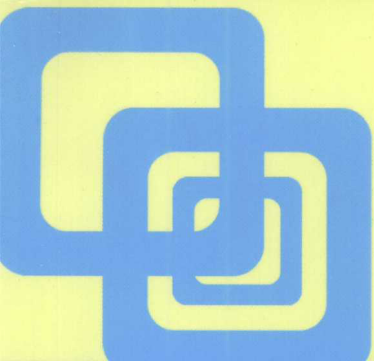


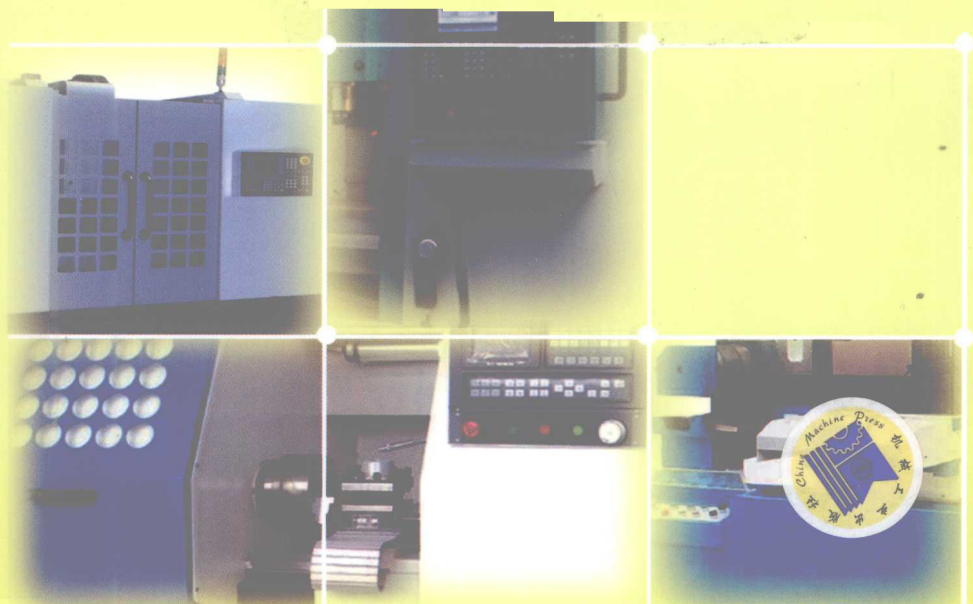


▶▶▶ 数控技术快速入门与提高

数控机床编程

❖ 侯春霞 编著

入门



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控技术快速入门与提高

数控机床编程入门

侯春霞 编著



机械工业出版社

全书共分6章。第1章介绍了数控机床的基本知识、数控机床的轨迹控制、数控机床的编程方法和编程步骤以及数控机床的坐标系；第2章介绍了数控车削加工基础知识、FANUC 0i—TC 基本编程指令和固定循环指令、螺纹的数控车削编程、FANUC 0i—TC 复合循环指令以及子程序在数控车削中的应用；第3章介绍了数控铣削加工基础知识、FANUC 0i—MC 基本编程指令、FANUC 0i—MC 刀具补偿功能、子程序在数控铣削加工中的应用、FANUC 0i—MC 简化编程指令和固定循环指令；第4章介绍了用户宏程序的编程方法；第5章介绍了电火花加工和数控电火花线切割加工的基本知识、数控电火花线切割加工 3B 代码编程方法和 ISO 代码编程方法；第6章介绍了 Mastercam X2 软件的基本原理和工作流程，尤其对该编程系统的 CAD 和 CAM 两个模块在数控车削、数控铣削和数控电火花线切割加工中的应用作了较为全面、直观而简洁的介绍。

本书可供高等职业院校数控技术教育与培训机构的学生和从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程入门/侯春霞编著. —北京: 机械工业出版社, 2010.5
(数控技术快速入门与提高)

ISBN 978 - 7 - 111 - 30010 - 6

I. ①数… II. ①侯… III. ①数控机床 - 程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 038621 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 周国萍 责任编辑: 刘春鑫

版式设计: 张世琴 责任校对: 李锦莉

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 6 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm × 239mm · 14.75 印张 · 285 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 30010 - 6

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者服务部: (010)68993821

封面防伪标均为盗版

丛书序言

数控机床在现代制造业中正发挥着举足轻重的作用，它的出现和广泛应用，使机械制造、航空航天、汽车、船舶以及其他高新技术领域的生产方式、产品结构和产业结构发生了深刻的变化，并带来了巨大的经济效益，数控机床的拥有量和应用能力的高低已逐渐成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。数控机床加工技术涵盖了机械技术、电子技术、计算机技术、液压气动技术等诸多领域，具有较强的实践性。在我国，数控设备的使用量正在迅速增长，各高校和高等职业院校数控专业课程的设立也越来越多，为适应培养数控人才及发展职业技术教育的需要，我们编写了这套丛书。

本丛书以工程应用为目的，以数控技术的入门与提高为切入点，注重技术的针对性和实用性，强化实践技能，旨在提高相关专业学习者的竞争能力和对多变市场的适应能力。丛书的主题为“数控技术快速入门与提高”，分为四册。第一分册：《数控机床编程入门》；第二分册：《数控机床加工工艺入门与提高》；第三分册：《数控机床编程与加工实例》；第四分册：《数控机床操作、维修入门与提高》。丛书以企业中使用较广泛的 FANUC 和 SIEMENS 系统为主线，将目前数控加工领域三种运用较广的加工形式（数控车、数控铣、数控电火花线切割）作为平台，围绕数控机床的加工工艺、编程、操作和维修等核心内容，遵循学习者的认知规律，全面系统地介绍了数控技术的基础知识、数控加工工艺分析与编程方法、数控机床的典型加工实例以及操作与维修数控机床的方法。

本丛书可作为高等工科院校机械制造、机电一体化、自动控制及其他相关专业学生进行数控技术实习的参考书，或高等职业院校数控技术专业以及相关培训机构的培训教材，同时可作为从事数控加工的工程技术人员的参考资料。

前言

先进制造技术是制造业实现自动化、柔性和集成化的基础。随着微电子技术、计算机技术和自动化技术的发展,作为先进制造技术核心的数控加工技术也日新月异。由于数控机床所涉及的技术面较广,“数控机床使用难和维修难”一直被认为是妨碍数控机床普及和数控机床使用效率提高的主要因素。

本书以全国制造业信息化为大背景,以当今典型的数控系统和 CAD/CAM 辅助编程软件为对象,将数控编程的入门与提高作为切入点,突出系统性、通用性、实用性和先进性,在较全面地介绍数控机床基本知识的基础上,对数控车削加工、数控铣削加工和数控电火花线切割加工的直接编程和 CAD/CAM 辅助编程方法作了较为详细的论述。

全书共分6章。第1章为数控机床概述,介绍了数控机床的基本知识、数控机床的轨迹控制原理、数控机床的编程方法和编程步骤以及数控机床的坐标系;第2章为数控车削加工编程,介绍了数控车削加工基础知识、FANUC Oi—TC 基本编程指令和固定循环指令、螺纹的数控车削编程、FANUC Oi—TC 复合循环指令以及子程序在数控车削编程中的应用;第3章为数控铣削加工编程,介绍了数控铣削加工基础知识、FANUC Oi—MC 基本编程指令、FANUC Oi—MC 刀具补偿功能、子程序在数控铣削编程中的应用、FANUC Oi—MC 简化编程指令和固定循环指令;第4章介绍了用户宏程序的编程方法;第5章为数控电火花线切割加工编程,介绍了电火花加工和数控电火花线切割加工的基本知识、数控电火花线切割加工 3B 代码编程方法和 ISO 代码编程方法;第6章为数控机床 CAD/CAM 辅助编程简介,介绍了 Mastercam X2 软件的基本原理和工作流程,尤其对该编程系统的 CAD 和 CAM 两个模块在数控车削、数控铣削和数控电火花线切割加工中的应用作了较为全面、直观而简洁的介绍。

本书面向高等职业院校数控技术教育与培训机构的学生和从事数控加工的工程技术人员,采用由浅入深、循序渐进的叙述方式,注重技术的针对性和实用性,强化实践技能,通过大量实用的编程指导和有代表性的编程实例,为读者迅速掌握数控机床加工的编程方法提供有益、有效的参考,并为提高相关专业学习者的竞争能力和对多变市场的适应能力尽一点微薄之力。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

编者

目 录

丛书序言

前言

第1章 数控机床概述 1

1.1 数控机床的基本知识 1

1.1.1 数控技术和数控加工 技术 1

1.1.2 数控机床的概念和工作 原理 1

1.1.3 数控机床的组成 2

1.1.4 数控机床的分类 5

1.1.5 数控机床的加工特点 7

1.1.6 数控机床的发展趋势 8

1.2 数控机床的轨迹控制 9

1.2.1 轨迹控制的原理简介 9

1.2.2 逐点比较法 10

1.2.3 逐点比较法直线插补 原理 10

1.3 数控机床的编程方法和 编程步骤 12

1.3.1 数控程序的编制方法 12

1.3.2 数控机床的编程步骤 13

1.4 数控机床的坐标系 14

1.4.1 标准坐标系 14

1.4.2 坐标轴及其方向 15

1.4.3 机床原点、机床参考点 与机床坐标系 16

1.4.4 工件原点与工件坐 标系 16

第2章 数控车削加工编程 18

2.1 数控车削加工概述 18

2.1.1 数控车削加工的主要 对象 18

2.1.2 数控车削加工工艺的 制订 19

2.2 编程基础 29

2.2.1 绝对坐标与增量坐标 29

2.2.2 直径编程和半径编程 30

2.2.3 程序的构成 31

2.2.4 编程指令概述 32

2.3 FANUC 0i—TC 基本 编程指令 36

2.3.1 快速定位指令(G00) 36

2.3.2 直线插补指令(G01) 37

2.3.3 圆弧插补指令(G02、 G03) 37

2.3.4 基本指令编程综合 实例 38

2.4 FANUC 0i—TC 固定 循环指令 41

2.4.1 内/外圆柱面固定循环 指令(G90) 41

2.4.2 内/外圆锥面固定循环 指令(G90) 42

2.4.3 端面切削固定循环 指令(G94) 43

2.4.4 带锥度的端面切削固定 循环指令(G94) 44

2.4.5 固定循环指令编程综合 实例 45

2.5 螺纹的数控车削 47

2.5.1 车削螺纹的基本工艺

知识	47	3.2.3 编程指令概述	83
2.5.2 FANUC 0i—TC 车削螺纹 的编程指令	49	3.3 FANUC 0i—MC 基本 编程指令	86
2.5.3 螺纹车削编程综合 实例	54	3.3.1 工件坐标系设定指令 (G92)	86
2.6 FANUC 0i—TC 复合 循环指令	57	3.3.2 工件坐标系选择指令 (G54 ~ G59)	86
2.6.1 单调轮廓粗车复合循环 指令(G71)	57	3.3.3 自动返回参考点指令 (G28)	87
2.6.2 端面粗车复合循环指令 (G72)	58	3.3.4 机床坐标系选择指令 (G53)	88
2.6.3 仿形精车复合循环指令 (G73)	59	3.3.5 局部坐标系设定指令 (G52)	88
2.6.4 精车复合循环指令 (G70)	59	3.3.6 绝对值指令(G90)和 增量值指令(G91)	88
2.6.5 G71、G73、G70 综合 应用实例	60	3.3.7 坐标平面选择指令 (G17、G18、G19)	89
2.6.6 轴向钻孔、切槽复合 循环指令(G74)	64	3.3.8 极坐标指令(G15、 G16)	90
2.6.7 径向切槽复合循环指令 (G75)	65	3.3.9 英制/米制转换(G20、 G21)	91
2.7 子程序在数控车削中的 应用	66	3.3.10 进给速度单位的设定 (G94、G95)	91
2.7.1 子程序的编程方法	66	3.3.11 快速定位指令(G00)	92
2.7.2 子程序的编程实例	67	3.3.12 直线插补指令(G01)	92
第3章 数控铣削加工编程	69	3.3.13 圆弧插补指令(G02、 G03)	93
3.1 数控铣削加工概述	69	3.4 FANUC 0i—MC 刀具 补偿功能	95
3.1.1 数控铣削加工的适应 范围	69	3.4.1 刀具半径补偿(G40、 G41、G42)	95
3.1.2 数控铣削加工的特点	69	3.4.2 刀具长度补偿(G43、 G44、G49)	98
3.1.3 数控铣床的功能	70	3.5 子程序在数控铣削加工 中的应用	98
3.1.4 数控铣削加工的工艺 分析	70	3.5.1 子程序的构成	99
3.2 编程基础	81		
3.2.1 绝对坐标与增量坐标	81		
3.2.2 程序的构成	82		

3.5.2 子程序的调用	99	4.5.1 数控车削宏程序编程 实例	132
3.5.3 子程序的嵌套	99	4.5.2 数控铣削宏程序编程 实例	133
3.5.4 子程序的应用实例	99	第5章 数控电火花线切割 加工编程	135
3.6 FANUC Oi—MC 简化 编程指令	101	5.1 电火花加工的基础 知识	135
3.6.1 倒角和倒圆角指令 (C、R)	101	5.1.1 电火花加工的基本 原理	135
3.6.2 比例缩放功能(G50、 G51)	102	5.1.2 电火花加工的特点和 适用范围	136
3.6.3 镜像加工(G50.1、 G51.1)	104	5.1.3 电火花加工工艺方法的 分类	137
3.6.4 坐标系旋转(G68、 G69)	106	5.2 数控电火花线切割加工 概述	139
3.7 FANUC Oi—MC 固定 循环指令	109	5.2.1 数控电火花线切割的 加工原理	139
3.7.1 固定循环概述	109	5.2.2 数控电火花线切割加工 的特点	139
3.7.2 钻孔加工循环指令(G73、 G83、G81、G82)	110	5.2.3 数控电火花线切割加工 的应用	140
3.7.3 攻螺纹循环指令(G74、 G84)	115	5.2.4 数控电火花线切割机床 的分类	141
3.7.4 镗孔循环指令(G85、G89、 G76)	118	5.2.5 数控电火花线切割机床 的基本组成结构	142
3.7.5 固定循环指令编程 综合实例	120	5.2.6 数控电火花线切割加工 的步骤及要求	143
第4章 用户宏程序	123	5.3 线切割3B代码编程	150
4.1 用户宏程序功能概述	123	5.3.1 3B代码程序格式	150
4.2 变量及变量的算术和 逻辑运算	123	5.3.2 直线的编程	150
4.2.1 变量	123	5.3.3 圆弧的编程	152
4.2.2 算术和逻辑运算	124	5.3.4 线切割加工中的补 偿量	154
4.3 转移和循环	127	5.3.5 3B代码编程综合 实例	154
4.4 宏程序的非模态调用	131		
4.4.1 非模态调用指令的编程 格式	131		
4.4.2 自变量指定	131		
4.5 宏程序的编程实例	132		

5.4 线切割 ISO 代码编程	158	6.3.3 CNC 程序生成及传输	170
5.4.1 常用准备功能指令	158	6.4 Mastercam X2 的 CAD	
5.4.2 ISO 代码编程实例	160	功能	171
第 6 章 数控机床 CAD/CAM		6.4.1 创建二维图形	171
辅助编程	163	6.4.2 曲面设计	182
6.1 CAD/CAM 辅助编程		6.4.3 实体设计	188
概述	163	6.5 Mastercam X2 的 CAM	
6.1.1 CAD/CAM 辅助编程的		功能	193
基本原理	163	6.5.1 Mastercam X2 车削加工	
6.1.2 部分常用 CAD/CAM		功能概述	193
软件	163	6.5.2 Mastercam X2 车削加工	
6.2 Mastercam X2 系统		实例	201
综述	166	6.5.3 Mastercam X2 铣削加工	
6.2.1 Mastercam X2 的功能		功能概述	207
简介	166	6.5.4 Mastercam X2 铣削加工	
6.2.2 Mastercam X2 的工作界面		实例	213
与菜单功能介绍	166	6.5.5 Mastercam X2 电火花	
6.3 Mastercam X2 系统加工		线切割加工功能概述	218
的基本流程	169	6.5.6 Mastercam X2 电火花	
6.3.1 零件几何模型建立	169	线切割加工实例	224
6.3.2 刀具轨迹生成	169	参考文献	227

第 1 章 数控机床概述

1.1 数控机床的基本知识

1.1.1 数控技术和数控加工技术

数字控制(Numerical Control, NC)技术简称数控技术,是用数字化信号实现控制的一种方法。数字控制是相对于模拟控制而言的,与模拟控制相比,数字控制有许多优点,如可用不同的字长表示不同精度的信息,可对数字化信息进行逻辑运算、数学运算等复杂的信息处理工作,以及可用软件改变信息处理的方式或过程,而不用改变电路或机械结构,增加了机械设备的“柔性”。数字控制技术被广泛地应用于机械运动的轨迹控制和机械系统的开关量控制,如机床的控制、机器人的控制等。

数控加工泛指在数控机床上进行零件加工的工艺过程。数控加工技术是指高效、优质地实现产品零件,特别是复杂形状零件加工的有关理论和实践方法,它是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础。数控加工技术一般涉及数控加工工艺和数控编程技术两大方面。

1.1.2 数控机床的概念和工作原理

数控机床是装备了程序控制系统的机床。程序控制系统又称为数控系统,该系统能逻辑地处理使用符号编码指令编制的程序。最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的专用硬件数控系统(Numerical Control System)。随着计算机技术的发展,计算机数控系统(Computer Numerical Control, CNC)逐渐取代了硬件数控系统,可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息,使数控系统的性能得到了大幅提高。

数控机床的工作原理,就是将零件的几何尺寸、工艺参数和辅助过程编写成程序,然后输入计算机,经过计算机的处理、运算,将各坐标轴的分量输入到驱动电路,经过转换和放大,驱动伺服电动机,带动各轴运动,并对运动过程进行反馈控制,使各坐标轴方向的运动协调进行,从而完成零件的加工,如图 1-1 所示。

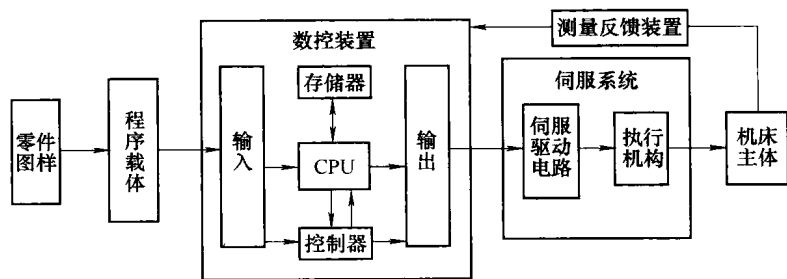


图 1-1 数控机床的工作原理

对数控机床的基本控制要求包括运动控制和逻辑控制两个方面。其中，运动控制主要包括位移、速度、加速度及其组合控制。例如：对各坐标轴的插补运动控制、对主轴的转速控制。逻辑控制分为简单逻辑输入、输出控制和组合逻辑控制。例如：对冷却泵电动机的启动、停止控制，对主轴电动机的正转、反转和停止控制，以及对机床参考点限位开关信号的检测等。各种机床的功能要求不同，联动轴数、运动控制和逻辑控制的复杂程度也会有所不同。

1.1.3 数控机床的组成

数控机床是典型的数控设备，其基本组成包括程序载体、数控装置、伺服系统、测量反馈装置、机床本体、辅助装置等。

1. 程序载体

程序载体又称为控制介质，用于记录数控机床加工零件所必需的各种信息，如穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘等。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心，现代数控装置均采用 CNC 装置，这种 CNC 装置一般使用多个微处理器，以程序化的软件形式实现数控功能。数控装置由硬件和软件组成。

硬件（除计算机外）的外围设备主要包括光电阅读机、CRT、键盘、操作面板、输入/输出接口等。光电阅读机用于输入系统程序和零件加工程序；CRT 用于显示和监控；键盘用于输入操作命令及输入、编辑和修改零件加工程序；操作面板可供操作人员改变操作方式；伺服驱动接口主要进行数/模转化，以及对反馈元件的输出进行数字化处理并作记录，以供计算机采样；输入/输出接口用于数控装置与外部交换信息。

软件由管理软件和控制软件组成。管理软件主要包括输入/输出、显示、诊断等程序；控制软件主要包括译码、刀具补偿、速度控制、插补运算、位置控制等程序。

数控装置对机床的控制主要包括以下几个方面:

- 1) 机床主运动, 包括主轴的起动、停止, 主轴的转动方向和速度, 以及多坐标联动等。
- 2) 机床的进给运动, 包括运动形式(点位、直线、圆弧等)、运动方向和运动速度等。
- 3) 刀具的选择和刀具补偿(偏置补偿、半径补偿)。
- 4) 其他辅助动作, 包括工作台的锁紧和松开、工作台的旋转和分度、冷却泵的开/停等辅助动作。
- 5) 显示功能, 用 CRT 可以显示字符、轨迹、平面图形及动态三维图形等。
- 6) 故障自诊断, 数控装置中配置各种诊断软件, 可以及时发现故障并查明其类型和部位, 发出报警。
- 7) 通信和联网功能。

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行部件, 它接受来自数控装置的指令信息, 经转换、放大后驱动伺服电动机, 带动机床移动部件运动。伺服系统主要包括主轴驱动单元、进给驱动单元、伺服电动机。常用的伺服电动机有步进电动机、交流伺服电动机和直流伺服电动机。由于交流伺服电动机具有精度高、动态响应好、输出功率大、调速范围宽、价格低等优点, 因此得到了广泛应用。

4. 测量反馈装置

测量反馈装置包括速度、位移检测元件及相应电路, 它通常被安装在丝杠或伺服电动机上, 或者直接安装在机床移动部件上, 能将测量信息及时反馈回数控装置, 构成半闭环或闭环控制系统。常用测量元件有旋转变压器、感应同步器、脉冲编码器、光栅、磁栅(磁尺)等。

5. 机床主体

机床主体主要包括机床的主传动系统、进给传动系统和基础部件(底座、床身、立柱、工作台、导轨等)。

普通机床的主运动传动链与进给运动传动链是由许多齿轮副组成的, 传动链的结构复杂; 数控机床的主运动和各个坐标轴的进给运动由单独的电动机驱动, 传动链短, 结构简单, 由数控系统进行主运动与进给运动之间的协调。

(1) 数控机床的主传动系统 为了满足数控机床加工精度高、加工柔性好、自动化程度高等要求, 数控机床主传动系统具有如下特点:

1) 精度高。由于数控机床主轴部件本身的精度高、传动链短, 故数控机床的主传动系统的精度高。

2) 转速高、功率大。它能使数控机床进行大功率切削和高速切削, 从而提高生产率。

3) 调速范围宽。数控机床的主传动系统有较宽的调速范围, 以保证加工时能选用合理的切削用量, 获得最佳的生产率、加工精度和表面质量。

4) 主轴组件的耐磨性高。有机械摩擦的部位如轴承、锥孔等都有较高的硬度, 轴承处润滑良好, 因此耐磨性高, 精度保持性好。

(2) 数控机床的进给传动系统 数控机床进给传动装置的精度、灵敏度和稳定性, 将直接影响工件的加工精度。为此, 数控机床的进给传动系统必须满足下列要求:

1) 传动精度高。从机械结构方面考虑, 进给传动系统的传动精度主要取决于传动间隙和传动件的精度。传动间隙主要来自于传动齿轮副、丝杠螺母副之间, 因此在进给传动系统中广泛采用施加预紧力或其他消除间隙的措施。此外, 缩短传动链及采用高精度的传动装置, 也可提高传动精度。

2) 摩擦阻力小。为了提高数控机床进给系统的快速响应性能, 必须减小运动部件之间的摩擦阻力和动、静摩擦力之差。欲满足上述要求, 数控机床进给系统普遍采用滚珠丝杠螺母副、静压丝杠螺母副、滚动导轨、静压导轨和塑料导轨等。

3) 运动部件转动惯量小。在满足运动部件强度和刚度的前提下, 应尽可能减小运动部件的质量和旋转部件的直径, 以降低其转动惯量, 从而改善伺服机构的起动和制动特性。

在数控机床上, 将伺服电动机的回转运动转变为机床移动部件的直线运动一般采用滚珠丝杠螺母副。滚珠丝杠螺母副的特点是: 传动效率高, 一般为 $\eta = 0.92 \sim 0.96$; 传动灵敏, 不易产生爬行; 使用寿命长; 具有可逆性, 不仅可以将旋转运动转变为直线运动, 而且可以将直线运动转变为旋转运动; 施加预紧力后, 可消除轴向间隙, 反向时无空行程。

滚珠丝杠螺母副的结构有内循环与外循环两种方式, 如图 1-2 所示。

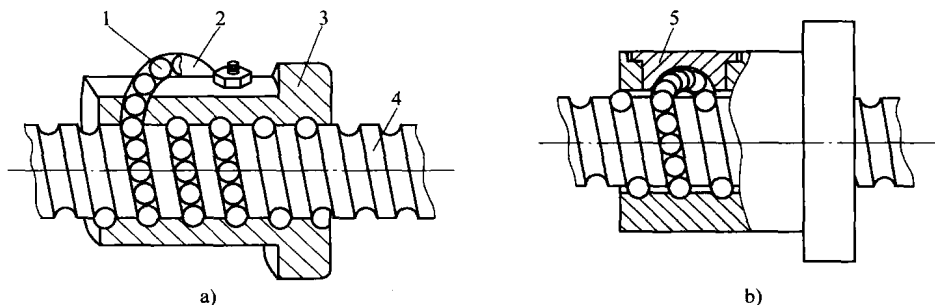


图 1-2 滚珠丝杠螺母副的结构

a) 外循环滚珠丝杠螺母副 b) 内循环滚珠丝杠螺母副

1—滚珠 2—回珠管 3—螺母 4—丝杠 5—反向器

6. 辅助装置

为了充分发挥设备的性能,数控机床还配置有许多辅助装置,如冷却、润滑、防护、自动排屑等装置,对刀仪,刀库和自动换刀机械手等。图1-3为用于数控车床的几种辅助装置。

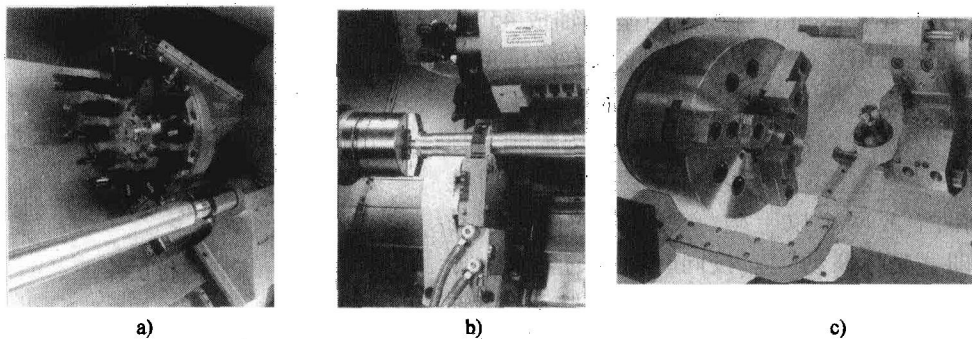


图1-3 数控车床的几种辅助装置

a) 电动(或液压)回转刀架 b) 跟刀架 c) 对刀仪

1.1.4 数控机床的分类

1. 按加工方式和工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床 金属切削类数控机床发展最早,目前种类繁多,功能差异也较大,包括数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床和加工中心等。

(2) 金属成形类数控机床 这类数控机床起步虽然较晚,但目前发展很快,包括数控折弯机、数控弯管机、数控组合冲床等。

(3) 数控特种加工机床 数控特种加工机床主要包括数控电火花加工机床(如电火花穿孔加工机床、电火花成形加工机床、电火花磨削机床、电火花线切割机床等)、数控火焰切割机、数控激光切割机床等。

2. 按运动轨迹控制方式分类

(1) 点位控制数控机床 点位控制是指数控系统只控制刀具或工作台从一点到另一点的准确定位,对运动轨迹不做控制,如图1.4所示。为了提高生产效率的同时保证定位精度,刀具或工作台通常先以机床参数设定的速度快速移动,在接近终点前作分级或连续降速,以较低速度趋近目标点,从而减少因运动部件的惯性引起的定位误差。采用这种控制方式的机床有数控钻床、数控冲床、

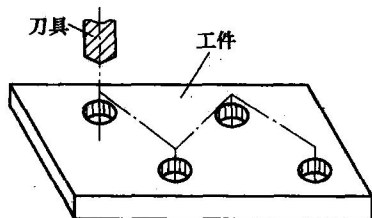


图1.4 点位控制方式

数控坐标镗床等。

(2) 直线控制数控机床 直线控制是指数控系统不仅控制刀具或工作台从一点到另一点的定位精度,还控制运动轨迹和速度,如图 1-5 所示。其运动轨迹是平行于机床各坐标轴的直线或与坐标轴成 45° 的斜线。采用这种控制方式的机床有经济型数控车床、数控镗铣床、数控磨床等。

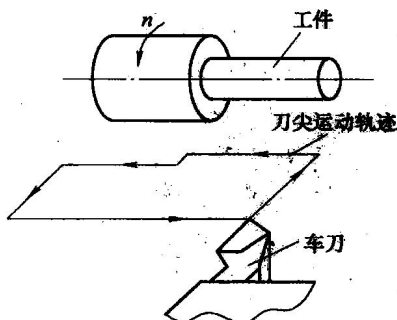


图 1-5 直线控制方式

(3) 轮廓控制数控机床 轮廓控制又称为连续轨迹控制,是指数控系统能够同时控制两个或两个以上坐标轴方向的协调运动(即“坐标联动”)。按同时控制的轴数可分为:2 轴联动、2.5 轴联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等。例如:采用 2 轴轮廓控制方式进行外轮廓铣削加工,如图 1-6 所示;采用 3 轴轮廓控制方式铣削曲面,如图 1-7 所示。

这类机床能加工圆弧面、锥面和其他复杂曲面,如数控车床、数控铣床、数控凸轮磨床等。

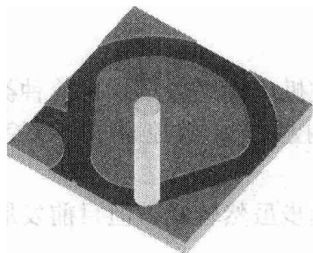


图 1-6 2 轴轮廓控制方式

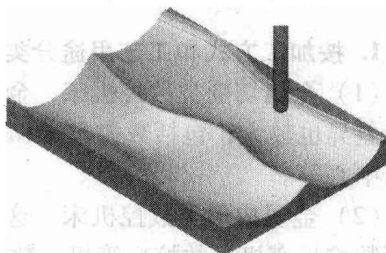


图 1-7 3 轴轮廓控制方式

3. 按伺服系统控制方式分类

(1) 开环控制系统数控机床 开环控制系统不具备检测反馈装置,一般用步进电动机做伺服驱动元件。当数控系统向伺服系统输出一个脉冲,经环形分配和功率放大后驱动步进电动机带动丝杠转动,使机床运动部件移动一个单位长度。该系统结构简单、工作稳定、造价低廉,但控制精度较低。开环控制系统数控机床的工作原理如图 1-8 所示。



图 1-8 开环控制系统数控机床的工作原理

(2) 闭环控制系统数控机床 闭环控制系统采用安装在机床移动部件上的位置测量元件, 直接测量移动部件的位移量。从理论上说, 采用闭环控制系统可以消除由于机械传动部件的精度误差给加工精度带来的影响, 因而能得到很高的精度。但是, 由于许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的, 容易造成系统的不稳定, 增加了闭环系统设计和调整的难度, 限制了这种系统的广泛应用。闭环控制系统数控机床的工作原理如图 1-9 所示。

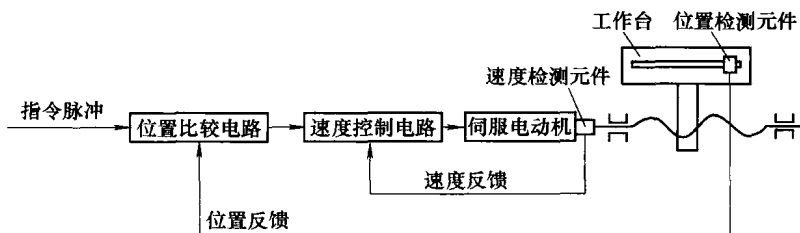


图 1-9 闭环控制系统数控机床的工作原理

(3) 半闭环控制系统数控机床 半闭环控制系统是通过安装在丝杠或伺服电动机上的角位移测量元件（旋转变压器、光电编码器等），测量丝杠或电动机轴的转角，从而间接测量机床移动部件的位移量。虽然半闭环控制系统的精度在理论上低于闭环控制系统，但由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单、价格低，并且半闭环系统调试方便、稳定性好，因此，配备有传动精度较高的齿轮、丝杠的半闭环系统得到了广泛应用。半闭环控制系统数控机床的工作原理如图 1-10 所示。

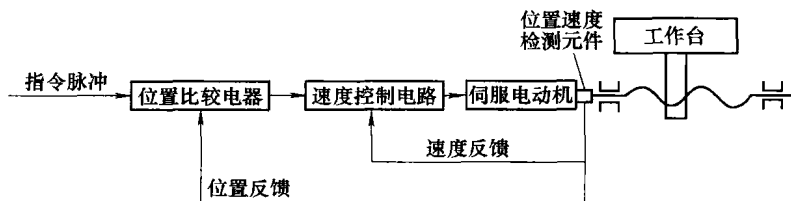


图 1-10 半闭环控制系统数控机床的工作原理

1.1.5 数控机床的加工特点

数控机床是实现机械加工柔性自动化的重要设备, 与通用机床和专用机床相比, 数控机床具有以下主要特点:

1) 生产效率高。首先, 由于数控机床结构刚性好, 抗振性强, 主轴大多采用无级变速, 在零件的粗加工阶段, 能使用较大的切削用量进行切削, 缩短了零件的切削时间; 其次, 数控机床不仅具有空行程快速定位功能, 还拥有自动回转

刀架（用于数控车床）、刀库和自动换刀装置（用于加工中心）等，这些均能显著缩短加工零件所需要的辅助时间。

2) 对新产品的适应性强。在数控机床上加工零件时，通用夹具一般就能满足要求。因此，当加工新零件时，只需要重新编写程序，而不需要对机床做较大的调整，缩短了新产品的试制和生产周期。

3) 零件加工精度高、质量稳定。数控机床的结构设计要求较高，精度高、刚性好、抗干扰能力强；数控机床的伺服系统采用闭环或闭环控制，能精确控制机床移动部件的位移；此外，功能较完善的数控系统一般都具有刀具补偿功能，便于操作者及时对加工误差作出调整。

4) 可加工复杂型面。数控机床具有多轴联动功能，可加工普通机床难以加工的零件，如母线为曲线的回转体零件、凸轮零件和具有空间曲面的零件。

5) 降低劳动强度，改善劳动条件。数控机床按照程序完成自动加工，所需要的人工操作较少，加工结束后会自动停止，操作者的劳动强度降低，并在一定程度上缓解了工作时的紧张状态；数控机床具有较好的安全防护设施，并且具有自动排屑、冷却和润滑装置，使操作者的劳动条件得到改善。

1.1.6 数控机床的发展趋势

随着微电子、计算机、信息处理、自动检测和自动控制等技术的高速发展，世界先进制造技术不断兴起，数控机床呈现以下发展趋势：

1. 高精度、高效率

精密和超精密加工是各工业强国的发展方向，加工精度呈现出从微米级到亚微米级、纳米级的趋势。机床向高速化方向发展，可以充分发挥现代刀具材料的性能，便于提高零件的加工精度和表面质量，大幅缩短切削工时，降低生产成本，缩短产品的生产周期，提高其市场竞争力。20 世纪 90 年代以来，欧盟、美国、日本等纷纷开发和应用高速数控机床，与之相配套的高速主轴单元和进给运动部件、高性能的数控系统和伺服系统，以及先进的数控工具系统、超硬耐磨刀具材料等都出现了新的突破。

2. 高可靠性

高可靠性是指数控系统的可靠性比设备的可靠性高一个数量级以上，它是保证高精度和高效率的前提。由于受到性能价格比的约束，可靠性不是越高越好，应保持适度。

3. 工艺复合化

工艺复合化是指工件一次装夹后，通过自动换刀、旋转工作台、双主轴双刀架等装置，完成多工序、多表面的复合加工。随着用户对产品的个性化要求日益迫切，对生产周期的要求越来越短，各种复合化程度更高的机床成为最新的发展