

关于某型飞机客舱舷窗组件设计的分析与研究

The Analysis and Research on the Design of the Aircraft's Cabin Window

罗腾腾 / Luo Tengting

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

复合材料有着良好的可设计性和减重性能,客舱舷窗组件也在积极探索应用复合材料的可能。详细分析和探讨了某型飞机客舱舷窗组件的设计。

关键词: 复合材料; 舷窗组件; 飞机

[Abstract] Composite material can be designed and composite structures have less weight, composite material possibly can be used on the cabin window. Detailed analyses and particularly researches on the design of the aircraft's cabin window.

[Key words] Composite Material; Cabin Window; Aircraft

0 引言

由于先进复合材料有着优良的可设计性能,现代飞机结构中应用复合材料的比重越来越大,所以,客舱舷窗组件也在积极探索着应用复合材料的可行性。目前,复合材料窗框在大型客机机头物理样机中已经得到成功应用,并经过铝锂合金桶段部段的磨练,其客舱舷窗组件的设计日趋成熟,本文详细分析和探讨了客舱舷窗组件的设计。

1 客舱舷窗组件的简单介绍

某型飞机客舱舷窗组件主要由复合材料窗框、内密封组件、外密封组件、弹簧夹、弹簧夹支架和酚醛垫片等组成,如图1所示。

2 舷窗各组件功能及设计

2.1 复合材料窗框

某型飞机的复合材料窗框采用RTM工艺成形,其材料为:(1)碳纤维织布 COC, Sigmatex, 210GSM/PW/FT300B 3K 40B/1×1 Carbon Fabric;(2) 玻璃纤

维织布 Cloth, Glass, AMS-C-9084, TY3, CL2;(3) 树脂 CYCOM 890。

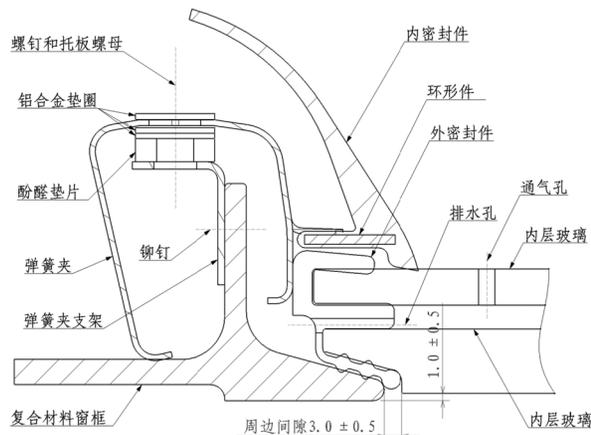


图1 客舱舷窗组件剖视图

复合材料窗框为口框形式,在机身结构中参与总体受力。在两倍气密载荷极限载荷工况下,根据强度分析报告,窗框开口圆角处和窗框眼位对称中心处的应变比较大,改进设计时可以考虑加大复合材料窗框立筋整个高度H和与蒙皮连接的厚度T,如图2所示。

为了降低复合材料窗框工艺的复杂性,发挥其

良好的传力性能,可以只设计一个台阶(整个窗框截面如图2右边所示),截断长桁使之偏心,采取与上下长桁搭接的连接形式,则此结构形式能更好地满足复合材料的端距和边距要求。

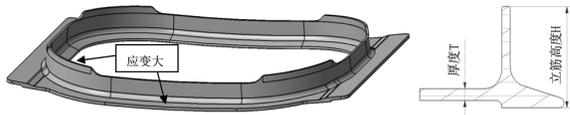


图2 复合材料窗框改进设计

2.2 弹簧夹与弹簧夹支架

弹簧夹的主要功能是在蒙皮法向把内、外密封组件压紧在复合材料窗框上,并在航向和上下位置对内、外密封组件作了约束,从而限制住内、外密封组件的相对位置(相对于复合材料窗框而言)。在负压差工况下客舱舷窗组件弹簧夹的静强度应满足适航条款 CCAR25.305、307 的要求。弹簧夹支架为弹簧夹的安装提供支撑。

2.3 外密封组件

外密封组件由外层玻璃、内层玻璃和外密封件组成,两层玻璃每一层都能承受增压载荷,属破损—安全结构。两块玻璃之间用硅橡胶沿周缘隔开在中间形成空隙,它对吸收撞击能量能起很大的作用,周围用成形的橡胶密封件密封,构成外密封组件。中间空隙一方面能作为良好的隔音层和绝热层,另一方面能利用外密封件的排水孔将舱内的热空气引入中间空隙,以利于除雾并让外层玻璃首先承载。

2.3.1 外层玻璃

正常使用情况下,外层玻璃承受增压载荷,按 21°C 时的正常使用压力、应力水平 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ ($3\,000\text{psi}$)下具有长期无裂纹寿命的要求来设计。

2.3.2 内层玻璃

正常使用情况下,内层玻璃一般不承受增压载荷,只有当外层玻璃损坏后作为备用的受力构件来承受压力载荷,内层玻璃的破损—安全应按在 21°C 下正常使用压力的1.5倍来设计。

2.3.3 外密封件

选取外层玻璃最长的边界周长为外密封件的设计基线(与蒙皮开口曲线有关),由于外密封件是按平板模板加工,因此在保证截面的前提下,外密封件周长尺寸应缩小10%加工。无论是在两层玻璃的直边区还是在圆角区,为了保证外密封件都能均匀地包裹两层玻璃,外密封件直边长度和圆角半径均应设计为基线各处的10%。

为了防止装配时外密封件产生翻边,在设计时将外密封件夹紧两层玻璃的两边,从而设计成一定的角度,以便更好地将两层玻璃包裹均匀。外密封件的齿状长度应设计成能刚好填满间隙(防止雨水进入密封区),对外密封件的齿状部分不产生或产生很少的拉伸应力,如图1所示。

2.4 内密封组件

内密封组件由环形件和内密封组件组成。环形件和内密封组件都是模压件,其中环形件起增强作用,内密封件表面使用增强纤维,并与内饰相衔接,形成密闭空间。

2.5 酚醛垫片和铝合金垫圈

酚醛垫片和铝合金垫圈用以调整弹簧夹的安装。

3 舷窗组件设计要求

3.1 舷窗组件间隙设计要求

为了满足开口区域周边间隙均匀的要求,设计时可以将蒙皮开口曲线发布出来,复合材料窗框的开口和外密封组件的周边轮廓均引用此曲线,那么外密封组件与复合材料窗框在四周的搭接区域也是均匀的,这样也有利于弹簧夹的设计。内密封组件各零件也可以引用蒙皮开口曲线,保证整个组件设计的美观和完整性。

3.2 舷窗组件阶差设计要求

在有密封性能要求的地方,密封件的压缩量一般在 $0\sim 30\%$ 范围内,并在此范围内设计某型飞机客舱舷窗组件外密封件的压缩量。

假设某型飞机复合材料窗框的斜角为 15° ,窗框凸台高度为 2.5mm ,压缩段密封件厚度 $u=3.0\text{mm}$,被压缩后厚度为 u_1 ,外层玻璃与复合材料窗框周边间隙均为 $3.0\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$,两者之间的阶差范围为 $1.0\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$,其中 t 为外层玻璃的台阶,如图3所示。

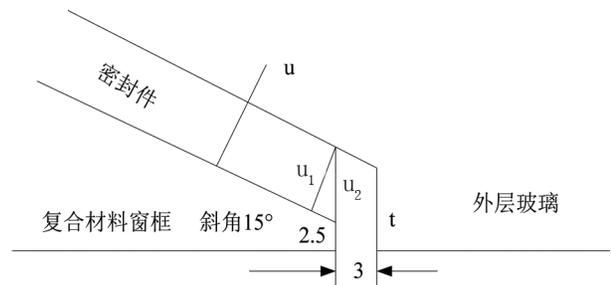


图3 台阶设计

下面介绍外层玻璃的台阶设计:

(1) 假设某型飞机的外密封件压缩量为 0

被压缩后的厚度 $u_1 = u \times (1 - 0) = 3.0 \text{ mm}$,

那么, $u_2 = u_1 / \cos 15^\circ = 3.0 / 0.966 = 3.1 \text{ mm}$,

$(2.5 + u_2 - t) / 3 = \tan 15^\circ$

外层玻璃台阶 $t = 2.5 + 3.1 - 3 \times \tan 15^\circ = 5.6 - 0.8 = 4.8 \text{ mm}$;

考虑到复合材料窗框与外层玻璃允许阶差范围为 $1.0 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$;

那么外层玻璃实际台阶设计应为 $3.3 \text{ mm} \sim 4.3 \text{ mm}$ 。

(2) 假设某型飞机的外密封件压缩量为 30%

被压缩后厚度 $u_1 = u \times (1 - 30\%) = 2.1 \text{ mm}$,

那么, $u_2 = u_1 / \cos 15^\circ = 2.1 / 0.966 = 2.2 \text{ mm}$,

$(2.5 + u_2 - t) / 3 = \tan 15^\circ$

外层玻璃台阶 $t = 2.5 + 2.2 - 3 \times \tan 15^\circ = 4.7 - 0.8 = 3.9 \text{ mm}$;

考虑到复合材料窗框与外层玻璃允许阶差范围为 $1.0 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$;

那么外层玻璃实际台阶设计应为 $2.4 \text{ mm} \sim 3.4 \text{ mm}$ 。

经过以上计算, 如果允许阶差范围为 $1.0 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$, 某型飞机外层玻璃的台阶设计取值应该为 $3.3 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ 。

3.3 舷窗组件构型设计要求

影响飞机舷窗构型的因素有三个: 窗口尺寸、数量和形状。从结构的观点看, 窗口应该小且少, 最好呈圆形。但按旅客的要求, 窗口应该大一些多一些, 并且呈方形。舷窗的最后构型是一种次优的折中设计。

不同于前机身和中机身, 中后机身有收缩段, 而此处蒙皮为双曲, 客舱舷窗组件在此也有应用。为了降低费用, 将弹簧夹、弹簧夹支架、外密封组件和内密封组件设计为同一构型, 而复合材料窗框设计成不同的构型。

由于所有的玻璃外形是单曲面的, 而收缩段的复合材料窗框外形是双曲面的, 如何保证舷窗组件的气密性是一个需要解决的问题。因此在设计双曲面的复合材料窗框时, 取单曲面处的窗框内型面作为双曲面的复合材料窗框内型面, 如图 4 所示。那么双曲面复合材料窗框的台阶高度沿蒙皮开口曲线四周是不均匀的, 但是, 单一构型的外密封组件在四周各处能均匀地配合此内型面。

3.4 舷窗组件装配设计要求

客舱舷窗组件安装时先把托板螺母铆接到弹簧夹支架上, 接着把弹簧夹支架铆接到复合材料窗框上, 再用高锁螺栓组合(剪切)把复合材料窗框与壁板连接起来; 在安装外密封组件时, 要保证外密封件的排水孔和内层玻璃的通气孔在同一侧对齐且处于舷窗组件正下方, 一旦外密封件的末端齿状部分能均匀填充外层玻璃与复合材料窗框的间隙, 如图 1 所示, 则按安装顺序拧紧每一个螺钉, 使弹簧夹能压紧其下的外密封组件。

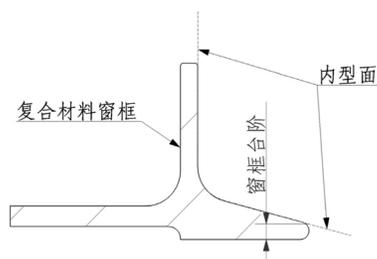


图 4 窗框内型面

安装弹簧夹过程中要检查其四个接触面, 如图 5 所示, 其中 A 面与复合材料窗框接触, B 面与垫片接触, C、D 面从法向和侧面与外密封件接触。四个接触面的优先级是: 首先是 A 面和 C 面同时满足接触, 其次是 D 面, 最后是 B 面, 如果四个接触面接触紧密, 表示弹簧夹安装到位, 但不可强迫安装。由于弹簧夹是金属材料, 窗框是复合材料, 为了防止腐蚀, 所以在安装时 A 面一般会事先涂 CMS-CT-103 涂料, 同时也可以防止安装时 A 面产生滑移, 影响弹簧夹的正确安装。

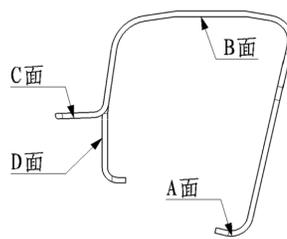


图 5 弹簧夹的四个接触面

接下来检测间隙和阶差, 如果开口周边间隙不均匀, 则要重新安装外密封组件; 如果阶差太小, 表明安装时超出了外密封件 30% 的压缩量, 则应减少拧紧力矩重新安装; 如果阶差太大, 表明外密封件没有被压缩, 外密封件跟复合材料窗框有一定的距离或者是虚接触, 则应加大拧紧力矩重新安装。

最后安装内密封组件。内密封组件装配好之后, 其典型剖面如图 1 所示。 (下转第 21 页)

导引计算机(Gudance Calculator)预测下一时刻飞机的状态信息,并与传感器测量得到的实际信息对比,可以得到驱动飞机自动油门杆与自动飞行的控制量。

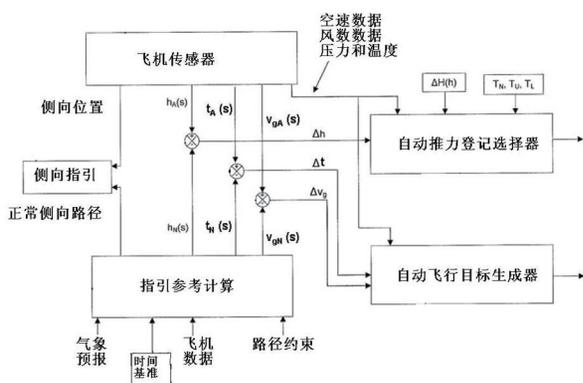


图7 4D 导航实现示意图

4 结论

作为现代飞机的一项重要功能,推力管理功能

得到了越来越广泛的应用,该功能可改善飞机的经济性,提高飞行安全,减轻飞行员的操作负担。

推力管理功能的实现需要多个系统综合完成,其中系统的关联与综合最为复杂。可以在考虑推力管理功能架构时,从系统安全性与可靠性的角度出发,以减小系统交联的复杂性。

参考文献:

- [1] 张 成. 从一起推力不一致故障看 CFM56-5B 发动机的推力管理[D]. 江苏航空, 2000.
- [2] FAA Advisory Circular, AC 20-145, Guidance for Integrated Modular Avionics that Implement TSO - C153 Authorized Hardware Elements, 2003.
- [3] 陈蒿禄. 飞机设计手册第 13 册[M]. 北京:航空工业出版社, 2006.

(上接第 13 页)

在系统集成和验证阶段,结合分析、评审、检查等方法,通过研发试验、系统集成试验对飞控系统级设计规范进行验证,验证系统功能、性能及软硬件接口满足系统设计规范,包括系统集成试验、软硬件验证试验、铁鸟综合试验、工程模拟器及正式适航验证试验。

(5) 飞机级

在初步设计阶段,根据飞机设计要求与目标,定义飞控系统设计目标,通过仿真和分析对飞控系统设计目标进行确认,保证目标的正确性和完整性。

在系统集成和验证阶段,结合分析、评审和检查,通过研发试验、全机地面模拟试验(铁鸟综合试验、交联试验)、机上地面模拟试验对飞控系统设计目标进行验证,表明系统的设计满足系统要求。

在试飞取证阶段,结合分析、评审,通过机上地面模拟试验和飞行试验对飞控系统设计目标和飞机级要求进行验证,表明系统的设计满足系统要求和飞机级要求,包括飞机接口的验证、机上集成和正式的适航验证试验,向适航当局证明系统对适航的符合性。

(上接第 59 页)

4 结论

客舱舷窗组件设计在满足气密性要求的前提下,还应满足其他设计要求,如客舱释压要求,外密封件寿命要求,内、外层玻璃温度和发烟试验要求等等。

此外,由于 OEM 理念不同,对于研制过程中的责任分工有所区别,需要进一步研究。

6 结论

民用飞机电传飞控系统设计和验证是一个比较复杂的系统工程,国内积累的经验相对较少,本文吸收借鉴国外民航机研制中的宝贵经验,结合国内民用飞机研制经验和实际情况,提出民用飞机电传飞控系统研发和验证过程模型,希望为我国民用飞机电传飞控系统设计和研制提供借鉴。

参考文献:

- [1] James McWha. Development of the 777 Flight Control System, AIAA 2003-5767.
- [2] ARP4754A, Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems, SAE Aerospace, 2010, 12.
- [3] HningBuus, Robert Mclees, Munir Orgun, Elizabeth Pasztor, Larry Schultz. 777 Flight Control Validation Process, IEEE 1995-394.

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] 沈真. 复合材料结构设计手册[M]. 北京:航空工业出版社, 2011.