

飞机装配型架内型板快速设计方法

魏晓东¹, 安鲁陵¹, 闫宝强²

(1. 南京航空航天大学机电学院, 南京 210016;

2. 航空工业西安飞机工业(集团)有限责任公司, 西安 710089)

[摘要] 为提高飞机装配型架内型板的设计质量与设计效率, 分析内型板的结构特点与设计流程, 开发了一款飞机装配型架内型板快速设计工具。该工具统一了内型板设计的流程, 并针对性解决了传统内型板设计过程中遇到的3个关键问题: 建立内型板基体的参数化模型、提出快速提取算法与自动延伸算法分割生成内型板工作面、提出内型板凹槽的批量设计方法, 最后给出了快速设计工具的具体应用实例。

关键词: 飞机装配型架内型板; 快速设计; 数字化制造; 飞机装配工装; 参数化模型

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2018.22.054



魏晓东

硕士研究生, 从事数字化制造方向研究。针对飞机装配工装快速设计技术, 实现装配工装的参数化设计, 获得发明专利3项。

飞机制造过程中, 飞机装配型架用于保证飞机产品的互换协调与几何参数, 并保证飞机产品装配位置的准确度。飞机装配型架主要由骨架、外形定位件、接头定位件、夹

紧件及辅助设备部分组成, 其中外形定位件分为内型板、卡板、支托件等^[1-3]。

传统飞机装配型架的设计通过设计人员手工绘图完成, 对设计人员的专业要求较高, 从总体方案的制定到总图、再到零件图的绘制需要耗费大量的时间。为此, 国内学者研究了飞机装配型架的快速设计方法。针对飞机装配型架骨架的设计, 郑国磊等^[4-5]将骨架抽象为线框模型, 提出了线元、线链等概念, 用于构建骨架的轴线模型, 并开发了骨架数字化设计子系统; 李汝鹏等^[6]提出层面分解驱动的设计思想, 通过驱动结构面生成骨架线框模型, 然后扫略生成骨架实体, 总体上将骨架总体的设计过程划分为骨架线框构建、型材扫掠、相交处理, 在CATIA平台中开发骨架线框库、型材库等设计工具, 提高骨架设计效率与设计质量。针对飞机装配型

架卡板的设计, 顾雨甜等^[7]在对比大量卡板数模的基础上, 提炼出卡板设计过程中应用的草图模板, 提出了基于参数化草图模板的快速设计方法, 并在UG平台上开发了卡板快速设计系统; Zhang等^[8]依据功能要求分析了卡板上不同的组成结构, 基于功能要求与设计知识将卡板上组成结构特征定义为功能特征, 提出了一种基于功能特征的卡板的设计方法。针对飞机装配型架中常用的标准件与零组件, 陆旻等^[9]在CATIA平台开发出标准件库, 将常用的标准件存入库中, 能够实现标准件的快速调用与快速装配; 李庆利^[10]、邓冬梅等^[11]提出组件库技术, 在CATIA平台开发组件库, 应用参数化设计方法建立组件存入组件库中, 实现了飞机装配型架设计过程中常用组件的分类管理与实例化调用。

内型板是飞机装配型架重要的

组成结构,大量应用于飞机蒙皮的装配中,内型板作为重要的外形定位件,在当前飞机研制中不可替代。传统方式下,内型板通过工装设计人员在通用 CAD 平台上手工交互建模,设计效率低,设计质量因设计人员水平参差不齐。本文融合工装设计人员的设计知识与经验,在 CATIA 平台上开发出内型板的快速设计工具,该工具统一内型板的设计流程,并针对解决传统内型板设计过程中遇到的 3 个关键问题。

图 1 为某型飞机机身蒙皮内型板结构与内型板定位蒙皮示意图。为了便于读者对后文的理解,本文在此对蒙皮及内型板主要结构特征做出如下定义:在蒙皮结构中,将蒙皮零件上通过铣削加工的面定义为蒙皮正面,与蒙皮正面相对,保证飞机气动外形的面定义为蒙皮反面,蒙皮实体表面由大量蒙皮正面与蒙皮反面组成。在内型板结构中,拉伸内型板草图生成的凸台特征定义为基体,与蒙皮正面贴合的面定义为工作面,避免与长桁空间干涉的凹槽特征定义为长桁凹槽。至此,内型板的主要结构特征有基体、工作面、长桁凹槽。

传统的内型板设计过程中存在 3 个关键问题:

(1) 装配型架上需要设计多个内型板,用于定位蒙皮,每个内型板

的基体都需要重新设计。

(2) 内型板工作面是通过蒙皮正面分割内型板基体得到,蒙皮正面曲面数量多,且蒙皮正面曲面之间拓扑关系复杂,要得到分割操作的输入曲面特征,存在设计难点。

(3) 内型板结构中存在批量的长桁凹槽,需要重复在建模平台上不断交互设计。

针对问题(1),本文提炼出内型板基体的草图模板,建立参数化模型,实现内型板基体的参数化设计;针对问题(2),本文提出快速提取算法与自动延伸算法,获得所有的蒙皮正面的结合面特征,并将结合面特征沿边界线延伸,将延伸的结合面特征用于分割内型板基体,快速生成内型板工作面;针对问题(3),本文提出基于长桁截面尺寸驱动,内型板长桁凹槽的批量设计方法。

内型板快速设计流程

有向图作为图的一种,是一种复杂的非线性结构,在人工智能、生物、数学、计算机等领域都有着广泛的应用^[12-14]。产品设计过程可以用有向图表示,数学表达式描述为:

$$D = (S(D), E(D))$$

式中, D 表示有向图, $S(D)$ 是有向图顶点 S 的集合,表示每个步骤; $E(D)$ 是有向图的弧的集合,表示设计

过程的传播方向; $E(D)$ 的两个端点对应着有向图顶点 $S(D)$ 。有向图可以直观地表达设计流程,但不便于转化为计算机编程语言,有向图可以用邻接矩阵表示。邻接矩阵是在计算机上描述图的一种数据结构,邻接矩阵表示法是将图以邻接矩阵的形式存储在计算机中,邻接矩阵用以下公式表示:

$$A(D) = [a_{ij}]_{n \times n}$$

式中, a_{ij} 表示有向图第 i 个顶点为尾,第 j 个定位为头的有向弧的数目,且 $a_{ij} \in \{0, 1\}$,设计过程中有向图转化为邻接矩阵,矩阵主对角的元素为 0。

有向图能够清晰地表达产品设计过程,邻接矩阵的优点在于可以用更加紧凑的方式表达流程中的信息,方便编码实现。本文利用有向图来清晰地表达内型板快速设计的流程,同时利用邻接矩阵,将内型板设计流程转化为计算机编码。

三维设计环境下,飞机装配型架内型板快速设计方法的详细流程归纳为以下 8 个阶段:

(1) 内型板设计基准的确定:包括飞机理论外形与内型板定位基准面,其中内型板定位基准面分为蒙皮轴线面和水平基准面。内型板轴线面一般选取距离蒙皮框轴线一段距离的平面,水平基准面选择平行于地面的平面。

(2) 导入内型板基体的草图模板,依据输入的两个基准面定位草图模板。通过输入的飞机理论外形获得内型板工作面轮廓,并添加约束形成内型板基体草图。

(3) 修剪处理内型板基体草图,输出封闭草图。

(4) 采用 CATIA 凸台拉伸命令生成初步的内型板基体。

(5) 依据装配型架骨架和蒙皮的尺寸,更改内型板基体的主控参数,驱动更新基体尺寸,最终生成尺寸符合设计要求的内型板基体。

(6) 采用快速提取算法获得蒙

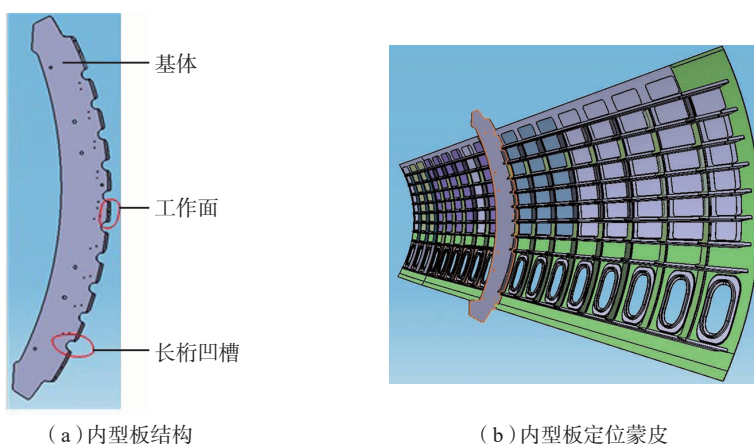


图1 内型板结构及定位蒙皮示意图

Fig.1 Structure and positioning diagram of aircraft assembly fixtures interior boards

皮所有正面的结合面,采用自动延伸算法将结合面沿边界线延伸一段距离,并用于分割内型板基体,生成内型板的工作面。

(7)内型板长桁凹槽的批量设计。

(8)设计完成,保存内型板模型。

内型板快速设计流程的有向图如图2所示,内型板快速设计流程的邻接矩阵如图3所示。

将内型板快速设计流程的邻接矩阵,以计算机编码的方式传递在开发的内型板快速设计工具中,并在快速设计工具内部统一内型板的设计流程。

上述总结的内型板快速设计流程的有向图及邻接矩阵融合了工装设计人员设计知识和长期累积的经验,统一了内型板的设计步骤,用于指导规范内型板设计。开发的快速设计工具提供设计输入界面,内型板设计流程以响应按钮显式地表示在设计输入界面中,引导设计者迅速、专业地完成设计任务,使得缺乏经验的工装设计人员也可以短时间内设计出符合要求的内型板。

内型板基体的参数化模型建立

参数化设计提炼出三维数模尺寸变量的主控参数与次要参数,并建立主控参数与尺寸变量之间的关系式,通过设置主控参数,实现参数化模型的建立^[15-16]。本文在对比大量内型板数模的基础上,创建内型板基体的草图模板,利用CATIA知识工程模块,在此模板基础上,依据内型

板设计经验设置主控参数,并建立主控参数与尺寸变量之间的关系式,建立可以完全控制基体三维数模尺寸的参数化模型。

结合图4所示内型板基体的草图模板示意图,详细列举出内型板草图模板的主参数,其中将内型板上距离工作面一个内型板宽度的面定义为非工作面。

(1)内型板非工作面上端距离H轴的距离 H_1 。

(2)内型板非工作面上端距离H轴的的竖直距离 H_2 。

(3)内型板竖直对齐的铅垂面距离V轴的水平距离 W 。

(4)内型板的宽度(工作面与非工作面的水平偏移距离) S 。

(5)内型板的厚度 T 。

(6)内型板工作面倒角、棱边倒圆角1、2。

上述的主参数决定内型板基体的总体尺寸,内型板三维数模的尺寸变量中还存在一些次要参数,这些参数影响着基体的局部尺寸,如图4所示内型板基体的草图模板示意图中的 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 。主参数中包含一些主控参数,主控参数与尺寸变量之间的关系式如表1所示。

快速设计工具赋予每一个尺寸变量一个特定的标识符,并提供一个附带二维图的设计输入界面,设计输入界面上显示所有尺寸变量的标识符及相应的参数值。用户首先设置主控参数的初始值,快速设计工具依据内部关系式直接驱动生成初步的内型板基体,所有的尺寸变量的参数值同步显示在用户输入界

面上,可通过修改任意一个尺寸变量的参数值,持续变更尺寸,直到尺寸满足设计要求,更新完成内型板基体的设计。

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
S1									
S2	1								
S3		1							
S4			1						
S5				1					
S6					1				
S7						1			
S8							1		
S9								1	1

图3 内型板快速设计流程的邻接矩阵表示
Fig.3 Adjacency matrix of rapid design process for aircraft assembly fixtures interior boards

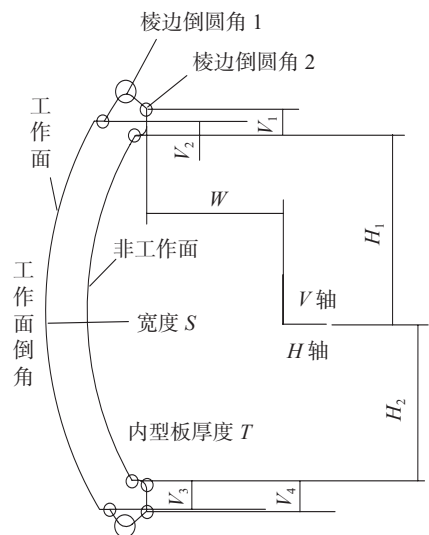


图4 内型板基体的草图模板示意图
Fig.4 Sketch template of interior boards base

表1 主控参数与尺寸变量的关系式
Table 1 Relationship between main control parameters and size variables

主控参数	关系式
距离 H_1	$H_2=H_1$
水平距离 W	工作面倒角的长度 $=0.8T$
宽度 S	棱边倒圆角 $2=0.2$ 棱边倒圆角 1
厚度 T	$V_1=0.2H_1$
棱边倒圆角 1	$V_2=0.6V_1$ $V_3=V_2, V_4=V_1$

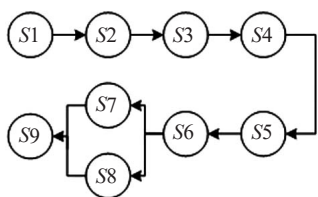


图2 内型板快速设计流程的有向图表示

Fig.2 Directed graph of rapid design process for aircraft assembly fixtures interior boards

内型板工作面的快速生成

航空企业创建内型板工作面采用两种方式:一是获取位于内型板工作面附近的所有蒙皮正面,多重提取这些曲面特征并延伸,分割基体生成内型板工作面,该方法选取的曲面数量多,人工处理曲面效率低;二是对蒙皮实体做小的倒圆角,然后再以切线连续的方式提取曲面,对提取的曲面经过修剪、结合、外插延伸等处理操作,分割基体生成内型板工作面。该方法对蒙皮的结构做了修改,且提取的曲面需要经过复杂的手工处理。

针对上述问题,本文提出一种智能算法,通过该算法快速获得所有蒙皮正面的结合面 CS ,并把结合面 CS 沿边界延伸成曲面 ES ,用于分割内型板基体生成工作面。该算法分为两大步骤:(1)输入蒙皮产品特征,基于快速提取算法提取出蒙皮所有正面并结合成一个曲面 CS ;(2)基于自动延伸算法将曲面 CS 沿边界延伸,获得曲面 ES 。图5为采用该算法获得蒙皮正面上的曲面 ES ,并进一步生成内型板工作面的示意图。

1 CATIA 曲面拓扑理论基础

CATIA 曲面拓扑是通过描述对象的边界和不同部分之间的联系来表示对象的,基本的拓扑对象分为3种类型:Cell、Domain、Body^[17-20]。

(1)Cell是CATIA几何元素的拓扑限制,作为拓扑对象的基本单元,根据在空间的维度不同分为4种不同的类型:Vertex拓扑点、Edge拓扑边、Face拓扑面、Volume拓扑体。

(2)Domain是由1个或者多个 $n-1$ 维的Cell限制的 n 维Cell集合。例如1个Face被4个连接的Edge限制,所有的这些Edge被分组在一个Domain中。不同的Domain依据包含的Cell元素分为不同的类型,有Loop、Shell等。Loop是通过

Vertex连接的Edge集合,限制着一个Face。

(3)Body作为建模的“具体的”对象,是一组不必连接的Domain的集合。

2 快速提取算法

CAD设计的三维数模上的曲面之间的拓扑关系有 G_0 点连续、 G_1 切线连续、 G_2 曲率连续等^[20]。如图6所示,本文依据空间位置将蒙皮上的曲面划分为轮廓面、内部侧面、正面、反面,其中蒙皮正面与蒙皮反面在前文已经定义。蒙皮上相邻曲面之间的拓扑连接关系表述如下:

(1)蒙皮正面上包含大量碎片、倒圆角面、相交特征,蒙皮正面之间的连接关系有 G_0 、 G_1 连续两种方式。

(2)为保证飞机的气动外形,蒙皮反面之间的连接关系只存在 G_1 切线连续。

(3)蒙皮反面与轮廓面,蒙皮反面与内部侧面之间的连接关系仅满

足 G_0 连续。

(4)蒙皮正面与轮廓面,蒙皮正面与内部侧面之间的连接关系仅满足 G_0 连续。

基于上述蒙皮上相邻曲面之间的拓扑连接特点,采用CATIA创成式外形设计模块中的提取操作,通过 G_1 切线连续提取蒙皮反面的一个标识面,可快速获得蒙皮所有的反面,进而获得所有的蒙皮正面。

快速提取算法的核心思想表述如下:

输入:蒙皮反面的一个标识面;
输出:蒙皮所有正面的接合面。

步骤1:将蒙皮反面标识面作为输入特征,做 G_1 连续的提取面,调用接口获得提取面的Body,进而获得Body的所有的拓扑面,即蒙皮的所有反面,存入链表BackFaces。

步骤2:将链表BackFaces中的所有蒙皮反面特征,通过CATIA中接合操作结合成一个面,作为基准面

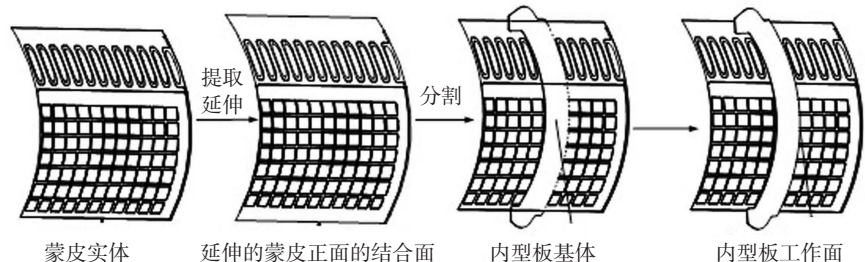


图5 内型板工作面的生成示意图

Fig.5 Generation diagram of interior boards working face

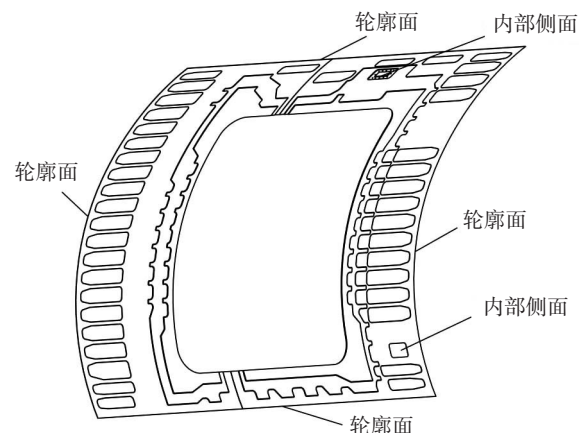


图6 蒙皮零件上的面分类示意图

Fig.6 Classification diagram of skin face

Base。

步骤3：调用接口获得蒙皮特征的Body，并获得Body的所有拓扑面，存入链表BodyFaces。

步骤4：遍历链表BodyFaces，测量每个拓扑面到基准面Base的距离，若 $>$ 阈值 D ，存入链表FrontFaces，若 \leq 阈值 D ，继续遍历链表BodyFaces，其中 D 取接近0的正值。

步骤5：将链表FrontFaces中的所有蒙皮正面特征，通过CATIA中接合操作结合成一个面，输出蒙皮所有正面的结合面CombineFrontFaces。

3 自动延伸算法

为完全定位蒙皮，设计的内型板工作面通常超出蒙皮，因此需要将蒙皮正面的接合面沿着边界线延伸一段距离，作为分割操作的输入特征 F ，并通过分割内型板基体生成内型板工作面。

上述快速提取算法获得的蒙皮所有正面的接合面CombineFrontFaces，作为一张复杂的曲面，其拓扑信息包含多张拓扑曲面，拓扑曲面上又包含拓扑边与拓扑点，基于CATIA曲面拓扑理论基础一节的CATIA曲面拓扑理论知识，本文提出自动延伸算法获得分割操作的输入特征 F 。

自动延伸算法的核心思想表述为3个步骤：

输入：CombineFrontFaces；

输出：CombineFrontFaces沿边界线的外插延伸特征。

步骤1：复杂曲面的内外边界环上的拓扑边仅限制一个面，基于此特点获得CombineFrontFaces所有内外边界环上的拓扑边。

步骤2：遍历步骤1中所有拓扑边，以拓扑边上的拓扑点作为搜索边界环的起点与终点，搜索出所有内外边界环，其中周长最大的为CombineFrontFaces的外边界。

步骤3：外边界环有上下左右4个边界线与4个端点，端点与相邻端点构成的辅助线之间的夹角在直角范围，基于此特点获得4个端点，进而获得外边界环的4个边界线，将CombineFrontFaces沿边界线外插延伸一段距离，输出沿边界延伸的蒙皮所有正面结合面特征。图7所示为自动延伸算法的详细流程图。

长桁凹槽的批量设计

蒙皮正面存在多条平行，起到支撑作用的长桁，设计内型板时需要根据这些长桁的截面尺寸以及长桁在蒙皮上的空间位置，在内型板的侧面创建批量的凹槽。长桁凹槽用于保证与长桁没有空间干涉，但同时尺寸不能太大影响内型板工作面的定位精度以及内型板的刚度，因此长桁凹槽通常设置为包围长桁截面的较小尺寸。针对上述问题，本文提出一种基于长桁截面尺寸驱动的内型板长桁凹槽的批量设计方法。

长桁的截面形式相似，如图8所示，连接长桁截面上的4个关键点，用3条线特征包围长桁截面，抽象出包围长桁截面的草图模板，并提炼3个主控参数 L_1 、 L_2 、 L_3 ，可以依据长桁的截面尺寸修改这3个参数值，以驱动修改草图模板的尺寸改变。

基于长桁截面驱动，内型板长桁凹槽的批量设计方法具体表述为：

输入：多个长桁的基准平面；

输出：批量长桁凹槽。

步骤1：获得内型板基体上的所有面，其中面积最大的面即为内型板的两个侧面，比较两个侧面到内型板基体草图平面的距离，将距离等于内型板厚度的侧面作为凹槽草图平面SketchPlane。

步骤2：做输入的多个长桁的基准平面与SketchPlane的多重相交线，作为草图模板的定位基准线，存入到命名为刻线集的几何图形集中。

步骤3：根据长桁数量 N 导入 N 个草图模板，并将草图模板定位在步骤2的基准线上，通过特征识别草图模板上的点与直线特征，添加与内型板工作面之间的约束，最终生成封闭的内型板凹槽草图。

步骤4：使用CATIA中的凹槽命令，拉伸内型板凹槽草图完成批量凹槽的设计。

步骤5：长桁凹槽的尺寸关联着长桁截面的尺寸，通过修改3个主控参数驱动改变批量长桁凹槽的尺寸。

快速设计工具提供批量凹槽设计输入界面，输入界面上显示草图模板的二维图及主参数，输入多个基准平面，设置主参数值，通过响应按钮一键完成批量长桁凹槽的设计，并可通过修改关键参数的值适时驱动凹槽的尺寸，生成包围长桁的较合适尺寸的批量凹槽。

设计实例

本文运用CAA(Component Application Architecture)开发工具在CATIA平台上开发了飞机装配型架内型板快速设计工具，并调用相应的接口实现上述的算法和原理。该工具具有内型板基体参数化设计功能、内型板工作面的快速生成功能、长桁凹槽的批量设计功能，针对某型飞机机身壁板的内型板实例的设计流程如下：

(1)首先在内型板基体设计界面中输入飞机理论外形并设置两个基准平面，修改设计界面上显示的关键参数值，不断驱动更新生成符合尺寸要求的内型板基体。

(2)基于快速提取与自动延伸算法获得蒙皮所有正面的接合面并延伸，输出延伸的曲面特征ES。

(3)在长桁凹槽设计界面中设置多个长桁基准面，依据长桁截面尺寸驱动改变设计界面上的关键参数值，生成批量的凹槽。

(4)将曲面特征ES分割内型板

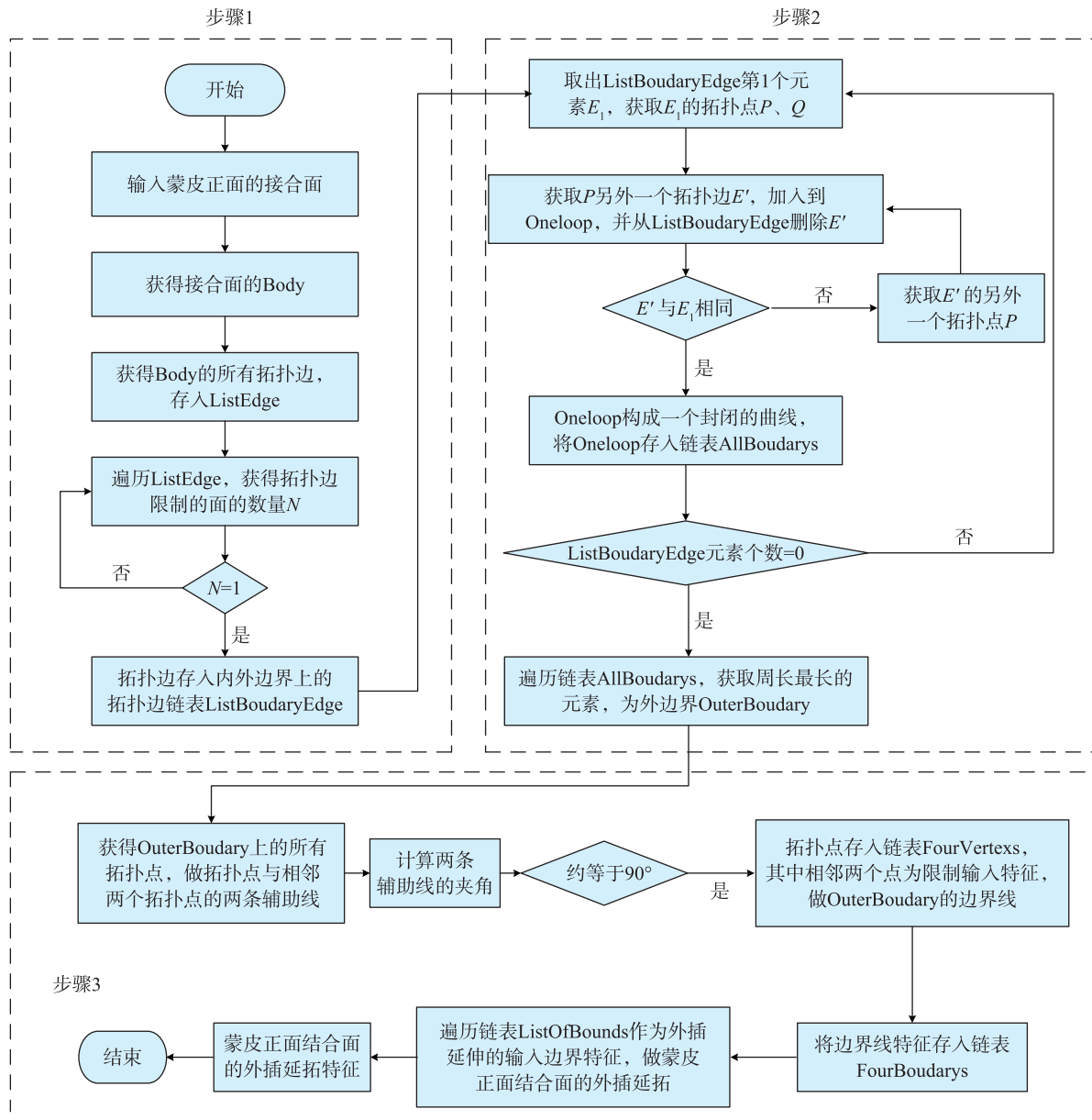


图7 自动延伸提取面算法流程图

Fig.7 Flow chart of automatic extension algorithm

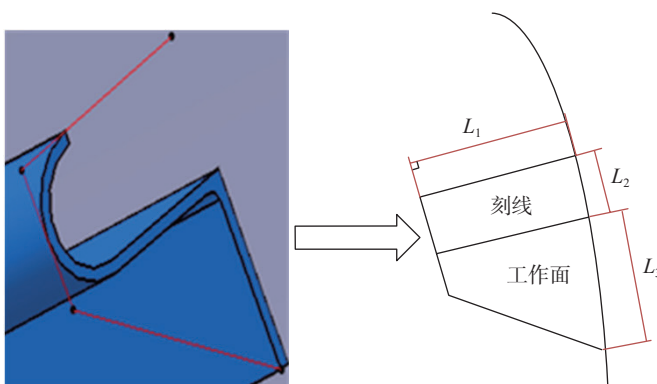


图8 长桁凹槽的草图模板

Fig.8 Sketch template of interior boards grooves

实体生成内型板工作面,设计完成。

图9为某型飞机机身壁板的内型板应用实例示意图。

结论

(1) 针对飞机装配型架内型板在航空企业的设计效率低的现状,本文在CATIA平台上开发飞机装配型架内型板快速设计工具,实现了飞机装配型架内型板的快速设计,提高了飞机装配型架的设计效率和质量,并

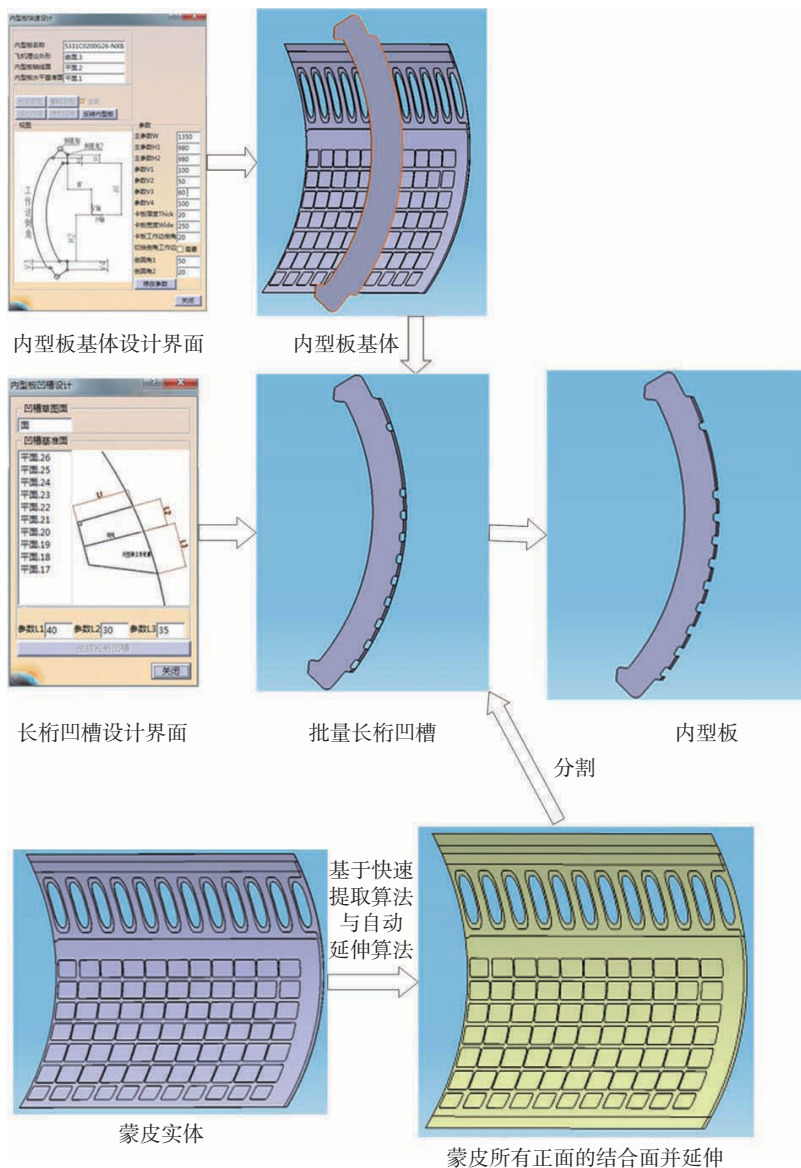


图9 某型飞机机身壁板的内型板实例
Fig.9 Design example of an interior boards

通过实例验证了工具的可行性与实用性。

(2)应用有向图邻接矩阵理论,在飞机装配型架内型板快速设计工具中统一了设计流程,可指导工装设计人员,使得缺乏经验的设计人员也可以高效完成设计任务。

(3)针对解决了传统内型板设计中的3个关键问题:一是建立内型板基体的参数化模型,实现内型板基体的参数化设计;二是提出快速提取算法与自动延伸算法,快速获得蒙

皮正面的结合面并自动延伸,用于分割内型板实体生成内型板工作面,实现了内型板工作面的快速设计;三是提出基于长桁截面驱动的内型板长桁凹槽的批量设计方法,节省了大量重复劳动时间。

参考文献

[1] 《航空工艺装备设计手册》编写组. 航空工艺装备设计手册:飞机装配夹具设计[M]. 北京:国防工业出版社,1979. Compiling Group of "Aviation Technology

and Equipment Design Manual". Aviation process equipment design manual: aircraft assembly fixture design[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1979.

[2] 王海宇. 飞机装配工艺学[M]. 西安:西北工业大学出版社,2013.

WANG Haiyu. Aircraft assembly technology [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2013.

[3] 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.

FAN Yuqing. Modern aircraft manufacturing technology[M]. Beijing: Beihang University Press, 2001.

[4] 郑国磊,朱心雄,许德,等. 飞机装配型架中骨架的快速设计原理及实现[J]. 航空学报,2005,26(2): 229-233.

ZHENG Guolei, ZHU Xinxiong, XU De, et al. Principle and implementation of digital frame design for aircraft assembly fixtures[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2005, 26(2): 229-233.

[5] 周婷,曹巍,郑国磊,等. 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,2014,57(8): 32-35, 41.

ZHOU Ting, CAO Wei, ZHENG Guolei, et al. Principle and algorithm of associated frame design for aircraft assembly fixtures[J]. Aero-nautical Manufacturing Technology, 2014, 57(8): 32-35, 41.

[6] 李汝鹏,孙小峰,安鲁陵. 飞机装配型架骨架 CAD 技术研究与实现[J]. 航空制造技术,2009,52(16): 91-94.

LI Rupeng, SUN Xiaofeng, AN Luling. Research and implementation of frame CAD technology for aircraft assembly jig[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009, 52(16): 91-94.

[7] 顾雨甜,廖文和,李迎光. 飞机装配型架卡板快速设计与分析技术研究及实现[J]. 机械制造与自动化,2007(1): 25-28.

GU Yutian, LIAO Webhe, LI Yingguang. Research and implement of quick design and analysis for assembly fixture boards[J]. Machine Building & Automation, 2007(1): 25-28.

[8] ZHANG J, XU Z J, YUAN L. Functional-features-based framework method for the rapid design of aircraft assembly fixture board[C]// IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems. New York: IEEE, 2010.

- [9] 陆旻, 卫炜, 安鲁陵, 等. 基于 CATIA 的飞机工装标准件库开发与应用[J]. 航空制造技术, 2015, 58(S1): 24-27.
- LU Min, WEI Wei, AN Luling, et al. Development and application of standard part library for aircraft tooling based on CATIA[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(S1): 24-27.
- [10] 李庆利, 安鲁陵. 飞机装配工组件库与快速装配设计技术[J]. 南京航空航天大学学报, 2012, 44(S1): 6-8.
- LI Qingli, AN Luling. Component library and rapid assembly design technology for aircraft assembly tooling[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2012, 44(S1): 6-8.
- [11] 邓冬梅, 周来水, 陈功, 等. 基于 CATIA 的组件库建库工具的设计与实现[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2007, 35(1): 138-142.
- DENG Dongmei, ZHOU Laishui, CHEN Gong, et al. Design and implementation of CATIA-based construction tool for component library[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2007, 35(1): 138-142.
- [12] 潘志毅, 黄翔, 李迎光. 基于有向图邻接矩阵扩展的产品设计智能导航[J]. 计算机集成制造工具, 2009, 15(3): 445-450, 470.
- PAN Zhiyi, HUANG Xiang, LI Yingguang. Intelligent navigation method for product design based on extended adjacency matrix of directed graph[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(3): 445-450, 470.
- [13] 刘伟东, 宁汝新, 刘检华, 等. 基于偏差有向图和 D-H 方法的产品装配精度预测技术[J]. 机械工程学报, 2012, 48(7): 125-140.
- LIU Weidong, NING Ruxin, LIU Jianhua, et al. Precision predicting based on directed deviation graph modeling and D-H methodology[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(7): 125-140.
- [14] 罗贤海. 机构运动链邻接矩阵的素数表示与同构判别[J]. 机械工程学报, 2013, 49(5): 24-31.
- LUO Xianhai. Prime representation and iso-morphism identification of mechanism kinematic chains via the adjacent matrix[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(5): 24-31.
- [15] 陈雨, 毛恩荣, 吕黄珍, 等. 基于推理的大型收获机械变速箱参数化设计[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S2): 278-282.
- CHEN Yu, MAO Enrong, LÜ Huangzhen, et al. Parametric design of large harvesting machinery transmission gearbox based on reasoning[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(S2): 278-282.
- [16] 孟祥旭, 徐延宁. 参数化设计研究[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2002, 14(11): 1086-1090.
- MENG Xiangxu, XU Yanning. A survey of the research works on parametric design[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2002, 14(11): 1086-1090.
- [17] 何龙, 安鲁陵, 王小平, 等. 曲面延拓技术及其应用[J]. 航空制造技术, 2015, 58(15): 39-41.
- HE Long, AN Luling, WANG Xiaoping, et al. Surface extension technology and its application[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(15): 39-41.
- [18] 袁启明, 施侃乐, 雍俊海, 等. 曲面二阶几何连续性的混合曲率评价与可视化[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(11): 1830-1837.
- YUAN Qiming, SHI Kanle, YONG Junhai, et al. The mixed curvature and the G-2 continuity visualization of surfaces[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2011, 23(11): 1830-1837.
- [19] 崔洛瑞, 安鲁陵, 卫炜, 等. 一种复杂曲面延拓方法[J]. 机械制造与自动化, 2017(6): 25-28.
- CUI Mingrui, AN Luling, WEI Wei, et al. Complex curved surface continuation method[J]. Machine Building & Automation, 2017(6): 25-28.
- [20] 施侃乐. 几何连续性约束下的自由曲面过渡问题研究[D]. 北京: 清华大学, 2012.
- SHI Kanle. Research on blending free-form surfaces with constraints of geometric continuities[D]. Beijing: Tsinghua University, 2012.

通讯作者: 安鲁陵, 博士、教授, 研究方向为数字化设计制造/复合材料装配, E-mail: anllme@nuaa.edu.cn.

Rapid Design Method for Aircraft Assembly Fixtures Interior Boards

WEI Xiaodong¹, AN Luling¹, YAN Baoqiang²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. AVIC Xi'an Aircraft Industry (Group) Co., Ltd., Xi'an 710089, China)

[ABSTRACT] In order to improve the design quality and design efficiency of aircraft assembly fixtures interior boards, we analyze the structural characteristics and design process of the interior boards, develop a rapid design tooling for interior boards. The tooling uniforms the design process, solving three key problems of the traditional design process: the parameterized model of interior boards base is established, the fast extraction algorithm and the automatic extension algorithm are put forward to generate the interior boards working face, a batch design method for interior boards grooves is proposed. Finally, an application example of the rapid design tool is given.

Keywords: Aircraft assembly fixtures interior boards; Rapid design; Digital manufacturing; Aircraft assembly tooling; Parametric model

(责编 铃兰)