

# 基于垂尾盒段布局优化结果的翼根对接结构设计研究

刘 璞 邓晓伟

西安飞机工业(集团)有限责任公司 陕西 西安 710089

**【摘要】**：垂直尾翼位于机身后侧，是保持飞机航向平衡、稳定和操纵的次承力部件。垂尾包括固定的垂直安定面和可动的方向舵。本论文主要根据垂直安定面盒段布局优化结果，对尾翼与机身的连接结构进行优化。全新设计了复合材料垂直安定面盒段与金属机身连接结构，综合考虑可制造性和维修成本，对方案进行可行性评估和细节设计，得出了适应现有机型的复合材料垂尾盒段连接方式。

**【关键词】**：复合材料垂直尾翼；对接；翼根

## 1 引言

复合材料由于具有高比强度、高比模量、铺层可设计性和易于整体成型的特点，能明显减轻结构重量，近年来在飞机结构上的应用发展迅速。结合西方复合材料在军民机上的应用发展来看，复合材料在结构上的应用都是从次承力结构开始的，因此国内某型军用飞机复合材料的初步应用从垂直尾翼开始，保持垂尾与机身的连接形式不变，进行了梁、肋、壁板等主承力构件的布局优化。

根据以上参数要求，对原金属结构垂尾翼根与机身的连接结构进行优化，进一步优化传力路线，提高结构的制造型和维修性。

## 2 原金属垂尾翼根连接结构概述

由于装机要求，复材垂尾盒段与机身的连接需与金属盒段保持相同的连接方式，但金属连接方式存在一定问题，仍有改进空间。

原金属材料垂直尾翼为双梁式盒段，主要靠前/后梁承载；前/后梁和端肋均为组合件，缘条强，腹板薄弱；蒙皮薄，且未包覆前/后梁和端肋的缘条，而是通过带板与其连接；长桁平行于前梁，相对也弱；翼肋为钣金组合件，垂直于前梁；在原金属材料垂直尾翼中，对接接头直接与前/后梁连接，再通过两组双耳夹单耳的耳片接头与端肋连接，前/后梁腹板与端肋腹板通过角片连接。

该方案装配相对复杂，且在装配与端肋连接的双耳耳片时没有足够的工艺空间，需在端肋的缘条上开孔，对结构有损伤，破坏气动外形，需要二次填补，增加了不必要的工艺步骤。

## 3 复合材料垂尾翼根连接结构设计概述

### 3.1 复合材料垂尾盒段布局

经过优化分析，垂尾盒段布局为长桁平行于后梁，肋由根部至梢部渐变垂直于后梁，前后梁和根肋站位与原金属盒段相同。

复合材料垂直尾翼盒段是由前梁、后梁、左壁板、右壁板及翼肋组成的单块式盒段；前/后梁、壁板和普通肋均为复材件；端肋、梢肋等特殊翼肋为金属件或金属组合件；接头和连接角片等多为金属件。

单块式盒段的壁板参与承载，属于主承力部件<sup>[1]</sup>，盒段的绝大部分弯曲载荷需要经由壁板转化为蒙皮和长桁的拉/压轴力传递至端肋；蒙皮较厚，包覆前/后梁和端肋的缘条，长桁较强，长桁根部与端肋需要足够的连接强度。

翼根对接设计范围取前/后梁、端肋，结合布局优化结果，进行初步的结构设计、尺寸定义及连接设计。

### 3.2 翼根连接结构概述

#### (1) 长桁根部

复材壁板是由蒙皮和长桁通过共固化成形，属于典型的薄板加筋结构；蒙皮为层合板结构；长桁截面为T形，长桁腹板垂直于蒙皮。单块式盒段壁板参与承载，为保证长桁根部与端肋足够的连接强度<sup>[2]</sup>，增加长桁接头，在长桁根部与翼肋的连接处长桁缘条局部加宽以便连接，长桁腹板与长桁接头连接。该方案零件加工简单，未对结构造成削弱，连接形式可靠。

#### (2) 梁根部

梁根部由梁本体、梁接头、对接带板、对接角片组成，梁本体为整体复材件，梁腹板通过对接带板和螺栓与前梁接头对接；对接角片用于梁缘条与梁对接接头垫板对接；梁接

头与端肋腹板采用螺栓直接连接。该方案梁腹板未伸到根部，通过两个对接带板与梁接头对接连接，对腹板形成双剪；如接头处发生破损不会连带梁本体，维修性和更换性好。

### (3) 端肋

复合材料垂直尾翼的端肋采用金属组合肋的形式<sup>[3]</sup>，由左缘条、右缘条和肋腹板组成，通过铆钉连接；缘条在前后梁处设有下陷，与对接接头/接头垫板搭接；缘条与蒙皮采用螺栓连接；腹板上布有纵横交叉的加强筋，其中纵肋与长桁站位一一对应，用于增强腹板的刚度、稳定性以及抵消由长桁接头带来的面外力等，肋腹板上还开有工艺孔，以满足装配连接和可修可达。

### (4) 前梁对接接头

由于前梁对接接头的耳片与尾翼理论外形相距较远，如果接头设计为一个整体零件会导致耳片有较大的偏心，载荷传递不直接，产生附加力矩，所以将接头拆分为两个零件，增加了接头垫板。这样可以很好的解决接头耳片的偏心问题，零件结构相对简单容易加工，如图1所示。

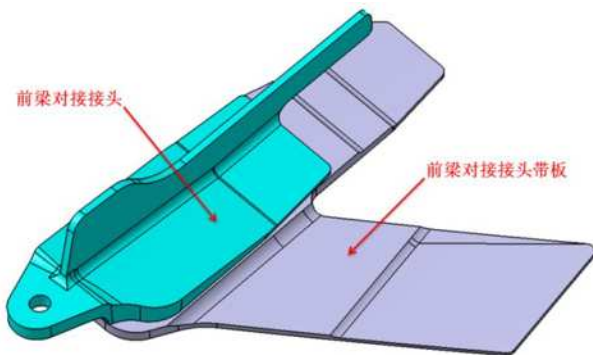


图1 前梁对接接头方案

### (5) 后梁对接接头

后梁对接接头的耳片与尾翼理论外形的距离适中，不存在偏心，接头设计为整体件，腹板为单层，与后梁腹板或接头双排钉直接连接。

### (6) 1肋和2肋

翼肋本体采用层合板结构，设有加强角片用于增强翼肋腹板的刚度和稳定性，该方案结构形式较为普遍，工艺简单。

在长桁之间肋的连接区增加复材垫片，垫片与蒙皮共固化成型，肋的缘条与长桁缘条、垫片及蒙皮相连。该方案肋的工艺性好，模具简单，制造容易，装配简单，增加部分重量。

## 3.3 翼根对接结构方案

壁板由蒙皮和长桁通过共固化成型，长桁截面为T形，长桁根部通过长桁接头与端肋连接，长桁腹板根部不斜削与长桁接头连接；前梁对接接头拆分为两个零件，增加了接头垫板；后梁对接接头与后梁腹板或接头双排钉连接；前梁腹板未伸到根部，通过对接带板与前梁接头对接；后梁腹板未伸到根部，通过对接带板与后梁接头对接；端肋采用金属组合肋的形式，由左缘条、右缘条和肋腹板组成；翼肋本体为整体层合板结构，翼肋缘条无下陷，在长桁之间增加复材垫片，与长桁缘条和蒙皮相连，如图2所示。

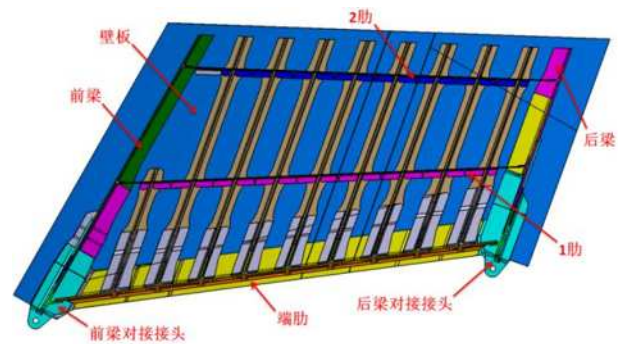


图2 翼根对接整体结构方案

## 4 分析校核

对上述结构方案用有限元分析方法进行强度分析。具体如下：

### 4.1 应力应变分析

对翼根连接区复材及其金属的应力、应变结果进行统计，如下表所示，发现所有复材结构应变值均小于材料应变许用值，前后梁对接接头局部区域金属塑性，塑性区域很小，其他金属部件应力值均比较小，不会发生结构破坏，满足强度要求。

表1 翼根分析结果汇总

翼根复材结构	材料	应变 $\mu\epsilon$			
		XX 拉应变	XX 压应变	YY 应变	XY 应变
翼根左蒙皮	T300 单向带	3360	1470	110	650
翼根右蒙皮	T300 单向带	3750	1310	70	1130
前梁	T300 单向带	3100	2900	2600	3300
翼根 1#肋	碳布	970	840	1170	1620

翼根 2#肋	碳布	2660	710	2340	2660
长桁	T300 单向带	2000	1000	4000	300
翼根金属结构	材料	应力 Mpa			
前梁对接接头	30CrMnSiNi2A	1271			
后梁对接接头	30CrMnSiNi2A	1706			
垫片	7050-T7451	166.2			
角片	7050-T7452	260.4			
端肋	7050-T7453	193			
长桁接头	7050-T7454	218			

#### 4.2 稳定性分析

经强度校核，翼根各零件失稳形式均满足设计要求，结果如下表。

表 2 稳定性结果汇总

结构	屈曲因子	稳定性裕度	失稳形式
翼根左蒙皮	1.31	0.113	压剪耦合
前梁	1.42	0.2	压剪耦合
0#肋	1.226	0.04	压剪耦合
1#肋	2.69	1.28	压剪耦合
2#肋	2.24	0.9	压剪耦合
其他位置	>3	>0.5	压剪耦合

#### 5 结论

本文基于优化后的翼盒结构布局，进行了复合材料垂直尾翼翼根连接区的重新设计，新方案翼肋成型工艺简单，前/后梁维修性较好、维修成本低。翼身连接接头与后梁腹板连接区螺栓强度与被连接件孔强度较大，螺栓剪切载荷小，被连接件的厚度薄，传力均匀，静强度裕度满足设计要求。

#### 参考文献:

- [1] 杨乃宾,章怡宁.复合材料飞机结构设计[M].北京:航空工业出版社,2002.
- [2] 中国航空研究院.复合材料结构设计手册[M].北京:航空工业出版社,2001.
- [3] 《飞机设计手册》总编委会.飞机设计手册[M].北京:航空工业出版社,2001.