

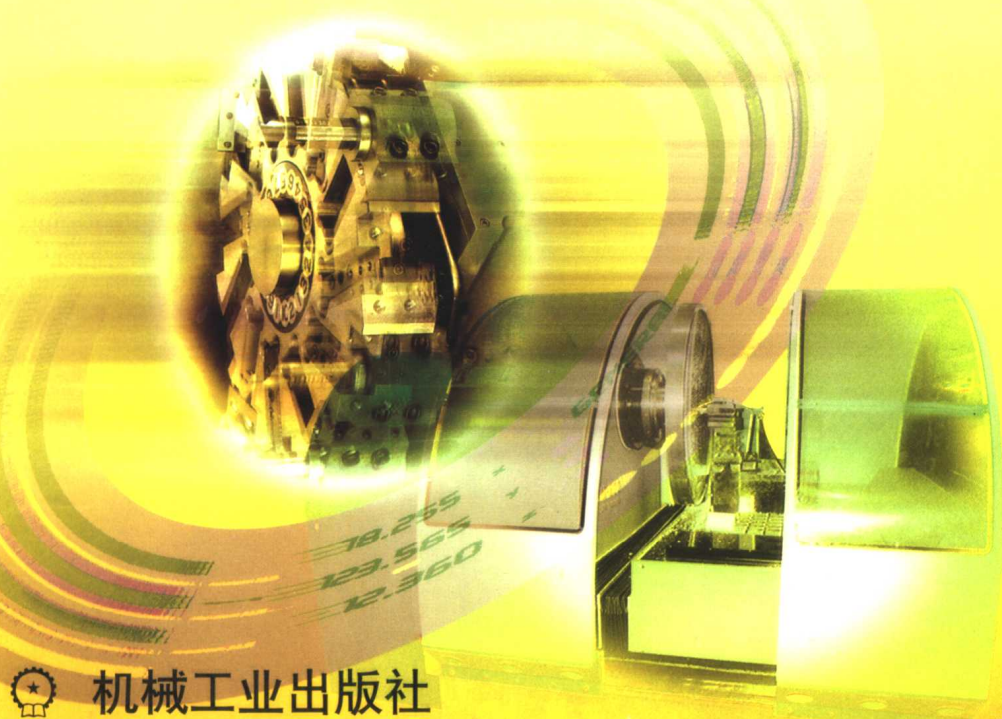


中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

模具数控加工技术

(模具设计与制造专业)

朱燕青 主编



机械工业出版社



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 朱燕青
副 主 编 唐 健
参 编 王吉林 张 伟 张尚义
责任主审 张世昌
审 稿 邓广敏 李 佳



机械工业出版社

本书全面系统地介绍了数控机床的工作原理、数控编程方法及应用等,着重叙述现代数控机床的编程和操作方法。主要内容包括数控车床、数控铣床、加工中心、数控线切割机床、数控电火花机床的编程方法和实例等。

本书不仅是中等职业学校模具设计与制造专业教材,也适合于从事数控机床操作、编程及应用的工程技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具数控加工技术/朱燕青主编. —北京:机械工业出版社, 2002.3
中等职业教育国家规划教材·模具设计与制造专业
ISBN 7-111-09959-1

I. 模... II. 朱... III. 模具—数控机床—加工—专业学校—教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 014798 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:倪少秋 版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·10.75 印张·261 千字

0 001—5 000 册

定价:13.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

现代模具的生产制造技术与数控机床技术的发展是密不可分的。随着现代模具精度、复杂程度的不断提高,普通机床设备已难以完成高精度的加工任务。传统的依靠划线—铣床成型—人工抛光的加工复杂型腔与型芯(拼块)的工艺方法,已不可避免地由 CAD/CAM 进行零件的实体建模—虚拟仿真加工—自动生成程序(后置处理)—数控机床完成加工的数字化加工技术所取代。可以说,数控机床已成为模具生产企业中必不可少的主要设备。由于现代数控技术的发展日新月异,机床的技术性能不断改进,新结构、新技术不断出现。本书力求能够反映这些新技术在模具加工中的应用,尽量做到先进性,实用性。在内容安排上首先介绍了数控机床的基本原理和程序编制的基本知识,为读者掌握数控加工技术奠定较好的基础;在此基础上,对常用的数控车床、数控铣床、加工中心、线切割机床等典型机床的编程和操作方法作了深入细致的讲述。书中所举的实例,基本上都是在实际编程和加工中取得成功的模具零件。

本书具有实用性和系统性较强的特点。对中职模具专业学生学习和掌握数控加工技术有较大的帮助,也可以作为企业技术人员的参考书。

全书由上海市机电工业学校朱燕青高级工程师主编,重庆工业职业技术学院唐健高级讲师为副主编,上海市机电工业学校的王吉林讲师、张伟讲师、张尚义讲师及余谧、金华等青年教师参加了编写工作。浙江机电职业技术学院的范建蓓副教授、徐志扬高级讲师参加了审稿。深圳市工业学校的姜家吉博士、四川工程职业技术学院的武友德副教授,福建职业技术学院的翁其金副教授、陈胤副教授等同志对本书提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

编者

2001 年 10 月

目 录

前言

第一章 数控加工概述	1
第一节 数控机床的基本概念	1
第二节 数控机床的分类	3
第三节 插补原理及 CNC 系统原理	4
第四节 数控加工技术的发展	6
思考题	7
第二章 数控编程基础知识	8
第一节 编程基础	8
第二节 数控程序中的功能指令	13
第三节 编制程序时的工艺处理	16
第四节 现代数控机床的性能	19
练习与思考题	23
第三章 数控车床的编程	24
第一节 数控车床概述	24
第二节 数控车床编程基础	25
第三节 基本编程方法	29
第四节 数控车床编程要点及举例	54
第五节 数控车床操作面板简介	60
练习与思考题	64
第四章 数控铣床的编程	65
第一节 数控铣床概述	65
第二节 数控铣床编程	69
第三节 数控铣床编程要点及举例	86

第四节 数控铣床操作	98
练习与思考题	103
第五章 加工中心的编程	105
第一节 加工中心	105
第二节 加工中心编程基础	112
第三节 基本编程方法	115
第四节 加工中心编程要点及举例	121
第五节 加工中心机床操作要点	126
练习与思考题	128
第六章 数控线切割机床的编程	130
第一节 数控线切割机床	130
第二节 数控线切割机床编程方法	132
第三节 线切割编程要点及举例	136
第四节 数控线切割机床的操作	138
练习与思考题	141
第七章 数控自动编程软件—— Cimatron 应用	143
第一节 Cimatron 软件介绍	143
第二节 特征建模	144
第三节 表面建模	150
第四节 数控加工	155
练习与思考题	162
参考文献	164

第一章 数控加工概述

第一节 数控机床的基本概念

一、数字控制的概念

数字控制简称数控或 NC (Numerical Control)，是指输入数控装置的数字信息来控制机械执行预定的动作。其数字信息包括字母、数字和符号。

数控机床是装有计算机数字控制系统的机床，如图 1-1 所示。数控系统能够处理加工程序、控制机床进行各种平面曲线和空间曲面的加工，使数控机床具有加工精度高、效率高和自动化程度高的特点。

数控机床加工零件的过程如图 1-2 所示。

1) 根据零件加工图样的要求确定相应的工艺路线。

2) 编制数控加工程序。简单的零件可用人工计算编程、复杂的零件要借助 CAD/CAM 技术。

3) 将程序输入到数控系统。过去曾经广泛使用纸带穿孔、通过光电阅读机将纸带上的信息输入数控装置的方法，目前这种方法已基本不再使用，取而代之的是 MDI (手动数据输入方式)，以及通过串行接口 RS-232 或 DNC 通信接口，将计算机编程的信息传送给数控装置。

4) 数控系统在事先存入的控制程序支持下，将代码进行处理和计算后，向机床的伺服系统发出相应的脉冲信号，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动，以进行零件的加工。

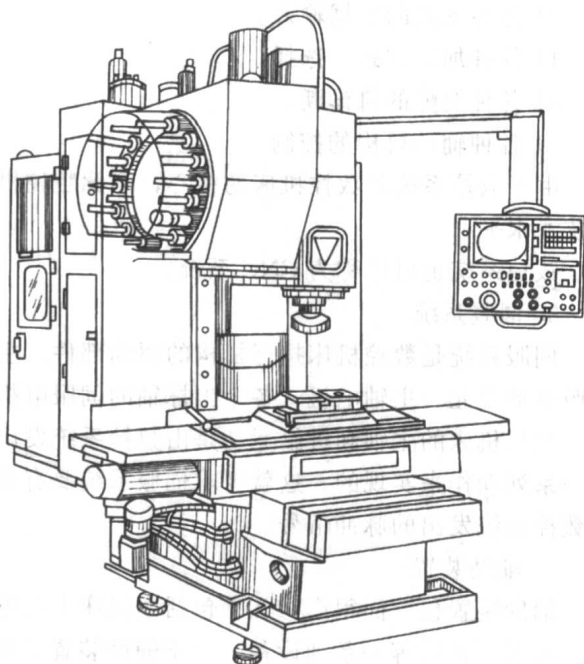


图 1-1 数控镗铣加工中心

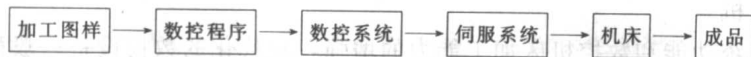


图 1-2 数控加工过程

二、数控机床的组成

数控机床一般由以下几个部分组成，如图 1-3 所示。

1. 主机

主机是数控机床的主体，主要指的是机床的床身、立柱、主轴和其余主要的机械部件。根据切削加工要素不同，主机可以分为各种不同的机床，如车床、铣床、钻床、镗床等

等。虽然数控机床的主机结构与普通机床有相似的地方，也可以分成床身、立柱等主要构件，但实际上数控机床结构必须满足高精度、自动化生产的要求，特别是对刚性、热变形的特殊要求。所以数控机床的主机结构一般都是经过专门设计的。

2. 数控系统

数控系统包括硬件如电路板、显示器、键盘、存储器等和软件两大部分。数控机床的数控系统是采用计算机控制的，数控系统具有以下主要功能：

- 1) 多坐标控制（多轴联动）。
- 2) 各种函数的插补。
- 3) 各种形式的数据输入。
- 4) 各种加工方式的选择。
- 5) 各种故障的自诊断。
- 6) 各种辅助机构的控制。

由于数控系统是数控机床的核心，因此数控机床的技术水平很大程度上取决于数控系统的技术水平。

数控系统也可以称为 CNC 系统。

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床执行机构的驱动部件。主要包括主轴伺服驱动单元、各个坐标轴的伺服驱动单元。主轴电机、各个坐标轴的伺服电机等。

数控机床的主轴和进给运动是由数控系统发出脉冲，通过伺服系统使电气和液压系统产生一系列动作来实现的。这就要求伺服系统要有良好的快速响应能力，能够准确而灵敏地跟踪数控系统发出的脉冲信号。

4. 辅助装置

辅助装置包含面很广，几乎包括了机床上的电气、液压、气动和与机床相关的冷却、防护、润滑、排屑等一系列设备。由于辅助装置对机床的功能具有很大的影响，所以它们的发展极为迅速。现代工业对数控机床提出了环保化的新要求。近年来，改善数控机床对环境的污染和对操作人员的安全防护已成为新课题。现代化的辅助装置可以使数控机床具有全防护，防止冷却液飞溅、铁屑飞溅、油雾弥漫，降低噪声；采用新型冷却技术，如低温空气代替传统的冷却液；通过废液、废气、废油的再回收利用，减少对环境的污染，并提高数控机床的精度。

5. 编程 PC 机

随着数控系统功能和数控机床加工能力的增强，现代化的数控设备一般都必须配备专门为编程、输送程序的 PC 机。复杂的零件一般都由 CAM 系统生成加工程序，这种程序往往要达到几兆字节。数控机床曾经历过纸带、软盘、键盘、PC 机通过 RS-232 接口向数控系统传输信息的在线加工等输入方式。对于容量大的程序，前三种方式已无法完成。所以专用的 PC 机与 CNC 系统的双向轮流传输数据的在线加工方式，已成为不可缺少的手段。

三、数控机床的加工特点

1. 加工质量稳定

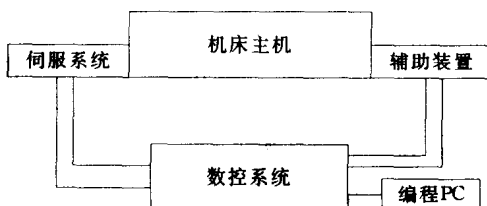


图 1-3 数控机床的组成

数控机床的一切操作都是由程序支配的, 没有人为干扰, 加工出的零件互换性好、质量稳定。由于数控机床一般都采用精度很高的传动件, 如滚珠丝杠、直线线性滚动导轨, 因而传动定位精度高。闭环、半闭环伺服系统使数控机床获得很高的加工精度。

2. 具有较高的生产率

在数控机床上使用的刀具一般是不重磨装夹式刀具, 其切削性能较好。数控机床的自动化程度高, 空行程的速度在 15m/min 以上, 辅助时间短, 与普通机床相比, 数控机床的生产率可提高 $2\sim 3$ 倍, 有些可以提高几十倍。

3. 功能多

数控机床的功能齐全, 在一台数控铣床上可以进行镗、铣床的多种方式的加工, 除装夹基准面外可对六面体的五个面进行加工。在现代数控车一铣中心上除可以完成所有车削工艺外, 主轴可以进行分度, 能够通过安装在刀架上的动力刀具滚铣高质量的齿轮。数控机床的这一特点对加工模具零件特别适用。模具零件如型腔、型芯一般都是具有形状复杂、加工困难的特征, 数控机床是加工这类零件的主要设备和最佳选择。

4. 对不同零件的适应性强

现代化机械生产的发展趋势是多品种、小批量化。由于数控机床只需改变加工程序便可以改变加工零件的品种, 所以, 数控机床是现代化生产的不可缺少的设备。

5. 加工复杂的空间曲面

有些空间曲面, 例如圆柱槽凸轮, 螺旋桨表面, 用多坐标联动数控机床加工, 使之表面形状及精度大为改进; 数控仿形应用范围更广, 且有重复应用、镜像加工的功能。

6. 减轻劳动强度

数控机床除装卸零件、操作键盘外, 操作者无须进行繁重的重复手工操作。操作者的劳动强度大大降低。

任何事物都有二重性、数控机床昂贵的价格和维修费用较高是它的主要缺点。

第二节 数控机床的分类

数控机床的品种很多, 从控制原理和主要性能看, 可按下列方法分类。

1. 按加工路线分类

(1) 点位控制机床 钻床、镗床、冲床等只要求获得孔系坐标位置的精度的机床, 对孔之间空间运动的轨迹的精度要求并不高。为提高生产率, 空行程要快速移动。图 1-4 为点位控制机床加工示意图。

(2) 轮廓加工控制机床 如数控立式加工中心、数控铣床、数控车床能够对各种形状的工件轮廓表面进行加工, 图 1-5 为该机床的加工示意图。这类机床要求各坐标轴能够按工件表面的形状要求联动。

2. 按有无检测装置分类

(1) 开环系统机床 系统没有位置检测装置, 加工精度不高, 通常由步进电机驱动, 用于简易经济类数控机床之中。

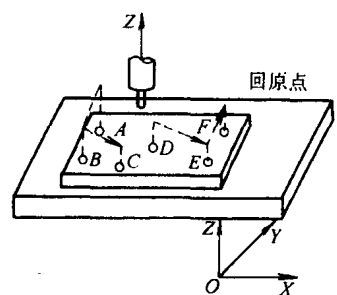


图 1-4 点位控制系统加工原理

(2) 闭环系统机床 系统的位置检测元件装置在床身和移动部件上, 可以把移动部件在运动过程中与床身某固定点之间的实际距离检测出来, 并且能反馈到计算机, 因此闭环系统的数控机床的加工精度十分高。

(3) 半闭环系统机床 系统是将检测元件装在伺服电机的尾部, 用测量电机转角的方式检测坐标位置。由于电动机到工作台之间存在着滚珠丝杠的间隙误差, 弹性变形等因素, 所以检测的数据与实际工作台移动的坐标值有误差。

3. 按可联动的坐标数分类

随着计算机技术的迅猛发展, 数控机床的两坐标 (如数控车床)、三坐标联动 (如数控铣床) 已经十分普及。而为了使刀具合理切削, 刀具的回转中心线也要转动, 于是便产生了五坐标联动的镗铣床, 使得螺旋桨曲面加工可以一次装夹便能完成。在识别数控机床时, 不仅要考查机床具有的坐标轴数, 还要考查坐标联动数。具有的伺服电动机数也不等于坐标联动数。所谓坐标联动数是由同一个插补程序控制的移动坐标数。这些坐标的移动规律是按照所加工的轮廓表面规定的。

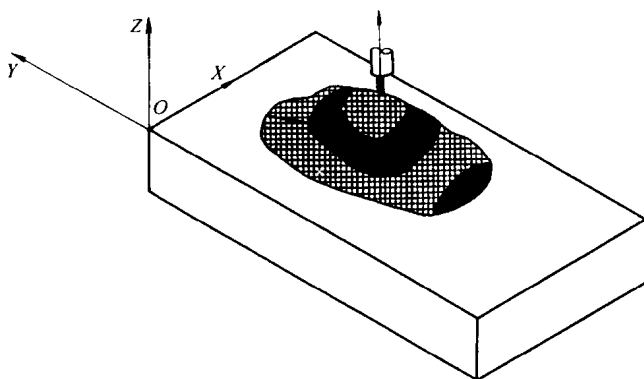


图 1-5 三坐标轮廓控制系统加工原理

第三节 插补原理及 CNC 系统原理

一、插补原理

机床数控系统轮廓控制的主要问题就是怎样控制刀具或工件的运动轨迹。数控系统根据给定的信息进行数字计算, 在计算过程中不断向各坐标发出相互协调的进给脉冲, 使被控机械部件按指定的路线移动。

在数控系统中常用的插补方法有逐点比较法、数字积分法 (DDA 法)、时间分割法等。

曲线加工时刀具的移动轨迹与理论上的曲线 (包括直线) 不吻合, 而是一个逼近折线。由于各种插补的计算公式不同, 使逼近的折线也不同, 图 1-6 是用逐点比较法的逼近折线, 被加工曲线 AB 是由 Δx_i 和 Δy_i 组成的折线逼近的。 Δx_i 、 Δy_i 分别是工作台沿 X 、 Y 方向移动一步的距离, 工作时, X 、 Y 两相电动机不同时转动, 而是先后衔接交替工作。因而形成线段间相互垂直的折线, 步长 Δx_i 和 Δy_i 越短, 逼近精度越高。

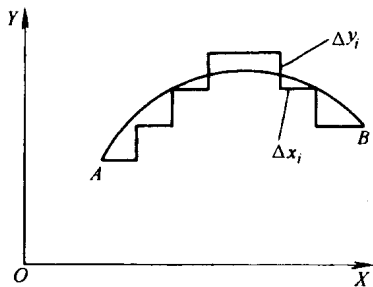


图 1-6 逐点比较法逼近折线

图 1-7 是用积分法 (DDA 法) 计算时的逼近曲线。若各坐标方向的脉冲当量相同, 则 Δx_i 、 Δy_i 绝对值相等。工作时两相电机可交替地带动工作台一步一步地移动, 也可同时带动工作台移动。交替工作时刀具轨迹平行于 X 轴或 Y 轴, 同时工作时刀具的轨迹与坐标轴成 45° 角。

图 1-8 是时间分割法计算时间的逼近线。两个坐标方向同时移动，步长 f 为定值，它由进给速度求出。每走一步的时间也为定值，例如 4ms ，则 Δx_i 、 Δy_i 可由 f 求出，两个方向的每步移动速度也与 Δx_i 、 Δy_i 的大小有关，工作时两个电动机同时转动，合成 f 线段。如此一步一步的工作，可形成由弦线组成的折线，来逼近 AB 曲线。

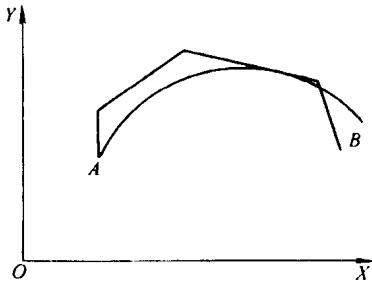


图 1-7 DDA 逼近折线法

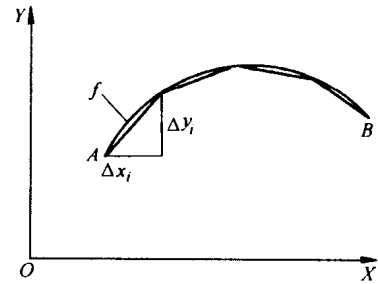


图 1-8 时间分割法计算时间的逼近线

二、CNC 系统原理

CNC 系统及现代的 MNC 系统都是采用通用计算机元件与结构及相应的控制软件来取代硬件数控系统专用电子线路，并配备适当的输入/输出部件构成的。在必要的硬件电路基础上，用控制软件程序来实现加工程序存储、译码、插补运算、辅助动作逻辑连锁等各种复杂功能，故可统称为 CNC 系统。

图 1-9 为 CNC 系统简图。完整的 CNC 系统分为 NC 部分与 PLC 部分，NC 部分主要控制机床的运动，PLC 部分称为可编程控制器，它的主要工作是从操作面板接收操作指令、控制信号状态显示及各种辅助动作连锁等。

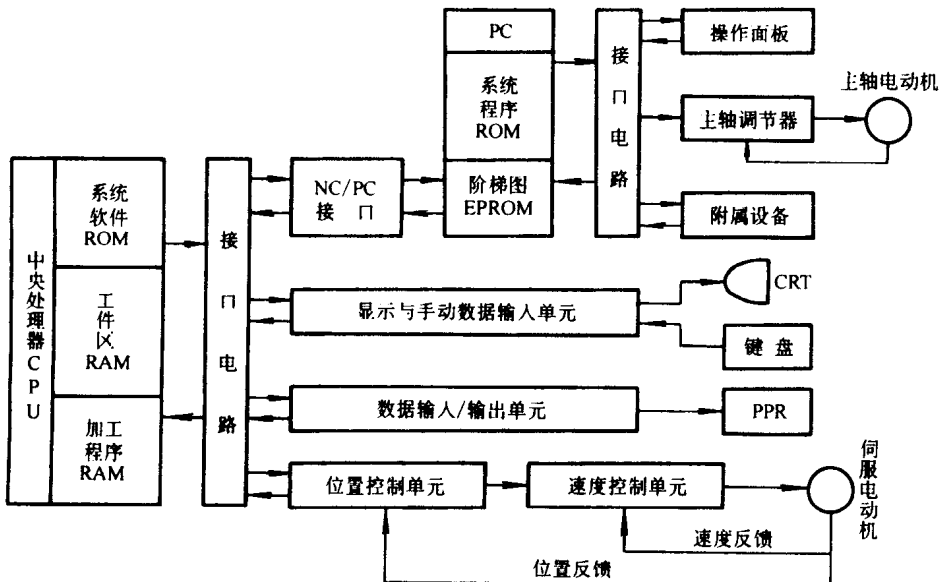


图 1-9 CNC 系统的构成

NC 部分称为数控部分，是 CNC 系统的核心。NC 部分又可划分为计算机部分、位置控制部分，数据输入/输出接口及外部设备。

与通用计算机一样, NC 系统计算机部分由中央处理器 (CPU) 及存储数据与程序的存储器等组成。存储器分为系统控制软件程序存储器 (ROM)、加工程序存储器及工作区存储器 (RAM)。ROM 中的系统控制程序是由数控系统生产厂家写入的, 用来完成 CNC 系统的各项功能。数控机床操作者能将各自的加工程序存储在 RAM 中, 供数控系统用来控制机床加工零件。工作区存储器是系统程序执行过程中的活动场所, 用于堆栈、参数保存、中间运算结果保存等。

CPU 执行系统程序、读取加工程序、经过加工程序译码, 预处理计算、然后根据加工程序段指令, 进行实时插补与机床位置伺服控制, 同时将辅助动作指令通过可编程序控制器 PLC 送往机床, 并接受通过可编程序控制器返回的机床各部分信息, 以确定下一步操作。

位置控制部分又分为位置控制单元和速度控制单元。将经插补运算得到的每个坐标轴在单位时间间隔内的位移量送往位置控制单元, 由它生成伺服电动机速度指令送往速度控制单元。速度控制单元接受速度反馈信号, 来控制伺服电动机以恒定速度运转, 同时位置控制单元接受实际位置反馈、并修正速度指令, 实现机床运动的准确控制。

数据输入/输出接口与外部设备用来实现数控系统与操作者之间的信息交换。操作者通过磁盘驱动器、磁带机、光电阅读机或手动数据输入装置 (键盘) 及 RS-232 接口, 将加工程序等输入数控系统并通过显示器 CRT 显示已输入的加工程序以及其它信息。

第四节 数控加工技术的发展

自 1952 年美国麻省理工学院研制成功第一台三坐标数控铣床以来, 数控机床的发展经历了电子管控制、晶体管控制、集成电路控制、计算机控制直到现在的微处理器控制的阶段。

我国从 1958 年开始研制数控机床, 20 世纪 70 年代初得到广泛发展, 数控技术在车床、铣床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、电加工机床等方面得到应用, 并研制出加工中心。

目前我国能够生产多种类型的数控机床, 年产已达到一万台, 并有部分向国外出口。我国大陆生产的数控机床在精度、速度、数控系统的功能及传感元件等方面已取得了很大的进步, 在经济型数控机床方面已取得了稳定的市场份额, 性能上能够与台湾等产地的产品媲美。但在高精度、高速度的数控机床领域与世界先进国家相比尚有差距。

当今世界数控机床的发展趋势主要有以下几个方面: ①产品高精度化, 如数控加工镗铣中心的定位精度已提高到 $\pm 2\mu\text{m}$, 重复定位精度 $1\mu\text{m}$ 。车削中心可加工出圆度为 $1\mu\text{m}$ 的工件; ②在确保精度的基础上, 尽一切可能提高加工效率, 高速数控铣床的主轴已达到 42000r/min ; ③大量采用新元件, 如直线电机、内装式电机等; ④发展环保技术, 如干切削、半干切削工艺, 减少环境污染; ⑤将数控机床联网, 实现在加工信息, 故障诊断等方面的远程通信。

数控机床的不断发展, 促进了自动编程技术突飞猛进的发展, 在 20 世纪 50 年代后期, 美国首先研制成功了 APT 系统。由于它具有语言直观易懂、制带快捷、加工精度高等优点, 被许多国家所采用。20 世纪 90 年代, 计算机三维造型软件的发展, 使得各种复杂的三维曲面的加工程序由计算机自动生成, 人们得以从繁重编程工作中解放出来, 把主要精力放在零件在计算机上进行数字建模。如 UG II、Pro/E、Cimatron、MasterCAM 等软件已在国内有了普遍的应用。国产的 CAXA 工程师 2000 等软件及线切割系统的 YH 等软件已得到普及。

随着微电子和计算机技术的飞速发展, 自动化生产系统越来越受到关注, 如计算机直接

数控系统 DNC (Direct Numerical Control)、柔性制造单元 FMC (Flexible Manufacturing Cell)、柔性制造系统 FMS(Flexible Manufacturing System)和计算机集成制造 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)。这些技术我国已开始自行研制应用,并取得了可喜的成果。

思考题

- 1-1 什么是数控加工“零件程序(零件加工程序单)”?它有何作用?
- 1-2 数控机床由哪几部分组成?各部分起什么作用?
- 1-3 数控机床有何特点?
- 1-4 何谓点位控制系统和轮廓控制系统?二者有何区别?
- 1-5 数控机床伺服系统类型分为哪几类?各有何特点?
- 1-6 比较数控机床的开环和闭环控制系统。对于一个载荷稳定并要求保持恒定速度的传送带系统,应当采用什么控制系统?为什么?
- 1-7 什么是插补?何谓直线插补和圆弧插补?
- 1-8 CNC 系统有何特点?
- 1-9 数控机床常用的输入方法有哪些?

第二章 数控编程基础知识

第一节 编程基础

数控机床经过 50 年的发展,在坐标系、输入代码、加工程序格式、工艺指令等方面已逐步趋于完善。我国也制定了相应的数控标准。

一、数控机床的坐标系

为了满足设计、制造、维修和普及的需要,在输入代码、辅助功能及程序格式方面国际上已形成了两个通用的标准,即国际标准化组织 (ISO-International Standard Organization) 标准和美国电子工业学会 (EIA-Electronic Industries As Socation) 标准,我国制订了 JB3051—82《数控机床坐标和运动方向的命名》等国家标准,它与 ISO441 等效。

1. 坐标轴的命名

数控机床的坐标系采用直角笛卡尔坐标系,为编程方便,对坐标轴的名称和正负方向都有统一规定,如图 2-1 所示,它符合右手法则。这个坐标系的多个坐标轴与机床的主要导轨相平行,它与安装在机床上,并且按机床主要直线导轨找正的工件相关。 A 、 B 、 C 表示以 X 、 Y 、 Z 的坐标轴线或与 X 、 Y 、 Z 的轴线相平行的直线为轴而转动,其转动的正方向用右手螺旋法则确定。

通常在命名或编程时,不论机床在加工中是刀具移动,还是被加工工件移动,都一律假定被加工工件相对静止不动,而刀具在移动,并同时规定刀具远离工件的方向作为坐标的正方向。

2. 机床坐标轴的确定方法

确定机床坐标轴时,一般是先确定 Z 轴,再确定 X 轴和 Y 轴。

(1) Z 轴 一般是选取产生切削力的轴线方向作为 Z 轴方向。对于有主轴的机床,如图 2-2 和图 2-3 所示的卧式车床、立式升降台铣床等,则以机床主轴轴线方向作为 Z 轴方向。如果机床有几个主轴,则选择其中一个与工件工作台面相垂直的主轴作为主要主轴,并以它来确定 Z 轴方向。同时规定刀具远离工件方向作为 Z 轴的正方向。

(2) X 轴 X 轴一般位于与工件安装相平行的水平面内。对于机床主轴带动工件旋转的

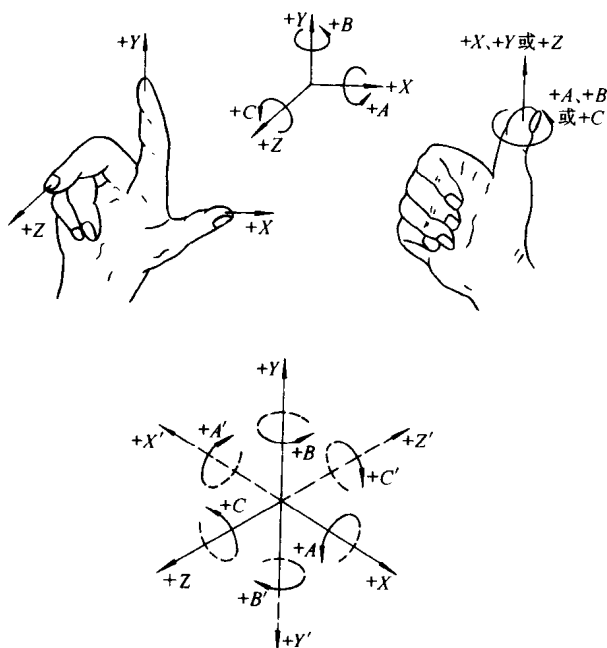


图 2-1 机床坐标与转动方向的确定

机床、如车床、磨床等，则在水平面内选定垂直于工件旋转轴线的方向为 X 轴，刀具远离主轴轴线方向为 X 轴的正方向。

对于机床主轴带动刀具旋转的机床，若主轴是水平的，如图 2-4 卧式升降台铣床等，由主要刀具主轴向工件看，选定主轴右侧方向为 X 轴正方向；若主轴是竖直的，如立式铣床、立式钻床等，由主要刀具主轴向立柱看，选定主轴右侧方向为 X 轴正方向。对于无主轴的机床，则选定主要切削方向为 X 轴正方向。

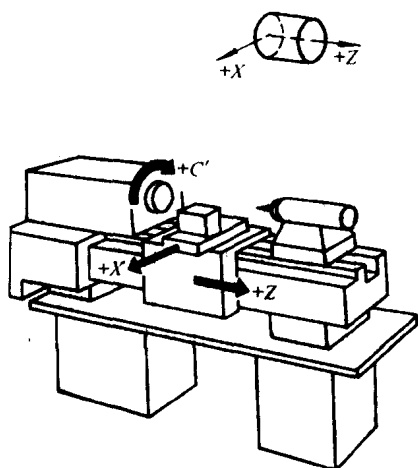


图 2-2 卧式车床

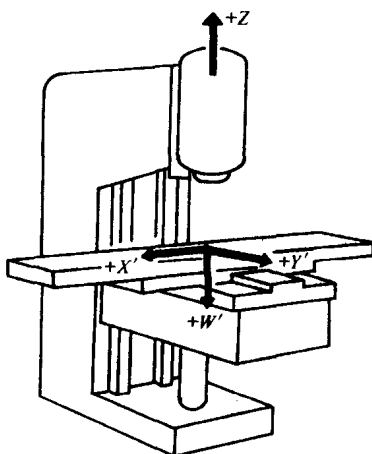
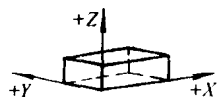


图 2-3 立式升降台铣床

(3) Y 轴 Y 轴方向可根据已选定的 Z 、 X 轴按右手直角笛卡尔坐标系来确定。

(4) A 、 B 、 C 的转向 当选定机床的 X 、 Y 、 Z 后，根据右手螺旋法则确定 A 、 B 、 C 三个转动的正方向。

(5) 附加坐标 如果机床除有 X 、 Y 、 Z 方向直线运动之外，还有平行于它们的坐标运动，则应分别命名为 U 、 V 、 W 。如果还有第三组运动，则应分别命名为 P 、 Q 、 R 。如果还有不平行或不平行于 X 、 Y 、 Z 轴的直线运动，则可相应命名为 U 、 V 、 W 、 P 、 Q 或 R 。

如在第一组 A 、 B 和 C 作回转运动的同时，还有平行或不平行 A 、 B 和 C 回转轴的第二回转运动，可命名为 D 或 E 。

3. 机床坐标系

机床坐标系的坐标原点是固定不变的，由机床生产厂家在机床出厂前确定。机床的基准点、换刀点、托架的交换点、机床限位开关或挡块的位置都是机床上固有的点，这些点在机床坐标系中都由

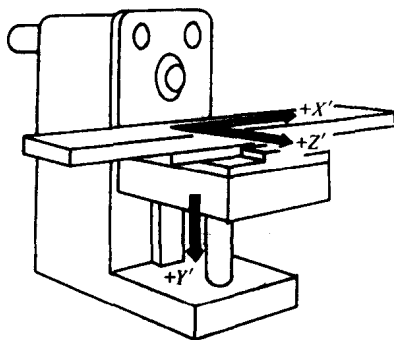
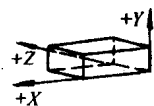


图 2-4 卧式升降台铣床

机床设计人员确定为固定点。

机床坐标系是最基本的坐标系,是在机床回参考点操作完成以后建立的。一旦建立起来除了受断电的影响外,不受控制程序和设定新坐标系的影响。

机床坐标系的零点要参照机床参考点而定。通过给机床参考点赋值可以给出机床坐标系中的零点位置。如X350、Y430、Z680等。在图2-5中,右上方是参考点,通过对该点赋值,便得到它在机床坐标系中的坐标,用这个坐标值可以确定机床坐标系的零点。

要注意的是,对机床参考点赋的坐标值并不影响机床参考点的位置。机床参考点的位置是由机床设计人员设定的。

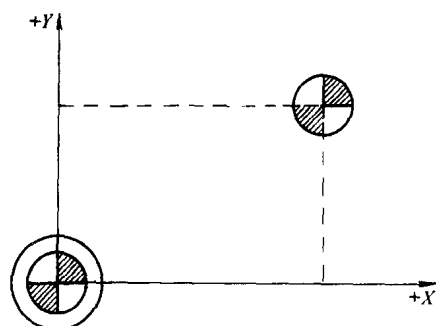


图 2-5 机床坐标系的确定

4. 工件坐标系

工件坐标系是程序设计人员在编制加工零件的程序时使用的。编程人员往往以工件上的某一点为坐标原点,建立一个新坐标系。在这个坐标系内编程可以简化计算,减少失误,大大减轻编程的工作强度。在实际加工中,操作者在机床上装夹好工件后,必须要确定该工件坐标系与机床坐标系原点之间的距离,并把测得的数据在数控系统中预先设定,这个设定值叫工件零点偏置。在刀具移动时,工件坐标系零点偏置量便加到按工件坐标系编写的程序坐标值上。对于编程者来说,只是按图上的坐标A、B来编程,而不必事先去考虑该工件在机床坐标系中的位置,如图2-6所示。

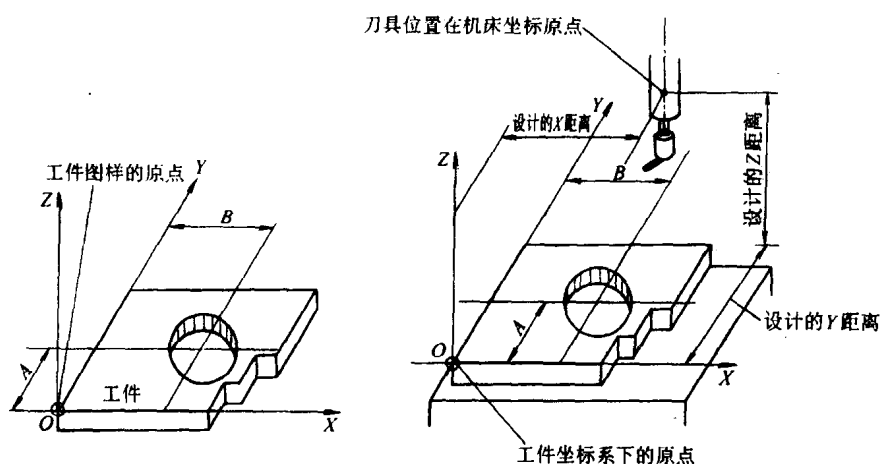
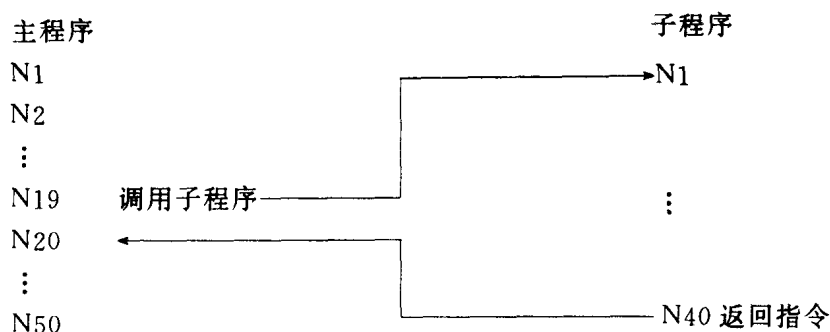


图 2-6 工件坐标系

二、程序结构

1. 加工程序的组成

数控加工中零件加工程序的组成形式,随着数控装置的种类而略有不同。加工程序可分为主程序和子程序。将重复出现的程序单独组成子程序,数控装置按主程序运行,在主程序中遇到调用子程序就转入某子程序运行,在子程序中遇到返回指令,则又返回主程序继续运行,其关系如下:



一个主程序按需要可以有多个子程序，并可重复调用。主程序和子程序的内容各不相同，但程序格式是相同的。

表 2-1 地址字母表

地址	功能	意 义	地址	功能	意 义
A	坐标字	绕 X 轴旋转	P		暂定或程序中某功能的开始使用的 顺序号
B	坐标字	绕 Y 轴旋转			
C	坐标字	绕 Z 轴旋转	Q		固定循环终止段号或固定循环中的 定距
D	补偿号	刀具半径补偿指令			
E		第二进给功能	R	坐标字	固定循环中定距离或圆弧半径的指 定
F	进给速度	进给速度的指令			
G	准备功能	指令动作方式	S	主轴功能	主轴转速的指令
H	补偿号	补偿号的指定	T	刀具功能	刀具编号的指令
I	坐标字	圆弧中心 X 轴向坐标	U	坐标字	与 X 轴平行的附加轴的增量坐标值 或暂停时间
J	坐标字	圆弧中心 Y 轴向坐标			
K	坐标字	圆弧中心 Z 轴向坐标	V	坐标字	与 Y 轴平行的附加轴的增量坐标值
L	重复次数	固定循环及子程序的重复次数	W	坐标字	与 Z 轴平行的附加轴的增量坐标值
M	辅助功能	机床开/关指令	X	坐标字	X 轴的绝对坐标值或暂停时间
N	顺序号	程序段顺序号	Y	坐标字	X 轴的绝对坐标值
O	程序号	程序号、子程序号的指定	Z	坐标字	X 轴的绝对坐标值

不论是主程序还是子程序，每一个程序都是由若干个程序段组成。程序段是由一个或若干个字组成；它表示数控机床为完成某一特定动作或一组操作而需要的全部指令。字是由表示地址的字（表 2-1），数字和符号组成、它表示控制数控机床完成一定功能的具体指令。例如：

O1278;
N050 G91 G71 M6T1 H1;
G0 X55 Y62 Z150;

上面每一行称为一个程序段，N050、G91 及 X55 等都是一个字。

(1) 加工程序号

ISO 代码： EIA 代码 0

其号码可为 0001~9999。存入数控系统中的各零件加工程序号不能相同。