

数控技术基础知识

数控技术,简称数控(numerical control),是采用数字控制的方法对某一工作过程实现自动控制的技术。它控制的通常是位置、角度、速度等机械量与与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。

现在,数控技术也叫计算机数控技术(computerized numerical control,CNC),是采用计算机实现数字程序控制的技术。这种技术用计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制功能。由于采用计算机替代原先用硬件逻辑电路组成的数控装置,使得输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现,均可以通过计算机软件来完成。数控技术是制造业信息化的重要组成部分。

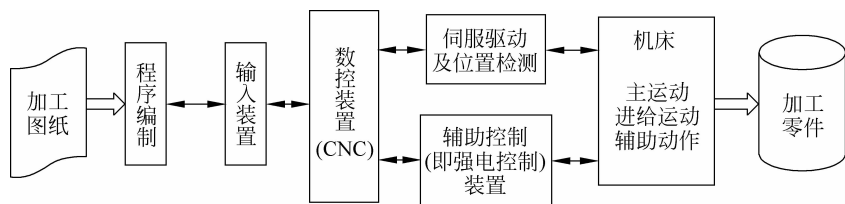


图 1.1 数控机床组成

如图 1.1 所示,数控机床由程序编制及程序载体、输入装置、数控装置(CNC)、伺服驱动及位置检测、辅助控制装置、机床本体等几部分组成。

按数控机床的运动轨迹分类,现代数控机床包含:

- (1) 点位控制数控机床,这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等,其相应的数控装置称为点位控制装置;
- (2) 点位直线控制数控机床,这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控加工中心等,相应的数控装置称为点位直线控制装置;
- (3) 轮廓控制数控机床,这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和电加工机床等,相应的数控装置称为轮廓控制装置(或连续控制装置)。

1.1 数控车床

1.1.1 数控车床概述

数控车床是目前使用较为广泛的一种数控机床,它将编制好的加工程序输入到数控系

统中,由数控系统通过车床 X、Z 坐标轴的伺服电动机去控制车床进给运动部件的动作顺序、移动量和进给速度,再配合主轴的转速和转向,加工出各种形状不同的轴类或盘类回转体零件。加工的尺寸精度可达 IT5~IT6,表面粗糙度可达 $Ra1.6\mu\text{m}$ 以下。

不同的数控车床,由于采用的数控系统存在差别,有些功能指令的定义会有一些差异,但基本编程方法是相似的。本节以南京第二机床厂生产的 CK6150 数控车床为例,介绍数控车床的基本编程及操作方法。机床如图 1.2 所示,采用 FANUC Series 0i_Mate-TC 数控系统,最大车削直径 $\phi 520\text{mm}$,最大加工长度 1500mm。



图 1.2 CK6150 数控车床

1.1.2 数控车削加工工艺

数控车削加工工艺是采用数控车床加工零件时所运用方法和技术手段的总和,其主要内容包括以下几个方面:

- (1) 选择并确定零件的数控车削加工内容;
- (2) 对零件图纸进行数控车削加工工艺分析;
- (3) 选择加工所用数控车床的类型;
- (4) 工具、夹具的选择和调整设计;
- (5) 工序、工步的设计;
- (6) 加工轨迹的计算和优化;
- (7) 数控车削加工程序的编写、校验与修改;
- (8) 首件试加工与现场问题的处理;
- (9) 数控车削加工工艺技术文件的定型与归档。

其中工艺分析是数控车削加工的前期工艺准备工作,工艺制定得合理与否,对程序的编制、机床的加工效率和零件的加工精度都会有重要影响。因此,应遵循一般的工艺原则并结合数控车床的特点,认真而详细地进行数控车削加工工艺分析。其主要内容有:零件图分析,夹具、刀具及切削用量的选择,划分工序及拟定加工顺序等。

1. 零件图分析

零件图分析是制定数控车削工艺的首要任务,主要进行尺寸标注方法分析、轮廓几何要素分析以及精度和技术要求分析。此外,还应分析零件结构和加工要求的合理性,选择工艺基准。

2. 夹具和刀具的选择

数控车床使用的车刀、镗刀、切断刀、螺纹加工刀具均有焊接式和机夹式两种,除经济型数控车床外,为了减少换刀时间和方便对刀,便于实现机械加工的标准化,数控车削加工中,目前已广泛采用机夹可转位式车刀,它主要由刀体、刀片和刀片压紧系统3部分组成。

3. 切削用量选择

数控车削加工中的切削用量包括背吃刀量 a_p 、主轴转速 s (或切削速度 v_c)及进给速度(或进给量 f)。

车削用量的大小对切削力、切削功率、刀具磨损、加工质量和加工成本均有显著影响。在选择车削用量时,要求在保证加工质量和刀具耐用度的前提下,充分发挥车床性能和刀具切削性能,使得切削效率高,加工成本低。

4. 划分工序及拟定加工顺序

1) 工序划分的原则

在数控车床上加工零件,常用的工序划分原则有两种。

(1) 保持精度原则: 工序一般要求尽可能的集中,粗、精加工通常会在一次装夹中全部完成。但是为减少热变形和切削力变形对工件的形状、位置精度、尺寸精度和表面粗糙度的影响,则应将粗、精加工分开进行。

(2) 提高生产效率原则: 为减少换刀次数,节省换刀时间,提高生产效率,应将需要用同一把刀加工的加工部位都完成后,再换另一把刀来加工其他部位,同时应尽量减少空行程。

2) 确定加工顺序

确定加工顺序一般遵循下列原则。

(1) 先粗后精: 按照粗车→半精车→精车的顺序进行,逐步提高加工精度。

(2) 先近后远: 离对刀点近的部位先加工,离对刀点远的部位后加工,以便缩短刀具的移动距离,减少空行程时间。此外,先近后远车削还有利于保持坯件或半成品的刚性,改善其切削条件。

(3) 内外交叉: 对既有内表面又有外表面需加工的零件,应先进行内、外表面的粗加工,后进行内、外表面的精加工。

(4) 基面先行: 用作精基准的表面应优先加工出来,这是因为定位基准的表面越精确,装夹误差越小。例如,轴类零件加工时,总是先加工中心孔,再以中心孔为精基准加工外圆表面和端面。

1.1.3 数控车床编程

1. 准备功能

准备功能又称为 G 功能或 G 代码,用于指定工作方式,可分为模态和非模态两种。模态代码一经指定就一直有效,直到被同组代码取代它(只有同组代码才可相互取代)为止,或被 M02、M30 紧急停止以及按“复位”键撤销。非模态代码只在该代码所在的程序段中有效,在下一程序段则自动取消。常用准备功能见表 1.1。

表 1.1 常用准备功能

代码	组别	功 能	代码	组别	功 能
G00 *	01	快速点定位	G58	14	选择零件坐标系 5
G01		直线插补	G59		选择零件坐标系 6
G02		顺时针圆弧插补	G70	00	精车循环
G03		逆时针圆弧插补	G71		外圆粗车循环
G04	00	暂停,持续时间用 K 编入	G72		端面粗车循环
G28	00	返回参考点	G73		固定方式粗车循环
G29		从参考点返回	G74		钻孔循环
G32	01	螺纹切削	G75		割槽循环
G40 *	07	撤销刀具半径补偿	G76		螺纹切削组合循环
G41		左边刀具半径补偿	G90	01	外圆切削循环
G42		右边刀具半径补偿	G92		螺纹切削循环
G50	00	设坐标工件坐标系,限制主轴最高转速	G94		端面切削循环
G54	14	选择零件坐标系 1	G96	02	主轴恒线速控制
G55		选择零件坐标系 2	G97 *		取消主轴恒线速控制
G56		选择零件坐标系 3	G98	05	进给速度按每分钟设定
G57		选择零件坐标系 4	G99 *		进给速度按每转设定

注: (1) 00 组别的代码为非模态代码,其他均为模态代码。

(2) 标有“*”号的 G 代码表示在系统通电后,或执行过 M02、M30,或在紧急停止以及按“复位”键后,系统所处于的工作状态。

(3) 若不相容的同组 G 代码被编在同一程序段中,系统认为后编入的那个 G 代码有效。

(4) FANUC 车床系统中用 X、Z 表示按绝对坐标编程;用 U、W 表示按增量坐标编程。

(5) 圆弧插补的顺逆走向见图 1.3。

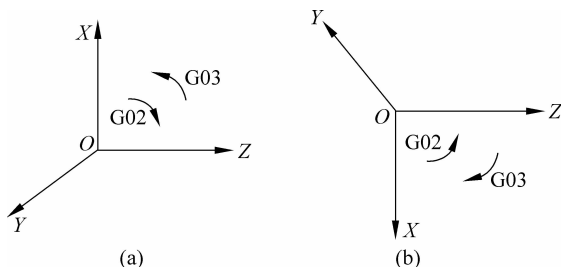


图 1.3 圆弧指令方向判别

(a) 后置刀架; (b) 前置刀架

2. 辅助功能

辅助功能又称为 M 功能或 M 代码,用于指定车床工作时的各种辅助动作及状态,常用的辅助功能见表 1.2。

表 1.2 常用辅助功能

代码	功 能	代码	功 能
M00	程序暂停	M08	冷却液开
M01	程序条件停止	M09	冷却液关
M02	程序结束,主轴停止	M23	自动螺纹倒角
M03	启动主轴正转	M30	程序结束,且返回到程序开始
M04	启动主轴反转	M98	子程序调用
M05	主轴停止	M99	子程序结束

3. F 功能

F 功能用于指定进给速度,由 F 和其后的数字来表示。

F 值指定后一直有效,直到被新的 F 值取代为止。G00 执行的是系统设置的速度,但不会撤销前面所编的 F 值。

4. S 功能

S 功能用于指定主轴转速或限速。

(1) 主轴恒线速度控制(G96)

G96 指令用来控制主轴转速按规定的恒线速度值运行。G96 指令可以保证当工件直径变化时,主轴的线速度保持不变,从而保证切削速度不变,提高了加工质量。

指令格式:

G96 S_;

其中 S_是恒定线速度,单位是 m/min。

(2) 恒转速控制(取消主轴恒线速度控制)(G97)

G97 用于车削螺纹或工件直径变化较小的场合。

指令格式:

G97 S_ ;

其中 S_是主轴转速,单位是 r/min。系统开机时一般默认为 G97 状态。

(3) 主轴最高转速限定(G50)

G50 除了具有设定工件坐标系的功能外,还可限定主轴的最高转速。G50 可防止主轴转速过高,从而离心力太大,造成危险及影响车床寿命。尤其是用恒线速度车削端面、锥度和圆弧时,由于 X 值不断变化,当刀具逐渐接近工件的旋转中心时,主轴转速会越来越高,工件有从卡盘飞出的危险,所以为防止事故的发生,此时必须限定主轴的

最高转速。

指令格式：

G50 S_ ;

其中 S_ 是主轴的最高转速,单位是 r/min。

5. T 功能

T 功能用于指定刀具号,进行自动换刀。T 后面通常有两位数表示所选的刀具号码。但也有 T 后面用 4 位数字,如 T0101,前面的 01 为刀具号,后面的 01 为刀补号。补偿号可以和刀具号相同,也可以不同,即一把刀具可以对应多个补偿号。

6. 数控车床宏程序

1) 宏程序定义

利用数控系统提供的变量、数学运算功能、逻辑判断、条件转移等功能编写的加工程序。

2) 宏程序中的变量

一个普通的零件加工程序指定 G 码并直接用数字值表示移动的距离,例如: G100 X100.0。而利用用户宏,既可以直接使用数字值,又可以使用变量号。当使用变量号时,变量值既可以由程序改变,又可以用 MDI 面板改变。

(1) 变量的表示

计算机允许使用变量名,宏程序不可以。宏程序中的变量用变量符号“#”和后面的变量号指定,例如: #1;表达式可用于指定变量号,且表达式必须封闭在方括号里,例如:#[#1 + #2 - 12]。

(2) 变量的类型

根据变量号,可以把变量分为四类,见表 1.3。

表 1.3 变量的类型

变 量 号	变量类型	功 能
#0	空变量	该变量总是空,没有值能赋给该变量
#1~#33	局部变量	只能用在宏程序中存储数据(如运算结果);当断电时,局部变量被初始化为空;调用宏程序时,自变量对局部变量赋值
#100~#199 #500~#999	公共变量	在不同的宏程序中的意义相同。当断电时,变量#100~#199 初始化为空;变量#500~#999 的数据保存,即使断电也不丢失
#1000~#1000 以上	系统变量	用于读和写 CNC 运行时各种数据的变化,例如刀具的当前位置和补偿值

(3) 变量的引用

将跟随在一个地址后的数值用一个变量来代替,即引入了变量。例如:对于 F#103,若 #103 = 50 时,则为 F50。

为了在程序中使用变量,指定后面跟变量号的地址。当用表达式指定一个变量时,须用

方括号括起来,例如: G01 X[#1 + #2] F#3。

引用的变量值根据地址的最小输入增量自动舍入。例如: G00 X#1; 其中 #1 值为 12.3456,CNC 最小输入增量 1/1000mm,则实际指令值为 G00 X12.346;

改变引用的变量值的符号时,要把“—”号放在“#”前面。例如: G00 X— #1;

引用未定义的变量时,变量及地址字都被忽略。例如: #1 = 0, #2 = "空",则 G00 X#1 Y#2; 的执行结果是 G00 X0;

(4) 变量的算术与逻辑运算

表 1.4 中列出的运算可以在变量中执行,运算符右边的表达式可包含常量和/或由函数或运算符组成的变量。表达式中的变量 #J 和 #K 可以用常数赋值左边的变量,也可以用表 1.4 赋值。变量的算术与逻辑运算表见表 1.4。

表 1.4 变量的算术与逻辑运算表

功 能	格 式	备 注
定义	# i = # j	
加法	# i = # j + # k;	
减法	# i = # j - # k;	
乘法	# i = # j * # k;	
除法	# i = # j / # k;	
正弦	# i = SIN[# j];	
反正弦	# i = ASIN[# j];	
余弦	# i = COS[# j];	角度以度指定,例如 90°30' 表示为 90.5 度
反余弦	# i = ACOS[# j];	
正切	# i = TAN[# j];	
反正切	# i = ATAN[# j]/[# k];	
平方根	# i = SQRT[# j];	
绝对值	# i = ABS[# j];	
余入	# i = ROUND[# j];	
上取整	# i = FIX[# j];	
下取整	# i = FUP[# j];	
自然对数	# i = LN[# j];	
指数函数	# i = EXP[# j];	
或	# i = # j OR # k;	
异或	# i = # j XOR # k;	逻辑运算一位一位地按二进制数执行
与	# i = # j AND # k;	
从 BCD 转为 BIN	# i = BIN[# j];	
从 BIN 转为 BCD	# i = BCD[# j];	用于与 PMC 的信号交换

3) 转移与循环语句

在程序中,使用某些语句可以改变控制的流向,有 3 种转移和循环操作可供使用,如

图 1.4 所示。

(1) 无条件转移指令

程序格式为：

GOTO n;

n 为顺序号(1~99999)。

(2) 条件转移指令

条件转移指令有两种格式。

① IF [条件表达式] GOTO n;

如果指定的条件表达式满足时,转移到标有顺序号 n 的程序段;如果指定的条件表达式不满足,执行下个程序段,执行顺序如图 1.5 所示。

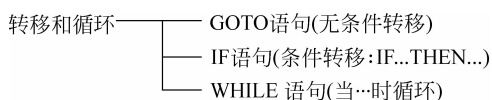


图 1.4 3 种转移和循环操作

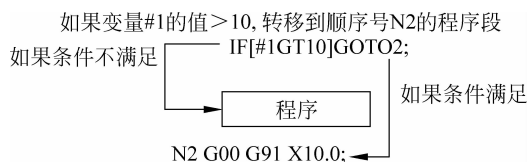


图 1.5 执行顺序

② IF [条件表达式] THEN;

如果条件表达式满足,执行预先决定的宏程序语句,且只执行一个宏程序语句。

条件表达式必须包括算符,算符插在两个变量中间或变量和常数中间,并且用括号“[]”封闭,表达式可以替代变量。

运算符由 2 个字母组成,用于两个值的比较,以决定它们是相等还是一个值小于或大于另一个值。注意,不能使用不等号,常用的运算符及其含义如表 1.5 所示。

表 1.5 宏程序常用的运算符及其含义

运算符	含 义	运算符	含 义
EQ	等于(=)	GE	大于等于($\geq$)
NE	不等于($\neq$)	LT	小于($<$)
GT	大于($>$)	LE	小于等于($\leq$)

(3) 循环语句

循环语句程序格式为：

```
WHILE [条件表达式] DO m; (m = 1, 2, 3)
:
END m;
```

"WHILE...END m"程序的含义为：条件表达式满足时,程序段 DO m 至 END m 重复执行;条件表达式不满足时,程序转到 END m 后执行。如果 WHILE [条件表达式]部分被省略,则程序段 DO m~END m 之间的部分将一直重复执行,如图 1.6 所示。

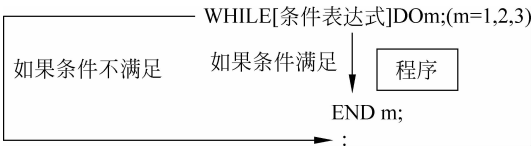


图 1.6 WHILE 语句格式

注意：WHILE DO m 和 END m 必须成对使用；DO 语句允许有 3 层嵌套，且 DO 语句范围不允许交叉。

1.1.4 数控车床的操作

1. 计算机仿真操作

数控车床计算机仿真操作是机床操作的一种有力的辅助手段，学生可以通过计算机仿真机床进行机床的回机械原点、对刀、手动切削等一系列操作，从而提高学生操作机床的兴趣，并且在仿真的过程中可以不断练习操作内容，减少机床实体操作的失误率。本节以上海宇龙软件工程有限公司开发的数控加工仿真系统为例，介绍数控车床的仿真界面及机床仿真操作。

本操作采用 FANUC Series 0i_Mate-TC 系统，操作步骤如下。

1) 进入仿真界面

进入数控车床仿真界面(如图 1.7 所示)，选择车床和系统。

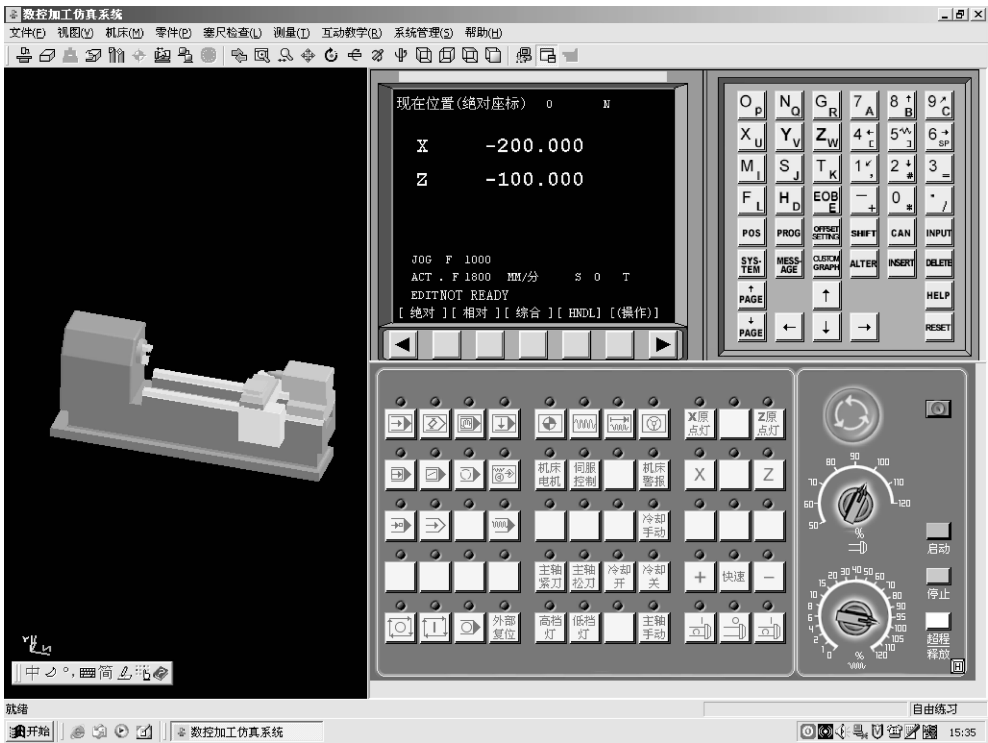


图 1.7 数控车床仿真界面

2) 程序录入

(1) 程式界面内先输入程序名 O××××(×为数字 0~8999 中的任意一个,作为新建程序的代码),按 **INSERT** 键,再录入分号(或 **EOB** 键)后按下 **INSERT** 键,程序名录入完毕。

(2) 录入程序时,每行结束都必须输入分号后,然后再按下 **INSERT** 键。

(3) 修改程序时,可用图 1.8 所示的按钮进行删除、替换、插入等修改。



图 1.8 数控铣床按钮

3) 程序的校对

4) 机床仿真加工

(1) 装夹零件

在零件菜单中定义毛坯、选择夹具和安装零件。

(2) 装夹刀具

在刀具库中找到刀具,选择正确视图,安装刀具。

(3) 回机械原点

在机床按钮中找到回原点按钮,并选择正确的加工轴 X、Z 回原点。

(4) 对刀及参数设定

(5) 仿真加工

补偿值输入后就可以直接按自动运行和循环启动这两个按钮进行实体方针加工,图 1.9 所示为实体加工界面。

2. 数控车床的操作

- (1) 车床开机(先强电再弱电);
- (2) 机床锁定,输入程序;
- (3) 图形模拟;
- (4) 解除机床锁定,返回参考点;
- (5) 工件的装夹;
- (6) 刀具的装夹;
- (7) 手动进给;
- (8) 主轴操作;
- (9) 对刀操作;
- (10) 刀具补偿值输入;
- (11) 自动加工;
- (12) 紧急停止;
- (13) 零件的测量;
- (14) 车床关机(先弱电再强电)。

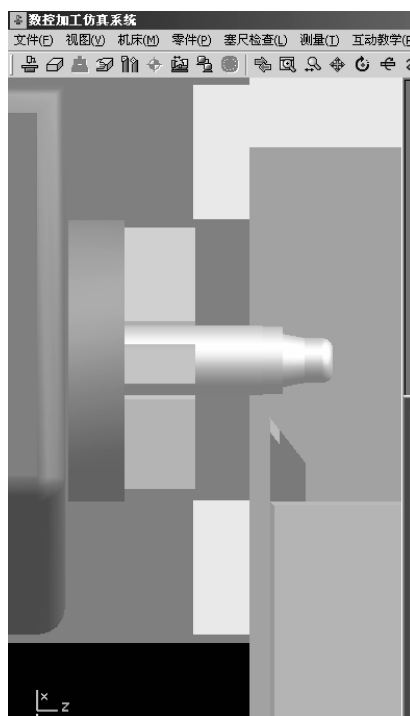


图 1.9 数控车床实体加工仿真界面