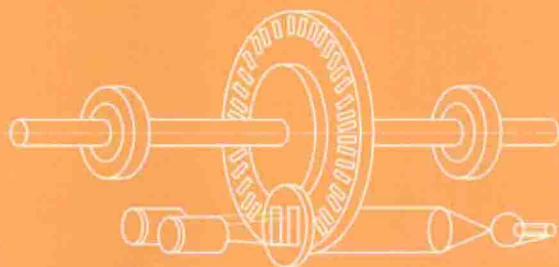


普通高等学校机械专业卓越工程师教育培养计划系列教材

数控机床原理及应用

张伟民 桂林 / 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等学校机械专业卓越工程师教育培养计划系列教材

数控机床原理及应用

主 编 张伟民 桂 林
副主编 雷 波 刘 银 张 辉
主 审 饶建华 杨 杰

华中科技大学出版社

内 容 提 要

本书为普通高等学校机械专业卓越工程师教育培养计划系列教材。针对工程应用这个前提,本书系统、详细地介绍了计算机数控(CNC)机床的组成结构、工作原理及分类,数控机床的特点及发展趋势,数控机床编程的代码、编程格式以及编程方法,数控机床常用的位置检测元件的结构和工作原理及其应用,数控插补原理,数控机床伺服控制系统的组成和分类、伺服系统驱动装置的介绍以及数控机床的速度和位置控制,对数控机床的设计、工作状态和性能进行了整体的介绍,并着重介绍主传动设计、进给传动系统和自动换刀系统。

本书舍去了较深奥的理论推导和复杂的数学运算,突出基本概念与应用,叙述深入浅出,具有“易懂、好学”的特点。本书可作为普通高等学校机电类专业及其相关专业的教材,也可供工程技术人员及数控机床的操作、维护人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床原理及应用/张伟民,桂林主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.10

ISBN 978-7-5680-0488-6

I. ①数… II. ①张… ②桂… 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(2014)第 250957 号

数控机床原理及应用

张伟民 桂 林 主 编

策划编辑:万亚军

责任编辑:刘 勤

封面设计:刘 卉

责任校对:马燕红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11

字 数:270千字

版 次:2015年2月第1版第1次印刷

定 价:28.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

数控机床的发展日新月异,高速化、高精度化、复合化、智能化、开放化、并联驱动化、网络化、极端化、绿色化已成为数控机床发展的趋势和方向,在能源、交通、航空、航天、船舶、重型机械制造、工程机械以及军事工业等多个行业的应用也日益增多。因此,本书力图更好地反映当代先进的数控技术水平。近年来,通过查阅和收集国内外资料,并对其进行总结和提炼,我们精心编写了本书,在编写中力图做到内容新颖、图文并茂、结构完整、叙述准确、脉络通顺、易于理解,并注意结合实际,以满足教学要求。

本书为普通高等学校机械专业卓越工程师教育培养计划系列教材,系统、详细地介绍了计算机数控(CNC)机床的组成结构、工作原理及分类等基本概念,还有针对性地重点介绍了重型数控机床的特点及发展趋势,可以使初学者全面、详细地了解数控相关基础知识。从应用的角度出发,本书详细地介绍了数控机床编程的代码、编程格式以及编程方法,对手工编程、数控车编程、数控钻编程、数控铣编程等都进行了详细介绍和举例说明,读者可根据本书的内容学会几种编程的基本方法,具体应用时参考现场的有关参考资料就能操作。位置检测装置是数控系统的重要组成部分,位置伺服控制的准确性决定了机床的加工精度,换句话说,数控机床之所以可以进行高精度加工,其中最关键的就是它通过位置监测装置形成了闭环(半闭环)控制系统,故本书介绍了数控机床常用位置检测元件的结构和工作原理及其应用,为设计人员或工艺人员进行机床选型或者检测装置选型时提供参考。为了让读者清楚地了解数控机床如何加工出各种形状的零件,书中还较为详细地讲解了数控插补原理。伺服系统是控制运动部件的关键技术,数字交流伺服系统更是现代数控技术的前沿技术,故本书也对数控机床伺服控制系统的组成和分类、伺服系统驱动装置以及数控机床的速度和位置控制做了较全面的介绍,读者可较为深入地了解这方面的内容。本书还对数控机床的设计、工作状态和性能进行了整体的介绍,并着重介绍主传动设计、进给传动系统和自动换刀系统等。

本书针对工程应用这个前提,舍去了较深奥的理论推导和复杂的数学运算,突出基本概念与应用,叙述深入浅出,具有“易懂、好学”的特点,可作为各类学校机电类专业及其他机械类专业的教材,也可供数控机床的操作、维护人员及相关工程技术人员参考。

本书由张伟民、桂林任主编,由雷波、刘银、张辉任副主编。具体编写分工如下:第1章,张伟民、桂林;第2章,张伟民、刘银、张辉;第3章,刘银、雷波;第4章,雷波、张伟民;第5章,桂林、刘银;第6章,张辉、桂林。本书由饶建华教授、杨杰教授主审,在此表示衷心的感谢!

本书由中国地质大学(武汉)本科教学工程教材建设经费资助出版。

由于编者水平有限,书中难免存在不足和疏漏之处,敬请读者提出宝贵意见。

编 者

2015年5月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 数控机床的基本概念	(2)
1.2 数控机床的组成	(2)
1.3 数控机床的工作原理及分类	(5)
1.4 数控机床的特点	(9)
1.5 机床(重型)现状及发展趋势	(10)
第 2 章 数控编程	(27)
2.1 数控加工程序编制概述	(27)
2.2 程序编制的代码及格式	(38)
2.3 数控加工的数学处理	(49)
2.4 数控加工程序编制	(52)
第 3 章 数控机床中的位置检测装置	(61)
3.1 位置检测装置概述	(61)
3.2 旋转变压器	(63)
3.3 感应同步检测单元	(66)
3.4 光栅检测单元	(72)
3.5 磁栅检测单元	(74)
3.6 脉冲编码器	(77)
第 4 章 数控插补原理	(81)
4.1 数控插补原理概述	(81)
4.2 基准脉冲插补	(81)
4.3 数据采集插补	(90)
第 5 章 伺服控制系统	(102)
5.1 数控机床伺服系统的组成和分类	(102)
5.2 伺服系统的伺服驱动装置	(106)
5.3 速度控制	(119)
5.4 位置控制	(122)
第 6 章 数控机床的机构设计	(128)
6.1 数控机床总体机构设计	(128)
6.2 数控机床主传动设计	(140)
6.3 数控机床的进给传动	(148)
6.4 自动换刀系统	(163)
参考文献	(169)

第 1 章 概 述

本章要点

本章主要介绍数控机床的相关概念,数控机床的基本组成,数控机床的工作原理及分类,数控机床的特点及发展趋势。

随着科学技术和社会生产力的迅速发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化成为实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品质量、提高生产率、降低生产成本,还能够极大地改善劳动者的生产条件。

目前很多制造企业已经广泛采用以自动机床、组合机床和专用机床为主体的刚性自动生产线,采用多刀、多工位和多面同时加工方法,常年进行着单一产品的高效和高度自动化的生产。尽管这种生产方式需要巨大的初始投资和很长的生产准备周期,但在大批、大量的生产条件下,由于分摊在每一个加工零件上的费用很少,因此,经济效益仍然是十分显著的。

不过,在制造业中并不是所有的产品都具有很大的需求量,单件与小批生产的零件一般占机械加工总量的 80% 左右。尤其是航空、航天、船舶、机床、重型机械、食品加工机械、包装机械和军事工业等产品,不仅加工批量小,而且加工的零件形状比较复杂,精度要求也很高,还需要经常改型。如果仍然采用专用化程度很高的自动化机床加工这类产品的零件就显得不尽合理。而经常改装和调整设备,对于专用生产线来讲,不仅会提高产品的生产成本,有时甚至是无法实现的。因此,这种刚性的自动化生产方式已逐渐显现出了对现代制造业的不适应性。

为了解决上述问题,从而实现多品种、小批产品零件的自动化生产,一种称为数控机床(numerical control machine tools)的现代机床应运而生。数控机床是数字控制机床的简称,是一种装有程序控制系统的自动化机床。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,从而驱动机床动作并加工零件。它很好地解决了刚性自动生产线难以经常改型和调整设备的问题,显示出了适应多品种、小批产品零件生产的柔性。自从 1952 年美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)伺服机构实验室研制出世界上第一台数控机床以来,数控机床在制造业,特别是在汽车、航空、航天及军事工业中被广泛地应用,数控技术无论在硬件还是软件方面,都有了飞速发展。现代数控机床更是集机械制造技术、液压气动技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感器检测技术、信息处理技术、网络通信技术等于一体,因此,数控机床技术的提高是提高整个制造业水平的重要基础。

数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业,生物技术及其产业,航空、航天及国防工业产业等)的使能技术和最基本的装备。在提高生产率、降低生产成本、提高加工质量及改善劳动者劳动强度等方面,都有着突出的优点。以现代数控机床为代表的先进制造技术已成为当前急需加快发展的突破性技术,其新突破将成为整个制造业全面发展的关键。

1.1 数控机床的基本概念

数字控制(numerical control, NC)或数控技术是一种借助数字化信息(数字、字符)对某一工作过程(如加工、测量、装配等)发出指令并实现自动控制的技术。

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,其变化在时间上和数量上都是不连续的;模拟控制系统中的控制信息是模拟量,其变化无论是在时间上还是数量上都是连续的。

数字控制与模拟控制相比有许多优点,如可对数字化信息进行逻辑运算、数学运算等复杂的信息处理工作,可用软件来改变信息处理的方式或过程,而不用改动控制电路或机械机构,从而使机械设备具有很大的柔性。因此,数字控制已广泛用于机械运动的轨迹控制和机械系统的状态控制,如各类机床、机器人等的控制。

数控系统(numerical control system)是采用数字控制技术的自动控制系统。由硬件和软件两部分组成,它自动输入载体上事先给定的数字量,并将其译码,在进行必要的信息处理和运算后,控制机械系统的运转。

数控系统最初是由数字逻辑电路构成的专用硬件数控系统。随着微型计算机的发展,硬件数控系统已逐步被淘汰,取而代之的是计算机数控系统(computerized numerical control system, CNC 系统)。CNC 系统是由计算机承担数控中的命令发生器和控制器的数控系统。由于计算机可完全由软件来确定数字信息处理的过程,从而具有真正的柔性,并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高。

数控机床(numerical control machine tools)是采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床。数控机床是一种装有程序控制系统(数控系统)的高效自动化机床,是数控技术典型应用的例子,是现代制造技术的基础。它使传统的机械加工工艺发生了质的飞跃,实现了加工过程的自动化操作。

1.2 数控机床的组成

数控机床是最典型的数控设备。现代数控机床主要由 CNC 系统和机床主体组成,此外数控机床还有许多辅助装置:自动换刀装置(automatic tool changer, ATC),自动工作台交换装置(automatic pallet changer, APC),自动对刀装置,自动排屑装置及电、液、气、冷却、润滑、防护等装置。数控机床的硬件构成如图 1-1 所示。

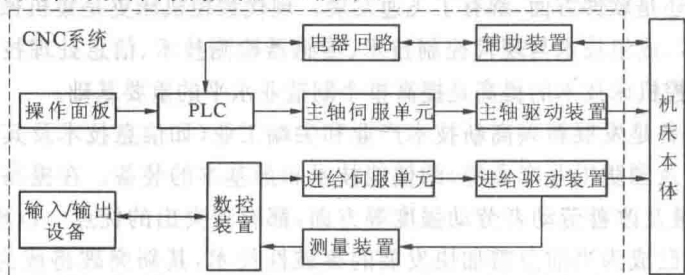


图 1-1 数控机床的硬件构成

数控机床的逻辑组成如图 1-2 所示。

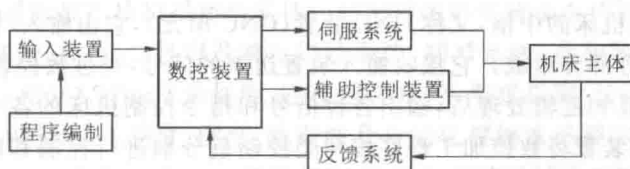


图 1-2 数控机床的逻辑组成

1.2.1 程序及载体

人与数控机床之间建立某种联系的中间媒介物就是控制介质，又称信息载体。程序必须存储在某种存储介质中，早期常用的控制介质有穿孔带、穿孔卡、磁盘和磁带，近年来常用的控制介质有 U 盘、硬盘、SD 卡等。采用哪一种存储介质，取决于数控装置的设计类型。存储介质上记载的加工信息需要输入装置传送给机床数控装置，数控装置内存中的零件加工程序可以通过输出装置传送到存储介质上。

1.2.2 输入/输出设备

输入/输出设备主要是用于人机交互的设备及通信接口。数控机床在加工运行时，通常都需要操作人员对数控系统进行状态干预，对输入的加工程序进行编辑、修改和调试，对数控机床运行状态进行显示等，也就是数控机床要具有人机联系的功能。具有人机联系功能的设备统称人机交互设备。常用的人机交互设备有键盘、显示器、光电阅读机等。现代的数控系统除采用输入/输出设备进行信息交换外，一般都具有用通信方式进行信息交换的能力。它们是实现 CAD/CAM 的集成、FMS 和 CIMS 的基本技术。通常采用如下方式。

- (1) 串行通讯(RS-232 等串口)。
- (2) 自动控制专用接口和规范(DNC 方式, MAP 协议等)。
- (3) 网络技术(internet, LAN 等)。

图 1-3 所示为西门子的一款数控系统的操作面板，主要分为三个区域。

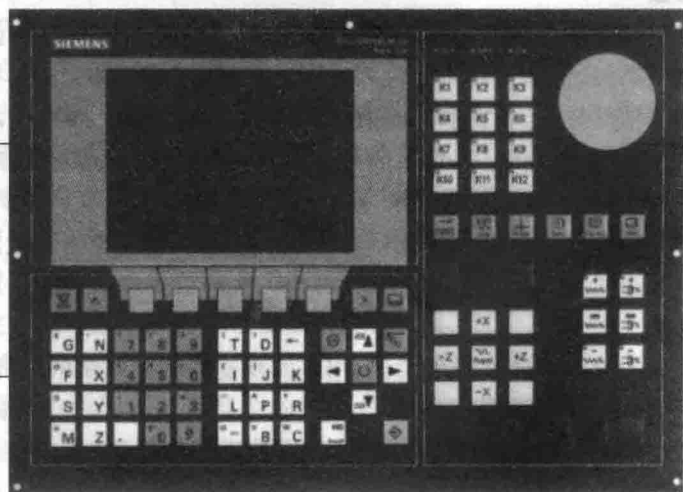


图 1-3 人机交互面板

1—MCP 区域；2—NC 键盘；3—LCD 显示

1.2.3 计算机数控装置

数控装置是数控机床的中枢,又称 CNC 装置(CNC 单元),它由输入/输出接口电路、运算器、控制器和存储器等部分组成。它接收输入装置送来的信号,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令控制机床的各个部分,按照规定进行有序的动作。数控装置将数控加工程序按两类控制量分别进行控制和输出:一类是连续控制量,根据所读入的加工程序,通过译码、编译等信息处理后,由具有插补功能的软、硬件进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各个坐标伺服驱动系统的位置、速度反馈信号比较,将控制结果送往驱动装置,从而控制各个坐标的位移;另一类是离散的开关量,实现加工过程中的时序逻辑控制,这部分任务通常主要由数控装置的内装型或独立型的可编程控制器(PLC)来完成,它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,控制机床各个部件有条不紊地按序工作。

1. 伺服驱动

伺服驱动是计算机数控装置和机床本体的联系环节,它的主要功能是把来自 CNC 装置的微弱的脉冲指令信息,经过功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床的运动部件,完成指令规定的动作,加工出合格的零件。通常伺服单元由进给驱动和主轴驱动组成。

进给伺服驱动装置由位置控制单元、速度控制单元、电动机和测量反馈单元等部分组成。它按照数控装置发出的位置控制命令和速度控制命令正确驱动机床进给部件移动。每个做进给运动的部件都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中,利用位置检测装置,间接或直接测量执行部件的实际进给位移,与数控装置发出的指令位移进行比较后,按闭环原理,将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。

主轴伺服驱动装置主要由速度控制单元组成,实现无级调速控制。主轴伺服控制必要时还需具备定向准停等位置控制功能。

驱动装置有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

2. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置与机床机械、液压部件之间的控制系统。它与一般的普通机床的辅助控制装置类似,但为提高可靠性,各类抗干扰措施需更加完善。它的主要作用是接收数控装置发出的主轴的转速、转向和启/停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启/停指令,工件的松开、夹紧指令,工作台的分度指令,排屑等辅助装置的启/停控制指令,经过必要的编译和逻辑判断,输出的指令经功率放大后驱动相应的电气、液压、气动和机械部件,完成指令规定的动作。过载等监控信号及行程开关信号也经辅助控制装置送到数控装置进行处理。

3. 测量反馈装置

测量反馈装置分为位置和速度测量装置,用以实现进给伺服系统的闭环控制,其作用是保证灵敏、准确地跟踪以下 CNC 装置指令。

- (1) 进给运动指令 实现零件加工的成形运动(速度和位置控制)。
- (2) 主轴运动指令 实现零件加工的切削运动(速度控制)。

反馈元件通常安装在机床的工作台或丝杠上,其主要功能是将数控机床各坐标轴的位移检测值反馈到机床的数控装置中,供计算机数控装置与指令值比较以产生误差信号,以控制机床向消除该误差的方向移动。

4. 机床本体

机床本体指的是数控机床机械结构实体。它与传统的机床基本相同,同样由主传动系统、进给传动系统、工作台、床身、立柱以及液压气动系统、润滑系统、冷却装置等部分组成。但为了满足数控的要求,充分发挥机床的性能,它在整体布局、外观造型、传动系统结构、操作机构等方面都发生了很大变化,在精度、刚度、抗振性及自动化控制水平等方面要求更高。对于加工中心类的数控机床,还配置有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。

1.3 数控机床的工作原理及分类

1.3.1 数控机床的工作原理

数控机床与普通机床相比较,其工作原理的不同之处就在于数控机床是按以数字形式给出的指令进行加工的。数控机床加工零件,首先要将被加工零件的图样及工艺信息数字化,用规定的代码和程序格式编写加工程序,然后将所编写的指令输入机床的数控装置中,数控装置再将程序进行编译、运算后,向机床的各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出指令,驱动机床的各个运动部件完成所需的辅助运动,最后加工出合格零件。数控系统实质上是完成了手工加工中操作者的部分工作。如图 1-4 所示。

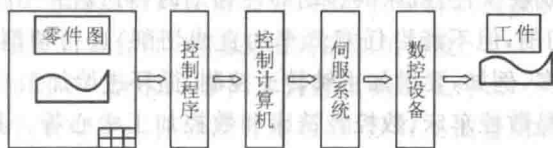


图 1-4 数控机床工作原理图

1.3.2 数控机床的分类

1. 按数控机床的加工原理(工艺)分类

(1) 普通数控机床 数控车床、数控铣床、加工中心、车削中心等。

其中加工中心是在一般数控机床的基础上发展起来的。它是在一般数控机床上加装一个刀库(可容纳 10~100 把刀具)和自动换刀装置而构成的一种带自动换刀装置的数控机床(又称多工序数控机床或镗铣类加工中心,习惯上简称为加工中心——machining center),这使数控机床更进一步地向自动化和高效化方向发展。数控加工中心机床和一般数控机床的区别是:工件经一次装夹后,数控装置就能控制机床自动地更换刀具,连续地对工件各加工面自动地完成铣(车)、镗、钻、铰及攻螺纹等多工序加工。由于数控加工中心机床的优点很多,深受用户欢迎,因此在数控机床生产中占有很重要的地位。

车削中心是在车床基础上发展起来的,以轴类零件为主要加工对象。除可进行车削、镗削外,还可以进行端面和周面上任意部位的钻削、铣削和攻螺纹加工。这类加工中心也设有刀库,可安装 4~12 把刀具,习惯上称此类机床为车削中心(turning center, TC)。

(2) 特种加工数控机床 线切割数控机床、电火花成形加工数控机床(采用电火花原理对高硬度零件进行切割及对形腔进行加工)。

(3) 成形加工类 具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床。如数控折弯机、数控弯管机等。

(4) 其他类型 一些广义上的数控装备。如数控装配机、数控测量机、机器人等。

2. 按数控机床的运动轨迹分类

按照能够控制的刀具与工件间相对运动的轨迹,可将数控机床分为点位控制数控机床、点位直线控制数控机床、轮廓控制数控机床等。现分述如下。

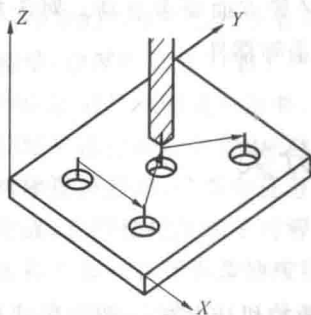


图 1-5 点位控制

1) 点位控制数控机床

这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置(点)精确地移动到另一个位置(点),即仅控制行程终点的坐标值,在移动过程中不进行任何切削加工,至于两相关点之间的移动速度及路线则取决于生产率。为了在精确定位的基础上获得尽可能高的生产率,所以两相关点之间的移动先是以快速移动到定位点附近,然后降速 1~3 级,使之慢速趋近定位点,以保证其定位精度,如图 1-5 所示。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等,其相应的数控装置称为点位控制装置。

2) 点位直线控制数控机床

这类机床工作时,不仅要控制两相关点之间的位置(即距离),还要控制两相关点之间的移动速度和路线(即轨迹)。其路线一般都由与各轴线平行的直线段组成,如图 1-6 所示。它和点位控制数控机床的区别在于:当机床的移动部件移动时,可以沿一个坐标轴的方向(一般地也可以沿 45°斜线进行切削,但不能沿任意斜率的直线切削)进行切削加工,而且其辅助功能比点位控制的数控机床多,例如,要增加主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能。

这类机床主要有简易数控车床、数控铣床和数控加工中心等。其相应的数控装置称为点位直线控制装置。

3) 连续控制数控机床(轮廓控制数控机床)

这类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(见图 1-7)。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,使机床加工出符合图样要求的复杂形状的零件。它的辅助功能也比较齐全。



图 1-6 点位直线控制

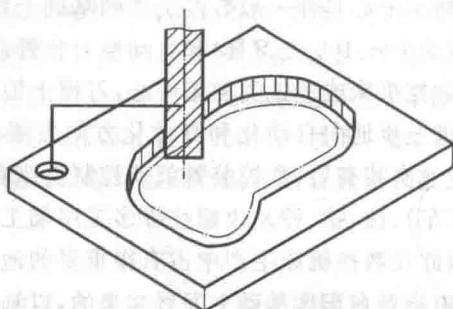


图 1-7 连续控制

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和电加工机床等。其相应的数控装置称为轮廓控制装置(或连续控制装置)。

3. 按照伺服驱动系统的控制方式分类

数控机床按照对被控制量有无检测反馈装置可以分为开环和闭环两种。在开环系统的基础上,还发展了一种开环补偿型数控系统。在闭环系统中,根据测量装置安放的位置又可以将

其分为全闭环和半闭环两种。

1) 开环控制数控机床

在开环控制中,机床没有检测反馈装置(见图 1-8)。

数控装置发出信号的流程是单向的,所以不存在系统稳定性问题。也正是由于信号的单向流程,它对机床移动部件的实际位置不进行检查,所以机床加工精度不高,其精度主要取决于伺服系统的性能。其工作过程是:输入的数据经过数控装置运算分配出指令脉冲,通过伺服机构(伺服元件常为步进电动机)使被控工作台移动。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。

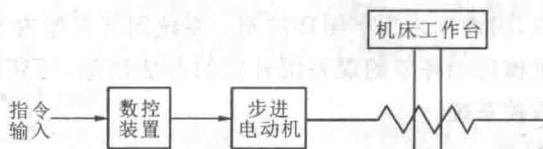


图 1-8 开环控制系统框图

这种机床工作比较稳定、反应迅速、调试方便、维修简单,但其控制精度受到限制。它适用于一般要求的中、小型数控机床。

2) 闭环控制数控机床

由于开环控制精度达不到精密机床和大型机床的要求,所以必须检测它的实际工作位置,为此,在开环控制数控机床上增加检测反馈装置,在加工中时刻检测机床移动部件的位置,使之和数控装置所要求的位置相符合,以期达到很高的加工精度。

闭环控制系统框图如图 1-9 所示。图中 A 为速度测量元件, C 为位置测量元件。当指令值发送到位置比较电路时,此时若工作台没有移动,则没有反馈量,指令值使得伺服电动机转动,通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路,通过 C 将工作台实际位移量反馈回去,在位置比较电路中与指令值进行比较,用比较的差值进行控制,直至差值消除时为止,最终实现工作台的精确定位。这类机床的优点是精度高、速度快,但是调试和维修比较复杂。其关键是系统的稳定性,所以在设计时必须对稳定性给予足够的重视。

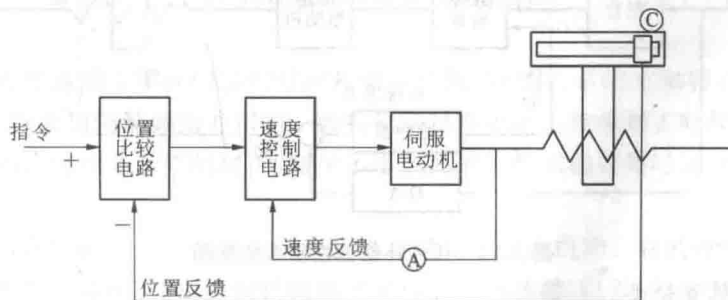


图 1-9 闭环控制系统框图

3) 半闭环控制数控机床

半闭环控制系统的组成如图 1-10 所示。

这种控制方式对工作台的实际位置不进行检查测量,而是通过与伺服电动机有联系的测量元件(如测速发电机 A 和光电编码盘 B(或旋转变压器)等)间接检测出伺服电动机的转角,推算出工作台的实际位移量,如图 1-10 所示的半闭环控制系统框图用此值与指令值进行比较,用差值来实现控制。从图 1-10 可以看出,由于惯性较大的机床移动部件(机床工作台)没

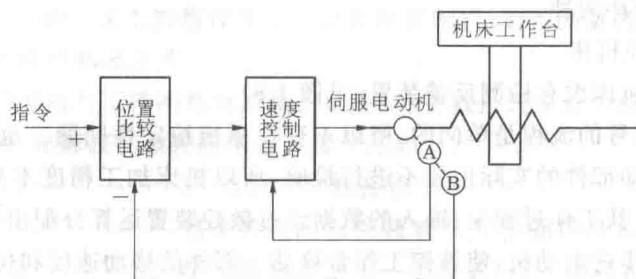


图 1-10 半闭环控制系统框图

有完全包括在控制回路内，因而称之为半闭环控制。系统闭环环路内不包括机械传动环节，可获得稳定的控制特性。机械传动环节的误差用补偿的办法消除，可获得满意的精度。中档数控机床广泛采用半闭环数控系统。

4) 开环补偿型数控机床

将上述三种控制方式的特点有选择地集中起来，可以组成混合控制的方案。这在大型数控机床中是人们多年研究的题目，现在已成为现实。因为，大型数控机床需要高得多的进给速度和返回速度，又需要相当高的精度，如果只采用全闭环的控制，机床传动链和工作台全部置于控制环节中，因素十分复杂，尽管安装调试多经周折，仍然困难重重。为了避开这些矛盾，可以采用混合控制方式。在具体方案中它又可分为两种形式：一是开环补偿型；一是半闭环补偿型。这里仅对开环补偿型控制数控机床加以介绍。

图 1-11 所示为开环补偿型控制方式的组成框图。它的特点是：基本控制选用步进电动机的开环控制伺服机构，附加一个校正伺服电路，通过装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号来校正机械系统的误差。

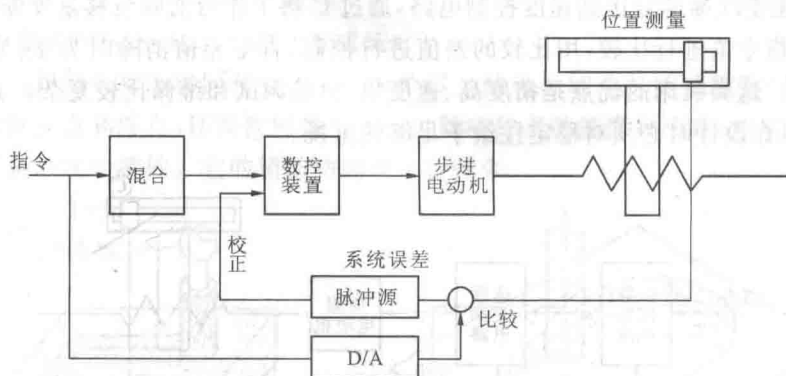


图 1-11 开环补偿型控制系统框图

4. 按照数控装置分类

数控机床若按其实现数控逻辑功能控制的数控装置来分，有硬线(件)数控和软线(件)数控两种。

(1) 硬线数控(称普通数控，即 NC) 这类数控系统的输入、插补运算、控制等功能均由集成电路或分立元件等器件实现。一般来说，数控机床不同，其控制电路也不同，因此系统的通用性较差，因其全部由硬件组成，所以其功能和灵活性也较差。这类系统在 20 世纪 70 年代以前应用得比较广泛。

(2) 软线数控(又称计算机数控或微机数控，即 CNC 或 MNC) 这类系统利用中、大规模

及超大规模集成电路组成 CNC 装置,或用微机与专用集成芯片组成,其主要的数控功能几乎全由软件来实现,对于不同的数控机床,只须编制不同的软件就可以实现,而硬件几乎可以通用。因而其灵活性和适应性强,也便于批量生产,模块化的软、硬件,提高了系统的质量和可靠性。所以,现代数控机床都采用 CNC 装置。

1.4 数控机床的特点

数控机床对零件的加工过程,是严格按照加工程序所规定的参数及动作执行的。它是一种高效能自动或半自动机床,与普通机床相比,具有以下明显特点。

1) 适合于复杂异形零件的加工

数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能制造的复杂零件的加工,因此在航空、造船、汽车、模具等加工业中得到广泛应用。

2) 加工精度高,保证产品质量

数控机床的加工精度一般可达到 $0.001\sim 0.1\text{ mm}$ 。数控机床是按数字信号形式控制的,数控装置每输出一个脉冲信号,机床移动部件就移动一个脉冲当量(一般为 0.001 mm)。加工过程不需要人工干预,而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置(CNC 装置)进行校正及补偿,所以,数控机床定位精度比较高。故可以获得比机床本身精度还要高的加工精度。

3) 加工稳定可靠

实现计算机控制,排除人为误差,零件的加工一致性好,质量稳定可靠。

4) 高柔性

在数控机床上加工作件,主要取决于数控加工程序,它与普通机床不同,不必制造、更换许多工具、夹具,不需要经常调整机床。当加工对象改变时,一般只需要更改数控加工程序,体现出很好的适应性,可大大节省生产准备时间。在数控机床的基础上,可以组成具有更高柔性的自动化制造系统——柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)。

5) 高生产率

数控机床可有效地减少零件的切削时间和辅助时间,数控机床的主轴转速和进给量的范围大,允许机床进行大切削量的强力切削。数控机床目前正进入高速加工时代,数控机床移动部件的快速移动和定位及高速切削加工,减少了半成品的工序间的周转时间,提高了生产率。

6) 劳动条件好

数控机床是具有广泛的通用性而且具有很高自动化程度的机床。它的控制系统不仅能控制机床各种动作的先后顺序,还能控制机床运动部件的运动速度,以及刀具相对工件的运动轨迹。操作者除了操作控制面板、装卸零件,进行关键工序的中间测量及观察机床运行之外,其他机床动作直至加工完毕,都是自动连续完成的,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度和紧张程度均可大大减轻,劳动条件也得到了相应的改善。而且,数控机床还是计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)等柔性加工和柔性制造系统的基础。

7) 有利于管理现代化

用数控机床加工零件,能精确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工装夹具、

半成品的管理工作,这些特点都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。

8) 投资大,维修困难,使用费用高

数控机床的初期投资及技术维修等费用较高,而且,数控机床作为典型的光机电一体化产品,其技术含量高,对管理及操作人员的素质要求也较高。合理地选择和使用数控机床,可以降低企业的生产成本,提高经济效益和竞争能力。

9) 生产准备工作复杂

由于整个加工过程采用程序控制,数控加工的前期准备工作较为复杂,包含工艺方案确定、数控程序编制等工作。

1.5 机床(重型)现状及发展趋势

1.5.1 国内外重型机床现状

1. 国内厂家介绍

经过多年发展,尤其是在近几年的大量需求的刺激下,国内几大机床厂家都进行了产能和技术的大扩张,产品基本形成了门类齐全又各有侧重的局面。

目前,国内较大的机床厂家有:武汉重型机床集团有限公司、北京第一机床厂(简称北一机床)、齐重数控装备股份有限公司、齐齐哈尔二机床厂集团有限责任公司、济南二机床集团有限公司、青海重型机床厂、上海重型机床厂有限公司、险峰机床厂、瓦房店重型机床厂、芜湖重型机床股份公司、东方机床厂等。

我国能提供多品种重型机床的主要厂家如表 1-1 所示。

表 1-1 提供多品种重型机床的主要厂家

厂 家	重型数控龙门镗铣床	重型立式铣车床	数控重型落地铣镗床	数控重型卧式车床
武汉重型机床集团有限公司	可提供宽 9.6 m、长 58 m 的数控龙门镗铣床	可提供加工直径为 28 m 的数控立式铣车床	可提供镗杆直径为 320 mm 的落地铣镗床	可提供回转直径为 6.4 m、长 20 m 的数控卧式车床
北京第一机床厂	可提供宽 9.6 m、长 58 m 的数控龙门镗铣床	可提供加工直径为 5 m 的数控立式铣车床	可提供宽 9.6 m、长 58 m 的数控龙门镗铣床	可提供加工直径为 5 m 数控立式铣车床
齐重数控装备股份有限公司	可提供宽 9.6 m、长 58 m 的数控龙门镗铣床	可提供加工直径为 25 m 的数控立式铣车床	可提供镗杆直径为 200 mm 的落地铣镗床	可提供回转直径 6.4 m、长 20 m 的数控卧式车床
齐齐哈尔二机床厂集团有限责任公司	可提供宽 5 m、长 20 m 的数控龙门镗铣床	可提供加工直径为 8 m 的数控立式铣车床	可提供镗杆直径为 320 mm 的落地铣镗床	可提供回转直径 4 m、长 10 m 数控卧式车床
济南二机床集团有限公司	可提供各种规格的数控龙门镗铣床	—	可提供镗杆直径为 250 mm 的落地铣镗床	可提供各种规格长数控龙门镗铣床
沈阳机床集团	可提供宽 5 m、长 20 m 的数控龙门镗铣床	可提供加工直径为 5 m 的数控立式铣车床	可提供镗杆直径为 200 mm 的落地铣镗床	可提供回转直径 1.6 m、长 10 m 数控卧式车床

我国能提供重型数控龙门镗铣床厂家具体如表 1-2 所示,图 1-12 所示为重型数控龙门镗铣床。

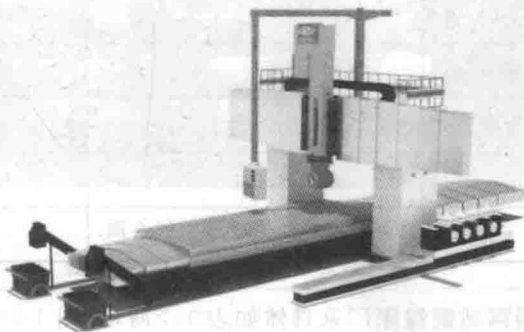


图 1-12 重型数控龙门镗铣床

表 1-2 提供重型数控龙门镗铣床厂家

厂 家	加工宽度 3 m	加工宽度 4 m	加工宽度 5 m	加工宽度 6 m 以上
武汉重型机床集团有限公司	✓	✓	✓	✓
北一机床	✓	✓	✓	✓
济南二机床集团有限公司	✓	✓	✓	✓
齐齐哈尔二机床厂集团有限责任公司	✓	✓	✓	—
齐重数控装备股份公司	✓	✓	✓	—
沈阳机床集团	✓	✓	✓	—
大连机床集团	✓	✓	—	—

我国能提供数控重型立式铣车床厂家具体如表 1-3 所示,图 1-13 所示为数控重型立式铣车床。

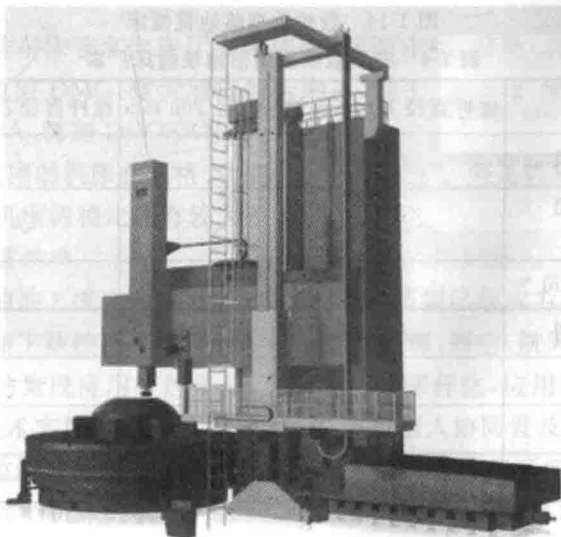


图 1-13 数控重型立式铣车床

表 1-3 提供数控重型立式铣床厂家

厂 家	加工直径 5 m	加工直径 8 m	加工直径 10 m	加工直径 16 m 以上
武汉重型机床集团有限公司	√	√	√	√
齐重数控装备股份公司	√	√	√	√
齐齐哈尔二机床厂集团有限责任公司	√	√	√	—
北一机床	√	—	—	—
沈阳机床集团	√	√	—	—

我国能提供数控重型落地铣镗床厂家具体如表 1-4 所示,图 1-14 所示为数控重型落地铣镗床。

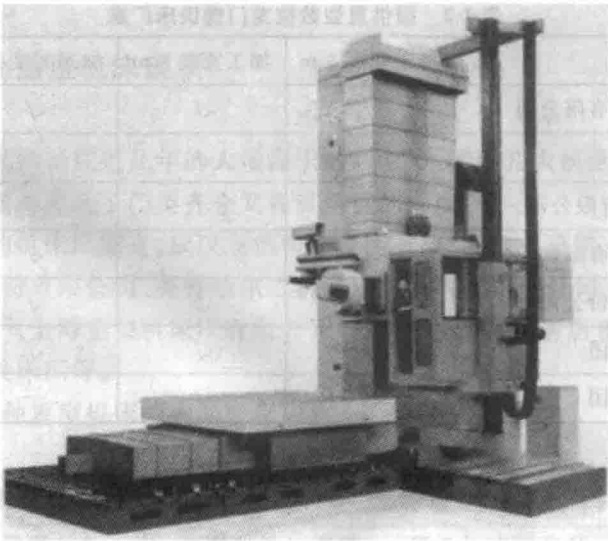


图 1-14 数控重型落地铣镗床

表 1-4 提供数控重型落地铣镗床厂家

厂 家	镗杆直径 160 mm	镗杆直径 200 mm	镗杆直径 260 mm	镗杆直径 320 mm
武汉重型机床集团公司	√	√	√	√
齐齐哈尔二机床厂集团有限责任公司	√	√	√	√
济南二机床集团有限公司	√	√	√	—
齐重数控装备股份公司	√	√	—	—
沈阳机床集团	√	√	—	—
昆明机床集团	√	√	√	—
大连机床集团	√	√	—	—

我国能提供数控重型卧式车床厂家具体如表 1-5 所示,图 1-15 所示为数控重型卧式车床。