

高等职业技术教育机电类规划教材

数控机床 加工程序编制

无锡机械制造学校 顾京 主编



机械工业出版社

高等职业技术教育机电类规划教材

数控机床加工程序编制

主编 顾 京

参编 余建亮 陈洪涛 邱思泉

主审 孙东阳



机械工业出版社

随着数控技术的飞速发展,根据1996年2月机械工业部中等专业学校数控专业指导委员会的决定和教学大纲的要求,结合“97机械工业部高等职业技术教育机电类专业教材建设研讨会”提出的写作大纲的要求组织编写了本书。

本书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编程的数学处理;第三章为数控车床的程序编制;第四章为数控铣床的程序编制;第五章为加工中心的程序编制;第六章为数控线切割机床的程序编制;第七章为自动编程软件的使用。全书从培养职业技术型人才的目出发,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。

本书可作为高等职业技术学院和中等专业学校数控技术应用专业和机电类专业的教学用书,也可供有关专业的师生和从事相关工作的科技人员参考。

数控机床加工程序编制

无锡机械制造学校 顾京 主编

*

责任编辑:邓海平 孙祥根 版式设计:霍永明
封面设计:姚毅 责任校对:林去菲
责任印制:卢子祥

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 12.75·字数 309 千字

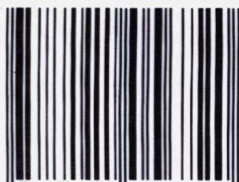
1997年8月第1版第1次印刷

印数 0 001—8 000 定价:15.00 元

*

ISBN 7-111-05672-8/TH·782 (课)

ISBN 7-111-05672-8



9 787111 056720 >

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

本书是根据机械工业部 1996 年中等专业学校数控技术应用专业指导委员会的决定和教学大纲的要求,结合“97 机械工业部高等职业技术教育机电类专业教材建设研讨会”提出的写作大纲编写的,可供高等职业技术学院和中等专业学校数控技术应用专业及机电类专业学生作教材之用。

本书从培养职业技术型人才的目的出发,介绍了数控机床加工程序编制的基础知识和基本方法,着重讲述了数控车床、数控铣床和加工中心等的编程方法与注意事项,还详细介绍了目前广为使用的图形数控自动编程软件的使用。本书实用性强,举例丰富,并附有练习与思考题,供教学参考。

本书由无锡机械制造学校顾京主编。第一、二、四章由顾京编写,第三、五章由四川省机械工业学校陈洪涛和福建高级工业专门学校邱思泉编写,第六、七章由上海市机电工业学校余建亮编写。南京高等机械专科学校高级工程师孙东阳任本书主审,并为本书提供了宝贵意见和资料。

在审稿会上,四川省机械工业学校阎宪武、陕西省咸阳机器制造学校李善术、山东省机械工业学校刘迎春、上海市机电工业学校夏奇兵、浙江省机械工业学校鲍小南、福建高级工业专门学校陈鼎宁、天津市机电工业学校郭文成、西安仪表工业学校关雄飞、廊坊市工业学校陈继振、军需工业高等专科学校解海滨等提出了许多宝贵意见,在此深表感谢。

因水平有限,经验不足,不当之处在所难免,希读者指正。

编 者

1996 年 12 月

CAI 170 p7

目 录

前 言	
第一章 数控机床加工程序编制的 基础	1
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	27
第二章 常用编程指令及数学处理	28
第一节 常用编程指令	28
第二节 程序编制中的数学处理	41
第三节 非圆曲线的逼近处理	44
练习与思考题	51
第三章 数控车床的程序编制	53
第一节 数控车床程序编制的基础	53
第二节 数控车床的程序编制	56
第三节 图形的数学处理	74
第四节 典型零件的程序编制	77
练习与思考题	80
第四章 数控铣床的程序编制	81
第一节 数控铣床程序编制的基础	81
第二节 XK5032 立式数控铣床的程序 编制	90
第三节 图形的数学处理	113
第四节 典型零件的程序编制	119
练习与思考题	134
第五章 加工中心的程序编制	136
第一节 加工中心程序编制的基础	136
第二节 加工中心的程序编制	141
第三节 用户宏程序在加工中心上的应 用	153
练习与思考题	158
第六章 数控电火花线切割机床的 程序编制	160
第一节 编程前的工艺准备	160
第二节 手工编制程序	167
第三节 自动编制程序	171
练习与思考题	180
第七章 自动编程	182
第一节 自动编程概述	182
第二节 图形交互自动编程	187
练习与思考题	197
参考文献	198

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，我们把从外部输入的直接用于加工的程序称为数控加工程序，简称为数控程序，它是机床数控系统的应用软件。数控装置所用的计算机属于专用计算机，它使用的自动控制语言与通用计算机使用的 BASIC、FO-TRAN 等高级语言属于不同的范畴。尽管这种自动控制语言也像高级语言那样有严格的规则和格式，但它没有类似高级语言那样的语法。

数控系统的种类繁多，它们使用的数控程序的语言规则和格式也不尽相同，编制程序时应该严格按照机床编程手册中的规定进行程序编制。

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特性、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控制介质（简称控制介质）上。常见的控制介质有磁盘、磁带、穿孔带等。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见图 1-1。

因此，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。因此数控程序编制也就是指由分析零件图样到程序检验的全过程，见图 1-2。

2. 数控机床程序编制的具体步骤与要求

（1）分析零件图样和制定工艺方案 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；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。制定工艺方案中涉及的许多问题，我们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

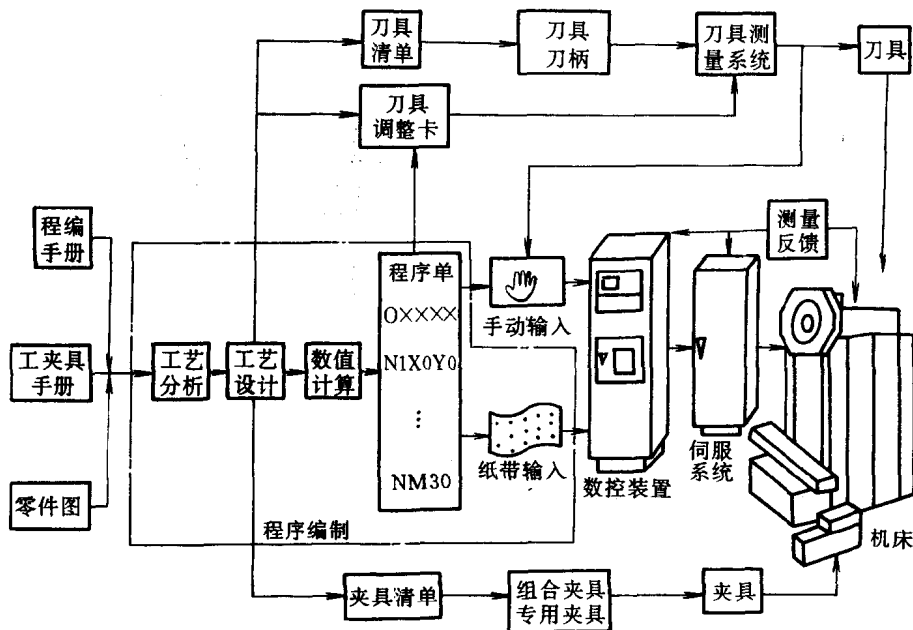


图 1-1 数控机床的加工过程

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。如果数控系统无刀具补偿功能，还应该计算刀具运动的中心轨迹。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。

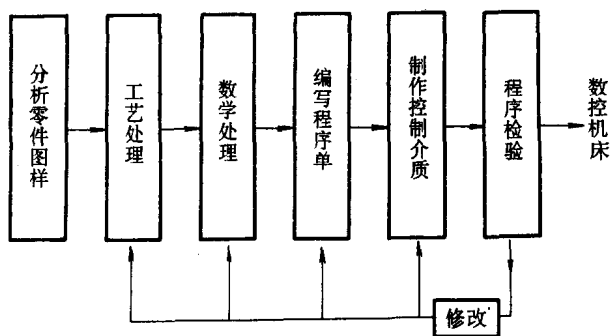


图 1-2 数控机床程序的编制过程

(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. 数控机床程序编制的方法

数控机床程序编制的方法有两种:手工编制程序与自动编制程序。

手工编程是指主要由人工来完成数控机床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,由于计算相当繁琐且程序量大,手工编程就难以胜任,即使能够编出程序来,

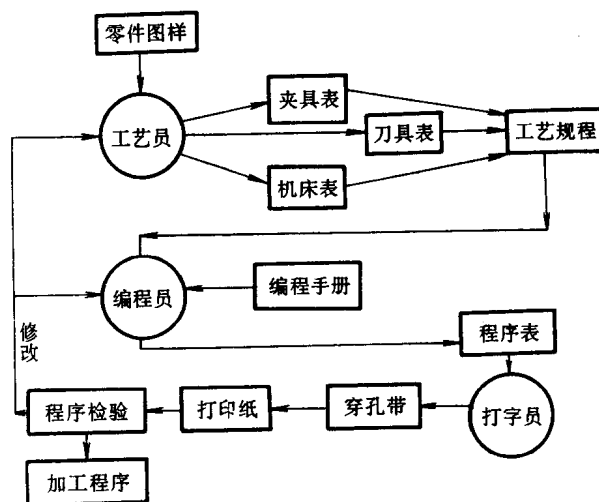


图 1-3 手工编程框图

往往耗费很长时间,而且容易出现错误。据国外统计,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,采用手工编制程序已不能满足要求,而必须采用“自动编制程序”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,编出零件加工程序并自动地制作出穿孔纸带。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繁琐的数值计算工作,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,自动编制程序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等。语言自动编程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，还可用于自动编制程序。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。字符也是我们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，它由大写 26 个英文字母组成；第二类是数字和小数点，它由 0~9 共 10 个数字及一个小数点组成；第三类是符号，由正号（+）和负号（-）组成；第四类是功能字符，它由程序开始（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。

数控系统与通用计算机一样只接受二进制数信息，所以必须把每个字符转换成 8 byte 信息组合的字节。每个字符在存储时占用一个内存单位。信息需要载体，穿孔纸带是信息载体的一种，它也是包括加工程序在内的数控程序常用的控制介质。现在多用八单位标准穿孔纸带，它的尺寸规格见图 1-4。

纸带纵向的 8 列孔即为 8 个信息通道。中间还有一条由 $\phi 1.17 \pm 0.05 \text{ mm}$ 的同步孔组成的同步通道。同步孔又叫中导孔，它是用来传送纸带和产生读带同步控制信号的。可见，纸带上的每一行由一个同步孔和 8 个信息孔组成。由每行 8 个信息孔位上有孔与无孔的排列，来表示一个二进制八位数。人们把字符编码，即把

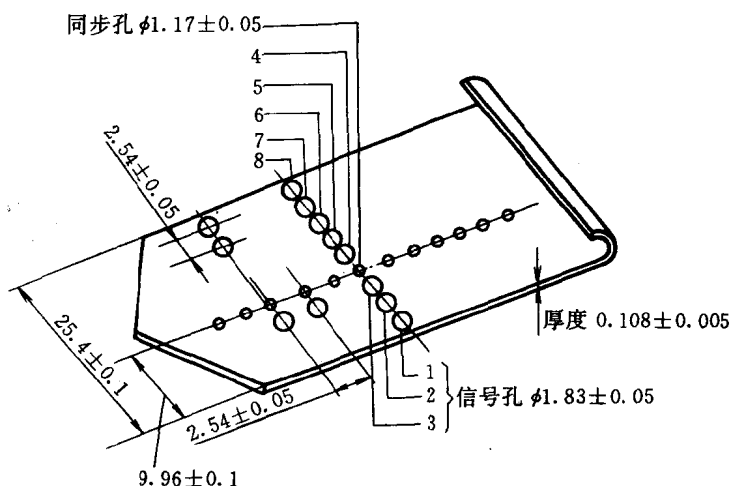


图 1-4 八单位标准穿孔纸带

每种字符各指定一个二进制八位数与之对应。这样，就可以把各种字符乃至整个程序记录到穿孔纸带上。显然，每个字符（实为字符的编码）占穿孔带上一行。反过来，纸带上只要有同步孔就代表一个字符。穿孔带上每一横排间的距离为 $2.54 \pm 0.05 \text{ mm}$ 所以 1m 纸带上大约能载 0.4K（千）字节。字符在八单位穿孔带上的编码，国际上广泛采用两种标准，即 ISO (International Standardization Organization) 国际标准化组织标准和 EIA (Electronic Industries Association) 美国电子工业协会标准，它们分别称为 ISO 代码和 EIA 代码。见表 1-1。这两种代码的区别不仅仅是每种

字符的二进制八位数编码不同,而且功能代码的符号、含义和数量都有很大区别。在现代大多数数控机床上这两种代码都可以使用。

1. ISO 代码

ISO 代码主要在计算机和数据通信中使用,1965 年以后才开始在数控机床中使用。ISO 的特点是每一行的孔数必须是偶数,故也称 ISO 代码为偶数码。ISO 代码中的数字代码需在第五列和第六列穿孔,字母需在第七列穿孔,若某行孔数为奇数,则第八列孔补偶,以保证每行孔均为偶数,这样做的目的是为了读入时的校验。

2. EIA 代码

由于美国在数控机床方面处于领先地位,因此 EIA 标准为世界各国的数控机床厂所接受,并得到广泛使用。EIA 代码的特点是除 CR 字符外,其余各字符均不使用第八列;其次,它的每一行孔都必须是奇数,第五列孔为补奇孔。EIA 代码只有结束符 CR 使用第八列,所以纸带上程序的每一段分得很清楚,便于检查修改。由于 EIA 代码所用的符号只能从六位二进制的 64 种排列中选择,其信息量一般较小。

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叫做字长。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。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

它也叫程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首,它的地址符是 N,后续数字一般 2~4 位。顺序号可以用在主程序、子程序和宏程序中。

(1) 顺序号的作用 首先顺序号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,就可直观地检查程序。顺序号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) 顺序号的使用规则 数字部分应为正整数,一般最小顺序号是 N1。顺序号的数字可以不连续,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,也可以只在部分程序段中设顺序号,还可在整个程序中全不设顺序号。一般都把第一程序段冠以 N10,以后以间隔 10 递增的方法设置顺序号,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,顺序号开头还有个地址符 N。事实上,数控加工中的顺序号与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和顺序号的大小；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无关。由此可见，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。它的定义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 功能字中的后续数字已经使用三位数。依据 ISO1056-1975 (E) 国际标准，国内制订了 JB 3208—83 部颁标准，其中规定了 G 功能字的功能含义。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 指令字的功能相差甚大。即使是国内生产的数控系统，也没有完全按这个部颁标准来规定 G 指令字的含义。现将日本 FANUC、德国 SIEMENS 和 A-B 公司产的数控系统的 G 指令功能含义与 JB 3208—83 对比列成表 1-2。从表 1-2 中可以看出，目前国际上实际使用的 G 功能字，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 1-2 G 功能字含义对照表

G 功能字	中国部颁标准 JB3208—83 规定	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
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	等螺距螺纹切削	—	铣等螺距螺纹	单遍螺纹切削

(续)

G 功能字	中国部颁标准 JB3208—83 规定	日本 FANUC 3MC 系统	德国 SIEMENS 810 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
G34	增螺距螺纹切削	—	铣增螺距螺纹	增螺距螺纹切削
G35	减螺距螺纹切削	—	铣减节距螺纹	减节距螺纹切削
G36~G39	永不指定	—	—	自动螺纹加工等
G40	刀具补偿偏置注销	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 丝	—	—	—
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	分级进给钻孔循环	—	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
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

(续)

G 功能字	中国部颁标准 JB3208—83 规定	日本 FANUC 3MC 系统	德国 SIEMENS 810 系统	美国 A-B 公司 8400MP 系统
G97	主轴每分钟转数	—	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	—	取消预量寄存

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。

坐标尺寸是使用国际单位制还是英制，多数系统用准备功能字选择，如 FANUC 诸系统用 G21/G22、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，采用米制单位时一般用 $1\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 和 1mm 三种；在采用英制时常常用 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 $10\mu\text{m}$ 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 5 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 后的数定直接指令进给速度。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 S 1300。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作有级变速，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。这意味着在切削过程中，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作相应的变化。在这种场合，程序中的 S 指令是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 指令的功能含义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) 补偿和刀尖半径补偿用。

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。其它两种以后将结合不同的机床进行介绍。

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~指定, T 后的数字一般 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 M06T~指令, 如 M06T05 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 ISO1056-1975(E) 制订的部颁标准 JB 3208—83 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 1-3。

表 1-3 M 功能字含义对照表

M 代码	JB3208—83 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 号冷却液开	2 号冷却液开	—	雾 冷
M08	1 号冷却液开	1 号冷却液开	冷却液开	液 冷
M09	切削液停	切削液停	冷却液停	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	主轴正转, 切削液开	主轴正转, 切削液开		主轴正转, 切削液开
M14	主轴逆转, 切削液开	主轴逆转, 切削液开		主轴逆转, 切削液开
M15	正 (方向) 运动	—	—	主轴制动开
M16	负 (方向) 运动			主轴制动关
M17	不 指 定	主轴正转, 2 号切削液开	排屑器起动	标准主轴
M18	不 指 定	主轴逆转, 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		—	夹 紧 松
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	刀 套 出
M24	永不指定	主轴正转, 主轴孔冷却	倒角解除	刀具交换指令
M25	永不指定	主轴逆转, 主轴孔冷却	—	
M26~M27	永不指定	—	—	
M28	永不指定	—	—	低速齿轮

(续)

M 代码	JB3208—83 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
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	了程序结束	穿孔带结束	程序结束
M31	互锁解除	—	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		主轴低速范围	
M37	进给范围 2		主轴中速范围	
M38	主轴速度范围 1		主轴高速范围	用户选存信号输出
M39	主轴速度范围 2		—	
M40	可作齿轮换档		—	
M41	可作齿轮换档		—	
M42	可作齿轮换档		—	齿轮 1 驱动
M43	可作齿轮换档		—	齿轮 2 驱动
M44	可作齿轮换档		—	齿轮 3 驱动
M45	可作齿轮换档		—	齿轮 4 驱动
M46	不 指 定		—	用户选存信号输出
M47	不 指 定		—	
M48	注销 M49		—	
M49	进给率修正旁路		—	
M50	3 号切削液开		—	计数复位
M51	4 号切削液开		—	向上定时
M52~M54	不 指 定		—	向下计量
M55	刀具直线位移, 位置 1		—	条件分开
M56	刀具直线位移, 位置 2		—	—
M57	不 指 定		卡盘闭	终止 M59
M58	不 指 定		卡盘开	
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		—	普通长响应标志
M63	不 指 定		刀头确认	
M64	不 指 定		刀台回转禁止	
M65	不 指 定		刀台回转允许	
M66	不 指 定		—	普通选通标志
M67	不 指 定		刀检空气吹扫	
M68~M69	不 指 定	选择 M 功能	—	普通锁存标志
M70	不 指 定		—	
M71	工件角度位移, 位置 1		—	—
M72	工件角度位移, 位置 2		—	
M73~M79	不 指 定		第一刀具组跳读	
M80	不 指 定		第二刀具组跳读	
M81	不 指 定		第三刀具组跳读	
M82	不 指 定		第四刀具组跳读	
M83	不 指 定		第五刀具组跳读	
M84	不 指 定		—	
M85	不 指 定		—	
M86	不 指 定		机外计测: 内径	

(续)

M 代码	JB3208—83 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
M87	不指定		机外计测, 外径	
M88~M89	不指定		—	
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	

从表中可以看到, 各种系统 M 代码含义的差别很大, 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 代码已不够用, 所以当代数控机床已有不少使用三位数的 M 代码。

四、程序段格式

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 (也叫分隔符顺序格式)。现在一般都使用字地址可变程序段格式, 它称为字地址格式。对这种格式, 程序段由若干个字组成, 字首是一个英文字母, 它称为字的地址。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), 在前面程序段中已有时可不再重写。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 坐标有变化外其它情况不变。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令 (一般单列一段) 组成。程序的最后还有一个程序结束符。程序开始符与程序结束符是同一个字符: 在 ISO 代码中是 %, 在 EIA 代码中是 ER。程序结束指令可用 M02 (程序结束) 或 M30 (程序结束返回)。在使用中, 用 M02 结束程序时, 自动运行结束后光标停在程序结束处; 而