

SHUKONG JIAGONG JISHU

LISHI YITIHUA JIAOCAI

高职高专教育“十二五”机械类规划教材

GAOZHI GAOZHUAN JIAOYU SHIERWU JIXIELEI GUIHUA JIAOCAI

数控加工技术

——理实一体化教材

● 主 编 \ 姜善涛 赵 明

● 副主编 \ 余 娟 刘风景



西南交通大学出版社

<http://press.swjtu.edu.cn>

高职高专教育“十二五”机械类规划教材

数控加工技术

——理实一体化教材

主 编 姜善涛 赵 明

副主编 余 娟 刘凤景

参 编 王 琳 邹 鹏 王传俊

于 洋 初钧亮 邹仁平

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

数控加工技术—理实一体化教材 / 姜善涛, 赵明主编.
—成都: 西南交通大学出版社, 2012.1
高职高专教育“十二五”机械类规划教材
ISBN 978-7-5643-1583-2

I. ①数… II. ①姜… ②赵… III. ①数控机床—加工—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 275803 号

高职高专教育“十二五”机械类规划教材

数控加工技术

——理实一体化教材

主编 姜善涛 赵明

责任编辑	李芳芳
特邀编辑	罗在伟
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川锦祝印务有限公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	14.25
字 数	353 千字
版 次	2012 年 1 月第 1 版
印 次	2012 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1583-2
定 价	26.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

高职高专的专业课程改革已经迫在眉睫，急需由原来的课堂教学法向项目教学法转变。教学中要突出技术能力的培养，此教学改革代表了当今社会需求的高等职业教育的改革方向。“数控加工技术”作为“数控技术应用”的一门主干课程，改变教学方法已势在必行。本教材是根据教学大纲的要求，为高等职业学校数控技术应用专业及机电类专业而编写的，是“高职高专教育‘十二五’机械类规划教材”之一。

本教材的编写从培养高等职业技术型人才的目出发，介绍了数控设备方面的基本内容和基本知识及各类常用数控设备的编程方法、宏程序的基本编程方法。本教材着重点在培养学生的自学能力和团队配合能力。学生根据任务引导及每项目参考资料自我学习并解决项目拓展的学习任务。本教材共分为两个模块，内容包括：基础知识、数控车程序编制模块；数控铣程序编制模块。摒弃了特种加工等不适用、不常用的知识点。着重培养学生数控车、铣等常用机床的操作及编程方法。可按模块、按项目组织教学，以适应当前的多种形式、不同层次的办学需要。

本教材由烟台汽车工程职业学院的姜善涛、赵明主编。其中模块一的第一、二项目、模块二的第一项目由刘风景老师编写；第一模块的其余部分由余娟老师编写；模块二的其余部分由赵明老师编写。王琳、王传俊等老师为本教材后期成稿给予了很大的帮助。本书由姜善涛担任主审。在评稿会上，烟台鸿雁机床有限公司的娄镜浩副总经理、实训中心于洋等老师都提出了宝贵意见，在此深表感谢。

鉴于编者水平有限，本教材难免有不妥之处，敬希读者指正。

编 者

于烟台汽车工程职业学院

2011 年 11 月

目 录

模块一 数控机床基础知识及程序编制	1
项目一 数控机床基础	1
项目二 数控车床的基本认知与操作	22
项目三 圆弧插补	40
项目四 内外径单一固定循环项目	50
项目五 内外径粗车固定复合循环项目	63
项目六 端面粗加工复合固定循环项目	76
项目七 固定形状粗加工复合固定循环项目	87
项目八 螺纹加工项目	98
项目九 综合轴类零件加工项目	109
模块二 数控铣床基础知识及程序编制	116
项目一 数控铣床的基本认知	116
项目二 图形加工项目	142
项目三 分层铣削的宏程序编制	153
项目四 平面加工与子程序	163
项目五 外轮廓加工与刀具补偿	172
项目六 型腔加工与坐标旋转	183
项目七 公式曲线宏程序编程	193
项目八 球面宏程序编程	205
项目九 数控铣床综合件练习	216
参考文献	221

数控机床基础知识 及程序编制

项目一 数控机床基础

一、项目目标

- 了解数控技术的发展史以及数控机床的分类。
- 了解数控机床基本的结构和工作原理。
- 了解数控机床性能与加工之间的关联。

二、项目准备

（一）数控机床的产生与发展

随着社会生产和科学技术的不断进步，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，特别是宇航、航海、军事等领域所需的机械零件，精度要求更高、形状更为复杂且往往批量较小，加工这类产品需要经常改装或调整设备，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，生产企业也迫切需要进一步提高生产效率，提高产品质量及降低生产成本。在这种背景下，一种新型的生产设备——数控机床——就应运而生了，它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量及新型机械结构等多方面的技术成果，构建了今后机械工业的基础并指明了机械制造工业设备的发展方向。

1. 数控机床的产生

数控机床的研制最早是从美国开始的。1948年，美国帕森斯公司（Parsons Co.）在完成研制加工直升机桨叶轮廓用检查样板的加工机床任务时，提出了研制数控机床的初步设想。1949年，在美国空军后勤部的支持下，帕森斯公司正式接受委托，与麻省理工学院伺服机构

实验室 (Servo Mechanism Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology) 合作, 开始了数控机床的研制工作。经过 3 年的研究, 世界上第一台数控机床试验样机于 1952 年试制成功。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制系统铣床, 其数控系统全部采用电子管元件, 其数控装置体积比机床本体还要大。后来经过 3 年的改进和自动编程研究, 该机床于 1955 年进入试用阶段。此后, 其他一些国家 (如德国、英国、日本、苏联和瑞典等) 也相继开展数控机床的研制开发和生产。1959 年, 美国克耐·杜列克公司 (Keaney & Trecker) 首次成功开发了加工中心 (Machining Center), 这是一种有自动换刀装置和回转工作台的数控机床, 可以在一次装夹中对工件的多个平面进行多工序的加工。但是, 直到 20 世纪 50 年代末, 由于价格和其他因素的影响, 数控机床仅限于航空、军事工业应用, 品种也多为连续控制系统。直到 20 世纪 60 年代, 由于晶体管的应用, 数控系统进一步提高了可靠性且价格下降, 一些民用工业开始发展数控机床, 其中多数为钻床、冲床等点定位控制的机床。数控技术不仅在机床上得到实际应用, 而且逐步推广到焊接机、火焰切割机等, 使数控技术应用范围不断得到扩展。

2. 数控机床的发展概况

自 1952 年美国研制成功第一台数控机床以来, 随着电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量等技术的发展, 数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代, 先后经历了 5 个发展阶段。

第 1 代数控机床: 1952—1959 年采用电子管元件构成的专用数控装置 (Numerical Control, NC)。

第 2 代数控机床: 从 1959 年开始采用晶体管电路的 NC 系统。

第 3 代数控机床: 从 1965 年开始采用小、中规模集成电路的 NC 系统。

第 4 代数控机床: 从 1970 年开始采用大规模集成电路的小型通用电子计算机控制的系统 (Computer Numerical Control, CNC)。

第 5 代数控机床: 从 1974 年开始采用微型计算机控制的系统 (Microcomputer Numerical Control, MNC)。

近年来, 微电子和计算机技术日益成熟, 其成果正不断渗透到机械制造的各个领域, 先后出现了计算机直接数控 (DNC) 系统、柔性制造系统 (FMS) 和计算机集成制造系统 (CIMS)。这些高级的自动化生产系统均以数控机床为基础, 它们代表着数控机床今后的发展趋势。

1) 计算机直接数控系统

所谓计算机直接数控 (Direct Numerical Control, DNC) 系统, 即使用一台计算机为数台数控机床进行自动编程, 编程结果直接通过数据线输送到各台数控机床的控制箱。中央计算机具有足够的内存容量, 因此可统一存储、管理与控制大量的零件程序。利用分时操作系统, 中央计算机可以同时完成一群数控机床的管理与控制, 因此也称它为计算机群控系统。

目前 DNC 系统中的各台数控机床都有各自独立的数控系统, 并与中央计算机连成网络, 实现分级控制, 而不再考虑让一台计算机去分时完成所有数控装置的功能。

随着 DNC 技术的发展, 中央计算机不仅用于编制零件的程序以控制数控机床的加工过

程,而且进一步控制工件与刀具的输送,形成了一条由计算机控制的数控机床自动生产线,它为柔性制造系统的发展提供了有利条件。

2) 柔性制造系统

柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)也叫做计算机群控自动线,它是将一群数控机床用自动传送系统连接起来,并置于一台计算机的统一控制之下,形成一个用于制造的整体。其特点是由一台主计算机对全系统的硬、软件进行管理,采用 DNC 方式控制两台或两台以上的数控加工中心机床,对各台机床之间的工件进行调度和自动传送;利用交换工作台或工业机器人等装置实现零件的自动上料和下料,使机床每天 24 小时均能在无人或极少人的监督控制下进行生产。如日本 FANUC 公司有一条 FMS 由 60 台数控机床、52 个工业机器人、两台无人自动搬运车、一个自动化仓库组成,这个系统每月能加工 10 000 台伺服电机。

3) 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS),是指用最先进的计算机技术,控制从订货、设计、工艺、制造到销售的全过程,以实现信息系统一体化的高效率的柔性集成制造系统。它是在生产过程自动化(例如计算机辅助设计、计算机辅助工艺规程设计、计算机辅助制造、柔性制造系统等)的基础上,结合其他管理信息系统的发展逐步完善的,有各种类型计算机及其软件系统的分析、控制能力,可把全厂的生产活动联系起来,最终实现全厂性的综合自动化。

3. 我国数控机床发展概况

我国从 1958 年开始由北京机床研究所和清华大学等单位首先研制数控机床,并试制成功第一台电子管数控机床。从 1965 年开始研制晶体管数控系统,直到 20 世纪 60 年代末至 70 年代初,研制的劈锥数控铣床、非圆插齿机等获得成功。与此同时,还开展了数控铣床加工平面零件自动编程的研究。1972—1979 年是数控机床的生产和使用阶段,例如清华大学成功研制了集成电路数控系统;在车、铣、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域开始研究和应用数控技术;数控加工中心机床研制成功;数控升降台铣床和数控齿轮加工机床开始小批生产供应市场。从 20 世纪 80 年代开始,随着改革开放政策的实施,我国先后从日本、美国、德国等国家引进先进的数控技术。如北京机床研究所从日本 FANUC 公司引进 FANUC3、FANUC5、FANUC6、FANUC7 系列产品的制造技术;上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统等。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,北京机床研究所又开发出 BSO3 经济型数控系统和 BSO4 全功能数控系统,航空航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统等。到“八五”末期,我国数控机床的品种已有 200 多个,产量已经达到年产 10 000 台的水平,是 1980 年的 500 倍。我国数控机床在品种、性能以及控制水平上都有了新的飞跃,数控技术已经进入了一个继往开来的发展阶段。

4. 数控机床的发展趋势

从数控机床的技术水平看,高精度、高速度、高柔性、多功能和高自动化是数控机床的重要发展趋势。对单台主机不仅要求提高其柔性和自动化程度,还要求具有更高层次的柔性

制造系统和计算机集成系统的适应能力。我国国产数控设备的主轴转速已达 10 000~40 000 r/min，进给速度达到 30~60 m/min，换刀时间 $t < 2.0$ s，表面粗糙度 $Ra < 0.008 \mu\text{m}$ 。

在数控系统方面，目前世界上几个著名的数控装置生产厂家，诸如日本的 FANUC 公司、德国的 SIEMENS 公司和美国的 A-B 公司，其产品都在向系列化、模块化、高性能和成套性方向发展。它们的数控系统都采用了 16 位和 32 位微处理器，标准总线及软件模块和硬件模块结构，内存容量扩大到了 1 MB 以上，机床分辨率可达 $0.1 \mu\text{m}$ ，高速进给速度可达 100 m/min，控制轴数可达 16 个，并采用先进的电装工艺。

在驱动系统方面，交流驱动系统发展迅速。交流驱动已由模拟式向数字式方向发展，以运算放大器模拟器件为主的控制器正被以微处理器为主的数字集成元件所取代，从而克服了零点漂移、温度漂移等弱点。

(二) 数控机床的概念及组成

1. 数控机床的概念

数控技术是 20 世纪中期发展起来的机床控制技术。数字控制 (Numerical Control, NC) 是一种自动控制技术，是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

数控机床 (NC Machine) 就是采用了数控技术的机床，或者说是装备了数控系统的机床。它是一种综合应用计算机技术、自动控制技术、精密测量技术、通信技术和精密机械技术等先进技术的典型的机电一体化产品。

国家信息处理联盟 (International Federation of Information Processing, 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和其他符号编码指令规定的程序。

2. 数控机床的组成

数控机床的种类很多，但任何一种数控机床都是由控制介质、数控系统、伺服系统、辅助控制系统和机床本体等若干基本部分组成，如图 1-1-1 所示。

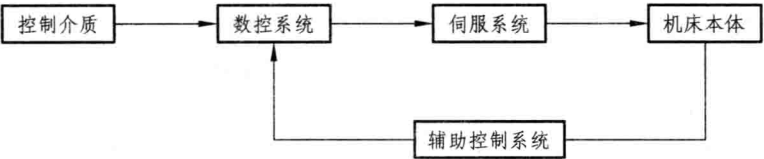


图 1-1-1 数控机床的组成

1) 控制介质

数控系统工作时，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即称为控制介质。在控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件位移信息，因此，控制介质就是将零件加工信息传送到数控装置去的信息载体。控制介质有多种形式，它随着数控装置类型的不同而不同，常用的有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘和 USB 接口介质等。控制介质上记载的加

工信息要经过输入装置传送给数控装置，常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机、磁盘驱动器和 USB 接口等。

除了上述几种控制介质外，还有一部分数控机床采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接输入程序和数据。另外，随着 CAD/CAM 技术的发展，有些数控设备利用 CAD/CAM 软件在其他计算机上编程，然后通过计算机与数控系统通信（如局域网），将程序和数据直接传送给数控装置。

2) 数控系统

数控装置是一种控制系统，是数控机床的中心环节。它能自动阅读输入载体上事先给定的数据，并将其译码，从而使机床进给并加工零件。数控系统通常由输入装置、控制器、运算器和输出装置 4 部分组成，如图 1-1-2 所示。

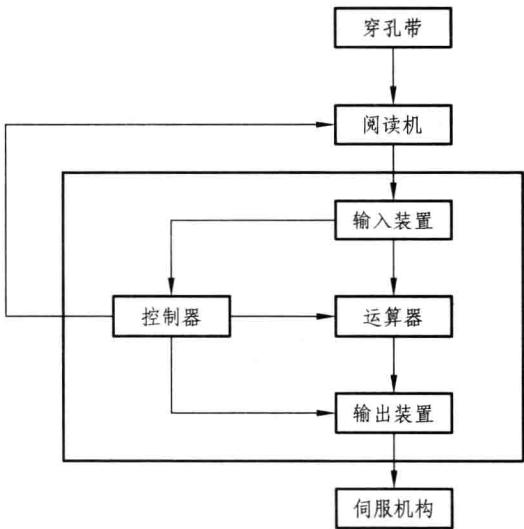


图 1-1-2 数控装置结构

输入装置接受由穿孔带阅读机输出的代码，经识别与译码之后分别输入到各个相应的寄存器，这些指令与数据将作为控制与运算的原始数据。控制器接受输入装置的指令，根据指令控制运算器与输入装置，以实现对机床的各种操作（如控制工作台沿某一坐标轴的运动、主轴变速和冷却液的开关等）以及控制整机的工作循环（如控制阅读机的启动或停止、控制运算器的运算和控制输出信号等）。

运算器接受控制器的指令，将输入装置送来的数据进行某种运算，并不断向输出装置送出运算结果，使伺服系统执行所要求的运动。对于加工复杂零件的轮廓控制系统，运算器的重要功能是进行插补运算。所谓插补运算就是将每个程序段输入的工件轮廓上的某起始点和终点的坐标数据送入运算器，经过运算之后在起点和终点之间进行“数据密化”，并按控制器的指令向输出装置送出计算结果。

输出装置根据控制器的指令将运算器送来的计算结果输送到伺服系统，经过功率放大驱动相应的坐标轴，使机床完成刀具相对工件的运动。

目前均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元（CPU）又称微处理器，是一种大规模集成电路。它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片中。在微型计算

机中,输入与输出电路采用大规模集成电路,即所谓的 I/O 接口。微型计算机拥有较大容量的寄存器,并采用高密度的存储介质,如半导体存储器和磁盘存储器等。存储器可分为只读存储器 (ROM) 和随机存取存储器 (RAM) 两种类型,前者用于存放系统的控制程序,后者存放系统运行时的工作参数或用户的零件加工程序。微型计算机数控装置的工作原理与上述硬件数控装置的工作原理相同,只是前者采用通用的硬件,不同的功能通过改变软件来实现,因此更为灵活与经济。

3) 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,它是数控系统的执行部分。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求带动机床本体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。指令信息是脉冲信息的体现,每个脉冲使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量。机械加工中一般常用的脉冲当量为 0.01 mm/脉冲、0.005 mm/脉冲、0.001 mm/脉冲,目前所使用的数控系统脉冲当量一般为 0.001 mm/脉冲。

伺服系统是数控机床的关键部件,它的好坏直接影响着数控加工的速度、位置、精度等。伺服机构中常用的驱动装置,随数控系统的不同而不同。开环系统的伺服机构常用步进电机和电液脉冲马达;闭环系统常用宽调速直流电机和电液伺服驱动装置等。

4) 辅助控制系统

辅助控制系统是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的强电控制装置。它接受数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号,经过必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,以完成各种规定的动作。此外,有些开关信号经过辅助控制系统传输给数控装置进行处理。

5) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,由机床的基础大件(如床身、底座)和各种运动部件(如工作台、床鞍、主轴等)组成。它是完成各种切削加工的机械部分,是在普通机床的基础上改进而成的。机床本体具有以下特点:

数控机床采用了高性能的主轴与伺服传动系统、机械传动装置。

数控机床机械结构具有较高的刚度、阻尼精度和耐磨性。

更多采用了高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨。

与传统的手动机床相比,数控机床的外部造型、整体布局,传动系统与刀具系统的部件结构及操作机构等方面都发生了很多变化。这些变化是为了满足数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点,因此,必须建立数控机床设计的新概念。

(三) 数控机床的种类与应用

当前数控机床的品种很多,结构、功能各不相同,通常可以按下述方法进行分类。

1. 按机床运动轨迹进行分类

按机床运动轨迹不同,可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

1) 点位控制数控机床

点位控制 (Positioning Control) 又称为点到点控制 (Point to Point Control)。刀具从某一位置向另一位置移动时, 不管中间的移动轨迹如何, 只要刀具最后能正确到达目标位置, 就称为点位控制。

点位控制机床的特点是只控制移动部件由一个位置到另一个位置的精确定位, 而对它们的运动过程中的轨迹没有严格要求, 在移动和定位过程中不进行任何加工。因此, 为了尽可能地减少移动部件的运动时间和定位时间, 两相关点之间的移动先快速移动到接近新点位的位置, 然后进行连续降速或分级降速, 使之慢速趋近定位点, 以保证其定位精度。点位控制加工如图 1-1-3 所示。

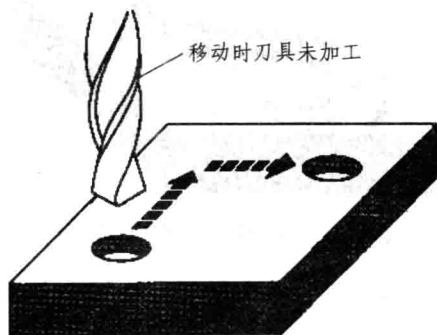


图 1-1-3 点位控制加工示意图

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控点焊机和数控折弯机等, 其相应的数控装置称为点位控制数控装置。

2) 直线控制数控机床

直线控制 (Straight Cut Control) 又称平行切削控制 (Parallel Cut Control)。这类控制除了控制点到点的准确位置之外, 还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线, 而且对移动的速度也有控制, 因为这一类机床在两点之间移动时要进行切削加工。

直线控制数控机床的特点是刀具相对于工件的运动不仅要控制两相关点的准确位置 (距离), 还要控制两相关点之间移动的速度和轨迹, 其轨迹一般由与各轴线平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于当机床移动部件移动时, 可以沿一个坐标轴的方向进行切削加工, 而且其辅助功能比点位控制的数控机床多。直线控制加工如图 1-1-4 所示。

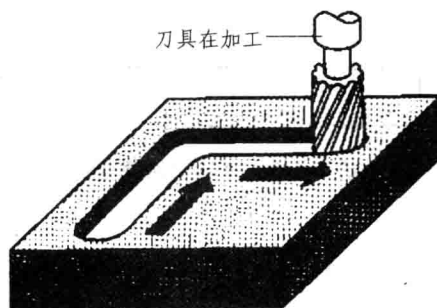


图 1-1-4 直线控制加工示意图

这类机床主要有数控坐标车床、数控磨床和数控镗铣床等，其相应的数控装置称为直线控制数控装置。

3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制又称连续控制，大多数数控机床具有轮廓控制功能。轮廓控制数控机床的特点是能同时控制两个以上的轴联动，具有插补功能。它不仅要控制加工过程中的每一点的位置和刀具移动速度，还要加工出任意形状的曲线或曲面。轮廓控制加工示意图如图 1-1-5 所示。

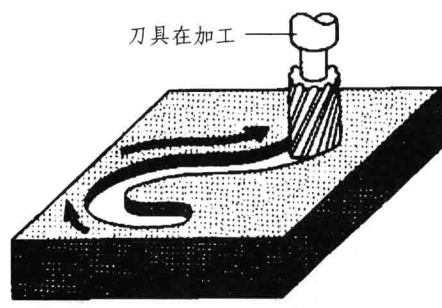


图 1-1-5 轮廓控制加工示意图

属于轮廓控制机床的有数控坐标车床、数控铣床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓控制装置。轮廓控制装置比点位、直线控制装置结构复杂得多，功能齐全得多。

2. 按伺服系统类型进行分类

按伺服系统类型不同，可分为开环控制数控机床、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

开环控制 (Open Loop Control) 数控机床通常不带位置检测元件，伺服驱动元件一般为步进电动机。数控装置每发出一个进给脉冲后，脉冲便经过放大，并驱动步进电动机转动一个固定角度，再通过机械传动驱动工作台运动。开环伺服系统如图 1-1-6 所示，这种系统没有被控对象的反馈值，系统的精度完全取决于步进电动机的步距精度和机械传动的精度，其控制线路简单，调节方便，精度较低 (一般可达 $\pm 0.02\text{ mm}$)，通常应用于小型或经济型数控机床。

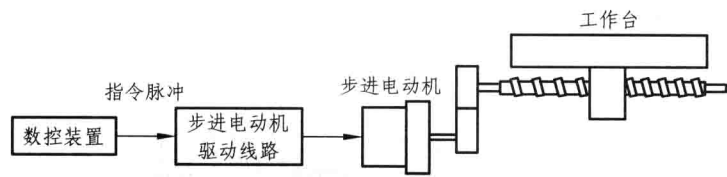


图 1-1-6 开环伺服系统

2) 闭环控制数控机床

闭环控制 (Closed Loop Control) 数控机床通常带位置检测元件，随时可以检测出工作台的实际位移并反馈给数控装置，与设定的指令值进行比较后，利用其差值控制伺服电动机，

直至差值为零。这类机床一般采用直流伺服电动机或交流伺服电动机驱动。位置检测元件常有直线光栅、磁栅、同步感应器等。闭环伺服系统如图 1-1-7 所示。

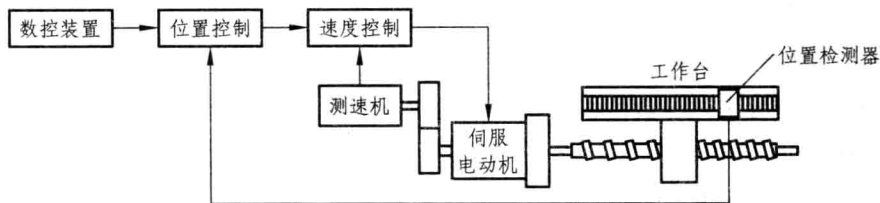


图 1-1-7 闭环伺服系统

由闭环伺服系统的工作原理可以看出，系统精度主要取决于位置检测装置的精度，从理论上讲，它完全可以消除由于传动部件制造中存在的误差给工件加工带来的影响，所以这种系统可以得到很高的加工精度。闭环伺服系统的设计和调整都有很大的难度，直线位移检测元件的价格比较昂贵，主要用于一些精度要求较高的镗铣床、超精车床和加工中心。

3) 半闭环控制数控机床

半闭环控制（Semi-Closed Loop Control）数控机床通常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，而是检测伺服系统的转角，将此信号反馈给数控装置进行指令比较，用差值控制伺服电动机。半闭环伺服系统如图 1-1-8 所示。

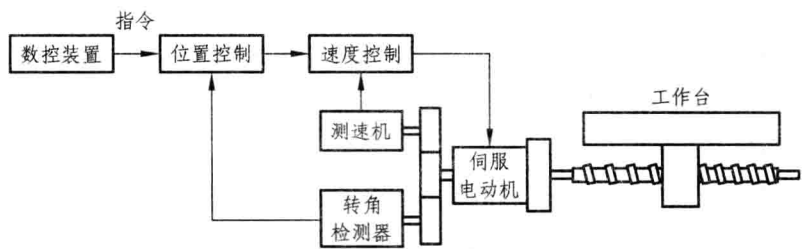


图 1-1-8 半闭环伺服系统

因为半闭环伺服系统的反馈信号取自电动机轴的回转，因此系统中的机械传动装置处于反馈回路之外，其刚度、间歇等非线性因素对系统稳定性没有影响，调试方便。同样，机床的定位精度主要取决于机械传动装置的精度，但是现在的数控装置均有螺距误差补偿和间歇补偿功能，不需要将传动装置各种零件的精度提得很高，通过补偿就能将精度提高到绝大多数用户都能接受的程度。再加上直线位移检测装置比角位移检测装置昂贵得多，因此，除了对定位精度要求特别高或行程特别长，不能采用滚珠丝杠的大型机床外，绝大多数数控机床均采用半闭环伺服系统。

3. 按工艺用途进行分类

按工艺用途不同，可分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床、数控特种加工机床和其他类型的数控机床。

1) 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中

心。切削类机床发展最早，目前种类繁多，功能差异也较大，加工中心能实现自动换刀。这类机床都有一个刀库，可容纳 10~100 把刀具。其特点是：工件一次装夹可完成多道工序。为了进一步提高生产效率，有的加工中心使用双工作台，一面加工，一面装卸，工作台可以自动交换。

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。这类机床起步晚，但目前发展很快。

3) 数控特种加工机床

数控特种加工机床有线切割机床、数控电火花加工机床、火焰切割机和数控激光机切割机床等。

4) 其他类型的数控机床

其他类型的数控机床有数控三坐标测量机床等。

4. 按数控系统功能水平进行分类

按数控系统的主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平不同，数控机床可分为低、中、高 3 个档次。国内还分为全功能数控机床、普及型数控机床和经济型数控机床。这些分类方法划分的界线是相对的，不同时期的划分标准有所不同，大体有以下几个方面：

1) 控制系统 CPU 的档次

低档数控系统一般采用 8 位 CPU，中、高档数控系统采用 16 位或 64 位的 CPU，现在有些 CNC 装置已采用 64 位的 CPU。

2) 分辨率和进给速度

分辨率为位移检测装置所能检测到的最小位移单位，分辨率越小，则检测精度越高。它取决于检测装置的类型和制造精度。一般认为，分辨率为 $10\text{ }\mu\text{m}$ ，进给速度为 $8\sim 10\text{ m/min}$ 是低档数控机床。分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$ ，进给速度为 $10\sim 20\text{ m/min}$ 是中档数控机床。分辨率为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15\sim 20\text{ m/min}$ 是高档数控机床。通常分辨率应比机床所要求的加工精度高一个数量级。

3) 伺服系统类型

一般采用开环、步进电动机进给系统的为低档数控机床。中、高档数控机床则采用半闭环或闭环的直流伺服或交流伺服系统。

4) 坐标联动轴数

数控机床联动轴数也是常用来区分机床档次的一个标志。按同时控制的联动轴数，可分为 2 轴联动、3 轴联动、2.5 轴联动（任一时刻 3 轴中只能实现 2 轴联动，另一轴则是点位或直线控制）、4 轴联动、5 轴联动等。低档数控机床的联动轴数一般不超过 2 轴；中、高档的联动轴数则为 3~5 轴。

5) 通信功能

低档数控系统一般无通信能力。中档数控系统可以有 RS-232C 或直接（Direct Numerical

Control, DNC) 接口。高档数控系统还可以有制造自动化协议 (Manufacturing Automation Protocol, MAP) 通信接口, 具有联网功能。

6) 显示功能

低档数控系统一般只有简单的数码管显示或单色 CRT 字符显示。中档数控系统则有较齐全的 CRT 显示, 不仅有字符, 而且有二维图形、人机对话、状态和自诊断等功能。高档数控系统还可以有三维图形显示、图形编辑等功能。

5. 按所用数控装置的构成方式分类

按所用数控装置的构成方式不同, 可分为硬线数控系统和软线数控系统。

1) 硬线数控系统

硬线数控系统使用硬线数控装置, 它的输入处理、插补运算和控制功能, 都由专用的固定组合逻辑电路来实现, 不同功能的机床, 其组合逻辑电路也不相同。改变或增减控制、运算功能时, 需要改变数控装置的硬件电路。因此, 该系统通用性和灵活性差, 制造周期长, 成本高。20 世纪 70 年代初期以前的数控机床基本是属于这种类型。

2) 软线数控系统

软线数控系统也称计算机数控系统, 它使用软线数控装置。这种数控装置的硬件电路由小型或微型计算机再加上通用或专用的大规模集成电路制成, 数控机床的主要功能几乎全部由系统软件来实现, 所以不同功能的数控机床其系统软件也就不同, 而修改或增减系统功能时, 也不需要改动硬件电路, 只需要改变系统软件。因此, 该系统具有较高的灵活性, 同时由于硬件电路基本是通用的, 这就有利于大量生产、提高质量和可靠性、缩短制造周期和降低成本。20 世纪 70 年代中期以后, 随着微电子技术的发展和微型计算机的出现, 以及集成电路的集成度不断提高, 计算机数控系统才得到不断发展和提高, 目前几乎所有的数控机床都采用软线数控系统。

(四) 数控机床加工的特点及应用

1. 数控机床加工特点

与普通机床相比, 数控机床是一种机电一体化的高效自动机床, 它具有以下加工特点。

1) 具有广泛的适应性和较高的灵活性

数控机床更换加工对象, 只需要重新编制和输入加工程序即可实现加工; 在某些情况下, 甚至只要修改程序中部分程序段或利用某些特殊指令就可实现加工 (例如利用缩放功能指令就可实现加工形状相同尺寸不同的零件)。这为单件、小批量多品种生产, 产品改型和新产品试制提供了极大的方便, 大大缩短了生产准备及试制周期。

2) 加工精度高且质量稳定

由于数控机床采用了数字伺服系统, 数控装置每输出一个脉冲, 通过伺服执行机构使机床产生相应的位移量 (称为脉冲当量), 可达 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$; 机床传动丝杠采用间歇补偿, 螺距

误差及其传动误差可由闭环系统加以控制,因此数控机床能达到较高的加工精度。例如普通精度加工中心,定位精度一般可达到每 300 mm 长度误差不超过 $\pm (0.005 \sim 0.008)$ mm,重复精度可达到 0.001 mm。另外,数控机床结构刚性和热稳定性都较好,制造精度能保证;其自动加工方式避免了操作者的人为操作误差,加工质量稳定,合格率高,同批加工的零件几何尺寸一致性好。数控机床能实现多轴联动,可以加工普通机床很难加工甚至不可能加工的复杂曲面。

3) 加工生产率高

在数控机床上可选择最有利的加工参数,实现多道工序连续加工;也可实现多机看管。由于采用了加速、减速措施,使机床移动部件能快速移动和定位,大大节省可加工过程中的空程时间。

4) 可获得良好的经济效益

虽然数控机床分摊到每个零件上的设备费(包括折旧费、维修费、动力消耗费等)较高,但生产效率高,单件、小批量生产时节省辅助时间(如划线、机床调整、加工检验等),节省直接生产费用。数控机床加工精度稳定,减少废品率,使生产成本进一步降低。

2. 数控机床的应用

数控机床的性能特点决定了它的应用范围。对于数控加工,可按适应程度将加工对象大致分为 3 类。

1) 最适应类

加工精度要求高,形状、结构复杂,尤其是具有复杂曲线、曲面轮廓的零件,或具有不开畅内腔的零件。这类零件用通用机床很难加工,很难检测,质量也难保证。

必须在一次装夹中完成铣、钻、铰、镗或攻丝等多道工序的零件。

2) 较适应类

价格昂贵,毛坯获得困难,不允许报废的零件。这类零件在普通机床上加工时,有一定难度,受机床的调整、操作人员的精神、工作状态等多种因素影响,容易产生次品或废品。为可靠起见,可选择在数控机床上进行加工。

在通用机床上加工生产效率低,劳动强度大,质量难稳定控制的零件。

用于改型比较、供性能测试的零件(它们要求尺寸一致性好);多品种、多规格、单件小批量生产的零件。

3) 不适应类

利用毛坯作为粗基准定位进行加工或定位完全需要人工找正的零件。数控机床无在线检测系统可自动检测调整零件位置坐标的情况下,加工余量很不稳定的零件。

必须用特定的工艺装备,或依据样板、样件加工的零件或加工内容。

需大批量生产的零件。随着数控机床性能的提高、功能的完善和成本的降低,随着数控加工用的刀具、辅助用具的性能不断改善提高和数控加工工艺的不断改进,利用数控机床高自动化、高精度、工艺集中的特性,将数控机床用于大批量生产的情况逐渐多起来。因此,适应性是相对的,会随着科技的发展而发生变化。