

飞机壁板类组件数字化装配 柔性工装技术及应用

Flexible Tooling Technology and Application for Digital Assembly of Aircraft Panel Component

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 王 亮 李东升 刘凤贵 肖文磊
沈阳飞机工业(集团)有限公司 冯子明 陶春君 白新宇



王 亮

北京航空航天大学博士研究生,航空宇航制造工程专业,主要从事飞机数字化装配技术、飞机装配数控柔性工艺装备的研究。

柔性工装技术是基于产品数字量尺寸协调体系的可重组的模块化、自动化装配工装技术,其目的是免除设计和制造各种零部件(如壁板类、翼梁类组件,机翼、机身部件等)装配的专用固定型架、夹具,可降低工装制造成本、缩短工装准备周期、减少生产用地,同时大幅度提高装配生产率。

因此,飞机装配技术在飞机制造过程中占有非常重要的地位。

飞机结构不同于一般的机械结构,在其装配过程中,不能单靠零件自身形状和尺寸的加工准确性来装配合格的部件,故在飞机的装配过程中大量采用了具有定位功能的工艺装备,以保证飞机产品从零组件到部件装配过程中的精确几何外形^[3]。型架是飞机装配中的重要工艺装备。

以型架为代表的传统装配工装多采用刚性结构,其可重构性差,装配模式采用一个组件对应一个型架的一对一模式。因此,对应一个飞机产品,需要设计制造大量工装,这不仅增加了飞机的制造成本,延长了飞机的制造周期,而且大量的装配型架

占据了大量的厂房面积,特别是随着越来越多新机型的出现,装配工装占地面积大的矛盾越来越突出。

随着数字化技术在飞机制造过程中越来越广泛的应用,以柔性工装技术为代表的各种数字化柔性装配技术应运而生。飞机数字化柔性装配技术是一种能适应快速研制和生产、低成本制造要求,及设备和工装模块化、可重组的先进装配技术^[4-5]。柔性装配技术的范畴很广,包括柔性装配工艺技术、自动钻铆工艺技术、可视化柔性装配过程仿真技术、柔性装配质量控制技术、柔性装配的精度测量技术、柔性工装技术和柔性装配系统集成控制技术等。其中,柔性工装技术是数字化柔性装配技术重要

飞机制造过程可以分为毛坯制造、零件加工、装配安装和试验4个阶段^[1-2]。在一般机械制造中,装配和安装工作的劳动量只占产品制造总劳动量的20%左右,但在飞机制造中,装配和安装工作的劳动量却占到飞机制造总劳动量的50%~60%。

的组成部分。

飞机数字化装配柔性工装技术及典型应用

柔性工装技术是基于产品数字量尺寸协调体系的可重组的模块化、自动化装配工装技术,其目的是免除设计和制造各种零部件装配的专用固定型架、夹具,可降低工装制造成本、缩短工装准备周期、减少生产用地,同时大幅度提高装配生产率^[4]。

柔性工装技术在国外飞机的各级装配中都得到了广泛的应用,无论是壁板类组件的装配,还是机身机翼等大部件的装配,直至最终各个大部件的对接,都应用了大量的柔性装配工装。柔性装配工装的类型包括用于壁板类组件装配的多点阵真空吸盘式柔性装配工装、用于机翼翼梁和机翼壁板装配的决定性柔性装配工装、用于机身部件装配的分散式机身柔性装配工装,以及用于大部件对接的自动化对接平台等几类。

国外的飞机制造商在飞机装配过程中通过大量应用柔性工装技术,大大降低了飞机的装配制造成本,提高了生产效率,缩短了装配周期,提高了产品质量。

面向飞机壁板类组件装配的柔性工装

飞机壁板类组件结构尺寸大,刚度小,制造精确度要求高。在壁板类组件的传统装配过程中,为减小变

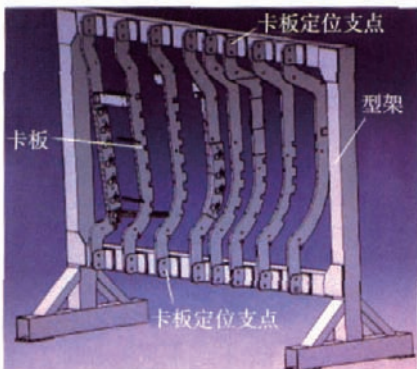


图1 传统刚性型架结构图

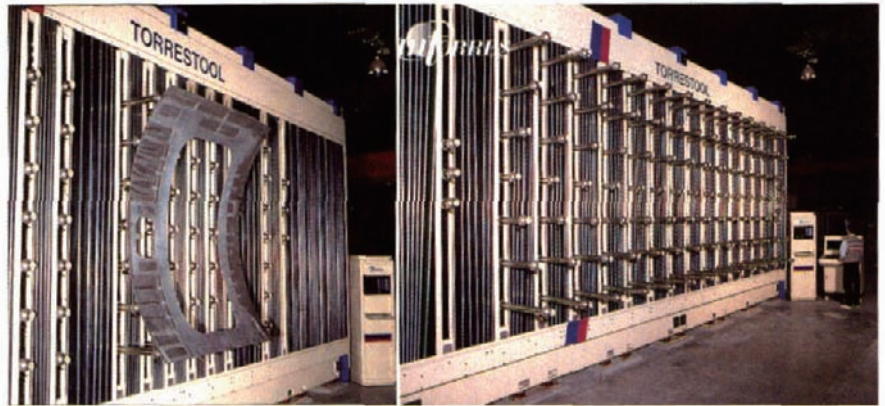


图2 多点阵真空吸盘式柔性工装

形、保证定位的准确性,型架结构(如图1所示)均采用刚性结构,用来定位的卡板固连在型架骨架上。因此,一个型架只对应一套卡板,从而只能适用于一个壁板组件的装配。我国当前的飞机壁板组件装配还是采用这种传统的装配方式。

在国外飞机壁板类组件的装配过程中,工装多采用多点阵真空吸盘式柔性工装,如图2所示。多点阵真空吸盘式柔性装配工装由一组立柱吸盘组成,吸盘在控制程序控制下可进行三维移动定位,生成与壁板组件曲面完全符合且分布均匀的吸附点阵,从而精确可靠地定位和夹持壁板。当产品外形发生变化时,吸附点阵布局自动进行数字调整,可以适应不同的装配组件外形。

系统中各轴均采用精磨滚珠丝杠驱动末端执行器,各垂直丝杠及导轨包含若干个末端执行器,末端执行器可成组移动到指定位置,或根据应用对象要求的支点数量以等间隔分布。图2左图中夹持的蒙皮为复合材料,正准备移至相应结构部位进行定位作业。图2中右端的控制器通过控制程序可控制各个真空吸盘运动到精确位置,定位精度可达0.005英寸(0.127mm)。

通过上述对比可以看出,多点阵真空吸盘式柔性工装不仅具有很好的柔性,而且定位精度高,值得我们研究和学习。但在我国当前的国情

状况下,推广应用这种柔性工装还有不少阻力和困难。首先由于多点阵真空吸盘式柔性工装的装配工艺与我国当前基于刚性型架的装配工艺差别较大,工人可能需要一定的时间来习惯和适应;其次这种工装在应用中,往往需要与自动钻铆机等自动化设备配合使用,而当前国内自动钻铆机等自动化设备的应用还很少。因此,当前在我国推行这种先进的柔性工装还有一段路要走。

但是,随着我国飞机制造业数字化工程的实施以及各种新机型的快速研制,飞机装配中亟需应用推广柔性工装技术,但又必须立足于我国国情状况。因此,基于我国当前的飞机装配工艺,研制能适应不同产品的数字化柔性装配工装具有重要的现实意义。北京航空航天大学 and 沈阳飞机工业(集团)有限公司合作,在国内研制出了首个针对壁板类组件装配的柔性装配工艺装备——数控柔性多点装配型架。

数控柔性多点装配型架

1 数控柔性多点型架原理

数控柔性型架是在研究国外柔性工装技术的基础上,结合我国当前的飞机装配状况,将国外柔性工装技术的思想和我国当前的装配工艺相结合开发完成的。其核心思想是将卡板定位支点可移动化,使原本固定的卡板定位支点变成可重构调形的

可移动支点,通过更换不同的卡板,实现利用一个型架装配多个壁板组件的目的,这样既实现了工装的柔性,又沿用了当前国内壁板装配采用卡板定位的装配工艺,便于工人操作使用。

数控柔性装配型架的原理为:在传统型架结构的基础上,增加可重构调形单元,卡板定位支点位于可重构调形单元上,利用数控技术精确控制可重构调形单元在垂直方向和水平方向运动,实现卡板定位支点精确重构调形,从而通过更换不同壁板组件对应的卡板,即可完成多个不同壁板类组件的装配。

数控柔性多点型架主要由机械系统、数控系统及调形计算机软件系统组成。在工作过程中,3个系统相互联系,互相配合,保证了调形数据在数控型架应用过程中的全数字量传递,最终实现了卡板定位支点的精确重构调形。

数控柔性多点型架的工作流程如图3所示。壁板类组件与其对应的卡板在CATIA系统中设计完成后,与在CATIA环境中建立的数控柔性多点型架的三维数字样机进行预装配,提取卡板定位关键点,建立一个

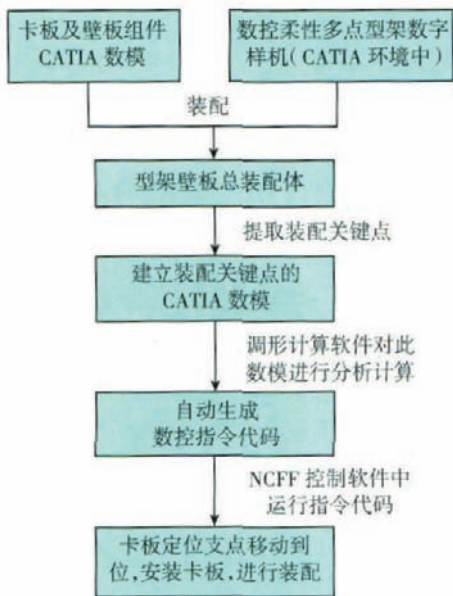


图3 数控柔性多点型架系统工作流程

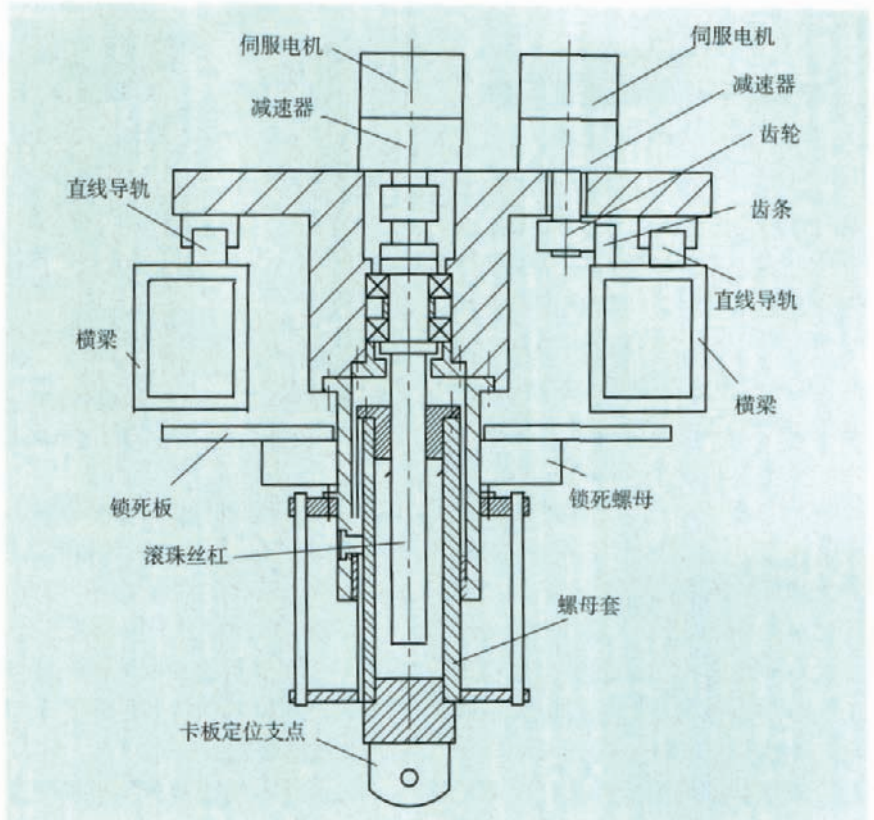


图4 可重构调形单元原理图

装配关键点数模,调形计算机软件对该关键点数模进行分析计算,得到数控柔性多点型架的调形数据并生成数控代码,最后传递给数控型架的控制软件系统运行此数控代码,可重构调形单元运动到预定位置,完成调形。

数控柔性多点型架在应用过程中,实现了调形数据的全数字量传递,提高了型架的定位准确度。

2 机械系统

数控柔性多点型架在机械结构上的主要特点是在传统型架结构的基础上增加了16个可重构调形单元(原理如图4所示),伺服电机通过减速装置带动齿轮转动,通过与固定在型架横梁上的齿条啮合来实现可重构调形单元在水平方向的运动;可重构调形单元在垂直方向的运

动由伺服电机通过减速器驱动滚珠丝杠副来实现。

卡板定位支点安装在可重构调形单元上,可重构调形单元在水平和垂直方向的运动实现了卡板定位支点在这2个方向的运动。卡板定位支点调形到位后,电器上通过伺服电机的抱闸、机械上通过锁死螺母双重锁死可重构调形单元,保证定位的可靠性。

3 数控系统

数控柔性多点装配型架需要实现16个可重构调形单元在水平和垂直方向的精确运行,因此需要控制32个伺服电机的运动。通过建立上位机+集成伺服单元的数控系统,实现了对32个伺服电机的精确控制。

作为上位机即控制主站,工控机采用德国AMK公司的KU控制器(内部集成PLC功能)为伺服主站,AMK公司的IDT一体化电机作为伺服从站,2者构成集成伺服单元。整个系统采用了3个KU伺服主站,通过现

场总线串联了 32 个 IDT 伺服从站。

(1) 数控系统硬件连接及控制结构。

上位机与伺服主站之间通过串口线相连,伺服主站与伺服从站由 AMK 公司内部的 ACC 总线相连。

电机采取总线串联方式以尽可能地减少系统连线。而采用一体化伺服电机,内部集成伺服单元,一方面大量节约了执行单元所占空间,另一方面进一步减少了执行单元的内部和外部连线,每个电机连线包括动力线仅为 3 股。

系统控制结构主要由控制主站与伺服主站的通信以及伺服主站与伺服从站通信 2 个阶段组成。串口通信协议用于实现控制主站与伺服主站的通信,而 KU 伺服主站与 IDT 伺服从站之间的通信则由基于 ACC 总线的 AFP (AMK Field bus Protocol) 协议实现。其中 KU 伺服主站实现了关键的协议转换功能。

(2) 控制软件。

控制软件主要包括工控计算机上的主控软件 NCFE 系统和伺服主站的 PLC 软件。

工控计算机主站软件 NCFE 的主要功能为人机交互、指令构建发送和状态整理显示,采用 Visual Basic 6.0 开发。工控计算机上运行 NCFE 控制主程序,实现对系统的指令控制、状态处理、资源管理和人机交互等。

PLC 软件主要功能为对串口通信协议和 AFP 协议的编码、解码及转发,采用 CodeSys 软件开发。

4 调形计算软件

调形计算软件系统是基于 CATIA 软件平台的二次开发功能完成的。系统采用面向对象程序设计方法(OOP)、基于 VB6.0 进行开发,利用 CATIA 公开的用于二次开发的应用程序编程接口(API),通过引用选择不同的类和函数进行开发。开发流程如图 5 所示。

调形计算软件具有初始参数设

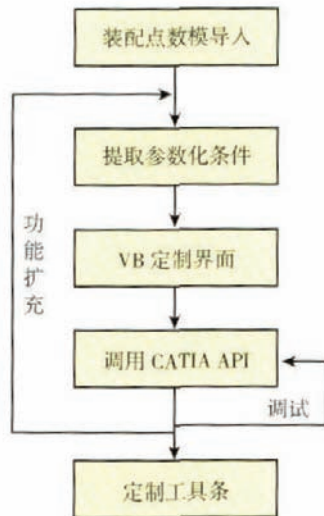


图5 调形计算软件开发流程



图6 数控柔性装配型架的应用验证

置、文档操作和调形计算等 3 个主要功能模块。系统计算完成后,自动生成数控系统要求的 XML 格式的数控指令代码,从而可以直接传递到工控机的控制软件上,控制机械机构运动到合适位置。

数控柔性多点型架应用验证

针对某型号飞机的 2 个壁板组件,对数控柔性多点型架进行了应用验证。图 6 为 2 个不同壁板类零件对应的卡板安装在数控型架上后的效果图。

通过上述 2 个零件的装配表明:数控柔性多点装配型架系统运行平稳,定位精确,通过激光干涉仪测量水平和垂直方向的定位精度均在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以内,实现了利用一个型架完成多个壁板类组件的定位装配,实现了飞机装配过程中装配型架与

壁板组件“一对多”的工作模式。

结束语

在研究飞机数字化装配柔性技术的基础上,介绍了国外面向飞机壁板类组件装配的多点阵真空吸盘式柔性工装,对国内开展飞机数字化装配柔性工装技术研究开发具有借鉴意义。另外,结合我国当前飞机装配技术水平,研制了一种适合我国国情的面向壁板类组件装配的柔性工装——数控柔性多点型架,并突破了相关关键技术。

数控柔性多点型架实现了用一个型架完成多个不同壁板类组件装

配的柔性装配模式。数控型架的成功研制,为进一步开展飞机数字化装配技术研究和自主研制适合我国国情的飞机数字化装配柔性工装系统具有指导意义。

参考文献

- [1] 王云渤,张关康,冯宗律,等.飞机装配工艺学.北京:国防工业出版社,1990.
- [2] Horne D. F. Aircraft Production Technology. New York: Cambridge University Press, 1986.
- [3] 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.
- [4] 郭恩明.国外飞机柔性装配技术.航空制造技术,2005(9):28-32.
- [5] Soe Naing, Graham Burley, Randolph Odi, et al. Design for tooling to enable jigless assembly-an integrated methodology for jigless assembly. Society of Automotive Engineers, Inc, 2000.

(责编 小颖)