

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

“十二五”全国高校数控与机电一体化专业教学用书

数控编程与 操作项目教程

SHUKONG BIANCHENG
YU CAOZUO XIANGMU
JIAOCHENG

主 编/李东君 温上樵
副主编/李 立 罗建华 于 淼
主 审/吴素珍



海洋出版社

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

“十二五”全国高校数控与机电一体化专业教学用书

数控编程与 操作项目教程

SHUKONG BIANCHENG
YU CAOZUO XIANGMU
JIAOCHENG

主 编/李东君 温上樵
副主编/李 立 罗建华 于 淼
主 审/吴素珍

海洋出版社

2013年·北京

内 容 简 介

本书以培养学生数控编程与操作能力为核心,依据国家相关职业标准规定的知识与技能要求,按岗位能力需要的原则,以分析工艺、拟定工艺路线、编写加工程序、仿真加工验证、检测工件、实际机床实训的教学流程,突出强化训练学生的综合技能。

本书共分为21章,综合介绍了数控车削编程与操作、数控铣削编程与操作、加工中心编程与操作、数控电火花线加工技术和UG/CAM自动编程的内容。包括数控车削加工工艺、数控车床的坐标系与运动方向、数控车床的基本编程指令、FANUC系统固定循环与子程序、FANUC系统数控车床操作及数控车削编程综合实训;数控铣削加工工艺、数控铣床的坐标系与运动方向、数控铣床的基本编程指令、FANUC固定循环与子程序、数控铣床操作及铣削编程综合实训;数控加工中心的概述、加工中心基本指令、FANUC系统宏程序应用及加工中心编程综合实训;数控电火花线切割和成型加工技术工;UG/CAM简介、平面铣削加工和型腔加工。

本书可作为高职高专、五年制高职、成人专科、电大专科、技师学院等相关院校数控、模具、机电一体化及相关专业的教学用书,也可作为从事机械加工制造的工程技术人员参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作项目教程/李东君等主编.-- 北京:海洋出版社,2013.6

ISBN 978-7-5027-8557-4

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床—程序设计—高等职业教育—教材②数控机床—操作—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 091098 号

总 策 划: 刘斌

责任编辑: 刘斌

责任校对: 肖新民

责任印制: 赵麟苏

排 版: 海洋计算机图书输出中心 晓阳

出版发行: 海洋出版社

地 址: 北京市海淀区大慧寺路8号(707房间)
100081

经 销: 新华书店

技术支持: 010-62100059

发 行 部: (010) 62174379 (传真) (010) 62132549

(010) 62100075 (邮购) (010) 62173651

网 址: <http://www.oceanpress.com.cn/>

承 印: 北京旺都印务有限公司印刷

版 次: 2013年6月第1版

2013年6月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 19.5

字 数: 474千字

印 数: 1~4000册

定 价: 39.00元

本书如有印、装质量问题可与发行部调换

前 言

本书的编写以高职高专人才培养目标为依据,结合教育部关于数控等相关专业紧缺型人才培养要求,注重教材的基础性、实践性、科学性、先进性和通用性。本书融理论教学、技能操作、企业项目为一体,参照数控操作工国家职业资格标准和对应职业岗位核心能力培养,设置了5个项目,共21章,进行由浅入深的项目任务学习和训练,最后完成综合零件的工艺设计、程序编制和加工操作,较好的符合了企业对数控加工一线人员的职业素质需要。

本书具有以下突出特点:以项目引领,工作过程为导向,典型工作任务为驱动,工作任务优选企业典型案例统领整个教学内容;本书内容强化职业技能和综合技能培养,方便教师在教学中“教中做”、学生在“做中学”,在玩中掌握知识技能。

本书参考学时为172学时,建议采用理实一体教学模式,6周完成,各项目参考学时如下表。

项目设计	任务设计	建议学时	课内实训学时	总学时(172)
项目1 数控车削编程操作	第1章 数控车削加工工艺	8		8
	第2章 数控车床的坐标系与运动方向	6		6
	第3章 数控车床的基本编程指令	4	2	6
	第4章 FANUC 系统固定循环与子程序	2	2	4
	第5章 FANUC 系统数控车床操作		4	4
	第6章 数控车削编程综合实训		6	6
项目2 数控铣削编程与操作	第7章 数控铣削加工工艺	12		12
	第8章 数控铣床的坐标系与运动方向	4		4
	第9章 数控铣床的基本编程指令	6	6	12
	第10章 FANUC 固定循环与子程序	12	12	24
	第11章 数控铣床操作		24	24
	第12章 铣削编程综合实训		8	8
项目3 加工中心编程与操作	第13章 数控加工中心的概述	4		4
	第14章 加工中心基本指令	4	2	6
	第15章 FANUC 系统宏程序应用	2	2	4
	第16章 加工中心编程综合实训		4	4
项目4 数控电火花加工技术	第17章 数控电火花线切割加工技术	4	2	6
	第18章 数控电火花成型加工技术	2	2	4
项目5 UG/CAM 自动编程	第19章 UG/CAM 简介	2	4	6
	第20章 平面铣削加工	2	8	10
	第21章 型腔加工	2	8	10

本书由南京交通职业技术学院李东君、南京信息职业技术学院温上樵担任主编，河南工学院吴素珍担任主审，萍乡高等专科学校李立、咸阳职业技术学院罗建华、河南经济贸易技师学院于淼担任副主编，河南工学院吴素珍参编，另外在编写过程中参考和借鉴了诸多同行的相关资料、文献，在此一并表示诚挚感谢！

限于编者水平经验有限，难免有错误疏漏之处，敬请读者不吝赐教，以便修正，日臻完善。

编 者

目 录

项目 1 数控车削编程与操作

第 1 章 数控车削加工工艺	2	3.2.8 回参考点检验 G27、自动 返回参考点 G28、从参考 点返回 G29	25
1.1 数控编程概述	2	3.2.9 刀具半径补偿	26
1.1.1 数控机床加工过程	2	3.2.10 基本螺纹车削指令 G32	27
1.1.2 数控编程的内容与方法	3	3.3 课堂实训	29
1.1.3 程序编制方法	4	3.4 习题	31
1.2 数控机床的分类	4	第 4 章 FANUC 系统固定循环与子程序	33
1.3 数控车床组成	7	4.1 简单固定循环	33
1.4 数控车削工艺	8	4.2 复合固定循环	36
1.5 习题	12	4.3 课堂实训	42
第 2 章 数控车床的坐标系与运动方向	14	4.3 习题	43
2.1 数控机床坐标系和运动方向	14	第 5 章 FANUC 系统数控车床操作	46
2.2 机床坐标系和工件坐标系	16	5.1 安全文明操作	46
2.2.1 机床坐标系与机床原点、 机床参考点	16	5.1.1 文明生产	46
2.2.2 工件坐标系与工件坐标系 原点	16	5.1.2 安全操作规程	46
2.3 习题	17	5.1.3 数控机床的维护保养	47
第 3 章 数控车床的基本编程指令	18	5.2 数控车床的基本操作	50
3.1 基本编程指令	18	5.2.1 面板说明	50
3.2 基本编程指令案例	21	5.2.2 机床准备	52
3.2.1 绝对值编程与增量值编程	21	5.2.3 手动加工零件	55
3.2.2 平面坐标选择	22	5.2.4 自动加工方式	55
3.2.3 工件坐标系设定	22	5.3 习题	56
3.2.4 快速移动指令 G00	23	第 6 章 数控车削编程综合实训	57
3.2.5 直线插补指令 G01	23	6.1 综合实训（一）	57
3.2.6 圆弧插补指令 G02/G03	24	6.2 综合实训（二）	58
3.2.7 暂停指令 G04	25	6.3 习题	61

项目 2 数控铣削编程与操作

第 7 章 数控铣削加工工艺	66	7.3 数控铣削工艺过程	67
7.1 数控铣床的分类	66	7.4 课堂实训	67
7.2 数控铣床的组成和特点	67	7.5 习题	70



第 8 章 数控铣床坐标系与运动方向72	10.2 主程序和子程序.....93
8.1 数控铣床坐标系.....72	10.3 循环编程与子程序案例.....93
8.2 机床坐标系与机床原点.....73	10.4 SIMENS 系统铣床常用循环指令 (802C/S).....95
8.3 机床参考点.....73	10.5 课堂实训.....96
8.4 机床坐标系与工件坐标系.....73	10.6 习题.....97
8.5 数控铣床运动方向.....74	第 11 章 数控铣床操作100
8.6 课堂实训.....74	11.1 安全文明操作.....100
8.7 习题.....75	11.2 数控铣床的基本操作.....100
第 9 章 数控铣床基本编程指令76	11.3 SIEMENS 系统数控铣床的操作.....108
9.1 数控铣床编程指令.....76	11.4 课堂实训.....115
9.2 SIMENS 系统数控铣床基本编程 指令.....81	11.5 习题.....116
9.3 课堂实训.....85	第 12 章 铣削编程综合实训117
9.4 习题.....86	12.1 盘类零件.....117
第 10 章 FANUC 固定循环与子程序88	12.2 泵盖零件.....120
10.1 固定循环编程指令.....88	12.3 习题.....126

项目 3 加工中心编程与操作

第 13 章 加工中心概述130	14.6 习题.....157
13.1 加工中心简介.....130	第 15 章 FANUC 系统宏程序应用159
13.2 加工中心工艺分析.....131	15.1 宏程序指令.....159
13.3 加工中心坐标系统.....132	15.2 变量.....159
13.4 加工中心编程的特点.....133	15.3 算术运算指令.....160
13.5 加工中心调整.....134	15.4 控制指令.....160
13.6 Siemens 810D 数控系统加工中心.....139	15.5 宏程序应用.....162
13.7 课堂实训.....140	15.6 SIEMENS 系统的宏程序应用.....162
13.8 习题.....141	15.7 课堂实训.....163
第 14 章 加工中心基本指令143	15.8 习题.....165
14.1 基本编程指令.....143	第 16 章 加工中心编程综合实训167
14.2 基本编程指令.....145	16.1 综合实训（一）.....167
14.3 固定循环编程指令.....146	16.2 综合实训（二）.....172
14.4 SIEMENS 系统固定循环功能.....149	16.3 综合实训（三）.....176
14.5 课堂实训.....155	16.4 习题.....181

项目 4 数控电火花线加工技术

第 17 章 数控电火花线切割加工技术184	17.1.1 电火花线切割机床分类.....184
17.1 数控电火花线切割机床简介.....184	17.1.2 电火花线切割加工原理.....184

17.1.3 电火花线切割加工的特点.....	186	第 18 章 数控电火花成型加工技术.....	222
17.2 数控电火花线切割加工的基本工艺.....	186	18.1 数控电火花成型加工简介.....	222
17.3 数控电火花线切割机床编程.....	187	18.1.1 电火花成型加工的基本原理.....	222
17.3.1 3B 格式编程.....	187	18.1.2 电火花成型加工的特点.....	224
17.3.2 4B 格式编程.....	191	18.1.3 分析数控电火花成型加工工艺.....	224
17.3.3 ISO 格式编程.....	191	18.2 数控电火花成型加工.....	225
17.4 数控线切割机床应用操作.....	194	18.2.1 电火花穿孔加工.....	225
17.4.1 中走丝线切割机床应用.....	195	18.2.2 数控电火花加工型腔.....	228
17.4.2 线切割机床主要结构.....	195	18.2.3 数控电火花成型机床.....	232
17.4.3 线切割机床操作.....	198	18.3 数控电火花小孔加工.....	239
17.4.4 机床加工工艺特点.....	200	18.3.1 数控电火花小孔加工概述.....	239
17.4.5 机床的维护与保养.....	201	18.3.2 D703 型高速电火花小孔加工机床简介.....	239
17.4.6 数控中走丝线切割机床电气操作.....	202	18.4 课堂实训.....	244
17.5 课堂实训.....	214	18.5 习题.....	245
17.6 习题.....	220		

项目 5 UG/CAM 自动编程

第 19 章 UG/CAM 简介.....	248	20.2.1 点位加工概述.....	258
19.1 UG/CAM 概述.....	248	20.2.2 创建点位加工的步骤.....	258
19.2 创建操作加工基本流程.....	248	20.2.3 选择循环与参数设置.....	259
19.3 创建操作要素.....	249	20.2.4 加工案例.....	260
19.4 生成刀具路径与后处理.....	249	20.3 课堂实训.....	268
19.5 课堂实训.....	249	20.4 习题.....	276
19.6 习题.....	256	第 21 章 型腔加工.....	278
第 20 章 平面铣削加工.....	257	21.1 型腔加工基础.....	278
20.1 平面铣削概述.....	257	21.2 固定轴曲面轮廓加工.....	279
20.1.1 平面铣削概念.....	257	21.3 课堂实训.....	287
20.1.2 平面铣削创建流程.....	257	21.4 习题.....	295
20.1.3 几何边界创建.....	258	习题参考答案.....	296
20.2 点位加工.....	258	参考文献.....	304

项目 1

数控车削编程与操作

-
- 第 1 章 数控车削加工工艺
 - 第 2 章 数控车床的坐标系与运动方向
 - 第 3 章 数控车床的基本编程指令
 - 第 4 章 FANUC 系统固定循环与子程序
 - 第 5 章 FANUC 系统数控车床操作
 - 第 6 章 数控车削编程综合实训
-

第 1 章 数控车削加工工艺

知识目标

- ☑ 了解数控机床加工的过程及数控编程时工艺处理的主要内容。
- ☑ 建立数控编程的基本概念。
- ☑ 掌握数控编程中工艺处理的主要内容。
- ☑ 掌握数控编程的基本内容与主要步骤。
- ☑ 掌握数控加工工艺文件的编制方法。
- ☑ 掌握加工程序的基本组成、程序的基本结构和类型。

能力目标

- ☑ 掌握数控编程的基本内容与步骤，加工程序的基本结构及格式，加工方法的选择，刀具的合理选择，加工路线的确定。
- ☑ 能够判别数控机床的坐标系和运动方向，确定刀点与换刀点，正确选择切削参数。

1.1 数控编程概述

目前我国企业急需大批能熟练掌握数控机床编程、操作、维修的工程技术人员。为此，国家制定了数控技能型紧缺人才的培养培训方案，技能型紧缺人才的培养就是要提高学生的职业能力放在突出的位置，加强生产实习、实训等实践性教学环节，使学生成为企业生产一线迫切需要的高素质劳动者。

1.1.1 数控机床加工过程

如图 1-1 所示，利用数控机床完成零件数控加工的过程包括下列主要步骤。

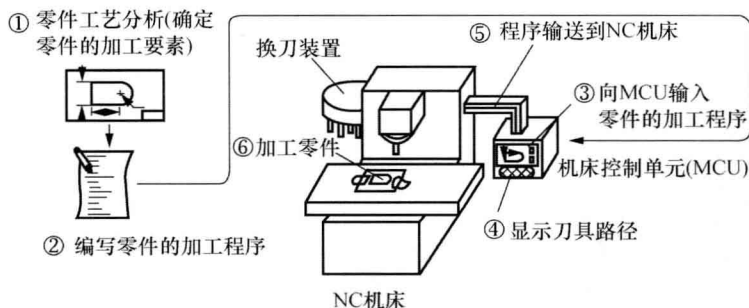


图 1-1 数控机床加工过程

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析，确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单；或用自动编程软件（CAD/CAM、UG）

进行工作，直接生成零件的加工程序文件。

(3) 程序的输入或传输。手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入程序；由编程软件生成的程序，通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单位（MCU）。

(4) 将输入/传输带数控单元的加工程序，进行试运行、刀具路径模拟等。

(5) 通过对机床的正确操作，运行程序，完成零件加工。

由此可见，编程是数控加工的重要步骤。在使用数控机床对零件进行加工时，首先，需要对零件进行加工工艺分析，以确定加工方法、加工工艺路线；其次，要正确选择数控机床刀具和装卡方法；然后按照加工工艺要求，根据所用数控机床规定的指令代码及程序格式，将刀具的运动轨迹、位移量、切削参数（主轴转速、进给量、吃刀深度等）以及辅助功能（换刀、主轴正转/反转、切削液开/关等）编写成加工程序单，传送或输入到数控装置中，从而指挥机床加工零件。

1.1.2 数控编程的内容与方法

如图 1-2 所示为数控程序的编制过程。

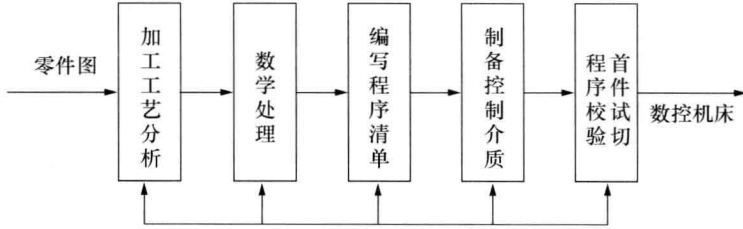


图 1-2 数控编程内容及步骤

(1) 分析零件图纸。编程人员首先要根据零件图纸，对零件的材料、形状、尺寸、精度及毛坯形状和热处理要求等进行加工分析。合理选择加工方案，确定加工顺序、加工路线、装卡方式、刀具及切削参数等；同时还要考虑所用数控机床的指令功能，充分发挥机床的效能；加工路线要短，正确选择对刀点、换刀点，以减少换刀次数。

(2) 确定工艺过程。确定零件的加工方法（如采用的工夹具、装夹定位方法等）和加工路线（如对刀点、走刀路线），并确定加工用量等工艺参数（如切削进给速度、主轴转速、切削宽度和深度等）。

(3) 数值计算。根据零件图纸和确定的加工路线，算出数控机床需要输入的数据，如零件轮廓相邻几何元素的交点和切点，用直线或圆弧逼近零件轮廓时相邻几何元素的交点和切点等的计算。

(4) 编写程序单。根据加工路线计算出的数据和已确定的加工用量，结合数控系统的程序段格式编写零件加工程序单。此外，还应填写相关工艺文件，如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、工件安装和零点设定卡片等。

(5) 制备控制介质。按程序单将程序内容记录在控制介质（如穿孔纸带）上，作为数控装置的输入信息。通过程序的手工输入或通信传输送入数控系统。

(6) 程序调试和检验。可通过模拟软件来模拟实际加工过程，或将程序送到机床数控装置后进行空运行，或通过首件加工等多种方式来检验所编制出的程序，发现错误则应及时修正，直至程序能正确执行为止。



1.1.3 程序编制方法

数控程序的编制方法有手工编程和自动编程两种。

(1) 手工编程。从零件图样分析及工艺处理、数值计算、书写程序单、制穿孔纸带直至程序的校验等各个步骤,均由人工完成,则属手工编程。对于点位加工或几何形状不太复杂的零件来说,编程计算较简单,程序量也不大,通过手工编程即可实现。对于形状复杂或轮廓不是由直线、圆弧组成的非圆曲线零件,或者是空间曲面零件,即使由简单几何元素组成,但程序量很大,因而计算相当烦琐,手工编程困难且易出错,此类零件则必须采用自动编程的方法。

(2) 自动编程。编程工作的大部分或全部由计算机完成的过程称为自动编程。编程人员只需根据零件图纸和工艺要求,用规定的语言编写一个源程序或者将图形信息输入到计算机中,由计算机自动进行处理,计算出刀具中心的轨迹,编写出加工程序清单,并自动制成所需控制介质。由于走刀轨迹可由计算机自动绘出,所以可方便地对编程错误作及时修正。

1.2 数控机床的分类

从机械本体的表面上看,很多数控机床和普通机床一样,看不出有多大的差别。但事实上它们有着本质上的不同。数控机床的驱动坐标工作台的电机已经由传统的三相交流电机改为步进电机或交流直流伺服电机;由于电机的速度容易控制,所以传统的齿轮变速机构已经很少采用了。部分机床取消了坐标工作台的机械式手摇调节机构,取而代之的是按键式的脉冲触发控制器或手摇脉冲发生器。坐标读数也已经是精确的数字显示方式,而且加工轨迹及进度也能非常直观地通过显示器显示出来。采用数控机床控制加工已经相当安全方便了。

1. 按加工工艺方法分类

按传统的加工工艺方法来分,有数控车床、数控钻床、数控镗床、数控铣床、数控磨床、数控齿轮加工机床、数控冲床、数控折弯机、数控电加工机床、数控激光与火焰切割机和加工中心等。其中,现代数控铣床基本上都兼有钻镗加工功能。当某数控机床具有自动换刀功能时,即可称之为“加工中心”。

2. 按加工控制路线分类

按加工控制路线来分,有点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床。点位控制只要求刀具从一点向另一点移动,而不管其中间行走轨迹的控制方式。在从点到点的移动过程中,只做快速空程的定位运动,因此不能用于加工过程的控制。属于点位控制的典型机床有数控钻床、数控镗床和数控冲床等。这类机床的数控功能主要用于控制加工部位的相对位置精度,而其加工切削过程还得靠手工控制机械运动来进行,点位控制的运动轨迹如图 1-3 所示。

(2) 直线控制数控机床。直线控制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° 的斜线方向做直线轨迹的加工。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。一般情况下,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。这种形式的典型机床有车阶梯轴的数控车床、数控镗铣床和简单加工中心等,直线控制的运动轨迹如图 1-4 所示。

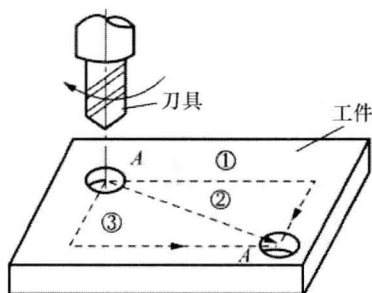


图 1-3 点位控制的运动轨迹

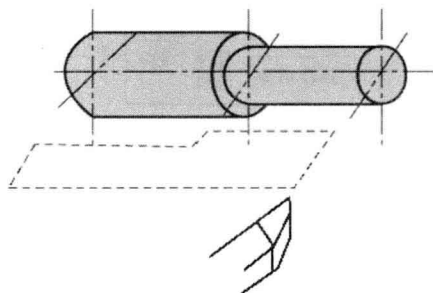


图 1-4 直线控制的运动轨迹

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制数控机床又称连续控制机床。其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。可控制刀具相对于工件做连续轨迹的运动，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。典型的轮廓控制数控机床有数控铣床、功能完善的数控车床、数控磨床和数控电加工机床等，轮廓控制的运动轨迹如图 1-5 所示。

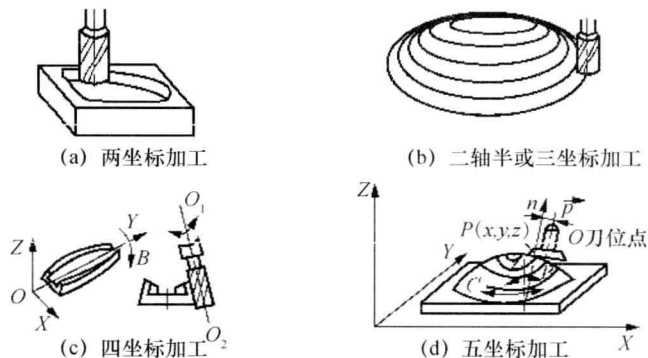


图 1-5 轮廓控制的运动轨迹

3. 按机床所用进给伺服系统的分类

按机床所用进给伺服系统来分，有开环伺服系统、闭环伺服系统和半闭环伺服系统。

数控机床的进给伺服系统由伺服电路、伺服驱动装置、机械传动机构和执行部件组成。它的作用是接受数控系统发出的进给速度和位移指令信号，由伺服驱动电路作一定的转换和放大后，经伺服驱动装置（直流/交流伺服电机，电液动脉冲马达和功率步进电机等）和机械传动机构、驱动机床的工作台等执行部件实现工件进给和快速运动。

(1) 开环伺服系统。开环伺服系统的伺服驱动装置主要是步进电机、功率步进电机和电液脉冲马达等。由数控系统送出的进给指令脉冲，通过环形分配器，按步进电机的通电方式进行分配，并经功率放大后送给步进电机的各相绕组，使之按规定的方式通电或断电，从而驱动步进电机旋转。再经同步齿形带、滚珠丝杠螺母副驱动执行部件。每给一次脉冲信号，步进电机就转过一定的角度，工作台就走过一个脉冲当量的距离。数控装置按程序加工要求控制指令脉冲的数量、频率和通电顺序，达到控制执行部件运动的位移量、速度和运动方向的目的。由于它没有检测和反馈系统，故称之为开环。其特点是没有位置检测装置，指令信号是单向的，结构简单，维护方便，成本较低。缺点是加工精度不高，如果采取螺距误差补偿和传动间隙补偿等措施，定位精度可稍有提高，其原理如图 1-6 所示。

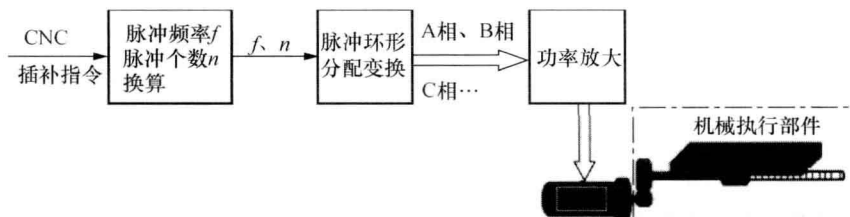


图 1-6 开环伺服系统的原理

(2) 半闭环伺服系统。半闭环伺服系统具有检测和反馈系统，测量元件（脉冲编码器、旋转变压器和圆感应同步器等）装在丝杠或伺服电机的轴端部，通过测量元件检测丝杠或电机的回转角。间接测出机床运动部件的位移，经反馈回路送回控制系统和伺服系统，并与控制指令值相比较。如果二者存在偏差，则将此差值信号进行放大，继续控制电机带动移动部件向着减小偏差的方向移动，直至偏差为零。由于只对中间环节进行反馈控制，丝杠和螺母副部分还在控制环节之外，故称半闭环。丝杠螺母副的机械误差需要在数控装置中用间隙补偿和螺距误差补偿来减小，其原理如图 1-7 所示。

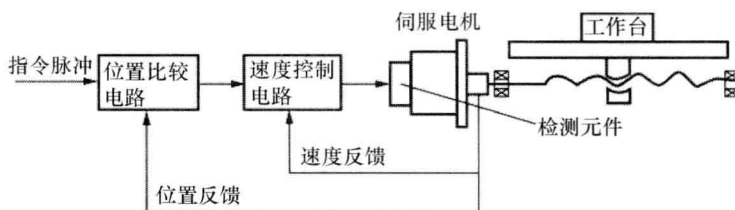


图 1-7 半闭环伺服系统的原理

(3) 闭环伺服系统。闭环伺服系统的工作原理和半闭环伺服系统相同，但带有位置检测装置测量元件（直线感应同步器、长光栅等）装在工作台上，可直接测出工作台的实际位置。该系统将所有部分都包含在控制环之内，可消除机械系统引起的误差，精度高于半闭环伺服系统，但系统结构较复杂，控制稳定性较难保证，成本高，调试维修困难其原理如图 1-8 所示。

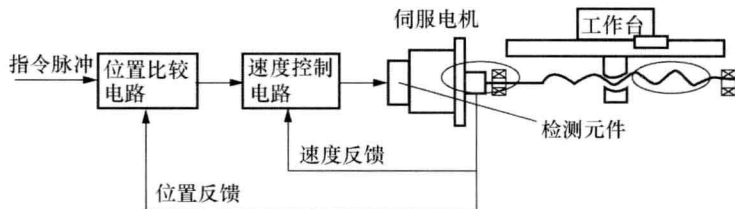


图 1-8 闭环伺服系统的原理

4. 按所用数控装置的分类

按所用数控装置来分，有 NC（Numerical Control，数字控制）硬线数控机床和 CNC（Computer Numerical Control，计算机数字控制）软线数控机床。

(1) NC 硬线数控机床。它是 20 世纪 50-60 年代采用的技术，其计算控制多采用逻辑电路板等专用硬件的形式。当改变功能时，需要改变硬件电路，因此通用性差，制造维护难，成本高。

(2) CNC 软线数控机床。它是伴随着计算机技术而发展起来的，其计算控制的大部分功

能都是通过小型或微型计算机的系统控制软件来实现的。不同功能的机床其系统软件不同。当需要扩充功能时，只需改变系统软件即可。

1.3 数控车床组成

数控机床一般由控制介质、输入装置、数控系统、伺服系统、检查装置、辅助控制装置和机床本体等组成。其结构组成如图 1-9 所示。

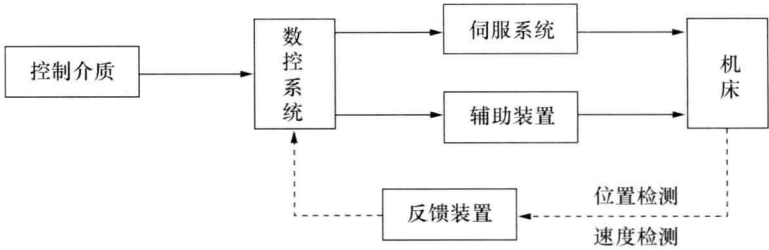


图 1-9 数控车床的结构组成

1. 控制介质

控制介质是指以指令的形式记载各种加工信息的物质，如零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具运动等，将这些信息输入到数控装置，控制数控机床对零件切削加工。如穿孔纸带、磁带、磁盘、磁泡存储器等。目前，国际上通用的是美国电子工业协会（Electricity Industry Association, EIA）代码和国际标准化组织 ISO（International Organization for Standardization）代码。我国规定以 ISO 代码作为标准代码。

2. 输入装置

数控系统是数字控制系统的简称，英文名称为 Numerical Control System，根据计算机存储器中存储的控制程序，执行部分或全部数值控制功能，并配有接口电路和伺服驱动装置的专用计算机系统。通过利用数字、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，它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和开关量。

3. 数控装置

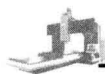
数控装置是数控机床的核心，主要是将输入的数据信号进行处理、运算、判断，并发出执行命令分配给伺服系统，伺服系统根据命令信号发出执行信号给各个驱动电机，电机带动工作台动作。

4. 驱动装置与检查装置

测量反馈系统由检测元件和相应的电路组成，其作用是检测机床的实际位置，速度等信息，并将其反馈给数控装置与指令信息进行比较和校正，构成系统的闭环控制。

5. 辅助控制装置

对于数控机床来说，一般意义上的辅助装置指的是除主轴之外（因为主轴也是用 M 代码来控制的）用 M 代码来控制的装置。主要有自动换刀装置（Automatic Tool Changer, ATC）、加工中心的自动交换工作台机构 APC（Automatic exchange of bench body）、冷却系统（外冷、



内冷、气吹，冷却液处理系统等)、排屑系统、夹具系统、数控车床的自动送料系统等。

6. 机床本体

机床本体指的是数控机床机械机构实体，包括床身、主轴、进给机构等机械部件。由于数控机床是高精度和高生产率的自动化机床，它与传统的普通机床相比，应具有更好的刚性和抗振性，相对运动摩擦系数要小，传动部件之间的间隙要小，而且传动和变速系统要便于实现自动化控制。

1.4 数控车削工艺

在数控编程时，首先要进行工艺分析，然后制定一套完整、合理的数控加工工艺，目的是能够指导生产出符合设计要求的零件，并且生产效率高、成本低。

1. 数控加工工艺分析的主要内容

- (1) 选择适合在数控机床加工的零件，确定工序内容。
- (2) 分析被加工零件的图纸，明确加工内容及技术要求。在此基础上，确定零件的加工方案，制定数控加工工艺路线。如划分工序、安排加工顺序、与传统加工工序的衔接等。
- (3) 加工工序的设计，如选取零件的定位基准，划分工步，确定装夹与定位方案，选取刀具、辅具，确定切削用量等。
- (4) 数控加工程序的调整。选取对刀点和换刀点，确定刀具补偿等。
- (5) 分配数控加工中的允差。
- (6) 处理数控机床上的部分工艺指令。

总之，数控加工工艺内容繁多，但有些内容与普通机床加工工艺非常相似，因此本章仅对编程中的工艺分析进行讨论，关于编程中工艺指令的处理在其他相关章节讨论。

2. 数控机床的合理选用

合理选择机床的原则如下。

- (1) 要保证被加工零件的技术要求以加工出合格的产品；
- (2) 要利于提高生产率；
- (3) 尽可能降低生产成本（加工费用）。

3. 加工方法的选择与加工方案的确定

(1) 加工方法的选择。加工方法的选择应以满足加工精度和表面粗糙度的要求为原则。由于获得同一级加工精度及表面粗糙度的加工方法一般有很多，因此在实际选择时，要结合零件的形状、尺寸和热处理要求等全面考虑。

(2) 加工方案的确定原则。确定加工方案时，首先应根据主要表面的精度和表面粗糙度的要求，初步确定为达到这些要求所需要的加工方法。例如，对于孔径不大的、IT7 级精度的孔，最终的加工方法选择精铰孔时，则精铰孔前通常要经过钻孔、扩孔和粗铰孔等加工。

4. 工序与工步的划分

(1) 工序划分的原则

数控加工通常按下列原则划分工序。

① 基面先行原则。用作精基准的表面应优先加工出来,因为定位基准的表面越精确,装夹误差就越小。

② 先粗后精原则。各个表面的加工顺序按照粗加工→半精加工→精加工→光整加工的顺序依次进行,逐步提高表面的加工精度,并减小表面粗糙度。

③ 先主后次原则。零件的主要工作表面、装配基面应先加工,这样可及早发现毛坯中主要表面可能出现的缺陷。次要表面可穿插进行,放在主要加工表面加工到一定程度后、最终精加工之前进行。

④ 先面后孔原则。一方面,用加工过的平面定位,稳定可靠;另一方面,在加工过的平面上加工孔比较容易,并能提高孔的加工精度,特别是钻孔时的轴线不易偏斜。

(2) 工序划分方法

在数控加工中,一般工序划分有以下几种方式。

(1) 按刀具集中工序的方法加工零件。即在一次装夹中,尽可能用同一把刀具加工出可能加工的所有部位,然后再换另一把刀具加工其他部位。在专用数控机床和加工中心中常用这种方法。

(2) 按定位方式的不同来划分工序。加工内轮廓时,以外形面定位;加工外轮廓时,以内形面定位。

(3) 按先粗后精的原则划分工序。通常在一次装夹中,不允许将零件某一部分表面加工完毕后,再加工零件其他表面。在如图 1-10 所示的零件中,应先切除整个零件的大部分余量,再将其表面精车一遍,以保证加工精度和表面粗糙度的要求。

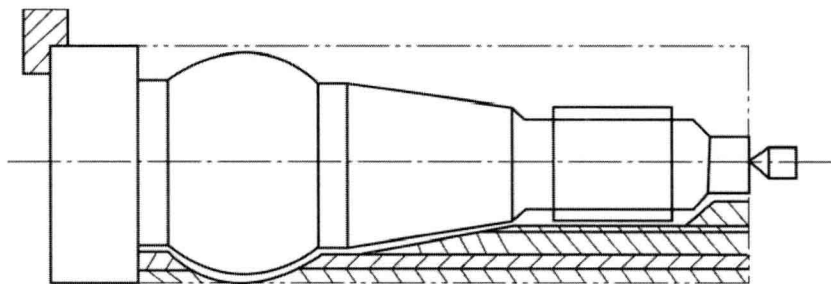


图 1-10 按粗、精加工划分工序

(3) 工步划分

工步划分的原则是:①先粗后精原则或统一表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成;②先面后孔原则;③按刀具划分工步,以减少换刀次数,提高加工效率。

总之,工序与工步的划分要根据零件的结构特点、技术要求等情况综合考虑。

5. 确定定位与夹具的选择

(1) 安装定位的基本原则

在数控机床上加工零件时,安装定位的基本原则与普通机床相同,也要合理选择定位基准和夹紧方案。为了提高数控机床的效率,在确定定位基准和夹紧方案时应注意以下几点。

① 力求设计基准、工艺基准和编程计算的基准统一。

② 尽量减少装夹次数,尽可能在一次装夹定位后,加工出全部待加工表面。

③ 避免采用占机人工调整式加工方案,以充分发挥数控机床的效能。