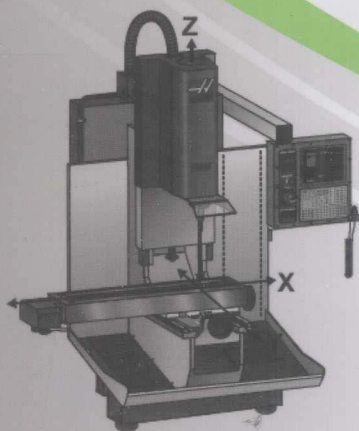




数控铣床编程 与操作实训 教程

主编 王 颖 张亚萍
主审 周明虎



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

教-学-做一体 项目化教学法

数控铣床编程与操作 实训教程

主编 王 颖 张亚萍

主审 周明虎

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是项目化教学课程改革的系列成果之一。全书紧紧围绕职业能力目标的实现,突出能力目标,以职业活动为导向,以学生为主体,以项目为载体,以实训为手段,教学做一体,项目化教学。

本书在内容上,主要以美国 HAAS 系统为例,分基础知识篇和项目实训篇,基础知识篇中介绍了编程基础知识、铣床安全操作规程、日常维护和保养,重点讲解了 HAAS 数控铣床面板功能及操作方法与步骤、铣床常用刀具及对刀方法。项目实训篇中以项目为载体,具体介绍了各种常见平面槽加工、轮廓加工、孔加工、凹槽加工、综合零件加工的工艺分析、编程和加工操作要领。在形式上,通过项目能力目标、项目任务、项目相关知识点、项目实施、项目操作提示与备忘、项目思考与练习等形式,提出问题,认识问题,分析问题,解决问题,提出思考。

本书可作为数控、机电、模具等有关专业的大专院校学生及从事数控加工的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床编程与操作实训教程/王颖,张亚萍主编.

—上海:上海交通大学出版社,2010

ISBN 978-7-313-06288-8

I. 数... II. ①王... ②张... III. ①数控机床:铣床—程序设计—教材 ②数控机床:铣床—操作—教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 026763 号

数控铣床编程与操作实训教程

王 颖 张亚萍 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市大宏印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:15.25 字数:285 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

印数:1~3 030

ISBN 978-7-313-06288-8/TG 定价:34.00 元

前 言

本教材的编写,从生产实际对数控加工与编程人员的要求出发,依据高职高专培养“实用技能型”人才的原则,全面系统地介绍了数控加工与编程的基本知识,突出理论与实践的联系,强化技能培训,围绕“项目化”教学的思想,在组织材料和实例运用上把握理论实践的切入点,由浅入深,便于自学,使读者能较好地掌握数控加工与编程的基本理论与基本技能。

本教材以美国 HAAS 公司数控铣床为例,分基础知识篇和项目实训篇:基础知识篇中主要介绍了编程与加工的基础知识及 HAAS 数控铣床控制面板和基本操作;项目实训篇分平面槽加工、轮廓加工、孔加工、凹槽加工、综合零件加工五个单元,其中每个单元根据项目的特点分若干项目,每一个项目都配有相应的实训操作项目课题。实训项目课题围绕着能力和技能进行选题,以国家劳动部门中级工和高级工的考核要求为依据。本教材自始至终贯穿着理论指导实训、实训验证理论的思想,根据“项目化”教学的要求,使理论教学与实践教学真正有机地结合在一起。

本教材的基础知识篇和项目实训篇中单元一以及单元二的项目一、项目二由江苏省泰州职业技术学院王颖编写;项目实训篇中单元二的项目三以及单元三、单元四、单元五由泰州职业技术学院张亚萍编写。全书由王颖负责统稿和定稿。承蒙南京工程学院周明虎教授细心审阅,提出宝贵的意见和建议,在此深表感谢!

在教材编写过程中,我们还参考了有关文献,泰州职业技术学院周玉富技师和 HAAS 公司亚洲上海总部给予了大力支持,在此对上述人员和文献作者表示衷心感谢!

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误和不妥之处恳请读者批评指正,以尽早修订完善。编者信箱:tz_wangying@hotmail.com。

编 者

2010 年 3 月

目 录

基础知识篇	1
1 编程基础	3
1.1 编程种类	3
1.2 数控铣床编程的特点	3
1.3 编程内容与步骤	4
1.4 程序结构与格式	5
1.5 程序字的功能类别	6
1.6 常用辅助功能	16
1.7 刀具功能、主轴转速功能、进给功能	17
1.8 机床坐标系与运动方向	18
1.9 参考坐标系	21
2 数控铣床安全操作规程、日常维护及保养	22
2.1 数控铣床的安全操作规程	22
2.2 数控铣床的日常维护	23
3 典型数控铣床(HAAS)的控制面板及基本操作	26
3.1 HAAS 系统数控铣床的面板及功能介绍	26
3.2 数控铣床的启动和停止	34
3.3 铣床回参考点	35
3.4 主轴的启动和停止	36
3.5 手动进给	37
3.6 MDI 操作	39
3.7 程序的编辑和管理	42
3.8 图形模拟	52
3.9 自动加工	54
3.10 数控铣床的操作步骤	59
4 数控铣床常用刀具及对刀	62
4.1 工件坐标系	62
4.2 工件坐标系的设定	63
4.3 坐标系设定 G 指令	63

4.4	常用铣刀的种类和用途	65
4.5	数控铣刀刀柄	66
4.6	数控铣床对刀	67
项目实训篇		73
5	单元一 平面槽加工	75
项目 5.1	星型槽铣削加工	75
项目 5.2	心型槽铣削加工	86
项目 5.3	刻字加工	92
6	单元二 轮廓加工	98
项目 6.1	平面铣削	98
项目 6.2	平面外轮廓铣削加工	109
项目 6.3	平面内轮廓铣削加工	123
7	单元三 孔加工	129
项目 7.1	钻孔	129
项目 7.2	铰孔	141
项目 7.3	铣孔	147
项目 7.4	镗孔	154
项目 7.5	螺纹加工	162
8	单元四 凹槽加工	170
项目 8.1	键槽加工	170
项目 8.2	圆周槽加工	177
项目 8.3	矩形槽加工	187
9	单元五 综合零件加工	204
项目 9.1	倒圆角加工	204
项目 9.2	曲面加工	215
项目 9.3	配合件加工	224
附录一: HAAS 数控铣床系统控制面板按键功能		233
附录二: 数控加工工序卡		234
附录三: 数控加工刀具卡		235
附录四: 数控加工程序单		236
参考文献		237

基础知识篇

1 编程基础

1.1 编程种类

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种。

(1) 手工编程:就是从分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、程序输入到程序校验都由人工完成。对于加工形状简单、计算量小,程序不多的零件,采用手工编程较容易,而且经济、及时。因此,在点位加工或由直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程仍被广泛应用。但对于形状复杂的零件,特别是具有非圆曲线、列表曲线及曲面组成的零件,用手工编程就有一定困难,出错的概率增大,有时甚至无法编出合格的程序,必须采用自动编程的方法编制程序。

(2) 自动编程:是借助计算机及其外围设备自动完成从零件构造、零件加工程序编制到程序输入等工作的一种编程方法。目前,除工艺处理仍主要依靠人工进行外,编程中的数学处理、编写程序单、程序输入、程序校验等各项工作均已通过自动编程达到了较高的计算机自动处理的程度。

与手工编程相比,自动编程解决了手工编程难以处理的复杂零件的编程问题,既减轻劳动强度、缩短编程时间,又可减少差错,使编程工作简便。

1.2 数控铣床编程的特点

数控铣床是通过两轴联动加工零件的平面轮廓,通过两轴半控制、三轴或多轴联动来加工空间曲面零件,如平面轮廓铣削(图 1-1)、两轴半行切加工(图 1-2)、变斜角面的加工(图 1-3)。

数控铣床与普通铣床相比有以下特点:

- (1) 具有高柔性。
- (2) 加工精度高,质量稳定。
- (3) 生产率高。
- (4) 可大大减轻工人的劳动强度。

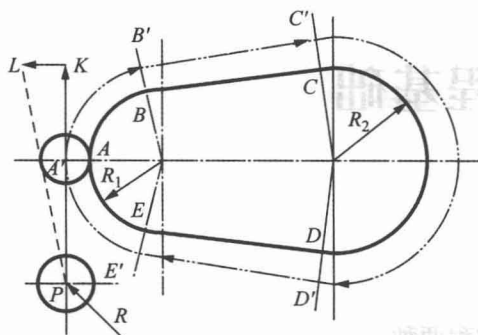


图 1-1 平面轮廓铣削

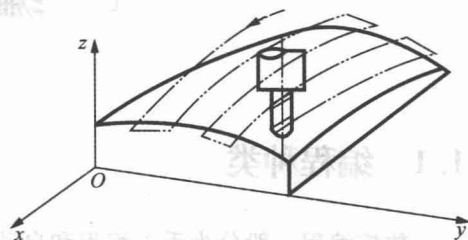
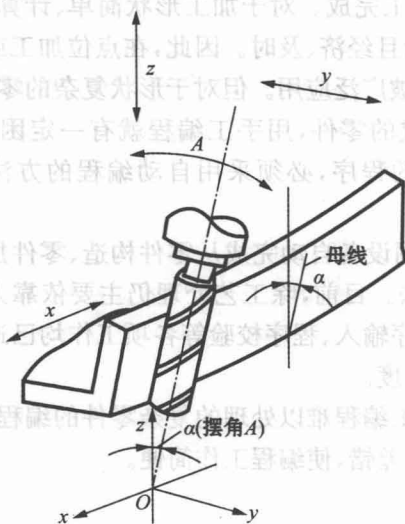
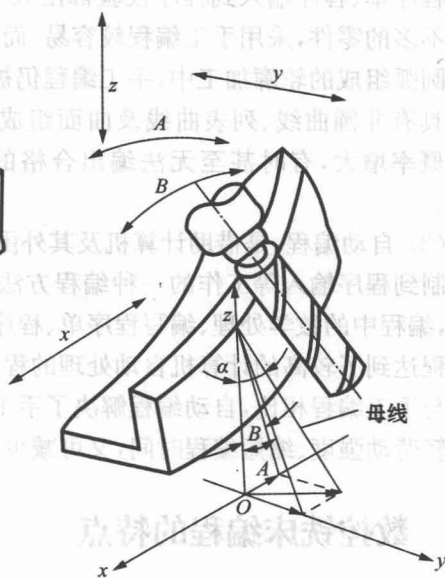


图 1-2 两轴半行切加工



(a)



(b)

图 1-3 4、5 坐标数控铣床加工零件变斜角面

1.3 编程内容与步骤

本节介绍手工编程的内容和步骤。

(1) 分析零件图样: 根据零件图样, 通过对零件的材料、形状、尺寸和精度、表面质量、毛坯情况和热处理等要求进行分析, 明确加工内容和要求, 确定该零件是

否适合于在数控铣床上加工。

(2) 确定工艺过程:在分析零件图样的基础上,确定零件的加工工艺(如确定定位方式、选用工装夹具等)和加工路线(如确定对刀点、走刀路线等),并确定切削用量。

由于数控铣床上加工零件时,工序十分集中,在一次装夹下,往往需要完成粗加工、半精加工和精加工。在确定工艺过程时要周密合理地安排各工序的加工顺序,提高加工精度和生产效率。

(3) 数值计算:对形状简单的零件(如直线和圆弧组成的零件)的轮廓加工,计算几何元素的起点、终点,圆弧的圆心,两元素的交点或切点的坐标值等;对形状复杂的零件(如非圆曲线、曲面组成的零件),用直线段或圆弧段逼近,由精度要求计算出节点坐标值。这种情况需要借助计算机,使用相关软件进行计算。

(4) 编写加工程序:根据工艺过程、数值计算结果以及辅助操作要求,按照数控系统规定的程序指令及格式要求编写出加工程序。本书重点介绍 HAAS 系统数控铣床的编程系统。

(5) 程序输入:把编写好的程序,输入到数控系统中,常用的方法有以下两种:①在数控铣床操作面板上进行手工输入;②利用 DNC(数据传输)功能,先把程序录入计算机,再由专用的 CNC 传输软件,把加工程序输入数控系统,然后再调出执行,或边传输边加工。

(6) 程序校验:编制好的程序,在正式用于生产加工前,必须进行程序运行检查。在某些情况下,还需做零件试加工检查。根据检查结果,对程序进行修改和调整,这往往要经过多次反复,直到获得完全满足加工要求的程序为止。

1.4 程序结构与格式

每个数控程序一般是由程序开始符、程序号、程序主体、程序结束指令和程序结束符组成。下面为程序样本。

```
% ; 程序开始符
O00100 ; 程序号
N0010 G54 G90 G00 X40.0 Y30.0 S1200 M03 ; 程序主体
N0020 G43 Z10.0 H01;
N0030 G01 Z-2.0 F100.;
N0040 X-8.0 Y8.0 F200.;
N0050 Z28.0 Y30.0;
N0060 G91 G28 Z0.;
```

500 % 艺工工眼由科零宝德,土脚基能特图付零德代; 程序结束符

(1) 程序开始符和程序结束符。程序开始符和程序结束符一般单列一段,是同一个字符:在(International Standardization Organization, ISO)代码中是%,在(Electronic Industries Association, EIA)代码中是 ER。

(2) 程序号。程序号位于程序主体之前、程序开始符之后,一般独占一行。通常,程序名由数控系统规定的英文字母(如 O 等)和紧随其后的数字组成。

(3) 程序主体。程序主体由若干个程序段组成,每个程序段由一个或多个指令字构成,每个指令字由地址符和数字组成,它代表机床的一个位置或一个动作。每一程序段结束用“;”号。

(4) 程序结束指令。程序结束指令可以用 M02(程序结束)或 M30(程序结束返回)。虽然 M02 与 M30 允许与其他程序字合用一个程序段,但最好还是将其单列一段,或者只与顺序号共用一个程序段。

1.5 程序字的功能类别

程序字由地址符和数字组成,按其功能的不同可分为 7 种类型,它们分别为顺序号字、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。

1.5.1 顺序号字

顺序号字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。

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。一般都将第一程序段冠以 N10,其后以间隔 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。

需要注意的是,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。数控装置在执行程序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。因此,数控加工中的顺序号实际上是程序段的名称。

1.5.2 准备功能字

准备功能字的地址符是 G, 所以又称为 G 功能或 G 指令。主要用来建立机床或控制系统的工作方式, 跟在地址 G 后面的数字决定了该程序段指令的意义。G 代码分为下面两类。

(1) 模态 G 代码: 在指令同组其他 G 代码前该 G 代码一直有效。

(2) 非模态 G 代码: 00 组的 G 代码, 只在指令它的程序段中有效。

依据 ISO1056—1975(E) 国际标准, 国内制定了 JB3208—1983 部颁标准, 其中规定了 G 功能字。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。现将美国 HAAS、日本 FANUC、德国 SIEMENS 公司产的数控系统的常用的 G 指令功能含义与 JB3208—1983 对比列成表 1-1, 表 1-2 是 HAAS 系统特有的一些 G 功能。

表 1-1 G 功能字含义对照表

G 功能字	组别	中国部颁标准 JB3208—1983 规定	美国 HAAS 公司系统	日本 FANUC3MC 系统	德国 SIEMENS810 系统
G00	01	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	00	暂停	暂停	暂停	暂停
G05		不指定	—	—	—
G06		抛物线插补	—	主轴插补	—
G07		不指定	—	—	—
G08		加速	—	—	—
G09	00	减速	精确停止	—	—
G10	00	不指定	设置偏置	设定偏置值	同步
G11		不指定	—	—	—
G12	00	不指定	顺时针圆周槽铣	—	—
G13		不指定	逆时针圆周槽铣	—	—
G14~G16		不指定	—	—	—
G17	02	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	06	不指定	英制输入	英制输入	—
G21		不指定	米制输入	米制输入	—

(续表)

G 功能字	组别	中国部颁标准 JB3208—1983 规定	美国 HAAS 公司系统	日本 FANUC3MC 系统	德国 SIEMENS810 系统
G22~G26		不指定	—	—	—
G27		不指定	—	参考点返回检验	—
G28	00	不指定	回归机床零点	自动返回参考点	—
G29	00	不指定	从基准点返回	从参考点移出	—
G30		不指定	—	—	—
G31	00	不指定	进给直到跳跃	—	—
G32		不指定	—	—	—
G33		等螺距螺纹切削	—	—	铣等螺距螺纹
G34		增螺距螺纹切削	—	—	铣增螺距螺纹
G35	00	减螺距螺纹切削	自动刀具直径测量	—	铣减节距螺纹
G36	00	永不指定	自动工件偏置中心 测量	—	—
G37	00	永不指定	自动刀具偏置测量	—	—
G38~G39		永不指定	—	—	—
G40	07	刀具补偿偏置注销	刀具半径补偿偏置 注销	刀具半径补偿偏置 注销	刀具半径补偿偏置 注销
G41		刀具补偿—左	刀具补偿—左	刀具补偿—左	刀具补偿—左
G42		刀具补偿—右	刀具补偿—右	刀具补偿—右	刀具补偿—右
G43	08	刀具偏置—正	正向长度补偿	正向长度补偿	—
G44		刀具偏置—负	反向长度补偿	反向长度补偿	—
G45		刀具偏置+/+	—	—	—
G46		刀具偏置+/-	—	—	—
G47	00	刀具偏置-/-	文本雕刻	—	—
G48		刀具偏置-/+	—	—	—
G49	08	刀具偏置 0/+	取消长度补偿	取消长度补偿	—
G50	11	刀具偏置 0/-	取消缩放比例	—	—
G51		刀具偏置 +/0	缩放比例	—	—
G52		刀具偏置 -/0	设置工件坐标系统 YASNAC	—	—
G53		直线偏移注销	非模态机床坐标系统 选择	—	附加零点偏置
G54		直线偏移 X	选择工件坐标系统 #1	—	零点偏置 1
G55		直线偏移 Y	选择工件坐标系统 #2	—	零点偏置 2

(续表)

G 功能字	组别	中国部颁标准 JB3208—1983 规定	美国 HAAS 公司系统	日本 FANUC3MC 系统	德国 SIEMENS810 系统
G56		直线偏移 Z	选择工件坐标系 #3	—	零点偏置 3
G57		直线偏移 XY	选择工件坐标系 #4	—	零点偏置 4
G58		直线偏移 XZ	选择工件坐标系 #5	—	—
G59		直线偏移 YZ	选择工件坐标系 #6	—	—
G60		准确定位 1(精)	单方向定位	—	准停
G61		准确定位 2(中)	精确停止模式	—	—
G62		快速定位(粗)	—	—	—
G63		攻螺纹	—	—	—
G64		不指定	G61 取消	—	—
G65		不指定	—	用户宏指令命令	—
G66~G67		不指定	—	—	—
G68	16	刀具偏置,内角	旋转	—	—
G69		刀具偏置,外角	取消 G68 旋转	—	—
G70	00	不指定	螺栓孔圆周	—	英制
G71	00	不指定	圆弧螺栓孔	—	米制
G72	00	不指定	沿一个角度的螺 栓孔	—	—
G73	09	不指定	高速啄钻孔固定 循环	分级进给钻削循环	—
G74	09	不指定	反向攻丝固定循环	反攻螺纹循环	—
G75		不指定	—	—	—
G76	09	不指定	精镗孔固定循环	—	—
G77		不指定	后镗孔固定循环	—	—
G78~G79		不指定	—	—	—
G80		固定循环注销	固定循环取消	固定循环注销	固定循环注销
G81~G89	09	固定循环	钻、攻螺纹、镗固定 循环	钻、攻螺纹、镗固定 循环	钻、攻螺纹、镗固定 循环
G90	03	绝对尺寸	绝对值编程	绝对值编程	绝对尺寸
G91		增量尺寸	增量值编程	增量值编程	增量尺寸
G92	00	预置寄存	设置工件坐标系 切换值	工件坐标系设定	主轴转速极限

(续表)

G 功能字	组别	中国部颁标准 JB3208—1983 规定	美国 HAAS 公司系统	日本 FANUC3MC 系统	德国 SIEMENS810 系统
G93	05	时间倒数,进给率	反时进给模式	—	—
G94		每分钟进给	进给每分钟模式	每分钟进给	每分钟进给
G95		主轴每转进给	进给每转	—	每转进给
G96		恒线速度	—	—	恒线速度
G97		主轴每分钟转速	—	—	注销 G96
G98	10	不指定	固定循环原始点 回归	固定循环中退到起 始点	—
G99		不指定	固定循环 R 平面 返回	固定循环中退到 R 点	—

从表 1-1 中可以看出,目前国际上使用的 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~G96 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 HAAS 特有的 G 功能含义

G 代码	组 别	功能含义
G100	00	取消镜像
G101	00	允许镜像
G102	00	可编程输出 RS-232
G103	00	限制块缓冲
G107	00	柱形映射
G110~G129	12	坐标系 #7-26
G136	00	自动工件偏置中心测量
G141	07	3D+ 切削补偿
G143	08	5 轴刀具长度补偿+
G150	00	通用槽铣削
G154	12	选择工件坐标系 P1-P99
G153	09	5 轴高速啄钻固定循环
G155	09	5 轴逆向攻丝固定循环
G161	09	5 轴钻孔固定循环
G162	09	5 轴点钻固定循环
G163	09	5 轴普通啄钻循环固定循环
G164	09	5 轴攻丝固定循环
G165	09	5 轴钻孔固定循环
G166	09	5 轴钻孔,停止固定循环

(续表)

G 代码	组 别	功能含义
G169	09	5 轴钻孔和暂停固定循环
G174	00	逆时针非垂直刚性攻丝
G184	00	顺时针非垂直刚性攻丝
G187	00	精确控制
G188	00	从 PST 中获得程序

1.5.3 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。

尺寸地址用得最多的有三组: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,有些地址符(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 SIEMENS 系统用 CR 指令圆弧的半径,F 还可指令暂停的时间等。

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 HAAS、FANUC 诸系统用 G21/G22、SIEMENS 诸系统用 G70/G71 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 $1\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 1mm 三种;在采用英制时常用 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 μm 的场合,X6150 指令的坐标长度是 6.15mm 。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 。使用时选择何种单位,通常用参数设定,并不是每类系统都能设定上述 5 种单位。

1.5.4 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。F 进给速度一般可分为每分钟进给和主轴每转进给。