

航空复合材料分析 MSC解决之道

MSC Solution for Aircraft Composites Analysis

MSC 公司

复材应用现状

碳排放、燃油经济性和噪声是未来包括飞机在内的复杂产品将要面临的三大难题,这三个方面与产品的材料息息相关,毫不夸张地讲,材料科学的发展往往直接决定一个国家航空工业的发展水平。其中,复合材料的应用和发展尤其快速,在航空领域,无论种类上、用量上还是从应用范围上,复合材料都呈现出取代原有金属的趋势。

碳纤维增强复合材料以其轻质、高强度、高刚度、抗疲劳和耐腐蚀等特点在航空领域得到了广泛的应用,20世纪90年代,德国与法国合作制成的“虎”式直升机旋翼桨毂由2块碳纤维复合材料星形板组成。

先进的树脂基复合材料具有优异的力学性能和明显的减重效果,它在飞机等现代化武器领域得到普遍应用。F-119发动机用树脂基复合材料风扇叶片取代现在的钛合金空心风扇叶片,减轻结构重量的30%。

其他如聚丙烯腈基复合材料,具有强度高、刚度高、耐疲劳、重量轻等优点,美国的AV-8B垂直起降飞机采用这种材料后重量减轻了27%,F-18战斗机减轻了10%。还有聚氨酯基复合材料,它的吸湿率低,具有优异的耐湿热性能,电性能尤其突

出,主要用于雷达天线罩的制造。

复合材料正越来越多地应用到飞机结构上,从最初使用在一些如舱门、整流罩等非承力构件上,到尾翼蒙皮等次承力结构,最终扩展到了包括机翼蒙皮、机翼主梁、机身等主承力结构在内的几乎所有航空结构上。特别在民用客机方面,为了提高燃油经济性,波音的B787率先采用了占机身总重量50%的复合材料。而这一突破性的设计也直接波及到了空客的设计思想。复合材料的用量已逐渐成为衡量一种机型的技术水平及其生产国设计制造水平的重要标志。

复合材料对飞机设计带来的新挑战

虽然复合材料以其优越的性能为航空领域所青睐,越来越多地用以替代传统金属材料被使用在现役和下一代的飞机结构中,但是,因为这些新材料的结构方式和功能特点与传统金属材料有着本质的区别,所以也为设计工作提出了新的挑战。

(1)复合材料对飞机设计周期提出的挑战。

整个飞机设计过程可以描述成由材料开发与选型、试样级的材料许用范围标定、结构单元设计校核、子结构设计校核、部件级设计校核直到

整机设计校核的金字塔,金字塔的每一个层次,都需要通过实验来完成。对比80年代设计一种机型所需的实验数量,2000年后,由于采用了新材料,在金字塔底部从材料试样试验到子结构实验校核阶段,所需的试验数量呈现出了几何增长,实验数量增加了几十至上百倍,这部分实验工作的增加直接导致了设计周期的延长。

(2)复合材料对强度预测提出的挑战。

复合材料结构的强度预测一直是困扰学术界与工业界的难题。由于复合材料具有多尺度的复杂微观结构,它的失效过程也往往是多尺度的。以研究最多的层合板类复合材料为例,常见的失效就包括纤维断裂、树脂基体开裂、纤维与树脂之间脱粘,纤维从树脂中拔出、分层开裂等多种模式,各种失效模式之间相互耦合交织,最终导致了复合材料极其复杂的失效过程。

在复合材料结构力学方面,长期以来最主要的方法一直是基于经典层合板理论的结构有限元方法。这种方法在分析预报复合材料薄壁结构的面内拉伸刚度方面通常可以获得与实验结果吻合较好的效果,但在处理厚壁结构的刚度以及结构极限强度预测方面,往往难以满足要求。

另一方面,随着材料科学的发

展,复合材料不再仅限于典型的层合板结构,编织结构、颗粒增强、短纤维增强等多种增强方式不断地被使用在航空复合材料结构中。这些新型的复合材料在微观结构上不再遵循经典层合板结构,因此在分析这类材料的刚度和强度问题时,经典层合板理论也不再适用。为了解决这个问题,不断有新的高级有限元方法(例如通过粘单元模拟层间开裂)和将细观力学与有限元相结合的扩展有限元方法被使用在飞机的结构设计中。

以及材料的机械、热及电子等物理特性,包括材料的注塑、挤压或悬垂成型等制造技术,都提供了全面的解决方案。

收购 e-Xstream 公司之前, MSC Nastran、Marc 等产品从如下几个角度解决复合材料工程分析问题:

(1) 铺层设计和分析(Laminate Modeler)。

Laminate Modeler 用于辅助叠层复合材料结构的设计、分析、和制造。它提供了产生精确的叠层材料数据的方法,材料数据可通过不同的分析

考虑各向异性、耦合效应、层间剪切、损伤等。MSC Nastran、MSC Marc、MSC Dytran 等求解序列都支持复合材料分析,目前 MSC Nastran sol600 已经将 MARC 在复合材料非线性分析、失效方面的求解能力收入囊中,能够方便 Nastran 的客户在现有模型的基础上实现更多复合材料非线性、失效等方面的分析。

收购 e-Xstream 公司之后, Digimat 和 MSC Nastran、Marc 等产品所包含的专业的复合材料分析能力相互补充,形成更加完善的复合材料工程解决方案。

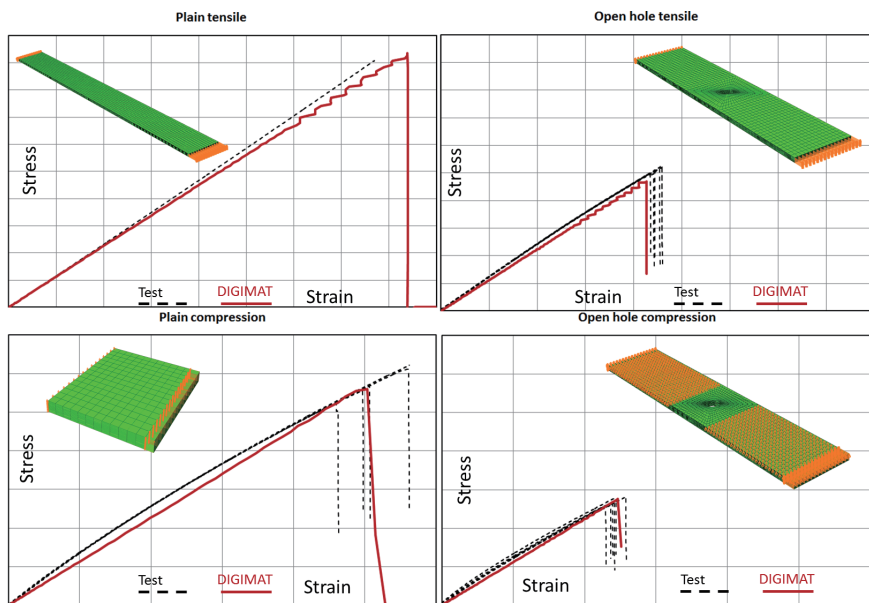
将细观力学用于各种复合材料的性能研究,将细观力学方法与结构有限元技术相结合用于复合材料结构的刚度强度分析,是 Digimat 多尺度技术在复合材料领域应用的主要思路,也是提高复合材料仿真精度的有效方法。针对航空复合材料使用中,不断有新材料,特别是非层合板类的材料被使用,材料性能基础实验数量庞大,以及复合材料结构的强度预报精度等问题, Digimat 能够从以下几个角度帮助用户:

- (1) 多尺度复合材料性能预测;
- (2) 复合材料多尺度材料模型数据库;
- (3) 复合材料许用值虚拟实验;
- (4) 复合材料子结构多尺度耦合计算。

展 望

复合材料的使用实现了材料的轻量化,从而达到了节能减排的目的, MSC 要做的就是提供业界领先的复合材料仿真解决方案。同时,目前业界对材料的了解并没有那么透彻,即使是波音、空客这些航空领域的翘楚也并未在材料工程领域达到满意的高度,依然有很多未知需要探索, MSC 将不会停止探索脚步,从而不断完善复合材料仿真解决方案。

(责编 叶枫)



空客试样拉伸、压缩试验与仿真结果对比

复合材料分析 MSC 解决之道

主流 CAE 软件供应商都有面向复合材料的分析解决方案。MSC Software 公司(以下简称 MSC)除了 MSC Nastran 和 Marc 等产品中具备面向复合材料的功能。2012 年, MSC 继续加强在材料领域的拓展,收购了高端材料仿真领域的领先厂商 e-Xstream。对 e-Xstream 的收购,是因为 MSC 看重 Digimat 软件在材料工程领域可支持多方面仿真的特性, Digimat 不仅仅针对短纤维增强塑料和连续纤维等多种类型的复合材料,对材料的刚度、强度及疲劳等性能,

器选择输出。它允许工程师直观地进行铺层,只需选择某个几何区域及其所用的铺层特性即可,其中铺层特性包括每一铺层的初始方向及材料数据。在铺层的定义中确定纤维的方向。Laminate Modeler 支持 Patran 和 SimXpert,材料数据可输出到任何 Patran 和 SimXpert 支持的有限元求解器。

(2) 复合材料力学分析。

MSC 各种求解器包含的复合材料力学分析能力包括模态和屈曲分析、优化分析、疲劳失效分析、脱层损伤分析、粘接区域建模、虚拟裂纹扩展分析技术、粘接失效等,同时可以