

关联设计技术在翼面类部件可重构 装配型架设计中的应用研究*

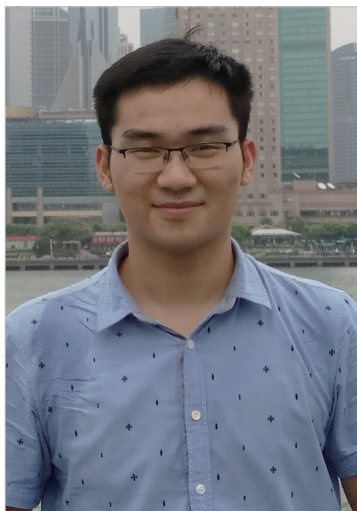
陈锡伟, 郑联语, 张宏博

(北京航空航天大学机械工程与自动化学院, 北京 100191)

[摘要] 为了提高飞机翼面类装配型架的设计效率和设计质量,研究了关联设计技术及其在装配型架的快速配置设计中的应用。首先,总结翼面类部件及其工装的结构特点,其次阐述可重构柔性装配型架的结构组成和所涉及型架的模块划分,以及关联设计技术在翼面类部件装配型架快速设计中的实施方法,并以某垂尾验证了该方法的可行性。最后,以 CATIA 为设计平台基于 CAA 二次开发可重构装配型架快速设计系统,该系统可用于产品与装配型架变型、改型设计的需要,使装配型架的设计更简单、快捷,缩短产品研制周期,降低研制成本。

关键词: 装配型架; 关联设计; 翼面类部件; 可重构

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2017.11.046



陈锡伟

硕士研究生,研究方向为数字化设计与制造。

使用可重构柔性工装可以使工装资源得到重复利用,提高生产效率,减少成本投入。装配型架的灵活性和可重构能力是型架数字化设计与制造的一个重要研究内容。国内外学者针对型架的灵活性和可重构性进行了相关研究,并取得了大量研究成果。其中,有代表性的是瑞典林雪平大学 Kihlman 等提出一种基于盒式连接和六足定位器的 ART (Affordable Reconfigurable Tooling) 工装解决方案,即低成本可重构夹具,并与萨博公司、DELFOi 公司、空客公司等合作开展了大量的应用研究^[1-4]。国内北京航空制造工程研究所开展了基于盒式连接、并联定位器以及标准型材的可重构柔性装配型架的设计应用。北航郑联语等开展了基于盒式连接的和可调定位器的可重构柔性装配工装在中央翼盒、底板梁、平尾前缘等飞机产品装配中的研究和探索,并开发了基于盒式连接的整套可重构装配工装设计、分析和

装调系统^[5-7]。

关联设计方法是数字化技术应用到一定水平、数字化设计和管理相融合的结果,更强调产品与内部子模型之间的约束和联系,其主要思想是将设计特征与设计参数和设计输入关联起来,从而实现产品更改或变型设计的快速响应,保证设计结果的一致性。刘俊堂等^[8]对关联设计技术概念的引入及实现方法进行了研究,并以机翼及翼肋为例说明了关联设计技术在飞机研制中的应用。田宪伟等^[9]对飞机产品的 MBD 模型表达及在关联设计中的骨架模型进行了深入研究,阐述了骨架模型的工作原理及基于 MBD 的关联设计技术在飞机产品研制中的工艺、工装、检验检测等方面的重要性。周婷等^[10]研究了型架骨架与装配件之间的关联性并实现了基于装配件包络盒的骨架轴线关联设计算法,可用于实现装配型架的结构及其尺寸随产品结构的修改而自适应更改。韩彬等^[11]将

* 基金项目: 国防基础科研项目 (JCKY2016601C004); 数字化设计与制造技术北京市重点实验室项目; 航空高端装备智能制造技术工信部重点实验室项目。

关联设计方法应用于航天器直属件设计和自动装配中,将设计失误率降低至 1.6%,设计周期缩短约 35%。

本文探究了基于关联设计的面向翼面类部件可重构装配型架的快速设计技术,基于 CATIA 设计平台开发并实现了相应的装配型架快速设计系统,该系统在某型垂尾装配型架的快速设计中应用验证,缩短了工装的研制周期,降低了研制成本。

翼面类部件及其装配型架特点

飞机翼面类部件结构多以蒙皮、肋及梁组成,翼面内部使用蜂窝夹层结构支持,主要包括机翼、垂直尾翼和水平尾翼等,其构成组件包括翼盒、安定面、前缘缝翼、襟翼、副翼、扰流板、升降舵和方向舵等。

翼面类部件整体结构差异性不大,主要体现在蒙皮及梁外形尺寸的变化,蒙皮及梁的厚度变化,紧固件孔位变化,部分翼肋及梁的结构形式变化和材料变化,因此其装配工装整体结构基本类似,主要为框架式结构。由于飞机翼面类部件改型、变型较多且研制周期短,结构尺寸差异较大,以飞机垂尾垂直安定面为例,其主要变化表现在前缘后掠角、半展长、根弦长、尖弦长方面(图 1),所涉及的工装尺寸也发生相应变化,所以导致需要制造不同规格的翼面类传统专用工装,但其通用性、共享性较差。

翼面类部件可重构柔性装配型架

在实际工程应用中,翼面类产品具有在研制阶段反复更改和与后续家族机型构形相似等特点,其装配型架可通过可拆卸定位器、导轨式多工况移动定位器、真空吸盘、可拆卸钻模板、通用接口等柔性工装进行结构重构,以适应不同构型产品的装配要求。典型的飞机可重构工装的模型

主要有 4 种基本元件组成,由内到外分别为:装配件,夹持器,定位支撑件和外围工装型架^[5]。但外围工装型架的一体式刚性连接结构、焊接时效周期长、占用空间大,难以对多品种、小批量和定制化产品研制的需求作出快速响应,束缚了可重构装配型架的适应性。

因此,本文研究的可重构装配型架优势在于型架骨架和定位装置的快速重构,既保证型架骨架的模块化快速重构重用,又能保留定位器可拆可调的柔性,“一机多用”,节省存储和运输空间,降低工装研制成本,能适应飞机产品快速迭代的研制和生产需要。模块化划分如图 2 所示,其中型架骨架模块包括型架梁、型架接头、定位夹紧销及地脚支撑等辅助支撑件;动态模块即定位平台模块包

括多坐标定位平台、并联柔性定位平台、多自由度伺服定位平台和普通手动调节定位平台;定位/夹持器模块包括定位器(多为孔定位)、夹持器(部分肋及梁的夹紧)及外形定位卡板,各模块构成某翼面类部件可重构柔性装配型架如图 3 所示。该装配型架由型架元组件如型架梁、敏捷接头、盒式接头、地脚支撑等构成型架骨架,同时布置翼梁定位器、端肋定位器、接头定位器、卡板定位器等实现翼面类部件的装配,同时通过调整定位器的数目和位置,能够适应于该翼面类部件不同规格大小的多个部件装配。

翼面类部件装配型架关联设计

1 关联设计技术

关联设计是一种特殊形式的参

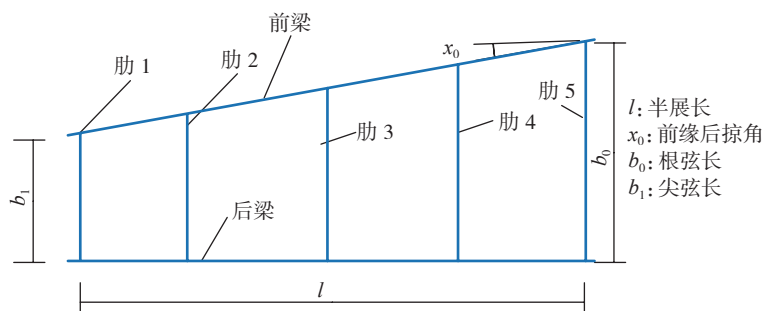


图1 机翼安定面结构示意图

Fig.1 Structure sketch of Wing stability surface

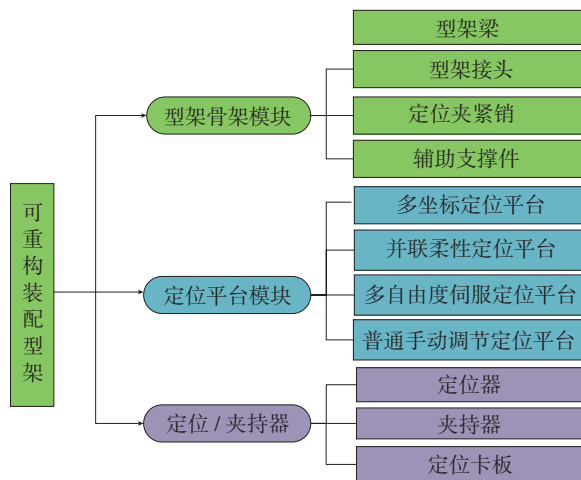


图2 翼面类部件可重构柔性型架组成模块划分

Fig.2 Modules of wing surface components for reconfigurable flexible assembly tooling

数字化设计方法,其驱动参数为上游设计的几何特征(如点、线、面、坐标系等),其表现为上游设计对下游设计的影响关系。关联设计可以抽象为公式: $y=f(x)$, 其中, x 为上游设计给下游设计的输入, y 为建立在上游设计输入基础上的下游设计, f 为上下游设计间建立的关联关系^[10]。

根据关联方式的不同可分为:参数(尺寸)关联和特征关联。参数关联是指将相互影响的尺寸建立直接或间接的关联关系,通过修改主驱动参数即可实现整体结构的同步更新,如根据翼面类产品规格尺寸更新型架骨架的规格尺寸。特征关联是指通过模型特征(点、线、面、坐标系等)建立的关联关系,通常用于建立不同模型之间的位置约束,如各定位器组件与装配件和型架骨架之间的位置约束。

2 翼面类部件与其装配型架的关联

实现关联设计的关键在于建立关联关系,主要通过参数、公式、约束关系、自定义特征等实现模型驱动更新的目的。翼面类部件结构件多,且形状复杂,其装配型架复杂程度因待装部件而定,因此,在梳理关联参数和装配约束是关联设计实施的关键。

在研究翼面类部件及其装配型架结构特征的基础上,建立二者之间的关联关系如图4所示,建立待装配翼面类部件与型架骨架模块及定位平台(或定位器组件模块)之间的参数和特征关联关系,从而使装配型架在具有模块化重构能力的同时,实现待装配件与装配型架的同步适应性更新。

3 型架关联设计实现步骤

型架关联设计可通过以下步骤实现:

(1)模型预处理:包括对实施对象的驱动参数和装配特征的定义,其中驱动参数的定义是通过参数化方式实现的,装配特征的定义是通过发布机制实现的。如某型飞机垂尾安

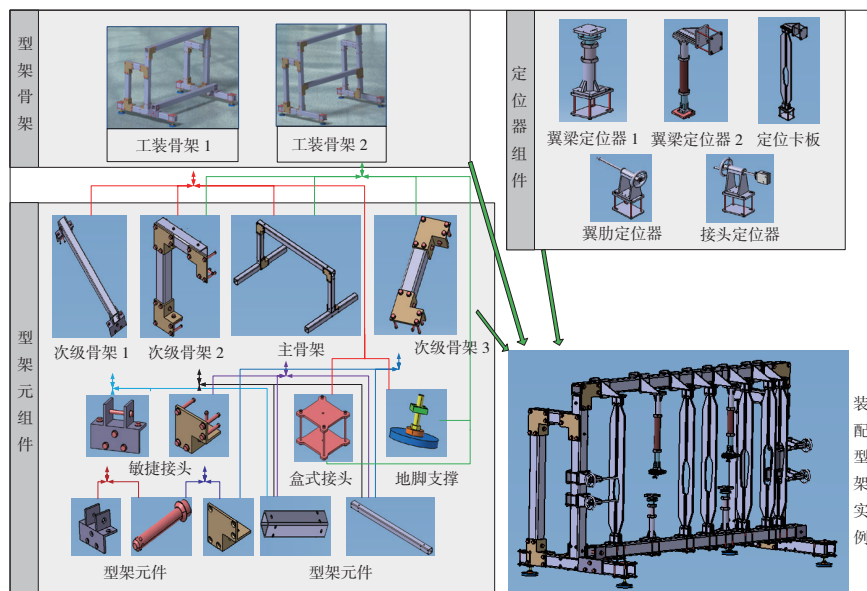


图3 翼面类部件可重构装配型架构成

Fig.3 Constitution of reconfigurable assembly tooling for wing surface type components

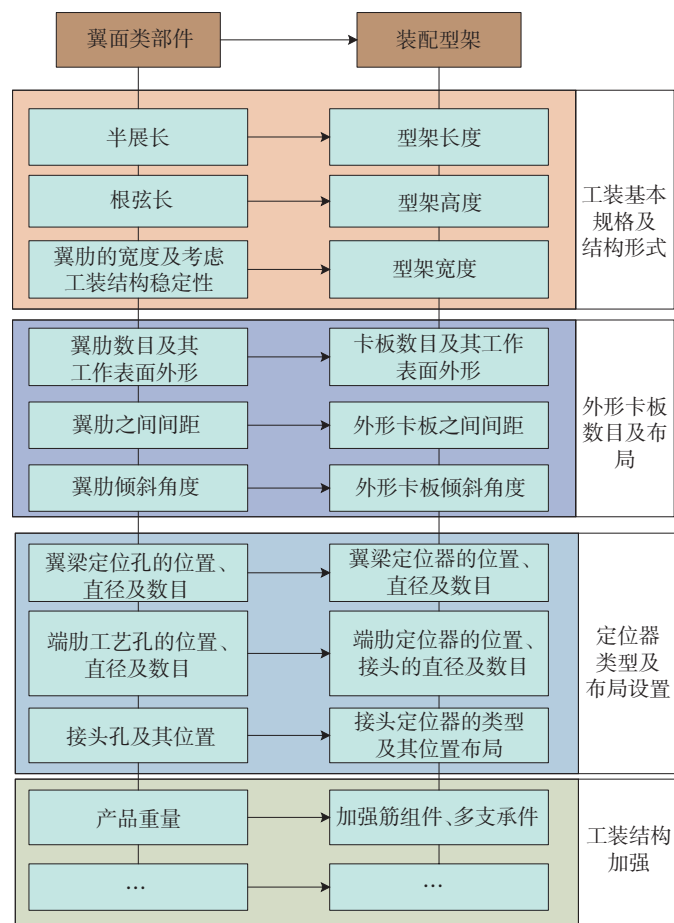


图4 翼面类部件及其装配型架关联关系

Fig.4 Association between wing surface components and assembly tooling

定面部件预处理如图 5 所示,主要参数定义包括产品长度、产品宽度、产品高度;主要装配特征定义包括上下翼梁面、肋面、上下翼梁孔轴、接头孔轴等。

(2)建立关联关系:参数关联通过函数关系建立,如装配件的长、宽、高已知(分别用 l 、 w 、 h 表示),对于需要更新的型架骨架规格,即可根据以下比例关系确定: $\alpha=L/l$, $\beta=W/w$, $\gamma=H/h$ (其中, L 、 W 、 H 分别表示型架骨架的长、宽、高, α 、 β 、 γ 为对应的比例系数),通过交互指定比例系数即可实现不同大小的装配件与对应结构的型架骨架尺寸进行关联。特征关联是通过不同装配特征之间的约束关系而建立的,如轴重合、面平行、面接触等。

按照关联设计方法建立其型架总装结构层次及关系如图 6 所示,在型架总装根节点下,建立翼面类部件、型架骨架、定位夹紧装置、其他装置(测量辅件等)模块,各模块中包含了该对象在设计过程中所用的所有关键设计输入,如关键的点、线、面特征,零组件实体等。

根据关联关系是否完整,关联设计中的关系类型划分为强关系和弱关系,其中强关系指由装配特征建立的完全约束关系,如装配对象中零组件与定位器之间的关联,以保证待装配产品位置精确;弱关系是指由装配特征建立的不完全约束关系,如定位器组件与型架骨架的关联,以便定位器组件在型架骨架上的安装调整。

(3)同步更新:利用更新机制快速更新建立关联关系后的模型,通过 CAA 二次开发程序自动读取关联信息,快速配置该装配件的可重构装配型架。此外,在装配型架模型建立完成后,保留关联关系的存在,从而实现在下一版本的同步更新修改中模型和关联关系能够重用,提高装配型架设计的效率、减少设计错误,提高

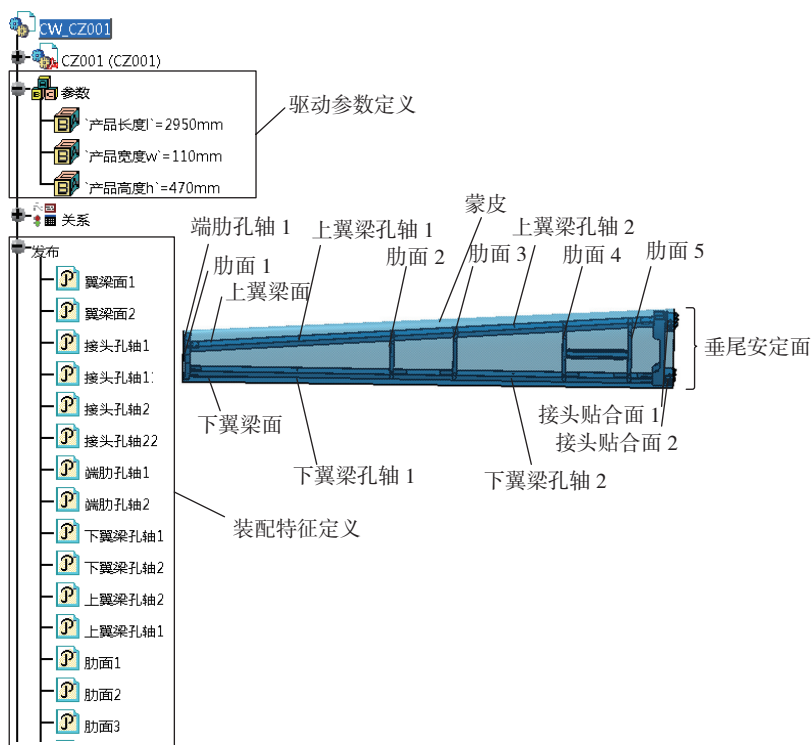


图5 模型预处理
Fig.5 Pre-processing of models

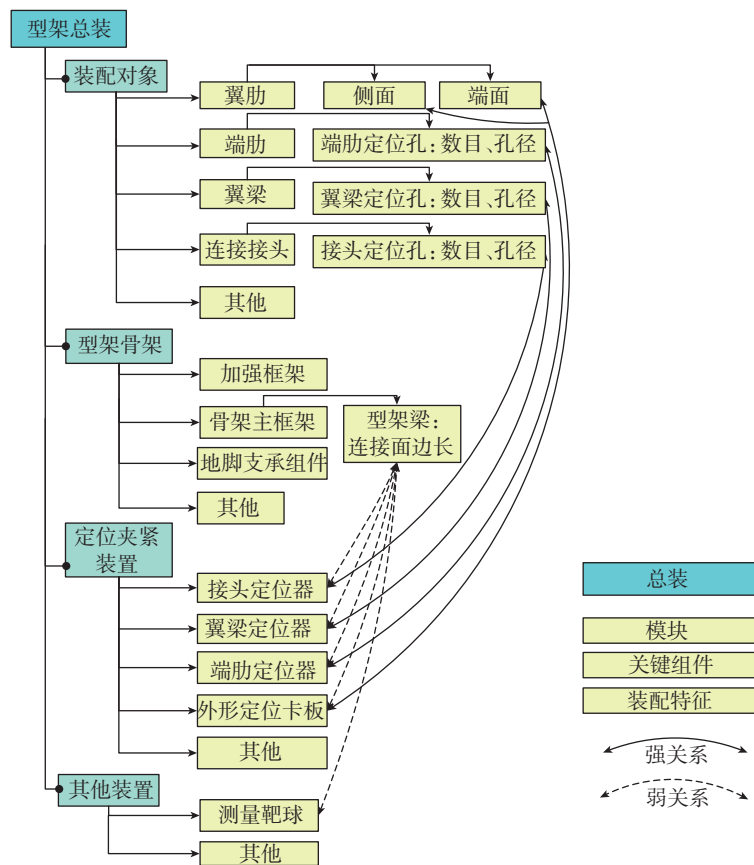


图6 装配型架结构层次及关系
Fig.6 Structure level and relationship of assembly tooling

设计质量。

应用实例

以某型垂尾安定面的装配型架设计为例,该垂尾安定面属于固定翼面类部件,主要由蒙皮、壁板、翼肋、翼梁和墙等元组件组成。垂尾垂直安定面部件的装配是指按照一定的装配顺序将该部件的翼肋、翼梁和蒙皮等组装成部件,其型架主要是为了保证该垂尾各组成件的准确定位和夹紧,从而实现垂尾部装。其操作流程为:(1)导入待装配翼面类部件,判断是否按照规范进行预处理,若符合预处理要求则直接进入工装检索环节,配置符合该部件装配的型架骨架,否则需要按照预处理规范进行处理;(2)检索工装骨架实例库,若检

索到适合该部件的型架类型,可进行型架骨架、定位器等关联,否则重新设计型架骨架;(3)检查配置结果是否符合设计要求或配置其他辅件并保存至工装实例库。最终配置设计过程及结果如图7所示。

结论

基于关联设计技术的可重构装配型架在飞机翼面类部件研制和改型中,具有良好的应用前景。建立翼面类部件模型和装配型架的关联关系,通过设计软件实现快速配置设计,大大减少了工装设计或修改的工作量,对减少工装的研制周期,提高设计质量有重要意义。

参考文献

[1] KIHLMAN H, ENGSTRÖM M.

Flexible fixtures with low cost and short lead-time[J]. Engineering & Technology, [2007-09-17]//doi:10.4271/2007-01-3797.

[2] JONSSON M, KIHLMAN H, OSSBAHR G. Coordinate Controlled Fixturing for Affordable Reconfigurable Tooling[C]// Proceedings of the 2nd Conference on Assembly Technologies and Systems, Sweden, 2008.

[3] MILLAR A, KIHLMAN H. Reconfigurable flexible tooling for aerospace wing assembly[C]//Aerospace Technology Conference & Eroposition, 2009.

[4] KIHLMAN H, ENGSTROM M. Flexapods—flexible tooling at SAAB for building the NEURON aircraft[C]//Aerospace Technology Conference & Eroposition, 2010.

[5] 郑联语,王建华.盒式连接可重构柔性工装技术及应用展望[J].航空制造技术, 2013(18):26-31.

ZHENG Lianyu, WANG Jianhua. Development and application prospect of boxjoint-based reconfigurable and flexible tooling technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(18): 26-31.

[6] 王艺玮.盒式连接可重构柔性工装技术研究及系统开发[D].北京:北京航空航天大学,2013.

WANG Yiwei. Box joint-based reconfigurable and flexible tooling technology and system development[D]. Beijing: Beihang University, 2013.

[7] 刘清军.基于稳定性的盒式连接装配型架优化设计与测量技术研究[D].北京:北京航空航天大学,2014.

LIU Qingjun. Research on box-joint assembly jig optimization design and measurement technologies for stability[D]. Beijing: Beihang University, 2014.

[8] 刘俊堂,刘看旺.关联设计技术在飞机研制中的应用[J].航空制造技术, 2008(14):45-47.

LIU Juntang, LIU Kanwang. Application of associated design technology in aircraft development[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(14): 45-47.

[9] 田宏伟,曲直.基于MBD的关联设计技术在飞机研制中的应用[J].航空工程进展, 2013(3): 381-385.

TIAN Xianwei, QU Zhi. Application of associated design based on MBD on aircraft research[J]. Advances in Aeronautical Science

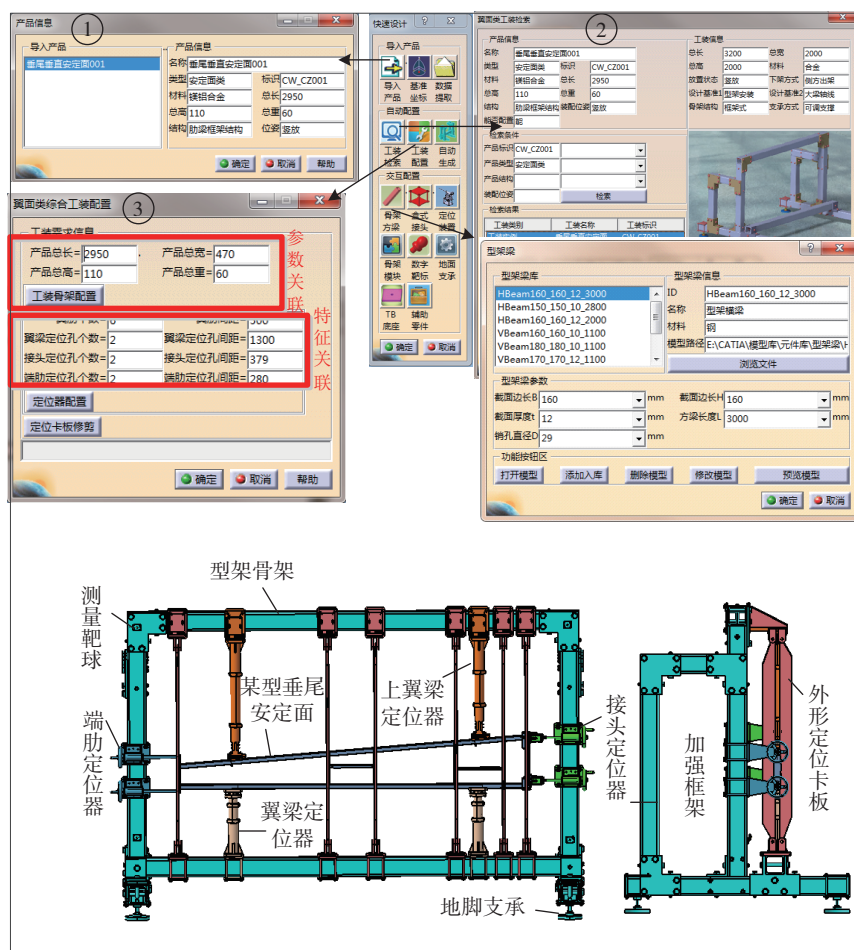


图7 系统验证结果
Fig.7 Verification result of system

and Engineering, 2013(3): 381-385.

[10] 周婷, 曹巍, 郑国磊. 飞机装配型架骨架的关联设计原理及算法[J]. 航空制造技术, 2014(8):32-35.

ZHOU Ting, CAO Wei, ZHENG Guolei. Principle and algorithm of associated frame design

for aircraft assembly fixtures[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(8): 32-35.

[11] 韩彬, 刘刚. 航天器直属件关联设计方法[J]. 航天器工程, 2014(23): 37-40.

HAN Bin, LIU Gang. Research of associated design in special parts for integration[J].

Spacecraft Engineering, 2014(23):37-40.

通讯作者: 郑联语, 博士、教授、博士生导师, 研究方向为数字化设计与制造、可重构柔性智能工装和制造系统建模与仿真, E-mail: lyzheng@buaa.edu.cn.

Study on Associated Design Technology in Design of Reconfigurable Assembly Jigs for Wing Components

CHEN Xiwei, ZHENG Lianyu, ZHANG Hongbo

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

[ABSTRACT] In order to improve the aircraft wing assembly tooling design efficiency and design quality, the association design technology is applied to the assembly frame of rapid design and configuration in this paper. Firstly, the structure characteristics of the aircraft wing and its corresponding assembly jigs are summarized, then the frame structure of reconfigurable flexible assembly jigs type and their modular parts, the associated design technology and its implementation method in the wing assembly jigs design are elaborated. The feasibility of the method was verified by a kind of assembly tooling for an aircraft vertical tail. Finally, a rapid design system of reconfigurable assembly tooling was developed based on CATIA and CAA technology, which can meet the requirement of the variant and modification of the aircraft products. As a result, the design of assembly jigs becomes simpler and faster, the product development cycle is shorter and the cost is lower.

Keywords: Assembly jig; Associated design; Aircraft wing; Reconfiguration

(责编 大漠)

(上接第39页)

Research on iGPS-Based Aircraft Components Docking Technology

CHEN Liangjie¹, SUN Zhanlei², JING Xishuang², SONG Zhanghuan¹, ZHAO Gang²

(1. Large Aircraft Advanced Training Center, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

[ABSTRACT] Digital measurement technology is the basis to realize high quality and efficiency for aircraft automatic docking. iGPS, which has the advantages of multi-point measuring, large measuring volume and expansibility, can provide global and real-time position and attitude information of aircraft components, and has been the effective means for digital measuring and positioning of the aircraft components automatic docking. In order to solve problems when iGPS was introduced into the aircraft components docking process, the composition and working principle of iGPS-based aircraft components docking system was expatiated. Moreover, several key technologies of the system, such as real-time measuring, unifying coordinate system, pose alignment and trajectory planning, and their solving methods based on the existing algorithms were described. Finally, all the algorithms were proved to be reliable through the case of ARJ21 wing-fuselage docking in the assembly scene.

Keywords: iGPS; Component docking; Real-time measuring; Pose alignment; Trajectory planning

(责编 大漠)