海德汉系统五轴定向加工编程方法

■ 郑州飞机装备有限责任公司 （河南 450005） 崔 冬

摘要： 本文详细介绍了应用海德汉系统进行五轴定向加工时所使用的7种编程方法。这几种方法对于在机床上进行对话式编程非常有意义，程序的结构非常简单，可以不依赖计算机编程软件，通过简单的对图样尺寸进行转换就可以完成倾斜平面中的加工内容，使用方法非常灵活。

海德汉定向加工功能介绍

海德汉系统可以用于带定向主轴头或者倾斜工作台这两种机床的定向加工功能。例如，倾斜平面上钻孔或加工轮廓，此时加工平面总是围绕当前原点倾斜。与在主平面（如*X*/*Y*平面）上编程一样，但是在机床执行时，实际加工面将相对原有坐标平面倾斜一定角度。本文以DMU80P为例，介绍海德汉系统的五轴定向加工编程方法。DMU80P机床结构为旋转工作台（*C*轴）+旋转主轴（*B*轴），两个旋转轴的行程范围为：*B*轴－7°～180°，*C*轴－360°～360°。在海德汉系统中，有3种实现倾斜加工面功能的方法：

（1）在“手动操作”模式或者“电子手轮”操作模式下，激活手动旋转功能。

（2）在程序控制下倾斜，在零件程序中用CYCLE 19启动倾斜加工面功能。

（3）在程序控制下倾斜，在零件程序中用PLANE功能启动倾斜加工面功能。

海德汉定向加工功能分类

海德汉系统的五轴定向加工功能本质上属于坐标变换功能，通过坐标系的平移和旋转使被加工面与刀具轴始终保持相互垂直，对于不同类型的机床，其五轴定向加工功能会有所不同。

（1）倾斜工作台机床：具有倾斜工作台的机床必须首先通过定位倾斜工作台将工件倾斜至所需位置，（比如用L程序段）。经过变换的刀具轴位置相对机床坐标系统保持不变。因此，当工作台（或工件）旋转任意角度时，坐标系统不旋转。例如：在“手动操作”模式下按*Z*+轴方向键，刀具将在*Z*+方向运动。在这种情况下，系统在计算变换后的坐标系时，只考虑指定倾斜工作台受机械影响的偏移量。

（2）旋转主轴头机床：旋转主轴头机床必须通过旋转主轴头将刀具移到所需加工位置，（比如用L程序段）。此时刀具轴位置相对机床坐标系发生变化。因此，如果机床的主轴头（例如*B*轴刀轴）旋转90°，坐标系也将旋转。例如：在“手动操作”模式下按*Z*+轴方向键，刀具将在机床坐标系统中沿*X*+方向运动。在这种情况下，系统在计算变换后的坐标系时，除了考虑特定定向主轴头受机械影响的偏移外，还考虑由于刀具倾斜所带来的偏移，即三维刀具长度补偿。

实现五轴定向加工的编程方法

1. 使用CYCLE19（坐标变换循环）实现五轴定向加工

使用CYCLE19命令编程时的顺序：编程启动原点平移（CYCLE7）→启动倾斜功能（CYCLE19）→启动旋转（CYCLE19，输入角度）→加工（L程序段）→复位旋转（CYCLE19，所有值均为0）→复位倾斜功能（CYCLE19）→复位原点平移（CYCLE7）。

从以上的程序结构可以看出，使用CYCLE19命令实现五轴定向加工编程的实质就是空间坐标系的平移与旋转，需要说明一点，在程序中加工面是围绕当前原点旋转的，也就是说CYCLE19与CYCLE7的顺序不同，所得到的结果也不同。例如，CYCLE7在前，CYCLE19在后，说明旋转是发生在平移坐标系后的；同样，如果CYCLE19在前，CYCLE7在后，则说明先旋转坐标系，然后再将当前坐标系平移。

计算加工面倾斜角度时，系

统自动计算倾斜轴所需的角度位置并将其保存在参数Q120（*A*轴）至Q122（*C*轴）中。如果有两个解，系统将自动选择距旋转轴零位最短的路径。在旋转过程中机床总是以相同的顺序旋转轴：首先旋转*A*轴，然后*B*轴，最后是*C*轴，不论其中的某个倾斜角度是否为零，这3个轴角必须全部输入。要取消倾斜角，则需重新定义CYCLE19循环并将全部旋转轴输入角度值0°。如果需要在不同坐标轴位置处进行加工，则不需重新复位CYCLE19，可以直接输入新角度值。

2. 使用PLANE功能实现倾斜加工面

PLANE功能是一个强大的定义倾斜加工面的功能，它支持多种定义方式。海德汉系统中的每一个PLANE功能都可用来描述所需的加工面，且与机床的实际结构无关。主要有以下7种定义方法：空间角、投影、欧拉角、矢量、三点、相对角及轴角。但除轴角功能外，PLANE功能只能用于具有两个以上旋转轴（主轴头/旋转工作台）的机床上。

（1）用空间角定义加工面：PLANE空间角。这个功能是通过3个围绕机床固定坐标系统旋转的空间角定义一个加工面，这3个空间角分别为SPA、SPB和SPC，如图1所示。在旋转这3个角度时，应严格遵守旋转顺序：先围绕*A*轴旋转，然后*B*轴，再*C*轴（如果在CYCLE19中将输入的角度定义为空间角的话，则这个功能的作用相当于CYCLE19），这3个空间角的旋转顺序与当前刀具轴无关。在使用这个功能时，即使在3个角度中的某一个角度为0°，也必须将此角度输入程序。

例如：

5 PLANE SPATIAL SPA+27 SPB+0 SPC+45 …

（2）用投影角定义加工面：投影PLANE。用投影角定义一个加工面的方法需要首先输入的两个投影角，这两个投影角是使用当前倾斜加工平面的坐标系与机床固定坐标系在第一坐标平面（*ZX*平面）和第二坐标平面（*YZ*）的之间角度来定义，如图2所示。其中在第一坐标平面中的投影角称为基本角，用PROPR表示，是机床固定坐标系在第一坐标面上的倾斜加工面投影角（见图2a）。0°轴是机床固定坐标系*X*轴（参见图2a的正方向）。投影角第二坐标面的投影角称为辅助角，用PROMIN表示，是机床固定坐标系统在第二坐标面上的倾斜加工面投影角（见图2a）。0°轴是机床固定坐标系的*Y*轴。投影角的正负由旋转方向确定，从0°轴的正方向观察，逆时针方向旋转为正，顺时针方向旋转为负。

当以上两个角度确定之后，需要使用倾斜面的旋转角——PROROT确定第三个角度。这个角度是指在当前倾斜加工平面中围绕倾斜刀具轴旋转倾斜后坐标系（类似于用CYCLE10），旋转角用于调整指定倾斜加工面的基本轴方向（*Z*轴为刀具轴的*X*、*Y*轴为刀具轴的*Z*；见图2b）。

例如：NC程序段

5 PLANE PROJECTED PROPR+24 PROMIN+24 PROROT+30 …

程序中PROJECTED代表使用投影方法建立平面，PROPR代表基本平面，PROMIN代表辅助平面，PROROT代表旋转角度。

（3）用欧拉角定义加工面：PLANE欧拉角。欧拉角最早由瑞士数学家列昂哈德·欧拉（Leonhard Euler）定义。这种方法是通过最多3个围绕相应倾斜坐标系旋转的欧拉角定义一个加工面。当使用欧拉角定义机床坐标系统时，它有如下含义：①进动角EULPR（见图3a），主坐标平面旋转角，坐标系围绕主坐标平面*Z*轴旋转。②盘旋角EULNU（见图3b），坐标系围绕由进动角改变后的*X*轴旋转。③旋转角EULROT（见图3c），倾斜坐

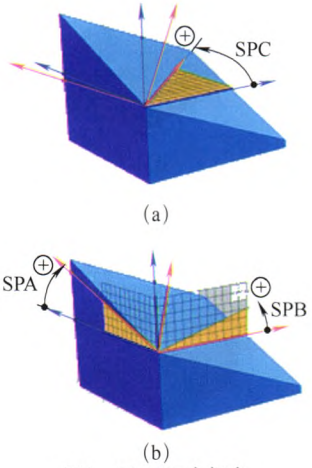


图1　PLANE空间角

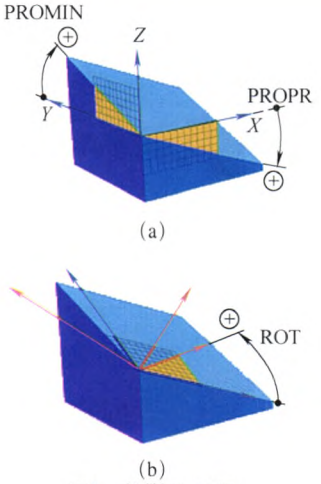


图2　投影PLANE

标系围绕倾斜的*Z*轴旋转（相当于使用CYCLE10时的转动）。用旋转角可以简化定义倾斜加工面中的*X*轴方向。

以上所述的旋转顺序仅与机床坐标系有关，而与当前刀具轴无关。

例如：NC程序段

5 PLANE EULER EULPR45 EULUN20 EULROT22 …

（4）用两个矢量定义加工面：矢量PLANE。要定义一个加工面需要两个矢量值：基准矢量和法向矢量。所需的基准矢量由BX、BY和BZ定义（见图4a）；法向矢量由分量NX、NY和NZ定义（见图4b、c）。其中基准矢量决定倾斜加工面上*X*轴的方向，法向矢量决定加工面的方向，并且两个矢量相互垂直。

例如：NC程序段

5 PLANE VECTOR BX0.8 BY-0.4 BZ-0.4472 NX0.2 NY0.2 NZ0.9592 …

基准矢量和法向矢量的定义方法如图4所示。

（5）用三点定义加工面：三点PLANE。用三点PLANE功能实现定义平面的方法是通过输入该加工面上任意3点的坐标值唯一地确定该加工面。点1到点2的连线决定倾斜基本轴的方向（即倾斜加工面的*X*轴）。倾斜加工面的*Y*轴方向由点3相对点1与点2的连线位置决定，通过使用右手定则（拇指 = *X*轴，食指 = *Y*轴，中指 = *Z*轴）来确定坐标关系：拇指（*X*轴）由点1指向点2，食指（*Y*轴）指向平行于点3相对点1与点2的连线，最后中指指向倾斜刀具轴（*Z*轴）方向。

例如：NC程序段

5 PLANE POINTS P1X+0 PIY+0 P1Z+20 P2X+30 P2Y+31 P2Z+20 P3X+0 P3Y+41 P3Z+32.5 …

第1、2、3平面点的如图5所示。

（6）用一个增量空间角定义加工面：PLANE相对角。若当前倾斜加工面是在一个倾斜面的基础上旋转得到的，则可用增量空间角。例如：在倾斜面上加工45°倒角。使用增量角：围绕当前加工面作进一步旋转（见图6）。在机床界面使用软键选择所要围绕旋转的轴。定义的角只适用于当前加工面，并且可以在一行中编写任意多个PLANE相对角功能。 如果要返回未用PLANE相对角功能时的加工面，应再次用相同角定义PLANE相对角功能，但要用相反的代数符号。如果在非倾斜加工面上用PLANE相对角功能，将按PLANE

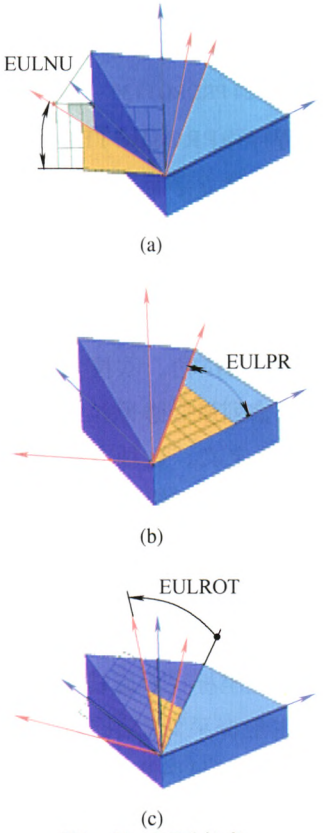


图3 PLANE欧拉角

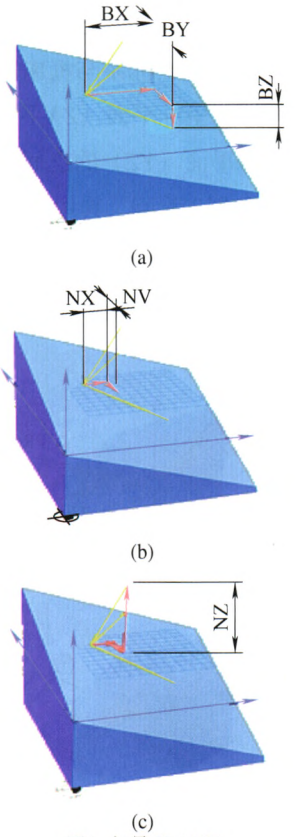


图4 矢量PLANE

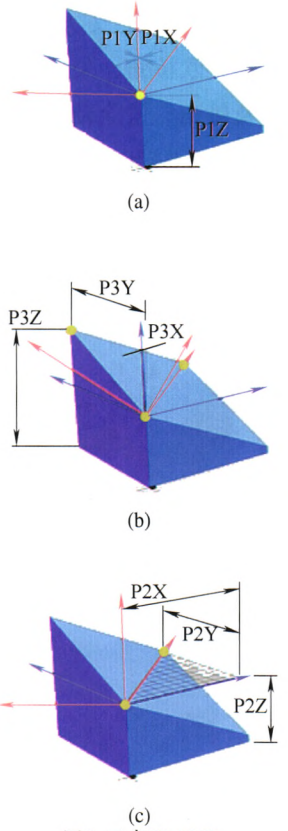


图5 三点PLANE

功能定义的空间角旋转非倾斜面。

例如：NC程序段

5 PLANE RELATIVE SPB-45 …

（7）用轴角定义倾斜加工面□PLANE轴角。PLANE轴角功能定义加工面位置和旋转轴名义坐标。只要机床当前只有一个旋转轴，可以用PLANE轴角功能。 如果机床具有定义空间角的功能，则可以在PLANE轴角后使用PLANE相对角功能（见图7）。

在使用轴角编程时应注意：①只能使用一个机床上实际存在的轴角。否则，TNC系统将显示出错信息。②将TNC系统设置为允许用增量值输入，并将PLANE轴角定义的旋转轴坐标为模式有效。因此，后面定义是以前面定义为基础。③要复位PLANE轴角功能，用PLANE复位功能。只输入0不能取消PLANE轴角功能。④用PLANE轴角时，SEQ、 TABLE ROT和COORD ROT不起作用。

例如：NC程序段

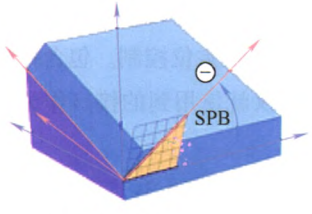
5 PLANE AXIAL B-45 …

轴角*A*：该角为移动*A*轴的角度。如果输入增量值，该角为从当前位置移动A轴的角度。

轴角*B*：该角为移动*B*轴的角度。如果输入增量值的话，该角为从当前位置移动*B*轴的角度。

轴角*C*：该角为移动*C*轴的角度。如果输入增量值的话，该角为从当前位置移动*C*轴的角度。MW

（收稿日期：20140617）



SPA–SPB–SPC

图6　PLANE相对角

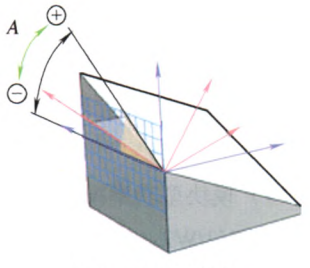


图7　PLANE轴角

专家点评

本文还从不同角度介绍了使用PLANE功能实现倾斜面加工的方法，这在实际应用过程中也是具有指导作用。现在由于五轴数控机床相对来说还是比较少的，故应用不太多。但这是一种发展方向，随着五轴数控机床的增多，这种方法会应用的越来越多。

ETERNAL
取折断丝锥专家
诚征经销商
北京易通手提电火花取折断工具机
手提电火花成形机、手提电火花金属表面处理机同步销售中
产品特性：
1.采用电腐蚀原理去除折断丝锥、钻头、铰刀、螺钉等，不损伤工件螺纹
2.一机一电，双箱便携，方便移动
3.标配磁力底座，可吸附在各种大小、形状各异的工件上进行加工
4.工作头多角度调整，伺服控制，自动给进，操作简单
5.水作工作液，标配水泵，安全价廉
易通原创
专利产品
ZL 2010 2 0128470.3
工作示意图：
圆棒电极　管型电极　板型电极　大型丝锥　剔除残屑　取断螺栓1　取断螺栓2
北京易通电加工技术研究所
◆广告查询编号：1592
地址：北京市中关村科技园区大兴生物医药产业基地民和路11号（102629）　联系人：马雪菲
联系电话：010-87690561-808　15801386940
010-59126806-806　15321026940　网址：www.etedm.com.cn　销售QQ：1030256981