



全国高等职业教育规划教材

数控机床 编程与操作

杜家熙 苏建修 主编

- ◎ 内容丰富、语言精炼、图文并茂，具有很强的实用性和可操作性
- ◎ 通过大量典型实例，全面、直观地介绍数控机床的加工工艺、编程与操作知识
- ◎ 章后附有丰富的练习题



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费下载电子课件
<http://www.cmpedu.com>



全国高等职业教育规划教材

数控机床编程与操作

主 编	杜家熙	苏建修	
副主编	刘晓玲		
参 编	高 虹	王艳凤	李 强
	邵泽强	张 凯	



机械工业出版社

本书是根据全国高等教育机电类教材编审委员会审定的“数控机床编程与操作”课程的教学基本要求编写的。

本书内容实用、先进,注重学生在数控机床编程及操作方面的实践能力的培养。书中采用大量的实例,全面、直观地介绍了数控机床的编程与操作知识。通过学习,读者能独立完成一些典型零件的数控编程与操作。本书内容包括绪论、数控机床编程基础知识、数控车床加工编程与操作、数控铣削加工编程与操作、加工中心加工编程与操作、数控线切割机床加工编程与操作、电火花成形表面加工编程与操作。

本书可作为高职高专数控专业、机械、机电类专业的教材,也可作为中职、技校相关专业的教学用书,并可供从事机械制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作/杜家熙,苏建修主编. —北京:机械工业出版社,2009.5

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-26414-9

I. 数… II. ①杜…②苏… III. ①数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材 ②数控机床—操作—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第026326号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:祝伟 章承林 版式设计:张世琴

责任校对:刘志文 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 15.25印张·374千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26414-9

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材

机电专业编委会成员名单

主 任 吴家礼
副 主 任 任建伟 李望云 张 华 梁 栋
盛靖琪
委 员 (排名不分先后)
陈志刚 陈剑鹤 韩满林 李柏青
盛定高 张 伟 李晓宏 刘靖华
陈文杰 程时甘 韩全立 张宪立
胡光耀 苑喜军 李新平 吕 汀
杨华明 刘达有 程 奎 李益民
吴元凯 王国玉 王启洋 杨文龙

秘 书 长 胡毓坚
副秘书长 郝秀凯

出版说明

根据“教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见”中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本教材是根据全国高等职业技术教育机电类教材编审委员会审定的“数控机床编程与操作”课程的教学基本要求编写的。

编写中考虑了以下问题:

- 1) 内容由浅入深、循序渐进,以基础知识、基本理论为主,突出了数控加工工艺、编程与操作的实际应用。
- 2) 内容丰富、语言精炼、图文并茂,具有很强的实用性和可操作性。
- 3) 通过大量典型实例,全面、直观地介绍了数控机床的编程与操作知识,着重培养学生的综合实践能力。
- 4) 每章后均附有练习题,帮助巩固学习内容,掌握基本要点。

本教材的理论教学参考学时数为80学时,实训教学参考学时数为40学时。全书内容分3大部分:①数控机床基础知识及加工编程基础知识;②3种常见的数控机床(数控车床、数控铣床及数控加工中心)的编程特点、坐标系、编程基本知识、工艺参数选择及其操作基本技能;③数控线切割及电火花机床的编程特点、编程基本知识、工艺参数选择及其操作基本技能。

本书由河南科技学院杜家熙副教授、苏建修教授主编。

参加本书编写的有杜家熙(第1、2章)、苏建修和刘晓玲(第3章)、高虹和王艳凤(第4章)、李强(第5章)、邵泽强(第6章)、张凯(第7章)。

本教材在编写过程中,参考了有关教材、手册等资料,并得到众多同志的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 数控机床的组成与工作过程 1

1.2 数控机床的特点 2

1.3 数控机床的分类 2

1.3.1 按机床运动方式分类 2

1.3.2 按伺服系统类型分类 4

1.3.3 按工艺用途分类 5

1.3.4 按功能水平分类 5

1.4 数控机床的主要性能指标 6

1.4.1 运动性能指标 6

1.4.2 精度指标 7

本章提示 7

练习题 8

第 2 章 数控机床编程基础知识 9

2.1 概述 9

2.2 数控手工编程的基础知识 9

2.2.1 数控程序的编制方法及步骤 9

2.2.2 程序的结构和格式 11

2.2.3 数控编程 G、M 指令功能表 13

2.2.4 常用 M 指令应用 15

2.3 数控机床的编程规则 17

2.3.1 数控机床的坐标系统 17

2.3.2 数控机床的两种坐标系 19

2.3.3 数控机床的零点和参考点定义 21

本章提示 21

练习题 21

第 3 章 数控车床加工编程与操作 24

3.1 数控车削编程特点及坐标系 24

3.1.1 数控车床编程特点 24

3.1.2 数控车床的原点与参考点 25

3.1.3 坐标系 25

3.1.4 预置工件坐标系 30

3.2 数控车削工艺与工装 31

3.2.1 确定加工路线 32

3.2.2 合理选择刀具和夹具 32

3.2.3 合理选择切削用量 32

3.3 数控车床编程 34

3.3.1 基本编程方法 35

3.3.2 固定循环功能 47

3.3.3 螺纹加工 57

3.3.4 刀具补偿功能与编程 63

3.4 数控车削编程综合实例 68

3.4.1 综合实例 1 68

3.4.2 综合实例 2 70

3.5 数控车床基本操作 72

3.5.1 数控车床的控制面板 72

3.5.2 数控车床操作功能键简介 73

3.5.3 数控车床系统的操作 76

3.5.4 数控车床系统编程操作 77

3.5.5 数控车床对刀操作及刀具补偿 79

3.5.6 数控车床系统安全操作 80

本章提示 80

练习题 81

第 4 章 数控铣削加工编程与操作 85

4.1 数控铣削编程特点及坐标系 85

4.1.1 数控铣削编程特点 85

4.1.2 坐标系与原点 87

4.2 数控铣削工艺 88

4.2.1 零件图的工艺性分析 88

4.2.2 进给路线的确定 88

4.2.3 数控铣削用的工艺装备 91

4.2.4 切削用量的选择 95

4.3 数控铣削编程方法 97

4.3.1 基本编程方法 97

4.3.2 坐标系设置指令 104

4.3.3 FANUC 系统的几个指令 110

4.3.4 固定循环功能(FANUC 系统

固定循环) 125

4.4 数控铣削编程综合实例 142

第 1 章 绪 论

数控(Numerical Control, NC)技术是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。数控一般是采用通用或专用计算机实现数字程序控制,因此数控也称为计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)。

1.1 数控机床的组成与工作过程

1. 数控机床的组成

数控机床主要由输入和存储介质、数控装置、伺服系统、检测装置、适应控制(AC 控制)系统、机床本体、机电接口等部分组成,如图 1-1 所示。

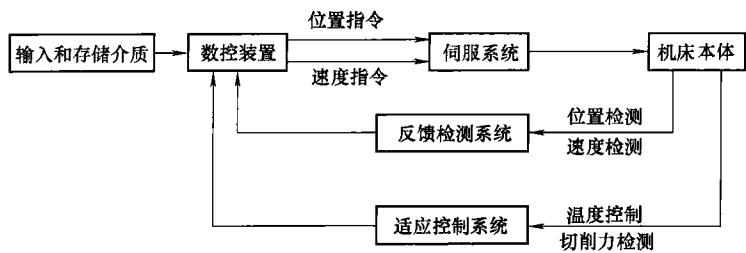


图 1-1 数控机床的组成

2. 数控机床的工作过程

数控机床加工零件的加工过程(如图 1-2 所示)如下:

- 1) 首先应编制零件的加工程序作为数控机床的工作指令。
- 2) 将加工程序送到数控装置。
- 3) 由数控装置控制机床主传动的变速、起停,进给运动的方向、速度和位移量;以及

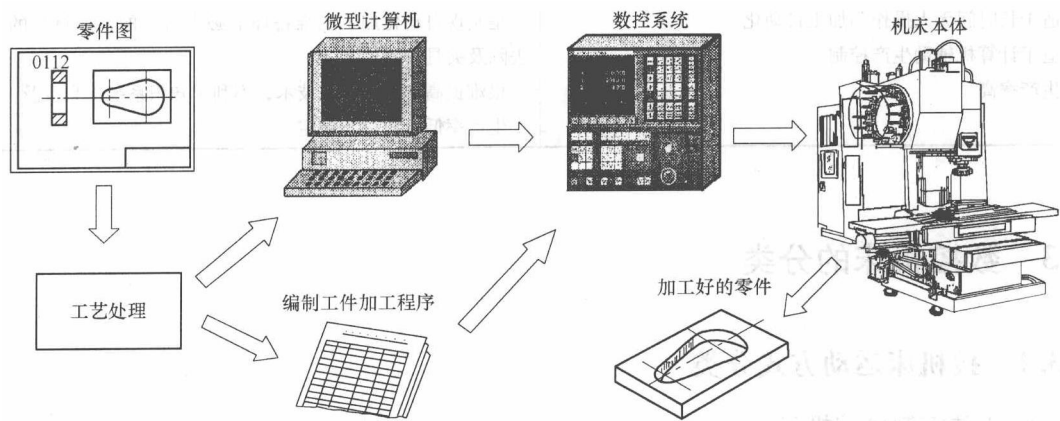


图 1-2 数控机床加工过程示意图

其他(如刀具选择交换、工件的夹紧与松开、冷却和润滑的开关等)动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作,从而加工出符合要求的零件。

1.2 数控机床的特点

1. 数控机床加工的特点

- 1) 具有高度柔性。零件加工主要取决于程序;不必制造和更换许多工夹具;不需要经常调整机床;适合单件、小批生产及新产品的开发、缩短周期、节省费用。
- 2) 加工精度高。数字信号控制;有误差补偿。
- 3) 加工质量稳定、可靠。同一批零件,在同一机床和相同条件下,使用相同的刀具和程序;刀具走刀轨迹完全相同。
- 4) 生产率高。有效地减少了加工时间和辅助时间;主轴转速和进给量的范围大;可大切削量切削;一次装夹可完成多工序加工。
- 5) 改善劳动条件。能自动连续加工;操作者趋于智力性劳动;封闭式加工,既清洁又安全。
- 6) 有利于生产管理现代化。可精确估计加工时间;刀具、夹具规范化、可实现现代化管理;加工信息标准化;可与 CAD/CAM 结合。

2. 数控机床的使用特点

数控机床与普通机床相比,具有如表 1-1 所示的特点。

表 1-1 数控机床与普通机床的比较

数 控 机 床	普 通 机 床
操作者可在较短的时间内掌握操作和加工技能	要求操作者有长期的实践经验
加工精度高、质量稳定,较少依赖于操作者的技能水平	高质量、高精度的加工要求操作者具有高的技能水平
编制程序花费较多时间	适合加工形状简单、单一工序的产品
加工零件复杂程度高,适合多工序加工	加工过程要求具有直觉和技巧
易于加工工艺标准化和刀具管理规范	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
适于长时间无人操作和加工自动化	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
适于计算机辅助生产控制	很难提高加工的专门技术,不利于知识系统化和普及
生产率高	生产率低,质量不稳定

1.3 数控机床的分类

1.3.1 按机床运动方式分类

1. 点位控制数控机床

点位控制又称为点到点控制。其特点是:

- 1) 只控制刀具对工件的定位;
- 2) 定位过程中的运动轨迹及移动速度没有严格要求;
- 3) 移动过程中不进行切削。

点位数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床和数控冲剪床等,其采用的数控系统称为点位数控系统。

2. 直线控制数控机床

直线切削控制又称为平行切削控制。直线控制数控机床的特点是:

- 1) 具有准确定位的功能。
- 2) 要求从一点到另一点之间按直线切削移动。
- 3) 能控制位移的切削速度(见图 1-3)。
- 4) 移动时,要进行切削加工。直线控制数控机床主要有数控镗铣床、数控车床和加工中心等。

一般情况下该类数控机床,有 2~3 个可控坐标轴,但同时控制的坐标轴只有 1 个,称为单轴数控。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制又称为连续轨迹控制。轮廓控制数控机床的特点是:

- 1) 能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行曲线或曲面的切削,即能同时控制两个或两个以上的轴,具有插补功能。
- 2) 能对位移和速度进行严格的不间断控制(见图 1-4)。

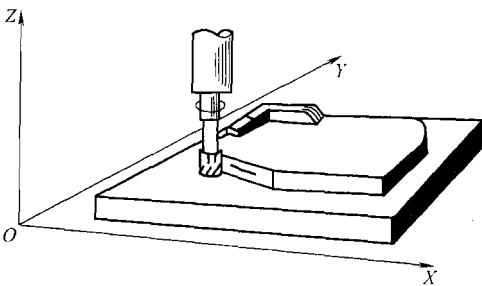


图 1-3 直线控制示意图

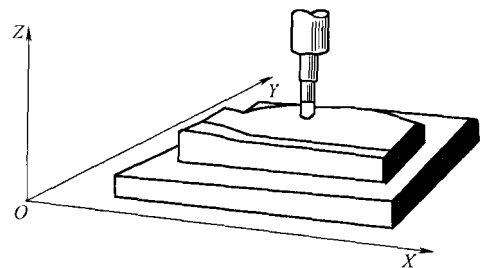


图 1-4 轮廓控制示意图

轮廓控制数控机床主要有两坐标及两坐标以上的数控铣床、可加工曲面的数控车床、加工中心等。

按同时控制且相互独立的轴数,可以有 2 轴控制、2.5 轴控制和 3、4、5 轴控制等。

1) 2 轴控制指的是可以同时控制 2 轴,但机床轴数也可能多于 2 轴,如图 1-5a、b 所示。

2) 2.5 轴控制是指两个轴连续控制、第 3 个轴作周期性的点位或直线控制,从而实现 3 个坐

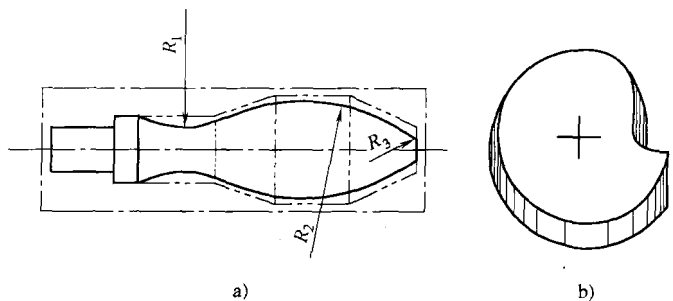


图 1-5 2 轴控制示意图

标轴 X 、 Y 、 Z 内的二维控制，如图 1-6a、b 所示。

3) 3 轴控制是指同时控制 X 、 Y 、 Z 三个坐标，这样，刀具在空间的任意方向都可移动，因而能够进行三维的立体加工，如图 1-7 所示。

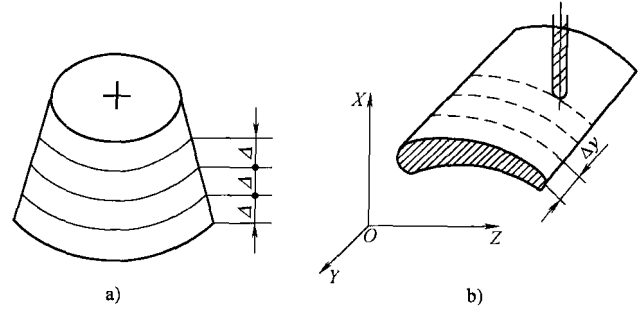


图 1-6 2.5 轴控制示意图

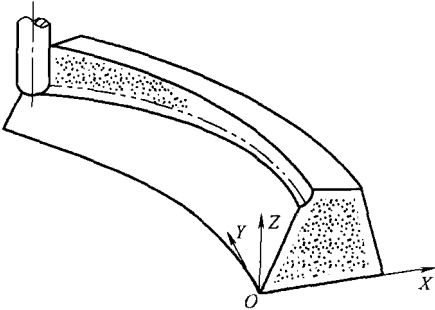


图 1-7 3 轴轮廓控制示意图

4) 4 轴控制是指同时控制 4 个坐标运动，即在 3 个坐标之外，再加一个旋转坐标。同时控制 4 个坐标的数控机床，如图 1-8 所示。它可以用来加工叶轮或圆柱凸轮。

5) 5 轴控制是指在直线坐标 X 、 Y 、 Z 以外，再加上围绕这些直线坐标旋转的旋转坐标 A 、 B 、 C 中的两个坐标，形成同时控制 5 个坐标，这时，刀具可以给定在空间的任意方向，如图 1-9 所示。它特别适合于加工汽轮机叶片、机翼等。

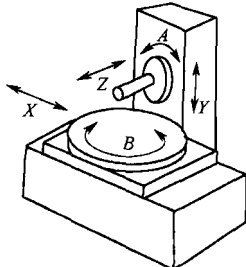


图 1-8 4 轴轮廓控制示意图

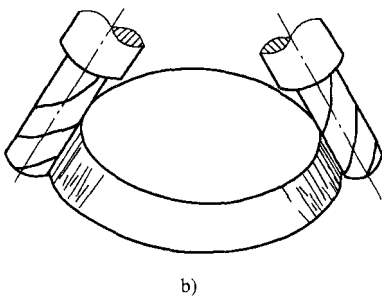
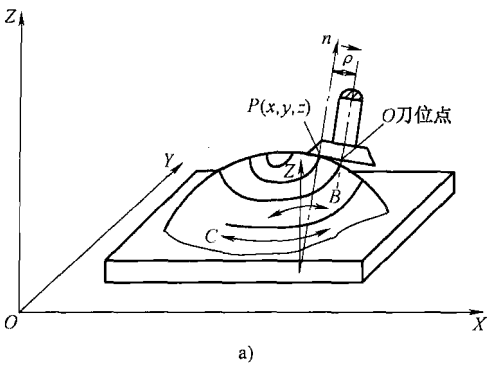


图 1-9 5 轴联动数控加工示意图

1.3.2 按伺服系统类型分类

1. 开环伺服系统数控机床 (Opened Loop Control System)

开环伺服数控机床的数控系统将零件的程序处理后，输出数据指令给伺服系统，驱动机床运动，没有来自位置传感器的反馈信号。

此类数控机床采用步进电动机的伺服系统，较为经济，但是速度及精度都较低，如图 1-10 所示。其特点是：①无检测反馈装置；②单向信号；③不能纠错，精度不高；④反应迅速；⑤调试维修方便，工作稳定。

它主要用于小型、简易数控。

2. 闭环伺服系统数控机床 (Closed Loop Control System)

闭环伺服系统带有检测装置，直接对工作台的直线位移量进行检测，与插补器的指令进行比较，并根据其差值不断地进行误差修正，可以消除由于传动部件制造中存在的精度误差给工件加工带来的影响。

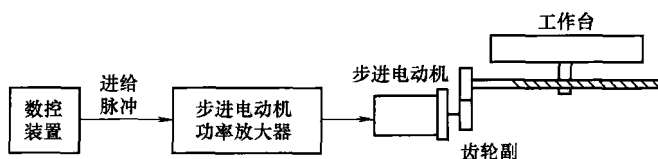


图 1-10 开环伺服数控系统

闭环伺服数控系统 (见图 1-11) 的加工精度高，但如设计与调整得不好，很容易形成系统的不稳定。

此类数控机床主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床和超精铣床等。其特点是：①有比较和反馈装置；②能消除误差，提高精度；③调试维修复杂；④稳定性差；⑤成本高。

3. 半闭环伺服系统数控机床 (Semiclosed Loop Control System)

这类系统用安装在进给丝杠轴端或电动机轴端的角位移测量元件 (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，如图 1-12 所示。其特点是：①介于开环与闭环之间；②精度没有闭环高；③调试比闭环方便。

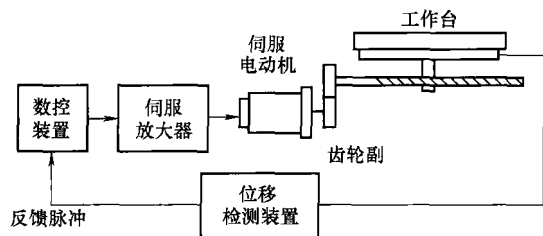


图 1-11 闭环伺服数控系统

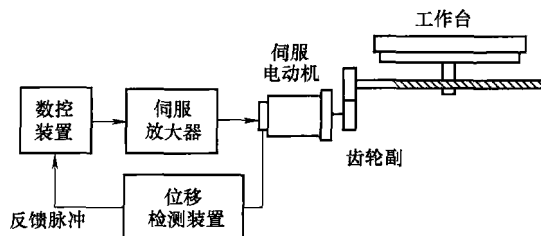


图 1-12 半闭环伺服数控系统

大多数数控机床采用这种控制方案。

1.3.3 按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

(1) 普通数控机床 有车、铣、钻、镗、磨床等，而且每一类中又有很多品种，能加工具有复杂形状的零件。

(2) 加工中心机床 如多工序数控机床。

2. 金属成形类及特种加工类数控机床

(1) 金属成形类数控机床 有数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等。

(2) 数控特种加工机床 有数控线 (电极) 切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

(3) 其他类型的数控机床 有火焰切割机、数控三坐标测量机等。

1.3.4 按功能水平分类

按数控系统功能水平分为低、中、高档数控机床(见表 1-2)。

表 1-2 数控机床分类表

档 次	低档数控机床	中档数控机床	高档数控机床
进给当量和进给速度	进给当量为 10μm，进给速度在 8 ~ 15m/min	进给当量为 1μm，进给速度为 15 ~ 24m/min	进给当量为 0.1μm，进给速度为 15 ~ 100m/min
伺服进给系统	开环、步进电动机	半闭环直流伺服系统或交流伺服系统	闭环伺服系统、电动机主轴、直线电动机
联动轴数	2 ~ 3 轴	3 ~ 4 轴	3 轴以上
通信功能	无	RS232 或 DNC 接口	RS232、RS485、DNC、MAP 接口
显示功能	数码管显示或简单的 CRT 字符显示	功能较齐全的 CRT 显示或液晶显示	功能齐全的 CRT(三维动态图形显示)
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC，有轴控制的扩展功能
主 CPU	8 位或 16 位 CPU	由 16 位向 32 位 CPU 过渡	32 位向 64 位 CPU 发展

在我国，把由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统以及其他功能简单、价格低的数控系统称为经济型数控系统。它主要用于车床、线切割机床以及老机床改造等，属于低档数控系统的一种。

1.4 数控机床的主要性能指标

1.4.1 运动性能指标

运动性能指标包括主轴转速、进给速度、坐标行程、摆角范围和刀库容量及换刀时间等。

1. 主轴转速

主轴一般采用直流或交流电动机驱动，选用高速精密轴承支承，具有较宽的调速范围和较高的回转精度、刚度及抗振性。目前，主轴转速已普遍达到 5000 ~ 10000r/min，甚至更高。

2. 进给速度

进给速度受数控装置的运算速度、机床动态特性及刚度等因素限制。目前，可达 10 ~ 30m/min，快速定位时，速度可达 20 ~ 100m/min。

3. 坐标行程

坐标轴 X、Y、Z 等的行程大小构成数控机床的空间加工范围，即加工零件的大小。数控车床有最大回转直径、最大车削长度、车削直径等指标参数；数控铣床有工作台尺寸、工作台行程等指标参数；有些加工中心的主轴还可以在一定范围内摆动，其摆角大小也直接影响加工零件空间部位的能力。

4. 刀库容量和换刀时间

刀库容量是指刀架刀位或刀库能存放刀具的数量，目前常见的小型加工中心的刀库容量

为 16 ~60 把，大型加工中心可达 100 把以上。

换刀时间是指将正在使用的刀具与装在刀库上的下一工序需用的刀具进行交换所需要的时间。目前一般数控机床的换刀时间为 10 ~20s，高档数控机床的换刀时间仅为 4 ~5s。

1.4.2 精度指标

1. 定位精度和重复定位精度

(1) 定位精度 是指数控机床工作台等移动部件实际运动位置与指令位置的一致程度，其不一致的差量即为定位误差。

引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给传动及导轨误差等。定位误差直接影响加工零件的尺寸精度。

(2) 重复定位精度 是指在相同的操作方法和条件下，多次完成规定操作后得到结果的一致程度。

重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差，它会影响批量加工零件的一致性，是一项非常重要的性能指标。一般数控机床的定位精度为 0.018mm，重复定位精度为 0.008mm。

2. 分辨率与脉冲当量

(1) 分辨率 是指可以分辨的最小位移间隔。

对测量系统而言，分辨率是可以测量的最小位移；对控制系统而言，分辨率是可以控制的最小位移增量。

(2) 脉冲当量 是指数控装置每发出一个脉冲信号，机床位移部件所产生的位移量。

脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一，其数值大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前，普通数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm，简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01mm，精密或超精密数控机床的脉冲当量一般为 0.0001mm。脉冲当量越小，数控机床的加工精度和表面质量越高。

3. 分度精度

分度精度是指分度工作台在分度时，实际回转角度与指令回转角度的差值。分度精度既影响零件加工部位在空间的角度位置，也影响孔系加工的同轴度等。

表 1-3 所示为几种数控机床的精度指标。

表 1-3 几种数控机床的精度指标

机 床 型 号	定位精度/[mm/mm]	重复定位精度/mm	分度精度(")
CINCINNATI	±0.025/1000	±0.006	±3
JCS-018	±0.012/300	±0.006	
XH754	±0.02/300	±0.01	±10
TH6350	±0.005/全行程	±0.002	

本章提示

数控机床是为了实现复杂零件的自动化加工而产生的。同时数控机床也随着制造技术发展的要求而发展。现代数控机床由输入和存储介体、数控装置、伺服驱动及检测装置、机床

本体、机电接口等部分组成。数控机床可以按运动方式、控制方式、工艺用途、功能水平进行分类。数控机床坐标系是确定数控机床、刀具、工件之间的相对位置的关键因素，对刀就是确定工件坐标系在机床坐标系中的位置。

本章还介绍了数控机床的特点，以及数控机床的主要性能指标。

练习题

1. 数控机床由哪几部分组成？简述数控机床各组成部分的作用。
2. 与普通机床相比，数控机床有何特点？
3. 数控机床有几种分类方法？
4. 什么是定位控制、二维轮廓控制和三维轮廓控制？
5. 什么是开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统？它们各有什么特点？
6. 试述数控机床加工的基本工作原理。

第2章 数控机床编程基础知识

2.1 概述

1. 数控编程的基本概念

- (1) 数控编程 数控编程是指从确定零件加工工艺路线到制成控制介质的整个过程。
- (2) 数控程序 有一定格式的加工程序单，称为数控程序。
- (3) 程序单 程序单是指记录工艺路线、走刀轨迹、工艺参数等并按一定格式组成的代码。

2. 数控编程的一般过程

采用数控机床加工零件时，首先要进行零件加工程序编制，按零件图样要求将零件加工的工艺路线、走刀轨迹、工艺参数（如主轴转速、进给量、背吃刀量等）以及辅助操作（如换刀、变速、切削液选用、工件夹紧/松开等）等进给信息，用相应数控系统规定的文字、数字元、符号代码按一定的格式编制成加工程序单，并将程序单的信息制作成控制介质输入到数控系统，由数控系统实现机床的自动加工控制，如图 2-1 所示。

数控编程过程中，同时要考虑到以下两点：

- 1) 是否能满足零件的形状和位置要求。
- 2) 在综合考虑生产效率和制造成本的基础上，选用合适的刀具、工装夹具及工艺过程。

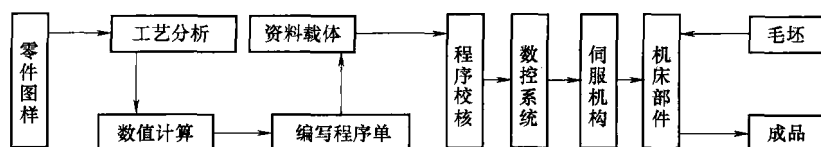


图 2-1 数控机床加工零件的过程

2.2 数控手工编程的基础知识

2.2.1 数控程序的编制方法及步骤

1. 编制方法

(1) 手工编程 手工编制零件加工程序的各个步骤，即从零件图样分析及工艺处理、数值计算、书写程序单、制作控制介质直至程序的检验，均由人工完成的即为手工编制程序的过程，也称为手工程序编制。

对于几何形状不太复杂的较简单的零件，采用手工编程较容易实现。但对于形状复杂的零件，手工编程难于胜任，甚至无法编出程序（即使编出，也是效率低，出错率也较高）。

(2) 自动编程 使用计算机编制数控加工程序，自动地输出零件加工程序单及自动地