

第八章

拉挤成型工艺



第一节 概述

拉挤工艺是一种连续生产纤维增强塑料型材的方法。它是将纱架上的无捻玻璃纤维粗纱和其他连续增强材料、聚酯表面毡等进行树脂浸渍，然后通过保持一地你给截面形状的成型模具，并使其在模内固化成型后连续出模，由此而形成拉挤制品的一种自动化生产工艺。



1.1 拉挤工艺的特点

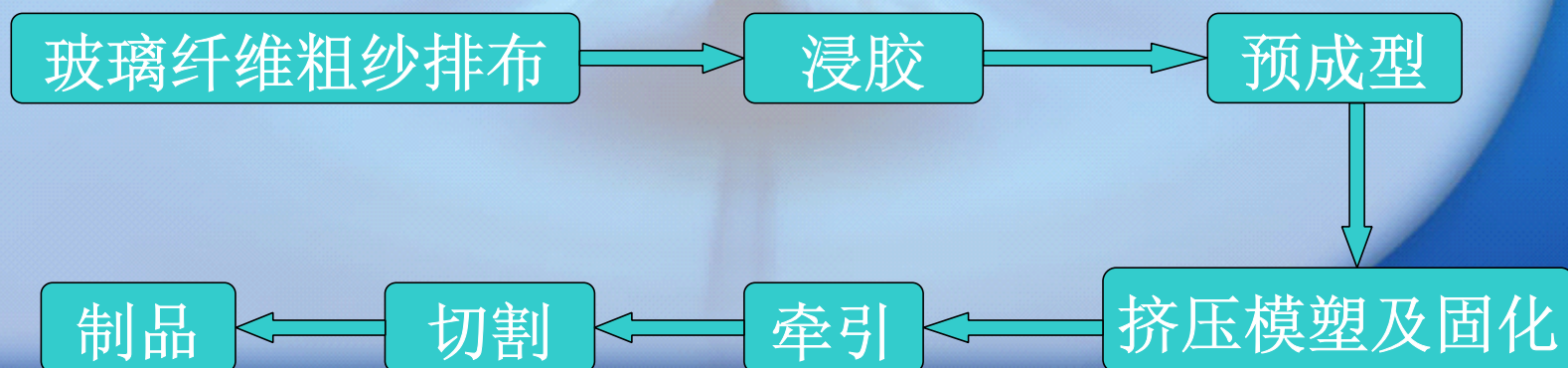
1. 复合材料制品的物理力学性能，特别是纵向比强度和比刚度相当突出。
2. 工艺过程容易实现自动控制，产品质量稳定。
3. 工艺过程基本上不产生边角废料，原料有效利用率高。
4. 生产效率高，人工费用低，制品成本的竞争能力强。
5. 制品长度只受生产空间限制，而与设备能力和工艺因素无关。



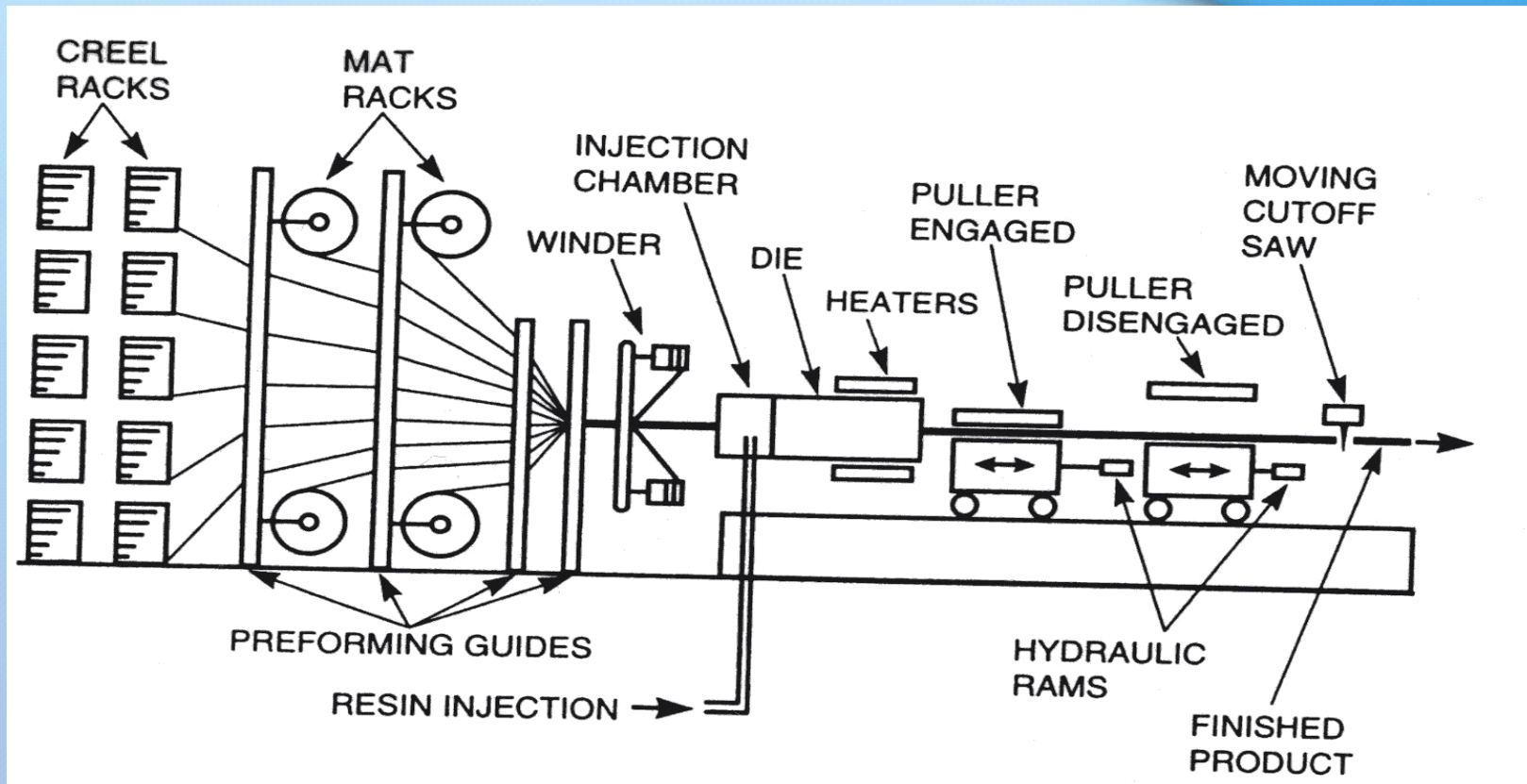
1.2 拉挤工艺的原理

拉挤是指玻璃纤维粗纱或其织物在外力牵引下，经过浸胶、挤压成型、加热固化、定长切割，连续生产玻璃钢线型制品的一种方法。它不同于其他成型工艺的是外力拉拨和挤压模塑，故称为拉挤成型工艺。

拉挤成型工艺流程如下：



1.2 拉挤工艺的原理



卧式拉挤成型过程原理图



1.2 拉挤工艺的原理

无捻粗纱从纱架上引出，通过导向辊和排纱器，进入浸胶槽中，浸渍树脂后，集束，通过预成型模具（预成型模具它是根据所要求的断面形状而配置的导向装置，它可根据断面要求，选择各种导向装置。除了导向预成型外，它还起排除多余的树脂、压实和排气泡的作用），然后经冷却，进入成型固化模固化。固化完后，通过牵引，经切割装置切割，得到所要求的制品。



1.3 拉挤产品应用

由于拉挤工艺的这些特点，其制品以其独特的优点正在同传统的金属材料、木材、塑料、陶瓷等竞争市场，广泛应用于化工、石油、建筑、电力、交通、市政工程等领域。

- (1) 电子\电器市场 电工梯子、轨道护板、电缆分线架、工具手柄、变电所结构等。
- (2) 化工防腐市场 管网支撑结构、工作平台、抽油杆、罐类制品内外支撑结构。
- (3) 建筑结构市场 活动房结构、工作台、窗框、窗扇及其部件、房屋吊顶结构等



1.3 拉挤产品应用

(4) 日用品\文体器材市场 是最早应用拉挤制品的领域之一，已经开发产品主要有：钓鱼竿、曲棍球棒、天线、滑雪板、运动场坐凳等。

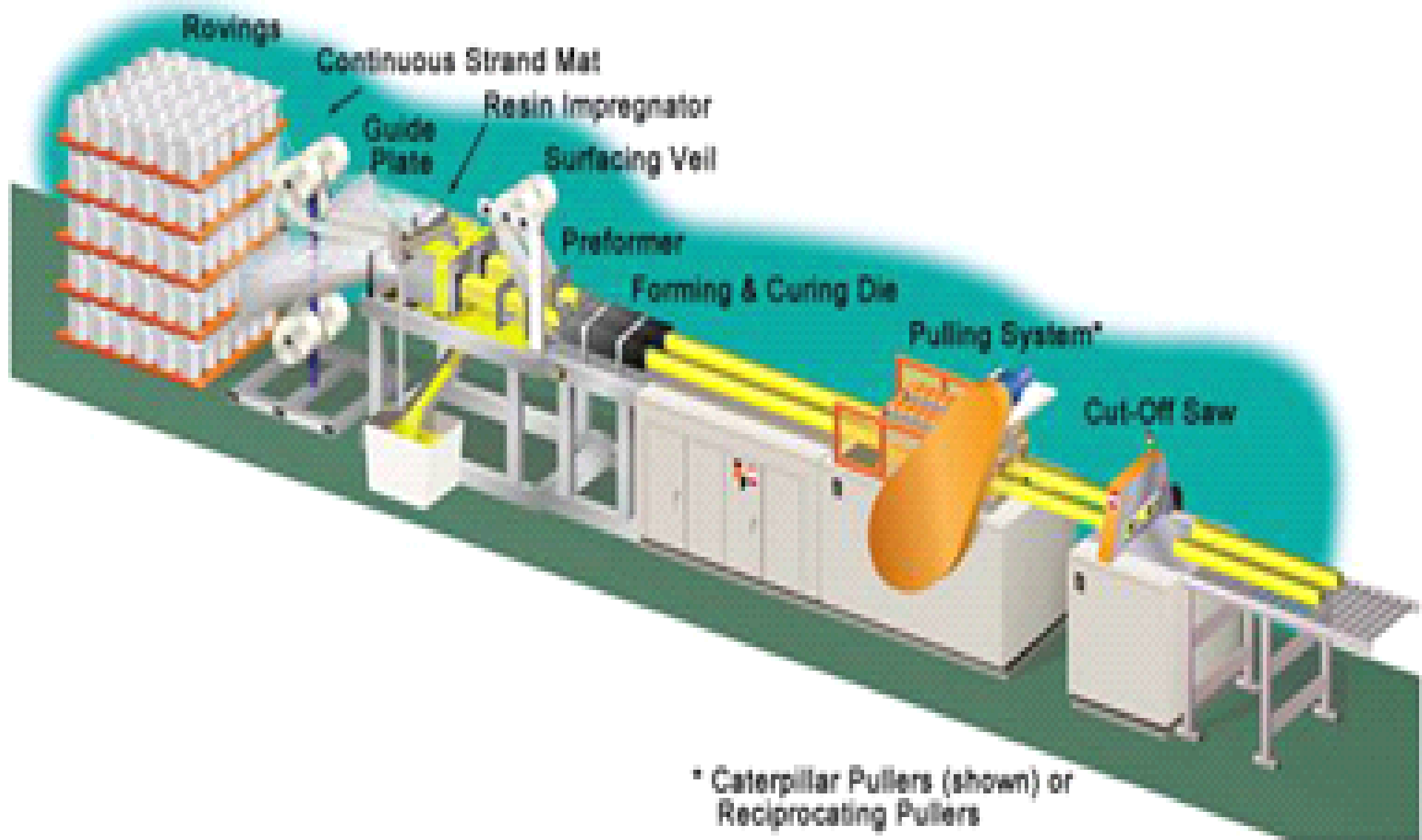
(5) 运输市场 拉挤制品在车辆和运输领域的应用不太兴旺，主要产品有：汽车货架、车内扶手、公共车行李架、隔热壁板、座椅等。



第二节 拉挤工艺设备

从成型设备看，有立式和卧式两大类。早期拉挤机多为履带式的间歇拉挤机，新型拉挤机多采用双夹持、交替往返连续式拉挤机，并实现了电子计算机控制。每台拉挤机设备必须包含以下六个部分：（1）增强材料架；（2）预成型导向装置；（3）树脂浸渍装置；（4）带加热控制的金属模具；（5）牵引设备；（6）切割设备。





2.1 通用（标准）拉挤机

树脂浸润装置由以下几部分组成：浸润台、浸润槽，浸润槽下面有接胶盘，它带有树脂槽和循环泵，以便把储存的树脂泵回浸润槽再利用。

依照特殊要求选用模具加热系统。固化制品一般采用空气自然冷却或用风机冷却，制品冷却后进行切割。处于高速牵引状态中的型材必须在模具内固化，这就要求精确的控制型材的牵引速度。标准拉挤机的最后部分是切割锯。



2.2 新型拉挤工艺及设备



2.2 新型拉挤工艺及设备

(1) “增效固化”工艺和设备 “增效固化”是对树脂\催化体系进行预热。使用射频发射器，采用介电固化与热传导固化相结合。

(2) 非轴向控制 拉挤中采用的是切向配置纱团，回旋卷叠工装以及缠绕转轮，缠绕转轮是为这种管子的要求和其他此类非轴向生产所采用的。

(3) 拉挤与注射涂层工艺 一些有特殊要求的垃圾制品的表面需涂覆一层涂层，这样就需要一台小型注射机，塑化的塑料液体盛放在一个槽中，从模具中拉挤出的型材随即通过塑



2.2 新型拉挤工艺及设备

料液槽，这样就在型材表面涂上了一层涂层，它赋予了制品某些特殊的性能。

(4) 曲线拉挤设备 曲线拉挤原理是人为控制拉挤制品的固化和后固化过程，是其制品实现所设计的曲线形状。新近发明的连续成型新工艺能满足恒体积\变形状和变体积\变形状产品的需求，典型产品如：曲线型多腔保险杆等。



2.3 模具

模具是拉挤成型中非常关键的部分，模具的好坏直接影响到工艺的成功与否和制品的质量。此外，模具表面必须光滑，并经过处理。

(1) 预成型模具 预成型模具的作用是使浸渍了树脂的增强材料进一步除去多余的树脂，排除气泡，并使其形状接近于成型模的进口形状。

(2) 成型模具 在连续拉挤中，成型模具一般为钢模，内表面镀铬，可降低牵引力，减少摩擦，延长模具使用寿命，并使制品易脱模。

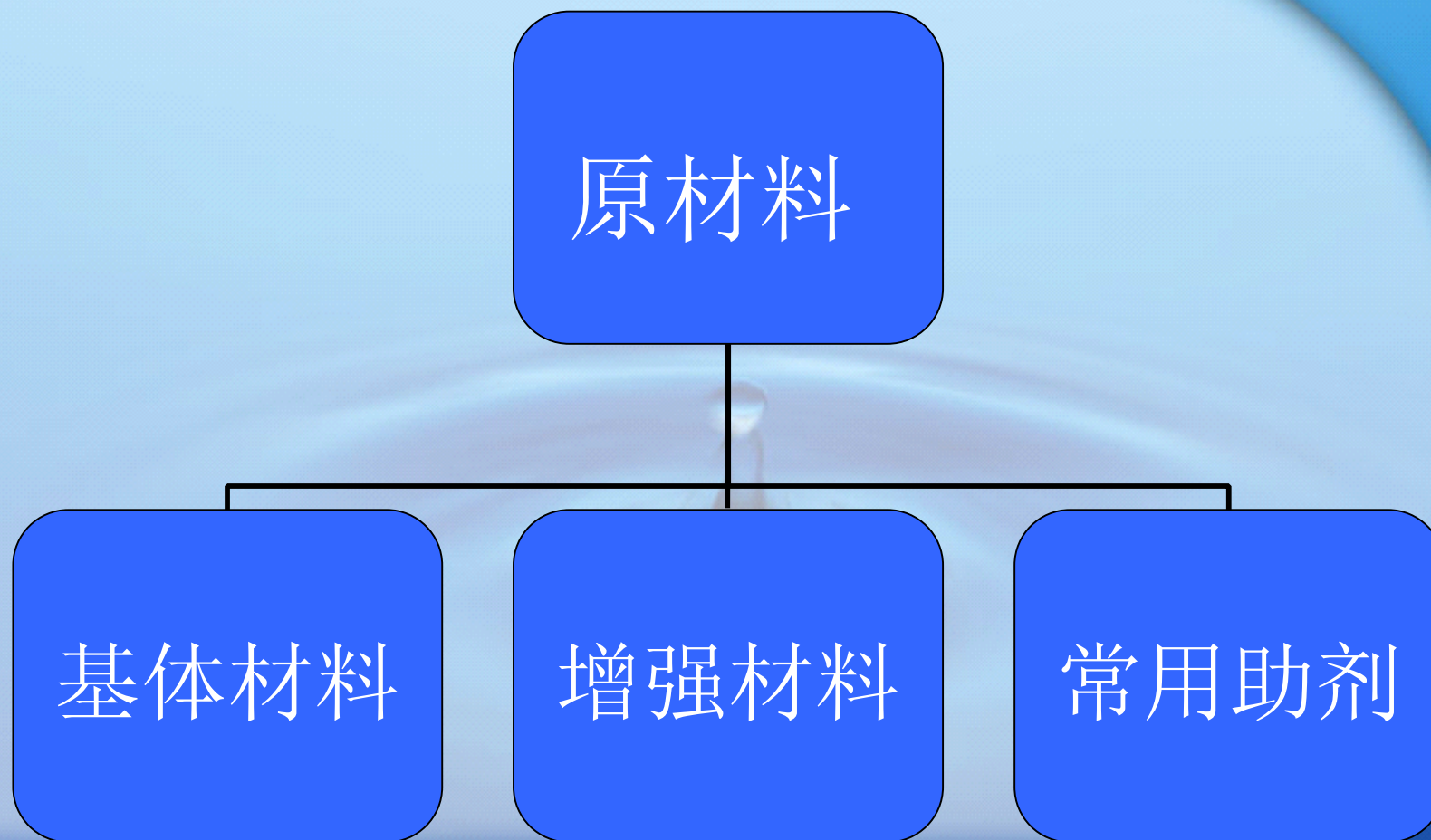


2.3 模具

除了常见的固定模具外，国外还研制出了可拉挤成型曲线型产品的移动式模具。如：静止的半阳模与活动的半阴模。半阴模作为成型扇模采用电加热方式，并兼作牵引装置不断推进固化型材向前。多个成型扇模构成圆周，即：环形模具。这种模具在成型中物料一起移动，被称为动模拉挤技术。



第三节 拉挤工艺用原材料



3.1 树脂基体

拉挤成型工艺使用的树脂主要有不饱和聚酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂等。不饱和聚酯树脂应用最多，技术上也最成熟，大约占总用量的90%。

除热固性树脂外，热塑性树脂也被应用与拉挤工艺。如：聚丙烯、ABS、尼龙、聚碳酸酯、聚砜等。热塑性树脂拉挤工艺是一个新的发展方向。



3.1 树脂基体

一、不饱和聚酯树脂

不饱和聚酯树脂是由饱和的或不饱和二元醇与饱和的及不饱和的二元羧酸（或酸酐）缩聚而成的线型高分子化合物。拉挤制品中不饱和聚酯树脂的应用最多。

(1) 不饱和聚酯树脂的主要优点：

- a. 工艺性能良好
- b. 固化后树脂性能良好
- c. 价格较低



3.1 树脂基体

(2) 不饱和聚酯树脂存在的缺点:

- a. 固化时体积收缩率比较大
- b. 耐热性较差
- c. 成型时有一定的气味和毒性
- d. 粘结力较环氧树脂略低



3.1 树脂基体

二、环氧树脂

典型的环氧树脂是指聚合物分子链中，含有反应活性环氧基的一类聚合物，习惯上把含有两个或两个以上环氧基团的一类树脂统称为环氧树脂。

用于拉挤成型工艺的环氧树脂，主要是室温固化的双酚A型环氧树脂，其粘度在4000Pa·s以上。环氧树脂的固化体系对拉挤工艺及制品的性能都有较大的影响。理想的固化剂是能降低树脂粘度，减少树脂对成型模具的粘附力、缩短固化时间。提高树脂热变形温度，改善制品的机械性能。环氧树脂在拉挤工艺中常用固



3.1 树脂基体

剂是溶解度高和熔点高的二元酸酐或芳香胺类固化剂。

环氧树脂与固化剂是组成环氧树脂固化物的两个基本组分，但为了改善固化物的性能，往往需要加入辅助材料，包括稀释剂、增韧剂和填料等。稀释剂的作用是降低树脂粘度，改善树脂浸润力和渗透力。填料可改善环氧树脂固化体系和固化物的性能、降低产品的成本。



3.1 树脂基体

三、酚醛树脂

用酚醛树脂作为拉挤成型的基材是近几年新开发的。采用酚醛树脂作为基体，它在耐热性、耐磨耗性、耐燃烧性、电性能以及成本方面尤其突出。但是，其缺点是固化反应速度慢，成型周期长，固化有副产物水产生，水在高温下蒸发而在制品上留下气泡、空穴，从而拉挤制品的机械力学性能。为此需要在酚醛树脂改性以及拉挤工艺方面做大量工作。



3.1 树脂基体

四、乙烯基酯树脂

拉挤成型工艺用的乙烯基酯树脂是一种由环氧树脂主链同甲基丙烯酸反应而制成的双酚A乙烯基酯树脂。为保证在成型时具有一定的拉挤速度，乙烯基酯树脂大都需要使用促进剂。另外阻燃型乙烯基酯树脂也开始用于拉挤成型工艺，这类树脂大都是溴化双酚A环氧-甲基丙烯酸聚合物，或者是在通常的乙烯基酯树脂中加入反应性溴化物。



3.1 树脂基体

五、热塑性树脂

热塑性的聚丙烯、ABS、尼龙、聚碳酸酯、聚砜、聚醚砜、聚亚苯基硫醚等用于拉挤成型热塑性玻璃钢，可以提高制品的耐热性和韧性，降低成本。

热塑性树脂用于拉挤的主要优点有（1）拉挤制品耐腐蚀性、耐热性、韧性更好；（2）拉挤工艺中速度快（可达15m/min，而一般热固性树脂拉挤速度在0.5-1m/min之间或更低）；（3）制品具有可回收性，这是热固性工艺无法比拟的优点。



3.2 增强材料

增强材料是纤维增强塑料的支撑骨架，它基本上决定了拉挤制品的机械强度、弹性模量，特别是机打的提高了制品的拉伸强度和拉伸弹性模量，而且对减少高聚物收缩，提高热变形温度和低温冲击强度也有一定的作用。

拉挤成型所用增强材料绝大部分是玻璃纤维，其次是聚酯纤维。在宇航、航空领域、造船和运动器材领域中，也使用芳纶纤维、碳纤维等高性能材料。而玻璃纤维中应用最多的是无捻粗纱。所用玻璃纤维增强材料都采用增强型浸润剂。



3.2 增强材料

一、无捻玻纤粗纱

无捻玻纤粗纱可分为合股原丝，直接无捻粗纱、及膨体无捻粗纱3种。

用于拉挤成型的无捻玻纤粗纱的性能要求：（1）不产生悬垂现象；（2）纤维张力均匀；（3）成带性好；（4）耐磨性好；（5）断头少，不易起毛；（6）浸润性好，树脂浸润速度快；（7）强度和刚度大。



3.2 增强材料

二、玻璃纤维毡

为了使拉挤制品具有足够的横向强度，必须使用短切原丝毡，连续原丝毡、组合毡、无捻粗纱织物等增强材料。

玻璃纤维毡的特点是：铺覆性好，易被树脂浸透，含胶量高。拉挤成型工艺对玻璃纤维毡的要求：
(1) 较高的机械强度； (2) 化学粘结的短切原丝毡，粘结剂必须能耐浸胶和预成型时的化学和热作用； (3) 浸润性好； (4) 起毛少，断头少。



3.2 增强材料

三、聚酯纤维表面毡

聚酯纤维表面毡是美国拉挤工业广泛应用的一种增强纤维材料。美国有一种商品名叫Nexus，广泛用于拉挤制品。

采用Nexus表面毡的优点：

- (1) 可改善制品的抗冲击、防腐蚀和耐大气老化性能；
- (2) 可改善制品表面状态，使制品表面更加光滑；



3.2 增强材料

(3) Nexus表面毡的贴敷性能和拉伸性能都比C玻璃纤维表面毡好的多，拉挤过程不易产生断头，减少停车事故；

(4) 可提高拉挤速度；

(5) 可减轻模具磨损，提高模具的使用寿命。



3.2 增强材料

四、三向针织物

三向针织物可制造高性能拉挤制品，并克服传统材料层间剪切强度低、易分层的缺点。近年来，还出现了用玻璃纤维、碳纤维和芳纶纤维编织而成的三向针织物，以及全碳纤维三向针织物。使用这些高性能的增强材料制成的复合材料制品可用作桥梁、建筑、汽车、飞机和天线构件中的结构材料。



3.3 常用助剂

常用助剂包括交联剂、固化剂、促进剂、助促进剂、脱模剂、阻燃剂、填料、色料等。

拉挤成型工艺中，脱模剂是必须的，通常采用的脱模剂是金属皂类、脂肪酸、脂肪酸酯及烯烃类蜡等。最基本的要求是内脱模剂与树脂基体相容，对复合材料制品物理性能的影响较小。脱模剂的用量小，一般用量为1%-3%，但所起的作用大。硬脂酸锌和杜邦公司生产的Zeleeux是广泛应用的两种内脱模剂。

阻燃剂分为反应型阻燃剂和添加型阻燃剂两种。反应型阻燃剂指在缩聚或聚合过程中，能参与反应并结合到聚合物链上去的阻燃剂



3.3 常用助剂

其对制品性能影响小。添加型阻燃剂是在玻璃钢加工过程中加入的具有阻燃作用的液体或固体材料。常用阻燃剂有三氧化二锑、水合氧化铝、氢氧化镁、氯化石蜡、磷酸等。

通常用的填料都是粉状，加入填料的目的在于改善树脂工艺性及制品的性能和降低成本。目前最常用的是碳酸钙和石英粉。

为了使玻璃钢产品外表美观，通常往物料里添加色料。



第四节 拉挤工艺参数

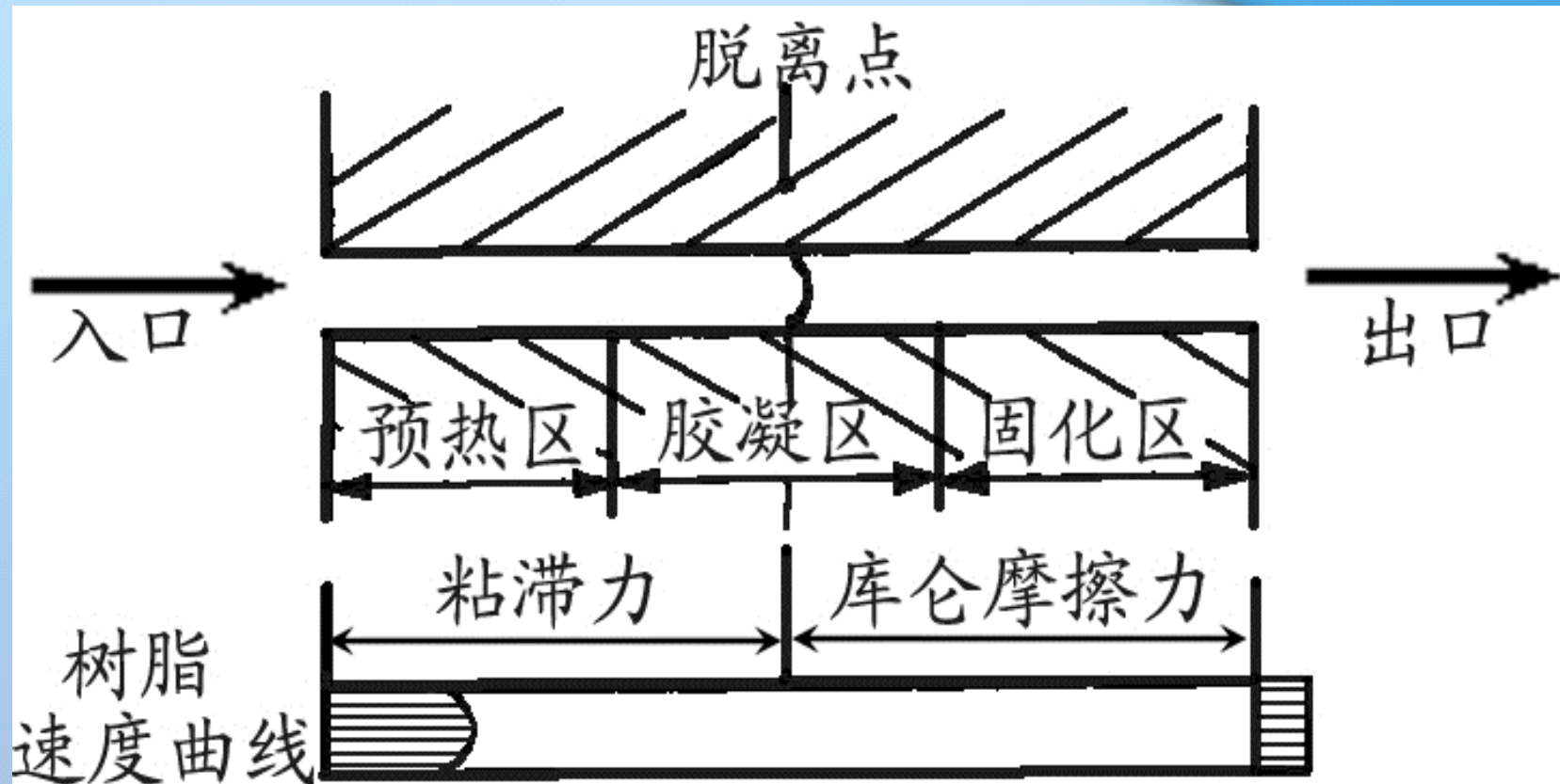
拉挤成型工艺参数主要包括固化温度、固化时间、牵引张力及速度、纱团数量等。由于拉挤工艺及制品在我国尚处于开发阶段，具体工艺参数报道少。现仅就通用不饱和聚酯玻璃钢的拉挤制品生产工艺简介如下。

1. 固化温度

在拉挤成型过程中，材料穿越模具时发生的变化最关键，是研究的重点，一般来讲，认为玻璃纤维浸胶后通过加热的金属模具，按其在模具中的不同状态，把模具分为三部分：



第四节 拉挤工艺参数



拉挤模具内树脂的速度曲线和不同区域的粘滞力和摩擦力示意图



第四节 拉挤工艺参数

在模具入口区树脂的行为象牛顿流体，壁面速度的边界条件为0。离模具壁面一小段距离处，树脂的流动速度增加到与增强材料相当的水平。在模具内壁表面上，树脂产生粘滞阻力。树脂在加热过程中，温度逐渐升高，粘度降低。通过预热区后，树脂体系开始凝胶、固化，这时产品和模具界面处的粘滞力增加，壁面上零速度的边界条件被打破，在脱离点(树脂脱离模具的点)，树脂速度出现突变，此后，树脂和增强材料一起以相同的速度均匀移动到出模。



第四节 拉挤工艺参数

预热区的温度可以较低，但胶凝区与固化区温度相近。一般三段温度差应控制在20—30℃左右。

2. 浸胶时间

所谓浸胶时间是指无捻粗纱及其织物通过浸胶槽所用的时间。时间的长短以玻纤被浸透为宜，一般对不饱和聚酯树脂的浸胶时间控制在15s-20s为宜。

3. 张力和牵引力

张力是指拉挤过程中玻璃纤维粗纱张紧的力。它可使浸胶后的玻璃粗纱纤维不散。



第四节 拉挤工艺参数

其大小与胶槽中的调胶辊到模具的入口之间的距离有关，与拉挤制品的形状、树脂含量要求有关。

牵引力一般分为起动牵引力和正常牵引力两种，通常前者大于后者，因此，牵引力大小取决于制品的几何形状。

4. 玻璃纤维纱用量计算

当制品的几何形状、尺寸、玻璃纤维和填料的质量含量确定后，玻璃纤维纱的用量可按下式计算：



第四节 拉挤工艺参数

$$\rho_{\text{混}} = \frac{1}{\left[W_t / \rho_t + (1 - W_t) / \rho_R \right] (1 + V_g)}$$

式中： $\rho_{\text{混}}$ —树脂和填料混合物的密度；
 W_t —填料的质量分数；
 ρ_t —填料密度；
 ρ_R —树脂密度；
 V_g —树脂与填料混合物孔隙率。



第四节 拉挤工艺参数

玻璃纤维体积百分含量按下式计算：

$$V_f = \frac{W_f / \rho_f}{\left[W_f / \rho_f + (1 - W_f) / \rho_{混} \right] (1 + V_{gc})}$$

式中： V_f —玻璃纤维体积含量，%；

W_f —玻璃纤维质量含量，%；

V_{gc} —玻璃纤维、填料和树脂复合后的孔隙率；

ρ_f —玻璃纤维密度；

$\rho_{混}$ —树脂和填料混合密度。



第四节 拉挤工艺参数

拉挤制品所用纱团数按下式计算：

$$N = \frac{100 A \beta_f \rho_f V_f}{K}$$

式中：A—制品截面积；

β_f —玻璃纤维支数；

ρ_f —玻璃纤维密度；

V_f —玻璃纤维体积含量；

K—玻璃纤维股数；

N—制品所用纱团数。



第四节 拉挤工艺参数

5. 拉挤速度的确定

在一定的温度条件下，树脂体系的胶凝时间对工艺参数 V 确定是非常重要的。一般地说，选择拉挤速度要充分考虑到产品在模具中部胶凝固化，也即脱离点在中部并尽量靠前。如果拉挤速度过快、制品固化不良或者不能固化，直接影响制品质量，产品表层会有稠状、未固化树脂层；如果拉挤速度过慢，型材在模中停留时间过长，制品固化过度，并且降低生产效率。

一般拉挤速度为500-300mm/min，现代拉挤技术发展方向之一就是高速化，目前最快拉挤速度可达15m/min。



第五节 拉挤产品缺陷及控制

一般地说，拉挤制品很少需要修饰。拉挤制品要检验的内容有：外观检验、整体性检验和尺寸检验。

拉挤制品产生缺陷的原因大致有三类：材料组成、工艺参数和工艺方法。

材料组成是指由树脂配方、粗纱、玻纤毡、表面毡等质量因素引起的缺陷；工艺参数指由模具温度、拉速等引起的缺陷；工艺方法指与树脂浸渍方法、导纱机构、预成型模具、成型模具和拉挤设备相关联的缺陷。



第五节 拉挤产品缺陷及控制

1. 拉挤工艺中缺陷

(1) 鸟巢 增强纤维在模具入口处相互缠绕，导致模具内的破坏。

(2) 固化不稳定性 在模具内粘附力突然增加，引起产品在模具内破坏

(3) 粘模 部分产品与模具粘附，使产品拉伸破坏。

(4) 起鳞 表面光洁度差。

(5) 未完全固化 苯乙烯单体的蒸汽压力太高或冷凝物太多，苯乙烯闪蒸时使产品产生裂纹。



第五节 拉挤产品缺陷及控制

(6) 局部固化 由于型材的内部固化远滞后与型材表面固化，而引起产品内部裂纹。

(7) 白粉 产品表面出模后，制品表面附着白粉状物。

(8) 产品表面有液滴 产品出模后表层有一层粘稠液体。

(9) 沟痕，不平 产品表面不平整，局部有沟状痕迹。

(10) 白斑 含有表面毡、连续毡的产品的表层，常常出现局部发白或露有白纱现象。



第五节 拉挤产品缺陷及控制

- (11) 裂纹 制品表面有微小裂纹
- (12) 表面起毛 纤维露出制品表面
- (13) 制品表面弯曲、扭曲变形
- (14) 制品起皮、破碎
- (15) 制品缺边角



第五节 拉挤产品缺陷及控制

2. 缺陷控制

成型温度、拉挤速度、牵引力是拉挤工艺最重要的三个参数。

解决拉挤成型FPR制品缺陷的方法，是具体分析缺陷的原因，逐渐调节各工艺参数，如：增加粗纱的数量、成型温度、拉挤速度等。在拉挤过程中边调节边观察，首先在事先选定的工艺条件的基础上进行微调、摸索，最后获得并采用最佳工艺参数。

制品产生缺陷往往有前兆，如：牵引力的升高或压力的升高。以后从这些预兆可以判断、分析出将要出现的问题，及时采取措施。



第五节 拉挤产品缺陷及控制

当缺陷产生时，应立即关机停产。把工艺暂停排除故障后再重新启动生产线。

目前，拉挤工艺的操作都依赖操作者去选择各工艺参数，处理异常情况和监控产品质量。这里特别强调，操作者创造最优操作条件，采用专门的系统使工艺自动化。这样可以优化操作设置点，及时处理紧急情况，并且利用定性、定量的信息去完善地控制产品质量。



本章结束

