

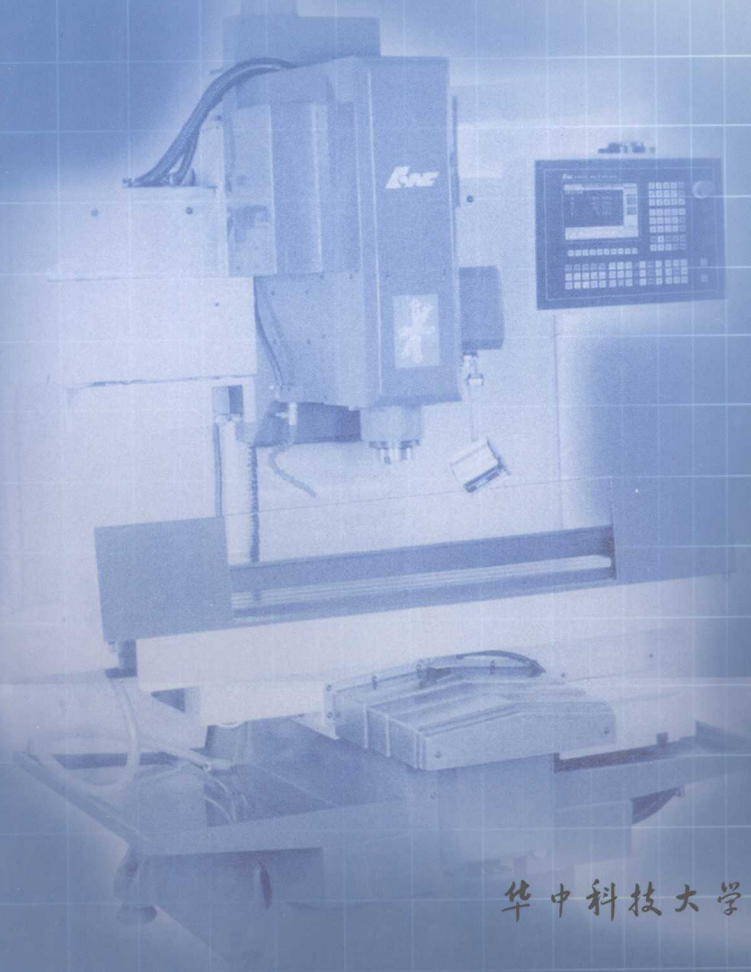
数 控 技 术 系 列 教 材

国家数控系统工程技术研究中心 组编

数控机床编程与加工操作

马莉敏 主 编

段星光 副主编



华中科技大学出版社

数控技术系列教材

数控机床编程与加工操作

主 编 马莉敏

副主编 段星光

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与加工操作/马莉敏 主编

武汉:华中科技大学出版社,2005年9月

ISBN 7-5609-3315-7

I. 数…

II. ①马… ②段…

III. 数控机床-加工

IV. TG659

数控机床编程与加工操作

马莉敏 主编

责任编辑:徐正达 佟文珍

封面设计:刘 卉

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:11.75

字数:266 000

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

定价:16.00元

ISBN 7-5609-3315-7/TG·60

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书较全面、较系统地介绍了数控机床加工程序编制的基本知识,详细介绍了数控车床和数控铣床的加工程序指令功能与加工操作功能,并以常见数控系统的编程和操作方法,给出了大量实际加工零件的编程实例。

本书可作为高等工科院校的机械制造、机电一体化、数控技术应用及其相关专业的教材,也可作为数控机床编程和操作技术人员的培训教材,还可作为相关教师和工程技术人员参考书。

“数控技术系列教材”序

制造业是“永远不落的太阳”，是现代文明的支柱之一；它既占有基础地位，又处于前沿关键，既古老，又年轻；它是工业发展的主体，是国民经济持续发展的基础。甚至可以讲，没有“制造”，就没有人类。恩格斯在《自然辩证法》中讲得对：“直立和劳动创造了人类，而劳动是从制造工具开始的。”的确，可形象地讲，人、人类文明是从制造第一把石刀这一生产工具开始的。毛泽东在《贺新郎·咏史》一词中，一开始就写道：“人猿相揖别，只几个石头磨过，小儿时节。”

在制造业中，特别值得提出的是机械制造业，也就是机械工业，它是制造业的基础与核心，在今天，信息科技尽管如此迅猛发展，高新科技尽管日新月异，仍然改变不了制造业，机械制造业的基础的基础地位。机械制造业是生产工具、生活资料、科技手段、国防装备等的提供及其进步的依托，是社会现代化的动力源之一。马克思在《资本论》中有段名言，至今仍熠熠生辉：“大工业必须掌握它特有的生产资料，即机器的本身，必须用机器生产机器。这样，大工业才建立起与自己相适应的技术基础，才得以自立。”生产机器的机器；我国称为“机床”，英文称为“Machine Tool”（机器工具），有道理；德文叫做“Werkzeugmaschine”（工具机器），更有道理，可以说，没有制造业，就没有工业；而没有机械制造业，就没有独立的工业。因此，发展机械制造业是发展国民经济、发展生产力的一项关键性的、基础性的战略措施。

作为“机器工具”或“工具机器”的机床，随着科技的发展也在发生深刻的变化。控制论、计算机技术，特别是内涵更为广泛的信息技术和管理科学同机械制造技术相结合成为当今蓬勃发展的先进制造技术，而先进制造技术发展的核心就是“数字化”，作为同先进制造技术相应的先进机床，它发展的关键技术就是数控技术。而数控技术可以说就是先进制造技术的技术基础，自然，体现着数控技术的数控机床和数控技术本身就理所当然地成为制造业关注的焦点。有专家预言：21世纪机械制造业的竞争，其实质是数控技术的竞争。

加入WTO后，中国正在逐渐成为“世界制造业中心”，制造设备的大规模数控化，使企业急需一大批数控编程、数控设备操作及其维修人员。然而，目前数控人才奇缺，严重制约数控设备的使用，影响着制造业的竞争能力，成为全社会普遍关注的热点问题。

作为培养人才的高校(包括高职、高专)，由于教学体系结构的不合理，教学实验设备的缺乏，教学实验手段的落后，还不能适应社会的需求。另外，能适应人才培养要求的教材的短缺也成为亟待解决的一个问题摆在了数控教育工作者面前。华中科技大学国家数控系统工程技术研究中心和华中科技大学出版社及时地看到了这一形势，组织出版了这套“数控技术系列教材”。应当说，这套教材从构思到编写都是集众多学校之思之力共同完成的。早在2000年就开始调研、论证，有十多所学校参加工作。2002年12月在全国数控高等职业教育研讨会上又进一步征求意见。经反复论证，针对当前数控人才培养的急需，第一批推出有关数控机床实验、数控机床编程与加工操作、数控机床故障诊断与维护维修等实践

性很强的教材。希望这套教材的出版能部分满足当前数控人才培养的需要，为发展我国先进制造业尽一份力量；希望有更多更好的教材问世，从一个方面促进我国高等教育的更进一步发展。

当然，世界没有任何完美无缺的事物，何况是这套初次出版的教材。因此，希望这套教材一问世就能得到读者的帮助、批评与指正。

中国科学院院士

华中科技大学教授 **杨叔子**

高等学校机械学科教学指导委员会主任委员

2003年3月31日

前 言

数控技术的发展和應用决定着制造业的发展水平。近年来，我国制造业每年花费大量资金购买数控机床，在生产中逐步应用了数控加工技术。数控机床的操作以及加工程序的编制等工作，需要大量的数控技术人才。显然，加快数控技术人才的培养已成为我国推广数控技术，振兴制造业的关键，也是高等院校义不容辞的责任。

为使读者了解数控机床的加工编程方法，掌握基本操作技能，并通过大量的工程训练。将学到的知识应用到生产实际中去，本书在内容安排上，较全面地讲述数控机床程序编制的基本知识，在此基础上，结合国内数控机床的应用情况，并根据作者教学和实践经验，详细讲述了常用数控车床和数控铣床的编程和操作方法。

本书主编为马莉敏，副主编为段星光。第一、二、四章由马莉敏编写；第三、五章由胡涛编写；第六、七章由段星光编写，赵二维、孙连栋参加了这两章的绘图和程序验证工作；第八章由马莉敏、段星光、胡涛编写。全书由马莉敏统稿和定稿。

在本书的编写过程中，得到华中科技大学甘锡英教授、李斌教授、朱志红教授、朱国文高级工程师以及武汉科技学院张链老师等同行的支持和帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，从事数控加工及其编程方面的实际生产经验不够全面，书中难免出现不妥之处。恳请读者赐教与指正。

编 者
2005 年 8 月

目 录

第一章 数控机床加工程序的编制基础	(1)
第一节 数控编程概述	(1)
第二节 程序的构成	(2)
一、程序结构的组成	(2)
二、程序主体部分的内容	(3)
第三节 指令代码综述	(3)
第四节 坐标系统	(6)
一、机床坐标轴	(6)
二、机床坐标系、机床原点和机床参考点	(7)
三、工件坐标系和工件原点	(8)
第五节 绝对值编程和增量值编程	(9)
第二章 数控铣床的编程指令	(11)
第一节 有关坐标系的指令	(11)
一、工件坐标系设定指令 G92	(11)
二、工件坐标系选择指令 G54~G59	(11)
三、直接机床坐标系编程指令 G53	(12)
四、绝对值编程指令 G90 和相对值编程指令 G91	(13)
五、回参考点控制功能指令 G28、G29	(13)
六、进给尺寸单位设定指令 G20、G21、G22 和进给速度单位设定指令 G94、G95	(14)
七、平面选择指令 G17、G18、G19	(14)
第二节 进给控制指令	(14)
一、快速定位指令 G00	(14)
二、直线插补指令 G01	(15)
三、圆弧插补和螺旋线进给指令 G02、G03	(16)
四、暂停指令 G04	(17)
五、螺纹加工指令 G33	(18)
第三节 刀具补偿功能指令	(18)
一、刀具半径补偿 G40、G41、G42	(18)
二、刀具长度补偿 G43、G44、G49	(20)
第四节 优化程序功能指令	(21)

一、镜像功能 G24、G25	(21)
二、缩放功能 G50、G51	(23)
三、旋转变换 G68、G69	(24)
第五节 固定循环	(25)
一、高速深孔加工循环指令 G73	(26)
二、反攻螺纹循环指令 G74	(26)
三、精镗循环指令 G76	(27)
四、钻孔循环(中心钻)指令 G81	(27)
五、带停顿的钻孔循环指令 G82	(28)
六、深孔加工循环指令 G83	(28)
七、攻螺纹循环指令 G84	(29)
八、镗孔循环指令 G85	(29)
九、镗孔循环指令 G86	(29)
十、反镗循环指令 G87	(29)
十一、镗孔循环指令 G88	(30)
十二、镗孔循环指令 G89	(30)
十三、取消固定循环指令 G80	(30)
第六节 宏指令编程	(32)
一、宏变量及常量	(32)
二、运算符与表达式	(34)
三、赋值语句	(35)
四、条件判别语句 IF、ELSE、ENDIF	(35)
五、循环语句 WHILE、ENDW	(35)
六、宏程序编制举例	(35)
第三章 数控车床的编程指令	(37)
第一节 有关坐标系的指令	(37)
一、工件坐标系设定指令 G92	(37)
二、零点偏置指令 G54~G59	(38)
三、直接机床坐标系编程指令 G53	(38)
四、绝对值编程指令 G90 和增量值编程指令 G91	(38)
五、回参考点控制功能指令 G28、G29	(38)
第二节 进给控制指令	(39)
一、快速定位指令 G00	(39)
二、直线插补指令 G01	(40)
三、直线倒角、圆弧倒角指令 G01	(40)
四、圆弧插补指令 G02、G03	(42)

五、螺纹加工指令 G32.....	(43)
六、暂停指令 G04.....	(46)
第三节 简单循环功能指令	(46)
一、内、外径切削循环指令 G80.....	(46)
二、端面切削循环指令 G81.....	(47)
三、螺纹切削循环指令 G82.....	(48)
第四节 复合循环功能指令	(49)
一、外径粗加工循环指令 G71.....	(49)
二、端面粗车复合循环指令 G72.....	(50)
三、封闭轮廓循环指令 G73.....	(51)
四、螺纹切削复合循环指令 G76.....	(52)
第五节 刀具补偿功能	(54)
一、刀具的几何与磨损补偿.....	(54)
二、刀具的刀尖圆弧半径补偿指令 G40、G41、G42.....	(54)
第六节 宏指令编程	(57)
一、宏变量及常数.....	(57)
二、运算符与表达式.....	(59)
三、赋值语句.....	(60)
四、条件判别语句 IF、ELSE、ENDIF.....	(60)
五、循环语句 WHILE、ENDW.....	(60)
六、用户宏程序的编程实例.....	(61)
 第四章 数控铣床的基本操作	(72)
第一节 数控铣床操作面板	(72)
第二节 数控铣床操作界面	(74)
一、数控铣床系统界面.....	(74)
二、数控铣床菜单结构.....	(75)
第三节 数控铣床基本操作功能	(76)
一、数控铣床系统的开启和停止操作.....	(76)
二、手动操作功能.....	(77)
三、程序编辑与文件管理.....	(77)
四、程序校验与运行.....	(78)
五、设定显示方式.....	(79)
第四节 数控铣床对刀操作	(79)
一、对刀方法.....	(79)
二、试切对刀法的操作步骤.....	(80)
三、华中数控系统铣床对刀实例.....	(81)

第五节 数控铣床加工操作流程	(82)
第五章 数控车床的基本操作	(83)
第一节 数控车床操作面板	(83)
第二节 数控车床操作界面	(84)
一、数控车床系统界面	(84)
二、数控车床菜单结构	(85)
第三节 数控车床基本操作功能	(86)
一、数控车床系统的开启和停止操作	(86)
二、手动操作功能	(87)
三、程序编辑	(88)
四、程序存储与传递	(89)
五、文件管理	(89)
六、程序运行	(90)
七、数据设置	(91)
八、参数设置	(91)
九、显示	(91)
第四节 数控车床对刀操作	(92)
一、用指令 G92 建立工件坐标系的程序	(92)
二、用指令 G54~G59 建立工件坐标系的程序	(93)
三、对刀操作参考步骤	(94)
第四节 数控车床加工操作流程	(96)
第六章 铣削典型零件编程及加工	(97)
第一节 概述	(97)
一、数控铣床的结构、加工特点	(97)
二、数控铣床的编程特点	(98)
三、数控铣削的操作要求	(100)
第二节 数控铣削中加工工艺分析及编程	(102)
一、凸轮类零件的加工工艺分析	(102)
二、铣削零件的程序编制	(106)
三、加工操作	(108)
第七章 车削典型零件编程及加工	(109)
第一节 概述	(109)
一、数控车削的加工特点	(109)
二、数控车削的编程特点	(110)

三、数控车削的操作要求	(110)
第二节 数控车削中的加工工艺分析及编程	(111)
一、轴类零件的加工工艺分析	(111)
二、车削零件的程序编制	(114)
三、加工操作	(117)
第八章 综合练习	(118)
第一节 典型铣削零件的编程及加工实例	(118)
第二节 典型车削零件的编程及加工实例	(152)

第一章 数控机床加工程序的编制基础

第一节 数控编程概述

在用数控机床加工零件时，首先要进行程序编制，简称编程。所谓编程，就是将加工零件的加工顺序、刀具运动轨迹的尺寸数据、工艺参数（主运动和进给运动速度、切削深度等）以及辅助操作（换刀，主轴的正、反转，切削液的开、关，刀具夹紧、松开等）的加工信息，用规定的文字、数字、符号组成的代码，按一定格式编写成加工程序。数控机床程序编制过程主要包括分析零件图样、工艺处理、数学处理、编写零件程序和程序校验。

程序编制可分成手工编程和自动编程两类。

手工编程时，整个程序的编制过程是由人工完成的。这要求编程人员不仅要熟悉数控代码及编程规则，而且还必须具备机械加工工艺知识和数值计算能力。对于点位加工或几何形状不太复杂的零件，数控编程计算较简单，程序段不多，采用手工编程即可实现。

自动编程是用计算机把人们输入的零件图样信息改写成数控机床能执行的数控加工程序，就是说，数控编程的大部分工作由计算机来完成。目前常使用自动编程语言系统——APT(Automatical Programmed Tools)来实现自动编程，编程人员只需根据零件图样及工艺要求，使用规定的数控编程语言编写一个较简短的零件程序，并将其输入计算机(或编程机)，计算机(或编程机)自动进行处理，计算出刀具中心轨迹，输出零件数控加工程序。现在流行的自动编程系统还有图像仪编程系统、图形编程系统等。

对不同数控机床，加工程序有所不同，但基本方法和原理是相同的。在加工程序中所用的输入代码、坐标位移指令、坐标系命名、加工准备功能指令、辅助动作指令、主运动和进给速度指令、刀具指令以及程序和程序段格式等方面，都已制定了一系列的国际标准，我国也参照它制定了相应的国家标准。这极大地方便了数控机床的使用和推广。但是在编程规则上，各厂家生产的数控机床并不完全相同，因此编程时还应按照具体机床的编程手册中的有关规定来进行，这样所编出的程序才能被该机床的数控系统所接受。

本书以华中科技大学和武汉华中数控有限公司共同研制和开发的华中 I 型数控铣钻床(见图 1-1)系统和数控车床(见图 1-2)系统为例，介绍其数控系统程序编制的指令和规则。

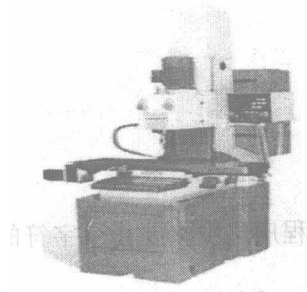


图 1-1 XZK 7532 型数控铣钻床

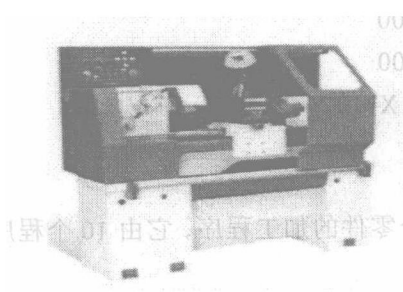


图 1-2 CJK 6032 型数控卧式车床

第二节 程序的构成

数控加工程序是由一系列控制机床运转的指令按一定的顺序集合而成的。这些指令能使刀具按点位、直线、圆弧及曲线运动，并控制主轴的回转、停止，切削液的开、关，自动换刀装置和工作台自动交换装置的动作等等。

一个零件加工程序是由一个个程序段组成的，每个程序段由若干个指令字组成。每个指令字是控制数控机床的一个具体动作，它由指令字符（地址符）和数字组成。

一、程序结构的组成

1. 零件程序号

零件程序的第一行必须写出零件程序号。它以符号“%”开头，其后续 1~9999 之间的数值；“%”号前不得有空格与空行。

2. 程序段

程序段是程序的主体部分。每一个程序段的开始可以冠以段名也可以省略段名；程序段号由地址 N 后续 4 位以内的数值 1~9999 构成，它排列的顺序可以是递增的，也可以是任意增大的，中间有间隔也无妨。

程序段中的指令由字母和数字组成。字母是 A~Z 中的一个，大小写均可；数字通常为两位数。

每个程序段单独占用一行，程序段的结尾没有结束符。

3. 程序结束符

主程序的最后一个程序段必须是 M02 或 M03。

子程序的最后一个程序段必须是 M99。

零件程序举例如下：

```
%0001
N01 G92 X0 Y0 Z10
N02 G91 G00 X10 Y10
N03 G01 Z-15 F200 S300 M03
N04 X100
N05 Y100
N06 X-100
N07 Y-100
N08 G00 X-10 Y-10
N09 M05
N10 M30
```

这是一个零件的加工程序，它由 10 个程序段组成。程序段中主要指令字符的含义如表 1-1 所示。

表 1-1 指令字符一览表

机 能	地 址 符	意 义
零件程序号	%	程序编号 1~9999
程序段号	N	程序顺序编号 N1~9999
准备机能	G	指令动作方式(直线、圆弧等) G00~99
尺寸字	X, Y, Z	坐标轴的移动命令 ±99999.999
	R	圆弧的半径
	I, J, K	圆心与圆弧起点的相对位移量
进给速度	F	进给速度的指定 F0~15000
主轴机能	S	主轴旋转速度的指定 S0~9999
刀具机能	T	刀具编号的指定 T0~99
辅助机能	M	机床开/关控制的指定 M0~99
补偿号	H, D	刀具补偿号的指定 00~99
暂停	P, (X)	暂停时间的指定 s
程序号的指定	P	子程序号的指定 P1~9999
重复次数	L	子程序和固定循环的重复次数 L2~9999
参数	P, Q, R	固定循环的参数

二、程序主体部分的内容

- (1) 坐标系的设定 零件程序的第一行应有建立工件坐标系的指令 G92 或 G54~G59。
- (2) 有关数值的设定 这些数值有坐标平面选择、绝对或增量方式、尺寸字的单位、进给速度的单位等。
- (3) 有关刀具补偿的设定 根据需要设定刀具半径和刀具长度补偿。
- (4) 切削要素的设定 这些切削要素有启动主轴、主轴转速和进给速度等。
- (5) 刀具运动路径的确定 编写程序段时，应充分利用系统所提供的各种指令功能，使程序编写得越简便越好。
- (6) 主轴停止的设定 程序结束前，用单独一程序段设定主轴停止（M05）。

第三节 指令代码综述

华中 I 型数控系统指令代码有 G 代码（准备功能）、M 代码（辅助功能）、S 代码（主轴功能）、T 代码（刀具功能）和 F 代码（进给功能）。

1. G 代码(准备功能)

G 代码由字母 G 和其后的 2 位数字组成，它们是 G00~G99，共 100 种。

G 代码用来建立某种加工方式，如规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等等。其指令功能如表 1-2 所示。

说明 1) 表中带“★”号的 G 代码为系统可缺省代码。

表 1-2 G 代码及功能

G 代码	组 名	功 能	G 代码	组 名	功 能
G00★		快速定位	G54★		工件坐标系 1 选择
G01	01	直线插补	G55		工件坐标系 2 选择
G02		顺圆插补	G56	11	工件坐标系 3 选择
G03		逆圆插补	G57		工件坐标系 4 选择
G04	00	暂 停	G58		工件坐标系 5 选择
G07	16	虚轴指定	G59		工件坐标系 6 选择
G09	00	准停校验	G60	00	单方向定位
G20		英寸输入	G68	05	旋转变换
G21★	08	毫米输入	G69★		旋转取消
G22		脉冲当量	G73		深孔钻削循环
G24		镜像开	G74		反攻螺纹循环
G25★	03	镜像关	G76		精镗循环
G28		返回到参考点	G80★		固定循环取消
G29	00	由参考点返回	G81	06	定心钻循环
G33	01	螺纹切削	G82		钻孔循环
G40★		刀具半径补偿取消	G83		深孔钻循环
G41	09	左刀补	G84		攻螺纹循环
G42		右刀补	G85		镗孔循环
G43		刀具长度正向补偿	G86		镗孔循环
G44	10	刀具长度负向补偿	G87		反镗循环
G49★		刀具长度补偿取消	G88		镗孔循环
G50★		缩放关	G89		镗孔循环
G51	04	缩放开	G90★	13	绝对值编程
G52		局部坐标系设定	G91		增量值编程
G53	00	机床坐标系设定	G92	11	工件坐标系设定
			G94★	14	每分钟进给
			G95		每转进给
			G98	15	固定循环返回到参考点
			G99★		固定循环返回到点 R

注 1 in=25.4 mm

2) 不同组的 G 代码可以放在同一程序段中，其排列顺序不影响加工。

例 1 G91 G00 G17 G40 X-30 Y-20

3) G 代码分为表 1-3 所示的两种状态形式。

表 1-3 G 代码的两种形式

状 态	含 义	组 名
非模态	仅在其所在的程序段中有效，属一次性代码	00 组 G 代码
模 态	指令设定一次后，就一直有效；由同组的另一个 G 代码注销	非 00 组 G 代码

① 非模态指令在程序中的使用。

```
例 2  N10 G04 P10.0           ; 延时 10 s
      N11 G91 G00 X-10.0 F200   ; X 负向移动 10 mm
```

在本例中，N10 程序段中 G04 是非模态 G 代码，不影响 N11 程序段的移动。

② 模态指令在程序中的使用。

```
例 3  N15 G91 G01 X-10.0 F200
      N16 Y10.0                 ; G01 仍然有效
      N17 G03 X20 Y20 R20       ; G03 有效,G01 无效
```

2. M 代码(辅助功能)

M 代码由字母 M 和其后的 2 位数字组成，它们是 M00 ~M99，共 100 种。

M 代码是控制数控机床各种辅助动作开关的指令，如主轴的正、反转，切削液的开、关等。

常用的 M 功能指令如表 1-4 所示。

表 1-4 M 代码及功能

代 码	功 能	状 态	说 明
M02	程序结束	非模态	编写在主程序的最后一个程序段,表示主程序结束;程序执行到 M02 指令后,进给,切削液全部停止,加工结束,并使系统复位
M03	主轴正转启动	模态	控制主轴正转启动,即从 Z 轴正方向往负方向看去,主轴为顺时针方向旋转
M04	主轴反转启动	模态	控制主轴反转启动,即从 Z 轴正方向往负方向看去,主轴为逆时针方向旋转
M06	换 刀	非模态	自动控制刀具装夹
M07	切削液打开	模态	控制切削液打开
M09	切削液停止	模态	控制切削液关闭
M30	程序结束并返回程序起点	非模态	除具有 M02 功能外,M30 指令能使系统重新处于当前运行程序开始状态
M98	调用子程序	非模态	后续 P 指令加上 4 位以内的数,用来调用子程序
M99	子程序结束	非模态	编写在子程序的最后一个程序段,表示子程序结束,并使系统控制返回到主程序