

CAE 工具在树脂基复合材料复杂构件开发中的应用

Using Suitable CAE Tools for Development of Complex FRP Parts



Holger Konen
结构设计经理
RUAG 航空



Stefan Von Bergen
结构工程部经理
RUAG 航空

本文描述了使用现代 CAE 工具对采用树脂基复合材料的飞行器结构部件进行开发的操作程序,阐述了在研发过程中,所涉及的各个部门如何利用这些工具进行开发的问题。

相较于金属材料结构,复合材料机构除了具备几乎没有形状限制要求的可成型性以及构件中整合各种细节特征的能力之外,在减轻结构重量的同时,其最显著的优势在于可以调整结构的强度和刚度。

然而,这些优势所付出的代价是更为繁重的设计和制造工作。采用高效的计算机辅助工程(CAE)和计算机辅助制造(CAM)工具可以弥补这一缺憾。理想情况下,使用集成的开发工具进行计算机辅助设计和计算机辅助制造取决于一个数字化样机。

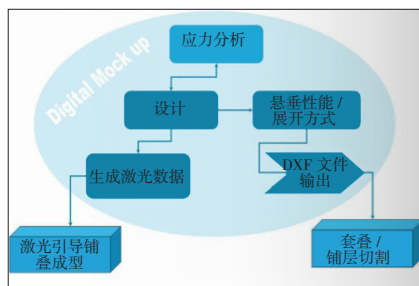
相较于金属结构的制造过程,设计部门、生产工程部门、生产车间和

实际应用中已证明,现代 CAE/CAM 工具的使用大大缩短了生成制造数据、铺层切割和铺叠成型的时间,平面展开模式在制造过程中的准确性很好。

质量部门等不同部门间的接触和沟通工作强度更大,来自制造过程中的反馈对设计方案的影响也更大。

- (5) 工装制造。
- (6) 样机 / 构件制造。
- (7) 改进设计。

工装开发和制造需要与复合材料构件开发同步进行。这些步骤以及有关现代 CAE/CAM 工具使用的更多细节会在下文阐述,内容主要集中在开发过程中的设计和制造阶段。



一般数字样机的完整开发过程

开发过程包括以下步骤:

- (1) 通过采样探头测定材料的性能(包括非标准的环境条件)。
- (2) 在计算机辅助设计(CAD)工具中整合材料性能。
- (3) 构件开发。
 - a. 初始铺层方案。
 - b. 初始静态应力循环。
 - c. 可生产性评估。
 - d. 设计优化(迭代)。
- (4) 生产数据的生成。
 - a. 导出数控切割数据。
 - b. 导出激光投影数据。

测定需要的材料性能

与金属材料构件相比,设计树脂基复合材料构件需要更多的材料性能数据,但不是所有相关的材料性能都一应俱全。材料性能通常要在设计过程拉开序幕前进行测定。需使用特定的铺层试样去测定如下材料性能:

- (1) 静态和动态拉伸强度 / 压缩强度 / 剪切强度 / 抗扭强度。
- (2) 承载强度。
- (3) 环境降解影响。
- (4) 预载影响。
- (5) 热膨胀系数。
- (6) 物理冲击效应。

(7)悬垂性能。

设计

在此开发阶段,假定构件的模线已知,那么设计活动被限定在:

(1)复合材料构件的设计遵从模线及其几何约束。

(2)可承受引入载荷的能力。

最初的设计阶段,考虑到制造过程中涉及的各种因素,产生了初始铺层结构。

设计过程初期,采用自动化路线已被广泛接受。定义了接口载荷和几何约束后,即生成了初始铺层解决方案。但在大多数情况下,初始铺层方案的确定是一个有着丰富经验的复合材料设计师的任务。

一旦初始的设计迭代完成,且制造过程被定义之后,工装开发就可以和详细的构件设计工作并行开展了。详细的构件设计和工装设计不能分开考虑,因为在定义每一铺层的轮廓时,模具分型面的位置和取向已在考虑之中。

工装开发本身是一个至关重要的设计任务。热物理性能、弹进和弹出、操控性等其他影响因素也在考虑范围内。工装设计显著影响着制造成本,和飞机制造架份相关。制造的飞机架次数量越高,越需要在智能工装设计上投入更多的精力。

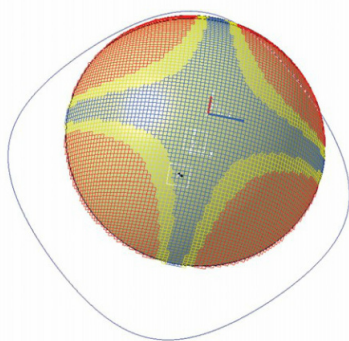
在对构件进行应力分析时,不同失效区域的区别取决于所应用的判据和应力分析方法。通过考虑铺层特点(即每层纤维的取向),现代 CAE 工具可以直接在初始设计得到的数字化样机上进行各向异性分析,极大地减少了建立有限元模型的人力付出。

通过调整铺层结构可以降低潜在的临界应力。如何设计铺层结构取决于特定的条件。应对临界应力时的处理方式可以通过引入更多的纤维(或调整纤维取向和铺层次序),或者降低这个部位的刚度从而承受

更少的载荷来实现。

设计优化的实施取决于应力分析结果,从而优化出合适的纤维取向和铺层次序。现代 CAD 工具可以计算特定部位的纤维取向。通过定义方向偏差上可接受的许用值, CAD 工具生成图形输出,超过许用值限制的区域在计算机屏幕上被突出显示出来。纤维取向可以通过把某一铺层分为若干子层,然后重新定义每一层的取向进行修正。

种子策略定义了铺层在模具中的放置点和主方向。某一部位的织物的悬垂性明显的取决于种子策略。CAD 工具具备分析基于种子策略的铺层悬垂性。每一种所使用的织物都已事先确定了限制角度,并且生成了输出图像。



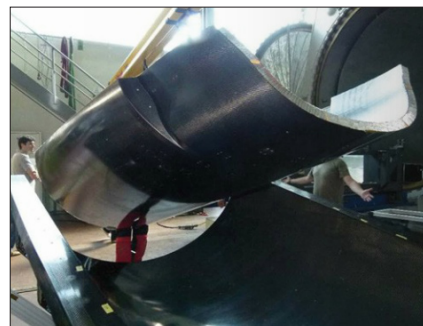
球形表面的悬垂性分析(蓝色:符合要求、黄色:临界、红色:超出限定范围)

预防褶皱可以通过部分(或完全的)切割铺层,或者对每一铺层采用适当的铺层方法。因为悬垂性模拟已考虑到种子点和种子线,故可以在设计过程中模拟不同的铺层策略,而不是制造过程中通过原型铺层来尝试。如果没有现代 CAD 工具,铺层策略只能在原型构件的制造过程中加以阐述,这是一个耗时并且不断尝试的过程,很容易导致报废件。当悬垂性模拟不能实现时,防止褶皱产生的替代方案是选择一个保守的铺层方案,这将导致更多数量的铺层裁片和材料损耗,增加制造过程成本。(主要由于产生更多的切割余料)

工业化和制造

复合材料构件的设计和分析完成后,制造数据也随之产生。按照经典的开发过程,这一阶段意味着完成每一铺层的制造图,总结成所谓的铺层图册和用来解释铺层结构的剖面图。平面展开模式传统上的评估方法是把金属箔放置在模具中,将模具的切面线复制到金属箔上。由于金属箔无法悬挂,导致了平面展开模式固有的不准确性。需要对初始的铺层裁片做出修正。总之,制造过程是一个耗时的、挑战的、易出错的任务。

随着现代 CAD 工具的使用,这一过程在人力付出和质量控制上已有极大的改进。切割铺层所需的切割数据可直接从数字化样机上获取,就如同加工金属构件所生成数控数据的过程。数据输出之前,三维形状的铺层已考虑到悬挂性并按照平面展开。现代数控纤维布切割机可以标记铺层作为辨识,并且铺层的套叠也考虑了纤维取向优化。制图工作仅限于在归档时的图纸编排上。



脱模后的大型夹层结构航空构件

模具中实际的铺叠成型需要用到激光投影仪。每一个铺层的轮廓、种子点、种子线以及铺层的标识被投影在模具中。光学参照系统则用来调整激光投影仪与模具的相对方向。

实际应用中已证明,现代 CAE/CAM 工具的使用大大缩短了生成制造数据、铺层切割和铺叠成型的时间,平面展开模式在制造过程中的准确性很好。(翻译 王宇 责编 小城)