

项目三 数控机床的程序编制

项目导读

数控编程是数控加工准备阶段的主要内容之一,通常是指根据被加工零件的图纸和技术要求、工艺要求,将零件加工的工艺顺序、工序内的工步安排、刀具相对于工件运动的轨迹与方向、工艺参数及辅助动作等,用数控系统所规定的规则、代码和格式编制成文件,并将程序单的信息制作成控制介质的整个过程。有手工编程和自动编程两种方法。

本项目主要介绍数控编程的内容、手工编程方法和步骤、自动编程的特点及常用自动编程软件等内容。在手工编程任务内容中,又详细介绍了数控车床、数控铣床及数控加工中心的加工特点及编程特点。

项目目标

1. 掌握数控编程的特点及基本组成。
2. 熟悉数控程序的编制方法。
3. 熟悉数控车床、数控铣床及加工中心程序编制的特点。
4. 能够对中等复杂的零件进行加工程序的编制。
5. 了解自动编程的特点。
6. 会用 UG 软件对中等复杂零件进行自动编程。

任务一 数控编程概述

数控机床加工与普通机床加工不同,它是由计算机控制完成加工的全过程,无需人工干预,而计算机工作的基本条件是执行指令程序。所以数控编程是实施数控加工前的必须工作,数控机床没有加工程序将无法实现加工。所谓数控编程即进行数控加工前从工件图纸到制成控制介质的全过程。具体地说,数控编程是指将轮廓轨迹、形状、尺寸精度、工艺条件等全部技术参数数据化,转换为符合数控系统所规定的规则、代码和格式要求的加工指令,并将程序记录在控制介质的整个过程。

数控编程是数控加工的基本条件之一,且编程质量对工件的加工质量和加工效率产生了直接的影响,因此编程质量的提高成为提高 NC 机床加工利用率和经济效益的重要环节之一。

一、程序编制的内容和步骤

数控编程的主要内容包括零件图纸的分析、工艺过程的编制、数学处理、程序编制、程序输入与试切。数控编程的具体步骤如图 3-1 所示。

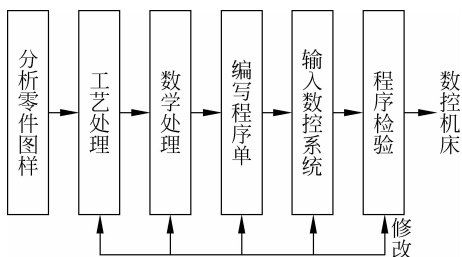


图 3-1 数控编程过程

1. 分析工作图样

根据零件图纸分析工件的形状、尺寸、材料、加工精度、批量、热处理条件、加工期限、企业工艺条件等，从而确定数控加工的可行性和适用性。

2. 确定工艺过程

对数控加工工件的工艺过程分析与传统的加工工艺处理类似，但需考虑数控机床的特殊功能特点、数控系统的指令功能以及充分发挥数控机床的加工效率等特性。根据工件的特征需完成下述任务。

- (1) 确定加工机床、刀具与夹具。
- (2) 确定零件加工的工艺路线、工步顺序。
- (3) 确定切削用量(主轴转速、进给速度、进给量、切削参数)。
- (4) 确定辅助功能(换刀,主轴正传、反转,冷却液开、关等)。

3. 数值计算

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,计算刀具中心运动轨迹,以获得刀位数据。数控系统一般均具有直线插补与圆弧插补功能,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、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。

4. 编写加工程序

在完成上述工艺处理及数值计算工作后,即可按照数控系统规定的指令代码及程序格式,逐段编写零件加工程序,并进行初步校验(一般采用阅读法,即对照加工零件的要求,对编制的加工程序进行仔细地阅读和分析,以检查程序的正确性),检查上述两个步骤的错误,程序编制人员应对数控机床的功能、程序指令及代码十分熟悉,才能编写出正确的加工程序。

5. 输入数控系统

将数控程序单上的内容,经转换记录在控制介质上(如存储在磁盘上),作为数控系统的输入信息,若程序较简单,也可直接通过 MDI 键盘输入。常用的介质种类因系统不同而有所差别,如传统多用穿孔纸带、磁带机及记录磁带、软磁盘适配器及软磁盘、硬磁盘适配器及记录在硬盘上的程序、光驱及光盘、键盘直接输入方式、EPROM 等非易失性固态存储器存储加工程序等。

6. 程序校验

任何程序在正式加工之前都必须进行检验或试切。程序的校验用于检查程序的正确性和合理性,但不能检查加工精度。利用数控系统的相关功能,在数控机床上运行程序,来检查机床动作和运动轨迹的正确性,以检验程序。如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。由于这种检查方法较为直观简单,现被广泛采用。对于形状复杂和要求高的零件,也可采用铝件、塑料或石蜡等易切材料进行试切来检验程序以检查程序的正确性和合理性。试切法不仅可检验程序的正确性,还可检查加工精度是否符合要求。通常只有试切零件检验合格后,加工程序才算编制完毕。

二、程序编制的方法

数控机床程序是按一定的格式并以代码的形式编制的,目前零件的加工程序编制方法分为手工编程和自动编程两种。

1. 手工编程

手工编程是由人工完成编程的全部步骤,从分析零件图样、确定工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、程序输入到程序检验等各步骤均由人工完成。这种方式比较简单,很容易掌握,适应性较大。适用于零件形状简单、程序段较少、计算简单的场合。它是自动编程的基础,机床操作人员必须掌握。

2. 自动编程

对于零件形状复杂或程序量大的零件采用手工编程则工作量很大或不可能时,就必须借助计算机进行自动编程。自动编程也称为计算机(或编程机)辅助编程,即程序编制工作的大部分或全部由计算机完成。利用通用的微机及专用的自动编程软件,以人机对话方式确定加工对象和加工条件自动进行运算和生成指令。自动编程编出的程序还可通过计算机或自动绘图仪进行刀具运动轨迹的图形检查,编程人员可以及时检查程序是否正确,并及时修改。自动编程大大减轻了编程人员的劳动强度,提高效率几十倍乃至上百倍,同时解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。工作表面形状愈复杂,工艺过程愈烦琐,自动编程的优势愈明显。目前中小企业普遍采用这种方法,编制较复杂的零件加工程序效率高,可靠性好。专用软件多为在开放式操作系统环境下,在微机上开发的,成本低,通用性强。除此之外还可利用 CAD/CAM 系统进行零件的设计、分析及加工编程。该方法适用于制造业中的 CAD/CAM 集成系统,目前正被广泛应用。该方式适应面广、效率高、程序质量好,适用于各类柔性制造系统(FMS)和集成制造系统(CIMS),但投资大,掌握起来需要一定时间。

任务二 手工程序编制

一、程序编制的标准规定和代码

不同类型的数控系统,根据系统本身的特点及编程的需要,编程的格式和代码也不尽相

址符决定了字的功能。FANUC 系统地址符含义见表 3-1。

表 3-1 常用地址符

机 能	地 址 符	说 明
程序号	O 或 P 或 %	程序编号地址
程序段号	N	程序段顺序编号地址
坐标字	X,Y,Z; U,V,W P,Q,R A,B,C; D,E R; I,J,K	直线坐标轴 旋转坐标轴 圆弧半径 圆弧中心坐标
准备功能	G	指令动作方式
辅助功能	M,B	开关功能,工作台分度等
补偿值	H 或 D	补偿值地址
暂停	P 或 X 或 F	暂停时间
重复次数	L 或 H	子程序或循环程序的循环次
切削用量	S 或 V F	主轴转速或切削速度 进给量或进给速度
刀具号	T	刀库中刀具编号

3. 字的类别及功能

坐标字由坐标地址符及数字组成,且按一定的顺序进行排列,各组数字必须具有作为地址代码的字母开头,坐标字用于确定机床上刀具运动终点的坐标位置。按其功能的不同分为 7 种类型,分别是顺序号字、准备功能字、坐标字、进给功能字、主轴转速功能字、刀具功能字和辅助功能字。

1) 程序段序号字 N(简称为顺序号字)

顺序号字就是程序段的序号。顺序号字位于程序段之首,用地址码 N 和后面的 1~9999 中的任意数字来表示。

顺序号用于编程者对程序的校对、检索和修改;在加工轨迹图的几何节点处标上相应的顺序段的顺序号,就可直观的检查程序。顺序号的使用规则如下:顺序号数字部分为整数,最小为 1,且数字可以不连续,也可以颠倒,一般习惯按顺序并以 5 或者 10 的倍数编程,以备插入新的程序段,程序段可以部分或全部省略顺序号。

2) 准备功能 G(简称为 G 功能)

G 指令也称为准备功能指令,它是使机床或数控系统建立起某种加工方式的指令。这类指令是在数控装置插补运算之前需要预先规定,为插补运算、刀补运算、固定循环等做好准备。例如,刀具在哪个坐标平面加工,加工轨迹是直线还是圆弧等都需用 G 指令来指定。G 指令由字母 G 和其后两位数字组成,从 G00~G99 共有 100 种。

需要特别注意的是,不同的数控系统,其 G 指令的功能并不相同,有些甚至相差很大,编程时必须严格按照数控系统编程手册的规定编制程序。FANUC 0i 系统 G 功能指令见表 3-2。

表 3-2 FANUC 0i 系统 G 功能指令

G 代码	组别	数控车的功能	数控铣的功能	附注
G00 *	01	快速定位	相同	模态/续效
G01	01	直线插补	相同	模态
G02	01	顺时针方向圆弧插补	相同	模态
G03	01	逆时针方向圆弧插补	相同	模态
G04	00	暂停	相同	非模态
G10	00	数据设置	相同	模态
G11	00	数据设置取消	相同	模态
G17 *	02	XY 平面选择	相同	模态
G18	02	ZX 平面选择	相同	模态
G19	02	YZ 平面选择	相同	模态
G20	06	英制	相同	模态
G21	06	米制	相同	模态
G22 *	04	存储行程检测功能开	相同	模态
G23	04	存储行程检测功能关	相同	模态
G25	25	主轴速度波动检查打开	相同	模态
G26 *	25	主轴速度波动检查关闭	相同	模态
G27	00	参考点返回检查	相同	非模态
G28	00	参考点返回	相同	非模态
G30	00	第 2 参考点返回	×	非模态
G31	00	跳步功能	相同	非模态
G32	01	螺纹切削	×	模态
G36	00	X 向自动刀具补偿	×	非模态
G37	00	Z 向自动刀具补偿	×	非模态
G40 *	07	刀尖半径补偿取消	刀具半径补偿取消	模态
G41	07	刀尖半径左补偿	刀具半径左补偿	模态
G42	07	刀尖半径右补偿	刀具半径右补偿	模态
G43	08	×	刀具长度正补偿	模态
G44	08	×	刀具长度负补偿	模态
G49 *	08	×	刀具长度补偿取消	模态
G50 *	11	工件坐标原点设置/ 最大主轴速度设置	比例缩放功能取消	非模态
G51	11	×	比例缩放功能	模态
G52	00	×	局部坐标系设置	非模态
G53	00	机床坐标系设置	相同	非模态
G54 *	14	工件坐标系偏置 1	相同	模态
G55	14	工件坐标系偏置 2	相同	模态
G56	14	工件坐标系偏置 3	相同	模态
G57	14	工件坐标系偏置 4	相同	模态
G58	14	工件坐标系偏置 5	相同	模态
G59	14	工件坐标系偏置 6	相同	模态
G63	15	×	攻丝模式	模态
G64 *	15	×	切削模式	模态

续表

G 代码	组别	数控车的功能	数控铣的功能	附注
G65	00	宏程序调用	相同	非模态
G66	12	宏程序调用模态	相同	模态
G67*	12	宏程序调用取消	相同	模态
G68	16	×	坐标系旋转	模态
G69*	16	双刀架镜像关闭	×	模态
G70	00	精车循环	×	非模态
G71	00	外圆/内孔粗车循环	×	非模态
G72	00	模型车削循环	×	非模态
G73	00/09	端面粗车循环	高速深孔钻孔循环	非模态
G74	00/09	端面啄式钻孔循环	左旋攻螺纹循环	非模态
G75	00	外径/内径啄式钻孔循环	×	非模态
G76	00/09	螺纹车削多次循环	精镗循环	非模态
G80*	09	固定循环取消	相同	模态
G81	09	×	钻孔循环	模态
G82	09	×	钻孔循环	模态
G83	09	端面钻孔循环	深孔钻孔循环	模态
G84	09	端面攻螺纹循环	攻螺纹循环	模态
G85	09	×	粗镗循环	模态
G86	09	端面镗孔循环	镗孔循环	模态
G87	09	侧面钻孔循环	背镗孔循环	模态
G88	09	侧面攻螺纹循环	×	模态
G89	09	侧面镗孔循环	镗孔循环	模态
G90	01/03	外径/内径车削循环	绝对尺寸	模态
G91*	03	×	相对增量尺寸	模态
G92	01	单次螺纹车削循环	工件坐标原点设置	模态
G94	01/05	端面车削循环	每分钟进给速度	模态
G95	05	×	每转进给速度: 进给量	模态
G96	02	恒表面速度设置	×	模态
G97	02	恒表面速度设置	×	模态
G98*	05/10	每分钟进给	固定循环中返回到起始高度	模态
G99	05/10	每转进给	固定循环中返回到 R 高度	模态

3) 进给功能字 F

进给功能字的地址符是 F, 又称为 F 功能或 F 指令, 用于指定切削的进给速度。对于车床, F 指令可分为每分钟进给和主轴每转进给两种, 对于其他数控机床, 一般只用每分钟进给。F 指令在螺纹切削程序段中常用来指定螺纹的导程。

每转进给量(mm/r): 用 G99 指定, 表示主轴每转一转刀具进给量。

如: G99 F0.2 表示主轴每转一转刀具进给 0.2mm, 即相当于 $F=0.2\text{mm/r}$ 。

每分钟进给量: 用 G98 指定, 表示每分钟刀具进给量。

如: G98 F100 表示刀具进给速度为 100mm/min。

4) 主轴转速功能 S

由主轴地址符 S 及数字组成, 作用是控制主轴转速, 单位用 G96 和 G97 两种方式指定

(机床通电后默认为 G97 功能)。

主轴转速控制(G97)：格式为 G97 S___,表示每分钟主轴转数,单位为 r/min。

如：G97 S1000 表示主轴每分钟转数为 1000 转恒定不变。

恒线速度控制(G96)：格式为 G96 S___,表示切削点的线速度不变。即切削时工件上任一点的切削速度是固定的,单位为 m/min。

如：G96 S150,表示切削速度恒为 150m/min。此时转速会由数控系统自动控制做相应变化。

公式为： $v=n\pi D/1000$ 。

单位： v 为 m/min, D 为 mm, n 为 r/min。

5) 刀具功能 T

由地址符 T 和数字组成,作用是指定刀具和刀具补偿。若 T 后面有两位数表示所选择的刀具号码 T__,第一位是刀具号,第二位是刀具补偿号(包括刀具偏置补偿、刀具磨损补偿、刀尖圆弧补偿、刀尖刀位号等)。若 T 后面有四位数表示所选择的刀具号码 T___,前两位是刀具号,后两位是刀具补偿号。

6) 辅助功能 M(简称为 M 功能)

辅助功能字由 M 地址符及随后的两位数字组成,所以也称为 M 功能或 M 指令。它用来指令数控机床的辅助动作及其状态,如主轴的启、停,冷却液通、断,更换刀具等。与 G 指令一样,M 指令已有国际标准和国家标准,且 M 指令与 G 指令一样,不同的数控系统其 M 指令的功能并不相同,有些差别较大,必须按照所用机床说明书的规定编制程序。常用的 FANUC 系统的指令见表 3-3。

表 3-3 FANUC 系统常用辅助功能指令

M 功能字	含 义	M 功能字	含 义
M00	程序停止	M07	2 号冷却液开
M01	计划停止	M08	1 号冷却液开
M02	程序停止	M09	冷却液关
M03	主轴顺时针旋转	M30	程序停止并返回原点
M04	主轴逆时针旋转	M98	调用子程序
M05	主轴旋转停止	M99	返回子程序
M06	换刀		

7) 程序段结束符号

列在程序段的最后一个有用的字符之后,表示程序段的结束。

二、机床坐标系和工件坐标系的定义

一般来讲数控机床通常使用的有两个坐标系,一是机床坐标系,一是工件坐标系(编程坐标系)。数控机床的坐标系统,包括坐标系、坐标原点和运动方向。对于数控加工及编程,都必须对数控机床的坐标系统有一个完整且正确的理解,否则,程序编制将发生混乱。

1. 机床坐标系

1) 机床坐标系的确定

数控机床上,为确定机床运动的方向和距离,必须要有一个坐标系才能实现,我们把这种机床固有的坐标系称为机床坐标系。机床坐标系是机床固有的坐标系,它是制造和调整机床的基础,也是设置工件坐标系的基础。数控机床的坐标系规定已标准化,其基本坐标轴为 X 、 Y 、 Z 直角坐标,相对于每个坐标轴的旋转运动坐标为 A 、 B 、 C 。标准机床坐标系坐标轴的相互关系用右手笛卡尔直角坐标系决定,如图 3-3 所示。

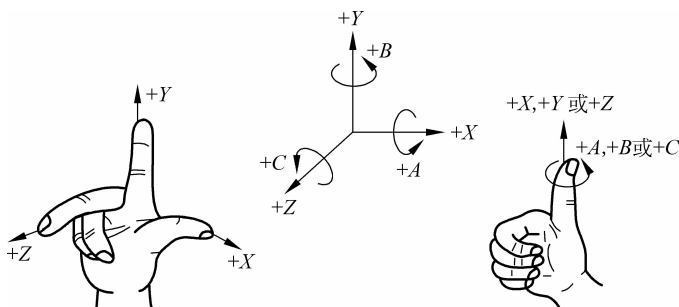


图 3-3 右手笛卡尔坐标系

伸出右手的大拇指、食指和中指,并互为 90° 。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,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。其中增大刀具与工件距离的方向即为各坐标轴的正方向。

2) 数控机床坐标轴及其方向的确定

不论机床的具体结构是工件静止、刀具运动,还是工件运动、刀具静止,数控机床的坐标运动指的是刀具相对静止的工件坐标系的运动。

(1) Z 坐标。通常将传递切削力的主轴轴线定位 Z 坐标轴,对于刀具旋转的机床如铣床、钻床、镗床等,旋转刀具的轴线为 Z 轴。对于工件旋转的机床,如车床,则工件旋转的轴线为 Z 轴。如果机床上有几个主轴,则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为 Z 坐标方向;如果主轴能够摆动,则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向;如果机床无主轴,则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向。 Z 坐标的正向为刀具离开工件的方向,如图 3-4 所示。

(2) X 坐标。 X 坐标轴一般是水平的,它平行于工件的装夹面且与 Z 轴垂直。确定 X 轴方向时要考虑两种情况:

如果工件作旋转运动,如车床, X 轴的方向是在工件的径向上,且平行于横滑座。正方向为刀具远离工件的方向。

如果刀具作旋转运动,如铣床,则规定:当 Z 轴水平时,从刀具主轴后端向刀具方向看, X 轴的正方向为水平向右方向;当 Z 轴竖直时,面对主轴向立柱方向看, X 轴的正方向为水平向右方向,如图 3-4 所示。

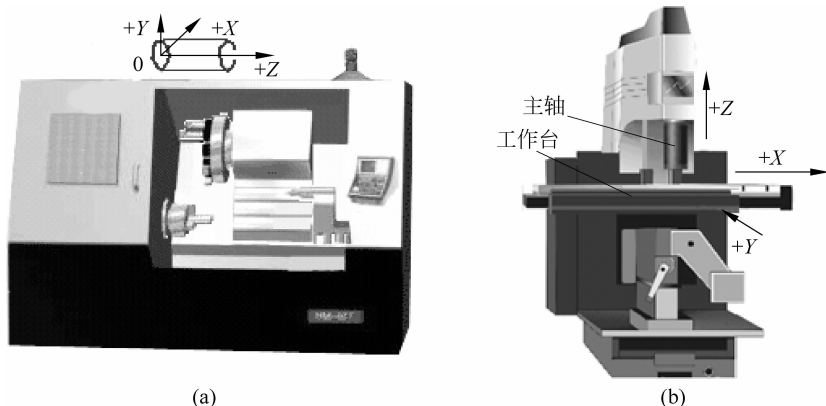


图 3-4 数控机床坐标系示意图

(3) Y 坐标。在确定了 X、Z 轴的正方向后,可按右手直角笛卡尔坐标系确定 Y 轴的正方向,即在 ZX 平面内,从 +Z 转到 +X 时,右螺旋应沿 +Y 方向前进。

2. 工件坐标系

工件坐标系是编程人员在编程时使用的,是在数控编程时用来定义工件形状和刀具相对工件运动的坐标系,为保证编程与机床加工的一致性,工件坐标系也应是右手笛卡尔坐标系。工件装夹到机床上时,应使工件坐标系与机床坐标系的坐标轴方向保持一致。工件坐标系的原点称为工件原点或编程原点,工件原点在工件上的位置虽可任意选择,但一般应遵循以下原则。

- (1) 工件原点选在工件图样的基础上,以利于编程。
- (2) 工件原点尽量选在尺寸精度高、粗糙度值低的工件表面上。
- (3) 工件原点最好选在工件的对称中心上。
- (4) 要便于测量和检验。

在加工程序中首先要设置工件坐标系,用 G92 指令可建立工件坐标系,用 G54~G59 指令可选择工件坐标系。

3. 附加运动坐标

为了编程和加工的方便有时还要设置附加坐标系,一般称 X、Y、Z 为主坐标系或第一坐标系,如有平行于第一坐标的第二组和第三组坐标,则分别指定为 U、V、W 和 P、Q、R。第一坐标系是指靠近主轴的直线运动,稍远的为第二坐标系,更远的为第三坐标系。

4. 机床原点与机床参考点

机床原点又称为机械原点,它是机床坐标的原点。该点是机床上一个固定的点,其位置是由机床设计和制造单位确定的,通常不允许用户改变。机床原点是工件坐标系、编程坐标系、机床参考的基准点。这个点不是一个硬件点,而是一个定义点。数控车床的机床原点一般设在卡盘前端面或后端面的中心,如图 3-5 所示。数控铣床的机床原点,各生产厂不一致,有的设在机床工作台的中心,有的设在进给行程终点。

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点。机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的,坐标值已输入数控系统中。因此