

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.03.015

下单翼飞机主起落架舱补强结构设计与分析

Reinforcement Design and Analysis of Main Landing Gear BAY for Low-Wing Aircraft

赵莉 吕国成 牛福春 / ZHAO Li LYU Guocheng NIU Fuchun
(中航沈飞民用飞机有限责任公司工程研发中心, 沈阳 110013)
(AVIC SAC Commercial Aircraft Company Ltd., Shenyang 110013, China)

摘要:

主起落架舱(以下简称主起舱)位于主起落架所在的机身腹部翼身开口处,该区域连接结构复杂,是飞机外部载荷、应力集中、疲劳问题最为严重的区域,是机身载荷传递实现平衡的必经区域。主起舱的补强与一般机身开口补强不同,一方面要能够有效缓解开口应力集中,另一方面要参与外翼、主起落架与机身之间的传力以降低周围结构应力。补强结构设计的好坏直接影响翼身传力和主承力结构设计,通过主起舱补强结构进行力学和有限元对比,分析说明下单翼飞机主起舱补强方案。

关键词: 主起落架舱;补强;翼身传力;载荷

中图分类号: V226⁺.3

文献标识码: A

OSID:



[**Abstract**] The Main Landing Gear Bay (MLGB) lies in the belly of the fuselage wing body main landing gear opening. The structure of the area is complex, where the problem of external load, stress concentration, fatigue is the most serious, and where the body load transfer realizes the aim of regional balance. The MLGB compartment of the reinforcement is different from general body opening reinforcement. The one hand, the MLGB compartment of the reinforcement will be able to effectively alleviate the opening stress concentration, on the other hand, it will take part in the force among the main wing, landing gear and fuselage structure to reduce the surrounding stress. A good reinforcement option directly influences the wing body force and the main bearing structure design. The article based on force and finite element analysis discusses the reinforcement options of low-wing aircraft MLGB.

[**Keywords**] main landing gear bay; reinforcement; wing to body transfer; load

0 引言

民用客机起落架一般为常规的前三点式可收放式起落架,主起落架布置于机翼两侧靠近翼根的位置。起落架的布置与飞机重心相关,是保证飞机起飞着陆姿态、地面滑跑稳定性和机动性的重要结构。主起落架舱(以下简称主起舱)是在机身中下腹部开设的横贯机身的大开口,用于飞机起飞后起落架的收纳。主起舱给机身蒙皮形成较大开剖面,需要设计补强结构,加之与机身、外翼、

中央翼盒的框梁等主要传力结构相连,使该处的结构设计和方案选择异常复杂。本文对传力分析和强度有限元计算,探讨不同形式的主起舱补强结构。

1 主起舱位置及功能

主起舱位于机身中下腹部,是机身蒙皮开口与客舱增压地板下方形成的舱体。主起舱与翼身对接结构一同包络在整流罩内部,整流罩设计开口安装主起舱门。收放起落架的同时,舱门会自动打开和

关闭,不影响整体气动外形。主起舱开口的大小和形状取决于主起落架轮胎的数量和布置,主起舱和翼身整流罩位置见图1,主起舱门和主起舱开口见图2。

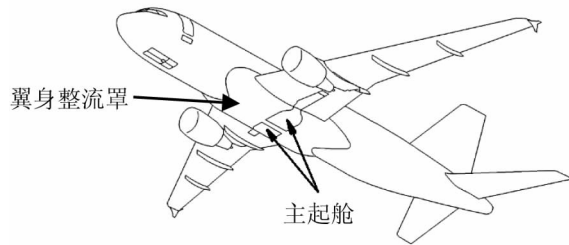


图1 主起舱位置

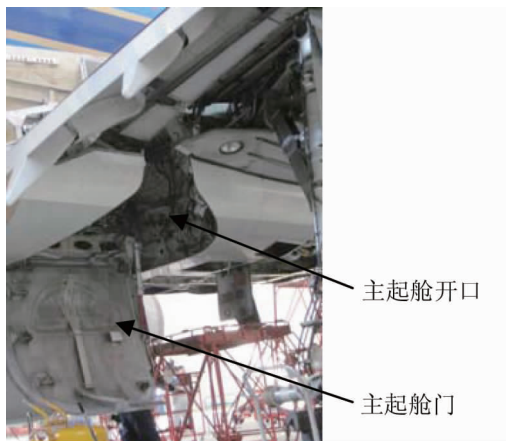


图2 主起舱结构

2 主起舱结构受力特点

主起舱位于翼身整流罩内部、客舱压力地板的下方,属于机身内部非增压区^[1]。由于紧挨外翼和中央翼盒,是翼身连接区一个较为重要的开口结构。主起舱是外翼与机身、尾翼实现载荷平衡的必经区域:外翼载荷通过中央翼盒和机身壁板传递到机身,与平尾负升力和机身惯性力平衡;机翼升力产生的弯矩由中央翼盒上下壁板承担,在翼盒处达到平衡;主起舱在机身薄壁蒙皮形成开口,开口薄壁截面会产生扭转,需通过截面周边的剪流 q 来平衡,即机身蒙皮、翼盒梁腹板等结构来平衡。除此以外,外翼的偏转和震颤^[2]产生的疲劳,降落过程中起落架产生的冲击,都使框、梁等主要承力结构承受较大集中力载荷。这些载荷通过机翼后梁以及主起舱补强结构向机身传递。主起舱周围结构传力及剪流分布如图3所示。

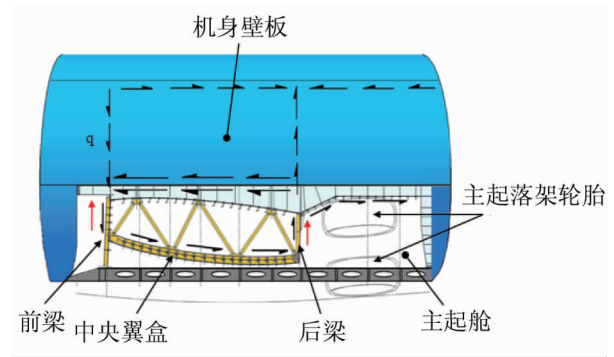


图3 主起舱周围结构受力情况

为承担外翼展向弯矩和弦向扭矩,机身在机翼前后梁对应位置布置了相对较强的机加梁框。由于机翼的后掠^[3]效应,机翼后梁相比前梁分配到的载荷更高,翼根后缘形成较大应力集中区,因此机身后梁框受力较大。由于后梁框连接主起舱,使改开口承受更大的扭矩,因此开口处需要进行补强。机身和外翼前后梁框布置如图4所示。

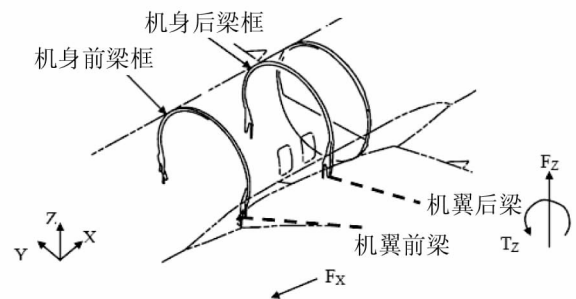


图4 机翼前后梁布置

3 主起舱开口补强形式

一般结构开口均通过补强以获得较高的许用应力,机身是薄壁筒状结构,任何位置的开口都将承受弯曲、拉伸、压缩及垂尾产生的机身扭矩,根据一般理论计算结果,有开口圆管的剪应力是无开口圆管剪应力的60倍;对于给定的扭矩,有开口圆管的扭转角度是无开口圆管的1200倍^[3]。主起舱在机身的开口则承受了机身和机翼的双重扭矩,因此势必需要通过补强以降低扭矩带来的风险。补强形式根据开口的功能、位置、形状和大小决定,目前服役较好的几种民用客机主起舱开口补强形式有两种:一种是空客A320两块三角形组合式加筋板^[4],另外一种波音787一块梯型整体式加筋板。三角形组合式加筋板由三角形铝合金薄板、加筋桁条、斜向梁

组成;整体式梯形板则由梯形铝合金厚板整体机加形成,分为横、纵向筋条。三角形结构见图 5,梯形结构见图 6。

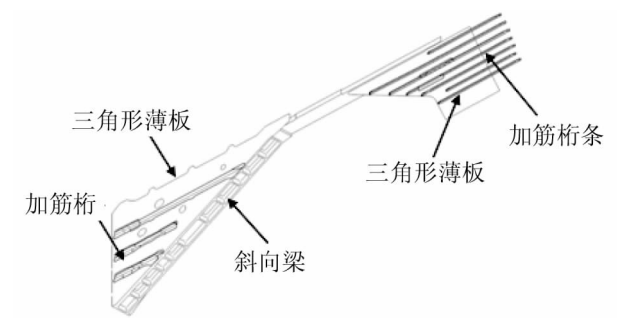


图 5 空客 A320 主起舱补强结构

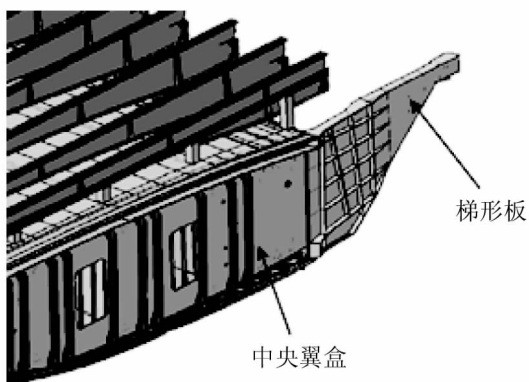


图 6 波音 787 主起舱补强结构

3.1 三角形补强结构强度分析

三角形补强结构在空客飞机上应用最广,后续开发的远程大型客机 A330 在主起舱开口位置仍沿袭 A320 设计思想。三角形补强结构材料的厚度应与机身下部最厚处蒙皮厚度相当,如以下算例中三角板选用边缘厚度 4 mm 的 2024 铝合金,桁条采用 7075-T73511 型材,计算时可以简化为三角形板杆结构。三角形结构本身是一个几何不变系统,即在外力作用下可以保持其几何形状不发生变化,因此三角形薄板三边剪流均为零,不传递剪流。横向加筋简化为杆元和梁元,承受轴向力,板杆之间只存在相互作用的剪流,剪流方向沿着板的周边并与杆轴一致,可以保证后梁框上的力(F_z)向上传递到机身壁板。该方案的弊端是三角板最下端是一个刚性拐点,升力及沿斜框的力(F_{canted})均经过该点向上传递,产生严重应力集中。如表 1 所示,按翼根界面载荷输入进行有限元^[5]分析,三角形板杆简化结构见图 7,有限元载荷节点分布见图 8。

表 1 翼根界面载荷输入

F_x/kg	F_y/kg	F_z/kg	$M_x/\text{KN}\cdot\text{m}$	$M_y/\text{KN}\cdot\text{m}$	$M_z/\text{KN}\cdot\text{m}$
29 223.85	-86 693.7	39 223.8	-3 920 080	-33 426 124	-70 796 080

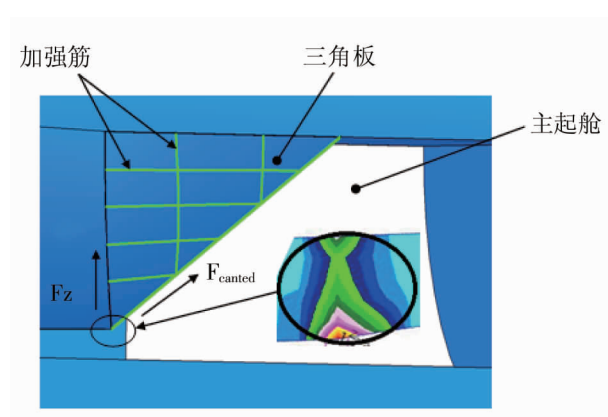


图 7 三角形加筋板补强结构

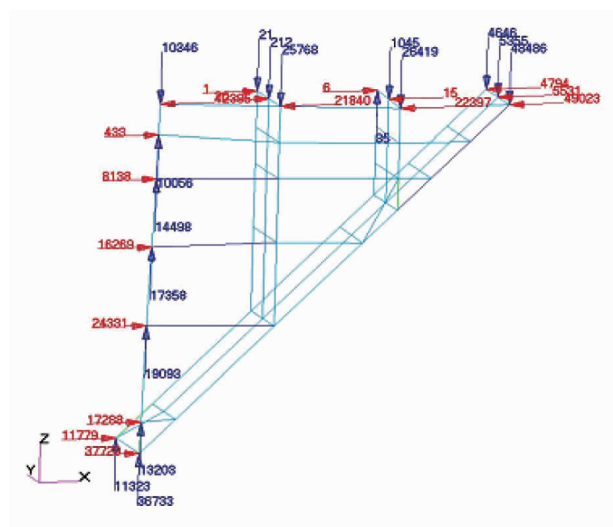


图 8 三角形加筋板有限元节点载荷

3.2 梯形补强板强度分析

波音 787 采用一块梯形加强板结构,即只在后梁处安装一个刚度较强的双面机加梯形板。以下算例中梯形板材料采用 6 mm 厚度的 7075 铝板,按表 1 载荷输入进行有限元分析,可以看出集中应力也下降了一半以上,解决了根部应力集中问题。由于梯形板的强度、刚度,以及各种连接要求,使梯形板在设计加工上更多倾向于整体式结构,相对薄板与筋条的组合结构形式,梯形板在材料加工成本上会有所增加,但装配简单。梯形板补强结构简图见图 9,有限元分析结果见图 10。

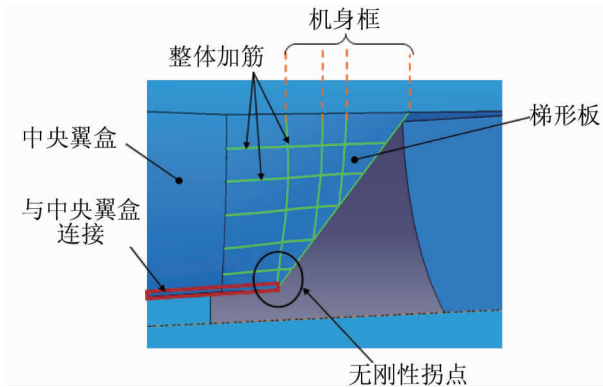


图9 梯形板补强结构

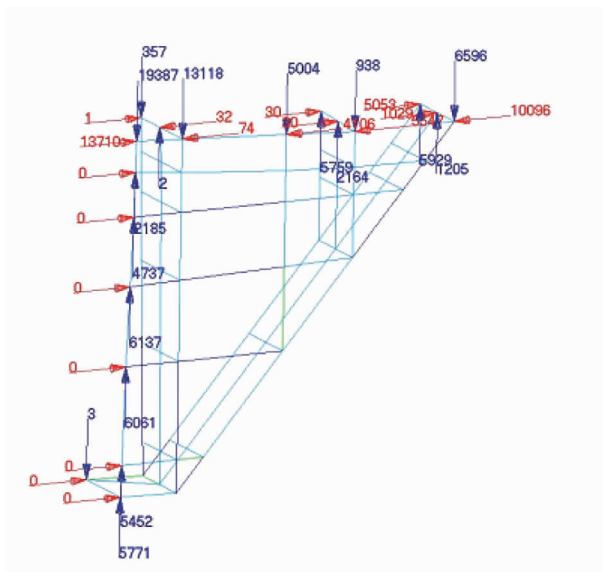


图10 梯形板有限元节点载荷

3.3 两种补强方案对比

通过分析可以看出,三角形和梯形补强结构都可以将部分外翼升力向机身传递,使外翼因扭矩产生的轴向力传递更平缓,减少机翼因扭矩产生的变形;对于机身,改善机身后梁框连接处的受力品质,降低后梁框载荷,有利于结构设计。三角形和梯形结构形式在传力上有所差别,相比三角形,梯形的四边结构对剪力的传递最为有效,可以将外翼升力以

分布剪力的形式传至机身。在与中央翼盒后梁连接处,梯形板不存在三角形那种刚性拐点。通过上面有限元计算可以看出,梯形板各节点载荷均低于三角板。此外,梯形板下部空间结构可以与中央翼盒下翼面处于同一平面,下部轴压载荷可通过梯形板传递到机身和龙骨梁,更加能够降低周边结构应力。

4 结论

对主起舱合理的补强设计,不仅能够降低机身下部开口扭矩,而且可以参与机翼和机身载荷的传递,有效降低周边结构应力。补强结构形式可以采用三角形结构也可以采用梯形结构,同时考虑配合翼身连接处后梁框的刚度和强度。可以设计简单较弱的三角形补强结构,增强机身梁框强度的设计;也可以设计较强的梯形面板补强结构,降低机身梁框强度的设计。结合翼身结构布局,充分考虑载荷分配及传力路线设计,同时根据飞机寿命评估最终成本的经济性。

参考文献:

- [1] 龚尧南. 结构力学[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001:177-183.
- [2] 陈博,刘杨,王爱军. 基于有限的飞机机翼刚度分析[J]. 强度与环境,2012,39(3):5-6.
- [3] 牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京:航空工业出版社,2008:525-538.
- [4] 《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,2000:216-330.
- [5] 晋萍,聂宏. 起落架着陆动态仿真分析模型及参数优化设计[J]. 南京航空航天大学学报,2003,35(5):490-500.

作者简介

赵莉 女,本科,高级工程师。主要研究方向:飞机结构设计。E-mail: zhao.li@sacc.com.cn

吕国成 男,硕士,主管设计师。主要研究方向:飞机强度设计。E-mail: lvguocheng401@163.com