



21st CENTURY

十一五规划

21世纪全国应用型本科

大机械系列 实用规划教材



机床数控技术

主 编 杜国臣 王士军
副主编 苗满香 潘旭红
主 审 韩建海

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TG659

142

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

机床数控技术

主 编	杜国臣	王士军
副主编	苗满香	潘旭红
参 编	王万新	李 杰
主 审	韩建海	

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据“全国机械类专业应用型本科人才培养目标及基本规格”的要求编写的,内容全面、系统,重点突出,力求体现先进性、实用性。全书共6章,包括绪论、数控加工工艺分析与程序编制、计算机数控系统、数控机床伺服系统、数控机床机械机构、数控机床的保养与维修。每章均有一定数量的思考题与习题,书后还有《机床数控技术》缩略语英汉对照及常用刀具的切削参数两个附录。

本书可作为应用型本科院校的机械工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机电一体化等专业教材,也可作为成人高等教育的同类专业教材用书,还可作为广大自学者及工程技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/杜国臣,王士军主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.8
(21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4434-5

I. 机… II. ①杜… ②王… III. 数控机床—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第076958号

书 名: 机床数控技术

著作责任者: 杜国臣 王士军 主编

策 划 编 辑: 李昱涛

责 任 编 辑: 郭穗娟 杜 娟

标 准 书 号: ISBN 7-5038-4434-5

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同7号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话:编辑部 66170109 营销中心: 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路205号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 22印张 506千字

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

定 价: 31.00元

《21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材》

专家编审委员会

名 誉 主 任 胡正寰*

主 任 委 员 殷国富

副主任委员 (按拼音排序)

戴冠军 江征风 李郝林 梅 宁 任乃飞

王述洋 杨化仁 张成忠 张新义

顾 问 (按拼音排序)

傅水根 姜继海 孔祥东 陆国栋

陆启建 孙建东 张 金 赵松年

委 员 (按拼音排序)

方 新 郭秀云 韩健海 洪 波

侯书林 胡如风 胡亚民 胡志勇

华 林 姜军生 李自光 刘仲国

柳舟通 毛 磊 孟宪颐 任建平

陶健民 田 勇 王亮申 王守城

魏 建 魏修亭 杨振中 袁根福

曾 忠 张伟强 郑竹林 周晓福

*胡正寰: 北京科技大学教授, 中国工程院机械与运载工程学部院士

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一，是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门，包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务，在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20 世纪 80 年代以来，以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生，极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度，改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式，产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面：

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用，使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件，而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品，其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动，而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化，CAD/CAM/CAE/PDM 集成技术和软件系统得到广泛使用，促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全生命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低，而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术，并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程，以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产，提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化，制造过程的网络化、全球化得到很大的发展，涌现出 CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式，制造装备和制造系统的柔性与可重组已成为 21 世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学，制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程特征和发展趋势表明，现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此，加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质机械工程专业人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育，培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才，不断推动我国机械科学与工程技术的进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适

*殷国富教授：现为教育部机械学科教学指导委员会委员，现任四川大学制造科学与工程学院院长

应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998 年对本科专业目录进行了第 3 次大的修订。调整后的机械类专业变成 4 类 8 个专业,它们是:机械类 4 个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类 1 个专业(测控技术与仪器);能源动力类 2 个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类 1 个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科类专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于 21 世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现在以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

前 言

近年来, 机床数控技术的迅速发展带动了机械加工技术的飞速发展, 使传统的制造工艺发生了显著的变化, 许多企业逐步用数控机床替代了普通机床。这就要求工程技术人员具有自动控制、计算机等方面的知识, 要求编程人员熟悉数控机床的机械结构和维护, 熟悉数控机床的加工工艺和加工软件等基础知识, 同时也要求机械加工技术人员熟悉数控机床的编程知识。这种形势对机械类专业应用型本科学生在数控机床方面的知识 & 技能也提出了新的要求, 即要求学生具备一定的机床数控技术理论知识及应用方面的基本知识和技能。

本书的编写指导思想是使读者通过学习熟悉数控机床的基本理论和知识; 熟悉数控机床的机械结构和控制知识; 熟悉数控机床的保养与维修; 熟悉数控机床的加工工艺和编程方法, 并能把学到的知识应用到生产实践中。

本书通俗易懂, 涉及面广, 内容丰富, 可操作性强, 适合机械类专业应用型本科教育使用; 可作为应用型本科院校的机械工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机电一体化等专业教材, 也可作为成人高等教育的同类专业教材用书, 还可作为广大自学者及工程技术人员的自学参考书。

本书第 1 章、第 2 章 2.3 节由九江学院潘旭红编写; 第 2 章的其他部分、第 1~6 章的思考题与习题、附录 2 由潍坊学院杜国臣编写; 第 3 章、附录 1 由山东理工大学王士军编写; 第 4 章由郑州航空工业管理学院苗满香编写; 第 5 章由德州学院王万新编写; 第 6 章由河北建筑工程学院李杰编写。杜国臣、王士军任主编, 河南科技大学韩建海教授主审, 他对本书提出了不少宝贵的意见和建议, 编者在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平有限, 加之时间仓促, 书中不足之处, 恳请专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 数控机床的定义	1
1.1.2 数控机床的组成及特点	1
1.1.3 数控机床的主要技术参数	3
1.2 数控机床的分类	4
1.2.1 按机械运动轨迹分类	4
1.2.2 按伺服系统的类型分类	5
1.2.3 按功能水平分类	6
1.2.4 按加工方式分类	7
1.3 数控机床的发展与作用	7
1.3.1 数控机床的产生与发展	7
1.3.2 数控机床的发展趋势	9
1.3.3 数控机床在先进制造技术中的作用	11
小结	12
思考题与习题	12
第 2 章 数控加工工艺分析与程序编制	13
2.1 数控加工工艺分析	13
2.1.1 机床的合理选用	13
2.1.2 数控加工工艺性分析	14
2.1.3 加工方法与加工方案的确定	15
2.1.4 工序与工步的划分	19
2.1.5 零件的定位与安装	20
2.1.6 数控加工刀具与工具系统	21
2.1.7 切削用量的确定	29
2.1.8 数控加工路线的确定	30
2.1.9 工艺文件的制定	36
2.2 图形的数学处理	37
2.2.1 基点计算	38
2.2.2 节点计算	38
2.2.3 辅助计算	42
2.3 数控加工的程序编制	44
2.3.1 数控机床编程基础	44

2.3.2 数控车削加工程序编制.....	49
2.3.3 数控铣削加工程序编制.....	74
2.3.4 加工中心程序编制.....	95
2.3.5 自动编程简介.....	118
小结	122
思考题与习题	122
第3章 计算机数控系统	127
3.1 概述	127
3.1.1 CNC 系统的组成	127
3.1.2 CNC 系统的功能和一般工作过程	128
3.2 CNC 系统的硬件结构	132
3.2.1 单 CPU 结构 CNC 系统的硬件结构	132
3.2.2 多 CPU 结构 CNC 系统的硬件结构	133
3.2.3 开放式 CNC 系统	135
3.3 CNC 系统的软件结构	139
3.3.1 CNC 系统的软件结构特点	140
3.3.2 CNC 系统的软件结构模式	143
3.4 计算机数控中的可编程逻辑控制器	146
3.4.1 PLC 及其工作过程	146
3.4.2 PLC 在数控机床上的应用	152
3.5 CNC 系统的输入/输出与通信	160
3.5.1 CNC 装置的输入/输出和通信要求	160
3.5.2 CNC 系统常用外部设备及接口	161
3.6 CNC 装置的插补原理	169
3.6.1 基准脉冲插补.....	170
3.6.2 数据采样插补.....	183
3.6.3 刀具补偿功能.....	187
3.6.4 进给速度与加/减速控制	191
3.7 典型数控系统分析实例	197
3.7.1 概述.....	197
3.7.2 FANUC 数控系统 6.....	198
小结	201
思考题与习题	202
第4章 数控机床伺服系统	204
4.1 概述	204
4.2 驱动电动机	206
4.2.1 步进电动机.....	206

4.2.2 伺服电动机.....	209
4.2.3 直线电动机.....	215
4.3 数控机床常用检测装置	216
4.3.1 概述.....	216
4.3.2 旋转编码器.....	217
4.3.3 旋转变压器.....	220
4.3.4 感应同步器.....	222
4.3.5 光栅尺.....	225
4.3.6 磁栅.....	228
4.4 位置控制和速度控制	231
4.4.1 位置控制.....	232
4.4.2 速度控制.....	237
小结	259
思考题与习题	259
第 5 章 数控机床机械机构.....	260
5.1 概述	260
5.2 数控机床的主传动系统	262
5.2.1 数控机床主传动系统要求.....	262
5.2.2 数控机床主轴的调速方法.....	262
5.2.3 数控机床的主轴部件.....	266
5.3 数控机床的进给传动系统	270
5.3.1 数控机床进给传动系统要求.....	270
5.3.2 滚珠丝杠螺母副.....	271
5.3.3 直线电动机进给系统.....	276
5.3.4 数控机床的导轨.....	278
5.4 自动换刀装置	281
5.4.1 数控车床的回转刀架.....	281
5.4.2 加工中心的自动换刀装置.....	283
5.5 数控机床的主要辅助装置	287
5.5.1 数控回转工作台.....	287
5.5.2 分度工作台.....	289
5.6 数控机床的其他进给传动设计	290
小结	293
思考题与习题	294
第 6 章 数控机床的保养与维修.....	295
6.1 概述	295
6.2 数控机床的保养	297

6.3 数控机床的故障诊断与维修	302
6.3.1 数控机床的故障诊断概述.....	302
6.3.2 数控机床常用的故障诊断方法.....	305
6.3.3 数控系统的故障诊断与维修.....	310
6.3.4 伺服系统的故障诊断与维修.....	314
6.4 数控机床的故障分析与维修实例	318
6.4.1 数控车床的故障分析与维修.....	318
6.4.2 伺服系统的故障分析与维修.....	325
小结	328
思考题与习题	329
附录 1 《机床数控技术》缩略语英汉对照	330
附录 2 常用刀具的切削参数	332
参考文献	337

第1章 绪 论

教学提示:数控机床是采用数字控制技术对机床各移动部件相对运动进行控制的机床,它是典型的机电一体化产品,是现代制造业的关键设备。计算机、微电子、信息、自动控制、精密检测及机械制造技术的高速发展,加速了数控机床的发展。目前数控机床正朝着高速度、高精度、高工序集中度、高复合化和高可靠性等方向发展,同时其应用范围也越来越广泛。

教学要求:本章主要讲述数控机床的基本概念和特点、主要技术参数、分类以及技术与发展水平等。本章内容是数控机床的基本知识和内容,要求学生理解并掌握数控机床的基本概念、组成与特点以及分类,了解其发展趋势和在先进制造技术中的作用。

1.1 概 述

1.1.1 数控机床的定义

数控即数字控制(Numerical Control, NC)。数控技术是指用数字信号形成的控制程序对一台或多台机械设备进行控制的一门技术。

数控机床,简单的说,就是采用了数控技术的机床。即将机床的各种动作、工件的形状、尺寸以及机床的其他功能用一些数字代码表示,把这些数字代码通过信息载体输入给数控系统,数控系统经过译码、运算以及处理,发出相应的动作指令,自动地控制机床的刀具与工件的相对运动,从而加工出所需要的工件。

实际上,数控机床就是一种具有数控系统的自动化机床。所以说数控机床是最典型的机电一体化产品。

1.1.2 数控机床的组成及特点

1. 数控机床的组成

数控机床主要由程序介质、数控装置、伺服系统、机床主体四部分组成,如图 1.1 所示。

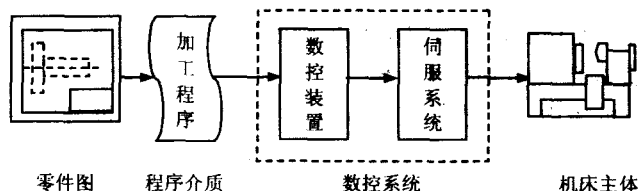


图 1.1 数控机床的组成

其中,程序介质用于记载机床加工零件的全部信息。如零件加工的工艺过程、工艺参数、位移数据、切削速度等。常用的程序介质有磁带、磁盘等。也有一些数控机床采用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接输入或通过串行接口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。在计算机辅助设计与计算机辅助制造(CAD/CAM)集成系统中,加工程序可不需要任何载体而直接输入到数控系统。

数控装置是控制机床运动的中枢系统,它的基本任务是接收程序介质带来的信息,按照规定的控制算法进行插补运算,把它们转换为伺服系统能够接收的指令信号,然后将结果由输出装置送到各坐标控制的伺服系统。

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,是数控系统的执行部件。它的基本作用是接收数控装置发来的指令脉冲信号,控制机床执行部件的进给速度、方向和位移量,以完成零件的自动加工。

通常数控系统由数控装置和伺服系统两部分组成,各公司的数控产品也是将两者作为一体的。

机床主体也称主机,包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件,如底座、立柱、滑鞍、工作台(刀架)、导轨等。数控机床与普通机床不同,它的主运动和各个坐标轴的进给运动都是由单独的伺服电动机驱动,所以它的传动链短、结构比较简单。为了保证数控机床的快速响应特性,在数控机床上还普遍采用精密滚珠丝杠副和直线滚动导轨副。在加工中心上还配备有刀库和自动换刀装置。同时还有一些良好的配套设施,如冷却、自动排屑、自动润滑、防护和对刀仪等,以利于充分发挥数控机床的功能。此外为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工,数控机床的其他机械结构也产生了很大的变化。

2. 数控机床的特点

数控机床与普通机床加工零件的区别,在于数控机床是按照程序自动加工零件,而普通机床由工人手工操作来加工零件。在数控机床上只要改变控制机床动作的程序,就可以达到加工不同零件的目的。由于是一种程序控制过程,数控机床相应形成了以下几个特点。

(1) 采用数控机床可以提高零件的加工精度、稳定产品的质量。因为数控机床按照预定的加工程序进行加工,加工过程中消除了操作者人为的操作误差,所以零件加工的一致性好,而且加工精度还可以利用软件来进行校正补偿,因此可以获得比机床本身所能达到的精度还要高的加工精度及重复定位精度。

(2) 数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的具有复杂曲面的零件的加工。因此它在航空航天、造船、模具等加工业中得到广泛应用。

(3) 采用数控机床比普通机床可以提高生产效率2~3倍,尤其是对某些复杂零件的加工,生产效率可以提高十几倍甚至几十倍。

(4) 可以实现一机多用。一些数控机床将几种普通机床功能合一,加上刀库与自动换刀装置构成加工中心,如果能配置数控转台或分度转台,则可以实现一次安装、多面加工。

(5) 采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展,为实现生产过程自动化创造了条件。

1.1.3 数控机床的主要技术参数

1. 主要规格尺寸

数控车床的主要规格尺寸有床身上最大工件回转直径、刀架上最大工件回转直径、加工最大工件长度、最大车削直径等。数控铣床、加工中心的主要规格尺寸有工作台面尺寸、工作台 T 形槽、工作行程等。

2. 主轴系统

数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动，具有较宽的调速范围和较高的回转精度，主轴本身的刚度与抗振性比较好。现在数控机床的主轴转速普遍能达到 5000r/min ~ 10000r/min 甚至更高，对提高加工质量和各种小孔加工极为有利；主轴转速可以通过操作面板上的转速倍率开关直接改变。

3. 进给系统

进给系统有进给速度范围、快速(空行程)速度范围、运动分辨率(最小位移增量)、定位精度和螺距范围等主要技术参数。

(1) 进给速度。是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素，直接受到数控装置运算速度、机床动特性和工艺系统刚度的限制。其中，最大进给速度为加工的最大速度，最大快进速度为不加工时移动的最快速度。进给速度可通过操作面板上的进给倍率开关调整。

(2) 脉冲当量(分辨率)。是指两个相邻分散细节之间可以分辨的最小间隔，是重要的精度指标。其有两个方面的内容，一是机床坐标轴可达到的控制精度(可以控制的最小位移增量)，表示数控装置每发出一个脉冲信号时坐标轴移动的距离，称为实际脉冲当量或外部脉冲当量；二是内部运算的最小单位，称之为内部脉冲当量，一般内部脉冲当量比实际脉冲当量设置的要小，目的是在运算过程中不损失精度。数控系统在输出位移量之前，自动将内部脉冲当量转换成外部脉冲当量。

实际脉冲当量决定于丝杠螺距、电动机每转脉冲数及机械传动链的传动比，其计算公式为

$$\text{实际脉冲当量} = \text{传动比} \times \frac{\text{丝杠螺距}}{\text{电动机每转脉冲数}}$$

脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一，其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm，精密或超精密数控机床的脉冲当量为 0.1 μm。脉冲当量越小，数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

(3) 定位精度和重复定位精度。定位精度是指数控机床工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的精度。因此移动部件实际位置与理想位置之间的误差称为定位误差。定位误差包括伺服系统误差、检测系统误差、进给系统误差和移动部件导轨的几何误差等。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上，应用相同程序、相同代码加工一批零件，所得到的连续结果的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙与刚性以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。对于中小型数控机床,定位精度普遍可达 $\pm 0.01\text{mm}$,重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

4. 刀具系统

数控车床刀具系统的主要技术参数包括刀架工位数、工具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间、重复定位精度等各项内容。加工中心刀库容量与换刀时间直接影响其生产率,通常中小型加工中心的刀库容量为16~60把,大型加工中心可达100把以上。

换刀时间是指自动换刀系统将主轴上的刀具与刀库中刀具进行交换所需要的时间。

1.2 数控机床的分类

数控机床种类很多,规格不一,人们从不同的角度对其进行了分类。

1.2.1 按机械运动轨迹分类

数控机床按其刀具与工件相对运动的方式,可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制。

1. 点位控制数控机床

这类数控机床的特点是要求保证点与点之间的准确定位。它只能控制行程的终点坐标值,对于两点之间的运动轨迹不作严格要求。对于点位控制的孔加工机床只要求获得精确的孔系坐标,在刀具运动过程中,不进行切削加工。如图1.2所示为点位控制钻孔加工示意图。

此类数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机、印制电路板钻床等。

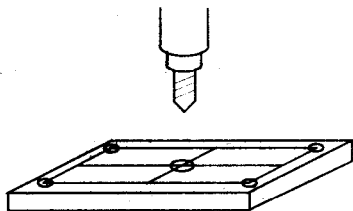


图 1.2 点位控制钻孔加工示意图

2. 直线控制数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制行程的终点坐标值,还要保证在两点之间机床的刀具走的是一条直线,而且在走直线的过程中往往要进行切削。如图1.3所示为直线控制切削加工示意图。

此类数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控镗床等。

现代组合机床采用数控技术,驱动各种动力头、多轴箱轴向进给钻、镗、铣等加工,也算是一种直线控制数控机床。直线控制也称为单轴数控。

3. 轮廓控制数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制行程的终点坐标值,还要保证两点之间的轨迹要按一定的曲线进行。即这种系统必须能够对两个或两个以上坐标方向的同时运动进行严格的连续控制。如图1.4所示为轮廓控制铣削加工示意图。

现代数控机床绝大部分都具有两坐标或两坐标以上联动的功能,除此之外还具有刀具半径补偿、刀具长度补偿、机床轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿、齿侧间隙误差补偿等一系列功能。

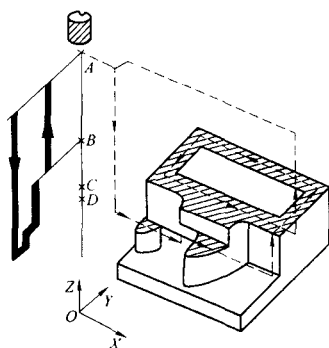


图 1.3 直线控制切削加工示意图

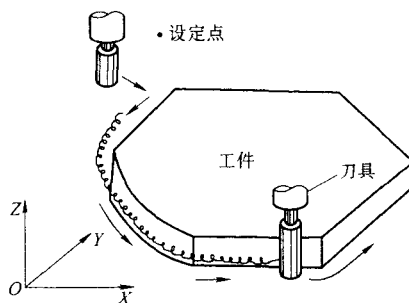


图 1.4 轮廓控制铣削加工示意图

1.2.2 按伺服系统的类型分类

1. 开环伺服系统数控机床

这类机床没有来自位置传感器的反馈信号，数控系统将零件程序处理后，输出数字指令信号给伺服系统，驱动机床运动。例如采用步进电动机的伺服系统就是一个开环伺服系统，如图 1.5 所示。

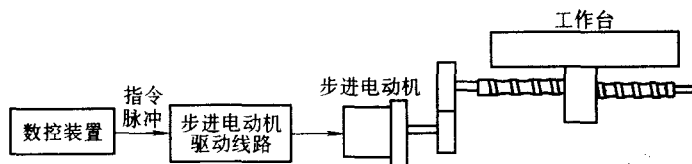


图 1.5 开环伺服系统

这类机床的优点是结构简单、较为经济、维护维修方便，但是速度及精度低，适于精度要求不高的中小型机床，多用于对旧机床的数控化改造。

2. 闭环伺服系统数控机床

这类机床上装有位置检测装置，直接对工作台的位移量进行测量。数控装置发出进给信号后，经伺服驱动使工作台移动；位置检测装置检测出工作台的实际位移，并反馈到输入端，与指令信号进行比较，驱使工作台向其差值减小的方向运动，直到差值等于零为止。图 1.6 所示为闭环伺服系统。

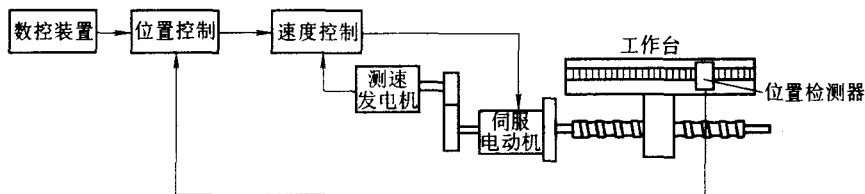


图 1.6 闭环伺服系统

这类数控机床可以消除由于传动部件制造中存在的精度误差给工件加工带来的影响,从而得到很高的精度。但是由于很多机械传动环节包括在闭环控制的环路内,各部件的摩擦特性、刚性以及间隙等都是非线性量,直接影响到伺服系统的调节参数。因此,闭环伺服系统的设计和调整都非常困难。

闭环伺服系统的优点是精度高。但其系统设计和调整困难、结构复杂、成本高,主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精密车床、超精密铣床、加工中心等。

3. 半闭环伺服系统数控机床

这类数控机床采用安装在进给丝杠或电动机端头上的转角测量元件测量丝杠旋转角度,来间接获得位置反馈信息。图 1.7 所示为半闭环伺服系统。

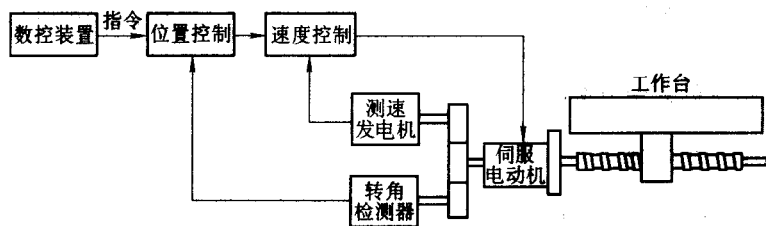


图 1.7 半闭环伺服系统

这种系统的闭环环路内不包括丝杠、螺母副及工作台,因此可以获得稳定的控制特性。而且由于采用了高分辨率的测量元件,可以获得比较满意的精度及速度。大多数数控机床采用半闭环伺服系统,如数控车床、数控铣床、加工中心等。

1.2.3 按功能水平分类

数控机床按功能水平分为高、中、低档三类。数控机床功能水平的高低主要由它们的主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平等决定,主要包括以下内容。

1. 中央处理单元(CPU)

低档数控机床一般采用 8 位 CPU;而中、高档数控机床已经由 16 位 CPU,发展到 32 位或 64 位 CPU,并用具有精简指令集(RISC)的 CPU。

2. 分辨率和进给速度

低档数控机床的分辨率为 $10\mu\text{m}$,进给速度为 $6\text{m/min}\sim 15\text{m/min}$;中档数控机床的分辨率为 $1\mu\text{m}$,进给速度为 $12\text{m/min}\sim 24\text{m/min}$;高档数控机床的分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ 或更小,进给速度为 $24\text{m/min}\sim 100\text{m/min}$,或更高。

3. 多轴联动功能

低档数控机床多为 2~3 轴联动;中、高档数控机床则都是 3~5 轴联动,或更多。

4. 显示功能

低档数控机床一般只有简单的数码显示或简单的阴极射线管(CRT)字符显示功能;中档数控机床有较齐全的 CRT 显示功能,如字符、图形、人机对话、自诊断等功能显示;高档