

飞机装配自动制孔过程仿真数据生成方法及应用

Method and Application of Automatic Drilling Simulation Data Creating for Aircraft Assembly

中航工业北京航空制造工程研究所
数字化制造航空科技重点实验室

梁雪梅 侯志霞 孙丽宏 潘青

[摘要] 针对飞机装配自动制孔过程仿真,提出了一种仿真数据的计算生成技术,通过编写软件解析自动制孔设备的加工指令,计算设备在制孔过程中的机构运动数据, CATIA 系统读取数据后可以实现自动制孔过程的仿真。

关键词: 飞机装配 仿真计算 自动制孔

[ABSTRACT] A method of calculating simulation data is proposed for automatic drilling during aircraft assembly. This method is realized by software we programmed. The software can analysis NC commands for drilling, calculate kinematics data of drilling device, CATIA system can read the data and realize the simulation for drilling process.

Keywords: Aircraft assembly Simulation Automatic drilling

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.21.059

在飞机制造业,装配过程中采用自动制孔技术已成为趋势,自动制孔技术能够大幅度提高装配效率,节约安装成本,改善劳动条件,保证安装质量,减少人工制孔导致的飞机缺陷。

飞机装配过程的自动制孔过程仿真是指在可视化的环境中利用仿真技术模拟飞机装配中自动化制孔设备的制孔过程,可以用于制孔指令的正确性验证、制孔过程的碰撞干涉检查、制孔时间估算、设备可达性检查等。自动制孔过程仿真是进行自动制孔前必不可少的步骤^[1]。

在 CATIA 系统中,通过输入设备运动机构各个驱动命令的运动曲线可以实现设备的运动仿真。因此,本文提出一种根据制孔设备的指令生成仿真数据的方法,实现自动制孔过程的仿真。

1 自动制孔设备运动学关系分析

1.1 运动机构构成

制孔设备的运动机构由 7 个运动副构成,分别为 X、Y、Z 3 个方向的菱形副,绕 X、Z 方向的旋转副、末端进给和压紧装置进给的菱形副。

在数模中查询各个驱动命令的名称和各个驱动命令的上下限值。自动化制孔设备的运动机构位置和方向如图 1 所示。

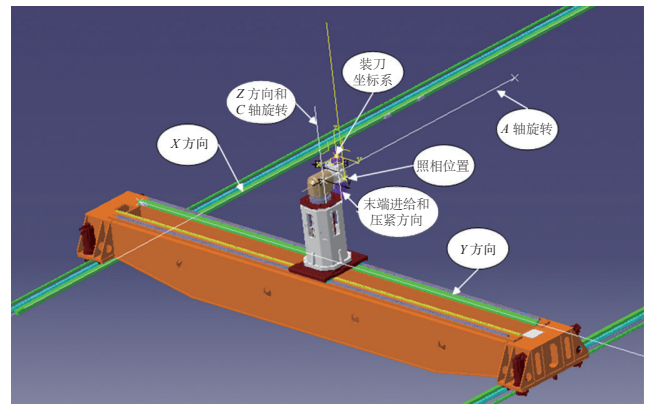


图1 设备归零时的机构位置和方向

Fig.1 Positions and directions of mechanisms when device return to zero

自动化制孔系统运动学关系在 CATIA 数模中定义如图 2 所示。

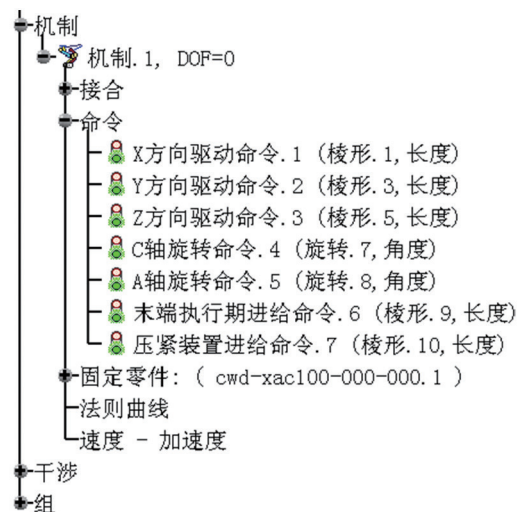


图2 制孔设备运动机构命令

Fig.2 Mechanism commands of drilling device

1.2 运动链传递方向分析

运动链的传递方向为 X 方向驱动命令 .1 : Y 方向

驱动命令 .2; Z 方向驱动命令 .2; C 轴旋转命令 .3; A 轴旋转命令 .4; 末端执行期进给命令 .6; 压紧装置进给命令 .7 (见图 2)。

1.3 设备归零时的机构位置分析

将设备归零,在数模中找到如下位置,并建立相应的坐标系,各个坐标系位置说明如下:

装刀点坐标系: 这个坐标系的位姿能够决定各个机构驱动命令的取值,将该坐标系定义在装刀平面和主轴方向的交点处,坐标系方向与设备机构的方向一致。

压脚坐标系: 位于压脚中心,方向与装刀点坐标系一致。

照相坐标系: 照相机用于制孔前对定位孔照相,用照相数据修正孔位在数模中的位置。照相坐标系在照相机上的标定位置上,方向与与装刀点坐标系一致。

设备坐标系: 位置由设计人员给出,方向与设备归零时的装刀坐标系一致。

C 摆坐标系: 位置在 C 摆旋转轴线与 A 摆旋转轴线相交处,方向与与装刀点坐标系一致。

A 摆坐标系: 位置在 A 摆旋转轴线和主轴中心线相交处,4 轴线相交的位置、A 轴旋转命令。5 轴线和刀轴线相交位置,这些位置用于完成机构的摆角变化时设备的运动值。方向与装刀点坐标系一致。

2 加工指令的解析

加工指令解析的对象是离线编程软件生成的 APT 文件经后置处理后形成的加工指令,通过编制解析程序将自动制孔设备的动作进行分类,形成制孔的动作,记录各个动作的压脚的目标位置、方向和得到各个动作的运动速度。对制孔加工指令的解析程序将制孔动作分类为如下类型:

机床动作: 五坐标机床的动作(除末端),包括开始、快速走刀、照相机移动 3 个动作,该动作要从制孔加工文件中解析得到制孔末端执行器刀尖的目标位置。

末端动作: 末端执行器的制孔动作,该动作要从制孔加工文件中解析得到制孔的工艺参数,包括钻孔、压紧、松开压紧等动作。

其他动作: 包括换刀和等待动作。

开始动作: 机床从当前位置运动到开始位置,压脚运动到目标位置。

快速走刀动作: 机床从上一位置运动到命令位置,压脚运动到目标位置。

照相动作: 机床从上一位置运动到命令位置,照相机运动到目标位置。

钻孔动作: 末端执行器按指令提供的参数运动。

压紧和松开压紧动作: 压紧机构按指令运动。

换刀动作: 刀具改变。

等待动作: 机床和末端均无动作,影响制孔仿真的时间。

各个动作的层次关系如图 3 所示。

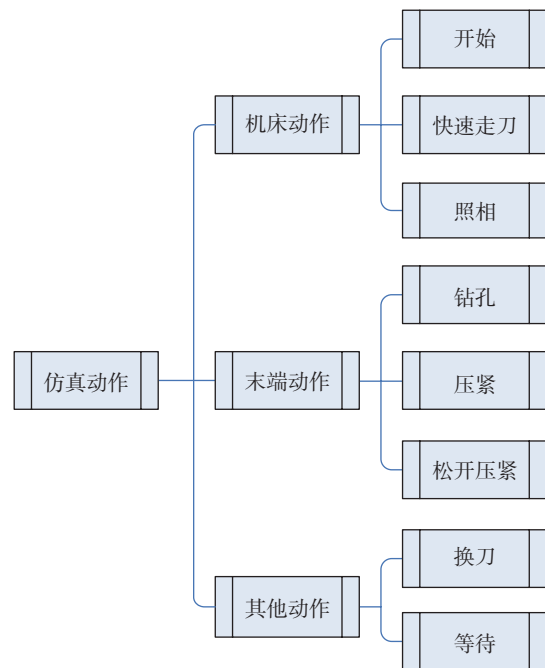


图3 自动制孔动作分类

Fig.3 Type of automatic drilling action

3 仿真数据的生成

3.1 设备参数

设备参数包含计算仿真数据用到的与设备有关的数据,保存在文件中,计算程序首先要读取设备参数。

设备参数主要包括以下数据:

(1) 1.3 中描述的各个坐标系的定义;

(2) 数模中表示的各个驱动命令的名称和各个驱动命令的上下限值;

(3) 照相参数;

(4) 压紧参数。

3.2 仿真数据生成

分别介绍各种动作的仿真数据计算过程。

对于任何一个机床动作设备各部件的位置均由装刀点处的坐标系决定,所以要根据指令中的压脚坐标系或照相坐标系计算当前装刀点坐标系的位姿矩阵,再根据装刀点的位姿矩阵计算机床的各个驱动命令的位置,运动的时间是由上一位置和当前位置的距离和机床的运动速度计算得到的。

对于末端动作,根据对 NC 文件的解析得到末端执行器和压紧机构在制孔过程的运动过程和运动速度。

对于换刀动作,修改程序的刀具参数,改变仿真中

使用的刀具。

对于等待动作,保持各个驱动的命令值在一定时间内不变。

程序的处理流程如图 4 所示。

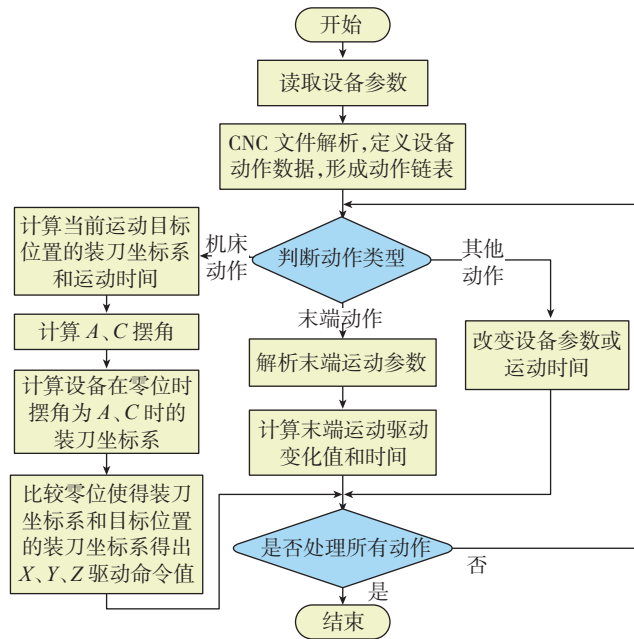


图4 自动制孔仿真数据生成流程图

Fig.4 Flow chart of creating simulation data

4 利用 CATIA 进行制孔设备制孔过程的仿真

选取某机翼上若干孔位,通过离线编程软件输出 APT 文件并进行后置输出为 CNC 文件,通过仿真数据生成软件输出仿真数据, CNC 文件如图 5 所示。

```

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)
N11 DEF DOUBLE [3] D_STEP
N12 DEF STRING [256] TOOLNAME
N13 DEF DOUBLE D_TOOLLNGTH
N14 DEF DOUBLE D_TOOLRADIUS
N15 G17
N16 G90
; PARTNO PART TO BE MACHINED
N17 S_TOOLNAME = "T1"
N18 D_TOOLLNGTH = 50
N19 D_TOOLRADIU = 10
N20 CHANGE_TOOL(S_TOOLNAME, D_TOOLLNGTH, D_TOOLRADIU)
N21 S70 M03
N22 G0 X0 Y0 Z171.300 A0 C0
N23 G0 X-557.377 Y-642.275 Z255.995 A-0.059
N24 I_LAYER = 1
N25 D_STARTHEIGHT = 25
N26 D_SAFEHEIGHT = 5
N27 I_SPINDL[0] = 70
N28 D_FEDRATE[0] = 3
N29 B_DRILLMODE[0] = 0
N30 D_DEPTH[0] = 14.061
N31 D_STEPDEPTH[0] = 0
N32 D_STEP[0] = 0
N33 DRILLHOLE(I_LAYER, D_STARTHEIGHT, D_SAFEHEIGHT, D_DEPTH
    
```

图5 自动制孔CNC程序

Fig.5 CNC program of automatic drilling

离线编程软件对该文件进行后置处理,生成设备加工程序,仿真软件读入加工程序,生成 CATIA 可以识别的机构运动曲线文件,如图 6 所示。

```

仿真曲线x10.txt - 记事本
// Law for Command.1 to Command.7
//-----
*COLUMNS = *TIME, X方向驱动命令.1,Y方向驱动命令.2,Z方向驱动命令.3,C轴旋转命令.4,A轴旋转命令.5
*INTERPOLATION=polyline,spline
*UNIT=mm,mm,mm,deg,deg,mm,mm
*VSCALE=1,1
0 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
280.48 -557.377000 -664.636377 85.355247 -3.382472 -0.000000 0.000000 0.000000
280.36 -557.377000 -664.636377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 0.000000
290.03 -557.377000 -664.636377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 20.000000
350.38 -557.377000 -664.636377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 39.061000
370.29 -557.377000 -664.636377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 0.000000
380.82 -557.377000 -664.636377 85.355247 -3.382472 -0.000000 0.000000 0.000000
410.08 -625.369000 -664.637377 85.355247 -3.382472 -0.000000 0.000000 0.000000
420.96 -625.369000 -664.637377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 0.000000
440.96 -625.369000 -664.637377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 20.000000
500.97 -625.369000 -664.637377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 38.020000
550.77 -625.369000 -664.637377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 0.000000
550.31 -625.369000 -664.637377 85.355247 -3.382472 -0.000000 0.000000 0.000000
590.40 -727.364000 -664.638377 85.355247 -3.382472 -0.000000 0.000000 0.000000
610.28 -727.364000 -664.638377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 0.000000
630.28 -727.364000 -664.638377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 20.000000
680.92 -727.364000 -664.638377 85.355247 -3.382472 -0.000000 -18.700000 37.267000
    
```

图6 自动制孔的仿真曲线数据

Fig.6 Simulation curve data of automatic drilling

将该文件导入到 CATIA 系统,即可进行仿真法则曲线(图 7)。

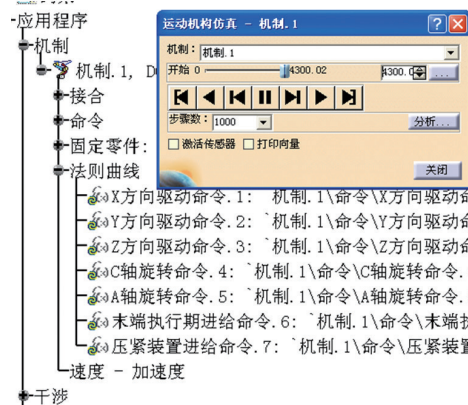


图7 仿真数据导入到CATIA后生成的仿真法则曲线

Fig.7 Simulation law curve created by importing simulation curve data in CATIA

通过 CATIA 的法则曲线显示功能可以查看各个驱动命令的法则曲线,图 8 为 X 方向驱动命令 .1 的法则曲线,通过曲线可以看出 X 方向的运动机构值在制孔过程中随时间的变化。也可以通过定义设备和产品的干涉来检查制孔过程设备与产品的干涉状况。

5 结论

本文针对北京航空制造工程研究所设计制造的五坐标自动制孔设备,研究了五坐标自动制孔设备的装配结构和运动机构,以自动制孔设备的制孔指令为数据输入,通过软件读入飞机壁板自动制孔加工代码,解析制孔设备的制孔动作,计算制孔过程中各运动机构的位置,生成制孔设备机构命令的法则曲线,利用 CATIA 的

(下转第 72 页)

段,后续还将进行不断地优化和完善:

(1)进一步优化已有的设计制造流程,完善三维模型数据内容,健全顶层参数策划和标准体系。

(2)建立多学科数字化协同仿真分析设计,如力学分析、热分析、电磁兼容性分析等,实现设计—分析一体化。

(3)建立健全与产品制造端的数据接口,匹配三维工艺、质量控制等。

随着制造业信息化的不断发展,相比传统设计,基于MBD技术的全三维数字化设计制造具有明显的设计优势,从而得到各行各业的高度重视。航天器数字化研制已成为国际一流宇航企业发展的重要支撑和必然趋势,是小卫星持续发展、加速产业化转型的必由之路。

参考文献

- [1] 范玉青,周建华.产品三维数字化定义在波音飞机公司的应用.航空工艺技术,1996(2):7-10.
- [2] 刘江,刘质加,辛强.小卫星型号数字化建模问题及解决措施.[EB/OL].2014-11. http://articles.e-works.net.cn/CAD/Article119637_1.htm.
- [3] 陈月根.航天器数字化设计基础.北京:中国科学技术出版社,2010.

(责编 叶枫)

(上接第 61 页)

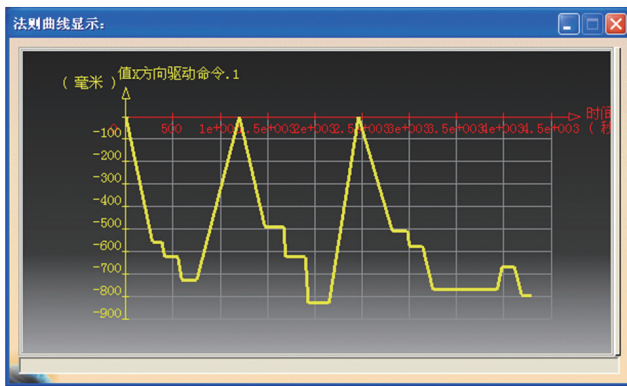


图8 执行制孔指令时X方向驱动命令随时间变化的法则曲线

Fig.8 X direction command curve during device execute drilling command

运动机构命令法则曲线的导入功能,实现了五坐标自动制孔设备制孔过程的仿真。

参考文献

- [1] 孙丽宏,王伟.离线编程与仿真技术在柔性导轨自动制孔系统中的应用.航空制造技术,2011(13):47-50.

(责编 秦早)

(上接第 64 页)

行,没有实现实物的唯一性控制和跟踪。

5 结束语

本文探讨了数字化装配工艺设计和装配过程管理的协同设计概念和方案,面向发动机装配的全过程,以结构化的工艺实现技术管理到实物状态的传递和管理,提高工艺设计和装配过程的快速性,有效性和准确性。但由于目前协同设计处于规划设计中,后续的理解分析还会不断提高。但不可否认的是,装配工艺设计与装配过程管理的协同设计,对于提升研发阶段的整机技术水平和管理水平都将具有重要意义。

参考文献

- [1] 李山.航空发动机数字化制造技术的应用现状与发展趋势.航空制造技术,2009(7):66-69.
- [2] 黄迪生.数字化协同与大飞机工程.中国制造业信息化,2008(18):13-15.
- [3] 王普,张光星,张姿.航空制造技术,2005(10):25-30.
- [4] 王永拴.航空工业数字化协同现状与发展.航空制造技术,2009(11):62-66.

(责编 宁军)

(上接第 67 页)

方法,但由于技术封锁和体系差异等因素,我国各主机厂还只能通过转包生产过程中外商对于产品加工及装配的特定要求,间接地了解数字量尺寸传递的具体实现方法和关键技术。尽管各主机厂所借鉴相关的经验,在型号的研制中开展了局部的试验和探索,但依然缺乏对飞机数字量尺寸传递、协调与容差分配技术的系统性研究。

容差设计在设计部门和制造部门之间起着不可缺少的桥梁作用,所以容差的合理选择、分配与优化是相当关键的,它控制着产品的性能和生产成本。

国内外围绕容差分配所做的大量研究,还主要集中在零件装配容差的表示、分析与综合上,即只是面向设计层面的容差分配,还没有见到有研究将整个容差方案同尺寸传递与协调路线结合起来。因此,要实现对飞机制造装配过程的真正支持,还需要在协调路线中的容差分配方面进行深入的研究。

参考文献

- [1] 程宝蓀.飞机制造协调准确度与容差分配.北京:航空工业出版社,1987.
- [2] 王海宇.飞机装配工艺学.西安:西北工业大学出版社,2010.
- [3] 程宝蓀,崔赞斌,等.飞机制造互换协调技术.北京:国防工业出版社,1990.
- [4] 范玉青.现代飞机制造技术.北京:北京航空航天大学出版社,2001.

(责编 宁军)