

# 盒式连接可重构柔性工装配置与分析系统

## Configuration and Analysis System for Box Joint Based Reconfigurable and Flexible Tooling

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 蔡志为 王艺玮 郑联诤

**[摘要]** 可重构柔性工装特别是装配型架的使用,可以降低工装的生产成本和时间。对一种新型的可重构柔性工装类型——基于盒式连接的工装,提出了快速配置与分析的方法,在 CATIA 中开发了其快速配置与分析系统。介绍了系统的结构模型和功能,详细叙述了系统各模块的工作原理,并给出了验证实例。

**关键词:** 盒式连接 工装 可重构 配置

**[ABSTRACT]** The use of reconfigurable flexible fixture can greatly reduce the cost and time of fixture. For a novel type of reconfigurable flexible fixture that is box joint tooling, quick configuration and analysis method is proposed, and the system for the method is developed based on in CATIA. The structure and functional model of the system is introduced, the function of each module of the system is described in detail, and the demonstrator example in application is given.

**Keywords:** Box joint Tooling Reconfiguration Configuration

在飞机、卫星等航空航天产品制造中,大型定制工装的使用浪费了大量的生产时间和成本。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<sup>[1-2]</sup>。基于盒式连接的可重构柔性工装是一种适用于大型产品定位夹持的工装技术方案,它由螺栓组装的连接盒与方形梁搭建而成,利用摩擦力固定,所有的零件都是具有一定尺寸规格的标准件,可以通过拆装实现重用<sup>[3]</sup>。

对于可重构柔性工装,如何合理利用工装元组件,如何快速搭建工装型架并进行分析,是其实现实际应用的重要技术<sup>[4]</sup>。本文所开发的工装配置与分析系统就满足了这种需求。该系统能够辅助工装设计人员快速地完成可重构柔性工装的配置过程,并对配置好的工装型架进行性能及可视性分析。

### 1 系统的结构与工作流程

#### 1.1 系统结构

工装配置与分析系统的结构划分为3层:数据层、业务层、用户层,如图1所示。其中数据层包括保存在

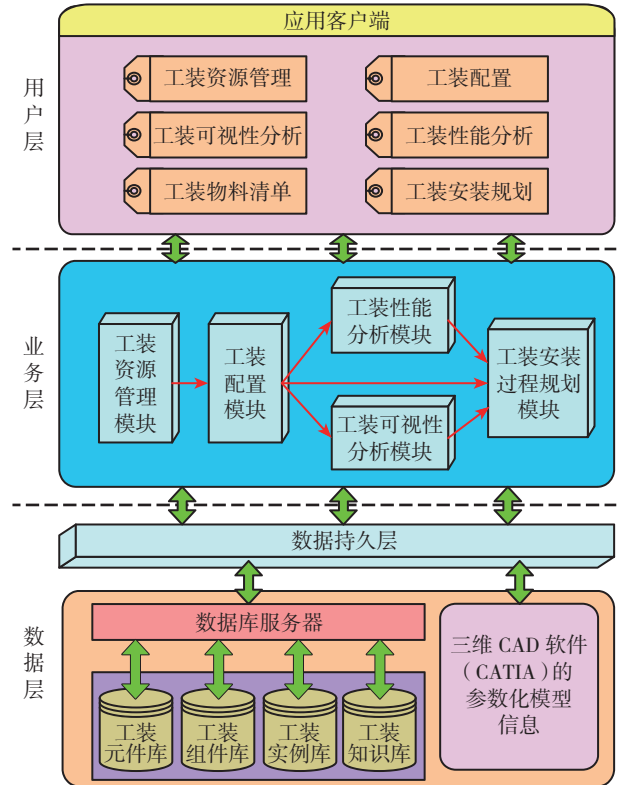


图1 盒式连接柔性工装配置与分析系统的结构

Fig.1 Composition of configuration and analysis system for box joint based toolings

数据库中的工装元件库、工装组件库、工装实例库、工装知识库的信息,以及通用三维CAD软件(CATIA)中参数化模型的数据信息。系统业务层是系统的核心,主要是系统要实现的各个功能模块,包括工装资源管理模块、工装配置模块、工装性能分析模块、工装可视性分析模块、工装安装过程规划模块。图中箭头表示了各个模块之间的相互联系。工装资源的管理,为工装配置提供了“原材料”,资源库中的工装实例及元组件在工装配置模块中根据需求信息产生实用工装。工装配置的结果,即针对特定需求的工装实例,需要经过工装性能分析模块和可测性分析模块的分析,才具有实际的使用价值。工装安装过程规划模块对工装配置、性能分析、可测性分析3个模块的信息进行整理与输出,包括工装结构模型信息、工装的元组件信息,以及性能分析和可测性分

析的条件与结果,形成 BOM 清单,进行成本估算,测量辅助安装方法,测点规划与测量仪器布置方式等文档。系统用户层提供用户操作的接口,包括工装的配置与管理、工装性能分析、工装可测性分析,以及工装安装过程规划的软件界面。

## 1.2 工作流程

可重构柔性工装配置与分析系统的工作流程如图 2 所示。系统的外部输入信息是工装夹持产品的信息与工装的工作环境信息。工装配置模块获取这些信息,从工装实例库和工装元组件库中获取可用资源进行工

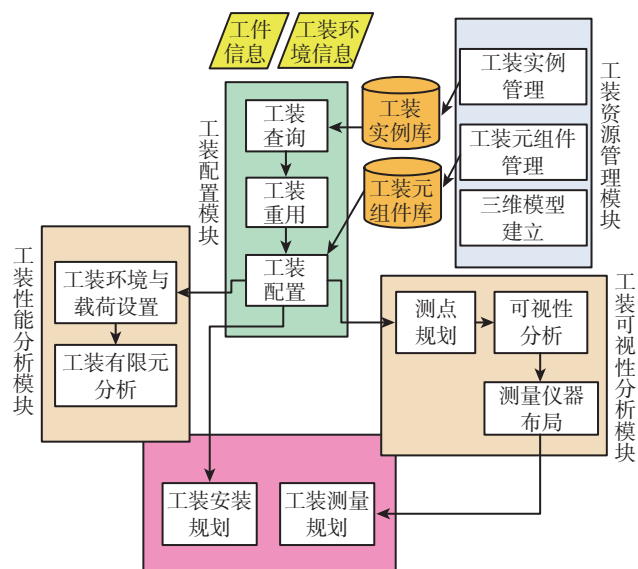


图2 盒式连接柔性工装配置与分析系统的工作流程  
Fig.2 Workflow of configuration and analysis system for box joint based toolings

装配置;配置好的工装分别通过工装性能分析模块和工装可视性分析模块进行刚性和测量可视性的分析;最后通过工装过程规划模块输出相应的安装与测量规程;工装资源管理模块对工装实例库和工装元组件库进行管理。

## 2 系统主要功能模块

### 2.1 工装资源管理

工装资源管理模块对工装配置的基本元组件和工装实例进行有效管理,实现工装数据库中信息的添加、删除、修改和整理。工装资源管理模块中的资源包括:方形梁、盒式接头、定位器、骨架模块、工装实例等,如图 3 所示。工装资源管理模块管理的信息包括工装实例及其元组件的名称、类型、描述信息、尺寸信息等,具备信息的添加、修改、删除功能。其中工装元件管理可以通过在程序界面中修改元件的尺寸值,自动在 CATIA 软件中生成相应尺寸的元件三维模型,方便地实现元件库的修改与扩充。工装组件管理可以查看和修改工装组件中包含的元件名称及个数,并利用 CATIA 中的装配设计功能,修改其元件之间的配合及约束关系,保证组件三维模型与其数据库信息的一致性。

### 2.2 工装配置

工装配置模块是工装配置与分析系统的主要功能模块,实现对于既定夹持产品所需工装的设计与配置。该模块通过程序半自动及人工交互的方法,完成从需求信息到工装实例的建立过程。如图 4 所示,工装配置模块的主要过程为:

(1) 工装的需求信息获取。包括工装所夹持的工

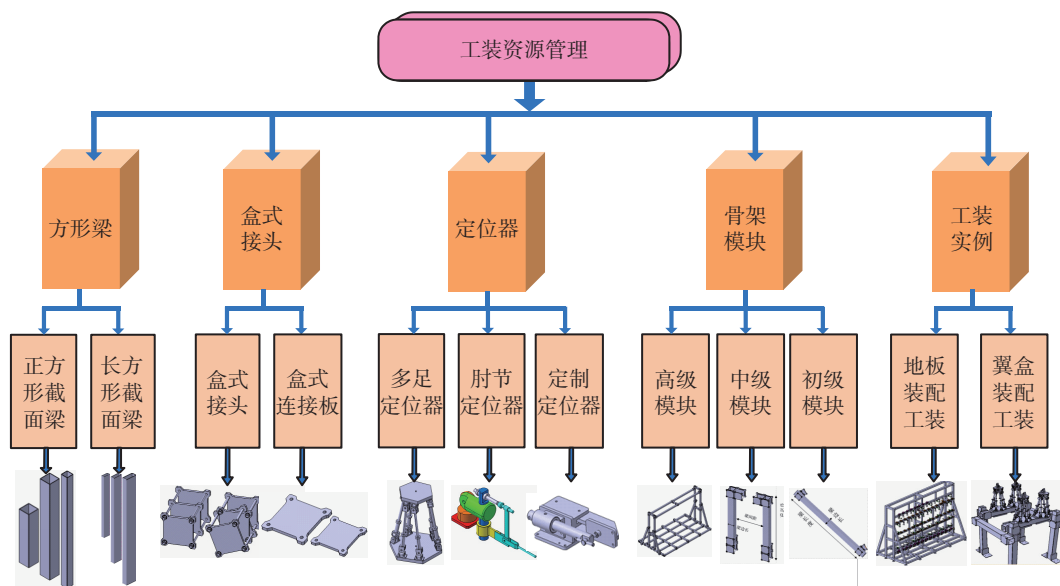


图3 工装资源管理  
Fig.3 Tooling resources management

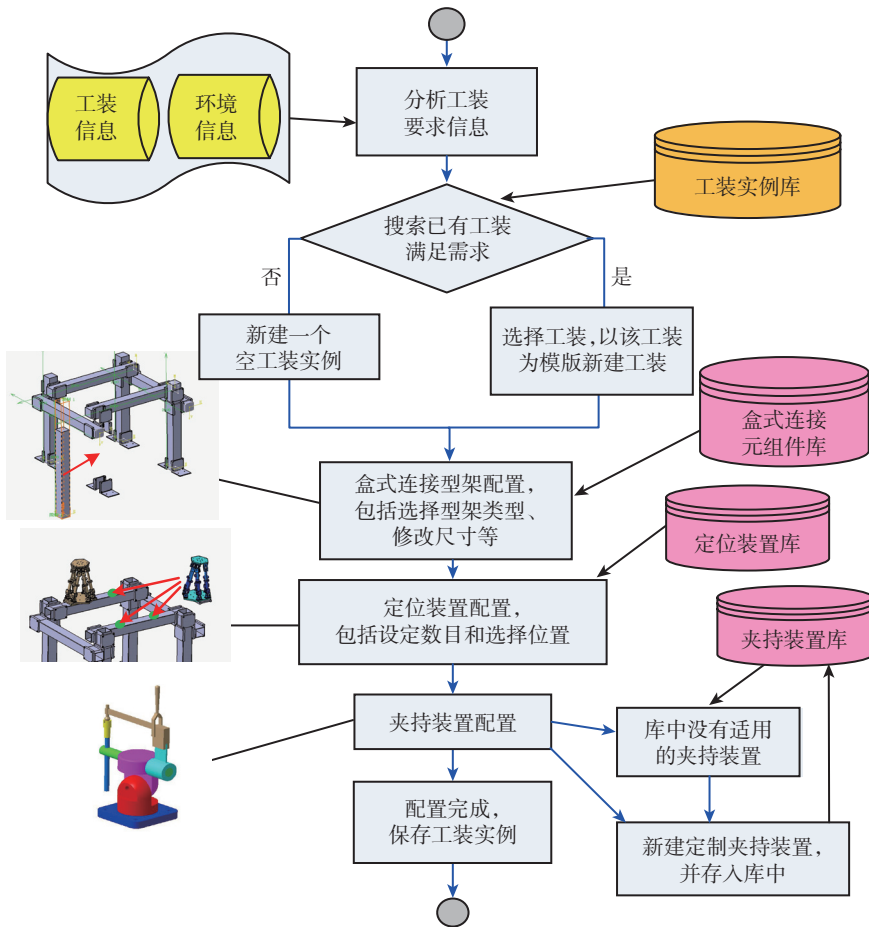


图4 工装配置  
Fig.4 Tooling configuration

件信息和工装工作环境的信息。通过人工输入以及从数据库中提取得到这些信息, 确定需要采用的工装类型及基本结构。

(2) 检索工装实例库。如果找到已有的可用工装实例, 则以该工装实例为模板进行重用, 实现工装配置; 如果没有找到可用工装实例, 则新建一个工装实例进行配置。

(3) 对盒式连接工装型架进行配置。如果重用已有的工装实例, 通过修改其零件尺寸及装配参数得到可用的工装; 如果设计新的工装, 可以使用经典的型架类型, 程序通过加持产品的尺寸自动生产相应指定的型架类型, 在该型架进行配置, 或者从无到有直接进行工装型架配置。

(4) 对柔性定位装置进行配置。根据被夹持工件的形状、尺寸和精度要求特点, 选择放置定位装置的数目及位置。

(5) 对夹持装置进行配置。根据夹持产品上布置的夹持位置, 搜索夹持装置库中的现有装置, 如能够找到直接可用或经过修改可用的标准夹持装置, 则采用库

中的装置; 如果找不到适用的夹持装置, 则重新设计夹持装置应用于工装实例, 并保存在夹持装置库中。

(6) 配置完成, 保存工装实例。

### 2.3 工装性能分析

工装性能分析模块主要是对工装的刚度进行分析, 判断其应力和变形情况是否满足型架精度要求。该模块对 CATIA 软件中的有限元分析功能进行集成, 能够快速实现型架的载荷添加、温度定义、约束添加, 给出关键位置点的分析结果, 保存到数据库中。该模块方便快捷地实现工装型架的刚度分析, 如分析结果超出了工装所需精度范围, 则返回工装配置模块, 修改工装配置, 保证工装精度要求。性能分析的过程如图 5 所示。

### 2.4 工装可视性分析

工装的安装及使用中, 需要使用激光跟踪仪等测量仪器对工装上的关键点进行测量, 保证工装精度。

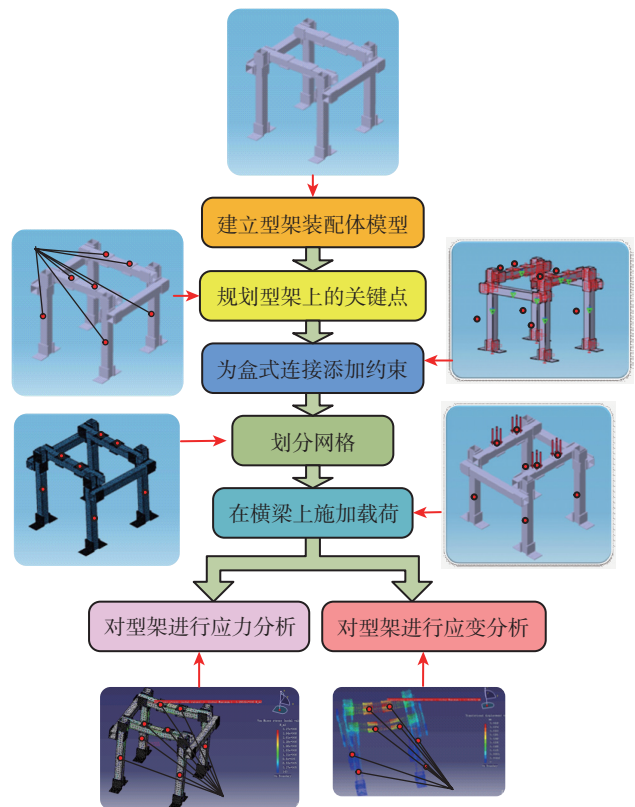


图5 工装性能分析  
Fig.5 Tooling performance analysis

工装可测性分析模块对工装型架上的测量点进行可视性分析,计算对所有测量点进行观测所需的最少仪器站位,从而减少仪器安装次数,提高测量精度。如图6所示

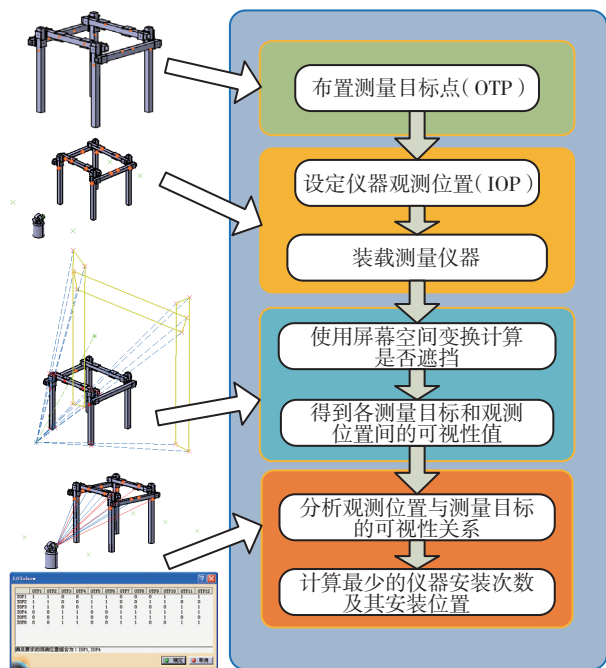


图6 工装可视性分析  
Fig.6 Tooling visibility analysis

示,可视性分析的过程为:首先通过选点或设定坐标的方式,定义工装上的测量点;然后定义测量仪器的初始位置,通过屏幕空间变换算法<sup>[5]</sup>计算该位置对所有测量点的可视性;如果单一位置不能够对所有测量点可视,则按照一定的间隔分布观测位置,分析各个点的可视性,找出能够测得所有测量点的最小观测位置组合,该组合即为可视性分析得到的仪器站位规划。

### 2.5 工装安装规划

工装安装过程规划模块是工装配置与分析系统的最终输出模块,将系统配置出的工装模型与构成,安装与分析方案及结果,以文档及视频的方式输出给用户,包括工装物料清单、装配工艺规程、测量规划等。

## 3 验证实例

以某飞机翼盒装配型架为例<sup>[6]</sup>,使用工装配置与分析系统进行快速设计,如图7所示。首先利用工装资源管理模块,查看工装资源库中现在的工装元组件信息,进行适当的增加和修改,便于工装配置中的应用。然后在工装配置模块中,针对夹持产品,即飞机翼盒的信息,检索工装资源库中的工装实例,如果可以进行重用,则导入该工装实例进行修改;若没有匹配的工装实例,则可以通过自动生成框架,或者重新设计的方法,使用库

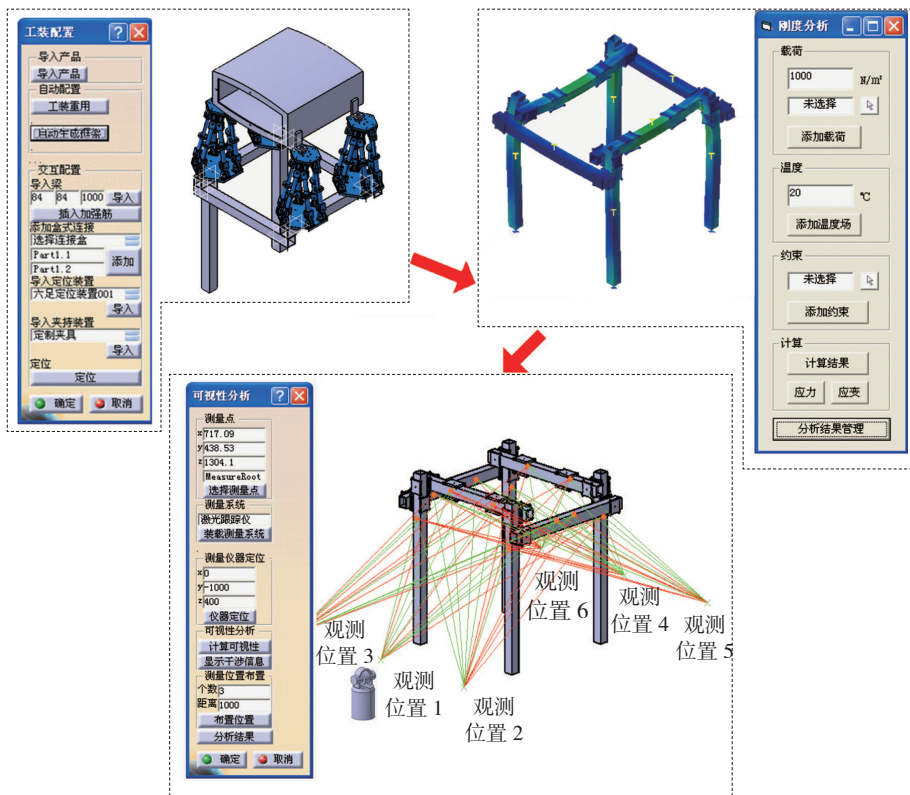


图7 系统的验证结果(以某翼盒为例)  
Fig.7 Verification result of system (a wing box for example)

(下转第74页)

异常长大(Ⅲ区顶部);当间隔时间较长时(24h),原沉积体已冷却到室温,接续堆积施加的热循环对原沉积体产生的影响很大,会改变原沉积体自上至下组织由细变粗的趋势,反而从上至下 $\alpha$ 的片层厚度由粗变细(Ⅱ区)。

### 2.3 多次堆积硬度分布特征

对XOY截面自上至下进行了洛氏硬度测量,测试结果如图8所示,沉积体的顶部硬度值从37HRC升高到40HRC,经Ⅲ区时硬度急剧下降到33.5HRC,Ⅰ区和Ⅱ区硬度值32.5HRC上下波动,对比沉积体不同位置的硬度值和片层 $\alpha$ 的厚度发现,硬度值和片层厚度呈反向相关的关系,片层越厚硬度值越小。

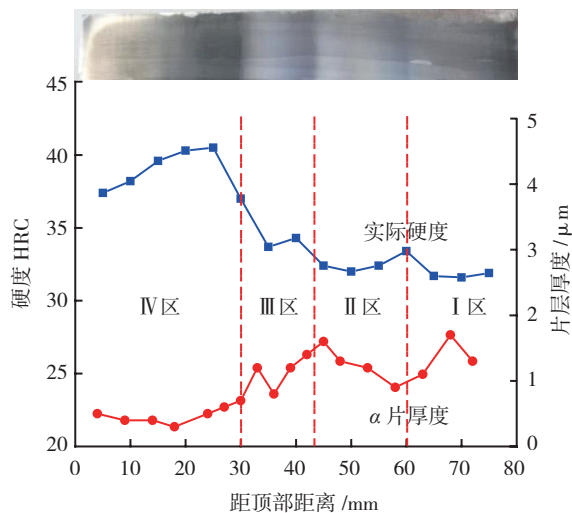


图8  $\alpha$ 片层厚度与硬度的关系  
Fig.8 Relationship between  $\alpha$ -plate dimensions and rockwell C-scale hardness (HRC)

### 3 结论

(1) 电子束快速成形沉积体的顶部为针状马氏体,其余部分为网篮组织,由于多次堆积,网篮组织中片状 $\alpha$ 的厚度及取向不均匀,形成了截面上明暗相间的层带状过渡区域;

(2) 层带状过渡区没有明显阻碍遍布整个沉积体的粗大柱状晶的外延生长趋势;

(3) 短时中断( $\leq 1h$ )对沉积体网篮组织中 $\alpha$ 片层厚度影响不大,间隔时间越长(24h),接续堆积产生的热影响作用越明显, $\alpha$ 片层厚度越易发生变化;

(4)  $\alpha$ 片层厚度和硬度呈反向相关的关系,片层越厚,硬度值越小。

### 参考文献

[1] Denis C, Ola H, Harvey W. Characterization of H13 steel produced via electron beam melting. Rapid Prototyping Journal, 2004, 10(1): 35-41.

[2] Taminger K M B, Hafley R A, Dicus D L. Solid freeform fabrication: an enabling technology for future for future space mission. Keynote Lecture for 2002 International Conference on Metal Power Deposition Rapid Manufacturing, San Antonio, TX, Metal Power Industries Federation, April 8-10, 2002: 51-60.

[3] 颜永年, 林峰, 张人佶, 等. 快速制造技术的最新进展及其发展趋势. 电加工与模具, 2006(s1): 12-21.

[4] 师昌绪, 李恒德, 周廉. 材料科学与工程手册(上册). 北京: 化学工业出版社, 2004: 2-223. (责编 深蓝)

(上接第67页)

中的元组件资源进行工装配置,配置过程中,如果库中的元组件不足,则可以返回到资源管理模块中,增加所需的工装元组件。在工装配置完成之后,对工装进行性能分析,快速添加工装上的约束和载荷,使用CATIA的分析功能完成工装型架的应力及变形分析,判断其应力和变形是否处于满足精度要求的范围内,如不满足,则返回工装配置模块修改工装型架的配置方式。最后进入到工装可视性分析模块,根据工装的应用情况,布置测量点,分析在一定的仪器观测位置下能否对测量点进行观测,从而获得最佳的观测位置,为工装型架的测量过程提供指导。

### 4 结束语

基于盒式连接的可重构柔性工装,在飞机、航天器等产品的研制及中小批量生产中,具有良好的应用前景。工装配置与分析系统,可以对其进行快速的配置和分析,方便地进行工装元组件的组装,判断是否满足强度要求以及获得测量仪器布局信息,大大减少了工装设计人员的工作量,提高了设计效率,对促进可重构柔性工装的实际应用具有重要意义。

### 参考文献

[1] 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.

[2] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术. 航空制造技术, 2005(9): 28-32.

[3] Jonsson M, Kihlman H, Ossbahr G. Coordinate controlled fixturing for affordable reconfigurable tooling//Proceedings of the 2nd conference on assembly technologies and systems. Canada: Toronto, 2008.

[4] Jonsson M, Kihlman H. Fixture design using configurators//Proceedings of swedish production symposium. Sweden: Stockholm, 2008.

[5] Kong Z, Huang W, Ceglarek D. Visibility analysis for assembly fixture calibration using screen space transformation. Transactions of the ASME, 2005(8): 626-634.

[6] 郑联语, 王艺玮, 蔡志为. 基于盒式连接和六足机构的翼盒水平装配可重构柔性夹具设计与验证初探. 航空精密制造技术, 2011, 47(3): 44-48.

(责编 亦非)