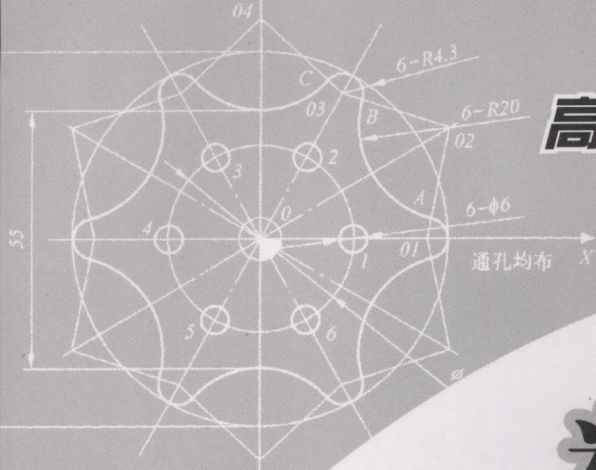
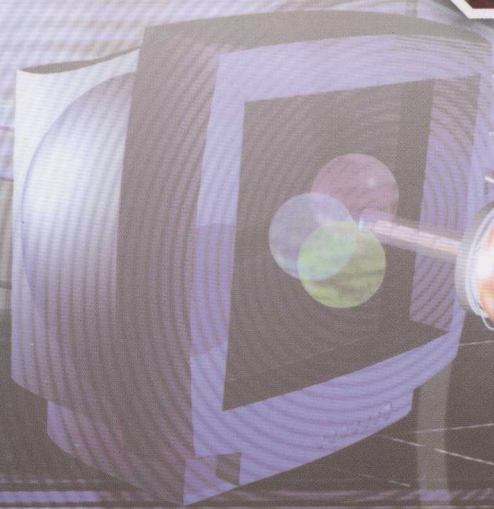




高职高专机电类规划教材

数控加工 与编程

■ 顾晔 主编 ■ 楼章华 副主编 ■ 欧阳毅文 主审



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专机电类规划教材

数控加工与编程

顾 晔 主 编

楼章华 副主编

欧阳毅文 主 审

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工与编程 / 顾晔主编. —北京: 人民邮电出版社,
2008.9
高职高专机电类规划教材
ISBN 978-7-115-18103-9

I. 数… II. 顾… III. 数控机床—程序设计—高等学校:
技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 077105 号

内 容 提 要

本书以 Fanuc Oi 系统为蓝本, 深入浅出地讲述了数控车床、加工中心的基本理论知识及其编程方法。书中所有程序中的每行语句后都附有详细、清晰的注释说明, 所有程序都在数控机床上实际运行过。本书各章设有思考与练习, 便于学生更好地掌握所学内容, 并附有 Fanuc Oi 系统、华中数控系统常用指令表及说明, 供读者查阅和学习。

本书可作为高等职业技术学院和中等职业学校、技师学院的机械、数控技术应用、模具等专业的教学用书, 也可作为工程技术人员学习数控编程技术的参考书及职工培训教材。

高职高专机电类规划教材

数控加工与编程

◆ 主 编 顾 晔

副 主 编 楼章华

主 审 欧阳毅文

责任编辑 潘新文

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京世纪雨田印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 13.75

字数: 335 千字

印数: 1—3 000 册

2008 年 9 月第 1 版

2008 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18103-9/TN

定价: 24.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

丛书前言

目前,高职高专教育已成为我国普通高等教育的重要组成部分。“十一五”期间,国家将安排 20 亿元专项资金用来支持 100 所高水平示范院校的建设,如此大规模的建设计划在我国职业教育发展历史上还是第一次,这充分表明国家正在深化高职高专教育的深层次的重大改革,加大力度推动生产、服务第一线真正需要的应用型人才的培养。

为适应当前我国高职高专教育如火如荼的发展形势,配合高职高专院校的教学和教材改革,进一步提高我国高职高专教育质量,人民邮电出版社在相关教育、行政主管部门的大力支持下,组织专家、高职高专院校的骨干教师及相关行业的工程师,共同策划编写了一套符合当前职业教育改革精神的高质量实用型教材——“高职高专机电类规划教材”。

本系列教材充分体现了高职高专教育的特点,突出了理论和实践的紧密结合;本着“易学,易用”的编写原则,强调学生创造能力、创新精神和解决实际问题能力的培养,使学生在 2~3 年的时间内充分掌握基本技术技能和必要的基本知识。

本系列教材按照如下的原则组织、策划和编写,以尽可能地适应当今高职高专教育领域教学改革和教材建设的新需求和新特点。

1. 着重突出“实用”特色。概念理论取舍得当,够用为度,降低难度。对概念和基本理论,尽量用具体事物或案例自然引出。
2. 基本操作环节讲述具体详细,可操作性强,使学生很容易掌握基本技能。
3. 内容紧随新技术发展,将新技术、新工艺、新设备、新材料引入教材。
4. 尽可能将实物图和原理图相结合,便于学生将书本知识与生产实践紧密联系起来。
5. 每本书配备全面的教学服务内容,包括电子教案、习题答案等。

本系列教材第一批共有 22 本,涵盖了高职高专机电类各专业的专业基础课和数控、模具、CAD/CAM 专业的大部分专业课,将在 2007 年年底出版。

为方便高职高专老师授课和学生学习,本系列教材将提供完善的教学服务体系,包括多媒体教学课件或电子教案、习题答案等教学辅助资料,欢迎访问人民邮电出版社网站 <http://www.ptpress.com.cn/download>, 进行资料下载。

我们期望,本系列教材的编写和推广应用,能够进一步推动我国机电类职业技术教育的教学模式、课程体系和教学方法的改革,使我国机电类职业技术教育日臻成熟和完善。欢迎更多的老师参与到本系列教材的建设中来。对本系列教材有任何的意见和建议,或有意向参与本系列教材后续的编审工作,请与人民邮电出版社教材图书出版分社联系,联系方式: 010-67145004, panxinwen@ptpress.com.cn。

“高职高专机电类规划教材”丛书编委会

2007.12

前 言

数控制造技术是集机械制造技术、计算机技术、微电子技术、现代控制技术、网络信息技术、机电一体化技术于一体的多学科高新制造技术。数控技术水平的高低、数控机床的拥有量已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。

随着现代制造技术的发展和数控机床的日益普及,全球制造的重心正向我国转移,这势必造成对大批技能型数控机床编程与操作人才的大量需求,为适应这一需求,并针对数控中高级技能型技术应用人才的培养而编写了本书。书中融汇了编者多年来在生产和教学一线长期从事数控加工编程的生产实践和教学、培训的体会,如除了理论讲解外,书中还精选了大量典型实例,这些典型实例都是编者多年教学经验的结晶。

本书以当今技术先进、占市场份额最大的 Fanuc 数控系统为背景,对数控加工和编程知识进行了详细讲解,主要内容包括数控加工概述、数控车床基本知识、数控车床的编程、加工中心基本知识、加工中心的编程。本书的特点:一是通俗易懂,所叙述的内容注重实践应用,源于实践,可操作性强,并兼顾必要的理论知识,为学生的进一步深造奠定必要的基础;二是通过大量编程实例的精讲,使读者学会应用和巩固所学知识,培养编程能力,并从中总结各类数控机床编程的思路和方法。书中所有的程序,都在数控机床上实际运行过。

本书由江西机电职业技术学院(国家级数控实训基地)顾晔主编并统稿,参与编写的有江西省建筑工业学校汪昌荣(第1章)、江西机电职业技术学院楼章华(第2、3章)、顾晔(第4、5章)。全书由江西机电职业技术学院欧阳毅文主审。

本书可作为普通高等专科学校、高等职业技术学院数控编程方面的教材,也可作为数控车床、加工中心等职业技能鉴定的辅导教材,并可作为工程技术人员学习数控技术编程的参考书。

本书在编写过程中参阅了有关院校和其他相关单位的教材、资料和文献,并深受启发,在此向其编者表示感谢,特别感谢江西机电职业技术学院机械系陈根琴主任的大力支持。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中错误和欠妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

第 1 章 数控加工概述1	
1.1 数控机床基本知识.....1	
1.1.1 数控机床的产生及数控 概念.....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.....4	
1.1.4 数控机床的特点及应用 范围.....8	
1.2 先进数控加工技术及典型数控 系统.....11	
1.3 编程中的数据处理.....15	
1.3.1 基点坐标的计算.....15	
1.3.2 节点坐标的计算.....17	
1.3.3 辅助计算.....17	
1.4 程序的结构.....18	
1.4.1 数控加工程序的组成 结构.....18	
1.4.2 程序的一般结构.....19	
思考与练习.....20	
第 2 章 数控车床基本知识22	
2.1 数控车床概述.....22	
2.1.1 数控车床的工艺范围和 特点.....22	
2.1.2 数控车床的组成.....22	
2.1.3 数控车床的分类.....25	
2.2 数控车床刀具的选择及装夹.....25	
2.2.1 数控车刀的特点及类型.....26	
2.2.2 数控车刀的选择及 装夹.....27	
2.3 数控车床典型表面的车削 工艺.....28	
2.3.1 零件的工艺性分析.....28	
2.3.2 工序划分和工件装夹.....29	
2.3.3 切削用量的选择.....32	
2.3.4 典型零件数控车削加工 工艺.....33	
2.4 数控车床坐标系统.....36	
2.5 数控车床的维护.....38	
思考与练习.....41	
第 3 章 数控车床的编程43	
3.1 数控车床系统的主要功能.....43	
3.1.1 准备功能.....43	
3.1.2 辅助功能.....44	
3.1.3 其他功能.....45	
3.2 一般工件的编程.....48	
3.2.1 快速定位指令 G00.....48	
3.2.2 直线插补 G01.....49	
3.2.3 暂停 G04.....50	
3.3 圆弧程序的编制.....51	
3.3.1 圆弧插补 G02、G03.....51	
3.3.2 圆弧插补应用.....52	
3.4 循环加工.....54	
3.4.1 单一形状固定循环 指令 G90、G94.....54	
3.4.2 复合形状固定循环指令 G71、G72、G73、G70.....57	
3.5 螺纹加工.....64	
3.5.1 单行程螺纹切削 G32.....64	
3.5.2 螺纹切削循环 G92.....66	
3.5.3 螺纹切削复合循环 G76.....68	
3.6 子程序的应用.....70	
3.7 零点偏置.....72	
3.7.1 G50 指令实现零点 偏置.....73	

3.7.2 G54~G59 指令实现零点偏置	73	5.3.2 刀具半径补偿	136
3.8 圆头车刀的编程与补偿	74	5.4 固定循环功能	143
3.8.1 C 刀补方式	74	5.4.1 孔的固定循环功能概述	143
3.8.2 假想刀尖	75	5.4.2 固定循环指令	145
3.8.3 圆头车刀的补偿	77	5.4.3 固定循环中重复次数的使用方法	155
3.9 数控车床编程举例	80	5.5 子程序	157
3.9.1 轴类零件	80	5.6 图形变换功能	161
3.9.2 套类零件	83	5.6.1 平面内的图形缩放	161
思考与练习	85	5.6.2 坐标系的旋转	165
第 4 章 加工中心基本知识	90	5.6.3 镜像功能	167
4.1 加工中心概述	90	5.7 坐标系的应用	168
4.2 加工中心刀具系统及装夹	93	5.7.1 零点偏置	169
4.2.1 刀柄及刀具系统	93	5.7.2 极坐标	171
4.2.2 常用工具	98	5.7.3 局部坐标系	173
4.2.3 辅助轴及夹具系统	99	5.8 用户宏程序	174
4.3 数控镗铣削加工工艺分析	100	5.8.1 变量	174
4.3.1 零件数控镗铣削加工方案的确定	100	5.8.2 转移和循环	178
4.3.2 切削用量的确定	106	5.8.3 宏程序调用	180
4.3.3 典型零件数控镗铣加工工艺分析	109	5.9 加工中心编程举例	185
4.4 加工中心坐标系	113	思考与练习	197
4.4.1 数控机床的坐标系	113	附录	204
4.4.2 相关坐标系统	115	附录 A Fanuc Oi 指令表	204
4.5 加工中心的维护	117	1. Fanuc Oi 系统数控车床常用指令表	204
思考与练习	118	2. Fanuc Oi 系统加工中心常用指令表	205
第 5 章 加工中心的编程	122	3. 支持的常用 M 代码	207
5.1 加工中心数控系统的功能	122	附录 B 华中世纪之星指令表	208
5.2 一般工件的编程	125	1. 华中数控系统数控车床指令表	208
5.2.1 基本编程指令	125	2. 华中加工中心指令表	210
5.2.2 基本移动指令	128	参考文献	213
5.3 刀具补偿	135		
5.3.1 刀具长度补偿	135		

第 1 章 数控加工概述

1.1 数控机床基本知识

1.1.1 数控机床的产生及数控概念

1. 数控机床的产生

随着科学技术的发展,机械产品日趋复杂、精密,更新换代越来越频繁,社会对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。在航空航天、造船、军工和计算机等工业中,零件精度高、形状复杂、批量小、经常改动、加工困难、生产效率低、劳动强度大,质量难以保证。加之个性化的需求也使生产类型由大批、大量生产向多品种、小批量生产转化。

为解决上述问题,满足多品种、小批量、复杂、高精度零件的自动化生产,迫切需要一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备——数控机床就是在这种情况下应运而生的。

数控机床就是将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、自动关停冷却液等)和步骤以及工件的形状尺寸用数字化的代码表示,通过控制介质将数字信息送入数控装置,数控装置对输入的信息进行处理与运算,发出各种控制信号,控制机床的伺服系统或其他驱动元件,使机床自动加工出所需要的工件。数控机床的诞生与发展,有效地解决了一系列生产上的矛盾,为单件、小批量精密复杂零件的加工提供了自动化加工手段。1948年,美国巴森兹(Parsons)公司在研制加工直升飞机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初始设想;1949年,该公司与麻省理工学院(MIT)合作,开始了三坐标铣床的数控化研发工作;1952年3月,该公司宣布世界上第一台数控机床试制成功,可作直线插补;后又经3年的试用、改进与提高,数控机床于1955年进入实用化阶段。从此,其他一些国家,如德国、英国、日本和前苏联等国都开始研制数控机床,其中日本发展最快。当今世界著名的数控系统厂家有日本的法那科(FANUC)公司、德国的西门子(SIEMENS)公司、美国的A-BOSZA公司等。1959年,美国Keaney&Treckre公司开发成功了具有刀库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工,如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削、轮廓铣削等加工。至此,数控机床的新一代类型——加工中心(MachiningCenter)诞生了,并成为当今数控机床发展的主流。

2. 数控技术的基本概念

数字控制(NumericalControl, NC),它是指用输入数控装置的数字化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。而用数字化信息对机床的运动及其加工

过程进行控制的机床,称作数控机床。早期的数控机床的 NC 装置是由各种逻辑元件、记忆元件组成随机逻辑电路,是固定接线的硬件结构,由硬件来实现数控功能,称作硬件数控,用这种技术实现的数控机床一般称作 NC 机床。

计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)。是采用微处理器或专用微机的数控系统,由事先存放在存储器里的系统程序(软件)来实现逻辑控制,实现部分或全部数控功能,并通过接口与外围设备进行连接,称为 CNC 系统,这样的机床一般称为 CNC 机床。

总之,数控机床是数字控制技术与机床相结合的产物,从狭义上看,“数控”一词就是“数控机床”的代名词;从广义上看,数控技术本身在其他行业中有更广泛的应用,称为广义数字控制。数控机床就是将加工过程的各种机床动作,用数字化的代码表示,通过某种载体将信息输入数控系统,控制计算机对输入的数据进行处理,并用来控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床加工出所需要的工件,其过程如图 1-1 所示。

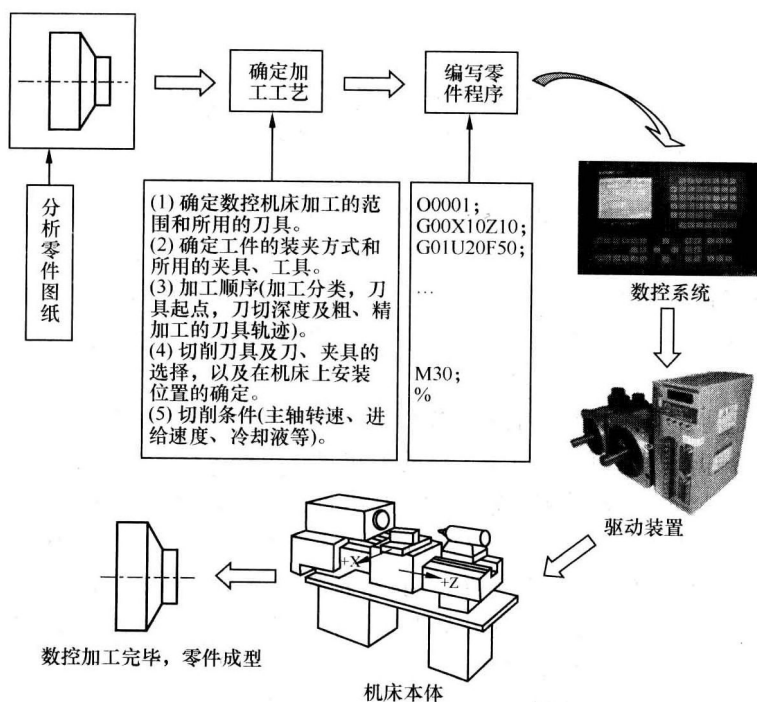


图 1-1 零件程序产生流程

1.1.2 数控机床的组成及工作原理

1. 数控机床的组成

现代计算机数控机床由程序载体、输入输出装置、计算机数控装置、可编程序控制器、主轴控制单元、速度控制单元、机床本体、位置检测反馈等部分组成,如图 1-2 所示。

(1) 程序载体

在数控机床上加工零件时,首先根据零件图纸上的零件形状、尺寸和技术条件,确定加工工艺,然后编制出加工程序。程序必须存储在某种存储介质上,如各种存储卡、磁盘等。目前最常用的是数控系统内存及外围存储设备,如计算机硬盘、U 盘等。

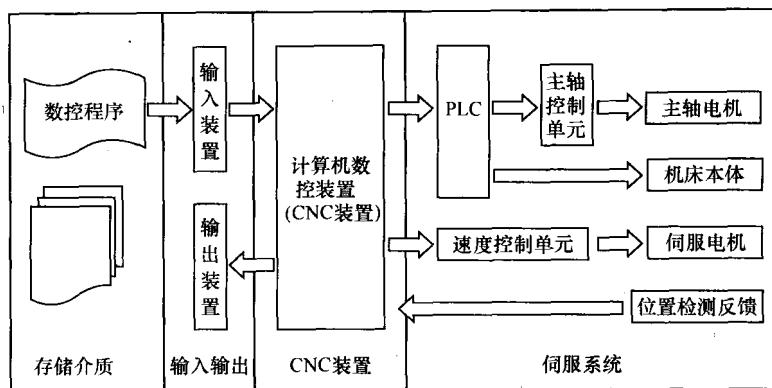


图 1-2 CNC 机床的组成

(2) 输入输出装置

输入输出装置是数控装置与外部设备进行信息交换的装置。根据程序载体的不同，输入装置可以是光电阅读机、软盘驱动器等。数控加工程序也可以通过键盘，用手工方式直接输入数控系统。现代数控系统一般还可以由计算机通过 RS-232C 串行通信口甚至采用网络通信方式将数控加工程序传递到数控系统中。

(3) 数控装置

数控装置是数控机床的核心，它接受输入装置送来的数字化信息，经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，将各种指令信息输出给伺服系统，使设备按规定的动作执行。

(4) 伺服系统

伺服系统包括伺服驱动电机、各种伺服驱动元件和执行机构等，它是数控系统的执行部分。它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。每一个脉冲信号使机床移动部件的位移量叫做脉冲当量（也叫最小设定单位）。常用的脉冲当量为 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$ 。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服驱动系统，整个机床的性能主要取决于伺服系统。常用伺服驱动元件有直流伺服电机、交流伺服电机、电液伺服电机等。

(5) 位置反馈系统

位置反馈装置的作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测，把检测结果转化为电信号反馈给数控装置，通过比较，计算出实际位置与指令位置之间的偏差，并发出纠正误差指令。位置反馈系统可分为半闭环和闭环两种系统。半闭环系统中，位置检测主要使用感应同步器、磁栅、光栅、激光测距仪等。

(6) 机床本体

机床本体包括机床主机与辅助装置两部分，是用于直接完成各种切削加工运动的机械部件，主要包括主运动部件，进给运动部件（如工作台、刀架）和支承部件（如床身、立柱等），还有冷却、润滑、转位部件，如夹紧、换刀机械手等辅助装置。

数控机床与普通机床相比，结构上发生了很大的变化，普遍采用滚珠丝杠、滚动导轨等高效传动部件提高传动效率。由于数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统，因而其机械传动结构明显简化，传动链大为缩短。

2. 数控系统的主要功能

数控系统是数控机床的核心，其主要功能如下。

- ① 多坐标控制（多轴联动）。
- ② 准备功能（G 功能）。
- ③ 实现多种函数的插补（直线、圆弧、抛物线等）。
- ④ 代码转换（EIA/ISO 代码转换、英制/公制转换、绝对值/增量值转换等）。
- ⑤ 固定循环加工。
- ⑥ 进给功能：指定进给速度。
- ⑦ 主轴功能：指定主轴转速。
- ⑧ 辅助功能：规定主轴的启、停、反向，冷却系统的开、关等。
- ⑨ 刀具选择功能。
- ⑩ 各种补偿功能，如刀具半径、刀具长度补偿等。
- ⑪ 字符图形在显示器（CRT）上的显示。
- ⑫ 故障的诊断及显示。
- ⑬ 与外部设备的联网及通信。
- ⑭ 存储加工程序，人机对话，程序的输入、编辑及修改。

3. 数控机床的工作原理

在数控机床上加工零件需经过以下步骤，如图 1-3 所示。

（1）准备阶段

根据加工零件的图纸，确定有关加工数据（刀具轨迹坐标点、加工的切削用量、刀具尺寸信息等），并根据工艺方案、夹具选用、刀具类型选择等确定有关的其他辅助信息。

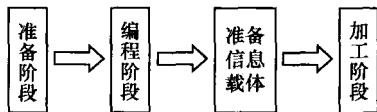


图 1-3 数控加工步骤

（2）编程阶段

根据加工工艺信息，用机床数控系统能识别的语言编写数控加工程序（程序就是对加工工艺过程的描述），并填写程序单。

（3）准备信息载体

根据已编好的程序单，将程序存放在信息载体（穿孔带、磁带、磁盘等）上，信息载体上存储着加工零件所需要的全部信息。目前，随着计算机网络技术的发展，可直接由计算机通过网络与机床数控系统通信。

（4）加工阶段

当执行程序时，机床 NC 系统将程序译码、寄存和运算，向机床伺服机构发出运动指令，以驱动机床的运动部件，自动完成对工件的加工。

1.1.3 数控机床的分类

目前数控机床的品种很多，功能各异，通常可按下列方法进行分类。

1. 按工艺用途分

（1）金属切削类数控机床

包括数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、加工中心等。加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床，它将铣、镗、钻、攻螺纹等功能集中于一台设备上，具有多种工

艺手段, 在加工过程中由程序自动选用和更换刀具, 大大提高了生产效率和加工精度。

(2) 金属成型类数控机床

此类数控机床有数控板料折弯机、数控弯管机、数控冲床等。

(3) 特种加工类数控机床

此类数控机床包括数控线切割机、数控电火花加工机床、数控激光切割机等。

(4) 其他类数控机床

如数控火焰切割机、数控三坐标测量仪等。

2. 按加工路线分类

(1) 点位控制系统

点位控制系统又称点到点控制系统, 它是指刀具从某一位置向另一目标点位置移动, 不管其移动轨迹如何而最终能准确到达目标点位置的控制方式。点位控制的数控机床在刀具移动过程中并不进行加工, 而是作快速空行程的定位运动。图 1-4 所示为点位控制系统加工。

属于点位控制的数控机床有数控钻床、数控镗床和数控冲床等。

(2) 直线控制系统

直线控制系统是控制刀具或机床工作台以适当速度, 沿着平行于某一坐标轴方向或与坐标轴成 45° 的斜线方向进行直线加工的控制方式。但该系统不能沿任意斜率的直线进行直线加工。图 1-5 所示为直线控制系统加工。

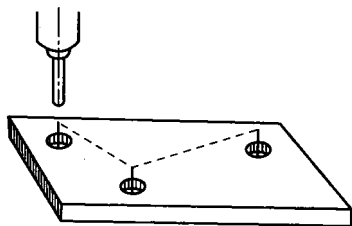


图 1-4 点位控制系统加工

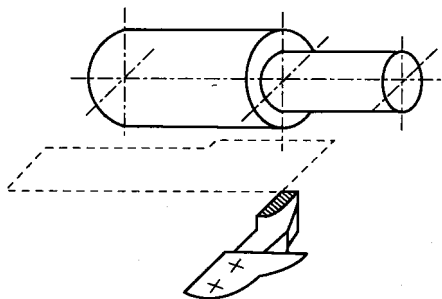


图 1-5 直线控制系统加工

直线控制系统一般具有主轴转速控制、进给速度控制和沿平行于坐标轴方向直线循环加工的功能。一般的简易数控系统均属于直线控制系统。

(3) 点位直线控制系统

将点位控制和直线控制结合起来的控制系统称为点位直线控制系统, 该系统同时具有点位控制和直线控制的功能。此外, 有些系统还具有刀具选择、刀具长度和刀具半径补偿功能。采用点位直线控制系统的数控机床有数控镗铣床、数控加工中心等。

(4) 连续控制系统

连续控制系统又称轮廓控制系统, 该系统能对刀具相对于零件的运动轨迹进行连续控制, 以加工任意斜率的直线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线。这种系统一般都是两坐标或两坐标以上的多坐标联动控制系统, 其功能齐全, 可加工任意形状的曲线或型腔。图 1-6 所示为连续控制系统加工。

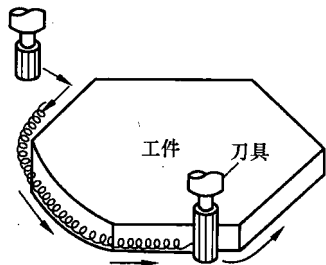


图 1-6 连续控制系统加工

采用连续控制系统的数控机床有数控铣床、功能完善的数控车床、数控凸轮磨床和数控线切割机等。

3. 按伺服系统的类型分类

(1) 开环伺服系统

图 1-7 所示为采用步进电动机驱动的开环伺服系统原理图。它一般是由环形分配器、步进电动机功率放大器、步进电动机、齿轮箱和丝杠螺母传动副等组成。每当数控装置发出一个指令脉冲信号, 就使步进电动机的转子旋转一个固定角度, 该角称为步距角, 而机床工作台将移动一定的距离, 即脉冲当量。

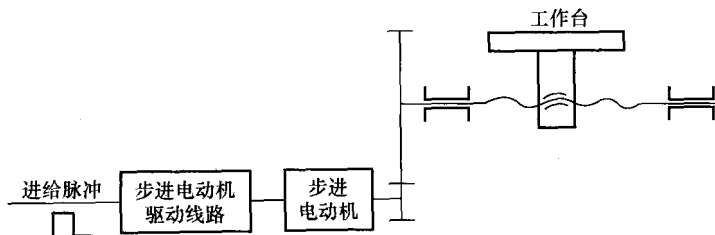


图 1-7 开环伺服系统原理图

从原理图上可知, 工作台位移量与进给指令脉冲的数量成正比, 即数控装置发出的指令脉冲频率越高, 则工作台的位移速度越快。这种只含有信号放大和变换, 不带有位移检测反馈的伺服系统称为开环伺服系统或简称开环系统。

开环伺服系统因既没有工作台位移检测装置, 又没有位置反馈和校正控制系统, 所以工作台的位移精度完全取决于步进电动机的步距角精度、齿轮箱中齿轮副和丝杠螺母副的精度与传动间隙等, 由此可见, 这种系统很难保证较高的位置控制精度。同时, 由于受步进电动机性能的影响, 其速度也受到一定的限制。但这种系统的结构简单、调试方便、工作可靠、稳定性好、价格低廉, 因此被广泛用于精度要求不太高的经济型数控机床上。

(2) 闭环伺服系统

图 1-8 所示为采用宽调速直流电动机驱动的闭环伺服系统原理图。它主要由比较环节(直线位移传感器 C 和放大元件、速度传感器 A 和放大元件), 驱动元件, 机械传动装置和测量装置等组成。其中驱动元件可采用宽调速直流电动机或宽调速交流电动机, 测量元件可采用感应同步器或光栅等直线测量元件。

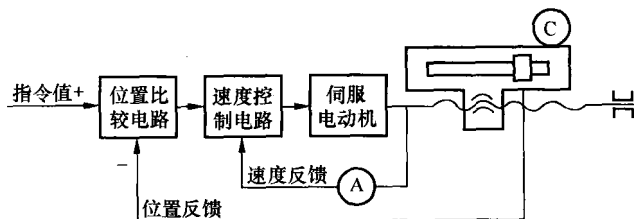


图 1-8 闭环伺服系统原理图

闭环伺服系统的工作原理是当数控装置发出位移指令脉冲, 经电动机和机械传动装置使机床工作台移动时, 安装在工作台上的直线位移传感器把机械位移变成电学量, 反馈到输入端与输入信号相比较, 得到的差值经过放大和变换, 最后驱动工作台向减少误差的方向移动。

如果输入信号不断地产生,则工作台就不断地跟随输入信号运动。只有在差值为零时,工作台才静止,即工作台的实际位移量与指令位移量相等时,电动机停止转动,工作台停止移动。由于闭环伺服系统有位置反馈系统,可以补偿机械传动装置中的各种误差、间隙和干扰的影响,因而可以达到很高的定位精度,同时还能达到较高的速度。因此,在数控机床中得到广泛应用,特别是在精度要求高的大型和精密机床上应用十分广泛。

从理论上讲,闭环伺服系统的精度主要取决于测量元件的精度和数/模转换器的精度。但由于该系统受进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度及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困难。若各种参数匹配不当,将会引起系统振荡,造成系统不稳定,影响定位精度,因此,闭环伺服系统要比开环伺服系统的安装测试更加困难复杂,价格较贵,维护费用也较高。

(3) 半闭环伺服系统

在闭环伺服系统中,用安装在进给丝杠轴端或电动机轴端的角位移测量元件 B (如旋转变压器、脉冲编码器、圆光栅等) 来代替安装在机床工作台上的直线测量元件,用测量丝杠或电动机轴旋转角位移来代替测量工作台直线位移的伺服系统称为半闭环伺服系统,如图 1-9 所示。因这种系统未将丝杠螺母副、齿轮传动副等传动装置包含在闭环反馈系统中,不能补偿该部分装置的传动误差,所以半闭环伺服系统的加工精度低于闭环伺服系统的加工精度。但半闭环伺服系统将惯性大的工作台安装在闭环之外,使这种系统调试较容易,稳定性也较好。

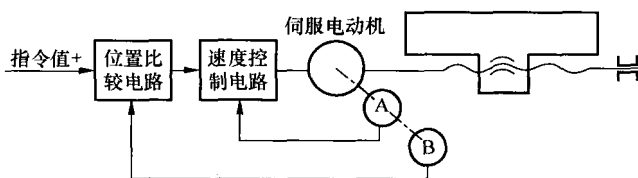


图 1-9 半闭环伺服系统原理图

另外,角位移测量元件比直线位移的测量元件简单,价格也较低。如选用传动精度较高的滚珠丝杠和精密消除齿轮副,再配备存储有螺距误差补偿和反向间隙补偿功能的数控装置,那么半闭环伺服系统仍能达到较高的加工精度,这在生产中应用相当普遍。

4. 按控制坐标数分类

数控机床的移动部件较多,现多按直角坐标系对机床移动部件的运动进行分类和数字控制。数控机床的坐标数目或轴数是指数控装置控制的机床移动部件的联动坐标数目。

(1) 两坐标数控机床

两坐标数控机床是指同时控制 2 个坐标联动的数控机床,例如数控车床中的数控装置可同时控制 X 和 Z 方向的运动,实现两坐标联动,可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。数控铣床本身虽有 X 、 Y 、 Z 3 个方向的运动,但数控装置只能同时控制 2 个坐标,实现两坐标联动,但在加工中能够实现坐标平面的变换,可用于加工图 1-10 所示形状的零件沟槽。

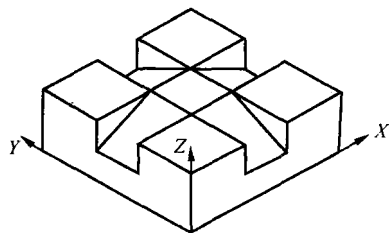


图 1-10 两坐标联动零件沟槽加工

(2) 三坐标数控机床

三坐标数控机床是指能同时控制 3 个坐标,实现 3 个

坐标联动的数控机床。如数控铣床能实现三坐标联动，则称为三坐标数控铣床，可用于加工图 1-11 所示的曲面零件。

(3) 两轴半坐标数控机床

这种数控机床本身有 3 个坐标，能作 3 个方向的运动，但控制装置只能同时控制 2 个坐标，而第 3 个坐标仅能作等距的周期移动。例如用两轴半坐标数控机床加工图 1-12 所示的空间曲面形状的零件时，在 ZX 坐标平面内控制 X、Z 两坐标联动，加工竖截面内的轮廓表面，控制 Y 坐标作等距周期移动，即能将零件空间曲面加工出来。

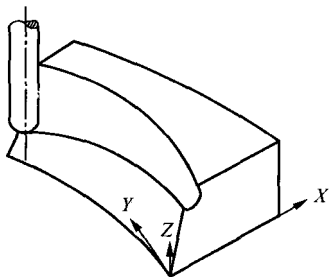


图 1-11 三坐标数控铣床曲面加工

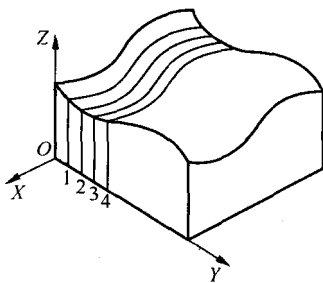


图 1-12 两轴半坐标数控机床曲面加工

(4) 多坐标数控机床

四坐标以上的数控机床称为多坐标数控机床。多坐标数控机床结构复杂、机床精度高、加工程序设计复杂，主要用于加工形状复杂的零件。

1.1.4 数控机床的特点及应用范围

从总体上看，同工艺类型的数控机床加工与普通机床加工并没有本质的区别，但数控机床本身具有高精度、高刚性、高速度、自动化、柔性化、智能化等一系列特点，因此必能在使用中表现出一些新的特点。

1. 数控机床的优点

(1) 加工精度高，加工质量稳定

数控机床按数字形式给出的指令进行加工，由于目前数控装置给出的脉冲当量（每输出一个脉冲数控机床移动部件对应的移动量）普遍达到了 0.001mm ，而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿，因此数控机床能够达到比较高的精度，如定位精度达到 $0.002\sim 0.005\text{mm}$ 。此外，数控机床的传动系统与机床结构一般具有很高的刚度与热稳定性，制造精度高；数控机床的自动加工方式可避免操作者的人为因素带来的误差，因此加工同一批零件的尺寸一致性好，精度高，加工质量十分稳定。

在孔加工工艺中，数控机床一般不采用导向，使得导向装置的误差对加工精度的影响也不复存在。同时，加工中排屑条件得以改善，并可以进行有效的冷却，被加工孔的精度及表面质量有所提高。对于复杂零件的轮廓加工，通过进刀路线及进给速度的控制，可避免被加工表面出现局部缺陷，获得更高的精度和表面质量。

(2) 加工生产效率高

零件加工所需要的时间包括机动时间和辅助时间两部分，数控机床可以有效地减少这两部分时间，从而提高加工效率。

数控机床的主轴转速与进给量范围较普通机床要大得多,并具有恒线速度等功能,因而每道工序、工步、走刀都能采用最有利的切削用量,充分发挥工艺系统的潜能。数控机床具有良好的结构刚性,允许进行大用量的强力切削,从而有效地节省机动时间。数控机床移动部件空行程运动速度快,消耗在进刀、退刀、定位等辅助运动上的时间也要比普通机床少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,减少了安装时间。数控机床按坐标运行,可以省去划线等辅助工序,减少了辅助工时。数控机床加工精度比较稳定,一般只作首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验,可以减少停机检验时间。因此,数控机床的利用率比一般机床要高得多。

在带有刀库和自动换刀装置及自动上料装置等的加工中心上,可以实现多工序连续加工,减少半成品周转时间,使生产效率明显提高。

(3) 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控机床加工零件是按事先编制的程序自动进行的,操作者通常除了操作面板、装卸工件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度大为减轻。数控机床一般都具有较好的安全防护以及自动排屑、自动冷却、自动润滑等装置,操作者劳动条件也得到相应改善。

(4) 对零件加工的适应性强,灵活性好

数控机床加工对象改变时,只需要重新编制并输入新程序就能满足加工对象的加工工艺要求,不需制造、更换许多工具、夹具,更不用重新调整机床,可以迅速实现加工转型。这就为复杂结构的单件小批零件的生产及新产品的试制提供了极大的便利。它缩短了生产准备周期,而且节省了大量工艺装备费用。此外,数控机床通常还能完成一些普通机床很难加工或根本无法加工的精密复杂零件。

(5) 良好的经济效益

数控机床虽然昂贵,分摊到每个加工零件上的设备费用较高,但在单件小批生产情况下,使用数控加工可以节省划线工时,减少调整、加工和检验时间,直接节省生产费用。数控加工工装费用也相对较低,数控加工质量稳定,可以减少甚至避免废品的产生,使生产成本进一步下降。此外,数控机床通用性强,投资风险小;工艺范围广,便于实现工序集中,简化物流,减少管理成本;还可以加工高附加值的复杂高精度零件。因此,使用数控机床可以获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理现代化

数控机床加工能准确计算零件加工工时,并有效地简化刀具、夹具、量具和半产品的管理工作。数控机床使用数字信息,适于计算机联网,成为计算机辅助设计、制造、管理等一体化集成的基础,构成由计算机来控制和管理的生产系统。

2. 数控机床的不足

① 设备初期投资大。

② 加工中难以人工调整。

③ 对设备使用维护人员的技术水平要求较高。

④ 就目前而言,对占机械加工总量 20%~30% 的大批大量生产;数控机床无论是在投资还是加工效率方面均逊色于各类组合专用机床及其自动生产线。

数控机床与普通设备的比较见表 1-1。

表 1-1 数控机床与普通设备的比较

数 控 机 床	普 通 设 备
(1) 操作者可在较短的时间内掌握操作和加工技能 (2) 加工精度高、质量稳定, 较少依赖于操作者的技能水平 (3) 编制程序花费较多时间 (4) 加工零件复杂程度高, 适合多工序加工 (5) 易于加工工艺标准化和刀具管理规范 (6) 适于长时间无人操作和加工自动化 (7) 适于计算机辅助生产控制 (8) 生产率高	(1) 要求操作者有长期的实践经验 (2) 高质量、高精度的加工要求操作者具有高的技能水平 (3) 适合加工形状简单、单一工序的产品 (4) 加工过程要求具有直觉和技巧 (5) 操作者以自己的方式完成加工, 加工方式多样, 很难实现标准化 (6) 是实现自动化加工的准备环节必不可少的, 如材料的预去除及夹具的制作等 (7) 很难提高加工的专门技术, 不利于知识系统化和普及, 生产率低, 质量不稳定

3. 数控机床的应用范围

数控机床具备普通机床所没有的许多优点, 但这些优点只有在一定的具体条件下才能得以体现。数控机床的应用范围正在不断扩大, 但它并不能完全取代其他类型的机床, 也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。根据数控机床自身的特点, 它通常最适合加工以下类型的零件。

① 结构复杂、精度高或必须用数学方法确定的复杂曲线、曲面类零件。图 1-13 (a) 所示为 3 类机床的被加工零件复杂程度与零件批量大小的关系。通常数控机床适合于加工结构较为复杂, 在普通机床上加工时需要准备复杂、贵重工艺装备的零件。

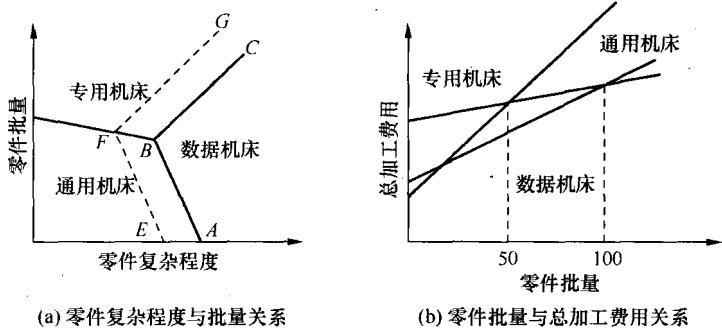


图 1-13 数控机床加工范围的定性分析

② 多品种小批量生产的零件。图 1-13 (b) 所示为应用 3 类机床的零件加工批量与总加工费用的关系。可见, 零件加工批量大时, 选择数控机床加工是不利的, 原因之一是数控机床设备费用昂贵。此外, 与大批量生产通常采用的专用机床相比, 数控机床的效率还是不够高。数控机床一般适合于单件小批生产加工, 并有向中批量发展的趋势, 即图 1-13 (a) 中的 ABC 曲线向 EFG 方向扩展。

③ 需要频繁改型的零件。在军工企业和科研部门, 零件频繁改型是司空见惯的事, 这就为数控机床提供了用武之地。

④ 价值昂贵、不允许报废的关键零件。

⑤ 希望最短生产周期的急需零件。

目前, 在中批量生产甚至大批量生产中已有采用数控机床加工的情况, 这种方案就产品直接经济效益而言并非最佳, 但其投资风险小, 能经受市场的波动与冲击, 可以动态地适应市场, 实现柔性制造。