

现代数控技术系列

4

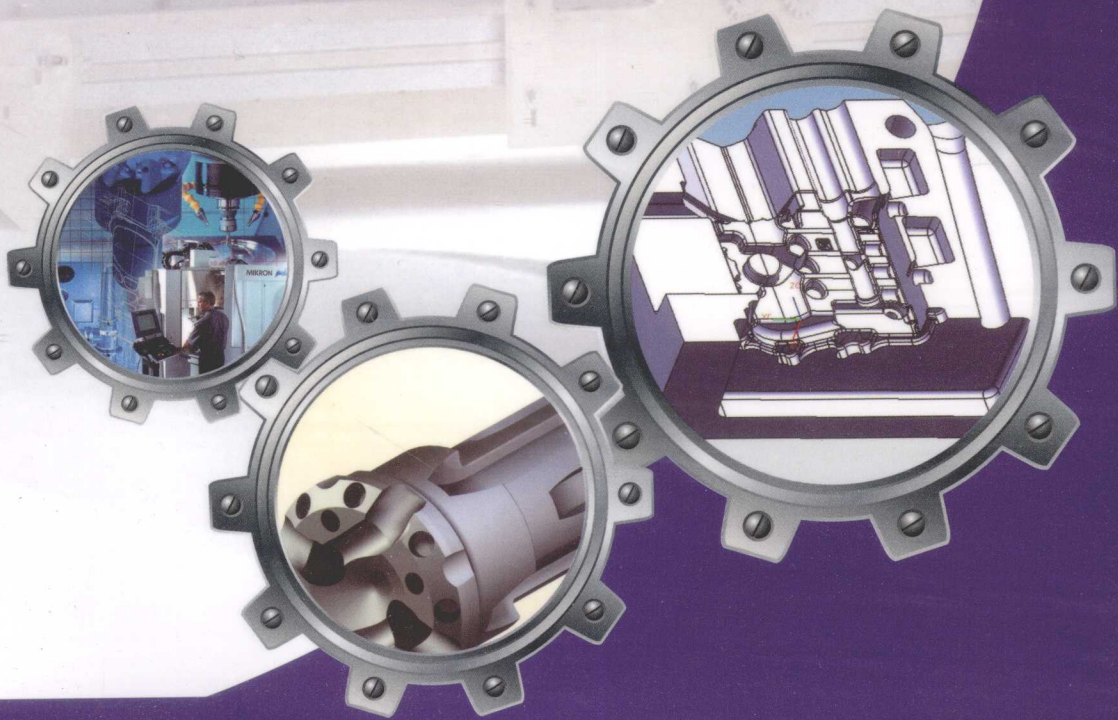
丛书主编

王爱玲

# 现代数控 编程技术及应用

(第4版)

沈兴全 赵丽琴 马清艳 刘中柱 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代数控技术(第4版)

# 现代数控编程 技术及应用 (第4版)

沈兴全 赵丽琴 马清艳 刘中柱 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书主要内容包括数控编程基础、程序编制中的数值计算、数控车床编程、数控铣床和加工中心的编程、数控宏程序编制、其他数控机床的编程、自动编程、刀位验证与轨迹编辑、编程系统的后置处理。

本书既可作为高等工科院校的机械工程、机械设计制造及其自动化、机械电子工程、材料科学与工程等专业数控编程技术课程的教学用书,也可作为硕士生、博士生学习数控编程理论、进行深入研究提供参考,还可作为广大自学者及工程技术人员自学数控编程技术的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代数控编程技术及应用/沈兴全编著. —4版. —北京:国防工业出版社,2016.4

(现代数控技术系列/王爱玲主编)

ISBN 978-7-118-10672-5

I. ①现... II. ①沈... III. ①数控机床-程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 030715 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 22¼ 字数 516 千字

2016 年 4 月第 4 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

## “现代数控技术系列”(第4版)编委会

主 编 王爱玲

副主编 张吉堂 王 彪 王俊元

李梦群 沈兴全 武文革

编 委 (按姓氏笔画排序)

马维金 马清艳 王 彪 王俊元 王爱玲

刘丽娟 刘中柱 刘永姜 成云平 李 清

李梦群 杨福合 辛志杰 沈兴全 张吉堂

张纪平 陆春月 武文革 周进节 赵丽琴

段能全 梅林玉 梁晶晶 彭彬彬 曾志强

蓝海根

## “现代数控技术系列”(第4版)总序

中北大学数控团队近期完成了“现代数控技术系列”(第4版)的修订工作,分六个分册:《现代数控原理及控制系统》《现代数控编程技术及应用》《现代数控机床》《现代数控机床伺服及检测技术》《现代数控机床故障诊断及维修》《现代数控加工工艺及操作技术》。该系列书2001年1月初版,2005年1月再版,2009年3月第3版,系列累计发行超过15万册,是国防工业出版社的品牌图书(其中,《现代数控机床伺服及检测技术》被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,《现代数控原理及控制系统》还被指定为博士生入学考试参考用书)。国内四五十所高等院校将系列作为相关专业本科生或研究生教材,企业从事数控技术的科技人员也将该系列作为常备的参考书,广大读者给予很高的评价。同时本系列也取得了较好的经济效益和社会效益,为我国飞速发展的数控事业做出了相当大的贡献。

根据读者的反馈及收集到的大量宝贵意见,在第4版的修订过程中,对本系列书籍(教材)进行了较大幅度的增、删和修改,主要体现在以下几个方面:

(1) 传承数控团队打造“机床数控技术”国家精品课程和国家精品网上资源共享课程时一贯坚持的“新”“精”“系”“用”要求(及时更新知识点、精选内容及参考资料、保持现代数控技术系列完整性、体现教材的科学性和实用价值)。

(2) 通过修订,重新确定各分册具体内容,对重复部分进行了协调删减。对必须有的内容,以一个分册为主,详细叙述;其他分册为保持全书内容完整性,可简略介绍或指明参考书名。

(3) 本次修订比例各分册不太一样,大致在30%~60%之间。

变更最大的是以前系列版本中《现代数控机床实用操作技术》,由于其与系列其他各本内容不够配套,第4版修订时重新编写成为《现代数控加工工艺及操作技术》。

《现代数控原理及控制系统》除对各章内容进行不同程度的更新外,特别增加了一章目前广泛应用的“工业机器人控制”。

《现代数控编程技术及应用》整合了与《现代数控机床》重复的内容,删除了陈旧的知识,增添了数控编程实例,还特别增加一章“数控宏程序编制”。

《现代数控机床》对各章节内容进行更新和优化,特别新增加了数控机床的人机工程设计、数控机床总体设计方案的评价与选择等内容。

《现代数控机床伺服及检测技术》更新了伺服系统发展趋势的内容,增加了智能功率模块、伺服系统的动态特性、无刷直流电动机、全数字式交流伺服系统、电液伺服系统等内容,并对全书的内容进行了优化。



《现代数控机床故障诊断及维修》对原有内容进行了充实、精炼,对原有的体系结构进行了更新,增加了大量新颖的实例,修订比例达到 60% 以上。第 9 章及第 11 章 5、6 节全部内容是新增加的。

(4) 为进一步提升系列书的质量、有利于团队的发展,对参加编著的人员进行了调整。给学者们提供了一个新的平台,让他们有机会将自己在本学科的创新成果推广和应用到实践中去。具体内容见各分册详述及引言部分的介绍。

(5) 为满足广大读者,特别是高校教师需要,本次修订时,各分册将配套推出相关内容的多媒体课件供大家参考、与大家交流,以达到共同提高的目的。

中北大学数控团队老、中、青成员均为第一线教师及实训人员,部分有企业工作经历,这是一支精诚团结、奋发向上、注重实践、甘愿奉献的队伍。一直以来坚守着信念:热爱我们的教育事业,为实现我国成为制造强国的梦想,为我国飞速发展的数控技术多培养合格的人才。

从 20 世纪 80 年代王爱玲为本科生讲授“机床数控技术”开始,团队成员在制造自动化相关的科技攻关及数控专业教学方面获得了 20 多项国家级、省部级奖项。为适应培养数控人才的需求,团队特别重视教材建设,至今已编著出版了 50 多部数控技术相关教材、著作,内容涵盖了数控理论、数控技术、数控职业教育、数控操作实训及数控概论介绍等各个层面,逐步完善了数控技术教材系列化建设。

希望本次修订的“现代数控技术系列”(第 4 版)带给大家更多实用的知识,同时也希望得到更多读者的批评指正。

王爱玲

2015 年 8 月

## 第4版引言

本书是在《现代数控编程技术及应用》(第3版)的基础上修订的,是“现代数控技术系列”的一个分册。本书是根据近年来数控机床的发展与应用而修订的,内容全面、系统,力求体现先进性、实用性,主要内容有数控编程基础、程序编制中的数值计算、数控车床编程、数控铣床和加工中心的编程、数控宏程序编制、其他数控机床的编程、自动编程、刀位验证与轨迹编辑、编程系统的后置处理。本书可作为本科院校的机械工程、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等专业数控编程技术课程教材,也可为相关专业硕士生、博士生学习数控编程理论、进行深入研究提供参考,还可作为广大自学者及工程技术人员自学数控编程技术用书。

在这次修订中,通过对内容的增、删、改,充分反映出数控编程技术的最新发展:把原第3版中“数控机床概述”和“程序编制中的工艺分析处理”这些相关内容,在同系列的《现代数控机床》(第3版)和《现代数控加工工艺及操作技术》教材中体现,使系列教材更系统;删掉了“穿孔纸带信息代码”;将数控铣床和加工中心的编程合为一章,增加了编程的实例;将“宏程序”单列一章进行介绍;在“自动编程”中对“APT语言自动编程”进行详细阐述;在“编程系统的后置处理”中增加了“UG NX 后置处理举例”。

本书第1章由沈兴全编写,第2,3章及4.1,4.2,4.3节由赵丽琴编写,第4.4,4.5,4.6节及5,6章由马清艳编写,第7,8,9章由刘中柱编写。全书由沈兴全统稿。

本书编写时参阅了很多院校和单位的教材、资料和文献,部分资料来源于网络,并得到很多专家和同事的支持和帮助,在此谨致谢意!

限于编者的水平和经验,书中难免会有不妥之处,恳请读者和各位同仁批评指正。

赵丽琴

2015年8月

# 目 录

第 1 章 数控编程基础	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床的工作原理	1
1.1.2 插补原理与计算机数控系统	2
1.1.3 数控编程技术的发展	5
1.2 程序编制的基本概念	8
1.2.1 程序编制的内容与方法	8
1.2.2 程序结构与格式	11
1.2.3 程序数据输入格式	16
1.3 数控加工工艺分析的特点及内容	17
1.3.1 数控加工的工艺设计特点	17
1.3.2 数控加工工艺的主要内容	19
1.4 数控编程几何基础	19
1.4.1 数控机床坐标系和运动方向	19
1.4.2 绝对坐标系和增量(相对)坐标系	22
1.4.3 工件坐标系	22
1.4.4 编程坐标系	23
1.4.5 数控编程的特征点	23
1.5 程序编制中的基本指令	27
1.5.1 准备功能指令——G 指令	31
1.5.2 辅助功能指令——M 指令	35
1.5.3 其他功能指令	36
第 2 章 程序编制中的数值计算	37
2.1 数控加工中的常用数学模式	37
2.1.1 常用的曲线曲面	37
2.1.2 三次参数样条	39
2.1.3 Bezier 曲线	41
2.1.4 抛物线拟合	46
2.1.5 双三次参数曲面(孔斯曲面)	47
2.1.6 Bezier 曲面	48



2.1.7	B样条曲面	48
2.1.8	单线性曲面(直纹面)	49
2.2	数值计算的内容	49
2.2.1	基点与节点的计算	49
2.2.2	刀位点轨迹的计算	50
2.2.3	辅助计算	51
2.3	直线圆弧系统零件轮廓的基点计算	51
2.3.1	联立方程组法求解基点坐标	51
2.3.2	三角函数法求解基点坐标	52
2.4	直线圆弧系统刀位点轨迹计算	55
2.4.1	刀位点的选择及对刀	55
2.4.2	刀具中心编程的数值计算	55
2.4.3	尖角过渡的数值计算	56
2.4.4	刀具轨迹设计中的几个优化问题	57
2.5	一般非圆曲线节点坐标计算	59
2.5.1	概述	59
2.5.2	用直线段逼近非圆曲线	60
2.5.3	用圆弧段逼近非圆曲线时的计算方法	64
2.5.4	双圆弧法求节点坐标	67
2.5.5	NURBS曲线插补技术	69
2.6	列表曲线的节点坐标计算	71
2.6.1	列表曲线	71
2.6.2	插值	72
2.6.3	拟合	73
2.6.4	光顺	73
2.7	曲面曲线加工刀位点轨迹的处理和计算	74
2.7.1	曲面的数学处理	74
2.7.2	多坐标点位加工刀具轨迹设计	79
2.7.3	三坐标球刀多面体曲面加工	79
2.7.4	曲面交线的加工	81
<b>第3章</b>	<b>数控车床编程</b>	<b>83</b>
3.1	数控车床编程基础	83
3.1.1	数控车床的分类与特点	83
3.1.2	数控车床的编程特点	84
3.1.3	数控系统的功能	84
3.1.4	数控车床刀具补偿	89
3.1.5	数控车床坐标系	94
3.2	数控车床常用编程方法	97

3.3	数控车床典型编程实例	115
3.3.1	数控车床典型加工编程实例	115
3.3.2	FANUC 系统编程与加工实例	117
3.3.3	SIEMENS 系统编程与加工实例	122
<b>第4章</b>	<b>数控铣床和加工中心的编程</b>	<b>126</b>
4.1	数控铣床和加工中心概述	126
4.1.1	数控铣床的组成与分类	126
4.1.2	数控铣床和加工中心的主要功能	129
4.1.3	数控铣床和加工中心的主要加工对象	130
4.1.4	加工中心的自动换刀装置	131
4.2	数控铣床和加工中心编程基础	134
4.2.1	数控系统的功能	134
4.2.2	坐标系统	137
4.3	基本编程方法	138
4.3.1	坐标系的相关指令	138
4.3.2	常用基本指令	142
4.3.3	刀具补偿功能	145
4.3.4	子程序调用功能	149
4.3.5	比例及镜像功能	151
4.3.6	坐标系旋转功能	154
4.4	孔加工循环指令	156
4.5	自动换刀程序	165
4.6	数控铣床和加工中心典型加工编程实例	166
4.6.1	典型零件的数控铣削工艺制订	166
4.6.2	数控铣床与加工中心编程实例	168
<b>第5章</b>	<b>数控宏程序编制</b>	<b>179</b>
5.1	概述	179
5.1.1	宏程序定义	179
5.1.2	宏程序特点	179
5.2	宏程序基础知识	179
5.3	华中 HNC -21/22T 系统宏程序编程	182
5.3.1	数控车床华中 HNC -21/22T 宏程序编程	182
5.3.2	数控铣床华中 HNC -21/22T 宏程序编程	187
5.4	FANUC Oi 系统宏程序编程	190
5.4.1	A 类宏程序	190
5.4.2	B 类宏程序	195
5.4.3	数控车床 FANUC Oi 系统宏程序编程	206

5.4.4	数控铣床 FANUC Oi 系统宏程序编程 .....	208
5.5	SIEMENS 802D 系统宏程序编程 .....	210
5.5.1	数控车床 SIEMENS 802D 系统宏程序编程 .....	212
5.5.2	数控铣床 SIEMENS 802D 系统宏程序编程 .....	213
<b>第 6 章</b>	<b>其他数控机床编程 .....</b>	<b>216</b>
6.1	数控电火花成形加工技术 .....	216
6.1.1	电火花成形加工原理与特征 .....	216
6.1.2	电火花成形加工的应用 .....	218
6.1.3	数控电火花成形加工工艺过程 .....	219
6.1.4	数控电火花加工编程方法 .....	220
6.1.5	数控电火花加工实例 .....	222
6.2	数控线切割编程 .....	226
6.2.1	数控线切割机床简介 .....	226
6.2.2	数控电火花线切割加工工艺 .....	229
6.2.3	数控电火花线切割编程方法及加工实例 .....	231
6.3	数控磨床 .....	236
6.3.1	数控磨床简介 .....	236
6.3.2	数控外圆磨削技术 .....	239
6.4	数控激光加工技术 .....	248
6.4.1	激光产生的原理及特点 .....	249
6.4.2	激光加工工艺及特点 .....	249
6.4.3	数控激光加工程序的编制 .....	250
<b>第 7 章</b>	<b>自动编程 .....</b>	<b>254</b>
7.1	自动编程概述 .....	254
7.1.1	自动编程的概念 .....	254
7.1.2	自动编程方式分类 .....	255
7.1.3	CNC 技术的新进展 STEP - NC .....	259
7.2	APT 语言自动编程 .....	262
7.2.1	APT 语言的基本组成 .....	262
7.2.2	几何定义语句 .....	264
7.2.3	刀具运动语句 .....	267
7.2.4	后置处理语句和其他辅助语句 .....	272
7.2.5	APT 语言自动编程实例 .....	273
7.3	图形交互式(CAD/CAM 系统)自动编程 .....	275
7.3.1	Mastercam 三轴编程及应用实例 .....	275
7.3.2	UG NX 多轴编程及应用实例 .....	283

<b>第 8 章 刀位验证与轨迹编辑</b> .....	295
8.1 刀位数据验证.....	295
8.2 程序文件检查.....	295
8.3 显示验证.....	296
8.3.1 刀位轨迹显示验证 .....	296
8.3.2 加工表面与刀位轨迹的组合显示验证 .....	298
8.3.3 组合模拟显示验证 .....	298
8.4 截面验证法.....	299
8.4.1 横截面验证 .....	300
8.4.2 纵截面验证 .....	300
8.4.3 曲截面验证 .....	300
8.5 距离验证.....	301
8.6 加工过程动态仿真.....	302
8.6.1 数控加工仿真系统结构 .....	304
8.6.2 几何仿真 .....	306
8.6.3 加工过程物理仿真 .....	308
8.7 刀具轨迹编辑功能.....	310
<b>第 9 章 编程系统的后置处理</b> .....	312
9.1 后置处理过程及特点.....	312
9.1.1 刀具路径文件格式的多样性 .....	313
9.1.2 NC 程序格式的多样性.....	314
9.1.3 技术需求的多样性 .....	315
9.2 后置处理算法.....	316
9.2.1 带回转工作台的四坐标数控机床后置处理算法 .....	316
9.2.2 五坐标数控机床后置处理算法 .....	318
9.2.3 五坐标数控机床进给速度的计算 .....	324
9.3 通用后置处理系统原理及实现途径.....	325
9.3.1 通用后置处理系统结构原理 .....	325
9.3.2 通用后置处理系统的实现途径 .....	326
9.4 UG NX 后置处理举例 .....	328
9.4.1 UG NX 后置处理开发方法 .....	328
9.4.2 UG NX 后置处理实例 .....	334
<b>参考文献</b> .....	341

# 第 1 章 数控编程基础

## 1.1 数控机床概述

数控机床是数字控制机床(Numerically Controlled Machine Tool)的简称,亦称 NC 机床,是为了满足单件、小批、多品种自动化生产的需要而研制的一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床,具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定和生产效率高的优点。它综合应用了电子计算机、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。随着机床数控技术的迅速发展,数控机床在机械制造业中的地位越来越重要。

第一台数控机床是适应航空工业制造复杂零件的需要而产生的。1948 年,美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升机叶片轮廓用检查样板的机床时,提出了数控机床的初始设想。1949 年,帕森斯公司正式接受委托,与麻省理工学院伺服机构实验室合作,开始从事数控机床的研制工作。经过三年时间的研究,于 1952 年试制成功世界上第一台数控机床样机,这是一台直线插补三坐标立式铣床,其数控系统全部采用电子管,也称第一代数控系统。经过三年的改进和自动程序编制的研究,于 1955 年进入实用阶段,一直到 20 世纪 50 年代末,由于晶体管的应用,数控系统提高了可靠性且价格开始下降,一些民用工业开始发展数控机床,其中多数是钻床、冲床等点位控制的机床。数控技术不仅在机床上得到实际应用,而且逐步推广到焊接机、火焰切割机等,使数控技术不断地扩展应用范围。

我国的数控机床是从 1958 年开始研制的,经历了 40 多年的发展历程,目前数控技术已在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域全面展开,数控加工中心也相继研制成功。

### 1.1.1 数控机床的工作原理

数控机床主要由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体组成,其组成框图如图 1-1 所示。

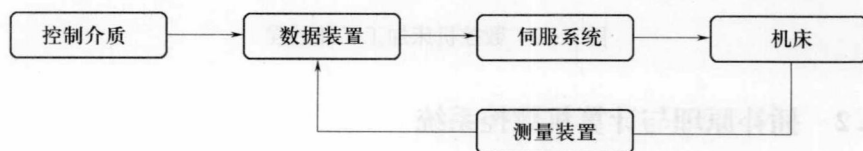


图 1-1 数控机床的组成

#### 1. 控制介质

它用于记载各种加工信息(如零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据等),以控



制机床的运动,实现零件的机械加工。常用的控制介质有标准的纸带、磁带和磁盘等。

控制介质上记载的加工信息要经输入装置输送给数控装置。常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机和磁盘驱动器等。对于用计算机控制的数控机床,也可用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接输入,并在 CRT 显示器上显示。

## 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它的功能是接受输入装置输入的加工信息,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,发出相应的脉冲送给伺服系统,通过伺服系统控制机床的各个运动部件按规定要求动作。

## 3. 伺服系统及位置检测装置

伺服系统由伺服驱动电机和伺服驱动装置组成,它是数控系统的执行部分。由机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统,它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移量。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服系统。伺服系统有开环、闭环和半闭环之分,在闭环和半闭环伺服系统中,还需配有位置测量装置,直接或间接测量执行部件的实际位移量。

## 4. 机床本体及机械部件

数控机床的本体及机械部件包括:主运动部件,进给运动执行部件如工作台、刀架及其传动部件和床身立柱等支承部件,此外还有冷却、润滑、转位和夹紧装置。对于加工中心类的数控机床,还有存放刀具的刀库,交换刀具的机械手等部件。数控机床的本体和机械部件的结构,其设计方法基本同普通机床类似,只是在精度、刚度、抗振性等方面要求更高,尤其是要求相对运动表面的摩擦系数要小,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。

数控机床加工零件时,首先应编制零件的加工程序,这是数控机床的工作指令。将加工程序输入到数控装置,再由数控装置控制机床主运动的变速、起停、进给方向、速度和位移量,以及其他如刀具选择交换、工件的夹紧松开、冷却润滑的开关等动作,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、轨迹和参数进行工作,从而加工出符合要求的零件。数控机床加工工件的过程见图 1-2。

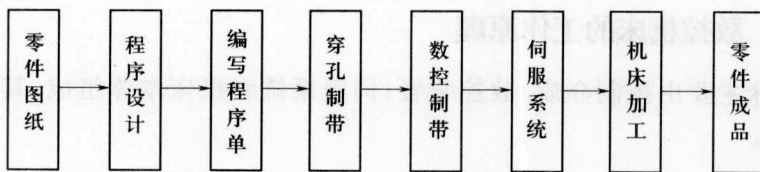


图 1-2 数控机床加工工件过程

## 1.1.2 插补原理与计算机数控系统

### 1. 插补原理

大多数机器零件的形状,一般都是由一些简单的几何元素(直线、圆弧等)构成。在数控机床上加工直线或圆弧,实质上是数控装置根据有关的信息指令进行的“数据密化”的工作。例如加工图 1-3 所示的一段圆弧,已知条件仅是该圆弧的起点 A 和终点 B 的

坐标,圆心  $O$  的坐标和半径  $R$ ,要想把该圆弧光滑地描绘出来,就必须把圆弧段 $\widehat{AB}$ 之间各点的坐标计算出来,再把这些点填补到  $A$ 、 $B$  之间,通常把“填补空白”的“数据密化”工作称为插补。把计算插补点的运算称为插补运算。把实现插补运算的装置叫作插补器。

由于数控装置具有插补运算的功能,所以只要记录有限的信息指令,如加工直线只需记录直线的起点和终点的坐标信息;加工圆弧只需记录圆弧半径、起点和终点坐标、顺转和逆转等信息,数控装置就能利用控制介质上的这些有限的信息指令进行插补运算,将直线和圆弧的各点数据算出,并发送相应的脉冲信号,通过伺服机构控制机床加工出直线和圆弧。

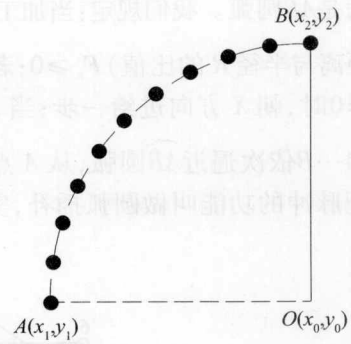


图 1-3 插补运算

在数控系统中,常用的插补方法有逐点比较法、数字积分法、时间分割法等。现将数控系统中用得最多的方法——逐点比较法的插补过程和直线圆弧插补运算方法简介如下。

逐点比较法的插补原理可概括为“逐点比较,步步逼近”八个字。逐点比较法的插补过程分为四个步骤:

- (1) 偏差判别。根据偏差值判断刀具当前位置与理想线段的相对位置,以确定下一步的走向。
- (2) 坐标进给。根据判别结果,使刀具向  $X$  或  $Y$  方向移动一步。
- (3) 偏差计算。当刀具移到新位置时,再计算与理想线段间的偏差以确定下一步的走向。
- (4) 终点判别。判断刀具是否到达终点。未到终点,则继续进行插补。若已达终点,则插补结束。

如图 1-4 所示,是应用逐点比较法插补原理进行直线插补的情形。机床在某一程序中要加工一条与  $X$  轴夹角为  $\alpha$  的  $OA$  直线,在数控机床上加工时,刀具的运动轨迹不是完全严格地走  $OA$  直线,而是一步一步地走阶梯折线,折线与直线的最大偏差不超过加工精度允许的范围,因此这些折线可以近似地认为是  $OA$  直线。我们规定:当加工点在  $OA$  直线上方或在  $OA$  直线上,该点的偏差值  $F_n \geq 0$ ,若在  $OA$  直线的下方,则偏差值  $F_n < 0$ ,机床数控装置的逻辑功能,根据偏差值能自动判别走步。当  $F_n \geq 0$  时朝  $+X$  方向进给一步,当  $F_n < 0$  时,朝  $+Y$  方向进给一步,每走一步自动比较一下,边判别边走步,刀具依次以折线  $0-1-2-3-4 \cdots A$  逼近  $OA$  直线。就这样,从  $O$  点起逐点穿插进给一直加工到  $A$  点为止。这种具有沿平滑直线分配脉冲的功能叫做直线插补,实现这种插补运算的装置叫做直线插补器。

如图 1-5 所示,是应用逐点比较法插补原理进行圆弧插补的情形。机床在某一程序中要加工半径为  $R$  的 $\widehat{AB}$ 圆弧,在数控机床上加工时,刀具的运动轨迹也是一步一步地走阶梯折线,折线与圆弧的最大偏差不超过加工精度允许的范围,因此这些折线可以近似地

认为是 $\widehat{AB}$ 圆弧。我们规定:当加工点在 $\widehat{AB}$ 圆弧外侧或在 $\widehat{AB}$ 圆弧上,偏差值(该点到原点  $O$  的距离与半径  $R$  的比值)  $F_n \geq 0$ ;若该点在圆弧 $\widehat{AB}$ 的内侧,则偏差值  $F_n < 0$ 。加工时,当  $F_n \geq 0$ 时,朝  $X$  方向进给一步;当  $F_n < 0$  时,朝  $+Y$  方向进给一步,刀具沿折线  $A-1-2-3-4 \cdots B$  依次逼近 $\widehat{AB}$ 圆弧,从  $A$  点起逐点穿插进给一直加工到  $B$  点为止。这种沿圆弧分配脉冲的功能叫做圆弧插补,实现这种插补运算的装置叫做圆弧插补器。

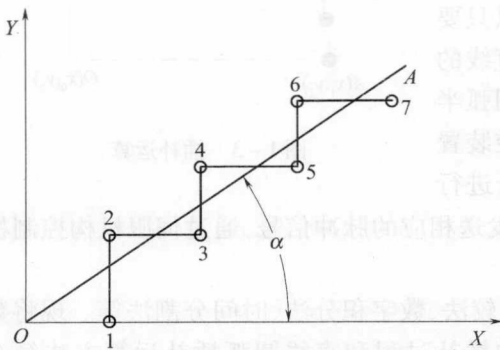


图 1-4 直线插补

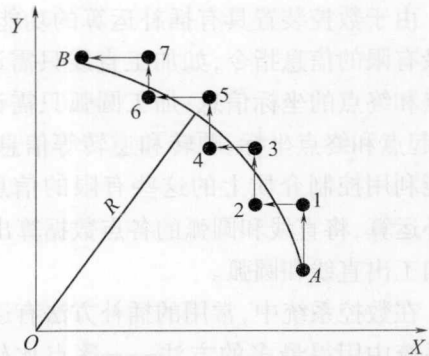


图 1-5 圆弧插补

## 2. 计算机数控系统

随着电子技术的发展,数控(NC)系统有了较大的发展,从硬件数控发展成计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)。CNC 与 NC 系统的主要区别在于,CNC 机床采用专用的或通用的计算机控制,系统软件常驻内存中,零件加工程序可以输入到内存中。只要改变计算机的控制软件,就能实现一种新的控制方式,从而加工出另一种新的工件。

计算机数控系统是采用通用计算机元件与结构,并配备必要的输入/输出部件构成的。采用控制软件来实现加工程序存储、译码、插补运算、辅助动作逻辑联锁以及其他复杂功能。

完整的 CNC 系统分为 NC 部分与 PC 部分。NC 部分主要控制机床主运动和进给运动;PC 部分称为可编程控制器,它主要接收程序中辅助功能指令或操作控制面板的操作指令,控制各种辅助动作及其联锁等,并显示各种控制信号状态。

NC 部分称为数控部分,是 CNC 系统的核心。NC 部分又可分为计算机部分、位置控制部分和数据输入/输出接口及外部设备。

与通用计算机一样,NC 的计算机部分由中央处理器(CPU)及存储数据与程序的存储器等组成。存储器分为系统控制软件存储器(ROM)、加工程序存储器及工作区存储器(RAM)。ROM 中的系统控制软件程序是由数控系统生产厂家写入的,用来完成 CNC 系统的各项功能。数控机床操作者将各自的加工程序存储在 RAM 中,以供数控系统用来控制机床加工工件。工作区存储器是系统程序执行过程中的活动场所,用于堆栈、参数保存、中间运算结果保存等。

CPU 执行系统程序,读取加工程序,经过加工程序段译码、预处理计算,然后根据加工程序段指令,进行实时插补与机床位置伺服控制,同时将辅助动作指令通过 PC 送往机

床,并接受通过 PC 返回机床各部分信息,以确定下一步操作。

位置控制部分有两种,一个是进给位置控制,另一个是主轴位置伺服控制。两者均由位置控制单元、速度控制单元和进给或主轴伺服电机组成。主轴位置伺服只用于主轴多点定向和螺纹切削。在一般切削时不需要位置控制,只有速度控制就可以了。

数据输入/输出接口和外部设备用来实现数控系统与操作者之间的信息交换。操作者通过光电阅读器、磁盘驱动器或手动数据输入装置(键盘),将加工程序等输入数控系统,并通过显示器(CRT)显示已输入的加工程序以及其他信息,也可以将存储在数控系统中的经过修改并经实际加工考验的加工程序复制在磁盘或穿孔纸带上。

数控系统是数控技术的关键,目前,数控系统正在发生根本性变革。在集成化基础上,数控系统实现了超薄型、超小型化;在智能化基础上,综合了计算机、多媒体、模糊控制、神经网络等多学科技术,实现了高速、高精、高效控制,加工过程中可以自动修正、调节和补偿各种参数以及进行在线诊断和智能化故障处理;在网络基础上,CAD/CAM 与数控系统集成一体,机床联网,实现了中央集中控制的群控加工。

### 1.1.3 数控编程技术的发展<sup>[1]</sup>

数控机床是采用计算机控制的高效能自动化加工设备,而数控加工程序是数控机床运动与工作过程控制的依据。因此程序编制是数控加工中的一项重要工作,理想的加工程序保证能加工出符合产品图样要求的合格工件,同时也能使数控机床的功能得到合理的应用和充分的发挥,使数控机床安全、可靠、高效地工作,加工出高质量的产品。从零件图纸到获得合格的数控加工程序的过程便是数控编程。

数控编程技术与数控机床两者的发展是紧密相关的。数控机床的性能提升推动了编程技术的发展,二者相互依赖。现代数控技术正在向高精度、高效率、高柔性和智能化方向发展,编程方式也越来越丰富。

#### 1. 手工编程

对几何形状不复杂,加工程序不长、计算不繁琐的零件,如点位加工或几何形状不复杂的轮廓加工,一般选用手工编程,其流程图如图 1-6 所示。手工编程的重要性是不容忽视的,它是编制加工程序的基础,是机床现场加工调试的主要方法,是机床操作人员必须掌握的基本功,但它也有以下缺点:

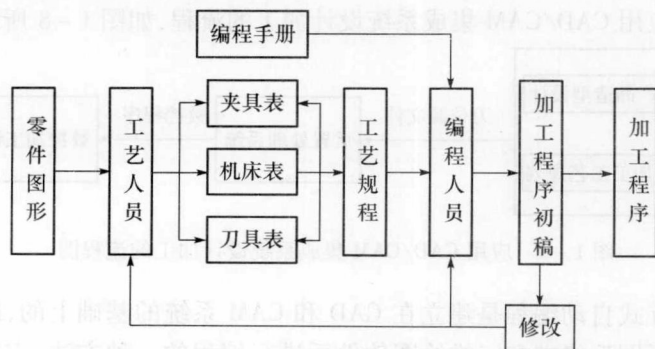


图 1-6 手工编程流程