

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

# 数控设备故障 诊断与维修

主 编 蒋洪平  
副主编 王建儒

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了数控机床故障诊断与维修的技术和方法,内容涉及数控机床的各个组成模块和常用的检测仪器。

全书共分10章,较详细地介绍了数控机床故障诊断与维修基础,数控机床的管理与维护,数控机床的选购、安装、调试及验收,数控机床机械结构故障诊断与维修,SIEMENS 810系统数控机床的基本操作,数控机床电气系统故障诊断与维修,SIEMENS 810系统的故障诊断与维修,伺服系统的故障诊断与维修,可编程控制器模块的故障诊断与维修,数控机床常用故障诊断仪器。

本书既可作为职业技术教育院校数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造专业和相关专业的教学用书,也可作为企业培训数控机床维修人员的培训教材及从事数控机床维修工作的工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

数控设备故障诊断与维修 / 蒋洪平主编. —北京:北京理工大学出版社, 2006. 8

21世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

ISBN 7-5640-0770-2

I. 数… II. 蒋… III. ①数控机床-故障诊断-高等学校:技术学校-教材 ②数控机床-维修-高等学校:技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第085723号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787毫米×960毫米 1/16

印 张 / 21.75

字 数 / 438千字

版 次 / 2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

印 数 / 1~3000册

定 价 / 32.00元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 李绍英

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

# 前 言

数控机床是高度机电一体化产品。在我国装备制造业中，数控机床的占有率不断提高，在生产中发挥的作用越来越明显。随着数控机床的日益普及，制造单位对数控机床维修技术人才的需求也越来越大。

本书是由多年从事数控系统、数控机床研究与教学的专业技术人员根据其在数控机床操作使用、诊断维修、设计改造等方面的实际经验编写而成的。编写中充分考虑到了数控技术教学的特点，从选材内容到实例分析都做了精心的安排，力求做到内容浅显易懂，教学层次分明，重视实践技能的培养；力求通过大量的维修实例总结数控机床故障诊断与维修的思路与方法。

全书共分10章，包括数控机床故障诊断与维修基础，数控机床的管理与维护，数控机床的选购、安装、调试及验收，数控机床机械结构故障诊断与维修，SIEMENS 810系统数控机床的基本操作，数控机床电气系统故障诊断与维修，SIEMENS 810系统的故障诊断与维修，伺服系统的故障诊断与维修，可编程控制器模块的故障诊断与维修，数控机床常用故障诊断仪器，以及包含大量数控机床维修实例。

本书既可作为职业技术教育院校数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造专业和相关专业的教学用书，也可作为企业培训数控机床维修人员的培训教材及从事数控机床维修工作的工程技术人员的参考用书。

本书由蒋洪平担任主编，王建儒担任副主编。参加编写的有蒋洪平（第1、3、4、7、8、9章）、王建儒（第2章）、李德庆（第5章）、刘跃鹏（第6章）、蒋素清（第10章）。陆纯娜承担了资料的收集、整理及大部分的文字录入工作。本书在编写过程中，得到了江苏联合职业技术学院无锡机电分院、无锡机电高等职业技术学校领导的大力支持，在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，经验不足，书中难免存在问题和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

# 目 录

第 1 章 数控机床故障诊断与维修基础 .....	( 1 )
1.1 数控机床入门知识 .....	( 1 )
1.2 数控机床的故障 .....	( 10 )
1.3 数控机床的可靠性 .....	( 16 )
1.4 数控机床的修理 .....	( 21 )
思考与练习 .....	( 37 )
第 2 章 数控机床的管理与维护 .....	( 38 )
2.1 数控机床的管理 .....	( 38 )
2.2 数控机床的维护 .....	( 41 )
思考与练习 .....	( 50 )
第 3 章 数控机床的选购、安装、调试及验收 .....	( 51 )
3.1 数控机床的选购 .....	( 51 )
3.2 数控机床的安装 .....	( 58 )
3.3 数控机床的调试 .....	( 63 )
3.4 数控机床的验收 .....	( 66 )
思考与练习 .....	( 73 )
第 4 章 数控机床机械结构故障诊断与维修 .....	( 74 )
4.1 机械结构的基本组成及特点 .....	( 74 )
4.2 机械结构故障诊断的方法 .....	( 76 )
4.3 主运动系统的故障诊断与维修 .....	( 78 )
4.4 进给运动系统的故障诊断与维修 .....	( 84 )
4.5 自动换刀装置 .....	( 93 )
4.6 液压和气动系统 .....	( 97 )

4.7	机械结构故障诊断与维修实例 .....	(105)
	思考与练习 .....	(108)
<b>第5章</b>	<b>SIEMENS 810 系统数控机床的基本操作 .....</b>	<b>(109)</b>
5.1	概述 .....	(109)
5.2	SIEMENS 810 系统数控机床的操作面板 .....	(110)
5.3	SIEMENS 810 系统数控机床的操作方式 .....	(115)
5.4	SIEMENS 810 系统的初始化 .....	(118)
5.5	SIEMENS 810 系统数据的输入、输出 .....	(122)
	思考与练习 .....	(126)
<b>第6章</b>	<b>数控机床电气系统故障诊断与维修 .....</b>	<b>(127)</b>
6.1	数控机床电气系统的特点 .....	(127)
6.2	数控机床常用低压电器 .....	(128)
6.3	数控机床电气系统的故障诊断与维修 .....	(141)
6.4	数控机床的抗干扰技术 .....	(152)
6.5	数控机床电气系统故障诊断与维修实例 .....	(162)
	思考与练习 .....	(167)
<b>第7章</b>	<b>SIEMENS 810 系统的故障诊断与维修 .....</b>	<b>(169)</b>
7.1	概述 .....	(169)
7.2	数控系统故障诊断的基本方法 .....	(176)
7.3	SIEMENS 810 系统的主要特点和结构组成 .....	(178)
7.4	SIEMENS 810 系统设定端子的检查 .....	(187)
7.5	SIEMENS 810 系统机床参数的设定和调整 .....	(189)
7.6	系统常见故障报警与处理 .....	(207)
7.7	数控系统的通信接口与网络 .....	(214)
7.8	SIEMENS 810 系统故障诊断与维修实例 .....	(223)
	思考与练习 .....	(230)
<b>第8章</b>	<b>伺服系统的故障诊断与维修 .....</b>	<b>(232)</b>
8.1	概述 .....	(232)
8.2	主轴伺服系统故障诊断与维修 .....	(233)
8.3	进给伺服系统故障诊断与维修 .....	(247)

8.4	位置检测系统的故障诊断与维修 .....	(269)
8.5	伺服系统故障诊断与维修实例 .....	(272)
	思考与练习 .....	(277)
<b>第9章</b>	<b>可编程控制器模块的故障诊断与维修 .....</b>	<b>(279)</b>
9.1	概述 .....	(279)
9.2	可编程控制器的结构组成和工作原理 .....	(283)
9.3	数控机床可编程控制器的故障诊断与维修 .....	(290)
9.4	可编程控制器故障诊断与维修实例 .....	(297)
	思考与练习 .....	(309)
<b>第10章</b>	<b>数控机床常用故障诊断仪器 .....</b>	<b>(311)</b>
10.1	万用表 .....	(311)
10.2	示波器 .....	(315)
10.3	逻辑测试笔 .....	(317)
10.4	集成电路测试仪 .....	(321)
10.5	短路故障追踪仪 .....	(325)
10.6	逻辑分析仪 .....	(329)
10.7	特征代码分析仪 .....	(333)
10.8	存储器测试仪 .....	(335)
	思考与练习 .....	(336)
	<b>参考文献 .....</b>	<b>(338)</b>

# 第 1 章

## 数控机床故障诊断与维修基础

### 1.1 数控机床入门知识

#### 1.1.1 数控机床的概念

数控机床是一种典型的机电一体化产品，能够实现机械加工的高速度、高精度和高度自动化，代表了机床发展的方向。

国际信息处理联盟（IFIP）第五技术委员会对数控机床的定义是：数控机床是一个装有程序控制系统的机床。该系统能够逻辑地处理具有使用号码，或其他符号编码指令规定的程序。这里所说的程序控制系统，通常称作数控系统。

#### 1.1.2 数控机床的组成

数控机床的组成框图如图 1-1 所示。

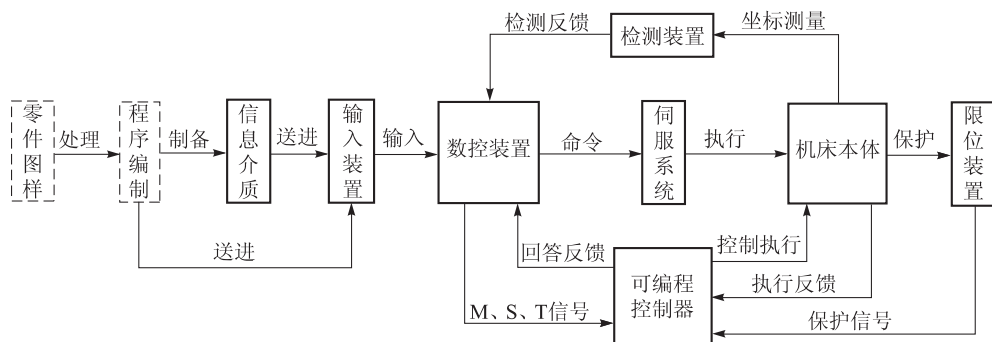


图 1-1 数控机床的组成框图

数控机床主要由三大部分组成，除了机床本体外，还包括数控机床特有的两部分：即对数控机床进行指挥、控制的数控装置和驱动机床执行机构实施运动的伺服系统。

### 1.1.3 数控机床的工作原理

#### 1. 数控机床的工作过程

数控机床的工作过程如图 1-2 所示。

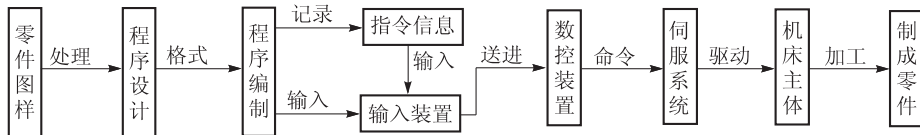


图 1-2 数控机床的工作过程

(1) 根据零件图给出的形状、尺寸、材料及技术要求等内容，进行各项准备工作（包括程序设计、数值计算及工艺处理等）。

(2) 将上述程序和数据按数控装置所规定的程序格式编制出加工程序。

(3) 将加工程序的内容以代码形式完整地记录在信息介质（如穿孔带或磁带）上。

(4) 通过阅读机把信息介质上的代码转变为电信号，并输送给数控装置。如是人工输入，则可通过微机键盘，将加工程序的内容直接输送给数控装置。

(5) 数控装置将所接受的信号进行一系列处理后，再将处理结果以脉冲信号的形式向伺服系统发出执行的命令。

(6) 伺服系统接到执行的信息指令后，立即驱动机床进给机构严格按照指令的要求进行位移，使机床自动完成相应零件的加工。

#### 2. 数控机床的工作原理

数控机床在加工零件时，根据所输入的数控程序，由数控装置控制机床执行机构的各种动作（包括机床主运动的变速、启停，进给运动的方向、速度和位移大小，以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启停等），使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路径和参数进行工作，从而加工出满足给定技术要求的零件。

### 1.1.4 数控机床的种类

数控机床品种繁多，功能各异，可以从不同角度对其进行分类。

#### 1. 按机床的工艺用途分类

数控机床按工艺用途可分为普通数控机床、加工中心（机床）、多坐标轴数控机床及特种数控机床。

##### (1) 普通数控机床

普通数控机床是与传统的普通机床工艺可行性相似的各种数控机床的统称。如果从使用角度考虑并按机床加工特性，又可以分为数控车床、数控铣床、数控刨床、数控磨床、数控

钻床及数控电加工机床等。如进一步分析机床的结构等因素，还可进行更细的分类。例如，普通数控车床还可分为卧式、立式、卡盘式和顶尖式数控车床等。

图1-3是数控车床，图1-4是数控铣床。

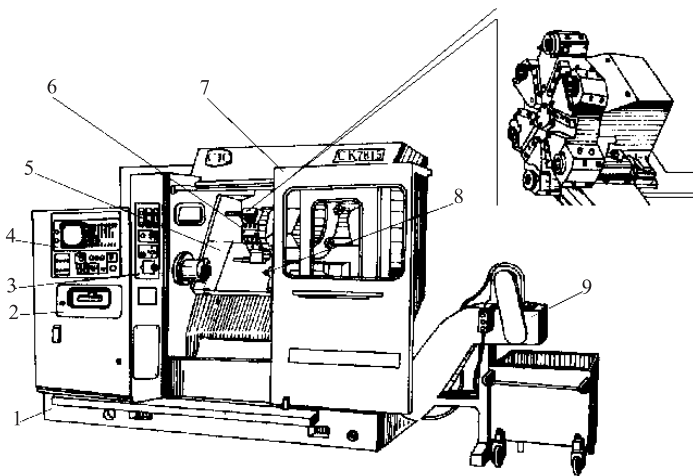


图1-3 数控车床

1—床身；2—光电读带机；3—机床操作台；4—系统操作面板；  
5—倾斜60°导轨；6—刀盘；7—防护门；8—尾座；9—排屑装置

## (2) 加工中心

数控加工中心机床简称加工中心（即MC），是带有刀库和自动换刀装置，并具有多种工艺手段的数控机床。

加工中心可划分为多种类别，除常见的卧式、立式、单柱、双柱（龙门式）加工中心外，还有单工作台、多工作台及复合（5面）加工中心等。图1-5是卧式加工中心，图1-6是立式加工中心。

加工中心设置有刀库和相应的换刀机构，其刀库中可存放几把至几百把不同类型的刀具或检测用工具，这些刀具或检具在加工过程中通过加工程序可自动进行选用及更换。图1-6所示加工中心的刀库容量为16把。

加工中心的特点是，零件经一次装夹后，能自动进行多工序（如钻、铰、镗、铣及攻螺纹等）的连续加工，以省去较多的工装及专用机床，其加工的典型零件以复杂、精密的箱体类居多。

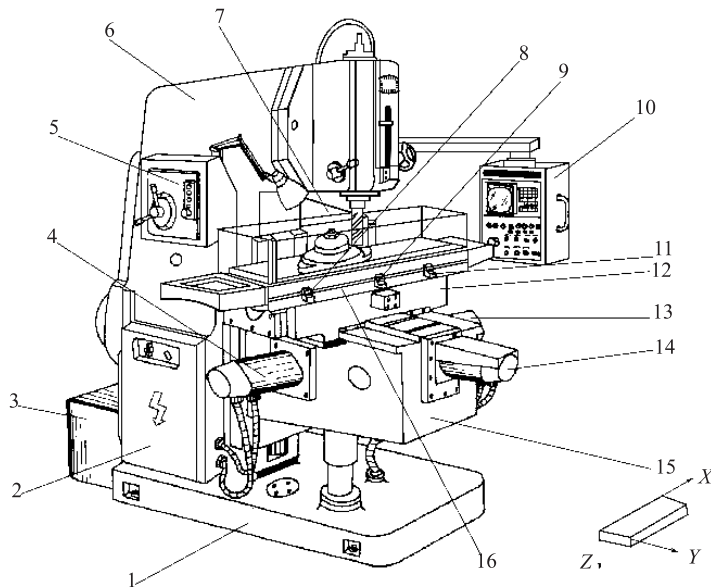


图 1-4 数控铣床

1—底座；2—强电柜；3—变压器箱；4—升降进给伺服电动机；5—主轴变速手柄和按钮板；6—床身立柱；  
7—数控柜；8、11—纵向行程限位保护开关；9—纵向参考点设定挡块；10—操纵台；12—横向溜板；  
13—纵向进给伺服电动机；14—横向进给伺服电动机；15—升降台；16—纵向工作台

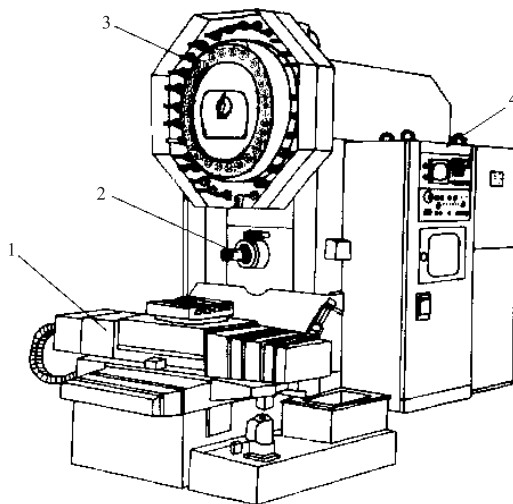


图 1-5 卧式加工中心

1—工作台；2—主轴；3—刀库；4—数控柜

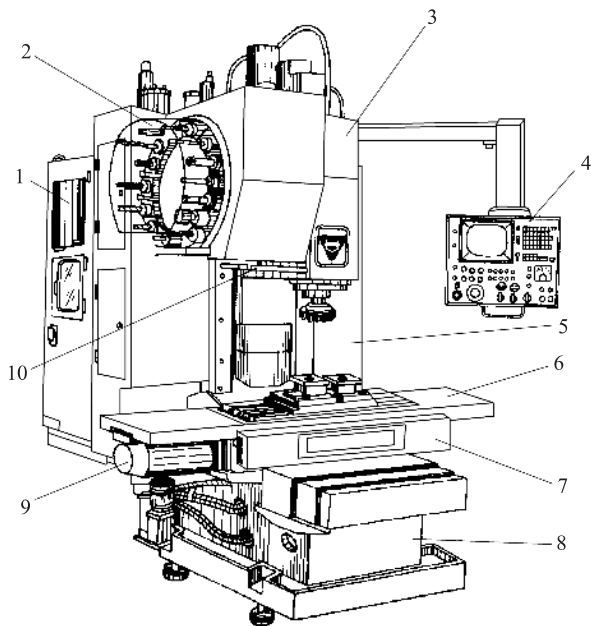


图 1-6 立式加工中心

1—数控柜；2—刀库；3—主轴箱；4—操纵台；5—驱动电源柜；  
6—纵向工作台；7—滑座；8—床身；9—X轴进给伺服电动机；10—换刀机械手

### (3) 多坐标轴数控机床

有些复杂的工件，例如螺旋桨、飞机发动机叶片曲面等用三坐标轴数控机床无法加工，于是出现了多坐标轴的数控机床，其特点是控制轴数较多，机床结构比较复杂。坐标轴的轴数取决于加工工件的工艺要求。

### (4) 特种数控机床

特种数控机床是通过特殊的数控装置自动进行特种加工的机床，其特种加工的含义主要是指加工的手段特殊，零件的加工部位特殊，加工的工艺性能要求特殊等。常见的特种数控机床有：数控线切割机床、数控激光加工（切割、打孔、焊接等）机床、数控火焰切割机床及数控弯管机床等。

## 2. 按照机械加工的运动轨迹分类

### (1) 点位控制机床

点位控制就是保证单点在空间的位置，而不保证点到点之间的路径轨迹和精度的控制。如图 1-7 所示，起点到终点的运动轨迹可以是 1 轨迹或 2 轨迹中的任一种。这种控制主要用于数控冲床、数控钻床、数控点焊设备中，还可以用在数控坐标镗铣床上。

### (2) 直线控制机床

直线控制就是不仅要保证点的位置精度，而且要保证点与点之间的走直线精度，如图 1-8 所示。在数控铣床上使用这种控制方法，可以在一次装夹箱式零件中对其平面和台阶完成铣削，然后再进行钻孔、镗孔加工。这样可以大大提高生产率。

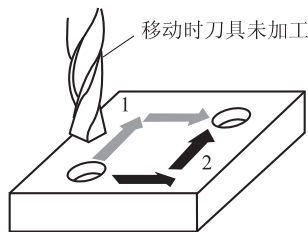


图 1-7 点位控制加工示意图

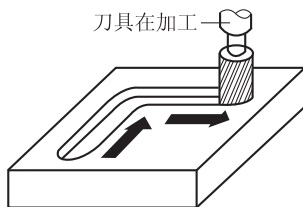


图 1-8 直线控制加工示意图

### (3) 轮廓控制机床

轮廓控制是对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制，如图 1-9 所示。它不仅能保证各点的位置精度，而且还要控制加工过程中各点的位移速度，也就是刀具移动的轨迹。要保证尺寸精度，还要保证形状精度。在运动过程中，同时要向两个坐标轴分配脉冲，使它们走出所要求的形状来，这叫插补运算。它是一种软仿形，而不是靠模仿形。所以大大缩短了生产准备时间，更重要的是这种软仿形的精度要比模仿形的高很多。

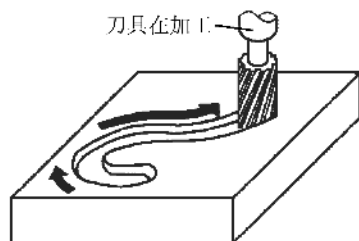


图 1-9 轮廓控制加工示意图

## 3. 按伺服系统的控制原理分类

### (1) 开环控制系统

开环控制就是无位置反馈的一种控制方法，它采用的控制对象、执行机构多半是步进电动机或液压转矩放大器（电液脉冲马达），图 1-10 就是采用步进电动机作为控制对象的。这种控制方法在 20 世纪 60 年代应用很广泛，但随着机械制造业的发展，它逐渐不能适应要求。例如，精度要求越来越高，功率也越来越大，而步进电动机的功率不可能做得很大。如

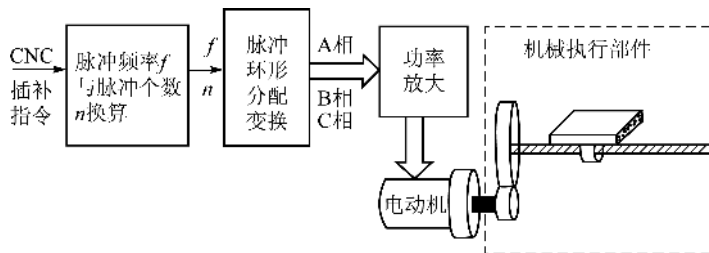


图 1-10 开环控制数控机床结构简图

果采用电液脉冲马达，其机构相当庞大，所以在实际工业生产中，这种结构逐渐被闭环系统所取代。开环控制系统结构简单，控制方法简便，所以价格也很便宜。对于加工精度要求不高，功率需求不是很大的地方，还是可以使用的。目前在很多高校应用的实习实训数控机床均选择了开环控制数控机床，经济型简易数控车床就是其中的一种。

### (2) 闭环控制系统

图 1-11 是闭环控制数控机床的结构简图。

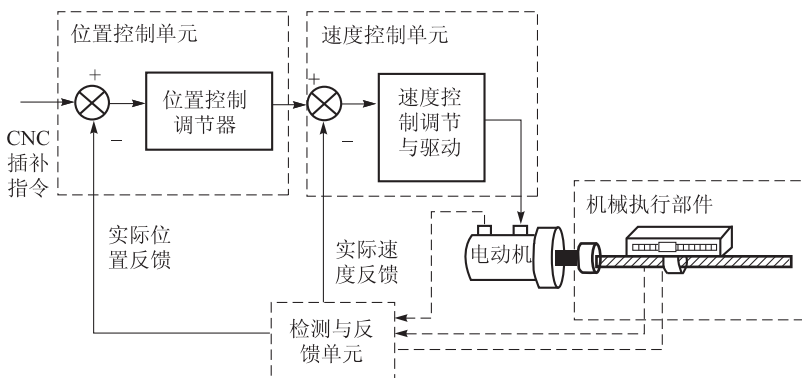


图 1-11 闭环控制数控机床结构简图

闭环控制系统就是对机床移动部件的位置直接用直线位置检测装置进行检测，再把实际测量出的位置反馈到数控装置中去，与输入指令比较是否有差值，然后用这个差值去控制，使运动部件按实际需要值运动，从而实现准确定位。这种方法的精度主要取决于测量装置的精度，而与传动链的精度无关，因此这种控制要比开环控制精度高出许多。

### (3) 半闭环控制系统

图 1-12 是半闭环控制数控机床的结构简图。

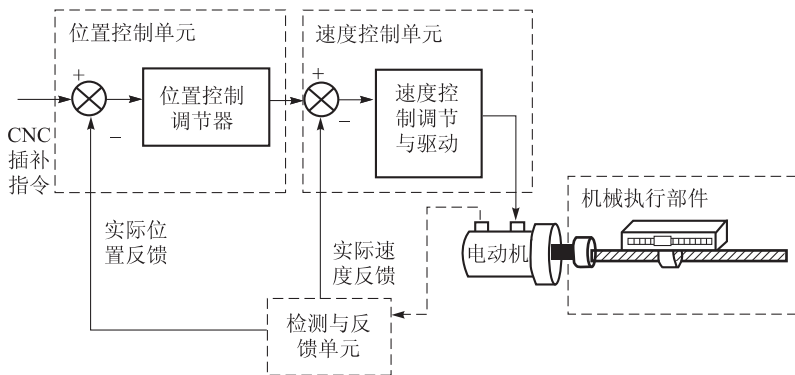


图 1-12 半闭环控制数控机床结构简图

半闭环控制系统是在丝杠上装有角度测量装置（光电编码器、感应同步器或旋转变压器）作为间接的位置反馈。因为零件的尺寸精度应由刀架的运动来测量，但半闭环控制系统不是直接测量刀架的实际位移，而是测量带动刀架的丝杠转动了多大角度，然后根据螺距计算出它的位置。这种方法显然是有局限性的，必须要求丝杠加工得精确，确保在丝杠上的螺母只有很小的间隙。当然，还可以通过软件进行补偿，但是对这些器件的精度与传动间隙的要求也是必要的。

采用半闭环控制系统有一定的优点。因为在电动机上安装光电编码器比较简单，甚至电动机出厂时已装有光电编码器，若要安装一个感应同步器或者光栅尺，既复杂，投资又大；而且，把传动环中最大的一个惯量环节——工作台或刀架的移动放到整个传动闭环的外面，这样在调节上就比较方便，系统调试相对简单。

此外，还可以以其他标准进行分类，如按数控系统的功能水平，可以分为经济型数控机床、普及型数控机床和高级型数控机床；按所用数控装置的构成方式分类，可以分为硬线数控机床和计算机数控机床。

## 1.1.5 数控机床的坐标系

### 1. 数控机床的坐标轴

1) 坐标轴和运动方向命名的原则（参见 JB/T 3051—1999）

- (1) 标准的坐标是一个右手直角笛卡儿坐标系，如图 1-13 所示。
- (2) 假定刀具相对静止的工件而运动。当工件运动时，即在坐标轴符号上加“'”。
- (3) 刀具远离工件的运动方向为坐标的正方向。
- (4) 机床旋转坐标系的正方向是按照右旋螺纹进入工件的方向。

2) 坐标轴的规定

(1) Z 坐标轴

- ① 在机床坐标系中，规定传递切削动力的主轴轴线为 Z 坐标轴。
- ② 对于没有主轴的机床（如数控龙门刨床），则规定 Z 坐标轴垂直于工件装夹面。
- ③ 如机床上有多个主轴，则选一垂直于工件装夹面的主轴作为主要的主轴。
- ④ 当主轴始终平行于标准坐标系的一个坐标轴，则该坐标轴即为 Z 坐标，例如卧式铣床的水平主轴。

(2) X 坐标轴

- ① X 坐标轴是水平的，它平行于工件的装夹面。
- ② 对于工件旋转的机床，X 坐标轴的方向在工件的径向上，并且平行于横滑座。
- ③ 对于刀具旋转的机床，如 Z 坐标轴是水平（卧式）的，当从主要刀具的主轴向工件看时，+X 坐标轴方向指向右方；如 Z 坐标轴是垂直（立式）的，对于单立柱机床，当从主要刀具的主轴向立柱看时，+X 坐标轴方向指向右方。

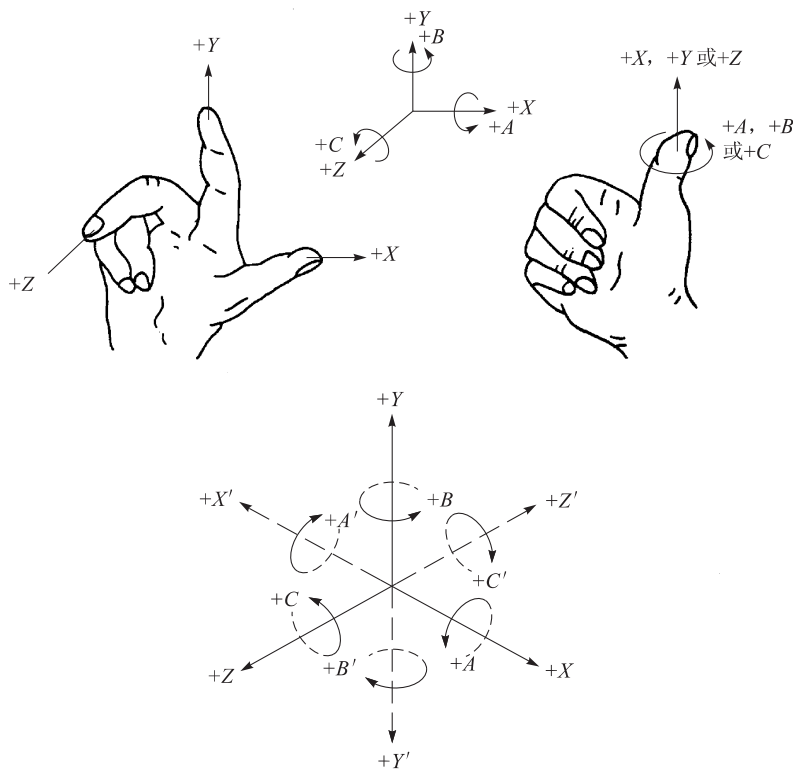


图 1-13 右手直角笛卡儿坐标系

④ 对于刀具或工件均不旋转的机床（如刨床）， $X$  坐标轴平行于主要切削方向，并以该方向为正方向。

### （3） $Y$ 坐标轴

$Y$  坐标轴根据  $Z$  和  $X$  坐标轴，按照右手直角笛卡儿坐标系确定。

### （4）旋转坐标 $A$ 、 $B$ 、 $C$

$A$ 、 $B$ 、 $C$  分别表示其轴线为平行于  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴的旋转坐标。如  $+A$  表示在  $+X$  坐标轴方向按照右旋螺纹旋转的方向。

### （5）其他坐标系

如在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  主要直线运动之外另有第二组平行于它们的运动，可分别将它们的坐标指定为  $U$ 、 $V$ 、 $W$ 。

## 2. 机床坐标系的确定方法及应用

### （1）机床坐标系的确定方法（参考图 1-14 ~ 图 1-16）

① 坐标轴的确定方法。一般先确定  $Z$  坐标轴，因为它是传递切削动力的主要轴或方向，

再按规定确定  $X$  坐标轴，最后用右手螺旋定则确定  $Y$  坐标轴。

② 机床坐标系的原点。机床坐标系原点又称机床零位或机床零点，该零点是在机床设计时规定的。以零点限位和撞块为标记，可设定在各坐标轴位移的不同位置。

### (2) 机床坐标系原点的用途

机床坐标系原点用于数控系统某些功能的启动，如螺纹插补功能及各坐标软限位的设定，还用于加工程序编制时选择工件坐标系相对机床坐标系原点的位置等，在机床设计中常用作换刀位置。

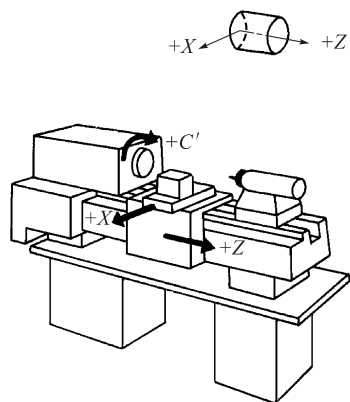


图 1-14 数控车床坐标系

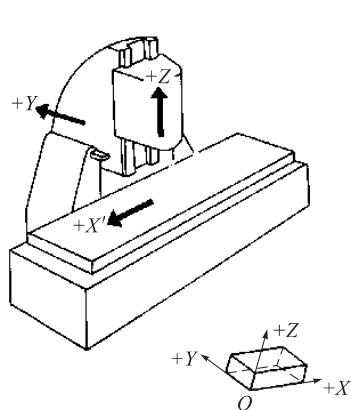


图 1-15 数控铣床坐标系

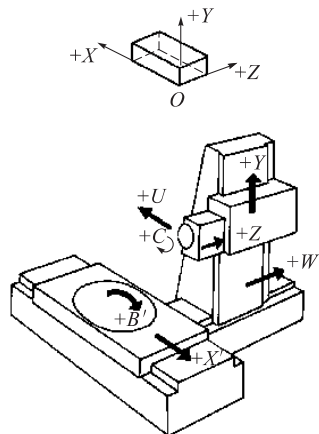


图 1-16 数控镗铣床坐标系

## 1.2 数控机床的故障

### 1.2.1 故障的概念

数控机床的故障是指数控机床丧失了规定的功能，它包括机械系统、数控系统和伺服系统等方面的故障。

数控机床是高度机电一体化的设备，它与传统的机械设备相比，内容上虽然也包括机械、电气、液压与气动方面的故障，但数控机床的故障诊断和维修侧重于电子系统、机械、气动乃至光学等方面装置的交接点上。由于数控系统种类繁多，结构各异，形式多变，给测试和监控带来了许多困难。

### 1.2.2 故障的分类

数控设备的故障是多种多样的，可以从不同角度对其进行分类。

## 1. 按起因分

从故障起因的相关性来看,数控机床的故障可分为关联性故障和非关联性故障。非关联性故障是指与数控系统本身的结构和制造无关的故障,故障的发生是由如运输、安装、撞击等外部因素人为造成的。关联性故障是指由于数控系统设计、结构或性能等缺陷造成的故障。关联性故障又可分为系统性故障和随机性故障。系统性故障是指系统一旦满足某种条件,如温度、振动等条件,就出现故障。随机性故障是指系统在完全相同的外界条件下,故障有时发生或不发生的情况。一般随机性故障存在着较大的偶然性,给故障的诊断和排除带来了较大的困难。

## 2. 按发生状态分

从故障发生的过程来看,数控机床的故障又分为突然故障和渐变故障。突然故障是指数控机床在正常使用的过程中,事先并无任何故障征兆而突然出现的故障。如因机器使用不当或出现超负荷而引起的零件折断;因设备各项参数达到极限而引起的零件变形和断裂等。渐变故障是指数控机床在发生故障前的某一时期内,已经出现故障的征兆,但此时(或在消除系统报警后)数控机床还能够正常使用,并不影响加工出的产品质量。渐变故障与机器构件材料的磨损、腐蚀、疲劳及蠕变等过程有密切的关系。

数控机床在使用过程中,由于相对运动产生摩擦,运动表面互相刮削、研磨,加上化学物质的侵蚀,造成零件的磨损。磨损过程大致分为下述3个阶段,如图1-17所示。

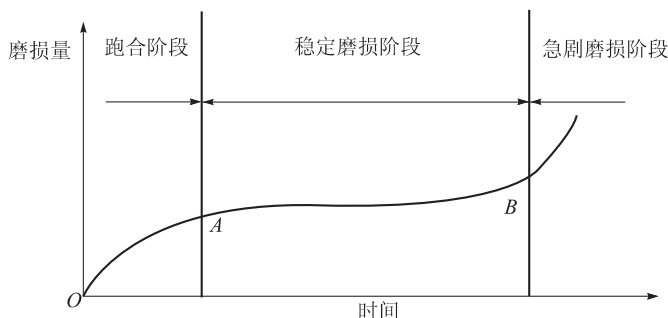


图 1-17 典型磨损过程

(1) 初期磨损阶段。主要特征是摩擦表面的凸峰、氧化皮、脱炭层很快被磨去,使摩擦表面更加贴合,多发生于新机床启用初期。这一过程时间不长,而且对数控机床有益,通常称为“跑合”,如图1-17中的OA段。

(2) 稳定磨损阶段。由于跑合,使运动表面工作在耐磨层,而且相互贴合,接触面积增加,单位接触面上的应力减小,因而磨损增加缓慢,可以持续很长时间,如图1-17中的AB段。

(3) 急剧磨损阶段。当磨损逐渐积累,使零件表面抗磨层被磨损超过极限程度,磨损速率急剧上升,理论上将正常磨损的终点B作为合理磨损的极限。

根据磨损规律,数控机床的修理应安排在稳定磨损终点B为宜,既充分利用原零件的