

一种民用飞机外翼与中央翼 下壁板对接形式的研究

Research on a Type of Lower Panels' Joint of Civil Aircraft Wing and Center Wing

汤 平 朱森虎 赵 毅 / Tang Ping Zhu Senhu Zhao Yi

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘 要:

飞机外翼中央翼的对接结构非常重要,承担着传递外翼载荷到中机身和中央翼的重任。基于民用客机的一种金属外翼与金属中央翼的下壁板对接结构,分析了对接形式的传力特性。比较了对接肋下缘条开槽深度、长桁端头斜削成不同角度度的情况下,对接结构的应力的分布,得出一种较优的外翼、中央翼下壁板对接形式。

关键词: 对接结构; 下壁板; 长桁端头; 开槽深度

中图分类号: V224

文献标识码: A

[Abstract] Wing root joint is essential in transferring the load from wing to mid-fuselage and center wing. Based on the metallic wing and metallic center wing joint, the load-transferring is analyzed. The stress distribution reactions are compared with the notch depth of lower flange and cut-out of stringer end at different design details, and the optimized wing root joint structure is obtained.

[Key words] Joint; Lower Panel; Stringer End; Notch Depth

0 引言

飞机外翼的载荷通过对接肋传递到中机身和中央翼,对接肋处的对接结构设计尤为重要,需要全面考虑结构传力、装配、维修等^[1]。在外翼弯矩的作用下,机翼下壁板主要承受拉伸载荷,因此对接结构属于疲劳敏感区^[2]。

1 一种外翼中央翼下壁板对接形式

目前,国外民用客机结构设计中,对金属结构的机翼下壁板对接采用了如下对接形式,如图1所示。

该对接形式主要是通过对接肋下缘条和下对接带板连接外翼和中央翼下壁板;下壁板对接区长桁端头斜削,长桁下缘板端部加厚加宽;长桁垂直缘板伸入肋的下缘条开槽处,如图2所示。采用此对接形式的飞机有 A320 和 A380 等^[3]。

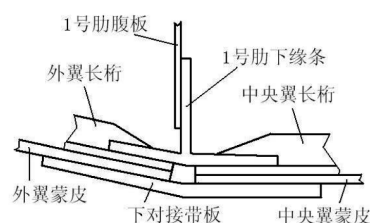


图1 典型金属机翼下壁板对接示意图

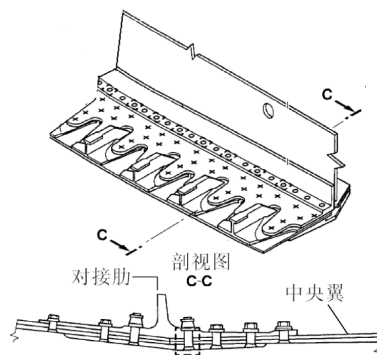


图2 A320飞机机翼下壁板对接示意图

此种对接结构的优点是传力路线短,传力清晰,装配工艺简单,下缘条的制造工艺性较好等。但由于结构的刚心线在对接区有下沉的变化,须对这种对接结构进行分析、优化,以得出合理的结构设计参数。

2 对接结构分析

2.1 下缘条是否开槽分析

首先对下缘条是否开槽让长桁垂直缘板伸入加以研究。图3是第一种开槽的对接形式。图4是第二种不开槽的对接形式。

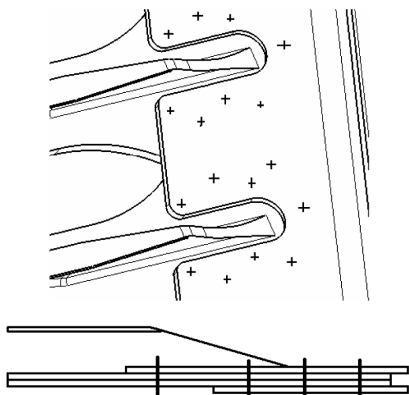


图3 下缘条开槽的对接示意图

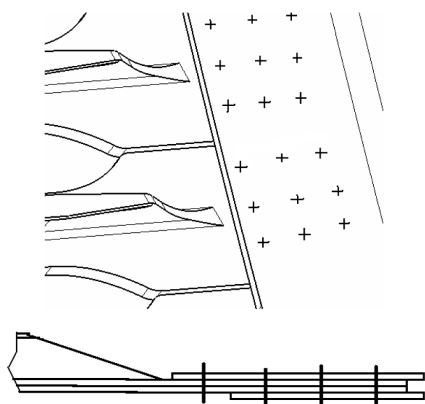


图4 下缘条不开槽的对接示意图

结构各组成部分的材料及其力学性能如表1所示,本文主要做对比分析,故未列出强度数据。

表1 材料列表及性能

部位	材料	杨氏模量(E) (MPa)
蒙皮	2024HDT-T351	70 325
长桁	2026-T3511	73 772
1 肋下缘条	Ti6-Al4-V	110 314
对接带板	Ti6-Al4-V	110 314

2.2 建立有限元模型

首先建立有限元模型,用板单元模拟所有部分。为模拟真实的下壁板对接,对模型的一端施加6个方向的位移约束,模型另一端施加300MPa的均布载荷,模型的约束和加载如图5所示。

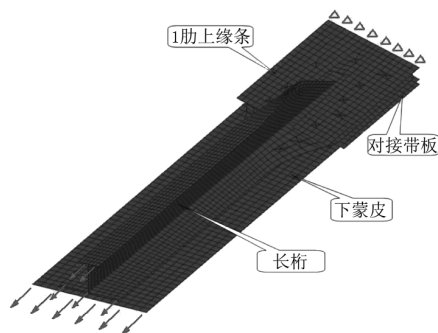


图5 有限元模型的约束和加载示意图

2.3 计算结果分析

两种形式的长桁端头应力分布如图6和图7所示。

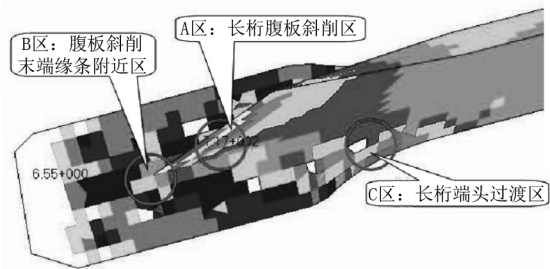


图6 第一种形式长桁端头应力云图

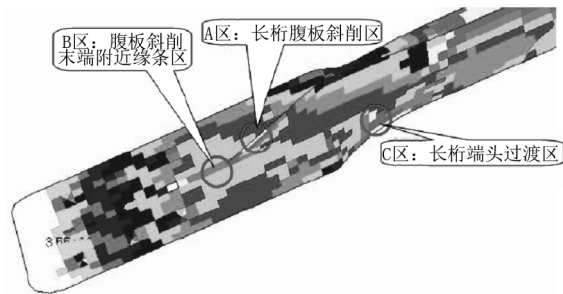


图7 第二种形式长桁端头应力云图

计算应力数值如表2所示,由于区域厚度不一致,需对数值进行折算。

2.4 小结

第一种形式的结构,因长桁垂直缘板伸入肋的开槽区,加厚的长桁下缘通过紧固件与对接肋的缘板及对接带板连接,长桁垂直缘板上的载荷提前向下缘板转移,传给肋缘板和对接带板,从而降低图6中A、B、C区域的应力。

第二种形式的结构,在图 7 中 B、C 区域的应力偏高,为了降低应力水平,要提前增加长桁下缘板和蒙皮的厚度,从而增加了重量,降低了结构的效率。

表 2 两种形式的应力比较

	第一种构型			第二种构型		
	A	B	C	A	B	C
加载端厚度(mm)	4.7	7.0	7.0	3.0	4.5	4.5
实际厚度(mm)	4.7	6.8	6.8	9.0	13.0	13.0
原始应力(MPa)	719	430	531	239	241	253
折算后应力(MPa)	719	418	516	717	696	731

3 开槽深度的优化

3.1 四种开槽深度的对比分析

在得出开槽的结构较优后,再分析此典型对接形式的开槽深度对传力的影响。

图 8 是四种缘条开槽的结构形式,其中长桁垂直缘板的斜切角都是 25° 。

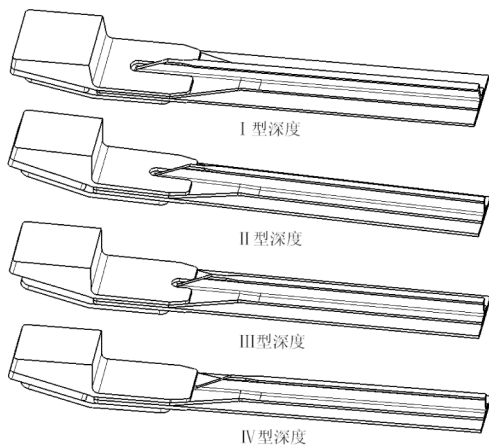


图 8 四种缘条开槽深度分析件示意图

I 型深度分析件缘条开槽深度最深,整个长桁端头斜切部分都进入开槽内部;II 型的长桁端头斜切部分有一大半进入开槽内部;III 型的长桁端头斜切部分有一小半进入开槽内部;IV 型的长桁端头斜切部分没有进入开槽内部。

分析的部位为连接结构容易产生应力集中的区域,如图 9 所示。

3.2 有限元建模

有限元的模型建立如图 10 所示。

对主要对比区域,也是应力集中的区域,即长桁端头斜切部分的末端,有限元网格进行了细化。

对长桁端头一侧进行约束,并在另一端施加 100 000N 的拉伸载荷,载荷的轴线在端头截面的形心上,如图 11 所示。

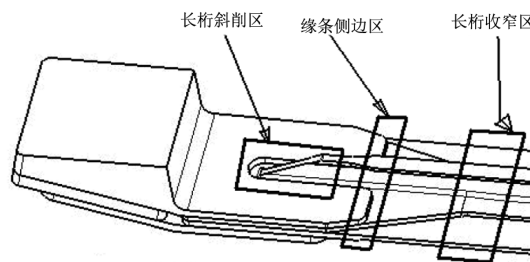


图 9 分析件考察区示意图

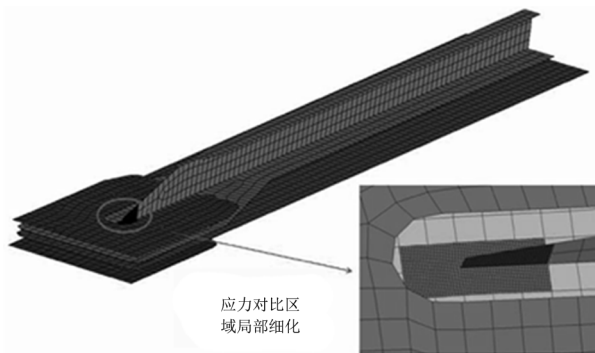


图 10 分析模型的有限元图

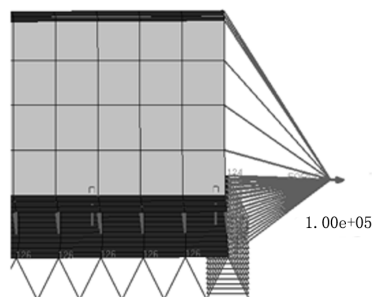


图 11 分析件端头施加拉伸载荷示意图

3.3 有限元分析

分别对四种开槽深度试件进行了分析,三处考察区的应力对比如图 12、图 13 和图 14 所示。

将三个分析区域的应力集中对比分析,做出应力和开槽深度的关系曲线如图 15 所示。

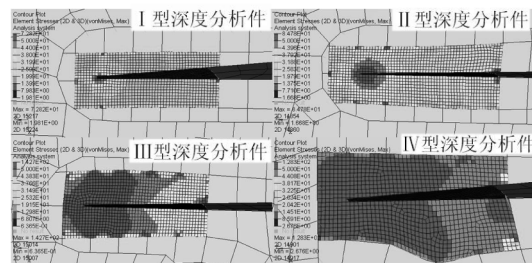


图 12 长桁斜削区的应力对比示意图

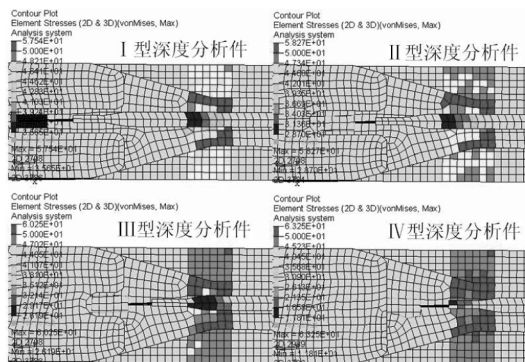


图 13 长桁收窄区应力对比示意图

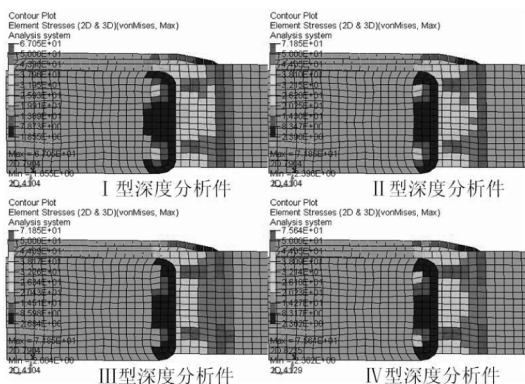


图 14 缘条侧边区应力对比示意图

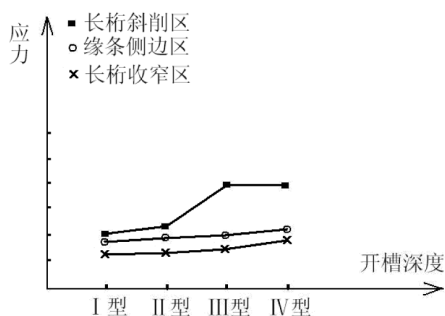


图 15 考察区应力对比示意图

从图 15 可以清楚地看出,在长桁收窄区和缘条侧边区,随着开槽深度的变浅,分析件的应力呈逐渐增加走势;而在长桁斜削区,随着开槽深度变浅应力增加明显;开槽深度最深的 I 型分析件在三个考察区的应力都最小,显示出缘条上的开槽深度要达到包含长桁斜削部分才能有效地降低应力集中。

4 长桁端头斜削角度的优化

4.1 五种斜削角度的分析

四种开槽深度分析件的长桁斜削角度都是 25°,在得出 I 型深度分析件后,以 I 型深度为基础,改变长桁的斜削角度,再考察分析件的应力变化。

五种斜削角度的分析件如图 16 所示。

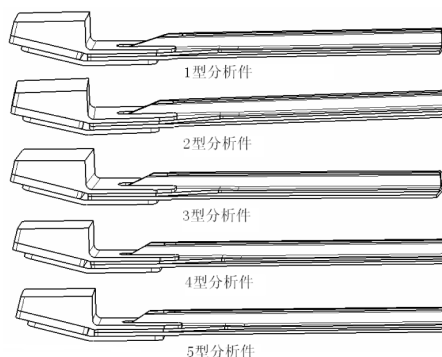


图 16 五种长桁斜削角度分析件示意图

五种长桁斜削角度分别为 17°、21°、25°、29°和 33°;考察区如图 9 所示;对长桁端头一端进行约束,并在另一端施加 100 000N 的拉伸载荷,载荷的轴线在端头截面的形心上,如图 11 所示。

4.2 有限元分析

五种长桁端头斜削角度的分析,在三处考察区的应力对比如图 17、图 18 和图 19 所示。

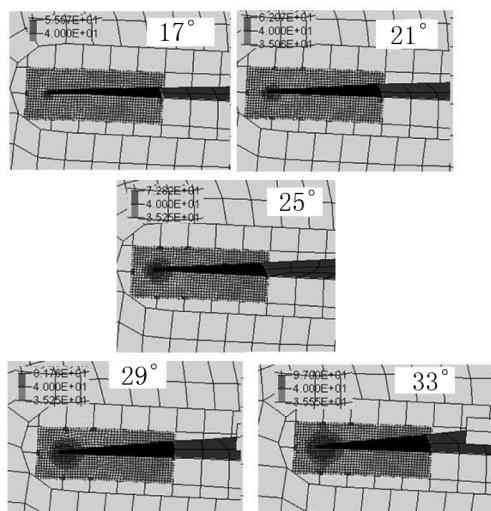


图 17 长桁斜削区的应力对比示意图

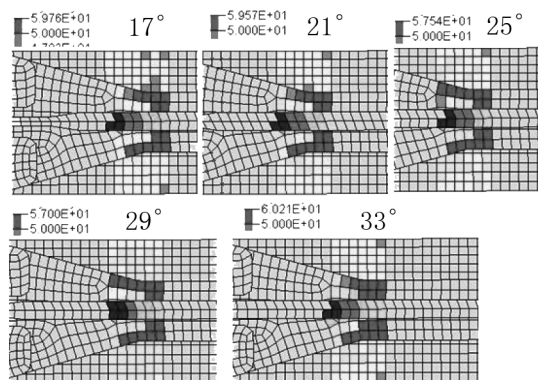


图 18 长桁收窄区应力对比示意图

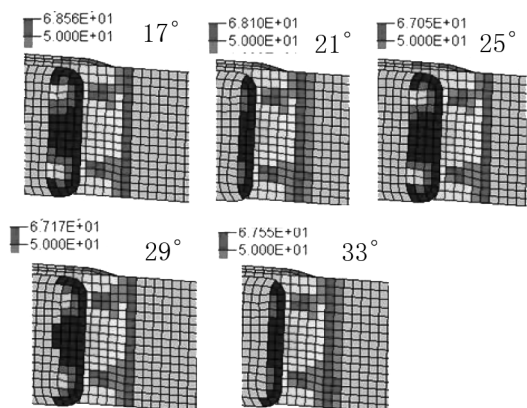


图 19 缘条侧边区应力对比示意图

将三个分析区域的应力集中对比分析,做出应力和长桁端头斜削角度的关系曲线如图 20 所示。

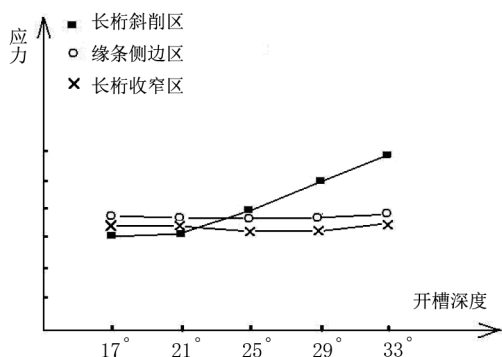


图 20 分析件考察区应力对比示意图

从图 20 可知,五种角度的分析件的考察区应力在长桁收窄区和缘条侧边区变化不大;主要在长桁端头斜削区应力集中有明显的不同,其中 $17^\circ \sim 21^\circ$,应力有缓慢的上升,而从 $21^\circ \sim 33^\circ$ 应力增加很快。说明长桁角度在 $17^\circ \sim 21^\circ$ 时有利于长桁垂直缘板的载荷过渡到长桁下缘板上,继而传递到肋缘条和对接带板。

综合图 15 和图 20 的考察区应力集中变化趋势可知,该对接结构形式较合理的细节参数为:开槽要有一定深度,能包含长桁端头斜削部分;长桁垂直缘板斜削的角度在 $17^\circ \sim 21^\circ$ 之间为宜。

5 试验验证

5.1 三种开槽深度试验件

选取长桁斜削角度固定为 20° ,缘条开槽深度不同的三种试验件进行试验,验证最重要的开槽深度参数。试验件如图 21 所示。

1 型试验件开槽深度最深,2 型试验件其次,3 型试验件最浅。

拉伸试验后分析三种方案的破坏载荷对比,如图 22 所示。

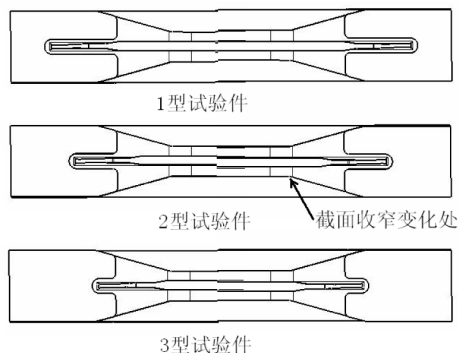


图 21 三种开槽深度的试验件示意图

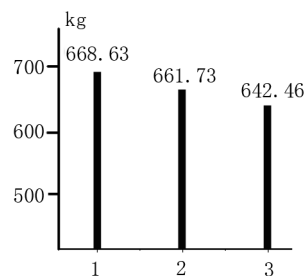


图 22 试验件破坏载荷对比示意图

三种试验件螺栓最小剪切力与最大剪切力之比的示意图如图 23 所示。

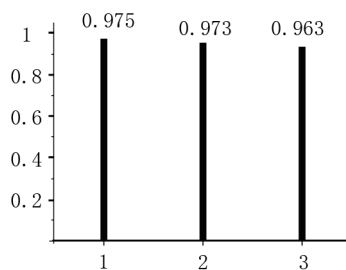


图 23 试验件螺栓承载变化对比示意图

2 型和 3 型试验件失效位置如图 24 所示。1 型试验件失效位置如图 25 所示。

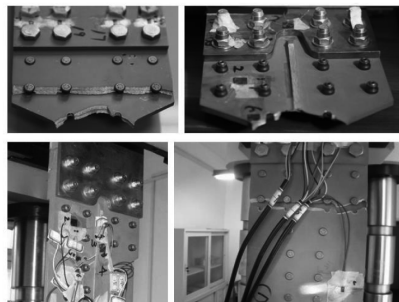


图 24 2 型、3 型试验件失效位置示意图

(下转第 67 页)

(2) 机载和地面部分的接口

①机载 VHF 电台仿真设备提供 RS 232 或其他通信接口实现与机载系统模拟器的连接;

②地面 VHF 电台仿真设备提供 RS 232 或其他通信接口实现与 CNS/ATM 管制工作站系统的连接。

(3) CNS/ATM 管制工作站系统接口

①Active MQ 接口;

②Socket 接口。

(4) 数据库

①导出解码后的 ADS-C 数据;

②导出解码后的 ADS-B 数据;

③导出解码后的 CPDLC 数据。

4 技术效果和研究意义

本文所设想的大型民用客机管制与监视系统验证及测试平台,可对民用客机机载管制与监视功能的研制产生巨大的支持作用:

(1) 通过在测试平台上的功能测试,能够细节确定 AFN/CM、CPDLC 与 ADS-C 应用的功能;

(2) 通过在测试平台上的功能测试,能够直观地了解合理的数据信息显示情况,支持机载 AFN/

CM、CPDLC 与 ADS-C 应用的控制显示界面中人机工效设计;

(3) 测试平台能够配合机载通信管理功能系统,实时完成 ARINC 618/620 格式数据解析,是完成 AFN/CM、CPDLC 和 ADS-C 应用试验的必要条件;

(4) 测试平台能够配合机载系统,测试各种管制条件下地面系统对 ADS-C 信息的控制能力。

参考文献:

- [1] AC-121-FS-2008-16R1. 航空运营人使用地空数据通信系统的标准与指南[S]. 2008.
- [2] 刘天华. 民用飞机数据链通信管理技术[J]. 电讯技术, 2010, 50(5): 84-88.
- [3] 周其焕. 自动相关监视及其数据链的标准[J]. 中国民航学院学报, 1995, 13(3): 70-85.
- [4] 罗银辉, 张娅岚. 新型数字航空通信系统概述[J]. 数字技术与应用, 2011, (3).
- [5] 李建军, 张军, 罗喜伶, 刘锋. 空地数据链机载仿真系统设计研究[J]. 航空电子技术, 2003, 34(3): 24-28.
- [6] 杨小强, 黄智刚, 张军, 祝贺. 基于空地数据链的飞机状态监控系统的实现[J]. 电讯技术, 2003, 1: 68-72.

(上接第 34 页)



图 25 1 型试验件失效位置示意图

由图 22 和图 23 可知, 1 型试验件的破坏载荷最大, 螺栓的承载最平均; 由图 24 和图 25 可知, 2 型和 3 型试验件失效位置在长桁截面收窄变化处, 是应力集中造成的; 1 型试验件的失效位置在缘条侧边第一排夹持的螺栓处, 由于螺栓孔边应力集中造成破坏。由此判断, 1 型的结构承载能力最好, 其结构设计较 2 型和 3 型更合理, 即缘条的开槽深度要较深, 宜达到两排钉以上。

6 结论

影响下壁板失效的主要原因不在于螺栓, 而在于对接结构能否有效避免应力集中。长桁根部的

设计, 以及长桁与接头等的过渡方式都应特别注意。通过对图 1 中外翼、中央翼下壁板对接结构的分析和试验验证, 得到该对接结构形式的合理参数:

(1) 对接肋的下缘条宜开槽, 并有一定的深度; 深度至少在两排钉以上, 并最好能包含整个长桁垂直缘板端头斜削部分。

(2) 长桁垂直缘板端头斜削角度宜小于 21° , $17^\circ \sim 21^\circ$ 都在合理的范围内; 靠近 17° 受力特性更好。

本文是对现有有机型上一种较成熟的对接结构的深入分析, 以用于某民机的结构设计, 且也可用于以后的外翼中央翼下壁板对接结构设计。

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, 2000.
- [2] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 9 册: 载荷, 强度和刚度[M]. 北京: 航空工业出版社, 2000.
- [3] 张讯. 国外民用客机外翼、中央翼对接结构综述与分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2009, 3: 1-3.