

高职高专机电类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN JIDIANLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



数控加工工艺 及编程基础

■ 谌慧铭 主 编 杜 军 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

高职高专机电类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN JIDIANI FIZHIJIAN YE GUIHUA JIAOCAI



数控加工工艺 及编程基础

主 编 湛慧铭
副主编 杜 军
编 写 雷 波 刘华华
主 审 傅水根

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为高职高专机电类专业规划教材。

本书以国产的华中数控系统为载体讲解编程操作,同时对工艺分析、指令使用都结合生产实际进行了较详细的讲解,并配以实例。这样在行动导向的教学形式中可以以本书作为基本知识点的学习依据或实例参考,有利于学生的自主学习。本书主要内容包括:概述,数控加工编程基础,数控加工工艺基础,数控车床的编程,数控铣床的编程,加工中心的编程。本书内容丰富、图文并茂,所有程序都经过实际验证,有代表性,通俗易懂。

本书可作为高职高专院校机电类专业的教材,也可供其他专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺及编程基础/谌慧铭主编. —北京:中国电力出版社, 2008

高职高专机电类专业规划教材

ISBN 978-7-5083-7280-8

I. 数… II. 谌… III. ①数控机床-加工工艺-高等学校: 技术学校-教材②数控机床-程序设计-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 082094 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 7 月第一版 2008 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 248 千字

定价 16.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

目前,我国绝大多数工科类高职院校都开设有机电类专业,这类专业都会开设“数控机床”及相关的课程。随着机电技术、数控技术的发展,随着高职高专院校教学改革的深入,这类课程必然会产生变化。这种变化一方面体现在针对不同专业方向,课程设置会有所不同;另一方面体现在课程的教学内容和组织形式会进行改革。例如同为机电类专业,机电一体化技术应用专业主要学习数控机床的基本编程及操作;数控技术专业除了编程和操作,更要在数控加工工艺、数控加工设备、CAM 技术等方面有进一步的要求;另外像模具设计及制造专业则在数控加工工艺的特种加工技术方面有更多要求等。同时,根据国家教委 [2006] 16 号文的精神,要以行动导向、工学结合的模式进行教学。这些,都给教材建设提出了新的要求和机遇。

本书就是考虑这些要求,根据高职高专教育机电类专业人才培养目标及要求,结合编者多年的教学经验而编写的。

已出版的此类教材多以 SIMENS、FANUC 系统为对象,考虑到部分学校的实际情况,本书以国产的华中数控系统为载体讲解编程操作。同时,结合生产实际对工艺分析、指令使用做了较为详细的讲解,并配以实例,加强理解。在行动导向的教学形式中,可以以本书作为基本知识点的学习依据或参考实例,有利于学生的自主学习。本书内容丰富、图文并茂,所有程序都经过实际验证,具有一定的代表性,且通俗易懂,是一本实用性强、适用面广的教材。

考虑到篇幅问题,还有一些更细、更多、更高级的加工工艺及编程技巧书中没有讲到,所以本书只是数控加工工艺及编程的基础篇。

本书由武汉电力职业技术学院湛慧铭主编,武汉软件工程职业技术学院杜军副主编。其中,第一章~第三章由湛慧铭编写,第四章由湖北三峡职业技术学院刘华编写,第五章由湖北三峡职业技术学院雷波编写,第六章由杜军编写。全书由湛慧铭统稿。

本书由清华大学傅水根教授进行了细致严谨的审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2008 年 4 月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 数控机床简介	1
第二节 数控机床的工作原理和组成	2
第三节 数控机床的分类	6
第四节 数控机床的发展趋势	8
习题	11
第二章 数控加工编程基础	12
第一节 数控编程的步骤与方法	12
第二节 数控机床的坐标系统	13
第三节 数控加工程序代码标准	17
习题	27
第三章 数控加工工艺基础	28
第一节 数控加工工艺概述	28
第二节 数控加工的工艺分析	29
第三节 零件图形的数学处理	46
习题	49
第四章 数控车床的编程	51
第一节 数控车床概述	51
第二节 数控车床的工件装夹与对刀	54
第三节 数控车床基本编程指令	55
第四节 车削固定循环指令	58
第五节 螺纹车削循环指令	68
第六节 刀具补偿	72
第七节 数控车床加工操作实训	76
习题	86
第五章 数控铣床的编程	88
第一节 数控铣床概述	88
第二节 数控铣床编程指令	93
第三节 简化编程指令	98
第四节 用户宏程序	102
第五节 华中世纪星数控系统极坐标编程	107

第六节 数控铣床编程实例	108
第七节 数控铣床加工操作实训	113
习题	121
第六章 加工中心的编程	126
第一节 数控加工中心简介	126
第二节 加工中心的工艺准备	131
第三节 特色编程指令	137
第四节 固定循环指令	141
第五节 综合加工技术	149
习题	155
参考文献	158

第一章

概 述

第一节 数控机床简介

一、数控机床的产生和发展

随着现代科学技术的不断发展,人们对机械产品的性能、精度、可靠性、个性化等方面的要求日趋提高,因此就需要有相应的加工设备来实现这种产品的加工要求。数字控制机床(简称数控机床),就是为了解决单件、小批量、特别是复杂型面、高精度要求的零件加工问题而产生的。

1952年,美国 PARSONS 公司与麻省理工学院(MIT)联合研制了第一台三坐标数控铣床样机。它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、检测等多方面的技术,是一种全新概念的机床。三坐标数控铣床样机的出现是机械制造行业中的一次重要的技术革命,使现代制造业产生巨大变革,使机械制造业进入一个新的阶段。1958年,美国 KEANEY & TRECKER 公司首先研制成功了带有自动换刀装置的加工中心。

从第一台数控机床问世至今五十多年,数控机床和数控技术发展非常迅速。从早期的硬件数控到计算机数控(CNC)、开放式数控;从单轴控制到多轴联动;从步进电机控制到交流伺服控制;还有各种补偿技术、STEP-NC等。目前,几乎所有品种的机床都实现了单机数控化,而且自适应控制系统(ACS, Adaptive Control System)、柔性制造系统(FMS, Flexible Manufacturing System)、计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)等相继出现,并日趋成熟。相关的技术,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工艺规划(CAPP, Computer Aided Process Planning)等也逐步提高。这些都说明数控机床已成为现代机械制造生产系统的关键设备。目前,数控机床整体水平和拥有量充分展现了一个国家工业现代化的发展水平,也是衡量一个国家装备制造业水平的重要标志。

1958年,清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控铣床。我国的数控技术发展经历了三个阶段:封闭式发展阶段、引进技术消化吸收阶段和实施产业化进入市场竞争阶段,目前已经取得了令人瞩目的成绩,现已成立了多家数控机床的生产厂家;一批具有自己版权的数控系统生产厂家,现已攻克了五轴联动的技术难关;一些高档数控攻关项目通过了国家鉴定并陆续在工程上得到了应用,实现了高速、高精度、高效经济的加工效果等。但是,依然存在产品水平偏低、可靠性较差、名牌效应差、市场占有率低等问题,有待继续努力。

二、相关概念

1. 数字控制技术(简称数控技术)

一般意义上的数控(NC)是指用数字化的信息对过程进行的控制。机床中的数控技术专指用计算机对机械加工过程中各种控制信息进行数字化运算、处理,并通过高性能的驱动单元对机械执行部件进行自动化控制的高新技术。

2. 数控机床 (NCMT, Numerical Control Machine Tools)

数控机床是指应用数控技术对其加工过程进行自动控制的机床。国际信息处理联盟第五技术委员会对其所下的定义是：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或其他符号编码指令规定的程序。

3. 数控系统

数控系统是指实现数控技术相关功能的软硬件模块的有机集成系统。它是数控技术的载体。其中，采用通用计算机硬件结构，用控制软件来实现数控功能的数控系统，称为计算机数控系统 (CNC)。

第二节 数控机床的工作原理和组成

一、数控机床的工作原理

数控加工是根据零件图样、工艺要求等条件编制零件加工数控程序，输入数控机床，控制机床中的相应动作，从而完成零件加工的过程。了解了这个过程，就能理解数控机床的工作原理。

图 1-1 所示为数控加工与普通加工的比较。

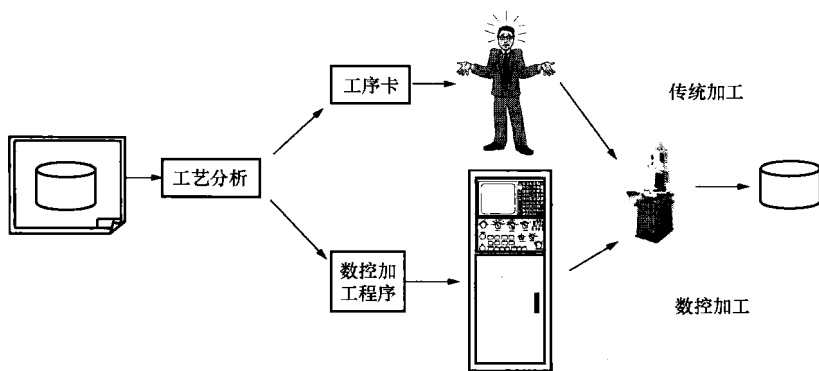


图 1-1 数控加工与普通加工的比较

与传统加工比较，数控加工在方法与内容上有许多相似之处，不同之外主要表现在控制方式上。以机械加工为例，用通用机床加工零件时，工步的安排、机床运动的先后次序、位移量、走刀路线、有关切削参数的选择等，都是由操作者自行考虑和确定，并且是用手工操作方式进行控制。操作者是根据工序卡的要求，在加工过程中根据零件实际情况，不断改变刀具与工件的相对运动轨迹和加工参数，从而加工出合格零件。如果采用自动车床、仿型机床加工，虽然也能达到对加工过程实现自动控制的目的，但其控制方式是通过预先配置的凸轮、挡块或靠模来实现的。而在 CNC 机床上，传统加工过程中的人工操作均被数控系统的自动控制所取代。其工作过程是：首先将被加工零件的几何信息和工艺信息参数化，即将刀具与工件的相对运动轨迹、加工中的主轴转速和进给速度的变换、各种辅助动作的控制和操作，都按规定的代码和格式编成加工程序，然后将该程序输入数控系统。数控系统对程序进行编译后，按照程序的要求，发出控制指令，使机床的主运动、进给运动以及辅助动作相互协调，从而自动完成零件的加工。

更进一步来看,在数控加工过程中,具有非常重要的数据转换过程,如图 1-2 所示。

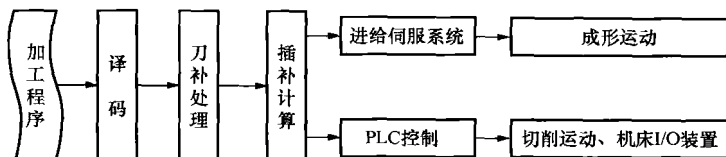


图 1-2 数控加工中数据转换过程

(1) 译码。将用文本格式表达的零件加工程序,以程序段为单位转换成刀补处理程序所要求的数据格式。主要包括各轴坐标值、进给速度、主轴转速、G 代码、M 代码、子程序处理等数据或标志的存放顺序和格式。

(2) 刀补处理。零件加工程序通常按零件轮廓编制,而机床控制的是刀具中心位置坐标,因此加工前必须将零件轮廓变换成刀具的中心轨迹。刀补处理就是完成这种转换的处理程序。

(3) 插补计算。插补的任务是根据由各种线型(直线、圆弧等)组成的零件轮廓,按系统规定的插补精度要求,实时计算出各个进给轴在插补周期内的位移指令,并传递给进给伺服系统,实现成形运动。

(4) PLC 控制。在机床运行过程中,以数控系统内部和机床各行程开关、传感器、按钮、继电器等开关信号状态为条件,按预先规定的逻辑关系对诸如主轴启停、换向,换刀,工件夹紧、松开,液压、冷却、润滑系统的运行等进行控制。

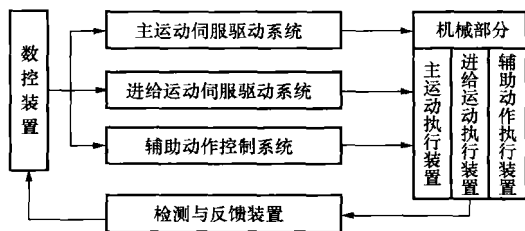


图 1-3 数控机床构成简图

下面通过介绍数控机床的组成,进一步说明数控机床的工作原理。

二、数控机床的组成

图 1-3 所示为数控机床构成简图。

1. 程序载体和输入输出装置

零件的数控加工程序以一定的格式和代码存储在一种载体上,如穿孔纸带、磁盘等,通过一定的输入装置输入到数控装置内。

现代数控机床也可以通过键盘、RS-232 通信接口、网络等进行程序的输入。另外,数控机床还有显示器等输出设备,用于和操作人员之间的信息反馈。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。其主要作用是根据输入的零件加工程序、数据或操作命令进行相应的处理,完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制等,然后输出控制命令到相应的运动控制系统,完成零件加工程序或操作者所要求的工作。数控装置主要由专用(或通用)计算机、输入输出控制板、位置控制板、扩展功能模块、相应的控制软件等模块组成。

3. 主运动伺服驱动系统

主运动伺服驱动系统的主要作用是接收数控装置发来的运动指令,经过处理后送到执行装置,实现零件加工的主运动,其控制量主要是速度。

4. 进给运动伺服驱动系统

进给运动伺服驱动系统的主要作用是接收数控装置发来的运动指令,经位置运算、功率

放大等处理后送到执行装置,实现零件加工的成形运动,其控制量为速度和位置。

5. 辅助动作控制系统

辅助动作控制系统的主要作用是接收数控装置发来的指令和相关检测元件的检测信号,进行与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制,从而实现换刀、开关冷却液、行程保护等功能。现代数控机床要实现这部分功能通常离不开由 PLC、继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成的逻辑电路。

6. 机械部分

机械部分是机床本体,是数控系统的控制对象,是实现零件加工的执行部件。它主要由支承件(立柱、床身等)、主运动部件(主轴、主运动传动机构)、进给运动部件(工作台、拖板及相应的传动机构)和辅助装置(如自动换刀装置、冷却装置、润滑装置、夹紧装置、排屑装置等)组成。

7. 检测与反馈装置

检测与反馈装置的作用是通过传感器将所检测的各种信号(如位移、速度)转换成电信号,反馈给数控装置,用来与指令信号比较,并由数控装置发出指令,提高控制精度。

三、数控机床的特点与适用范围

1. 加工特点

与普通机床相比,数控机床在加工上具有以下特点。

(1) 自动化程度高。在数控机床上加工零件时,除了手工装卸工件外,全部加工过程都可由机床自动完成。这样,大大减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件。

(2) 具有加工复杂形状零件的能力。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或无法进行的复杂型面加工。

(3) 生产准备周期短。在数控机床上加工新零件,绝大部分准备工作是根据零件的图样进行工艺设计、编写加工程序,而不是普通加工那样去准备靠模、专用夹具等工艺装备,这样大大缩短了生产的准备时间并降低成本。因此,应用数控机床特别有利于产品的升级换代和新产品的开发。

(4) 加工精度高、质量稳定。数控机床是按预先编制好的加工程序进行工作,加工过程中无需操作者的调整,故不易受人为因素影响,加工精度稳定。另外,数控机床还可以通过采用一些补偿技术来消除或减小多种因素对加工精度造成的影响,这也有助于提高零件的加工精度。

(5) 生产效率高。数控机床的加工效率比普通机床高 2~3 倍,在加工复杂零件时更能明显提高加工效率。一方面由于自动化程度高,且工序集中;另一方面是因为加工中可采用较大的切削用量,能有效减少切削工时。

(6) 易于联网。数控机床使用数字信息,易于与 CAD/CAM/CAPP 系统连接,形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化系统。也可以通过联网实现远程控制、故障诊断等,为日后进一步实现制造过程网络化、智能化提供了必备的基础条件。

但数控机床也有它的缺点:

(1) 价格较贵,加工成本高,提高了起始阶段的投资;

(2) 技术复杂,增加了电子设备,维护、维修困难;

(3) 对工艺和编程要求较高,加工中难以调整,对操作人员的技术水平要求较高。

2. 适用加工范围

根据数控加工的优缺点以及大量的应用实践,一般按适应程度将零件分为下述三类。

(1) 最适应类。有些零件在普通机床上无法加工或很难保证产品质量,这类零件最适应数控加工,如:

- 1) 形状复杂,且加工精度高;
- 2) 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体、筒类、盒形零件;
- 3) 必须在一次装夹中合并完成多工序的零件。

(2) 较适应类。此类零件从提高生产率及经济效益方面出发,一般也可以作为数控加工的对象,主要有:

- 1) 在普通机床上易受人为因素干扰,质量不易控制的零件;
- 2) 零件价值高,加工失误会造成重大损失的零件;
- 3) 在普通机床上加工必须制造复杂专用工艺装备的零件;
- 4) 需要多次更改设计后才能定型的零件;
- 5) 用普通机床加工生产率很低或体力劳动强度很大的零件。

(3) 不适应类。此类零件若采用数控加工,在生产效率和经济性方面无明显改善,还可能得不偿失,故一般不作为数控加工的对象。主要包括:

- 1) 生产批量很大的零件;
- 2) 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件;
- 3) 加工余量很不稳定,且数控机床上无在线检测系统可自动调整坐标位置的零件;
- 4) 必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

四、数控机床的主要指标

1. 规格指标

规格指标是指数控机床的基本能力指标,主要包括以下几个方面。

(1) 行程范围和摆角范围。行程范围是指坐标轴可控的运动区间,它反映该机床允许的加工空间,一般情况下工件轮廓尺寸应在加工空间的范围之内。摆角范围是指摆角坐标轴可控的摆角区间,也反映该机床的加工空间。

(2) 工作台面尺寸。它反映该机床安装工件的最大范围,通常应选择比最大加工工件稍大一点的面积,这是因为要预留夹具所需的空間。

(3) 承载能力。它反映该机床能加工零件的最大重量。

(4) 主轴功率和进给轴扭矩。它反映该机床的加工能力,同时也可间接反映机床的刚度和强度。

(5) 控制轴数和联动轴数。数控机床的控制轴数通常是指机床数控装置能够控制的进给轴数。数控机床控制轴数与数控装置的运算处理能力、运算速度及内存容量等有关。联动轴数是指数控机床同时控制多个进给轴,使它们按规定的路线和进给速度所确定的规律运动的进给轴的数目。它反映数控机床的曲面加工能力。

(6) 刀库容量。刀库容量是指刀库能存放加工所需刀具的数量,它反映该机床能加工工序内容的多少。目前,常见的中小型加工中心多为16~60把,大型加工中心达100把以上。

2. 性能指标

(1) 最高主轴转速和最大加速度。最高主轴转速是指主轴所能达到的最高转速,它是影

响零件表面加工质量、生产效率及刀具寿命的主要因素之一。最大加速度是反映主轴提速能力的性能指标，也是加工效率的重要指标。

(2) 最高快移速度和最高进给速度。最高快移速度是指进给轴在非加工状态下的最高移动速度，最高进给速度是指进给轴在加工状态下的最高移动速度，它们也是影响零件加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素。这两个性能指标受数控装置的运算速度、机床动态特性、工艺系统刚度等因素的限制。

(3) 分辨率与脉冲当量。分辨率是指两个相邻的分散节点之间可以分辨的最小间隔。对测量系统而言，分辨率是可以测量的最小增量；对控制系统而言，分辨率是可以控制的最小位移增量。数控装置每发出一个脉冲信号，反映到机床移动部件上的移动量，通常称为脉冲当量。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。脉冲当量越小，数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

另外，还有换刀速度和工作台交换速度，它们也是影响生产效率的性能指标。

3. 可靠性指标

(1) 平均无故障工作时间 MTBF (Mean Time Between Failures)。

它是指一台数控机床在使用中两次故障间隔的平均时间，即数控机床在寿命范围内总工作时间和总故障次数之比，即

$$MTBF = \frac{\text{总工作时间}}{\text{总故障次数}}$$

显然，这段时间越长越好。

(2) 平均故障修复时间 MTTR (Mean Time to Repair)。

它是指一台数控机床从开始出现故障直到能正常工作所用的平均修复时间，即

$$MTTR = \frac{\text{总故障停机时间}}{\text{总故障次数}}$$

(3) 平均有效度 A。

如果将 MTBF 看作设备正常工作的时间，将 MTTR 看作设备不能工作的时间，那么正常工作时间与总时间之比称为设备的平均有效度 A，即

$$A = \frac{\text{平均无故障工作时间}}{\text{平均无故障工作时间} + \text{平均故障修复时间}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

平均有效度反映了设备提供正确使用的能力，是衡量设备可靠性的一个重要指标。

第三节 数控机床的分类

数控机床的种类很多，通常按以下几种分类。

一、按工艺用途分类

(1) 切削加工类。具有切削加工功能的数控机床，如数控铣床、数控车床、数控磨床、加工中心、数控齿轮加工机床、柔性制造单元 (FMC) 等。

(2) 成型加工类。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。

(3) 特种加工类。具有特种加工功能的数控机床，如数控线切割机、电火花加工机、激光加工机等。

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

二、按控制功能分类

1. 点位控制数控机床

此类数控机床仅能控制两个坐标轴带动刀具相对于工件运动，从一个坐标位置快速移动到下一个坐标位置，然后控制第三个坐标轴进行钻、镗切削加工。点位数控机床具有较高的位置定位精度；为了提高生产效率，定位运动采用数控系统设定的最高进给速度；在移动过程中不进行切削加工，因此对运动轨迹没有要求。点位控制数控机床用于加工平面内的孔系，此类机床主要有数控钻床、印刷电路板钻孔机、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机等。目前，仅具有点位控制功能的数控机床已不多见。

2. 直线控制数控机床

此类数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度，沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工，进给速度根据切削条件可在一定范围内调节。早期，简易的两坐标数控车床可用于加工台阶轴。简易的两坐标数控铣床，可用于平面的铣削加工。现阶段仅具有直线控制功能的数控机床也已不多见。

3. 轮廓控制数控机床

此类数控机床具有控制几个坐标轴同时协调运动，即多坐标轴联动的能力，使刀具相对于工件按程序规定的轨迹和速度运动。能在运动过程中进行连续切削加工，可实现联动加工是此类数控机床的本质特征。用于加工曲线和曲面形状零件的轮廓控制数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等，现代的数控机床基本上都是这种类型。若根据其联动轴数还可细分为2轴、3轴、4轴、5轴联动数控机床，联动坐标轴数越多加工程序的编制就越难，通常3轴联动以上的零件加工程序只能采用自动编程系统编制。

三、按进给伺服系统构成分类

按数控系统的进给伺服系统有无位置测量装置可分为开环数控机床和闭环数控机床，闭环数控系统中根据位置测量装置安装的位置又可分为全闭环和半闭环两种。

1. 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统。图 1-4 所示为开环进给伺服系统简图。由图可知，开环进给伺服系统没有位置测量装置，信号流是单向的（数控装置→进给系统），故系统稳定性好。但由于无位置反馈，精度相对闭环系统来讲不高，其精度主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度。该系统一般以步进电机作为伺服驱动元件。它具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点，在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用，一般用于经济型数控机床和旧机床的数控化改造。

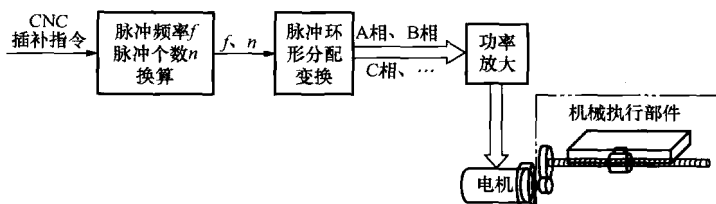


图 1-4 开环进给伺服系统构成简图

2. 闭环数控机床

闭环进给伺服系统的结构如图 1-5 所示，它直接对工作台的实际位置进行检测。从理论

上讲,它可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量,具有很高的位置控制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,很容易造成系统不稳定。因此,闭环系统的设计、安装和调试都有相当的难度。该系统对其组成环节的精度、刚性、动态特性等都有较高的要求,故价格昂贵。这类系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床、较大型的数控机床等。

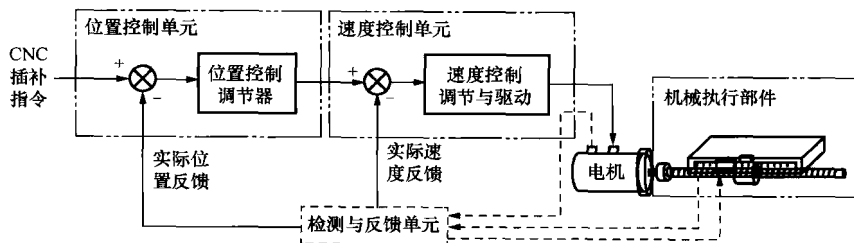


图 1-5 闭环进给伺服系统构成简图

3. 半闭环数控机床

半闭环数控机床的进给伺服系统如图 1-6 所示。半闭环数控系统的位置检测点是从驱动电机（常用交、直流伺服电机）或丝杠端引出，通过检测其旋转角度来间接测量工作台的位移量，而不是直接检测工作台的实际位置。由于在半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节，因此可获得比闭环要稳定的控制性能。另外，虽然不能消除位置环外的各环节如丝杠的螺距误差、齿轮间隙引起的运动误差，但是在位置环内各组成环节的误差可得到某种程度的纠正，所以，它的精度比开环好，比闭环差。由于半闭环数控机床具有结构简单、调试方便、精度较好等特点，因此在现代数控机床中得到了广泛应用。

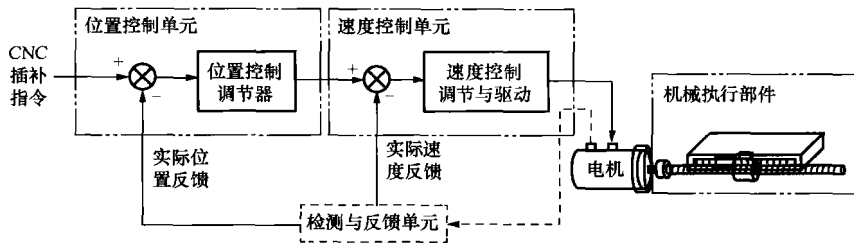


图 1-6 半闭环进给伺服系统构成简图

第四节 数控机床的发展趋势

一、数控系统的发展趋势

1. 控制性能大大提高

数控系统在控制性能上向智能化方向发展,引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制原理,使新一代数控系统具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿等功能,而且界面友好,并具有故障诊断专家系统等。

2. 采用开放式数控系统

针对封闭型、专用数控系统所带来的不同编程语言、五花八门的人机界面、多种操作系统、无标准接口等,人们提出了向标准化、规范化方向发展,设计开放式数控系统的问题。就体系而言,当今世界上的数控系统大致可分为四种类型。

(1) 传统数控系统。这是一种专用的封闭体系结构的数控系统。如果需要对它做功能扩展、改变、维修等,都必须求助于系统供应商和专门的开发工具,如 FANUC 0 系统、MITSUBISHI M50 系统、SIEMENS 810 系统等。目前,这类系统仍然占领了制造业的大部分市场。但由于开放体系结构数控系统的发展,传统数控系统的市场正在受到挑战,已逐渐减小。

(2) “PC 嵌入 NC”结构的数控系统。如 FANUC18i、16i 系统,SIEMENS 840D 系统等数控系统。这是一种基于利用现有计算机丰富的软硬件资源,而又能继承原有系统技术的体系结构。它具有一定的开放性,但由于它的 NC 部分还是传统的数控系统,其体系结构仍然是不开放的,因此用户无法介入数控系统的核心。这类系统结构复杂,功能强大,但价格昂贵。

(3) “NC 嵌入 PC”结构的开放式数控系统。它由开放体系结构运动控制卡加 PC 机构成。这种运动控制卡通常选用高速 DSP 作为 CPU,具有很强的运动控制和 PLC 控制能力。“NC 嵌入 PC”结构的开放式数控系统本身就是一个数控系统,可以单独使用,但成本较高。如美国 Delta Tau 公司的 PMAC-NC 数控系统、日本 Mazak 公司的 MAZATROL 640 CNC 等。

(4) 开放式数控系统。这是一种最新开放体系结构的数控系统。它提供给用户最大的选择和灵活性,其硬件部分仅是计算机与伺服驱动和外部 I/O 之间的标准化通用接口。用户可以在基于 Windows、Linux 的平台上,利用开放的 CNC 内核,开发所需的各种功能,构成各种类型的高性能数控系统。与前几种数控系统相比,开放式数控系统具有最高的性能价格比,因而最有生命力。其典型产品有美国 MDSI 公司的 Open CNC、德国 Power Automation 公司的 PA8000 NT、我国华中数控的“华中 I 型”、“华中世纪星”数控系统等。

3. 开发新的数控标准 STEP-NC

STEP-NC (Standard for the Exchange of Product Model Data) 是一个新的 NC 编程数据接口国际标准 (ISO 14649),它是 1996 年制定的,在 2001 年成为国际标准草案 (Draft International Standard, DIS),目的是取代现在使用的 NC 编程接口标准。

STEP-NC 是目前致力开发的一套面向对象的 NC 编程接口,它是一种在 CAD/CAM 系统和 CNC 机床之间进行数据转换的模型。它的基本原理是基于制造特征 (Manufacturing Features) 进行编程,而不是直接对刀具运动进行编程。STEP-NC 包含了工件的所有加工任务,通过这一系列加工任务,对从零件毛坯到最终成品所有的操作加以描述,提供了更高层次的信息给加工车间。它使用工步 (Working Steps) 这个面向对象的概念,通过详细描述加工过程而不是机床运动来弥补现在使用的 ISO 6983 的不足。

二、数控机床的发展趋势

1. 运行高速化

实现高速化,可充分发挥现代刀具材料的性能,大幅度提高加工效率,降低生产成本,提高零件的表面加工质量和精度。目前的水平是在分辨率为 0.001mm 时,最大快速进给速度可达 240m/min。在程序段长度为 1mm 时,其最大进给速度达 80m/min,并且可达 1.5g

的加速度。电主轴的应用使主轴最高转速达 100000r/min。目前,换刀时间可达 0.9s(刀对刀)和 2.8s(切削到切削),工作台交换时间可达 6.3s。

2. 加工高精度

随着高新技术的发展和对机电产品性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。当前,精密加工精度提高了两个数量级,超精密加工精度进入纳米级($0.001\mu\text{m}$),主轴回转精度要求达到 $0.01\sim 0.05\mu\text{m}$,加工圆度为 $0.1\mu\text{m}$,加工表面粗糙度 $R_a=0.003\mu\text{m}$ 等。

3. 系统可靠化

数控机床要充分发挥其优越的加工性能,获得良好的效益,关键在于可靠性。数控系统的平均无故障工作时间已提高到 30000~50000h,数控机床整机的平均无故障工作时间也已提高到 500~800h。

4. 功能复合化

复合化是指工件在一台设备上一次装夹后,通过自动换刀等各种措施,来完成多工序和多表面的加工。在一台数控设备上能完成多工序切削加工(如车、铣、镗、钻等)的加工中心,可代替多机床和多装夹的加工,从而打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程。

5. 控制智能化

随着人工智能技术的不断发展,并为满足制造业生产柔性化、制造自动化的发展需求,数控技术智能化程度不断提高,具体体现在以下几个方面:加工过程自适应控制技术、加工参数的智能优化与选择、故障自诊断功能等。

6. 驱动并联化

为适应制造自动化的发展,要求数字控制制造系统不仅能完成通常的加工功能,而且还要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头等。围绕数控技术、制造过程技术在快速成型、并联机构机床、机器人化机床、多功能机床等整机方面已有突破。近年来出现了所谓六条“腿”结构的并联加工中心。如图 1-7 所示,这种加工中心采用可伸缩的六条

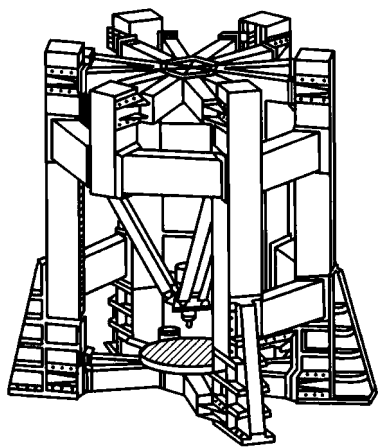


图 1-7 并联机床结构示意图

“腿”(伺服轴)支撑并连接上平台(装有主轴头)与下平台(装有工作台)的结构形式,取代传统的床身、立柱等结构,是没有任何导轨与滑板的“虚轴机床”。当分别改变六条“腿”的长度时,活动平台即可实现六个自由度的运动,从而使安装在活动平台上的刀具,达到任意位置和姿态。

并联机床具有以下优点。

(1) 结构简单、价格低。它由滚珠丝杠、虎克铰、球铰、伺服电机等通用元件组成,这些通用元件可由专门厂家生产,因而本机床的制造成本比相同功能的传统数控机床低得多。

(2) 结构刚度高。由于采用了框架结构,其刚度重量比高于传统的数控机床。

(3) 加工精度较高。由于其为多轴并联机构组成,六条可伸缩杆杆长都单独对铣刀的位置和姿态起作用,因此不存在传统机床(即串联机床)的误差累积问题,故理论上讲其加工

精度可以大大提高。

(4) 多功能灵活性强。由于该机床结构简单, 控制方便, 较容易根据加工对象而将其设计成专用机床, 同时也可以将之开发成通用机床, 用以实现铣削、镗削、磨削等加工工艺, 还可以配备必要的测量工具将它组成测量机, 以实现机床的多功能。

(5) 使用寿命长。由于没有导轨, 不存在铁屑或冷却液进入导轨内部而导致其划伤、磨损或锈蚀现象。

(6) 变换坐标系方便。由于没有实体坐标系, 机床坐标系与工件坐标系的转换全部靠软件完成, 非常方便。随着这些新技术的成熟和发展, 数控机床技术将进入一个有重大变革和创新的新时代。

习 题

1-1 名词解释: 数控、数控机床、轮廓控制、开环控制系统、闭环控制系统、半闭环控制系统。

1-2 数控机床有哪些优点和不足之处?

1-3 数控机床适用于哪些零件的加工?

1-4 简述数控机床的组成及各部分功能。

1-5 数控机床有哪些种类?

1-6 开放式数控系统的特点是什么?

1-7 查询资料, 了解数控机床和数控加工技术的最新发展趋势以及目前市场上主要的数控系统和自动编程软件的名称、特点。根据所了解的信息, 结合数控机床在国民经济中的作用, 我国数控机床使用的现状, 谈谈你对现状的感想。