

# 预浸料及其制备技术

张凤翻 于华

2020.10.25-27

# 引子

✦ Prepreg

✦ 预浸料

✦ 拿什么材料浸？

✦ 又要浸渍什么材料？

✦ 如何浸？

✦ 浸渍后的材料又要做什么？

# 目录

- A 预浸料技术概述
- B 树脂基体
- C 增强纤维
- D 预浸料制备方法
- E 预浸料产品企标示例

# A 预浸料技术概述

一、预浸料定义

二、预浸料的基本要求

三、预浸料的基本特征

四、预浸料的主要原材料

五、预浸料类型

六、预浸料性能

七、预浸料的应用

八、预浸料工厂应具备的条件

# 一、预浸料定义

预浸料是树脂基体在严格控制条件下浸渍增强纤维或织物制成的树脂基体与增强体的组合物，是制造复合材料的中间材料。它的一些性质直接带入复合材料中，是复合材料的基础，复合材料的性能在很大程度上取决于预浸料的性能。

对于复合材料设计师来说，预浸料是具有一定力学性能的结构单元，可用于结构设计。

对于复合材料工艺工程师而言，预浸料是制造结构的原料，可直接用以制造复合材料构件。

预浸料性能的优劣直接关系到复合材料的质量，因此预浸料对复合材料的应用和发展具有重要意义。

## 二. 预浸料的基本要求

预浸料的一些性能基本上原封不动的带到由其制作的复合材料和其构件中。复合材料成形时的工艺性能和最终的力学性能取决于预浸料的性能。通常对预浸料的主要要求如下：

- 1、树脂基体和增强材料的匹配性能要好，即增强材料和树脂基体性能相容，使复合材料具有优良的层间强度。
- 2、具有合适的粘性和铺复性。
- 3、树脂含量稳定，偏差小。
- 4、挥发分含量尽可能小，一般应在1%以下。

- 5、具有较长的贮存寿命。
- 6、固化成形时有较宽的加压带，即在较宽的温度范围加压，都可得到满意的复合材料构件。
- 7、有适当的流动度。
- 8、成形工艺简单，固化温度范围尽可能宽。
- 9、价格相对较低。

### 三、预浸料的基本特征

- 1、由于制备预浸料过程中准确控制了树脂含量和增强材料含量与排列，固化后可以得到精度很高的制品。
- 2、是干态材料，容易铺层，制品可以局部加强，通过改变预浸料层数，能够制得不同厚度，强度和刚度要求的制品。
- 3、制品表面和内部质量高，因为浸渍完全，预浸料和制品中无气泡，制品表面光洁，质量高。

4. 较树脂灌注工艺，湿法缠绕工艺和手糊工艺等方法成形的复合材料，其力学性能提高10~15%。
5. 预浸料作为复合材料的中间材料，在制造复合材料时没有污染，有利于文明生产和安全生产。
6. 对树脂有一定要求，选择范围相对较低。

**溶液法**制备预浸料要求树脂能溶于低沸点溶剂中。

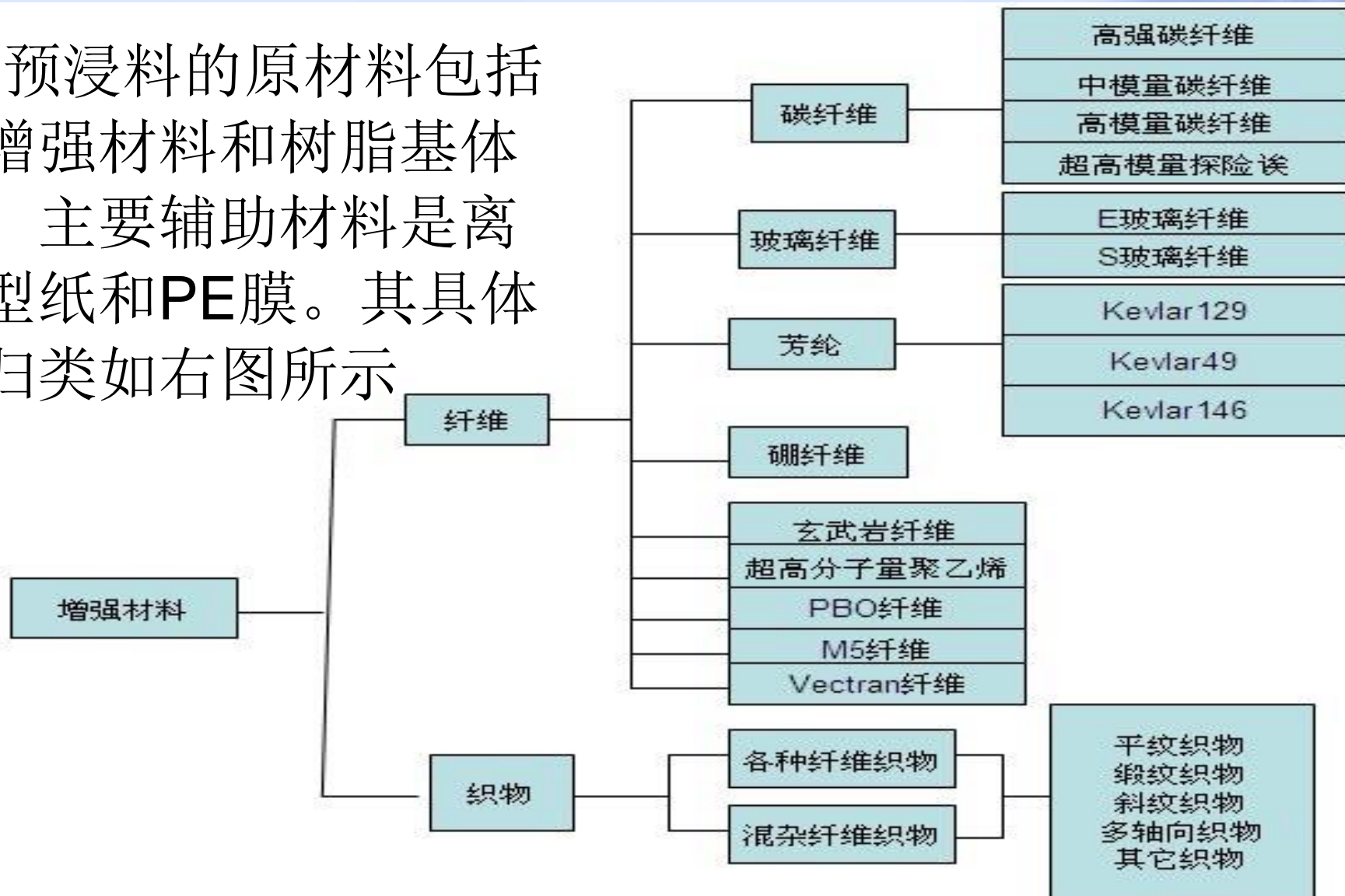
**热熔法**制备预浸料要求树脂在室温下是半固态到固态。

**粉末法**制备预浸料要求树脂粒度均匀且直径在纤维直径以下。

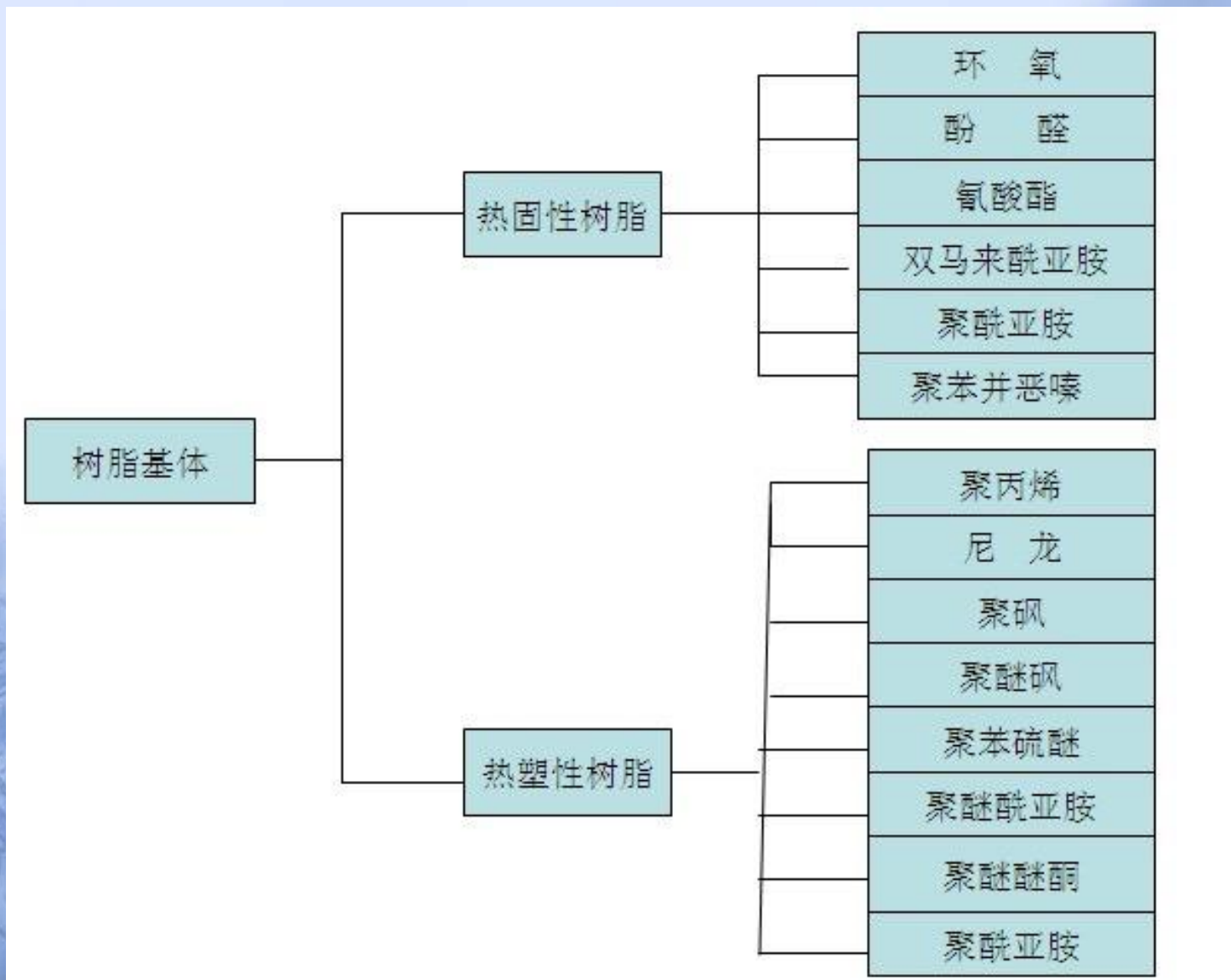
7. 制造工序较多，设备造价高，价格昂贵。

## 四、预浸料的原材料

预浸料的原材料包括增强材料和树脂基体，主要辅助材料是离型纸和PE膜。其具体归类如右图所示



## 4.1、树脂材料



## 4.2 离型纸——离型纸应具备的性能

- 1、能粘附预浸料，但又容易使预浸料从其表面剥离，不留树脂痕迹。
- 2、不与预浸料的树脂基体发生化学作用，不污染预浸料。
- 3、吸湿量小，抗水性好，强度高，发生环境温度和湿度变化时，离型纸尺寸稳定，预浸料不变形或起皱。
- 4、剥离力高，抗撕裂，在牵引力作用下不会断裂，纤维保持量稳定。
- 5、表面光滑，厚度均匀，有一定的强度，纤维重量剥离时树脂基体不全脱落。
- 6、离型力大，至少大于被剥离材料。重复使用。
- 7、高韧性，抗磨性好，可于230℃工作。
- 8、对人体无害，是卫生保健材料。
- 9、

# 离型纸的作用

- 1、树脂基体的载体
- 2、预浸料的载体
- 3、浸胶过程给预浸料均匀施压
- 4、保护预浸料避免污染

# 离型纸的性能

典型双面离型纸 125g/m<sup>2</sup> 规格

| 序号 | 性能    | 单位               | 指标                   |
|----|-------|------------------|----------------------|
| 1  | 规格    |                  |                      |
|    | 宽度    | mm               | 1060 1075            |
|    | 长度    | m                | 2500 2500            |
| 2  | 基本重量  | g/m <sup>2</sup> | 125(误差范围+8~-3)       |
| 3  | 厚度    | μm               | 125(误差范围+8~-3)       |
| 4  | 拉伸强度  | Kg/15mm          |                      |
|    | MD    |                  | 10.3                 |
|    | CD    |                  | 5.2                  |
| 5  | 脱模性能差 | E.S./I.S.        | 1-3(3g/19mm-9g/19mm) |
| 6  | 撕裂伸长率 | %                | 1.5                  |
| 7  | 撕裂强度  | Kg/15mm          |                      |
|    | MD    |                  | 78                   |
|    | CD    |                  | 80                   |

※ E.S.表示脱模性能好的一面，用19mm宽的胶带粘上后，3g力可以扯开。

I.S.表示脱模性能差的一面，用19mm宽的胶带粘上后，9g力可以扯开。

## 五、预浸料类型

为了适应复合材料成形要求，新的预浸料不断出现，预浸料的类型不断增加，以下为预浸料按不同方法分类：

### 1、按物理状态

单向预浸料

织物预浸料

单向织物预浸料

### 2、按树脂基体

热固性树脂预浸料


单向预浸料

织物预浸料

单向织物预浸料（80%

以上单向或带稀疏网

格布(scrim)



# 窄带预浸料 预浸纱

热塑性树脂预浸料

片材预浸料

粉末预浸料

热塑性树脂纤维形预浸料

混编

混纺

交织



### 3、按增强材料

碳纤维（单向，织物）预浸料

玻璃纤维（单向，织物）预浸料

芳纶（单向，织物）预浸料

硼纤维预浸料

其他纤维（织物）预浸料

### 4、按纤维长度

短纤维（4.76 mm）预浸料

长纤维（12.7 mm）预浸料

连续纤维预浸料

### 5、按固化温度

低温固化（80℃及以下）预浸料


中温固化（120℃）预浸料

高温固化（180℃及以上）预浸料

## 六、预浸料的性能

预浸料性能随使用领域、增强材料和树脂基体的不同，预浸料的类型、级别、规格的差异，要求各不相同，现仅就航空航天工业用预浸料的性能作一介绍，可以作为其他行业的参考，另外此处所述的性能并不是每个工业应用预浸料都需要具备的。

- 1、预浸料的物理性能
- 2、预浸料的化学性能
- 3、预浸料的工艺性能
- 4、层合板性能

- 
- ①物理性能
  - ②力学性能
  - ③韧性
  - ④热性能
  - ⑤电性能
  - ⑥阻燃性能
  - ⑦环境性能
  - ⑧其它性能

5、缺陷规定和尺寸要求

6、固化条件

7、贮存寿命

## 6.1. 预浸料物理性能

(1) 树脂含量：以树脂的质量%表示，其控制精度为  
溶液浸渍法： $\pm 3\%$

热溶法： $\pm 2\%$ ；

直接热溶法制的窄带预浸料 $\pm 1\%$ 。

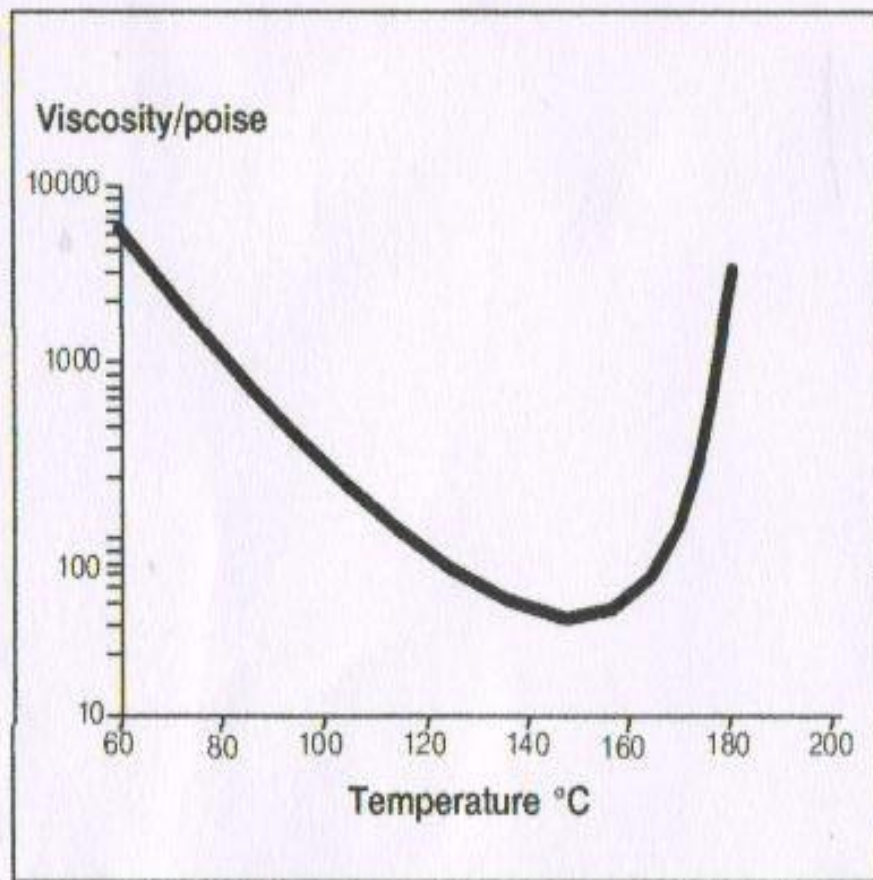
(2) 挥发分含量：溶液浸渍法一般控制在2%以下，热溶法通常控制在1%以下。但聚酰亚胺为基体的预浸料挥发分含量高达5%—10%。

(3) 树脂流动度：一般5%—25%。

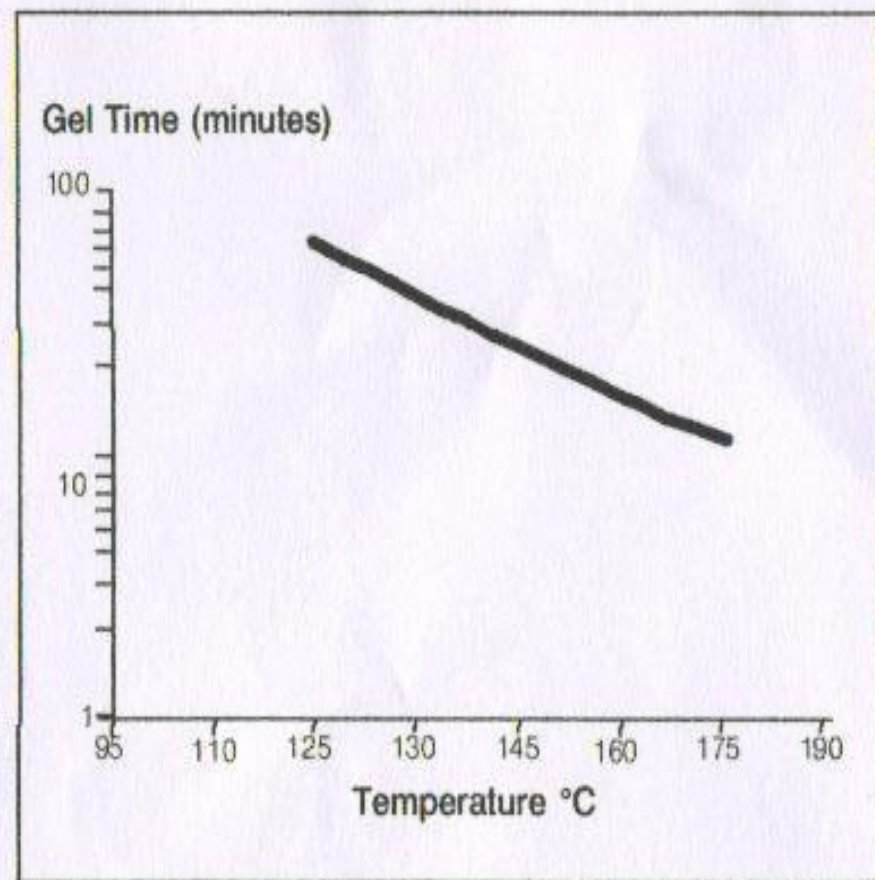
(4) 凝胶时间及温度—凝胶时间曲线：

## (5) 树脂基体粘度和粘度—温度曲线:

### Rheology



### Gel Time



HexPly® 8552

(6) 单位面积纤维质量：必需给出控制精度，且随其大小而异，一般单向预浸料为 $\pm 5\%$ ，织物预浸料大约为 $\pm 10\%$ 。

(7) 粘性：不能太大、也不能无粘性，一般常温下不粘手、易铺贴，铺层有误时，还可小心分离开来，重新铺贴并对性能无影响为度，即能自粘并能贴住。

(8) 铺覆性：预浸料应柔软，适于复杂构件的铺层。

## 6.2.化学性能

### (1) 红外光谱图 (IR) :

预浸料标准中给出标准光谱图，标示未固化树脂的结构和化学组成，可以检查树脂基体配方有无污染，是否发生变化。

### (2) 高压液相色谱 (HPLC) :

是保证预浸料质量最通用的手段之一。可以确定树脂基体的化学成分，定量检查其浓度。

### (3) 凝胶渗透色谱 (GPC) :

确定树脂的分子量及其分布。

### (4) 差示扫描量热分析 (DSC) :

可以给出预浸料成分的大量信息，如 $T_g$ 、热焓、树脂基体B阶段的程度、固化过程开始、峰顶及终止时的温度等。

## 6.3. 工艺性能

(1) 固化工艺的适应性：

预浸料对多种复合材料成型工艺的适应性，如模压法、热压罐法、真空成型、自动辅带工艺。

(2) 固化工艺参数：

在保证性能前提下，成型温度尽可能低；成型压力尽可能小；成型时间尽可能短；加压带尽可能宽。

(3) 辅贴性能好：

粘度适中，辅覆性好。

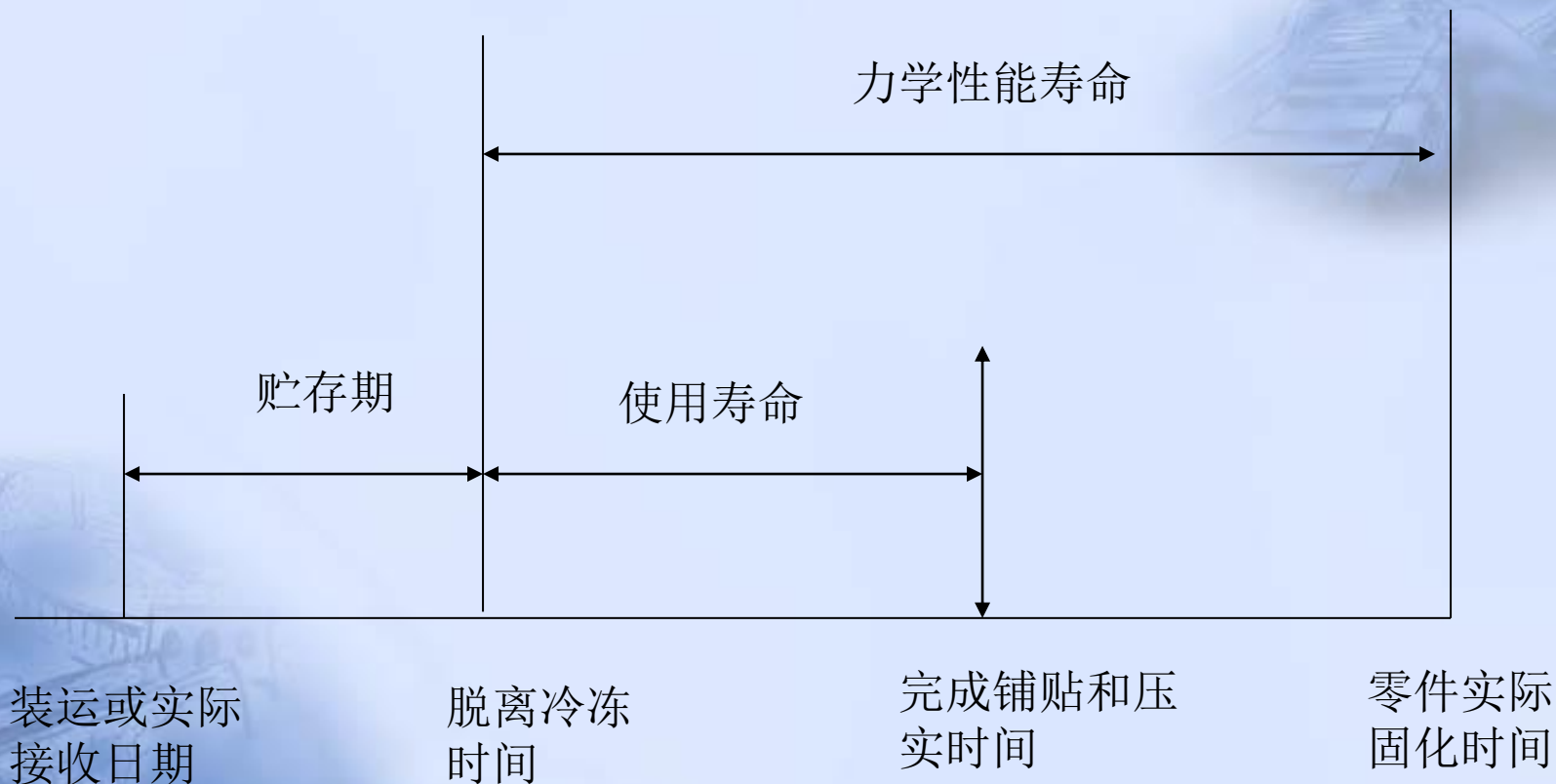
(4) 制备蜂窝夹层结构的适应性：

制造夹层结构时能形成胶瘤，剥离强度高。

(5) 储存期、使用寿命和力学性能寿命：

预浸料的储存期、使用寿命和力学性能寿命主要取决于树脂基体，不同树脂基体制得的预浸料有很大的差别，

以177℃固化的通用环氧树脂为例说明，如下图所示。



177℃固化预浸料的贮存期、使用寿命和力学性能寿命

- ①储存期：于  $-12^{\circ}\text{C}$  或更低的温度下储存的预浸料，在装运之日起，应有365天的储存期；
- ②使用前储存期超过365天的预浸料，于储存期终止后的一个月內按原验收方法，重新检验其流动度、凝胶时间、粘性、压缩强度。合格的材料，允许增加180天的储存期，超过545天的预浸料应报废；
- ③在室温 ( $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) 条件下，预浸料的使用寿命为240小时，超过这种条件所暴露的材料应报废；
- ④在室温 ( $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) 条件下，预浸料力学性能寿命为1008小时，超过这种条件所暴露的材料应报废。

## 6.4.层合板性能

### (1) 层合板物理性能

单层板的厚度；  
复合材料密度；  
纤维体积含量；  
树脂质量含量；  
复合材料空隙率；  
复合材料吸水性。

## (2) 层合板力学性能

拉伸性能： $0^\circ$ 拉伸强度和模量；  
 $0^\circ$ 拉伸应变；  
 $90^\circ$ 拉伸强度和模量；  
 $90^\circ$ 拉伸应变；

压缩性能： $0^\circ$ 压缩强度和模量；  
 $90^\circ$ 压缩强度和模量；

纵横剪切强度和模量；  
泊松比；  
弯曲强度和模量；  
层间剪切强度；

### (3) 复合材料韧性

冲击后压缩强度, CAI值

开口拉伸强度

开口压缩强度

复合材料的I型层间断裂韧性, GIC

### (4) 复合材料热性能

热膨胀系数

导热系数

热分解温度

T<sub>g</sub>

## (5) 复合材料电性能

介电常数和介电损耗

表面电阻

体积电阻

电弧阻抗

击穿电压

## (6) 复合材料阻燃性能

烟密度

热释放速率

燃烧气体毒性

垂直燃烧

滴落物自燃性能

## (7) 环境性能

耐酸碱

耐油（润滑油、燃料油、液压油）

耐海水

耐化学介质

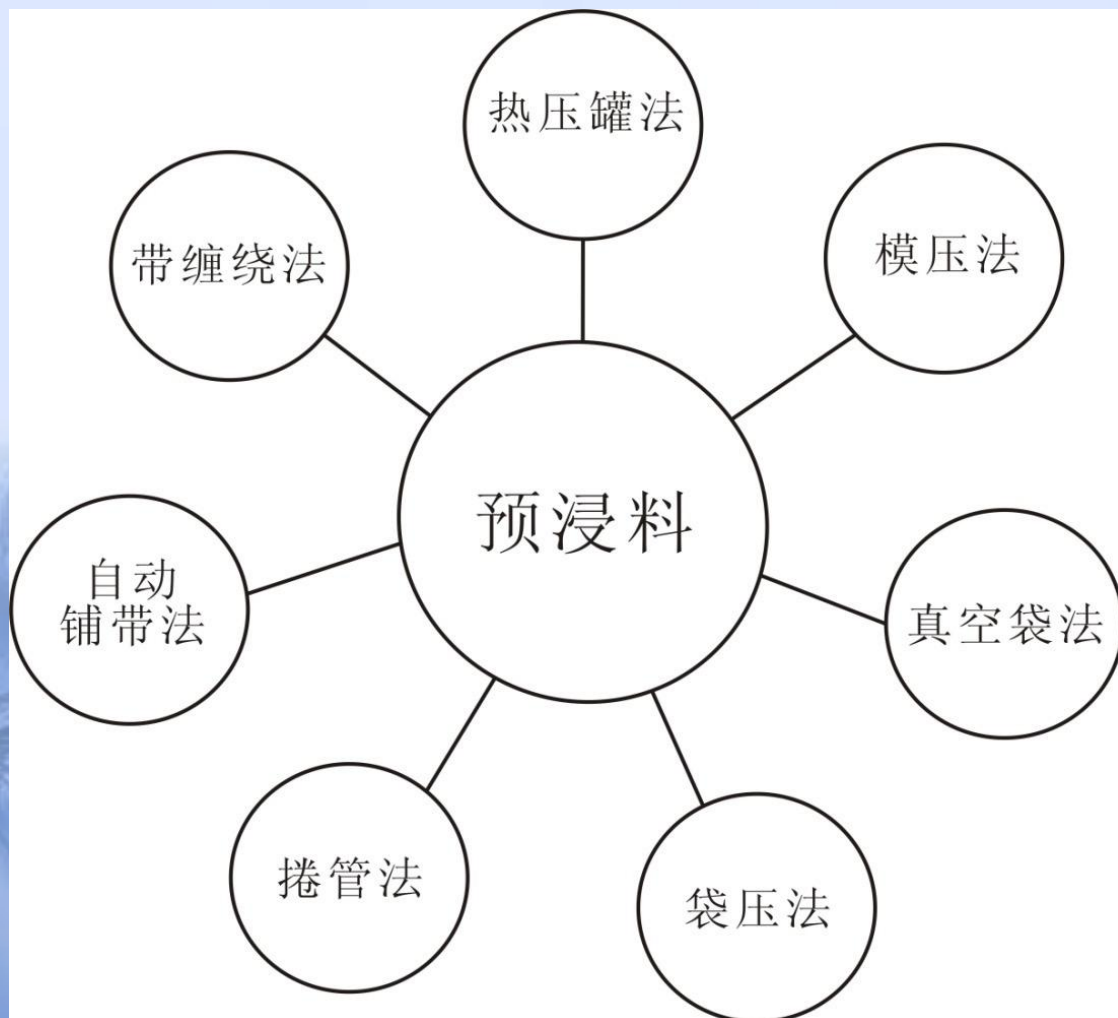
## (8) 其他性能

透波性能

吸波性能

抗疲劳性能

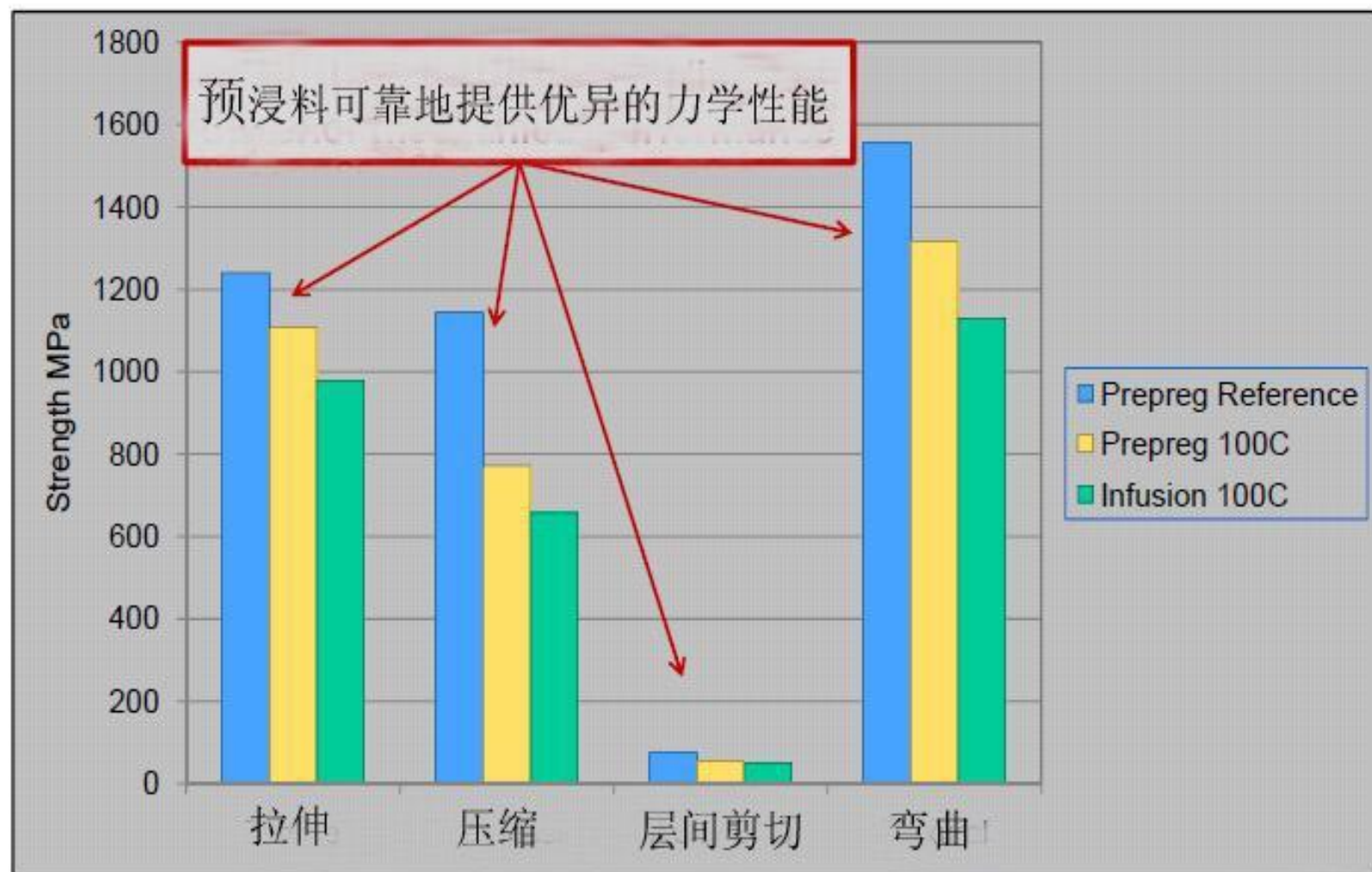
## 七.预浸料的应用



采用预浸料的复合材料成形方法

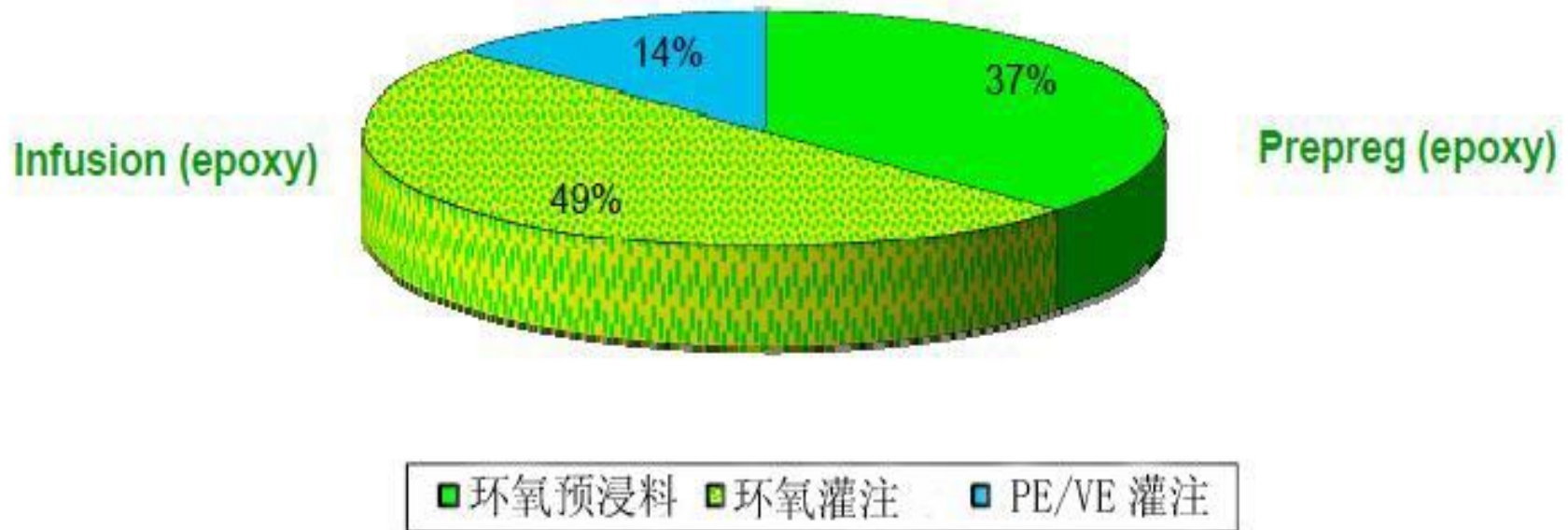
- 拉挤工艺
- RTM工艺
- 纤维缠绕工艺
- 纤维铺放工艺

# 预浸料工艺和 INFUSION 工艺力学性能的比较



# 预浸料工艺和树脂灌注工艺 在风能叶片制造中的应用

全球装机总容量 160, 000 (2009 年)



# 八.预浸料工厂应具备的条件

设备选择

经过认证的系列树脂  
配方

工程技术

建设工厂的规划

树脂混合试验和生产  
装置

消耗材料规范  
和厂商

工厂环境控制

设备仪器经过认证的  
实验室

研发中心

经培训的相关工  
作专家

经过认证有资质的纤  
维供应商

离型纸存储条件

质量控制程序和  
方法

符合要求的预浸料存  
储环境

# 纤维和织物预浸料生产线



高度工业化低成本  
高质量预浸料生产线

# 热熔预浸料工作单元



胶膜机



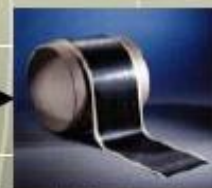
纱架



浸胶机



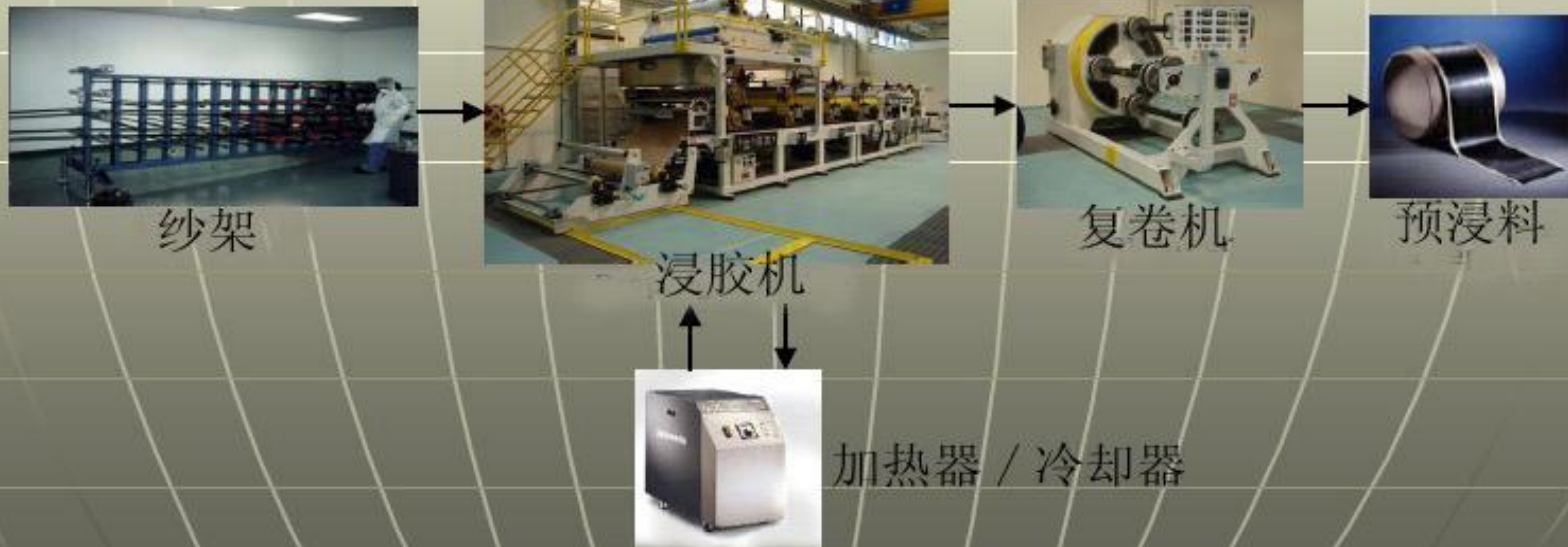
复卷机



预浸料



加热器 / 冷却器



谢谢大家