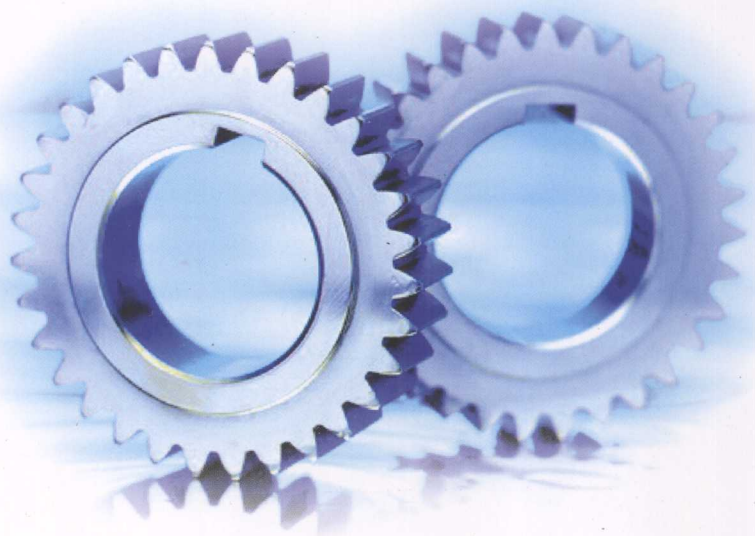


机 电 一 体 化 技 术

数 控 技 术

田宏宇 编



书 名

机电一体化技术

数控技术

姓 名

田宏宇 编

通信地址

E-mail

本书评价

对本书的各方面感受

书 名	8003, 并赠出书券	ISBN 7-03-012300-8
封面设计		
版式设计		
图书内容	8003, 并赠出书券	

联系电话 010-62040150

责任编辑

技术编辑

文字编辑

8003, 并赠出书券

多人介绍

附：□ 其他

赠出书券

可多选

8003, 并赠出书券

科学出版社

地址：北京海淀区中关村大街11号3层

（《数控技术》）北京 田宏宇 编

邮编：100000

TG659
T5

内 容 简 介

本书是“机电一体化技术”丛书之一。本书以培养技术应用型人才为目标,以大中型企业单位用人需求为导向,介绍了数控技术相关内容,包括机床数字控制的基础知识、数控机床的检测系统、数控机床的伺服系统、数控系统插补原理和数据处理、数控机床用可编程控制器以及数控机床常用接口等内容。本书取材新颖,注重内容的先进性、科学性和实用性。本书注重理论联系实际,各章节间既有联系,又有一定的独立性,且每章后均附有思考与练习题。

本书可用作工科院校机械、机电、数控相关专业的教材,也可供从事机床数控行业的工程技术人员、研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/田宏宇编. —北京:科学出版社,2008

(机电一体化技术)

ISBN 978-7-03-022309-8

I. 数… II. 田… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 086070 号

责任编辑:杨 凯/责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静/封面设计:郝晓燕

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 7 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008 年 7 月第一次印刷 印张: 14 1/4

印数: 1—4 000 字数: 271 000

定 价: 30.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<路通>)

机电一体化技术丛书

编委会名单

主 编 方 新

委 员 (以姓氏笔画为序):

王淑芳 田宏宇 刘晓彤

刘长青 刘 建 赵林惠

郭洪红 席 巍



湖南公期首份卸票货息前册首由, 编主字案田调幸申册幸大合理京北由汗本

。非工善强同采并关册强强又野快强素图责前共案主编册出强野工强重

册新册普新大工册恩, 设之虽不册要尤查受强申并, 强通平本册普强干由

前 言

前 言

京北干月名年8008

数控技术是一种将数字计算技术应用于机床的控制技术。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床,代表了现代机床控制技术的发展方向,是一种典型的机电一体化产品。数字控制把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置;经运算处理由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,按图纸要求的形状和尺寸,自动地将零件加工出来。

了解数控机床的基本概念和分类,以及机床数控技术的发展趋势可以纵观数字控制的基础知识。通过学习数控机床检测系统中的常用传感器,如旋转编码器、光栅、旋转变压器和感应同步器、磁栅等,可以充分了解数控闭环控制的反馈环节的测量原理,同时也学习了常用位移及速度传感器的原理和简单的后续处理。数控机床的伺服系统是数控机床的执行结构,它能够接收来自数控系统的指令脉冲,将其转换成伺服电动机可以接受的控制信息,从而正确地运转。数控系统插补原理是计算机数控系统的主要工作,一般从机器零件图样上均可知道曲线的起点、终点和要加工的线形,那么数控系统在已知的点中插入和补充过程点的坐标即可实现所需的形状。数控系统的数据处理部分主要介绍刀具的补偿内容。此外,本书还对数控机床用可编程控制器以及数控机床常用接口等内容做一介绍。

本书注重内容的先进性、科学性、系统完整性和实用性,既简要介绍了当今世界的先进技术及其发展方向,又详细叙述了数控机床主要部件的工作机理,使读者系统地掌握数控机床的各部分知识。本书可用作工科院校的机械、机电、数控相关专业的教材,也可供从事机床数控行业的工程技术人员、研究人员参考使用。



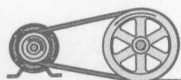
前言

由于编者的水平所限,书中难免有欠妥和不足之处,恳请广大读者批评指正。

2008年3月于北京



绪 论	1
0.1 机床数字控制的基本概念	1
0.1.1 数控机床的组成	1
0.1.2 数控机床的工作过程	3
0.1.3 数控机床加工的优点	5
0.2 数控系统的分类	6
0.2.1 按系统特点分类	6
0.2.2 按控制装置类型分类	8
0.2.3 按有无测量装置分类	13
0.2.4 按功能水平分类	16
0.3 数控机床的有关功能规定	17
0.3.1 坐标系的确定	17
0.3.2 机床坐标系与工件坐标系	21
0.4 数控程序编制	23
0.4.1 程序编制的方法	23
0.4.2 程序编制的内容和步骤	25
0.4.3 程序编制中的工艺处理	26
0.4.4 程序编制中的数字计算	29
0.5 机床数控技术的发展	32
0.5.1 数控机床结构的发展	32
0.5.2 计算机控制性能的发展	33



0.5.3 伺服驱动系统的发展	34
0.5.4 自适应控制	34
0.5.5 计算机群控	35
0.5.6 柔性制造系统(FMS)	35

第 1 章 数控机床的检测系统

39

1.1 数控检测系统概述	39
--------------------	----

1.2 旋转编码器	41
-----------------	----

1.2.1 绝对式旋转编码器	42
----------------------	----

1.2.2 增量式旋转编码器	44
----------------------	----

1.2.3 编码器应用	46
-------------------	----

1.3 光 栅	48
---------------	----

1.3.1 光栅的种类及特点	49
----------------------	----

1.3.2 直线透射光栅	51
--------------------	----

1.3.3 直线光栅的辨向	53
---------------------	----

1.3.4 提高分辨率的措施	55
----------------------	----

1.4 旋转变压器和感应同步器	56
-----------------------	----

1.4.1 旋转变压器	56
-------------------	----

1.4.2 感应同步器	60
-------------------	----

1.5 磁 栅	67
---------------	----

1.5.1 磁性标尺	68
------------------	----

1.5.2 拾磁磁头及工作原理	68
-----------------------	----

第 2 章 数控机床的伺服系统

73

2.1 伺服驱动系统概述	73
--------------------	----

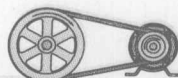
2.2 开环伺服驱动系统	74
--------------------	----

2.2.1 步进电动机	74
-------------------	----

2.2.2 步进电动机的驱动控制	81
------------------------	----

2.2.3 步进电动机的选用	98
----------------------	----

2.3 闭环伺服驱动系统	99
--------------------	----



2.3.1 直流伺服电动机	100
2.3.2 直流伺服电动机的驱动控制	106
2.3.3 交流伺服电动机	107
2.3.4 交流伺服电动机的驱动控制	112
第3章 数控系统插补原理和数据处理	119
3.1 数控系统概述	119
3.1.1 数控系统的构成	119
3.1.2 数控系统的分类	122
3.1.3 数控系统的特点	123
3.2 典型数控系统	125
3.2.1 FANUC 数控系统介绍	125
3.2.2 SIEMENS 数控系统介绍	128
3.3 数控系统的插补原理与方法	131
3.3.1 插补的基本概念	131
3.3.2 插补的分类	132
3.4 逐点比较插补法	133
3.4.1 逐点比较法直线插补	133
3.4.2 逐点比较法圆弧插补	136
3.4.3 逐点比较法插补的改进	139
3.5 数字积分插补法	145
3.5.1 数字积分法直线插补	147
3.5.2 数字积分法圆弧插补	149
3.6 数据采样插补法	152
3.6.1 时间分割插补法直线插补	154
3.6.2 时间分割插补法圆弧插补	155
3.7 数据处理	157
3.7.1 数控机床数据处理	157
3.7.2 数控系统刀具补偿	163



第 4 章 数控机床用可编程控制器	175
4.1 概 述	175
4.2 数控机床用 PLC 的分类	180
4.2.1 内装型 PLC	181
4.2.2 独立型 PLC	183
4.3 数控机床用 PLC 的功能	184
4.4 数控机床 PLC 控制实例	186
4.4.1 PLC 主程序	186
4.4.2 主要子程序	188
第 5 章 数控机床常用接口	197
5.1 概 述	197
5.1.1 接口的分类规范	197
5.1.2 接口的实现	198
5.1.3 数控对接口的要求	201
5.2 输入/输出接口	201
5.2.1 数控系统的显示功能及其接口	201
5.2.2 数控系统的 I/O 接口	201
5.3 通信接口	202
5.3.1 数控系统的通信设备及接口	202
5.3.2 数据通信系统的组成	204
5.3.3 通信方式	205
5.3.4 通信介质	208
5.3.5 常用的通信接口	210
5.3.6 通信协议	211
5.3.7 网络结构概述	213
参考文献	215

0.1 机床数字控制的基本概念

数控机床是在普通机床基础上应用数字控制技术实现自动加工和精确控制精度的现代化加工设备。其在普通机床基础上增加了对机床运动和动作自动控制的功能部件,使数控机床能够自动完成对零件加工的全过程。

采用数控机床加工零件时,只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式,编成程序代码输入到机床控制系统中,数控机床便按照事先编好的加工程序,自动地对被加工零件进行加工。以下介绍与机床数字控制相关的一些名词。

(1) 数字控制:是以数字化信号对机构的运动过程进行控制的一种方法,简称为数控(NC)。

(2) 数控机床:指应用数控技术对加工过程进行控制的机床。

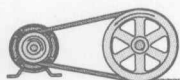
(3) 数控加工:泛指在数控机床上进行零件加工的工艺过程。

0.1.1 数控机床的组成

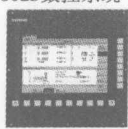
数控机床由控制介质、数控系统、伺服系统和机床本体等部分组成,其组成框图如图 0.1 所示。常见的数控机床有数控车床和数控铣床,如图 0.2 所示。



图 0.1 数控机床的组成



802D数控系统



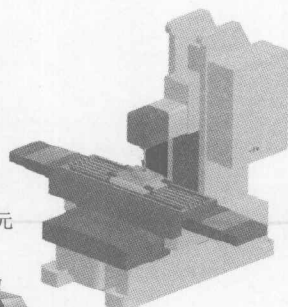
控制面板



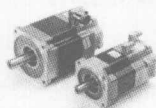
CNC键盘



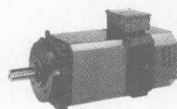
伺服驱动单元



机床本体



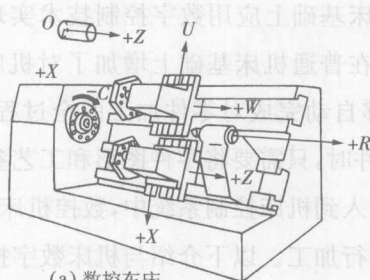
进给轴电机



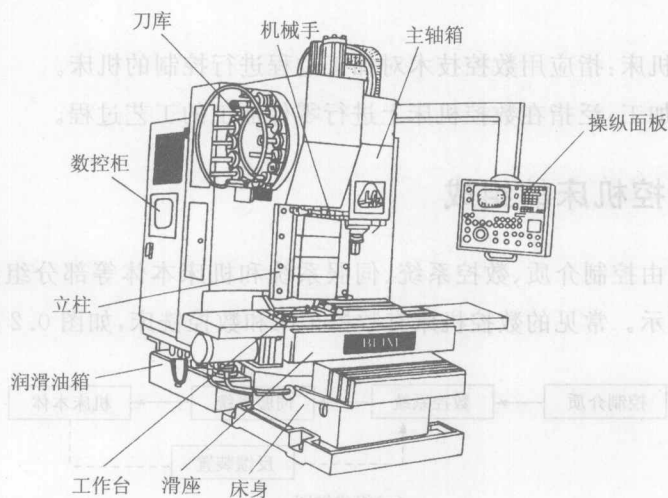
主轴电机

(b) 各组成部分

续图 0.1

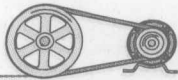


(a) 数控车床



(b) 数控铣削加工中心

图 0.2 数控机床



控制介质的作用是输入/显示程序(人机交互)、控制参数、补偿量等。可以通过键盘输入、纸带输入(穿孔纸带)、磁盘输入(硬盘、软盘、U盘)、网络通信(RS232、DNC、TCP/IP)等方式实现。

数控系统(CNC)是计算机数字控制装置的简称,是数控机床的大脑,它的作用是接受输入信息、运算与处理(译码、运算、逻辑处理)、产生输出脉冲(动作、运动指令)。图 0.3 为 CNC 数控系统构成。

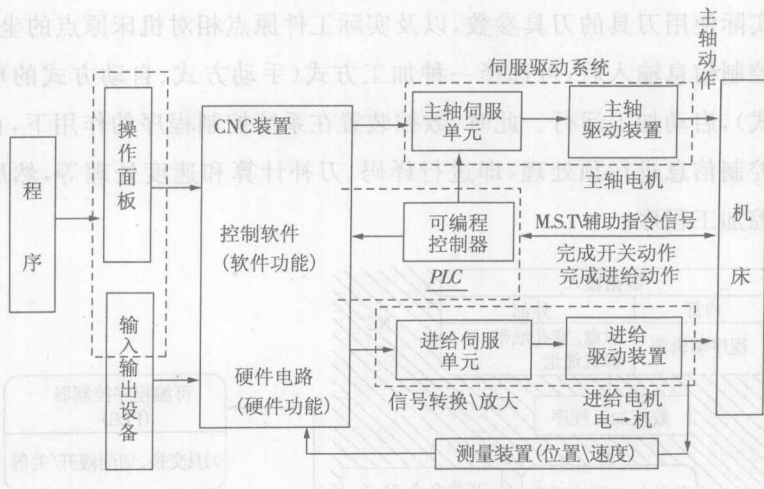


图 0.3 CNC 数控系统构成

伺服系统的作用是接受数控装置的输出信号,驱动与放大实现电→机转换,它是数控机床的动力装置。

0.1.2 数控机床的工作过程

图 0.4 所示为计算机数控机床工作过程示意图,其主要任务是进行刀具和工件之间相对运动的控制。

当接通电源后,计算机数控装置和可编程控制器都将对数控机床各组成部分的工作状态进行检查和诊断,并设置初始状态。

对第一次使用的数控装置,还需要进行机床参数设置。如指定系统控制的坐标轴;指定坐标计量单位和分辨率;指定系统中配置可编程控制器的状态;指定系统中检测元件的配置;工作台各轴正负行程极限的设置等。通过机床参数的设置,使数控装置适应具体数控机床的硬件构成环境。

当数控机床具备了正常工作条件时,开始输入数控加工程序。一般情况下,编



程工作可以在专门的编程场所进行,也可在机床前完成。对前一种情况,数控加工程序在加工准备阶段利用专门的编程系统产生,保存到控制介质(如纸带、磁带或磁盘)上,再输入数控装置,或者采用通信方式直接传输到数控装置,操作员可按需要,通过数控面板对读入的数控加工程序进行修改;对后一种情况,操作员直接利用数控装置本身的编辑环境进行数控加工程序的编写和修改。

输入给数控装置的加工程序必须适应实际的工件和刀具位置,因此在加工前还要输入实际使用刀具的刀具参数,以及实际工件原点相对机床原点的坐标位置。

加工控制信息输入后,可选择一种加工方式(手动方式、自动方式的单段方式和连续方式),启动加工运行。此时,数控装置在系统控制程序的作用下,首先对输入的加工控制信息进行预处理,即进行译码、刀补计算和速度处理等,然后开始逐段执行数控加工程序。

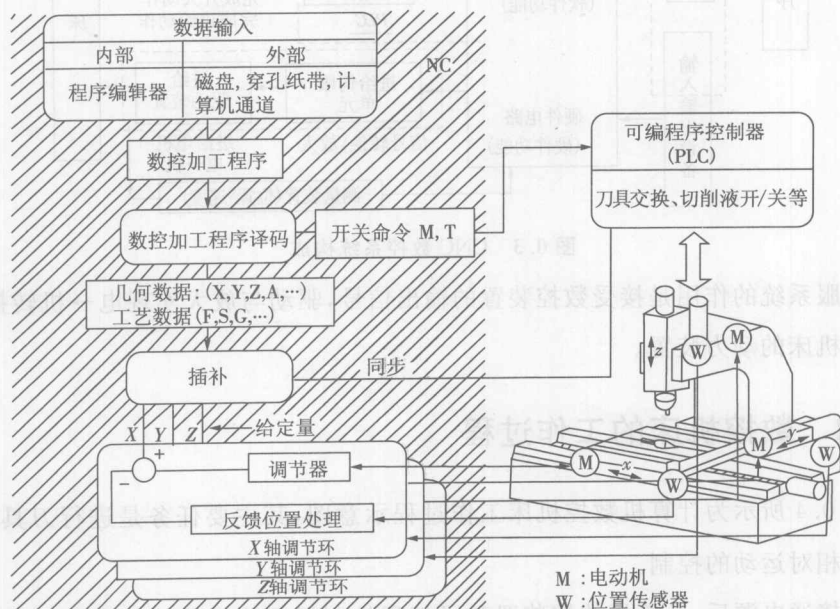
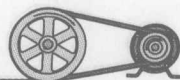


图 0.4 计算机数控机床工作过程示意图

在连续轮廓加工过程中,数控装置要根据轮廓段已知的几何数据,以及相应工艺数据中的速度信息,计算出轮廓段起点、终点之间的一系列中间点,分别向各个坐标轴发出方向、大小和速度都确定的协调的运动序列命令,通过各个运动轴的合成,获得数控加工程序要求的工件轮廓的刀具运动轨迹。

数控装置向各个轴伺服系统发出命令值,位置调节器将其与机床上位置检测元件测得的实际位置相比较,经过调节,输出相应的位置和速度控制信号,控



制各轴伺服系统驱动机床刀具或工作台运动,从而加工出要求的零件轮廓。

由数控装置发出的开关命令在系统控制程序的指挥下,在各加工程序段插补处理开始前或完成后,适时输出给机床逻辑控制器,由它将开关命令和机床反馈的回答信号一起被处理和转换为对机床开关电器的控制命令。在现代数控系统中,多数机床逻辑控制器都由可编程控制器(PLC)来实现,也就是利用 PLC 中可靠的开关实现,从而避免相互矛盾的、对机床和操作人员有危险的现象(例如在主轴还没有旋转之前的“进给允许”)出现。

在机床的运行过程中,数控系统要随时监视数控机床的工作状态,通过显示部件及时向操作人员提供系统工作状态和故障情况。此外,数控系统还要对机床操作面板进行监控。因为机床操作面板的开关状态可以影响加工状态,需及时处理有关信号。

0.1.3 数控机床加工的优点

(1) 加工精度高,加工质量稳定:

- 数控机床的机械精度高。
- 数控机床的控制精度高(0.001mm/P)。
- 无人为误差,加工的一致性高。

(2) 数控加工的生产效率高:

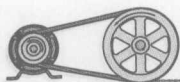
- 极大地缩短加工的辅助时间(快速行程、自动换刀)。
- 免划线工序。
- 粗、精加工一次装夹完成。
- 无需中途停车检测。

(3) 对加工对象的适应性强。单件、小批生产易于获得好效益。

(4) 易于实现 CAD/CAM 一体化及构成计算机集中控制系统。

数控机床的适用范围如下:

- (1) 多品种、单件小批量生产的零件或新产品试制中的零件。
- (2) 几何形状复杂的零件。
- (3) 精度及表面粗糙度要求高的零件。
- (4) 加工过程中需要进行多工序加工的零件。
- (5) 用普通机床加工时,需要昂贵工装设备(工具、夹具和模具)的零件。



0.2 数控系统的分类

0.2.1 按系统特点分类

1. 点位控制数控机床

(1) 点位控制只要求控制机床的移动部件从某一位置移动到另一位置的准确定位,对于两位置之间的运动轨迹不作严格要求,在移动过程中刀具不进行切削加工,如图 0.5 所示。在点位控制数控系统中,工件相对于刀具运动,直到到达零件程序规定的位置后停止,在运动过程中不进行任何加工。刀具在坐标值固定条件下执行切削任务。点位控制数控系统只准确控制坐标运动的最终位置,而对轨迹不作控制要求。为了精确定位和提高生产率,系统首先高速运行,然后进行减速,使之缓慢趋近定位点以减少定位误差。

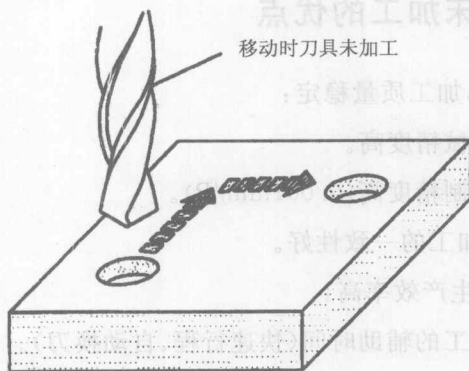


图 0.5 点位控制数控机床加工示意图

(2) 为了实现既快又准的定位,常采用先快速移动,然后慢速趋近定位点的方法来保证定位精度。

(3) 点位控制数控系统常用于数控钻床、数控镗床、数控冲床和数控测量机等。

2. 直线控制数控机床

(1) 直线控制数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要保证两点之间移动的轨迹是一条与机床坐标轴平行的直线。

(2) 对移动的速度也要进行控制,因为这类数控机床在两点之间移动时要进行切削加工,如图 0.6 所示。

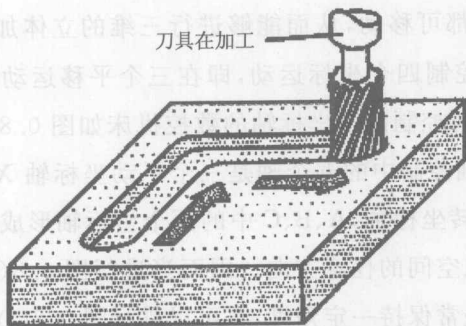
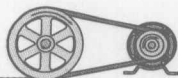


图 0.6 直线控制数控机床加工示意图

3. 轮廓控制数控机床

(1) 轮廓控制能够对两个或两个以上的运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,因而可以进行曲线或曲面的加工,如图 0.7 所示。

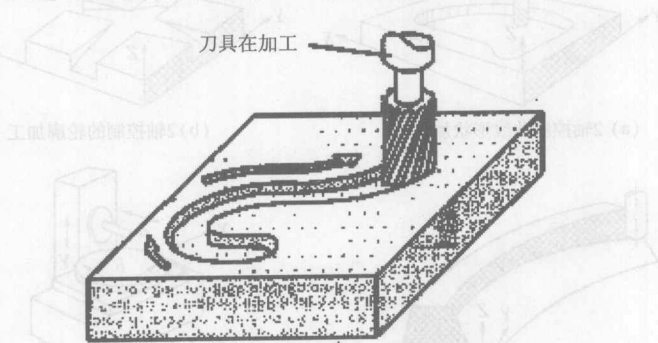


图 0.7 轮廓控制数控机床加工示意图

(2) 具有轮廓控制功能的数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等。

在轮廓控制(连续轨迹)数控系统中,数控系统控制几个坐标轴同时谐调运动(坐标联动),使工件相对于刀具按程序规定的轨迹和速度运动,在运动过程中进行连续切削加工。数控车床、数控铣床、加工中心等用于加工曲线和曲面的机床都必须装备轮廓控制数控系统。

连续切削控制系统按同时控制且相互独立的轴数,可以有 2 轴控制、2.5 轴控制、3 轴控制、4 轴控制和 5 轴控制等。2 轴控制指的是可以同时控制两个轴,但机床也许多于两个轴。如 X 、 Y 、 Z 三个移动坐标轴,可以进行图 0.8(a)所示的曲线形状加工;同时控制 X 、 Z 坐标轴和 Y 、 Z 坐标轴时,可以加工图 0.8(b)所示形状的零件。2.5 轴控制是指两个轴连续控制,第三个轴点位或直线控制,从而实现三个主要轴 X 、 Y 、 Z 内的二维控制。3 轴控制是指同时控制 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴,这样