

民用飞机后机身与尾段 在球面框处对接研究

Analysis of Joint Structure Between After Fuselage and the Tail on Dome

张宝柱 孙洁琼 / Zhang Baozhu Sun Jieqiong

(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:

民用飞机后机身与尾段的对接往往选择球面框(后压力隔框)位置,球面框是机身气密线的末端,该处的对接设计需要从传力、重量、成本、装配、维修、排水等多方面进行考虑,是民用飞机机体结构设计中非常重要的一个环节。针对民用飞机中后机身与尾段的连接特点,从传力等考虑要素入手,介绍了目前国际上典型机型的成熟方案,并进行方案优缺点分析、比较和总结,为我国民用飞机结构设计提供借鉴。

关键词:民用飞机;后机身;尾段;对接结构;球面框

中图分类号:V223

文献标识码:A

[Abstract] The joint between after fuselage and the tail for commercial aircraft locates on dome (after pressure bulkhead) generally. Dome is the end of the pressure line. The joint structure design should take load path, weight, cost, assembly and drainage into account, is one of the most important content during fuselage design. According to the properties of joint between after fuselage and the tail, commencing with load transfer consideration, the mature concepts of representative aircraft are introduced, and the concept analysis, comparison and summary are provided. The conclusion could provide a technology support for civil aircraft structure design.

[Key words] Commercial Aircraft; After Fuselage; Tail; Joint Structure; Dome

0 引言

由于设计、制造、装配以及原材料等的限制,民用飞机机身需要进行分段。根据机型和载客量的不同,机身分段数量和位置有所不同。机身通常可分为机头、前机身、中机身、后机身和尾段,分段处一般即是设计分离面,同时也是工艺分离面。其中机头(即驾驶舱)和前、中、后机身段(客舱)为增压区,尾段为非增压区。后机身与尾段之间的分段位于增压区末端。从增压载荷的角度看,球面框优于平面框^[1],因此现代民用飞机多采用球面框作为气密线的末端,以满足机身增压和疲劳要求。

早期的民用飞机机身普遍采用传统铝合金材料,球面框也同样采用金属材料,如庞巴迪公司的Q400、空客A320和波音737等。随着复合材料设

计、制造能力的提高,其用量也大幅度提高,新研制的机型,普遍采用了复合材料机身和球面框,如A350和波音787。另有部分机型,增压机身仍采用金属材料,而非增压机身和球面框则选用了复合材料,如庞巴迪公司的C系列飞机和空客A380。工艺分离面可选择在不同材料结构的交界处,也可选择在简单结构与复杂结构之间^[2]。因此在球面框处设置工艺分离面,进行后机身和尾段的对接是现代民用飞机普遍采用的分段方式。本文对目前国际上典型机型成熟的对接方案进行分析研究,能够为国内民用飞机结构设计提供技术支持。

1 对接结构介绍

机身部段间的连接方案多采用对接,通过对接带板、对接框和长桁接头进行连接。连接结构

要能满足飞机的结构完整性要求,使机身相邻各段之间的载荷可靠传递,保证机身外表面光滑且具有良好的气动外形,并需满足机身的气密、水密等要求。

球面框处的对接同样采用对接带板、对接框和长桁接头结构。不同的是,要重点考虑球面框与机身的连接和传力路径。由于密封的需要,该处长桁接头不能穿过框平面,需在球面框两侧分别布置。作为增压区的终端,球面框处需要定期进行检查和维护,同时需要考虑排水要求。不同的连接方式将直接影响传力、制造、装配、成本、维护等。

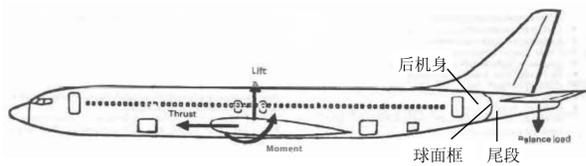


图1 某机型球面框与机身的相对位置

2 受力分析

2.1 球面框处受力分析

球面框主要承受机身客舱内的气密载荷并通过球面框与机身的连接将载荷传递到机身壁板和框上。如图2所示,在气密压力 ΔP 的作用下,框腹板(球形)承受鼓胀拉力为 F ,力 F 与机身纵轴方向有一夹角,与垂直平面的夹角为 α 。将力 F 分解成纵向分量 F_x 和机身径向分量为 F_r 。纵向分量 F_x 通过球框跟机身的连接件传给机身壁板;径向分量 F_r 一般直接传递给布置在球框位置的框结构。

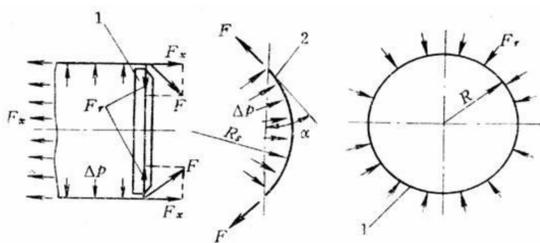


图2 气密端框处受力情况

2.2 机身对接与球面框重合受力分析

如图3所示,球面框载荷沿机身纵向分量 F_x 通过角材传给带板和机身蒙皮。机身径向分量载荷是通过角材跟框的挤压传递到框上,本身可实现平衡。带板既承受球框增压载荷产生的力,也要传递蒙皮断开的机身载荷。尾段长桁载荷通过长桁接头传递到带板,带板的载荷传递到后机身的长桁接头,然后传到后机身长桁。

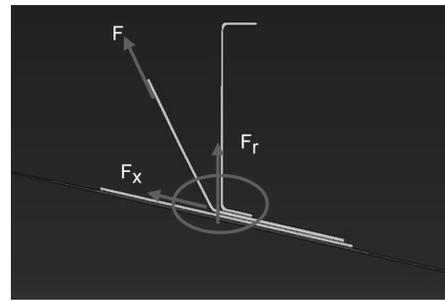


图3 气密端框处载荷分配

2.3 结论

经以上受力分析可知,机身对接与气密端框重合时,该处的整体受力分析与气密端框自身受力情况基本一致,只是由于机身蒙皮断开,带板需承受更大的载荷;对于长桁接头的设计,影响不大。因此,将工艺分离面与增压区末端重合,对气密端框处载荷分配没有大影响。

3 典型客机后机身与尾段对接方案

3.1 庞巴迪 Q400

Q400飞机为全金属支线飞机。其后机身与尾段之间的界面位于对接框后部,通过带板加角材的形式进行连接,球面框连接在钣金角材上,并通过角材将增压载荷传递到带板及机身壁板上,传力较直接。机身框采用整体钣金构型,长桁通过接头与带板连接,传递纵向载荷。连接方案如图4所示。

装配方案:先将带板、角材和球框装配到后机身,总装时将尾段结构整体与后机身对接,需要协调的零件较少,比较容易保证装配精度。

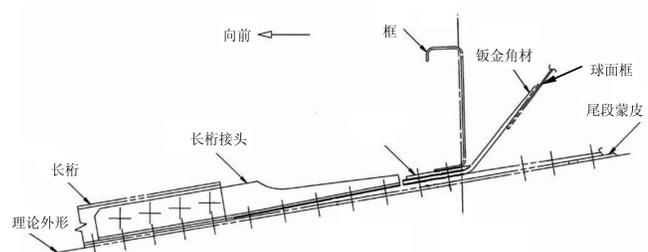


图4 Q400 中后机身与尾段的对接方案

3.2 庞巴迪 C 系列

C系列飞机是世界上首款采用铝锂合金为机身主要材料的飞机。其中,后机身金属材料,尾段和球面框为复合材料。

其连接方案与Q400类似,也是通过对接带板、钣金角材和机加框实现,区别在于机身蒙皮连接位置在对接框前部;球面框连接到钣金角材外部,传力直接但疲劳性能较差;中机身后端通过长桁接头

连接到对接带板上,后机身在对接处对壁板进行了加强,后机身长桁与带板不连接,如图5所示。

装配方案:带板及前部长桁接头装配在中机身后桶段,总装时,将球面框从后向前推入,与钣金角材连接,最后与尾段进行装配。总装需要协调尾段壁板、对接带板、钣金角材和机身框,协调关系较复杂,不容易保证装配精度。

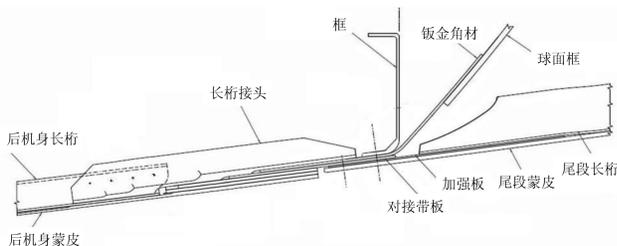


图5 CS100 中后机身与尾段的对接方案

3.3 空客 A320

A320 飞机是最为成功的商用飞机,采用金属结构机身。图6是A320飞机后机身与尾段的典型连接,也是空客系列飞机早期连接形式的代表。其连接位于对接框处,采用带板、“Y”型框以及加强肋的形式进行对接。球面框与“Y”型框连接,增压载荷通过“Y”型框上缘条和加强肋传递到机身壁板上。尾段将长桁接头连接到“Y”型框下缘条上,通过“Y”型件和带板传递纵向载荷,传力不直接;加强肋连接处不易检查且排水困难,容易产生腐蚀。该方案最大的优点是,球面框可直接采用标准球体的一部分球冠,不需要另外修形,球面框承受增压载荷的效果好,且制造容易;但“Y”型框制造困难和较高的材料成本是其明显弱点。

装配方案:带板、“Y”型框、球面框和加强肋均在总装时进行装配,需要协调的零件较多,装配工时长,且不容易保证精度。

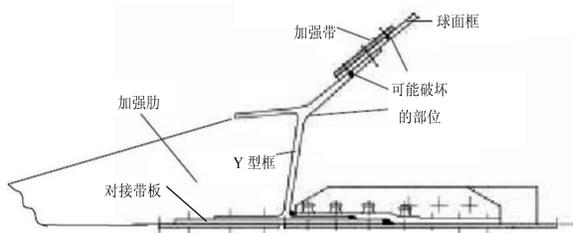


图6 A320 中后机身与尾段的对接方案

3.4 空客 A350

A350 飞机是空客公司在研的全复材机型,代表着空客最新最先进的技术水平。为方便装配,蒙皮对接位于框前部,通过带板、钣金角材和浮框结构

实现。增压载荷通过角材直接传递到机身蒙皮上,传力直接;球面框位于角材前部,连接处疲劳性能好;但由于对接框距蒙皮对接处较远,连接处刚度降低,如图7所示。

装配方案:带板、角材、环框和球面框先装配到机身尾段,总装时安装对接带板和前部长桁接头。球面框后部不设长桁接头,通过复合材料铺层实现传力,零件数量少,总装时协调较容易。

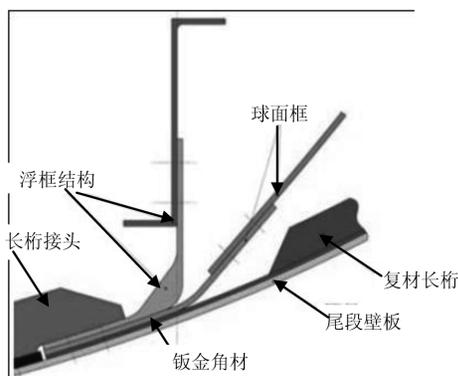


图7 A350 飞机中机身与尾段的对接

3.5 波音 737

波音 737 是波音公司单通道飞机的代表。其对接方案采用两框背靠背,中间夹“Y”型件与球面框进行连接的结构形式。球面框上增压载荷的传力路径为球面框-“Y”型件-框-机身蒙皮,传力不够直接。“Y”型件与球面框先连接,并在后机身与尾段对接时进行装配,装配时协调件较多,装配工时长。

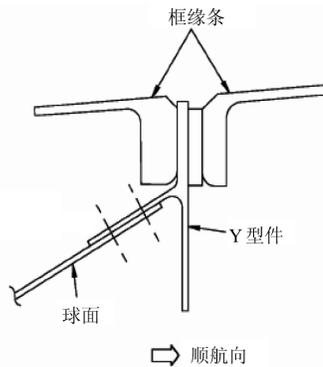


图8 波音 737 中后机身与尾段的对接方案

3.6 波音 787

波音 787 飞机是波音公司最新一款机型,采用全复材机身,代表了波音系列飞机的最先进技术。其连接方案采用对接带板、机加“Y”型件与机加框内缘共同组成角形件和环框结构的形式进行对接。装配时,这部分结构均安装在对接结构前部。波音

787 的框和“Y”型件可以看做角形件方案的另一种结构形式,如图 9 所示。

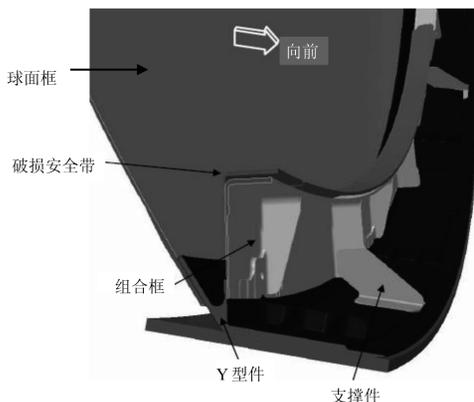


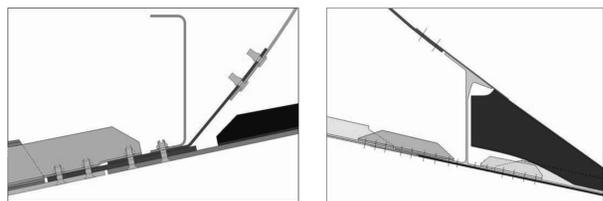
图 9 波音 787 飞机中机身与尾段的对接

4 对接方案的比较

综合上述典型机型的分析,可以看出无论机身材料选用金属还是复合材料或者金属与复合材料对接,尽管对接框根据载荷情况可能设计成机加框、浮框或组合框结构,但机身球面框处的对接方案,主要有两种。

方案 1 是以 Q400、C 系列、A350 等机型为代表的角材方案,波音 787 虽然具体结构形式不同,但也可归于此类,结构形式如图 10(a) 所示。该方案增压载荷能够直接传递到机身壁板,传力直接;零件数量少,结构简单;装配协调少;便于维护和排水。

方案 2 是以 A320 和波音 737 为代表的“Y”型件方案,载荷需要通过“Y”型件上部缘条传递到隔板上,再通过加强肋传到机身壁板,结构形式如图 10(b) 所示。该方案结构较复杂,传力不够直接;零件数量多,造成成本和重量的增加;由于球面框不与蒙皮直接连接,可以直接采用球冠,无需修型,对球面框的设计、制造有利;维护较困难。



(a) 方案 1: 角材连接方案 (b) 方案 2: “Y”型框连接方案
图 10 两种主要对接方案

经过综合分析比较,可以看出角材连接方案从总体上优于“Y”型框连接方案,能够满足各类型民用飞机的需求,如表 1 所示。

表 1 连接方案对比

	方案 1	方案 2
设计	易于后机身对接 装配协调简单 改善疲劳性能 (降低弯矩) 球框需要修型	后机身对接困难 装配协调复杂 疲劳性能较差 球框无需修型
成本	较低的材料加工成本	材料及加工成本高
零件数量	零件数量较少 (没有加强肋)	零件数量多 (需要很多加强肋)
重量	重量降低	“Y”型材和隔板 重量增加
制造	缩短零件加工工时 缩短装配时间	加工时间较长 装配时间较长
维护性	便于检修和排水	易产生裂纹且可检性差 易发生腐蚀(排水困难)
典型机型	Q400/ A350/C 系列等	A320/波音 737

5 材料选择的影响

材料的选择对对接结构方案和零件材料的选择具有一定的影响。例如,与复合材料机身或球面框连接,可考虑采用钛合金件,不仅强度高,而且能够避免电位腐蚀,但钛合金成型比较困难;如采用传统铝合金材料,则需要在复合材料件表面铺设玻璃纤维,以避免腐蚀;为避免复合材料钉孔处产生分层,复合材料和金属材料连接区域的紧固件一般不能通过过盈配合来提高疲劳寿命;不同材料的长桁也决定了长桁接头类型的不同。

6 装配方案的选择

装配方案的确定首先要考虑球面框的装配顺序。如果将球面框、对接带板和后部长桁接头先装配到尾段,如图 11 所示,后机身后端的实际截面比带板前端截面要小,将导致小截面套大截面的情况出现。根据不同截面外形和尺寸的不同,需要在装配时,将后机身后端不同程度的扩张,才能满足要求,因此一般不选择该方案。

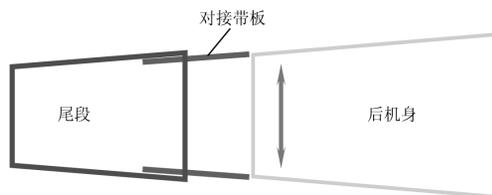


图 11 球面框装在尾段方案的装配示意图

(下转第 79 页)

Check label 1 完整的 32 位 429 字。

若接收的 SSM 和 SDI 与输入的校验 SSM 和 SDI 不同,则程序运行结果如图 7 所示。

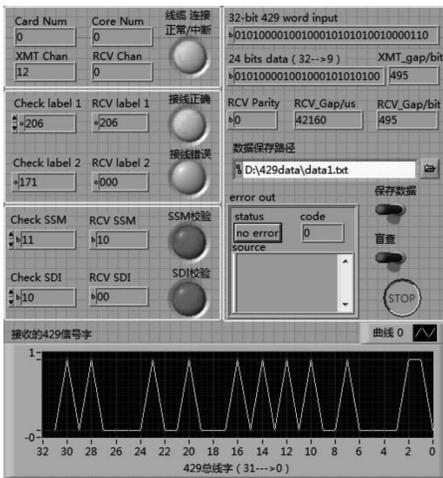


图 7 SSM 和 SDI 校验错误运行图

校验错误则相应指示灯显示红灯,以提示总线信号与数据字典信息不符。

把接收端正负端口反接,运行程序,得到如图 8 所示结果。

正负端口接线错误,软件中显示接线错误的红灯,此时不进行 SSM 和 SDI 校验,相应指示灯显示红色,图表框内显示没有与 Check label 1 内相同的 Label 的 429 信号。

4 结论

本文根据现场测试的排查与排故工作,对 429 总线软件的便携性、易用性需求,基于 LabVIEW 语

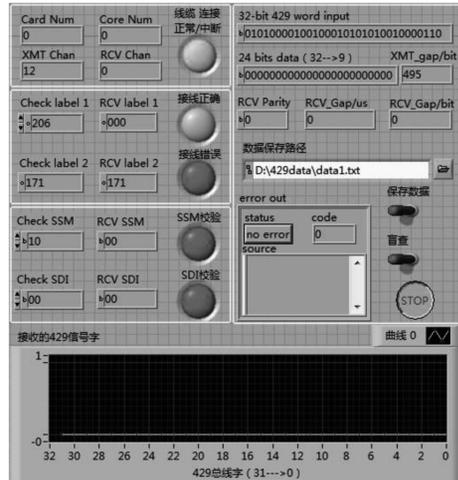


图 8 正负端口接反运行图

言设计了 ARINC429 检查软件。该软件实现了对 ARINC429 总线的接线连接状态、Label、SDI 和 SSM 等信息的校验和检查,同时该软件也完成了对 ARINC429 总线信号的搜索、解析与数据保存工作。软件面板简洁清晰,在测试现场的总线检查与排故工作中充分发挥了其便携性与易用性的特点,并取得了良好的测试效果。

参考文献:

- [1] 罗斌,杜洪根. 便携式 ARINC429 总线测试仪设计[J]. 无线电工程,2005,35(6):59.
- [2] SBS Technology. ARINC User's Manual[R]. Library Version 8. x, 2006, 3.
- [3] Ballard Technology. ARINC429 Programming Manual[R]. Rev. D,2011,6.

(上接第 19 页)

总结典型机型的对接方案,也能看出,大部分机型都将球面框先装配到后机身,然后进行尾段和后机身的对接,装配起来比较容易。当然,这样的装配顺序,导致了球面框只能连接在角材的外部,对疲劳性能有一定的影响。

7 结论

通过对典型机型的分析和比较,可以看出:对于后机身和尾段在球面框处的连接,不同的机型采用了不同的设计思路和方案,而且都在实践应用中获得了验证。但不管是空客公司还是波音公司的机型,除了机身框的结构形式,蒙皮对接位置和球面框的具体连接情况有所区别以外,都从“Y”型框

连接方案向角材连接方案发展,且多采用球面框先安装到后机身段的装配方式,表明结构传力、生产/维护成本等要求在民机设计的重要性益发凸显。本文对各种典型机型连接方案所做的结构形式说明及优缺点分析,为我国民用飞机项目的重要部位连接设计提供参考和借鉴,具有实际指导意义。

参考文献:

- [1] 牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京:航空工业出版社,2008.
- [2] 《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.