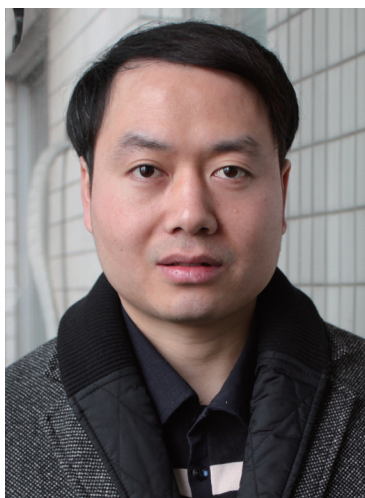


# HyperWorks 复合材料仿真 优化技术及应用

## HyperWorks Composites Simulation Optimization Technology and Application

澳汰尔工程软件(上海)有限公司 洪清泉 易俊杰



洪清泉

Altair 公司高级技术经理, 航空航天工程咨询经理。北京理工大学毕业, 曾就职于上海飞机设计研究院, 在飞机金属和复合材料结构分析和优化方面具有丰富经验。

复合材料以其比强度、比模量高, 耐腐蚀、抗疲劳等优点, 在工业界得到了越来越多的应用。特别是在航空航天方面, 由于钢铁和有色金属很难满足日趋苛刻的重量、力学等设计性能要求, 复合材料更是得到了广泛的应用。波音 787 和 A350 飞机的复合材料用量都超过 50%, 同时也在研发过程中面临许多重大挑战, 除了大量的小样件和部段试验件的试验测试, 仿真优化技术也是解决各种技术难题, 缩短研发周期的重要技术

HyperWorks 复合材料仿真和优化技术已经非常成熟, 并在国外新一代飞机(如 A350 和波音 787)研发设计中得到验证, 在 Altair 中国的航空航天工程咨询团队同国内单位的复合材料项目合作中也取得许多工程成果。

手段。

Altair 公司是世界领先的工程设计技术开发者, 旗舰产品 HyperWorks 软件包含了 HyperMesh、OptiStruct、RADIOSS、MotionView、HyperStudy 等著名模块, 是全球领先的企业级产品创新解决方案。过去 10 年, Altair 公司投入巨大的人力物力, 跟航空工业界紧密合作, 基于 HyperWorks 软件平台, 开发了复合材料建模、仿真、优化、可视化后处理等技术, 目前已经在空客和波音等公司得到大量应用。

### 复合材料建模技术

HyperMesh 是目前世界上最著名的 CAE 前处理软件, 提供了无与伦比的建模功能和最广泛的 CAD 和 CAE 软件接口。针对复合材料, HyperMesh 提供了专业的复合材料前处理模块 HyperLaminate, 具有直观便捷的用户界面(如图 1 所示), 可以快速地对复合材料模型进行创建、

检查和编辑, 直观定义每一铺层的厚度、角度及材料属性(纤维及基体), 定义各种复合材料失效准则等。

HyperMesh 支持 ply+stack 的复合材料铺层定义方式, 即定义出各复合材料物理铺层的范围(用单元集表示), 一个物理铺层对应一个 ply 卡片, 然后通过 stack 卡片把各个 ply 按次序层叠起来, 形成完整的层合板。例如, 复合材料 T 型长桁与蒙皮胶接结构可以通过图 2 所示的方法来定义。

采用 ply+stack 建模技术, 可以方便地对复合材料层合板进行建模和编辑、三维显示和铺层方向显示等, 如图 3 所示。

### 复合材料分析求解技术

HyperLaminate 自带经典的层合板理论求解器, 可以计算出层合板的  $[A][B][D]$  矩阵(如图 4 所示), 以及等效的材料  $[G1], [G2], [G3], [G4]$  矩阵, 可以将复杂的三维各项异性的复合

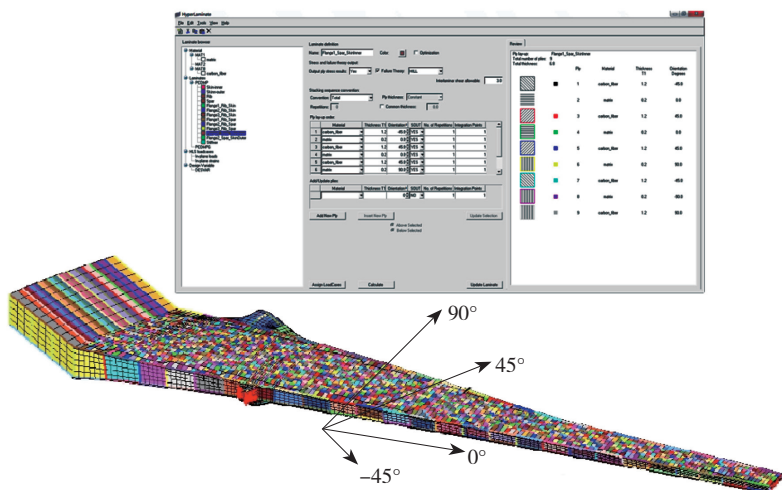


图1 HyperLaminate图形界面

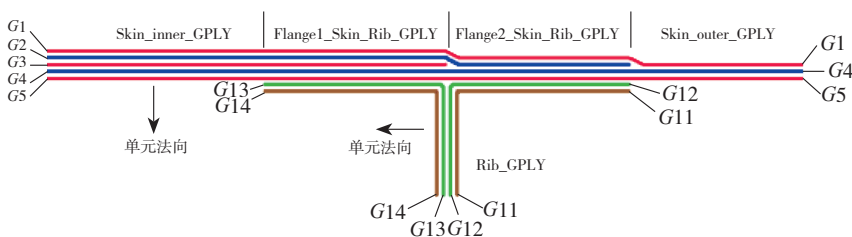


图2 基于物理铺层的建模方法 (Ply+Stack)

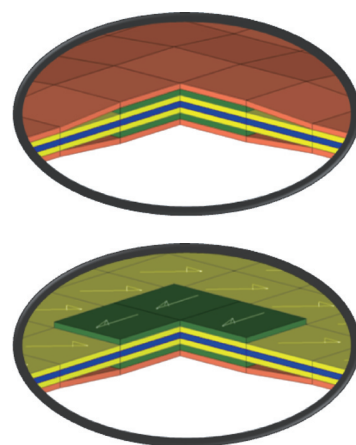


图3 复合材料层合板的三维显示

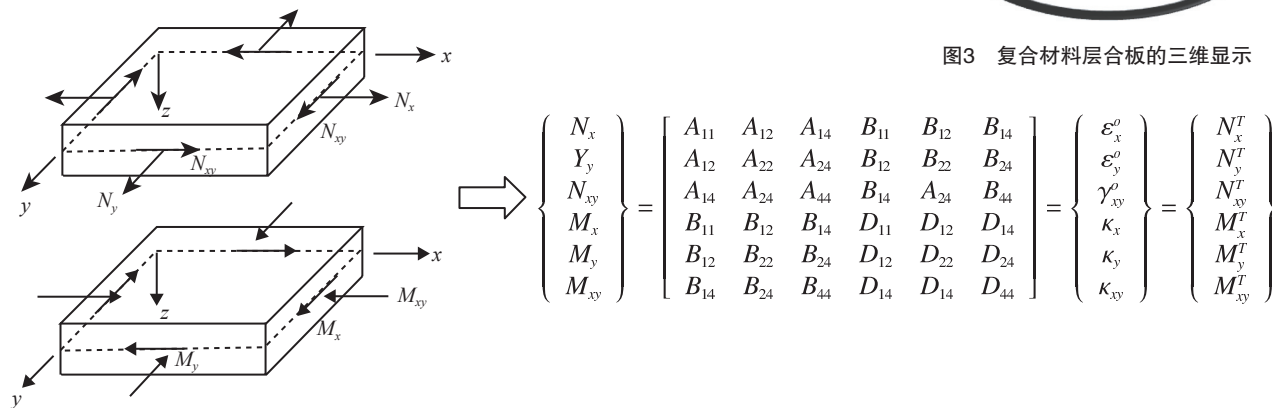


图4 复合材料层合板转换成等效的各向异性平板

材料层合板等效转换成简单的二维各向异性材料平板,实现模型信息保密,方便采用 PSHELL 单元建模。

RADIOSS 是功能强大的有限元求解器,具有线性、显式、隐式非线性求解功能,拥有拉格朗日、欧拉、ALE、SPH 等算法,及有限元、有限体积等数值处理技术;可用于结构的线性、非线性和流固耦合等问题的求解。RADIOSS 支持复合材料的定义和求解,支持 PCOMP 定义铺层,PCOMPG 定义总体分层,PCOMPP 定

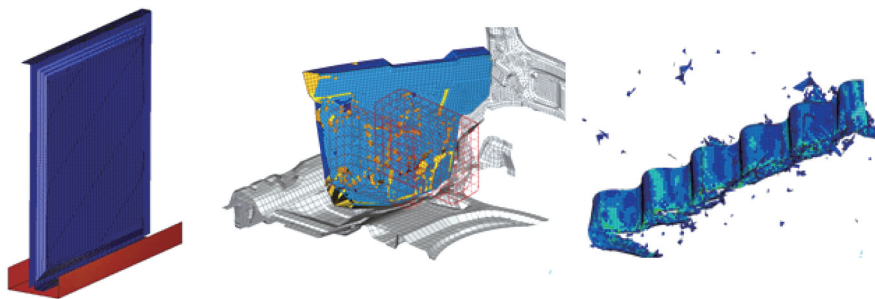


图5 基于RADIOSS的航空复合材料结构冲击破坏分析

义铺层形状及次序,可以方便地求解出各铺层的应力、应变和失效指数。此外, RADIOSS 提供多种单元和材料格式,可以精确地模拟各种非线性现象,如分层、失效、撞击破坏等,如图 5 所示;提供全面的失效准则,如 Tsai-Wu、Chang-Chang、Hashin、Puck、Yamada Sun & Ladeveze-Allix 准则,并且可以在一种材料中应用多种失效准则。

## 复合材料结构优化和减重技术

“为减轻每一克重量而努力”是每个飞机设计工程师的工作信条。复合材料相比金属,天生具有重量轻的优势,如果充分发挥复合材料的可设计性能,在铺层层面上进行优化设计,则更具有轻量化的优势。

OptiStruct 具有强大而全面的复合材料优化能力,支持从最初的零件结构样式,到铺层裁剪形状和厚度分布,到铺层角度和层数(铺层比)的优化,到最终铺层层叠次序的各个阶段的优化设计方法,可以考虑各铺层的应力、应变、失效、屈曲等性能约束,以及各种工艺要求,提供了前所未有的复合材料优化设计能力,其设计流程如图 6 所示。

### 应用案例

HyperWorks 复合材料仿真优化技术已经在全球航空工业界得到广泛应用,并取得大量的工程成果,部分案例如图 7~ 图 9 所示。

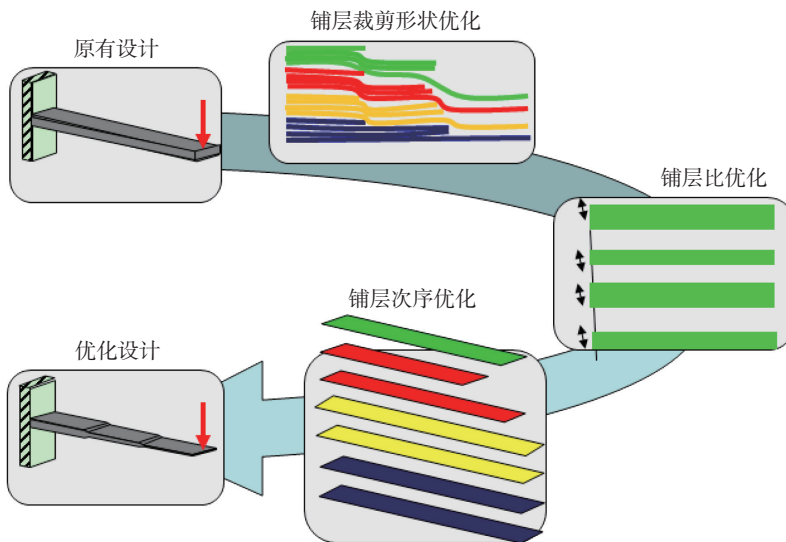


图6 基于OptiStruct的复合材料优化设计流程

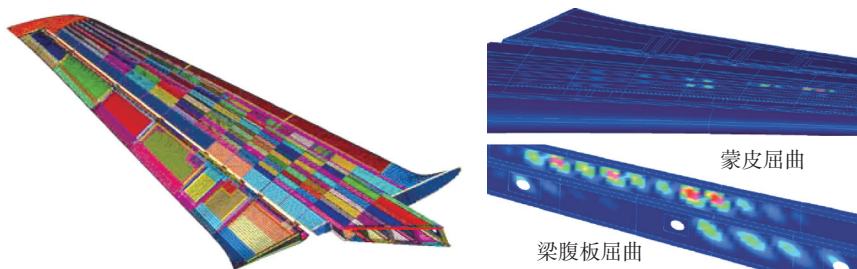


图7 波音787的复合材料平尾建模及屈曲分析(基于HyperMesh和RADIOSS)

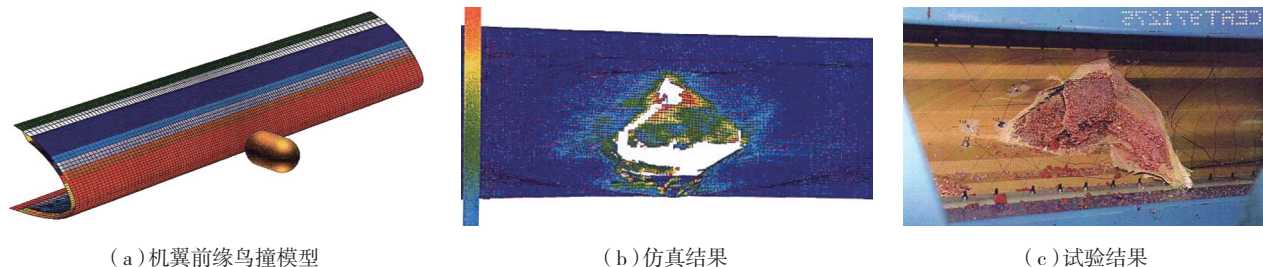


图8 空客公司采用RADIOSS进行复合材料机翼鸟撞分析

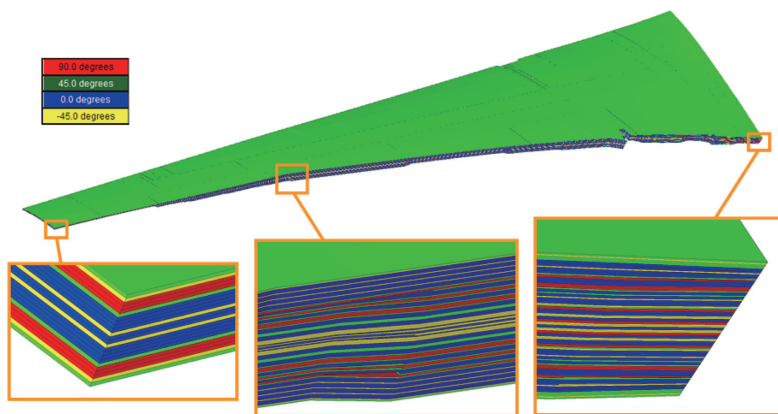


图9 空客公司采用OptiStruct进行A350复合材料机翼设计

### 结束语

HyperWorks 复合材料仿真和优化技术已经非常成熟,并在国外新一代飞机(如 A350 和波音 787)研发设计中得到验证,在 Altair 中国的航空航天工程咨询团队同国内单位的复合材料项目合作中也取得许多工程成果。

(责编 小城)