

# 复合材料构件成型模具的参数化设计

张富官 安鲁陵 李汝鹏

(南京航空航天大学机电学院,南京 210016)

**文 摘** 实现复合材料构件成型工装快速设计对缩短生产准备时间、提高构件质量具有重要意义。本文分析了复合材料构件成型模具的结构和建模特点及要求,提取了结构各部分的设计参数;基于 CATIA 和 CAA 平台开发了复合材料构件成型模具设计系统,并应用于飞机复合材料构件的成型模具设计中,验证了本文方法的可行性。

**关键词** 参数化设计,复合材料构件,成型模具,CATIA,CAA

## Parameterized Design of Molding Tool for Composite Component

Zhang Fuguan An Luling Li Rupeng

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

**Abstract** Rapid design of molding tool for composite material component is one of the most important issues in shortening production preparation time and improving the component quality. This paper studies the molding tool for composite material component, analyzes its structures and modeling characteristics and requirements, and extracts the design parameters of each structure part. Based on CATIA and CAA, the parameterized design system of molding tool for composite material component is developed, and is applied to molding tool design of an aircraft composite material component. The feasibility of the above method is proved and verified.

**Key words** Parameterized design, Composite material component, Molding tool, CATIA, CAA

### 1 前言

目前,复合材料在飞机结构中得到越来越广泛的应用,并越来越多地应用于飞机结构的主承力构件中<sup>[1]</sup>。

复合材料构件的工装包括成型(过渡)模具、胶(铆)接夹具、装配型架、数控切边(钻孔)等专用机床夹具的设计;目前国内主要采用传统的工装设计方法来设计复合材料构件的生产工艺装备,实践证明这种方法耗费大量的时间、人力,工作效率低、周期长、成本高、质量难以控制。近年来,我国的新机研制、系列改型任务繁重,产品更新速度快,客观上要求采用新的设计手段和工艺方法来提高生产效率、缩短生产准备周期。从设计角度来看,参数化设计方法灵活、快捷、合理,对迅速提高复合材料构件工装设计水平、缩短工装设计周期、实现生产自动化具有重要意义。本文以复合材料构件成型模具的参数化设计系统开发为例,介绍参数化设计方法在复合材料构件成型工装

设计中的应用。

### 2 复合材料构件成型模具的结构分析

#### 2.1 基本结构组成

复合材料构件成型模具的结构如图 1 所示。

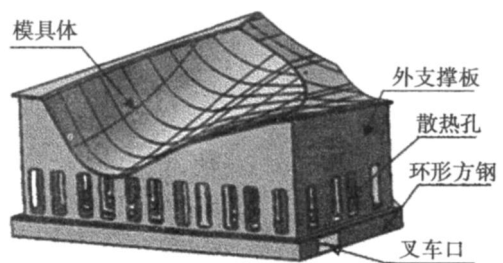


图 1 成型模具结构

Fig 1 Structure of molding tool

模具由模具体、支架、底架组成;支架部分包括外支撑板、内支撑板、卡槽、散热孔、底板组成,内支撑板结构如图 2 所示;底架部分包括叉车口、环形方钢、加

收稿日期:2008-08-15;修回日期:2008-10-22

作者简介:张富官,1983年出生,硕士研究生,主要从事 CAD/CAM、数字化设计制造技术等方面的研究工作

强方钢三部分如图 3 所示。

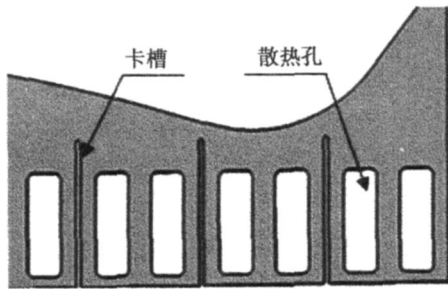


图 2 内支撑板结构

Fig 2 Structure of inner supporting board

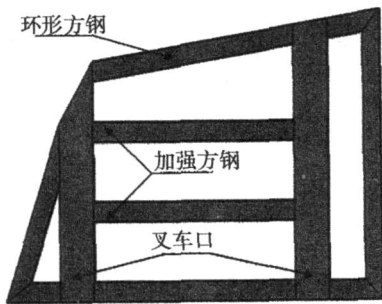


图 3 模具底架结构

Fig 3 Structure of bottom support

## 2.2 建模要求

从图 1 可以看出复合材料构件成型模具结构复杂,在建立参数化模型时涉及以下六个方面的问题:

模具体的成型表面是由产品数模而来;支撑板和模具体的下表面完全贴合;两个方向的内支撑板相互垂直,卡槽正好在支撑板交点位置;根据模具体形状和支架高度的不同,设计人员可以选择不同形状的散热孔类型;外支撑板的散热孔和内支撑板的散热孔在一条直线上,以满足空气流动的顺畅;加强方钢与叉车口垂直,同时保证环形方钢位置的准确性。

## 3 复合材料构件成型模具的总体设计

复合材料成型模具的传统设计方法是:工装设计部门根据产品设计部门所提供的产品零件数模,提取成型曲面,创建模具实体;在模具体上创建基准平面,在该平面上创建支撑板草图拉伸得到支撑板实体,并且用等距曲面剪切支撑板使之与模具体表面完全贴合,然后在支撑板表面合适的位置绘制草图创建散热孔特征,整个支架设计好之后再设计纵横交错的卡槽特征;底架设计时,生成底架位置的基准平面,创建叉车口,添加环形方钢和加强方钢。

上述设计方法存在问题,如:(1)模具设计依赖设计人员所掌握的知识经验和不同背景的设计人员所设计的产品模型差异很大,不能满足产品规范宇航材料工艺 2008年 第6期

性的要求;(2)设计周期长,并且大部分时间都耗费在支架和底架设计过程中,而这两部分只是重复性的劳动。针对成型模具设计的一般方法和存在的缺陷,本文提出了复合材料成型模具参数化设计的思想,其设计流程如图 4 所示。

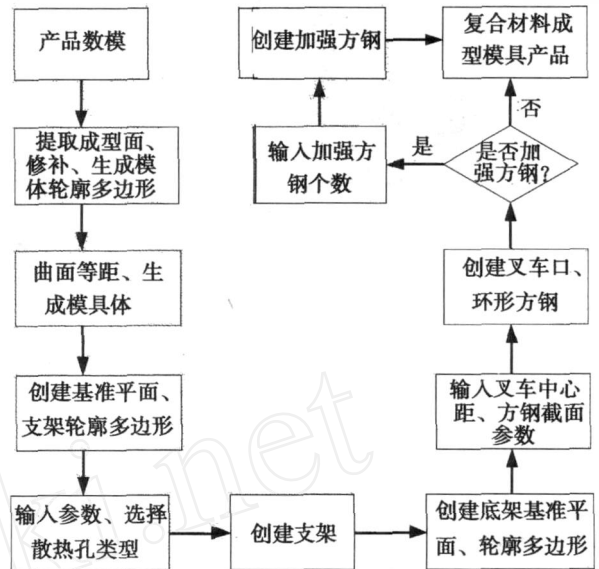


图 4 复合材料成型模具设计流程图

Fig 4 Design flow chart of molding tool

## 4 复合材料构件成型模具的参数化设计

### 4.1 模具体

模具体创建所涉及的主要参数包括曲面延伸长度、轮廓多边形平移距离、模具体的厚度;工装设计人员根据产品零件数模,提取成型曲面,如果上面有孔洞则进行修补,根据曲面边界线设计模具体的轮廓多边形;将成型曲面边界进行水平或者切向延伸(根据产品具体要求)形成工艺曲面,将成型面和延伸曲面缝合成一张曲面,再将曲面等距模具体的厚度之后,用这两张曲面去裁剪实体得到模具体,整个过程由程序自动实现,结果如图 5 所示。

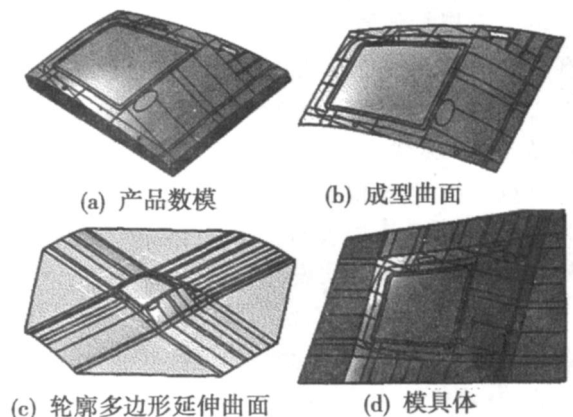


图 5 模具体的设计

Fig 5 Design of molding's body

## 4.2 支架的基准平面与轮廓多边形

利用模具体轮廓的平面多边形生成一个平面,在模具体上选取一个点创建一个设计基准平面与之平行;将模具体轮廓多边形投影到基准平面上,向内平

移一定距离,该参数为模具体边缘与支架外缘的距离;即完成基准平面与支架轮廓多边形的设计,设计实例如图 6 所示。

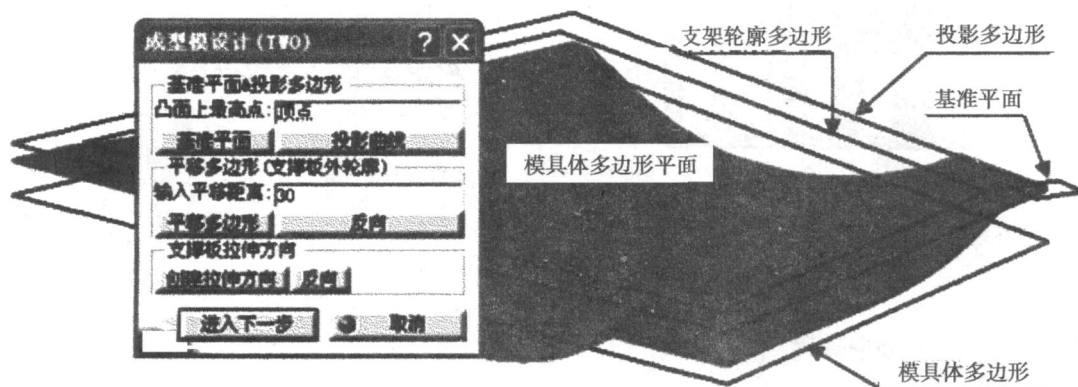


图 6 支架的基准平面与多边形

Fig 6 Datum plane and polygon of supporting board

## 4.3 支架

### 4.3.1 支撑板的参数化设计

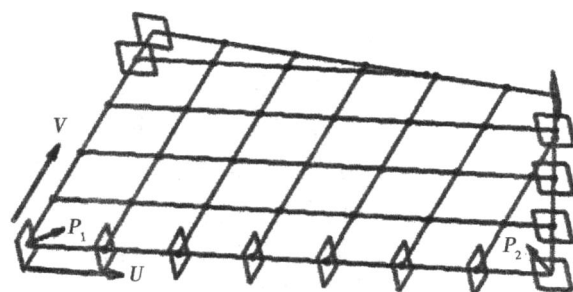
支撑板的设计,即垂直于设计基准平面,在轮廓多边形内部创建一系列相互垂直的内支撑板,以多边形的每条边为基准创建外支撑板;其主要参数包括支撑板的高度、厚度和相互间距。设计过程中将支架的支撑板分为三部分:U向支撑板、V向支撑板、外支撑板;U向支撑板与V向支撑板相互垂直,外支撑板与支架轮廓多边形贴合。对支架轮廓多边形进行拓扑查询,得到一条设计基准边,如图 7(a)中的直线段  $P_1 P_2$ ;输入 U 向支撑板间距参数创建一系列等距平面,将平面与多边形相交得到两个交点,在两个交点之间创建直线;同理,输入 V 向支撑板间距参数创建一系列直线,并且将每条直线与前面创建的直线求交,这样就完成支撑板位置布局的参数化网格设计。设计实例如图 7(a)所示。

输入支撑板的厚度、高度参数,根据每条直线和所在平面为基准创建实体边界草图,并且在该直线上每一个交点的位置创建一个卡槽,在相邻两个交点之间绘制一个或几个散热孔草图,以支撑板的厚度为参数创建拉伸实体,用模具体等距曲面切割实体使之与模具体贴合;整个支撑板的设计实例如图 7(b)所示。

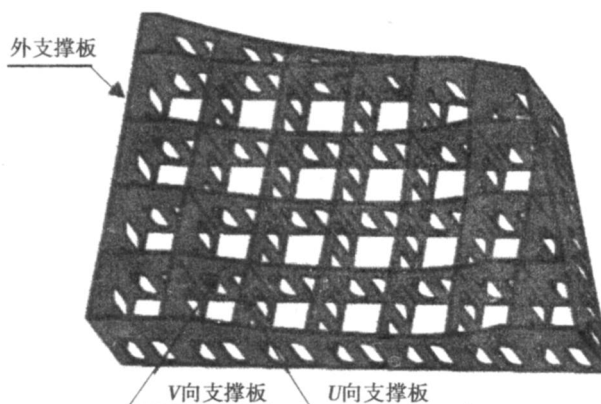
### 4.3.2 散热孔的参数化设计

根据模具体形状和支架高度的不同,设计人员需要选择不同形状的散热孔类型,目前应用的散热孔形状有四种:长条形、圆形、矩形、矩形倒角;在程序设计过程中为了设计的简便,将四种类型的散热孔封装成一个类似矩形倒角的形式统一表达,其主要参数为长

度、高度和倒角半径,如图 8 所示;在程序设计散热孔草图的时候,以参数的形式约束散热孔的大小和草图中的绝对位置,以便于产品实体模型设计完成之后对局部散热孔的尺寸进行简单的修改。



(a) 支撑板的参数化网格



(b) 支撑板设计实例

图 7 支撑板的参数化网格和设计实例

Fig 7 Parameterized grids of supporting board and example

为了满足复合材料成型产品的质量需求,要求外支撑板的散热孔与内支撑板一个方向的散热孔在同一条直线上,以保证空气流动的顺畅。以支架的轮廓多边形的每条边创建外支撑板的时候,首先计算该边与设计基准边 [如图 7(a)中的  $P_1 P_2$ ] 夹角的大小,如果余弦绝对值小于或等于正弦值,则该边上支撑板的散热孔与垂直于  $U$  向的支撑板的散热孔在同一直线上,否则与垂直于  $V$  向支撑板的散热孔在同一直线上。

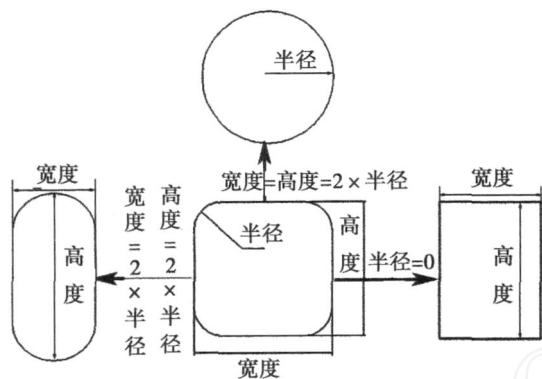
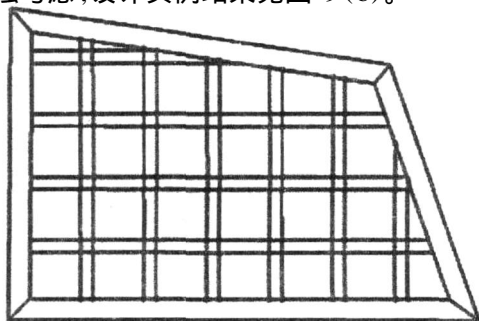


图 8 四种散热孔的表达

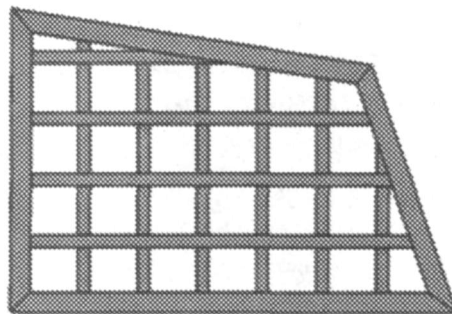
Fig 8 Hole expression

#### 4.3.3 底板的参数化设计

底板部分包括内底板和外底板两部分,都与支撑板垂直,其作用是将模具体和支撑板的压力均匀分布到底架上;其主要参数为底板厚度、外底板宽度和内底板宽度。根据支撑板的高度参数和基准平面创建底板平面,将支架轮廓多边形投影到该平面上并且以外底板宽度参数的一半向内、向外分别平移得到底板轮廓多边形;将所有内支撑板的基准平面以内底板宽度参数的一半向两边等距平移与内轮廓多边形相交创建一系列交线和交点,即创建底板位置布局的参数化网格,如图 9(a)所示。创建的底板零件实体一般都是四边形的,并且以长方形居多;但是在边界处可能有三角形、五边形的特例出现,对于这两种情况要单独考虑;设计实例结果见图 9(b)。



(a) 底板的参数化网格



(b) 底板设计实例

图 9 底板的参数化网格和设计实例

Fig 9 Parameterized grids of bottom board and example

#### 4.4 底架

底架由叉车口、环形方钢、加强方钢三部分组成;其主要参数为叉车口中心距,叉车方钢的宽度、高度、厚度,环形方钢的宽度、高度、厚度(加强方钢与环形方钢截面参数相同);两种方钢截面参数中除了宽度不一致外,高度、厚度参数是一致的。首先,以叉车口中心距、截面参数创建两个叉车方钢,对称布局于成型模具重心的两侧;沿着支架底板的外轮廓线,在叉车方钢的两侧和中间位置自动创建环形方钢;在叉车口之间均匀布局加强方钢,并且加强方钢与叉车方钢之间相互垂直;设计实例结果见图 3。

#### 4.5 设计实例

在整个参数化设计过程中涉及的参数一共 17 个,包括:模具体厚度,模具体边缘与支架外轮廓的间距,支撑板的高度、厚度、间距 ( $U, V$ ),散热孔的宽度、高度、倒角半径,底板厚度,外底板和内底板的宽度,叉车口中心距,叉车方钢的宽度、高度、厚度以及环形方钢的宽度。以某型号直升机的舱门零件实体为产品数模,根据复合材料成型模参数化设计的流程,输入相应的参数值得到产品的设计结果如图 10 所示。

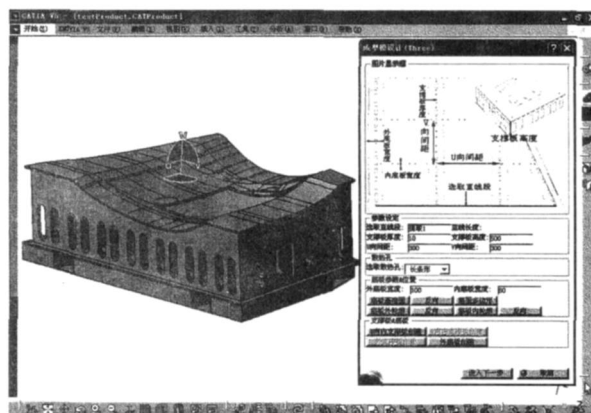


图 10 某型号直升机舱门的成型模具设计实例

Fig 10 Example of molding tool for helicopter's port part

## 5 结论

对复合材料构件成型模具的结构和建模特点及要求进行了分析,将其结构分为模具体、支架、底架三部分;实现了模具体、支撑板、散热孔、卡槽、底板、叉车口、方钢的参数化设计。在 CATIA 平台上利用 CAA 二次开发工具建立复合材料构件成型模具参数化设计系统,并且集成于 CATIA 的装配设计模块中。利用复合材料构件成型模具的参数化设计系统,根据结构要求输入特征参数,可以迅速建立产品的三维实体模型,而且通过特征参数的修改,便捷地实现散热孔形状地修改。目前该系统已成功应用于某型号飞机的复合材料构件成型工装的设计中,大大提高了设计的效率和产品的设计质量,实践结果证明参数化方

法在复合材料构件成型工装设计应用中的可行性。

## 参考文献

- 1 张丽华,范玉青. 复合材料在飞机上的应用评述. 航空制造技术, 2006; (3): 64 ~ 66
- 2 王智明,杨旭. 知识工程及专家系统. 北京:化学工业出版社, 2006
- 3 孟祥旭,徐延宁. 参数化设计研究. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002; 14(11): 1 086 ~ 1 090
- 4 齐从谦,崔琼瑶. 基于参数化技术的 CAD 创新设计方法研究. 中国机械工程, 2003; 14(8): 681 ~ 683
- 5 耿元伟. 基于 CATIA 的自升式平台参数化建模方法研究. 大连理工大学硕士学位论文, 2006

(编辑 吴坚)

(上接第 9 页)

从图 2 可以看出纤维缠绕层总厚度均值总是随着各设计变量变异系数的增加而增加,  $K$  总是随着各设计变量变异系数的增加而减小。各设计变量变异系数对总厚度均值和  $K$  的影响程度大小为:缠绕角度 > 纤维强度 > 爆破压力 压力容器 纤维缠绕层总厚度。因此,在生产压力容器过程中应按照各设计变量变异系数的影响度对生产过程进行控制,特别要严格控制缠绕角和纤维强度的离散性。

## 5 结论

(1)在复合材料压力容器传统的基于网格理论设计方法中,是将纤维的强度等设计参数看成定值,然后按经验选择一定的纤维强度发挥系数,纤维强度发挥系数的选择具有一定的盲目性。而可靠性设计方法是将所设计参数看成随机变量,能定量地反映设计参数的变异性对设计结果的影响。

(2)按传统的基于网格理论的设计方法对压力容器进行设计后,并在已知各设计参数的变异系数条件下,按照可靠性设计理论可以反算得到按传统理论设计的压力容器的可靠度。

(3)在各设计参数中,缠绕角和纤维强度的离散性对压力容器的可靠性设计结构有很多影响,在生产过程中必须严格控制它们的离散性。

## 参考文献

- 1 李顺林,王兴业. 复合材料结构设计基础. 武汉:武汉工业大学出版社, 1993: 1 ~ 2
- 2 Cederberg V R B, Chimenti A R, Jack D. Design and analysis techniques for composite pressurant tankage with plastically operating aluminum liners, AIAA - 90 - 2345, New York, 1990
- 3 Cederberg V R B, Chimenti A R, Jack D. Fatigue analysis techniques for composite tankage with plastically operating aluminum liners, AIAA - 91 - 1974, New York, 1991
- 4 Bloom J M, Malik S N. Procedure for the assessment of the integrity of nuclear pressure vessels and piping containing defects, EPR I Report NP - 2431, 1982
- 5 陈汝训. 纤维缠绕圆锥壳体设计分析. 固体火箭技术, 2007; 30(6): 490 ~ 493
- 6 何水清,王善. 结构可靠性分析与设计. 北京:国防工业出版社, 1993: 14 ~ 49
- 7 梅启智,廖炯生,孙惠中. 系统可靠性工程基础. 北京:科学出版社, 1987: 1 ~ 27
- 8 吴永平. 工程机械可靠性. 北京:人民交通出版社, 2002: 35 ~ 44
- 9 沈军,谢怀勤,候涤洋. 纤维缠绕聚合物基复合材料压力容器的可靠性设计. 复合材料学报, 2006; 23(4): 124 ~ 128

(编辑 李洪泉)