

民用运输机集装箱货物装载技术综述

贾涛*, 南盟, 朱鹏飞, 顾卫平

庆安集团有限公司, 陕西 西安 710077

摘要: 通过对民用运输机集装箱货物装载技术进行阐述, 重点介绍系统技术定义、系统类型和技术特征分析、系统发展趋势分析。同时, 结合当前集装箱货物装载技术行业的发展现状, 提出了先进民用运输机集装箱货物装载技术研究和系统设计内容。这不仅有助于对货物装载技术进行理解和掌握, 更为指导国内货物装载技术研究、系统设计研发具有一定的工程实用价值。

关键词: 民用运输机; 集装箱货物; 装载技术; 研究内容; 综述

中图分类号: V353 文献标识码: A DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2018.05.001

随着国内大型商用运输机的快速发展, 对民用航空货物装载系统提出了更高的要求。然而, 我国民用航空起步较晚, 对货物装载系统的需求较少, 国内基本没有研究成果, 也未形成研发体系及技术能力。从系统需求、系统设计、系统集成验证、系统交付及售后服务等与国外技术水平存在较大差距, 无法支撑满足中国民用航空局 (CAAC)、美国联邦航空局 (FAA) 和欧洲航空安全局 (EASA) 要求的系统级产品的研发。随着国内人力成本的不断上涨、货物运输量的不断增加、乘客对飞机准点率要求的不断提升, 国内用户对货物的装卸效率要求将不断提高, 使得国内民用运输机集装箱货物装载技术的研究迫在眉睫^[1-3]。

1 民用运输机集装箱货物装载技术概述

1.1 民用运输机集装箱货物装载技术

民用运输机集装箱货物装载技术是根据民用运输机集装箱化物资的运输需求, 构建满足国际航空运输协会 (IATA) 规定的航空集装箱单元 (Unit Loading Device, ULD) 的自动化装卸及空运系统。该技术可实现动力传输及状态监控、可靠锁定、定向传输与路径控制、故障诊断、位置检测及显示、货舱维护与显示等功能, 从而完成 ULD 从舱外自动装载至舱内并可靠运输至目的地^[4]。

1.2 航空集装箱单元和民用运输机集装箱货物装载系统

航空集装箱单元是物资集装箱化的载具。对于航空集装

单元空中运输主要依靠各型民用运输机实现。航空集装箱单元类型按照 IATA 规定主要包括 LD-1/2/3/4/6/8/9/11/26 及 LD3-45 等多类型集装箱和 PAx 系列 (223.52cm)、PMx 系列 (243.84cm) 等集装板。根据不同机型货舱结构, 选装不同类型和数量的 ULD, 即可实现货物集装化运输^[5]。

民用运输机类型多样, 具备集装化运输能力的民用运输机主要包括支线货机、大型窄体 / 宽体客机、客货混装机、客货快速转换型机及全货机。涉及到的机型有: 大型窄体客机 A320、大型宽体客机 A330/340/A350/A380、波音 747/波音 767/波音 777/波音 787 等; 波音 747-200COMBI 客货混装机, 波音 747-200F 全货机, 波音 737-200F/QC 全货机和客货快速转换型机等。民用运输机通过货物装载系统实现集装化装载及运输, 如图 1 所示, 可提高货物装载效率, 缩短货物周转时间, 提升飞机及操作人员安全, 降低装卸人员数量及劳动强度, 如图 2 所示。

目前, 广泛应用技术成熟的货物装载系统采用分散动力构型, 如图 3 所示。基于分散动力构型的货物装载系统通过非动力传输设备支撑 ULD 并减小其在移动过程中的摩擦阻力, 按照一定的规则及方法将动力驱动单元分散布置于系统内相应位置, 通过其实现 ULD 在货舱内的动力传输; 利用导向设备控制 ULD 的移动方向; 利用锁定设备将 ULD 限制并锁定在货舱内相应位置。

收稿日期: 2018-03-21; 退修日期: 2018-04-03; 录用日期: 2018-04-09

* 通信作者. Tel.: 15399449825 E-mail: 447064794@qq.com

引用格式: Jia Tao, Nan Meng, Zhu Pengfei, et al. Overview of containerized cargo loading technology for civil transport aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29(05): 01-07. 贾涛, 南盟, 朱鹏飞, 等. 民用运输机集装箱货物装载技术综述 [J]. 航空科学技术, 2018, 29(05): 01-07.



图1 民用运输机装载场景
Fig.1 Loading scenes of civil transport aircraft

货物装载系统是民用运输机实现集装箱化装载及运输的关键任务系统,布置于运输机主舱或腹舱内,用于实现各型航空集装单元在货舱内的动力传输、定向移动及可靠限位。根据机型不同,货物装载系统形成了两种截然不同的形式:(1)以全货机/宽体客机为对象;(2)以客改货机型为对象。

一般情况下,大中型货机可实现大量集装物资(一般大于45t)的装载和运输。对于大中型货机主舱货物装载系统,可装载基本涵盖IATA规定的多种类型的集装单元,如图4和图5所示,其特点体现在:系统装载方案及系统架构复杂,系统设计与飞机结构承载能力联系紧密,具有先进的货舱管理控制系统,应用数量庞大的双自由度电源分配单元(PDU)及7.62cm单自由度PDU,建立基于GPS技术的远程维护动力系统。



图2 先进货物装载系统(波音747)
Fig.2 Advanced cargo loading system (Boeing 747)



图4 大中型货机主舱货物装载系统
Fig.4 Main cargo loading system of large and medium-sized cargo plane

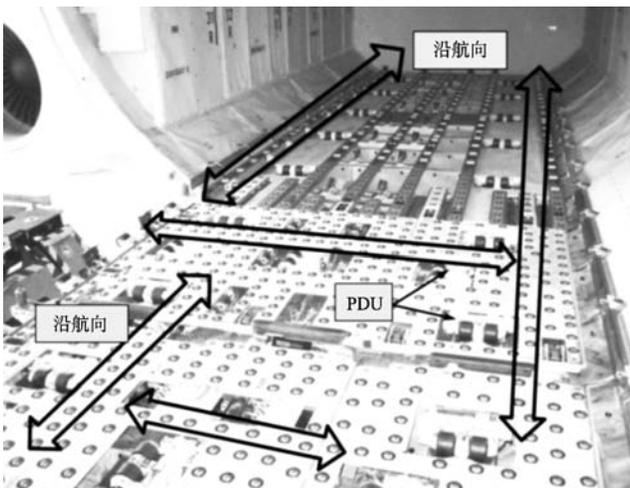


图3 分散动力构型的货物装载系统
Fig.3 Cargo loading system with distributed power configuration



图5 宽体飞机腹舱货物装载系统
Fig.5 Cargo loading system of wide-body aircraft belly

由于部分客机老旧,不适应人员运输或航空公司为扩大飞机应用领域等方面的考虑,促使航空公司将部分客机通

过改装,形成货运型飞机或客货快速转换型飞机,以扩大货运能力,为航空公司带来利润。

货运型改装一般通过主机厂所或飞机改装公司完成,由货物装载系统专业厂所提供全套系统解决方案。对于客改货机型货物装载系统,特点体现在:系统架构设计规整,以座椅滑轨作为系统接口,可减小与飞机结构交联;具备客货快速转换;采用 5.08cm 单自由度 PDU 驱动方案;采用先进货舱管理控制技术,如图 6 所示。

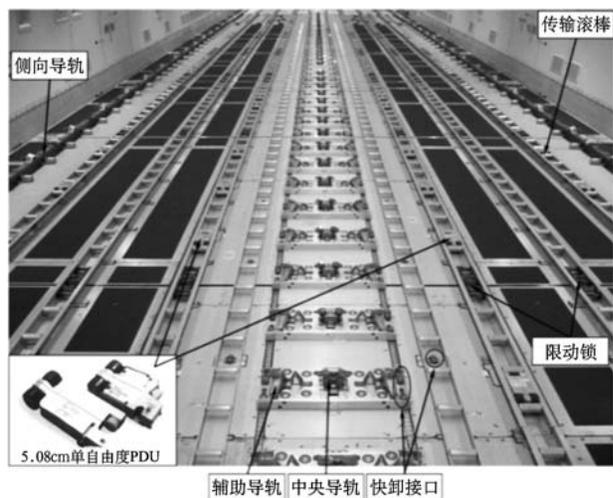


图 6 客改货机型货物装载系统

Fig.6 Cargo loading system of the passenger changing cargo model

1.3 民用航空货物装载系统典型特征

经过多年的技术积累,逐渐形成了以“分散动力、到位驱动、定向传输、可靠限动”为典型特征的货物装载系统设计架构。此种构型方案的设计思路体现在系统的组合化方面,要点在于开发系列化、通用化、模块化的功能部件,通过对不同功能部件的合理搭配/组合,实现不同系统布局需求、运载对象的传输/限动需求。通过采用分散动力构型的货物装载系统,可大幅缩短研制周期,缩减研发费用,提高市场竞争力。

基于分散动力构型的货物装载系统,一般由货舱管理控制分系统、动力驱动单元、非动力传输设备、锁定设备、导向设备、阻尼设备及传感器等组成。

(1) 货舱管理控制分系统

货舱管理控制分系统由货舱管理控制计算机、控制面板及传感器等组成,通过对传感器信号进行判断,实现系统运行控制、系统状态监控、信息通信与交互、故障检测与反馈、位置检测及显示、货舱维护与显示等功能。

(2) 动力驱动单元

动力驱动单元是为 ULD 在货舱内的移动提供驱动力。

(3) 非动力传输设备

非动力传输设备包括数量众多的非动力传输滚棒和万向传输设备,具有支撑 ULD 的功能,并减小 ULD 在传输过程中的阻力。

(4) 锁定设备

锁定设备包括单向限动锁、双向限动锁、末端止动器、防滑出装置等,将 ULD 可靠限动在预定位置,防止对飞机或人员造成损伤或产生安全隐患。

(5) 导向设备

导向设备包括侧向导轨、横向导轨及中央导轨,可实现地面装卸期间 ULD 在货舱内的定向传输,并能够提供 ULD 的侧向限动。

(6) 传感器

传感器包括 ULD 位置检测传感器、PDU 热传感器、接近传感器等,可将 ULD 位置、限动设备状态、PDU 状态及电气系统状态等方面信息反馈至货舱管理控制计算机,并通过人机交互界面反馈给操作人员。

1.4 民用航空货物装载系统发展趋势

货物装载系统设计架构已相当完善,系统已达到相对稳定阶段。随着新技术在民用航空领域的应用,货物装载系统技术、功能也同步地进行了提升和扩展,如基于 GPS 的系统远程维护技术的应用,极大地提升了系统维护水平和系统售后服务水平;通过厚膜电路技术的应用,使动力驱动单元的自动化水平进一步提升,体积进一步缩小。

基于全球电子商务的快速发展,为提升航空物流效率,国外已经全面开展了民用航空货物装载系统装卸效率的提升,如系统高速驱动技术的开发和应用。

随着系统集成供应商能力的不断提升,为全面开发最优化的货物装载系统,国外已经开展了货物装载系统集成化、模块化设计技术研究,如宽体机模块化系统集成技术的研究和应用。

2 民用运输机货物装载技术研究内容

民用运输机货物装载技术是影响物流流转效率的关键技术。应用货物装载技术可实现民用运输机集装化装卸功能和空运功能,通过采用先进技术,能够进一步提高运输机 ULD 地面装卸环节效率。

民用运输机货物装载技术研究不仅要考虑基本的 ULD 装卸功能、系统可靠性和系统安全性,还要考虑如何通过应用先进技术提高装卸效率,进一步减少飞机地面等待时间。

2.1 基于分散驱动技术的系统功能研究

(1) 系统装载方案设计技术

系统装载方案设计是开展系统架构设计的基础,提出最优的ULD装载方案,以确保货舱空间利用率的最大化,进而提高运输经济性。根据运输机载重限制、飞机重心范围、货舱结构尺寸、货舱门框尺寸等因素,并结合不同类型ULD的尺寸及最大载重,开展系统装载方案设计及权衡分析,提出不同类型ULD及其组合的最优化装载方案及限制装载方案,为系统架构设计的开展提供基础^[6]。

(2) 基于分散驱动技术的系统架构设计技术

根据飞机货舱结构尺寸、货舱装载范围、ULD装载方案、供电形式、地板承载能力等,并结合经济性、安全性、可靠性、维修性等要求,同时参考专业标准、规范、专业书籍等开展系统架构权衡研究,形成满足用户要求和适航要求的最优化设计架构方案,如图7所示。

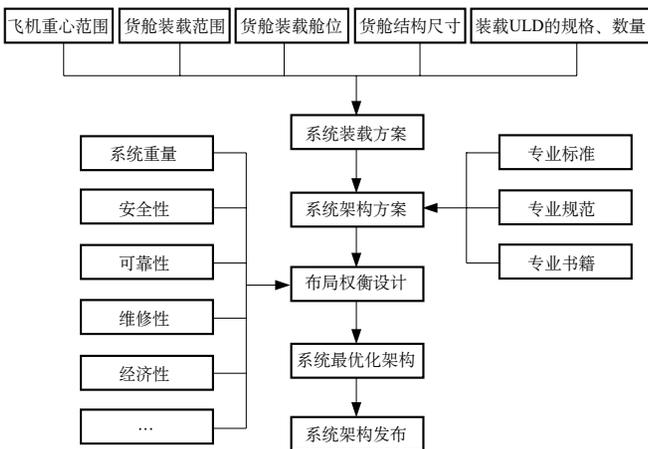


图7 系统架构研究内容及流程

Fig.7 Research content and process of system architecture

(3) 分散动力驱动技术

民用航空货物装载系统配套PDU采用标准化、通用化的设计思路,形成系列化产品。系统设计时,根据ULD规格,选用对应驱动能力的PDU,并对PDU的数量进行合理布局,即可实现不同规格ULD的动力传输。分散动力驱动技术研究的主要内容是PDU最优化布局方法研究。根据装载方案,考虑ULD所需驱动力与PDU驱动力之间的关系、PDU与PDU之间的影响因素、系统传输效率等,提出能够实现系统功能、性能及经济性的分散动力驱动的方案。

(4) ULD传输稳定性技术

系统传输稳定性是保证ULD装卸的基本要求,其不

仅是系统正常运行的重要指标之一,也是保证系统装卸效率的前提保障。系统传输稳定性依靠系统内多个分系统的高度集成化实现,其表现为系统传输平稳性和系统传输可靠性两个方面。ULD在货舱内的传输主要依靠非动力传输设备对其进行支撑和传输,与ULD的匹配性对系统传输稳定性起决定作用,应重点开展ULD与非动力传输设备的动态接触率、传输静摩擦和动摩擦因数、ULD与导向分系统间的间隙、导向分系统与ULD间的摩擦因数等方面研究。

(5) ULD限动可靠性技术

ULD的可靠限动是系统实现ULD空中运输的最根本要求,也是最高要求。空运过程中ULD的可靠限动由限动设备(包括锁定设备及导向设备)保证。系统设计时,需综合考虑系统架构、重量因素及成本因素等,开展限动设备可靠性技术及安全性研究,应重点开展基于负载的限动设备构型技术、基于安全性的限动技术、余度设计技术等方面研究。

(6) 宽体机模块化系统集成技术

将机身结构、货物装载系统及货舱地板等进行全面集成,形成模块化、标准化单元,通过与飞机机身结构铆接,快速拼装一套货物装载系统。涉及飞机隔框设计架加工技术、系统架构设计技术、系统载荷分析技术、系统强度分析技术等。

2.2 基于高可靠性的系统性能研究

(1) 基于低能耗的系统控制技术

对于采用分散驱动架构的货物装载系统,动力驱动单元配套数量由几个到上百个。如同时工作,将对系统能耗要求提出较高要求,因此,采用到位驱动控制方案能够极大地降低系统的能耗。

(2) 系统高速驱动技术

当前,货物装载系统电驱动传输速度为18m/min,为进一步提升系统装卸效率,开展电传输速度达到30m/min的系统级产品。在系统重量不高于当前水平的条件下,增加系统载荷及传输速度,需要开展限动设备强度、传输设备寿命、动力驱动单元性能指标等方面的技术研究。

(3) 系统载荷分配技术

系统载荷分配技术的核心是根据系统布局方案、使用工况及运行环境等因素,提出准确的载荷参数,以指导分系统/部件开展设计研究。对于系统载荷分配技术,重点开展载荷复杂性和特殊性分析技术研究、系统机械环境载荷分析技术研究。

(4) 标准化通用化功能部件技术

开发标准化、通用化的高性能部件是货物装载系统设计的基础,如动力驱动单元已形成了专用设计规范,对其性能指标、结构尺寸、机械/电气接口等方面均形成了相应要求,以确保不同厂商提供产品的一致性;传输滚棒以长寿命、轻量化、标准化的思路,形成了 225kg、450kg、675kg、900kg、2250kg 等不同承载能力的系列化、标准化产品,以便于系统设计时不同位置选用不同承载能力的产品。通过标准化通用化功能部件应用,可大幅提升系统性能指标、缩短研发周期和降低开发成本。

(5) 高可靠性关键部件技术

关键部件可靠性是影响系统可靠性的关键因素之一。如动力驱动单元,其可靠性指标需要达到 40000h 以上,必须采用集成化设计及先进技术,才能确保提升其可靠性指标。对于系统可靠性研究,随着技术和工艺的发展,经典的可靠性理论已经不能适应新的形势。一方面,商用卸货越来越多的使用;另一方面,研发周期的缩短和产品更新换代的加快。这两个方面都使得进行高效、适用的可靠性研究非常必要。民用航空货物装载系统规模庞大,零部件众多、负荷重、运行环境恶劣,结合这些特点和国外相类似产品先进经验,提出高效、适用于民用航空货物装载系统的可靠性设计方法和工具,对系统研究和开发作用显著。

(6) 系统集成验证技术

对于每个装载位的 ULD,需通过传输设备、限动设备和导向设备共同对其进行支撑或限位,才能可靠实现 ULD 的限动功能。在空运过程中,系统承受来自于 ULD 对其形成的不同方向的振动冲击载荷。如将系统拆解为单个部件开展机械环境验证,不能完全近似的标准系统的真实工况,如全系统开展机械环境验证,则因系统过大无法开展。鉴于此,基于单个装载位构建机械环境试验模块,开展系统机械环境验证。在系统设计初期,需要对系统验证方法及实施方案进行详细研究,才确保系统机械环境验证的可实施性。

2.3 基于 CAN 总线的系统控制技术研究

(1) 基于 CAN 总线的系统控制技术

民用航空货物装载系统控制分系统架构以 CAN 总线为基础,通过信息交互实现对大量动力驱动单元的位置判断、状态监控及故障反馈,重点开展 CAN 总线在线配置技术研究、基于总线的故障检测及反馈技术研究、系统维护与显示技术研究。

(2) 基于安全性的系统控制律优化

基于安全性的系统控制律优化是民用航空货物装载系统设计关键点之一。结合系统装载方案、系统布局方案,开展系统工作时序、系统操作时序研究,提出系统控制律及其优化方法。

(3) 系统维护和显示技术

通过系统配置的货舱维护显示单元实现系统维护和显示,能够为操作人员提供准确、快捷的系统维护指示。主要涉及系统故障隔离及警示、系统故障检测及判断、系统故障存储及调用显示等方面技术研究。

(4) 基于 GPS 的系统远程维护技术

将系统内动力驱动单元、锁定设备、导向设备的信息逐级反馈给系统控制器、飞机资源控制计算机;利用互联网及 GPS,将收集的信息及时反馈给地面管理中心,使地面人员能够及时掌握系统运行状态。如需更换备件,需要提前进行相关备件更换准备,以减少飞机在停机坪的等待时间,如图 8 所示^[7]。

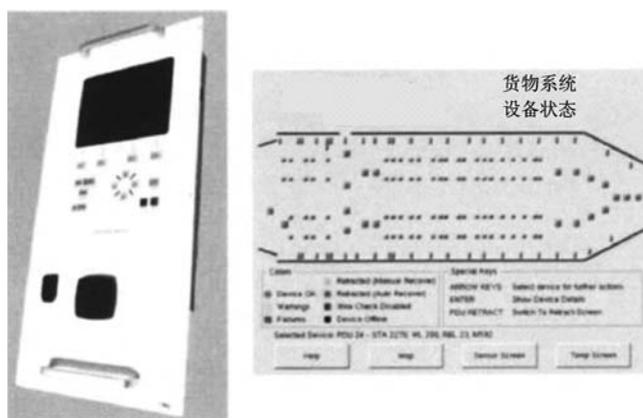


图 8 基于 GPS 的系统远程维护技术

Fig.8 System remote maintenance technology based on GPS

3 民用运输机货物装载系统设计内容

3.1 系统架构设计

随着我国民用运输机的快速发展及电子商务的发展,对民用航空运输的效率要求进一步提升,促进了我国民用航空货物装载系统的发展。

对于货物装载系统架构设计,系统工程是构建系统架构的首选方法。以民用运输机集装化装载的快捷性为顶层需求,以国际通用标准作为设计规范,以适航性作为系统设计基础,针对不同机型顶层要求及装载方案,从地面装载、空中运输到地面卸载,从智能化仓储、自动化机场货物装卸平

台、智能化 ULD 分检 / 分类系统、近程标注系统到自动化货物装载系统的应用,分析系统全过程所有要素,评估货物装载系统设计架构优化的可能性。以装卸时间、人员数量、系统能耗、系统交互、系统健康管理为研究对象,构建货物装载系统,提出全面的、满足飞机顶层要求的系统功能,通过开展系统重心位置、系统安全性、系统可靠性、系统维修性、系统重量等权衡,提出系统指标参数。

3.2 系统安全性设计

民用航空货物装载系统与运输机的安全性息息相关,是贯穿系统整个生命周期的关键点。系统内限动设备是确保 ULD 空运安全性的重要保障,其损坏将对飞机及人员造成重大损伤,需对其安全性进行分析研究^[8]。

国内外适航规章均对机载设备安全性有明确、严格的要求,在 AC25-1309-1B 中定义了民用飞机系统的安全性要求,对于系统故障“危险”级的事件,其失效概率都要小于 10^{-9} 。鉴于此,开展货物装载系统安全性分析,实现系统安全性评估,确认系统安全性是满足适航性要求的重要内容。

3.3 系统经济性设计

良好的经济性是提高民用航空产品市场竞争力的重要因素之一。国外专业厂家研制的货物装载系统及关键部件,均采用当前全球先进的技术,以提升产品的性能、降低产品的重量;另外,国外通过标准化、通用化的设计手段,形成了专业化、系列化的产品发展模式,通过此种方法对产品的经济性进行控制,最大限度地降低产品的成本,提高市场竞争力。

鉴于此,国内在进行民用航空货物装载系统开发时,应对国外产品的经济性控制方法进行深入研究,提出适用于系统经济性控制方法,以提高该产品在民用航空领域的市场竞争力。另外,加强项目研制成本的控制,提出合理的经济性分解方案,指导核心部件的设计及研制,降低系统的研制经费及研发成本。

3.4 系统标准化和模块化设计

基于分散动力驱动架构的货物装载系统,设计思路体现在系统的组合化方面,重点在于开发系列化、通用化、模块化的功能部件,通过对不同功能部件的合理搭配 / 组合,实现不同系统布局需求、运载对象的传输 / 限动需求。

在系统开发过程中,应以国际通用标准为基础,建立系统标准化发展规划,开发高性能的系列化产品,构建系统模块化设计基础,从而实现缩短系统研发周期、降低系统研

发成本、提高系统性能指标,全面提升系统在国际市场的竞争力。

3.5 关键产品的创新性设计

自 1966 年古德里奇 (GoodRich) 公司研制的弧形货物装载系统在波音 747 上的应用开始,国外在该领域面已积累了几十年研制经验,不仅形成了系列化产品,并且形成了完善的知识产权保护及专利布局。如核心部件动力驱动单元,特雷尔 (Telair)、古德里奇和 ANCRA 等已形成了各自的产品体系,并形成了大量的知识产权。

我国民用航空货物装载系统相关研究起步较晚,相关的研究成果较少,要进入民用航空货物装载系统领域,就需要在关键部件的创新性方面加大研发力度,突破国外技术壁垒,形成具有自主知识产权的核心部件的研发能力,才能有资格进入该领域与国外同行进行竞争。

4 结束语

我国民用航空运输起步较晚,国内民用运输机集装货物装载技术积累几乎为零,与国外差距较大。本文结合型号研制及技术研究过程中的技术积累,对民用运输机集装货物装载技术进行总结和梳理,为我国民用航空货物系统的发展提供研究思路。

AST

参考文献

- [1] 方舒. 航空货运机的角逐 [J]. 国际航空, 1995(8): 35.
Fang Shu. Competition for air cargo planes[J]. International Aviation, 1995(8): 35. (in Chinese)
- [2] 曹允春, 李杨, 许诚. 航空货运市场 2015 年回顾与 2016 年展望 [J]. 重庆交通大学学报, 2016, 16(2): 50.
Cao Yunchun, Li Yang, Xu Cheng. Air freight market review in 2015 and outlook in 2016[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2016, 16(2): 50. (in Chinese)
- [3] 蒋建华. 我国航空货运市场面临的机遇与挑战 [J]. 国际航空, 1997(1): 5.
Jiang Jianhua. Opportunities and challenges for China's air cargo market[J]. International Aviation, 1997(1): 5. (in Chinese)
- [4] 中国航空工业总公司. 货运飞机专用技术设计指南 [S]. 北京: 航空工业出版社, 1996: 307.
Aviation Industry Corporation of China. Technical design guidelines for cargo aircraft[S]. Beijing: Aviation Industry Press, 1996: 307. (in Chinese)

- [5] 中国民航总局航空安全技术中心. 航空货物运输装载技术手册 [S]. 北京: 中国民航出版社, 2004: 1264.
Aviation Safety Technology Center of CAAC. Loading technical manual for air cargo transport[S]. Beijing: China Civil Aviation Press, 2004: 1264. (in Chinese)
- [6] 张丽霞. 航空货运飞机装载问题研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
Zhang Lixia. Research on aircraft loading problem of air cargo[D].Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012. (in Chinese)
- [7] Huber T, Holzner R. Cargo deck and a method for assembling said deck .US: US8226034B2[P].2012.
- [8] 徐刚. 浅谈货机装载相关安全问题 [J]. 空运现场, 2017,204: 19.
Xu Gang. A brief discussion on cargo loading related safety issues[J]. Air Field, 2017, 204: 19. (in Chinese)

作者简介

贾涛 (1986—) 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 货运系统技术研究。

Tel: 15399449825

E-mail: 447064794@qq.com

南盟 (1983—) 男, 学士, 高级工程师。主要研究方向: 货运系统技术研究。

Overview of Containerized Cargo Loading Technology for Civil Transport Aircraft

Jia Tao*, Nan Meng, Zhu Pengfei, Gu Weiping

Qingan Group Co., Ltd., Xi'an 710077, China

Abstract: This paper mainly introduced the loading technology of the containerized cargo of civil transport. It focused on the definition of the system technology, the analysis of system types and technical characteristics, the analysis of the system development trend. At the same time, combining with the current situation of the development of the loading technology industry, the paper finally proposed the research content and system design content of the advanced cargo loading technology for civil transport aircraft. This not only helps to understand and master the cargo loading technology, but also directs the research of domestic cargo loading technology and system design and development, which has certain practical value for engineering.

Key Words: civil transport; containerized cargo; loading technology; research contents; overview

Received: 2018-03-21; **Revised:** 2018-04-03; **Accepted:** 2018-04-09

*Corresponding author. Tel.: 15399449825 E-mail: 447064794@qq.com