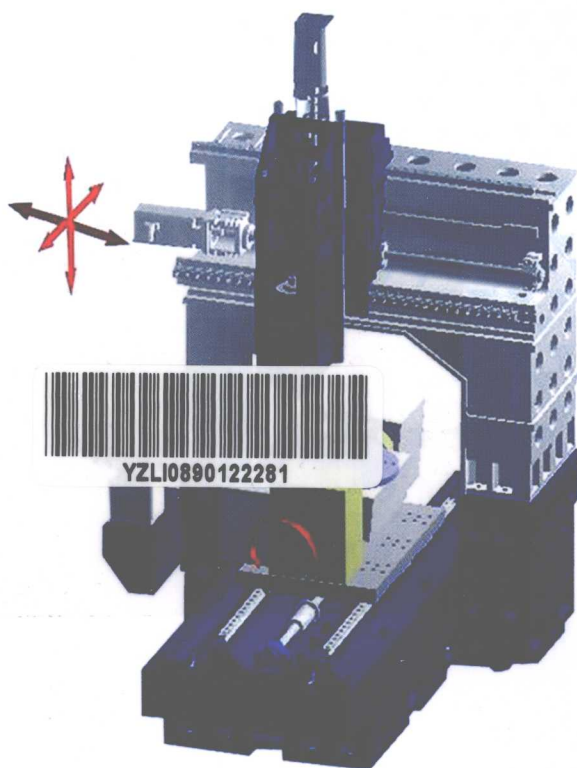




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育机电类专业规划教材

数控机床

郭永亮 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠送电子课件

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育机电类专业规划教材

数 控 机 床

主 编 郭永亮
参 编 赵 华 王兴东 高 菁
主 审 黄天石



机械工业出版社

本书是根据高等职业教育机电、数控类专业应用型人才培养目标要求编写的,通俗易懂,涉及面广,可操作性强,内容丰富、系统,重点突出。全书共六章,第一章介绍数控机床的产生、发展、分类、基本组成和原理等基本知识;第二章用了较大的篇幅介绍数控机床典型系统的结构和工作原理;第三章、第四章分别介绍了典型数控车床和加工中心的结构、工作原理、编程及操作;第五章简单介绍了数控冲床等其他常见的数控机床;第六章介绍了数控机床的使用、保养和维修。每章后都有一定的习题与思考题。

本书可以作为高等职业技术学院的机械类和机电类专业教材,也可以作为成人高等教育同类专业的教材,还可以作为广大自学者及工程技术人员自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床/郭永亮主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 12
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 高等职业教育机电类专业
规划教材

ISBN 978-7-111-36343-9

I. ①数… II. ①郭… III. ①数控机床 - 高等职业教育 - 教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第226686号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王英杰 责任编辑:王英杰 薛礼

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm14.75印张·362千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-36343-9

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

我国已进入全面建设小康社会,全面推进现代化建设的时期。国家经济社会发展在市场供求关系、经济发展体制环境、对外经济格局等方面发生重大变化,在这种背景下,我国的高等教育正在由精英教育向大众教育发展,教育部适时地提出了大力发展高等职业教育的思路,在很大程度上缓解了教育市场的供需矛盾。但是,伴随着近年来高等职业教育的迅速发展,新的矛盾又产生了,其中教材建设与教学需求就是一对突出矛盾。高等职业教育不同于普通高等教育,围绕其培养目标,应该有专门的教材。随着现代高等职业教育的快速发展,一些课程的教材建设明显滞后于教学需求,特别是专业课教材。为此,应机械工业出版社之约,特别编写了本教材。

数控机床是微电子技术与传统机械技术相结合的产物,是现代机械制造业实现生产过程自动化,柔性化,解决多品种、小批量零件加工的主要工艺装备之一。近年来,数控技术的迅速发展带动了机械加工技术的飞速发展。现在许多加工企业都开始采用数控机床,普通机床使用率逐年降低。与此同时,就业市场也产生了大量与数控技术相关的岗位需求,本教材正是应这种岗位需求而编写的。本书的编写指导思想是通过学习,读者能熟悉数控机床的工作原理和结构特点,了解各个重要部件的构成和功能方面的基本理论知识,掌握典型数控车床结构和编程,典型加工中心结构和编程,以及数控机床的选择和使用方面的应用知识。

基于以上考虑,本书对教学内容作了精心安排。全书共分六章,第一章由高菁、赵华编写;第二章由高菁、王兴东编写;第三、四章由郭永亮、赵华编写;第五章由王兴东、郭永亮编写;第六章由王兴东、高菁编写。全书力求以“够用为度”,在知识点的选择上,尽可能减少从事理论研究和机床设计所需要的知识、数控机床的发展历史和早期技术。尽管如此,还是不一定能够满足绝大多数学校的教学要求,特别是应用实例,因各校的实训条件都不同,很难都编入一本教材中。加之编者水平有限、数控技术发展迅猛,书中难免有错误和不足之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言	
第一章 数控机床概述	1
第一节 数控机床的产生和特点	1
一、数控机床的产生	1
二、数控机床的特点	2
第二节 数控机床的组成和工作原理	2
一、数控机床的组成	2
二、数控机床的工作过程及工作原理	3
第三节 数控机床的分类及命名	5
一、数控机床的分类	5
二、数控机床的命名	7
第四节 数控机床的主要性能指标	8
一、数控机床的精度指标	8
二、数控机床的可控轴数与联动轴数	9
三、数控机床的运动性能指标	9
四、加工性能指标	10
五、可靠性指标	10
第五节 数控机床的发展	11
一、数控机床的发展现状	11
二、数控机床的发展趋势	13
习题与思考题	14
第二章 数控机床的典型系统	15
第一节 数控机床的主传动系统	15
一、主传动系统的要求	15
二、主传动系统的分类	16
三、主轴部件	19
第二节 数控机床进给传动系统	28
一、进给传动系统的要求	28
二、滚珠丝杠副	29
三、齿轮间隙的消除机构	35
四、回转工作台	39
五、导轨	44
第三节 数控机床自动换刀装置	47
一、回转刀架式换刀	48
二、转塔头式换刀	53
三、带有刀库的自动换刀装置	54
第四节 数控机床伺服系统	61
一、概述	61
二、驱动电动机	64
三、检测装置	69
第五节 数控机床的主要辅助装置	74
一、防护装置	74
二、液压与气动装置	75
三、排屑装置	77
四、润滑装置	79
习题与思考题	79
第三章 数控车床	81
第一节 概述	81
一、数控车床的工艺范围	81
二、数控车床的组成及布局	81
第二节 FTC-30 型数控车床	89
一、布局及技术参数	89
二、传动系统与结构	91
第三节 FANUC Oi-TB 数控车床系统	97
一、FANUC 系统概述	97
二、FANUC Oi-TB 系统	97
三、程序编制	110
第四节 应用实例	121
一、叶轮轴	122
二、轴套	125
习题与思考题	128
第四章 加工中心	129
第一节 概述	129
一、加工中心的工艺范围	129
二、加工中心的组成及布局	130
三、加工中心的分类	132
第二节 FMH-500 型卧式加工中心	137
一、布局及技术参数	137
二、传动系统与结构	139
三、FANUC 18i-MB 系统	144
四、应用实例	149
第三节 VB-825A 型立式加工中心	153
一、VB-825A 型立式加工中心概述	153
二、SINUMERIK 系统概述	157

三、SINUMERIK 840D 系统	159	四、数控电火花成形加工机床的应用 范围	187
四、程序指令	166	五、数控电火花成形加工机床的基本 组成	187
五、应用实例	168	六、CTE300ZK 型数控电火花成形机	190
习题与思考题	172	第四节 柔性制造单元 (FMC)	191
第五章 其他常见数控机床	173	一、柔性制造单元的基本组成	191
第一节 数控冲床	173	二、柔性制造单元的基本形式	192
一、数控冲床的加工原理、特点及 分类	173	三、柔性制造单元的基本功能及应用	194
二、数控冲床的基本组成	173	四、FMC4008 型多工位柔性制造单元	195
三、AE2510NT 型数控冲床	175	习题与思考题	197
第二节 数控电火花线切割机床	176	第六章 数控机床的使用、保养和 维修	198
一、数控电火花线切割机床的加工 原理	177	第一节 数控机床的选型与使用	198
二、数控电火花线切割机床的加工 特点	177	一、数控机床的选型	198
三、数控电火花线切割机床的分类	178	二、数控机床的使用	205
四、数控电火花线切割机床的工艺 范围	178	第二节 数控机床的日常维护与维修	210
五、数控电火花线切割机床的基本 组成	179	一、设备的日常维护	210
六、FW 1U 型电火花线切割机床	184	二、维护与保养的一般方法	211
第三节 数控电火花成形加工机床	185	三、故障检测及排除	212
一、数控电火花成形加工机床的工作 原理	185	习题与思考题	218
二、数控电火花成形加工机床的分类	186	附录	219
三、数控电火花成形加工的特点	187	附录 A FANUC Oi-TB 系统各种常用代码	219
		附录 B FANUC-18i 系统各种常用代码	222
		附录 C SINUMERIK 840 D 系统各种代码	225
		参考文献	229

第一章 数控机床概述

数字控制 (Numerical Control, 简称为 NC), 简称数控。数控技术是指数字化信息 (数字量及字符) 发出指令并实现自动控制的技术。计算机数字控制 (Computer Numerical Control, 简称为 CNC) 是指用计算机实现部分或全部数控功能。数控机床是一种采用计算机技术, 利用数字化信息进行控制的高效、自动化机床。

第一节 数控机床的产生和特点

一、数控机床的产生

随着社会生产和科学技术的不断发展, 各类工业新产品层出不穷。机械制造产业作为国民工业的基础, 其产品更是日趋精密复杂, 特别是在航空、航天、航海、军事及电子等领域所需的机械零件, 精度要求更高, 更新换代频繁, 生产类型由大批大量生产向多品种小批量生产转化。因此, 对机械产品的加工相应地提出了高精度、高柔性 with 高度自动化的要求。数控机床就是为了解决单件、小批量, 特别是复杂型面零件加工的自动化并保证质量要求而产生的。普通机床或专业化程度高的自动化机床显然无法适应这些要求。同时, 随着市场竞争的日益加剧, 企业生产也迫切需要进一步提高其生产效率, 提高产品质量及降低生产成本。

数控机床, 顾名思义, 是一种由数字程序控制的机床, 是将事先编好的程序输入到机床的专用计算机中, 由计算机指挥机床各坐标轴的伺服电动机控制机床各运动部件的先后动作、速度和位移量, 并与选定的主轴转速相配合, 从而加工出各种不同工件的设备。国际信息处理联合会 (IFIP) 第五技术委员会对数控机床作了如下定义: 数控机床是一种装有程序控制系统的机床, 该系统能逻辑地处理具有特定代码或其他符号编码指令规定的程序。

第一台数控机床是为了适应航空工业制造复杂工件的需要而产生的。1952年, 美国麻省理工学院和帕森斯公司合作研制成功了世界上第一台具有信息存储和信息处理功能的新型机床, 即数控机床。之后, 随着电子技术, 特别是计算机技术的发展, 数控机床不断更新换代。

第一代数控机床从1952年至1959年, 数控装置采用电子管元件; 第二代数控机床从1959年开始, 数控装置采用晶体管元件; 第三代数控机床从1965年开始, 数控装置采用集成电路; 第四代数控机床从1970年开始, 数控装置采用大规模集成电路及小型通用计算机; 第五代数控机床从1974年开始, 数控装置采用微处理器或微型计算机。

我国从1958年开始研制数控机床, 1975年研制出第一台加工中心。改革开放以来, 由于引进了国外的数控系统与伺服系统, 我国的数控机床在品种、数量和质量方面都得到迅速发展。从1986年开始, 我国数控机床开始进入国际市场。目前, 我国有几十家机床厂能够生产数控机床。我国数控机床的研究、生产和推广工作取得了很大进展, 对机床技术改造起到了积极的推动作用。

二、数控机床的特点

数控机床是新型的自动化机床，它具有广泛的通用性和很高的自动化程度。与普通机床相比，数控机床具有以下优点：

1) 适合复杂形状的零件加工。数控机床能够完成很多普通机床难以加工的复杂型面。因此，数控机床首先在航空、航天等领域获得应用，广泛应用于涡轮叶片及螺旋桨等复杂型面的零件加工。

2) 适应性强。在数控机床上，不需要制作特别的工装夹具，更不需要重新调整机床，只需要重新编制新工件的加工程序，并用手动方式输入，就能实现新工件加工。因此，数控机床特别适合小批量及试制新产品的工件加工。

3) 加工精度高，产品质量稳定。数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm ，传动系统和机床结构具有很高的刚度和热稳定性，进给系统采用消除间隙措施，并且反向间隙与丝杠螺距误差等由数控系统自动补偿，所以数控机床加工精度高。数控机床是按照预定的程序加工的，加工过程不需要人工干预，消除了操作者人为产生的误差，使同一批工件的尺寸一致性好，加工质量十分稳定。

4) 生产率高。数控机床能缩短生产准备周期，可以有效地降低工件的加工时间和辅助时间，因此采用数控机床可以大大提高生产率，在加工某些复杂零件时，数控机床生产率高的优势更加明显。

5) 减轻劳动强度、改善劳动条件。数控机床的加工是自动进行的，工件加工过程不需要人工干预，加工完毕后自动停机，使工人的劳动条件大为改善。

6) 有利于实现管理和机械加工的自动化。数控机床使用数字信息与标准代码处理和传递信息，使用计算机控制，为实现生产过程的自动化创造了条件。

7) 良好的经济效益。采用数控机床，工件加工前不用划线工序，工件安装、调整、加工和检验所花时间少，一般不需要设计制造专用工装夹具，加工精度稳定，废品率低，减少了调度环节等，所以总体成本下降，可获得良好经济效益。

但是数控机床与普通机床相比，数控机床的初期投资、养护与维修费用较高，对工作环境要求较高，如果使用和管理不善，容易造成浪费并直接影响经济效益。因此，要求设备操作人员和管理者有较高的素质，严格遵守操作规程和履行管理制度，以提高企业经济效益和市场竞争能力。

第二节 数控机床的组成和工作原理

一、数控机床的组成

数控机床一般由程序载体、数控系统、伺服系统、检测反馈系统及机床本体五部分组成，如图 1-1 所示。

1. 程序载体

数控机床工作时，不需要操作工人直接操纵机床，但机床又必须执行人的意图，这就需要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。程序载体有多种，如磁带及磁盘等，目前最常用的是数控系统内存及外围存储设备，如计算机硬盘、U 盘及各种存储卡等。

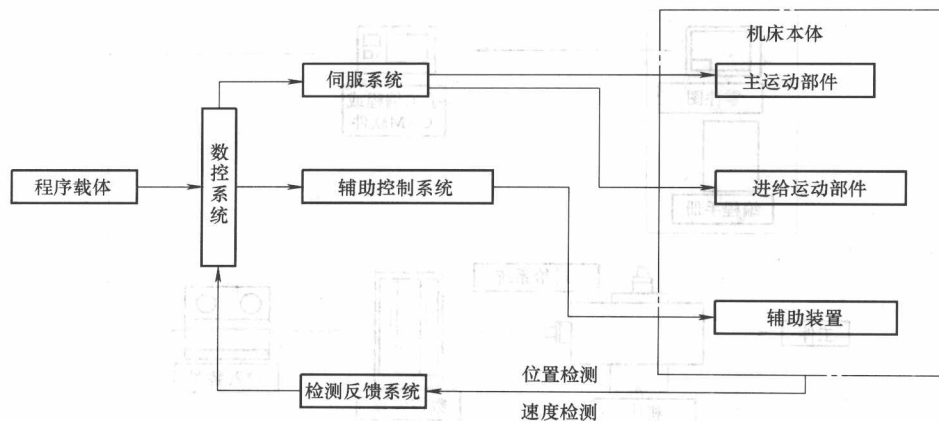


图 1-1 数控机床的组成框图

2. 数控系统

数控系统是数控机床的核心，它是采用计算机数控技术的自动控制系统。它能自动阅读输入载体上事先给定的数字化信息，经过控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，将各种指令信息输出给伺服系统，使设备按规定的动作执行。数控装置一般由译码器、运算器、控制器、显示器及输入/输出装置等组成。

3. 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电动机、各种伺服驱动元件和执行机构组成，它是数控系统的执行部分。伺服系统接受数控系统的脉冲信号，并按照脉冲信号的要求带动机床的移动部件运动或使执行部分动作，以加工出符合要求的工件。每一个脉冲使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量。目前所使用的数控系统脉冲当量通常为 0.001mm 。伺服系统作为数控机床的最后控制环节，其控制精度和动态响应特性对机床的工作性能、加工精度和加工效率有直接的影响。

4. 检测反馈系统

检测反馈系统主要是对机床的实际运动速度、方向、位移量及加工状态加以检测，把检测结果转化为电信号反馈给数控系统，通过比较，计算出实际位置与指令位置之间的偏差，并发出纠正误差指令，控制驱动元件正确运转。检测反馈系统常用的元件有感应同步器、光栅、磁栅、旋转变压器、脉冲编码器、测速发电机及激光测距仪等。

5. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，主要包括：主运动部件，进给运动部件（如工作台、刀架），支承部件（如床身、立柱等）以及冷却、润滑、转位部件、夹紧、换刀机械手等辅助装置。

二、数控机床的工作过程及工作原理

1. 数控机床的工作过程

如图 1-2 所示，数控机床的加工，首先将工件零件图上的几何信息和工艺信息数字化，把加工所需的多个操作步骤（如机床的起动/停止、主轴的变速、工件的夹紧/松开、刀具的选择和交换及切削液的开/关等）、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来表示，按规定编写零件加工程序并送入数控系统，经数控系统分析处理与计算后发出相应的指令控制机床的伺服系统或其他执行元件，使机床自动加工出所需要的工件。

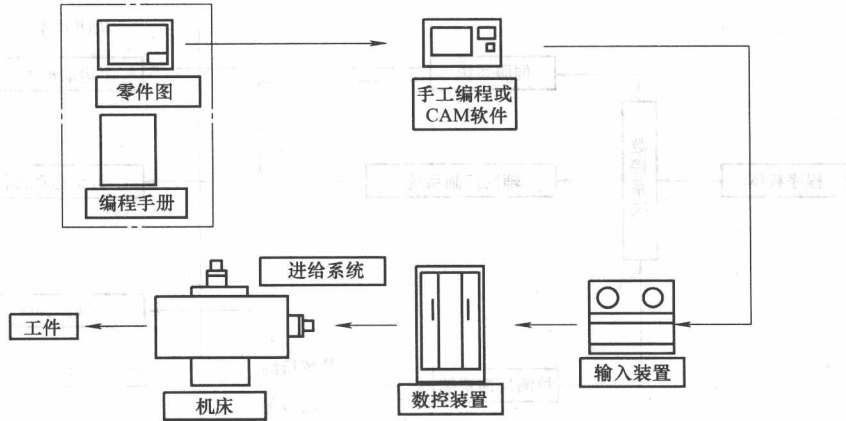


图 1-2 数控机床工作过程示意图

2. 数控机床的工作原理

数控机床的核心问题是如何控制刀具或工件的运动。数控机床的信息数字化就是把刀具与工件的运动坐标分割成一些最小单位量，即最小位移量。数控系统按照程序的要求，经过信息处理、分配，使坐标移动若干个最小位移量，实现刀具与工件的相对运动，完成零件的加工。

在数控机床中，刀具的运动轨迹是折线，因此刀具不能严格地沿着曲线运动，只能用折线以一定的精度逼近被加工曲线，当逼近误差相当小时，这些折线就可代替这个曲线。数控机床是以脉冲当量为单位，计算轮廓起点与终点之间的坐标值，进行有限分段，以折代直、以弦代弧、以直代曲、分段逼近相连成轨迹的。数控装置每发出一个脉冲，机床执行部件的最小位移量称为脉冲当量。常用机床的脉冲当量为 $0.01 \sim 0.001\text{mm}$ ，一般来说，脉冲当量越小，数控机床精度越高。各种斜线、圆弧、曲线均可由以脉冲当量为单位的微小直线段拟合成。

零件的轮廓形状是由各种线如直线、螺旋线、抛物线、自由曲线等构成的，用户在加工程序中，一般仅提供描述该线型所必需的相关参数。例如，对于直线，仅提供起点和终点的坐标值；对于圆弧，需要提供起点、终点的坐标值，圆心相对于起点的位置数值以及圆弧的旋转方向。因此，数控系统必须在运动过程中实时计算出满足线型和进给速度要求的若干中间点（在起点和终点之间的点），这就是插补。它实质上是根据有限的信息完成“数据密化”的工作。因此插补可以定义为：插补就是根据给定进给速度和给定轮廓线型的要求，在轮廓的已知点之间计算中间点的方法。

数控系统对直线进行的插补计算即为直线插补，对圆弧进行的插补计算为圆弧插补，对其他曲线进行的插补计算为其他的曲线插补。数控系统能进行哪几种线形的插补计算，即具有哪几种插补功能。目前，数控系统的插补功能有直线插补功能、圆弧插补功能及螺旋插补功能等。

目前常用的插补方法大致分为两类：脉冲增量插补和数字增量插补。

(1) 脉冲增量插补 脉冲增量插补主要用于采用步进电动机驱动的开环系统。每次插补计算结束，数控装置向各坐标轴驱动装置发出一个脉冲，驱动步进电动机带动机床移动部件运动。其基本原理是，用折线来逼近曲线（包括直线）。

脉冲增量计算每次插补的结果仅产生一个单位的行程增量（一个脉冲当量）。这种插补的插补速度与进给速度密切相关，还受到步进电动机最高运行频率的限制。但是这种插补的实现方法较为简单，容易用硬件来实现，也有用软件来完成这类算法的。这类插补算法有逐点比较法、最小偏差法等。

(2) 数字增量插补 数字增量插补主要用于采用交、直流伺服电动机为伺服驱动的闭环、半闭环数控系统，也可以用于以步进电动机为伺服驱动的开环数控系统。目前所使用的数控系统中，大多采用这类插补方法。数控装置产生的不是单个脉冲，而是标准的二进制数。其基本原理是，用直线段来逼近曲线（包括直线）。

采用数字增量插补时，插补程序以一定的时间间隔定时进行。根据编程的速度将轮廓曲线分割为插补采样周期的进给段即轮廓步长，用弦线和割线逼近轮廓曲线。在每一插补周期内，插补程序被调用一次，计算出各坐标轴在下一插补周期内的位移增量（数字量而不是单个脉冲） ΔX 、 ΔY 等，然后再计算出相应插补点位置的坐标值。插补运算速度与进给速度无严格的关系，因此可以达到较高的进给速度。数字增量插补的实现算法较脉冲增量插补复杂，对计算机的运算速度有一定要求。这类插补算法有数字积分法、二阶近似插补法及时间分割法等。

数控机床的加工，其实质是应用了“微分”原理。其过程如下：

1) 数控装置根据加工程序要求的刀具轨迹，将轨迹按机床对应的坐标轴，以最小移动量（脉冲当量）进行微分，并计算出各轴需要移动的脉冲数。

2) 通过数控装置的插补软件或插补运算器，把要求的轨迹用以“最小移动单位”为单位的等效折线进行拟合，并找出最接近理论轨迹的拟合折线。

3) 数控装置根据拟合折线，给相应的坐标轴连续不断地分配进给脉冲，并通过伺服驱动使机床坐标轴按分配的脉冲运动。

因此，只要数控机床的最小移动量（脉冲当量）足够小，所用的拟合折线就完全可以等效代替理论曲线；只要改变坐标轴的脉冲分配方式，即可以改变拟合折线的形状，从而达到改变加工轨迹的目的；只要改变分配脉冲的频率，即可以改变刀具的运动速度。显然，数控机床的联动轴数越多，机床加工轮廓的性能就越强。因此，联动轴的数量是衡量数控机床性能的重要技术指标之一。

第三节 数控机床的分类及命名

一、数控机床的分类

(1) 按工艺用途分类

1) 金属切削类数控机床。金属切削类数控机床是最常用的数控机床，包括数控钻床、数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床和数控齿轮加工机床等。

2) 金属成形类数控机床。金属成形类数控机床包括数控折弯机、数控组合冲床和数控回转头压力机等。这类数控机床起步晚，但目前发展很快。

3) 特种加工类数控机床，如数控线（电极）切割机床、数控电火花加工机床、火焰切割机、数控激光切割机床和数控激光快速成形机床等。

4) 其他类型，如数控装配机、数控测量机等。

(2) 按运动方式分类

1) 点位控制数控机床。点位控制 (Positioning Control) 又称点到点控制 (Point to Point Control), 就是刀具与工件相对运动时, 只控制从一点运动到另一点的准确性, 而不考虑两点之间的运动路径和方向。点位控制数控机床的数控系统只需要控制行程的起点和终点的坐标值, 而不控制运动部件的运动轨迹, 运动轨迹不影响最终的定位精度, 在移动过程中不进行任何加工。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控剪床和数控测量机等。图 1-3 所示为典型的点位控制数控钻床加工的示意图。

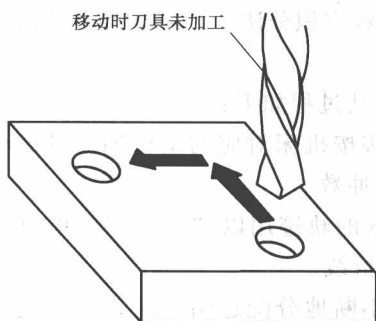


图 1-3 典型的点位控制数控钻床加工示意图

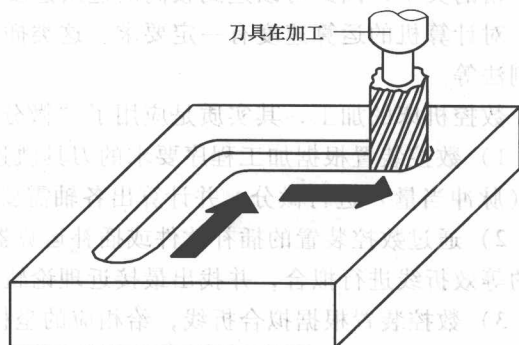


图 1-4 直线控制数控机床加工示意图

3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制 (Contouring Control) 又称连续轨迹控制 (Continuous Path Control), 刀具与工件相对运动时, 能对两个或两个以上坐标轴的运动同时进行控制。它不仅要求控制机床运动部件的起点与终点坐标位置, 而且要求控制整个加工过程中每一点的速度和位移量, 可以实现加工曲线或者曲面零件, 如凸轮及叶片等。

这类数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和各类数控切割机床。近年来, 随着计算机技术的发展, 软件功能的不断完善, 可以通过计算机插补软件实现多坐标联动的轮廓控制。图 1-5 所示为轮廓控制机床的加工示意图。

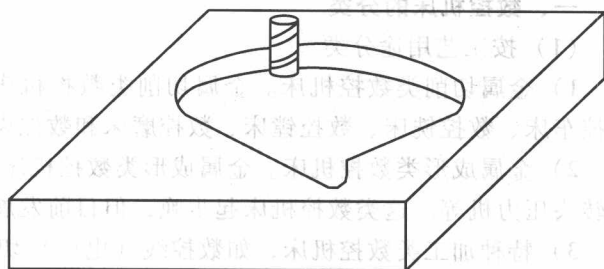


图 1-5 轮廓控制机床加工示意图

(3) 按控制方式分类 数控机床按照对伺服驱动的被控量有无检测装置可分为开环控制数控机床和闭环控制数控机床。在闭环控制数控机床中, 根据测量装置安装的部位不同, 又可分为全闭环控制数控机床和半闭环控制数控机床。

1) 开环控制数控机床。它不带有

检测反馈装置,通常使用功率步进电动机或者电液伺服电动机作为驱动元件。数控装置发出的指令信号的流程是单向的,其精度主要取决于驱动元件的性能。移动部件的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数决定的。

2) 闭环控制数控机床。它带有检测反馈装置,随时可以检测出工作台的实际位移量,反馈给数控装置,并与设定的指令值进行比较,利用其差值控制伺服电动机,直至差值为零。闭环控制系统控制精度高,但是机床传动链的刚度、间隙、导轨的低速运动特性及系统的抗振性等非线性因素直接影响伺服系统的调节参数,故闭环系统的设定和调整都有较大的难度,设计和调整的不好,会造成系统的不稳定,严重时甚至产生振荡。所以闭环控制数控机床主要用于一些精度、速度要求高的精密数控机床,如数控镗铣床、超精数控车床及超精数控磨床等。

3) 半闭环控制数控机床。半闭环伺服系统是将位置检测元件安装在伺服电动机的轴上或滚珠丝杠的端部,不直接反馈机床的位移量,而是检测伺服机构的转角,将此信号反馈给数控装置进行指令值比较,用差值修正伺服电动机。

(4) 按其他要素分类 按可联动的坐标轴数(机床数控装置的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目)分类,数控机床可以分为两轴联动(数控车床、数控线切割机床)、3轴联动(数控铣床)、4轴联动、5轴联动及6轴联动(加工中心)。

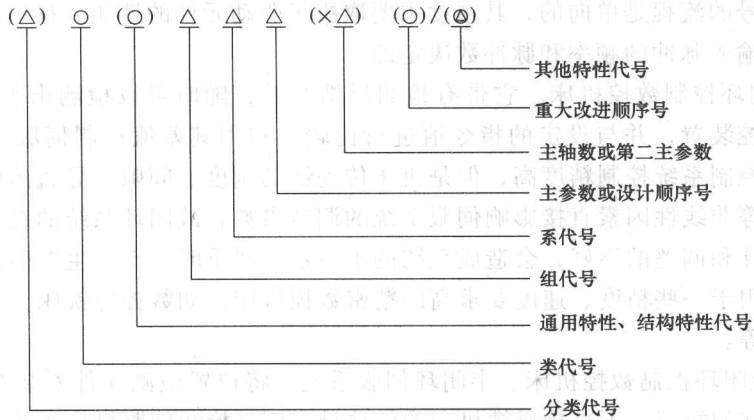
另外,根据主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平分类,数控机床分为低档(经济型)、中档、高档。

二、数控机床的命名

为了便于管理和使用,赋予每种数控机床一个型号,表示数控机床的名称、特性、主要规格和结构特点。对于数控机床的命名,到目前为止还没有统一的标准,不同的机床生产厂家会有不同的命名方法,国内品牌一般会以机床命名标准作为基础。图1-6所示为机床的命名标准(GB/T 15375—2008 金属切削机床型号编制方法)。

机床的类代号,用大写的汉语拼音字母表示,当需要时,每类可分为若干分类,用阿拉伯数字写在类代号之前,作为型号的首位(第一分类的“1”省略,不予表示)。机床的结构特性代号,用大写的汉语拼音字母表示。机床的组、系代号用两位阿拉伯数字表示。机床的主参数用折算值表示,当折算数值大于1时,则取整数,前面不加“0”;当折算数值小于1时,则以主参数值表示,并在前面加“0”。某些通用机床,当无法用一个主参数表示时,则在型号中用设计顺序号表示:顺序号由1起始,当设计顺序号少于十位数时,则在设计顺序号之前加“0”。机床的第二主参数列入型号的后部,并用“×”(读作“乘”)分开。凡属长度(包括跨距、行程等)的采用“1/100”的折算系数;凡属直径、深度、宽度的则采用“1/10”的折算系数;属于厚度等,则以实际数值列入型号。当需要以轴数和最大模数作为第二主参数列入型号时,其表示方法与以长度单位表示的第二主参数相同,并以实际的数值列入型号。机床的重大改进顺序号是用大写英文字母表示的,按A、B、C……的顺序选用(但“I、O”两个字母不得选用),以区别原机床型号。同一型号机床的变型代号是指某些类型机床,根据不同加工的需要,在基本型号机床的基础上,仅改变机床的部分性能结构时,加变型代号以便与原机床型号区分,这种变型代号是在原机床型号之后,加1、2、3等阿拉伯数字的顺序号,并用“/”(读作“之”)分开。

例如:C6132A



注1: 有“()”的代号或数字、当无内容时, 则不表示, 若有内容则不带括号。

注2: 有“○”符号的, 为大写的汉语拼音字母。

注3: 有“△”符号的, 为阿拉伯数字。

注4: 有“◎”符号的, 为大写的汉语拼音字母, 或阿拉伯数字, 或两者兼有之。

图 1-6 机床型号编制方法简图

C——车床 (类代号)。

61——卧式车床 (组、系代号)。

32——车床上加工最大回转直径的 1/10 (主参数)。

A——此车床的结构经过第一次改进 (改进顺序号) 对于以前已生产的机床, 其旧型号一般不再变动, 仍沿用原型号。

但是也有不少品牌, 尤其是国际品牌采用英文缩写作为系列号, 然后加上主参数进行命名。

例如: VMC650

VMC——Vertical Machining Centers (立式加工中心)。

650——工作台左右行程 (X 轴) 为 650mm。

第四节 数控机床的主要性能指标

数控机床的性能指标一般有精度指标、坐标轴数指标、运动性能指标及加工能力指标、可靠性指标等。

一、数控机床的精度指标

1. 分辨率与脉冲当量

分辨率是指两个相邻的分散点之间可以分辨的最小间隔。对检测系统而言, 分辨率是可以测量的最小增量; 对控制系统而言, 分辨率是可以控制的最小位移量。数控装置每发出一个脉冲信号, 反映到数控机床移动部件上的移动量称为脉冲当量。脉冲当量是设计数控机床

的原始数据之一，其数值大小决定数控机床的加工精度和表面质量。脉冲当量越小，数控机床加工精度和加工表面质量越高。简易数控机床的脉冲当量为 0.01mm ，普通数控机床的脉冲当量为 $1\mu\text{m}$ ，精密或超精密数控机床的脉冲当量为 $0.1\mu\text{m}$ ，最精密的数控系统的分辨率已达到 $0.001\mu\text{m}$ 。

2. 定位精度与重复定位精度

定位精度是指数控机床工作台等移动部件在运动终点的实际位置与理想位置的一致程度，其差值称为定位误差。定位误差包括伺服系统定位误差、检测系统定位误差及进给系统定位误差，还包括移动部件（如导轨）的几何误差等。定位误差将直接影响零件加工的位置精度。

重复定位精度是指在同一台数控机床床上，应用相同程序的相同代码加工一批零件，所得连续结果的一致性程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙与刚性及摩擦特性等因素的影响。一般情况下，重复定位精度是成正态分布的偶然性误差，它影响一批零件加工的一致性，是一项非常重要的性能指标。

3. 分度精度

分度精度是指分度工作台在分度时，理论要求回转的角度值和实际回转的角度值的差值。分度精度既影响零件加工部位在空间的角度位置，同时还会对孔系加工的同轴度误差等造成影响。

二、数控机床的可控轴数与联动轴数

数控机床的可控轴数是指机床数控装置能够控制的坐标轴数目。一般数控机床可控轴数和数控装置的运算处理能力、运算速度及内存容量等有关。世界上最高级的数控机床的可控轴数已达到31轴，我国目前最高级的数控机床的可控轴数为9轴。数控机床的联动轴数是指机床数控装置控制的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。目前数控机床的联动轴数有两轴联动、3轴联动、4轴联动和5轴联动等，其中3轴联动的数控机床通常是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标联动，可以加工空间复杂曲面，多用于数控铣床；4轴或5轴联动是指控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴的同时，控制一个或者两个围绕这些直线坐标轴旋转的坐标轴，可以加工叶轮、螺旋桨等零件；而两轴半联动是特指可控轴数为3轴而联动轴数为两轴的数控机床。

三、数控机床的运动性能指标

数控机床的运动性能指标主要包括主轴转速、进给速度、坐标行程、摆角范围、刀库容量及换刀时间等。

1. 主轴转速

数控机床的主轴一般采用直流或交流调速主轴电动机驱动，选用高速精密轴承支承。主轴一般具有较宽的调速范围和足够高的回转精度、刚度及抗振性。目前，数控机床主轴转速已普遍达到 $5000 \sim 10000\text{r}/\text{min}$ ，高速主轴则在 $20000 \sim 50000\text{r}/\text{min}$ ，这对各种小孔加工以及提高零件加工质量和表面质量都极为有利。

2. 进给速度

数控机床的进给速度是影响零件加工质量、生产效率及刀具寿命的重要因素。它受数控装置的运算速度、机床动特性及工艺系统刚度等因素的限制。

3. 坐标行程

数控机床坐标轴 X 、 Y 、 Z 的行程构成了数控机床的空间加工范围，决定了加工零件的

大小。坐标行程是直接体现机床加工能力的指标参数。

4. 摆角范围

具有摆角坐标的数控机床,其转角大小也直接影响到加工零件空间部位的能力。但转角太大易造成机床的刚度下降,会给机床设计带来困难。

5. 刀库容量和换刀时间

刀库容量和换刀时间对数控机床的生产率有直接影响。刀库容量是指刀库能存放加工刀具的数量。目前,常见的中小型加工中心多为16~60把,大型加工中心刀库容量达100把以上。刀对刀换刀时间指将主轴上使用的刀具与装在刀库上的下一工序需用的刀具进行交换所需要的时间。目前,国产数控机床刀对刀换刀时间一般为6~7s,国外生产的不少数控机床仅为3~5s,有的甚至已经达到1s以内,2008年北京机床展展出的DMC 635VECO立式加工中心的换刀时间仅1.6s。

四、加工性能指标

1. 最高主轴转速和最大加速度

最高主轴转速是指主轴所能达到的最高转速,它是影响零件表面加工质量、生产率及刀具寿命的主要因素之一。最大加速度是反映主轴速度提高能力的性能指标。

2. 最快位移速度和最高进给速度

最快位移速度是指进给轴在非加工状态下的最高移动速度;最高进给速度是指进给轴在加工状态下的最高移动速度。这两个物理量在很大程度上会对零件的加工质量造成影响,也是影响生产效率及刀具寿命的主要因素。这两个性能指标受数控装置的运算速度、机床动态特征及工艺系统刚度等因素控制。

五、可靠性指标

1. 平均无故障工作时间 MTBF

平均无故障工作时间是指一台数控机床在使用中平均两次故障间隔的时间,即数控机床在寿命范围内,总工作时间和总故障次数之比。平均无故障工作时间的计算公式为

$$MTBF = \text{总工作时间} / \text{总故障次数}$$

显然,平均无故障工作时间越长越好。

2. 平均修复时间 MTTR

平均修复时间是指一台数控机床从开始出现故障直到能正常工作所用的平均修复时间,其计算公式为

$$MTTR = \text{总故障停机时间} / \text{总故障次数}$$

考虑到实际系统出现故障总是难免的,故对于可维修的系统,总希望一旦出现故障,修复的时间越短越好,即平均修复时间越短越好。

3. 有效度

如果把MTBF看作设备正常工作的时间,把MTTR看作设备不能工作的时间,那么正常工作时间与总工作时间之比称为设备的有效度A,即

$$A = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

有效度反映设备能够正常使用的能力,是衡量设备可靠性的一个重要指标。

第五节 数控机床的发展

一、数控机床的发展现状

下面通过四个指标，介绍数控机床的发展现状。

1. 主轴转速

追求金属切削的高速加工是国际机床制造业的主流目标，高速主轴成为制造厂的一个主攻方向。近年来，数控机床主轴转速已翻了几番。20世纪80年代中期，中等规格的加工中心主轴最高转速为4000~6000r/min，20世纪90年代初提高到8000~12000r/min，到了20世纪90年代末，主轴转速在20000r/min以上的数控机床已不鲜见，有的已经达到40000r/min。

图1-7所示为NSK汇总的20年间日本国际机床展（JIMTOF）展出的主轴转速高于10000r/min的所谓高速切削机床的统计数据。自高速切削机床在1982年第11届日本国际机床展出现以来，各界展会中展示及成交的高速机床的数量逐年增加，经过20年发展历程，至2002年的第21届日本国际机床展，100000r/min甚至更高的主轴转速也已在实机上实现。其中，主轴转速10000~25000r/min的高速切削数控机床是近几年展会上的主流产品。

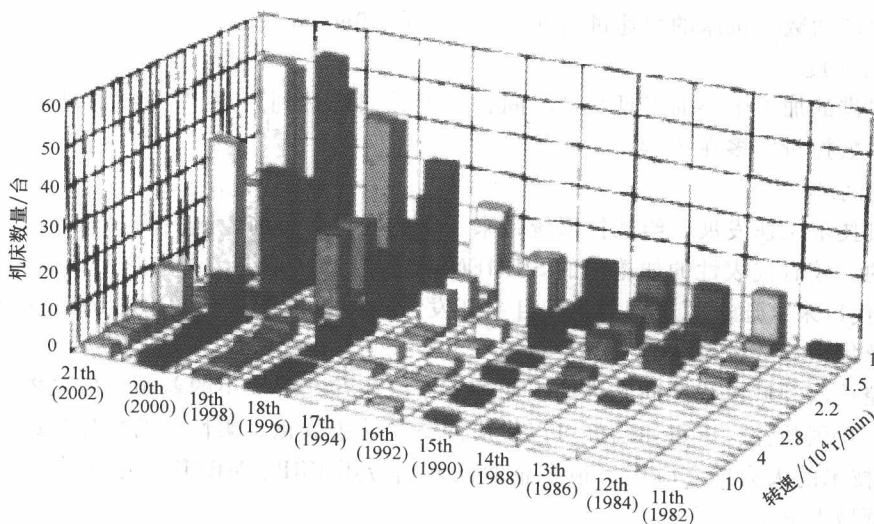


图 1-7 JIMTOF 展出的主轴转速高于 10000r/min 的机床的统计数据

以电主轴为代表的高速主轴的应用推动了高速切削机床的发展。高速主轴的关键技术包括陶瓷轴承结构和油雾润滑等技术。如图 1-8 所示，主轴的高速性能指标用 dn 值表示。 d 表示轴承内径，单位为 mm； n 表示主轴能够实现最高转速，单位为 r/min。两者之积 dn 称为速度因数，其极限值因轴承结构和润滑方法的不同而不同。1990 年所能达到的 dn 极限值在 $2 \times 10^6 \text{ mm} \cdot \text{r/min}$ 左右，如今该值已达 $3 \times 10^6 \text{ mm} \cdot \text{r/min}$ 左右。

国内生产的加工中心的主轴转速普遍在 7500r/min 左右，与国际先进水平还存在较大差距。