

飞机复合材料构件 数字化生产线技术

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 李 薇 杨楠楠 高大伟



李薇

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司研究员级高级工程师、工学硕士,北京航空航天大学在读博士,从事 ERJ-145 转包项目研制、飞机制造数字化和信息化工作,承担多项国防科技预研项目,获得部级科技进步一等奖 1 项,三等奖 2 项,发表论文多篇。

随着计算机技术和数控技术的不断发展,各种各样的软件和数控设备相继出现,使复合材料构件研制过程以数字量传递成为可能,为复合材料构件实现数字化制造创造了良好的条件。但是在国内飞机制造业中,复合材料构件的设计制造大多仍沿用传统的模拟量尺寸传递体系。数字化设计制造技术虽得到了实际应用,并取得了一定的效益,但基本

处于孤立的状态,尚未实现复合材料构件从设计、工艺、工装、制造到检测整个过程的信息共享。美国波音公司在波音 777 型飞机研制中采用数字化技术,使研制周期缩短 50%,出错返工率减少 75%,成本降低 25%,已经成为数字化设计制造技术在飞机研制中应用的标志和里程碑。波音公司在波音 787 飞机项目中采用数字化设计,并将设计数据向全球的合作伙伴进行发放,保证了复合材料构件数据的唯一性和准确性。飞机复合材料构件数字化生产线技术,重在将复合材料构件设计制造技术与数字化技术相结合,实现复合材料构件设计与制造各环节数字化、数据流畅通和复合材料构件在并行工作模式下的设计、工艺、制造、检测、装配全过程的集成。

飞机复合材料构件 数字化生产线总方案

飞机复合材料构件数字化生产

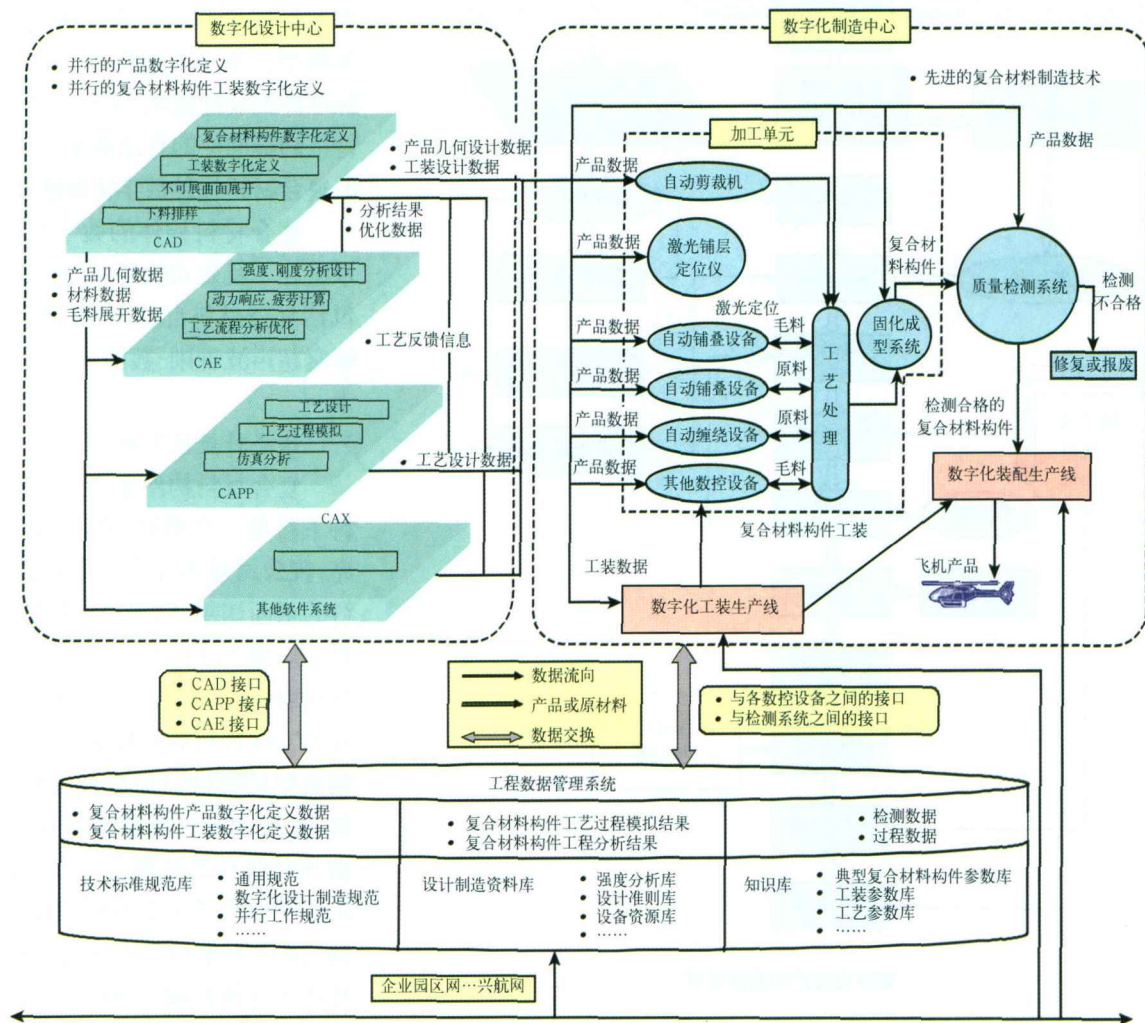
线以计算机网络环境和并行工作模式为基础,在企业工程数据管理系统支撑下,由数字化设计中心和数字化制造中心构成。其中数字化设计中心主要完成产品数字化定义、铺层设计与排样、铺放与缠绕轨迹设计、CAE 分析与仿真、工装设计、工艺设计与制造过程仿真等;数字化制造中心主要完成毛料剪裁(预浸料和蜂窝)、激光铺层定位、自动铺放、自动铺丝与缠绕、固化成型、切边钻孔、部件装配、质量检测等制造任务。

构建复合材料构件数字化生产线,除实现两大环节的数字化外,还必须保证各环节之间数据流畅通。

复合材料构件 数字化生产线技术

1 复合材料构件数字化生产线体系

复合材料构件数字化生产线体系研究主要围绕复合材料构件数字化产品设计、数字化工艺设计、数字化工装设计、数字化制造、数字化检



飞机复合材料构件数字化生产线总方案

测、并行工作管理、工作流程管理、质量控制等开展,并将精益制造理论和思想融入到整个生产体系中。

复合材料构件生产线由9个区域组成,即材料存储区、预浸料下料区、蜂窝下料区、铺层区、固化区、复材机加区、复材检测区、复材部件装配区、喷漆区。该生产线厂房面积达7万余m²。在企业近年的技术改造项目实施后,每个区域都可实现数字化。

复合材料构件数字化生产线具有一套典型的流程,具体见数字化生产线典型流程图。

2 复合材料构件产品数字化设计技术

复合材料构件最显著的工艺特点是在完成材料制造的同时完成产

品的制造。因此,复合材料构件的数字化定义与其他材料零件的定义方法有明显的区别,其数据不仅包含构件的几何信息、铺层信息,还包含相关的材料制造信息等非几何数据。

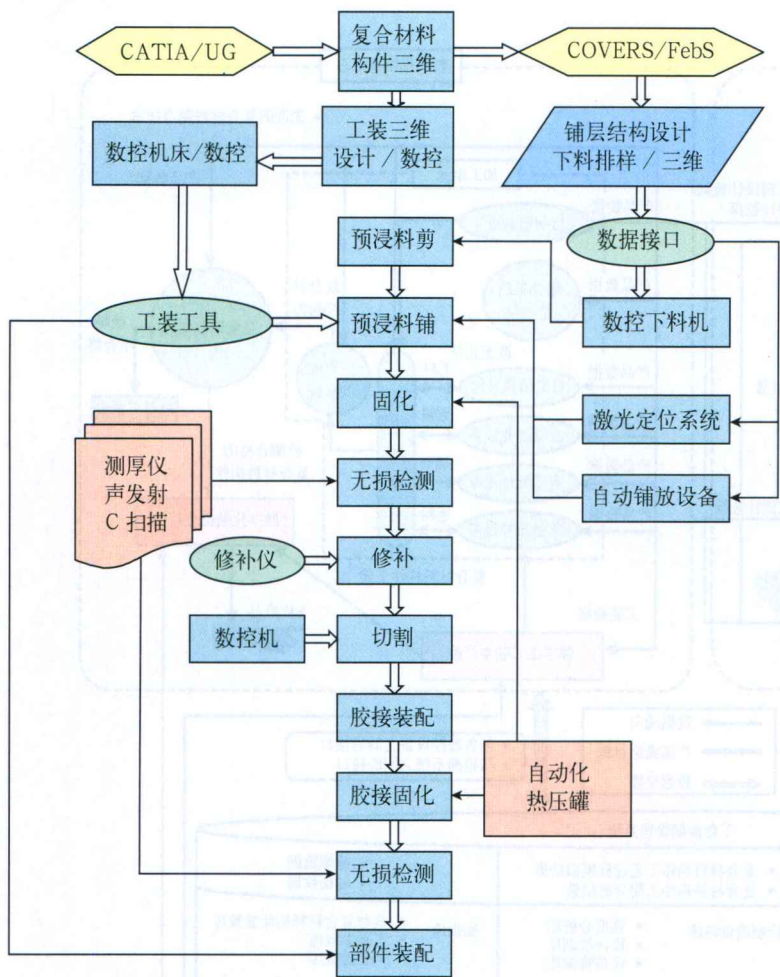
2.1 复合材料构件数字化定义

设计阶段的产品定义过程是以工程数据集为核心来组织数据的,它是支持产品数字化设计、制造全过程的基础,是制造、检验的重要依据。一个数据集包含产品的几何信息、绘图数据以及相关的一个或几个CAD模型。一般同时存在三维模型和二维模型,二者分别在三维空间工作模式和二维绘图工作模式中建立,但它们不是完全独立的,二维视图中的元素由空间的实体或曲面引出,对原空间实体或曲面的任何修改都会

自动反映在二维视图上。

(1) 复合材料构件的三维模型定义。

由于其定义方法的特殊性和复杂性,复合材料构件的最终形状是由许多铺放在模具表面的铺层固化形成的,每个零件的不同区域厚度有所不同,而且是逐步变化的。通过从设定的铺层信息直接生成铺层表面和三维实体,这些表面可用于制造数字实物模型,生成零件铺叠表面,产生配套工装的内表面和中间铺层表面等。三维实体用于定义构件的形状以及定位特征(如成形面的参考曲面、零件模型的定位点等几何信息),以便在重量和重心分析、数字化预装配、工装设计、运动部件的模拟运动分析等过程中应用。因此,复合材料



数字化生产线典型流程

构件三维实体建模的核心问题是表现材料制造信息的铺层设计。

(2) 复合材料构件的二维模型定义。

在数据集中,三维模型是最主要的数据,但二维图纸模型也是必不可少的,一般由三维模型生成。在模型的二维视图中,需要完整地定义出复合材料构件的结构形式和几何外形尺寸等信息。在目前的实际生产中,二维图纸仍然是进行复合材料构件制造、检验的重要依据,也是供应商评估和投标的重要依据。在复合材料构件的二维图纸上,需要有剖面示意图、铺层图、铺层标注、铺层取向标注以及铺层表等内容,铺层表用来对照零件的铺层、材料、取向等信息。

2.2 复合材料构件工艺设计

结合复合材料工艺设计与管理的特点,我公司基于

CAPPFrameWork 和 ORACLE9i 开发了复合材料构件快速工艺设计系统与管理。系统功能模块包括: BOM 配置管理、工作任务分配、工艺设计审批、工艺知识管理、材料定额信息管理、工艺文档管理、用户角色管理、系统配置工具等。

2.3 复合材料构件工装快速设计

工装的数字化设计是复合材料构件数字化生产线技术的关键环节之一。主要内容包括标准件库、典型工装结构库的建立,快速装配技术研究和工装快速设计系统开发等。在项目实施中,利用 CATIA 的建模功能建立组件的子零件,然后装配生成组件,组件为 Product 形式。这种解决方案可在 CATIA 交互环境下运行。使用标准件库时,提供三维预览窗口,并且预览模型能示意各主要参数,从而可以直观地了解各参数的意

义,进而脱离手册的限制,在 CATIA 当前装配模型内生成所选组件的实体模型。基于 CATIA 二次开发了标准件批装配模块,实现了基于装配特征的标准件的自动装配。

3 复合材料构件数字化制造技术

复合材料构件的数字化制造技术结合了我公司软硬件的实际情况,包括复合材料自动下料、激光投影、蜂窝超声波铣削、数控切边钻孔等技术。

3.1 预浸料数控下料

复合材料构件生产过程中,预浸料下料是一个费时、费力、繁琐的工序,我公司采用自动剪裁机进行预浸料的平面切割,实现预浸料的自动下料。应用 FiberSIM 软件设计的复合材料构件的每一三维铺层信息展开为二维铺层展开数据后,经铺层切割数据转换接口生成预浸料排样数据,直接输入自动剪裁机控制软件,指导材料自动切割。自动剪裁技术的应用取消了手工下料样板,使每一铺层的形状和纤维方向更加准确,并且都印有铺层编号,减少了铺放过程中的错误,其效率比手工下料可提高 3 倍以上,节约原材料 20% 左右。

3.2 激光投影系统的应用

复合材料专用设计/制造软件 FiberSIM 基于构件的 CAD 三维设计数据生成激光投影数据,输入到激光投影系统中。通过特殊反光镜控制激光束,将构件铺层形状轮廓线上的点依次投影到模具表面,由于点投影的更迭移动速度极快(300m/s 以上),在操作者眼中,模具或零件表面会生成相应的边界轮廓线,操作者可根据该轮廓线进行有关的定位操作(如定位铺叠等),从而实现各铺层的精确定位,免除了传统的铺叠样板。

4 复合材料数字化生产线集成技术

复合材料构件数字化生产线以全面采用数字化技术为主要标志,采用计算机定义、描述、管理和使用复合材料构件开发过程中所包含的

数据以及这些数据之间的相互关联。复合材料构件数字化设计和数字化制造是复合材料构件数字化生产线的主要组成部分,通过设计与制造之间的数据传递、转换实现两部分数据的集成。

4.1 数字化生产线数据传递关系

复合材料构件数字化生产线与传统生产方式的显著区别在于采用数字量形式对产品进行全面描述及数据传递,可以实现复合材料设计、材料、工艺的一体化。生产线数据流主要包括设计软件与分析软件间的数据传递,产品设计与工装设计间的数据传递,设计与工艺间的数据传递,设计与制造系统间的数据传递等。

4.2 典型应用系统集成

对应复合材料构件数字化生产线中的数据流动关系,需要集成的应

4.3 复合材料构件制造过程数据管理

复合材料车间制造执行系统是实现协同生产、信息的集成共享和生产精细化管理的手段。该系统主要实现的功能包括:生产作业计划和调度管理、物料需求配送管理、零件执行跟踪、库房管理、岗位管理、人员管理、权限管理、统计管理以及 ERP 和 CAPP 接口等。

取得的成果

复合材料构件数字化生产线建设是一项庞大而复杂的系统工程,本着总体规划、分步实施的原则开展了项目的初步研究,并取得了一些阶段性成果,主要包括:

(1) 制定了我国第一条飞机复合材料构件数字化生产线的总体建设方案,初步建立了复合材料构件数

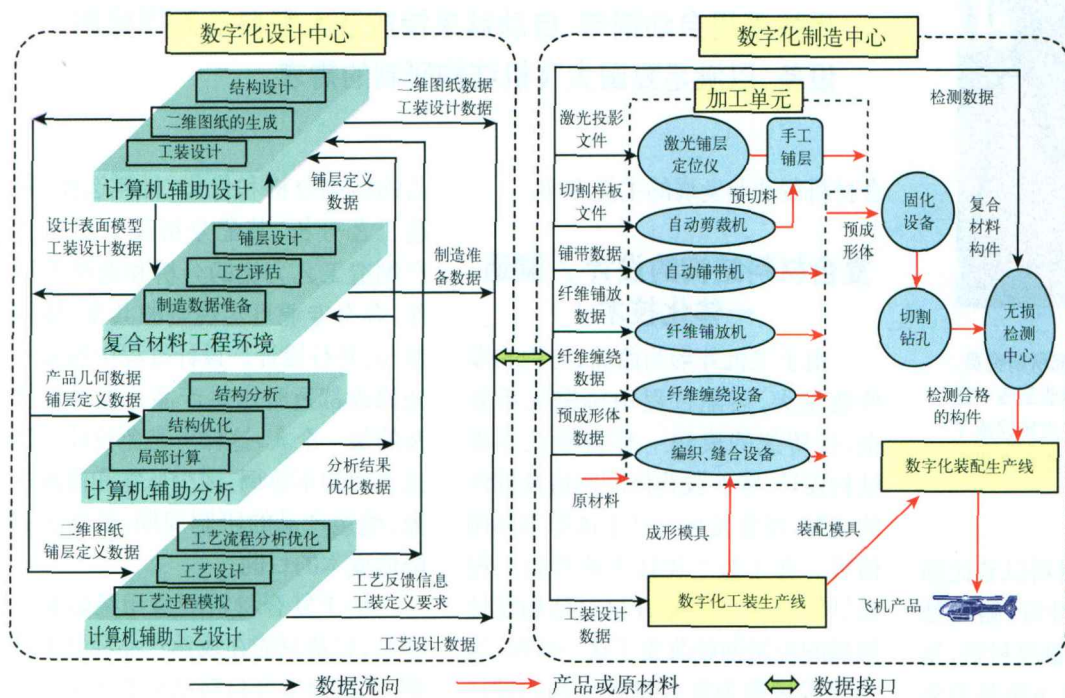
设计的模式,对复合材料构件产品每一铺层进行数字化定义,实现了将复合材料构件产品数字化定义数据从设计初期传递至工装设计、工艺设计、数控剪裁设备和激光铺层定位系统的传递,在现有计算机软、硬件及数字化制造设备条件下,基本打通了复合材料构件从设计到制造过程的数据流;

(3) 以复合材料构件研制流程为主线,研究复合材料构件数字化工程环境中数据拓延和传递关系,开发了复合材料构件制造过程信息管理系统、工艺快速设计系统、工装快速设计工具集等软件系统和数据接口,实现了 CAD/CAPP/CAM/ERP 的集成。

结束语

飞机复合材料构件数字化生产

线技术研究包括复合材料构件数字化生产线体系、复合材料构件数字化设计、复合材料构件数字化制造、复合材料构件数字化检测、复合材料构件数字化生产线集成技术五大部分。本项目以制定我国第一条飞机复合材料构件数字化生产线的总体建设方案为首要任务,理清思路,突出重点,充分吸收国内外先进的经验,以打通复合材料构件从产品设计到工艺设计、工装设计、制造、检测



复合材料构件数字化生产线数据传递关系

用系统包括设计系统内部的集成、设计系统与分析系统的集成、设计系统与工艺设计系统的集成、设计系统与工装设计系统的集成以及设计系统与制造系统的集成等。

数字化生产线体系框架,对国内飞机制造业研究建立复合材料构件数字化生产线具有重要参考价值;

(2) 改变了长期以来一直采用金属件设计方法进行复合材料构件

测等过程的数据流为首要目标开展各项研究工作,取得了阶段性研究成果,对航空航天等行业建立数字化复合材料构件生产线具有重要的参考作用。(责编 金卯)