

# 大型客机机身结构设计中 自动化装配技术的应用研究

Application of Automatic Assembly Technology in Large Aircraft  
Fuselage Structure Design

上海飞机设计研究院 程 凯



程 凯

研究员,毕业于西北工业大学飞机系,长期从事飞机结构设计工作,目前在上海飞机设计研究院参加ARJ21-700、C919飞机的研制工作。

目前,大型客机(C919飞机)已通过初步设计评审,进入详细设计阶段,飞机总体设计要求以及结构初步设计方案已经确定,其中大型客机总体设计目标中有关结构设计方面的技术总要求主要包括以下内容。

大型客机在可行性研制初期对结构装配就提出了自动化装配的需求,随着项目的逐步深入,在结构设计中进一步明确采用自动化装配的要求;同时在设计阶段从设计流程、产品数字化设计等方面为自动化装配技术的实现奠定了良好的基础;同期开展的关键技术应用研究工作,为自动化装配技术的实现提供了有效的技术途径。

## (1) 适航要求。

满足申请之日有效的中国民用航空局(CAAC)相关适航要求,同时满足美国联邦航空局(FAA)、欧洲航空安全局(EASA)适航要求以确保安全性。

## (2) 寿命要求。

采用损伤容限设计准则,经济服务寿命不低于90000飞行小时/60000飞行循环(飞行起落)/30日历年;腐蚀保护应有很高的品质,对如厨房、盥洗室和货舱下的结构的易

腐蚀区域的保护应额外关注。

## (3) 重量要求。

充分考虑采用先进的结构形式、先进材料体系和制造工艺,减轻飞机结构重量。每座制造空重应较目前运营中的同级别飞机低1%~2%。

## (4) 材料要求。

先进轻质材料(包括复合材料、铝锂合金、钛合金等)用量不应低于飞机结构重量的25%~35%。

与国外竞争机型(A320、波音737飞机)对比,在设计目标和技术

要求上有了较大的提高,但是要实现以上的研制目标,需要在设计、制造等方面采用大量的新技术、新材料和新工艺,其中自动化装配技术就是保证飞机结构装配质量、提高机体结构疲劳寿命、加快研制进程的一条有效途径和方法。

## 国内外应用现状

近年来,以波音 777、A380、波音 787 为代表的民用飞机体现了大型民用飞机数字化设计/制造技术的现状和发展趋势,从波音 777 飞机研制开始全面采用了基于产品数据管理 PDM 系统(目前大型客机采用 VPM 系统)的数字化产品定义(DPD)、数字化预装配(DPA)等技术实现了飞机数字化设计,同时采用基于 PDM 系统的单一产品数据源(SSPD)数字量尺寸协调体系,实现了自动制孔、自动钻铆、装配检测、数字化装配管理等自动化装配技术,满足了大型民用飞机长寿命、高可靠性、低成本和高效率制造的研制要求。

在国内飞机设计中已经逐步采用了基于 PDM 系统的数字化设计技术,目前大型客机在设计过程中已经明确要求采用基于 VPM 系统的模块化 MBD 设计技术,实现飞机全三维数字化设计。但是在制造方面,数字化技术的应用仍处于起步阶段,尤其是飞机装配技术和组织管理方式基本上还沿用 20 世纪六七十年代前苏联的传统方法,总体上数字化技术不配套,各环节存在信息孤岛,制造周期长,装配协调环节多,无通用性且成本高。现阶段飞机自动化、柔性化装配技术及其相关的管理方法已经成为我国大型民用飞机研制必须解决的关键技术。

本文结合大型客机机身结构设计特点和要求,针对 C919 飞机机身结构研制中采用的自动化装配技术进行了初步的应用研究。

## 大型客机机身结构设计及其自动化装配需求

### 1 机身结构设计特点

大型客机机身典型结构是由壁板、客舱地板、货舱地板、框、门框等部件组成的半硬壳式结构,后压力框以前结构采用金属结构,后压力框及后机身采用碳纤维复合材料结构。

大型客机机身结构由机头、前机身、中机身、中后机身(分前段和后段)、后机身组成,其中机身 24 框为机头与前机身工艺分离面,37 框为前机身与中机身工艺分离面,47 框为中机身与中后机身工艺分离面,66 框为中后机身前、后段工艺分离面,72 框为中后机身与后机身工艺分离面。

大型客机机身结构具有以下特点:

(1)结构尺寸相对国内研制飞机有较大的增加:大型客机机身结构总长度 38960mm,宽度为 3960mm,高度为 4166mm,其中机头长度为 7378mm,前机身长度为 6903mm,中机身长度为 4980mm,中后机身长度为 13241mm,机身长度为 6458mm,如图 1 所示。

(2)国内第一次在一个完整的机身段(后机身)采用碳纤维复合材料结构。

(3)采用基于 VPM 系统的全三维数字化设计技术。

(4)由于承载特点和使用要求的不同,机身壁板等结构件在设计中往往会选用数量较多的不同直径(最大直径超过 8mm)的铆钉连接。

### 2 研制需求

由于大型客机在设计目标(长寿

命:经济服务寿命不低于 90000 飞行小时/60000 飞行循环(飞行起落)/30 日历年)、研制进度(2014 年实现首飞)等方面提出了较高的要求,因此在设计和制造方面带来了自动化装配技术的需求。

(1)根据《先进民机耐久性设计要求》(民机设计手册)要求“设计应使自动化铆接获得最大限度的使用”,目的是保证大型飞机结构的长寿命,即经济服务寿命 90000 飞行小时/60000 飞行循环(飞行起落)/30 日历年目标在制造装配环节中得以保证。

(2)为满足大型客机长寿命的设计要求,大型客机在制造装配精度和容差等方面都提出了更高的要求。

(3)大型客机大量地采用了复合材料结构,包括尾翼、中央翼、舵面、后压力框和后机身结构,约占结构重量的 15%。由于复合材料结构自身的特点,采用自动化装配技术是复合材料结构制孔和精确装配的保证。

(4)大型飞机机身壁板结构数量巨大、不同直径(最大直径超过 8mm)的铆钉,采用人工装配面临着效率低、质量不稳定(尤其大直径铆接、难以完成铆接)的特点,为突破人工装配制造的客观局限性,需要采用自动化装配技术。

(5)为实现大型客机研制周期(2014 年实现首飞)的要求,必须缩短生产准备周期,实现快速研制,采用自动化装配技术是一条有效的途径。

## 应用研究

大型客机在可行性研制初期就对结构装配提出了自动化装配的需

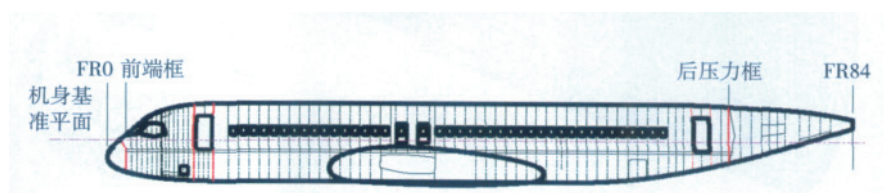


图1 大型客机机身结构布置图

求,随着项目的逐步深入(目前已经进入详细设计阶段),在结构设计中进一步明确了采用自动化装配的要求;同时在设计阶段从设计流程、产品数字化设计等方面为自动化装配技术的实现奠定了良好的基础;同期开展的关键技术应用研究工作,为自动化装配技术的实现提供了有效的技术途径;上飞公司工艺规范的编制保证了自动化装配的高效实施。

## 1 设计阶段

### (1) 设计要求。

在大型客机可行性论证阶段就提出机身结构大量采用自动化装配技术的需求,在详细设计阶段明确规定了采用自动化装配技术的设计要求。

### (2) 设计流程。

由于研制进度的要求,大型客机的研制过程中大量地采用了并行

工程,并通过设计数据成熟度的定义,确保制造部门尽早与设计部门沟通设计、制造信息,在设计阶段编制的《C919大型客机项目研制阶段设计和制造成熟度管理规定》中将MBD设计数据集成度分为七级,即MG0、MG1、MG2、MG3、MG4、MG5和MG6。在成熟度控制流程中,在MG4、MG5和MG6阶段即开始与制造部门沟通,分阶段讨论制造、装配技术条件,确定飞机装配方案和要求,确保制造要求尽可能在设计文件中体现。

(3) 基于MBD技术的数字化设计。

产品数字化设计技术研究在国内已经开展多年,并在多个飞机型号已经成功应用,有一定的基础,在加快产品研制进程等方面取得了良好的效果,因此在大型客机研制初期就

明确规定大型客机设计要采用基于MBD技术的全三维数字化设计,为机身结构自动化装配技术的应用奠定了基础,图2为大型客机初步设计阶段典型机身段设计模型。

### (4) 复合材料的应用。

大型客机为减轻结构重量,提高经济性,大量地采用复合材料结构,应用部件包括中央翼、后压力框、后机身、尾翼、机翼舵面、翼尖小翼和翼身整流罩,约占结构重量的15%,由于复合材料应用范围的快速增加,在结构中占的比例越来越大,必须加强对复合材料零部件制造、装配过程中特殊要求的考虑。

与金属结构相比,复合材料结构更强调设计制造一体化的概念,为保证设计要求高质量、高效率的实现,对自动化技术(包括自动化铺带、自动化装配技术)的需求更加迫切。

由于复合材料结构自身材料特性,采用自动化装配技术是复合材料结构件在制孔和精确装配等工序的有力保证。

## 2 关键技术研究

大型客机在可行性论证阶段就提出了采用自动化装配的需求,但是国内飞机装配技术基本处于手工装配水平,有必要对自动化装配技术(如自动化电磁铆接技术)进行研究、对设备进行开发,为我国大型客机的研制和生产提供技术准备。为此,我们结合大型客机机身研制的需求,先后开展了大型客机机身自动化对接技术和电磁铆接技术等预研课题和关键技术的应用研究工作。

针对大型客机机体结构自动化装配的需求,对面向自动化装配的飞机结构设计、工艺设计、电磁铆接及其自动化技术、柔性装配工装、装配系统单元、自动化装配系统集成控制、自动化装配系统测试等技术开展系统研究,掌握自动化电磁铆接装配系统的关键技术,同时结合大型客机的研制进程,研究并确定机身结构自

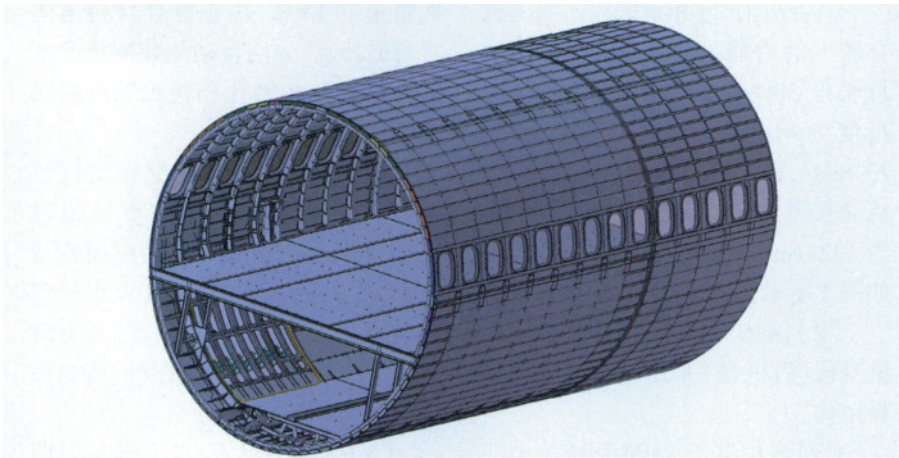


图2 大型客机初步设计阶段机身典型设计模型

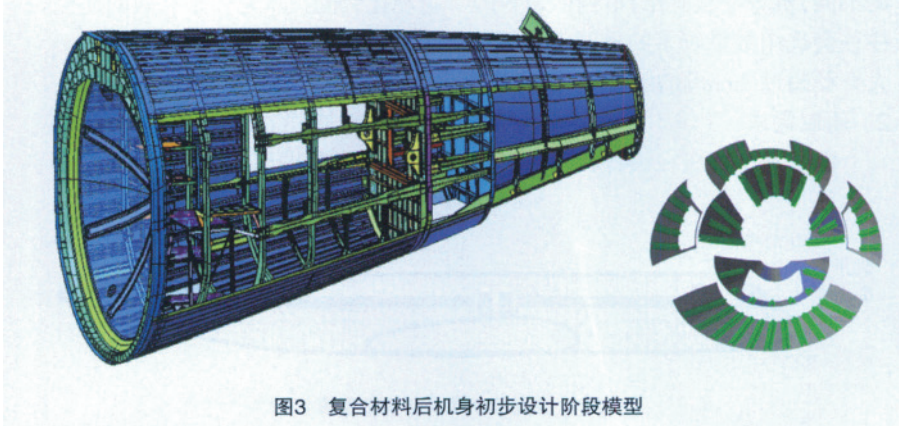


图3 复合材料后机身初步设计阶段模型

动化电磁铆接装配系统应用方案并完成相应系统的设计,从而形成国内飞机自动化电磁铆接装配系统研制能力,为我国大型客机的研制和生产需求提供技术准备。

图4为自动化对接与电磁铆接技术工程应用模型(仅示局部)。

### 3 工艺规范的编制

由于大型客机设计方面明确要

求采用自动化制造、装配技术,上飞公司结合设计需求开展了大量研究工作,正在编制大型客机自动化制造、装配工艺规范(CPS)。

### 结束语

大型客机机身结构自动化装配技术的实现(基于国内设备和技术)应从设计和制造两个方面上加以综合考虑,在大型客机型号研制需求的牵引下,开展了部分关键技术攻关、预研课题工程应用研究、CPS编制等工作,为自动化装配技术在大型客机的工程应用奠定了基础,但仍需在以下两个方面加以提高。

(1) 现有的飞机结构设计虽然已

经实现100%数字化设计,但是在设计特征中没有充分考虑飞机自动化装配技术的应用需求,需要在设计阶段的数字化模型中更多地加入自动化装配所需要的工艺信息,并在设计文件中加以体现和要求。

(2) 建立飞机自动化制造装配系统,应结合现有零件制造精度、飞机结构特点和装配工艺能力,综合考虑国内现有零部件制造技术水平,立足国内,切忌盲目照搬国外模式。

### 参考文献

- [1] 许国康. 大型飞机自动化装配技术. 航空学报, 2008(3):734-739.
- [2] 许国康. 自动钻铆技术及其在飞机数字化装配中的应用. 航空制造技术, 2005(6):45-49.
- [3] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术. 航空制造技术, 2005(9):28-32.
- [4] 邹方, 张书生. 飞机总装自动化校准对接系统. 航空制造技术, 2008(7):32-36.
- [5] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.

(责编 晓立)

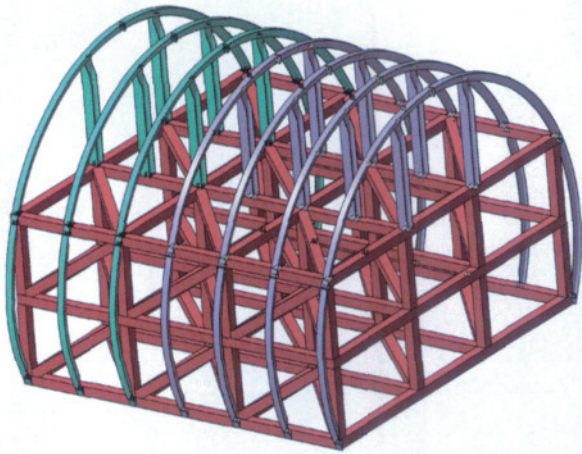


图4 自动化对接技术工程应用模型(局部)

www.onaedm.com

leadership, service and support

## 全球大型及客户定制化 电加工机床的 领导者

- 世界领先的火花机
- 世界领先的电加工机床用NC控制器
- 世界领先的模块化设计的火花机及线切割机床
- 世界领先的免维护过滤系统
- 世界领先的反电解加工
- 定位精度0.001mm
- 表面粗糙度Ra 0.1 μm
- 加工速度达600mm/min

### 西班牙欧纳机床股份公司

总部: 埃古斯基察区1. 48.200, 杜兰戈. 西班牙巴斯克自治区. Tel: +34 (94) 6200 800  
 中国代表处: 深南大道财富广场A座10楼A-B-C. 中国深圳. Tel: +86 (755) 8287 0500  
 总代理: 北京林毅中大机械设备有限公司. 昌平区. 中国北京. Tel: +86 (10) 8074 2338

leadership | service | support

广告索引号 11-111