

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

现代机械工程系列精品教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材



Programming of CNC Machine Tools

数控机床加工程序编制

第⑤版

顾京◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”  划项目

现代机械工程系系列精品教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控机床加工程序编制

第 5 版

主 编 顾 京

参 编 曹旺萍 王振宇 陈洪涛

主 审 孙东阳 张秋菊



机 械 工 业 出 版 社

本书为“十三五”国家重点出版物出版规划项目、普通高等教育“十一五”国家级规划教材，着重介绍了数控机床加工程序编制的基本原理及各类常用数控机床加工程序的基本编程方法。

本书第一章为数控机床加工程序编制的基础；第二章为常用编程指令及数学处理；第三章为数控车床的程序编制；第四章为数控铣床与加工中心的程序编制；第五章为数控电火花线切割机床的程序编制；第六章为自动编程。全书从培养技术应用型人才的目的出发，注重实用性，同时兼顾高等及中等职业技术教育的教学要求，强调理论联系实际。

本书可作为一般本科、高等职业技术学院数控技术应用专业、机电类专业、机械制造及自动化等专业的教学用书，也可供有关专业的师生和从事相关工作的科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床加工程序编制/顾京主编. —5 版. —北京: 机械工业出版社, 2017. 7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 “十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系列精品教材

ISBN 978-7-111-56078-4

I. ①数… II. ①顾… III. ①数控机床-程序设计-高等学校-教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 029825 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: 冯春生 责任编辑: 冯春生 武 晋

责任校对: 潘 蕊 封面设计: 张 静

责任印制: 李 昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 5 月第 5 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.5 印张·347 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-56078-4

定价: 34.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前言

本书为“十三五”国家重点出版物出版规划项目、普通高等教育“十一五”国家级规划教材，着重介绍了数控机床加工程序编制的基本原理及各类常用数控机床加工程序的基本编程方法。全书共六章，内容包括：数控机床加工程序编制的基础、常用编程指令及数学处理、数控车床的程序编制、数控铣床与加工中心的程序编制、数控电火花线切割机床的程序编制以及自动编程。

本书从培养技术应用型人才的目的出发，注重实用性，同时兼顾高等及中等职业技术教育的教学要求，强调理论联系实际，加强培养学生的实际动手能力和解决实际生产问题的工程能力，在不断探索提高学生的创造能力方面进行了精心的编写。

本次修订具有以下特点：

- 1) 结合数控技术应用领域中新技术、新工艺、新材料等的发展，充分反映数控加工技术的先进性和实用性。
- 2) 进一步增加体现新技术应用的数控刀具应用部分，在加工中心章节中增加了西门子编程的专门内容。
- 3) 编程部分增加了极坐标编程指令、局部坐标系指令、B类宏程序实例、螺纹铣削指令等，充实了固定循环指令和子程序指令。

本书可作为一般本科、高等职业技术学院和中等专业学校数控技术应用专业、机电类专业、机械制造及自动化等专业的教学用书，也可供广大工程技术人员参考。

本次修订工作主要由无锡职业技术学院顾京、王振宇主持，无锡职业技术学院曹旺萍、四川工程职业技术学院陈洪涛参加了编写。

本书自出版以来，得到了广大教师和学生以及其他读者的大力支持和肯定，在此深表感谢。同时恳请广大读者对此次教材的修订能一如既往地给予批评指正。

编者
于无锡

目 录

前言	
第一章 数控机床加工程序编制的基础	
第一节 数控程序编制的概念	1
第二节 数控机床的坐标系	13
第三节 数控加工的工艺设计	19
练习与思考题	28
第二章 常用编程指令及数学处理	29
第一节 常用编程指令	29
第二节 程序编制中的数学处理	42
练习与思考题	47
第三章 数控车床的程序编制	49
第一节 数控车床程序编制的基础	49
第二节 数控车床程序编制的基本方法	53
第三节 典型零件的程序编制	73
练习与思考题	83
第四章 数控铣床与加工中心的程序编制	85
第一节 程序编制的基础	85
第二节 编程的基本方法	100
第三节 图形的数学处理	146
第四节 典型零件的程序编制	153
练习与思考题	166
第五章 数控电火花线切割机床的程序编制	170
第一节 编程前的工艺准备	170
第二节 手工编制程序	178
第三节 自动编制程序	185
第四节 数控电火花线切割加工综合应用	189
练习与思考题	192
第六章 自动编程	193
第一节 自动编程概述	193
第二节 图形交互自动编程	199
练习与思考题	225
参考文献	228

第一章

数控机床加工程序编制的基础

数控机床是严格按照从外部输入的程序来自动地对被加工工件进行加工的。为了与数控系统的内部程序（系统软件）及自动编程用的零件源程序相区别，把从外部输入的直接用于加工的程序称为**数控机床加工程序**，简称为**数控程序**，它是机床数控系统的应用软件。程序样本如下所示：

```
O10
G55 G90 G01 Z40 F2000
M03 S500
G01 X-50 Y0
G01 Z-5 F100
G01 G42 X-10 Y0 H01
G01 X60 Y0
G03 X80 Y20 R20
G03 X40 Y60 R40
G01 X0 Y40
G01 X0 Y-10
G01 G40 X0 Y-40
G01 Z40 F2000
M05
M30
```

第一节 数控程序编制的概念

一、数控程序编制的定义和方法

1. 程序编制的定义

数控机床是按照事先编制好的数控程序自动地对工件进行加工的高效自动化设备。理



想的数控程序不仅应该保证能加工出符合图样要求的合格工件，还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥，以使数控机床能安全、可靠、高效地工作。

在程序编制以前，编程人员应了解所用数控机床的规格、性能、数控系统所具备的功能及编程指令格式等。编制程序时，需要先对零件图样规定的技术要求、几何形状、尺寸及工艺要求进行分析，确定加工方法和加工路线，再进行数值计算，获得刀具中心运动轨迹的位置数据。然后，按数控机床规定采用的代码和程序格式，将工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数（主轴转速、切削进给量、背吃刀量等）以及辅助功能（换刀、主轴的正转与反转、切削液的开与关等）编制成数控加工程序。在大部分情况下，要将加工程序记录在加工程序的控制介质（简称控制介质）上。常见的控制介质有磁盘、磁带等。通过控制介质将零件加工程序输入数控系统，由数控系统控制数控机床自动地进行加工。数控机床的加工过程如图 1-1 所示。

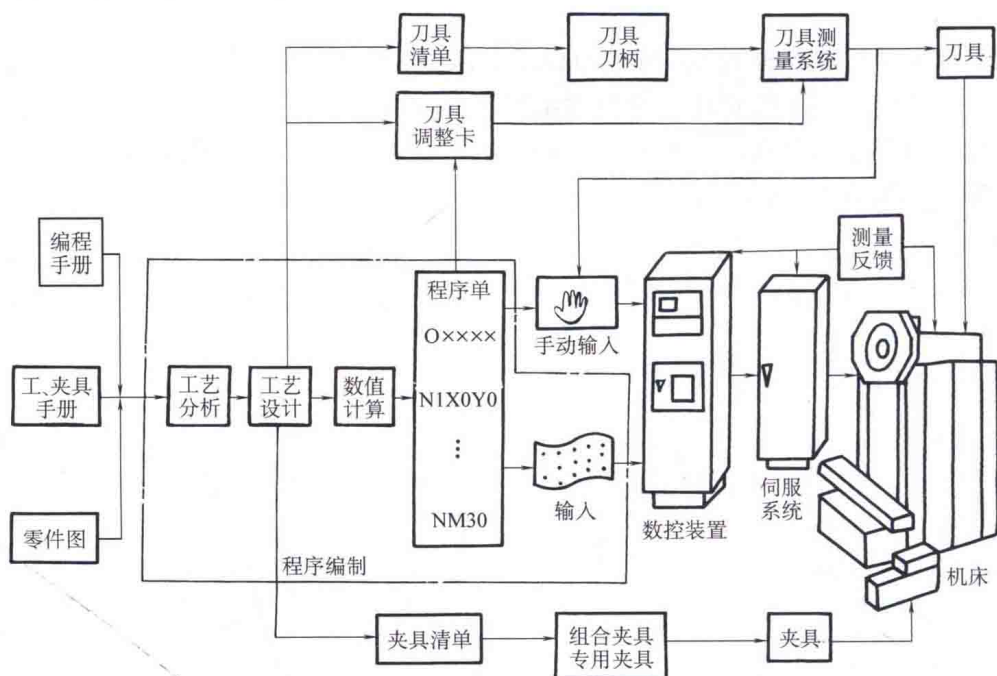


图 1-1 数控机床的加工过程

数控机床的程序编制主要包括：分析零件图样、工艺处理、数学处理、编写程序单、制作控制介质及程序检验。因此，数控程序的编制过程也就是指由分析零件图样到程序检验的全部过程，如图 1-2 所示。

2. 数控机床程序编制的具体步骤与要求

(1) 分析零件图样和制订工艺方案 这一步骤的内容包括：对零件图样进行分析，明确加工的内容和要求；确定加工方案；

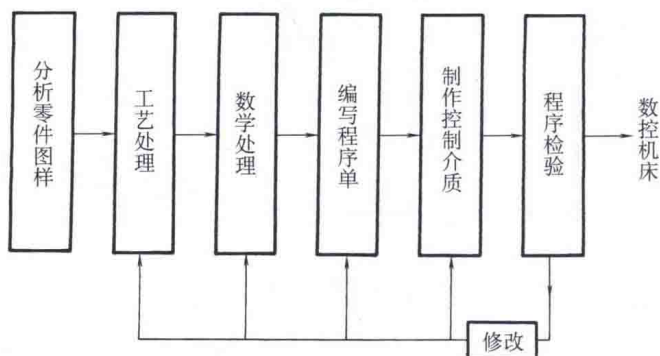


图 1-2 数控机床程序的编制过程

选择适合的数控机床；选择、设计刀具和夹具；确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。制订工艺方案中涉及的许多问题，将在第四节中详细介绍。

(2) **数学处理** 在确定了工艺方案后，下一步需要根据零件的几何尺寸、加工路线，计算刀具中心运动轨迹，以获得刀位数据。一般的数控系统均具有直线插补与圆弧插补的功能，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的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。对于较复杂的零件或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。例如对非圆曲线（如渐开线、阿基米德螺旋线等）需要用直线段或圆弧段来逼近，在满足加工精度的条件下，计算出曲线各节点的坐标值。对于列表曲线、空间曲面的程序编制，其数学处理更为复杂，一般需要使用计算机辅助计算，否则难以完成。

(3) **编写零件加工程序单及程序检验** 在完成上述工艺处理及数值计算工作后，即可编写零件加工程序单。程序编制人员使用数控系统的程序指令，按照规定的程序格式，逐段编写零件加工程序。程序编制人员应对数控机床的性能、程序指令及代码非常熟悉，才能编写出正确的加工程序。

程序编写好之后，需将它存放在控制介质上，然后输入数控系统，控制数控机床工作。一般说来，正式加工之前，要对程序进行检验。对于平面零件可用笔代替刀具，以坐标纸代替工件进行空运转画图，通过检查机床动作和运动轨迹的正确性来检验程序。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。对于复杂的零件，需要采用铝件、塑料或石蜡等易切材料进行试切。通过检查试件，不仅可确认程序是否正确，还可知道加工精度是否符合要求。若能采用与被加工工件材质相同的材料进行试切，则更能反映实际加工效果。当发现工件不符合加工技术要求时，可修改程序或采取尺寸补偿等措施。

3. 数控程序编制的方法

数控程序编制的方法有两种：**手工编程与自动编程**。

手工编程是指主要由人工来完成数控程序编制各个阶段的工作。当被加工零件形状不十分复杂和程序较短时，都可以采用手工编程的方法。手工编程的框图如图 1-3 所示。

对于几何形状不太复杂的零件，所需要的加工程序不长，计算也比较简单，出错机会较少，这时用手工编程既经济又及时，因而手工编程仍被广泛地应用于形状简单的点位加工及平面轮廓加工中。但对于一些复杂零件，特别是具有非圆曲线的表面，或者零件的几何元素并不复杂，但程序量很大的零件（如一个零件上有许多个孔或平面轮廓由许多段圆弧组成），或当铣削轮廓时，数控系统不具备刀具半径自动补偿功能，而只能以刀具中心的运动轨迹进行编程等特殊情况下，由于计算相当烦琐且程序量大，手工编程就难以胜任，即使能够编出程序来，往往耗费很长时间，而且容易出现错误。据统计，当采用手工编程时，一个零件的编程时间与在机床上实际加工时间之比，平均约为 30 : 1，而数控机床不能开动的原因中有 20% ~ 30% 是由于加工程序编制困难，编程所用时间较长，造成机床停机。因此，为了缩短生产周期，提高数控机床的利用率，有效地解决各种模具及复杂



零件的加工问题，采用手工编程已不能满足要求，而必须采用自动编程的办法。

使用计算机（或编程机）进行数控机床程序编制工作，即在编程的各项工作中，除拟订工艺方案仍主要依靠人工进行外，其余的工作，包括数学处理、编写程序单、制作控制介质和程序校验等各项工作均由计算机自动完成，这一过程就称为计算机自动编程。

采用计算机自动编程时，程序编制人员只需根据零件图样和工艺

要求，使用自动编程语言编写出一个较简短的零件加工源程序，并将其输入到计算机中，计算机自动地进行处理，计算出刀具中心运动轨迹，编出零件加工程序。由于计算机可自动绘出零件图形和走刀轨迹，因此程序编制人员可及时检查程序是否正确，需要时可及时修改，以获得正确的程序。又由于计算机自动编程代替程序编制人员完成了烦琐的数值计算工作，并省去了书写程序单及制作控制介质的工作量，因而可将编程效率提高几十倍乃至上百倍，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。

按输入方式的不同，自动编程可分为语言数控自动编程、图形数控自动编程和语音数控自动编程等。语言数控自动编程是指加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等是用数控语言编写成源程序后，输入到计算机中，再由计算机进一步处理得到零件加工程序单。图形数控自动编程是指用图形输入设备（如数字化仪）及图形菜单将零件图形信息直接输入计算机并在荧光屏上显示出来，再进一步处理，最终得到加工程序及控制介质。语音数控自动编程是采用语音识别器，将操作者发出的加工指令声音转变为加工程序。

按程序编制系统与数控系统紧密性的不同，自动编程又分为离线程序编制和在线程序编制。与数控系统相脱离的程序编制系统为离线程序编制系统，该种系统可为多台数控机床编制程序，其功能往往多而强，程序编制时不占机床工作时间。随着数控技术的不断发展，数控系统不仅可用于控制机床，还可用于自动编程。有的数控装置具有会话型编程功能，就是将离线编程机的许多功能移植到了数控系统。

二、字符与代码

字符是一个关于信息交换的术语，它的定义是：用来组织、控制或表示数据的一些符号，如数字、字母、标点符号、数学运算符等。字符是机器能进行存储或传送的记号，也是所要研究的加工程序的最小组成单位。常规加工程序用的字符分四类：第一类是文字，由 26 个大写英文字母组成；第二类是数字和小数点，由 0~9 共 10 个数字及一个小数点

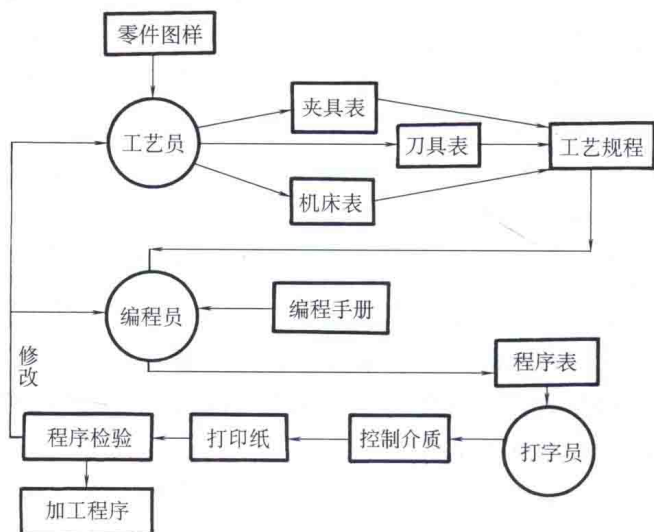


图 1-3 手工编程框图



组成；**第三类是符号**，由正号（+）和负号（-）组成；**第四类是功能字符**，由程序开始（结束）符、程序段结束符、跳过任选程序段符、机床控制暂停符、机床控制恢复符等组成。

国际上广泛采用两种字符标准编码，即 ISO（International Standardization Organization）国际标准化组织标准编码和 EIA（Electronic Industries Association）美国电子工业协会标准编码，它们分别称为 **ISO 代码** 和 **EIA 代码**。

三、字与字的功能类别

字是程序字的简称，在这里它是机床数字控制的专用术语。它的定义是：一套有规定次序的字符，可以作为一个信息单元存储、传递和操作，如“X2500”就是一个“字”。一个字所含的字符个数称为字长。常规加工程序中的字都是由一个英文字母与随后的若干位 10 进制数字组成的。这个英文字母称为**地址符**。地址符与后续数字间可加正、负号。程序字按其功能的不同可分为 7 种类型，它们分别称为**顺序号字**、**准备功能字**、**尺寸字**、**进给功能字**、**主轴转速功能字**、**刀具功能字**和**辅助功能字**。

1. 顺序号字

顺序号字也叫程序段号或程序段序号。**顺序号字位于程序段之首，地址符是 N，后续数字一般为 2~4 位**。顺序号字可以用在主程序、子程序和宏程序中。

（1）顺序号字的作用 首先顺序号字可用于对程序的校对和检索修改。其次在加工轨迹图的几何节点处标上相应程序段的顺序号字，就可直观地检查程序。顺序号字还可作为条件转向的目标。更重要的是，标注了程序段号的程序可以进行程序段的复归操作，这是指操作可以回到程序的（运行）中断处重新开始，或加工从程序的中途开始的操作。

（2）顺序号字的使用规则 数字部分应为正整数，一般最小顺序号字是 N1。顺序号字的数字可以不连续，也不一定从小到大顺序排列，如第一段用 N1、第二段用 N20、第三段用 N10。对于整个程序，可以每个程序段都设顺序号字，也可以只在部分程序段中设顺序号字，还可在整个程序中全不设顺序号字。一般都将第一程序段冠以 N10，以后以间隔 10 递增的方法设置顺序号字，这样，在调试程序时，如需要在 N10 与 N20 之间加入两个程序段，就可以用 N11、N12。

应注意的是，数控程序中的顺序号字与计算机高级语言程序中的标号是有本质区别的。在计算机高级语言中，每条语句的开头都有标号。从表面看，顺序号字和标号很相似：它们都位于程序语句之首，只是标号为纯数字，顺序号字开头还有个地址符 N。事实上，数控加工中的顺序号与计算机高级语言中的标号有着本质的不同。对于高级语言，计算机在一般情况下，总是按标号从小到大的顺序执行，这里的一般情况是指中间没有转向语句的时候。从小到大，数字不一定要连续。即使没有按标号从小到大顺序写入，当输入计算机后，解释系统也会把语句按从小到大的顺序整理好、排列好，执行时按序进行。数控加工程序用的不是高级语言，它的顺序号字与执行的顺序无关。第一，数控装置的解释程序内没有整理程序段次序的内容，程序段在存储器内以输入的先后顺序排列，而不管各程序段有无顺序号字和顺序号字的大小；第二，执行时严格按信息在存储器内的排列顺序一段一段地执行。也就是说，执行的先后次序与程序段中的顺序号字无关。**由此可见，计**

计算机高级语言中的标号实质上是计算机的执行顺序号，而数控加工中的顺序号字实际上是程序段的名称。

2. 准备功能字

准备功能字的地址符是 G，所以又称 G 功能或 G 指令。它是建立机床或控制系统工作方式的一种命令。准备功能字中的后续数字大多为两位正整数（包括 00）。不少机床此处的前置“0”允许省略，所以见到数字是一位时，实际是两位的简写，如 G4，实际是 G04。随着数控机床功能的增加，G00~G99 已不够用，所以有些数控系统的 G 指令中的后续数字已经使用三位数。依据 ISO 1056—1975（E）国际标准，国内制定了 JB/T 3208—1999^①行业标准，其中规定了 G 指令的功能含义。我国现有的中、高档数控系统大部分是从日本、德国、美国等国进口的，它们的 G 指令的功能相差甚大。即使是国内生产的数控系统，也没有完全按这个行业标准来规定 G 指令的含义。现将日本 FANUC、德国 SIEMENS 和美国 A-B 公司生产的数控系统的 G 指令功能含义与 JB/T 3208—1999 对比列成表 1-1。从表 1-1 中可以看出，目前国际上实际使用的 G 指令，其标准化程度较低，只有 G01~G04、G17~G19、G40~G42 的含义在各系统中基本相同；G90~G92、G94~G97 的含义在多数系统内相同。有些数控系统规定可使用几套 G 指令。这说明，在编程时必须遵照机床数控系统说明书编制程序。

表 1-1 G 指令含义对照表

G 指令	JB/T 3208—1999 规定的功能含义	日本 FANUC 3MC 系统	德国 SIEMENS 810 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
G00	点 定 位	点 定 位	点 定 位	点 定 位
G01	直线插补	直线插补	直线插补	直线插补
G02	顺时针圆弧插补	顺时针圆弧插补	顺时针圆弧插补	顺时针圆弧插补
G03	逆时针圆弧插补	逆时针圆弧插补	逆时针圆弧插补	逆时针圆弧插补
G04	暂 停	暂 停	暂 停	暂 停
G05	不 指 定	—	—	圆弧相切
G06	抛物线插补	主轴插补	—	—
G07	不 指 定	—	—	—
G08	加 速	—	—	—
G09	减 速	准停,减速停	—	—
G10	不 指 定	设定偏置值	同 步	刀具寿命内
G11~G16	不 指 定	—	—	刀具寿命外等
G17	XY 平面选择	XY 平面选择	—	XY 平面选择
G18	ZX 平面选择	ZX 平面选择	—	ZX 平面选择
G19	YZ 平面选择	YZ 平面选择	—	YZ 平面选择
G20	不 指 定	英制输入	—	直径指定
G21	不 指 定	米制输入	—	半径指定
G22~G26	不 指 定	—	—	螺旋线插补等
G27	不 指 定	参考点返回检验	—	外腔铣削

① 目前 JB/T 3208—1999 已经作废，为方便读者理解指令，本书仍列出。



(续)

G 指令	JB/T 3208—1999 规定的功能含义	日本 FANUC 3MC 系统	德国 SIEMENS 810 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
G28	不 指 定	自动返回参考点	—	—
G29	不 指 定	从参考点移出	—	执行最后自动循环
G30~G31	不 指 定	—	—	镜像设置/注销
G32	不 指 定	—	—	—
G33	螺纹切削,等螺距	—	铣等螺距螺纹	单线螺纹切削
G34	螺纹切削,增螺距	—	铣增螺距螺纹	增螺距螺纹切削
G35	螺纹切削,减螺距	—	铣减螺距螺纹	减螺距螺纹切削
G36~G39	永不指定	—	—	自动螺纹加工等
G40	刀具补偿/刀具偏置注销	刀具半径补偿注销	刀具半径补偿注销	刀具补偿注销
G41	刀具补偿-左	刀具半径补偿-左	刀具半径补偿-左	刀具左补偿
G42	刀具补偿-右	刀具半径补偿-右	刀具半径补偿-右	刀具右补偿
G43	刀具偏置-正	正向长度补偿	—	—
G44	刀具偏置-负	反向长度补偿	—	—
G45	刀具偏置+/+	—	—	夹具偏移
G46	刀具偏置+/-	—	—	双正轴暂停
G47	刀具偏置-/-	—	—	动态 Z 轴 DRO 方式
G48	刀具偏置-/+	—	—	—
G49	刀具偏置 0/+	取消长度补偿	—	—
G50	刀具偏置 0/-	—	—	M 码定义输入
G51	刀具偏置 +/0	—	—	—
G52	刀具偏置 -/0	—	—	—
G53	直线偏移,注销	—	附加零点偏置	—
G54	直线偏移 X	—	零点偏置 1	—
G55	直线偏移 Y	—	零点偏置 2	探测限制
G56	直线偏移 Z	—	零点偏置 3	零件探测
G57	直线偏移 XY	—	零点偏置 4	圆孔探测
G58	直线偏移 XZ	—	—	刀具探测
G59	直线偏移 YZ	—	—	PAL 变量赋值
G60	准确定位 1(精)	—	准停	软件限位区域
G61	准确定位 2(中)	—	—	软件限位无效
G62	快速定位(粗)	—	—	进给速率修调禁止
G63	攻 螺 纹	—	—	—
G64	不 指 定	—	—	—
G65	不 指 定	用户宏指令命令	—	—
G66~G67	不 指 定	—	—	—
G68	刀具偏置,内角	—	—	—
G69	刀具偏置,外角	—	—	—
G70	不 指 定	—	英 制	英 制
G71	不 指 定	—	米 制	米 制
G72	不 指 定	—	—	零件程序放大/缩小
G73	不 指 定	分级进给钻削循环	—	点到点插补
G74	不 指 定	反攻螺纹循环	—	工件旋转
G75~G79	不 指 定	—	—	型腔循环等
G80	固定循环注销	固定循环注销	固定循环注销	自动循环中止

(续)

G 指令	JB/T 3208—1999 规定的 功能含义	日本 FANUC 3MC 系统	德国 SIEMENS 810 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
G81~G89	固定循环	钻、攻螺纹、镗固定循环	钻、攻螺纹、镗固定循环	自动循环
G90	绝对尺寸	绝对值编程	绝对尺寸	绝对值编程
G91	增量尺寸	增量值编程	增量尺寸	增量值编程
G92	预置寄存	工件坐标系设定	主轴转速极限	设置编程零点
G93	时间倒数,进给率	—	—	—
G94	每分钟进给	每分钟进给	每分钟进给	设置旋转轴速率
G95	主轴每转进给	—	每转进给	IPR/MMPN 进给
G96	恒线速度	—	恒线速度	CCS
G97	每分钟转数(主轴)	—	注销 G96	RPM 编程
G98	不 指 定	固定循环中退到起始点	—	ACC/DEC 禁止
G99	不 指 定	固定循环中退到 R 点	—	取消预置寄存

3. 尺寸字

尺寸字也叫尺寸指令。尺寸字在程序段中主要用来指令机床上刀具运动到达的坐标位置，表示暂停时间等的指令也列入其中。地址符用得较多的有三组：第一组是 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R，主要是用于指令到达点的直线坐标尺寸，有些地址（例如 X）还可用于在 G04 之后指定暂停时间；第二组是 A、B、C、D、E，主要用来指令到达点的角度坐标；第三组是 I、J、K，主要用来指令零件圆弧轮廓圆心点的坐标尺寸。尺寸字中地址符的使用虽然有一定规律，但是各系统往往还有一些差别。例如，FANUC 有些系统还可以用 P 指令暂停时间、用 R 指令圆弧的半径等。

坐标尺寸是使用米制还是英制，多数系统用准备功能字选择，如 FANUC 诸系统用 G21/G22 切换、美国 A-B 公司诸系统用 G71/G70 切换。另一些系统用参数来设定。尺寸字中数值的具体单位，在采用米制单位时一般用 1μm、10μm 和 1mm 三种；采用英制时常用 0.0001in 和 0.001in 两种。因此，尺寸字指令的坐标长度就是设定单位与尺寸字中后续数字的乘积。例如在使用米制单位制、设定单位为 10μm 的场合，X6150 指令的坐标长度是 61.5mm。现在一般数控系统已经允许在尺寸字中使用小数点，而且当数字为整数时，可省略小数点。例如，设定单位为 mm 时，X10 指令的坐标长度是 10mm。选择何种单位，通常用参数设定，并不是每类系统都能设定上述五种单位。

4. 进给功能字

进给功能字的地址符用 F，所以又称为 F 功能或 F 指令。它的功能是指令切削的进给速度。现在一般都能使用直接指定方式（也叫直接指定码），即可用 F 后的数值直接指令进给速度。对于车床，可分为每分钟进给和主轴每转进给两种，一般分别用 G94、G95 规定；对于车削之外的控制，一般只用每分钟进给。F 地址符在螺纹切削程序段中还常用来指令导程。

5. 主轴转速功能字

主轴转速功能字用来指定主轴的转速，单位为 r/min，地址符使用 S，所以又称为 S 功能或 S 指令。中档以上的数控机床，其主轴驱动已采用主轴控制单元，它们的转速可以



直接指令，即用 S 后续数字直接表示每分钟主轴转速。例如，要求 1300r/min，就指令 S1300。不过，现在用得较多的主轴单元的允许调幅还不够宽，为增加无级变速的调速范围，需加入几档齿轮变速，由后面要介绍的辅助功能指令来变换齿轮档，这时，S 指令要与相应的辅助功能指令配合使用。像国内某些机床厂生产的经济型数控车床，采用的是主轴转速间接指定码，由于主轴电动机还是普通电动机，其主轴箱内的主轴变速机构与传统的卧式车床差别不大，也是用电磁离合器通过齿轮做有级变速，程序中的 S 指令用 1~2 位数字代码，每一数字代表的具体转速可以从主轴箱上的转速表中查得。对于中档以上的数控车床，还有一种使切削速度保持不变的所谓恒线速度功能。即在切削过程中，如果切削部位的回转直径不断变化，那么主轴转速也要不断地做相应的变化，在这种情况下，可用程序中的 S 指令指定车削加工的线速度数。

6. 刀具功能字

刀具功能字用地址符 T 及随后的数字表示，所以也称为 T 功能或 T 指令。T 指令主要是用来指定加工时使用的刀具号。对于车床，其后的数字还兼作指定刀具长度（含 X、Z 两个方向）补偿和刀具半径补偿用。

在车床上，T 之后的数字分 2 位、4 位和 6 位三种。对两位数字的 T 指令来说，一般前位数字代表刀具（位）号，后位数字代表刀具长度补偿号。其他两种以后将结合不同的机床进行介绍。

数控铣床（含加工中心）的刀具功能比车床要复杂些，而且各系统的差别也较大。加工中心的共同点是刀具号用 T 指令，T 后的数字一般为 1~4 位，它在多数系统内只表示刀具号，只有在少数系统内也指令 X、Z 向的刀具长度补偿号。多数系统换刀使用“M06 T~”指令，如“M06 T05”表示将原来的刀具换成 5 号刀。

7. 辅助功能字

辅助功能字由地址符 M 及随后的 1~3 位数字组成（多为 2 位），所以也称为 M 功能或 M 指令。它用来指令数控机床辅助装置的接通和断开（即开关动作），表示机床各种辅助动作及其状态。与 G 指令一样，M 指令在实际使用中的标准化程度也不高。现将我国根据 ISO 1056—1975（E）制定的行业标准 JB/T 3208—1999 中 M 指令的含义与几种国外数控系统中实际使用的 M 指令含义进行对照，列成表 1-2。

表 1-2 M 指令含义对照表

M 指令	JB/T 3208—1999 规定的功能含义	美国辛辛那提 850 系统	日本 FANUC 6T-B 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
M00	程序停止	程序停止	程序停止	程序停止
M01	计划停止	计划停止	选择停止	选择停止
M02	程序结束	程序结束	程序结束	程序结束
M03	主轴顺时针方向	主轴顺时针方向	主轴顺时针方向	主轴顺时针方向
M04	主轴逆时针方向	主轴逆时针方向	主轴逆时针方向	主轴逆时针方向
M05	主轴停止	主轴停止	主轴停止	主轴停止
M06	换 刀	换 刀	—	换 刀
M07	2 号切削液开	2 号切削液开		雾 冷

(续)

M 指令	JB/T 3208—1999 规定的 功能含义	美国辛辛那提 850 系统	日本 FANUC 6T-B 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
M08	1 号切削液开	1 号切削液开	切削液开	液 冷
M09	切削液关	切削液停	切削液停	冷却停
M10	夹 紧	—	—	夹 紧
M11	松 开			松 开
M12	不 指 定			用户选通脉冲输出
M13	主轴顺时针转动,切削液开			主轴顺时针转动,切削液开
M14	主轴逆时针转动,切削液开	主轴逆时针转动,切削液开		主轴逆时针转动,切削液开
M15	正 运 动	—		主轴制动开
M16	负 运 动			主轴制动关
M17	不 指 定	主轴顺时针转动,2 号切削液开	排屑器起动	标准主轴
M18	不 指 定	主轴逆时针转动,2 号切削液开	排屑器停止	主轴作为 C 轴
M19	主轴定向停止	—	—	主轴定向停止
M20	不 指 定			
M21	不 指 定		误差检测通,尖角	夹 紧 紧
M22	不 指 定		误差检测关,圆角	刀套缩起
M23	永 不 指 定			倒 角
M24	永 不 指 定	主轴顺时针转动,主轴孔冷却	倒角解除	刀具交换指令
M25	永 不 指 定	主轴逆时针转动,主轴孔冷却	—	
M26~M27	永 不 指 定	—		
M28	永 不 指 定			低速齿轮
M29	永 不 指 定	第三切削液开	主轴速度一致检出	高速齿轮
M30	纸带结束	子程序结束	穿孔带结束	程序结束
M31	互锁旁路	—	进给修调取消	长响应输出
M32	不 指 定	当前子程序结束	进给修调恢复	
M33~M34	不 指 定	—	—	用户选通脉冲输出
M35	不 指 定			
M36	进给范围 1			
M37	进给范围 2		主轴低速范围	
M38	主轴速度范围 1		主轴中速范围	用户选存信号输出
M39	主轴速度范围 2		主轴高速范围	
M40	如有需要可作为齿轮换挡,此外不指定		—	
M41	如有需要可作为齿轮换挡,此外不指定			
M42	如有需要可作为齿轮换挡,此外不指定			
M43	如有需要可作为齿轮换挡,此外不指定			
M44	如有需要可作为齿轮换挡,此外不指定			齿轮 4 驱动



(续)

M 指令	JB/T 3208—1999 规定的功能含义	美国辛辛那提 850 系统	日本 FANUC 6T-B 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
M45	如有需要可作为齿轮换挡,此外不指定	—	—	用户选存信号输出
M46	不 指 定			计数复位
M47	不 指 定			
M48	注销 M49			
M49	进给率修正旁路			
M50	3 号切削液开			
M51	4 号切削液开			条件分开
M52~M54	不 指 定			—
M55	刀具直线位移,位置 1			
M56	刀具直线位移,位置 2			
M57	不 指 定		卡盘闭	
M58	不 指 定		卡盘开	终止 M59
M59	不 指 定		—	经由 CSS 修改
M60	更换工件			普通响应标志
M61	工件直线位移,位置 1			
M62	工件直线位移,位置 2			
M63	不 指 定			
M64	不 指 定			
M65	不 指 定		刀头确认	普通长响应标志
M66	不 指 定		刀台回转禁止	
M67	不 指 定		刀台回转允许	
M68~M69	不 指 定		—	
M70	不 指 定	选择 M 功能	刀检空气吹扫	普通选通标志
M71	工件角度位移,位置 1		—	普通锁存标志
M72	工件角度位移,位置 2			
M73~M79	不 指 定		第一刀具组跳读 第二刀具组跳读 第三刀具组跳读 第四刀具组跳读 第五刀具组跳读 — 机外计测:内径 机外计测:外径 —	—
M80	不 指 定			
M81	不 指 定			
M82	不 指 定			
M83	不 指 定			
M84	不 指 定			
M85	不 指 定			
M86	不 指 定			
M87	不 指 定			
M88~M89	不 指 定			

(续)

M 指令	JB/T 3208—1999 规定的功能含义	美国辛辛那提 850 系统	日本 FANUC 6T-B 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
M90~M91	永不指定	—	—	—
M92	永不指定		外部输入刀具补偿	
M93	永不指定		外部输入刀具补偿	
M94~M97	永不指定		—	
M98	永不指定		子程序调出	
M99	永不指定		返回主程序	

从表 1-2 中可以看到，各种系统 M 指令含义的差别很大，但 M00~M05 及 M30 的含义是一致的，M06~M11 以及 M13、M14 的含义基本一致。随着机床数控技术的发展，两位数 M 指令已不够用，所以当代数控机床已有不少使用三位数的 M 指令。

四、程序段格式及程序格式

1. 程序段格式

程序段是可作为一个单位来处理的连续的字组，它实际上是数控加工程序中的一句。多数程序段是用来指令机床完成（执行）某一个动作的。程序的主体是由若干个程序段组成的。在书写和打印时，每个程序段一般占一行，在荧光屏显示程序时也是如此。

程序段格式是指程序段中的字、字符和数据的安排形式。在数控机床的发展历史上，曾经用过固定顺序格式和分隔符程序段格式（也称为分隔符顺序格式）。现在一般都使用字地址可变程序段格式，称为字地址格式。对这种格式，程序段由若干个字组成，字首是一个英文字母，称为字的地址。字的功能类别由地址决定。在此格式程序中，上一段程序中已写明、本程序段里又不必变化的那些字仍然有效，可以不再重写。具体地说，对于模态（续效）G 指令（如 G01），在前面程序段中已出现过时可不再重写。在这种格式中，每个字长不固定。例如在尺寸字中可只写有效数字，省略前置零。各个程序段中的长度（即字符个数）和程序字的个数都是可变的，故属于可变程序段格式。下面列出某程序中的两个程序段：

```
N30 G01 X88.467 Z47.5 F50 S250 T03 M08
N40 X75.4
```

这两段的字数和字符个数相差甚大，但除 X 坐标有变化外其他情况不变。当今的数控系统绝大多数对程序段中各类字的排列不要求有固定的顺序，即在同一程序段中各个指令字的位置可以任意排列。上例 N30 段也可写成：

```
N30 M08 T03 S250 F50 Z47.5 X88.467 G01
```

当然，还有很多排列形式，它们对数控系统是等效的。在大多数场合，为了书写、输入、检查和校对的方便，程序字在程序段中习惯按一定的顺序排列，如 N、G、X、Y、Z、S、T、M 顺序。

2. 加工程序的一般格式

加工程序一般由开始符（单列一段）、程序名（单列一段）、程序主体和程序结束指