

# 民用飞机客改货改装技术研究

## Study on Modification Technology of Modifying Passenger Aircraft to Freighter

中航飞机股份有限公司西安飞机分公司 马维佳 刘文杰 马英杰

**[摘要]** 针对民航货运市场需求,结合民航机队现状,对民用飞机客改货中的改装技术进行了分析研究,对客改货的初步设计具有重要的参考价值。

**关键词:** 客改货 集装单元 拦阻网 货舱等级 适航

**[ABSTRACT]** Aiming at market requirements of civil aviation freight, combining recent situations of civil aviation fleet, the modification technologies of modifying passenger aircraft to freighter in civil aviation are analyzed and studied, which has important reference value for the initial design of modifying passenger aircraft to freighter.

**Keywords:** Modifying passenger aircraft to freighter ULT Arresting barrier Cargo compartment classification Airworthiness

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S2.023

随着全球经济持续发展和快递行业的迅速崛起,航空货运业务量呈现快速增长势头,对货运飞机的需求量也随之增加,全新生产货运飞机或者由现役客机改装成货机是增加货运飞机数量的两种主要方式。随着航空公司现役客机机队机龄的增加,载客运输的风险逐渐加大,老旧飞机如何处理也成了航空公司的难题,而客改货无疑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>[1]</sup>。本文对客机改货机的几项改装技术进行了研究,以期能对客改货项目有所帮助。

## 1 市场需求分析

随着航空运输业和快递业的迅猛发展,2014年,中国民航累计完成货运量593亿t,同比增长5.7%,增速比上年提高3.4个百分点,中国市场对货机需求不断增加,同时,国内各航空公司的客机陆续达到载客服役寿命,因此,本着节约成本提高飞机全寿命周期经济性的原则,可以预测新一轮的客改货热潮即将来临。

## 2 客改货改装技术分析

### 2.1 拆除旅客设施

改装为货运飞机时,首先需要将原客机与旅客有关的设施拆除,这样做的目的—方面是为了降低飞机使用

空机重量,增加货物装载量;另一方面,拆除了舱内的旅客设施后可尽可能增加货舱容积,提高空间的利用率。

一般需要拆除顶部行李箱、旅客座椅、厨房、旅客供氧设备、地毯等,拆除原客机装饰板换装简易装饰板或铝板。如果原客机的盥洗室布置在驾驶舱之后旅客舱之前,那么应该保留该盥洗室供机组或押货的工作人员空中使用。

### 2.2 货物装载能力的确定

对于确定的一架飞机来讲,改成货机后的最大装货能力为原客机的最大商载+拆除的设施重量-结构改装增加重量-货运系统重量,货舱容积与原客舱容积基本相同,因此在设计之初基本上就可以确定改装完成后货机的装载能力和货舱容积。根据货舱容积和最大货物装载量可确定最经济的货物密度。对于航空快递类货物一般的密度为 $160\text{kg}/\text{m}^3$ ;对于特殊类物质,通常只有在掌握要运输货物尺寸和重量详细数据的基础上,才能确定货物装载最佳方案,而这些数据应由用户提供。

### 2.3 货物装载形式的确定

改装后是用来装载散装货物还是集装货物这个主要取决于机身的截面积和集装单元最小尺寸,如国际上目前通用的最小的集装单元外廓尺寸为 $2340\text{mm} \times 1530\text{mm} \times 1630\text{mm}$ ,依据SAE AS1825,见图1<sup>[2]</sup>。机身当量直径小于1680mm的飞机则只能改装成散装货机。有的飞机既可以改装成散装货机又可以改装成集装单元的货机,如ATR-42、ATR-72、MA60、DASH-8等。对于横向可以并排布置两个集装单元以上的飞机,一般不建议改装成散装货机,因为大量散装货物的航向和展向运动给飞机机体改装和拦阻网或拦阻墙设计带来很大难度。

除此之外,必须考虑被改装飞机货舱地板与地面的高度。机场配备的标准货物升降台是否与该高度相匹配,如果不匹配则考虑改装成散装货机,避免为该型货机新研配套的地面装载设备,提高研制经费,增加运营局限性。

### 2.4 货运系统的选择

#### 2.4.1 散装货物货运系统

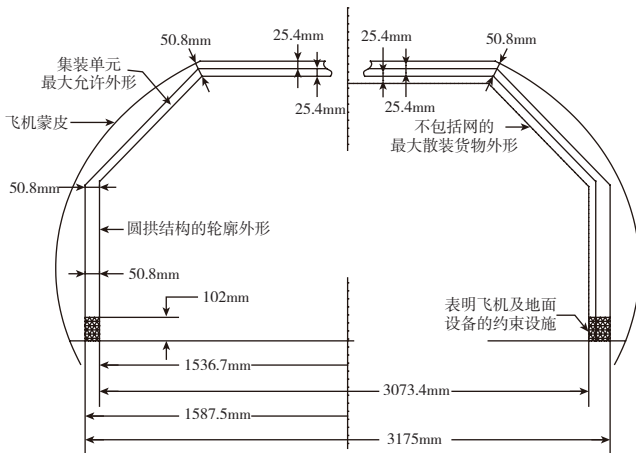


图1 最大允许装载外形

Fig.1 Maximum allowable unit load device contour

散装货物的特点是体积小、重量轻,可以不需要货运系统,仅在机身加强框上布置几道货物拦阻网,通过拦阻网将货舱分成几个独立的分区,将货物依次装在各个分区内,装卸货物可完全通过人工完成。然而为了降低工人装卸货物的劳动强度,也可在货舱地板上加装简易滚棒系统,从货舱门一直延伸至整个货舱,加上地面传送带配合装卸货物。

#### 2.4.2 集装货物货运系统

集装货物一般包括集装板和集装箱,而集装板和集装箱统称为集装单元。

集装单元货运系统包括:前向止动装置、后向止动装置、侧向限动锁和导向装置、前后向限动锁、货舱门门坎锁装置、网格状滚珠托盘以及9g拦阻网或拦阻墙。货运系统设计应符合NAS3610的II级限动要求(向前3g、向后及侧向1.5g、向上2.0g、向下4.5g)。

对于如波音737货机之类的主流机型,各航空公司配比较高,整个机型数量庞大,因此可以在改装成货机时安装一种货运系统,而对于配比较低的机型,如ATR72和MA600货机,为了最大限度提高业务量和改成货机的利用率,通常在货舱地板上安装一种以上适应不同尺寸集装单元的货运系统。

图2是某改装飞机为了兼顾装载LD3、LD2、223.52cm×156.21cm和223.52cm×134.62cm 4种集装单元的货运系统布置方案。

### 2.5 货舱门设计

货运飞机是一种主要执行航空货运的运输机,主要特征之一就是它除了登机门以外,还具有一个或者多个与货物或货舱大小相匹配的货舱门。有的大型货机,货舱可设置两个或两个以上的货舱门。另外,由于飞机性能不同,装运货物的性质不同,对飞机货舱的要求也各不相同,因此,货舱门的位置、外形尺寸及设计思路也各

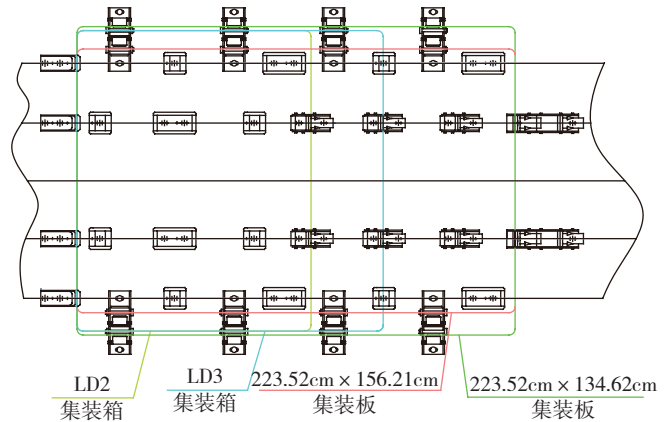


图2 某改装飞机货运系统布置

Fig.2 An aircraft cargo system layout

有差异。

#### 2.5.1 货舱门位置设计

货舱门的位置应设在既要满足飞机装卸货物的要求,又要保证装卸人员和飞机本身安全的位置。一般情况下,货舱门可布置在机头、机身背部和机身侧面3个位置。对于大型专用货机和军用飞机,为满足货舱的可达性要求,实现纵向装载,货舱门一般均设在机身头部或后部。设在机头的货舱门,多为代替机头整流罩,一般为向上开启,并另带货桥,货物可从机头直接进入货舱内。这种形式的货舱门在客机上改装难度大,很难实现。设在机身背部的货舱门,多为货桥式,前端铰接在货舱地板门坎上,向后向下打开,放下一端接地,即可代替货桥,实现纵向装载,此类货舱门一般外形尺寸大,结构形式复杂,要求具有足够的强度、刚度,同时锁紧装置比较复杂,气密货舱的舱门密封难度也比较大,在客机上改装会增加飞机阻力,降低飞机总体性能<sup>[3]</sup>。机身侧面货舱门常见于民航客机机腹货舱和客改货飞机,货舱门多是向上向外打开的,此类货舱门的优点是设计和改装难度较小,容易实现,适合在客机上改装。

当货舱门布置在机身侧面时,与机身前段相比,机身后段多为双曲面,受力情况更为复杂,一般要对货舱门开口处进行刚度补偿及强度分析,实现机身与货舱门刚度匹配,设计难度相对较大,因此,在同等条件下,优先将货舱门布置在前机身(等直段处),如波音737客改货机。

#### 2.5.2 货舱门尺寸设计

货舱门的外廓尺寸必须按货物的类型来选择,要易于装卸。对于客机改货机来讲,小型散装货物不需要单独重新设计货舱门,客机上原来的货舱门或服务门即可满足装卸货物的要求。而对于集装货物则需要根据集装单元的尺寸重新设计货舱门。

货舱门的尺寸没有强制要求,在集装单元尺寸的

基础上预留一定的间隙,使货物能顺利出入货舱门<sup>[4]</sup>。对波音、空客、DC 系列等 90 多种机型,150 余个主次货舱门尺寸与对应装载集单元尺寸的统计结果如图 3 所示。可以看出货舱门与集单元间隙差值比,高度方向比值在 2%~6%,宽度方向比值除少数机型(如:A300、A319、A380、波音 727 和 DC9 系列机型)比值在 15%~22% 外,大多在 6%~11% 之间。

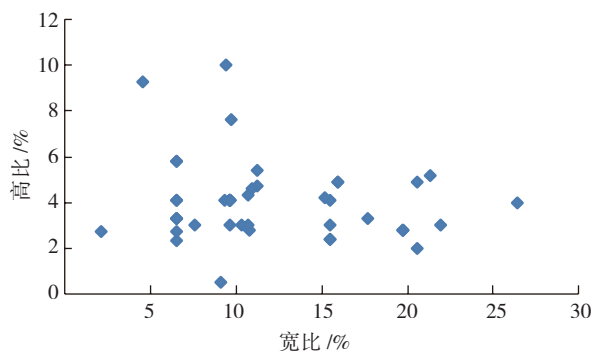


图3 货舱门与集单元间隙关系

Fig.3 Relation between the door and ULT interval

### 2.5.3 货舱门设计思路

货舱门作为集单元进出飞机的通道,应既可以从机内外采用电动方式开启关闭,也可以从机外采用手动方式开启关闭。货舱门与机体一般采用铰接形式连接。

对于在机身等直段的货舱门,只需要考虑门结构强度和开启机构设计,而在非等直段的货舱门外形为双曲面,零件多为钣金件,结构刚性弱,货舱门装配、安装完成后,与门框的外形阶差、间隙难以保证。为满足设计的外形技术要求,需要对货舱门的零件制造、组件装配、部件安装等各制造环节进行容差分配,严格控制产品的制造精度,对货舱门的交点、外形等重要部位严格控制。采用 CATIA 进行货舱门和机构的三维设计,通过计算机运动模拟、功能试验和静力试验等手段,对货舱门的设计进行验证。

### 2.6 9g 拦阻网设计

飞机货物限动系统属于 II 级限动,为保证货物前方乘员的安全必须增设承受 9g 过载的拦阻装置。大中型货机如波音 707F、波音 747-200F、A300-600F、A310-200F 以及国产运 -8F 等常采用拦阻网,小型飞机一般采用拦阻墙的形式。

拦阻网一般由横向网带、纵向网带和连接挂钩组成。网带为软式结构,通过挂钩与飞机结构框连接,挂钩应设计成能在狭窄区域内容易操作,并能实现快速装卸。各网带的载荷受自身变形、货物变形及机身结构变形影响较大。在极限载荷作用下,拦阻网的位移不能超过最大极限变形位置。试验证明,影响机身框平面内总

载荷的关键因素有两个,一个是拦阻网的网带长度,适当长度的网带长度可以减小框平面内总载荷;另一个是机身结构的 Z 向变形,加大了框平面内总载荷。因此,在拦阻网载荷计算时,除了对挂钩与机身连接框的结构进行强度校核外,还必须要对其前后的原机身结构进行强度校核,以免造成加强框前后机身原结构破坏或失稳,从而保证拦阻网横向网带受载均匀。将拦阻网挂钩和网平面设计在飞机不同的框平面,拦阻网受力较好。在网平面内,用不受力的网带上下与机身结构连接,起到将网平面拉直的目的,即“兜网”形式的拦阻网。

拦阻网设计的关键在于确定网的载荷分布情况。拦阻网网带为软式结构,只能承受拉力且受载时变形较大,各网带及机身接头的受力随网带变形不同而有较大差异,为了尽可能准确地模拟拦阻网受载变形时各网带受力,应考虑机身结构变形和网带刚度的变化对拦阻网载荷计算的影响。针对拦阻网软式结构的特点,应用 MSC/NASTRAN 软件中非线性模块对其进行载荷计算。将网带简化为 CBEAM 元,将集单元简化为实体元,集单元与拦阻网接触通过刚体元连接,载荷通过刚体元施加到集单元上,通过  $P_n = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$  ( $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  分别为 X、Y、Z 方向载荷)得出拦阻网受载情况。

计算有限元模型见图 4。试验证明,网带缝纫过厚不仅会造成拦阻网网带直接承载能力降低,也造成严重的缝纫损伤。为减少纵向网带(非主受力网带)受力时对横向网带(主受力网带)的影响,横向网带仅在闭合点缝线,纵向网带上、下缝纫,横向网带从纵向网带的孔中穿过,可保证横向网带受力的均匀性。辅点网带(不受力网带)与其中一层纵向网带缝纫,既能维持拦阻网形状,又不损伤受力的横向网带。缝纫形式如图 5 所示。

在拦阻网连接挂钩设计时,根据 CCAR-25-R3 中 § 25.561(c)(2) 条款的规定,挂钩的设计载荷为通过拦阻网载荷计算得到的最大单根网带载荷放大 1.33 倍,连接件均取 1.15 倍的接头系数。

### 2.7 货舱等级

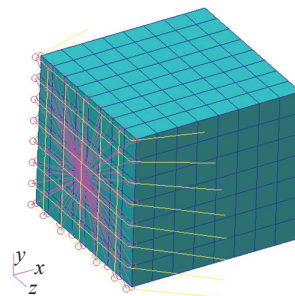


图4 计算有限元模型图

Fig.4 Computational finite element model

(下转第 29 页)

制造的新思维,努力建立起适应于基于模型企业的能力。

根据对基于模型企业的理解和在信息化实践中的经验,图2描述了建立基于模型企业的能力架构,说明了业务、数据、信息、保障等方面关键的能力要求,可以供企业开展相关的能力建设工作作为参考。

业务能力要求企业建立完整的产品开发、工艺设计、生产、总装调试以及大修维护各个环节的数字化能力,这些能力包括:清晰的业务流程、完善的管理规章、人员岗位的任职能力、设备的生产能力等。实现从传统模式到三维数字化模式的转变。

数据能力要求首先实现三维数据定义,包括产品、工艺、质量等,然后在此基础上实现三维数据的应用,包括在车间现场查询、浏览各种信息,并将实际的完成情况用结构化的数据进行反馈,形成完整的数字化信息链条。同时,还需要建立完善的支持三维模型的一系列标准规范体系。

信息系统能力要求信息系统具备完善的三维数据处理能力,包括业务实现能力、信息展现能力、系统集成能力等,要能够支持三维模型数据的定义、管理、展现,围绕三维模型开展不同系统的集成。

保障能力要求在信息安全、人员培训、网络建设等方面满足以三维模型为核心的需求,支持相关的活动能顺利进行。

走向基于模型企业的过程中,选择适当的专业咨询公司作为合作伙伴,共同组建项目团队,借助其技术优势和实施经验,有助于企业更好地向基于模型的企业迈进。

#### 4 结束语

企业的不断成功源于在每个关键机遇期作出正确的抉择。对于中国制造企业来说,如何面向未来,迎接信息时代的到来,是必须面对的一个挑战。树立数字化企业的思想,实现数字化思维,在基于模型的企业思想指导下,全面部署企业的数字化战略,是企业迈向数字化的关键所在。

#### 参考文献

- [1] 陈绍文. MBE 是制造企业信息化的新起点. 航空制造技术, 2013(18):58-62.
- [2] 范玉青,梅中义,陶剑. 大型飞机数字化制造工程. 北京:航空工业出版社,2011.
- [3] 西门子. 西门子 MBE 解决方案综述. 国防制造技术, 2013(1):34-37.
- [4] 贾晓亮. 关于 MBD 技术在我国航空制造业应用的几点思考. 航空制造技术,2013(3):50-54.

(责编 李丹)

(上接第 25 页)

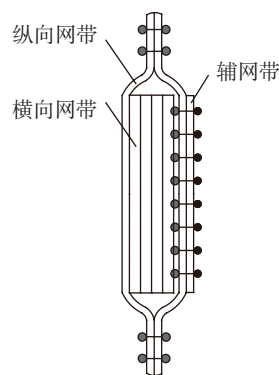


图5 拦阻网缝绉形式

Fig.5 Arresting barrier sewing form

按照 CCAR25.857 条款要求,货舱一般分为 A、B、C、E 4 个等级,设计要求依次降低。A 级货舱要求货舱内有视频监控系统,能给机组实时影像信号,且货舱内有机组用于灭火的通道; B 级货舱要求有烟雾探测、火警探测及告警系统,货舱内有机组用于灭火的通道等; C 级货舱要求有烟雾探测、火警探测及告警系统,有从驾驶舱处可操纵的固定式灭火或抑制系统等; E 级货舱仅要求有烟雾探测、火警探测及告警系统,有从驾驶舱处可切断的通风系统等<sup>[5]</sup>。

客改货应以最小的成本达到改装的目的,因此按 E 级货舱设计难度最小、周期最短且最经济。

#### 3 结束语

民用客机在改装为民用货机时,除上述改装外,还需进行机体结构防腐处理、机身结构加强、舱内地板结构加强、加装烟雾探测系统、在货舱门附近和驾驶舱增加货舱门控制系统、加装货舱照明、货舱内货物装载标记以及重量平衡计算等,在此不一一赘述。

需要强调的是,改装必须按照民航适航规章 FAA 或 CCAR 等适航要求进行,所有改装技术均应满足适航规章的要求,并通过 MC0 至 MC9 10 种验证方法进行符合性验证,确保所有改装项目安全可靠。

#### 参考文献

- [1] 陈文玲. 民航货物运输. 北京:中国民航出版社,2006.
- [2] Methodology of calculating aircraft cargo volumes. SAE AS1825, 2008.
- [3] 于素莲. 货运飞机专用技术设计指南. 北京:航空工业出版社,1996.
- [4] 臧忠福. 航空货物运输装载技术手册. 北京:中国民航出版社,2004.
- [5] 民航局令第 209 号. 中国民用航空规章第 25 部运输类飞机适航标准,2011.

(责编 大漠)