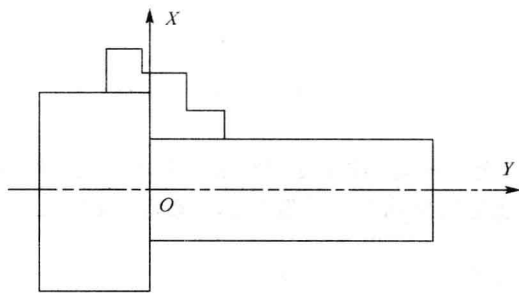


图 1-10 车床机床原点

② 机床参考点 与机床原点相对应的还有一个机床参考点, 机床参考点也是机床上的一个固定点, 一般不同于机床原点。

③ 程序原点 对于数控编程来说, 设定程序原点可以方便编程, 设定程序原点的原则为:

- 应尽可能选择在工件的设计基准和工艺基准上, 工件坐标系的坐标轴方向与机床坐标系的坐标轴方向保持一致;
- 应使编程时的运算最简单, 避免出现尺寸链误差;
- 引起的加工误差最小;
- 工件坐标系的原点容易找正, 在加工中便于测量。

在数控铣床中, 如图 1-11 所示, 原点一般设定在工件上表面。对于非圆轴类零件, 原点一般设定在工件上表面左前角处; 而对于圆轴类零件, 原点则一般设定在轴线与工件上表面

的交点处。

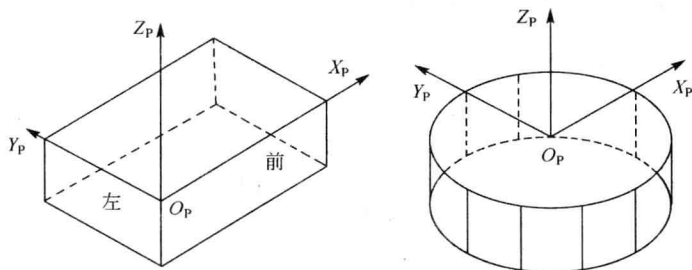


图 1-11 工件坐标系

在数控车床中，程序原点一般设定在工件的右端面与轴线的交点上，如图 1-12 所示。

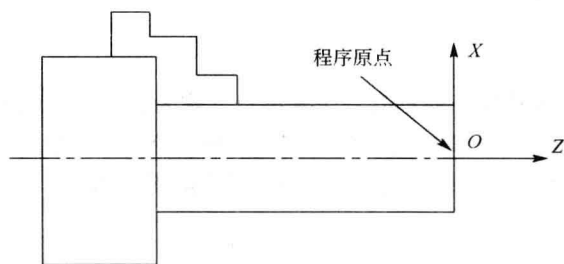


图 1-12 数控车床程序原点

提示：对于编程人员，一般只要知道工件上的程序原点就可以了。但对于机床操作者，必须十分清楚所选用数控机床上的各原点之间的关系。

(4) 绝对坐标和相对坐标

在坐标系中，描述运动点位置常用绝对值方式（绝对坐标）或增量方式（相对坐标）。绝对坐标描述方式是所有点的坐标值均从某一个固定坐标原点作为计算起点，这个坐标系称为绝对坐标系，如图 1-13 所示，图中 $X_A=50$, $Y_A=40$, $X_B=100$, $Y_B=80$ 。

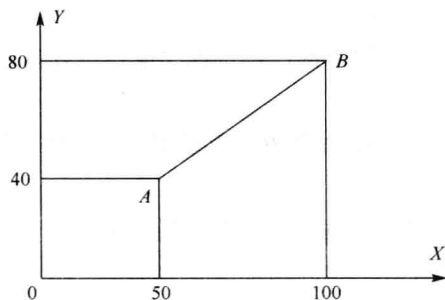


图 1-13 绝对坐标与相对坐标

相对坐标描述方式是运动轨迹的终点坐标是以起点坐标进行计算的,也就是终点的坐标是相对于起点进行计算的,如 $X_B=50$, $Y_B=40$ 。

知识重点: 大多数数控系统都以 G90 指令表示绝对坐标编程,以 G91 表示使用相对坐标编程,在一个加工程序中可以混合使用这两种坐标表示方法。

1.2 数控编程与工艺参数

数控加工一般步骤为,根据加工图纸、工艺参数、工艺过程和机床的规格编制加工程序,如何将程序输入数控系统,通过伺服系统控制刀具切削工件,编制加工程序是进行数控加工的第一个步骤,也是值得重视的一个环节。



1.2.1 数控编程步骤

零件加工程序编制就是将零件加工顺序,刀具与工件相对运动轨迹的尺寸数据,工艺参数(主轴速度、切削深度等),以及辅助操作(主轴正反转、刀具交换等)加工信息,用规定的代码,按照一定的格式编写成加工程序单,并将程序单上的内容输入 CNC 中,进行仿真、修正后,进行自动加工,数控编程的步骤如下所述。

(1) 分析零件图纸及工艺处理

分析零件图纸是工艺处理的依据。通过零件图纸分析得到诸如零件的形状、尺寸、精度及所用材料、毛坯形状和热处理方法等信息。对零件进行分析后,就可以进行工艺处理,确定零件的加工方案,确定该零件是否适合于在数控机床上加工;选用什么样的夹具,什么样的刀具;采用什么样的走刀路线;选用什么样的切削量等。

工艺处理涉及的问题很多,编程人员需要注意以下几点。

■ 确定加工方案,此时应该考虑数控机床使用的合理性及经济性,充分发挥数控机床的功能。

■ 夹具的选择和设计,要注意所选择的夹具能够迅速完成工件的定位和夹紧,以减少辅助时间。使用组合夹具,由于生产准备周期短、夹具可以反复利用,因此经济性好。此外,夹具应该便于安装,便于调整工件和机床坐标系的尺寸关系。

■ 正确选择编程原点和坐标系,对于数控机床来说,程序编制时,正确选择编程原点是非常重要的。

(2) 数学处理

数学处理即是根据零件的几何尺寸、加工路线,计算零件加工轨迹尺寸,以获得刀位数据。

对于加工简单的直线和圆弧,可以使用手工进行计算。对于复杂的曲面,可以使用 CAM 系统自动进行计算,例如 MasterCAM、UG、Pro/ENGINEER 等,其中 MasterCAM 是一款优秀的自动编程软件。

(3) 编写零件加工程序, 并进行程序校验

按照 CNC 系统规定的格式编制加工程序, 如果使用软件自动编程, 选择合适的后处理程序生成加工程序。

此时创建的程序还不能直接用于加工, 必须进行验证, 验证时有两种方法:

- 试切法, 常用的试切材料有铝、塑料和石蜡等;
- 对于 CAM 系统, 通过仿真检查程序正确性。

1.2.2 切削用量的选择

对于高效率的数控机床加工来说, 被加工材料、切削刀具、切削用量是三大要素。这些条件决定着加工时间、刀具寿命和加工质量。经济的、有效的加工方式, 要求必须合理地选择切削条件。

(1) 数控车床切削用量

切削用量选择是否合理, 对于能否充分发挥机床潜力与刀具切削性能, 实现优质、高产、低成本和安全操作具有很重要的作用。粗车时, 首先考虑选择一个尽可能大的切削深度 a_p , 其次选择一个较大的进给量 f , 最后确定一个合适的切削速度 v 。增大切削深度 a_p 可使走刀次数减少, 增大进给量 f 有利于断屑, 因此根据以上原则选择粗车切削用量对于提高生产效率, 减少刀具消耗, 降低加工成本是有利的。

精车时, 加工精度和表面粗糙度要求较高, 加工余量不大且较均匀, 因此选择精车切削用量时, 应着重考虑如何保证加工质量, 并在此基础上尽量提高生产率。因此精车时应选用较小(但不太小)的切削深度 a_p 和进给量 f , 并选用切削性能高的刀具材料和合理的几何参数, 以尽可能提高切削速度 v 。

① 切削深度 a_p 在工艺系统刚度和机床功率允许的情况下, 尽可能选取较大的背吃刀量, 以减少进给次数。当零件精度要求较高时, 则应考虑留出精车余量, 其所留的精车余量一般比普通车削时所留余量小, 常取 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。

② 进给量 f 进给量 f 的选取应该与背吃刀量和主轴转速相适应。在保证工件加工质量的前提下, 可以选择较高的进给速度 (2000 mm/min 以下)。在切断、车削深孔或精车时, 应选择较低的进给速度。当刀具空行程特别是远距离“回零”时, 可以设定尽量高的进给速度。

粗车时, 一般取 $f=0.3 \sim 0.8 \text{ mm/r}$, 精车时常取 $f=0.1 \sim 0.3 \text{ mm/r}$, 切断时 $f=0.05 \sim 0.2 \text{ mm/r}$ 。

③ 主轴转速 v

a. 光车外圆时主轴转速 光车外圆时主轴转速应根据零件上被加工部位的直径, 并按零件和刀具材料以及加工性质等条件所允许的切削速度来确定。

切削速度除了计算和查表选取外, 还可以根据实践经验确定。需要注意的是, 交流变频调速的数控车床低速输出力矩小, 因而切削速度不能太低。

切削速度确定后, 用公式 $n=1000v/\pi d$, 计算主轴转速 n (r/min)。表 1-1 为硬质合金外圆车刀切削速度的参考值。

如何确定加工时的切削速度, 除了可参考表 1-1 列出的数值外, 主要根据实践经验进行确定。

表 1-1 硬质合金外圆车刀切削速度的参考值

工件材料	热处理状态	$a_p=0.3\sim2\text{mm}$	$a_p=2\sim6\text{mm}$	$a_p=6\sim10\text{mm}$
		$f=0.08\sim0.3\text{mm/r}$	$f=0.3\sim0.6\text{mm/r}$	$f=0.6\sim0.1\text{mm/r}$
		切削速度 $(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$	切削速度 $(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$	切削速度 $(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$
低碳钢、易切钢	热轧	140~180	100~120	70~90
中碳钢	热轧	130~160	90~110	60~80
	调质	100~130	70~90	50~70
合金结构钢	热轧	100~130	70~90	50~70
	调质	80~110	50~70	40~60
工具钢	退火	90~120	60~80	50~70
灰铸铁	硬度 $\text{HBS}<190$	90~120	60~80	50~70
	硬度 $\text{HBS}=190\sim225$	80~110	50~70	40~60
高锰钢			10~20	
铜及铜合金		200~250	120~180	90~120
铝及铝合金		300~600	200~400	150~200
铸铝合金		100~180	80~150	60~100

注：切削钢及灰铸铁时刀具耐用度约为 60min。

b. 车螺纹时主轴的转速 在车削螺纹时，车床的主轴转速将受到螺纹的螺距 P （或导程）大小、驱动电机的升降频特性，以及螺纹插补运算速度等多种因素影响，故对于不同的数控系统，推荐不同的主轴转速选择范围。大多数经济型数控车床推荐车螺纹时的主轴转速 n （r/min）为

$$n\leqslant1200/P-k$$

式中 P ——被加工螺纹螺距，mm；
 k ——保险系数，一般取为 80。

此外，在安排粗、精车削用量时，应注意机床说明书给定的允许切削用量范围，对于主轴采用交流变频调速的数控车床，由于主轴在低转速时转矩降低，尤其应注意此时的切削用量选择。

(2) 数控铣床切削用量

① 切削用量的选择原则 如图 1-14 所示，铣削加工切削用量包括主轴转速（切削速度）、进给速度、背吃刀量和侧吃刀量。切削用量的大小对切削力、切削功率、刀具磨损、加工质量和加工成本均有显著影响。数控加工中选择切削用量时，就是在保证加工质量和刀具耐用度的前提下，充分发挥机床性能和刀具切削性能，使切削效率最高，加工成本最低。

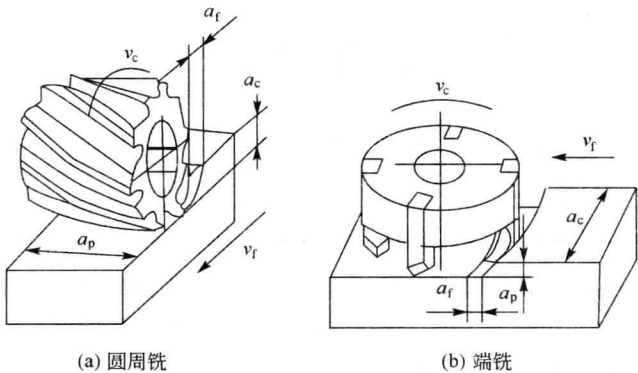


图 1-14 铣削加工切削用量

粗、精加工时切削用量的选择原则如下。

a. 粗加工时切削用量的选择原则 首先选取尽可能大的背吃刀量；其次要根据机床动力和刚性的限制条件等，选取尽可能大的进给量；最后根据刀具耐用度确定最佳的切削速度。

b. 精加工时切削用量的选择原则 首先根据粗加工后的余量确定背吃刀量；其次根据已加工表面的粗糙度要求，选取较小的进给量；最后在保证刀具耐用度的前提下，尽可能选取较高的切削速度。

② 切削用量的选择方法 为保证刀具的耐用度，铣削用量的选择方法是：先选取背吃刀量或侧吃刀量，其次确定进给速度，最后确定切削速度。

a. 背吃刀量（端铣）或侧吃刀量（圆周铣）的选择 背吃刀量 a_p 为平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸，单位为 mm。端铣时， a_p 为切削层深度；而圆周铣削时， a_p 为被加工表面的宽度。

侧吃刀量 a_c 为垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸，单位为 mm。端铣时， a_c 为被加工表面宽度；而圆周铣削时， a_c 为切削层的深度。

背吃刀量或侧吃刀量的选取主要由加工余量和对表面质量的要求决定。

■ 在工件表面粗糙度值要求为 $R_a 1.25 \sim 25 \mu\text{m}$ 时，如果圆周铣削的加工余量小于 5mm，端铣的如工余量小于 6mm，则粗铣一次进给就可以达到要求。但在余量较大，工艺系统刚性较差或机床动力不足时，可分两次进给完成。

■ 在工件表面粗糙度值要求为 $R_a 3.2 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 时，可分粗铣和半精铣两步进行。粗铣时背吃刀量或侧吃刀量选取同前。粗铣后留 0.5~1.0mm 余量，在半精铣时切除。

■ 在工件表面粗糙度值要求为 $R_a 0.8 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 时，可分粗铣、半精铣、精铣三步进行。半精铣时背吃刀量或侧吃刀量取 1.5~2mm；精铣时圆周铣侧吃刀量取 0.3~0.5mm，面铣刀背吃刀量取 0.5~1mm。

b. 进给量 f (mm/r) 与进给速度 v_f (mm/min) 的选择 铣削加工的进给量是指刀具转一周，工件与刀具沿进给运动方向的相对位移量；进给速度是单位时间内工件与铣刀沿进给方向的相对位移量，进给量与进给速度是数控铣床加上切削用量中的重要参数，根据零件的表面粗糙度、加工精度要求、刀具及工件材料等因素，参考切削用量手册选取或参考表 1-2 选择，工件刚性差或刀具强度低时，应取小值。铣刀为多齿刀具，其进给速度 v_f 、刀具转速 n 、刀具齿数 Z 及进给量 f 的关系为

$$v_f = fn = f_z Zn$$

式中 f_z ——铣刀每齿进给量，mm/Z。

表 1-2 铣刀每齿进给量

工件材料	每齿进给量			
	粗 铣		精 铣	
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	0.10~0.15	0.10~0.25	0.02~0.05	0.10~0.15
铸铁	0.12~0.20	0.15~0.30		

最大进给量受机床刚度和进给系统的性能限制。在选择进给量时，还应注意零件加工中的某些特殊因素。比如在轮廓加工中，选择进给量时，应考虑轮廓拐角处的超程问题。特别是在拐角较大、进给速度较高时，应在接近拐角处适当降低进给速度，在拐角后逐渐升速，以保证加工精度。