



上海市精品课程

# 高分子材料成型加工



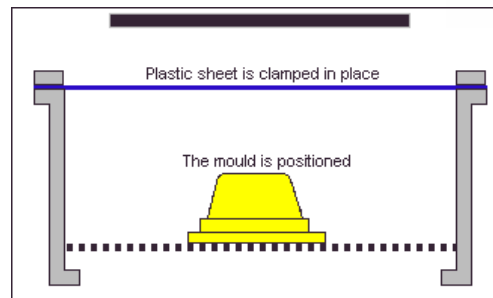
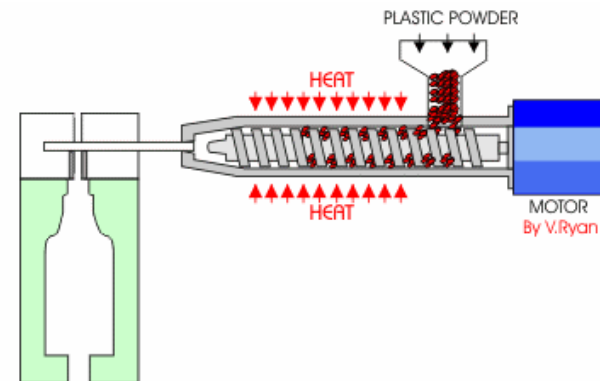
# 第十一章 二次成型

## 本章内容

- ▶ 11.1 二次成型原理
- ▶ 11.2 中空吹塑成型
- ▶ 11.3 拉幅薄膜成型
- ▶ 11.4 热成形



学习也可以和游戏一样好玩



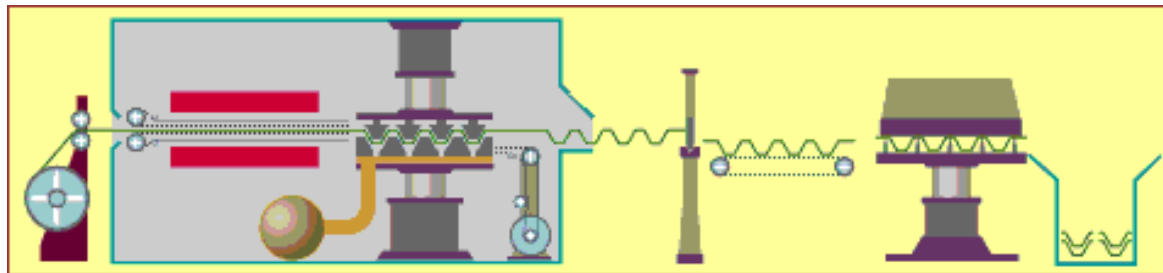
# 11.1 二次成型原理

**二次成型**是指在一定条件下，将塑料一次成型所得的型材通过再次加工成型为制品的方法。

**一次成型** — 通过材料的**流动或塑性形变**而成型，伴有聚合物的状态和相态转变。

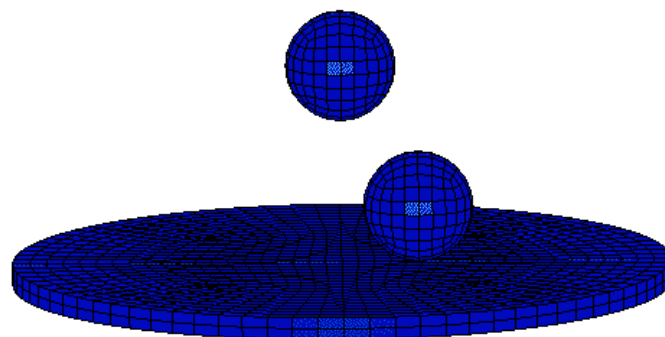
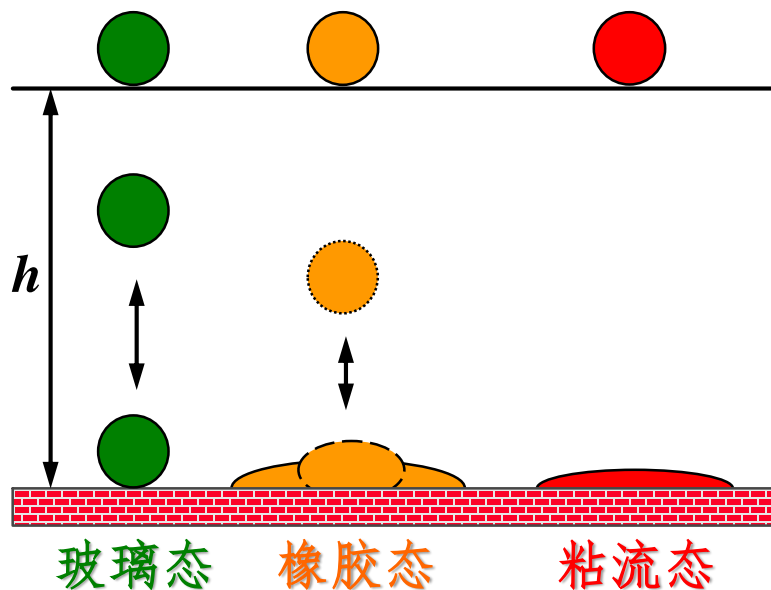
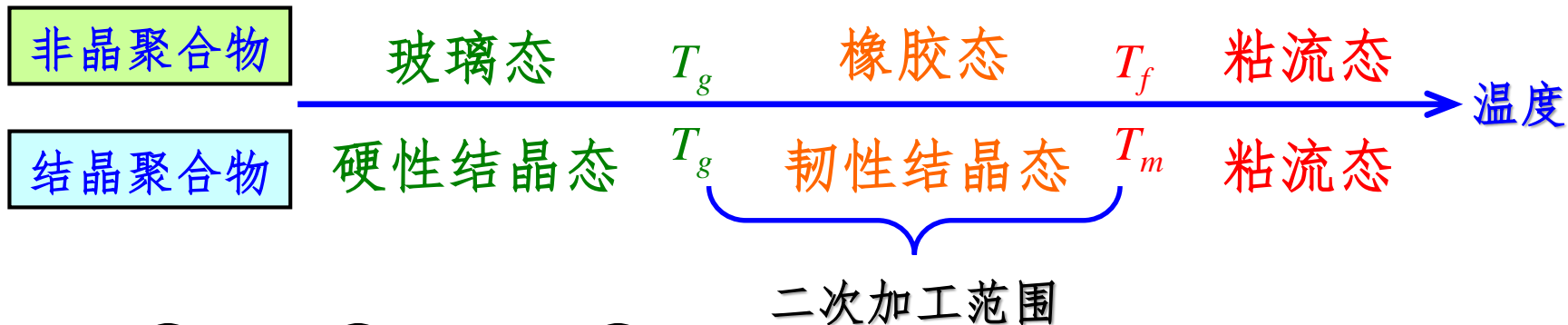
**二次成型** — 通过材料的**粘弹形变**而成型，低于聚合物的熔融温度或粘流温度。

二次成型仅适用于热塑性塑料，包括**中空吹塑成型**、**薄膜双向拉伸**、**热成型**、**合成纤维拉伸**。



# 11.1.1 聚合物的物理状态

聚合物与温度有关的三种物理状态：

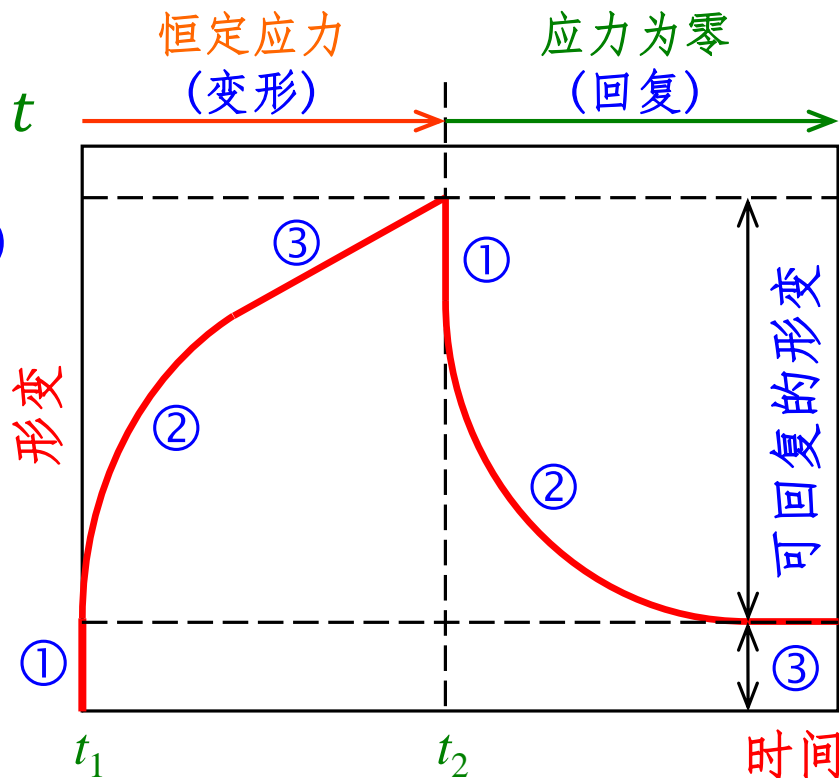


# 11.1.2 聚合物的粘弹性形变

① ② ③  
 聚合物加工总形变 = 普弹形变 + 高弹形变 + 粘性形变  
 (r) (r<sub>E</sub>可逆) (r<sub>H</sub>可逆) (r<sub>V</sub>不可逆)

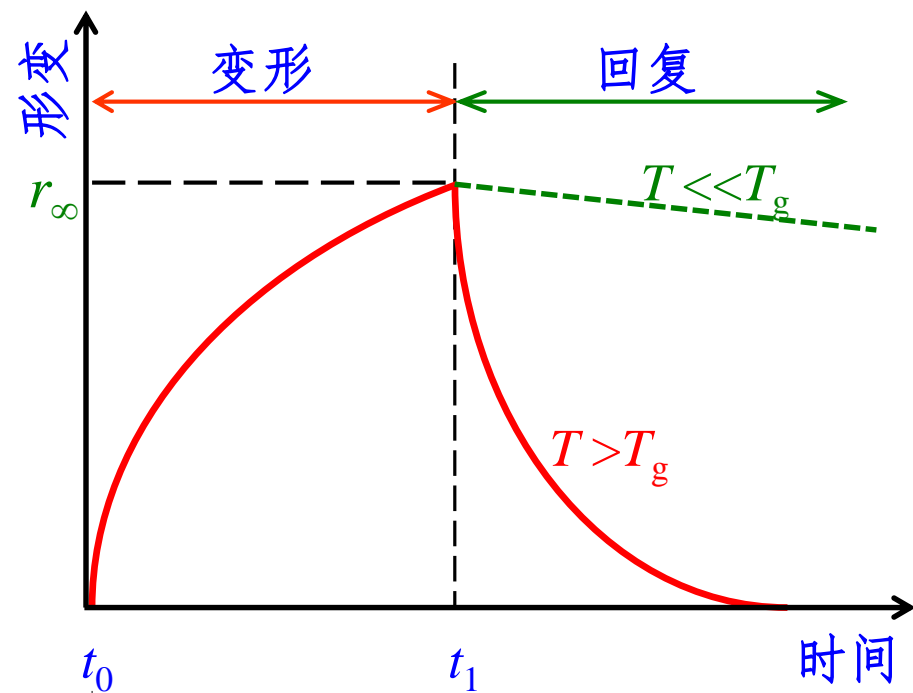
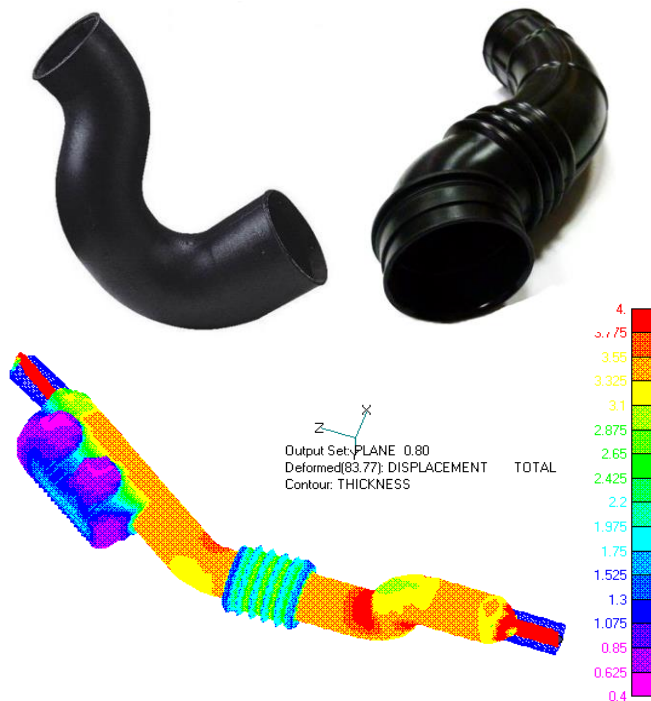
$$r = \underbrace{\frac{\sigma}{E_1}}_{①} + \underbrace{\frac{\sigma}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2}t}\right)}_{②} + \underbrace{\frac{\sigma}{\eta_3}t}_{③}$$

可将粘弹性样品置于平行板转子间隙中，上板对其施加恒定的剪切应力，测定样品随时间的应变。



二次成型过程中，高弹形变  $\gg$  普弹形变 + 粘性形变  
 聚合物回复过程的形变 — 时间关系为：

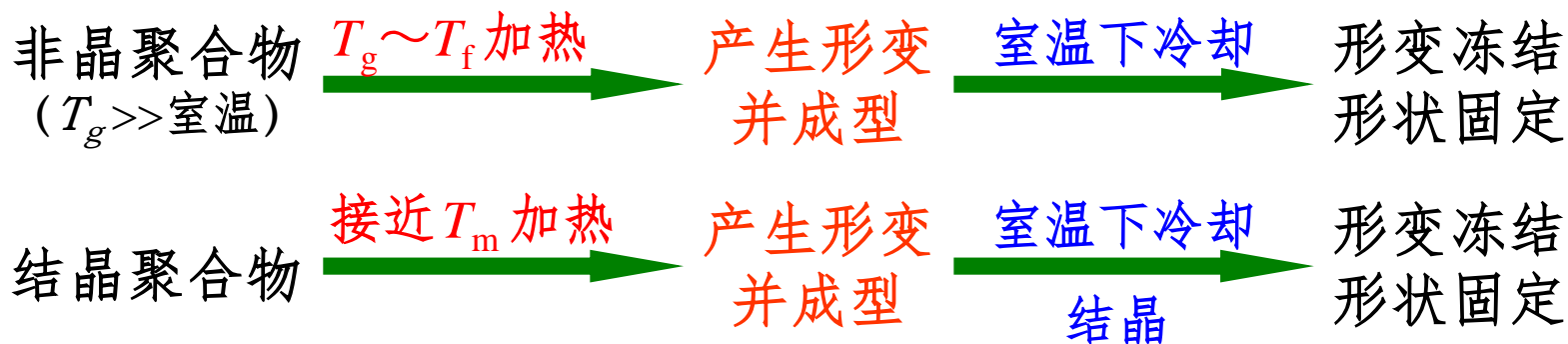
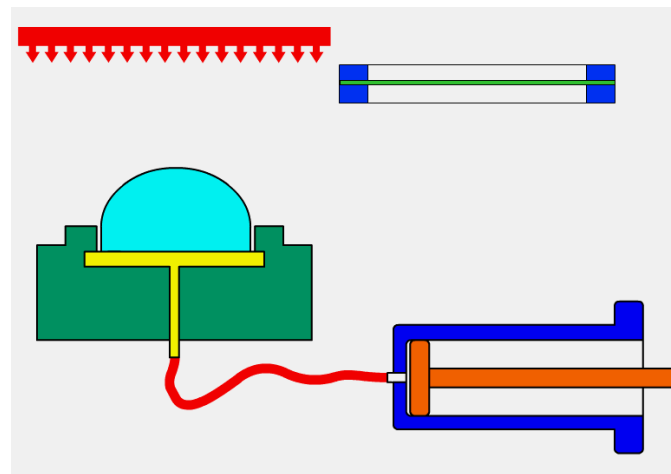
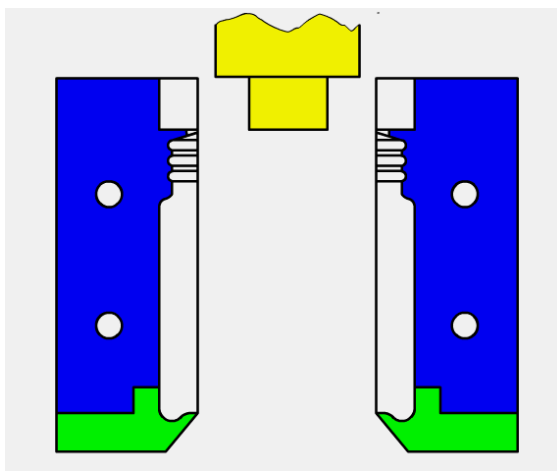
$$r = r_{\infty} e^{-(t-t_1)/t^*}$$



# 11.1.3 成型条件的影响

①成型温度：无定形塑料略高于  $T_g$ ，结晶型塑料接近  $T_m$ 。

②模具温度：略低于  $T_g$ 。





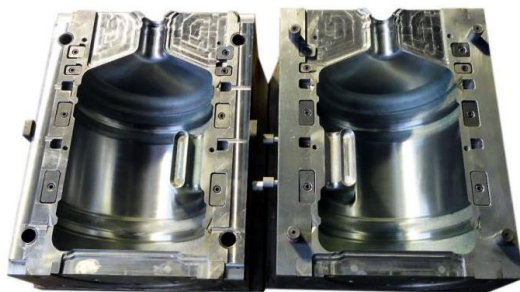
## 11.2 中空吹塑成型

中空吹塑是借助气体压力使闭合在模具型腔中的处于类橡胶态的型坯吹胀成为中空制品。

塑料品种：PE、PP、PVC、PET、PA、PC

吹塑制品：液体包装容器，瓶、壶、桶

吹塑工艺 { 注坯吹塑、挤坯吹塑  
热坯吹塑、冷坯吹塑





# 挤坯吹塑与注坯吹塑

瓶子大致可分为五大类：

- ①压力瓶：碳酸饮料
- ②非压力瓶：矿泉水、牛奶、酱油、食用油
- ③耐热瓶：茶、果汁、咖啡、调味酱
- ④耐热耐压瓶：微碳酸饮料
- ⑤其它：啤酒、化妆品、清洁剂

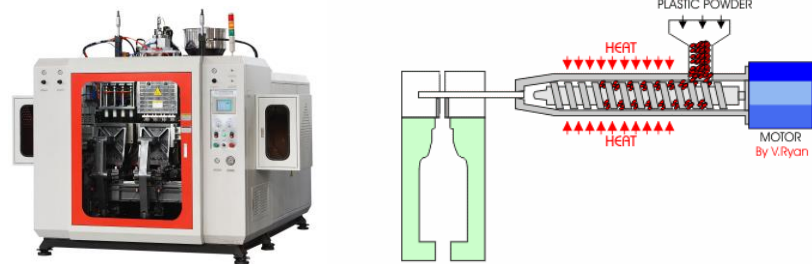
瓶子中用量最大的是**PET瓶**。



## 常用的制瓶方法:

### ①挤坯吹瓶法

适用于PE、PP、PVC，不适合PET。因为PET熔体粘度低，若以挤坯吹瓶法吹PET瓶，则瓶子轴向的厚度差异会很大，再者没有显著的延伸，所以瓶子的强度不够大。



### ②注坯吹瓶法

即**双向延伸吹瓶法**。吹塑过程中，PET分子链呈双向延伸、取向和排列，从而提高了瓶壁强度。**拉伸吹胀比**：径向不超过**3.5~4.2**，轴向不超过**2.8~3.1**。

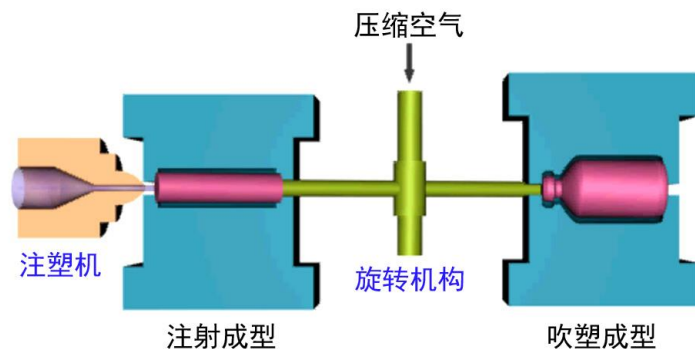


## 11.2.1 注射吹塑

注射吹塑是先将塑料注塑制成有底型坯，再把型坯移入吹塑模内进行吹塑成型。

### ① 无拉伸注坯吹塑

生产小型精制容器和广口容器。



- 优点：
- ① 对塑料品种的适应性好；
  - ② 制品无接缝，废边废料少；
  - ③ 制品壁厚均匀，无需后加工。



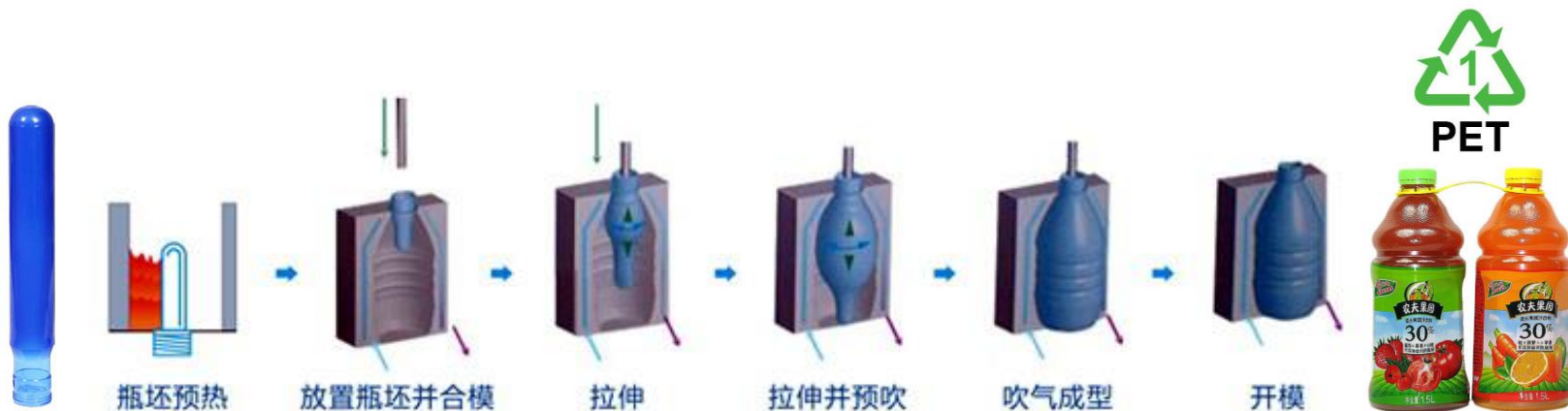
- 缺点：
- ① 需要注塑和吹塑两套模具，设备投资大；
  - ② 型坯温度高，吹胀物冷却慢，成型周期长；
  - ③ 型坯内应力大，容器的形状和尺寸受到限制。

## ② 注坯-拉伸-吹塑

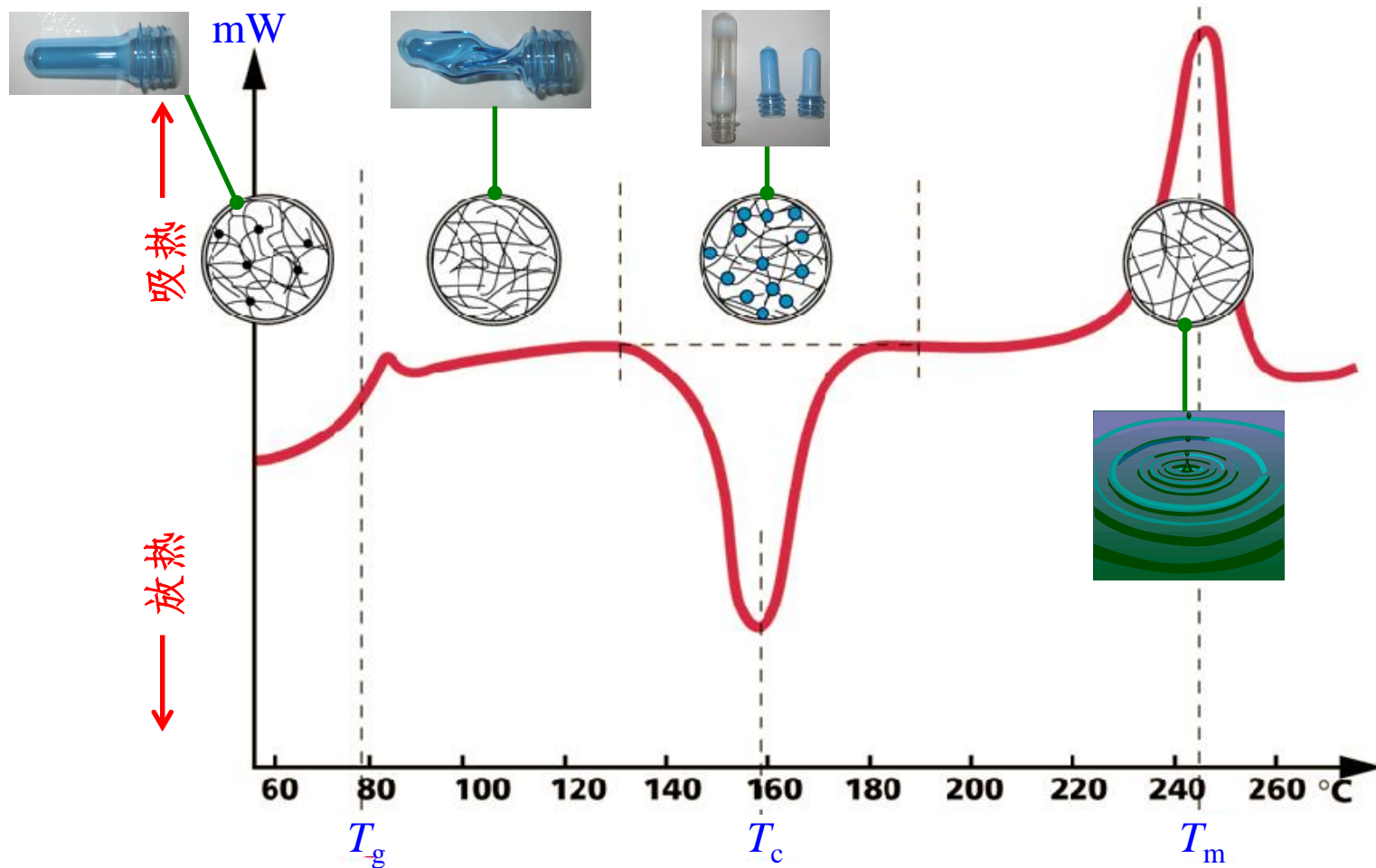
注塑型坯被横向吹胀前受到轴向拉伸，所得制品具有双轴取向结构。注-拉-吹制品的透明度、冲击强度、表面硬度和刚度较高。

**拉伸比** —— 不包括瓶口的制品长度与相应型坯长度之比。

**吹胀比** —— 制品主体直径与型坯相应部位直径之比。



# PET瓶的注-拉-吹



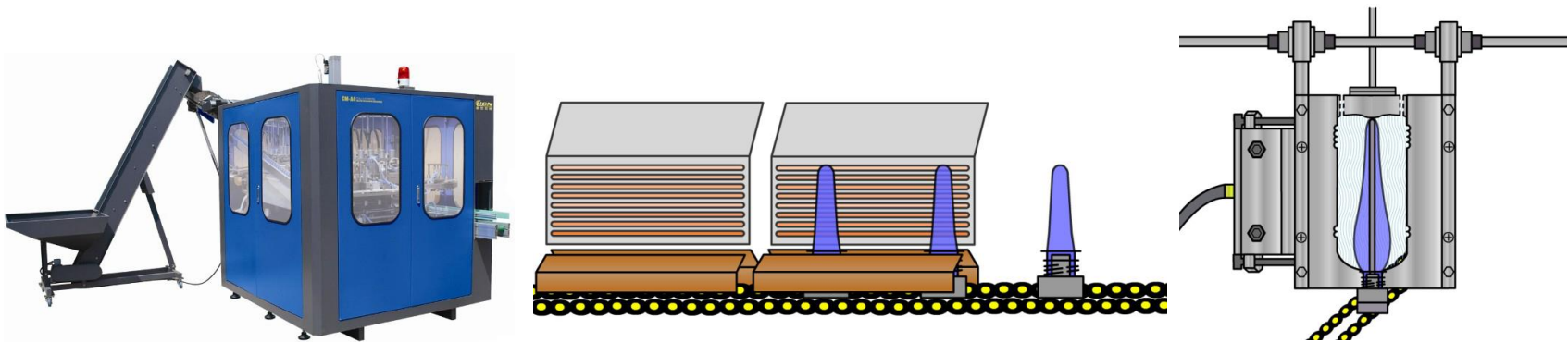
PET的DSC曲线



将PET粒子加热熔融，先以注射成型制成瓶坯，再将瓶坯加热吹制成瓶子。

由于瓶坯的尺寸远小于瓶子，所以由瓶坯吹制瓶子的过程中存在双向延伸，可制成物性良好的PET瓶。

在拉伸-吹胀前，应使瓶坯的温度高于PET的 $T_g$ ，达到95~110℃左右。瓶坯的加热升温需快速而内外均匀，以得到透明、晶莹、壁厚分布理想的PET瓶。



PET经注射制成瓶坯后，可用两种方法吹瓶：

① **一步法(热坯法)**：随即将热的瓶坯吹成瓶子。

适用于生产精度高、透明度好、无瓶坯中转污染的高档产品，如LED球泡的PC灯罩、PP输液瓶、PET药品和化妆品包装等。



② **二步法(冷坯法)**：将瓶坯完全冷却、储存后，根据需要适时吹成瓶子。

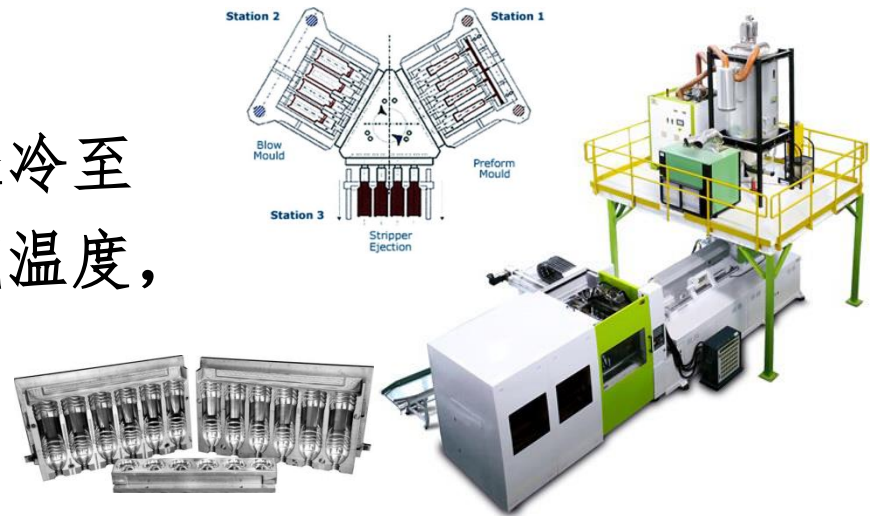


## 一步法吹PET瓶：

**优点：**一步法是在瓶坯尚未冷至常温的情况下随即加热至吹瓶温度，故**能耗**低于二步法。

## **缺点：**

- ①**降低生产效率：**瓶坯制造、调温、吹瓶、顶出等四个步骤集中在同一机台进行，耗时最久的瓶坯制造决定了整个生产循环的时间，故降低了生产效率。
- ②**运输成本高：**一步法的最后成品是瓶子，若需长途运输至异地使用，瓶子运费约为瓶坯运费的十倍。



## 二步法吹PET瓶:

### 优点:

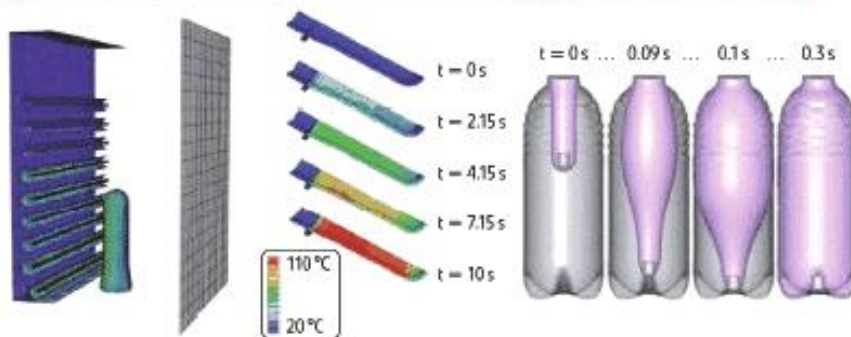
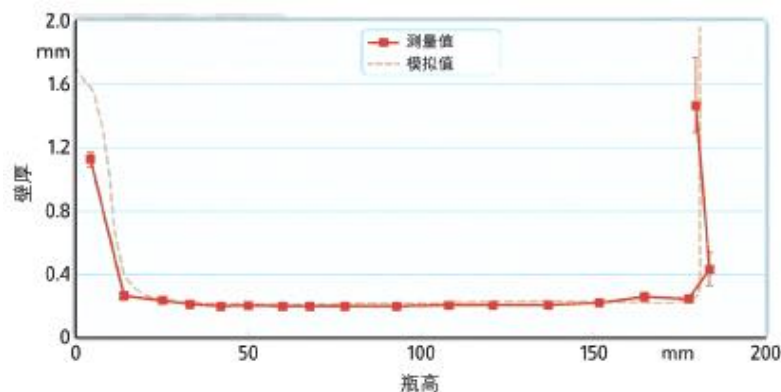
- ① **生产效率高**: 瓶坯与瓶子是分开生产的, 多腔注塑模具增加了一次成型的瓶坯数量。
- ② **运输成本低**: 瓶坯的体积远小于瓶子, 便于长途运输至异地进行吹瓶和使用。

**缺点:** 瓶坯需再加热至吹瓶温度, 故**能耗高**于一步法。



# PET瓶成型过程模拟

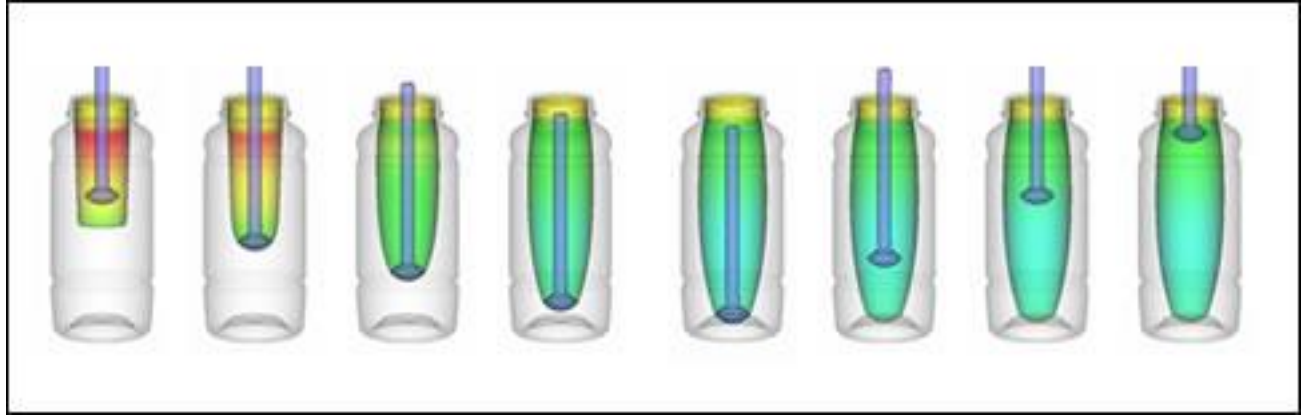
1. 瓶坯的加热模拟
2. 瓶坯的成型模拟
3. 瓶坯的壁厚分布



## 1. 瓶坯的预热



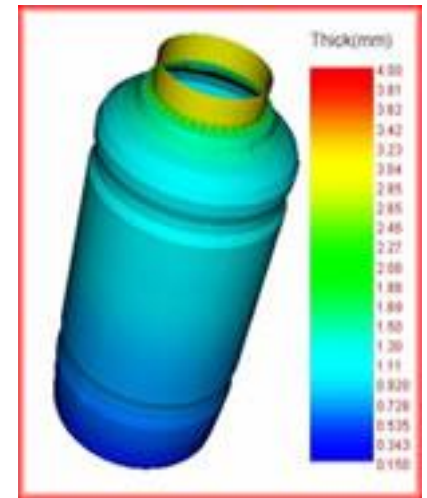
## 2. 瓶坯的拉伸



## 3. 瓶坯的吹胀



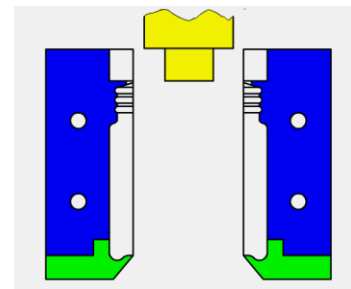
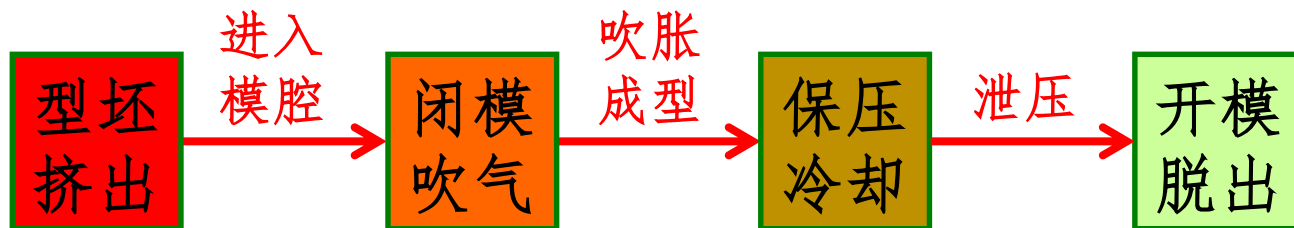
## 成品的壁厚





## 11.2.2 挤出吹塑

工艺过程：



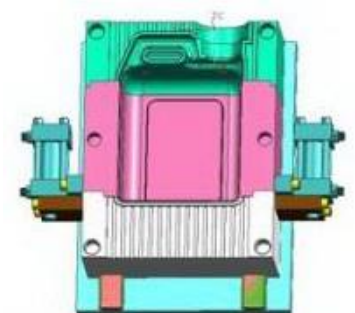
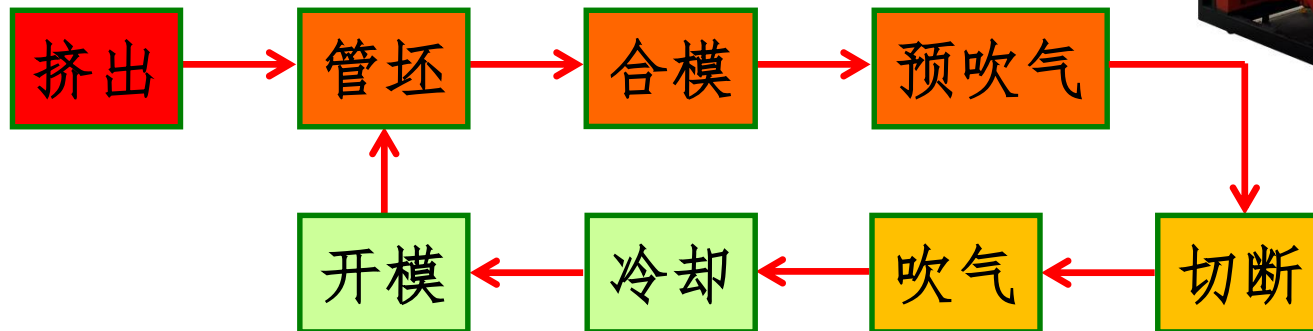
工艺特点：

- ① 设备简单，投资少，生产效率高；
- ② 型坯温度均匀，熔接缝少，制品强度高；
- ③ 对容器形状、大小、壁厚的适应性广。



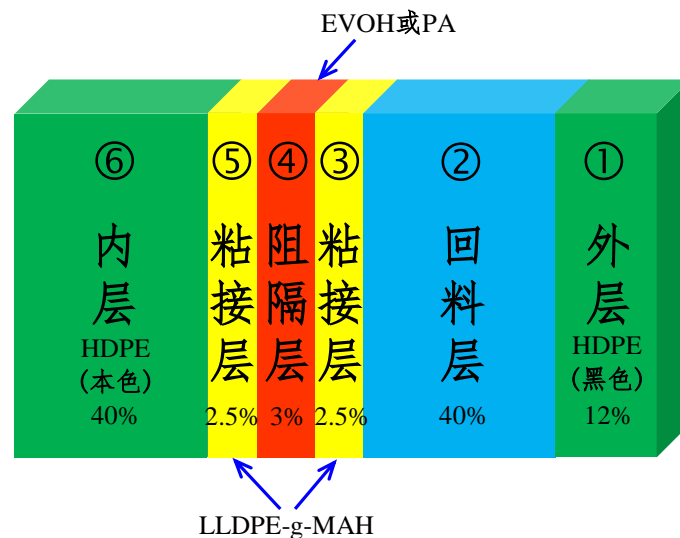
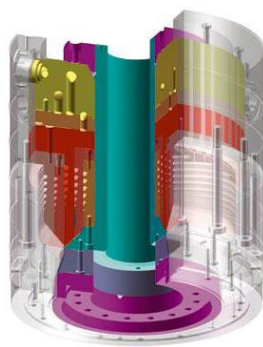
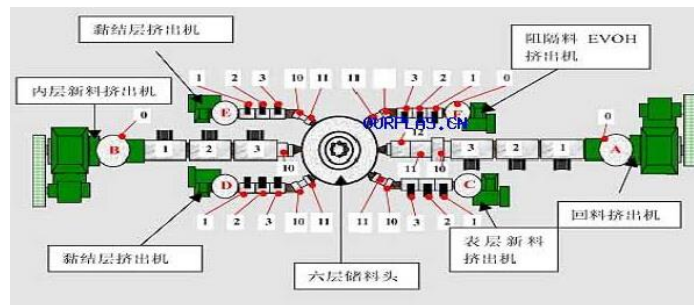
## ① 单层直接挤坯吹塑

吹塑成型的型坯仅由一种物料  
经过挤出机前的管机头挤出制得。



## ②多层共挤出吹塑

采用多台挤出机供料，在同一机头内复合、挤出，然后吹塑多层中空制品。六层共挤出吹塑可生产汽车塑料油箱。

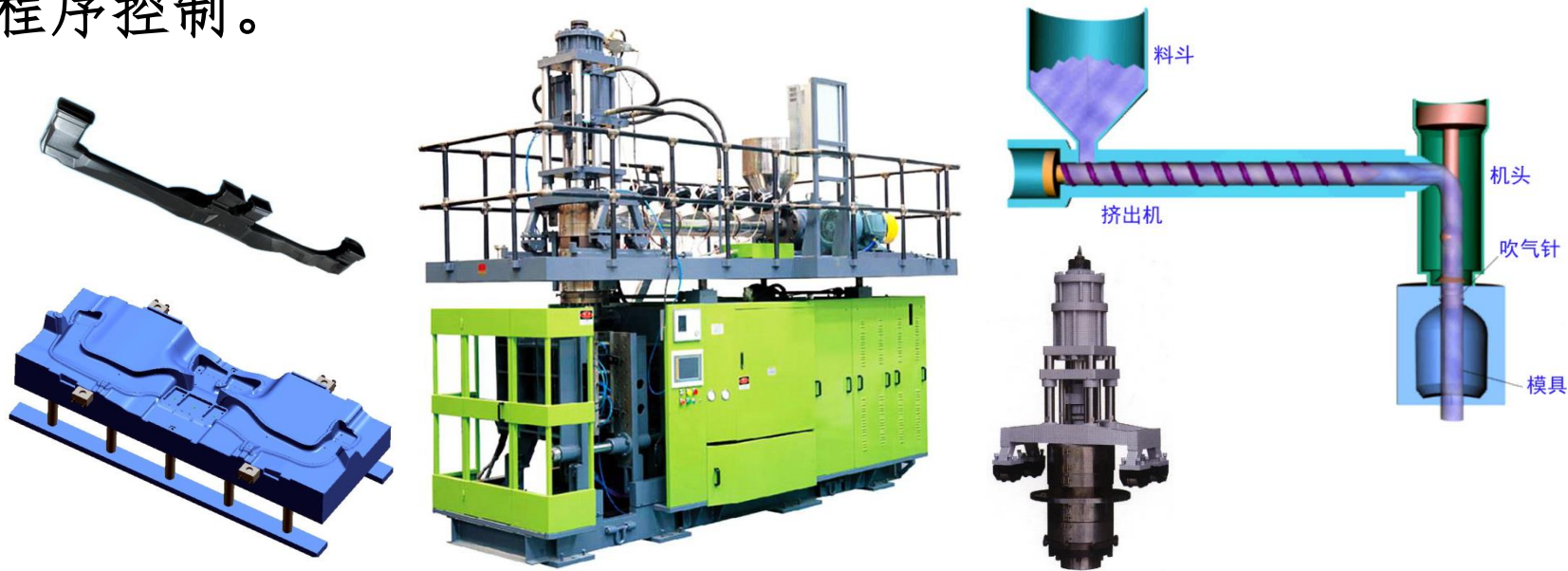




### ③挤出-蓄料-压坯-吹塑

挤出机头有贮料缸，待熔体达到预定量后，加压柱塞使其经环隙口模呈管状物压出，然后合模吹塑中空制品。

用于生产大型中空吹塑制品，能够对挤出管坯的壁厚进行程序控制。



## 11.2.3 中空吹塑工艺过程的控制

### ①型坯温度

型坯温度一般控制在材料的  $T_g \sim T_{f(m)}$  之间，并且偏向于  $T_{f(m)}$  一侧。



### ②充气压力和充气速度

充气压力一般控制在0.2~0.7MPa，充气速度可通过吹管口径进行调节。



### ③吹胀比

吹胀比一般控制在2~4倍。



#### ④模具温度

若聚合物的  $T_g$  或  $T_f$  较高，应采用较高的模温；反之，应采用较低的模温。

#### ⑤冷却时间

冷却时间一般占制品成型周期的 $1/3 \sim 2/3$ 。



# 三维中空吹塑成型

汽车工业对进气管、注油管等三维旋转异型管状制品的需求，推动了三维(3D)中空吹塑成型的发展。

三维中空吹塑能够进行无飞边(或仅有少许飞边)的生产，不但能够显著减少原料消耗、人力消耗、生产能耗和生产周期，而且能够确保制品的强度。



## 三维中空吹塑的三种方法：

- ①挤出型坯被预吹胀并贴紧一边的模壁，模头或模具按程序绕第二或第三轴转动，当型坯充满模腔时，模具闭合并抱紧型坯，再经吹胀而成型。
- ②模具上下端做成可单独开合的滑块，生产时先合模，管状型坯受负压吸引在模具内沿着内腔曲线移动，待型坯到位后，模具上下滑块闭合并吹胀成型。
- ③采用机械手夹持型坯并附在模具中，吹胀使之成型。

三维中空吹塑适于制造复杂的塑料管道零件。

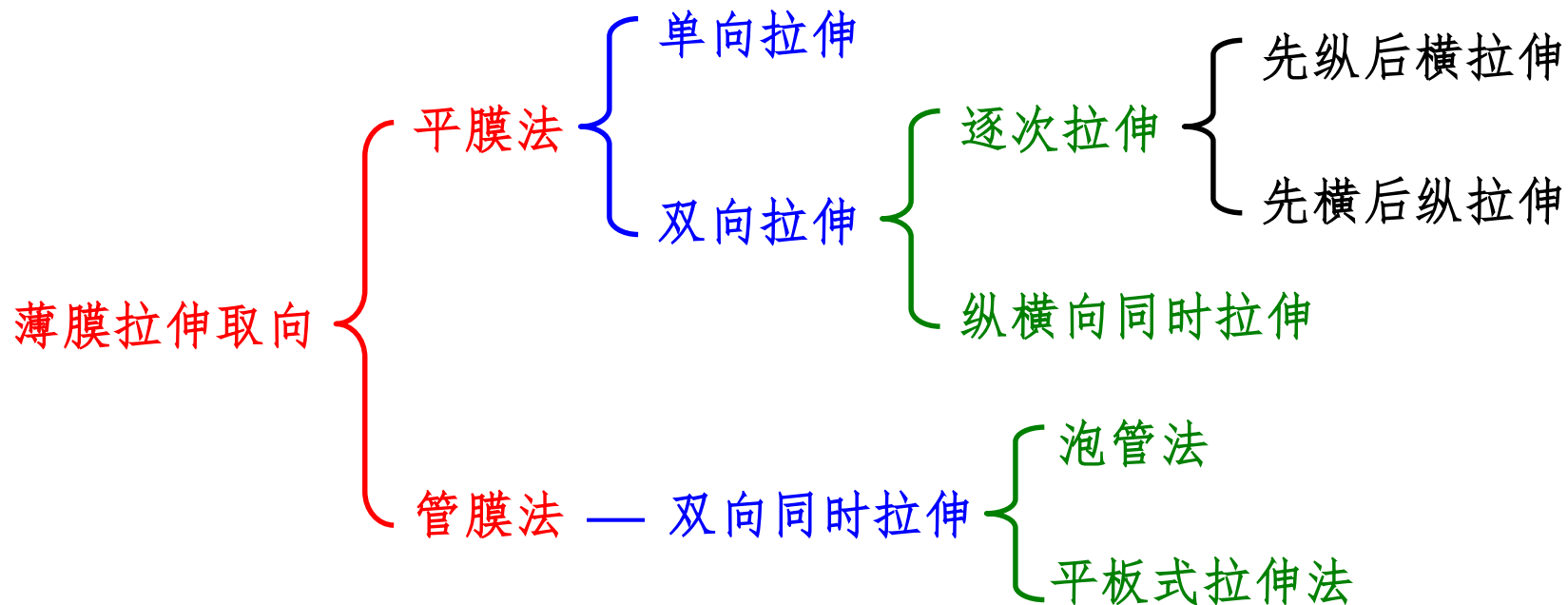




## 11.3 拉幅薄膜成型

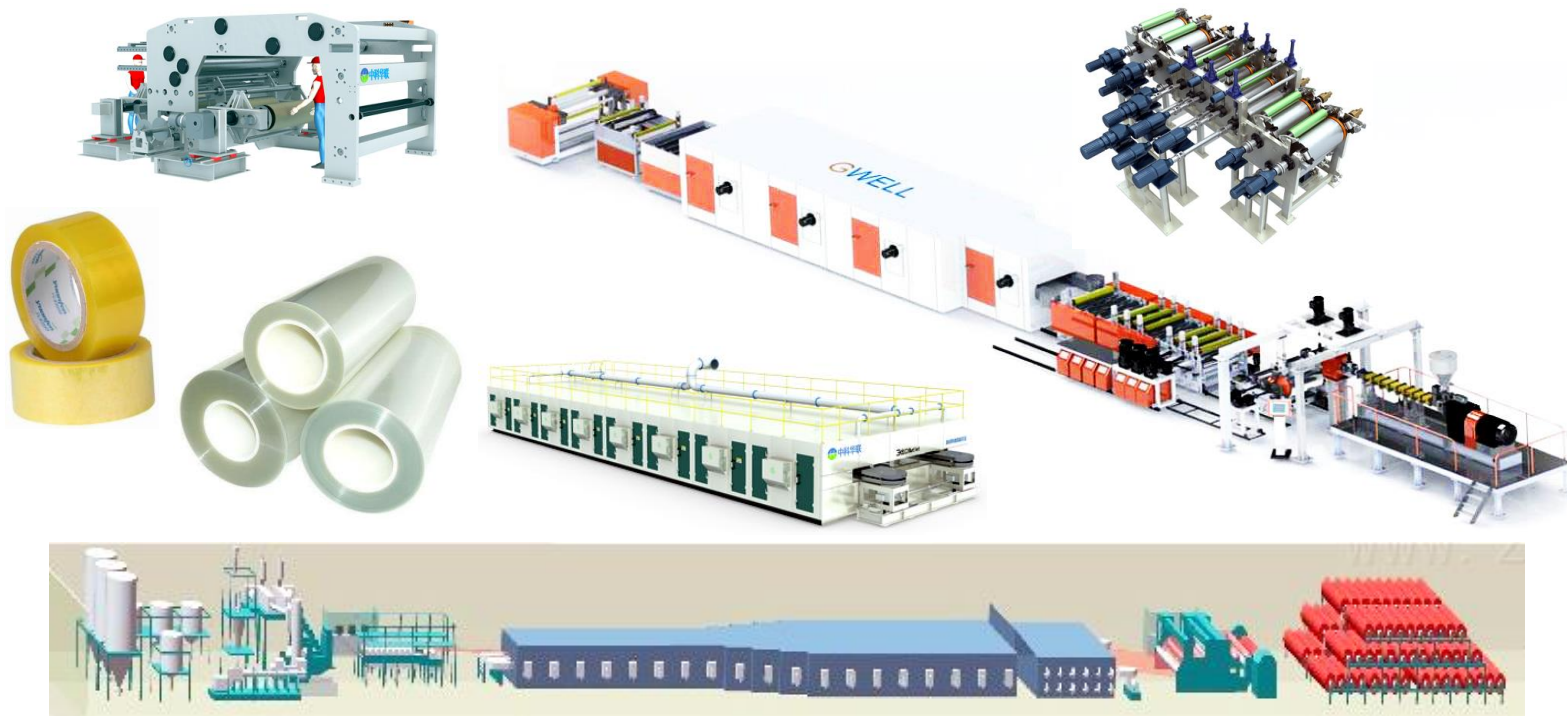
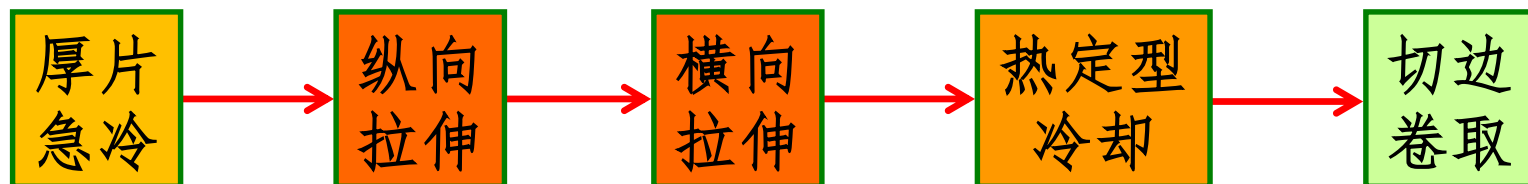
**拉幅薄膜成型**是将挤出成型的1~3mm厚片或管坯重新加热，在高弹态下进行大幅度拉伸而成薄膜。

适用聚合物品种：PET、PP、PE、PS、PVC、PA等。



# 11.3.1 平挤逐次双向拉伸薄膜

工艺过程:





# 11.3.2 管膜双向拉伸薄膜

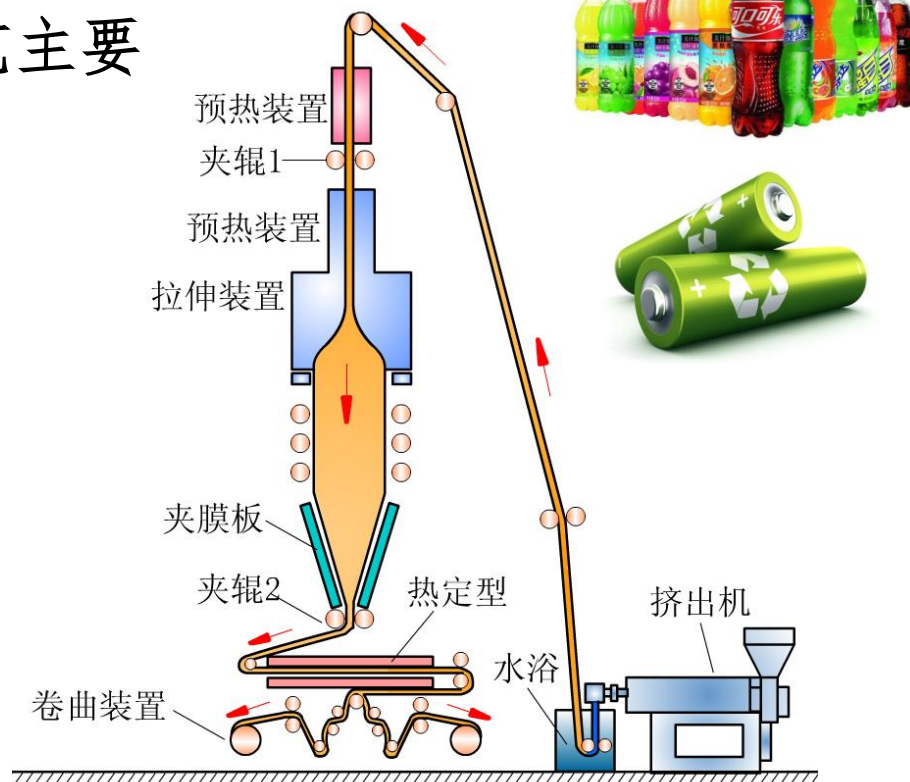
工艺过程：

管坯成型

双向拉伸

热定型

管膜法双向拉伸薄膜工艺主要用于制造热收缩膜。



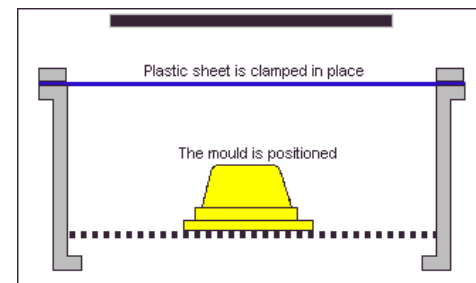
# 11.4 热成型

热成型是以热塑性塑料的片材为原料制造塑料制品。

适用聚合物品种：PS、PVC、PMMA、ABS、HDPE、PA、PC、PET等。

工艺特点：

- ①原料须经过一次成型，制品需后加工；
- ②成型压力较低，对模具要求低；
- ③能成型较大面积的制品；
- ④工艺简单，生产率高。



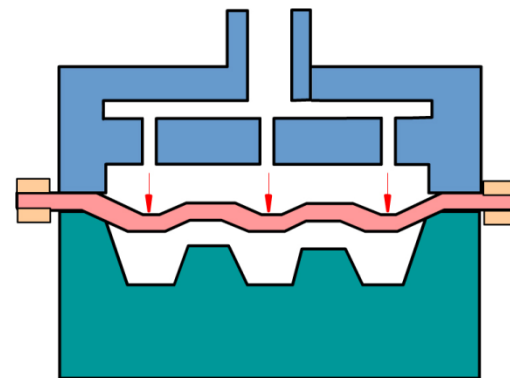
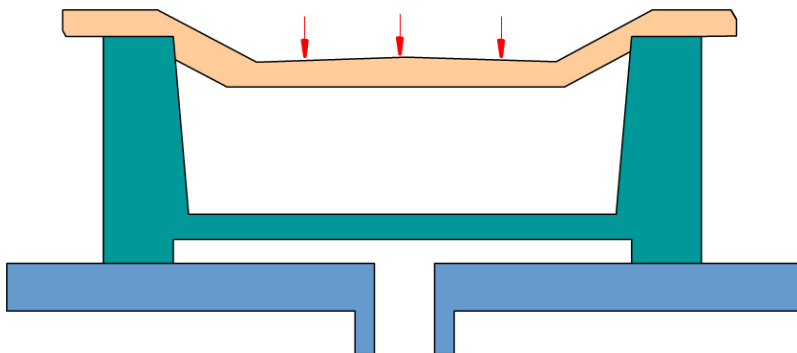
# 11.4.1 热成型的基本方法

## ①差压成型

包括真空成型和加压成型——采用阴模。

制品特点：

- ①制品结构鲜明，表面光洁度高；
- ②贴合模具越早，制品厚度越大；
- ③制品光泽无瑕疵，透明性不变。

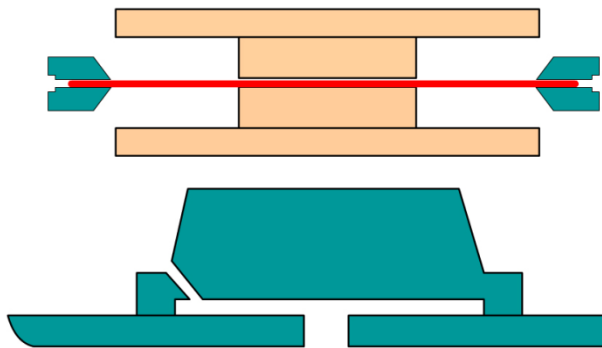


## ②覆盖成型

制造厚壁和大深度的制品 —— 采用阳模。

制品特点：

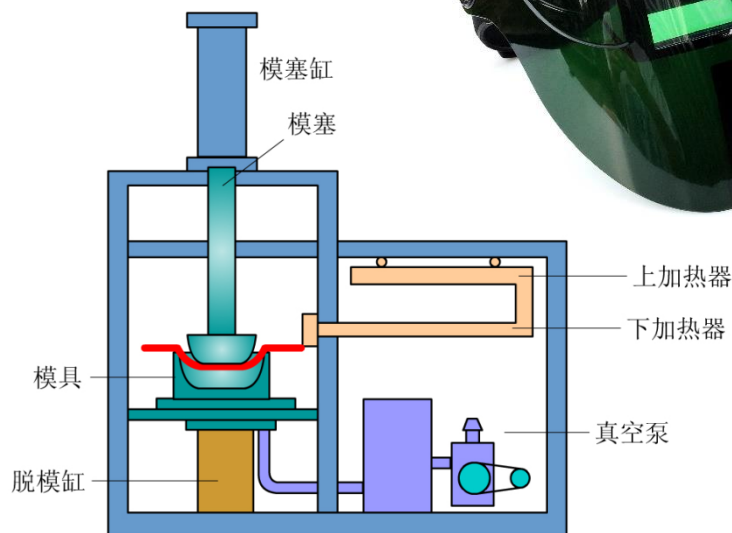
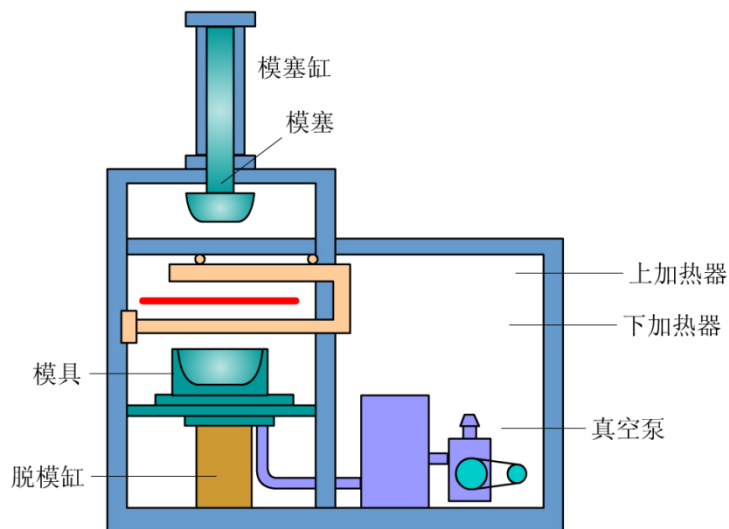
- ①制品结构鲜明，表面光洁度高；
- ②贴合模具越早，制品厚度越大；
- ③制品侧面有牵伸和冷却的条纹。



### ③ 柱塞助压成型

制造壁厚均匀的深度拉伸制品 —— 采用**阴模**。

包括柱塞助压真空成型和柱塞助压气压成型，以及气胀柱塞助压真空成型和气胀柱塞助压气压成型。



#### ④回吸成型

制造壁厚均匀、结构复杂的制品——采用**阳模**。

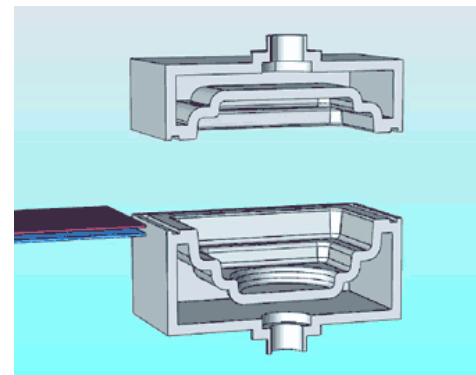
包括**真空回吸成型**、**气胀真空回吸成型**和**推气真空回吸成型**。

#### ⑤对模成型

采用两个彼此**配对的单模**来成型。制造复制性和尺寸准确性好、结构复杂的制品。

#### ⑥双片热成型

制造中空制品。





## 11.4.2 热成型工艺及影响因素

### ①片材准备

片材有分批进料和连续进料两种供料方式。

分批进料 — 用于生产厚壁大型制件。

连续进料 — 用于生产薄壁小型制件。



### ②模具结构

模具的材质、形状、脱模斜度、引伸比、加强筋、抽气孔。



### ③加热形式

电加热或红外线辐照，较厚片材还须配备烘箱进行预热。





## ④成型工艺

根据聚合物品种、片材厚度和成型温度调控拉伸速度和成型压力。

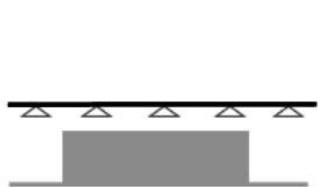
## ⑤冷却脱模

以合适的冷却方法和降温速率，避免脱模变形并降低内应力。



# 塑料拉杆箱壳的吸塑成型

## 吸塑成型工艺过程:



①双面加热



②(吹气)变形



③(吹气)上模



④(吸气)吸塑变形



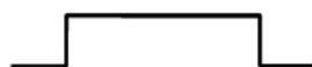
⑤(吸气)吸塑成型



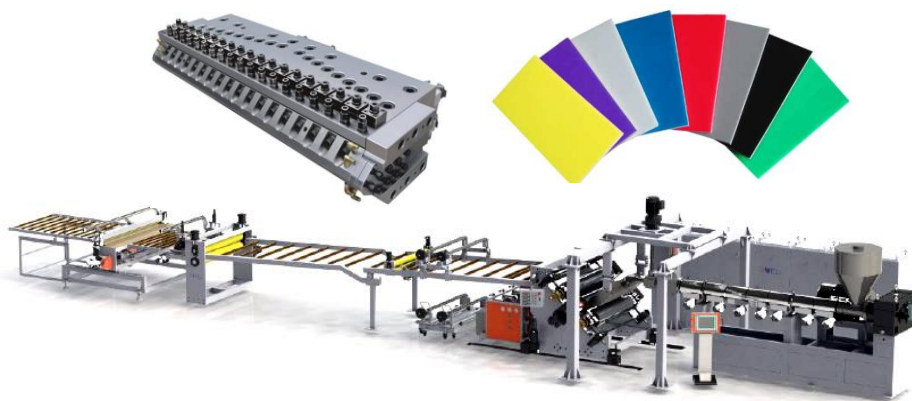
⑥(吸气)下模



⑦吹气冷却



⑧成品箱壳



# 习题与思考题

☺ 熟悉课件，掌握图示制品的成型方法。



你

