

2015复合材料创新应用高峰论坛

# 复合材料游艇 成型技术

边文凤

• 哈尔滨工业大学（威海）

2015年7月27日星期一









### 工艺

要确保“构件质量高、性能均匀一致、离散小”

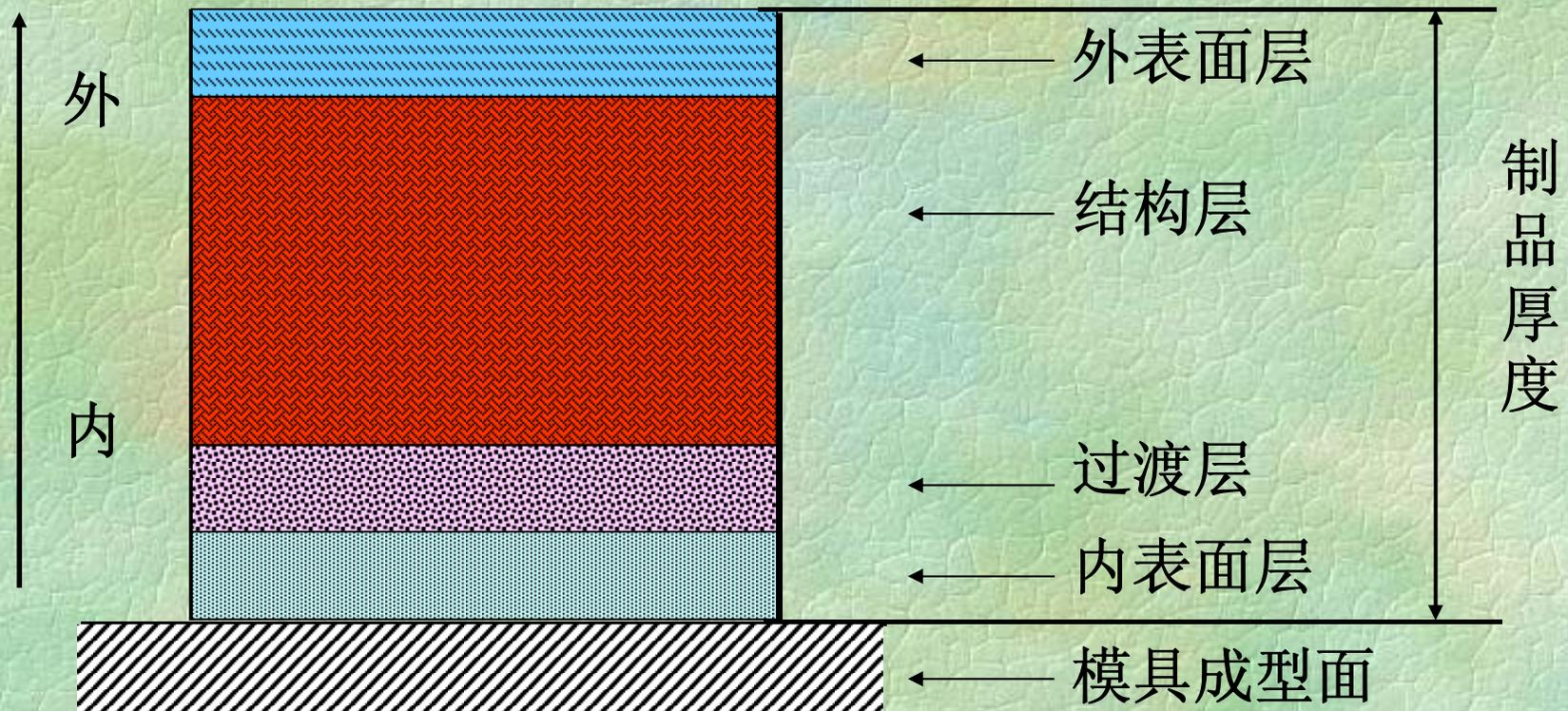
### 材料

要确保“力学性能、工艺性、功能性、造价低”

### 结构

以“材料性能、工艺实施”为基础，确保结构性能

# 聚合物基复合材料制品铺层构成



复合材料成型工艺

手糊成型工艺

喷射成型工艺

真空导入工艺

加压或模压（层压）工艺

挤压和拉拔工艺

缠绕工艺

建造复合材料船艇  
的主要方法

真空辅助

# 1 手糊成型工艺:

又称接触成型工艺。

是手工作业把玻璃纤维织物和树脂交替铺在模具上，固化成型，然后脱模为玻璃钢制品的工艺。

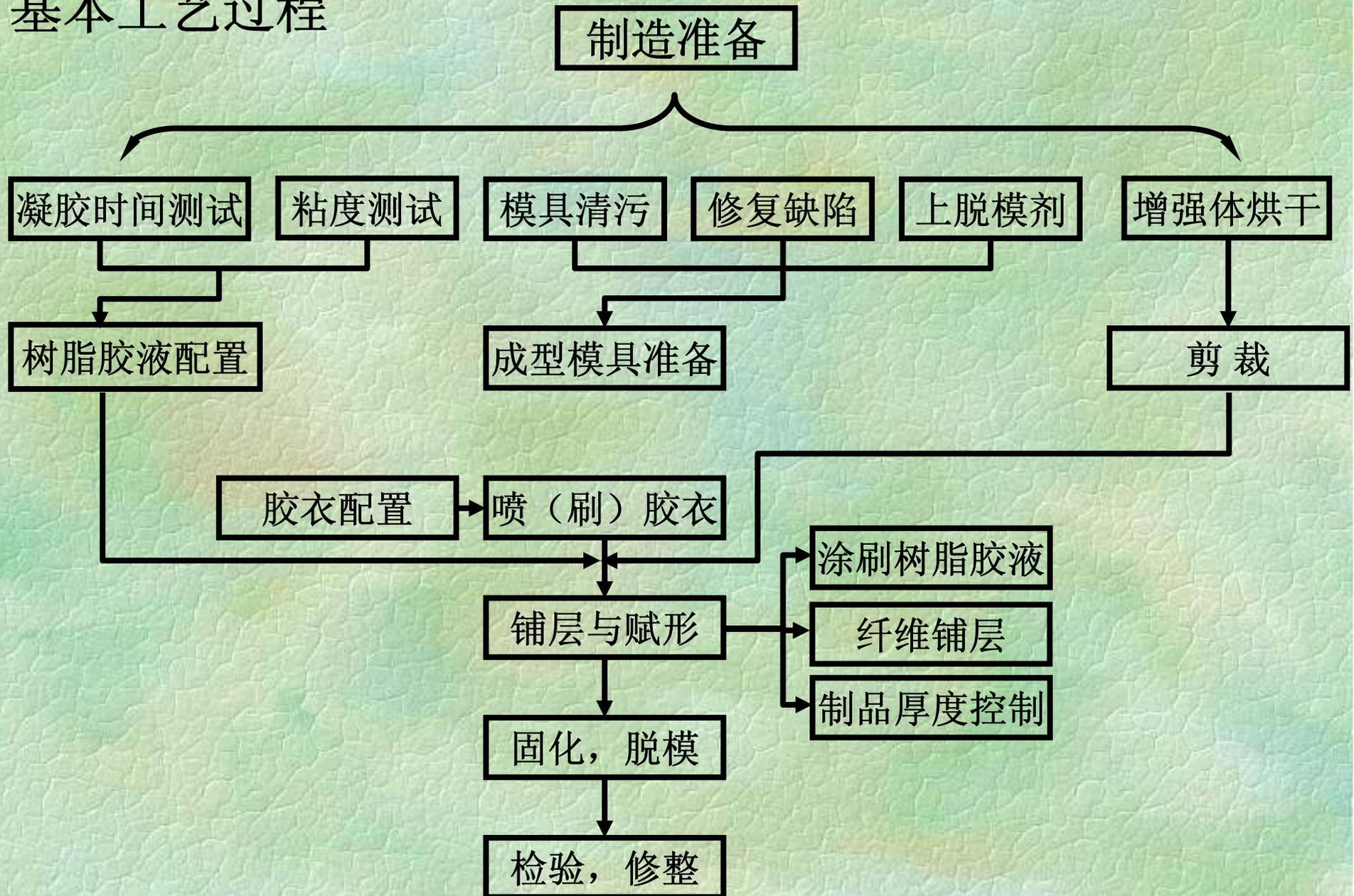
固化可常温无压，可加热加压、可干法可湿法

## 常用原材料

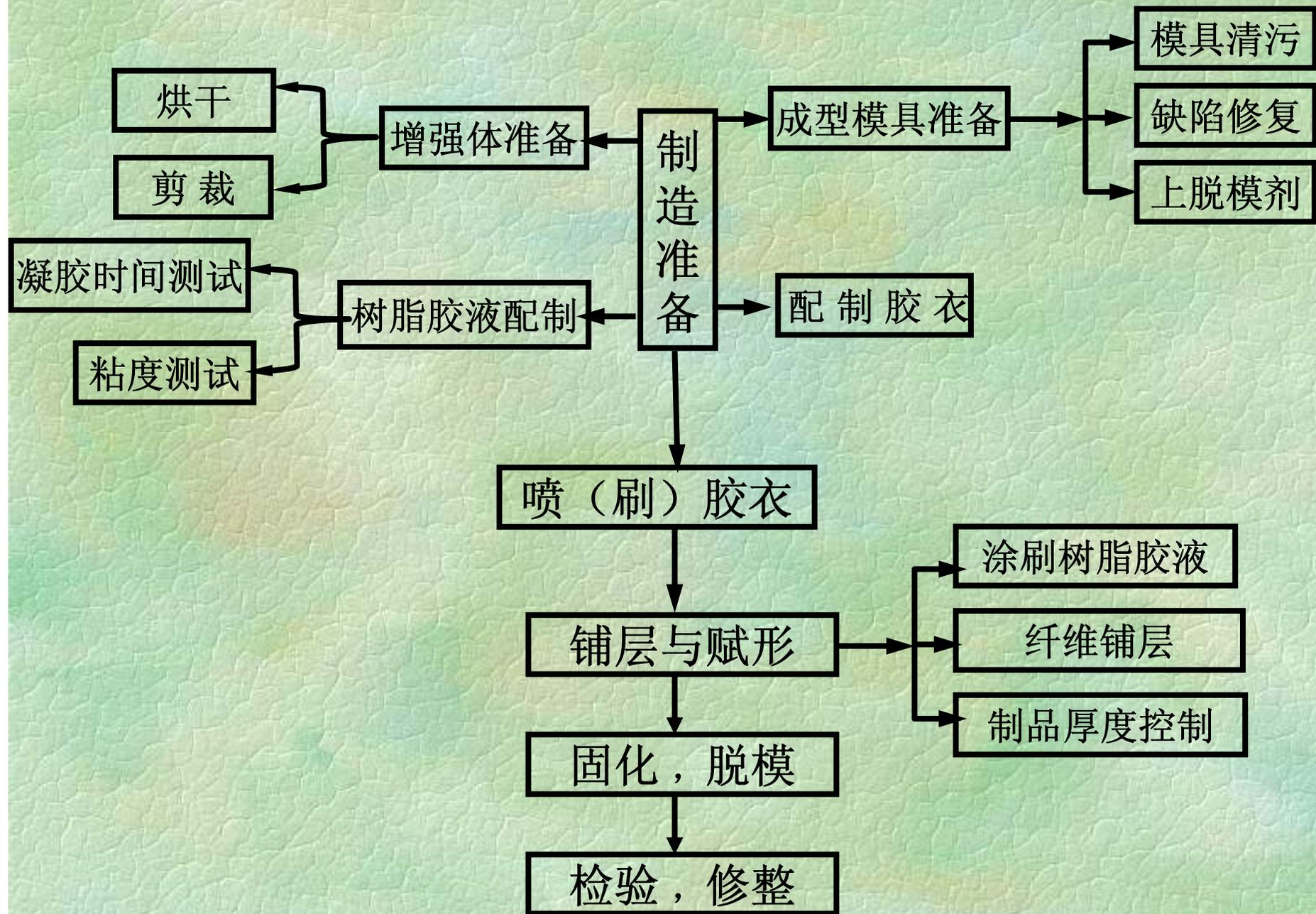
增强材料主要是纤维织物和短纤维毡，用量最大的是玻璃布；  
基体材料以热固性树脂为主。

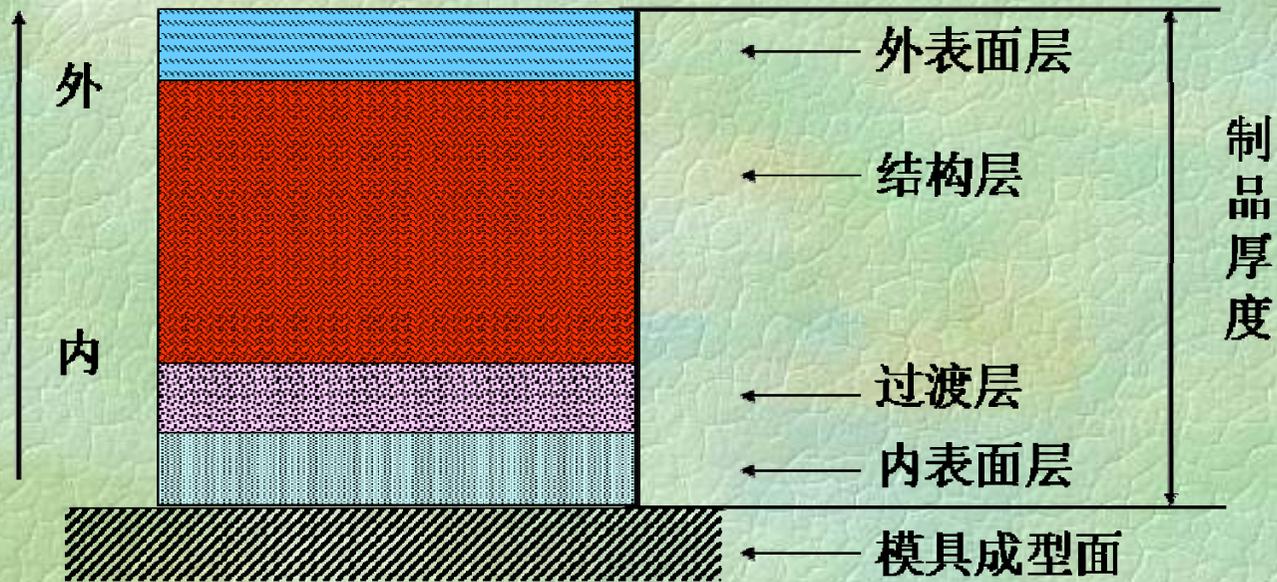
热塑性树脂 正在被推崇中。

# 基本工艺过程



# 基本工艺过程





## 手糊成型时

内表面层： 由胶衣或纯树脂或树脂+表面毡—喷涂或涂刷

过渡层： 树脂： 60%~70%， 0.2平纹玻璃布或短切增强纤维毡。

结构层： 树脂： 50%~60%， 0.2~0.4中碱玻璃布或增强毡

外表面层： 0.2平纹布或富树脂层

## 工艺优点：

- ①制备技术简单、设备工具简单、固定资产投资少、见效快；
- ②生产技术易掌握，只需要经过短期的培训即可进行生产；
- ③所制作的复合材料产品不受尺寸、形状限制；
- ④可以与其他材料（如金属、木材、泡沫等）同时复合成一体；
- ⑤对不宜运输的大型船艇可现场制作。

## 缺点：

- ①劳动强度大、生产效率低、生产周期长，不适合大批量生产；
- ②产品质量不够稳定，受操作人员的技能水平和制作环境条件的影响较大；
- ③生产环境差，气味大、加工时粉尘多，有污染；
- ④材料损失率高。

## 制品缺陷及原因

### 1. 胶衣起皱、龟裂、变色

- 原因：
- 起皱 ① 胶衣层太薄； ② 固化剂不足； ③ 气温太低；  
④ 胶衣层厚度不均； ⑤ 胶衣层固化不足
  - 龟裂 ① 胶衣层太厚； ② 固化时热量过大；  
③ 固化剂用量过多；
  - 变色 ① 固化剂用量过多； ② 胶衣流挂；  
③ 颜色分离； ④ 胶衣层厚度不均

## 2. 制品收缩

原因:

- ① 拐角处圆弧半径过小;
- ② 脱模剂用量太多;
- ③ 制品局部厚度过大;
- ④ 胶衣层厚度不均, 后固化加热不均

## 3. 制品翘曲和变形

原因:

- ① 固化剂用量过大
- ② 制品太薄;
- ③ 制品厚度不均匀或不对称;
- ④ 树脂集聚;
- ⑤ 脱模太早, 树脂固化度不够;
- ⑥ 后处理过早或温度不均

## 制品质量保证的基本条件：

根据制品的性能要求合理选用原材料；

根据制品结构特点进行正确的结构设计（模具设计、铺层设计等），

注意对各工序的质量检测、监控；

提高工人的责任心和素质。

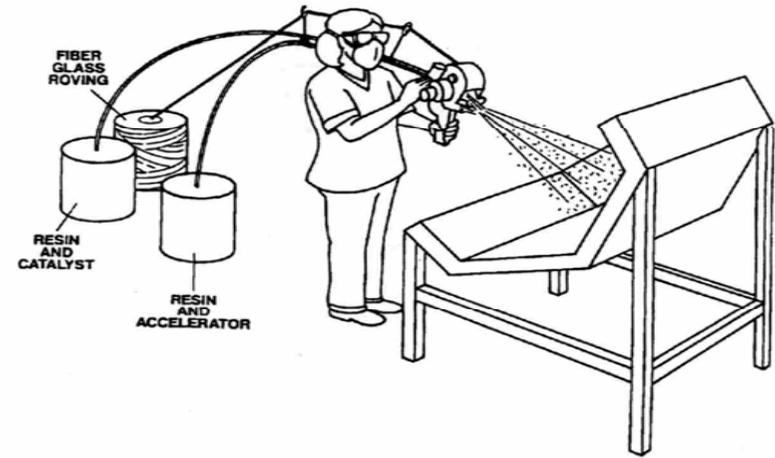
目前，手糊成型工艺是其他工艺不可替代。

## 2 喷射成型工艺:

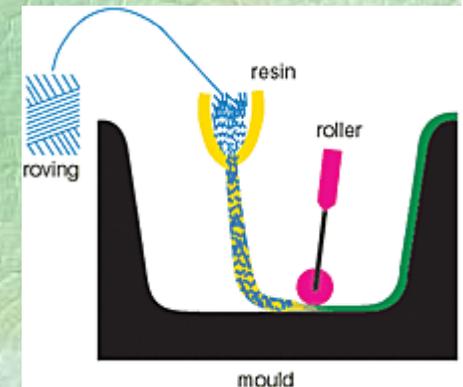
### 1、定义:

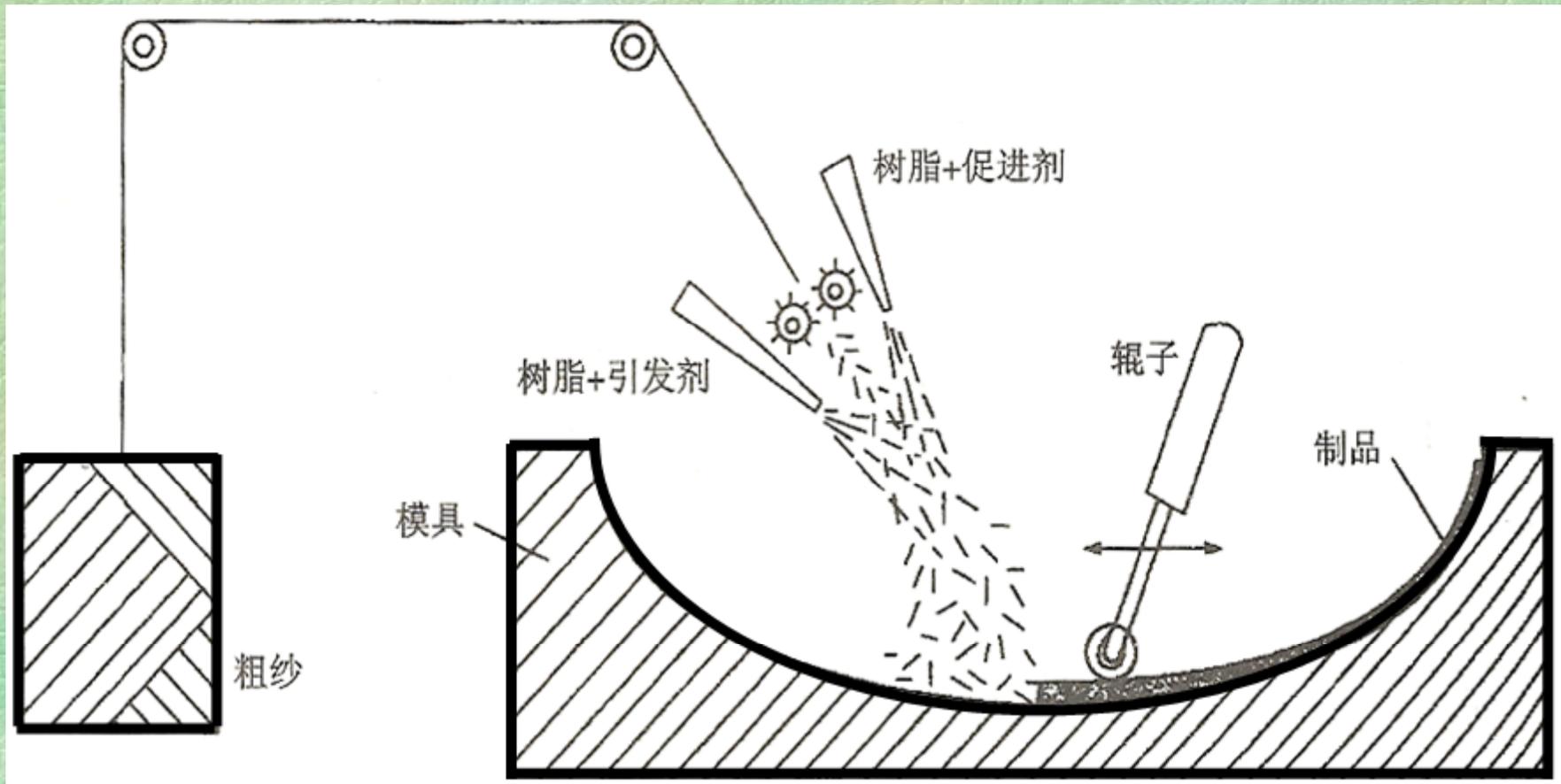
- (1)将分别混有促进剂和引发剂的不饱和聚酯树脂从喷枪两侧（或枪内混合）喷出，同时将纤维无捻粗纱用切割机切断，并由喷枪中心喷出，与树脂一起均匀沉积到模具上。
- (2)待沉积到一定厚度，用手辊滚压，使纤维浸透树脂，压实并除去气泡，最后固化成产品。

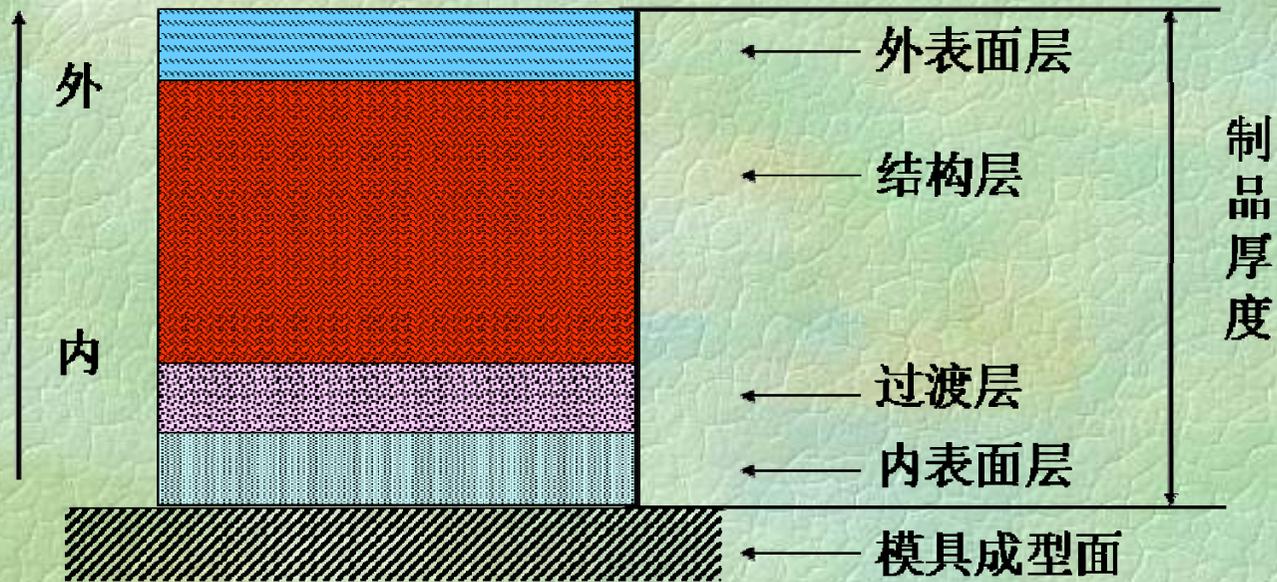
Spray-Up



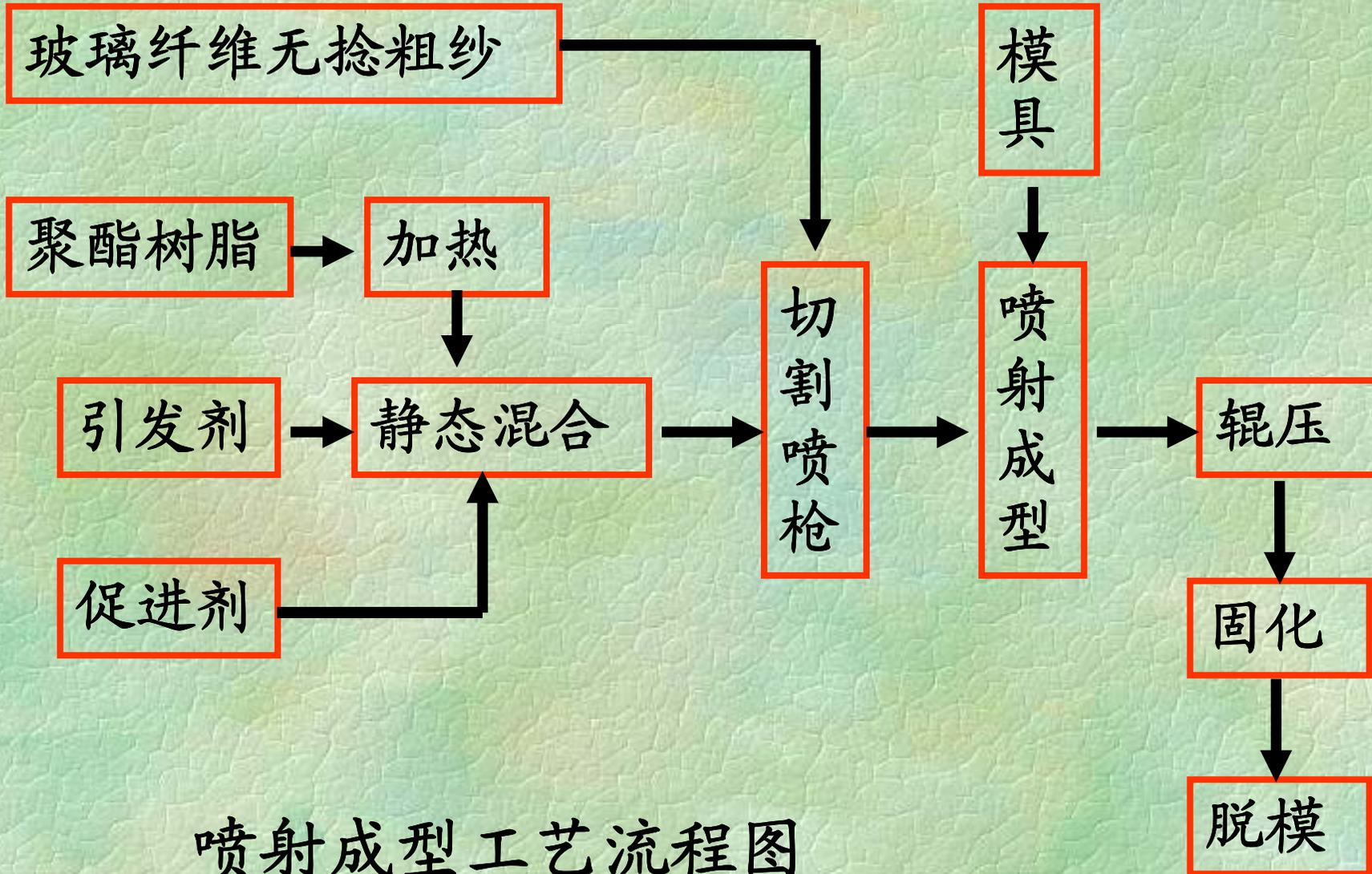
re 2.6. Schematic representation of spray-up process. (Courtesy of CertainTeed)



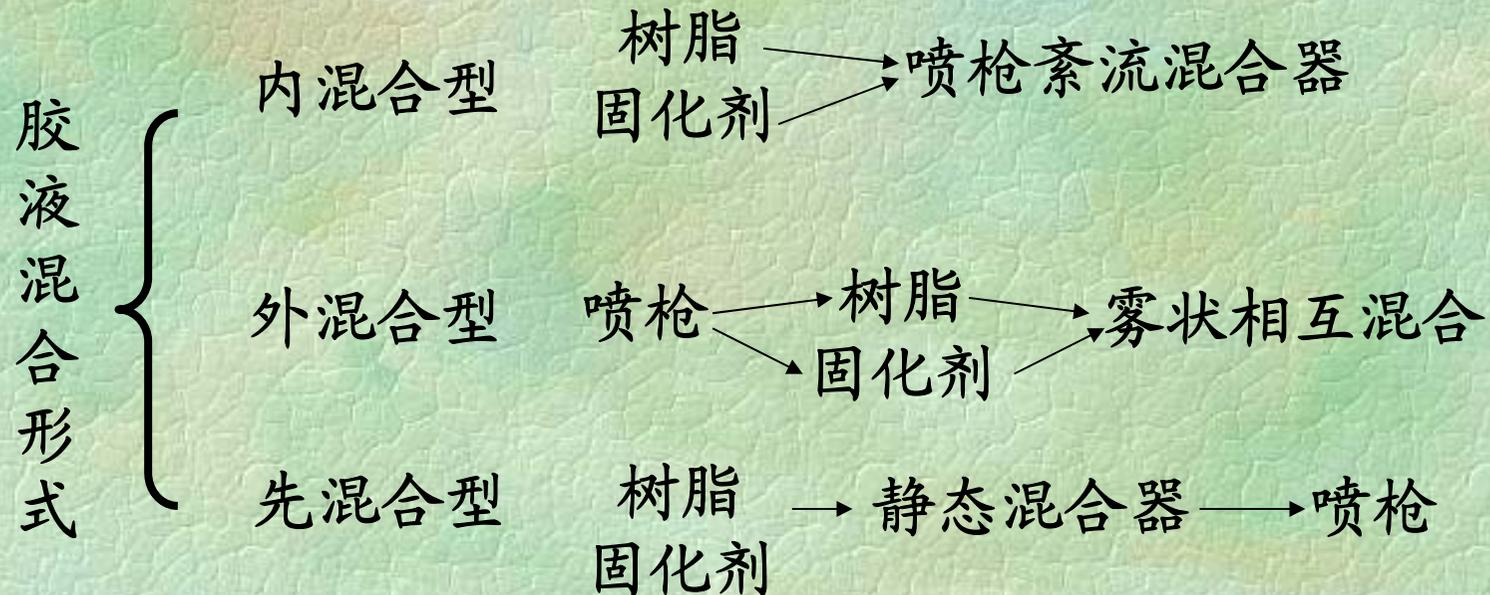
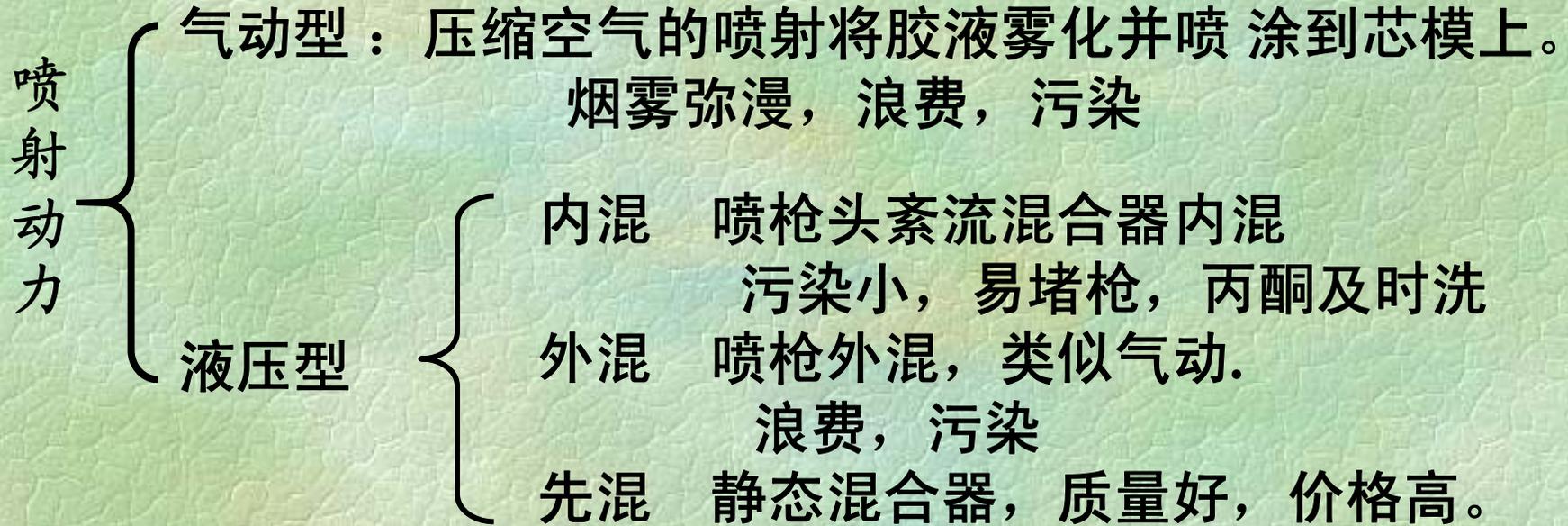




胶衣树脂凝胶 → 第一层 (1mm) → 辊压 → 第二层 (2mm) → 辊压.....  
→ 第N层 (2mm) → 最后一层 (先喷树脂, 后铺表面毡)



喷射成型工艺流程图



**优点：**

效率高（手糊3~5倍），  
成本低（无捻粗纱），  
整体性（无缝），  
产品壁厚可调节（纤维与树脂比例），  
产品形状和尺寸不受限制。

**缺点：**

厚度和纤维含量都较难精确控制，  
污染大，  
树脂用量大，浪费较大，  
孔隙率较高，制品强度低（短切纤维（布））

## 工艺参数要求

- 1、纤维：**质量含量为28~33%，长度25~50mm  
    <25%， <10mm，强度低  
    <45%， >50mm，气泡多，不分散
- 2、含胶量：**60%左右
- 3、胶液粘度：**0.3~0.8Pa·S，触变度1.5~4
- 4、喷射量：**喷嘴直径 $\Phi$ 1.2~3.5mm，喷胶量15~150g/s
- 5、喷角、喷距：**喷角20°，喷距350~400mm，
- 6、雾化压力：**雾化压力0.3~0.5MPa
- 7、凝胶时间：**设计好凝胶时间

# 工艺要求

1、环境温度： $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$

高：固化快，堵枪、低：粘度大，浸渍不好，固化慢

2、标准化作业

3、独立供气，除湿

4、胶液罐恒温

5、调节割辊与气压同步

6、底胶先喷，初终光面（打薄）

7、均匀喷射

8、滚压、排气泡、修毛刺

9、旋转喷嘴，调喷射直径

10、特殊部位 曲面——法线方向

沟槽——四周向内

转角——由内向外

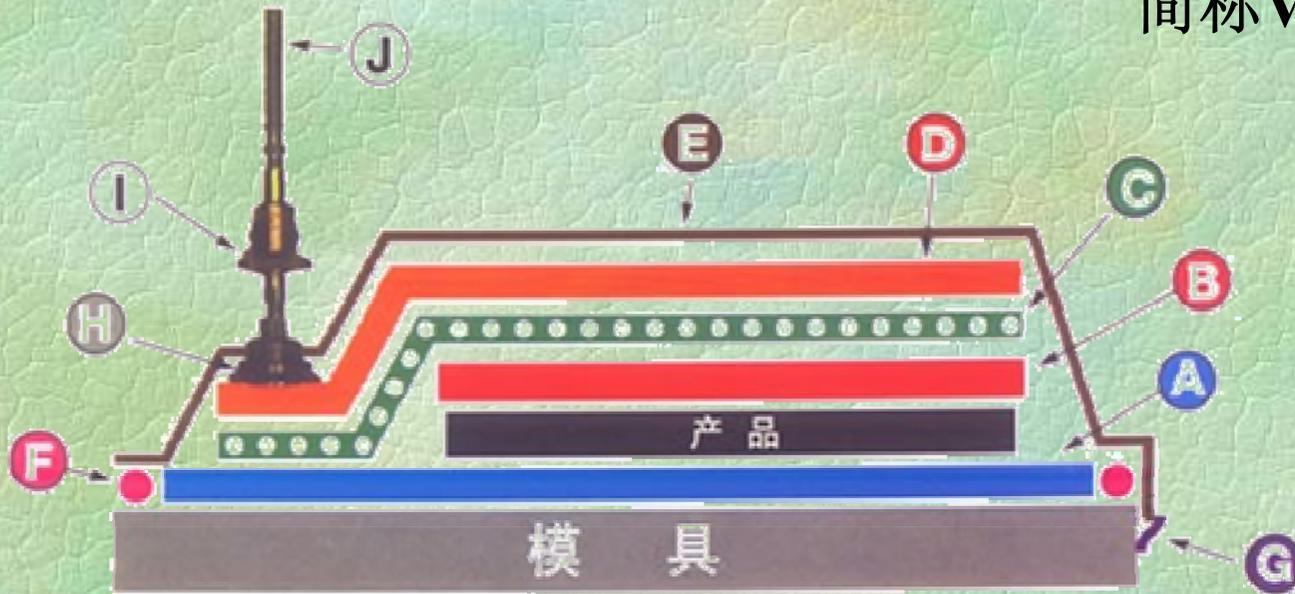
## 喷射成型对树脂的要求:

粘度应适中，容易喷射雾化、脱除气泡和浸润纤维以及不带静电等。

最常用不饱和聚酯等。

### 3、真空导入成型工艺

简称VIP（多种称呼：  
真空导入、  
真空灌注、  
真空注射）



- |        |        |        |       |   |
|--------|--------|--------|-------|---|
| A 脱模剂  | B 脱模布  | C 导流布  | D 导流管 | E |
| 真空袋膜   | F 密封胶带 | G 压敏胶带 | H 真空阀 |   |
| I 快速接头 | J 加强管  |        |       |   |

在模具上铺“干”增强材料，然后铺真空袋并抽真空，在模具型腔中形成一个负压，将不饱和树脂通过预铺的管路压入纤维层中，让树脂浸润增强材料最后充满整个模具，制品固化后，揭去真空袋材料，从模具上得到所需的制品。

- 主要参数

树脂粘度：树脂的粘度低，则所需导入时间就短，因此真空导入所用的树脂粘度一般不能太高。这样可以使树脂能够快速的充满整个模具。

注射长度：指的树脂进料口与到达出料口的之间的距离，距离长当然所需的时间亦长。

压力差：体系内与体系外压力差值越大，对树脂的驱动力也越大，树脂流速越快，所需导入时间也越短。

渗透性：指玻纤，夹心材料等对树脂浸润好坏的参数。渗透性值大浸润好，象连续毡，多向毡要比方格布，短切毡易被树脂浸润。因此为了使得树脂在增强材料被压实的情况下能方便的充满体系，一般会人为设置一些导流槽，比如在夹心泡沫上下打孔等。

- 真空导入的优点

- 1、制品质量高：制品中气泡极少。不留多余树脂，玻纤含量很高，可达到时70%，制品重量更轻，强度更高。
- 2、性能稳定。树脂分布均匀，制品的性能离散小、稳定。
- 3、树脂损耗少：树脂用量可以精确预算，节约成本。
- 4、挥发少：工作环境安全友好，保护操作者的身心健康。
- 5、表面光滑平整：仅用一面模具就可以得到两面光滑平整的制品，可以较好地控制产品的厚度。节约模具制造成本和时间。

## 劣势:

- 1、一次性耗材大部分需要进口，材料成本高，但可以从减少树脂用量上得到平衡。
- 2、对操作人员的技能要求更高。要严格操作，否则会造成不能逆转的损失。

目前用在附加值高的**FPR**部件和制品中，如体育用品配件，游艇，风力发电叶片等。但人们对更高性能材料的大量需要，真空导入工艺正被越来越多的人认识和采用。



## FRP板材静态强度的离散率比较

	手糊FRP	真空导入	Q235	Q345(16Mn)
离散率%	12~14	4~8	8	7
数据来源	上玻院	课题组	可靠性工程	

**FRP构件质量均匀一致离散小**

## 需要深入研究的问题

温度与树脂粘度及凝胶时间的关系

真空度与树脂流速

流道布置与树脂流动状态

助剂对树脂流动速度的影响

导流介质对树脂流动速度的影响

大尺寸构件及结构的真空导入成型问题

谢谢！  
请指教