

普通高等院校机电工程类规划教材

数控加工技术

王树逵 齐济源 主编

TG659/281

2009

普通高等院校机电工程类规划教材

数控加工技术

王树逵 齐济源 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书重点叙述了数控加工技术基础,程序编制中的工艺分析与数学处理,数控机床的机械结构,数控机床伺服系统,数控车床、数控铣床及加工中心编程,自动编程,特种加工及编程等。本书介绍的数控加工技术,重点突出,全面、系统,注重理论联系实际,各章节既相互联系,又有一定的独立性。每章节均附有思考与练习。

本书可作为高等学校机电类专业本科教材,也可供研究单位、企事业单位从事数控加工技术开发与应用的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/王树遼,齐济源主编. —北京:清华大学出版社,2009.4

(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-19699-0

I. 数… II. ①王… ②齐… III. 数控机床—加工—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 036687 号

责任编辑:庄红权

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18.75

字 数:448 千字

版 次:2009 年 4 月第 1 版

印 次:2009 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:32.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。

联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:029592-01

前 言

数控机床是机械制造业中的重要设备,它集中体现了机械制造技术、计算机技术、微电子技术、现代控制技术、网络信息技术、机电一体化技术等多学科的高新技术。在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善劳动条件等方面均体现出优越性。目前我国装备制造业的发展日新月异,数控机床加工设备大量普及,急需培养一大批能熟练掌握数控机床加工、编程等技能的应用型技术人才。为适应这一需求,我们编写了《数控加工技术》一书。

本书针对目前常用的数控机床,重点介绍了数控加工技术基础,程序编制中的工艺分析与数学处理,数控机床的机械结构,数控机床伺服系统,常用数控车床、数控铣床和加工中心的编程方法,自动编程方法及电火花、数控线切割等特种加工与编程。

本书取材新颖,内容由浅入深、循序渐进,图文并茂,实例丰富,着重于应用;理论部分突出简明性、系统性、实用性和先进性。

王树遼、齐济源担任本书主编,姜金三、何国旗担任本书副主编。参加本书编写的有:王树遼(第3、7、8章),齐济源(第4章),姜金三(第2、9章),何国旗(第1章),谢骐(第5章),樊国英(第6章)等。

在本书的编写过程中,得到了周广文教授、宋晓梅副教授、安伯芝工程师等的指导和帮助,在此一并表示诚挚的谢意。

书中吸取和参考了许多有名专家和学者的研究成果,有些文献并未直接引用,为方便读者寻源,亦将其列入参考文献目录,谨致谢意。

鉴于编者水平有限,不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者
2009年3月

目 录

第 1 章 数控加工技术基础	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床的组成及工作原理	2
1.1.2 数控机床的分类	4
1.1.3 数控加工技术的发展趋势	6
1.2 插补原理与计算机数控系统	15
1.2.1 插补原理	15
1.2.2 计算机数控系统	29
1.3 数控程序编制基础	36
1.3.1 数控机床编程的作用与目的	36
1.3.2 数控机床编程的内容与步骤	36
1.3.3 程序编制的代码标准	37
1.3.4 数控机床的坐标轴和运动方向	37
1.3.5 NC 程序的结构与格式	38
1.4 数控机床常用的编程指令	39
1.4.1 准备功能	39
1.4.2 辅助功能	39
思考与练习	42
第 2 章 程序编制中的工艺分析与数学处理	43
2.1 数控机床加工工艺分析的基本特点和主要内容	43
2.1.1 数控机床加工工艺分析的基本特点	43
2.1.2 数控机床加工工艺分析的主要内容	43
2.2 零件的加工工艺性分析	43
2.2.1 数控机床的选择	43
2.2.2 零件图上尺寸标注的要求	45
2.2.3 定位基准的可靠性分析	46
2.2.4 数控加工对零件工艺性要求	49
2.3 加工方法选择及工艺路线的确定	50
2.3.1 加工方法选择	50
2.3.2 工艺路线的确定	51
2.3.3 工件的装夹和对刀点、换刀点位置的确定	55

2.4	选择刀具和确定切削用量	57
2.4.1	刀具的选择	57
2.4.2	切削用量的选择	59
2.5	数控机床加工工艺文件	61
2.6	程序编制中的数学处理	63
2.6.1	概述	63
2.6.2	基点和节点的数值计算	63
	思考与练习	65
第3章	数控机床的机械结构	66
3.1	数控机床的机械结构和性能要求	66
3.1.1	数控机床的机械结构	66
3.1.2	数控机床的性能要求	66
3.2	常见数控机床的结构布局	68
3.2.1	数控车床的结构布局	68
3.2.2	数控铣床的结构布局	69
3.2.3	加工中心的结构布局	70
3.3	数控机床的主传动系统及主轴部件	72
3.3.1	主传动运动的变速系统	72
3.3.2	数控机床的主轴部件	73
3.4	数控机床的进给传动系统	77
3.4.1	齿轮传动副	77
3.4.2	滚珠丝杠螺母副	80
3.4.3	静压蜗杆-蜗轮条传动和齿轮齿条传动	87
3.5	数控机床的工作台	89
3.5.1	数控机床的分度工作台	89
3.5.2	数控机床的回转工作台	91
3.6	数控机床的床身与导轨	95
3.6.1	数控机床的床身	95
3.6.2	数控机床的导轨	96
3.7	数控机床的自动换刀装置	101
	思考与练习	114
第4章	数控机床伺服系统	115
4.1	概述	115
4.1.1	伺服系统的组成	115
4.1.2	对伺服系统的基本要求	115

4.1.3 伺服系统的分类	116
4.2 伺服电机	118
4.2.1 步进电机	118
4.2.2 直流伺服电机	124
4.2.3 交流伺服电机	127
4.3 位置检测装置	129
4.3.1 位置检测装置的分类和要求	129
4.3.2 感应同步器	131
4.3.3 光栅	136
4.3.4 脉冲编码器	140
思考与练习	142
第5章 数控车床编程	143
5.1 数控车床简介	143
5.1.1 数控车床的主要组成及工作原理	143
5.1.2 数控车床的分类与特点	143
5.1.3 数控车床的选用	144
5.2 数控车床编程基础	144
5.2.1 数控车床的编程特点	144
5.2.2 数控车床编程的工艺分析	145
5.2.3 数控系统的功能	146
5.2.4 数控车床刀具补偿	147
5.2.5 数控车床坐标系	150
5.3 数控车床常用指令及编程方法	151
5.3.1 数控车床的常用指令	151
5.3.2 数控车床编程方法	152
5.4 典型零件的数控车床编程	161
5.4.1 轴类零件加工编程	161
5.4.2 套筒类零件加工编程	162
思考与练习	164
第6章 数控铣床编程	166
6.1 数控铣床简介	166
6.1.1 数控铣床的主要功能及加工对象	166
6.1.2 数控铣床的分类与特点	169
6.2 数控铣床编程基础	170
6.2.1 数控铣床编程的工艺分析	170

6.2.2 数控铣床刀具补偿	176
6.2.3 数控铣床坐标系	181
6.3 数控铣床常用指令及编程方法	183
6.3.1 数控铣床常用指令	183
6.3.2 数控铣床编程方法	186
6.4 典型零件的数控铣床编程	202
6.4.1 凸轮的数控铣削工艺分析及程序编制	202
6.4.2 板类零件加工编程	206
思考与练习	207
第7章 加工中心编程	209
7.1 加工中心简介	209
7.1.1 加工中心的组成及分类	209
7.1.2 加工中心的主要功能及特点	211
7.2 加工中心的加工工艺	212
7.2.1 加工中心的主要加工对象及加工范围	212
7.2.2 加工中心的加工工艺	213
7.3 加工中心编程方法	217
7.3.1 加工中心编程特点	217
7.3.2 加工中心坐标系	217
7.3.3 加工中心换刀程序的编制	218
7.4 典型零件的加工中心编程	220
7.4.1 盘类零件加工编程	220
7.4.2 孔类零件加工编程	222
思考与练习	224
第8章 自动编程简介	226
8.1 自动编程概述	226
8.1.1 自动编程发展过程	226
8.1.2 常用自动编程软件	226
8.2 CAXA 制造工程师软件	229
8.2.1 CAXA 制造工程师软件的基本操作步骤	229
8.2.2 CAXA 制造工程师软件的特点	230
8.2.3 CAXA 制造工程师软件的编程方法	231
思考与练习	247

第 9 章 特种加工及编程	248
9.1 电火花加工编程与操作	248
9.1.1 电火花加工的基本原理及其分类	248
9.1.2 电火花加工的加工工艺	253
9.1.3 电火花加工机床的组成及编程	258
9.2 数控线切割机床的加工工艺与编程	265
9.2.1 线切割加工机床	265
9.2.2 数控线切割加工工艺的制定	269
9.2.3 数控线切割机床的编程	279
思考与练习	286
参考文献	287

第 1 章 数控加工技术基础

1.1 数控机床概述

数控机床的工作过程是将加工零件的几何信息和工艺信息进行数字化处理,即将所有的操作步骤(如机床的起动或停止、主轴的变速、工件的夹紧或松开、刀具的选择和交换、切削液的开或关等)和刀具与工件之间的相对位移,以及进给速度等都用数字化的代码表示。在加工前由编程人员按规定的代码将零件的图纸编制成程序,然后通过程序载体(如穿孔带、磁存储器和半导体存储器等)或手工直接输入方式将数字信息送入数控系统的计算机中进行寄存、运算和处理,最后通过驱动电路由伺服驱动系统控制机床实现自动加工。数控机床最大的特点是当加工零件改变时,原则上只需要向数控系统输入新的加工程序,而不需要对机床进行人工的调整和直接参与操作,就可以自动完成整个加工过程。

在第一台数控机床问世至今的 50 多年中,随着微电子技术的迅猛发展,数控系统也在不断地更新换代,先后经历了电子管(1952 年)、晶体管和印刷电路板(1960 年)、小规模集成电路(1965 年)、小型计算机(1970 年)、微处理器或微型计算机(1974 年)和基于 PC-NC 的智能数控系统(20 世纪 90 年代后)六代数控系统。

前三代数控系统是属于采用专用控制计算机的硬逻辑(硬线)数控系统(numerical control, NC),目前已被淘汰。

第四代数控系统采用小型计算机取代专用控制计算机,数控的许多功能由软件来实现,不仅在经济上更为合算,而且提高了系统的可靠性和功能特色,故这种数控系统又称为软线数控,即计算机数控系统(computer numerical control, CNC)。1974 年采用以微处理器为核心的数控系统,形成第五代微型计算机数控系统(micro-computer numerical control, MNC)。以上 CNC 与 MNC 统称为计算机数控。CNC 和 MNC 的控制原理基本相同,目前趋向采用成本低、功能强的 MNC。

由于 CNC 数控系统生产厂家自行设计其硬件和软件,这种封闭式的专用系统具有不同的软硬件模块、不同的编程语言、五花八门的人机界面、多种实时操作系统、非标准化接口等,不仅给用户带来了使用和维修上的复杂性,还给车间物流层的集成带来了很大困难。因此现在发展了基于 PC-NC 的第六代数控系统,它充分利用现有 PC 机的软硬件资源,规范设计新一代数控系统。

在数控系统不断更新换代的同时,数控机床的品种得以不断地发展。自 1952 年世界上出现第一台三坐标数控机床以来,先后研制成功了数控转塔式冲床、数控转塔钻床。1958 年美国 K&T 公司研制出带自动换刀装置的加工中心(machining center, MC)。随着 CNC 技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展,在 20 世纪 60 年代末期出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数字控制系统(direct numerical control, DNC)。1967 年出现了由多台数控机床连接成可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)。1978 年以后,各种加工中心相

继问世。以 1~3 台加工中心为主体,再配上自动更换工件(automated workpiece change, AWC)的随行托盘(pallet)或工业机器人以及自动检测与监控技术装备,组成柔性制造单元(flexible manufacturing cell, FMC)。自 20 世纪 90 年代后,出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS),它将一个制造工厂的生产活动进行有机的集成,以实现更高效益、更高柔性的智能化生产。以上说明,数控机床已经成为组成现代化机械制造生产系统,实现计算机辅助设计(computer aided design, CAD)、计算机辅助制造(computer aided manufacturing, CAM)、计算机辅助检验(computer aided testing, CAT)与生产管理等全部生产过程自动化的基本数控设备。

我国数控机床的研制始于 1958 年。到 20 世纪 60 年代末 70 年代初,已经研制出一些晶体管式的数控系统,并用于生产,如数控线切割机床、数控铣床等。但数控机床的品种和数量都很少,稳定性和可靠性也比较差,只在一些复杂的、特殊的零件加工中使用。这是我国数控机床发展的初级阶段。

目前,我国数控机床生产企业有 100 多家,产量增加到 1 万多台,品种满足率达 80%,并在有些企业实施了 FMS 和 CIMS 工程,表明数控机床进入了实用阶段。

数控机床是数控设备的典型代表。在数控机床全面发展的同时,数控技术在其他机械行业中得以迅速发展,数控激光与火焰切割机、数控压力机、数控弯管机、数控绘图机、数控冲剪机、数控坐标测量机、数控雕刻机等数控设备也得到了广泛的应用。

1.1.1 数控机床的组成及工作原理

1. 数控机床的组成

数控机床通常由以下几部分组成,其原理框图如图 1-1 所示。

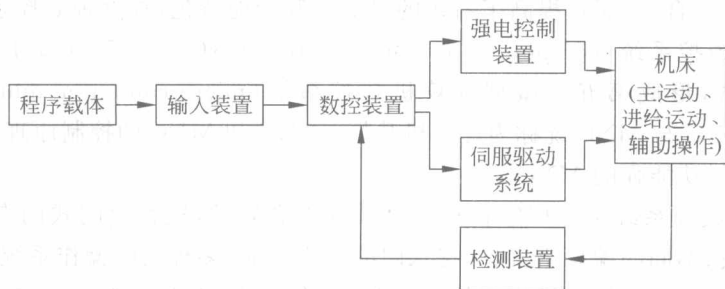


图 1-1 数控机床的组成

(1) 程序载体 对数控机床进行控制,首先必须在人与机床之间建立某种联系,这种联系的中间媒介物称为程序载体(或称控制介质)。在程序载体上存储着被加工零件所需要的全部几何信息和工艺信息。这些信息是在对加工工件进行工艺分析的基础上确定的,它包括工件在机床坐标系内的相对位置,刀具与工件相对运动的坐标参数;工件加工的工艺路线和顺序;主运动和进给运动的工艺参数以及各种辅助操作。用标准的由字母、数字和符号构成的代码,按规定的格式编制工件的加工程序单,再按程序单制作穿孔带、磁带等多种程序载体,也常用手工直接输入方式将程序输入到数控系统中。编程工作可以由人工进行,也可以由计算机辅助编程系统完成。操作者根据数控工作要求编制数控程序,并将数控程序记

录在程序介质(如穿孔纸带、磁带、磁盘等)上。

(2) 输入装置 输入装置的作用是将程序载体上的数控代码信息转换成相应的电脉冲信号传送至数控装置的内存储器。输入装置最早使用光电阅读机对穿孔带进行阅读,后来大量使用利用磁记录原理的磁带机和软盘驱动器;或者通过数控装置控制面板上的输入键,按工件的程序清单用手工方式直接输入内存储器(即 MDI 方式);也可以用通信方式由计算机直接传送给数控装置。光电阅读机曾经在程序输入中发挥过重要作用,它用红外光敏元件识别穿孔带上每排孔的代码,将孔的排列图案转换为电信号送入数控装置。它具有较高的阅读速度和抗干扰性。

(3) 数控装置 数控装置是数控机床的关键环节。数控装置首先接收输入装置送来的电脉冲信号,通过逻辑电路或计算机数控的系统软件进行译码和寄存,作为控制与运算的原始依据。数控装置的控制接收相应的指令将有关数据进行运算和处理,输出各种信号和指令,控制机床各部分按程序的要求实现某一操作。这些电信号中最基本的是将与各坐标轴位移量相对应的电脉冲数,经驱动电路送至伺服驱动系统,使各坐标轴完成刀具相对工件的进给运动。

(4) 强电控制装置 强电控制装置的主要功能是接收数控装置所控制的内置式可编程控制器(PLC)输出的主轴变速、换向、起动或停止,刀具的选择和更换,分度工作台的转位和锁紧,工件的夹紧或松夹,切削液的开或关等辅助操作的信号,经功率放大直接驱动相应的执行元件(诸如接触器、电磁阀等),从而实现数控机床在加工过程中的全部自动操作。

(5) 伺服驱动系统 伺服驱动系统接收来自数控装置的位置控制信息,将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确定位运动。由于伺服驱动系统是数控机床的最后控制环节,它的伺服精度和动态响应特性将直接影响数控机床的生产率、加工精度和表面加工质量。

目前,常用的伺服驱动器件有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。由于交流伺服电动机具有良好的性能价格比,正成为首选的伺服驱动器件。除了三大类的电动机以外,伺服驱动系统还必须包括相应的驱动电路。

(6) 检测装置 检测装置是数控机床的重要组成部分。在闭环、半闭环控制系统中,它的主要作用是检测位移和速度,并发出反馈信号,构成闭环或半闭环控制。

(7) 机床 与传统的普通机床相比,数控机床在整体布局、外部造形、主传动系统、进给传动系统、刀具系统、支承系统和排屑系统等方面有着很大的差异。这些差异是为了更好地满足数控技术的要求,并充分适应数控加工的特点。因此,必须建立数控机床设计的新概念。通常在机床的精度、静刚度、动刚度和热刚度等方面提出了更高的要求,而传动链则要求尽可能的简单。

数控程序经数控设备的输入输出接口输入到数控设备中,控制系统按数控程序控制该设备执行机构的各种动作或运动轨迹,达到规定的工作结果。图 1-2 是数控机床的工作原理图。



图 1-2 数控机床的工作原理

2. 数控机床的特点

数控机床是一种高效能自动化加工设备,与普通机床相比,数控机床具有如下特点。

(1) 适应性强 数控机床是根据数控工作要求编制的数控程序来控制设备执行机构的各种动作,当数控工作要求改变时,只要改变数控程序软件,而不需改变机械部分和控制部分的硬件,就能适应新的工作要求。因此,生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

(2) 精度高,质量稳定 数控机床本身的精度较高,还可以利用软件进行精度校正和补偿,数控机床加工零件按数控程序自动进行,可以避免人为的误差。因此,数控机床可以获得比普通机床更高的加工精度。尤其提高了同批零件生产的一致性,产品质量稳定。

(3) 生产率高 在数控机床上可以采用较大的运动用量,有效地节省了运动工时。还有自动变速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,而且无须工序间的检验与测量,使辅助时间大为缩短。

(4) 能完成复杂形面的加工 许多复杂曲线和曲面的加工,普通机床无法实现,而数控机床完全可以完成。

(5) 减轻劳动强度,改善劳动条件 由于数控机床是自动完成的,许多动作不需操作者进行,因此劳动条件和劳动强度大为改善。

(6) 有利于生产管理 采用数控机床,有利于向计算机控制和管理生产方向发展,为实现制造和生产管理自动化创造了条件。

1.1.2 数控机床的分类

数控机床的种类很多,各行业都有自己的数控机床和分类方法。在机床行业,数控机床通常从以下不同角度进行分类。

1. 按工艺用途分类

目前,数控机床的品种规格已达 500 多种,按其工艺用途可以划分为以下四大类。

(1) 金属切削类 指采用车、铣、镗、钻、铰、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。

(2) 金属成形类 指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床,常用的有数控弯管机、数控压力机、数控冲剪机、数控折弯机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类 主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控激光与火焰切割机等。

(4) 测量、绘图类 主要有数控绘图机、数控坐标测量机、数控对刀仪等。

2. 按控制运动的方式分类

(1) 点位控制数控机床 这类机床只控制机床运动部件从一点移动到另一点的准确定位,在移动过程中不进行切削,对两点间的移动速度和运动轨道没有严格控制。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度,一般先快速移动,当接近终点位置时,再以低速准确移动到终点,以保证定位精度。这类数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

(2) 点位直线控制数控机床 这类机床在工作时,不仅要控制两相关点之间的位置,还要控制刀具以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工。这类机床有数控车床和数控铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床 这类机床又称连续控制或多坐标联动数控机床。机床的控制装置能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点,还要

控制整个加工过程中每点的速度和位置。这类机床有数控车床、铣床、磨床和加工中心等。

3. 按伺服系统的控制方式分类

(1) 开环数控机床 开环数控机床采用开环进给伺服系统,图 1-3 所示为典型的开环进给系统框图。这类控制中,没有位置检测元件,CNC 装置输出的指令脉冲经驱动电路的功率放大,驱动步进电机转动,再经传动机构带动机床工作台移动。



图 1-3 数控机床开环进给系统框图

开环控制的数控机床结构较简单、成本较低、调试维修方便,但由于受步进电机的步距精度和传动机构的传动精度的影响,难以实现高精度的位置控制,进给速度也受步进电机工作频率的限制。一般适用于中、小型经济型数控机床。

(2) 半闭环控制数控机床 半闭环控制数控机床将位置检测元件安装在驱动电机的端部或传动丝杆端部,间接测量执行部件的实际位置或位移,如图 1-4 所示。这类控制可以获得比开环系统更高的精度,调试比较方便,因而得到广泛应用。

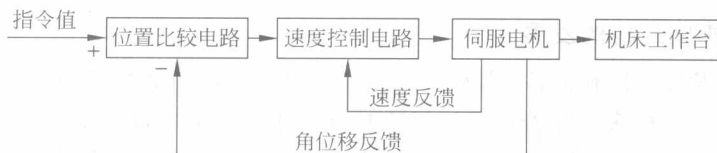


图 1-4 数控机床半闭环控制框图

(3) 闭环控制数控机床 这类数控机床是将位置检测元件直接安装在机床工作台上,用以检测机床工作台的实际位置,并与 CNC 装置的指令位置进行比较,用差值进行控制,其控制框图如图 1-5 所示。

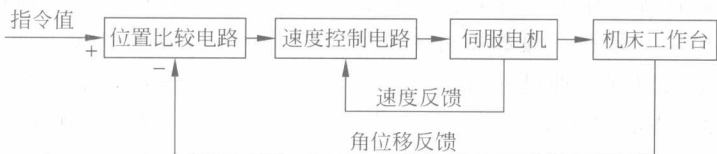


图 1-5 数控机床闭环控制框图

闭环控制数控机床由于采用了位置控制和速度控制两个回路,把机床工作台纳入了控制环节,可以清除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高,速度更快。但由于系统复杂,调试和维修较困难,成本高,一般适用于精度要求高的数控机床,如数控精密镗铣床。

4. 按所用数控系统的档次分类

按所用数控系统的档次,通常把数控机床分为低、中、高档三类。数控机床(数控系统)水平的高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来确定。不同时期,划分标准会有不同。就目前的发展水平来看,这三类档次的数控机床如下。

(1) 低档数控机床 这类数控机床以步进电机驱动为特征,两至三轴联动控制,分辨率为 $10\ \mu\text{m}$,进给速度为 $8\sim 15\ \text{m/min}$,主 CPU 采用 8 位 CPU。我国现阶段提到的经济型数控就属于低档数控,主要用于车床、线切割机及旧机床改造等。

(2) 中档数控机床 这类数控机床的伺服进给采用半闭环及直、交流伺服控制,三至四轴联动控制,分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 20\text{ m/min}$,主 CPU 为 16 位或 32 位 CPU,通信采用 RS-232 或 DNC 通信接口。

(3) 高档数控机床 这类数控机床的伺服进给采用闭环及直、交流伺服控制,五轴或五轴以上联动控制,分辨率为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,进给速度为 20 m/min 以上,主 CPU 为 32 位或 32 位以上 CPU,通信采用制造自动化协议(manufacturing automation protocol, MAP)等高性能通信接口,具有联网功能。

以上中、高档数控机床一般称为全功能数控或标准型数控。

1.1.3 数控加工技术的发展趋势

随着科学技术的发展,机械产品的形状和结构不断改进,对零件加工质量的要求也越来越高。随着社会对产品多样化需求的增强,产品品种增多,产品更新换代加快,这使得数控加工在生产中得到了广泛的应用,并不断地发展。尤其是随着 FMS 和 CIMS 的兴起和不断成熟,对机床数控系统提出了更高的要求,现代数控加工正在向高速化、高精度化、高可靠性、高柔性化、高一体化、网络化和智能化等方向发展。

1.1.3.1 机床结构的发展

数控机床在发展的最初阶段,通常是在传统的机床上配备数控系统,并进行某些结构的改进而成为一台数控机床。随着对数控机床功能要求的不断提高,传统机床的结构刚度、抗振性、热变形以及低速爬行等性能已不能满足数控机床的要求。这是由于数控机床是完全按照数控装置发出的指令,在没有人为干预的情况下自动进行加工的,因而要求数控机床在机械结构上比传统机床有更好的静刚度、动刚度和热刚度,其进给传动链要有足够的刚度,要采用消除传动间隙的装置,还必须采用滚珠丝杠传动和滚动导轨以消除低速爬行,实现微量进给以保证数控机床有很高的重复定位精度。20 世纪 60 年代初期,在一般数控机床的基础上又开发了数控加工中心机床,这是对数控机床的重大发展,至今仍然被公认为功能最完善的自动化单机。它是在一般数控机床上加装刀具数量不等的刀具库和自动换刀装置。工件在一次装夹中可以连续地进行铣、镗、钻、铰以及攻螺纹等多工序的加工。与一般数控机床相比,数控加工中心机床减少了机床的占地面积、机床的台数、在制品的库存量、工序间的各种辅助时间,最终有效地提高了生产率。目前刀具库的刀具容量可以多达 200 把,自动换刀的时间仅需 $1\sim 2\text{ s}$ 。更具有实际意义的是减小了工件在多次安装中的定位误差,完全可以依靠机床本身的精度保证工件的加工质量。图 1-6 所示为一台立式镗铣加工中心。图 1-7 所示为一台卧式镗铣加工中心,其与一般加工中心不同的是带有两个交换工作台。操作者在交换工作台上装夹好待加工工件,当正在加工的工件完成加工后,数控系统发出指令自动交换工作台。图 1-7 的加工中心还带有自动导引小车(AGV),工件可以先装夹在标准的托盘(或称随行夹具)上,工件随托盘一起自动地送入(或退出)处于非加工位置的工作台。如果再增设托盘工作站,便构成了可以长时间无人看管的柔性制造单元(FMC)。20 世纪 70 年代后期在数控加工中心机床的基础上又发展了五面体加工中心。它的设计思想是为了在一次装夹中完成除了安装底面以外的所有表面和精密孔系加工。由于采用了刚性极好的床身、立柱等结构(有些五面体加工中心采用了龙门式框架结构)和立式、卧式转换主轴部件或立式、卧式一体化主轴部件,对于箱体零件、汽车覆盖件模具和船用柴油机缸体等工件

具有很高的加工精度、机床利用率和综合经济效益。这是由于五面体加工中心使切削时间占总时间的比例成倍增加,并大幅度减少了切削准备时间和测量时间的结果。图 1-8 是龙门式五面体加工中心(刀具库及自动换刀装置未在图中表示),其主轴部件可以自动更换为立式或卧式布局,以满足工件不同表面的加工需要。图 1-9 是可调整轴线位置的万能主轴部件。

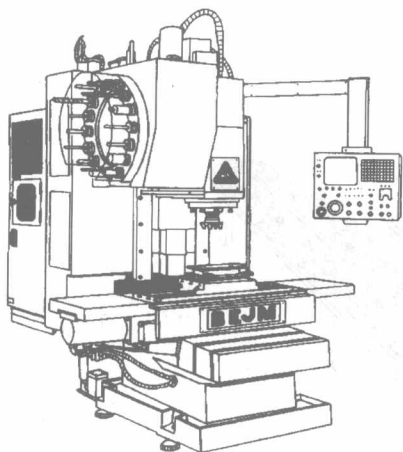


图 1-6 立式镗铣加工中心

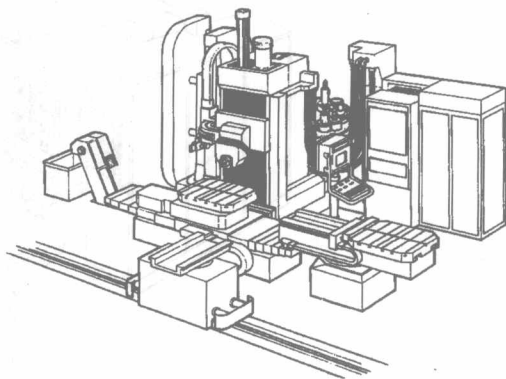


图 1-7 卧式镗铣加工中心

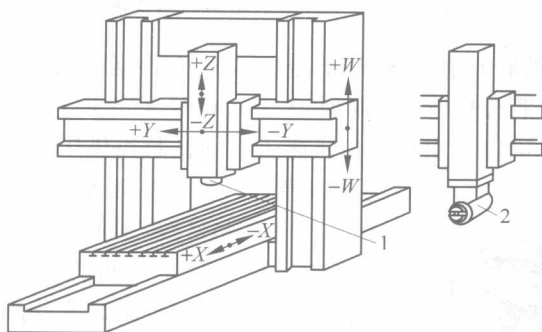


图 1-8 龙门式五面体加工中心

1—镗铣主轴; 2—卧式主轴

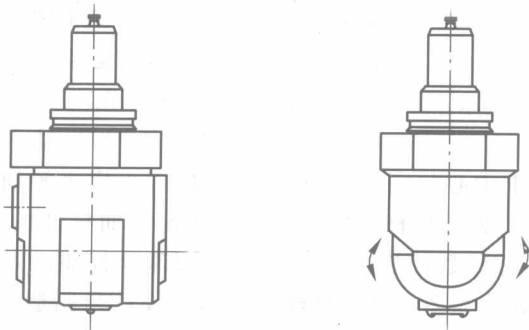


图 1-9 可调整轴线位置的万能主轴部件

在数控加工中心机床出现以后,加工工序的进一步集中仍然是数控机床发展的趋势。带有工业机器人和工件交换系统(AWC)的车削加工中心和带有工件交换系统的数控齿轮加工机床已被广泛采用,另外还出现了可以自动更换电极的电火花加工中心机床。图 1-10 是一台带有工件交换系统的数控滚齿机,该机床能够在不更换刀具的情况下,依次加工相同模数而齿数、齿坯结构尺寸不同的、随机放置在输送料台上的圆柱齿轮毛坯,充分体现了该滚齿机的柔性,并做到最少库存量的准时制生产(JIT)。

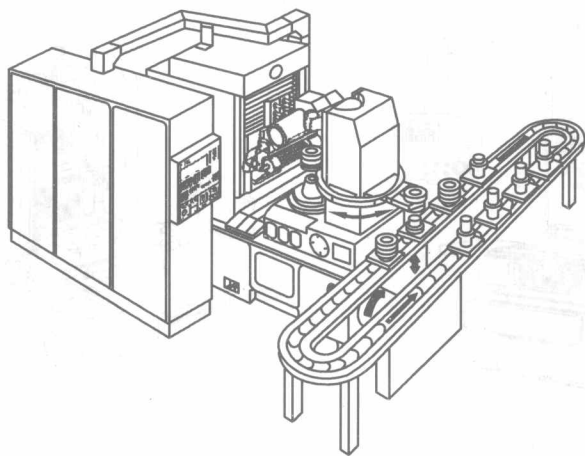


图 1-10 带有工件交换系统的数控滚齿机

在计算机数控多轴联动技术和复杂坐标快速变换运算方法发展的基础上,20 世纪 60 年代出现的 Stewart 平台概念(即同时改变六根杆子长度,实现六个自由度运动),到 20 世纪 90 年代初,已经可以应用在数控机床上。六杆数控机床(又称虚拟轴机床)是 20 世纪最具革命性的机床运动结构的突破。这一数控机床

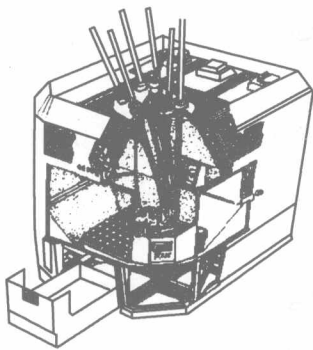


图 1-11 G 系列六杆加工中心示意图

结构上的重大突破,引起了普遍关注。该数控机床由基座与运动平台及其间的六根可伸缩杆件组成,每根杆件的两端通过球面支承分别将运动平台与基座相连,并由伺服电动机和滚珠丝杠按数控指令实现伸缩运动,使运动平台带着主轴部件作任意轨迹的运动。工件固定在基座上,刀具相对工件作六个自由度的运动,实现所要求的空间加工轨迹。图 1-11 是 G 系列六杆加工中心示意图,其运动平台与主轴部件呈倒置式,基座由框架支撑安置在上方,有效地增大了主轴部件的运动空间。图 1-12 为运动平台与主轴部件示意图。

另一种 Mikromt 六杆加工中心如图 1-13 所示。该机床采用主轴筒代替了运动平台,其中三根杆件位于主轴筒上部,另三根杆件位于主轴筒下部。而杆件的另一端分别位于三根立柱上,以取代固定平台。六杆数控机床既可以采用滚珠丝杠驱动,又可以采用滚珠螺母驱动。六杆数控机床的关键技术之一是六对球面支承的设计与制造,球面支承将对运动平台的运动精度和定位精度产生直接影响。六杆数控机床采用运动聚合原理,改变传统的机床结构和布局。质量较轻的主轴部件和切削刀具由六根杆件分摊受力,具有比传统结构更高