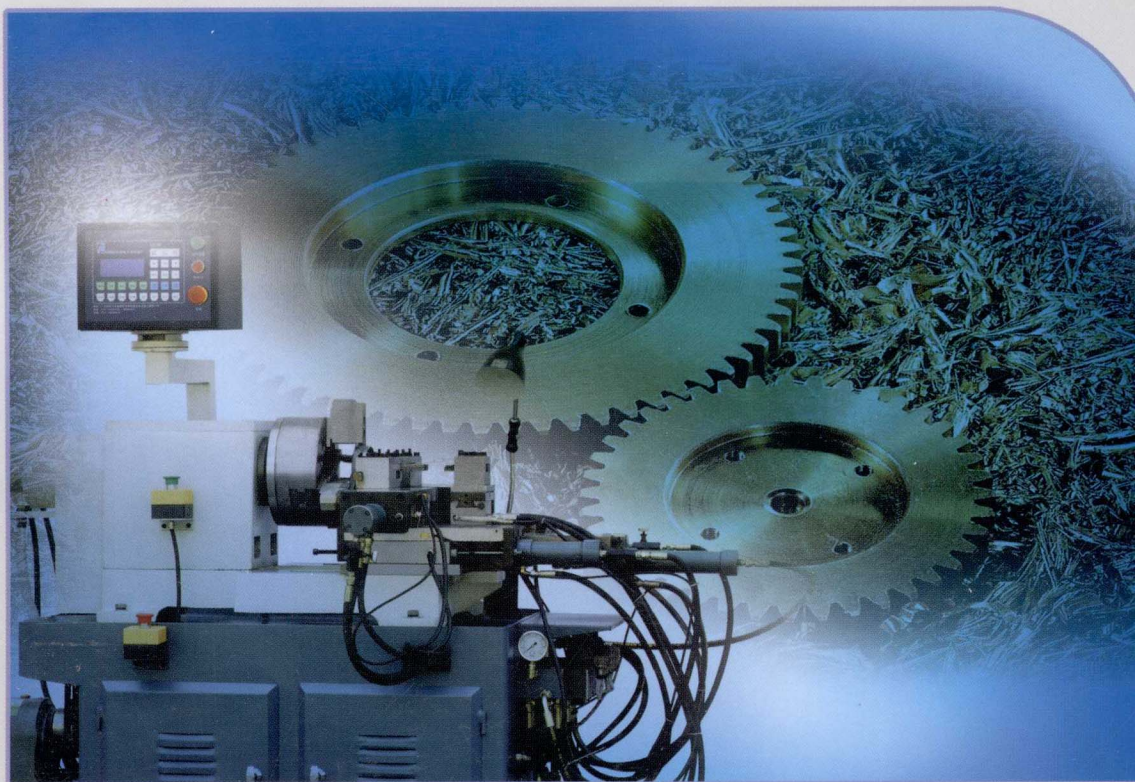




高等院校“十二五”示范性建设项目



数控加工工艺与编程

SHUKONG JIAGONG GONGYI
YU BIANCHENG

主编 钱红 崔亚军 杨兴国

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/钱红,崔亚军,杨兴国主编. —北京:北京理工大学出版社,2012. 8

ISBN 978-7-5640-6739-7

I. ①数… II. ①钱… ②崔… ③杨… III. ①数控机床-加工②数控机床-程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 201914 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京兆成印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 14

字 数 / 255 千字

版 次 / 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑 / 张慧峰

印 数 / 1 ~ 1500 册

责任校对 / 周瑞红

定 价 / 38.00 元

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书是为了适应国家数控技能型紧缺人才培养的需要，结合目前应用型高等教育、职业技能培训现状，本着“以就业为导向，工学结合”的原则，以培养职业技能为特色，以培养技术应用能力和岗位工作能力为核心，内容上以“必需、够用、实用”为原则，充分体现新知识、新理念、新技术。根据国家职业标准要求的内容及“双证书”教育，以学生为主体，充分考虑学生的认知水平，将学生的实际状况和培养方案有机结合起来。本书配有一定的例题和综合实训项目。

本书基本概念清晰，内容安排合理，深入浅出，符合学生的实际状况，针对目前数控技术应用情况，主要以 FANUC 系统为例，详细介绍了数控加工工艺、数控刀具、数控机床编程等内容。本书可作为高等院校数控技术专业、机械制造及自动化专业，以及从事数控加工工艺编程的技术人员的教材，也可作为相关企业工程技术人员的参考书。

本书模块 1 由杨春红、吴晓燕编写，模块 2 由钱红编写，模块 3 由史亚巍、杨兴国编写，模块 4 由崔亚军、郭在云编写，全书由钱红、崔亚军主编并统稿，由李其钜主审全书。在编写过程中，得到了云南机器二厂、一汽红塔汽车制造有限公司的大力支持，在此表示衷心感谢！

由于编者水平有限及数控技术的迅速发展，书中难免有不妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

模块1 数控加工技术基本概念	(1)
项目 1.1 基本概念	(1)
1.1.1 数控技术及其发展	(1)
1.1.2 数控机床的组成及工作原理	(2)
1.1.3 数控机床的分类	(5)
1.1.4 数控机床的特点及应用范围	(7)
1.1.5 数控编程技术	(9)
1.1.6 数控技术的发展趋势	(13)
项目 1.2 数控编程基本知识	(16)
1.2.1 字的概念和功能指令	(16)
1.2.2 程序格式	(22)
1.2.3 数控机床的坐标系	(23)
1.2.4 数控编程中的数学处理	(26)
项目 1.3 数控加工工艺基础	(28)
1.3.1 数控加工的刀具及其选用	(28)
1.3.2 切削用量及工艺参数的确定	(40)
1.3.3 工艺路线的拟订	(43)
思考与练习题	(48)
模块2 数控车床工艺编程	(50)
项目 2.1 概述	(50)
2.1.1 数控车削加工的对象	(50)
2.1.2 数控车削编程的特点	(51)
项目 2.2 基本编程指令	(51)
2.2.1 工件坐标系的设置	(51)
2.2.2 常用功能指令	(54)
2.2.3 简单阶梯轴的精加工	(61)
2.2.4 刀具半径补偿功能 G41/G42/G40	(62)
项目 2.3 循环功能指令	(66)
2.3.1 单一固定循环指令	(67)
2.3.2 复合循环指令 G71/G72/G73/G70	(72)

2.3.3	典型零件的加工	·····	(78)
项目 2.4	螺纹加工指令	·····	(80)
2.4.1	螺纹加工的相关知识	·····	(80)
2.4.2	常见螺纹的数控加工编程指令	·····	(82)
2.4.3	典型螺纹的加工	·····	(86)
项目 2.5	综合加工实例	·····	(91)
2.5.1	零件综合加工训练一	·····	(91)
2.5.2	零件综合加工训练二	·····	(94)
	思考与练习	·····	(99)
模块 3	数控铣床及加工中心工艺编程	·····	(102)
项目 3.1	基本功能指令	·····	(102)
3.1.1	工件坐标系的建立	·····	(103)
3.1.2	常用的功能指令	·····	(104)
3.1.3	刀具半径补偿功能	·····	(114)
3.1.4	刀具长度补偿功能	·····	(117)
项目 3.2	坐标变换功能指令	·····	(121)
3.2.1	比例缩放功能指令	·····	(121)
3.2.2	镜像功能指令	·····	(124)
3.2.3	旋转功能指令	·····	(125)
3.2.4	极坐标	·····	(127)
项目 3.3	平面轮廓加工应用实例	·····	(129)
3.3.1	平面外轮廓的加工实例	·····	(129)
3.3.2	平面内轮廓的加工实例	·····	(133)
3.3.3	凹槽的加工实例	·····	(137)
项目 3.4	孔加工循环指令	·····	(140)
3.4.1	钻孔加工循环指令	·····	(142)
3.4.2	螺纹加工循环指令	·····	(144)
3.4.3	镗孔加工循环指令	·····	(145)
3.4.4	孔加工循环功能的应用	·····	(148)
项目 3.5	零件综合加工训练	·····	(150)
3.5.1	零件综合加工训练一	·····	(150)
3.5.2	零件综合加工训练二	·····	(153)
	思考与练习题	·····	(157)
模块 4	宏指令编程	·····	(159)
项目 4.1	概述	·····	(159)

4.1.1	自动编程和宏指令编程的区别	(160)
4.1.2	宏程序的特点	(161)
项目 4.2	FANUC Oi 数控系统基础知识	(161)
4.2.1	变量与赋值	(161)
4.2.2	运算指令	(163)
4.2.3	转移和循环指令	(166)
4.2.4	用户宏程序调用指令	(169)
项目 4.3	数控车床宏指令编程	(177)
4.3.1	椭圆曲线轮廓轴加工	(177)
4.3.2	其他非圆曲线轮廓轴的加工	(179)
项目 4.4	数控铣床及加工中心宏指令编程	(181)
4.4.1	圆柱孔的轮廓加工	(181)
4.4.2	多个圆孔(或台阶圆孔)的轮廓加工	(182)
4.4.3	孔口倒圆角	(185)
4.4.4	圆柱体倒角	(187)
4.4.5	球头铣刀加工四棱台斜面	(188)
4.4.6	螺纹铣削加工	(191)
4.4.7	椭圆内轮廓铣削加工	(193)
4.4.8	内球面的粗、精加工	(194)
项目 4.5	综合加工实例	(197)
4.5.1	零件综合加工训练一	(197)
4.5.2	零件综合加工训练二	(200)
	思考与练习	(202)
附录 A	FANUC 数控指令	(204)
参考文献	(211)

模块 1 数控加工技术基本概念

学习重点：

1. 数控编程格式及字的概念和功能指令。
2. 数控刀具的基础知识及数控刀具的选用。
3. 零件的加工顺序，切削用量的选择，工艺路线的拟定。

学习难点：

1. 数控刀具的基础知识及数控刀具的选用。
2. 零件的加工顺序，切削用量的选择，工艺路线的拟定。

知识目标：

1. 数控技术的定义，数控机床的组成，数控机床的分类，数控机床的应用范围。
2. 数控编程格式及字的概念和功能指令。
3. 数控刀具的基础知识及数控刀具的选用。
4. 零件的加工顺序，切削用量的选择，工艺路线的拟定。

技能目标：

1. 数控编程格式及字的概念和功能指令。
2. 数控刀具的基础知识及数控刀具的选用。
3. 零件的加工顺序，切削用量的选择，工艺路线的拟定。

项目 1.1 基本概念

1.1.1 数控技术及其发展

1. 数控技术概括

数控技术简称数控 (Numerical Control)，即采用数字控制的方法对某一工作过程实现自动控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。

2. 数控技术发展历史

1948 年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制直升飞机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出采用数字脉冲控制机床的设想。

1949年,帕森斯公司与美国麻省理工学院(MIT)开始共同研究,并于1952年试制成功第一台三坐标数控铣床,当时的数控装置采用电子管元件。

1959年,数控装置采用了晶体管元件和印刷电路板,出现带自动换刀装置的数控机床,称为加工中心(Machining Center, MC),进入了第二代数控装置时代。

1965年,出现了第三代的集成电路数控装置,不仅体积小,功率消耗少,且提高了可靠性,价格进一步下降,促进了数控机床品种和产量的发展。

20世纪60年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(简称DNC),又称群控系统;采用小型计算机控制的计算机数控系统,使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974年,研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置(简称MNC),这是第五代数控系统。

20世纪80年代初,随着计算机软、硬件技术的发展,出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置;数控装置趋向于小型化,可以直接安装在机床上;数控机床的自动化程度进一步提高,具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。

20世纪90年代后期,出现了PC+CNC智能数控系统,即以PC为控制系统的硬件部分,在PC上安装NC软件系统,这种方式系统维护方便,易于实现网络化制造。

现在,数控技术也叫计算机数控技术(Computerized Numerical Control, CNC),目前它是采用计算机实现数字程序控制的技术。这种技术用计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制功能。由于采用计算机替代原先用硬件逻辑电路组成的数控装置,使输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现均可以通过计算机软件来完成。数控技术是制造业信息化的重要组成部分。

1.1.2 数控机床的组成及工作原理

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。国际信息处理联盟第五技术委员会对数控机床进行了如下定义:数控机床是一种装了程序控制系统的机床,该系统能逻辑处理具有使用号码或其他符号编辑指令规定的程序。

1. 数控机床的组成

数控机床的种类很多,但任何一种数控机床均主要由控制介质、数控系统、伺服系统、机床主体及许多的辅助装置所组成,如图1-1所示。

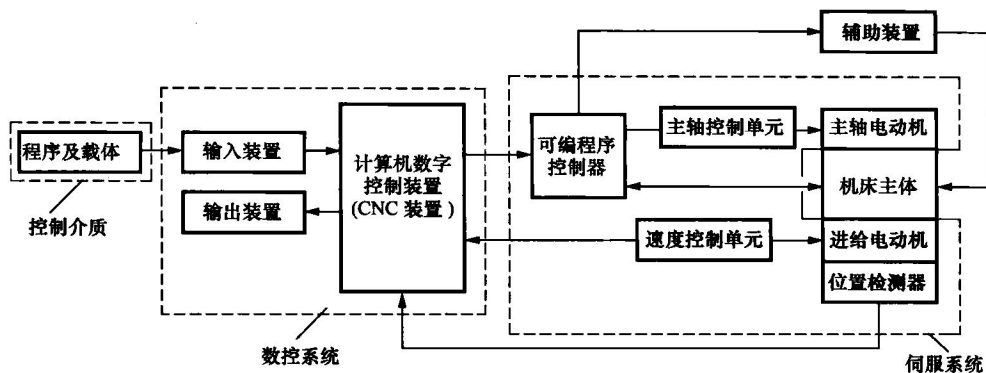


图 1-1 数控机床的组成

1) 控制介质

控制介质是指将零件加工信息传递到控制装置中的程序载体。控制介质有多种形式，常用的有磁带、磁盘和 U 盘等。此外，有的数控机床还采用穿孔带。如果程序简单，可以不通过控制介质输入程序，而是通过编程面板直接将程序输入到系统内部。随着 CAD/CAM 技术的发展，现在大多数数控机床都采用 CAD/CAM 软件先在个人计算机上进行编程，然后通过计算机与数控系统的 RS232C 接口进行通信，将程序直接传送给数控装置。

2) 数控系统

数控系统是数控机床的核心。现代数控系统由输入装置、计算机数字控制装置 (CNC 装置) 和输出装置构成。它将输入装置输入的数字化信息经过控制软件或逻辑电路进行编译、运算插补和逻辑处理后，输出各种信号和指令控制机床的各个部分进行规定的、有序的动作。

3) 伺服系统

伺服系统是 CNC (计算机数字控制) 装置和机床本体的联系环节，它把来自 CNC 装置的微弱指令信号通过调制解调、转换、放大后驱动伺服电机，通过执行部件驱动机床运动，使工作台精确定位或使刀具与工件按规定的轨迹做相对运动，最后加工出符合图样要求的零件。数控机床的伺服驱动装置包括主轴控制单元、进给控制单元、可编程序控制器 (Programmable Logic Control, PLC)、主轴与进给伺服电动机和测量反馈装置等。

4) 机床主体

机床主体也称主机，它包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件，如主轴、滚动导轨、滚珠丝杠、工作台 (或刀架)、底座、立柱、床鞍等。

5) 辅助装置

数控机床在实现整机的自动化控制中，为了提高生产效率、加工精度，还需

要配备许多辅助装置，如液压和气动装置、自动换刀装置（Automatic Tool Changer，即 ATC）、自动工作台交换装置（Automatic Pallet Changer，即 APC）、自动对刀仪、自动排屑装置及电、液、气、冷却、润滑、防护装置等。

（1）自动换刀装置：带有自动换刀装置的数控机床（如加工中心）在对工件进行多工序加工时，必须要自动更换刀具，以提高机床的生产率和加工精度。自动换刀装置的类型取决于机床的形式、工艺范围及其刀具的种类和数量。其基本类型有如下三种：

①回转刀架换刀，数控车床常用这一类换刀方法。

②多主轴转塔换刀，常用于数控钻床、数控镗床等。

③刀库自动换刀装置，典型应用这种换刀方式的是加工中心，这类换刀装置由刀库、选刀机构、刀具的自动装卸机构及刀具交换机械手等部分组成。

（2）自动工作台交换装置：有的加工中心带有自动工作台交换装置，使工件的装卸时间大幅度减少。常用的有回转式工作台交换装置和往复式工作台交换装置。

（3）自动对刀仪：对刀仪是提高数控机床加工效率必不可少的辅助装置之一。把加工用的刀具预先校对好，测出刀具的有关几何尺寸和参数，使其装上机床即可使用，以节省机床的对刀时间。按检测对象的不同，对刀仪可分为数控车床对刀仪、数控镗床对刀仪和加工中心对刀仪等。

（4）自动排屑装置：数控机床在单位时间内的金属切削量大大高于普通机床，而且数控机床可以实现长时间无人自动加工，因此，迅速有效地排除切屑对数控机床加工来说十分重要。根据数控机床种类、规格、加工工艺特点等的不同，可设计出各种类型的排屑装置，常用的有传送带排屑装置和螺旋式排屑装置。

2. 数控机床的工作原理

金属切削机床的加工是操作者依据零件图纸的要求，不断改变刀具与工件之间相对运动的参数，即位置与速度，使刀具对工件进行切削加工，最终得到所需要的合格零件。

数控机床的加工是数控系统按照零件程序的要求，使刀具按最小位移量移动，形成刀具运动轨迹，从而实现刀具与工件的相对运动，完成对零件的加工。

数控机床操作人员按照零件加工的技术要求和工艺要求，编写零件的加工程序，然后将加工程序输入到数控装置，通过数控装置的主轴运动、进给运动、更换刀具，以及工件的夹紧与松开，冷却液、润滑泵的开启与关闭，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，从而加工出符合图纸要求的零件。

刀具沿各坐标轴的相对运动是以脉冲当量 δ 为位移量单位的（mm/脉冲）。形成刀具轨迹过程，则是在刀具轨迹曲线的起点和终点坐标之间进行“数据密化”的过程，即插补运动。一般数控装置都具有对基本函数（如直线函数和圆函数）进行插补的功能。

实际上,在数控机床上加工任意曲线(如用直线、圆等)轮廓的零件,是由该数控装置所能处理的基本函数来逼近的。数控装置则进行节点间的“数据点的密化”,并向各坐标轴分配脉冲数,只要逼近误差能满足零件图样的要求即可。

1.1.3 数控机床的分类

1. 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床。这类机床和传统的通用机床品种一样,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床及加工中心等。加工中心是带有自动换刀装置,在一次工件装卡后,可以进行多种工序加工的数控机床。

(2) 金属成型类数控机床。如数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等。

(3) 数控特种加工及其他类型数控机床。如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床、数控火焰切割机床等。

2. 按运动方式分类

(1) 点位控制数控机床。图1-2所示为点位控制示意图,点位控制是指数控系统只控制刀具或工作台从一点移至另一点的准确定位,然后进行定点加工,而点与点之间的路径不需控制。采用这类控制的有数控钻床、数控镗床和数控坐标镗床等。

(2) 点位直线控制数控机床。图1-3所示为点位直线控制示意图,点位直线控制是指数控系统除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外,还要控制在这两点之间以指定的进给速度进行直线切削。采用这类控制的有数控铣床、数控车床和数控磨床等。

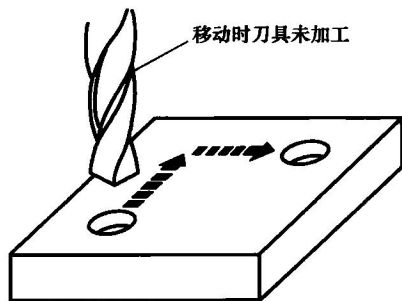


图1-2 点位控制示意图

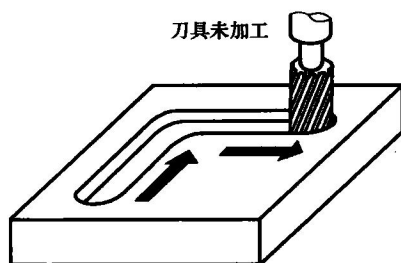


图1-3 点位直线控制示意图

(3) 轮廓控制数控机床也称连续轨迹控制数控机床,图1-4所示为轮廓控制示意图,它能够连续控制两个或两个以上坐标方向的联合运动。为了使刀具按照规定的轨迹加工工件的曲线轮廓,数控装置具有插补运算的功能,使刀具的运动轨迹以最小的误差逼近规定的轮廓曲线,并协调各坐标方向的运动速度,以便在切削过程中始终保持规定的进给速度。采用这类控制的有数控铣床、数控车

床、数控磨床和加工中心。

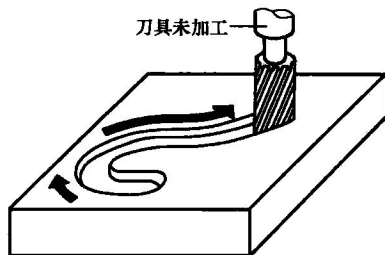


图 1-4 轮廓控制示意图

3. 按控制方式分类

1) 开环控制系统

开环控制系统是指不带反馈装置的控制系统，由步进电机驱动线路和步进电机组成，如图 1-5 所示。数控装置经过控制运算发出脉冲信号，每一脉冲信号使步进电机转动一定的角度，通过滚珠丝杠推动工作台移动一定的距离。这种伺服机构比较简单，工作稳定，容易掌握使用方法，但其精度和速度的提高受到限制。

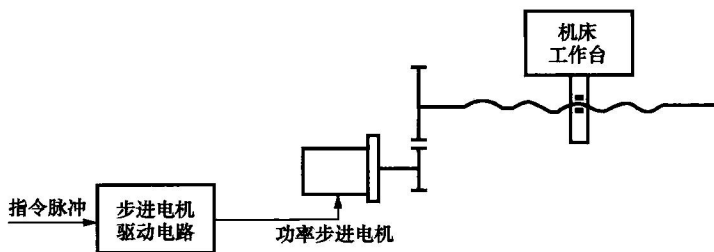


图 1-5 开环控制系统

2) 半闭环控制系统

半闭环控制系统是在开环控制系统的伺服机构中装有角位移检测装置，通过检测伺服机构的滚珠丝杠转角间接检测移动部件的位移，然后反馈到数控装置的比较器中，与输入原指令位移值进行比较，用比较后的差值进行控制，使移动部件补充位移，直到差值消除为止的控制系统，如图 1-6 所示。这种伺服机构所能达到的精度、速度和动态特性优于开环伺服机构，为大多数中小型数控机床所采用。

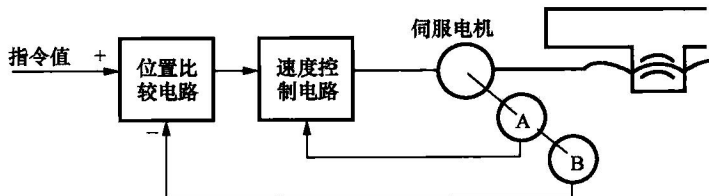


图 1-6 半闭环控制系统

3) 闭环控制系统

如图1-7所示,闭环控制系统是在机床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置,将检测到的实际位移反馈到数控装置的比较器中,与输入的原指令位移值进行比较,用比较后的差值控制移动部件进行补充位移,直到差值消除时才停止移动,闭环控制系统的定位精度高于半闭环控制系统,但结构比较复杂,调试维修的难度较大,常用于高精度和大型数控机床。

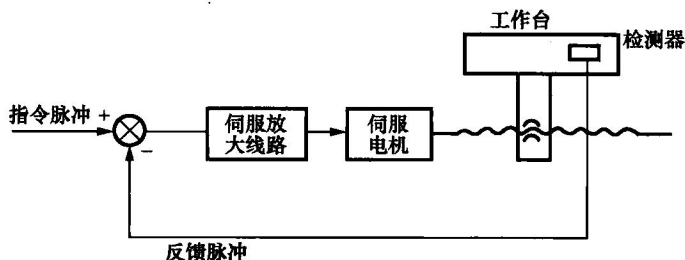


图1-7 闭环控制系统

4. 按联动轴数分类

数控系统控制几个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动,称为坐标联动,按照联动轴数可以分为以下4种。

1) 两轴联动

数控机床能同时控制两个坐标轴联动,适用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。

2) 两轴半联动

在两轴的基础上增加了Z轴的移动,当机床坐标系的X、Y轴固定时,Z轴可以进行周期性进给。两轴半联动加工可以实现分层加工。

3) 三轴联动

数控机床能同时控制三个坐标轴的联动,用于一般曲面的加工,一般的型腔模具均可以用三轴加工完成。

4) 多坐标联动

数控机床能同时控制四个以上坐标轴的联动。多坐标数控机床的结构复杂,精度要求高、程序编制复杂,适用于加工形状复杂的零件,如叶轮叶片类零件。

1.1.4 数控机床的特点及应用范围

1. 数控机床的特点

数控机床是一种高效、新型的自动化机床,具有广泛的应用前景。它与普通机床相比具有以下特点。

1) 适应性、灵活性好

数控机床由于采用数控加工程序控制,当零件改变时,只要改变数控加工程序,便可以实现对新零件的自动化加工,因此能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求,解决了多品种、单件小批量生产的自动化问题;同时也能满足飞机、汽车、造船、动力设备、国防军工等制造部门对复杂形状和型面零件的加工需要。

2) 精度高、质量稳定

数控机床按照预定的程序自动加工,不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失误或误差;数控机床本身刚度高、精度好,并且精度保持性较好,这更有利于零件加工质量的稳定;还可以利用软件进行误差补偿和校正,也使数控加工具有较高的精度。

3) 生产效率高

数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速,且调速范围大,可选择合理的切削速度和进给速度;可以进行在线检测,避免数控机床加工中的停机时间;可采用自动换刀、自动交换工作台,减少了换刀时间;加工同时可以进行工件装卸,并且一次装夹可实现多面和多工位加工,减少了工件装夹、对刀等辅助时间;数控加工工序集中,可减少零件周转时间。因此,数控加工生产效率较高,一般零件可以高出三、四倍,复杂零件可提高十几倍甚至几十倍。

4) 劳动强度低、劳动条件好

数控机床的操作者一般只需要装卸零件、更换刀具,利用操作面板控制机床的自动加工,不需要进行烦杂的重复性手工操作,因此劳动强度可大为减轻。此外,数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,操作者的劳动条件可得到很大改善。

5) 有利于现代化生产与管理

采用数控机床加工能方便、精确计算零件的加工时间,能精确计算生产和加工费用,有利于生产过程的科学管理和信息化管理。数控机床是分布式数字控制(Distributed Numerical Control, DNC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)等先进制造系统的基础,便于制造系统的集成。

6) 使用、维护技术要求高

数控机床是综合多学科、新技术的产物,机床价格高,设备一次性投资大,因此,机床的操作和维护要求较高。为保证数控机床加工的综合经济效益,要求机床的使用者和维修人员应具有较高的专业素质。

2. 数控机床的应用范围

(1) 高速、精密数控车床,车削中心类及四轴以上联动的复合加工机床。这类机床主要用于航天、航空、仪器、仪表、电子信息和生物工程等产业。

(2) 高速、高精度数控铣镗床及高速、高精度立卧式加工中心。这类机床主要满足汽车发动机缸体、缸盖及航天航空、高新技术等行业大型复杂结构支架、壳体、箱体、轻金属材料零件和精密零件加工需求。

(3) 重型、超重型数控机床类。数控落地铣镗床、重型数控龙门镗铣床和龙门加工中心、重型数控卧式车床及立式车床、数控重型滚齿机等，这类产品满足能源、航天、航空、军工、舰船主机制造、重型机械制造、大型模具加工、汽轮机缸体等行业零件加工需求。

(4) 数控磨床类。数控超精密磨床，高速、高精度曲轴磨床和凸轮轴磨床，各类高精、高速专用磨床等，满足精密超精密加工需求。

(5) 数控电加工机床类。大型精密数控电火花成形机床、数控低速走丝电火花切割机床、精密小孔电加工机床等，主要满足大型和精密模具加工、精密零件加工、锥孔或异型孔加工及航天、航空等行业的特殊需求。

(6) 数控金属成形机床类（锻压设备）。数控高速精密板材冲压设备、激光切割复合机、数控强力旋压机等，主要满足汽车、摩托车、电子信息产业、家电等行业的钣金批量高效生产需求及汽车轮毂及军工行业各种薄壁、高强度、高精度回转型零件加工需求。

(7) 数控专用机床及生产线。柔性加工自动生产线（FMS/FMC）及各种专用数控机床，这类生产线是针对汽车、家电等行业加工缸体、缸盖、变速箱箱体等多品种批量壳体、箱体类零件加工需求。

数控机床加工内容的选择原则如下：

(1) 适宜选用数控机床加工的内容

①普通机床无法加工的内容应作为优先加工的内容。

②普通机床难加工，质量也难以保证的内容应作为重点选择的内容。

③普通机床机构效率低的加工内容。

(2) 不宜选用数控加工的内容

①用较长时间占机调整。

②加工余量极不稳定。

③不能在一次装夹中加工完成的零星分散部位。

1.1.5 数控编程技术

数控编程是数控加工准备阶段的主要内容，通常包括分析零件图样，确定加工工艺过程；计算走刀轨迹，得出刀位数据；编写数控加工程序；制作控制介质；校对程序及首件试切等。总之，它是从零件图纸到获得数控加工程序的全过程。

常用数控编程有以下两种方法。

1. 手工编程

手工编程是指编程的各个阶段均由人工完成。利用一般的计算工具，通过各种数学方法，人工进行刀具轨迹的运算，并进行指令编制。

这种方式比较简单，很容易掌握，适应性较大。适用于中等复杂程度、计算量不大的零件编程，对机床操作人员来讲必须掌握。

编程步骤如下：

- ①人工完成零件加工的数控工艺。
- ②分析零件图纸。
- ③制定工艺决策。
- ④确定加工路线。
- ⑤选择工艺参数。
- ⑥计算刀位轨迹坐标数据。
- ⑦编写数控加工程序单。
- ⑧验证程序。

手工编程的优点：主要用于点位加工（如钻、铰孔）或几何形状简单（如平面、方形槽）零件的加工，计算量小，程序段数有限，编程直观，易于实现。手工编程的缺点：对于具有空间自由曲面、复杂型腔的零件，刀具轨迹数据计算相当烦琐，工作量大，极易出错，且很难校对，有些甚至根本无法完成。

2. 自动编程（图形交互式）

对于几何形状复杂的零件需借助计算机使用规定的数控语言编写零件源程序，经过处理后生成加工程序，称为自动编程。

随着数控技术的发展，先进的数控系统不仅向用户编程提供了一般的准备功能和辅助功能，而且为编程提供了扩展数控功能的手段。FANUC 6M 数控系统的参数编程，应用灵活，形式自由，具备计算机高级语言的表达式、逻辑运算及类似的程序流程，使加工程序简练易懂，实现普通编程难以实现的功能。

数控编程同计算机编程一样也有自己的“语言”，但有一点不同的是，现在计算机发展到了微软的 Windows 以绝对优势占领了全球市场。数控机床就不同了，它还没发展到那种相互通用的程度，也就是说，它们在硬件上的差距造就了它们的数控系统一时还不能达到相互兼容，所以，当要对一个毛坯进行加工时，首先要了解数控机床采用的是什么型号的系统。

常用自动编程软件有以下 9 种：

1) UG

UG (Unigraphics NX) 是美国 Unigraphics Solution 公司开发的一套集 CAD、CAM、CAE 功能于一体的三维参数化软件，是当今最先进的计算机辅助设计、

分析和制造的高端软件，用于航空、航天、汽车、轮船、通用机械和电子等工业领域。

UG 软件在 CAM 领域处于领先的地位，产生于美国麦道飞机公司，是飞机零件数控加工首选的编程工具。

UG 的优点如下：

提供可靠、精确的刀具路径；能直接在曲面及实体上加工；良好的使用界面，客户也可自行化设计界面多样的加工方式，便于设计组合高效率的刀具路径；完整的刀具库；加工参数库管理功能；包含二轴到五轴铣削、车床铣削、线切割；大型刀具库管理；实体模拟切削；广泛应用型后处理器等功能；高速铣功能；CAM 客户化模板。

2) CATIA

CATIA 是法国达索 (Dassault) 公司推出的产品，法制幻影系列战斗机，波音 737、777 的开发设计均采用 CATIA。

CATIA 具有强大的曲面造型功能，在所有的 CAD 三维软件位居前列，广泛应用于国内的航空、航天企业、研究所，正逐步取代 UG 成为复杂型面设计的首选。

CATIA 具有较强的编程能力，可满足复杂零件的数控加工要求。目前一些领域采取 CATIA 设计建模和 UG 编程加工，二者结合，搭配使用。

3) Pro/ENGINEER

Pro/ENGINEER 是美国 PTC (参数技术有限公司) 开发的软件，是全世界最普及的三维 CAD/CAM (计算机辅助设计与制造) 系统。广泛用于电子、机械、模具、工业设计和玩具等民用行业。具有零件设计、产品装配、模具开发、数控加工、造型设计等多种功能。

Pro/ENGINEER 在我国南方地区企业中被大量使用，设计建模采用 Pro/ENGINEER，编程加工通常采用 Mastercam 和 Cimatron。

4) Cimatron

CimatronCAD/CAM 系统是以色列 Cimatron 公司的 CAD/CAM /PDM 产品，是较早微机平台上实现三维 CAD/CAM 全功能的系统。该系统提供了比较灵活的用户界面，优良的三维造型、工程绘图，全面的数控加工，各种通用、专用数据接口以及集成化的产品数据管理。Cimatron 公司的 CAD/CAM 系统在国际上的模具制造业备受欢迎，国内模具制造行业也在广泛使用。

5) Mastercam

Mastercam 是美国 CNC 公司开发的基于 PC 平台的 CAD/CAM 软件，它具有方便直观的几何造型，Mastercam 提供了设计零件外形所需的理想环境，其强大稳定的造型功能可设计出复杂的曲线、曲面零件。Mastercam 具有较强的曲面粗加工及曲面精加工的功能，曲面精加工有多种选择方式，可以满足复杂零件的曲