

# 模块一 数控加工编程基础

数控机床是典型的机电一体化设备,它严格按照从外部输入的程序来自动控制机床的运行,包括工件加工、辅助运动等。为了区别于数控系统内部程序,把从外部输入的程序称为数控加工程序,简称数控程序。本章主要从数控编程的方法和步骤、数控机床坐标系的建立和确定、程序的编制以及编程中的数学应用几个方面来介绍数控加工编程的基础知识。

## 学习情境一 数控加工编程概述

现今数控系统程序种类繁多,它们使用的语言规则和格式也不尽相同,原则上说,应该严格按照机床编程手册的规定编程。为了使读者在学习程序时更加容易理解,本书选择了现今应用比较广的 FANUC 系统。

### 一、数控编程的方法

数控编程的方法有两种:手工编程和自动编程。

#### 1. 手工编程

手工编程是指由程序员根据工件的尺寸、结构和机床的加工特点来编制整个加工程序的过程。对于几何形状不复杂、结构简单的零件,因计算容易,程序不长,一般采用手工编程。手工编程既经济又实用,因而仍被广泛采用。

手工编程的特点:耗费时间较长,容易出现错误,无法胜任复杂形状零件的编程。据国外资料统计,当采用手工编程时,一段程序的编写时间与其在机床上运行加工的实际时间之比,平均约为 30 : 1,而数控机床不能开动的原因中有 20%~30%是由于加工程序编制困难,编程时间较长。

#### 2. 自动编程

自动编程是指在手工编程过程中,部分或全部的编程工作都由计算机自动完成。采用计算机自动编程是为了解决在手工编程时繁琐的数值运算,可提高编程效率几十倍乃至上百倍,解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题,同时由于计算机可自动绘制出刀具中心的运动轨迹,使编程人员可及时检查程序是否正确,需要时可及时修改,以获得正确的程序。

自动编程的特点:计算速度快,准确率高,编程效率高。

根据输入方式的不同,可将自动编程分为图形数控自动编程和语言数控自动编程等。图形数控自动编程是指将零件的图形信息直接输入计算机,通过自动编程软件处理,得到数控加工程序。目前,图形数控自动编程是使用最为广泛的自动编程方式。语言数控自动编

程指将加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后,输入到计算机中,再由计算机进一步处理得到零件加工程序。

## 二、数控编程的步骤

在程序编制之前,编程人员应该了解所用机床的种类、规格、性能和机床所用的数控系统的功能和编程代码及格式等,同时还应该清楚零件加工的类型。编制程序时,应该先对零件图中所规定的技术要求、几何尺寸精度和工艺要求进行分析,确定合理的加工方法和加工路线,进行相应的数值计算,获得刀尖或刀具中心运动轨迹的位置数据。然后按照数控机床规定的功能代码和程序格式,将工件的尺寸、刀尖或刀具中心运动轨迹、进给量、主轴转速、切削深度、背吃刀量以及辅助功能和刀具等,按照先后顺序编制成数控加工程序。最后将加工程序记录在程序载体上制成控制介质,再从控制介质输入到数控系统中,由数控系统控制数控机床实现工件的自动加工,完成首件试切,验证程序的正确性。

数控机床的程序编制主要包括:零件图样分析、加工工艺分析、数值计算、编写程序单、制作控制介质和程序加工检验等。因此,数控编程的过程也就是指从零件图样分析到程序加工检验的全部过程,如图 1-1 所示。

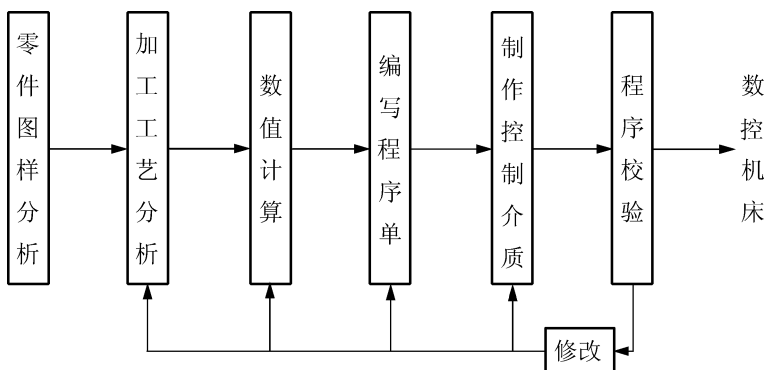


图 1-1 数控编程的步骤

### 1. 分析零件图样

通过对工件的材料、形状、尺寸、精度及技术要求进行分析,确定毛坯材料、形状、尺寸和热处理的方法,根据数控机床加工精度、适应性等特点,分析工件在数控机床上进行加工的可行性,确定加工机床的种类和相关参数,批量小、形状复杂、精度要求高的工件,尤其适合于在数控机床上加工。

### 2. 制定工艺方案

制定工艺方案的内容包括:确定工件的定位基准;选用夹具及装夹方法;确定加工所用刀具;选择正确的对刀点;确定合理的走刀路线;选用合理的切削用量、进给速度和主轴转速等切削参数;确定加工过程中是否需要提供冷却液,是否需要换刀,何时换刀等。在安排工序时,要根据数控加工的特点按照工序集中的原则,尽可能在一次装夹中完成所有的加工内容。

### 3. 数值计算

数值计算又称为数据处理,在确定了工艺方案后,就需要根据零件的几何尺寸、加工路

线等计算零件轮廓数据及刀具中心运动轨迹,以获得刀具中心(或刀尖)运行轨迹数据。数控系统一般均具有直线插补与圆弧插补的功能,对于加工由圆弧和直线组成的较简单的平面零件,只需要计算出零件轮廓上相邻几何元素交点或切点的坐标值,得出各几何元素的起点和终点、圆弧的圆心坐标值等,就能满足编程要求。当零件的几何形状与控制系统的插补功能不一致时,就需要进行较复杂的数值计算,一般需要使用计算机辅助计算,否则难以完成。数值计算的最终目的是获得编程需要的所有相关位置的坐标数据。

#### 4. 编写程序单

在完成上述几个步骤后,程序员可根据已确定的工艺方案及数值计算获得的数据,按照数控系统要求的程序格式和代码格式编写相应的加工程序单。这就要求程序员除应了解所用数控机床及系统的功能、熟悉程序指令外,还应具备与机械加工有关的工艺知识,才能编制出正确、实用的加工程序。

#### 5. 制作控制介质

程序单是制作控制介质的依据,控制介质是程序单的载体。程序单完成后,程序员或机床操作人员可以通过键盘或 CNC 机床的操作面板,在 EDIT 方式下直接将程序信息键入 CNC 系统程序存储器中;也可以根据 CNC 系统输入、输出装置的不同,先将程序单的程序制作成或转移至某种控制介质上。控制介质大多采用穿孔带,也可以是磁带、磁盘等信息载体,利用穿孔带阅读器或磁带机、磁盘驱动器等输入(输出)装置,可将控制介质上的程序信息输入到 CNC 系统程序存储器中。

#### 6. 程序校验

将编写好的加工程序输入数控系统,就可控制数控机床的加工工作。在正式加工之前,必须对程序进行校验,在某些情况下,需要对工件做首件试切。在一般情况下,可采用机床空运转的方式来检查机床动作和运动轨迹的正确性,以检验程序。在具有图形模拟显示功能的数控机床上,可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程,对程序进行检查。以上校验方法只能证明轨迹的正确与否,无法查出被加工工件的精度。对于形状复杂和精度要求高的零件,通过首件试切,检查试件,不仅可确认程序是否正确,还可知道加工精度是否符合要求。若能采用与被加工零件材料相同的材料进行试切,则更能反映实际加工的效果。当发现加工的零件不符合加工技术要求,产生了误差时,应分析误差产生的原因,可采用修改程序或尺寸补偿等措施加以修正,然后再检验、分析、修正,经过多次反复校验,直到获得完全满足加工要求的程序为止。

## 学习情境二 数控机床的坐标系

数控机床坐标系是为了确定工件在机床中的位置、机床运动部件的特殊位置及运动范围,即描述机床运动,产生数据信息而建立的几何坐标系。通过建立机床坐标系,可确定数控机床各运动件的位置关系,保证数控机床的正确运动。ISO 国际标准统一规定了数控机床各坐标轴的代码和运动的正、负方向,给数控系统和数控机床的设计、使用和维修带来了很大的方便。

## 一、数控机床坐标系与坐标轴确定原则

### 1. 数控机床坐标系

数控机床常用坐标系是标准坐标系,又称基本坐标系,依据笛卡儿直角坐标系建立。其三个坐标轴分别用  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  表示,如图 1-2(a)所示。伸出右手的大拇指、食指和中指,并互为  $90^\circ$ ,则大拇指代表  $X$  坐标,食指代表  $Y$  坐标,中指代表  $Z$  坐标。大拇指的指向为  $X$  坐标的正方向,食指的指向为  $Y$  坐标的正方向,中指的指向为  $Z$  坐标的正方向。围绕  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标旋转的旋转坐标分别用  $A$ 、 $B$ 、 $C$  表示,如图 1-2(b)所示,根据右手螺旋定则,大拇指的指向为  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标中任意轴的正向,则其余四指的旋转方向即为旋转坐标  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的正向,如图 1-2(c)所示。

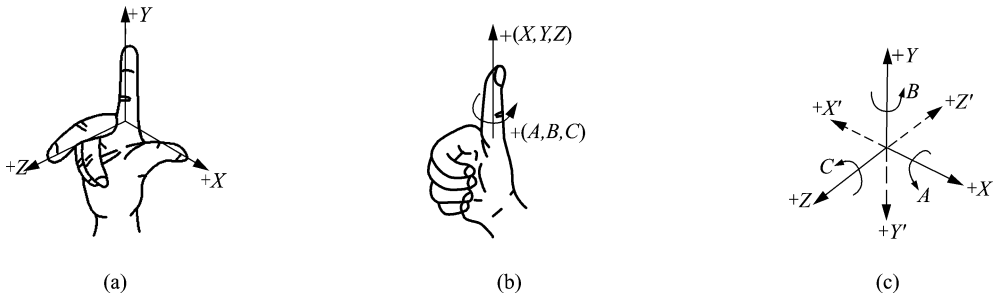


图 1-2 数控机床坐标系

### 2. 坐标轴的确定原则

#### 1) 刀具相对于工件运动的原则

编程人员在不知是刀具移向工件还是工件移向刀具的情况下,只需根据零件图纸和刀具相对于工件运动的原则来确定零件的加工过程。

#### 2) 标准坐标系原则

机床坐标系确定机床上运动的大小与方向,以完成一系列的成形运动和辅助运动。

#### 3) 运动方向的原则

数控机床某一部件运动的正方向,是增大工件与刀具距离的方向。

### 3. 坐标轴的确定

#### 1) $Z$ 轴

标准规定,机床传递切削力的主轴轴线为  $Z$  坐标(如:铣床、钻床、车床、磨床等);如果机床有几个主轴,则选一垂直于装夹平面的主轴作为主要主轴;如机床没有主轴(龙门刨床),则规定垂直于工件装夹平面的为  $Z$  轴。

#### 2) $X$ 轴

$X$  坐标一般是水平的,平行于装夹平面。对于工件旋转的机床(如车、磨床等), $X$  坐标的方向在工件的径向上;对于刀具旋转的机床则作如下规定:

当  $Z$  轴处于水平时,从刀具主轴后向工件看,正  $X$  为右方向。

当  $Z$  轴处于铅垂面时,对于单立柱式,从刀具主轴后向工件看,正  $X$  为右方向;对于龙门式,从刀具主轴右侧看,正  $X$  为右方向。

### 3) Y、A、B、C 及 U、V、W 等轴

由右手笛卡儿坐标系来确定 Y 轴, A、B、C 表示绕 X、Y、Z 轴的旋转运动轴, 正方向按照右手螺旋法则确定; 若有第二直角坐标系, 可用 U、V、W 轴表示, 如图 1-3 所示。

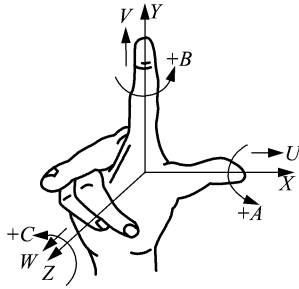


图 1-3 第二直角坐标系

### 4) 坐标方向判定

当某一坐标上刀具相对于工件移动时, 用不加撇号的字母表示该轴运动的正方向; 当某一坐标上工件相对于刀具移动时, 则用加撇号的字母(例如:  $A'$ 、 $X'$  等)表示。在图 1-2(c) 中, 加与不加撇号所表示的运动方向正好相反。

## 二、机床坐标系

机床坐标系是在机床上具有固定的坐标原点的坐标系, 是机床固有的坐标系, 如图 1-4 所示。机床坐标系是在机床出厂时就已经由厂家设定好的, 是数控机床中所建立的工件坐标系的参考坐标系。

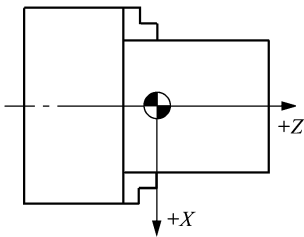


图 1-4 机床坐标系

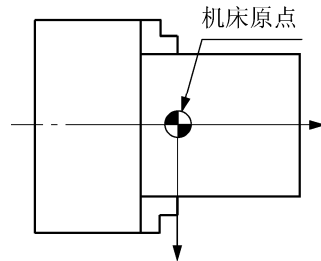


图 1-5 机床坐标原点

## 三、数控机床原点与参考点

机床坐标系原点是在机床调试完成后便确定了, 是机床上固有的点, 也是一个固定的点。它是通过操作刀具或工件返回机床零点的方式建立起来的, 所以机床原点建立的过程, 实质上就是机床坐标系建立的过程, 如图 1-5 所示。

在机床运行过程中, 往往会有各种各样的原因(例如编程中的增量使用不当等)使机床的运动产生一定量的定位误差。为了尽可能消除定位误差, 可采用返回机床参考点的方法。机床参考点是由机床生产厂家设定的一个点, 它与机床原点相似, 也是一个固定的点, 其位置参数存放在数控系统中, 如图 1-6 所示。

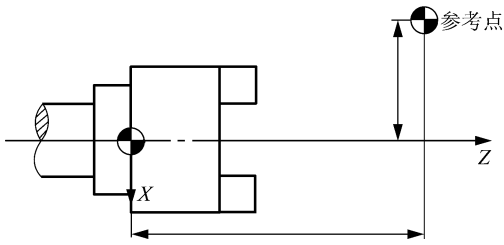


图 1-6 机床参考点

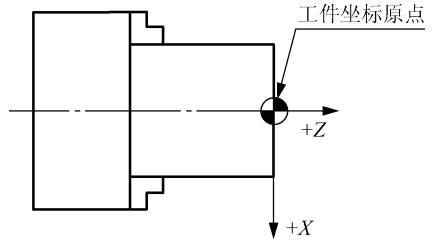


图 1-7 工件坐标系

## 四、数控机床的工件坐标系

数控机床的机床坐标系是工件加工中非常重要的坐标系,它是其他坐标系以及设计和加工零件时的重要基准。但是,由于它是一个固定的点,当以机床坐标系原点作为工件程序编制的原点时,非常不方便。所以,为简化编程过程,降低数值计算的难度,选择在被加工工件上的一个固定点作为坐标原点,以平行机床坐标系各坐标轴的轴线作为新的坐标轴,建立起新的坐标系,这个坐标系就是工件坐标系,也被称为编程坐标系,如图 1-7 所示。由于工件坐标系的建立是由程序员或机床操作员来完成的,同时为了使工件在编程和加工中更加简单、明了、方便、快捷,所以工件坐标系选择时尽量遵循以下原则:

- (1) 应使工件的零点与工件的尺寸基准重合。
- (2) 当工件图中的尺寸容易换算成坐标值时,尽量直接使用图纸尺寸作为坐标值。
- (3) 工件零点应该选在容易找正、在加工过程中容易测量的位置。

另外,在选择工件坐标系的时候,还必须从工件程序编制的难易程度和加工时的工件精度要求等方面综合考虑,以选择最合适的工件坐标系。

## 五、绝对坐标与增量坐标编程

### 1. 绝对坐标编程

编程时,将工件放置在直角坐标系中,或者在工件上建立直角坐标系,即工件坐标系。工件上各点相对于坐标原点的坐标值称为绝对坐标值,如图 1-8 所示,利用绝对坐标值进行编程称为绝对坐标编程。

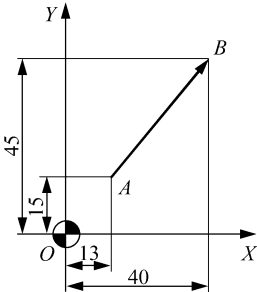


图 1-8 绝对坐标

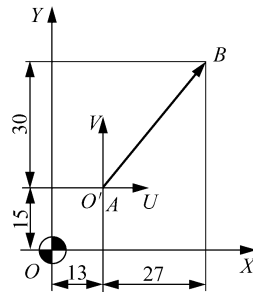


图 1-9 相对坐标

### 2. 相对坐标编程

编程时,将工件放置在直角坐标系中,或者在工件上建立直角坐标系,即工件坐标系。

工件上各点相对于前一点坐标的坐标值称为相对坐标值,如图 1-9 所示,利用相对坐标值进行编程称为相对坐标编程。

## 学习情境三 程序编制的结构

程序是数控机床实现自动运行的根本。不同的机床生产厂家按照自己不同的程序编制习惯和要求,制定不同的程序语言,然后由指令和数字按照一定的格式排列而成。所以编程之前,必须先了解程序的指令、结构和编程规则,才可以编制出正确的数控加工程序。

### 一、编程指令

编程指令又称为功能代码,主要由地址字符和数字字符组成,地址字符的含义如表 1-1 所示。

表 1-1 地址字符表

字 符	含 义	字 符	含 义
A	相对 X 轴的旋转轴	N	顺序号地址
B	相对 Y 轴的旋转轴	O	程序号地址
C	相对 Z 轴的旋转轴	P	程序段序号地址
D	刀具半径补偿功能	Q	程序段序号地址
E	第二进给	R	半径地址
F	进给功能	S	主轴转速功能
G	准备功能	T	刀具功能
H	刀具长度补偿功能	U	平行于 X 轴的第二轴功能
I	平行于 X 轴的插补功能	V	平行于 Y 轴的第二轴功能
J	平行于 Y 轴的插补功能	W	平行于 Z 轴的第二轴功能
K	平行于 Z 轴的插补功能	X	X 轴的基本尺寸功能
L	重复次数	Y	Y 轴的基本尺寸功能
M	辅助功能	Z	Z 轴的基本尺寸功能

地址字符分为尺寸地址字符和非尺寸地址字符。尺寸地址字符主要存储各种尺寸,又称为尺寸功能,包括 A、B、C、D、E、H、I、J、K、P、Q、R、U、V、W、X、Y、Z 等 18 个地址符,主要用来指定机床运行的坐标位置和暂停时间等。其中,地址符 P、Q、U、V、W、X、Y、Z 主要用来指定机床运行的直线坐标尺寸,有些也可指定暂停时间,如 X、P;地址符 A、B、C 主要用来指定机床运行的角度尺寸;地址符 I、J、K 主要用来指定圆弧圆心的坐标尺寸;地址符 R、D、H 主要用来指定刀具半径和长度的尺寸。

非尺寸地址字符主要是用来存储尺寸以外的其他功能,包括 F、G、M、N、O、S、T 等 7 个字符。地址符 P、Q 常用于指定程序段序号。

#### 1. G 功能

G 功能又称为准备功能,由地址符 G 和其后的数字(一般为两位数)组成。G 功能主要

是规定机床运动部件在运动时的坐标系、运动的方式、坐标的偏移、刀具补偿、暂停时间等多种操作。

数控机床已经经历了半个多世纪的发展,种类繁多。世界上各主要数控系统生产厂家为了体现本身系统的特色,在定义机床各功能时都制定了自己的定义标准,造成了 G 功能含义的差别。大多数数控系统中 G 功能的含义基本相同,如表 1-2 所示,部分差异如表 1-3 所示。因此,在使用 G 功能时,必须遵照数控系统生产厂家的规定。

表 1-2 相同 G 功能

代 码	组 号	功 能	代 码	组 号	功 能
G00*	01	快速定位	G54 ~ G59	14	选择第 1~6 工件坐标系
G01		直线插补	G17*	—	XY 平面
G02		圆弧插补 (CW, 顺时针)	G18		XZ 平面
G03		圆弧插补 (CCW, 逆时针)	G19		YZ 平面
G04	00	程序暂停	G90*	—	绝对坐标编程
G40*	07	取消刀尖半径偏置	G91		增量坐标编程
G41		刀尖半径偏置 (左侧)	—	—	—
G42		刀尖半径偏置 (右侧)	—	—	—

表 1-3 G 功能对照表

代 码	FANUC0i-M	FANUC0i-T	HNC-21T	SINUMERIK 802S/C	SINUMERIK 802D
G09	准确停止	—	—	准确定位	准确定位
G10	可编程数据输入	可编程数据输入	—	—	—
G11	可编程数据输入 方式取消	可编程数据输入 方式取消	—	—	—
G15	极坐标指令消除	—	—	—	—
G16	极坐标指令	—	—	—	—
G20	英寸输入	英寸输入	英寸输入	—	—
G21*	毫米输入	毫米输入	毫米输入	—	—
G22	存储行程检测 功能接通	存储行程检测 功能接通	—	半径数据尺寸	—
G23	存储行程检测 功能断开	存储行程检测 功能断开	—	直径数据尺寸	—
G25	主轴速度波动监测 功能无效	主轴速度检测断开	—	主轴转速下限	主轴转速下限或 工作区域下限
G26	主轴速度波动监测 功能有效	主轴速度检测接通	—	主轴转速上限	主轴转速上限或 工作区域上限
G27	返回参考点检测	返回参考点检测	—	—	—
G28	返回参考点	返回参考点	返回到参考点	—	—
G29	由参考点返回	—	由参考点返回	—	—



续表

代 码	FANUC0i-M	FANUC0i-T	HNC-21T	SINUMERIK 802S/C	SINUMERIK 802D
G30	返回第 2、3、4 参考点	返回第 2、3、4 参考点	—	—	—
G31	跳转功能	跳转功能	—	—	—
G32	—	恒螺距的螺纹切削	恒螺距螺纹切削	—	—
G33	恒螺距的螺纹切削	—	—	恒螺距的螺纹切削	恒螺距的螺纹切削
G34	—	变螺距螺纹切削	—	—	—
G36	—	—	直径编程	—	—
G37	自动刀具长度测量	—	半径编程	—	—
G39	拐角偏置圆弧插补	—	—	—	—
G43	正向刀具长度补偿	—	—	—	—
G44	负向刀具长度补偿	—	—	—	—
G45	刀具位置偏置加	—	—	—	—
G46	刀具位置偏置减	—	—	—	—
G47	刀具位置偏置加 2 倍	—	—	—	—
G48	刀具位置偏置减 2 倍	—	—	—	—
G49*	刀具长度补偿取消	—	—	—	—
G50	比例缩放取消	坐标系设定和 最高转速限制	—	—	—
G51	比例缩放有效	—	—	—	—
G52	局部坐标系设定	局部坐标系设定	—	—	—
G53	选择机床坐标系	选择机床坐标系	直接机床 坐标系编程	按程序取消可 设定零点偏置	按程序取消可 设定零点偏置
G60	单方向定位	—	—	准确定位	准确定位
G61	准确停止方式	—	—	—	—
G62	自动拐角倍率	—	—	—	—
G63	攻螺纹方式	—	—	—	带补偿夹具攻螺纹
G64	切削方式	—	—	连续路径方式	连续路径方式
G65	宏程序调用	宏程序调用	—	—	—
G66	宏程序模态调用	宏程序模态调用	—	—	—
G67	宏程序模态调用取消	宏程序模态调用取消	—	—	—
G68	坐标旋转/ 三维坐标转换	—	—	—	—
G69	坐标旋转取消/ 三维坐标 转换取消	—	—	—	—
G70	—	精车复合循环	—	英制尺寸	英制尺寸
G71	—	外圆/内径车削 复合循环	外圆/内径 车削复合循环	公制尺寸	公制尺寸

续表

代 码	FANUC0i-M	FANUC0i-T	HNC-21T	SINUMERIK 802S/C	SINUMERIK 802D
G72	—	端面车削复合循环	端面车削复合循环	—	—
G73	排屑钻孔循环	闭环车削复合循环	闭环车削复合循环	—	—
G74	左旋攻螺纹循环	端面深孔钻循环	—	回参考点	回参考点
G75	—	径向切槽循环	—	回固定点	回固定点
G76	精镗循环	螺纹车削复合循环	螺纹车削复合循环	—	—
G77	—	—	—	—	—
G80	固定循环取消/ 外部操作 功能取消	固定循环取消	外径/ 内径车削 固定循环	—	—
G81	钻削固定循环、 钻中心孔	—	端面车削 固定循环	—	—
G82	钻削固定循环、铤孔	—	螺纹切削固定循环	—	—
G83	排屑钻孔循环	平面钻孔循环	—	—	—
G84	攻螺纹循环	平面攻螺纹循环	—	—	—
G85	镗孔循环	正面镗循环	—	—	—
G86	镗孔循环	—	—	—	—
G87	背镗循环	侧钻循环	—	—	—
G88	镗孔循环	侧攻螺纹循环	—	—	—
G89	镗孔循环	侧镗循环	—	—	—
G90	绝对值编程	外径/内径切削 单一循环	绝对编程	绝对坐标	绝对尺寸
G91	增量值编程	—	相对编程	相对坐标	相对编程
G92	设定工件坐标系或 最大主轴 速度钳制	螺纹车削 单一循环	设置工件坐标系	—	—
G94*	每分钟进给	端面车削 单一循环	每分钟进给	每分钟进给	每分钟进给
G95	每转进给	—	每转进给	每转进给	每转进给
G96	恒表面速度控制	恒表面速度控制	恒表面速度控制	—	—
G97	恒表面速度控制取消	恒表面速度控制取消	取消恒线速度控制	—	—
G98*	固定循环返回到初始点	每分钟进给	—	—	—
G99	固定循环返回到 R 点	每转进给	—	—	—

表 1-2 中 G 代码是数控机床的常用 G 功能代码,不同系统、不同系列的 G 代码含义有差异,表 1-3 中已经列出部分代码的差异,具体差异请参考相应的编程说明书。

G 代码分模态代码和非模态代码。

模态代码是指在程序段中一经指定持续有效,直到被同组其他指令替代为止的代码。表 1-2 中 G 代码被分成 00、01、02 等不同的组,其中除 00 组以外的其他各组代码都属于模

态代码。如 01 组中 G00,编程时一经指定,如运动方式不改变,后续程序段中可以将其省略。具体使用规则将在后续内容中详细讲解。

非模态代码是指只在本程序段中有效的代码。表 1-2 中 00 组代码就属于非模态代码。如 00 组中的 G04,在编程时,只在它出现的程序段中有效。具体使用规则将在后续内容中详细讲解。

不同组的 G 代码可以在同一程序段中被指定,如果同组多个 G 代码在同一程序段中被顺序指定,则最后指定的 G 代码有效。

当机床电源打开或重置时,有部分功能代码被设置为默认值,即开机有效。表 1-2 中标有“※”的项就是开机有效,如 G17 功能。

表 1-3 中“—”符号表示该代码在该系统中没有定义,不适用于该系统。

## 2. M 功能

M 功能又称为辅助功能,由地址符 M 和其后的数字(一般为两位数)组成。M 功能主要是一些开关量,是规定机床做一些与机床运动有关的辅助动作的代码。与 G 功能一样,M 功能在实际中标准化程度也不高。如表 1-4 所示,主要是针对现在我国国内使用比较广泛的 FANUC 系统和华中系统中的 M 功能进行对照。

表 1-4 M 功能对照表

代 码	FANUC 系统功能	HNC 系统功能
M00	程序暂停	程序暂停
M01	选择停止	选择停止
M02	程序结束(复位)	程序结束(复位)
M03	主轴正转 (CW)	主轴正转 (CW)
M04	主轴反转 (CCW)	主轴反转 (CCW)
M05	主轴停	主轴停
M06	换刀	换刀
M07	切削液开	切削液开
M09	切削液关	切削液关
M30	程序结束(复位)并回到开头	—
M94	镜像取消	—
M95	X 坐标镜像	—
M96	Y 坐标镜像	—
M98	子程序调用	子程序调用
M99	子程序结束	子程序结束

M 功能代码与 G 功能代码很相似,在使用中要注意:

(1)M 代码是数控机床常用 M 功能代码,不同系统、不同系列的 M 代码含义有差异,具体差异请参考相应的编程说明书。

(2)表 1-4 中“—”符号表示该代码在该系统中没有含义,不适用于该系统。

## 3. F 功能

F 功能又称为进给功能,由地址符 F 和其后的数字组成。F 功能主要是指定机床在加工工件时,刀具相对于工件的进给速度,单位为 mm/min 或 mm/r。地址符 F 后面的数

字表示进给速度值,当在加工螺纹时,F 功能则表示螺纹的导程。地址符 F 后面的数字表示进给速度值。

#### 4. S 功能

S 功能又称为主轴转速功能,由地址符 S 和其后的一组数字组成。S 功能主要是指定机床主轴的转动速度。在中档以上机床中,主轴驱动已经采用了主轴控制单元,它们的主轴转动速度可以通过 S 功能直接定义,以此来实现无级变速。然而,现在的一些机床容许的调速范围比较小,或者为了避免变速引起不必要的机床冲击,在调速机构中加入齿轮调速机构,实现分段无级变速。此外,在中档以上的车床中,为了保证工件表面质量的一致性,有一种使切削部位保持恒定线速度的功能,即恒线速功能。恒线速功能使得工件在切削过程中,随着切削部位的直径不断变化,主轴的转速也要不断做相应的变化。此时,程序中的 S 功能则是用来指定车削加工中的线速度值的。

##### 1) 在 G96 方式下的 S 功能

控制恒线速的开关量有两个,G96 是其中之一。当 G96 有效时,则表示恒线速开。此时,S 功能指定的数值表示工件切削的线速度。数控装置按照 X 值的不断变化,计算出此刻主轴的转动速度,使得刀具和工件的接触点的线速度始终保持 S 功能所指定的切削速度。由于数控装置是将 X 的值作为工件当前的直径来计算主轴转速的,所以在使用 G96 时,必须正确地设定工件坐标系。

例如:G96 S100,表示切削点的线速度始终保持在 100 mm/min。

##### 2) 在 G50 方式下的 S 功能

在 G96 方式下,由于恒线速的关系,随着切削加工的深入,工件的直径会越来越小,或者工件坐标系的原点设置等因素,使得 X 的坐标值也越来越小,从而导致机床主轴的转速越来越高,甚至趋于无限大。为了保证工件的安全、稳定加工,在恒线速加工中必须对主轴的转速加以限定,控制此时主轴的最高转速。

G50 有两种功能。一是工件坐标系的设定,二是在恒线速时对主轴最高转速的设定。在这里,G50 的功能是后者。用 S 指定的数值是设定主轴的最高转速。

例如:G96 G50 S1500,表示在恒线速有效的状态时,主轴的最高转速为 1500 r/min。

##### 3) 在 G97 方式下的 S 功能

当 G97 有效时,则表示恒线速关。它是控制恒线速的另外一个开关量。

#### 5. T 功能

T 功能又称刀具功能,由地址符 T 和其后的一组数字组成。T 功能主要是指定机床在加工工件时刀具的选择。由于刀具的几何形状和磨损,造成刀具的中心或刀尖在加工时位置不重合,有时在 T 功能中也包含了刀具的位置偏差(多在车床中)。为了弥补刀具的中心或刀尖在加工时位置不重合,都设置了相关的刀具补偿。

在地址符 T 后的一组数字,有 1 位数、2 位数、4 位数等,其含义和功能各不相同。

##### 1) 1 位数

在少数数控车床中,刀具的位置偏差、半径补偿和长度补偿等都不需要在程序中出现,因此,只需要用 1 位数表示刀具的位置。

##### 2) 2 位数

在刀具少于 100 把的加工中心或某些数控车床中,一般都采用此种方法来选择刀具。

在加工中心,由于刀具较多,因此多采用此种方法选择刀具,如 T01、T35、T88 等。当刀具位置号在 1~9 之间时,可以省略 0,T01 就变成 T1。其刀具的长度补偿和半径补偿则分别由地址符 D 和地址符 H 及其后的一组数字来完成。在某些数控车床中,由于刀具数量少,所以也常采用 T 后加 2 位数的方法。其中,首位数字表示刀具的位置号,又称为刀位号,常用 0~8 共 9 位数字,“0”表示不换刀;末位数字表示刀具的补偿编号,又称为刀补号,常用 0~8 共 9 位数字,“0”表示补偿为 0 或取消刀补。

### 3) 4 位数

4 位数多用于车削中心和部分数控车床中。前两位数表示刀位号,后两位数表示刀补号,其中“00”表示补偿为 0 或取消刀补。

## 二、程序段的格式

### 1. 程序的结构

一个完整的数控加工程序由开始符、程序名、程序主体和程序结束指令、结束符等组成(以 FANUC 系统为例)。

%		(单独一行)
O0001;	程序名	(单独一行)
N01 G50 X50.0 Y20.0 ;	} 程序主体	
N02 .....		
N03 .....		
N04 .....		
N05 .....		
M30;	程序结束	(一般单独一行)
%		(单独一行)

#### 1) 程序名

程序名是一个程序必需的标识符。它由地址符后带若干位数字组成。常见的地址符有“%”、“O”、“P”等,不同数控系统的程序名有不同的命名方法,西门子系统有用地址符“%”后跟若干位数字的,也有用字母数字组成的,且前两位必须是字母;而华中和 FANUC 系统地址符则分别用“%”和“O”后跟 1~4 位正整数组成,使用时应根据具体系统而定。

如:国产华中 I 型系统用“%”,日本 FANUC 系统用“O”,后面所带的数字一般为 4~8 位,如:%2000。

#### 2) 程序主体

程序主体表示数控加工要完成的全部动作,是整个程序的核心。它由若干个程序段组成,每个程序段由一个或多个指令构成。

#### 3) 程序结束

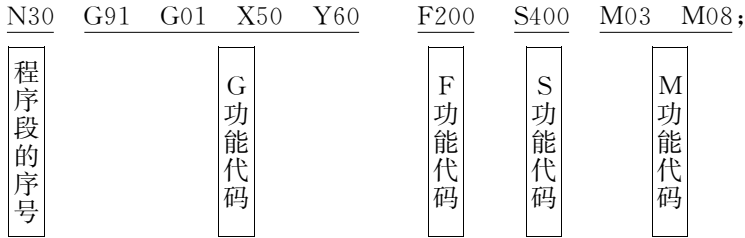
程序结束是以程序结束指令 M02 或 M30 结束整个程序的运行。

## 2. 程序段的格式

程序段的格式主要是指在同一个程序段中,按照数控系统的要求和规定,各功能代码地址符、字母、数字和符号等进行有序排列,表达某一规定含义的方法。

目前广泛采用字地址可变程序段格式(字地址程序段格式)。

虽然标准中未对程序段中字的顺序作出规定,但为了程序的检查和阅读方便,习惯上按如下顺序书写:



## 学习情境四 编程中的数学应用

编程中的数学应用,实际就是对零件图形进行数学处理,是编程前一个关键性的环节。主要是根据零件图形,按照已确定的加工路线和容许误差,计算零件加工轨迹中或刀位点轨迹中基点和节点的坐标值。

### 一、基点

零件的轮廓是由许多不同的几何元素组成的,如直线、圆弧、二次曲线等。所谓基点就是指构成零件轮廓的相邻两个几何元素间的交点或切点,如直线与直线之间的交点,直线与圆弧之间的交点或切点,圆弧与圆弧之间的交点或切点等。数控机床一般只有直线和圆弧插补功能,因此,对于由直线和圆弧组成的平面轮廓零件,基点的计算比较简单。选定坐标系以后可以根据零件图形给定的尺寸,运用三角、代数、几何以及解析几何的有关知识,直接计算出各基点的坐标值。

### 二、节点

当零件的形状是由直线段或圆弧之外的其他曲线构成,如抛物线、渐开线和椭圆曲线等,而数控机床又不具备该曲线的插补功能时,其数值计算就比较复杂。数控加工中把除直线与圆弧之外可以用数学方程式表达的平面轮廓曲线称为非圆曲线,可用直角坐标的形式表示其数学表达式,也可用极坐标形式或者参数方程的形式表示其数学表达式。用极坐标形式或者参数方程的形式表示其数学表达式,通过坐标变换,可以转换为直角坐标表达式。非圆曲线类零件包括平面凸轮类、圆柱凸轮以及数控车床上加工的各种以非圆曲线为母线的回转体零件等,将组成零件轮廓的非圆曲线,按数控系统插补功能的要求,在满足允许的编程误差的条件下,用若干小直线段或小圆弧首尾相连,来逼近给定的非圆曲线。这些若干小直线段或小圆弧与给定曲线的交点或切点称为节点。

节点坐标的计算过程也是其数值计算过程,方法较多,一般采用直线段逼近非圆曲线。目前常用的节点计算方法有等间距法、等程序段法、等误差法等。

#### 1. 等间距直线段逼近法

等间距法就是将某一坐标轴划分成相等的间距,如图 1-10 所示。从起始点开始,每增加一个  $\Delta X$ ,通过方程  $Y=f(X)$  求出  $Y$  值,就可以得到相应节点的坐标,直至终点,得到一系列的坐标值。此种方法重点在  $\Delta X$  的选取,应确保法向间距在允许范围以内。

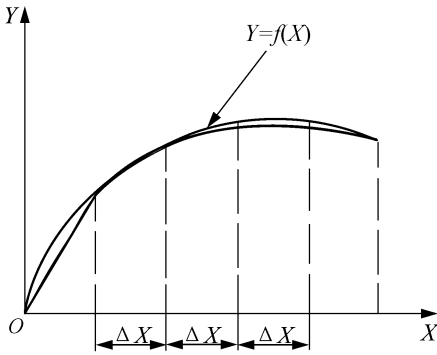


图 1-10 等间距直线段逼近法

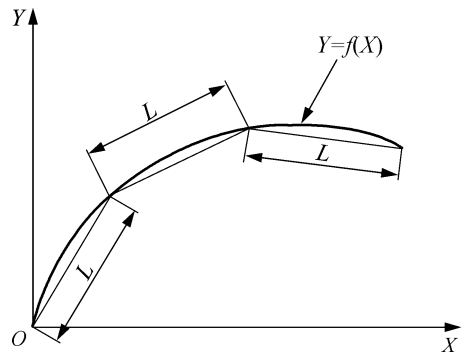


图 1-11 等程序段直线段逼近法

## 2. 等程序段直线逼近法

等程序段法就是使每个程序段的线段长度相等,如图 1-11 所示。此种方法产生误差最大的地方在法线方向,与等间距直线段逼近法相同,应确保最大法向间距在允许范围以内。

## 3. 等误差直线逼近法

等误差法就是指任意相邻两节点间的逼近误差为等误差,如图 1-12 所示。此种方法中,各程序段法向误差  $\delta$  均相等,程序段数目最少。但计算过程比较复杂,必须由计算机辅助才能完成计算。在采用直线段逼近非圆曲线的拟合方法中,等误差法是一种较好的拟合方法。

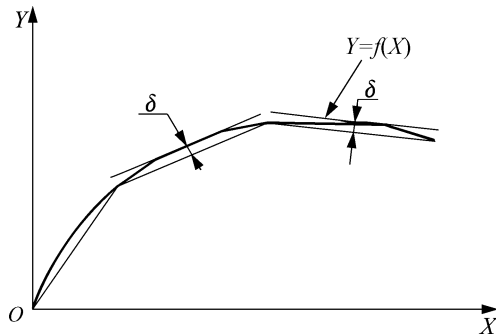


图 1-12 等误差直线段逼近法

## 4. 列表曲线型值点坐标的计算

实际零件的轮廓形状,除了可以用直线、圆弧或其他非圆曲线组成之外,有些零件图的轮廓形状是通过实验或测量的方法得到的。零件的轮廓数据在图样上是以坐标点的表格形式给出的,这种由列表点(又称为型值点)给出的轮廓曲线称为列表曲线。

在列表曲线的数学处理方面,常用的方法有牛顿插值法、三次样条曲线拟合、圆弧样条拟合与双圆弧样条拟合等。由于以上各种拟合方法在使用时往往存在着某种局限性,目前处理列表曲线的方法通常是采用二次拟合法。

为了在给定的列表点之间得到一条光滑的曲线,对列表曲线逼近一般有以下要求:

- (1) 方程式表示的零件轮廓必须通过列表点。
- (2) 方程式给出的零件轮廓与列表点表示的轮廓凹凸性应一致,即不应在列表点的凹凸性之外再增加新的拐点。

(3)光滑性。为使数学描述不过于复杂,通常一个列表曲线要用许多参数不同的同样方程式来描述,希望在方程式的两两连接处有连续的一阶导数或二阶导数,若不能保证一阶导数连续,则希望连接处两边一阶导数的差值应尽量小。

## 思考与练习

1. 数控编程的方法有哪些? 各有何特点?
2. 数控编程中常用的坐标系有哪些?
3. 如何判断 X 坐标轴的位置?
4. 节点计算中常用的方法有哪些?
5. G、M 功能是什么?
6. 数控程序由哪几部分组成?
7. 举例说明程序段的格式及各项的含义。



## 模块二 数控加工工艺基础

数控加工前对工件进行工艺设计是必不可少的准备工作。无论是手工编程还是自动编程,在编程前都要对所加工的工件进行工艺分析,拟定工艺路线,设计加工工序。因此,合理的工艺设计方案是编程加工程序的依据,编程人员必须首先做好工艺设计,再考虑编程。本章主要从数控加工工艺的概念、数控加工工艺分析的一般步骤(包括机床选用、零件的工艺分析、加工方法与加工方案的确定、工序与工步的划分等)以及数控加工工艺的技术文件几个方面来阐述数控加工工艺的基础知识。

### 学习情境一 数控加工工艺概述

数控加工就是根据零件图样及工艺要求等原始条件,编制零件数控加工程序,并输入到数控机床的数控系统,以控制数控机床中刀具与工件的相对运动,从而完成零件的加工。

虽然数控加工与传统的机械加工相比,在加工的方法和内容上有许多相似之处,但由于采用了数字化的控制形式和数控机床,许多传统加工过程中的人工操作被计算机和数控系统的自动控制所取代。

数控加工过程如图 2-1 所示,其具体步骤为:

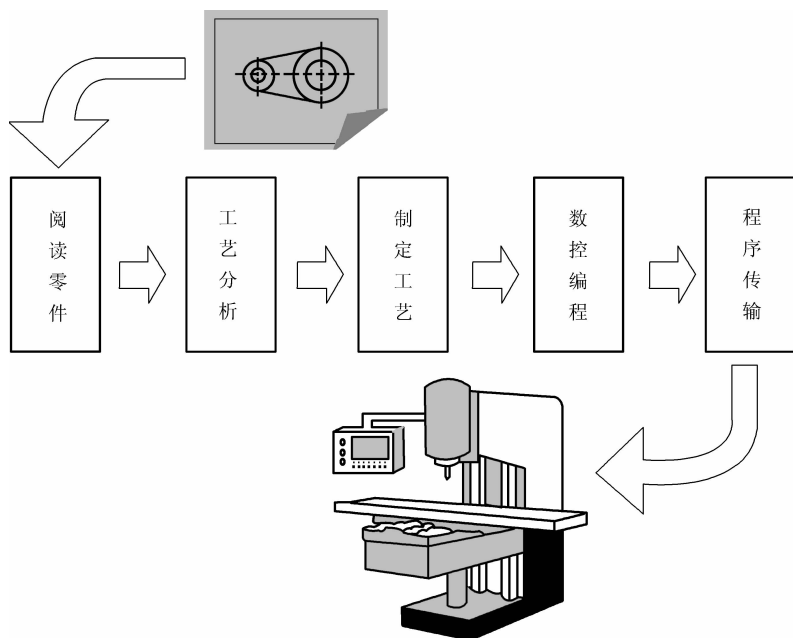


图 2-1 数控加工过程

(1) 阅读零件图纸,充分了解图纸的技术要求,如尺寸精度、形位公差、表面粗糙度、工件的材料、硬度、加工性能以及工件数量等。

(2) 根据零件图纸的要求进行工艺分析,其中包括零件的结构工艺性分析、材料和设计精度合理性分析、大致工艺步骤等。

(3) 根据工艺分析制定出加工所需要的一切工艺信息——如加工工艺路线、工艺要求、刀具的运动轨迹、位移量、切削用量(切削速度、进给量、背吃刀量)以及辅助功能(换刀、主轴正转或反转、切削液开或关)等,并填写加工工序卡和工艺过程卡。

(4) 根据零件图和制定的工艺内容,再按照所用数控系统规定的指令代码及程序格式进行数控编程。

(5) 将编写好的程序通过传输接口或直接通过 MDI 操作面板,输入到数控机床的数控装置中。调整好机床并调用该程序后,就可以加工出符合图纸要求的零件。

从数控加工过程可以看出,工艺分析和制定加工工艺在数控加工中起到了关键的作用,直接决定着数控加工的好坏与成败。

## 一、数控加工工艺基本特点

合理确定数控加工工艺对实现优质、高效和经济的数控加工具有极为重要的作用。数控加工工艺问题的处理与普通加工工艺基本相同,在设计零件的数控加工工艺时,首先要遵循普通加工工艺的基本原则和方法,同时还必须考虑数控加工本身的特点和零件编程要求。

由于数控加工具有加工自动化程度高、精度高、质量稳定、生产效率高、设备使用费用高等特点,使数控加工工艺形成了下列特点。

### 1. 数控加工工艺内容要求具体而详细

用通用机床加工时,许多具体的工艺问题,如工艺中各工步的划分与安排、刀具的几何形状及尺寸、走刀路线、加工余量、切削用量等,在很大程度上都是由操作工人根据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定的,一般无需工艺人员在设计工艺规程时进行过多的规定,零件的尺寸精度也可由试切保证。而在数控加工时,原本在普通机床上由操作工人灵活掌握并可通过适时调整来处理的上述工艺问题,不仅成为数控工艺设计时必须认真考虑的内容,而且编程人员必须事先设计和安排好,并做出正确的选择,编入加工程序中。数控工艺不仅包括详细描述切削加工步骤,而且还包括工夹具型号、规格、切削用量和其他特殊要求的内容,以及标有数控加工坐标位置的工序图等。在自动编程中更需要确定各种详细的工艺参数。

### 2. 数控加工工艺要求更严密而精确

数控机床虽然自动化程度高,但自适应性差,它不能像普通机床加工时可以根据加工过程中出现的问题比较自由地进行人为调整。如在攻螺纹时,数控机床不知道孔中是否已挤满切屑,是否需要退刀清理一下切屑再继续进行,这些情况必须事先由工艺员精心考虑,否则可能会导致严重的后果。在普通机床加工零件时,通常是经过多次“试切”过程来满足零件的精度要求,而数控加工过程是严格按程序规定的尺寸进给的,因此在对图形进行数学处理、计算和编程时一定要准确无误。在实际工作中,由于一个小数点或一个逗号的差错而酿成重大机械事故和质量事故的例子屡见不鲜。

### 3. 数控加工工艺要进行零件图形的数学处理和编程尺寸设定值的计算

一般手工编程,为了编写程序方便,通常在零件图样上标出程序原点,并根据标注尺寸

换算出刀位点轨迹上各点的坐标值。零件图样上重要部位尺寸标注一般包括公差,此时编程尺寸并不是零件图上设计的基本尺寸的简单再现,而应根据零件尺寸公差的要求及零件形状的几何关系重新调整计算,才能确定合理的编程尺寸。

#### 4. 选择切削用量时要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响

数控加工时,刀具如何从起点沿运动轨迹走向终点是由数控系统的插补装置或插补软件来控制的。根据插补原理分析,在数控系统已定的条件下,进给速度越快,则插补精度越低,工件的轮廓形状误差也越大。因此,制定数控加工工艺选择切削用量时要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响,特别是高精度加工时影响非常明显。

#### 5. 制定数控加工工艺时要特别强调刀具选择的重要性

复杂型面的加工编程通常要用自动编程软件来实现,由于绝大多数三轴以上联动的数控机床都具有刀具补偿功能,在自动编程时必须先选定刀具再生成刀具中心运动轨迹。若刀具预先选择不当,程序将只能重新再编。

#### 6. 数控加工工艺的特殊要求

数控加工工艺的特殊要求有如下几点:

(1)由于数控机床较普通机床的刚度高,所配的刀具也较好,因而在同等情况下,所采用的切削用量通常比普通机床大,加工效率也较高。选择切削用量时要充分考虑这些特点。

(2)由于数控机床的功能复合化程度越来越高,因此,工序相对集中是现代数控加工工艺的特点,明显表现为工序数目少,工序内容多,并且由于在数控机床上尽可能安排较复杂的工序,所以数控加工的工序内容要比普通机床加工的工序内容复杂。

(3)由于数控机床加工的零件比较复杂,因此在确定装夹方式和夹具设计时,要特别注意刀具与夹具、工件的干涉问题。

#### 7. 数控加工程序的编写、校验与修改是数控加工工艺的一项特殊内容

普通工艺中,划分工序、选择设备等重要内容对数控加工工艺来说属于已基本确定的内容,所以制定数控加工工艺的着重点在于对整个数控加工过程的分析,关键在于确定进给路线及生成刀具的运动轨迹。复杂表面的刀具,其运动轨迹的生成需借助于自动编程软件,既是编程问题,当然也是数控加工工艺问题。这也是数控加工工艺与普通加工工艺最大的不同之处。

## 二、数控加工工艺分析的主要内容

数控加工工艺的制定包括较多的内容,而数控加工工艺分析则主要包括以下内容:

(1)选择适合在数控机床上加工的零件,确定数控机床加工内容。

(2)分析被加工零件图样,明确数控加工的工艺内容及技术要求,在此基础上确定零件的加工方案,制定数控加工工艺路线,如工序的划分、加工顺序的安排、与传统加工工序的衔接等。

(3)设计数控加工程序。如工步的划分、零件的定位与夹具的选择、刀具的选择、切削用量的确定等。

(4)调整数控加工程序的程序。如对刀点、换刀点的选择,加工路线的确定,刀具的补偿等。

(5)分配数控加工中的容差。

(6)处理数控机床上的部分工艺指令,编制工艺文件。

## 学习情境二 数控加工工艺分析的一般步骤

程序编制人员进行工艺分析时,要有机床说明书、编程手册、切削用量表、标准工具、夹具手册等资料,根据被加工工件的材料、轮廓形状、加工精度等选用合适的机床,制定加工方案,确定零件的加工顺序,各工序所用刀具、夹具和切削用量等。此外,编程人员应不断总结、积累工艺分析方面的实际经验,编写出高质量的数控加工程序。

### 一、数控机床的选用

数控机床的选用一般要考虑毛坯的材质和类型、零件轮廓形状复杂程度、尺寸大小、加工精度、生产批量及热处理要求等。选择数控机床,先了解数控机床的类型、品种、规格和应用范围。

数控机床按加工方法和使用刀具的不同可分为数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床以及镗铣类加工中心和车铣类加工中心等。不同类型、不同型号和规格的数控机床,其性能和用途也有所不同。数控车床适用于回转轴或盘类零件的加工;数控镗铣床和立式加工中心适用于箱体、箱盖、板类零件、平面凸轮等的加工;三轴联动的立式加工中心可以用来加工叶片和模具等;卧式加工中心适合于加工复杂的箱体零件、泵体和阀体等;多轴联动的数控镗铣床、加工中心,可以用来加工更复杂的曲面、螺旋桨以及复杂的模具等;数控磨床适合于精度要求高、表面淬火后硬度高的零件加工。选择数控机床前应了解数控机床适宜加工的零件。

#### 1. 最适宜数控加工的零件

形状结构复杂、加工精度要求高、普通机床无法加工或很难保证加工质量的零件;具有复杂曲线、曲面轮廓的零件;多品种小批量生产零件;公差带窄、要求精密、复杂的零件;必须在一次装夹中完成铣、镗、钻、铰、攻螺纹等多道工序于一体的零件。

#### 2. 较适宜加工的零件

价格昂贵、不允许报废的关键零件;在通用机床上能加工但须制造复杂专用工装的零件;在通用机床上加工需进行长时间调整、生产效率低或劳动强度大的零件。

#### 3. 不适于数控加工的内容

占机调整时间长不适于数控加工。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准,需用专用工装协调的内容,加工部位分散,需要多次安装、设置原点,这时,采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排通用机床来加工。按某些特定的制造依据(如样板等)加工的型面轮廓也不适于数控加工。主要原因是获取数据困难,易于与检验依据发生矛盾,增加了程序编制的难度。

数控机床的选用概括起来应主要考虑以下几个因素:

- (1) 要保证加工零件的技术要求,加工出合格的产品。
- (2) 有利于提高生产率。
- (3) 能够降低生产成本(加工费用)。
- (4) 从维修管理的角度还应考虑尽可能选择企业已有的机型和数控系统、品牌产品和优质的售后服务。

如表 2-1 所示是普通机床、专用机床与数控机床使用效果的对比。

表 2-1 普通机床、专用机床与数控机床使用效果对比

机床类型	购置成本	工艺范围	单件小批量生产 综合费用	大批量生产 综合费用	复杂零件加工 综合效果	简单零件加工 综合效果
普通机床	较低	较宽	较高	较高	差	好
专用机床	较高	窄	最高	最低	差	差
数控机床	高	较宽	较低	较低	好	差

表 2-1 中当零件不复杂、生产批量较小时,宜选用普通机床;当零件复杂程度较高时,选用数控机床较合理。当零件批量增大超出一定范围时,选用专用机床较为合理。如图 2-2(a)所示为采用数控机床与采用专用机床加工零件时的批量与成本关系图。从图中可以看出,数控机床在中、小批量的生产中有很好的经济效益。如图 2-2(b)所示为采用数控机床与采用普通机床加工零件时的批量与成本关系图。从图中可看出,采用数控机床加工的经济产量范围较广。选择数控机床有时很难三者同时兼顾,这时应以保证产品质量为首选。总之,选择数控机床要尽量做到合理,达到多、快、好、省的目的。要防止把数控机床降格为普通机床使用。

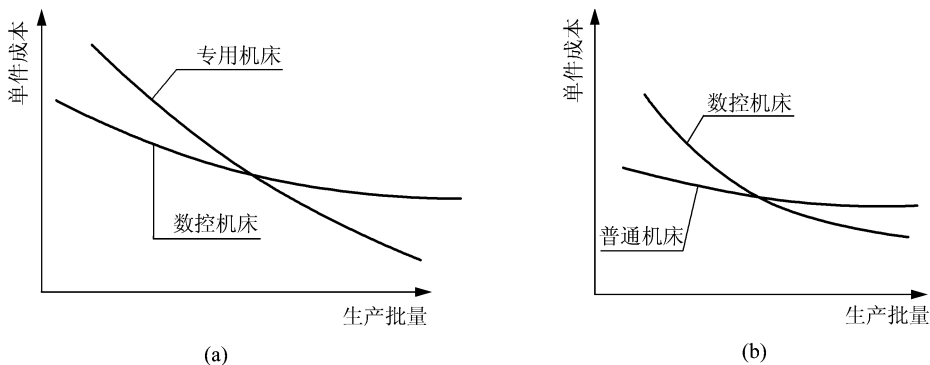


图 2-2 机床选择与单件成本关系

## 二、零件的工艺分析

数控加工工艺性分析涉及面很广,在此仅从数控加工的可能性和方便性两方面加以分析。

### 1. 零件图样上尺寸数据的给出应符合编程方便的原则

零件图上尺寸标注方法应适应数控加工的特点。在数控加工零件图上,应以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸。这种标注方法既便于编程,也便于尺寸之间的相互协调,在保持设计基准、工艺基准、检测基准与编程原点设置的一致性方面带来很大方便。由于零件设计人员一般在尺寸标注中较多地考虑装配等使用特性方面,而不得不采用局部分散的标注方法,这样就会给工序安排与数控加工带来许多不便。由于数控加工精度和重复定位精度都很高,不会因产生较大的积累误差而破坏使用特性,因此可将局部的分散标注法改为同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸的标注法。

构成零件轮廓的几何元素的条件应充分。在手工编程时要计算基点或节点坐标。在自动编程时,要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义。因此在分析零件图时,要分析几何元素的给定条件是否充分。如圆弧与直线、圆弧与圆弧在图样上相切,但根据图上给出的尺寸,在计算相切条件时变成了相交或相离状态。由于构成零件几何元素条件的不充分,使编程时无法下手。遇到这种情况时,应与零件设计者协商解决。

## 2. 零件各加工部位的结构工艺性应符合数控加工的特点

零件的内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸。这样可以减少刀具规格和换刀次数,使编程方便,生产效益提高。

内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小,因而内槽圆角半径不应过小,否则刀具刚性差。零件工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转接圆弧半径的大小等有关。

零件铣削底平面时,槽底圆角半径  $r$  不应过大。

应采用统一的基准定位。在数控加工中,若没有统一的基准定位,会因工件的重新安装而导致加工后的两个面轮廓位置及尺寸不协调现象。为了避免上述问题的产生,保证两次装夹加工后其相对位置的准确性,应采用统一的基准定位。

零件上最好有合适的孔作为定位基准孔,若没有,要设置工艺孔作为定位基准孔(如在毛坯上增加工艺凸耳或在后续工序要铣去的余量上设置工艺孔)。若无法制出工艺孔时,必须用经过精加工的表面作为统一基准,以减少两次装夹产生的误差。

此外,还应分析零件所要求的加工精度、尺寸公差等是否可以得到保证,有无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。

# 三、加工方法与加工方案的确定

## 1. 加工方法的选择

加工方法的选择原则是保证零件的尺寸精度、形状位置精度和表面粗糙度的要求。由于获得同一级精度及表面粗糙度的加工方法一般有多种,因而在实际选择时,要结合零件的形状、尺寸大小和热处理要求等全面考虑。例如,对于 IT7 级精度的孔采用镗削、铰削、磨削等加工方法均可达到精度要求,但箱体上的孔一般采用镗削或铰削,而不宜采用磨削。一般小尺寸的箱体孔选择铰孔,当孔径较大时则应选择镗孔。此外,还应考虑生产率和经济性的要求,以及工厂的生产设备等实际情况。常用加工方法的经济加工精度及表面粗糙度可查阅有关工艺手册。

## 2. 加工方案确定的原则

确定加工方案时,首先应根据零件加工精度和表面粗糙度的要求,初步确定为达到这些要求所需要的加工方法。零件上比较精密表面的加工,常常是通过粗加工、半精加工和精加工逐步达到的。对这些表面仅仅根据质量要求选择相应的最终加工方法是不够的,还应正确地确定从毛坯到最终成形的加工方案。采用不同加工方案所能达到的经济精度和表面粗糙度如表 2-2 所示。

表 2-2 不同的加工方法所能达到的经济精度和表面粗糙度

加工类型	加工方案	经济精度 IT	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
外圆表面	粗车—半精车	8~9	5~10	除淬火钢以外的金属材料
	粗车—半精车—精车	6~7	1.25~2.5	
	粗车—半精车—磨削	6~7	0.63~1.25	主要用于淬火钢
	粗车—粗磨—精磨	5~7	0.16~0.63	
平面	粗车—半精车	8~9	5~10	适用于端面加工
	粗车—半精车—精车	6~7	1.25~2.5	
	粗铣—精铣	7~9	1.0~2.5	适合未淬火钢及铸铁的平面加工
	粗车—半精车—精车—磨削	6	0.32~1.25	适用于端面的加工
孔	钻—扩—铰	8~9	2.5~5.0	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯或有色金属
	钻—扩—粗铰—精铰	7	1.25~2.5	
	钻—粗镗—精镗	7~8	1.25~2.5	
	钻—铰—精镗	7~8	1.25~2.5	
	粗镗(扩)—半精镗	8~9	2.5~5.0	除未淬火钢以外各种钢及铸铁,毛坯上已有孔
	粗镗(扩)—半精镗—精镗	7~8	1.25~2.5	

## 四、工序与工步的划分

### 1. 工序的划分

与普通机床相比,数控机床加工工序一般比较集中,在一次装夹中尽可能完成大部分或全部工序。首先应根据零件图样,考虑被加工零件是否可以在一台数控机床上完成整个零件的加工工作,若不能,则应决定其中哪一部分在数控机床上加工,哪一部分在普通机床上加工,即对零件的加工工序进行划分。数控机床的工序主要有刀具集中分序法、粗精加工分序法、加工部位分序法和零件装夹分序法。

#### 1) 刀具集中分序法

为了减少换刀次数,压缩空行程时间,减少不必要的定位误差,可按刀具集中分序的方法加工零件,即在工件的一次装夹中,尽可能用同一把刀具加工出可能加工的所有部位,然后再换另一把刀具加工其他部位。在专用的数控机床和加工中心常采用这种方法。

#### 2) 粗精加工分序法

这种分序法是根据零件的形状、尺寸精度等因素,按照粗、精加工分开的原则进行分序。对单个零件或一批零件先进行粗加工、半精加工,而后精加工。粗精加工之间最好隔一段时间,以使粗加工后零件的变形得到充分恢复,再进行精加工,以提高零件的加工精度。

#### 3) 加工部位分序法

对于加工内容较多、零件轮廓的表面结构差异较大的零件,可按其结构特点将加工部位分成几个部分,如内形、外形、平面、曲面等。

#### 4) 零件装夹分序法

由于每个零件结构形状不同,各加工表面的技术要求也有所不同,所以加工时,其

定位方式各有差异。一般加工外形时,以内形定位;加工内形时又以外形定位。因而,可根据定位方式的不同来划分工序。如图 2-3 所示的片状凸轮,按定位方式可分为两道工序:第一道工序可在普通机床上进行,以外圆表面和 B 平面定位加工端面 A 和  $\phi 22H7$  的内孔,然后再加工端面 B 和  $\phi 4H7$  的工艺孔;第二道工序根据已加工过的两个孔和一个端面定位,在数控铣床上铣削凸轮外表面曲线。

总之,在数控机床上加工零件,其加工工序的划分要视加工零件的具体情况具体分析。许多工序的安排是综合了上述各分序方法。

## 2. 工步的划分

工步的划分主要从加工精度和效率两方面考虑。合理的加工工艺,不仅要保证加工出符合图纸要求的零件,而且要使机床的功能得到充分发挥,在一个工序内往往要采用不同的刀具和切削用量,对不同的表面进行加工。为了便于分析和描述较复杂的工序,在工序内又细分为若干工步。下面以加工中心为例来说明工步的划分。

### 1) 按粗加工、精加工分

同一表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成,或全部加工表面按粗、精加工分开进行,前者较适合尺寸精度要求较高的零件,后者较适合位置精度要求较高的表面。

### 2) 按先面后孔分

对于既有铣面又有镗孔的零件,可按“先面后孔”的原则划分工步,即先铣面后镗孔。因为铣削时切削力较大,工件易发生变形,先铣面后镗孔,使其有一段时间恢复,可减少由于变形引起的对孔的精度的影响,从而提高孔的加工质量。如果先镗孔后铣面,则由于铣削时在孔口极易产生飞边、毛刺,导致孔的精度下降。

### 3) 按所用刀具分

某些机床工作台回转时间比刀具交换时间短,可采用按刀具划分工步,以减少换刀次数,提高加工效率。

总之,工序与工步的划分要根据具体零件的结构特点、工艺性、技术要求以及机床的功能等实际情况综合考虑。

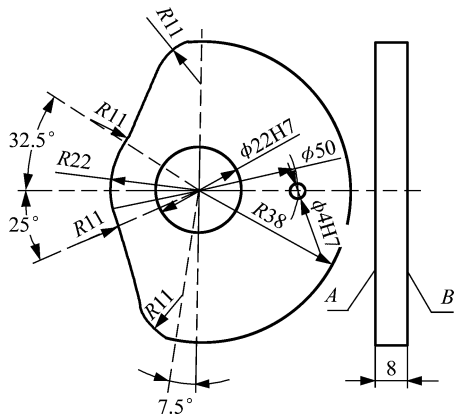


图 2-3 片状凸轮

## 五、零件的安装与夹具的选择

### 1. 定位安装的基本原则

在数控机床上加工零件时,定位安装的基本原则与普通机床相同,要合理选择定位基准和夹紧方案,为了提高数控机床的效率,在确定定位基准与夹紧方案时应注意下列几点:

- (1)力求设计、工艺与编程计算的基准统一。
- (2)尽量减少装夹次数,尽可能在一次定位装夹后加工出全部待加工表面。
- (3)避免采用占用机床的人工调整式加工方案,以充分发挥数控机床的效能。



## 2. 选择夹具的基本原则

数控加工的特点对夹具提出了两个基本要求:一是要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定;二是要协调零件和机床坐标系的尺寸关系。除此之外,还要考虑以下四点:

(1)当零件加工批量不大时,应尽量采用组合夹具、可调式夹具及其他通用夹具,以缩短生产准备时间、节省生产费用。

(2)在成批生产时才考虑采用专用夹具,并力求结构简单。

(3)零件的装卸要快速、方便、可靠,以缩短机床的准备时间。

(4)夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各表面的加工,即夹具要开敞,其定位、夹紧机构元件不能影响加工中的走刀(如产生碰撞等)。

## 六、刀具选择与切削用量的确定

### 1. 刀具的选择

数控机床所用刀具要求切削性能好、精度高、可靠性高、耐用度高、断屑及排屑性能好,装夹调整方便等,合理选用既能提高加工效率又能提高产品质量。

数控机床一般优先选用标准刀具,必要时也可采用各种高生产率的复合刀具及其他一些专用刀具。此外,根据实际情况,尽可能选用各种先进刀具,如可转位刀具、整体硬质合金刀具、陶瓷刀具等,以适应数控加工耐用、稳定、易调、可换等要求。所选刀具的类型、规格和精度等级应符合加工能力要求,刀具材料应与工件材料相适应。由于数控加工工件一般较为复杂,选择刀具时还应特别注意刀具的形状,保证在切削加工过程中刀具不与工件轮廓发生干涉。

在选择好刀具后,要把刀具的名称、规格、代号以及要加工的部位记录下来,并填入相应的工艺文件,供编程时使用。

### 2. 切削用量的确定

切削用量包括主轴转速(切削速度)、背吃刀量和进给量。对于不同的加工方法,需要选择不同的切削用量,并应编入程序单内。

合理选择切削用量的原则是,粗加工时,一般以提高生产率为主,但也应考虑经济性和加工成本;半精加工和精加工时,应在保证加工质量的前提下,兼顾切削效率、经济性和加工成本。具体数值应根据机床说明书、切削用量手册,并结合经验而定。

#### 1) 确定背吃刀量 $a_p$ (mm)

背吃刀量主要依据机床、夹具、刀具和工件的工艺系统刚度来决定。在刚度允许的情况下, $a_p$  相当于加工余量,应以最少的进给次数切除这一加工余量,最好一次切净余量,以便提高生产效率。但为了保证加工精度和表面粗糙度,一般都要留一点余量最后精加工。在数控机床上,精加工余量可小于普通机床,一般可取  $0.2 \sim 0.5$  mm。

#### 2) 确定主轴转速 $n$ (r/min)

主轴转速主要根据允许的切削速度  $v_c$  (m/min) 来选取。

$$n = 1000v_c / (\pi d)$$

式中, $d$  为工件或刀具直径,mm。

切削速度高,也能提高生产效率,但应首先考虑采用尽可能大的背吃刀量来提高生产率,因为切削速度与刀具耐用度关系密切,随着  $v_c$  的加大,刀具耐用度将急剧降低,故  $v_c$  的选择主要取决于刀具耐用度。

### 3) 进给量 $f$ 或进给速度 $v_f$ (mm/r 或 mm/min) 的选择

进给量或进给速度是数控机床切削用量中的重要参数, 主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具、工件的材料性质选取。当加工精度要求高、表面粗糙度数值小时, 进给量数值应取小些, 一般  $f$  值在 20~50 mm/min 范围内选取。最大进给量受机床刚度和进给系统的性能限制, 并与脉冲当量有关。

## 七、对刀点与换刀点的确定

在进行数控加工程序编制时, 往往将刀具视为没有形状和大小的一个运动质点, 这个点就是刀位点。由于刀具是刚体平动, 所选的这个点一定能代表刀具的运动位置。一般来说, 立铣刀、端铣刀的刀位点是刀具轴线与刀具底面的交点; 球头铣刀的刀位点为球心; 镗刀、车刀的刀位点为刀尖或刀尖圆弧中心; 钻头是钻尖或钻头底面中心, 如图 2-4 所示。

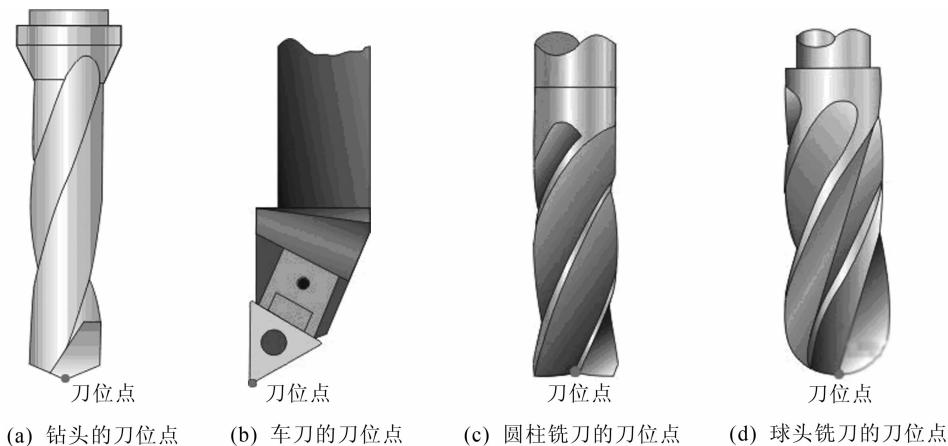


图 2-4 刀位点

### 1. 对刀点的确定

数控机床操作人员在完成程序的输入、工件及刀具的安装后, 首先要找正工件, 找正的目的是使工件坐标系各轴线方向与机床坐标系平行一致。而工件坐标系的原点与机床坐标系的原点一般并不重合一致, 如图 2-5 所示。而运行数控程序对零件进行加工时, 数控程序中给出的则是刀具相对于工件坐标系的运动。为了确定刀具与工件坐标系之间的相对位置关系, 操作人员在运行程序前还需要对刀操作, 通过对刀操作使刀具在工件坐标系中有一个已知正确的坐标值。

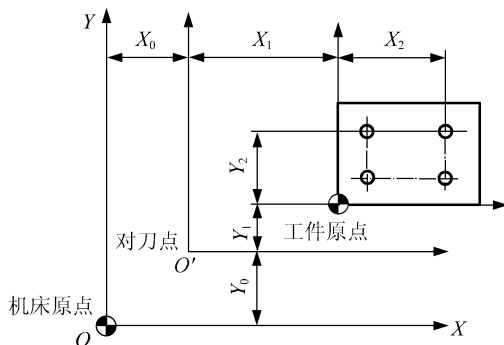


图 2-5 对刀点与换刀点

零件安装后工件坐标系与刀具和机床坐标系就有了确定的尺寸关系,为了明确刀具在工件坐标系中的具体位置,通常要选择一个点(这个点在工件坐标系的坐标值必须是已知的),通过让刀具上的刀位点与这点重合的操作来确定刀具在工件坐标系的位置。对刀点可能是一个点,也可能是通过一些基准面来体现。

对刀点的选择原则是:

- (1)便于数学处理和简化程序编制。
- (2)在机床上找正容易,加工时便于检查和测量。
- (3)引起的加工误差小。

对刀点可选在工件上,也可选在工件外面(如选在夹具上或机床上),但必须与零件的定位基准有一定的尺寸关系。为了提高加工精度,对刀点应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上,如以孔定位的工件,可选孔的中心作为对刀点。刀具的位置则以此孔来找正,使“刀位点”与“对刀点”重合。工厂常用的找正方法是将千分表装在机床主轴上,然后转动机床主轴,使“刀位点”与对刀点一致。一致性越好,对刀精度越高。对刀点可根据具体情况作为程序起始点来安排,也可以与程序起点分开。

## 2. 换刀点的确定

加工过程中需要换刀时,应规定换刀点。所谓“换刀点”是指刀架转位换刀时的位置。该点可以是某一固定点(如加工中心机床,其换刀机械手的位置是固定的),也可以是任意的一点(如车床)。换刀点应设在工件或夹具的外部,以刀架转位时不碰工件及其他部件为准,其设定值可用实际测量方法或计算确定。

## 八、走刀路线的确定

在数控加工中,刀具刀位点相对于工件运动的轨迹和方向称为进给路线,也称走刀路线,它既包括切削加工的路线,又包括刀具切入、切出的空行程路线。不但包括了工步的内容,也反映出工步的顺序,是编写数控加工程序的依据之一。确定走刀路线时应注意以下几点。

### 1) 粗加工的走刀路线

粗加工的走刀路线应以提高加工效率为主,尽可能缩短粗加工时间。

如敞开平面铣削,在切削功率许可的情况下,尽可能选用较大直径的面铣刀铣削,以减少走刀次数。对于封闭凹槽铣削,在满足铣刀半径小于或等于内槽轮廓最小曲率半径的前提下,尽量选择较大直径的铣刀。

此外粗加工走刀路线还应使各处精加工余量均匀,有利于提高精加工质量。当铣削无岛屿封闭凹槽时,一般有三种走刀方案,如图 2-6 所示,图(a)为行切法,图(b)为环切法,图(c)为先用行切法切除大量余量,后沿周向环切一刀。在这三种方案中,图(a)方案最差;图(b)方案虽有利于保证加工质量,但计算较复杂,程序段较多;图(c)方案计算简单,又能使槽内侧面精加工余量均匀,有利于获得满意的表面粗糙度。

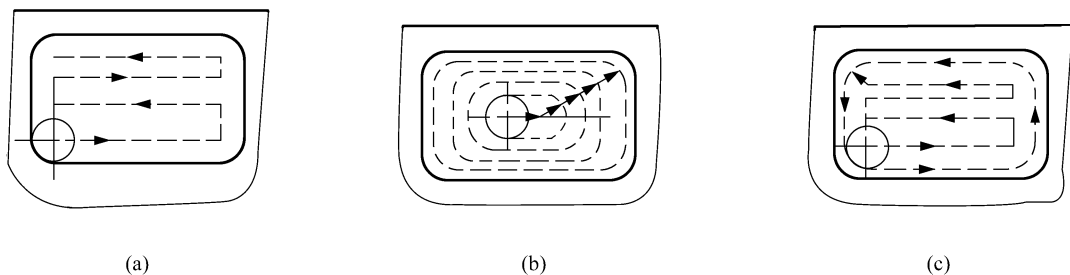


图 2-6 槽铣走刀路线安排

## 2) 精加工的走刀路线

精加工的走刀路线应能保证零件的加工精度和表面粗糙度的要求,并兼顾效率。

在数控铣削加工中,有顺铣和逆铣两种铣法。通常精加工采用顺铣,有利于切削刃切入,减少刀具磨损和振动,提高零件加工表面质量。对点位控制的数控机床,如果加工的孔系位置精度要求较高,应特别注意孔的加工顺序的安排,安排不当时,就有可能将坐标轴的反向间隙带入,直接影响位置精度。如图 2-7 (a) 所示为零件图,在该零件上镗六个尺寸相同的孔,有两种加工路线。当按如图 2-7 (b) 所示的路线加工时,由于 5、6 孔与 1、2、3、4 孔定位方向相反,Y 方向反向间隙会使定位误差增加,而影响 5、6 孔与其他孔的位置精度。

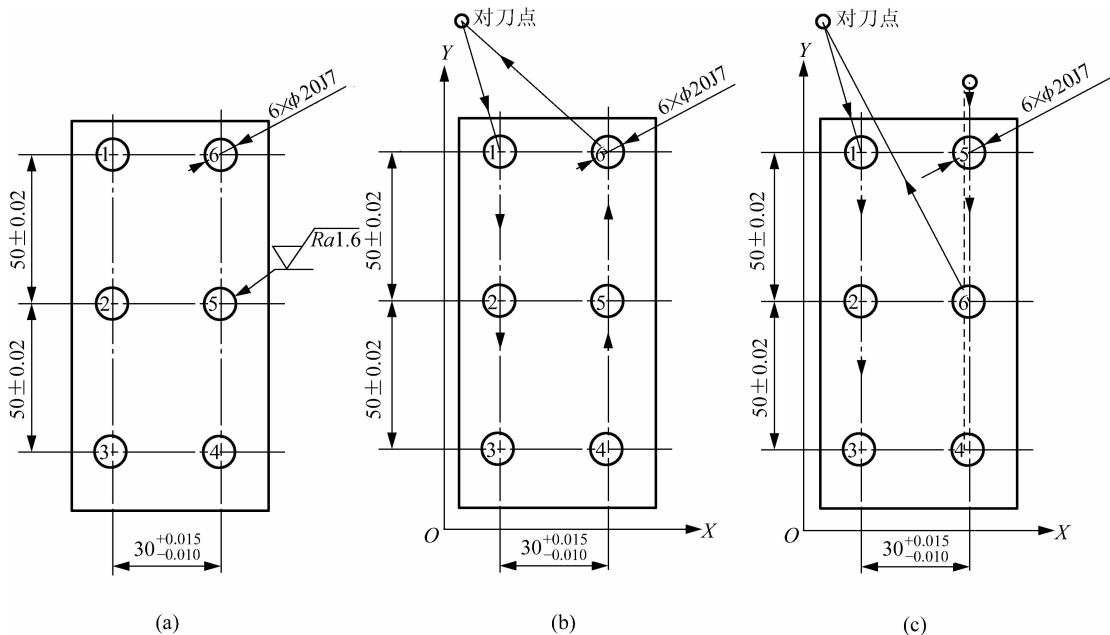


图 2-7 定位孔加工

当按如图 2-7 (c) 所示的路线加工时,由于 5、6 孔与 1、2、3 孔定位方向相同,Y 轴方向反向间隙不起作用,因此选择这种孔加工顺序有利于提高孔系的位置精度。

## 3) 减少工作量

应使数值计算简单,程序段数量少,以减少编程工作量。

## 4) 缩短加工路线,减少刀具空程移动时间

对点位控制机床,如果只要求定位精度较高,定位过程尽可能快,而刀具相对于工件的

运动路线是无关紧要的,则应按空程最短来安排走刀路线,如图 2-8(a)所示零件上的孔系。如图 2-8(b)所示的走刀路线为先加工完外圈孔后,再加工内圈孔。若改用如图 2-8(c)所示的走刀路线,减少空刀时间,则可节省定位时间近一倍,提高了加工效率。

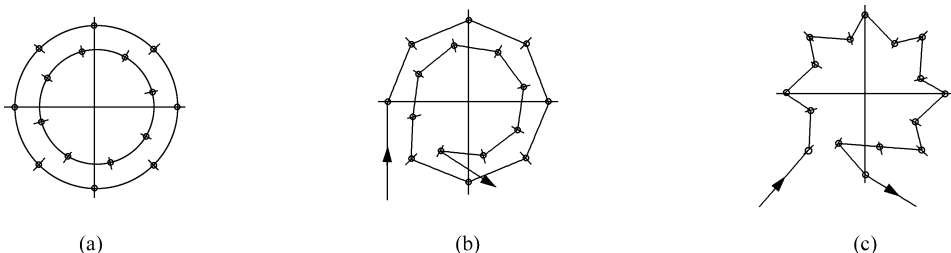


图 2-8 钻孔走刀路线安排

### 5) 选择进退刀的位置

进、退刀位置应选在不太重要的位置,并且使刀具尽量沿切线方向切入和切出,避免采用法向切入、切出和进给中途停顿而产生刀痕。

如图 2-9 所示,铣削零件轮廓时,一般采用立铣刀侧刃进行切削。为减少接刀痕迹,保证零件表面质量,刀具的切出或切入点应在沿零件轮廓的切线上,即切向切入和切向切出,并将其切入、切出点选在零件轮廓两几何元素的交点处。

此外尽量减少在轮廓加工切削过程中的暂停(切削力突然变化造成弹性变形),以免留下刀痕。

### 6) 选择使工件在加工后变形小的路线

对横截面积小的细长零件或薄板零件应采用分几次走刀进行加工,直到最后尺寸,采用对称去除余量法来安排走刀路线。安排工步时,应先安排对工件刚性破坏较小的工步。

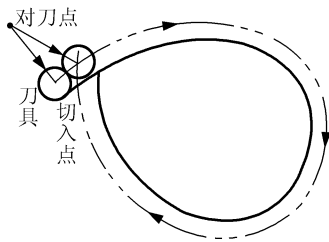


图 2-9 切入切出选择

## 学习情境三 数控加工工艺技术文件

填写数控加工专用技术文件是数控加工工艺设计的内容之一。这些技术文件既是数控加工和产品验收的依据,也是操作者遵守、执行的规程。技术文件是对数控加工的具体说明,目的是让操作者更明确加工程序的内容、装夹方式、各个加工部位所选用的刀具及其他技术问题。数控加工技术文件主要有:数控编程任务书、工件安装和原点设定卡片、数控加工工序卡片、数控加工走刀路线图和数控刀具卡片等。下面提供了常用的文件格式,文件格式可根据企业实际情况自行设计。

### 一、数控编程任务书

数控编程任务书阐明了工艺人员对数控加工工序的技术要求和工序说明,以及数控加工前应保证的加工余量。它是编程人员和工艺人员协调工作和编制数控程序的重要依据之一,如表 2-3 所示。

表 2-3 数控编程任务书

工艺处	数控编程任务书				产品零件图号			任务书编号	
					零件名称				
					使用数控设备			共 页 第 页	
主要工序说明及技术要求：									
						编程日期	年 月 日	经手人	
编制		审核		编程		审核		批准	

## 二、工件安装和原点设定卡片

工件安装和原点设定卡片应标示出数控加工原点定位方法和夹紧方法, 并注明加工原点设置位置和坐标方向、使用的夹具名称和编号等, 如表 2-4 所示。

表 2-4 工件安装和原点设定卡片

零件图号		数控加工工件安装和原点设定卡片				工序号	
零件名称						装夹次数	
零件图样							
编制(日期)		批准(日期)	第 页				
审核(日期)			共 页	序号	夹具名称	夹具编号	

### 三、加工工序卡片

数控加工工序卡与普通加工工序卡有许多相似之处,不同的是工序简图中应注明编程原点与对刀点,要进行简要编程说明(即所用机床型号、程序编号、刀具半径补偿、镜像对称加工方式等)及切削参数(即程序编入的主轴转速、进给速度、最大背吃刀量或宽度等)的选择,如表 2-5 所示。

表 2-5 数控加工工序卡片

单位	数控加工工序卡片		产品名称或代号			零件名称		零件图号	
工序简图			车间			使用设备			
			工序号			程序编号			
			夹具名称			夹具编号			
工步号	工步作业内容		加工面	刀具号	刀补量	主轴转速	进给速度	背吃刀量	备注
编制		审核	批准	年 月 日			共 页	第 页	

### 四、加工工艺卡片

加工工艺卡片是针对一个零件从毛坯到成品的整个加工过程而言的,它不仅包括数控加工的工序内容,也包括其他普通机床的加工工序内容。由于工艺卡片尚无统一格式,各生产厂家根据各自具体情况制定工艺卡片。如表 2-6 所示为简单型机械加工工艺卡片。

表 2-6 机械加工工艺卡片

单位		机械加工工艺卡片		产品名称		后桥		零件图号		8AC1	
				零件名称		突元头		共 页		第 页	
毛坯种类		锻件		材质				毛坯尺寸		90×120	
序号	工序名称	工步	工序内容	车间	设备/型号	工具					
						夹具/编号		刀具		量具及辅具	
1	粗车		.....		CA6140						
2	粗车	1	.....		多刀半自动车床 CB7620A1						
		2	.....								
		3	.....								
3	热处理		.....		.....						
4	精车	1	.....		数控车 CAK6150D						
		2	.....								
		3	.....								
5		4	.....								
6			.....								

## 五、刀具卡片

数控加工时,对刀具的要求十分严格,一般要在机外对刀仪上预先调整刀具的直径和长度。刀具卡片反映刀具编号、刀具结构、尾柄规格、组合件名称代号、刀片型号和材料等。它是组装刀具和调整刀具的依据,如表 2-7 所示。

表 2-7 数控刀具卡片

零件图号		J30102-5		数控刀具卡片			使用设备	
刀具名称		镗刀					TC-30	
刀具编号		T13006		换刀方式	自动	程序编号		
刀具组成	序号	编号		刀具名称	规格	数量	备注	
	1	T013960		拉钉		1		
	2	390、140-50 50 027		刀柄		1		
	3	391、01-50 50 100		接杆	$\phi 50 \times 100$	1		
	4	391、68-03650 085		镗刀柄		1		
	5	R416.3-122053 25		镗刀组件	$\phi 41 \sim \phi 53$	1		
	6	TCMM110208-52		刀片		1		
	7					2	GC435	
备注								
编制		审核		批准		共 页		第 页

不同的机床或不同的加工目的可能会需要不同形式的数控加工专用技术文件。在工作中,可根据具体情况设计文件格式。

## 六、走刀路线图

在数控加工中,常常要注意并防止刀具在运动过程中与夹具或工件发生意外碰撞,为此必须确定编程中的刀具运动路线(如:从哪里下刀,在哪里抬刀,在哪里斜下刀等)。为简化走刀路线图,一般采用统一约定的符号来表示。不同的机床可以采用不同的图例与格式,如表 2-8 所示为一种常用格式。



表 2-8 数控加工走刀路线图

数控加工走刀路线图		零件图号	NC01	工序号	工步号		程序号	O100	
机床型号	XK5032	程序段号	N10~N170	加工内容	铣轮廓周边		共 1 页	第 页	
							编程		
							校对		
							审批		
							符号		
含义	抬刀	下刀	编程原点	起刀点	走刀方向	走刀线相交	爬斜坡	铰孔	行切

## 七、加工程序单

程序清单是编程人员根据工艺分析情况,经过数值计算,按照机床特定的指令编制的。它是记录数控加工工艺过程、工艺参数、位移数据计算的清单,它可帮助操作者正确理解加工程序内容。不同的数控机床,不同的数控系统,程序单的格式不同。如表 2-9 所示为型号为 XK5032 的数控立式铣床(FANUC0i-MB)铣削加工程序清单。

表 2-9 程序清单

零件号	NC01	零件名称	凸轮
编制		审核	
程序号	O100	加工内容	铣轮廓周边
程序段号	程序内容		程序段解释
N10	G54 G17 G00 X0 Y0;		快速运动到工件坐标系(0,0)点
N20	Z40. M03 S600;		下刀主轴启动
N30	X-100. Y80. ;		快速运动到(-100,80)点
N40	G94 Z-16. F60;		下刀到 Z-16.
N50	G01 G42 X-107.1 Y19.5 D01;		建立右刀补到 A 点
N60	G03 X-37.7 Y-100. R110. ;		逆圆插补到 B 点
N70	G02 X-11.5 Y-106.3 R25. ;		顺圆插补到 C 点
N80	G03 X110. Y0 R110. ;		逆圆插补到 D 点
N90	G01 X86.6 Y13.2;		直线插补到 E 点
N100	G02 X71.3 Y42.3 R35. ;		顺圆插补到 F 点
N110	G03 X-23.5 Y102.1 R90. ;		逆圆插补到 G 点
N120	X-98.1 Y49.4 R110. ;		逆圆插补到 H 点
N130	G02 X-107.1 Y19.5 R25. ;		顺圆插补到 A 点
N140	G40 G00 X-163. Y-75.8;		取消刀补快速运动到(-163,-75.8)点
N150	Z40. M05;		提刀到 Z40
N160	X0 Y0;		快速运动到(0,0)点
N170	M30;		程序结束

## 思考与练习

1. 数控加工的过程如何?
2. 数控加工工艺的概念是什么? 它在数控加工中起到什么样的作用?
3. 数控加工工艺设计的主要内容有哪些?
4. 工艺设计的好坏对数控加工具有哪些影响?
5. 数控加工工艺与普通加工工艺的区别在哪里? 其特点是什么?
6. 加工方案确定的原则是什么?
7. 如何划分零件加工的工序与工步?

8. 如何选择数控机床刀具?
9. 合理选择切削用量的原则是什么?
10. 对刀点、换刀点的含义是什么?
11. 什么是刀位点? 常用刀具的刀位点如何规定?
12. 数控工艺文件应包括哪些内容?