

## 第 2 章 数控编程基础

普通机床执行加工任务，是由操作人员手动控制的。而数控机床执行加工任务，是由数控加工指令程序控制的。数控加工指令程序的编制通常有三种途径：（1）手工编程；（2）用数控语言进行辅助编程；（3）用 CAD/CAM 软件进行计算机自动编程。要掌握数控加工指令程序的编制技术，熟悉手工编程至关重要，因为不论是用数控语言进行辅助编程，或是利用 CAD/CAM 软件进行自动编程，输出的源程序或刀位文件都必须经过后置处理系统转换成机床控制系统规定的加工指令程序格式。所以，掌握手工编写加工指令程序的方法是数控编程人员的基本功。

### 2.1 概述

#### 一、数控编程的基本概念

数控加工是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。在数控机床上加工零件时，首先要根据零件图样，按规定的代码及程序格式将零件加工的全部工艺过程、工艺参数、位移数据和方向以及操作步骤等以数字信息的形式记录在控制介质上（如磁带、U 盘等），然后输入给数控装置，从而指挥数控机床加工。

我们将从零件图样到制成控制介质的全部过程称为数控加工的程序编制，简称数控编程。使用数控机床加工零件时，程序编制是一项重要的工作。迅速、正确而经济地完成程序编制工作，对于有效地利用数控机床是具有决定意义的一个环节。

#### 二、数控编程的内容和步骤

数控编程的内容主要包括：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、制作控制介质、程序校验和试切削等。

数控编程的一般步骤如图 2-1 所示。

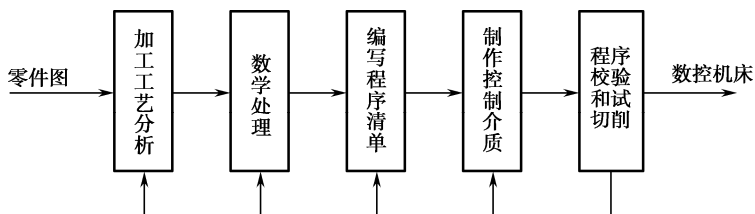


图 2-1 数控编程的步骤

##### 1. 确定工艺过程

在确定加工工艺过程时，编程人员要根据零件图样进行工艺分析，然后选择加工方案，

确定加工顺序、加工路线、装夹方式、刀具、工装以及切削用量等工艺参数。这些工作与普通机床加工零件时工艺规程的编制相似，但也有自身的一些特点。要考虑所用数控机床的指令功能，充分发挥数控机床的效能。

## 2. 数值计算

按已确定的加工路线和允许的零件加工误差，计算出所需的输入数控装置的数据，称为数值计算。数值计算的主要内容是在规定的坐标系内计算零件轮廓和刀具运动的轨迹的坐标值。数值计算的复杂程度取决于零件的复杂程度和数控装置功能的强弱。对于点位控制的数控机床（如数控冲床等）加工的零件，一般不需要计算，只是当零件图样坐标系与编程坐标系不一致时，才需要对坐标系进行换算。对于形状比较简单的零件（如直线和圆弧组成的零件）的轮廓加工，需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，有的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（如非圆曲线、曲面组成的零件）的轮廓加工，需要用直线段或圆弧段逼近，根据要求的精度计算出其节点坐标值。这种情况一般要用计算机来完成数值计算的工作。

## 3. 编写零件加工程序单

加工路线、工艺参数及刀具运动轨迹的坐标值确定以后，编程人员可以根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式，逐渐编写加工程序单。此外，还应填写有关的工艺文件，如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、数控刀具明细表等。

## 4. 制备控制介质

制备控制介质就是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。控制介质的类型因数控装置而异，常用的有穿孔纸带、磁盘等，也可直接通过数控装置上的键盘将程序输入存储器。

## 5. 程序校验和试切削

程序单和制备好的控制介质必须经过校验和试切削才能用于正式加工。一般采用空走刀校验、空运转画图校验以检查机床运动轨迹与动作的正确性。在具有图形显示功能和动态模拟功能的数控机床上，用图形模拟刀具与工件切削的方法进行检验更为方便。但这些方法只能检验出运动是否正确，不能检查被加工零件的加工精度。因此，还要进行零件的试切削。当发现有加工误差时，应分析误差产生的原因，采取措施加以纠正。

从以上内容来看，作为一名编程人员，不但要熟悉数控机床的结构、数控系统的功能及有关标准，而且还必须是一名好的工艺人员，要熟悉零件的加工工艺、装夹方法、刀具、切削用量的选择等方面的知识。

# 三、数控编程的方法

数控编程的方法主要有两种：手工编程和自动编程。

## 1. 手工编程

用人工完成程序编制的全部工作（包括用通用计算机辅助进行数值计算）称为手工编程。对于几何形状较为简单的零件，数值计算较简单，程序段不多，采用手工编程较容易完

成，而且经济、及时。因此，在点位加工及由直线与圆弧组成的轮廓加工中，手工编程仍广泛使用。但对于形状复杂的零件，特别是具有非圆曲线、列表曲线或曲面的零件，用手工编程就有一定的困难，出错的可能增大，效率低，有时甚至无法编出程序。因此必须采用自动编程的方法。

## 2. 自动编程

自动编程也称计算机辅助编程，即程序编制工作的大部分或全部由计算机来完成，如完成坐标值计算、编写零件加工程序单、自动输出打印加工程序单和制备控制介质等。自动编程方法减轻了编程人员的劳动强度，缩短了编程时间，提高了编程质量，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。工件表面形状越复杂，工艺过程越繁琐，自动编程的优势越明显。

自动编程的方法种类很多，发展也很迅速。根据编程信息的输入和计算机对信息的处理方式的不同，可以分为以自动编程为基础的自动编程方法（简称语言式自动编程）和以计算机绘图为基础的自动编程方法（简称图形交互式自动编程）。

## 2.2 数控程序

### 一、基本的编程术语

数控程序是包含加工信息，按一定的格式编写，用于控制数控机床自动加工的一系列指令代码。每一条指令都是 CNC 系统可以接受、编译和执行的格式，同时它们必须符合机床说明。

CNC 领域有其自己的术语以及特有的术语和行话，术语在 CNC 编程中十分常见和重要，下面分别对它们进行详细的介绍。

#### 1. 字符

字符是 CNC 程序中最小的单元，它有三种形式：数字、字母、符号。

字符组成有意义的词组，数字、字母和符号的组合称为字母-数字程序输入。

(1) 数字程序中可以使用的十个数字（0~9）来组成一个数。数字有两种使用模式：一种是整数值（没有小数部分的数），另一种是实数（具有小数部分的数）。数字有正负之分，一些控制器中，实数可以有小数点，也可以没有小数点。两种模式下使用的数字，只能输入控制系统许可范围内的数字。

(2) 字母英文字母表中的 26 个字母都可用来编程，至少理论上是这样的。大多数的控制系统只接受特定的字母，而抵制其余的字母，例如 CNC 车床可能会抵制字母“Y”，因为“Y”是铣削操作所独有的（铣床和加工中心）。大写字母是 CNC 编程的正规名称，但是一些控制器也接受小写形式的字母，并与其对应的大写字母具有相同的意义。

(3) 符号除了数字和字母，编程中也使用一些符号。最常见的符号是小数点、负号、百分号、圆括号等，这将取决于控制器选项。

## 2. 字

程序字由字母和数字字符组成，并形成控制系统中的单个指令。程序字一般以大写字母开头，后面紧跟表示程序代码或实际值的数值。典型的字表示轴的位置、进给率、速度、准备功能、辅助功能以及许多其他的定义。

## 3. 程序段

字在 CNC 系统中作为单独的指令使用，而程序段则作为多重指令使用。输入控制系统的程序由单独的以逻辑顺序排列的指令行组成，每一行（称为顺序排列的程序段）由一个或几个字组成，每一个字由两个或多个字符组成。

控制系统中，每一个程序段必须与所有其他的程序段分离开来，为了在控制器中的 MDI（手动数据输入）模式下分离程序段，程序段必须以程序段结束代码（符号）结束，该代码在控制面板上的标记为 EOB。在计算机上编写程序时，键盘上的回车键可以结束程序段，结果跟使用程序段结束代码一样。如果首先将程序写在纸上，则各程序段必须占据单独的一行，每一程序段包含一系列同时执行的单个指令。

## 4. 程序

不同控制器的程序结构也不一样，但是逻辑方法并不随控制器的不同而变化。CNC 程序通常以程序号或类似的符号开始，后面紧跟以逻辑顺序排列的指令程序段。程序段以停止代码或终止符号结束，比如百分号（%）。内部文档和供操作人员使用的信息，可能位于程序中关键的地方。

## 二、编程格式

在数字控制的早期应用中，就出现了三种非常重要的格式，按它们出现的先后顺序列出如下。

- (1) 分隔符顺序格式 只用在 NC 中——没有小数点。
- (2) 固定格式 只用在 NC 中——没有小数点。
- (3) 字地址格式 用于 NC 或 CNC 中——有小数点。

连续制表格式或固定格式只在早期的控制系统中使用，20 世纪 70 年代早期就已经被淘汰了，现在根本不使用它们，代替它们的是更为便利的字地址格式。

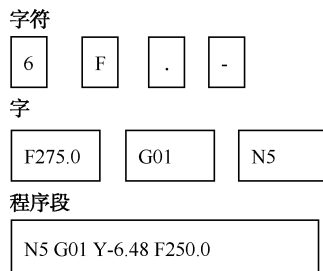


图 2-2 典型的字地址编程格式

## 三、字地址格式

字地址格式是基于一个字母和一个或多个数字的组合，如图 2-2 所示。

某些应用中，该组合也可以使用符号，比如负号或小数点。在程序或控制器内存中，每一字母、数字或符号都表示一个字符，这种特殊的字母-数字排列则形成字，其中字母表示地址，后面跟带有或没有符号的数值。字地址表示控制器内存中的特殊寄存器，常用的字有：

G01 M30 D25 X5.75 N105 H01 Y0 S2500

Z-5.14 F12.0 T0505 T05 /M01 B180.0

程序段中的地址（字母）定义字的意义，通常应该编写在最前面，例如 X5.75 是正确的，而 5.75X 则不正确。字中不允许有空格（空格字符），但字前可以有空格。

数据表示字的数字任务。该值取决于前面的地址，且变化很大。它可能表示顺序号 N，准备功能 G，辅助功能 M，偏置寄存号 D 或 H，坐标字 X、Y 或 Z，进给率功能 F，主轴功能 S，刀具功能 T 等。

任何字都是一系列的字符（至少是两个），它定义了控制单元和机床的单个指令。上面例子中的典型字在 CNC 程序中的含义如下：

G01	准备功能
M30	辅助功能
D25	偏置号选择（铣床）
X5.75	坐标字（正值）
N105	顺序号（程序段号）
H01	刀具长度偏置号
Y0	坐标字
S2500	主轴速度功能
Z-5.14	坐标字（负值）
F12.0	进给率功能
T0505	刀具功能（车床）
T05	刀具功能（铣床）
/M01	辅助功能/跳过程序段功能
B180.0	分度工作台功能

单个字是指令的集合，它们形成编程代码次序。每一次序将同步执行一系列指令，并形成一个称为顺序程序段或简称为程序段的单元。机床上加工零件或完成操作所需的以逻辑顺序排列的一系列程序段，称为程序，也就是 CNC 程序。

下面的程序段是到 X13.0Y4.6 绝对位置的快速刀具运动，其冷却液为开：

N25 G90 G00 X13.0 Y4.6 M08

其中，N25	顺序号或程序段号；
G90	绝对模式；
G00	快速运动模式；
X13.0 Y4.6	坐标位置；
M08	冷却液功能“开”。

控制器将程序段作为一个整体来处理，而不会将其作为几个部分处理。只要程序段号位于程序段最前面，大多数的控制器都允许程序段中的字按随机顺序排列。

每个字只能以特定的方式编写。字中允许使用的数字位数取决于地址和小数的最大位数，这由控制器厂家设置。并不是所有的字母都可以使用，只有拥有指定意义的字母才可以用来编程。常见的表示地址符的英文字母的含义如表 2-1 所示。

表 2-1 常见地址符及含义

功 能	地 址 字 母	意 义
程序号	O、P	程序编号，子程序号的指定
程序段号	N	程序段顺序编号
准备功能	G	指令动作的方式
坐标字	X、Y、Z	坐标轴的移动指令
	A、B、C；U、V、W	附加轴的移动指令
	I、J、K	圆弧圆心坐标
进给速度	F	进给速度的指令
主轴功能	S	主轴转速指令 ( $r \cdot \min^{-1}$ )
刀具功能	T	刀具编号指令
辅助功能	M、B	主轴、冷却液的开关，工作台分度等
补偿功能	H、D	补偿号指令
暂停功能	P、X	暂停时间指定
循环次数	L	子程序及固定循环的重复次数
圆弧半径	R	实际是一种坐标字

#### 四、程序头

倘若注释或信息位于圆括号中，则可将它放置在程序中，这种内部文档对程序员和操作人员都大有帮助。程序顶部的一系列注释定义为程序头，程序头中定义了各种程序功能，下面的例子比较夸张，它包括了所有可能用在程序头中的术语：

```
(
_____
(文件名.....O1234.NC)
(最后修订日期.....15-10-01)
(最后修订时间.....19:55)
(程序员.....Peter Wang)
(机床.....OKK-VMC)
(控制器.....FANUC 21i)
(单位.....DJTU)
(加工编号.....4321)
(操作.....钻-镗-攻螺纹)
(毛坯材料.....H.R.S 金属板)
(材料尺寸.....8*6*3)
(程序原点.....X0-左边)
(.....Y0-底边)
(.....Z0-上表面)
(状态.....尚未校正)
_____)
```

程序中也会指定各刀具：

(\*\*\*T03-1/4-20 丝锥\*\*\*)

如果需要，也可添加其他一些操作人员使用的注释和信息。

## 五、典型程序结构

展示一个完整的程序还为时过早，但了解一下典型的程序结构是有益无害的。一个简单但典型的程序如下所示。

%	}	准备程序段
O0050;		
G50 X120.0 Z180.0;		
T0101;	}	加工程序段
S800 M03;		
G00 X25.0 Z2.0;		
G01 X30.0 Z5.0;		
.....	}	结束程序段
.....		
M05;		
M30;		
%		

一个完整的加工程序必须由三部分组成，即准备程序段、加工程序段和结束程序段。

### 1. 准备程序段

准备程序段是程序的准备部分，应位于加工程序段的前面，其内容一般包括：

- (1) 程序号：O01~O09 或 L01~L09，有的数控系统可以没有程序号；
- (2) 确定输入方式：G90 或 G91；
- (3) 刀具选取：T\_\_ M06 或 T\_\_；
- (4) 刀具的起始位置：G92 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ 或 G53 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_；
- (5) 主轴转速与旋转方向：S\_\_、M03 或 M04；
- (6) 切削液打开：M08；
- (7) 下刀位置：G00 X\_\_ Y\_\_；
- (8) 下刀深度：G00 Z\_\_；
- (9) 上刀方式：G01 G41/G42 D\_\_ X\_\_ Y\_\_ F\_\_。

### 2. 加工程序段

加工程序段是根据加工工艺确定的进给路线，是按切削点位顺序轨迹编写的控制刀具进给路径的程序段。

### 3. 结束程序段

结束程序段一般包括以下内容：

- (1) 退刀位置：G00 X\_\_ Y\_\_；

- (2) 取消刀具的补偿状态: G40 X\_ Y\_;
- (3) 主轴停转: M05;
- (4) 切削液关闭: M09;
- (5) 刀具快速返回起始位置或换刀位置: G00 X\_ Y\_ Z\_;
- (6) 程序结束: M02 或 M30。

## 2.3 主要功能指令

数控加工程序中，有两类主要功能指令：准备功能指令和辅助功能指令。

### 一、准备功能指令（G）

准备功能指令又称 G 代码指令，是使数控机床准备好某种运动方式的指令，如快速定位、直线插补、圆弧插补、刀具补偿、固定循环等。G 代码由地址字符 G 及其后的数字组成，如 G00、G99 等。不同的数控系统，G 代码的功能可能会有所不同。表 2-2、表 2-3 中仅给出一些常用的准备功能指令的意义，具体操作时，编程人员应以数控机床配置的数控系统书为准。

表 2-2 常见的铣削 G 代码

G 代码	说 明	G 代码	说 明
G00	快速定位	G52	局部坐标系设置
G01	直线插补	G53	机床坐标系设置
G02	顺时针圆弧插补	G54	工件坐标偏置 1
G03	逆时针圆弧插补	G55	工件坐标偏置 2
G04	暂停	G56	工件坐标偏置 3
G09	准备停检查	G57	工件坐标偏置 4
G10	可编程数据输入（数据设置）	G58	工件坐标偏置 5
G11	数据设置模式取消	G59	工件坐标偏置 6
G15	极坐标指令取消	G60	单向定位
G16	极坐标指令	G61	准确停检查模式
G17	选择 XY 平面	G62	自动拐角超程模式
G18	选择 ZX 平面	G63	攻丝模式
G19	选择 YZ 平面	G64	切削模式
G20	英制单位输入	G65	用户宏指令调用
G21	公制单位输入	G66	用户宏指令模式调用
G22	存储行程检查“开”	G67	用户宏指令模式调用取消
G23	存储行程检查“关”	G68	坐标系旋转
G25	主轴速度波动检测“开”	G69	坐标系旋转取消
G26	主轴速度波动检测“关”	G73	高速钻孔深孔钻循环



续表

G 代码	说 明	G 代码	说 明
G27	机床原点位置检查	G74	左旋攻丝循环
G28	返回机床原点（参考点1）	G76	精镗循环
G29	从机床原点返回	G80	固定循环取消
G30	返回机床原点（参考点2）	G81	钻孔循环
G31	跳过功能	G82	孔低暂停钻孔循环
G40	刀具半径补偿取消	G83	深孔钻循环
G41	刀具半径左补偿	G84	右旋攻丝循环
G42	刀具半径右补偿	G85	镗削循环
G43	刀具长度正补偿	G86	镗削循环
G44	刀具长度负补偿	G87	背镗循环
G45	位置补偿（单增加）	G88	镗削循环
G46	位置补偿（单减小）	G89	镗削循环
G47	位置补偿（双增加）	G90	绝对尺寸模式
G48	位置补偿（双减小）	G91	增量尺寸模式
G49	刀具长度偏置取消	G92	刀具位置寄存
G50	比例缩放功能取消	G98	固定循环返回到初始点
G51	比例缩放功能	G99	固定循环返回到 R 点

表 2-3 常见的车削 G 代码

G 代码	说 明	G 代码	说 明
G00	快速定位	G57	工件坐标偏置 4
G01	直线插补	G58	工件坐标偏置 5
G02	顺时针圆弧插补	G59	工件坐标偏置 6
G03	逆时针圆弧插补	G61	准确停检查模式
G04	暂停	G62	自动拐角倍率模式
G09	准备停检查	G64	切削模式
G10	可编程数据输入（数据设置）	G65	用户宏指令调用
G11	数据设置模式取消	G66	用户宏指令模式调用
G20	英制单位输入	G67	用户宏指令模式调用取消
G21	公制单位输入	G68	双转塔刀座镜像
G22	存储行程检查“开”	G69	双转塔刀座镜像取消
G23	存储行程检查“关”	G70	轮廓粗车循环
G25	主轴速度波动检测“开”	G71	轮廓 Z 轴方向粗车循环
G26	主轴速度波动检测“关”	G72	轮廓 X 轴方向粗车循环
G27	机床原点位置检查	G73	模式重复循环

续表

G 代码	说 明	G 代码	说 明
G28	返回机床原点 (参考点 1)	G74	钻孔循环
G29	从机床原点返回	G75	切槽循环
G30	返回机床原点 (参考点 2)	G76	车螺纹循环
G31	跳过功能	G90	切削循环 A (A 组)
G32	车螺纹 (固定导程)	G90	绝对指令 (B 组)
G35	顺时针螺纹切削循环	G91	增量指令 (B 组)
G36	逆时针螺纹切削循环	G92	螺纹切削循环 (A 组)
G40	刀尖圆弧半径补偿取消	G92	刀具位置寄存 (B 组)
G41	刀尖圆弧半径左补偿	G94	切削循环 B (A 组)
G42	刀尖圆弧半径右补偿	G94	每分钟进给 (B 组)
G50	刀具位置寄存/预设最大 r/min	G95	每转进给 (B 组)
G52	局部坐标系设置	G96	恒定表面速度模式
G53	机床坐标系设置	G97	r/min 直接输入 (CSS 模式取消)
G54	工件坐标偏置 1	G98	每分钟进给
G55	工件坐标偏置 2	G99	每转进给
G56	工件坐标偏置 3		

### 1. 程序段中的 G 代码

G 代码可以在同一程序段中使用几个准备功能，只要彼此没有逻辑冲突：

```
N25 G90 G00 G54 X6.75 Y10.5
```

这一程序书写方法要比单个程序段方法少几个程序段：

```
N25 G90;
N26 G00;
N27 G54;
N28 X6.75 Y10.5;
```

在连续程序处理中，两种方法看起来是一样的，然而在单段模式下运行时，第二个例子中的每一个程序段都需要按下循环启动键以使之有效。

程序段中除了别的数据，还有 G 代码的一些应用规则和总体考虑，其中最重要的就是模态问题。

#### (1) G 指令的模态

看如下的程序 (编程时)：

```
N3 G90 G00 X5.0 Y3.0
N4 X0
N5 Y20.0
N6 X15.0 Y22.0
N7 X13.0 Y10.0
```

注意快速运动指令 G00 在程序中出现的次数，它只在程序段 N3 中出现一次。事实上，绝对模式 G90 也是一样的。G00 和 G90 都不需要重复，原因就是它们第一次在程序中出现时就一直有效，这一特征可用术语“模态”来描述。

对于模态指令，它意味着必须一直保留某种模式，直到另一种模式将其取消。

因为大多数的 G 代码都是模态的，所以并不需要在每一程序段中重复使用。再看前面的例子，在程序运行过程中，控制器对它进行如下的编译（运行时）：

```
N3 G90 G00 X50.0 Y30.0
N4 G90 G00 X0.
N5 G90 G00 Y200.0
N6 G90 G00 X150.0 Y220.0
N7 G90 G00 X130.0 Y100.0
```

该程序只从一点快速移动到另一点，所以它并没有任何实用性，但它阐明了准备功能的模态。模态值的目的是为了 avoid 编程模式不必要的重复。G 代码的使用如此频繁，以致在程序中编写它们变得枯燥无味，幸好大多数的 G 代码只需使用一次。

## （2）程序段中的指令冲突

准备功能的目的是从两种或多种操作中选择一种。如果选择快速运动指令 G00，它就是关于刀具运动的专用指令。因为不可能同时进行快速运动和切削运动，所以要同时激活 G00 和 G01 是不可能的，这样一种组合会在程序段中引起冲突。如果在同一程序段中使用相互冲突的 G 代码，那么后一个代码有效。

```
N74 G01 G00 X3.5 Y6.125 F20.0
```

上面的例子中 G01 和 G00 指令相互冲突，因为 G00 在程序段中位于 G01 后，所以它将有效。该程序段中的进给率将被忽略。

```
N74 G00 G01 X3.5 Y6.125 F20.0
```

这个例子跟前面的例子截然相反，G00 位于前面，因此 G01 拥有优先权，并将以指定的进给率（20.0mm/min）进行切削运动。

## 2. 指令分组

G 代码在同一个程序段中相互冲突的例子带来了一个迫在眉睫的问题，这是很有必要考虑的一个问题，比如像 G00、G01、G02 和 G03 之类的运动指令，不能同时存在于同一个程序段中。但另一些准备功能的辨别就不是这么清晰了，比如刀具的长度偏置指令 G43 是否可以与刀具圆弧半径偏置指令 G41 或 G42 编写在同一程序段中。答案是肯定的，下面看看其原因。

FANUC 控制系统通过对准备功能分组来辨别它们，每个组称为 G 代码组，FANUC 为它们指定了两位数字的编号。在同一程序段中控制其共存的规则非常简单：如果同组中的两个或多个 G 代码存在于同一程序段中，那么它们相互冲突。

G 代码组的编号通常为 00~25，这一范围随着控制器模型特征的改变而改变，最新的控制器中或许需要更多 G 代码时，这一范围可能更大。其中最独特，可能也是最重要的一个是 00 组。

00 组中所有准备功能都不是模态的，有时也用“非模态”来描述。它们只在所在的程序段中有效，如果需要在连续几个程序段中使用，则必须在每一个程序段中编写它们。在大多数的非模态指令中，这一重复使用并不频繁。

表 2-4 是 FANUC 控制系统的典型指令分组，在表格的“类型”栏中，用字母 M 和 T 分别表示铣削和车削控制器的应用。

表 2-4 FANUC 控制系统指令分组

组	说 明	G 代码	类 型
00	非模态 G 代码	G04 G09 G10	M/T
		G11 G27 G28 G29	M/T
		G30 G31 G37	M/T
		G45 G46 G47 G48	M/T
		G52 G53 G65	M/T
		G51 G60 G92	M
		G50	T
		G70 G71 G72 G73	T
		G74 G75 G76	T
01	运动指令，切削循环	G00 G01 G02 G03	M/T
		G32 G35 G36	T
		G90 G92 G94	T
02	平面选择	G17 G18 G19	M
03	尺寸模式	G90 G91	M
		(车床为 U 和 W)	T
04	存储行程	G22 G23	M/T
05	进给率	G93 G94 G95	T
06	输入单元	G20 G21	M/T
07	刀具半径偏置	G40 G41 G42	M/T
08	刀具长度偏置	G43 G44 G49	M
09	循环	G73 G74 G76 G80	M
		G81 G82 G83 G84	M
		G85 G86 G87 G88	M
		G89	M
10	返回模式	G98 G99	M
11	比例缩放取消，镜像	G50	M
		G68 G69	T
12	坐标系	G54 G55 G56 G57	M/T
		G58 G59	M/T

续表

组	说 明	G 代码	类 型
13	切削模式	G61 G62 G64	M/T
		G63	M/T
14	宏指令模式	G66 G67	M/T
16	坐标旋转	G68 G69	M
17	CSS	G96 G97	T
18	极坐标输入	G15 G16	M
24	主轴速度波动	G25 G26	M/T

所有情况下，组的关系都有着极其重要的意义。一个可能的例外是 01 组中的运动指令和 09 组的循环，这两组的关系如下：如果指定 01 组中的 G 代码到 09 组中的任何固定循环中，循环将立即取消，但反之不然，换句话说，固定循环不会取消激活的运动指令。

01 组不受 09 组中的 G 代码影响。总结为：任何 G 代码都将自动取代同组中的另一 G 代码。

## 二、辅助功能指令（M）

### 1. 常用的辅助功能指令

辅助功能指令又称 M 代码指令，主要用于数控机床开、关量的控制，如主轴的正、反转，切削液的开、关，工件的夹紧、松开，程序的结束等。数控机床控制系统常用的辅助功能指令见表 2-5、表 2-6。

表 2-5 常见的铣削 M 代码

代 码	说 明	代 码	说 明
M00	强制停止程序	M19	主轴定位
M01	可选择停止程序	M30	程序结束（通常需要重启和倒带）
M02	程序结束（通常需要重启，不需要倒带）	M48	进给率倍率取消“开”
M03	主轴正转	M49	进给率倍率取消“开”
M04	主轴反转	M60	自动托盘交换（APC）
M05	主轴停	M78	B 轴夹紧（非标准）
M06	自动换刀（ATC）	M79	B 轴松开（非标准）
M07	冷却液喷雾开	M98	子程序调用
M08	冷却液“开”	M99	子程序结束
M09	冷却液“关”		

表 2-6 常见的车削 M 代码

代 码	说 明	代 码	说 明
M00	强制停止程序	M19	主轴定位（可选择）
M01	可选择停止程序	M21	尾架向前

续表

代 码	说 明	代 码	说 明
M02	程序结束（通常需要重启，不需要倒带）	M22	尾架向后
M03	主轴正转	M23	螺纹逐渐退出“开”
M04	主轴反转	M24	螺纹逐渐退出“关”
M05	主轴停	M30	程序结束（通常需要重启和倒带）
M07	冷却液喷雾开	M41	低速齿轮选择
M08	冷却液“开”	M42	中速齿轮选择 1
M09	冷却液“关”	M43	中速齿轮选择 2
M10	卡盘夹紧	M44	高速齿轮选择
M11	卡盘松开	M48	进给率倍率取消“关”
M12	尾架顶尖套筒进	M49	进给率倍率取消“开”
M13	尾架顶尖套筒退	M98	子程序调用
M17	转塔向前检索	M99	子程序结束
M18	转塔向后检索		

在一个程序段中只能指令一个 M 代码，如果在一个程序段中同时指令了两个或两个以上的 M 代码，则只有最后一个 M 代码有效，其余的 M 代码均无效。通常辅助功能 M 代码是以地址 M 为首，后跟两位数字组成的。不同厂家和不同的机床，M 代码的书写格式和功能不尽相同，需以厂家的说明书为准。

## 2. 控制程序辅助功能

控制程序处理的辅助功能，既可以暂时中断处理（在程序中部），也可以永久地中断处理（在程序末尾）。

### （1）程序停止（M00）

M00 功能定义为无条件停止或强制程序停止。程序执行中的任何时刻，只要控制系统遇到这一功能，将停止机床所有的自动操作：

- ① 所有轴的运动；
- ② 主轴的旋转；
- ③ 冷却液功能；
- ④ 程序的进一步执行。

处理 M00 时，控制器不会重启，所有当前有效的重要数据（进给率、坐标设置、主轴速度等）都将保留下来，只有激活“循环开始键”才可以恢复程序处理。M00 功能将取消主轴旋转和冷却液功能，因此必须在后续程序段中对它们进行重复编写。

M00 功能可以编写在单独的程序段中，也可以在包含其他指令的程序段中编写，通常是轴的运动。如果 M00 功能与运动指令编写在一起，程序停止将在运动完成后才有效。

- ① 将 M00 编写在运动指令后：

```
N38 G00 X13.562
N39 M00
```

## ② 将 M00 与运动指令编写在一起:

```
N39 G00 X13.562 M00
```

两种情况下，运动指令将在程序停止执行前完成，其区别只在于程序段处理的模式。在自动处理模式下，它们并没有实质性的区别。

对程序停止功能的使用使得 CNC 操作人员的工作更加轻松。它在许多工作中都是有用的，一个常见的用途是对机床上尚未卸下来的工件进行检查，也可以在停止过程中检查工件尺寸和刀具状况。此外，也可以在另一操作开始前排除堆积在镗削或钻削出的孔中的切屑，比如盲孔攻丝。要在程序的中部改变当前设置，也需要程序停止功能，例如工件的反转。程序中的手动换刀也需要 M00 功能。

程序处理过程中，只在手动干涉时使用程序停止功能 M00。

## (2) 程序选择停 (M01)

辅助功能 M01 是可选择或有条件的程序停止。它和 M00 功能相似，但有一个地方不同，即在程序中遇到 M01 功能时，不会停止程序处理，除非操作人员通过控制面板进行干涉。可选择程序停止开关或按钮位于面板上，它可设为“开”或“关”状态。当处理程序中的 M01 功能时，开关的设置将决定程序是暂时停止还是继续进行，如表 2-7 所示。

表 2-7 程序选择停

可选择程序停止开关设置	M01 的结果	可选择程序停止开关设置	M01 的结果
开	停止处理	关	不停止处理

如果没有编写 M01 功能，可选择停止开关的设置则是无关紧要的。通常，在生产过程中应该位于“关”位置。

激活 M01 功能时，它的运转方式跟 M00 功能一样，所有轴的运动、主轴旋转、冷却液功能和任何进一步的程序执行都将暂时中断，而进给率、坐标设置、主轴速度等设置保持不变，程序的进一步执行只有通过循环开始键来重新激活。M00 功能的所有编程规则也适用于 M01 功能。

## (3) 程序结束 (M02 和 M30)

每一个程序必须包括一个定义当前程序结束的特殊功能。有两个 M 功能可实现该目的——M02 和 M30。这两个功能相似，但其作用截然不同。M02 功能将终止程序，但不会回到程序开头的第一个程序段；M30 功能同样终止程序，但它将回到程序开头。

当控制器读到程序结束功能 M02 或 M30 时，便取消所有轴的运动、主轴旋转、冷却液功能，并且通常将系统重新设置到默认状态。一些控制器中，重新设置不是自动的，任何程序员都要意识到这一点。

如果以 M02 功能结束程序，控制器停留在程序末尾，并准备开始下一循环。现代 CNC 设备上完全不需要 M02，向后兼容情况例外。除了 M30 外，M02 功能也可用在那些使用不带盘的磁带阅读机和短的循环磁带的机床上（主要是 NC 车床）。

编写程序时，为了得到比较满意的结果，一定要确保程序最后的程序段只包含 M30（可以使用顺序程序段来开始程序段）：

```
N65 ...
```

```
N66 G91 G28 X0 Y0
N67 M30          (程序结束)
%
```

有些控制器中，M30 可以和轴的运动一起使用，但并不推荐这种方法！

```
N65 ...
N66 G91 G28 X0 Y0 M30
%
```

M30 后的百分号 (%) 是特殊的停止代码，这一符号终止从外部设备上装载程序，它也叫做文件结束标记。

#### (4) 冷却液功能 (M07、M08、M09)

大多数的金属切削操作均需要用合适的冷却液来喷洒切削刀具。为了在程序中控制冷却液的流量，通常可使用以下三种辅助功能，如表 2-8 所示。

表 2-8 冷却液功能

M07	喷雾“开”	M09	喷雾或喷液“关”
M08	喷液“开”		

喷雾是少量切削液和压缩空气的混合物。该功能是否为特定机床的标准功能，将取决于机床生产厂家。一些生产厂家只用空气或者切削液等代替切削液和空气的混合物，这样的情况下，通常需要在机床上固定一个附加设备。如果该功能是机床上的选项，那么用来激活喷雾或空气的最常见辅助功能是 M07。

M08 功能（冷却液喷注）与 M07 相似，它在 CNC 编程中的应用更为常见。实际上，它是所有 CNC 机床的标准功能。冷却液（通常是可溶性油和水的适当混合物）要预先调配好，并将之存储到机床的冷却液罐中。冷却液一定要喷在刀具的切削刃上，主要出于以下三个原因：散热、排屑、润滑。

在刀具开始趋近工件和最终返回换刀位置的过程中，通常不需要冷却液。可使用 M09 功能（冷却液关）来关掉冷却液功能，它只能关掉油雾或喷注。实际上，M09 将关掉冷却液泵马达。

三种跟冷却液相关的功能中的任何一种，都可以编写在单独程序段中，或与轴的运动一起编写。程序处理中的顺序和时间选择区别很小，但是却很重要，下面的例子说明了其区别。

#### 【例 2-1】 打开油雾

```
N110 M07
```

#### 【例 2-2】 打开喷液

```
N340 M08
```

#### 【例 2-3】 关掉冷却液

```
N500 M09
```

#### 【例 2-4】 轴运动并打开冷却液



N230 G00 X11.5 Y10.0 M08

### 【例 2-5】 轴运动并关掉冷却液

N400 G00 Z1.0 M09

这些例子说明了程序处理过程中的区别，冷却液编程的总体规则是：

- ① 单独程序段中的冷却液“开”或“关”，在它所在程序段中有效（例 2-1、2-2 和 2-3）；
- ② 冷却液“开”和轴的运动编写在一起时，将和轴的运动同时有效（例 2-4）；
- ③ 冷却液“关”和轴的运动编写在一起时，只有在轴运动完成以后才有效（例 2-5）。

## 三、主轴控制

两种类型的 CNC 机床，加工中心和车床，都是利用主轴旋转来切除工件上多余的材料，它们可能是切削刀具或工件自身的旋转。两种情况下，应该由程序来严格控制机床主轴和切削刀具切削的进给率。这些 CNC 机床需要一些指令来选择适当的机床主轴转速和给定的切削进给率。

### 1. 主轴功能（S）

CNC 系统中，由地址 S 控制与主轴转速相关的程序指令，S 地址的编程范围是 1~9999，且不能使用小数点：S1~S9999。

对许多高速 CNC 机床，高达五位数的主轴转速也是常见的，其 S 地址的范围为 1~99999：S1~S99999。

控制器中的最大可用主轴转速范围通常必须大于机床自身的最大主轴转速范围。实际上，所有控制系统支持的主轴转速要比 CNC 机床允许的主轴转速高得多。主轴转速编程时，通常是机床限制主轴转速，而不是控制系统。

地址 S 跟主轴功能相关，在 CNC 程序中必须为它指定一个数值，至于主轴功能的数值（输入）究竟如何，有以下几种选择。

- ① 主轴转速代码号：老式控制器——已经淘汰。
- ② 直接主轴转速：转/分钟（r/min）。
- ③ 主轴切向速度（圆周速度）：英寸/分钟（in/min）或米/分钟（m/min）。

主轴转速符号 S 自身并不足以用来编程，除了选择主轴转速地址，还需要某些附属特征，这就是控制主轴功能环境的特征。例如，如果程序中指定主轴转速为 S400，该编程指令并不完整，因为程序中只有主轴功能本身，它并不包含控制系统所需的主轴数据的所有信息。主轴转速值已经设定，例如 400r/min、400m/min 或 400in/min（这取决于加工应用），但并不包括所有所需的信息，即主轴旋转方向。

### 2. 主轴旋转功能（M03、M04）

大多数的机床主轴可以沿两个方向旋转：顺时针和逆时针方向，这取决于使用的切削刀具的类型和设置。除了主轴转速功能，还必须在程序中指定主轴旋转方向。控制系统提供了两种主轴方向的辅助功能：M03 和 M04。

主轴的旋转方向通常跟机床主轴一侧确定的视点有关，机床的该部分包含主轴，通常称为床头箱。从床头箱区域沿主轴中心线方向观看它的端面，则可确定定义主轴顺时针旋转

(CW) 和逆时针旋转 (CCW) 的正确视点。图 2-3 为立式数控铣床主轴旋转方向的判断。图 2-4 为数控车床主轴旋转方向的判断。

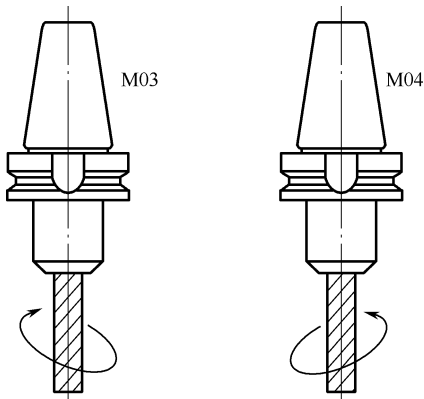


图 2-3 立式数控铣床主轴旋转方向

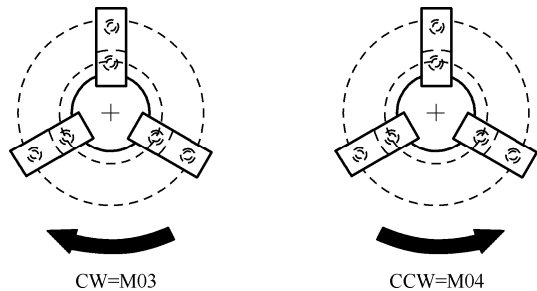


图 2-4 数控车床主轴旋转方向 (从主轴箱观看)

如果主轴顺时针旋转，则程序中使用 M03；如果是逆时针旋转，则程序中使用 M04。

主轴地址 S 和主轴旋转功能 M03 或 M04 必须同时使用，只使用其中一个对控制器没有任何意义，尤其是在接通机床电源时。主轴转速和主轴旋转编程至少有两种正确方法：

- ① 如果将主轴转速和主轴旋转方向编写在同一程序段中，主轴转速和主轴旋转方向将同时有效；
- ② 如果将主轴转速和主轴旋转方向编写在不同程序段中，主轴将不会旋转，直到将转速和旋转方向指令都处理完毕。

下面的例子展示了程序中多种主轴转速和主轴旋转方向的正确启动方法。无论是通过前面的程序设置还是手动数据输入 (MDI) 设定，所有例子都假定没有激活主轴转速 S 的设定。打开机床电源时，CNC 机床上并无寄存的或默认的主轴转动。

#### 【例 2-6】 在铣削中的应用

```
N1 G20
N2 G17 G40 G80
N3 G90 G00 G54 X14.0 Y9.5
N4 G43 Z1.0 H01 S600 M03
N5 ...
```

该例子是在铣削中应用较好的格式，它将主轴转速和主轴旋转方向与趋近工件的 Z 轴运动设置在一起。同样流行的方法是通过 XY 运动来启动主轴，如下面例子中的 N3。

```
N3 G90 G00 G54 X14.0 Y9.5 S600 M03
```

怎么选择凭个人的喜好了，对于 FANUC 控制器，G20 并不一定要放在单独程序段中。

#### 【例 2-7】 在铣削中的应用

```
N1 G20
N2 G17 G40 G80
N3 G00 G90 G54 X14.0 Y9.5 S600
N4 G43 Z1.0 H01 M03
N5 ...
```