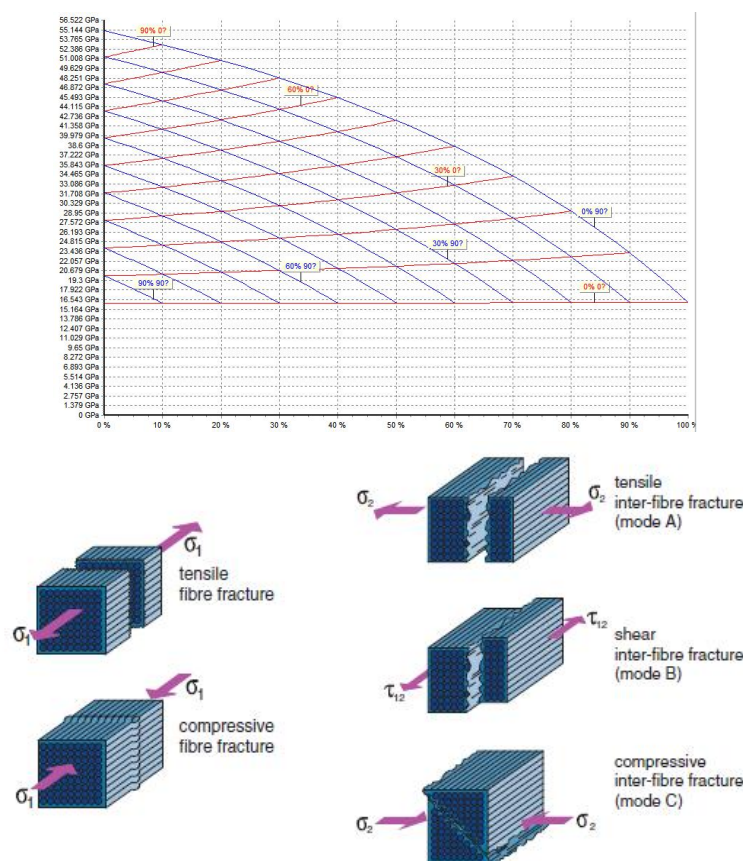


# Composite Star

## 复合材料数据库&层合材料设计分析软件



北京创联智软科技有限公司

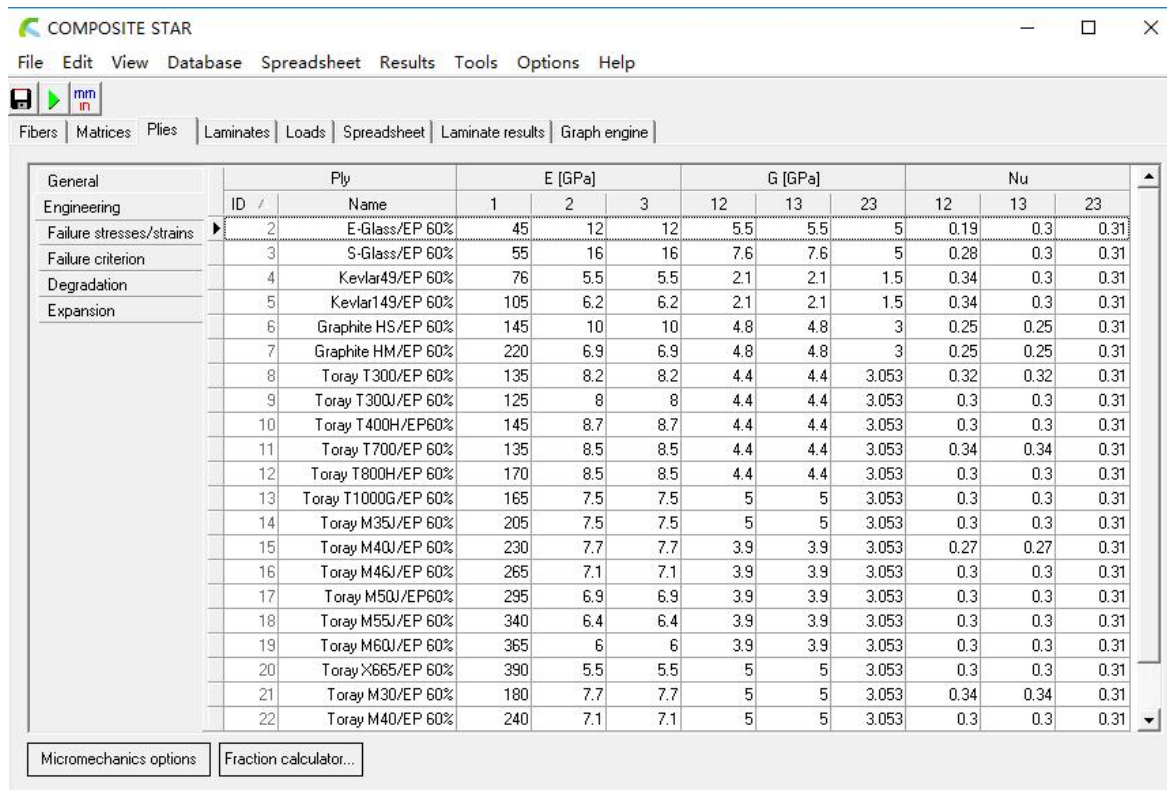
Beijing Intelligent United Innovation Technology Co. Ltd

## 软件是什么—复合材料库&层合材料设计分析软件

### 复合材料数据库

复材之星软件 COMPOSITE STAR 是一款基于数据库框架结构的复合材料力学性能数据库和层合板设计计算分析软件。复材之星基于数据库框架结构，包括纤维、树脂、单层板材料数据库。

纤维材料数据库包括弹性主方向的弹性模量、剪切模量、泊松比等工程常数、极限强度（拉压应力/应变）、湿热性能参数；树脂材料数据库包括刚度性能的弹性模量、剪切模量、泊松比等工程常数、极限强度（拉压剪切应力/应变）、湿热性能参数。单层板材料数据库包括正轴刚度性能数据（纤维轴向、横向、厚向弹性模量、剪切模量、泊松比）、正轴强度性能数据、湿热性能参数、材料失效和刚度退化系数。



The screenshot shows the COMPOSITE STAR software interface. The 'Database' menu is open, displaying a table of material properties. The table has columns for 'General', 'Engineering', 'Failure stresses/strains', 'Failure criterion', 'Degradation', and 'Expansion'. The 'Engineering' column is expanded, showing a list of materials with their corresponding properties.

General	ID	Name	E [GPa]			G [GPa]			Nu		
			1	2	3	12	13	23	12	13	23
Engineering	2	E-Glass/EP 60%	45	12	12	5.5	5.5	5	0.19	0.3	0.31
Failure stresses/strains	3	S-Glass/EP 60%	55	16	16	7.6	7.6	5	0.28	0.3	0.31
Failure criterion	4	Kevlar49/EP 60%	76	5.5	5.5	2.1	2.1	1.5	0.34	0.3	0.31
Degradation	5	Kevlar149/EP 60%	105	6.2	6.2	2.1	2.1	1.5	0.34	0.3	0.31
Expansion	6	Graphite HS/EP 60%	145	10	10	4.8	4.8	3	0.25	0.25	0.31
	7	Graphite HM/EP 60%	220	6.9	6.9	4.8	4.8	3	0.25	0.25	0.31
	8	Toray T300/EP 60%	135	8.2	8.2	4.4	4.4	3.053	0.32	0.32	0.31
	9	Toray T300J/EP 60%	125	8	8	4.4	4.4	3.053	0.3	0.3	0.31
	10	Toray T400H/EP 60%	145	8.7	8.7	4.4	4.4	3.053	0.3	0.3	0.31
	11	Toray T700/EP 60%	135	8.5	8.5	4.4	4.4	3.053	0.34	0.34	0.31
	12	Toray T800H/EP 60%	170	8.5	8.5	4.4	4.4	3.053	0.3	0.3	0.31
	13	Toray T1000G/EP 60%	165	7.5	7.5	5	5	3.053	0.3	0.3	0.31
	14	Toray M35J/EP 60%	205	7.5	7.5	5	5	3.053	0.3	0.3	0.31
	15	Toray M40J/EP 60%	230	7.7	7.7	3.9	3.9	3.053	0.27	0.27	0.31
	16	Toray M46J/EP 60%	265	7.1	7.1	3.9	3.9	3.053	0.3	0.3	0.31
	17	Toray M50J/EP 60%	295	6.9	6.9	3.9	3.9	3.053	0.3	0.3	0.31
	18	Toray M55J/EP 60%	340	6.4	6.4	3.9	3.9	3.053	0.3	0.3	0.31
	19	Toray M60J/EP 60%	365	6	6	3.9	3.9	3.053	0.3	0.3	0.31
	20	Toray X665/EP 60%	390	5.5	5.5	5	5	3.053	0.3	0.3	0.31
	21	Toray M30/EP 60%	180	7.7	7.7	5	5	3.053	0.34	0.34	0.31
	22	Toray M40/EP 60%	240	7.1	7.1	5	5	3.053	0.3	0.3	0.31

### 层合板设计分析

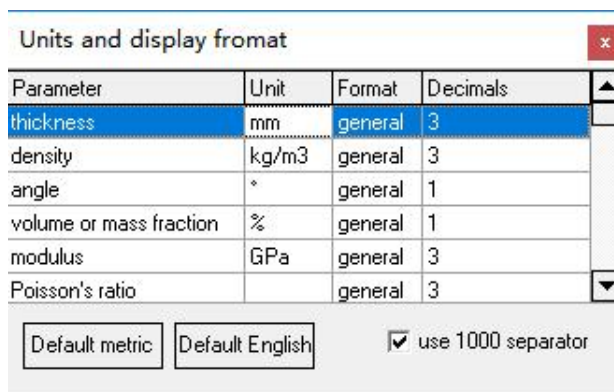
复材之星软件 COMPOSITE STAR 的层合板设计分析功能，根据铺层性能要求基于经典层合板理论(CLT)采用毯式图方法计算层合板材料许用值，给出层合板材料的铺层角度、铺层比例，计算分析层合板材料在外力载荷作用下的应力应变、强度比和失效过程。

## 软件的用户界面-面向工程师的设计工具

### 友好的用户界面

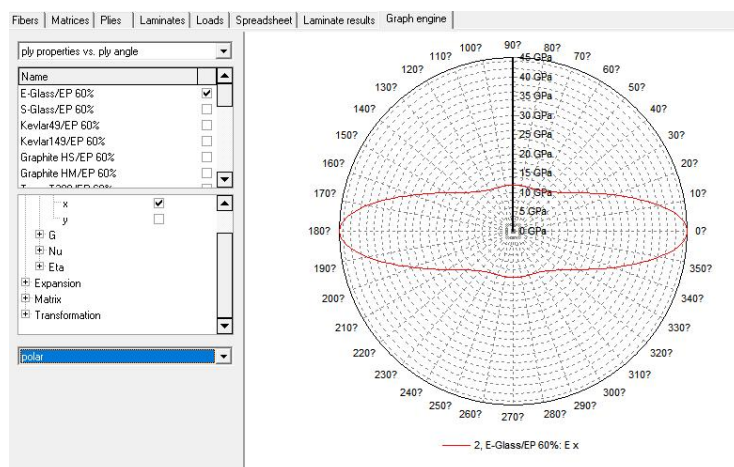
复材之星软件 COMPOSITE STAR 的用户界面直观简练，操作简单易用，可以提高软件的应用效率。

- ✓ 软件界面直观简练，没有复杂嵌套多于 3 层的菜单、窗口和对话框。
- ✓ 软件界面可以客户化定义、保存和恢复，显示数据可以根据客户要求要求进行设置。
- ✓ 软件的材料数据库，以类似 Excel 电子表格方式显示。用户可以方便地进行数据的增加、删除、复制、粘贴操作。材料数据库的数据列表可以进行排序检索。
- ✓ 软件系统支持不同单位制设置（国际单位制和英制），可分别设置物理量显示格式。
- ✓ 软件适用的操作系统包括 Windows XP, WIN7, WIN10



### 直观的图形引擎

复材之星软件 COMPOSITE STAR 的材料性能数据可以直接以电子表格方式显示，还可以采用曲线图表显示：单层板性能-角度曲线图（材料各向异性）、层合板设计毯式图（铺层角比例计算）、层合板性能-载荷系数趋势曲线图（安全系数选择）等等。



## 软件的功能—产品研发的得力助手

### 单层材料数据库

单层板材料数据库包括正轴刚度性能数据（纤维轴向、横向、厚向弹性模量、剪切模量、泊松比）、正轴强度性能数据、湿热性能参数、材料失效和刚度退化系数。

单层板材料数据库，以类似 Excel 电子表格方式显示，一个单层材料表现为一条数据记录。用户可以使用主菜单、弹出快捷菜单或快捷键三种方式，增加、删除、剪切、复制、粘贴、修改材料数据；另外用户还可通过显示选择功能，设置材料数据显示内容；材料列表可以直接网页模式屏幕显示、输出保存为 TXT/XML/HTML 格式文件，或者打印输出。

### 单层板性能预测

复材之星软件 COMPOSITE STAR 的包括宏观力学性能和细观力学预测模型。单层板材料数据库不仅包含实验测定性能数据，也可以通过细观力学性能预测模型计算出单层板性能。单层板预测只限于复合材料结构设计初期阶段，通过纤维树脂性能数据和纤维体积含量预测单层板性能数据；复合材料结构设计后期阶段，需要通过实验测量进行数据修正。

- ✓ 包括所有主要的细观力学模型(混合准则，圆柱模型，等等)

$$E_1 = E_f V_f + E_m (1 - V_f)$$

- ✓ 预测计算数据包括：工程常数（刚度和强度），湿热膨胀系数
- ✓ 纤维、树脂体积质量分数转换工具

Append record	Ctrl+A
Delete record(s)	Ctrl+Del
Cut	Ctrl+X
Copy	Ctrl+C
Paste	Ctrl+V
View selection...	Ctrl+G
Show in web browser...	Ctrl+B
Export table...	
Print...	Ctrl+P

#### Micromechanics calculation options

Parameter	Method
E1	rule of mixtures
E2	Puck
G12	cylinder model
G23	Tsai
Nu12	rule of mixtures
Alpha1	rule of mixtures
Alpha2	Chamis
Beta1	rule of mixtures
Beta2	Chamis
SigmaXt	Chamis
SigmaXc	Chamis
SigmaYt	Chamis
SigmaYc	Chamis
SigmaS	Chamis

Default

#### Volume-Mass-Calculator

Fiber	Matrix
无碱玻璃纤维 E-Glass	环氧树脂 Epoxy
Fiber volume fraction	Matrix volume fraction
50.00	50.00
67.11	32.89
Fiber mass fraction	Matrix mass fraction



## 单层板正轴刚度

单层横观各向同性材料具有 3 个对称面和 5 个独立弹性常数, 软件中其正轴刚度采用三种形式表现, 这三种形式可以互相转换, 但又各有用处。

❖ 工程常数---可由简单实验直接测定,  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $G_{12}$ 、 $\nu_1$  各参数物理意义明确;

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{1}{E_1} \sigma_1 - \frac{\nu_2}{E_2} \sigma_2 \\ \varepsilon_2 = \frac{1}{E_2} \sigma_2 - \frac{\nu_1}{E_1} \sigma_1 \\ \gamma_{12} = \frac{1}{G_{12}} \tau_{12} \end{cases} \quad \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{pmatrix}$$

❖ 柔量分量---应变-应力行列式系数, 用来根据应力求应变;

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{21} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{pmatrix} \quad \begin{cases} \varepsilon_1 = S_{11}\sigma_1 + S_{12}\sigma_2 + 0 * \tau_{12} \\ \varepsilon_2 = S_{21}\sigma_1 + S_{22}\sigma_2 + 0 * \tau_{12} \\ \gamma_{12} = 0 * \sigma_1 + 0 * \sigma_1 + S_{66}\tau_{12} \end{cases}$$

❖ 模量分量---应力-应变行列式系数, 用来根据应变求应力。

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{21} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{pmatrix}$$

复材之星软件 COMPOSITE STAR 实现了单层三维各向异性材料的应力应变关系表达 (21 个独立弹性常数)。单层板偏轴刚度 (弹性模量) 根据铺层角度自动计算。软件包括考虑单层厚向变形的正轴刚度模量矩阵  $C$  (ply directions), 正轴柔度模量矩阵  $S$  (ply directions); 忽略单层厚向变形的正轴刚度模量矩阵  $Q$  (ply directions), 正轴柔度模量矩阵  $S$  reduced (ply directions)。

Plies in laminate:																
General		Ply			E [GPa]		E [GPa]		G [GPa]	Nu	G [GPa]	Nu	Eta			
Engineering	# /	Name	Angle	1	2	x	y	12	12	xy	xy	yx	xy_x	xy_y	x_xy	y_xy
Failure stresses/strains	1	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	135	8.5	8.5	135	4.4	0.34	4.4	0.021	0.34	0	0	0	0
	2	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	135	8.5	8.5	135	4.4	0.34	4.4	0.021	0.34	0	0	0	0
Matrix	3	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	5	135	8.5	111.391	8.508	4.4	0.34	4.457	0.362	0.028	-1.992	-0.011	-0.08	-0.006
Transformation	4	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	-5	135	8.5	111.391	8.508	4.4	0.34	4.457	0.362	0.028	1.992	0.011	0.08	0.006
Strain	5	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	135	8.5	8.5	135	4.4	0.34	4.4	0.021	0.34	0	0	0	0
Stress	6	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	135	8.5	8.5	135	4.4	0.34	4.4	0.021	0.34	0	0	0	0
Failure result	7	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	16	135	8.5	44.237	8.614	4.4	0.34	5	0.413	0.08	-2.258	-0.064	-0.255	-0.037
Degradation	8	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	-16	135	8.5	44.237	8.614	4.4	0.34	5	0.413	0.08	2.258	0.064	0.255	0.037
Failure process	9	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	135	8.5	8.5	135	4.4	0.34	4.4	0.021	0.34	0	0	0	0

Plies in laminate:																
General		Ply			C (ply directions) [GPa]				S (ply directions) [1/GPa]				Q (ply directions) [GPa]		S reduced (ply directions) [1/GPa]	
Engineering	# /	Name	Angle	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	
Failure stresses/strains	1	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	
	2	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	
Matrix	3	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	5	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	
Transformation	4	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	-5	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	
Strain	5	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	
Stress	6	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	
Failure result	7	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	16	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	
Degradation	8	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	-16	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	
Failure process	9	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	1.379E+2	4.279E+0	4.279E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	1.360E+2	2.911E+0	0.000E+0	7.407E-3	

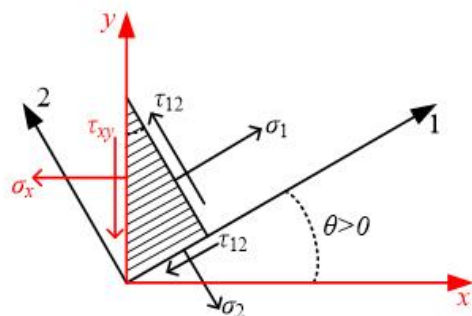
## 单层板偏轴刚度

复材之星软件 COMPOSITE STAR 包括了单层偏轴刚度性能数据：

- ❖ 偏轴应力转换正矩阵  $T$ ---正轴应力-偏轴应力的关系式系数矩阵，根据偏轴应力求正轴应力。

如果知道正轴的极限应力（强度）大小，可以根据正轴极限强度去校核正轴方向的材料是否失效。

- ❖ 偏轴应力转换逆矩阵  $T^{-1}$ ---偏轴应力-正轴应力的关系式系数矩阵，根据正轴应力求偏轴应力。如果知道正轴的极限强度，可以得知偏轴的极限强度。



Plies in laminate:							
General	Ply			T sigma reduced	inv. T sigma reduced	T epsilon reduced	inv. T epsilon reduced
Engineering	#	Name	Angle				
Failure stresses/strains	1	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 -1.000E+0	0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 -1.000E+0	0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 -1.000E+0	0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 -1.000E+0
Matrix							
Transformation	2	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	90	0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 -1.000E+0	0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 -1.000E+0	0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 -1.000E+0	0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 1.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 0.000E+0 -1.000E+0
Strain							
Stress	3	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	5	9.924E-1 7.596E-3 1.736E-1 7.596E-3 9.924E-1 -1.736E-1 -8.682E-2 8.682E-2 9.848E-1	9.924E-1 7.596E-3 -1.736E-1 7.596E-3 9.924E-1 1.736E-1 8.682E-2 -8.682E-2 9.848E-1	9.924E-1 7.596E-3 8.682E-2 7.596E-3 9.924E-1 -8.682E-2 -1.736E-1 1.736E-1 9.848E-1	9.924E-1 7.596E-3 -8.682E-2 7.596E-3 9.924E-1 8.682E-2 1.736E-1 -1.736E-1 9.848E-1
Failure result							
Degradation							
Failure process	4	东丽 T700 Toray T700/EP 60%	-5	9.924E-1 7.596E-3 -1.736E-1 7.596E-3 9.924E-1 1.736E-1 8.682E-2 -8.682E-2 9.848E-1	9.924E-1 7.596E-3 1.736E-1 7.596E-3 9.924E-1 -1.736E-1 -8.682E-2 8.682E-2 9.848E-1	9.924E-1 7.596E-3 -8.682E-2 7.596E-3 9.924E-1 8.682E-2 1.736E-1 -1.736E-1 9.848E-1	9.924E-1 7.596E-3 8.682E-2 7.596E-3 9.924E-1 -8.682E-2 -1.736E-1 1.736E-1 9.848E-1

计算单层的偏轴刚度的方法：通过正轴应力与应变的转换,将正轴下的应力-应变关系转变为偏轴下的应力-应变关系,从而确定偏轴下的模(柔)量分量与正轴模(柔)量分量之间的转换关系。由此再进一步得到偏轴工程弹性常数和正轴工程弹性常数之间的转换关系式。

- ❖ 偏轴应力转变关系：由正轴应力求偏轴应力
- ❖ 偏轴应变转变关系：由正轴应变求偏轴应变
- ❖ 求偏轴应力-应变关系
- ❖ 求偏轴柔量和模量分量
- ❖ 求偏轴工程弹性常数

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = T \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m^2 & n^2 & 2mn \\ n^2 & m^2 & -2mn \\ -mn & mn & m^2 - n^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

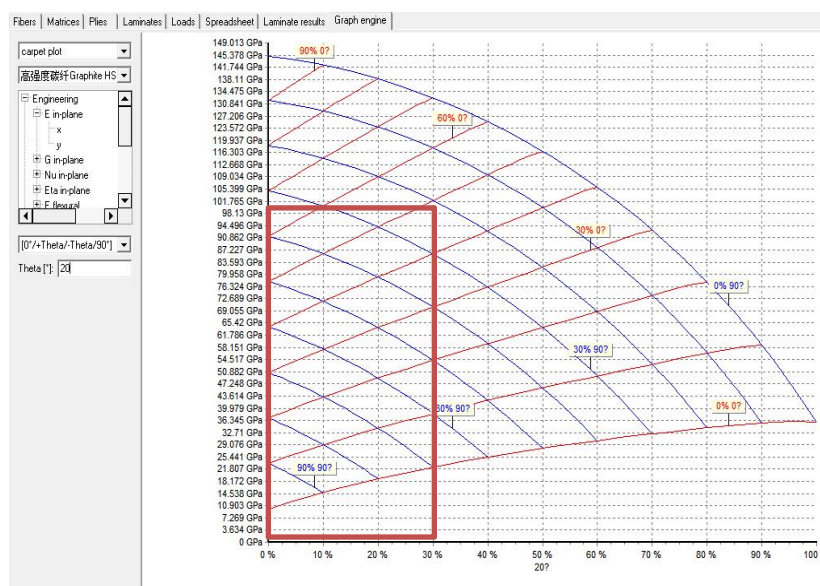
$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = T^{-1} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m^2 & n^2 & -2mn \\ n^2 & m^2 & 2mn \\ mn & -mn & m^2 - n^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}$$

$$m = \cos \theta, \quad n = \sin \theta$$

## 层合板许用值计算

复材之星 COMPOSITE STAR 的层合板设计功能，基于经典层合板理论采用毯式图方法计算层合板材料许用值，结合铺层性能要求进行铺层角度、铺层比例和铺层顺序设计。如果层合板结构偏轴弹性模量（刚度）要求 $>100\text{GPa}$ ，从选定单层板材料的毯式图可知，采用铺层结构 $[0/+20/-20/90]$ 方案时，0 度角铺层比例 50%、20 度角铺层比例 30%、90 度角铺层比例 20%。

## 层合结构铺层设计



复材之星 COMPOSITE STAR 的层合板结构铺层设计功能，依据层合材料的不同铺层角度所占比例进行铺层顺序设计。

Stacking sequence of laminate: 斜交抗压Tube Pressure Glass

#	ID	Ply Name	Angle (度)	Thickness [mm]
1	2	无碱玻璃纤维 E-Glass/EP 60%	54.7	0.2
2	2	无碱玻璃纤维 E-Glass/EP 60%	-54.7	0.2
3	2	无碱玻璃纤维 E-Glass/EP 60%	54.7	0.2
4	2	无碱玻璃纤维 E-Glass/EP 60%	-54.7	0.2
5	2	无碱玻璃纤维 E-Glass/EP 60%	54.7	0.2
6	2	无碱玻璃纤维 E-Glass/EP 60%	-54.7	0.2

General		Laminate	
ID	Name	ID	Name
2	单向铺层 UD-Carbon	2	单向铺层 UD-Carbon
3	正交铺层 0/90 Carbon	3	正交铺层 0/90 Carbon
4	斜交抗压 Tube Pressure Glass	4	斜交抗压 Tube Pressure Glass
5	斜交抗扭 Tube Torsion Glass	5	斜交抗扭 Tube Torsion Glass
6	传动轴铺层 Drive Shaft Carbon	6	传动轴铺层 Drive Shaft Carbon
7	压力容器 Pressure Vessel Carbon	7	压力容器 Pressure Vessel Carbon
8	弯曲铺层 Bending	8	弯曲铺层 Bending
9	Exa-General use of spreadsheet	9	Exa-General use of spreadsheet
10	Exa-Tube cantilever beam	10	Exa-Tube cantilever beam
11	Exa-Tube internal pressure	11	Exa-Tube internal pressure
12	Exa-各向同性铝材	12	Exa-各向同性铝材
13	Exa-单层材料	13	Exa-单层材料

## 层合材料刚度计算

复材之星 COMPOSITE STAR 的层合材料性能分析，可以交互式地根据层合板铺层结构设计-直接计算出层合材料偏轴刚度，应力应变关系矩阵。随后根据外力载荷，直接计算出整体内应力和变形量。

Fibers   Matrices   Plies   Laminates   Loads   Spreadsheet   Laminates results   Graph engine														
Laminate: 斜交抗扭铺 Tube Torsion ( Load: 外压载荷 External Pressure Use spreadsheet <input checked="" type="checkbox"/> Show laminate at load factor: 1.0														
Laminate:														
General	E in-plane [GPa]		G in-plane [GPa]	Nu in-plane		Eta in-plane				E flexural [GPa]		G flexural [GPa]	Nu flexural	
Engineering	x	y	xy	xy	yx	xy_x	xy_y	x_xy	y_xy	x	y	xy	xy	yx
Expansion	16.249	16.249	13.237	0.477	0.477	0	0	0	0	16.249	16.249	13.237	0.477	0.477
Matrix														
N, M														
Epsilon 0, Kappa														
Sigma 0, Sigma flex														

软件对于对称层合板的应力-应变关系矩阵包括面内刚度矩阵  $A$ 、面内柔度矩阵  $a$ ，弯曲力矩-弯曲曲率关系矩阵包括正则化弯曲刚度矩阵  $D$ 、正则化弯曲柔度矩阵  $d$ 。

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{26} \\ A_{61} & A_{62} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{26} \\ a_{61} & a_{62} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} M_x^0 \\ M_y^0 \\ M_{xy}^0 \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} D_{11}^0 & D_{12}^0 & D_{16}^0 \\ D_{21}^0 & D_{22}^0 & D_{26}^0 \\ D_{61}^0 & D_{62}^0 & D_{66}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_x^0 \\ k_y^0 \\ k_{xy}^0 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_x^0 \\ k_y^0 \\ k_{xy}^0 \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} d_{11}^0 & d_{12}^0 & d_{16}^0 \\ d_{21}^0 & d_{22}^0 & d_{26}^0 \\ d_{61}^0 & d_{62}^0 & d_{66}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M_x^0 \\ M_y^0 \\ M_{xy}^0 \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

软件对于一般非对称层合板，刚度系数除了面内刚度系数和弯曲刚度系数外，还存在耦合刚度系数，包括层合板的耦合刚度系数  $B$ 、层合板的耦合柔度系数  $b$ 。因为于一般非对称层合板，面内力还将引起弯曲变形（或弯曲力矩还将引起面内变形），即存在拉弯耦合或弯拉耦合。

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{26} & B_{21} & B_{22} & B_{26} \\ A_{61} & A_{62} & A_{66} & B_{61} & B_{62} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{21} & B_{22} & B_{26} & D_{21} & D_{22} & D_{26} \\ B_{61} & B_{62} & B_{66} & D_{61} & D_{62} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ k_x^0 \\ k_y^0 \\ k_{xy}^0 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ k_x^0 \\ k_y^0 \\ k_{xy}^0 \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{16} & b_{11} & b_{12} & b_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{26} & b_{21} & b_{22} & b_{26} \\ a_{61} & a_{62} & a_{66} & b_{61} & b_{62} & b_{66} \\ b_{11} & b_{12} & b_{16} & d_{11} & d_{12} & d_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{26} & d_{21} & d_{22} & d_{26} \\ b_{61} & b_{62} & b_{66} & d_{61} & d_{62} & d_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

层合材料应力应变计算：软件系统根据层合结构材料的偏轴刚度和所受载荷力和弯矩，分析计算层合材料中间面偏轴方向的拉压应变(Epsilon)/弯曲曲率(Kappa)、拉压应力（Sigma）/弯曲应力（Sigma flex）。

## 层合板载荷力类型

层合板载荷力包括外部的力/外力矩和环境内部的湿热载荷。为了解决现实的问题，复材之星



COMPOSITE STAR 可以定义一个常量载荷和一个变量载荷。通常常量载荷是预载荷（如由于固化所产生的热载荷，外部静态的机械载荷）；变量载荷用于定义动态外部机械载荷。这使得计算的范围到延伸到动态外载荷增加直到发生失效。

Fibers   Matrices   Plies   Laminates   Loads   Spreadsheet   Laminate results   Graph engine									
External const	Load		load type variable	N variable [N/m]			M variable [Nm/m]		
External var	ID	Name		x	y	xy	x	y	xy
Hygrothermal const	1	纵拉伸Tensile Longitudinal	N, M	1	0	0	0	0	0
Hygrothermal var	2	纵压缩Compression Longitudinal	N, M	0	1	0	0	0	0
	3	面内剪切Shear Inplane	N, M	0	0	1	0	0	0

## 层合材料失效分析

层合材料失效分析过程分析要计算每一单层材料的强度比，通过各层强度比大小和失效判断准则，即可计算出层合板的失效过程。单层的失效准则用以判别单层在偏轴应力状态下是否失效。

1) 软件中包括了所有常见失效准则：

- ❖ 最大应力失效准则(maximum stress theory)
- ❖ 最大应变失效准则(maximum strain theory)
- ❖ 蔡一希尔失效准则(Tsai-Hill theory)
- ❖ 霍夫曼失效准则(Hoffman criterion)
- ❖ 蔡一胡张量准则(Tsai-Wu tensor theory)
- ❖ 简单 Puck 失效准则，改进 Puck 失效准则、Hashin 失效准则

2) 软件中包括了失效模式预测：

材料失效包括纤维拉伸和压缩断裂失效 FF 模式，层间失效 IFF 模式。

3) 软件中包括了刚度退化的失效过程分析：

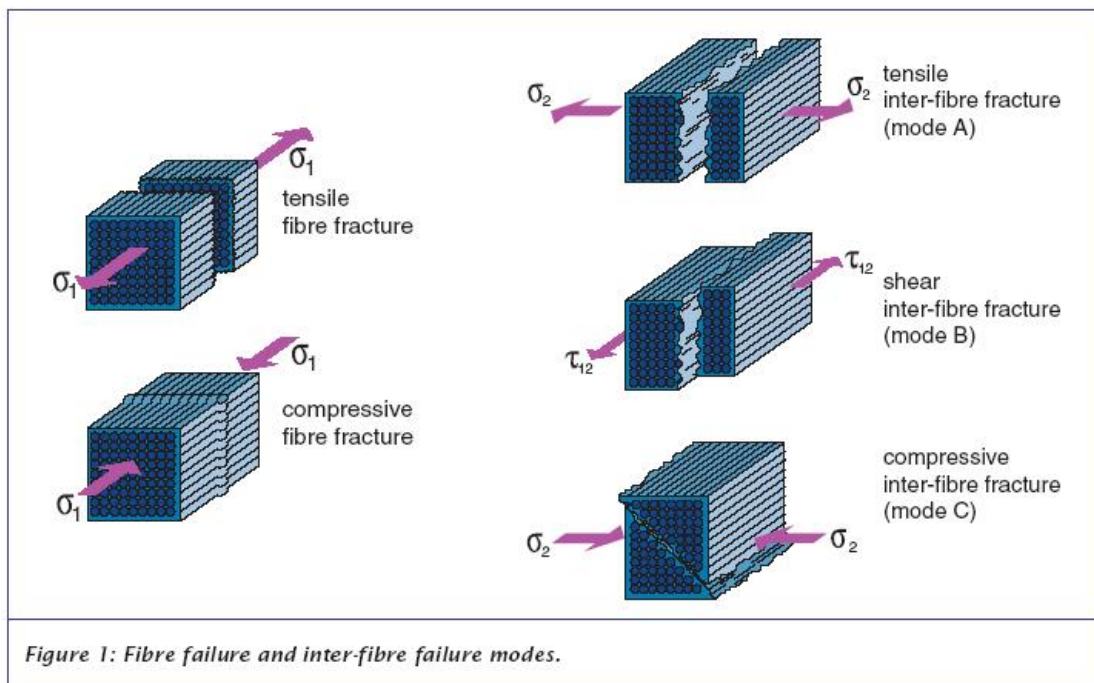
按照 Tsai 或 Puck 失效准则，可以考虑刚度退化的失效过程计算，从第一层失效直到最后一层失效。

## 新的失效准则和失效过程分析

COMPOSITE STAR 采用逐层失效分析形式 (ply-by-ply)。除了标准失效准则 (最大应力、最大应变、simple Puck、modified Puck、Tsai-Hill、Tsai-Wu、Hoffman、Hashin 等), COMPOSITE STAR 还引入了交互失效准则 (Puck's action plane)。这种失效准则区分不同的断裂模式(拉伸与压缩纤维断裂、拉伸、剪切和压缩间纤维断裂), 计算内部纤维断裂的断裂平面角并能够预测灾难性的楔形效应影响。

渐进的失效分析能够预测第一层失效后的强度。COMPOSITE STAR 根据 Tsai 或最新失效过程和 Puck 非线性单层退化模型进行渐进失效计算。载荷逐步增加。如果发生失效, 对应的层将会退化产生新的层合板, 会计算新的应力和应变分布。所有的层合板属性、应力和应变在载荷增加的每个重要时刻都可以观察到。因此, 渐进失效计算结果是对失效过程的真实仿真。

Puck 的 action plane 失效准则和退化模型经过了大学和工业研究实验室的验证, 显示与实际情况高度的一致。而且, 这是 VDI (德国工程师协会) 2014 指导方针的新标准, 被德国亚琛 IKV (塑料加工研究所) 推荐, 是目前符合客户现实的失效准则。此外, 它是 2014 年 VDI (德国工程师协会) 指南的新标准, 并被塑性工程学院 IKV、Aachen、德国和各国的复合材料设计专家学者所推荐。



## 软件的应用—典型的产品应用方案

### 建立企业的复合材料数据

复合材料在航空航天、兵器船舶、能源化工、交通运输各领域广泛应用的同时，产生了大量、面广而分散的信息，因为行业或企业之间数据封闭不能共享或缺乏有效管理，成为新型复合材料在工业领域发挥更大优势的阻碍。

针对信息化大数据的发展前景，相向西方国家推进启动“材料基因组计划”，企业对这类分散的信息建立数据库，进行统一的管理、开发和应用非常必要。建立企业的复合材料数据库其核心意义也在于材料数据共享与有效管理，从而大大缩短新材料应用的研发周期与费用。

建立企业的复合材料数据库是一项现代化的信息工程，具备可扩充、可浓缩、可传递、可反复使用、可实现共享等诸多特点。复材之星软件 COMPOSITE STAR 基于数据库框架结构，包括纤维、树脂、单层板材料数据库。基于树脂基复合材料设计，从基体、增强材料到单层板组织性能分析进行系统化的总结，为复合材料的研制、产品设计提供科学有效的支撑。复材之星还包括了细观力学预测模型，可以更好地为科技工作者提供复合材料研究平台和技术支撑。

另外，复材之星软数据库也可以扩展到陶瓷基复合材料、纤维/金属胶接 ARALL 和 GLARE 层板材料、金属材料数据库。其次，复材之星软数据库也可以扩展建立不同温度的复合材料数据性能数据库。

### 设计满足刚度的铺层结构

复材之星软件 COMPOSITE STAR 包含了 $[0^\circ/\alpha/90^\circ]$ 、 $[0^\circ/\alpha/90^\circ]_s$ 、 $[0^\circ/+\alpha/-\alpha/90^\circ]$ 、 $[0^\circ/+\alpha/-\alpha/90^\circ]_s$  典型铺层结构的毯式图计算图，用户可以根据铺层刚度性能要求快速查询得到层合板材料许用值所在的铺层角度分配比例，设计出所需的层合结构复合材料。



### 计算受力情况的应力应变

如果有了单层材料刚度强度力学性能、层合结构材料的铺层结构和层合结构材料所受外力，复材之星软件 COMPOSITE STAR 可以直接计算分析层合板材料在外力载荷作用下的应力应变、强度比和失效过程。

## 软件应用客户和公司背景

### 软件公司背景

CADWIND 软件为比利时材料工程有限公司（MATERIAL）开发，是众多用户选择使用的复合材料纤维缠绕工艺设计仿真软件。比利时材料工程有限公司创建于 1990 年，该公司主要致力于复合材料领域的软件研发与工程服务，至 2022 年已经有近 32 年的软件研发和应用历史。

CADWIND 纤维缠绕工艺设计仿真软件，主要用于纤维缠绕工艺的缠绕线型设计分析、缠绕程序输出和机床运行仿真分析、缠绕产品结构强度的并行设计分析。

CADWIND 软件适用于直筒、压力容器、瓶体、锥体、球体等轴对称缠绕制品，以及椭圆形和矩形截面管件、弯管、T 形件等非轴对称缠绕制品；CADWIND 软件具有参数化建立芯模功能和外部 CAD 数据接口，提供环向缠绕、纵向螺旋缠绕、纵向平面缠绕、非测地线缠绕、层间过渡缠绕、T 形件缠绕等多种缠绕线型计算方法，帮助客户实时了解缠绕线型设计结果，准确掌握纤维滑纱、纤维架空、缠绕角度分布、缠绕层厚度分布、缠绕层重量和纤维消耗量等情况。

CADWIND 软件适用于 2-6 轴数控缠绕机床或机械手使用，它可以自动生成不同数控语言格式的缠绕程序并实现机床运动仿真，避免机床运动干涉，帮助客户分析机床各轴运行的位移、速度和加速度，实现缠绕加工程序运行的平稳性和缠绕效率。

CADWIND 软件的设计包，包含了纤维-树脂-单层板-层合板数据管理功能、层合板刚度强度设计计算分析功能、缠绕产品结构强度的并行设计分析功能，帮助用户实现层合结构复合材料的初期刚度强度计算和包含真实缠绕层数据的产品强度分析。

### 联系服务电话

北京创联智软科技有限公司 电话：010-84470288 邮箱：[info@iuitgroup.com](mailto:info@iuitgroup.com)

地址：北京市朝阳区东三环北路辛 2 号迪阳大厦 902B 室 邮编：100027