

基于FiberSIM的复合材料构件 数字化设计与制造技术研究

Digital Design and Manufacturing Technology of Composites
Structure Based on FiberSIM

中航工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 齐德胜 刘秀芝 宫少波 周国臣



齐德胜

2005年毕业于燕山大学,现任中航工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司飞机设计研究所课题预研组组长,从事复合材料预研工作近7年,先后参与了多项国家级课题的技术攻关工作,获国防专利11项,中航工业科技成果奖1项,中航工业质量成果奖2项,东北地区质量成果奖1项,哈尔滨市质量成果奖1项。发表复合材料年会论文1篇,直升机年会论文4篇。

通过 FiberSIM 软件进行数字化设计与制造改变了复合材料传统的制造模式,由依赖模线一样板进行制造的模拟量传递转变为由计算机设计数据直接转化为制造信息的数字量传递,信息更加准确,体现了并行工程的设计理念。针对复合材料设计特点,应用复合材料设计软件 FiberSIM 对涵道垂尾右侧蒙皮、波音 737 某全复合材料整流罩和主减平台进行了数字化设计与制造,打通了复合材料构件设计、制造的数字化流程。

复合材料设计与制造是航空制造业发展的关键技术之一,在一定程度上可以说复合材料的发展水平和应用程度是一个国家科技发展水平的标志。特别是在航空工业,各种先进的飞行器无不与先进的复合材料设计与制造技术紧密联系在一起。随着计算机技术和数控技术的不断发展,各种软件和数控设备相继出现,使数字量传递成为可能,为复合材料构件实现数字化提供了基础。复合材料数字化即复合材料设计制

造一体化,是20世纪80年代后期以来,随着CAD/CAM、计算机、信息和网络技术的发展,以美国为首的西方发达国家开始研究并首先应用的一项新技术。应用该技术可以提高产品的研制生产效率,保障产品质量,降低产品成本。形成该项技术的基础主要有两点:一是依赖于模线一样板的复合材料制造过程转变为可根据计算机数据文件进行全面运作的制造过程;二是针对复合材料构件制造特点的工艺性评估软件的形成。

高性能连续纤维复合材料为生产轻质高性能的产品提供了巨大的机会,但是高的材料成本以及设计和制造复合材料产品的复杂性在很大程度上抵消了复合材料的使用效益。为了降低成本,提高复合材料生产效率,缩短复合材料产品的开发时间,减少材料浪费,降低工具损耗及生产时间,美国 VISTAGY 公司在 CATIA 软件平台上开发了用于复合材料设计和分析的软件 FiberSIM。FiberSIM 的复合材料铺层仿真技术能够预测复合材料铺层如何与复杂的工装表面贴合,并把贴合的结果形象地表示出来。FiberSIM 软件支持整个复合材料的工程过程,可以使设计人员同时在零件构型、材料、结构要求以及工艺过程约束之间进行权衡。设计人员使用 FiberSIM 软件能快速可视化铺层形状和纤维方向,在设计阶段发现制造问题并采取相应的纠正措施。采用 FiberSIM 软件可以进行复合材料零件的结构工艺性分析、工程设计、曲面展开、铺层定义等,并通过相应接口将定义信息传递至自动下料机、激光铺层定位仪,直接利用设计数据进行数控剪裁、预浸料激光定位铺层,完全取消了图纸并提供了复合材料零件数字化定义的单一产品数据源,能提供正确完整的产品定义信息,不会由于不正确或不完整的尺寸以及数据传递错误造成返工,极大地提高了生产效率和产品精度。

FiberSIM 软件的铺层展开研究

软件是实现人们思想的一种工具,任何软件都不能脱离人的控制,在进行数字化设计之前要对软件进行研究,确定设计原则。

预浸料有一定的幅宽限制,大型复杂复合材料构件通过仿真分析,如果铺层超出材料的幅宽限制,则需要适当的位置将铺层进行分割,分开的铺层片之间需要进行对接或搭接,

偏移量的大小及拼接位置要根据设计的具体情况和要求,通过软件分析或试验最终确定。

对于复杂曲面上的铺层,进行二维展开时,既要保证铺层能够展开,还要保证展开的铺层铺到 3D 模型上边界一致,往往存在较大的困难,只有当制造可行性分析表明纤维变形在可接受范围之内才可以进行铺层展开。但是,确定极准确的铺层展开是不可能的,该情况可以通过制造世界地图的问题进行解释(如图 1 所示)。在过去的许多年里,研究人员开发了许多方法把地球绘制成平面图,但产生了不同的结果。一些方法准确地绘制了曲面的面积,而另一些方法则准确地绘制了形状。这些条件互相独立,根本不可能既确保形状又保证面积,除非增加许多剪口。理论上,如果一个世界地图有足够多的剪口,那么这个地图在形状和面积上则相当准确。但是,一般人则难以辨认。在复合材料铺层展开问题上与绘制地图一样,复合材料铺层展开是将每一自由曲面绘成平面,如果在一个铺层上应用太多剪口,则铺层将很难铺放,并危及到零件的整体性。

当 FiberSIM 软件开始计算铺层展开时,首先从铺放起始点开始计算。通过起始点确定两种基本的曲线,一种沿着纤维方向,另一种则与

之垂直。这些基础曲线在铺放曲面上于 2 个方向产生偏移,显示制造可行性模拟的网格。网格围绕着铺放起始点接近于完整的正方形,但是偏移铺放起始点后形状开始变化,单个网格从正方形逐渐变成菱形。当生成铺层展开时,网格又被还原成正方形。这就是引起铺层展开不准确的原因。保证展开曲面最大准确性的方法是保证所有的单元格在 3D 状态下接近正方形,制造可行性分析网格表明在铺放起始点周围纤维变形极小。在曲面有较大曲率的情况下,可以通过改变铺放起始点来减小铺层的变形。当纤维局部变形严重时,可以对其打剪口来消除变形,即在铺放起始点与变形区域之间通过打断连续纤维的形式使纤维不至于变形过大。对于较复杂的零件,仿真后多出现许多变形严重区域,不能满足设计和制造要求,影响零件的质量,但又不能在一个铺层上应用太多剪口。正确地设计剪口位置和剪口尺寸,可以消除或大大减少纤维变形,减小对纤维的损伤。分开和连接也是一种常用的方法,铺层展开在接近铺放起始点处最准确,从本质上看,在一个展开的铺层上设置多个铺放起始点,即把 3D 铺层切成几片,可以有效解决铺层变形问题。根据不同零件的不同要求,把单个铺层切开后各铺层

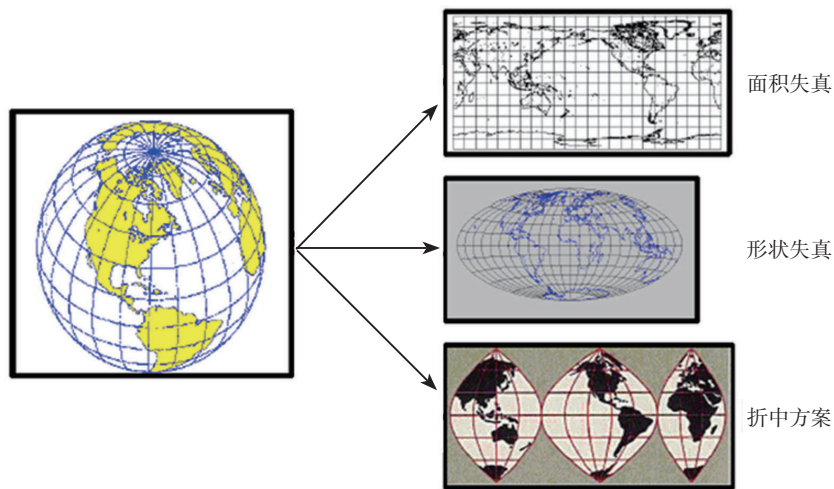


图1 球形件转化示意图

之间采用搭接或对接的形式铺层重新连接成为一个整体。

在理论和实践的基础上通过对FiberSIM 软件的研究,形成了一套复合材料构件数字化设计原则。进行复合材料数字化设计时除要符合复合材料一般设计要求之外还要遵守以下原则:

- 分开的铺层片之间需要进行对接或搭接,一般在连接区和有配合要求的区域对接,在没有严格要求的地方搭接,搭接区域一般为 15mm。

- 对铺层进行制造可行性分析时,如有部分纤维变形过大可采取优化铺放起始点、优化拼接位置、局部区域打剪口、铺层分开后连接等方法以消除纤维变形过大的问题。对于铺设方向的垂线方向大于预浸料幅宽的铺层,客观条件要求必须要将预浸料分成片,可通过逐步优化分片的位置和铺放起始点使其通过仿真要求,对于特别复杂零件可在局部打剪口。对于铺设方向的垂线方向小于预浸料幅宽的铺层,一般采取优化铺放起始点来消除纤维变形过大,必要时可在局部开设剪口,剪口主要分为U型剪口与V型剪口,前者适用于铺层局部受压引起的纤维变形,开剪口后不须打补片;后者适用于纤维由于拉伸引起的纤维变形,开剪口后需要打补片。对于铺层分开后连接除非在特殊情况下,否则一般不用。

数字化设计及制造技术的应用研究

1 数字化设计

(1) 涵道垂尾右侧皮数字化设计。

涵道垂尾右侧皮结构尺寸约为 3000mm × 2000mm,为 4 块蜂窝组成的夹层结构,各蜂窝边缘采用 30° 切角形式,蜂窝上侧的蒙皮采用一层碳纤维布,下侧采用两层碳纤维布,蜂窝边缘用碳纤维预浸布加强。

涵道垂尾右侧皮为典型的复杂

曲面下多蜂窝组成的夹层结构,对其进行数字化设计时应特别注意蜂窝上表面铺层的设计,由于蜂窝上下表面的形状不同,为了工艺仿真的精确,分别定义上下 2 个模具面。当对右侧皮蜂窝上表面进行铺层仿真时,在铺层中出现红色区域,表明该区域纤维偏移过大,此种情况是不允许的。此种情况可以用上述所提到的方法进行改善。将所有铺层重新设计后可以清楚地看到预浸布在蜂窝上下表面的铺贴形式,涵道垂尾右侧皮仿真分析结果如图 2 所示。完成仿真并确保每一层都满足要求后,应用软件生成投影文件和下料文件准备进行后续工作。

(2) 波音 737 某全复合材料整流罩数字化设计。

波音 737 某全复合材料整流罩结构尺寸约 2000mm × 1900mm,为蜂窝夹层结构,蜂窝上、下表面各采用 3 层玻璃布,边缘用玻璃纤维加强。

对波音 737 某全复合材料整流罩结构进行数字化设计的主要难点是在复杂曲面上解决预浸料超宽问题。由于结构尺寸大于预浸料幅宽,因此必须在小于预浸料幅宽的位置将其断开。又因工装表面曲率比较复杂,铺设不当容易引起纤维翘曲,因此,铺层的断开又要考虑到纤维翘曲的因素,必要时还要在局部纤维偏转角度大的地方打剪口以降低纤维变形。对该结构进行数字化设计时首先要在定义

好的边界内预铺一层并进行仿真,观察仿真结果,其中蓝色区域代表纤维处于最佳铺放状态;黄色区域代表铺设时纤维偏转已达到警告角度,此时纤维的偏转程度仍然可以接受,可以继续使用;红色区域代表纤维偏转角度已超过临界角,是不可接受的。因此必须把预铺设过程中可以看到的红色区域消除掉。考虑预浸料幅宽以及尽量使纤维偏转角最小的原则,在合适的位置将一整层断开,分成两块布,可以看见红色区域被消除,两块布又都在预浸料幅宽之内,如图 3 所示。以此办法继续进行铺放直到铺设完成。完成仿真并确保每一层都满足要求后,应用软件生成投影文件和下料文件准备进行后续工作。

(3) 主减平台数字化设计。

主减平台结构尺寸约 2000mm × 1000mm,为蜂窝夹层结构,蜂窝边缘为 30° 切角形式,蜂窝上下表面各采用 4 层碳纤维布,边缘用碳纤维预浸布加强。

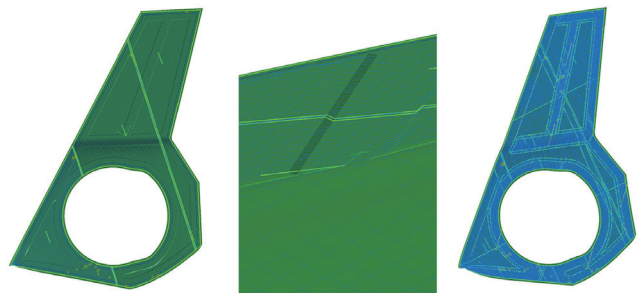


图2 涵道垂尾右侧皮的数字化设计

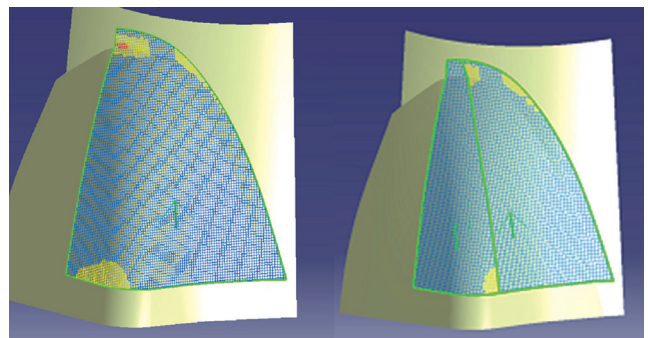


图3 波音737某全复合材料整流罩的数字化设计

对主减平台结构进行数字化设计主要难点是如何处理铺层连接之间的关系。对该结构进行数字化仿真步骤与其它结构件类似,所不同的是该结构需要铺 8 层预浸布,且每层布都超幅宽。如果按照之前的设计方法铺层搭接线之间平行,势必会产生同一铺层分成三片的情况,这不仅破坏了铺层的整体性,而且对零件的强度也会产生不利的影响。为此,铺层搭接线之间应改为交错式排列以解决此问题,该结构的仿真效果如图 4 所示。以此办法继续进行铺放直

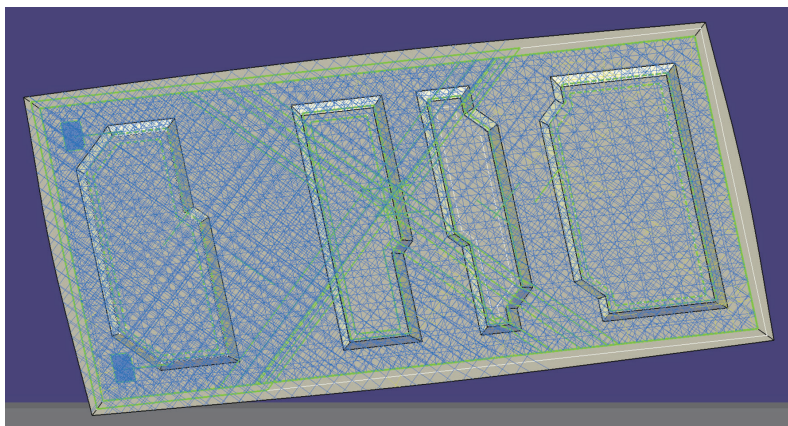


图4 对主减平台的数字化设计

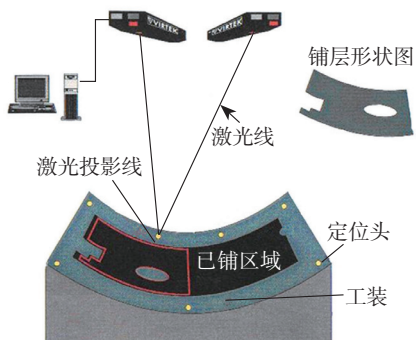


图5 激光投影设备原理图



图6 自动下料设备

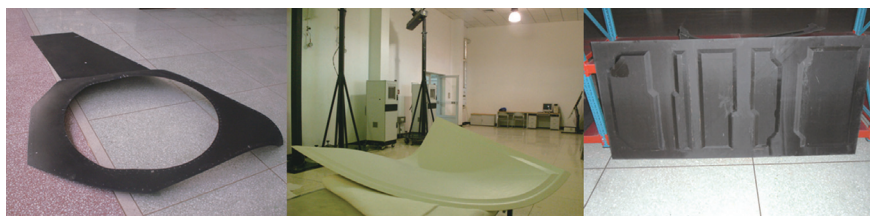


图7 应用数字化技术制造的各零件

到铺设完成。完成仿真并确保每一层都满足要求后,应用软件生成投影文件和下料文件准备进行后续工作。

2 数字化制造

完成零件的数字化设计后转入数字化制造阶段,数字化设计为数字化制造提供了唯一的数据源,进行数字化制造时只需根据每一层的边界生成投影文件,根据每一层的展开图生成下料文件,并将这两个文件分别输入到投影设备和下料设备中,投影设备在工装表面投影出每一层的轮廓,下料设备按照下料文件上的信息

在预浸料上裁剪出每一层的平面展开状态的形状,最后将下料机裁剪出的每一层按照工装上所投影出的轮廓铺贴上去。当所有铺层都铺贴完成后,在热压罐里固化成形,经过切割最终成型出产品。投影设备原理和下料设备见图 5 和图 6,应用数字化技术制造的零件见图 7。

结论

通过 FiberSIM 软件进行数字化设计与制造技改变了复合材料传统的制造模式,由依赖模线一样板进行制造的模拟量传递转变为由计算机设计数据直接转化为制造信息的数字量传递,信息更加准确,体现了并行工程的设计理念。针对复合材料设计特点,应用复合材料设计软件 FiberSIM 对涵道垂尾右侧蒙皮、波音 737 某全复合材料整流罩和主减平台进行了数字化设计与制造,打通了复合材料构件设计、制造的数字化流程。与传统设计、制造方法相比数字化设计制造的优势在于:

- 采用数字化设计制造手段,实现产品设计与工艺并行工作,与传统的设计制造方式(包括设计方案制定、结构初步设计、强度计算、结构详细设计、工艺可行性分析、零件建模、零件图绘制、图纸发送、工装设计、工装制造、工艺员熟悉图纸、计算材料、下料、预浸料切割、工人生产准备、预浸料铺放、热压罐加压固化、切边、质量检测等)相比周期缩短 15% 以上;
- 采用无余量数控下料,原材料节省 20% 以上;
- 采用数控下料后,下料工人由原来的 8 人减少到 5 人,节省人力成本 37%,生产效率提高 25% 以上,同时,采用数控下料避免了人为造成的差错,保证了工作质量;
- 采用激光铺层定位系统辅助工人进行预浸料铺贴,保证了铺贴质量,减少了人为造成的差错。

(责编 晓立)