

国家数控
职业教育

“示范性”
教材

实用数控技术丛书

数控原理与数控机床

SHUKONG YUANLI YU SHUKONG JICHUANG

第二版

罗学科 谢富春 王莉 编著



化学工业出版社



实用数控技术丛书

数控原理与数控机床

SHUXONG YUANLI YU SHUXONG JICHUANG

第二版

罗学科 谢富春 王莉 编著



化学工业出版社

北京

数控原理与数控机是数控技术的基础和核心内容。本书比较全面、系统地讲述了数控机床的基本组成,各部分的主要功能和特点、工作原理等,重点在数控系统的功能、特点及典型应用。在数控机床的结构上,主要针对数控机床的特色,介绍了机床布局,相关机械结构和辅助装备。此外,还介绍了数控机床维修的基本知识。

本书可作为高等职业教育数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造专业学生的教材或社会培训用书,也可作为机械设计制造及自动化专业本科生的教材,还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控原理与数控机床/罗学科,谢富春,王莉编著.

—2版. —北京:化学工业出版社,2008.2

(实用数控技术丛书)

ISBN 978-7-122-01952-3

I. 数… II. ①罗…②谢…③王… III. 数控机床

IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 006646 号

责任编辑:张兴辉 邢 浩

装帧设计:尹琳琳

责任校对:郑 捷

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 233 千字 2008 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00 元

版权所有 违者必究

序

随着我国由制造大国向制造强国的迈进,机械制造行业技术人员对掌握数控技术的要求越来越迫切。国家提出振兴我国装备制造业的战略方针,也对培养新世纪的数控人才提出了更高的要求。

20世纪50年代初第一台数控机床的出现,使制造技术的发展出现了日新月异的局面。特别是近20年来,随着计算机技术、信息技术和微电子技术等高新技术的发展,制造业也发生了革命性的变化。数控技术在现代企业的大量应用,使制造技术正朝着数字化的方向迈进,出现了以信息技术驱动的现代制造技术,其核心就是数控加工设备替代了传统的加工设备。与此同时,数控技术正在朝着高精度、高速度、高柔性、高可靠性以及复合化(工序复合化,功能复合化)的方向发展。这一领域的研究是在当前高新技术不断发展的背景下进行的,涉及到许多相关领域、交叉学科。当前,在人才需求方面,除需要具有数控技术基本知识和能力的高素质人才,以促进研究与开发工作的新突破外,还急需大批数控技术应用型人才,即数控编程、数控设备操作及其维修人员。而大部分制造企业在这方面的人才严重不足,特别是北京、上海和南方较发达地区,对数控应用型人才更是求贤若渴。为了培养国内急需的数控应用人才,各高等院校、职业技术学院纷纷设置高职层次的数控类专业,急需数控技术的教材和参考书,《实用数控技术丛书》就是为此目的编写的。

这套书在2003年底出版后,受到广大读者的厚爱,先后多次印刷,累计发行量3万多套,为普及数控知识和培养数控技能人才做出了一定的贡献,也荣获中国石油化工协会优秀科技图书奖一等奖,这给我们全体编写人员极大的鼓励和鞭策。在近四年的时间里,我们也收到了一些读者的来信和电子邮件,就书中的问题和我们交换意见,指出了书中的一些问题。近年来数控技术在国内的普及日趋深入,《丛书》中的部分内容已经比较陈旧,不太适合国家职业教育的要求,为此我们决定修订再版,全体编写人员根据《丛书》第二版的修订要求认真讨论编写大纲,经过近一年时间的努力,这套丛书的第二版就要与读者见面了,我们期望它不辜负读者的厚爱。

《实用数控技术丛书》(第二版)共6册,约200万字,部分书名和内容进行了较大调整,框架体系更加合理,更加适合职业院校数控技术教育和培训的需要,内容涉及数控技术从理论到实际加工操作的各个环节。其中,《数控原理与数控机床》讲述数控技术的基本原理和数控机床的结构;《数控加工工艺》重点

讲述在数控机床的应用中涉及的工艺问题，包括数控设备用刀具、夹具等工艺装备的选择和使用；《数控编程技术——手工编程》详细地讲述各类数控机床和加工中心的编程原理和手工编程方法；《数控编程技术——自动编程》以 Master-CAM 为主介绍数控自动编程的方法、参数设置和编程技巧，给出了大量的典型实例；《数控加工综合实训》是配合实践教学使用的教材，重点突出系统性、实用性和实践性的特点；《数控技术英语》是本专业的专业英语教材，在编写上考虑了数控专业的特点，并注意使用者的英语水平。

《实用数控技术丛书》既参考了国内外相关领域的书籍和资料，也融会了作者们长期以来的教学实践和研究心得。《丛书》立足于应用，面向职业院校学生和工程技术人员。在内容组织和编排上理论结合实践、由浅入深、图文并茂、通俗易懂。丛书特别强调实践，书中的大量实例来自生产实际和教学实践。丛书不但为职业院校数控类专业提供了完备的系列教材，也为企业培训数控技术应用人才提供了参考书籍，对相关工程技术人员也是一套很有益的参考书。

《实用数控技术丛书》编写委员会

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。数控技术是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。它的出现及所带来的巨大效益，已引起了世界各国科技与工业界的普遍重视。目前，随着国内数控机床用量的剧增，急需培养一大批数控应用型高级技术人才。为了适应我国高等职业技术教育的发展及数控应用型技术人才培养的需要，我们编写了本书。

数控原理与数控机床是数控技术的基础和核心内容，本次修订删减了大量数控原理的内容，将数控机床的介绍作为重点。本书比较全面、系统地讲述了数控机床的基本组成，各部分的主要功能和特点、工作原理等。在数控机床的结构上，主要针对数控机床的特点，介绍了机床布局、相关机械结构和辅助装备。此外，还介绍了数控机床维修的基本知识。

本书可作为高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造人员的培训用书或教材。也可作为机械设计制造及自动化专业本科生的教材，还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，数控技术发展迅速，所以本书难免有不足之处，望各位读者和同仁提出宝贵意见。

编者

目 录

第 1 章 数控机床简介	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 数控机床的基本工作原理	2
1.1.3 数控机床的基本组成	2
1.2 数控机床的分类	3
1.2.1 按工艺用途分类	3
1.2.2 按数控机床功能水平分类	4
1.2.3 按数控机床伺服系统分类	5
1.2.4 按数控机床运动轨迹分类	5
1.3 数控机床的适用范围	8
1.3.1 采用数控机床加工的优势及特点	8
1.3.2 数控机床的适用范围	9
1.4 数控机床的发展历程和发展方向	10
1.4.1 数控机床的发展历程	10
1.4.2 数控机床的发展方向	11
习题	15
第 2 章 数控机床的机械结构	16
2.1 数控机床机械结构组成及特点	16
2.1.1 数控机床机械结构的主要组成	16
2.1.2 数控机床机械结构的主要特点	18
2.2 数控机床的主传动系统	22
2.2.1 数控机床主传动系统的特点	23
2.2.2 数控机床主传动系统的变速方式	24
2.2.3 数控机床的主轴部件	25
2.2.4 高速主轴单元	27
2.3 数控机床进给传动系统	28
2.3.1 数控机床对进给系统的要求	29
2.3.2 传动齿轮副	29
2.3.3 丝杠螺母副	32
2.4 数控机床导轨	36

2.4.1	数控机床对导轨的基本要求	36
2.4.2	数控机床导轨的类型与特点	37
2.5	数控机床的工作台	39
2.5.1	直线工作台	39
2.5.2	回转工作台	39
2.5.3	摆动工作台	41
2.5.4	直接驱动的回转工作台	41
2.6	数控机床的位置检测装置	42
2.6.1	检测装置的分类	42
2.6.2	光栅	43
2.6.3	旋转变压器	45
2.7	自动换刀装置	46
2.7.1	换刀形式	46
2.7.2	刀具交换装置	47
2.7.3	刀库	47
2.8	数控机床的辅助装置	51
2.8.1	数控机床液压和气压装置	51
2.8.2	自动排屑装置	52
2.8.3	工件自动交换系统	54
	习题	56
第3章	数控机床电气控制系统	59
3.1	概述	59
3.1.1	数控机床电气控制系统的组成	59
3.1.2	数控机床电气控制系统的数据流	60
3.2	数控系统的功能和特点	61
3.2.1	计算机数控系统的特点	61
3.2.2	数控系统的功能	62
3.2.3	数控系统的插补原理	65
3.2.4	典型数控系统及其应用	70
3.3	数控机床上的可编程控制器 (PLC)	72
3.3.1	PLC 的工作原理	72
3.3.2	数控机床的 PLC	76
3.4	伺服系统	81
3.4.1	数控机床对伺服系统的要求	81
3.4.2	伺服电机的特性与选型	83
	习题	91

第4章 典型数控机床	94
4.1 数控车床	94
4.1.1 数控车床概述	94
4.1.2 数控车床的组成及布局	97
4.1.3 数控车床的操作	100
4.2 数控铣床	105
4.2.1 数控铣床概述	105
4.2.2 数控铣床的组成及布局	108
4.2.3 数控铣床的操作	111
4.3 加工中心	123
4.3.1 加工中心概述	123
4.3.2 加工中心的组成和布局	128
4.3.3 加工中心的操作	129
4.4 并联机床	132
4.4.1 并联机床概述	132
4.4.2 并联机床的实例	135
习题	137
第5章 数控机床的性能测试与评价方法	139
5.1 数控机床的主要性能指标与检验	139
5.1.1 数控机床的精度检验	139
5.1.2 数控机床性能检验	143
5.2 数控机床的生产管理	144
5.2.1 数控机床的日常管理	144
5.2.2 数控机床使用过程中的经济分析	146
5.3 常用检测装置——激光干涉仪	148
5.3.1 激光干涉仪的工作原理	148
5.3.2 ML10 激光干涉仪的组成	150
5.3.3 典型的测量实例	154
5.4 三坐标测量机	156
5.4.1 三坐标测量机的原理	157
5.4.2 三坐标测量机的组成	157
5.4.3 三坐标测量机的类型	159
5.4.4 三坐标测量机主机	160
5.4.5 三坐标测量机控制系统	161
5.4.6 三坐标测量机测头	162
5.4.7 三坐标测量机测头附件	165

5.4.8	三坐标测量机测量软件	167
	习题	168
第6章	数控机床的选用与日常维护	172
6.1	数控机床的选用	172
6.2	数控机床的安装与调试	175
6.2.1	数控机床的安装	175
6.2.2	数控机床的调试	176
6.3	数控机床的使用和日常维护	178
6.3.1	数控机床的基本使用条件	178
6.3.2	数控机床的日常维护和保养	180
6.4	数控机床的故障诊断	183
6.4.1	数控机床故障分类	184
6.4.2	数控机床故障诊断一般步骤和常用方法	185
	习题	188
	参考文献	189

第1章

数控机床简介

1.1 数控机床概述

随着社会生产和科学技术的发展,机械产品日趋精密复杂,且需频繁改型,对机床的性能、精度、自动化程度等提出了越来越高的要求。特别是在宇航、造船、军工等领域所需要的零件,精度要求高、形状复杂、批量小,普通机床已不能适应这些需求。为了满足上述要求,一种新型机床——数控机床应运而生。

最早进行数控机床研制的是美国。1952年,美国麻省理工学院成功地研制出世界上第一台数控机床,但这台数控机床仅是一台实验性样机,直到1954年11月,第一台工业用的数控机床才生产出来。

从此以后,世界上其它一些工业国家也都开始开发、生产及应用数控机床。我国数控机床的研制是从1958年起步的。

早期的数控机床控制系统采用电子管,体积大、功耗高,仅在军工部门应用。只有在微处理机用于数控机床后,才真正使数控机床得到了普及。数控机床是现代制造业的主流设备,是体现现代机床技术水平、现代机械制造业工艺水平的重要标志。

1.1.1 基本概念

① 数字控制 (Numerical Control, NC) 是20世纪中期发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信号进行控制的一种方法,简称数控。

② 数控机床 (Numerical Control Machine) 数控机床是采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床。

国际信息处理联盟 (International Federation of Information Progressing, 即 IFIP) 第五技术委员会对数控机床的定义: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它符号编码指令规定的程序。定义中的程序控制系统就是数控系统。

最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的专用硬件数控系统。随着微型计算机的发展，硬件数控系统已逐渐被淘汰，取而代之的是计算机数控系统。由于计算机可完全由软件来确定数字信息的处理过程，从而具有真正的“柔性”，并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息，使数控系统的性能大大提高。

③ 数控编程（CNC Programming） 从零件图样到将加工信息用规定代码，按一定的格式编写成零件加工程序单和制作控制介质的全部过程，称为数控加工的程序编制，简称数控编程。

1.1.2 数控机床的基本工作原理

在数控机床上完成零件加工，首先把加工零件所需的所有机床动作的几何数据和工艺数据以程序的形式记录下来，记录到某种存储物上，输入到数控系统中，由数控装置处理程序，发出控制信号指挥机床的伺服系统驱动机床动作，完成零件的加工。当改变加工零件时，在数控机床上只要改变加工程序，就可继续加工新零件。

1.1.3 数控机床的基本组成

数控机床一般由控制介质、数控系统、伺服系统、机床本体、反馈装置和各类辅助装置组成，如图 1-1 所示。

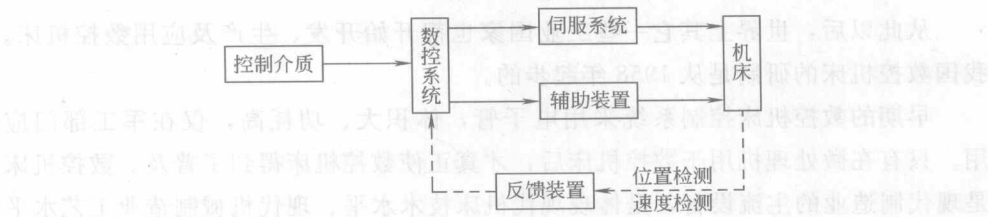


图 1-1 数控机床的基本组成

(1) 控制介质

又称信息载体，是人与数控机床之间联系的中间媒介物质，反映了数控加工中的全部信息。

(2) 数控系统

数控系统是机床实现自动加工的核心，是整个数控机床的灵魂所在。主要由输入装置、监视器、主控制系统、可编程控制器、各种输入/输出接口等组成。主控制系统主要由 CPU、存储器、控制器等组成。数控系统的主要控制对象是位置、角度、速度等机械量，以及温度、压力、流量等物理量，其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中主控制器内的插补模块就是

根据所读入的零件程序,通过译码、编译等处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号的比较,从而控制机床各坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常由可编程控制器 PLC 来完成,它根据机床加工过程中各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,从而控制机床各个部件有条不紊地按顺序工作。

计算机数控系统的核心是完成数字信息运算处理和控制的计算机,一般称它为数控装置(CNC装置)。

(3) 伺服系统

伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电动机、伺服驱动控制器组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令,再经过驱动系统的功率放大后,驱动电动机运转,通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

(4) 反馈装置

该装置由测量部件和响应的测量电路组成,其作用是检测速度和位移,并将信息反馈给数控装置,构成闭环控制系统。没有测量反馈装置的系统称为开环控制系统。

常用的测量部件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。

(5) 机床本体

机床本体是数控机床的机械结构实体,是用于完成各种切割加工的机械部分,包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。机床是被控制的对象,其运动的位移和速度以及各种开关量是被控制的。整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面较普通机床都发生了很大变化。

(6) 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置 ATC (Automatic Tool Changer)、自动交换工作台机构 APC (Automatic Pallet Changer)、工件夹紧放松机构、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

1.2 数控机床的分类

机床数控系统的种类很多,为了便于了解和研究,可从不同的角度对其进行分类。

1.2.1 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床

这类数控机床包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心。切削类数控机床发展最早，目前种类繁多，功能差异也较大。

(2) 金属成型类数控机床

指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床，常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。这类机床起步晚，但目前发展很快。

(3) 数控特种加工机床

如数控激光切割机床、数控线切割机床、数控电火花加工、火焰切割机等。

(4) 其它类型的数控机床

如有三坐标测量仪、数控对刀仪、数控绘图仪等。

1.2.2 按数控机床功能水平分类

(1) 经济型数控机床

经济型数控机床又称简易数控机床。这类数控机床通常仅能满足一般精度要求的加工，能加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹类的零件，采用的计算机系统为单板机或单片机系统，具有数码显示、CRT 或 LCD 字符显示功能，机床进给由步进电动机实现开环驱动，控制的轴数和联动轴数在 3 轴或 3 轴以下，进给分辨率一般为 $10\mu\text{m}$ ，快速进给速度最大不超过 $10\text{m}/\text{min}$ 。这类机床结构一般都比较简单，精度中等，价格也比较低廉。例如数控线切割机床、数控钻床、数控车床、数控铣床及数控磨床等。

(2) 普及型数控机床

普及型数控机床又称全功能数控机床。这类数控机床功能较多，但不追求过多，以实用为准，除了具有一般数控机床的功能以外，还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等，采用的计算机系统为 16 位或 32 位微处理器，具有 RS-232C 通信接口，机床的进给多用交流或直流伺服驱动，一般系统能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制，进给分辨率一般为 $1\mu\text{m}$ ，快速进给速度最大为 $10\sim 20\text{m}/\text{min}$ ，其开关量输入输出控制一般由可编程控制器来完成，从而大大增强了系统的可靠性和控制的灵活性。这类数控机床的品种比较多，几乎覆盖了各种机床类别，且其价格适中，目前其总的趋势是趋于简单、实用，不追求过多的功能，从而使机床的价格适当降低。

(3) 高档型数控机床

高档型数控机床一般系指加工复杂形状的多轴联动数控机床，并且其工序集中、自动化程度高、功能强，具有高度柔性。采用的计算机系统为 32 位以上控制器，机床的进给大多采用交流伺服驱动，除了具有一般数控系统的功能以外，应该至少能实现 5 轴或 5 轴以上的联动控制，最小进给分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ ，最大快速移动速度可达到 $100\text{m}/\text{min}$ 或更高，具有三维动画图形功能和宜人的图形用

户界面,同时具有丰富的刀具管理功能、宽调速主轴系统、多功能智能化监控系统和面向用户的宏程序功能,还有很强的智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定,并能实现计算机的联网和通信。这类机床功能齐全,价格昂贵。例如具有5轴以上的数控铣床,大、中型数控机床,五面加工中心,车削中心和柔性制造单元,柔性制造系统等。

当然,按功能水平分类没有明确的定义和确切的界线,并且在不同时期和不同国家的含义也不相同,上面的描述只能作为参考条件。

1.2.3 按数控机床伺服系统分类

(1) 开环控制数控机床

开环控制数控机床的进给伺服驱动是开环的,即没有检测反馈装置,一般它的驱动电动机为步进电动机。这种控制方式的数控机床的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜。但由于机械传动的误差不经过反馈校正,位移精度不高。

(2) 闭环控制数控机床

闭环数控系统的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的,其驱动电动机可采用直流或交流两种伺服电机,并需要配置位置反馈和速度反馈,在加工中随时检测移动部件的实际位移量,并及时反馈给数控系统中的比较器,它与插补运算所得到的指令信号进行比较,其差值又作为伺服驱动的控制信号,进而带动位移部件以消除位移误差。

1.2.4 按数控机床运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床

这类数控系统控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点,在移动过程中不进行加工,因此对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可以先沿一个坐标轴移动完毕,再沿另一个坐标轴移动,也可以多个坐标轴同时移动。但是为了提高加工效率,一般要求运动时间最短;为了保证定位精度,常常要求运动部件的移动速度是“先快后慢”,即先以快速移动接近目标点,再以低速趋近并准确定位。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等。

(2) 直线控制数控机床

这类数控系统不仅要控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点,还要控制两相关点之间的移动速度和轨迹。其轨迹一般为与某坐标轴平行的直线,也可以为与坐标轴成 45° 夹角的斜线,但不能为任意斜率的直线。由于这类数控系统可一边移动一边切削加工,因此其辅助功能也比点位数控系统多一些。例如,它可能被要求具有主轴转速控制、进给速度控制和刀具自动交换等功能。这类数控机床主要有简易数控车床、数控镗床等。也可以与点位数控系统结合起来,设计

成点位/直线数控系统。

(3) 轮廓数控系统

这类数控系统能够同时对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制，使其合成的平面或空间的运动轨迹符合被加工工件图样的要求。这类数控系统的辅助功能比前两类都多。相应的数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心和电加工机床等，其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。根据它所控制的联动坐标轴数不同，又可以分为下面几种形式。

① 二轴联动 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。如图 1-2 所示。

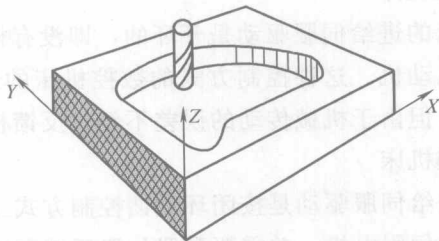


图 1-2 同时控制两个坐标的轮廓控制

② 二轴半联动 主要用于三轴以上机床的控制，其中二根轴可以联动，而另外一根轴可以作周期性进给。如图 1-3 所示就是采用这种方式用行切法加工三

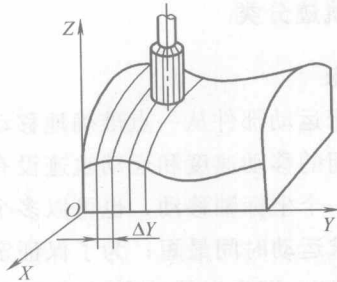


图 1-3 二轴半联动的曲面加工

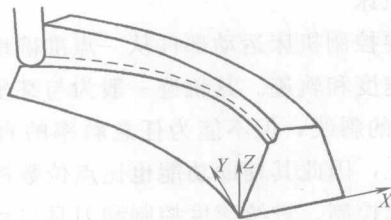


图 1-4 三轴联动的加工曲面

维空间曲面。

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，比较多的用于数控铣床、加工中心等，如图 1-4 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，它除了纵向（ 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 1-5 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。

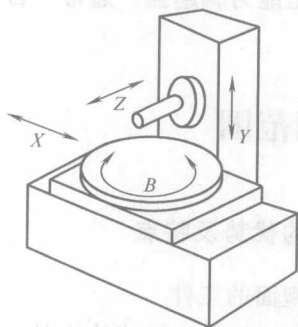


图 1-5 四轴联动的数控机床

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，形成同时控制五个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，如图 1-6 所示。比如控制刀具同

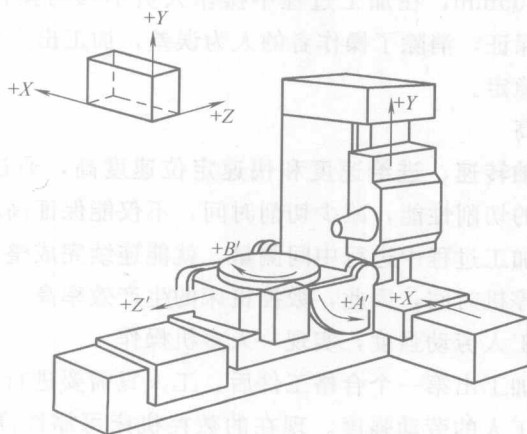


图 1-6 五轴联动的加工中心