

# 复合材料数字化制造技术在飞机壁板上的应用

Application of Digital Composites Manufacturing Technology in Aircraft Panel

中航工业西安飞机工业(集团)有限责任公司 唐珊珊



唐珊珊

毕业于西北大学化学与材料学院,现就职于中航工业西安飞机工业(集团)有限责任公司,主要从事复合材料零件的数字化制造研究。

复合材料设计/制造的复杂性和独特性,使复合材料构件的成本、性能受到一定的影响,大量复合材料的应用更是对制造能力提出了巨大的挑战。为迎接这一挑战,构建复合材料构件数字化设计/制造环境,实施复合材料构件数字化设计/制造技术,已成为国内外航空企业的必然选择。

造的复杂性和独特性,使复合材料构件的成本、性能受到一定的影响,大量复合材料的应用更是对制造能力提出了巨大的挑战。为迎接这一挑战,构建复合材料构件数字化设计/制造环境,实施复合材料构件数字化设计/制造技术,已成为国内外航空企业的必然选择。

## 工艺方案的探索与制定

某壁板长4m,宽1.2m,铺层为29层,材料为碳纤维单项带材料。与以往零件不同,该壁板不但尺寸大,而且加强层多,占到所有铺层的1/2,且每一层加强层的轮廓都不相同,还有7根长度不等的长桁,定位难度非常大。壁板铺层如图1所示。

壁板零件制造的传统方法是工

装定位长桁,铺贴样板定位加强层。但是经过试验,发现这个方法在该壁板零件的制造上不可行,不仅耗费在定位上的时间长,并且定位精度达不到设计图纸的要求。而且每层加强层的形状都不相同,如何准确下料也是需要攻克的难题之一。

采取数字化生产能很好地解决零件精度的难题,应用数控下料机精确下料,应用激光定位铺层系统进行加强层和长桁的定位,不但可以提高零件的质量,还节约了昂贵的原材料,省去下料、定位样板,节省了工装成本,而且也大大减少工人操作的时间,提高了劳动效率。

该壁板是采用CATIA CPD软件完成复合材料零件的工艺数模设计的,使用MAGSTIC软件完成排料优

由于具有高强度、耐高温、耐腐蚀、重量轻等优良的性能,先进复合材料在航空器结构上的应用已经与铝合金并驾齐驱,成为当今材料技术发展最为迅速的领域。航空复合材料性能水平及其在结构中的应用水平,已经成为飞机结构先进性的一个重要标志。但是复合材料设计/制

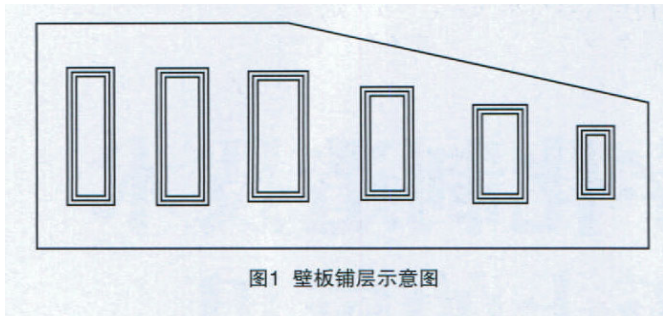


图1 壁板铺层示意图

化及工艺数模信息与加工设备的接口输出,生成数控下料及激光投影程序,并将数据传递到数控下料机和激光定位铺层系统,实现数字化生产。

### 建立分层数模

建立复材分层数模是第一阶段,由于这一技术还未在国内大规模推广,设计下发的数模只有实体模型和一些加强层的定位线、轮廓线。要想走通这条数字化流程,就必须在设计实体模型的基础上再次建立复材分层数模。

作为工艺人员,不能改变设计者的意图。所以在零件实体模型已经设计完成的情况下,只能在实体模型基础上,结合图纸,进行逆向建立复材工艺模型。因此,在建立模型时就不能基于区域设计,而必须逐层做出每一层铺层的轮廓线,再进行手动铺层,完成数模的建立工作。

### 设计数模转制造数模

在分层数模建立好之后,下一步是进行工艺性修改,包括加放工艺余量,在铺不平、展不开的地方开剪口,对超过材料幅宽的料片进行切片以及可制造分析和料片展开。对于该壁板零件来说,由于其尺寸大,就必须将每一层都分割成材料幅宽范围内的小的切片。

### 制造信息输出

由CATIA CPD软件设计完成的复合材料数据需通过接口导入自

动下料机和激光定位铺层系统,用于下料和铺层定位,数据接口是连接设计数模与制造设备的关键。MAGESTIC公司针对此项需要开发了Trunest和TruLaser/view第三方软件,Trunest软件分为2部分,一部分为集成在CATIA内的,主要是将展开的料片外形导出为排料软件可识别的文件,另一部分为排料软件,进行复合材料料片的排料优化。TruLaser/view集成在CATIA环境中,主要用于将工艺数模设计完成后的三维数据生成成为激光投影定位铺层系统进行激光投影仪投影时的程序。图2~4是制造信息输出时软件的截图。

### TRUNEST 软件的应用

排料优化有2种方式:一是手工方式,二是采用MAGESTIC软件。手工优化方式:从CATIA下导出每一层料片的文件,再用AUTOCAD软件把每一层料片排在一张下料图上,此时需要为每一个铺层手工加上编号,之后导入数控下料机下料。这种方式费时费力,材料的利用率也不是最高,还容易出错。采用MAGESTIC软件方式需要先将所有铺层的信息从

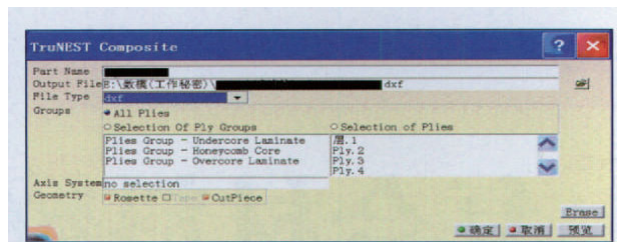


图2 生成排料所需文件



图3 排料完成

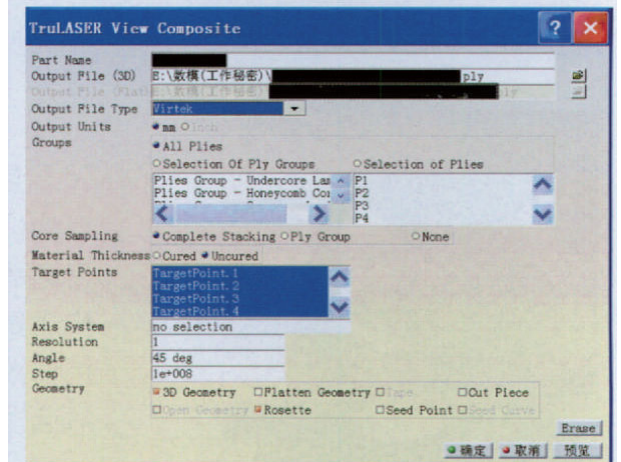


图4 生成投影文件

CATIA下导出,导入MAGESTIC排料软件,需要预先设定好材料幅宽、材料属性,点击软件进行排料,就可以完成所有铺层的排料。排出的材料利用率比手工排料要高,节约了昂贵的材料,每一层都自动生成对应的铺层编号,节省了工艺人员的时间。

### TruLaser 软件的应用

完成复合材料零件的制造数模设计后,将激光投影定位设备需要的文件通过数据接口传递到激光投影定位仪中,传递数据有手工方式和采用第三方软件2种方式。

手工方式是从CATIA下导出每一层料片的数据,依靠手工编辑得

到的投影文件,虽然经过了生产验证,但存在的问题有手工编辑非常复杂,准确性很差,耗时非常长,一个零件投影程序的编制所用时间平均为10h以上,而且每做一次试验就需要重新再编辑一次。

采用 MAGESTIC 软件,投影文件可以直接由 TruLaser 生成,传递到激光投影定位铺层系统中,按零件的铺层和复杂程度所用的时间有所不同,但是平均 1h 就能出完程序,并且正确率高。

### 数控下料机的应用

材料优化排料后就要进行数控下料,使用的设备为履带式下料机,它可以识别 dxf 文件和 g-code 文件。dxf 文件可由排料软件直接生成,它是一种图形文件,工艺人员可以方便地检查零件料片的形状和编号,在切割时可方便挑选料片进行补切,若有未完成任务,也可方便找出断点继续下料。而 g-code 文件是由数字点位组成,没有这些功能。因此我们采用 dxf 文件进行下料。

零件材料是通过真空吸附的方式固定在下料机台面上的,下料机台面宽度为 1800mm,上面布满了真空抽气用的小孔,通过真空吸附使材料紧紧地吸附在平台上,启动裁割程序,实现自动下料。

### 激光投影铺层系统的应用

采用激光投影定位技术铺层时,需要工装文件、料片数据文件以及系统配置文件 3 个文件,料片数据文件即为上面所做的工艺数模设计最后导出的数据文件,工装数据文件是指工装的三维空间坐标数据文件,该数据由测量机测量后导入激光投影定位仪中,系统配置文件为激光投影定位仪自身生成的文件,具备 3 个文件后就可以进行实际铺层了。激光投影定位仪系统由一台控制计算机、若干个激光头和一系列的工装定位头

(光敏元件)组成。使用该系统时,首先将铺放工装固定在激光头下面,将工装定位头固定在工装的定位点上,作为建立工装三维空间准确位置的参考点,投影系统通过用光线扫描工装表面的定位点进行自校准。工装定位点通常要包含工装上的最高点和最低点,其他点沿着工装的边缘均匀选取。

控制计算机根据基于构件的 CAD 三维设计数据生成的激光投影文件,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(每秒 300m 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),从而免除传统的铺叠样板。在进行激光投影定位铺层时,注意以下几点:

#### (1) 工装数据。

工装表面的定位头数据必需测量准确才能得到好的校准结果。任何料片数据与工装数据之间的误差都会造成投影的不精确。料片数据和它的工装是对应的。企图将一个工装的料片数据投影到另一个工装上,将不会生成有用的图像。

#### (2) 定位头。

定位头是放置在工装上已知位置的,它是带有逆向反光材料的圆柱形零件,可将激光反射回激光头,这样,系统就能检测到定位头位置。激光系统在一定区域扫描定位头,这样在校核工装过程中,操作员不需要精确定位激光的投射位置。激光找到定位头的位置后,系统控制计算机利用定位头的位置,计算出工装的空位置。

#### (3) 划分投影区。

当用多个激光头进行投影时,激光头可在 2 种模式下工作。一种是重叠模式,激光头将投影它所能投射到的所有区域。另一种是分区模式,激光头仅投影预先定义的区域。这

个预先定义的区域叫做“剪裁区”。剪裁区可以人工定义,但如果料片文件包含法向量数据信息,投影系统可以自动生成剪裁区。采用分区模式进行投影的好处在于可以增加激光亮度和减小闪烁。TruLaser 软件生成的程序已经包含数据的法向量,再进行投影时不需要再进行额外的设置。

### 长桁定位

传统的长桁定位方法,是利用工装上的定位线,依照图纸尺寸,用量具量出位置,再进行铺贴。这种定位方法需要依次量取每一根长桁的位置,不仅耗费时间长,而且中间出现误差的地方很多,很容易出现按照测量的距离铺贴完成后,组合工装时出现干涉。采取激光投影定位的方法可大大提高定位的准确度,提升产品质量,而且也可减少工人反复测量和挪动工装的时间,提高劳动效率。

### 结束语

复合材料零件的数字化设计和制造技术,解决了高精度壁板零件在生产中的技术难题,提高了下料和定位精度,提高了产品质量和劳动生产率;节约了下料、定位样板,降低了工装成本;通过排料优化技术,提高了材料的利用率,从而降低了生产成本。该技术有效地推进了复合材料零件制造技术的迅速发展,并已成功应用于国内外各种飞机的复合材料构件,使国内的复合材料制造技术与国际接轨。

### 参考文献

- [1] 浦一飞,李金超. CATIA V5 复合材料设计. 达索论文集, 2006.
- [2] 陈利平,徐洪波. 数字化制造技术在复合材料构件生产中的应用. 航空制造技术增刊, 2007:41-43.
- [3] 张丽华,范玉青. 复合材料在飞机上的应用评述. 航空制造技术, 2006(3):64-66.

(责编 岩石)