

复合材料中央翼上壁板结构设计

李庆飞

(上海飞机设计研究院结构设计研究部,上海 200232)

Upper Panel Structure Design of Composite Center Wing

Li Qingfei

(Structures Department of SADRI, Shanghai 200235, China)

摘要: 目前大部分文献关注于复合材料零件结构设计,但是复合材料零件在设计结构的同时也是材料设计,所以铺层的设计是复合材料零件关乎成败的细节设计。通过对某型民机复合材料中央翼上壁板的设计,详细阐述了复合材料零件的铺层优化设计过程,总结出了诸多有意义的实际工程应用经验。

关键词: 复合材料;中央翼;上壁板;结构设计

【Abstract】 Most of document interest in structure design of composite part now, but composite part design is not only structure design but also material design. Layer design is detail design which correct succeed and defect of composite part. The text give an sample which design center wing upper panel of a certain general aircraft to explain layer optimize design process of composite part. Finally a set of preferable results for real engineering are obtained.

【Key words】 composite; center wing; upper panel; structure design

0 引言

先进复合材料是 20 世纪 60 年代中期崛起的一种新型材料,有比强度、比刚度高、可设计性强、耐腐蚀等许多优异性能,现已广泛用于航空领域,对促进结构的轻量化、整体化和高性能化起到了很大的作用。先进复合材料用量已经成为衡量飞机结构先进性的重要标志之一。

本文对复合材料民机中央翼上壁板进行研究,获得壁板蒙皮、长桁的最佳铺层比,最后设计出了具体的蒙皮铺层顺序。希望本文的研究能够对民机复合材料零件的具体铺层设计有所帮助。

1 中央翼上壁板结构参数

假设某型民机中央翼蒙皮航向被 17 根长桁分成 18 块,展向蒙皮被 5 根地板纵梁分成 6 块,三维模型如图 1 所示。

1.1 长桁型式选择

对于复合材料结构加筋结构,应尽量选用对称的加强筋,避免在受力时筋条转角处出现剥离。结合工艺和强度的需求,现选取上壁板为“工”字型长桁加筋结构。长桁结构如图 2 所示。

1.2 设计一般原则

- 1) 在极限载荷下,应变不得超过设计许用值。
- 2) 对于中央翼结构,因为有整体油箱功能要求,在极限载荷下均不允许发生屈曲。

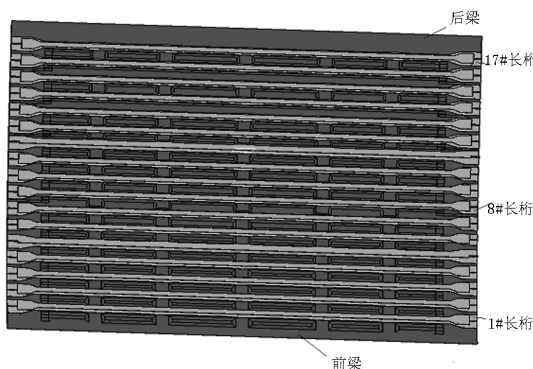


图 1 中央翼上壁板数模

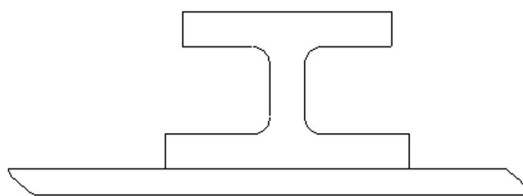


图 2 复合材料长桁截面图

1.3 选材

- 1) 满足中央翼上壁板的设计准则要求,材料体系基于当前先进客机使用的主流产品,兼顾成熟性和先进性;
- 2) 保证供货周期、降低采购成本;
- 3) 充分考虑材料的自主保障能力,以带动国内产业的发展为根本;
- 4) 新选用的结构材料必须通过综合工程化考

核试验来验证其适用性和耐久性,以满足适航审定的要求。

目前,世界主流飞机中央翼复合材料上壁板选用材料为中模量、高强度碳纤维。波音 B787 选用的材料为 T800/3900-2,空客 A380 选用的材料为 IM7/M21。本文初选 IM7/977-2 材料。

1.4 设计许用值

按强度要求,初取压应变为 $4\ 000\mu\varepsilon$,剪应变为 $5\ 000\mu\varepsilon$ 。

设计许用值为 $\varepsilon_{x,cr} = \varepsilon_{y,cr} = 4\ 000\mu\varepsilon$, $\gamma_{cr} = 5\ 000\mu\varepsilon$ 。

1.5 成型工艺选择

结合中央翼上壁板结构型式,为了降低工艺难度,选择干长桁湿蒙皮共胶接工艺成型。

2 中央翼复合材料上壁板蒙皮铺层比优选设计

根据全机有限元模型载荷分布情况,假设展向

应力、航向应力和剪应力值分别为 -299Mpa 、 -64Mpa 、 -46Mpa 。现选取 8 种典型的复合材料铺层比例进行对比分析研究。铺层设计步骤如图 3 所示。

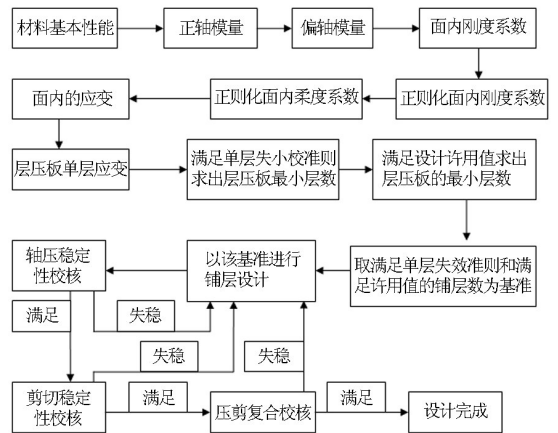


图 3 蒙皮铺层设计步骤图

在所有方案铺层数都取 40 层时,所得结果如表 1 所示。

表 1 所取的 8 种典型铺层情况

	铺层比 (0°:±45°:90°)	满足单层失效 所需要的铺层数	满足许用值 所需要的铺层	泊松比	压剪复合 $R_x + R_{xy}^2$ 的值
方案一	6:3:1	13	22	0.365 3	0.815 51
方案二	6:2:2	12	18	0.201 7	0.815 7
方案三	5:4:1	16	26	0.416 7	0.796 8
方案四	4:3:3	14	32	0.195 9	0.774
方案五	4:5:1	17	30	0.458 4	0.620 7
方案六	3:6:1	20	36	0.493	0.676 3
方案七	2:7:1	25	45	0.522	
方案八	1:8:1	34	61	0.546 8	

从表 1 中可以得出压剪复合值最小为方案五,即安全余度最高为方案五。从而中央翼上壁板蒙皮选取方案五最合理。

从以上的计算过程可以得出:层压板的泊松比和铺层比例有关,90°铺层对泊松比的调节影响很大,在增加 90°铺层时泊松比明显下降,减少 90°铺层时泊松比明显上升。提高±45°的铺层比例可以增加层压板的泊松比。对于压剪复合的层压板,提高±45°铺层的铺层比例,可以明显提高压剪复合稳定性的临界应力值,±45°铺层越靠外,对临界应力值提高越明显。

3 长桁设计

长桁设计要点:

1) 筋条与蒙皮泊松比匹配

泊松比的匹配是保证筋条与蒙皮二次胶接可靠,避免胶接分层的重要因素。筋条与蒙皮泊松比不匹配会引起胶接层产生内应力,导致筋条与蒙皮脱胶分离。

2) 长桁和蒙皮刚度匹配

筋条之间的蒙皮会局部屈曲,缘条的凸缘或腹板也可能局部屈曲,但是长桁先局部屈曲是不合理的,因为这将明显降低加筋板的承载能力,为此长桁设计要比蒙皮强,使长桁间的蒙皮先局部屈曲。同时对于二次共固化来说,长桁的刚度比蒙皮刚度高则会减少其在固化过程产生的预应力,防止其分层。

因为蒙皮和长桁所选的材料相同,根据刚度匹配,初步选取长桁的铺层比例为 7:2:1(0°层占

70%, ±45°占20%, 90°层占10%)。

根据载荷,长桁最大轴力为-292Mpa,在给定的铺层比例下,长桁按图4进行迭代。



图4 长桁铺层设计步骤图

迭代的结果是:铺层16层顺序为[+/-0/-/0/+0/0/0/90/0]s。

长桁泊松比和蒙皮泊松比匹配设计,已迭代出的长桁泊松比为 $\nu_{\text{桁}}=0.3004$ 。

按长桁设计准则,为了满足 $-0.1 < \nu_{\text{桁}} - \nu_{\text{蒙}} < 0.1$ ^[2],表1中的蒙皮,方案一、二,满足该中长桁和蒙皮的泊松比匹配问题。

表2 蒙皮铺层顺序设计

蒙皮位置	铺层顺序	厚度(mm)
13长桁-后梁	[+/-90/+90/-/0/0/0/-/0/0/+0/0/-/0/0/+0]s	5.0
11长桁-13长桁	[+/-90/+90/-/0/0/0/-/0/0/+0/0/-/0/+0]s	4.75
8长桁-11长桁	[+/-90/+90/-/0/0/0/-/0/0/+0/-/0/+0]s	4.5
5长桁-8长桁	[+/-90/+90/-/0/0/-/0/0/+0/-/0/+0]s	4.2
前梁-5长桁	[+/-90/+90/-/0/0/-/0/+0/-/0/+0]s	4

5 复合材料上壁板整体稳定性校核

根据加筋层压板的总体屈曲分析^[3]:

$$P_{cr} = \frac{P_e}{1 + \frac{\lambda P_e}{GA}} \quad (1)$$

将(1)式代入满足即完成设计,如果失稳要重复以上过程进行优化设计。

实例:

利用上述方法设计复合材料中央翼上壁板对比金属中央翼上壁板可以减重24.6%。

6 结论

本文借鉴某型民机中央翼上壁板结构和载荷分布情况,通过多方案对比分析,按照单层失效准则、许用值、长桁与蒙皮匹配和稳定性,优选出中央翼复

因为蒙皮最佳铺层比(4:5:1)的泊松比是0.4584,为了和该泊松比匹配,那么对于长桁的铺层,有两种方法解决,一是减少90°铺层的比例;二是增加±45°的铺层比例。减少90°铺层的比例不符合复合材料设计准则(某种铺层的百分含量不小于6%),因此只能增加±45°的铺层比例。经协调得出铺层为:

[+/-0/-/0/+0/0/0/90/0]s即铺层比例为5:4:1

经校核满足要求。

4 复合材料上壁板蒙皮铺层设计

选取最佳的铺层比例(4:5:1),对蒙皮铺层进行设计,首先选择后梁和1#肋之间的蒙皮作设计基础。按蒙皮铺层设计步骤图,进行迭代设计铺层。以此铺层为基础,从后梁到前梁进行每两个长桁之间的蒙皮迭代。使整个蒙皮的铺层顺序符合铺层的递变规律。计算结果如表2所示。

合材料初步方案。如果想做出更加合理的方案,则需要进一步的反复迭代过程,并在蒙皮设计时更多地选择铺层比例形式进行优选。同时,在蒙皮和长桁初步优化出来后需要把蒙皮和长桁的参数带入有限元模型,重新运行看载荷的分布是否会有影响,如果载荷分配改变,可以提取载荷进行以上的重复操作,直到壁板的总质量收敛为止所得到的结果才是最优解。若复合材料工艺离散型和许用值的确定情况较好,则不必要太多的迭代过程。

参考文献:

- [1]飞机设计手册总编委会.飞机设计手册9,载荷、强度和刚度.北京:航空工业出版社出版,1995.
- [2]杨乃斌,章怡宁.复合材料飞机结构设计[M].北京:航空工业出版社出版,2002.
- [3]中国航空研究院编.复合材料结构稳定性分析指南[M].北京:航空工业出版社出版,2002.