

制造业是国家科技水平和综合实力的重要标志,先进的制造技术和制造装备是“国之利器,不可以示人”。采用先进的制造技术,使用先进的装备,创新生产工艺,改革生产管理,提高生产效率,才能有效地降低劳动成本,快速响应市场多变的产品需求,满足人们的生产和生活需要。随着现代社会对先进制造技术要求的逐步提高,“高精尖”技术已经出现,其转化为生产力的时间日益缩短,如果不能抓住机遇,努力参与科技创新和技术提升,将会错失产业结构升级调整的历史机遇。

为了提高学生掌握先进制造技术和操作先进制造装备的水平,我们编写了《工程训练综合创新教程》,该教材是一门关于先进制造技术实践的教材,其主要内容包括数控技术、电火花线切割加工技术、激光加工技术、3D 打印技术等。读者可学习采用这些先进制造技术把毛坯转化成产品或零件的加工方法,学习把设备、原材料、人力和加工过程有序结合的系统性实践技能。

1.1 先进制造技术

先进制造技术不是一个静态封闭的技术系统,而是一门不断吸收其他先进技术,并加以融合发展的交叉科学,在不同的历史时期它所包含的技术不尽相同。很多学者认为:先进制造技术是指在制造过程和制造系统中,融合电子、信息和管理技术,以及新工艺、新材料等现代科学技术,并将其综合应用于产品设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的全过程,实现优质、高效、低耗、清洁和灵活的生产,提高动态多变的市场适应能力和竞争力的制造技术总称。由于信息技术的融合,使得先进制造技术的适用范围不再局限于制造这一个简单的环节,还扩展到了以制造为核心的产品的整个生命周期,提高了产品质量。

在经济全球化的浪潮中,先进制造技术的加工柔性和高效率可以应对多型号、少批量的产品加工需求,增强了市场动态多变需要产品创新的适应能力,具备了制造产品的竞争能力。由于吸收了先进管理技术的最新发展成果,先进制造技术实现了合理的制造过程组织和管理体制的简化,从而产生了一系列先进的制造模式。这种先进的制造模式与制造工艺及管理技术共同组成了先进制造技术的核心,使传统制造技术脱胎换骨,而以先进制造技术的面目出现在世人面前,并展现出巨大的技术优势和实用价值,成为各国争先发展的核心技术。

1.2 先进制造工艺

先进制造工艺是通过采用各种先进制造方法将坯料加工制造成产品的过程。先进制造工艺是先进制造技术的核心和基础,是产品加工制造中先进性的集中体现,如果没有与之相适应的工艺,先进制造技术将难以发挥优势。美国国防关键技术计划指出:“制造工艺是将先进技术转化为可靠、经济、精良武器装备的关键。”先进制造工艺包括精密和超精密加工、微细加工、高速加工、生物制造、快速成形、激光加工及高能束加工等内容。随着技术的发展,各种各样的先进加工设备也出现了,如高精度的数控机床、高精度的数控电火花线切割机床、激光加工机床、3D打印机等。先进制造工艺主要分为材料成形和表面成形等工艺技术。

(1) 高效精密成形工艺。它是生产局部或全部无余量或少余量半成品工艺的统称,包括精密洁净铸造成形工艺、精确高效塑性成形工艺、优质高效焊接及切割工艺、优质低耗洁净热处理工艺、快速成形工艺等。

(2) 高精度切削加工工艺。它包括精密和超精密加工、高速切削和磨削、复杂型面的数控加工等。

(3) 现代特种加工工艺。它是指那些不属于常规加工范畴的加工工艺,如高能束加工(电子束、离子束、激光束)、电加工(电解和电火花)、超声波加工、高压水射流加工、多种能源的复合加工、纳米技术及微细加工等。

(4) 表面改性、制膜和涂层技术。它是采用物理、化学、金属学、高分子化学、电学、光学和机械学等技术或组合使用,赋予产品表面耐磨、耐蚀、耐热、耐辐射、抗疲劳的特殊功能,从而达到提高产品质量、延长使用寿命,赋予产品新性能的新技术的统称,是表面工程的重要组成部分。该技术包括化学镀非晶态合金、节能表面涂装、表面强化处理、热喷涂、激光表面熔覆处理、化学气相沉积等。

1.3 基本加工流程

基本机械加工过程包括产品设计、工艺准备、切削加工、装配与调试等。

(1) 产品设计,包括总体设计、零部件设计、选用材料、确定结构及尺寸、编制技术要求和绘制图纸等。

(2) 工艺准备,包括决定生产方案、制定工艺文件和选择工艺装备等。

(3) 切削加工,即采用数控机床、加工中心、电火花线切割机床、激光加工机床、3D打印机等进行零件的粗加工、半精加工和精加工。

(4) 装配与调试,包括组件装配、部件装配、产品总装和调试。

1.4 机械加工材料

材料是可以制成产品的物质,如木料、塑料、金属等。工业生产中使用的材料属于工程材料,主要包括金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料是数控车床、加工中心常用加工的材料。常用的金属材料以合金为主,很少使用纯金属。合金是以一种金属为主体,加入其他金属或非金属,经过熔炼、烧结或其他方法制成的具有金属特性的材料。常用的合金是以铁为基础的铁碳合金,也有以铜或铝为基础的铜合金和铝合金。

非金属材料是激光加工机床、3D 打印机常用加工的材料。常用的材料有 ABS 材料、木板等。

复合材料是指将两种以上的材料组合于一体,以获得比单一材料更为优越的综合性能的新型高科技材料。

习 题 1

- 1-1 简述先进制造技术的概念。
- 1-2 简述先进制造工艺的概念和分类。
- 1-3 简述机械加工的过程。
- 1-4 简述机械加工材料的概念和分类。

2.1 数控机床简介

数字控制(numerical control, NC)简称数控,是近代发展起来的一种自动控制技术,是一种用数字化信息实现机床控制的方法。数字控制机床(numerical control machine tool)是采用了数字控制技术的机床,简称数控机床。

国际信息处理联盟第五技术委员会对数控机床给出了如下定义:数控机床即数字控制机床,是一种装有程序控制系统的机床,该系统能够按一定的逻辑处理具有使用编码或其他符号指令规定的程序。它是一种灵活、通用、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。

程序控制系统就是常说的数控系统。数控系统是一种自动控制系统,它自动输入载体上事先设定的数字,并将其译码,以驱动机床运动并进行零件加工。数控系统包括数控装置、可编程序控制器、主轴驱动及进给驱动装置等部分。

数控机床与普通机床相比,其工作原理的不同之处在于数控机床按照事先编制的程序,由数控系统控制完成预定的运动轨迹和辅助动作。数控机床一般由数控程序、输入装置、数控装置、伺服驱动器及位置检测装置、辅助控制装置和机床本体组成,如图 2-1 所示。

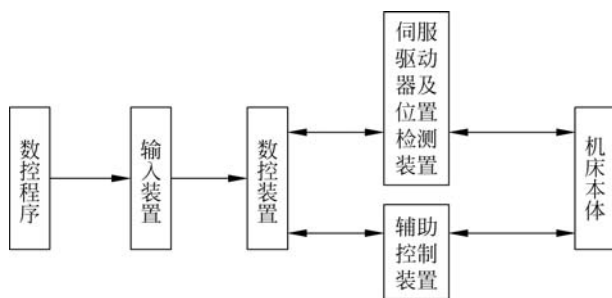


图 2-1 数控机床的组成

2.1.1 数控程序

数控程序是数控机床加工零件的程序,是按照一定的格式编写的代码。目前,在数控机床上常用存储卡和移动硬盘等进行存储和传送,存储容量大、数据交换可靠。

2.1.2 数控装置

数控装置是数控机床的核心,由信息输入、处理和输出三个部分组成。信息输入部分的功能是接收信息,包括 NC 程序、PLC 输入信号和数控面板输入信号等,是数控机床工作的基本信息;信息处理部分指 CPU 将输入信息分类、处理,并发出控制信号到输出部分;信息输出部分与主轴系统、坐标轴伺服系统和 PLC 控制的辅助功能部件等连接,将 CPU 的控制指令转换为各个功能部件能接收的控制信号,使其完成预定的控制功能。数控装置的输入部分和输出部分同时进行传输。

2.1.3 伺服驱动器及位置检测装置

伺服驱动器由伺服电动机和伺服驱动装置组成,是数控系统的执行部分。伺服驱动器接收数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求驱动机床的移动部件运动或使执行部分动作,加工出符合要求的零件。指令信息以脉冲信号体现,每个脉冲使机床移动部件产生的位移量叫作脉冲当量。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,目前常用的数控系统脉冲当量为 0.001 mm/脉冲。

伺服(servo)驱动器是一种能够跟随指令信号的变化而动作的自动控制装置。根据实现的方法不同,可以分为机械随动(仿形)系统、液压伺服系统、电气伺服系统等,目前的数控机床均采用电气伺服系统。伺服驱动器能放大控制信号,具有输出功率的能力,还能根据数控装置发出的控制信息对机床移动部件的位置和速度进行控制。

伺服驱动器是数控机床的关键部件,直接影响数控加工的速度、位置、精度等。伺服机构中常用的驱动装置随控制系统的不同而不同。开环系统的伺服机构常用步进电动机和电液脉冲电动机;闭环系统常用的有宽调速直流电动机和电液伺服驱动装置等。目前大部分采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

位置检测装置是数控机床为提高加工精度而采取的必要措施,数控系统直接获取坐标轴的位移量,使控制更准确,有利于提高机床的加工精度。数控系统获取坐标轴的位置信号是为了与程序预定的位移量进行比较,以纠正运动控制过程中可能产生的误差。

2.1.4 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,以及其他辅助装置等发出的指令信息,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元器件,使之驱动机床机械部件以及液压、气动等辅助装置完成指令规定的动作。

2.1.5 机床本体

机床本体是数控机床的主体,由机床床身和各运动部件(如工作台、床鞍、主轴等)组成,

是完成各种切削加工的机械部分,用数控装置和伺服系统可对其进行位移、角度和各种开关量的控制。机床本体具有以下特点:

- (1) 数控机床采用了高性能的主轴、伺服传动系统和机械传动装置。
- (2) 数控机床的机械结构具有较高的刚度、阻尼精度和耐磨性。
- (3) 数控机床采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线导轨。

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、刀具系统等部件结构及操作机构等方面已经发生了很大的变化,既满足了数控机床的要求又充分发挥了数控机床的特点。

2.2 数控编程基础

2.2.1 数控程序的编制步骤

数控机床加工零件时,首先要根据零件图,按规定程序的格式将加工零件的全部工艺过程、工艺参数、位移资料 and 方向及操作步骤等以数字信息的形式编写程序,然后把程序记录在磁盘内,再输入数控装置。数控装置将输入的信息进行运算处理后,转换成驱动伺服驱动器的指令信号,最后由伺服驱动器控制机床的各种动作,自动加工出零件。

数控机床程序的编制步骤为:分析零件图、编制工艺、计算运动轨迹、编写加工程序、输入程序、程序校验和试加工。从分析零件图开始到零件加工完毕的整个过程如图 2-2 所示。

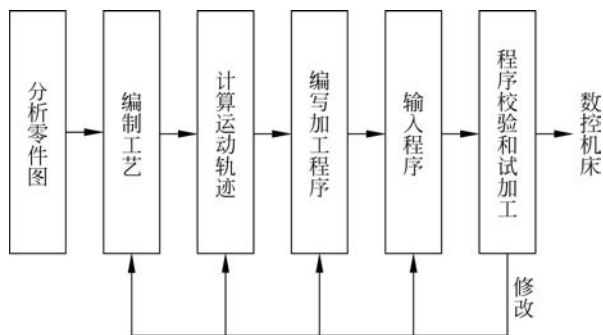


图 2-2 数控程序的编制步骤

1. 分析零件图

正确分析零件图,确定零件的加工位置,根据零件图的技术要求分析零件的形状、基准面、尺寸公差和表面粗糙度要求,以及加工面的种类、零件的材料和热处理等其他技术要求。

2. 编制工艺

确定零件是否适宜在数控机床上加工,确定零件的加工方法、加工顺序、定位、夹紧方式、工步顺序,合理选用刀具及切削用量等,还应充分发挥所用数控机床的指令功能,要求走刀路线要短、走刀次数和换刀次数尽可能少、加工安全可靠等。

3. 计算运动轨迹

数控机床对零件的加工是按照零件的几何图形分段进行的,编程前需要对零件的几何图形进行分析,并根据工件坐标系对几何元素之间的交点、切点、节点、圆心坐标等进行坐标值的计算,以便编程时使用。

4. 编写加工程序

按照已经确定的加工顺序、走刀路线、所用刀具、切削用量及辅助动作,以及所用数控机床规定的功能指令代码及程序段格式,逐段编写加工程序单,使用数控代码描述加工过程。此外,还应附上必要的加工工步卡、加工工序卡及必要的说明。

5. 输入程序

比较简单或短的程序使用一次时可以用手动输入数据(manual data input,MDI)模式。比较复杂的或较长的程序需输入磁盘,即将程序的内容直接存储到磁盘等,再输入数控装置。如果是自动编程,可以将零件加工程序由计算机通过通信电缆直接输入数控机床。

6. 程序校验和试加工

输入的程序必须进行校验,启动数控机床,锁定主轴及其他轴,按照输入的程序进行空运转,以检查程序的正确性。程序校验中若发现程序错误、坐标值错误、几何图形错误必须进行修改。程序校验之后,必须进行零件试加工,即用实际的零件毛坯、实际的刀具及切削用量进行实际切削检查。零件试加工时,应使用软材料代替零件材料进行试切削,可以采用塑料、木材、有色金属等作为替代物,从而直观地检查机床运动轨迹的正确性。试加工不仅可以查出程序的错误,还可以知道加工精度、表面粗糙度是否符合要求。当发现尺寸超差时,应分析原因,采用修改程序、更换调整刀具、改变零件的装夹方式、进行尺寸补偿等方法进行调整。零件试加工完成无误后,方可进行正式加工。

2.2.2 数控程序的编制方法

数控机床使用的程序是按一定的代码格式编制的,一般称为加工程序。目前,常用的零件加工程序编制方法主要有以下两种。

1. 手工编程

手工编程是指利用一般的计算工具,通过各种数学方法,人工进行刀具轨迹的运算,并完成程序的编制。这种方法比较简单,很容易掌握,适用于中低等复杂程度、计算量不大的零件编程。数控车床一般采用手工编程。

2. 自动编程

利用通用的计算机及专用的自动编程软件,以人机对话的方式确定加工对象和加工条件,自动进行运算和生成程序。形状简单(轮廓由直线和圆弧组成)的零件采用手工编程可

以满足要求,但对于曲线轮廓、三维曲面等复杂型面一般采用计算机自动编程。

自动编程是利用计算机辅助设计(computer aided design,CAD)软件设计出零件图形,形成零件的图形文件,目前市场上广泛使用UG CAM、CAXA CAM、MasterCAM等自动编程软件。根据CAD软件完成的产品设计文件中的零件图形文件,可用CAM自动编程软件的数控编程模块进行刀具轨迹处理,即由CAM自动编程软件自动对零件加工轨迹的每一节点进行运算和数学处理,从而生成程序文件,再经相应的后置处理(post processing),自动生成相应数控机床的数控加工程序,并可在CAM自动编程软件中动态地显示刀具的加工轨迹图形,方便检查轨迹错误。

自动编程大大提高了数控编程的效率,把从设计到编程的信息流连接起来,实现了CAD/CAM技术的集成,为实现计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(computer aided manufacturing,CAM)一体化建立了必要的桥梁。因此,图形交互式自动编程是目前国内外在CAD/CAM技术中普遍采用的数控编程方法,生产中习惯性地称为CAM自动编程。

2.2.3 数控加工工艺分析

数控加工工艺是加工时的指导性文件。由于普通机床受控于操作工人,因此,在普通机床上用的加工工艺实际上只是一个工艺过程卡,机床的切削用量、走刀路线、工序、工步等往往由操作工人自行选定。数控加工的程序是数控机床的指令性文件,而数控机床受控于程序指令,加工的全过程按程序指令自动进行。因此,数控加工程序与普通机床工艺规程有较大差别,涉及的内容也较广。数控机床加工程序不仅包括零件的工艺过程,还包括切削用量、走刀路线、刀具尺寸及机床的运动过程。因此,要求编程人员对数控机床的性能、特点、运动方式、刀具系统、切削规范及零件的装夹方法非常熟悉。工艺方案是否合理不仅会影响机床效率的发挥,还将直接影响零件的加工质量。

数控加工工艺卡的内容包括:

- (1) 选择适合在数控机床上加工的零件,确定工序内容。
- (2) 分析被加工零件的图纸,明确加工内容及技术要求。
- (3) 确定零件的加工方案,制定数控加工工艺路线,如划分工序、安排加工顺序、处理与非数控加工工序的衔接等。
- (4) 设计加工工序,如选取零件的定位基准、确定夹具方案、划分工步、选取刀辅具、确定切削用量等。
- (5) 调整数控加工程序,如选取对刀点、换刀点,确定刀具补偿,确定加工路线等。
- (6) 分配数控加工中的误差。
- (7) 处理数控机床上的部分工艺指令。

2.3 数控车床编程

目前,数控车床是应用最广泛的数控机床之一,主要用于加工轴类、盘类等回转体零件。通过数控加工程序的运行,可自动完成内外圆柱面、圆锥面、成形表面、螺纹和端面等工序的

切削加工,并能进行车槽、钻孔、扩孔、铰孔等工作。数控车床在一次装夹中能完成多个表面的连续加工,主切削运动是零件的旋转,它具有更强的通用性和灵活性,以及更高的加工效率和加工精度,特别适合复杂形状零件的加工。

2.3.1 数控车床编程基础

1. 数控车床的机床坐标系

机床坐标系是机床上固有的坐标系,并设有固定的坐标原点。机床坐标系是制造和调整机床的基础,也是设置工件坐标系的基础。一般机床每次通电后,首先进行回零(也叫返回机床原点),然后建立机床坐标系。

数控车床的机床坐标系以径向为 X 轴,轴向为 Z 轴,其中从主轴箱指向尾架的方向为 Z 轴的正方向。对于刀架后置式的车床, X 轴的正向由轴心指向后方,如图2-3(a)所示;对于刀架前置式的车床, X 轴的正向由轴心指向前方,如图2-3(b)所示。由于车削加工是围绕主轴中心前后对称的,因此无论是前置式的还是后置式的, X 轴指向前、后对编程来说并无差别。本书的数控车床编程皆按图2-3(b)所示的前置式方式表示。

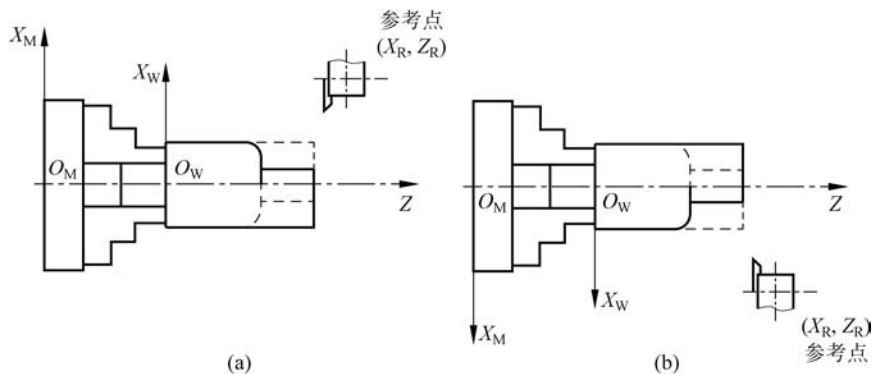


图 2-3 数控车床的机床坐标系

2. 数控车床的工件坐标系

工件坐标系也叫编程坐标系,是为了确定加工时零件在机床中的位置而建立的。工件坐标系采用与机床坐标系一致的方向。 X 轴和 Z 轴坐标值按绝对坐标编程时,使用代码 X 和 Z ;按增量坐标编程时,使用代码 U 和 W 。在零件的程序或程序段中,可以按绝对坐标编程或增量坐标编程,也可以用绝对坐标与增量坐标混合编程。

3. 数控车床的直径编程方式

由于车削加工图上的径向尺寸及测量的径向尺寸使用的是直径值,因此在数控车削加工程序中, X 及 U 的坐标值一般也采用直径值,按绝对坐标编程时 X 为直径值,按增量坐标编程时 U 为径向实际位移值的2倍。采用直径尺寸编程与零件图中的尺寸标注一致,这样可以避免尺寸换算过程中可能造成的错误,给编程带来很大的方便。

2.3.2 数控车床加工方案

1. 确定数控车床的加工路线

数控车床从装夹零件到加工完成,每一个工步的加工过程必须十分清晰,还要考虑每一个工步的切削用量、走刀路线位置、刀具尺寸等相关加工参数,因此必须根据数控车床的特性、运动方式等合理制定零件加工工艺。制定数控车床的加工方案包括制定工艺路线、工序、工步及走刀路线等。制定加工路线的一般原则为先粗后精、先近后远、先内后外、程序段最少和走刀路线最短等,若是特殊情况则需特殊处理。

1) 先粗后精

在车削加工中,应先安排粗加工工序。在较短的时间内,采用大切削量加工,一般用于完成毛坯的粗加工,从而提高生产效率,同时应满足精加工的余量均匀性要求,以保证零件的精加工质量。在数控车床的精加工工序中,最后一刀的精加工应走刀连续一次加工而成。切削刀具的进刀、退刀方向也要全面考虑,应尽可能地不在连续的轮廓中安排刀具的切入、切出和停顿等动作,避免因切削力的突然变化造成弹性变形,使光滑连接的轮廓上产生表面划伤、滞留刀痕或尺寸精度不同等缺陷。

2) 先近后远

一般情况下,在数控车床的加工中,通常安排离刀具起点近的部位先加工,离刀具起点远的部位后加工。这样不仅可以缩短刀具的移动距离,减少空运行,提高效率,还有利于保证零件的刚性,改善切削条件。

3) 先内后外

在加工既有内表面(内孔)又有外表面的零件时,通常应先安排加工内表面,然后加工外表面。这是因为当加工内表面时,容易受刀具刚性较差及零件刚性不足的影响,使刀具振动加大,从而难以控制其内表面的尺寸和表面形状的精度。

4) 走刀路线最短

在数控车床上确定走刀路线,主要是指粗车加工和空运行的走刀路线。在保证加工质量的前提下,使加工程序走刀路线最短,不仅可以节省整个加工过程的时间,还能减少车床的磨损等。

2. 数控车床切削参数

数控车床加工的切削用量是表示机床主体的主运动和进给运动速度大小的重要参数,包括切削深度、主轴转速和进给速度。在加工程序的编制工作中,选择合理的切削用量,使切削深度、主轴转速和进给速度三者间相适应,形成最佳切削参数是工艺处理的重要内容。

1) 切削深度的确定

切削深度也叫背吃刀量,在车床主体、夹具、刀具、零件等系统刚性允许的条件下,粗加工时应尽可能选取较大的切削深度,以减少走刀次数,提高生产效率。当零件的精度要求较