上海市精品课程

高分子材料成型加工

Polymer materials processing

主讲：唐颂超

高分子材料成型加工

- **课程题目**
  - 聚合物加工工艺
  - 高聚物加工工艺
  - 高分子材料工程
- **教材**：《**高分子材料成型加工**》（第三版）

唐颂超 主编

中国轻工业出版社

普通高等教育“**十二五**”规划教材

课程性质

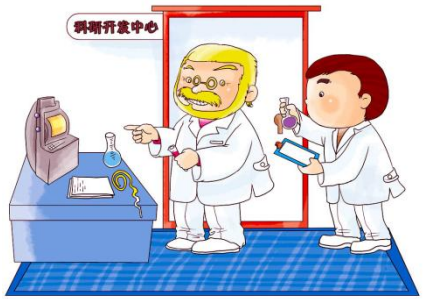
- 高分子材料与工程专业：专业课程
  +
  核心课程
- 课程建设：2009年被评为上海市精品课程
- 先修课程：高分子化学、高分子物理
- 专业实验：高分子材料工程实验

授课方式

- **讲课**
  - PowerPoint课件
  - 课程网站
  - 视频、动画

- **讨论**
  - 课堂提问讨论
  - 分组查阅专题资料
  - 用PPT作专题介绍

- **实践**
  - 实验室做相关课题
  - 参观相关实习工厂
  - 研讨生产实际问题



授课内容

- **讲授主线：**

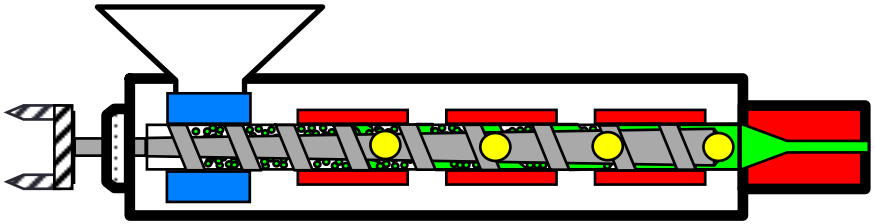
  高分子材料 ⇨ 成型加工 ⇨ 材料制品性能

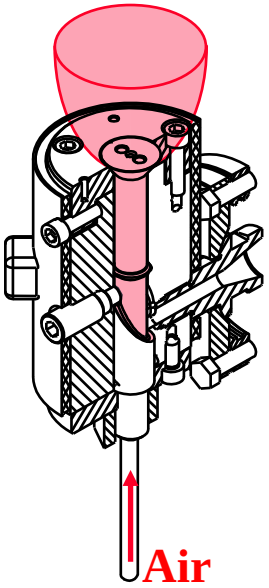
- **重点介绍：**

  高分子材料、成型加工工艺、材料与制品性能三者的关系。

- **简单介绍：**

  加工机械、成型模具(另有独立课程)





- **主要讲授章节：**

  第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章、第九章、第十章。

- **部分了解章节：**

  第十一章、第十二章。

- **考核方式：**

  平时成绩（习题、课堂讨论）

  课程实践

  期终考试

相关知识

- **本课程所需的基本知识：**

  力学、热力学

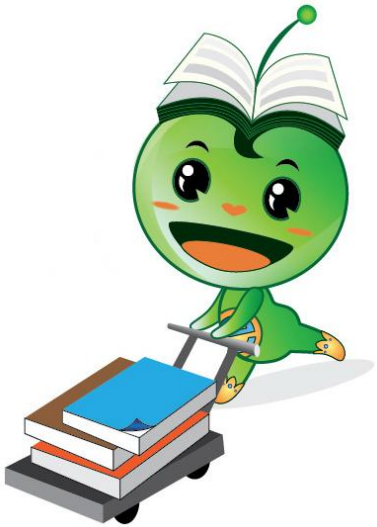
  有机化学、物理化学

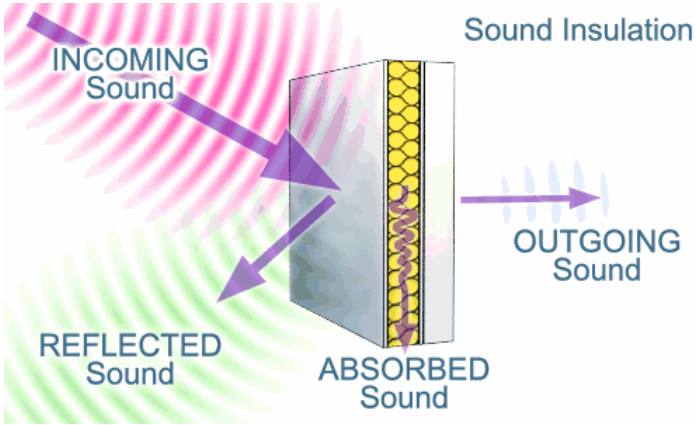
  质量和能量传递

  粘弹性流体力学

  高分子化学

  高分子物理





第一章

绪论

Introduction

第一章　绪论

本章内容

学习也可以和游戏一样好玩

- 1.1 高分子材料及成型加工
- 1.2 高分子材料的工程特征
- 1.3 高分子材料制造及成型加工程序
- 1.4 高分子材料的发展历史与未来

1.1 高分子材料及成型加工

- **材料的定义：**

  具有一定性能，可用于制作有用物品的物质。

- **材料的分类：**

  ①金属材料　　②无机非金属材料

  ③有机高分子材料　　④复合材料

- **材料的特点：**

  ①组成　　②加工性

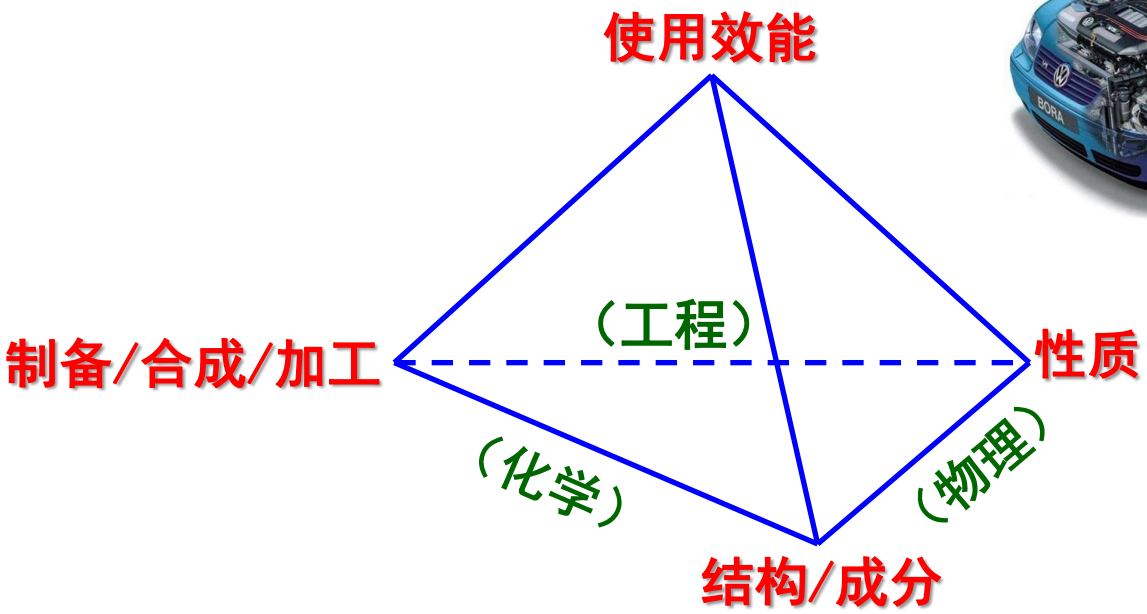
  ③形状　　④使用性

  ⑤经济性　　⑥再生性

材料的要素：

①成分/结构　　②制备/合成/加工

③性质　　④使用效能



1.1.1 高分子材料

1. 高分子材料的分类

三大合成材料
- 塑料
- 橡胶
- 纤维

区分三个概念
- 聚合物（树脂、生胶）
- 高分子材料（塑料、胶料）
- 高分子材料制品（塑料制品、橡胶制品）

2. 高分子材料的五个条件

(1) 以聚合物为主体：取决于材料的性质

例：钙塑材料（PP 20%，$CaCO_3$ 80%）

(2) 属多相复合体系：两组分以上，宏观均相，微观分相

(3) 具有可加工性

例：聚苯（难加工）、聚氯乙烯（难加工⟹易加工）

(4) 具有良好的性能和适当的寿命

(5) 具有工业化生产规模

通用塑料：PE、PP、PVC、PS、PMMA、PF、UF等

工程塑料：PA、PBT、PET、PC、POM、PPO、PSF等

1.1.2 高分子材料成型加工

1. 高分子材料科学与工程体系

石油
煤
天然气
} —加工→ { C3、C4 C5等碳氢化合物 } —有机合成→ 单体 { 乙烯、苯乙烯、丙烯、氯乙烯、丁二烯等 }

聚合反应 → 高聚物 → 成型加工 → 高分子材料制品

高分子化学
高分子合成工艺
生产过程及设备
反应机理
聚合反应工程

高分子物理

加工工艺
成型模具
成型机械
应用开发
共混改性

高分子化工

高分子材料

2. 高分子材料成型加工定义

高分子材料 ⟶ 成型加工工艺 ⟶ 具有实用性的材料或制品

↑

（高分子化合物 ＋ 添加剂）

这一过程的工程技术

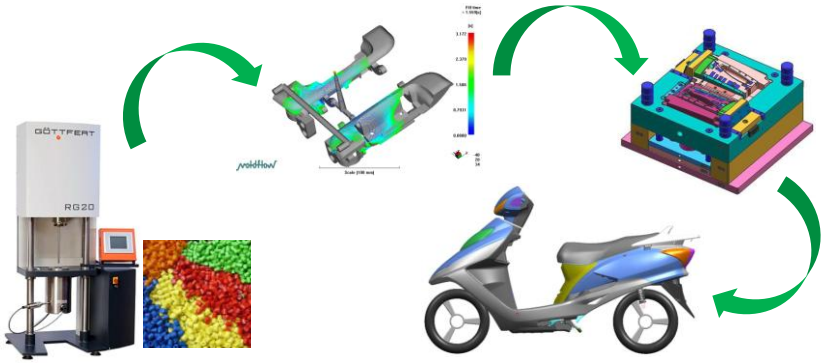
研究内容：

(1) 材料如何成型为实用性制品

(2) 材料品种与成型方法的关系

(3) 成型方法与制品性能的关系

(4) 制品性能与材料性质的关系



3. 高分子材料成型加工原理

聚合物 → 控制外形与内部结构的制品

加工单元

- 固体粒子输送
- 熔化
- 熔体压力输送
- 混合
- 化学反应
- 脱挥与汽提

成型方法

- 口模成型
- 模塑成型
- 二次成型
- 压延成型
- 涂层

后加工

在加工中聚合物内部结构发生演变（结构化）

输运原理	混合原理	固体力学	聚合物流变学	高分子物理	高分子化学
聚合物工程原理			聚合物科学		

1.2 高分子材料的工程特征

1.2.1 高分子材料的特征

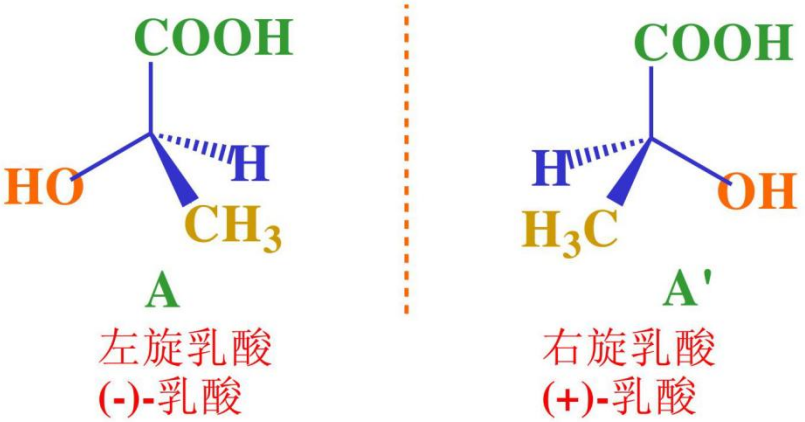
(1) 密度、强度、模量较低，韧性较好

(2) 耐久性、耐热性较差，热膨胀系数大，易燃烧

(3) 良好的透光性、着色性、化学稳定性和成型加工性

(4) 传热系数小，绝缘性优良，可赋予制品特殊的功能

高分子材料的特征取决于聚合物的结构，也与成型加工工艺有关。



1.2.2 高分子材料的工程特征

高分子材料 { 结构上的特殊性 / 性能上的可变性 } → 高分子材料成型加工方法具有多样性

（随加工过程而变）　　（包括加工工艺条件）

例：塑料薄膜的成型

①吹塑　　②压延

③挤出拉幅　　④流延

材料性能
- 材料本身性质
- 成型加工中产生的**附加性质**
  - 有目的产生
  - 加工过程自发产生
    - **有利：** 结晶、取向 交联、降解
    - **不利：** 分解、烧焦

结论： 材料不同 / 性能要求不同 → 加工方法、工艺条件不同

本课程的主题思想： 材料制品性能不仅与材料本身有关，更主要的与成型加工方法、工艺条件有关，学习本课程应把握材料-加工工艺-性能三者的逻辑关系。

1.2.3 高分子材料及制品性能

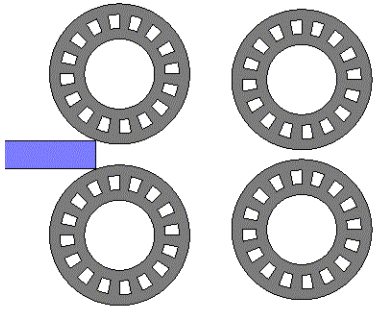
制品性能 { 外观性质 / 使用性质 / 耐久性质 } = { 材料内在性质 + 加工中产生的附加性质 }

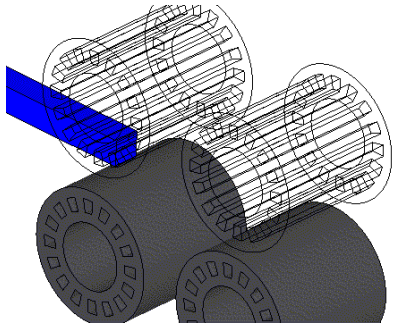
内在性质：通过选择合适材料，容易解决

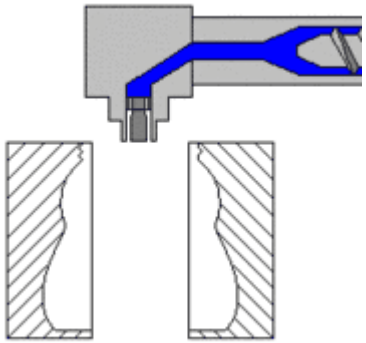
附加性质：加工中使材料发生实质性变化

↑

对制品性能的影响极为重要



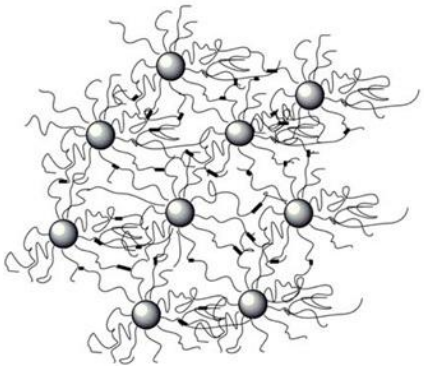




附加性质对制品性能的影响：

(1) 形状上的变化

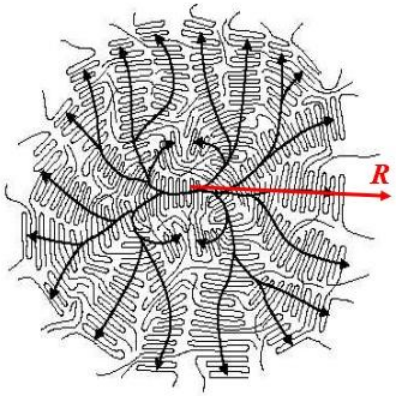
满足使用上的要求



(2) 结构上的变化

分子结构上的变化：交联、硫化

聚集态结构上的变化：结晶、取向



(3) 性质上的变化

反映出制品宏观性能的改变

例：结晶→刚性↑，取向→各向异性，交联→弹性、强度↑

影响高分子材料及制品性能的因素：

(1) 高分子化合物的性质（化学结构、物理结构）

详见第2章 高分子材料学

(2) 成型加工过程

①添加剂

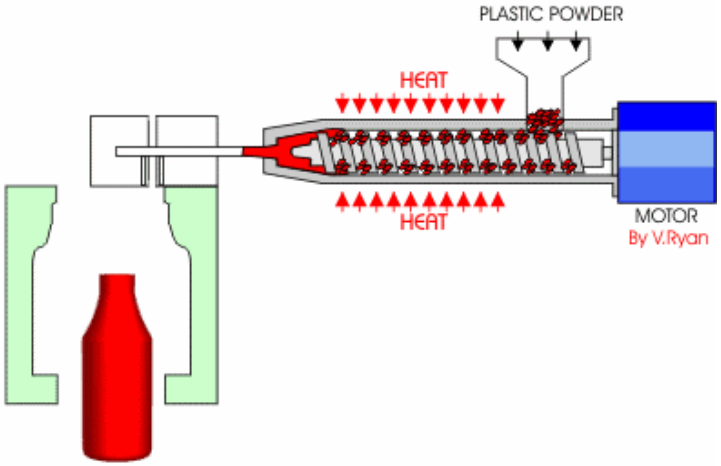
详见第3章 添加剂

②混合过程

详见第6章 高分子材料混合与制备

③成型过程（包括工艺条件）

详见第7～12章 各成型工艺章节

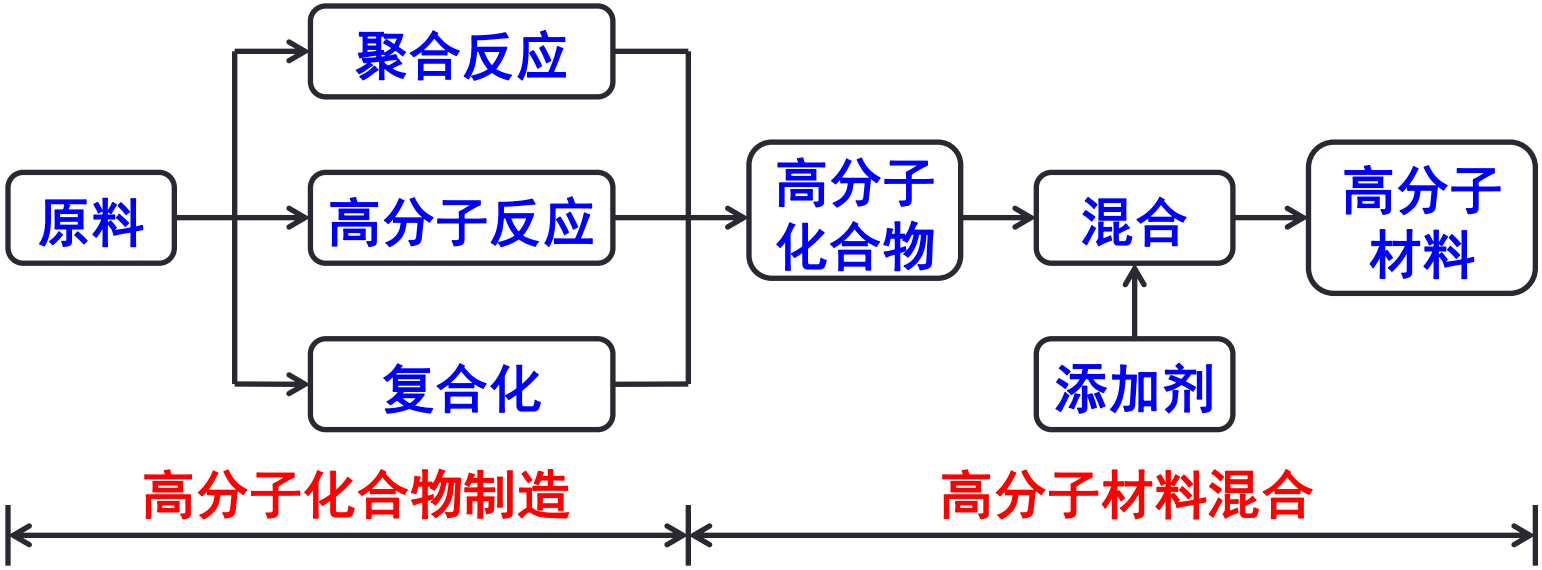


1.3 高分子材料制造及成型加工程序

1.3.1 高分子材料的制造

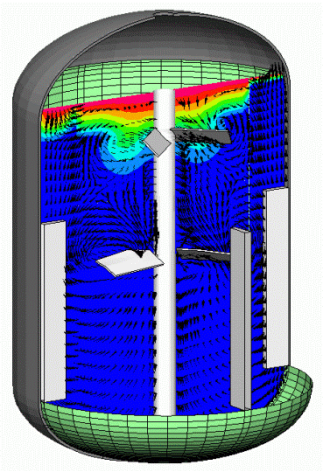
1. 高分子化合物的制造

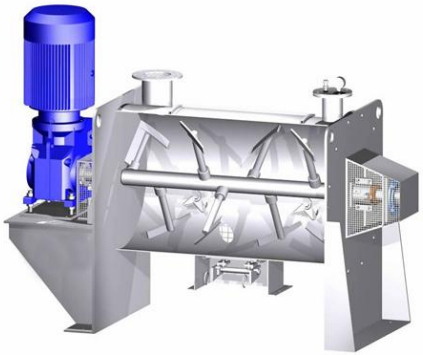
①聚合反应　②高分子反应　③复合化

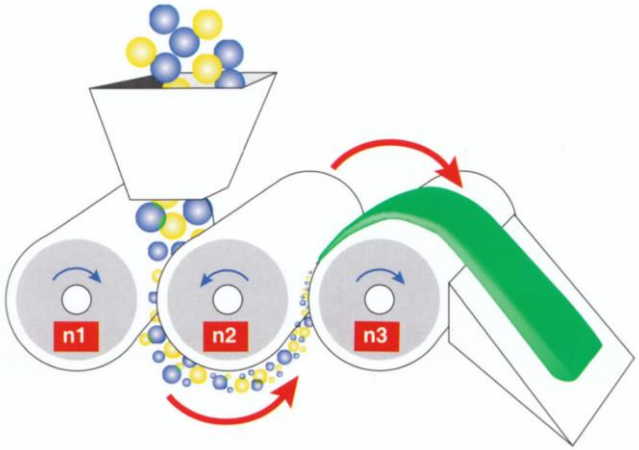


2. 高分子化合物与配合剂的混合配制

聚合物 + 配合剂 → 按配方 → 混合均匀 → 按成型工艺制成 → 粉料 / 粒料 / 胶料 / 溶液 / 分散体

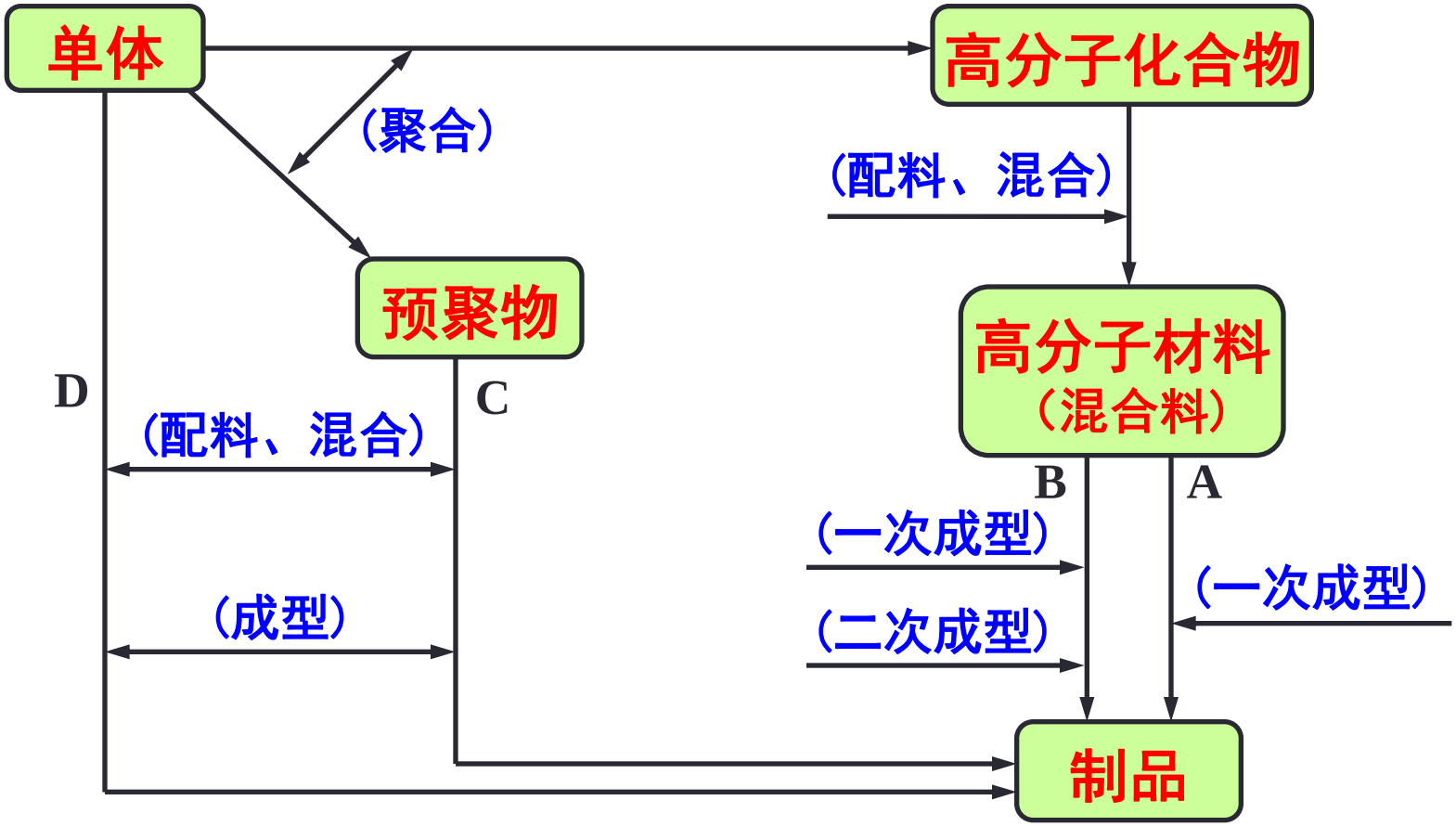






1.3.2 高分子材料的成型加工

1. 高分子材料的成型加工过程



2. 高分子材料的成型加工技术

流动性是成型加工的必要条件，根据形变性质可分为：

①**聚合物熔体**—塑性形变，$T_{f(m)}$~T_d，多用于**一次成型**

②**聚合物类橡胶态**—弹性形变，T_g~T_f，多用于**二次成型**

③**聚合物溶液态**—溶于溶剂，用于**浸渍、湿法或干法纺丝**

④**聚合物分散体**—形成悬浮体、溶胶、胶乳：**PPVC搪塑**

⑤**单体或预聚体**—直接化学加工成型：**REX**、**RIM**、**MC**

⑥**聚合物机械加工**—属二次加工，多用于**制品后处理**

3. 高分子材料的成型加工性能

成型加工性能是指**可挤压性**、**可模塑性**、**可延展性**和**可纺性**等。

①**可挤压性**—材料受挤压作用形变时，获取和保持形状的能力。

②**可模塑性**—材料在温度和压力作用下，产生形变和在模具中模制成型的能力。

③**可延展性**—材料在一个或两个方向上受到压延或拉伸的形变能力。

④**可 纺 性**—材料通过成型而形成连续固态纤维的能力。

1.3.3 聚合物特性与成型加工的关系

(1) 聚合物的特征温度

玻璃化温度：T_g

粘流温度：T_f

熔融温度：T_m

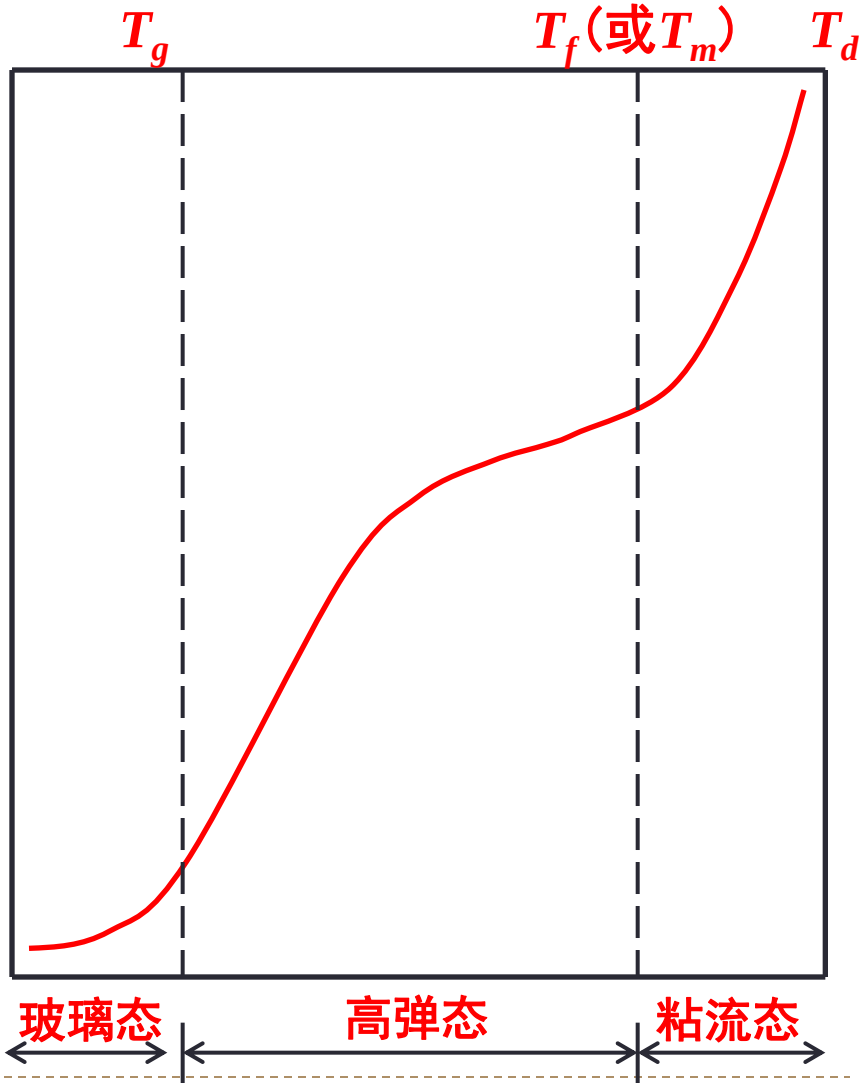
分解温度：T_d

(2) 聚合物的物理状态

玻璃态：$< T_g$

高弹态：$T_g \sim T_f\ (T_m)$

粘流态：$> T_f\ (T_m)$



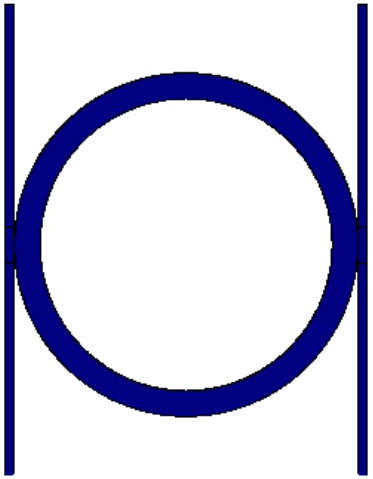
(3) 物理状态的影响因素

①聚合物的分子结构

②聚合物体系的组成

③材料所受应力

④环境温度



当聚合物及组成一定时，在一定外力作用下，聚集态的转变主要与温度有关。

高分子材料的成型加工主要与材料的温度特性有关。

$T < T_g$ 玻璃态	大分子链上仅键长、键角发生形变，模量高、形变极小，不宜大形变加工，只能进行机械加工。
$T = T_g \sim T_f(T_m)$ 高弹态	体积膨胀，大分子不能移动，但链段有足够活动空间、能移动，形变可逆。 非晶聚合物：$T_g \sim T_f$ 近T_f侧，强力成型，形变可逆，近T_g侧拉伸，T_g以下使用。 结晶聚合物：$T_g \sim T_m$拉伸。
$T = T_f(T_m) \sim T_d$ 粘流态	整个大分子能移动，呈塑性，模量降至最低，较小外力能引起宏观流动，形变不可逆。大多数成型方法在此温度范围。

(4) 高分子材料热–机械特性与成型加工的关系

聚合物聚集态不同

主价键 ⇩ 次价键

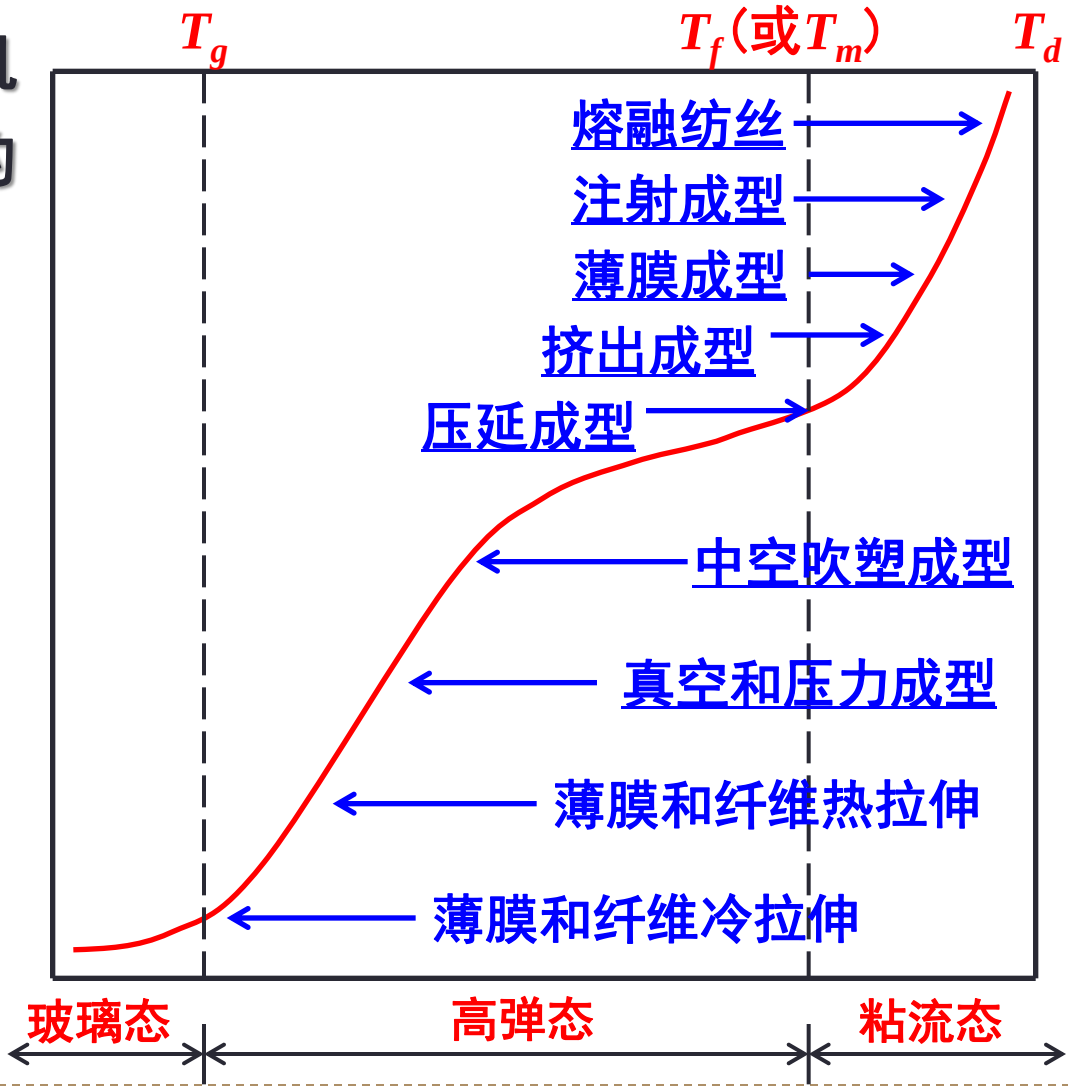
内聚能不同

⇩

性能不同

⇩

聚合物对加工技术的适应性不同



1.4 高分子材料的发展历史与未来

1. 天然高分子材料

从远古时期即开始使用**棉花**、**蚕丝**、**皮毛**、**木材**等天然高分子材料。15世纪起，美洲玛雅人开始使用**天然橡胶**。

2. 合成高分子材料

从1907年贝克兰（L. H. Backeland）首次工业化合成**酚醛树脂**，开创了塑料的时代。

其后，通用塑料、工程塑料、合成橡胶、功能高分子材料等在20世纪获得了巨大发展。

但当时并没有认识到所开发、使用的材料的高分子本质。

发现的高分子的一些物理化学行为解释为小分子聚集成胶体状态的性质。

高分子学科发展

1929年，Staudinger发表了“论聚合作用”，聚合是小分子以共价键结合，形成长链大分子的过程，高分子溶液性质是长链大分子的“分子胶体”的行为，不同于小分子缔合形成的胶束状态。

与胶体缔合学说论争中建立了大分子概念。

施陶丁格(Hermann Staudinger)（1881－1965）德国著名化学家

施陶丁格对高分子学科的贡献体现在：

坚定地维护和推广了自己的学说。和胶体论者进行持久而艰难的论战，这种坚定信仰、捍卫真理、耐挫能力的意志品格值得钦佩。

Ziegler

Natta

Flory

- 廿世纪50年代 Ziegler和 Natta 发明了配位定向聚合，实现聚烯烃工业化生产。
- Flory，高分子物理化学理论与实验方面的基础研究，完善了高分子理论。

3. 未来高分子材料

材料向结构更精细、性能更高级的方向发展。采用可控、高效、节能、环保的方法制备具有不同应用性能的**高性能高分子材料**。