

高职高专模具与数控技能实训规划教材

FANUC

数控车床编程 及实训精讲



主编 侯先勤



取材典型 实例丰富 ◉ 讲解独到 经验点评



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

数控车床编程与加工案例解密

FANUC

数控车床编程

及案例精讲

主编 周永华



机械工业出版社 机械工业出版社

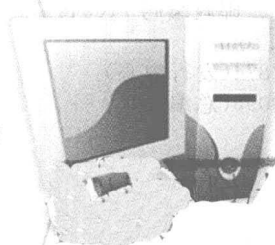
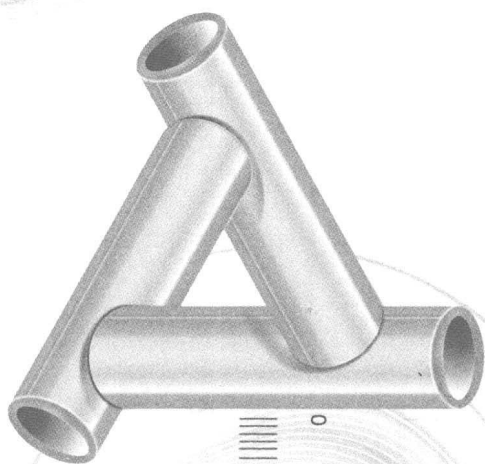
机械工业出版社

高职高专模具与数控技能实训规划教材

FANUC

数控车床编程 及实训精讲

主编 侯先勤



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书以 FANUC 0i 系统为基础,详细讲解了数控车床的操作方法及编程方法。1~4 章依次介绍了数控车床基础、加工工艺、切削原理以及编程基础。第 5 章详细讲解了 FANUC 0i 系统的指令,每个指令都附以实例来帮助读者更好地理解指令功能。第 6 章全部是编程实例,每个实例都按照数控机床的实际情况,通过案例分析、基点坐标、案例实施、案例总结的方式来表述,每个程序都以表格的形式(程序+注释)详细清晰地编写出来,并且都通过了数控机床的验证。第 7 章和第 8 章结合实际分别讲解了数控操作及仿真软件的操作方法,从基础上降低了误操作和废品的产生,同时又保护了人身安全与设备安全。

本书适合作为高职高专、中等职业技术学校数控加工、模具制造、机电类专业的实训教材;也可作为数控车床技术工人中、高级工、技师、高级技师的培训教材以及从事数控加工的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

FANUC 数控车床编程及实训精讲/侯先勤主编. —西安:
西安交通大学出版社,2011.3
ISBN 978-7-5605-3757-3

I. ①F… II. ①侯… III. ①数控机床:车床-程序设计
IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 196967 号

书 名 FANUC 数控车床编程及实训精讲
主 编 侯先勤
责任编辑 雷萧屹

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 西安交通大学印刷厂

开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 14.75 字数 356 千字
版次印次 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3757-3/TG·35
定 价 26.50 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

Foreword

本系列教材是依据高职高专职业学校、技工学校数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案和国家颁布的数控技术应用专业教学大纲而编写。分别涉及目前数控机床的主流操作系统：FANUC 系统、SIEMENS 系统、华中系统的车、铣、加工中心。全套教材的编写坚持以就业为导向，将数控加工工艺（工艺路线的确定、刀具的选择等）和程序的编制融合到实际操作中，每个程序都以表格的形式（程序+注释）详细清晰地编写出来，并且都通过了数控机床的验证，充分体现了“教、学、做”合一的职教办学特色。旨在培养既有一定的理论知识，又能编制加工程序，同时能熟练操作数控机床的实用型人才。

本书内容

全书共分 9 章，内容完整，由浅而深，层层剖析。在阐明基本加工原理的同时又为读者推荐好的加工方法和加工经验。主要内容简介如下：

- 第 1 章 数控车床概述
- 第 2 章 数控加工工艺
- 第 3 章 切削原理
- 第 4 章 数控编程基础
- 第 5 章 FANUC Oi 系统数控车床编程
- 第 6 章 FANUC Oi 系统数车编程综合实训
- 第 7 章 FANUC Oi 系统数控操作
- 第 8 章 FANUC Oi 系统仿真操作
- 第 9 章 数控车床的维护和保养

读者对象

本书语言简洁，层次清晰，实例丰富经典，步骤详细。适合作为高职高专、中等职业技术学校数控加工、模具制造、机电类专业的实训教材；也可作为数控车床技术工人、中、高级工、技师、高级技师的培训教材以及从事数控加工的工程技术人员的参考用书。

本书由侯先勤主编。此外，参与本书编写的还有杨海琴、龚小龙、田俊飞、丁荣跃、张继先等，在此一并表示感谢！

由于编写时间较为仓促，书中难免会有疏漏和不足之处，恳请广大读者提出宝贵意见。如有问题可以通过电子邮件 xylyabc666@sohu.com 与编者联系。

编 者

2010 年 6 月



Contents

前 言

第 1 章 数控车床概述	(1)
1.1 数控机床基本概念	(1)
1.1.1 基本概念	(1)
1.1.2 数控加工的特点	(2)
1.2 数控机床的分类	(3)
1.2.1 按工艺用途分类	(3)
1.2.2 按运动轨迹分类	(5)
1.2.3 按伺服系统分类	(6)
1.3 数控车床的组成及分类	(8)
1.3.1 数控车床组成	(8)
1.3.2 数控车床的分类	(9)
1.4 数控车床的工艺范围及特点	(13)
1.4.1 数控车削工艺范围	(13)
1.4.2 数控车削的特点	(13)
1.5 数控机床的插补原理	(14)
1.5.1 插补基本概念及插补分类	(15)
1.5.2 逐点比较法	(15)
1.6 本章小结	(20)
第 2 章 数控加工工艺	(22)
2.1 生产类型	(22)
2.2 工艺设计	(24)
2.2.1 拟定原始资料	(24)
2.2.2 工艺设计的步骤	(24)
2.3 定位基准及装夹方式	(25)
2.3.1 定位基准的分类及原则	(25)
2.3.2 工件的装夹	(28)
2.3.3 夹具的选择	(32)
2.4 工艺路线的确定	(32)
2.4.1 表面加工方法的选择	(33)
2.4.2 加工阶段的划分	(35)

2.4.3	工序的集中与分散	(36)
2.4.4	加工顺序的安排	(36)
2.4.5	数控车削加工路线选择的原则	(37)
2.4.6	常用加工路线的确定方法	(37)
2.5	车床及刀具的选择	(39)
2.5.1	选择机床的原则	(39)
2.5.2	刀具的选择	(40)
2.6	毛坯的选择及加工过程	(41)
2.6.1	机械加工中常见毛坯的种类	(41)
2.6.2	毛坯种类的选择	(42)
2.6.3	毛坯形状与尺寸	(43)
2.7	工件的检测	(44)
2.7.1	机械加工表面质量	(44)
2.7.2	加工精度及精度检验方法	(45)
2.8	本章小结	(49)
第3章	切削原理	(50)
3.1	切削运动及切削用量	(50)
3.1.1	车削运动的基本概念	(50)
3.1.2	切削用量的确定及选择原则	(51)
3.1.3	切削用量的确定方法	(52)
3.2	常用材料的切削性能	(54)
3.3	改善切削性能的条件	(55)
3.3.1	影响工件材料切削加工性能的因素	(55)
3.3.2	改善工件材料切削性能的途径	(56)
3.4	车刀的组成	(57)
3.4.1	车刀的组成	(57)
3.4.2	车片的组成	(58)
3.5	切削刀具材料	(60)
3.5.1	切削部分的基本性能	(60)
3.5.2	常用的车刀材料	(60)
3.6	切削液	(63)
3.6.1	切削液的分类	(63)
3.6.2	切削液的作用	(63)
3.6.3	切削液的选用	(64)
3.7	本章小结	(65)

第 4 章 数控编程基础	(67)
4.1 数控编程原理	(67)
4.1.1 数控编程的基本概念	(67)
4.1.2 数控编程的内容和步骤	(67)
4.2 数控编程的分类	(69)
4.2.1 手工编程	(69)
4.2.2 自动编程	(69)
4.2.3 常用 CAD/CAM 软件介绍	(71)
4.3 数车的坐标系及方向	(71)
4.3.1 标准坐标系	(72)
4.3.2 电气坐标系	(74)
4.3.3 机床坐标系	(74)
4.3.4 工件坐标系	(75)
4.3.5 数控车床坐标系	(75)
4.4 数车编程方法	(77)
4.4.1 编程代码简介	(77)
4.4.2 程序的组成与格式	(77)
4.5 数车编程相关说明	(79)
4.5.1 直径与半径编程	(79)
4.5.2 代码分组	(80)
4.5.3 模态和非模态	(80)
4.5.4 开机默认代码	(81)
4.5.5 数控车床编程的特点	(81)
4.6 本章小结	(81)
第 5 章 FANUC 0i 系统数控车床编程	(83)
5.1 FANUC 0i 系统功能介绍	(83)
5.1.1 系统功能指令	(83)
5.1.2 FANUC 0i 系统程序结构	(88)
5.2 FANUC 0i 系统数车基本编程指令	(89)
5.2.1 绝对值、增量值和混合编程	(89)
5.2.2 常用 G 指令	(90)
5.2.3 刀具补偿功能	(105)
5.2.4 固定循环	(109)
5.3 用户宏程序	(150)
5.3.1 变量的表示	(150)
5.3.2 关于变量的说明	(151)

5.3.3 变量的运算	(152)
5.3.4 转移和循环	(153)
5.3.5 宏指令编程示例	(155)
5.4 本章小结	(157)
第6章 FANUC 0i 系统数车编程综合实训	(158)
6.1 轴类零件编程实训	(158)
6.1.1 轴类零件编程实训一	(158)
6.1.2 轴类零件编程实训二	(162)
6.2 套类零件编程实训	(167)
6.3 盘类零件编程实训	(172)
6.4 螺纹类零件编程实训	(176)
6.5 宏程序编程实训	(182)
6.6 组合件编程实训	(187)
第7章 FANUC 0i 系统数控车床操作	(194)
7.1 FANUC 0i 系统数控车床操作面板	(194)
7.1.1 CRT/MDI 操作面板	(194)
7.1.2 机床控制面板	(195)
7.2 FANUC 0i 系统数控车床操作	(197)
7.3 本章小结	(202)
第8章 FANUC 0i 系统仿真操作	(203)
8.1 FANUC 0i 系统仿真界面	(203)
8.1.1 仿真软件的启动方法	(203)
8.1.2 系统操作界面	(204)
8.1.3 FANUC 0i 系统操作面板简介	(205)
8.2 FANUC 0i 系统操作方法	(208)
8.3 仿真下程序的处理	(218)
8.3.1 新建一个程序	(218)
8.3.2 数控程序的管理	(218)
8.4 本章小结	(222)
第9章 数控车床的维护和保养	(223)
9.1 数控车床安全操作规程	(223)
9.2 数控车床的维护和保养	(224)
9.2.1 数控车床操作注意事项	(224)
9.2.2 数控车床控制系统的维护与保养	(225)
9.3 数控车床常见的操作故障	(228)

第1章 数控车床概述

微电子技术和微型计算机技术的发展,使得计算机作为现代数控机床的控制系统成为现实。计算机取代了早期 NC 机床的纸带阅读机,或者说取代了阅读和执行穿孔带上的程序,而由计算机自身调用和执行程序,这种机床叫做计算机数控机床,即 CNC(Computer Numerical Control)机床。本书将着重介绍 CNC 车床的编程与加工。

数控车床主要用来对旋转体零件进行车削、镗削、钻削、铰削、攻丝等工序的加工,一般能用计算机程序对各类控制信息进行处理,如可自动完成内外圆柱面、圆锥面、球面、螺纹、槽及端面等工序的切削加工,还可处理逻辑电路难以处理的各种复杂信息。它是目前国内使用极为广泛的一种数控机床,约占数控机床总数的 25%。

本章介绍数控车床及车削中心的组成、分类及特点以及插补原理,以便于增加读者对数控机床的感性认识,同时为后续的数控编程奠定基础。



1.1 数控机床基本概念

随着科学技术的迅速发展,机械制造技术发生了深刻的变化,传统的机械加工设备已很难适应市场对产品多样化、高质量的要求。而数控技术及其数控机床的应用,则成功地解决了一些几何形状复杂、一致性要求较高的中小批量零件自动化加工问题,大大提高了加工效率和加工精度,而且减轻了工人的劳动强度,缩短了生产周期,提高了企业的竞争能力。

1.1.1 基本概念

(1) 数控 即数字控制(Numerical Control,简称 NC),简称数控,就是用数字化的信息对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。简单地说,数控就是采用计算机或专用计算机装置进行数字计算、分析处理、发出相应指令,对加工设备的各个动作及加工过程进行自动控制的一门技术。

(2) 数控机床 数控机床是指应用数控技术对加工过程进行控制的机床。目前,数控机床的控制系统基本采用了计算机数控(Computer Numerical Control,简称 CNC)系统,它由硬件和软件两部分组成。

(3) 数控加工 是指在数控机床上进行工件的切削加工的一种工艺方法,即根据工件图样和工艺要求等原始条件,编制工件数控加工程序,并输入数控系统,以控制机床的刀具与工件的相对运动,从而实现对工件的加工。

从图 1-1 可以看出,数控加工过程总体上可分为数控程序编制和机床加工控制两大部分。数控机床的控制系统一般都能按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、换向和

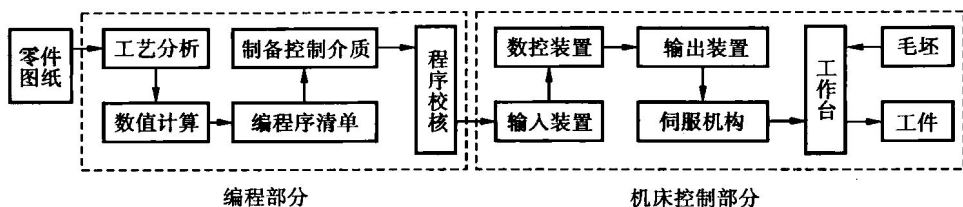


图 1-1 数控加工过程

变速,能自动控制进给速度、方向和加工路线,进行加工,能选择刀具并根据刀具尺寸调整背吃刀量及行走轨迹,能完成加工中所需要的各种辅助动作。

(4) 数控加工的内容 一般来说,主要包括以下几方面的内容。

①分析图样,确定加工方案对所要加工的零件进行技术要求分析,选择合适的加工方式,选择合适的数控加工机床类型。

②工件的定位与装夹,根据零件的加工要求,选择合理的定位基准,并根据零件批量、精度、加工成本选择合适的夹具,完成工件的装夹与工件在夹具中的找正。

③刀具的选择与安装,根据零件的加工工艺性与结构工艺性,选择合适的刀具材料与刀具种类,完成刀具在机床中的安装与对刀,并将对刀所得参数在数控系统中进行正确的设定。

④编制数控加工程序,根据零件的加工要求对零件进行正确的编程,并将这些程序通过控制介质或手动方式输入机床数控系统。

⑤试切削、试运行并校验数控加工程序,对所输入的程序进行试运行,并进行首件的试切削。试切削一方面用来校验所编制的数控程序,另一方面用来校验工件的加工精度。

⑥数控加工,当程序验证无误后,便可进入数控加工阶段。

⑦工件验收和质量误差分析工件入库前,先进行工件的检验,并进行质量分析,分析误差产生的原因,找出纠正误差的方法。

1.1.2 数控加工的特点

总的来说,数控加工有如下特点。

(1) 自动化程度高,具有很高的生产效率 除手工装夹毛坯外,其余全部加工过程都可由数控机床自动完成。若配合自动装卸手段,则是无人控制工厂的基本组成环节。数控加工减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件;省去了划线、多次装夹定位、检测等工序及其辅助操作,有效地提高了生产效率。

(2) 对加工对象的适应性强 当改变加工对象时,除了更换刀具和解决毛坯装夹方式外,只需重新编程即可,不需要作其他任何复杂的调整,从而缩短了生产准备周期。

(3) 加工精度高,质量稳定 加工尺寸精度在 $0.005\sim 0.01\text{ mm}$ 之间,不受零件复杂程度的影响。由于大部分操作都由机器自动完成,因而消除了人为误差,提高了批量零件尺寸的一致性,同时精密控制的机床上还采用了动态位置检测装置,更加提高了数控加工的精度。

(4) 易于建立与计算机间的通信联络,容易实现群控 由于机床采用数字信息控制,易于与计算机辅助设计系统连接,形成 CAD/CAM 一体化系统,并且可以建立各机床间的联系,容易实现群控。



1.2 数控机床的分类

随着数控技术的飞速发展,数控机床的品种和规格越来越多,金属切削机床常用的有车床、铣床、磨床、刨床、镗床、拉床等。本节将数控机床按工艺用途、运动轨迹和伺服系统分为两类。其中按运动轨迹可分为点位控制、直线控制、轮廓控制。按伺服系统可分为全闭环伺服系统、半闭环伺服系统和开环伺服系统。

1.2.1 按工艺用途分类

1. 一般数控机床

一般数控机床是在普通通用机床的基础上发展起来的,这种类型的数控机床工艺用途与普通机床相似,不同的是它适合加工单件、小批量和复杂形状的零件,生产效率和自动化程度比普通机床高,其种类主要有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床等。如图 1-2、1-3、1-4、1-5 所示。

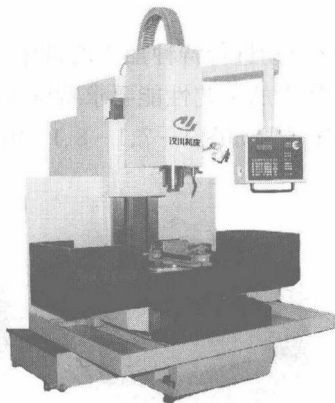


图 1-2 数控铣床



图 1-3 数控车床

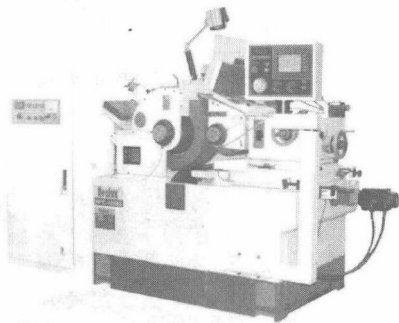


图 1-4 数控磨床

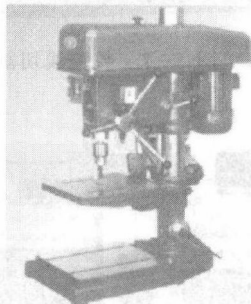


图 1-5 数控钻床

2. 加工中心

加工中心(Machine Center)是由数控铣、数控钻镗类机床发展而来的,集铣削、钻镗、加



工螺纹等各种功能于一体,并配备有规模庞大的刀具库,具有自动换刀功能,是适用于加工复杂工件的高效率、高精度的自动化机床。常用的加工中心一般分四种类型:立式加工中心、卧式加工中心、复合加工中心和龙门加工中心。如图 1-6 所示。

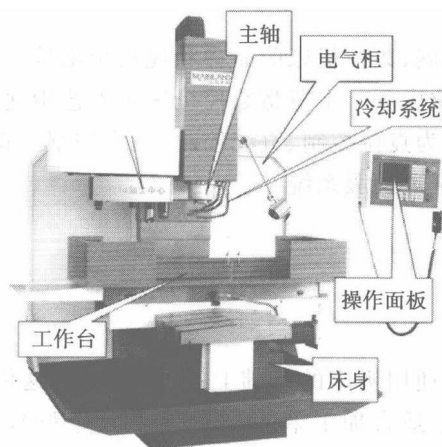


图 1-6 立式加工中心

3. 特种数控机床

特种数控机床是配置有专用的计算机数控系统并自动进行特种加工的机床。其特种加工的含义,主要是指加工手段特殊,工件的加工部位特殊,加工的工艺性能要求特殊等。例如,数控电火花机床,数控线切割机床,数控激光切割机、数控冲床等。如图 1-7、1-8、1-9、1-10 所示。

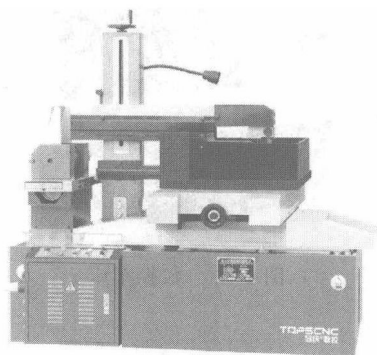


图 1-7 数控线切割

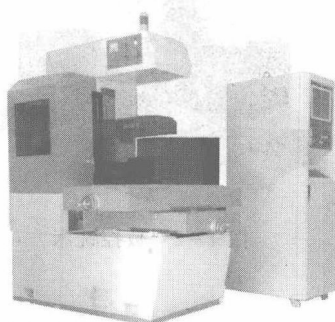


图 1-8 数控电火花



图 1-9 数控激光机

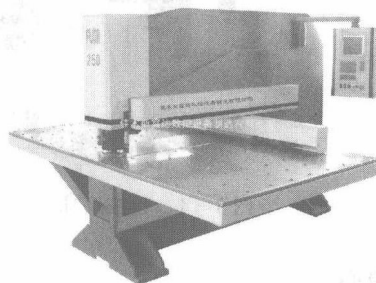


图 1-10 数控冲床

1.2.2 按运动轨迹分类

1. 点位控制系统

点位控制系统的数控机床,其数控装置只能控制刀具从一点到另一点的位置,而不控制移动的轨迹,因为点位控制系统的数控机床只要求获得准确的加工坐标点的位置,而对移动轨迹没有严格要求,并且在移动和定位过程中不进行任何加工。为了减少移动部件的运动与定位时间,一般先以快速移动到终点附近位置,然后以低速准确移动到终点定位位置,以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削。如图 1-11 所示。

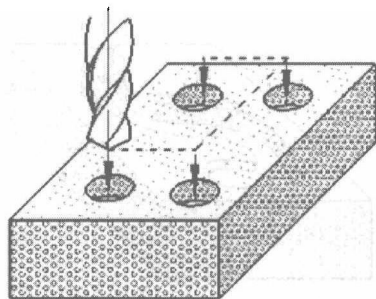


图 1-11 点位控制系统

知识点拨:

常见的点位数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

2. 直线控制

直线控制系统的数控机床,可控制刀具相对于工作台以适当的进给速度,沿着平行于某一坐标轴方向或与坐标轴成 45° 的斜线方向作直线轨迹的加工。这种方式是一次同时只有某一轴在运动,或让两轴以相同的速度同时运动以形成 45° 的斜线,所以其控制难度不大,系统结构比较简单。一般地,都是将点位与直线控制方式结合起来,组成点位直线控制系统而用于机床上。如图 1-12 所示。

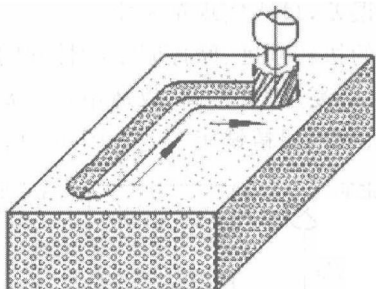


图 1-12 直线控制系统

**知识点拨：**

常见的轮廓数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、线切割等。

3. 轮廓控制

轮廓控制系统的数控机床,又称连续控制机床,可控制刀具相对于工件作连续轨迹的运动,能加工任意斜率的直线,任意大小的圆弧,配以自动编程计算,可加工任意形状的曲线和曲面。其加工工件可以用直线插补或圆弧插补的方法进行切削加工。如图 1-13 所示。

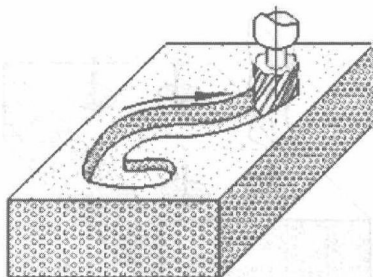


图 1-13 轮廓控制系统

知识点拨：

常见的轮廓数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、线切割等。

1.2.3 按伺服系统分类

伺服系统是一种反馈控制系统,它以指令脉冲为输入给定值与输出被调量进行比较,利用比较后产生的偏差值对系统进行自动调节,以消除偏差,使被调量跟踪给定值。

1. 全闭环伺服系统

这类数控机床带有位置检测反馈装置,该装置采用直线位移检测元件,直接安装在机床的移动部件上,将测量结果直接反馈到数控装置中。通过反馈可消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链中的传动误差,最终实现精确定位。

本系统特点是受进给丝杠的扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响,给调试工作造成很大的困难,而且系统复杂、成本高,故适用精度要求很高的数控机床,如加工中心、数控镗铣床、数控超精车床、数控超精铣床等。如图 1-14 所示。

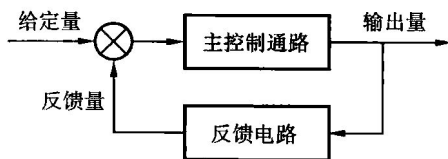


图 1-14 全闭环伺服系统

知识点拨:

闭环控制系统特点是加工精度高、移动速度快,但调试、维修复杂,稳定性难。

2. 半闭环伺服系统

大多数数控机床采用的是半闭环伺服系统,这类驱动系统在电机的端头或丝杠的端头安装检测元件(如感应同步器或光电编码器等),通过检测其转角来间接检测移动部件的位移,然后反馈到数控系统中。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可获得较稳定的控制特性。其控制精度虽不如闭环控制数控机床,但调试比较方便,因而被广泛采用。如图 1-15 所示。

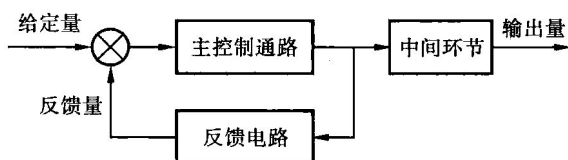


图 1-15 半闭环伺服系统

知识点拨:

半闭环控制系统特点是加工精度和稳定性较高,价格适中,调试比较容易。兼顾开环和闭环两者的优点。

3. 开环伺服系统

这类机床不带位置检测及反馈装置,通常用步进电机作为执行机构。输入数据经过数控系统的运算,发出脉冲指令,使步进电机轴转过一个角度,再通过机械传动机构把步进电机轴的转动转换为工作台的直线移动,移动部件的移动速度和位移量由输入脉冲的频率和脉冲个数所决定。如图 1-16 所示。

开环系统由于没有位置反馈环节,因此具有结构简单、系统稳定、容易调试和成本较低等特点。缺点是系统没有误差补偿,精度较低。这种系统一般适用于经济型数控机床和旧机床的数控改造。

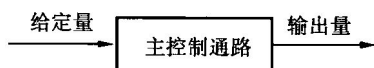


图 1-16 开环伺服系统

知识点拨：

开环控制系统特点是受步进电动机的步距精度和工作频率以及传动机构的传动精度影响,速度和精度都较低,但其反映迅速,调试方便,工作比较稳定,维修方便,成本较低。



1.3 数控车床的组成及分类

数控机床的种类繁多,但从组成一台完整的数控机床来讲,主要由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体四大部分以及辅助装置组成。数控车床是数控机床的一种,除具备通用结构之外,在机床本体部分有其自身的特点。

数控车床可分为卧式和立式两大主要分类。卧式车床又有水平导轨和倾斜导轨两种。档次较高的数控卧车一般都采用倾斜导轨。按刀架数量分类,又可分为单刀架数控车床和双刀架数控车,前者是两坐标控制,后者是四坐标控制。双刀架卧车多数采用倾斜导轨。

1.3.1 数控车床组成

现代数控车床的数控系统都采用模块化结构,伺服系统中的伺服单元和驱动装置为数控系统的一个子系统,输入输出装置也为数控系统的一个功能模块,所以数控车床主要由计算机数控系统和数控车床本体组成。如图 1-17 所示。

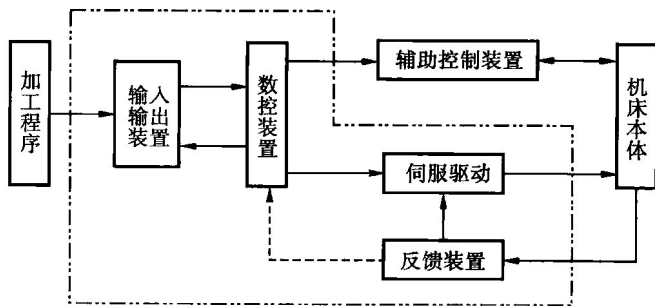


图 1-17 数控车床的组成

1. 输入装置

数控车床是按照编程人员编制的程序运行的。通常编程人员将程序以一定的格式或代码存储在一种载体上,如穿孔带或磁盘等,通过数控车床的输入装置输入到数控装置中去。此外,还可以使用数控系统中的 RS232 接口或 DNC 接口,与计算机进行信号的高速传输。

2. 数控装置

数控装置是数控车床的核心,一般由输入装置、控制器、运算器和输出装置组成。它将接受到的数控程序,经过编译、数学运算和逻辑处理后,输出各种信号到输出接口上。