

# 飞机部件自动化对接工艺 设计探讨

巩玉强

(华南飞机工业有限公司, 珠海 519040)

[摘要] 针对自动化对接技术特点,全面分析了飞机自动化对接工艺过程,阐述了目前采用自动化对接技术存在的产品和工艺设计主要问题,提出了面向自动化对接的飞机产品设计一般要求,分析了自动化对接技术实施过程中装配工艺设计的重要性。针对设计和工艺存在的问题,从产品结构改进、装配协调方案设计、装配流程规划、部件调姿定位接头布局设计以及测量工艺规划等方面进行了论述,明确了具体的研究内容,提出了采用自动化对接技术相应的要点和解决方法。

关键词: 自动化对接; 产品设计; 测量; 工艺接头; 工艺设计

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2018.07.048



巩玉强

高级工程师,曾主管某轰炸机、歼击轰炸机、大型运输机装配工作,目前担任 A G600 飞机副总工艺师,负责工艺技术体系建设,研究方向为大部件装配技术协调、数字化装配及仿真、MBD 技术应用、生产线工艺规划以及民机适航等。

近 10 年来,国外新研发了多款大型飞机,如空客 A350 及 A400M、波音 787、庞巴迪的 C 系列等(见图 1、

2),这些飞机均采用了数字化设计技术,制造过程中广泛使用激光测量、照相测量等先进检测技术,飞机装配制造商在自动化集成控制技术的协助下,研制出部件自动化定位系统设备,从而实现了部件的自动化对接,不但实现了机身、机翼等大部件的自动化对接,也实现了精度和难度更高的部位的自动化拼接,大幅提升了飞机装配自动化水平,降低了劳动强度,保证了飞机部件装配的质量稳定性<sup>[1]</sup>。

近些年,我国国内飞机装配装备制造商也先后对自动化装配技术进行了深入研究并取得了重大突破,浙江大学、航空工业北京航空制造工程研究所以及大连四达等均掌握了自动化对接数学算法等相关软硬件技术,相关制造商研制的自动化装配设备在我国研制的大运及运 9 系列飞机上进行了成功应用,大幅提升了我国自动化装配技术水平,部分装备甚至超过了 C919 飞机采用的国外自动

化对接系统。

## 自动化对接主要问题分析

### 1 自动化对接技术

目前,国内外较为常用的自动化对接技术大都由计算机集成控制系统、数字化测量系统、自动定位设备以及软件操作系统 4 大子系统组成,即产品在数字化测量系统(常用基于激光跟踪仪的测量系统)建立的全机坐标系下进行姿态和位置测量,通过与目标对比规划调整路径,由集成控制系统控制各自动定位装置对产品按规划的路径进行自动化调整,最终满足产品目标位置和姿态的定位和闭环控制,进而实现产品的自动化对接<sup>[2]</sup>。

传统硬式工装对温度、地基等环境要素要求较高,特别是大型对接工装,更需要对定位器等进行定期停产检测,使用过程产生偏离不易发现,而且使用过程笨重,工人劳动强度大。而自动化对接技术采用了一系



图1 采用自动化对接技术的A350大部件对接站位

Fig.1 A350 docking station with automatic docking technology



图2 采用自动化技术装配的A350机身段

Fig.2 A350 fuselage assembled with automated technology

列较为先进的设备,其相对于传统工装来说外观显得更加简洁,提供了更大的操作空间,系统具备自检功能,系统超差可在使用前提前发现并及时处理,一般超差甚至可以通过系统进行补偿,正常使用可明显提升效率,如再配合相关自动化制孔连接设备等可大幅度降低劳动强度,但由此也导致其相对于传统工装一次性投入成本高很多,使用过程需具备必要的维护保养能力,而且使用初期的效率不见得比传统工装高,故更适于批量较大的大中型飞机,对于小型飞机来说,采用硬式工装时,其使用的工装尺寸小,制造难度不大,维持其稳定性和精度代价也较小,使用起来效

率甚至会比采用自动化装配系统高。因此是否采用自动化对接技术,需要考虑飞机特点和产量,从效率、质量以及成本3方面进行综合分析,切忌一味追求高精尖技术,而应以求得企业效益最大化为第一原则。

## 2 自动化对接技术应用存在的问题

在相关型号研制过程中发现,制约或者影响自动化对接技术应用主要有产品结构设计的工艺性和装配工艺规划设计两大方面。采用自动化对接技术,产品工艺性是需要重点关注的要素。很多型号在自动化对接技术实施过程中出现了很多装配问题,其中最为突出的是设计结构不能很好地适于自动化装配技术,工艺

人员在开展自动化装配设计过程中对自动化系统关注过多,而对飞机产品结构本身及自动化装配的适用性因经验不足等各种原因,未投入足够精力,同时我国设计与制造分离的研制模式下飞机设计人员对装配工艺不甚关心甚至根本不了解产品工艺的基本要求,由此导致很多时候飞机设计人员只考虑功能性设计而忽视工艺性设计。实际上,与传统散件装配或采用大型硬式工装进行大部件对接工艺不同,采用自动化装配技术要求部组件分离面更简洁、部件更具完整性,故对飞机设计的工艺性要求更加严格,否则,部组件自动化装配过程过于复杂或者自动化装备本身过于庞大、自动定位装置过多,从而影响装配效率并会大幅度提高成本。因此必须在飞机设计过程中高度重视飞机工艺设计,合理划分部组件界面,使自动化装配技术发挥最大效能。

当前飞机设计均实现了三维数字化设计,飞机设计协调性有了质的飞跃,静态干涉等基本上已消除,但是制造部门工艺设计人员大都缺乏较强的基于数字化技术的装配工艺规划能力,极少技术人员掌握三维数字化装配工艺过程仿真技术、数字化测量技术等,对于自动化对接技术的认知也是源于对国外新研飞机碎片化的信息和部分自动化工艺装备厂商的技术交流,对自动化对接技术涉及的测量及流程等装配工艺没有深刻理解,无法在飞机设计时提出完整的自动化装配工艺设计流程,这也是型号研制后期需要深刻反思的方面。

## 自动化对接技术的工程要求

### 1 部件级自动化对接要求

部件级自动化对接,一般指组件采用自动化定位技术进行拼接,形成单个大部件的装配,目前部件级采用自动化对接的主要是机身段壁板的拼接,因此又称自动化拼接。对于此

类部件的设计,因壁板调姿过程中对界面处进行拼接,故应尽量做到分离面简洁整齐,避免复杂的搭接或套合关系,以便简化调整移动路径,避免调姿路径上结构产生较大干涉(一般少量干涉可通过人工干预予以避免),同时为了减少自动化定位装置,降低设备成本并给自动化制孔等设备或人工操作留出足够空间,应在设计上减少壁板分离面数量,避免强框等以散件的形式单独定位,而应与相关壁板组合为一体(可提高壁板刚度,利于壁板外形的保持),成组的交点接头等应尽量在一块壁板上一起安装完成,以保证相互位置,如起落架安装交点等更利于采用自动化拼接,产品设计过程中工艺人员应深度参与,协助设计采用合理结构形式,对于装配所需的定位基准应在数模中制出,如在机加框上设置定位孔,在钣金框上设置制造定位孔同时也作为装配定位孔,依据基准统一的原则,这些孔在自动化拼接过程可作为壁板姿态调整和定位的关键测量要素,以此提升壁板定位精度。

## 2 大部件级自动化对接要求

大部件级对接一般指机身各段的大部件对接和机身与机翼的对接,前者分离面主要在框平面上,后者主要在翼身对接交点处。大部件对接的分离面形式对自动化对接装备设计和装配工艺过程设计有很大影响,也对大部件调姿定位后的连接装配工作难度有决定作用。因此工艺技术人员与设计人员需紧密协同,尽可能采用简单便于操作的结构形式。

对机身对接面一般有两种分离面形式,第一种是可拆卸对接分离面,即在对接面周边采用对接孔形式进行连接,此种对接面一般采用实体标工进行协调,因其可拆卸分离又称为设计分离面,典型结构如图3所示,此类部件对接无需姿态调整,直接按照对接孔进行对接;另一种因需要在部件调姿定位后再进行制孔

连接工作,一般为不可拆卸设计,故称为工艺分离面。围框式分离面因重量较大,现代飞机设计已很少采用,目前新研飞机均采用工艺分离面。机身部件对接工艺分离面也可分为3类,一种是框间对接,一种是框上对接,第3种是两者的混合形式。框间对接即对接分离面在机身各段端面框前或框后的蒙皮上,如图4所示,采用此种分离面的好处是大部件调姿到位后无需再次分离部件进行多余物清理和涂胶等工作,可原地进行连接工作,减少了大部件复位流程,对自动化对接设备重复精度要求不高,实践证明此类分离面便于调姿定位,但由于对接面没有强框等结构进行外形保持,机身对接时会产生较大阶差,需要借助较大外力进行矫正且不易操作,故需要在对接面处设置外形控制工装,操作不便;对于框上对接形式,即对接面处一段机身已安装对接框(一般为工字型加强框),另一段机身对接面处蒙皮无框支撑,对接时无框一侧机身套入带框一侧机身,在框中间形成蒙皮对缝,因带框一侧端面外形保持能力较好,另一

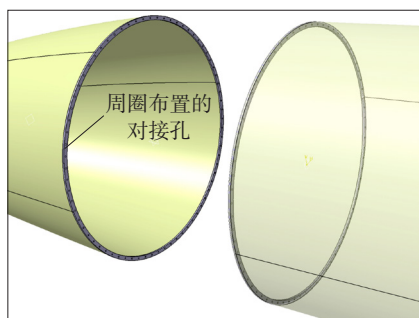


图3 可拆卸对接面典型结构  
Fig.3 Detachable butt joint typical structure

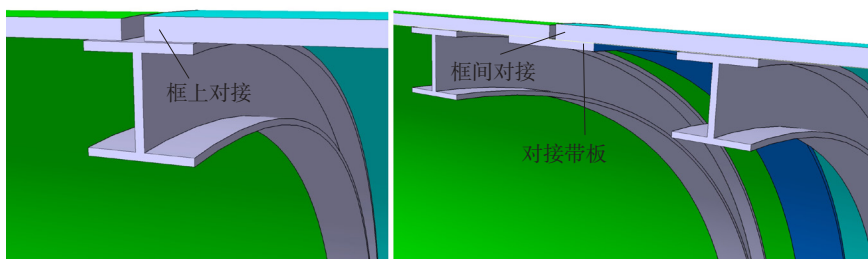


图4 采用工艺分离面的两种典型结构  
Fig.4 Two typical structures using process separation surfaces

侧无框机身外形套入框上后可以由强框进行矫正(需借助导向件实现顺利套合),然后进行制孔、分离、去毛刺、涂胶工作,最后再次复位连接紧固件,故相对的此类分离面要求自动化对接设备有较高的复位精度,一般不能大于 $\pm 0.05\text{mm}$ ,同时自动化定位装备在对接方向上要有较高刚度和移动功率,以便克服套合过程的阻力并保持部件和定位装置的稳定性,目前国外新研飞机多数采用此类设计形式,也是采用自动化对接技术时工程部门应该采纳的形式,当然这种结构还需要注意对接面框处外形特点,如在等直段上放在哪一侧均可,而在机头或机尾外形收缩处,则框应划归收缩前的机身段上,否则路径干涉无法入位。对于第3种混合式国内AG600飞机有采用,顾名思义,不再赘述。

机翼机身大部件对接有两种主要形式,一种是贴合面连接,另一种是常见的交点接头连接,前者是利用分别布置在机身对接强框和机翼主梁上的对接平面处进行制孔连接,如伊尔76、运8系列以及大客等便是此种形式;第2种较为常见,即机身框和机翼梁处采用对接接头直接进行连接,一般这两种设计均需要给出工艺补偿余量或间隙,在大部件调姿定位后进行协调加工连接孔,否则很难保证协调性。不过对于第2种,已发展出新的连接形式,即机身与机翼对接接头按X、Y、Z3个受力方向分别布置,机翼对接接头不直接连接,而是采用中间过渡连接件进行连接,

同时采用关节轴承等进行足够的位置和角度补偿,对接接头无需现场再次精加工,过渡连接件可无需加工或少量加工,空客军机公司研制的A400M飞机翼身对接便是此类形式,典型结构设计如图5所示。

综上所述,飞机大部件对接因对安全性要求较高,尤其是大飞机的大部件对接,务求对接过程平稳可靠,因此要求分离形式的设计应尽量简洁,以便简化调整移动路径,避免大部件在空间中的复杂动作,保证调姿精度和装配效率。

### 装配工艺设计要求

在工艺性良好的结构设计前提下,工艺技术部门应按照自动化对接技术的要求和飞机结构特点,开展自动化对接所需的相关工艺规划设计,保证自动化对接技术的顺利实施。在相关型号研制过程中发现,要较好地实施自动化对接技术,需要作好以下4项工艺工作。

#### 1 装配协调方案设计

飞机研制已经越来越多地采用主供模式,即主制造商负责总装集成、供应商负责部件或系统件制造,主制造商与各级供应商利益共享并风险共担,在此情况下,各级供应商之间的装配协调工作显得极为重要,对于采用自动化对接技术进行部件或大部件级装配来说,必须明确各参与部组件装配的供应商的装配技术

要求,明确部组件的装配基准、测量基准、方法和精度要求、部组件关键控制要素和协调方法,尽量做到装配基准与测量基准的统一(比如壁板装配以框骨架为基准,框采用定位孔定位,在壁板进行部件级对接时其定位孔亦作为测量评价基准),减少累计误差,满足部组件在进行部件和大部件对接时的质量要求。目前飞机采用数字化设计后,大大降低了装配协调难度,大幅度减少了实物标工等协调方法,一般按照数模协调即可,特殊的如大部件对接测量点设置等可建立数字化协调数据集进行协调。在某型号研制过程中,大部件对接采用协调数据集进行协调,机身壁板装配采用数模协调,其他如发动机吊挂等采用实物标工协调,结果表明能够基本实现工艺目标。

#### 2 装配工艺流程规划

要满足部件和大部件自动化对接要求,必须合理规划部组件装配流程<sup>[3]</sup>,重点对对接面的零组件装配过程进行详细分析,必须借助三维数字化仿真软件等手段进行装配过程仿真,包括部件或壁板对接路径仿真和人机功效仿真,在此过程中应与自动化对接系统制造商紧密沟通,让其完全了解装配工艺过程,便于其自动化对接系统的硬件设计和软件开发的优化。在型号研制中对总装生产线、部件对接等过程均采用DELMI A 软件开展三维装配过程仿

真工作,发现部分颠覆性问题并及时对设计和工艺装备进行了优化,有效避免了严重的时间和经济损失。

#### 3 部件调姿定位工艺接头布局设计

自动化定位设备要实现对接件的自动调整和定位,需要设置定位装置与部件之间的过渡连接装置,一般称之为工艺接头,当前最为常用的是球铰形式的配合结构(如图6所示),工艺接头安装在壁板或大部件上并安装球头,自动化定位装置设有可在 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 3个方向进行线性移动的导轨上,末端有球窝(一般都有锁紧装置和压力传感器),如图7所示<sup>[4]</sup>。3个及以上数量的定位器与工艺接头配合在控制系统的程序控制下即可实现部件在空间中的姿态调姿和定位。

部件级自动化拼接装配时,工艺接头一般直接安装在各参与对接的壁板上,连接区借用产品骨架紧固件孔位(一般是有强框的部位),工艺接头布置在壁板两端,一般一个壁板安装4个,如果壁板超长则需要评估壁板刚度和变形情况增加工艺接头数量,由产品设计强度进行校核,对应的也要增加自动化定位装置数量;对于刚度较差但又要求进行自动化拼接的壁板,可以设计保形工装对产品进行刚度加强,此时工艺接头布置在保形工装上,不过应尽量避免采用

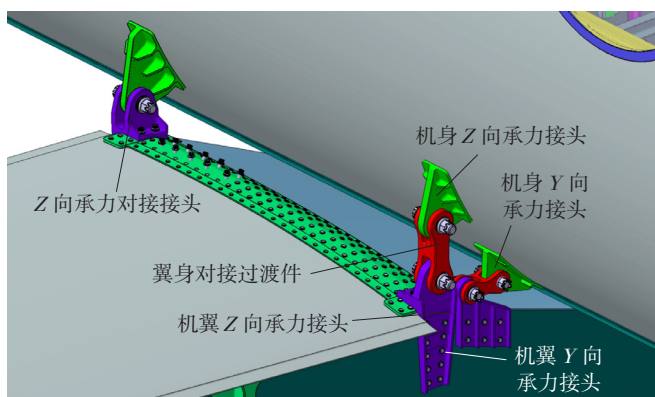


图5 采用设计补偿的对接结构设计

Fig.5 A docking structure design with compensation

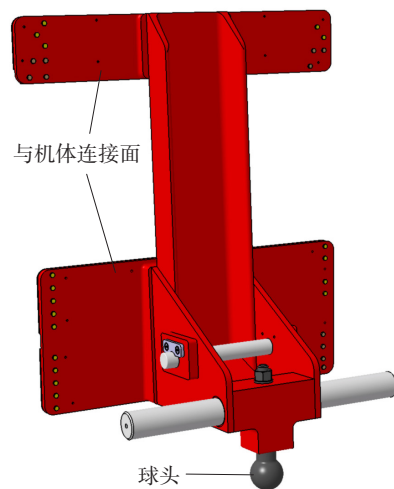


图6 工艺接头典型结构

Fig.6 Typical structure of fuselage joint

保形工装,通过完善壁板工艺划分优化,采用内部撑杆加强等更简单的形式。对于壁板上的工艺接头一般与大部件对接工艺接头统筹考虑,使后续大部件对接时也可继续使用,此时要按照大部件对接要求进行位置选定和强度考核。

目前对于大部件对接时的支撑有两种方式<sup>[5]</sup>,一种是托架式,即产品放置在定位托架上,自动化定位设备对托进行调姿从而实现部件的调姿,波音787即采用了此类形式(见图8所示),庞巴迪的C系列机身对接也采用类似结构,此形式无需借用飞机结构外接工艺接头,是一种较好的方案。第2种则是大部件安装工艺接头的形式,也是最常用的设计,空客A380、A350、A320、A400M以及波音737,国内的大运、大客等均采用此种形式(如图9所示),比较成熟,一般推荐此类方案。相对于壁板工艺接头,大部件对接使用的工艺接头承载较大,需要特别注意强度问题,机身工艺接头一般都要布置在机加强框上,最好是安装在主承力交点孔上(如起落架交点),机翼工艺接头一般放置在主梁或强肋处,如图10所示典型的大部件对接工艺接头布置,特别是机身工艺接头不可布置在两端面第一个框上,否则会导致对接面保形较大难以纠正,必须至少后退一个框位,由外侧框维持对接面的外形,一般每个机身段至少布置3个

外侧框(对应3个定位装置),但一般建议布置4个,位置放在最大直径处(受力最好),球头悬臂尽量小,满足定位装置运动空间即可,以减小附加弯矩对机身结构的附加强度要求,机身较长时还应视情况增加辅助的调姿定位接头,同时起到减少变形的作用<sup>[6]</sup>。

#### 4 测量工艺设计

采用自动化对接的装配工艺,自动化对接装备本身只是把准确的产品放置到准确的位置,而准确的测量是这个系统成功最关键的要求,不准确的测量数据会严重误导部件姿态的评价,导致不可挽救的超差<sup>[7]</sup>。因此不但要从部件特点上规划测量方案,还要从全局考虑测量点的布置、测量坐标系设置和转换、测量设备工作的可达性、测量数据的传递等要素,在产品本身的测量点布置上应设置足够的测量点,测量点的布置应能体现部件或壁板等的主要结构要素,如对接面外形、部件或组件上的主交点等,对此类特征上的测量点给予较高的测量权重,同时对于次要部位或特征也应设置一定数量的测量点,以便对部件姿态进行全面评价并形成质量控制数据用于后续问题研究和工艺改进。

对于部件级自动化拼接测量,其精度要求比大部件对接高,其装配质量直接影响大部件对接精度。故应基于基准统一的原则,除关注各壁板

装配过程定位基准的设置和测量(如前文所述的框定位孔)外,还需重点关注部件本身的主要特征(外形、主交点等)的测量。一般情况下通过设置测量接头或测量转换接头对所述特征进行标定和测量,而测量接头可按重要性分为主测量接头和辅助测量接头,前者一般指对接面区域的测量点和部件主要交点的测量点,对接测量评价时给予较高的权重,是重点关注测量位置,辅助测量接头主要指前文所述的次要特征,用于进一步评价部件姿态,权重较小,不过对两者的安装要求是一致的,有时主测量接头因磕碰等损失较大精度时需要借用附件的辅助测量点进行替代。测量接头可以设置为用定位器定位的形式,也可以直接借用紧固件孔安装简易测量接头,一般建议采用后者,成本低且布置灵活。测量点一般是部件下架前基于部件装配坐标系进行测量并记录,有水平测量点时也需要一并标定,由于大部件上的测量点很难一次建站实现全部测量,故测量过程需特别注意坐标系的转换,以保证测量精度,这些数据将作为大部件对接测量和评估的依据<sup>[8]</sup>。

机身段对接或机翼机身等大部件对接,是在部件精确测量基础上进行调整和定位(如图11所示的典型部件对接测量布局规划,部件测量采用激光跟踪仪,以地面基准靶标建立飞机测量坐标系并作为转站基准),

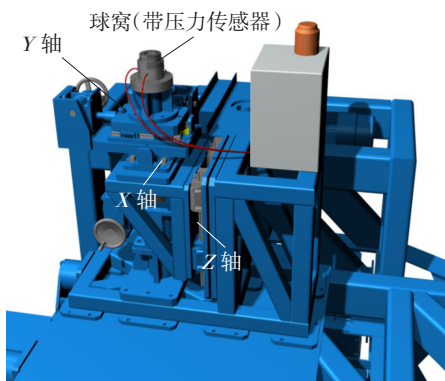


图7 自动化定位装置典型设计  
Fig.7 Typical design of automatic positioning device



图8 采用托架式支撑装置的波音787机身自动化对接  
Fig.8 Automatic docking of Boeing787 fuselage with bracket support

相对的,大部件级别的对接精度要求除对接面等区域外一般在 0.5~1mm 区间,自动化对接设备本身可以保证调姿和定位的精度,但是由于大部件对接时测量场变大,其测量精度也随着尺寸变大而降低,故与部件级自动化对接测量一致,也需要重点关注测量坐标系的转换,尽可能降低转站误差,实践证明测量转站误差是大部件测量误差的主要来源。对接测量过

程中对于机身来说,对接面处的测量点均为主测量点,对于机翼部件来说翼身交点位置、迎角、上下反角、对称度等均是重点测量要素,同时水平测量点也必须跟踪评估,不过水平测量点一般不作为主要测量点。

最后需要明确的是,不管是部件级自动化拼接还是大部件级对接,测量点都是借助数字化测量设备进行理论评估的依据,但是各部件对接面

区域的物理特征吻合性也是关键检查要素,某些情况下物理特征要素的吻合性比主测量点还重要,例如机身对接时,机身部件航向位置不应按测量点数据进行定位,特别是考虑到温度等的影响,应该用两段机身对接面的框距决定,此时测量点主要考量飞机翼展方向和垂直方向的评价,航向数据仅为参考值。因此部件对接必须对测量数据和物理特征吻合性进行综合评估才可确定部件的姿态准确性,不可过于依赖某一方面的数据。

## 结论

在飞机自动化对接技术已成为飞机装配的主流方向的背景下,如何充分利用自动化技术的优势提高装配质量和装配效率,既是工艺人员要考虑的问题,也是设计人员需要共同面对的要求,本文在分析当前飞机结构设计特点的基础上,根据相关型号研制过程中的经验和教训,总结了自动化对接技术在飞机装配过程中应用存在的问题,从飞机产品设计及工艺设计两方面分析了自动化对接技术的特点和要求,分析了产品结构设计和装配工艺设计的重要性并提出了具体的改进和完善措施,希望能够为相关技术人员提供一些实践思路和建议。至于在飞机装配中是否采用自动化对接技术,航空制造企业应结合飞机自身特点,综合考量成本、产量、效率以及质量等要素,保证企业效益最大化。

## 参考文献

[1] 邹方,张书生.飞机总装自动化校准对接系统[J].航空制造技术,2008,51(7):32-36.

ZOU Fang, ZHANG Shusheng. Automatic calibration and docking system for aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008, 51(7): 32-36.

[2] 盖宇春.飞机数字化装配调姿工装

(下转第 76 页)



图9 采用工艺接头支撑的A400M机身自动化对接

Fig.9 Automatic docking of A400M fuselage supported by fuselage joint

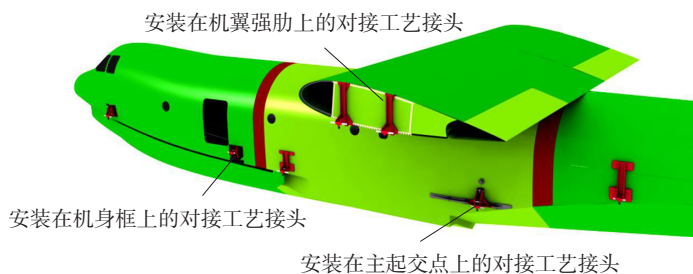


图10 典型的大部件对接工艺接头布置

Fig.10 Typical fuselage joint arrangement of large component

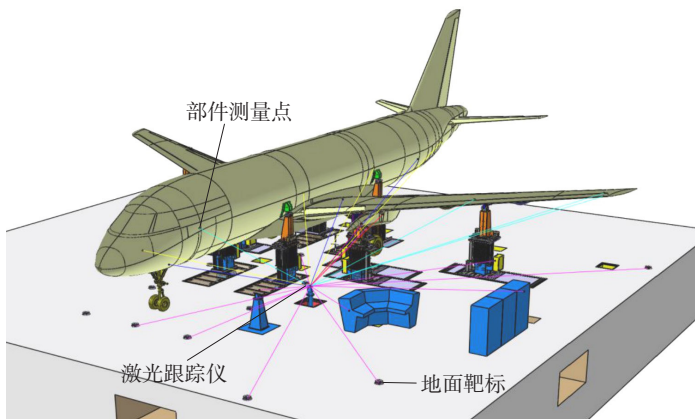


图11 典型的翼身对接测量布局规划

Fig.11 Typical layout planning for wing & fuselage docking measurement

**[ABSTRACT]** The corrosion damage of aircraft structure can significantly reduce the safety performance of aircraft structure and endanger the flight safety. In this paper, an aircraft structure corrosion damage probability reconstruction algorithm based on guided wave is proposed to monitor the corrosion damage of aircraft structures. Targeted at structurally real corrosion damage, in this paper, the correlation between the Lamb wave reference signal and the monitoring signal is characterized by the spectrum amplitude difference damage index and used as the image reconstruction parameter in the reconstruction algorithm for probability inspection of damage (RAPID). According to the imaging results of the RAPID method, a fusion damage index method is proposed to evaluate the corrosion depth, and the structural corrosion damage measured by the ultrasonic C-scan system is compared with the above method. The experimental results show that the proposed method can effectively locate the corrosion damage and evaluate the corrosion depth.

**Keywords:** Guided wave; Corrosion damage; Reconstruction algorithm for probabilistic inspection of damage; Damage index; Structure health monitoring

(责编 铃兰)

(上接第 53 页)

系统设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

GAI Yuchun. Design of pose adjustment tool system for aircraft digitization assembly[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.

[3] 李涛, 张世炯, 张宁. 工业 4.0 牵引的飞机总装工艺流程设计技术浅析[J]. 航空制造技术, 2015, 58(21): 81-86.

LI Tao, ZHANG Shijiong, ZHANG Ning. Preliminary research on aircraft final assembly process design in Industry 4.0[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(21): 81-86.

[4] 郭志敏, 蒋君侠, 柯映林. 基于定位器的飞机大部件调姿系统静刚度[J]. 浙江大学学报(工学版), 2010, 44(11): 2077-2082.

GUO Zhimin, JIANG Junxia, KE Yinglin.

Static stiffness of attitude adjustment system for large parts of aircraft based on positioner[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2010, 44(11): 2077-2082.

[5] XIONG L, MOLFINO R, ZOPPI M. Fixture layout optimization for flexible aerospace parts based on self-reconfigurable swarm intelligent fixture system[J]. The International Journal of Advanced Manufacture Techonlogy, 2013(9): 1305-1307.

[6] SHIRINZADEH B. Flexible fixturing for workpiece positioning and comstraining[J]. Assembly Automation, 2002, 22(2): 112-117.

[7] 刘胜兰, 罗志光, 谭高山, 等. 飞机复杂装配部件三维数字化综合测量与评估方法

[J]. 航空学报, 2013, 34(2): 409-418.

LIU Shenglan, LUO Zhiguang, TAN Gaoshan, et al. 3D measurement and quality evaluation for complex aircraft assemblies[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2013, 34(2): 409-418.

[8] 胡宝海. 基于 EMSCON 的多激光跟踪仪协同测量关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.

HU Baohai. EMSCON-based collaborative measurement technologies of multi-laser tracher[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.

通讯作者: 巩玉强, E-mail: gongyuqq@163.com。

## Research on Process Design of Automatic Docking of Aircraft Components

GONG Yuqiang

(Huanan Aircraft Industry Co., Ltd., Zhuhai 519040, China)

**[ABSTRACT]** In light of the advantages of the automatic docking technology, we have analyzed the process of aircraft docking, and expounded the main problems of existing products and process designs of automated docking technology. We have put forward the general requirements of automation docking for aircraft design, and highlighted the importance of assembly process design in the application of automated docking technology. As for the existing problems in design and process, we have discussed topics like the improvement of product structure, the design of assembly coordination plan, the planning of assembly process, the layout design of fuselage joint and the planning of measuring process. The specific research is clarified in the context, meanwhile key points and solutions of automation docking technology are proposed.

**Keywords:** Automatic docking; Product design; Measurement; Fuselage joint; Process design

(责编 铃兰)