

民用客机中央翼盒自动制孔技术

詹建国

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西西安 710089

摘要: 分析民用客机中央翼盒典型结构特点, 从结构装配工艺角度提出中央翼盒制孔的难点, 引出在中央翼盒段上应用自动制孔技术的重要性。并结合中央翼盒高精度制孔、高质量连接的要求, 论述自动制孔方案、自动制孔设备选用情况及设备自动制孔流程。

关键词: 自动制孔; 中央翼盒; 虚拟五轴并联; 可移动结构; AVS视觉孔

Automatic hole making technology for central wing box of civil aircraft

Jianguo Zhan

AVIC Xi'an Aircraft Industry Group Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710089

Abstract: This paper analyzes the typical structure characteristics of the central wing box of civil aircraft, puts forward the difficulties of the central wing box hole-making from the perspective of the structural assembly process, and draws out the importance of applying automatic hole-making technology to the central wing box segment. Combined with the requirements of high precision hole making and high-quality connection of the central wing box, the automatic hole-making scheme, the selection of automatic hole-making equipment, and the automatic hole-making process of equipment are discussed.

Keywords: automatic hole making; central wing box; virtual five-axis parallel; movable structure; AVS visual hole.

民用客机研发制造, 是对一个国家机械、材料、冶金、工业制造等诸多行业的全面检验, 是提高国家核心竞争力的重要标志。目前, 全球民用客机市场被波音、空客公司垄断, 发达的工业生产体系和先进制造技术研发体系, 使其飞机产品在质量可靠性、安全性方面具备极强的竞争力。现代民用飞机的发展呈现更安全、更经济、更舒适、更环保、寿命更长、研制周期更短的特点, 对飞机制造技术提出了更高的要求^[1]。

我国民用客机研发制造正处于起步阶段, 在已经形成的飞机制造技术基础上, 紧跟世界民航制造发展方向, 学习和借鉴世界先进飞机制造技术, 总结并积累先进制造技术和装备的应用经验, 能加快我国民用飞机制造技术追赶世界先进制造技术的步伐。

1. 中央翼盒结构特点

中央翼盒与机翼、机身相连, 是机翼的主要承重结构, 承担着飞机起飞、巡航和着陆过程中大部分的重量和压力, 主要将机翼上的剪力、扭矩和反对称弯矩传给

机身; 另外, 中央翼盒还存储着大量的飞行燃油。在材料选择以及装配工艺上需要注意防火、防漏、防静电和防腐蚀等^[2]。

民用客机是典型的下单翼结构, 中央翼盒处于中机身下半部分, 其上是客户地板, 其下是龙骨梁, 前与中前机身对接, 后与主落架舱相连, 左右两侧与外翼对接, 是中机身结构的核心部位, 中央翼盒的装配质量直接影响民用客机产品质量和飞机结构性能。

中央翼盒段顾名思义, 呈半封闭盒型结构, 一般由前梁框、后梁框、上壁板、下壁板、肋、展向梁等结构组成。中央翼盒型结构形成的六个结构面, 上、下面均为曲面壁板结构, 其余四个面为平面板件结构。在产品结构设计上, 依据飞机性能和用途, 中央翼盒段的框、梁及肋等零件普遍采用整体机加件, 壁板蒙皮也会要求进行喷丸强化, 且零件厚度较大。除大量采用铝合金材料外, 连接外翼部位的关键零件还会采用钛合金材料, 以提高结构强度。除此之外, 为了满足连接强度要求,

中央翼盒上的选用的紧固件, 直径一般较大, 且均要求干涉配合连接, 干涉量较小, 对制孔精度要求较高。

民用客机因其较高的结构性能要求, 机身、中央翼与外翼对接处的结构形式也显得尤为重要, 对接部位的接头、缘条等关键结构件均采用“三叉”的结构形式, 尤其在上、下翼面对接用的上、下缘条, 有两个面均在机身上部侧壁板结构内部完成连接。从工艺性上分析, 这也是民用客机中央翼盒与其它飞机中央翼盒结构不同之处。加之, 中央翼盒段在左右两侧与外翼对接, 对接精度也直接决定了飞机结构性能。因此, 区别于其它飞机, 民用客机中央翼盒必须形成一个结构刚性好、外形精度高的“六面”盒形结构。

2. 中央翼盒制孔难点分析

飞机装配工作量约占整个飞机制造工作量30%~45%, 其制孔连接方式以手工制孔铆接为主。据统计, 飞机机体疲劳失效事故的70%是源于结构连接部位, 其中80%的疲劳裂纹产生于连接孔处, 因此连接孔的质量极大地影响着飞机的寿命, 提高制孔质量和效率对飞机制造业的作用巨大。目前, 国内飞机装配普遍使用传统的手工制孔技术, 与发达国家广泛使用的自动制孔技术相比, 制孔精度差、效率低, 难以满足现代飞机生产要求。

民用客机的设计寿命要求达到上万飞行小时, 这对结构的疲劳提出了更高要求, 采用传统制孔技术和方法, 已经不能满足设计长寿命连接的技术要求, 实现高性能的飞机结构制孔, 必须采用先进的制孔技术和设备。

民用客机中央翼盒形成的“六面”结构, 每一个结构面上均有两条或四条“边”是结构之间配合形成的搭接面, 夹层厚度最大的部位将近50mm; 大部分结构均为铝合金, 但与外翼对接部位的缘条等关键零件采用了强度较高的钛合金。每条“边”的搭接面处均按产品功能需求布置了大量的干涉配合螺栓, 螺栓直径最大的约16mm, 干涉量在0.03~0.05mm, 同时孔的垂直度, 孔内壁的粗糙度均有较高的要求。较其飞机而言, 民用客机中央翼盒的结构制孔, 有夹层厚、精度高、材料硬、空间不开敞、结构复杂等特点, 增加了制孔技术难度和制孔工作强度。

从装配工艺性上分析, 中央翼盒在预定位、制孔、分解去毛刺、恢复定位状态及完成最终连接的工艺过程中, 既要保证盒段六个“面”定位准确性, 又要保证其上至少十六条“边”制孔状态的一致性, 还要确保制孔空间的可达性。这一工艺特点, 是飞机大型盒形结构件

装配存在的共同点, 也是装配难点。这也给制孔方法和设备的选用, 带来了一定难度和挑战。

在保证中央翼盒外形精度的情况下, 避免定位、分解、复位等工艺过程对制孔精度、制孔质量, 尤其是孔同轴度产生影响, 就必须采用合理的工装, 确保各工艺过程中央翼盒产品状态的一致性。还必须尽可能留有足够的空间, 提高制孔人员、工具、工装及设备的可达性和可操作性, 以提升制孔的质量和效率。这些制孔工艺特点, 决定了民用客机中央翼盒制孔需把握的关键点: 可靠、灵活、高效。同时, 也提供了解决民用客机中央翼盒制孔难点的思路和方向。

3. 自动制孔技术与设备应用

传统的手工制孔主要存在三个问题: 1) 质量相对差且不稳定, 难以满足长寿命设计要求; 2) 效率低、长期成本高, 难以满足批产经济性要求; 3) 制孔操作人员培养周期相对长, 对制孔质量、生产效率、生产成本产生较大影响。在飞机结构制孔中实现自动化制孔, 可以解决这些问题, 提高制孔质量, 满足设计长寿命连接要求; 提高效率, 降低成本, 满足制造经济性要求, 同时缩短与国外先进技术水平的巨大差距。

我国民用客机担负着与世界一流民用客机相抗衡的重大历史使命, 因此各方面性能要求较高, 为了满足型号研制需要, 也为了确保顺利完成这一重大历史使命, 民用客机研发起步也较高, 采用了基于MBD的设计和研发模式, 已完全具备研究和应用世界先进自动制孔技术和设备的条件。

当前, 国内外应用较成熟的自动制孔技术及设备, 主要有自动钻铆、机器人自动制孔、柔性轨自动制孔、龙门式自动制孔等, 在各型飞机研制中应用也较广泛, 技术成熟度、设备制孔功能及精度, 均有较好的保证。但其均有一定的适用范围和对象, 且根据加工对象的工艺特点, 还需进行相关设备功能、配套工装等的定制, 使其具备一定的专用性。

民用客机中央翼盒结构不同于其他飞机产品结构, 其装配工艺特点及流程, 也与其它产品结构相差很大, 在满足中央翼盒产品制孔的基本要求上, 必须针对中央翼盒制孔的关键点、难点, 采用适合的自动制孔技术和设备, 才能实现制孔技术的突破。

虚拟五轴并联自动制孔技术, 是五轴机床加工与机器人串联制孔技术的融合创新(见图1、图2), 在其独有的空间坐标算法驱动下, 三根并联支撑杆与主轴带动制孔执行端实现不同工况下空间任意自由度的运动, 进

而完成自动制孔。



图1 机器人串联技术



图2 虚拟五轴并联技术

虚拟五轴串联制孔设备相较五轴制孔机床和机器人制孔系统,精度方面:虚拟五轴并联设备与高精度机加设备相当,比机器人精度高;可达性方面:虚拟五轴并联设备与机器人相当,比机加设备更高。虚拟五轴并联设备可在固定区域实现更大的加工范围;制孔速度方面:虚拟五轴并联设备与机器人相近,但机加设备的灵活移动性比较有限。

刚度方面:虚拟五轴并联设备较高精度的机加设备弱,但比机器人优势明显。因此,虚拟五轴并联制孔设备比标准机器人具有更高的精度和更好的刚度,比五轴制孔机床加工设备具有更好的可达性,这也是虚拟五轴并联制孔技术和设备适合民用客机中央翼自动制孔的关键所在。

用虚拟五轴并联制孔设备对中央翼盒进行自动制孔,为了最大可能提高设备自动制孔率,减少人工制孔,提高制孔效率,必须进一步提高设备的灵活性、可靠性。结合产品工艺流程、工艺布局,为设备和产品配备可移动的结构(见图3)或工装,能增加制孔设备的灵活性,设备可达性也更好。

基于产品装配工艺流程,民用客机中央翼盒自动制孔工位,分别设置了前后梁、左右肋及中央翼盒段自动制孔支撑工装,形成中央翼组件自动制孔和中央翼盒部件自动制孔两个制孔工位。在中央翼盒部件自动制孔工



图3 卧式移动结构

位增加AGV智能运输车配合产品进行移动或角度旋转,当虚拟五轴并联设备在移动结构上沿水平直线轨道运动到制孔工位时,中央翼盒在AGV智能运输车的作用下,按 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个方位旋转,配合虚拟五轴并联制孔设备进行每个角度的制孔。中央翼盒不同的制孔角度,有不同的产品结构,虚拟五轴并联制孔设备依据产品结构上已制出的AVS视觉孔,建立局部坐标系,准确计算和修正紧固件孔位,并进行法向找正,以保证制孔的精度。为了提高设备在中央翼盒各制孔角度的可达性和效率,根据产品结构的具体尺寸,设计不同结构的压力脚(见图4),并采用自动换刀模式,使设备制孔刀具快速到达具体制孔部位,进行自动制孔。



图4 特定结构的压力脚

4. 结束语

民用客机中央翼盒自动制孔技术的应用,突破了国内民用飞机中央翼盒传统制孔方法和模式,促进了民用客机机身盒形部件自动制孔技术向可靠、灵活、高效的虚拟五轴并联制孔技术快速发展,提升了我国民用飞机的研制技术水平和竞争力。

参考文献:

- [1]姜丽萍.C919的制造技术热点及最新研制进展.航空制造技,2013年第22期
- [2]王婷婷.CJ828中央翼盒复合材料结构设计,万方数据,2013No.1/(季刊)总第108期