

飞机自动化装配技术的发展

Development of Aircraft Auto-Assembly Technology

中国商飞上海飞机制造有限公司航空制造技术研究所 蒋红宇 王宇波



蒋红宇

研究员,毕业于西北工业大学飞行器制造工程专业。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主任研发工程师,参与大型客机研制的关键制造技术攻关和工艺规范体系建设工作。

本文在对国外飞机自动化装配技术调研基础上,分析国外飞机自动化装配技术的发展历程,梳理了飞机装配各阶段所应用的自动化装配设备/系统,介绍了国外最新的一些自动化装配生产线,提出了在大型客机生产中自动化装配技术所应达到且能达到的应用水平。

十余年来,以数字化、柔性化为特征的自动装配技术已成为飞机制造业

十余年来,以数字化、柔性化为特征的自动装配技术已成为飞机制造业发展的必然趋势。国外民机制造公司将之视作一项非常重要的核心技术,在单一产品数据源的数字量尺寸协调体系的基础上,采用数字化装配设计技术,通过装配仿真和虚拟现实技术等虚拟制造技术和并行工程实现装配过程优化,应用自动钻铆设备、柔性装配工装、数字化测量单元、数控系统,并集成为一系列的自动化装配系统进行机体结构的自动化装配,实现了飞机结构的高质量、高效率、长寿命数字化装配。

发展的必然趋势。国外民机制造公司将之视作一项非常重要的核心技术,在单一产品数据源的数字量尺寸协调体系的基础上,采用数字化装配设计技术,通过装配仿真和虚拟现实技术等虚拟制造技术和并行工程实现装配过程优化,应用自动钻铆设备、柔性装配工装、数字化测量单元、数控系统,并集成为一系列的自动化装配系统进行机体结构的自动化装配,实现了飞机结构的高质量、高效率、长寿命数字化装配^[1]。

国外自动化装配技术发展历程

自动化装配源于20世纪40、50年代,1948年美国捷姆科公司在世界第一个研发出自动钻铆紧固工艺,

随后开发了单台式自动钻铆机,首先应用于飞机壁板的自动铆接。

至20世纪80年代,随着数控技术的发展,采用了半自动、全自动数控托架系统,单台自动钻铆机已经在波音公司获得广泛应用,壁板级自动钻铆程度已达60%以上。同期干涉配合技术、电磁铆接技术、孔强化及压印技术得到了快速发展,逐步结合到了自动钻铆设备中^[2]。

而自20世纪90年代初波音公司在发展波音777飞机过程中全面实施飞机数字化技术以来,自动钻铆技术与数字化技术紧密结合,迅速从壁板级自动钻铆机扩展到了机翼翼梁、机身半壳体/筒形体、复合材料部件、机身对接、机翼对接等装配的各个方面,波音和空客公司分别形成了多种机

型、多种部件的自动化装配生产线^[3]。

同期,波音公司开发了无毛刺制孔技术,被称为“精益钻铆”技术的一部分,正用于飞机机身在铝-铝叠层及铝-钛隔框上的湿钻(钻孔时在蒙皮与支承结构之间有贴合面密封胶),可免除手工去毛刺和预装工序,大大提高了装配质量和效率,推动了自动化装配技术的发展。

到了2000年以后,随着飞机生产量的提高和以复合材料结构为主的机型发展,部装和总装移动生产线技术得到快速发展和应用,成为自动化装配技术发展最快的一个方面。

图1简单展示了近年来国外飞机自动化装配技术的发展历史。

国外主要的自动化装配设备

飞机自动化装配,按飞机制造流程可以分为3个阶段:一是壁板级自

动化装配,这是最低层次的自动化装配要求,工作量最大,技术及设备成熟,易于实现自动化钻铆;二是部件级集成自动化,这既是壁板自动化后的集成,又是满足大部件对接自动化的基础,也是最难实现自动化的环节;三是大部件对接和结构总成级自动化,这是展示先进装配生产线的亮点,近年技术发展很快。

从装配阶段并结合飞机结构特点分析,自动化装配设备主要分为以下6类:

(1)机身、机翼壁板/翼梁类装配设备。

机身、机翼壁板自动化装配设备的情况如图2所示。机身、机翼壁板类装配是飞机装配的基础,目前国外发展的自动化装配系统主要有C框形自动钻铆机、柔性机翼壁板装配系统、柔性翼梁装配系统、机身壁板集成单

元(IPAC)、机器人自动化装配系统和机身环铆装配系统(MPAC)、混连结构双机器人自动钻铆系统等。

C框形自动钻铆机、机身壁板集成单元(IPAC)是较为传统的自动钻铆设备,现有使用量最大,经过技术改进和扩展,仍有较新型号得到开发。机身环铆装配系统(MPAC)就是在机身壁板集成单元(IPAC)基础上的最新开发,更好地适应了机身圆筒形结构^[4]。

此外,空客和波音公司的大多数飞机均采用了机翼壁板、翼梁柔性装配系统。这两类柔性装配系统最显著的特点,都是采用了电磁铆接动力头和行列式高速柱阵柔性装配工装,能适应不同规格和尺寸的壁板或翼梁的装配。它集成了电磁铆接技术和运动磁轭装配机技术,解决了翼梁大型构件的自动化装配问题。



图1 国外飞机自动化装配技术的发展历程



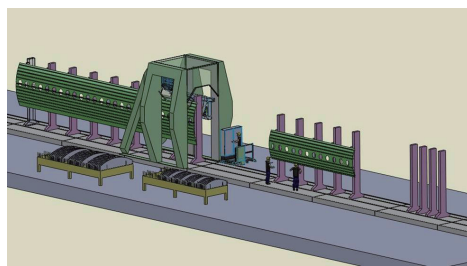
(a) C形框自动钻铆机



(b) D形框自动钻铆机



(c) 环形及 MPAC 自动钻铆机



(d) E形龙门自动钻铆机

图2 机身、机翼壁板类自动钻铆设备

机器人自动化装配系统是起源最晚、发展最快的装配系统。近几年,随着工业机器人的位置精度、负载能力等性能的提高,刚度补偿、仿真等技术的发展与成本的下降,使得机器人可作为一种高效的柔性平台,然后配以末端执行器,构成柔性自动化装配系统,可以完成压紧、探测、钻孔、孔检测、插入螺栓或环槽钉以及安装的功能。其特点是柔性高、成本低、集成快、使用简单。

(2) 机身筒段、半筒段类装配设备。

机身半筒段、筒段装配制孔和连接量不是很大,但工作开畅性较差,所需工装一般较大,长期以来多采用手工制孔连接的方式,自动装配技术发展较慢。近几年随着飞机结构工艺性的改进、复合材料机身段的应用,新开发了几种新的自动化装配设备,图3为机身环形自动钻铆设备、机身内部框角片安装机器人钻铆设备、机器人自动钻铆设备、C框架半机身段自动钻铆设备。

(3) 机体对接类平台设备。

波音和空客公司均采用自动对接系统代替了大型的固定对接平台,

主要由计算机控制的自动定位器、激光测量系统和控制系统组成,采用对接平台系统大幅度提高了机体装配质量,并且能够适应不同尺寸的机身、机翼结构,通用性强,节省了大量装配工装。传统的自动定位器主要是分散式数控千斤顶结构,而后发展了塔式侧向支撑结构。后一种对接定位平台主

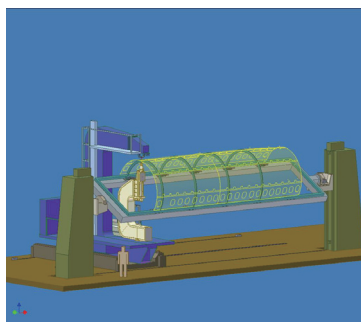
要是在定位器上增加了随动装置,并和部件整体柔性托架结合使用,减少了支撑位置对飞机产品的变形影响,尤其有利于复合材料结构部件的对接。

(4) 轻型柔性自动制孔设备。

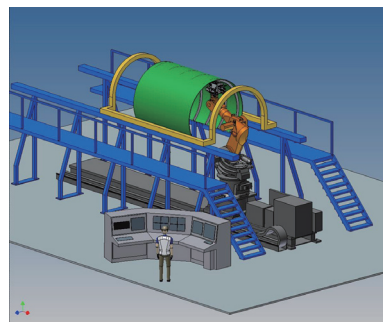
传统自动钻铆设备基本上属于专用设备,大多是针对某一部段的大工作量的装配任务而设计的,其效率高、成本也很高,动辄需数千万元。然而,在飞机装配中,也有很多部位装配量不是很大如机身对接处、壁板之间的对缝、小部件范围内的铆接等,采用专用设备既不经济、也不必要。因而开发了几种低成本(大约相当于专门设备的10%~20%)的轻型柔性自动制孔设备,其通用性好、柔性高、价格低。如柔性轨道自动制孔设备、爬行机器人自动制孔设备、长桁通用拼接机、简易机器人自动钻铆设备等,均属轻型柔性自动制孔设备。

(5) 数字化自动化测量设备。

自动化装配系统的实现基于数字化量传递,需要采用数字化测量设备取得数字量检测数据并及时反馈,因此数字化测量设备是实现数字化、自动



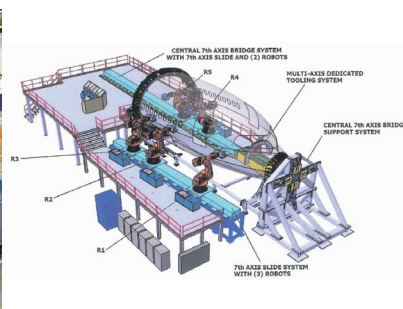
(a) C框架半机身自动钻铆机



(b) 框角片安装自动钻铆机



(c) 环形自动钻铆机



(d) 机头机器人自动钻铆机

图3 机身半筒段、筒段类自动钻铆设备

化柔性装配的必备的基础设备。这是由于产品、钻铆设备和工装的定位和制造精度,可能会引起实际模型与理论模型的偏差,此时需要有空间测量系统配合形成一套闭环控制系统进行形成集成控制。

数字化测量设备主要有激光跟踪仪、激光雷达、室内定位系统 iGPS、三坐标测量机。在自动化装配生产线中,现用的测量设备主要是激光跟踪仪,激光雷达因其测量速度快在大尺寸零部件测量中逐步得到引用,而 iGPS 因其大空间测量引起广泛关注。

(6) 运输吊装辅助设备。

在自动化柔性装配生产线中,物流的快速响应是其中非常关键的一环。传统的行车吊运由于其效率、安全性、操作复杂等因素逐渐减少,而地面运输逐渐增多。国外开发了各种专业的运输吊装设备,大大加快了物流运转,提高了自动化装配生产线的整体效率,主要有万向驱动小车、自动导引小车(AGV)、气垫运输小车、多用途升降运输工作平台、真空吸附壁板吊装工装等。

(7) 柔性装配工装。

除上述自动化装配设备之外,在自动化装配中的装配工装虽然已经简化和减少,但仍是不可或缺的一部分,并逐步发展成类似于数控设备的自动化工装,其中主要包括行列式、多点阵真空吸盘式和分散式机身柔性装配工装,具有模块化、数字化和自动化的特点。柔性装配工装基于三维模型(往往基于 CATIA 平台)进行关联设计,保证了装配系统与飞机产品的数字化协调。

柔性装配工装根据装配阶段的不同有所差别。用于机身壁板装配/超级壁板装配的柔性工装一般采用基于简易框架的结构,一般采用一定数量的装配孔和内形板(或真空吸盘)对蒙皮进行定位。如能控制壁板自重变形等问题,甚至可以没有内形板而只用简易框架周围装配孔和夹紧装置定

位。利用一组 POGO 柱真空吸盘组成多点阵柔性装配工装,该 POGO 柱是由程序控制的、可三维移动到空间任何位置进行定位的、可生成与装配件曲面完全符合并均匀分布的吸附点阵。该吸附点阵能够精确和牢固地夹持壁板等装配件,当产品外形发生变化时(多产品或多种机型时),可数控进行自动调整工装外形和布局。一般来说真空吸盘比内形板柔性好,但价格也贵,当生产型号不多时可考虑用内形板。

国外主要的自动化装配生产线

近 20 年来,国外建成了不少先进的民用飞机自动化装配生产线:

(1) 波音 737、747、757、767、777 飞机和空客 A320、A330/340、A380 飞机的自动化装配生产线代表了当代自动化装配技术的发展现状。

(2) 波音 787、空客 A350 飞机的自动化装配生产线,是最新的以复合材料结构为主的飞机在自动化装配方面的最新发展,引领了未来飞机装配的方向。

在波音及空客的自动化装配生产线中,不但有当前最先进的自动化装配系统设备,也保留了大量装配有半自动或全自动托架的传统自动钻铆机。

另外,在波音系列民机的总装生产线中,波音公司为了满足飞机的快速生产需求、降低装配成本,吸取汽车行业流水生产线的理念,进行生产线流程再造,采用精益制造模式,变革传统的批量装配生产方式变为单件流拉动式生产方式,在总装中采用了移动生产方式,大大缩短了飞机的总装时间,降低了总装成本,提高了装配质量。如波音 737 在 1999 年建成移动生产线之后,总装时间由原来的 22 天减少到 11 天,工作流程产品存货降低 50%,储备存货降低 59%,该生产线以每分钟 2 英寸(50.8cm)的稳定速度前行,最终可将飞机的装配时间减少到 8 天。

大型客机生产中自动化装配技术应用水平建议

我国正在研制的大型客机具有结构尺寸大、寿命要求高(90000 飞行小时)、复合材料用量大、产品装配质量要求高等特点,采用传统的手工铆接已无法实现 C919 飞机的装配制造,急需扩大应用自动化装配技术。

飞机部装阶段是采用自动化装配技术和设备、提高装配质量和效率的最有利阶段。为确保 C919 大型客机的长寿命、高质量、高效率要求,必须在该阶段大量采用自动化装配设备,提高自动化装配程度,使自动钻铆系数至少能达到 60% 以上,确保飞机主承力结构实现自动化装配,这是应该实现而且可能实现的。

在考虑大型客机部装生产线时,应充分结合飞机产品结构特点,考虑自动化装配工艺方案,深入研究数字化装配技术,合理选择自动化装配设备,切实进行系统集成和试验验证,科学规划和建设自动化柔性化装配生产线,确保生产线的安全、质量、效率和经济性,兼顾可扩展性、兼容性。

总之,在 C919 大型客机的研制生产过程中,要提高装配质量、提高装配效率、降低生产成本,以满足长寿命的高标准设计要求并达到经济上的成功,就必须形成 C919 飞机的先进装配能力。而形成先进装配能力的关键就是采用数字化协调技术,以自动化装配设备为核心,以集成创新为应用方向,建设适应飞机结构特点的柔性装配生产线。

参考文献

- [1] 蒋红宇. 面向自动化装配的大型客机结构工艺性设计初探. 航空制造技术, 2009(14):52-54.
- [2] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术. 航空制造技术, 2005(9):28-32.
- [3] 许国康. 大型飞机自动化装配技术. 航空学报, 2008(5):734-740.
- [4] 邓锋. MPAC 自动钻铆机. 航空制造技术, 2010(6):26-29. (责编 深蓝)