

21世纪高职高专规划教材·数控专业

数控机床 与数控技术

北京希望电子出版社 总策划
饶 军 田宏宇 主 编
李玉兰 副主编
金福吉 周维泉 主 审

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
www.cfph.com.cn



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

21世纪高职高专规划教材·数控专业

数控机床 与数控技术

北京希望电子出版社 总策划
饶 军 田宏宇 主 编
李玉兰 副主编
金福吉 周维泉 主 审

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
www.cfph.com.cn



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书分上、下两篇。上篇主要介绍了典型数控机床的机械传动机构、自动换刀装置和数控机床的典型结构,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;下篇主要介绍了数控系统的基本组成,各部分的主要功能和特点、工作原理等,重点介绍了数控系统的应用。

本书注重培养学生全面地了解数控机床和数控技术,为数控机床的使用、维修及编程打下良好的基础。

本书可作为高职数控技术应用专业、机电一体化专业、机械工程及自动化专业的教材,也可以作为高等职业教育学校、高等专科学校、成人高校、继续教育学院教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床与数控技术 / 饶军, 田宏宇主编. —北京:
中国林业出版社; 北京希望电子出版社, 2006.1
(21 世纪高职高专规划教材·数控专业)

ISBN 7-5038-4061-7

I. 数... II. ①饶...②田... III. 数控机床—高等学校:
技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 097314 号

出版: 中国林业出版社 (100009 北京市西城区刘海胡同 7 号 010-66184477)
北京希望电子出版社 (100085 北京市海淀区上地 3 街 9 号金隅嘉华大厦 C 座 611)
网址: www.bhp.com.cn 电话: 010-82702660 (发行) 010-62541992 (门市)

印刷: 北京媛明印刷厂

发行: 全国新华书店经销

版次: 2006 年 1 月第 1 版

印次: 2006 年 1 月第 1 次

开本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 15.5

字数: 351 千字

印数: 0001~3000 册

定价: 22.00 元

序

近几年来,我国的高等职业教育取得了令人瞩目的成就。一方面,伴随着高等教育大众化的步伐,高等职业教育的规模迅速扩大,如今的高职教育已经成为我国高等教育的重要组成部分;另一方面,随着高职教育领域里理论研究与实践探索的不断深入,高等职业教育培养人才的质量不断提高。高等职业教育在国家建设和国民经济发展中的重要地位与作用已经得到了全社会的普遍认同。

但是,在高等职业教育迅速发展的同时,也存在着一些亟待解决的问题。首先,从规模与结构上来讲,毕业生的人数与专业的构成在相当程度上还无法满足经济发展的要求,众所周知,数控技术、汽车维修等领域,人才的缺口很大。其次,高等职业教育培养人才的质量与社会需求之间还存在着一定的差距,而产生这一差距的主要原因就是现行的课程体系无法满足高等职业教育的需求,因此,课程的改革与建设已经成为我国高等职业教育发展的重点与难点,其中教材的建设,尤其是精品教材的建设更显得尤为迫切和重要。

为解决目前数控技术专业教材不足,尤其是高水平的教材严重短缺的问题,由北京希望电子出版社与北京联合大学机电学院等十几所院校共同策划、组织、编写了这套数控技术专业系列教材。本套教材最大的特点就是突出“实用性”,因此在编写过程中除了在形式上吸收借鉴了一些先进的课程、教材开发的理念与方法外,在内容上更加注重与生产实际和岗位需求的联系。同时,本套丛书在策划阶段聘请了北京机床研究所的副总工艺师金福吉(第一届全国数控技能大赛副总统裁判长、2005年北京市职工数控技能大赛副总统裁判长)、北京夏金字模具科技有限公司总工艺师周维泉(第一届全国数控技能大赛技术工作委员会专家、2005年北京市职工数控技能大赛数控车床裁判长)作为编委会的企业顾问,两位专家具有丰富的实践经验,他们对于整套教材的编写工作提出了很多宝贵的意见和建议,最后又由他们担任主审,对每本教材都给予了严格的把关,保证了数控加工工艺、数控加工程序的正确性。希望本套教材为我国的高等职业教育数控技术专业的课程体系建设添砖加瓦。

全国高等学校制造自动化研究会理事会理事 张恩祥

前言

数控机床是现代机械工业的重要技术装备，也是先进制造技术的基础装备。数控机床是典型的机电一体化产品，它综合了电子计算机、自动控制、自动检测、液压与气动以及精密机械等方面的技术。目前，随着国内数控机床用量的剧增，急需培养一大批数控机床设备操作、编程及维修的数控应用型技术人才。为了适应社会上对数控技术人才的需求、培养数控技术应用专业技能型的高职高专人才，我们编写了本套丛书。

本教材分上、下两篇，上篇为数控机床结构篇，下篇为数控技术篇。教材根据编者教学经验，并考虑到从面向生产第一线所需要的数控应用型技术人才的工程素质培养要求及高职学生的特点，从数控机床出发，在上篇中主要介绍了典型数控机床的机械传动机构、自动换刀装置和数控机床的典型结构，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。重点介绍了数控机床的主传动系统及主轴部件、进给传动系统机械结构，并对数控机床的选择使用、安装调试以及验收等方面的常识，进行了系统而全面的介绍，以帮助学习者从原理、结构、使用与维护等方面全面而系统地了解与熟悉数控机床。下篇主要介绍了数控系统的基本组成，各部分的主要功能和特点、工作原理等，重点介绍了数控系统的应用。另外还对数控机床的进给伺服系统检测装置进行了介绍。本书注重培养学生全面地了解数控机床和数控技术，为数控机床的使用、维修及编程打下良好的基础。

本教材的特点是通过由浅入深、从外到内进行讲解。本书内容丰富翔实、图文并茂、通俗易懂。教材在每章开始列出了知识点，在每章结束有相应的思考题和习题，便于学生课后复习。

机床篇由饶军主编，数控技术篇由田宏宇主编。第1、3、4章由饶军编写，第2、5章由李玉兰编写，第6、7、8、9章由田宏宇编写。全书由饶军、田宏宇统稿。本书在编写中，参阅了有关教材和资料，并得到了北京机床研究所副总工艺师金福吉和北京夏金宇模具科技有限公司总工艺师周维泉的指导，在此对他们表示感谢。

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，望广大读者和同仁提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一篇 数控机床篇

序	ii	2.3.2 主轴轴承	23
前言	iii	2.3.3 主轴滚动轴承的配置	24
第 1 章 概述	1	2.3.4 主轴滚动轴承的预紧	25
1.1 数控机床的产生及发展	1	2.4 典型机床主轴部件介绍	26
1.1.1 数字控制技术与数控机床	1	2.4.1 数控车床主轴部件	26
1.1.2 数控机床的产生	1	2.4.2 车削中心	31
1.1.3 数控机床的发展	2	2.4.3 立式加工中心	32
1.2 数控机床的组成及工作原理	3	2.5 高速主轴系统和电主轴	36
1.2.1 数控机床的组成	3	2.5.1 高速主轴系统简介	36
1.2.2 数控机床的工作过程	4	2.5.2 电主轴的结构与布局	37
1.3 数控机床的分类	5	2.5.3 电主轴的轴承	40
1.3.1 按工艺用途分类	5	2.6 思考与练习题	41
1.3.2 按运动控制轨迹分类	5	第 3 章 数控机床的进给传动系统	42
1.3.3 按伺服系统的类型划分	8	3.1 数控机床对进给传动系统的基本	
1.3.4 按功能水平划分	10	要求	42
1.4 数控机床的特点及应用	10	3.2 数控机床进给传动系统的基本形式	43
1.4.1 数控机床的特点	10	3.2.1 滚珠丝杠螺母副	43
1.4.2 数控机床的应用范围	11	3.2.2 静压丝杠螺母副	50
1.5 数控机床的发展趋势	12	3.2.3 静压蜗杆蜗轮条副	52
1.6 数控机床的主要性能指标	14	3.2.4 预加载荷的双齿轮—齿条副	53
1.6.1 数控机床的精度指标	14	3.2.5 直线电动机直接驱动	54
1.6.2 数控机床的运动性能指标	15	3.3 进给系统传动齿轮间隙消除	56
1.6.3 数控机床的加工性能指标	15	3.3.1 刚性调整法	56
1.6.4 数控机床的可控轴数与联动		3.3.2 柔性调整法	58
轴数	15	3.4 进给传动系统应用	60
1.6.5 数控机床的可靠性指标	16	3.4.1 MJ-50 数控车床进给传动	
1.7 思考与练习题	16	系统	60
第 2 章 数控机床的主传动及主轴部件	17	3.4.2 JCS-018A 加工中心机床进	
2.1 对主传动的基本要求	17	给传动系统及传动装置	63
2.2 数控机床主轴的变速与传动	18	3.5 思考与练习题	64
2.2.1 主传动的变速方式	18	第 4 章 数控机床的典型结构	65
2.2.2 数控机床主轴的传动形式	18	4.1 数控机床机械结构的组成及要求	65
2.3 主轴部件	21	4.1.1 数控机床机械结构的组成	65
2.3.1 主轴部件的运动方式和主轴	21	4.1.2 数控机床对机械结构的基本	

要求	65
4.2 数控机床的总体布局	74
4.2.1 数控车床常用布局形式	74
4.2.2 数控镗铣床及加工中心常用 布局形式	75
4.2.3 高速加工数控机床的特殊 布局形式	78
4.2.4 并联运动机床布局形式	78
4.3 数控机床的导轨	80
4.3.1 数控机床对导轨的基本要求	80
4.3.2 数控机床导轨的种类与特点	80
4.3.3 塑料滑动导轨	83
4.3.4 滚动导轨	85
4.3.5 静压导轨	88
4.3.6 导轨的润滑与防护	88
4.4 数控机床的自动换刀装置	89
4.4.1 自动换刀装置的要求及形式	89
4.4.2 刀库的类型与容量	94
4.4.3 刀具的选择	96
4.4.4 自动换刀实例	101
4.5 数控机床的回转工作台	105
4.5.1 分度工作台	105
4.5.2 数控回转工作台	108
4.6 思考与练习题	111
第 5 章 数控机床的选用、安装、调试和 验收	112

5.1 数控机床的选用	112
5.1.1 确定典型零件	112
5.1.2 数控机床规格的选择	112
5.1.3 数控机床精度的选择	113
5.1.4 数控系统的选择	114
5.1.5 工时和节拍的估算	115
5.1.6 自动换刀装置的选择及刀柄 的配置	115
5.1.7 数控机床驱动电机的选择	117
5.1.8 机床选择功能及附件的选择	118
5.2 数控机床的安装	118
5.2.1 数控机床的初始就位	118
5.2.2 机床各部件连接组装	119
5.2.3 数控系统的连接和调整	119
5.3 数控机床的调试	121
5.3.1 通电试车	121
5.3.2 机床精度和功能的调试	122
5.3.3 机床试运行	122
5.4 数控机床的检测与验收	123
5.4.1 数控机床外观的检测	123
5.4.2 机床精度检测与验收	123
5.4.3 数控机床性能及数控功能的 检测与验收	134
5.5 高速加工机床的基本选择原则	136
5.6 思考与练习题	138

第二篇 数控原理篇

第 6 章 计算机数控 (CNC) 装置	139
6.1 数控系统的分类	139
6.2 数控系统的主要技术指标	141
6.2.1 CNC 系统的特点	141
6.2.2 CNC 的主要技术指标	142
6.3 计算机数控系统的基本原理	145
6.3.1 数控系统的插补原理与方法	145
6.3.2 数控系统的刀具补偿	162
6.4 计算机数控系统的构成	170
6.5 典型数控系统	172
6.5.1 FANUC 数控系统介绍	172

6.5.2 SIEMENS 数控系统介绍	175
6.6 思考与练习题	177
第 7 章 伺服驱动装置	178
7.1 概述	178
7.2 开环伺服驱动装置	178
7.2.1 步进电动机的工作原理	178
7.2.2 步进电动机的主要工作特性	181
7.2.3 步进电动机的选用	183
7.2.4 步进电动机驱动装置	184
7.3 闭环伺服驱动装置	191
7.3.1 直流伺服电动机	191

7.3.2 交流伺服电动机.....	194	8.5 磁栅.....	221
7.3.3 直流驱动装置.....	196	8.5.1 磁性标尺.....	221
7.3.4 交流驱动装置.....	198	8.5.2 拾磁磁头及工作原理.....	221
7.4 思考与练习题.....	202	8.6 思考与练习题.....	223
第 8 章 数控机床的检测装置	203	第 9 章 数控系统中可编程控制器 (PLC)	224
8.1 概述	203	及常用接口	224
8.2 脉冲编码器.....	203	9.1 PLC 工作原理.....	224
8.2.1 增量式旋转编码器.....	204	9.2 数控机床的 PLC.....	227
8.2.2 绝对式旋转编码器.....	206	9.2.1 数控机床 PLC 的控制对象.....	227
8.2.3 编码器在数控机床中的应用..	207	9.2.2 数控机床 PLC 的形式.....	229
8.3 光栅	208	9.3 数控系统常用接口	231
8.3.1 光栅种类	208	9.3.1 数控系统对接口的要求	231
8.3.2 直线透射光栅的组成及工作 原理	209	9.3.2 CNC 装置的显示功能及其 接口.....	232
8.3.3 直线光栅检测装置的辨向.....	211	9.3.3 数控系统的 I / O 接口.....	232
8.3.4 提高光栅分辨精度的措施.....	211	9.3.4 数控系统常用串行通信接口 标准.....	233
8.3.5 光栅检测装置的特点.....	212	9.3.5 DNC 通信接口技术	235
8.4 旋转变压器和感应同步器	213	9.4 思考与练习题	236
8.4.1 旋转变压器	213	参考文献	237
8.4.2 感应同步器	215		

第一篇 数控机床篇

第1章 概述

本章知识

- 数控机床的产生和发展
- 数控机床的定义、特点和分类
- 数控机床的组成和工作原理
- 数控机床的主要性能指标

1.1 数控机床的产生及发展

1.1.1 数字控制技术与数控机床

数字控制(Numerical Control)是近代发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。采用数控技术实现数字控制的一整套装置和设备,称为数控系统。

数字控制机床(Numerically Controlled Machine Tool)是采用了数字控制技术的机床,简称数控(NC)机床。数控机床是一种装有数控系统的机床,该系统能逻辑地处理具有使用数字号码或者其他符号编码指令规定的程序。数控系统是一种控制系统,它能自动完成信息的输入、译码、运算,从而控制机床的运动和加工过程。

数控机床以数控技术为基础,其技术范围所覆盖的领域有机械制造技术、微电子技术、计算机技术、自动控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、伺服驱动技术、软件技术等。因此数控机床是高度机电一体化的产品。

1.1.2 数控机床的产生

随着生产和科学技术的发展,机械产品的结构日趋复杂,其精度日趋提高,性能不断改善,因此对制造机械产品的生产设备——机床,必然会相应地提出高效率、高精度和高自动化的要求。

在机械产品中,单件与小批量产品占到70%~80%。由于这类产品生产批量小、品种多,而且当产品改型时,机床与工艺设备均需作较大的调整,因此,这类产品的生产不仅对机床提出了“三高”要求,而且还要求机床应具有较强的适应产品变化的能力。这类产品的零件一般都采用通用机床来加工。通用机床的自动化程度不高,基本上是由人工操作,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些由曲线、曲面组成的复杂零件,只能借助划线和样板用手工操作的方法来加工,或者利用靠模和仿型机床来加工,其加工精度和生产效率都受到很大的限制。要实现这类产品生产的自动化,已成为机械制造业中长期未能解决的难题。

数控机床就是为了解决单件、小批量，特别是高精度、复杂型面零件加工的自动化要求而产生的。

最早采用数字控制技术进行机械加工的思想，是在 20 世纪 40 年代提出的。1949 年美国北密执安的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司（Parsons Corporation）在制造飞机框架及直升飞机叶片轮廓用样板时，为了提高精度和效率，首先提出了利用全数字电子计算机对叶片轮廓的加工路径进行控制的方案，并与美国麻省理工学院（MIT）的伺服机构研究所开始共同研究，到 1952 年研制出一套试验性数字控制系统，并把它装在一台立式铣床上，成功地实现了同时控制三轴的运动。这就是第一台数控机床，但是这台机床毕竟是一台试验性的机床，后来经过改进第一台工业用数控机床于 1954 年生产出来。

1.1.3 数控机床的发展

1. 数控系统的发展

数控机床的发展，与电子技术特别是计算机技术的发展紧密相关。自 1952 年以来，数控系统的发展已经经历了五代。

发展初期所用的电子器件为电子管。

1959 年以后，数控系统发展进入第二代，采用晶体管和印制电路板。

1965 年以后，发展到第三代，采用小规模集成电路，数控系统的可靠性得到进一步提高。

以上 3 代系统，都采用专用控制计算机的硬接线数控系统，统称为普通数控系统（NC）。

第四代是 1970 年以后来用小型计算机，许多功能可以通过软件实现，称为计算机数控系统（CNC）。

第五代系统，是采用微处理机技术的计算机数控系统（MNC）。

由于数控技术的迅速发展，现代的数控系统更进一步向高精度、高速度和多功能方向发展。不仅控制的轴数大为增加，而且其功能也远远超出控制刀具轨迹与机床动作的范畴，并能实现自动编程、自动测量、自动诊断与通信联络等功能。数控系统与可编程控制器的结合，进一步提高了系统的可靠性，并使机床的强电控制逻辑柔性化。

2. 伺服系统的发展

最早的数控系统采用电液脉冲马达驱动数控机床，后来被步进电动机所取代。到了 20 世纪 60 年代，欧美一些国家采用了液压伺服系统。20 世纪 70 年代，美国首先研制了大惯量伺服电动机，该电动机调速范围为 $0.1 \sim 2000 \text{ r/min}$ 。20 世纪 80 年代初期美国通用电气公司研制成功了交流伺服系统。近年来，微机处理器已开始应用于伺服系统的驱动装置中，1986 年日本厂商已推出了采用数字伺服系统的数控机床。当前伺服系统的发展趋势是直流伺服系统将被交流数字伺服系统所代替。伺服系统的速度环、位置环及电流环都已实现了数字化，并采用了新的控制理论，实现了不受机械负荷变动影响的高速响应系统。

3. 机床结构的发展

数控机床是自动化高效设备，粗、精加工在一台机床上进行。为保证精加工的精度、发挥数控机床的特长，在机械结构方面采取了一系列的改进。

1) 提高机床的动、静刚度 如在机床的大件中增加肋板，大大提高了扭转刚度。在机

床的主轴上选用圆柱滚子轴承和角接触球轴承,可提高主轴刚度。在大型机床上采用液力平衡和重块平衡来减少构件的变形。增大刀架底座的尺寸可提高刀架刚度。机床结构采用钢板焊接结构,可增加静刚度减轻结构重量,又可增加构件的阻尼系数,从而改善了抗振性。构件设计时可通过调整质量改变系统的自振频率以便远离强迫振动的频率。

2) 减少机床的热变形 将热源,如电动机、变速箱、液压装置和油箱等从主机中分离出去以及采用静压轴承,均可减少主轴的热变形。采用良好的排屑装置,尽快把热源带走。采用强制冷却剂,如大容量冷却泵,可控制温度。

3) 其他措施 减少运动件的摩擦和消除传动间隙,采用滚动导轨、静压导轨和塑料导轨。在进给系统中采用滚珠丝杠,大大降低摩擦力,改善了动态特性。

1.2 数控机床的组成及工作原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床主机组成,如图1-1所示。现将各组成部分简单地介绍。

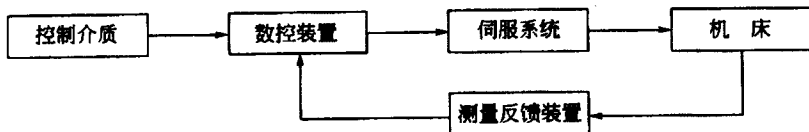


图 1-1 数控机床的组成

1. 控制介质

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,它上面记载着数控加工中的全部信息。数控机床使用的控制介质有穿孔卡片、穿孔带、磁带和磁盘等。在数控机床产生的初期,人们使用的是8单位(8孔)穿孔纸带,并规定了标准信息代码ISO(国际标准化组织制定)和EIA(美国电子工业协会制定)两种代码。尽管穿孔纸带趋于淘汰,但是规定的标准信息代码仍然是数控程序编制、制备控制介质惟一遵守的标准。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,现代数控机床都采用计算机数控装置,即CNC(Computerized Numerical Control)装置。这是一种专用计算机,一般由中央处理器(CPU)、存储器、总线 and 输入输出接口等构成。数控装置能完成信息的输入、存储、变换、插补运算以及实现各种控制功能。为了完成各种形状的零件加工,它具备的主要功能如下:

- 1) 多坐标控制(多轴联动)。
- 2) 实现多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线等)。
- 3) 多种程序输入功能(人机对话、手动数据输入、由上级计算机及其他计算机输入设备的程序输入),以及编辑和修改功能。
- 4) 信息转换功能,即EIA/ISO代码转换、英制/公制转换、坐标转换、绝对值/增量值转换、计数制转换等。

- 5) 补偿功能, 即刀具半径补偿、刀具长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿等。
- 6) 多种加工方式选择。可以实现各种加工循环、重复加工、凹凸模加工和镜像加工等。
- 7) 故障自诊断功能。
- 8) 显示功能, 用 CRT 可以显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形。
- 9) 通信和联网功能。

3. 伺服驱动及检测装置

伺服驱动及检测反馈是数控机床的关键部分, 它影响数控机床的动态特性和轮廓加工精度。伺服驱动部分接收计算机运算处理后分配来的信号, 经过调节、转换、放大以后去驱动伺服电动机, 带动机床的执行部件运动, 并且随时检测伺服电动机或工作台的实际运动情况, 进行严格的速度和位置反馈控制。在伺服系统中包括安装在伺服电动机上的速度、位置检测元件及相应电路, 该部分能及时将信息反馈回来, 构成闭环控制。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的主体, 由基础件(如床身、底座)和运动件(如工作台、滑座、主轴箱等)组成。它不仅要实现由数控装置控制的各种运动, 而且还要承受包括切削力在内的各种力, 因此机床本体必须保证有良好的几何精度、足够的刚度、较小的热变形、低的摩擦阻力, 才能有效地保证数控机床的加工精度。与普通机床相比, 数控机床本体具有以下特点:

1) 由于采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置, 数控机床的机械传动结构得到了简化, 传动链较短。

2) 数控机床的机械结构具有较高的动态特性, 动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能, 适应连续地自动化加工。

3) 采用了高效传动部件, 如滚珠丝杠、静压导轨、滚动导轨等。

为了保证数控机床功能的充分发挥, 还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等一系列装置)和附属设备(程编机和对刀仪等)。

1.2.2 数控机床的工作过程

与传统加工比较, 数控加工与通用机床加工在方法与内容上有许多相似之处, 不同点主要表现在控制方式上。以机械加工为例, 用通用机床加工零件时, 工步的安排、机床运动的先后次序、位移量、走刀路线及有关切削参数的选择等, 都是由操作者自行考虑和确定的, 且是用手工操作方式来进行控制的。操作者总是根据零件和工序卡的要求, 在加工过程中不断改变刀具与工件的相对运动轨迹和加工参数(位置、速度等), 使刀具对工件进行切削加工, 从而得到所需要的合格零件。如果采用自动车床、仿型车床或仿型铣床加工, 虽然也能达到对加工过程实现自动控制的目的, 但其控制方式是通过预先配置的凸轮、挡块或靠模来实现的。

在数控机床上, 传统加工过程中的人工操作均被数控系统的自动控制所取代。其工作过程如图 1-2。首先要将被加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化, 即将刀具与工件的相对运动轨迹、加工过程中主轴速度和进给速度的变换、冷却液的开关、工件和刀具的交换等

控制和操作, 按规定的代码和格式编成加工程序, 然后将该程序送入数控系统。数控系统则按照程序的要求, 先进行相应的运算、处理, 然后发出控制命令, 使各坐标轴、主轴以及辅助动作相互协调, 实现刀具与工件的相对运动, 自动完成零件的加工。

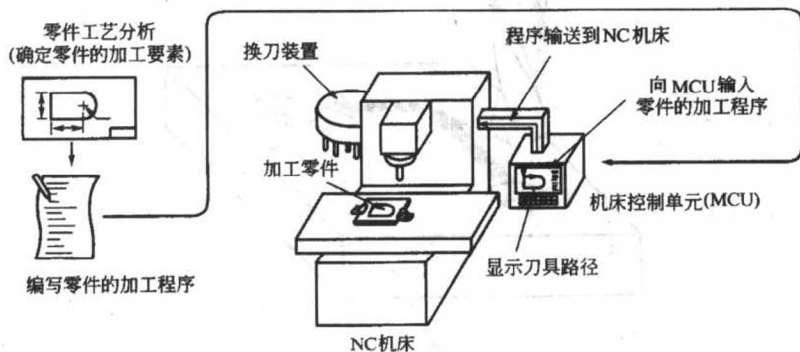


图 1-2 数控机床工作过程

1.3 数控机床的分类

1.3.1 按工艺用途分类

按工艺用途不同, 可将数控机床分成以下几类。

1. 单工序数控机床

这类数控机床一般只能完成某一个工序的加工过程, 如数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床等。

2. 加工中心

加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床, 它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能结合在一起。零件一次装夹后, 可以实现多工序加工。加工中心的类型很多, 一般分为立式加工中心、卧式加工中心、龙门式加工中心和车削中心等。

3. 特种加工数控机床

特种加工数控机床包括数控线切割机、数控火焰切割机、数控电火花成形机床、数控激光加工机床、数控冲床、数控剪床等。

1.3.2 按运动控制轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位, 点与点之间的运动轨迹没有严格要求, 在移动过程中不进行任何切削加工。因此, 为了提高加工效率, 保证定位精度, 一般移动按照“先快后慢”的原则, 即先快速接近目标点, 再低速趋近并准确定位。图 1-3 为数控钻床加工示意图。

这类控制方式仅用于数控钻床、数控镗床和数控冲床等。

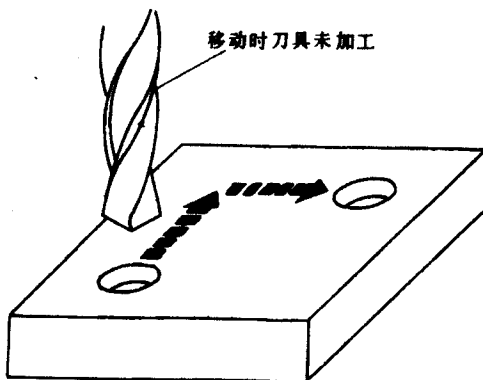


图 1-3 数控机床（钻床）点位控制加工示意图

2. 直线控制数控机床

这类数控机床不仅要控制移动部件从一点准确地移动到另一点，而且要控制移动部件的运动速度和轨迹。刀具相对工件移动的轨迹是平行于机床某一坐标轴的直线，移动部件在移动过程中进行切削加工，加工示例如图 1-4 所示。

这类控制方式仅用于简易数控车床、数控铣床等。

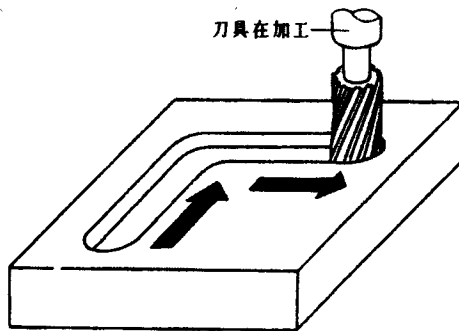


图 1-4 数控机床直线控制加工示意图

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，是指能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行严格连续控制。它不仅能控制移动部件从一个点准确地移动到另一个点，而且还能控制整个加工过程每一点的速度与位移量，这样可以加工出由任意斜线、曲线或曲面组成的复杂零件。

因此在这类控制方式中，就要求数控装置具有插补运算功能，所谓插补就是根据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），通过数控系统内插

补运算器的数学处理,把直线或圆弧的形状描述出来,也就是一边计算,一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。在运动过程中刀具对工件表面连续进行切削,可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工。轮廓控制的加工轨迹如图 1-5。

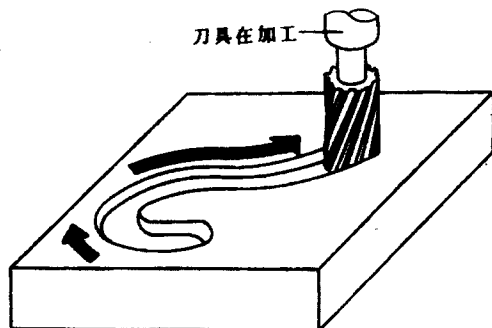


图 1-5 数控机床轮廓控制加工示意图

大多数数控机床都具有轮廓切削控制功能,如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控齿轮加工机床和数控加工中心等。这些机床根据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回转体曲面或用于数控铣床加工箱板类零件的曲线轮廓,如图 1-5 所示。

2) 二轴半联动 主要用于三轴以上机床的控制,其中二轴可以联动,而另外一轴可以作周期性进给。图 1-6 所示的就是采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

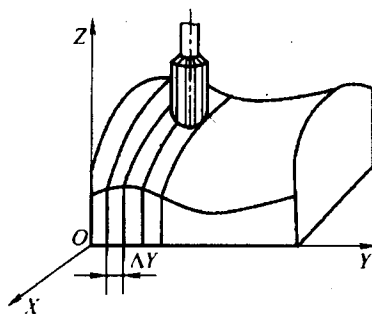


图 1-6 二轴半联动加工曲面

3) 三轴联动 一般分为两类,一类就是 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,图 1-7 所示为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 其中两个直线坐标外,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 1-8 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。

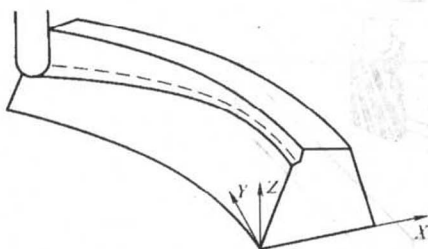


图 1-7 三轴联动加工曲面

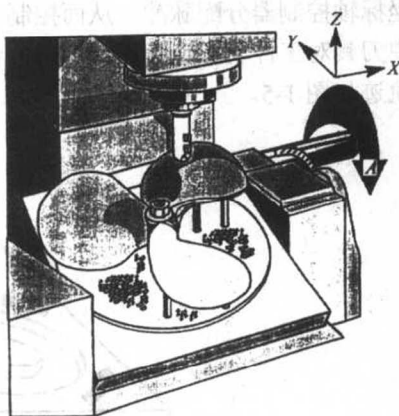


图 1-8 四轴联动加工曲面

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 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。比如控制刀具同时绕 X 轴和 Y 轴两个方向摆动, 使得刀具在其切削点上始终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光滑性, 提高其加工精度和加工效率, 减小被加工表面的粗糙度。

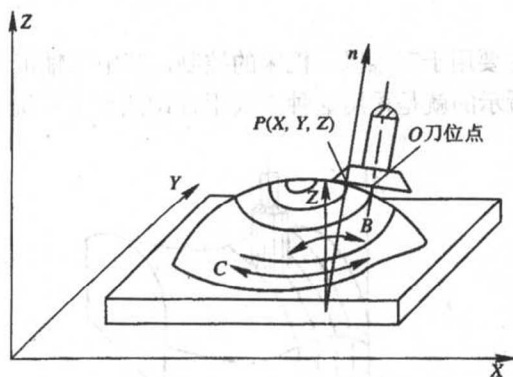


图 1-9 五轴联动加工曲面

1.3.3 按伺服系统的类型划分

1. 开环控制系统

开环控制系统是指不带位置反馈装置的控制方式。一般它的驱动电动机为步进电机, 步进电机的主要特征是控制电路每发出一次指令脉冲信号, 电动机就转动一个步距角。其控制系统的框图如图 1-10, 数控系统输出的进给指令信号通过脉冲分配器来控制驱动电路, 它以变换脉冲的个数来控制坐标位移量, 以变换脉冲的频率来控制位移速度, 以变换脉冲的分配顺序来控制位移的方向。因此这种控制方式的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜。

数控系统发出的指令信号流是单向的,所以不存在控制系统的稳定性问题,但由于机械传动的误差不经过反馈校正,位移精度不高。它适用于精度、速度要求不高的场合,如经济型、中小型数控机床。

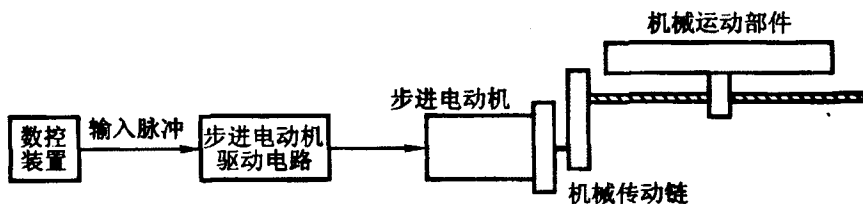


图 1-10 开环伺服系统

2. 闭环控制系统

闭环控制系统是在机床最终的运动部件的相应位置直接安装直线或回转式检测装置,将直接测量到的直线位移或角位移反馈到数控装置的比较器中与输入指令位移量进行比较,用差值控制运动部件,使运动部件严格按实际需要的位移量运动。闭环控制的主要优点是将机械传动链的全部环节都包括在闭环之内,因而从理论上说,闭环控制系统的运动精度主要取决于检测装置的精度,而与机械传动链的误差无关,为高精度数控机床提供了技术保障。但闭环控制系统除了价格较昂贵之外,对机床结构及传动链仍然提出了严格的要求,因为传动链的刚度、间隙,导轨的低速运动特性以及机床结构的抗振性等因素都会增加系统调试的难度,甚至使伺服系统产生振荡,降低了数控系统的稳定性。图 1-11 是闭环控制系统示意图。

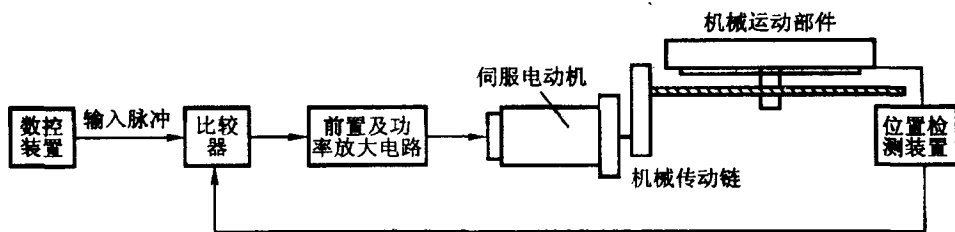


图 1-11 闭环伺服系统

3. 半闭环控制系统

半闭环控制系统是在开环控制伺服电动机轴上装有角位移检测装置,通过检测伺服电动机的转角间接地检测出运动部件的位移(或角位移)反馈给数控装置的比较器,与输入指令进行比较,用差值控制运动部件。随着脉冲编码器的迅速发展和性能的不断完善,作为角位移检测装置能方便地直接与直流或交流伺服电动机同轴安装。而高分辨率的脉冲编码器的诞生,为半闭环控制系统提供了一种高性能价格比的配置方案。由于惯性较大的机床运动部件不包括在闭环之内,控制系统的调试十分方便,并具有良好的系统稳定性,甚至可以将脉冲编码器与伺服电动机设计成一个整体,使系统变得更加紧凑。虽然半闭环控制没有把运动部件的机械传动链包括在闭环之内,机械传动链的误差无法得到校正或消除。但是目前广泛采用的滚珠丝杠螺母机构具有很好的精度和精度保持性,而且采取了可靠的消除反向运动间隙