



高职高专机电专业“十一五”规划教材

# 数控技术与应用

SHUKONG JISHU YU YINGYONG

王荪馨 主编

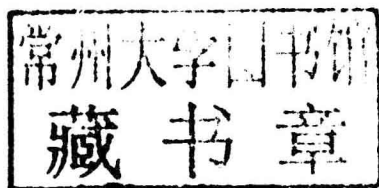


中国科学技术出版社  
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

高职高专机电专业“十一五”规划教材

# 数控技术与应用

王荪馨 主 编



中国科学技术出版社

CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 北 京 ·  
BEIJING

## 图书在版编目(CIP)数据

数控技术与应用/王荪馨主编. —北京:中国科学技术出版社,2010.1

ISBN 978-7-5046-5572-1

I. ①数… II. ①王… III. ①数控机床-高等学校:技术学校.-教材 IV. ①TG 659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 011134 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版。

## 内 容 摘 要

全书共九章,以数控技术的实际应用为基础,介绍数控设备的工作原理、控制原理,各组成部件的工作原理和组成并介绍了常见数控设备的使用与维护。在编写中,注意反映数控技术的现状及新技术和新发展,使该书具有一定的先进性,同时既注重基础理论,又能从实际出发,注重实用技术的培养。

本书适于高职高专机电一体化专业、机械制造自动化专业及其他相关专业作为教材使用,也可作为从事数控技术、机电一体化技术、自动化技术等工作的工程技术人员的参考书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

---

|      |         |      |     |
|------|---------|------|-----|
| 策划编辑 | 林 培 孙卫华 | 责任校对 | 林 华 |
| 责任编辑 | 孙卫华 王 强 | 责任印制 | 安利平 |

---

发行部:010-62173865 编辑部:010-84120695

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

科学普及出版社发行部发行

北京蓝空印刷厂印刷

\*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:13.25 字数:320 千字

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷 定价:24.00 元

ISBN 978-7-5046-5572-1/TG. 15

---

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、  
脱页者,本社发行部负责调换)

# 前 言

制造自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分，其核心技术是数控技术。近年来，数控技术以前所未有的速度发展和普及。制造业的迅猛发展急需大批能掌握现代数控技术的应用型高级技术人才。

为适应我国高等职业技术教育的改革与发展以及应用型技术人才培养的需要，我们总结多年教学与实践经验，编写了这本教材。

本书从高职高专教育的实际出发，根据国内高等职业技术教育的教学改革要求，以数控技术的实际应用为基础，介绍数控设备的工作原理、控制原理，各组成部件的工作原理和组成，并介绍了常见数控设备的使用与维护。

全书共9章，其中第1、第4章由西安职业技术学院张劲松编写，第2、第9章由陕西航空职业技术学院马亚娟编写，第3章由西安职业技术学院屈小军编写，第5、第6章由西安职业技术学院孙林编写，第7章由西安理工大学高等技术学院王荪馨编写，第8章由陕西工业职业技术学院苏宏志编写。本书由王荪馨任主编，完成全书统稿工作。苏宏志、马亚娟任副主编，由林敏捷先生主审。

由于高职高专的数控技术教学与实践结合的最佳途径尚在探索和发展之中，书中难免有不足之处，恳请读者提出批评。

编 者

2010年1月

## 编 委 会

主 编 王荪馨

副主编 苏宏志 马亚娟

编 委 张劲松 屈小军 孙 林

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 数控技术基础 .....          | 1  |
| 1.1 数控机床的系统组成及其基本原理 .....   | 1  |
| 1.1.1 数控机床的组成 .....         | 1  |
| 1.1.2 数控机床的工作原理 .....       | 3  |
| 1.2 数控机床的分类及加工对象 .....      | 3  |
| 1.2.1 数控机床的分类 .....         | 3  |
| 1.2.2 数控机床的特点及加工对象 .....    | 8  |
| 1.3 数控技术的发展方向 .....         | 10 |
| 1.3.1 数控机床和数控系统的发展 .....    | 10 |
| 1.3.2 机械制造系统的发展 .....       | 12 |
| 思考与练习 .....                 | 14 |
| 第 2 章 插补原理 .....            | 16 |
| 2.1 概述 .....                | 16 |
| 2.2 逐点比较法 .....             | 17 |
| 2.2.1 逐点比较法直线插补 .....       | 17 |
| 2.2.2 逐点比较法圆弧插补 .....       | 20 |
| 2.2.3 逐点比较法的合成进给速度控制 .....  | 23 |
| 2.3 数字积分插补法 .....           | 24 |
| 2.3.1 求和运算代替求积运算 .....      | 24 |
| 2.3.2 数字积分法直线插补 .....       | 24 |
| 2.3.3 数字积分法圆弧插补 .....       | 27 |
| 2.4 数据采样插补法 .....           | 28 |
| 2.4.1 插补周期与位置控制周期 .....     | 29 |
| 2.4.2 插补周期与精度、速度之间的关系 ..... | 29 |
| 2.4.3 数据采样法直线插补 .....       | 30 |
| 2.4.4 数据采样法圆弧插补 .....       | 31 |
| 思考与练习 .....                 | 32 |
| 第 3 章 数控系统及检测装置 .....       | 33 |
| 3.1 计算机数控装置 .....           | 33 |
| 3.1.1 CNC 系统的工作过程 .....     | 33 |
| 3.1.2 CNC 装置的功能 .....       | 35 |
| 3.1.3 CNC 系统的硬件结构 .....     | 37 |
| 3.1.4 CNC 系统的软件结构 .....     | 39 |
| 3.2 数控机床位置检测装置 .....        | 43 |
| 3.2.1 检测装置的要求与类型 .....      | 43 |

|            |                          |            |
|------------|--------------------------|------------|
| 3.2.2      | 脉冲编码器 .....              | 44         |
| 3.2.3      | 旋转变压器 .....              | 45         |
| 3.2.4      | 感应同步器 .....              | 46         |
| 3.2.5      | 光栅 .....                 | 49         |
| 3.2.6      | 磁栅 .....                 | 50         |
|            | 思考与练习 .....              | 51         |
| <b>第4章</b> | <b>数控机床的结构 .....</b>     | <b>52</b>  |
| 4.1        | 数控机床的结构组成 .....          | 52         |
| 4.1.1      | 数控机床的结构组成 .....          | 52         |
| 4.1.2      | 数控机床机械结构的特点 .....        | 53         |
| 4.2        | 数控机床的总体布局形式 .....        | 56         |
| 4.2.1      | 数控车床的总体布局形式 .....        | 56         |
| 4.2.2      | 加工中心的总体布局形式 .....        | 57         |
| 4.2.3      | 卧式加工中心、立式加工中心的布局形式 ..... | 58         |
| 4.3        | 数控机床的主传动系统 .....         | 59         |
| 4.3.1      | 对数控机床主传动系统的要求 .....      | 59         |
| 4.3.2      | 主轴部件机械结构 .....           | 60         |
| 4.3.3      | 主轴调速方式 .....             | 62         |
| 4.3.4      | 电主轴 .....                | 63         |
| 4.4        | 进给系统的机械传动结构 .....        | 64         |
| 4.4.1      | 进给传动系统种类 .....           | 65         |
| 4.4.2      | 对进给系统的性能要求 .....         | 65         |
| 4.4.3      | 滚珠丝杠螺母副 .....            | 66         |
| 4.4.4      | 导轨副 .....                | 72         |
| 4.5        | 数控机床的辅助装置 .....          | 76         |
| 4.5.1      | 自动换刀机构 .....             | 76         |
| 4.5.2      | 刀库 .....                 | 79         |
| 4.5.3      | 刀具交换装置 .....             | 83         |
| 4.5.4      | 工件自动交换 .....             | 85         |
| 4.5.5      | 液压和气动系统 .....            | 89         |
| 4.5.6      | 润滑系统 .....               | 94         |
| 4.5.7      | 冷却系统 .....               | 95         |
| 4.5.8      | 排屑装置 .....               | 96         |
| 4.5.9      | 过载保护、超程限位和回机床参考点装置 ..... | 97         |
|            | 思考与练习 .....              | 99         |
| <b>第5章</b> | <b>数控机床编程基础 .....</b>    | <b>100</b> |
| 5.1        | 数控编程的基本概念 .....          | 100        |
| 5.1.1      | 数控编程 .....               | 100        |
| 5.1.2      | 程序编制的内容和步骤 .....         | 100        |
| 5.1.3      | 数控编程的方法 .....            | 101        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 5.2 数控机床的坐标系                 | 102        |
| 5.2.1 机床坐标系和方向               | 102        |
| 5.2.2 各坐标轴运动方向的确定            | 102        |
| 5.2.3 绝对坐标系和相对坐标系            | 104        |
| 5.2.4 机床坐标系与工件坐标系            | 104        |
| 5.3 数控编程中的指令代码               | 105        |
| 5.3.1 F、S、T 代码               | 105        |
| 5.3.2 准备功能 G 指令              | 106        |
| 5.3.3 辅助功能 M 指令              | 106        |
| 5.4 程序结构与程序段格式               | 107        |
| 5.4.1 程序的结构                  | 107        |
| 5.4.2 程序段格式                  | 107        |
| 5.4.3 程序的分类                  | 108        |
| 5.5 数控编程中的有关标准及代码            | 109        |
| 思考与练习                        | 110        |
| <b>第 6 章 数控机床编程技术</b>        | <b>111</b> |
| 6.1 常用编程指令                   | 111        |
| 6.1.1 绝对和增量尺寸编程指令 G90/G91    | 111        |
| 6.1.2 工件坐标系设定指令 G92/G50      | 112        |
| 6.1.3 工件坐标系的选取指令 G54 ~ G59   | 112        |
| 6.1.4 坐标平面设定指令 G17、G18、G19   | 113        |
| 6.2 刀具运动方式有关的 G 指令           | 113        |
| 6.2.1 快速定位指令 G00             | 113        |
| 6.2.2 直线插补指令 G01             | 114        |
| 6.2.3 圆弧插补指令 G02/G03         | 114        |
| 6.3 刀具补偿功能                   | 115        |
| 6.3.1 刀具半径补偿指令 (G41/G42、G40) | 115        |
| 6.3.2 刀具长度补偿指令 (G43/G44)     | 116        |
| 6.3.3 刀具位置补偿                 | 117        |
| 6.3.4 刀尖圆弧半径补偿               | 117        |
| 6.4 数控车床的程序编制                | 120        |
| 6.4.1 数控车床的编程要点              | 120        |
| 6.4.2 坐标系                    | 120        |
| 6.4.3 数控车床加工工序的编排            | 121        |
| 6.4.4 准备功能指令                 | 121        |
| 6.4.5 辅助功能指令                 | 122        |
| 6.4.6 固定循环                   | 123        |
| 6.4.7 暂停指令 G04               | 126        |
| 6.4.8 螺纹加工                   | 127        |
| 6.4.9 数控车床编程实例               | 131        |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 6.5 数控铣床的程序编制 .....            | 133 |
| 6.5.1 孔加工固定循环 .....            | 134 |
| 6.5.2 数控铣床编程实例 .....           | 138 |
| 思考与练习 .....                    | 141 |
| <b>第7章 PLC 在数控机床上的应用</b> ..... | 144 |
| 7.1 PLC 工作原理 .....             | 144 |
| 7.1.1 PLC 的特点 .....            | 144 |
| 7.1.2 PLC 的应用领域 .....          | 145 |
| 7.1.3 PLC 系统的组成 .....          | 146 |
| 7.1.4 PLC 的工作原理 .....          | 150 |
| 7.2 数控机床用 PLC .....            | 152 |
| 7.2.1 数控机床 PLC 的控制对象 .....     | 152 |
| 7.2.2 数控机床的 PLC .....          | 153 |
| 7.2.3 PLC 在数控机床上的配置方式 .....    | 153 |
| 7.3 主轴控制 .....                 | 154 |
| 7.3.1 主轴准停控制 .....             | 154 |
| 7.3.2 主轴正、反转及停止控制 .....        | 155 |
| 7.4 润滑系统的 PLC 控制 .....         | 156 |
| 7.5 刀库自动选刀控制 .....             | 159 |
| 思考与练习 .....                    | 161 |
| <b>第8章 伺服驱动系统</b> .....        | 162 |
| 8.1 数控机床伺服系统概念 .....           | 162 |
| 8.1.1 伺服驱动系统概念 .....           | 162 |
| 8.1.2 伺服系统的组成与分类 .....         | 163 |
| 8.2 步进电动机伺服系统 .....            | 164 |
| 8.2.1 工作台控制 .....              | 164 |
| 8.2.2 步进电机的工作原理及其特点 .....      | 165 |
| 8.2.3 步进电机的选用 .....            | 168 |
| 8.2.4 步进电动机的驱动控制 .....         | 172 |
| 8.3 直流电动机伺服系统 .....            | 174 |
| 8.3.1 直流伺服电动机分类 .....          | 174 |
| 8.3.2 永磁式直流伺服电动机 .....         | 175 |
| 8.3.3 直流伺服电动机的速度控制方法 .....     | 177 |
| 8.4 交流伺服电动机及其速度控制 .....        | 179 |
| 8.4.1 交流伺服电动机概述 .....          | 179 |
| 8.4.2 交流伺服电动机调速原理 .....        | 180 |
| 8.4.3 变频调速技术 .....             | 181 |
| 思考与练习 .....                    | 183 |
| <b>第9章 数控机床常见故障诊断与维护</b> ..... | 184 |
| 9.1 数控机床的保养与维护 .....           | 184 |

|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 9.1.1 | 数控机床保养与维护的作用与意义  | 184 |
| 9.1.2 | 数控机床保养维护的基本要求    | 184 |
| 9.1.3 | 机床日常维护保养要点       | 185 |
| 9.2   | 数控机床的故障诊断        | 187 |
| 9.2.1 | 数控机床的可靠性概念       | 187 |
| 9.2.2 | 数控机床故障分类         | 187 |
| 9.2.3 | 数控机床故障诊断技术       | 191 |
| 9.2.4 | 数控机床故障紧急处理、分析与判断 | 193 |
| 9.3   | 数控机床的故障检查方法      | 193 |
| 9.4   | 数控机床常见故障的处理      | 195 |
| 9.4.1 | 机械部件常见故障及处理      | 195 |
| 9.4.2 | 电气部件常见故障及处理      | 195 |
| 9.4.3 | 进给伺服系统常见故障及处理    | 195 |
| 9.4.4 | 主轴伺服系统常见故障及处理    | 196 |
| 9.4.5 | 数控系统常见故障及处理      | 197 |
| 9.4.6 | 数控机床的抗干扰性措施      | 199 |
| 9.4.7 | 数控系统电磁兼容性的要求     | 200 |
| 9.4.8 | 机床数控系统的抗电磁干扰措施   | 200 |
|       | 思考与练习            | 201 |
|       | 参考文献             | 202 |

# 第 1 章 数控技术基础

## 【教学目的与要求】

掌握数控机床的概念、组成、工作原理、分类、加工对象及发展趋势等。

## 【教学重点与难点】

数控机床的组成、工作原理、加工对象。

## 1.1 数控机床的系统组成及其基本原理

科学技术和社会生产的不断发展,机械产品日趋精密、复杂,改型也日益频繁,这对加工机械产品的生产设备的性能、精度、自动化程度等提出了越来越高的要求。

在机械制造业中,单件、小批量生产的零件约占机械加工总量的 70% ~ 80%。为满足多品种、小批量,特别是结构复杂、精度要求高的零件的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的、能够适于产品频繁变化的“柔性”自动化机床。

为了解决上述问题,一种新型的数字程序控制机床应运而生,它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批量生产,特别是复杂型面零件的生产提供了自动化加工手段。

数字程序控制机床即数控机床 (NC Machine),即采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。

数控技术是综合了计算机、自动控制、电气传动、测量、监控、机械制造等技术学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术,是 FMS、CIMS、FA 的基础技术之一,是现代机械制造业的一项高新技术。

数控系统 (NC System) 是一种程序控制系统,它能处理输入到系统中具有特定代码的程序,将其译码,从而使机床运动并加工零件。

数字控制 (Numerical Control, 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。

数控机床是集机械、电气、液压、气动、微电子和信息等多项技术为一体的机电一体化产品,是机械制造设备中具有高精度、高效率、高自动化和高柔性化等优点的工作母机。数控机床的技术水平高低及其在金属切削加工机床产量和总拥有量的百分比是衡量一个国家国民经济发展和工业制造整体水平的重要标志之一。

### 1.1.1 数控机床的组成

数控机床通常由以下几部分组成:机床本体、数控装置、伺服驱动装置和辅助控制装置。

(1) 机床本体:数控机床的机床本体与传统机床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。

与传统的手动机床相比,数控机床的结构强度、刚度和抗震性以及外部造型、整体布

局，传动系统与刀具系统的部件结构和操作机构等方面都已发生了很大的变化，其目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的效能。

(2) 数控装置。数控装置一般是指控制机床运动的计算机，是属于控制机床运动的中枢系统。它的功能是接受输入装置输入的加工信息，经过处理与计算，发出相应的脉冲送给伺服系统，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动。

数控装置是数控机床的中枢。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制机床各部分的工作，使其进行规定的顺序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成，刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动，即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据，不能满足精度要求。因此要进行轨迹插补，也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应坐标输出脉冲信号，控制各坐标轴（即进给运动各执行部件）的进给速度、进给方向和进给位移量等。

(3) 伺服系统。伺服系统是数控系统的执行部分，它是由速度控制环、位置控制环、驱动伺服电机和相应的机械传动装置组成。当数控装置输出指令电脉冲信号给伺服系统时，伺服系统就控制机床上的移动部件作相应的移动，并对定位的精度和速度加以控制。

驱动装置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移动部件，以加工出符合图样要求的零件。驱动装置包括控制器（含功率放大器）和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来，经反馈系统输入到机床的数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较，控制驱动装置按指令设定值运动。

(4) 辅助控制装置。辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判别和运算，再经功率放大后驱动相应的电器，带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、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，分度工作台转位分度等开关辅助动作。

现广泛采用可编程控制器（PLC）做数控机床的辅助控制装置。

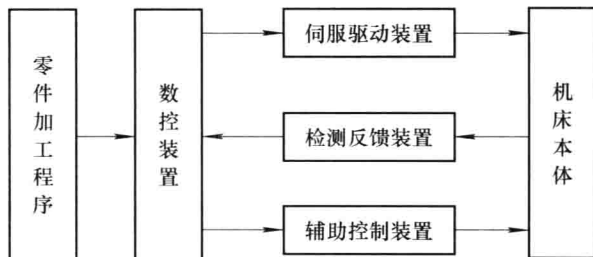


图 1-1 数控机床的组成

## 1.1.2 数控机床的工作原理

### 1. 数控机床加工零件一般过程

(1) 根据零件的图样与工艺方案,用规定的代码和程序格式编写程序单,并把它记录在载体上;

(2) 把程序载体上的程序通过输入装置输入到 CNC 单元中去;

(3) CNC 单元将输入的程序经过处理之后,向机床各个坐标的伺服系统发出信号;

(4) 伺服系统根据 CNC 单元发出的信号,驱动运动部件,并控制必要的辅助操作;

(5) 通过机床机械部分带动刀具与工件的相对运动,加工出要求的工件;

(6) 检测机床的运动,并通过反馈装置反馈给 CNC 单元,以减小加工误差。

### 2. 在数控机床上加工零件通常需要经过以下几个步骤

(1) 制订工艺规程;

(2) 将 NC 程序通过输入装置传输到数控机床的 CNC 系统;

(3) CNC 系统分析程序段,并按要求将相应的指令、数值传送到各个坐标轴的伺服系统及机床强电控制系统;

(4) 伺服系统驱动机床的运动部件;

(5) 检测元件检测并反馈给数控系统;

(6) 机床辅助动作由数控系统的 PLC 直接控制。

## 1.2 数控机床的分类及加工对象

### 1.2.1 数控机床的分类

数控机床通常从以下不同角度进行分类。

#### 1. 按工艺用途分类

目前,数控机床的品种规格已达 500 多种,按其工艺用途可以划分为以下四大类。

(1) 金属切削类,又可分为两类:

1) 普通数控机床包括数控车床、铣床、钻床、磨床、齿轮加工机床。

2) 数控加工中心包括车削加工中心、镗铣加工中心。

(2) 金属成形类指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床,常用的有数控弯管机、数控压力机、数控冲剪机、数控折弯机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控激光与火焰切割机。

(4) 非加工设备类主要有数控绘图机、数控坐标测量机、数控对刀仪、工业机器人等。

#### 2. 按控制运动的方式分类

(1) 点位控制数控机床。机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位,在移动和定位过程中不进行任何加工。

点位控制系统精确地控制刀具相对工件从一个坐标点移动到另一个坐标点，移动过程中不进行任何切削加工，因此点与点之间的移动轨迹、速度和路线决定了生产率的高低。为了提高加工效率，保证定位精度，系统采用“快速趋近，减速定位”的方法实现控制。这类数控机床有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。

点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

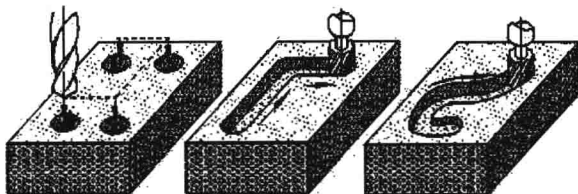


图 1-2 控制运动的方式

(2) 点位直线控制数控机床。机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移动定位，而且要控制工作台以一定的速度沿平行坐标轴方向进行直线切削加工。

直线控制系统不仅要求具有准确的定位功能，而且要控制两点之间刀具移动的轨迹是一条直线，且在移动过程中刀具能以给定的进给速度进行切削加工。

直线控制系统的刀具运动轨迹一般是平行于各坐标轴的直线；如果同时驱动两套运动部件，其合成运动的轨迹，按照两运动方向的速度比，形成与坐标轴成一定夹角的斜线。这类数控机床有某些数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制数控机床不仅可完成点位及点位直线控制数控机床的加工功能，而且能够对两个或两个以上坐标轴进行插补，因而具有各种轮廓切削加工功能。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床都是典型的轮廓控制数控机床。轮廓控制系统的结构要比点位直线控制系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。

### 3. 按伺服系统的控制方式分类

(1) 开环数控机床。其控制系统不带反馈装置，通常使用功率步进电动机为伺服执行机构。

在开环控制系统中，CNC 装置输出的指令脉冲经驱动电路进行功率放大，控制步进电机转动，再经机床传动机构带动工作台移动，如图 1-3 所示。

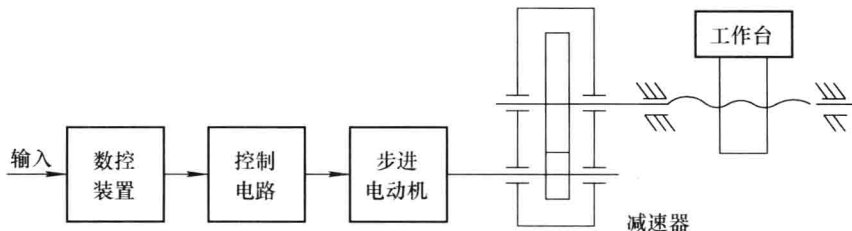


图 1-3 开环控制系统框图

这类系统结构简单、价格低廉，调试和维修都比较方便，但无位置闭环控制，不能进

行误差校正, 步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度, 因而精度较差。开环控制系统精度主要取决于步进电机及传动机构的精度, 因此仅适用于加工精度要求不很高的中小型数控机床, 特别是简易经济型数控机床。

(2) 半闭环控制数控机床。半闭环控制数控机床的特点是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角度检测装置 (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, 并与 CNC 装置的指令值进行比较, 用差值进行控制, 对误差进行修正。如图 1-4 所示, 半闭环控制系统以交、直流伺服电机作为驱动元件, 由位置比较、速度控制、伺服电机等部分组成。

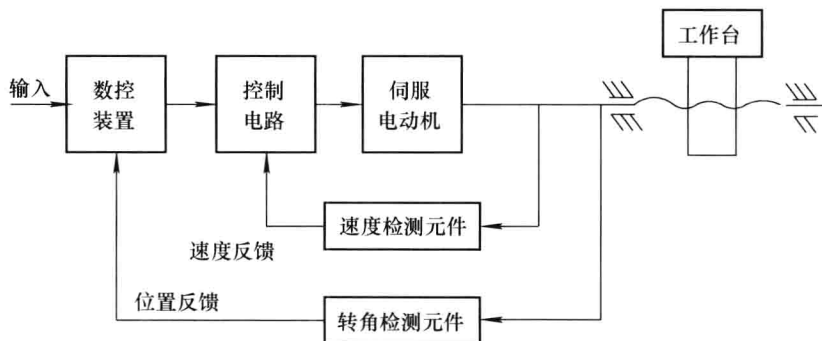


图 1-4 半闭环控制系统框图

半闭环数控系统的调试比较方便, 并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体, 使结构更加紧凑。这类控制可以获得比开环系统更高的精度, 调试比较方便, 因而得到广泛应用。

(3) 闭环控制数控机床。闭环控制数控机床的特点是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置, 将测量的实际位移值反馈到数控装置中, 与输入 CNC 装置的指令位移值进行比较, 用差值对机床进行控制, 使移动部件产生相应的运动, 其控制框图如图 1-5 所示。

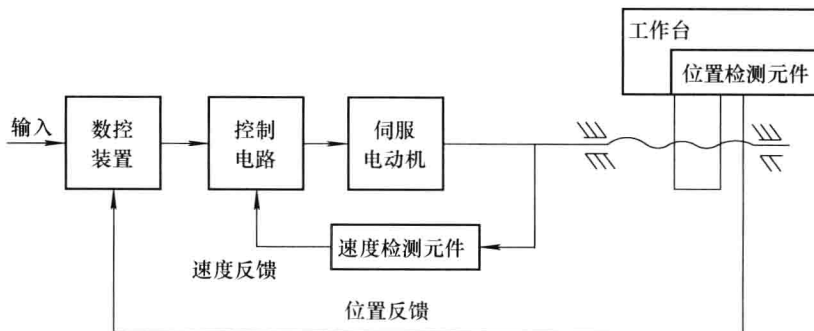


图 1-5 闭环控制系统框图

闭环控制系统以交直流伺服电机作为驱动元件, 用于精度要求高的数控机床, 如数控精密镗铣床。

(4) 混合控制数控机床: 将以上三类数控机床的特点结合起来, 就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适用于大型或重型数控机床。

混合控制系统分为以下两种形式。

1) 开环补偿型。图 1-6 为开环补偿型控制方式。其特点是基本控制选用步进电动机的开环伺服机构，另外附加一个校正电路。通过装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

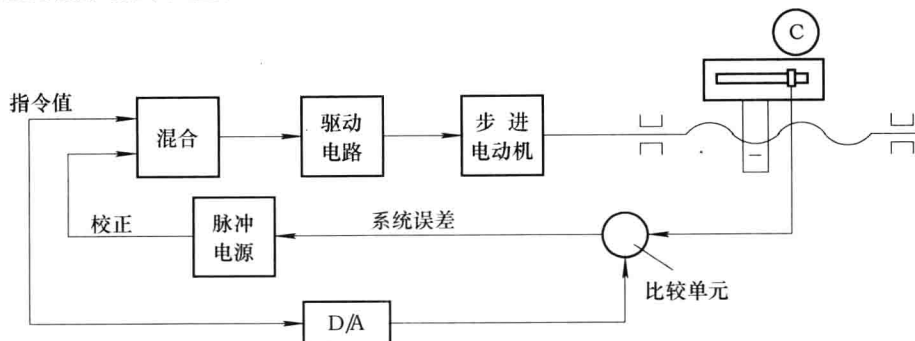


图 1-6 开环补偿型控制系统

2) 半闭环补偿型。图 1-7 为半闭环补偿型控制方式。其特点是用半闭环控制方式取得高速度控制，再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正，以获得高速度与高精度的统一。

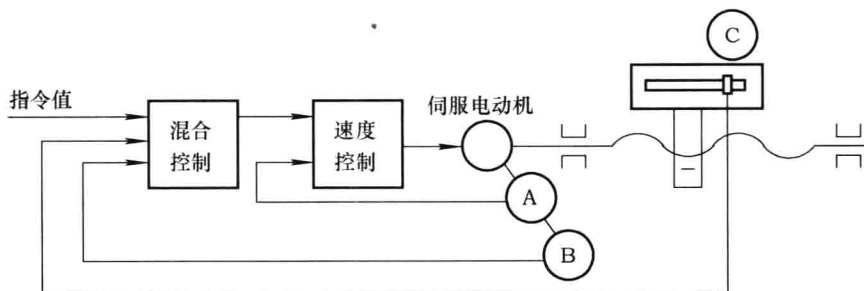


图 1-7 半闭环补偿控制系统

#### 4. 按所用数控系统的档次分类

按所用数控系统的档次通常把数控机床分为低、中、高档三类，见表 1-1。中、高档数控机床一般称为全功能数控或标准型数控。

表 1-1 数控机床分类

| 功能 \ 档次   | 低档数控机床                                               | 中档数控机床                                               | 高档数控机床                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 进给当量和进给速度 | 进给当量为 $10\mu\text{m}$ ，进给速度在 $8 \sim 15\text{m/min}$ | 进给当量为 $1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15 \sim 24\text{m/min}$ | 进给当量为 $0.1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15 \sim 100\text{m/min}$ |
| 伺服进给系统    | 开环、步进电动机                                             | 半闭环直流伺服系统或交流伺服系统                                     | 闭环伺服系统、电机主轴、直线电机                                        |
| 联动轴数      | 2~3 轴                                                | 3~4 轴                                                | 3 轴以上                                                   |

续表

| 功能 \ 档次 | 低档数控机床             | 中档数控机床             | 高档数控机床                 |
|---------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 通信功能    | 无                  | RS232 或 DNC 接口     | RS232、RS432、DNC、MAP 接口 |
| 显示功能    | 数码管显示或简单的 CRT 字符显示 | 功能较齐全的 CRT 显示或液晶显示 | 功能齐全的 CRT (三维动态图形显示)   |
| 内装 PLC  | 无                  | 有                  | 有强功能的 PLC, 有轴控制的扩展功能   |
| 主 CPU   | 8 位 CPU 或 16 位 CPU | 由 16 位向 32 位过渡     | 32 位 CPU 向 64 位 CPU 发展 |

### 5. 按可联动的坐标轴分类

数控机床的联动数是指机床数控装置的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。目前有两轴联动（数控车床、数控线切割机床）；两轴半联动（数控铣床）；三轴联动（数控铣床）；四轴联动、五轴联动（加工中心）。

(1) 两轴联动：如图 1-8 所示，主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面。

(2) 两轴半联动：主要用于三轴以上机床的控制，其中两根轴可以联动，而另外一根轴可以作周期性进给。图 1-9 所示为采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

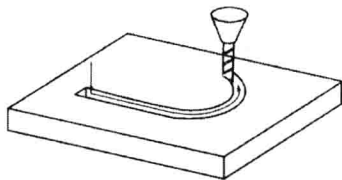


图 1-8 两轴联动

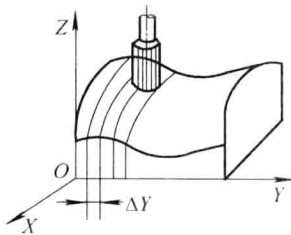


图 1-9 两轴半联动

(3) 三轴联动：一般分为两类，一类是  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴联动，多用于数控铣床、加工中心等，如图 1-10 所示用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  中两个直线坐标外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心，除了纵向（ $Z$  轴）、横向（ $X$  轴）两个直线坐标轴联动外，还需同时控制围绕  $Z$  轴旋转的主轴（ $C$  轴）联动。

(4) 四轴联动：同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，图 1-11 所示为同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

(5) 五轴联动：除同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  坐标轴中的两个坐标轴，形成同时控制的五个轴联动，这

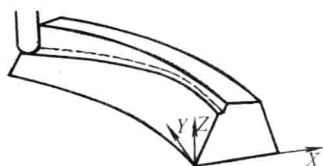


图 1-10 三轴联动