



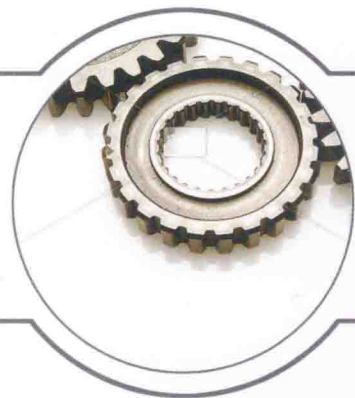
普通高等教育“十二五”规划教材



数控加工技术

主编◎陈 艳 胡丽娜

- ★ 知识系统全面，深入浅出，详尽到位，实用性强
- ★ 结构编排合理，实例典型，一题多用，对比讲解
- ★ 通过注意、提示、归纳、思考等方式理顺知识点
- ★ 提供课件等配套资源（www.hxedu.com.cn）



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十二五”规划教材

数控加工技术

陈 艳 胡丽娜 主 编
周 燕 陈 翔 张 丽 副主编
张 霞 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书从数控加工工艺到数控程序编写,从二维数控车床加工到三维数控铣床、加工中心加工,从手工编程到UG软件自动编程,深入浅出,讲解详细,形成了一个比较完善的体系结构,能使读者全面地了解数控加工技术,非常适合初学者。

本书针对指令特点,对每个指令的介绍专门进行编排设计,编程案例非常典型,案例的程序都经过实际操作的验证,在授课过程中可以把案例程序导入仿真软件直接进行仿真演示。

全书共五章,主要内容有数控机床概述、数控加工工艺、数控车床编程与操作、数控铣床与加工中心编程和操作、UG数控加工。本书选用目前比较流行、市场占有率比较高的FANUC 0i数控系统来介绍数控机床的编程与操作。

本书可作为高等院校机械、数控、模具类专业教材,也可供从事数控加工的工程技术人员和科研工作人员参考。

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

数控加工技术/陈艳,胡丽娜主编. —北京:电子工业出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-121-23543-6

I. ①数… II. ①陈… ②胡… III. ①数控机床—加工—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第129077号

策划编辑:许存权

责任编辑:许存权 特约编辑:鲁秀敏

印 刷:北京季峰印刷有限公司

装 订:北京季峰印刷有限公司

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:787×1092 1/16 印张:15 字数:380千字

版 次:2014年8月第1版

印 次:2014年8月第1次印刷

定 价:39.00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 zltz@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

随着数控应用技术在制造业中的广泛应用,我国机械制造业急需大批的数控应用型人才。基于我国高等学校近年来教学改革的背景,从人才培养模式和培养目标的变革出发,培养一大批既懂数控加工工艺又懂数控机床编程与操作的应用型人才是目前数控技术教学的培养方向。

本书最大的特点是注重课堂上老师与学生的互动与共鸣。本书不像传统教材,只是叙述数控加工技术的知识点,而是非常注重对这些数控理论知识更有条理地进行讲解,注重对理论知识更形象、更贴近实际加工环境进行诠释,注重学生更容易接受,注重学生更愿意主动来学习数控编程知识。采用传统上以“教”为中心与现代以“学”为中心相结合的模式,通过书中一些实例加工过程和程序模拟案例引导学生积极参与思考,使教学过程富有启发性,培养学生的学习兴趣和学习主动性。

本书对新知识、比较复杂的指令,做到深入浅出,进行详细的讲解。每部分的编程案例都非常典型,针对指令特点对每个指令的介绍专门进行了编排设计。案例的程序都经过实际操作的验证,在授课过程中可以把案例程序导入仿真软件直接进行仿真演示,既能巩固讲授的理论知识,又能让学生感受到加工实例的实际加工环境,在模拟环境里进行程序模拟运行,设置程序运行故障,调动学生学习的积极性,使他们主动参与到程序编写的过程中来,激发他们学习理论知识的兴趣,这样学生对知识点的掌握就非常有效。书中对重点难点内容通过“注意”、“思考”等方式做了小结,理顺了知识点之间的衔接。

本书从基本工艺知识、基本编程指令的手工编程讲到利用UG软件实现自动编程,从二维数控车床加工讲到三维数控铣床、加工中心加工,层层深入,形成了比较完善的体系结构。本书的章节编写构架非常适合初学者学习,使读者能够比较全面地了解数控加工技术。

本书选用目前比较流行、市场占有率比较高的FANUC 0i数控系统来介绍数控机床的编程与操作。全书共五章:数控机床概述、数控加工工艺、数控车床编程与操作、数控铣床与加工中心编程和操作、UG数控加工。

在本书编写过程中,参考引用了参考文献中的资料,以及华中数控公司的世纪星车床数控系统编程说明书、华中数控公司的世纪星铣床数控系统编程说明书、FANUC 0i Mate TC系统车床编程详解、BEIJING-FANUC 0i-TB操作说明书、GSK980TD CNC使用说明书、GSK980MD铣床CNC使用手册、斯沃数控仿真软件说明书、FANUC 0i-MD加工中心系统用户手册,在此对这些作者和厂商表示诚挚的感谢。

本书由陈艳(青岛工学院)、胡丽娜(青岛理工大学琴岛学院)担任主编,周燕(小)、陈翔、张丽担任副主编,参与本书编写的还有王磊、唐广阳、高慎涛、马莉、王元峰、周燕(大)、狄金叶、李健东等,全书由张霞副教授主审。本书虽经反复推敲和校对,但由于时间仓促,加上编者水平有限,书中难免有不足之处,欢迎广大读者批评指正。

感谢您选择本书,希望我们的努力对您的工作和学习有所帮助,也希望把您对本书的意见和建议告诉我们。

编者

目 录

第 1 章 数控机床概述.....	(1)	2.1.7 选择切削用量.....	(37)
1.1 数控技术.....	(1)	2.1.8 加工工艺分析实例.....	(38)
1.1.1 相关概念.....	(1)	2.2 数控铣床与加工中心的加工工艺.....	(40)
1.1.2 数字控制系统的特点.....	(1)	2.2.1 数控铣削与加工中心的主要	
1.1.3 数字控制技术的发展.....	(1)	加工对象.....	(40)
1.1.4 我国对数控人才的需求现状.....	(2)	2.2.2 加工零件的工艺性分析.....	(43)
1.1.5 数控机床的发展趋势.....	(3)	2.2.3 数控铣削加工工艺路线的	
1.2 数控机床的工作原理和组成.....	(4)	拟定.....	(44)
1.2.1 数控机床的工作原理.....	(4)	2.2.4 数控铣削常用的工装夹具.....	(48)
1.2.2 数控机床的组成.....	(5)	2.2.5 数控铣削刀具的类型和选用.....	(51)
1.3 数控机床的分类.....	(6)	2.2.6 选择切削用量.....	(52)
1.3.1 按工艺用途分类.....	(6)	2.2.7 加工工艺分析实例.....	(53)
1.3.2 按控制运动方式分类.....	(6)	思考题.....	(55)
1.3.3 按伺服系统的不同分类.....	(7)	第 3 章 FANUC 0i 系统数控车床编程与	
1.4 数控机床的特点和应用范围.....	(8)	操作.....	(56)
1.4.1 数控机床的特点.....	(8)	3.1 FANUC 0i 数控系统的基本功能	
1.4.2 数控机床的应用范围.....	(9)	指令.....	(56)
1.5 数控技术的应用领域.....	(9)	3.1.1 MSTF 功能指令.....	(56)
1.6 数控机床的机械结构.....	(10)	3.1.2 准备功能指令.....	(58)
1.6.1 数控机床的总体布局.....	(11)	3.2 数控编程的单位尺寸指令.....	(59)
1.6.2 数控机床的主传动系统.....	(13)	3.3 数控车床编程基础知识.....	(59)
1.6.3 数控机床的进给传动系统.....	(18)	3.3.1 坐标系.....	(59)
1.6.4 数控机床的导轨.....	(24)	3.3.2 零件程序的结构.....	(61)
1.6.5 数控机床的自动换刀装置.....	(27)	3.4 数控车床基本编程指令.....	(63)
思考题.....	(28)	3.5 刀具补偿功能指令.....	(67)
第 2 章 数控加工工艺.....	(29)	3.6 单一循环编程指令.....	(71)
2.1 数控车削加工工艺分析.....	(29)	3.6.1 轴向切削单一循环指令.....	(71)
2.1.1 数控车削加工的主要对象.....	(29)	3.6.2 径向切削单一循环指令.....	(74)
2.1.2 数控车削加工工艺的主要		3.6.3 螺纹切削单一循环指令.....	(77)
内容.....	(29)	3.7 子程序的运用.....	(82)
2.1.3 加工零件的工艺性分析.....	(30)	3.8 复合循环编程指令.....	(85)
2.1.4 数控车削加工工艺路线的		3.8.1 精加工循环.....	(85)
拟定.....	(31)	3.8.2 轴向粗车复合循环.....	(85)
2.1.5 数控车床常用的工装夹具.....	(35)	3.8.3 径向粗车复合循环.....	(89)
2.1.6 数控车削刀具的类型和选用.....	(35)	3.8.4 仿形粗车复合循环.....	(90)

3.8.5 轴向切槽多重循环·····	(93)	4.9.2 控制指令·····	(186)
3.8.6 径向切槽多重循环·····	(96)	4.9.3 椭圆轮廓铣削实例·····	(186)
3.8.7 多重螺纹切削循环·····	(98)	思考题·····	(189)
3.9 B类宏指令·····	(101)	第5章 UG 数控加工·····	(193)
思考题·····	(106)	5.1 UG 平面铣·····	(193)
第4章 FANUC 0i 系统数控铣床与加工		5.1.1 平面铣实例建模·····	(193)
中心编程和操作·····	(110)	5.1.2 加工环境·····	(195)
4.1 FANUC 0i 系统数控铣床与加工		5.1.3 自动生成程序·····	(200)
中心基本功能指令·····	(110)	5.1.4 仿真加工·····	(201)
4.1.1 MSTF 功能指令·····	(110)	5.2 UG 型腔铣·····	(203)
4.1.2 准备功能指令·····	(112)	5.2.1 型腔铣实例建模·····	(203)
4.2 数控编程的坐标尺寸指令·····	(113)	5.2.2 加工环境·····	(207)
4.3 工件坐标系的设定·····	(115)	5.2.3 自动生成程序·····	(211)
4.4 数控铣削基本编程指令·····	(120)	5.2.4 仿真加工·····	(213)
4.5 刀具补偿功能指令·····	(128)	5.3 UG 等高轮廓铣·····	(213)
4.5.1 刀具半径补偿·····	(128)	5.3.1 等高轮廓铣实例建模·····	(214)
4.5.2 刀具长度补偿·····	(136)	5.3.2 加工环境·····	(214)
4.6 孔加工的固定循环指令·····	(140)	5.3.3 自动生成程序·····	(216)
4.6.1 孔的固定循环概述·····	(140)	5.3.4 仿真加工·····	(217)
4.6.2 固定循环·····	(144)	5.4 UG 固定轴曲面铣·····	(217)
4.6.3 固定循环中的注意事项·····	(166)	5.4.1 固定轴曲面铣实例建模·····	(218)
4.6.4 孔循环综合加工实例·····	(167)	5.4.2 加工环境·····	(218)
4.7 子程序的运用·····	(170)	5.4.3 自动生成程序·····	(221)
4.8 坐标变换编程指令·····	(175)	5.4.4 仿真加工·····	(222)
4.8.1 极坐标指令·····	(175)	5.5 UG 点位加工·····	(223)
4.8.2 镜像加工指令·····	(178)	5.5.1 点位加工实例建模·····	(223)
4.8.3 比例缩放指令·····	(180)	5.5.2 加工环境·····	(224)
4.8.4 旋转功能指令·····	(183)	5.5.3 自动生成程序·····	(230)
4.9 B类宏指令·····	(185)	5.5.4 仿真加工·····	(231)
4.9.1 变量·····	(185)	思考题·····	(232)

第1章 数控机床概述

1.1 数控技术

1.1.1 相关概念

数控机床是采用数字化信息对机床的运动及加工过程进行控制的机床。数控是数字控制 (Numerical Control) 的简称, 简称为 NC, 是近代发展起来的用数字化信息进行控制的自动控制技术。

早期的数控机床的数字控制装置由各种逻辑元件、记忆元件组成随机逻辑电路, 是固定接线的硬件结构, 由硬件来实现数控功能, 称作硬件数控, 采用这种技术实现的数控机床一般称为 NC 机床。

计算机数控 (Computer Numerical Control, CNC) 是采用微处理器或专用微机的数控系统, 由事先存放在存储器里的系统程序 (软件) 来实现逻辑控制, 实现部分或全部数控功能, 并通过接口与外围设备进行连接, 称为 CNC 系统, 这样的机床一般称为 CNC 机床。

1.1.2 数字控制系统的特点

数字控制系统是指实现数控技术相关功能的软硬件模块有机集成系统, 它是数控技术的载体。

数字控制系统中的信息是数字量, 它有如下特点:

- (1) 可用不同的字长表示不同的精度信息, 表达信息准确。
- (2) 可进行逻辑、算术运算, 也可以进行复杂的信息处理。
- (3) 可不用改动电路或机械机构, 通过改变软件来改变信息处理的方式和过程, 具有柔性化。

由于数字控制系统具有上述特点, 故被广泛应用于机械运动的轨迹控制, 如数控机床、工业机器人、数控线切割机等。

1.1.3 数字控制技术的发展

采用数字控制技术进行机械加工的思想, 最早来源于 20 世纪 40 年代初。数控机床最早产生于美国, 1952 年, 麻省理工学院研制成功了一台三坐标连续控制的铣床样机, 用的电子元器件是电子管, 这是公认的世界上第一台数控机床。

从 1952 年世界上第一台数控机床问世至今, 随着微电子技术的不断发展, 特别是计算机技术的发展, 数控系统经历了:

1952 年, 第一代数控系统, 采用的是电子管。

1959 年, 第二代晶体管数控系统。随之出现刀库、机械手、加工中心 (带自动换刀装置)。

1965 年, 第三代集成电路(硬逻辑)数控系统(NC)。

1970 年, 第四代小型计算机数控(CNC)。

1974 年, 第五代微型计算机数控(MNC, 统称 CNC)。

1980 年后, 柔性制造系统(FMS)、柔性制造单元(FMC)、计算机集成制造系统(CIMS)、“开放式”数控(open NC)系统、智能制造系统(IMS)大发展。

我国数控机床的研制始于 1958 年, 由清华大学研制出了最早的样机。1966 年诞生了第一台用于直线-圆弧插补的晶体管数控系统。20 世纪 80 年代前期, 引入日本 FANUC 数控技术后, 我国的数控机床才真正进入小批量生产的商品化时代。20 世纪 90 年代末, 华中数控自主开发出基于 PC-NC 的 HNC 数控系统。

1.1.4 我国对数控人才的需求现状

1. 数控人才市场需求

国有大、中型企业, 特别是目前经济效益较好的军工企业和国家重大装备制造企业、军工制造业是我国数控技术的主要应用对象。

随着民营经济的飞速发展, 我国沿海经济发达地区(如广东、浙江、江苏、山东), 数控人才更是供不应求, 主要集中在模具制造企业和汽车零部件制造企业。

2. 数控人才的知识结构

现在处在生产一线的各种数控人才主要有两个来源: 第一个来源是大学、高职和中职的机电一体化或数控技术应用等专业的毕业生, 具有不同程度的英语、计算机应用、机械、电气基础理论知识和一定的动手能力, 容易接受新工作岗位的挑战。但最大的缺陷是学校难以提供工艺经验, 同时, 由于学校教育的专业课程分工过窄, 所以难以满足某些企业对加工、维修一体化的复合型人才的需求。

另一个来源就是从企业现有员工中挑选人员参加不同层次的数控技术中、短期培训, 以适应企业对数控人才的急需。这些人员一般具有企业所需的工艺背景, 比较丰富的实践经验, 但是他们大部分是传统机电类专业的毕业生, 知识面较窄, 特别是对计算机应用技术和计算机数控系统不太了解。

对于数控人才, 有以下三个需求层次, 所需掌握的知识结构也各不同。

1) 蓝领层

数控操作技工。精通机械加工和数控加工工艺知识, 熟练掌握数控机床和手工编程, 了解自动编程和数控机床的简单维护和维修。适合中职学校组织培养。此类人员市场需求量大, 适合作为车间的数控机床操作技工。但由于其知识较单一, 其工资待遇不会太高。

2) 灰领层

(1) 数控编程员。掌握数控加工工艺知识和数控机床的操作, 掌握复杂模具的设计和制造专业知识, 熟练掌握三维 CAD/CAM 软件, 如 UG、Pro/E 等; 熟练掌握手工和自动编程技术; 适合高职、本科学校组织培养。适合作为工厂设计处和工艺处的数控编程员。此类人员需求量大, 尤其在模具行业非常受欢迎, 其待遇也较高。

(2) 数控机床维护、维修人员。掌握数控机床的机械结构和机电联调, 掌握数控机床的

操作与编程,熟悉各种数控机床的操作特点、软硬件操作结构、PLC和参数设置。精通数控机床的机械和电气的调试和维修。适合高职学校组织培养。适合作为工厂设备处工程技术人员。此类人员需求量相对少一些,培养此类人员非常不容易,知识结构要求很广,需要大量实际经验的累积,目前非常缺乏,其待遇也较高。

3) 金领层

数控通才。具备并精通数控操作技工、数控编程员和数控维护、维修人员所需掌握的综合知识,并在实际工作中积累了大量的实践经验,知识面很广。精通数控机床的机械结构设计和数控系统的电气设计,掌握数控机床的机电联调。能自行完成数控系统的选型、数控机床电气系统的设计、安装、调试和维修。能独立完成机床的数控改造,是企业(特别是民营企业)的抢手人才,其待遇很高。适合本科、高职院校组织培养。适合于担任企业的技术负责人或机床厂数控机床产品开发的机电设计主管。

对于以上各类数控人才,主要的基础知识基本相同,专业课的内容和重点不同。

1.1.5 数控机床的发展趋势

高速化、高精度化、高可靠性、复合化、智能化、柔性化、集成化和开放性是当今数控机床行业的主要发展方向。

1. 个性化的发展趋势

1) 高速化、高精度化、高可靠性

(1) 高速化。提高进给速度与提高主轴转速。加工中心高速化可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,还可以提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有广泛的适应性。依靠快速、准确的数字量传递技术对高性能的机床执行部件进行高精密度、高响应速度的实时处理,由于采用了新型刀具,车削和铣削的切削速度已达到 $5000 \sim 8000 \text{ m/min}$ 以上;主轴转速在 $30\,000 \text{ r/min}$ 以上;工作台的移动速度(进给速度),在分辨率为 $1 \mu\text{m}$ 时,达到 100 m/min 以上,在分辨率为 $0.1 \mu\text{m}$ 时,达到 24 m/min 以上;加工中心换刀时间从 $5 \sim 10 \text{ s}$ 减少到小于 1 s ,工作台交换时间也由 $12 \sim 20 \text{ s}$ 减少到 2.5 s 以内。

(2) 高精度化。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级($<10 \text{ nm}$),其应用范围日趋广泛。近十年多来,普通级数控机床的加工精度已由 $\pm 10 \mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5 \mu\text{m}$,精密级加工中心的加工精度则从 $\pm (3 \sim 5) \mu\text{m}$ 提高到 $\pm (1 \sim 1.5) \mu\text{m}$ 。

(3) 高可靠性。一般数控系统的可靠性要高于数控设备的可靠性在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,因为商品受性能价格比的约束。

2) 复合化

数控机床的功能复合化的发展,其核心是在一台机床上要完成车、铣、钻、攻丝、铰孔和扩孔等多种操作工序,从而提高了机床的效率和加工精度,提高生产的柔性。

3) 智能化

智能化的内容包括在数控系统中的各个方面:为追求加工效率和加工质量方面的智能化;为提高驱动性能及使用连接方便等方面的智能化;简化编程、简化操作方面的智能化;还有如智能化的自动编程、智能化的人机界面等,以及智能诊断、智能监控等方面的内容,

方便系统的诊断及维修。

4) 柔性化、集成化

当今世界上的数控机床有向柔性自动化系统发展的趋势,从点、线向面、体的方向发展,另一方面向注重应用性和经济性方向发展。柔性自动化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段,是各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。

2. 个性化是市场适应性的发展趋势

当今的市场,国际合作的格局逐渐形成,产品竞争日趋激烈,高效率、高精度加工手段的需求在不断升级,用户的个性化要求日趋强烈,专业化、专用化、高科技的机床越来越得到用户的青睐。

3. 开放性是体系结构的发展趋势

新一代数控系统的开发核心是开放性。开放性有软件平台和硬件平台的开放式系统,采用模块化、层次化的结构,并向外提供统一的应用程序接口。

开放式体系结构可以采用通用微机的先进技术,如多媒体技术,实现声控自动编程、图形扫描自动编程等。开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。开放式体系结构使数控系统既可通过升档或剪裁构成各种档次的数控系统,又可通过扩展构成不同类型数控加工中心的数控系统,开发和生产周期大大缩短。这种数控系统可随 CPU 升级而升级,结构上不必变动。开放式体系结构使数控系统有更好的通用性、柔性、适应性和扩展性,并向智能化、网络化方向发展。

网络化数控装备是近两年的一个新的焦点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求,也是实现新的制造模式(如敏捷制造、虚拟企业、全球制造)的基础单元。先进的 CNC 系统为用户提供了强大的联网能力,除串行接口外,还带有远程缓冲功能的 DNC 接口,可以实现几台数控机床、加工中心间的数据通信和直接对机床进行控制。现代数控机床为适应自动化技术的进一步发展和工厂自动化规模越来越大的要求,满足不同厂家、不同类型数控机床联网的需要,已配备与工业局域网(LAN)通信的功能以及 MAP(制造自动化协议)接口,为现代数控机床进入 FMS 及 CIMS 创造了条件,促进了系统集成化和信息综合化,使远程操作和监控、遥控及远程故障诊断成为可能。不仅有利于对其产品的监控,也适于大规模现代化生产的无人化车间实现网络管理,还适于在操作人员不宜到现场的环境(如对环境要求很高的超精密加工和对人体有害的环境)中工作。

1.2 数控机床的工作原理和组成

1.2.1 数控机床的工作原理

1. 数控机床零件加工的步骤

(1) 分析零件图,确定加工方案,用规定代码编程。

(2) 输入数控装置。

(3) 数控装置对程序进行译码、运算，向机床各个坐标的伺服系统和辅助控制装置发信号—驱动机床各运动部件—加工出合格零件。

2. 数控机床的工作原理

数控机床与普通机床相比，不同之处在于数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的。

数控机床加工工件，首先要将被加工工件图上的几何信息和工艺信息数字化，用规定的代码程序格式编写加工程序，并存储到程序载体内，然后用相应的输入装置将所编的程序指令输入到 CNC 单元，CNC 单元将程序进行译码、运算之后，向机床各个坐标的伺服系统和辅助控制装置发出信号，以驱动机床的各运动部件，并控制所需要的辅助动作，最后加工出合格的零件。

1.2.2 数控机床的组成

采用数控技术控制的机床，或者说装备了数控系统的机床，称为数控机床。其组成如图 1-1 所示。

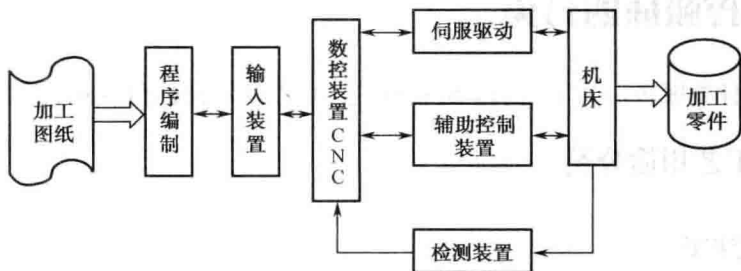


图 1-1 数控机床组成框图

1. 程序载体

程序载体是存储工件加工程序的媒介。程序包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数（进给量、主轴转速等）和辅助运动等加工所需的全部信息。

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 CNC 单元。根据程序载体的不同，对应有不同的输入装置。有时为了用户方便，数控机床可以同时具备几种输入装置。

现代数控机床，还可以通过手动输入方式，将工件加工程序，用数控系统操作面板上的按键，直接输入 CNC 单元。

3. CNC 单元

CNC 单元是数控机床的运算和控制系统，也是数控机床的核心，接收脉冲信号经过译码、运算和逻辑处理将指令信息输出给伺服系统，使设备按规定的动作执行。

4. 伺服系统

伺服系统是数控机床执行机构的驱动部件，作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床执行部件的运动，分为主轴伺服驱动与进给伺服驱动。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置指数控机床的一些配套部件，包括刀库、液压、气动装置、冷却系统、排屑装置、夹具、换刀机械手等。

6. 检测反馈装置

检测反馈装置的作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测并将结果反馈给数控装置，计算出与指令位移之间的偏差并发出纠正误差的指令。

7. 机床本体

机床本体是数控机床加工运动的实际机械部件，包括主运动系统（如主轴箱）、进给运动系统（如工作台、拖板、刀架）、支承部件（如床身、立柱）等。

1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，为了便于了解和研究，可以从不同的角度对其进行分类。

1.3.1 按工艺用途分类

1. 普通数控机床

车、铣、钻、镗、磨等。其工艺性能与通用机床相似，但能自动加工形状复杂的零件。

2. 加工中心机床

在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置，能连续进行车、铣、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。

3. 多坐标数控机床

有些复杂形状零件需要三个坐标以上的合成运动才能加工。常用的有双刀塔双主轴、多轴加工中心。

4. 数控特种加工机床

数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床。

1.3.2 按控制运动方式分类

1. 点位控制系统

点位控制系统只控制刀具从一点到另一点的位置，而不控制移动轨迹，在移动过程中刀

具不进行切削加工,如图1-2所示,如数控钻床、数控冲床、数控点焊机。

2. 直线控制系统

直线控制系统是控制刀具或机床工作台以给定的速度,沿平行于某一坐标轴方向,由一个位置到另一个位置的精确移动,并且在移动过程中进行直线切削加工,如图1-3所示,如简易数控车床、数控镗铣床。

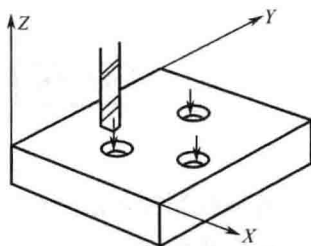


图1-2 点位控制系统

3. 轮廓控制系统

轮廓控制系统是对两个或两个以上的坐标轴同时进行连续控制,并能对机床移动部件的位移和速度进行严格的控制,即要控制加工的轨迹,加工出要求的轮廓,如图1-4所示。

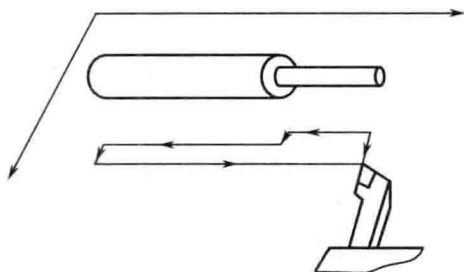


图1-3 直线控制系统

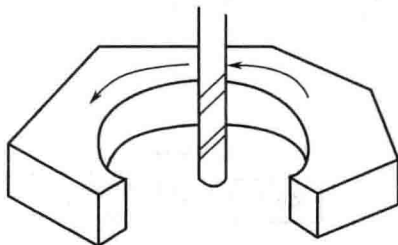


图1-4 轮廓控制系统

轮廓控制数控机床又可分为:①两轴联动;②两轴半联动(二轴半联动主要用于三轴以上机床的控制,其中两根轴可以联动,而另外一根轴可以做周期性进给),如图1-5所示为两轴半联动的曲面加工;③三轴联动,如图1-6所示为三轴联动的曲面加工;④四轴联动;⑤五轴联动。

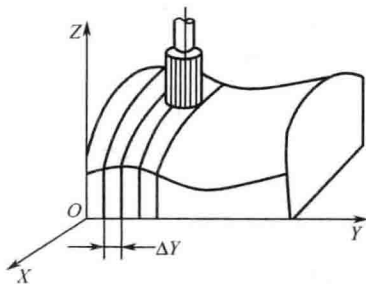


图1-5 两轴半联动

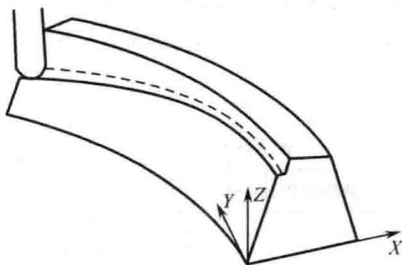


图1-6 三轴联动

1.3.3 按伺服系统的不同分类

1. 开环控制

开环控制即不带位置测量元件,数控装置根据控制介质上的指令信号,经控制运算发出指令脉冲,使伺服驱动元件转过一定的角度,并通过传动齿轮、滚珠丝杠螺母副,使执行机构(如工作台)移动或转动,其原理如图1-7所示。



图 1-7 开环控制系统

开环控制特点是没有反馈信号，对执行机构的动作情况不进行检查，指令流向为单向，控制精度较低。

2. 闭环控制

闭环控制是将位置检测装置安装于机床运动部件上，加工中将测量到的实际位置值反馈。另外，通过与伺服电动机刚性连接的测速元件，随时实测驱动电动机的转速，得到速度反馈信号，并与速度指令信号相比较，根据比较的差值对伺服电动机的转速随时进行校正，直至实现移动部件工作台的最终精确定位，其原理如图 1-8 所示。

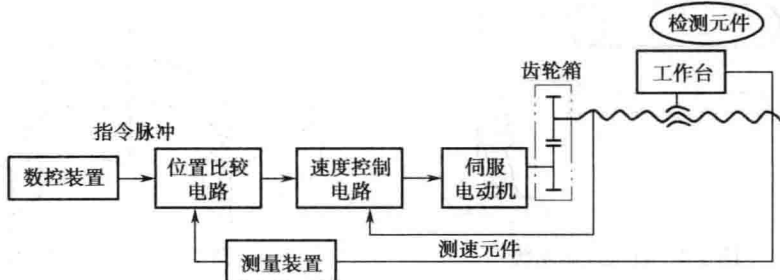


图 1-8 闭环控制系统

3. 半闭环控制

半闭环控制是将位置检测装置安装于驱动电动机轴端或安装于传动丝杠端部，间接地测量移动部件（工作台）的实际位置或位移，其原理如图 1-9 所示。

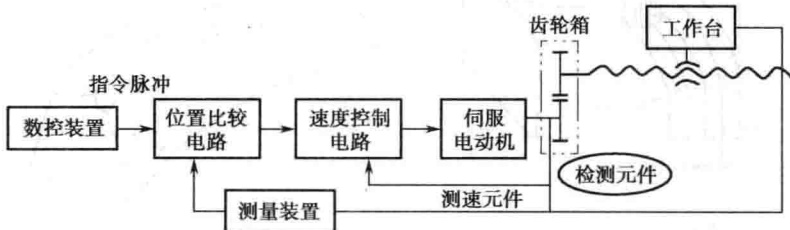


图 1-9 半闭环控制系统

1.4 数控机床的特点和应用范围

1.4.1 数控机床的特点

与其他加工设备相比，数控机床具有如下特点。

1. 对加工对象改型的适应性强, 灵活性好

数控机床能完成很多普通机床难以胜任, 或者根本不可能加工出来的复杂型面的零件。这是由于数控机床具有多坐标轴联动功能, 并可按零件加工的要求变换加工程序。数控机床首先在航空航天等领域获得应用, 在复杂曲面的模具加工、螺旋桨及涡轮叶片的加工中, 也得到了广泛的应用。

2. 加工精度高, 产品质量稳定

由于数控机床按照预定的程序自动加工, 不受人为因素的干扰, 其加工精度由机床来保证, 还可利用软件来校正和补偿误差。因此, 能得到较高的加工精度。

3. 加工生产率高

数控机床的生产率较普通机床的生产率高 2~3 倍。尤其是某些复杂零件的加工, 生产率可提高十几倍甚至几十倍。数控机床加工可合理选用切削用量, 机加工时间短, 其定位精度高, 停机检测次数减少, 加工准备时间因采用通用工夹具大大缩短。

4. 减轻操作者的劳动强度

数控机床主要是自动加工, 能自动换刀、起停切削液、自动变速等, 其大部分操作不需人工完成, 操作失误减少, 降低了废品率, 改善了劳动条件, 减轻了工人的劳动强度。

5. 有利于生产管理的现代化

在数控机床上加工, 能准确地计算零件加工时间, 便于实现生产计划调度, 简化和减少了检验、工具装夹准备、半成品调度等管理工作。数控机床具有的通信接口, 可实现计算机之间的连接, 实现生产过程的计算机管理与控制。

数控机床也存在很多缺点, 如提高了起始阶段的投资; 增加了电子设备的维护; 对操作、维修人员的技术水平要求较高等。

1.4.2 数控机床的应用范围

数控机床的应用范围正在不断扩大, 但目前它并不能完全代替普通机床, 也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的工件:

- (1) 多品种或中、小批量生产的零件。
- (2) 工序集中, 形状结构比较复杂的零件。
- (3) 试制研发, 需要频繁改型的零件。
- (4) 生产周期短的急需工件。
- (5) 价格昂贵, 不允许报废的关键零件。

1.5 数控技术的应用领域

1. 制造行业

机械制造行业是最早应用数控技术的行业, 它担负着为国民经济各行业提供先进装备的

重任。应该重点研制开发与生产现代化军事装备用的高性能三轴和五轴高速立式加工中心、五坐标加工中心、大型五坐标龙门铣等；汽车行业发动机、变速箱、曲轴柔性加工生产线上用的数控机床和高速加工中心，以及焊接、装配、喷漆机器人、板件激光焊接机和激光切割机；航空、船舶、发电行业加工螺旋桨、发动机、发电机和水轮机叶片零件用的高速五坐标加工中心、重型车铣复合加工中心等。

2. 信息行业

在信息产业中，从计算机到网络、移动通信、遥测、遥控等设备，都需要采用基于超精技术、纳米技术的制造装备，如芯片制造的引线键合机、光刻机等，这些装备的控制都需要采用数控技术。

3. 医疗设备行业

在医疗行业中，许多现代化的医疗诊断、治疗设备都采用了数控技术，如 CT 诊断仪、基于视觉引导的微创手术机器人等。

4. 军事装备

现代的许多军事装备，都大量采用伺服运动控制技术，如火炮的自动瞄准控制、雷达的跟踪控制和导弹的自动跟踪控制等。

5. 其他行业

在轻工行业，采用多轴伺服控制的印刷机械、纺织机械、包装机械以及木工机械等；在建材行业，用于石材加工的数控水刀切割机；用于玻璃加工的数控玻璃雕花机；用于服装加工的数控绣花机等。

1.6 数控机床的机械结构

机床本体是数控机床的主体部分，它将来自数控装置的各种运动和动作指令转换成真实的、准确的机械运动和动作，实现数控机床的功能，并保证数控机床的性能要求。

数控机床的机械结构一般由以下几部分组成：

(1) 主传动系统，包括动力源、传动件及主运动执行件（如主轴）等，其功用是实现主运动。

(2) 进给传动系统，包括动力源、传动件及主运动执行件（如工作台、刀架）等，其功用是实现进给运动。

(3) 基础支撑件，包括床身、立柱、导轨、工作台等，其功用是支撑机床本体的零、部件，并保证这些零、部件在切削过程中占有准确的位置。

(4) 辅助装置，包括液压、气动、润滑、冷却以及防护、排屑等装置。

此外，根据数控机床的功能和需要还可以选用以下几个部件：实现工件回转、分度定位的装置和附件，如回转工作台；刀库、刀架和自动换刀装置（ATC）；自动托盘交换装置（APC）；特殊功能装置，如刀具破损检测、精度检测和监控装置等。

数控机床作为一种高速、高效和高精度的自动化加工设备，因其控制系统功能强大，其

机床性能得到了提高。数控机床的机械结构与普通机床相比,有了明显的改进,主要体现在以下几个方面。

- (1) 结构简单,操作方便,自动化程度高。
- (2) 采用无间隙传动装置和新技术、新产品。
- (3) 有适应无人化、柔性化加工特殊部件。
- (4) 对机械结构刚度、灵敏度、运动精度、零部件功能、静态性能和热稳定性要求高。

1.6.1 数控机床的总体布局

数控机床大都采用机、电、液、气一体化布局,全封闭或半封闭防护,机械结构大大简化,易于操作及实现自动化。

1. 数控车床常见布局

数控车床根据床身和导轨与水平面的相对位置不同,有以下四种布局形式。

(1) 如图 1-10 所示,水平床身—水平滑板,床身的工艺性好,便于导轨面的加工,但是下部空间小,排屑困难,刀架水平放置加大了机床宽度方向的机构尺寸,一般可用于大型数控车床、经济型数控车床的布局。

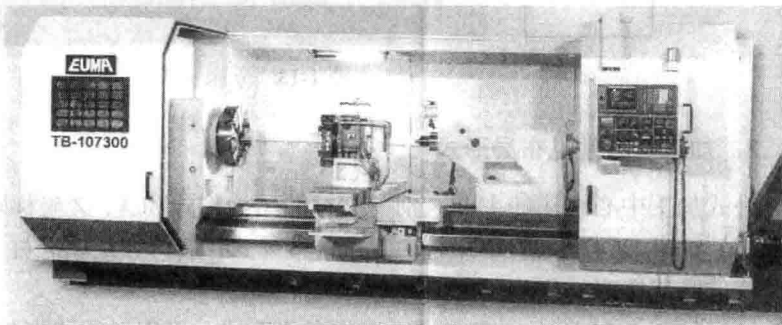
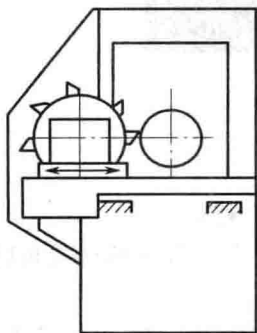


图 1-10 水平床身

(2) 如图 1-11 所示,倾斜床身—倾斜滑板,排屑较方便,易于安装机械手实现单机自动化,适用于中小型数控车床。

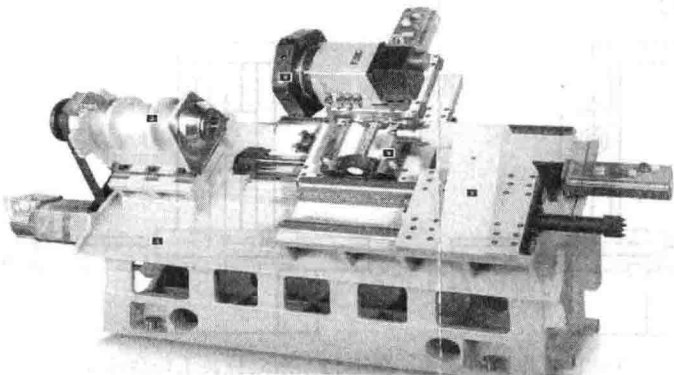
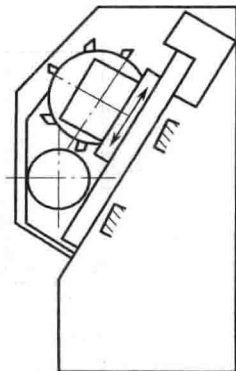


图 1-11 斜床身式