

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.02.022

# 客改货货舱门口框锁钩接头构型研究

## The Latch Hook Configuration of Cargo Door Surrounding Frame Assembly for Passenger to Freighter

徐 焕 孙洁琼 / XU Huan 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., Shengyang 110013, China)

### 摘 要:

在某客改货货舱门口框结构中,下主槛梁平面布局与地板平行,且低于地板横梁,需考虑在锁钩接头上设计连接件对地板横梁提供支撑或锁钩接头直接对地板横梁提供支撑。在框站位处,支撑地板横梁的锁钩接头受断框结构影响,导致其结构形式复杂。对几种波音空客成熟机型货舱锁钩接头在装配、受力特性、制造工艺和损伤容限性等方面进行分析比较,针对某客改货货舱口框特殊布局,对锁钩接头构型及其界面进行设计。旨在为客改货货舱口框锁钩接头构型提供一种设计思路。

**关键词:**客改货;货舱门口框;锁钩接头;界面;构型设计

**中图分类号:**V223<sup>+</sup>.9

**文献标识码:**A

**[Abstract]** In cargo door surrounding frame assembly for Passenger to Freighter(PTF), the lower main sill is parallel with the floor and lower than floor beam. It needs to design the fittings on the latch hook fitting to support the cross beam of floor panel, or the latch hook fitting supports the cross beam of floor panel directly. The latch hook fitting supporting the cross beam of floor panel is complicated, influenced by the cut-frame at the frame station. Referring to the latch hooks design of Boeing and Airbus mature aircraft cargo bay, this paper analyzes and compares the latch hooks design in assembly, mechanical characteristics, manufacturing process, damage tolerance and so on. Considering the special layout of the cargo door surrounding frame assembly for PTF, this paper makes a design of the latch hook configuration and its interface. Its goal is to provide a design idea for the latch hook configuration for cargo door surrounding frame assembly for PTF.

**[Keywords]** passenger to freighter (PTF); cargo door surrounding assembly; the latch hook; interface; configuration design

## 0 前言

随着航空货运市场的逐渐升温,预计未来 20 年航空货运的增长率将大大超过航空客运<sup>[1-2]</sup>。民用飞机客机改货机的经济优越性将逐步使其成为未来航空货物运载工具的主要来源,是航空公司节约成本、应对货运量增长、提高飞机利用率的最佳选择<sup>[3]</sup>。客改货主货舱门口框结构设计是改装中的难点之一<sup>[4]</sup>,而锁钩接头的设计是口框结构设计的

关键点之一。本文对波音空客等多个机型货舱门口框锁钩接头进行分析和总结,以某机型客改货为例,设计出了一种新的锁钩结构,能够满足复杂客改货口框界面要求,为其他机型的客改货设计提供思路。

## 1 某客改货货舱门口框锁钩接头布局介绍

大型货舱门普遍采用非堵塞式,舱门承受增压

载荷和机身载荷。在典型货舱口框结构设计中,多采用琴键铰链-门-锁钩接头的连接方式进行有效传载,其中锁钩接头需满足舱门关闭的功能要求,及舱门与口框间的传力要求,典型货舱口框如图 1 所示。

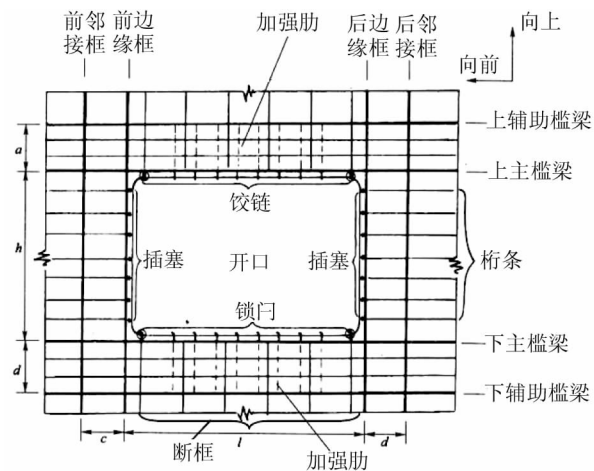


图 1 典型货舱口框结构布局图

锁钩接头在门开口下部的货舱门口框下主横梁处、框站位处或两个框站位间。在框站位处,锁钩接头与下主横梁和断框连接,将舱门上的载荷传到机身框上;在框站位间,锁钩接头与下主/辅横梁连接,将门处的载荷传到下辅助横梁<sup>[5-6]</sup>。本文研究的客改货货舱门口框结构中,下主横梁平面布局与地板平行,与地板横梁存在高度差,且为双梁布局,具体情况如图 2 所示。因下主横梁低于地板横梁,需在锁钩接头上设计连接件对地板横梁提供支撑或锁钩接头直接对地板横梁提供支撑。在框站位处,锁钩接头与下主横梁、地板横梁和断框连接,导致此处锁钩接头的结构形式比框站位间的结构形式复杂。本文仅介绍框站位处锁钩接头构型及其界面设计。

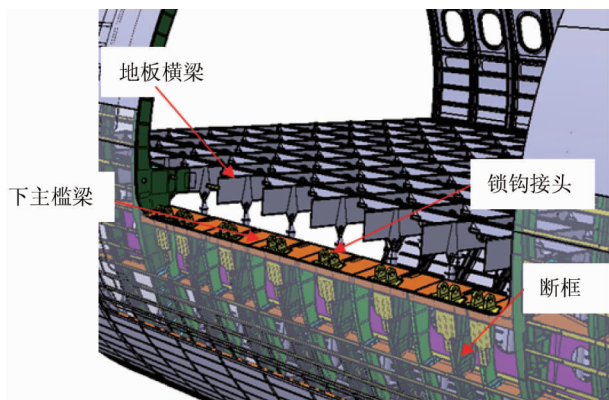


图 2 某客改货桶段货舱门口框

本文对几种成熟机型货舱口框锁钩接头的设计构型进行分析对比,探索出某客改货口框锁钩接头构型设计。

## 2 锁钩接头构型及界面方案分析

### 2.1 受力分析

在客改货中,锁钩接头结构主要承受的是座舱增压时引起的沿舱门环向拉力和防止门打开的机身侧向剪切载荷,以及机身与门的航向剪切载荷。其中环向拉力是主要的受力载荷。锁钩接头的具体受载情况如图 3 所示。

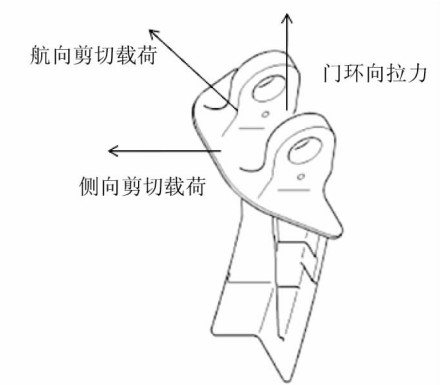


图 3 锁钩接头传力路径

除了考虑上述载荷外,锁钩接头还需考虑地板横梁处传来的张力、剪力和弯矩,其中地板横梁的载荷如图 4 所示。

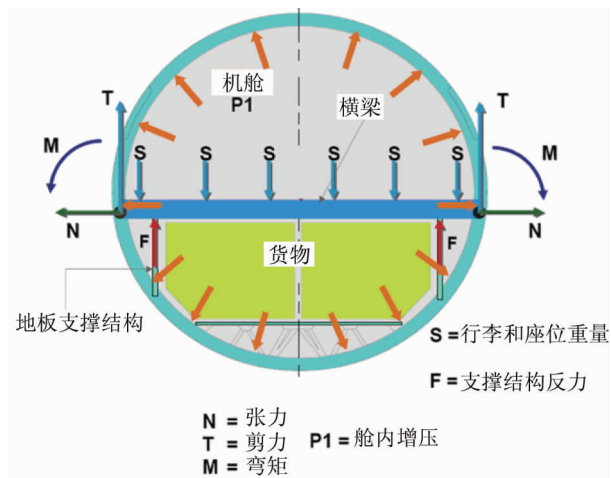


图 4 地板横梁受载情况

### 2.2 空客下货舱门口框锁钩接头(整体式锁钩接头)

空客典型下货舱门口框锁钩接头为整体钛合金锻件。锁钩接头与蒙皮、锁钩、下主横梁、断框及

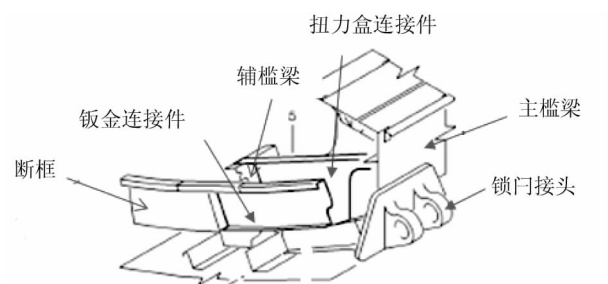


图 5 A330 下货舱口框锁钩接头及其界面

扭力盒连接件连接,具体结构形式如图 5 所示。锁钩接头连接界面多,主要与蒙皮、下主横梁和锁钩连接,这导致装配困难。空客在主横梁和锁钩接头间采用两个调节垫片,改善装配性能,具体形式如图 6 所示,需要注意严格控制公差,保证锁钩的正常打开/关闭功能。锁钩接头为整体式,其穿过主横梁开口,与门锁钩连接。该结构形式削弱了主横梁结构强度,直接承受了环向拉力。虽削弱主横梁强度,但主横梁为整体机加形式,可局部机加台阶对开口进行补强。图 7 所示锁钩接头双耳片与门锁钩用螺栓连接,与口框蒙皮采用四排紧固件进行连接,设置 3 条加筋支撑双耳片,进行有效传递环向拉力。此构型复杂,生产工艺性差。该锁钩接头为整体形式,相比组合式结构,其互换性差,损伤容限性差。但是零件数量少,减少零件装配,在下主/辅横梁为扭力盒结构形式时,具有装配优势。

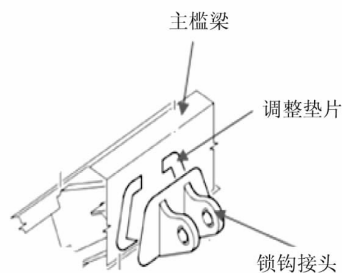


图 6 A340 锁钩接头连接

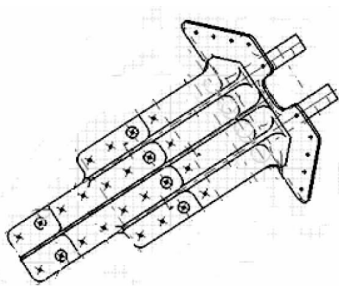


图 7 A340 锁钩接头

### 2.3 波音 787 下货舱门口框锁钩接头(组合式锁钩接头)

波音 787 下货舱门口框锁钩接头为组合式,锁钩接头与锁钩支撑件组合,用螺栓连接。该结构形式的优点为单个零件生产,工艺性好,但传力不直接,主要通过螺栓传力,其中螺栓传递拉力及剪力,受力形式复杂。锁钩接头支撑件与框站位处连接件相连接。锁钩接头支撑件传递锁钩接头上的载荷,对横梁进行支撑,提高横梁局部刚度及稳定性。具体结构形式如图 8 所示。

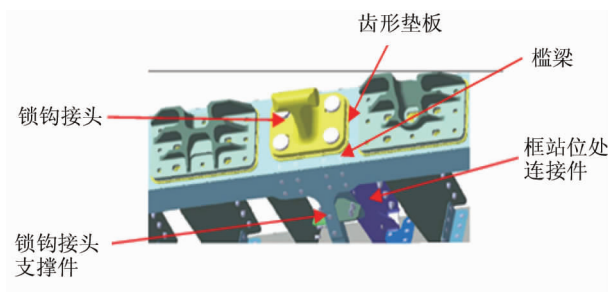


图 8 波音 787 锁钩接头结构形式

锁钩接头支撑件为铝合金双面机加件,两侧布置加筋,对锁钩接头提供支撑。锁钩接头支撑件底部与断框相连,将锁钩接头上的载荷传到断框上。锁钩接头支撑件伸出“L”型端头与货舱地板横梁连接,支撑货舱地板横梁。锁钩接头与其支撑件结构形式如图 9 所示。

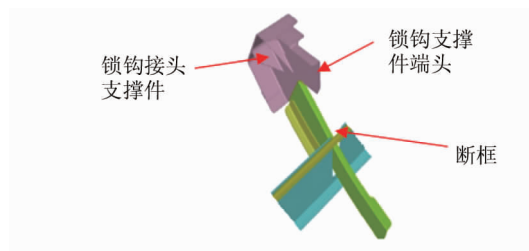


图 9 波音 787 锁钩接头支撑件

该锁钩接头组合件与门锁钩、下主/辅横梁、下货舱地板横梁、断框及蒙皮连接。锁钩接头及其支撑件是组合结构,装配制造时装配补偿性好;锁钩接头与锁钩接头支撑件连接,因下货舱主/辅横梁布置为开敞构型,其装配可达性好,装配性能好。门与锁钩接头连接装配精度要求高,波音 787 用齿形垫板与锁钩接头、主横梁进行连接,改善装配,但仍需严格控制装配公差,保证锁钩的正常打开/关闭功能。该构型零件数量多,装配工作量大,但维

修互换性好,零件可根据受力特点选择相适应的材料,结构损伤容限性好。

### 2.4 整体式与组合式锁钩接头方案对比分析及选择

针对上述 2 种方案,对整体式锁钩接头和组合式锁钩接头从传力特性、装配、损伤容限特性及制造工艺性等方面进行对比。分析对比结果见表 1。

表 1 整体式锁钩接头和组合式锁钩接头对比分析

	整体式结构	组合式结构
优势	装配量小;传力性能好;零件数量少	好的装配补偿;不削弱主横梁;互换性好;损伤容限性好;零件制造简单
劣势	损伤容限性差;互换性差;界面协调复杂;从下主横梁穿过,削弱主横梁;零件制造复杂	装配量大;传力不直接;零件数量多

经上述对比分析,两种方案在特定的环境中都有各自的优劣势。整体式结构在扭力盒结构中有装配有优势;组合结构式在开敞环境中装配性能好。传力特性方面,整体式比组合式传力更直接。而组合式结构的损伤容限性、生产工艺性和互换性比整体结构更有优势。需根据设计约束条件和经济成本选择合适的方案。

支撑结构件有整体式和组合式,下面将继续探讨锁钩支撑件及其界面的设计。

### 2.5 波音 747 客改货货舱口框锁钩接头支撑件(组合式)

波音 747 客改货货舱口框锁钩接头支撑件由两个锁钩接头连接件、断框、“T”型角材、腹板和“L”型角材组成,具体结构形式如图 10 所示。该构型零件数量多、装配量大、装配复杂。复杂装配导致维修互换困难和增重等问题。该构型有单个零件制造简单的优势,“T”型角材、腹板和“L”型角材都可采用型材制造的加工方法。锁钩接头支撑件与下主横梁、蒙皮和地板横梁连接,该组合形式中的每个零件只有 2 个连接面,其装配补偿性好。2 个锁钩接头连接件与锁钩接头连接,将锁钩接头的载荷传到断框上。在波音 747 货舱口框构型中,下主/辅横梁平面与地板平面平齐,锁钩接头支撑件通过“T”型角材、腹板和“L”型角材组合件与地板横梁

连接。此组合结构形式中的每个零件可根据受力特点进行结构设计,选择损伤容限性好的材料,如 2024 铝合金材料,从而获得好的损伤容限性。

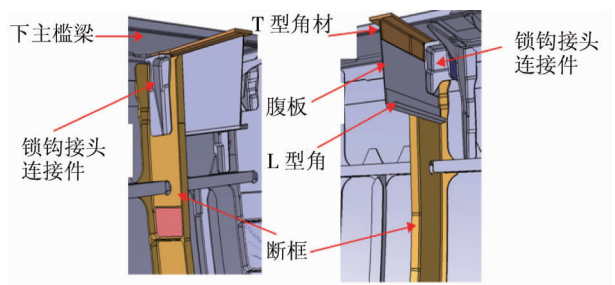


图 10 波音 747 客改货货舱口框锁钩接头支撑件

### 2.6 波音 767 客改货货舱口框锁钩接头支撑件(整体式)

波音 767 客改货货舱口框锁钩接头撑件为 7000 系铝合金整体双面机加件。双面机加的生产工艺性差,且 7000 系铝合金整体结构形式损伤容限性差,维修互换不经济。但双面机加件有零件数量少,减少装配量的优势。下主横梁为倾斜布局,补偿了地板横梁与下主横梁平面的高度差,锁钩接头支撑件受此布局影响设计简单。但主横梁倾斜布局使锁钩结构活动空间小,锁钩接头的装配要求高。锁钩接头支撑件采用桶形螺栓与下主横梁及锁钩接头进行连接,锁钩接头装配协调性好。锁钩接头支撑件过渡转折伸出与地板平行的“C”型端头,与地板横梁进行连接。锁钩接头支撑件与断框融合设计,实现多功能作用,且根据其受力特点,设置不同的加筋。具体结构形式如图 11 所示。该结构与蒙皮、下主/辅横梁和地板横梁连接,与蒙皮和下主横梁为主要连接;因辅横梁为组合结构,可协调装配该结构,与地板横梁连接则考虑加垫连接。总的来说,该结构装配简单,但需考虑靠近蒙皮处的加筋对装配可达性的影响。

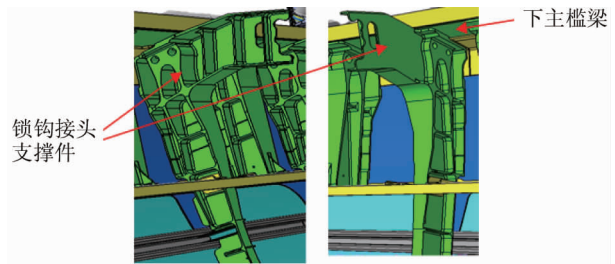


图 11 波音 767 客改货货舱口框锁钩接头支撑件



2.7 整体式和组合式锁钩接头支撑件方案对比分析及选择

对整体式锁钩接头支撑件和组合式锁钩接头支撑件从传力特性、装配、损伤容限特性及制造工艺性等方面进行对比。分析对比结果见表 2。

表 2 整体式锁钩接头支撑件和组合式锁钩接头支撑件对比分析

方案	优 势	劣 势
整体式结构	装配简单;装配量少;零件数量少;重量轻	损伤容限性差;零件制造复杂
组合式结构	好的装配补偿;损伤容限性好;单个零件制造简单	装配复杂;传力不直接;零件数量多;增重;装配量大

通过对两种方案进行分析对比,整体式比组合式更具有优势。整体结构方案比组合式结构方案零件数量少,装配量减少,装配简单,节省装配工时,重量较轻。在制造方面,组合式单个零件制造简单,比整体结构有优势,但是整体结构为铝合金机加,以现在的制造水平可以实现,不导致加工成本提高。虽整体结构损伤容限性不如组合式,但可根据强度建议,进行损伤容限性设计,从而满足设计要求。

3 某客改货货舱口框锁钩接头及其支撑件构型设计

由于下主槛梁布局与地板平行,与地板梁有高度差,且为双槛梁布局。在设计中,锁钩接头采用组合式结构设计,用抗拉型螺栓连接。用抗拉螺栓连接的原因是主槛梁与地板形成的台阶处空间大,不严格要求锁钩接头的装配公差。锁钩接头支撑件改进设计的具体结构形式如图 12 所示。锁钩接头支撑件为双面整体机加件。在锁钩接头下方,锁钩接头支撑件两侧设置加筋,对锁钩接头提供支撑,其中一侧的加筋进行削弱处理。锁钩接头支撑件伸出“C”型台阶端头,与地板横梁连接。在“C”型端头下方设有多条加筋,其中的斜筋连接下部缘条和“C”型端头。斜筋的设计增加了转折处的结构截面,提高锁钩接头支撑件的抗弯刚度。锁钩接头

支撑件下端做机加框结构设计,实现一件多功能的作用。

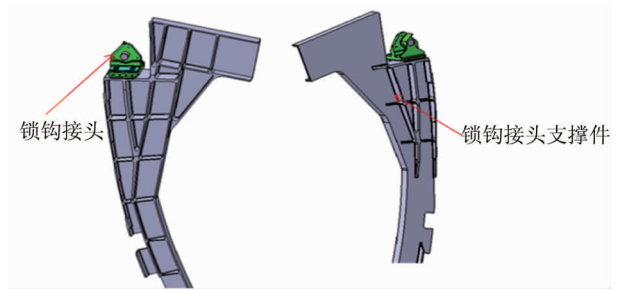


图 12 客改货锁钩接头组件

4 结论

客改货货舱门口框锁钩接头是客改货口框结构的重要组成部分,熟悉其受力特点和典型机型的构型设计方案,能够为其他机型客改货在概念设计阶段提供经验和设计思路,提高设计效率。本文针对某机型客改货特殊的布局进行设计,其他机型客改货设计需根据实际情况进行分析从而获得最佳设计。

参考文献:

[1] 孙立. 客改货市场一片繁荣[J]. 国际航空. 2008(1): 49-50.  
[2] JACKMAN Frank,孙立. 客改货市场的前景预测[J]. 航空维修与工程,2011(1):29.  
[3] 马维佳,刘文杰,马英杰. 民用飞机客改货改装技术研究[J]. 航空制造技术,2015(增刊2):23.  
[4] 杨先将. 客改货主货舱门口框结构设计浅析[J]. 科技创新导报,2015,12(33):35-36.  
[5] 牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 程小全,译. 北京:航空工业出版社,2008:262-264.  
[6] 《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,2001:262-264.

作者简介

徐 焕 女,本科,结构设计工程师。主要研究方向:结构设计;E-mail: xu. huan@ sacc. com. cn  
孙洁琼 女,本科,结构设计高级工程师。主要研究方向:结构设计;E-mail: sun. jieqiong@ sacc. com. cn