

# 第九章

## 注射成型工艺及设备



# 第一节 概述

- 1 注射成型是树脂基复合材料生产中的一种重要成型方法，适用于热塑性和热固性复合材料，但广泛应用于热塑性复合材料中。
- 2 注射成型是将粒状或粉状的纤维-树脂混合料从注射机的料斗送入机筒内，加热融化后由柱塞或螺杆加压，通过喷嘴注入温度降低的闭合模内，经过冷却定型后，脱模得制品，注射成型为间歇式操作过程。
- 3 注射成型工艺的发展方向主要是自动化，高速化和大型化及微型化。
- 4 注射成型优于模压成型工艺
  - 1) 成型周期短
  - 2) 热耗量少
  - 3) 闭模成型
  - 4) 可使形状复杂的产品一次成型，能防止模腔内嵌件变形或位移
  - 5) 生产效率高



# 第一节 概述

## 6 热塑性复合材料注射成型特点

名称	成型条件（与未增强塑料相比）
树脂温度	高10℃~20℃
注射速度	快
注射压力	高
背压	在均一混炼条件适当提高
模具温度	以能脱模为限度，尽可能提高
流道浇口	大，圆形
脱模维度	大2~3倍
注射机	需用螺杆式注射成型机



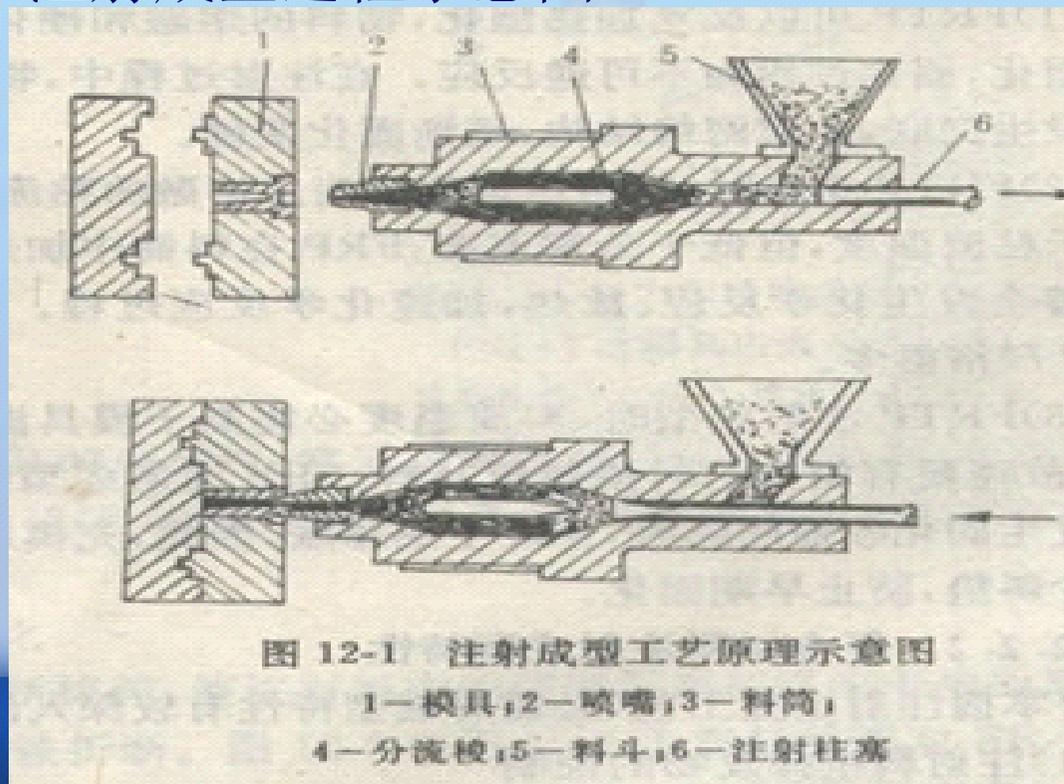
# 第一节 概述

- 7 注射成型缺点
- 1) 不适用于长纤维增强的产品
- 2) 模具质量要求高



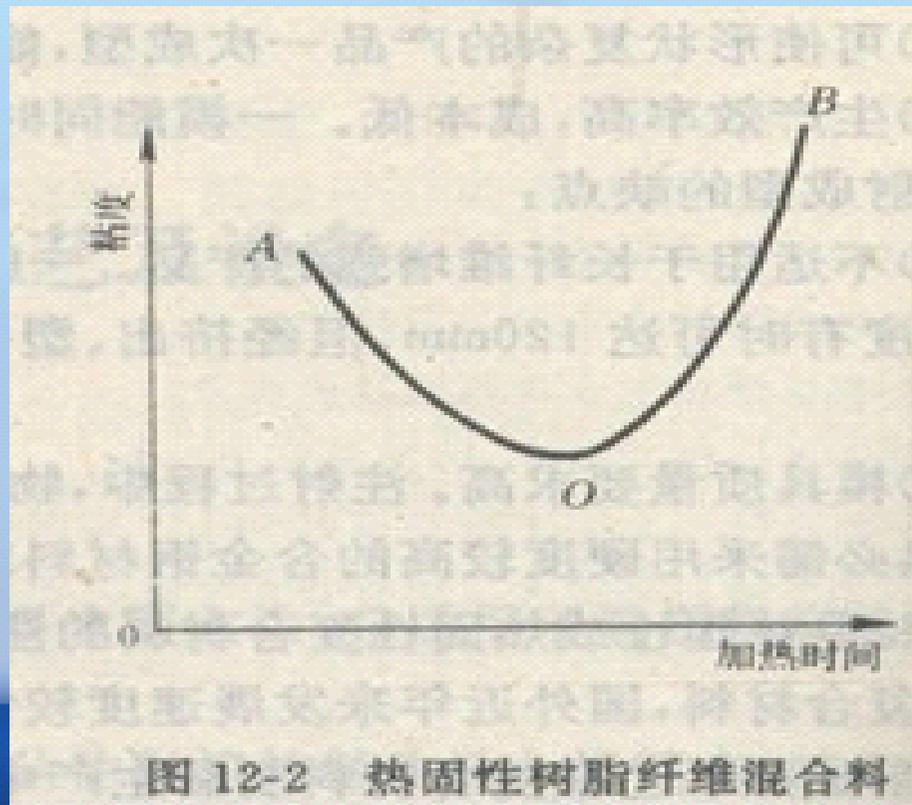
## 第二节 注射成型工艺

- 1 FRTP注射成型原理
- 1) FRTP的注射成型过程发生的是物理变化。在成型的过程中主要是加热，冷却过程，物料不发生化学变化。
- 2) 注射成型过程示意图



## 第二节 注射成型工艺

- 2 FRP注射成型原理
- 1) FRP的注射成型过程是一个复杂的物理和化学过程。
- 2) 热固性树脂纤维混合料加热时粘度与时间变化关系图示



## 第二节 注射成型工艺

- 3) FRP注射成型特点
- FRP注射成型不需要冷却定型阶段
- 成型时必须严格控制各阶段温度
- 注射充模时机应控制在粘度最低的O点
- FRP的固化过程是放热反应，注射时可考虑此热量，模具不需要冷却。
- 3 复合材料注射成型特性
- 1) 注射料中水分及挥发物的控制
- 热塑性注射料中水分含量过高，注射成型时易汽化，使熔融物料起泡，粘度下降，给成型带来困难。
- 热固性注射料中水分和挥发物含量过高，贮存过程中易结块，延长注射成型周期，产品收缩率增大。



## 第二节 注射成型工艺

- 2) 流动特性
- 流动性是指注射料在加热、加压下的流动特性，它代表注射成型时的充模能力。
- 由于FRTP熔融物料中含有玻璃纤维，所以，它的流动性比为增强的塑料差，而且纤维含量越多，流动性越差。

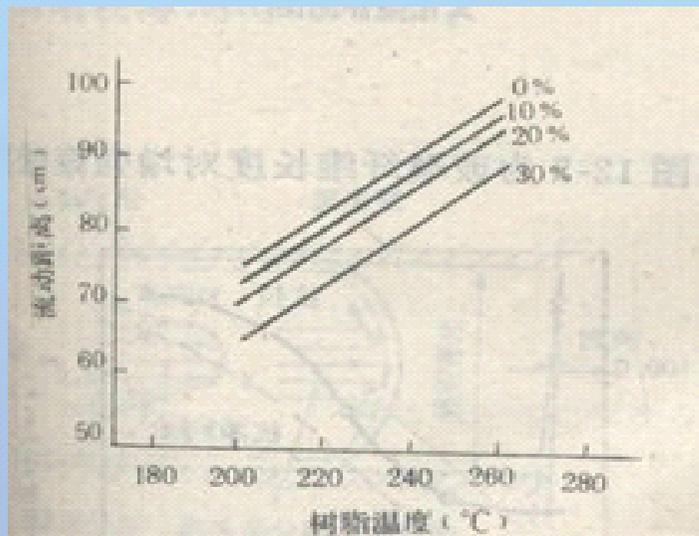


图 12-3 温度和纤维含量对增强聚丙烯在模具内流动性影响  
注射压力:100MPa, 模具温度:50°C

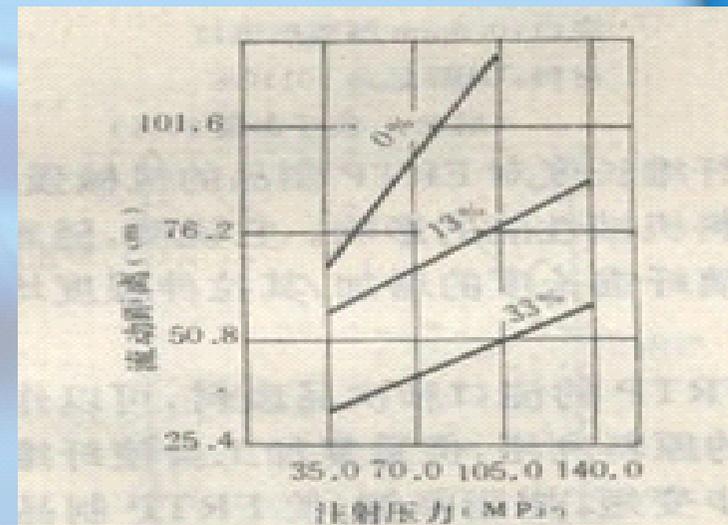


图 12-4 压力和纤维含量对增强尼龙 66 在模具内流动性影响  
注射料温度:290°C, 模具温度:100°C



## 第二节 注射成型工艺

- 3) 注射过程中纤维长度变化
- 在注射成型过程中，由于螺杆不断旋转，使注射料中的玻璃纤维在混炼中被折断，当熔融料经过喷嘴和流道时，纤维进一步被折断。
- 下图为螺杆转速对FR-PA6和FR-PP中纤维长度的影响。

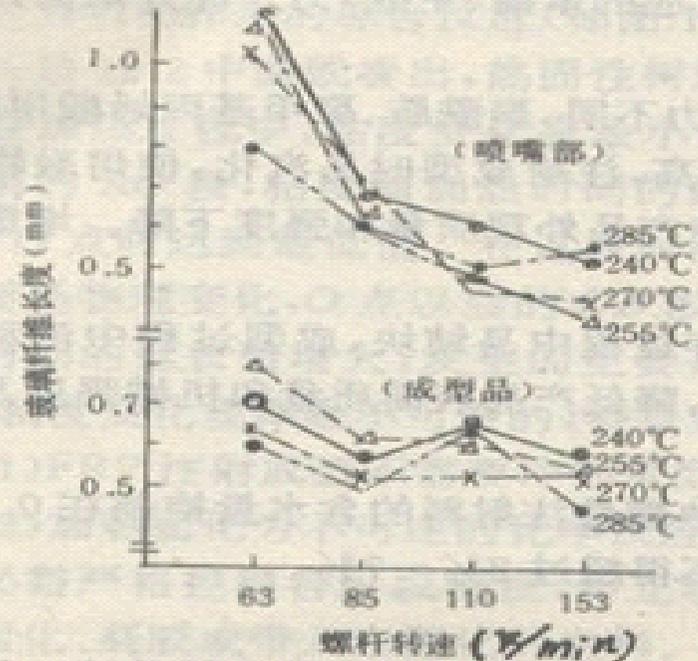


图 12-5 螺杆转速对增强尼龙 6 在喷嘴部及成型品的玻纤长度之影响

成型机, 日钢 V17

注射速度, (PS, 90cm<sup>3</sup>/s)

制品, 100×100×1mm 板

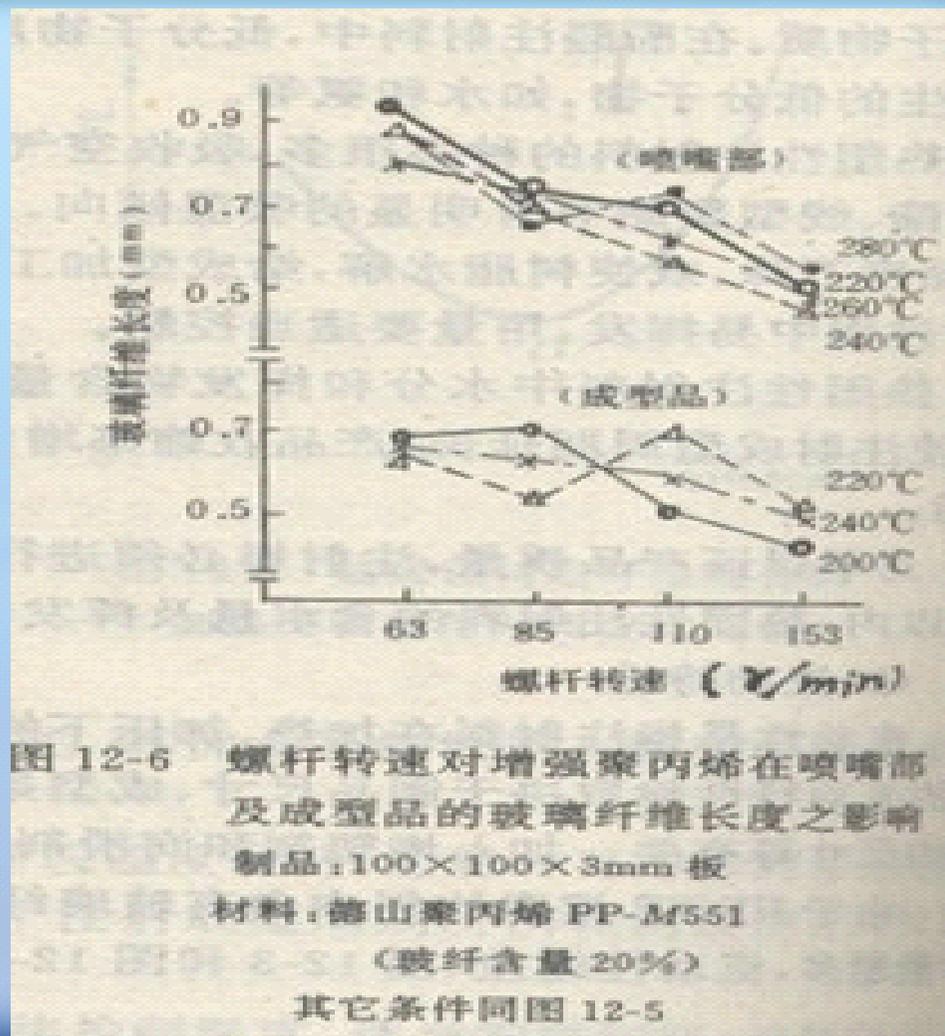
浇口, 0.5mm 厚膜形浇口

材料, UBE 尼龙 1011GC

(尼龙 6, 玻纤含量 20%)

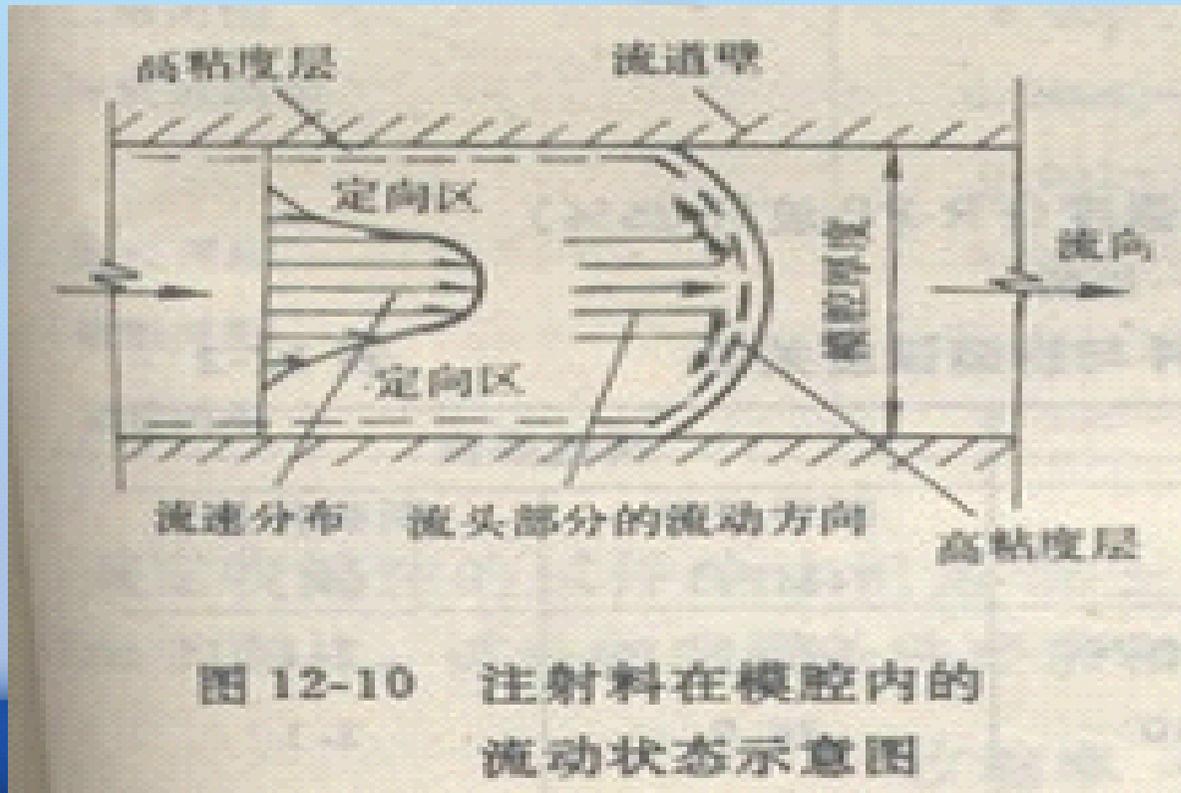


## 第二节 注射成型工艺



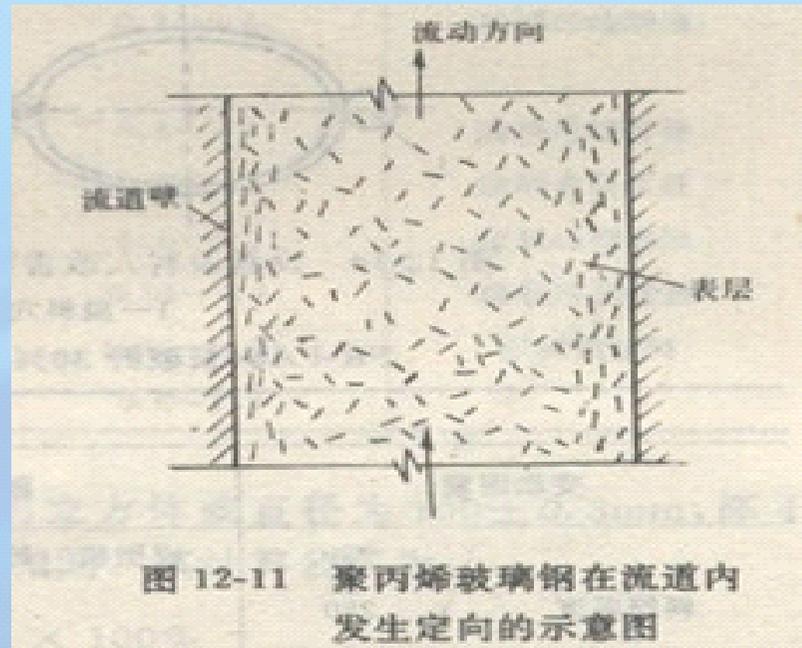
## 第二节 注射成型工艺

- 4) 纤维定向性
- FRTP注射过程中的定向作用分为两个方向：一是大分子定向;二是纤维定向。
- 熔融注射料在模腔内德流动过程如下图



## 第二节 注射成型工艺

- 由于物料靠近模具壁和中心层的流速相差很大，产生的剪应力也很大，从而使流体内德大分子和纤维材料发生定向作用。定向作用离中心距离越远越明显，如下图



- 提高模具温度和注射料流体温度能减少定向作用，加大制品厚度可减弱定向作用；增加浇口长度、注射压力和充模时间，会增加定向作用。



## 第二节 注射成型工艺

- 5) 拼缝强度
- 对于FRTP注射成型制品来讲，由于纤维原因，在拼缝处强度明显降低，并且有随纤维含量增大，强度更有降低的倾向。因此，在设计FRTP制品和模具时，要充分考虑这个问题，并尽可能改善拼缝强度。

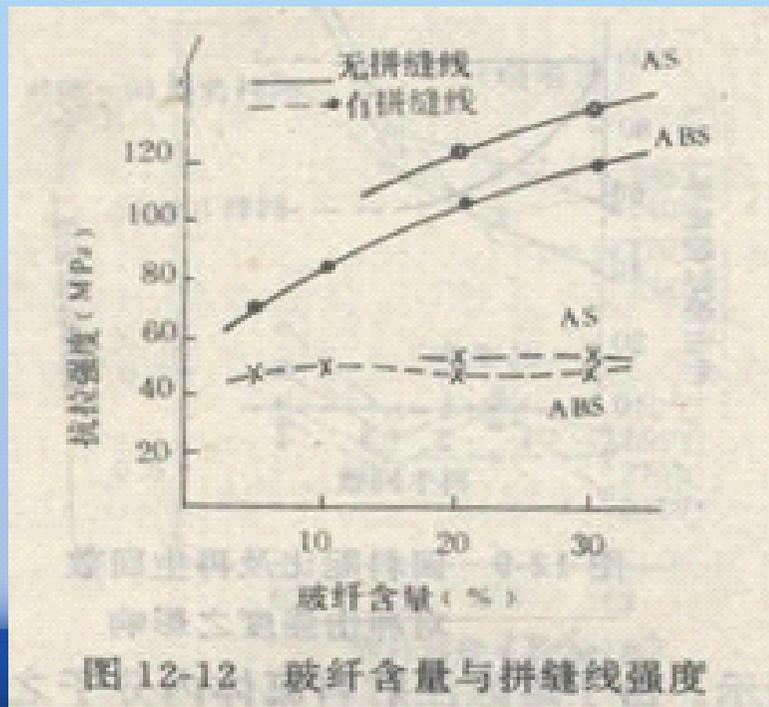


图 12-12 玻纤含量与拼缝线强度

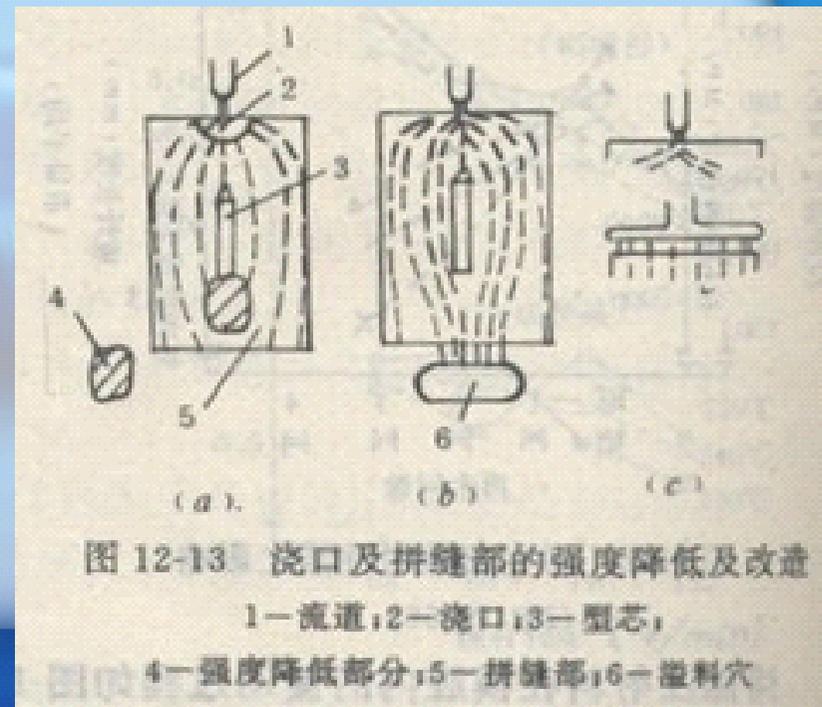
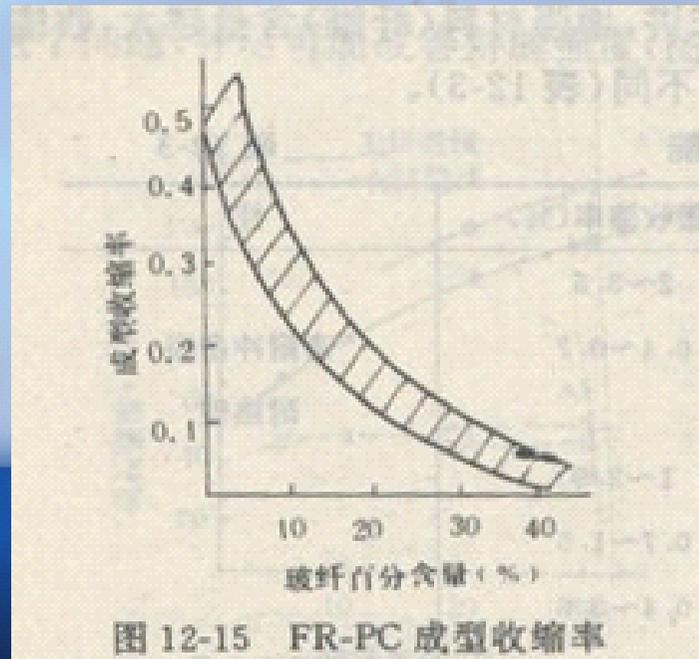


图 12-13 浇口及拼缝部的强度降低及改造  
1—流道, 2—浇口, 3—型芯,  
4—强度降低部分, 5—拼缝部, 6—溢料穴



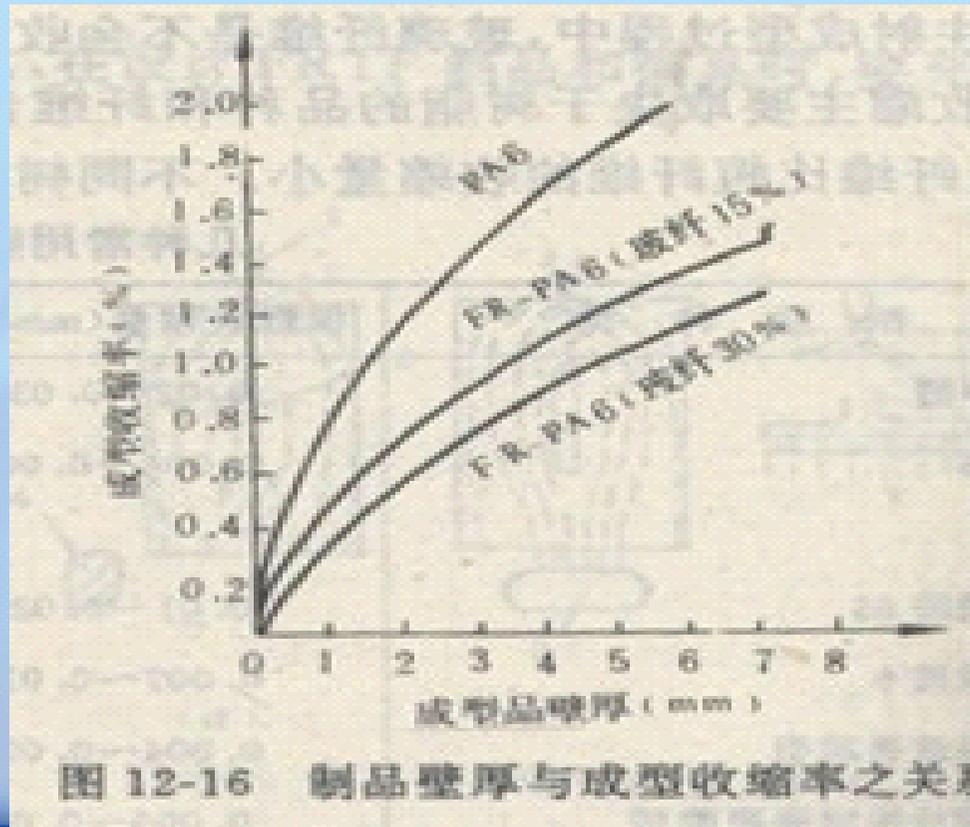
## 第二节 注射成型工艺

- 6) 体积收缩
- 冷却出模后的FRTP制品，其尺寸总是小于模具的模腔尺寸，两者差值之比，称为收缩率。
- 影响FRTP成型收缩率的因素：
  - a) 玻璃纤维含量
- 下图为玻纤增强聚碳酸酯复合材料的收缩率与玻纤含量关系。



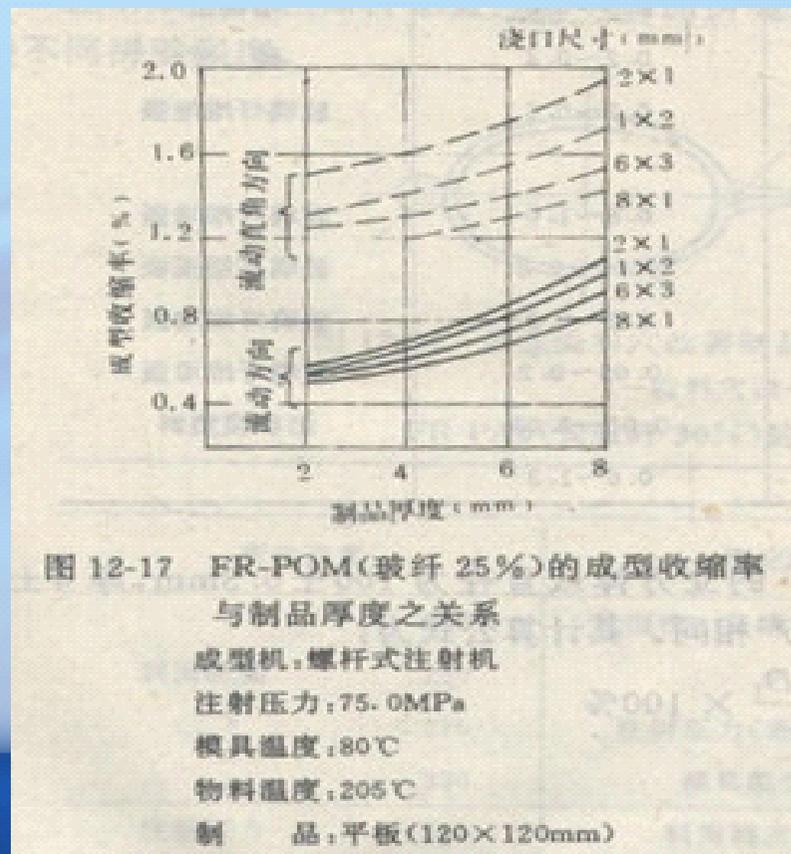
## 第二节 注射成型工艺

- b) 制品壁厚的影响
- 制品的收缩率随着壁厚增加，收缩率明显增大，如下图



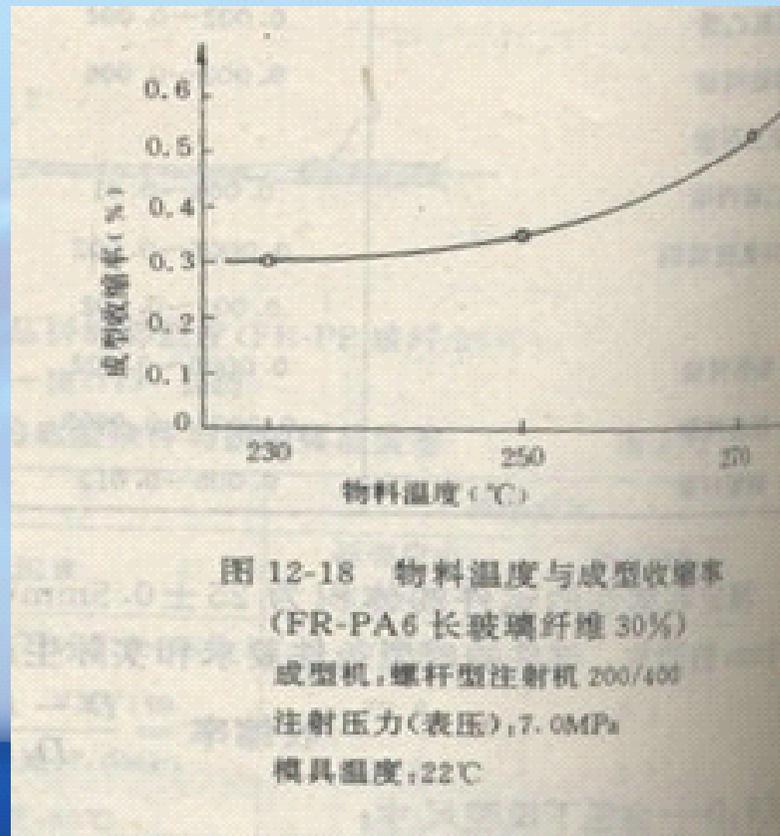
## 第二节 注射成型工艺

- c) 浇口尺寸影响
- 增大浇口尺寸，明显地会降低制品收缩率。下图为玻纤增强聚甲醛复合材料制品浇口尺寸对收缩率的影响关系。



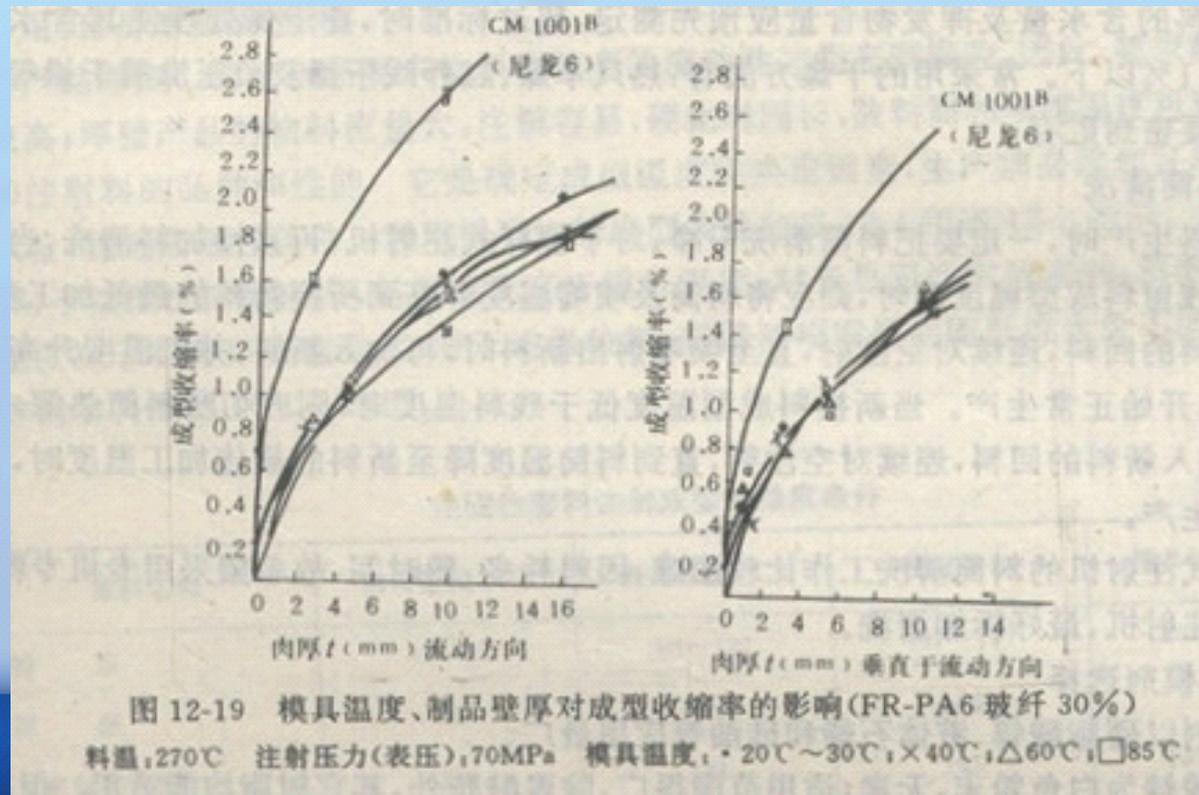
## 第二节 注射成型工艺

- d) 熔融温度的影响
- 不同树脂的熔融温度变化，对制品的收缩率影响不同，下图为增强尼龙6随物料温度增高，使收缩率增大的情况。



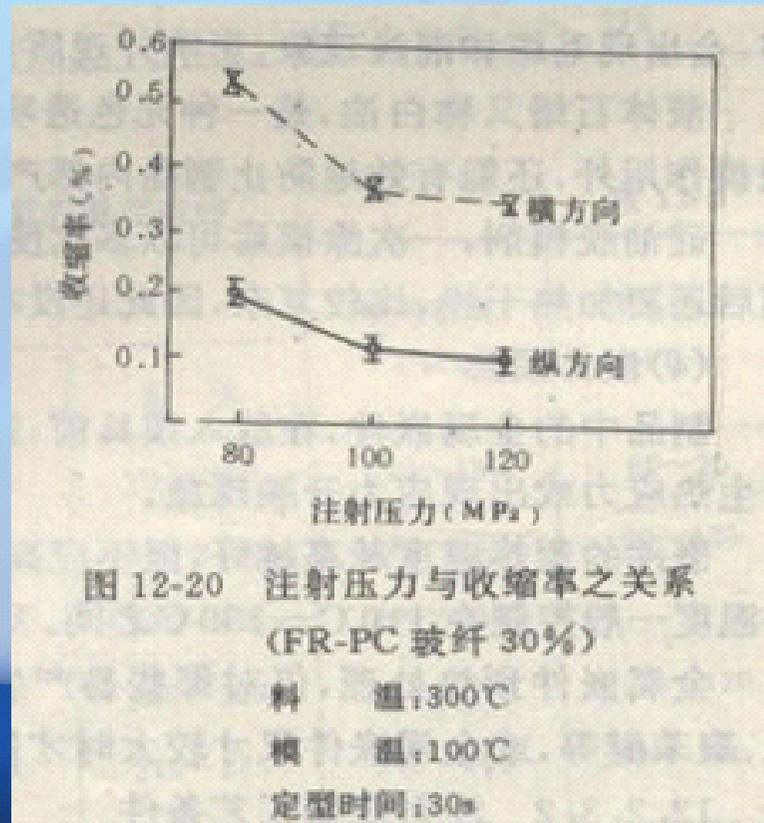
## 第二节 注射成型工艺

- e) 模具温度影响
- 模具温度对制品成型收缩率及表面光洁度影响很大。下图为模具温度和增强尼龙6复合材料制品壁厚对成型收缩率的影响。



## 第二节 注射成型工艺

- f) 成型压力影响
- 温度和压力对不同树脂的表观粘度影响不同，因而对成型收缩率影响也不同，对于玻纤增强聚碳酸酯来说，收缩率随注射压力的提高而大大降低。



## 第二节 注射成型工艺

- g) 硬化速度
- 硬化速度对热固性树脂来讲，是指注射料在模腔内固化反应所需要的时间，对于热塑性树脂来讲，则是指注射料在模腔内冷却定型所需要的时间。



## 第二节 注射成型工艺

- 4 注射成型工艺过程
- 注射成型分为准备工作、注射工艺条件选择、制品后处理及回料利用等工序。
- 1) 准备工作
- a) 注射料选择及预处理
- 注射料选择
- 根据产品性能、工艺条件及注射机性能，合理地选择注射料。
- 预处理
- 注射料的粘度要均匀，已结块的要粉碎，防止堵塞流道，影响加工。
- b) 料筒清洗
- 当换料生产时，一定要把料筒清洗干净。螺杆式注射机，可直接加料清洗，小型注射机，最好拆卸清洗。



## 第二节 注射成型工艺

- c) 脱模剂选择
- 脱模剂以硬脂酸锌液体石蜡和硅油等应用最广。
- d) 嵌件预热
- 制品中的金属嵌件，在放入模具前，需要加热。其目的是为了两种材料膨胀不均而产生热应力或出现盈利开裂现象。
- 2) 注射成型工艺条件
- 注射成型工艺包括闭模、加料、塑化、注射、保压、固化、开模出料等工序。
- a) 加料及剩余量
- 正确地控制加料及剩余量对保证产品质量影响很大。一般要求定时定量地均匀供料，保证每次注射后料筒端部有一定剩料。
- b) 成型温度



## 第二节 注射成型工艺

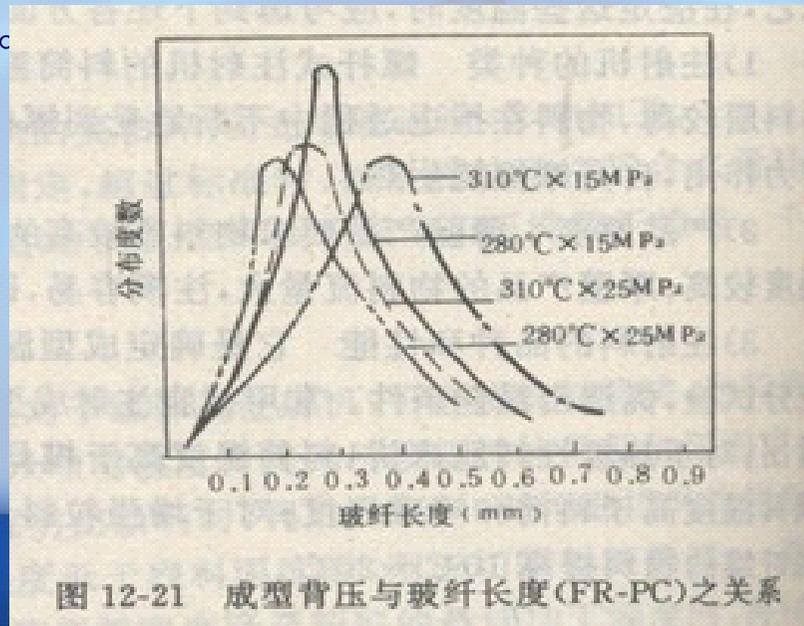
- 料筒、喷嘴及模具温度对复合材料注射成型质量影响很大，应考虑到下述个方面因素：
  - 注射剂的种类 螺杆式注射机的料筒温度低于柱塞式。
  - 产品厚度 薄壁产品要求料筒和喷嘴温度较高，厚壁产品要求料筒和喷嘴温度可稍低些。
  - 注射料的品种和性能 它是确定成型温度的决定因素。
- 常用树脂注射成型条件如下表

塑料名称	机筒温度 (°C)	螺杆温度 (°C)	喷嘴温度 (°C)	模具温度 (°C)
酚醛	80~88	82~127	107~177	165~190
脲醛	82	104	143	155
三聚氰胺甲醛	82	121	163	160~170
聚苯二甲酸二 丙烯酯	99	107	163	175



## 第二节 注射成型工艺

- c) 螺杆转速及背压
- 螺杆的转速及背压，必须根据所选用的树脂热敏程度及熔体粘度等进行调整。
- 背压是指螺杆转动推进物料塑化时，传给螺杆的反向压力。
- 下图为不同背压情况下，不同玻纤长度在FR--PC中分布情况。



## 第二节 注射成型工艺

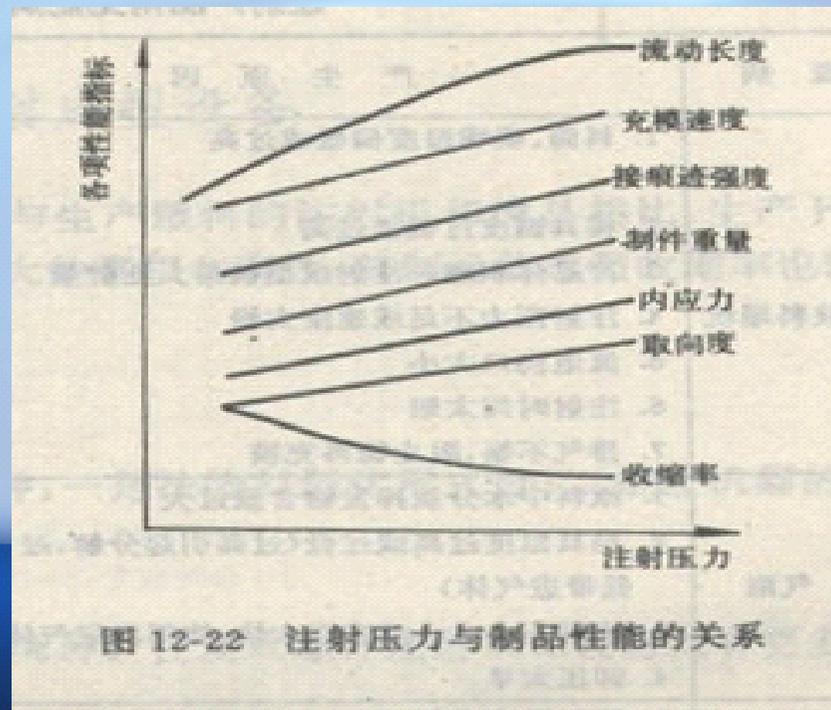
- 螺杆转速和背压对粒料的塑化及纤维分散情况影响很大。下表为螺杆转速和背压对玻纤增强尼龙66的机械性能和纤维长度影响。

背压	0MPa		9.0MPa		背压	18.0MPa		27.0MPa	
	纤维长度 (mm)	抗拉冲击强度 (j/cm <sup>2</sup> )	纤维长度 (mm)	抗拉冲击强度 (j/cm <sup>2</sup> )		纤维长度 (mm)	抗拉冲击强度 (j/cm <sup>2</sup> )	纤维长度 (mm)	抗拉冲击强度 (j/cm <sup>2</sup> )
螺杆转速 (4)					螺杆转速 (4)				
48r/min	0.56	10.9	0.54	10.4	48r/min	不能供料	不能供料	不能供料	不能供料
96r/min	0.49	9.8	0.48	8.5	96r/min	0.47	8.2	0.43	8.0
186r/min	0.45	8.9	0.44	8.0	186r/min	0.43	8.0	0.39	7.8



## 第二节 注射成型工艺

- d) 注射速度及注射压力
- 注射速度和压力对充模质量起着决定性作用，注射压力大小与注射剂种类、物料流动性、模具浇口尺寸、产品厚度、模具温度及流程等因素有关。
- 注射压力对制品性能的影响如下图。



## 第二节 注射成型工艺

- e)成型周期
- 完成一次注射成型制品所需要的时间，称为成型周期，它包括：注射加压时间，冷却时间及其他。
- 3) 制品后处理
- 注射制品的后处理主要是为了提高制品的尺寸稳定性，消除内应力。后处理主要有热处理和调湿处理两种。
- a) 热处理
- 热处理的实质是迫使冻结的分子链松弛，凝固的大分子链段转向无规位置，从而消除部分内应力，提高结晶度，稳定结晶结构，提高弹性模量，降低断裂延伸率。



## 第二节 注射成型工艺

- b) 调湿处理
- 调湿处理是将刚脱模的制品放入热水中，静置一定时间，使之隔绝空气，防止氧化，同时起到加快吸湿平衡
- 4) 注射成型过程中易出现的缺陷、产生原因及处理方法



## 第三节 注射成型设备

- 在注射成型过程中，由于对其生产规律认识不足或因操作不当，常会使制品出现凹陷、飞边、起泡、变形、裂纹及脱模困难等现象。
- 注射成型设备主要包括注射机和模具。与生产塑料的注射机和模具相比，生产FRTP制品的突出问题是玻纤对注射机和模具有较大的磨损和腐蚀，其制品的成型收缩率也较小，在设计和选择注射成型设备时，应充分考虑。
- 1 注射机
- 1) 分类
- 注射机的分类方法很多，但常用的有两种：一是按物料塑化形式分；二是按机器的外形分。
- 按物料塑化形式可分为柱塞式和往复螺杆式注射机两种。往复式螺杆比柱塞式注射机有更多优点：



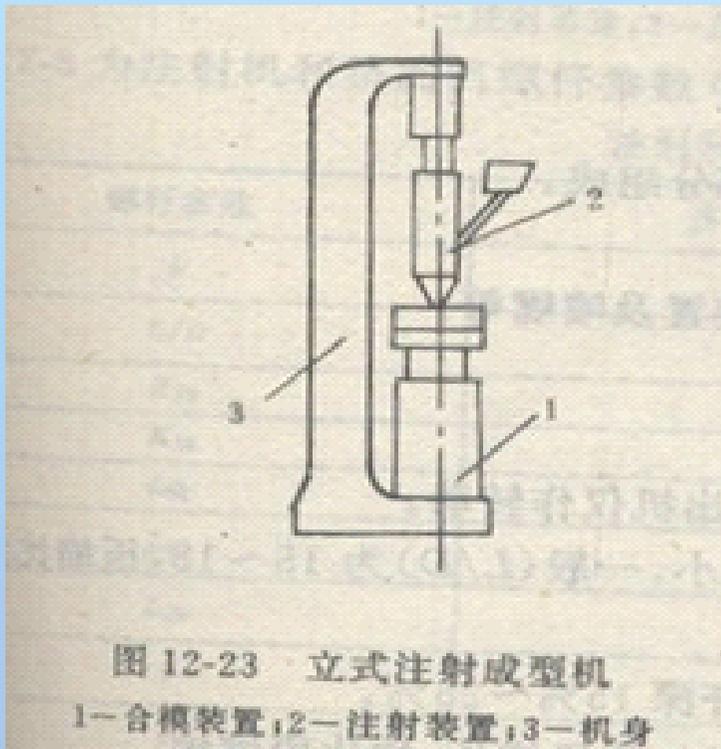
## 第三节 注射成型设备

- a) 简化预塑结构，不需要分流梭，使注射压力降低很多。
- b) 螺杆转动使物料翻转，能产生摩擦热和加速热量传递，塑化效率高。
- c) 因无分流梭，换料、换色方便。
- d) 注射速度快。
- e) 适应性广，能加工热敏树脂。
- 因此，目前除较小的制品外，一般都采用往复式螺杆注射机。
- 按外形特征分为立式注射机、卧式注射机、角式注射机、螺杆预塑和柱塞注模式、转盘注射机。

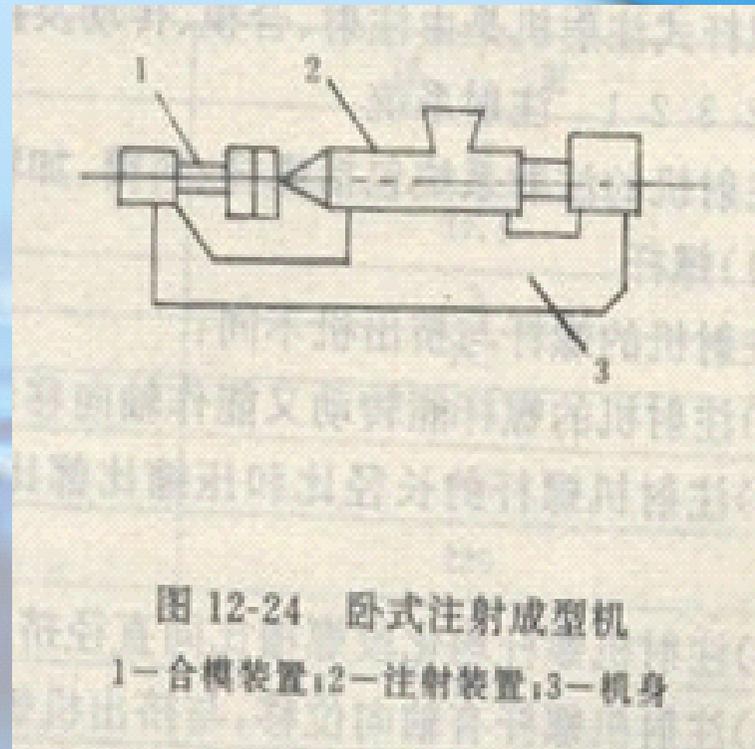


## 第三节 注射成型设备

- 立式注射机



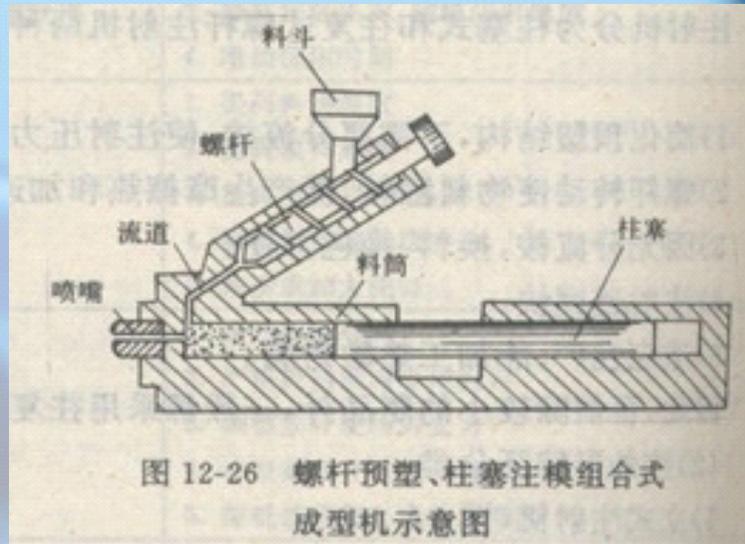
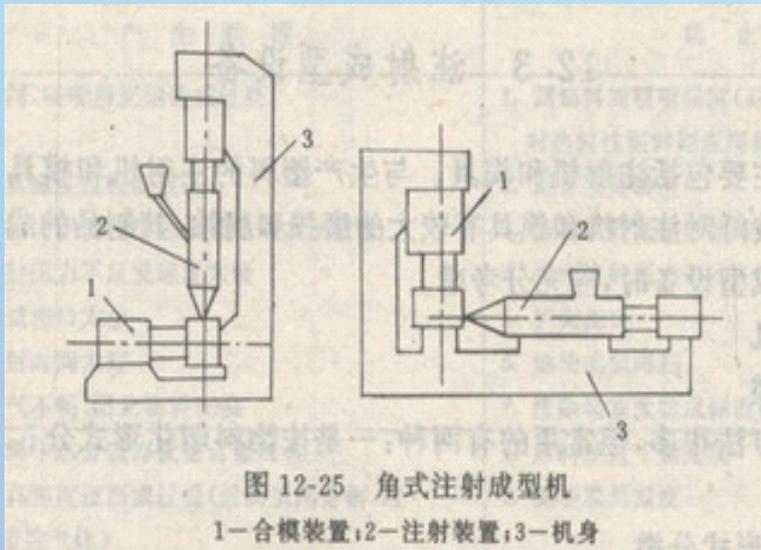
- 卧式注射机



## 第三节 注射成型设备

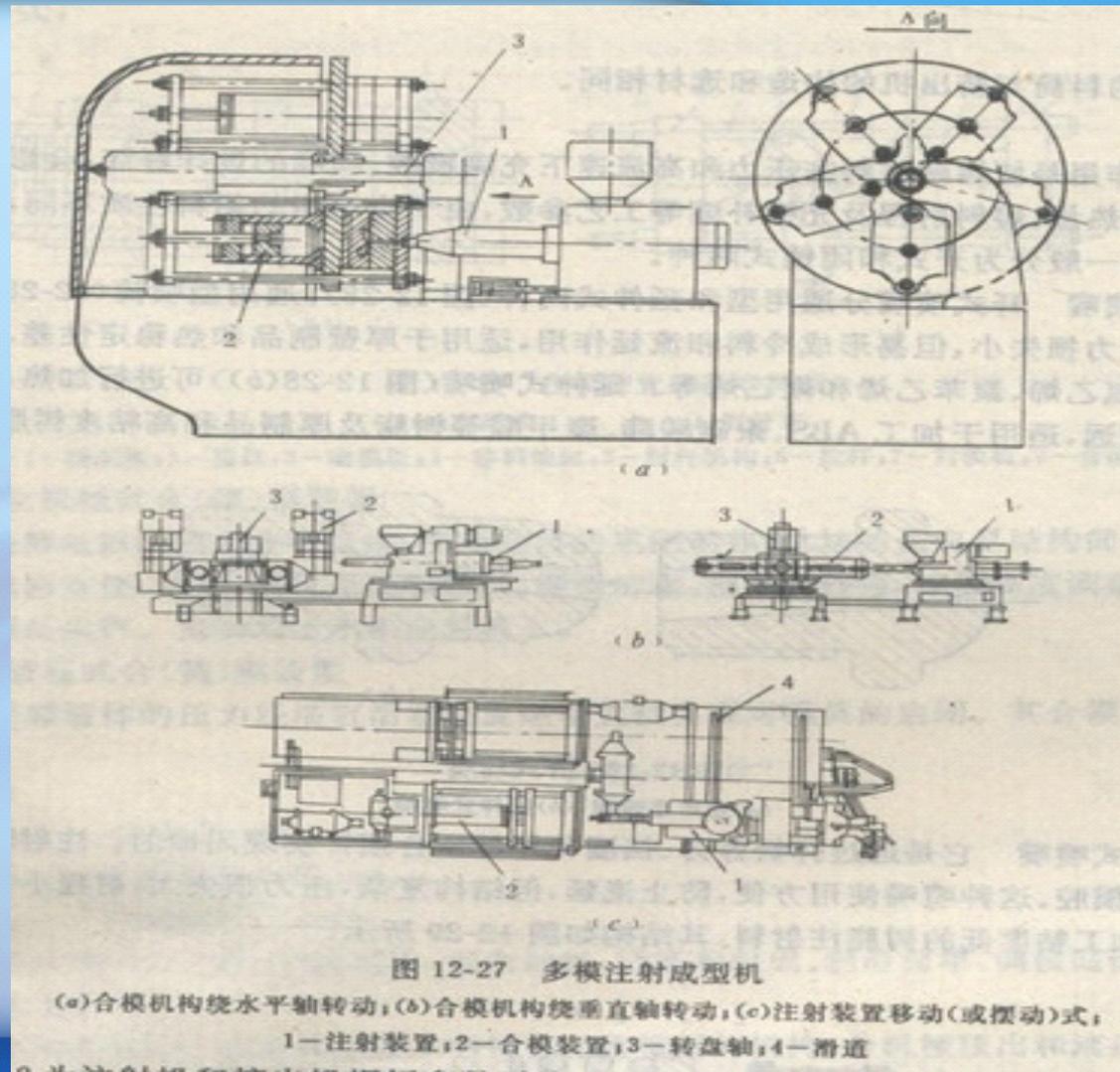
- 卧式注射机

螺杆预塑和柱塞注模式



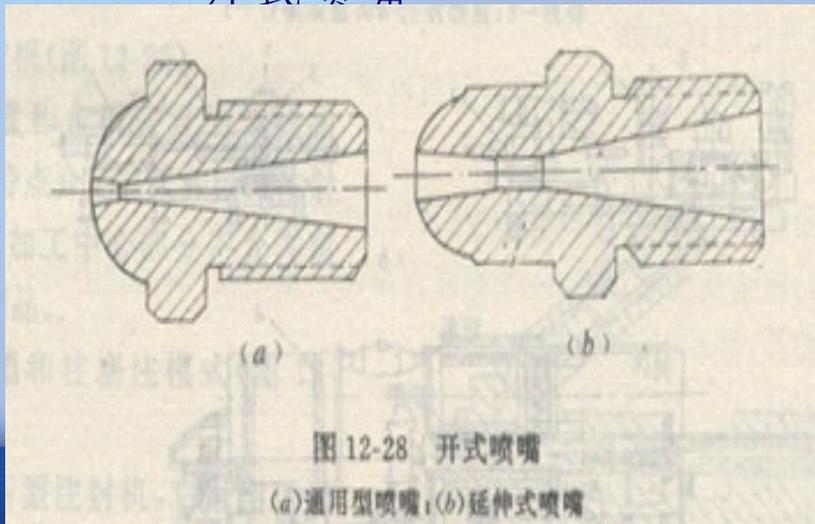
## 第三节 注射成型设备

- 转盘式注射机

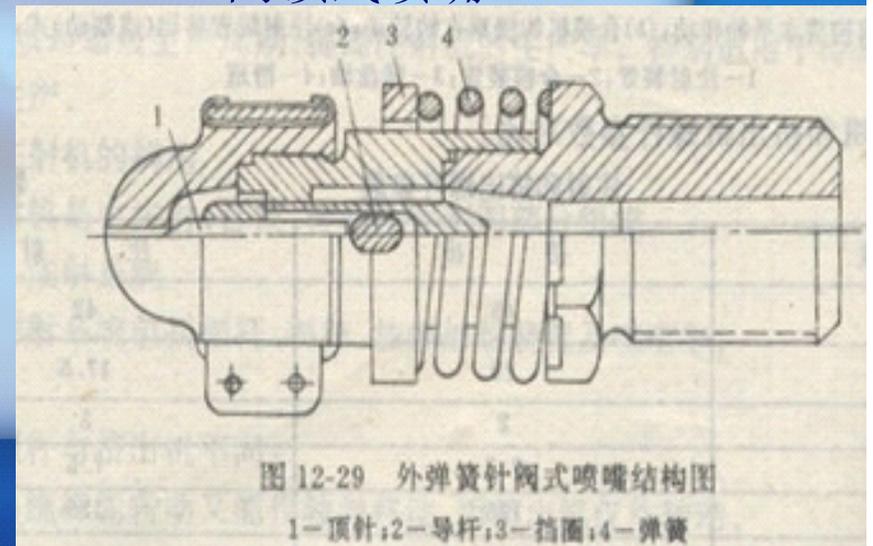


## 第三节 注射成型设备

- 2 注射机的构造
- 螺杆式注射机是由注射、合模、传动及控制四部分组成。
- 1) 螺杆
- 2) 料筒
- 3) 喷嘴：
  - 开式喷嘴

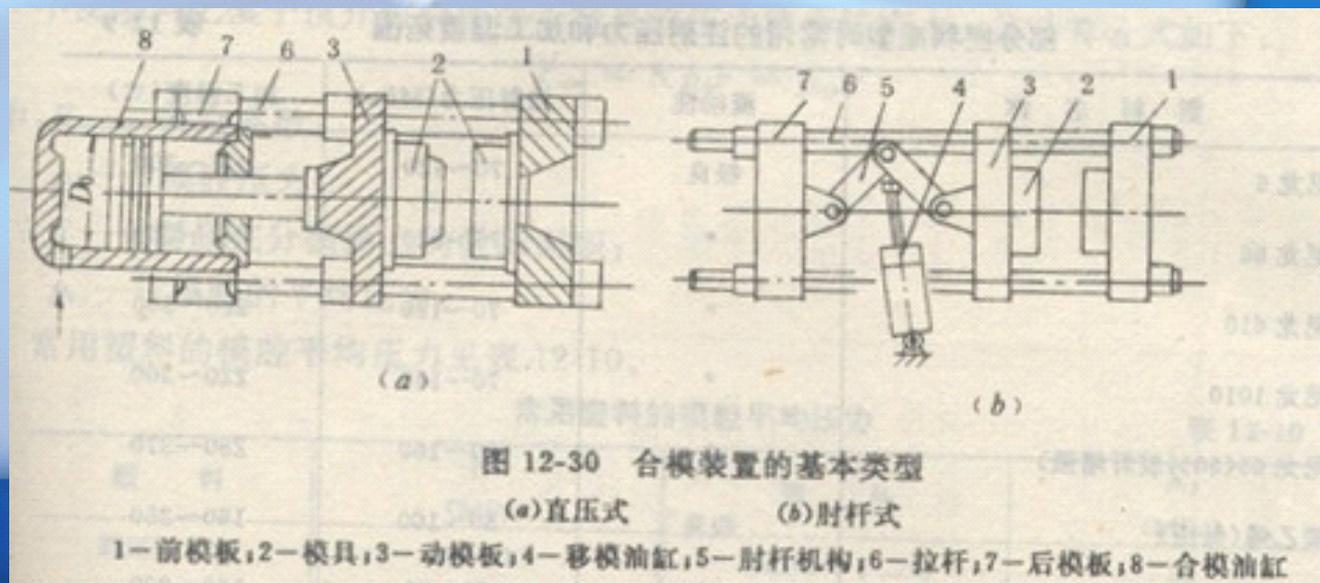


闭锁式喷嘴



## 第三节 注射成型设备

- 2) 合模系统
- 是实现模具闭合和开启动作的机构。
- 合模系统由固定板、移动板、合模油缸及顶出装置等组成。
- 常见的合模装置有三种形式：
- 全机械式合模装置
- 液压式合模装置
- 传动部分



## 第三节 注射成型设备

- 3) 注射机的参数
- a) 注射部分参数
- 最大注射量
- 注射压力
- 注射速度
- 塑化性能参数
- b) 合模部分参数
- 锁模力
- 模板尺寸
- 模具厚度、模板行程及最大间距
- 模板移动速度



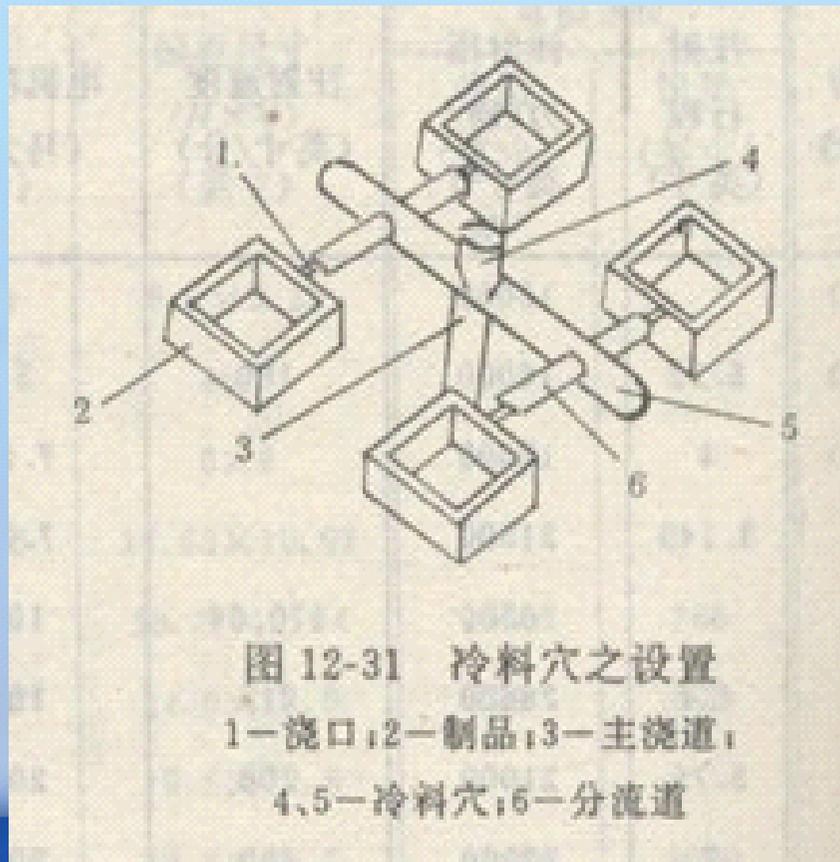
## 第三节 注射成型设备

- 3 模具
- FRTP的材料性能和工艺性能都和未增强的热塑性料不同。因此，在设计FRTP注塑模具时，应充分考虑到它的特点和要求。
- FRTP的材料特性主要表现为：强度高、模量大、收缩小、热变形温度高、蠕变小、成型后制品尺寸稳定性及冲击性均好等。
- FRTP的工艺特性主要有：注射压力要求高、注射速度快，模具和熔料温度高等。
- a) 流动特性，流道，浇口及排气



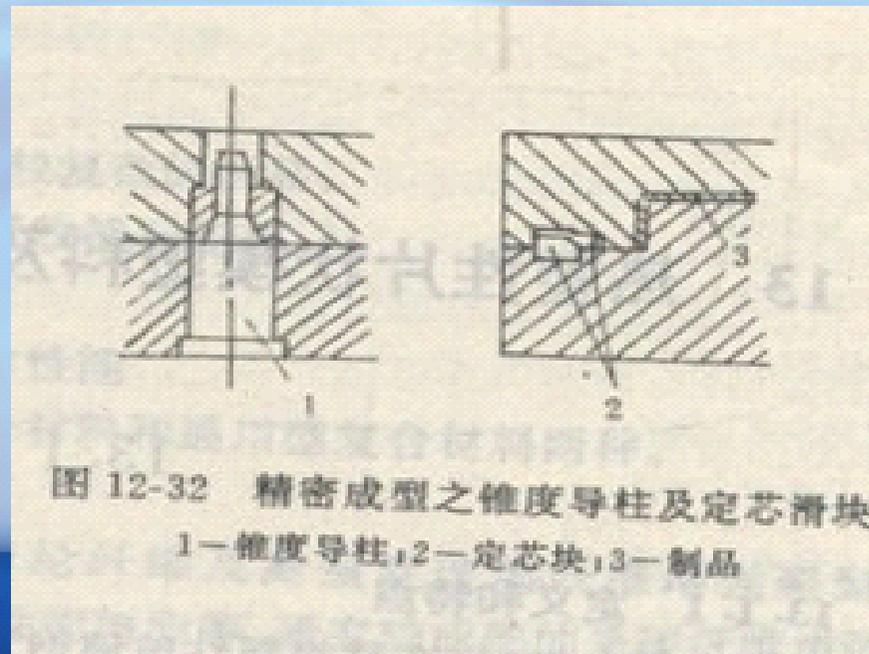
## 第三节 注射成型设备

- FRTP的流动性差，凝固性快，成型时要求物料能充满模腔。因此，流道最好设计成粗而短的圆柱形。



## 第三节 注射成型设备

- b) 成型收缩
- 对于FRTP; 来讲, 制品沿流动方向的收缩率比垂直方向小  
1/2。因此, 生产FRTP时, 一定要通过试模将模具尺寸作精细修正。



本章结束

