



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机床数控技术

第3版

胡占齐 杨莉 © 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机 床 数 控 技 术

第 3 版

胡占齐 杨 莉 编著

臧怀泉 肖定国 主审



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了数控机床的组成、数控装置和伺服系统的工作原理及设计基础等关于数控系统方面的基础知识；同时介绍了零件加工程序的编制方法、机床的数控化改造的基本方法等数控机床应用方面的基本知识；最后结合一个实例介绍了机床数控化改造的基本内容和方法。希望本书有助于读者解决数控机床的选型、使用和研发过程中遇到的工程实际问题。书中包含了作者在数控系统开发和应用方面的教学科研成果，在图形化编程、数控装置的开发和机床数控化改造方面具有特色。

本书可作为工科高校机械制造、机电工程及相关专业的数控技术及应用课程的教材，也可供从事数控机械设计和应用的工程技术人员参考。

本书配有电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目（CIP）数据

机床数控技术/胡占齐，杨莉编著. —3 版. —北京：
机械工业出版社，2014. 2
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 普通
高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 45238 - 6

I. ①机… II. ①胡…②杨… III. ①数控机床 - 高
等学校 - 教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 307240 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：贡克勤 责任编辑：贡克勤

版式设计：霍永明 责任校对：程俊巧

封面设计：赵颖喆 责任印制：张楠

北京京丰印刷厂印刷

2014 年 2 月第 3 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13 印张 · 317 千字

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 45238 - 6

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

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

数控技术是 20 世纪制造技术的重大成就之一，是吸收了计算机技术、自动控制技术、检测技术和机械加工技术精华的交叉和综合技术领域。计算机数控技术的核心是由计算机实现对加工过程中的信息进行处理和控制，实现加工过程自动化。随着微电子技术、计算机技术、传感器技术和机械加工技术的发展，从 20 世纪 70 年代以后，计算机数控技术获得了突飞猛进的发展，数控机床和其他数控装备在工程实践当中获得了越来越广泛的应用。同时，计算机数控技术的发展又极大地推动了计算机辅助设计和辅助制造（CAD/CAM）、柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造（CIMS）和智能制造（IM）技术的发展，以数控技术为核心的先进制造技术群在制造技术发展的历史长河中开启了数字化制造的新时代。

中国的机械制造业正面临着前所未有的机遇与挑战——参与国际市场的竞争。用以数控技术为基础的先进制造技术装备机械制造业，是在这场竞争中取胜的重要条件之一，因此，在中国推广应用数控技术有着特别重要的意义。借助先进制造技术的翅膀，实现从中国制造到中国创造的飞跃，是当代机械制造业的历史使命。

本书初成于 2002 年，为了适应工科高校机械工程类专业的“数控技术及应用”课程的教学需要，书中写进了我们对数控技术的理解，也写进了我们自己所做的部分工作。伴随着数控技术快速发展的脚步，在教学与科研的实践中，我们对这门课程的理解在逐步加深，使用中不断对原书中的一些纰漏和过时的内容进行补正。借此次再版的机会，我们对原书内容做了较大的改动，删除了部分过时的内容、吸收了最新的素材、丰富了实用案例、改进了教学课件。我们希望经过十年的磨砺，能够奉献给读者一本准确、简明、实用的数控技术的入门参考书。

本书第 1、2、4、7 章由胡占齐编写，第 3、5、6 章由杨莉编写。燕山大学臧怀泉教授和北京理工大学肖定国教授担任本书主审。在修订过程中吸收了王加春、陈继刚等使用过本书的老教师们很多有益的建议。

我们向本书中所用到的参考文献的作者们表示感谢，正是他们的工作推动了数控技术的发展。我们希望加入到这一行列中来。

数控技术涉及内容广泛，发展变化迅速。尽管我们尽了努力，但由于能力所限，书中还是难免会有疏漏之处。我们期待着读者的批评指正。

本书配有电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载。

作 者
于燕山大学

目 录

前言	第5章 位置检测装置	135
第1章 概述	5.1 概述	135
1.1 数字控制与数控机床	5.2 光栅	136
1.2 数控机床的分类	5.3 脉冲编码器	140
1.3 数控机床的选型	5.4 旋转变压器	144
1.4 数控技术的发展	5.5 感应同步器	146
复习思考题	5.6 磁栅	151
第2章 零件加工程序的编制	5.7 球栅	154
2.1 数控编程的基本知识	复习思考题	156
2.2 数控加工工艺基础	第6章 数控机床的伺服系统	157
2.3 数控加工指令	6.1 伺服系统的基本概念	157
2.4 数控编程典型实例	6.2 步进电动机及其驱动装置	159
2.5 自动编程	6.3 交流伺服系统	165
复习思考题	6.4 机床进给伺服系统设计	174
第3章 数控机床加工控制原理	6.5 伺服系统的性能对加工精度的影响	179
3.1 数控装置的工作过程	复习思考题	181
3.2 插补原理	第7章 机床的数控化改造	183
3.3 进给速度控制原理	7.1 机床数控化改造的意义	183
3.4 刀具补偿原理	7.2 数控化改造的内容与改造方案	184
复习思考题	7.3 机械部分改造设计	185
第4章 数控装置	7.4 数控系统的选型	188
4.1 数控装置的组成及作用	7.5 普通车床数控化改造实例	189
4.2 数控装置的硬件系统	复习思考题	192
4.3 数控装置的软件系统	附录 数控技术常用词汇中英文对照	193
4.4 数控装置的输入/输出接口	参考文献	200
4.5 数控装置的 PLC 控制功能		
4.6 基于 PC 的数控系统开发实例		
复习思考题		

第1章 概述

本章提要

本章主要介绍数控技术和数控机床的基本概念，讲解数控机床的组成和分类，为后续章节打下基础，并初步解决在工程实际中怎样选择数控机床的问题。本章还简要介绍了数控机床的发展历程以及数控技术和机械制造自动化之间的关系。

1.1 数字控制与数控机床

1.1.1 数字控制的基本概念

数字控制（Numerical Control，NC）技术是指用数字化信息对机械的运动及工作过程进行控制的方法，也称数控技术。对数控机床来说，这个控制对象就是金属切削机床，数字化信息是指系统内部控制信息的性质。实现数字控制任务的设备叫作数控系统，装备了数控系统的机床就叫作数控机床。数字控制是相对于模拟控制而言的，数字控制系统中的控制信息是数字量，而模拟控制系统中的控制量是模拟量。数字控制与模拟控制相比有很多优点，例如数字信号易于存储、加密、传输和再现，数字系统抗干扰性强、可靠性高、集成度高等。虽然发明数控机床的初衷是为了加工各种复杂形状的曲面，但是几十年来数控技术在应用和发展过程中表现出来的多方面的卓越性能，已经引起了制造技术革命性的变革。

在数控机床上加工一个零件的过程如下（见图 1-1）：首先由编程人员按照零件的几何形状和工艺要求将加工过程编成零件加工程序。数控装置读入加工程序后，将其翻译成机器能够理解的控制指令，周期性地送给伺服系统，再由伺服系统将其变换和放大后驱动机床上的主轴电动机和进给伺服电动机转动，进而带动机床的工作台移动，实现加工过程。可以看出，在这个过程中数控系统实质上是完成了手工加工中操作者的部分工作。



图 1-1 数控机床的加工过程

在数控系统中，数控装置是实现数控技术的关键。数控装置完成零件加工程序的读入、解释，并根据数控程序的要求对机床进行运动控制和逻辑控制。在早期的数控装置中，所有这些工作都是由数字逻辑电路实现的，现在称之为硬件数控。现代数控系统中，数控装置的工作是由计算机系统来完成的。我们把以计算机系统作为数控装置构成的数控系统称为计算机数控系统（Computer Numerical Control，CNC）。CNC 系统的数字信息处理功能主要由软件

实现,因而十分灵活,并可以处理数字逻辑电路难以处理的复杂信息,使数控系统的功能大大提高。我们现在看到的数控系统,几乎都是计算机数控系统。

数控技术最早是被应用到金属切削机床上的,所以说到数控技术总是和数控机床联系在一起,其实数控技术可以用于各种机械设备。我们可以把这里所说的机床理解成广义的,除了金属切削机床外,还可以是冶金机械、锻压机械、轻工机械、纺织机械、包装机械等。为了说明方便,本书仍以金属切削机床为主来介绍数控技术,但所有的内容都可以用于其他机械设备中。

1.1.2 数控机床的组成

为了更好地理解数控机床的工作原理,将图 1-1 中的数控系统部分细化为图 1-2 所示的数控机床的逻辑组成框图。数控机床一般由输入/输出设备、操作面板、数控装置、主轴和进给伺服单元及相应的电动机、PLC 及其接口电路、位置检测装置和机床本体等几部分组成。除了机床本体以外的部分统称为数控系统,数控装置是数控系统的核心。下面简要介绍各组成部分的功能。

1. 输入/输出装置

数控机床在开始加工前,必须读入零件加工程序,在加工过程中,要把机床的工作状态告诉操作人员,以便操作人员了解机床的工作情况,及时处置加工中出现的各种问题。这些功能由输入/输出装置实现。最常用的输入装置是键盘,操作人员可以通过键盘输入、编辑和修改零件加工程序。纸带阅读机是最早的输入装置,现在

已经很少用。最常见的输出装置是显示器,数控装置通过显示器为操作人员提供必要的信息,一般显示的信息包括正在编辑或运行的程序、当前的切削用量、刀具位置、各种故障信息和操作提示等。高档数控系统还可以用图形方式显示工作中的刀具位置,看起来更加直观;简易数控系统的显示装置可能只是几个数码管,只能提供很有限的信息。

串行输入/输出接口是计算机数控装置中常用的输入/输出装置,用来以串行通信的方式与上级计算机或其他数控机床间传递零件加工程序和其他数据。随着计算机数控技术的发展,计算机通用技术逐渐融入数控系统,计算机中的所有输入/输出手段都将出现在数控系统中。

2. 操作面板

操作面板主要用于输入手动控制指令,例如手动进给、回零、开关冷却液、更换刀具、夹紧工件等。另外操作面板上还有一些表示机床工作状态的指示灯,如电源、手/自动状态显示、工件夹紧状态和故障信息等。操作面板与输入/输出装置的区别在于,操作面板是与 PLC 控制器相连的,可以通过接口电路直接操作机床电器;而输入/输出装置是与数控装置直接交流信息,通过输入设备输入的指令要经过数控装置的解释才能被执行。

3. 数控装置

数控装置是数控系统的核心,现代数控系统普遍采用通用计算机作为数控装置的硬件系

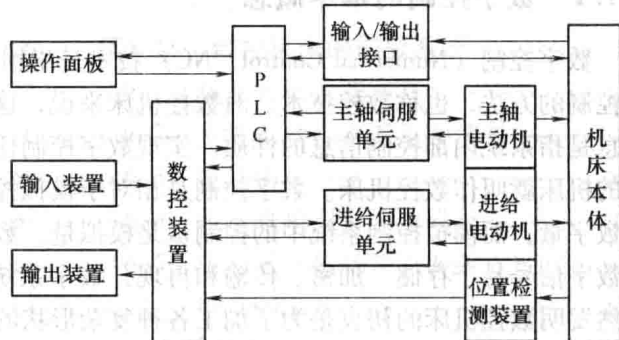


图 1-2 数控机床的逻辑组成框图

统,因而包括了微机系统的基本组成部分:CPU、存储器、局部总线以及输入/输出接口等;软件部分就是我们通常所说的数控系统软件。数控装置的基本功能是:读入零件加工程序,根据加工程序所指定的零件形状,计算出刀具中心的移动轨迹,并按照程序指定的进给速度,求出每个微小的时间段(插补周期)内刀具应该移动的距离(位移指令),并把位移指令送给进给伺服单元;同时数控装置还将程序中的开关量控制指令送给 PLC 模块;在闭环系统中还要完成位置闭环控制功能。数控装置的控制原理将在第 3、4 章里详细介绍。

4. 伺服系统

伺服系统包括主轴伺服系统和进给伺服系统两部分,伺服系统由伺服单元和伺服电动机组成。主轴伺服单元接收来自 PLC 的转向和转速指令,经过解码和功率放大后驱动主轴电动机转动。进给伺服单元在每个插补周期内接受数控装置的位移指令,经过解码和功率放大后驱动进给电动机转动,同时完成速度控制和位置控制功能。根据所选电动机的不同,进给伺服单元可以是步进电动机伺服单元、直流电动机伺服单元或交流电动机伺服单元,每种伺服单元的性能和工作原理都不同。步进电动机系统是最简单的伺服系统,随着交流电动机调速技术的逐步完善,交流伺服系统应用越来越普遍。伺服系统的工作原理将在第 6 章详细介绍。

5. 可编程逻辑控制器(PLC)

PLC 和数控装置配合共同完成数控机床的控制任务。数控装置主要完成与数字运算、运动控制和与管理有关的功能,如零件加工程序的编辑、译码、插补运算、位置控制等。PLC 主要实现对开关量的控制,如主轴的起动和停止、刀具的更换、冷却液的开关等一些辅助功能。它能将零件加工程序中的 M 代码、S 代码、T 代码等顺序动作信息,译码后转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床的相应开关动作;还能接受机床操作面板的指令,直接控制机床的动作。

用于数控机床的 PLC 一般分为两类:一类是数控系统生产厂家为实现数控机床的顺序控制,而将数控装置和 PLC 集成设计,称为内装型(或集成型)PLC,内装型 PLC 是数控装置的一部分;另一种是用 PLC 专业化生产厂家的 PLC 控制器来实现顺序控制功能,称为独立型(或外置型)PLC。

6. 输入/输出接口

进出 PLC 控制器的信号一般不能和机床电器直接连接,中间的过渡部分称为输入/输出接口。接口是连接数控装置和机床电器的桥梁,具体的功能包括模/数(数/模)转换、电平转换、光电隔离等。输入/输出接口和 PLC 的详细内容见第 4 章。

7. 位置检测装置

位置检测装置,通常安装在机床的工作台或电动机轴上,用来检测工作台的实际位移或电动机的实际转角。在闭环数控系统中这个实际的位移或转角要反馈给数控装置,由数控装置计算出实际位置或转角与指令位置或转角之间的差值,并根据这个差值的方向和大小控制机床,使之朝着减小误差的方向运动。位置检测装置的精度是影响数控机床加工精度的主要因素之一。位置检测装置的详细内容见第 5 章。

8. 机床本体

数控机床的本体指数控机床的机械部分。和普通机床相比,数控机床的机械部分有以下一些特点:

1) 数控机床机械部分结构简单,因而可以做得刚度较大,允许的切削用量通常较普通机床大。

2) 数控机床的导轨和丝杠要采取防止爬行的措施,以提高动态响应性能,如采用滚动导轨或塑料涂层导轨,一般采用滚珠丝杠。

3) 数控机床的机械传动链要尽量的短,齿轮传动副和丝杠螺母副要采取消除间隙措施,以减小传动误差,获得较好的动态性能。

4) 对加工精度要求较高的数控机床还应采取减小热变形、提高抗振性、变形补偿等提高机床加工精度的措施。

1.1.3 数控机床的特点

和普通机床比较,数控机床有下列一些优点:

1. 适应性强

由于市场对产品的需求逐渐趋向于多样化,实现单件、小批量产品的生产自动化是制造业的当务之急。以传统机床为主的制造系统中,要更换产品,往往要更换许多工装或设备,费时费力。由于数控机床的零件制造信息是记录在介质上的加工程序,所以更换零件时只要改变加工程序就可以在短时间内加工出新的零件。因而用数控机床作为制造装备生产准备周期短、灵活性强,为多品种小批量生产和新产品的研制提供了方便条件。

2. 加工精度高、质量稳定

普通机床是靠人工控制切削用量,靠不断地测量来保证加工精度的,因此工件的加工精度和操作者的技术水平有很大的关系。数控机床的切削用量是由加工程序指定,并且是由数控系统自动控制机床实现的,避免了人为的经验不足和操作失误以及每一次加工过程中参数控制的不一致。因此,数控机床能够达到较高的加工精度特别是加工精度的一致性。现代数控系统还可以利用控制软件补偿机床本身的系统误差、利用自适应控制消除各种随机误差,获得更高的加工精度。

3. 生产效率高、经济效益好

数控机床的主轴转速和进给量的变化范围较大,因而在每道工序中都能选用最佳的切削用量。另外数控机床的机械结构简单,刚性通常较大,可以使用较大的切削用量,而获得较高的生产率。数控机床的生产率高还因为它可以减少加工过程的辅助时间。对于复杂的零件可以用计算机辅助编程软件迅速编制加工程序;数控机床加工中通常使用较简单的夹具,减少了生产准备时间和工件装夹时间;尤其是使用带有刀具库和自动换刀装置的加工中心时,工件往往一次装夹就能完成多道工序的加工,减少了半成品的周转时间,生产率的提高更加明显。同时由于减少了样板、靠模和钻模板等专用工装的制造,也使生产成本降低了。

4. 减轻操作者的劳动强度、操作简单

数控机床是由程序控制机床工作的,操作者一般只需装卸工件和更换刀具并监督机床的运行,因而大大减轻了操作者的劳动强度,减少了对熟练技术工人的需求。

5. 有利于生产管理的现代化

用数控机床加工零件时,能准确计算零件的加工工时,并简化了检验、工装和半成品的管理工作,这些特点都有利于实现生产管理的现代化。

6. 具有故障诊断和监控能力

CNC 系统一般具有用软件查找故障的功能,数控系统的故障可以通过诊断程序自动查出来并显示在屏幕上,而且可以诊断出故障的种类,极大地提高了检修的效率。现代 CNC 系统还可以通过网络将数控机床的工作状态和故障信息传给远方的数控机床维修中心或生产厂家,帮助诊断一些疑难故障,在维修中心或生产厂家的指导下更快地修复数控机床。

但另一方面,数控机床在使用中也暴露出一些问题,主要有:

- 1) 造价较高,很多企业特别是小企业还无法接受。
- 2) 控制系统复杂,故障率高、调试和维修比较复杂。
- 3) 对编程人员的技术水平要求较高,应具有 CAD 和 CAM 方面的基础知识。

分析这些问题之后可知,数控系统的造价将随着技术的进步逐渐下降,最终会达到人们能够接受的程度。而后两个问题告诉我们,数控系统和机床的售后服务、操作人员的培训是数控技术推广应用中的重要环节,是需要我们共同努力来解决的问题。只有解决了这些问题,数控技术才能真正起到降低企业成本、提高经济效益和企业竞争能力的作用,数控技术本身才具有更广阔的发展前景。

机械工程实践对从事机械设计及制造工作的工程师们的数控技术能力提出了三方面的要求,即数控机床的合理选择、数控机床的正确使用、数控机床的优化设计。合理选择是指在选择加工设备的时候根据加工要求合理地选择数控机床的类型和技术参数;正确使用是指能够根据具体工件的加工要求,正确地编写零件加工程序,高效率地加工出合格的工件;优化设计是指能够了解数控机床设计的基本步骤,掌握关键的设计计算方法,能够设计一般的数控加工机械。帮助初学者尽快地入门,尽快地达到这三方面的要求,是编写这本教材的目的。

1.2 数控机床的分类

对数控机床可以从不同的角度进行分类,对不同的使用目的,可以用不同的分类方法。数控机床的结构不同,实现进给运动的方式也不同,有的是刀具运动,也有的是工件运动。为了叙述方便,以下提到进给运动时只讲刀具做进给运动的情况,也可以理解为刀具相对于工件的运动。

1.2.1 按照运动控制轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床只能够控制刀具进给运动的起点和终点的位置,而由起点到终点间的运动轨迹由系统设定,一般用于在移动过程中不进行任何加工的场合。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床在控制刀具进给运动的起点和终点位置的同时,还能够控制刀具沿着直线运动规律从起点运动到终点,而且在刀具从起点进给到终点的同时能够进行切削加工。这一类机床包括简易数控车床、数控铣床等。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床在控制刀具进给运动的起点和终点位置的同时,还能够控制刀具沿着指定的运动规律从起点运动到终点,而且在刀具从起点进给到终点的同时能够进行切削加工。这里的指定运动规律可能是直线、圆弧、二次曲线或样条曲线。轮廓控制数控机床的例子有数控铣床、可以加工复杂回转面的数控车床、加工中心等。现代数控机床绝大部分都能够控制一种以上的曲线运动规律。这种分类方法如图 1-3 所示。

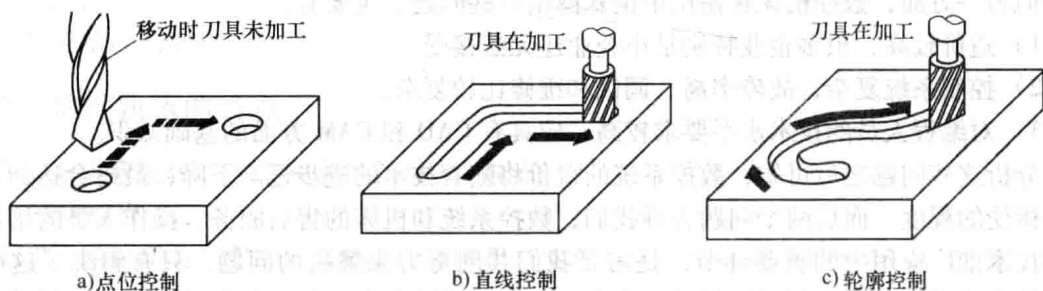


图 1-3 按照运动控制轨迹的数控机床分类方法

1.2.2 按照伺服系统的控制原理分类

1. 开环控制数控机床

这类数控机床没有检测反馈装置,数控装置发出的指令信号流程是单向的,其精度主要决定于伺服单元和伺服电动机及进给系统机械环节的性能,开环控制数控机床所用的电动机主要是步进电动机。这类机床性能比较稳定,调试方便,适用于经济型、中小型机床。图 1-4 为开环控制数控机床示意图。

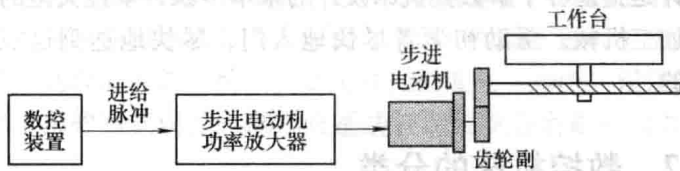


图 1-4 开环控制数控机床示意图

2. 闭环控制数控机床

这类机床的数控装置能够将数控装置发出的指令信号与表示工作台实际位置的反馈信号进行比较,根据其差值不断控制机床运动,进行误差修正,直至差值被消除为止。采用闭环控制的数控机床理论上可以消除传动件制造误差给加工过程带来的影响,从而获得很高的加工精度。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,直接影响伺服系统的调节参数,闭环系统的设计和调整都有较大的难度,设计或调整的不好,容易造成系统的不稳定。闭环控制数控机床主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、精密磨床等。图 1-5 为闭环控制数控机床示意图。

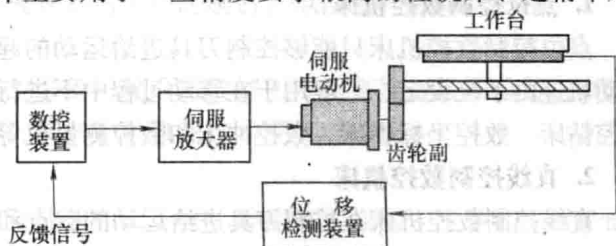


图 1-5 闭环控制数控机床示意图

3. 半闭环控制数控机床

大多数数控机床采用半闭环控制系统,它的检测装置装在电动机或丝杠的端部。这种系统的闭环环路内不包括机械传动环节,因此可以获得稳

定的控制特性。如果采用高分辨率的测量元件, 又可以获得比较满意的精度与速度。图 1-6 为半闭环控制数控机床示意图。

1.2.3 按照系统的功能水平分类

数控系统的水平决定数控机床的水平, 按功能水平可以把数控系统分为高级型、普及型和经济型 3 种。这种分类方法没有明确的定义和确切的界限。通常可以用下列指标作为参考条件: 主 CPU 档次、分辨率和进给速度、联动轴数、通信功能、显示功能等。

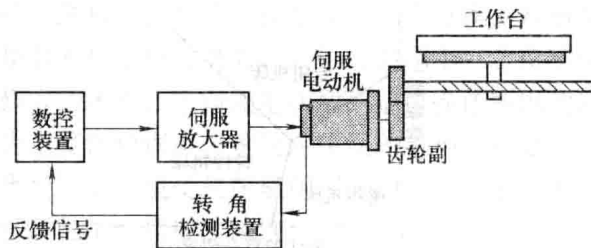


图 1-6 半闭环控制数控机床示意图

1. 高级型数控系统

高级型数控系统一般采用 32 位或更高性能的 CPU, 联动轴数在 5 轴以上, 分辨率 $\leq 0.1\mu\text{m}$, 进给速度一般 $\geq 24\text{m/min}$ (分辨率 $1\mu\text{m}$ 时) 或 $\geq 10\text{m/min}$ (分辨率 $0.1\mu\text{m}$ 时), 采用数字化交流伺服驱动, 具有 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 等高性能通信接口, 有联网功能, 具有三维动态图形显示功能。

2. 普及型数控系统

普及型数控系统一般采用 16 位或更高性能的 CPU, 联动轴数在 5 轴以下, 分辨率 $1\mu\text{m}$, 进给速度 $\leq 24\text{m/min}$, 采用交、直流伺服驱动, 具有 RS-232 或 DNC 通信接口, 有 CRT 字符显示和图形显示功能。

3. 经济型数控系统

经济型数控系统一般采用 8 位或 16 位单片机系统作为数控装置, 联动轴数在 3 轴以下, 分辨率 $10\mu\text{m}$, 进给速度为 $6 \sim 8\text{m/min}$, 采用步进电动机驱动, 具有简单的 RS-232 通信功能, 用数码管或简单 CRT 显示字符。

1.3 数控机床的选型

数控机床的选型包括两方面的问题: 首先是什么情况下应该选择数控机床作为加工设备, 然后是应该选择什么型号的数控机床。

1.3.1 机床类型的选择

金属切削机床按照其自动化程度和适用范围, 可以分为通用机床、专用机床和数控机床 3 大类, 每一种类型的机床有其特定的应用范围。图 1-7 定性表明了 3 种机床的适用范围。

图 1-7a 说明数控机床主要适用于中等批量且零件复杂程度较高的情况, 这是因为对于简单零件, 如果批量很小, 编写零件加工程序占用的时间较多, 浪费工时, 而零件批量很大时又不需要经常变换零件加工程序, 这两种情况下都不能充分发挥数控机床的优越性, 因此应该选用通用机床或专用机床。图 1-7b 所示为随着生产批量的提高, 采用通用机床、专用机床和数控机床加工时, 生产成本的增加情况。综合图 1-7a、b 的情况可见, 在多品种、中小批量且零件复杂程度较高时, 选用数控机床才能获得较高的经济效益。需要强调的是, 以

上只是定性的说明。一般地说,随着技术水平的提升,数控机床的普及,越来越多的比较简单的零件也开始选用数控机床作为加工设备,即图 1-7a 中的曲线会向左移。

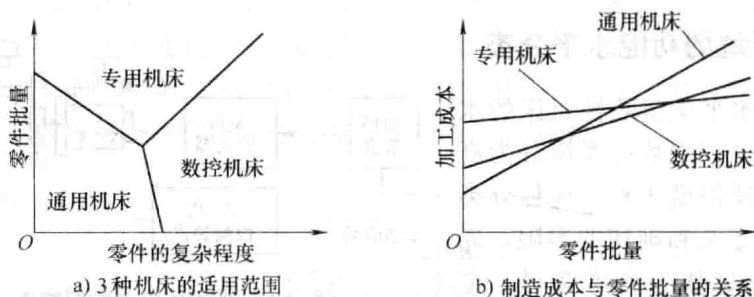


图 1-7 3 种机床的适用范围

1.3.2 数控机床性能参数及其选择

当确定了选择数控机床作为加工设备后,接下来的便是应该选择什么型号的数控机床的问题。数控机床型号的选择,实际上是选择数控机床的性能参数。下面简要介绍数控机床的性能参数及其选择原则。

1. 控制轴数和联动轴数

控制轴数是指数控机床所配备的数控装置能够控制的独立运动的进给运动轴数,包括移动进给轴和回转进给轴。通常用 X 、 Y 、 Z 表示 3 个相互垂直的移动进给轴, A 、 B 、 C 分别表示绕 X 、 Y 、 Z 回转的进给轴。联动轴数是指控制轴数中可按一定的规律同时协调运动的进给轴数。联动轴数与控制轴数是两个不同的概念,一台数控机床的联动轴数可能小于或等于控制轴数。联动轴数越多,说明数控装置加工复杂空间曲面的能力越强,当然编程也越复杂。

数控机床的控制轴数和联动轴数应该按照机床的类型和所加工零件的要求选择。例如车床一般是两轴两联动,而铣床控制轴数一般是 3~5 轴,根据加工零件的复杂程度不同,联动轴数可以是 2~5 轴。

2. 插补功能

插补功能是指直线控制和轮廓控制的数控机床所配备的数控装置能够按照什么样的运动规律协调控制多个进给轴的运动。简单的数控装置只能实现直线和圆弧插补,高档的数控装置除直线和圆弧外还可能具有抛物线、螺旋线、样条函数等复杂曲线或曲面的插补功能。插补运动所在坐标系也从直角坐标系扩展到极坐标系、圆柱坐标系等。

插补功能越多,说明机床所配备的数控装置的运算速度越快。插补功能应按照零件的加工要求选,对于一般的车、铣加工,只要求具有直线和圆弧插补功能即可,而对某些有特殊要求的复杂曲面,则要求数控装置具有样条插补等高级插补功能。

3. 脉冲当量

脉冲当量是指若不考虑机械传动误差,机床数控装置每发出一个进给脉冲,刀具沿相应的进给运动方向应该移动的距离。脉冲当量与机床数控装置的运算精度和数控机床机械部分的传动比有关,反映了数控机床的加工精度,也称为控制分辨率。一般地说,脉冲当量越小,数控机床的加工精度越高。

数控机床的脉冲当量按照零件的加工精度选,一般为所加工零件公差带的 $1/5 \sim 1/10$ 。

4. 定位精度和重复定位精度

定位精度指刀具实际位置与指令位置的一致程度,用定位误差表示,定位误差是指在一次定位操作中系统达到稳定状态以后实际位置和指令位置之差。定位误差越小,定位精度越高。重复定位精度指在相同的条件下,操作方法不变,进行规定次数的定位操作所得到的刀具实际位置的一致程度,其最大不一致量为重复定位误差。重复定位误差越小,重复定位精度越高。定位精度和重复定位精度与脉冲当量有关,也受机床机械部分的传动精度影响,是影响零件加工精度的重要指标,一般按照零件的加工精度要求选。

5. 行程

行程表示机床数控装置能够控制的刀具或工作台的进给运动范围。行程的大小反映了数控装置内部数据位数的多少。行程应根据所加工零件的尺寸大小选择。

6. 主轴转速和进给速度及其调节范围

主轴转速和进给运动速度范围根据加工所需要的主运动速度和进给速度选择。大部分机床操作面板上设计有倍率调节旋钮,可以在程序给定的主轴转速和进给速度基础上手动调节。

7. 数控机床的指令系统

数控机床的指令系统是指数控机床能够识别并执行的数控指令的集合,数控指令以控制字为单位,一般分为准备功能、辅助功能、刀具功能等几类,以不同的字地址来区别。例如准备功能的字地址为 G,辅助功能的字地址为 M。一般来说,机床能够识别和执行的数控指令越多,功能就越强。数控机床的指令系统的选择以满足零件的加工要求为原则。

8. 程序的编辑、管理和控制功能

程序的编辑功能是指用什么样的方式输入和修改零件加工程序,编辑功能越灵活,用户使用越方便。程序的管理功能是指零件加工程序的数量、每条程序的长度以及程序调用方式等以程序为单位的操作功能,主要取决于数控装置的存储器容量。程序控制功能是指对程序运行方式的控制,例如分段执行功能、加工仿真功能、辅助功能屏蔽等,控制功能越丰富,机床的运行越灵活。

9. 误差补偿功能

加工过程中,机械传动链中的各种误差,会导致实际加工出的零件尺寸和程序指定的尺寸不一样,造成加工误差。现代数控装置中一般具有反向间隙补偿和螺距误差补偿功能,把相应的误差补偿量输入数控装置指定的存储地址中,数控装置就能按误差补偿量修正刀具的位置坐标,可以保证在机床机械部分存在误差的情况下,仍能加工出符合要求的零件。

10. 加减速控制功能

为保证机床工作台在起动、停止或速度改变时不产生冲击、丢步、超程或振荡,必须对送到伺服电动机的进给脉冲频率或电压的变化幅度进行控制。具体方法是在电动机起动、停止或速度大幅度变化时,控制加在伺服电动机上的进给脉冲频率或电压使之逐渐地变化。具有加减速控制功能的数控机床能够平稳地实现较高的进给速度。加减速控制的方法不同,工作台运动的平稳程度和能够实现的最高速度也不同。

11. 逻辑控制功能

逻辑控制功能是指机床数控装置控制机床上开关量的方法、数量及开关量接口形式。数

控机床上开关量的控制方法有内置 PLC 和独立 PLC 两种方法, 当要控制的开关量个数较少时, 可以选用内置式 PLC。开关量接口指机床上的开关量连接到数控装置的方式, 要注意数控装置说明书中接口信号的连接说明。这项功能只在选择数控装置时才需要考虑。

12. 通信方式

机床数控系统中可能用到的通信方式有: RS-232 接口用于数控机床之间或数控机床和计算机之间离线传输信息, DNC 接口用于上位机和数控机床之间实时传送零件加工程序, MAP 接口用于将数控机床联入工厂的通信网络, 以适应 FMS、CIMS 的要求。现代计算机数控系统还支持 TCP/IP 协议, 可以直接连入互联网。

13. 故障诊断功能

数控机床的故障诊断功能有在线诊断、离线诊断和远程诊断 3 种方式: 在线诊断指数控机床在运行过程中发现故障, 给出提示; 离线诊断指数控机床运行独立的故障诊断程序, 发现问题; 远程诊断是指数控机床通过互联网直接和机床生产厂家互通信息, 发现并消除故障。

以上性能指标可以作为选择数控机床或数控装置时参考。随着数控技术的发展, 数控机床和数控装置的功能不断丰富, 性能不断提高。一般来说, 功能的丰富也伴随着价格的提高, 所以对用户来说并不一定要一味地追求高性能, 而应该根据自己的实际需要, 综合考虑性能和价格因素, 做出经济实用的选择。

1.4 数控技术的发展

1.4.1 数控技术的产生和发展历程

1952 年, 美国麻省理工学院为解决复杂零件的自动化加工问题, 研制成功世界上第一台三轴联动, 利用脉冲乘法器原理的试验性数字控制系统, 并把它装在一台立式铣床上。它的控制装置由大约 2000 个电子管组成, 体积约有一间普通教室那么大。尽管现在看来这套控制系统体积庞大、功能简单, 但它在制造技术的发展史上却有着划时代的意义, 它标志着机床数字控制时代的开始。

数控技术是机械技术和电子技术相结合的产物, 因此机械技术、电子技术特别是计算机技术的每一点进步都在推动数控技术向前发展。1959 年, 晶体管元件的出现使电子设备的体积大大减小, 数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板, 数控技术的发展进入第二代。1965 年, 出现了集成电路并被用于数控系统, 它体积小、功耗低, 使数控系统的可靠性得以进一步提高, 被称为第三代数控系统。以上三代数控系统中, 所有功能都是靠硬件实现的, 灵活性差、可靠性难以进一步提高, 现在我们称之为硬件数控 (NC)。

1970 年, 在美国芝加哥国际机床展览会上, 首次展出了一台以通用小型计算机作为数控装置的数控系统。这样的数控系统的最大特征是, 许多数控功能可以由软件来实现, 系统变得灵活、通用性好, 被称为第四代数控系统。第四代数控系统的意义在于开创了计算机数控系统 (CNC) 的新时代, 但是由于成本等方面的原因, 发展缓慢, 实际应用不多。1974 年开始出现的以微处理器为核心的数控系统使计算机数控技术的发展突飞猛进, 获得了广泛的应用, 被人们誉为第五代数控系统。这主要是微处理器实现了计算机核心部件的高度集

成,不但可靠性高、功能强、速度快,而且价格便宜,满足了数控系统的特殊要求。30多年来,装备微处理器数控系统的数控机床得到飞速发展和广泛应用。

20世纪80年代,微处理器完成了由16位向32位的过渡,通用化的个人计算机(Personal Computer, PC)发展迅速,开始在全世界范围内普及应用。PC进入数控技术领域,产生了基于PC的数控系统,也称为第六代数控系统。PC数控是自数控技术诞生以来最具深远意义的一次飞越。它和第五代数控系统的最大不同之处在于,PC数控系统的硬件及软件平台是完全通用的,可以毫无障碍地借鉴PC的全部资源和最新发展成果,使计算机数控技术的发展走上了更加坚实、宽广、快速的道路。

数控技术经过50多年的发展,从控制单机到生产线以至整个车间、整个工厂。目前数控系统的平均故障率已经下降到0.01次/(月·台),平均无故障时间已达到100个月,数控系统的性能大大提高。以FANUC公司为例,1991年开发成功的FS15系统与1971年开发的FS220系统相比,体积减小了90%,加工精度提高了10倍,加工效率提高了20倍,可靠性提高了30倍以上。数控技术的发展推动了数控机床的发展,目前全世界约有100万台数控机床,占机床总数的7%。数控技术的水平和机床的数控化率已经成为衡量一个国家制造业水平的标志之一,数控技术作为先进制造技术的基础和关键技术,也推动着制造自动化技术的快速发展。与此同时,人们已经在构思和开发下一代数控技术产品。

伴随着世界上数控技术前进的脚步,中国的数控技术及数控机床产业也取得了令人鼓舞的成就。“十五”期间,国家投入研发资金5.42亿元,先后开展了20种技术难度较大、进口价格很高、以及对我国限制进口的“高精尖”大型数控设备的研制;通过竞争择优支持了一批中档数控机床和数控系统生产基地的产业化支撑技术研究;开展了数控系统与伺服驱动技术、高速主轴等关键功能部件研究以及可靠性增长技术、工业造型等一批基础共性技术的研究与应用。“十一五”期间开始的“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项是《国家中长期科学和技术发展纲要2006—2020》规定的16项重大科技专项之一。该项目集中国内主要高校和机床企业,对制约我国高档数控机床的关键和共性技术及重大技术装备展开研究。这些项目的实施,已经取得了阶段性成果。目前制约我国数控机床产业快速发展的主要问题是,缺少关键功能部件专业化生产和社会化配套体系,中高档数控机床的技术水平距世界先进水平还有较大的差距。要提高数控机床的整体技术水平还要开展大量的研究和开发工作。

1.4.2 数控技术的发展趋势

随着微电子技术和计算机技术的发展,数控系统的性能日益完善,数控技术的应用领域日益扩大;不同的应用领域对数控技术提出的新的使用要求,又促进了数控技术的发展。总的发展趋势可以归纳为高速高精度、智能化、开放式、网络化、提高可靠性和数控装备的复合化等几个方面。

1. 高速高精度

数控机床的高速化指主轴转速和进给速度的提高,高速度既可以提高机床的金属切除率,减少切削时间,又能改善切屑形成过程,减少刀具的每齿进给量,有助于提高加工精度。图1-8是德国BMW公司用硬质合金刀具加工钢件时加工精度随切削速度和进给速度而提高的情况。1993年以后逐步推广使用的直线电动机直接驱动新技术,使加工中心的快速

进给速度比用滚珠丝杠副驱动时又提高了一倍。提高主轴转速和进给速度带来的负面影响是机床的刚度要求高,测量系统的热变形和位置控制的跟随误差加大。因此要实现高速度,必须采取相应的机械、控制和测量技术消除这些负面影响。统计结果表明,中型加工中心的主轴最高转速和最大进给速度,大致持续地以每10年增长1倍的速度提高,快速进给速度和自动换刀速度基本上以每12~15年同样增长1倍的速度增长。

产品的加工精度直接决定了它的使用性能、寿命、能耗和噪声等,因此,数控机床的高精度化是市场需求和技术发展的必然结果。20世纪80年代至2002年的统计结果表明,国内外先进水平的数控机床的加工精度,平均每年提升10%,每隔8年加工误差约减小一半,如图1-9所示。

2. 智能化

数控系统和数控装备的智能化,不仅有助于减轻操作者的劳动强度,而且能够提高数控加工的质量和效率。因而智能化是数控技术发展的重要方向之一,主要体现在以下几个方面:

(1) 智能化适应控制 通常的数控系统只能按照预先编好的程序工作,考虑到加工过程中的不确定因素,如毛坯尺寸和硬度的变化、刀具的磨损状态变化等,编程中一般采用比较保守的切削用量,从而降低了加工效率。具备自适应控制功能的数控系统可以在加工过程中随时测量主轴转矩、功率、切削力、切削温度、刀具磨损等参数,并根据测量结果,实时调整主轴转速和进给量的大小,确保加工过程处于最佳状态。

(2) 智能化编程 有了高性能的数控机床以后,高质量、高效率地编制零件加工程序就成了提高数控加工效率的关键问题。数控编程技术经历了手工编程、数控语言编程和图形编程几个阶段,编程的效率和质量不断提高,同时也降低了对编程人员技术水平要求。智能化编程一般是指在数控系统软件和编程软件中,嵌入专家系统,建立专家知识库和工艺数据库,从而实现自动选择刀具、合理计算切削用量、确定最佳走刀路线,实现加工过程最优化,提高加工质量和效率。

应用图像处理和计算机视觉技术,使数控机床能够根据零件的一幅或几幅图像,自动提取三维信息,进而生成零件加工程序,加工出合格工件,就像给机床装上“眼睛”一样。这也是数控编程智能化的体现,称为实物映射加工。

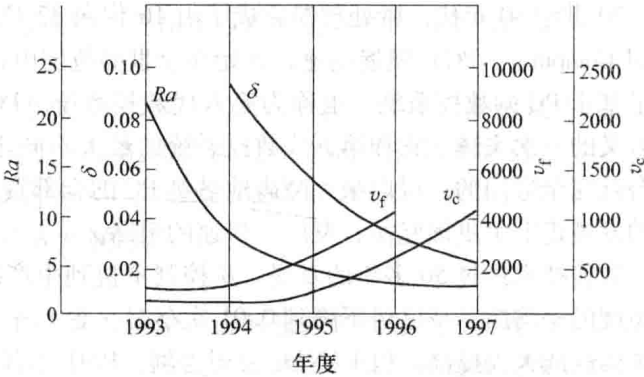


图 1-8 数控机床的高速化对加工质量的影响
 Ra —表面粗糙度(μm) δ —加工误差(μm) v_f —进给速度(mm/min) v_c —切削速度(m/min)

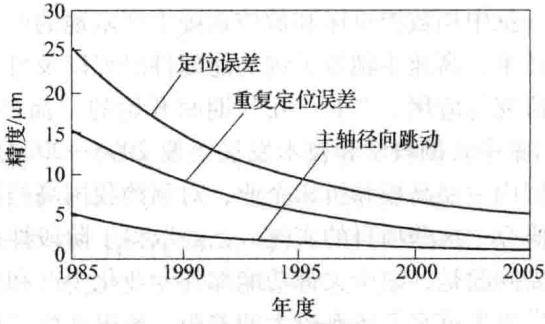


图 1-9 数控机床加工精度的提高历程