

常见数控系统宏程序编程方法、技巧与实例

华中数控系统宏程序编程 方法、技巧与实例

叶海见 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

常见数控系统宏程序编程方法、技巧与实例

华中数控系统宏程序 编程方法、技巧与实例

叶海见 金维法 何财林 编著



机械工业出版社

本书围绕当前常见的 HNC—21/22M 华中世纪星数控系统的宏程序程序设计展开。全书分两篇共 11 章。第 1 篇（第 1~3 章）为华中数控系统编程基础知识，介绍常规手工编程方法及应用实例，作为手工编程入门指导。第 2 篇（第 4~11 章）为华中数控系统宏程序编程相关知识，首先介绍编制宏程序所需基础知识，阐述华中数控系统宏指令调用格式和特点；之后给出编制宏程序的流程图，重点介绍借助 UG 软件绘制工程曲线和进行坐标旋转及平移变换；最后详尽剖析典型零件宏程序编程技巧，同时列举了大量编程实例。

本书是一本实用性非常强的数控编程技术用书，可供数控行业的工程技术人员、数控加工编程及操作人员参考，也可供各类大中专院校、技工学校机电一体化专业、数控专业及相关专业的师生使用。本书还可作为各类竞赛和国家职业技能鉴定数控高级工、数控技师、高级技师的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

华中数控系统宏程序编程方法、技巧与实例/叶海见等编著. —北京：机械工业出版社，2013. 1

（常见数控系统宏程序编程方法、技巧与实例）

ISBN 978-7-111-40144-5

I. ①华… II. ①叶… III. ①数控机床—程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 249008 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：周国萍 责任编辑：周国萍 王彦青

版式设计：霍永明 责任校对：刘 岚

封面设计：路恩中 责任印制：乔 宇

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·12.25 印张·208 千字

0001—2500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-40144-5

定价：36.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

策划编辑（010）88379733

电话服务

网络服务

社服 务 中 心：（010）88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部：（010）68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部：（010）88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：（010）88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着计算机技术、控制技术的迅猛发展以及产品更新换代的加快，数控机床的应用范围更加广泛，在机械加工中的应用也日益普遍。实际生产中，数控车床和数控铣床是应用最多的两类机床，国内常用的数控系统是华中、FANUC、SIEMENS 等。

目前，各数控系统厂家所提供的宏程序、参数编程功能并没有得到广泛应用。而且，市场上介绍此功能的书籍也相对较少。鉴于此，编者通过理论梳理，并把亲身实践的、在机床加工中成功运用的实例编写成书，奉献给广大读者，帮助读者提高编程的方法及技巧。本书虽只针对华中数控系统编写，但书中内容也适用于其他数控系统编制宏程序时参考。

本书详细讲解了借助 UG 软件绘制工程曲线和进行坐标旋转及平移变换的知识，使宏程序编程变得更加易于理解。

参加本书编写的有叶海见、金维法、何财林，都是来自教学第一线的老师，也都是数控加工技师，同时又是多次全国数控技能大赛的导师或选手，具有丰富的数控编程及加工经验。

本书在编写过程中得到了浙江工业职业技术学院丁昌滔、胡晓东两位老师的大力支持，在此表示感谢。

由于编者水平所限，书中如有不足之处，敬请使用本书的读者批评指正，以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向编著者（shukong18@sina.com）踊跃提出宝贵意见。

编著者

目 录

前言

第 1 篇 华中数控系统编程基础知识

第 1 章 数控机床及加工程序编制	课后习题	31
概述		2
1.1 数控加工和数控机床概述		2
1.2 数控机床坐标系		3
1.3 数控加工程序的基本概念		6
1.4 辅助功能 M 代码		10
第 2 章 数控车床加工程序		
编制		12
2.1 准备功能 G 代码		12
2.2 数控车床刀具补偿功能		22
2.3 数控车削加工实例		26
第 3 章 数控铣床加工程序		
编制		33
3.1 程序原点的设置与偏移		33
3.2 准备功能 G 代码		37
3.3 刀具半径补偿		48
3.4 简化编程		54
3.5 固定循环		61
3.6 数控铣削加工实例		65
课后习题		70

第 2 篇 华中数控系统宏程序编程

第 4 章 宏程序编程基础		74
4.1 非圆曲线数学表达式		74
4.2 加工原理		75
课后习题		76
第 5 章 华中世纪星数控系统宏		
指令编程		77
5.1 宏变量及常量		77
5.2 运算符与表达式		79
5.3 语句表达式		79
5.4 编程设计流程		82
课后习题		82
第 6 章 UG NX 环境下曲线方程式		
的应用		84
6.1 公式转换		84
6.2 输入公式		85
6.3 绘制曲线图形		87
课后习题		90
第 7 章 常用工程曲线		92
7.1 三角函数曲线		92
7.2 圆锥曲线		94
7.3 螺旋曲线		98
7.4 星形线		100
7.5 齿轮渐开线		101
7.6 其他曲线		104

课后习题	109	10.1.2 六棱台宏程序编制	149
第 8 章 坐标变换	110	10.2 倒角类零件宏程序编制	152
8.1 平移变换	110	10.2.1 固定圆角四棱槽宏程序 编制	152
8.2 旋转变换	110	10.2.2 变圆角宏程序编制	154
8.3 实例验证	111	10.2.3 固定倒角宏程序编制	157
课后习题	114	10.3 球面类零件宏程序编制	158
第 9 章 数控车床宏程序编制	115	10.3.1 半球宏程序编制	158
9.1 简单椭圆类零件数控车床宏程序 编制	115	10.3.2 半椭圆宏程序编制	160
9.1.1 直角坐标方式编程	115	课后习题	163
9.1.2 参数方程方式编程	118	第 11 章 数控铣床宏程序应用	
9.1.3 加工实例	120	实例	164
9.2 倾斜圆锥曲线宏程序编制	123	11.1 圆盘孔系零件加工	164
9.2.1 倾斜椭圆	123	11.2 变圆角加工	165
9.2.2 倾斜抛物线	129	11.3 扭转曲面加工	168
9.2.3 倾斜双曲线	133	11.4 相贯线曲面加工	171
9.3 倾斜正弦曲线宏程序编制	138	11.5 正弦曲线加工	173
9.4 螺纹加工	139	11.6 三足圆鼎加工	176
9.4.1 椭圆槽螺纹	140	课后习题	180
9.4.2 变导程螺纹	142	附录	182
课后习题	144	附录 A FANUC 系统 G 代码	182
第 10 章 数控铣床宏程序编制		附录 B FANUC 系统与华中系统区别较大 的相关指令用法简介	185
入门	147	参考文献	188
10.1 多棱台宏程序编制	147		
10.1.1 四棱台宏程序编制	148		

第 1 篇

华中数控系统编程基础知识

第1章 数控机床及加工程序编制概述

1.1 数控加工和数控机床概述

数控加工是指对产品、零件的制造过程利用计算机进行数字控制的加工，是机械制造中的先进加工技术。数控加工的广泛应用给机械制造业的生产方式、产品结构、产业结构都带来了深刻的变化，是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。

采用数控加工，离不开必要的硬件设施——数控机床，数控机床为数控加工提供了必要的加工环境。

数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物，是典型的机电一体化产品。在数控机床上，工件加工全过程由数字指令控制，它不仅能提高产品的质量、生产效率，降低生产成本，而且还能大大改善工人的劳动条件。数控机床的分类有多种形式，按加工方式和工艺用途分为数控车床、数控铣床、加工中心，如图1-1~图1-3所示。

数控机床由程序及程序载体、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，工作原理如图1-4所示。

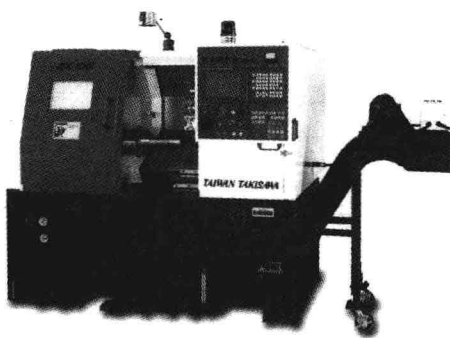


图1-1 数控车床

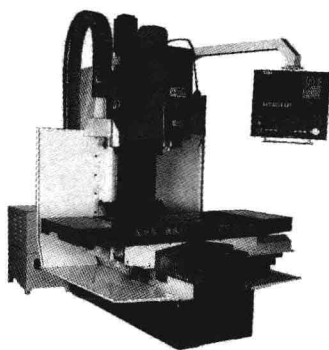


图1-2 数控铣床

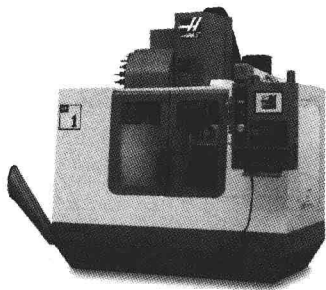


图 1-3 加工中心

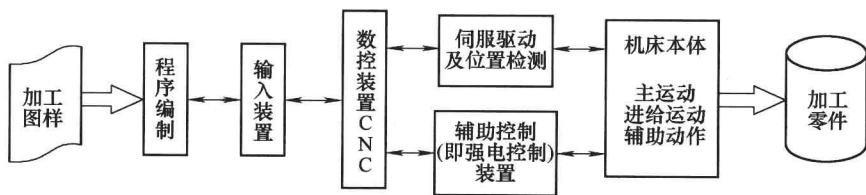


图 1-4 数控机床工作原理图

1.2 数控机床坐标系

机床的运动形式是多种多样的，为了描述刀具与零件的相对运动、简化编程，我国根据 ISO 标准统一规定了数控机床坐标轴的代码及其运动方向（华中数控系统按国标执行，下文不作说明）。

1. 命名原则

由于机床运动结构设计的不同，有些机床是刀具运动，零件不动；有些机床是刀具固定，零件运动。为了编程方便，一律规定为零件固定不动，刀具运动。并且将刀具远离工件的方向规定为坐标轴的正方向。

2. 机床坐标系

机床坐标系主要有 X、Y、Z 三个移动轴，并附加 A、B、C 三个旋转轴组成。X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡儿直角坐标系决定。伸开右手，拇指、食指、中指相互垂直，拇指为 X 轴的正方向，食指为 Y 轴的正方向，中指为 Z 轴的正方向，如图 1-5 所示；A、B、C 三个旋转轴可由右手螺旋法则来判别，拇指指向对应的移动轴正向，四指的旋向即旋转轴的正方向，如图 1-5 所示。

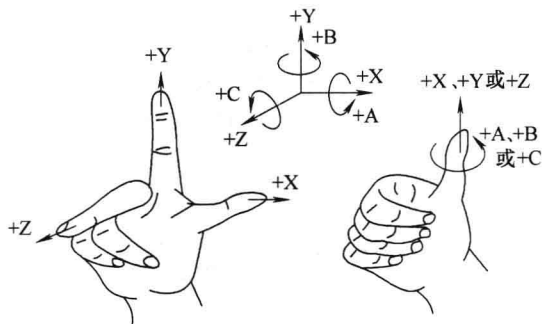


图 1-5 笛卡儿坐标系

3. 机床坐标轴的确定

在数控机床上，机床的动作是由数控装置来控制的，为了确定数控机床上运动的位移和方向，必须在机床上建立机床坐标系来作为机床运动位移和方向的基准，这个坐标系被称为机床坐标系。

在确定机床坐标轴时，一般先确定 Z 轴，然后确定 X 轴和 Y 轴，最后确定其他轴。

(1) Z 轴

一般规定平行于机床主轴轴线的坐标轴为 Z 轴，其正向为刀具离开工件的方向，如图 1-6 ~ 图 1-8 所示。

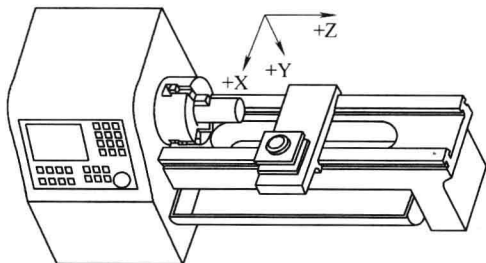


图 1-6 前置刀架数控车床坐标系

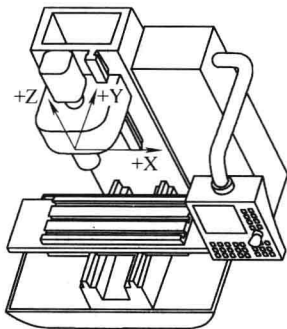


图 1-7 数控铣床坐标系

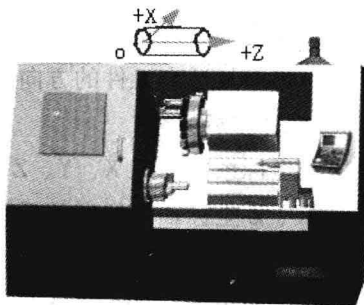


图 1-8 后置刀架数控车床坐标系

(2) X 轴

X 轴是水平的, 平行于工件的装夹面, 且垂直于 Z 轴。这是刀具在工件定位平面内运动的主要坐标。对于工件旋转的机床 (如车床、磨床等), X 坐标的方向是在工件的径向上, 且平行于横滑座。刀具离开工件旋转中心的方向为 X 轴正方向。对于刀具旋转的机床 (铣床、镗床、钻床等), 如果 Z 轴是垂直的, 当从刀具主轴向立柱看时, X 运动的正方向指向右; 如果 Z 轴是水平的, 当从主轴向工件方向看时, X 轴的正方向指向右。

(3) Y 轴

Y 轴方向根据已确定的 Z 轴、X 轴方向, 用右手笛卡儿坐标系来确定。

(4) 旋转运动

围绕坐标轴 X、Y、Z 轴旋转的运动, 分别用 A、B、C 表示。它们的正方向用右手螺旋法则判定。

4. 机床零点和机床参考点

机床坐标系是机床固有的坐标系, 机床坐标系的原点也称为机床原点或机床零点。在机床经过设计、制造和调整, 这个原点便被确定下来, 它是固定的点。数控装置上电时并不知道机床零点, 每个坐标轴的机械行程是由最大和最小限位开关来限定的。为了正确地在机床工作时建立机床坐标系, 通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点 (测量起点), 机床启动时, 通常要进行机动或手动回参考点, 以建立机床坐标系。机床参考点可以与机床零点重合, 也可以不重合, 通过参数指定机床参考点到机床零点的距离。机床回到了参考点位置, 也就知道了该坐标轴的零点位置, 找到所有坐标轴的参考点, CNC 就建立起了机床坐标系。对编程人员来说, 可以认为机床零点与机床参考点重合, 开机回机床参考点, 建立机床坐标系。一般情况下, 机床参考点位置在各坐标轴正向的最大位置。

5. 工件坐标系、程序原点、对刀点和换刀点

工件坐标系是编程人员在编程时使用的, 编程人员选择工件上的某一已知点为原点 (也称程序原点), 建立一个新的坐标系, 称为工件坐标系 (坐标系方向与机床坐标系方向一致)。工件坐标系一旦建立便一直有效, 直到被新的工件坐标系所取代。工件坐标系的原点选择要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件。一般情况下, 程序原点应选在尺寸标注的基准或定位基准上。对车床编程而言, 程序原点选在工件轴线与工件的前端面、后端面、卡爪前端面的交点上; 对铣床编程而言, 以坐标式尺寸标注的零件, 程

序原点应选在尺寸标注的基准点；对称零件或以同心圆为主的零件，程序原点应选在对称中心线或圆心上，Z 轴的程序原点通常选在工件的上表面。

对刀点是工件在机床上找正夹紧后，用于确定程序原点在机床坐标系中位置的基准点。对刀的目的是确定程序原点在机床坐标系中的位置，对刀点可与程序原点重合，也可在任何便于对刀之处，但该点与程序原点之间必须有确定的坐标联系。

根据工艺需要，要用不同参数的刀具加工工件，在加工中按需要更换刀具的过程叫换刀，换刀点应选择换刀时工件、夹具、刀具、机床相互之间没有任何的碰撞和干涉的位置上。加工中心有刀库和自动换刀装置，根据程序的需要可以自动换刀，其换刀点往往是固定的。

1.3 数控加工程序的基本概念

1. 程序结构

零件程序是一组被传送到数控装置中的指令和数据，是由遵循一定结构、句法和格式的若干个程序段组成。一个完整的加工程序一般包括程序号、程序内容和程序结束三部分。

举例说明：

O0001;	程序号
%0001;	程序开始符号
N1 G90 G54 G00 X0 Y0;	第一程序段
N2 S800 M03;	第二程序段
N3 Z100.0	
N4 Z5.0;	
N5 G01 Z-10.0 F100;	
N6 G41 X5.0 Y5.0 D1 F200;	
⋮	
N11 G40 X0 Y0;	
N12 G00 Z100.0;	
N13 M05;	
N14 M30;	程序结束

1) 程序号 程序号是程序的开始符，供在数控装置存储器中的程序查找

与调用。程序号由地址符和四位编号数字组成，如上例中的地址符“O”和编号数字0001。用“%”表示程序的开始。

2) 程序内容 程序内容是整个数控程序的核心部分，记录了零件的加工指令，包括程序序号（通常省略）、准备功能指令、刀具运动轨迹坐标和各种辅助功能指令。

3) 程序结束 一般用辅助功能指令 M30（程序结束并返回起点）或 M02（程序结束）来表示整个程序的结束。

注：可以用（）来进行程序段内容注释或在分号“;”后面直接进行程序段的注释。如：N5 S600 M03；主轴顺时针旋转

N5 S600 M03（主轴顺时针旋转）

在数控程序段中包含的主要指令字符及意义见表 1-1。

表 1-1 地址码字符及意义

地址码	意义	地址码	意义
A	关于 X 轴的角度尺寸	O (%)	程序编号
B	关于 Y 轴的角度尺寸	P	子程序编号或暂停时间指定 (s)
C	关于 Z 轴的角度尺寸	Q	固定循环参数
D	刀具半径的偏置号	R	圆弧半径或固定循环参数
F	进给速度的指定	S	主轴旋转速度的指定
G	准备功能	T	换刀指令
H	刀具长度偏置号	U	X 轴的相对坐标
I	圆心相对于起点在 X 轴方向的坐标值或固定循环参数	V	Y 轴的相对坐标
J	圆心相对于 Y 轴起点的坐标值或螺旋线导程	W	Z 轴的相对坐标
K	圆心相对于 Z 轴起点的坐标值或螺旋线导程	X	X 轴方向的主运动坐标
L	子程序或固定循环的重复次数	Y	Y 轴方向的主运动坐标
M	辅助功能	Z	Z 轴方向的主运动坐标
N	程序段号		

2. 程序段格式

一个程序段由一个或若干个指令字组成，每个指令字又由地址符和数字组成（数字前可以有 ± 号构成数值量）。指令字代表某一信息单元，它代表机床的一个位置或一个动作。可变程序段指程序段的长度可变。一个程序段是以程序段的序号开始，后跟功能指令，由结束符号结束（如用符号“;”或

“LF”)。

可变程序段格式见表 1-2。

表 1-2 可变程序段格式

N_	G_	X_Y_Z	F_	S_	T_	M_	LF (或;)
程序段号	准备功能	坐标字	进给功能	主轴转速功能	换刀功能	辅助功能	程序段结束符

如: N20 G90 G17 G54 G00 Z100 S800 M03;

值得注意的是, 可变程序段中各字的先后排列顺序并不严格, 不需要的字以及与上一程序段相同的继续使用的字可以省略; 数据的位数可多可少, 如: G01 等同于 G1。但同一性质的功能指令字不允许在同一程序段中出现。

1) 程序段号 (简称顺序号) 通常用标识符号“N”和数字表示。如: N02、N20 等。序号不一定连续, 可适当跳跃。顺序号一般都以从小到大的顺序排列, 在实际加工中不参与加工, 只是为了便于程序的编程、检查、修改方便。华中 CNC 系统不要求程序段号, 即程序段号可有可无。

2) 准备功能 (简称 G 功能) 它由准备功能地址符“G”和数字组成, 如: G01, 表示直线插补功能。

3) 坐标字 由坐标地址符 (如 X、Y、Z 等) 及数字组成, 且按一定的顺序进行排列。坐标字表示刀具在指定的坐标轴上给定方向和数量运动到坐标字所表示的位置。比如 100、100. 和 100.0 数值, 有些数控系统会将 100 视为 100 μ m, 而不是 100mm, 而写成 100. 或 100.0 则均被认为是 100mm。

4) 进给率 F 表示刀具轨迹速度, 是所有移动坐标轴的速度的矢量和。坐标轴速度是刀具轨迹在坐标轴上的分矢量。进给率 F 在 G01、G02、G03 插补方式有效, 并一直有效, 直到被新的进给率 F 替代为止, 而工作在 G00、G60 方式下, 快速定位的速度是各轴的最高速度, 与所编 F 无关。

进给率由进给地址符“F”及数字组成, 数字表示所选定的进给速度, 其单位取决于直线进给率 G94 (mm/min) 和旋转进给率 G95 (mm/r) 指令的设置。在 F 值为整数值时, 可以省略小数点后的数据, 如 F100。

编程举例:

N10 G94 F200; 进给量 + 单位 mm/min

:

N20 S200 M03; 主轴正向旋转

N22 G95 F2.5; 进给量 + 单位 mm/r

注意：G94 和 G95 更换时要求写入一个新的进给率，且使用旋转进给率 G95 时只有主轴旋转才有意义。

同时可以借助操作面板上的倍率按键，F 可在一定范围内进行倍率修调。当执行螺纹切削指令时，倍率开关失效，进给倍率固定在 100%。

5) 主轴转速功能 S 由主轴地址符“S”及数字组成，数字表示主轴转速，单位为 r/min。主轴旋向、主轴运动起始点和终止点由 M 指令指定（参见“辅助功能 M”）。

当 S 值为整数值时，可以省略小数点后的数据，如 S625。如果程序段中不仅有 M03 或 M04 指令，而且还写有坐标轴运动指令，则 M 指令在坐标轴运动之前生效。

编程举例：

```
⋮  
N10 G01 X10 Y20 F200 S560 M03; 在 X、Y 轴运动之前，主轴以  
560r/min 的速度顺时针启动  
⋮  
N60 S1000; 主轴改变速度为 1000r/min  
⋮  
N80 G00 Z100 M05; Z 轴运动，主轴停止  
⋮
```

S 是模态指令，S 功能只有在主轴速度可调节时有效。同时 S 也可以借助操作面板上的倍率按键，可在一定范围内进行倍率修调。

6) 换刀功能 T 由地址符“T”及数字组成，用于刀具的选择。刀具的选择有两种方式：

① 用 T 指令直接更换刀具，比如：数控车床中常用的刀具转塔刀架，用 T0101、T0202 表示。

② 用 T 指令预选刀具，再配合 M06 换刀指令进行刀具的更换，用在加工中心上（参见“辅助功能 M”）。

需要说明的是，T0 号没有刀具，有些系统定义为刀具还刀指令。

T 指令被调用时，同时调入刀补寄存器中的刀补值（刀补长度 H 和刀补半径 D）。T 指令为非模态指令，但被调用的刀补值一直有效，直到再次换刀调入新的刀补值。

7) 辅助功能（简称 M 功能）由辅助操作地址符“M”和两位数字组

成。比如：M08，表示切削液开。

8) 程序段结束符 LF 表示程序段的结束。采用 EIA 标准代码时，结束符以硬回车表示，当采用 ISO 标准代码时，以“LF”或“;”表示。

1.4 辅助功能 M 代码

辅助功能也叫 M 功能或 M 代码，由地址字 M 和其后的两位数字组成，从 M00 ~ M99 共 100 种，主要用于控制零件程序的走向和机床及数控系统各种辅助功能的开关动作。各种数控系统的 M 代码规定有差异，必须根据系统编程说明书选用。

M 功能有非模态 M 功能和模态 M 功能两种形式。非模态 M 功能（当段有效代码）只在书写了该代码的程序段中有效；模态 M 功能（续效代码）是一组可相互注销的 M 功能，这些功能在被同一组的另一个功能注销前一直有效。

另外，M 功能还可分为前作用 M 功能和后作用 M 功能两类。前作用 M 功能在程序段编制的轴运动之前执行；后作用 M 功能在程序段编制的轴运动之后执行。常用的 M 功能代码见表 1-3。

表 1-3 M 功能代码一览表

代码	是否模态	功能说明	代码	是否模态	功能说明
M00	非模态	程序停止	M07	模态	切削液打开
M01	非模态	选择停止	M08	模态	切削液打开
M02	非模态	程序结束	M09	模态	切削液停止
M03	模态	主轴正转起动	M30	非模态	程序结束并返回
M04	模态	主轴反转起动	M98	非模态	调用子程序
M05	模态	主轴停止转动	M99	非模态	子程序结束

1) M00 程序暂停 当 CNC 执行到 M00 指令时，将暂停执行当前程序，以方便操作者进行刀具和工件的尺寸测量、工件调头、手动变速等操作。

暂停时，机床的进给停止，而全部现存的模态信息保持不变，欲继续执行后续程序，重按操作面板上的“循环启动”键。M00 为非模态后作用 M 功能。

2) M02 程序结束 M02 一般放在主程序的最后一个程序段中。当 CNC 执行到 M02 指令时，机床的主轴、进给、切削液全部停止，加工结束。

使用 M02 的程序结束后，若要重新执行该程序，就得重新调用该程序，然后再按操作面板上的“循环启动”键。M02 为非模态后作用 M 功能。

3) M30 程序结束并返回到零件程序头 M30 和 M02 功能基本相同, 只是 M30 指令还兼有控制返回到零件程序头的作用。使用 M30 的程序结束后, 若要重新执行该程序, 只需再次按操作面板上的“循环启动”键。

4) M98 子程序调用及 M99 从子程序返回 M98 用来调用子程序; M99 表示子程序结束, 执行 M99 使控制返回到主程序。

在子程序开头, 必须规定子程序号, 以作为调用入口地址。在子程序的结尾用 M99, 以控制执行完该子程序后返回主程序。调用子程序时还要指定连续调用次数, 如果不指定调用次数, 一般默认为 1 次。

5) M03、M04、M05 主轴控制指令 M03 起动主轴, 以程序中编制的主轴速度正向旋转; M04 起动主轴, 以程序中编制的主轴速度反向旋转; M05 使主轴停止旋转。

M03、M04 为模态前作用 M 功能; M05 为模态后作用 M 功能。M03、M04、M05 可相互注销。

6) M07、M08、M09 切削液打开、停止指令 M07、M08 指令将打开切削液管道; M09 指令将关闭切削液管道。M07、M08 为模态前作用 M 功能; M09 为模态后作用 M 功能。