

数控铣削变量编程 实例教程

李 锋 白一凡 编著

数控大赛命题热点

数控机床编程二次开发最有价值资料

高级工、技师、高级技师应知应会编程技巧



化学工业出版社

数控铣削变量编程实例教程

李 锋 白一凡 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

数控铣削变量编程实例教程/李锋, 白一凡编著. —北京: 化学工业出版社, 2007.1
ISBN 978-7-5025-9959-1

I. 数… II. ①李…②白… III. 数控机床; 铣床-金属切削-程序设计-教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 011136 号

责任编辑: 王 烨

责任校对: 宋 夏

装帧设计: 王晓宇

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: 北京市彩桥印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 6 字数 149 千字

2007 年 3 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: 16.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着科学技术的发展,数控机床在机械制造业中的应用越来越广泛,而在对数控机床的应用中,机床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。同时,在市场上介绍此功能的书籍相对较少。鉴于此,作者通过理论梳理和亲身实践把自己在机床加工中成功运用的实例,真诚奉献给广大读者。

本书理论联系实际,在讲授了相关理论知识后,通过实例把FANUC系统的宏程序,SIEMENS系统的参数编程知识、技巧以及与每个实例相关的数学知识、如何进行数学建模、加工注意事项、易犯的错误都进行了讲述,从而让读者对如何运用宏程序及参数编程有一个更全面的掌握。

本书可作为各高职院校、高级技工学校、技术学院、技师学院及参加各类数控大赛人员的培训教材,同时也可作为各高等院校进行数控机床编程系统二次开发的参考用书。

本书由西安航空技师学院李锋、白一凡编著,在编写过程中得到了西安理工大学高等技术学院副教授关雄飞老师的多次指导,同时也得到西安航空技师学院谢龙爱、南逢玉、苏诚、刘振福、翟瑞波、杨文林、申晓东等老师的大力支持,在此深表感谢。

由于作者的知识水平有限,书中疏漏之处敬请同行及读者不吝指正。

编著者

目 录

第 1 章 变量编程概述	1
第 2 章 FANUC 系统宏程序编程基础知识	5
2.1 变量	6
2.2 运算指令.....	13
2.3 转移与循环指令.....	15
2.4 变量在编程中的赋值方法.....	17
2.5 用户宏程序报警及处理方法.....	17
第 3 章 宏程序编程实例	21
3.1 规则形状加工.....	21
实例一、FANUC 圆	21
实例二、铣花边	26
实例三、锥体	31
实例四、圆锥体	34
实例五、半球体加工	37
实例六、半球型腔加工	41
实例七、凸轮加工	48
实例八、铣螺纹	56
3.2 规则曲线加工.....	58
实例一、椭圆	58
实例二、双曲线	63
实例三、抛物线	68
实例四、正弦曲线	73
实例五、余弦曲线	77
实例六、正切曲线	80

3.3 孔加工	83
实例一、圆周钻孔	83
实例二、带角度排孔	88
实例三、矩阵孔加工	91
3.4 倒角加工	96
实例一、孔口倒 90°圆角	96
实例二、孔口倒小于 90°圆角	100
实例三、孔口倒角	103
实例四、圆柱倒 90°圆角	106
实例五、圆柱倒小于 90°圆角	109
实例六、圆柱倒直角	112
实例七、等距离外倒角	114
实例八、矩形孔口倒角	117
第 4 章 SIEMENS 数控系统参数编程基础知识	121
4.1 R 参数	122
4.2 算术运算规律	124
4.3 程序跳转	125
4.4 参数在编程中的赋值方法	128
第 5 章 R 参数编程实例	129
5.1 规则形状系列	129
实例一、五边形	129
实例二、六边形	132
实例三、椭圆形	135
实例四、椭圆体加工	138
5.2 钻孔系列	141
实例一、排孔	141
实例二、带角度排孔	143
实例三、圆周孔	146
5.3 倒角系列	148

实例一、孔口倒角	148
5.4 半径系列加工	150
实例一、等半径外加工	150
实例二、等半径内加工	154
5.5 去余量系列	157
实例一、铣削圆周平面	157
实例二、铣削大平面	159
实例三、半球型腔去余量	161
实例四、铣槽	164
附录 I 常用基本数学知识	169
附录 II 常用数控词汇中英文对照	177
参考文献	182

第 1 章

变量编程概述

变量编程是指在程序中，用变量表述一个地址的数字值。而在程序中对变量进行赋值，可以使程序在几个相似的地方使用。在本书里，我们把 FANUC 系统的宏程序和 SIEMENS 系统的 R 参数编程统称为变量编程。

变量编程与普通编程的区别在于：在变量编程中，可以使用变量，可以给变量赋值，变量间可以运算，程序运行可以跳转；而在普通编程中，只可指定常量，常量之间不可以运算，程序只能按顺序执行，不能跳转，功能是固定的。

(1) 变量编程的特点

① 高效 数控加工中常常会遇到数量少、品种繁多、有规则几何形状的工件，在编程时我们只要稍加分析与总结，找出他们之间的共同点，把这些共同点设为变量应用到程序中，往往编制出一个程序，通过改变其中共性的变量就可以解决一类问题，从而使我们在加工相类似零件时，只需改变其中几个变量中的赋值，就可以采用此程序进行零件加工，大大节省了编程时间，而且在运用时准确性也大大提高。即使使用 CAD/CAM 软件，对于此类零件也需要重新绘制图形、设置刀具路径、实体切削验证、执行后处理以及向机床中传输程序后才可以进行加工。

② 经济 在实际生产中，经常会出现许多结构相似，但品种多数量少的零件。这些零件在某些特征上变化不定，按常规加工方法，往往需要用成型刀加工。但零件品种多，所以成型刀需

要量很大，定做一把成型铣刀要比普通铣刀费用高出 2~3 倍。为了降低加工成本，采用变量编程此类问题即可解决。同时许多在实际加工中必须依靠球头铣刀加工的零件，我们只需平底刀就可以解决了。

③ 应用范围广 变量在实际加工中还可应用到数控加工的其他环节，如对刀具长度补偿 (H)、半径补偿 (D)、进给量 (F)、主轴转速 (S)、G 代码、M 代码等进行设置，大大地提高了加工效率。

④ 有利于解决软件编程带来的缺陷

a. 对于软件编程来说，通常编制的曲面加工程序的容量比较大。而常用的数控系统的标准配置一般为 128KB 或 256KB，当一次传输不完程序时，我们就要考虑在线加工了。当在线加工时，就会出现程序的传输速率往往跟不上机床的节拍。原因在于：常见的数控系统如 FANUC-0i、SIEMENS802D、810D 等，系统所支持的 RS-232 口最大传输波特率为 19200bit/s，而大多数传输软件支持的最大波特率也不过在 19200~38400bit/s，即使在 19200bit/s 的波特率下工作，当计算精度较高、进给速度值较大时，在实际加工中就可以看到机床的进给运动有明显的断续、迟滞。而使用变量编程时，即使是复杂的数控加工程序，其篇幅都比较精炼。通常一个经过合理优化的变量编程，一般不会出现超过 60 行，换算成字节数，至多不过 2KB，根本用不上在线加工。

b. 从用户使用的角度来说，使用 CAD/CAM 软件来生成刀具轨迹及加工程序是非常容易的事。但是剖析 CAD/CAM 软件计算刀具轨迹的原理，就知道它存在一定的弊端。在 CAD/CAM 软件中，无论构造规则或不规则的曲面，都有一个数学运算过程，也必然存在计算的误差和处理，而在对其生成三维加工刀具轨迹时，软件是根据操作者所选择的加工方式、设定的加工参数，并结合所设定的加工误差（或称为曲面的计算精度），使

刀具与加工表面接触点（相交点或相切点）逐点移动完成加工，从本质上看，其实就是在允许的误差值范围内沿每条路径用直线去逼近曲面的过程。而使用变量编程时，为了对复杂的加工运动进行描述，变量编程必然会最大限度地使用数控系统内部的各种指令代码，例如直线插补 G01 指令和圆弧（螺旋）插补 G02/G03 指令等。因此机床在执行变量编程时，数控系统的工业计算机可以直接进行插补运算，且运算速度极快，再加上伺服电动机和机床的迅速响应，使得加工效率极高。

（2）变量编程在数控系统中的运行过程

- ① 读取数控代码；
- ② 提取变量和变量定义；
- ③ 将预先保存的全局变量、系统变量和用户自定义变量保存在相关列表中；
- ④ 读取数控代码，提取复杂表达式；
- ⑤ 解释与执行代码过程中读取变量列表中保存的数值、计算表达式，并给变量赋新值；
- ⑥ 按照条件语句、循环语句等控制程序的下一步操作；
- ⑦ 按照结果输出实际的数值。

第 2 章

FANUC 系统宏程序编程基础知识

FANUC 公司在 1972 年从富士通信机械制造株式会社中独立出来, 1976 年成功研制数控系统 5, 1979 年推出数控系统 6, 1980 年在系统 6 的基础上向低档和高档扩展, 研制系统 3 和系统 9。1984 年又推出新型产品数控系统 10、11、12, 这些产品在硬件方面做了较大改进, 采用大规模集成电路、32 位高速处理器、光导传输、磁泡存储器等技术, 提高了抗干扰性和可靠性。该系统在工厂自动化 DNC 方面能够实现主计算机与机床、工作台、机械手、搬运车等之间进行各种数据的双向传递, 充实了专用宏程序功能、自动计划功能、自动刀具补偿功能、刀具寿命管理、彩色图形显示 CRT 等。PLC 编程不仅可以使使用梯形图语言, 还可以使用 PASCAL 语言, 便于用户自己开发软件。1985 年推出数控系统 0, 它的主要目标是体积小、价格低, 适用于机电一体化的小型机床。其主要特点有彩色图形显示、会话菜单式编程、专用宏程序功能、多种语言(汉、英、德、法)显示、录返(Playback)功能等。1987 年研制成功数控系统 15, 被称之为划时代的智能型 AI-CNC 系统, 它应用了 MMC (Man Machine Control)、CNC、PMC (Programmable Machine Control) 的新概念, 采用了高速度、高精度、高效率加工的数字伺服单元、数字主轴单元和纯电子式绝对位置检测器, 还增加了 MAP、窗口功能等。

宏程序是数控系统生产厂家留给用户在数控系统的平台上进

行开发的工具。当然这里的开放和开发都是有条件和有限制的。通过以下知识的学习，我们就可以充分利用数控系统所提供的宏程序功能了。

2.1 变量

2.1.1 变量概述

(1) 变量表示

$\#I(I=1,2,3,\dots)$ 或 $\#[<\text{式子}>]$

例： $\#5$ ， $\#109$ ， $\#501$ ， $\#[\#1+\#2-12.]$ 。

(2) 变量的使用

① 在地址字后面指定变量号或公式。

格式： $\langle\text{地址字}\rangle\#I$

$\langle\text{地址字}\rangle-\#I$

$\langle\text{地址字}\rangle[<\text{式子}>]$

例： $F\#103$ ，设 $\#103=150$ ，则为 $F150$ 。

$Z-\#110$ ，设 $\#110=250$ ，则为 $Z-250$ 。

$X[\#24+[\#18*\text{COS}[\#1]]]$ 。

② 变量号可用变量代替。

例： $\#[\#30]$ ，设 $\#30=3$ ，则为 $\#3$ 。

③ 程序号、顺序号和任选程序段跳转号不能使用变量。

例：下述方法不允许

$O\#1$ ；

$/\#2G0X100.0$ ；

$N\#3Z200.0$ 。

④ 变量号所对应的变量，对每个地址来说，都有具体数值范围。

例： $\#30=1100$ 时，则 $M\#30$ 是不允许的。

⑤ $\#0$ 为空变量，没有定义变量值的变量也是空变量。

⑥ 变量值定义：

程序定义时可省略小数点，例：#123=149。

(3) 变量的类型

变量根据变量号可以分为四种类型，功能见表 2-1。

表 2-1 变量的类型及功能

变 量 号	变量类型	功 能
#0	空变量	该变量总是空,没有值赋给该变量
#1~#33	局部变量	局部变量只能用在宏程序中存储数据,例如,运算结果当断电时,局部变量被初始化为空,调用宏程序时,自变量对局部变量赋值
#100~#199	公共变量	公共变量在不同的宏程序中的意义相同
#500~#999		当断电时,变量#100~#199初始化为空。变量#500~#999的数据保存,即使断电也不丢失
#1000以上	系统变量	系统变量用于读和写 CNC 的各种数据,例如,刀具的当前位置和补偿值等

(4) 变量值的范围

局部变量和公共变量可以为 0 值或下面范围中的值：
 $-10^{47} \sim -10^{-29}$ 或 $10^{-29} \sim 10^{47}$ 。

(5) 变量的引用

① 在地址后指定变量号即可引用其变量值。当用表达式指定变量时，要把表达式放在括号中。

例如：G1X[#1+#2]F#3。

被引用变量的值会依据地址的最小设定单位自动地进行取舍。

例如：当系统的最小输入增量为 1/1000mm，指定 G00X#1，并将 12.3456 赋值给变量 #1，实际指定值为 G00X12.346。

② 改变引用变量值的符号，要把负号（-）放在 # 的前面。

例如：G00X-#1。

③ 当引用未定义的变量时，变量及地址字都被忽略。

例如：当变量 #1 的值是 0，并且变量 #2 的值是空时，

G00X#1Y#2 的执行结果为 G00X0。

2.1.2 系统变量

系统变量用于读和写 NC 内部数据，同时它也是自动控制和通用程序开发的基础。

(1) 接口信号

它是可编程机床控制器 (PMC) 和用户宏程序之间交换的信号，功能见表 2-2。

表 2-2 接口信号功能

变 量 号	功 能
#1000~#1015 #1032	把 16 位信号从 PMC 送到用户宏程序。变量 #1000~#1015 用于按位读取信号,变量 #1032 用于一次读取一个 16 位信号
#1100~#1115 #1132	把 16 位信号从用户宏程序送到 PMC。变量 #1100~#1115 用于按位写信号,变量 #1132 用于一次写一个 16 位信号
#1133	变量 #1133 用于从用户宏程序一次写一个 32 位的信号到 PMC。注意, #1133 的值为 -99999999 到 +99999999

(2) 刀具补偿值

用系统变量可以读和写刀具补偿值。

可使用的变量数取决于刀补数，取决于是否区分外形补偿和磨损补偿以及是否区分刀长补偿和刀尖补偿。当偏置组数小于等于 200 时，也可使用 #2001~#2400。刀具补偿存储器 C 的系统变量，见表 2-3。

表 2-3 刀具补偿存储器 C 的系统变量

补偿号	刀具长度补偿(H)		刀具半径补偿(D)	
	外形补偿	磨损补偿	外形补偿	磨损补偿
1	#11001(#2201)	#10001(#2001)	#13001	#12001
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
200	#11201(#2400)	#10201(#2200)	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
400	#11400	#10400	#13400	#12400

(3) 宏程序报警

宏程序报警的系统变量, 功能见表 2-4。

表 2-4 宏程序报警的系统变量功能

变量号	功 能
# 3000	当变量 # 3000 的值为 0~200 时,CNC 停止运行且报警 可在表达式后指定不超过 26 个字符的报警信息 CRT 屏幕上显示报警号和报警信息,其中报警号为变量 # 3000 的 值加上 3000

例: # 3000 = 1 (TOOL NOT FOUND), 报警屏幕上显示
“3001 TOOL NOT FOUND” (刀具未找到)。

(4) 停止和信息显示

程序停止执行并显示信息, 功能见表 2-5。

表 2-5 程序停止执行并显示信息功能

报警号	功 能
# 3006	在宏程序中指令“3006=1(MESSAGE);”时,程序在执行完前一程 序段后停止 可在同一个程序段中指定最多 26 个字符的信息,由控制输入“(”和 控制输出”)”括住,相应信息显示在外部操作信息画面上

(5) 时间信息

时间信息可以读和写, 时间信息的系统变量功能见表 2-6。

表 2-6 时间信息的系统变量功能

变量号	功 能
# 3001	该变量为一个计时器,以 1ms 为计时单位。当电源接通时,该变量 值复位为 0,当达到 2147483648ms 时,该计时器的值返回到 0
# 3002	该变量为一个计时器,以一个小时为单位计时,该计时器即使在电 源断电时也保存数值。当达到 9544.371767h,该计时器的值返回到 0
# 3011	该变量用于读取当前的日期(年/月/日),年/月/日信息转换成十进 制数,例如,2001 年 9 月 28 日表示为 20010928
# 3012	该变量用于读取当前的时间(时/分/秒),时/分/秒信息转换成十进 制数,例如,下午 3 点 34 分 56 秒表示为 153456

(6) 模态信息

模态信息的系统变量见表 2-7。

表 2-7 模态信息的系统变量

变 量 号	功 能
#4001	G00,G01,G02,G03,G33
#4002	G17,G18,G19
#4003	G90,G91
#4004	
#4005	G94,G95
#4006	G20,G21
#4007	G40,G41,G42
#4008	G43,G44,G49
#4009	G73,G74,G76,G80—G89
#4010	G98,G99
#4011	G50,G51
#4012	G65,G66,G67
#4013	G96,G97
#4014	G54—G59
#4015	G61—G66
#4016	G68,G69
⋮	⋮
#4022	
#4102	B 代码
#4107	D 代码
#4109	F 代码
#4111	H 代码
#4113	M 代码
#4114	顺序号
#4115	程序号
#4119	S 代码
#4120	T 代码
#4130	P 代码(现在选择的附加工件坐标系)

(7) 当前位置

位置信息不能写，只能读。信息系统的系统变量见表 2-8。