



# 化纤工艺学

## 第三章 聚酯纤维



## 学习目的要求

初步掌握聚酯纤维的合成、纺丝等生产技术，把握结构、性能及应用，了解其改性和新型聚酯纤维。



### 第一节 概述

聚酯是制造聚酯纤维、涂料、薄膜及工程塑料的原料，是由饱和的二元酸与二元醇通过缩聚反应制得的一类线性高分子缩聚物。这类缩聚物的品种因随使用原料或中间体而异，故品种繁多数不胜数。但所有品种均有一个共同特点，就是其大分子的各个链节间都是以酯基“—COO—”相联，所以把这类缩聚物通称为聚酯。以聚酯为基础制得的纤维称为涤纶，是三大合成纤维（涤纶、锦纶、腈纶）之一，是最主要的合成纤维。

## 第二节 聚对苯二甲酸乙二酯

### 一、对苯二甲酸乙二酯的制备

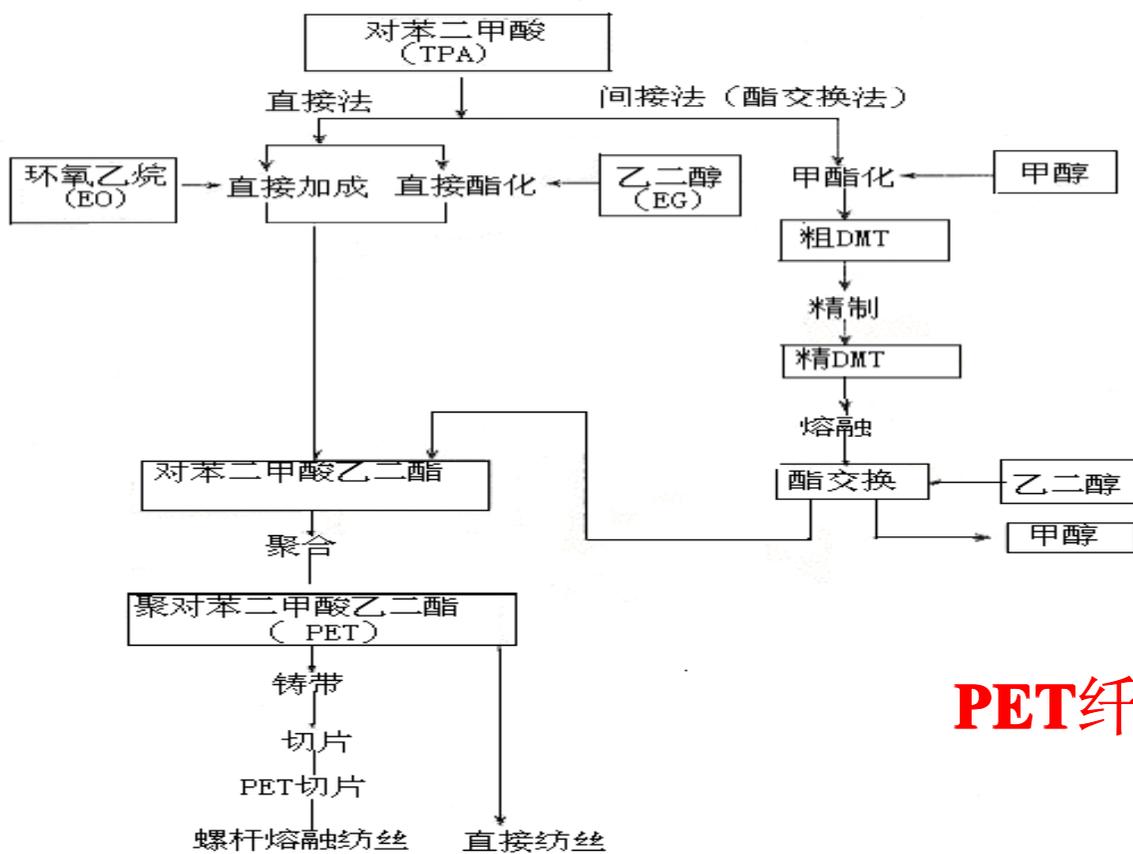
#### 1. 合成的工艺路线

酯交换路线

合成的工艺路线

对苯二甲酸用乙二醇直接酯化路线

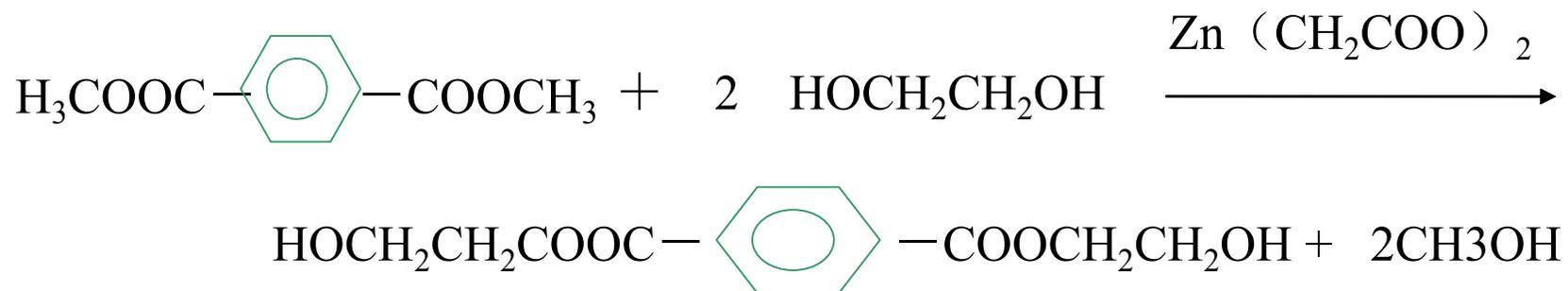
环氧乙烷直接加成路线



**PET纤维生产路线**

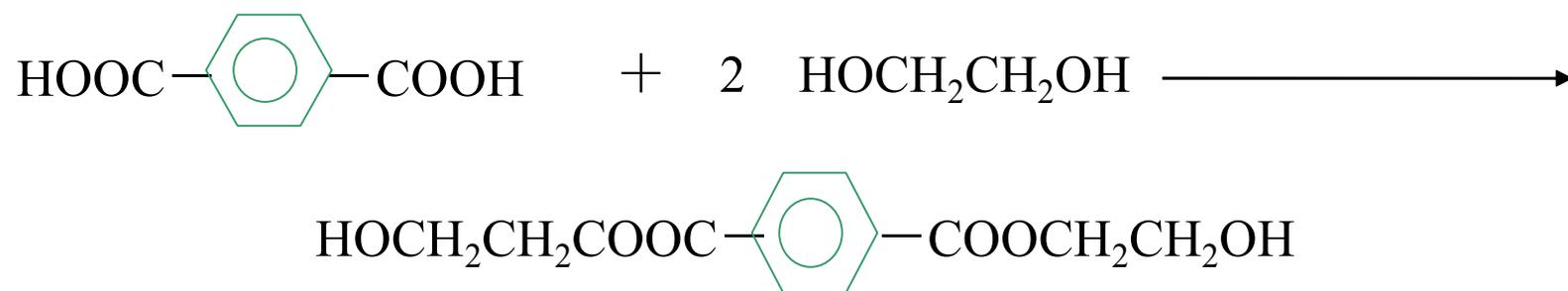
### (1) 酯交换路线（酯交换法）

将对苯二甲酸二甲酯与乙二醇按1：2.5（摩尔比）比例混合，在醋酸锌、醋酸锰和醋酸钴催化剂的作用下，发生酯交换反应，生成对苯二甲酸双羟乙酯。



对苯二甲酸双羟乙酯

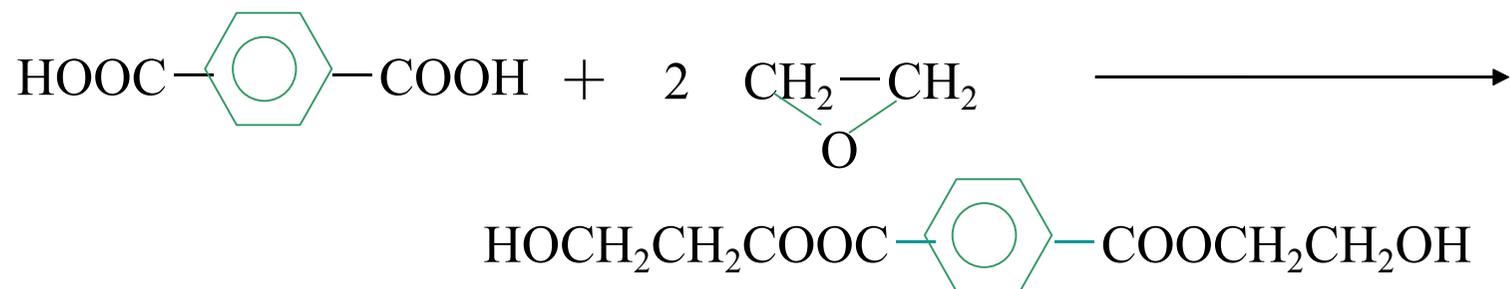
### (2) 对苯二甲酸用乙二醇直接酯化路线 (直接酯化法)



对苯二甲酸双羟乙酯

### (3) 环氧乙烷直接加成路线（环氧乙烷法）

该路线是1973年开始工业化生产的。其反应如下：



对苯二甲酸双  
羟乙酯

该反应在饱和低分子脂肪胺或季胺盐存在下，进行极为顺利，该路线具有成本低；产物低聚物少，容易精制；设备利用率高，辅助设备少等优点。

如果采用高纯度的对苯二甲酸和环氧乙烷进行反应，其产物可不经过精制就可以直接用于缩聚成聚酯。其中，酯交换聚酯法和直接酯化聚酯法现在依然是合成聚酯的两大主要工艺路线。

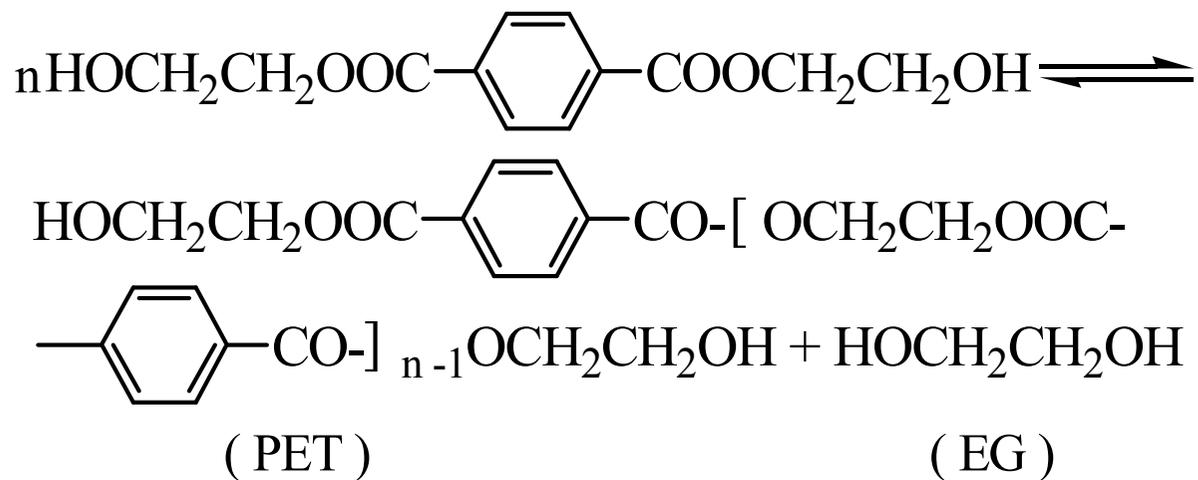
**酯交换路线**是传统的方法，因工艺技术成熟，所以至今在工业生产中仍占有相当的地位。

直接酯化聚酯路线虽然起步较晚，但与酯交换聚酯路线相比，因具有消耗定额低，乙二醇配料比低，无甲醇回收，生产控制稳定，流程短，投资低等优点，而发展迅速。目前国内引进的聚酯装置多以后者为主，其生产能力**1997**年就已达到**152万t/a**。

### 二、聚对苯二甲酸乙二醇酯的生产

#### 1. 生产原理

用精制后的对苯二甲酸双羟乙酯在缩聚反应催化剂和稳定剂缩聚反应，分离出乙二醇后即得聚对苯二甲酸乙二醇酯，其反应如下：



由于缩聚反应属于可逆反应，为了使缩聚反应进行完全，必须排出反应生成的低分子物质（乙二醇），为此必须采用真空及强力搅拌，缩聚反应最终压力不大于**266.6Pa**，才能获得高相对分子质量的聚酯，一般产品的平均相对分子质量不低于**20000**，用于制造纤维、薄膜的相对分子质量约为**25000**。

### 2. 聚对苯二甲酸乙二醇酯的生产工艺

从操作方式上看，聚对苯二甲酸乙二醇酯的两种主要生产路线都有**间歇操作**和**连续操作**之分。相比较而言，直接酯化法连续法比间歇法的成本低**20%**；酯交换法连续比间歇的成本低**10%**。**下面主要介绍酯交换法和直接酯化法聚酯的生产工艺。**

### (1) 酯交换法连续生产聚酯工艺

酯交换法连续生产聚酯工艺包括酯交换、预缩聚、缩聚等过程，其原则工艺流程如图3-2所示。

①酯交换 将原料对苯二甲酸二甲酯连续加入熔化器中，加热（**150±5**）℃熔化后，用齿轮泵送入高位槽中。另将乙二醇连续加入到乙二醇预热器中预热至**150~160**℃后，用离心泵送入高位槽中。将上述两种原料按摩尔比**1：2**分别用计量泵连续定量加入酯交换塔上部。

分别将催化剂醋酸锌和三氧化二锑按DMT的**0.02%**加入量，用过量**0.4mol**的乙二醇配制成液体加入高位槽中，并连续定量送入连续酯交换塔上部。

**连续酯交换塔**是一个塔顶带有乙二醇回流的填充式精馏柱的立式泡罩塔。控制酯交换温度为**190~220℃**，反应所生成的甲醇蒸气通过塔内各层塔板上的泡罩齿缝上升，进行气液交换后进入冷凝器冷凝后

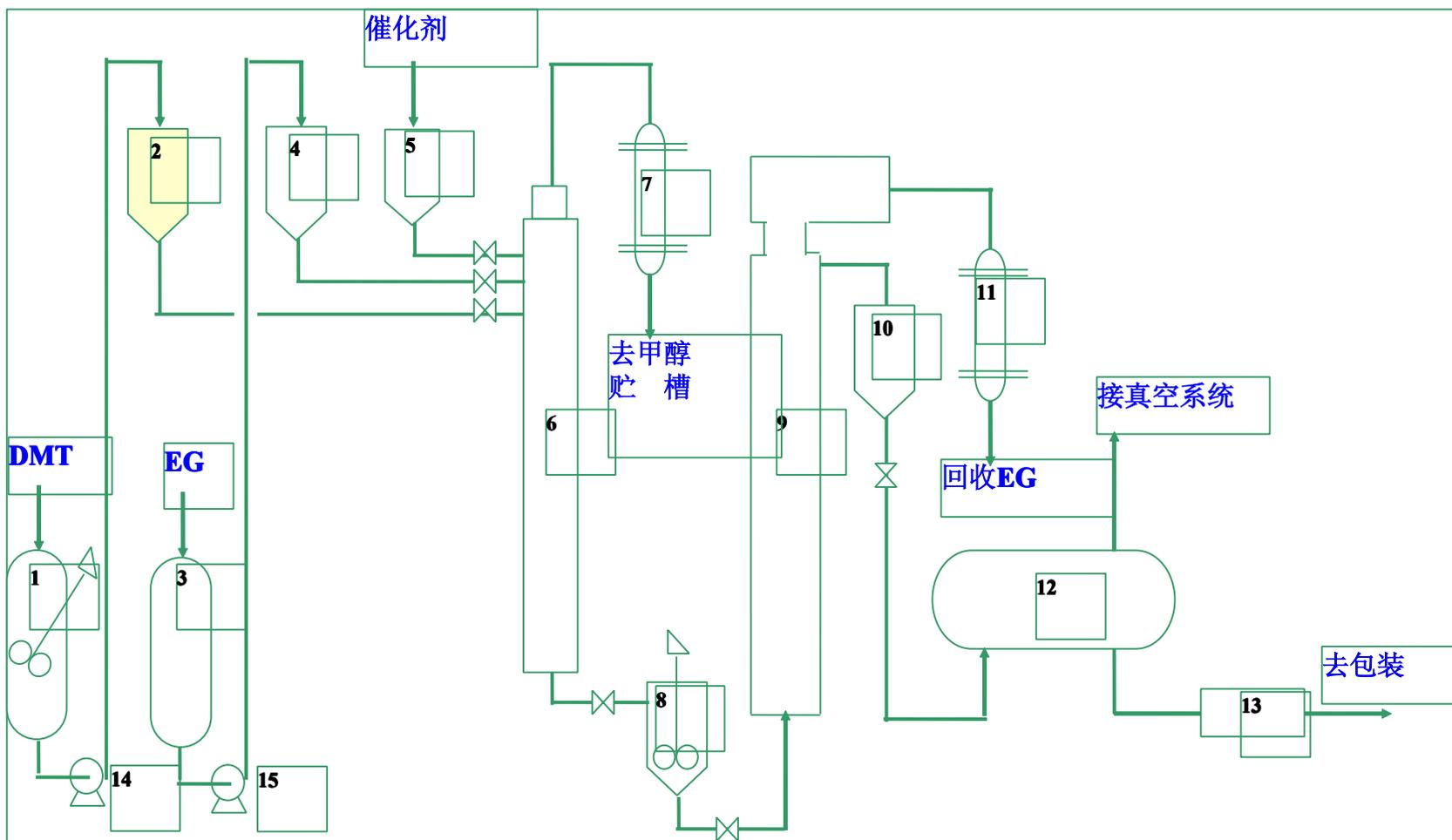
流入甲醇贮槽中。原料由塔顶加入后，经十六个分段反应室流到最后一块塔板，完成酯交换反应，酯交换的生成物由塔底再沸器加热后流入混合器中。

# 化纤工艺学

## 第三章

## 聚酯纤维

### 酯交换法连续生产聚酯工艺流程



### ②预缩聚

混合器中的单体经过滤器过滤后，经计量泵、单体预热器送入预缩聚塔底部。预缩聚塔由十六块塔板构成，控制塔内温度在  $(265 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。单体由塔底进入后，沿各层塔板的升液管逐层上升，在上升过程中进行缩聚反应，反应所生成的乙二醇蒸气起搅拌作用，可以加快反应速率。当物料到达最上一层塔板后，便得到特性粘度  $[\eta] = 0.2 \sim 0.25$  的预聚物，预聚物由塔顶物料出口流出。

### ③缩聚

预聚物由计量泵定量连续输送到卧式连续真空缩聚釜的入口。该釜为圆筒形的内有**49**枚圆盘轮的单轴搅拌器，釜的底部有与圆盘轮交错安装的隔板隔成的多段反应室，**如图10-3所示**。以锌催化剂时，釜内缩聚反应温度**不超过270℃**，加入稳定剂后可控制**275~278℃**，压力小于**133.3Pa**。在搅拌器的作用下，物料由缩聚釜一端向另一端移动，在移动过程中进行缩聚反应。当物料到达另一端时，聚酯

树脂的特性粘度逐渐增加到**0.64~0.68**。然后经过连续纺丝、拉膜或造粒即得其产品。

### (2) 直接酯化聚酯生产工艺

直接酯化聚酯生产工艺所用的原料**对苯二甲酸**与**乙二醇**的质量要求**如表10-3**所示。其工艺过程包括酯化与缩聚。

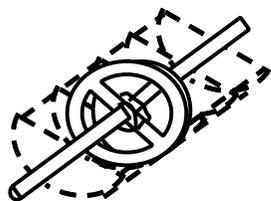
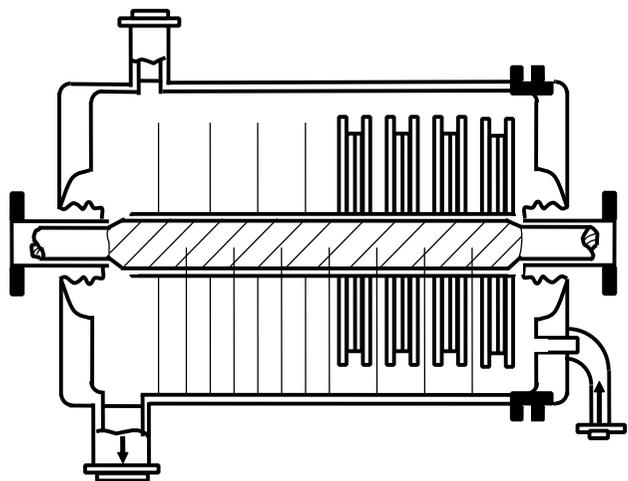
### ①酯化反应

对苯二甲酸与乙二醇按摩尔比**1 : 1.33**配料，以三氧化二锑为催化剂，在搅拌下，控制酯化温度在乙二醇沸点以上。酯化反应在**如图3-2所示**的反应釜中进行。用平均聚合度为**1.1**的酯化物在反应器中循环，酯化物与对苯二甲酸的摩尔比为**0.8**。控制釜的夹套温度为**270℃**，物料在釜内第一区室内充分混合，制成粘度

为**2Pa·s**的浆液。这种浆液穿过区室间档板上的小孔进入下一个区室，物料在前进中进行反应，最后获得均一低聚物。反应产生的水，经蒸馏排出设备外。

### ②缩聚反应

缩聚反应设备与酯交换基本相同，连续酯化后的产物进入缩聚设备进行连续缩聚反应，即得**聚对苯二甲酸乙二醇酯**。



由于直接酯交换法中一般要加入了磷酸三苯酯、亚磷酸三苯酯等**稳定剂**，所以聚酯产物的热稳定性和聚合度都比酯交换法聚酯高，可以作为生产**轮胎帘子线**的高质量纤维。

### 第三节 聚酯切片的干燥

#### 1、切片干燥的目的和要求

切片在熔融纺丝之前必须进行干燥。干燥的目的是除去切片中的水分，并提高切片的结晶度和软化点。

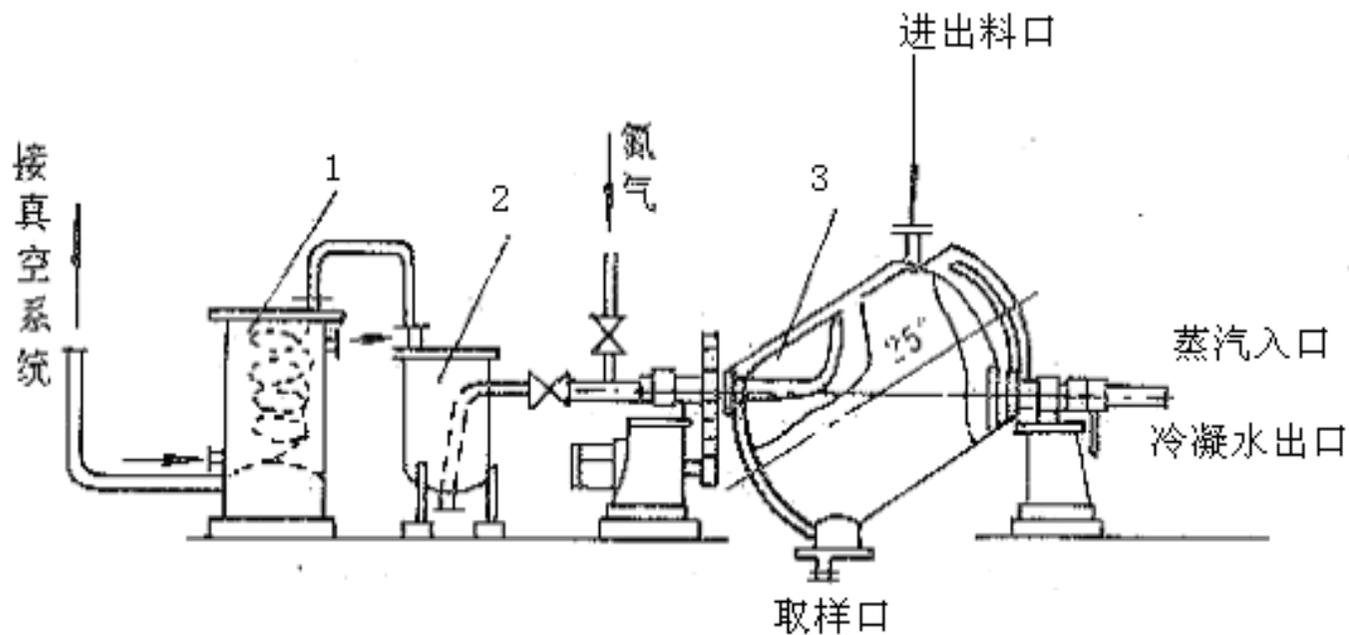
#### 2、切片干燥的工艺控制

切片干燥过程实质上是一个同时进行的传热和传质过程，并伴随着高聚物结构(结晶)与性质(软化点等)的变化。

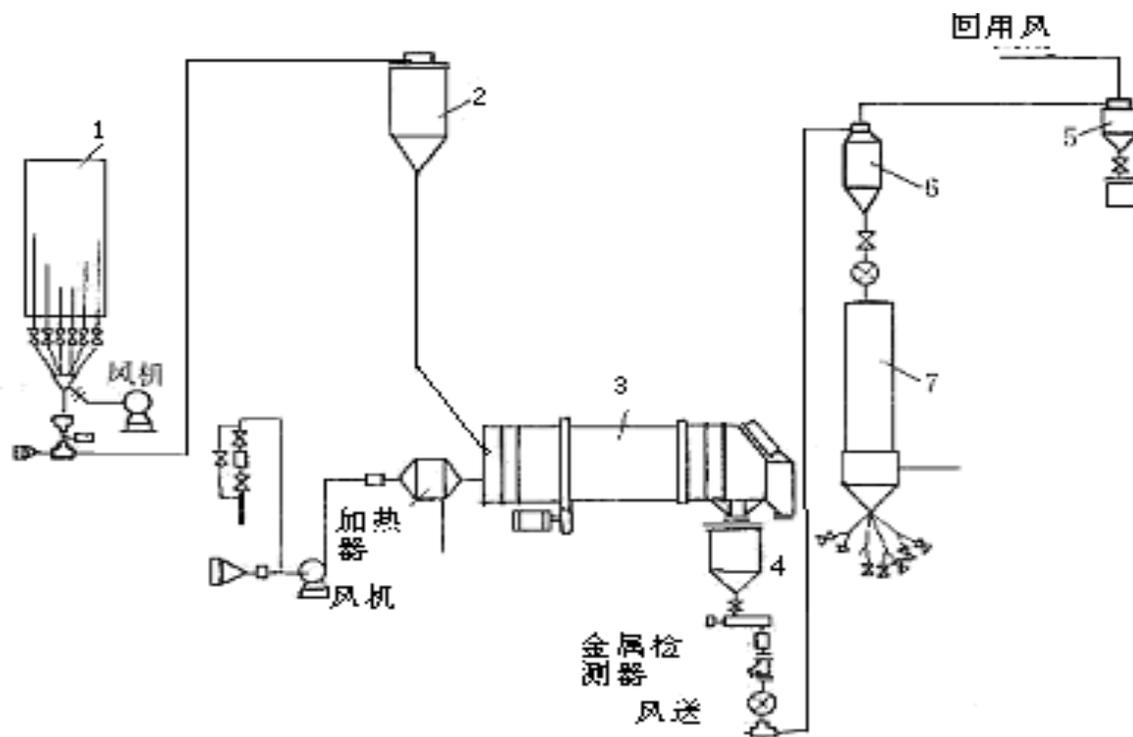
温度    时间    风速    风湿度

### 3、切片干燥设备

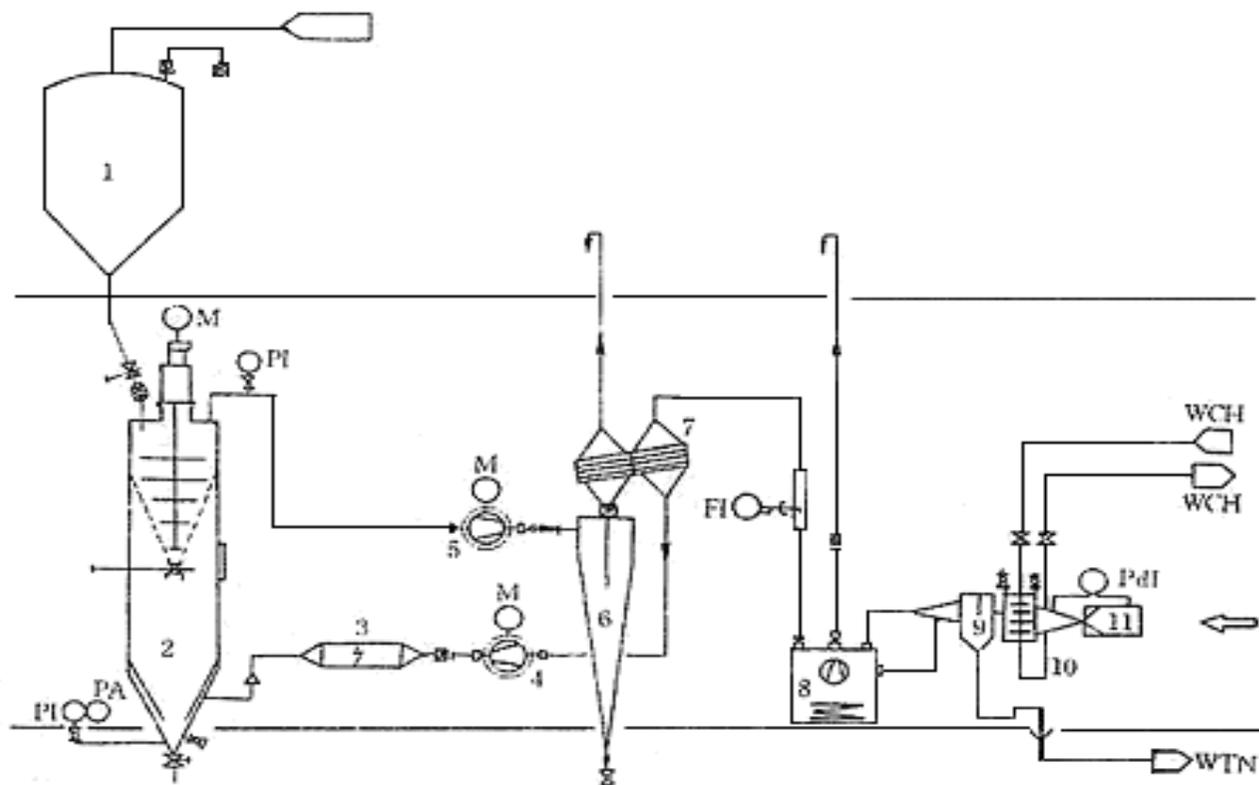
**PET**切片干燥设备分为间歇式和连续式两大类。间歇式设备有真空转鼓干燥机；连续式设备有回转式、沸腾式和充填式等干燥机，也有用多种形式组合而成的联合干燥装置，如德国的**KF**、**BM**，吉玛和日本的钟纺、奈良等干燥装置。



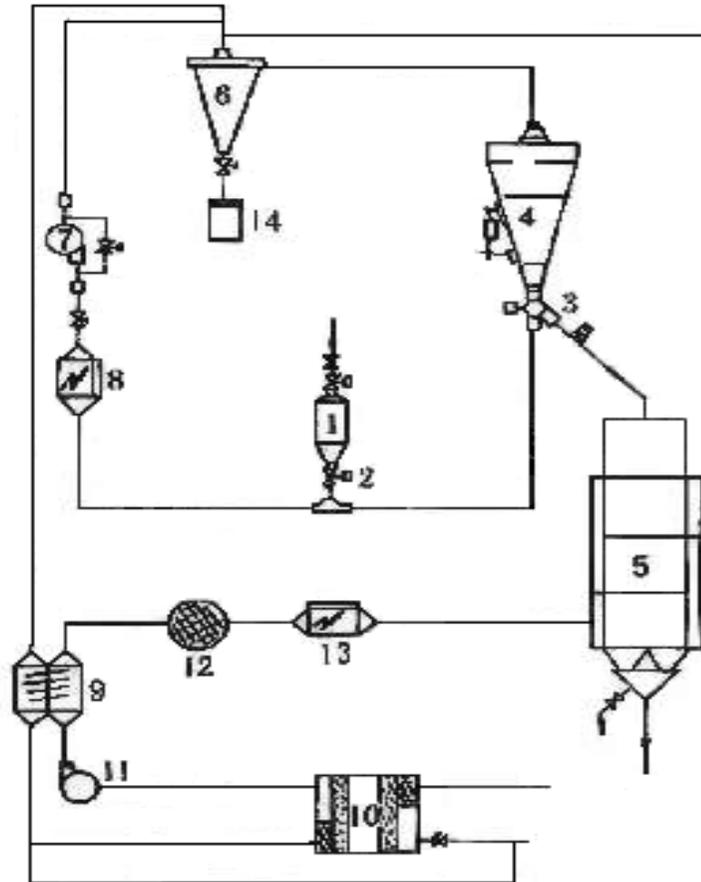
**VC353真空干燥机示意图**



回转圆筒一充填组合干燥工艺流程图



**KF式干燥工艺流程**



间歇式预结晶和BM式干燥工艺流程图

### 第四节 聚酯纤维的纺丝

聚酯纤维是通过熔融纺丝法生产的，一般是将聚酯树脂切片经过真空干燥（真空度**266.6~666.5Pa**，温度**140~150℃**，时间**10~20h**），除去吸附的微量水分，并使树脂由无定型变为结晶形后，在惰性气体的保护下加热成熔体。再在一定压力下定量压出喷丝孔，冷却后形成纤维，再经拉伸、卷曲、切断等工序成为一定规格的

可纺短纤维；或在拉伸后进行加捻、定型等后处理工序，成为符合各项指标的长纤维。

**PET**纤维一般以纺丝速度高低来划分纺丝技术路线类型

①**常规纺丝**：纺丝速度**1000~1500m / min**，其卷绕丝为未拉伸丝，通称**UDY**（**undraw yarn**）

### ②中速纺丝：

纺丝速度为**1500~3000m / min**。其卷绕丝具中等取向度，为中取向丝，通称**MOY**（**medium oriented yarn**）

### ③高速纺丝：

纺丝速度为**3000~6000m / min**。纺丝速度为**4000m / min**以下的卷绕丝具有较高的取向度，为预取向丝**POY**（**pre-oriented yarn**）。

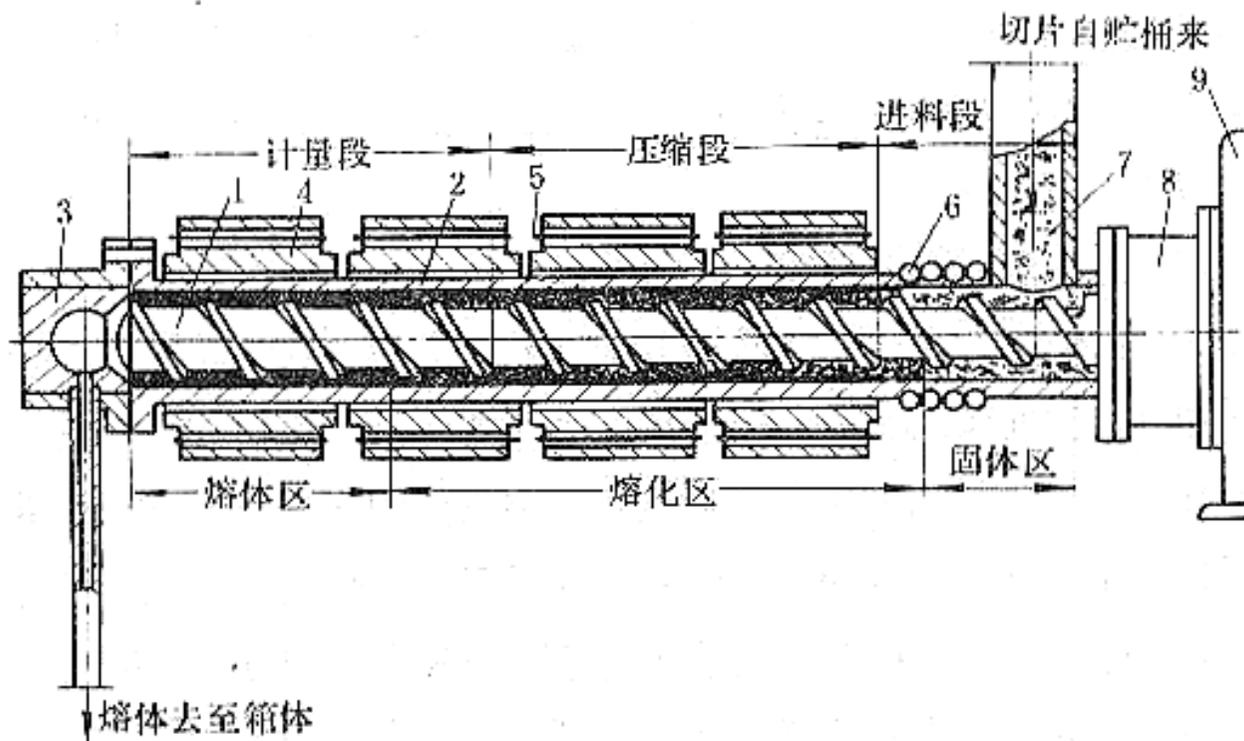
若在纺丝过程中引入拉伸作用，可获得具有高取向度和中等结晶度的卷绕丝，为全拉伸丝**FDY**（**full draw yarn**）。

④**超高速纺丝**：纺丝速度为**6000~8000m / min**。卷绕丝具有高取向和中等结晶结构，为全取向丝，通称**FOY**。

### 1. 纺丝熔体的制备

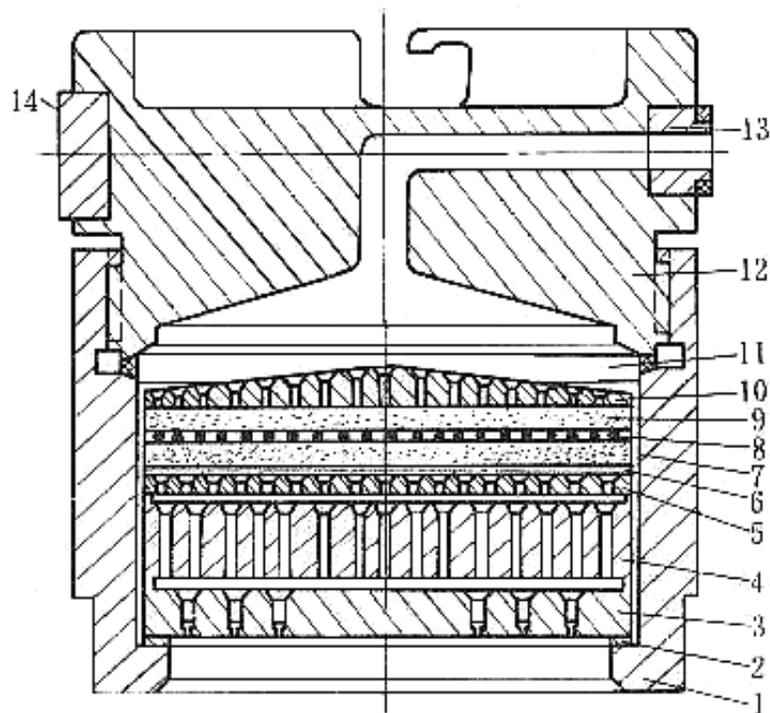
由缩聚釜或用连续缩聚制得的**PET**熔体可直接用于纺丝，也可以经铸带、切粒后再熔融以制备纺丝熔体。

用于熔纺合成纤维生产的主要是单螺杆挤出机，其结构见图。



单螺杆挤出机结构简图

## 2. 纺丝机的基本结构



VD405高压纺丝头组件

### 3. 纺丝过程中的主要工艺参数

熔法纺丝过程中有许多参变数，这些参变数决定纤维成形的历程和纺出纤维的结构和性能，生产上就是通过控制这些参数来制得所要求性能的纤维。

按工艺过程生产中控制的主要纺丝参数：

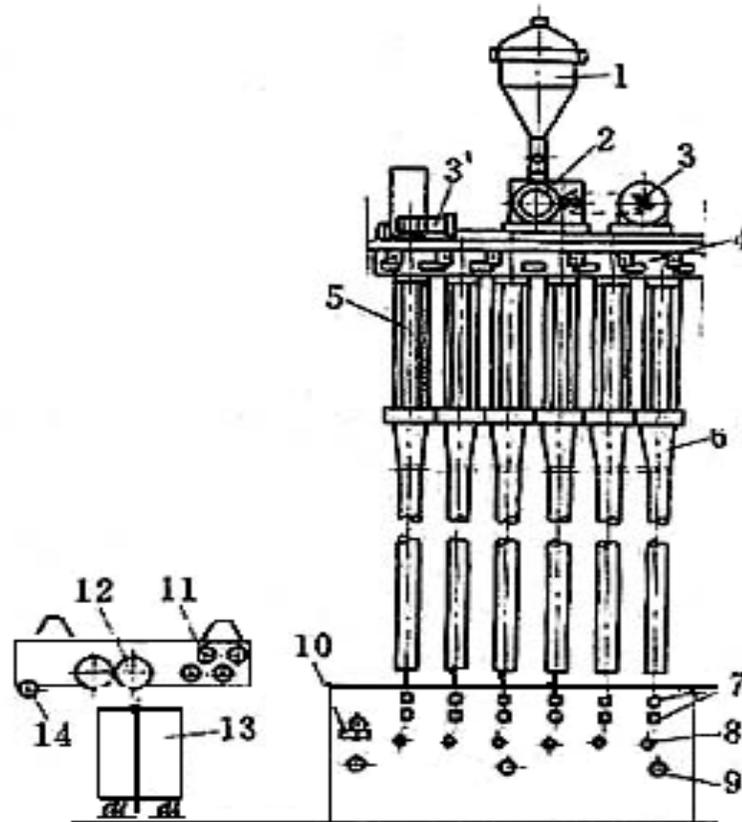
熔融条件    喷丝条件    固化条件    绕丝条件

### 4. 聚酯短纤维的纺丝工艺

**PET**短纤维的纺丝，按其使用的原料状态不同，可分为切片纺丝和直接纺丝两类。

切片纺丝工艺流程：**PET**切片→干燥→熔融→  
纺丝→后处理→成品纤维

直接纺丝工艺流程：**PET**熔体—纺丝—后处理  
—成品纤维。



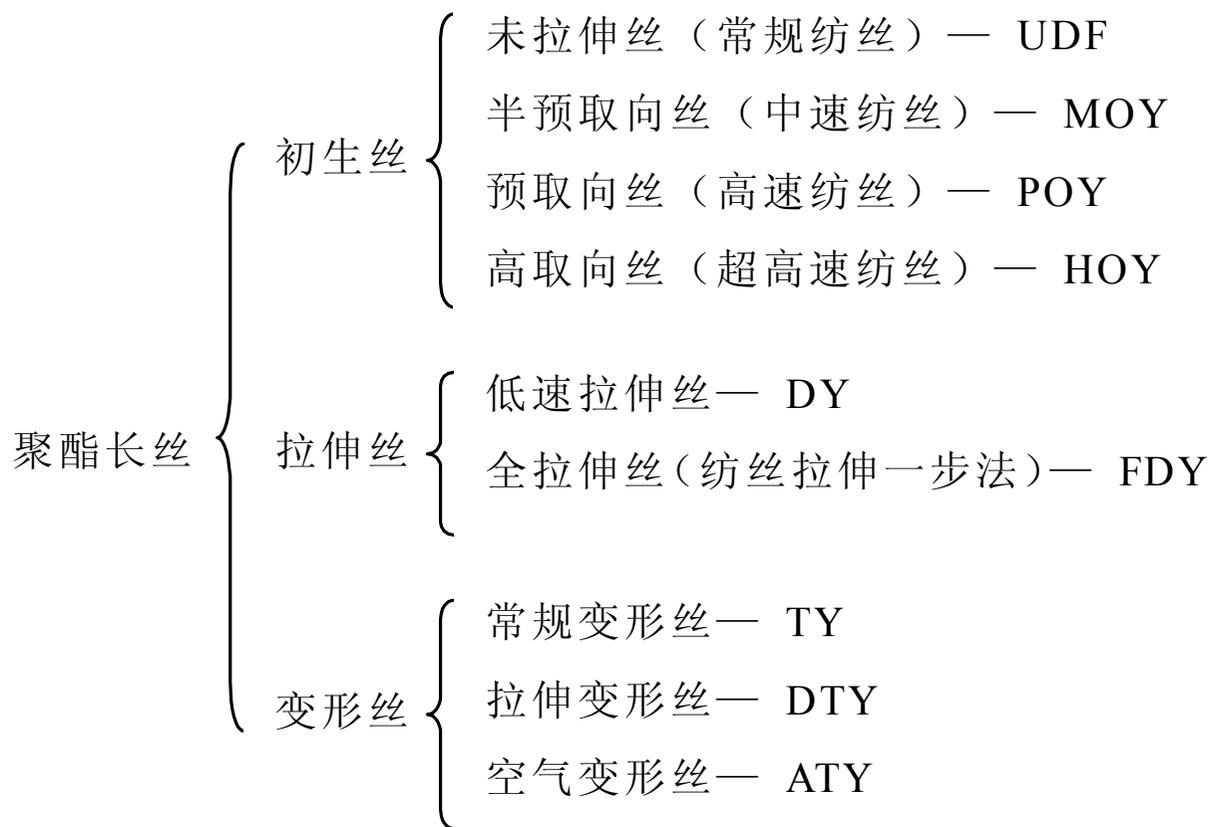
PET短纤维常规纺丝工艺流程图

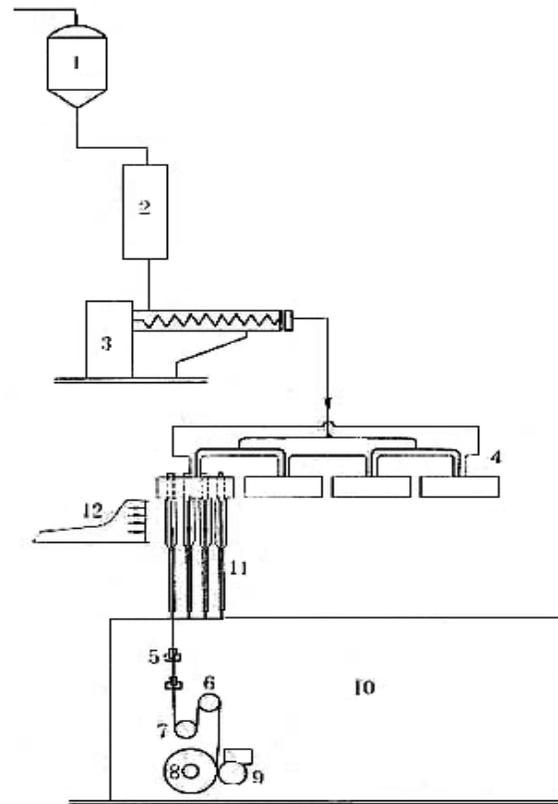
## 5. 聚酯长丝的纺丝工艺

**PET长丝** 普通长丝(复丝)、  
工业用长丝  
弹力丝  
空气变形丝等品种。

聚酯长丝的生产工艺路线

### PET长丝分类如下：





长丝纺丝工艺流程图

## 第五节 聚酯纤维的高速纺丝

### 1. 短纤维高速纺丝

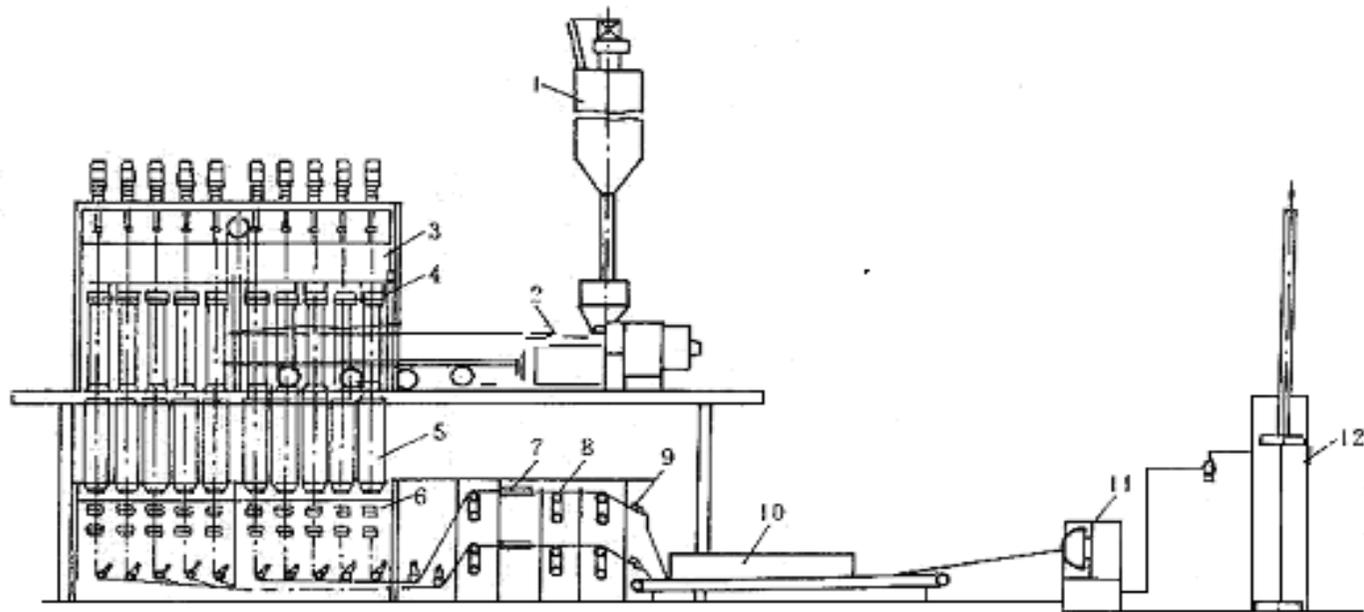


图 3-1 4 PET短纤维高速短程纺丝工艺流程示意图

## 2. 长丝高速纺丝

**PET**预取向丝的生产

全拉伸丝的生产

全取向丝的生产

### 第六节 聚酯纤维后加工

纤维后加工作用：

- (1)** 将纤维进行拉伸（或补充拉伸），使纤维中大分子取向，并规整排列，提高纤维强度，降低伸长率。
- (2)** 将纤维进行热处理，使大分子在热作用下，消除拉伸时产生的内应力，降低纤维的收缩率，并提高纤维的结晶度。
- (3)** 对纤维进行特殊加工，如将纤维卷曲或变形、加捻等，以提高纤维的摩擦系数、弹性、柔软性、蓬松性，或使纤维具有特殊的用途及纺织加工性能。

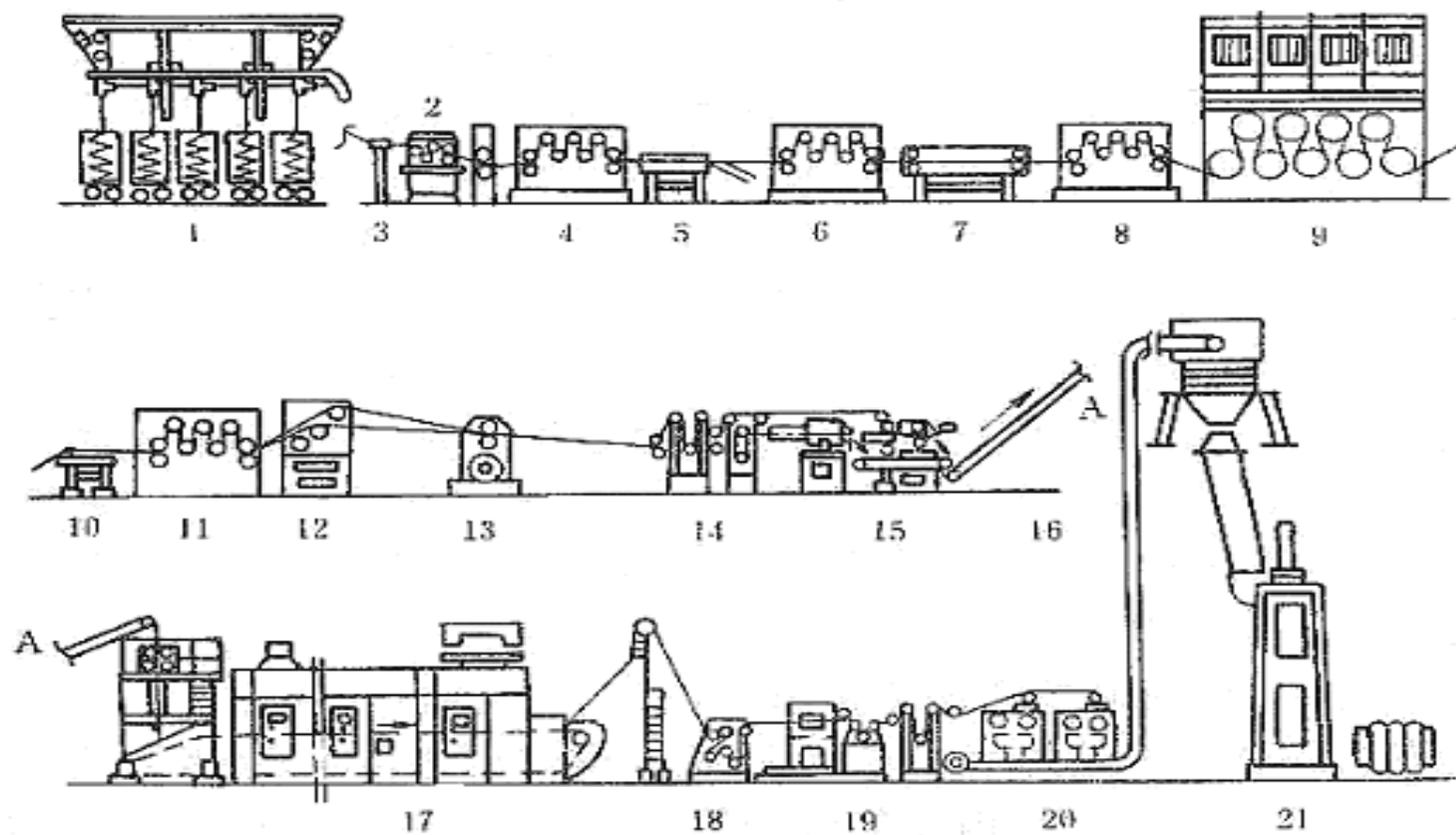


图 3-15 PET短纤维后加工工艺流程示意图

### 2. PET长丝后加工主要工艺参数

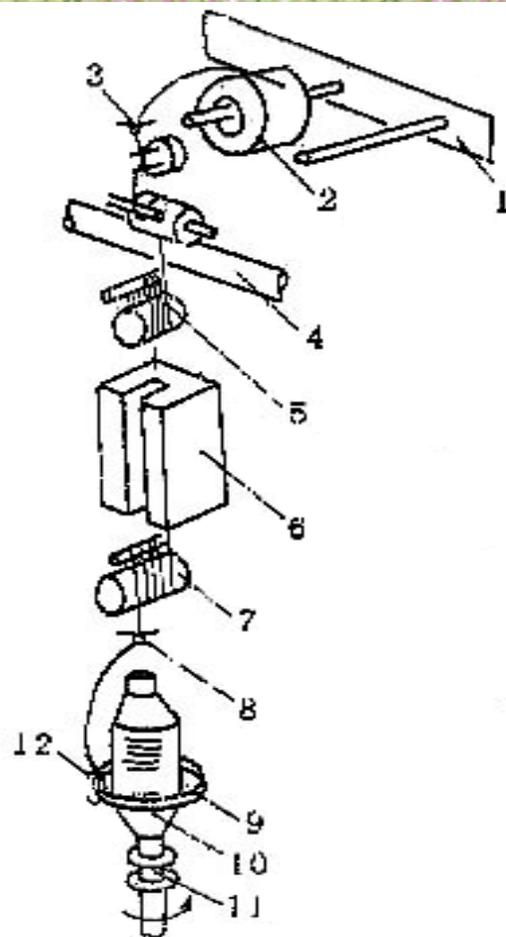
**拉伸倍数：** 拉伸倍数由冷拉伸盘和热盘的线速度之比确定，要大于卷绕丝的自然拉伸比，小于最大拉伸比，一般为**3.5~4.2**倍。

**拉伸温度：** 拉伸温度指热盘温度，要高于纤维玻璃化温度**10~20**°C，一般控制在**80~90**°C±**10**°C。在此范围内温度变化对纤维强度无明显影响；但随温

度升高，拉伸倍数可以增大、结晶度升高、拉伸应力下降、毛丝减少、染色不匀率增加。

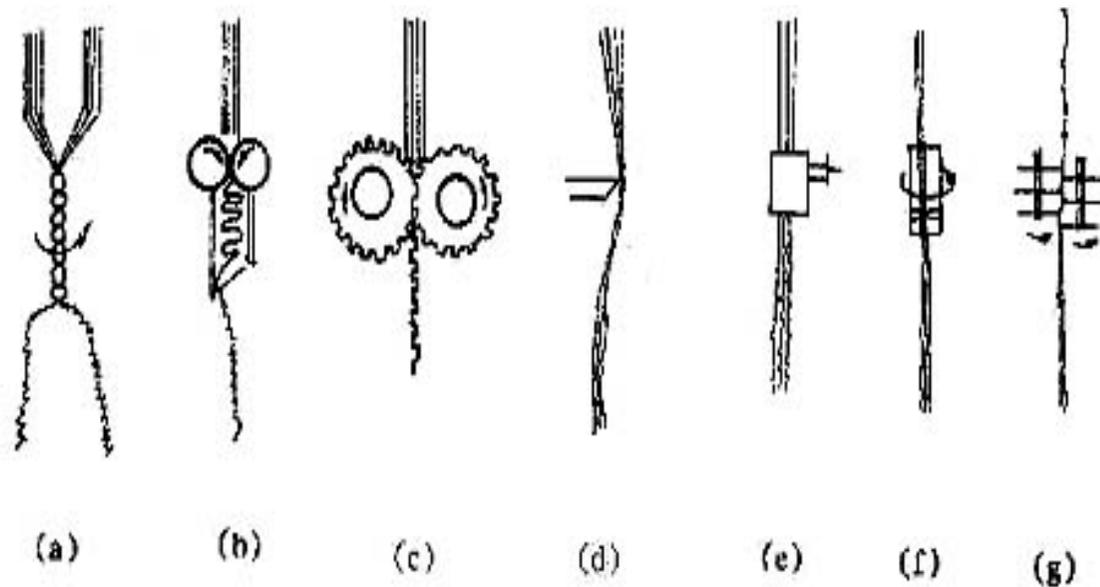
**拉伸速度：**拉伸速度一般在**800m / min**左右，过高的拉伸速度容易出现毛丝。

**定型温度：**定型温度指热板或狭缝温度，一般控制在**180℃**左右。



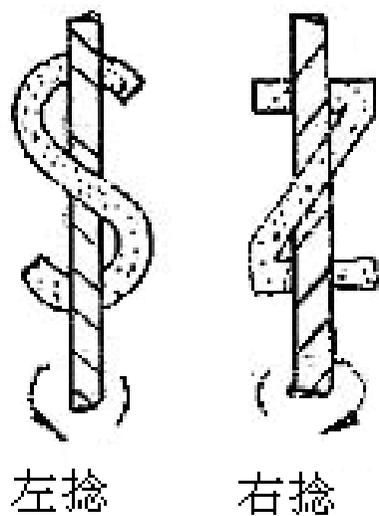
PET长丝拉伸加捻机示意图

### 3. 假捻变形丝加工

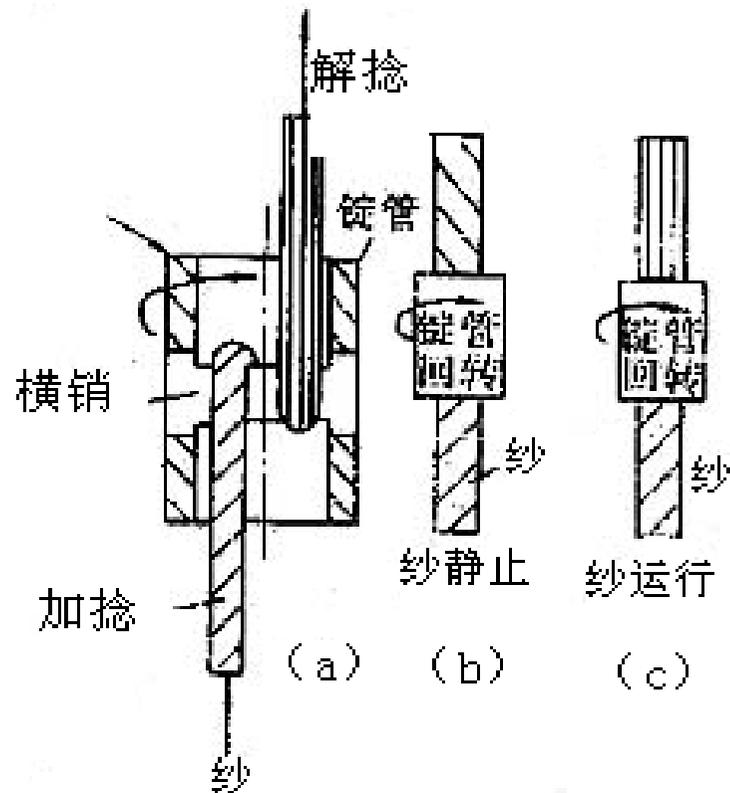


PET弹力丝的加工方法

### 假捻原理示意图



捻向示意图



假捻原理示意图

### 第七节 聚酯纤维的改性和新型聚酯纤维

- 易染色聚酯纤维
- 抗静电、导电聚酯纤维
- 阻燃聚酯纤维
- 仿天然纤维
- 吸湿排汗聚酯纤维
- 负离子纤维
- 蓄光纤维
- 聚酯复合纤维
- 皮芯复合芳香纤维
- 新聚酯**PTT**纤维

### 第八节 聚酯纤维的结构、性能及用途

#### 1. 聚酯纤维的结构

聚酯纤维的结构为高度对称芳环的线性聚合物，易于取向和结晶，具有较高的强度和良好的成纤性及成膜性，结晶度为**40%~60%**，结晶速度慢。

#### 2. 聚酯纤维的性能

用于聚酯纤维原料的具体性能参数参见附表**9**所示。

聚酯纤维一般为乳白色，相对密度为1.38～1.4，回潮率很低，具有易洗快干的特性。在纺织时，容易产生静电，其纺织品在使用过程中易积累静电荷而吸灰尘。

聚酯纤维的熔点为255～265℃，软化温度230～240℃。遇明火能燃烧，有黑烟并有芳香气味，离火后自息。

聚酯纤维在承受外力时不易发生变形，纺织品尺寸稳定性好，使用过程中褶裥持久。耐磨性仅次于聚酰胺纤维。

在室温下，**聚酯纤维能耐弱酸、弱碱和强酸**，但不耐强碱；对丙酮、苯、卤代烃等有机溶剂较稳定，但在酚类及酚类与卤代烃的混合溶剂中能溶胀。

### 3. 聚酯纤维的用途

即可以纯纺也或以与其他纤维混纺制成各种机织物和针织物。聚酯长丝可用于织造薄纱女衫、帷幕窗帘等，与其他纤维混纺可制成各种棉型、毛型及中长纤维纺织品。

聚酯纤维在工业上可作为轮胎帘子线、制作运输带、篷帆、绳索等。