



高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

# 数控技术及应用

主 编 王国永  
副主编 倪红兵 刘春哲  
主 审 柴增田



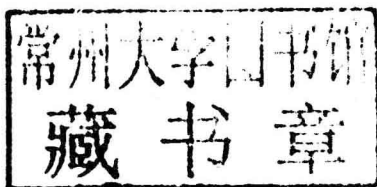
國防工業出版社

National Defense Industry Press

高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

# 数控技术及应用

主 编 王 国 永  
副 主 编 倪 红 兵 刘 春 哲  
参 编 张 春 青 刘 艳 军  
主 审 柴 增 田



国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书是根据高等职业教育机电类专业人才培养目标和要求编写的,力求取材新颖,全面介绍数控编程及数控系统的原理和应用知识。

本书共分8章。第1章简要介绍数控系统的基本概念、组成及分类等;第2章介绍数控编程的有关知识;第3章主要介绍插补原理与刀具补偿原理;第4章介绍CNC装置;第5章主要介绍伺服系统的工作原理;第6章介绍位置检测装置的工作原理;第7章主要介绍数控系统中PLC的应用;第8章介绍数控系统的连接。本书力求体现高等职业教育的特色,内容浅显易懂,突出实用性,强调学生工程实践能力的培养。

本书可作为高职院校机械制造、数控技术、机电一体化等相关专业的教学用书,也可供相关领域技术人员参考阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用/王国永主编. —北京:国防工业出版社,2012.8

高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-118-08207-4

I. ①数… II. ①王… III. ①数控机床—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第171235号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 17½ 字数 398千字

2012年8月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 30.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

教材建设是高职院校教育教学工作的重要组成部分,高质量的教材是培养高质量人才的基本保证,高职教材作为体现高职高专教育特色的知识载体和教学的基本工具,直接关系到高职教育能否为一线岗位培养符合要求的高技术性、应用性人才。

按照国家对高职高专新编教材的要求,不仅要改革教学内容,而且要改革教学方法,把教学方法体现在教材之中;不强调知识的系统性,而是"以实用为主,以必需和够用为度",并注重学生能力的培养。本书在编写过程中结合编者多年的实践和教学经验,参考了数控技术发展的最新成果,体现了当前高职教育教学改革的趋势。全书设置大量实例和例题,以培养学生动手能力为主线,达到理论浅显通俗、实用性强的目的;将能力培养融于必要知识点的讲解之中,注重实践性教学和知识的综合应用,注重学生实际操作能力的培养和提高。

全书围绕数控机床的核心技术——数控编程和数控系统,全面、系统地介绍了数控车床编程、数控铣床及加工中心的编程、数控系统的基本组成、各部分的主要功能及工作原理。重点介绍了以华中数控 HNC-21T 为对象的数控车床的编程和以 SIEMENS 802S 数控系统为对象的数控铣床的编程,着重介绍了数控系统中伺服系统、位置检测装置、CNC 装置、PLC 的工作原理及插补原理。

本书由承德石油高等专科学校组织编写。全书由王国永担任主编,倪红兵、刘春哲担任副主编,张春青、刘艳军参与编写。本书由承德石油高等专科学校柴增田主审。具体编写分工为:王国永编写第 2 章、第 3 章、第 5 章和第 7 章;倪红兵编写第 8 章;刘春哲编写第 4 章;张春青编写第 1 章;刘艳军编写第 6 章。全书由王国永统稿。

本书编写过程中,编者参阅了有关院校、工厂、科研单位的相关教材、资料和文献,得到了企业界人士和学校同事、专家的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

本教材可作为高职院校、成人高校及本科院校举办的二级职业学院机械制造、数控技术、机电一体化等相关专业的教学用书,也可供相关领域技术人员参考阅读。

由于编者水平有限,书中的错误和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012.5

# 目 录

<b>第 1 章 数控技术概述</b> .....	1
1.1 数控技术的基本概念 .....	1
1.2 数控机床的组成和工作过程 .....	1
1.2.1 数控机床的组成 .....	1
1.2.2 数控机床的工作过程 .....	4
1.3 数控系统的分类 .....	5
1.4 数控机床的特点和性能指标 .....	9
1.4.1 数控机床的特点 .....	9
1.4.2 数控机床的性能指标 .....	11
1.5 数控技术的发展 .....	14
1.5.1 数控技术的产生与发展过程 .....	14
1.5.2 数控技术的发展趋势 .....	15
本章小结 .....	20
思考与练习题 .....	20
<b>第 2 章 数控加工工艺与编程</b> .....	21
2.1 数控加工编程基础 .....	21
2.1.1 数控编程的方法 .....	21
2.1.2 数控编程的内容和步骤 .....	21
2.1.3 数控机床的坐标系 .....	22
2.1.4 程序代码与程序段格式 .....	25
2.2 数控车床的加工编程 .....	26
2.2.1 数控车床的加工编程基础 .....	27
2.2.2 数控车削加工工艺 .....	28

2.2.3	数控车削系统基本功能 .....	30
2.2.4	数控车床坐标系设定 .....	35
2.2.5	数控车床基本编程指令 .....	36
2.2.6	车床刀具补偿 .....	48
2.2.7	车床固定循环 .....	52
2.2.8	螺纹车削编程 .....	61
2.2.9	子程序 .....	66
2.2.10	宏程序 .....	67
2.2.11	数控车床的综合编程 .....	69
2.3	数控铣床及加工中心的加工编程 .....	71
2.3.1	数控铣床及加工中心的编程基础 .....	71
2.3.2	数控铣床及加工中心的加工工艺 .....	72
2.3.3	数控铣削系统基本功能 .....	74
2.3.4	坐标轴运动指令编程 .....	80
2.3.5	倒圆和倒角编程 .....	83
2.3.6	刀具补偿 .....	84
2.3.7	子程序编程 .....	87
2.3.8	参数编程和程序跳转 .....	89
2.3.9	加工循环编程 .....	91
2.3.10	铣削综合编程实例 .....	97
	本章小结 .....	100
	思考与练习题 .....	100
<b>第3章</b>	<b>插补原理与刀具补偿原理</b> .....	<b>104</b>
3.1	概述 .....	104
3.2	逐点比较法 .....	106
3.2.1	逐点比较法第一象限直线插补 .....	106
3.2.2	逐点比较法第一象限逆圆插补 .....	112
3.2.3	逐点比较法象限处理 .....	114
3.2.4	逐点比较法进给速度 .....	115
3.3	数字积分法 .....	116

3.3.1	数字积分法插补原理 .....	116
3.3.2	数字积分法直线插补 .....	117
3.3.3	数字积分法圆弧插补 .....	119
3.3.4	数字积分法插补象限处理 .....	122
3.3.5	数字积分法合成进给速度 .....	123
3.3.6	数字积分法的稳速控制 .....	124
3.4	数据采样插补法 .....	126
3.4.1	数据采样插补法原理 .....	126
3.4.2	时间分割法直线插补 .....	127
3.4.3	时间分割法圆弧插补 .....	128
3.4.4	扩展 DDA 数据采样插补法 .....	130
3.5	刀具补偿原理 .....	132
3.5.1	刀具半径补偿原理 .....	132
3.5.2	刀具长度补偿原理 .....	136
	本章小结 .....	137
	思考与练习题 .....	138
<b>第 4 章</b>	<b>CNC 装置</b> .....	<b>139</b>
4.1	概述 .....	139
4.1.1	CNC 装置的工作过程 .....	140
4.1.2	CNC 装置的功能 .....	141
4.2	CNC 装置的硬件结构 .....	143
4.2.1	单微处理器和多微处理器结构 .....	143
4.2.2	大板式结构和功能模块式结构 .....	148
4.2.3	开放式数控系统结构 .....	149
4.2.4	SIEMENS 802D 数控系统的硬件组成与连接 .....	151
4.3	CNC 装置软件的组成 .....	158
4.3.1	CNC 装置软、硬件组合类型 .....	158
4.3.2	CNC 系统控制软件的特点 .....	159
4.3.3	CNC 系统软件的工作过程 .....	163
	本章小结 .....	167



思考与练习题 .....	168
<b>第 5 章 伺服系统</b> .....	169
5.1 概述 .....	169
5.1.1 伺服系统的组成与分类 .....	169
5.1.2 伺服系统的基本要求 .....	171
5.2 步进电动机及驱动电路 .....	171
5.2.1 步进电动机简介 .....	171
5.2.2 步进电动机的工作原理和主要特性 .....	172
5.2.3 步进电动机的控制 .....	176
5.2.4 步进电动机驱动装置的应用实例 .....	180
5.3 交流电动机伺服系统 .....	182
5.3.1 交流伺服电动机的类型 .....	182
5.3.2 交流伺服电动机的工作原理 .....	183
5.3.3 交流伺服系统的控制方法 .....	184
5.3.4 交流伺服电动机驱动系统应用实例 .....	186
5.4 直流伺服电动机 .....	192
5.4.1 直流伺服电动机的类型、结构与工作原理 .....	192
5.4.2 直流伺服电动机的静态特性 .....	193
5.4.3 直流电动机的调速 .....	194
本章小结 .....	194
思考与练习题 .....	195
<b>第 6 章 位置检测装置</b> .....	196
6.1 概述 .....	196
6.2 光电编码器 .....	197
6.2.1 增量式光电编码器 .....	197
6.2.2 绝对式光电编码器 .....	199
6.2.3 编码器在数控机床中的应用 .....	202
6.3 光栅 .....	203
6.3.1 光栅的种类 .....	204
6.3.2 直线透射光栅的工作原理 .....	205

6.3.3	光栅的特点和应用 .....	208
6.4	感应同步器 .....	210
6.4.1	感应同步器的工作原理 .....	210
6.4.2	感应同步器的应用 .....	211
6.4.3	感应同步器的安装与使用 .....	214
	本章小结 .....	215
	思考与练习题 .....	215
<b>第7章</b>	<b>数控系统中的 PLC 控制</b> .....	<b>216</b>
7.1	概述 .....	216
7.2	数控系统中的 PLC .....	217
7.2.1	PLC 的基本结构 .....	217
7.2.2	PLC 的特点 .....	218
7.2.3	PLC 的工作过程 .....	219
7.2.4	数控系统中 PLC 的种类 .....	220
7.3	数控系统中 PLC 的信息交换 .....	223
7.4	数控系统中 PLC 的控制功能实现 .....	225
7.5	数控系统中 PLC 的应用实例 .....	230
7.5.1	典型 PLC 介绍 .....	230
7.5.2	PLC 应用实例 .....	238
	本章小结 .....	246
	思考与练习题 .....	246
<b>第8章</b>	<b>数控系统的连接</b> .....	<b>247</b>
8.1	FANUC 数控系统 .....	247
8.2	SIEMENS 数控系统 .....	254
8.3	华中数控系统 .....	262
	本章小结 .....	267
	思考与练习题 .....	267
	参考文献 .....	268

# 第 1 章 数控技术概述

## 1.1 数控技术的基本概念

数控技术是 20 世纪 40 年代后期发展起来的一种自动化技术，它综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量和机械制造等学科的内容，目前在机械制造业中已得到了广泛的应用。

在加工机床得到广泛应用的数控技术，是一种采用计算机对机械加工过程中各种控制信息进行数字化运算、处理，并通过高性能驱动单元对机械执行机构进行自动化控制的高新技术。目前已有大量机械加工设备采用数控技术，其中最典型、应用最广泛的是数控机床。下面给出几个相关概念的定义。

(1) 数字控制。数字控制 (Numerical Control, NC) 是一种用数字化信号对控制对象 (如机床的运动及其加工过程) 进行自动控制的技术，简称为数控。

(2) 数控技术。数控技术是指用数字、字母和符号对某一工作过程进行可编程的自动控制技术。

(3) 数控系统。数控系统是指实现数控技术相关功能的软、硬件模块的有机集成系统，它是数控技术的载体。

(4) 计算机数控系统。计算机数控系统 (Computer Numerical Control, CNC) 是指以计算机为核心的数控系统。

(5) 数控机床。数控机床 (NC Machine) 是指应用数控技术对加工过程进行控制的机床，或者说装备了数控系统的机床。

国际信息化处理联盟 (International Federation of Information Processing, IFIP) 第五技术委员会对数控机床的定义为：数控机床是一种装有程序控制系统的机床，该系统能逻辑地处理具有特定代码或其他符号编码指令规定的程序。

数控机床是严格按照从外部输入的程序来自动地对被加工工件进行加工的。为了与数控系统的内部程序 (系统软件) 及自动编程用的零件源程序相区别，把从外部输入的直接用于加工的程序称为数控加工程序，简称为数控程序，它是机床数控系统的应用软件。

数控系统的种类繁多，使用的数控程序的语言规则和格式也不尽相同，应该严格按照机床编程手册中的规定进行程序编制。

## 1.2 数控机床的组成和工作过程

### 1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出设备、数控装置、操作面板、进给伺服系统、主轴驱动

系统、可编程序控制器（PLC）、位置检测反馈装置及其接口电路和机床本体等部分构成，如图 1-1 所示。机床本体以外的部分统称为数控系统，数控装置是数控系统的核心。数控机床各部分的功能简介如下。

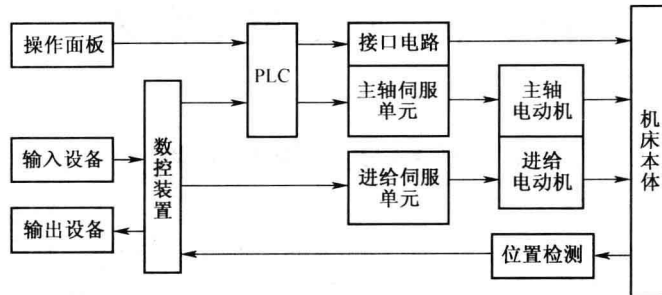


图 1-1 数控机床的组成

### 1. 输入/输出设备

CNC 机床在进行加工前，必须接受由操作人员输入的零件加工程序，然后才能根据输入的加工程序进行加工控制，从而加工出所需的零件。在加工过程中，操作人员要向机床数控装置输入操作命令，数控装置要为操作人员显示必要的信息，如坐标值、报警信号等。此外，输入的程序并非全部正确，有时需要编辑、修改和调试。以上工作都是机床数控系统和操作人员进行信息交流的过程，要进行信息交流，数控系统中必须具备必要的交互设备，即输入/输出装置。

最常用的输入设备是键盘，操作人员可以用键盘输入简单的加工程序、编辑修改程序和发送操作命令，即进行手动数据输入（Manual Data Input, MDI）。常见的输入设备还有光电阅读机和串行输入/输出接口，光电阅读机用来读入记录在纸带上的加工程序，串行输入/输出接口用来以串行通信的方式与上级计算机或其他数控机床传递加工程序。

常见的输出设备是显示器，数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息。显示的信息一般包括正在编辑或运行的程序以及当前的切削用量、刀具位置、各种故障信息、操作提示等。简单的显示器是由若干个数码管构成的七段 LED 显示器，这种显示器能显示的信息有限。高级的数控系统一般都配有 CRT 显示器，显示内容丰富。高档的 CRT 显示器或液晶显示器除能显示字符外，还可以显示加工轨迹图形。

### 2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心。它的主要功能是将输入装置传送的数控加工程序，经数控装置系统软件进行译码、插补运算和速度预处理，产生位置和速度指令及辅助控制功能信息等。系统进行数控加工程序译码时，将其区分成几何数据、工艺数据和开关功能。几何数据是刀具相对于工件运动路径的数据，利用这些数据可加工出要求的工件几何形状；工艺数据是主轴转速和进给速度等功能的数据；开关功能是对机床电器的开关命令，如主轴起/停、刀具选择和交换、切削液的开/关、润滑液的起/停等。

数控装置的插补器根据曲线段已知的几何数据及相应工艺数据中的速度信息，计算出曲线段起、终点之间的一系列中间点，分别向机床各个坐标轴发出速度和位移信号，通过各个轴运动的合成，形成符合数控加工程序要求的工件轮廓的刀具运动轨迹。

由数控装置发出的开关命令在系统程序的控制下，输出给机床控制器。在机床控制器中，开关命令和由机床反馈的回答信号一起被处理并转换为对机床开关设备的控制命令。现代数控系统中，绝大多数机床控制器都采用可编程序控制器（Programmable Logical Control, PLC）实现开关控制。

数控装置控制机床的动作可概括如下：

- (1) 机床主运动，包括主轴的起/停、转向和速度选择。
- (2) 机床的进给运动，如点位、直线、圆弧、循环进给的选择，坐标方向和进给速度的选择等。
- (3) 刀具的选择和刀具的长度、半径补偿。
- (4) 其他辅助运动，如各种辅助操作、工作台的锁紧和松开、工作台的旋转与分度、工件的夹紧与松开及冷却液的开与关等。

### 3. 操作面板

数控机床的操作是通过操作面板实现的，操作面板是由数控面板和机床面板组成。

数控面板是数控系统的操作面板，多数由显示器和手动数据输入 MDI 键盘组成，又称为 MDI 面板。显示器的下部常设有菜单选择键，用于选择菜单。键盘除各种符号键、数字键和功能键外，还可以设置用户定义键等。操作人员可以通过键盘和显示器，实现系统管理，对数控程序及有关数据进行输入、存储和编辑修改。在加工中，屏幕可以动态显示系统状态和故障诊断报警等。此外，数控程序及数据还可以通过磁盘（即软盘）或通信接口输入。

机床面板（Operator Panel）主要用于手动方式下对机床的操作，以及自动方式下对运动的控制或干预。其上有各种按钮与选择开关，用于机床及辅助装置的启停、加工方式选择、速度倍率选择等；还有数码管及信号显示等。另外，数控系统的通信接口，如串行接口，常设置在操作面板上。

### 4. 可编程序控制器

PLC 和数控装置配合共同完成数控机床的控制。数控装置主要完成与数字运算和管理等有关的功能，如零件程序的编辑、译码、插补运算和位置控制等。PLC 也是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置，主要完成与逻辑运算有关的动作，将工件加工程序中的 M 代码、S 代码、T 代码等顺序动作信息，译码后转换成对应的控制信号，控制辅助装置完成机床的相应开关动作，如机床起/停、工件装夹、刀具更换、切削液开关等一些辅助功能。PLC 接收来自机床操作面板和数控装置的指令，一方面通过接口电路直接控制机床的动作，另一方面将有关指令送往 CNC 用于加工过程控制。

### 5. 进给伺服系统

进给伺服系统主要由进给伺服单元和进给伺服电动机组成。对于闭环和半闭环控制的进给伺服系统，还应包括位置检测装置。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，驱动伺服电动机运转，实现刀架或工作台的运动。

在闭环和半闭环控制伺服进给系统中，位置检测反馈装置安装在机床上（闭环控制）或伺服电动机上（半闭环控制），其作用是将机床或伺服电动机的实际位置信号反馈给 CNC 系统，以便与指令位移信号相比较，用其差值控制机床运动，达到消除运动误差、提高定位精度的目的。

一般说来，数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置；而数控机床性能的优劣，如运动速度与精度等，则取决于伺服驱动系统。

数控技术的不断发展对进给伺服驱动系统的要求越来越高，一般要求定位精度为  $0.01\text{mm}\sim 0.001\text{mm}$ ，高精度设备要求达到  $0.0001\text{mm}$ 。为保证系统的跟踪精度，一般要求动态过程在  $200\mu\text{s}$ 、甚至几十微秒内，同时要求超调量要小；为保证加工效率，一般要求进给速度为  $0\sim 24\text{m}/\text{min}$ ，高档设备要求在  $0\sim 240\text{m}/\text{min}$  内连续可调。此外，要求低速时有较大的输出转矩。

#### 6. 主轴驱动系统

主轴驱动系统主要由主轴伺服单元和主轴电动机组成。数控机床的主轴驱动与进给驱动区别很大，现代数控机床对主轴驱动提出了更高的要求，要求主轴具有很高的转速和很宽的无级调速范围，进给电动机一般是恒转矩调速，而主电动机除了有较大范围的恒转矩调速外，还要有较大范围的恒功率调速；电动机功率输出应为  $2.2\text{kW}\sim 250\text{kW}$ ，既能输出大的功率，又要求主轴结构简单。

对于数控车床，为了能加工螺纹和实现恒线速切削，要求主轴和进给驱动能实现同步控制。对于加工中心，为了保证每次自动换刀时刀柄上的键槽对准主轴上的端面键，以及精镗孔后退刀时不会划伤已加工表面，要求主轴具有高精度的准停和分度功能。在加工中心上，为了能自动换刀，还要求主轴能实现正、反方向的转动和加、减速控制。

#### 7. 机床本体

机床本体是数控机床实现切削加工的机械结构部分，数控机床机械结构的设计与制造要适应数控技术的发展。与普通机床相比，应具有更高的精度、刚度、热稳定性和耐磨性；由于普遍采用了伺服电动机无级调速技术，机床进给运动和主轴的变速机构被极大地简化甚至取消；广泛采用滚珠丝杠、滚动导轨等高效、高精度传动部件；采用机电一体化设计与布局，机床布局主要考虑有利于提高生产率，而不像传统机床那样主要考虑操作方便。此外，还采用自动换刀装置、自动更换工件机构和数控夹具等。

### 1.2.2 数控机床的工作过程

数控系统的工作过程如图 1-2 所示。首先按照零件加工的技术要求和工艺要求编写零件的加工程序，然后将加工程序输入到数控装置，最后通过数控装置控制机床的主轴运动、进给运动、更换刀具、工件的夹紧与松开、冷却、润滑泵的开与关等，使刀具、工件和其他辅助装置严格按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作，从而加工出符合图纸要求的零件。在数控机床上加工零件通常经过以下几个步骤。

(1) 根据加工零件的图样与工艺方案，用规定代码和程序格式编写程序单，并把它记录在载体上。

(2) 把记录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，驱动机床的运动部件，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，加工出合格的工件。

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

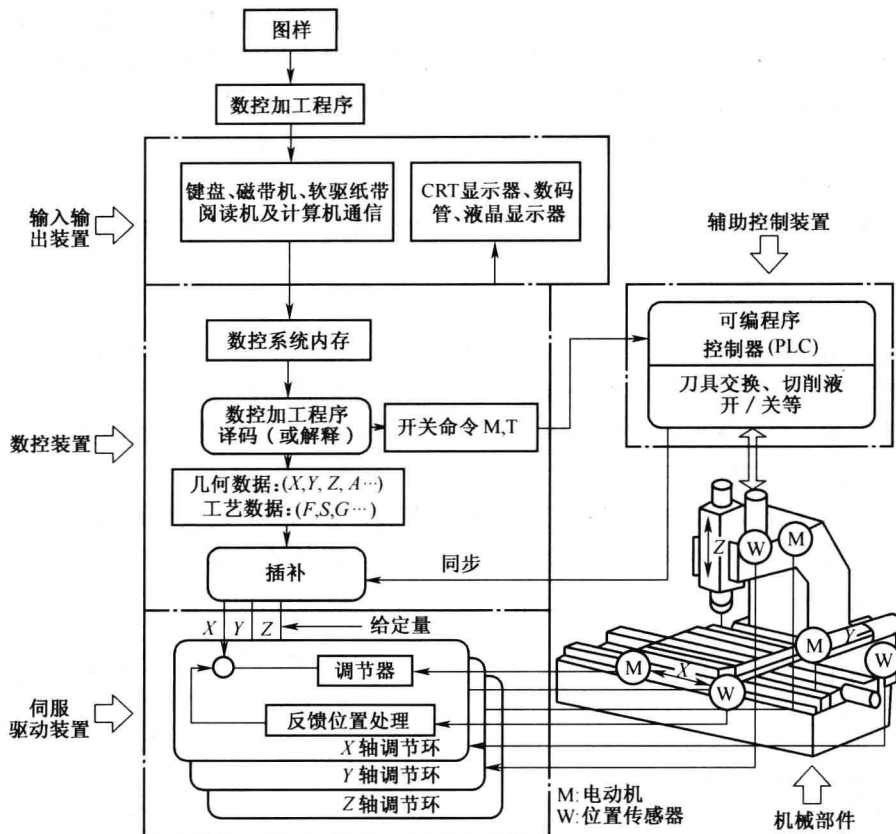


图 1-2 数控系统的工作过程

然，对于开环数控机床来说是不需要检测和反馈的。

### 1.3 数控系统的分类

目前，数控机床的种类、规格繁多，功能各异，常见的分类方法有以下 4 种。

#### 1. 按工艺用途分类

##### 1) 普通数控机床

这类数控机床和传统的通用机床一样，有车、铣、钻、镗、磨床等，而且每一类里又有很多品种。这类机床的工艺性能和通用机床相似，所不同的是它能自动加工复杂形状的零件。

##### 2) 加工中心机床

这是一种在普通数控机床上加装刀库和自动换刀装置而构成的数控机床。加工中心的主要特点是具有刀库和自动换刀装置，工件一次装夹后可以进行多道工序加工，如镗铣加工中心、钻削加工中心、车削加工中心等。在工件一次装夹后，可以对大部分加工面进行铣、钻、镗、铰、扩、攻螺纹等多个工序加工，特别适合箱体类零件的加工。

##### 3) 多坐标数控机床

有些复杂形状的零件，用 3 坐标的数控机床还是无法加工，如螺旋桨、飞机机翼曲



面及其他复杂零件的加工等，都需要 3 个以上坐标的同时运动才能加工出所需的形状，于是出现了多坐标数控机床。多坐标数控机床的特点是数控装置控制的轴数较多，机床结构也比较复杂，坐标轴数的多少通常取决于加工零件的复杂程度和工艺要求。现在常用的有 4 个、5 个、6 个坐标的数控机床。

#### 4) 数控特种加工机床

这类机床主要是指数控线切割机床、数控电火花加工机床和数控激光切割机床等。

### 2. 按运动方式分类

#### 1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床只控制刀具从一点到另一点的准确定位，只要求获得准确的加工坐标点的位置，在移动过程中不进行加工，对两点间的移动速度及运动轨迹没有严格的要求。这类数控机床主要有数控钻床（图 1-3）、数控坐标镗床和数控冲剪床等。

#### 2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床除了控制点与点之间的准确位置以外，还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线，而且对移动的速度也要进行控制，以便适应随工艺因素变化的不同需要。这类数控机床主要有简易数控车床（图 1-4）、数控镗床等。

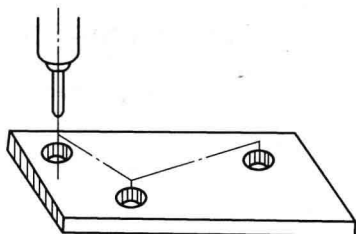


图 1-3 数控钻床的点位控制

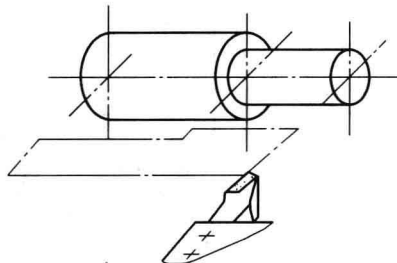


图 1-4 数控车床的直线控制

#### 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控制，使刀具与工件间的相对运动符合工件加工表面轮廓要求。这类控制方式，要求数控装置具有插补运算的功能，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），通过数控系统的插补运算器的数学处理，把直线或曲面形状的相关坐标点计算出来，并边计算边根据计算结果控制 2 个或 2 个以上坐标轴协调运动。目前，大多数金属切削机床的数控系统都是轮廓控制系统。

轮廓控制系统按所控制的联动轴数不同，可以分为以下几种形式：

(1) 两轴联动。主要用于数控车床加工曲线旋转面或数控铣床加工曲线柱面（图 1-5）。

(2) 2 轴半联动。主要用于控制 3 轴以上机床，其中 2 轴互为联动，而另 1 轴做周期进给运动，如在数控铣床上用球头铣刀采用行切法加工三维空间曲面（图 1-6）。

(3) 3 轴联动。一般分为两类，一类就是 X、Y、Z 3 个直线坐标轴联动，比较多地用于数控铣床、加工中心等，如用球头铣刀铣削三维空间曲面（图 1-7）；另一类是除了同时控制围绕 X、Y、Z 其中两个直线坐标轴联动外，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，它除了纵向（Z轴）、横向（X轴）两个直线坐标轴联动外，还需要同时控制围绕Z轴旋转的主轴（C轴）联动。

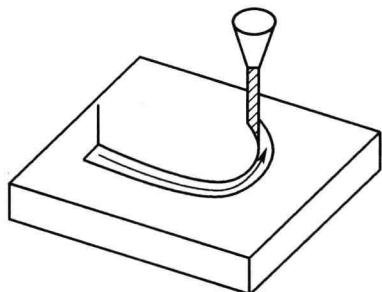


图 1-5 两轴联动

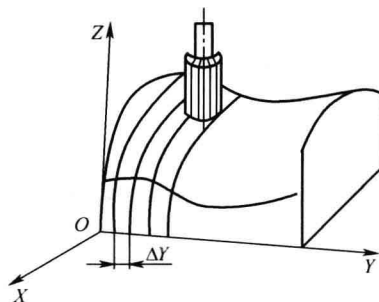


图 1-6 2轴半联动

(4) 4轴联动。同时控制 X、Y、Z 3 个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动。图 1-8 所示为同时控制 X、Y、Z 3 个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

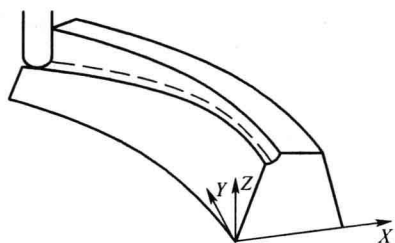


图 1-7 3轴联动

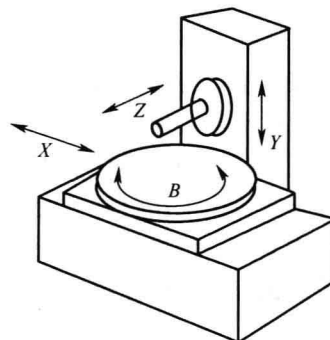


图 1-8 4轴联动

(5) 5轴联动。除了同时控制 X、Y、Z 3 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，即形成同时控制 5 个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，如图 1-9 所示。比如控制切削刀具同时绕着 X 轴和 Y 轴两个方向摆动，使得刀具在其切削点上保持与被加工的轮廓曲面成法线方向，以保证被加工曲面的圆滑性，提高其加工精度和减小表面粗糙度等。

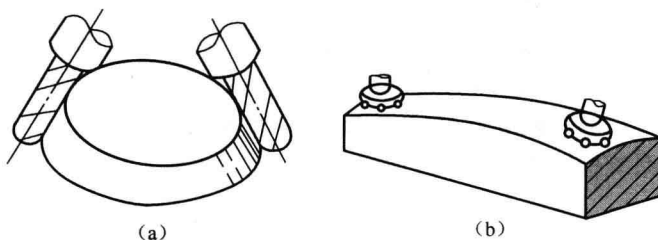


图 1-9 5轴联动

### 3. 按进给伺服系统控制方式分类

由数控装置发出脉冲或电压信号，通过伺服系统控制机床各个运动部件运动。数控机床按进给伺服系统控制方式分类有 3 种形式：开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。