

飞机柔性装配工装智能化设计 (FFixCAD) 系统

FFixCAD System for Aircraft

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 邱 益 郑国磊 饶有福 郑洪涌

FFixCAD 系统采用嵌入方式,实现与 CATIA 平台系统无缝集成。这样,不仅在系统开发过程中,可方便地利用平台所具备的强大功能接口,以降低专业化开发的技术难度并提升开发效率;同时,在系统应用过程中,可交叉混合使用本系统的专业化功能和平台系统的通用性功能,以充分发挥这两类功能的各自特点和优势,从而最有效地完成柔性装配工装的设计。

为了适应现代飞机“高质量、短周期、多品种和小批量”的研制要求,国外先进航空企业于 20 世纪 80 年代初提出并开展了柔性装配技术及其应用研究^[1-2]。国内航空业界从“十一五”开始跟踪研究这方面技术,并在多个行业主管部门的支持下,先后平行启动和开展了数个“柔性装配技术”项目的研究。柔性装配工装是柔性装配技术的核心组成之一,其结构的合理性直接影响着整个柔性装配系统的适用面、生产效率和制造质量。另外,与传统的专用型架相比,柔性装配工装的总体结构更为复杂,定位、夹紧和支撑等工作元件均采用自动控制,而且它们布置巧妙,设计难度大。因此,研究、开发和应用柔性装配工装智能化设计技术对确保柔性装配工装结构设计质量乃至整个柔性装配系统的研制具有十分重要的工程意义。

目前,国外对柔性装配工装技术的研究主要集中在整体结构布局、

关键元件及其控制技术等方面,并为所取得的核心成果申请了一系列技术发明专利^[3-7]。而就柔性装配工装设计技术,尚未查阅到相关的研究介绍。国内自 20 世纪 80 年代末开始,就专门对飞机装配型架智能化设计技术开展过研究,研究成果已在多个航空型号研制中得到了应用,也积累了较为成熟的具有自主知识产权的技术成果^[8-11]。鉴于这些基础,也作为现有技术的进一步推广应用和发展,在相关行业项目的支持下,开展了“柔性装配工装智能化设计(FFixCAD)系统”的研究和开发。本文重点介绍 FFixCAD 系统结构、主要功能模块及其应用。

柔性装配工装及其设计方法

1 柔性装配工装

柔性装配工装是指其主要构成元件可进行调节或局部重组,以适应一组结构相似和尺寸相近的装配件制造中定位、保型、支撑和夹紧等工

艺需求,从而达到减少工装品种和数量、缩短工装准备周期和降低工装研制成本等目的。

与传统的专用装配型架相比较,它具备如下几个特点。

(1) 采用离散化的整体结构。在柔性装配工装结构中,通常不采用整体骨架结构,这是实现定位柔性化、通用化的有利条件之一。

(2) 以模块化元件为关键组成。在同一模块中,集成了支撑、定位和夹紧等主要结构,并为这些结构配备了相应的自动控制装置。此外,不同的模块也可通过自动控制来调整相互间的位置关系,以适应不同装配件的定位工艺要求。这是实现工装柔性化、通用化的关键技术保证。

(3) 自动控制元件的工作过程。柔性装配工装的主要模块和元件,均采用自动化控制方式来调节这些模块和元件间的相互位置关系,以快速形成工装定位构型,并确保此构型的准确性。

(4) 适用于系列化装配件的定位夹紧需求。通过整体结构及主要元件的合理布置和调节,使得同一套工装可定义和构建适用于一组不同装配件制造要求的多个定位系统,从而实现这套工装在一定程度上具备通用化的目的。

(5) 自适应调节和补充定位精度。通过在线测量系统,包括光栅尺、室内 GPS、经纬仪、激光跟踪仪等,实时采集和反馈工件的空间定位精度,通过与理论精度的对比,确定定位精度调节量,利用这些调节量自动调整相关定位元件的方位,以达到工件准确定位的要求。

(6) 支持自动化装配方式。柔性装配工装通常应用于自动钻孔和铆接等自动化装配方式,以充分发挥工装的自动、快速定位和夹紧的功效。

2 设计知识模型

按照制造对象的不同结构特点,可将柔性装配工装分为翼梁、壁板、机身和总装对接等类型。不同类型的柔性装配工装,其整体构型及主要元件类型不尽相同,但是它们的设计过程和方法基本类似。柔性装配工装的设计模型如图 1 所示,其中:

(1) 总体设计模型,包括整体结构方案规划、整体结构方案校核、元件设计、整体结构分析验证及生产数据准备等阶段。

(2) 结构方案规划,包括适用于特定装配件的定位夹紧方案设计,各元件工作域和定位域(简称工域和定域)的计算和标定,以及不同装配件间公共工域和公定域计算等。

“结构方案规划”中公工域和公定域计算是柔性装配工装有别于传统型架设计方法的主要体现,也是柔性装配工装设计的主要难点之一。

FFixCAD 系统

1 系统结构

FFixCAD 系统采用嵌入方式,实现与 CATIA 平台系统无缝集成。这样,不仅在系统开发过程中,可方便地利用平台所具备的强大功能接口,以降低专业化开发的技术难度并提升开发效率;同时,在系统应用过程中,可交叉混合使用本系统的专业化功能和平台系统的通用性功能,以充分发挥这两类功能的各自特点和优势,从而最有效地完成柔性装配工装的设计。FFixCAD 系统结构如图 2 所示,其中主要功能模块为:

(1) 结构布局。此模块主要用于支持柔性装配工装的总体结构设计,包括迭代法确立装配件的定位和夹紧方案,计算各主要元件的定位与安装区域以及定义这些元件的工作空间,设计元件支撑框架的结构形式,定义框架元件的轴线位置等。至于其中的“装配件工艺性分析”和“布局方案优选”等功能,目前仍需要依靠具备工装设计经验的技术人

员来交互完成。

(2) 支架设计。在工装结构中,支撑框架(简称支架)主要用于支撑和安装一些工作元件,其结构和设计方法具有一些自身特点,如支架元件的位置完全取决于其轴线,而元件截面多为槽钢、角钢、圆管和方钢等型材。因此,此模块提供支架设计所需的一系列专门功能,包括根据柔性工装结构布局定义和构造支架元件的中心轴线,计算各元件三维造型所需的各项几何参数,交互定义或从标准型材库中选取型材类型和规格参数,自动生成支架元件的实体模型,包括对元件间连接端面的自动裁剪处理等。

(3) 典型件设计。柔性工装结构中的典型件是指结构和形状基本不变的一系列元件,如专用的各类真空吸盘、POGO 柱、模块化立柱以及各种通用标准件等(如图 3),这些元件或是简单的零件,或是具有复杂结构的组合件。针对这些元件的设计特点,此模块建立在自行定义和开发的多个典型件三维模型库的基础上,并分别提供了“交互调用”、“交互定

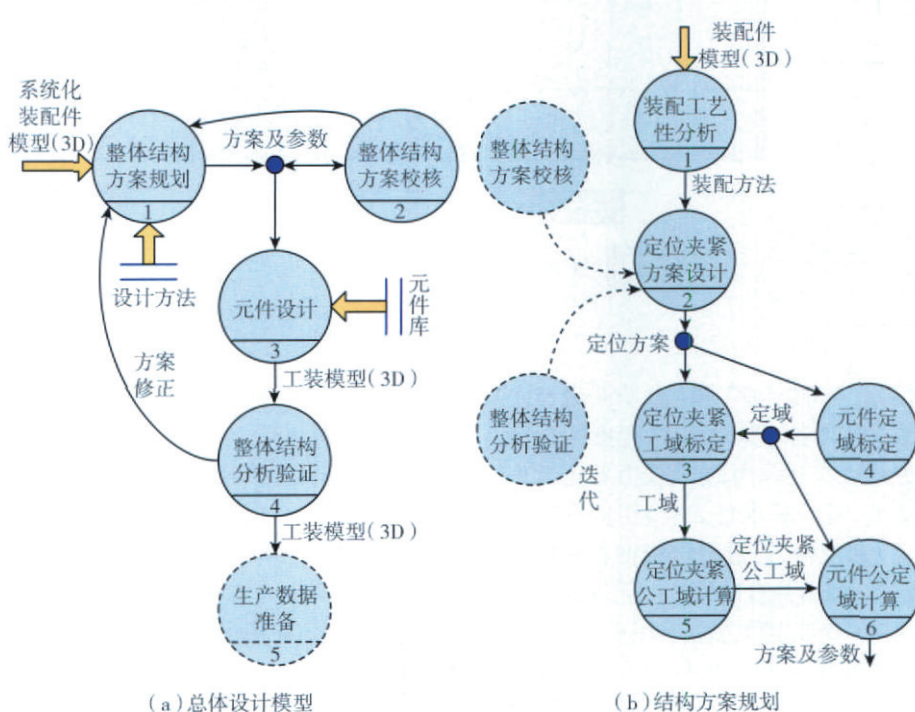


图1 柔性装配工装设计流程模型

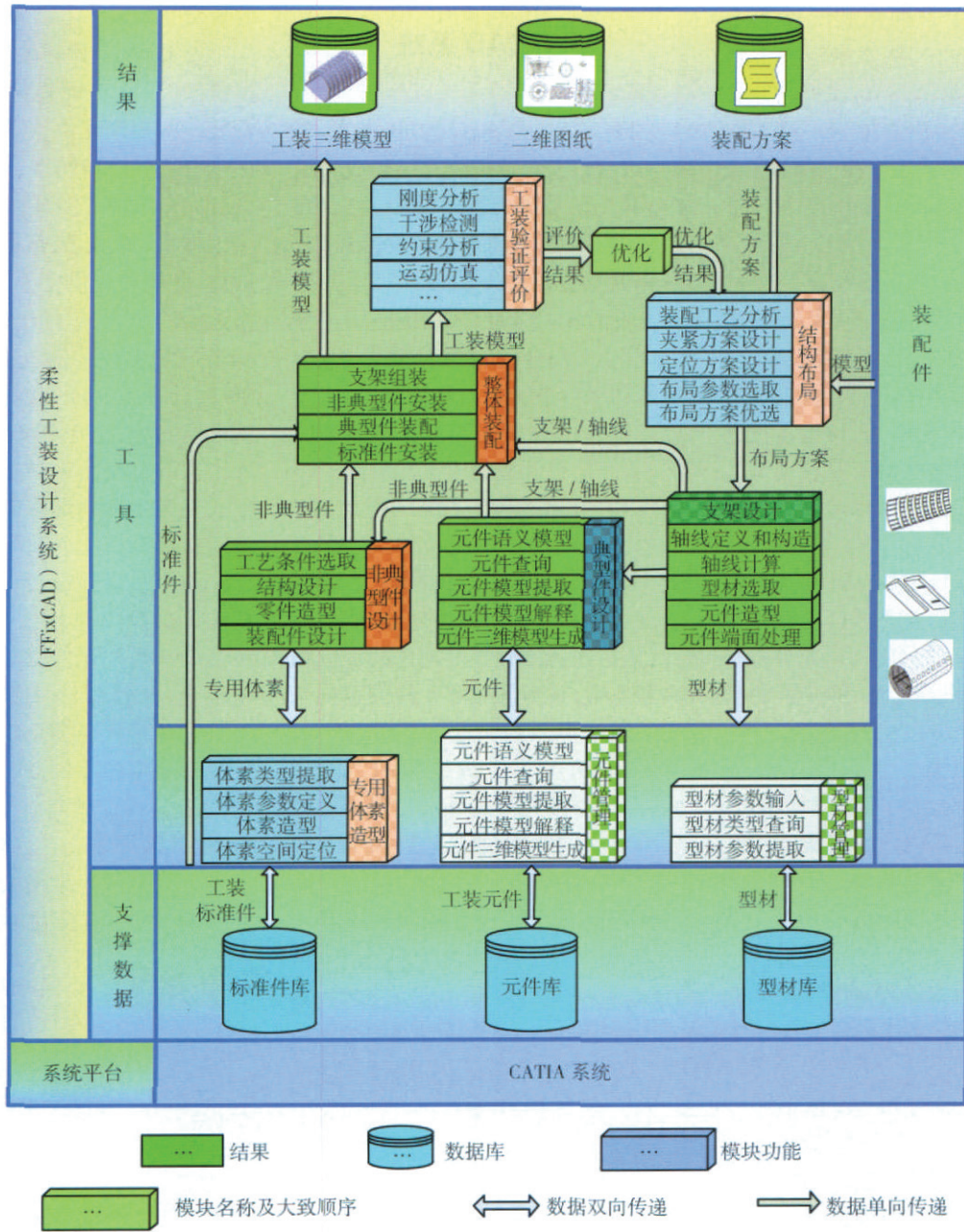


图2 FFixCAD体系结构图

位”、“自动定位”和“自动调用与安装”等具备不同智能化程度的设计方式。交互调用,亦即交互指定元件类型(若为标准件,类型用标准号标识)和规格,通过直接查询相关典型件库,调用并自动生成此元件的三维模型。交互定位,就是利用平台系统中的装配约束定义方法,交互定义元件的安装基准,完成元件在工装结构中的准确定位。自动定位,指定某元件

的工艺定位基准,根据元件库中所定义的元件安装位置公式,自动确定该元件的安装基准,以及完成该元件的定位和安装。自动调用与安装,设计员仅需指定元件类型及工艺条件,运用工艺推理算法,自动确定元件的规格大小,并以此完成元件的自动三维建模和在工装中定位、安装等操作,从而大大简化工装元件的设计过程。

(4) 非典型件设计。柔性装配

工装中的非典型件,其结构和形状不具典型性,一般取决于与之相配合的工件外形和结构等,如定位工作头和刚性夹紧器等。本模块专门为这些元件的快速设计提供一些常用的便捷功能,包括直接定义和生成夹具零件常用体素的实体模型;直接定义和生成型材元件的实体模型;提供标准型材元件参数库管理;给定标准型材类型和规格,直接生成标准型

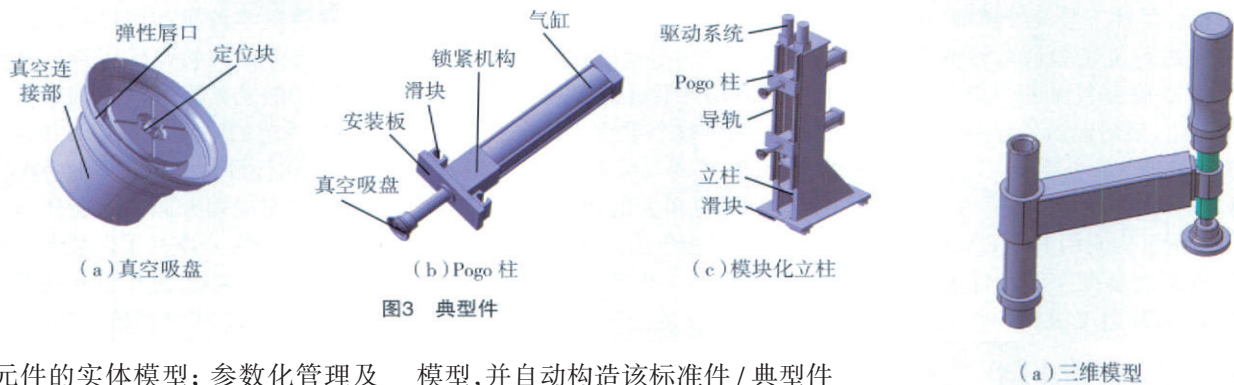


图3 典型件

材元件的实体模型;参数化管理及快速调用由平台系统交互定义和建立的夹具零件常用形状特征。

(5) 元件语义建模。为了支持和实现标准件/典型件的自动选取、快速建模和自动定位,此模块提供了元件的完整信息结构及描述的定义功能,包括详细给定属性名、型号规格、多态参数结构、形状单元及其关系表达式、工艺条件、工艺推理规则、元件基准计算公式、目标基准计算方法及各类管理信息值的定义文法和关键词。

(6) 元件管理。此模块提供柔性装配工装中所使用的HB、JB和GB等各类标准件及典型件语义模型的保存、查询、选取、修改、调用和三维建模等功能(如图4),具体包括:按特定规格命名和保存标准件/典型件的三维语义模型文件;指定标准类型,系统在标准号/典型件类别码列表中显示该标准所包含的所有标准号;在标准号列表中指定某标准号/典型件类别码,在各模型域中显示该标准号/典型件类别码所定义的标准件/典型件三维参数化模型中的各类信息,包括参数表等;指定参数表行,在模型显示区中实时显示该行参数所定义的三维标准件/典型件模型;直接键入规格,系统通过查询参数表,自动确定与输入规格相匹配的参数行,调用该参数行所定义的标准件/典型件,生成该标准件/典型件的三维

模型,并自动构造该标准件/典型件的规格;指定安装条件,所调用的标准件/典型件将准确安装到所指定的基准上。

2 技术特点

与国内外相关研究成果相比,FFixCAD系统主要具备以下几个技术特点。

(1) 提出并构建了同时支持零件类和组件类标准件/典型件三维参数化模型管理的语义模型及其相关技术,从而解决了当前商用化软件无法管理组件类及具有复杂参数结构类型的标准件的问题;

(2) 提出和建立了支持具有多规格结构、多态参数和变形状等特点的非常规标准件/典型件的管理机制以及动态构造标准件/典型件规格和零件号的方法,以突破了现有技术的局限;

(3) 提出和建立了基于工艺意图驱动的标准件/典型件的自动查询、定位和安装等一系列技术方法,为开展柔性装配工装智能化设计提供了一种新思路;

(4) 引入虚配件新概念,并在此基础上创立了配套结构的快速设计原理及方法,有效地实现了这些结构的关联及自动设计。

应用方法及实例

1 应用方法

应用本系统进行柔性装配工装设计的总体流程如图5所示。根据装配件结构特点与装配工艺进行柔性工装结构布局设计,生成柔性工装



(b) 模型文件

图4 标准件定义

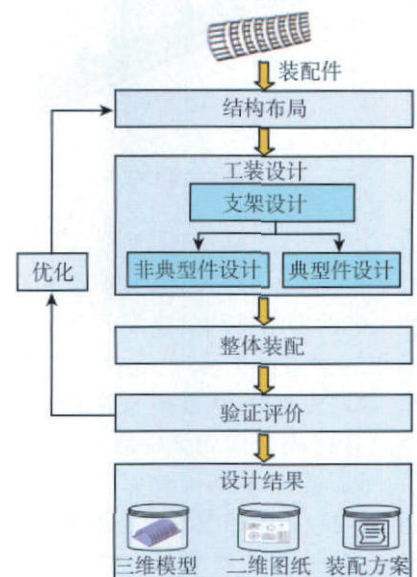


图5 柔性装配工装设计流程

的基础支架,然后进行非典型件设计,并调用各类标准件与典型件进行

整体装配生成柔性工装三维模型,在对柔性工装进行工装验证与评价后根据结果决定是否需要进行结构布局优化,最后输出工程图与装配方案图等文档。

2 实例

如图6所示为应用FFixCAD系统进行飞机柔性装配工装设计的实例,其中(a)为某型飞机机身壁板柔性装配工装,(b)为柔性工装单元,(c)为某型飞机机翼大梁柔性装配工装,(d)为某飞机舱门框柔性装配工装。

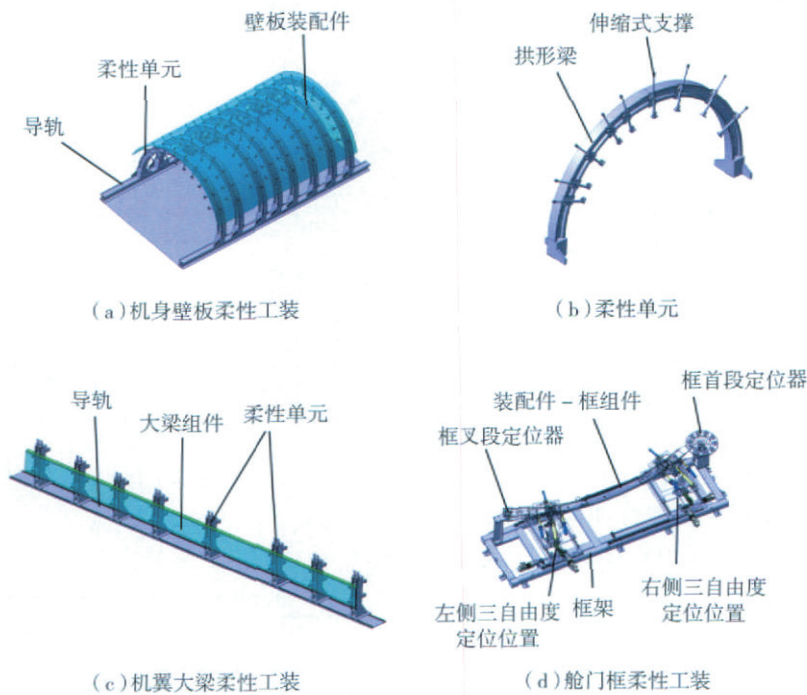


图6 柔性装配工装应用实例

在FFixCAD系统中按照组成柔性工装的零组件间的装配关系建立了相应的柔性工装库,包括真空吸盘、伸缩式支撑、柔性单元等组件库以及各构成元件如弹性唇口、定位块、弓形梁、导轨等元件库。对于各组件,可以指定相应的工艺条件来自动选择、调用并安装对应的三维模型。如需要调用伸缩式支撑时,只需要指定真空吸盘定位点(这些点在结构方案规划时已经给定)、伸缩式支撑滑动导轨,就可以自动选择伸缩式

支撑,并将其安装在相应的柔性单元上,工作头的伸缩量自动确定以确保工作头端面与工件上定位点一致。理论上,可以将整个柔性工装作为一个组件处理,在调入装配件以后,系统自动确定柔性单元的数量、规格及其布局并生成相应的三维模型。但其中涉及大量的工艺条件计算,如夹紧力、定位点、安装面等并受装配条件约束如干涉等等,需要通过后期仿真进行优化调整。

在上述3个实例中,还大量调用了FFixCAD创建的GB库中常用的

连接件(如螺栓、螺母等),通过指定相应的工艺条件可以快速完成这些元件的自动选择、安装并生成三维模型,提高了设计的速度与准确性。

结束语

上述介绍和实例设计表明,FFixCAD系统已具备了柔性装配工装快速设计所需的主要功能。其中,元件设计功能非常有效,达到了很高的智能化、自动化水平;元件语义建模及管理更具普遍适用意义,可同

时定义和管理零件类和组件类以及具备多态参数结构特征的各类标准件。这些功能及其实现方法构成了FFixCAD系统的坚实发展基础和技术优势。不过,目前系统在柔性装配工装结构方案规划方面的功能还显得薄弱,还不能完全支持柔性装配工装结构方案设计流程,其中的一些基础性功能仍需依靠平台系统,使用不甚方便和有效。如何解决这些问题,将是FFixCAD系统进一步完善和发展的重点。

参考文献

- [1] Flexible Assembly System for Airbus Production. Aircraft Engineering and Aerospace Technology. 1980, 52 (10): 8-9.
- [2] Olsen H B. A flexible robotic work cell for the assembly of airframe components. 11th International Conference on Composite Materials (ICCM-11). IEEE Computer Society Pres, 1990: 1278-1283
- [3] Whitehouse J A. Positioning System for Supporting Structural Components During Assembly. United States: 5659939, 1997-08-26
- [4] Speller T H, Weaver J P. Programmable Fixture and Assembly Cell. United States: 5653005, 1997-08-05
- [5] Martinez M T. Component Support and Mechanization Machine. United States: 6121781, 2000-09-19
- [6] Crockery R B, Benzkowski K Flexible Fixture System and Method. United States: US 2001/0042306 A1, 2001-11-22
- [7] Sturm J A J, Rieckenberg W J, Weniger R. J. Flexible Fixture. United States: US 2005/0015962 A1, 2005-1-27
- [8] 郑国磊,冯宗律,王云渤,等. 飞机装配型架CAD系统. 航空制造工程. 1996(9): 14-15.
- [9] 郑国磊,余英,朱心雄,等. 飞机装配型架标准件模型化技术. 航空学报. 2002, 23 (01): 38-42.
- [10] 郑国磊,朱心雄,许德,等. 飞机装配型架中骨架的数字化设计原理及实现. 航空学报. 2005, 26 (02): 229-233.
- [11] 郑国磊,朱心雄,许德,等. 飞机装配型架标准接头定位器自动选取算法. 北京航空航天大学学报. 2002, 28 (4): 451-454.

(责编 侧卫)