

离线编程与仿真技术在柔性导轨自动制孔系统中的应用

Application of Off-Line Programming and Simulation Technology in Flexible Track Automatic Drilling Machine

中航工业北京航空制造工程研究所 孙丽宏
沈阳航空航天大学 王伟

柔性导轨制孔设备的结构不同于通用的数控加工设备,主要体现在其 X 轴向的运动路线在导轨铺设前是未确定的,每次制孔前的首要工作是将导轨安装在工件表面上,然后将末端执行器安装在导轨上,所以对该设备的加工仿真属于机器人式的专用设备加工仿真。

现代飞机制造业以及虚拟制造技术的发展,为离线编程与仿真技术在飞机制造过程中的应用提供了广阔的前景。与柔性导轨制孔系统配套使用的离线编程系统突破了传统的 NC 编程和后置处理模式,利用 CAA 二次开发工具进行编程和后置处理,将刀位文件的输出与对刀位文件进行后置处理两项功能合二为一,直接输出设备控制系统可识别的指令格式,使得利用柔性导轨制孔系统进行制孔的步骤得到进一步的简化。数控加工仿真就是在计算机上构建部分或者全部加工环境,模拟仿真加工工艺过程,实现可视化数控程序运行、验证、分析、优化的过程^[1]。目前比较典型的设备加工仿真包括通用的 2.5~5 轴数控机床的加工仿真^[2],如 CATIA 中的 NC Manufacturing 模块和 VERICUT 仿真软件。这些数控设备加工仿真的主要特点是:设备大、工件小、设备包含工件、工件在设

备中定位等。还有更先进的机器人(包含专用设备)加工仿真^[3]。

柔性导轨制孔设备的结构不同于通用的数控加工设备,主要体现在其 X 轴向的运动路线在导轨铺设前是未确定的,每次制孔前的首要工作是将导轨安装在工件表面上,然后将末端执行器安装在导轨上,所以对该设备的加工仿真属于机器人式的专用设备加工仿真。

柔性导轨设备特点与仿真分析

1 柔性导轨的设备特点与适用范围

柔性导轨自动制孔系统是一种用于飞机装配制孔的便携式自动化设备,主要由带有真空吸盘柔性导轨、带有主轴箱的移动小车组成,工作时,由柔性导轨安装器进行安装,通过真空吸盘将导轨固定在机身或机翼表面。它是针对飞机机身和机翼的部装,适应飞机部件大、外形特

殊、采用多层材料蒙皮等特点研制的一种便携式数控制孔设备。它突破了通常的工件在设备上定位的加工方式,而采用了设备在工件上定位的加工方式。导轨可以贴合在有曲率的工件表面上,一次性完成钻孔、镗窝、法向检测、照相定位、刀具检测、气动压紧等功能;它取消了大型制孔及定位设备的介入,最大限度降低飞机装配的制造成本,缩短制孔准备周期,提高制孔质量和效率。

柔性导轨制孔系统适用于表面为平面、柱面或小曲率曲面的体积较大的飞机零部件表面制孔加工,如图 1 所示的机翼、机身和机头等部件^[4]。

2 柔性导轨制孔设备离线编程与仿真

在使用柔性导轨制孔系统进行钻孔加工时,需要根据制孔的工艺要求,生成制孔设备控制系统能够识别的检测指令和加工指令,输入到控制系统中控制钻孔单元进行定位和钻

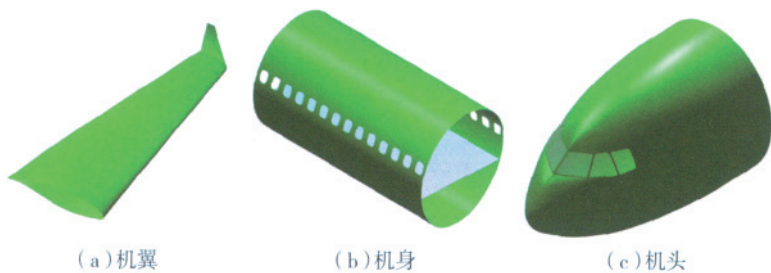


图1 适宜柔性导轨制孔的几种结构

孔加工。柔性导轨制孔仿真系统能够模拟制孔设备的动作和刀具的运行轨迹,对生成的检测指令和加工指令文件进行仿真,验证指令文件中有关钻孔刀位计算的正确性,检查刀具、工件和设备三者之间是否存在干涉和碰撞现象^[1]。

柔性导轨制孔系统运动学分析

柔性导轨自动制孔系统的移动小车可以沿导轨进行X向和垂直于导轨的Y向运动。通过X、Y向移动,可以定位制孔位置,为了保证钻孔垂直度,主轴箱配有A摆(绕X轴旋转)以及压紧和测量装置等。制孔组件可在垂直工件表面的方向上进给,实现制孔加工。设备运动的具体过程如下:

(1) X向运动: 带有主轴箱的移动小车沿导轨铺设方向作曲线运动(包括直线运动)。

该向由两个导轨的延伸方向决定,由X向电机拖动X向小车在导轨上自由移动。

(2) Y向运动: 带有主轴箱的移动小车沿垂直于导轨的方向运动。如图5所示:

(3) Z向运动: Z向的运动包含两个部分: 压紧机构的运动、制孔主轴的运动两部分。Z向运动与制孔主轴轴线平行,制孔时主轴轴线垂直于工件表面。

(4) A向运动: 主轴箱配有A摆(绕X轴旋转),对压紧机构和钻头的角度进行调整,保证压紧机构和钻头

始终与工件表面垂直。

由于钻头的轴线和支撑壁板在YOZ平面的投影是平行的,所以二者的转角大小始终一致。

该设备属于四轴数控设备,其运动部件包括: Z向主轴运动部件, A摆角运动部件, Y向运动部件, X向运动部件; 此外还包括一个带压紧装置的Z向运动的气动部件。具体运动机构如图2所示。

流程图分析如下:

沿箭头所指方向,上层运动部件的运动可以承载其下层所有部件的运动。

逆箭头所指方向,下层运动部件可独立运动。

柔性导轨制孔系统中的关键问题

1 导轨的铺设定位问题

柔性导轨制孔设备每进行一批制孔都要进行一次导轨铺设,导轨铺设的定位方法和手段直接影响

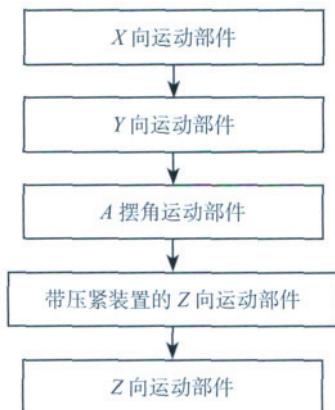


图2 设备运动机构流程图

制孔的精度和生产效率。

根据飞机蒙皮表面铆钉孔在某一方向上呈平行陈列分布的特点,设置如图3所示的导轨铺设参考坐标系,其中X_LayRef始终指向导轨的铺设方向。在蒙皮表面X_LayRef向的两端留有余量,在余量表面上设置导轨定位孔,相对的两个定位孔确定一条导轨间参考母线,每条参考母线与Y_LayRef轴垂直,每条参考母线的位置设置可根据孔的分布状况决定。

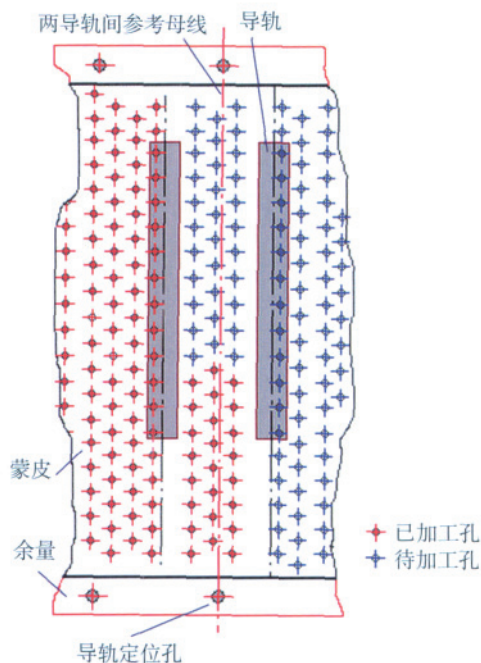


图3 导轨铺设参考坐标系

2 三维设计坐标系与二维制孔坐标系相互转换问题

实际加工仿真过程中,数模给出的孔位信息都是在三维设计坐标系下标定的,因此,加工过程中,如何精确的将三维设计坐标转换成二维制孔坐标,显得尤为重要。

首先,分析设备钻头和摄像头的位置关系,建立制孔坐标系。具体情况如图4所示。

其次,完成孔位坐标值的计算。

孔位坐标值计算过程说明:

(1) $|H_i X| = OH_i$ 曲线O在plane1上的投影曲线的长度;

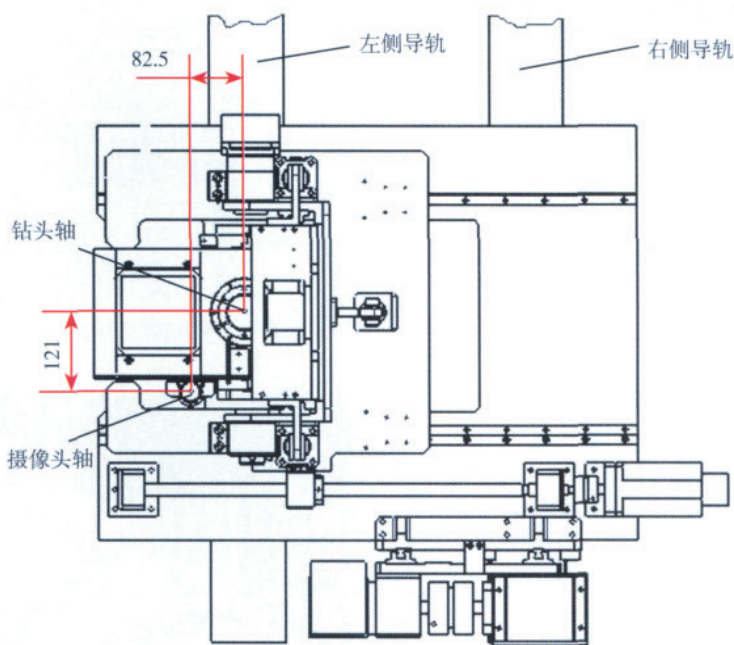


图4 钻头和摄像头的位置关系

(2) $|H_i \cdot X|$ 的符号值

$$\begin{cases} \frac{H_i \cdot X_{\text{layRef}} - O \cdot X_{\text{layRef}}}{|H_i \cdot X_{\text{layRef}} - O \cdot X_{\text{layRef}}|}, & (H_i \cdot X_{\text{layRef}} - O \cdot X_{\text{layRef}} \neq 0) \\ 0, & (H_i \cdot X_{\text{layRef}} - O \cdot X_{\text{layRef}} = 0) \end{cases}$$

(3) $|H_i \cdot Y|$ = 点到平面 plane1 的距离;

(4) $H_i \cdot Y$ 的符号值 =

$$\begin{cases} \frac{H_i \cdot Y_{\text{layRef}} - O \cdot Y_{\text{layRef}}}{|H_i \cdot Y_{\text{layRef}} - O \cdot Y_{\text{layRef}}|}, & (H_i \cdot Y_{\text{layRef}} - O \cdot Y_{\text{layRef}} \neq 0) \\ 0, & (H_i \cdot Y_{\text{layRef}} - O \cdot Y_{\text{layRef}} = 0) \end{cases}$$

(5) 孔位在 XOY 制孔坐标系下的坐标值:

$$\begin{cases} H_i \cdot X = |H_i \cdot X| * H_i \cdot X \text{ 的符号} \\ H_i \cdot Y = |H_i \cdot Y| * H_i \cdot Y \text{ 的符号} \end{cases}$$

(6) 钻头在 XOY 制孔坐标系下的坐标值: $(\Delta X, \Delta Y)$

(7) 孔位 H_2 在 $X'O'Y'$ 坐标系下的坐标值: $(H_i \cdot X - \Delta X, H_i \cdot Y - \Delta Y)$

3 制孔有效区域估算问题

柔性导轨制孔系统中,制孔压紧机构的宽度和小车板的边缘尺寸及相关附属结构的空位位置直接影响到钻头的行程范围。钻头相对于两条导轨的极限行程位置可以在设备

数模或实际设备上估测到。

制孔坐标系建立在如图 16 所示位置,相关尺寸参数 $d, D, L1, L2$ 已知, H_l, H_r, H_b, H_a 为制孔有效区域 Zone 四个边界上的孔位,其中 H_b 和 H_a 分别位于有效区域边界线和导轨定位参考母线的两个交点处。

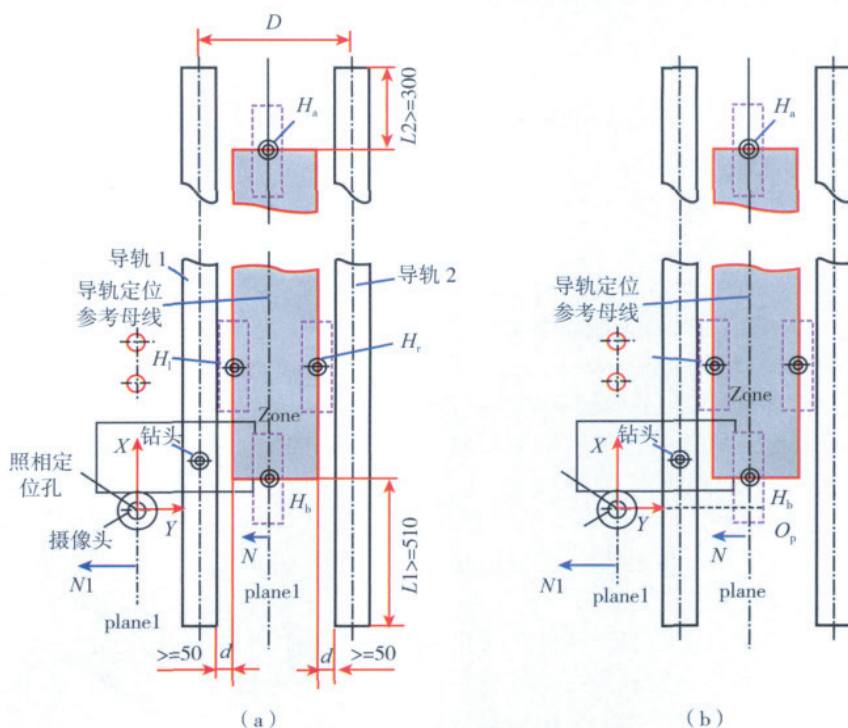


图5 制孔有效区域的估算示意图

由图 5 (a),有效制孔区域的 Y 向区间可表示如下:

$[Y1, Y2] = [$ 孔 H_l 距平面 plane1 的距离, 孔 H_r 距平面 plane1 的距离]

设图 5 (b) 中的 O_p 点是平面 YOZ 、平面 plane 和蒙皮表面的交点; 曲线段 $H_b \widehat{O}_p$ 是平面 plane 和蒙皮表面交线上的一段; 曲线段 $H_a \widehat{O}_p$ 也是平面 plane 和蒙皮表面交线上的一段。有效制孔区域的 X 向区间可表示如下:

$[X1, X2] = [$ 曲线段 $H_b \widehat{O}_p$ 的长度, 曲线段 $H_a \widehat{O}_p$ 的长度]

柔性导轨制孔设备离线编程与仿真

1 建设备装配模型和运动学模型

首先利用 CAD 软件(本文利用 CATIA V5)建立好组成该设备的各个零部件的几何模型,然后对设备进行装配设计,装配时要将各个运动部件作为子装配体进行独立组装。

运动学模型是用来表达设备模型运动关系和驱动模型运动的数字

化模型。本文利用 CATIA V5 中的 DMU Kinematics 模块实现了柔性导轨自动制孔设备的运动学模型的建立。

2 创建导轨模型

对柔性导轨自动制孔系统进行仿真的关键环节之一是导轨模型的创建,因为该设备 X 向的运动路线是由导轨的形状确定的。实际的柔性导轨在铺放时利用导轨上的若干个真空吸盘固定在工件表面,随之也就确定了导轨的形状。在虚拟环境下,导轨的形状需要根据工件数模上铺放导轨部位的表面形状来创建。创建一条导轨的输入参数包括导轨截面和导轨母线,其中导轨母线需要根据数模上的导轨铺放定位孔和数模表面几何来逐步生成。

3 建立制孔坐标系并确定所有孔位坐标值

柔性导轨自动制孔系统每完成一次导轨铺放后都需要建立一次制孔坐标系。实际设备上可利用照相机定位之前制好的某一个工艺定位孔作为本批次制孔的参考原点,而在虚拟空间可以方便地获取照相机镜头模型轴线和工件数模表面的孔的位置关系。

制孔坐标系建立之后,在三维数模空间可以计算出分布在两导轨间的孔在制孔坐标系下的坐标值。

4 制孔轨迹规划

制孔轨迹规划是自动制孔的重要环节,通过合理分配制孔的先后顺序,可以大大提高制孔效率。根据柔性导轨 X 向较长、Y 向较短的特点,在规划制孔轨迹时宜采用朝 X 轴向 Z 字形前进的路线。

5 应用实例

(1) 导入设备数模并进行运动机构的设定。

本实例选取的加工零件为飞机机身类曲面。导轨上各运动部件运动方向如图 6 所示。运动副设置如下: X 方向为滑动曲线副; Y 方向为

棱柱副; Z 方向为棱柱副; Z' 为棱柱副; A 方向为铰接副。

(2) 数控编程。

本步骤完成的主要工作是: 导入待加工的工件数模,根据设计和工艺要求,通过离线编程计算出各组定位孔之间的均布点或非均布点(依据设计要求而定),以及相应点位的法矢,并生成仿真验证所需要的刀位文件。工件数模如图 7 所示。

(3) 仿真前准备工作。

首先,导入加工零件的 CAD 数模。其次,在构件上设置若干个工艺测量孔,确定设备与工件的相对位置关系,确定制孔坐标系。第三,通过导轨截面和导轨母线的位置关系,确定导轨在工件表面上安放的位置,将导轨铺设在工件上。最后,导入加工刀位文件,指导系统进行加工仿真。刀位文件导入如图 8 所示。

(4) 设备运动仿真。

通过计算机进行仿真,验证生成的刀位文件的正确性,以及加工过程中可能发生的碰撞和误钻等干涉现象。运动设备仿真如图 9 所示。

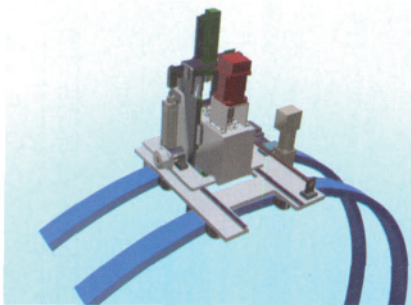


图6 导轨及各运动部件

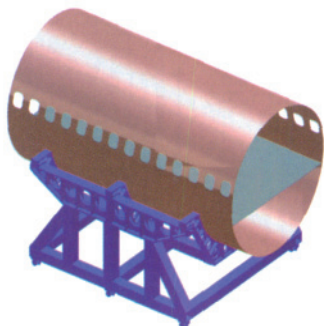


图7 工件数模模型



图8 CAD模型及刀位文件导入

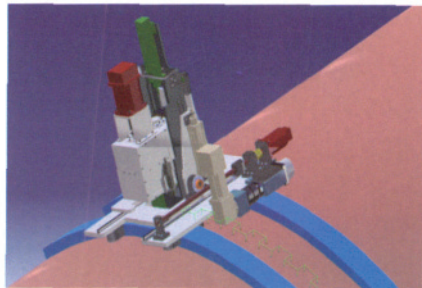


图9 设备运动仿真

结束语

以上针对柔性导轨制孔系统的特殊结构,通过分析设定与算法转换,利用 CATIA V5 中的 DMU Kinematics 模块,实现了对这一专用设备的加工仿真^[5]。在柔性导轨制孔系统的离线编程与仿真研究过程中,可以发现,针对某些具有特殊结构的非标准机床的离线编程与仿真,虽然目前一些大型的仿真软件都提供了二次开发接口,但单个开发资源耗费过大。为此,需要研制开发一种通用的软件。它可以针对用户对某种系统的特殊需求,通过软件设置可自动生成用户需要的控件,整个过程动态建模,动态生成控制面板。而且整个系统的构建,用户只需要根据使用说明简单操作就可以完成,无需专业软件设计人员的编程^[6]。不仅节约了开发成本,也避免了重复开发造成的浪费,具有良好的发展前景。

本文共有参考文献 6 篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 小城)