

数控加工技术

上官建林 编著



化学工业出版社

数控加工技术

上官建林 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是高职高专教学做一体的项目化教材,内容包括数控车削和数控铣削加工技术,从认识数控机床和数控系统开始,逐步学习用数控车床加工台阶轴、圆弧面、槽、螺纹和成型面,用数控铣床加工外轮廓、内轮廓和孔以及刀具半径补偿编程和子程序编程。在完成编程、加工任务的同时,通过“知识准备”和“知识拓展”模块,介绍数控车床和铣床、数控加工工艺、安全文明生产的相关知识。本书适应高职高专教学改革的要求,采用“项目引领,任务驱动”的方式,项目设计从工程实际出发,依据学生考取职业资格证书的要求编写,够用为止。

本书可作为高职高专机电、机械、数控类专业教材,也可作为机械制造业职业培训教材及教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/上官建林编著. —北京:化学工业出版社, 2015.9

ISBN 978-7-122-24875-6

I. ①数… II. ①上… III. ①数控机床-加工-高等职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 185659 号

责任编辑:程树珍 李玉晖

装帧设计:刘剑宁

责任校对:王素芹

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)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张7¼ 字数123千字 2015年10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:22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书为职业院校专业课理论与实践一体化教学改革成果、校企合作改革成果。本书依据教育部颁布相关教学指导方案，结合长期教学改革实践编写。本书坚持“以服务为宗旨，以就业为导向”的职业教育办学方针，采用“项目引领，任务驱动”的编写模式，通过教师引领学生完成本书所设计的工作任务，使学生逐渐掌握《数控机床加工技术》的基本职业技能。

本书以华中系统数控机床为样机，综合数控车削加工和数控铣削加工两门课的主要内容——包括认识数控机床及华中数控系统、数控车削台阶轴加工、槽及螺纹加工、圆弧面加工、成型面加工及数控车削综合训练，数控铣削内外轮廓加工、半径补偿编程方法、孔加工、子程序及数控铣削综合训练等。

全书编写具有以下特色：

1. 以实践技能为主线，理论知识突出实用、够用，将讲授理论知识与培养操作技能有机地结合起来。

2. 采用项目式教学，理论与实践一体化的编写形式。项目引领，任务驱动，通过若干技能训练任务围绕实践技能开展教学，在实践中融入理论知识，实现“学中做、做中学”。

3. 教材内容与职业资格证书相对接。依据国家职业技能标准编写，通过设计的技能训练任务来加强国家职业资格所规定的知识技能和操作技能的培养。

本书总教学时数为 96 学时，可采用理论实践一体化教学，学时分配为理论占三分之一，实践占三分之二。其中每个任务的知识拓展部分可视专业及学时数选学。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

编者

2015 年 6 月

目录

CONTENTS

项目一 数控机床概述 1

任务一 认识数控机床 1

知识拓展——插补 8

任务二 认识数控机床面板 10

知识拓展——安全文明生产 16

项目二 数控车削加工技术 19

任务一 数控车床基本操作 19

知识拓展——工件及刀具装夹 25

任务二 台阶轴编程与加工 26

知识拓展——外锥车削单一循环指令 G80 31

任务三 圆弧面编程与加工 32

知识拓展——刀具补偿 36

任务四 槽和螺纹编程与加工 38

知识拓展——外锥螺纹编程命令 G82 46

任务五 成型面的编程与加工 47

知识拓展——掉头加工 52

任务六 数控车削综合练习 53

项目三 数控铣削加工技术 56

任务一 数控铣床基本操作 56

知识拓展——数控铣床操作规程 60

任务二 外轮廓的编程与加工 62

知识拓展——切削用量的选择 68

任务三 内轮廓的编程与加工 70

知识拓展——铣削凹槽	77
任务四 刀具半径补偿的编程	79
知识拓展——加工尺寸控制	84
任务五 孔的编程与加工	85
知识拓展——刀具长度补偿	95
任务六 子程序的编程	97
知识拓展——简化编程功能	102
任务七 数控铣削综合练习	106

项目一 数控机床概述

● 项目介绍

数控机床是数字控制机床（computer numerical control machine tools）的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床。数控机床的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。数控机床的维修主要分为六个部分，包括机床机械部件的维修、位置反馈装置的维修、数控系统维修、伺服系统维修、机床电器柜（也称为强电柜）维修及操作面板的维修。

● 知识目标

- 1) 理解数控机床的基本定义、组成、原理及分类。
- 2) 了解数控机床故障特点、分类，维修前的基本要求、故障处理的基本方法以及维修人员应具备的基础知识和技能。

● 技能目标

- 1) 能正确认识数控机床结构及其组成部分。
- 2) 能够正确应用数控机床故障处理方法来判断分析故障。

● 素质目标

- 1) 通过规范操作，建立劳动保护与安全文明生产意识。
- 2) 通过互动学习、理论实践一体化教学，调动学生学习的积极性与主动性。

任务一 认识数控机床

任务描述

通过数控机床概述的学习，掌握数控机床的定义；数控机床由哪几部分组成；数控机床的工作原理及数控机床可以分为哪几类。

任务目标

- 1) 了解数控机床的定义。
- 2) 了解数控机床的组成部分。
- 3) 掌握数控机床的工作原理及数控机床的分类。

知识准备

数控机床是一种装有程序控制系统的自动化机床。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序，并将其译码，用代码化的数字表示，通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号，控制机床的动作，按图纸要求的形状和尺寸，自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题，是一种柔性的、高效能的自动化机床，代表了现代机床控制技术的发展方向，是一种典型的机电一体化产品。

（一）数控机床的组成

数控机床的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。下面分别对各组成部分的基本工作原理进行概要说明。

1. 控制介质（加工程序载体）

数控机床工作时，不需要工人直接去操作机床，要对数控机床进行控制，必须编制加工程序。零件加工程序中，包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数（进给量主轴转速等）和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码，存储在一种程序载体上，如穿孔纸带、盒式磁带、软磁盘等，通过数控机床的输入装置，将程序信息输入到 CNC 单元。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用 CNC（computer numerical control）形式，这种 CNC 装置一般使用多个微处理器，以程序化的软件形式实现数控功能，因此又称软件数控（software NC）。CNC 系统是一种位置控制系统，它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹，然后输出到执行部件加工出所需要的零件。因此，数控装置主要由输入、处理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理的组织，使整个系统协调地进行工作。

（1）输入装置 将数控指令输入给数控装置，根据程序载体的不同，相应有

不同的输入装置。主要有键盘输入、磁盘输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的 DNC（直接数控）输入，现仍有不少系统还保留有光电阅读机的纸带输入形式。

1) 纸带输入方式。可用纸带光电阅读机读入零件程序，直接控制机床运动，也可以将纸带内容读入存储器，用存储器中储存的零件程序控制机床运动。

2) MDI 手动数据输入方式。操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令，它适用于比较短的程序。

在控制装置编辑状态（EDIT）下，用软件输入加工程序，并存入控制装置的存储器中，这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。

在具有会话编程功能的数控装置上，可按照显示器上提示的问题，选择不同的菜单，用人机对话的方法，输入有关的尺寸数字，就可自动生成加工程序。

3) 采用 DNC 直接数控输入方式。把零件程序保存在上级计算机中，CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 方式多用于采用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件并直接生成零件程序的情况。

(2) 信息处理 输入装置将加工信息传给 CNC 单元，编译成计算机能识别的信息，由信息处理部分按照控制程序的规定，逐步存储并进行处理后，通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。CNC 系统的输入数据包括：零件的轮廓信息（起点、终点、直线、圆弧等）、加工速度及其他辅助加工信息（如换刀、变速、冷却液开关等），数据处理的目的是完成插补运算前的准备工作。数据处理程序还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。

(3) 输出装置 输出装置与伺服机构相连。输出装置根据控制器的命令接受运算器的输出脉冲，并把它送到各坐标的伺服控制系统，经过功率放大，驱动伺服系统，从而控制机床按规定要求运动。

3. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分，用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统的作用是把接受来自数控装置的指令信息，经功率放大、整形处理后，转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节，其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标，因此，对数控机床的伺服驱动装置，要求具有良好的快速反应性能，准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号，并能忠实地执行来自数控装置的指令，提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中,数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较,并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

4. 机床主体

数控机床的主体包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动地完成各种切削加工的机械部分。与传统的机床相比,数控机床主体具有如下结构特点。

1) 采用具有高刚度、高抗震性及较小热变形的机床新结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床主机的刚度和抗震性,使机床主体能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及采用热位移补偿等措施,可减少热变形对机床主机的影响。

2) 广泛采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置,使数控机床的传动链缩短,简化了机床机械传动系统的结构。

3) 采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和运动部件,如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

5. 数控机床的辅助装置

辅助装置是保证充分发挥数控机床功能所必需的配套装置,常用的辅助装置包括:气动、液压装置,排屑装置,冷却、润滑装置,回转工作台和数控分度头,防护,照明等各种辅助装置。

(二) 数控机床的分类

数控机床种类繁多,有钻、铣、镗床类,车削类,磨削类,电加工类,锻压类,激光加工类和其他特殊用途的专用机床等。

1. 按机床的运动轨迹分类

(1) 点位控制数控系统 仅能控制刀具相对于工件的精确定位控制系统,而在相对运动的过程中不能进行任何加工。

(2) 直线切削数控系统 不仅具上述功能,而且还能实现沿某一坐标轴或两轴等速的直线移动和加工的功能的控制系统。

(3) 连续切削数控系统 能实现两轴或两轴以上的联动加工,即具有实现对

曲线或曲面轮廓零件的加工能力控制系统。所谓联动，就是机床上各坐标轴的运动之间有着确定的函数关系，这个函数就是零件的轮廓曲线。

2. 按进给伺服系统的类型分类

(1) 开环数控系统 开环控制系统（如图 1-1）是没有位置反馈装置的进给控制系统，信息流为单向，机床的位置精度相对闭环要差一些，但结构简单，系统稳定，易于整定，价格便宜，驱动元件主要是步进电机。

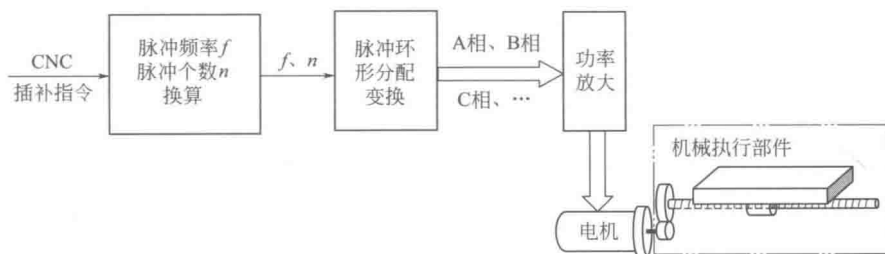


图 1-1 开环控制系统图

(2) 半闭环数控系统 半闭环控制系统（如图 1-2）与闭环系统相比，其位置反馈是从中间某个环节引入的，其结构，性能，精度均介于开环与闭环之间。

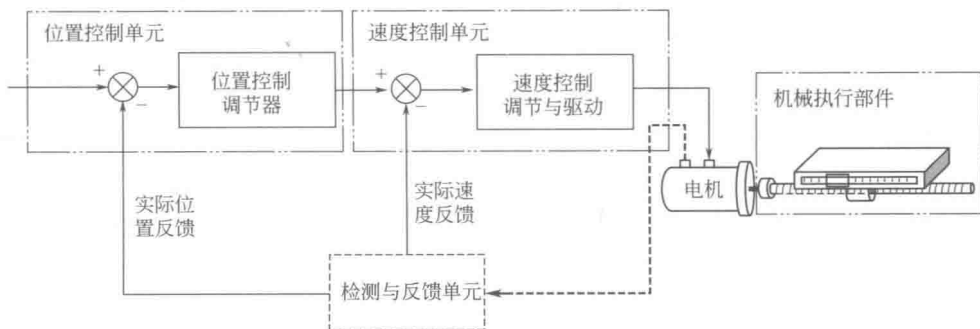


图 1-2 半闭环控制系统图

(3) 全闭环数控系统 闭环控制系统（如图 1-3）利用直接从执行部件上引入的位置反馈信息与来自数控装置的指令信息进行比较，利用比较的结果对执行部件实施控制，其控制精度较高，但调试比较复杂，多用于高精度的数控机床。

3. 按可控制坐标轴数分类

按照机床可连续控制的坐标轴数（可联动轴数），数控机床又叫分二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动数控机床。

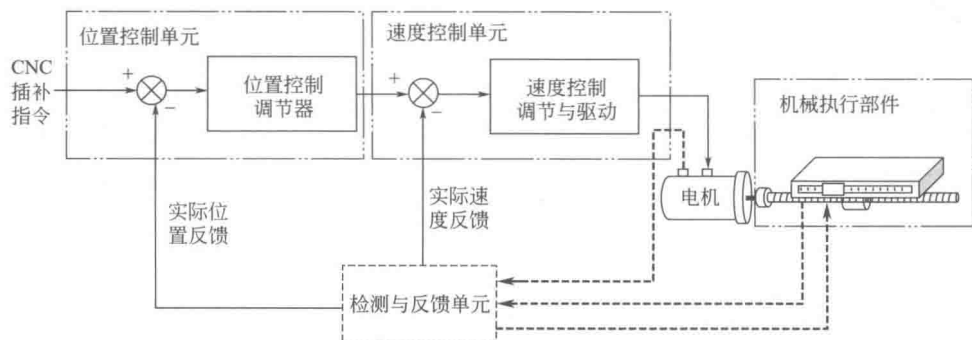


图 1-3 全闭环控制系统图

二轴联动：可同时控制 X、Y、Z 三轴中二轴联动，加工曲线柱面。

二轴半联动：指其中二轴联动，第三轴作周期进给，采用形切法加工三维空间曲面。

三轴联动：可同时控制 X、Y、Z 三轴联动，或控制 X、Y、Z 三轴中二轴联动再加控制某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴（A 轴、B 轴或 C 轴），可作三维立体加工。

四轴联动：可同时控制 X、Y、Z 三轴联动，加上控制一个旋转坐标轴（A 轴、B 轴或 C 轴）。

五轴联动：可同时控制 X、Y、Z 三轴联动，加上控制两个旋转坐标轴（A 轴、B 轴或 C 轴）。

任务实施

1. 器材准备

数控车床和数控铣床（加工中心）若干台。

2. 认识数控车床和数控铣床（加工中心）的各组成部分

按表 1-1 和表 1-2 所示填写数控机床各部分的名称、规格型号及作用。

表 1-1 数控车床

项目名称	规格型号	功能
机床型号		
主轴电机		

续表

项目名称	规格型号	功能
伺服电机		
CNC 装置		
伺服装置		
反馈检测装置		
机床本体		

表 1-2 数控铣床

项目名称	规格型号	功能
机床型号		
主轴电机		
伺服电机		
CNC 装置		
伺服装置		
反馈检测装置		
机床本体		

知识拓展——插补

实际加工中零件的轮廓形状是由各种线形（如直线、圆弧、螺旋线、抛物线、自由曲线）构成的。其中最主要的是直线和圆弧。用户在零件加工程序中，一般仅提供描述该线形所必需的相关参数，如对直线，提供其起点和终点；对圆弧，提供起点、终点、顺圆或逆圆以及圆心相对于起点的位置。为满足零件几何尺寸精度要求，必须在刀具（或工件）运动过程中实时计算出满足线形和进给速度要求的若干中间点（在起点和终点之间），这就是数控技术中插补（interpolation）的概念。据此可知，根据给定进给速度和给定轮廓线形的要求，在轮廓已知点之间，确定一些中间点的方法，这种方法称为插补。

插补计算就是对数控系统输入基本数据（如直线的起点和终点，圆弧的起点、终点、圆心坐标等），运用一定的算法进行计算，并根据计算结果向相应的坐标发出进给指令。对应每一进给指令，机床在相应的坐标方向移动一定的距离，从而将工件加工出所需的轮廓形状。实现这一插补运算的装置称为插补器。控制刀具或工件的运动轨迹是数控机床轮廓控制的核心，无论是硬件数控（NC）系统，还是计算机数控（CNC）系统，都有插补装置。在 CNC 中，以软件（即程序）插补或者以硬件和软件联合实现插补；而在 NC 中，则完全由硬件实现插补。无论哪种方式，其插补原理是相同的。

下面介绍逐点比较法插补（直线插补运算）。

1. 偏差判别

假设加工如图 1-4 所示的第一象限的直线 OA 。取起点为坐标原点 O ，直线终点坐标 $A(X_e, Y_e)$ 是已知的。 $M(X_m, Y_m)$ 为加工点（动点），若 M 在 OA 直线上，则根据相似三角形的关系可得：

$$\frac{Y_m}{X_m} = \frac{Y_e}{X_e}$$

取 $F_m = Y_m X_e - X_m Y_e$ 作为直线插补的偏差判别式。

若 M 点在 OA 直线上， $\frac{Y_m}{X_m} = \frac{Y_e}{X_e}$ ，则 $F_m = 0$ ；

若 M 点在 OA 直线上方的 M' 处， $\frac{Y_m}{X_m} > \frac{Y_e}{X_e}$ ，则 $F_m > 0$ ；

若 M 点在 OA 直线下方的 M'' 处， $\frac{Y_m}{X_m} < \frac{Y_e}{X_e}$ ，则 $F_m < 0$ 。

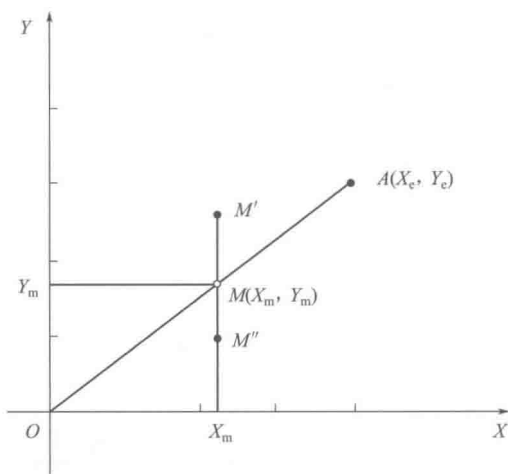


图 1-4 逐点比较法直线插补

2. 坐标进给

- (1) $F_m = 0$ 时, 规定刀具向 $+X$ 方向前进一步;
- (2) $F_m > 0$ 时, 控制刀具向 $+X$ 方向前进一步;
- (3) $F_m < 0$ 时, 控制刀具向 $+Y$ 方向前进一步。

刀具每走一步后, 将刀具新的坐标值代入函数式。

$F_m = Y_m X_e - X_m Y_e$, 求出新的 F_m 值, 以确定下一步进给方向。

3. 偏差计算

设在某加工点处, 有 $F_m \geq 0$ 时, 为了逼近给定轨迹, 应沿 $+X$ 方向进给一步, 走一步后新的坐标值为:

$$X_{m+1} = X_m + 1, Y_{m+1} = Y_m$$

新的偏差为: $F_{m+1} = Y_{m+1} X_e - X_{m+1} Y_e = F_m - Y_e$

若 $F_m < 0$ 时, 为了逼近给定轨迹, 应向 $+Y$ 方向进给一步, 走一步后新的坐标值为:

$$X_{m+1} = X_m, Y_{m+1} = Y_m + 1$$

新的偏差为:

$$F_{m+1} = F_m + X_e$$

4. 终点判别

逐点比较法的终点判断有多种方法, 下面主要介绍两种。

第一种方法。设置 X 、 Y 两个减法计数器, 加工开始前, 在 X 、 Y 计数器中分别存入终点坐标 X_e 、 Y_e , 在 X 坐标 (或 Y 坐标) 进给一步时, 就在 X 计数器 (或 Y 计数器) 中减去 1, 直到这两个计数器中的数都减到零时, 便到达

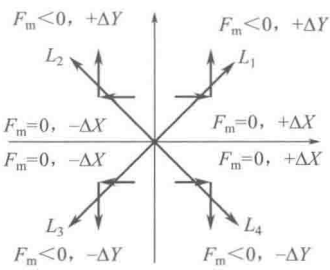
终点。

第二种方法。用一个终点计数器，寄存 X 和 Y 两个坐标，从起点到达终点的总步数 Σ ； X 、 Y 坐标每进一步， Σ 减去 1，直到 Σ 为零时，就到了终点。

5. 不同象限的直线插补计算

上面讨论的为第一象限的直线插补计算方法，其他三个象限的直线插补计算方法，可以用相同的原理获得，表 1-3 列出了四个象限的直线插补时的偏差计算公式和进给脉冲方向，计算时，公式中 X_e ， Y_e 均用绝对值。

表 1-3 四个象限的直线插补计算

	线型	$F_m > 0$ 时， 进给方向	$F_m < 0$ 时， 进给方向	偏差计算 公式
L_1	$+\Delta X$	$+\Delta Y$	$F_m > 0$ 时： $F_{m+1} = F_m - Y_e$ $F_m < 0$ 时： $F_{m+1} = F_m + X_e$	
L_2	$-\Delta X$	$+\Delta Y$		
L_3	$-\Delta X$	$-\Delta Y$		
L_4	$+\Delta X$	$-\Delta Y$		

思考与练习

- 1) 数控机床由哪几部分组成？
- 2) 数控机床按运动方式可以分为几类？
- 3) 试述数控机床的工作原理。

任务二 认识数控机床面板

任务描述

不同数控系统有不同的操作面板，通过对华中世纪星数控机床面板的学习，熟悉华中世纪星机床面板各个按键的作用，从而掌握数控机床的基本操作。

任务目标

- 1) 了解华中数控机床操作面板各功能键的含义。
- 2) 了解华中系统数控机床的基本操作。

知识准备

华中世纪星车削数控装置的操作面板如图 1-5 所示。

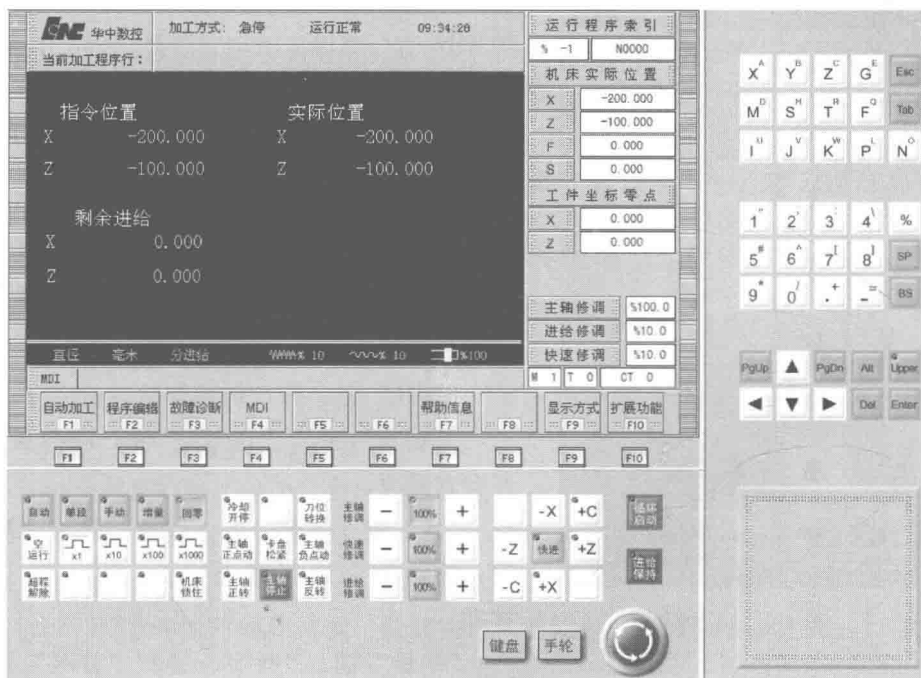


图 1-5 操作面板图

(一) 功能菜单

在显示器的下方有十个功能按键，从“F1”到“F10”（相当于 FANUC 系统中的软键），通过这十个功能按键，可完成对系统操作界面中菜单命令的操作，系统操作界面中菜单命令由主菜单和子菜单构成，所有主菜单和子菜单命令都能通过功能按键“F1”～“F10”来进行操作。

主菜单分别是：F1 “自动加工”、F2 “程序编辑”、F3 “参数”、F4 “MDI”、F5 “PLC”、F6 “故障诊断”、F7 “设置毛坯大小”、F9 “显示方式”。每一主菜单下分别有若干个子菜单。

(二) NC 键盘

NC 键盘用于零件程序的编制、参数输入、MDI 及系统管理操作等，见图 1-6。

“Esc” 键：按此键可取消当前系统界面中的操作。