

某型飞机舱门框柔性装配工装应用数字分析

Digital Analysis of Flexible Assembly Fixture for Aircraft Cargo Door Frame

郑州大学机械工程学院 邱益 王利芳
北京航空航天大学机械工程及自动化学院 郑国磊
北京神舟航天软件技术有限公司 陈琼姣

[摘要] 通过对某型飞机舱门框柔性装配工艺及相应柔性装配工装结构特点和工艺流程进行深入研究和分析,制定不同的定位运动方案并进行数字仿真模拟,实现对方案可行性、工装结构工艺性以及定位时间等方面的综合评估,获得某型飞机舱门框柔性装配工装的工作流程最优方案,从而为某型飞机舱门框柔性装配工装研制及应用提供有效的数字依据和技术支撑。

关键词: 柔性装配 工装 工艺仿真

[ABSTRACT] With deep investigation of flexible assembly process of an aircraft cargo door frames as well as the structure characteristics and working flow of corresponding flexible assembly fixture, several position and movement schemes are proposed and digital simulation is accomplished accordingly. The scheme feasibility, the processibility of assembly fixture structure, and position time and etc. are also evaluated while an optimal scheme of working flow is acquired. This provides an effective digital reference and technological support for the development and application of flexible assembly fixture for the frames of this aircraft cargo door.

Keywords: Flexible assembly Fixture Process simulation

飞机装配技术经历了从手工装配、半机械/半自动化装配、机械/自动化装配到柔性装配的发展历程。柔性装配技术是一种能适应快速研制、生产和低成本制造要求,设备和工装模块化可重组的先进装配技术。它与数字化技术、信息技术相结合,形成了自动化装配技术的一个新领域,能优质、快捷、高效、低成本地满足产品的生产需求^[1-2]。建模与仿真是数字化设计与制造的核心技术,在现代产品设计中,传统的经验设计、类比设计和静态设计已不能满足工程需要,还须进行动态分析和设计^[3-4]。

中航工业沈阳飞机工业集团有限公司(沈飞)承担了空客 A330/A340 货机前后舱门的装配项目,每个舱

门包括 10 个不同的框组件,每个框组件由 3 段框组成。前期框组件的生产采用专用工装定位夹紧并采用手工钻铆装配,每个框组件配套不同的工装,工装生产周期长,生产场地占地面积大。为了探索飞机柔性装配相关技术,在国家高技术研究发展计划(863 计划)“大型飞机舱门数字化装配技术与装备”项目支持下进行该型舱门框柔性装配尝试,研制相应的柔性装配工装以同时满足同一舱门框 10 个框组件的定位夹紧需要并实现与现有自动铆接机的无缝集成进行框组件自动铆接^[5]。

本文利用 Delmia 软件对采用 Catia 软件设计的该型柔性装配工装的定位与夹紧等工作流程进行模拟仿真^[6-7],并针对不同工装定位夹紧方案在方案可行性和结构工艺性、工装定位时间效率等方面进行综合分析评价,探索确定某型飞机舱门框柔性装配工装工作流程的最优方案,为该套柔性装配工装投产和操作提供了一定的技术基础。

1 某型飞机舱门框柔性装配工装

1.1 框组件

A330/340 飞机的舱门包含有结构相似尺寸不一的 10 个框,每个框皆由 3 段构成(见图 1),包括框首段、框中段和框叉段,通过连接片将 3 段框铆接在一起,整个框组件装配包括框叉段—框中段和框中段—框叉段 2 个铆接区域。

1.2 柔性装配工装

根据柔性装配工艺、现有铆接设备以及框组件定位

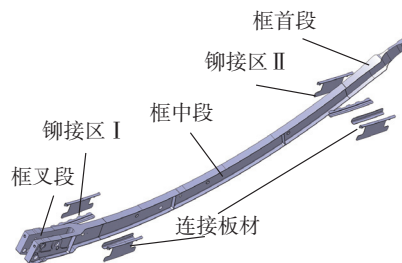


图1 框组件结构

Fig.1 Frame component structure

要求设计的框组件柔性装配工装如图 2 所示。主体结构包括工装框架、左右两侧三自由度定位装置、框首段定位器和框叉段定位器等部分。三自由度定位装置具有 X、Y 移动和绕 Z 轴转动 3 个自由度,与框首段定位器、框叉段定位器实现 3 个段框的定位;同时,该装置还具有压紧框段和定位夹紧连接片的功能。该工装将框组件呈水平放置以适应自动铆接机钻铆工作头铅垂方向的操作。

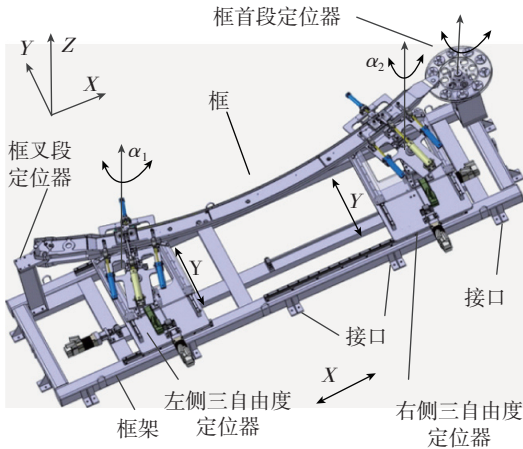


图2 框组件柔性装配工装
Fig.2 Flexible fixture for frame component

框组件 3D 模型是基于飞机设计坐标系创建的,在柔性工装设计时为了减少工装尺寸并满足铆接姿态控制需求,建立了新的工装坐标系。在进行柔性工装定位控制时,三自由度定位装置将在工作坐标系中获取相应的位置点,因此,必须将在设计坐标系中框段数模上有关坐标数据转换到工装坐标系下。

1.3 柔性装配工艺

舱门框柔性装配工艺流程如图 3 所示。其中,“按要求将工装定位到托架上”为可选项。

柔性工装与托架之间关系有如下两种不同的方式:(1)托架内实现柔性定位。在整个生产周期中柔性工装一直驻留在托架上,此时柔性工装柔性定位、工件上架与定位夹紧等都在托架工作范围内进行,柔性工装并不从托架上移开;(2)托架外实现柔性定位。此时,每完成一个框的装配,将柔性工装从托架上移至专门的区域进行柔性工装定位以及工件上架,然后将柔性工装以及已定位的工件一起移至托架上进行定位,再完成后续工序。

采用架内定位,可以减少工装定位时间,提高效率,但是因为工作空间有限,工件上架比较困难。而采用架外定位,工件上架容易,但是对于每一个框组件需要重新定位工装与托架,需要额外增加工作时间。综合考虑,采用架内进行柔性定位比较合理,工作效率更高,对定

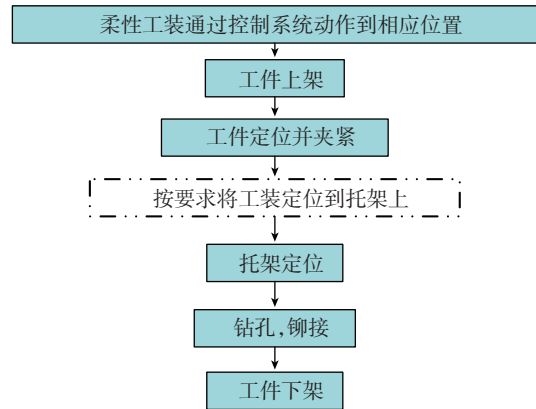


图3 框组件装配工艺流程
Fig.3 Assembly process for frame component

位精度影响较少。

2 工作过程数字模拟及分析

2.1 工作流程

框组件柔性装配工装的工作流程如图 4 所示,主要包括 3 部分:(1)框首段定位器动作。转动框首段定位器使定位销到达设定位置,10 个框对应的这些定位销位置参数不一(分度角度一样)。(2)三自由度定位装置定位:系统读取待装配组件定位数据(X、Y 及 Z 轴方向摆角)后,控制系统发出控制指令控制 3 个方向的伺服电机动作,使定位器到达指定位置。此后,3 段框上架并通过一侧的气动顶靠器使三框段与定位器紧密接触实现可靠定位。(3)连接片定位夹紧。框段定位后,将上下连接片分别放置连接片压紧器上定位并被真空吸盘吸住,然后,连接片压紧器动作使得上下连接片同时压紧在框段。这一过程也使得连接片压紧器具有压紧框段的作用。此外,两侧还设有专门的框段压紧器,

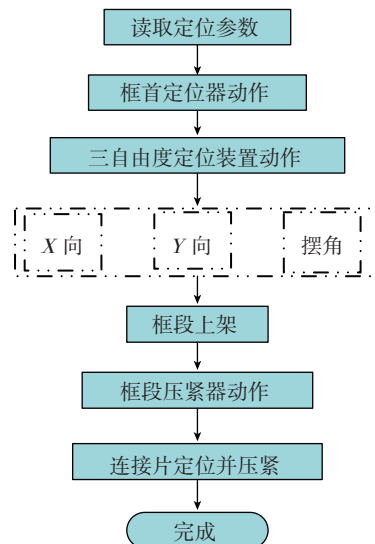


图4 柔性装配工装工作流程
Fig.4 Work flow of flexible fixture

从而实现三框段准确定位与可靠压紧。

在上述过程中,三框段上架与放置连接片至连接片压紧器采用手工操作。

2.2 运动方案

2.2.1 单一框定位

三自由度定位装置的主要目的是将定位器运动到指定位置,包括其在 X 与 Y 方向的位置以及 Z 轴摆角,可以采取不同方式来实现,具体的运动方案见表 1。

当然,上述 3 个方案只是所有可以选用方案中的一部分,还有其余类似方案,如可以先 X 向运动再 Y 、 Z 轴方向联动,或者 X 、 Z 向联动再 Y 向运动等,在本文中只选用这 3 种运动方案进行仿真和分析。

2.2.2 切换框定位

当完成一类框组件装配后需要切换到另一个不同框装配时,也有两种不同方案来控制柔性工装运动到指定位置,如表 2 所示。

其中,方案 1 为绝对坐标控制方案,运动所用时间较长,但消除了累积定位误差;而方案 2 则采用相对坐标控制,用时较短,但存在累积定位误差。

2.3 方案模拟及分析

2.3.1 方案可行性分析及工作流程中工艺结构分析

通过模拟仿真柔性装配工装工作的两个主要过程:三自由度定位装置定位与连接片压紧器定位压紧,提出的方案都可行,但是需要调整工装中可活动部件的动作以避免零部件间发生碰撞。

在柔性装配工装的初始位置时, Z 轴方向没有偏转角度,通过仿真可知,连接片压紧器初始状态即闭合或打开直接影响定位过程的可行性和工装的工艺性。因此,将单一框定位中连接片夹紧器的初始状态定为闭合,因为如果初始状态设置为打开,夹紧器的连杆会和轴座发生碰撞,运动过程中也会发生干涉。

当进行切换框定位时,同样需要考虑压紧器的状态。为了避免发生碰撞和干涉,选择方案 1 时,当加工完一个框组件后,打开压紧器待工件下架后,合上压紧器,再回到三自由度定位装置初始位置,重新定位新的框组件;选方案 2 时,直接对新的框组件定位,通过仿真

可知,因为 $\Delta \gamma$ 值较小, Z 轴方向上转动角度较小,压紧器状态为打开也不会发生碰撞,不用将压紧器闭合后再运动,之后再打开,节省了时间。

2.3.2 工作流程时间对比分析

(1)单一框定位。针对上述方案,在 DELMIA 应用 DMU 机构模拟与 DPM Assembly 模块结合进行模拟仿真,根据系统给定 3 个方向的运动速度及位移,可以得出相应的运动时间,表 3 所示为 3 种方案运动时间对比。从表中可以看出,采用第一种方案所需时间最长,而第三种方案用时最短。

工装定位后再打开所有夹紧器,等待工件上架。工装采用闭环控制,每个运动方向上都装有光栅尺等在线测量装置来实时反馈位置或者角度信息,以提高系统的定位精度。

(2)切换框定位。当需要切换到另一不同尺寸的

表1 柔性工装对舱门框定位的3个运动方案

方案	内容
方案 1	X 方向先动,再 Y 方向,最后 Z 向转动
方案 2	X 、 Y 方向联动,再 Z 向转动
方案 3	X 、 Y 、 Z 方向同时联动

表2 换框后的运动方案

方案	内容
方案 1	回到原始位置(Home)再选表 1 中任一方案运动到指定点
方案 2	根据两框的 Δx 、 Δy 、 $\Delta \gamma$ 直接运动到下一个指定点

表3 3个方案时间对比

方案	内容	X 方向时间 /s	Y 方向时间 /s	Z 方向时间 /s	打开夹紧器 /s	总时间 /s
方案 1	先 X 方向,后 Y ,再 Z 转动	9.5	6.7	4.9	5	26.1
方案 2	X 、 Y 方向联动,再 Z 转动	9.5	6.7	4.9	5	19.4
方案 3	X 、 Y 、 Z 方向联动	9.5	6.7	4.9	5	14.5

表4 切换框两个方案不同运动方式所需时间对比

方案	运动方式	合上夹紧器时间 /s	X 向时间 /s		Y 向时间 /s		Z 向时间 /s		打开夹紧器时间 /s	总时间 /s
			回 /s	来 /s	回 /s	来 /s	回 /s	来 /s		
方案 1 回到原始位置再到指定点	先 X 再 Y 再 Z	5	9.5	10.2	6.7	7.3	4.9	5.5	5	54.1
	先 X 、 Y 再 Z	5	9.5	10.2	6.7	7.3	4.9	5.5	5	39.1
	X 、 Y 、 Z 同时	5	9.5	10.2	6.7	7.3	4.9	5.5	5	28.7
方案 2 直接运动到指定点	先 X 再 Y 再 Z	0	0.7		0.6		0.6		0	1.9
	先 X 、 Y 再 Z	0	0.7		0.6		0.6		0	1.3
	X 、 Y 、 Z 同时	0	0.7		0.6		0.6		0	0.7

框组件装配时,需要重新调整三自由度定位装置。需要打开所有夹紧顶靠装置,工件下架,再根据设计的2个方案来重新定位柔性工装,随后,新的工件上架。根据表2中的方案,选择表1中的运动方式,从工件下架开始模拟计时,分析方式与单一框定位分析方式一样,从而得出表4所示的两个方案不同运动方式所需时间对比。

从表4可以看出,2个方案所需时间差别很大。方案1中,不管选择表3中所示方案的哪一种,所需时间几乎是原来定位过程需要时间的2倍,又根据结构可行性分析,方案一还需要加上合上和再次打开夹紧器的时间。而在方案2中,10个舱门框定位点坐标相差不大, Δx 、 Δy 与 Δz 都比较小,按照之前给定的速度运动,用时很少,而且不用合上再打开夹紧器。

2.4 方案选择

综上所述,可以从时间、效率、工作流程中工装的工艺结构性等方面来评价柔性装配工装运动方案。对于三自由度定位过程,方案3用时最少,效率最高,但稳定性最差;方案1用时最长,效率最低,但稳定性最好;切换框时,方案1用时多,但定位比较精确,方案2用时很少,但精度相对较差。可以根据加工要求和实际情况选择不同的方案,也可以根据需要参照以上的分析对不同的工作过程进行不同方案组合。

3 结论

本文介绍了舱门框组件柔性装配工装、工艺及其工作过程,对不同运动方案的工作流程进行了仿真与分析,通过过程仿真可发现零部件运动过程中的碰撞干涉,以便及时调整工艺,避免可能发生的碰撞,为实际工艺过程提供参考;同时总结出不同方案的优劣,为选择不同工作方案提供参照,也为后续铆接过程与分析做好准备。

参考文献

- [1] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术. 航空制造技术, 2005(9): 28-30.
- [2] 吴启迪, 严隽薇, 张浩, 等. 柔性制造自动化的原理与实践. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [3] 熊光楞, 李伯虎, 柴旭东. 虚拟样机技术. 系统仿真学报, 2001(1):114-117.
- [4] 毕利文, 唐晓东, 杨红宇. 飞机数字化装配工艺仿真技术. 航空制造技术, 2008(20):48-50.
- [5] 邹方, 薛汉杰, 周万勇, 等. 飞机数字化柔性装配关键技术及其发展. 航空制造技术, 2006(20):35-38.
- [6] 史耀亮. 飞机的数字化装配工艺设计与仿真. 航空制造技术, 2007(12):95-98.
- [7] 李景新, 郑国磊. DELMIA 系统在飞机装配模拟中的应用研究. 航空制造技术, 2008(11):90-93.

(责编 小城)

(上接第104页)

电机驱动程序等。程序代码执行效率的高低,影响到机器人的操作效率。离线编程技术需要解决航天装备混线自动生产操作程序的编制问题。

5.5 自主移动技术

自主移动技术用于产品智能转运机器人。基于测距传感器(超声测距传感器、激光测距传感器等),在机器人的运动轨迹上测量并识别出障碍,并在遇到障碍时重新规划路径,避开障碍物,将产品安全运送至目标工序。自主移动技术需要解决的主要问题是快速、安全地运送产品所需的最优路径的离线与在线规划。

6 发展与展望

目前国外先进航空航天装备制造企业(如波音、空客、雷锡恩公司等)已经利用机器人技术和计算机控制技术建立起全自动化的装配生产线或装配车间。国内航空各制造企业也纷纷开展了机器人装配技术的应用研究,并取得了一定的实践经验。这些经验及其与各制造研究所、高校合作研发的发展模式都值得航天领域各制造企业学习。此外,航天装备的机器人自动化装配研究也应该结合自身产品结构、生产方式、安全性要求等特点,研究开发适用于航天装备的机器人自动装配系统。

在此基础上,将各机器人系统有机结合,形成全自动化的柔性装配生产线甚至装配车间是未来发展的必然趋势。同时,应该在航天领域建立相应的机器人自动化装配技术研究平台,交流研发过程中的技术难点,共享资源和成功经验,以加快机器人技术在航天装备装配中工程化应用的速度,为未来我国国防武器装备生产提供高效、先进、可靠的技术保障。

参考文献

- [1] Devlieg R, Sitton K, Feikert E, et al. ONCE(One sided Cell End effector) robotic drilling system. SAE, 2002-01-2626,2002.
- [2] 邓锋. 采用标准关节机器人系统对飞机货舱门结构的自动钻铆. 航空制造技术, 2010(19):32-35.
- [3] 杜宝瑞, 冯子明, 姚艳彬, 等. 用于飞机部件自动制孔的机器人制孔系统. 航空制造技术, 2010(2):47-50.
- [4] 王建, 刘浩, 田威, 等. 面向飞机自动化装配的制孔末端执行器的设计. 南京航空航天大学学报, 2012,44(S):19-22.
- [5] 魏乐愚, 杨宏青, 荣田. 自动对接装配技术在航天产品对接装配中的应用研究. 航天制造技术, 2011(5):42-44.
- [6] 张明, 喻懋林, 张玉生. 自动化技术在卫星天线高精度装配中的应用研究. 航空制造技术, 2013(20):26-29.
- [7] 胡冬冬, 苏鑫鑫. 雷锡恩公司建成世界最先进的导弹总装厂. 飞航导弹, 2013(2):9-11.
- [8] 许辉, 王振华, 陈国栋, 等. 基于距离精度的工业机器人标定模型. 制造业自动化, 2013,35(6):1-4.

(责编 谷雨)