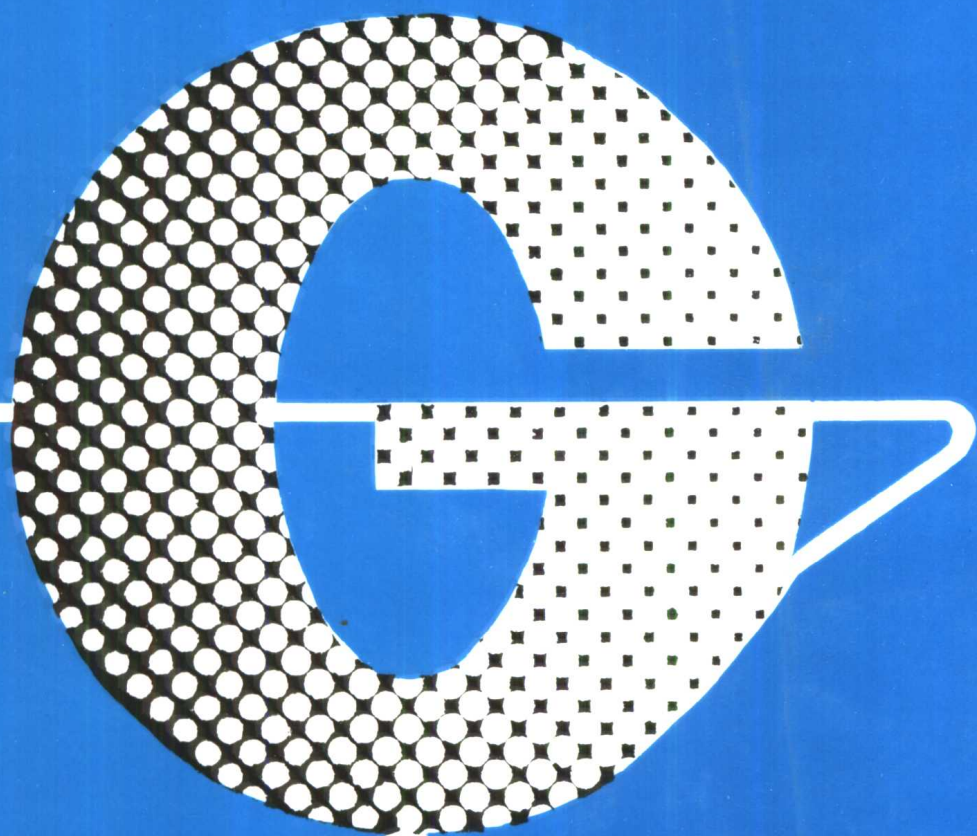


普通高等专科学校教育机电类规划教材

机床数控技术



南京机械高等专科学校 毕毓杰 主编

机械工业出版社

普通高等专科学校教育机电类规划教材

机床数控技术

主编 毕毓杰
参编 黄健求
李宏胜
主审 董承文



机械工业出版社

本书突出了数控机床的使用,比较全面地、系统地叙述了机床数控技术各方面的有关问题。全书分七章:第一章概述;第二章数控机床的机械结构;第三章数控加工编程;第四章数控系统与数控装置,第五章数控机床的伺服驱动;第六章数控机床的调试与使用;第七章数控技术与加工自动化,各章末附有复习思考题。内容选择恰当,理论联系实际,突出应用。

本书除作高等专科学校教材外,还可用于成人教育、职业教育、数控技术培训、进修,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/毕毓杰主编. —北京:机械工业出版社, 1995. 10 (2000. 10 重印)

普通高等专科学校教育机电类规划教材

ISBN 7-111-05096-7

I. 机… II. 毕… III. 数控机床-高等教育-教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 62790 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:孙祥根 王霄飞 版式设计:王颖 责任校对:孙志筠

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 6 月第 1 版第 5 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·17.25 印张·420 千字

18 001—22 000 册

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

本书是按高等专科学校机械制造专业教学指导委员会，拟订的“高等专科学校机械制造工艺与装备专业教学计划”中的“机床数控技术”课程教学大纲编写的。

本书由南京机械高等专科学校毕毓杰主编，东莞理工学院黄健求和南京机械高等专科学校李宏胜参编，由南京机床厂副总工程师董承文主审。

全书共分七章，各章后附有复习思考题。第一、二、七章由黄健求编写，第三、六章由毕毓杰编写，第四、五章由李宏胜编写。李宏胜还参与编写大纲的拟定和部分章节的审阅。

本书在收集资料和编写过程中得到了国内外公司、工厂院校和有关单位的支持和帮助。在此谨致谢意。

本书系高等专科院校教材，同时对成人教育、职业教育、数控技术培训和进修等也适用。

由于编写时间仓促和水平所限，本书在体系和内容等方面可能尚有不妥或错误之处，恳请读者给予批评、指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 数控机床的基本组成及工作 原理	1
第二节 数控机床的分类	3
第三节 数控机床的特点	7
复习思考题	9
第二章 数控机床机械结构的特点	10
第一节 对数控机床机械结构的要求	10
第二节 数控机床的主传动及主轴部件	14
第三节 数控机床的进给运动及传动 机构	21
第四节 数控回转工作台和分度工作台	29
第五节 自动换刀装置	35
第六节 其它辅助装置	57
复习思考题	60
第三章 数控加工编程	61
第一节 什么是数控加工编程	61
第二节 编程的基础知识	62
第三节 数控加工的工艺特点	66
第四节 数控加工中心编程	72
第五节 数控车床、数控车削中心编程	96
第六节 自动编程简介	132
第七节 数控加工编程的发展	155
复习思考题	159
第四章 数控系统	166
第一节 数控系统的基本原理与结构	166
第二节 运动轨迹的插补原理	175
第三节 数控系统的刀具半径补偿	182
第四节 数控系统的位置控制	187

第五节 数控机床的辅助功能与可编 程控制器	192
第六节 数控系统的使用	196
复习思考题	203
第五章 数控机床的驱动装置	205
第一节 概述	205
第二节 开环进给伺服系统	206
第三节 检测元件	215
第四节 半闭环、闭环进给伺服系统	221
第五节 主轴驱动装置	234
复习思考题	238
第六章 数控机床的选用、调试 和验收	239
第一节 数控机床的选用	239
第二节 数控机床的安装、调试和 验收	242
复习思考题	249
第七章 数控技术与机械加工自 动化	250
第一节 数控机床的发展趋势	250
第二节 柔性制造系统	254
第三节 CAD/CAM 技术及 CIMS 简介	259
复习思考题	262
附录	263
中华人民共和国机械工业部标准 数字控制 机床穿孔带程序段格 式中的准备功能 G 和辅助功能 M 的代码 JB3208—83	263
参考文献	269

第一章 绪 论

第一节 数控机床的基本组成及工作原理

一、数控机床的发展过程

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的性能、质量、生产率和成本提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程自动化是实现上述要求的最重要技术措施之一,它不仅能够提高产品质量和生产率,降低生产成本,还能改善工人的劳动条件。为此,许多企业采用自动机床、组合机床和专用机床组成自动或半自动生产线。但是,采用这种自动和高效率的设备,需要很大的初期投资以及较长的生产准备周期,只有在大批大量的生产条件下(如汽车、拖拉机、家用电器等主要零件生产),才会有显著的经济效益。

机械制造业中,单件、小批量生产的零件约占机械加工总量的80%左右,此外,科学技术的进步和机械产品市场竞争日趋激烈,致使机械产品不断改型更新换代,批量相对减少,质量要求越来越高,采用专用的自动机床加工这类零件就显得很不合理,而调整或改装专用的“刚性”自动生产线投资大,周期长,有时从技术上讲甚至是不可能实现的。

采用各类仿型机床加工虽然可以部分地解决小批量复杂零件的加工,但在更换零件时,需制造靠模和调整机床,生产准备周期长。而且由于靠模误差的影响,加工零件的精度很难达到较高的要求。

为了解决上述问题,满足多品种、小批量,特别是结构复杂、精度要求高的零件的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的、能够适用产品频繁变化的“柔性”自动化机床。

由于计算机科学技术的发展,1952年,美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(M.I.T.)合作,研制成功了世界上第一台以数字计算机原理为基础的数字控制(Numerical Control 简称NC)三坐标铣床,开创了机械加工自动化的新纪元。1955年,数字控制(简称数控)机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要的作用。

我国从1958年开始研制数控机床,60年代中期进入实用阶段。近年来,由于改革开放,引进国外的数控系统和伺服系统的制造技术,使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前我国已有许多机床厂能够生产不同类型的数控机床。我国经济型数控机床的研究、生产和推广也取得了较大的进展,有力地推动了各行业的技术改造,取得了明显的经济效益和社会效益。

二、数控机床的基本组成及工作原理

数控机床加工零件的工作过程分以下几个步骤实现:①根据被加工零件的图样与工艺方案,用规定的代码和程序格式编写加工程序。②所编程序指令输入机床数控装置。③数控装置将程序(代码)进行译码、运算之后,向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号,以驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助动作,最后加工出合格的零件。

由此可知,数控机床的基本组成包括加工程序、输入装置、数控系统、伺服系统和辅助

控制装置、反馈系统以及机床本体。如图 1-1 所示。

1. 加工程序

数控机床工作时，不需要工人直接去操作机床，要对数控机床进行控制，必须编制加工程序，加工程序上存储着加工零件所需的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息等。加工程序可存储在控制介质（也称信息载体）上，常用的控制介质有穿孔带、磁带和磁盘等。

穿孔带使用最广的是八单位标准穿孔黑色纸带，如图 1-2 所示。

八单位标准纸带中每一行共有九个孔位，其中 $\phi 1.17\text{mm}$ 的小孔为同步孔，另八个 $\phi 1.33\text{mm}$ 的小孔为信息孔。

信息是以代码的形式按规定的格式由纸带穿孔机制作，存储在穿孔纸带上，所谓代码就是将信息孔按一定规定排列的二进制“图案”，每一行代码分别表示一个十进制的数字或一个字母或一个符号。目前国际上通常使用 EIA (Electronic Industries Association) 代码和 ISO (International Organization Standardization) 代码。我国规定使用 ISO 代码为标准代码。

2. 输入装置

输入装置的作用是将控制介质（信息载体）上的数控代码变成相应的电脉冲信号，传递并存入数控系统内。根据控制介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器。数控加工程序也可通过键盘，用手工方式（MDI 方式）直接输入数控系统，或者将数控加工程序由编程计算机用通信方式传送到数控系统中。

3. 数控系统

数控系统是数控机床的中枢，它由输入输出接口线路、控制器、运算器和存储器四大部分组成，这种由专用电路组成的专用计算机数控系统俗称硬件数控（简称 NC）。现在一般采用通用小型计算机或微型计算机作为数控装置，这种数控系统称计算机数控系统（简称 CNC），又称软件数控。

数控系统接受输入装置送来的脉冲信息，经过数控系统的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信息和指令，控制机床的各个部分，进行规定的有序的动作。这些控制信息中最基本的信息是：经插补运算确定的各坐标轴（即作进给运动的各执行部件）的进给速度、进给方向和进给位移量指令。其它还有主运动部件的变速、换向和启停指令；刀

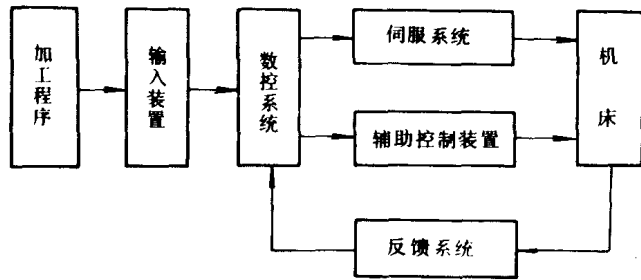


图 1-1 数控机床的基本组成

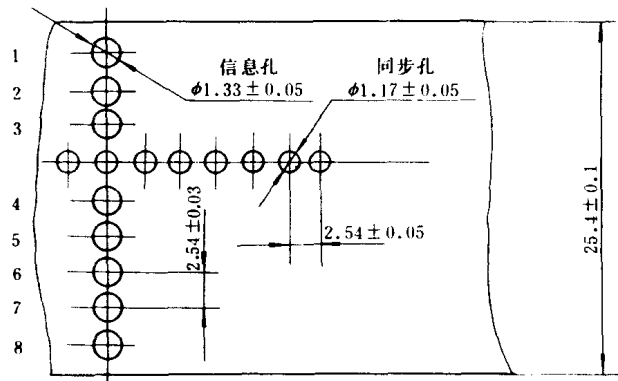


图 1-2 八单位标准穿孔带

具的选择和交换指令；冷却、润滑装置的启停，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位等辅助指令等。

4. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统接受来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动机床的移动部件，以加工出符合图样要求的零件。因此，它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

测量元件将数控机床各坐标轴的位移指令值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中，数控装置对反馈回来的实际位移值与设定值进行比较，并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

相对于数控系统发出的每个进给脉冲信号，机床移动部件的位移量称为最小设定单位，也称为脉冲当量，数控机床根据其精度的不同，常用的脉冲当量为 0.01mm，0.005mm，及 0.001mm。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的主运动换向、变速、启停、刀具的选择和交换，以及其他辅助装置动作等指令信号，经过必要的编译、逻辑判别和运算，经功率放大后直接驱动相应的电器，带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。此外机床上的限位开关等开关信号经它的处理后送数控装置进行处理。

由于可编程逻辑控制器（PLC）具有响应快，性能可靠，易于使用、编程和修改，并可直接驱动机床电器，现已广泛作为数控机床的辅助控制装置。

6. 机床

与传统的机床相比较，数控机床本体仍然由主传动装置、进给传动装置、床身及工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控机床的整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点。

第二节 数控机床的分类

数控机床品种规格繁多，据不完全统计，已有 400 多个品种规格。归纳起来可以用下面几种方法来分类：

一、按加工工艺方法分类

1. 一般数控机床

与传统的机械加工车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工相适应的数控机床有数控车床、铣床、镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床等。尽管这些数控机床加工工艺方法存在很大差别，具体的控制方式也各不相同，但它们都具有很好的精度一致性，较高的生产率和自动化程度。除了切削加工数控机床以外，数控技术也大量用于压力机、冲床、弯管机、折弯机、电火花加工机床等。近年来，非加工设备中也大量采用了数控技术，如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

2. 带自动换刀装置的数控机床（加工中心）

普通数控机床一般只能进行一种工序加工，在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置就成为加工中心机床，加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。以铣、镗、钻加工中心为例，在数控铣床上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置，工件一次装夹后，可以对其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工，特别适合箱体类零件的加工。图 1-3 所示为机械工业部北京机床研究所生产的 JCS-018 立式加工中心外观图。

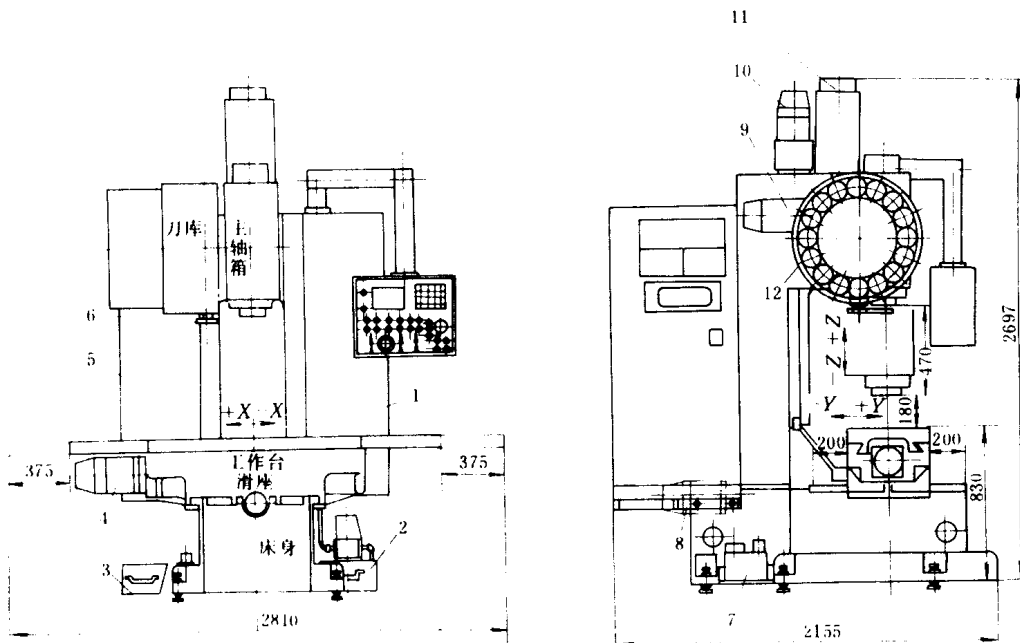


图 1-3 JCS-018 加工中心外观图

- 1—伺服装置、电源 2—冷却油箱（选用） 3—切屑箱 4—X轴电动机
5—数控装置 6—机械手 7—润滑油箱 8—Y轴电动机 9—刀库电动机
10—Z轴电动机 11—主轴电动机 12—刀库罩壳

加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差，减少了机床的台数和占地面积，缩短了辅助时间，大大提高了生产效率和加工质量。

二、按控制系统功能特点分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位，在移动和定位过程中不能进行任何加工。机床数控系统只需控制行程终点的坐标值，而不控制点与点之间的运动轨迹，因此几个坐标轴之间的运动不需任何联系。为了尽可能地减少移动部件的运动时间并提高定位精度，移动部件首先快速移动，到接近终点坐标时减速，准确移动到终点定位。这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机以及数控弯管机等。

点位控制数控机床的数控装置称之为点位数控装置，点位数控装置的控制比较简单。

2. 点位直线控制数控机床

点位直线控制数控机床的特点是机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移动定位，而且能够实现平行坐标轴方向的直线切削加工运动。点位直线数控机床虽然扩大了点位控制数控机床的工艺范围，但它的应用仍然受到了很大的限制，这类数控机床主要有简易数控车床、数控铣镗床等。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床的特点是能够对两个或两个以上坐标轴同时进行切削加工控制，它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且要控制整个加工过程中每一点的速度和位移，也就是说，要控制刀具移动轨迹，将工件加工成一定的轮廓形状。图 1-4 为两坐标轮廓控制数控铣床的工作原理图。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床是典型的轮廓数控机床，它们可代替所有类型的仿型加工，提高加工精度和生产率，缩短生产准备时间。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也都采用了轮廓控制系统。

轮廓控制系统的结构要比点位直线控制系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。

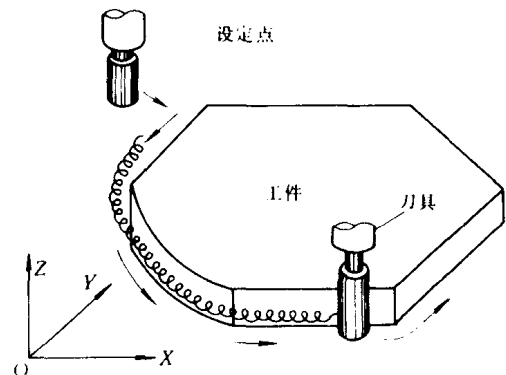


图 1-4 两坐标轮廓控制系统的工作原理图

三、按伺服系统的特点分类

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床的特点是其控制系统不带反馈装置，通常使用功率步进电动机为伺服执行机构。数控装置输出的脉冲通过环形分配器和驱动电路，不断改变供电状态，使步进电动机转过相应的步距角，再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转，通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定的。图 1-5 所示为开环数控机床工作原理。

开环控制系统结构简单，成本较低。但是，系统对移动部件的实际位移量不进行检测，也不能进行误差校正。因此，步进电动机的步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将反映到被加工零件的精度中去。因此，开环系统仅适应加工精度要求不很高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床。

2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点是在开环控制数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置（如感应同步器和光电编码器等），通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移，然后反馈到数控装置中去。半闭环

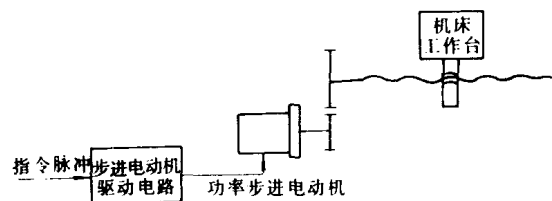


图 1-5 开环数控机床工作原理

数控系统的调试比较方便，并且具有很好的稳定性。目前已逐步将角位移检测装置和伺服电动机设计成一个部件，使结构更加紧凑。

图 1-6 所示为半闭环控制数控机床的工作原理图。

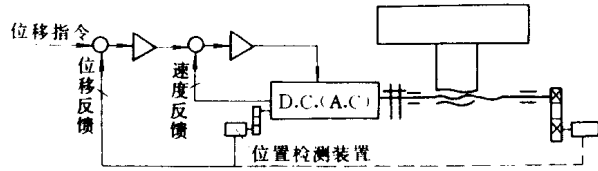


图 1-6 半闭环控制数控机床的工作原理

3. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床的特点是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置，将测量到的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度，而与传动链的误差无关，显然其控制精度将超过半闭环系统，这就为进一步提高机床的加工精度创造了条件。图 1-7 所示为闭环控制数控机床工作原理图。

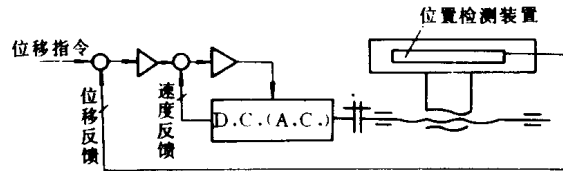


图 1-7 闭环控制数控机床工作原理

闭环控制系统的工作特点对机床的结构以及传动链仍然提出了比较严格的要求，传动系统的刚性不足及间隙的存在、导轨的爬行等各种因素将增加调试的困难，甚至会使数控机床的伺服系统工作时产生振荡。

四、按控制系统的功能水平分类

按照控制系统的功能水平可把数控机床分为高、中、低档（经济型）三种，但是，这种分类由于没有一个确切的定义，所以涵义不明确。下面，我们试图从几个方面对高、中、低档数控机床进行分类：

(1) 主轴功能 主轴不能自动变速的为低档，可以自动无级变速的，甚至具有 C 轴功能的数控机床（如数控车床）为中、高档。

(2) 分辨率和进给速度 分辨率为 $10\mu\text{m}$ ，进给速度在 $8\sim 15\text{m}/\text{min}$ 为低档；分辨率为 $1\mu\text{m}$ ，进给速度在 $15\sim 24\text{m}/\text{min}$ 为中档；分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ ，进给速度在 $15\sim 100\text{m}/\text{min}$ 为高档。

(3) 伺服进给类型 采用开环、步进电动机进给系统为低档；采用半闭环的直流伺服系统为中档；采用闭环控制的直流或交流伺服系统为高档。

(4) 联动轴数 低档数控机床联动轴数为 $2\sim 3$ 轴，中高档的则为 $2\sim 4$ 或 $2\sim 5$ 轴以上。

(5) 通信功能 低档数控一般无通信功能；中档可有 RS232C、RS485 等通信接口；高档的还有制造自动化协议 MAP (manufacturing automation protocol) 通信接口，具有联网功能。

(6) 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 CRT 字符显示，而中档数控则具有较齐全的 CRT 显示，不仅有字符，而且有图形、人机对话、自诊断功能；高档数控还可以有三维图形显示。

(7) 内装 PLC 低档数控无内装 PLC，中高档数控都有内装 PLC，高档数控内装 PLC 功能很强，并具有轴控制的扩展功能。

(8) 主 CPU 低档数控一般采用 8 位 CPU, 中高档的数控已由 16 位 CPU 向 32 位 CPU 过渡, 国外最新的数控已有选用 64 位 CPU, 以提高运算速度。

在我国, 把由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统和其他功能简单、价格低的系统称为经济型数控。主要用于车床、线切割机床, 以及旧机床改造等。这类数控机床属于低档数控。而把功能比较齐全的数控系统称为全功能数控, 或称标准型数控。

第三节 数控机床的特点

一、数控机床的加工特点

1. 加工精度高

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的, 目前数控机床的脉冲当量普遍达到了 0.001mm, 而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿, 因此, 数控机床能达到很高的加工精度。对于中、小型数控机床, 定位精度普遍可达 0.03mm, 重复定位精度为 0.01mm。此外, 数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性, 制造精度高, 数控机床的自动加工方式避免了人为的干扰因素, 同一批零件的尺寸一致性好, 产品合格率高, 加工质量十分稳定。

2. 对加工对象的适应性强

数控机床上改变加工零件时, 只需重新编制(更换)程序, 输入新的程序就能实现对新的零件的加工, 这就为复杂结构的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利。对那些普通手工操作的一般机床很难加工或无法加工的精密复杂零件, 数控机床也能实现自动加工。

3. 自动化程度高, 劳动强度低

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成, 操作者除了安放穿孔带或操作键盘、装卸工件、关键工序中间检测, 以及观察机床运行之外, 不需要进行繁杂的重复性手工操作。劳动强度与紧张程度均可大为减轻。加上数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置, 操作者的劳动条件也大为改善。

4. 生产效率高

零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大, 因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量; 由于数控机床的结构刚性好, 因此允许进行大切削用量的强力切削, 这就提高了数控机床的切削效率, 节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快, 工件装夹时间短, 辅助时间比一般机床少。

数控机床更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床, 节省了零件安装调整时间, 数控机床加工质量稳定, 一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验, 因此节省了停机检验时间。在加工中心机床上加工时, 一台机床实现了多道工序的连续加工, 生产效率的提高更为明显。

5. 良好的经济效益

数控机床虽然设备昂贵, 加工时分摊到每个零件上的设备折旧费较高, 但在单件、小批量生产情况下, 使用数控机床加工, 可节省划线工时, 减少调整、加工和检验时间, 节省直

接生产费用；数控机床加工零件一般不需制作专用工夹具，节省了工艺装备费用；数控机床加工精度稳定、减少了废品率，使生产成本进一步下降。此外，数控机床可实现一机多用，节省厂房面积、节省建厂投资。因此，使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

6. 有利于现代化管理

采用数控机床加工，能准确地计算零件加工工时和费用，并有效地简化了检验工夹具、半成品的管理工作，这些特点都有利于使生产管理现代化。

数控机床使用数字信息与标准代码输入，最适宜于数字计算机联网，成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础。

二、数控机床的使用特点

1. 数控机床对操作维修人员的要求

数控机床采用计算机控制，伺服系统的技术复杂，机床精度要求很高。因此，数控机床的使用不是简单的设备使用问题，而是一项技术应用工程，这就要求数控机床的操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和技术素质。

数控机床的加工根据程序进行，当数控机床不多或加工的零件的形状又不甚复杂的情况下，由操作人员手工或者利用计算机辅助编制程序。程序编制既有一定的技术理论又有一定的技巧。编程直接关系到数控机床功能的开发和使用。程序的精度直接影响数控机床的加工精度。因此，数控机床的操作人员除了应具有一定的工艺知识和普通机床的操作经验之外，还应应对数控机床的结构特点、工作原理以及程序编制进行专门的技术理论培训和操作训练，经考核合格者才能上机操作，以防止数控机床操作使用时人为的事故发生，同时也才能正确编写或快速理解程序，并对数控加工各种情况做出正确的综合判断和处理。

当数控机床较多或者加工的零件比较复杂时，手工编程就很困难，而且往往容易出错，因此必须采用计算机自动编程，一般需配备专门的程序设计人员，如果操作者文化素质较高，经专门的培训后也可掌握自动编程。

正确的维护和有效的维修是提高数控机床效率的基本保证。数控机床的维修人员应有较高的理论知识和维修技术，机修人员要懂得一些数控机床的电气维护知识，电修人员要了解数控机床的结构和程序编制。维修人员应有比较宽的机、电、液专业知识，才能综合分析，判断故障根源，实现高效维修，以便尽可能地缩短故障停机时间。为此目的，数控机床维修人员和操作人员一样，必须进行专门的培训，才能达到上述要求。

数控机床的使用，不但要对从事数控加工和维修人员进行培训，而且与数控机床有关的工作人员都应进行数控加工技术知识的普及，以利于数控机床高效能的发挥。为此目的，主要的数控机床生产厂家都成立了数控机床培训服务中心，机械工业部也在南京建立了数控培训中心。

2. 数控机床对夹具和刀具的要求

当单件生产时，一般采用通用夹具；如果为批量生产，为了节省加工工时，应使用专用夹具，数控机床的夹具应定位可靠，自动夹紧或松开工件，夹具还应具有良好的排屑、冷却结构。

数控机床的刀具应该具有以下特点：①较高的精度、耐用度和几何尺寸稳定、变化小。②刀具能实现机外预调、快速换刀，加工高精度孔时经试切确定其尺寸。③刀具应具有柄部标准系列。④很好地控制切屑的折断、卷曲和排出。⑤具有良好的可冷却性能。

三、数控机床的应用范围

数控机床存在一般机床所不具备的许多优点，数控机床的应用范围正在不断扩大，但它并不能完全代替普通机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的零件：①多品种小批量生产的零件。②形状结构比较复杂的零件。③需要频繁改型的零件。④价值昂贵，不允许报废的关键零件。⑤需要最少周期的急需零件。⑥批量较大精度要求高的零件。

由于机械加工劳动力费用的不断增加，数控机床的自动化加工又可减少操作工人（中小型数控机床可实现一人多台看管），因此，大批量生产的零件采用数控机床（特别是经济型数控机床）加工，在经济上也是可行的。

广泛推广数控机床的最大障碍是设备的初始投资大。由于系统本身的复杂性，又增加了维修的技术难度和维修费用。

考虑到上述种种原因，在决定选用数控机床加工时，需要进行科学的技术经济分析，使数控机床能发挥它的最好经济效益。

复习与思考题

- 1-1 数控机床的加工原理是什么？什么样的机床称数控（NC）机床？什么样的机床称计算机数控（CNC）机床？
- 1-2 数控机床由哪些部分组成？各有什么作用？
- 1-3 什么叫做点位控制、点位直线控制、轮廓控制数控机床？有何特点及应用？
- 1-4 什么是开环、闭环、半闭环控制数控机床？有何特点及应用？
- 1-5 数控机床适合加工什么样的零件？

第二章 数控机床机械结构的特点

用数控机床进行加工，要求在保证质量前提下有更好的经济性。数控机床价格昂贵、每小时的加工费用比传统机床的要高得多。只有采取措施大幅度地压缩单件加工工时，才可能获得较好的经济效果。刀具材料的发展使切削速度成倍地提高，它为缩短切削时间提供了可能；自动换刀及按指令进行变速，为减少辅助时间创造了条件。这些措施将会明显地增加机床的负载状态下的运转时间，因而对机床的刚度及寿命提出了新的要求。此外，为了缩短装夹与运送工件的时间，以及减少工件经多次装夹所引起的定位误差，要求工件在一台数控机床上一次装夹后能先后进行粗加工和精加工，这就要求机床既能承受粗加工时的最大切削力，又能保证精加工时的高精度，所以机床结构必须具有很高的强度、刚度和抗振性。数控系统不但要对刀具的位置或轨迹进行控制，而且还要具备自动换刀和补偿机能，因而机床的结构必须有很高的可靠性，以保证这些机能的正确执行。

第一节 对数控机床机械结构的要求

一、提高机床的静、动刚度

由机床床身、底座、立柱等支承件变形所产生的定位和加工误差取决于它们的结构刚度，而这些误差在加工过程中不能进行人为的调整与补偿。因此，必须把移动部件的质量和切削力引起的弹性变形控制在最小限度之内，以保证所要求的加工精度与表面质量。为此，必须采取措施，提高数控机床的结构刚度。

1. 合理选择支承件的结构形式

支承件受弯曲和扭转载荷后，其变形大小取决于断面的抗弯抗扭惯性矩。截面积相等形状相同的断面，应减少壁厚，加大截面的轮廓尺寸；抗扭选用圆截面，抗弯选用方截面；支承件的截面尽可能选用封闭型，当侧壁上开孔时，使孔周围加上凸缘可提高抗弯刚度。

合理地布置支承件的隔板和筋条，可提高构件的刚度，隔板、肋条可横向、纵向或对角布置，有利于提高构件的抗弯、抗扭惯性矩。对卧式机床的床身布置隔板和肋条，要考虑方便排屑。

机床导轨与支承件的联结部分，往往是局部刚度最弱的地方，如果导轨尺寸较窄，可用单壁或加厚单壁联结，或者在单壁上增加垂直筋条以提高局部刚度（图 2-1a、b、c）；如果导轨尺寸较宽时，应用双壁联结（图 2-1d、e、f）。

提高机床各部件的接触刚度能够增加机床的承载能力。通常采用刮研的方法增加单位面积上的接触点；在结合面之间施加足够大的预加载荷也能增加接触面积，减少接触变形。

2. 合理的结构布局

床身、立柱上的较重移动部件应尽可能置于构件的中间，可减少自重和切削力引起的变形。以卧式镗床或卧式加工中心为例，如果主轴箱单面悬挂立柱侧面（图 2-2a），主轴箱自重

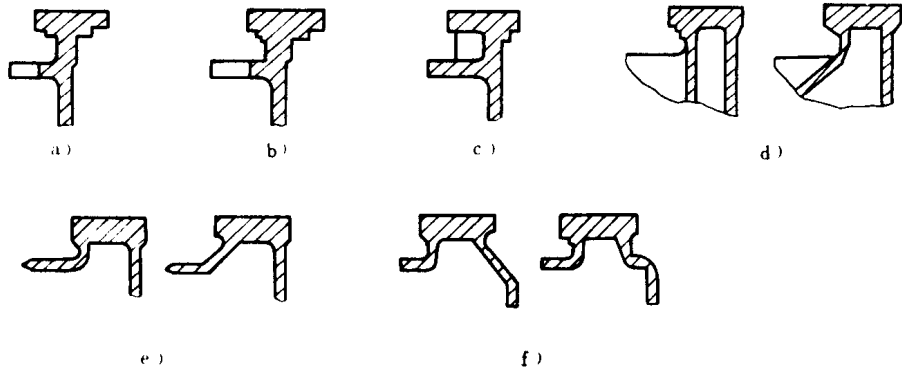


图 2-1 导轨与支承件的联接

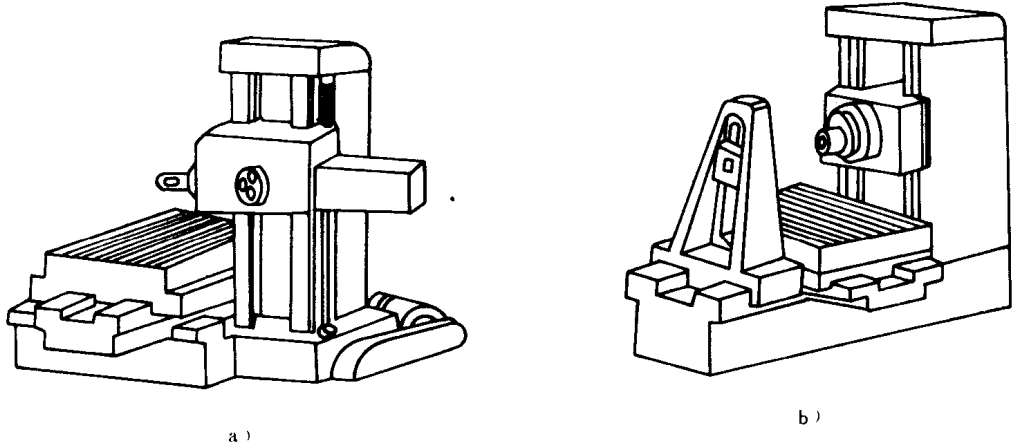


图 2-2 机床结构布局

使立柱产生弯曲变形；切削力将使立柱产生弯曲和扭转变形。主轴箱置于立柱对称平面内（图 2-2b），主轴箱的自重基本上不引起立柱变形，切削力引起的变形也将显著减小。

3. 采用补偿变形的措施

如果能够测出着力点的相对变形的大小和方向，或者预知构件的变形规律，就可采取相应的措施来补偿变形以消除受力变形的影响，其结果相当于提高了机床的刚度。如图 2-3 所示的大型龙门铣床，当主轴部件移到横梁中部时，在自重的作用下，横梁向下的弯曲变形最大。为此，可将横梁导轨作成“拱形”，即凸部向上

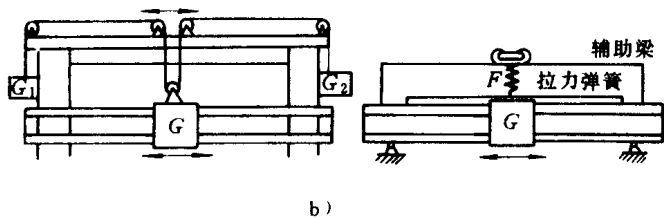
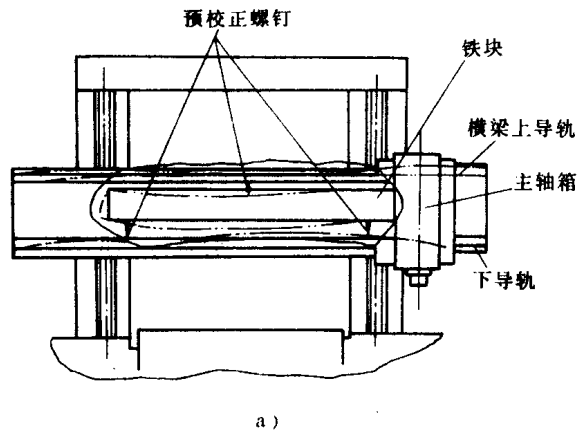


图 2-3 补偿措施

凸起的形状，使变形得到补偿。也可在横梁内部安装辅助横梁，利用预校正螺钉对横梁主导轨进行预校正（图 2-3a）。也可以用加平衡重的办法，减少横梁因主轴和自重而产生的变形（图 2-3b）。

4. 合理选用构件的材料

床身、立柱等支承件，采用钢板或型钢焊接而成，具有减轻重量提高刚度的显著特点。钢的弹性模量约是铸铁的二倍，在形状与轮廓尺寸相同的前提下，如果焊接件与铸件的刚度相同，则焊接件的壁厚只要铸件的一半；如果要求局部刚度相同，因局部刚度与壁厚的三次方成正比，焊接件的壁厚也实需铸件壁厚的 80% 左右。

将型砂或混凝土等阻尼材料填充在支承件的夹壁中，可以有效地提高阻尼特性，增加支承件的动刚度。直接利用混凝土、树脂混凝土或人造花岗岩作支承件的材料，可显著提高支承件的抗振性，提高数控机床的加工精度。

二、减少机床的热变形

机床在内外热源的影响下，各部件将发生不同程度的热变形，使工件与刀具之间的相对运动关系遭到破坏，也使机床的精度下降。另一方面，为了使机床的热变形达到稳定的数值，通常需要花费很多时间来预热机床，这就直接影响了数控机床的生产率。数控机床按程序自动加工，加工过程中不直接进行测量工作，不可能通过人工修正热变形误差，因此，热变形对数控机床的影响就更为严重。

减少数控机床的热变形，通常采用如下措施：

(1) 减少机内发热 主运动采用直流或交流调速电动机，减少传动轴和传动齿轮；采用低摩擦系数的导轨和轴承，液压系统中采用变量泵，这些措施都可减少摩擦和能量损失。

(2) 改善散热和隔热条件 主轴箱和主轴部件用强制润滑冷却，甚至采用制冷后的润滑油进行循环冷却；液压油泵站是一个热源，最好放置在机床之外，如果必须放在机床内，则应采取隔热和散热的措施；切削过程发热量大，要使用大流量的冷却液进行冷却，并且要能自动地及时排屑；对于发热大的部位，应增大其散热面积。

(3) 合理设计机床的结构与布局 根据热对称原则设计数控机床的机械结构，例如采用双立柱结构代替单立柱结构。双立柱结构左右对称，受热后主轴轴线除产生垂直方向的平移外，其它方向变形很小，而主轴在垂直方向的轴线移动，数控机床可以很方便地用一个坐标的修正量进行补偿。

对于数控车床的主轴箱，可以通过试验确定主轴的热变形方向，尽可能使刀具安装（切入）方向与主轴热变形方向垂直（图 2-4 所示），以减少热变形对工件加工直径的影响。

除此以外，数控机床的结构设计与布局时，应注意使热量比较大的部位的热量向热量小的部位传导或流动，也是减少热变形的有效措施。

(4) 进行热变形补偿 根据热变形的规律，建立热变形的数学模型，或测定其变形的具体数值，存入数控系统，用以进行实时补偿校正，如传动丝杠的热伸长误差，导轨平行度或平直度的热变形误差等，都可采用软件实时补偿来消除其影响。

三、减少运动副的摩擦，提高传动精度

数控机床的运动精度和定位精度不仅受机床零部件的加工精度、装配精度、刚度及热变形的影响，而且与运动件的摩擦特性有关。