

第四章

模压成型工艺



第一节 概述

一. 模压成型

模压成型一般应满足如下几个基本条件：

1. 模压料是在模具开启状态下加入的；
2. 成型过程中，模压料需要在较高温度条件下快速固化；
3. 制品成型需要保持较高成型压力，成型压力一般由液压机施加；
4. 制品尺寸和形状主要由闭合状态下的模具型腔来保证。



二. 模压成型工艺的特点与分类

与其他玻璃钢成型工艺相比，模压成型工艺具有如下特点：生产效率较高；制品尺寸精确，表面光洁；生产成本较低，易于实现机械化和自动化；多数结构复杂的制品可一次成型；制品的外观及尺寸重复性好。

但也存在一些缺点，如压机、压模的设计与制造较复杂，初次投资高，制品尺寸受设备限制，一般只适合于中小型玻璃钢制品。



根据当前国内外玻璃钢工艺应用与发展的普遍性，模压成型工艺大致可分为如下几种类型：

1. 短纤维料模压法；
2. 毡料模压法；
3. 碎步料模压法；
4. 层压模压法；
5. 缠绕模压法；
6. 织物模压法；



7. 定向铺设模压法；
8. 吸附预成型坯模压法；
9. 块状模塑料模压法；
10. 片状模塑料模压法。

本章根据世界各国应用的普遍性，就吸附预成型坯模压法，短纤维料模压法，定向铺设模压法等作一简单介绍。



三. 模压成型工艺的发展简史

由于以SMC、BMC为代表的聚酯模塑料生产与成型技术的迅速发展和推广应用，极大地推动了整个模压成型工艺的成熟与发展，从而促使模压成型工艺成为当今玻璃钢成型的主导工艺。近年来，模压成型工艺通过在许多工艺上的不断改革，包括一些新工艺、边缘工艺的出现和老工艺的改良，使每种工艺的产品系列越来越丰富，性能越来越万三，应用越来越广泛。



纵观国内外玻璃钢成型工艺的发展简史，其改革的目标主要集中在以下几个方面：

1. 降低制品成型压力；
2. 降低制品成型温度；
3. 缩短固化时间；
4. 采用廉价的模具和压机；
5. 改善作业环境；
6. 使过程连续化、自动化；
7. 提高制品质量和性能等。



第二节 吸附预成型坯模压工艺

一. 概述

吸附预成型坯模压法，经常被称金属对模成型法，是指在成型模压制品之前，预先将玻璃纤维仿制成与模压制品的结构、形状、尺寸相一致的坯料，然后将其放入金属对模中与液体树脂混合，加温加压成型玻璃钢的一种工艺过程。



与其他玻璃钢成型工艺相比，其主要特点为：制造形状复杂的制品比较经济，材料成本低，容易实现自动化，制品厚度调节比毡、布对模成型制品容易；还可埋入装饰材料或连接件，但整个工艺过程的设备费用较高，对操作者技能依赖性较强，而且制品厚度一般在6mm以下。



吸附预成型坯模压法的基本工艺过程如下图所示：

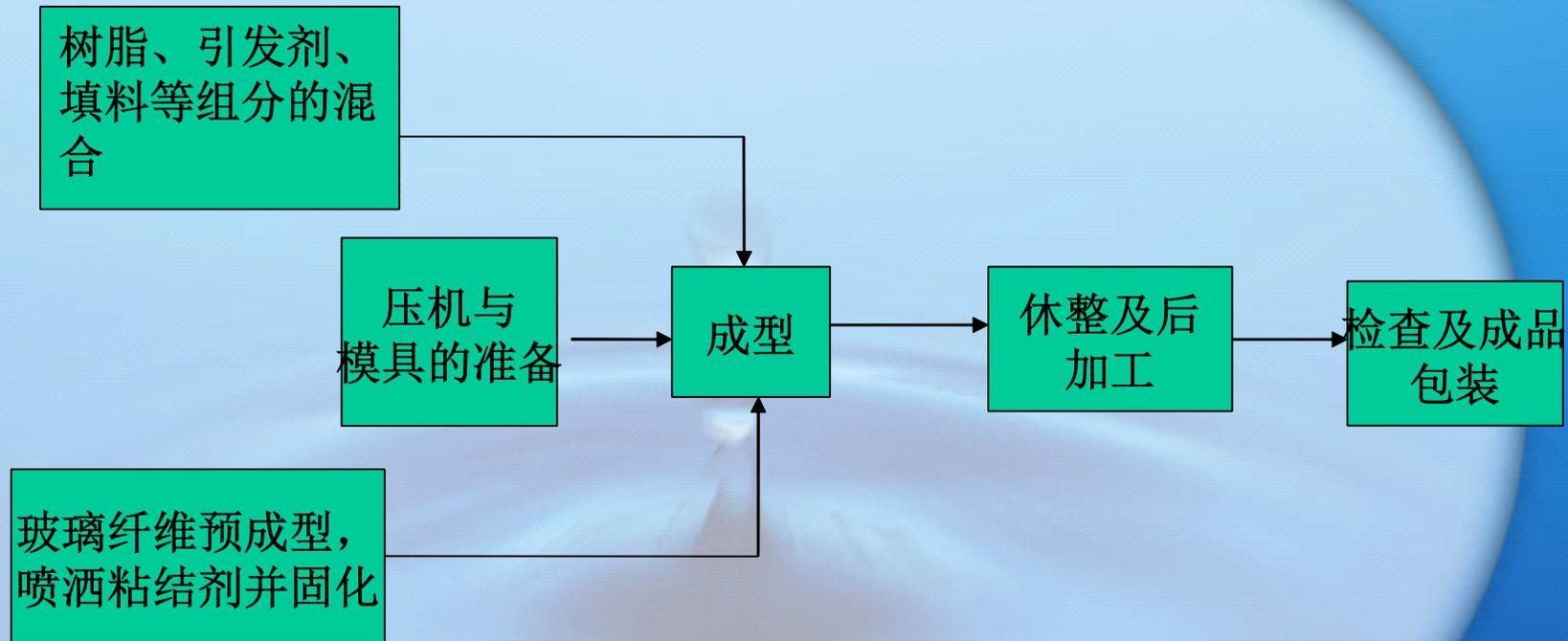


图4-1 吸附预成型坯模压法的基本工艺
在整个过程中，预成型坯的制造是核心及关键技术，也是本节讨论的重点。



二. 主要原料及其选材

1. 树脂系统

为满足制品的许多特定要求，在吸附预成型坯模压工艺所涉及到的树脂范围相当广泛。主要使用的是3种类型的饱和聚酯树脂，即邻苯型（通用型）、间苯型和用丙烯酸树脂或其他热塑性树脂改性的低收缩型。邻苯型和较坚韧的间苯型UP的通用性好，但由于它们固化收缩较大，因而，在制品表面需要使用表面毡，以形成一个富树脂层，消除表面皱纹。



2. 增强材料

吸附预成型坯模压工艺中所采用的增强材料有两种类型，即无捻玻璃纤维粗线和玻璃纤维原丝毡，其类型与性能分别列于下表：

表4-1 预成型用玻璃纤维粗纱的类型和性能要求

性能	技术要求
类型	主要选用硅烷型偶联剂；为减少静电荷，希望用铬盐型偶联剂
原纱集束性	中等硬度，最少起毛 0.5%—0.8%
灼烧损伤	3—5
成带性	3.6—4.2
刚性	纯白色
颜色	最小（在 3000V 以下）
静电性	优良。为使纤维束在小半径部位产生良好的结合和均匀性，而无需进行挖补措施，应使纤维具有良好的短切性和最小单丝化倾向。
短切性	



3. 预成型用粘结剂

下表列出了预成型用粘结剂的类型与性质

表4-2 预成型用粘结剂的类型和性质

粘结剂材料	类型	冲刷倾向	固化温度/°C	备注
浆液	机械化学	低	104	会降低电性能
聚苯乙烯	热塑性	高	104	用于浅色零件
聚乙酸乙烯	热塑性	高	104	
脂	热塑性	高	104	溶于水
聚乙烯醇	热塑性	高	149	
甲基纤维素	热塑性	低	149—204	广泛应用
丙烯酸酯	热塑性	低	149	优良的外观
脲醛	热塑性	低	149	不常用
脲-聚苯乙烯	热塑性	低	149	不常用
脲-橡胶	热塑性	低	232	高吸水性
三聚氰胺	化学	高	149	能空气干燥
淀粉	热塑性	低—中等	93—121	很少见
纤维素				



选择粘结剂时，要考虑到它在整个预成型及模压过程中对制品性能和外观的影响，同时须保证与模压时所用树脂混合物性质相容。在预成型坯料中，根据不同要求，树脂粘结剂的固含量在5%—10%范围内。



4. 其他材料

原则上说，SMC、BMC中的填料同样可以在吸附预成型坯模压工艺中使用， CaCO_3 也常用作预成型坯模压用填料。

为保证制品顺利从模具中脱出，需要脱模剂，其可分为3类：开模剂、内脱模剂和外脱模剂。

预成型模压工艺通常用有机或无机颜料或色浆作色料加到树脂混合物中实现制品着色。



5. 配方

下面列举树脂混合物在压制时玻璃纤维与树脂用量及模制品的最终组成典型配方：

表4-3 预成型坯模压成型用配方

组分	树脂混合物/%	压制时的配比/%	模制品最终组成/%
1.树脂: UP (粘度为3.5Pa.s)	68.0	65.0	48.7
2.单体: 苯乙烯	7.0		
3.引发剂: BPO	0.6		
4.填料: 粘土、CaCO ₃ 或复合材料	25.0		
5.内脱模剂	0.1		
6.色料	0.5—5.0	35.0	16.3
7.增强材料: 作预成型坯或毡的玻璃纤维			



三. 预成型用设备和工艺

1. 预成型用设备及特点

预成型机地类型很多，根据玻璃纤维的运载载体的不同可分为空气式和湿浆式（水介质），具体分类如下图：

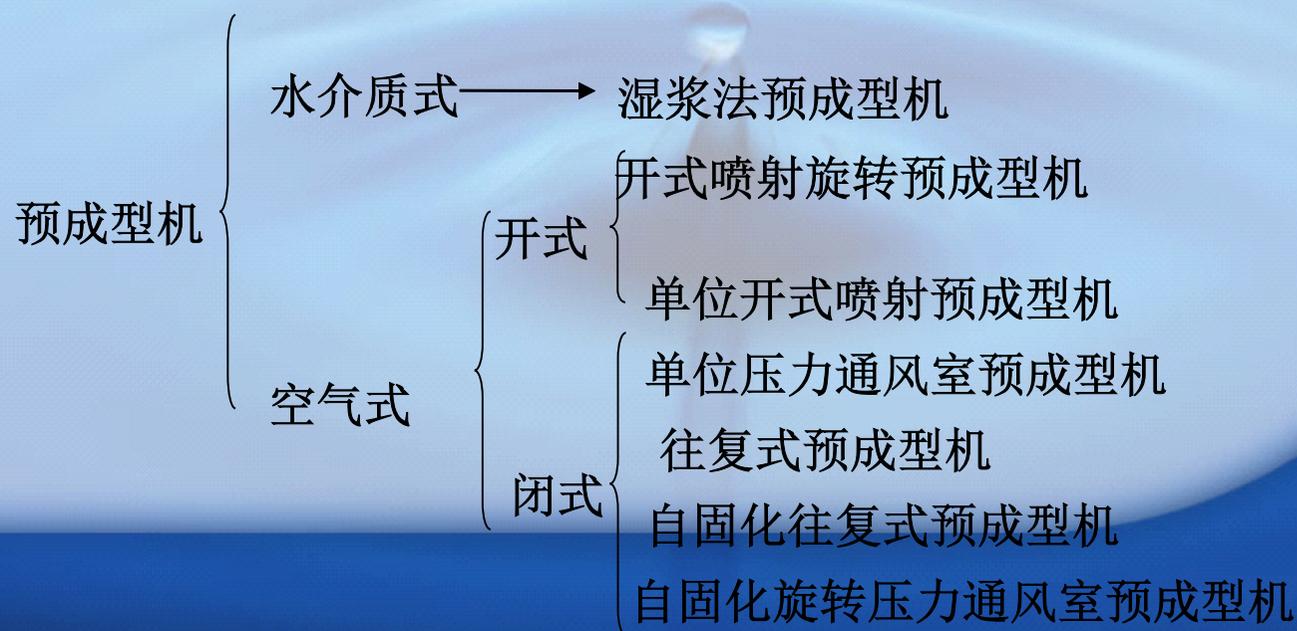


图4-2 预成型机类型



下表列出了开式和闭式预成型机的比较：

表4-4 开式和闭式预成型机的比较

类别	优点	缺点
开式预成型机	<ol style="list-style-type: none">1.只要有筛模，即可产生预成型坯2.不需要复杂的抑流板，容易实现厚度变大3.容易加入嵌件和预混料、毡或金属丝等局部增强材料4.同一设备上可生产不同形状的预成型坯5.纤维沉积速度快，易制造表面积大、重量大、形状不规则的预成型坯	<ol style="list-style-type: none">1.操作者连续工作，劳动强度大2.对操作者熟练程度要求高3.生产效率低
闭式预成型机	<ol style="list-style-type: none">1.适合大批量连续生产，生产效率高2.除预成型坯取出外，均可自动化3.环境较清洁4.机器装调后，操作简单，劳动强度低	<ol style="list-style-type: none">1.投产前准备工作量大，批量小于2000个，不太经济2.需要经常调整孔的尺寸和抑流板3.玻璃纤维的浪费难以预测和控制



2. 预成型对设备的要求

- (1) 切割机 切割器的作用是把纤维切成一定的长度。普遍使用的是对辊式切割器。在闭式预成型机切割器下部有一纤维分散器，分散器的速度一般要与切割器速度相配合，才能获得最佳效果。
- (2) 抑流板 抑流板在闭式预成型机中十分必要，而在开式预成型机中很少使用。
- (3) 筛模 筛模是仿照阳模表面形状，采用 16° 或 18° 软钢板制成，并在其上打很多孔。



- (4) 转盘 对于闭式预成型机，最好的转盘尺寸是恰好能容纳下筛模；对开式预成型机，转盘尺寸无严格限制。
- (5) 风机 在预成型及预成型固化过程中都要保持一定的真空度，而真空度的取得来自于预成型机中的风机。
- (6) 烘房 预成型坯粘结剂固化用的烘房都采用强制通风，使热风通过预成型坯使之干燥。加热方式有燃气、电热和燃油3种。



3. 预成型工艺中的几个关键问题

玻璃纤维的预成型是一个比较复杂的工艺过程，工艺控制比较麻烦。为了制成比较理想的预成型坯，一方面必须在设备及筛模设计方面得以保证，另一方面不可忽视诸如玻纤类型、切割长度、喂入速度、粘结剂类型及喷洒、分布、固化等工艺参数。



四. 预成型坯的模压成型工艺

1. 树脂混合物的制备

在预成型坯压制过程中所用的树脂混合物一般都用批混合法制备，其加料顺序为：树脂→单体→引发剂→填料。

在整个混合过程到使用前，粘度一般控制在如下范围：（1）原始树脂粘度：3.5Pa·s；（2）加入单体和引发剂后：0.8Pa·s；（3）加入填料后：15Pa·s；（4）使用时：15—30Pa·s。



2. 压制成型过程简述

- (1) 检查预成型坯质量
- (2) 模具的准备
- (3) 准备加料
- (4) 树脂混合物的灌注
- (5) 压机的闭合
- (6) 成型压力 一般为1.75—2.8MPa。



- (7) 固化时间 小零件为1.0—3.0min，大零件可达20min。
- (8) 零件取出 当固化时间到时，压机开启，借助压缩空气、铜凿及真空型卸料器将之取出。
- (9) 冷却定型
- (10) 对制件进行全面检查和性能试验



3. 预成型坯模压工艺的一些改进

国外在预成型坯模压工艺研究中，已积累许多有价值的改进与革新，使模压过程中的一些难题得以解决。

如在大生产中实现预成型坯的自动化浸渍是自动化高速生产的一个方面，缩短生产周期。采用热胶衣涂层可大大改善制件表面质量，主要使用大而平坦制品。



4. 预成型模压制品常见缺陷及解决方法与制品典型性能见表4-5.

表4-5 预成型模压制品常见缺陷及其解决办法

缺陷	说明	可能的原因	解决方法及建议
起泡	表面上半圆形鼓起	固化不完全，内裹气体膨胀或蒸发	延长模压时间，增加引发剂用量，预成型坯充分干燥等
裂纹	树脂层细纹开裂，可从表面伸向内部甚至贯穿整个零件	高活性树脂固化太快；刚性树脂的固化收缩和热膨胀	降低引发剂用量；降低模压温度；加入惰性填料；加入韧性树脂；减少苯乙烯量
		高树脂区应力开裂	改进预成型坯的均匀性，避免预成型坯的“冲刷”



缺陷	说明	可能的原因	解决方法或建议
气味	苯乙烯气味	固化不完全	延长固化时间，增加引发剂用量或提高模压温度等
	苯（甲）醛，类似樱桃味	包括苯乙烯对产生苯（甲）醛的副反应	减少引发剂用量，用活性大些的树脂，降低模压温度等
针孔		空气被固结	改进上下模的配合部
	制品表面规则或不规则的孔	树脂混合物中有空气	模压前使树脂混合物静置，或在不降低性能的前提下加入苯乙烯
纤维显露	制品表面纤维花纹过于显露或突出	模压温度不当，预成型坯粗糙	提高或降低模具温度采用表面毡
富树脂区	树脂混合物很少或没有被增强材料填充的区域	设计不当	改进设计；最有利于模压的简单设计是壁厚、无死角



预成型坯模压制品的典型性能见下表：

预成型坯模压制品的典型性能

项目	性能	项目	性能
拉伸强度/MPa	105—176	巴氏硬度	40—70
拉伸模量/GPa	5.6—12.6	洛氏硬度	H40—H105
弯曲强度/MPa	175—280	吸湿性（24h）/%	0.1—1.0
弯曲模量/GPa	8.8—70	耐化学性	
压缩强度/MPa	126—210	弱酸	良好—优良
冲击强度/(J/m)	540—1080	弱碱	一般
相对密度	1.4—7	强酸	一般
热变形温度/°C	149—204	强碱	差
耐热性（连续）/°C	149—177	有机溶剂（氯化依乙烯除外）	良好—优良
燃烧速率	慢—自熄	正常玻璃纤维含量/%	35



五. 预成型坯制品及模具设计要点

1. 制品设计要点

- (1) 拐角半径 一般考虑原则：过小半径导致树脂聚集和制品开裂，大半径有助于增强材料的均匀分布，拐角内径最小为3.2mm。
- (2) 孔洞 孔洞应采取模制后的钻孔或冲孔等二次成型方法。
- (3) 凸起部 一般不推荐制凸起部，但如在模制时加入预混料（BMC）或SMC片材可用凸起部。



- (4) 厚度 在板条上的厚度应保持在最小程度。一般来说，制品允许最小厚度为0.8mm，最大厚度为6.4mm正常厚度变化在0.2mm范围内。
- (5) 金属嵌件 虽然通过在制造预成型坯时可预置金属嵌件，但实际生产中不推荐采用。
- (6) 陷槽、滑块等 在预成型制品中不可实现。



2. 预成型坯成型压模设计要点

预成型坯模压大多采用高温高压的金属对模，但也有采用石膏、混凝土、塑料等制成的模具。下面就常用的金属对模的设计要点作一简介。

- (1) 模具的尺寸和材料 模具设计时，应注意模具材料的热膨胀。为保护模具表面，改善制品脱模效果，成型面最好镀铬，一般镀层厚度为0.0075—0.025mm。
- (2) 剪切边 剪切边一般取0.8—1.6mm。



- (3) 导向柱 它应有相当的尺寸并与剪切边保持适当距离，它与导套应有一定的滑配间隙，一般取0.25mm。
- (4) 制品取出 脱模斜度一般6.4—150mm高 1° — 3° ，大于150mm高制品 3° 或更大。
- (5) 模具结构 在预成型模压工艺中所采用的模具结构，一般采用不溢式或半溢式结构。



第三节 短纤维模压料的制备与成型工艺

一. 短纤维模压料的组成

1. 树脂

在短纤维模压工艺中，大部分热固性树脂如聚酯、酚醛、环氧及其改性树脂均可用于短纤维模压料的制备。作为模压用的树脂应具有如下基本条件：良好的流动性、可快速固化、固化温度低、固化副产物少或无副产物。工艺性好，并满足模压制品特定的性能要求等。



(1) 酚醛树脂

各类酚醛树脂的产品指标如下表4-6:

表4-6 各类酚醛树脂的产品指标

项目	氨酚醛	镁酚醛	硼酚醛	尼龙改性酚醛
外观	琥珀色至红褐色透明液体, 不含机械杂质	棕黄色至红褐色半透明液体, 不含机械杂质	浅黄色透明粘稠液体	
固含量/%	>90	>85	>99	>96
固化速度/s	80—120	75—95	40—75	70—100
游离酚/%	<18	<16	>2%	<14%
含硼量%				
胶体含量	根据使用部门定	>53%	根据使用部门定	50%—54%



(2) 环氧树脂

按环氧基团来源不同，环氧树脂大体分为甘油醚型和脂环型两大类，尤以缩水甘油醚型中的双酚A环氧树脂产量最大，应用最广。不同类型双酚A型环氧模压玻璃钢性能如下表4-7：

表4-7 不同类型双酚A型环氧模压玻璃钢性能

性能	E—51/苯酚	E—44/苯酚	E—42/苯酚
弯曲强度/MPa	721.2(572.0—895.0)	786.5 (744.0—835.0)	910.0 (871.8—970.0)
冲击强度/(kJ/m ²)	490 (426—625)	551 (515—597)	671 (602—768)



2. 增强材料

在短纤维模压成型中，所用增强材料大多为纤维型增强材料，间或也使用织物、绳或毡。纤维型增强材料以玻璃纤维、高硅氧纤维为主，有时也是用碳纤维、尼龙纤维和石棉纤维。模压成型的玻璃纤维材料长度一般为15—50mm，尤以30—50mm为多。其含量一般在50%—60%范围内。



3. 其他材料

其他材料，即为各种稀释剂、玻璃纤维表面处理剂、制粘剂、颜料、脱模剂等各种辅助材料。

稀释剂用来降低树脂的起始粘度，改进树脂的备料工艺性能。玻璃纤维表面处理剂也称偶联剂，用来改进树脂与增强材料的粘结及树脂-纤维的界面状态。为了改善模压制品的脱模性能，一般使用脱模剂，如硅脂、硬脂酸（盐）等等。



4. 模压料的典型配方

几种典型的模压配方见下表4-8.

4-8 几种典型的模压配方举例

类型	成分				树脂/纤维质量比	备注
	树脂含量	纤维含量	溶剂用量	辅助材料加入量		
氨酚醛型模压料	氨酚醛树脂量占 40%	高硅氧纤维或普通加捻玻璃纤维 60%	酒精/树脂= 50/50	KH-550 加入量为纯树脂重量的 1%	40/60	KH-550 用迁移法直接加到树脂中
镁酚醛型模压料	镁酚醛树脂占 40%—45%	无捻粗纱量占 60%—55%	溶剂为 1:1 的丙酮、酒精混合液，溶剂:树脂= 50/50	油酸加入量为 3%—5% （以苯酚为基准）	40—55/60—55	先将油酸加入树脂内待用



二. 短纤维模压料的制备

1. 模压料制备前的准备

为了制备高强度短纤维模压料，通常对玻璃纤维应预先进行表面处理与短切。下表4-9列出热处理对模压制品性能的影响：

表4-9 热处理对模压制品性能的影响

性能	材料处理	
	硼酚醛/经热处理的玻璃纤维	硼酚醛/未经热处理的玻璃纤维
弯曲强度/MPa	199.8 (68.5—397.0)	155 (111.0—194.0)
冲击强度/ (kJ/m ²)	180 (58—278)	126 (66—188)



2. 模压料的制备方法

(1) 预混法

下图为预混法的工艺流程图：

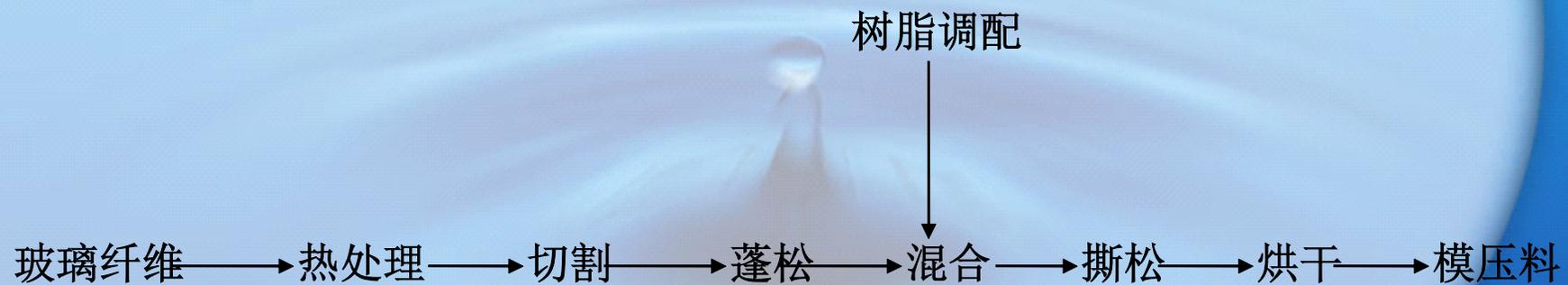


图 4-3 预混法工艺流程图



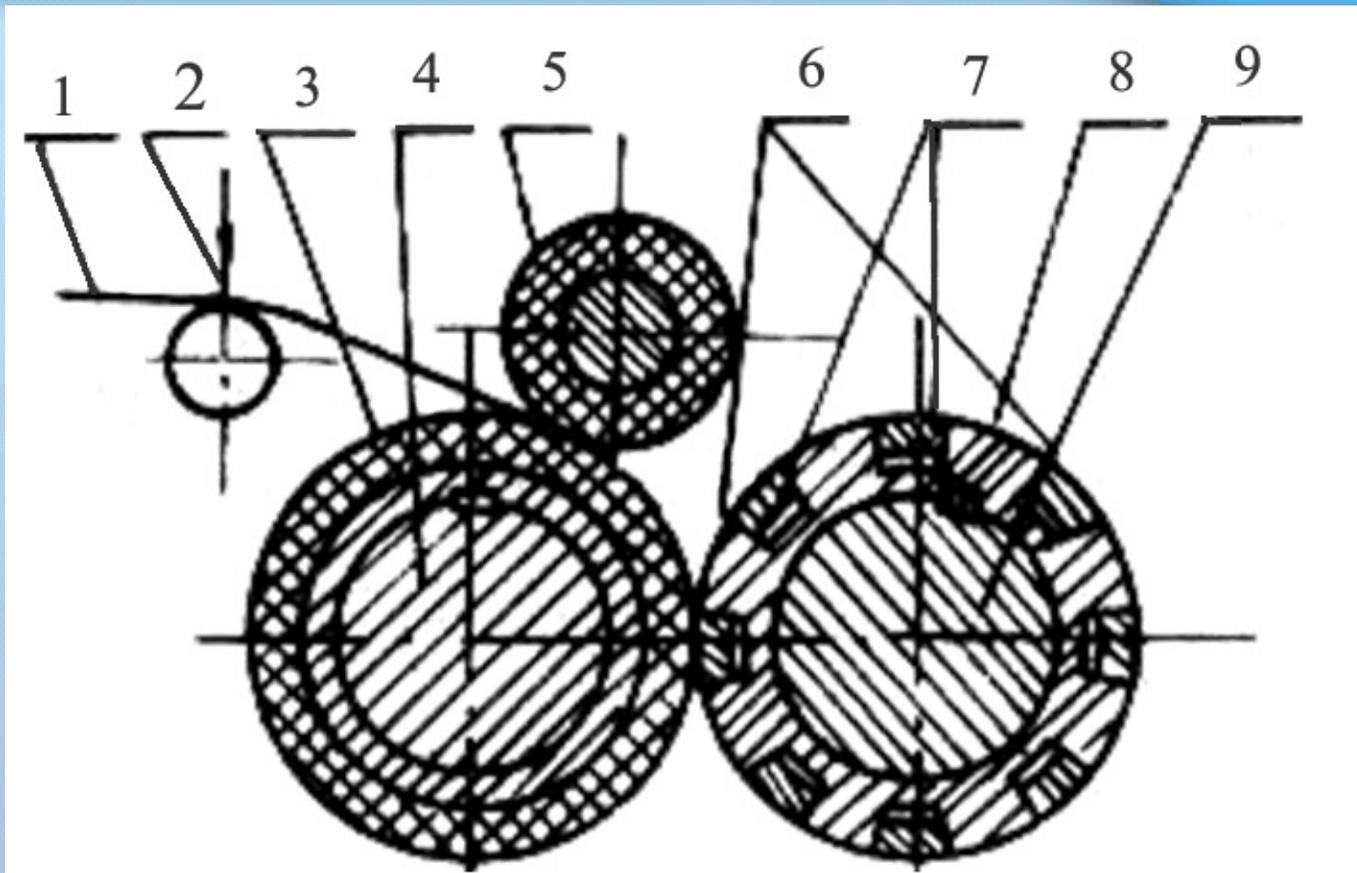
下面以机械预混法为例来介绍模压料的制备：
(玻璃镁酚醛模压料)

1. 将玻璃纤维在下干燥处理40~60min
2. 烘干后把纤维切割成30~50mm长度，并使它蓬松
3. 按树脂配方配成胶液，并用工业酒精调配胶液密度在1.0g/cm³左右
4. 按纤维：树脂=55：45（质量比）的比例把树脂溶液与短切纤维充分混合。（在捏合机中进行）
5. 捏合后的预混料，逐渐加入未撕松中撕松
6. 将撕松后的预混料均匀铺放在网格上晾置
7. 经自然晾置后，再在烘房中烘20~30min，进一步驱除水分和挥发物
8. 将烘干后的预混料装入塑料袋中封存，待用



机械预混法所用的设备主要有三种，纤维切割机、捏合机、撕松机。切割机有冲床式、砂轮片式、三辊式和单旋转刀辊式四种，最常用的是三辊式切割机。纤维长度可通过切割刀片的间距来调节。



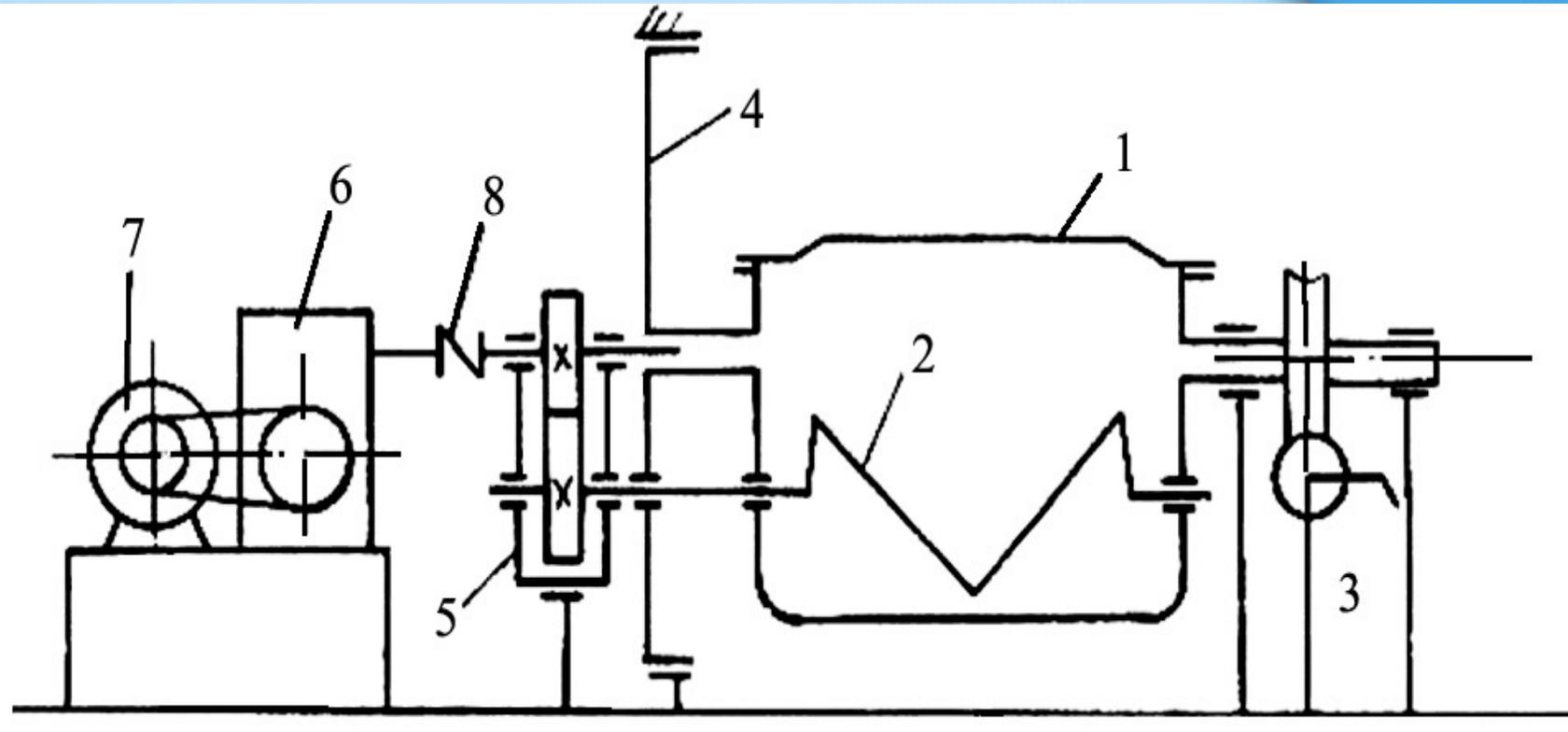


1—连续玻璃纤维；2—横动杆；3—支承杆；4—金属辊；5—压力辊；6—刀片；

7—压块；8—切割辊；9—金属辊

图 4-4 三辊式切割机

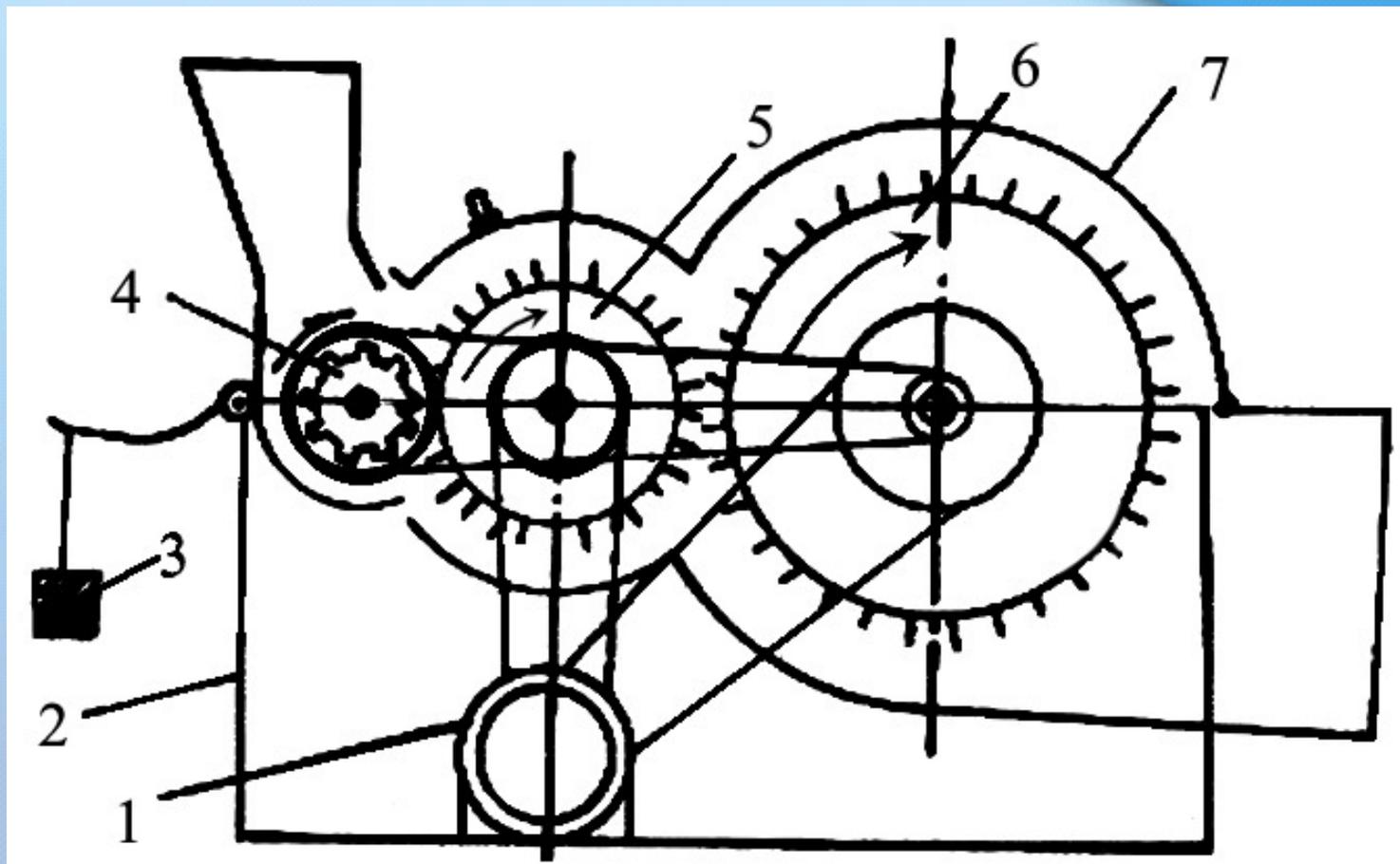




1.捏合锅； 2.捏合桨； 3.手动蜗杆； 4.滑动齿圈； 5.复合传动箱； 6.减速箱； 7.电机； 8.联轴器

图4-5 捏合机的结构原理图





1-电机；2-机体；3-配重；4-进料辊；5、6-撕料辊；7-罩体

图4-6 撕松机结构示意图



2. 预浸法

预浸法系将玻璃纤维束通过浸胶、烘干和短切等工艺程序而制成模压料的工艺方法。下图为预浸法的工艺流程图：

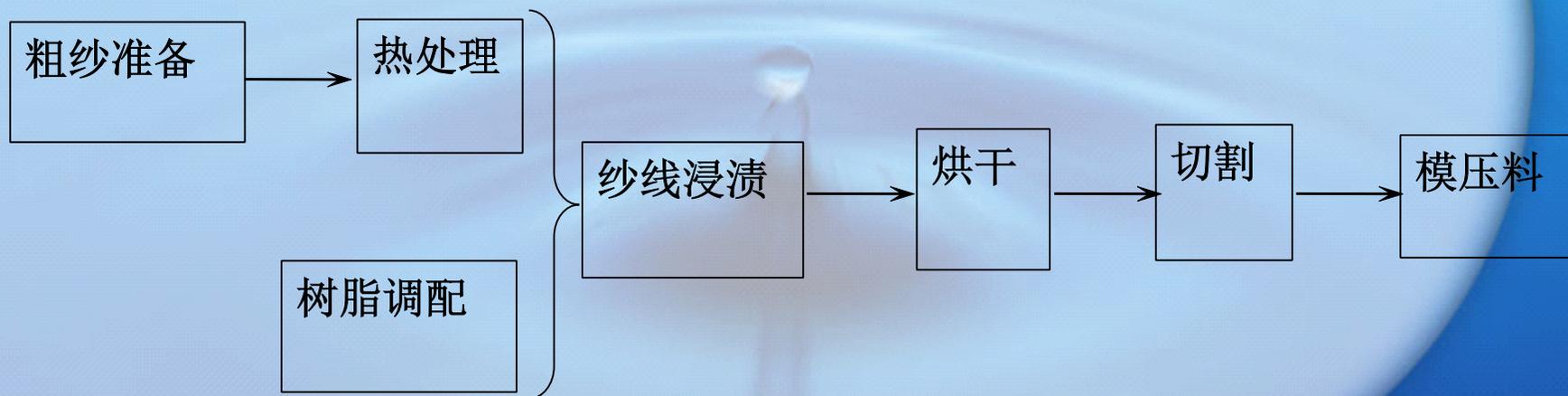


图4-7 预浸法的工艺流程图



3. 浸毡法

浸毡法的工艺过程大体上与预浸法相同，所用的浸毡机结构原理也和预浸机大体相同。其工艺流程如下：

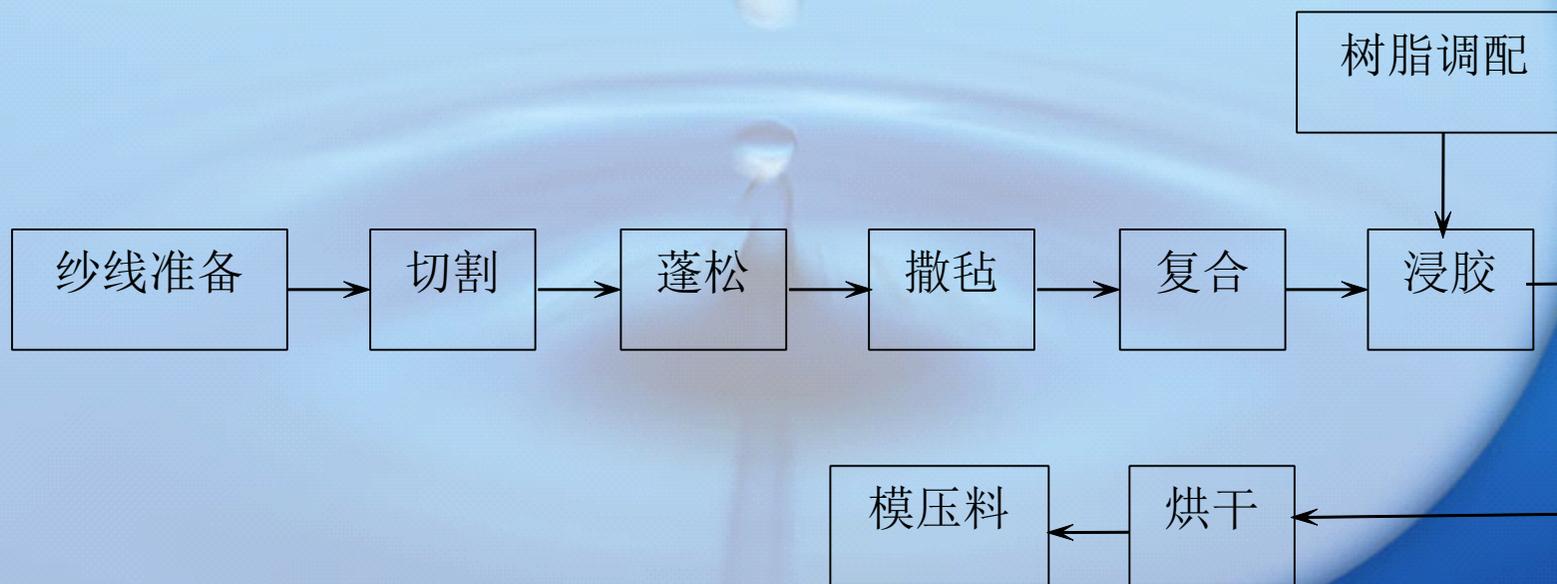


图 4-8 浸毡法 工艺流程

第四节 定向铺设模压成型工艺

一. 工艺简介

(1) 制品的应力分析

该阶段是首先充分了解制品的结构、实际使用状态并进行受力分析。

(2) 定向铺设工艺过程

本阶段是如何在工艺上达到制品各部位配置的增强材料的铺设方向及理论密度与应力分析所要求的一致。

(3) 制品的压制成型

本阶段是将定向铺设制品毛坯，放在金属模具内，按一定的要求在高温、高压下成型产品。



二. 工艺特点

定向铺设玻璃钢模压成型是制备单应力、双应力型异形制品较好的一种工艺方法。定向铺设模压工艺比较容易实现多种材料的复合，从而能更合理的使用和发挥材料特性。另外，还能通过纤维方向和含量严格控制，可以预测产品的各项性能在应力下的可信度，并提高产品性能的重复性。此外，还有成型压力小、模具结构比较简单、造价较低等特点。



本章结束

