

# 先进的复合材料分析软件—Laminate Tools

## CAEDA 编译

### 一、前言

复合材料拥有轻质高强、性能各向异性和结构可设计性等特点，在航空航天、汽车、船舶等领域的应用已越来越广泛。但复合材料铺层结构设计较为复杂，性能分散性大，工艺质量不够稳定，这些问题和缺陷使复合材料的进一步推广应用遇到了阻碍。为解决上述问题，多种结构、力学分析软件及工艺模拟仿真软件被开发、运用于复合材料的设计和制造中，英国Anaglyph软件公司推出的Laminate Tools（简称LT）就是其中独具特色的一款。

作为一款在Windows操作系统环境下运行的复合材料分析软件，Laminate Tools的革命性在于它集复合材料结构设计、分析和制造于一身，专注复合材料从设计、分析、检查到制造的整个结构设计流程，由此关联了不同学科，并吸收了从1991年以来被全世界复合材料专家所证实的核心技术，从而超越了现有许多产品只关注一个特定领域的特性。与此同时，极低的性价比又使它成为一款大多数用户都买得起的软件。因此，从2002年1月推出第一个版本起，随着版本的不断提高、功能的不断增强，Laminate Tools越来越成为一款设计师和分析师都不能忘记的优秀产品。

### 二、Laminate Tools功能介绍

Laminate Tools由显示、设计、分析、检查以及制造工艺5个功能模块组成，分别涵盖了三维模型可视化显示、材料铺层等信息建立与编辑、层合板性能生成、商业化有限元软件结果可视化检查以及制造工艺信息及下料图形的输出。以下分别对上述各功能模块进行介绍：

#### 1、显示模块

该模块是Laminate Tools的核心，其他模块要想发挥功能必须借助该模块。显示模块的界面如图1所示，其功能如下：

- (1) 读取各种各式的文件，包括：行业标准\*.Layup文件，NASTRAN的\*.nas、\*.bdf及\*.fem等输入文件，Ansys的\*.cdb文件，FiberSIM的\*.fml数据文件，以及CAD的STL格式文件；
- (2) 显示模型特征的分级视图，并立即显示树形节点的相互关系；

- (3) 以多种模式和多视角显示模型网格，有透视图、剪切视图、拾取视图、印刷视图等；
- (4) 显示材料特征，覆盖和量化使用方法；
- (5) 显示单层覆盖、纤维取向、铺覆图案、平面样板图、边界、材料、物理和铺覆特征和源于每层的铺层；
- (6) 显示偏移定义；
- (7) 显示从层建立的铺层特性；
- (8) 显示每个有限元层合特性细节；
- (9) 显示厚度分布；
- (10) 观看、输出和打印细部信息，下到每个单元。

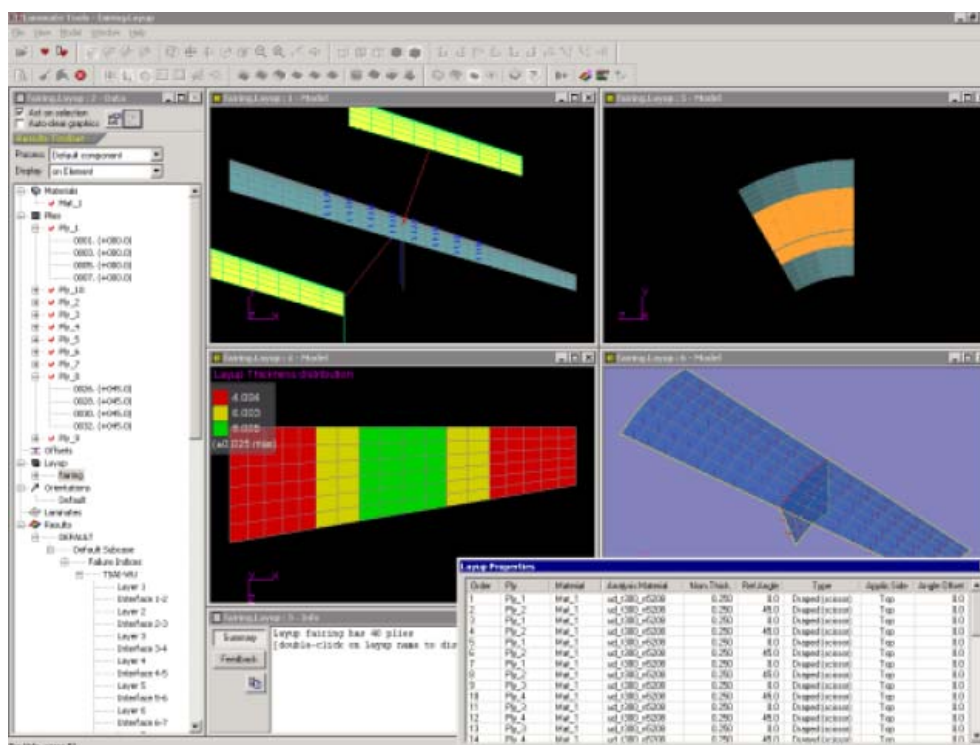


图1 显示模块界面

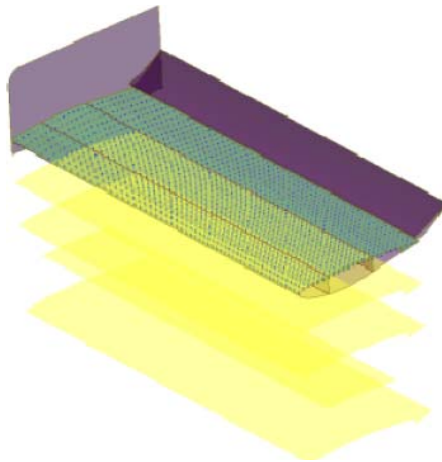
## 2、设计模块

设计模块的界面如图2(a)、(b)所示，该模块功能如下：

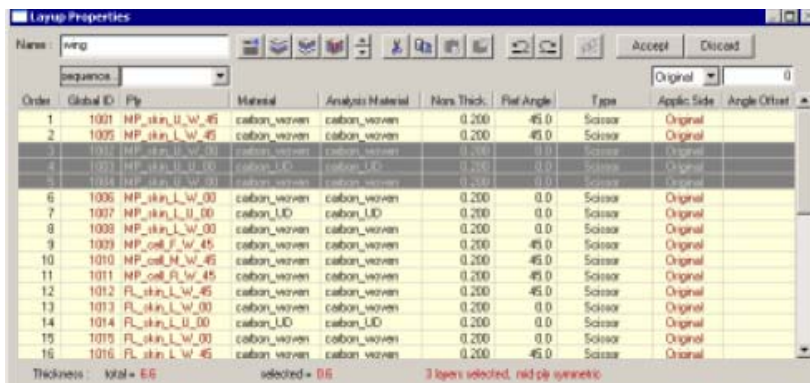
- (1) 创建和修改材料、单层、偏置和铺层，处理结构中所有与复合材料相关的问题；
- (2) 使用子层，以隔开结构部件；
- (3) 通过被测试验证过的铺覆模拟算法来进行单层的创建和修改，通过

Simulayt铺层技术来使用从1991年来全世界数以万计的复合材料专家所证明了的核心技术；

- (4) 铺覆选择，包括开口、同一单层中不同部分铺覆顺序、织物尺寸限制和种子曲线限制等，以跟随特定结构特征；
- (5) 导入FiberSIM的 \*.fmd (\*.fml 目录)文件，以便能读入单层信息到已存在的网格，从而创建整个结构层；
- (6) 导入PlyMaster的电子表格数据，以便自动创建已有网格的铺层；
- (7) 可以保存成行业标准文件格式。



(a) 铺层创建



Order	Global ID	Ply	Material	Analysis Material	Nom. Thick.	Fiber Angle	Type	Apply Side	Angle Offset
1	1001	HP_skin_U_W_45	carbon_woven	carbon_woven	0.200	45.0	Scissor	Original	
2	1005	HP_skin_L_W_45	carbon_woven	carbon_woven	0.200	45.0	Scissor	Original	
3	1003	HP_skin_U_W_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
4	1002	HP_skin_L_W_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
5	1004	HP_skin_L_W_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
6	1006	HP_skin_L_W_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
7	1007	HP_skin_L_U_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
8	1008	HP_skin_L_W_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
9	1009	HP_skin_L_W_45	carbon UD	carbon UD	0.200	45.0	Scissor	Original	
10	1010	HP_skin_L_W_45	carbon UD	carbon UD	0.200	45.0	Scissor	Original	
11	1011	HP_skin_L_W_45	carbon UD	carbon UD	0.200	45.0	Scissor	Original	
12	1012	FL_skin_L_W_45	carbon UD	carbon UD	0.200	45.0	Scissor	Original	
13	1013	FL_skin_L_W_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
14	1014	FL_skin_L_U_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
15	1015	FL_skin_L_W_00	carbon UD	carbon UD	0.200	0.0	Scissor	Original	
16	1016	FL_skin_L_W_45	carbon UD	carbon UD	0.200	45.0	Scissor	Original	

(b) 铺层数据导入与修改

图2 设计模块界面

### 3、检查模块

该模块是Laminate Tools的一个强大的部分，能提供快速和便捷的有限元分析结果后处理。该模块功能如下：

- (1) 读取NASTRAN软件的结果格式文件(\*.op2, \*.f06)进行后处理；

- (2) 读取ANSYS结果文件(\*.rst)进行后处理;
- (3) 输出每层每个工况的应力曲线, 或者多层组成一组/或者多种工况和处理最差值(包线);
- (4) 输出每层或者层界面的NASTRAN失效指数结果;
- (5) 使用大量的失效理论(包括用户自定义的), 基于导入的有限元应力结果, 创建失效指数、安全裕度或者预留因子, 可以基于应力或者应变来进行计算;
- (6) 在不需要有限元重新求解的前提下对整个铺层结构进行小的修正和交互显示重分配层的应力和失效计算;
- (7) 通过逐层的单元厚度、输出应力和失效指数等的曲线, 清楚标识出重要应力分量和问题点;
- (8) 输出原始全局层的任意结果曲线, 让载荷路径显得清晰和正确的解释优化策略;
- (9) 导出层合板和每个单元的载荷信息到LAP, 为在进行一个新的有限元分析之前进行额外的检查和实验, 改善铺层顺序;
- (10) 交互计算和输出类似上面的应变结果。

简言之, 检查模块能够使设计师立即领会任何工况(或多工况)对层合复合材料结构的影响, 能够快速圈定危险点范围, 识别问题, 快速评估校正方法, 并且采取正确行动。同样的, 过度的保守特征也能被快速识别并采取优化措施。检查模块节省了团队时间和帮助避免设计失误。图3与图4即为检查模块应用的两个实例。

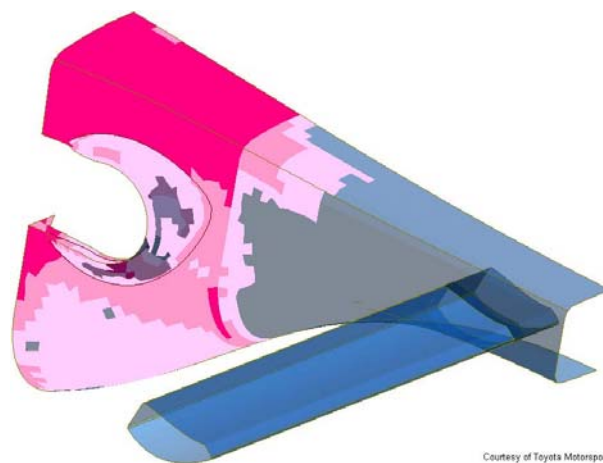


图3 F1赛车一个部件的有限元分析结果检查



图4 舰艇项目的过载区域检查

#### 4、分析模块

分析模块界面如图 5 所示，该模块功能如下：

- (1) 基于设计模块创建的铺层信息，或者从\*.Layup文件直接读取，或者通过FiberSIM的文件（设计模块）导入，创建层合板特性数据进行有限元分析；
- (2) 写入包括所有层合板信息的NASTRAN或者ANSYS格式的输入文件，也即转换铺层信息到有限元特性，为分析做准备（PCOMP卡片或者SECTION或者Real Constants）；
- (3) 内嵌支持NASTRAN的文件格式，联系网格特征到原始全局单层。

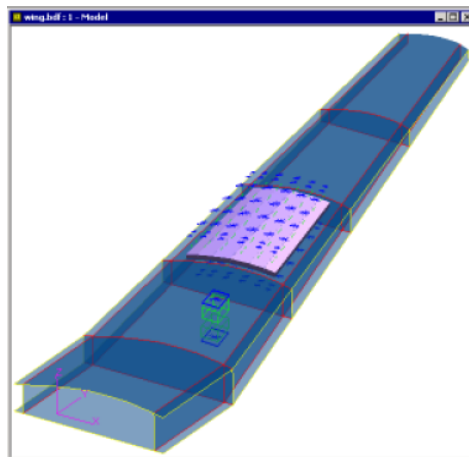


图5 分析模块界面

#### 5、制造模块

制造模块界面如图 6 所示，该模块功能如下：

- (1) 输出DXF或者IGES格式的平面样板图或者铺覆样板图用来嵌套剪裁或者CAD系统；

- (2) 导出表格格式的完整或者部分单层信息表,以及单层铺覆的图表和特征,可以输出到标准HTML格式(网页浏览格式),以达到最大兼容性,或者针对公司的特定定制导出到微软WORD(可选)格式;
- (3) 自动扩展DXF格式平面样板图的外边界轮廓线,以备后期剪裁;
- (4) 导出激光数据到激光投影系统,进行无缝制造;
- (5) 导出到模具表面以用于CAD;
- (6) 处理多种已存在的平面样板图铺覆在模具上,支持有限宽度重叠窄条的创建并导出到CAD系统。

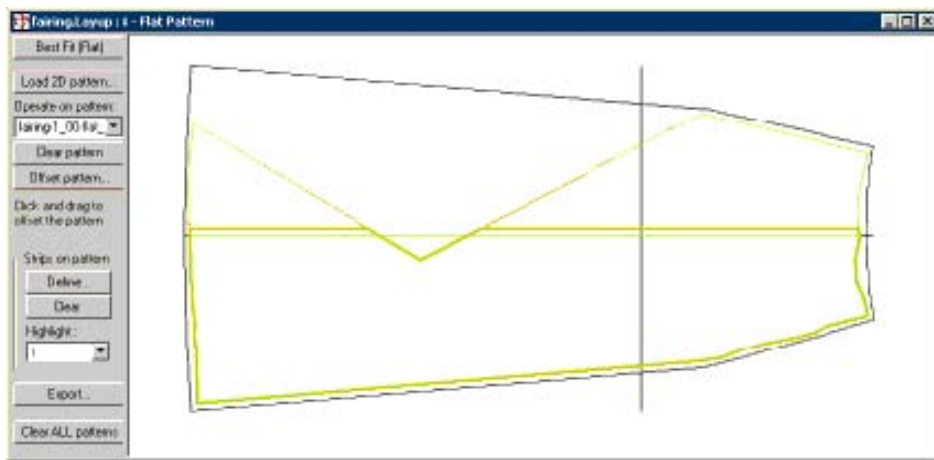


图6 制造模块界面

### 三、Laminate Tools 操作流程及典型应用

Laminate Tools 典型的操作流程如下:

- (1) 利用 CAD 软件定义几何模型曲面后,利用预定的有限元前处理器在曲面上创建网格;
- (2) 利用 Laminate Tools 工具,用复合材料织物对曲面进行铺覆,并建立整个结构的铺层;
- (3) 将 Laminate Tools 所建铺层的单层信息转换为层状材料特性;
- (4) 用专业有限元分析软件对 Laminate Tools 所建层合材料进行有限元求解;
- (5) 利用 Laminate Tools 对有限元分析结果进行后处理,并显示后处理结果;
- (6) 用 Laminate Tools 输出单层裁切图形样板。

通过以上流程,Laminate Tools 即可集成设计、分析和制造的相关软件,形成简易的复合材料分析、设计环境,进行以下的典型应用:

- (1) 材料铺覆模拟,如图7、图8所示;

- (2) 用Laminate Tools建立的铺层，可以用来转换单层信息到适合进行有限元分析的层状材料特性，然后在所选用的有限元软件中使用该信息；
- (3) 以适用于复合材料的特定方式对有限元分析结果进行后处理，包括审查单独全部全局层的能力，如图9所示；
- (4) 使用层的信息进行制造，包括嵌入和切削，平面样板图的输出，或者使用激光工具把层的轮廓投影在模具表面上，如图10所示；
- (5) 简单观看、审查和批准设计中的结构特征，在部门间或者转包商之间进行数字信息交流，获得最优结构和最小化误差，并且在部件性能上让可信度最大化。

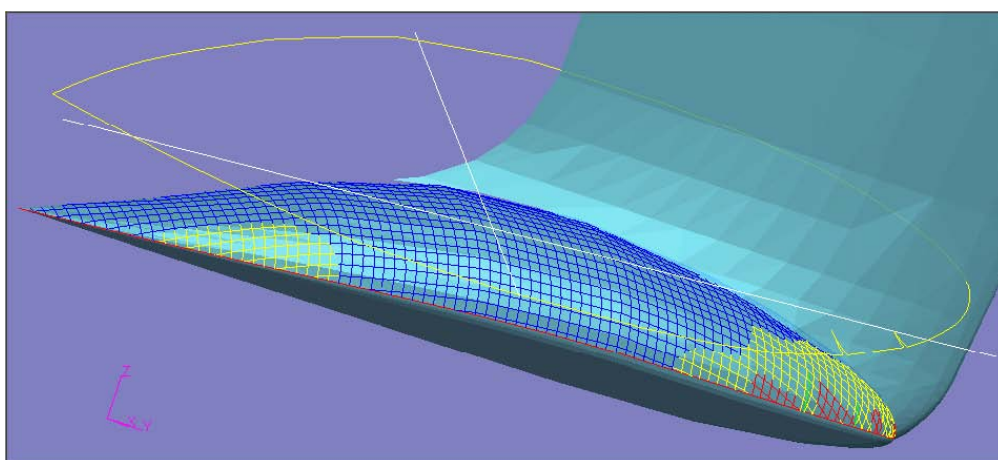


图7 模拟铺覆高曲率曲面

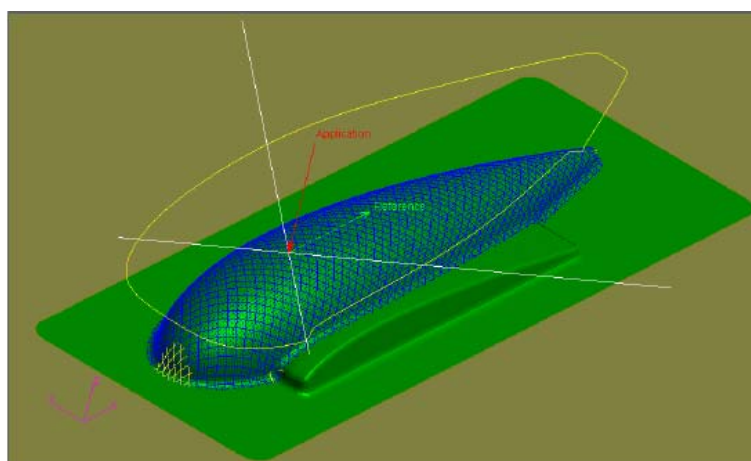


图8 试验结构的铺覆模拟结果

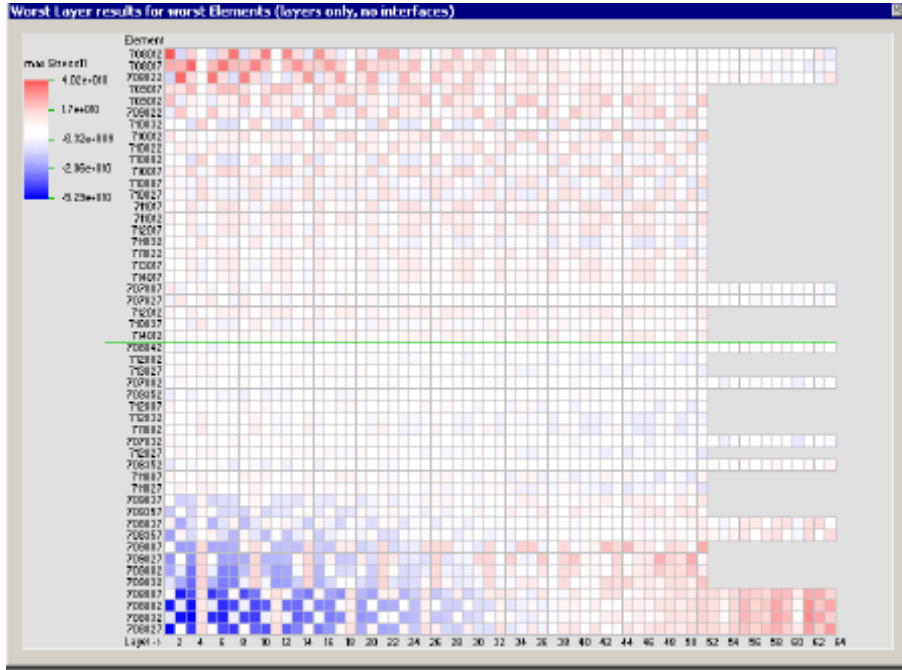


图9 显示高应力单元逐层应力分布的独特视图

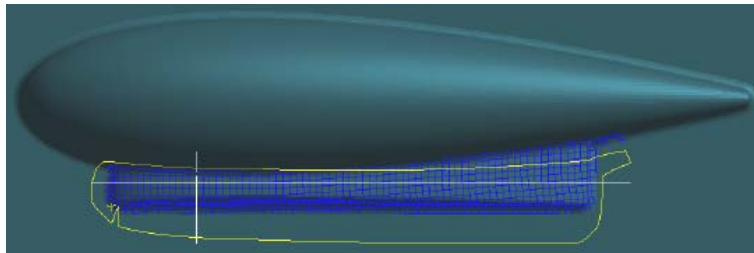


图10 作为制造项目一部分的平面样板图

#### 四、总结

总的来说，聚焦于层合复合材料的 Laminare Tools 桥接了复合材料设计、分析和制造的整个流程，强大的可视化功能使其在审核设计和查明材料特性需要审查的问题区域时极具使用价值，创建复杂层合板的功能使其在处理大量铺层信息时极其有用，创建并输出单层信息表的功能使其在逐层检查和铺层可视化上极具优势。Laminare Tools 使用至今，已被证明是在分析和设计师之间分享信息的高效工具，它的推广必将推动复合材料在更多领域、更广范围内的应用。