

21世纪新编规划教材·机电一体化

# 数控机床 编程与操作

何亚飞 主 编  
王振华 副主编  
金福吉 周维泉 审 校

中国林业出版社  
China Forestry Publishing House  
[www.cfph.com.cn](http://www.cfph.com.cn)



北京希望电子出版社  
Beijing Hope Electronic Press  
[www.bhp.com.cn](http://www.bhp.com.cn)

21世纪新编规划教材·机电一体化

# 数控机床 编程与操作

何亚飞 主 编  
王振华 副主编  
金福吉 周维泉 审 校

江苏工业学院图书馆  
藏书章

中国林业出版社  
China Forestry Publishing House  
[www.cfph.com.cn](http://www.cfph.com.cn)



北京希望电子出版社  
Beijing Hope Electronic Press  
[www.bhp.com.cn](http://www.bhp.com.cn)

## 内 容 简 介

本书内容包括数控机床的编程规则、数控机床加工工艺基础、数控车床的加工程序编制、数控铣床的加工程序编制、加工中心的程序编制、数控车床操作与加工、数控铣床操作与加工、加工中心操作与加工、数控电火花线切割加工、数控电火花加工等。

本书可作为高等院校、高等职业技术学校相关专业师生的参考书，也可作为相关工程技术人员的技术参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程与操作 / 何亚飞主编. —北京: 中国林业出版社:

北京希望电子出版社, 2006.4

21 世纪新编规划教材·机电一体化

ISBN 7-5038-4099-4

I.数... II.何... III.数控机床—程序设计—教材 IV.TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 106617 号

**出版:** 中国林业出版社 (100009 北京市西城区刘海胡同 7 号 010-66184477)

北京希望电子出版社 (100085 北京市海淀区上地 3 街 9 号金隅嘉华大厦 C 座 611)

网址: [www.bhp.com.cn](http://www.bhp.com.cn) 电话: 010-82702660 (发行) 010-62541992 (门市)

**印刷:** 北京媛明印刷厂

**发行:** 全国新华书店经销

**版次:** 2006 年 4 月第 1 版

**印次:** 2006 年 4 月第 1 次

**开本:** 787mm×1092mm 1/16

**印张:** 15.5

**字数:** 354 千字

**印数:** 0001~3000 册

**定价:** 22.00 元



## 21 世纪新编规划教材·机电一体化

### 编委会成员名单

编委主任：钱 锐 陆卫民

副 主 任：姜斌超

编 委：（按姓氏笔画排序）

张仁杰 李世基 何亚飞 陆卫民

罗维甲 姚国强 姜斌超 高 占

钱 锐 徐 锋

## 序

当今，现代科学技术飞速发展，特别是进入 21 世纪，数字化、网络化的革命再一次改变了人类的生产、工作和生活方式，使人类的制造技术在经历了手工、机械化及自动化制造 3 个阶段后进入了第四阶段——敏捷制造阶段，机械工业已经发生了深刻的变化，机械技术与微电子技术的紧密结合，特别是与计算机技术的紧密结合，产生的现代机械所拥有的自动化技术，以及现有的机电一体化技术和机电一体化产品，较以往更为复杂和先进。原来依靠传统技术组织生产的方式，已不能满足社会快速发展的需要。

要发展机电一体化技术，实现机械产品的自动化和智能化，实现机械工业的现代化改造，必须有高层次的科技人才。为了培养机电结合的高层次人才，有关高校都在积极地研究和探索，并做出了一些成绩。

教材建设是一个学校、一个专业最基本的建设之一。本套丛书的编者是工作在教学第一线的在校教师，他们在对机电一体化、数控应用技术有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，总结了自己的教学经验，学习了兄弟院校老师的教学经验，有组织、有计划地编写了本套机电一体化、数控应用技术方面的专业技术教材。

本套教材主要适用于高等院校以及高职高专院校的机电一体化、数控应用技术专业以及相近专业的师生选用。

钱 锐

# 前 言

制造业是国民经济和社会发展的物质基础，是一个国家的综合国力的重要体现。制造业也是我国入世后为数不多的有竞争优势的行业之一。当前世界上正在进行着新一轮的产业调整，一些产品的制造逐渐向发展中国家转移，中国已经成为许多跨国公司的首选之地。中国正在成为世界制造大国，这已经成为无可争议的事实。数控机床作为现代制造业的工作母机，必将在这场产业调整的革命中起到十分重要的作用。本书就是在这样的时代背景下，为了适应数控技术的发展和满足国家经济建设对数控机床编程与操作人才培养的需要而编写的。

数控机床的自动化程度高、加工精度高、加工效率高，使得产品在大量生产情况下又有质量的保证。数控机床的技术含量高，机电一体化技术的集成度高，综合了机械设计与制造、微电子技术、自动控制、计算机与通讯技术等现代高科技于一身。对使用数控机床的人员来说，最大限度地发挥数控机床自身的功能和使之产生最大经济效益将是最终目的。因此，本书的编写，立足于在对数控机床有一个全面而概述性了解的基础上，重点阐述了数控车床、数控铣床、加工中心和数控放电加工机床的加工工艺、程序编制和操作加工等内容。

本书的题材来源于实际，具有一定的先进性和可操作性。编写时突出实用性、综合性、先进性；遵循了深入浅出，循序渐进以及理论联系实际的原则。书中所涉及到的公式、图表数据和所提供的数控程序都经过严密的论证和实践操作而得出，力争做到准确无误。同时，考虑到不同层次和不同专业的人员都能读懂读通本教材，在每一章节的前面都概括性地给出了本章节的知识点；在每一章节的结尾处，也都给出了复习思考题目，便于初学者对每一章节内容的全面掌握。

本书第1章、第2章、第3章、第4章、第5章和第7章由王振华编写；第6章和第9章由高鸣编写；第8章由陆翔宇编写；第10章和第11章由贾立新编写。由何亚飞教授担任主编，并负责制定编写大纲，统一规划、统稿等工作。

在本书编写过程中得到了上海第二工业大学机电工程学院、实训中心和其他社会各方面的大力支持和指导，在此一并深表谢意。

本书可作为高等院校机械类或近机械类专业“数控机床编程与加工操作”等相关课程的教材和参考书，也可作为数控机床操作人员的参考资料。

由于本书编写时间仓促，编写过程中难免出现错误，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第1章 绪论.....1

### 1.1 数控机床概述.....1

#### 1.1.1 数控机床的基本概念.....1

#### 1.1.2 数控机床的组成.....2

#### 1.1.3 数控机床的分类.....4

#### 1.1.4 数控机床的主要技术参数.....6

#### 1.1.5 数控系统的主要功能.....8

### 1.2 数控机床加工概述.....9

#### 1.2.1 数控机床加工特点.....9

#### 1.2.2 数控机床加工的应用.....11

#### 1.2.3 数控机床的发展.....11

### 1.3 思考与练习题.....14

## 第2章 数控机床的编程规则.....15

### 2.1 数控机床的坐标系.....15

#### 2.1.1 标准坐标系及其运动方向.....15

#### 2.1.2 数控机床两种坐标系.....18

### 2.2 数控机床编程基础.....20

#### 2.2.1 数控机床编程概述.....20

#### 2.2.2 程序代码.....21

#### 2.2.3 程序格式.....21

#### 2.2.4 常用程序字.....23

#### 2.2.5 常用编程指令.....30

### 2.3 思考与练习题.....36

## 第3章 数控机床加工工艺基础.....37

### 3.1 数控机床加工工艺设计内容.....37

#### 3.1.1 数控机床加工的工艺性分析.....37

#### 3.1.2 数控机床加工的工艺路线设计.....39

#### 3.1.3 数控机床加工的工序设计.....40

#### 3.1.4 数控机床加工专用技术文件的编写.....50

### 3.2 数控车削加工工艺基础.....51

#### 3.2.1 数控车削的主要加工对象.....51

#### 3.2.2 加工顺序的确定.....52

#### 3.2.3 走刀路线的确定.....53

#### 3.2.4 夹具的选择.....55

#### 3.2.5 车削刀具的选择.....55

#### 3.2.6 切削用量的选择.....58

### 3.3 数控铣削加工工艺基础.....61

#### 3.3.1 数控铣削的主要加工对象.....61

#### 3.3.2 走刀路线的确定.....61

#### 3.3.3 铣削刀具的选择.....64

#### 3.3.4 切削用量的选择.....66

### 3.4 思考与练习题.....68

## 第4章 数控车床的加工程序编制.....69

### 4.1 数控车床程序编制的基础.....69

#### 4.1.1 数控车床的主要功能.....69

#### 4.1.2 数控车床编程特点.....70

### 4.2 数控车床的程序编制.....70

#### 4.2.1 F 功能.....70

#### 4.2.2 S 功能.....71

#### 4.2.3 T 功能.....71

#### 4.2.4 M 功能.....71

#### 4.2.5 G 功能.....72

### 4.3 典型零件的程序编制.....90

### 4.4 思考与练习题.....93

## 第5章 数控铣床的加工程序编制.....97

### 5.1 数控铣床程序编制的基础.....97

### 5.2 数控铣床程序编制.....98

#### 5.2.1 基本编程指令的应用.....98

#### 5.2.2 固定循环功能.....106

### 5.3 典型零件的程序编制.....112

### 5.4 思考与练习题.....114

## 第6章 加工中心的程序编制.....117

### 6.1 加工中心程序编制的基础.....117

#### 6.1.1 加工中心的主要功能.....117

#### 6.1.2 加工中心的工艺及工艺装备.....118

### 6.2 加工中心的程序编制.....118

#### 6.2.1 机床坐标系与工件坐标系.....119

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| 6.2.2 几种基本程序的编制 .....                 | 119        |
| 6.3 加工中心编制实例 .....                    | 122        |
| 6.4 思考与练习题 .....                      | 126        |
| <b>第7章 数控车床操作与加工 .....</b>            | <b>128</b> |
| 7.1 KND 系统数控车床简介 .....                | 128        |
| 7.2 操作面板及功能介绍 .....                   | 129        |
| 7.2.1 操作面板介绍 .....                    | 129        |
| 7.2.2 功能选择 .....                      | 133        |
| 7.3 基本操作方法 .....                      | 133        |
| 7.3.1 开机、关机与安全操作 .....                | 133        |
| 7.3.2 回零操作 .....                      | 134        |
| 7.3.3 机床手动控制 .....                    | 135        |
| 7.3.4 机床自动运行 .....                    | 139        |
| 7.3.5 加工程序编辑 .....                    | 141        |
| 7.3.6 零件图形模拟加工 .....                  | 145        |
| 7.3.7 KND-100T 数控车床数据的<br>显示和设定 ..... | 145        |
| 7.3.8 KND-100T 数控车床的安全操作 .....        | 146        |
| 7.4 加工操作实例 .....                      | 146        |
| 7.4.1 零件及加工要求 .....                   | 146        |
| 7.4.2 操作步骤及内容 .....                   | 147        |
| 7.4.3 常见故障的处理 .....                   | 149        |
| 7.5 数控车床的安全操作规程 .....                 | 150        |
| 7.6 数控车床日常维护与保养 .....                 | 151        |
| 7.6.1 每日检查要点 .....                    | 151        |
| 7.6.2 月检查要点 .....                     | 152        |
| 7.6.3 六个月检查要点 .....                   | 152        |
| 7.7 思考与练习题 .....                      | 153        |
| <b>第8章 数控铣床操作与加工 .....</b>            | <b>155</b> |
| 8.1 XKJ-5025 数控铣床简介 .....             | 155        |
| 结构布局 .....                            | 155        |
| 8.2 操作面板及各个功能键介绍 .....                | 158        |
| 8.3 基本操作 .....                        | 162        |
| 8.4 数控铣床的对刀操作 .....                   | 165        |
| 8.5 零件加工操作实例 .....                    | 169        |
| 8.6 思考与练习题 .....                      | 171        |
| <b>第9章 加工中心操作与加工 .....</b>            | <b>173</b> |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 9.1 FADAL VMC-15 加工中心简介 .....        | 173        |
| 9.2 操作面板及功能介绍 .....                  | 174        |
| 9.2.1 操作面板 .....                     | 174        |
| 9.2.2 功能键介绍 .....                    | 175        |
| 9.3 基本操作方法 .....                     | 176        |
| 9.3.1 开/关机及回零操作 .....                | 176        |
| 9.3.2 机床手动操作 .....                   | 177        |
| 9.3.3 加工程序的建立和编辑 .....               | 177        |
| 9.3.4 程序模拟和自动加工 .....                | 182        |
| 9.3.5 传输程序 .....                     | 182        |
| 9.3.6 对刀操作 .....                     | 184        |
| 9.4 加工操作实例 .....                     | 191        |
| 9.4.1 零件及加工要求 .....                  | 191        |
| 9.4.2 工艺分析及处理 .....                  | 192        |
| 9.4.3 程序编制 .....                     | 192        |
| 9.4.4 程序检验和试切削 .....                 | 194        |
| 9.5 加工中心的安全操作规程 .....                | 194        |
| 9.6 思考与练习题 .....                     | 194        |
| <b>第10章 数控电火花线切割加工 .....</b>         | <b>196</b> |
| 10.1 数控电火花线切割机床的组成 .....             | 196        |
| 10.1.1 数控电火花线切割机床的<br>组成部分及其作用 ..... | 196        |
| 10.1.2 数控电火花线切割机床的<br>主要技术参数 .....   | 199        |
| 10.2 数控电火花线切割机床的编程指令 .....           | 200        |
| 10.2.1 ISO 格式编程 .....                | 200        |
| 10.2.2 3B/4B 格式编程 .....              | 203        |
| 10.3 数控电火花线切割机床的操作 .....             | 205        |
| 10.3.1 线切割加工工艺分析 .....               | 205        |
| 10.3.2 机床的调整 .....                   | 207        |
| 10.3.3 基本操作 .....                    | 207        |
| 10.3.4 数控电火花线切割机床安全<br>操作规程 .....    | 208        |
| 10.4 加工操作实例 .....                    | 208        |
| 10.5 数控电火花线切割机床日常维护及保养 .....         | 216        |
| 10.6 常见故障排除 .....                    | 217        |
| 10.7 思考与练习题 .....                    | 217        |



|                                   |     |                            |     |
|-----------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 第 11 章 数控电火花加工 .....              | 219 | 11.2.2 指令代码 .....          | 228 |
| 11.1 数控电火花机床的组成 .....             | 219 | 11.3 数控电火花机床的操作 .....      | 229 |
| 11.1.1 数控电火花机床的结构形式 .....         | 219 | 11.3.1 数控电火花机床加工工艺分析 ..... | 229 |
| 11.1.2 数控电火花机床的组成部分及<br>其作用 ..... | 221 | 11.3.2 基本操作 .....          | 232 |
| 11.1.3 数控电火花机床的主要技术参数 .....       | 225 | 11.3.3 数控电火花机床安全操作规程 ..... | 234 |
| 11.2 编程指令介绍 .....                 | 227 | 11.4 加工操作实例 .....          | 235 |
| 11.2.1 编程格式 .....                 | 227 | 11.5 数控电火花机床日常维护及保养 .....  | 235 |
|                                   |     | 11.6 常见故障排除 .....          | 236 |
|                                   |     | 11.7 思考与练习题 .....          | 238 |

# 第 1 章 绪 论

## 本章知识

- 数控机床的基本概念
- 数控机床的组成及分类
- 数控机床的加工特点
- 数控系统的主要功能

随着社会生产和科学技术的飞速发展,机械制造技术发生了巨大的变化,机械产品日趋精密复杂,且改型频繁,尤其是在宇航、军事、造船等领域所需的零件,精度要求高,形状复杂,批量又小。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。为了满足上述要求,以数字控制技术为核心的新型数字程序控制机床应运而生。

1948 年,美国帕森斯公司(Parsons Co)受美国空军委托与麻省理工学院伺服机构研究所(Servo Mechanismus Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology)合作进行数控机床的研制工作。1952 年,第一台三坐标立式数控铣床试制成功,但第一台工业用数控机床直到 1954 年 11 月才生产出来。

我国数控机床的研制是从 1958 年起步的,由清华大学研制出了最早的样机。

早期的数控机床控制系统采用电子管,其体积大、功耗高,只在军事部门应用。直到在微处理机用于数控机床后,才使数控机床得到了普及。

## 1.1 数控机床概述

### 1.1.1 数控机床的基本概念

#### 1. 数控

数字控制(Numerical Control,简称 NC)是一种自动控制技术,是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

#### 2. 数控机床

数控机床(NC Machine)就是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。

国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing,简称 IFIP)第五技术委员会对数控机床作了如下定义:数控机床是装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有特定编码和其他符号编码指令规定的程序。

#### 3. 数控系统

数控系统(NC System)就是上述定义中所指的那种程序控制系统,它能逻辑地处理输入到系统中具有特定代码的程序,并将其译码,从而使机床运动并加工零件。

采用普通机床进行加工时,是操作人员操纵手轮使刀具沿着工件表面移动而进行零件的加工;采用数控机床进行加工时,凡是以前需要操作人员操纵机床手轮的工作,都可以

由数控系统在程序控制下自动完成。

自研制出世界上第一台三坐标数控铣床后，数控系统在制造业，特别是航空航天工业中被广泛应用。数控系统的发展到现在已经有了两个阶段。第一阶段为 NC 阶段，即逻辑数字控制阶段，其特点是数控系统的所有功能均由硬件（数控装置）来实现，故又称硬件数控。这个阶段数控系统的发展经历了 3 个时代，即电子管时代、晶体管时代和小规模集成电路时代。

自 1970 年小型计算机开始用于数控系统，数控系统的发展进入第二阶段，即计算机数字控制（CNC）阶段，这是第四代数控系统。从 1974 年微处理器开始用于数控系统，数控系统发展到第五代。经过几年的发展，数控系统从性能到可靠性均得到了很大的提高。自 20 世纪 70 年代末到 80 年代，数控技术在全世界得到了大规模的发展和应用。从 20 世纪 90 年代开始，PC 机的发展日新月异，基于 PC 平台的数控系统应运而生，数控系统发展进入第六代。

4. 数控程序

输入数控系统中的、使数控机床执行一个确定的加工任务的、具有特定代码和其他符号编码的一系列指令，称为数控程序（NC Program）。

5. 数控编程

生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程，称为数控编程（NC Program）。

1.1.2 数控机床的组成

数控机床加工零件的工作过程可分几个步骤实现：①根据被加工零件的图样与工艺方案，用规定的代码和程序格式编写加工程序。②将所编程序指令输入机床数控装置。③数控装置将程序（代码）进行译码、运算之后，向机床各个坐标的伺服机构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。

由此可知，数控机床的基本组成包括加工程序、输入装置、数控系统、伺服系统和辅助控制装置、反馈系统以及机床本体，如图 1.1 所示。

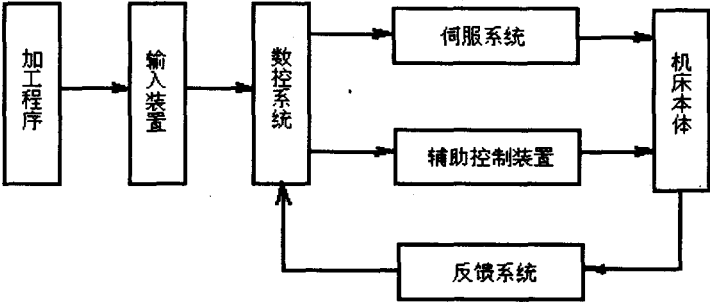


图 1.1 数控机床组成框图

1. 加工程序

数控机床加工时，操作人员不是直接去操作机床，而是对数控机床进行控制，所以必须编制加工程序。加工程序上存储着加工零件所需的全部操作信息和刀具相对工件的位移

信息等。加工程序可存储在控制介质上。在数控机床中,常用的控制介质有穿孔纸带、穿孔卡片、磁带和磁盘等。

## 2. 输入装置

输入装置的作用是将控制介质上的数控代码变成相应的电脉冲信号,传递并存入数控系统内。根据控制介质的不同,相应有不同的输入装置。例如,对于穿孔纸带,配用光电阅读机;对于盒式磁带,配用录放机;对于软磁盘,配用软盘驱动器和驱动卡等。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,还可以通过手动方式(MDI方式),用数控系统的操作面板上的按键将工件加工程序直接键入数控系统,或者用与上级通信方式直接将加工程序传输到数控系统中。

## 3. 数控系统

数控系统是数控机床的中枢,它由输入/输出接口线路、控制器、运算器和存储器4大部分组成。这种由专用电路组成的专用计算机数控系统俗称硬件数控(NC)。现在一般采用通用小型计算机或微型计算机作为数控装置,这种数控系统称计算机数控系统(CNC),又称软件数控。

数控系统接受输入装置送来的脉冲信息,经过逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信息和指令,控制机床的各个部分,进行规定的有序的动作。这些控制信息中最基本的信息是经插补运算确定的各坐标轴(即作进给运动的各执行部件)的进给速度、进给方向和进给位移量指令。其他还有主运动部件的变速、换向和启停指令;刀具的选择和交换指令;冷却、润滑装置的启停;工件和机床部件的松开、夹紧;分度工作台转位等辅助指令等。

## 4. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分,用于完成坐标轴的驱动。它接受来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床的运动部件,完成指令规定的运动。伺服系统由伺服电动机和驱动控制单元组成。它与数控机床的进给机械部件构成进给伺服系统。对数控机床的伺服系统,要求有好的快速响应性能和灵敏、准确的跟踪指令功能。

## 5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接受数控装置输出的主运动换向、变速、启停、刀具的选择和交换,以及其他辅助装置动作等指令信号,经过必要的编译、逻辑判别和运算,经功率放大后直接驱动相应的电器执行元件,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。此外,机床上的限位开关等开关信号经它的处理后送数控装置进行处理。

由于可编程序控制器(PLC)具有响应快、性能可靠、易于使用、编程和修改,并可直接驱动机床电器,现已广泛作为数控机床的辅助控制装置。

## 6. 机床本体

数控机床本体除了主运动系统、进给系统以及辅助部分,如液压、气动、冷却和润滑部分等一般部件外,尚有些特殊部件,如储备刀具的刀库、自动换刀装置(ATC)、自动托

盘交换装置等。

与普通机床相比较,数控机床的传动系统比较简单,但机床的静态和动态刚度要求高,传动装置的间隙要求尽可能小,滑动面的摩擦系数要小,并要有适度的阻尼,以应对数控机床高定位精度和良好的控制性能的要求。

近年来,在新型精密数控机床上为减少热变形对机床加工精度的影响,部分数控机床制造商使用热伸长系数较小的非金属混合材料(如人造花岗岩)制造数控机床的床身。这项技术使机床基础件的制造难度降低,机床使用中不均匀热变形的影响减小,同时也提高了机床的抗震性。

### 1.1.3 数控机床的分类

#### 1. 按工艺用途分

##### (1) 金属切削类数控机床。

这类数控机床包括数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床以及各类加工中心等。

装有刀库和自动换刀机械手,在一次装夹后,可以进行多种工序加工的数控机床,称为加工中心。加工中心目前主要有两类:一类是在镗、铣床基础上发展起来的,称为铣削加工中心;另一类是在车床基础上发展起来的,称为车削加工中心。加工中心的刀库可容纳 10 至 100 多把各种刀具或检具,在加工过程中由程序自动选用和更换,这是它与普通数控机床的主要区别之一。

##### (2) 金属成型类数控机床。

这类数控机床包括数控折弯机、数控弯管机、数控冲床、数控压力机等。

##### (3) 特种加工及其他类型数控机床。

这类数控机床包括数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床、数控激光板材成型机床、数控等离子切割机床、数控火焰切割机、数控三坐标测量机等。

#### 2. 按控制系统的特点分

##### (1) 点位控制数控机床。

这类数控机床的数控装置只要求精确地控制刀具相对于工件从一个坐标点到另一个坐标点的定位精度,而与轨迹运动无关。点位控制的特点是严格控制用最小位移量(即脉冲当量)表示的两点间的距离。为了精确定位和提高生产率,首先让刀具(或工作台)高速运行,然后进行 1~3 级减速,使之慢速趋近定位点,减小定位误差。这一类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

##### (2) 点位直线控制数控机床。

这类数控机床不仅要求具有准确的定位功能,而且要求从一点到另一点按直线运动进行切削加工。其路线一般由和各轴线平行的直线段组成。运动时的速度是可以控制的,对于不同的刀具和工件,可以选择不同的切削用量。这一类数控机床主要有数控车床、数控镗铣床、加工中心等。一般情况下,这些机床有 2~3 个可控轴,但同时控制轴只有一个。

##### (3) 轮廓切削控制数控机床。

这类数控机床能够对两个或两个以上坐标轴同时进行切削加工控制,它不仅能控制机

床移动部件的起点与终点坐标,而且能按需要严格控制刀具移动轨迹,以加工任意斜率的直线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面。

轮廓切削控制必须同时精确地控制两个以上的坐标轴运动,而最小设定单位又小,因此轮廓切削控制系统处理数据的速度比点位控制系统要高出上千倍,由于计算机技术的发展,这样的处理速度数控系统是能够达到的,现有数控机床都具备轮廓切削控制系统的功能。

### 3. 按伺服系统的类型分

#### (1) 开环控制数控机床。

这类数控机床不带位置检测反馈装置,通常使用功率步进电动机作为伺服驱动元件。当插补结果需要某个轴运动一个单位长度(即一个脉冲当量)时,向该轴伺服电路输出一个脉冲,经环形分配和功率放大后驱动步进电动机转动一步,通过丝杠转动使机床运动部件运动一个单位长度,如图 1.2 所示。

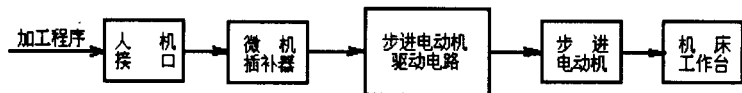


图 1.2 开环数控系统结构

开环数控系统对机械部件的传动误差没有补偿和校正,工作台的位移精度完全取决于步进电动机的步距角精度、机械传动机构的传动精度,所以控制精度较低。同时受步进电动机性能的影响,其速度也受到一定的限制。但这种系统具有工作稳定、调试方便、维修简单等优点,因此适用于经济型数控机床或旧机床的数控改造。

#### (2) 闭环控制数控机床。

这类数控机床的特点是装有位置测量反馈装置。加工中,直接安装在机床移动部件上的位移测量装置会随时、不断地测量机床移动部件的实际位移,并将测量得到的实际位移值反馈到数控系统中。比较装置把插补得出的指令位移与反馈的实际位移相比较,根据其差值控制电动机的转速,进行误差修正,直到位移误差消除为止,如图 1.3 所示。

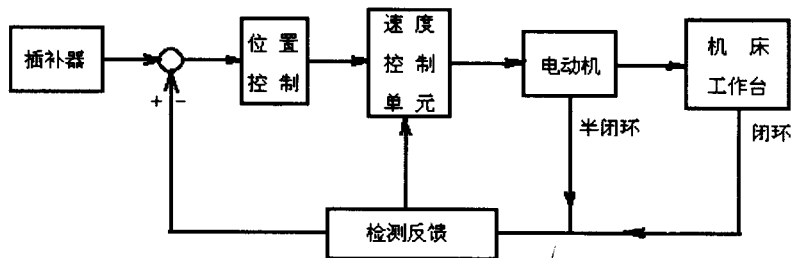


图 1.3 闭环系统结构

采用闭环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,所以可以获得很高的精度。由于系统增加了检测、比较和反馈装置,所以结构比较复杂,调试维修比较困难。

#### (3) 半闭环控制数控机床。



由于机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的，它们包含在闭环控制的位置环内，故很容易造成系统的不稳定，给闭环系统的调整造成困难。为了排除机械传动环节的非线性对系统稳定性的影响，半闭环数控系统的位置测量装置安装在伺服电动机转动轴上或丝杆的端部，也就是说反馈信号取自电动机轴或丝杠上，而不是机床的最终运动部件，如图 1.3 所示。

这种系统闭环环路内不包括机械传动环节，机械传动的精度误差将反映到被加工工件的精度中去。但由于半闭环控制系统可获得稳定的控制，而机械传动环节带来的误差可用补偿的办法消除，仍可获得满意的精度。因此，大多数数控机床采用半闭环系统。

#### 4. 按数控机床的功能水平分

按数控机床的功能可分为高、中、低（经济型）3 档。

##### （1）主轴功能。

主轴不能自动变速的为低档；可以自动无级变速的，甚至具有 C 轴功能的数控机床为中、高档。

##### （2）分辨率和进给速度。

分辨率为  $10\ \mu\text{m}$ 、进给速度在  $8\sim 15\text{m/min}$  为低档；分辨率为  $1\ \mu\text{m}$ 、进给速度在  $15\sim 24\text{m/min}$  为中档；分辨率为  $0.1\ \mu\text{m}$ 、进给速度在  $15\sim 100\text{m/min}$  为高档。

##### （3）伺服进给类型。

采用开环、步进电动机进给系统为低档；采用半闭环的直流伺服系统为中档；采用闭环控制的直流或交流伺服系统为高档。

##### （4）联动轴数。

低档数控机床联动轴数为 2~3 轴；中、高档的则为 3~5 轴以上。

##### （5）通信功能。

低档数控机床一般无通信功能；中档有 RS232C、RS485 等通信接口；高档的还有制造自动化协议（Manufacturing Automation Protocol，简称 MAP）通信接口，具有联网功能。

##### （6）主 CPU。

低档数控一般采用 8 位 CPU；中、高档的数控已由 16 位 CPU 向 32 位 CPU 过渡；国外最新的数控已有选用 64 位 CPU，以提高运算速度。

##### （7）显示功能。

低档数控一般只有简单的数码显示或简单的 CRT 字符显示；中档数控则有较齐全的 CRT 显示，不仅有字符，而且有图形、人一机对话、自诊断功能；高档数控还可以有三维图形显示。

##### （8）内装 PLC。

低档数控无内装 PLC；中、高档数控都有内装 PLC，高档数控内装 PLC 功能很强，并具有轴控制的扩展功能。

### 1.1.4 数控机床的主要技术参数

#### 1. 主要规格尺寸

数控车床主要有床身及刀架上的最大回转直径、最大车削长度、最大车削直径等；数

控铣床主要有工作台尺寸、工作台 T 形槽、工作台行程等规格尺寸。

## 2. 运动参数

### (1) 主轴转速。

数控机床主轴采用直流或交流伺服电动机驱动, 选用高速精密轴承支承, 保证主轴具有较宽调速范围和较高回转精度, 以及较高的刚度和抗震性。现代数控机床的主轴普遍达到 5000~10000r/min, 甚至更高, 这对提高加工质量和小孔加工极为有利。

### (2) 进给速度。

进给速度是影响加工质量、生产效率、刀具寿命的主要因素。目前, 数控机床的进给速度可达到 10~30m/min, 其中最大快进速度为不加工时移动的最大速度, 最大进给速度为加工时的最大速度。

## 3. 精度参数

### (1) 脉冲当量(分辨率)。

脉冲当量是影响数控机床的加工精度和表面质量的主要因素。简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01mm, 普通数控机床的脉冲当量为 0.001mm, 精密或超精密数控机床的脉冲当量为 0.0001mm。

### (2) 定位精度。

指数控机床工作台等移动部件所达到的实际位置的精度。实际位置与指令位置的差值为定位误差。引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给系统误差, 以及运动部件的几何误差。定位误差将直接影响零件加工的尺寸精度, 一般数控机床的定位精度为  $\pm 0.01\text{mm}$ 。

### (3) 重复定位精度。

指在相同条件下, 采用相同的操作方法, 重复进行同一动作时, 得到结果的一致程度。重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差, 它会影响批量加工零件的一致性。一般数控机床的重复定位精度为  $\pm 0.005\text{mm}$ 。

## 4. 刀具系统

数控车床包括刀架工位数、刀具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间等内容。

加工中心刀库容量与换刀时间直接影响其生产率。通常中小型加工中心的刀库容量为 16~60 把, 大型加工中心可达 100 把以上。换刀时间一般为 5~20s。

## 5. 其他技术参数

### (1) 冷却系统。

有冷却箱容量、冷却泵输出量等。

### (2) 尾座。

对数控车床有尾座套筒直径、行程等。

### (3) 外形尺寸。

表示长 $\times$ 宽 $\times$ 高。

### (4) 质量。

### (5) 电气。

有主电动机、伺服电动机功率等。

### 1.1.5 数控系统的主要功能

#### 1. 控制轴数和联动轴数

控制轴数是指数控系统可控制的、按加工要求运动的坐标轴数量。联动轴数是指数控系统可同时控制的、按加工要求运动的坐标轴数量。如某数控机床,机床本身具有 X、Y、Z 三个方向运动坐标轴,但数控系统仅可同时控制两个坐标(XY、YZ 或 XZ),则该机床的控制轴数为三轴,而联动轴数为两轴。

数控机床按联动轴数可分为以下 4 类。

##### (1) 两坐标数控机床。

如数控车床,加工曲面回转体;某些数控铣床,两联动铣斜面。

##### (2) 三坐标数控机床。

如一般的数控铣床、加工中心,三轴联动可加工曲面零件。

##### (3) $2\frac{1}{2}$ 坐标数控机床。

又称二轴半。实为二坐标联动,第三轴作周期性等距运动。

##### (4) 多坐标数控机床。

四轴及四轴以上联动称为多轴联动。

#### 2. 插补功能

数控系统中插补功能可分为粗插补和精插补,软件每次插补一个小线段称为粗插补;根据插补的结果,将小线段分为单个脉冲输出称为精插补。

进行加工的零件轮廓,大部分是由直线和圆弧构成;有的由更复杂的曲线构成,因此有直线、圆弧、螺旋线、抛物线和正弦曲线等插补功能。

#### 3. 进给功能

数控系统的进给功能包括快速进给、切削进给、手动连续进给、点动进给、进给率修调(倍率)、自动加减速功能。

#### 4. 主轴功能

数控系统的主轴功能包括恒转速控制、恒线速控制、主轴定向停止及主轴转速修调(倍率)等。恒线速控制即主轴自动变速,使刀具对工件切削点的线速度保持不变。主轴定向停止即换刀、精镗后退刀前,主轴在其周向准确定位。

#### 5. 刀具功能

此功能包括能选取刀具的数量和种类、刀具的编码方式、自动换刀方式。

#### 6. 刀具补偿

加工过程中由于刀具磨损或更换刀具,以及机械传动中的丝杠螺距误差和反向间隙,会导致实际加工尺寸与程序规定的尺寸不一致,造成加工误差。数控系统采用补偿功能,可以把刀具长度或直径的相应补偿量、丝杠螺距误差和反向间隙误差的补偿量输入数控系统的存储器,按补偿量重新计算刀具运动轨迹和坐标尺寸,从而加工出符合要求的零件。