

子程序在模具铣削编程中的应用

撰文 / 江苏建筑职业技术学院 黄继战 王凤清

本文简介了子程序编程的基础知识，以实例形式论述了子程序在模具平面、凸模和多腔铣削加工编程中的具体应用。实践表明，使用子程序编程解决了因平面铣削走刀次数多、分层铣削层数多、多腔铣削腔数多而导致的无法进行的手工编程的问题，并能够克服数控自动编程程序可读性差、柔性差的缺点，缩短编程时间和工作量。

数控编程是模具加工的关键环节，编制高质量的加工程序对工件质量、效率和成本有重要的影响。在模具加工中，经常会遇到平面铣削走刀次数多、分层铣削层数多、多腔铣削腔数多而导致的手工编程繁琐问题，甚至若不采用子程序无法进行手工编程的问题。因此，本文探讨利用子程序以简化模具加工手工编程具有重要的意义。

一、FNUAC 0i 系统子程序编程基础

1. 子程序的概念

数控机床的加工程序分为主程序和子程序两种。主程序是一个完整的零件加工程序，或是零件加工程序的主体部分，它和加工零件是一一对应的关系。

盖锁和水箱上横梁的结构更近，因此对锁体布置提出更严格的要求。

SUV 车辆的 WAD775 线一般落在前保险杠蒙皮或格栅上，需要在此区域有合理的吸能变形空间，此情况锁体布置大多只考虑行人保护法规因素的影响，受大腿得分因素影响不是很显著。非 SUV 车辆，受法规影响锁体布置在 WAD1000 线之前，但一般会在大腿撞击点 WAD775 线附近，如图 6 所示，此时锁体硬点距外板 Z 向空间在 30 ~ 40 毫米。如果考虑此区域大腿得分，锁体需要落在变形吸能空间之外，经仿真分析，相应撞击方向吸能空间在 80 毫米左右，根据撞击角度转化成外板至锁体硬点 Z 向高度一般不小于 60 毫米。因此 Z 向变形空间需要进一步增大。

一般通过分体式锁布置在水箱上横梁前面，或集成式锁布置在水箱上横梁后面，此种情况锁体一般不再落在 WAD1000 线外，即落在头部碰撞区域内，但锁体后移布置增加 Z 向距离空间也是满足头部碰撞法规要求的。

4. 国外车型主要采用的主动式发盖

目前国外车型越来越多采用主动式发盖，其原理是行人头部与发动机罩盖接触之前，点爆器抬升铰链带动发动机罩盖弹起一定的高度，以增大头部碰撞发动机罩变形空

间，从而降低 HIC 值。

在其弹起过程中 U 形锁扣在和锁体啮合区域处沿着其轴线后移，同时发盖前沿缘下降有“点头”动作，为了避免发盖前沿点头量过大而造成与前格栅或大灯干涉，需要通过运动分析，在满足发盖弹起高度条件下，合理的确定锁体与发盖前沿距离，当然也需要综合考虑大腿保护的影响。以一款 A 级车为例，发盖后端弹起高度为 85 毫米，锁体布置在离发动机罩盖前沿 143 毫米处，点头量为 7 毫米。

主动式发盖一般采用集成式锁布置在水箱上横梁前端中间位置。如新明锐，但也有采用分体式锁布置，用两把主锁布置在水箱上横梁两侧，安全锁布置在水箱上横梁前端中间位置。如 Audi A3。主要是减小发盖由于快速弹起而引起的抖动，使头部在碰撞到发盖前能快速稳定下来。

四、结语

设计初期定义的安全策略和不同的车辆类型，对发动机罩盖锁体的布置也有很大的不同，在对锁体布置设计人员还需具体情况具体分析，统筹兼顾周围零件布置空间大小和工艺性。同时随着行人保护更高要求和欧洲 NCAP 测试方法不断调整对锁体布置也会提出更新的要求。

在编制零件加工程序中，如果其中有些加工内容完全相同或相似，为了简化程序，可以把程序中某些重复出现的程序单独抽出来，按一定格式编成一个单独的程序，以供调用，这个程序即是子程序。

2. 子程序的调用

在 FANUC 0i 系统中，子程序的调用可通过 M98 指令进行，且在调用格式中将子程序的程序号地址 O 改为 P，其常用的子程序调用格式为：M98 P L。

其中地址 P 后面的四位数字为子程序号，地址 L 的数字表示重复调用的次数。若只调用 1 次子程序，在地址 L 及其后的数字可省略不写。

3. 子程序的嵌套

在编程时让程序调用另一个子程序，这一功能称为子程序的嵌套。当主程序调用子程序时，该子程序被认为是一级子程序，为一级嵌套，一级子程序再调用子程序时，该子程序被认为是二级子程序，为二级嵌套，依次类推，FANUC 0i 系统中，子程序可以嵌套 4 级。

主程序在运行过程中若需要执行某一级子程序，通过 M98 调用指令来调用该一级子程序，如果该一级子程序需要执行某二级子程序，也是通过 M98 指令来调用该二级子程序，依次类推。子程序返回时与调用次序相反，最终一级子程序运行结束后又返回到主程序调用程序段处，继续执行下面的程序段。

二、子程序的编程应用

1. 模具平面的编程

模具主要是由板类零件组成的，平面是典型加工表面，下面以某模板平面长、宽尺寸为 300×250 为例进行铣削编程。

(1) 编程分析。

刀具选用直径为 30mm 的平底立铣刀，以刀位点进行编程，铣削平面走刀路线由单向行切和双向行切，为保证加工表面质量采用单向不对称逆铣行切，步距一般为刀具直径的 0.85 倍，故步距取 26mm，工件宽度为 250 除以步距 26，得循环次数为 9.6 次，而次数须为整数，因此，循环走刀次数确定为 10 次。

(2) 确定编程原点，设计走刀路线。

编程零点确定在工件上表面中心，所设计的每次走刀路线如图 1 所示，即 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$ 。

(3) 确定基点坐标值。

考虑刀具半径 15mm、刀具 X 轴方向让刀距离 3mm

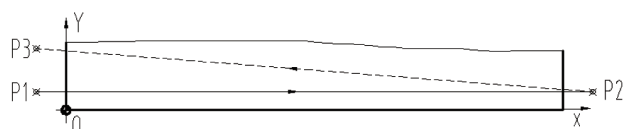


图 1 每次走刀路线图

和步距 26mm，采用 CAD 尺寸标注法确定 P_1 点绝对坐标为 $P_1(-18, 11)$ ， P_2 、 P_3 点增量坐标为 $P_1(336, 0)$ 、 $P_2(-336, 26)$ 。

(4) 编写加工程序源代码。

综合上述分析及设计，编写参考子程序如 O6001 所示，编写主程序如 O1 所示，根据加工平面尺寸只需修改所编程序中基点 P_1 、 P_2 、 P_3 坐标值，即可用于加工。

O6001；（子程序名）

G90G00Z5；（切换为绝对编程，刀具快速下降到 Z 坐标值 5mm 处）

G01Z-1.5F50；（刀具切削进给至 Z 值 -1.5mm 处）

G91G01X336Y0F120；（切换为增量编程，刀具切削进给从 P_1 到 P_2 点）

G90G00Z50；（切换为绝对编程，刀具快速抬刀至 Z 坐标值为 50mm 处）

G91G00X-336Y26；（切换为增量编程，刀具快速至下一个下刀点）

M99；（子程序结束）

O1；（主程序名）

G91G28Z0；（刀具 Z 轴回零）

G54G90G00X-18Y11S600M03；（建立 XY 工件系，刀具快速至下刀点，主轴正转，转速 600r/min）

G00Z50；（刀具快速至 Z 坐标值 50mm 处）

M98P6001L10；（调用 O6001 子程序 10 次）

G00Z200；（刀具快速至 Z 坐标值 200mm 处）

M30；（主程序结束）

2. 模具零件的分层铣削编程

某模具零件图如图 2 所示，毛坯长、宽、高尺寸为： $100 \times 100 \times 110$ 。

(1) 编程分析。

在模具实际加工中，特别高速加工，为减小切削抗力，避免机床负载的剧烈变化，刀具每次的切削深度必须限定在一定范围内。使用子程序编程可实现刀具 Z 向的分层加工。一般要求加工高度和每层切削深度为整数倍关系，该冲模型芯高 80mm，确定每层切削深度 2mm，则需调用子

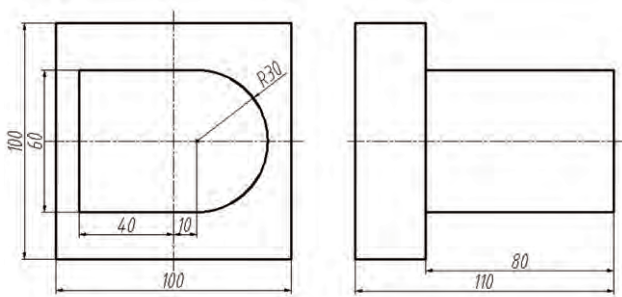


图2 冲模型芯零件图

程序 40 次。刀具选用直径 16mm 的合金刀具。

(2) 确定编程零点，设计走刀路线。

编程零点确定在工件上表面中心，设计走刀路线时注意以下 4 点：①走刀路线下刀点和返回点尽量重合，以简化编程；②精加工刀具要切向切入切出工件，防止接刀痕；③刀具 XY 下刀点尽量在工件以外，必要时预加工工艺孔，保护刀具；④走刀路线尽量短，有利于基点坐标计算。所设计的每层走刀路线如图 3 所示，即 $P \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_7 \rightarrow P$ 。

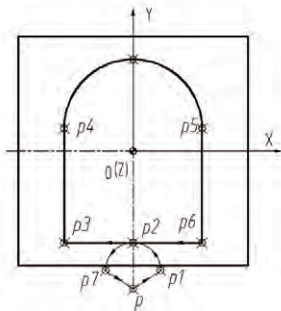


图3 每层走刀路线图

(3) 确定基点坐标值。

图 3 中的刀具每层走刀路线图为精确设计，使用 CAD 软件查询法顺次确定基点坐标为： $P(0, -60)$ 、 $P_1(12, -52)$ 、 $P_2(0, -40)$ 、 $P_3(-30, -40)$ 、 $P_4(-30, 10)$ 、 $P_5(30, 10)$ 、 $P_6(30, -40)$ 、 $P_7(-12, -52)$ 。

(4) 编写加工程序源代码。

基于上述分析及设计，编写参考子程序如 O6002 所示，编写主程序如 O2 所示，以供参考。值得注意的是：①分层铣削子程序编程 Z 向须用 G91 编程；②主程序中程序段 G01Z0F20，刀具须切削进给至 Z 坐标值 0 处，才能保证工件的加工高度尺寸。

O6002；（子程序名）

G91G01Z-2F20；（刀具每次切削深度 -2mm）

G90G41G01X12Y-52D01F200；（刀具从 P 点切削进给到 P_1 点，建立刀具半径左补偿）

G03X0Y-40R12；（刀具从 P_1 点切削进给到 P_2 点，圆弧切向切入工件）

G01X-30；（刀具从 P_2 点切削进给到 P_3 点）

G01Y10；（刀具从 P_3 点切削进给到 P_4 点）

G03X30R30；（刀具从 P_4 点切削进给到 P_5 点）

G01Y-40；（刀具从 P_5 点切削进给到 P_6 点）

G01X0；（刀具从 P_6 点切削进给到 P_2 点）

G03X-12Y-52R12；（刀具从 P_3 点切削进给到 P_7 点，圆弧切向切出工件）

G40G01X0Y-60F1000；（刀具从 P_7 点切削进给到 P 点，取消刀具半径左补偿）

M99；（子程序结束）

O2；（主程序名）

G91G28Z0；（刀具 Z 轴回零）

G54G90G00X0Y0S2000M03；（建立工件系，刀具快速至下刀点 P，主轴正转，转速 2000r/min）

G00Z50；（刀具快速下降到离工件顶面 50mm）

G00Z5；（刀具快速下降到离工件顶面 5mm）

G01Z0F20；（刀具切削进给到 Z 坐标值 0 处）

M98P6002L40；（调用 O6002 子程序 40 次）

G00Z50；（刀具快速抬刀至离工件顶面 50mm）

G00Z200；（刀具快速抬刀至离工件顶面 200mm）

M30；（主程序结束）

3. 模具的多腔铣削编程

假设刀具一次能加工深度为 10mm，对图 4 所示零件各腔进行精铣编程。

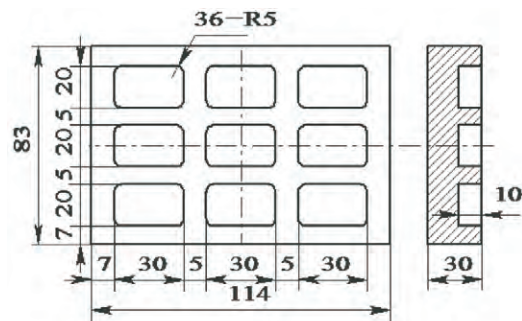


图4 多腔零件图

(1) 编程分析。

刀具选用直径 8mm 的键槽铣刀，零件各腔为精加工，为避免刀痕，设计走刀路线时，刀具圆弧切向切入切出工件，

编写轮廓子程序使用 G91 增量编程, 实现工件轮廓形状编程与位置的无关。

(2) 确定编程零点, 设计走刀路线。

编程零点确定在工件上表面中心, 所设计的走刀路线如图 5 所示, 各腔的加工顺序为 ①→②→③→④→⑥→⑦→⑧→⑨, 所设计的每腔走刀路线为 $O \rightarrow A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_4 \rightarrow A_5 \rightarrow A_6 \rightarrow A_2 \rightarrow A_7 \rightarrow O$ 。

(3) 确定基点坐标值。

为使刀具加工形状与其位置无关, 需采用 G91 方式编程, 因此, 使用 CAD 尺寸标注法确定各基点坐标增量坐标为: $O(0, 0)$ 、 $A_1(5, 5)$ 、 $A_2(-5, 5)$ 、 $A_3(-15, 0)$ 、 $A_4(0, -20)$ 、 $A_5(30, 0)$ 、 $A_6(0, 20)$ 、 $A_7(-5, -5)$ 、 $O(5, -5)$ 。

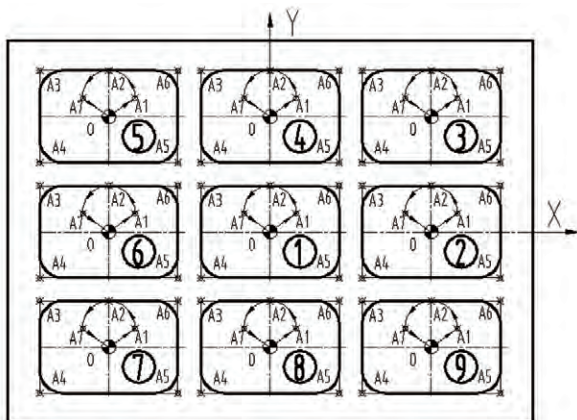


图 5 多腔零件走刀路线图

(4) 编写加工程序源代码。

根据以上分析及设计, 编写子程序如 O6003 所示, 编写主程序如 O3 所示, 以供参考。

O6003; (子程序名)

G00Z5; (刀具快速下降到离工件顶面 5mm 处)

G01Z-10F20; (刀具切削进给到切削深度 -10mm)

G91G41G01X5Y5D01F60; (切换为增量编程, 建立刀具半径补偿左刀补, 刀具从 O 点进给到 A_1 点)

G03X-5Y5R5; (刀具从 A_1 点进给到 A_2 点)

G01X-15Y0, R5; (刀具从 A_2 点进给到 A_3 点)

G01X0Y-20, R5; (刀具从 A_3 点进给到 A_4)

G01X30Y0, R5; (刀具从 A_4 点进给到 A_5 点)

G01X0Y20, R5; (刀具从 A_5 点进给到 A_6 点)

G01X-15Y0; (刀具从 A_6 点到进给 A_2 点)

G03X-5Y-5R5; (刀具从 A_2 点到进给 A_7 点)

G40G01X5Y-5F500; (取消左刀补, 刀具从 A_7 点进给到 O 点)

G90G00Z50; (切换为绝对编程, 刀具快速抬刀至离工件顶面 50mm)

M99; (子程序结束)

O3; (主程序)

G91G28Z0; (刀具 Z 轴回零)

G54G90G00X0Y0S800M03; (建立工件坐标系, 刀具快速定位至第 1 个腔体中心)

G00Z50; (刀具快速下降到离工件顶面 50mm)

M98P6003L1; (调用 O6003 子程序 1 次)

G00X35Y0; (刀具快速至第 2 个腔体中心)

M98 P6003L1; (调用 O6003 子程序 1 次)

…… (刀具顺次定位至腔中心, 调用子程序加工)

G00X35Y-25; (刀具快速至第 9 个腔体中心)

M98 P6003L1; (调用 O6003 子程序 1 次)

G00Z200; (刀具快速抬刀至离工件顶面 200mm)

M30; (主程序结束)

三、结语

实践表明, 模具铣削编程中若能充分使用子程序编程, 可缩短程序长度, 减少程序错误, 缩短编程时间和工作量, 程序修改容易且迅速; 同时解决了因平面铣削走刀次数多、分层铣削层数多、多腔铣削腔数多而导致的无法进行的手工编程的问题, 这些对模具加工中类似的特征编程具有极高的参考价值。