

# 关于某型飞机垂尾翼根整流罩结构的设计与研究

## Design and Research of the Structure of the Vertical Tail's Root Fairing

柳 醉 / Liu Zui

(上海飞机设计院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘 要:

复合材料在设计性、工艺性、结构减重等方面有着很大的优势,其在飞机制造中的应用比重也越来越大。以某型飞机为例,详细分析和探讨了垂直尾翼根部整流罩结构基于复合材料的设计过程,具体包括整流罩结构的总体布置、复合材料面板的铺层设计、气动密封件设计、表面防护设计、装配设计等方面的内容。

**关键词:**复合材料;垂直尾翼;整流罩;机身

**中图分类号:** V225+.2

**文献标识码:** A

[Abstract] Composite material has so much superiority in the field of design, technology and loss of structure weight that its rate of application in the aircraft manufacturing is higher and higher. The composite material based design procedure of the root fairing of vertical tail has been analyzed and discussed detailedly in this article, and it concretely contains the general arrangement of fairing, the spread design of composite material based panel, the design of aerodynamic seals, the design of surface protection, the design of assembly, etc.

[Key words] Composite Material; Vertical Tail; Fairing; Fuselage

## 0 引言

近些年来,复合材料技术迅猛发展并且日趋成熟。相对于金属材料,复合材料具有较高的比强度、比刚度及良好的抗疲劳性和耐介质腐蚀性,其设计性和工艺性也具有颇多优势,选择应用复合材料已经成为提升飞机结构效率和设计工艺性的重要方式之一。目前,复合材料已经在飞机的多个结构部位得到了成功的应用,飞机垂直尾翼与机身对接区域的整流罩结构也在积极尝试着应用复合材料,本文将结合某型飞机来详细分析和探讨垂直尾翼根部整流罩结构基于复合材料的设计。

## 1 垂尾翼根整流罩结构概述

垂尾翼根整流罩结构位于垂直尾翼与机身对接的部位,设计中可将其分为前部和后部,前部也称为背鳍,其主要作用是提高垂尾根部的气动效

率,延缓飞机在大迎角或大侧滑角时垂尾根部失速的出现,并可以在一定程度上改善飞机在大迎角侧滑时机身前段的不稳定性,后部的主要作用是整流及提升垂直尾翼与机身的融合度。某型飞机的垂尾翼根整流罩结构主要由复合材料面板、金属支撑骨架、非金属密封件等部分组成,金属支撑骨架固定在机身上,复合材料面板通过托板螺母连接到支架上,密封件安装在复合材料面板的上下边缘且在支架的作用下分别与机身和垂直尾翼外表面压紧,如图1所示。

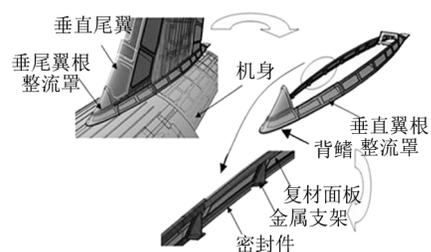


图1 某型飞机垂尾翼根整流罩结构图

## 2 垂尾翼根整流罩结构各部分的功能设计与分析

### 2.1 复合材料面板

该型飞机垂尾翼根整流罩结构主要承受气动载荷和惯性载荷作用,故其外形面板选用蜂窝夹芯结构的复合材料层合板较为合适。结合国内外现役飞机翼身整流罩的相关经验,该型飞机垂尾翼根整流罩的蜂窝面板材料选用如下:(1)面板选用中温固化的玻璃纤维环氧树脂预浸料,其织物增强体选用181-77规格;(2)蜂窝芯选用较为常用的芳纶纸蜂窝;(3)面板与蜂窝芯之间的胶膜选用120℃固化的复材结构专用胶粘剂;(4)选用聚氟乙烯薄膜作为保护膜。

由于该型飞机的垂尾翼根整流罩外形并不复杂,所以为了最大限度地提高复合材料的力学性能,并有效降低工艺成本,该处的蜂窝夹芯面板结构采用整体一次固化成形技术。

在进行铺层设计时需要充分考虑面板材料的单层厚度和蜂窝芯的规格。由于该型飞机的垂尾翼根整流罩面板与垂直尾翼及机身仅通过普通托板螺母固定(具体结构请见第1节的介绍),所以可以认为该处的整流罩面板并不参与总体受力,理论上只要能满足垂直尾翼翼根处的气动载荷和惯性载荷要求,即可认为面板的铺层设计达到要求。另外,在飞机设计过程中,重量控制极其重要,所以为充分考虑气动力载荷和惯性载荷对铺层厚度的影响,按与垂直尾翼的相对位置将该型飞机的垂尾翼根整流罩面板分为前部和后部,如图2所示。前部的铺层设计如下:内外各6层玻璃纤维布、蜂窝芯高度0.591"、蜂窝芯边缘斜削过渡角为30°;飞行中后部大部分处于背风面,要求相对较低,其铺层设计如下:内外各5层玻璃纤维布,蜂窝芯位于面板厚度中央,高度仍为0.591",蜂窝芯边缘斜削过渡角仍为30°;图3为该型飞机的垂尾翼根整流罩面板的典型铺层信息。

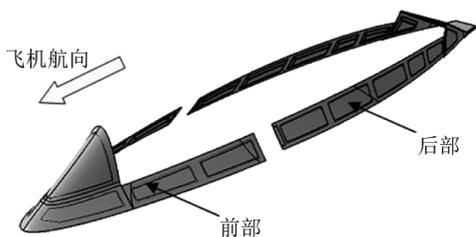


图2 某型飞机垂尾翼根整流罩面板分块

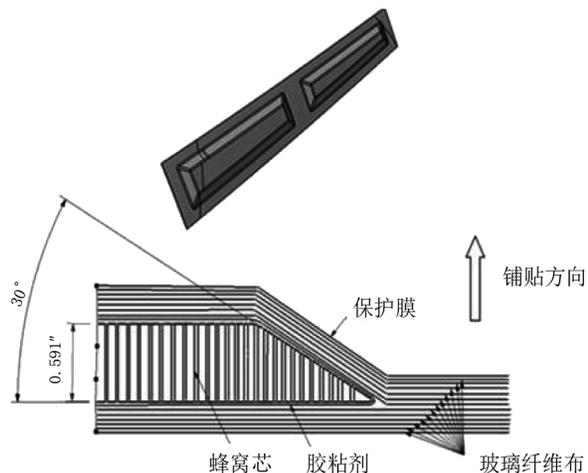


图3 某型飞机垂尾翼根整流罩面板典型状态及铺层

### 2.2 金属支撑骨架

与现役的多数民用客机相比,该型飞机的垂尾翼根整流罩面板与机身的连接相对“放松”,仅通过在框站位处布置若干铝合金接头以形成该整流罩结构的金属支撑骨架,图4为该型飞机垂尾翼根整流罩的金属支撑骨架结构示意图。



图4 某型飞机垂尾翼根整流罩的金属支撑骨架结构示意图

为保证金属支撑骨架的稳定性及机身增压区的气密性,金属支架接头与机身之间采用高锁螺栓连接。为方便整流罩面板的拆卸和维护,同时为避免整流罩面板参与机身总体受力,可以在整流罩面板与金属支架之间采用普通托板螺母连接。由于此部位的壁板一般使用金属薄蒙皮,刚度相对较低,故此将金属支架布置在框站位处,让金属支架底座、蒙皮、框剪切角片共铆连接,这样一方面可以让框来帮助壁板分担金属接头上的载荷,另一方面可以使铆接区域的结构刚度相匹配,最大限度地降低疲劳裂纹产生的可能性。图5为金属支架、面板、蒙皮及框的相对关系示意图。

### 2.3 非金属密封件

为获得良好的气动性能,需要将垂尾翼根整流

罩面板与飞机机体结构融合,所以有必要采取相关的气动密封措施。某型飞机的垂尾翼根整流罩面板与机身壁板及垂直尾翼壁板之间即是利用非金属密封件的变形来进行气动密封。图6为该型飞机的垂尾翼根整流罩密封形式简图。

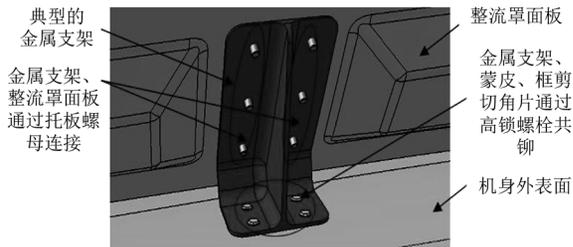


图5 某型飞机垂尾翼根整流罩的金属支撑骨架相对关系示意图

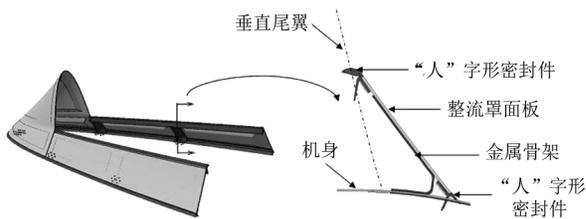


图6 某型飞机的垂尾翼根整流罩密封形式简图

为达到良好的气动密封效果,需要对密封件的截面形式进行优化设计,在设计过程中需要综合考虑密封部位、气动载荷、空间大小、密封件材料的压缩率、密封件材料的温度属性等多种因素。按照经验,该型飞机垂尾翼根整流罩前部主要使用“人”字形剖面密封件,后部主要使用“b”形剖面密封件。由于该型飞机整流罩面板并未完全与机身及垂直尾翼固定连接,所以实际飞行中,相对运动将不可避免,为此设计中需要在密封件与机体结构的接触部位采取措施以防止蒙皮表面保护层被磨掉而出现腐蚀,按照经验,此时可以在机体结构外表面的摩擦区域涂防磨涂料或者粘贴薄钢片。

### 3 垂尾翼根整流罩结构的总体设计要求

#### 3.1 间隙及阶差设计要求

按照经验,整流罩区域的间隙不能过大,否则将不能保证气动密封效果,飞行中气流一旦从间隙进入将会产生气流扰动,进而引起整流罩与其支撑骨架的振动,最终有可能对结构造成破坏,所以本文讨论的垂尾翼根整流罩结构对间隙设计也有比较高的要求。从2.3节可知,该结构形式要求密封

件能和机身及垂直尾翼的外表面压紧以实现结构的气动密封,所以密封件的压缩率和弹性成为间隙设计的重要参数。按照相关资料,橡胶材质的密封件压缩率一般为0~30%,且均具有良好的弹性,故需在此条件下进行间隙设计。

如图7所示,以某型飞机为例,假设“人”字形密封件压缩率为30%,材料弹性良好,“人”字形密封件挤压区的最大厚度 $t$ 为3.2mm。当不考虑密封件的压缩变形时,理论上的设计间隙(复材面板下边缘到机身外表面的垂直距离)值 $u$ 即和 $t$ 相等,为3.2mm;当密封件的压缩率为30%时,计算可得 $u$ 值为2.24mm( $u = t \times (1 - 30\%) = 2.24\text{mm}$ )。除此之外,“人”字形密封件从“人”到“一”的挤压过程中还必须考虑材料的抗张力,即拉伸强度,这个要素的考虑过程需要综合密封件的材质、剖面形式、使用部位、环境温度等因素,较为复杂。实际设计过程中一般将上述计算结果适当加大即可认为达到设计要求,例如此处最终的设计间隙值在 $u = 2.24\text{mm}$ 的基础上可预先取为 $u_1 = 5\text{mm}$ 。

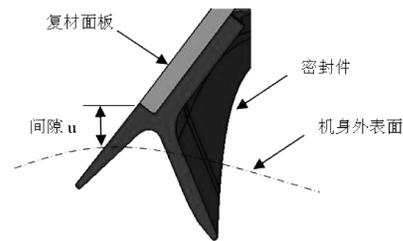


图7 某型飞机的垂尾翼根整流罩典型密封件间隙示意图

如果材料选定,则复合材料面板的单层厚度是个定值,从工艺性及成本考虑,此时应尽量保证面板在对接区域的铺层厚度一致,但由于气动力载荷和惯性载荷等因素而可能导致对接区域的面板铺层厚度不一致,此时可以在金属支架零件上设计凸台或凹槽,但比较简单的方法是直接对面板的边缘进行变厚度铺层设计,设计过程中需要注意台阶阶差不宜过大,而且需要在台阶表面铺设连续覆盖层以防剥离。

#### 3.2 防护性设计要求

由于该整流罩结构位于机身顶部与垂直尾翼的对接区,并且面板使用的是复合材料,所以对防护性设计有一定的要求。按国际适航规定中关于飞机雷电防护区域的划分,一般将这种翼身交界区定义为2A区,即扫略雷击区,意思就是说雷电在此区域驻留的可能性非常小。

从该种机型可以看出,此类型的翼根整流罩结

构整体表面积较小,高度低,分块较为细致,一旦被雷击损坏对飞机也没有致命性的影响,另外又考虑到面板的可拆卸性比较好,所以对此类型的整流罩结构采取严格的雷电防护措施将不仅不利于飞机的经济性,还将牺牲一定的重量。鉴于此,一般如果在垂直尾翼根部采用此类型的整流罩结构,采取静电防护措施即能达到设计要求。此处典型的静电防护措施即通过金属紧固件及导电涂料等进行电搭接设计。

除静电防护设计之外,金属材料 and 复合材料的表面防腐蚀处理、复合材料表面的密封处理、蒙皮与密封件挤压部位的防磨损处理也是十分必要的。

### 3.3 可拆卸性及互换性设计要求

一方面,被垂直尾翼根整流罩结构包裹着的电气线缆、口盖、机体零部件等需要经常维护,另一方面,若复合材料面板不幸被雷电击中也需要及时拆卸更换,所以垂直尾翼根整流罩与翼身整流罩结构一样,需要具备良好的可拆卸性及互换性。

为满足可拆卸性及互换性的设计要求,需要在结构形式及紧固件使用上下功夫。从本文2.2节可以看出,该型飞机的金属支撑骨架全部通过高锁螺栓预先固定在机身上,密封件通过沉头十字槽机制螺钉预先固定在复合材料面板上,然后带密封件的复合材料面板全部通过托板螺母连接在金属支撑骨架上。按经验分析,此类型的垂直尾翼根整流罩结构可达到可拆卸性及互换性的设计要求。

### 3.4 装配设计要求

由于装配的原因,垂直尾翼根整流罩在模块划分上一般归属于机身结构。按照相关经验,一般要求在机身部段的制造交付过程中将整流罩前缘部分的金属骨架预先安装在机身上,后缘部分的金属骨架、复合材料面板、密封件等均以散件的形式交付,待到全机总装时与垂直尾翼一起协调装配。

为保证飞机的顺利总装,设计工程师和工艺工程师需要协同工作,共同为垂直尾翼根整流罩结构制定出既简单又合理的装配方案。以某型飞机为例,其垂直尾翼根整流罩的装配设计要求为:(1)将结构横向剖面最宽处之前的金属支架预先安装在机身上,其它零部件暂不安装;(2)总装时,为避免碰撞,将垂直尾翼沿航向缓慢地从后往前推,直至达到预定位置与垂尾主梁框实现对接为止;(3)安装剩余的金属支架;(4)将复合材料面板和密封件连接好;(5)实施必要的防磨损措施;(6)将装配好的复合材

料面板-密封件组合体安装到金属骨架上,务必使密封件分别与机身和垂直尾翼的外表面压紧。图8为某型飞机的垂尾翼根整流罩的装配示意图。

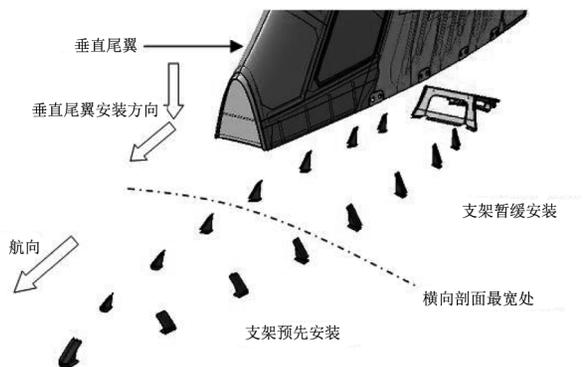


图8 某型飞机的垂尾翼根整流罩的装配示意图

## 4 结论

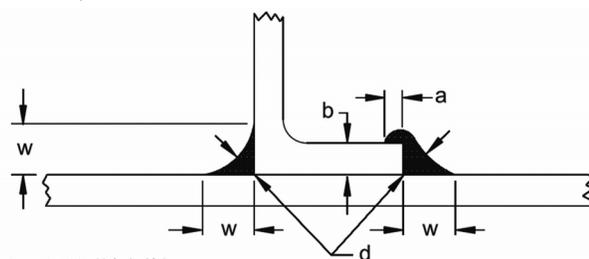
采用复合材料面板-金属支撑骨架-密封件形式的垂直尾翼根整流罩不仅能很好地实现其既定的结构功能,而且在全机重量上也有一定的贡献。其设计过程需要全面满足金属支架设计、复材设计、气动密封设计、表面防护设计、装配设计等方面的设计要求。

### 参考文献:

- [1]《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第10册:结构设计[M]. 北京:航空工业出版社,2001.
- [2]牛春匀. 实用飞机复合材料结构与制造[M]. 北京:航空工业出版社,2010.
- [3]牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京:航空工业出版社,2008.
- [4]沈真. 复合材料结构设计手册[M]. 北京:航空工业出版社,2011.

### 更正

本刊2013年第4期第77页图4刊印有误,更正如下:



$d = 0.08$  (最小值)  
 $w = 0.15 \sim 0.25$   
 $a = w - b$  ( $b > 0.15$  时  $a = 0$ )

图4 填角密封的尺寸要求(单位:in)