



面向21世纪全国高职高专机电类规划教材

数控机床 编程与实例

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG YU SHILI

宗 晓 主编

O001

N0 G90 G54 G00 Z60.0;

N5 S1000 M03;

N10 X0.0 Y0.0 Z60.0;

N15 Z50.0;

N20 Z10.0;

N25 G01 Z0.0 F100;

N30 G41 D0 X10.0 Y10.0 F200;

N35 Y50.0;

N40 X100.0;

N45 G02 X100.0 Y10.0 I0.0 J-20.0;

N50 G01 X10.0;

N55 G40 X0.0 Y0.0;

N60 Z50.0 F800;

N65 G00 Z60.0;

N70 M05;

N75 M30;



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材

数控机床编程与实例

宗 晓 主编

高 磊 李思桥 高 文 参编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书结合流行的 CAM 软件,系统介绍了数控加工手工编程和自动编程技术,并给出详尽的实例。本书共分 4 章,第 1 章简要介绍了数控机床的产生、现状和发展趋势,并简单地叙述了其结构组成、各个组成部分的功能。第 2 章系统、全面地介绍了数控加工编程的工艺基础和编程基础。第 3 章介绍数控车床的手工编程知识和自动编程软件应用,并给出了各自对应的实例。第 4 章同样以实例为着眼点,介绍加工中心的手工和自动编程技术。

本书的特点是结合大量实例,使读者深刻理解每一个知识点;结合了当今应用广泛的 CAM 自动编程软件——Mastercam 和 UG CAM,符合当今的应用实际。本书适合作为高职、高专学校的参考教材,也适合用作数控加工操作人员的参考材料。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与实例/宗晓主编. —北京:北京大学出版社, 2006.1

(面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材)

ISBN 7-301-08852-3

I. 数… II. 宗… III. 数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 031068 号

书 名: 数控机床编程与实例

著作责任者: 宗晓 主编

责任编辑: 王妍 孙宝玉

标准书号: ISBN 7-301-08852-3/TH · 0010

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015, 发行部 62750672, 编辑部 62765013

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印刷者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 10.5 印张 220 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 16.00 元

前 言

数控技术是先进制造技术的核心，是制造业实现自动化、网络化、柔性化、集成化的基础。数控装备的整体水平标志着一个国家工业现代化水平和综合国力的强弱。过去只用于航空、汽车工业的数控机床，现在已越来越广泛地成为其他制造行业的必要设备，而且技术发展也相当快速，令人惊叹。

近年来，我国数控机床的产量持续增长，数控化率也显著提高。另一方面我国数控产品的技术水平和质量也不断提高。目前我国数控机床的生产已经形成一定规模，产品技术性能指标较为成熟，价格合理，在国际市场上具有一定的竞争力。同时，我国也已进入世界高速数控机床生产国和高精度精密数控机床生产国的行列。目前我国已经研制成功一批主轴转速在 8000~10000 转/分以上的数控机床。

随着数控化率的显著提高，市场对数控机床人才的需求也越来越大。据有关部门统计，我国数控人才的缺口达到 60 万。培养既有理论知识又有动手能力的数控机床人才已经势在必行。本教材正是为了适应这种需求而编写的。

本教材在系统介绍数控理论、数控工艺技术和编程规范的前提下，更注重数控技术实际的应用。依靠大量的实例介绍，力图使读者能够在应用中消化知识，更能够起到对读者在实际机床操作中的指导作用。

本教材重点介绍应用最为广泛的数控车床、加工中心的手工和自动编程技术，同时也介绍了时下最流行的 CAM 软件及其应用实例。

本书由宗晓统稿，参加本书编写的有宗晓、李思桥、高磊和高文。

本书作为一种教材，广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果，编写的主要参考书目附后，未及一一注明，在此谨表谢意，并请谅解。由于成书时间仓促，同时限于水平，本书存在着种种不足和缺点，恳切希望得到大家的批评指正。

编 者
2005 年 5 月

目 录

第 1 章 概述.....	1
1.1 数控机床概述.....	1
1.1.1 数控机床的产生和发展.....	1
1.1.2 数控机床的特点及应用范围.....	2
1.1.3 数控机床的分类.....	3
1.1.4 数控机床的发展趋势.....	6
1.2 数控机床的组成.....	8
1.3 本章习题.....	9
第 2 章 数控加工工艺和编程基础.....	10
2.1 数控加工工艺基础.....	10
2.1.1 数控加工工艺的特点和内容.....	10
2.1.2 数控加工的工艺性分析.....	12
2.1.3 加工方法的选择与加工方案的确定.....	15
2.1.4 工序以及工步的划分.....	16
2.1.5 零件的装夹和夹具的选择.....	19
2.1.6 切削刀具的选择和切削用量的确定.....	20
2.1.7 加工路线的确定.....	25
2.1.8 对刀点和换刀点的确定.....	27
2.2 编程基础.....	28
2.2.1 坐标系.....	28
2.2.2 手工编程.....	33
2.2.3 自动编程.....	37
2.3 本章习题.....	39
第 3 章 数控车床编程技术.....	40
3.1 数控车床编程基础.....	40
3.1.1 数控车床的特点与分类.....	40
3.1.2 数控车床的坐标系和运动方向.....	41
3.1.3 数控车床的编程特点.....	42
3.1.4 数控车床的常用编程指令.....	43

3.2 数控车床的工艺问题.....	69
3.2.1 数控车床的合理选择.....	69
3.2.2 数控车床的刀具.....	69
3.2.3 车螺纹时的主轴转速问题.....	72
3.2.4 数控车床中加工路线和加工余量的关系.....	72
3.3 数控车床编程实例.....	74
3.4 数控车床自动编程技术.....	77
3.4.1 Mastercam 简介.....	77
3.4.2 Mastercam 的车削编程实例.....	80
3.5 本章习题.....	99
第4章 数控加工中心编程技术.....	100
4.1 加工中心编程基础.....	100
4.1.1 加工中心简介.....	100
4.1.2 加工中心编程指令.....	101
4.2 加工中心工艺基础.....	117
4.2.1 加工中心的工艺特点.....	117
4.2.2 加工中心的主要加工对象.....	118
4.2.3 加工中心的刀具、夹具及加工工艺.....	121
4.2.4 加工中心的辅具及辅助设备.....	125
4.3 加工中心工艺及编程实例.....	136
4.3.1 较为复杂零件的数控加工中心加工实例.....	139
4.3.2 冲头的数控加工中心加工实例.....	142
4.4 数控铣削自动编程技术.....	145
4.4.1 UG CAM 介绍.....	145
4.4.2 UG CAM 平面铣和型腔铣的实例.....	146
4.5 本章习题.....	157
参考文献.....	159

第 1 章 概 述

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床的产生和发展

随着社会和科学技术的不断进步,传统的制造技术已经无法满足现代机械产品在质量和生产效率方面的要求,因此人们提出了一些先进的生产方法,一些先进技术也得以应用。

现代机械产品具有小批量、高精度、形状复杂、改型频繁等特点。为了降低成本,对生产效率的要求也相应提高了,数控技术就是为了满足上述需求,而产生的一种能够适应产品频繁变化的、柔性的自动化生产技术,它具有加工质量稳定,加工精度高和生产效率高等优点。它为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了有效的自动化加工手段。

数控机床(又称数控车床)是数字控制机床(Numerically Controlled Machine Tool)的简称,也叫 NC 机床。它综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等多方面的技术成果。随着数控技术日新月异的发展,数控机床已经在机械制造业中占有越来越重要的地位。

第一台数控机床是为了解决复杂型面零件加工的自动化而产生的。1948 年,美国 PARSONS 公司在研制加工直升飞机叶片轮廓用检查样板的机床时,与麻省理工学院合作,于 1952 年试制成功世界上第一台三坐标数控机床。这是一台采用专用计算机进行运算与控制的直线插补轮廓控制数控铣床。后又经过 3 年时间的改进和自动程序编制的研究,数控机床进入实用阶段,商品化数控机床在市场上出现,并且在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。1958 年,美国的 KEANEY&TRECKER 公司在世界上首先研制成功带有自动换刀装置的加工中心。

当时的数控装置采用电子管元件,体积庞大,价格昂贵,只在航空工业等少数有特殊需要的部门加工复杂型面零件中使用。随着电子技术的不断发展,数控装置由使用电子管过渡到晶体管、印刷电路板和小规模集成电路,使数控系统的可靠性进一步提高,体积和成本有所降低。

进入 20 世纪 60 年代以后,小型机应用到数控系统中;较为简单和经济的点位控制数控钻床和直线控制数控铣床得到较快发展;并且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。这些都促进了数控机床品种和产量的发展,

使数控机床在机械制造业各部门逐步获得推广。

20 世纪 70 年代, 研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机(简称微机)数控装置(简称 CNC), 与前几代数控装置相比, 集成电路数控装置具有更高的生产灵活性和可靠性, 更易于实现机电一体化和更好的经济性等优点。

1.1.2 数控机床的特点及应用范围

1. 数控机床的特点

(1) 数控机床的优点

采用数控技术的金属切削机床具有下列优点。

- 生产精度高。数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差, 提高了生产精度, 同一批加工零件的尺寸一致性好, 产品合格率高, 加工质量稳定。
- 适应能力强。可以适应频繁的产品改型。大幅度降低了单件、小批零件加工及试制新产品的成本和此类产品的生产周期。
- 生产效率高。数控机床通常不需要专用的夹具, 因而可省去夹具的设计和制造时间, 与普通机床相比, 生产率可提高 2~3 倍。
- 减轻了操作工人的劳动强度。操作者只要进行面板操作、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行的操作, 而不需要进行繁重的重复性手工操作, 劳动强度大大减轻。
- 能加工复杂型面。多轴联动技术使数控机床可以加工普通机床难以加工的复杂型面零件。
- 有利于生产管理的现代化。用数控机床加工零件, 能精确地估算零件的加工工时, 有助于精确编制生产进度表, 并有效地简化了检验和夹具、半成品的管理工作, 有利于生产管理的现代化。

(2) 数控机床的不足之处

数控机床也存在其自身的不足, 列举如下。

- 抬高了起始阶段的投资成本。
- 增加了电子设备的维护费用。
- 对操作人员的技术水平要求较高。

2. 数控机床的应用范围

数控机床适合加工以下零件。

- 多品种小批量零件。
- 几何形状复杂的零件。
- 需要频繁改型的零件。

- 贵重的、不允许报废的关键零件。
- 必须严格控制公差的零件。

1.1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，可以按以下几种方式进行分类。

1. 按照刀具与工件的相对运动方式分类

(1) 点位控制数控机床

这类机床智能控制工作台或者刀具从一个位置精确地移动到另一个位置，在移动过程中不进行加工。

对于一些孔加工用数控机床，只要求获得精确的孔系坐标定位精度，而不管轨迹运动，如数控钻床、镗床、冲床以及数控点焊机等。

(2) 直线控制数控机床

这一类型的数控机床的工作台或者刀具在两点间移动，同时要要进行切削加工。

(3) 轮廓控制的数控机床

这类数控机床能同时控制两个或两个以上的轴，具有插补功能，对位移和速度进行严格的不断控制，工作台或者刀具边移动边加工。可以有二轴控制、2.5轴控制、三轴控制、四轴控制、五轴控制等。如数控铣、车、磨及加工中心等都是典型的轮廓控制数控机床。

2. 按照执行机构的伺服系统类型分类

(1) 开环控制系统的数控机床

开环控制系统的数控机床通常不带位置检测元件，使用功率步进电动机或电液脉冲马达作为执行元件。数控装置发出指令脉冲，经环形分配器和驱动电路功率放大后，就驱动步进电动机旋转一定角度，再由减速齿轮带动丝杠旋转，最后转化为移动部件的移动。如图 1-1 所示是一个典型的开环控制系统。

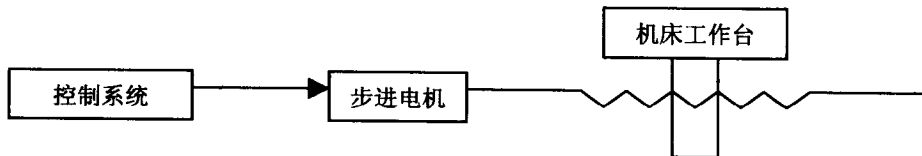


图 1-1 开环控制系统

开环控制系统的数控机床对移动误差没有补偿和校正，步进电动机的步距精度和传动机构的传动链误差都反映到被加工零件的精度中去，难于实现高精度加工。但由于系统结构简单、反应较快、成本较低、维修简单、技术容易掌握，切线对比较稳定等特点，所以使用仍较为广泛。普通机床的数控化改造大多采用开环控制系统。

(2) 闭环控制系统的数控机床。

闭环控制系统的数控机床带有检测反馈装置。如图 1-2 所示为一典型的闭环控制系统。数控装置将位移指令与位置检测元件测得的移动部件实际位置反馈信号随时进行比较, 根据其差值及指令中进给速度的要求, 按一定的规律进行转换后, 得到进给伺服系统的速度指令。此外还利用与伺服驱动电动机同轴刚性连接的测速元器件, 随时实测驱动电动机的转速, 得到速度反馈信号, 将它与速度指令信号相比较, 得到速度误差信号, 对驱动电动机的转速随时进行校正。利用上述的位置控制和速度控制的两个回路, 可以获得比开环伺服系统精度更高、速度更快、驱动功率更大的性能指标。

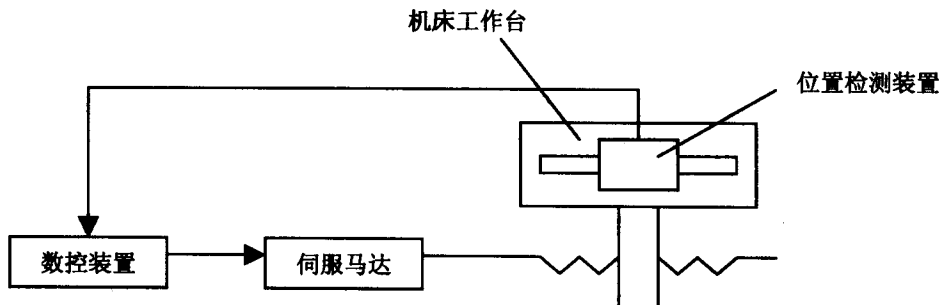


图 1-2 闭环控制系统

但即使是闭环系统, 对于机床的结构和传动系统的要求也没有降低, 因为传动系统的刚度不足、传动间隙以及导轨的爬行等因素会增加调试的困难, 甚至引起闭环系统的震荡。此类机床主要用于一些精度要求较高的镗铣床、超精车床和加工中心等。

(3) 半闭环控制系统的数控机床

如果将位置检测元件安装在驱动电动机的端部, 或安装在传动丝杠端部, 不直接测量移动部件的位移, 而是通过测量丝杠的转动间接测量, 就是半闭环控制系统。如图 1-3 所示为一半闭环控制系统。

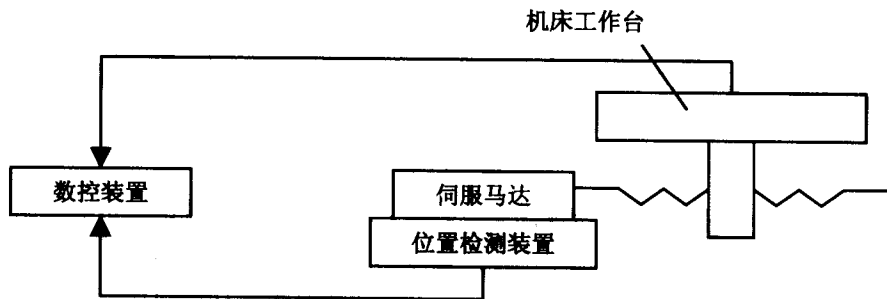


图 1-3 半闭环控制系统

半闭环控制系统的数控机床可以获得比开环系统更高的精度,但由于丝杠变换为移动部件的移动,这一部分的精度由丝杠-螺母副的传动精度来保证,所以它的位移精度比闭环系统的要低。由于位置检测元件安装方便、调试容易,现在大多数数控机床都采用半闭环控制系统。

3. 按照加工方式分类

(1) 金属切削类数控机床。如数控车床、数控铣床(如图1-4)、数控钻、镗床、加工中心(如图1-5)、数控磨床等。

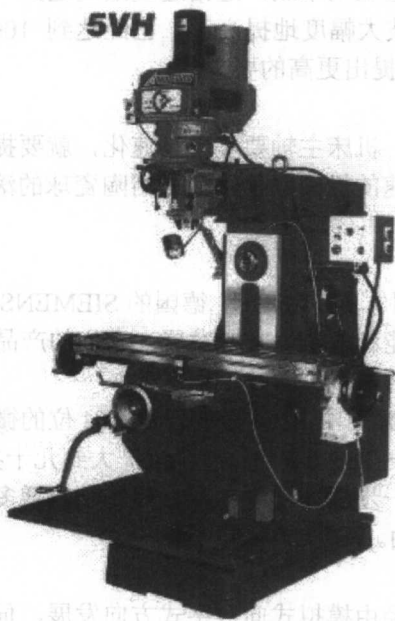


图 1-4 数控铣床

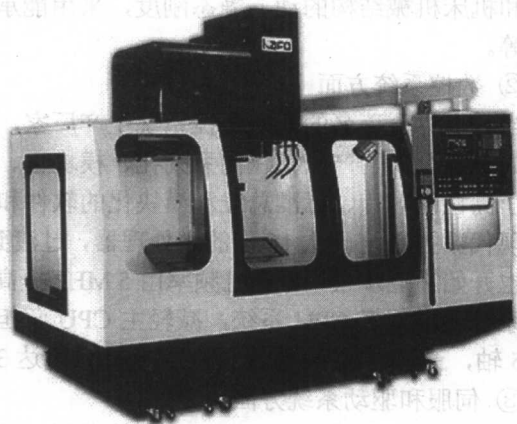


图 1-5 数控加工中心

- (2) 金属成型类数控机床。如数控折弯机、数控油压成型机、数控弯管机等。
- (3) 数控特种加工机床。如数控线切割机床、数控电脉冲机床、数控激光切割机等。
- (4) 其他类型的数控机床。如水射流切割机、数控火焰切割机、数控雕刻机、数控三坐标测量机等。

4. 按照控制坐标轴数分类

(1) 两坐标数控机床。此类机床实现两轴联动,用于加工各种曲线轮廓的回转体,比如数控车床。

(2) 三坐标数控机床。三轴联动,用于加工曲面零件,比如数控铣床、数控磨床。

(3) 多坐标数控机床。四轴或五轴联动, 多用于加工外形复杂的零件。

1.1.4 数控机床的发展趋势

随着计算机技术的快速发展, 数控机床的发展势头将更加迅猛, 今后的发展趋势主要包括以下几个方面。

(1) 高速生产的同时保证高精度

提高机械加工的生产速度往往会降低加工精度, 现代数控机床在提高加工速度的同时, 也在进行高精度化。目前的定位精度已经达到微米级甚至纳米级, 进给速度最高达到 100 m/Min。为保证更好的加工表面质量, 主轴的转速也被大幅度地提高了, 已经达到 10000 r/Min 以上。要达到上述要求, 就要对机械和数控系统提出更高的要求。

① 机械方面

采用高精度的传动机械, 如研磨级的滚珠丝杠等。机床主轴要实现高速化, 就要提高主轴和机床机械结构的动、静态刚度, 采用能承受高速的机械零件, 如采用陶瓷球的滚珠轴承等。

② 数控系统方面

当今世界上著名的几个数控系统生产厂家, 比如日本的 FANUC, 德国的 SIEMENS 和美国的 AB 公司的产品都在向系列化、模块化、高性能和成套性方向发展。它们的产品都采用了高性能芯片、标准总线 and 模块化的软件和硬件结构。

现代数控系统已从 16 位的微处理器, 过渡到普遍采用的 32 位微处理器, 64 位的微处理器也开始被逐步采用, 主机频率由 5 MHz 提高到 20~33 MHz。内存容量扩大到几十兆。有的系统还采用多 CPU 系统, 减轻主 CPU 负担, 进一步提高控制速度。控制轴数增多到 3~15 轴, 最多可达 24 轴, 同时控制轴数可达 3~6 轴。

③ 伺服和驱动系统方面

采用数字伺服系统。交流传动系统发展迅速, 已经由模拟式向数字式方向发展, 伺服电机的位置环、速度环的控制都已经实现数字化, 克服了以运算放大器为主的模拟化控制器所存在的零点漂移、温度漂移等弱点, 可以对电机进行高速、高精度控制。

采用现代控制理论提高跟随精度。当数控系统发出位置指令后, 由于机械部分不能很快响应而会产生滞后现象, 影响了加工精度。现代控制理论中有各种算法能够实现对滞后量的减小。但是, 这些计算方法往往都很复杂, 以往的计算机运算速度不够, 很难胜任。随着计算机的运算速度和存储容量的提高, 以及采用专用芯片的技术, 使复杂的计算能够在线实现, 使得滞后量减少很多, 提高了跟随精度。

采用高分辨率的位置编码器。一般交流伺服电动机轴上装有回转编码器(脉冲发生器)用来检测电动机的角位移。显然, 编码器的分辨率越高, 则电动机转动角位移就越精确。现代高分辨率位置编码器绝对位置的测量可达 163840 脉冲/转。

实现多种补偿功能。数控系统能实现多种补偿功能,提高数控机床的加工精度和动态特性。数控系统的补偿功能主要用来补偿机械系统带来的误差,主要功能如下。

- 直线度的补偿:通过两轴相互补偿,实现直线轨迹,提高机床工作台运动的直度。
- 丝杠、齿轮间隙补偿。
- 热变形误差补偿:用来补偿由于机床热变形而引起的加工误差。
- 刀具长度、位置、半径等补偿。
- 存储型补偿:这种补偿方法,可根据机床使用中的实际情况(如机床零件的磨损情况等)适时地修订补偿值。

(2) 实现数控系统的高可靠性

提高数控系统的可靠性,一直是人们经常关注的重要性能指标。

新型数控系统大量使用大规模和超大规模集成电路,还采用专用芯片提高集成度以及使用表面封装技术等方法,减少了器件数量和它们之间的联线和焊点数目,并且建立从元器件筛选、稳定产品制造及装配工艺、性能测试等一系列质量保证体系。从而大幅度降低系统的故障率。

通过对数控系统的模块化、标准化和通用化,使数控系统更便于组织生产、开发和应用,从而提高了运作的可靠性。

现代数控系统还引入了具有人工智能的故障诊断系统,把已掌握的对于各种故障原因及其处置方法以知识库形式储存到计算机的存储器中,并以此为依据来开发软件,用它来诊断数控系统及机床的故障、分析故障原因。

(3) 更多样的功能

现代数控系统具有比以往更加强大和丰富的功能,具有多种管理、检测和补偿功能。比如对刀具长度、刀具半径补偿、刀尖补偿和刀具寿命的管理、刀具以及机床磨损的检测、系统机械精度以及热变形的检测功能。

现代数控系统大都采用 CRT 显示,以实现人机交互,方便操作人员对加工程序的管理。借助 CRT 显示,操作人员可以更方便地使用键盘进行程序的输入、编辑、修改和删除。通过 CRT 还可以实现二维的刀具轨迹显示,或者三维图形加工的动态显示,从而可以实现对加工程序结果的预览和对加工的实时监控。

(4) 更加智能化

数控系统中使用的计算机运算速度越来越快,容量越来越大,使得数控系统不仅完成机床的数字控制功能,而且还可以充分利用软件技术,使系统智能化,减少操作人员的手动操作。例如,必须由编程员决定的零件的加工部位、加工工序、加工顺序等,现今也可由数控系统自动生成。操作者只要将加工形状和必要的毛坯形状输入系统,就能自动生成加工程序,这样,加工的编程时间大为缩短,即使经验不足的操作者也能进行操作。

现代数控系统还引入了自适应控制技术,能够调节加工过程中与加工效果有关的各种特性,比如工件毛坯余量、材料硬度、刀具磨损、切削液黏度等,保持加工的最佳状态,

从而得到较高的加工精度和表面质量，同时可以提高刀具和设备的使用寿命。

(5) 更高的通信功能

将多台数控机床组成各种类型的生产线或者 DNC (Direct Numerical Control, 直接数字控制) 系统是现代机械制造业的发展趋势之一, 这就要求数控系统具有较高的联网能力。一般的数控系统都具有 RS 232 和 RS 422 远距离串行接口, 可以按照用户的格式要求, 与同一级计算机进行多种数据交换。为了满足不同厂家、不同类型数控机床联网功能要求, 现代数控系统大都具有 MAP (制造自动化协议) 接口, 现在已实现了 MAP 3.0 版本。现代数控系统还采用光缆通信, 以提高数据传送速度和可靠性。

1.2 数控机床的组成

数控机床主要由程序载体、输入装置、数控装置、伺服系统、位置反馈系统和机床机械部件组成。

(1) 程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令序列, 它的内容包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(走刀量、主轴转速等)和辅助运动等。

编制程序的工作可由人工进行, 或者在计算机上利用自动编程系统完成, 比较先进的数控机床可以在它的数控装置上直接编程。

将零件加工程序以一定的格式和代码, 存储在一种载体上, 如穿孔纸带、录音磁带、软磁盘或硬盘等, 通过数控机床的输入装置, 将程序信息输入到数控装置内。

(2) 输入装置

输入装置的作用是将程序载体内有关加工的信息读入数控装置, 并转换成相应的电脉冲信号。根据程序载体的不同, 输入装置可以是光电阅读机、录放机或软盘驱动器。现代数控机床还可以不用任何程序载体, 将零件加工程序通过数控装置上的键盘, 用手工方式

(MDI 方式) 输入; 或者将存储在编程计算机硬盘上的加工程序用通讯方式传送到数控装置中。

(3) 数控装置

数控装置是数控机床的核心。它接收输入的程序和数据(电脉冲信号), 经过数控装置的系统软件或者逻辑电路完成数值计算、逻辑判断、输入输出等一系列处理, 输出各种信号和指令来控制机床的各个部分。这些控制信号包括: 由插补运算得出的各运动部件在各个方向上的进给位移、进给方向和进给速度的指令; 主轴回转的变速、换向和启停指令; 交换刀具的指令; 控制冷却、润滑、工件的夹紧、松开以及工作台分度转位等辅助动作指令。

数控装置一般由专用（或通用）计算机、输入输出接口板及机床控制器（可编程序控制器）等部分组成。机床控制器主要用于对数控机床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能的控制。

（4）伺服系统

伺服系统包括伺服驱动电路、功率放大线路、伺服电动机等装置，它接收数控装置发来的各种速度和位移等动作命令，驱动数控机床进给传动系统的运动。

每一个做进给运动的执行部件，都配有一套伺服驱动系统，它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

（5）位置检测系统

位置检测系统的作用是通过传感器将伺服电动机的角位移或数控机床执行部件的直线位移转换成电信号，输送给数控装置，与指令位置进行比较，数控装置将其差值转换并放大后控制执行部件的运动，以此纠正所产生的误差。

（6）机床机械部件

数控机床的机械部件包括：主传动系统、进给运动系统、床身、工作台以及辅助运动部件、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等。对于加工中心类数控机床，还有存放刀具的刀库、自动换刀装置（ATC）和自动托盘交换装置等部件。与传统的机床相比，数控机床的结构强度、刚度和抗振性要求更高；传动系统与刀具系统的部件结构、操作机构等方面也为实现自动化控制做出了很大改变。

（7）辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是：接受数控装置输出的主轴运动换向、变速、启停、刀具的变换，以及其他辅助动作的指令信号，经过编译、逻辑判断和运算，再经过功率放大器后驱动相应的电器，带动辅助运动部件完成动作。另外，机床上的限位开关等开关信号经它的处理后送数控装置进行处理。

在数控机床的辅助控制装置领域，可编程控制器（PLC）已经得到广泛的应用。它的功能强大，可以处理更加复杂的辅助动作指令；运行安全可靠；可以直接输出强电，而不需要功率放大器，使系统更加紧凑。

1.3 本章习题

1. 试简述数控机床相对于传统机床的优、缺点。
2. 按照执行机构的伺服系统类型，数控机床分为哪几类？每一类都有些什么特点？
3. 简述数控机床技术的发展趋势。
4. 数控机床一般由哪些部分组成？每一部分的作用是什么？

第2章 数控加工工艺和编程基础

在普通机床上加工零件，一般要由工艺员制订零件的加工工艺规程。在工艺规程中规定了所使用的机床和刀具，工件和刀具的装夹方法，加工顺序和尺寸，切削参数等内容。然后由操作者按照工艺规程进行零件加工。

在数控机床上加工零件时，则首先要进行程序编制，将加工零件的加工顺序，工件与刀具相对运动轨迹的尺寸数据，工艺参数（主运动和进给运动速度，背吃刀量等）以及辅助操作（换刀、主轴正反转、冷却液开关、工件夹紧、松开）等加工信息，用规定的文字、数字、符号组成的代码，按一定格式编写成加工程序单，并将程序单的信息通过控制介质输入到数控装置，由数控装置控制机床进行自动加工。常见的控制介质有穿孔纸带、磁带、磁盘等。程序简单的也可由数控操作面板上的键盘输入。

所谓“数控加工编程”是指由分析零件图样到程序检验的全部过程。程序编制可分为手工编程和自动编程两类。

手工编程时，这个程序的编制过程是由人工完成的。这就要求编程人员不仅要熟悉数控代码及编程规则，而且还必须具备一定的机械加工工艺知识。

自动编程时，编程人员只要根据零件图样的要求，按照自动编程系统的规定，编写一个零件源程序，送入编程计算机，即可进行自动编程，并由编程系统自动打印出程序单和制备控制介质。

本章将介绍有关手工编程的一些基础知识。

2.1 数控加工工艺基础

2.1.1 数控加工工艺的特点和内容

无论是使用数控机床还是普通机床加工零件，都要对所需加工的零件进行工艺分析，制定工艺方案。数控加工和普通机床加工在方法和内容上很相似，但是由于使用数控机床加工零件时，机床是按照事先编制好的加工程序自动地对零件进行加工，因此在编制程序过程中，除了要考虑机床和刀具的选用、零件的尺寸、形状精度及表面粗糙度外，还要考

虑对刀点、换刀点及走刀路线的确定等问题。因此数控加工工艺分析及工艺方案制定比普通机床要复杂得多。为了要加工出合格的零件，数控加工的工艺处理更是一项十分重要的工作。

由于数控机床加工的整个过程是自动完成的，所以我们要将必要的工艺信息编制成程序输入到数控机床中，用它来控制驱动机床的加工行为。因此严格地说，数控编程也属于数控工艺的范畴。

1. 数控加工工艺与普通机床加工工艺的比较

与使用工艺卡片形式的普通机床加工的加工工艺相比，数控加工工艺具有以下特点。

(1) 数控加工的工序内容比较复杂。与普通机适合加工的零件相比，数控机床更多地用于加工一些外形复杂的零件。一般来讲，复杂的零件对应着复杂的工序，因此，数控加工工艺的工序往往更加复杂。

(2) 数控加工的工艺十分明确而且具体。进行数控加工时，数控机床是接受数控系统的指令，自动完成各种加工动作的。因此在编制加工程序之前，要考虑一些在普通机床的加工工艺中不必考虑的问题，如工序内工步的安排、对刀点、换刀点及走刀路线的确定等问题；而不能像普通机床进行加工时，在大多数情况下的许多具体工艺问题，都是操作人员根据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定。也就是说，许多本来由操作人员在加工中灵活掌握，并可适时调整处理的工艺问题，在数控加工时，就要转变为编程人员必须事先具体设计和明确安排的内容。

(3) 数控加工的工艺要求更加准确和严密。数控加工不能像普通机床一样，可以根据加工过程中出现的问题由操作者自由地进行调整。比如加工螺纹时，在普通机床上，操作者可以随时根据孔中切削的数量决定是否需要退刀清理，而在数控机床上，这些动作是按照加工程序自动执行的。所以在数控加工的工艺设计中，要注意加工过程中的每一个细节，做到万无一失。

(4) 数控加工的工序相对集中。一般来说，普通机床上的加工是根据机床的种类进行单工序加工的，而在数控机床上往往是在工件的一次装夹中完成工件的钻、扩、铣、铰、镗、攻螺纹等多步工序。在极端的情况下，一台加工中心可以完成工件的全部加工内容。

2. 在实际生产加工中的数控加工工艺设计的内容

在实际生产加工中，数控加工的工艺设计主要包括以下几个方面。

(1) 选择适合零件加工的数控机床，并确定加工工序的内容。

(2) 分析加工零件的图纸，明确加工内容及技术要求。

(3) 确定加工方案，如工序的划分、刀具的选择、夹具的定位与安装、切削用量的确定、走刀路线的确定等。

(4) 调整数控加工工序的程序，加入对刀点、换刀点的选择、刀具的补偿。