

SHUKONG XICHUANG JIAGONG ZHONGXIN
BIANCHENGXUNLIAN TUJI

数控铣床/加工中心

编程训练图集

翟瑞波 编著

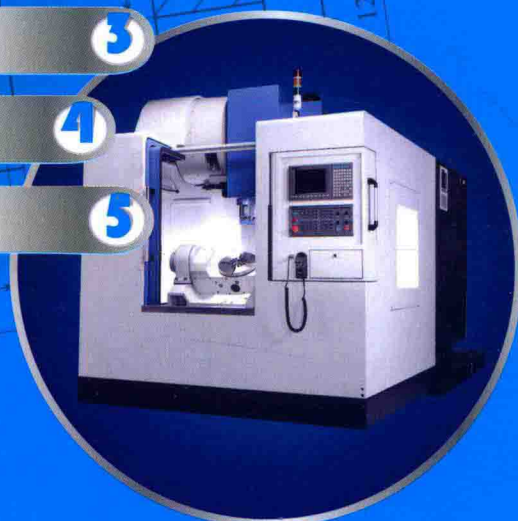
面向FANUC和SIEMENS数控系统

编程指令应用逐一详细讲解

汇集200多个典型零件加工图例

给出加工步骤及技巧提示

突出刀具、夹具、切削用量选用



化学工业出版社

数控铣床/加工中心编程训练图集

翟瑞波 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣床/加工中心编程训练图集/翟瑞波编著. —北京: 化学工业出版社, 2015.5
ISBN 978-7-122-23259-5

I. ①数… II. ①翟… III. ①数控机床-铣床-程序设计-图集②数控机床加工中心-程序设计-图集
IV. ①TG547-64②TG659-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 043927 号

责任编辑: 王 烨
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 谢蓉蓉
装帧设计: 刘丽华

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: 北京振南印刷有限公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 490 千字 2015 年 5 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: 68.00 元

版权所有 违者必究

前言

在机械加工中数控机床得到了越来越广泛的应用,数控铣床、加工中心由于其高精度、柔性化以及多面加工、多轴加工从而在数控机床中占有较大的比重。因此学习数控铣床、加工中心的加工工艺、程序编制显得尤为重要。

加工中心是在数控铣床基础上发展起来的,两者在加工工艺、程序编制上没有本质的区别,所不同的是加工中心带有刀库和自动换刀装置,能一次装夹零件实现多工序的加工。数控铣削的立式或卧式机床在编程上没有区别,只是卧式机床加工范围更广,而立式数控铣床和加工中心可实现除零件装夹平面外的其他5个表面的加工。数控加工有三点是非常重要的,一是加工工艺制订;二是数控程序编制;三是操作数控机床调用程序完成加工,而这里加工工艺的制订是基础,是程序编制、操作机床完成加工的依据。加工工艺编制时有机床、刀具、夹具等多因素需要考虑,同时数控加工工艺与普通加工工艺的选用、衔接也是至关重要的。本书正是基于加工工艺制订的重要性以及程序编制中指令的合理应用,在编程练习中更加突出刀具、夹具的选用,突出加工步骤的合理安排。

本书共分为4章,其中第1章FANUC系统常规编程训练图例、第3章SIEMENS系统常规编程训练图例,讲解详尽准确,对指令着重分析并配以适当的练习。第2章、第4章为综合练习,从外形加工、槽加工到综合加工,练习设置具有典型性,由简到难、循序渐进。在每个练习的应用技巧中,详细分析了零件加工所用的刀具、夹具,合理的安排零件的加工工艺,并将切削用量按经验值给出。通过注意事项将零件加工中容易出现的问题一一列举并指出解决措施,同时对编程零点设置、编程指令的应用进行了说明,这些都使读者学习掌握数控铣床/加工中心编程变得容易。笔者曾获2004年数控大赛陕西省加工中心教师组第1名,具有丰富的教学、实践经验。本书内容简洁明了,重点突出,便于学习掌握。

本书在编写过程中得到中航工业西安航空发动机集团公司工会、公司技术协会、西航技能大师工作室的专家、领导的指导和帮助,这里一并表示感谢,由于时间和笔者水平所限,书中不足之处恳请读者批评指正。

编著者

第1章 FANUC系统常规编程训练图例

1.1 常用指令练习	1
1.1.1 工作坐标系的确定	1
1.1.2 公制和英制单位指令 G21、G20	3
1.1.3 绝对值坐标指令 G90 和增量值坐标指令 G91	3
1.1.4 平面选择指令 G17、G18、G19	4
1.1.5 F 进给率	4
1.1.6 S 主轴转速/旋转方向	4
1.1.7 快速点定位 G00 指令, 直线插补 G01 指令	4
1.1.8 圆弧插补指令 G02、G03	5
1.1.9 任意倒角 C 与拐角圆弧过渡 R 指令	7
1.1.10 自动返回参考点指令 G28	7
1.1.11 暂停指令 G04	8
1.1.12 常用 M 指令	8
1.2 刀具选择指令 T	8
1.3 刀具下刀、进退刀方式的确定	9
1.3.1 刀具的下刀方式	9
1.3.2 刀具的进退刀方式	9
1.4 刀具补偿	10
1.4.1 刀具半径补偿	10
1.4.2 刀具长度补偿	11
1.4.3 刀具补偿练习	12
1.5 固定循环	14
1.5.1 固定循环指令格式	14
1.5.2 固定循环编程练习	16
1.6 极坐标	17
1.6.1 极坐标系指令 G15、G16	17
1.6.2 极坐标编程练习	18
1.7 子程序	19
1.7.1 子程序的格式和调用	19
1.7.2 子程序应用练习	19
1.8 坐标变换指令	20
1.8.1 比例缩放功能 (G50, G51)	20
1.8.2 可编程镜像 (G50.1, G51.1)	21

1.8.3 坐标系旋转功能(G68, G69)	22
1.9 宏程序的应用	23
1.9.1 变量	23
1.9.2 用户宏程序的调用	26
1.9.3 算术运算指令	26
1.9.4 控制指令	27
1.9.5 宏程序练习	29
1.10 G10 指令(用程序输入刀具补偿值)	37

第2章 FANUC系统综合练习

41

2.1 外形加工	41
2.2 槽加工	48
2.3 综合加工	58

第3章 SIEMENS系统常规编程训练图例

139

3.1 常用指令	139
3.1.1 平面选择 G17~G19	139
3.1.2 绝对坐标和相对坐标	139
3.1.3 极坐标,极点定义: G110、G111、G112	139
3.1.4 可设定的零点偏置 G54~G59/G500/G53/G153	140
3.1.5 可编程的工作区域限制: G25、G26、WALIMON、WALIMOF	141
3.1.6 快速点定位 G00 指令	142
3.1.7 带进给率的直线插补 G01 指令	142
3.1.8 圆弧插补: G02、G03 功能	143
3.1.9 螺旋插补: G2/G3、TURN 功能	145
3.1.10 轮廓倒角/倒斜边与倒圆指令 (CHR/CHF 与 RND)	146
3.1.11 G74 回参考点	147
3.1.12 G04 暂停	147
3.1.13 F 进给率	147
3.1.14 S 主轴转速/旋转方向	148
3.2 刀具补偿	148
3.2.1 T 刀具	149
3.2.2 D 刀具补偿号	149
3.2.3 G41/G42/G40 刀具半径补偿功能	150
3.3 辅助功能 M	151
3.4 固定循环	152
3.4.1 孔加工固定循环	152
3.4.2 钻孔样式循环	156
3.4.3 铣削循环	158
3.5 子程序	167
3.5.1 子程序的作用	167
3.5.2 子程序的调用	168
3.6 坐标变换指令	169

3.6.1	可编程的零点偏置: TRANS、ATrans	169
3.6.2	可编程旋转: ROT、AROT	169
3.6.3	可编程的比例缩放: SCALE、ASCALE	170
3.6.4	可编程的镜像: MIRROR、AMIRROR	171
3.7	参数编程	173
3.7.1	R 参数	173
3.7.2	程序跳转	174
3.7.3	编程实例	175

第4章 SIEMENS系统综合练习

181

4.1	外形加工	181
4.2	槽加工	187
4.3	综合练习	198

第 1 章

FANUC系统常规编程训练图例

1.1 常用指令练习

1.1.1 工作坐标系的确定

(1) 工作坐标系设定指令 G92

指令格式：G92 X__ Y__ Z__；

坐标值 X__ Y__ Z__ 为刀具刀位点在工作坐标系中（相对于工作零点）的初始位置。

例：G92 X310.0 Y300.0 Z250.0；

含义：工作零点在距离刀具起始点 $X=-310$ ， $Y=-300$ ， $Z=-250$ 的位置上，如图 1-1 所示。加工时刀具需位于刀具起刀点处（即 X310.0 Y300.0 Z250.0 处）。

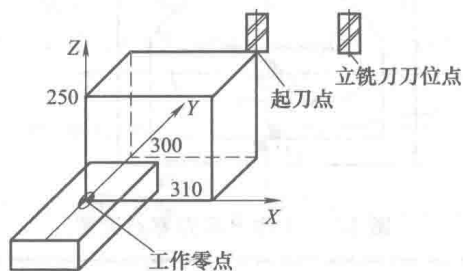


图 1-1 G92 X310.0 Y300.0 Z250.0 程序段示意图



应用技巧：

- 1) 加工时刀具需位于刀具起刀点处。
- 2) 执行 G92 指令时，机床不动作，即 X、Y、Z 轴均不移动。

(2) 工作坐标系的零点设置选择指令 G54~G59

一般数控机床可以预先设定 6 个（G54~G59）工作坐标系，这些坐标系在机床重新开机时仍然存在。6 个工作坐标系皆以机床零点为参考点，分别测出工作（坐标系）零点相对机床（坐标系）零点的坐标值即零点偏置值，并输入到 G54~G59 对应的存储单元中，在执行程序

时,遇到 G54~G59 指令后,便将对应的零点偏置值取出来参加计算,从而得到刀具在机床坐标系中的坐标值,控制刀具运动。

例:现测得图 1-2 所示零点偏置值。

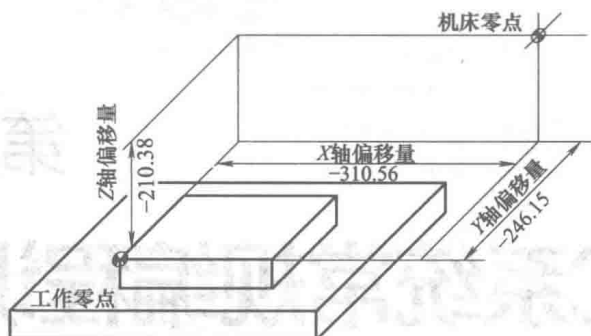


图 1-2 零点偏置值

则 G54 偏置寄存器中值输入为:

X Y Z

G54 -310.56 -246.15 -210.38

此时,工作零点在机床坐标系中坐标值为 (X-310.56, Y-246.15, Z-210.38)。

若程序编为 G90 G54 G00 X0 Y0 Z10.0; 则刀具自动位于工作零点上方 10.0mm 处 (仅与工作零点有关), 此时机床坐标自动计算为 (X-310.56 Y-246.15 Z-200.38)。

应用技巧:

如图 1-3 所示,铣凸台时用 G54 设置零点,铣槽用 G55 设置零点,编程时比较方便。

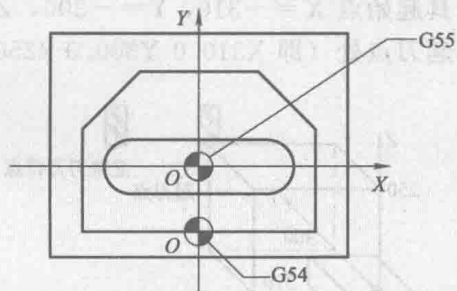


图 1-3 工作坐标系零点设置

(3) 局部坐标系指令 G52

局部坐标系是当前零点偏置的一种补充,或者是一个子集或子系统,只有在选择了标准或附加的零点偏置后,才能设定局部坐标系。局部坐标系的正式定义是与有效的零点偏置相关的坐标系,它使用 G52 指令编程。G52 指令通常是已知工作坐标的补充,它设置一个新的临时程序零点。

应用技巧:

如图 1-4 所示,为了加工孔编程方便,可用 G52 设置局部坐标系。

程序:

G90 G54 G0 X0 Y0;

G54 设置工作零点

G52 X100. Y75.;

建立局部坐标系,确定新的程序原点

应用技巧:

G52 X0 Y0;

此时的坐标值均以新的程序原点为准
取消局部偏置并返回 G54

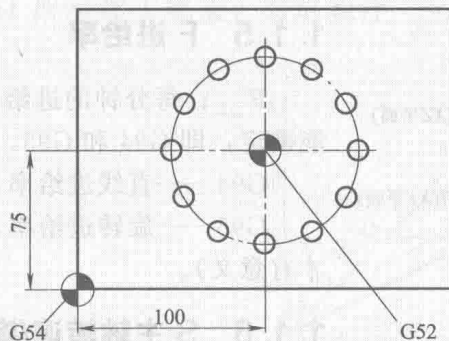


图 1-4 G52 设置局部坐标系

1.1.2 公制和英制单位指令 G21、G20

G21 指令选择公制 [毫米 (mm)] 单位, G20 指令选择英制 [英寸 (in)] 单位。一般机床出厂时, 将毫米输入 G21 设定为参数缺省状态。

应用技巧:

G20、G21 是两个互相取代的 G 指令。用毫米输入过程时, 可不再指定 G21; 但用英寸输入程序时, 在程序开始时必须指定 G20。G21、G20 是具有停电后的续效性, 为避免出现意外, 在使用 G20 英制输入后, 在程序结束前务必加一个 G21 的指令, 以恢复机床的缺省状态。

1.1.3 绝对值坐标指令 G90 和增量值坐标指令 G91

表示运动轴的移动方式。G90 表示程序语句中的坐标为绝对坐标值, 即从编程零点开始的坐标值。G91 表示程序中的坐标为增量坐标值, 即指刀具从当前位置到下一个位置之间的增量值。

应用技巧:

如图 1-5 所示, 表示刀具从 A 点到 B 点的移动, 用以上两种的编程分别如下格式:

G90 X10.0 Y30.0; 绝对坐标

G91 X-30.0 Y20.0; 增量坐标

大多数 FANUC 控制器允许在同一程序使用两种模式, 但是需在地址前指定 G90 和 G91 准备功能。

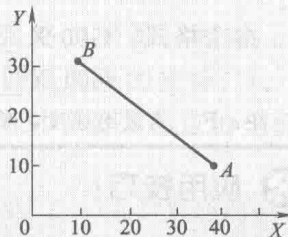


图 1-5 A 点到 B 点的移动

1.1.4 平面选择指令 G17、G18、G19

平面选择指令 G17、G18、G19 分别用来指定程序段中刀具的圆弧插补平面和刀具半径补偿平面,如图 1-6 所示。其中 G17 指定 XY 平面;G18 指定 XZ 平面;G19 指定 YZ 平面。数控铣、加工中心缺省状态为 G17。

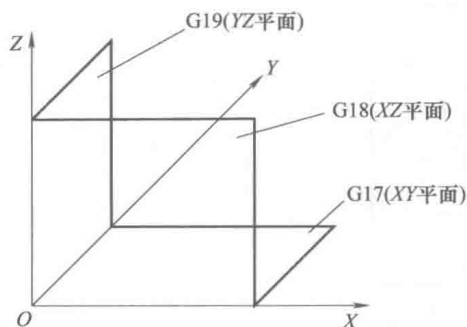


图 1-6 平面选择指令

1.1.5 F 进给率

F __; 每分钟的进给率 进给率 F 的单位由 G 功能确定,即 G94 和 G95。

G94——直线进给率,单位 mm/min (缺省设定);

G95——旋转进给率,单位 mm/r (只有主轴旋转才有意义)。

1.1.6 S 主轴转速/旋转方向

当机床具有受控主轴时,主轴的转速可以用地址 S 编程,单位为 r/min。旋转方向和主轴运动启动和停止通过 M 指令规定:

M3——主轴正转 M4——主轴反转 M5——主轴停止

说明:如果在程序段中不仅有 M3 或 M4 指令,而且还写有坐标轴运行指令,则 M 指令在坐标轴运行之前生效。

缺省设定:当主轴运行之后 (M3、M4),坐标轴才开始运行。如程序段中有 M5,坐标轴在主轴停止之前就开始运动。可以通过程序结束或复位停止主轴。程序开始时主轴转速零 (S0) 有效。

应用技巧:

编程举例如下。

N10 G1 X70 Z20 F300 S270 M3;

在 X、Z 轴运行之前,主轴以 270r/min 启动,旋转方向为顺时针

...

N80 S450 __;

改变转速

...

N170 G0 Z180 M5;

Z 轴运行,主轴停止

1.1.7 快速点定位 G00 指令,直线插补 G01 指令

指令格式: G00 X__ Y__ Z__;

G01 X__ Y__ Z__ F__;

注: F __为进给速度,单位为 mm/min。

应用技巧:

1) 编程时注意 G90、G91 模式间的转换,初始状态为 G90。

2) G00 指令刀具轨迹不是标准的直线插补。各轴按同一速度进给,距离短的轴先到。移动速度由系统参数设定。由于是快速移动,所以只用于空程,不能用于切削。

3) G01 指令以直线插补运算,联动方式按 F 代码规定的速度作进给运动。

【练习 1-1】 如图 1-7 所示 (O—A 轨迹编程)。

【练习 1-2】 完成如图 1-8 所示 O—A 轨迹的程序编制。

【练习 1-3】 完成如图 1-9 所示 O—A 轨迹的程序编制。

【练习 1-4】 分别使用绝对值、增量值编程完成图 1-10 所示运动轨迹的程序编制 (无 Z 轴移动、无刀具半径补偿)。

【练习 1-5】 根据图 1-11 所示加工轨迹, 完成程序 (无 Z 向移动)。

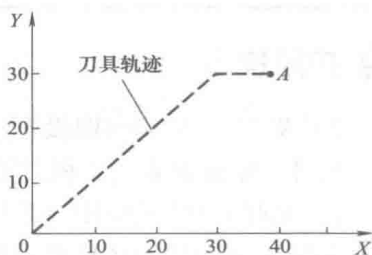


图 1-7 G00 编程练习

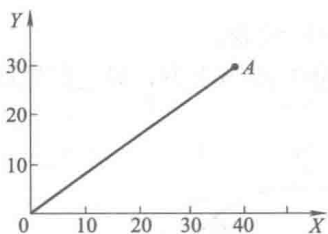


图 1-8 G01 编程练习 1

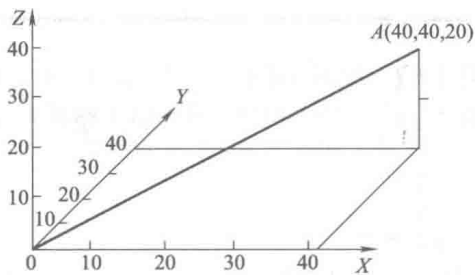


图 1-9 G01 编程练习 2

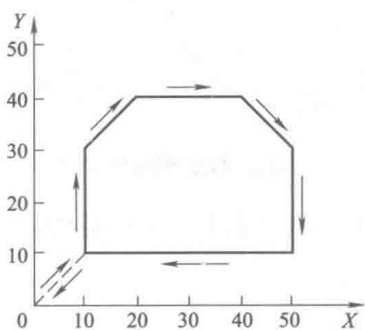


图 1-10 G00、G01 编程练习 1

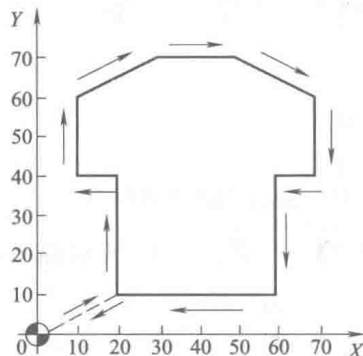


图 1-11 G00、G01 编程练习 2

1.1.8 圆弧插补指令 G02、G03

指令格式: G17 { G02 X__ Y__
G03

G18 { G02 X__ Z__
G03

G19 { G02 Y__ Z__
G03

{ I__ J__ F__;
R__

{ I__ K__ F__;
R__

{ J__ K__ F__;
R__

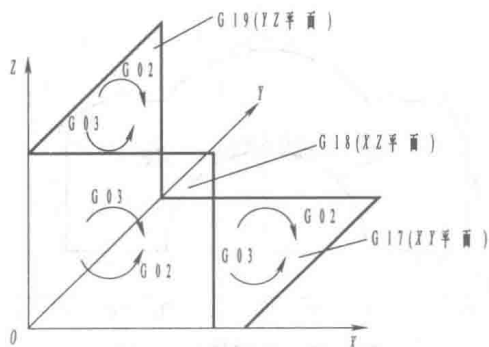


图 1-12 圆弧插补指令 G02、G03

格式中 X、Y、Z 为圆弧终点坐标, 相对 (增量) 编程是圆弧终点相对于圆弧起点的坐标; I、J、K 为圆心在 X、Y、Z 轴上相对于圆弧起点的坐标; R 为圆弧半径。

G02 为顺时针圆弧插补加工, G03 为逆时针圆弧插补加工。刀具进行圆弧插补时必须规定所在的平面; 旋转方向规定为沿圆弧所在平面 (如 XY 平面) 的另一坐标轴的负方向 (-Z) 看去, 顺时针方向为 G02, 逆时针方向为 G03, 如图 1-12 所示。

应用技巧:

1) X 、 Y 、 Z 表示圆弧终点坐标, 可以用绝对值, 也可以用增量值, 由 $G90$ 、 $G91$ 指定。 I 、 J 、 K 分别为圆心相对于圆弧起点的 X 、 Y 、 Z 轴方向的增量, R 为半径值。

2) 现代 CNC 系统中, 采用 I 、 J 、 K 指令, 则圆弧是唯一的; 用 R 指令时需规定圆弧角, 如圆弧角 $\geq 180^\circ$ 时 R 值为负 (当然各系统的规定有所不同)。一般 $< 180^\circ$ 的圆弧用 R 指令, 其余用 I 、 J 、 K 指令。

【练习 1-6】完成如图 1-13 所示 $A-C$ 、 $C-A$ 轨迹的程序编制。

【练习 1-7】完成图 1-14 所示加工路径程序编制 (刀具现位于 A 点上方, 只进行轨迹运动)。

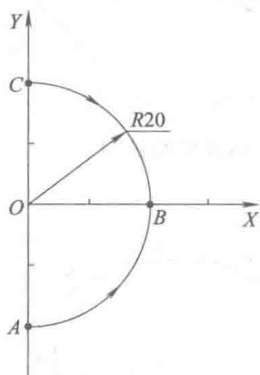


图 1-13 G02、G03 编程练习 1

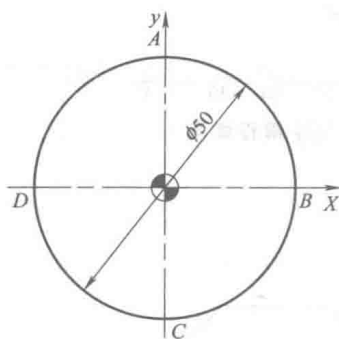
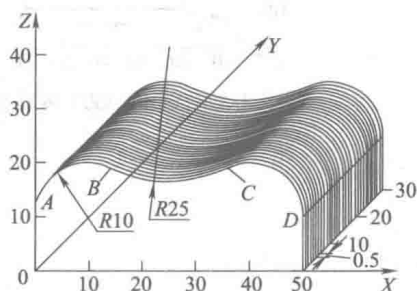


图 1-14 G02、G03 编程练习 2

【练习 1-8】完成图 1-15 所示加工路径 ($A-D$) 程序编制 (无刀具半径补偿)。



$A(0,0,10)$
 $B(14.29,0,19.04)$
 $C(35.71,0,19.04)$
 $D(50,0,10)$

XZ 平面($G18$ 平面)圆弧面走刀轨迹:
 $A-B-C-D$

图 1-15 G02、G03 编程练习 3

【练习 1-9】完成图 1-16 所示加工路径程序编制 (无 Z 轴移动、无刀具半径补偿)。

【练习 1-10】完成图 1-17 所示加工路径程序编制 (无 Z 轴移动、无刀具半径补偿)。

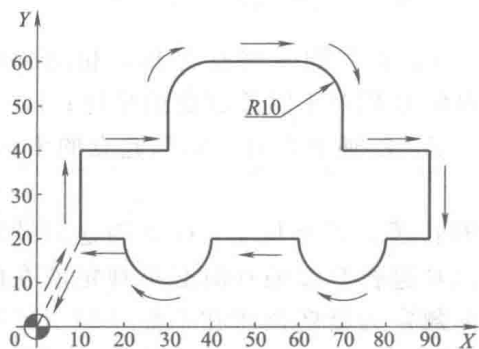


图 1-16 编程练习 1

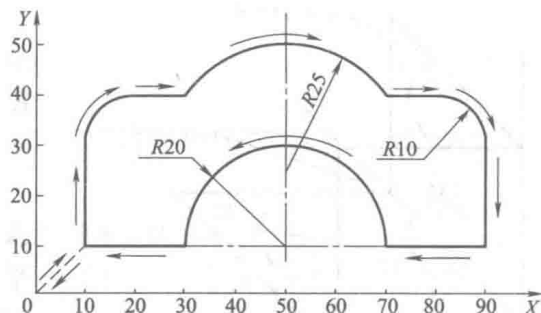


图 1-17 编程练习 2

1.1.9 任意倒角 C 与拐角圆弧过渡 R 指令

该指令可以在直线轮廓和圆弧轮廓之间插入任意倒角或拐角圆弧过渡轮廓，简化编程。倒角、拐角圆弧过渡指令格式：

， C ； 倒角
， R ； 拐角圆弧过渡

应用技巧：

- 1) 任意倒角 C 与拐角圆弧过渡 R 指令加在直线插补 (G01) 或圆弧插补 (G02 或 G03) 程序段的末尾时，加工中自动在拐角处加上倒角或过渡圆弧。倒角或拐角圆弧过渡的程序段可连续性地指定。
- 2) 采用倒角 C 与拐角圆弧过渡 R 指令编程时，工件轮廓虚拟拐点坐标必须易于确定，且下一个程序段必须是倒角与拐角圆弧过渡后的轮廓插补加工指令，否则不能切出正确的加工轨迹。

【练习 1-11】 完成图 1-18 所示轨迹（五边形）的程序编制。

【练习 1-12】 完成图 1-19 所示轨迹的程序编制。

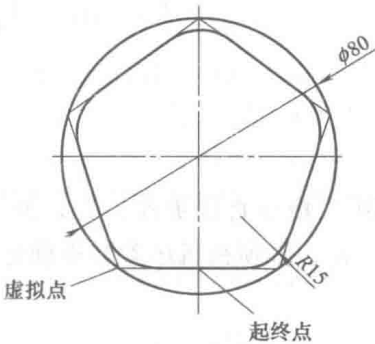


图 1-18 简化编程练习 1

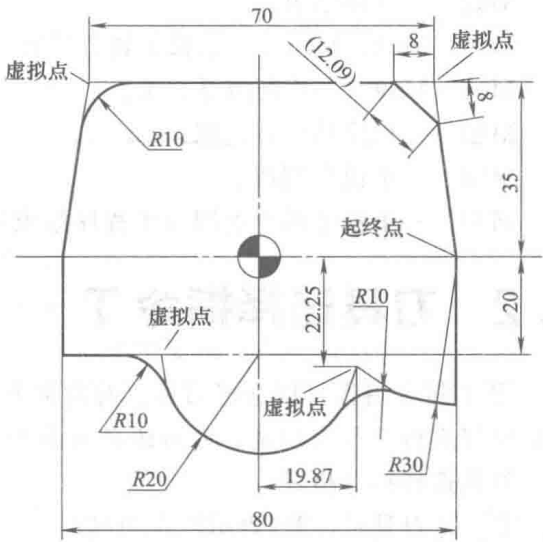


图 1-19 简化编程练习 2

【练习 1-13】 完成图 1-20 所示轨迹的程序编制。

1.1.10 自动返回参考点指令 G28

该指令使刀具自动返回参考点（一般设置为机床零点），或经过某一中间位置，再回到参考点。

指令格式：G91（或 G90）G28 X Y Z ；
格式中，X Y Z 为中间点坐标。

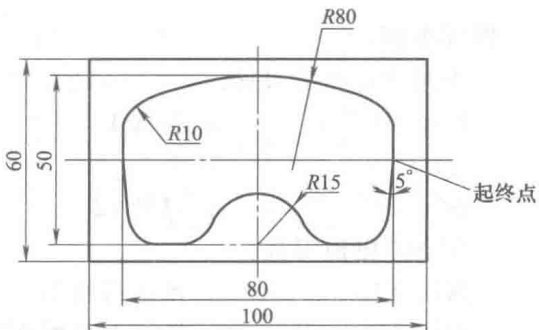


图 1-20 简化编程练习 3

应用技巧:

- 1) G91 G28 Z0; 表示刀具经过当前坐标点返回 Z 向参考点 (加工中心为换刀点)。
- 2) G91 G28 X0 Y0 Z0; 表示刀具经过当前坐标点返回参考点。
- 3) G90 G28 X__ Y__ Z__; 表示刀具经过以工作坐标系为参考的中间坐标点 (X__ Y__ Z__) 返回参考点, 中间点的确定应考虑到不至发生碰撞。

1.1.11 暂停指令 G04

指令格式: $G04 \begin{cases} X_ \\ P_ \end{cases}$

例: G04 X5.0 ... 暂停 5s。

G04 P5000 ... 暂停 5s。

1.1.12 常用 M 指令

M00——程序停止。

M01——选择停止。

M02——程序结束。

M03、M04、M05——主轴正转、反转、停转。

M08、M09——切削液开、关。

M30——程序结束并返回。

M98——子程序调用。

M99——子程序调用返回 (子程序结束)。

1.2 刀具选择指令 T

用 T 指令编程可以选择刀具。有两种方法来执行: 一种是用 T 指令直接更换刀具, 另一种是仅仅进行刀具的预选, 换刀还必须由 M06 来执行。选择哪一种, 必须在机床参数中确定。

刀具选择指令格式:

T__; 刀具号, T0 表示没有刀具

应用技巧:

编程举例:

不用 M6 更换刀具:

N10 T1 ; 刀具 1

:

N70 T12 ; 刀具 12

用 M6 更换刀具:

N10 T10 ; 预选刀具 10

N15 M6 ; 执行刀具更换, 然后 T10 有效

1.3 刀具下刀、进退刀方式的确定

1.3.1 刀具的下刀方式

Z 轴下刀方式，如图 1-21 所示。

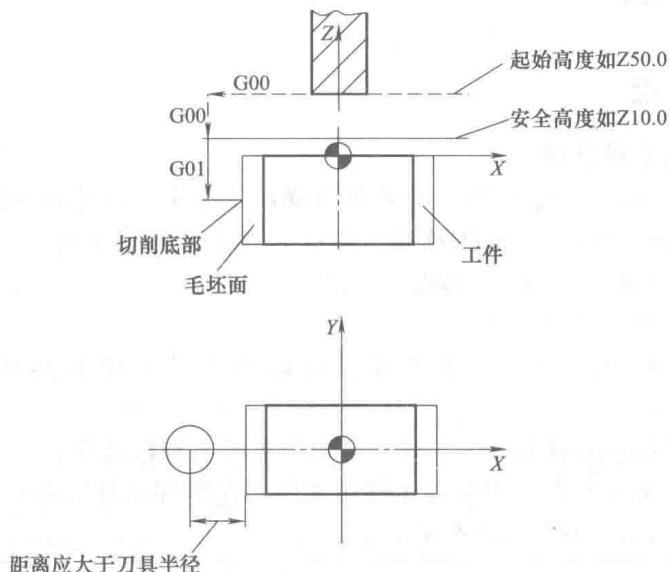


图 1-21 下刀方式



应用技巧:

- 1) 起始高度是防止刀具与工件发生碰撞而设置。
- 2) 安全高度以下，刀具以工作进给速度切至切削深度。
- 3) 如果加工型腔，可在工件加工位置上方直接落刀，如用立铣刀需做落刀孔。

1.3.2 刀具的进退刀方式

进退刀方式在铣削加工中是非常重要的，二维轮廓的铣削加工常见的进退刀方式有垂直进刀、侧向进刀和圆弧进刀方式，如图 1-22 所示。

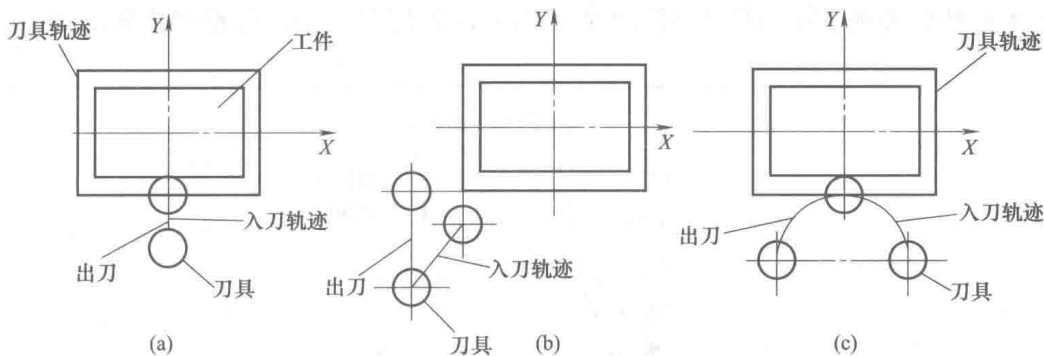


图 1-22 刀具的进、退刀方式

应用技巧:

- 1) 垂直进刀路径短, 但工件表面有接痕, 常用于粗加工;
- 2) 侧向进刀和圆弧进刀, 工件加工表面质量高, 多用于精加工。

1.4 刀具补偿

1.4.1 刀具半径补偿

(1) 不同平面内的刀具半径补偿

刀具半径补偿用 G17、G18、G19 指令在被选择的工作平面内进行补偿。比如当 G17 命令执行后, 刀具半径补偿仅影响 X、Y 轴移动, 而对 Z 轴不起补偿作用。

(2) 刀具半径补偿指令 G40、G41、G42

① G40——取消刀具半径补偿指令。

G40 应写在程序开始的第一个程序段以及取消刀具半径补偿的程序段。G40 取消 G41、G42。

② G41——刀具半径左补偿指令; G42——刀具半径右补偿指令。

判定: 沿着刀具运动方向看, 刀具在工件切削位置左侧称左补偿即 G41; 刀具在工件切削位置右侧称右补偿即 G42; 如图 1-23 所示。

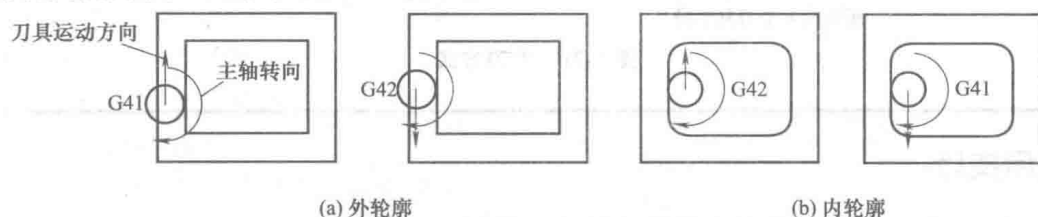


图 1-23 G41、G42 的判定

注: 主轴顺时针转时, G41 为顺铣, G42 为逆铣。数控铣削常用顺铣。

程序格式: 以 G17 平面为例

G00/G01 G41/G42 X__Y__D__; 建立刀具半径补偿程序段

:

轮廓加工程序段

G00/G01 G40 X__Y__;

取消半径补偿程序段

格式中, D__所对应的值为刀具半径补偿量。

刀具半径补偿实例: 在 G17 平面 (XY 平面) 内使用刀具半径补偿完成轮廓加工, 如图 1-24 所示。

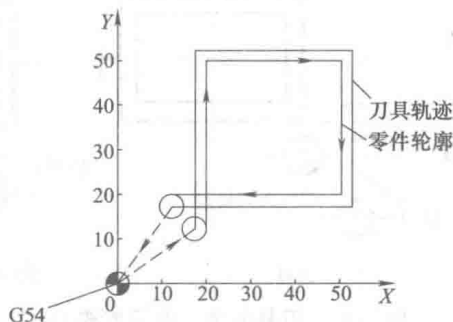


图 1-24 半径补偿刀具轨迹