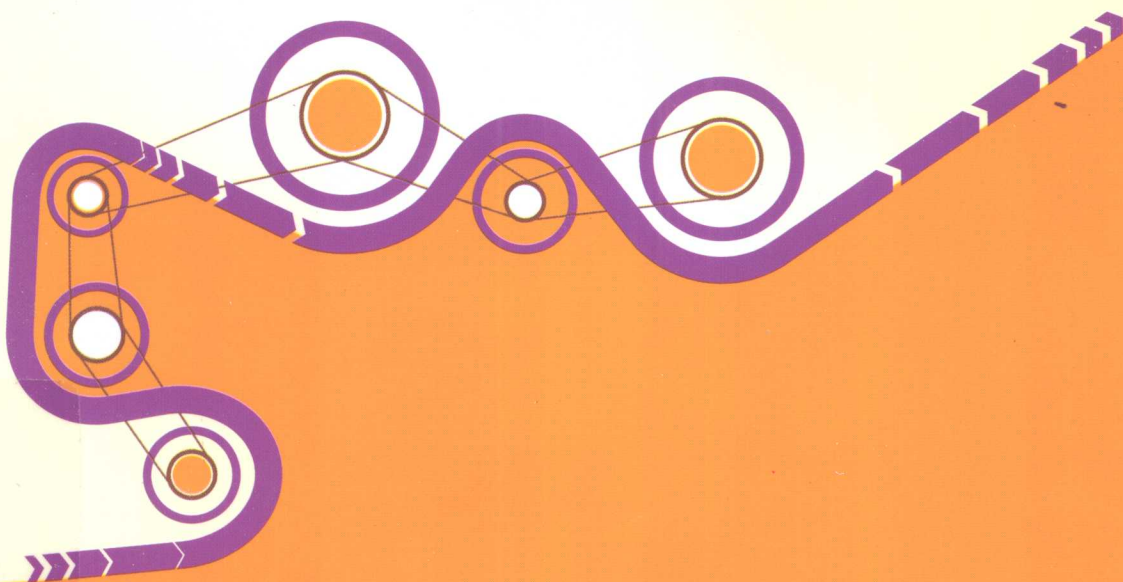


高职高专机电类工学结合模式教材

# 数控编程与操作

许春香 主 编  
黄桂琴 王亚辉 副主编

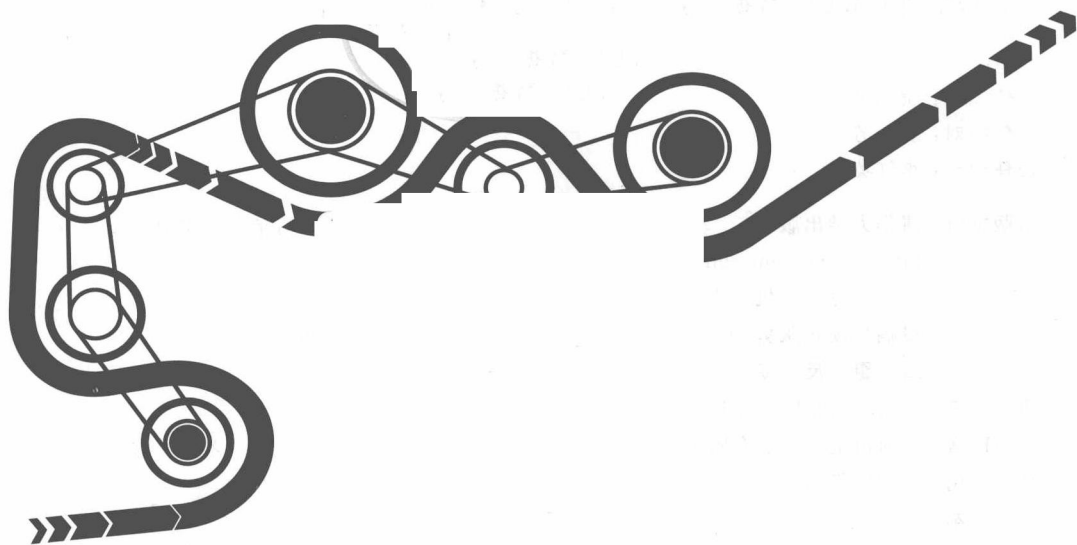


清华大学出版社

高职高专机电类工学结合模式教材

# 数控编程与操作

许春香 主 编  
黄桂琴 王亚辉 副主编



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书从数控加工的实用角度出发,在介绍数控加工工艺理论和数控加工程序编制相关知识的基础上,详细介绍数控车床、数控铣床和数控电火花机床常见数控系统的加工程序指令功能与加工操作功能,并精选大量的典型实例,阐述零件从图纸到合格产品的整个数控加工过程。

本书可作为高职高专院校数控、机电一体化以及相关专业的教材,也可作为数控机床编程和操作技术人员的培训教材,还可作为相关教师和工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作/许春香主编. —北京:清华大学出版社,2010.1

高职高专机电类工学结合模式教材

ISBN 978-7-302-21241-6

I. 数… II. 许… III. ①数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材 ②数控机床—操作—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 179965 号

责任编辑:贺志洪

责任校对:袁 芳

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:19.5

字 数:442 千字

版 次:2010 年 1 月第 1 版

印 次:2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:32.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:031157-01

随着机械制造设备的数控化,企业急需掌握数控加工技术的中、高级技术人员。目前,由于中、高级技术人员的短缺,已严重影响了数控设备的使用。

本书以数控加工的应用为目的,基于目前常用的数控系统,介绍数控加工程序编制、数控机床操作、数控加工工艺参数的选择、典型数控加工实例等。本书以理解、应用数控加工工艺理论和掌握数控加工技能为目标,系统地介绍数控加工常用刀具、数控加工中工件与刀具的定位找正等工艺知识,重点介绍数控程序的编制和数控机床操作。本书以数控加工项目为导向,对传统的教学内容进行重组和调整。书中精选大量的典型实例,通过对这些实例的分析,使学生理解数控加工工艺的基本理论和关键问题,在加工实践中逐步掌握数控机床操作和数控编程技能。本书既满足理论教学要求又满足操作技能训练要求,具有广泛的实用性及适用性。

全书内容共分11章。其中,第1、11章由江苏靖江职教中心学校孙月红编写;第2、5章由中州大学许春香编写;第3、6章由河南省濮阳职业技术学院王亚辉编写;第4章由中州大学鄢向伟编写;第7章由洛阳理工学院机械工程系黄桂琴编写;第8章由平顶山工业职业技术学院辛辉编写;第9章由平顶山工业职业技术学院魏勇编写;第10章由平顶山工业职业技术学院魏勇、辛辉编写。本书由许春香任主编;王亚辉、黄桂琴任副主编。在本书的编写过程中,得到了编者所在单位同仁的支持与关心,在此向他们致以衷心的感谢!

在本书的编写过程中,编者参考了相关专业的一些书籍和文献资料,在此向所有原作者表示感谢!

限于我们的水平和经验,加之机电一体化的迅速发展,书中难免存在疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年10月



|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 数控技术概论 .....         | 1  |
| 1.1 数控机床概述 .....           | 1  |
| 1.1.1 数控机床的概念 .....        | 1  |
| 1.1.2 数控机床的原理及组成 .....     | 2  |
| 1.1.3 数控机床的分类 .....        | 4  |
| 1.1.4 数控机床的发展及常用数控系统 ..... | 5  |
| 1.2 数控机床的特点及应用 .....       | 7  |
| 1.2.1 数控机床的特点 .....        | 7  |
| 1.2.2 数控机床的应用 .....        | 8  |
| 思考与训练 .....                | 9  |
| 第 2 章 数控编程基础 .....         | 10 |
| 2.1 数控编程方法与步骤 .....        | 10 |
| 2.1.1 数控编程的方法 .....        | 10 |
| 2.1.2 程序编制步骤 .....         | 11 |
| 2.2 数控机床的坐标系 .....         | 13 |
| 2.2.1 数控机床坐标系的确定 .....     | 13 |
| 2.2.2 机床原点和机床参考点 .....     | 14 |
| 2.2.3 工件坐标系和工件原点 .....     | 15 |
| 2.2.4 工件坐标系和机床坐标系的关系 ..... | 15 |
| 2.3 数控编程中的数学处理 .....       | 16 |
| 2.3.1 数值计算的内容 .....        | 16 |
| 2.3.2 基点坐标的计算 .....        | 17 |
| 2.3.3 节点坐标的计算 .....        | 17 |
| 2.3.4 列表曲线的数学处理 .....      | 19 |
| 2.4 数控加工程序的结构与格式 .....     | 20 |
| 2.4.1 程序格式 .....           | 20 |
| 2.4.2 程序段格式 .....          | 21 |
| 2.4.3 准备功能与辅助功能 .....      | 22 |
| 2.4.4 主程序与子程序 .....        | 23 |
| 思考与训练 .....                | 24 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第3章 数控加工的工艺设计</b>       | 25  |
| 3.1 数控加工工艺内容及分析            | 25  |
| 3.1.1 数控加工工艺内容的选择          | 25  |
| 3.1.2 数控加工工艺性分析            | 26  |
| 3.2 数控加工工艺路线的设计            | 29  |
| 3.2.1 最短的空行程路线             | 29  |
| 3.2.2 最短的切削进给路线            | 30  |
| 3.3 数控加工工序的设计              | 33  |
| 3.3.1 工序和工步的划分             | 33  |
| 3.3.2 加工余量的选择              | 35  |
| 3.4 编制数控加工技术文件             | 36  |
| 思考与训练                      | 39  |
| <b>第4章 数控车床程序编制</b>        | 40  |
| 4.1 数控车床编程概述               | 40  |
| 4.2 数控车削编程的工艺准备            | 42  |
| 4.2.1 典型零件的加工工艺分析          | 42  |
| 4.2.2 数控车床常用刀具的种类、结构       | 45  |
| 4.2.3 车削用量的选择              | 49  |
| 4.3 数控车床的常用编程指令及应用         | 50  |
| 4.3.1 基本编程指令               | 50  |
| 4.3.2 刀具补偿功能指令             | 57  |
| 4.3.3 循环功能指令               | 61  |
| 4.3.4 螺纹加工指令               | 71  |
| 4.3.5 综合加工应用实例             | 76  |
| 4.3.6 宏指令编程                | 82  |
| * 4.4 西门子、FANUC 与华中系统对比分析  | 90  |
| 4.4.1 FANUC 指令系统部分指令功能介绍   | 90  |
| 4.4.2 西门子系统部分指令功能介绍        | 91  |
| 4.4.3 编程实例(西门子、FANUC 分别编程) | 95  |
| 思考与训练                      | 99  |
| <b>第5章 数控车床加工操作</b>        | 102 |
| 5.1 数控车床结构与技术参数            | 102 |
| 5.1.1 数控车床结构与技术参数          | 102 |
| 5.1.2 数控车床控制面板             | 105 |
| 5.2 数控车床操作                 | 108 |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| 5.2.1 启动与回参考点 .....                        | 108        |
| 5.2.2 机床手动操作 .....                         | 110        |
| 5.2.3 机床数据设置 .....                         | 113        |
| 5.2.4 对刀与建立工件坐标系 .....                     | 117        |
| 5.2.5 程序输入运行及管理 .....                      | 119        |
| 5.2.6 简单零件加工举例 .....                       | 127        |
| 5.2.7 综合举例 .....                           | 129        |
| 5.3 数控车床的操作规程 .....                        | 135        |
| 思考与训练 .....                                | 136        |
| <b>第 6 章 数控铣床程序编制 .....</b>                | <b>138</b> |
| 6.1 数控铣床编程概述 .....                         | 138        |
| 6.2 数控铣削编程的工艺准备 .....                      | 140        |
| 6.2.1 典型零件的加工工艺分析 .....                    | 140        |
| 6.2.2 数控铣床常用刀具的种类、结构 .....                 | 143        |
| 6.2.3 铣削用量的选择 .....                        | 146        |
| 6.3 数控铣床的常用编程指令及应用 .....                   | 151        |
| 6.3.1 基本编程指令 .....                         | 151        |
| 6.3.2 刀具补偿功能指令 .....                       | 159        |
| 6.3.3 简化编程指令 .....                         | 161        |
| 6.3.4 固定循环指令 .....                         | 165        |
| 6.3.5 宏指令编程 .....                          | 175        |
| 6.4 西门子、FANUC 与华中系统对比分析 .....              | 177        |
| 6.4.1 FANUC 指令系统部分指令功能介绍 .....             | 177        |
| 6.4.2 西门子系统部分指令功能介绍 .....                  | 179        |
| 6.4.3 编程实例(西门子 SIEMENS、FANUC 系统分别编程) ..... | 182        |
| 思考与训练 .....                                | 186        |
| <b>第 7 章 数控铣床加工操作 .....</b>                | <b>188</b> |
| 7.1 数控铣床结构 .....                           | 188        |
| 7.2 数控铣床操作 .....                           | 190        |
| 7.2.1 对刀与建立工件坐标系 .....                     | 190        |
| 7.2.2 显示 .....                             | 193        |
| 7.2.3 故障对策 .....                           | 199        |
| 7.2.4 简单零件加工举例 .....                       | 200        |
| 7.2.5 综合举例 .....                           | 204        |
| 7.3 数控铣床的操作规程 .....                        | 212        |
| 思考与训练 .....                                | 214        |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第 8 章 加工中心编程</b>        | 216 |
| 8.1 概述                     | 216 |
| 8.1.1 加工中心简介               | 216 |
| 8.1.2 加工中心工艺特点及加工对象        | 217 |
| 8.1.3 加工中心的分类              | 218 |
| 8.2 加工中心的程序编制              | 220 |
| 思考与训练                      | 227 |
| <b>第 9 章 加工中心操作</b>        | 228 |
| 9.1 加工中心常用辅具               | 228 |
| 9.1.1 刀具系统                 | 228 |
| 9.1.2 常用工具                 | 235 |
| 9.2 加工中心操作                 | 237 |
| 9.2.1 加工中心的对刀              | 237 |
| 9.2.2 零件加工举例               | 238 |
| 9.3 数控机床的基本维护和保养           | 241 |
| 思考与训练                      | 246 |
| <b>第 10 章 数控电火花线切割加工编程</b> | 247 |
| 10.1 概述                    | 247 |
| 10.1.1 电火花加工原理及加工基本条件      | 247 |
| 10.1.2 电火花加工的过程            | 248 |
| 10.2 数控电火花成形加工             | 249 |
| 10.2.1 电火花成形加工的特点          | 249 |
| 10.2.2 数控电火花成形加工工艺         | 251 |
| 10.2.3 数控电火花成形机床加工的一般操作步骤  | 252 |
| 10.3 电火花线切割加工              | 254 |
| 10.3.1 电火花线切割加工原理和特点       | 254 |
| 10.3.2 数控线切割加工过程的工艺分析      | 255 |
| 10.3.3 数控电火花线切割加工的操作       | 258 |
| 10.4 数控线切割机床程序编制的步骤与方法     | 263 |
| 10.4.1 数控线切割机床程序编制的步骤      | 264 |
| 10.4.2 ISO 格式的编程           | 264 |
| 10.4.3 3B 格式的编程            | 271 |
| 10.4.4 4B 格式程序编制的要点        | 273 |
| 10.4.5 加工实例                | 274 |
| 10.5 数控电火花加工机床的维护与保养       | 278 |





---

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 10.5.1 数控电火花线切割机床的维护与保养·····             | 278        |
| 10.5.2 数控电火花成形加工机床的维护与保养·····            | 279        |
| 思考与训练·····                               | 280        |
| <b>第 11 章 数控技术的发展趋势</b> ·····            | <b>281</b> |
| 11.1 数控系统与数控机床的发展趋势·····                 | 281        |
| 11.2 计算机辅助数控编程·····                      | 285        |
| 11.2.1 常用的 CAD/CAM 软件 ·····              | 285        |
| 11.2.2 自动编程的步骤与方法·····                   | 288        |
| 思考与训练·····                               | 291        |
| <b>附录 A JB 3208—1983 准备功能 G 代码</b> ····· | <b>292</b> |
| <b>附录 B JB 3208—1983 辅助功能 M 代码</b> ····· | <b>294</b> |
| <b>附录 C 华中世纪星系统宏变量</b> ·····             | <b>296</b> |
| <b>参考文献</b> ·····                        | <b>299</b> |



# 数控技术概论

## 学习要点:

本章主要介绍数控机床的基础知识,要求能够掌握数控机床的组成和工作原理;掌握数控机床的分类;熟悉数控机床的特点;了解数控机床的发展。

## 1.1 数控机床概述

随着科学技术的飞速发展和市场竞争的日趋激烈,产品的更新速度越来越快,多品种和中、小批量生产的比例明显增加。同时,随着航空工业、汽车工业和轻工业消费品生产的高速增长,复杂形状的零件越来越多,对其精度要求也越来越高。此外,激烈的市场竞争要求产品的研制生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已经难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效、高质量加工要求,因此,近几十年来,世界各国十分重视发展能有效解决复杂、精密、小批、多变零件加工的数控加工技术。

数控加工技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。现代的 CAD/CAM、柔性制造系统、计算机集成制造系统等,都是建立在数控加工技术基础上的。离开数控加工技术,先进制造技术就成了无本之木。同时,数控加工技术也关系到国家的战略地位,是体现国家综合国力水平的重要基础性产业的核心因素之一,其水平高低也是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志。实现加工机床及生产过程数控化,已经成为当今制造业的发展方向。专家们预言:机械制造的竞争,其实质是数控的竞争。

### 1.1.1 数控机床的概念

在现代机械制造领域中,数控机床与机床数控技术已经成为最基本的概念之一。数控是数字控制(Numerical Control, NC)技术的简称,是

用数字化代码实现自动控制技术的总称。根据不同的控制对象,存在各种数字控制系统。其中,最早产生、目前应用最为广泛的是机械制造行业中的各种机床数控系统。

数控机床是采用数字化代码程序控制、能完成自动化加工的通用机床。数控机床是一种典型的光机电一体化加工设备,它集现代机械制造技术、自动控制技术及计算机信息技术于一体,采用数控装置或计算机来全部或部分地取代一般通用机床在加工零件时的各种人工控制动作——启动、加工顺序、改变切削用量、主轴变速、刀具选择、冷却液开停,以及停车等,是高效率、高精度、高柔性和高自动化的光机电一体化的加工设备。

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在数控机床上完成加工的技术。数控加工过程包括由给定零件的加工要求(零件图纸、CAD 数据或实物模型)到完成加工的全过程,其主要内容涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两大方面。

### 1.1.2 数控机床的原理及组成

#### 1. 数控机床的原理

用数控机床加工零件,是按照事先编制好的加工程序自动地对零件进行加工。它是把零件的加工工艺路线、刀具运动轨迹、切削参数等,按照数控机床规定的指令代码及程序格式编写成加工程序单,再把程序单的内容输入到数控机床的数控装置中,从而控制机床加工零件。数控加工的过程如图 1-1 所示。从图中可以看出,数控程序编制人员应该熟练地掌握工艺分析、工艺设计和切削用量的选择;能够正确地提出刀、辅具和零件的装夹方案;熟悉数控机床的性能和特点;熟悉程序编制方法和数控机床的加工操作等。

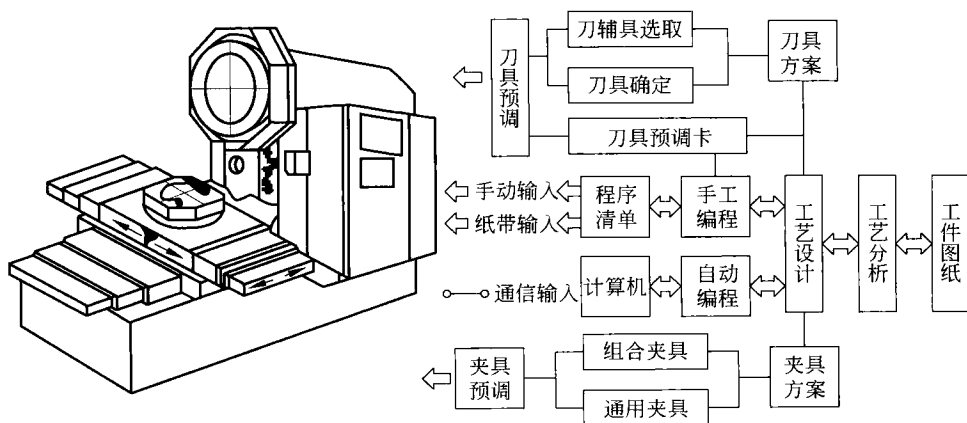


图 1-1 数控加工的过程

#### 2. 数控机床的组成

现代数控机床都是计算机数字控制(Computer Numerical Control, CNC)机床,由数控系统和机床本体两大部分组成,而数控系统又由输入输出设备、计算机数控装置、伺服驱动系统、辅助控制装置和机床本体等部分组成。如图 1-2 所示为数控机床的组成示意图。

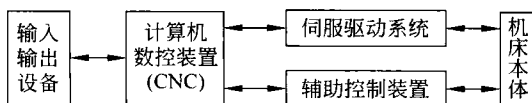


图 1-2 CNC 机床的组成

(1) 输入输出设备。输入输出设备的作用是输入程序、显示命令与图形、打印数据等。数控程序的输入是通过控制介质来实现的,目前采用较多的有软盘、通信接口和 MDI 方式。MDI 即手动输入方式,它是利用数控机床控制面板上的键盘,将编写好的程序直接输入到数控系统中,并可通过显示器显示有关内容。

随着计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术的发展,有些数控机床可利用 CAD/CAM 软件在通用计算机上编程,然后通过计算机与数控机床之间的通信,将程序与数据直接传送给数控装置。

(2) 计算机数控装置。计算机数控装置是系统的核心。它的功能是接受外部输入的加工程序和各种控制命令,识别这些程序和命令并通过插补运算等,形成运动轨迹指令,控制伺服单元和驱动装置,实现刀具与工件的相对运动。在这些控制指令中,除了有送给伺服系统的速度和位移指令外,还有送给辅助控制装置的机床辅助动作指令。现在的数控机床一般采用微型计算机作为数控装置,这种数控装置称为计算机数控(CNC)装置。

CNC 装置有单 CPU 和多 CPU 两种基本结构形式,随着 CPU 性能的不不断提高,CNC 装置的功能越来越丰富,性能越来越高,除了上述基本控制功能外,还有图形功能、通信功能、诊断功能、生产统计和管理功能等。

(3) 伺服驱动系统。数控机床的伺服驱动系统分主轴伺服驱动系统和进给伺服驱动系统。主轴伺服驱动系统用于控制机床主轴的旋转运动,并为机床主轴提供驱动功率和所需的切削力。进给伺服驱动系统是用于机床工作台或刀架坐标的控制系统,控制机床各坐标轴的切削进给运动,并提供切削过程所需的转矩。

进给伺服系统主要由进给伺服单元和伺服进给电机组成,对于闭环或半闭环控制的进给伺服系统,还应包括位置检测反馈装置。进给伺服单元接收来自 CNC 装置的运动指令,经变换和放大后,驱动伺服电机运转,实现刀架或工作台的运动。CNC 装置每发出一个控制脉冲,机床刀架或工作台的移动距离,称为数控机床的脉冲当量或最小设定单位。脉冲当量或最小设定单位的大小直接影响数控机床的加工精度,其值越小,加工精度越高。

(4) 辅助控制装置。数控机床除了对各坐标轴的进给运动部件进行速度和位置控制外,还要完成程序中的辅助功能所规定的动作,如主轴电机的启停和变速、刀具的选择和交换、冷却泵的开关、工件的装夹、分度工作台的转位等。由于可编程序控制器(Programmable Logical Controller, PLC)具有响应快、性能可靠、易于编程和修改并可直接驱动机床电器等优点,因此,目前辅助控制装置普遍采用 PLC 控制。

(5) 机床本体。机床本体即为数控机床的机械部分,主要包括主传动装置、进给传动装置、床身、工作台等。与普通机床相比,数控机床机械结构的设计与制造要适应数控技术的发展,具有刚度大、精度高、抗振性强、热变形小等特点;由于普遍采用伺服电机无级

调速技术,机床进给运动和多数数控机床的主运动的变速机构被极大地简化甚至取消;广泛地采用滚珠丝杠、滚动导轨等高效率、高精度的传动部件;此外,还采用自动换刀装置、自动交换工作台和数控夹具等。

### 1.1.3 数控机床的分类

数控机床的品种、规格繁多,分类方法也很多。根据功能和结构的区别,数控机床一般可以按照下面原则进行分类。

#### 1. 按照机床运动的控制轨迹分类

根据数控机床刀具与工件相对运动轨迹的类型,可以将数控机床划分为点位控制、点位直线控制和轮廓控制 3 种类型。

(1) 点位控制数控机床。这类机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等,其特点是机床移动部件在移动中不进行加工,只要求以最快的速度从一点移动到另一点,并准确定位。至于点与点之间的移动轨迹(路径与方向),并无严格要求,各坐标轴之间的运动也不相关联。

(2) 点位直线控制数控机床。这类机床是在点位控制基础上,不仅要控制两相关点之间的位置(即距离),还要控制两相关点之间的移动速度和路线(即轨迹)。其路线一般由与各坐标轴平行的直线段组成。

这类机床有 2、3 个可控轴,但可同时控制的轴只有一个。这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控加工中心等。

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关控制,使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓的型面要求。在这类控制方式中,要求数控装置具有插补运算功能,即根据加工程序输入的基本数据(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径等),通过数控系统的插补运算器进行数学处理,把实现直线或曲线加工的相关坐标点计算出来,并边计算边根据计算结果控制两个或两个以上坐标轴的协调运动。这类机床主要有数控车床、数控铣床和电加工机床等。

对于轮廓控制的数控机床,根据同时控制坐标轴的数目,还可以分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴联动或五轴联动等。

#### 2. 按照伺服控制方式分类

数控机床伺服驱动控制方式很多,主要有开环控制、闭环控制和半闭环控制三种类型。

(1) 开环控制数控机床。这类机床的伺服进给系统中,没有位移检测反馈装置(见图 1-3),数控装置的控制指令直接通过驱动装置控制步进电机的运转,然后通过机械传动系统转化成刀架或工作台的位移。这种控制系统由于没有检测反馈校正,所以位置精度一般不高,但其控制方便、结构简单、价格便宜,在我国广泛用于经济型数控机床或旧设备的数控改造中。

(2) 闭环控制数控机床。闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移

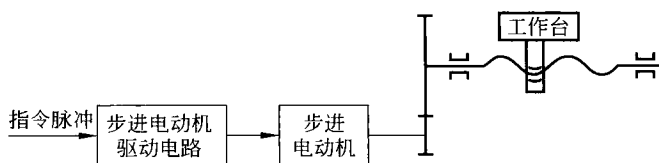


图 1-3 开环控制数控机床的系统框图

检测装置,直接对工作台的实际位移进行检测,将测量的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令位移值进行比较,用差值对机床进行控制,使移动部件按照实际需要的位移量运动,最终实现移动部件的精确运动和定位。图 1-4 所示为闭环控制数控机床的系统框图。这种控制方式是直接检测校正,位置控制精度很高,但由于它将丝杠螺母副和机床工作台等这些大惯量环节放在闭环之内,因此,系统稳定性受到影响,调试困难,且结构复杂、价格昂贵。

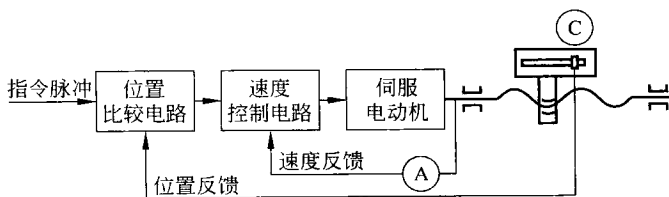


图 1-4 闭环控制数控机床的系统框图

(3) 半闭环控制数控机床。半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置(如光电编码器等),通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移,然后反馈到数控装置中去,并对误差进行修正。图 1-5 所示为半闭环控制数控机床的系统框图。

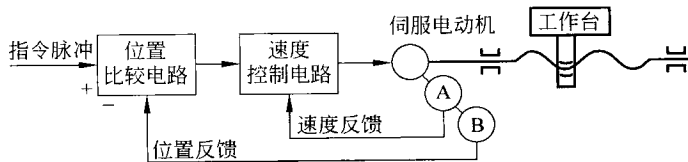


图 1-5 半闭环控制数控机床的系统框图

这种控制方式由于将丝杠螺母副和机床工作台等大惯量环节排除在闭环控制系统外,不能补偿它们的运动误差,因此控制精度受到影响,但系统稳定性有所提高,调试比较方便,价格也较全闭环系统便宜。

### 1.1.4 数控机床的发展及常用数控系统

#### 1. 数控机床的发展

随着科学技术和社会生产力的发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化成为实现上述要求最重要的措施之一,它不仅能够提高产品质量、提高生产率、降低生产成本,还能极大地改善生产者的劳动条件。



20 世纪 50 年代初,美国麻省理工学院和帕森斯公司在美空军后勤部的资助下,于 1952 年 3 月研制成功世界上第一台有信息存储和处理功能的新型机床,即数控机床(三坐标立式数控铣床)。数控技术及数控机床的诞生,标志着生产和控制领域一个崭新时代的到来。

第一台数控机床的出现引起了世界各国的关注。它的出现不仅解决了复杂曲线与型面的加工问题,而且指出了今后机床自动化的方向,因此世界各国纷纷投入数控机床及其相关技术的研究。经过半个多世纪的研究和发展,到现在数控机床已是集现代机械制造技术、计算机技术、通信技术、控制技术、液压气动技术及光电技术为一体的,具有高精度、高效率、高自动化和高柔性等特点的机械自动化设备。其品种不仅覆盖了全部传统的切削加工机床,而且推广到了锻压机床、电加工机床、焊接机、测量机等各个方面,在各个加工行业中得到了广泛的应用。以下是数控机床几个方面的发展过程。

(1) 数控系统。数控系统的发展直接影响到数控机床的应用和发展。数控系统的发展经历了 5 次更新换代。

第一代数控系统:从 1952 年到 1958 年,采用电子管元件,体积大、可靠性低、价格高,因此主要用于军工生产,没有得到推广。

第二代数控系统:从 1959 年到 1964 年,采用晶体管元件,可靠性有所提高,体积大为缩小,但可靠性还是很低,得不到广大用户的认可。

第三代数控系统:从 1965 年到 1969 年,采用集成电路,它不仅大大缩小了数控系统的体积,可靠性也得到了实质性的提高,成为一般用户能够接受的数控系统。

第四代数控系统:从 1970 年到 1974 年,采用大规模集成电路及小型通用计算机,其性能大大提高,且价格有大幅度下降。

第五代数控系统:从 1975 年开始,采用微处理器或微型计算机,其可靠性和自动化程度有了大幅度的提高。

(2) 伺服驱动系统。伺服驱动系统的性能直接影响数控机床的加工精度,是数控机床一个很重要的环节。伺服驱动系统的发展经历了电—液—电三个阶段。

第一阶段采用普通直流电动机作为执行元件,利用电轴的办法进行控制。由于普通直流电动机的低速性能差,灵敏度低,这种伺服驱动系统很快就被淘汰了。

第二阶段以液动机代替直流电动机作为执行元件。这在第一台数控机床出现后,就已经开始研制,但直到 20 世纪 60 年代初才全面取代直流电动机。采用液压驱动后,控制性能有了很大提高,但寿命短、成本高、功率消耗大是其致命的缺点。

到 20 世纪 60 年代末期,伺服驱动系统迎来了发展的第三阶段,研制成功了由伺服单元、直流进给伺服电动机和反馈元件组成的进给伺服系统。因其性能完全能满足数控机床的要求,寿命长、可靠性好,伺服驱动系统很快就取代了液压伺服系统。

近年来又出现了数字化交流伺服驱动电动机,其性能和可靠性又优于直流伺服电动机。根据统计,欧、美、日近年生产的数控机床,采用交流伺服电机进行调速的占 80% 以上,采用直流伺服电机的比例不足 20%。可以看出,采用交流伺服电机的调速系统已经成为数控机床的主要调速方法。

(3) 数控机床结构。数控机床加工工件时,完全根据计算机发出的指令自动进行加

工,不允许频繁测量和进行手动补偿。这就要求机床结构具有较高的静刚度与动刚度,同时要提高结构的热稳定性,提高机械进给系统的刚度并消除其中的间隙和爬行。这样可以避免振动、热变形、爬行和间隙等,确保被加工工件的加工精度。

以上所述为数控机床主要组成部分的发展概况。其他相关技术,例如程序载体和输入/输出装置,自动控制技术也得到了很大的发展。

## 2. 数控机床常用系统

数控系统是数控机床的核心。数控机床根据功能和性能要求,配置不同的数控系统。系统不同,其指令代码也有差别。因此,编程时应按所使用数控系统代码的编程规则进行编程。

典型数控厂家的主要产品有:FANUC(日本)、SIEMENS(德国)、FAGOR(西班牙)、HEIDENHAIN(德国)、MITSUBISHI(日本)等公司的数控系统及相关产品在数控机床行业占据主导地位;我国数控产品以华中数控、航天数控为代表,也已将高性能的数控系统产业化。

(1) FANUC 公司的主要数控系统。FANUC 数控系统以其高质量、低成本、高性能、较全的功能,适用于各种机床和生产机械等特点,在市场的占有率远远超过其他的数控系统。它主要包括 Power Mate 0 系列、CNC 0-D 系列、0-C 系列、0i 系列等。

(2) SIEMENS 公司的主要数控系统。SIEMENS 数控系统以较好的稳定性和较优的性能/价格比在我国数控机床行业被广泛应用,主要包括 802、810、840 等系列。

(3) 华中数控系统。华中数控以“世纪星”系列数控单元为典型产品,HNC-21T 为车削系统,最大联动轴数为 4 轴;HNC-21/22M 为铣削系统,最大联动轴数为 4 轴,采用开放式体系结构,内置嵌入式工业 PC。

(4) 北京航天数控系统。北京航天数控系统的主要产品为 CASNUC2100 数控系统,是以 PC 为硬件基础的模块化、开放式的数控系统,可用于车床、铣床、加工中心等 8 轴以下机械设备的控制,具有二轴、三轴、四轴联动功能。

## 1.2 数控机床的特点及应用

### 1.2.1 数控机床的特点

数控机床综合了微电子技术、计算机应用技术、自动控制技术以及精密机床设计与制造技术,具有专用机床的高效率、精密机床的高精度和通用机床的高柔性等显著特点,适合多变、复杂、精密零件的高效、自动化加工。具体说来,可以概括为以下几个方面。

(1) 柔性自动化,具有广泛的适应性。由于采用数控程序控制,加工中多采用通用型工装,只要改变数控程序,便可以实现对新零件的自动化加工,因此能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求,解决了多品种和中、小批量生产自动化问题。

(2) 加工精度高,质量稳定。数控机床集中采用了提高加工精度和保证质量稳定性的多种技术措施:第一,数控机床由数控程序自动控制进行加工,在工作过程中,一般不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失误或误差;第二,数控机床的机械结构是





按照精密机床的要求进行设计和制造的,采用了滚珠丝杠、滚动导轨等高精度传动部件,而且刚度大、热稳定性和抗振性能好;第三,伺服传动系统的脉冲当量或最小设定单位可以达到 $0.5\sim 10\mu\text{m}$ ,同时,工作中还大多采用具有检测反馈的闭环或半闭环控制,具有误差修正或补偿功能,可以进一步提高精度和稳定性;第四,数控加工中心具有刀库和自动换刀装置,可以在一次装夹后,完成工件的多面和多工序加工,最大限度地减少了装夹误差的影响。

(3) 生产效率高。数控机床能最大限度地减少零件加工所需的机动时间与辅助时间,显著提高生产效率。第一,良好的结构刚度和抗振性允许机床采用大切削用量和进行强力切削;第二,一般不需要停机对工件进行检测,从而有效地减少了机床加工中的停机时间;第三,机床移动部件在定位中采用自动加减速措施,因此可以选用很高的空行程运动速度,大大节约了辅助运动时间;第四,加工中心可以采用自动换刀和自动交换工作台等措施,工件一次装夹,可以进行多面和多工序加工,大大减少了工件装夹、对刀等辅助时间;第五,加工工序集中,可以减少零件的周转,减少了设备台数及厂房面积,给生产调度管理带来极大的方便。

(4) 能实现复杂零件的加工。由于数控机床采用计算机插补和多坐标联动控制技术,所以可以实现任意的轨迹运动和加工出复杂形状的空间曲面,可以方便地完成如螺旋桨、汽轮机叶片、汽车外形冲压用模具等具有各种复杂曲面类零件的加工。

(5) 减轻劳动强度,改善劳动条件。由于数控机床的操作者主要利用操作面板对机床的自动加工进行操作,因此,大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件,并且可以一个人轻松地管理多台机床。

(6) 有利于现代化生产与管理。采用数控机床进行加工,能够方便、精确地计算出零件的加工工时或进行自动加工统计,能够精确地计算生产和加工费用,有利于生产过程的科学管理。数控机床是计算机辅助设计与制造、群控或分布式控制、柔性制造系统、计算机集成制造系统等先进制造系统的基础。

### 1.2.2 数控机床的应用

数控机床具有一般机床所不具备的许多优点,其应用范围正在不断扩大。数控机床适合加工具有以下特点的零件。

- (1) 多品种、小批量生产的零件。
- (2) 形状结构比较复杂的零件。
- (3) 工艺设计经常变化的零件。
- (4) 用普通机床加工时,需要昂贵工装设备(如工具、夹具和模具等)的零件。
- (5) 精度及表面粗糙度要求高的零件。
- (6) 加工过程中需要进行多工序加工的零件。

广泛推广使用数控机床的瓶颈在于数控机床的初始投资及维护费用较高,对操作与管理人才的素质要求较高。所以只有从生产实际出发,合理地选择与使用数控机床,并且要循序渐进,培养人才,积累经验,才能达到降低生产成本、提高企业经济效益和市场竞争能力的目的。