

飞机复合材料构件成型模具型板架参数化设计

Parameterized Design of Mold Plate Rack for Aircraft Composites Component

南京航空航天大学机电学 田欢欢 安鲁陵

[摘要] 针对复合材料构件成型模具的结构,分析其型板架的设计要求与建模特点,运用参数化设计方法,对结构各部分尺寸建立参数关联,设计了型板的智能排布和散热孔的对齐算法,基于 CATIA 二次开发平台,开发了复合材料构件成型模具型板架参数化设计模块,应用于飞机复合材料构件的成型模具设计中,可减少模具设计重复性工作,提高设计效率。

关键词: 飞机 复合材料构件 成型模 型板架 参数化设计

[ABSTRACT] Analyze the design requirements and modeling characteristics according to the structure of molding tools for aircraft composite component. By using the method of parametric design, the relation between Parameters of the parts has been established, and intelligent Configuration of plates and alignment algorithm of holes are designed. Based on the secondary development of CATIA, the parametric design module of plate rack is developed, and is applied to molding tools design of aircraft composite component, repetitive work of the tool design is reduced, the design efficiency is improved.

Keywords: Aircraft Composite component Forming mold Plate rack Parametric design

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.01/02.119

复合材料结构具有高比强度和高比刚度的特点,可显著减轻飞机的结构重量,与钛合金、铝合金等成为航空结构的主要材料,并且越来越多地应用于飞机结构的主承力构件中。复合材料结构突出的特点是材料和结构制造同时完成,而在成型时复合材料构件的精度在很大程度上取决于模具^[1]。

复合材料构件的成型模具由模板和型板架组成,二者之间通过焊接、胶接等方式连接。型板架包括型板(包括内型板和外型板)、底板和叉车槽组成(见图1)。其中,型板和散热孔的设计对提高构件质量有重要作用,型板的设计不仅要保证其结构稳定性和足够的刚度,还要尽量减轻模具重量,减小其热容量;散热孔的主要作用是使温度分布尽可能均匀,以减小复合材料构件固化变形量^[2-3]。

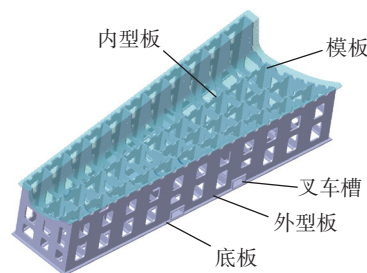


图1 成型模结构

Fig.1 Forming mold structure

成型模具型板架数字化设计一般的过程如下:在模板的基准平面上创建与模板下模面完全贴合型板实体,其上定义散热孔、卡槽特征;根据型板的位置,在基准平面上设计底板,最后在产品的重心两侧对称地创建叉车槽。对于结构形状相似的型板架,设计中需要根据不同的成型模具模板,设计具体的型板架结构,繁琐单调,占用了大量的时间,严重影响了型板架的设计效率^[4]。

本文对型板架各部分尺寸建立参数关联,并考虑其结构合理性,建立了型板架的参数化模型,使其结构能随参数的改变而自动修改。从而为解决上述重复性劳动多、设计效率低的问题提供了一条有效途径。

1 成型模具型板架的结构分析

成型模具各组成部分之间的位置约束关系见图1。所有型板都与模板的下模面和底板相贴合,并按照一定的间距要求形成网格状结构,在两型板交叉处开卡槽且卡槽的位置是不同的。此外,散热孔要尽可能地位于一条直线上,而半圆散热孔位于所在型板的贴合线上(图2),不仅保证了模板与型板架贴合处的受热和冷却的均匀性,同时也方便连接。

型板排布和散热孔参数化设计是型板架设计建模时需考虑的主要问题,即如何根据参数实现型板的自动排布和其上散热孔的随形改变。

2 型板的排布方式

型板一般是按照一定间距形成网格状结构,根据内型板方向,大致将型板分为U向内型板和V向内型板。因此型板共有以下类型:外型板、U向内型板和V向内

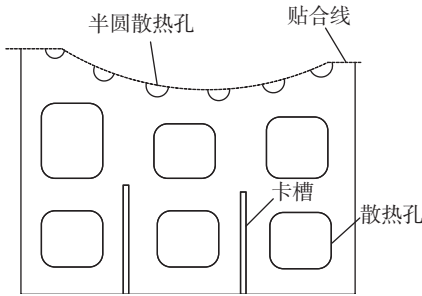


图2 内型板结构
Fig.2 Inner plate structure

型板。外型板是根据型板的外围多边形来进行排布的，型板架排布方式主要为内型板的排布，其主要参数为型板架多边形的最长边，U向间距和V向间距。

通过对型板架多边形进行几何拓扑查询，获取其最长的边作为后续工作的参考，即设计基准边，如图3中的直线段 $\overline{P_1P_2}$ 。U向和V向内型板的排布过程类似，下面以U向内型板的排布为例说明其实现步骤^[5]：

(1) 根据设计基准边的长度 L 和U向间距 $UDistance$ ，得到U向型板的个数为 $N = \text{int}(L/UDistance)$ 。

(2) 创建垂直于设计基准边和基准平面的等距平面 $i, i=1, 2, \dots, N$ ，平面与型板架多边形相交得到两个交点，将在 $\overline{P_1P_2}$ 直线段上的点作为起始点，另一个点作为终止点。若终止点到直线 $\overline{P_1P_4}$ 与直线 $\overline{P_2P_3}$ 的最小距离大于起始点到直线 $\overline{P_1P_4}$ 与直线 $\overline{P_2P_3}$ 的最小距离，则原来终止点变为起始点，原来起始点变为终止点。

(3) 根据拓扑运算，得到两点之间的长度 $Length$ 。若终止点到直线 $\overline{P_1P_4}$ 与直线 $\overline{P_2P_3}$ 的最小距离 $L_{min} \geq$ 阈值，则创建起始点和终止点之间的直线，即该U向型板的排布线，并执行步骤(9)；反之，执行步骤(4)。

(4) 根据V向间距 $VDistance$ ，得到与V向型板的交点个数 N ，

$$\text{Int } N = \text{int}(L/VDistance)。$$

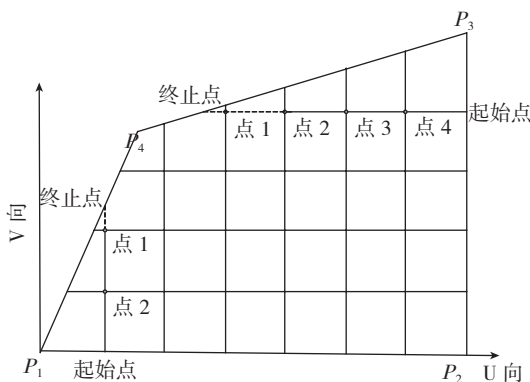


图3 型板架的排布方式
Fig.3 Plate rack arrangement

(5) 按照与起始点距离由大到小顺序，创建与V向型板相交的点。

各点在直线上的比例： $ratio = (Num+1-i) * VDistance / Length$ 。

根据上述的比例创建点1, 点2, ..., 点N。

(6) 根据拓扑运算，得到点1到直线 $\overline{P_1P_4}$ 与直线 $\overline{P_2P_3}$ 的最小距离 L_1 。 $L_1 \geq$ 阈值，则点1为终止点，创建起始点和终止点之间的直线，并执行步骤(9)；反之，执行步骤(7)。

(7) 根据拓扑运算，得到点2到直线 $\overline{P_1P_4}$ 与直线 $\overline{P_2P_3}$ 的最小距离 L_2 。 $L_2 \geq$ 阈值，则点2为终止点，创建起始点和终止点之间的直线，并执行步骤(9)；反之，执行步骤(8)。

(8) 依次类推，直到点 m 到直线 $\overline{P_1P_4}$ 与直线 $\overline{P_2P_3}$ 的最小距离 $L_m \geq$ 阈值，则点 m 为终止点，创建起始点和终止点之间的直线 L 。若直到点 N 到直线 $\overline{P_1P_4}$ 与直线 $\overline{P_2P_3}$ 的最小距离 $L_N <$ 阈值，那么判断起始点到直线 $\overline{P_1P_4}$ 与直线 $\overline{P_2P_3}$ 的最小距离 L_{max} 。若 $L_{max} \geq$ 阈值，则点 N 仍为终止点，创建起始点和终止点之间的直线，并执行步骤(9)；反之，执行步骤(8)。若 $L_{max} <$ 阈值，则取消该U向型板。

(9) 若 $i+1 > N$ ，则U向型板的创建工作完成；反之，执行步骤(2)，创建第 $i+1$ 个U向等距平面。

3 散热孔的参数化设计

散热孔根据形状的不同，分为半圆散热孔和随形散热孔。半圆散热孔的圆心位于贴合线上，参数主要有圆边距、间距和半径；随形散热孔的形状主要有：长条形、矩形倒角、三角形等。散热孔的参数有边距、间距、倒角半径等，如图4所示。

为了使罐内空气流动顺畅，要求沿U向或V向所有

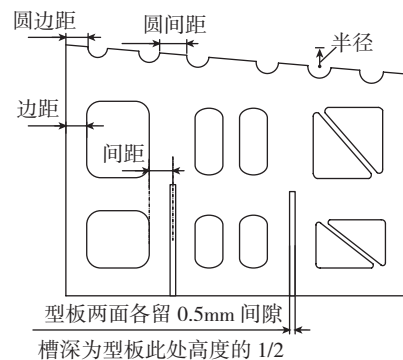


图4 散热孔形状及其参数示意图
Fig.4 Diagram of radiating hole shape and its parameters

的散热孔尽可能在一条直线上。一般 U、V 向内型板都是平行放置的,而外型板的边界由复合材料构件决定,并不严格与对应的内型板平行,此时内外型板上的散热孔设计若采用同一种算法,则不能保证它们在一条直线上。针对此情况,设计了散热孔的对齐算法。

内型板散热孔的设计方法如下:

首先,根据选取散热孔的类型获取半圆散热孔和随形散热孔的独立参数,然后,主要考虑散热孔个数及散热孔与边界的距离,并结合型板间距参数,排列散热孔。对于半圆散热孔,当型板间距小于一定的阈值,则间距太小,取消该散热孔的创建。同样,对于随形散热孔,当所在的高度小于一定的阈值以后,取消创建。

为了使散热孔很好地随着模板形状的变化而变化,最精确的方法莫过于用型板的基准面与下模面交线的偏移线来作为散热孔的上边界(如图 5 中的 OffsetUConsCurve),但这样增加了散热孔的复杂程度。因此,采用直线 $\overline{SP_1SP_2}$ 来代替 OffsetUConsCurve。

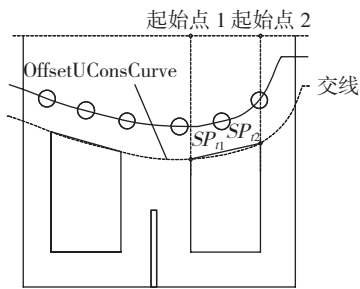


图5 型板散热孔的设计

Fig.5 Design of heat radiation hole of the plate

在设计散热孔草图时,以参数的形式约束散热孔大小及其在草图中的位置,以便于型板架实体模型设计完成之后对局部散热孔进行修改。

散热孔对齐算法的实现在 U 向、V 向内型板的设计基础上的,链表 PointUList 记录 U 向型板支撑线与型板多边形的交点,链表 PointVList 记录 V 向型板支撑线与型板多边形的交点;具体的实现方法如下所示:

(1)判断外型板上的散热孔与 U 向还是 V 向内型板上的散热孔对齐。首先,拓扑查询型板架外围多边形得到每一条边,即外型板的支撑线,并求取其与设计基准直线间的夹角 α 。若 $\alpha \geq 45^\circ$,该型板上的散热孔与 U 向型板上的散热孔对齐,反之与 V 向内型板上面的散热孔对齐,如图 6 中 $\overline{P_2P_3}$ 、 $\overline{P_1P_4}$ 与 U 向型板对齐; $\overline{P_1P_2}$ 、 $\overline{P_3P_4}$ 与 V 向型板对齐。

(2)采用上述的判断方法,在 U 向内型板 $U1U2$ 间距内的散热孔,对应 $\overline{P_3P_4}$ 外型板 $U3U4$ 间距内的散热孔;在 V 向内型板 $V1V2$ 间距内的散热孔,对应

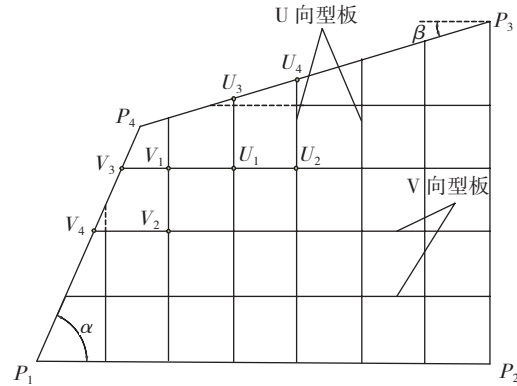


图6 散热孔的对齐算法

Fig.6 Heat radiation hole alignment algorithm

$\overline{P_4P_1}$ 外型板 $V3V4$ 间距内的散热孔;尺寸位置关系为 $|U3U4| = |U1U2| / |\cos \beta|$, $|V3V4| = |V1V2| / |\cos \alpha|$;根据内型板散热孔的尺寸约束关系和参数化方法,在相邻交点之间创建散热孔。

4 结束语

本文通过对复合材料构件成型模具型板架各结构特征进行分析,提出了型板的智能排布和散热孔的对齐算法,将基于特征的完全程序参数化设计方法应用于模具设计中,实现了复合材料构件成型模具型板架参数化设计;以某型号飞机机身壁板零件为产品数模,根据设计流程,输入所需的参数和相应的交互即可完成成型模具型板架的设计,如图 7 所示,实现了快速设计,提高了设计效率。

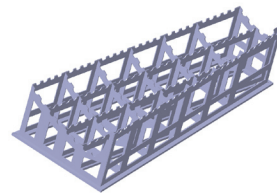


图7 某型号飞机机身壁板成型模具型板架

Fig.7 Plate rack of a type of aircraft fuselage panel mold

参考文献

- [1] 王永贵,梁宪珠,王巍.先进复合材料构件成型模具和工装技术发展趋势.航空制造技术,2009(增刊):13-18.
- [2] 晏东秀,刘卫平,黄钢华.复合材料热压罐成型模具设计研究.航空制造技术,2012(7):49-52.
- [3] 戴棣.大型飞机复合材料结构相关成型工艺方法评述.航空制造技术,2008(15):26-29.
- [4] 张富官,安鲁陵,李汝鹏.复合材料构件成型模具的参数化设计.宇航材料工艺,2008(6):10-14.
- [5] 张富官.复合材料构件成型模具的参数化设计技术研究.南京:南京航空航天大学,2009.

(责编 良辰)