

基于行列式柔性工装快速重构方法的研究

Research on Fast Reconstruction Method Based on Determinant of Flexible Tooling System

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 万世明
 南京航空航天大学 陈亚丽 肖爽 田威

[摘要] 针对飞机薄壁件加工的技术难点,在行列式柔性工装系统的基础上,通过分析系统机构和运行原理,建立数学模型,提出了工装快速重构的智能方法。该方法根据工件的外形以及待加工孔位信息,确定 POGO 柱的吸附位置,并通过 DELMIA 装配仿真进一步确定 POGO 柱的吸附位置以及相对与工装基准面的伸出距离。仿真结果表明,该方法可以使该柔性工装系统针对不同的产品模型进行快速重构,满足飞机薄壁件的加工需求。

关键词: 飞行器薄壁件 行列式柔性工装 快速重构 孔位信息

[ABSTRACT] For the problems in thin-wall workpiece machining, fast reconstruction method is presented by describing system structure and work principle on the base of determinant of flexible tooling system, then we establish mathematical model. This method confirms the location of POGO in accordance with the shape of workpiece and the information of machining holes and further determines the location of POGO as well as distance relative with tooling datum by simulation module of DELMIA. Simulation results show that this method make the the flexible tooling system fast reconstruction in the view of different products, which improves the efficiency of aircraft thin-wall workpiece machining.

Keywords: Aircraft thin-wall workpiece Determinant of flexible tooling system Fast reconstruction Hole information

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.19.080

航空、航天制造的一大难题是飞行器蒙皮采用“先成型后加工”工艺时,成型后的半成品为刚度极差的弹性薄壁件且表面轮廓为自由曲面,针对刚性体的六点定位原理不适用于这种弹性体曲面零件。解决此问题的

技术途径有两条:(1)刚性途径,在工装上加工出与工件曲面相对应的刚性支承曲面,该方法柔性差、效率低。(2)柔性途径,通过调整、控制等手段来动态生成所需要的工装支承曲面,因此一种工装可用于不同零件的加工,可大幅提高制造柔性性和效率,并可通过信息化手段进行误差校正,从而提高加工精度^[1-3]。

显然,柔性途径比刚性途径更具有优势。但是,要实现柔性途径,必须解决工装支承曲面的快速生成以及相应的控制技术等关键问题。本文对以柔性途径实现柔性工装的快速重构方法进行了研究。

1 行列式柔性工装组成及运行原理

针对飞行器薄壁曲面零件加工的特殊要求,开发了基于机器人操作的行列式柔性工装,其基本结构如图 1 所示。

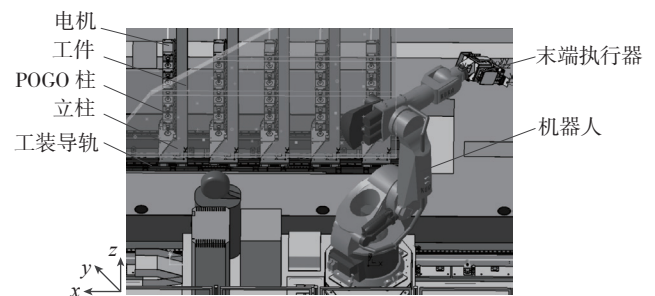


图1 行列式柔性工装系统
 Fig.1 Determinant of flexible tooling system

图 1 机械系统主要由电机、POGO 柱、立柱、工装导轨和机器人组成。共有 5 根立柱,每根立柱上面分布 5 个电机和 5 根 POGO 柱,一个电机与一根 POGO 柱组成一个随动定位单元。该系统采用 POGO 柱由机器人集中驱动的方式,电机可以实现在 Y 方向上的移动,以方便调整各个 POGO 柱在对应立柱上的分布位置;末端执行器上安装有一个气爪装置,机器人主要带动末端执行器,通过气爪装置实现 POGO 柱在 Z 方向上的运动。当产品外形发生变化时,吸附点阵局部自动进行数字调整,可以适应不同的蒙皮组件外形^[4]。

工装产品的调型提前于产品安放, POGO 柱自身没

* 基金项目:航空科学基金(2013ZE52067);江苏省科技支撑计划项目《面向飞机制造的柔性自动化装配系统》(BE2011178);江苏省科技支撑计划项目《面向飞机柔性装配机器人离线编程软件开发》(BE2012171)。

有动力装置,一旦调型完成,则后续柔性工装调整将会很麻烦,所以对工装坐标系进行标定,以使机器人在实际的调型中拥有足够高的容错能力。假设理论工装坐标系为 O_T , 初始工装驱动数据 $P=(x, y, z, 0, 0, 180)$, 根据实际现场测量的工装坐标系为 O_T' , 坐标转换后驱动数据变为 $P' = PO_T^{-1}O_T'$, 由于随动定位单元的特殊性, 只修改位置不修改姿态, 则实际驱动数据变为 $P'=(x', y', z', 90, 0, 180)$, 通过这种方法修正工装的安装误差。

为较少工件制造误差(翼面曲率不一致), 本文所研究的随动定位单元经过特殊设计, 通过增加弹簧与锁紧模块, POGO 柱的自适应范围较大, 能够自动抵消和补偿调型误差, 其最高修正误差范围可达 2mm。通过对工装的安装误差的修正, 并通过 POGO 柱自身的结构设计补偿产品制造误差, 保证柔性工装系统的自适应性与吸附可靠性。

为此, 在进行调整的过程中, 可以先根据工装驱动数据调整各个立柱间的距离, 点击的分布可由上位机控制进行自动的调整, 最后机器人再将 POGO 柱沿 Z 方向调整至合适的位置, 最后将工件 2 放在 POGO 柱的吸附表面的正确位置, 通过真空吸力固定住, 即可对工件进行加工。

2 工装驱动数据生成方法

柔性工装最大的优势在于 POGO 柱点阵能够随着产品模型与待夹持位置的变化而变化, 其工艺要求是: 合理布局、精确定位与稳定装夹^[5]。本文所研究的行列式柔性工装系统, 虽然由于自身特性使其能够采用被动式定位单元完成整个工装系统的重构, 但对任何一种工装系统来说, 对吸附点位的规划即工装驱动数据都是其关键技术^[6]。

工装驱动数据的计算方法为: 依据工装与产品的装配模型, 将产品边界、待钻孔位置 (x, y, z) 及法向矢量 $(x_{dir}, y_{dir}, z_{dir})$ 向工装基准平面投影, 根据投影信息对投影吸附点进行合理优化, 反求出投影吸附点在产品模型上的位置信息, 该信息即为规划的吸附点位置, 如图 2 所示。

2.1 吸附点的位置

POGO 柱的合理布局指的是工装基准平面上的电机或者立柱的合理距离。POGO 柱吸附点受自身结构限制, 不能直接在产品数模上规划, 要将待加工点向工装基准平面投影, 在基准平面内完成对 POGO 柱的合理布局。

用 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ (n 为待钻孔数目) 表示待钻孔位置信息, $P=(x, y, z, x_{dir}, y_{dir}, z_{dir})$ 表示待钻点位置, $Ax+By+Cz+D=0$ 表示工装基准面方程, 以 h 表示孔深。

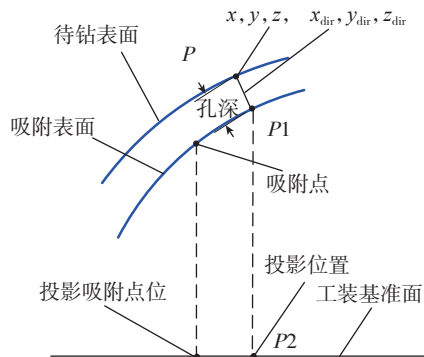


图2 柔性工装驱动数据生成原理
Fig.2 Generation principle of flexible tooling driving data

则 $P1$ 位置为: $P1=(x+h \cdot x_{dir}, y+h \cdot y_{dir}, z+h \cdot z_{dir})$ 。
 $P1$ 到平面的距离为:

$$d = \left| \frac{Ax + By + Cz + D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right|$$

用 $\vec{n}=(x_{dir}', y_{dir}', z_{dir}')$

$$= \left(\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right)$$

表示基准平面的法向, 则投影点 $P2$ 的位置信息为: $P1=(x+d \cdot x_{dir}', y+d \cdot y_{dir}', z+d \cdot z_{dir}')$, 因此可求出所有的投影点信息 $f'(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。

2.2 立柱与滑块的移动距离

传统刚性零件的定位原理为“3-2-1”, 即在第一基准面上限制 3 个自由度, 然后在第二基准面限制 2 个自由度, 最后再限制 1 个自由度。飞机产品由于刚性较差, 如果以“3-2-1”定位原理进行定位, 将会出现产品变形过大, 不满足弱刚性的机翼部件定位要求等问题。于是 Cai^[7] 等提出了“N-2-1”定位原理, 即通过 N 个点代替待吸附曲面, 此时将定位问题变为复杂的点位规划问题, 然而在理论规划时有以下限制条件: (1) 同一根立柱的 POGO 柱位置应该在同一条直线上。(2) 柔性工装的投影吸附位置满足: 立柱之间距离大于最小立柱间隔距离, 滑块之间距离大于最小滑块间隔距离。吸附位置应该处在产品边界范围之内, 如果不能满足, 则考虑该立柱或者 POGO 柱不参与吸附。(3) 每一个待加工点都存在不可加工范围, 因为待加工点不能处在吸盘自身范围之内。(4) POGO 柱的吸附位置应该相对均匀分布。

因此计算方法如下, 首先根据投影长度与投影宽度计算立柱间距离与滑块间距离, 初始情况下 $m=5, n=5$, 如式(1)所示。

$$\begin{cases} \Delta x = \frac{L}{m}, \Delta x > \Delta x_{limit} \\ \Delta y = \frac{W(m\Delta x)}{n}, \Delta y > \Delta y_{limit} \end{cases} \quad (1)$$

当计算的 $\Delta x < \Delta x_{limit}$ 时, 则 $m=m-1$; $\Delta y < \Delta y_{limit}$ 时, 则 $n=n-1$ 。在计算最大允许数目之后, 依据吸附位置限制条件判断当前吸附位置是否可行。如果处在不可吸附位置, 则对吸附位置偏移一定距离, 然后再次判断。通过不断的调整使立柱与滑块处在合适位置, 优化效果如图 3 所示。

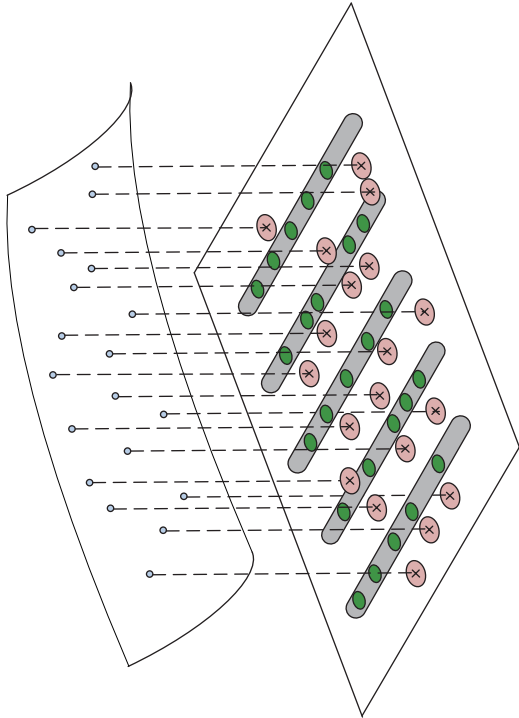


图3 投影吸附点规划效果

Fig.3 Projection effect of adsorption site planning

然而, 理论吸附位置优化时是将产品当作一个连续光滑曲面, 没有考虑表面现有加工孔、穿心夹、桁、肋、刚性工装框架等情况, 考虑到飞机产品结构及其刚性框架的复杂性, 自动规划的柔性工装吸附位置往往还需要二次调整。

2.3 POGO 柱的 Z 向调整距离

要测量 POGO 柱的 Z 向调整距离, 即测量 POGO 柱的球头中心点与待吸附曲面的距离很麻烦。为了能够快速解决这个问题, 利用 DELMIA 进行装配仿真, 在每一个 POGO 柱的中心都创建一个 Tag 点, 该 Tag 点会随着 POGO 柱的运动而运动 (Tag 点为 POGO 柱的子集), 在完成对投影吸附点位规划之后, 通过投影 (Project) 命令, 将 Tag 点向待吸附曲面投影, 则此时的 Tag 点位即是吸附点, Tag 点在 Z 方向上的移动距离, 即为 POGO 柱的调整距离。

3 仿真验证

将工装数模导入 DELMIA 中进行装配仿真, 以

POGO 柱初始位置平面为工装的基准面, 将产品数模上的点位信息向工装基准面进行投影, 按照产品尺寸计算出的驱动数据 (立柱以及滑块之间的距离) 对装配数模进行调整, POGO 柱的分布较均匀, 而且 POGO 柱上面的吸盘与工件上面的待加工孔位也互不干涉, 最后利用机器人调整 POGO 柱的伸出距离, 调整之后如图 4 所示。

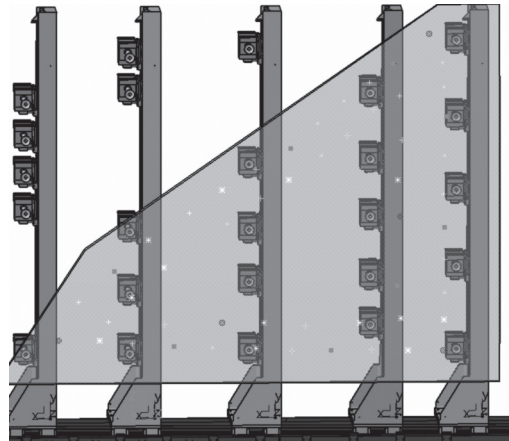


图4 仿真效果

Fig.4 Simulation result

4 结论

本文针对飞机薄壁曲面工件柔性加工的实际需求, 对行列式柔性工装快速重构的方法进行了研究, 探讨了通过产品数模和工装基准面进行数学建模和求解柔性工装 POGO 柱的吸附位置的计算方法, 并基于 DELMIA 仿真环境对驱动数据进行了进一步的调整。仿真结果表明, 本文提出的实现方法可较好地解决柔性工装 POGO 柱的合理分布问题, 满足了项目的总体需求, 具有一定的实用价值和参考意义。

参考文献

- [1] 周凯. 飞行器大型薄壁件制造的柔性工装技术. 航空制造技术, 2012(3):34-39.
- [2] 门延武, 周凯. 自由曲面薄壁工件加工的柔性定位方法的研究. 制造技术与机床, 2010(10):113-117.
- [3] 陆俊百, 周凯, 张伯鹏. 飞行器薄壁件柔性工装定位 / 支承阵列优化自生成研究. 中国机械工程, 2010(19):2369-2378.
- [4] 李文强, 李贺, 段磊, 等. 飞机蒙皮吸盘式柔性工装系统研究. 机械设计与制造, 2012(8):156-158.
- [5] 朱耀祥, 融亦鸣. 柔性夹具及计算机辅助夹具设计技术的发展. 制造技术与机床, 2006(98):5-8.
- [6] 胡福文, 李东升, 李小强, 等. 蒙皮柔性夹持数控切边的工艺设计方法. 北京航空航天大学学报, 2012(5): 675-680.
- [7] CAI W, HU S J, YUAN J X. Deformable sheet metal fixturing: principles, algorithms, and simulations. Manuf Sci Eng, 1996(118) :318-324.

(责编 宁军)