

A technical illustration featuring several interlocking gears of different sizes. A line graph with multiple data points and arrows indicating trends is overlaid on the gears. The background is a light gray with a faint grid pattern.

第 1 章

四轴加工基础知识



1.1 机床类型及适用范围

四轴加工中心主要分两种：立式加工中心和卧式加工中心。图 1-1 所示是立式四轴加工中心。四轴转台可安装在机床工作台的左侧或右侧，对于编程与操作都无影响。



四轴加工基础
知识讲解



图 1-1 立式四轴加工中心

立式四轴加工中心适合加工轴类零件，其装夹方式类似车床，对于较长的轴类零件，可以使用一夹一项的方式。另外，立式四轴加工中心配上桥板夹具后，就可以加工箱体类零件。图 1-2 所示是桥板夹具，图 1-3 所示是桥板夹具 3D 图。

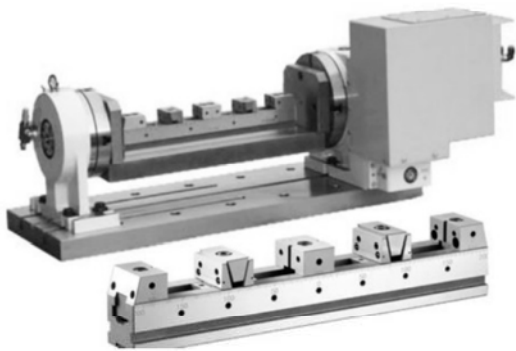


图 1-2 桥板夹具

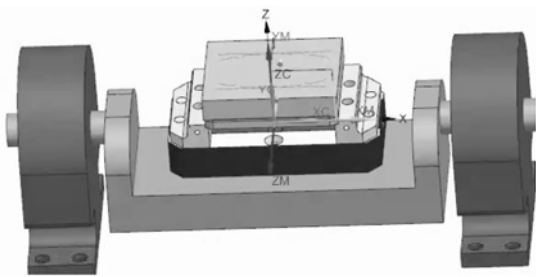


图 1-3 桥板夹具 3D 图

桥板夹具是立式四轴加工中心很重要的夹具，如果桥板较长，则需要如图 1-2 所示配置圆盘尾座。如果桥板较短，则可以如图 1-4 所示，在桥板上安装其他的通用夹具，图中安装了一个自定心虎钳夹具。

卧式加工中心如图 1-5 所示，适合加工箱体类零件，通常需配以方箱、弯板等夹具，方便工件的装夹。图 1-6 所示是方箱夹具，图 1-7 所示是弯板夹具。

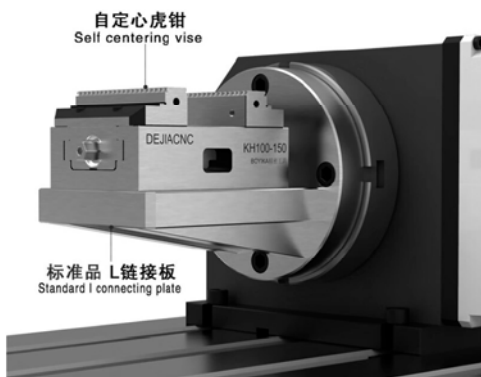


图 1-4 短桥板结构

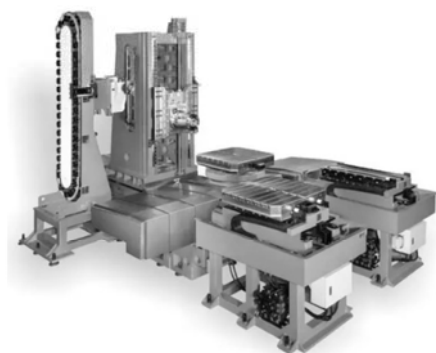


图 1-5 卧式加工中心



图 1-6 方箱夹具



图 1-7 弯板夹具

1.2 四轴转台的安装及系统参数设置

立式加工中心的四轴转台，通常作为一个机床附件，根据加工需要进行配置，需要时安装，不需要时也可以拆除。卧式加工的四轴转台，通常是机床的标准配置，不能改变。

下面重点介绍立式加工中心的四轴转台的安装与系统参数设置。

1. 机械安装

首先将机床工作台面和旋转四轴转台底面擦拭干净，然后将旋转四轴转台放置在机床的右侧，打表找正其 X 方向和 Z 方向，打表位置为四轴转台花盘平面，最后将其固定在机床台面上，如图 1-8 所示。

2. 系统参数设置

(1) 首先打开写参数，在 MDI 方式下修改参数，将参数 0 修改为 1，如图 1-9 所示。

(2) 打开四轴功能，设置四轴显示参数，修改参数 8130，将 AXIS NUMBER 处的数字由 3 修改为 4，如图 1-10 所示。修改参数后，系统会有报警提示，如图 1-11 所示。



图 1-9 修改写参数

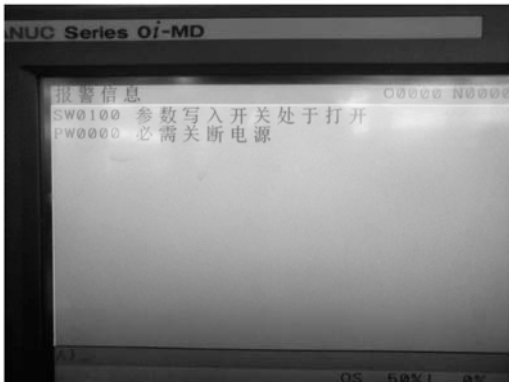


图 1-11 系统报警提示

(5) 四轴功能打开后，坐标显示画面发生变化，如图 1-15 所示。



图 1-13 四轴功能被锁定



图 1-14 四轴功能开



图 1-15 四轴功能开后的坐标显示

(6) 继续修改 K 参数，它是 PMC 参数。K 参数 K0012 的第 2 位，现在为 0，如图 1-16 所示，应将其修改为 1，如图 1-17 所示。

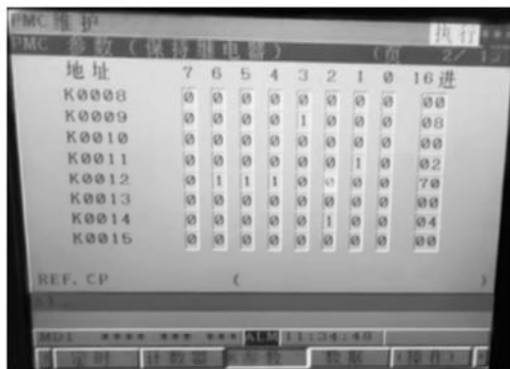


图 1-16 原来的 K 参数



图 1-17 修改后的 K 参数

实际上，四轴功能打开，一共需要设置 3 个参数。

此时的第四轴，不是 NC 轴，而是 PLC 轴。NC 轴就是系统本身自带的坐标轴，而 PLC 轴是通过系统 PLC 中的梯形图编写后，才会运行的坐标轴。两者的控制方式不同。

3. 四轴转台的拆除

如果要拆除四轴，首先需要设置四轴显示参数 8130，将 AXIS NUMBER 处的数字由 4 修改为 3，然后重新启动机床，拆线并卸下四轴工作台。如果直接拆线，系统会报警。

1.3 四轴属性及系统参数设置

目前，数控机床上的第四轴，其属性主要包括两个方面：①旋转方向。四轴的旋转方向符合 ISO 定义，即右手定则。②旋转方式。分为线性和 360° 绝对+路径最近。一般情况下，机床设置为后者。



系统参数设置：要想实现 360° 绝对+路径最近，需要设置两个系统参数：1006 和 1008。
将 1006 参数 A 中的 ROT 位修改为 1，如图 1-18 所示。
将 1008 参数 A 中的 ROA 位修改为 1，如图 1-19 所示。



图 1-18 ROT 位修改



图 1-19 ROA 位修改

四轴的旋转方向也可以根据需要进行设置，即与 ISO 规定不一致。改变旋转方向，需要设置系统参数 2022。在 2022 中，将 A 中的数字改变正负号即可，原来是正的改为负的，原来为负的改为正的，如图 1-20 所示。

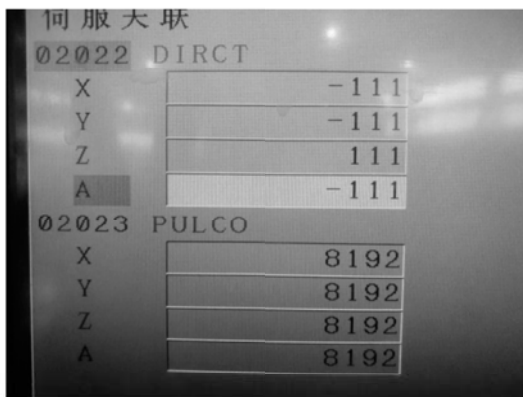


图 1-20 旋转方向修改

1.4 四轴加工与编程的学习难点

四轴机床是介于三轴机床和五轴机床的一个中间产物。为了方便用户编程与使用，五轴机床的数控系统一般提供针对多轴加工的高级指令，这样五轴机床的操作类似三轴机床的操作，用户可以将工作的重点放在工艺与编程上；而四轴机床一般没有高级指令，它的编程与操作相对麻烦，甚至在一定程度上，四轴机床的编程与操作要难于五轴机床的编程与操作。

一般情况下四轴加工必须自动编程。对于初学者，首先要完成三轴加工向多轴加工的思维转变，要深入理解驱动体、投影矢量和刀轴矢量这三个概念。此外，还需要一个或多个



个正确的后置处理器，否则即使前置处理正确，即刀位文件是正确的，后置处理后的 NC 程序也不一定正确。多轴加工，其刀轨常常所见非所得。

另外，为了减少 NC 程序的错误，最好在第三方仿真软件上进行真实状态下的加工仿真，一般情况下使用 Vericut 软件进行加工仿真，这样可以减少不必要的加工错误。

综上所述，四轴加工的学习难点如下。

- ① 观念的改变，从三轴加工到多轴加工观念的改变。
- ② 定制多个满足加工需要的后置处理器。
- ③ 无类似五轴机床的高级命令，通常需要根据工件的实际安装位置进行编程。

A technical illustration featuring several interlocking gears of different sizes. A line graph with multiple data points and arrows indicating trends is overlaid on the gears. The background is a light gray with a faint grid pattern.

第 2 章

UG 四轴编程基本方法

2.1 定轴加工和联动加工



UG 四轴编程
基本方法知
识讲解

四轴加工有两类方法：定轴加工和联动加工。定轴加工，就是旋转轴只用于定位，不参与实际的切削加工。类似于分度头，手工分度改变加工工位后，再进行加工。联动加工，就是旋转轴与直线轴联动，同时参与零件的加工。对于联动加工的四轴机床，其旋转轴的分度精度大多为 0.001° 。

不同的四轴机床，旋转轴的功能不同。对于立式四轴机床来说，大多支持联动加工；但对于卧式四轴机床来说，其分度精度为 1° 、 1.5° 、 3° 、 5° 等，这类机床只支持定轴加工；有的卧式四轴机床，旋转轴的分度为 0.001° ，支持联动加工，并且用于定轴加工时，任何角度的定位面都可以加工。

四轴零件的加工，大多是定轴加工。由于定轴加工效率高，编程方法成熟，优先推荐使用定轴加工，尤其是粗加工。只有定轴加工无法加工或过于烦琐时，才使用联动加工。联动加工常用于零件的精加工。

一定记住

定轴加工，常用于零件的粗加工；联动加工，常用于零件的精加工。

2.2 定轴加工的编程坐标系设置

四轴机床定轴加工，分为手工编程和自动编程两种方法。编程坐标系的设置，也分两种方法：①每一个加工面单独设置一个编程坐标系；②所有加工面使用一个编程坐标系。

1) 每一个加工面单独设置一个编程坐标系

手工编程时，坐标计算比较困难，通常需要每一个加工面单独设置一个编程坐标系，其设置方法与三轴机床的思路完全一致。实际加工时，如果每个编程坐标系原点都单独对刀，工作量大且容易产生对刀累计误差，不推荐使用；最好的方法是选取一个容易对刀的编程坐标系原点进行手工对刀，其他面的编程坐标系原点采用计算的方法加以确定。计算的方法也有两种：一是使用宏程序进行计算确定；二是借助 CAD 软件测量得到。推荐使用后者，这样可以降低操作难度，也便于理解。

每个面单独设置一个编程坐标系的方法，推荐使用旋转角度独立于编程坐标系而单独控制，即先单独控制角度定位，再调用对应的编程坐标系进行加工，例如：

```
A45
T01 M06
G00 G54 X100.Y150.S4000 M03
G43 Z10.H01

A90
T02 M06
G00 G55 X50.Y50.S3000 M03
G43 Z10.H02
```

每个面单独设置编程坐标系的优点：程序可读性强，修改控制方便，与传统的三轴机



床加工思路完全一致，先前的加工经验可以移植使用。

每个面单独设置编程坐标系的缺点：对操作者要求高，需要理解其中的理论知识。

③ 注意

手工编程和自动编程，都可以使用每一个面单独设置一个编程坐标系的编程方法。尤其是自动编程，借助宏后处理器的自动计算，可使机床的操作简单化。

2) 所有加工面使用一个编程坐标系

定轴加工，自动编程推荐使用一个编程坐标系的编程方法。根据定制的后处理器不同，定轴加工又分两种情况：①传统的四轴定轴加工；②使用坐标转换宏的定轴加工。

(1) 传统的四轴定轴加工：编程坐标系的原点必须位于旋转轴线上。工件的实际安装位置，理论上可以随便放置，但一定要打表确定位于旋转轴线上的编程坐标系原点与工件安装后的参考编程坐标系原点之间的位置偏差，然后在 CAM 软件中移动工件或编程坐标系原点，使软件中的零件与编程坐标系原点之间的位置状态与实际机床的位置状态完全一致。

(2) 使用坐标转换宏的定轴加工：编程坐标系原点可以放置在零件的任意位置上。工件的安装位置，也可以根据加工需要任意安装。坐标转换宏，对于数控机床而言，如同手工添加了动态坐标系功能，相当于四轴机床具有了高级功能。它的实际效果与 G68.2X0Y0Z0 时的效果相似。使用坐标转换宏，四轴机床的编程与操作都将简单化，对于加工精度要求不高的单件小批生产，推荐使用此加工方法。

四轴转换宏的具体实现如下。

五轴机床的定轴加工，都有对应的定面加工高级指令，此时的定轴加工与三轴机床的编程与操作几乎一样，复杂的坐标转换工作由数控系统内部计算完成。四轴机床的数控系统，没有这样的高级定轴加工指令。用户可以仿照五轴机床的工作思路，自行定制宏程序，完成类似五轴机床的定轴加工，此时四轴的定轴加工，表面上也使用一个编程坐标系，且原点可以放置在工件的任意位置上，这就是四轴宏程序后处理。宏程序后处理的主要内容如图 2-1 所示。

```
#611=0      (当前工序 X 方向偏差)
#612=0      (当前工序 Y 方向偏差)
#613=0      (当前工序 Z 方向偏差)
+++++++ (分割线以下内容不能修改)

#602=#5222-#5322  (G54 坐标 Y 值减去 G59 坐标的 Y 值)
#603=#5223-#5323  (G54 坐标 Z 值减去 G59 坐标的 Z 值)
#604= A          (当前工序的旋转角度)
#606=[COS[#604]*[#602]+SIN[#604]*#603]+#5322 (计算出旋转后 Y 轴的机械坐标值)
#608=[#602]*SIN[#604]+[#603]*COS[#604]+#5323 (计算出旋转后 Z 轴的机械坐标值)
#632=#606-#5222+#612 (以 G54 为原点，需要偏移的 Y 值)
#633=#608-#5223+#613 (以 G54 为原点，需要偏移的 Z 值)
G52 X#611 Y#632 Z#633 (最终计算的结果通过 G52 局部坐标系进行偏置)
+++++++ (分割线以上内容不能修改)
```

图 2-1 宏程序后处理

① 注意

无论哪种定轴加工方法，都需要确定四轴旋转轴线的机械坐标值。它是加工的基准，在工件旋转时，它的机械坐标值是保持不变的。通过它，可以确定旋转后的零件坐标值，也可以确定零件在机床处于 A0 时的实际安装位置。

2.3 联动加工的编程坐标系设置

四轴联动加工，编程坐标系原点必须位于旋转轴线上。工件的安装位置，也应尽量位于旋转轴附近，对于轴类零件，工件的旋转轴线应与机床的四轴旋转轴线重合，否则将会附加多余的线性轴运动，对实际加工不利。

无论是立式四轴机床还是卧式四轴机床，实际上都需要确定旋转轴线的机床坐标值。它们的对刀方法是类似的。下面重点介绍立式四轴机床的旋转中心对刀方法。

立式四轴机床，其旋转轴大多绕 X 轴旋转，此时其旋转轴线在机床坐标系中的 YZ 值是固定不变的；同样，对于卧式四轴机床，其旋转轴大多绕 Y 轴旋转，其旋转轴线在机床坐标系中的 XZ 值是固定不变的。

实际上，无论是使用一个编程坐标系进行定轴加工，还是每个面定义一个编程坐标系，都需要对刀确定四轴旋转中心的位置坐标，即四轴旋转轴线在机床坐标系中的坐标值。

立式四轴机床常用的夹具为三爪卡盘和桥板。下面讲解使用这两种夹具时旋转线中心坐标的对刀方法。

(1) 三爪卡盘的对刀方法。

首先安装三爪卡盘到四轴转台上，卡盘中夹持一个标准量棒或找一个长度较长的棒铣刀，打表量棒或铣刀，找正卡盘位置并紧固三爪卡盘。使用机械式巡边器沿 Y 轴方向分中取数以确定 Y0 位置，然后在 G54 中输入 Y0 测量，即可确定旋转轴线在 Y 轴的机床坐标值。

Z 轴方向的对刀，分为两个：一个是 G54 的对刀，另一个是刀具长度补偿的对刀。Z 值通常需要转换使用，通常需要使用千分表确定旋转轴中心在 Z 方向与对刀基准之间的高度差，如 Z 轴对刀基准为四轴转台上表面，可以先将表针压到四轴转台上表面吃表半圈后归零，然后再将机床的 Z 值相对坐标值归零，移动表针至量棒或铣刀的上母线，压表至相同的零位，即可测出两点之间的 Z 轴差值，使用千分尺精确测量量棒或铣刀的直径尺寸，再向下移动一个刀具半径值，此时的 Z 轴相对坐标值就是对刀基准面与旋转轴线在 Z 轴方向的差值，也就是对刀基准与编程零点在 Z 轴方向上的高度差值，将这个差值直接输入 G54 的 Z 中，注意，此值通常是负值。真实使用的每把刀具，都应该到对刀基准面处对刀，然后再将其对应的机械坐标系中的 Z 轴坐标值作为刀具长度补偿值输入到对应的刀补号中。

以上这种 Z 轴对刀方法，是相对对刀法，刀具长度补偿值是刀具中心点到 Z 轴原点的垂直距离，其值为负。在没有对刀仪的情形下，这种方法在车间广泛应用。相对对刀法，



理论上需要一把基准刀具，通常选择最长刀作为基准刀，这里是一种变通应用，选择一把假想的顶天立地的最长刀作为基准刀，这样的好处是每把刀都是独立的，相互之间没有影响。

三爪卡盘和轴类零件的对刀示意图如图 2-2 所示。

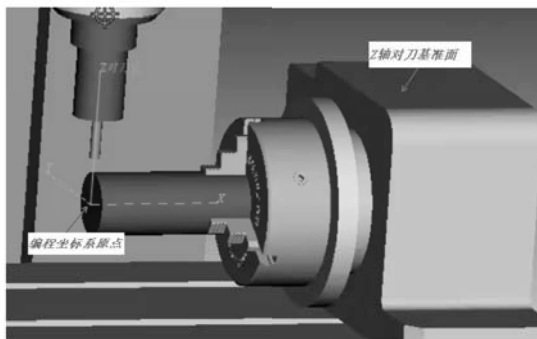


图 2-2 轴类零件对刀示意图

(2) 桥板四轴的对刀方法。

Y 轴对刀方法如下。

首先打表找正桥板大平面，将此时的状态设置为 A0；然后旋转 A90°，使用机械式巡边器对桥板大平面的 Y 值进行对刀。当巡边器与平面对正后，首先将机床的相对坐标 Y 值归零，然后抬起巡边器至安全高度，再沿 Y 轴方向移动一个巡边器对刀半径值，如 5mm。注意移动方向，目的是使巡边器的中心与桥板大平面对齐，再次将机床的相对坐标值归零；重新旋转桥板至 A-90°，重复上述操作，使巡边器中心与桥板大平面对齐，此时便得到 A90 和 A-90 两个状态时桥板大平面之间的距离，将该距离除以 2 得其一半，然后反向移动一半数值即可得到 Y0 位置，转至 G54 的 Y 处输入 Y0 的测量值，即可得到桥板四轴的 Y0 位置机械坐标值。

① 注意。

此处的移动距离值或一半值，实际上就是桥板大平面的摆长值。

图 2-3 是桥板示意图。这个四轴转台装在机床的左侧，一般情况下是装在机床的右侧，实际上这两种情况是一样的，其编程与操作完全一样，没有任何变化。由于机床左侧有刀库，装在右侧会更安全些。

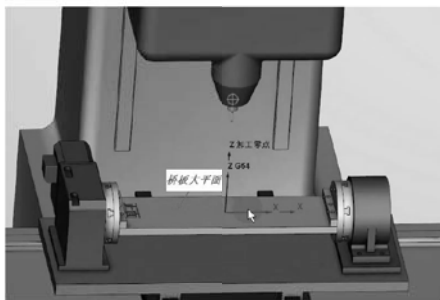


图 2-3 桥板示意图

Z 向对刀：前面提到的数值，实际上是桥板大平面的旋转半径，也相当于是一个摆长值，通过它可以很容易得出桥板四轴轴线的 Z 值坐标。假设取一把基准刀具进行对刀，首先将桥板放置到 A0 状态，然后将基准刀具在 Z 方向轻轻与桥板大表面接触，将机床的相对坐标 Z 值归零，向上或向下移动前面确定的摆长值，此时的机械坐标系 Z 值就是桥板四轴轴线的 Z 值，转动 G54 的 Z 处，输入 Z0 测量即可确定旋转四轴轴线的 Z 值坐标值。

① 注意。

一定要正确判断在 A0 状态时桥板大平面与四轴旋转轴线的 Z 轴位置关系，如果旋转轴线在桥板大平面的上方，则向上移动一个摆长值；如果旋转轴线在桥板大平面的下方，则向下移动一个摆长值。

Z 向对刀通常也是选取一个对刀基准面，如旋转工作台的上表面，此时同样需要找出对刀基准面与旋转轴线在 Z 轴方向上的高度差，其方法为：首先打表旋转工作台上表面，压表半圈并归零，将机床的相对坐标 Z 值归零，然后打表桥板大平面，压表至相同的零位，然后向上或向下移动一个摆长值，此时的相对坐标 Z 值就是对刀基准面与旋转轴线的 Z 向高度差，将此值抄写到 G54 的 Z 处即可。真实使用的每一把刀，直接对基准平面，其对应的机械坐标系中的 Z 值，就是它的刀具长度补偿值。

桥板的旋转中心 YZ 坐标确定后，便可以按照工件在桥板上的实际安装位置，如同三轴加工的对刀方法一样，确定 CAM 软件中参照编程坐标系原点坐标位置。桥板四轴，编程坐标系的 X 轴和 CAM 软件中的参考编程原点的 X 轴，其原点位置是相同的，可以根据工件的安装位置，一次对刀确定。

桥板零件实际安装位置确定方法如下。

首先在 CAM 软件中确定一个参考编程坐标系原点，这个原点的位置要求必须容易找正。将工件安装到桥板的合适位置后，要确定参考编程零点与桥板四轴轴线在 YZ 方向的相对位置偏差。按照三轴机床的对刀方法，确定参考编程零点在机床坐标系下的 Y 值坐标，可将其设置到 G59 的 Y 值处，如果桥板四轴的 Y 值设置在 G54 处，则两者相减，便是两者在 Y 轴的位置偏差。Z 轴的位置偏差，可以使用打表的方法确定，首先打表 A0 状态下的桥板大平面，压表半圈并归零，将机床的相对坐标 Z 值归零，找到参考编程坐标系的 Z0 位置，压表至前面设置的零位，此时的机床相对坐标 Z 值，就是桥板平面与参考编程零点在 Z 轴的偏差值，再减去一个桥板摆长值，即可得到四轴轴线与参考编程坐标系原点在 Z 轴方向的高度差。

桥板零件加工，使用一个编程坐标系进行编程，通常编程坐标系原点位于四轴旋转轴线上，此时一定要根据零件的实际安装位置进行加工编程，即确定实际编程零点与 CAM 软件中的参考编程零点之间的 YZ 偏差值，然后返回 CAM 软件，移动图形或移动参考编程坐标系原点，使 CAM 软件中的编程坐标系与零件之间的位置关系与实际机床中的位置关系完全一致，在此情形下进行程序的后置处理，得到的 NC 程序才是正确的。

图 2-4 所示是桥板四轴机床编程坐标系原点与 CAM 软件中的参考编程原点之间的位置关系图。

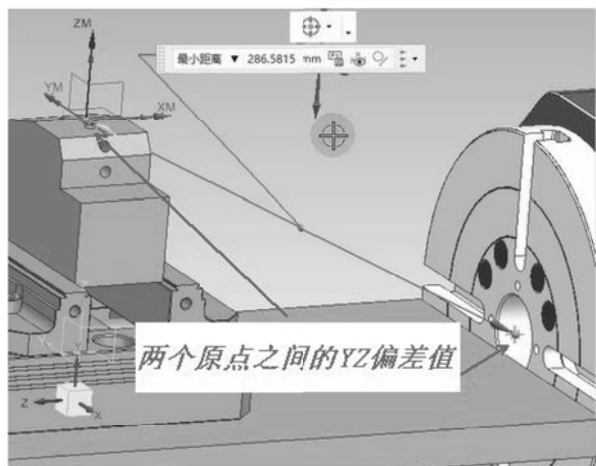


图 2-4 实际编程原点与参考编程原点位置示意图

总结：Y 轴相减得偏差，Z 轴打表得偏差，X 轴相同直接对。

① 注意

一旦机床上零件的安装位置发生变化，就必须重新确定机床中实际的编程坐标系原点与 CAM 中的参考坐标系原点之间的 YZ 偏差值。

宏后处理器的对刀方法：此时需要根据宏后处理中的定义，打表确定四轴旋转中心和 CAM 软件中的编程坐标系原点。如根据定义，可将四轴旋转中心坐标放置在 G59 中，将编程坐标系原点坐标放置在 G54 中。具体对刀方法如前所述，只是 G54、G59 中的 Z 值，通常是对刀基准面和编程 Z 零点的高度差，此时要注意两者的对刀基准面必须是同一个，是根据相同的对刀基准面得出的高度差。旋转轴线对刀和编程坐标系对刀，可以看成是两个独立的对刀，分别确定 G54 和 G59 中的坐标值。

2.4 UG 四轴编程方法

四轴定轴加工，包括了所有的三轴模块的加工功能，即 2D、3D 所有的加工方法都可以使用，只需合理地定义刀轴矢量即可。

四轴联动加工，分为通用联动加工模块和高端四轴加工模块。通用联动加工模块主要是传统的可变轴轮廓铣中的功能，如图 2-5 所示。

传统的可变轴轮廓，需要深入理解驱动体、刀轴矢量和投影矢量的含义及用法。这些驱动方法，不是专为四轴加工设计的，它们是多轴加工驱动方法，因此有可能生成四轴刀轨，也有可能生成五轴刀轨，这就意味着必须正确构造满足四轴加工的驱动面，合理地设置刀轴矢量，只有这样才能生成正确的四



图 2-5 传统的可变轴轮廓铣中的功能



轴联动加工刀轨，而且一定要通过多种手段确定刀轨类型，避免产生不需要的五轴刀轨。

可变轴引导线驱动方法，也可以看成是传统的可变轴加工方法，它不需要构造驱动面，可以直接使用加工面边界线或在加工面上绘制曲线，直接产生加工刀轨。由于直接在加工面上产生刀轨，所以无须定义投影矢量，但需要合理设置刀轴矢量，否则也有可能会生成五轴刀轨。这种方法编程简单，是使用频率较高的四轴联动加工方法。

多轴外形轮廓铣，使用刀具侧刃加工直纹面侧面，主要用于五轴加工，但是对于特定的零件形状，也可以创建四轴的外形轮廓铣加工。如果能够用于四轴外形轮廓铣，则可以简化编程，提高编程效率。

顺序铣是 UG 特有的加工方法，可以用于复杂零件的四轴侧面精加工。由于操作比较麻烦，只有在其他方法无法创建正确刀轨时才考虑使用该方法。当然，在某些情况下使用它也可以简化编程。

上述方法都可以看成是传统的四轴加工方法，是一些基础方法。

高端四轴加工模块主要是旋转体 `mill_rotary` 加工方法和多种粗加工。这两种方法使四轴联动粗加工的编程简单化，无须设置刀轴矢量和投影矢量，编程智能化程度较高，因而可看作是高端四轴加工模块。但是同样需要注意，它们也可能生成五轴刀轨，在编程时要合理使用，并且要对产生的刀轨类型加以确认，防止产生不必要的五轴刀轨。`Mill_rotary` 精加工方法使圆柱体零件的精加工编程简单化，也是推荐使用的常用方法。

The background of the top half of the page features a technical illustration. On the left, there are several interlocking gears of different sizes, some rendered in white and others in light gray. A line graph with multiple data points and arrows indicating an upward trend is overlaid on the gears. The entire scene is set against a light gray background with faint, larger-scale gear patterns.

第 3 章

定轴加工与孔加工

3.1 定轴加工概述

在多轴加工中，定轴加工通常是优先使用的工序。所谓定轴加工，就是旋转轴只用于定位，而无须与线性轴联动加工。

定轴加工时，旋转轴首先进行旋转，将工件旋转到一定方位，然后固定不动。在工件的实际连续切削过程中，旋转轴固定不变，只有线性轴 XYZ 进行运动。

定轴加工时，一定要确保工作台在旋转过程中，刀具与旋转转台或工件之间，不会发生干涉碰撞。

多轴加工，其粗加工优先采用定轴加工，这是多轴加工必须注意的问题，只有在必要的情况下，才使用多轴机床进行多轴联动加工。



定轴加工基础知识讲解

3.2 定轴加工的刀轴矢量定义

三轴铣床加工，其刀具轴即刀轴矢量永远是(0,0,1)，即刀轴矢量与编程坐标系的+ZM 轴一致。

多轴加工中的定轴加工，其刀轴矢量通常不再是(0,0,1)。UG NX 软件定义刀轴矢量的方法如图 3-1 所示。



图 3-1 刀轴矢量的定义方法

下面对刀轴矢量的四种方法进行说明。

(1) +ZM 轴。当定轴加工的刀轴矢量与编程坐标系的+ZM 轴一致时使用该方法，这也是三轴机床加工的刀轴矢量设置方法。另外，当使用父子坐标系的编程方法时，所有定轴加工的刀轴矢量都可以使用该方法，这是在子坐标系下的定轴加工，其编程方法与传统

的三轴加工编程方法完全一致。

(2) 指定矢量。通过直接定义刀轴矢量的方法创建定轴加工。UG NX 软件提供了很多直接定义刀轴矢量的方法,如图 3-2 所示。

在这些方法中,最常用的方法是“面/平面法向”。如果无法直接定义刀轴矢量,可以通过旋转图形,然后使用“视图方向”的方法定义刀轴矢量,这也是复杂零件加工确定刀轴矢量的常用方法。

(3) 垂直于第一个面。使用 2D 加工方法创建定轴加工操作时常用该方法,尤其是使用底壁铣加工方法时常用刀轴矢量定义方法。

(4) 动态。当无法直接定义刀轴矢量时,可以通过手动方式直接调整刀轴矢量。它与前面的“视图方向”定义刀轴矢量类似,只是前者是旋转图形,后者通过直接旋转坐标系来确定刀轴矢量。

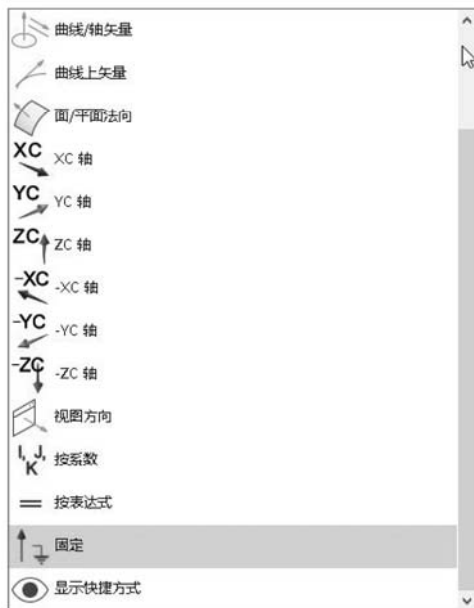


图 3-2 直接定义刀轴矢量的方法

3.3 定轴加工的编程方法

定轴加工,其编程最常用的是固定轴加工的 2D、3D 编程方法,当然可变轴编程方法也可以用于定轴加工。无论使用哪种方法编程,最重要的是刀轴矢量的正确定义。

定轴加工有以下两种编程方法。

(1) 父子坐标系方法。每一个方向的定轴加工,都创建一个子坐标系,然后在该子坐标系下编制定轴加工程序,此时的刀轴矢量为子坐标系的+ZM 轴。

(2) 直接定义刀轴矢量编制定轴加工。

如果在某一个方向,要编制的定轴加工程序很少,可以使用直接定义刀轴矢量方法;如果某一个方向要编制的定轴加工程序较多,则推荐使用父子坐标系的编程方法。

使用父子坐标系的编程方法时,一定要正确设置子坐标系的属性,它是一个局部坐标系,程序输出参考主坐标系。

3.4 四轴孔加工

孔加工实际也就是定轴加工。NX 提供了两种方式的孔加工:传统的 drill 模式和基于特征的 hole-making 模式。这两种模式都可以完成四轴孔加工的创建。推荐使用 hole-making 模式,因为它的智能化程度更高,操作更加简单方便。四轴孔加工时,必须注意刀轴矢量的设置问题,这也是区别于三轴孔加工的重要因素。

以上两种孔加工方式,都提供了基于直径大小选取孔的方法。



- (1) drill 模式：孔直径限定简单、好用。
- (2) hole-making 模式：需要进行特征分组，特征分组时必须选取部件几何体，编程时可以在创建的特征组下直接进行，这样可以继承选取的特征孔。

3.5 典型案例

下面通过三个典型案例来讲解定轴加工的编程方法。第一个案例是轴类零件铣刀头的定轴加工；第二个案例为箱体类零件的定轴加工，第三个案例为四轴孔加工。轴类零件的装夹，通常使用的是三爪卡盘，而箱体类零件则通过桥板装夹。

无论哪类零件，在实际编程前，首先应将零件摆放至满足四轴机床加工需要的状态。

案例 3-1：轴类零件铣刀头的定轴加工

铣刀头零件如图 3-3 所示；定轴加工刀轨如图 3-4 所示。



案例讲解



案例分析

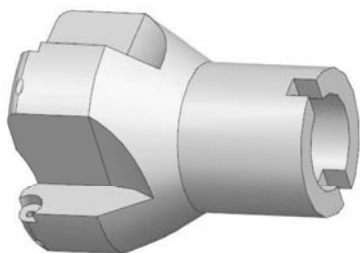


图 3-3 铣刀头零件

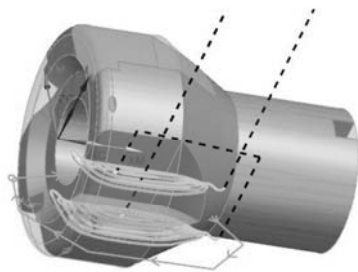


图 3-4 定轴加工刀轨

任务 1：摆正零件，使之满足加工和编程的需要。

假设四轴转台安装在机床的右侧，摆正零件使之满足加工要求。

- (1) 按 Ctrl+T 组合键，打开“移动对象”对话框，使用“坐标系到坐标系”的方法移动零件，具体设置如图 3-5 所示。



图 3-5 设置移动方法

(2) 定义一个坐标系作为起始坐标系。选取零件的左侧圆心点作为坐标系原点，选取一个面的法向作为 Z 轴方向，选取零件的轴线作为 X 轴方向，具体设置如图 3-6 所示。

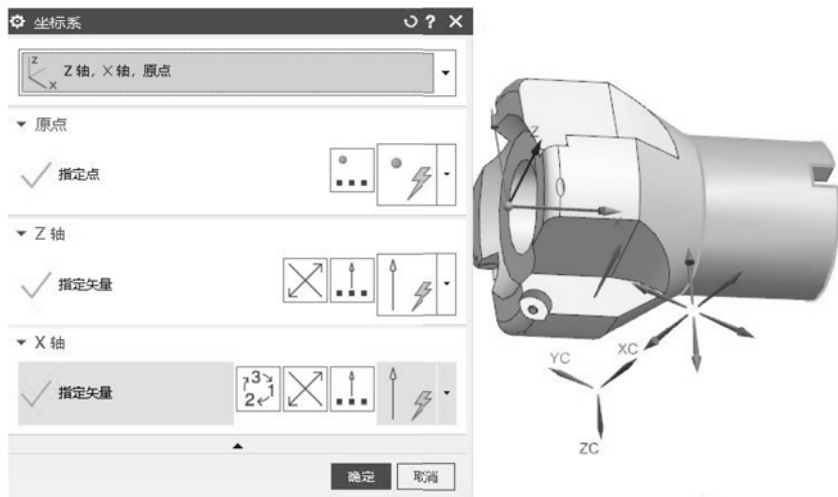


图 3-6 坐标系参数设置

(3) 选取绝对坐标系作为目标坐标系，然后选取铣刀零件作为要移动的对象，具体设置如图 3-7 所示。注意是移动对象，不是复制对象。

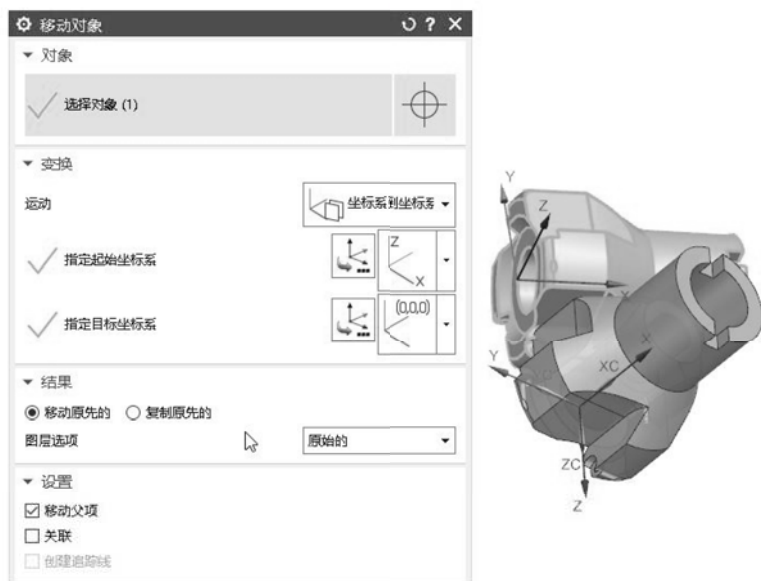


图 3-7 移动对象参数设置

这种操作方法是坐标系不动，而工件移动。移动前，WCS 和工件的位置关系如图 3-8 所示，移动后两者的关系如图 3-9 所示。

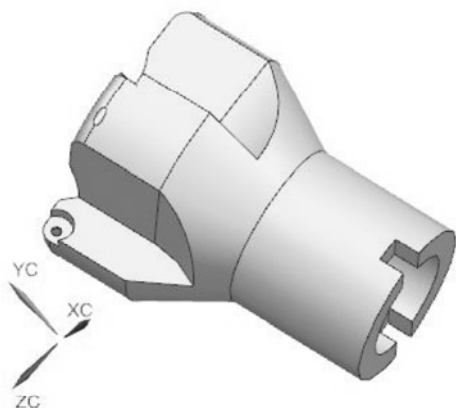


图 3-8 移动前的图形

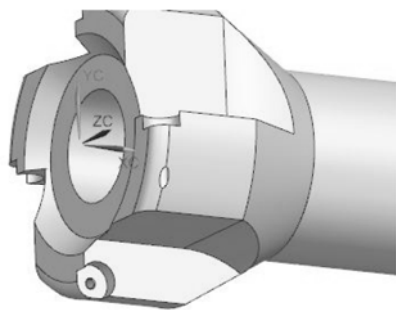


图 3-9 移动后的图形

任务 2: 创建毛坯。

可以使用多种方法创建毛坯，毛坯形状一定要与真实毛坯一样。由于该零件的前一道工序是在数控车床上完成的，所以使用数控车加工模块定义毛坯最简单方便。

(1) 进入车床加工模块，具体操作如图 3-10 所示。



图 3-10 进入车削模块

(2) 首先设置图层为 100，放置毛坯模型，然后如图 3-11 所示依次进行操作，选取部件几何体。

(3) 创建零件的最大截面，具体操作如图 3-12 所示。

关闭 1 层，只显示 100 层内的对象。创建的最大截面如图 3-13 所示。

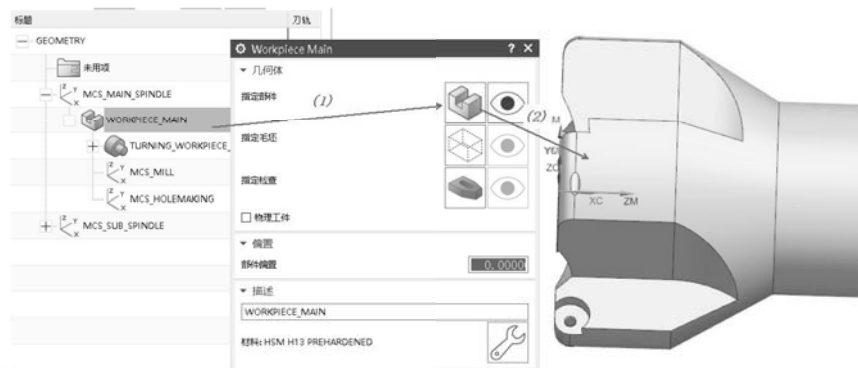


图 3-11 操作步骤说明



图 3-12 创建零件截面操作

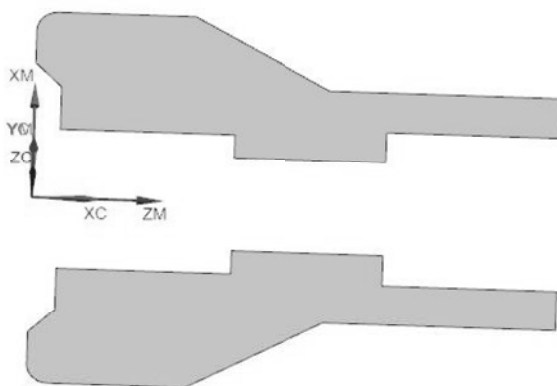


图 3-13 创建的最大截面

(4) 返回设计模型，使用旋转特征创建毛坯。选取一侧的截面轮廓作为特征截面，其



方法为选取面的边线，然后将过原点的 X 轴作为旋转轴，具体设置如图 3-14 所示。

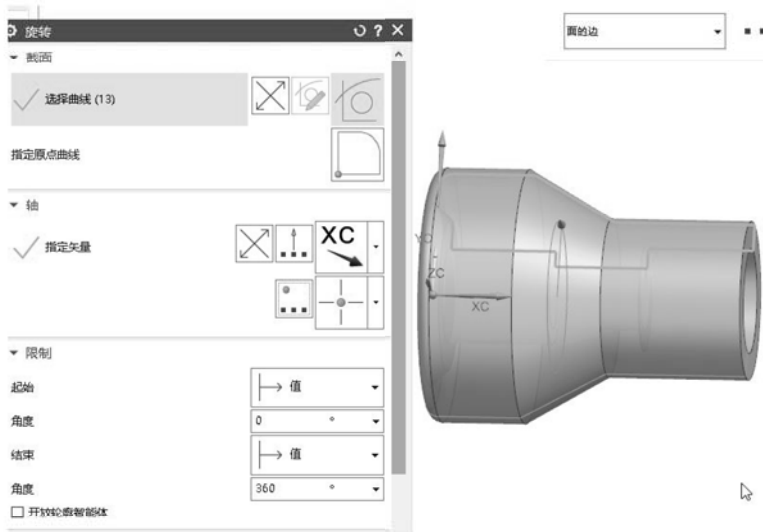


图 3-14 创建旋转毛坯

(5) 移除截面和毛坯零件的参数，注意一定要框选所有的对象，如图 3-15 所示。移除参数的目的是方便操作，提高创建加工速度。通常在加工前，零件模型和毛坯模型都需要进行移除参数操作。

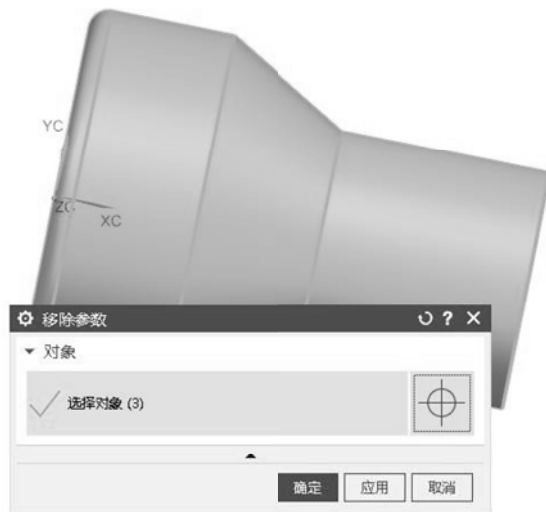


图 3-15 移除参数操作

任务 3：创建定轴加工操作。

- (1) 重新进入加工模块，删除车削操作，具体操作如图 3-16 所示。
- (2) 选取任何一个铣削加工模块，如图 3-17 所示。
- (3) 加工前准备。设置编程坐标系与 WCS 重合，并设置毛坯和部件，再设置一把直径为 10 的铣刀。使用 3D 自适应铣削加工方法进行加工，具体设置如图 3-18 所示。



图 3-16 删除车削操作



图 3-17 进入铣削模块

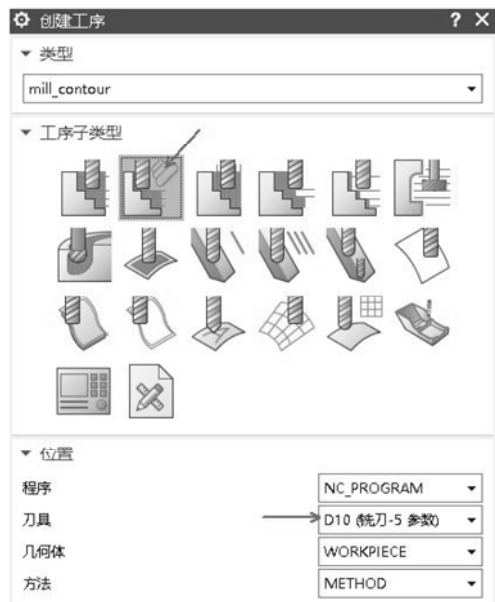


图 3-18 3D 自适应铣削加工设置

(4) 设置加工工艺参数，尤其是对切削深度和行距的设置，如图 3-19 所示。



图 3-19 工艺参数设置

(5) 刀轴矢量定义，如图 3-20 所示。这是定轴加工最关键的参数定义，有多种方法可设置刀轴矢量。此处是特例，刀轴矢量就是编程坐标系的+ZM 轴。



图 3-20 刀轴矢量定义

(6) 设置加工余量为 0.3，然后使用修剪边界的方法确定加工范围，徒手绘制修剪边界，如图 3-21 所示。

(7) 限定加工深度，选取零件底面作为加工深度范围，具体设置如图 3-22 所示。

(8) 设置主轴转速和走刀速度，并设置安全平面和层间转移参数，如图 3-23 所示。安全平面一定要大于零件或毛坯，为安全考虑，可设置得足够高。

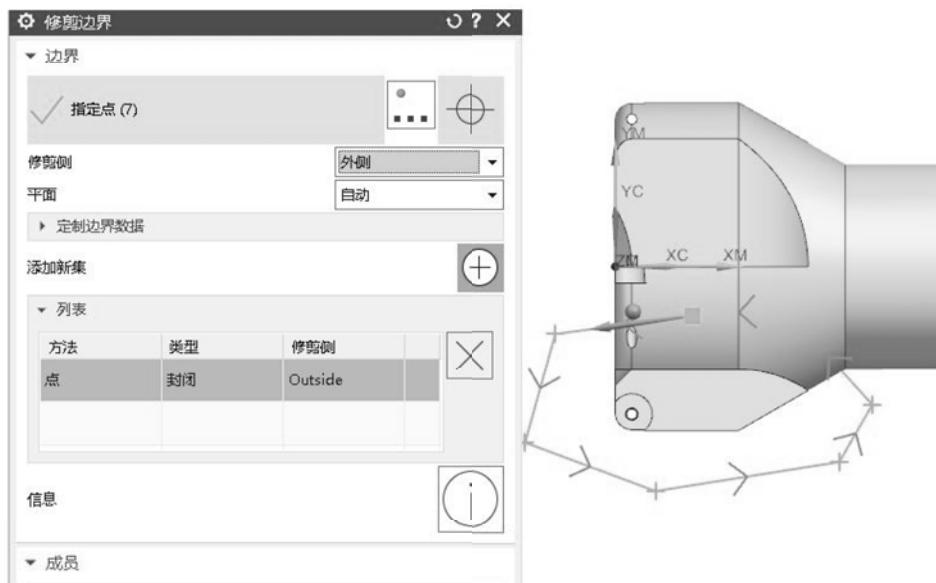


图 3-21 限定加工范围

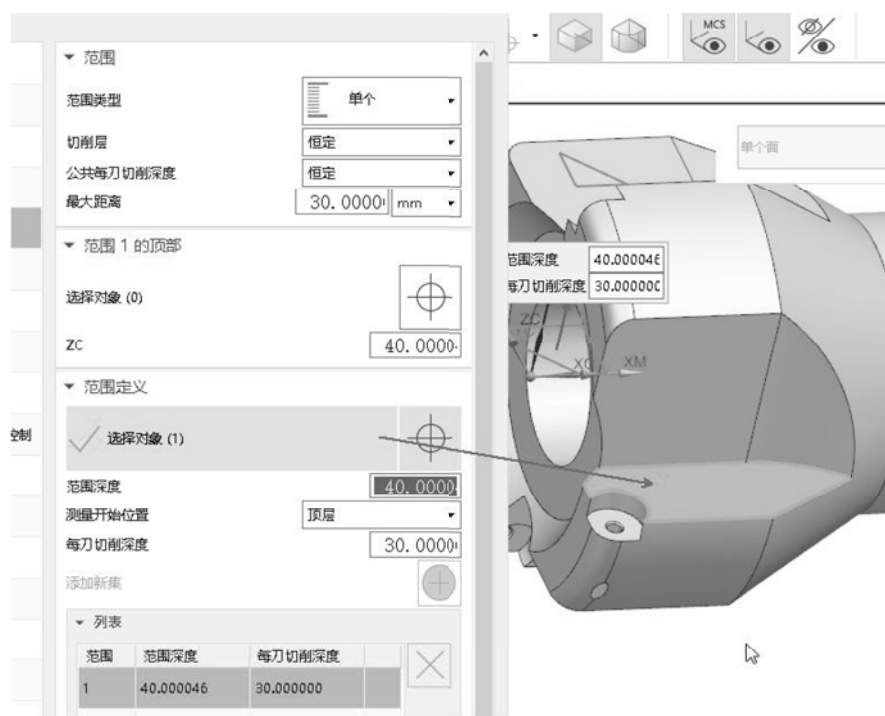


图 3-22 设置范围深度

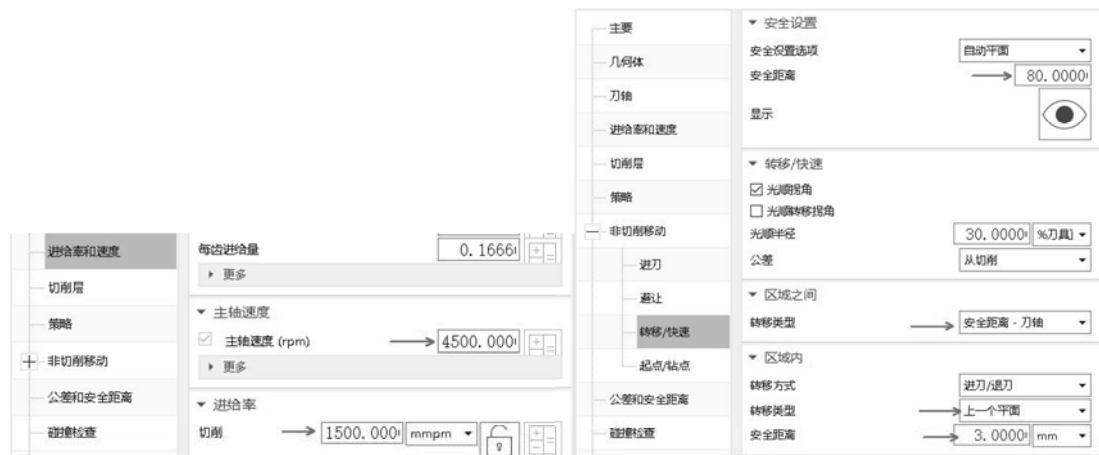


图 3-23 设置工艺参数

(9) 所有参数设置完毕后，即可完成定轴刀轨的创建，如图 3-24 所示。

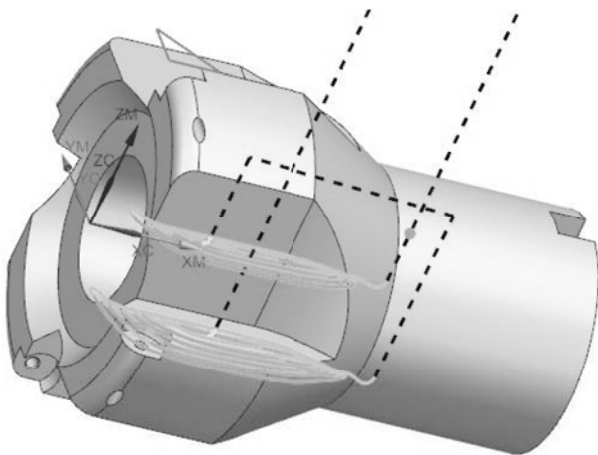


图 3-24 定轴加工刀轨

任务 4：使用旋转方式创建其他方位的定轴加工

由于零件的其他加工部位，与已加工部位的形状是相同的，且零件是轴类零件，其他部位的定轴加工，可通过旋转刀轨的方法生成。

(1) 在几何视图中，选中刚才创建的定轴加工，单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中依次选取【对象】和【变换】命令，使用绕直线旋转的方法生成其他部位的定轴加工。旋转轴线为过零件右侧端面圆心点的 XC 轴，采用【实例】方法进行刀轨旋转操作，具体参数设置如图 3-25 所示。

(2) 所有参数设置完毕后，即可完成定轴加工的刀轨转换，此时的加工刀轨如图 3-26 所示。

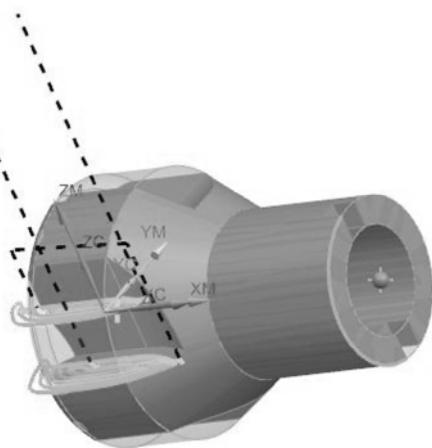


图 3-25 设置旋转刀轨变换参数

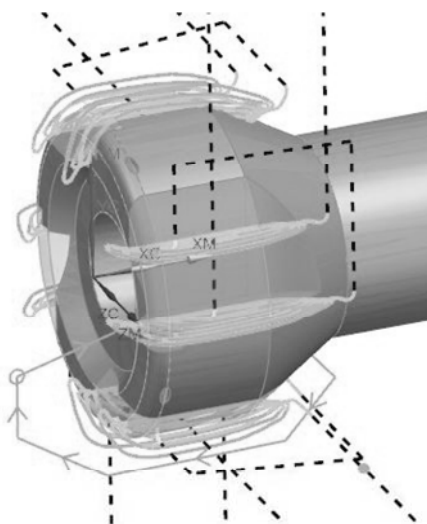
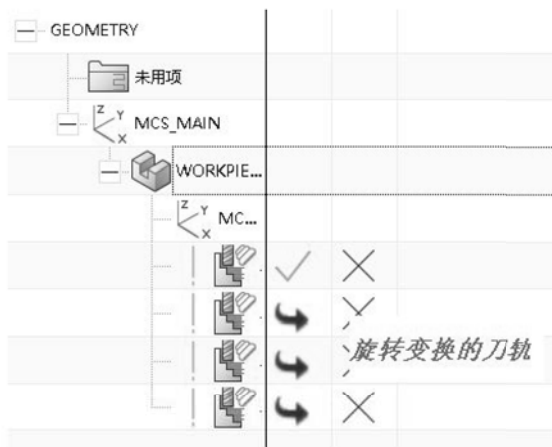


图 3-26 定轴刀轨的旋转变换

任务 5: 后置处理生成 NC 程序。

选取合适的后置处理器，生成满足用户需要的 NC 程序，如图 3-27 所示。



<pre> % G40 G49 G80 G90 G91 G28 Z0.0 M09 M05 T01 M06 G00 G90 G54 A0.0 G00 X46.848 Y-35.982 S4500 M03 G43 Z120.3 H01 M08 Z23.15 G01 X46.746 Y-35.872 Z22.213 F1500. X46.644 Y-35.762 Z21.842 X46.542 Y-35.652 Z21.57 X46.44 Y-35.542 Z21.35 X46.338 Y-35.432 Z21.166 X46.236 Y-35.322 Z21.008 X46.134 Y-35.212 Z20.87 X46.032 Y-35.102 Z20.75 X45.93 Y-34.992 Z20.645 X45.828 Y-34.882 Z20.552 </pre>	<i>0° 方位的定轴加工</i>	<pre> G00 Z120.3 G91 G28 Z0.0 G00 G90 G54 A-90. G00 X46.848 Y-35.982 S4500 M03 G43 Z120.3 H01 M08 Z23.15 G01 X46.746 Y-35.872 Z22.213 F1500. X46.644 Y-35.762 Z21.842 X46.542 Y-35.652 Z21.57 X46.44 Y-35.542 Z21.35 X46.338 Y-35.432 Z21.166 X46.236 Y-35.322 Z21.008 X46.134 Y-35.212 Z20.87 X46.032 Y-35.102 Z20.75 X45.93 Y-34.992 Z20.645 X45.828 Y-34.882 Z20.552 X45.726 Y-34.772 Z20.471 X45.624 Y-34.662 Z20.4 X45.522 Y-34.552 Z20.34 X45.42 Y-34.442 Z20.288 </pre>	<i>-90° 方位的定轴加工</i>
<pre> G00 Z120.3 G91 G28 Z0.0 G00 G90 G54 A-180 G00 X46.848 Y-35.982 S4500 M03 G43 Z120.3 H01 M08 Z23.15 G01 X46.746 Y-35.872 Z22.213 F1500. X46.644 Y-35.762 Z21.842 X46.542 Y-35.652 Z21.57 X46.44 Y-35.542 Z21.35 X46.338 Y-35.432 Z21.166 X46.236 Y-35.322 Z21.008 X46.134 Y-35.212 Z20.87 X46.032 Y-35.102 Z20.75 X45.93 Y-34.992 Z20.645 X45.828 Y-34.882 Z20.552 X45.726 Y-34.772 Z20.471 </pre>	<i>-180° 方位的定轴加工</i>	<pre> G00 Z120.3 G91 G28 Z0.0 G00 G90 G54 A-270 G00 X46.848 Y-35.982 S4500 M03 G43 Z120.3 H01 M08 Z23.15 G01 X46.746 Y-35.872 Z22.213 F1500. X46.644 Y-35.762 Z21.842 X46.542 Y-35.652 Z21.57 X46.44 Y-35.542 Z21.35 X46.338 Y-35.432 Z21.166 X46.236 Y-35.322 Z21.008 X46.134 Y-35.212 Z20.87 X46.032 Y-35.102 Z20.75 X45.93 Y-34.992 Z20.645 X45.828 Y-34.882 Z20.552 X45.726 Y-34.772 Z20.471 </pre>	<i>-270° 方位的定轴加工</i>

图 3-27 NC 程序

案例 3-2：箱体类零件的定轴加工

箱体零件如图 3-28 所示。

任务 1：摆正零件，使之满足加工要求。

(1) 观察默认状态下的零件与 WCS 位置关系，如图 3-29 所示。

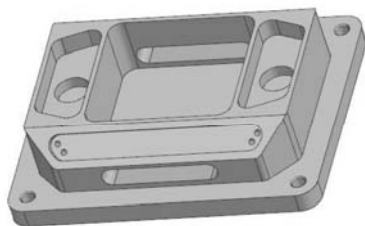


图 3-28 箱体零件

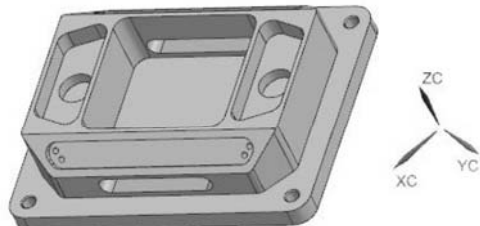


图 3-29 默认的零件与 WCS 位置关系

(2) 使用从坐标系到坐标系的方法移动图形，指定起始坐标系，使用【X 轴、Z 轴、原点】方式，原点为两点之间线段的中点，如图 3-30 所示。



案例讲解



案例分析

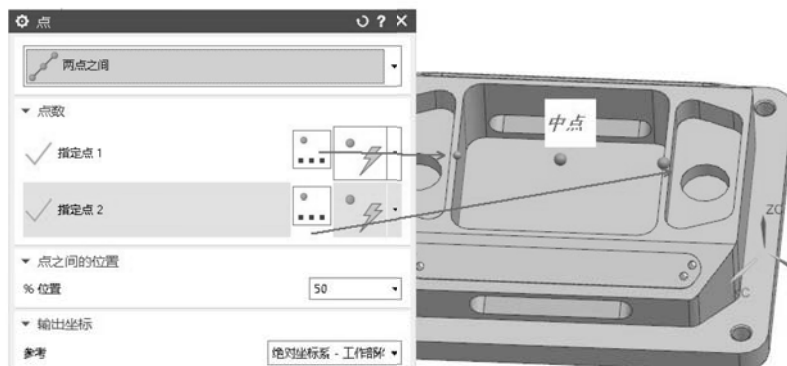


图 3-30 原点的指定方法

Z 轴为零件定面的法向，X 轴参照零件的一条边线，具体操作如图 3-31 所示。

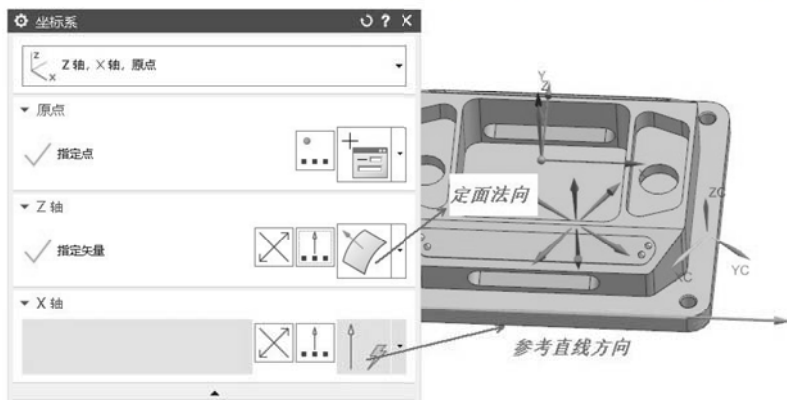


图 3-31 Z 轴、X 轴的指定方法

目的坐标系为 NX 的绝对坐标系，选取部件进行移动操作，完成的图形如图 3-32 所示，此时的 WCS 位于零件顶面中心。

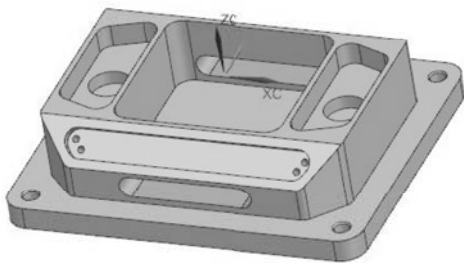


图 3-32 移动后的图形与 WCS 位置关系

任务 2: 使用直接定义刀轴矢量的方法创建定轴加工。

(1) 进入加工模块，定义编程坐标系与 WCS 重合，设置零件模型和毛坯模型，毛坯模型使用包容块方式，设置完毕后的图形如图 3-33 所示。

(2) 定义一把直径为 12 的铣刀，然后在 WORKPIECE 下创建第一个定轴加工刀轨。这是一个传统的三轴加工刀轨，刀轴矢量为+ZM 轴，加工方法选用底壁铣，具体设置如

图 3-34 所示。

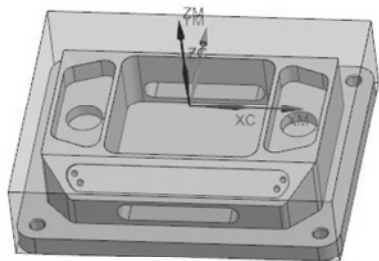


图 3-33 零件模型和毛坯模型设置



图 3-34 底壁铣加工设置

(3) 指定切削区定面，直接选取零件的凸台外底面，如图 3-35 所示。

(4) 设置走刀方式为跟随部件，然后设置毛坯底面厚度、步距和切削深度参数。具体参数设置如图 3-36 所示。

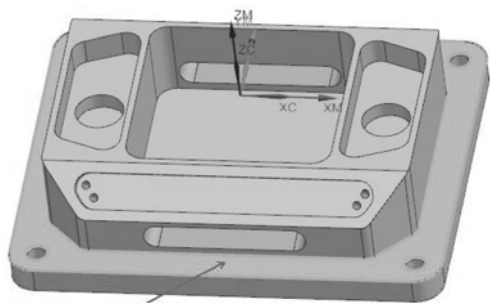


图 3-35 指定底壁铣的底面

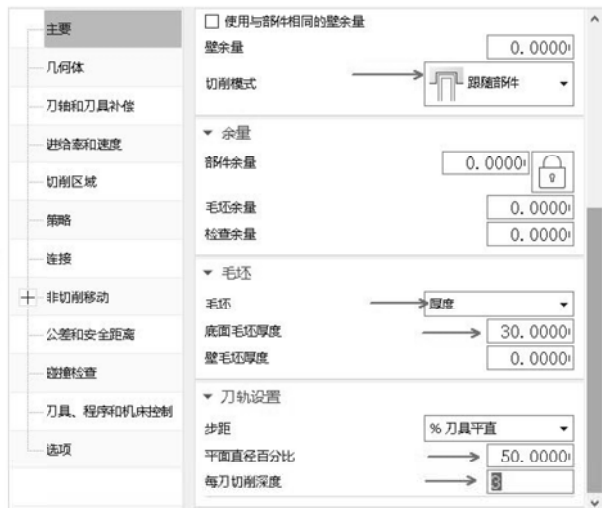


图 3-36 设置加工工艺参数

(5) 进一步定义加工范围，使用修剪边界方式，删除凸台边界以内的刀轨，只加工外侧材料，具体操作如图 3-37 所示。

(6) 设置刀轴矢量为+ZM 轴，如图 3-38 所示。

(7) 设置主轴转速和进给速度，如图 3-39 所示。

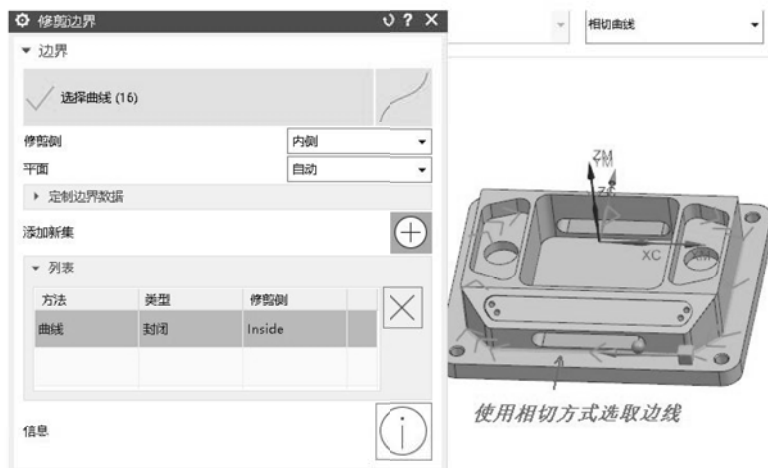


图 3-37 定义修剪范围



图 3-38 设置刀轴矢量



图 3-39 设置主轴转速和进给速度

(8) 设置刀具延展量，如图 3-40 所示。

(9) 设置进刀方式为线性，再设置其他的层间抬刀参数，完成整个刀轨的创建，如

图 3-41 所示。

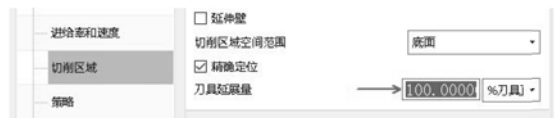


图 3-40 设置刀具延展量

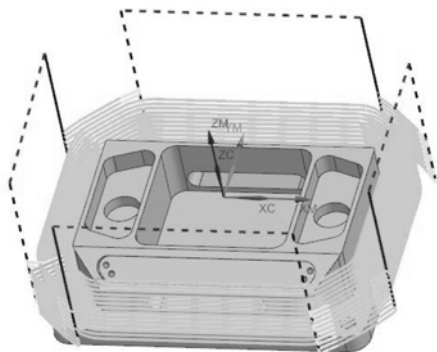


图 3-41 创建的三轴刀轨

任务 3: 创建第 2 个定轴加工刀轨。

(1) 继续使用底壁铣的加工方法加工第 2 个面。基本操作与任务 2 相同, 不同之处是加工底面和刀轴矢量, 因此可以复制、粘贴前面的定轴加工刀轨, 在其基础上进行修改, 如图 3-42 所示。

(2) 双击, 打开复制的刀轨, 删除原来的加工底面, 重新指定加工底面, 如图 3-43 所示。

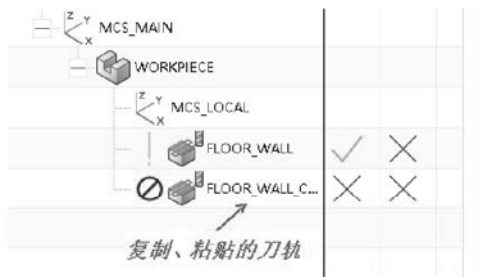


图 3-42 复制、粘贴刀轨

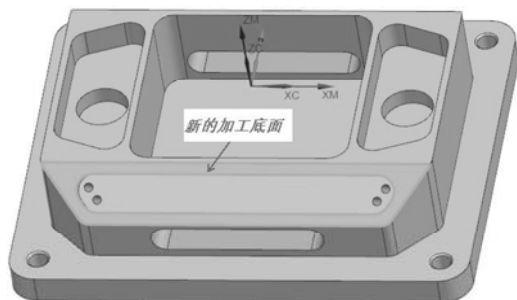


图 3-43 新的加工底面

(3) 重新定义刀轴矢量, 其方式设置为指定矢量, 然后使用平面法向的方法指定刀轴, 具体操作如图 3-44 和图 3-45 所示。



图 3-44 设置刀轴矢量的方法

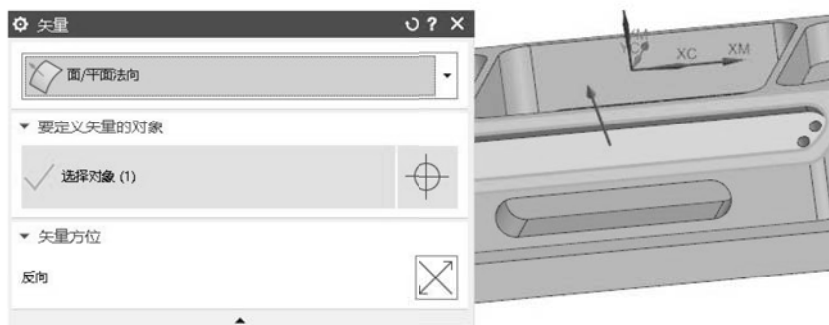


图 3-45 设置刀轴矢量为平面法向

(4) 定义加工区域，移除前面定义的修剪边界，并设置毛坯为毛坯几何体，如图 3-46 所示。



图 3-46 定义加工区域

(5) 重新定义安全平面，定义加工底面的平行面，距离要足够大，具体设置如图 3-47 所示。

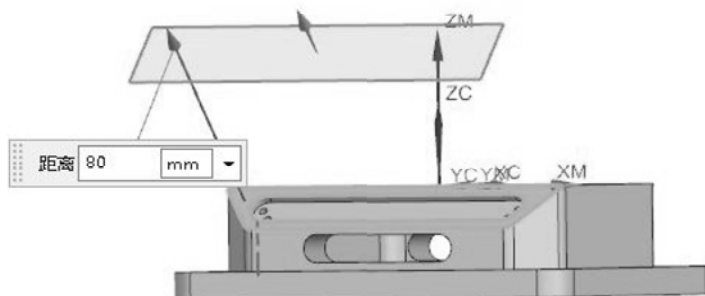


图 3-47 定义安全平面



(6) 其他参数不变,完成第2个定轴加工的创建,其刀轨如图3-48所示。

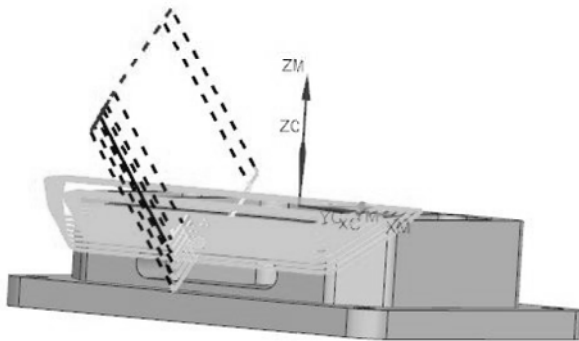


图 3-48 第2个定轴加工刀轨

任务4: 创建第3个定轴加工刀轨。

(1) 继续使用底壁铣方式创建第3个定轴加工刀轨,刀具直径为8mm的铣刀,指定加工对象为壁几何体,使用相切面方式选取通槽的侧面,如图3-49所示。

(2) 使用轮廓铣方式进行加工,具体参数设置如图3-50所示。

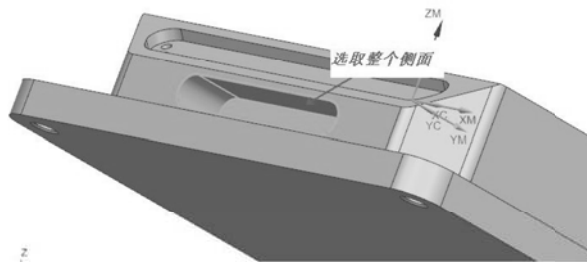


图 3-49 指定侧面为壁几何体

☐ 使用与零件相同的壁余量	
壁余量	0.0000
切削模式	轮廓
▼ 余量	
零件余量	0.0000
毛坯余量	0.0000
检查余量	0.0000
▼ 毛坯	
毛坯	厚度
底面毛坯厚度	18.0000
壁毛坯厚度	0.0000
▼ 刀轨设置	
步距	% 刀具平直
平面直径百分比	30.0000
每刀切削深度	1.0000
附加刀路	0

图 3-50 设置加工参数

(3) 定义刀轴矢量,继续使用面的法向方法定义刀轴矢量,如图3-51所示。

(4) 设置加工策略为按深度倾斜,具体操作如图3-52所示。

(5) 如同前面操作,设置主轴转速和进给速度,并设置进退刀参数,完成第3个定轴加工刀轨的创建,如图3-53所示。

此时的程序结构如图3-54所示,都在WORKPIECE节点下,使用同一个编程坐标系。



图 3-51 定义刀轴矢量

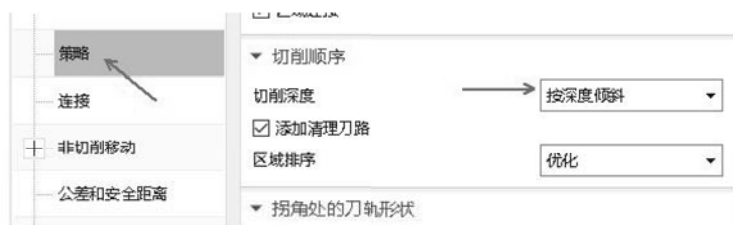


图 3-52 设置加工策略

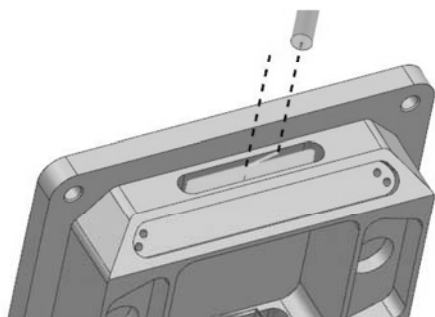


图 3-53 第 3 个定轴加工刀轨

MCS_MAIN				
WORKPIECE				
MCS_LOCAL				
FLOOR_WALL	✓	✓	×	
FLOOR_WALL_C...	✓	✓	×	
FLOOR_WALL_1	✓	✓	×	

图 3-54 程序结构

任务 5: 加工仿真。

对前面的三个定轴加工刀轨进行加工仿真，结果如图 3-55 所示。

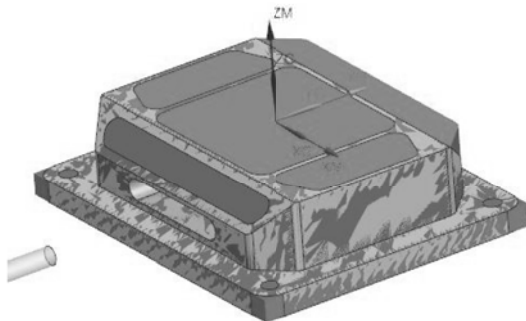


图 3-55 加工仿真结果

任务 6：后置处理生成 NC 程序。

将三个定轴刀轨进行后置处理，生成 NC 程序，如图 3-56 所示。

```

%
G40 G49 G80 G90
G91 G28 Z0.0 M09
M05
T01 M06
G00 G90 G54 A0.0
G00 X-92.091 Y45.661 S4500 M03
G43 Z50. H01 M08
Z0.0
G01 Z-3. F1500.
X-86. Y53.592
G02 X-83.506 Y56.435 I23. J-17.664
G01 X-71.435 Y68.506
G02 X-68.592 Y71. I20.506 J-20.506
G01 X-60.661 Y77.091
Z0.0
G00 Z50.
X60.661
Z0.0

Z-27.
G00 Z50.
G91 G28 Z0.0
G00 G90 G54 A-45.
G00 X.001 Y-64.083 S4500 M03
G43 Z106.87 H01 M08
Z46.234
G01 Z43.234 F1500.
Y-54.083
X-51.319
X-52.639 Y-53.911
X-54.748 Y-53.419
X-57.568 Y-51.619
X-59.206 Y-49.699
X-68.02 Y-37.234
X68.02
X59.206 Y-49.699

G00 Z106.87
G91 G28 Z0.0 M09
M05
T02 M06
G00 G90 G54 A-90.
G00 X-11.196 Y-23. S1061 M03
G43 Z115. H02 M08
Z56.5
G01 X0.0 Z53.5 F250.
X25. Z53.765
G03 X26. Y-22. Z53.25 I0.0 J1.
X25. Y-21. Z53.235 I-1. J0.0
G01 X-25. Z52.765
G03 X-26. Y-22. Z52.75 I0.0 J-1.
X-25. Y-23. Z52.735 I1. J0.0
G01 X25. Z52.265
G03 X26. Y-22. Z52.25 I0.0 J1.
X25. Y-21. Z52.235 I-1. J0.0
G01 X-25. Z51.765

```

图 3-56 生成的 NC 程序

如果每个方向的加工内容较少，可以使用上述直接定义刀轴矢量的方法创建定轴加工工序。如果一个方向上的加工内容较多，如粗加工、半精加工、精加工等，最好使用父子坐标系的方法进行编程，后置处理时使用同一个主坐标系。下面对父子坐标系的编程方法进行讲解。

任务 7：定义主坐标系。

(1) 设置编程坐标系与 WCS 重合，并在【细节】选项组中设置【用途】为【主要】。具体操作如图 3-57 所示。



图 3-57 设置坐标系

(2) 设置第 1 个子坐标系。首先设置【细节】卷展栏中的参数，如图 3-58 所示。夹具偏置一定要与主坐标系的夹具偏置一样，此处都是 1。

设置子坐标系，其原点与主坐标系的原点相同，Z 轴为加工底面的法向，X 轴与主坐标系的 X 轴方向一致，具体操作如图 3-59 所示。

定义第 1 个子坐标系下的安全平面，距离加工底面的距离要足够大，如图 3-60 所示。

(3) 使用相同的方法，创建第 2 个子坐标系，注意子坐标系的 Z 轴为加工面的法向，具体操作如图 3-61 所示。



图 3-58 设置子坐标系参数

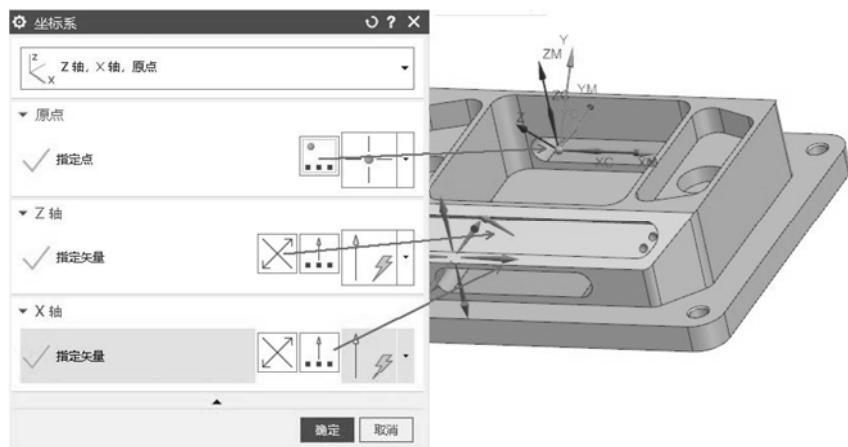


图 3-59 设置子坐标系

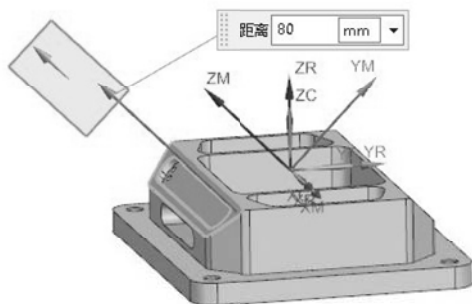


图 3-60 定义安全平面

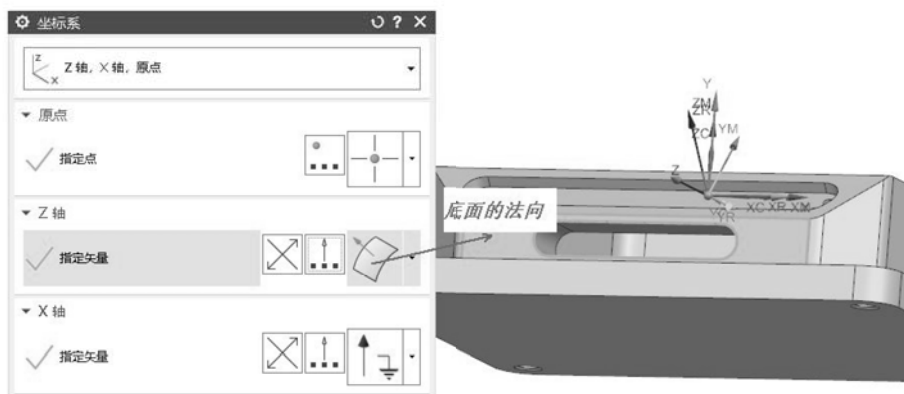


图 3-61 定义第 2 个子坐标系

第 2 个子坐标系下的安全平面定义如图 3-62 所示，同样要使其安全距离足够大。

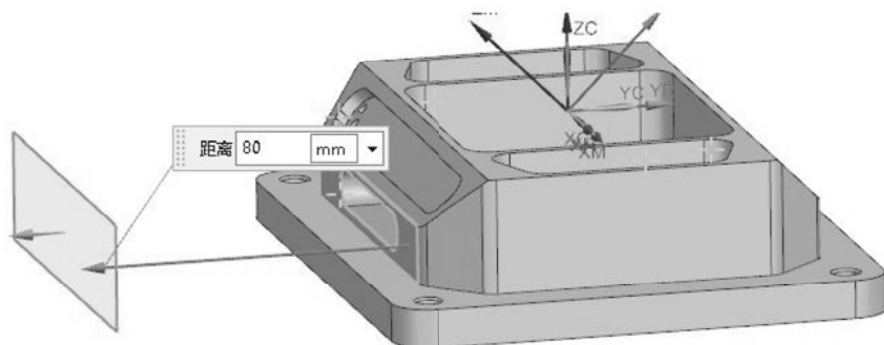


图 3-62 定义安全平面

两个子坐标系定义完毕后，父子坐标系结构如图 3-63 所示。

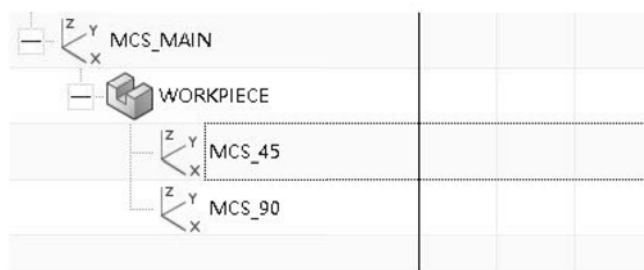


图 3-63 父子坐标系结构

任务 8: 在第一个子坐标系创建定轴加工操作。

(1) 在第一个子坐标系下，继续使用底壁铣加工方法创建定轴加工。其操作方法与上文介绍的类似，主要差异是刀轴矢量的定义，此时需要设置为子坐标系的+ZM 轴，具体操作如图 3-64 所示。

(2) 同理，在第 2 个子坐标系创建定轴加工，刀轴矢量设置为子坐标系的+ZM 轴。

(3) 所有定轴加工完毕后，其程序结构如图 3-65 所示。



图 3-64 刀轴矢量定义

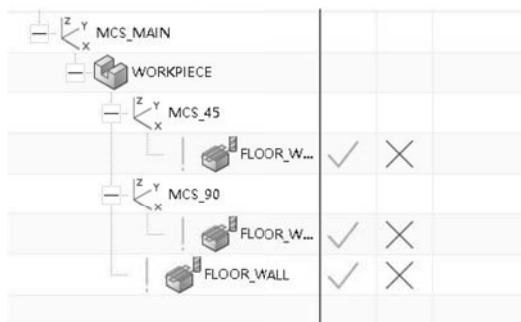


图 3-65 父子坐标系下的程序结构

(4) 对加工进行仿真和后置处理，方法与直接指定刀轴矢量的方法相同。

父子结构的编程方法类似五轴加工的高级定轴加工指令，如 FANUC 系统的 G68.2 指令，对于复杂零件的定轴加工，推荐使用此方法。

案例 3-3：四轴孔加工

四轴孔加工零件如图 3-66 所示。

任务 1：使用 drill 方法进行四轴孔加工。

(1) 使用从坐标系到坐标系的方法，移动图形，使其左侧圆心与绝对坐标系原点重合，X 轴与圆柱轴线重合。移动后的图形如图 3-67 所示。



案例讲解



案例分析

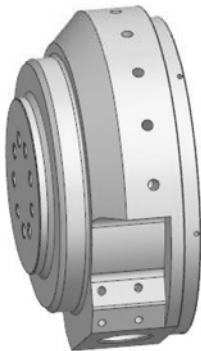


图 3-66 四轴孔加工零件

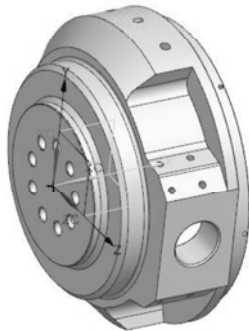


图 3-67 坐标系位置



- (2) 进入 drill 加工模块, 如图 3-68 所示。
- (3) 设置编程坐标系与绝对坐标系重合, 设置钻头直径为 7.3mm, 使用钻孔方式进行孔加工, 如图 3-69 所示。



图 3-68 drill 加工模块设置



图 3-69 设置钻孔操作

- (4) 设置加工孔几何体。其方法为: 单击【指定孔】图标, 在弹出的【点到点几何体】对话框中单击【选择】按钮, 在弹出的对话框中单击【面上的所有孔】按钮, 设置孔直径过滤: 最大直径为 7.31, 最小直径为 7.29, 然后选取圆弧面, 如图 3-70 所示。



图 3-70 选择孔几何体

- (5) 设置刀轴矢量, 如图 3-71 所示。
- (6) 设置孔加工方式为标准钻, 孔深度为模型深度, 退刀方式为自动, 如图 3-72 所示。



图 3-71 设置刀轴矢量



图 3-72 设置孔加工工艺参数



- (7) 设置孔加工固定循环中的 R 平面，如图 3-73 所示。
- (8) 设置主轴转速和进给速度，如图 3-74 所示。
- (9) 所有参数设置完毕后，计算孔加工刀轨，如图 3-75 所示。



图 3-73 设置 R 平面



图 3-74 设置主轴转速和进给速度

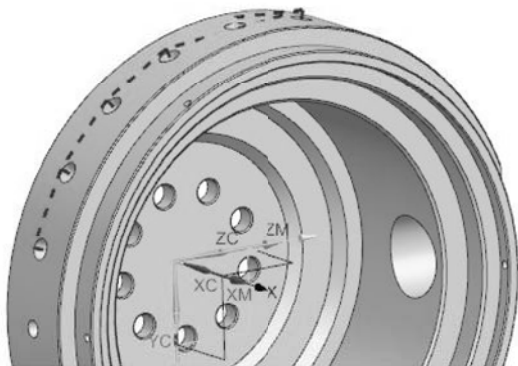


图 3-75 四轴孔加工刀轨

孔加工的安全高度与 R 平面高度重合，为了加工安全考虑，应定义一个较高的安全高度。

任务 2：定义 drill 加工中的安全高度。

(1) 单击【指定孔】图标，设置其中的【避让】参数。首先优化孔的加工顺序，依次单击【优化】和【最短路径】按钮，优化孔的加工顺序如图 3-76 所示。

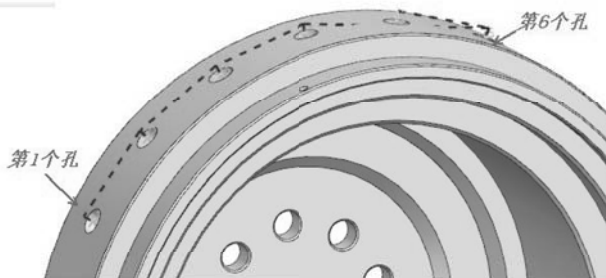


图 3-76 优化孔的加工顺序

单击【避让】按钮，按要求依次选择起点和终点，即第 1 个孔和最后 1 个孔，选取完毕后，设置【距离】为 30，如图 3-77 所示。



设置完毕后，重新计算孔加工刀轨，如图 3-78 所示。

进行加工仿真，可以发现第 1 个孔加工的安全高度不起作用，仍然与 R 平面高度重合，如图 3-79 所示。



图 3-77 避让距离设置

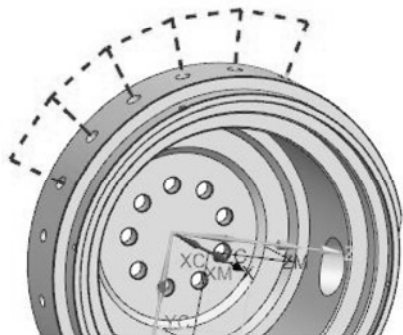


图 3-78 具有避让高度的孔加工

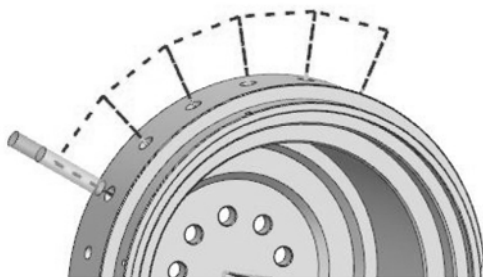


图 3-79 第 1 个孔的安全高度

对孔加工操作进行后置处理，得到的 NC 程序如图 3-80 所示。可见，第 1 个孔的高度确实与 R 平面重合。

(2) 第 1 个孔要单独定义起始点。首先创建辅助轴线，具体操作如图 3-81 所示。

```
%
G40 G49 G80 G90
G91 G28 Z0.0 M09
M05
T01 M06
G00 G90 G54 A-163.
G00 X54.75 Y0.0 S2000 M03
G43 Z95. H01 M08
G98 G81 Z67.807 R95. F250.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-146.
G98 G81 Z67.807 R95.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-129.
G98 G81 Z67.807 R95.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-112.
```

图 3-80 NC 程序

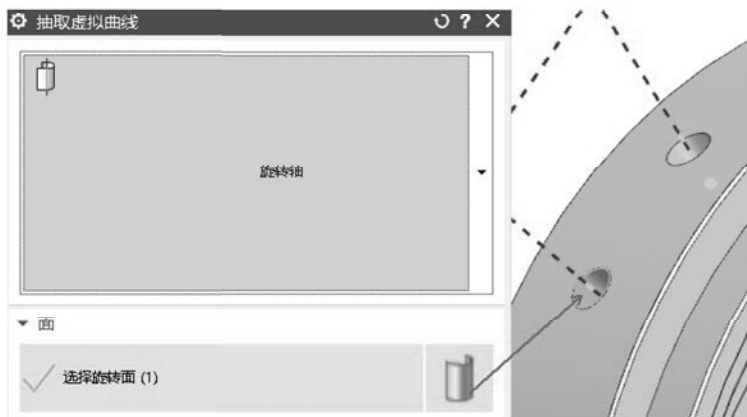


图 3-81 辅助轴线操作

编辑孔加工操作，单击【避让】按钮，定义【From 点】参数，如图 3-82 所示。

首先指定刀轴，选取前面创建的辅助轴线，注意箭头方向向外，如图 3-83 所示。

单击【指定】按钮，指定第 1 个孔的起始点，即安全高度位置，其方法是：定义一个沿参考矢量方向的偏置点，方向矢量为创建的辅助轴线，参考点为辅助轴线的上端点，偏

置距离为 30，如图 3-84 所示。



图 3-82 定义【From 点】参数



图 3-83 定义刀轴矢量

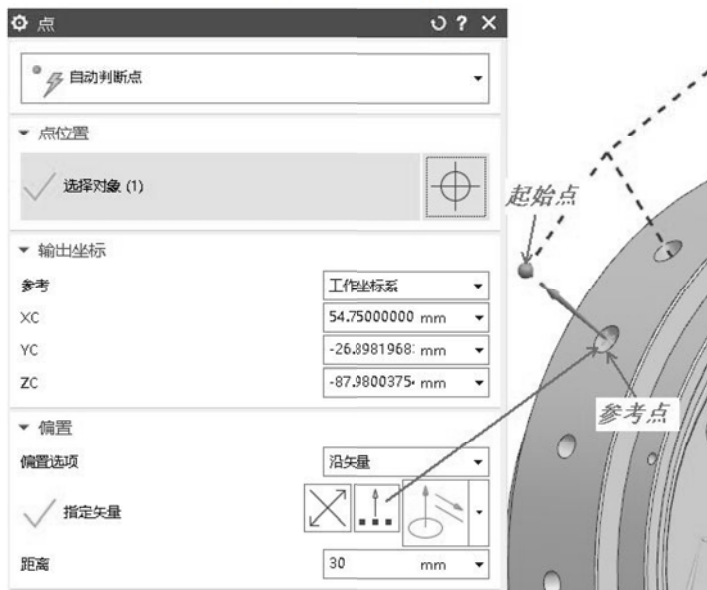


图 3-84 定义起始点

设置完毕后，重新计算孔加工刀轨并进行加工仿真，此时第 1 个孔的安全高度满足要求，如图 3-85 所示。

后置处理，查看 NC 程序，如图 3-86 所示。此时的安全高度是正确的。

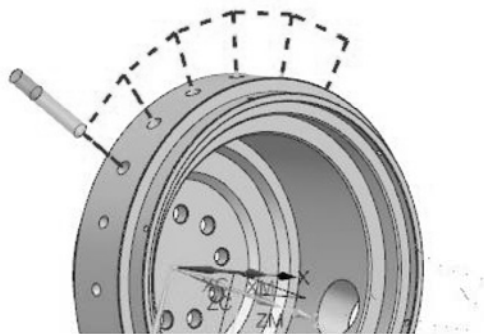


图 3-85 正确的安全高度

```
%
G40 G49 G80 G90
G91 G28 Z0.0 M09
M05
T01 M06
G00 G90 G54 A-78.
G05.1 Q1
G00 X54.75 Y0.0 Z0.0 M03 修改后的初始平面
G43 Z111.928 M01 M08
G98 G81 X54.75 Y0.0 Z67.807 R95. F250.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-95.
G98 G81 X54.75 Y0.0 Z67.807 R95. F250.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-112.
G98 G81 X54.75 Y0.0 Z67.807 R95. F250.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-129.
G98 G81 X54.75 Y0.0 Z67.807 R95. F250.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-146.
G98 G81 X54.75 Y0.0 Z67.807 R95. F250.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-163.
G98 G81 X54.75 Y0.0 Z67.807 R95. F250.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-180.
```

图 3-86 正确的 NC 程序

说明

使用【避让】和 Clearance Plane 方法，也可以修改安全高度，使用【点和方向】方法定义起始安全平面，并且要设置作用范围为【仅起点】，默认的作用范围为【开始和结束】。实际上，要定义两次【避让】参数，才能创建正确的刀轨。这两种方法都需要选取孔的中心线作为参考。

任务 3：使用 hole-making 方式进行孔加工。

- (1) 设置 hole-making 加工方式，如图 3-87 所示。
- (2) 设置编程坐标系和安全区域，如图 3-88 所示。



图 3-87 设置 hole-making 加工

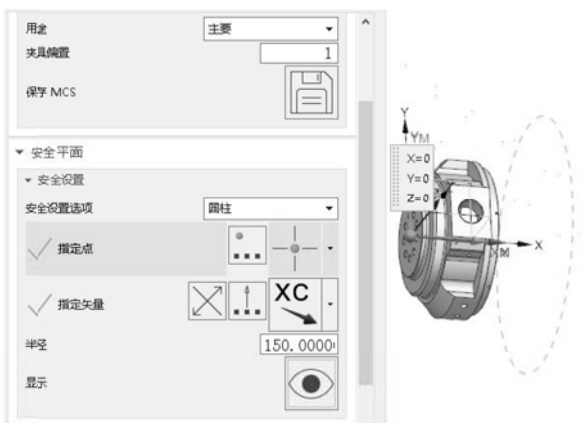


图 3-88 设置编程坐标系和安全区域

- (3) 设置钻头直径为 7.3mm，设置 WORKPIECE 几何体，选取零件作为部件体，如

图 3-89 所示。

(4) 根据直径创建孔特征组。打开加工特征导航器，在对应的部件名称上单击鼠标右键，选择【查找特征】命令，如图 3-90 所示。

系统将弹出【查找特征】对话框，如图 3-91 所示。直接单击【查找特征】图标，系统自动完成特征查找工作。

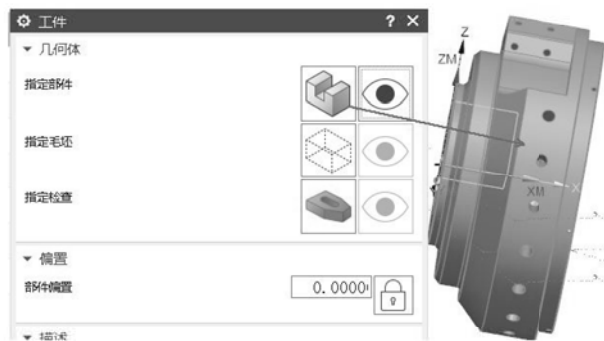


图 3-89 设置部件体

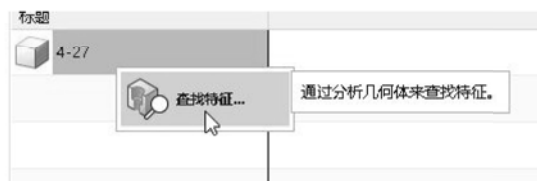


图 3-90 选择【查找特征】命令



图 3-91 【查找特征】对话框

在特征导航器中单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择【配置列】命令，设置孔直径为唯一显示的列，如图 3-92 所示。

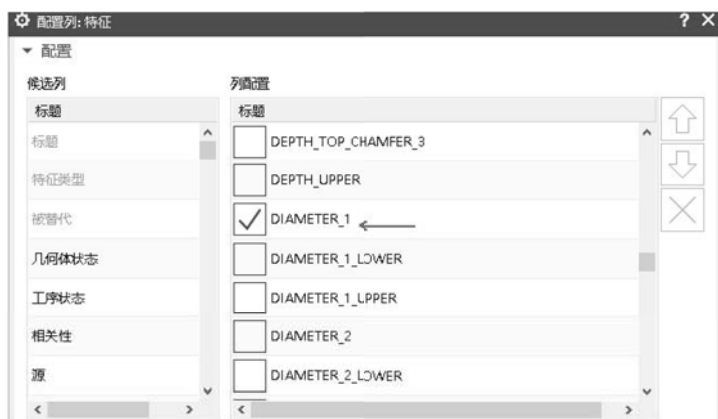


图 3-92 设置配置列

在特征导航器中选取所有直径为 7.3 的孔，右击，在弹出的快捷菜单中选择【特征成组】命令，如图 3-93 所示。

系统将弹出【特征成组】对话框，直接单击【创建特征组】图标，完成特征组的创建，如图 3-94 所示。



图 3-93 创建特征组

在几何体导航器中，可以看到创建的特征组，如图 3-95 所示。



图 3-94 特征组操作



图 3-95 创建的特征组

(5) 在特征组下创建孔加工操作，如图 3-96 所示。设置主轴转速和进给速度，如图 3-97 所示。



图 3-96 创建孔加工操作

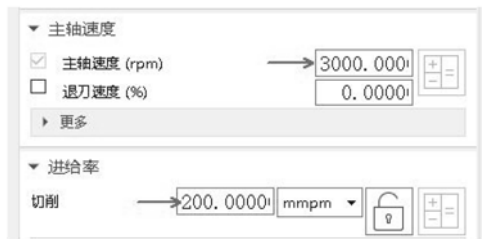


图 3-97 设置主轴转速和进给速度



其他参数采用默认设置，计算完成孔加工刀轨的创建，如图 3-98 所示。

(6) 验证刀轨是否正确。后置处理时查看 NC 程序，如图 3-99 所示。可见在 NC 程序中安全高度和 R 面高度完全正确，是一个完美的 NC 程序。

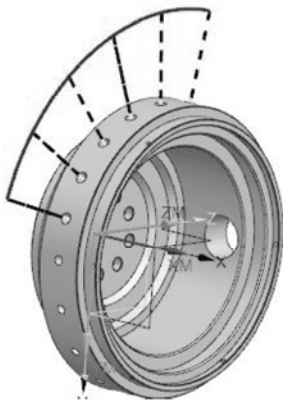


图 3-98 孔加工刀轨

```
G40 G49 G80 G90
G91 G28 Z0.0 M09
M05
T01 M06
G00 G90 G54 A-78
G00 X54.75 Y0.0 S3000 M03
G43 Z150. H01 M08
G98 G81 X54.75 Y0.0 Z67.807 R95. F200.
G00 Z150.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-95.
G98 G81 Z67.807 R95. F200.
G00 Z150.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-112.
G98 G81 Z67.807 R95. F200.
G00 Z150.
G80
G00 X54.75 Y0.0 A-129.
G98 G81 Z67.807 R95. F200.
```

图 3-99 NC 程序

小结：定轴加工，机床侧的操作取决于采用什么样的后置处理器。如果是普通的后置处理器，编程坐标系原点必须位于四轴的旋转轴线上，必须按照零件相对于旋转轴线的实际安装位置调整 CAM 软件中的零件与编程坐标系原点之间的位置关系，CAM 软件的虚拟世界必须与机床侧的真实世界完全一样，即需要反复调整；如果采用具有坐标转换宏功能的后置处理器，零件安装只需要考虑加工工艺需要，其编程坐标系原点位置与 CAM 软件中的设置相同，类似于三轴机床的加工编程。