

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2019.01.004

复合材料主起落架整流罩结构设计要求及方法

Design Requirements and Methods for MLG Fairing Composite Structure

陆鹏鹏 王新年 卫二冬 / LU Pengpeng WANG Xinnian WEI Erdong

(中航西飞民用飞机有限责任公司工程技术中心, 西安 710089)

(Engineering Technology Center, AVIC Xi'an Civil Aircraft Co., Ltd., Xi'an 710089, China)

摘 要:

民用飞机主起落架整流罩多采用复合材料结构进行设计,提出了适用于民机的主起落架整流罩结构设计的要求及方法,介绍了通常采用的技术方案,包括结构形式、结构组成、连接方式等。要保证设计方法具有一定的先进性,技术方案成熟可行,就要考虑其功能、承载、耐久性等结构设计要求,同时因其内部结构经常处于恶劣的环境中,所以要兼顾其结构保护以及维修性设计,即具有很好的抗冲击性和防潮湿性能。

关键词: 复合材料;主起落架;整流罩;民用飞机;设计要求;设计方法

中图分类号: V226+.3

文献标识码: A

OSID:



[**Abstract**] Composite is usually adopted in civil aircraft main landing gear (MLG) structure. In this paper, the structural design requirements and methods for civil aircraft MLG fairing are proposed. The paper introduces the normal technical schemes, including structure form, composition, connection mode, etc. To ensure advancements of the design methods, maturity and feasibility of the technical scheme, we have to consider structure design requirements such as function, bearing capacity, durability and so on. Since the internal structures often meet with severe environment, meanwhile, structure protection and maintainability should also be taken into consideration, which has a nice impact resistance and moisture resistance.

[**Keywords**] composite; main landing gear (MLG); fairing; civil aircraft; design requirement; design method

0 引言

民用飞机主起落架整流罩结构通常布置在机身中段下部^[1],如图 1 所示,其作用为包容主起落架舱、主起落架及其支撑结构,在机身与主起落架舱、机身与主起落架及其支撑结构之间进行整流。结构组成一般分为整流罩、主起舱门,有的还布置有 RAT(ram air turbine,冲压空气涡轮)舱门。随主起落架联动收/放的部分为主起舱门,随 RAT 联动收/放的部分为 RAT 舱门,其余部分均为整流罩^[2]。

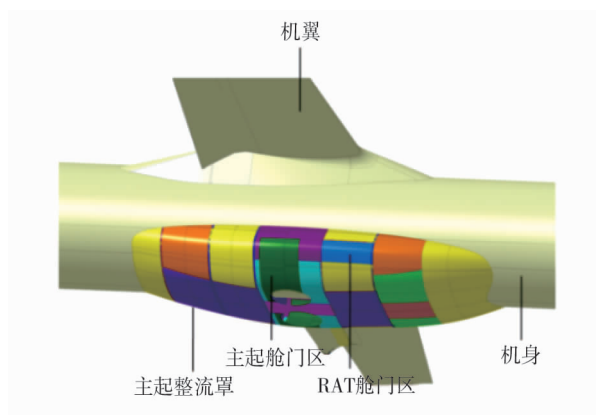


图 1 主起落架整流罩位置示意图

国外 ATR72 飞机以及国内在研的 MA700 飞机主起落架整流罩结构形式类似,均由蒙皮、隔框加桁条组成,主起落架整流罩结构蒙皮一般采用复合材料面板蜂窝夹层结构,隔框、桁条采用金属结构,隔框分为加强隔框和普通隔框,舱门采用金属面板夹层结构。

本文在充分考虑实现主起落架整流罩结构功能的基础上,提出了民用飞机主起落架整流罩结构设计的要求,介绍了通常采用的技术方案,包括结构形式、选用材料、连接方式、雷电防护、结构保护及维修方法等。

1 设计要求

1.1 总体要求

主起落架整流罩结构一般尺寸较大,两侧外形曲率大,虽然不是主要承力结构,但是功能性要求较多,在设计中应充分满足以下总体设计要求^[3]:

- 1) 保证飞机具有良好的气动外形;
- 2) 满足主起落架支撑结构与整流罩的间隙要求及轮胎与整流罩的间隙要求;
- 3) 满足主起落架整流罩内结构、系统的布置要求;
- 4) 不参与飞机的总体传力;
- 5) 满足结构功能、强度、刚度、稳定性、重量等要求;
- 6) 防止雨水或腐蚀性液体进入整流罩内部,满足雷电防护要求,满足装配、维修和维护要求。

1.2 适航要求

主起落架整流罩结构设计应满足 CCAR25 部以下条款要求^[4]:

- § 25.305(a)(b) 强度和变形;
- § 25.307(a)(d) 结构符合性的证明;
- § 25.571(a)(b)(c) 结构的损伤容限和疲劳评定;
- § 25.581 闪电防护;
- § 25.601 设计与结构:总则;
- § 25.603 材料;
- § 25.607 紧固件;
- § 25.609 结构保护;
- § 25.611 可达性措施;
- § 25.613 材料的强度性能和设计值;
- § 25.619 特殊系数;

§ 25.625 接头系数;

§ 25.729a(2)(3) 收放机构的条款要求。

1.3 功能要求

主起落架整流罩结构的主要功能要求是在机身与主起落架舱、机身与主起落架支撑结构之间进行整流,以满足机身的气动外形要求,同时还起着包容主起落架舱、主起落架及其支撑结构,以防止雨水、冰雹和跑道碎石进入后对罩内设备和系统造成腐蚀、堵塞或损坏。为了满足以上功能要求,需要考虑以下因素:

1) 主起落架舱门的安装和开启轨迹与主起落架的安装及收放轨迹相协调;考虑舱门卡滞对主起落架收放的影响;舱门应有足够的刚度,在使用中不会产生较大变形而影响到主起落架的收放^[5]。

2) 整流罩要有足够的刚度,防止过大变形而影响到机身的气动外形。

3) 整流罩应有较好的冲击韧性,能够承受跑道碎石、冰雹等低能量重复冲击对整流罩的冲击损伤;考虑轮胎爆炸引起的碎片及爆破气流对主起落架整流罩结构的冲击损伤。

4) 考虑整流罩及其与机身连接的密封。

5) 整流罩应有规定的雷电防护要求。

6) 防止燃油系统、管口等渗漏油与机轮摩擦火星相遇引起火焰,考虑结构的阻燃要求。

7) 降噪要求。

1.4 耐久性要求

现在民机主起落架整流罩结构蒙皮大多采用碳纤维或者玻璃纤维复合材料结构,复合材料结构具有优良的抗疲劳和抗腐蚀特性,疲劳和腐蚀不是复合材料结构耐久性的主要问题,主要是复合材料的层间性能比较低,抗冲击性能较差,特别是薄蒙皮和薄面板夹层结构在常见的低能量冲击下,容易产生表面目视可见的损伤,会给使用带来大量维护和修理问题,降低飞机出勤率和增加维护费用。对薄面板蜂窝夹层结构而言,表面目视可见的冲击损伤会使水分渗入内部的蜂窝,引起面板与蜂窝的大面积撕开,不仅有维护问题,还会威胁结构的安全。在分析主起落架整流罩低能量冲击的损伤阻抗要求时,主要考虑冰雹和跑道碎石冲击和轮胎抛出的碎片冲击两个方面^[6]。

1.4.1 冰雹和跑道碎石冲击

冰雹冲击损伤阻抗设计要求:2 倍设计寿命期

内无功能性障碍,或不需要结构修理;无目视可见损伤;无水分浸入,如水滴,否则会产生要求进行维护的不可接受的结构退化;无明显损伤扩展。

跑道碎石冲击损伤阻抗设计要求:2 倍设计寿命期内无功能性障碍,如果损伤目视可见,外场修理后不渗水;无明显损伤扩展。

1.4.2 轮胎抛出的碎片冲击

脱落的轮胎在正常情况下约有 5 kg 的碎块,碰撞速度可能接近起飞或着陆速度,起落架轮胎碎片冲击区的结构应该按照表 1 进行设计:

1)所有由轮胎抛出碎片造成损伤的部位可以迅速更换或代替,不耗费太长的飞机维护时间,所有位于冲击区的夹层结构采用芳纶纸或铝蜂窝芯制成。

2)不要将天线或设备装在易受轮胎碎片冲击损伤的部位。

表 1 起落架轮胎碎片冲击区的结构设计要求

材料	对应于冲击角的最小厚度			
	<15°	15°~30°	30°~45°	>45°~垂直表面
复合材料层				
压板(蜂窝	1.0	1.2	1.2	2.3
夹层结构)				

1.5 载荷情况

主起落架舱整流罩结构主要承受气动载荷,不参与飞机的总体传力;气动载荷通过整流罩蒙皮传递给整流罩骨架,进一步通过骨架与机身框的连接,传递给机身,进行扩散。

2 技术方案

2.1 结构布置

民用飞机主起落架整流罩结构布置通常整体关于飞机对称平面对称。按照机身框位对应布置加强隔框,及普通隔框,在飞机对称平面两侧等距布置桁条。按照隔框和桁条的位置,对蒙皮进行分块。

2.2 结构组成

主起落架舱区域属低能量冲击区,起落架机轮抛出的碎片、跑道石子等易造成蒙皮的冲击损伤,主起落架舱整流罩蒙皮面板选用玻璃纤维预浸料蜂窝夹层结构,这样可以提高结构冲击韧性,阻碍裂纹扩展,提高断裂应变。另外,因为主起落架整流罩骨架

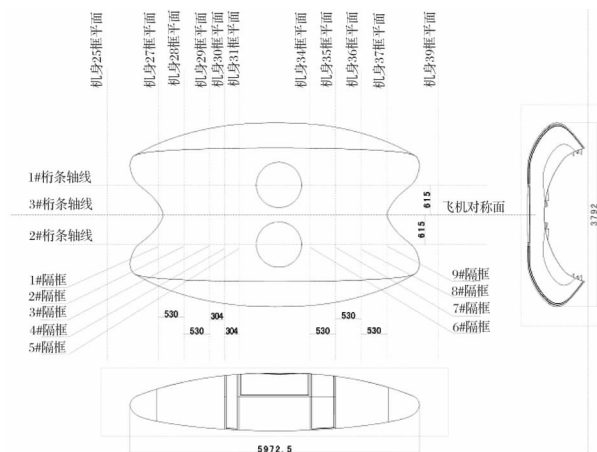


图 2 民用飞机主起落架整流罩结构布置示意图

和机身蒙皮为金属材料,为了防止整流罩蒙皮与金属结构接触时出现电化腐蚀,在二者的接触部位铺贴玻璃布;为了防止拆卸引起孔区面板铺层的损伤或开胶,所有螺栓孔处均嵌入钢制的沉头垫圈。在蒙皮的连接区,孔周有较大的应力集中,为了降低层压板承载能力,提高连接接头的强度和柔性,在连接区增加铺层层数,使连接区局部加厚,同时,要求 $\pm 45^\circ$ 铺层比例不低于 40%, 90° 铺层比例不低于 10%, 0° 铺层比例不低于 25%。

整流罩骨架一般采用金属材料,由加强隔框、普通隔框、纵向桁条等构件组成,如图 3 所示。在机身框位处布置加强隔框,加强隔框为板弯件,考虑工艺性、经济性等要求,在加强隔框的腹板上还设计有提高其刚度的“L”型支柱,框腹板上设计有带弯边的减轻孔;在机身框位处布置普通隔框,普通隔框之间布置纵向桁条,桁条与隔框之间通过“L”型角材连接在一起;桁条沿隔框分段,与隔框一起支撑整流罩蒙皮。

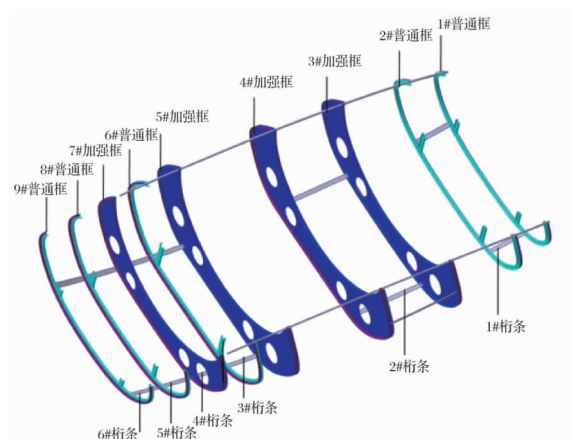


图 3 民用飞机主起落架舱整流罩骨架示意图

2.3 连接设计

2.3.1 整流罩蒙皮与机身连接以及蒙皮之间的对接

整流罩蒙皮的周边通过“r”形角材与机身蒙皮连接,即角材一边与机身蒙皮铆接,另一边与整流罩蒙皮螺栓连接,连接示意图见图4,以便于检查、维护内部系统零件,满足可更换性要求。另外,整流罩蒙皮对接缝隙以及整流罩蒙皮与机身蒙皮连接缝隙部位,还设计有弹性橡胶密封垫,既可以水密,又有缓冲降噪的功效,连接形式如图4中C-C剖面图所示。

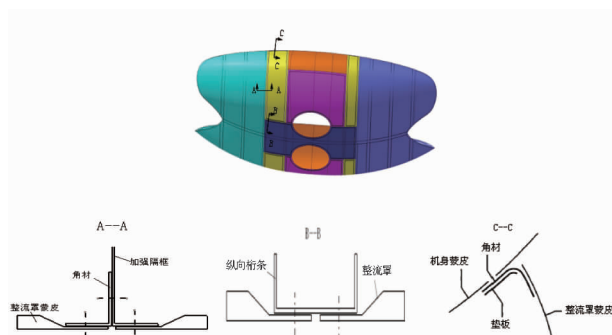


图4 整流罩结构连接示意图

各块蒙皮之间采用对接,对接形式如图4中A-A、B-B剖面图所示,弦向的对接通过加强隔框和“L”形的角材连接在一起,航向的对接通过“J”形截面的板弯件桁条进行连接,所有蒙皮均可拆卸,蒙皮通过螺栓与整流罩骨架连接。

2.3.2 骨架隔框与机身的连接

主起落架整流罩加强框及普通框与机身蒙皮之间可以通过“L”型角材连接在一起,连接形式如图5所示。

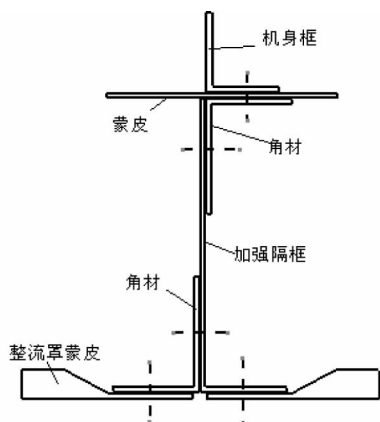


图5 整流罩骨架框与机身连接示意图

2.4 雷电防护设计

主起落架整流罩结构通常处于飞机雷电防护

的2A区,故整流罩结构设计时必须采取相应的措施,一般采用在整流罩蒙皮外表面覆有保护膜并嵌入铜丝网,该项关键技术直接影响着飞机的防雷电效果,对飞机的安全性有一定的影响。可以通过在生产中先进行工艺试验,取得最佳的工艺方案,并在后续生产中严格执行,以及进行试验验证防雷电效果。

2.5 结构保护设计

为保证主起落架整流罩内部的系统零件不受潮湿环境的影响,所有蒙皮对缝间隙处均涂敷密封胶。蒙皮与机体的贴合面之间设计有弹性橡胶密封垫以保证密封及防止擦伤和磨损。所有托板螺母均选用气密托板螺母。

2.6 维修性设计

在主起落架整流罩内布置有机翼与机身连接的关键接头以及系统的管路等,需要定期的检查与维护。因此整流罩必须便于拆卸安装,以满足维护性要求。设计时注重考虑以下因素:1)对整流罩的蒙皮合理分块,确保维修部位具有良好的可达性;2)在整流罩上须布置适当的口盖,以便于维护操作;3)采用合理的连接结构形式,以便于拆卸安装;4)采用的紧固件应标准化,工具应通用化,以降低维修成本。

3 抗冲击设计方法

考虑主起落架整流罩的抗冲击要求,一般主起落架整流罩蒙皮结构,较好的是采用玻璃纤维预浸料假蜂窝夹层结构,但是考虑重量的影响,多采用碳纤维预浸料蜂窝夹层结构,且一定在最外表面铺贴一层玻璃布,以改善其冲击韧性,满足抗冲击要求。同时,考虑底部常受机场地面沙石冲击,复合材料夹层结构抗冲击性能相对较差,容易受损伤,故也有的是在主起落架整流罩底部结构采用金属加筋壁板,而在中上部采用复合材料蜂窝夹层结构。

4 防潮湿设计方法

考虑主起落架整流罩结构容易有水分进入,通过对零件采用表面处理、涂相应的底漆和面漆,所有紧固件进行湿装配等方法进行潮湿的防护,对于复合材料蜂窝夹层结构,在内表面要铺一层 Tedler 膜进行防潮处理。同时在设计过程中考虑防排水设计,譬如在结构对缝处用密封胶进行密封,对于复合

材料件的切割边缘也要用密封剂进行密封处理,还有一些口盖结构,要在口盖贴合面粘贴密封垫进行贴合面密封以防防水,在各封闭区最低点附近,在壁板上开设排水孔,保证水分能畅通排出。

5 结论

民用飞机主起落架舱整流罩结构设计首先应满足相关顶层要求,考虑其功能、承载、耐久性、损伤容限设计要求的同时兼顾维修性、工艺性,同时保证设计方法具有一定的先进性,且技术方案成熟可行,结构布置合理,连接方式可靠,设计方法主要考虑其抗冲击以及防潮湿设计等,从而使得主起落架整流罩结构设计满足其使用要求。

参考文献:

[1] 郑建强,向锦武,罗漳平,等. 民机机身下部结构耐撞性优化设计[J]. 航空学报,2012, 33(4): 640-649.

[2] 王明庆. 主起落架整流罩结构设计要点[J]. 中国科技信息,2017(8): 30.

[3] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机结构设计[M]. 飞机设计手册(第10册). 北京: 航空工业出版社,2000.

[4] 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.

[5] 王旭东. B737-300型飞机主起落架收放系统故障分析[J]. 中国民航学院学报,2004,22(S1): 28-29.

[6] 王明庆. 民用飞机主起落架舱表面防护技术分析及应用[J]. 科技展望,2016,26(20): 139-141.

作者简介

陆鹏鹏 女,硕士,工程师。研究方向: 飞机复合材料结构设计。E-mail: lppxin@163.com

王新年 男,研究生,高级工程师。主要研究方向: 飞机复合材料结构设计。E-mail: wang-xinnian@sina.com

卫二冬 男,研究生,工程师。主要研究方向: 飞机材料标准研究。E-mail: sanshangjianyi@sina.com