

概 述

1.1 数控加工技术概述

1.1.1 数控设备的产生和发展

数字控制(Numerical Control)技术,简称数控(NC)技术,是 20 世纪中期发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信息对机械设备的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

数控设备就是采用了数控技术的机械设备,或者说是装备了数控系统的机械设备。数控机床是数控设备的典型代表,其他数控设备还有数控冲剪机、数控压力机、数控弯管机、数控坐标测量机、数控绘图仪、数控雕刻机等。

数控机床是为了解决复杂、精密、小批多变零件加工的自动化要求而产生的。数控加工是根据被加工零件的图样和工艺要求,编制成以数码表示的程序,输入到机床的数控系统中,以控制刀具与工件的相对运动,从而加工出合格零件的方法。该项技术是 20 世纪 40 年代后期为适应复杂外形零件的精密加工而发展起来的一种自动化加工技术。1948 年,美国帕森斯(Parsons)公司在研制为加工直升机螺旋桨叶片轮廓用检查样板的机床时,首先提出用计算机控制机床的设想,在麻省理工学院(MIT)的协助下,于 1952 年研制成功了世界上第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床。此后,很多厂家都开展了数控机床的研制开发和生产。1958 年,美国 K&T 公司首先研制成功带有自动换刀装置的加工中心(MC)。1968 年,英国首次将多台数控机床及无人化搬运小车、自动仓库在计算机控制下连接成自动加工系统,即柔性制造系统(FMS)。我国于 1958 年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了第一台数控铣床。

数控系统是能逻辑地处理输入到系统中具有特定代码的程序,通过译码形成机床运动并加工零件的程序控制系统。数控系统的发展到现在已经经历了两个阶段。第一阶段为普通数控(NC)阶段,即逻辑数字控制阶段,数控系统主要是由电路的硬件和连线组成,故又称为硬件数控系统。其特点是具有很多硬件电路和连接结点,电路复杂,可靠性不好。

这个阶段数控系统的发展经历了 3 个时代,即电子管时代(1952 年)、晶体管时代(1959 年)和小规模集成电路时代(1965 年)。自 1970 年小型计算机开始用于数控系统,数控系统的发展进入第二阶段,即计算机数字控制(CNC)阶段,数控系统主要是由计算机硬件和软件组成,其突出特点是利用存储在存储器里的软件控制系统工作,故又称为软件控制系统。这种系统容易扩大功能,柔性好,可靠性高。第二阶段数控系统的发展也经历了 3 个时代。20 世纪 60 年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(简称 DNC,又称群控系统),及采用小型计算机控制的计算机数控系统,使数控系统进入了以小型计算机化为特征的第四代。从 1974 年微处理器开始用于数控系统,数控系统发展到第五代,即微型机数控(MNC)系统。经过几年的发展,数控系统从性能到可靠性均得到了很大的提高,自 20 世纪 70 年代末到 80 年代,数控技术在全世界得到了大规模的发展和应用。从 20 世纪 90 年代开始,PC 机的发展日新月异,基于个人计算机(PC)平台的数控系统(称为 PC 数控系统)应运而生,数控系统的发展进入第六代。现在市场上流行的和企业普遍使用的仍然是第五代数控系统,其典型代表是日本的 FANUC-0 系列和德国的 SINUMERIK810 系列数控系统。

当今的数控机床已经在机械加工部门占有非常重要的地位,是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、自动化工厂(FA)的基本构成单位。努力发展数控加工技术,并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前机械制造业发展的方向。

1.1.2 数控机床的加工原理

数控机床的加工原理如图 1-1 所示。在数控机床上加工零件时,要事先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具参数,再按规定编写零件数控加工程序,然后通过手动数据输入(MDI)方式或与计算机通信等方式将数控加工程序送到数控系统,在数控系统控制软件的支持下,经过分析处理与计算后发出相应的指令,通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动,从而控制机床进行零件的自动加工。下面通过介绍数控机床的组成对这一过程进行说明。

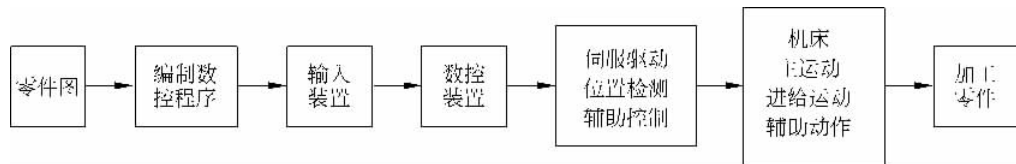


图 1-1 数控机床的工作原理图

1. 程序编制及控制介质

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础

上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的装夹位置,刀具与零件相对运动的尺寸参数,零件加工的工艺路线或加工顺序、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。这样得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息,然后按数控机床规定采用的代码和程序格式,将工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、切削进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(换刀、主轴的正转与反转、切削液的开与关等)编制成数控加工程序。编程的工作可由人工进行,也可由自动编程计算机系统来完成。

控制介质是存储加工程序的媒介,曾经使用和现在常用的控制介质有穿孔纸带、磁盘、磁带等信息载体。

2. 输入/输出装置

数控机床在进行加工前,必须接受由操作人员输入的零件加工程序,然后才能根据输入的程序进行加工。在加工过程中,操作人员要向机床数控装置输入操作命令,数控装置要为操作人员显示必要的信息,如坐标值、报警信号等。此外,输入的程序并非全部正确,有时需要编辑、修改和调试。以上工作都是机床数控系统和操作人员进行信息交流的过程,要进行信息交流必须具备输入/输出装置。

将数控程序输入数控装置,可采用以下几种方式:

① 控制介质输入。主要有两种输入方法:一种方法是通过纸带输入,即在特制的纸带上穿孔,用孔的不同位置的组合构成不同的数控代码,通过纸带阅读机将指令输入。穿孔纸带使用 ISO(国际标准化组织)和 EIA(美国电子工业协会)制定的两种标准信息代码,现在的数控系统两种代码都可以识别应用。另一种方法是对于配置有计算机软驱动器的数控机床,可以将存储在磁盘上的程序通过软驱输入系统。尽管穿孔纸带已逐渐被淘汰,但是规定的标准信息代码仍然是数控程序编制、制备控制介质所遵守的标准。

② 手动输入。操作者可以利用机床上的显示屏及键盘输入加工程序指令,控制机床的运动。手动输入又可分为两种,一种是手动数据输入(MDI),它适用于一些比较短的程序,只能使用一次,机床动作后程序就消失。当给定对刀时的主轴转速、一般手动进行简单加工时的自动换刀等场合常使用这种方式。另一种是在控制装置的编辑(EDIT)状态下,用键盘输入加工程序,存入控制装置的内存中。用这种方式可以对程序进行编辑,程序可重复使用。一般手工编制的程序采用这种方法。此外,在具有会话编辑功能的数控装置上,可以按照显示屏上提出的问题,选择不同的菜单,只需将图样上指定的有关尺寸数字等输入,就可自动生成加工程序。这种输入方式虽然是手动输入,但应属于自动编程方法。

③ 直接输入存储器。利用这种方式可以使用数控装置的串行口等,通过对有关参数的设定和相关软件,直接读入在自动编程机上或其他计算机上编制好的程序。

3. 数控装置及辅助控制装置

数控装置是数控机床的核心,它接受输入装置送来的脉冲信号,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、插补运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令来控制机床的各个部分,进行规定的、有序的动作。其中最基本的控制信号是:由插补运算决定的各坐标轴的进给位移量、进给方向和速度的指令,经伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动。其他还有主运动部件的变速、换向和启停信号,刀具选择和交换的指令信号,冷却液及润滑油的启停,工件和机床部件的松开和夹紧,分度工作台的转位等辅助指令信号等。

辅助控制装置是连接数控装置和机床机械、液压部件的控制系统,其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具的选择与交换、辅助装置的动作等信号,经过编译、逻辑判断、功率放大后驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,以完成指令所规定的动作。此外,行程开关和监控检测等状态信号也要经过辅助控制装置送给数控装置进行处理。

4. 伺服驱动系统及位置检测装置

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动电动机组成,并与机床上的机械传动部件和执行部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移。机床的每个作进给运动的执行部件,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,还有位置检测装置,间接或直接地测量执行部件的实际位移和速度,并发送反馈信号与指令信号进行比较,将其误差转换、放大后控制执行部件的进给运动,以提高系统精度。

5. 机械部件

数控机床的机械部件包括:主运动部件(如主轴部件、变速箱等)、进给运动执行部件(如工作台、拖板等)和支承部件(如床身、立柱等)。此外,还有冷却、润滑、排屑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床,还有自动换刀装置、自动交换工作台装置等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但其传动结构要求更为简单,在精度、刚度、抗振性、耐磨性、耐热性等方面要求更高,而且其传动和变速系统要便于实现自动控制。

1.1.3 数控加工的特点及应用

1. 数控加工的优点

① 柔性好。所谓的柔性即适应性,是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。数控机床把加工的要求、步骤与零件尺寸用代码和数字表示为数控程序,通过信息载体将数控程序输入数控装置。经过数控装置中的计算机处理与计算,发出各种控制信号,

控制机床的动作,按程序加工出图纸要求的零件。在数控机床中使用的是可编程的数字量信号,当被加工零件改变时,只要编写“描写”该零件加工的程序即可。数控机床对加工对象改变的适应性强,这为单件、小批零件加工及试制新产品提供了极大的便利。

② 加工精度高。数控机床有较高的加工精度,而且数控机床的加工精度不受零件形状复杂程度的影响。这对于一些用普通机床难以保证精度甚至无法加工的复杂零件来说是非常重要的。另外,数控加工消除了操作者的人为误差,提高了同批零件加工的一致性,使产品质量稳定。

③ 能加工复杂型面。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者无法进行的复杂型面加工。

④ 生产效率高。数控机床的加工效率一般比普通机床高2~3倍,尤其在加工复杂零件时,生产率可提高十几倍甚至几十倍。一方面是因为其自动化程度高,具有自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,而且工序集中,在一次装夹中能完成较多表面的加工,省去了划线、多次装夹、检测等工序;另一方面是加工中可采用较大的切削用量,有效地减少了加工中的切削工时。

⑤ 劳动条件好。因为在数控机床上加工零件自动化程度高,所以大大减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件。

⑥ 有利于生产管理。用数控机床加工,能准确地计划零件的加工工时,简化检验工作,减轻了工夹具、半成品的管理工作,减少了因误操作而出废品及损坏刀具的可能性。这些都有利于管理水平的提高。

⑦ 易于建立计算机通信网络。由于数控机床是使用数字信息,易于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统联结,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。另外,数控机床通过因特网(Internet)、内联网(Intranet)、外联网(Extranet)可实现远程故障诊断及维修,已初步具备远程控制和调度、进行异地分散网络化生产的可能,从而为今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。

2. 数控加工的不足之处

① 数控机床价格较贵,加工成本高,提高了起始阶段的投资。

② 技术复杂,增加了电子设备的维护,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。

3. 数控加工技术的主要应用对象

数控机床最适合加工以下零件:

① 几何形状复杂的零件。特别是形状复杂、加工精度要求高或用数学方法定义的复杂曲线、曲面轮廓。从图1-2中可以看出,数控机床非常适合加工形状复杂的零件。

② 多品种小批量生产的零件。用通用机床加工时,要求设计制造复杂的专用工装或

需很长的调整时间。图 1-3 表示了通用机床、专用机床和数控机床加工批量与成本的关系。从图中可以看出,在多品种、中小批量生产情况下,采用数控机床生产成本更为合理。

③ 必须严格控制公差的零件。

④ 贵重的、不允许报废的关键零件。

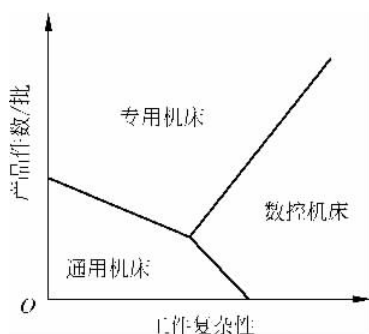


图 1-2 各种机床的使用范围

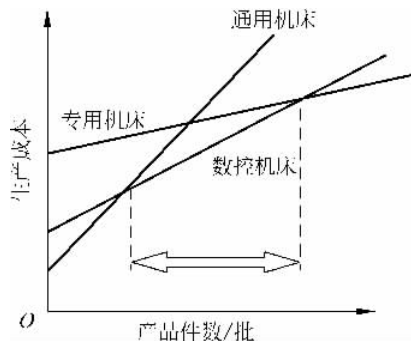


图 1-3 各种机床的加工批量与成本的关系

1.2 数控编程的基础知识

1.2.1 数控编程的内容与步骤

在普通机床上加工零件时,首先应由工艺人员对零件进行工艺分析,制定零件加工的工艺规程,包括机床、刀具、定位夹紧方法及切削用量等工艺参数。同样,在数控机床上加工零件时,也必需对零件进行工艺分析,制定工艺规程,同时要将工艺参数、几何图形数据等,按规定的信息格式记录在控制介质上,将此控制介质上的信息输入到数控机床的数控装置,由数控装置控制机床完成零件的全部加工。我们将从零件图样到制作数控机床的控制介质并校核的全过程称为数控加工程序编制,简称数控编程。数控编程是数控加工的重要步骤。理想的加工程序不仅应保证加工出符合图样要求的合格零件,同时应能使数控机床的功能得到合理的利用与充分的发挥,以使数控机床能安全可靠及高效地工作。

一般来讲,数控编程过程的主要内容包括:分析零件图样、工艺处理、数值计算、编写加工程序单、制作控制介质、程序校验和首件试加工。如图 1-4 所示。

数控编程的具体步骤与要求如下。

1. 分析零件图

首先要分析零件的材料、形状、尺寸、精度、批量、毛坯形状和热处理要求等,以便确定该零件是否适合在数控机床上加工,或适合在哪种数控机床上加工。同时要明确加工的内容和要求。

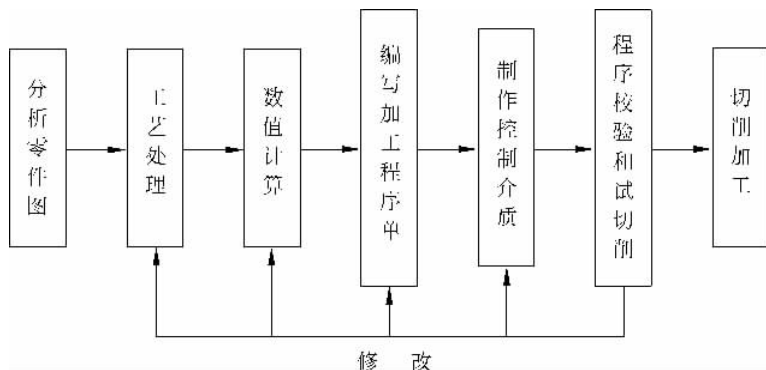


图 1-4 数控编程过程

2. 工艺处理

在分析零件图的基础上进行工艺分析,确定零件的加工方法(如采用的工夹具、装夹定位方法等)、加工路线(如对刀点、换刀点、进给路线)及切削用量(如主轴转速、进给速度和背吃刀量等)等工艺参数。数控加工工艺分析与处理是数控编程的前提和依据,而数控编程就是将数控加工工艺内容程序化。制定数控加工工艺时,要合理地选择加工方案,确定加工顺序、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数等;同时还要考虑所用数控机床的指令功能,充分发挥机床的效能;尽量缩短加工路线,正确地选择对刀点、换刀点,减少换刀次数,并使数值计算方便;合理选取起刀点、切入点和切入方式,保证切入过程平稳;避免刀具与非加工面的干涉,保证加工过程安全可靠等。有关数控加工工艺方面的内容,将在 2.3 节及 2.4 节中作详细介绍。

3. 数值计算

根据零件图的几何尺寸、确定的工艺路线及设定的坐标系,计算零件粗、精加工运动的轨迹,得到刀位数据。对于形状比较简单的零件(如由直线和圆弧组成的零件)的轮廓加工,要计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值,如果数控装置无刀具补偿功能,还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件(如由非圆曲线、曲面组成的零件),需要用直线段或圆弧段逼近,根据加工精度的要求计算出节点坐标值,这种数值计算一般要用计算机来完成。

4. 编写加工程序单

根据加工路线、切削用量、刀具号码、刀具补偿量、机床辅助动作及刀具运动轨迹,按照数控系统使用的指令代码和程序段的格式编写零件加工的程序单,并校验上述两个步骤的内容,纠正其中的错误。

5. 制作控制介质

把编制好的程序单上的内容记录在控制介质上,作为数控装置的输入信息。通过程序的手工输入或通信传输入入数控系统。

6. 程序校验与首件试切

编写的程序单和制备好的控制介质,必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是直接将控制介质上的内容输入到数控系统中,让机床空运转,以检查机床的运动轨迹是否正确。在有 CRT 图形显示的数控机床上,用模拟刀具与工件切削过程的方法进行检验更为方便,但这些方法只能检验运动是否正确,不能检验被加工零件的加工精度。因此,还需要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时,分析误差产生的原因,找出问题所在,加以修正,直至达到零件图纸的要求。

1.2.2 数控编程的方法

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种。

1. 手工编程

手工编程就是从分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、制作控制介质到程序校验都是人工完成。它要求编程人员不仅要熟悉数控指令及编程规则,而且还要具备数控加工工艺知识和数值计算能力。对于加工形状简单、计算量小、程序段数不多的零件,采用手工编程较容易,而且经济、及时。因此,在点位加工或直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程仍广泛应用。对于形状复杂的零件,特别是具有非圆曲线、列表曲线及曲面组成的零件,用手工编程就有一定困难,出错的概率增大,有时甚至无法编出程序,必须用自动编程的方法编制程序。

2. 自动编程

自动编程是利用计算机专用软件来编制数控加工程序。编程人员只需根据零件图样的要求,使用数控语言,由计算机自动地进行数值计算及后置处理,编写出零件加工程序单,加工程序通过直接通信的方式送入数控机床,指挥机床工作。自动编程使得一些计算繁琐、手工编程困难或无法编出的程序能够顺利地完。有关自动编程的内容,将在后面章节作详细的介绍。

小结

本章主要讲述了数控设备的产生和发展、数控机床的加工原理、数控加工特点及应用以及数控编程的基础知识。要求读者了解数控设备产生及发展的过程,数控机床的组成以及各部分的基本功能,数控机床的加工特点。掌握数控编程的主要内容及步骤,并能根

据零件形状及生产周期选择合适的加工方法。

复习思考题

1. 什么是数控技术？什么是数控机床？什么是数控系统？
2. 数控机床通常由哪几部分组成？各部分的基本功能是什么？
3. 数控机床有哪些特点？适用于加工何种类型的零件？你认为数控加工在将来会取代普通加工吗？
4. 简述数控编程的内容和步骤。
5. 数控程序有哪些输入方式？
6. 数控编程有哪些方法？它们各有何特点？

第 2 章

数控机床加工程序编制基础

2.1 数控编程中的有关标准与代码

为了满足设计、制造、维修和普及的需要,在输入代码、坐标系统、程序格式、加工指令及辅助功能等方面,国际上已经形成了两种通用标准,即国际标准化组织(ISO)标准和美国电子工业协会(EIA)标准。我国根据 ISO 标准制定了 JB3050—1982《数字控制机床用七单位编码字符》、JB3051—1982《数字控制机床坐标和运动方向的命名》、JB3832—1985《数控机床轮廓和点位切削加工可变程序段格式》、JB/T3208—1999《数控机床程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 代码》等。但是由于各个数控机床生产厂家所用的标准尚未完全统一,其所用的代码、指令及其含义不完全相同,因此在编程时必须按所用数控机床编程手册中的规定进行。

2.1.1 数控机床的坐标系统

数控加工是基于数字的加工,刀具与工件的相对位置必须在相应坐标系下才能确定。数控机床的坐标系统,包括坐标系、坐标原点和运动方向,对于数控工艺制定、编程及操作是一个十分重要的概念。

1. 数控机床的坐标系

(1) 标准坐标系和运动方向

标准坐标系采用右手直角笛卡儿定则。基本坐标轴为 X 、 Y 、 Z 并构成直角坐标系,相应每个坐标轴的旋转坐标分别为 A 、 B 、 C ,如图 2-1 所示。

基本坐标轴 X 、 Y 、 Z 的关系及其正方向用右手直角定则判定,拇指为 X 轴,食指为 Y 轴,中指为 Z 轴,围绕 X 、 Y 、 Z 各轴的回转运动及其正方向 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 分别用右手螺旋定则判定,拇指为 X 、 Y 、 Z 的正向,四指弯曲的方向为对应的 A 、 B 、 C 的正向。与 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 、 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 相反的方向相应用带“'”的 $+X'$ 、 $+Y'$ 、 $+Z'$ 、 $+A'$ 、 $+B'$ 、 $+C'$ 表示。