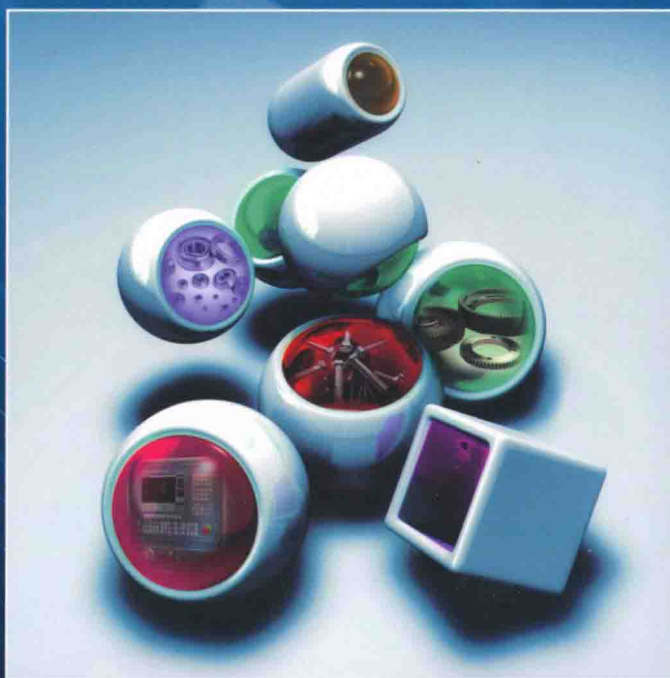


高等职业教育机械设计制造类专业规划教材

数控机床编程与操作

魏杰 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等职业教育机械设计制造类专业规划教材

数控机床编程与操作

魏 杰 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书分为理论篇、实训篇与竞赛篇三个部分。

理论篇共 9 章,第 1 章对数控加工技术进行了概述;第 2 章对数控加工工艺的编制进行了介绍;第 3 章讲解了华中世纪星 21T 和 21M 数控系统的操作方法;第 4 章讲解了数控编程应具备的基础知识;第 5 章介绍了华中世纪星 21T 系统数控车床的编程方法;第 6 章介绍了华中世纪星 21M 系统数控铣床的编程方法;第 7 章介绍了华中世纪星数控系统宏程序编制方法;第 8 章对 FANUC、SIEMENS、广州数控三种系统进行了介绍;第 9 章介绍了数控线切割编程的原理、工艺与编程方法。

实训篇分为数控车床的编程与操作、数控铣床的编程与操作和实操考核题库。

在竞赛篇中,按数控车床、数控铣床和车铣复合竞赛项目配备了试题与评分标准,既可供职业院校开展技能竞赛使用,也可供学习者提高水平练习使用。

本书内容全面、实例丰富、实用性强,可作为高职高专、中职等职业院校相关专业的教材使用,也可作为本科院校为提高实践技能使用的参考用书,还可以作为从事数控加工的技术人员和操作人员的培训教材,也可以供其他有关技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作 / 魏杰编著. —北京:电子工业出版社,2012.7

高等职业教育机械设计制造类专业规划教材

ISBN 978-7-121-17653-1

I. ①数… II. ①魏… 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(2012)第 160039 号

策划编辑:王昭松

责任编辑:郝黎明 文字编辑:裴杰

印 刷: 北京京师印务有限公司
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 19.25 字数: 518 千字

印 次: 2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着我国制造业的不断发展,数控加工技术已经普及到中小企业,数控机床已成为机械加工制造过程中的基本设备,因此,数控机床编程与操作成为每个机械制造行业的从业者必须掌握的技能。同时,目前国内使用的数控设备的种类繁多复杂,数控系统门类众多,给从业者学习数控机床编程与操作带来了不少难题。随着我国数控技术研发水平的不断提升,国产数控系统在数控机床企业中的配套量不断提高,已成为数控机床应用系统的重要组成部分,华中世纪星数控系统作为国产的优秀数控系统,在数控机床企业中的配套量不断上升,现已占有很大的比重。同时,华中世纪星数控系统在职业院校实训基地中也占有优势地位。因此,从华中世纪星数控系统入手学习数控机床编程与操作,是学习者掌握数控技术的捷径。

其于上述分析,为了使学习者更好地掌握数控机床编程与操作技能,特编写了本书供学习者使用,本书分为理论篇、实训篇与竞赛篇三个部分。

在理论篇中,以华中世纪星数控系统作为介绍的主要内容,重点讲解了数控机床概况、数控加工工艺的特点与编制方法、华中世纪星数控系统的操作方法、数控编程的基础知识、华中世纪星 21T 系统数控车床的编程方法、华中世纪星 21M 系统数控铣床(及加工中心)的编程方法、华中世纪星数控系统宏程序的编制方法,同时介绍了 FANUC、SIEMENS、广州数控等国内应用的其他主要数控系统的主要操作与编程要点。另外,根据当前制造业的应用情况,还介绍了数控线切割机床的作用、性能和特点,以及线切割工艺与程序编制方法。

在实训篇中,编制了数控车床与铣床操作编程项目式实训任务书,按基本操作、基本技能、技能提高三个层次制订了实训内容,同时配备了实训考核题库。

在竞赛篇中,按数控车床、数控铣床和车铣复合竞赛项目配备了试题与评分标准,既可供职业院校开展技能竞赛使用,也可供学习者提高水平练习使用。

本书由辽宁信息职业技术学院魏杰编著,由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者
2012年7月

目 录

理 论 篇

第 1 章 数控加工概述	(1)
1.1 数控机床加工编程概述	(1)
1.2 数控机床的组成、工作原理及运动轨迹控制	(3)
1.2.1 数控机床的组成	(3)
1.2.2 数控机床的工作原理	(6)
1.2.3 数控机床运动轨迹的控制	(6)
1.3 数控加工程序编制的内容和方法	(9)
1.3.1 数控加工程序编制的内容及步骤	(9)
1.3.2 数控加工程序编制的方法	(10)
1.4 数控加工的特点	(11)
1.4.1 数控机床加工的特点	(11)
1.4.2 数控加工零件的特点	(12)
1.4.3 数控机床的合理使用	(12)
本章小结	(13)
习题 1	(13)
第 2 章 数控加工工艺基础	(14)
2.1 数控加工工艺概述	(14)
2.2 数控加工工艺分析	(15)
2.2.1 零件图的工艺分析	(15)
2.2.2 数控加工工艺的制订	(17)
2.3 典型零件的数控加工工艺	(28)
2.3.1 车削零件的数控加工工艺	(28)
2.3.2 铣削零件的数控加工工艺	(32)
本章小结	(36)
习题 2	(36)
第 3 章 华中世纪星数控系统的操作	(37)
3.1 华中世纪星数控系统的面板功能	(37)
3.2 手动操作	(40)
3.3 自动运行操作	(42)
3.4 程序编辑和管理	(43)
3.5 数控车床系统华中世纪星 21T 数据设置	(44)
3.6 数控铣床系统华中世纪星 21M 数据设置	(46)
本章小结	(48)

习题 3	(48)
第 4 章 数控编程基础	(50)
4.1 数控机床的坐标系	(50)
4.1.1 数控机床的坐标轴	(50)
4.1.2 机床参考点、机床零点和机床坐标系	(52)
4.1.3 工件坐标系和程序原点	(53)
4.2 零件程序	(54)
4.3 华中世纪星数控系统的编程指令体系	(55)
4.3.1 辅助功能 M 代码	(55)
4.3.2 CNC 内定的辅助功能	(56)
4.3.3 PLC 设定的辅助功能	(59)
4.3.4 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T	(60)
本章小结	(61)
习题 4	(61)
第 5 章 数控车床编程	(63)
5.1 准备功能 G 代码	(63)
5.2 有关单位设定的 G 功能	(65)
5.3 有关坐标系和坐标的 G 功能	(65)
5.4 进给控制指令	(71)
5.5 回参考点控制指令	(83)
5.6 暂停指令	(84)
5.7 恒线速度指令	(84)
5.8 简单循环	(85)
5.9 复合循环	(96)
5.10 刀具补偿功能指令	(108)
5.11 综合编程实训	(113)
5.11.1 编程步骤	(113)
5.11.2 综合编程实例	(114)
本章小结	(118)
习题 5	(118)
第 6 章 数控铣床编程	(121)
6.1 准备功能 G 代码	(121)
6.2 有关单位的设定	(123)
6.3 有关坐标系和坐标的指令	(124)
6.4 进给控制指令	(127)
6.5 回参考点控制指令	(135)
6.6 刀具补偿功能指令	(136)
6.7 极坐标指令	(141)
6.8 其他功能指令	(142)

6.9	简化编程指令	(144)
6.10	固定循环	(147)
	本章小结	(168)
	习题 6	(168)
第 7 章	数控车床、数控铣床宏指令编程	(174)
7.1	宏指令编程	(174)
7.2	数控车床宏程序编程实例	(179)
7.3	数控铣床宏程序编程实例	(182)
	本章小结	(185)
	习题 7	(185)
第 8 章	其他常用数控系统简介	(187)
8.1	FANUC 数控系统	(187)
8.1.1	设定和显示单元	(187)
8.1.2	键盘说明	(187)
8.1.3	功能键和软键	(188)
8.1.4	FANUC 数控系统 G 功能	(189)
8.1.5	FANUC 数控系统 M 功能	(191)
8.2	SIEMENS 数控系统	(193)
8.2.1	设定和显示单元	(193)
8.2.2	机床操作面板	(193)
8.2.3	数控系统操作面板	(194)
8.2.4	SINUMERIK 802D 系统 NC 编程基本原理	(195)
8.3	广州数控系统	(209)
8.3.1	广州数控系统面板	(209)
8.3.2	广州数控系统面板操作	(209)
8.3.3	G 代码表	(212)
8.3.4	PLC 代码表	(213)
	本章小结	(214)
	习题 8	(214)
第 9 章	数控线切割加工机的编程与操作	(217)
9.1	数控线切割加工概述	(217)
9.1.1	线切割加工的特点	(217)
9.1.2	电火花线切割加工设备	(218)
9.2	电火花线切割加工工艺	(218)
9.2.1	电火花线切割加工的步骤及要求	(219)
9.2.2	工件的装夹方法	(223)
9.2.3	合理选择电参数	(225)
9.3	数控线切割编程方法	(226)
9.3.1	3B 代码编程	(226)

9.3.2 4B 程序格式编制.....	(229)
9.3.3 ISO 代码数控程序编制.....	(231)
本章小结.....	(236)
习题 9.....	(236)

实 训 篇

第一部分 数控车床的编程与操作.....	(240)
第二部分 数控铣床的编程与操作.....	(246)
数控车床实操考核题.....	(253)
数控铣床实操考核题.....	(256)

竞 赛 篇

数控车削加工比赛实例一.....	(259)
数控车削加工比赛实例二.....	(261)
数控车削加工比赛实例三.....	(263)
数控车削加工比赛实例四.....	(265)
数控车削加工比赛实例五.....	(267)
数控车削加工比赛实例六.....	(269)
数控车削加工比赛实例七.....	(271)
数控车削加工比赛实例八.....	(274)
数控铣削比赛实例一.....	(278)
数控铣削比赛实例二.....	(280)
数控铣削比赛实例三.....	(282)
数控铣削比赛实例四.....	(284)
数控车铣复合比赛实例.....	(287)
附录 A 综合测试卷及答案	(290)
《数控编程与操作》综合测试试题一.....	(290)
《数控编程与操作》综合测试试题二.....	(292)
《数控编程与操作》综合测试试题三.....	(294)
《数控编程与操作》综合测试试题四.....	(296)
参考文献	(299)

数控加工概述

学习目标:

1. 了解数控机床原理
2. 理解数控加工的特点
3. 掌握数控机床的组成、分类及编程方法

1.1 数控机床加工编程概述

计算机数字控制 (Computer Numerical Control, CNC) 是一种自动控制技术, 指利用数字化信息对某一过程进行控制的一种方法, 采用这种方法实现数字控制的一整套装置称为数控系统。数控机床和普通机床的最大区别在于数控机床装备有数控系统, 通过数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制, 从而实现自动加工。

图 1.1 和图 1.2 所示分别为数控车床和铣削加工中心, 都配有一个类似于计算机的控制系统 (即数控系统), 这样的机床就是数控机床。



图 1.1 数控车床

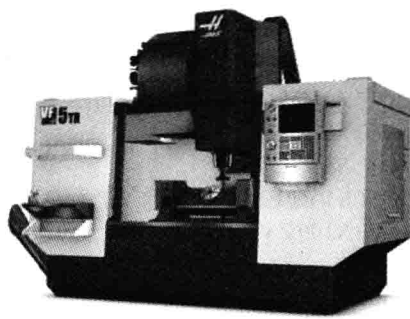


图 1.2 铣削加工中心

我们周围的机械产品 80%左右都属于单件或小批量产品。随着科学技术的不断发展, 所要求加工的机械产品的形状越来越复杂、加工精度要求越来越高, 而且经常面临着改型或更新换代, 为了解决上述问题, 数控机床应运而生。它有效地解决了上述矛盾, 为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控机床加工出来的工件可以光洁如镜，比人类毛发还要细致数倍，而且数控机床擅长复杂零件的加工，如水轮机叶片的加工。对于一些多轴联动的数控机床，仅在一台机床上，就可以完成一个复杂零件的所有工序，相当于把“车间”集成为一台机床，极大地节省了空间，提高了生产效率。有的机床非常智能化，它能在线检测加工状况，独立自主地管理自己，而且能够与企业 and 客户的生产管理系统通信，实现生产管理的现代化。

首先，让我们从总体上来了解数控机床的加工过程及指挥数控机床运动的指令。当拿到生产依据的技术图样，如图 1.3 所示，要根据给定的工件尺寸和表面光洁度，采用相应的加工方法与加工步骤来实现零件的加工。

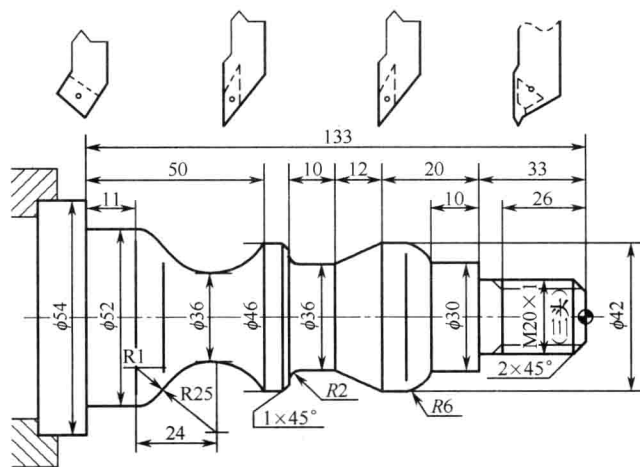


图 1.3 某工件的技术图样

%3365	
N1 T0101	: 换一号端面刀，确定其坐标系
N2 M03 S500	: 主轴以 500r/min 正转
N3 G00 X100 Z80	: 到程序起点或换刀点位置
N4 G00 X60 Z5	: 到简单端面循环起点位置
N5 G81 X0 Z1.5 F100	: 简单端面循环，加工过长毛坯
N6 G81 X0 Z0	: 简单端面循环加工，加工过长毛坯
N7 G00 X100 Z80	: 到程序起点或换刀点位置
N8 T0202	: 换二号外圆粗加工刀，确定其坐标系
N9 G00 X60 Z3	: 到简单外圆循环起点位置
N10 G80 X52.6 Z-133 F100	: 简单外圆循环，加工过大毛坯直径
N11 G01 X54	: 到复合循环起点位置
N12 G71 U1 R1 P16 Q32 E0.3	: 有凹槽外径粗切复合循环加工
N13 G00 X100 Z80	: 粗加工后，到换刀点位置
N14 T0303	: 换三号外圆精加工刀，确定其坐标系
N15 G00 G42 X70 Z3	: 到精加工始点，加入刀尖圆弧半径补偿
N16 G01 X10 F100	: 精加工轮廓开始，到倒角延长线处
N17 X19.95 Z-2	: 精加工倒 2×45° 角
N18 Z-33	: 精加工螺纹外径
N19 G01 X30	: 精加工 Z33 处端面
N20 Z-43	: 精加工 φ30 外圆
N21 G03 X42 Z-49 R6	: 精加工 R6 圆弧
N22 G01 Z-53	: 精加工 φ42 外圆
N23 X36 Z-65	: 精加工下切锥面



N24 Z-73	; 精加工 $\phi 36$ 槽径
N25 G02 X40 Z-75 R2	; 精加工 R2 过渡圆弧
N26 G01 X44	; 精加工 Z75 处端面
N27 X46 Z-76	; 精加工倒 $1 \times 45^\circ$ 角
N28 Z-84	; 精加工 $\phi 46$ 槽径
N29 G02 Z-113 R25	; 精加工 R25 圆弧凹槽
N30 G03 X52 Z-122 R15	; 精加工 R15 圆弧
N31 G01 Z-133	; 精加工 $\phi 52$ 外圆
N32 G01 X54	; 退出已加工表面, 精加工轮廓结束
N33 G00 G40 X100 Z80	; 取消半径补偿, 返回换刀点位置
N34 M05	; 主轴停
N35 T0404	; 换四号螺纹刀, 确定其坐标系
N36 M03 S200	; 主轴以 200r/min 正转
N37 G00 X30 Z5	; 到简单螺纹循环起点位置
N38G82X19.3Z-26R-3E1C2P120F3	; 加工两头螺纹, 吃刀深 0.7
N39G82X18.9Z-26R-3E1C2P120F3	; 加工两头螺纹, 吃刀深 0.4
N40G82X18.7Z-26R-3E1C2P120F3	; 加工两头螺纹, 吃刀深 0.2
N41G82X18.7Z-26R-3E1C2P120F3	; 光整加工螺纹
N42 G76C2R-3E1A60X18.7Z-26 K0.65U0.1V0.1Q0.6P240F3;	固定循环
N43 G00 X100 Z80	; 返回程序起点位置
N44 M30	; 主轴停、主程序结束并复位

数控机床根据以上程序自动切削, 将毛坯上多余的部分切除, 从而加工出合格的工件。加工过程模拟如图 1.4 所示。在上面的加工过程中, 经验和技能起着非常重要的作用。从上面的示例可以看出, 控制数控机床运动的指令主要是由大写的英文字母和 0~9 的阿拉伯数字组成的。

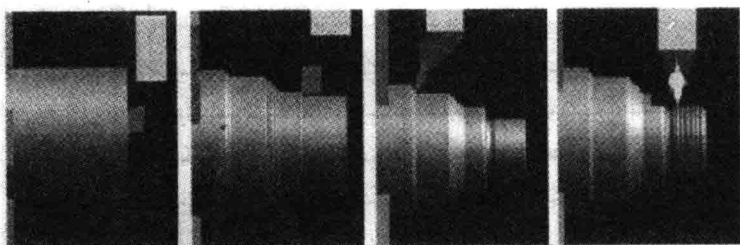


图 1.4 数控加工过程模拟

1.2 数控机床的组成、工作原理及运动轨迹控制

1.2.1 数控机床的组成

数控机床主要由机床本体、数控系统、伺服驱动系统 3 大部分组成, 如图 1.5 所示。

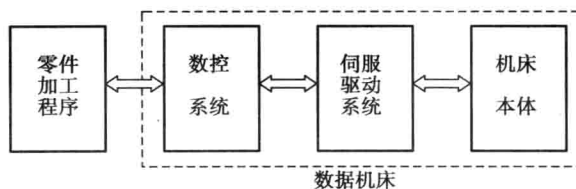


图 1.5 数控机床的组成

1. 数控装置

数控装置是数控机床的“大脑”。数控装置首先接受输入的加工信息，经过“思考”处理后，向伺服系统发出相应的指令脉冲，并通过伺服系统控制机床运动部件按加工程序指令运动。

数控装置通常由一台专用微型计算机或通用计算机构成。基于 PC 的开放式数控系统，主要由一台通用微型计算机加装运动控制卡、I/O 接口卡并运行 CNC 系统软件构成。目前国内应用较多的数控装置有日本的 FANUC，德国的 SIEMENS 和国产华中世纪星等，如图 1.6 所示。

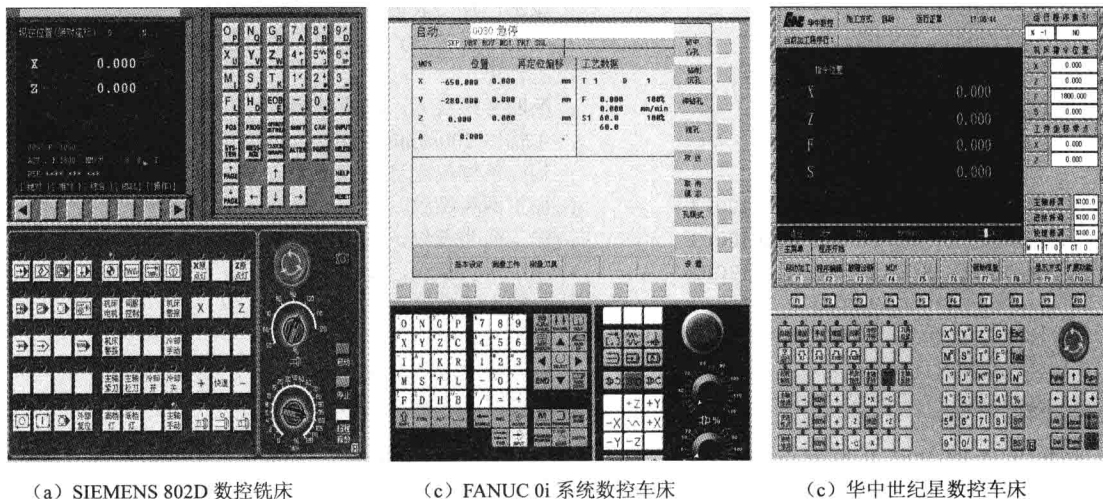


图 1.6 典型数控系统

2. 伺服系统

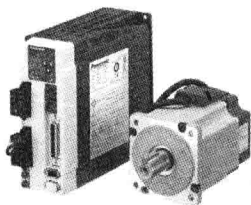


图 1.7 伺服系统

伺服系统是数控机床的“四肢”，执行来自 CNC 装置的运动指令。伺服系统由伺服驱动装置、伺服电机和位置检测装置组成，如图 1.7 所示。伺服驱动装置的主要功能是功率放大和速度调节，将弱电信号转化为强电信号，并保证系统的动态性能。

伺服电机将电能转化为机械能，拖动机械部件移动或转动。伺服电机包括主轴电机和各方向的进给电机，分别如图 1.8 (a) 和图 1.8 (b) 所示。当今直线电机 (图 1.8 (c))、直线驱动技术得到进一步的发展与应用，被认为是未来驱动的方向。直线电机通过取消机械传动部件，可达到较高加速度等级和速度，速度可达 120m/min 以上。

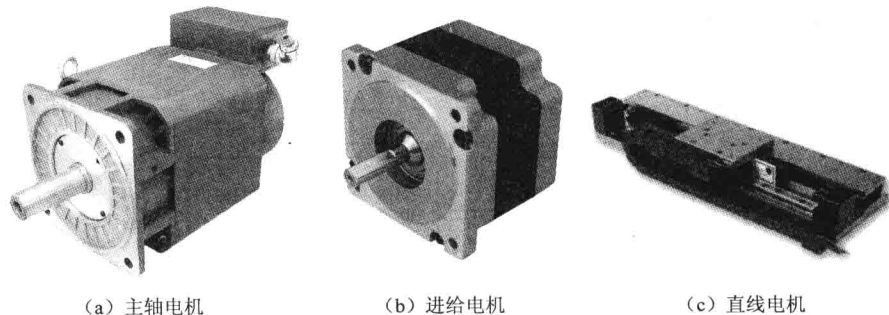
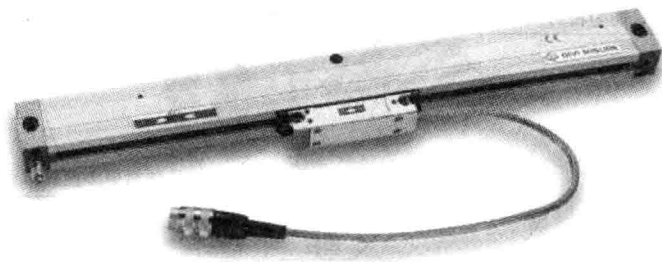


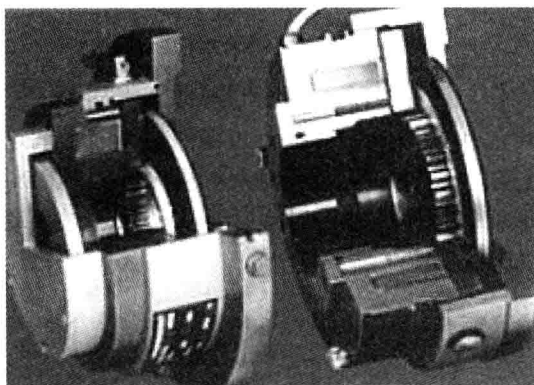
图 1.8 伺服电机



检测装置是把位移和速度测量信号作为反馈信号，并将反馈信号转换成数字信号送回计算机与脉冲指令信号进行比较，以控制驱动元件的正确运转。数控机床常用的检测元件如图 1.9 所示。检测装置的精度直接影响数控机床的定位精度和加工精度。通过位置检测装置，可构成闭环或半闭环控制的伺服系统，如图 1.10 所示为闭环伺服系统结构框图。



(a) 光栅尺



(b) 角度检测仪

图 1.9 数控机床常用的检测元件

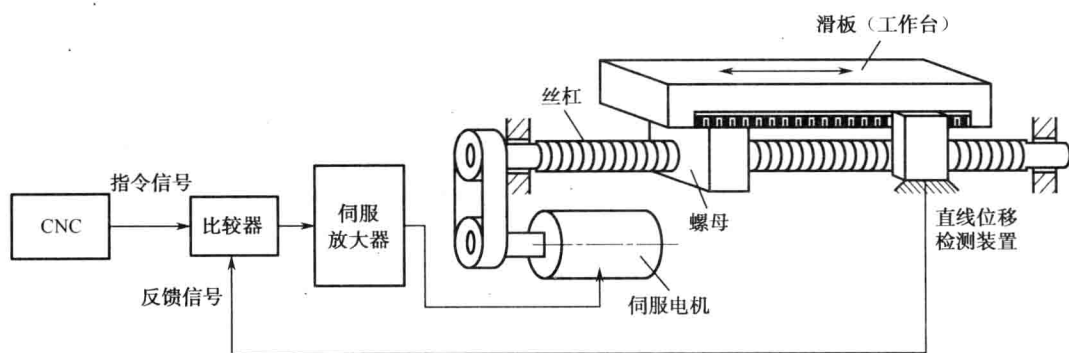


图 1.10 闭环伺服系统结构框图

3. 机床本体

数控机床的本体与普通机床基本类似，不同之处是数控机床结构简单、刚性好，传动系统通常采用滚珠丝杠（如图 1.11 所示）代替普通机床的丝杠和齿条传动，主轴变速系统内简化了齿轮箱，普遍采用变频调速和伺服控制。另外，数控机床床身有的采用混凝土固定地基，减震效果非常好。

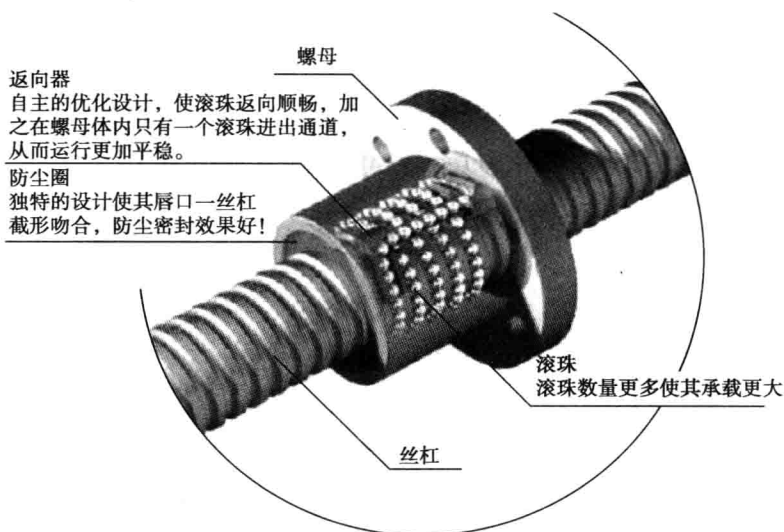


图 1.11 滚珠丝杠

为了使数控机床自动工作，还必须输入相应的零件加工程序，它是联系人和数控机床的桥梁。加工程序以指令的形式记载各种加工信息，如零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具运动等。通过将这些信息输入到数控装置，从而实现人对机床的控制，对零件进行切削加工，最终加工出人们所期望的产品形状。程序的输入有多种形式，可通过手动数据输入方式（MDI）或通信接口将加工程序输入机床。

1.2.2 数控机床的工作原理

在数控加工中，编程人员首先按照零件加工的技术要求和工艺要求，编写零件的加工程序，并将加工程序输入到数控装置；数控装置对加工程序进行相应译码和运算，并将处理结果送到机床各个坐标的伺服系统；伺服系统接收来自数控装置输出的指令信息并且经过功率放大后，带动机床移动部件按照规定的轨迹和速度运动，从而使机床自动加工出符合图纸要求的零件。

在这一过程中，主轴运动、进给运动、更换刀具，以及工件的夹紧与松开，冷却、润滑泵的开与关，以及其他辅助装置等，严格按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作，最终加工出符合图纸要求的零件。从数控机床的工作原理可以看出：数控机床在加工过程中无须人为干预，当加工零件发生变化时，只需改变加工程序即可，这就是数控加工“柔性”的体现。

1.2.3 数控机床运动轨迹的控制

数控机床对运动轨迹的控制主要有 3 种形式：点位控制运动、直线控制运动和连续控制运动。

1. 点位控制运动

点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位，点与点之间的运动轨迹没有严格要求，在移动过程中不进行任何切削加工。因此，为了提高加工效率，保证定位精度，一般移动按照“先快后慢”的原则，即先快速接近目标点，再低速趋近并准确定位。如图 1.12 所示为数控钻床加工示意图。点位控制方式仅用于数控钻床、数控铣床和数控冲床等。



2. 直线控制运动

直线控制运动指刀具或工作台以给定的速度按直线运动。这类数控机床不仅要控制移动部件从一点准确地移动到另一点，而且要控制移动部件的运动速度和轨迹。刀具相对工件移动的轨迹是平行于机床某一坐标轴的直线，移动部件在移动过程中进行切削加工，加工示例如图 1.13 所示。直线控制方式仅用于简易数控车床、数控铣床等。

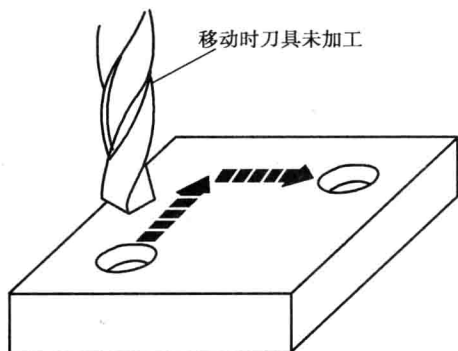


图 1.12 点位控制钻孔加工示意图

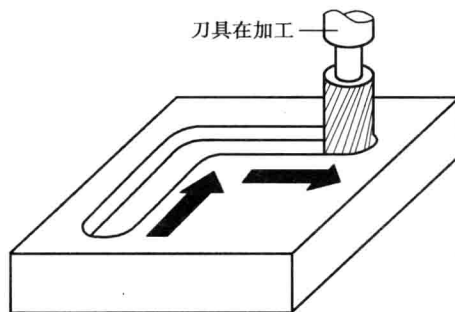


图 1.13 直线控制加工示意图

3. 连续控制运动

连续控制运动也称为轮廓控制运动，指刀具或工作台按工件的轮廓轨迹运动，它不仅能控制移动部件从一个点准确地移动到另一个点，而且还能控制整个加工过程每一点的速度与位移量，这样可以加工出由任意斜线、曲线或曲面组成的复杂零件。如图 1.14 所示为轮廓控制的加工轨迹，刀具在运动过程中对工件表面连续进行切削。

能够进行轮廓控制的机床至少是两轴联动。所谓联动轴数是指：按照一定的函数关系能够同时协调运动的轴数。联动轴数越多，其空间曲面加工能力越强。大多数数控机床都具有轮廓切削控制功能，如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控齿轮加工机床和数控加工中心等。这些机床根据所控制的联动坐标轴数不同，又可以分为下面几种形式。

(1) 两轴联动。主要用于数控车床加工回转体曲面或用于数控铣床加工箱体类零件的曲线轮廓，如图 1.14 所示。

(2) 两轴半联动。主要用于三轴以上机床的控制，其中两轴可以联动，而另外一根轴可以作周期性进给。如图 1.15 所示就是采用这种方式进行切法加工三维空间曲面。



图 1.14 轮廓控制加工示意图

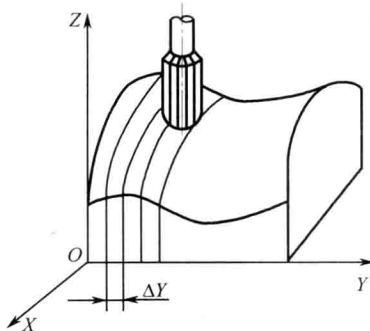


图 1.15 二轴半联动加工曲面

(3) 三轴联动。一般分为两类，一类就是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，常用于数控铣床、

加工中心等,图 1.16 所示是用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制 X, Y, Z 其中两个直线坐标外,还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心,它除了控制 Z 轴和 X 轴两个直线坐标轴联动外,还需同时控制 C 轴(围绕 Z 轴旋转的主轴)联动,如图 1.17 所示。

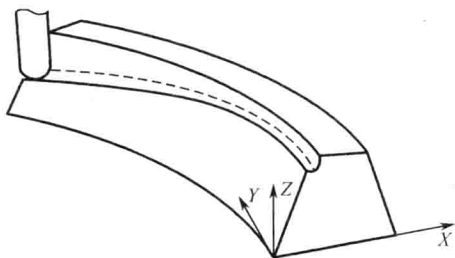


图 1.16 三轴联动加工曲面图

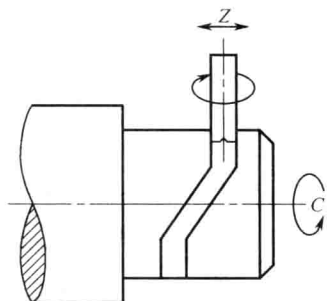


图 1.17 C 轴 Z 轴进给在圆柱面上铣螺旋槽

(4) 四轴联动。同时控制 X, Y, Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动,图 1.18 所示为同时控制 X, Y, Z 三个直线坐标轴与一个刀具摆动联动的数控机床。

(5) 五轴联动。除同时控制 X, Y, Z 三个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A, B, C 坐标轴中的两个坐标轴,形成 5 个轴联动。如图 1.19 所示,除了 3 个直线运动坐标外,工作台还可以作回转运动,另外支撑工作台的托盘还可以摆动。这样 3 个直线坐标加上两个回转坐标形成了五轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向,加工任意形状复杂的零件。

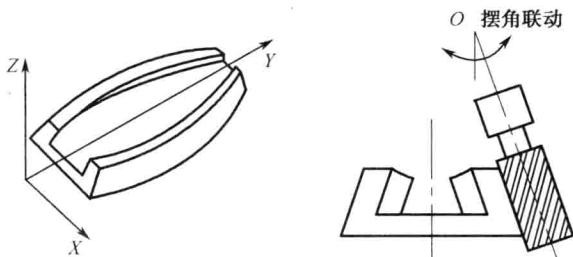


图 1.18 四轴联动加工曲面

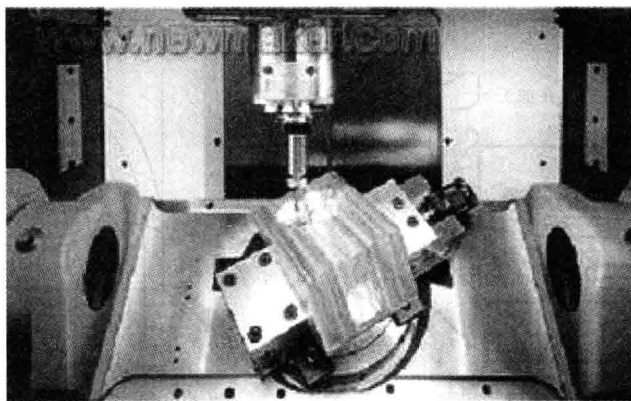


图 1.19 五轴联动



1.3 数控加工程序编制的内容和方法

编制数控加工程序是使用数控机床的一项重要技术工作，理想的数控程序不仅应该保证加工出符合零件图纸要求的合格零件，还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥，使数控机床能安全、可靠、高效地工作。

1.3.1 数控加工程序编制的内容及步骤

数控编程是指从零件图纸到获得数控加工程序的全部工作过程，如图 1.20 所示。编程工作主要包括：

1. 分析零件图样和制订工艺方案

这项工作是编程的第一步，内容包括：对零件图纸进行分析，明确加工的内容和要求；确定加工方案；选择适合的数控机床；选择或设计刀具和夹具；确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。

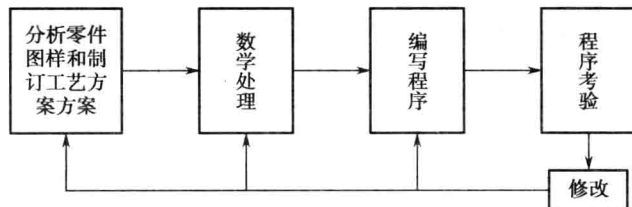


图 1.20 数控编程的内容与步骤

要求编程人员能够对零件图纸的技术特性、几何形状、尺寸及工艺要求进行分析，并结合数控机床使用的基础知识，如数控机床的规格、性能、数控系统的功能等，确定加工方法和加工路线。

2. 数学处理

在确定了工艺方案后，就需要根据零件的几何尺寸、加工路线等，计算刀具中心运动轨迹，以获得刀位数据。通常需要计算出零件轮廓上相邻几何元素交点或切点的坐标值，得出各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标值等，以满足编程要求。

当零件的几何形状与控制系统的插补功能不一致时，就需要进行较复杂的数值计算，一般需要使用计算机辅助计算，否则难以完成。

3. 编写零件加工程序

在完成上述工艺处理及数值计算工作后，即可编写零件加工程序。程序编制人员使用数控系统的程序指令，按照规定的程序格式，逐段编写加工程序。程序编制人员应对数控机床的功能、程序指令及代码十分熟悉，才能编写出正确的加工程序。

4. 程序检验

程序编好后，在正式加工之前，一般要对程序进行检验。可采用机床空运转的方式，来检查机床动作和运动轨迹的正确性，以检验程序。在具有图形模拟显示功能的数控机床上，可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程，对程序进行检查。