

教 案

2025-2026 学年第二学期

课程名称 多轴编程

专业班级 数字化设计与制造 241

总学时数 64 学时

任课教师 曹艳彬 许跃锐

课程基本信息

课程名称	多轴编程			
课程性质	专业核心课	学分	4	
学 时	总学时：64 学时。其中：课堂讲授 0 学时；实训/实验 64 学时；线上教学 0 学时			
开课部门	机电工程系	任课教师	曹艳彬 许跃锐	
授课专业、班级	数字化设计与制造技术 241 班	开课学期	2025-2026 第二学期	
成绩评定	平时成绩占 50 %；期末成绩占 50 %	考核方式	考查	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	《多轴编程》自编讲义	曹艳彬		
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	本课程是结合公司所需岗位而设置的应用型极强的专业课程，旨在培养学生能够对零件进行结构分析，合理选择刀具，设计加工路线，合理设置加工参数，编制加工程序。提高学生的就业率，是专用核心课程。			
本课程教学目标	能够熟练使用使用 UG 软件对不同零件进行自动编程，能够合理制定加工路线，制作加工工艺卡片，编制出合格程序。			
素质(思政)内容与要求	<p>1、一丝一毫都不能错：程序即责任多轴程序复杂，一刀废件 → 严谨、细致、责任担当。</p> <p>2、从三轴到五轴：突破就是创新多轴是高端制造核心 → 自主创新、科技自立自强。</p> <p>3、一人编程、全员安全：规范即生命仿真、对刀、试切 → 规则意识、安全生产。</p> <p>4、小代码加工大国重器航空发动机、导弹、卫星结构件都靠多轴 → 家国情怀、民族自豪。</p>			
学生用主要参考资料	《多轴编程》自编讲义			

第一章、四轴编程

任务一、短鱼骨零件的槽四轴编程

一、教学目标：

- 1、掌握四轴编程坐标设置，刀轴的含义及设置方法。
- 2、掌握槽加工的基本编程方法和参数设置。

二、教学重点

- 1、讲述槽加工的基本编程方法和参数设置。

三、教学难点

- 1、合理参数设置

四、素质(思政)内容

坚守匠心：精益求精、分毫必究的职业精神，四轴编程区别于三轴编程，增加旋转轴联动控制，路径更复杂、参数更精密，一个代码误差、一个角度偏差、一处坐标系偏移，都会导致零件报废、设备碰撞、工期延误，完美契合工匠精神的育人场景。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

4 学时

教学过程如下：

一、四轴编程坐标设置

四轴编程坐标与三轴编程坐标的设置有很大不同，三轴编程坐标一般设置在工件上表面中心或者上表面边的中心等坐标系容易建立的位置。而四轴加工时，工件一般是旋转加工，是在三轴编程的基础上增加了工件的旋转运动，形成了第四根轴及旋转轴 A。因此编程坐标零点设置在旋转中心，旋转轴为 X 轴，其正方向指向主轴端；Z 轴

由编程者决定，它正方向所指的方向为 0 度，所指的工件平面为 0 平面。如下图 1 短鱼骨所示。

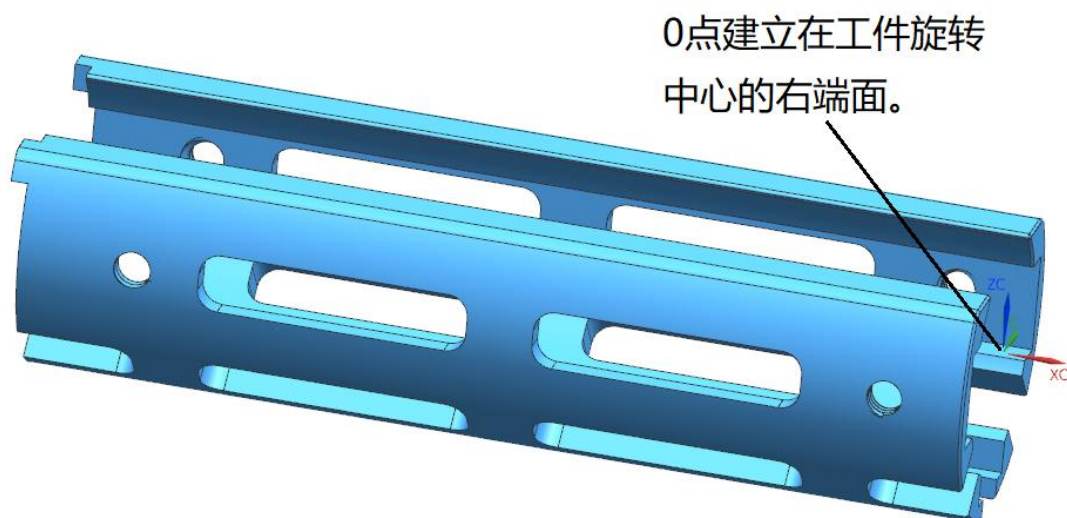


图 1-1 短鱼骨片

1、坐标系的建立

如下图 1-2 带夹具的短鱼骨片所示，短鱼骨片加工需要用专用夹具主轴端夹具和尾顶夹具进行定位和夹紧后才能加工，主轴端夹具设计了一个 $80*80*15$ 的正方体用来与机床连接，正方形 $80*80$ 的中心为旋转中心，坐标系的建立过程如下：

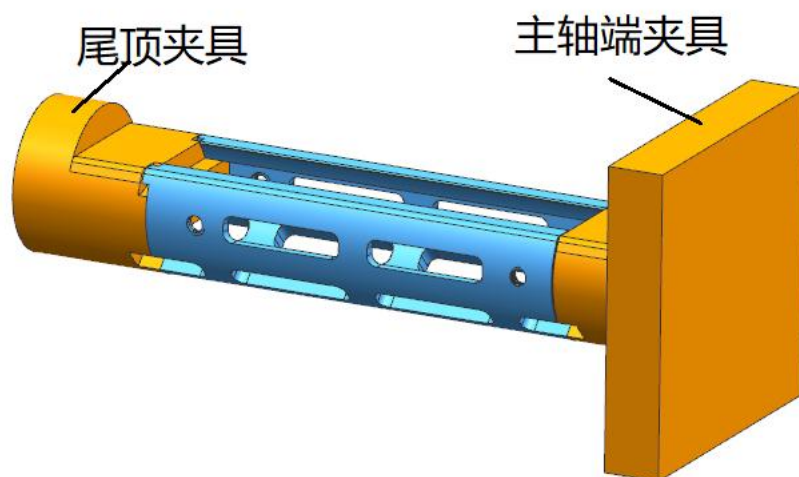


图 1-2 带夹具的短鱼骨片

(1) 按下图 1-3 所示

在：格式→WCS→定向，点击“定向”指令，进入图 1-4 所示对话框。

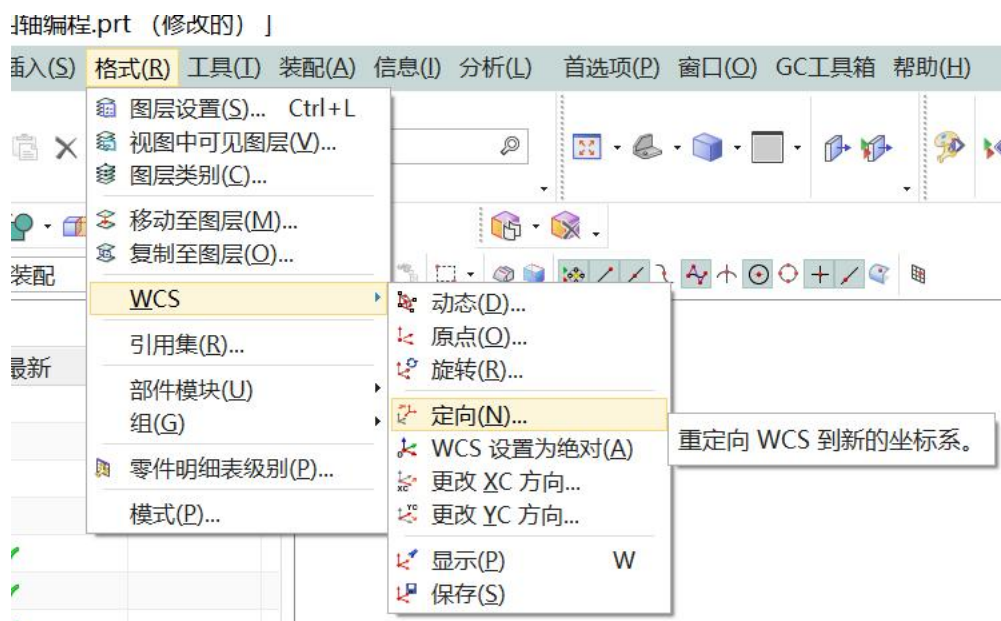


图 1-3 WCS 设置



图 1-4 WCS 自动判断

图 1-4 中的类型下有很多种建立坐标系的方法，如图 1-5 所示；

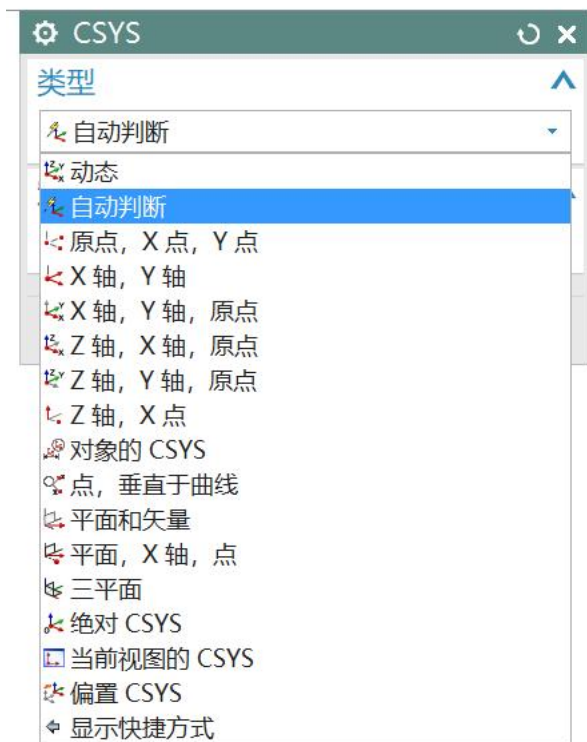


图 1-5 WCS 设置方法

其中用的较多的方法为自动判断，能自动找到面的表面中心，很便捷。一般系统默认为自动判断，如图 1-4 中所示，选择对象处于激活状态，只需选择平面，就能建立起坐标系，如图 1-6 所示。点击主轴端端面，在端面中心自动建立起坐标系，然后图 1-4 中的确定和应用键就会亮起，可以点击确定键，此时坐标已经建立完成，如果没显示出来，可以按图 1-7 所示方法完成显示。

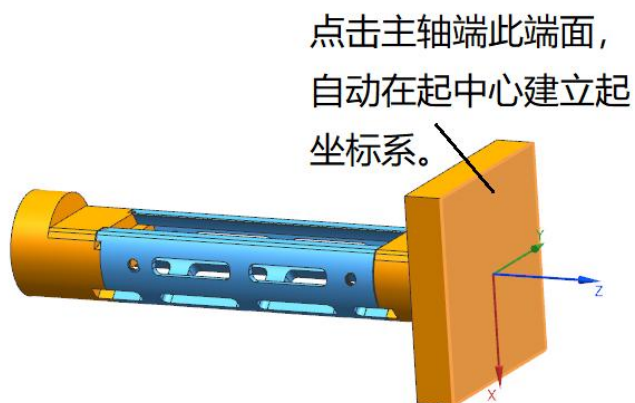


图 1-6 WCS 建立

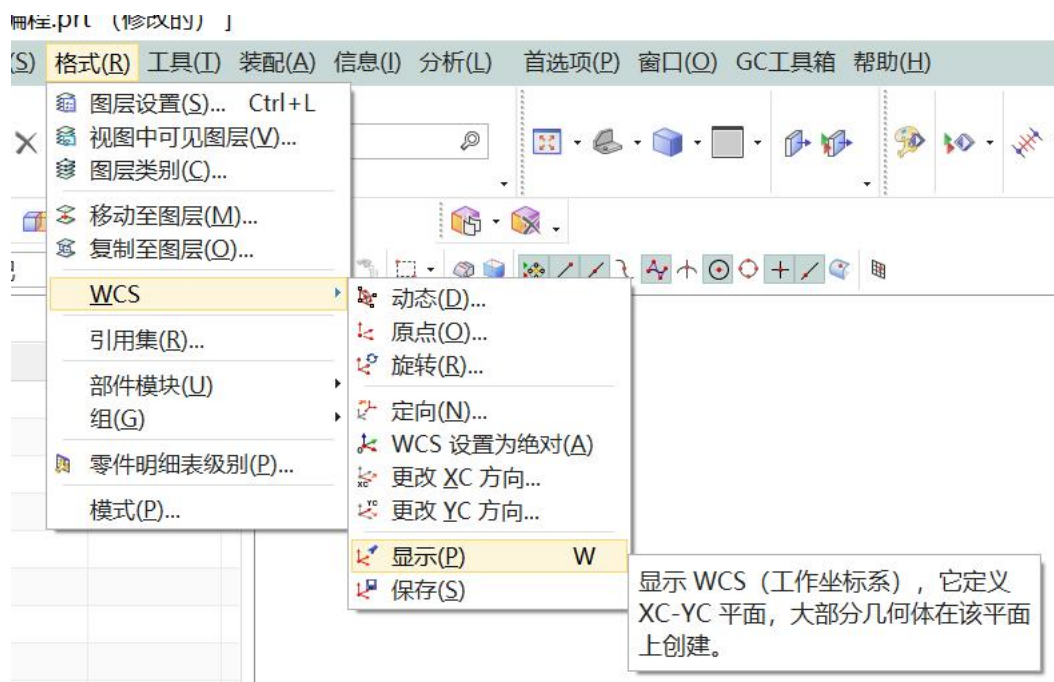


图 1-7 WCS 显示

双击坐标可以完成坐标的旋转和移动, 如图 1-8 所示, 坐标处于激活状态, 按图 1-9 所示, 可以对坐标进行移动和旋转, 实现对坐标系的快速设置。完成结果如图 1-1 所示, 坐标系设在了工件右端面的旋转中心。

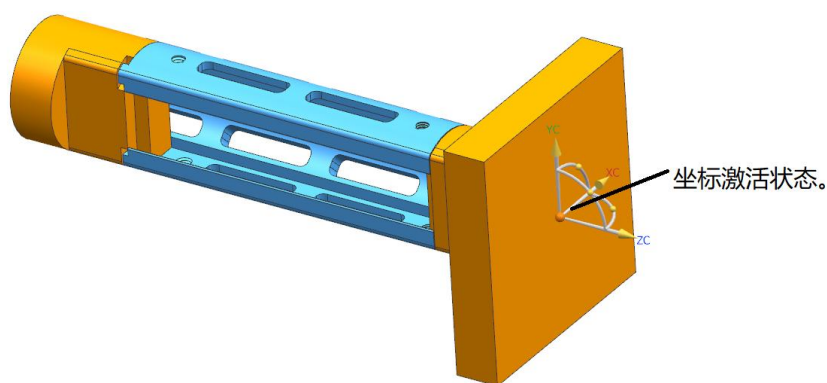


图 1-8 WCS 坐标激活

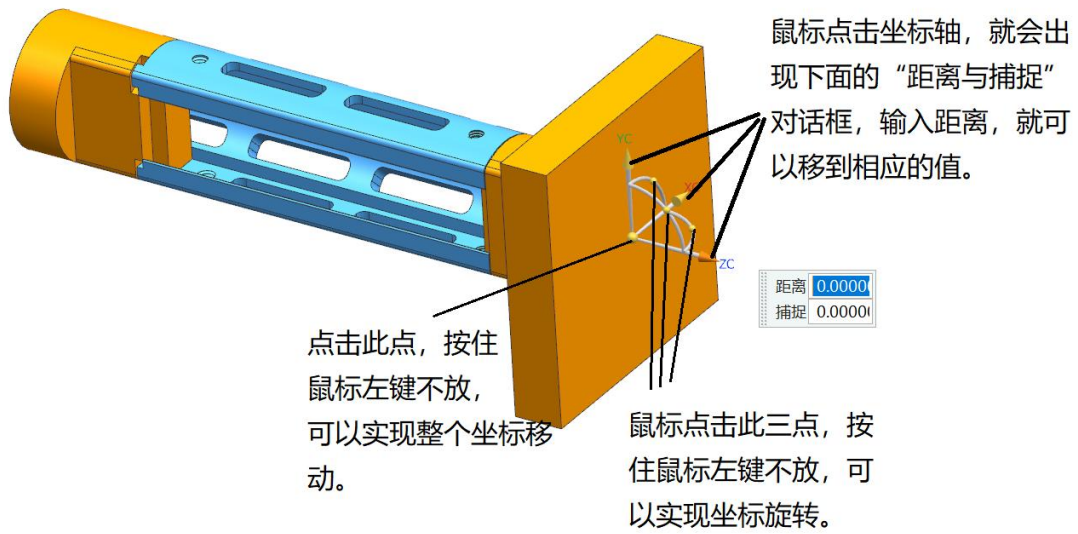


图 1-9 WCS 坐标旋转和移动

2、短鱼骨零件毛坯构建。

短鱼骨零件的毛坯是它的轴向最大横截面积，如图 1-10 所示。

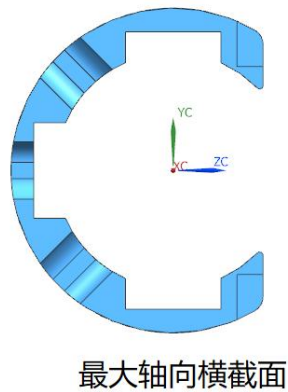


图 1-10 零件横截面

(1) 毛坯草图的构建

按图 1-11 所示，点击草图，进入图 1-12 所示对话框。



图 1-11 选择草图

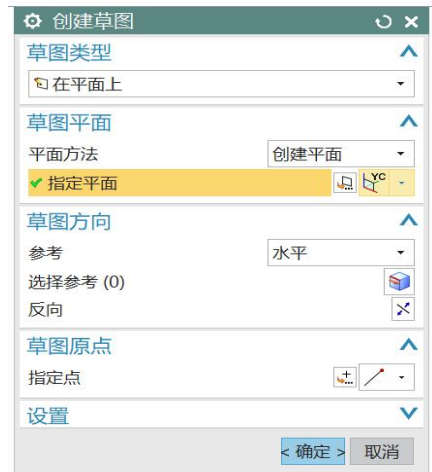


图 1-12 创建草图

点击平面方法右边的方框中选择“自动判断”，如图 1-13 所示。

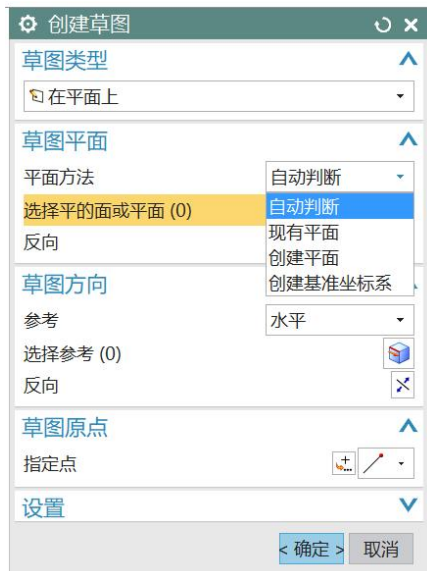


图 1-13 草图平面设置

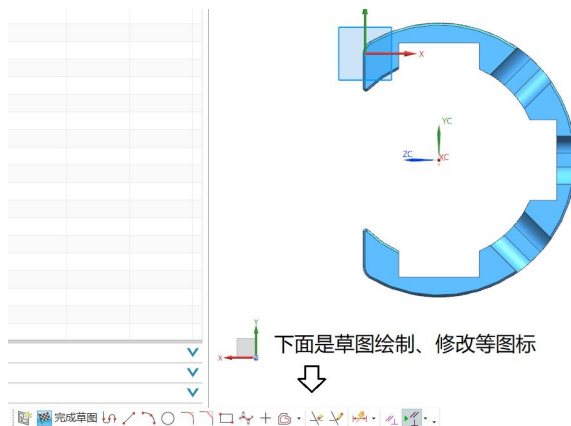


图 1-14 开始构建草图

选择短鱼骨端面作为草图构建平面，然后点击“确定”，进入草图绘制界面，如图 1-14 所示。利用草图绘制图标，完成横截面构建，如图 1-15 所示。

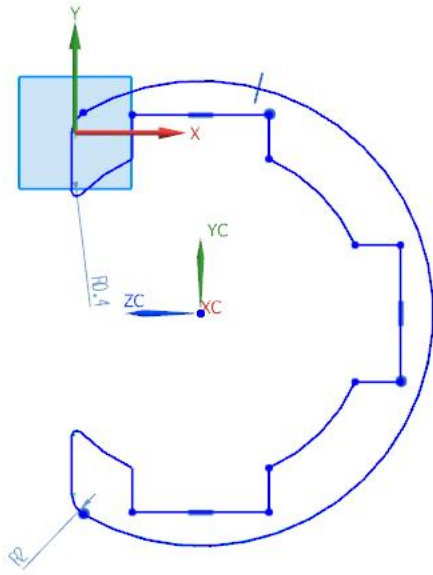


图 1-15 草图

(2) 毛坯实体构建

测量工件总长，如图 1-16、图 1-17 所示。



图 1-16 测量距离

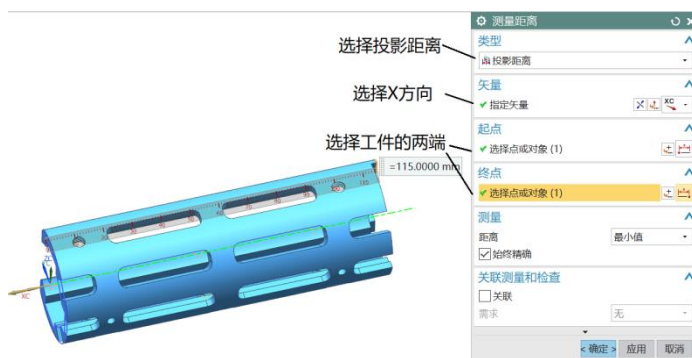


图 1-17 测量零件总长

实体构建

如下图 1-18 所示，点击“拉伸”命令，进入拉伸对话框。

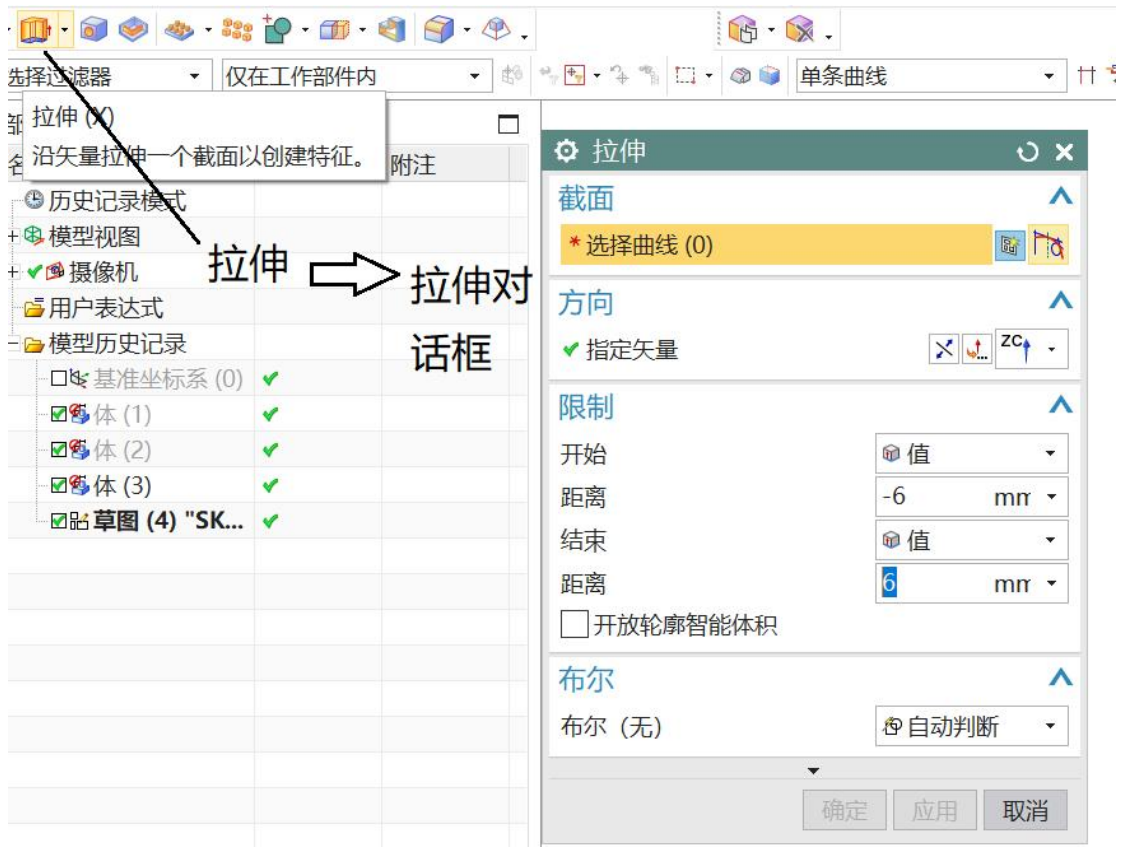


图 1-18 拉伸

拉伸设置如图 1-19 所示

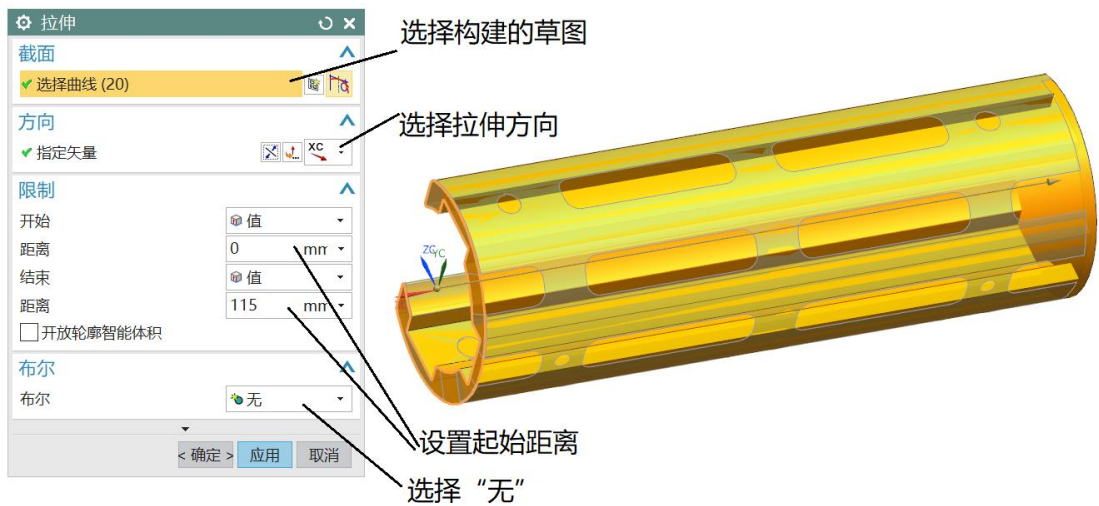


图 1-19 拉伸设置

3、编制程序

(1) 加工面的构建

线的构建，如下图 1-20 所示。

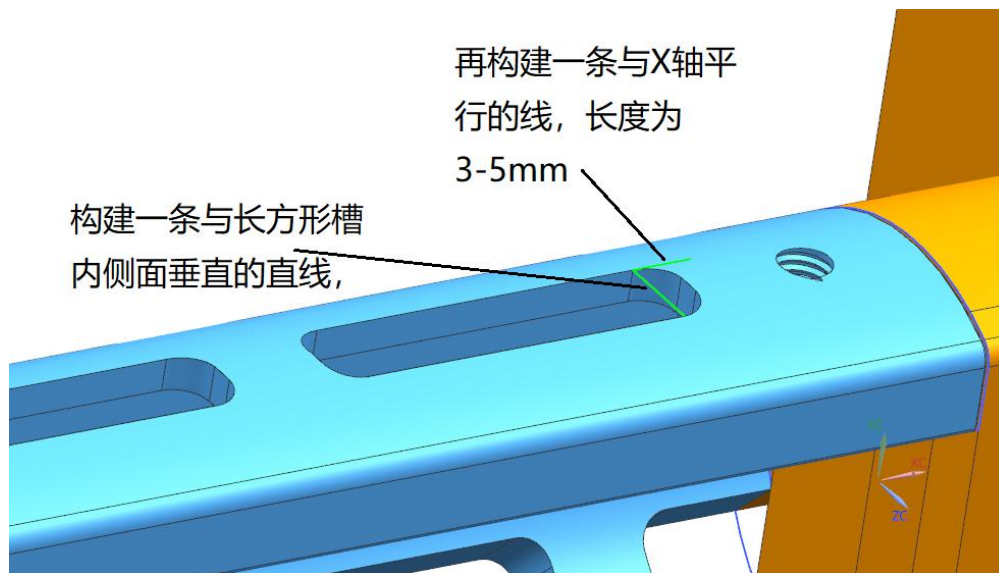


图 1-20 构建线

面的构建，采用扫掠指令，完成面的构建，如图 1-21 所示。通过选择截面和引导线构建如图 1-22 所示平面。



图 1-21 扫掠

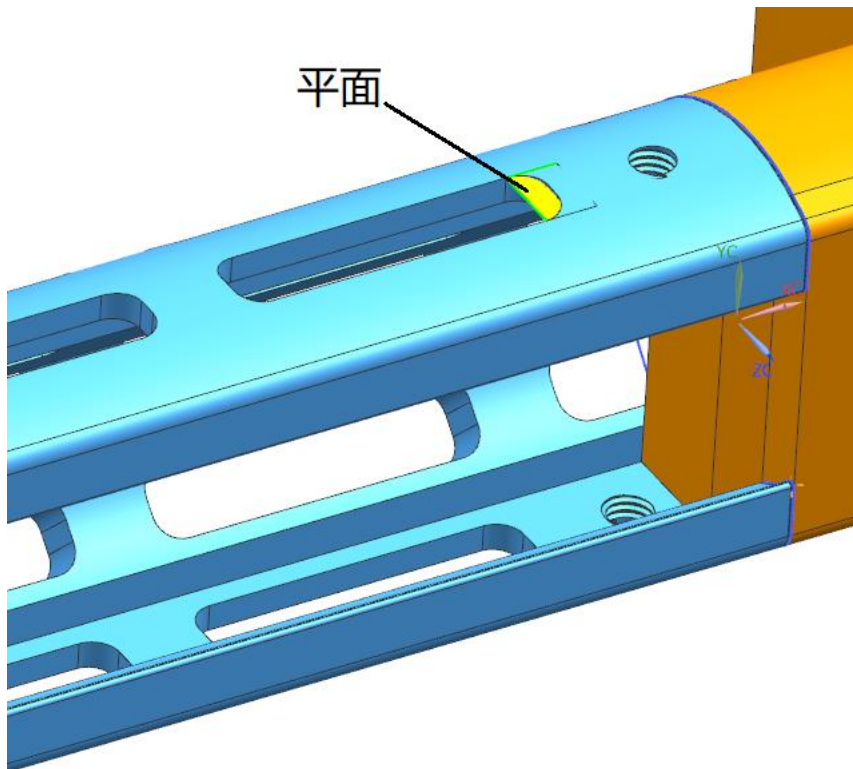


图 1-22 构建平面

(2) 刀具选择

转角半径分析：如图 1-23 所示。圆角半径为 R2.5,可选择 D4-D5 刀具。



图 1-23 半径分析

(3) 加工坐标系的建立，四轴加工坐标系的建立和工件跟三轴编程是一样，毛坯的选择不能选择包容块，而是要选择图 1-19 所创建的

几何体，如图 1-24 所示。

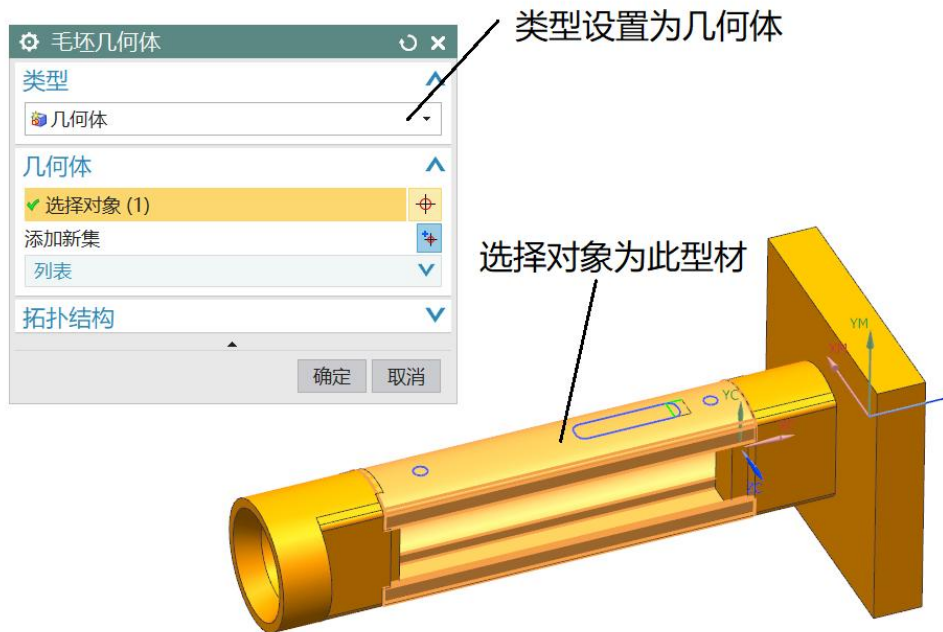


图 1-24 毛坯设置

(3) 粗加工刀路编制

辅助线框绘制，以图 1-22 所构建的平面为基准平面构建辅助线框，如图 24 所示。



图 1-25 辅助线

编制刀路，插入工序如图 1-25 所示。设置好后，点击“确定”进入平面铣对话框，如图 1-26 所示。点击“部件边界”按钮，进入“边界几何体”对话框，出现四种选择边界的模式，其中常用的是“曲线/边”和“面”两种模式来定义边界。本次选择“曲线/边”模式，进入“创建边界”对话框，如图 1-27 所示。

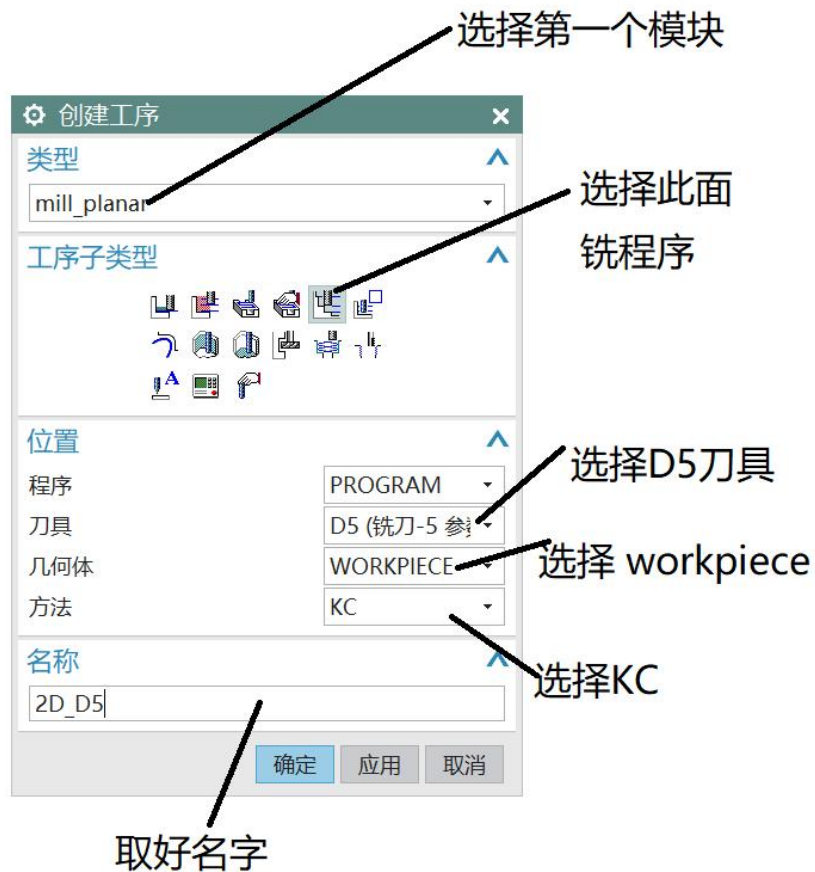


图 1-26 模块选择

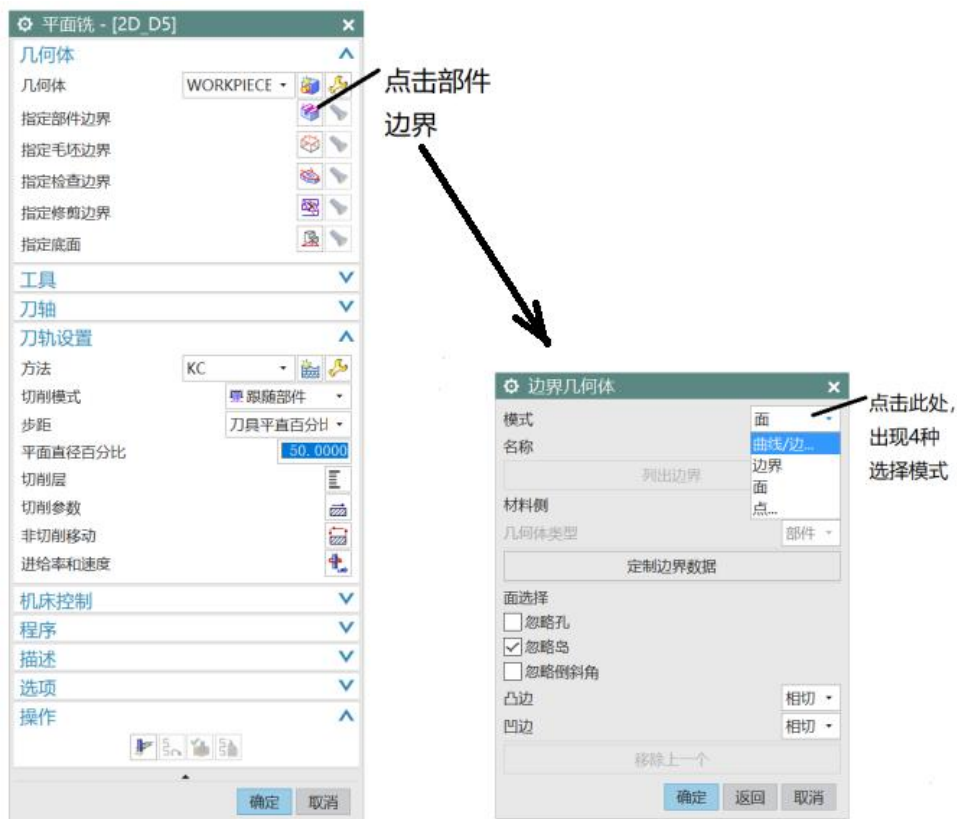


图 1-27 边界创建

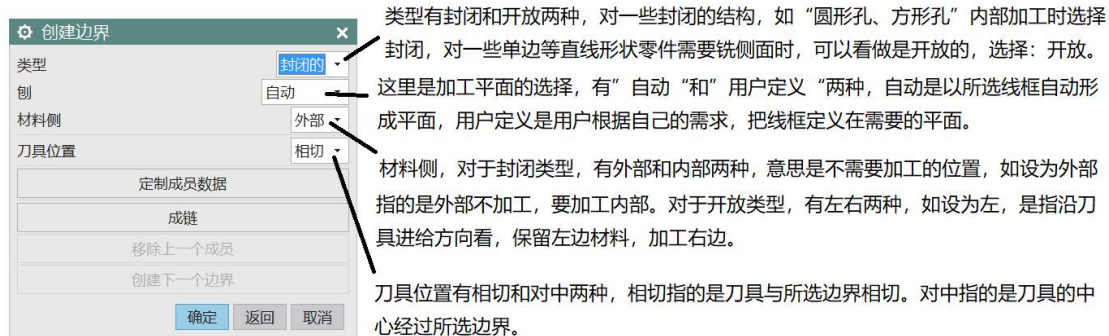


图 1-28 边界设置

设置如 1-28 所示图形，选择“封闭的”“自动”“外部”“相切”然后为了快速选择，把选择条中选择方式设置为“相连曲线”如图 1-29 所示。最后再去选择如图 1-25 所示的线框。（注意：一定要先设置好，再选线。）



图 1-29 选线设置

边界完成后，旁边的手电筒就会由灰色变成亮。然后设置底面，如图 1-30 所示，

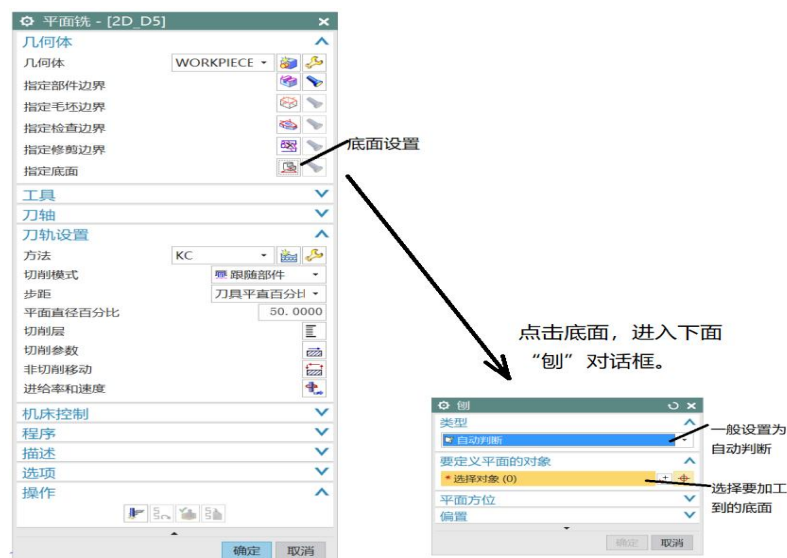


图 1-30 底面设置

底面选择如图 1-31 所示。

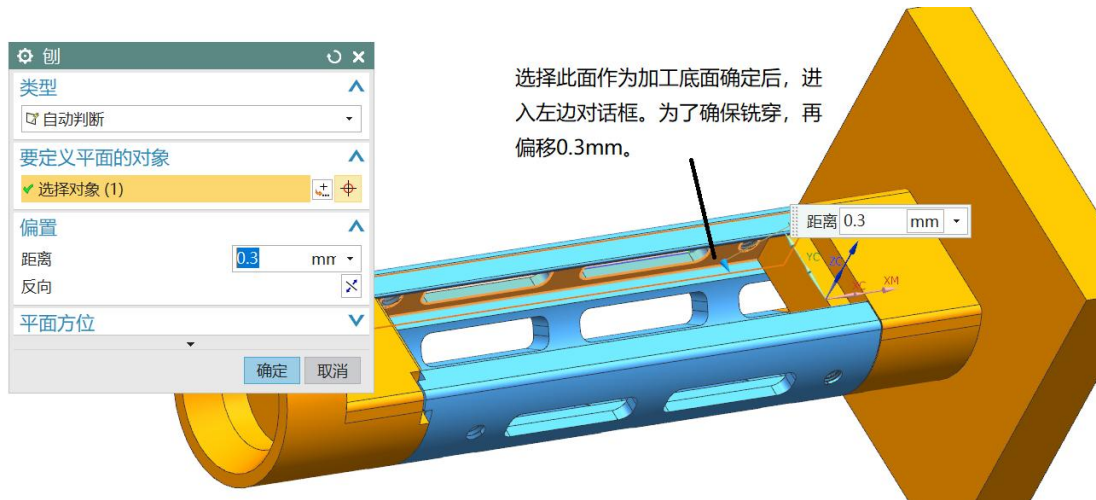


图 1-31 底面选择

边界和底面都设置好后, 进入下面的刀轴设置, 如图 1-32 所示。



刀轴是指刀具轴向的摆放方向。默认的是+Z轴, 在三轴加工编程中, 这里默认不变, 但在四轴加工编程中, 这里经常用到, 常用“指定矢量”来改变刀轴方向。

图 1-32 刀轴设置

选择指定矢量后，进入矢量设置对话框，如图 1-33 所示。

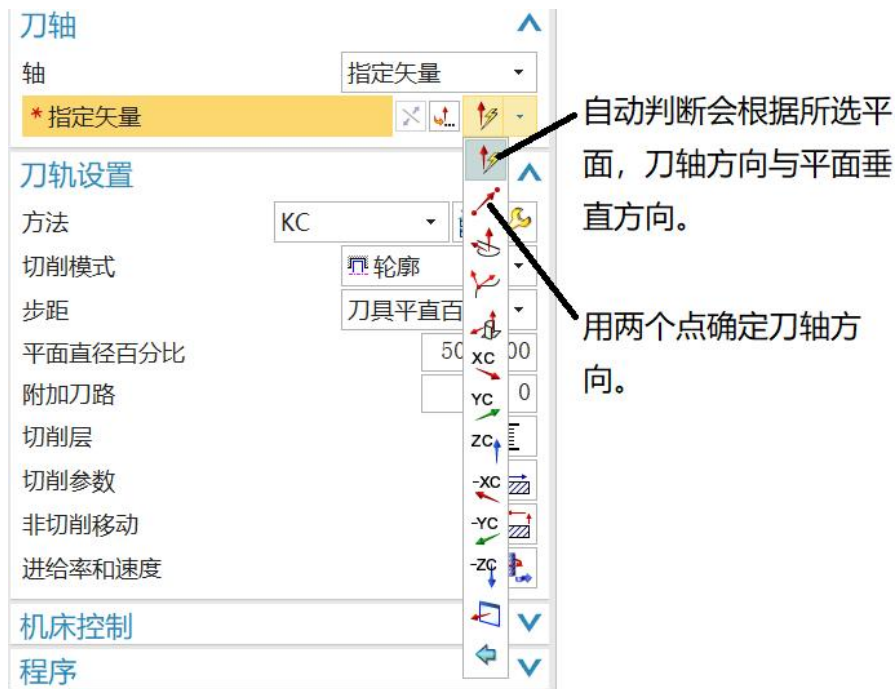


图 1-33 矢量设置方法

在指定矢量中，设置“自动判断”，选择图 1-34

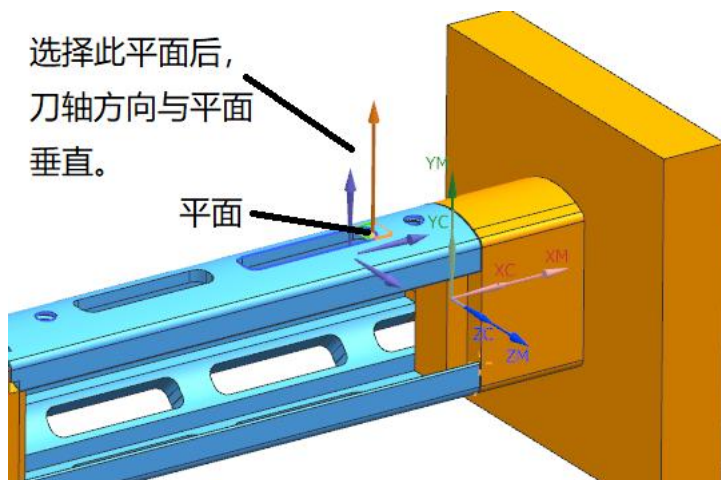


图 1-34 矢量设置

下面进入“刀轨设置”如图 1-35 所示。设置好方法和切削模式，接下来设置“非切削移动”参数。在设置之前先测量一下槽的深度，如图 1-36 所示，测量结果约为 2.9mm，加上图 1-31 所示的底面偏置 0.3mm，以及抬高 0.3mm 安全距离，刀具需要离底面 3.5mm ($2.9+0.3+0.3$) 的高度开始走螺旋加工,避免刀具下降时撞到工件表面。

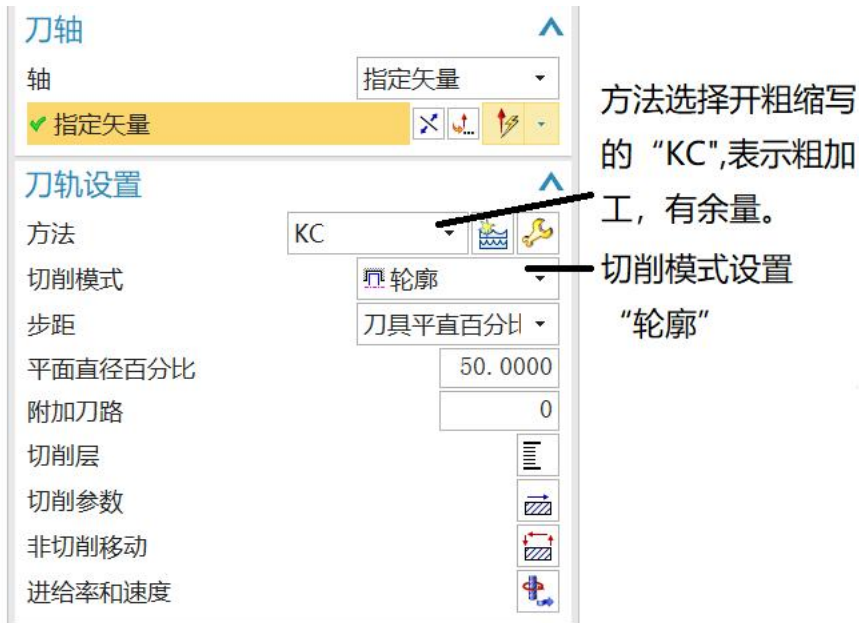


图 1-35 刀轨设置

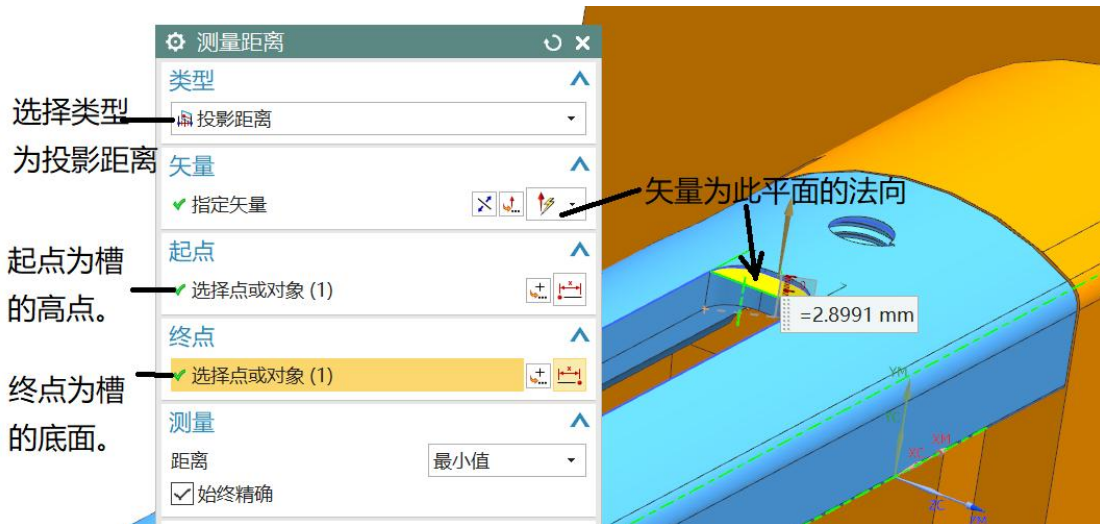


图 1-36 投影测量

“非切削移动”参数主要设置“进刀”、“转移 /快速”中参数，本零件主要设置进刀的封闭区域，如图 1-37 所示。讲解了一些常用参数的含义以及设置方法。



对零件内部开粗加工时，每次下刀比较深，如果不能从外部进刀，就要采用斜进刀，减少刀具轴向力。如果下刀量很少，比如进0.1mm，可以采用插削进刀。

斜坡角度就是刀具往下左斜线时，斜线与水平线的角度，角度越大，刀具下降越快，切削深度越深，一般根据刀具大小来调整角度，比如D10刀具，能承受切削深度1mm，那通过调整角度大小，使其切削深度约1mm。

如果高度起点设为当前层，高度是从如图1-30所示指定的底面计算，抬高3.5mm开始沿形状斜进刀。

刀具每下刀一次为一层，当前层是指即将加工的那一层。刚刚加工完的那一层为上一层。

图 1-37 非切削移动参数设置

以上参数设置好后，点击确定，回到图 1-32 平面铣对话框，点击生成，刀路如图 1-38 所示。

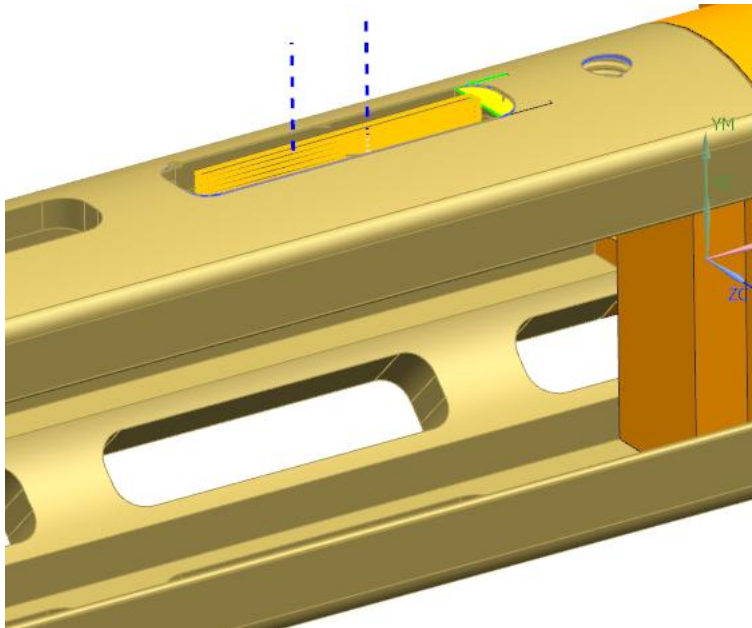


图 1-38 刀路图

(4) 精加工刀路编制

精加工刀路就是把粗加工刀路“复制-黏贴”然后修改部分参数，如图 1-39 所示。



图 1-39 精加工修改参数

斜坡角的修改及刀路如图 1-40 所示。

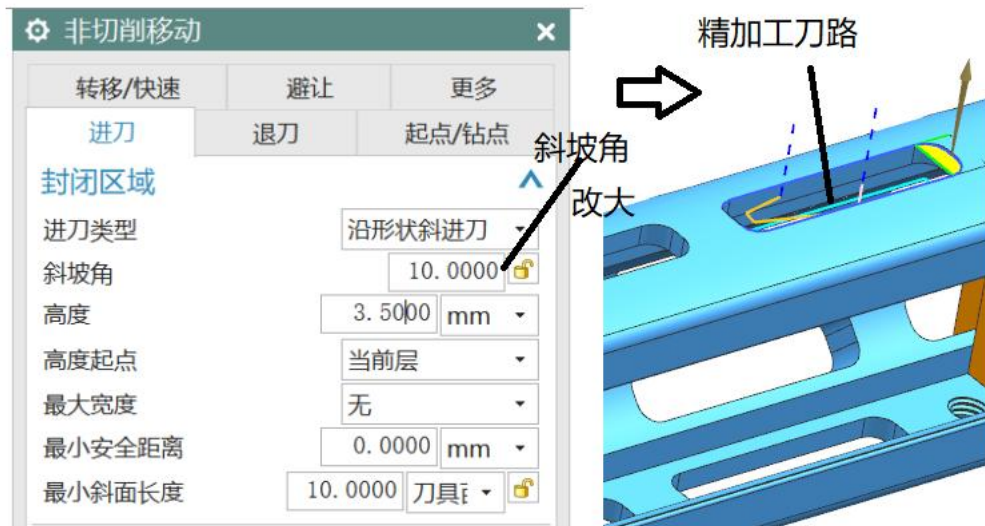


图 1-40 斜坡角修改

思政课程

坚守匠心：精益求精、分毫必究的职业精神，四轴编程区别于三轴编

程，增加旋转轴联动控制，路径更复杂、参数更精密，一个代码误差、一个角度偏差、一处坐标系偏移，都会导致零件报废、设备碰撞、工期延误，完美契合工匠精神的育人场景。

任务二、短鱼骨零件的槽编程优化与刀路变换

一、教学目标：

- 1、掌握槽的编程优化和变换；
- 2、掌握槽加工的程序检查方法；

二、教学重点

讲述槽的编程优化和变换；

三、教学难点

合理优化和变换；

四、素质(思政)内容

四轴加工多用于航空零部件、精密模具、医疗器械等高端零件，精度要求达到 0.001mm 级别，没有容错空间。在短鱼骨零件的高精度加工中，0.001mm 的极致公差与零容错要求，映射出航空、医疗等高端制造对“大国工匠”的严苛召唤。每一次刀路优化与四轴变换，不仅是技术淬炼，更是责任与使命的践行。唯有心怀敬畏、精益求精，方能筑牢制造强国的质量基石。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

2 学时。

教学过程如下：

一、刀路优化

如图 1-38、图 1-40 所示，短鱼骨粗、精刀路进退刀的抬刀都较高，

在零件同一个位置加工且比较平坦的情况下，可以是抬刀较矮，约 2-3 mm 就行。优化后刀路如图 2-1 所示。

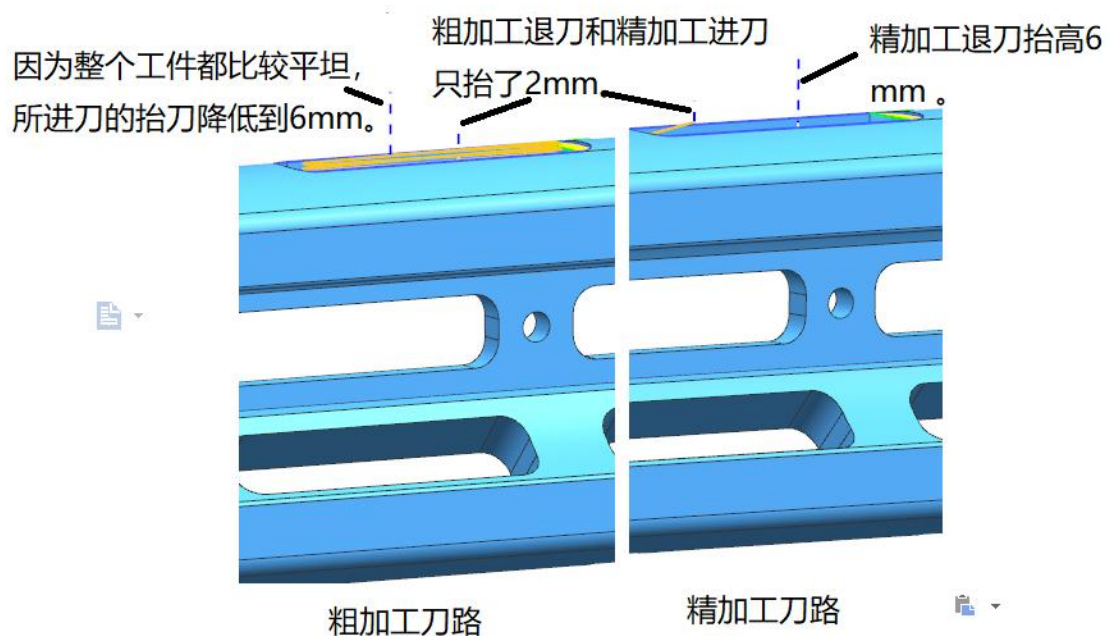


图 2-1 刀路优化

二、刀路检查

刀路在移动或复制前，都要严格检查一遍，确保刀路正确在去变换。刀路检查主要是检查下刀时是否会撞刀，切削量是否合适，粗加工时余量有没有留，精加工是否去除了余量。如果是孔或槽时，还要检查是否铣穿。

(1) 这里首先检查下刀时是否会撞到工件表面。如图 2-2 所示。

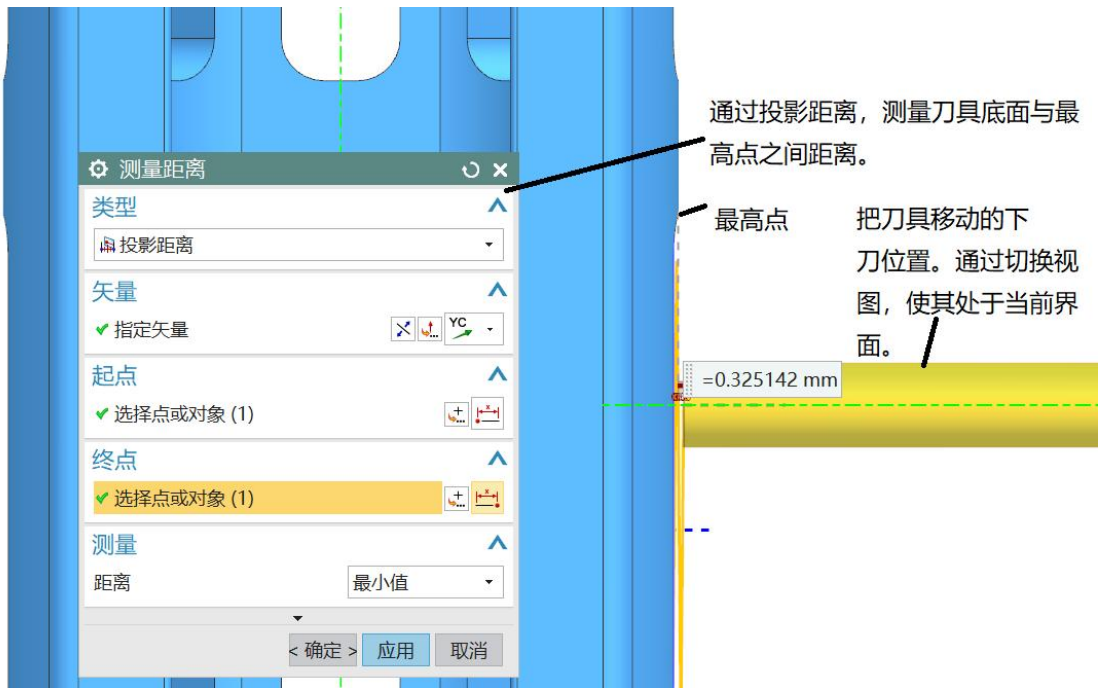


图 2-2 间距测量

通过如图 2-2 所示测量，间隙约为 0.3mm，下刀时不会撞到工件表面。

(2) 切削量检查，如下图 2-3 所示，粗加工余量检查为 0.2，表示正常。

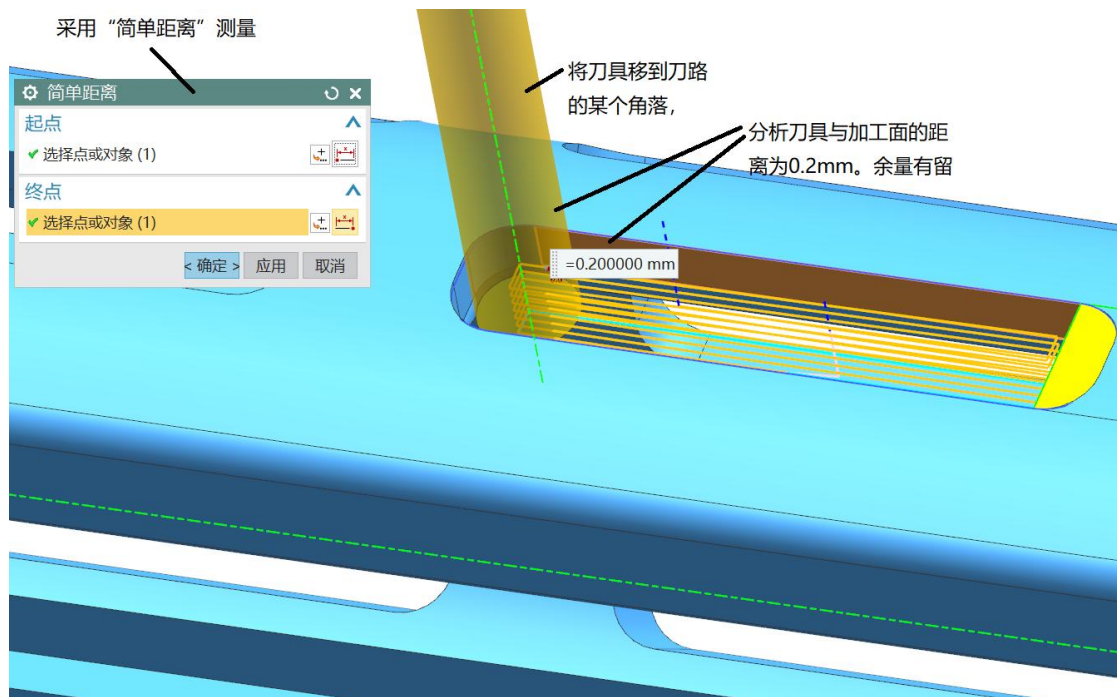
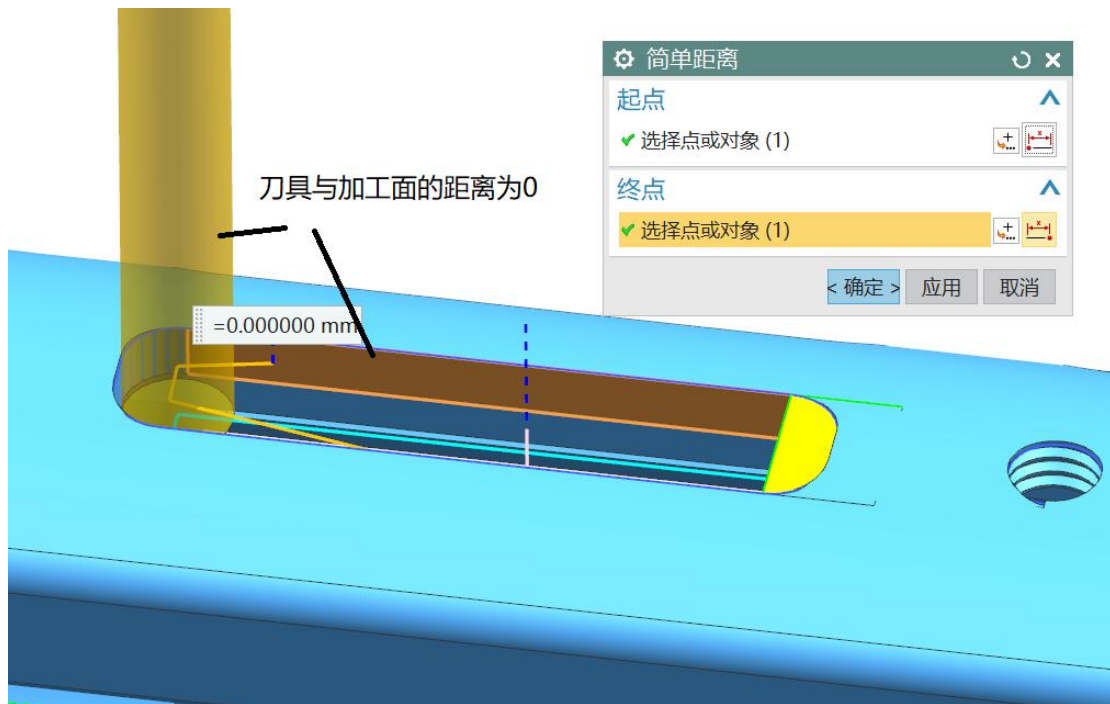


图 2-3 粗加工余量测量

精加工余量检查，如图 2-4 所示，余量为 0，表示正常。



如图 2-4 精加工余量检查

(3) 开粗时切削深度是否合适，如图 2-5 所示。

从刀路来看，螺旋了7圈，整体深度为3.5，平均每圈铣深0.5 mm，用D5刀加工。切削深度合适。

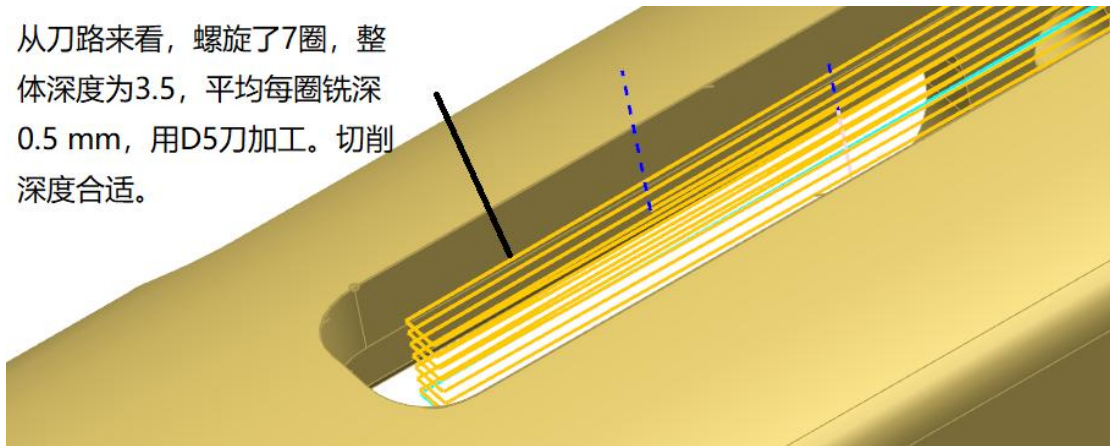


图 2-5 切削深度检查

(5) 是否铣穿槽，如图 2-6 所示。

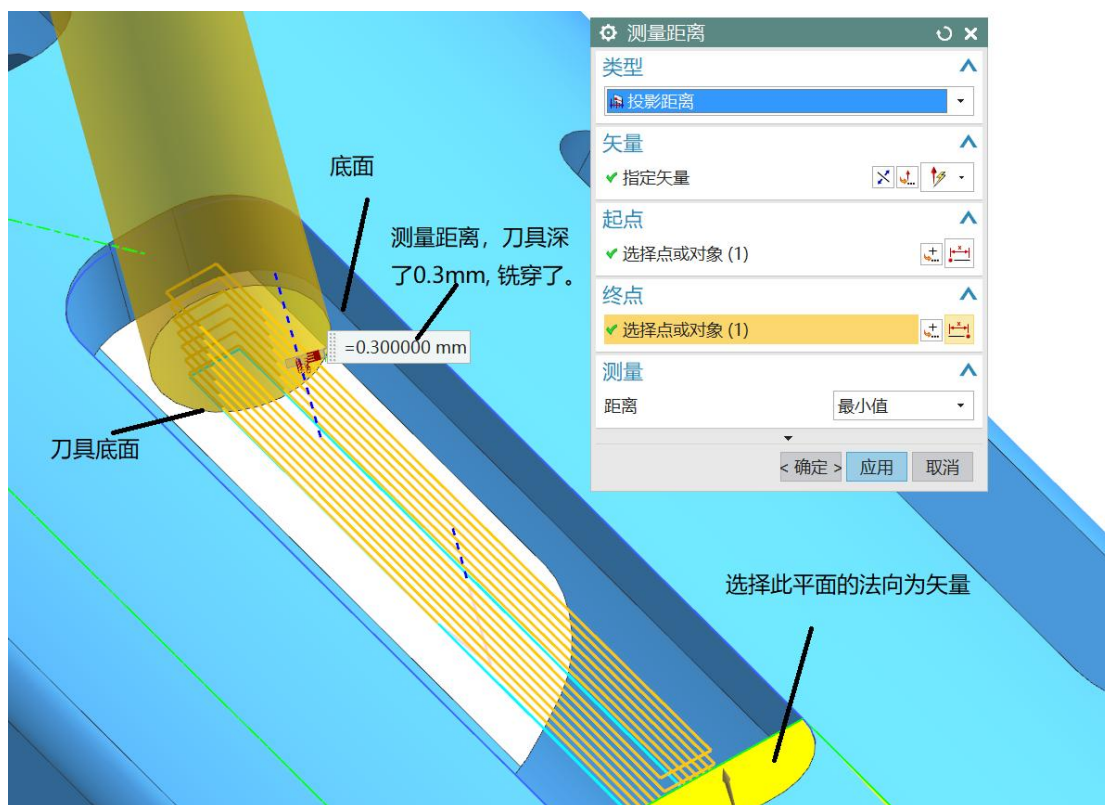


图 2-6 穿孔检查

三、刀路平移

刀路检查完毕，确保正确后，可对刀路进行移动。由图 2-7 所示，通过分析孔 2 与孔 1 尺寸以及所处的角度都相同，刀路可以直接平移，形成孔 2 的刀路，节省编程时间。

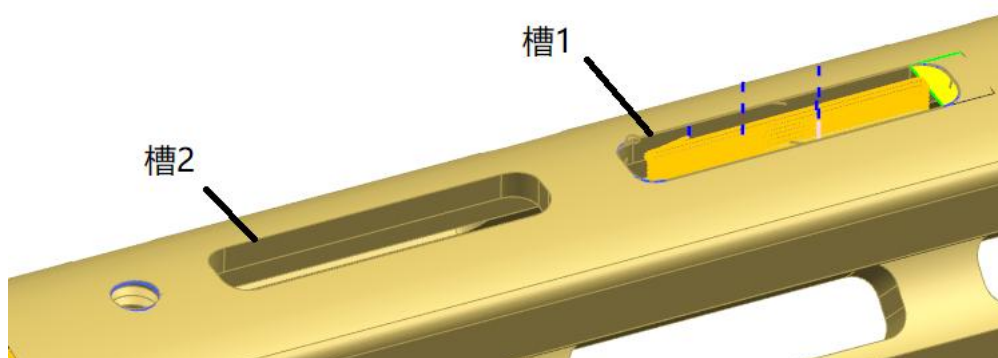


图 2-7 槽的对比

刀路的变换如下图 2-8 所示。

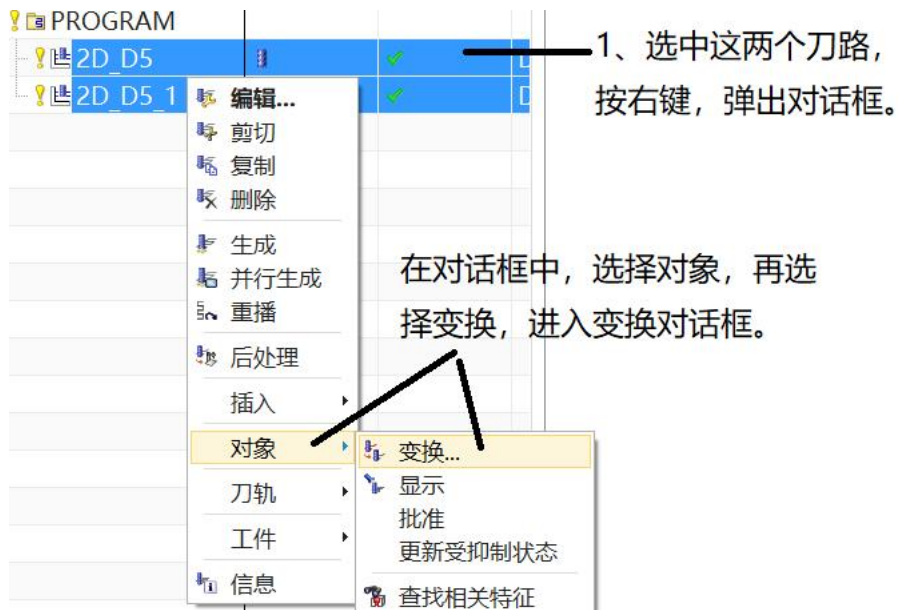


图 2-8 刀路变换

点击图 2-8 中的变换，进入变换对话框图 2-9。

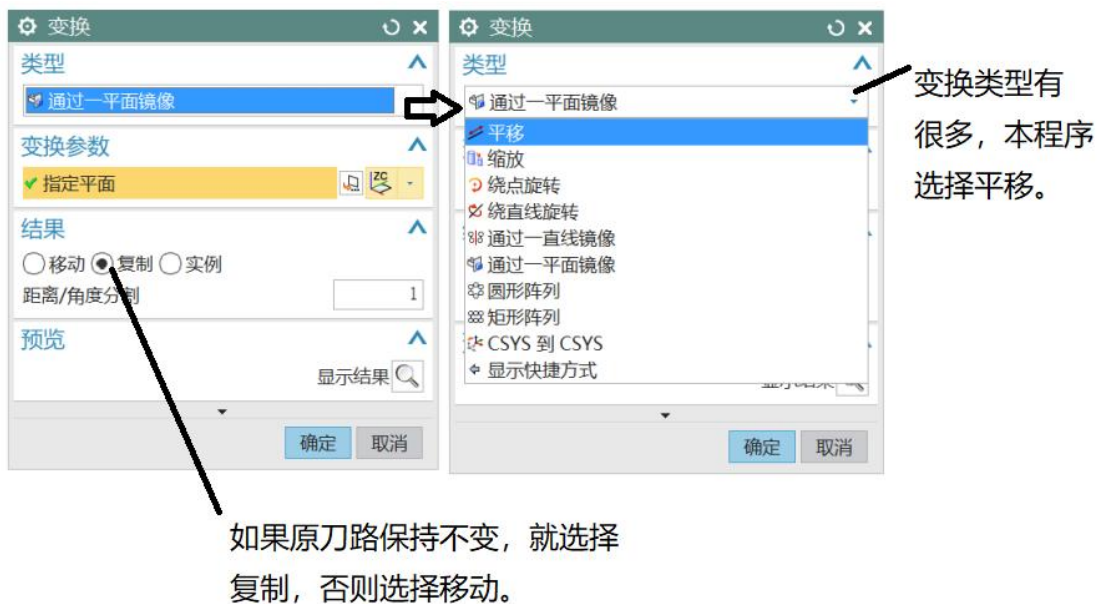


图 2-9 刀路变换对话框

点击图 2-9 中的“移动”后，进入移动对话框，如图 2-10 所示。

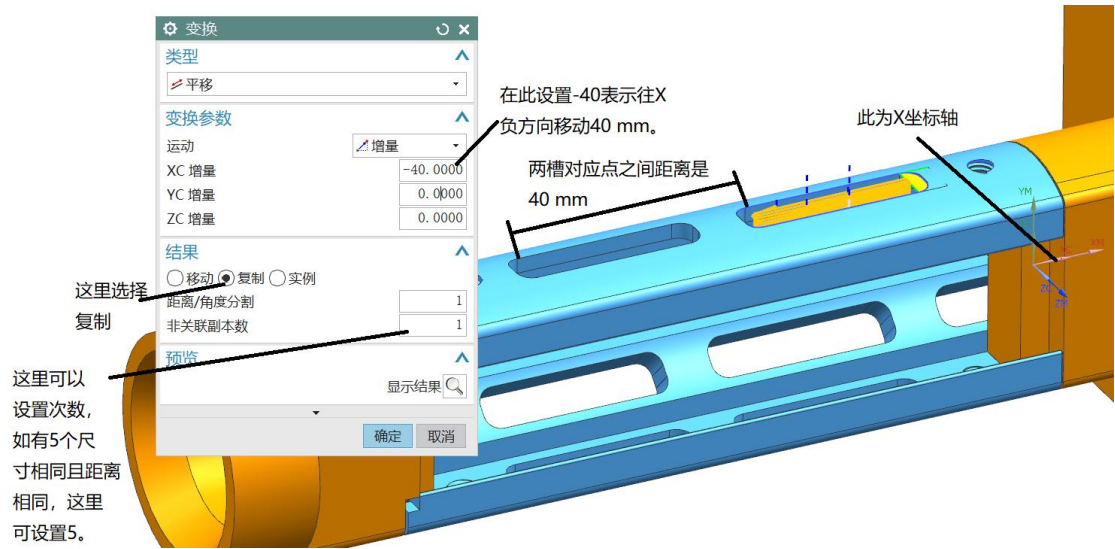


图 2-10 移动设置

如图 2-10 所示，设置完成后，点击“确定”，完成了刀路的移动复制。

四、刀路旋转

如图 2-11 所示，槽 1、2 刀路已经编完，而槽 3、4 与其相比，长宽都相同，深度和角度不同。可以旋转刀路，再修改不同点。

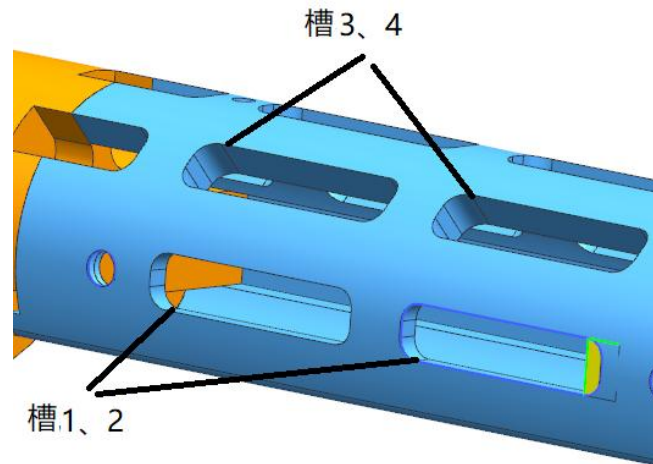


图 2-11 零件图

刀路旋转如下，选择槽 1、2 的所有刀路，按鼠标右键，弹出对话框，选择“对象” — “变换”，弹出变换对话框，如图 2-12 所示。

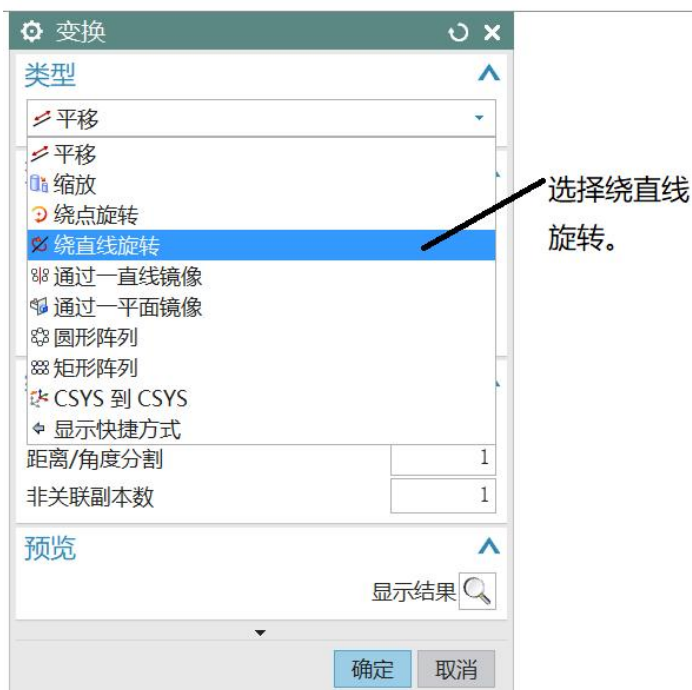


图 2-12 旋转变换

进入图 2-13 所示。按图设置好后，点击下面预览中的“显示结果”，

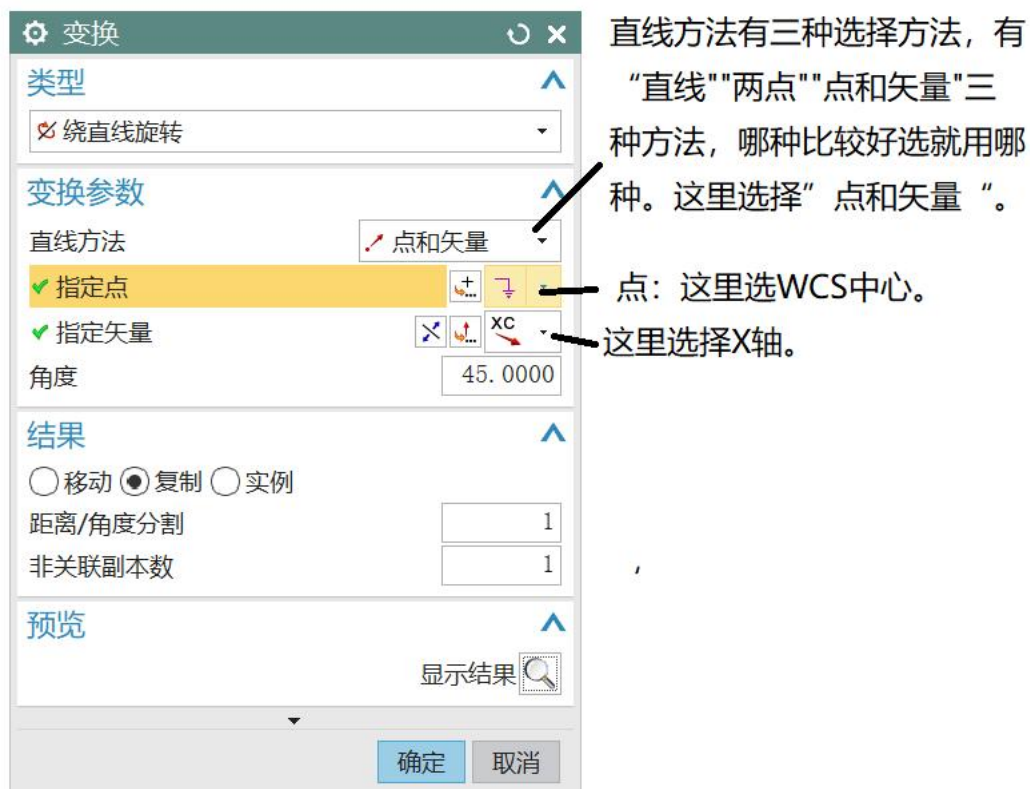


图 2-13 旋转变换

如果旋转方向正确，就点击“确定”，然后修改刀路，通过测量，孔比之前深 3 mm，如图 2-14 所示。

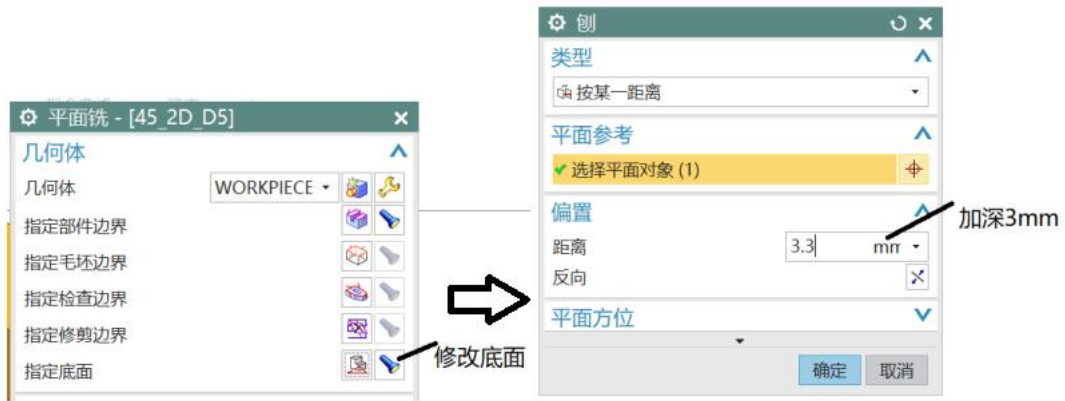


图 2-14 底面修改

非切削参数中修改进刀参数，如图 2_15 所示。

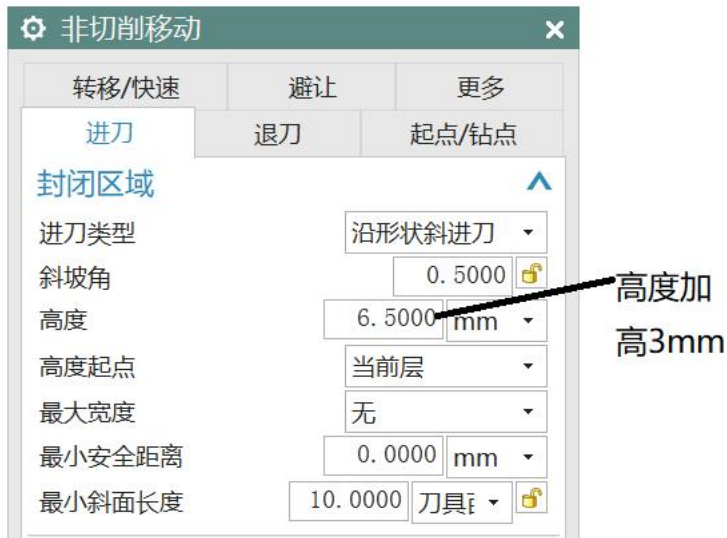


图 2-15 进刀修改

对旋转后的所有刀路进行上述修改，完成了旋转编程，如图 2-16 所示。

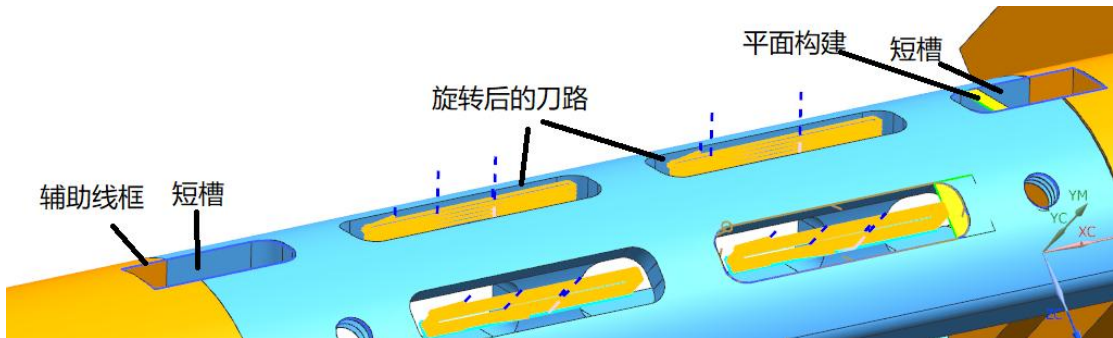


图 2-16 旋转后的刀路图

五、短槽加工。

短槽加工如图 2-16 所示，需要进行平面构建和辅助线框，方法跟任务一中创建的方法相同。然后复制未“旋转”或“移动”等变换过的原始刀路图，对其进行修改，修改的位置如下图 2-17 所示。

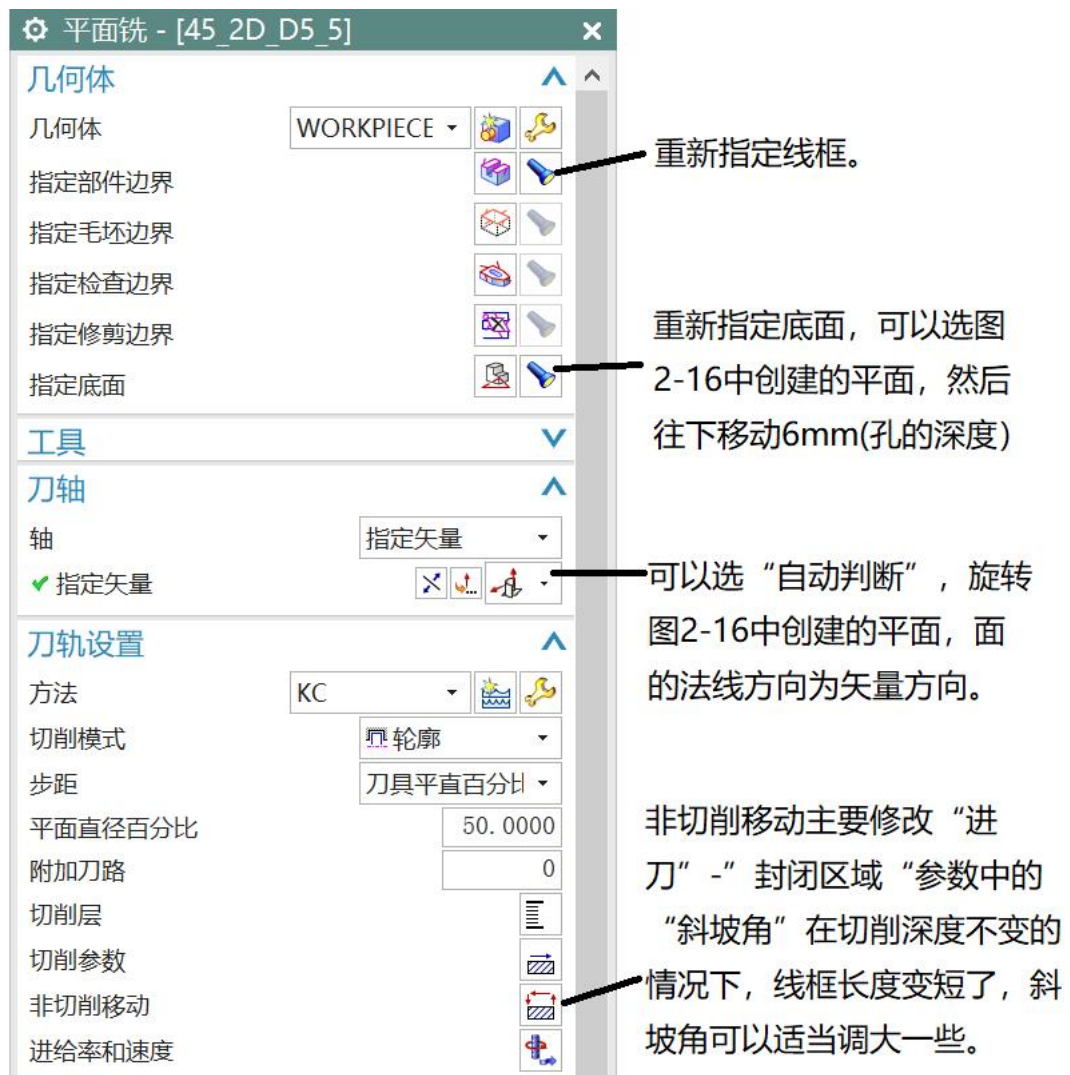


图 2-17 修改位置

做好其中一个短槽，检查合格后，可以“复制-黏贴”刀路，由于另一个短槽处于同一个平面内，只需重新指定部件边界就可以了，其它不变。

六、学以致用

用所学的编程方法完成零件其它槽的编程。

思政课程

四轴加工多用于航空零部件、精密模具、医疗器械等高端零件，精度要求达到 0.001mm 级别，没有容错空间。

任务三、上鱼骨卡槽编程

一、教学目标：

- 1、掌握掌握辅助线的绘制方法；
- 2、掌握卡槽编程方法；

二、教学重点

讲述卡槽编程方法及参数设置；

三、教学难点

辅助线的合理绘制；

四、素质(思政)内容

四轴编程没有“差不多”，每一段程序、每一个转角参数、每一次对刀校准，都是对匠心的考验。大国工匠陈行行深耕多轴数控加工领域，攻克无数精密零件加工难题，凭借极致细致的操作保障国家高端装备生产。我们编写每一条 G 代码、优化每一条刀路，不仅是练技术，更是锤炼一丝不苟、追求卓越、持之以恒的工匠精神。

五、教学方式：

讲解、演示、实验。

六、学时数

2 学时。

教学过程如下：

一、卡槽加工

工件如图 3-1 所示，毛坯如图 3-2 所示，需要对卡槽加工，卡槽较多，为了减少抬刀需要做辅助线来进行编程。

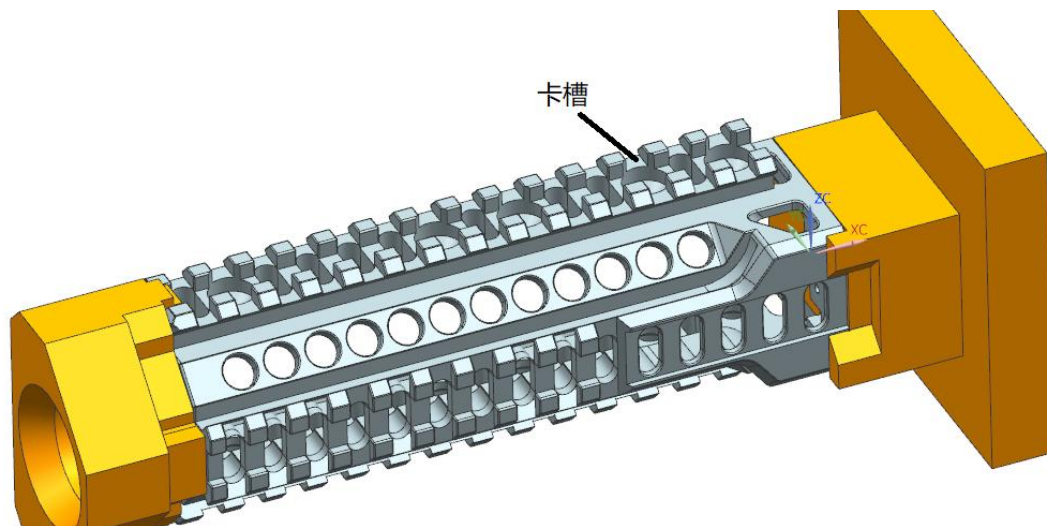


图 3-1 上鱼骨零件图

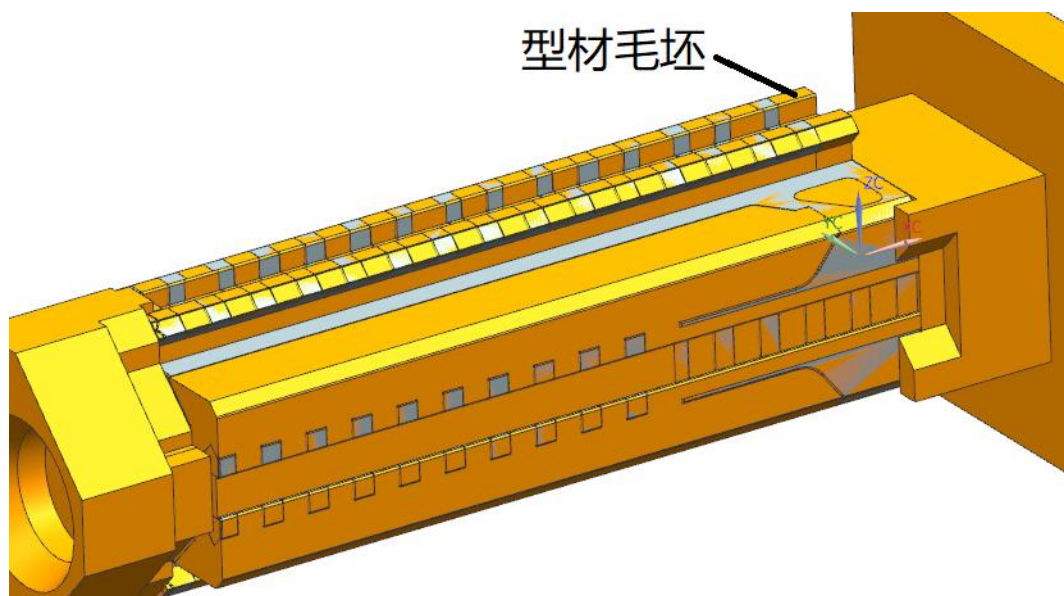


图 3-2 上鱼骨毛坯

1、刀具选择

分析槽宽，宽为 5.25mm，可选 D5 的刀具。

2、粗加工辅助线绘制

如图 3-3 所示，绘制草图中心线。对曲线进行偏置，设置如图 3-4

所示。偏置结果如图 3-5 所示。再绘制两条连接线，如图 3-6 所示。

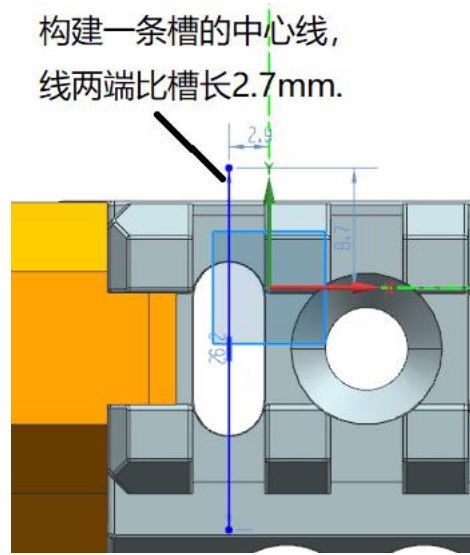


图 3-3 绘制中心线

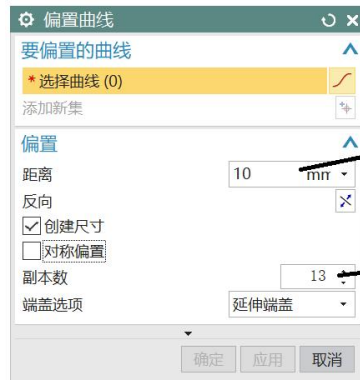


图 3-4 中心线偏置设置

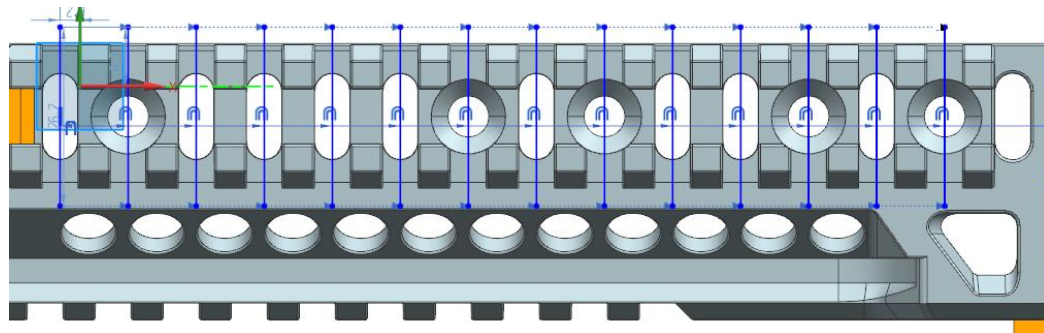


图 3-5 偏置结果

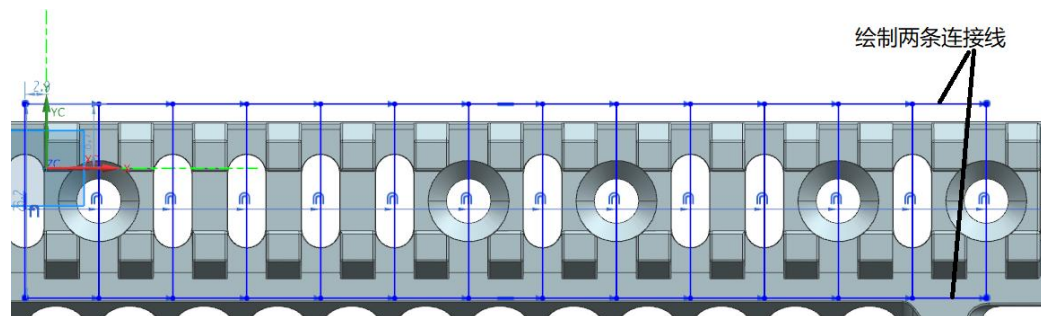


图 3-6 连接线

草图修剪如图 3-7 所示。让卡槽的中心线连成一条线，完成草图绘制。

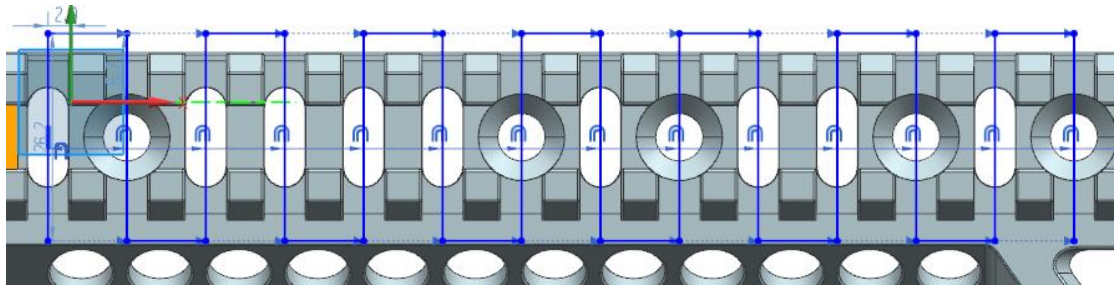


图 3-7 修剪结果

3、精加工辅助线绘制

将粗加工辅助线放置在一个图层（如 2 层），重新插入草图，在粗加工辅助线的其中一条中心上重新描画了一条中心线，然后把粗加工辅助线的图层关闭，不显示出来。只出现刚画的中心线，因为槽宽是 5.25mm，把中心线对称偏置 0.125mm，对偏置的两条线重新描画一遍，再删除中心线，因为删除中心线时，刚才偏置的线也会消失，所以要描画一遍，获得所需要的辅助线，然后用以上粗加工辅助线绘制方法，将辅助线偏移 13 次，距离为 10mm，获得各卡槽的辅助线，并进行连接修剪如图 3-8 所示。将精辅助线移到另一图层（如 3 层）。

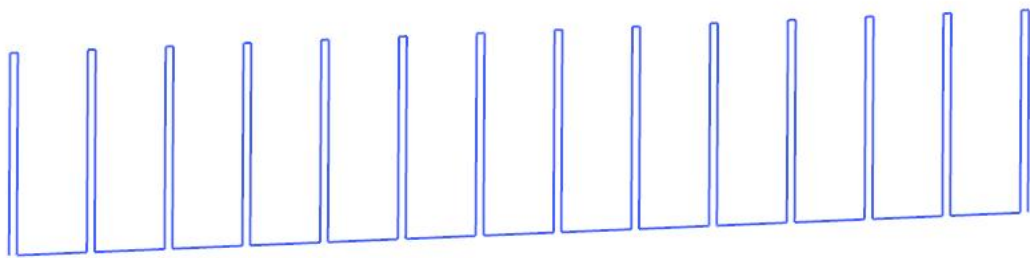


图 3-8 精加工辅助线

4、粗加工刀路编制

打开“图层设置”显示粗加工辅助线。创建工序如图 3-9 所示，



图 3-9 模块选择

按图 3-10 设置好后，点击“确定”进入“平面铣”对话框，



图 3-10 平面铣对话框

点击边界设置图标，进入如图 3-11 所示对话框。按图所示设置参数之后再去选择线，（注意：要先设置好再选线，设置才起作用。）



图 3-11 边界设置

线选择好后，点击“确定”，返回“平面铣”对话框图 3-10，进入图所示指定的设置，完成设置后，刀路如图 3-12 所示。

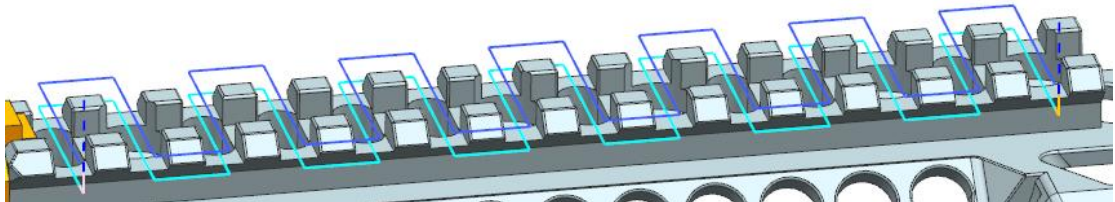


图 3-12 粗加工刀路图

5、精加工刀路编制

打开“图层设置”显示精加工辅助线，关闭粗加工辅助线，辅助粗加工刀路，重新指定部件边界，设置也如图 3-11 所示，再去选择精加工辅助线，刀路图如图 3-13 所示。

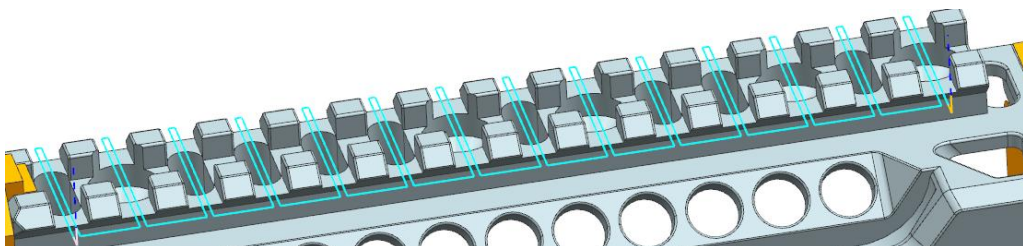


图 3-13 精加工刀路图

思政课程

四轴编程没有“差不多”，每一段程序、每一个转角参数、每一次对刀校准，都是对匠心的考验。大国工匠陈行行深耕多轴数控加工领域，攻克无数精密零件加工难题，凭借极致细致的操作保障国家高端装备生产。我们编写每一条 G 代码、优化每一条刀路，不仅是练技术，更是锤炼一丝不苟、追求卓越、持之以恒的工匠精神。

任务四、上鱼骨锥孔、倒角加工

一、教学目标：

- 1、掌握锥孔的编程方法。
- 2、掌握倒角加工辅助线绘制及编程方法。

二、教学重点

讲述锥孔的编程方法。

三、教学难点

锥孔编程的参数设置。

四、素质(思政)内容

列举行业真实案例：因编程参数四轴旋转角度设置错误、刀路干涉未仿真检测，导致精密航空零件报废、设备损坏、企业经济损失，让学生明白严谨细致是数控从业者的基本职业底线。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

2 学时。

教学过程如下：

相关知识

一、如图 4-1 所示， 锥孔中间是通孔， 直径为 6mm， 可以采用钻孔完成通孔加工， 用倒角刀完成锥孔的加工。 锥孔的加工过程如下。

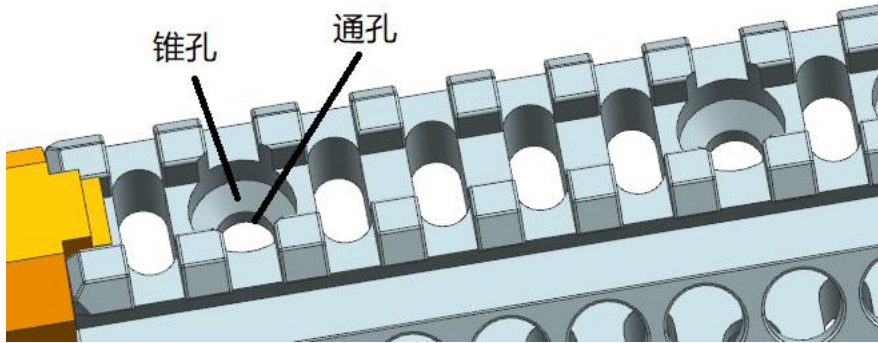


图 4-1 锥孔

1、刀具选择

通过半径分析， 锥孔的垂直圆柱半径为 5.48mm， 可选用 D8A90 或 D6A90 倒角刀。 本案例选择 D6A90 刀具。

2、辅助线绘制

在插入草图模式下， 绘制辅助线如图 4-2 所示。

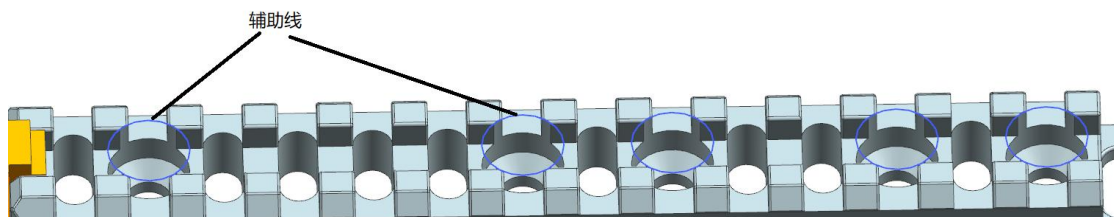


图 4-2 辅助线

3、程序编制

(1) 分析锥孔的顶部与底部的垂直距离如图 4-3 所示。 距离约为 7.23mm。

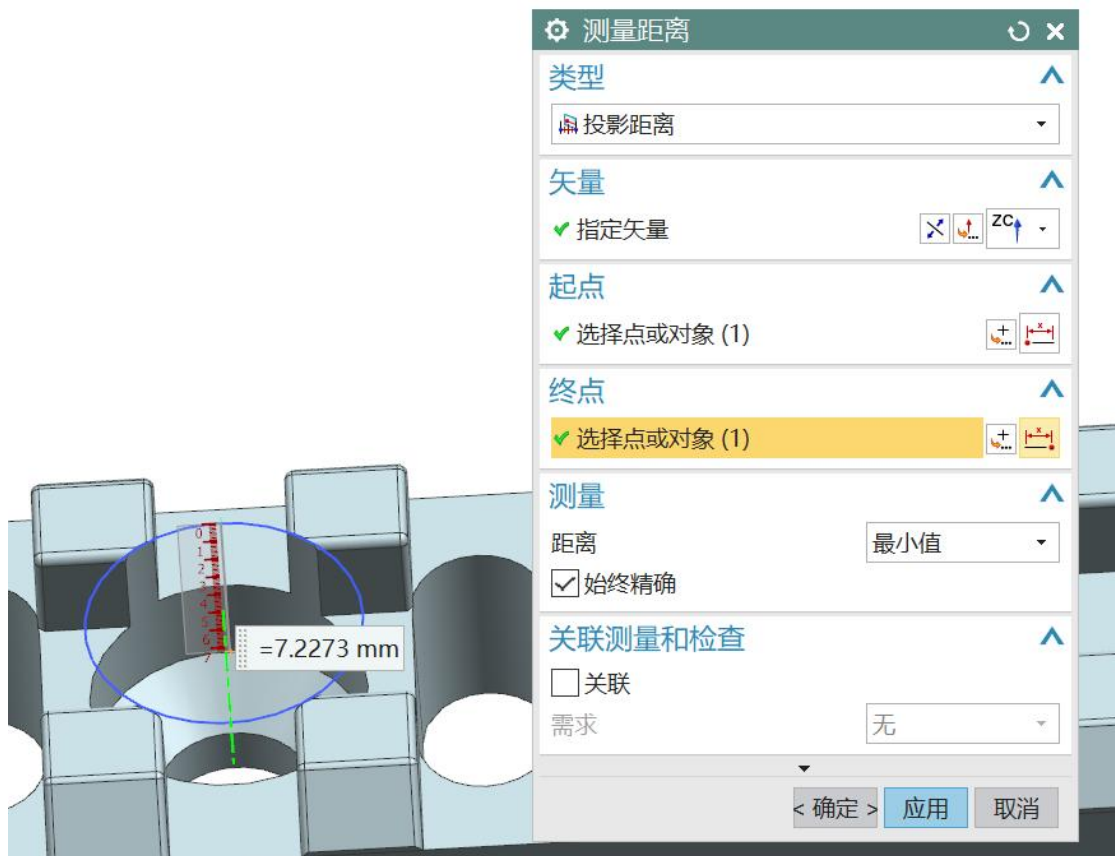


图 4-3 距离测量

(2) 刀路编制

创建工序，“复制-黏贴”卡槽加工中粗加工刀路，修改刀路如下图 4-4 所示。



图 4-4 边界设置

(3) 底面设置

如下图 4-5 所示。

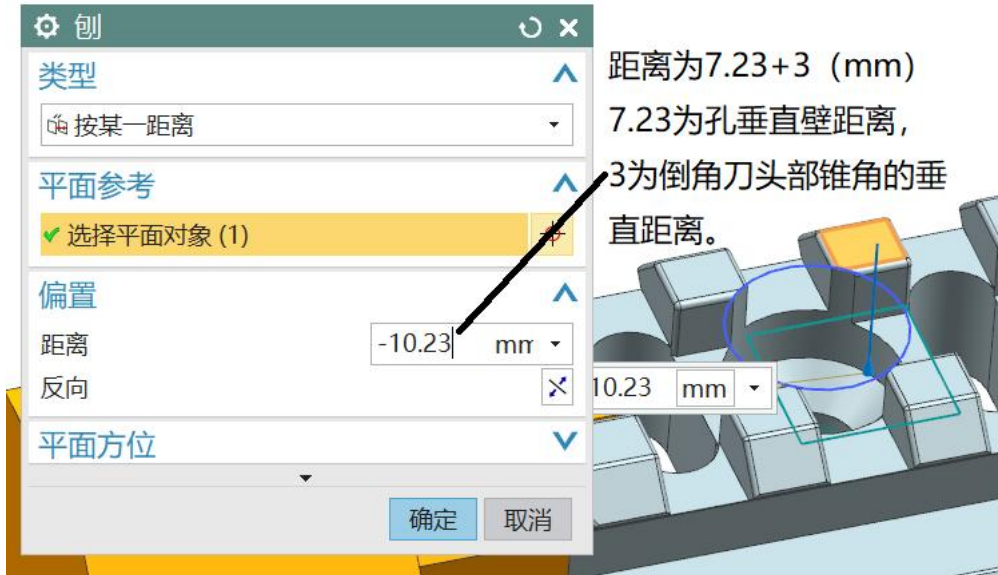


图 4-5 底面设置

(4) 进刀设置

如图 4-6 所示。



图 4-6 参数设置

刀路图如图 4-7-1 所示，

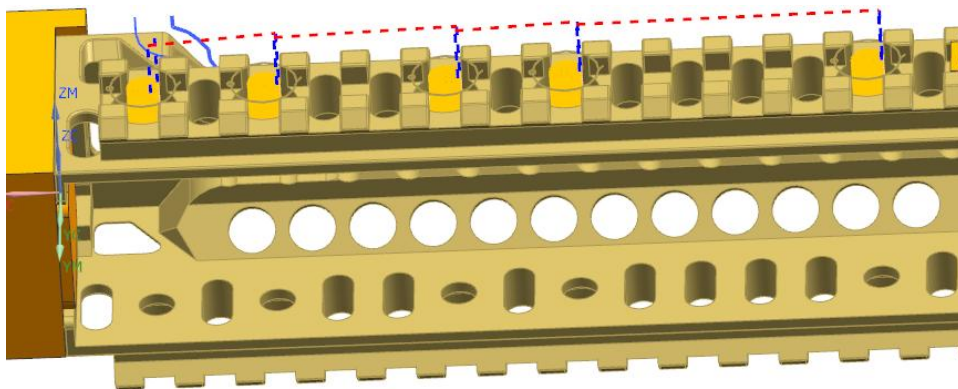


图 4-7-1 刀路图

二、倒角编程

(1) 倒角辅助线绘制，如图 4-7 所示，先绘制中心线。再对称偏置 2.4mm，与槽两边距离 0.225 如图 4-8 所示。重新描画一遍所偏置的线，再删除中心线，如图 4-9 所示。

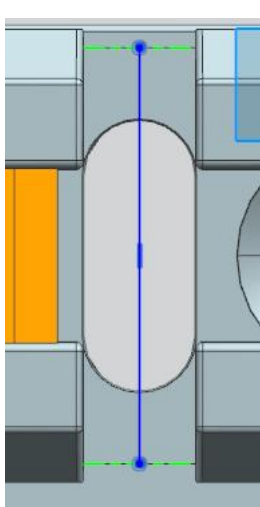


图 4-7 中心线



图 4-8 线偏置

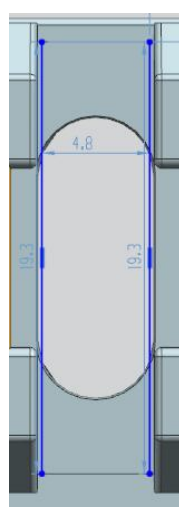


图 4-9 偏置线

(2) 对图 4-9 所绘制的线进行偏置，方法如粗、精加工辅助线绘制一样，把偏置线连成一个整体，如图 4-10 所示。

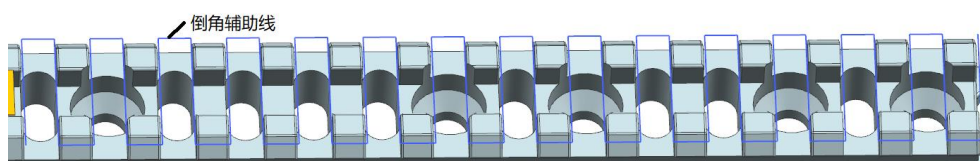


图 4-10 倒角辅助线

(3) 倒角刀路编制

复制锥孔加工刀路，修改部件边界，按图 4-11 所示修改参数，设置好后，再选择倒角辅助线。再设置底面，如图 4-12 所示，往下偏置 0.5mm，刀具往下降 0.5mm 倒角，减去线与边的距离 0.225mm，实际倒角距离为 0.275mm。



图 4-11 参数设置

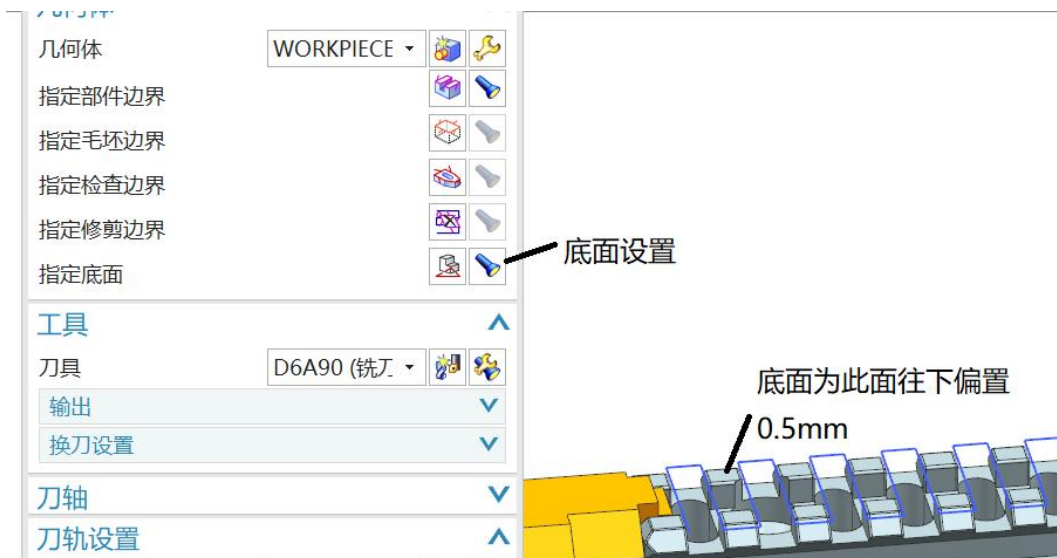


图 4-12 底面设置

设置完成后，生成刀路后，如图 4-13 所示。

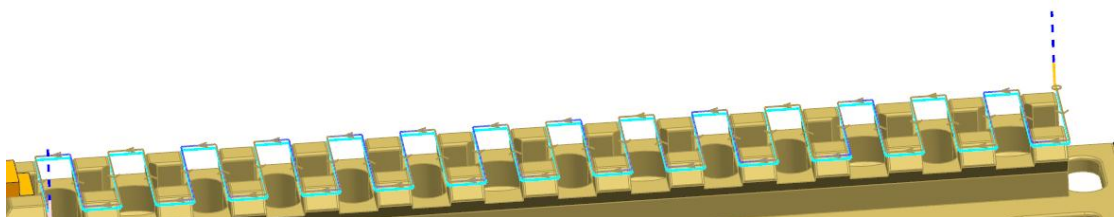


图 4-13 刀路图

思政课程：

列举行业真实案例：因编程参数四轴旋转角度设置错误、刀路干涉未仿真检测，导致精密航空零件报废、设备损坏、企业经济损失，让学生明白严谨细致是数控从业者的基本职业底线。

任务五、上鱼骨局部开粗加工.

一、教学目标：

- 1、掌握合理分析零件结构。
- 2、掌握四轴加工局部开粗技巧。

二、教学重点

讲述四轴加工局部开粗技巧。

三、教学难点

合理分析零件结构，选择合适的开粗方法。

四、素质(思政)内容

讲解四轴加工应用场景、国产四轴机床编程系统、多轴加工技术迭代内容时融入思政。结合我国机床产业发展历程，从早期依赖进口设备、核心编程技术被卡脖子，到如今国产四轴数控系统全面普及、自主编程工艺持续突破，实现从“跟跑”到“并跑”的跨越。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

4 学时。

教学过程如下：

一、刀具选择

刀具大小的选择要根据零件的尺寸以及机床的刚性来决定。如图

5-1 零件及毛坯材料所示，余量的厚度约为 11mm，零件整体尺寸不大，可选用 D12-D16 刀具进行开粗，

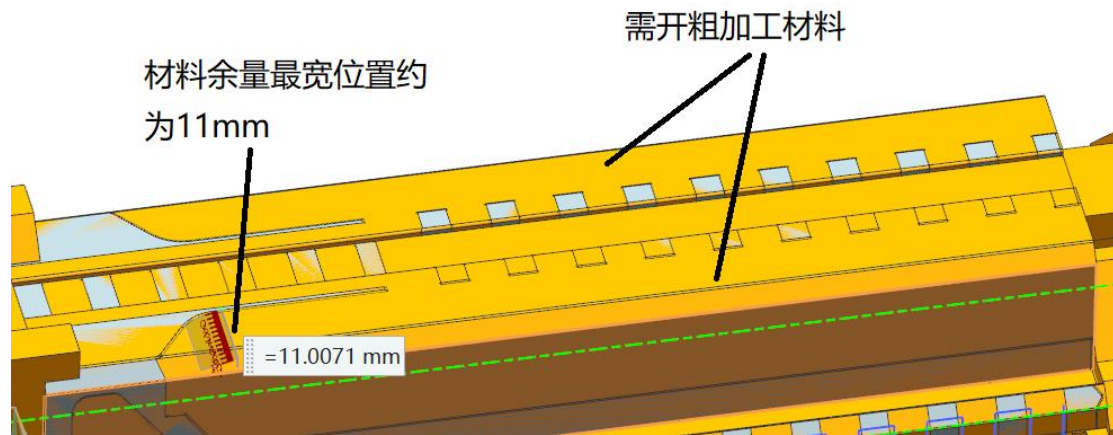


图 5-1 零件开粗位置图

二、零件开粗位置分析

零件形状有规则的形状和不规则的形状，对有规则的形状开粗，可以采用做辅助线，提高开粗效率，对不规则的形状采用系统自动计算开粗。

零件分析，如图 5-2 所示。

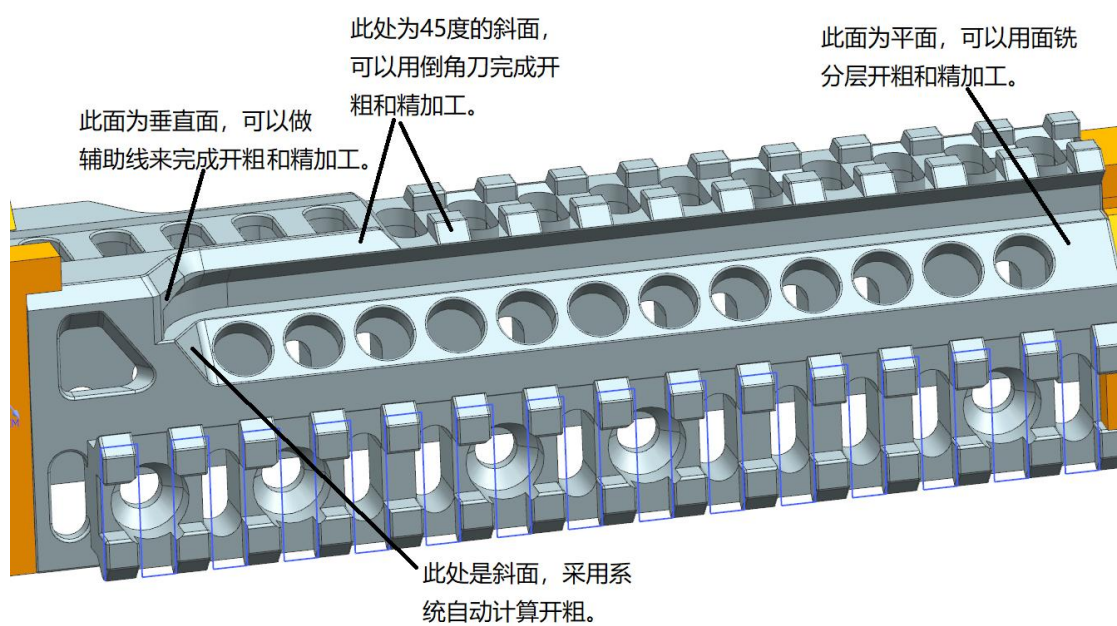


图 5-2 零件分析

三、垂直面开粗

(1) 辅助线绘制如图 5-3 所示。

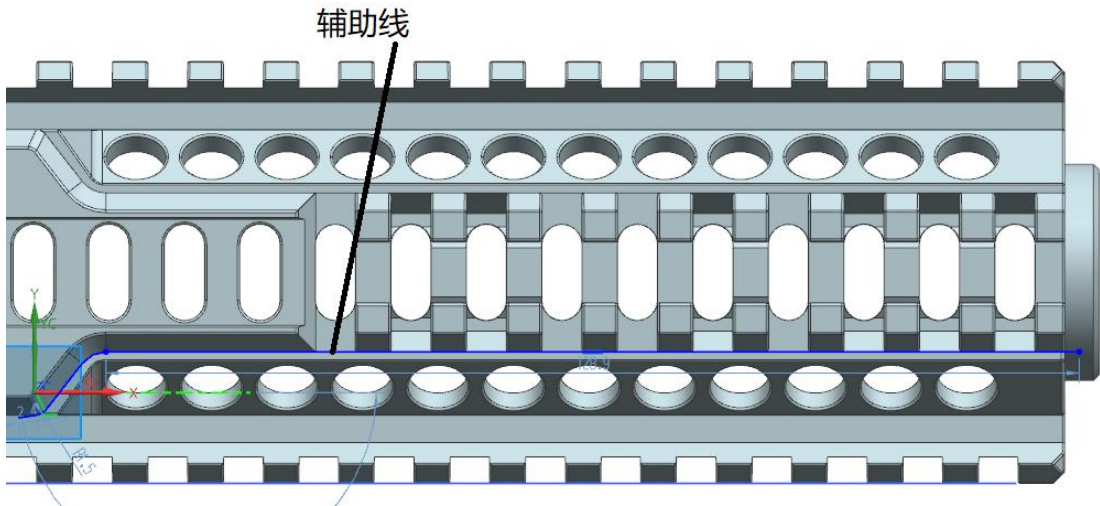


图 5-3 辅助线绘制

(2) 开粗刀路编制

辅助卡槽开粗编程刀路，并修改部件边界，选择图 5-3 所示的辅助线，并重新指定底面和进刀参数设置。

选择部件边界设置如图 5-4 所示。



图 5-4 边界选择设置

底面选择如图 5-5 所示，开粗可以偏置 0.2mm。

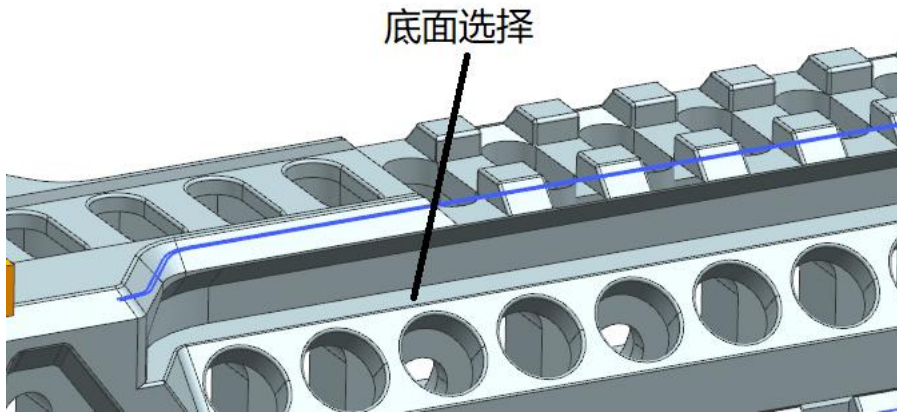


图 5-5 底面选择

垂直面距离测量如图 5-6 所示，垂直距离为 9mm。

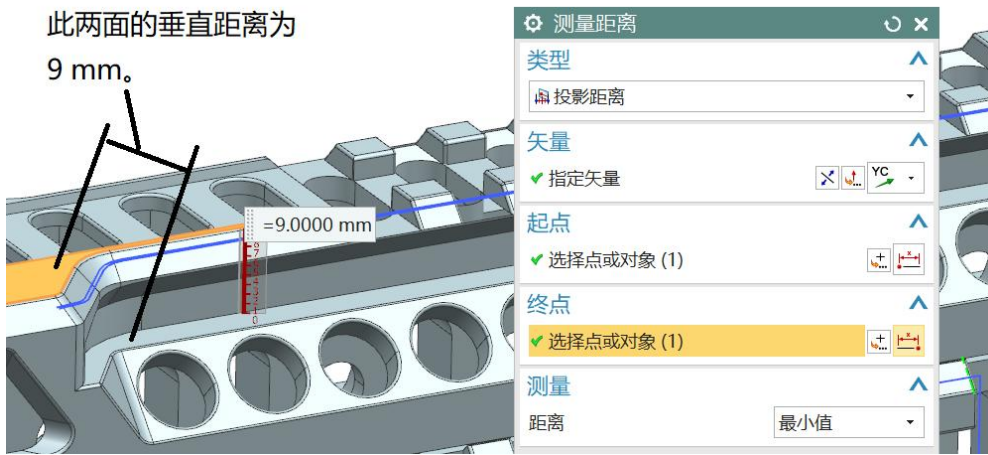


图 5-6 垂直测量

进刀参数设置如图 5-7 所示。



图 5-7 进刀参数设置

开粗刀路图如图 5-8 所示。

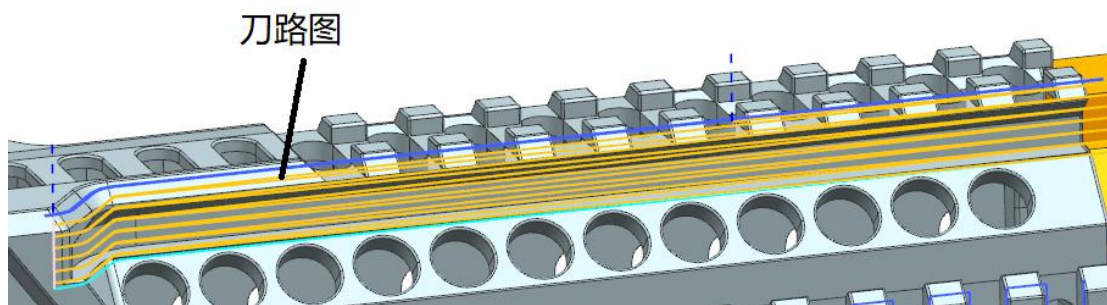


图 5-8 开粗刀路图

(3) 精加工刀路编制

“复制-黏贴”粗加工刀路，将“方法”改成精加工，让余量为 0，修改底面，余量为 0，进刀设置如图 5-9 所示。



图 5-9 精加工刀路

加工仿真结果如下图 5-10。

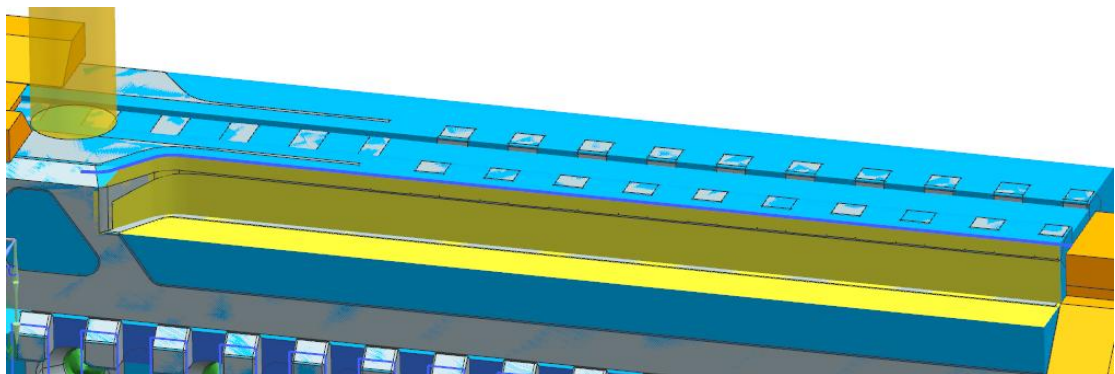


图 5-10 开粗、精加工结果

三、面铣开粗

(1)、毛坯材料厚度分析如图 5-11 所示，厚度约为 5mm。



图 5-11 面铣余量厚度分析

(2) 面铣刀路编制。

创建面铣开粗工序，进入面铣对话框，如图 5-12 所示。

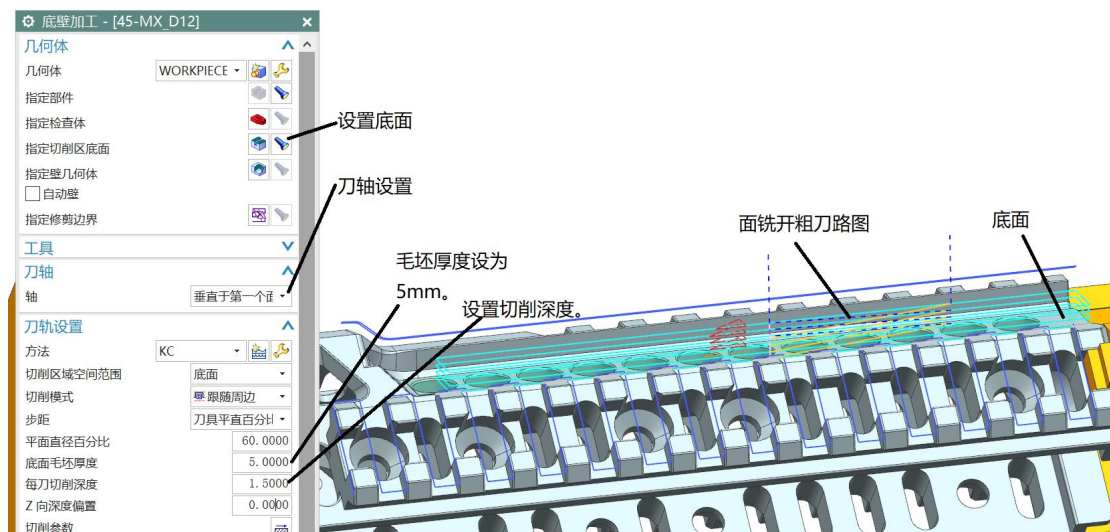


图 5-12 面铣设置

进刀参数设置如图 5-13 所示。

斜坡角设置为 3-5 度，高度大于每刀切削深度，高度起点设置为当前层，开放区域设置为“与封闭区域相同”。



图 5-13 进刀参数设置

面铣精加工刀路编制，复制面铣粗加工刀路，修改参数如图 5-14 所示。

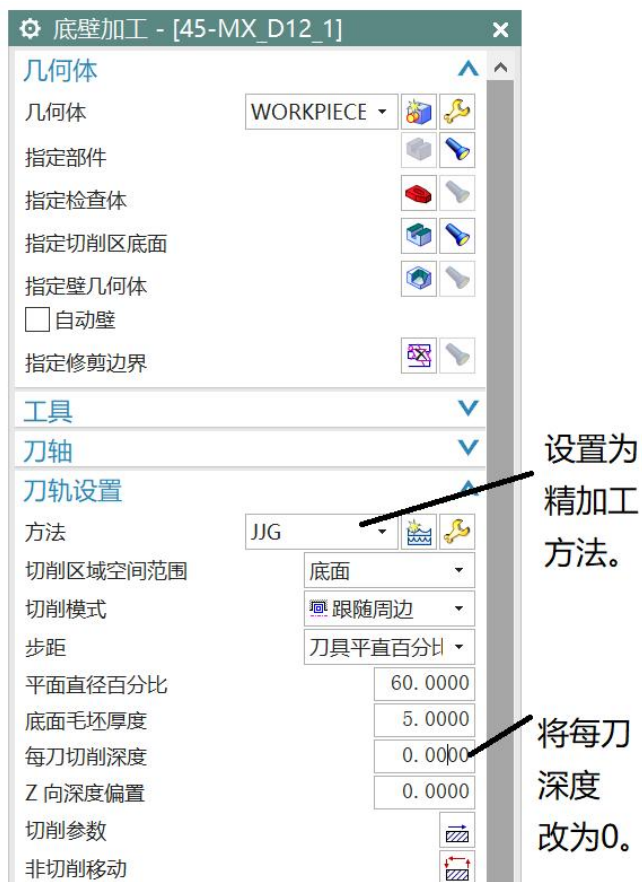


图 5-14 参数修改

参数修改后，刀路图如 5-15 所示。

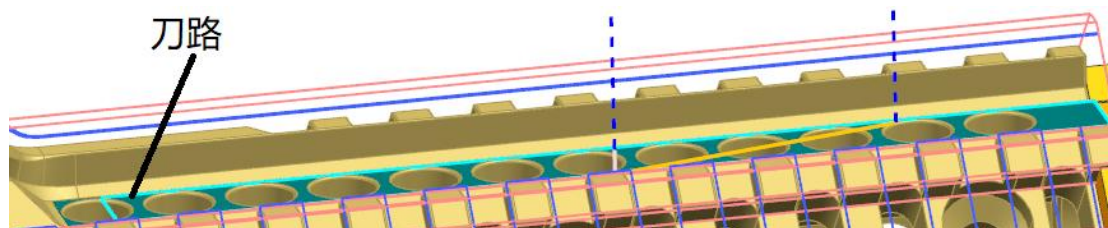


图 5-15 精加工刀路图

四、曲面开粗

采用深度轮廓加工，参数设置如图 5-16 所示。

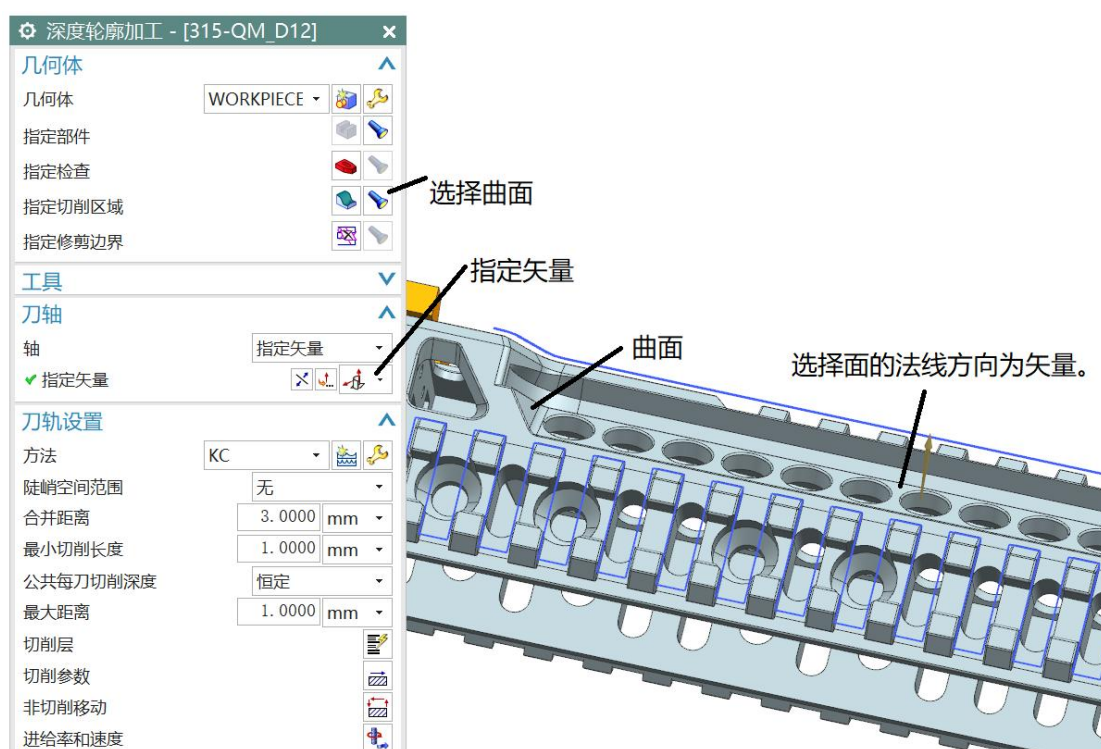


图 5-16 轮廓加工参数设置

切削参数设置如图 5-17 所示。



图 5-17 切削参数设置

非切削参数中“进刀”设置如 5-18 所示。



图 5-18 进刀设置

五、45 度斜面粗、精加工编程

(1) 辅助线绘制，如图 5-19 所示。

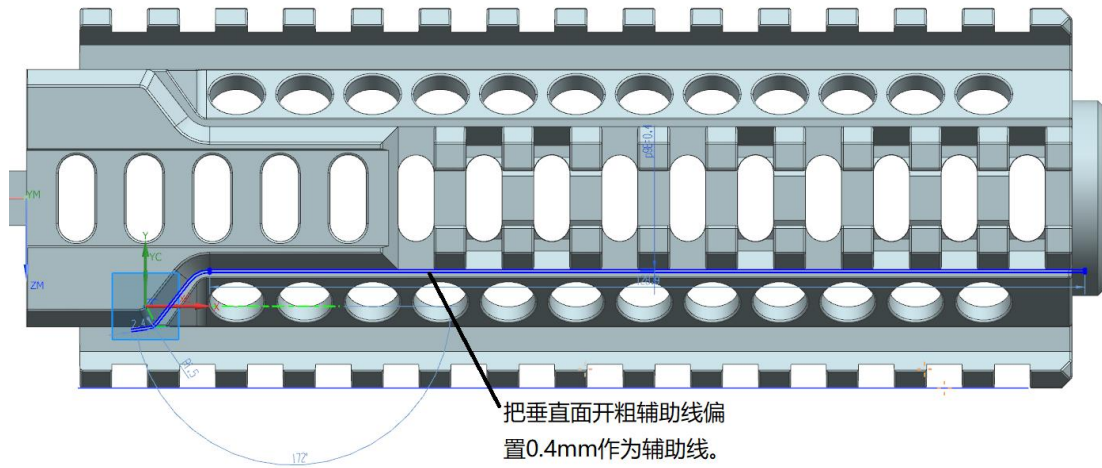


图 5-19 斜面辅助线绘制

(2) 粗加工刀路编制

测量斜面垂直深度，如图 5-20 所示。



图 5-20 垂直测量

复制垂直面开粗刀路，修改部件边界，参数设置如图 5-21 所示设置，然后选择辅助线并确定。

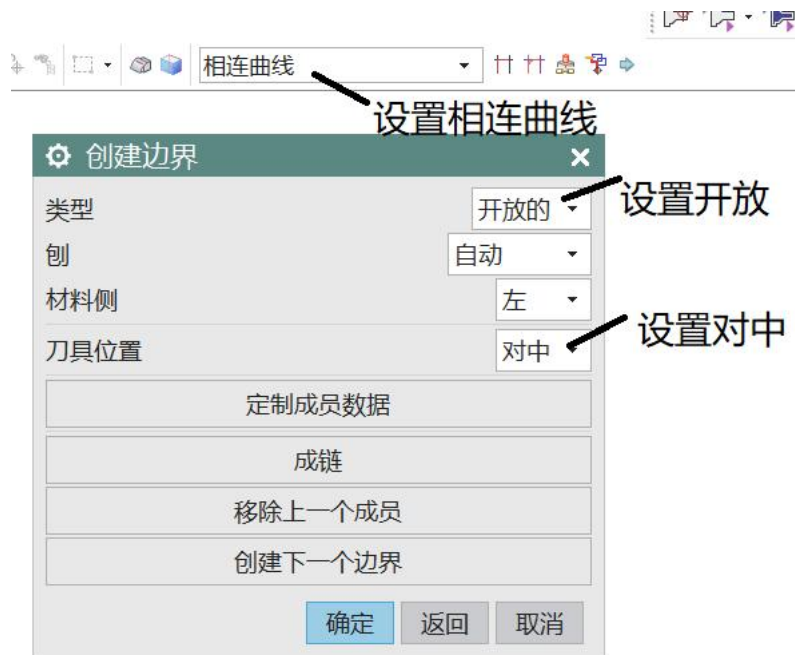


图 5-21 边界设置

底面设置，通过如图 5-20 所示垂直深度测量，垂直深度为 2.4mm，辅助线偏置了 0.4mm，底面从顶面偏置深度为：粗加工为留余量深度为 $2.4+0.2$ (mm)，精加工深度为 $2.4+0.4$ (mm)。非切削移动参数中“进刀”——“封闭区域”粗加工设置如图 5-22 所示。



图 5-22 粗加工设置

(3) 精加工刀路绘制

复制粗加工刀路，部件边界不变，底面设置：从顶面偏置深度 2.8mm。非切削移动参数中“进刀”——“封闭区域”粗加工设置如图 5-23 所示。



图 5-23 精加工设置

精加工刀路如图 5-24 所示。

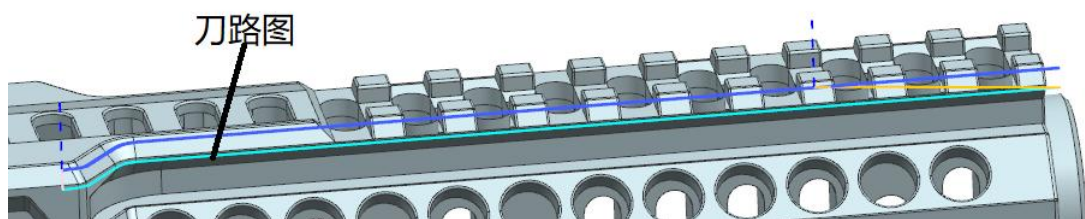


图 5-24 精加工刀路

思政课程

讲解四轴加工应用场景、国产四轴机床编程系统、多轴加工技术迭代内容时融入思政。结合我国机床产业发展历程，从早期依赖

进口设备、核心编程技术被卡脖子，到如今国产四轴数控系统全面普及、自主编程工艺持续突破，实现从“跟跑”到“并跑”的跨越。

任务六、上鱼骨局部 T 型刀和燕尾刀加工编程

一、教学目标：

- 1、掌握 T 型刀、燕尾刀的设置方法。
- 2、零件用 T 型刀加工编程方法。

二、教学重点

讲述 T 型刀加工编程方法。

三、教学难点

合理绘制辅助线以及参数设置。

四、素质(思政)内容

曾经高端四轴加工、精密多轴编程技术长期被国外垄断，东芝事件更是让我们深知核心技术受制于人就会被动挨打。如今国产中望、华中、广数等数控系统不断迭代，国产四轴设备广泛应用于军工、航天、民生制造领域。大家所学的四轴编程技术，不是简单的谋生技能，而是助力制造强国、实现科技自立自强的硬核本领，每一次技术精进，都是为国产智造赋能。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

2 学时。

教学过程如下：

一、上鱼骨局部结构分析及加工方案选择。

分析如图 6-1 所示。

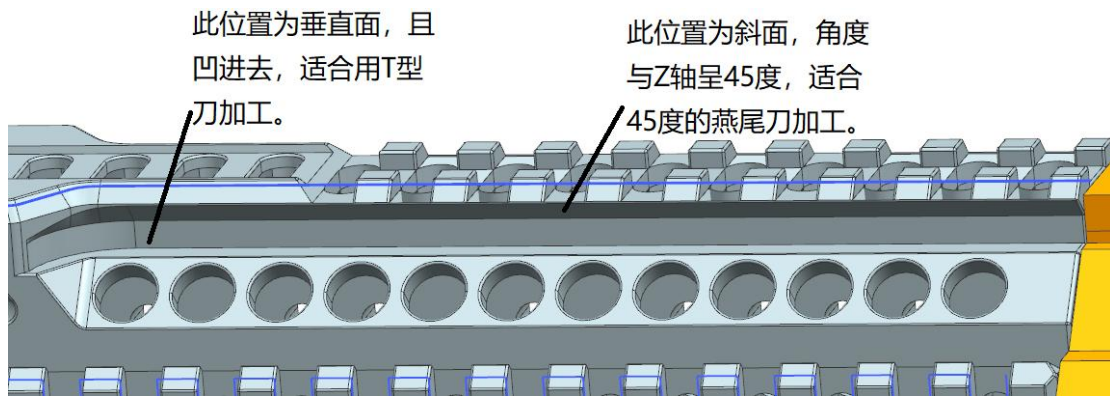


图 6-1 结构分析

二、刀具选择。

首先对零件进行尺寸测量。如图 6-2 所示，

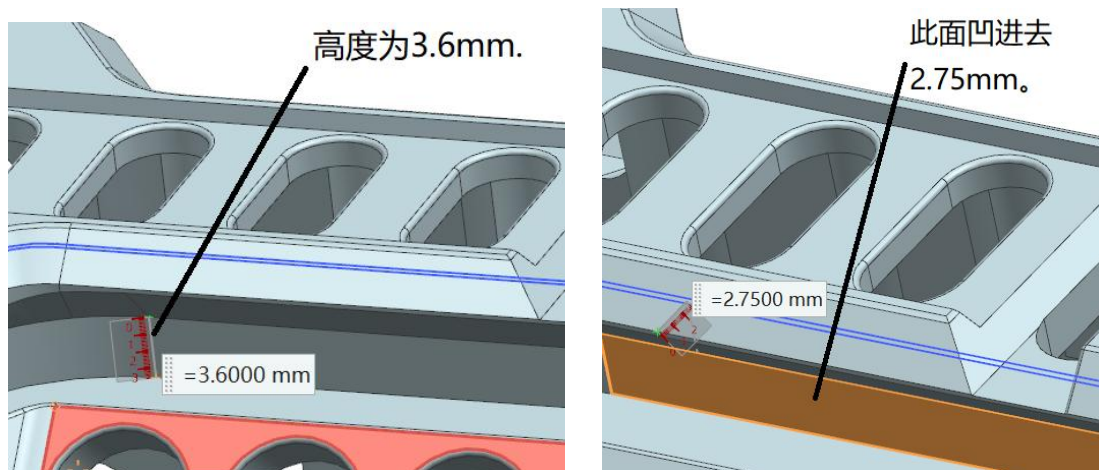


图 6-2 测量尺寸

从以上测量型槽高度为 3.6mm，可以选 2-3mm 厚度的 T 型刀，槽凹进去 2.75mm，需至少选单边宽度为 3mm 的 T 型刀头，通过计算要选直径为 12 以上的 T 型刀和燕尾刀。

三、T 型刀粗加工刀路编程。

复制以上斜面粗加工刀路，进行参数修改。部件边界重新选择，参数设置如图 6-3 所示，



图 6-3 参数设置

设置好之后，再选边界，如图 6-5 所示创建的边界。边界选完之后，将图 6-3 中的“自动”设置为“用户定义”，进入用户定义对话框，如图 6-4 所示设置。



图 6-4 用户定义

选择完确定后，再选底面。粗加工底面往上偏置 0.2mm。

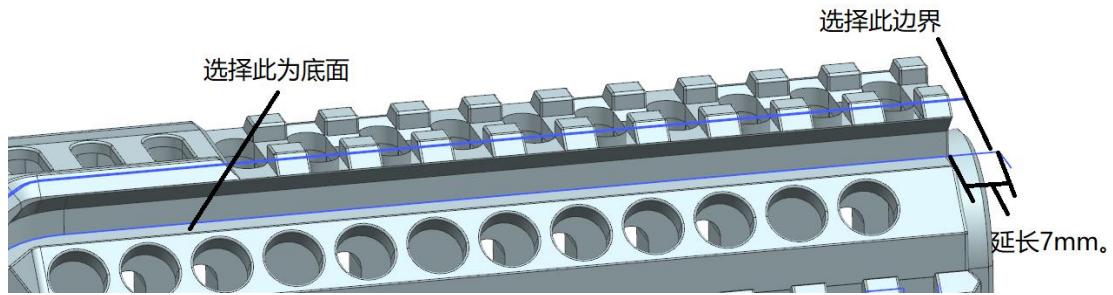


图 6-5 边的选择

底面设置好后，再设置切削层，进入切削层对话框，如图 6-6 所示。



图 6-6 用户定义

将“非切削移动” — “转移/快速” — “区域内” — “转移类型”参数设置为“直接”。刀路如图 6-7 所示。

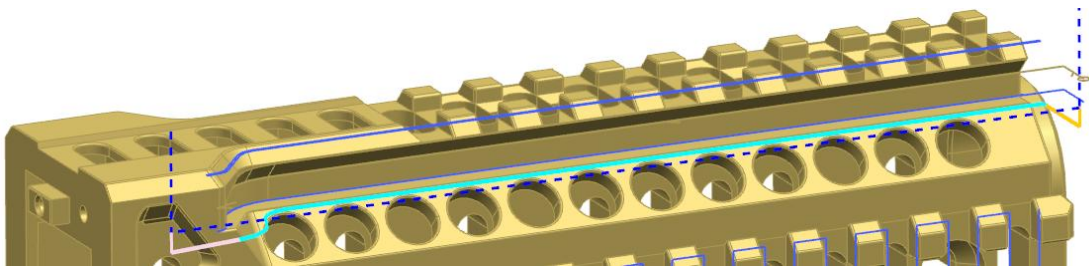


图 6-7 T 型刀开粗刀路

四、T 型刀精加工刀路编程。

复制 T 型刀粗加工刀路，参数修改如图 6-8 所示。



图 6-8 参数修改

切削层参数修改，如图 6-9 所示。



图 6-9 切削层修改

五、燕尾刀编程

(1) 辅助线绘制，如图 6-10 所示。

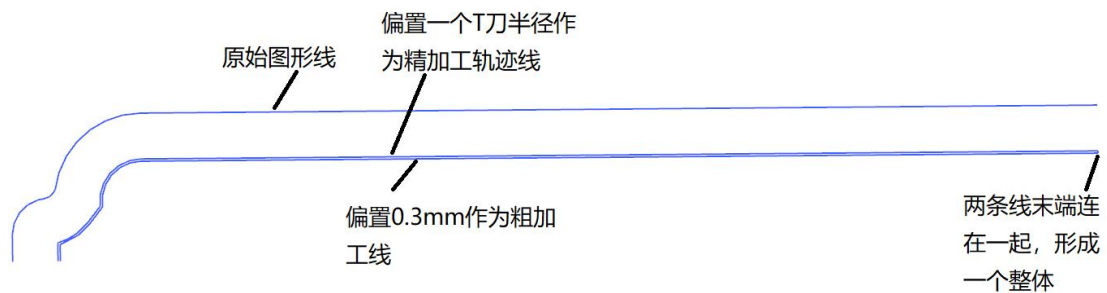


图 6-10 辅助线

(2) 燕尾刀具创建

根据零件要求，要创建一把直径至少为 12mm，角度为 45 度的 T 型燕尾刀。创建方式如图 6-11 所示。选择好刀具类型，输入名称之后，点击确定之后，进入刀具创建对话框，如图 6-12 所示。



图 6-11 燕尾刀具创建

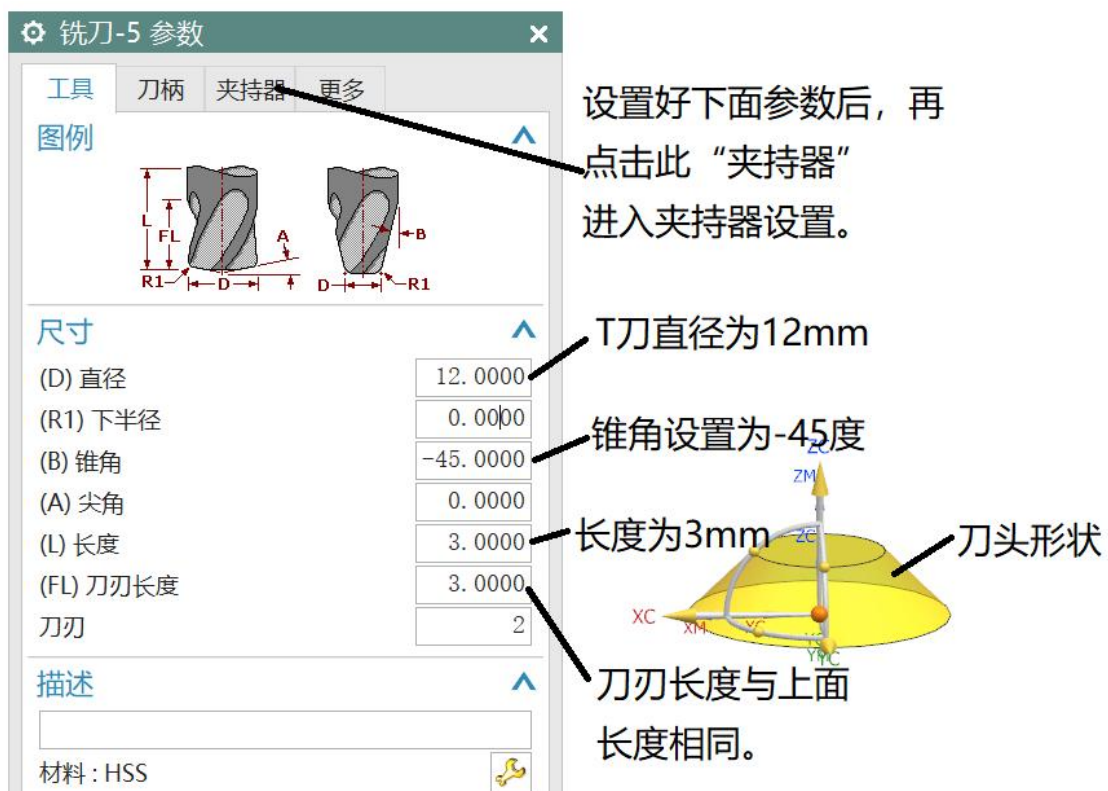


图 6-12 刀具参数设置

点击夹持器, 进入夹持器对话框, 如图 6-13 所示。确定后, 完成燕

尾刀设置。

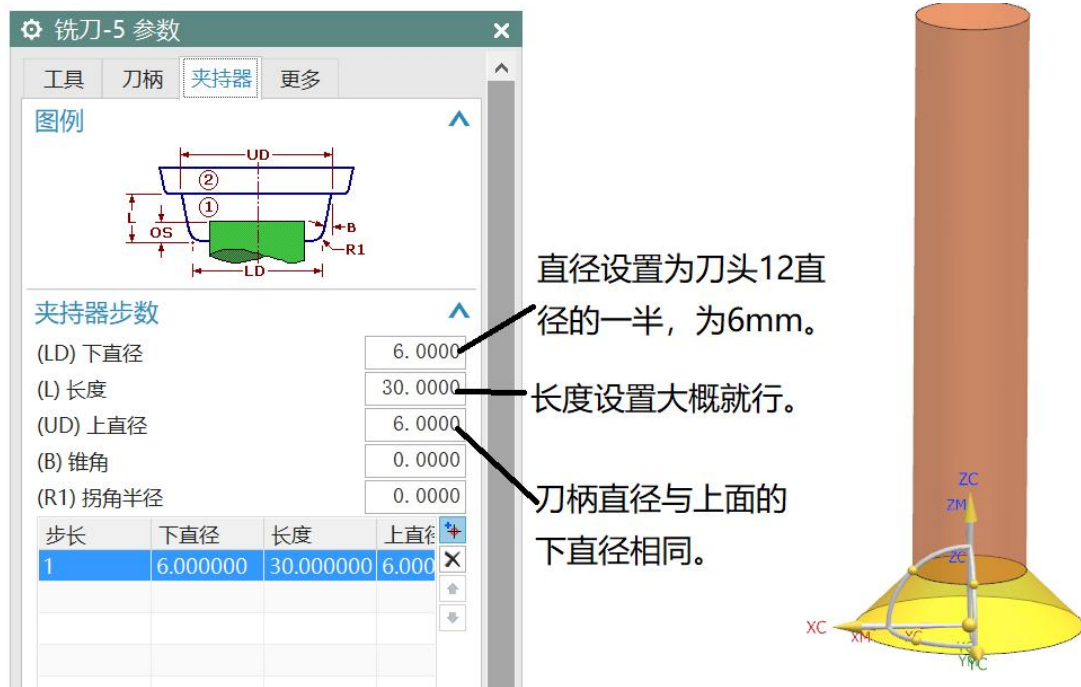


图 6-13 夹持器设置

(3) 刀路编制

复制 T 型刀精加工刀路，更换燕尾刀，设置部件边界，如图 6-14 所示，参数设置好后，选择图 6-10 所示的辅助线。然后把图 6-14



图 6-14 部件边界设置

中的“自动”改为“用户定义”，进入用户定义对话框，如图 6-15

所示。

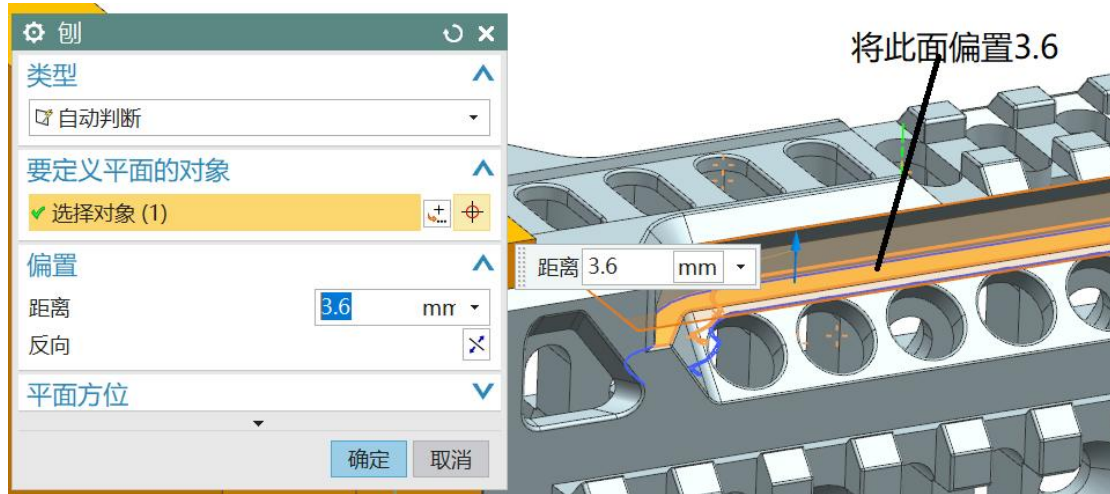


图 6-15 用户定义设置

底面设置，底面选择也跟图 6-15 所示，将此面偏置 3.6mm。刀路图如图 6-16 所示。

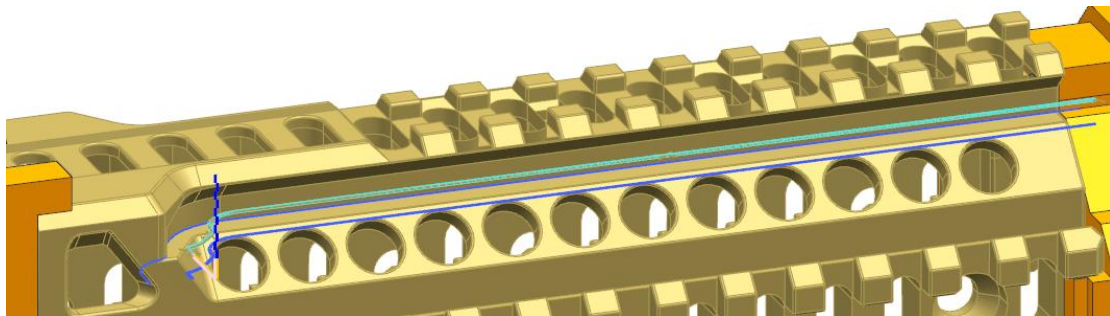


图 6-16 刀路图

思政课程：

曾经高端四轴加工、精密多轴编程技术长期被国外垄断，东芝事件更是让我们深知核心技术受制于人就会被动挨打。如今国产中望、华中、广数等数控系统不断迭代，国产四轴设备广泛应用于军工、航天、民生制造领域。大家所学的四轴编程技术，不是简单的谋生技能，而是助力制造强国、实现科技自立自强的硬核本领，每一次技术精进，都是为国产智造赋能。

任务七、机甲曲面加工

一、教学目标：

- 1、掌握四轴联动编程加工方法。
- 2、掌握四轴联动编程参数设置。

二、教学重点

讲述四轴联动编程加工方法。

三、教学难点

编程参数设置。

四、素质(思政)内容

引导学生摒弃“崇洋媚外”心态，正视国产机床优势与不足，树立苦练技能、钻研工艺、攻克技术难点的信念，立志用专业技术助力国产高端制造突破壁垒。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

2 学时。

教学过程如下：

一、机甲曲面结构分析

如图 7-1 所示，完成曲面加工编程。从图形结构来看，要用平底刀进行旋转加工。

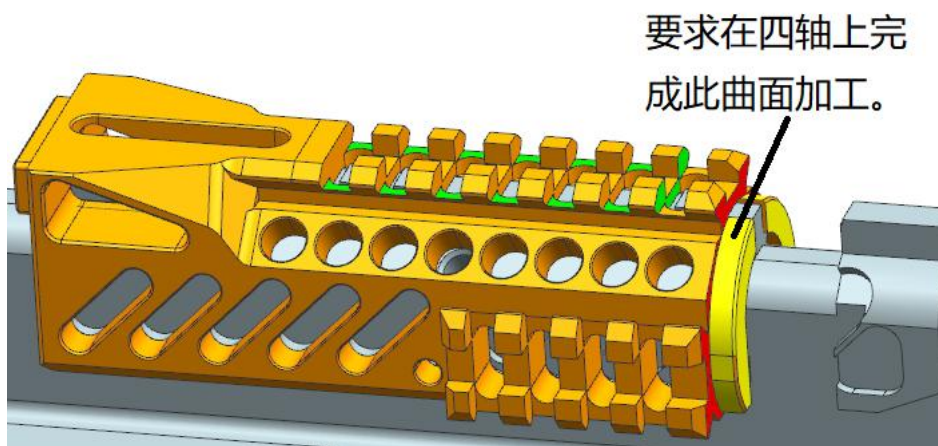


图 7-1 零件图

二、程序编制

(1) 刀具选择

通过图形分析，如图 7-2 所示，可以采用直径 10-12mm 的平底刀进行开粗和精加工。



两端面的垂直距离
4.6mm。

图 7-2 距离测量

(2) 辅助面创建

首先在草图环境下创建辅助线，如图 7-3 所示。

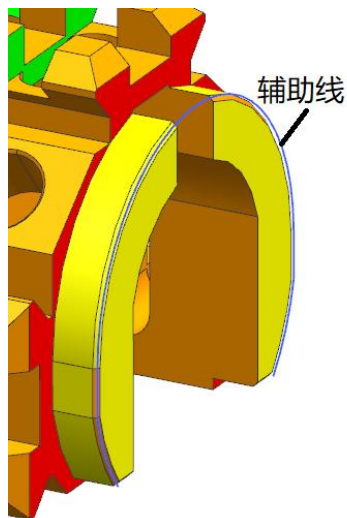


图 7-3 辅助线

拉伸辅助线，如图 7-4 所示辅助面，面宽 5.2mm，比 D10 刀具半径宽了 0.2mm,作为粗加工余量。

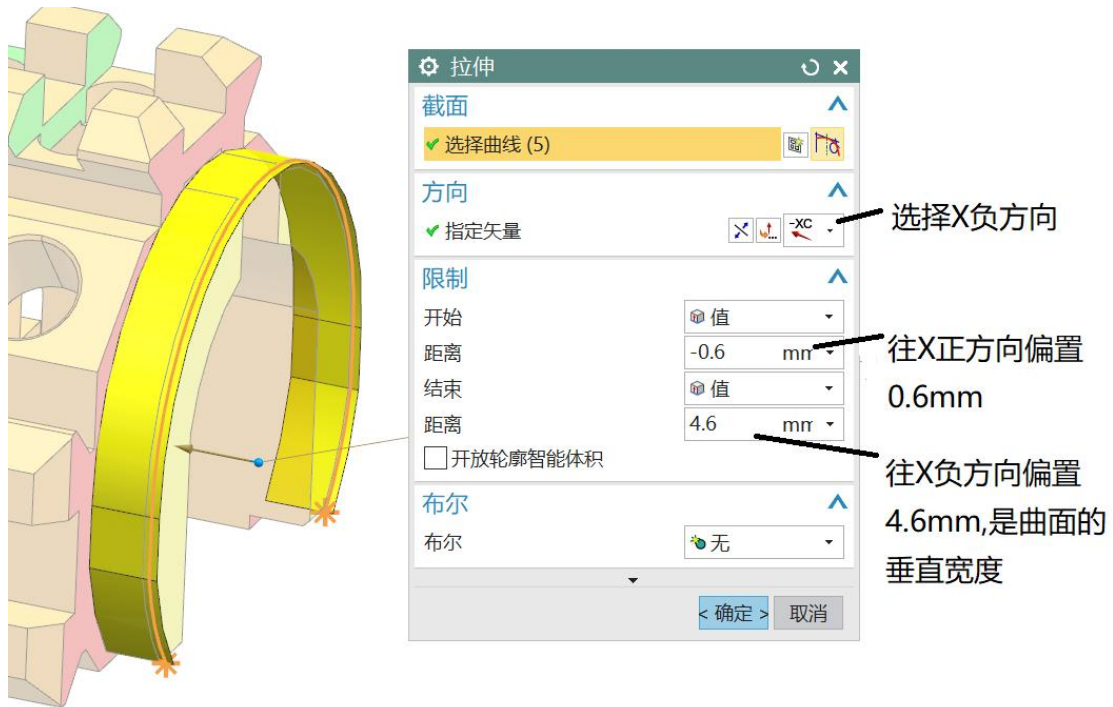


图 7-4 辅助面创建

(3) 粗加工刀路编制

①、创建工序，如图 7-5 所示。设置好参数后，点击确定进入图

7-6

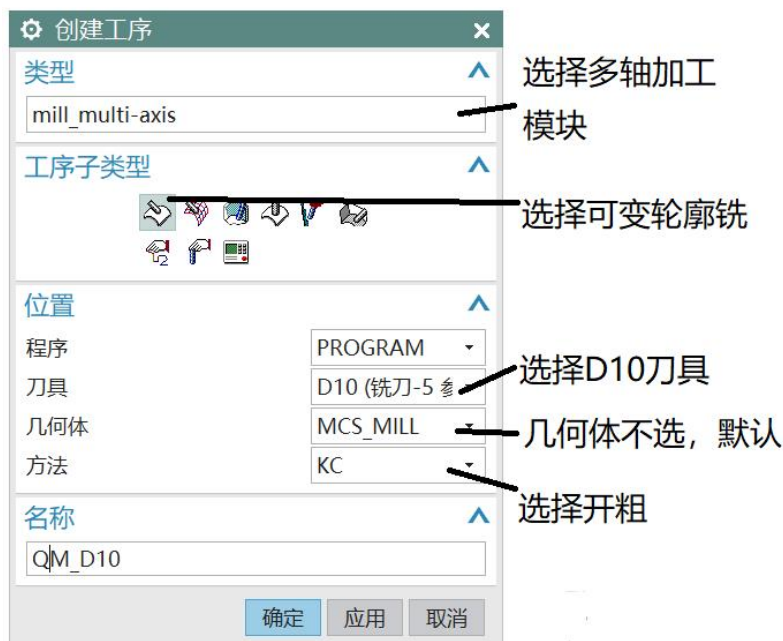


图 7-5 创建工序

可变轮廓铣对话框，方法选择“曲面”进入曲面

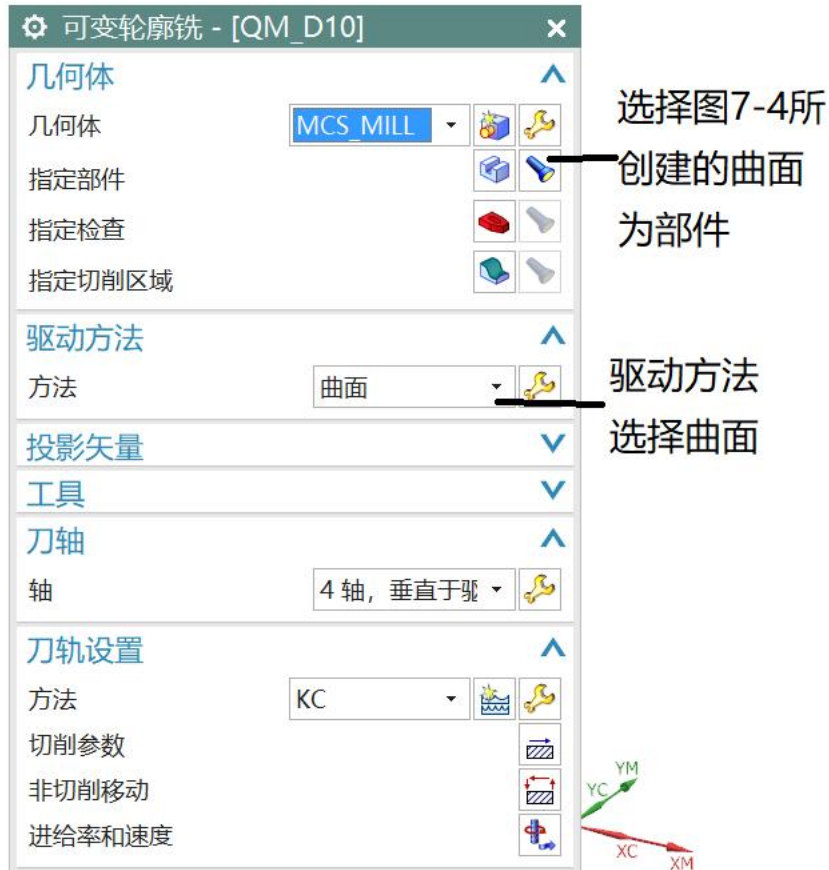


图 7-6 可变轮廓铣设置

曲面驱动方法参数设置如图 7-7 所示。

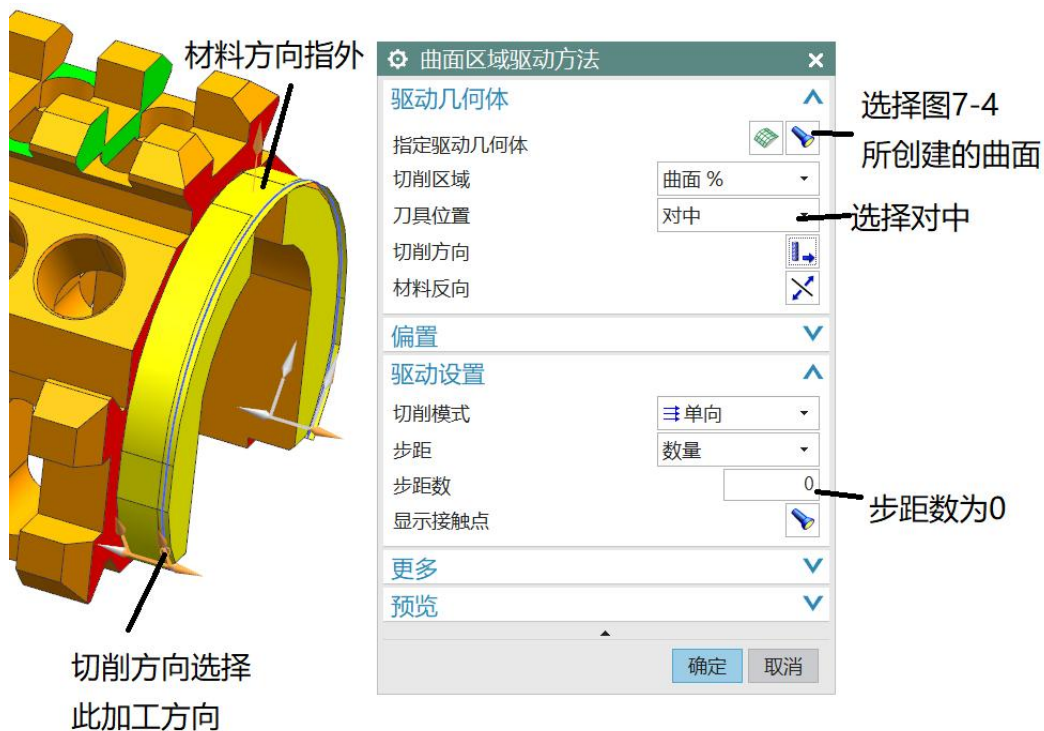


图 7-7 驱动方法设置

②、刀轴设置，如图 7-8 所示，选择 4 轴，垂直于驱动体，进入图 7-9 所示对话框。

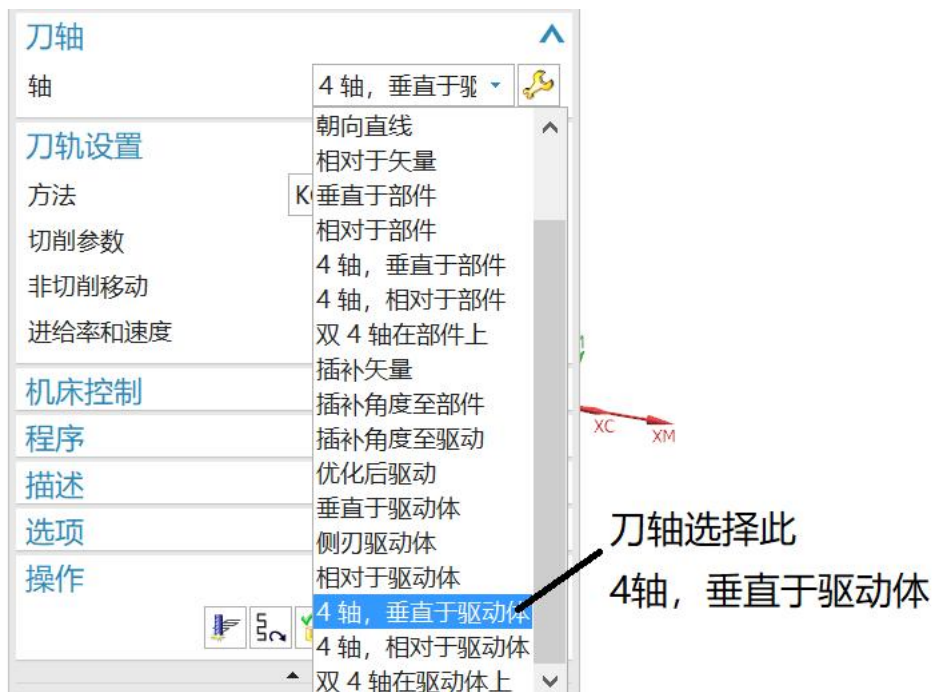


图 7-8 刀轴选择

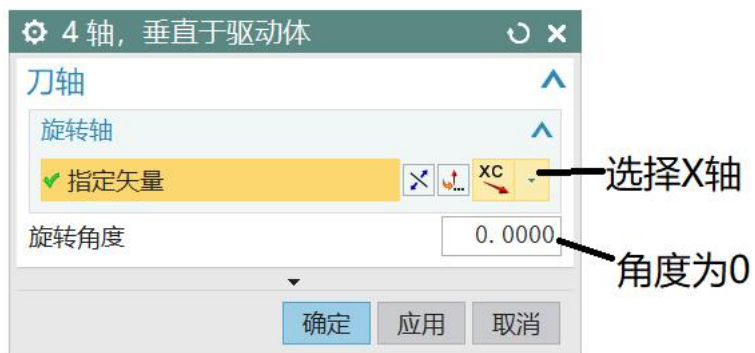


图 7-9 轴设置

③、切削参数设置，如图 7-10 所示，设置好毛坯余量和切削深度。

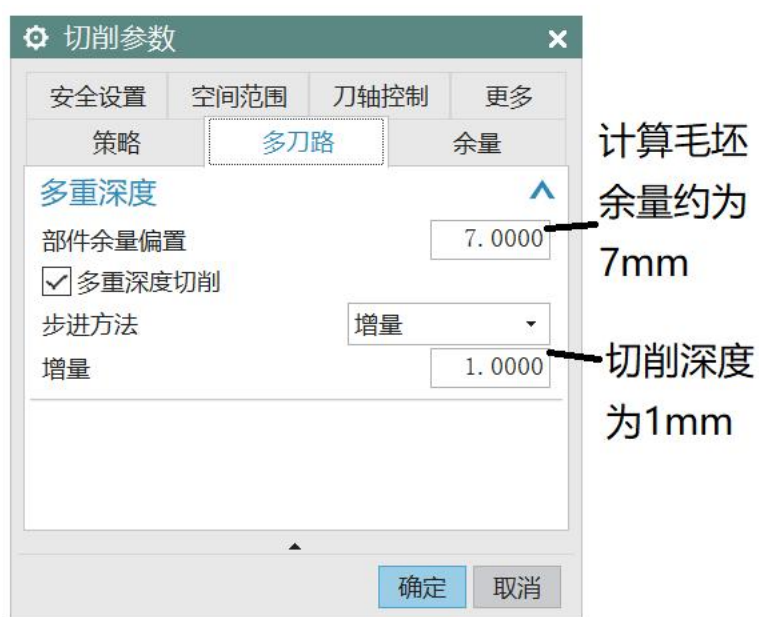


图 7-10 多刀路设置

④、非切削参数设置如下，如图 7-11 所示。

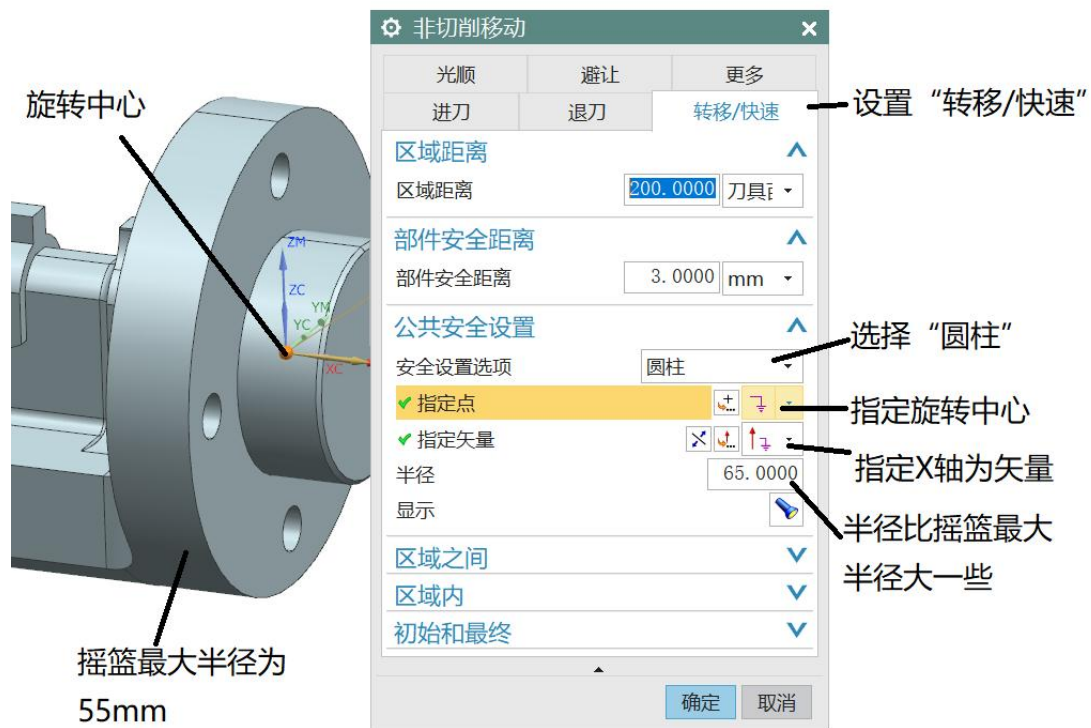


图 7-11 非切削参数设置

设置完成，点击“确定”后，生成刀路，如图 7-12 所示。

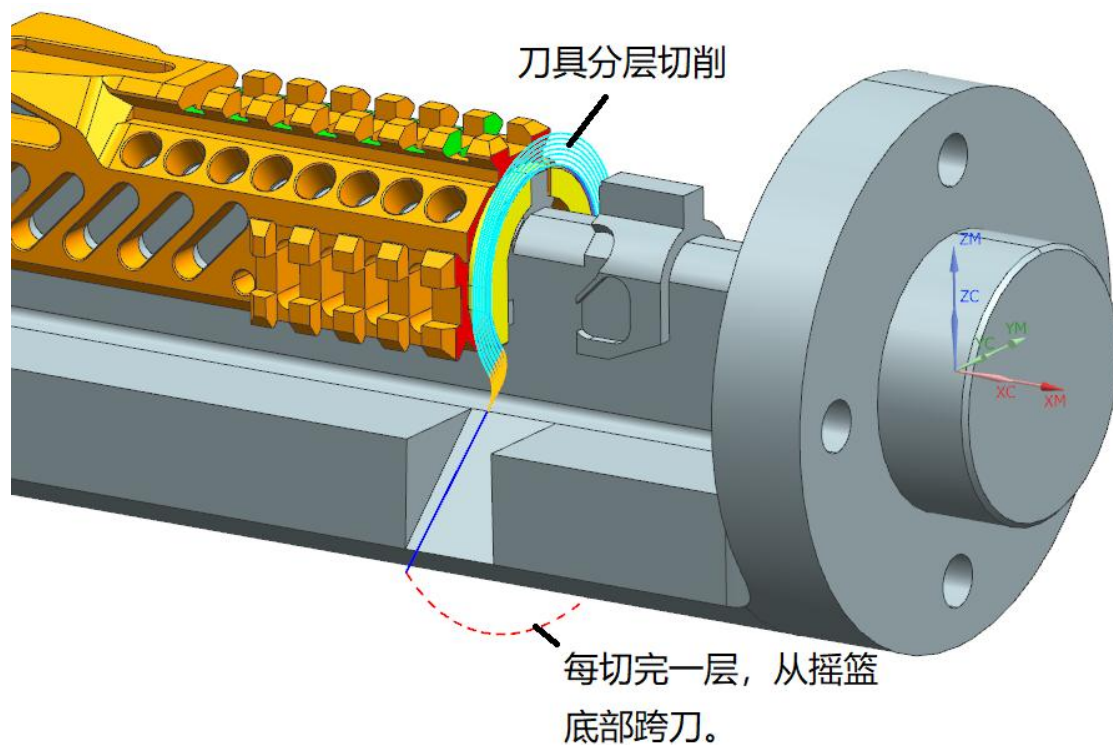


图 7-12 分层切削刀路

(4)、精加工刀路编制

复制粗加工刀路，修改参数如图 7-13 所示。



图 7-13 精加工参数修改

①、修改切削方向，顺铣完成曲面精加工。如图 7-14 所示。

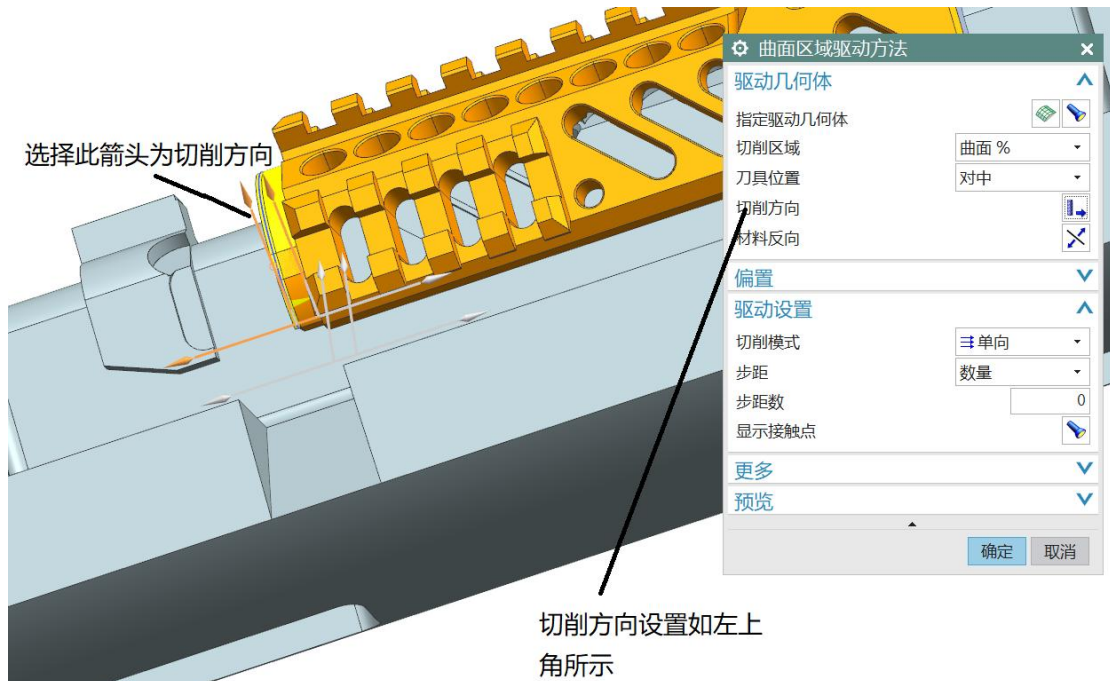


图 7-14 切削方向修改

②、切削参数修改，如图 7-15 所示设置，点击确定，



图 7-15 多刀路设置

回到可变轮廓铣对话框，生成顺铣精加工刀路。如图 7-16 所示，然后将刀路进行变换，往左移动 0.2mm，使壁精加工。

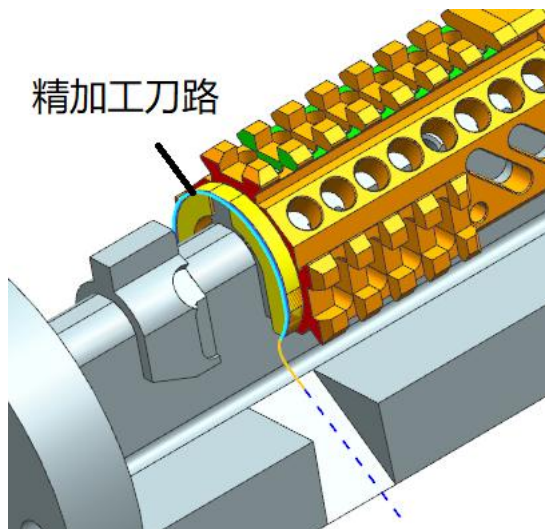


图 7-16 精加工刀路

思政内容：

引导学生摒弃“崇洋媚外”心态，正视国产机床优势与不足，树立苦练技能、钻研工艺、攻克技术难点的信念，立志用专业技术助力国产高端制造突破壁垒。

任务八、短鱼骨虎钳夹具设计

一、教学目标：

- 1、掌握虎钳夹具设计方法。
- 2、掌握虎钳夹具参数设计。

二、教学重点

虎钳夹具设计方法。

三、教学难点

合理选择定位的位置。

四、素质(思政)内容

夹具虽小，却系千钧之重。高速切削、多轴联动中，任何设计或夹紧的疏漏，都可能引发工件飞出、设备损毁甚至人员伤亡。守住夹具这道“第一防线”，就是守住生命与责任。唯有时刻绷紧安全弦，以零缺陷的标准严苛把关，方能在方寸之间铸就大国制造的稳固基石。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

4 学时。

教学过程如下：

一、任务分析

完成如图 8-1 所示的短鱼骨虎钳夹具设计，用来加工两端面。

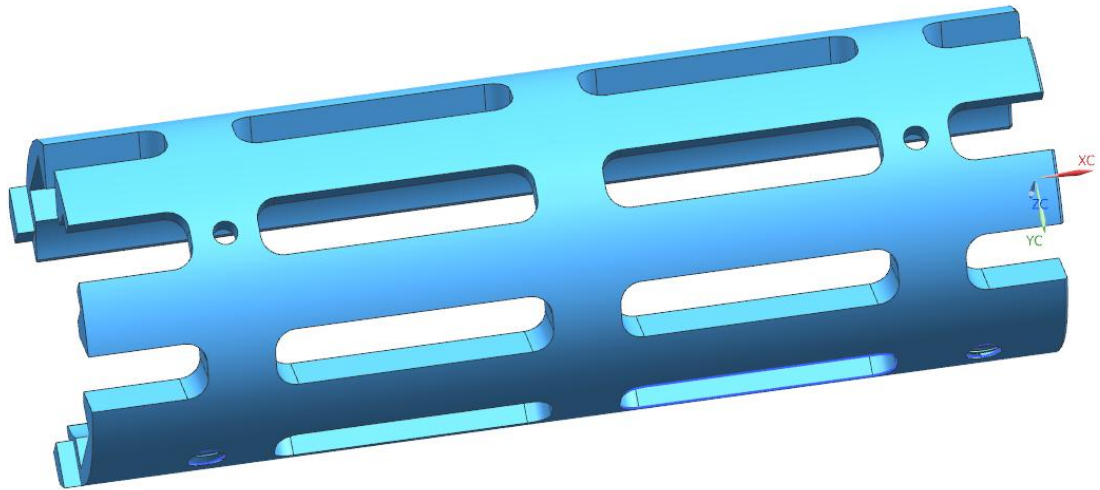


图 8-1 短鱼骨

二、包容块的创建， 目的找到零件最大外形尺寸。

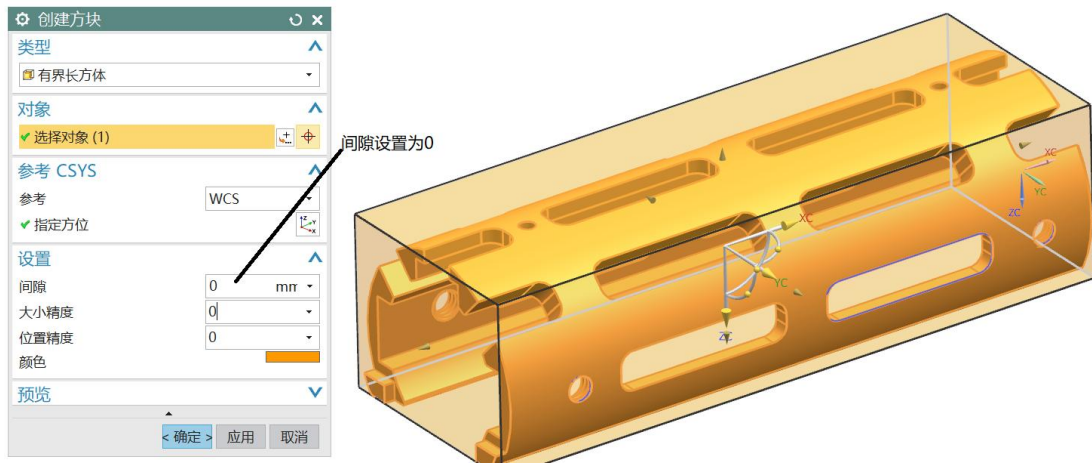


图 8-2 包容块的创建

三、定位板的设计

在草图模式下，选择包容块端面，创建草图如图 8-3 所示，

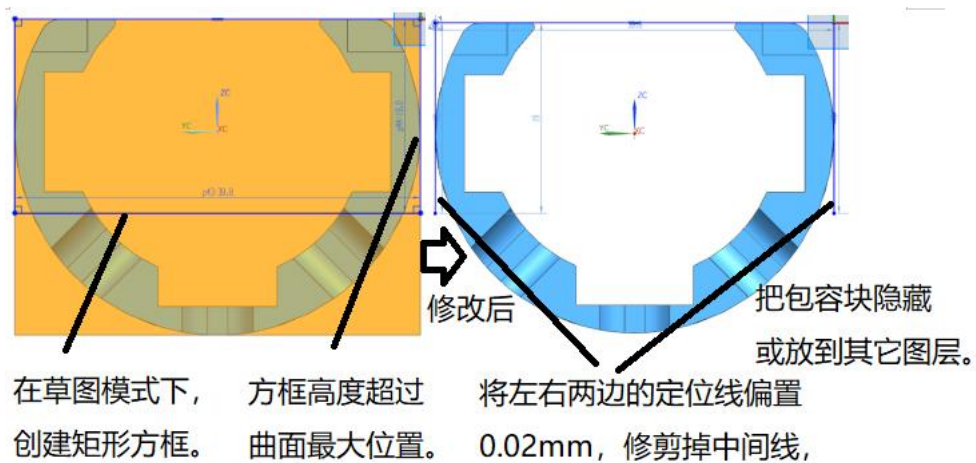


图 8-3 草图创建 1

图 8-3 中偏置 0.02mm，使虎钳夹具宽度大于工件最大尺寸，与工件进行间隙配合，以便于装夹时可以放进去。草图继续创建如图 8-4 所示。

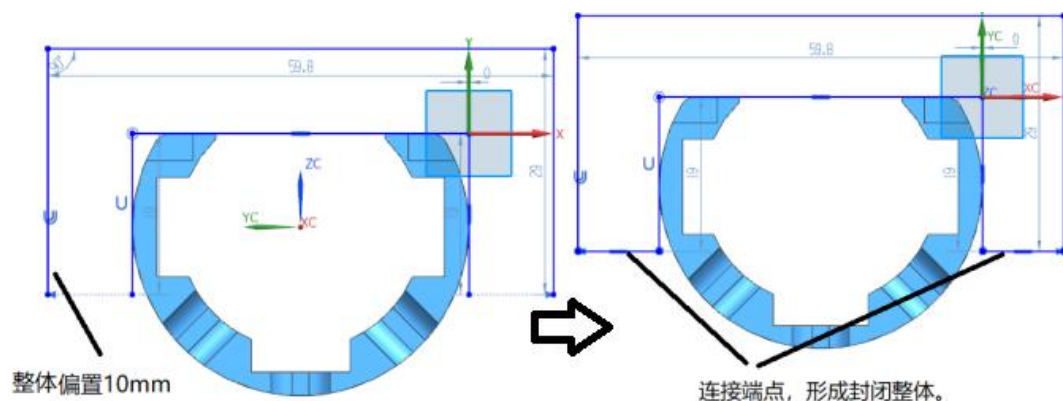


图 8-4 草图创建 2

绘制好草图后，进行拉伸 100mm，如图 8-5 所示。

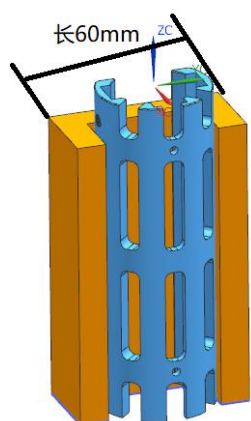


图 8-5 拉伸效果图

夹具长度为 60mm，比较短，作为虎钳夹具，需要替换虎钳垫块，要求至少长 130mm，因此虎钳夹具可以夹两个。将图 8-5 夹具复制 1 个，采用移动对象，如图 8-6 所示。



图 8-6 移动对象设置

移动效果如图 8-7 所示。

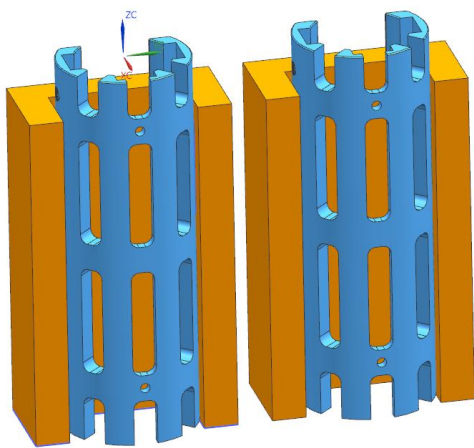


图 8-7 复制夹具和图

用“偏置面”命令将夹具一面加宽，命令如图 8-8 所示。

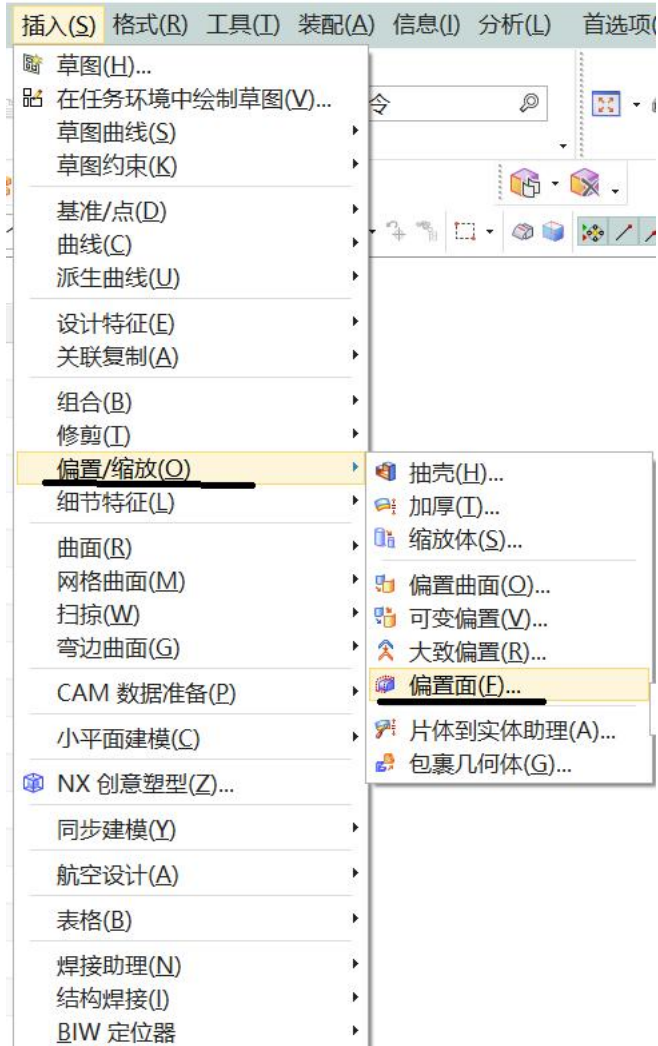


图 8-8 偏置面

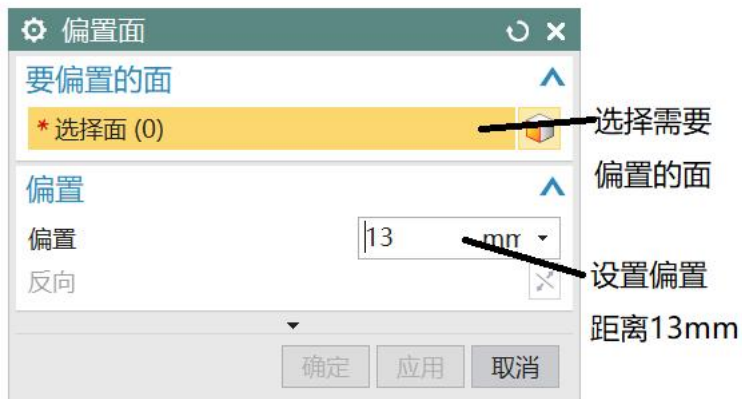


图 8-9 偏置面设置

偏置效果如图 8-10 所示。

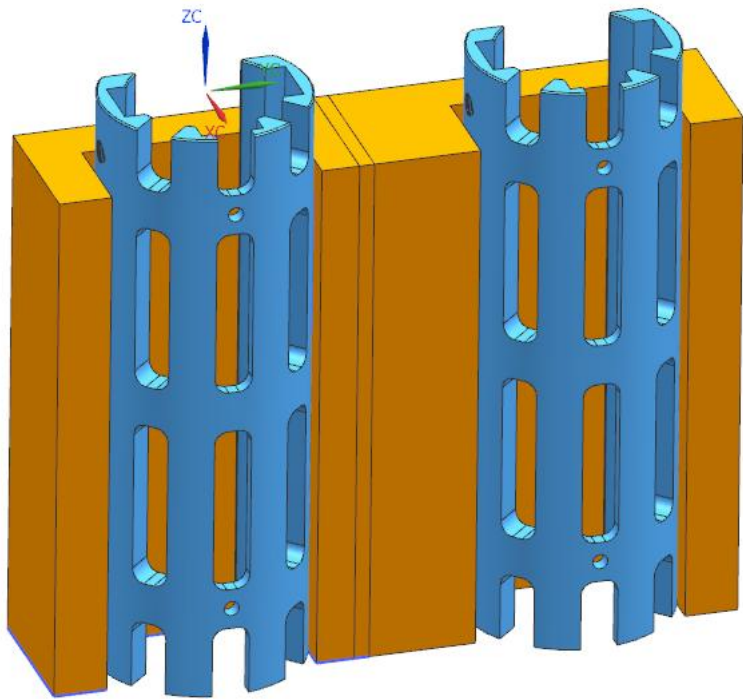


图 8-10 偏置效果

将其合并，再加厚 10mm，如图 8-11 所示。

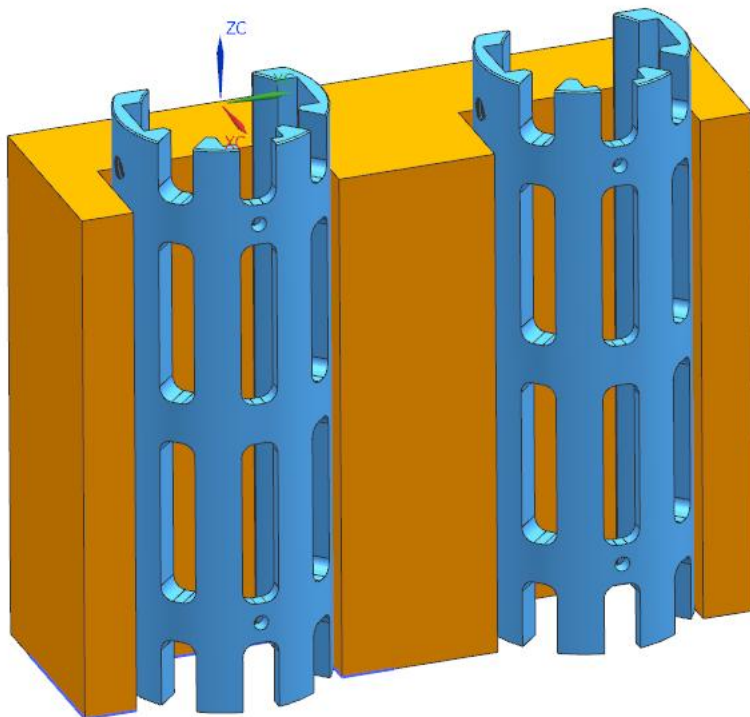


图 8-11 加厚效果

四、压板的设计

草图绘制如图 8-12 所示。

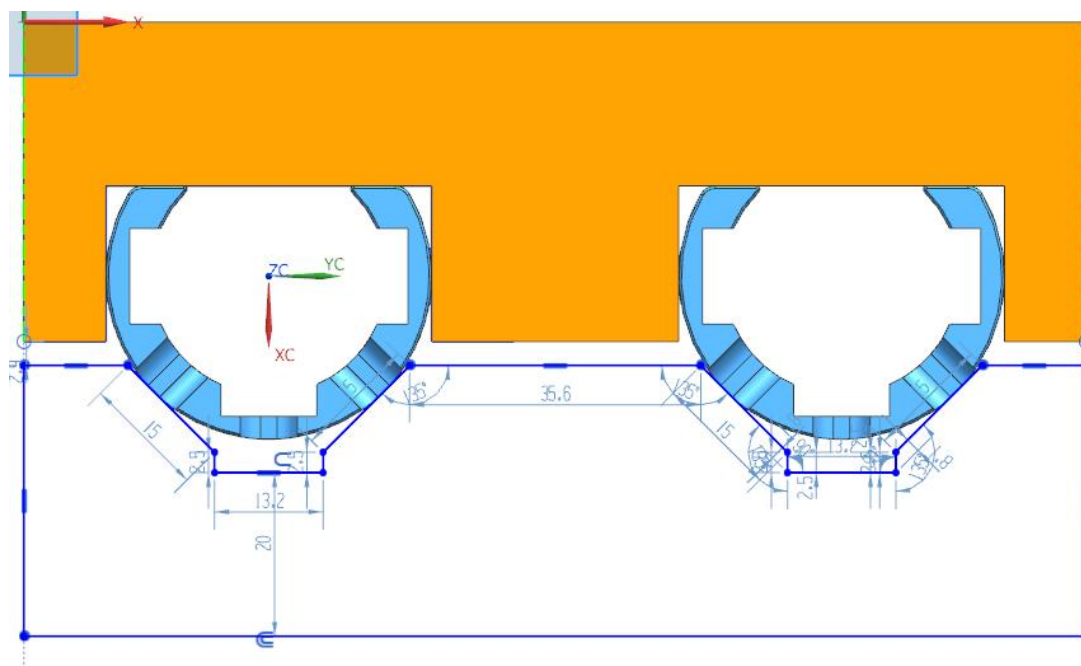


图 8-12 压板草图绘制

草图绘制后拉伸 100mm，如图 8-13 所示。

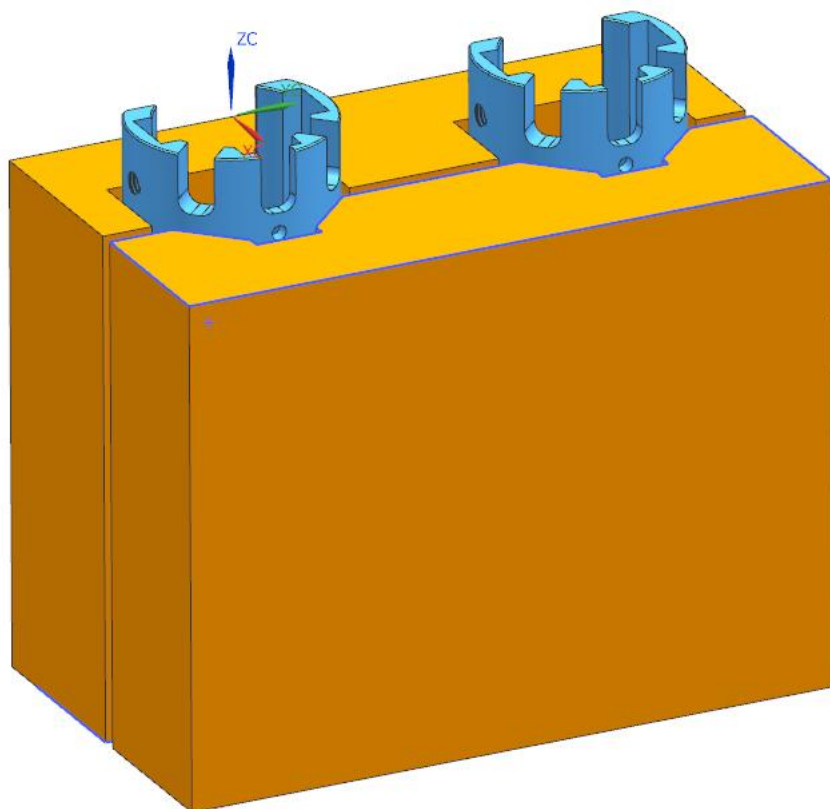


图 8-13 拉伸效果图

五、螺钉孔绘制

在定位板上绘制草图，草图绘制如图 8-14 所示。

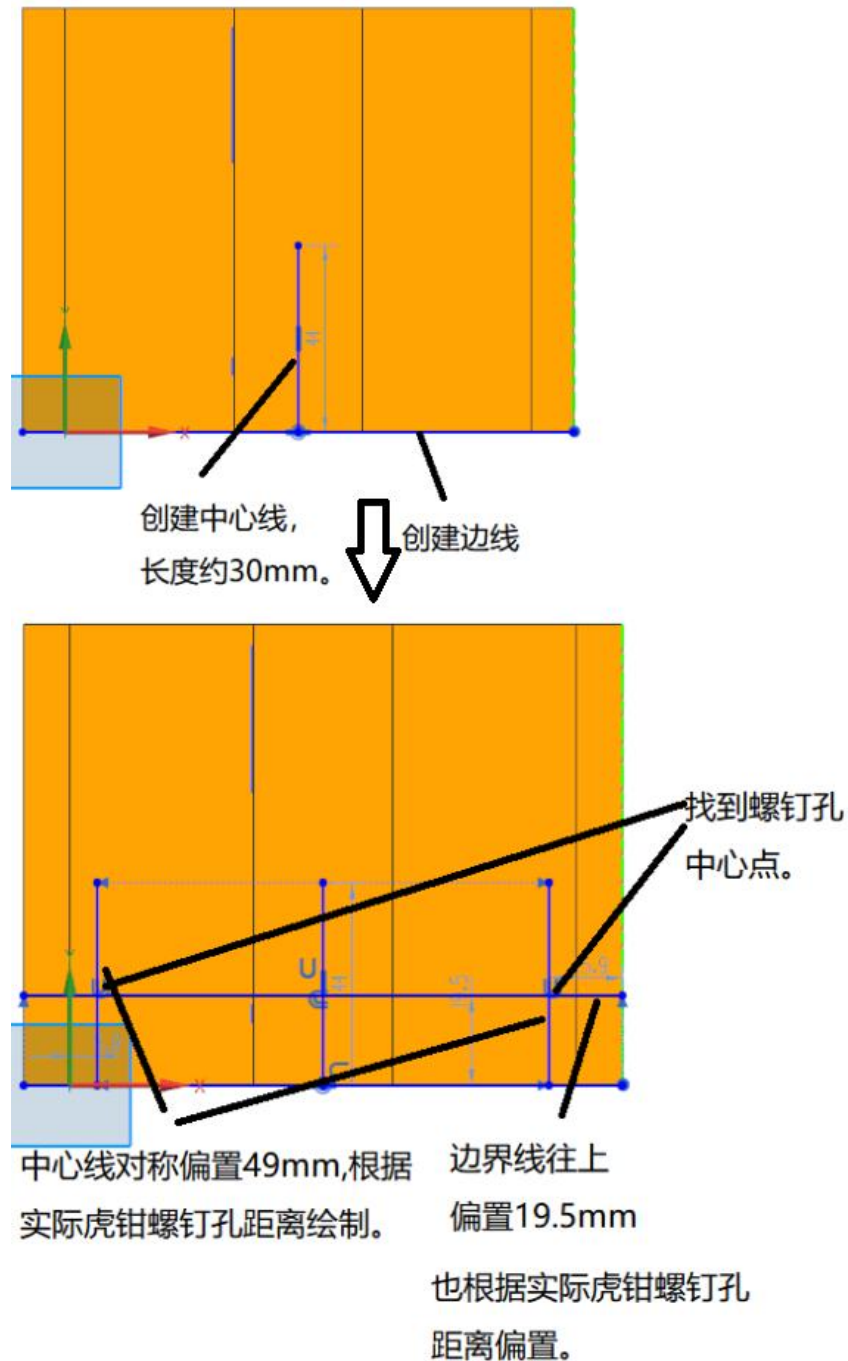


图 8-14 找螺钉孔中心点

绘制圆如图 8-15 所示。

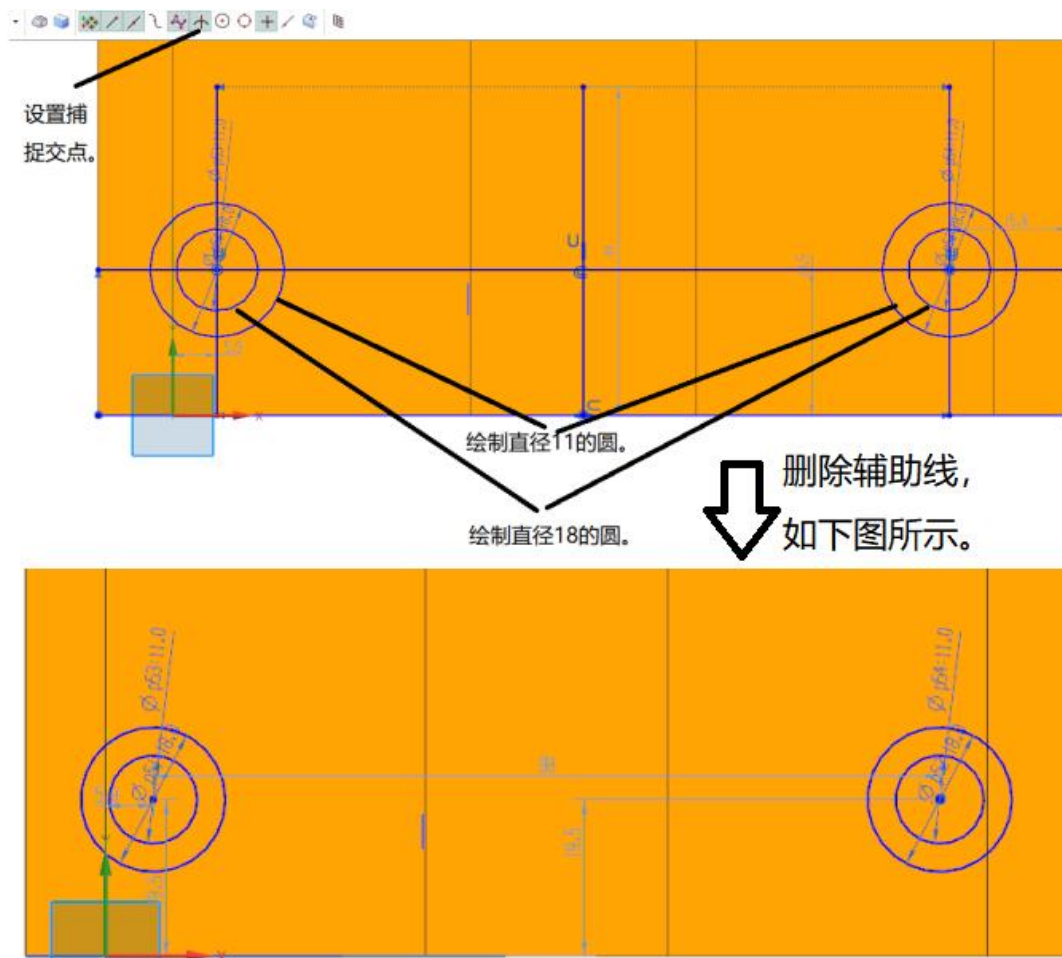


图 8-15 绘制圆

绘制孔如图 8-16 所示。

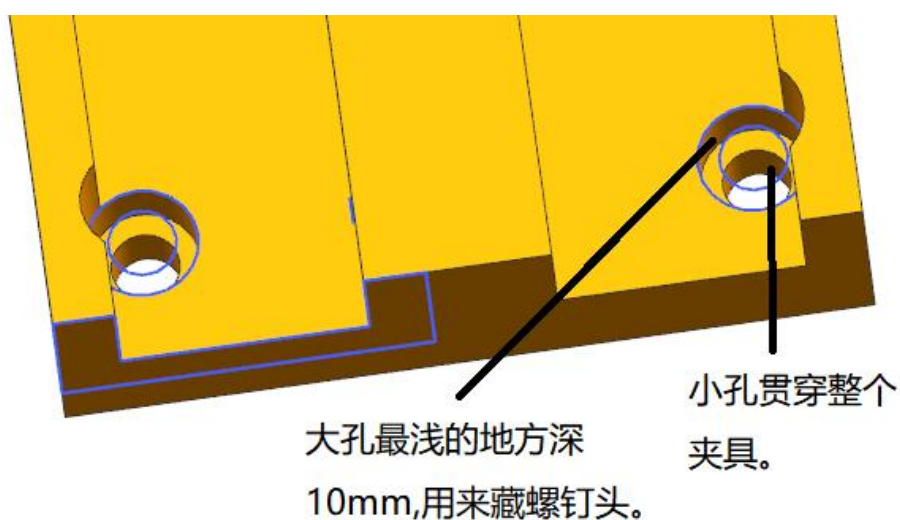


图 8-16 绘制孔

压板螺钉孔绘制，用图 8-15 所示的草图在压板上切割螺钉孔，首先测量草图离压板的距离，再加上 10mm，就是大孔的拉伸距离。小孔

贯穿压板，拉伸距离可以多设置一些， 确保贯穿。过程如图 8-17 所示。

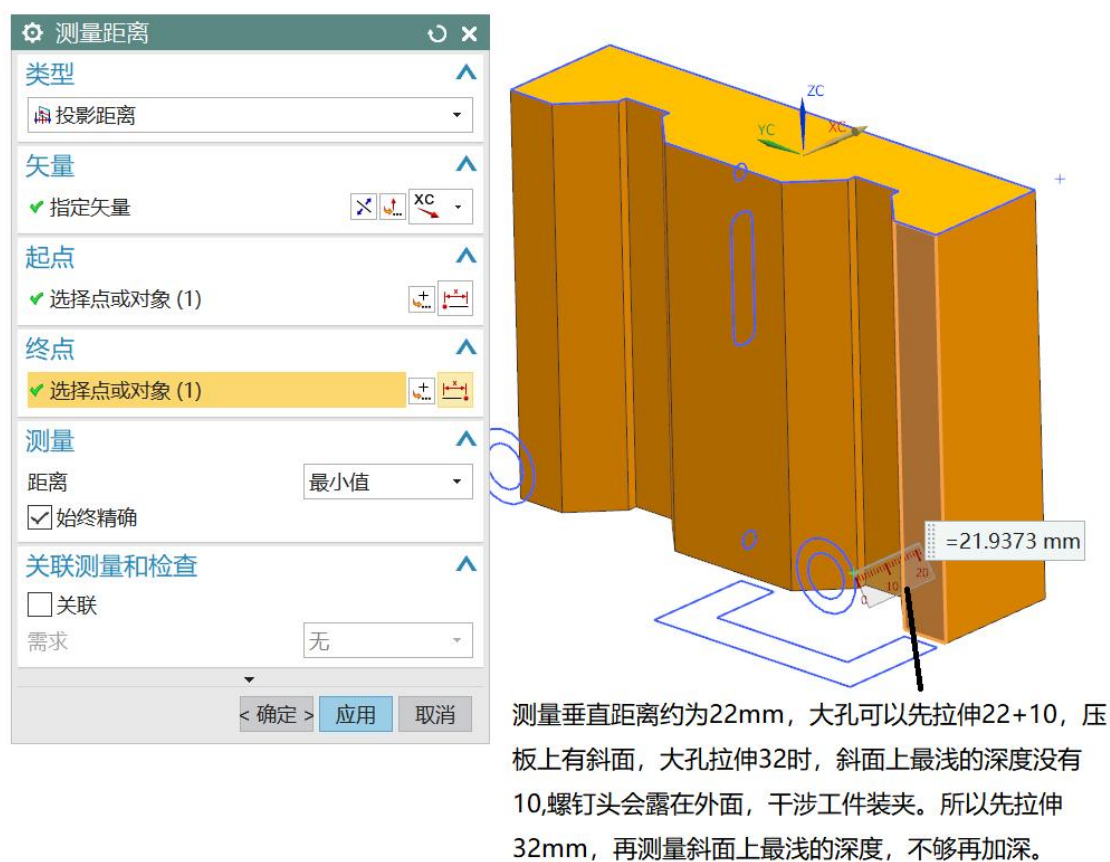


图 8-17 拉伸距离测量

压板螺钉孔绘制如图 8-18 所示。

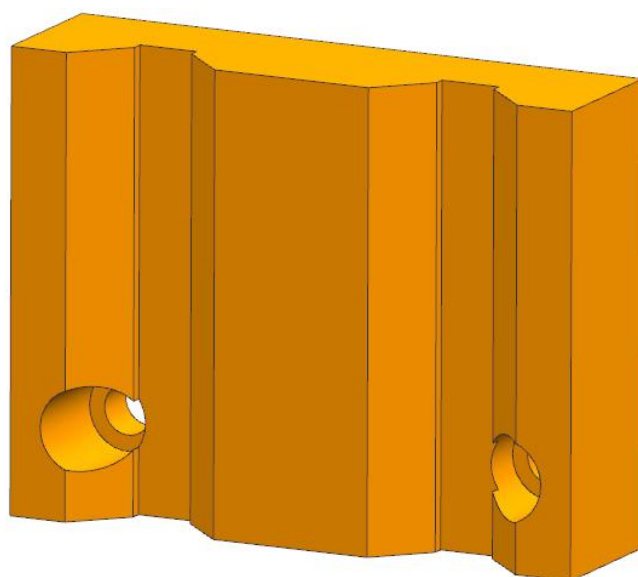


图 8-18 螺钉孔

思政课程：

夹具直接参与机床加工、高速切削、多轴联动生产，夹紧失效、结构缺陷、设计强度不足，极易导致工件飞出、设备碰撞、人员受伤、生产线停工，是生产安全的第一道防线。

任务九、短鱼骨四轴夹具设计

一、教学目标：

- 1、掌握四轴夹具设计方法。
- 2、掌握四轴夹具设计参数设置。

二、教学重点

讲述四轴夹具设计方法。

三、教学难点

定位位置合理选择。

四、素质(思政)内容

模块化、快换式、自动化——现代夹具设计正以创新驱动制造提质增效。减少工装数量、缩短换模时间，不仅是效率革命，更是绿色生产的责任担当。每一次优化，都是对资源浪费的消减、对精益理念的践行。以智慧赋能夹具，以匠心守护可持续发展，方能在高效与绿色中走稳制造强国之路。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

4 学时。

教学过程如下：

一、任务分析

完成如图 8-1 所示的短鱼骨四轴夹具设计，用来加工中间槽和孔。

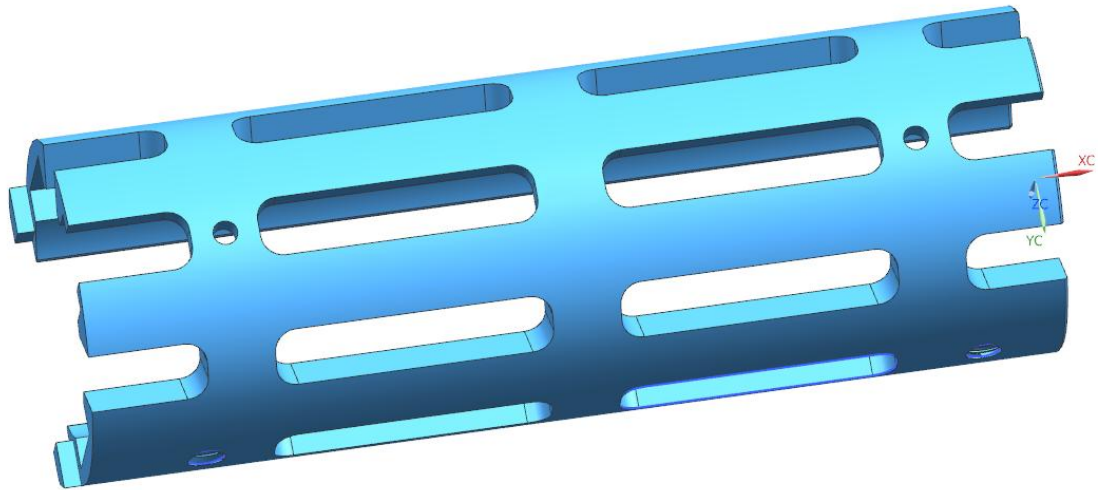


图 9-1 短鱼骨

二、包容块的创建， 目的找到零件最大外形尺寸。

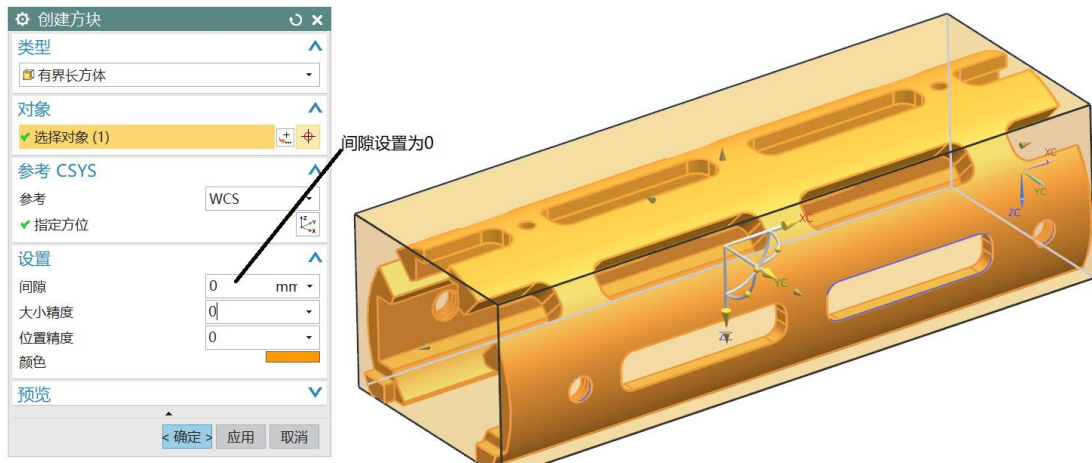


图 9-2 包容块的创建

三、主轴端夹具的设计

1、定位结构设计：在草图模式下，选择包容块端面，创建草图如图 9-3 所示，

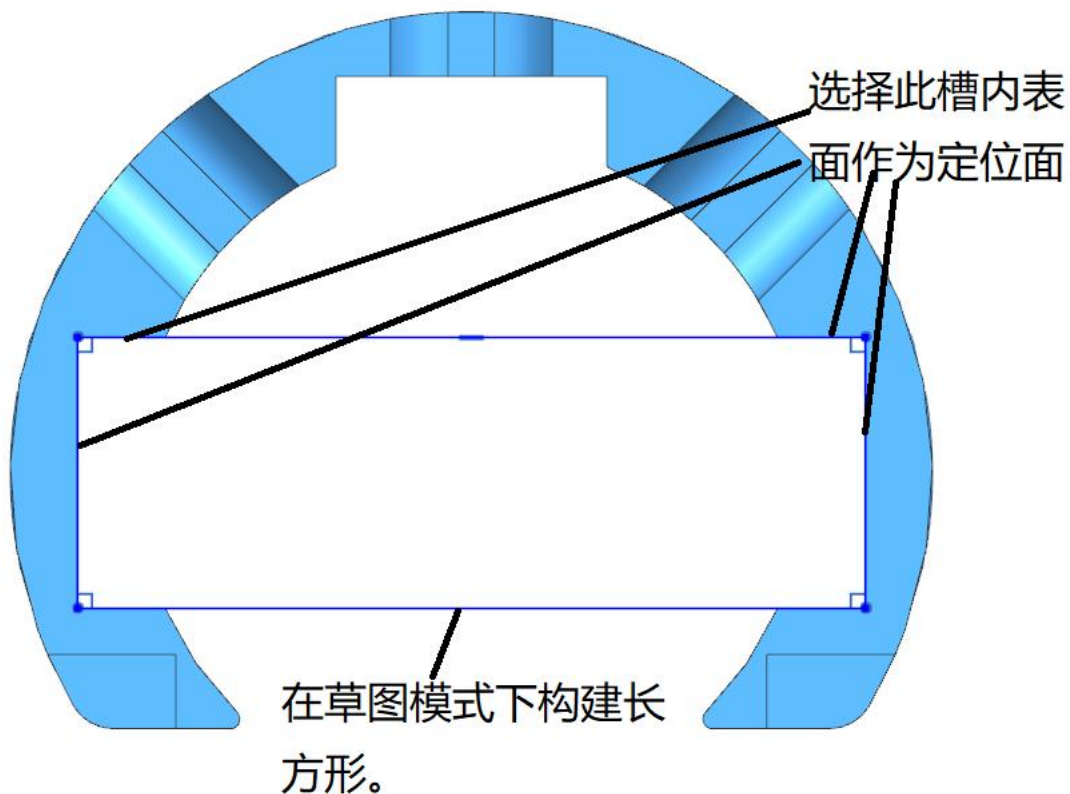


图 9-3 定位面选择与创建

偏置草图长方形 0.02mm，如图 9-4 所示。

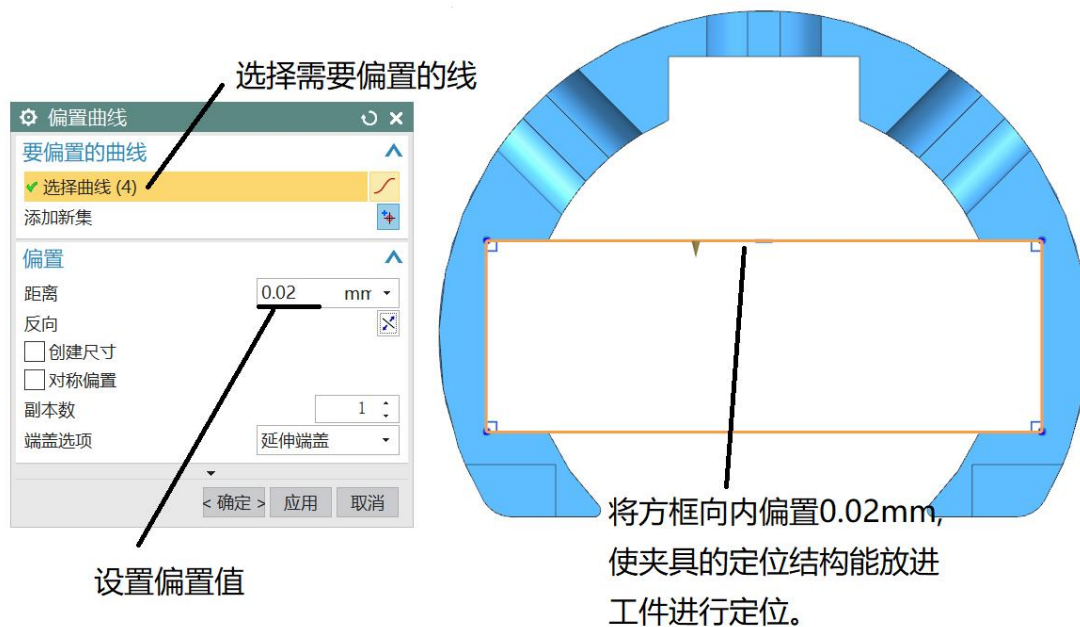


图 9-4 草图绘制

将偏置 0.02 mm 的方框线拉伸 10mm，成长方体，如图 9-5 所示。

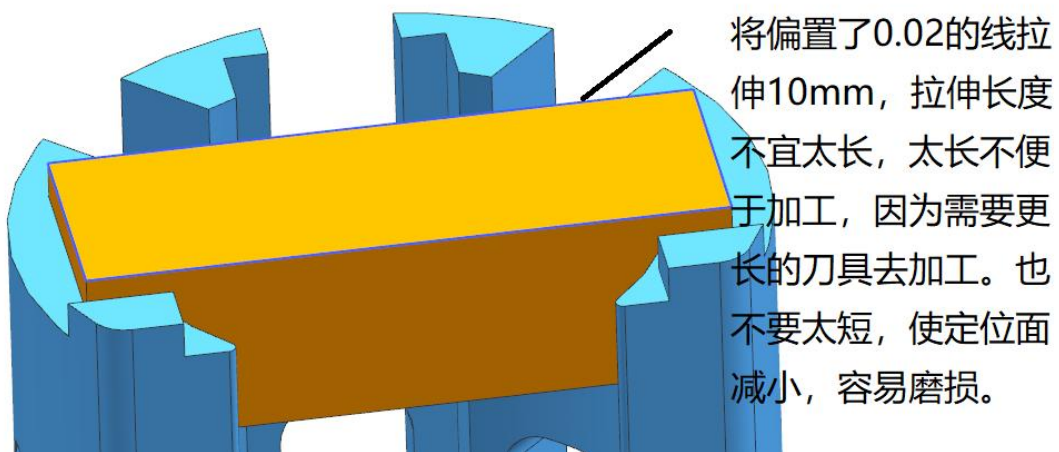
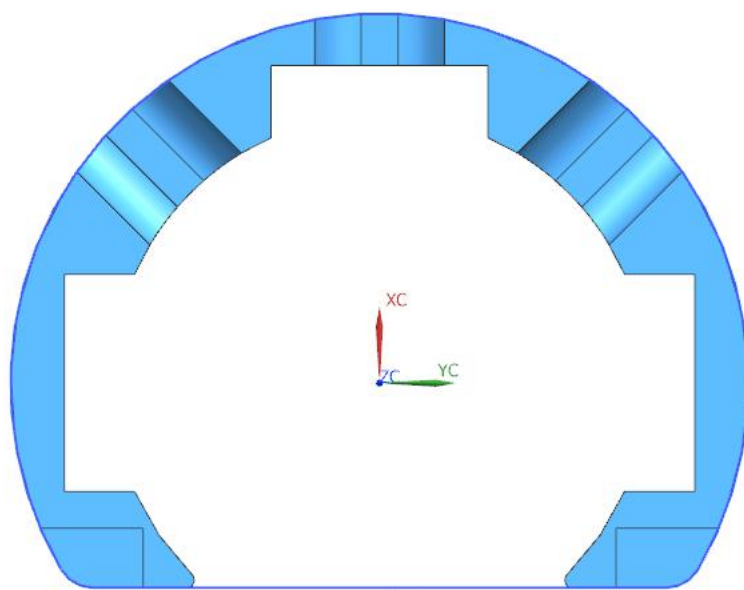


图 9-5 偏置线拉伸

2、夹具主体结构设计：

(1)、夹具主体压紧位绘制，选择包容块端面，构建草图如图 9-6 所示。



构建图外形尺寸。

图 9-6 主体外形草图构建

草图拉伸如图 9-7 所示。

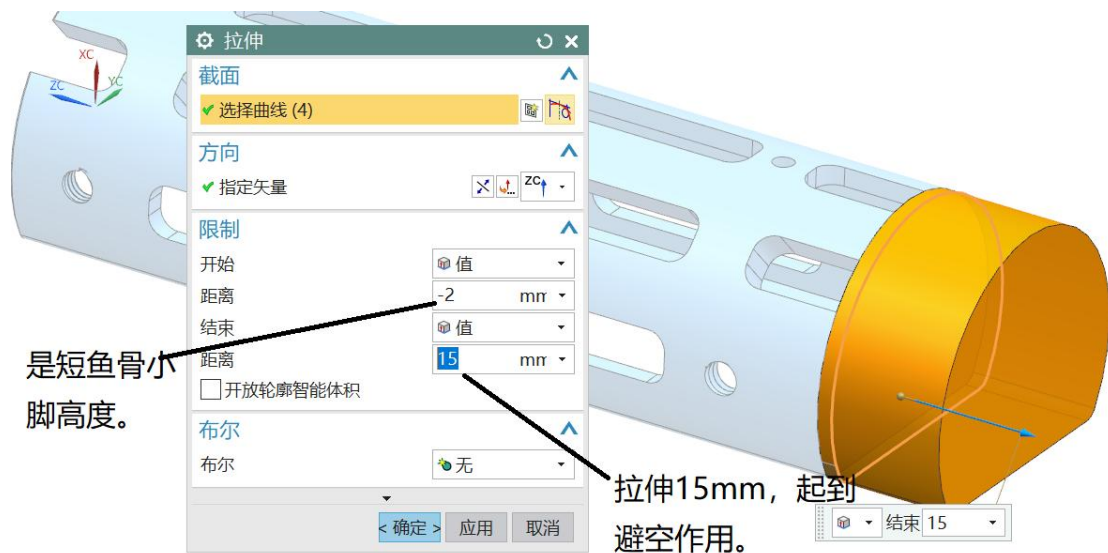


图 9-7 主体位拉伸

(2)、方形主体位草图绘制，选择如图 9-7 已经拉伸好的主体端面，绘制草图，如图 9-8 所示。草图中的圆角半径可以尽量大一些，避免刀具加工时刀柄撞到夹具的尖角，导致刀具因为夹具而要加强伸出量，影响刀具的刚性。

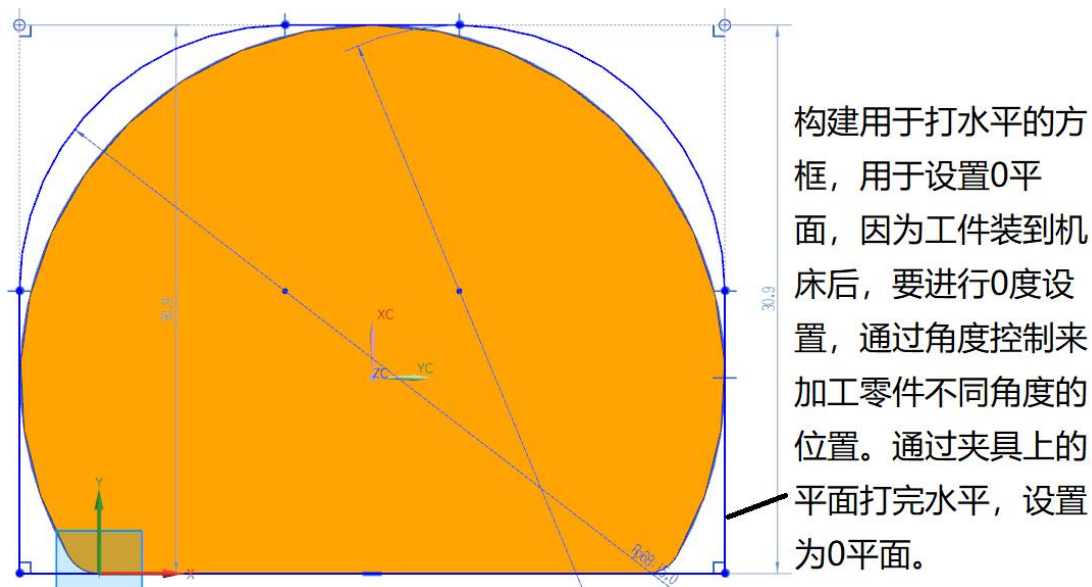


图 9-8 方形草图绘制

方形草图拉伸 10mm，如图 9-9 所示。

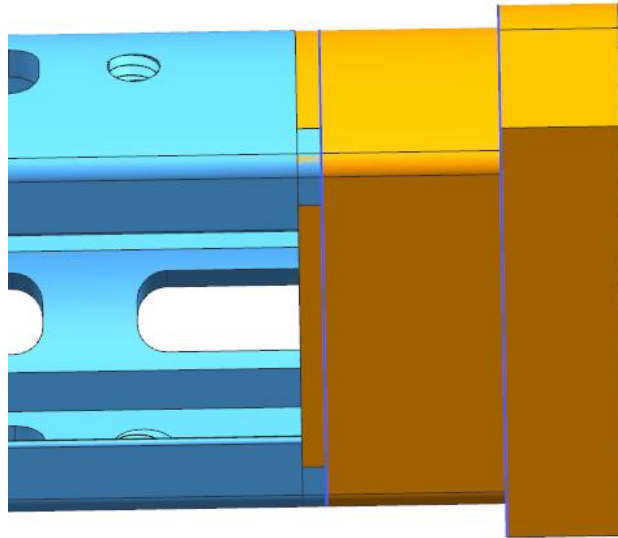


图 9-9 方形草图拉伸效果

(3) 夹具主体连接位绘制，选择如图 9-8 已经拉伸好的主体右端面，绘制草图，如图 9-10 所示。

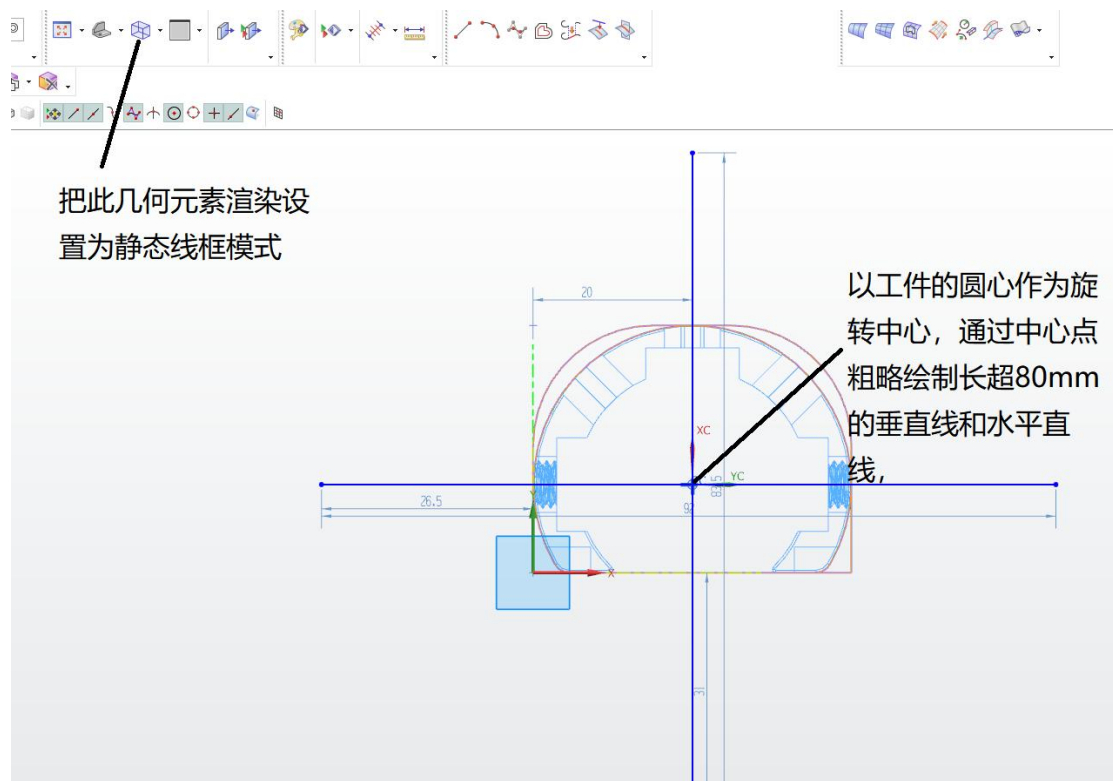


图 9-10 主体连接位草图绘制 1

将图 9-10 草图线进行双向偏置 40mm，如图 9-11 所示。

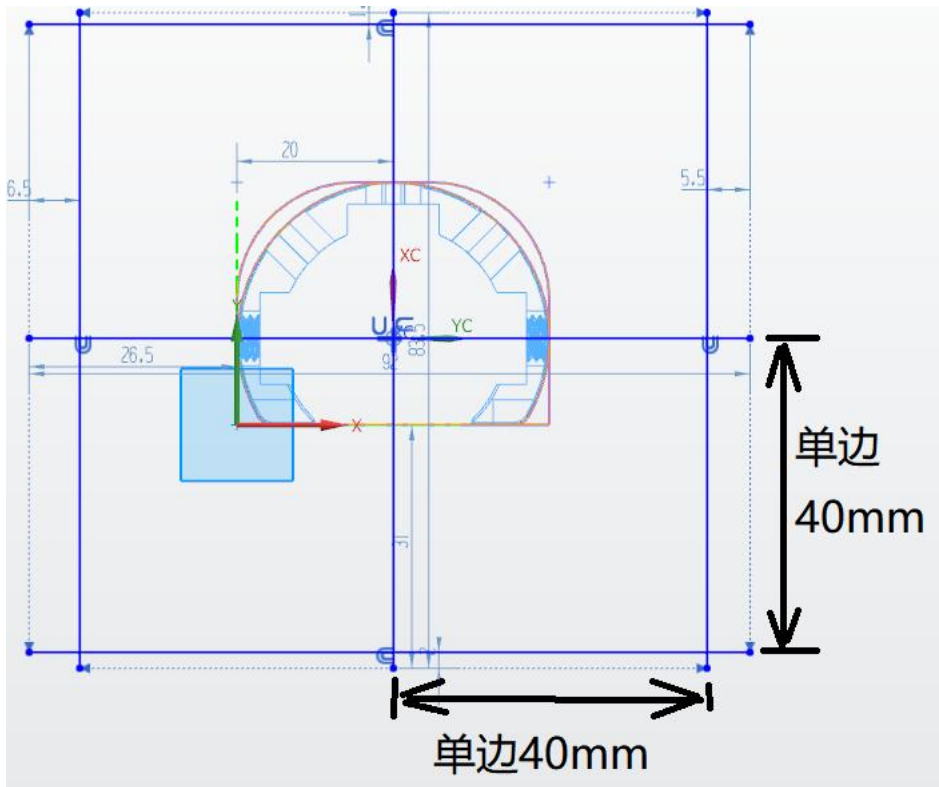


图 9-11 主体连接位草图偏置

对图 9-11 草图进行修剪，效果如图 9-12 所示。

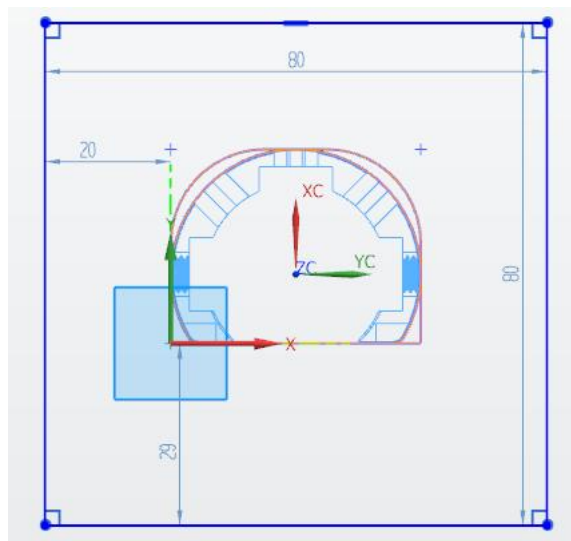


图 9-12 主体连接位草图修剪效果

如图 9-12 所示，完成草图后，进行拉伸 15mm，如图 9-13 所示。

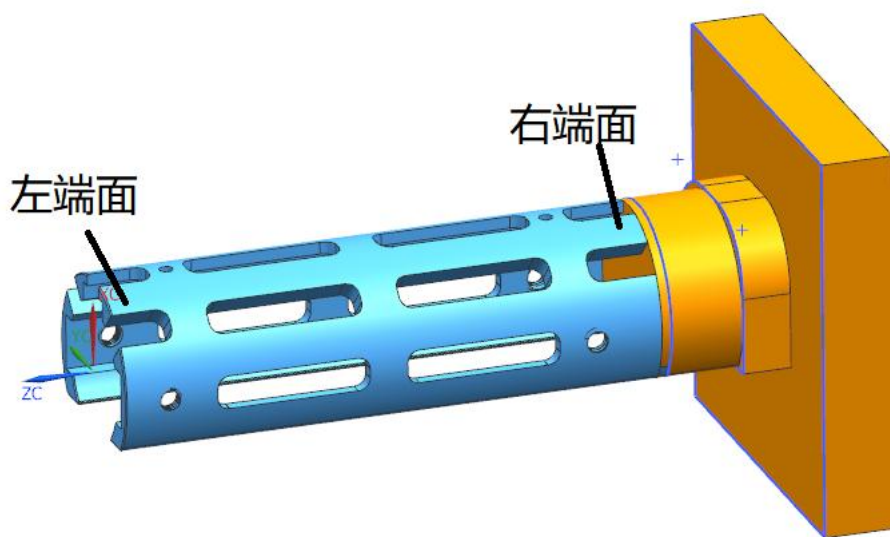


图 9-13 主体连接位拉伸

四、尾顶夹具设计：

(1) 短鱼骨两端尺寸相同，只是少了两个小凸台，可以把图 9-5, 图 9-7 拉伸的定位和压紧位进行镜像到另一端，首先绘制镜像面，如图 9-14 所示。

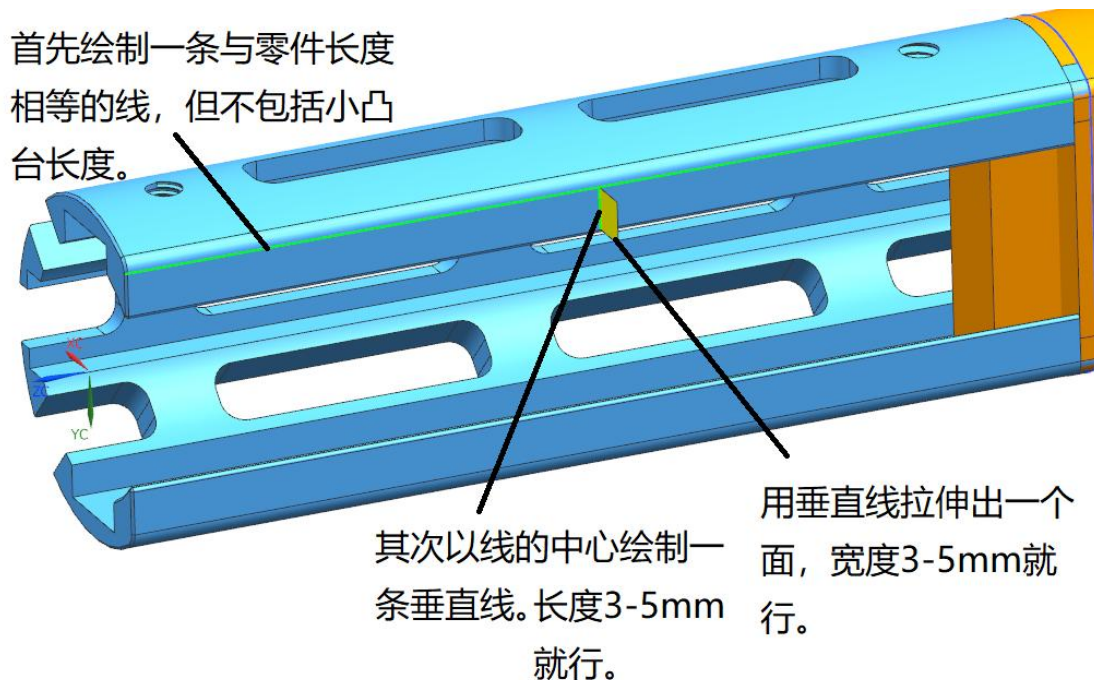


图 9-14 辅助面构建

(2)、通过吧“编辑” - “变换”指令，把图 9-5，图 9-7 中拉伸的定位结构和压紧结构镜像到另一端，如图 9-15 所示。

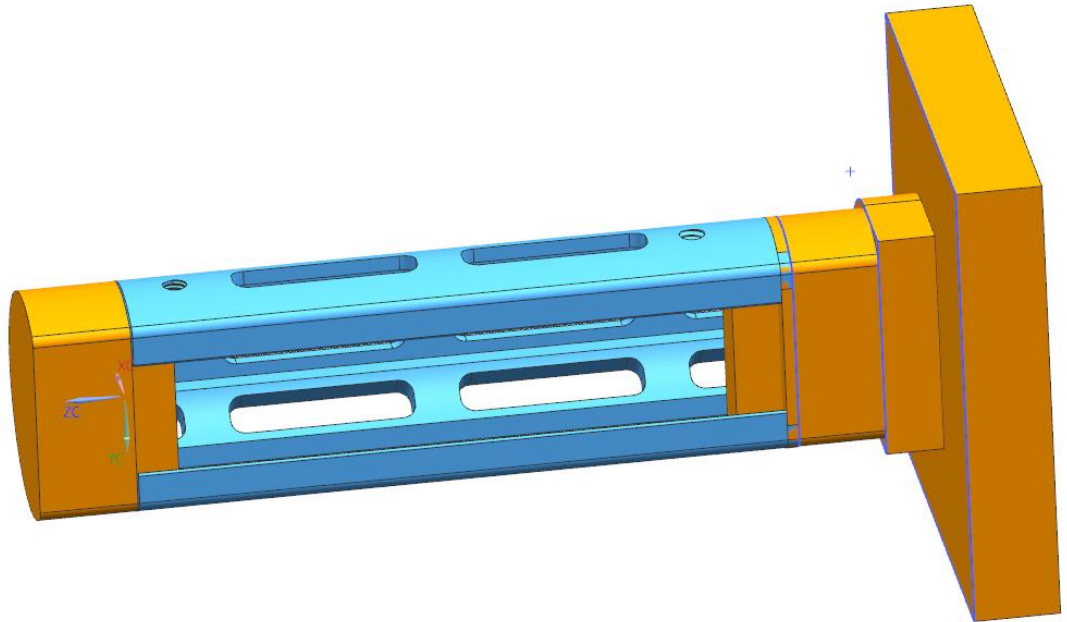


图 9-15 镜像尾顶

创建锥孔，先将尾顶变大，构建草图如图 9-20 所示。

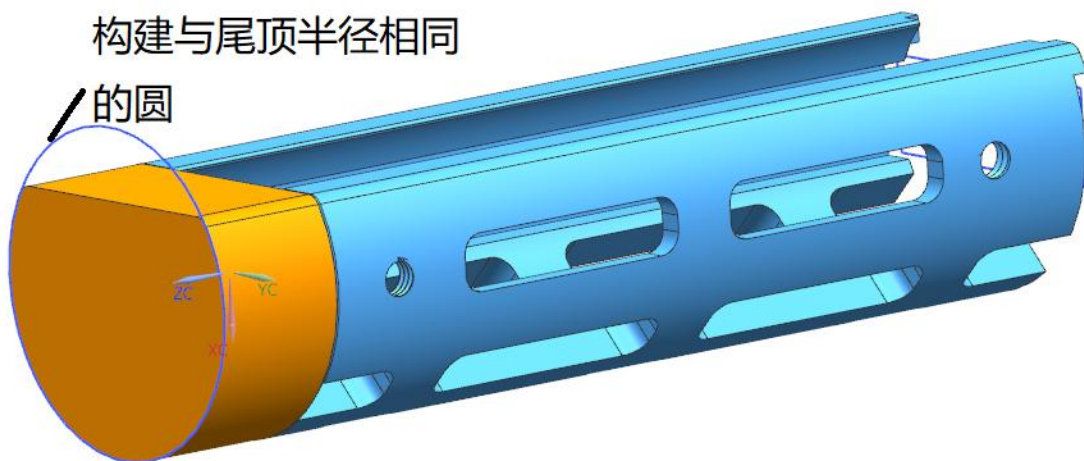


图 9-20 草图构建

将圆拉伸，参数设置如图 9-21 所示。

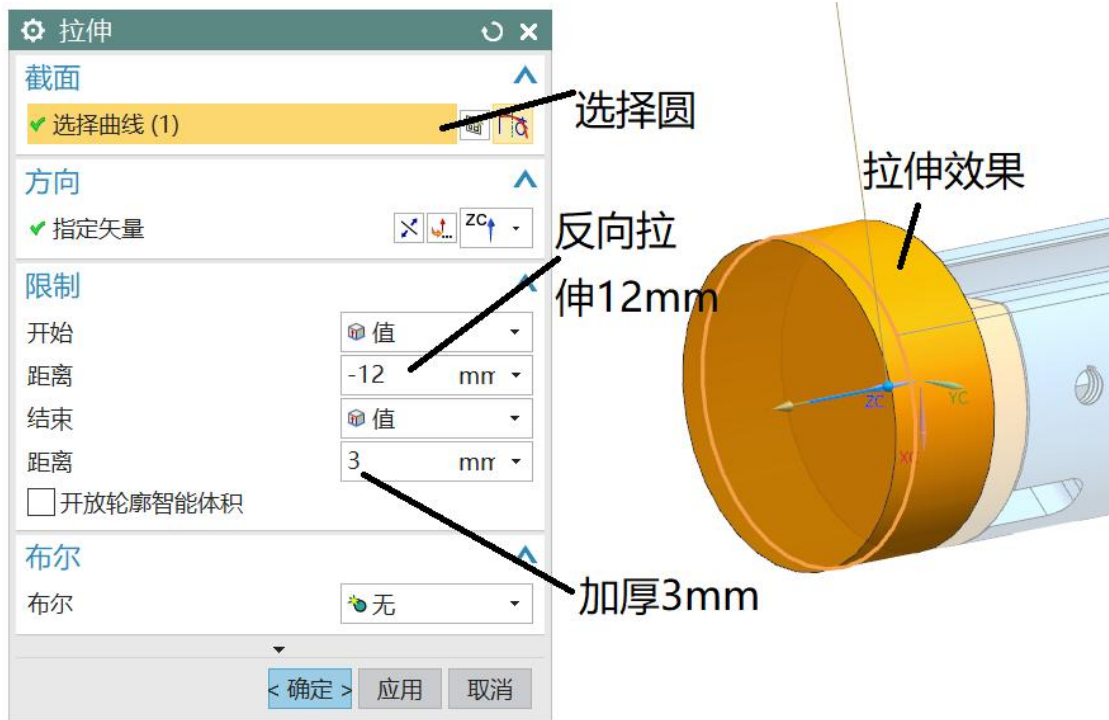


图 9-21 拉伸参数设置

(3) 锥孔绘制，先将镜像后的尾顶与 9-21 拉伸的圆柱合并，再构建锥孔，草图如图 9-22 所示。

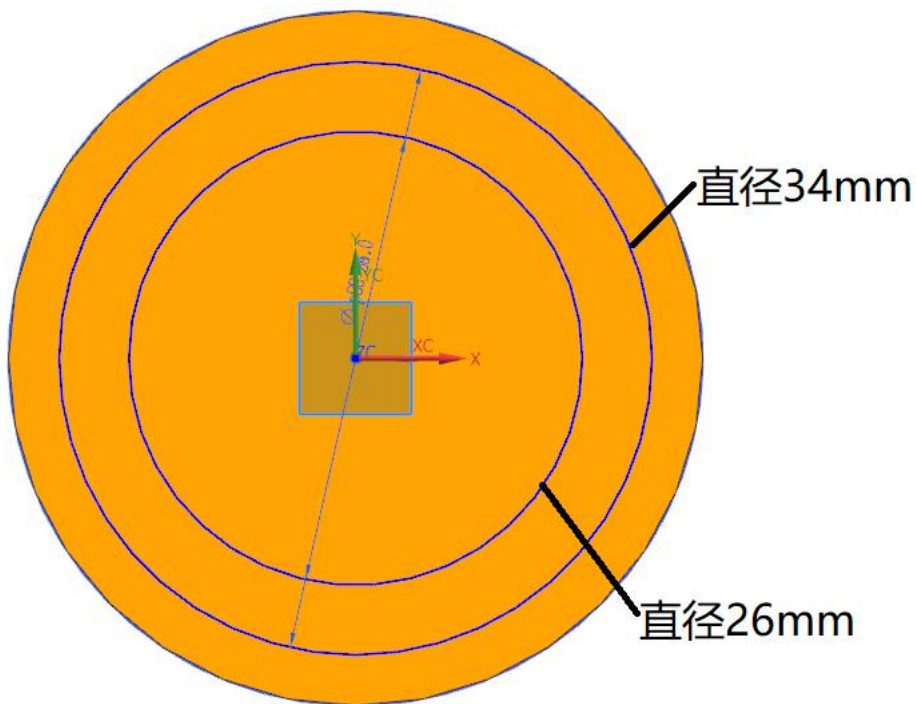


图 9-22 草图构建

完成草图后，对直径 26mm 的圆进行拉伸 13mm，拉伸方向是工件方向，如图 9-23 的圆柱，对直径 34mm 的圆进行拉伸 13mm，拔模角为 30 度，拉伸方向是工件方向，如图 9-24 的圆锥。

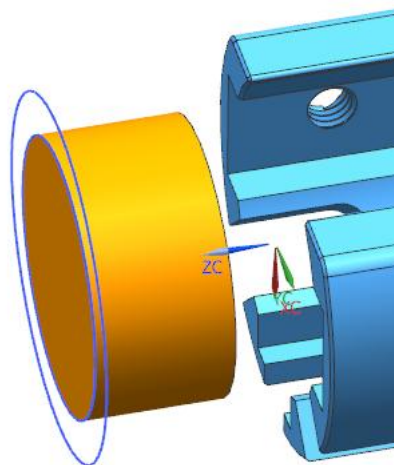


图 9-23 圆柱

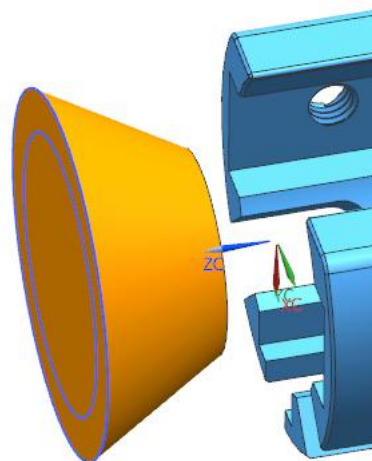


图 9-24 圆锥

(4)、将尾顶减去图 9-23 的圆柱和图 9-24 的圆锥，形成锥孔，如图 9-25 所示。

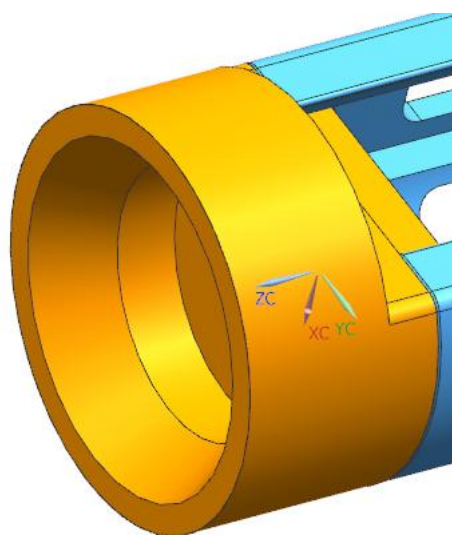


图 9-25 锥孔

思政课程：

现代夹具设计不再是传统固定式工装，而是向着模块化、通用化、快换式、自动化、高精度方向发展。合理优化夹具结构、减少工装数量、缩短换模时间、提升装夹效率，是制造业提质增效、绿色生

产的重要手段。

第二章、数控实训

项目一、 复习打水平训练

一、教学目标：

- 1、掌握百分表的结构和正确使用方法。
- 2、巩固打水平方法。

二、教学重点

讲述打水平方法。

三、教学难点

打水平做到快速、准确。

四、素质(思政)内容

数控实训，高危相伴。高速旋转、高温铁屑、锋利刀具，一秒疏忽便可能伤人毁物。每一次违规都是对安全的漠视，每一次规范都是对生命的敬畏。谨记“安全第一、预防为主”，把规则刻进心里，把责任扛在肩上。唯有严字当头、一丝不苟，方能练就过硬技能，筑牢制造人生的安全底线。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

2 学时。

教学过程如下：

实训内容：

一、百分表的结构及使用方法

百分表是由表座和表头两部分组成，如图 2-1 所示。

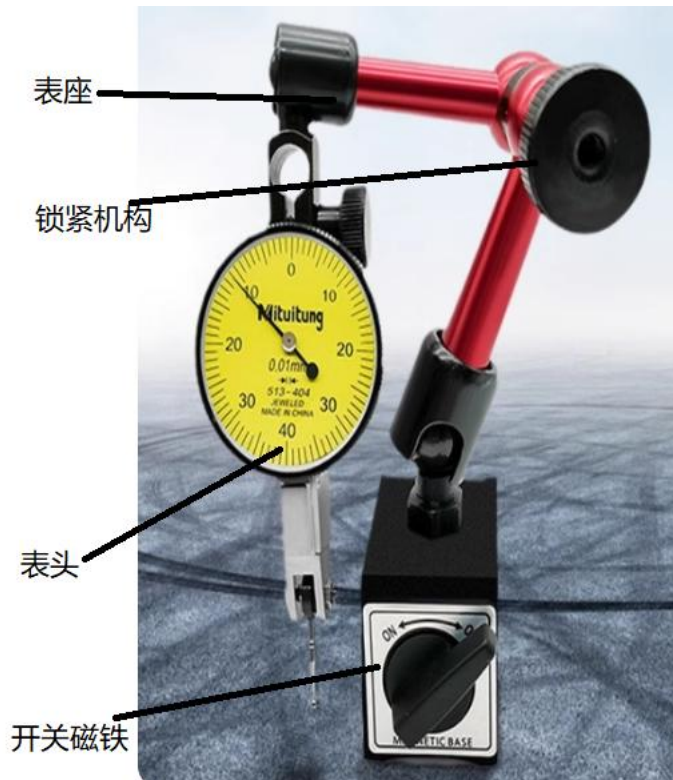


图 2-1 百分表

表座使用方法，首先，将磁铁关闭，将磁铁放到工作位置后，再打开磁铁开关，让磁铁吸附上去，此时不要立刻松手，而是要用手摇晃一下磁铁，检查是否吸紧。磁铁下面不能有杂物或过空，以免吸不牢固，也不要吸附在铝合金薄片上，容易脱落。

然后松开锁紧机构，使整个表座处于松弛状态，这时可以调节各连杆机构，使表头处于合适位置，再把锁紧机构锁紧，锁紧后轻轻摇晃一下整个百分表，是否会动，正常是不动的，如果松动，表明锁不紧，可能是表座损坏。

百分表使用方法，百分表的压头是可以让其绕着旋转轴旋转的，可以旋转到需要的角度。但不能从侧面去撞击指针，从侧面撞击很容易损坏。

百分表的检查方法：轻轻摇晃连杆，如果有晃动现象，说明表座锁不紧了，表座可能坏了。表头检查时，用手轻轻压压头，如果指针旋转灵活，表明表头正常。

二、讲述打水平方法

讲授打水平训练方法：以把台虎钳打水平为例，先找到台虎钳左右两个对称点，然后找到工作台其中一条合适的槽边，让两个点与槽边平齐，这样虎钳基本摆平。

找到夹工件的垂直表面，用百分表的指针压在上面，压到指针指向 30-40 的位置就行，移动指针，如果指针顺时针方向偏移，证明那边位置高。如果指针逆时针方向偏移，证明那边位置低。如果指针移动速度过快，要停止移动，证明工件太不平，要把敲一敲工件，使高的地方变低，使工件逐渐变平，指针移动速度变慢。

例如：在打水平过程中，当指针在虎钳的一端指向 20，在另一端指向 40，两端相差 20 格。那敲动虎钳，使高的一端降低 10 格，或者使低的一端升高 10 格，也就是下降一半，因为一端下降的同时，另一端在上升，所以只敲一半。按此方法逐渐打平，直到两端的指针都在一格内摆动，工件就比较平了。

三、打水平训练

根据学生的数量进行分组，每一组操作一台机床，每人轮流打水平训练，每完成一次打水平就登记，作为平时成绩。

思政课程：

安全生产法、职业规范、知识产权。

项目二、复习零件分中训练

一、教学目标：

- 1、熟悉分中棒的结构和使用方法。
- 2、熟练掌握零件分中方法。

二、教学重点

讲述掌握零件分中方法。

三、教学难点

分中做到快速、准确。

四、素质(思政)内容

数控行业最大的能力不是加工多快，而是安全、规范、零事故。开机检查、装夹牢固、关门加工、禁止手触旋转部位、严禁私自改参数，不是死板的规矩，是行业几十年事故总结出来的安全底线。作为实训学生、未来企业技工，要做到心存敬畏、严守规章、不存侥幸，养成依规操作、令行禁止、安全第一的职业素养。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

2 学时。

教学过程如下：

一、分中棒得结构及使用方法

分中棒的结构如图 3-1 所示，由上下两部分组成，中间通过弹簧连接。



图 3-1 分中棒

分中棒检测方法：旋转上半部分或下半部分，中间接触面很丝滑，而且掰开上下部分，看中间的弹簧，弹簧间隔均匀，表明弹簧正常，反之，接触面摩擦力大，感觉很粗糙，或者弹簧中间的间距突然变大，都表明弹簧被撞过。

二、讲述分中方法。

选择一个已经加工过的工件，要求其比较方正，表面光滑，作为分中对象。

先在机床上安装分中棒，分中棒的转速是 600-800 转/分钟。

例如分 X 方向的中，就用分中棒对工件碰 X 方向的单边，先把手轮倍率调到 100，快速碰到工件使分中棒错位，然后回退 1 到 2 格，使分中棒不错位，再把倍率调到 10，向工件靠拢，刚错位就停，此时在相对坐标下把 X 归零，然后抬起分中棒，移动 X 方向，至工件的另一端，按上面调倍率的方法使分中棒错位，使工件两边错位程度相同。这时工件的长度就会在面板上显示出来，把长度除以 2，得到一个中间位置的数据，把分中棒抬高，移动到中间数据，这时工件的 X 方向中心找到了，在 G54 或者 G55-G59 等指令下，设置 X0，并测量，记作中间位置的机械坐标，X0 对刀完成。

用同样的方法找到 Y0.并记下机械坐标。最后把分中棒移开，在

MDI 方式下，输入 G90 G54 G01 X0 Y0 F500;程序段进行检验，检验分中是否正确。

三、分中训练

根据学生的数量进行分组，每一组操作一台机床，每人轮流分中训练，每完成一次分中就登记，作为平时成绩。

思政课程：

数控实训属于高危实操课程，机床高速旋转、铁屑高温、刀具锋利，违规操作一次、疏忽大意一秒，就可能造成设备损坏、工件报废、人身伤害。

项目三、复习零件 Z 向对刀训练

一、教学目标：

- 1、熟悉 Z 向对刀方法。
- 2、熟练掌握 Z 向对刀。

二、教学重点

讲述 Z 向对刀方法。

三、教学难点

让学生正确的滚刀来对刀

四、素质(思政)内容

数控实训，毫厘之间见匠心。对刀差一丝、坐标错一点、程序错一行，满盘皆废。优质零件绝非一蹴而就，而是千百遍调试、无数次测量的沉淀。每一次修正都是对浮躁的摒弃，每一次精进都是对极致的追求。以敬畏之心对待每一处细节，方能在反复打磨中铸就真正的工匠精神，成就可靠品质。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

4 学时。

教学过程如下：

一、零件 Z 向对刀方法

准备一个标准刀柄，选择一个较平的基准面，把刀具移动到基准面上，靠近上表面，使刀柄滚过不去，然后左手压住刀柄，顶在刀具上，右手握着手轮，把倍率调到 100，使刀具往 Z 轴正方向提高，随

着刀具的抬高，刀柄能轻松滚过去，然后手轮回退一格或两格，Z 向下降，使滚刀又过不去，这时把倍率调到 10，继续抬高 Z 轴，当高度达到滚刀的高度时，滚刀就能滚过去，这时滚刀基本与刀具相切，能滚过去，且与刀具接触一点。刀具离基准面的高度是滚刀的高度。这时在相对坐标下，把 Z 归零，同时在 G54 或者 G55-G59 等指令下，设置 Z0，并测量，记作此位置的机械坐标。

然后把刀具抬起来，转动主轴，让刀具轻轻碰到工件上表面，铣掉一点，这时高度差就出来了，把高度差放在 00 下面的 Z 位置。这时 Z0 对刀完成。最后把刀具抬高，在 MDI 方式下，输入 G90 G54 G01 Z10 F500;程序段进行检验，检验 Z 向对刀是否正确。

二、任务布置

要求每个学生完成 Z 向对刀，并快速检验。检测方法：对刀时，当滚完刀后，抬起来要铣工件表面时，把表面铣约一个刀柄长，两个刀柄宽的平面，记下高度差后，然后把刀具随意移开，再输入检验程序，让刀具达到刀柄高度的位置，然后用刀柄去检验，如果刀柄太轻松滚过去，碰不到刀具，说明太松，反之，如果滚不过去，说明太紧，都不合格，要能滚过去，且能碰到刀具，方为合格。

三、分中训练

根据学生的数量进行分组，每一组操作一台机床，每人轮流 Z 向对刀训练，每完成一次分中就登记，作为平时成绩。

思政课程：

数控实训最能体现匠心：对刀差一丝、坐标错一点、程序错

一行，工件直接超差报废。优质零件都是一遍遍调试、一次次测量、一点点修正打磨出来的。

项目四、烟灰缸制作

一、教学目标：

- 1、完成烟灰缸的制作。
- 2、掌握烟灰缸的编程。

二、教学重点

讲述烟灰缸的编程。

三、教学难点

合理设置参数

四、素质(思政)内容

制造业没有一蹴而就的技能，只有千锤百炼的功底。大国工匠无一不是从日复一日的实操、调试、修正中成长。实训中不敷衍废品、不将就尺寸、不糊弄工序，认真对待每一次对刀、每一次试切、每一个工件，就是在锤炼一丝不苟、追求卓越、持之以恒的工匠精神。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

8 学时。

教学过程如下：

一、任务目标，完成图 4-1 烟灰缸的制作。

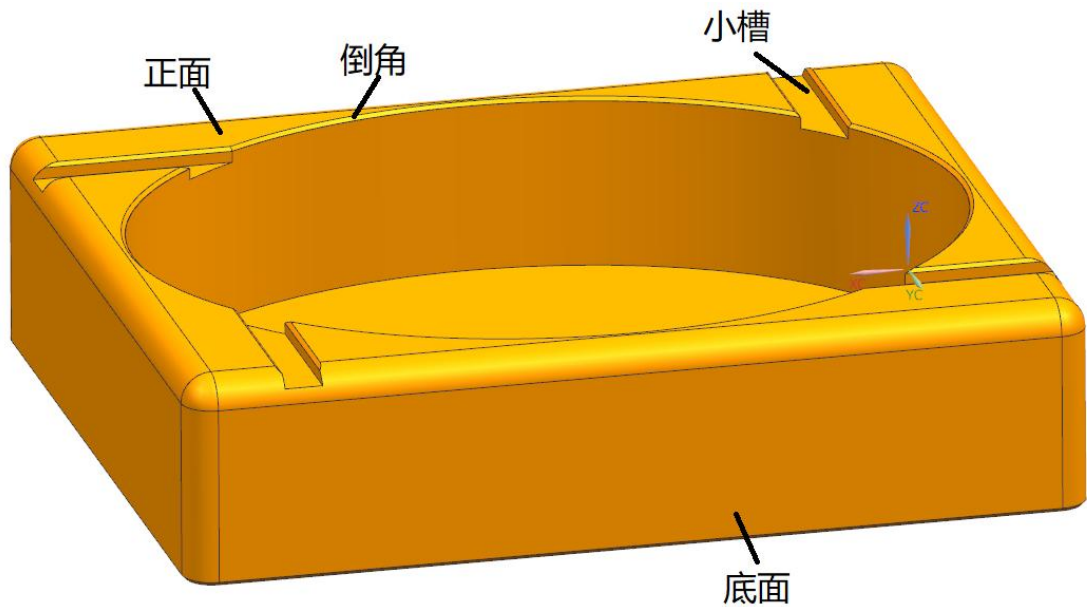


图 4-1 烟灰缸

二、毛坯选择

分析零件尺寸为 $120*100*28$ (mm)，毛坯选择大于零件尺寸，为 $122*102*30$ (mm)。

三、加工路线设计

烟灰缸正面四周的圆弧半径是 4mm ，毛坯比零件高 2mm ，总共有 6mm 的高度，这高度可以用来装夹，高度为 $4\text{-}5\text{mm}$ 。

加工路线：先加工底面，开粗深度大于烟灰缸垂直面 0.3mm 左右，精加工深度与开粗深度相同。再加工正面，首次开粗深度到烟灰缸的正面上表面，其次，内外分开开粗，内部开粗刀烟灰缸底面，外部只开粗完圆弧半径 4mm ，然后进行面铣精加工、曲面精加工、铣槽、倒角等。

四、烟灰缸的检测与总结

检查烟灰缸的高度与表面粗糙度是否满足要求，分析加工工艺是

否合理。

思政课程：

多轴程序复杂，一刀废件 → 严谨、细致、责任担当。

项目五、收纳盒主体制作

一、教学目标：

- 1、掌握合理设计加工路线。
- 2、掌握收纳盒主体编程加工。

二、教学重点

讲述收纳盒主体编程加工。

三、教学难点

编程参数的合理设置

四、素质(思政)内容

数据不说谎，尺寸不骗人。数控加工中，超差就是超差，报废就是报废，没有任何凑数蒙混的空间。拒绝造假，是技术底线，更是诚信底线。唯有敬畏真实、直面误差，才能在每一个实测数据中锤炼出过硬的职业品格。以真为本，以实立身，方为制造者的良知与担当。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

8 学时。

教学过程如下：

一、任务目标，完成图 5-1 收纳盒主体的制作。

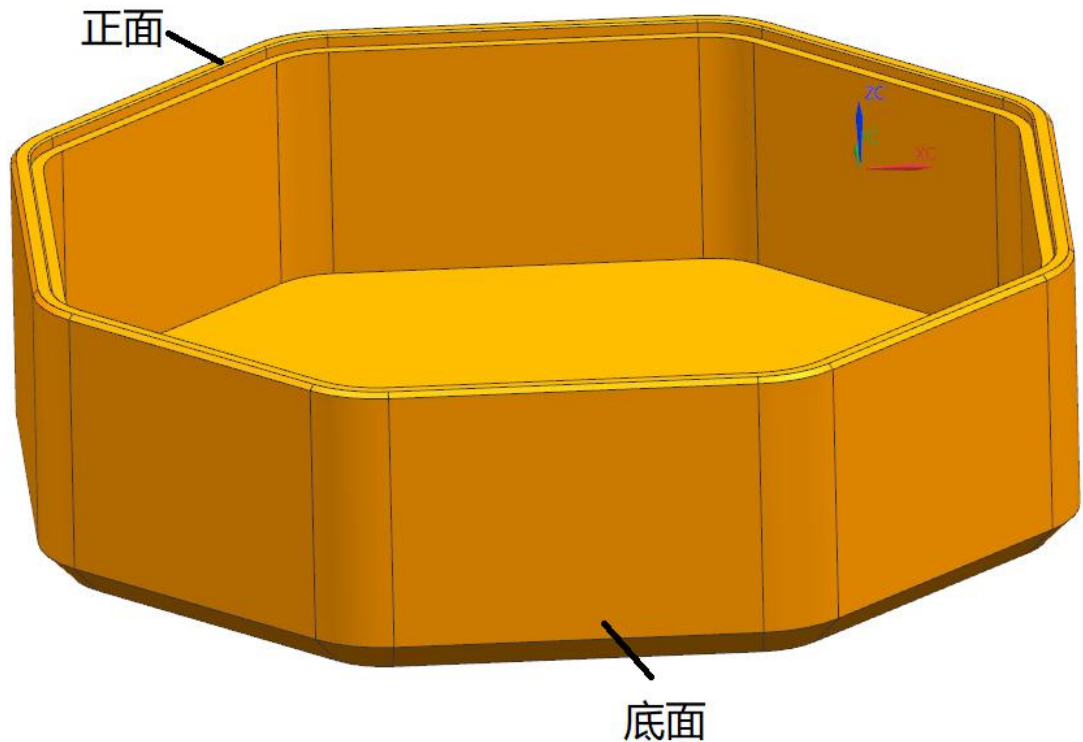


图 4-1 收纳盒主体

二、毛坯选择

分析零件尺寸为 $96.2*96.2*28$ (mm)，毛坯选择大于零件尺寸，为 $100*100*30$ (mm)。

三、加工路线设计

收纳盒底面倒角高度是 3mm，毛坯比零件高 2mm，总共有 5mm 的高度，这高度可以用来装夹，高度为 4mm。

加工路线：先加工正面，开粗深度大于收纳盒垂直面 0.3mm 左右，外形精加工深度与开粗深度相同。对正面加工完后再加工底面，首次开粗深度到烟灰缸的底面，其次，进行面铣精加工和倒角粗、精加工。

四、收纳盒的检测与总结

收纳盒灰缸的高度与表面粗糙度是否满足要求，分析加工工艺是否合理。

思政课程：

数控加工数据真实、尺寸真实、误差真实，数据不会骗人，设备不会作假。超差就是超差、报废就是报废，拒绝造假、拒绝凑数、拒绝蒙混过关。

项目六、收纳盒盖子制作

一、教学目标：

- 1、掌握 T 型刀的构建和编程。
- 2、掌握 T 型刀的使用和加工技巧。

二、教学重点

讲述 T 型刀的构建和编程。

三、教学难点

T 型加工编程参数的合理设置

四、素质(思政)内容

实训不仅练技术，更练人品、练作风。测量数据如实记录、误差问题如实分析、出错程序认真排查，不造假、不隐瞒、不敷衍。培养学生求真务实、直面问题、知错就改、严谨踏实的工程职业品格。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

8 学时。

教学过程如下：

一、任务目标，完成图 6-1 收纳盒盖子的制作。

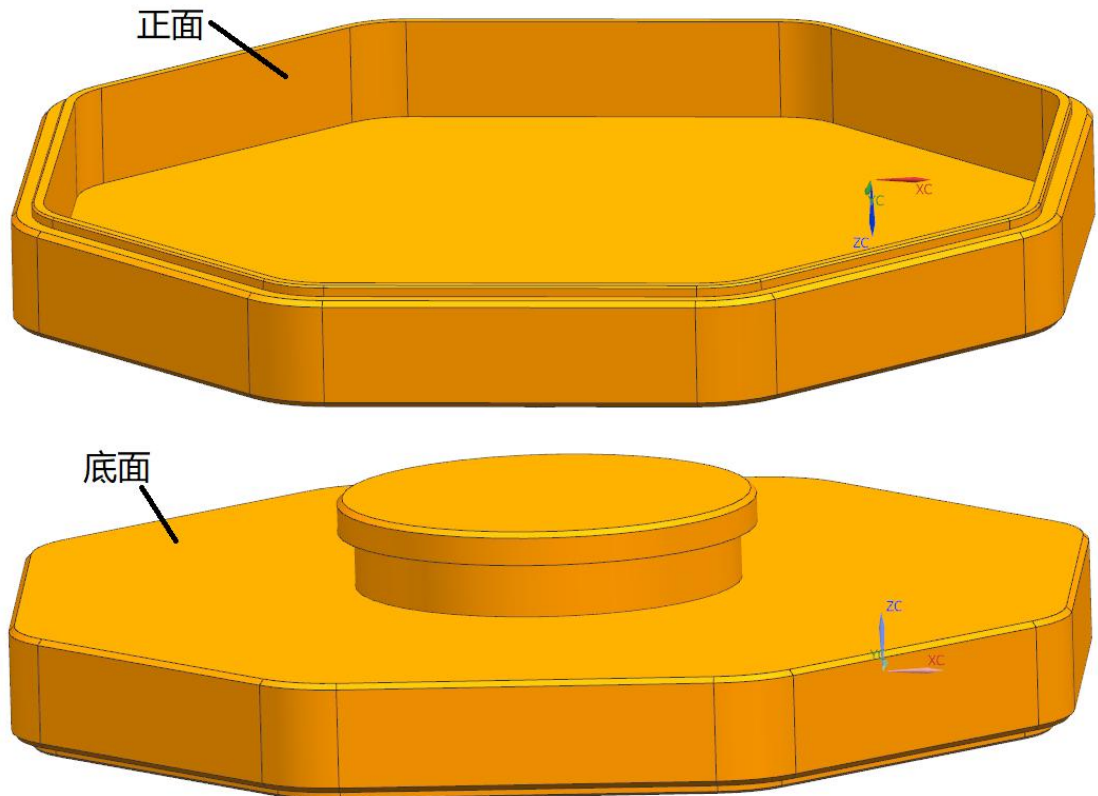


图 6-1 收纳盒盖子

二、毛坯选择

分析零件尺寸为 $96.2*96.2*19$ (mm)，毛坯选择大于零件尺寸，为 $100*100*20$ (mm)。

三、加工路线设计

收纳盒正面成方形，底面是圆形，以第一工序不影响第二工序原则，圆形不便于装夹，影响加工，因此第一工序先加工正面，完成开粗、精加工、倒角。第二工序加工底面，进行开粗，面精加工、倒角、T 型刀加工。

四、收纳盒盖子的检测与总结

收纳盒灰缸的高度与表面粗糙度是否满足要求，分析加工工艺是否合理。

课程思政：制造业没有一蹴而就的技能，只有千锤百炼的功底。大国工匠无一不是从日复一日的实操、调试、修正中成长。实训中不敷衍废品、不将就尺寸、不糊弄工序，认真对待每一次对刀、每一次试切、每一个工件，就是在锤炼一丝不苟、追求卓越、持之以恒的工匠精神。

第三章、五轴编程

任务一、轴类零件的五轴编程

一、教学目标：

- 1、掌握五轴编程专业术语的含义，以及应用。
- 2、掌握五轴编程基本方法。

二、教学重点

掌握五轴编程基本方法。

三、教学难点

理解五轴编程专业术语的含义

四、素质(思政)内容

作为新时代数控技术人才，要摒弃浮躁心态，深耕多轴加工技术，严守行业标准、追求工艺极致，主动对接国产智能制造发展需求，将个人技能成长融入国家制造强国战略，以精湛技艺、过硬素养、家国担当，成长为支撑高端制造业发展的高素质技能人才。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

4 学时。

教学过程如下：

一、五轴加工部分名词术语解析。

驱动方法：就是选择在什么类型的图形上生成刀路。可根据图形需加工位置的形状特征合理的选择驱动方法，常用的有“曲线/点”、“曲面”“流线”等驱动方法。如“曲线/点”就是在已绘制的曲线或点生成刀路。如图 1-1 所示。

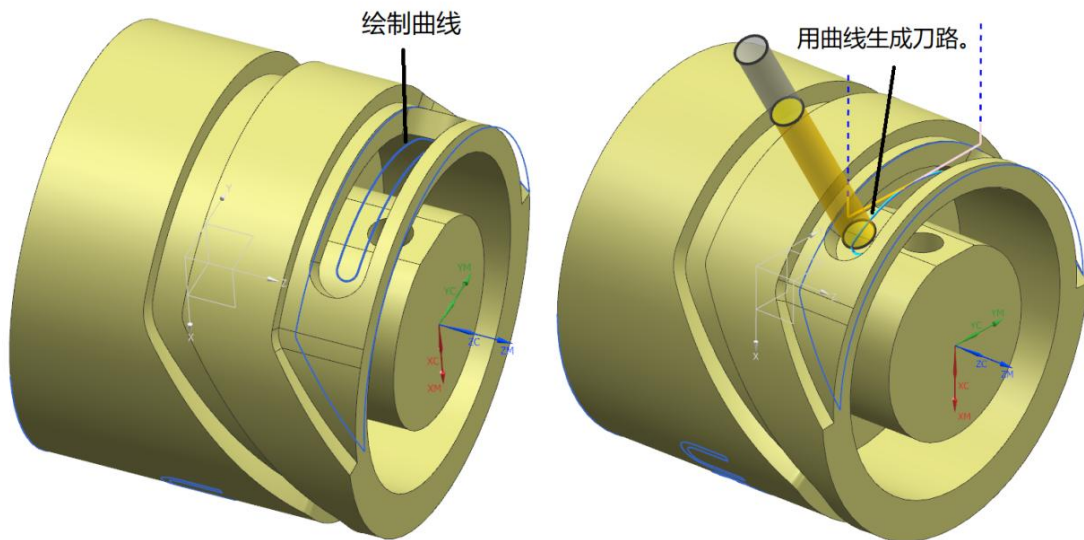


图 1-1 驱动方法解析

投影矢量：可理解为投影方向，等于刀具“照射”到零件表面的方向。可以把驱动方法中的曲线或曲面等想象成一个灯泡，投影矢量是光线方向，零件表面就是墙面。如图 1-2 所示。

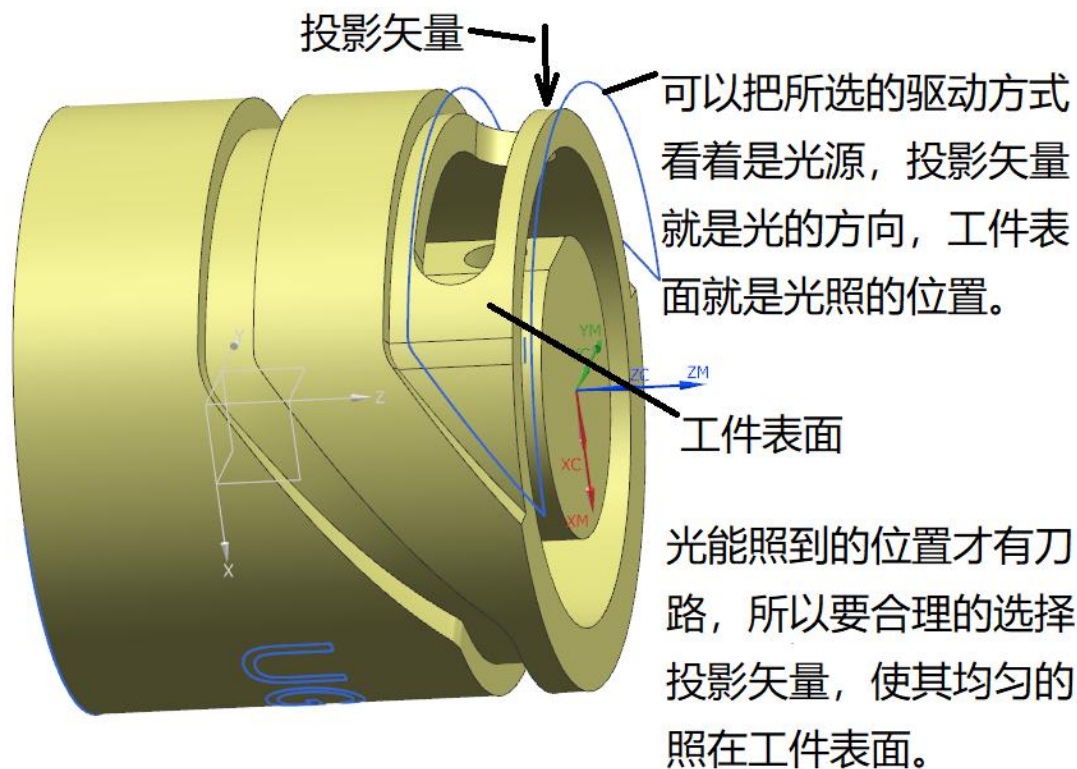


图 1-2 投影矢量解析

刀轴：指刀具在加工时轴的指向方向。在多轴加工曲面时，刀轴随时都在变化，合理设置刀轴完成零件加工的重要因素。如图 1-3 所示。

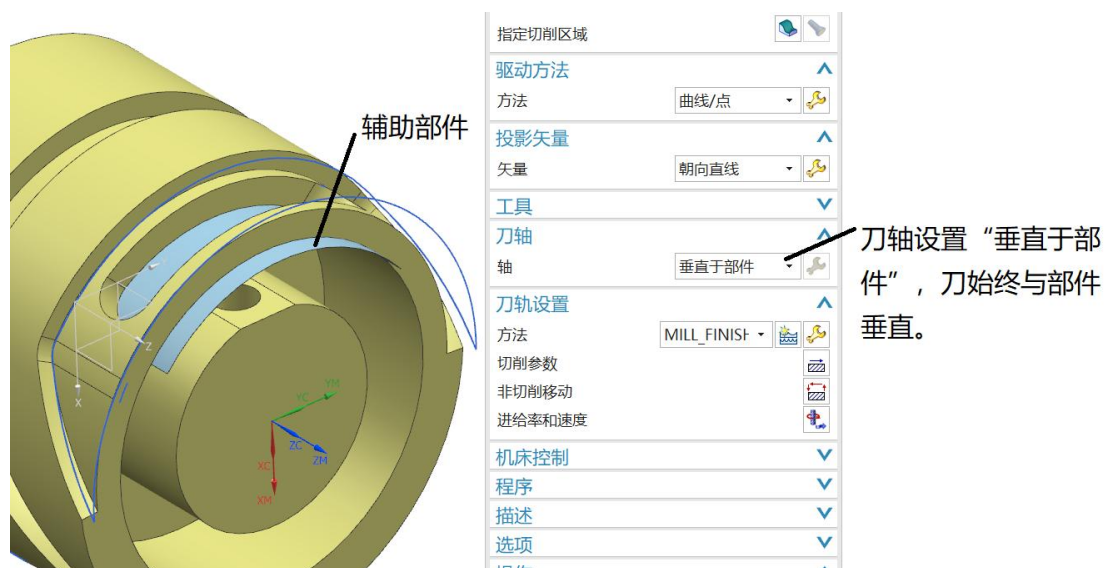


图 1-3 刀轴设置

刀路图如图 1-4 所示。

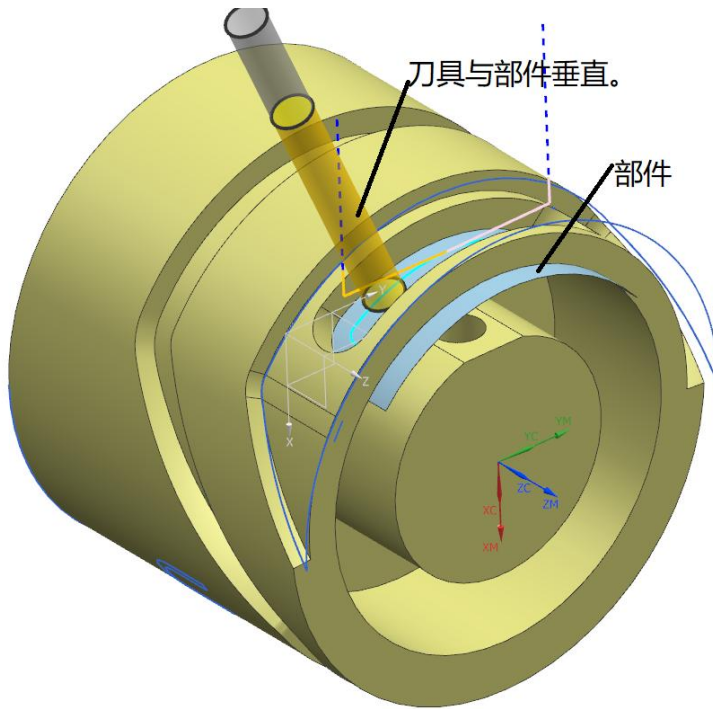


图 1-4 刀轴图

二、编程过程如下。

1、五轴编程坐标系的设立。五轴编程坐标系与三轴编程坐标系相同，在工件上表面的中心。

2、面铣编程。在五轴编程中，当刀轴选择+Z 时，编程方法与三轴编程一样。创建工序如图 1-5 所示。

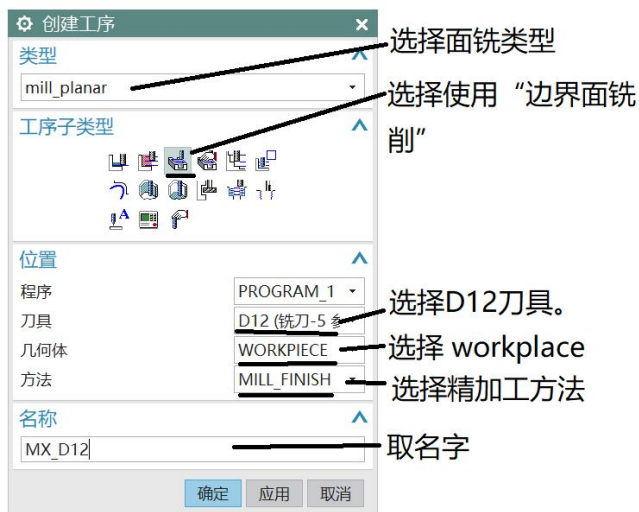


图 1-5 创建工序

进入面铣对话框。如图 1-6 所示。



图 1-6 面铣对话框

面边界对话框如图 1-7 所示。

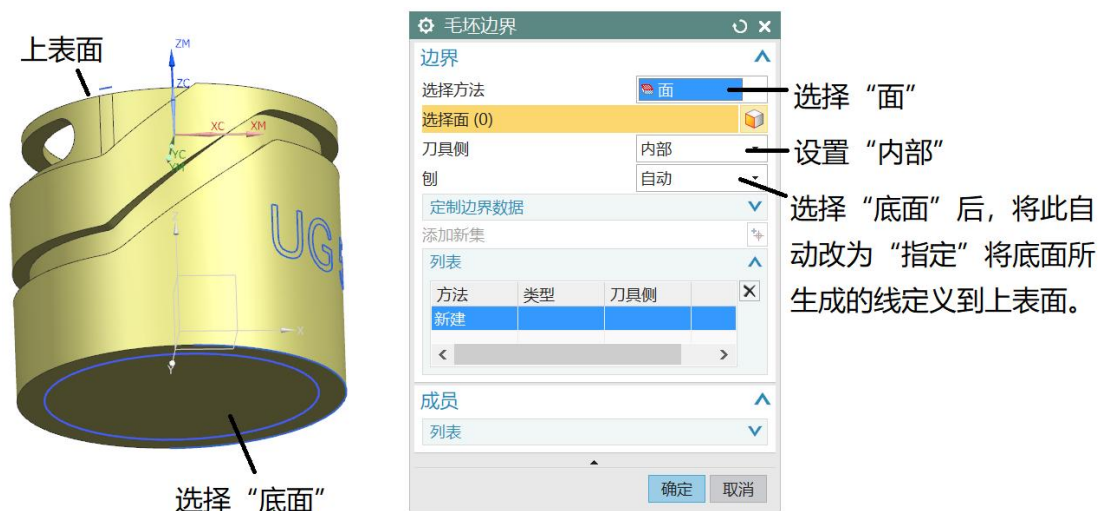


图 1-7 面边界设置

切削参数设置如图 1-8 所示。

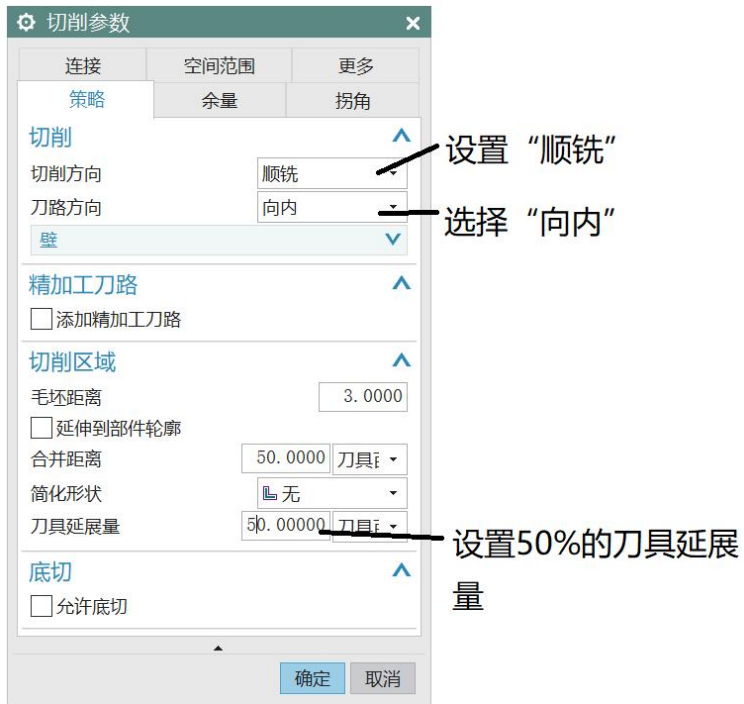


图 1-8 切削参数设置

刀路图如图 1-9 所示。

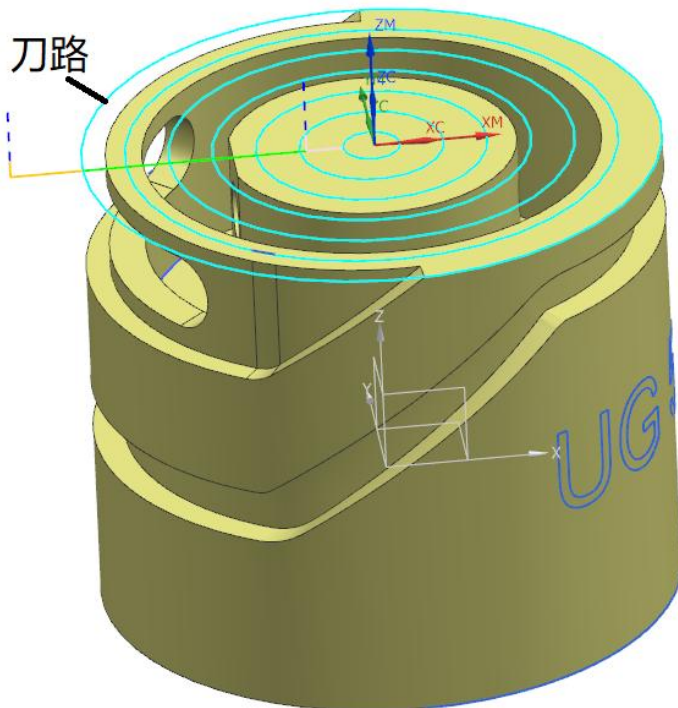


图 1-9 面铣刀路图

3、外形槽铣削编程。

(1) 如图 1-10 所示，分析槽的宽度，选择合适的刀具 D8，

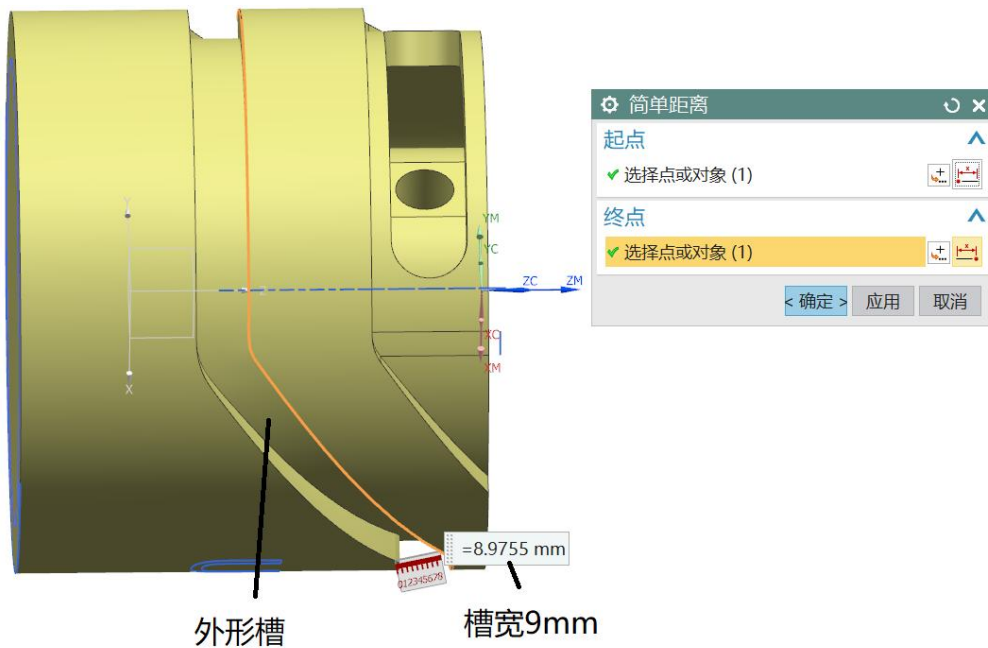


图 1-10 槽宽测量

(2) 槽开粗编程，创建工序，如图 1-11 所示。

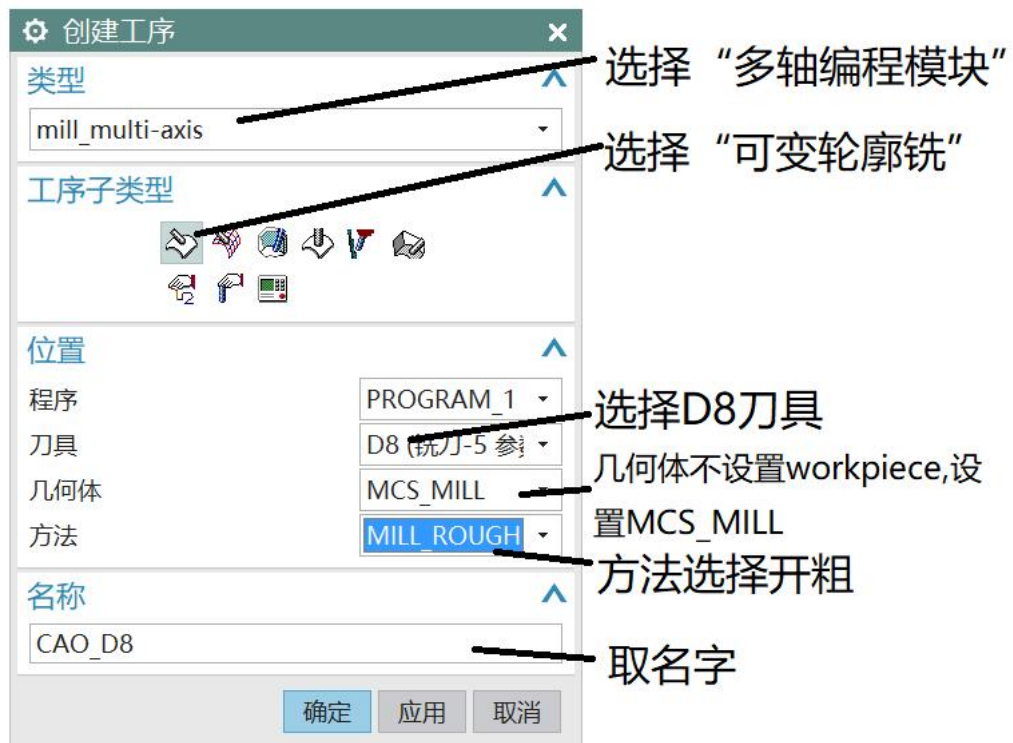


图 1-11 创建工序

创建工序后，进入“可变轮廓铣”对话框。如图 1-12 所示。



图 1-12 可变轮廓铣

部件设置如图 1-13 所示。

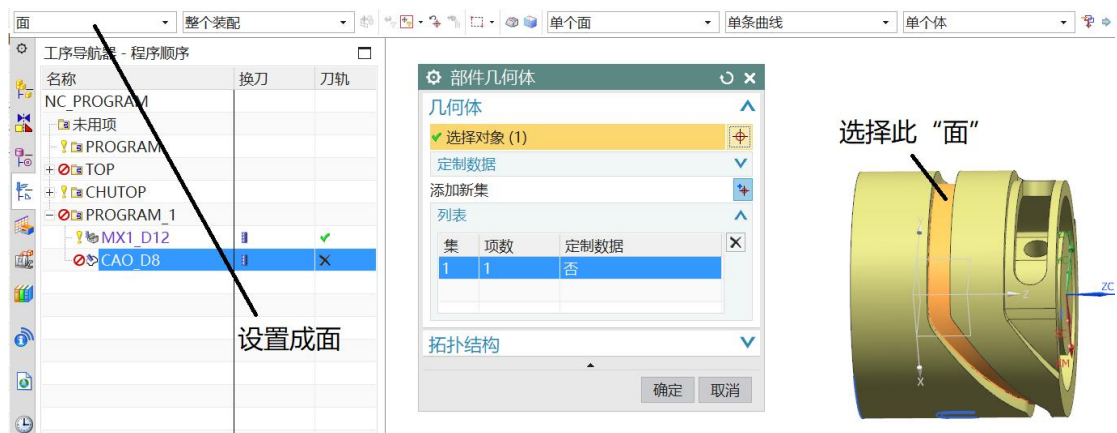


图 1-13 部件设置

驱动方法如图 1-14 所示。



常用方法有
“曲线/点”
“曲面”
“流线”。
本例选择
“流线”，
对话框如图
1-14-1

图 1-14 驱动方法

流线驱动方法对话框如图 1-14-1 所示。

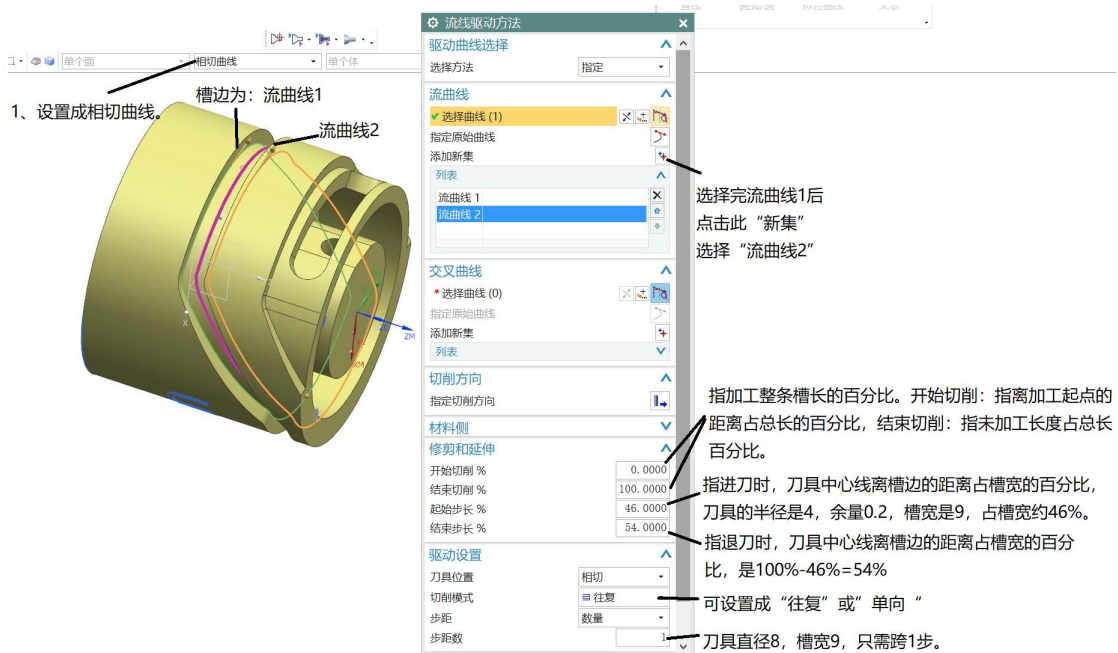


图 1-14-1 流线驱动方法设置

投影矢量设置如图 1-15 所示。

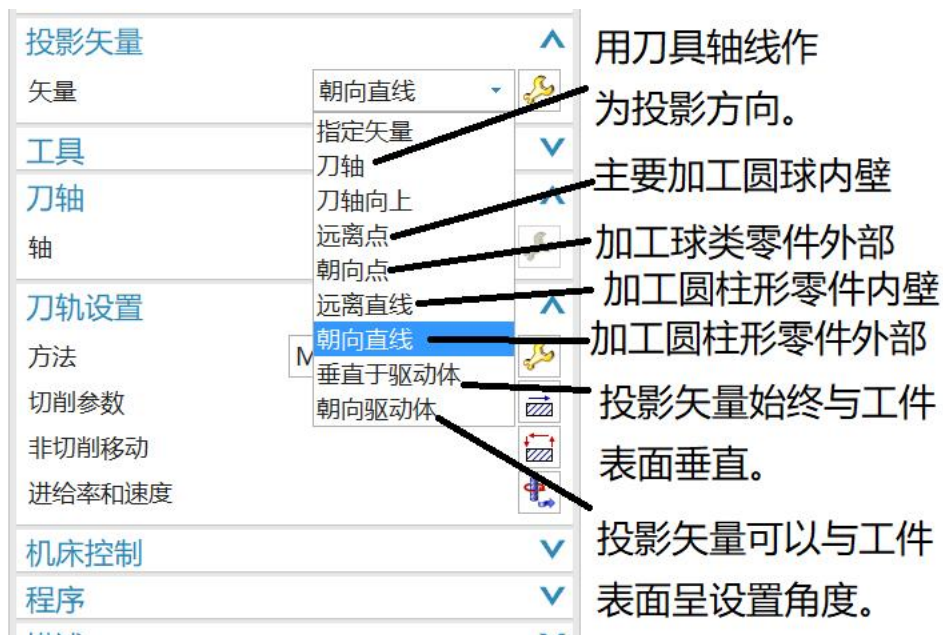


图 1-15 投影矢量应用介绍

本零件属于圆柱形零件，要加工外部，因此选择朝向直线，如图 1-15-1 所示。

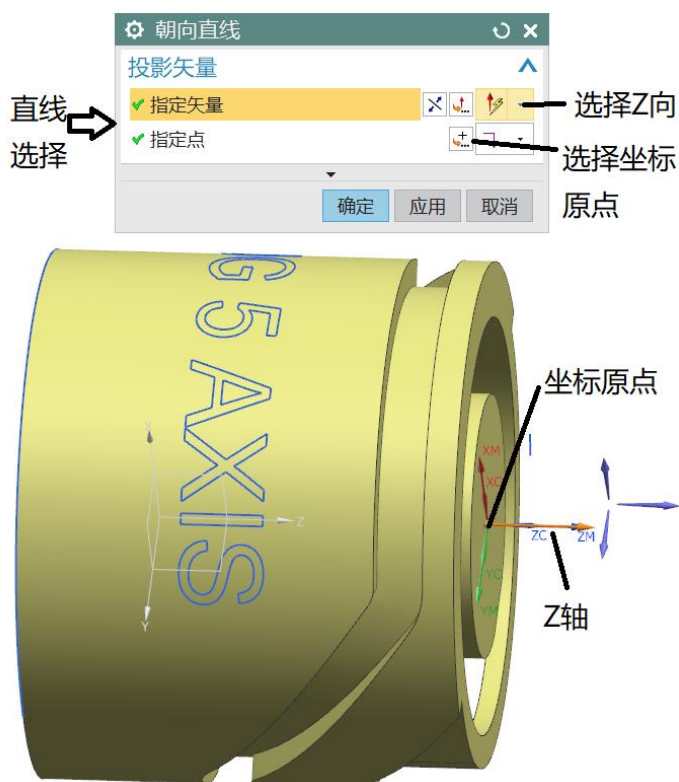


图 1-15-1 朝向直线选择

常用刀轴选择介绍如图 1-16 所示。本案例选择“垂直于部件”。

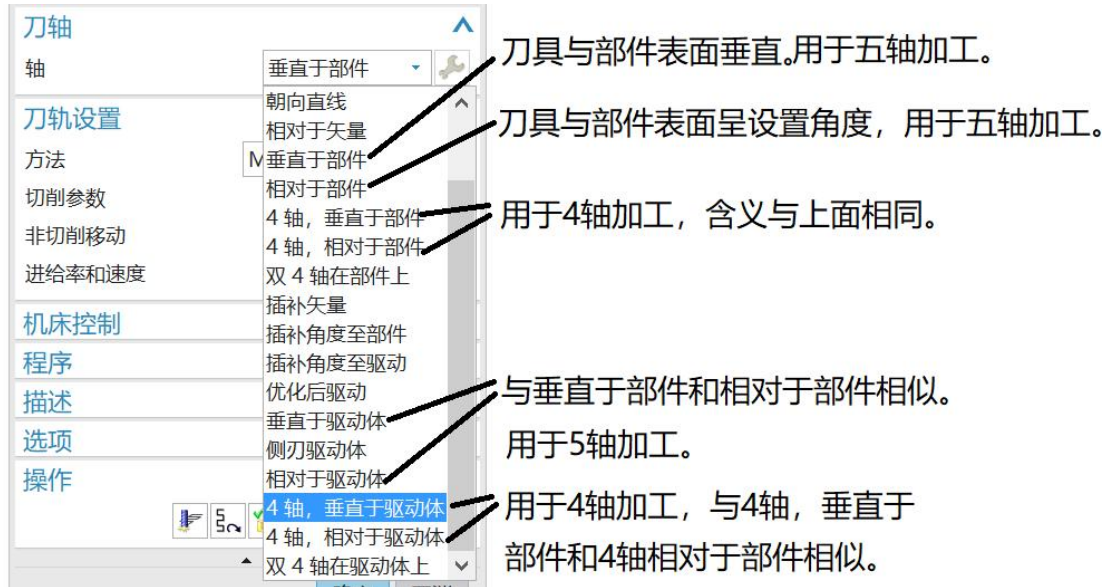


图 1-16 常用刀轴介绍

切削参数设置，多刀路设置如图 1-17 所示。

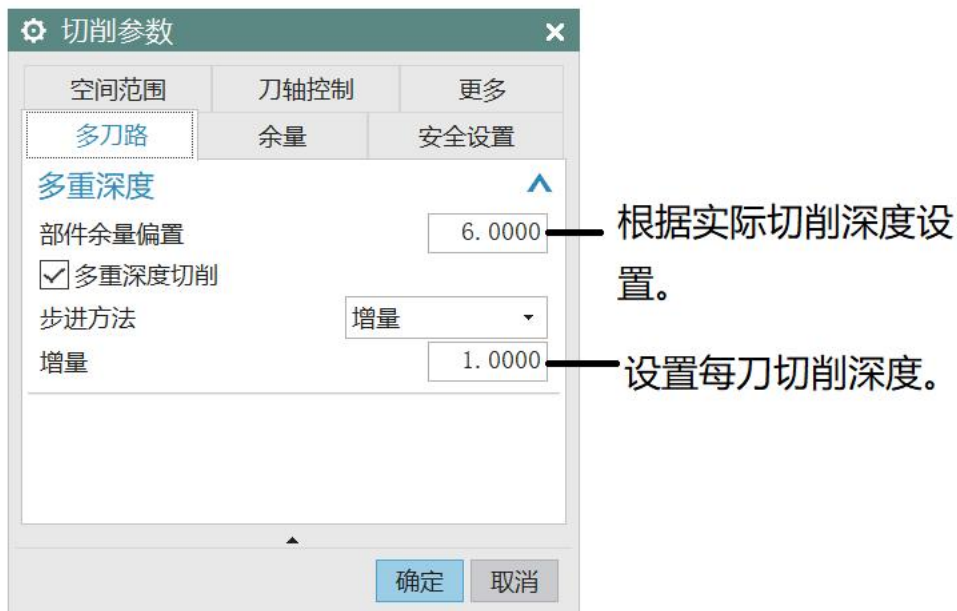


图 1-17 多刀路设置

非切削参数设置如图 1-18 所示。

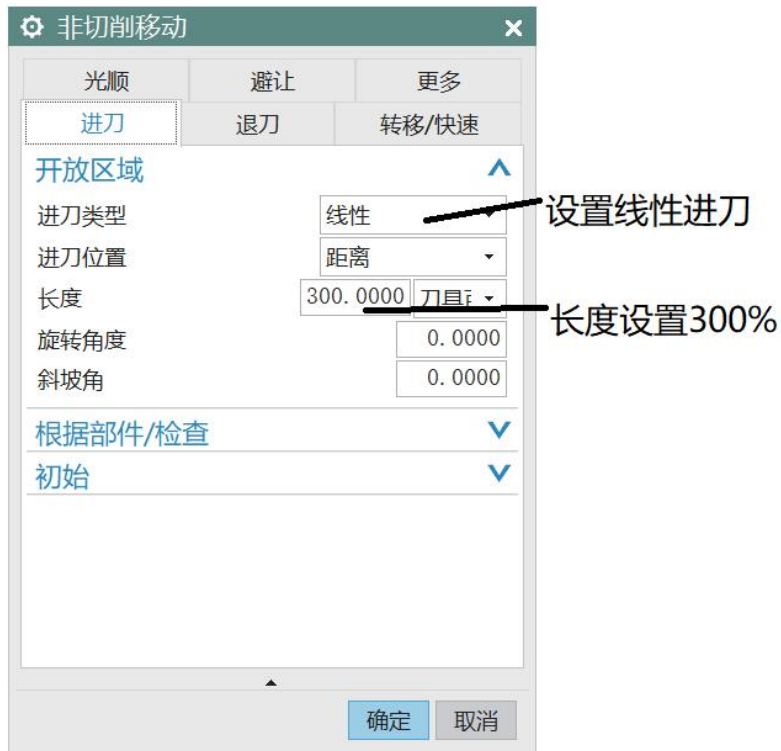


图 1-18 非切削参数进刀设置

槽开粗编程刀路图如图 1-19 所示。

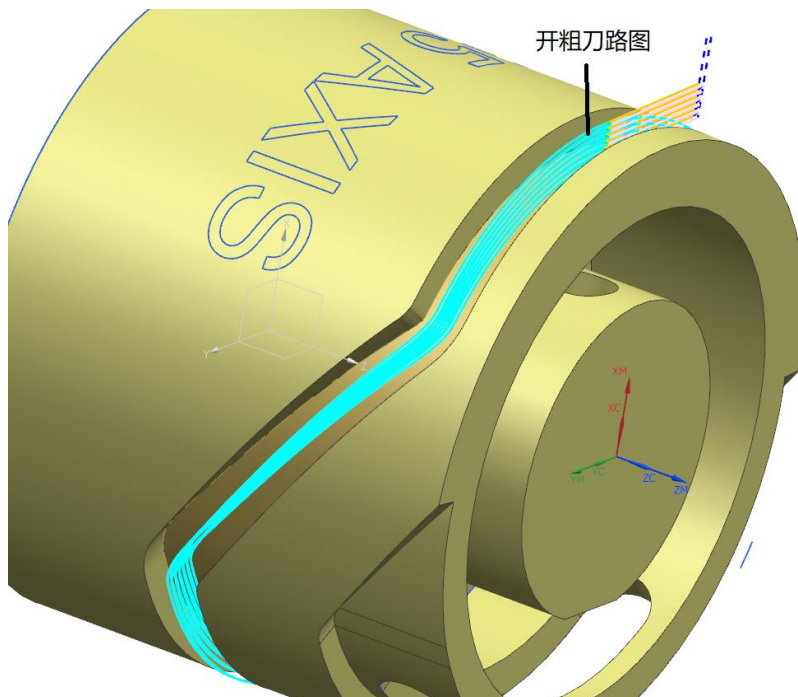


图 1-19 开粗刀路图

(3) 槽精加工编程，复制粗加工程序，进行参数修改，将刀轨设置中“方法”改成“精加工”，流线驱动方法修改如图 1-20 所示。

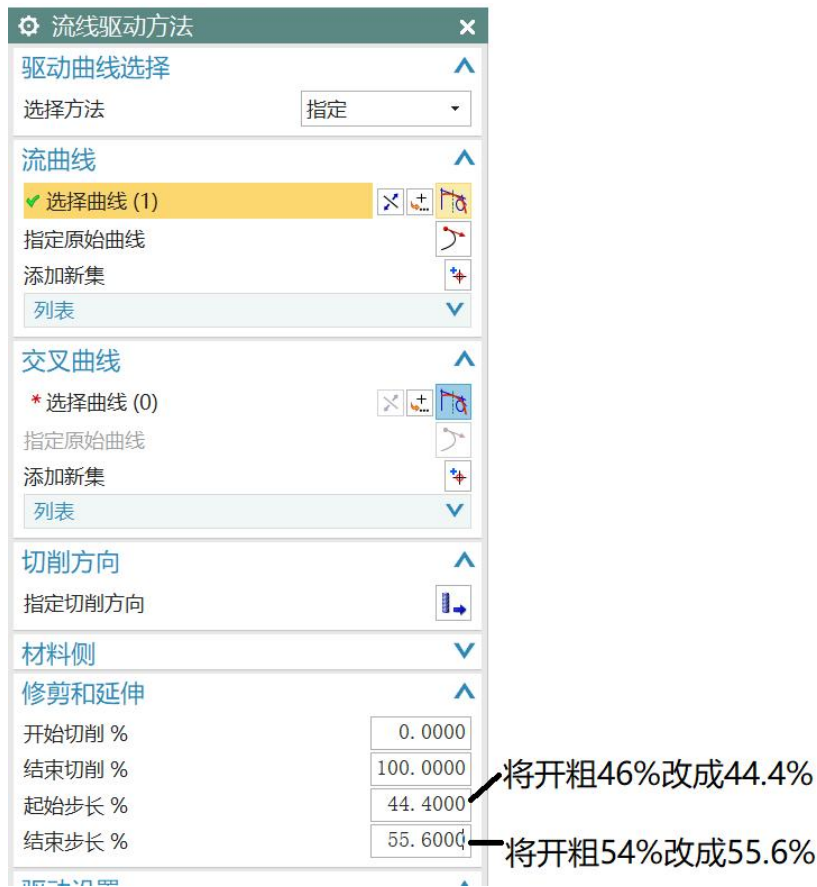


图 1-20 精加工流线修改

精加工切削参数设置如图 1-21 所示。



图 1-21 精加工切削参数设置

精加工刀路如图 1-22 所示。

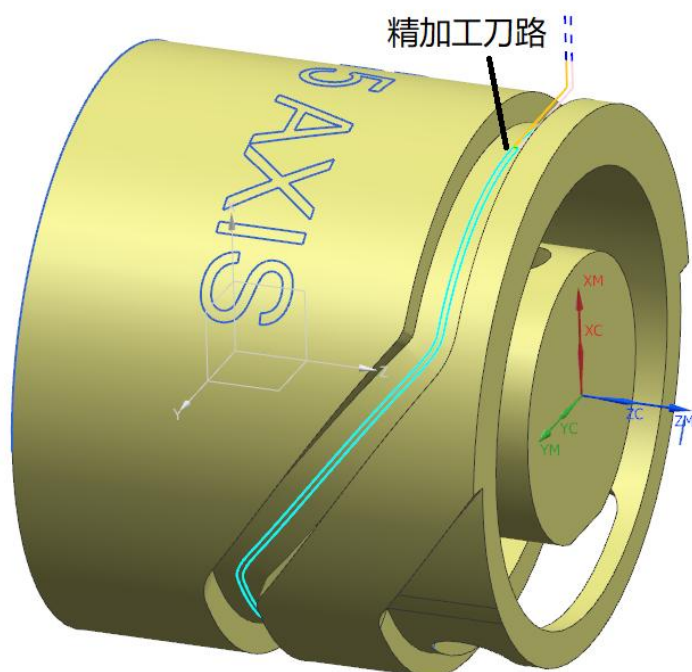


图 1-22 精加工刀路

4、外形曲面铣削编程

(1) 辅助线创建。外形曲面编程与槽加工编程参数设置基本一样，但由于形状不同，需要在建模状态下做辅助线。过程如图 1-23 至 1-28 所示。



图 1-23 辅助线绘制命令

进入在面上偏置对话框，如图 1-24 所示。

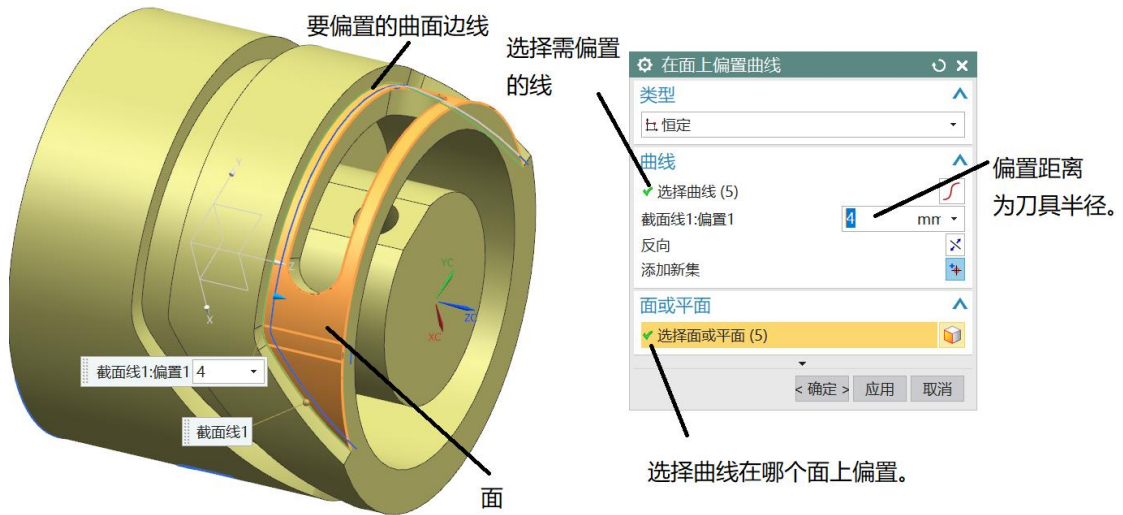


图 1-24 线偏置

用同样的方法偏置曲面的另一条边。整体效果如图 1-25 所示。

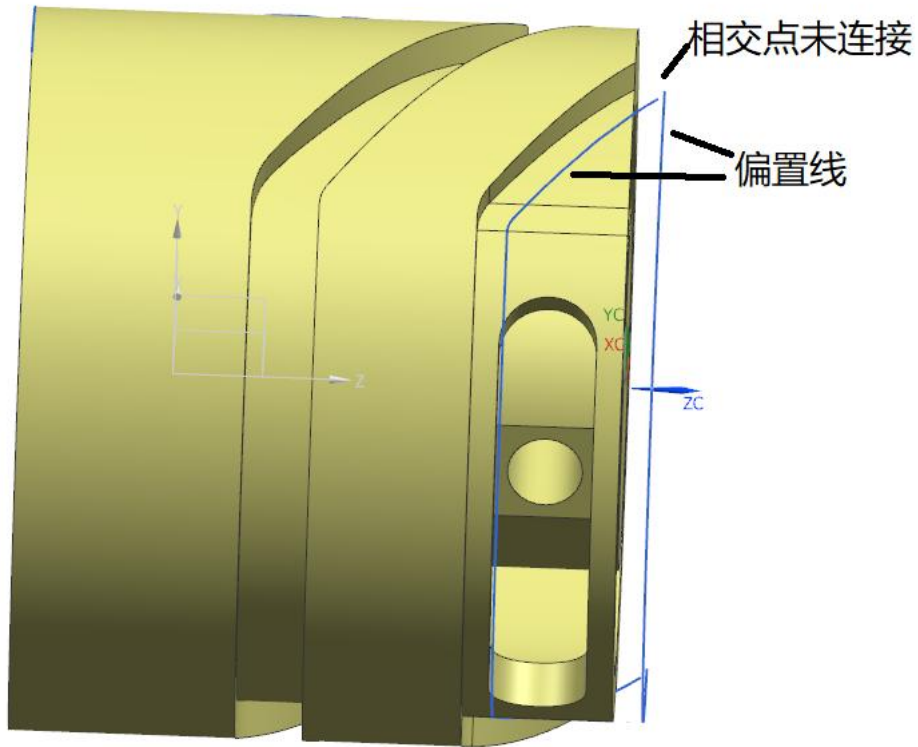


图 1-25 偏置效果

两偏置线未相交，延长短的那一边，让其超过相交点，再进行修剪。

如图 1-26 所示。



图 1-26 延长线

对超过交点的线进行修剪，如图 1-27 所示。

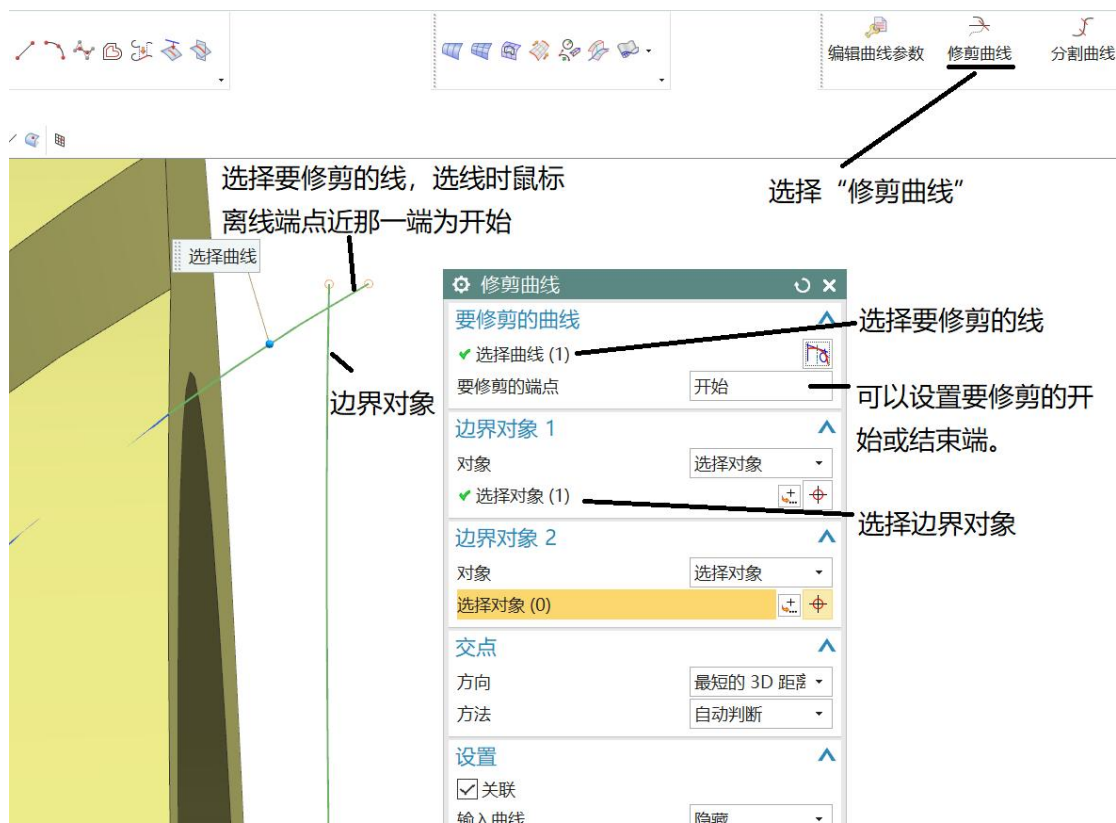


图 1-27 修剪曲线

整体修剪效果如图 1-28 所示。

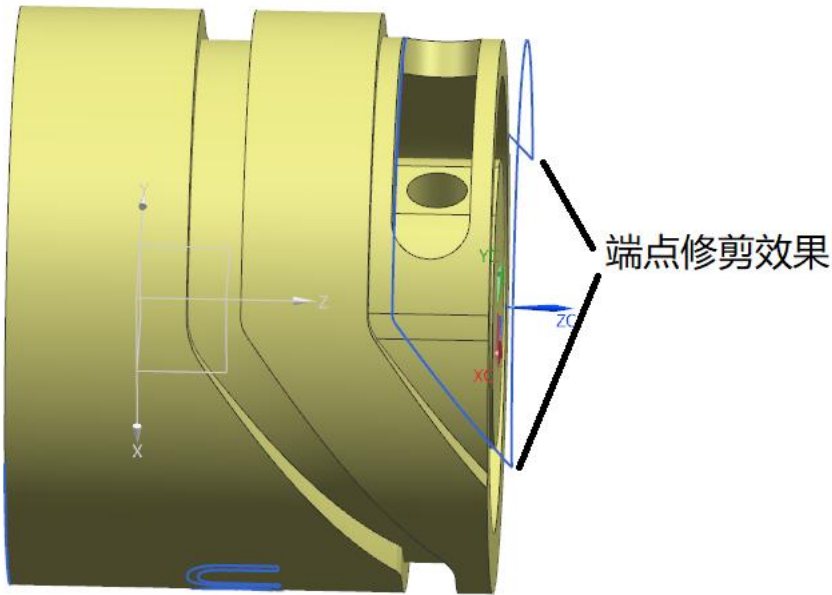


图 1-28 端点修剪效果

(2) 辅助面创建。如图 1-29 所示。

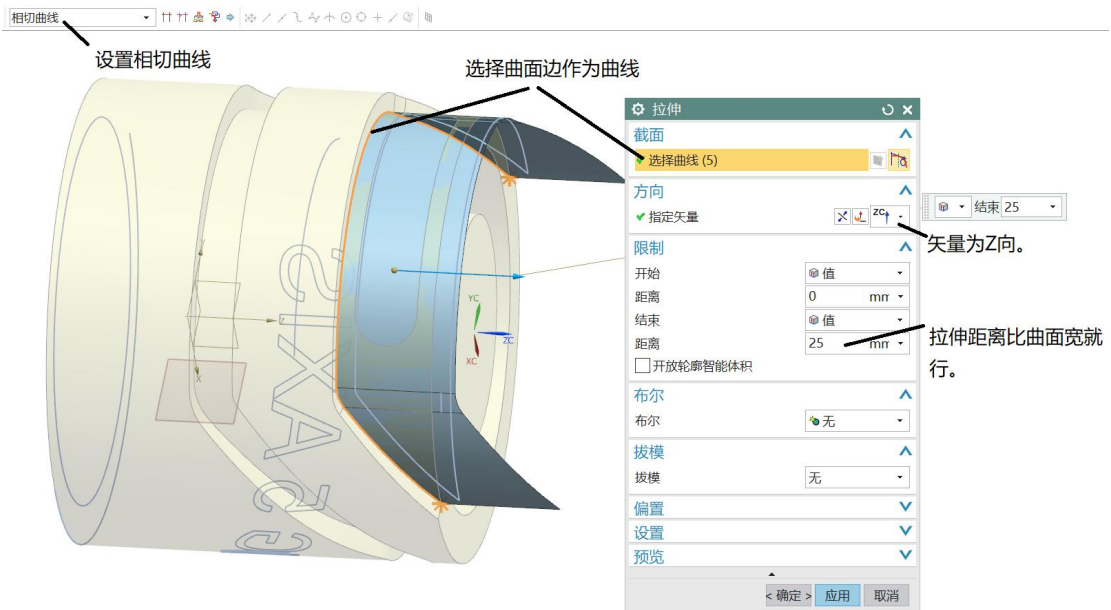


图 1-29 辅助面创建

(3) 外曲面加工编程。复制槽加工编程刀路，修改不同的参数。如图 1-30 所示。

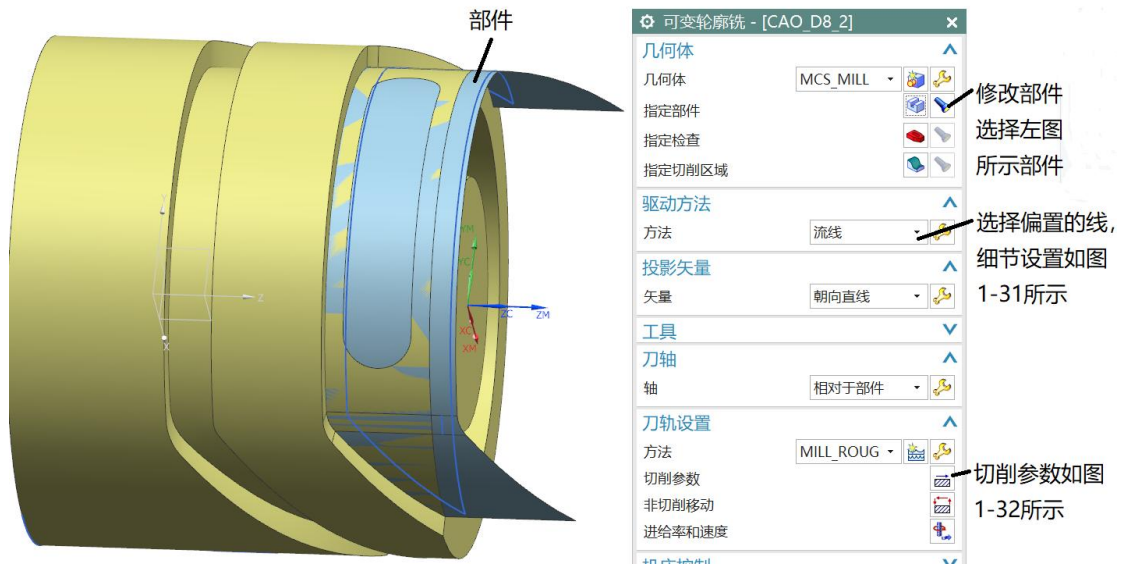


图 1-30 部件修改

流线设置如图 1-31 所示。

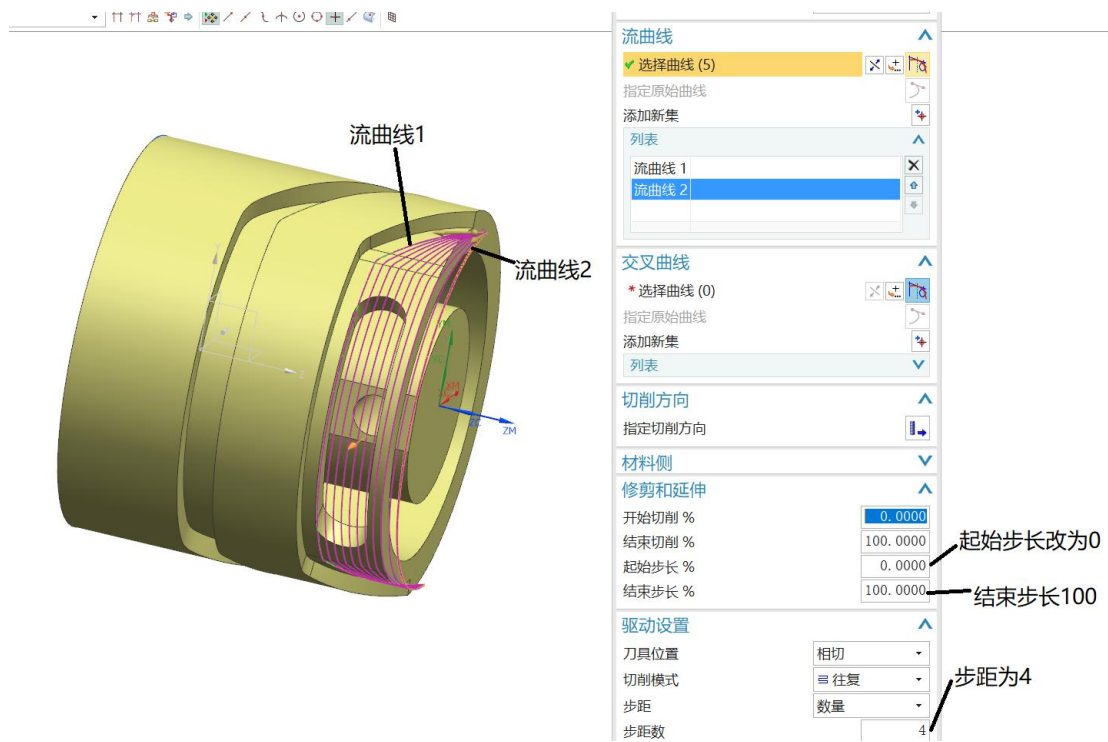


图 1-31 流线设置

切削参数设置如图 1-32 所示。

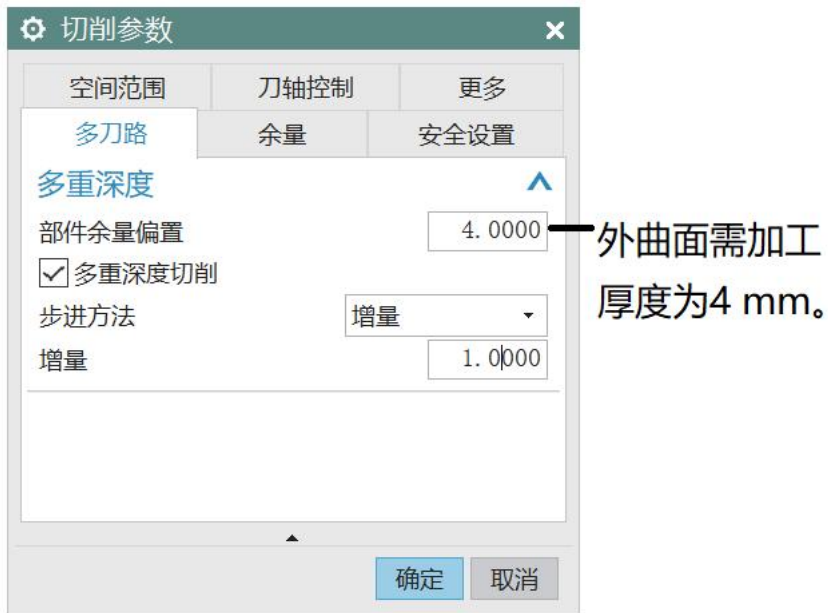


图 1-32 切削参数设置

非切削参数如图 1-33 所示



图 1-33 非切削参数设置

编程刀路如图 1-34 所示

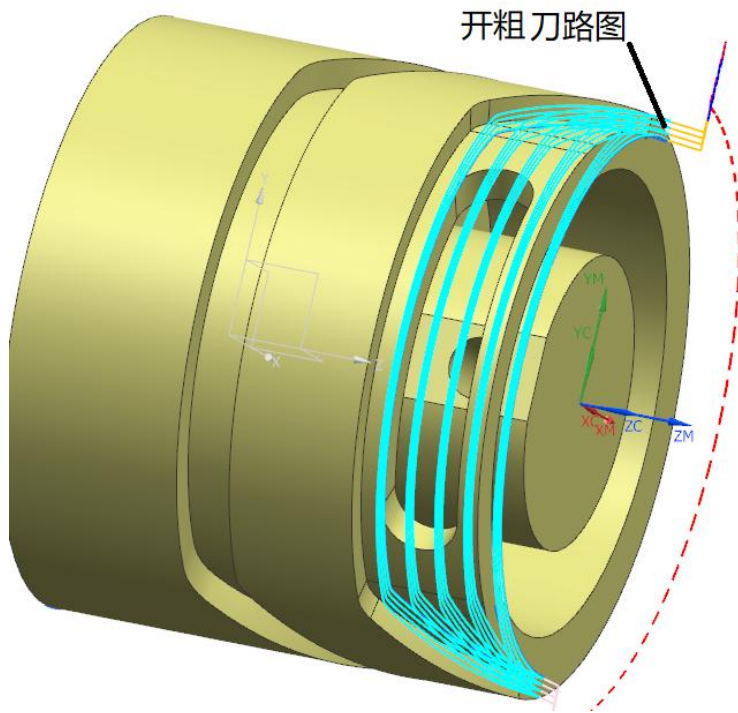


图 1-34 开粗刀路图

外曲面精加工刀路编程设置与槽精加工设置相同。精加工刀路图如图 1-35 所示。

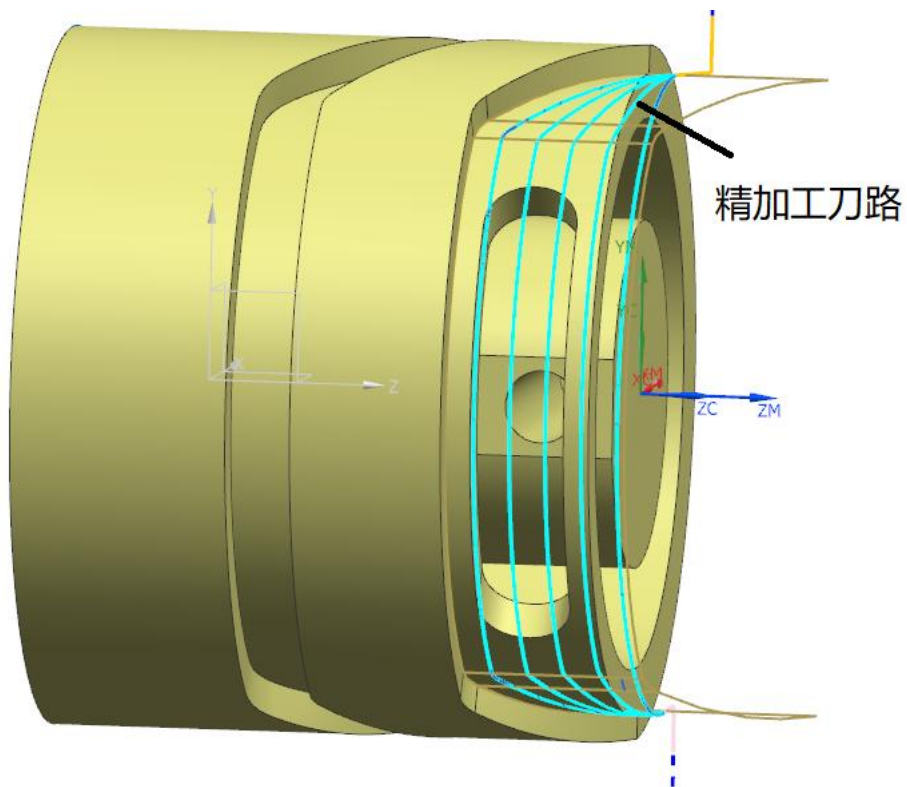


图 1-35 精加工刀路

5、外形小槽加工编程。

(1) 创建辅助部件，如图 1-36 所示。

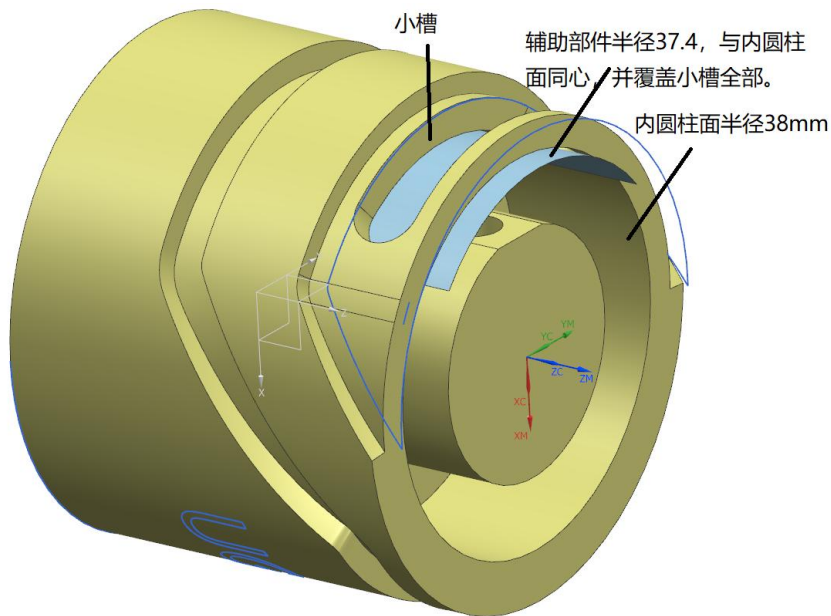


图 1-36 辅助部件

(2) 创建粗、精加工辅助曲线。

创建方法与图 1-23、图 1-24 相同，因为根据槽宽 13mm，可采用 D10 或 D8 刀具加工，本例选择 D8 刀具，辅助线分别偏置了一个刀具半径 4mm 辅助曲线用于精加工和用于粗加工 4.2mm 辅助曲线，如图 1-37 所示。

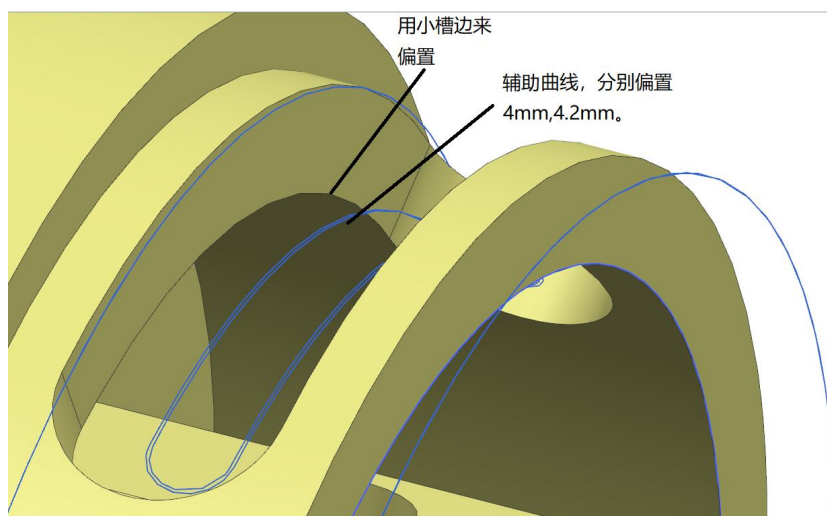


图 1-37 辅助曲线

(3) 复制外形槽粗加工程序，修改参数如图 1-38 所示。

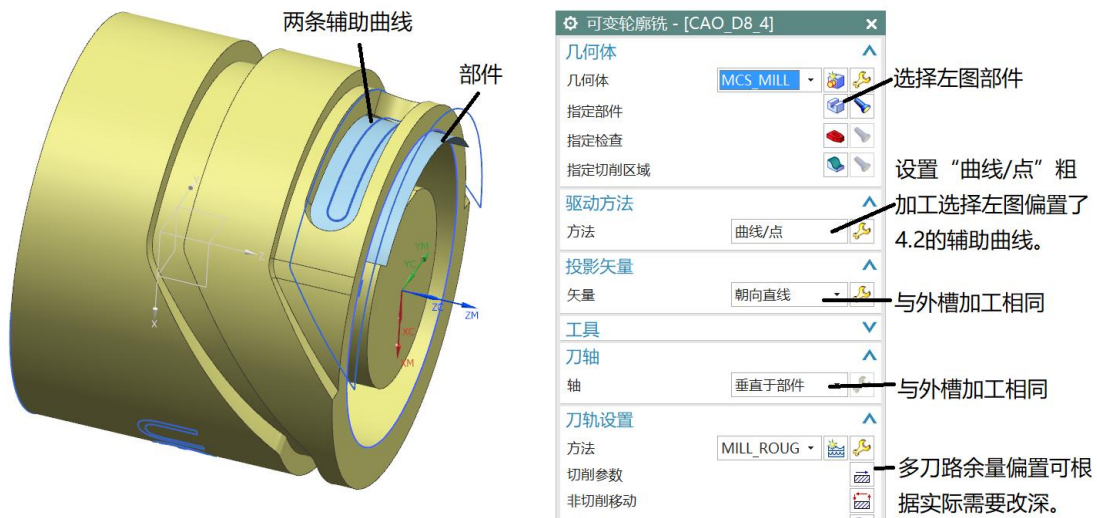


图 1-38 小槽粗加工参数设置

粗加工刀路图如图 1-39 所示。

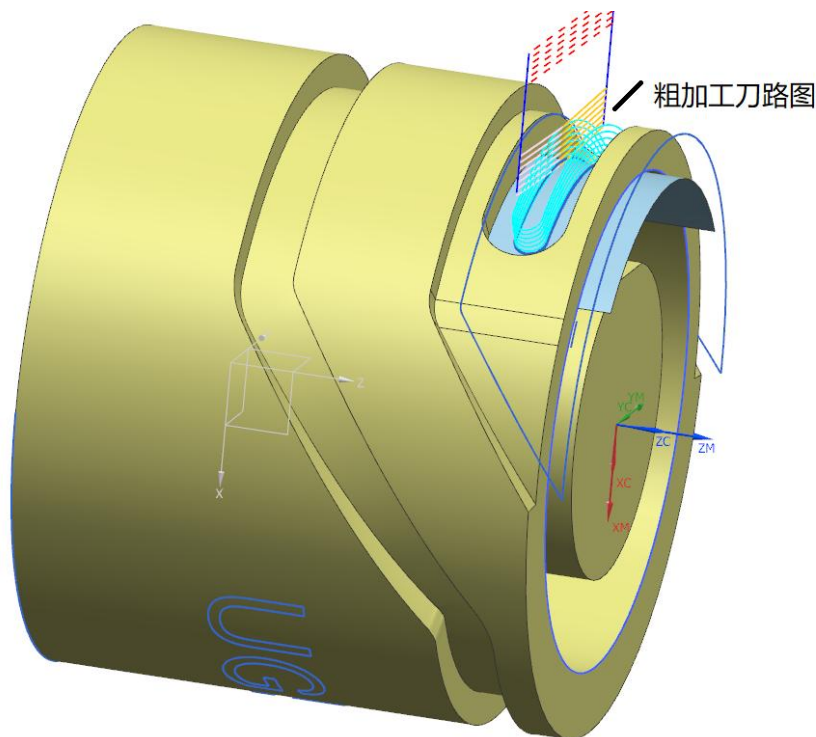


图 1-39 粗加工刀路图

精加工编程，复制粗加工刀路，在“驱动方法”中选择偏置 4 mm 的辅助曲线作为驱动。在切削参数中“多刀路”下去 多重深度切削。就是精加工刀路，如图 1-40 所示。

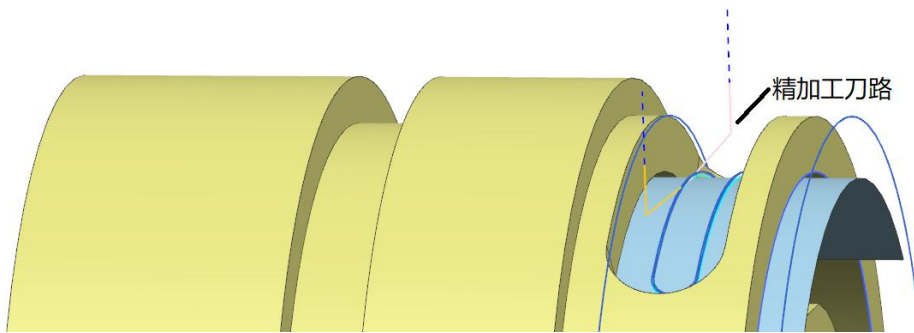


图 1-40 小槽精加工刀路

(4) 周围刻字编程，辅助外槽精加工刀路。修改参数如图 1-41 所示。

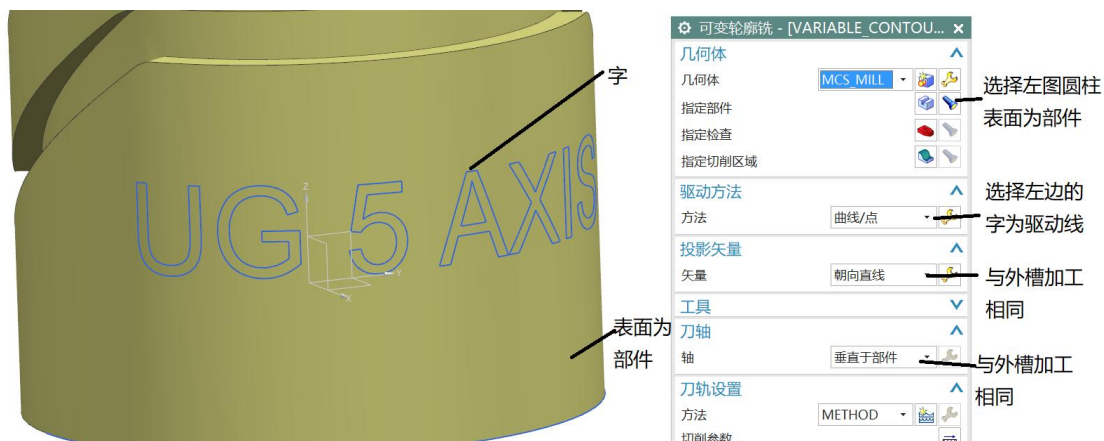


图 1-41 刻字参数设置

刀路如图 1-42 所示

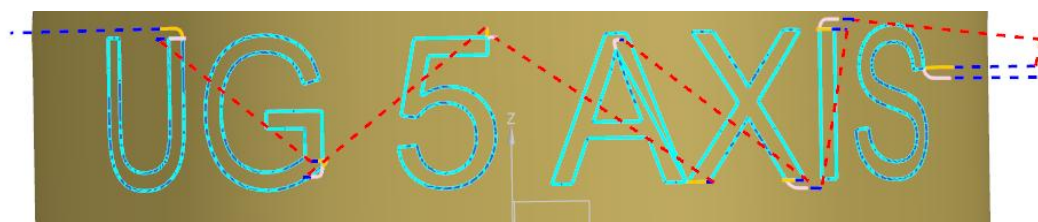


图 1-42 刻字刀路图

内槽加工、侧孔加工与三轴加工相同。

思政内容：作为新时代数控技术人才，要摒弃浮躁心态，深耕多轴加工技术，严守行业标准、追求工艺极致，主动对接国产智能制造发展需求，将个人技能成长融入国家制造强国战略，以精湛技艺、过硬素养、家国担当，成长为支撑高端制造业发展的高素质技能人才。

任务二、复杂零件的五轴编程

一、教学目标：

- 1、掌握复杂零件的五轴编程方法
- 2、掌握复杂零件的参数设置。

二、教学重点

掌握复杂零件的五轴编程方法

三、教学难点

合理选择刀轴，投影矢量等参数。

四、素质(思政)内容

编程人员需要对接工艺要求、配合质检标准、联动操作岗位，任何一个环节脱节都会影响成品质量。实训中小组分工、互帮互学、取长补短，既是锻炼专业能力，更是培养团队协作、爱岗敬业、携手共进的职业素养，适配企业现代化生产模式。

五、教学方式：

讲解、演示、实验

六、学时数

6 学时。

教学过程如下：

一、任务目标：完成如下图 2-1 所示复杂零件的编程。

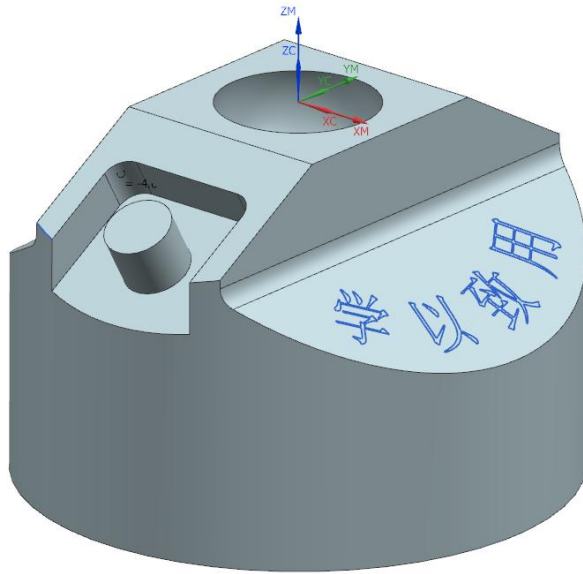


图 2-1 复杂零件

二、编程。

1、零件毛坯设置与开粗。毛坯设置如图 2-2 所示。

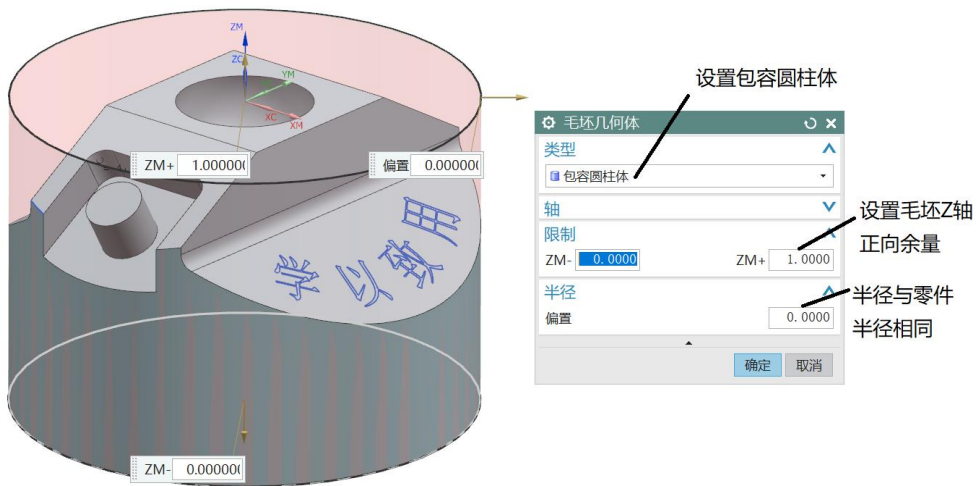


图 2-2 毛坯设置

零件开粗就是三轴开粗编程，参数设置与刀路如图 2-3 所示。

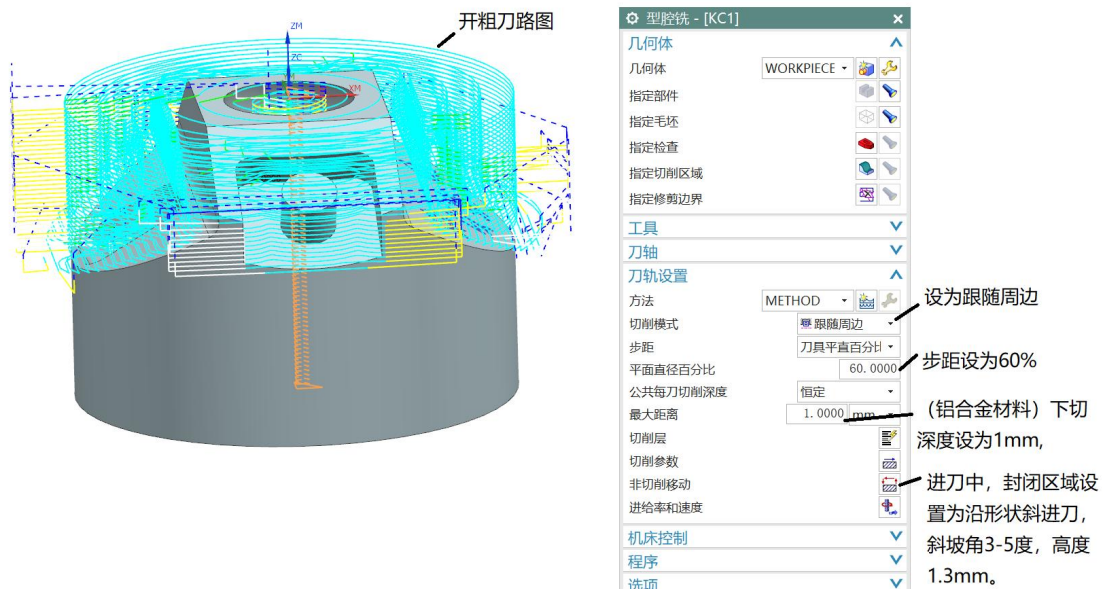


图 2-3 开粗参数设置与刀路图

2、二次开粗，与三轴二次开粗基本相同，只需要改变刀轴，让其更好的二次开粗。复制开粗刀路，修改参数，如下图 2-4 所示。

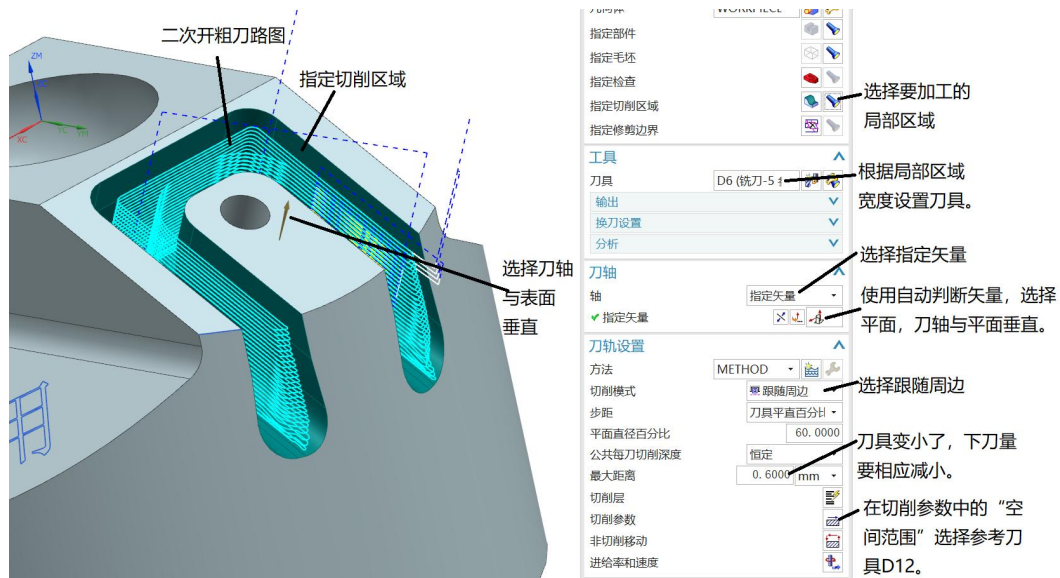


图 2-4 局部开粗

其它局部二次开粗与以上相同。

3、面的精加工，在五轴编程中，平面和斜平面都可以按三轴编程中的平面用平底刀编程加工完成，对于斜平面，只需要改变刀轴，让其与斜平面垂直。如图 2-5 所示。

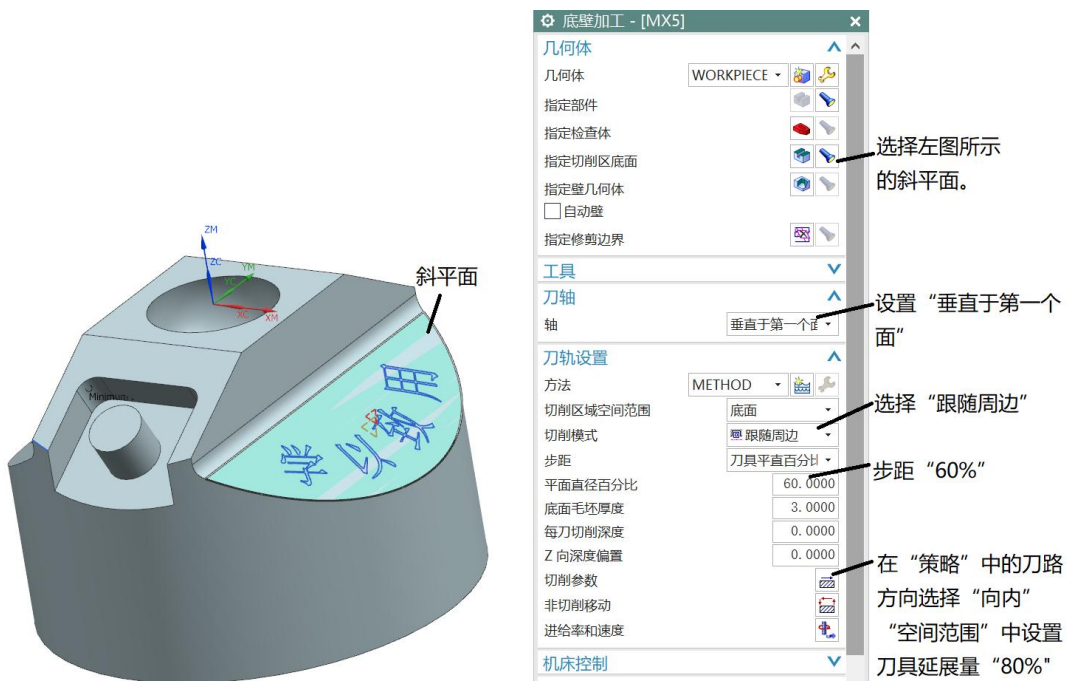


图 2-5 斜平面编程

刀路图如图 2-6 所示。

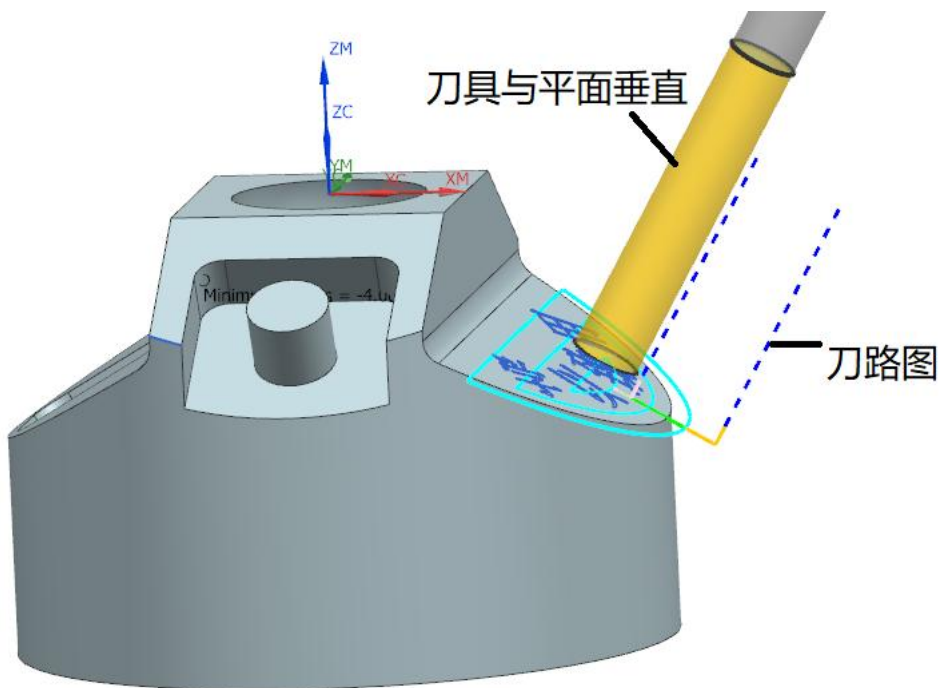


图 2-6 面铣刀路图

其它所有斜平面的编程方法与上类似。

用刀具侧刃加工平面技巧介绍如下。

创建工序如图 2-7 所示。

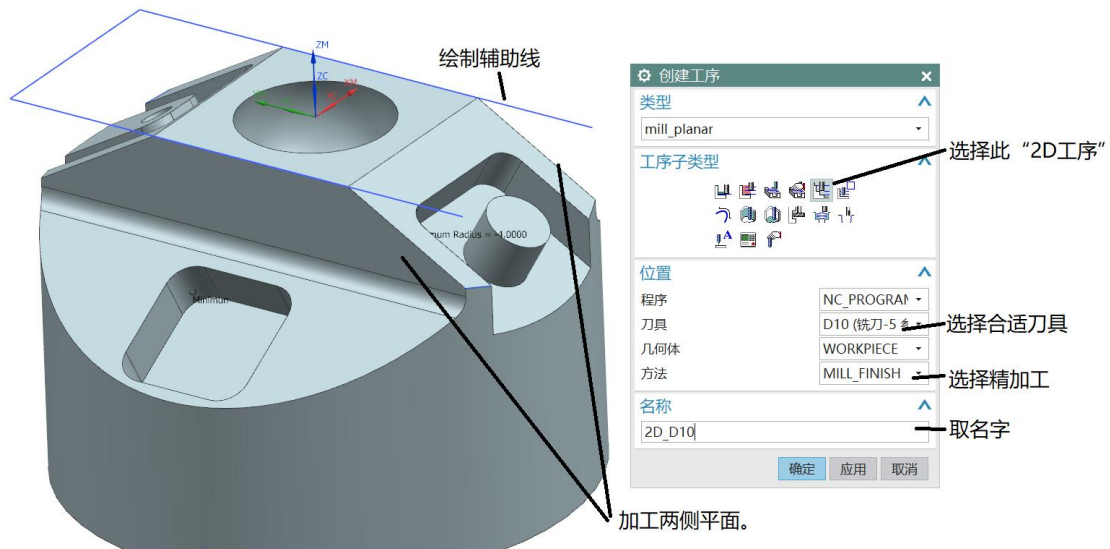


图 2-7 创建工序

进入面铣对话框，如图 2-8 所示。

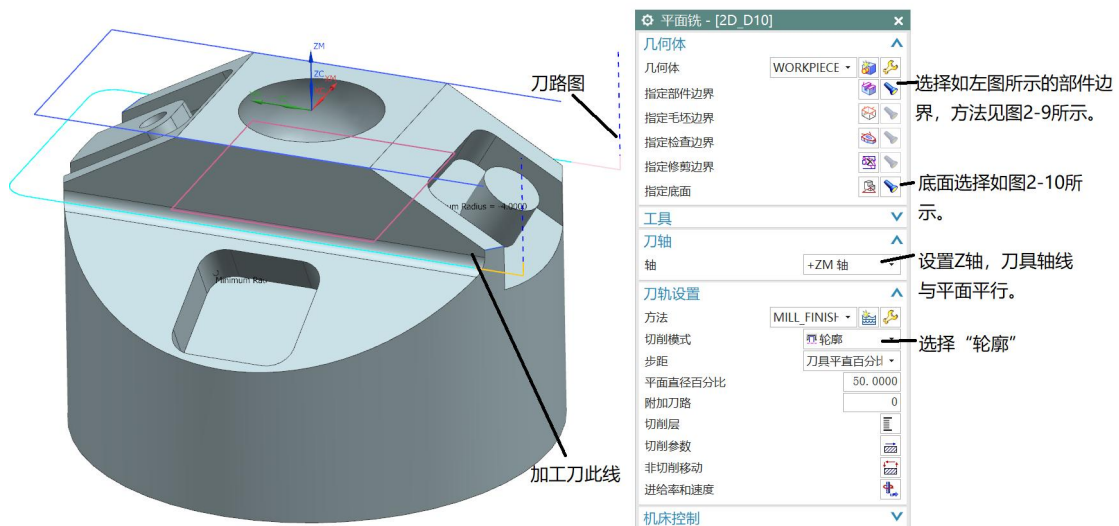


图 2-8 面铣设置

部件边界选择如图 2-9 所示。

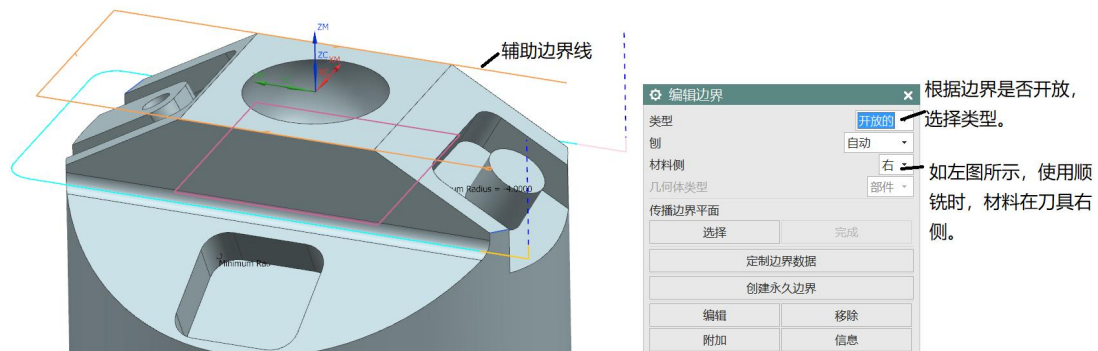


图 2-9 边界选择

底面设置如图 2-10 所示。

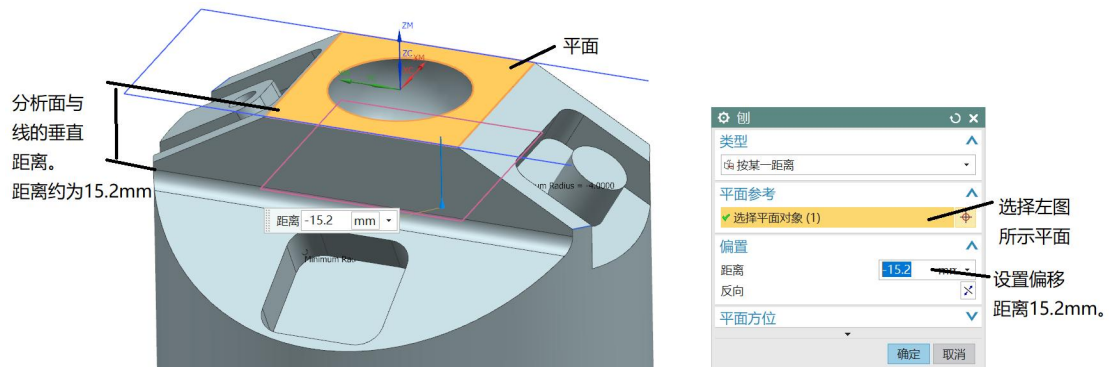


图 2-10 底面设置

3、有规则曲面加工技巧。

曲面加工辅助线的绘制，如图 2-11 所示。

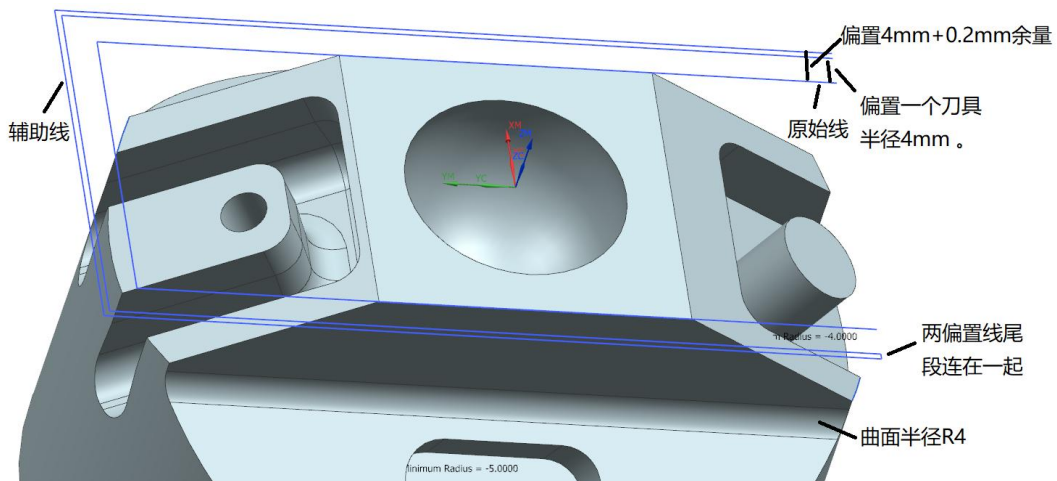


图 2-11 辅助线绘制

刀具选择，分析曲面半径是 4mm，可以直接采用 R4 的球刀，让球刀的中心沿着上面的辅助线，先走外线，再走内线。走外线是粗加工，走内线是精加工。

程序编制，复制上面的面精加工技巧，修改参数如图 2-12 所示。

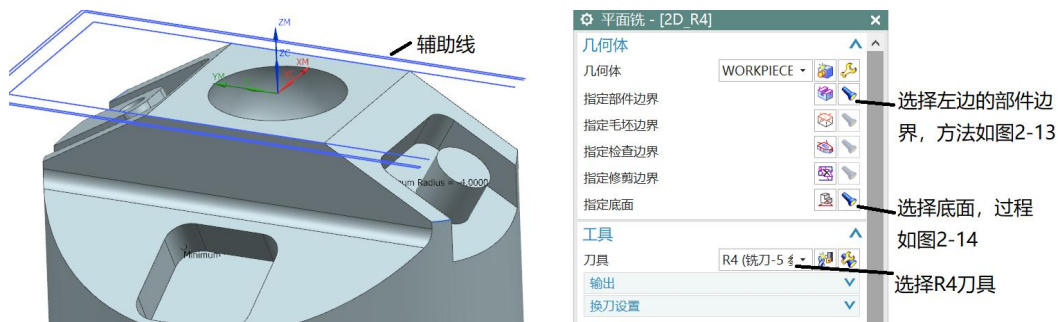


图 2-12 曲面粗、精加工参数修改

部件边界设置过程如图 2-13 所示。

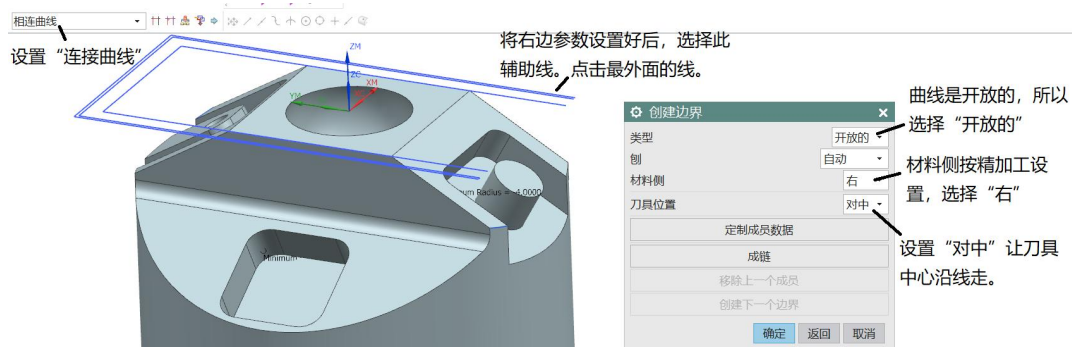


图 2-13 部件边界设置

底面设置如图 2-14 所示。

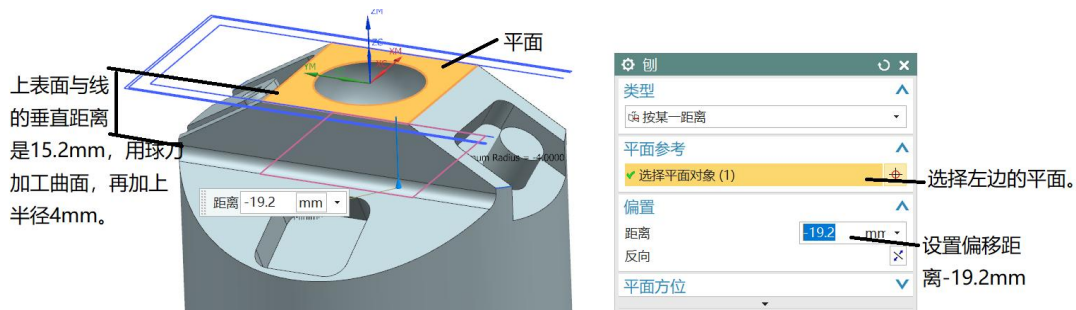


图 2-14 底面设置

刀路图如图 2-15 所示。

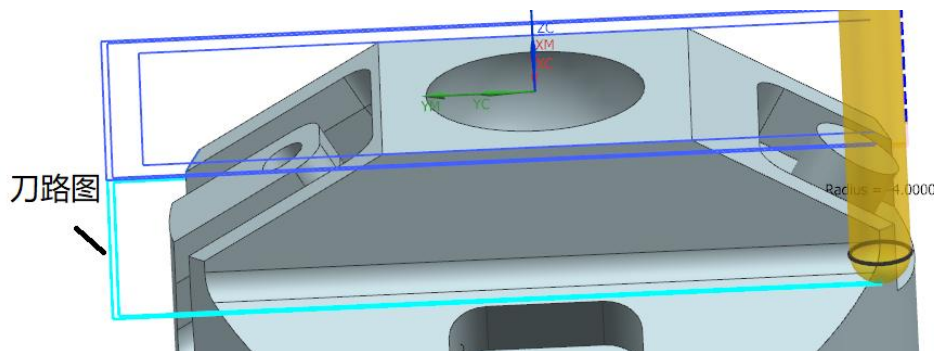


图 2-15 刀路图

4、无规则曲面加工编程。如图 2-16 所示。

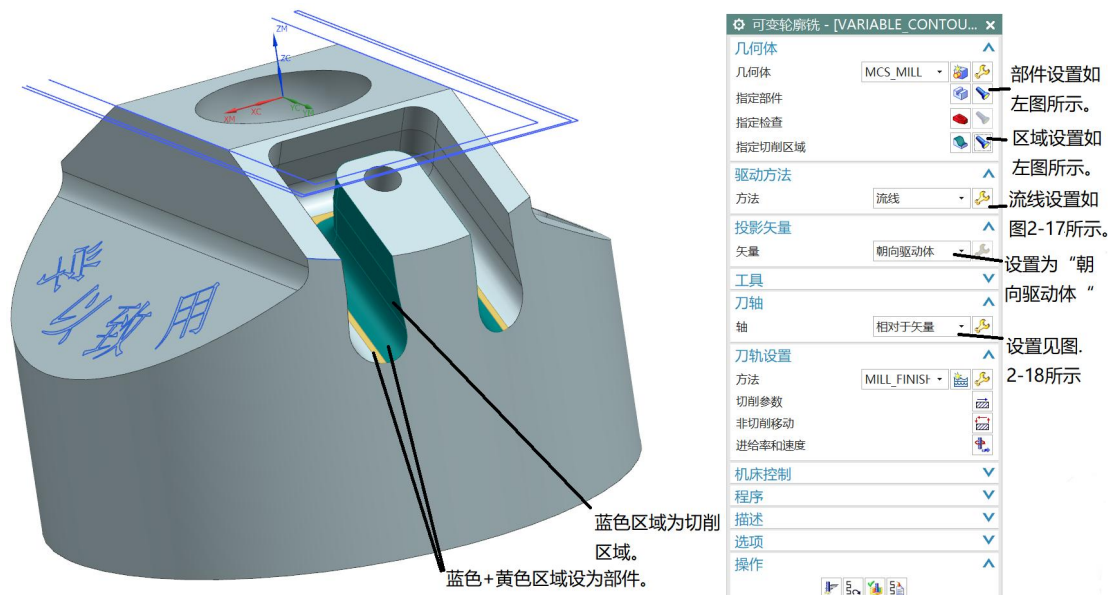


图 2-16 不规则曲面编程参数设置

流线设置如图 2-17 所示。

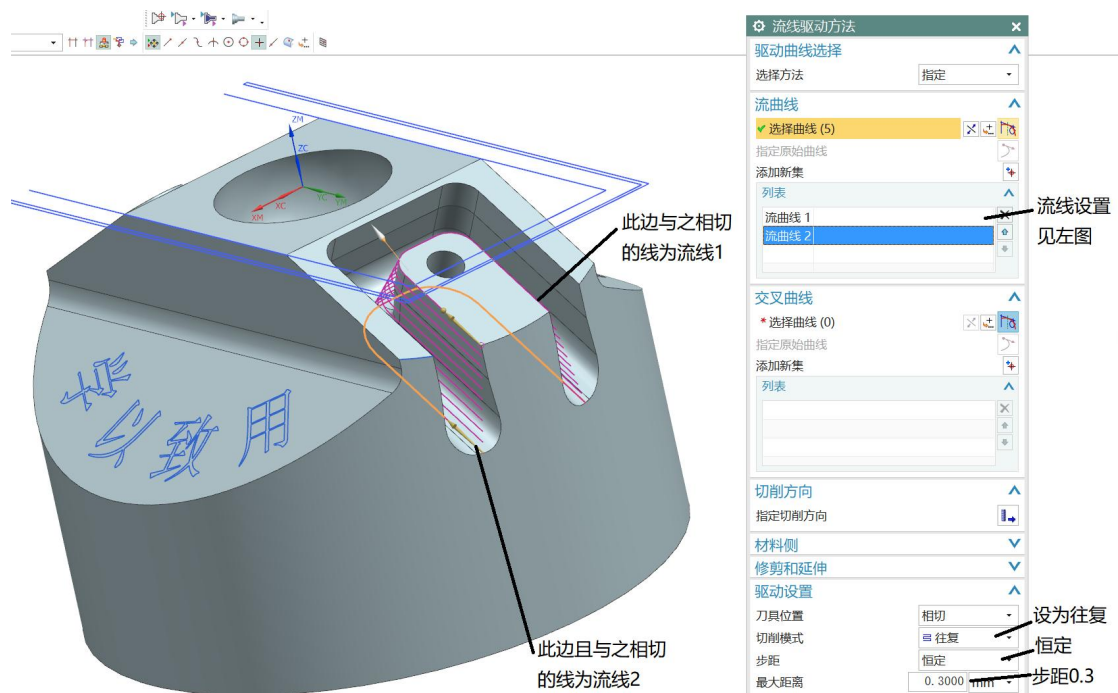


图 2-17 流线设置

相对矢量设置如图 2-18 所示。

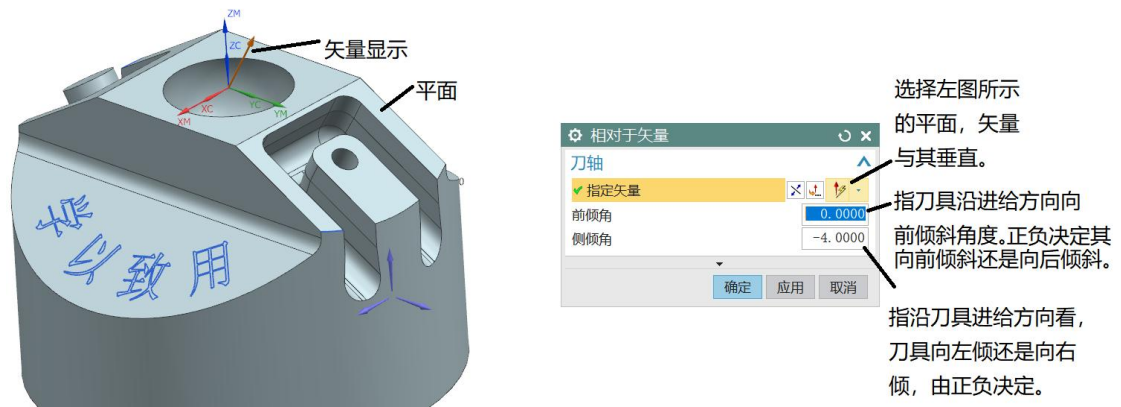


图 2-18 相对矢量设置

刀路如图 2-19 所示

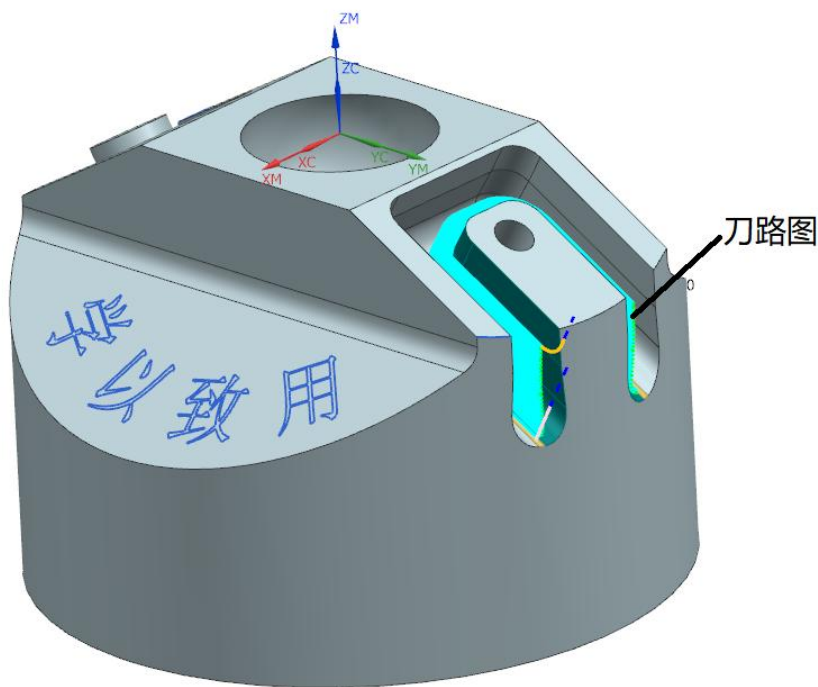


图 2-19 刀路图

5、与其相对应的不规则曲面的编程方法相似，对参数进行适当修改就行，如图 2-20 所示。

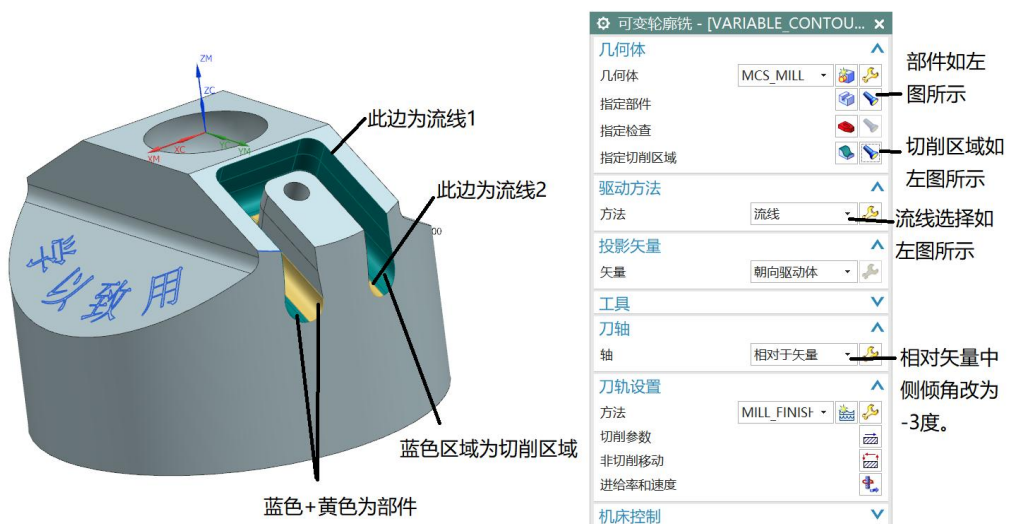


图 2-20 参数设置

刀路图如图 2-21 所示。

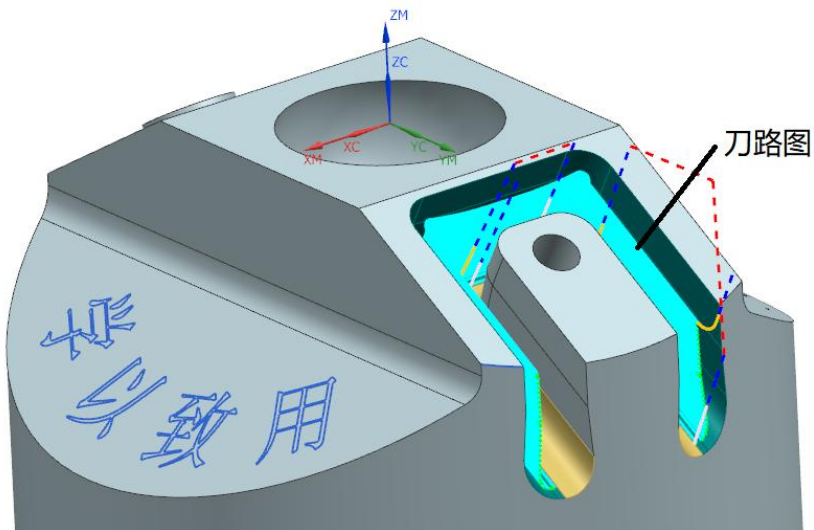


图 2-21 刀路图

6、中间小平面加工编程。辅助线绘制如图 2-22 所示。

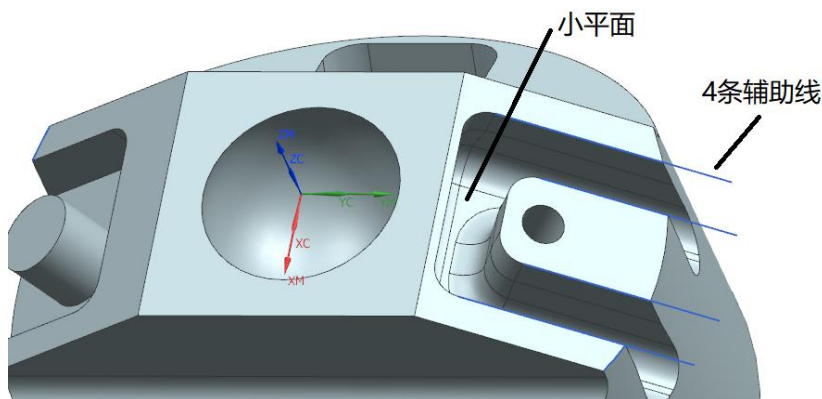


图 2-22 绘制辅助线

参数设置如图 2-23 所示。



图 2-23 小平面编程参数设置

刀路图如图 2-24 所示。

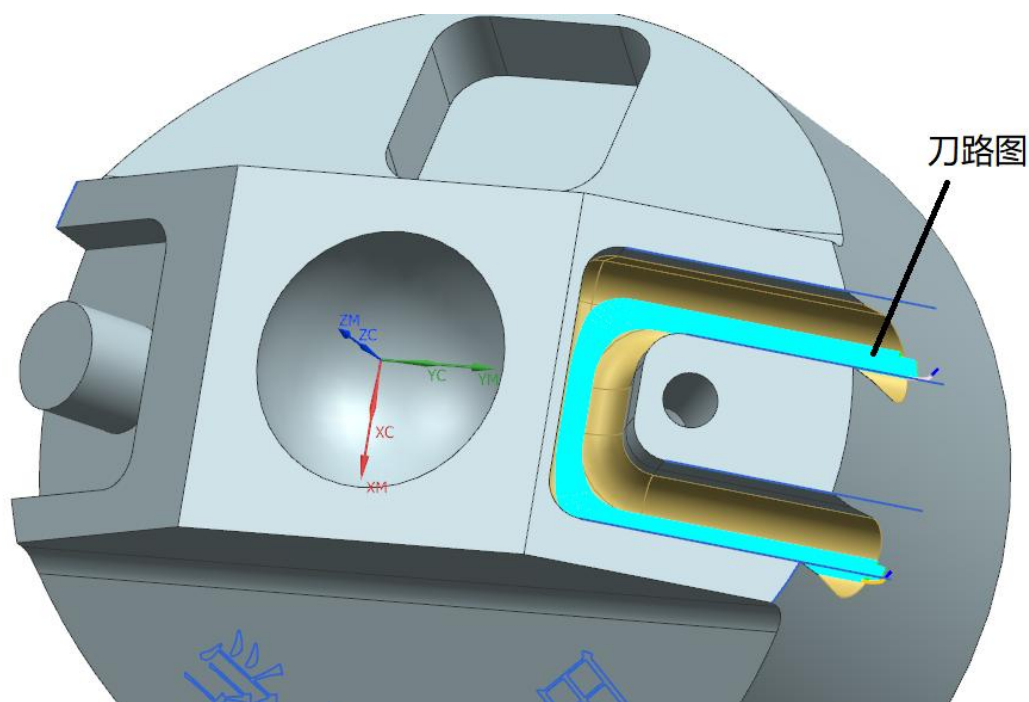


图 2-24 刀路图

思政内容：编程人员需要对接工艺要求、配合质检标准、联动操作岗位，任何一个环节脱节都会影响成品质量。实训中小组分工、互帮互学、取长补短，既是锻炼专业能力，更是培养团队协作、爱岗敬

业、携手共进的职业素养，适配企业现代化生产模式。