

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2019.01.008

民用飞机后压力框与机身连接的结构研究

Joint Structure Between Aft Pressure Bulkhead and Fuselage for Civil Aircraft

徐 丹 / XU Dan

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳 110013)

(AVIC SAC Commercial Aircraft Company Ltd., Shenyang 110013, China)

摘 要:

民用飞机后压力框与机身连接的结构方案主要有两种,详细介绍了两种连接方案的结构构型以及各方案的优缺点,并从后压力框外形曲面的设计、结构的选材、质量、装配和维护空间以及系统在后压力框站位的通路等方面对两种连接方案进行分析和总结,为民用飞机后压力框与机身的连接设计提供参考。

关键词: 民机;后压力框;机身

中图分类号: V217⁺.32

文献标识码: A

OSID:



[**Abstract**] There are mainly two structural connection schemes for connection of aft pressure bulkhead and fuselage on civil aircraft. This paper introduces the structure configuration, advantages and disadvantages of the two connection schemes in detail. The two connection schemes are analyzed and summarized from aspect of the design of OML(outer mold line) surface of the aft pressure bulkhead, the material selection of structure, the weight, the assembly and maintenance space, and the path of system layout planning on pressure bulkhead station. This paper can provide reference for design of the connection between aft pressure bulkhead and fuselage of civil aircraft.

[**Keywords**] civil aircraft; aft pressure bulkhead; fuselage

0 引言

后压力框与机身的连接站位为机身气密与非气密隔离区^[1],好的连接方案不仅能给客舱提供持久稳定的气压环境,还可为飞机的装配与维修提供开阔的空间;除满足上述要求外,连接结构追求低成本设计^[2]。在设计初期,由于设计输入不完整,从而对连接方案的构型选择不明确。本文选取成熟机型的连接方案,从多专业角度分析连接结构,对影响连接结构构型的因素进行论述,为结构设计人员做构型选择提供思路。

1 载荷分析

后压力框和机身壁板通过连接件连接构成气密

舱结构,气密舱结构除了承受飞行载荷及地面载荷外,还需要承受CCAR-25.365增压载荷^[3]。因此连接结构需将后压力框在飞行过程中可能出现的正负压差载荷传递到机身结构上,若后压力框和垂尾接头布置在同一框站位,连接结构还需承受突风和偏航时垂尾安装接头传来的集中拉、压载荷。连接结构必须能够承受飞机在整个使用期限内可能遭遇的最大载荷并按损伤容限准则设计,满足飞机使用寿命要求^[4]。

2 连接方案

后压力框与机身的连接结构是根据载荷传递特点设计安全有效的结构将载荷相互传递。在设计中后压力框追求用较小半径的球面以薄膜应力^[5]来

承受机身增压载荷,然而这种设计方案会由于机身外形在后压力框站位不是完整的圆而不能将后压力框直接连接到机身壁板结构上,所以在设计中会根据实际机型的布置采取折中的方案。

后压力框和机身连接的典型方案主要为外接和内接两种,外接方案为设计连接件将后压力框蒙皮直接连接到机身壁板结构。内接方案为压力框蒙皮不直接连接到机身壁板,而是与机身的环框及其他加强结构连接,载荷通过机身框和加强结构再传递。

2.1 外接方案

外接方案的最大特点是载荷传递直接,连接结构数量少,外接方案在空客 A380、波音 787、庞巴迪 C 系列等机型上有应用。

2.1.1 方案一

后压力框为径向加筋的复合材料件,后压力框与机身壳体通过内外侧两个钛合金角形件进行连接,在增压一侧布置带板使压力框蒙皮与机身壁板的连接为双剪连接,该方案偏心小,能获得非常好的疲劳性能。角形件将后压力框上的载荷一部分传到机身壁板,一部分直接传给环框结构。环框与角材 R 区之间的区域为疲劳敏感区,如图 1 所示,该区域的连接件外形需要额外设计曲面,不是常规的 R 区。该曲面与环框之间的距离尽量缩小以减小弯曲力臂,降低局部弯曲应力水平,提高结构疲劳寿命,因此需要额外设计一个曲面作为后压力框与机身连接的根部连接面。

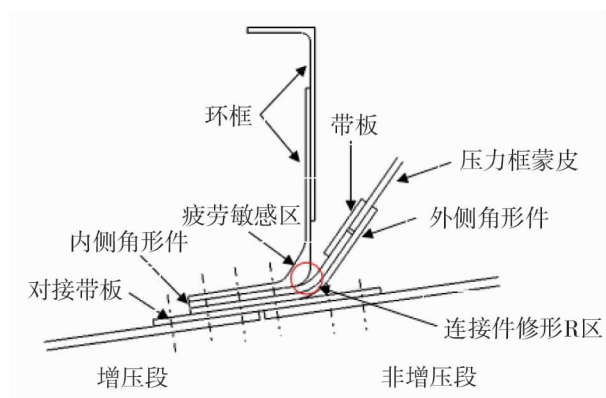


图 1 外接方案一示意图

2.1.2 方案二

后压力框为格栅结构复合材料件,将连接件与机身框的外缘条复合设计成一个剖面为“Y”形的钛合金整体件,后压力框蒙皮与“Y”形缘条搭接连接,

如图 2 所示。后压力框的载荷一部分传到机身壁板上,一部分传到环框结构上。传到环框上的载荷分为径向和纵向两个方向,径向载荷与机身的增压载荷抵消一部分,纵向载荷需要在环框腹板上设计稳定角板以增加腹板的稳定性。

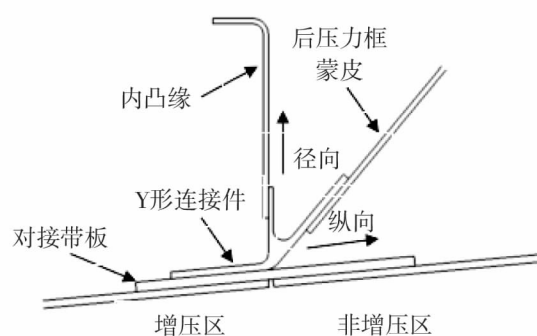


图 2 外接方案二示意图

外接方案的后压力框蒙皮外形曲面一般为双曲面,双曲面的设计受拱高、半径范围、曲面与机身外形的夹角等多参数影响。后压力框与后机身外形的夹角从压力框蒙皮受力考虑设计得越小越好,但这会使后压力框与非增压段壁板之间的空间狭小,该区域的紧固件安装空间苛刻,安装质量不稳定,且非增压区的机身壁板上第一排钉和增压区机身壁板最后一排钉的钉间距偏大,间距过大会导致钉间失稳,因此后压力框外形曲面与后机身外形的夹角需要严格控制。

2.2 内接方案

内接方案可为球面框外形曲面的设计提供一个完整的球面,球面受载好,但是该方案载荷传递不直接,连接结构数量多,内接方案在空客 A320 和 A350 等机型上有应用。

2.2.1 方案一

承压蒙皮和连接结构均为铝合金,承压蒙皮增压一侧设计带板进行连接,带板上第一排紧固件传

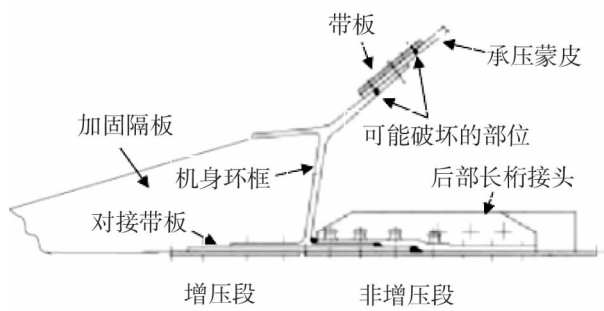


图 3 内接方案一示意图

递的载荷较小,减小了二次弯曲,获得较好的静力和疲劳特性。带板设计在增压一侧将疲劳敏感区露在结构外侧,可检性好,环框前部需要设计加固隔板增加环框腹板的稳定性,连接方案如图 3 所示。该方案中机身环框剖面较复杂,需要大尺寸的厚板机加制造,材料利用率低,加工成本高。

2.2.2 方案二

后压力框承压蒙皮为复合材料结构,设计钛合金“Y”型件将承压蒙皮连接到机身环框,如图 4 所示。环框前部布置纵向加强件将隔框上的载荷传递到机身结构上,承压蒙皮和“Y”型件的连接之间设计为搭接,连接简单,易于装配。该连接方案比方案一采用的整体机加方案材料利用率更高,制造成本更低,材料可选择,有更好的设计空间。



图 4 内接方案二示意图

内接方案的布置使后压力框与机身壁板之间获得较大空间,能确保连接位置紧固件的稳定安装,同时也为后部结构的设计和布置提供空间。但该方案承压蒙皮上的载荷传递到机身壁板时有较大的二次弯曲,且环框前部需要设计纵向结构增加框腹板的稳定性,导致零件数量多,装配关系复杂,结构增重。

2.3 方案分析

后压力框传给机身的载荷受压力框外形曲面的影响,表 1 为某型飞机的外形曲面参数对应的应变水平。好的压力框外形曲面能降低传给机身的应力水平,因此首先需要将曲面的设计和压力框与机身的连接进行联合设计。外接方案中压力框外形曲面受机身外形的影响,更改困难,且基于当前针对双曲面压力框结构的校核方法不够成熟,如果没有足够的试验支撑,该方案应用到机型上存在风险。内接方案的后压力框外形面受机身外形的影响较小,环框高度可设计,可为压力框外形面提供一个理想边界,即压力框蒙皮外形曲面可设计为一个球面,球面

受力好,是压力框承压蒙皮的理想曲面。但综合考虑其他方面的设计要求,内接方案压力框外形面不一定是球面,譬如 A350 采用的是非正球内接方案。

表 1 某飞机后压力框修形曲面对应的受载情况

外形曲面 拱高	外形曲面曲 率半径/mm	非连接区压力 框蒙皮应变 最大值/ $\mu\epsilon$	连接区压力 框蒙皮应变 最大值/ $\mu\epsilon$	连接区剪切钉 载最大值/N
620	3 044 ~ 5 350	3 000	2 070	5 930
620	1 615 ~ 5 311	3 000	2 610	6 870
560	3 088 ~ 6 950	3 990	2 700	7 140

其次,需要考虑连接结构的可制造性。复合材料的后压力框连接结构一般优先选用钛合金材料,但钛合金结构成型比铝合金结构成型更困难,成本更高且制造周期更长,尤其是钛合金厚板/锻件的机加,所以当选用钛合金连接结构时会优先考虑内接方案。外形为规则的球面结构可降低制造难度,双曲面外形结构存在制造风险。

再次,还需要考虑压力框站位系统通路问题;内接方案的系统开孔只能布置在压力框蒙皮上,对需要平面安装的系统接头需要额外设计系统支架与压力框蒙皮进行连接,系统支架属于次结构,在设计中应尽量减少次结构的布置,且增加的紧固件孔影响结构的疲劳性能;压力框蒙皮若是金属钣金薄板类结构,开口尺寸大于一定值时还需要额外设计加强件进行加强。内接方案则可将大部分系统开口布置在机身环框腹板上,机加件上的开口加强设计则相对简单,且该设计符合将主要系统安装与主结构一体化的设计要求。

最后,后压力框与机身的连接受垂尾前梁布置的影响,垂尾前梁布置的位置是压力框与机身连接方案的重要考虑因素但不是决定方案选型的唯一因素。一般情况下,垂尾前梁和压力框站位相同时,该站位需要设计加强框和纵向加强件,载荷传递复杂,倾向于选择内接方案;也可在垂尾连接区域选择内接方案,环向其他区域选择外接方案的混合连接方式;当垂尾前梁和压力框布置的位置间隔距离够大时,压力框与机身连接位置载荷相对简单,倾向于选择外接方案。

2.4 方案总结

综上,外接和内接两种连接方案的优缺点如表 2 所示。

表 2 外接与内接方案的优缺点

连接方案	优点	缺点
外接	载荷传递直接,传力路径短; 连接结构质量轻 ^[6] 约 15%~20%; 零件数量少,装配简单	装配空间差,装配质量不稳定,可检性差; 后压力框曲面需要修形,曲面受力不好,双曲面强度校核方法不成熟; 复材件成形和连接结构制造质量有风险 系统通路不好
内接	压力框外形曲面可设计为球面,球面受力好,连接结构制造性好; 开敞性好,便于装配和维护; 框腹板上开口简单,系统通路好	载荷传递不直接,结构增重; 机身加强结构数量多,制造成本高,装配关系复杂

在实际机型应用中,可在概念设计阶段根据机身外形和后压力框布置站位,对内接方案和外接方案中后压力框与机身之间载荷传递的应力水平进行比较和分析,并从结构的选材、疲劳寿命、装配复杂性、结构总重量以及制造成本和结构生产效率等多方面进行综合评估^[7],选择满足飞机所有设计要求的连接方案;表 3 和表 4 为某飞机在研制阶段对内接方案和外接方案做的比较研究。

表 3 某飞机内接与外接方案载荷分析

连接方案	后压力框最大主应变/ $\mu\epsilon$	后压力框线性屈曲一阶特征值
内接	1 740	3.422 3
外接	3 890	1.146 7

表 4 内接与外接结构连接结构零件数量

连接方案	结构数量/个
内接	69
外接	25

3 结论

本文详细介绍了后压力框与机身连接的外接方案和内接方案,提出了影响方案选择的关键因素,分析了两种连接方案在实际机型应用中存在的问题,总结了两种连接方案的优缺点并提出如何进行方案选择,为后压力框与机身连接的结构选型和结构设计提供参考。

参考文献:

- [1] 李维娜. 民用飞机气密端框结构设计[J]. 中国科技信息, 2017(13): 99-100.
- [2] 牛春匀. 实用飞机结构设计[M]. 程小全, 译. 北京: 航空工业出版社, 2008.
- [3] 中国民用航空总局. 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 中国: 中国民用航空总局, 2011.
- [4] 《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, 2001.
- [5] 钱敏. 民用飞机球面框结构设计研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2013(2): 21-34.
- [6] 罗腾腾. 民航客机后压力框结构设计技术分析与研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2017(1): 73-76.
- [7] 《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.

作者简介

徐 丹 女, 本科, 工程师。主要研究方向: 飞机结构设计。
E-mail: xu. dan@ sacc. com. cn