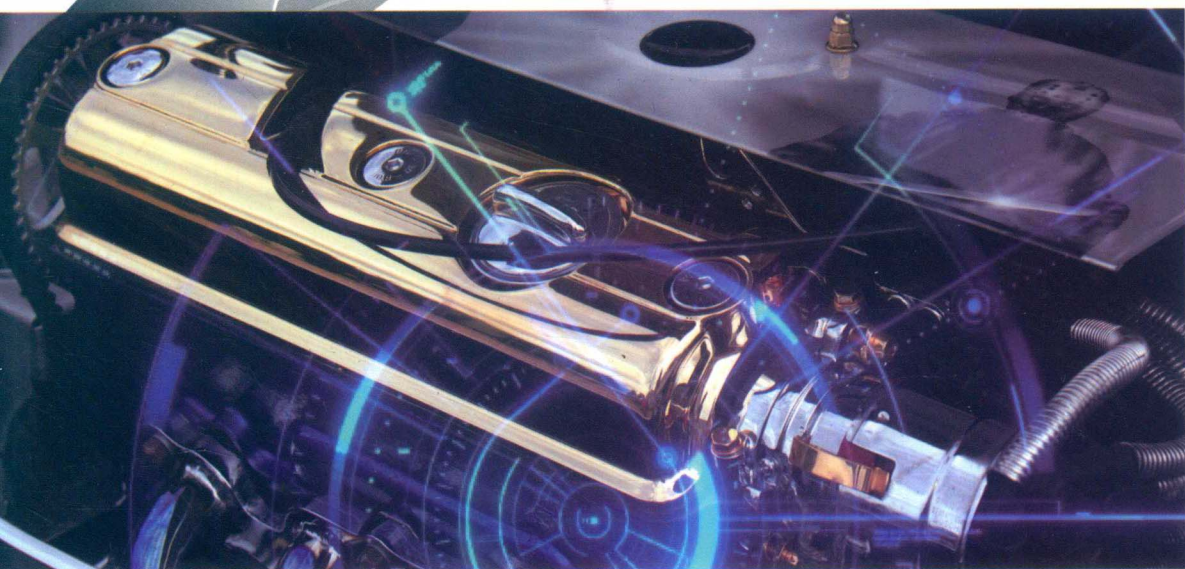




普通高等院校“十三五”技能型规划教材

数控编程与加工

一体化教程



严文杰 © 主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

普通高等院校“十三五”技能型规划教材

数控编程与加工一体化教程

主 编 严文杰

副主编 魏法明 吕跟来



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程与加工一体化教程 / 严文杰主编. —北京:

中国轻工业出版社, 2017. 8

普通高等院校“十三五”技能型规划教材

ISBN 978-7-5184-1545-8

I. ①数… II. ①严… III. ①数控机床—程序设计—

高等学校—教材②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 (2017) 第 191422 号

内容简介

本书从简明实用的角度出发, 着重介绍 FANUC 数控系统的工艺、编程、操作与应用, 并列出了较多的加工实例, 便于快速入门和技巧掌握, 主要培养学生实际操作与动手能力。

全书共有十二项目, 分别包括理论知识、数控编程基础、认知 FANUC 数控铣床、FANUC 系统的程序输入及程序管理、数控铣床对刀、数控基础编程讲解、刀具半径补偿指令、固定循环、子程序、坐标系旋转、FANUC 的用户宏程序、加工中心的编程与操作, 每个项目下设有任务, 将理论知识贯穿项目内容。

本书适用于数控技术、数控维护、模具设计与制造、机电一体化、机械制造等中、高职专业的数控加工教学, 也可用于中职机电专业教学及相关技能培训的自学、教学或教参。

策划编辑: 李建华

责任编辑: 李建华

版式设计: 申俊珂

责任终审: 劳国强

责任校对: 燕 杰

封面设计: 刘志伟

责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京合众伟业印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.5

字 数: 367 千字

书 号: ISBN 978-7-5184-1545-8 定价: 46.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

170097J2X101HBW

前言

数控技术自 20 世纪中叶出现以来,给机械行业带来了革命性的变化。现在,数控技术已经成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,是提高产品质量和劳动生产率必不可少的技术手段。目前,先进的数控技术在我国制造业企业中已经得到了较为广泛的应用,而我国数控编程、数控机床操作和维护人员严重不足,这使得数控技术专业成为国家人才紧缺的四大专业之一。因此,特别需要既懂一定的理论知识,又具备实际操作技能的高素质应用型人才。

本书以 FANUC 系统为例,详细介绍了数控加工工艺设计方法、数控编程常用指令的格式和使用方法、数控铣床和加工中心的基本操作方法等内容。以培养学生数控加工理论和实践相结合为主要目标,编写中力求将教学内容、教学实践与生产实际相结合,内容设计与学生能力相结合,社会能力与团队协作相结合。本书针对数控技术专业的学生编程内容由浅入深、由点到面、由简到繁、从易到难,帮助学生更有效地掌握数铣及加工中心编程的相关知识和技术,提升学生的综合技能及应用能力,按照“理论与实践有效融合”“易学够用”的原则进行了编写。

本书采用项目化体系,将数控铣床及加工中心编程理论知识与数控加工实践融于一体,结合实践,基于学生快速入门和技巧掌握,注重实效性和操作性。

本书由江苏信息职业技术学院严文杰担任主编,灌输信息职业技术学院魏法明、潍坊科技学院吕跟来担任副主编。由于编者水平有限,时间仓促,读者在使用过程中如发现不妥之处欢迎提出批评和建议。

编者

2017 年 3 月

目 录

项目一 理论知识	(1)
任务一 数控机床概述	(1)
一、数控机床	(1)
二、数控机床的发展	(2)
任务二 数控机床的结构组成与工作原理	(6)
一、数控机床的结构组成	(6)
二、数控机床的工作原理	(8)
任务三 数控机床的分类	(8)
一、按照运动控制的特点分类	(8)
二、按伺服系统的类型分类	(10)
三、按照加工工艺方法分类	(11)
四、按数控系统的功能水平分类	(11)
任务四 数控机床的加工特点及应用	(12)
一、数控机床的加工特点	(12)
二、数控机床的应用	(13)
思考与练习	(14)
项目二 数控编程基础	(16)
任务一 数控编程的工艺、步骤和方法	(16)
一、数控编程的工艺	(16)
二、数控编程的步骤	(17)
三、数控编程的方法	(18)
任务二 数控机床的坐标系	(18)
一、坐标和运动方向命名的原则	(19)
二、标准坐标系的规定	(19)
三、机床各坐标轴的确定	(19)
四、机床坐标系、机床原点和参考点	(21)

任务三 工件坐标系	(22)
思考与练习	(22)
项目三 认知 FANUC 数控铣床	(24)
任务一 数控铣床安全操作规程	(24)
任务二 初识数控铣床	(25)
一、开机前的准备	(25)
二、开机回零操作流程	(26)
三、认知 FANUC 系统	(27)
四、机床停止后关机	(34)
思考与练习	(34)
项目四 FANUC 系统的程序	(36)
输入及程序管理	(36)
任务一 程序的输入与编辑	(36)
一、机床各轴运行操作	(36)
二、MDI 方式及开机转速设定	(37)
三、FANUC 系统面板的操作	(37)
任务二 程序输入与编辑	(38)
思考与练习	(38)
项目五 数控铣床对刀	(40)
任务一 熟悉数控铣床	(40)
一、机床坐标系与机床原点	(40)
二、工件坐标系与工件原点	(40)
任务二 对刀	(41)
一、对刀目的	(41)
二、对刀原理	(41)
三、对刀方法	(41)
四、对刀操作	(43)
五、检验对刀方法	(44)
任务三 练习对刀及对刀检验	(44)
思考与练习	(45)

项目六 数控基础编程讲解	(47)
任务一 数控编程的步骤	(47)
任务二 数控编程的方法	(48)
一、手工编程	(48)
二、自动编程	(49)
任务三 程序编制中的工艺分析基础	(50)
一、数控加工工艺的基本特点	(50)
二、数控加工工艺分析的主要内容	(50)
三、编程格式	(50)
任务四 切削用量的确定	(61)
一、切削深度和切削宽度	(62)
二、切削深度的选择	(62)
三、进给量	(62)
四、切削速度 v_c	(63)
五、主轴转速 n	(67)
任务五 简单零件的程序编制	(68)
任务六 实践编程、调试与操作	(70)
一、工艺分析	(70)
二、制订工艺方案	(70)
任务七 零件加工操作流程	(72)
一、程序模拟	(72)
二、程序自动运行操作	(72)
思考与练习	(74)
项目七 刀具半径补偿指令	(76)
任务一 刀具补偿原理	(76)
一、刀具半径补偿的基本概念与原理	(76)
二、刀具补偿号 D	(78)
三、刀具半径补偿过程及指令	(78)
四、刀具半径补偿的应用	(80)
任务二 型腔铣	(82)
任务三 带有刀具偏置功能的编程范例	(84)

一、简单零件的工艺分析	(84)
二、制订工艺方案	(85)
三、带刀具补偿功能程序的编制	(85)
任务四 零件精度的保证方法	(87)
思考与练习	(89)

项目八 固定循环

任务一 固定循环指令及编程格式	(91)
一、孔加工固定循环(G73,G74,G76,G80~G89)	(91)
二、G73(高速深孔钻削循环)	(96)
三、G74(左螺纹攻丝循环)	(96)
四、G76(精镗循环)	(97)
五、G81(钻削循环)	(98)
六、G82(钻削循环,粗镗削循环)	(98)
七、G83(深孔钻削循环)	(99)
八、G84(攻丝循环)	(100)
九、G85(镗削循环)	(101)
十、G86(镗削循环)	(101)
十一、G87(反镗削循环)	(103)
十二、G88(镗削循环)	(104)
十三、G89(镗削循环)	(104)
十四、刚性攻丝方式	(105)
十五、G80(取消固定循环)	(106)
十六、使用孔加工固定循环的注意事项	(106)
任务二 固定循环编程范例	(107)
任务三 固定循环运用与实操	(110)
一、多工序零件的工艺分析	(110)
二、制订多工序的工艺方案	(110)
三、多工序编程方程式	(112)
四、多工序的零件加工方法	(118)
思考与练习	(131)

项目九 子程序

任务一 主程序与子程序程序段结构	(133)
------------------------	-------

任务二 子程序的程序编制及调用方法	(136)
任务三 增量值编程与子程序调用编程范例	(137)
一、有规律图形的工艺分析	(138)
二、制订科学的工艺方案	(138)
三、调用子程序的编制	(139)
思考与练习	(141)
项目十 坐标系旋转	(143)
任务一 FANUC Oi 系统中坐标系的旋转	(143)
一、坐标旋转编程格式	(144)
二、坐标系旋转解释	(144)
三、坐标系旋转的限制	(145)
四、绝对和增量指令在坐标系旋转中的运用	(146)
五、刀具半径补偿在坐标旋转中的运用	(147)
任务二 调用坐标系编程范例	(148)
任务三 坐标系旋转的零件加工	(150)
一、根据图纸分析加工步骤	(151)
二、制订合理的工艺方案	(151)
三、编程	(152)
思考与练习	(157)
项目十一 FANUC 的用户宏程序	(159)
任务一 用户宏程序的概念	(159)
任务二 用户宏程序的编程方法	(160)
一、变量	(160)
二、控制指令	(162)
三、宏程序的调用	(163)
任务三 宏程序编制时的数学分析	(165)
一、分析	(165)
二、坐标点计算方法	(166)
三、赋予椭圆尺寸	(166)
四、编程步骤	(166)
任务四 综合件的加工	(168)

一、工艺分析	(169)
二、制订工艺方案	(169)
三、复杂零件的编程	(170)
思考与练习	(176)
项目十二 加工中心的编程与操作	(178)
任务一 数控加工中心及其组成	(178)
一、加工中心的类型及其组成	(178)
二、加工中心的自动换刀装置	(182)
任务二 加工中心的工艺特点	(187)
一、适合于加工中心加工的零件	(187)
二、工序集中带来的问题	(187)
三、各种加工中心的功能特点	(188)
任务三 加工中心的工艺设计	(188)
一、工序和工步的划分	(188)
二、加工路线的确定	(189)
任务四 加工中心的对刀	(192)
一、机内对刀仪	(193)
二、机外对刀仪	(198)
三、光电寻边器与 Z 轴设定仪对刀	(202)
任务五 加工中心编程格式	(207)
任务六 加工中心的实操与训练	(212)
一、工艺分析	(213)
二、制订工艺方案	(213)
三、工件装夹与对刀	(215)
四、编程	(223)
五、对刀检验	(230)
六、更换磨损刀具	(231)
思考与练习	(234)
参考文献	(237)

经历了两个阶段，共六代系统。

1. 数控(NC)阶段

(1)第一代：1952—1959年，采用电子管元件构成的专用 NC 系统。

(2)第二代：1959—1964年，采用晶体管电路的 NC 系统。

(3)第三代：1961—1970年，采用小、中规模集成电路的 NC 系统。

该阶段的特点是：由硬件数字逻辑电路“搭”成专用的计算机作为数控系统，又称为普通数控系统或硬件数控系统。

2. 计算机数控系统(CNC)阶段

(1)第四代：1970—1974年，采用小型计算机的 NC 系统。

(2)第五代：1974—1990年，采用微处理器的 NC 系统。

(3)第六代：1990年至今，基于 PC 的 NC 系统。

该阶段的特点是：控制功能大部分由软件技术实现，系统可靠性提高，功能更加灵活和完善，通用性强。

(三)我国数控系统的发展

1958年，我国以高等院校为主导，从电子管数控系统着手开始了数控机床的研制，曾由清华大学研制出最早的样机；1966年生产出第一台用于直线—圆弧插补的晶体管数控机床，即第二世代数控系统，如图 1-1 所示。



图 1-1 我国第一台电子管数控铣床

二、数控机床的发展

数控技术的问世已有 40 多年的历史，随着计算机科学技术的飞速发展，传统的普通加工设备已难以适应市场对产品多样化的要求，难以适应市场竞争的高效率、高质量的要求。各工业发达国家投入巨资，对现代制造技术进行研究开发，提出了以数控技术为核心的全新的制造模式。而数控技术将计算机技术、自动控制技术、信息处理技术、自动检测技术及网络通信技术有机地结合起来，构成高度信息化、高度柔性化、高度自动化的现代制造系统。

1970年初研制成功集成电路数控系统，标志着我国开始进入第三代数控系统的制造

阶段，但发展缓慢，数控系统的稳定性、可靠性较差，如图 1-2 所示。数控机床的品种和数量也很少，主要生产数控线切割机床；1980 年后我国引进日本、美国、德国等国家的先进数控系统和直流伺服电机、直流主轴电机等技术，并开始合资批量生产数控机床。通过技术引进、消化吸收和自主研发，大力推动了我国数控机床技术的发展，使我国的数控机床在质量和性能上有了较大的提高；1985 年后我国生产数控机床的品种达到 80 多种，数控设备进入了实用阶段，同时数控机床功能部件的专业厂商也逐渐形成规模；1990 年后我国加强了数控系统的自主研发，并取得了一定成效，国产数控系统开始崭露头角，如图 1-3 所示。

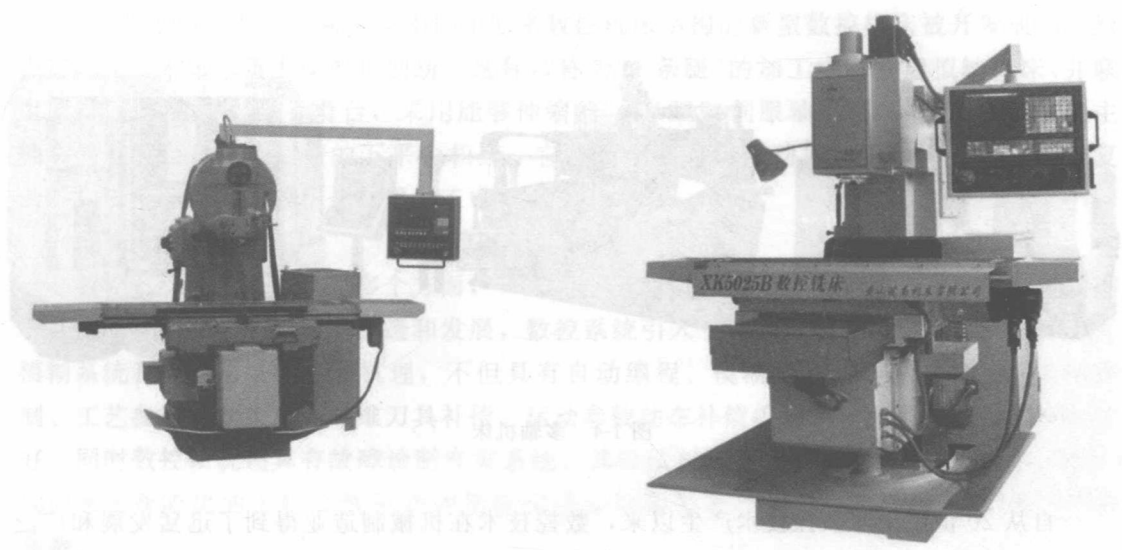


图 1-2 第三代数控机床

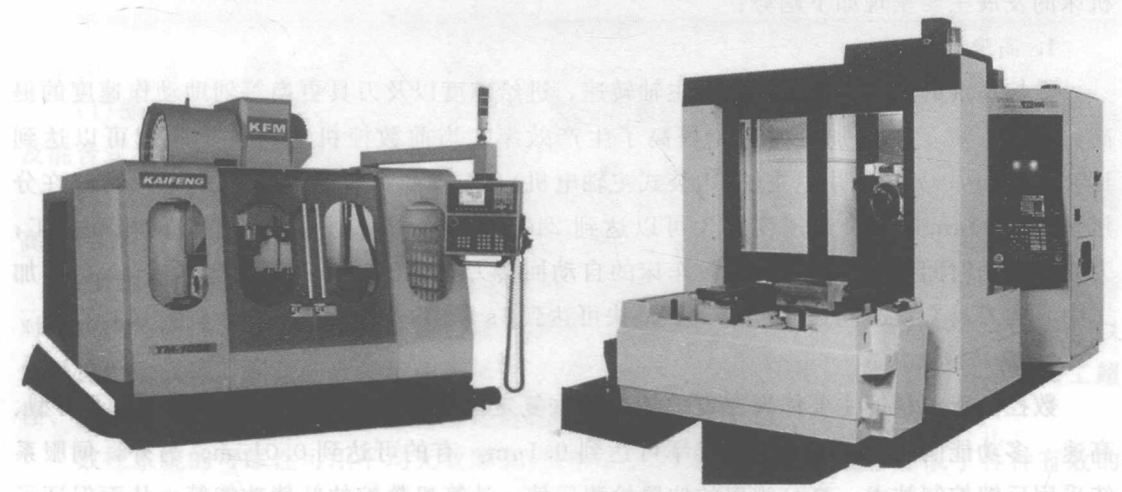


图 1-3 1990 年以后的数控机床

随着我国加入 WTO, 并逐步成为世界制造业的中心, 我国的数控产品在质量、性能、数量、品种等方面都取得了较快发展, 但和先进的工业国家相比还存在着一定的差距。数控机床方面, 我国目前还是以生产经济型数控机床为主(占 80%), 高、中档数控机床仍然依赖于进口; 数控机床的产量还远远不能满足国内生产的需要, 更无法满足出口要求。在数控系统方面, 虽然我国已经掌握了 5 轴和 6 轴联动、图形显示、螺距误差补偿以及高精度伺服系统等多项关键技术, 打破了西方对高端数控系统的垄断; 但是由于国内数控系统产业化时间较短, 整体质量不高, 主要还是以开发经济型数控系统为主, 高档数控系统 95% 为国外进口, 如图 1-4 所示为我国发展的多轴机床。

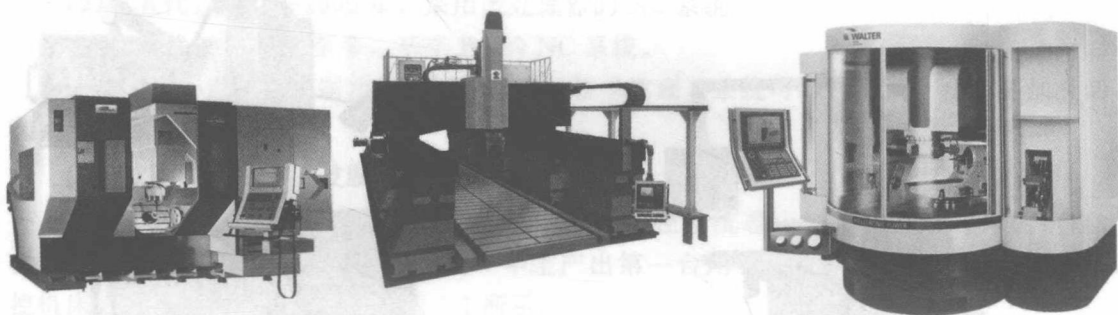


图 1-4 多轴机床

自从 20 世纪中叶数控技术产生以来, 数控技术在机械制造业得到了迅猛发展和广泛应用。随着电子计算机、自动控制、精密检测及机械制造等技术的高速发展, 数控设备在加工精度、生产效率、使用功能及机床结构等方面也得到了不断的提高。当前世界上数控机床的发展主要呈现如下趋势:

1. 高速化

数控系统的高速化主要体现在主轴转速、进给速度以及刀具更换等辅助动作速度的提高, 大大缩短了工件加工时间, 提高了生产效率。当前数控机床的主轴转速可以达到 100000r/min , 如果采用电主轴(内装式主轴电机), 主轴最高转速可达 200000r/min ; 在分辨率为 $0.01\mu\text{m}$ 时, 进给速度最大可以达到 240m/min , 可以进行复杂型面的精确加工; 刀具更换的时间也大大缩短, 数控车床的自动回转刀架转位时间一般可达 $0.4\sim 0.6\text{s}$, 加工中心的刀具交换时间普遍可达 3s , 最快可达到 1s 以内。

2. 高精度化

数控机床的精度主要体现在定位精度和重复定位精度。当前的数控机床配置了新型、高速、多功能的数控系统, 其分辨率可达到 $0.1\mu\text{m}$, 有的可达到 $0.01\mu\text{m}$ 。另外, 伺服系统采用反馈控制技术、高分辨率的位置检测元件、计算机数控的补偿功能等, 从而保证了数控机床的高加工精度。目前数控机床的定位精度可达 0.001mm , 重复定位精度可达 0.0005mm 。

3. 加工复合化

数控机床正在向一机多能的趋势发展,即在一台机床上实现多工序、多方法加工。目前已经出现了集钻、镗、铣功能于一身的数控机床,如可以完成钻、镗、铣、扩孔、铰孔、攻螺丝等工序的数控加工中心,以及车削加工中心,钻削、磨削加工中心,电火花加工中心等。近年来又出现了高复合化数控机床,如增加了车削和磨削功能的加工中心等。这样不但可以避免工件多次装夹造成的定位误差,提高加工精度,还可以减少设备台数,节省占地面积和辅助时间,提高工作效率。

4. 结构新型化

20世纪90年代,一种完全不同于原来数控机床结构的新型数控机床被开发成功,给数控机床技术带来重大变革和创新。这种被称为“6条腿”的加工中心或虚拟轴机床(并联机床),没有任何导轨和滑台,采用能够伸缩的“6条腿”(伺服轴)支撑并联,并与安装主轴头的上平台和安装工件的下平台相连。它可实现多坐标联动加工,其控制系统结构复杂,加工精度、加工效率是普通加工中心的2~10倍。

5. 数控系统智能化

数控系统的智能化包括多个方面,一是为追求加工效率和加工质量方面的智能化;随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应控制(Adaptive Control)、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好。同时数控系统还具有故障诊断专家系统,其自诊断和故障监控功能更趋完善。此外,伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置,能自动识别负载和优化调整参数。

6. 数控系统的高可靠性

高可靠性是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性一个数量级以上,即NC系统与机床的失效比为1:10。数控机床的可靠性取决于数控系统各伺服单元的可靠性,为了提高可靠性,目前可以采取以下措施:

(1)提高线路集成度。采用大规模或超大规模集成电路、更高集成度的专用电路芯片及混合式集成电路,以减少元器件的数量。

(2)改善硬件的结构和功能。通过硬件结构的模块化、标准化、通用化及系列化,提高硬件的生产批量和质量。通过硬件功能的软件化以适应各种控制功能的要求。

(3)增强故障自诊断、自恢复和保护功能。数控机床一般具有故障自诊断功能,实现对系统内的硬件、软件和各种外设的故障诊断、报警,自动显示出故障的部位和类型,以便迅速排除故障。新型的数控机床还具备了故障预报、自恢复和保护功能,当发生加工超程、刀具破损、干扰、断电等各种意外时能自动进行相应的保护。

数控系统的可靠性可用平均无故障运行时间(MTBP)来衡量,由于采取了各种有效的措施,现代数控系统的平均无故障运行时间70000~100000h以上,国产数控系统平均无故障时间可达10000h以上。

任务二 数控机床的结构组成与工作原理

一、数控机床的结构组成

数控机床的种类很多,但任何一种数控机床主要由输入输出装置、计算机数控装置(CNC)、伺服系统、辅助控制装置、测量反馈装置以及机床主体等部分组成,如图 1-5 所示。

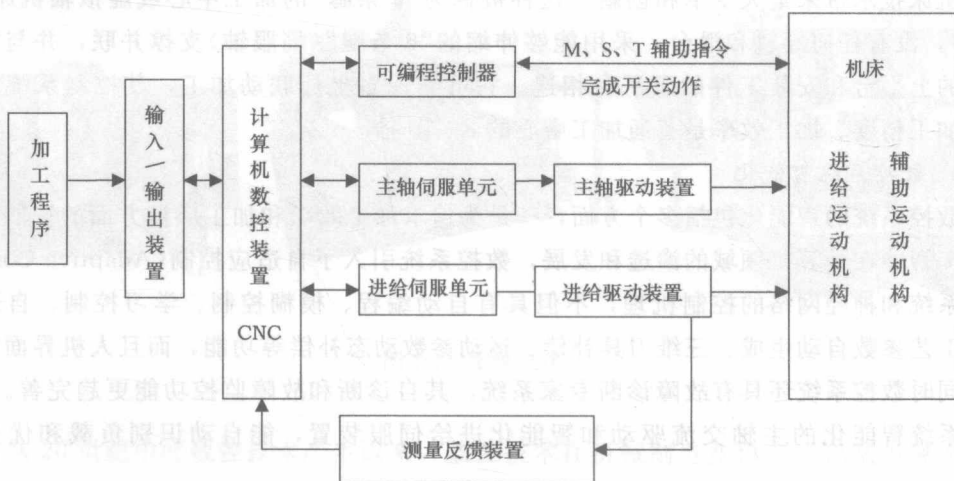


图 1-5 数控机床基本结构

(一)输入/输出装置

输入/输出装置是机床与外部设备的接口。在数控机床上加工工件时,首先应根据零件图纸的要求编写数控加工程序,并通过输入/装置传送给计算机数控装置,而 CNC 内存中的数控加工程序也可以通过输出装置传出。

目前,较为常用的加工程序输入方法有两种,一种是手动输入,即通过编辑面板,在 MDT 方式(手动数据输入)或编辑方式下直接将程序输入到 CNC 系统;二是自动输入,比较常用的是串行通信的方式(RS~232C 接口),可以实现与上级计算机或其他数控机床之间的信息交互。

(二)计算机数控装置(CNC)

计算机数控装置(CNC)是数控机床的核心,它的主要功能是接受输入装置传送的数字化信息,经过控制软件和逻辑电路进行译码、数据处理和插补运算后,将各种控制命令输出给相应的执行部件(伺服系统和辅助控制装置),从而控制机床自动完成零件的加工。其工作过程如图 1-6 所示。

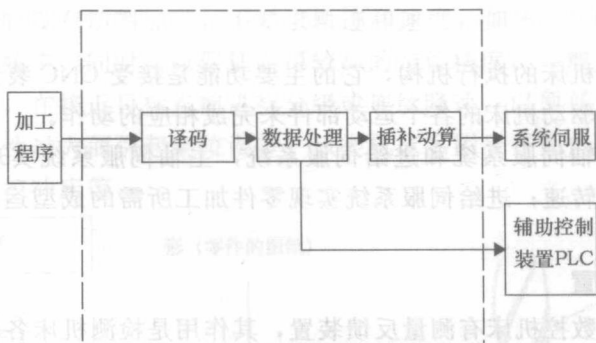


图 1-6 计算机数控装置(CNC)的工作过程

1. 译码

将加工程序翻译成便于计算机处理的格式。

2. 数据处理

数据处理包括刀具补偿(长度、半径、磨损补偿)、速度计算和辅助指令的处理。

3. 插补运算

经插补运算可获得各坐标轴进给速度、进给方向和位移量，并以脉冲信号的方式传输给伺服系统。

插补是指在工件轮廓的起点和终点之间进行“数据密化”，并求取中间点的过程。在数控加工中，一般已知工件轮廓的起点、终点和轮廓线，如直线的起点、终点，圆弧的起点、终点、圆心或半径。数控系统按一定的算法在轮廓线上计算出若干个接近中间点的坐标，并确定刀具在各个坐标点上的进给方向、速度和位移量。由于直线和圆弧是构成零件轮廓的基本几何元素，因此大多数数控系统都具有直线插补和圆弧插补功能，如图 1-7 所示。

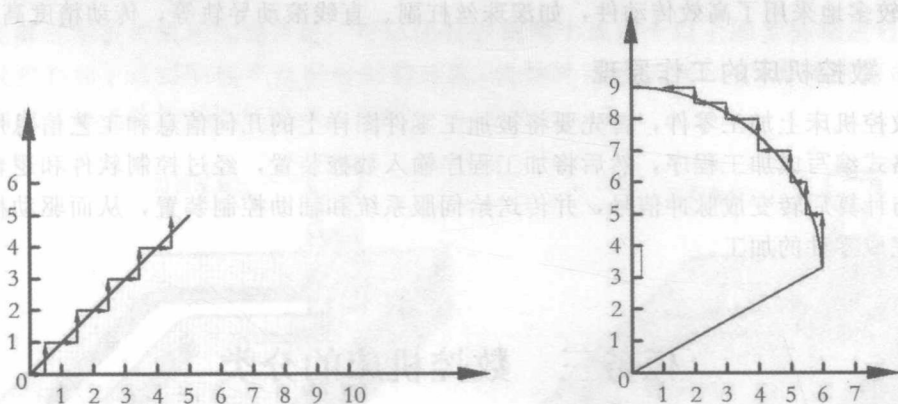


图 1-7 直线插补和圆弧插补

插补运算是整个计算机数控装置(CNC)软件的核心，其速度和精度直接影响数控机床的加工速度和精度。

(三) 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行机构,它的主要功能是接受 CNC 装置的脉冲信号,经过调解、转换和放大后驱动机床的各个运动部件来完成相应的动作。

伺服系统包括主轴伺服系统和进给伺服系统,主轴伺服系统实现零件加工的切削运动,控制机床主轴的转速;进给伺服系统实现零件加工所需的成型运动,控制机床移动部件的位置和速度。

(四) 测量反馈装置

闭环和半闭环的数控机床有测量反馈装置,其作用是检测机床各移动部件的位置和速度,并将信号反馈回 CNC 装置,通过对反馈回来的实际值和程序设定值进行比较,发现误差并进行纠正,从而提高机床的加工精度。

(五) 辅助控制装置

辅助控制装置是数控机床在实现整机的自动化控制中,为了提高生产效率和加工精度而配备的。其作用是接受 CNC 装置输出的主轴变速、换向和启停信号,选择和交换刀具的刀具指令信号,冷却、润滑的启停,工件和机床部件松开、夹紧、分度台转位等指令信号,驱动相应电器带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。

目前,多采用可编程控制器(Programmable Logic Control, PLC)作为数控机床的辅助控制装置。PLC 是一种强化了逻辑运算功能的数字运算系统,具有响应快、性能可靠、易于使用等特点,广泛应用于控制动作复杂或逻辑多变的场合。

(六) 机床本体

机床本体由主运动机构、进给运动机构和辅助运动机构组成,其主体结构与普通机床大体一致。与普通机床相比,数控机床的组成有如下几个特点:

- (1) 采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置,机械传动结构得到简化,传动链较短。
- (2) 机械结构具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼刚度、耐磨性及抗热变形性能。
- (3) 较多地采用了高效传动件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等,传动精度高。

二、数控机床的工作原理

在数控机床上加工零件,首先要将被加工零件图样上的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序,然后将加工程序输入数控装置,经过控制软件和逻辑电路进行处理与计算后转变成脉冲信号,并传送给伺服系统和辅助控制装置,从而驱动机床各运动部件完成零件的加工。

任务三 数控机床的分类

数控机床种类繁多,数控控制流程如图 1-8 所示。

一、按照运动控制的特点分类

(一) 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是:控制刀具或工作台实现从一点到另一点的精确、快速定