

数控铣削

编程与加工

赵 刚 主 编
李 湘 副主编



化学工业出版社

数控铣削 编程与加工

赵 刚 主 编
李 湘 副主编



化学工业出版社

·北 京·

本书包含三个模块：“编程指令篇”、“机床加工操作篇”和“加工实例篇”，分别对数控编程指令和机床加工操作过程中必备的知识点进行了系统介绍。

本书在编写过程中力求使理论知识与实践技能并重。“加工实例篇”中所列举的实例均是来源于作者多年来的教学与生产实践，以及带领学生参加数控大赛时候的讲义，目的是使本书既便于理论教学也能指导实习生产。因此，紧密结合实践是本书的一大特色。

本书可供广大数控机床操作工与编程人员学习使用，也可作为职业院校数控相关专业师生组织教学及实训环节时的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣削编程与加工/赵刚主编. —北京：化学工业出版社，
2007.7

ISBN 978-7-122-00456-7

I. 数… II. 赵… III. ①数控机床：铣床-金属切削-程序设计②数控机床：铣床-金属切削-加工 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 078783 号

责任编辑：黄 澄

责任校对：郑 捷

装帧设计：潘 峰

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12¼ 字数 267 千字 2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书的初稿完成于2006年的2月，于2006年6月完成第一次修改，2007年1月完成了第二次修改，最终形成三个模块：“编程指令篇”、“机床加工操作篇”和“加工实例篇”，目的是使本书既便于理论教学也能指导实习生产。

本书实用性强，编写过程中力求使理论知识与实践技能并重。书中的很多实例均是来源于作者多年来的教学与生产实践，以及带领学生参加数控大赛时候的讲义，紧密结合实践是本书的一大特色。

本书可供广大数控机床操作工与编程人员学习使用，也可作为职业院校数控相关专业师生组织教学及实训环节时的参考用书。

本书由株洲技术学院工业自动化系赵刚主编，李湘副主编。在编写过程中得到了系部领导与相关教师的大力支持和帮助，特别是数控教研室的资深数控专家张璐青老师，在本书的编写和修改过程中提出了很多宝贵的意见和建议，在此向他们表示感谢。

由于编者水平有限，书中不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

编程指令篇

第 1 章 数控编程概述	3
1.1 NC 程序简介	3
1.1.1 NC 程序格式简介	3
1.1.2 数据输入格式简介	4
1.1.3 坐标位置数值的表示方式	4
1.1.4 选择性执行符“/”	5
1.1.5 程序段注释“()”	5
1.2 地址符和地址字详解	6
1.2.1 程序段号地址字 N	6
1.2.2 主轴功能地址字 S	7
1.2.3 刀具功能地址字 T	7
1.2.4 进给功能地址字 F	7
1.2.5 辅助功能地址字 M	7
1.2.6 准备功能 G 指令	8
第 2 章 子程序的调用	21
2.1 子程序的格式	21
2.2 执行方法和顺序	21
第 3 章 孔加工固定循环指令	24
3.1 孔加工固定循环指令简介	24
3.1.1 常用孔加工固定循环指令	24
3.1.2 孔加工固定循环指令详解	26
3.2 钻削循环指令 G81 和 G82	26
3.2.1 指令格式和动作	26
3.2.2 加工实例（加工垫板）	27
3.3 钻削深孔指令 G73 和 G83	29
3.4 镗削循环指令 G76、G85、G87 和 G89	30
3.5 攻螺纹固定循环 G74 和 G84	31
第 4 章 铣削编程中的实用功能	33
4.1 极坐标（G15、G16）的使用	33
4.1.1 指令格式	33

4.1.2 程序示例	33
4.2 坐标系旋转指令 (G68 与 G69)	34
4.2.1 指令格式	34
4.2.2 程序示例	35
4.2.3 注意事项	37
4.3 可编程镜像 (G51.1 与 G50.1)	37
4.3.1 指令格式	37
4.3.2 程序示例	38
4.3.3 说明	39
4.4 比例缩放 (G50 与 G51)	40
4.4.1 指令格式	40
4.4.2 说明	41
4.4.3 程序举例	41
第 5 章 用户宏程序简介	43
5.1 宏程序的概念	43
5.2 宏程序的赋值	45
5.3 宏程序中的变量	46
5.4 运算符与表达式	46
5.4.1 算术运算符	46
5.4.2 条件运算符	47
5.4.3 逻辑运算符	47
5.4.4 函数	47
5.4.5 表达式	47
5.5 循环控制语句	47
5.6 宏程序的分类	48
5.7 宏程序编程示例	49

机床加工操作篇

第 6 章 数控铣削加工必备工艺知识	57
6.1 数控铣床的坐标系与关键点	57
6.1.1 坐标轴和运动方向的命名原则	57
6.1.2 坐标轴的规定	57
6.1.3 机床坐标系与工件坐标系	58
6.1.4 数控机床中的关键点	58
6.2 铣削用量	59
6.2.1 切削速度 V_c	60
6.2.2 进给量 F	60
6.2.3 切削深度 a_p	60
6.2.4 切削宽度 a_e (步距)	60

6.3 编程中的常用工艺路线	61
6.3.1 Z轴方向上的编程设定	61
6.3.2 进退刀方式与向量	61
6.3.3 零件的加工路线	63
第7章 FANUC 0i-Mate 数控加工中心操作面板	66
7.1 FANUC 0i 系统操作面板	66
7.2 操作面板的组成	66
7.2.1 CRT 显示器	67
7.2.2 MDI 面板	67
7.2.3 机床操作面板	69
第8章 数控机床基本操作专项练习	72
8.1 数据的输入/输出与程序的编辑	72
8.1.1 通过 MDI 键盘输入加工程序	72
8.1.2 通过 MDI 键盘编辑加工程序	74
8.2 机床的手动操作	77
8.2.1 机床回零	77
8.2.2 手动/连续方式	78
8.2.3 手动脉冲方式	78
8.3 加工中心的对刀	78
8.3.1 对刀原理	78
8.3.2 对刀方法与操作	78
8.4 数控机床自动运行专项练习	82
8.4.1 存储器运行	82
8.4.2 自动/单段方式	83
8.4.3 检查运行轨迹	83
8.4.4 MDI 运行	84
8.4.5 DNC 运行	84
8.4.6 程序再启动	86

加工实例篇

第9章 数控铣削加工实例	89
课题1 平面铣削的数控编程加工	89
课题2 “8”字形密封槽的铣削加工	91
课题3 铣削加工“C”形凹槽	93
课题4 铣削加工英文字母“CNC”	94
课题5 铣削加工台阶	96
课题6 带刀具半径补偿时的编程	98
课题7 铣削某连接件	101
课题8 局部工件坐标系的建立与子程序的调用	104

课题 9	子程序的嵌套	106
课题 10	螺旋线铣削加工“离合器”零件	109
课题 11	X-Z (G18) 平面上的子程序调用	112
课题 12	简单曲面加工的手动编程	114
课题 13	曲面的手动编程	117
课题 14	圆台零件的铣削	118
课题 15	子程序和半径补偿相结合使用	121
课题 16	加工凸台	123
课题 17	利用极坐标指令加工钻套	126
课题 18	加工“内弧线”下连杆	129
课题 19	利用旋转坐标加工标志图形	131
课题 20	利用镜像加工功能完成全国数控竞赛试题	134
课题 21	铣削加工“支座”	137
课题 22	铣削加工“回转缓冲器”	141
课题 23	加工变位齿轮	145
课题 24	宏程序的二重嵌套	153
课题 25	铣削加工内圆弧面	155
课题 26	利用 WHILE 语句完成内圆弧面的铣削加工	157
课题 27	利用 WHILE 语句完成内圆角的加工	159
课题 28	特殊指令 G10 的应用	160
课题 29	利用 G10 指令倒圆锥	163
课题 30	薄壁零件的铣削	165
编程加工练习题		168
附录 写给数控编程人员和加工操作者的话		183
参考文献		184

编程指令篇

第 1 章

数控编程概述

数字控制是经由程序中的指令控制系统去执行以往必须由人工操作的所有加工动作。故学习程序编制必须完全了解程序中指令的功能及格式，这样才能将传统人工操作工具机的加工经验及相关知识，很正常地用指令来描述加工顺序。简而言之，CNC 铣床（或 MC）的程序就是依据已具有的加工知识和加工工序，用正确的指令依序描述组合而成。

应特别注意的是，编制 NC 程序时必须考虑以下几点：

- ① 依工件形状及尺寸标示决定程序原点位置及加工工序；
- ② 工件的夹持方法 用虎钳夹持或用 T 形槽螺栓、垫板或制作特殊夹具；
- ③ 刀具的选择 包括铣刀的直径、刀刃长度、材质及其他刀具的选用并决定各把刀具的刀号及刀具半径补正地址、长度补正地址；
- ④ 切削条件 包括各把刀具的主轴转速、切削深度、进给速率、精铣预留量等。

1.1 NC 程序简介

1.1.1 NC 程序格式简介

NC 程序是由指令组成，而指令是由英文字母与数值（如 N10，G28，G90，G91，M03，F100，S2500，T01 等）或特殊符号（如单节选择性指令“/”、单节结束指令“;”等）组成。但是不同的系统使用的指令和代码的格式是不同的，不能盲目照搬，本书所用指令均按照在我国应用得较为广泛的 FANUC 0i 系统的代码格式为基础进行编写。

NC 程序示例

```
O0001;  
N10 G91 G28 Z0;  
N20 G28 X0 Y0;  
N30 M06 T01;  
N40 M03 S1000;  
N50 G90 G54 G00 G43 Z5. H01;  
N60 G00 G41 X25. Y30. D11;  
N70 G01 Z-5. F50;  
N80 M30;
```

上例程序中每一行即称为一个程序段，每一程序段是由至少一个程序字（Word）组成，程序字是由一个地址符（Address）和数值（Number）组成。每一单节后面加一单节结束符号“;”，以界定单节的范围。如此 CNC 控制器即依照程序中的单节指令，依序执行程序。

地址符用英文字母表示，其意义如表 1-1 所示，地址符依照已设定的程序功能而有不同的意义，其目的是限定其后数字的意义。

表 1-1 地址符的功能及其含义

功 能	地 址	取 值 范 围	含 义
程序号	O	1~9999	程序号
顺序号	N	1~9999	顺序号
准备功能	G	00~99	指定数控功能
尺寸定义	X,Y,Z	±99999.999mm	坐标位置值
	R		圆弧半径,圆角半径
	I,J,K	±9999.9999mm	圆心坐标位置值
进给速率	F	1~100000mm/min	进给速率
主轴转速	S	1~4000r/min	主轴转速值
选刀	T	0~99	刀具号
辅助功能	M	0~99	辅助功能 M 代码号
刀具偏置号	H,D	1~200	指定刀具偏置号
暂停时间	P,X	0~99999.999s	暂停时间(ms,s)
重复次数	P,L	1~999	调用子程序用
参数	P,Q	P 为 0~99999.999 Q 为 ±99999.999mm	固定循环参数

1.1.2 数据输入格式简介

NC 程序中的每一指令皆有一定的固定格式，使用不同的控制器其格式亦不同，故必须依据该控制器的指令格式书写指令，若其格式有错误，则程序将不被执行而出现报警信息。

其中，以数值资料输入时更应特别小心。一般 NC 铣床或 MC 皆可选择用公制单位“mm”或英制单位“in”作为坐标数值的单位。公制可精确到 0.001mm，英制可精确到 0.0001in，这也是一般 NC 机床的最小位移量。如输入 X1.23456 时，实际输入值是 X1.234mm 或 X1.2345in，多余的数值即被忽略不计。且字也不能太多，一般以 7 个字为限，如输入 X1.2345678，因超过 7 个字，会出现报警信息。故在程序编制时，要确定不超过 NC 工具机规定的实际限制（即不要超过最小脉冲当量），一定要参照 NC 工具机制造厂商提供的说明书。

1.1.3 坐标位置数值的表示方式

CNC 程序即控制刀具移动到某坐标位置，其坐标位置数值的表示方式有以下两种。

(1) 用小数点表示法

用小数点表示法是指数值的表示用小数点“.”明确地标示个位的位置。如“X25.36”，其中5为个位，故数值大小很明确。

(2) 不用小数点表示法

不用小数点表示法是指数值中无小数点者，则CNC控制器会将此数值乘以最小移动量（公制：0.001mm，英制0.0001in）作为输入数值。如“X25”，则CNC控制器会将 $25 \times 0.001\text{mm} = 0.025\text{mm}$ 作为输入数值。所以要表示“25mm”，可用“X25.”或“X25000”表示。一般用小数点表示法较方便，并可节省CNC控制器的存储空间，故常被使用。

以下的地址符均可选择使用小数点表示法或不使用小数点表示法：X、Y、Z、I、J、K、F、R等。但也有一些地址不允许使用小数点表示法，如P、Q、D等。一般均采用小数点表示方式来描述坐标位置数值。在键入CNC程序，尤其是坐标数值是整数时，常常会遗漏小数点。如欲输入“25mm”，但键入“Z25”，其实际的数值是0.025mm，相差1000倍，可能会发生撞机或过量铣削，要小心谨慎。

1.1.4 选择性执行符“/”

在单节的最前端加一斜线“/”（选择性执行符）时，该单节是否被执行，是由机床操作面板上的单节选择性执行按钮来决定的。当置于“ON”（灯亮），则该单节会被忽略而不被执行；当置于“OFF”（灯灭），则该单节会被执行。例如

```
N1;
...
/M00;
N2;
...
/M00;
```

说明：M00为暂停指令，选择性执行时，用于加工中便于操作者对工件的尺寸进行测量，控制工件的加工质量。

1.1.5 程序段注释“()”

为了方便检查、阅读数控程序，在许多数控系统中允许对程序进行注释，注释可以作为对操作者的提示显示在屏幕上，但注释对机床动作没有丝毫影响。注释应放在程序段的最后，并用“()”括起来，不允许将注释插在地址和数字之间，如以下程序段所示。

```
O0007;
(PROGRAM NAME-CILUN)
( DATE-DD-MM-YY-10-06-05 TIME=HH:MM-20:54)
N100 G21 G0 G17 G54 G40 G49 G80 G90;
```

1.2 地址符和地址字详解

1.2.1 程序段号地址字N

CNC 程序的每一单节之前可以加一顺序号码，以地址字 N 后面加上 1~9999 数字表示。顺序号码与 CNC 程序的加工顺序无关，它只是那一单节的代号，故可任意编号。但最好以由小到大的顺序编写，较符合人们的思维习惯。

使用技巧：为了节省存储空间，提高编程效率，每一单节前面都无需书写程序段号，但程序段号后面常跟注释、说明，并不影响加工。例如

N1；（加工第一个字母）

G90 G54 G40 G17 G49 G80；

...

N2；（加工第二个字母）

...

同时程序段号也可以作为循环语句的标识。例如

N1 IF[#2 LT 1.0] GOTO3；

#1=#1+5.0；

#2=#2-1.0；

GOTO1；

N3 #2=#2-1.0；

使用 CAM 软件时，生成的刀路文件经过后处理（post），程序段号可以自动生成，具体的示例如下。

%

O0000；

(PROGRAM NAME-HY10)

(DATE=DD-MM-YY-27-02-02 TIME=HH:MM-12:50)

((UNDEFINE)TOOL-1 DIA. OFF. -41LEN. -1 DIA. -10.)

N100 G21；

N102 G0 G40 G49 G80 G90；

N104 T1 M6；

N106 G0 G90 G54 X-19.305 Y-15.6 S1200 M3；

N108 G43 H1 Z60. M8；

N110 Z34.8；

N112 G1229.8 F2.；

N114 X19.305；

N116 G0 Z50.；

N118 X24.248 Y-5.2；

1.2.2 主轴功能地址字S

用代码指定主轴速度，并不会使机床主轴转动，需和 M03、M04 指令配合使用。一个程序段只能包含一个 S 代码，关于 S 代码后的数值位数和 S 代码与运动指令在同一程序段时程序如何执行可参考相关的机床说明书。

直接指定主轴速度值，主轴速度可以直接用地址 S 后的最多 5 位数值 (r/min) 指定。指定主轴 S5 位数指令速度的单位，取决于机床厂的规定。详细情况请见机床制造厂提供的说明书。操作时结合机床操作面板的主轴倍率开关一起使用。

1.2.3 刀具功能地址字T

在地址 T 后一般指定 2 位数字用以选择机床上的刀具。在一个程序段中只能指定一个 T 代码。铣床无 ATC (自动换刀装置)，只能手动换刀，所以 T 功能只用于 MC。且加工中心并不是在任意位置都可以换刀，要避免与工作台、工件、夹具等发生碰撞，一般设在参考点换刀。例如

```
G91 G28 Z0; (Z 轴回归参考点)
G28 X0 Y0; (X、Y 方向回参考点)
M06 T03; (主轴更换第 3 把刀具)
```

1.2.4 进给功能地址字F

直线插补 G01，圆弧插补 G02、G03 等的进给速度是用 F 代码后面的数值指令的，主要用如下两种方式指定。

① 每分进给 (G94)

在 F 之后指定每分钟的刀具进给量，单位 mm/min，如图 1-1 所示。

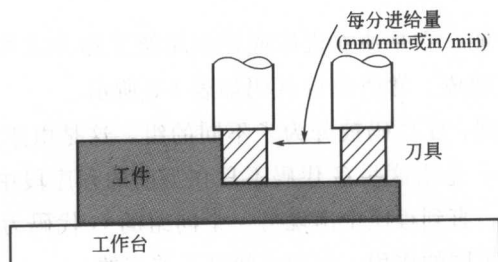


图 1-1 每分进给量示意图

② 每转进给 (G95)

在 F 之后，指定主轴每转的刀具进给量，单位 mm/r。

1.2.5 辅助功能地址字M

辅助功能又称 M 功能，由地址符 M 及其后的两位数字组成。它与数控系统的插补运算无关，是根据加工时机床操作的需要给以规定的工艺性指令。常用的 M 代码如表 1-2 所示。

表 1-2 常用的 M 代码及其功能

M 代码	功 能	M 代码	功 能
M00	程序停止	M06	刀具交换
M01	条件程序停止	M08	冷却开
M02	程序结束	M09	冷却关
M03	主轴正转	M30	程序结束并返回程序头
M04	主轴反转	M98	调用子程序
M05	主轴停止	M99	子程序结束返回/重复执行

通常在一个程序段中仅能指定一个 M 代码, 对于 M03 和 M04, 主轴的正转和反转是从 Z 轴的正向朝负向观察, 主轴顺时针转动为 M03, 主轴逆时针转动为 M04, 具体可参见图 1-2 所示。

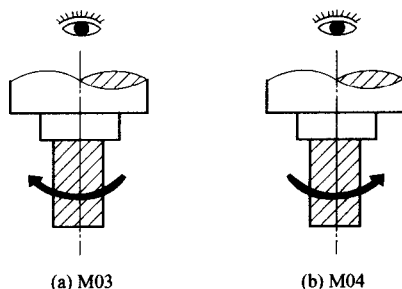


图 1-2 M03 和 M04 示意图

1.2.6 准备功能 G 指令

准备功能又称 G 功能, 它是建立机床或控制系统工作方式的一种命令, 它由地址符 G 及其后的两位数字组成。常用的 G 代码如表 1-3 所示。

从表中我们可以看到, G 代码被分为了不同的组, 这是由于大多数的 G 代码是模态的。所谓模态 G 代码, 是指这些 G 代码不只在当前的程序段中起作用, 而且在以后的程序段中一直起作用, 直到程序中出现另一个同组的 G 代码为止。同组的模态 G 代码控制同一个目标但起不同的作用, 它们之间是不兼容的。

00 组的 G 代码是非模态的, 这些 G 代码只在它们所在的程序段中起作用。标有★号的 G 代码是机床通电时默认的代码。对于 G00 和 G01、G90 和 G91, 机床通电时的状态由系统参数决定。如果程序中出现错误的 G 代码, CNC 会显示报警。

同一程序段中可以有几个 G 代码出现, 但当两个或两个以上的同组 G 代码出现时, 最后出现的一个 (同组的) G 代码有效。

在固定循环模态下, 任何一个 01 组的 G 代码都将使固定循环模态自动取消, 成为 G80 模态。

表 1-3 常用的 G 代码及其功能

G 代码	组 别	功 能	G 代码	组 别	功 能
★G00	01	定位(快速移动)	G59	14	选用 6 号工件坐标系
★G01	01	直线插补(进给速度)	G60	00	单一方向定位
G02	01	顺时针圆弧插补	G61	15	精确停止方式
G03	01	逆时针圆弧插补	★G64	15	切削方式
G04	00	暂停,精确停止	G65	00	宏程序调用
G09	00	精确停止	G66	12	模态宏程序调用
★G17	02	选择 XY 平面	★G67	12	模态宏程序调用取消
G18	02	选择 ZX 平面	G73	09	深孔钻削固定循环
G19	02	选择 YZ 平面	G74	09	反攻螺纹固定循环
G27	00	返回并检查参考点	G76	09	精镗固定循环
G28	00	返回参考点	★G80	09	取消固定循环
G29	00	从参考点返回	G81	09	钻削固定循环
G30	00	返回第二参考点	G82	09	钻削固定循环
★G40	07	取消刀具半径补偿	G83	09	深孔钻削固定循环
G41	07	左侧刀具半径补偿	G84	09	攻螺纹固定循环
G42	07	右侧刀具半径补偿	G85	09	镗削固定循环
G43	08	刀具长度补偿+	G86	09	镗削固定循环
G44	08	刀具长度补偿-	G87	09	反镗固定循环
★G49	08	取消刀具长度补偿	G88	09	镗削固定循环
G52	00	设置局部坐标系	G89	09	镗削固定循环
G53	00	选择机床坐标系	★G90	03	绝对值指令方式
★G54	14	选用 1 号工件坐标系	G91	03	增量值指令方式
G55	14	选用 2 号工件坐标系	G92	00	工件零点设定
G56	14	选用 3 号工件坐标系	★G98	10	固定循环返回初始平面
G57	14	选用 4 号工件坐标系	G99	10	固定循环中返回到 R 平面
G58	14	选用 5 号工件坐标系			

注：标★号的 G 代码为机床通电时的默认代码。

(1) 快速点定位 (G00)

格式：G00 IP₁ IP₂ IP₃；(IP₁ 在本书中代表任意不超过三个进给轴地址的组合，当然，每个地址后面都会有一个数字作为赋给该地址的值，一般机床有三个或四个进给轴即 X, Y, Z, A, 所以 IP₁ 可以代表如 X18. Y179. Z-39. 或 X257.3 Z73.5 A45. 等内容。)

G00 指令是使刀具快速移动到 IP₁ 指定的位置，被指令的各轴之间的运动是互不相关的，也就是说刀具移动的轨迹不一定是一条直线。其移动速度可由执行操作面板上的“快速进给率”旋钮调整，并非由 F 机能制定。

若 X、Y、Z 轴最快移动速度为 3000mm/min，而“快速进给率”旋钮调整方式如表 1-4 所示。