

面向自动化装配的大型客机 结构工艺性设计初探

Automatic Assembly-Oriented Technique Design for Large Liner Structure

中国商飞上海飞机制造有限公司 蒋红宇



蒋红宇

毕业于西北工业大学飞行器制造工程专业,长期从事飞机装配工艺研究。现任中国商飞上海飞机制造有限公司航空制造技术研究所先进装配技术中心高级研发工程师,参与大型客机研制的关键制造技术攻关工作。

飞机制造过程的关键环节是飞机的装配。飞机装配是根据尺寸协调原则,采用装配工具、工装和设备等将飞机零件或组件按照设计和技术要求进行组合、连接,以形成更高

在大型客机研制中必须尽早确定自动化装配的应用范围、对象,需要设计部门、工艺部门和设备供应商联合工作,选定合适的自动化装配设备型式,设计出适应面向自动化装配的机体结构部件;工艺工装部门、规划部门应联合设备供应商一起尽早开展自动化生产线规划,形成完整的自动化装配生产线布置,建设装配厂房时应适应自动化装配的需要,避免日后返工或改造。

一级的装配部件或整机的过程。飞机具有严格的气动外形与准确度,其结构复杂、空间十分紧凑、零件和连接件的数量巨大,且零件形状复杂、尺寸大、刚度小、易变形、装配精度和准确度高。据统计,飞机装配劳动量占整个飞机制造劳动量的50%以上。飞机装配在很大程度上决定了飞机的最终质量、制造成本和周期。

我国大型客机的研制提出了技术成功和商业成功的要求,要求满足安全性、经济性、舒适性、环保性4项指标。其中,与飞机装配密切相关的指标主要包括:

• 结构寿命。作为安全性指标的

一个重要方面,大型客机的结构寿命要求达到90000飞行小时/30日历年。据统计,70%的飞机机体疲劳失效事故源于结构连接部位,其中80%的疲劳裂纹产生在连接孔处,可见连接质量极大地影响着飞机的寿命。因此要求装配质量必须稳定可靠,但手工铆接难以保证寿命要求。

• 装配效率。未来大型客机批产速率将大幅提高且需快速响应客户交付要求,因此要求提高装配效率。

这些指标要求提高飞机机体装配质量且保证稳定可靠,降低劳动强度且提高效率。因此,必须在大型客机中广泛采用数字化、自动化装配技

术来取代传统手工装配和基于大量刚性装配型架的装配方法,大幅度提高自动化钻铆水平,以适应长寿命、高质量、低成本和快速响应的要求。

大型客机典型结构 自动化装配模式

飞机自动化装配技术是在飞机数字化产品定义的基础上,采用以数字量传递为主的尺寸协调体系,以虚拟装配仿真为主的数字化装配工艺设计,通过以数控加工和测量为主的零件精确制造、以数控加工和激光测量安装为主的工装制造、以装配工装柔性化/装备化为主的自动化装配设备来实现飞机装配过程的综合性应用技术体系。

随着数字化技术在飞机设计/制造领域的深入应用,国外飞机数字化自动化装配技术发展迅速,在以B737、B777、B787、A320、A380等为代表的大型飞机装配中得到了具体体现。国内在飞机数字化装配技术方面虽具备了一定的基础,但装配的自动化和柔性化水平还较低。

在大型客机数字化自动化装配技术应用中,进行机体典型结构分析和设备选型时,可主要采用以下自动化装配模式,如表1所示。

总的来说,在大型客机机体装配中应尽可能采用自动化装配手段以提高自动化装配水平,争取使采用自动化钻孔、铆接的装配工作量达到机体总装配工作量的50%~60%。

面向自动化装配的机体结构 工艺性设计要求

飞机自动化装配对飞机产品结构的工艺性设计提出了许多特殊要求,需要结合飞机典型结构形式、自动化装配设备型式进行工艺性设计研究。面向自动化装配的工艺性设计一般主要考虑如下关键因素。

1 结构形式

- 合理划分设计分离面和工艺分离面,增加平行装配工作面,增加自动钻铆的通畅性;
- 尽可能采用整体化壁板结构,减少连接紧固件数量;
- 在考虑自动化设备尺寸限制的基础上,对整体壁板分块时,宜增大

表1 大型客机典型结构自动化装配解决模式

机体典型结构及其特点	自动化装配设备典型模式		
<p>机身壁板结构 机身壁板仍多为金属结构,一般由蒙皮、长桁、框或框角片组成</p>	 <p>(1) C型 (2) D型(IPAC) (3) MPAC (4) 龙门式</p>		
<p>机身半壳体/筒段 机身筒段由壁板、框以及地板结构连接而成</p>	 <p>(1) 机身内部机器人钻铆 (2) 机身筒段总成装配工装 (3) 复合材料机身段自动装配系统</p>		
<p>典型翼面结构 机翼盒段、机翼活动面、平尾、垂尾等翼面复合材料结构的连接主要是复材整体壁板与翼梁、翼肋之间的连接,多采用高锁螺栓等紧固件;其制孔是关键技术</p>	 <p>(1) 盒段装配 (2) 活动面装配</p>		
<p>机体对接 机体对接主要包括机身对接和机翼对接; 机身对接一般通过框缘、蒙皮、对接垫板和长桁接头连接; 机翼对接一般是中央翼盒与外翼翼盒通过翼根肋连接,其中翼盒上下壁板通过长桁接头连接在翼肋缘条上,前后梁通过三叉接头连接</p>	 <p>(1) 自动对接平台 (2) 机身对接柔性制孔 (3) 机翼结构柔性制孔</p>		

壁板的尺寸,减少壁板的分块数量;

- 机身壁板的分块中不但包括蒙皮和长桁的连接,而且包括机身框的分段;同时机身框应采用机加结构,并与蒙皮直接连接,减少用剪切角片连接结构。

2 紧固件类型

考虑简化和减少连接紧固件类型,尽可能扩大高锁螺栓、抽芯铆钉、无头铆钉等紧固件的用量,减少预成型铆钉的用量。比如:

- 机身机加框与蒙皮之间、翼肋与机翼蒙皮之间优先采用高锁螺栓连接;

- 翼面结构连接宜采用抽芯铆钉连接。

3 装配定位方法

飞机结构装配中常用的定位方法一般包括按装配孔定位装配;按定位孔定位装配;以骨架外形为基准装配;以蒙皮外形为基准装配;以蒙皮内形为基准装配等多种定位方法。装配时根据产品精度要求、结构形式并结合技术经济性分析选择合适的定位方法。

自动化装配更加强调整装配定位基准、零件制造基准、检验测量基准和设计基准的统一与重合,优先选用孔系定位、产品整体骨架定位等装配基准和协调方法。

装配协调孔的设置通过设计/制造并行确定,一般与产品连接件孔重合,需在工程图纸上明确标出。装配协调孔在自动化装配中起着非常关键的作用,设置时应主要考虑:

- 装配协调孔孔径。考虑协调定位的稳定性和零件制造误差,一般应比原连接件孔孔径小 1.5 ~ 3mm。

- 每个零件上装配的协调孔的位置和数量。具体位置和数量按结构方式选择,并与相关零件协调,一般选择较大的连接紧固件并均匀布置。如机身壁板装配时,每根长桁与蒙皮连接面上的协调定位孔基本按机身框距布置,即每 500mm 布置 1 个;

机身框与蒙皮连接面上至少设置 2 个协调孔;蒙皮则按配合零件选定。

- 孔位位置度公差。综合考虑定位要求和加工方法,建议采用机加方法制出协调孔,相对位置公差宜低于 $\pm 0.20\text{mm}$ 。

- 孔径精度要求。装配协调孔孔径尺寸公差一般为 $\pm 0.10\text{mm}$ 级别,另外需特别关注孔的垂直度。

同样地,工装工具孔/工艺孔的设置也通过设计/制造并行确定,一般单独设置,不与产品连接件孔共用,需在工程图纸上明确标出。工装工具孔一般布置在零件本体上,工艺孔一般布置在零件的工艺耳片上。工装工具孔/工艺孔不但与装配工艺有关,而且与零件制造工艺有关。

- 工装工具/工艺孔孔径:一般直径宜为 6.35mm 或 6.0mm。

- 工装工具/工艺孔的分布位置和数量:根据结构方式、装配工艺和零件制造工艺统一考虑。比如对机身蒙皮,可在工艺耳片上设置工艺孔,既用于装配定位,又可用于蒙皮成形、化铣、修边定位;对机身框,可在腹板面上至少设置 2 个工装定位孔,用于装配定位。

- 孔位位置度公差和精度要求可与装配协调孔一致。

4 自动化对接的要求

大型客机机体大部件对接将采用自动化对接方式,这对部件的装配质量、变形控制、部件对接前检测等都有重要影响。

其中,部件的自动化检测是自动化装配的重要一环,需按照产品的工程要求和测量的关键特性合理设置检验测量点和测量基准。

测量基准宜与部件装配基准、机体大部件对接的基准一致,一般宜在飞机外部结构上刚性较好的部位设置盲螺母,安装传感元件进行测量。

自动化装配对零件及其加工提出了无余量精确制造的要求。设计时应特别注意提高零件的刚性,并反

映自动化装配的协调要求;加工时注意提高零件制造精度,使加工无余量,如装配协调孔、净边等宜用数控方式精确加工,钣金成形需精确成形、控制变形。

自动化装配生产线规划

自动化装配不仅仅是采用单一的自动钻铆设备,更重要的是在自动化装配设备基础上结合部件装配的整个工艺流程,同步考虑自动钻铆前的预组装和自动钻铆后的架外工作,形成一条完整的自动化装配生产线。

配置自动化生产线时,生产速率是非常重要的因素,只有在明确的生产速率下才能合理配置合适的生产设备,规划出合适的装配线面积。

对于处在研制阶段的大型客机来说,要给出确定的生产速率无疑是不现实的,这给自动化装配生产线的规划造成了极大困难。假定有 20 架/年、50 架/年、100 架/年、150 架/年等几种生产速率,进行生产线预规划,并综合各种情况进行装配设备配置,目标是使自动化生产线适应飞机不同发展阶段的需要,具有一定的灵活性和可扩展性。

结束语

大型客机研制周期短、设计要求高,而国内自动化装配技术的应用水平不高,缺乏自动化装配设备研制能力。

因此,在大型客机研制中必须尽早确定自动化装配的应用范围、对象,需要设计部门、工艺部门和设备供应商联合工作,选定合适的自动化装配设备型式,设计出适应面向自动化装配的机体结构部件;工艺工装部门、规划部门应联合设备供应商一起尽早开展自动化生产线规划,形成完整的自动化装配生产线布置,建设装配厂房时应适应自动化装配的需要,避免日后返工或改造。

(责编 袁晨)