HexPly® 预浸料技术

HEXCEL®

预浸料是用树脂基体在一定条件下浸渍连续纤维、织物和短切纤维所制成的树脂基/增强材料组合体，是制造先进复合材料部件的一种材料形式。赫氏拥有世界级的先进设备制造碳纤维，同时具有强大的织物开发技术能力，并不断提升预浸增强材料所用树脂的性能和功能。

热固性树脂在高温下经过化学反应完成固化，将预浸料转化成高性能的固体结构材料，也就是热固性树脂基复合材料，这种材料轻质高强，经久耐用，并且耐高温，刚性好。

20世纪80年代的早期预浸料被认为是一种特种材料形式，在航空业用于次级结构，约占飞机结构重量的5% 。今天，预浸料已经可以用于大型商用飞机的主结构，在空客的A350上以及波音的B787上其用量已经占飞机结构重量的50%以上。其不但在航空航天上的应用得到快速发展，而且在风能、汽车、体育器材、工业机械等行业的应用也与日俱增，以至于某些部件，出于对比强度、比刚度、疲劳性能、设计自由度的追求使得预浸料的使用超过了金属，且有不断增长的趋势。

赫氏在预浸料技术方面全球领先，HexPly® 是赫氏预浸料的注册商标。

2013年1月
出版号：FGU 017c

目录

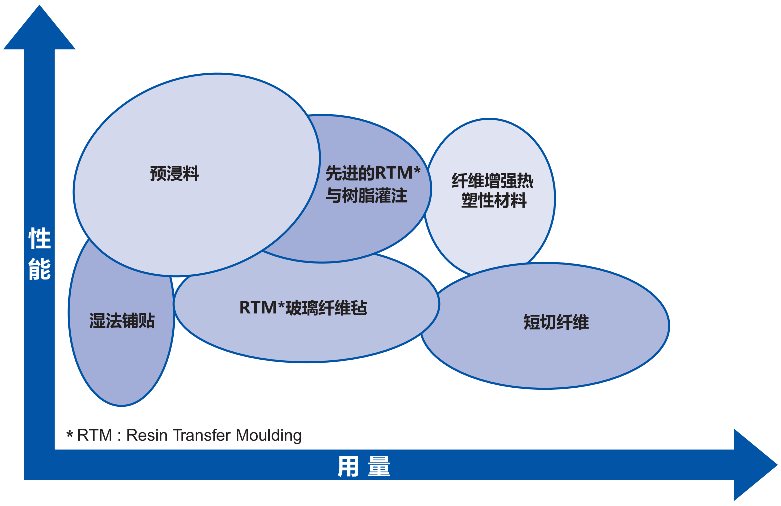
概况

预浸料是纤维增强树脂基材料，在加温和加压条件下固化，从而得到强度高、重量轻的复合材料部件。赫氏是全球预浸料技术的领导者，本指南旨在帮助大家对预浸料有更好的理解，包括它们的制造、工艺、性能及应用。

本指南还将帮助读者选择最合适的预浸料和工艺。为了更好的帮助大家进行产品选择，赫氏还编写了用于航空航天和工业应用的《预浸料树脂体系选择指南》，欢迎垂询。

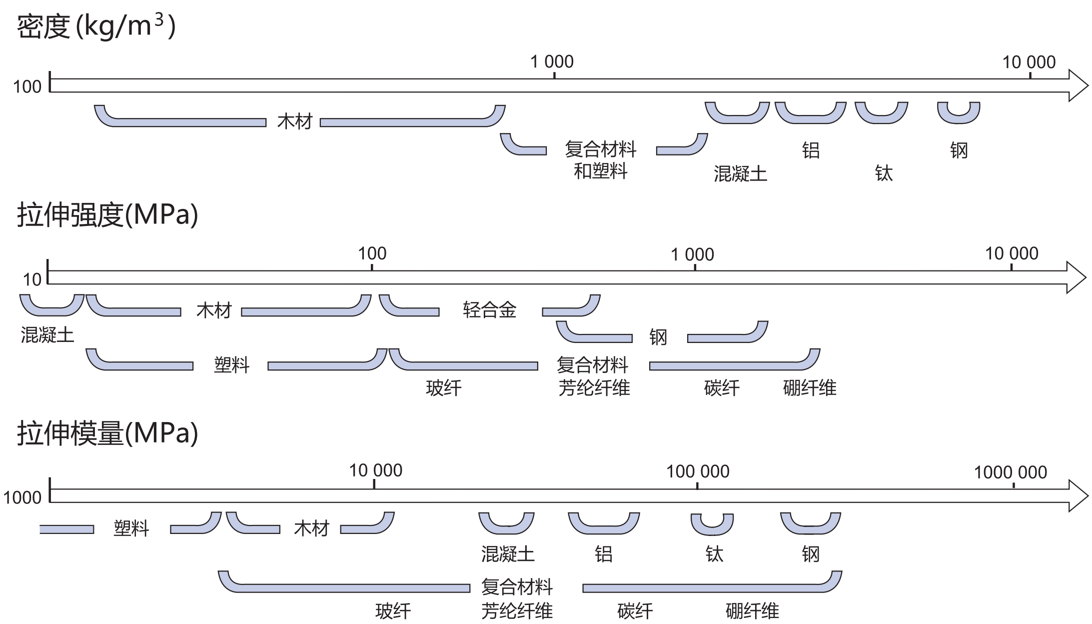
A–高性能复合材料的主要技术:

依照材料的性能和用量，预浸料和其它高性能复合材料技术的比较如下图：



B–为什么使用复合材料?

不同材料特性的比较：

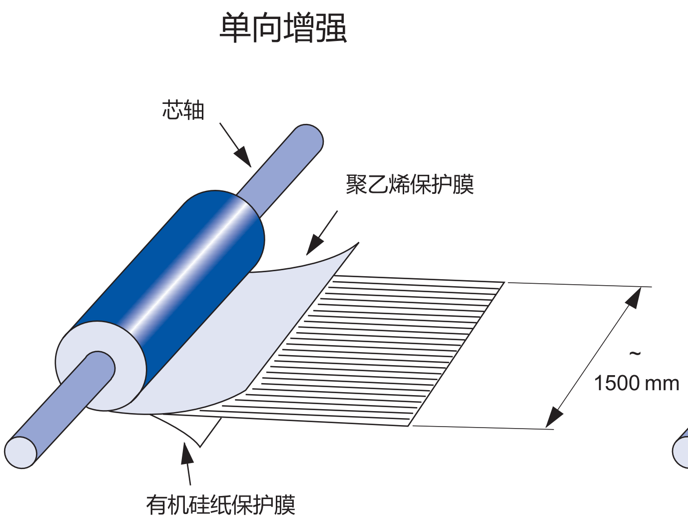


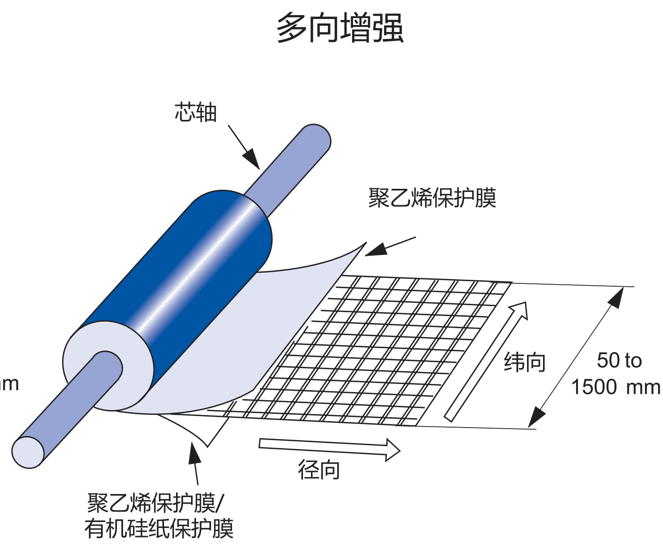
复合材料具有重量轻、强度高、刚度好的特点。

C–什么是预浸料?

预浸料由基体材料（树脂）和纤维增强材料组成，用于复合材料部件制造。

可以有以下形式：





D–预浸料应用于哪些领域?

航空与航天

- 商用飞机
- 主结构
- 内饰
- 航空发动机
- 军机
- 直升机
- 航天

工业

- 风能
- 运动装备
- 运输
- 机械
- 工装

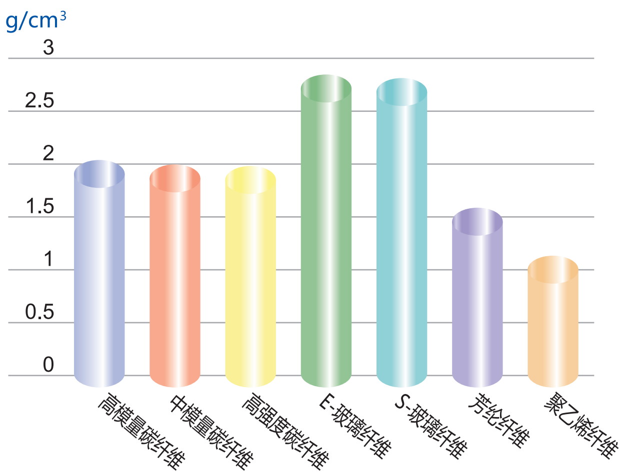
纤维和织物的性能

A–什么是纤维的特性?

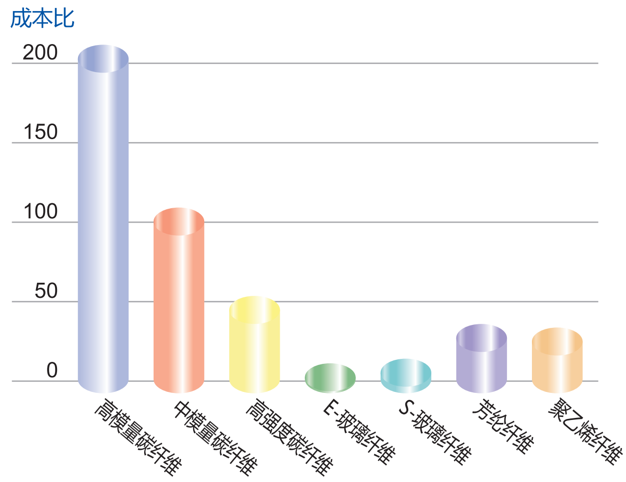
作为增强材料，纤维为复合材料提供了超常的性能， 例如优异的比强度和比刚度，良好的热、电、化学性能等，和金属部件相比还能显著减重。

纤维种类繁多，其主要参数见下图：

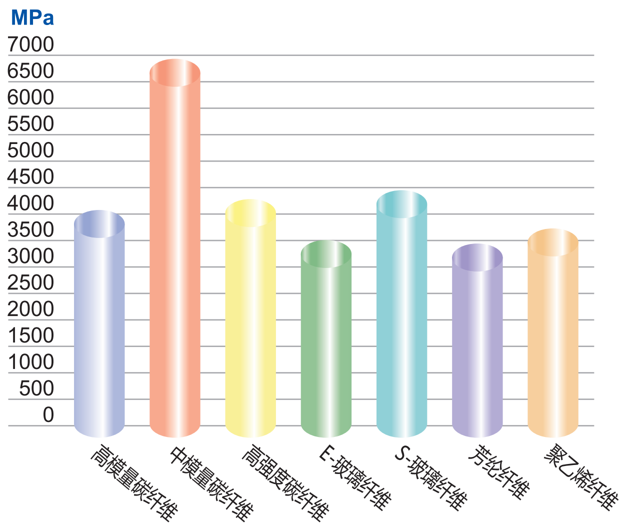
密 度



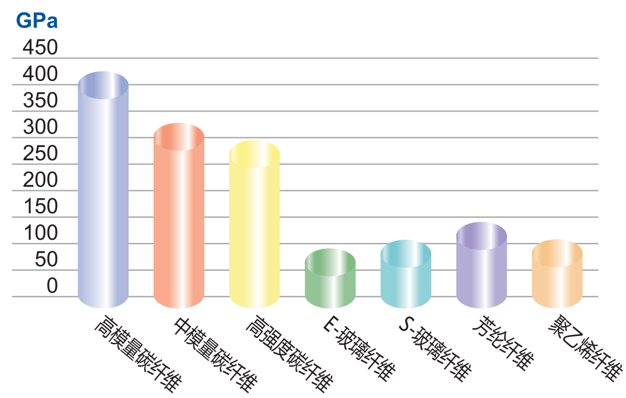
成 本



拉伸强度



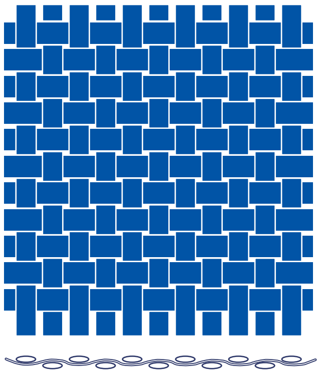
拉伸模量



B–织物的纺织形式有哪些?

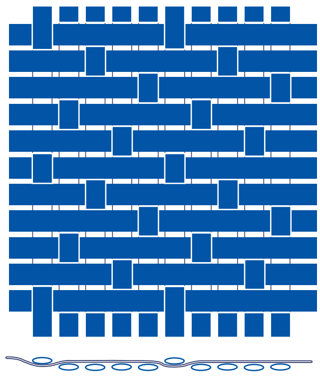
织物至少有两个方向的纱线纺织而成， 即经纱和纬纱。
不同的织物形式具有不同的铺覆性能以及不同的纤维曲折程度，低曲折程度的纤维可以承载更高的载荷，提供更好的力学性能，因为其纤维更直；铺覆性能好的织物则更容易铺贴于型面复杂的模具。
织物方式可分为三种：

平纹织法



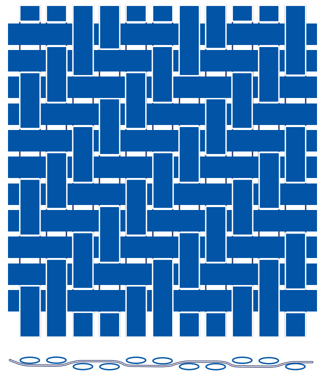
铺覆性低/卷曲度高

缎纹织法
(4, 5, 8, 11)



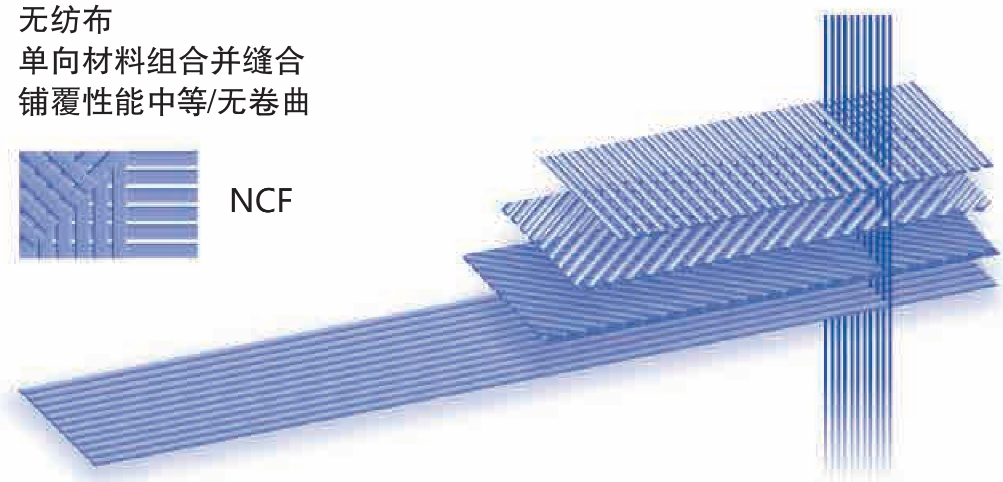
铺覆性佳/卷曲度低

斜纹织法
(2/1, 3/1, 2/2)

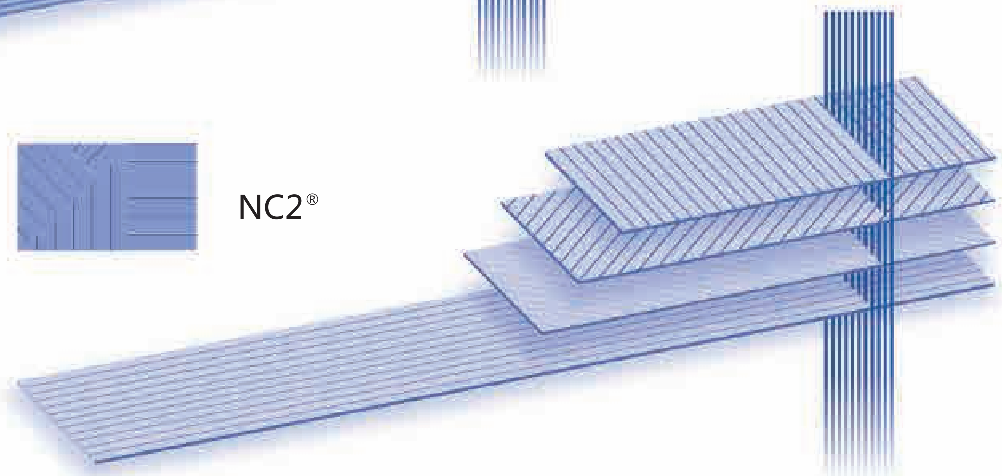


铺覆性中等/卷曲度中等

无纺布
单向材料组合并缝合
铺覆性能中等/无卷曲



NCF



NC2®

请参看工业和航空航天产品范围http://www.hexcel.com/resources/selector-guides

C–影响增强材料选择的主要因素有哪些?

增强材料有多種形式，各有特殊的優勢，如下所示。

增强材料		优点	应用
单向	单向带	• 单向强度和刚度 • 纤维面密度范围广 最低：≈ 100 G/M2 最高：玻纤 ≈ 3000 G/M2 碳纤 ≈ 800 G/M2	体育用品 飞机 主结构 风能 承载结构
	单丝	• 适用于缠绕工艺 • 适用于高精度铺贴工艺	压力容器 驱动轴 管道
	窄带	• 单向高强度和高刚度 • 主结构用纤维面密度可以低至134G/M2 • 非常适合复杂部件的高效率铺贴	航空航天主结构
	织物 (径向> 80 %)	• 适用于要求单向高强度和高刚度零部件 • 良好的工艺性能 • 纤维面密度范围为160至1 000克/平方米	航空与航天 工业 体育和休闲
双向	均衡织物	• 双向强度和刚度 • 良好的操作性能 • 良好的铺覆性 • 编织类型的选择 • 可多种纤维混杂 • 纤维面密度20~1000克/平方米 • PrimeTex®织物，纤维经过拓展，外观均匀，适用于装饰	航空与航天 工业 体育和休闲 风能
多轴向	NCF	• 节省时间、成本效益显著 • 多方向的强度和刚度 • 铺设方向无限制 • 优化各方向纤维重量分布 • 无卷曲 • 减少因复杂铺叠造成的浪费 • 降低加工成本 • 可生产大克重面密度织物	风能 （叶片）
	NC2®	• NCF升级版 • 无缝隙构造 • 适用于大丝束和高模量纤维 • 纤维分布均匀： • 改善力学性能(压缩) • 改善树脂流动效应	汽车工业

基体性能

A–什么是基体?

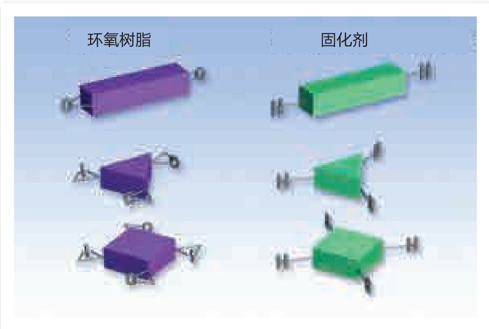
在复合材料中，基体的作用是支撑纤维并将纤维粘合成一个整体，以及保持纤维的方向和位置， 好的基体材料能够尽可能多的将外部载荷传递给纤维。基体还决定了复合材料的耐环境性和最高使用温度。

在热固性树脂基复合材料中，基体即是热固性树脂。

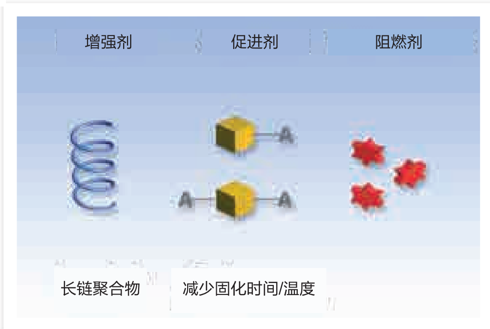
固化过程简单讲就是预聚物的交联反应，一旦反应完成，则聚合物就会完全固化。

热固性树脂的固化机理（ 以环氧树脂为例 ）和不同组分的作用如下：

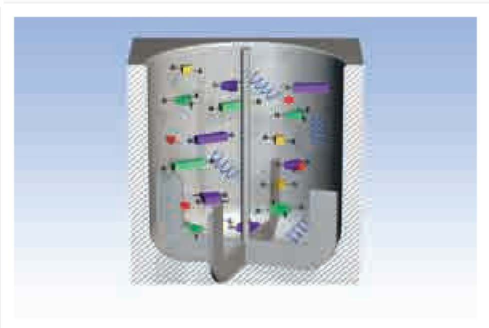
1. 反应组分
有许多不同的类型可供选择



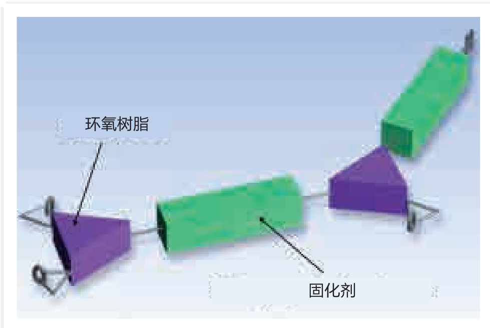
2. 添加剂(反应型和非反应型)



3. 选择配方，用加热和/或溶剂将其混合



4. 加热、加压开始反应

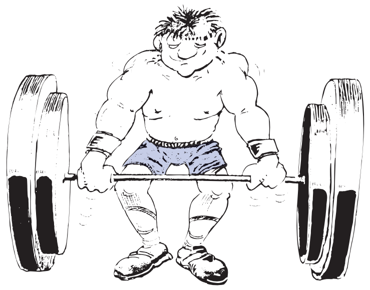


5. 树脂凝胶，然后固化

6. 最终性能取决于配方

B−不同热固性树脂的性能有哪些?

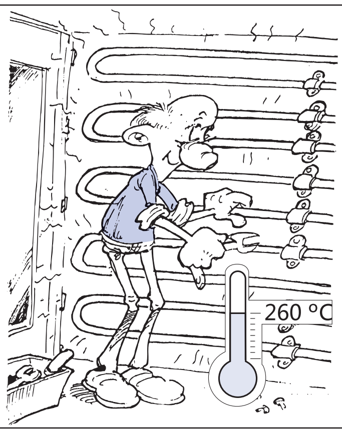
热固性树脂主要有三种类型： 环氧树脂，酚醛树脂和双马来酰亚胺树脂。下表归纳了每种树脂的优点和主要用途：

环氧树脂	**优点**	**用途**	
		120°C 固化	**180°C 固化**
	**优异的力学性能** • 良好的耐环境性和高韧性 • 工艺性好	航空与航天 体育 休闲 海事 汽车 轨道交通 运输 风能	航空与航天 军事

酚醛树脂

	**优异的耐火性能** • 良好的耐高温性 • 低烟毒性 • 快速固化 • 工艺成本优势明显	航空与航天 （内饰） 海事 轨道交通

双马来酰亚胺(和聚酰亚胺)

	**优异的耐高温性能** • 使用温度高达260°C • 良好的力学性能 • 良好的耐化学、耐火和抗辐射性能	航空发动机 耐高温部件

C–不同树脂的温度/力学性能如何比较?

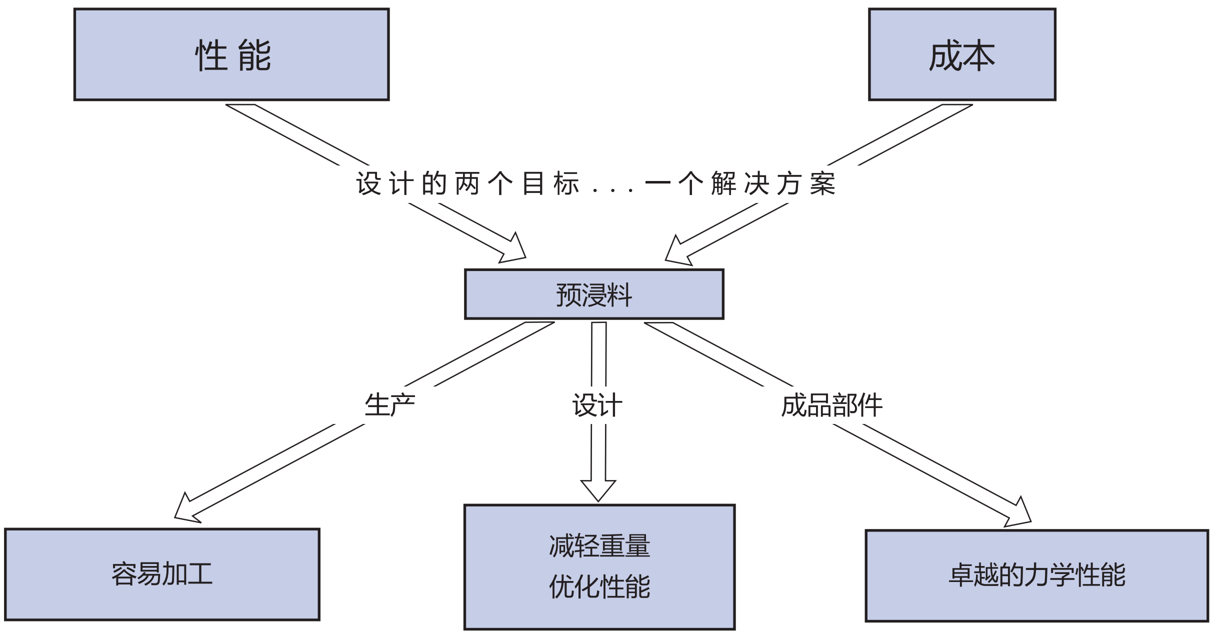
树脂可根据使用温度做如下分类：

类型	最高工作温度	特征
酚醛树脂	80-100°C	优异的的防火、烟毒性能(FST)
120°C固化环氧	100°C	该环氧体系可以用于单板结构，同时，由于和蜂窝良好的胶接性能，也可用于夹层结构。
180°C固化环氧	130-155°C	该环氧体系主要用于单板结构， 部件具有良好的湿热性能。
双马来酰亚胺(BMI)和聚酰亚胺	260°C	需要长时间的固化周期才能获得最佳的性能。耐高温，同时还能保持很好的工艺性能及韧性

预浸料性能

A–为什么使用预浸料?

预浸料的选择主要取决于两个因素：性能和成本。下图显示了使用预浸料的优点。



- 制造成本更低
- 能源消耗低
- 部件数量少
- 纤维含量控制更精确
- 材料性能和工艺特性稳定

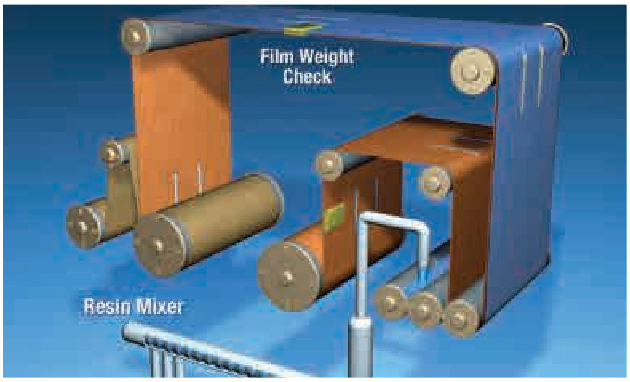
- 性能/重量比更优化

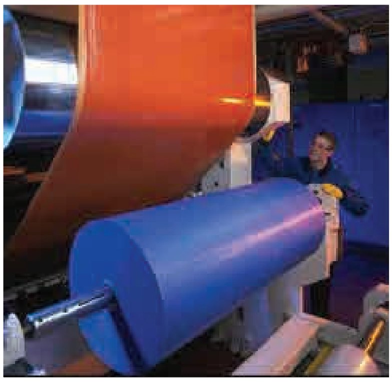
- 疲劳、拉伸、刚度
- 腐蚀
- 老化性能
- 修理

B–预浸料是如何生产的?

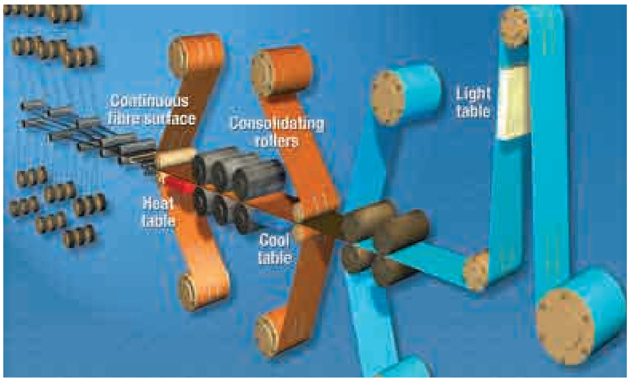
1 树脂膜转移法：用于单向带和织物预浸料的两步法工艺

步骤1– 树脂膜制造

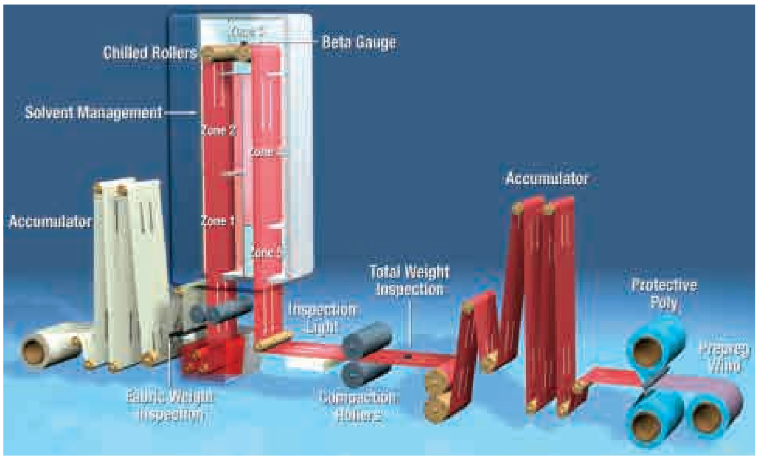




步骤2–树脂膜转移



2 溶剂法：织物预浸料的一步法工艺



预浸料工艺

A–预浸料如何铺贴成部件?

工装：工装设计在部件制造中起着重要的作用。设计一种简单、稳定的工装意味着在固化过程中能对部件施加均匀的压力。所有新工装应进行热循环处理，以释放应力，并对各测温点进行校正。下面是工装设计需要考虑的一些因素：

（1）检查工装表面是否有气孔

（2）防滑带，密封带，切割垫板和真空嘴等放置于非工作区

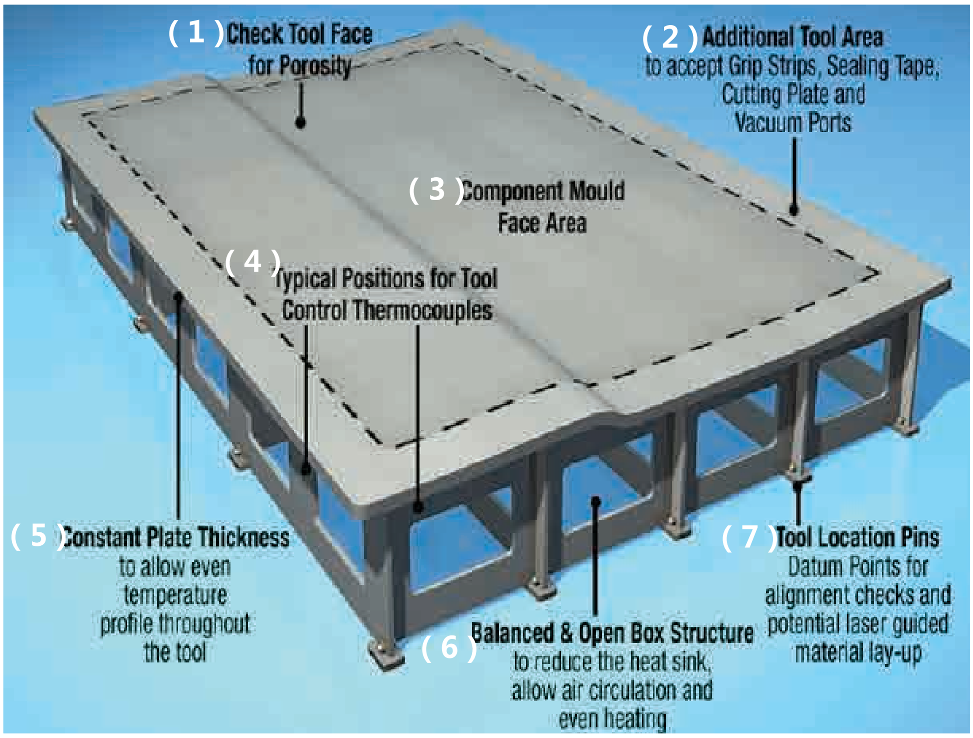
（3）模具工作面

（4）热电偶典型位置

（5）模具厚度恒定，保证传热均匀，分布均匀

（6）开口式工装结构减少热损耗，改善空气循环和均衡加热。

（7）模具定位销基准，也可用于激光定位铺贴



（8） 固定封边条

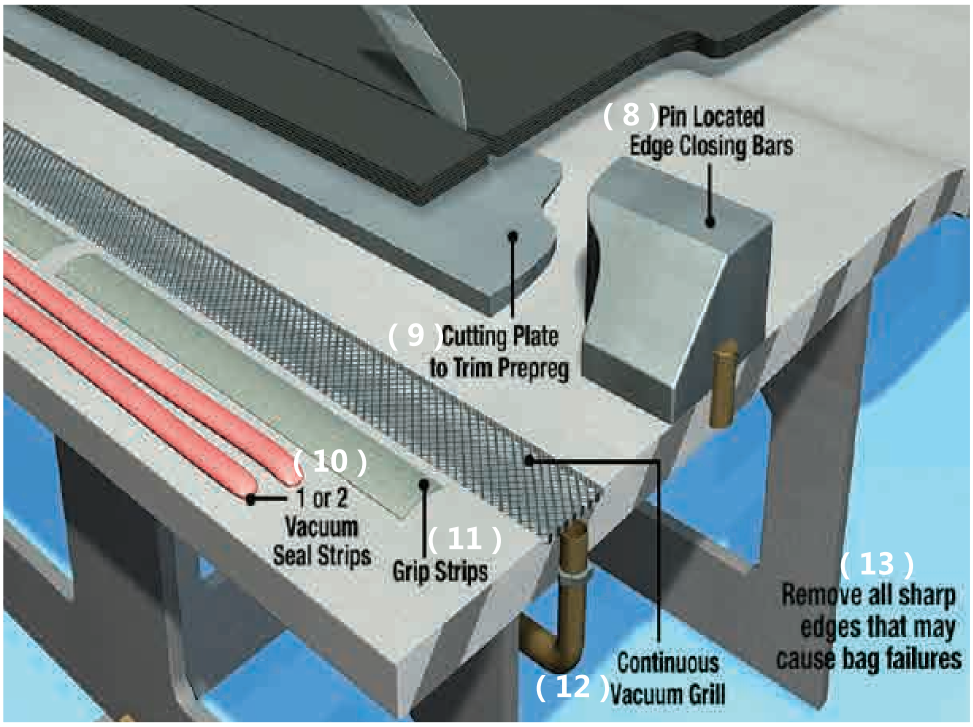
（9） 预浸料的切割垫板

（10）1或2条真空密封带

（11）防滑带

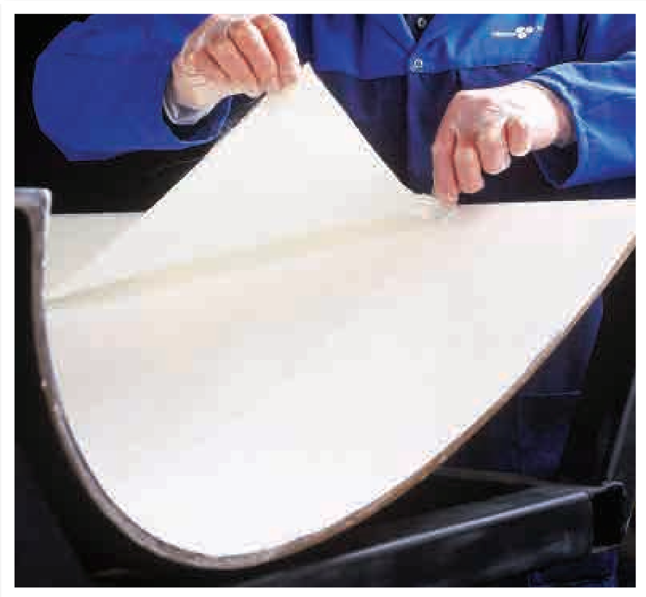
（12）真空通道

（13）避免真空袋受损漏气



预浸料工艺

铺放:



手工铺放：预浸料的手铺/非自动铺放工艺，适用于各种类型的、不同宽度的单向或织物纤维增强预浸料(玻纤，碳纤，凯夫拉纤维)铺放。 这类预浸料带有聚乙烯和/或离型纸保护膜，适用于复杂形状部件，单板和夹层板的中、小批量生产。

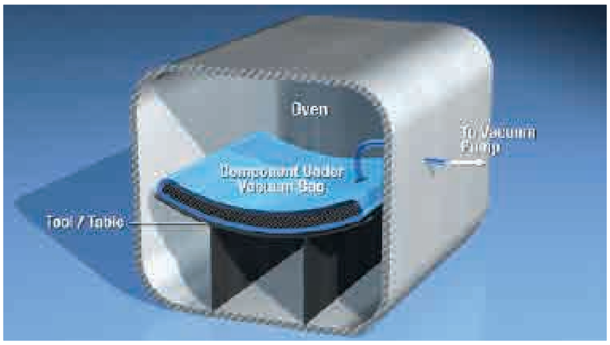
自动铺贴(ATL)：用于单向预浸带的自动铺贴，也可用于其他增强材料，如玻璃纤维预浸料、湿可剥布和金属网预浸料等。 典型宽度为150毫米(5.9")或300毫米(11.8")。其他宽度则取决于ATL设备参数。预浸料单面带有离型纸，适于大中小曲率的单板结构部件。

自动铺丝(AFP): 用于单向窄带预浸料自动铺放。通常宽度可在3.175毫米(1/8")，6.35毫米(1/4")或12.7毫米(1/2")，多种卷重规格可选。窄带预浸料备有聚乙烯保护膜，适用于大曲率复杂结构的制造。

B-预浸料工艺技术有哪些?

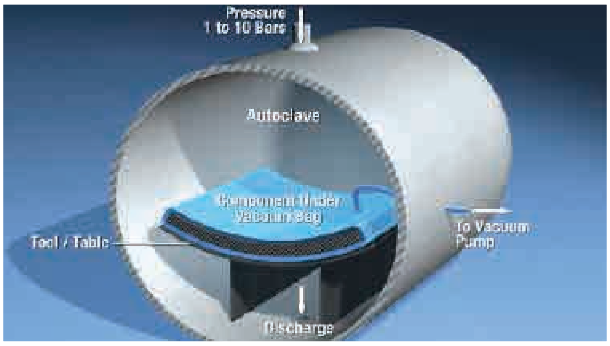
预浸料使用工艺多样。以下各图介绍了各类特定工艺最合适的应用领域。如果是大型部件，可能加热模具比固化炉更合适。

真空袋/固化炉工艺



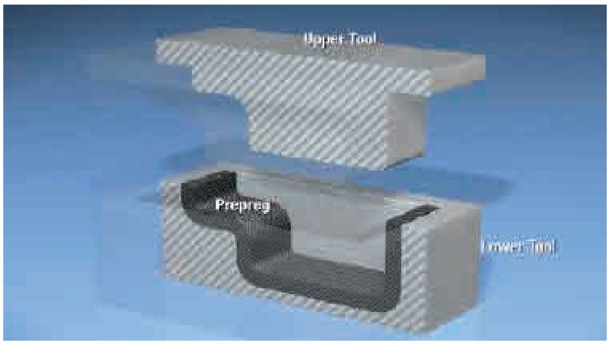
应用
- ➢ 航空航天
- ➢ 海事
- ➢ 铁路内饰
- ➢ 风能
- ➢ 汽车

热压罐



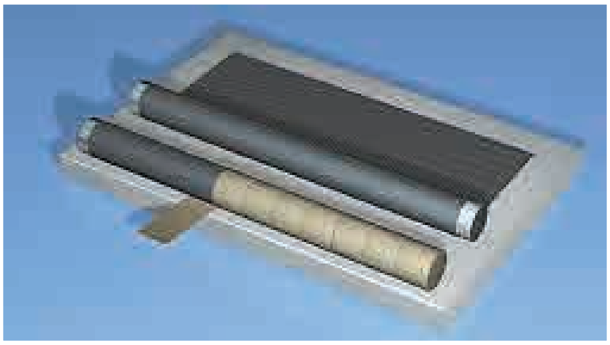
应用
- ➢ 高质量复合材料
- ➢ 结构部件

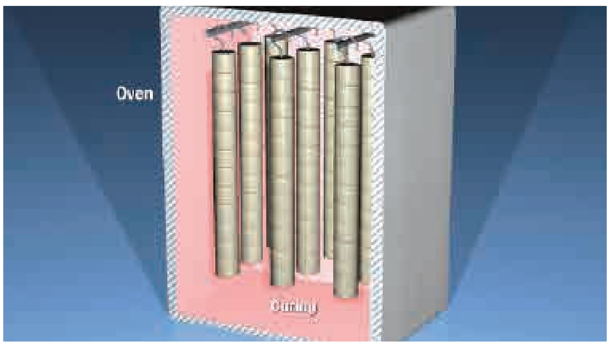
对模工艺



应用
- ➢ 平板
- ➢ 体育器材
- ➢ 工业

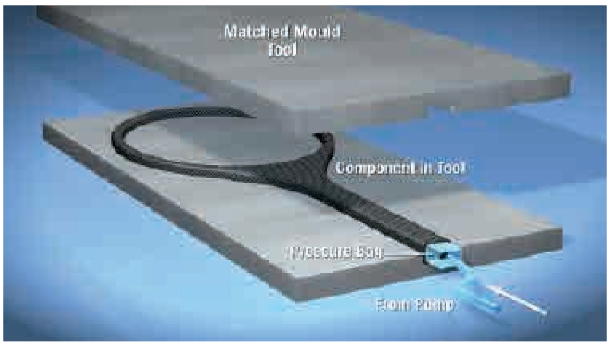
卷管工艺





应用
- ➢ 钓鱼竿
- ➢ 管子
- ➢ 滑雪杆
- ➢ 高尔夫球杆
- ➢ 桅杆

袋压法



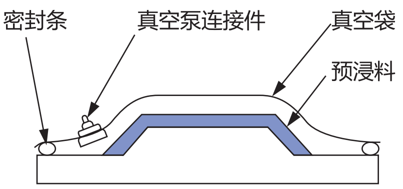
C–真空袋/固化炉或热压罐–选择哪种工艺?

真空袋/固化炉或热压罐是用预浸料制造复合材料部件的两种主要工艺。加工方法取决于部件的质量、成本和种类。

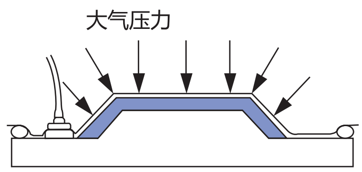
	部 件		加工成本	
工艺	质 量	选择厚度	设备成本	固化周期耗能
• 真空袋/固化炉	良-优*	薄-厚	适中	低
• 热压罐	优	薄-厚	高	高

取决于预浸料的种类和部件用途。

真空袋工艺 适用于各种厚度的单板结构和大型夹层结构的制造。真空袋工艺步骤包括铺贴好预浸料后打袋、密封及抽真空(图1)从而将空气排出（图2）。



■ 图1：材料铺好后密封

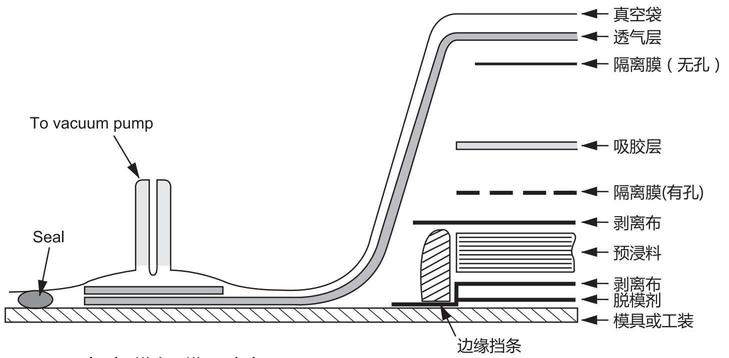


■ 图2：抽真空

抽真空产生的压力达到1个大气压，起到对铺层进行压实的作用，然后将其送入固化炉固化， 或采用自加热模具固化。便得到所需复材部件。

部分高性能预浸料也可以使用标准的真空袋固化炉固化，其部件质量接近热压罐工艺。

热压罐工艺 用于制造高纤维体积含量、低空隙率的优质结部件。
热压罐技术也需要类似的真空袋 (图3)， 但要用热压罐取代固化炉 。
热压罐是一种压力容器，通过控制不同真空、压力、升温速率和固化温度等参数为复合材料提供固化条件。
热压罐通常也可以在压力较低的情况下生产高标准的蜂窝夹层结构。
因为大容量的热压罐需要很长的时间来加热和冷却，所以固化周期较长，有时需要缓慢的升温速率才能保证模具和复合材料部件温度的均匀分布。



■ 图3：真空袋打袋示例

真空袋打袋步骤如上图所示。这种工艺是生产高质量的航空航天部件的理想方式，但在工业应用方面，也可以用其他的铺贴方法。

D–真空袋打袋中每一步骤的作用是什么?

真空袋工艺耗材

• 脱模剂	帮助部件从工装中脱模
• 剥离布 （可选）	有助于析出挥发物和多余树脂。固化后可轻易剥离，其表面有利于胶接或喷涂。
• 吸胶层（可选）	通常采用毡或玻璃纤维织物，吸收多余树脂。树脂含量可以通过吸胶层的数量来调节，以控制纤维体积含量(见计算方法)。
• 隔离膜	这一层可防止树脂更多的流失，可根据需要使用无孔或微孔薄膜。空气和挥发成份也可通过微孔排出。
• 透气层	提供真空通道，以便从整个部件中去除空气和挥发成份。当使用热压罐压力时，需要更厚的透气织物。
• 密封条	控制树脂流失，维持部件形状。
• 真空泵/密封胶带	排出空气，形成真空的密封袋。

注： 建议每次使用新的耗材，以确保制造出高质量的部件。

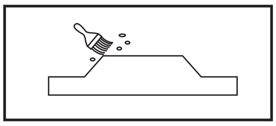
某些真空袋是按照模具制作的，可重复使用。

E–真空袋/固化炉和热压罐工艺如何实施?

以下是有关真空袋和热压罐工艺的方法对比。考虑到相应的优缺点，每种部件的制造都能找到最适合的工艺。

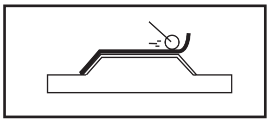
铺贴	固化

1



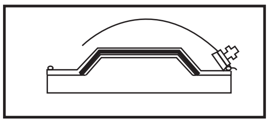
涂脱模剂

2



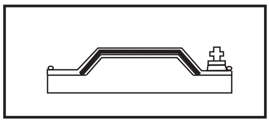
铺贴预浸料（用手工，ATL或AFP）

3

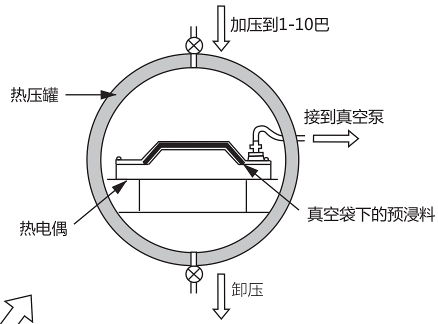


真空袋打袋

4



热压罐工艺

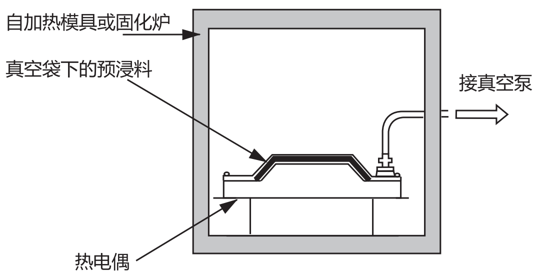


抽真空
+
加热
+
加压

抽真空
+
加热

真空袋/热压罐工艺

大型部件可以使用自加热工装来代替固化炉



1 **涂脱模剂**
- 使用刷子、揭布
- 气溶胶沉淀法

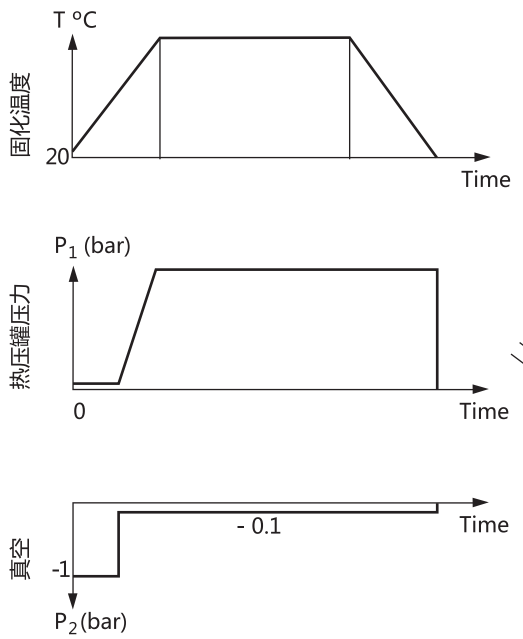
注意：遵守使用说明。

2 **铺贴预浸料**
- 裁剪预浸料。
- 穿戴防护服(手套等)。
- 预浸料可以是高、中或低粘性的。
  注意：在铺贴前，确保保护膜已去除。
- 自动铺贴提高铺贴效率、可靠性和准确性。

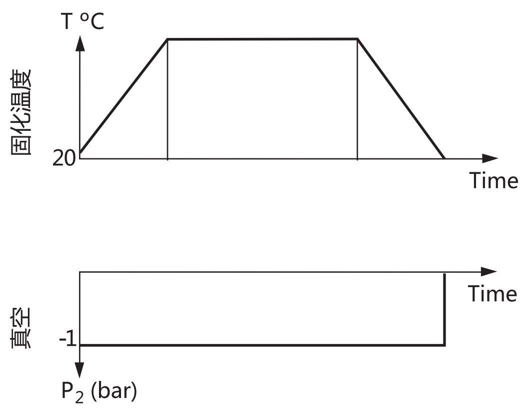
3 **确保真空袋密封紧密，无泄漏**。

典型的固化周期	成品零部件

热压罐工艺

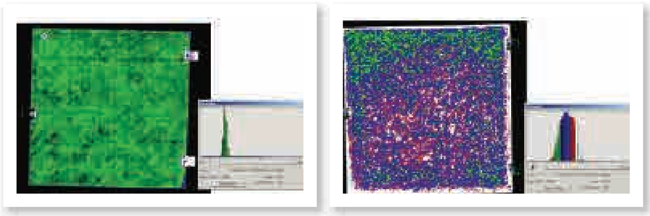


真空/固化炉工艺



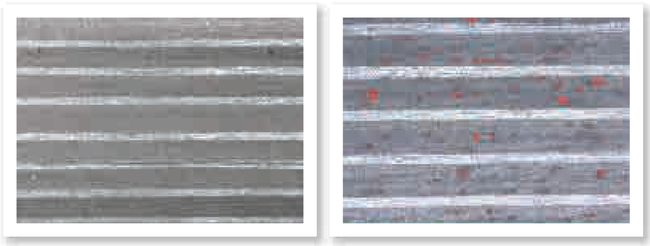
检 验

非破坏性技术	获得的信息
外观检查	表面孔隙
超声–C扫和A扫	内部孔隙，杂质
热成像	内部孔隙，杂质



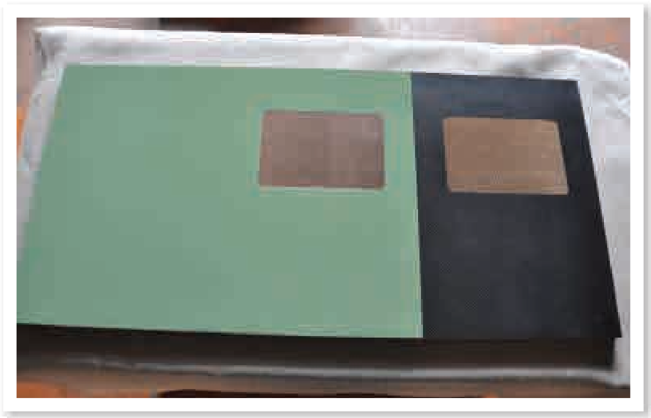
举例：通过C扫评估孔隙率高低。

破坏性技术	获得的信息
力学性能检测	固化程度
目测	截面空隙率



光学显微镜实例

喷涂/涂饰



部分喷涂的航空航天面板样品

F–热压罐和真空袋/固化炉的主要工艺参数有哪些?

压实

在铺贴过程中，预浸料铺层之间会存在空气，可以采用隔离膜/透气层/真空袋打袋，在室温下抽真空10–15分钟，以排除空气，压实预浸料。 与工装表面接触的第一层压实后，依据部件的厚度和复杂程度，可以每3–5层压实一次。

真空

真空通常用来排除预浸料层间的空气，同时压实预浸料。在热压罐的固化过程中，通常可以在加压后降低真空度，这样，在整个的固化过程中，能够有效地检测真空袋是否泄漏。

升温速率和保温平台

升温速率对预浸料的粘度、流动性、反应速率以及部件的表面质量都有很大影响。大部分预浸料固化所需的升温速率是一个范围，一般而言，较快的升温速率适用于较薄的部件，而较慢的升温速率适用于较厚或者较大的部件。决定升温速率时，应避免部件、工装和热源间产生较大的温差。

对于大型部件和工装，也可在固化过程中引入保温平台，它能确保整个工装和部件的温度均匀。良好的温度控制能保证固化过程中树脂流动的一致性，并改善树脂的流动特性。

固化温度公差

在整个的固化过程中，固化炉/热压罐、部件和工装的温度应达到并保持在最低固化温度以上。用于检测温度的热电偶应仔细考虑放置的位置，以确保得到整个系统的准确温度，并将温度的公差范围控制在+/– 5 ℃。对于大型部件，可能需要一个循环测温系统来监控部件和工装的温度场。

固化时间

每种预浸料都有一个推荐的固化时间， 其从热电偶达到最低固化温度的时间开始计算。延长在推荐固化温度下的固化时间通常不会对部件产生不利影响。

冷却速率

应该控制冷却温度速率以避免温度的骤然变化而在部件中产生的较高热应力，在整个冷却过程中压力和/或真空仍然应该保持。

成品质量检验

固化后，超声波、错位散斑干涉法、 热成像等多种检测手段可以用于复合材料部件的质量检验。

G–加工较厚型工业用部件的最佳方法是什么?

对于一些特殊应用而厚度超过10毫米的部件，我们建议采用中间插层纤维织物的方式来吸胶以控制树脂含量，这些纤维织物固化后可以成为复合材料部件的一部分，该方法的优点如下：

- 真空分布均一，可消除复合材料中的任何孔隙
- 吸收累积在层间的多余树脂。

注：

- 控制纤维体积含量
- 对单板结构，吸胶织物必须在厚度上均匀分布
- 对于夹层结构，吸胶织物只能放置在蒙皮外侧2/3厚度区域
- 吸胶织物必须搭接，以保证真空通道畅通

H–较厚工业部件的最佳固化周期

为了避免集中放热，建议将保温平台和升温速率控制程序结合起来。

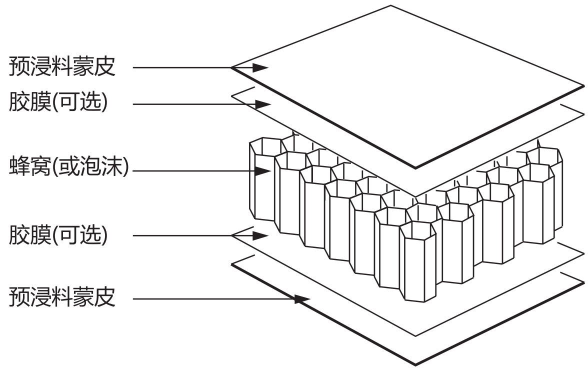
保温平台 – 用于平衡工装和部件的温度，使固化可控。

控制缓慢升温速率 – 避免温差过大。

I–什么是预浸料夹层结构?

夹层结构由薄的高强度预浸料蒙皮粘合在较厚的蜂窝、泡沫或轻木芯上构成。具有“自粘”特性的预浸料不需要额外的胶膜，因此可以更低的成本生产轻型夹层结构。

带预浸料蒙皮的蜂窝夹层结构

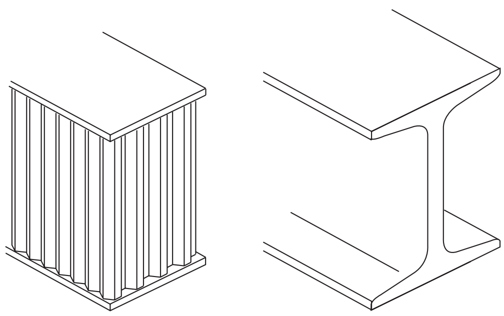


优点：重量轻，刚度高，经久耐用，设计自由，生产成本低。

J–夹层结构的性能?

性 能	固体物料	蜂窝厚度 t	蜂窝厚度 3t
	t	2t	4t
刚度	1.0	7.0	37.0
弯曲强度	1.0	3.5	9.2
强度重量	1.0	1.03	1.06

有关工字钢与蜂窝夹层结构之间的对比



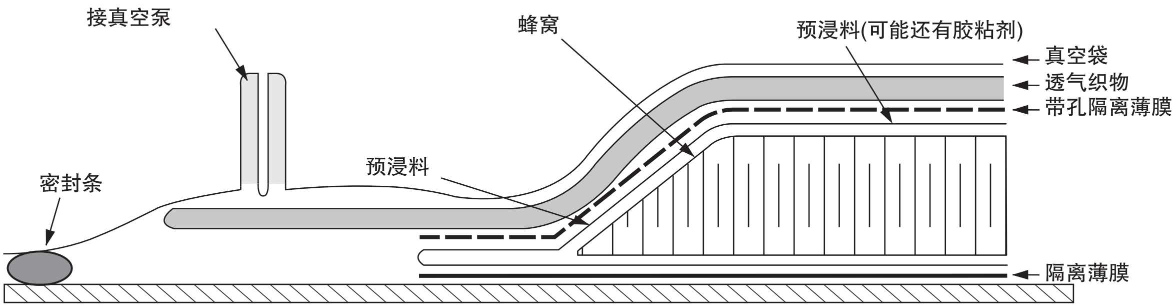
蜂窝夹层结构的优势：

- 拉伸和压缩应力由蒙皮承载
- 剪切应力由蜂窝承载
- 蒙皮在整个长度上保持稳定
- 几个方向上均具有刚性
- 大大降低重量

K-夹层结构是如何制造的?

夹层结构处理方法

- 热压罐
- 真空袋
- 压力



夹层结构制造建议

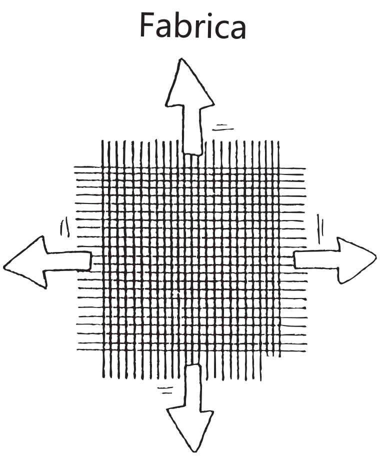
可以用热压罐、模压或真空袋成型来制造夹层结构。在热压罐或模压情况下，通常可以一次性铺贴并固化夹层结构。但是，对于大型部件的真空袋固化而言，可能需要两个或以上的阶段进行铺贴和固化，这样可以提高部件的质量，避免孔隙和蜂格印痕，避免过度压力导致的蜂窝滑移，乃至蜂窝破裂。

纤维增强复合材料的性能

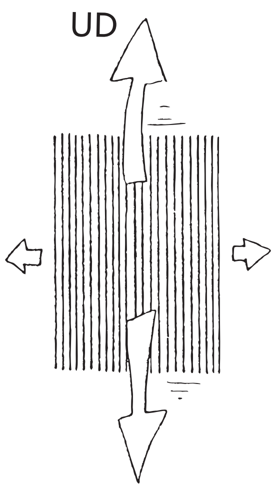
A–复合材料有什么特性?

纤维在复合材料中提供强度和刚度，并承担大部分的载荷；基体树脂则决定了复合材料的使用温度、韧性和耐环境性。因此，单向复合材料（UD）在一个方向上具有优异的力学性能，也就是呈现各向异性，而不是像大部分的金属材料一样呈现各向同性。

由于纤维主导了复合材料的力学性能，因此，可以通过纤维的设计取向来达到所需的力学性能。



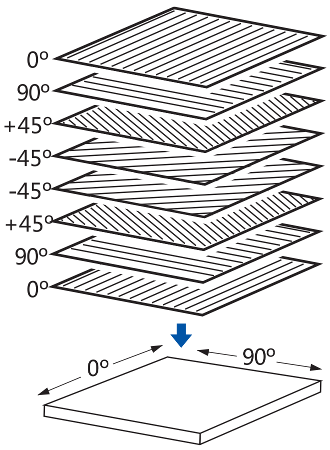
■ 等向性



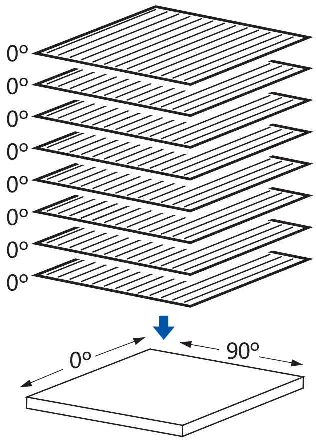
■ 不等向性

方向

通过纤维的铺贴方向设计，可以优化部件的力学性能。



■ 准各向同性铺叠



■ 单向铺叠

B-固化前后须对预浸料进行哪些物理/化学测试?

在复合材料制造过程中，可以通过以下测试来评估预浸料质量。

未固化预浸料

• 凝胶时间	在一定温度条件下，树脂从液体变成固体的时间。表现为树脂粘性的迅速增加。
• 粘度	体现树脂的流动特性，其受温度和升温速率的影响。
• 挥发份	暴露在既定温度和时间后，挥发掉的气态质量损失和原始样本质量的百分比。
• 流动性	在一定温度和压力条件下，树脂质量损失与原始样本质量的百分比。
• 粘性	预浸料本身互相粘贴，以及粘贴在模具表面的能力。
• 树脂含量	单位面积树脂重量百分比。
• 配方	化学成份的定量配比。

固化后的预浸料

• 玻璃化转变温度(Tg)	TG表示树脂发生物理相变时的温度，意味其最高使用温度。
• 纤维体积含量	纤维在复合材料中的体积百分比。
• 复合材料密度	单位体积质量。
• 固化度	预浸料的固化程度。 .
• CPT	固化后的单层厚度。

计算请参阅第28及29页。

C–如何测试复合材料?

单板结构的力学试验

各组均显示通用试件的测试参数和公式

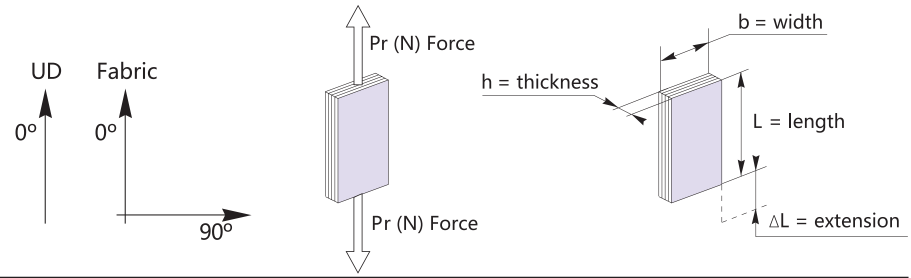
拉伸

- 拉伸强度 σ

$$\sigma\,(\mathrm{MPa}) = \frac{Pr}{b\,.\,h}$$

- 拉伸模量 *E*

$$E\,(\mathrm{MPa}) = \frac{Pr\,.\,L}{b\,.\,h\,.\,\Delta L}$$



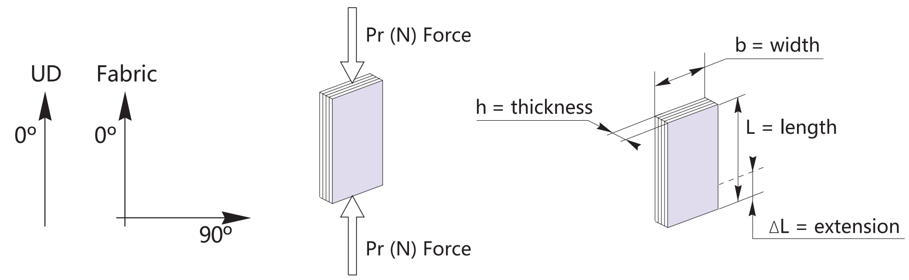
压缩

- 压缩强度 σ

$$\sigma\,(\mathrm{MPa}) = \frac{Pr}{b\,.\,h}$$

- 压缩模量 *E*

$$E(\mathrm{MPa}) = \frac{Pr\,.\,L}{b\,.\,h\,.\,\Delta L}$$



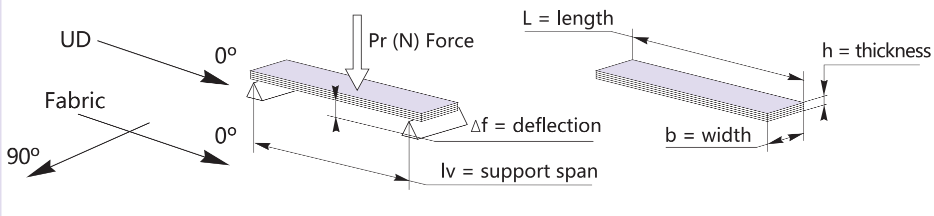
弯曲

- 弯曲强度 σ

$$\sigma\,(\mathrm{MPa}) = \frac{3\,Pr\,.\,lv}{2\,b\,.\,h^2}$$

- 弯曲模量 *E*

$$E\,(\mathrm{MPa}) = \frac{Pr\,.\,lv^3}{4\,.\,b\,.\,h^3\,.\,\Delta f}$$

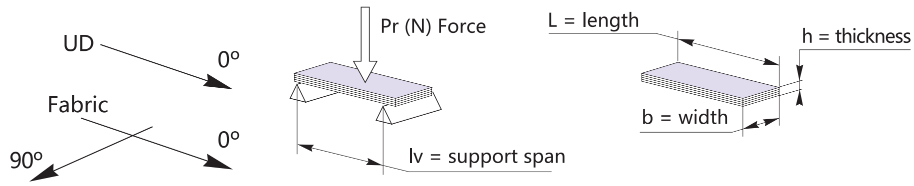


一般支撑跨距比：芳族聚酰胺 20:1；玻璃 16:1 （根据具体的规格和材料）

剪切（短樑）

- 层间剪切强度 σ

$$\sigma\,(\mathrm{MPa}) = \frac{3\,Pr}{4\,.\,b\,.\,h}$$



一般支撑跨距比 5:1 （根据具体规格）

面内剪切

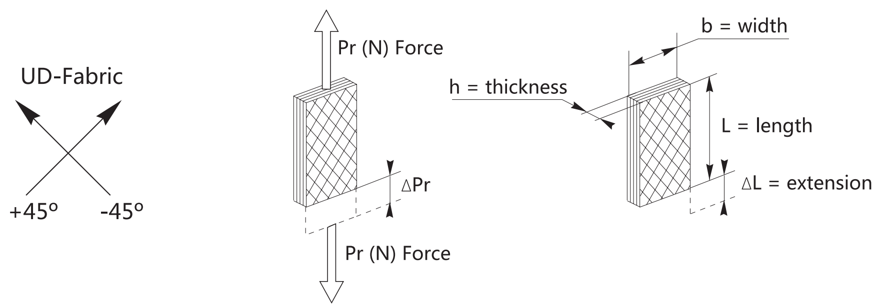
- 面内剪切强度 σ

$$\sigma\,(\mathrm{MPa}) = 0.5 \times \frac{Pr}{b\,.\,h}$$

- 面内剪切模量 G

$$G\,(\mathrm{MPa}) = \frac{0.5}{(1+\upsilon)} \times \frac{\Delta Pr}{b\,.\,h\ \ \Delta L}$$

υ = Poisson's ratio

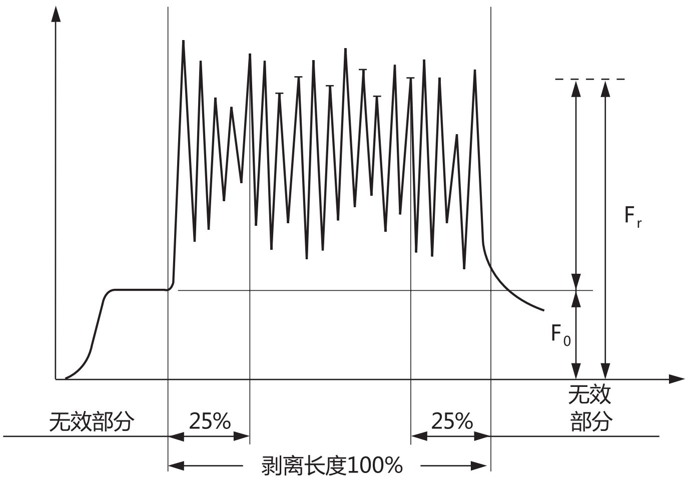


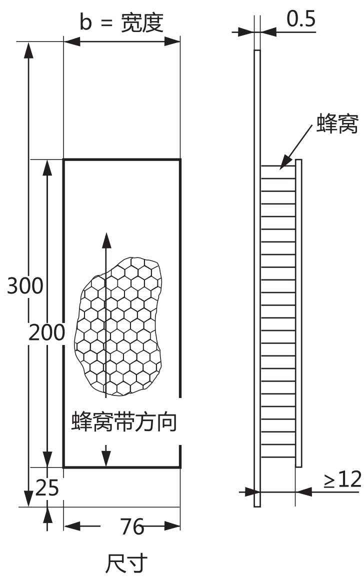
预浸料夹层结构的力学试验

滚筒剥离试验

剥离强度Fp

$F_p\,(N) = F_r - F_0$



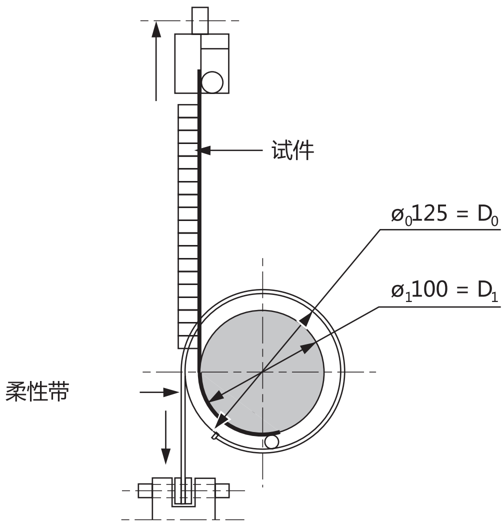


剥离力矩Cp

$$C_p(\,Nmm/mm)= \frac{F_p\,(D_0 - D_1)}{2\,b}$$

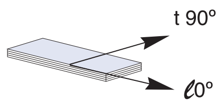
转换因子

1 牛顿 / 76 毫米宽
= 0.0127 Nm/76mm
= 0.1671 Nm/m
= 0.01671 daNcm/cm
= 0.2248 lbf/3 in
= 0.1124 lbf-in/3 in
= 0.03747 lbf-in/in



滚筒剥离测试用来测量夹层结构蒙皮与蜂窝之间剥离强度。
这种测试通常用来监控固化和胶接质量。
欲了解详细信息， 请参阅测试方法。

环氧预浸料积层板的典型力学性能



纤维的体积含量：
≈ 60 % (碳)
≈ 50 % (E-玻纤-芳纶)

			单位	E-玻纤 UD	E-玻纤 Fabric	芳纶纤维 UD	芳纶纤维 Fabric	高强度碳纤 UD	高强度碳纤 Fabric	中模量碳纤 UD	中模量碳纤 Fabric
拉伸	σℓ	⦀	MPa	1100	600	1100	500	2000	800	2400	900
	σt	≡	MPa	35	550	35	450	80	750	80	850
	Eℓ	⦀	GPa	43	20	60	30	130	70	170	90
	Et	≡	GPa	8	19	8	30	9	65	9	90
	Poisson's ratio υℓt			0.28	0.13	0.34	0.2	0.25	0.05	0.27	0.05
压缩	σℓ	⦀	MPa	900	550	250	150	1300	700	1600	800
	σt	≡	MPa	150	500	150	150	250	650	250	750
	Eℓ	⦀	GPa	42	17	75	31	115	60	150	80
	Et	≡	GPa	10	16	5.5	30	10	55	11	75
弯曲	σℓ	⦀	MPa	1200	700	550	400	1800	1000	1400	1200
	Eℓ	⦀	GPa	42	20	40	25	120	65	140	75
面内剪切	σℓt	◈	MPa	60	55	45	40	95	80	95	80
	Gℓt		GPa	4	4.2	2.1	4	4.4	5.5	4.4	5
层间剪切	σ	⦀	MPa	75	50	60	50	80	70	80	70

预浸料积层板的典型热性能

	单位	玻纤 UD	玻纤 Fabric	芳纶纤维 UD	芳纶纤维 Fabric	高强度碳纤 UD	高强度碳纤 Fabric
热膨胀系数	10^{-6} K^{-1}	11	14	- 0.4	- 5.2	0.3 - 0.7	2 - 3
导热性	Wm^{-1} K^{-1}	0.4	0.16 - 0.33	0.4	0.21	1	0.86 - 1.44

预浸料储存及安全措施

A–预浸料应如何储存?

收到HexPly® 预浸料后，应立即将其存放在–18° C的冷库中。

为了避免受潮，在打开聚乙烯袋之前，应先让预浸料回温至室温(完整包装可能需要48小时)。

一般而言，在–18℃保存的状态下，预浸料的保质期为从制造之日起12个月。预浸料包装箱的标签上印有–18° C时的保质期和室温保质期。23° C时的粘性寿命和外置寿命因树脂而异，在相关的产品数据表中都有规定。

定义:
保质期
–18° C，密封防潮袋包装状态下的最长储存寿命。包装标签上有有效期。

粘性寿命
室温下，预浸料所能保持的适于铺贴粘性的时间。

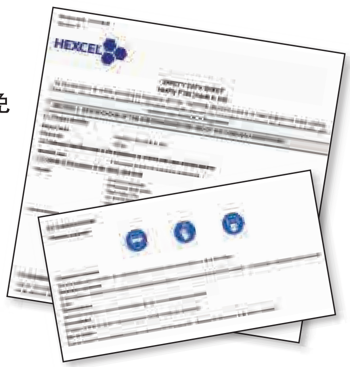
外置寿命
从冷库取出到固化之间所允许的最大室温累积时间。

类似定义	保质期	=	储存寿命
	粘性寿命	=	操作寿命
	外置寿命	=	力学寿命

注意事项
- ➢ 始终通过轴心支撑预浸料。
- ➢ 记录不在冷库的时间。
- ➢ 使用后，用胶带把预浸料卷紧，以防止起皱。
- ➢ 将预浸料密封，放入箱子，放回冷库保存。

B–使用预浸料时应采取哪些卫生和安全措施?

赫氏预浸料在应用方面的安全风险很小，原因如下：
- ➢ 预浸料在铺贴之前一直带有保护膜，裁剪后再去除保护膜，因此，直接接触预浸料的情况实际上不存在。
- ➢ 和湿法工艺不同（干纤维，液态树脂），预浸料工艺纤维粉尘极小，且无飞溅、无泄漏和溢出。
- ➢ 预浸料在常温下无挥发。
- ➢ 在常温下，预浸料的粘性处于中低水平。



然而，在操作时仍应遵守通常的预防措施，即：始终佩戴手套，确保其覆盖手臂，以避免皮肤与产品的接触。在无保护状态下重复触摸预浸料会引起过敏反应。

加工固化后的产品会产生含有纤维物质的粉尘，应避免吸入。建议在切割区安装吸尘装置提取和收集粉尘。为防止火灾和爆炸，加工固化产品时应避免粉尘的形成，避免火源。含有碳纤维的粉尘灰尘是导电的。

赫氏为每种产品编写了安全数据表，请访问 http://www.hexcel.com/ourcompany/prodsafety-overview 获取相关资料，从包装中取出产品之前，务必阅读和理解该安全数据表。

附录 I— 计算

A–层压板纤维体积含量一定的情况下，吸胶层数的理论计算

由碳纤/玻纤/芳纶纤维生产的单向、织物预浸料，任何材料形式的吸胶层数的计算均使用此方式。

步骤1　测量吸胶层的吸胶量 A

- 在预浸料重量相同的情况下进行系列的吸胶试验；
- 单个试验应该逐步增加吸胶层数来测定吸胶的树脂重量；
- 从系列测试中优化出单层的吸胶量；

步骤2　测试预浸料中单位面积的树脂和纤维重量

步骤3　计算吸胶层数

$$= \frac{\left[wr - \left(\frac{wf \times \rho r \times Vr}{\rho f \times Vf} \right) \right] Np}{A}$$

参数：

A　：单层吸胶层的吸胶量 （ g/m2 ）
wr　：树脂的单位面积重量 (g/m2)
wf　：纤维的单位面积重量 (g/m2)
Vf　：所选择的纤维体积含量(%)
Vr　：树脂体积含量 （ = 100 – Vf) %
ρr　：树脂密度 (g/cm3)
ρf　：纤维密度(g/cm3)
Np　：预浸料铺贴的层数。

请浏览我们的网站，了解树脂吸胶层计算器，网址为：
http://www.hexcel.com:82/calculators/src/bleederAidcalcs.aspx

B–固化后单层厚度、纤维体积含量和复合材料密度的计算

固化后单层厚度(计算) = CPT (mm)

参数:
wf ：预浸料纤维面积重量(g/m2)
ρf ：纤维密度(g/cm3)
Vf ：纤维体积含量(%)

$$CPT = \frac{wf}{\rho f \times 10 \times Vf}$$

纤维体积含量% = Vf

参数:
wf ：纤维单位面积重量(g/m2)
wr ：树脂单位面积重量(g/m2)
ρf ：纤维密度(g/cm3)
ρr ：树脂密度(g/cm3)

方法1
无吸胶层

$$Vf = \left(\frac{wf/\rho f}{wr/\rho r + wf/\rho f}\right) \times 100$$

方法2
测得的积层板厚度

$$Vf = \frac{\text{计算CPT} \times \text{纤维体积含量(用于计算CPT)}}{\text{测得的cpt}}$$

复合材料密度 = ρc (g/cm³)

参数
ρl ：液体密度(g/cm3)
阿基米德原理

$$\rho c = \frac{\text{复合材料重量(空气)}}{\text{复合材料重量(空气)-复合材料重量(液体)}} \times \rho l$$

欢迎浏览我司网站，查阅以下计算工具：

复合材料性能：
http://www.hexcel.com:82/calculators/src/compositeProps2withbleed.aspx

固化层厚度计算器：
http://www.hexcel.com:82/calculators/src/CPTcalculator.aspx

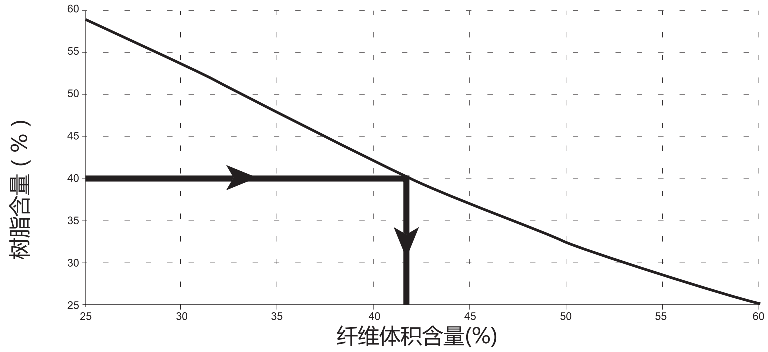
选择预浸料的辅助计算

C–确定预浸树脂含量以达到所需的纤维体积含量/固化后单层厚度

纤维和树脂确定之后，以下图表帮助确定相应的树脂含量和纤维克重，以获得所需的纤维体积含量和固化后单层厚度。

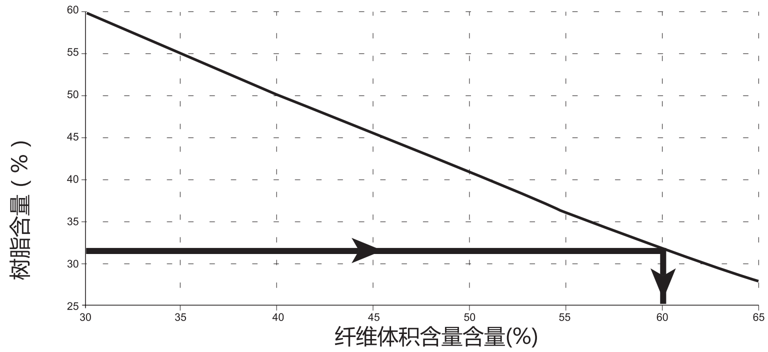
纤维体积含量

环氧树脂/E-玻纤



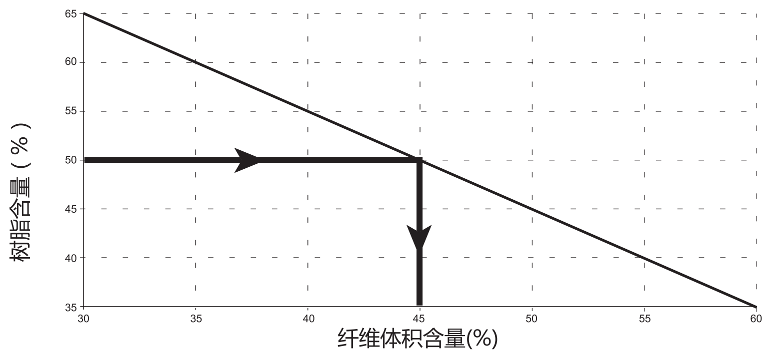
基体密度➪1.2g/cm3
纤维密度➪2.6 g/cm3

环氧树脂/高强碳纤维



基体密度➪1.2g/cm3
纤维密度➪1.8 g/cm3

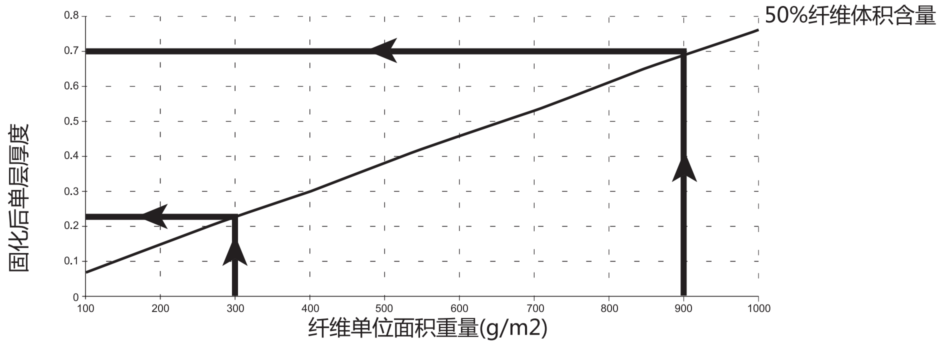
环氧树脂/芳纶纤维



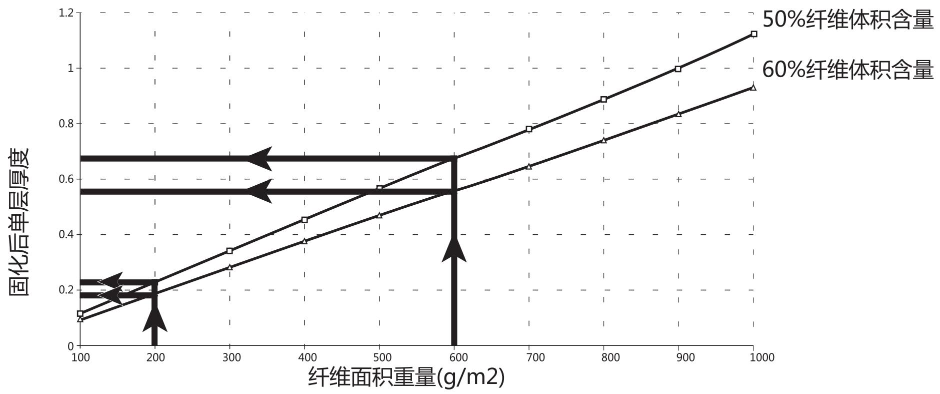
基体密度➪1.2g/cm3
纤维密度➪1.45 g/cm3

固化后单层厚度

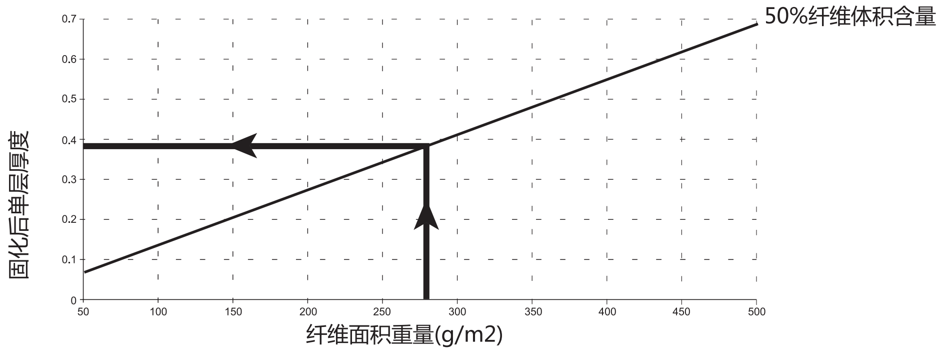
环氧树脂/E-玻纤



环氧树脂高强碳纤维



环氧树脂/芳纶纤维



附录II–赫氏产品范围

HexPly®是赫氏高性能预浸料商标。

赫氏生产一系列全球领先的复合材料和工程产品，包括碳纤维、碳纤维增强织物，和碳纤维预浸料以及胶粘剂、蜂窝材料和HexTOOL®模具系列。

赫氏还提供用于RTM和灌注工艺的树脂和增强材料。

如需了解更多产品详细信息，请访问我司网站 www.hexcel.com

网页链接

产品选择指南：
航空航天和工业用HexForce®织物和HexPly®预浸料选择指南：
http://www.hexcel.com/resources/selector-guides

HexPly®预浸料数据表：
http://www.hexcel.com/resources/datasheets

HexPly®预浸料选择助手
http://www.hexcel.com/resources/seltool-hexplyprepreg

计算器
http://www.hexcel.com/resources/calculator

重要声明

如需了解更多信息

赫氏是全球领先的航空航天和其他行业复合材料的供应商。我们的产品范围包括：

- 碳纤维
- RTM材料
- 蜂窝
- 碳纤、玻纤、芳纶纤维和混合预浸料
- 复合模具材料
- 结构薄膜胶粘剂
- 蜂窝夹层板
- 工程蜂窝
- 增强织物

有关美元报价、订单和产品信息，可拨打免费电话1–800–688–7734。

如需获取全球各地销售办公室的电话号码和地址，请访问：

http://www.hexcel.com/contract/salesoffices