

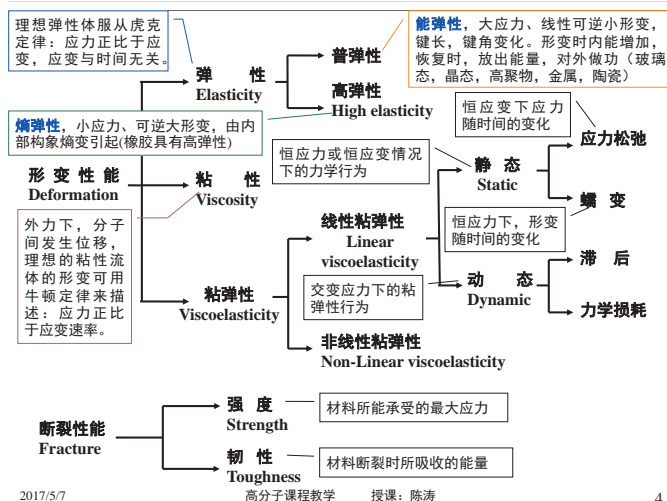
第五章 聚合物的力学性能

对于大部分应用而言，力学性能比高聚物的其它性能显得更为重要，是高聚物优异物理性能的基础。

某高聚物磨擦、磨耗性能优良，但力学性能不好，很脆，不能用作减摩材料。

作电线绝缘材料的高聚物，也要求它们有一定的强度和韧性。如果折叠几次就破裂，那么这种材料的电绝缘性虽好，也不能用作电线。

高分子课程教学 授课：陈涛



2017/5/7

高分子课程教学 授课：陈涛

4

高聚物材料具有所有已知材料中可变性范围最宽的力学性能。包括从液体、软橡胶到很硬的固体，各种高聚物对于机械应力的反应相差很大。

脆性：PS制品很脆，一敲就碎

韧性：尼龙制品不易变形，也不易破碎，很坚韧

弹性：轻度交联的橡胶拉伸时，可伸长好几倍，外力解除后基本复原

粘性：胶泥变形后完全保持新的形状

高聚物力学性质的这种多样性，为不同的应用提供了广阔的选择余地。

高分子课程教学 授课：陈涛

二. 基本物理量

1. 一般描述

(1) 应变

材料受到外力作用，但所处条件使它不能产生惯性移动时，发生的几何形状和尺寸的变化。应变都是无量纲的量。

(2) 应力

材料发生宏观变形时，其内部分子间及分子内原子间的相对位置和距离将发生变化，产生了原子间及分子间附加内力以抵抗外力；平衡时，附加内力和外力大小相等，方向相反；定义单位面积上的附加内力为应力。

2017/5/7

高分子课程教学 授课：陈涛

5

第一节 描述力学性能的基本物理量

一. 力学性能分类

常用术语：

力学行为：指施加一个外力在材料上，它产生怎样的形变（响应）

形变性能：非极限情况下的力学行为

断裂性能：极限情况下的力学行为

2017/5/7

高分子课程教学 授课：陈涛

3

(3) 模量

对于理想的弹性固体，应力与应变的关系服从虎克定律，即应力与应变成正比，比例常数称为弹性模量，简称模量，单位与应力的单位相同。

$$\text{弹性模量} = \frac{\text{应力}}{\text{应变}}$$

弹性模量表征材料抵抗变形能力，模量越大，愈不容易变形，表示材料刚度越大。

(4) 柔量

$$\text{柔量} = \frac{1}{\text{模量}}$$

定义模量的倒数为柔量，柔量越大，越容易变形。

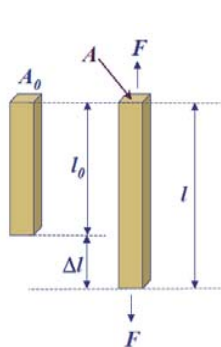
2017/5/7

高分子课程教学 授课：陈涛

6

2. 三种不同形变模式下的应力、应变与模量

(1) 简单拉伸



拉伸应变： $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$ (%)

拉伸应力： $\sigma = \frac{F}{A_0}$

真应力： $\sigma' = \frac{F}{A}$

真应变： $\delta = \int_{l_0}^l \frac{dl_i}{l_i} = \ln \frac{l}{l_0}$

2017/5/7

高分子课程教学 授课：陈涛

7

拉伸应变和拉伸应力的定义在工程上被广泛运用，称为**习用应变**和**习用应力**。习用应变有时也称为**相对伸长**或**伸长率**。

拉伸弹性模量称为**杨氏模量**，单位与应力的单位相同。

杨氏模量

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta l/l_0}$$

拉伸/杨氏柔量

$$D = \frac{1}{E}$$

2017/5/7

高分子课程教学 授课：陈涛

8

泊松比

在拉伸实验中，材料横向单位宽度的减小与纵向单位长度的增加之比值。用 ν 表示：

$$\nu = -\frac{\frac{\Delta A}{A_0}}{\frac{\Delta l}{l_0}} = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon}$$

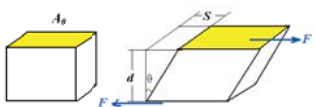
如果拉伸过程体积不变，即 $\Delta V=0$ ，则 $\nu=0.5$ 。大多数材料泊松比在0.2到0.5之间；橡胶和小分子液体的泊松比接近0.5。

2017/5/7

高分子课程教学 授课：陈涛

9

(2) 简单剪切



材料受到的力 F 是与截面 A_0 相平行的大小相等、方向相反的两个力。

偏斜角 θ 的正切定义为切应变，
 $\gamma = \tan \theta$

当切应变足够小时，
 $\gamma \approx \theta$

剪切应力

$$\sigma_s = \frac{F}{A_0}$$

剪切模量

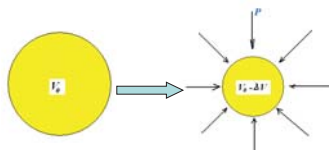
$$G = \frac{\sigma_s}{\gamma} = \frac{\frac{F}{A_0}}{\frac{F}{A_0 \tan \theta}} = \frac{F}{A_0 \tan \theta}$$

剪切柔量

$$J = \frac{1}{G}$$

(3) 均匀压缩

在均匀（流体静力）压缩的情况下，材料受到的是围压力 P ，发生体积形变，使材料从起始体积 V_0 缩小为 $V_0 - \Delta V$



均匀压缩应变

$$\Delta = \frac{\Delta V}{V_0}$$

单位体积的体积减小

体积模量

$$B = \frac{P}{\frac{\Delta V}{V_0}}$$

倒数为可压缩度

3. 三种模量之间的关系

各向同性材料： $E = 2G(1 + \nu) = 3B(1 - 2\nu)$

理想不可压缩物体变形时，体积不变：

$$\frac{\Delta V}{V_0} = 0, \quad B = \infty, \quad \nu = 0.5, \quad E = 3G$$

一般而言

$$\nu: 0 \sim 0.5; \quad B: E/3 \sim \infty; \quad G: E/2 \sim E/3$$

E 、 G 、 B 和 ν 这四个参数中只有两个是独立的；只要知道两个参数，就足以描述各向同性材料的弹性力学行为了。

课堂讨论



1. 什么是应力？什么是应变？
2. 什么是剪切应力、剪切应变？
3. 什么是拉伸应力、拉伸应变？
4. 什么是模量？什么是柔量？
5. 什么是泊松比？一般材料的泊松比取值范围是多少？