



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

# 混凝土结构设计

## 模块二：混凝土结构材料的物理力学性能

### 单元2：混凝土的变形

主讲：李朝红

# 目录

---

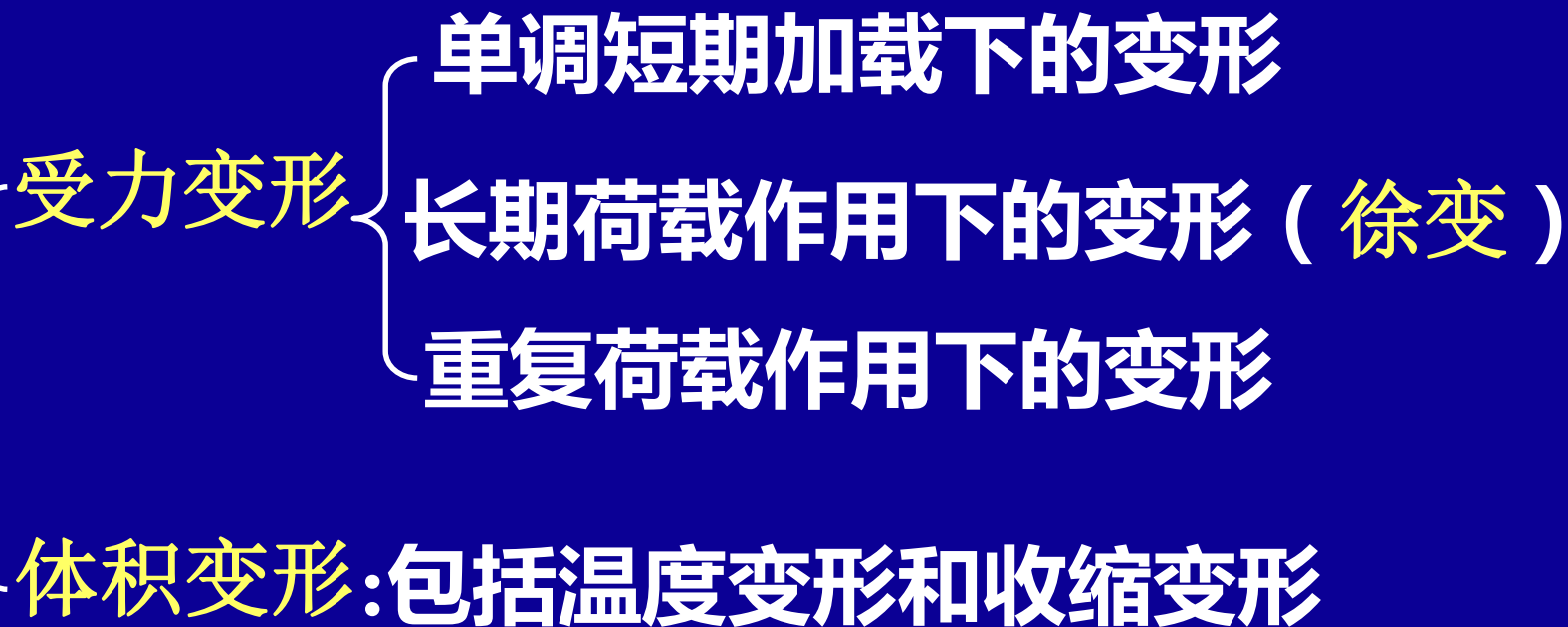
1. 混凝土在一次短期加载时的应力—应变曲线

2. 混凝土的变形模量

3. 荷载长期作用下混凝土的变形性能（徐变）

4. 混凝土的体积变形（收缩与膨胀）

# 混凝土变形的分类



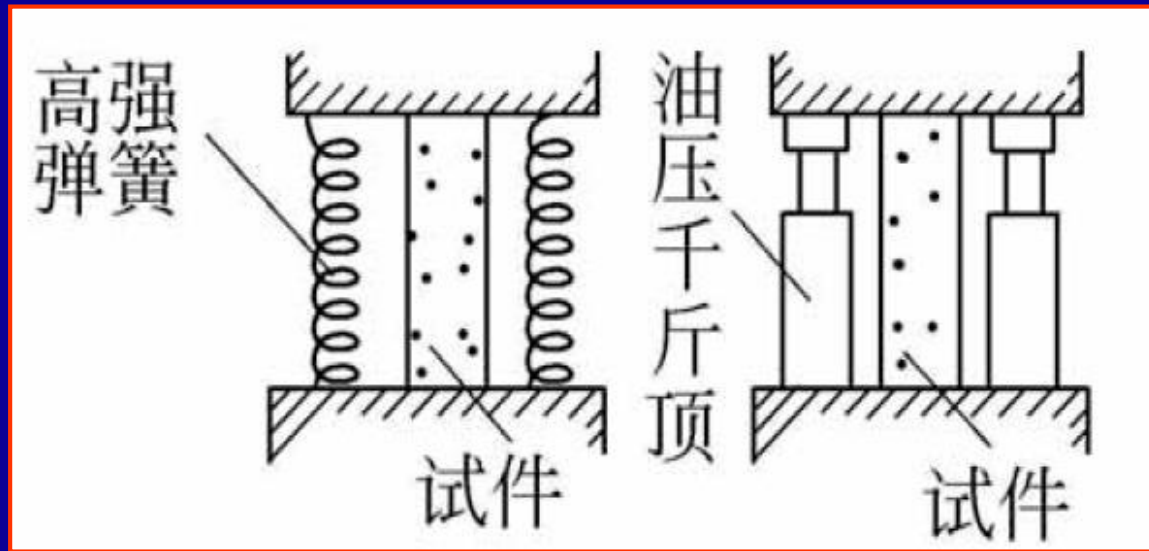
# 1. 混凝土在一次短期加载时的应力—应变曲线

**一次短期加载**：指荷载从零开始单调增加至试件破坏，也称单调加载。

混凝土单轴受力时的应力—应变关系反映了混凝土的受力全过程的重要力学特征，是分析混凝土构件应力、建立承载力和变形计算理论的必要依据，也是利用计算机进行混凝土非线性分析的基础。

# 1. 混凝土在一次短期加载时的应力—应变曲线

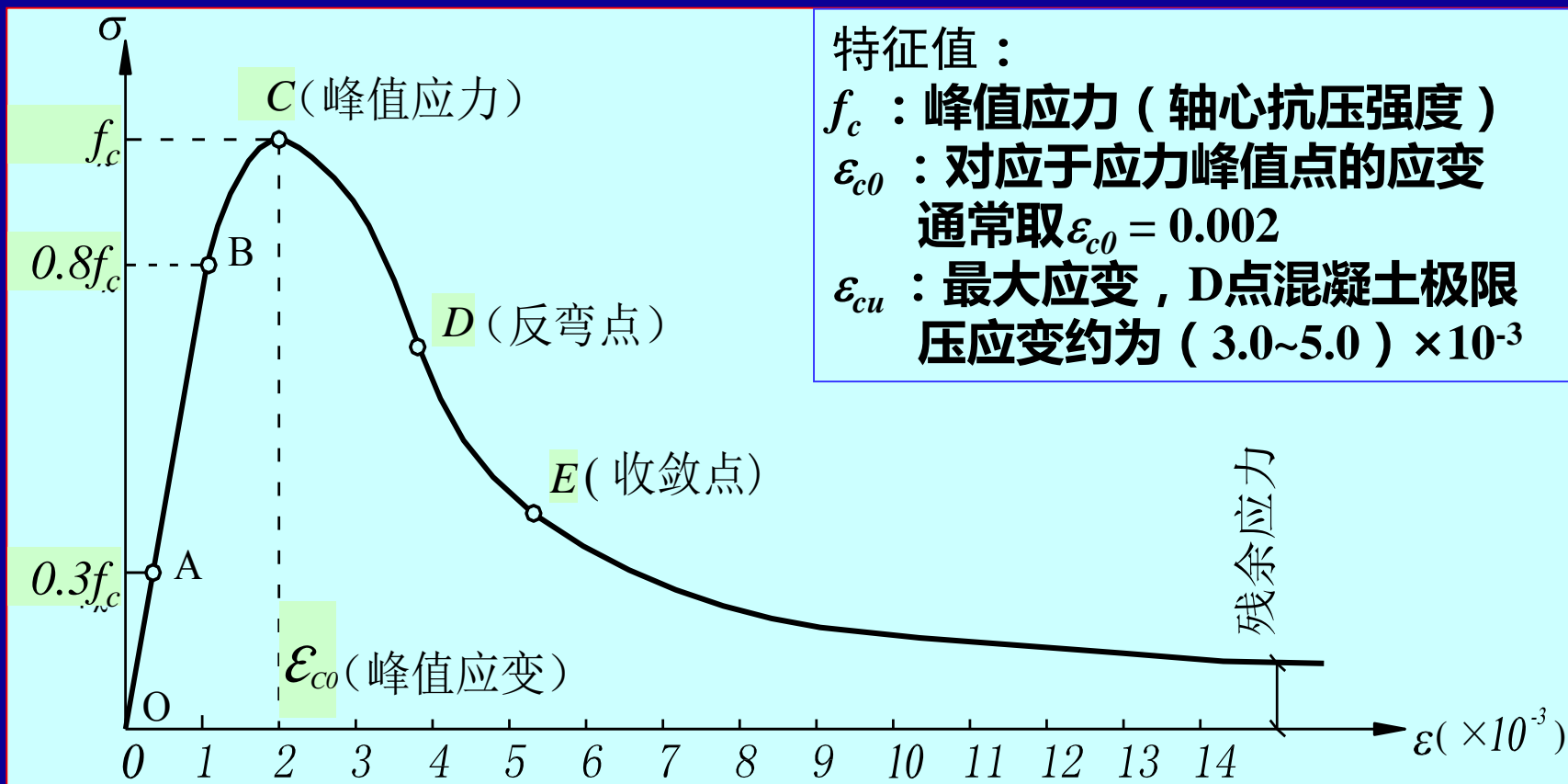
## 1) 混凝土受压时的应力—应变曲线



量测混凝土应力—应变全曲线的试验装置

应采用伺服试验机以等应变速率加载，或在普通压力机上用高强弹簧与试件共同受压。

# 1. 混凝土在一次短期加载时的应力—应变曲线



## 混凝土受压时的应力—应变曲线

# 1. 混凝土在一次短期加载时的应力—应变曲线

## 2) 影响混凝土受压应力—应变曲线的主要因素

❖ 混凝土的强度；

强度越高，延性越差。

❖ 应变速率；

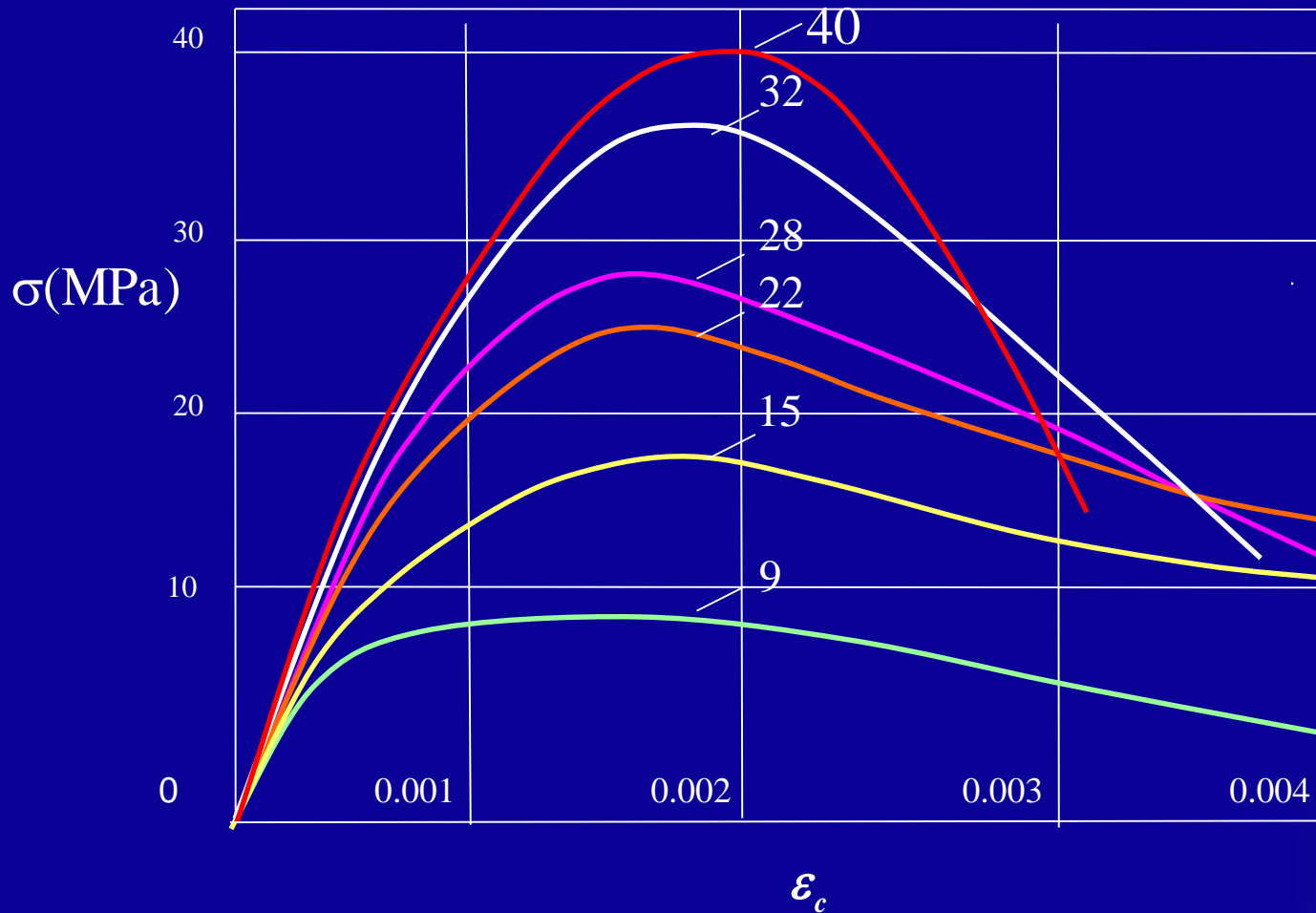
应变速率越小，峰值应力越低，下降段越缓。

❖ 测试技术和条件。

量测标距越大，曲线坡度越陡；等应变加载；  
试验机刚度；试件端部约束。



# 1. 混凝土在一次短期加载时的应力—应变曲线

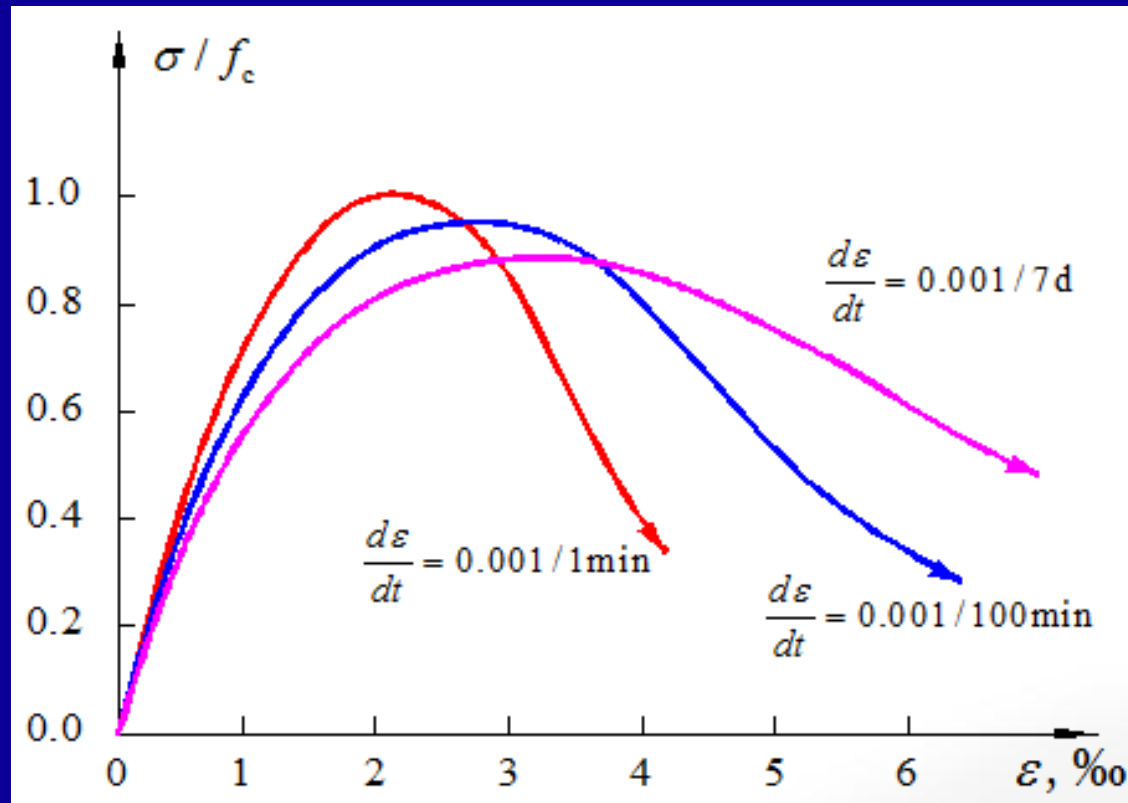


强度等级不同的混凝土的应力-应变曲线





# 1. 混凝土在一次短期加载时的应力—应变曲线



应变速率对混凝土抗压性能的影响

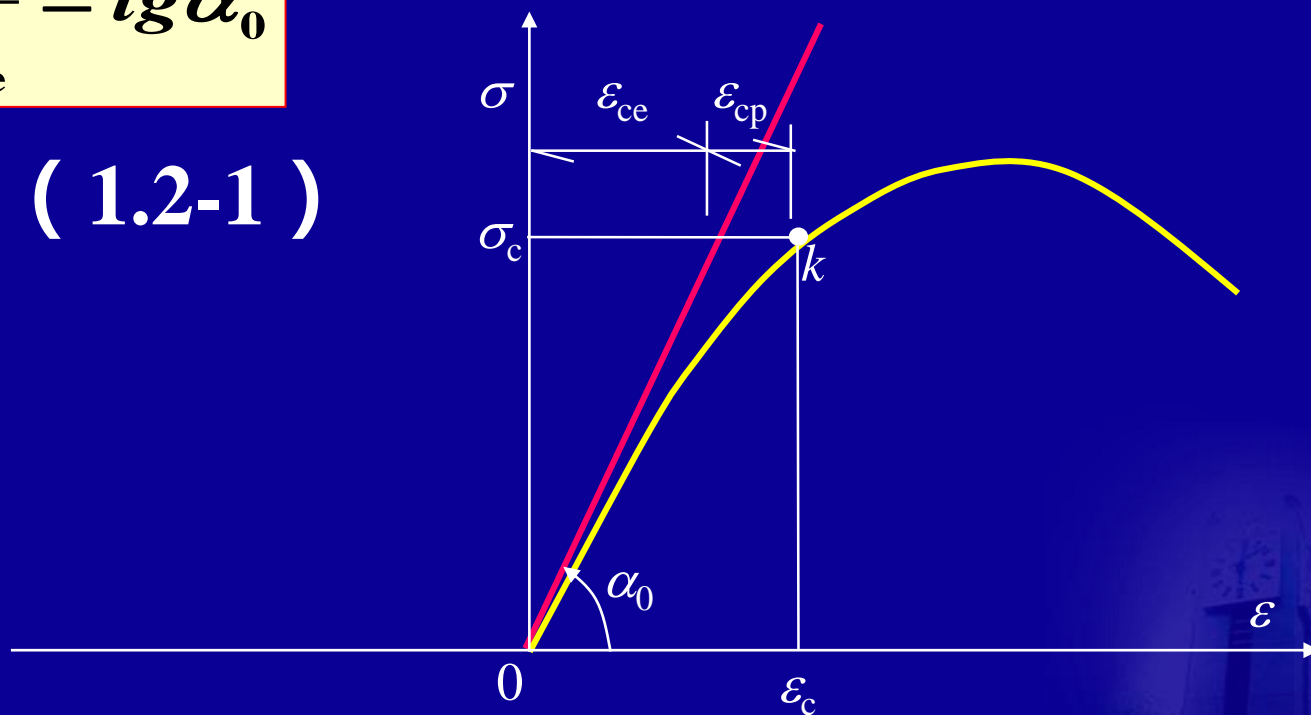


## 2. 混凝土的变形模量

1) 弹性模量（原点模量） $E_c$ ——在受压应力应变曲线的原点 $O$ 作曲线的切线，该切线的斜率：

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon_{ce}} = \operatorname{tg} \alpha_0$$

(1.2-1)

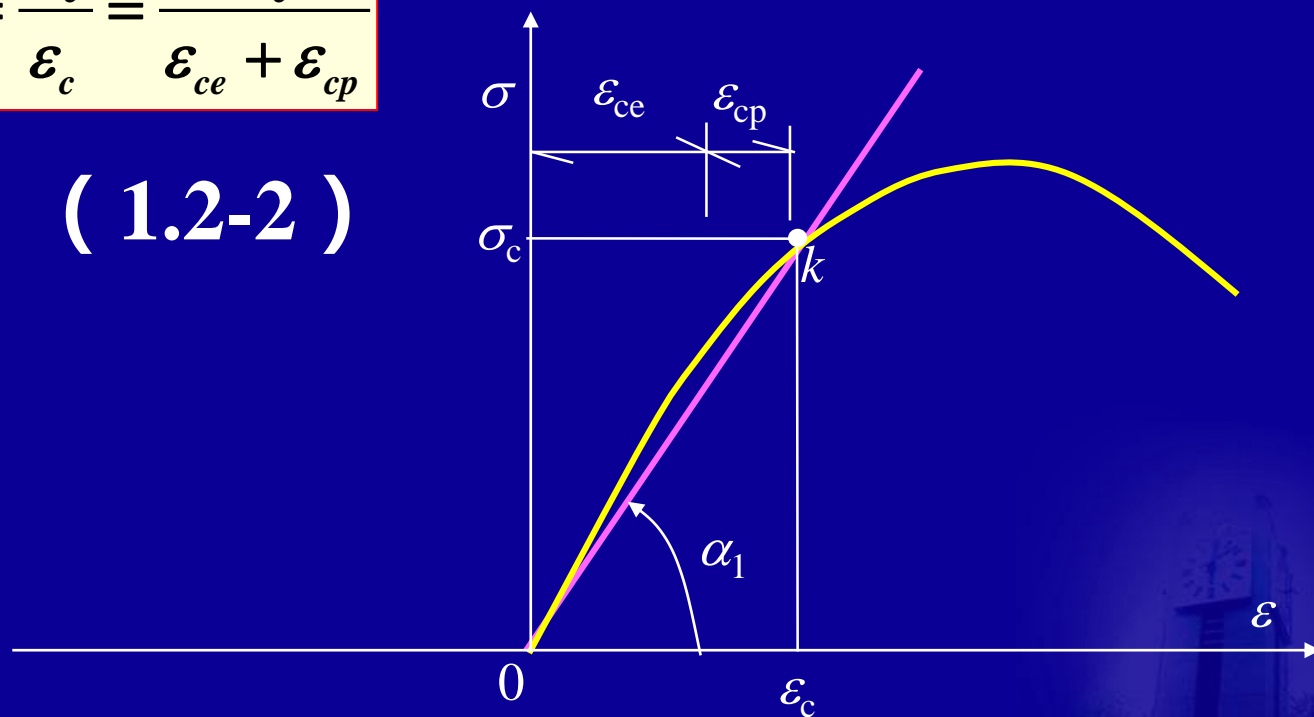


## 2. 混凝土的变形模量

2) **割线模量**——连接混凝土应力应变曲线的原点 $O$ 及曲线上某一点 $K$ ，该割线的斜率：

$$E'_c = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_{ce} + \varepsilon_{cp}}$$

( 1.2-2 )



## 2. 混凝土的变形模量

$$E'_c = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_{ce}} \cdot \frac{\varepsilon_{ce}}{\varepsilon_c} = E_c \nu \quad (1-2-3)$$

$\nu$ —弹性特征系数，反映了混凝土的弹塑性性质。与应力值有关， $\sigma$ 越大， $\nu$ 越小；混凝土强度越高， $\nu$ 值越大。

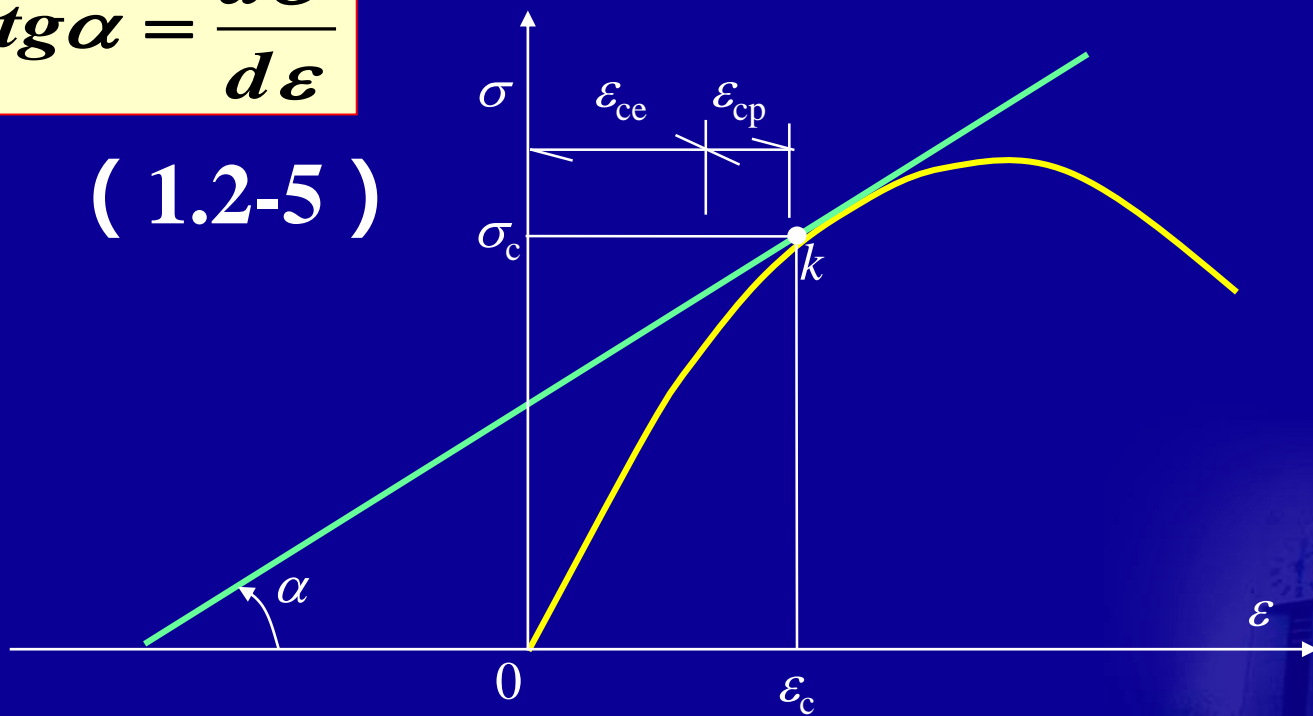
割线模量又称变形模量或弹塑性模量，常用于混凝土的非线性分析中。

## 2. 混凝土的变形模量

3) **切线模量**——在混凝土应力应变曲线上某一点作切线，该切线的斜率：

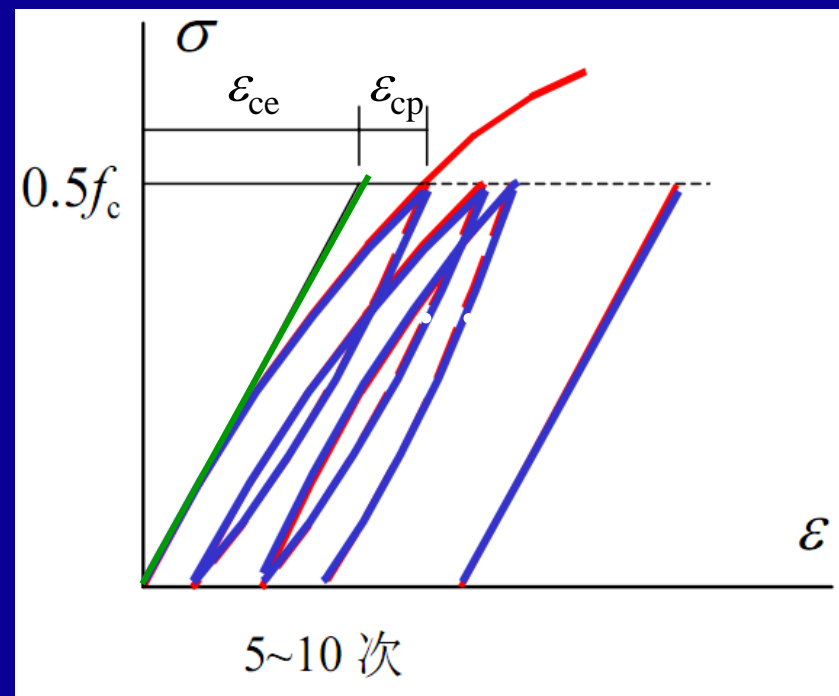
$$E_c'' = \operatorname{tg} \alpha = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

( 1.2-5 )



## 2. 混凝土的变形模量

《公路桥规》中 $E_c$ 的测定方法：用棱柱体标准试件，将应力增加到 $\sigma_A$ （上限取 $0.5f_c$ ）然后卸载至零，在 $0\sim\sigma_A$ 间重复加卸载5~10次，消除塑性变形，直至应力-应变曲线逐渐成为直线，该直线斜率即为混凝土弹性模量 $E_c$ 。



测定混凝土弹性模量的方法

## 2. 混凝土的变形模量

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.74}{f_{cu,k}}} \text{ (MPa)} \quad (1.2-6)$$

### 4) 剪切模量

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + \mu_c)} \quad (1.2-7)$$

$\mu_c$ —混凝土的泊松比，取0.2， $G_c=0.4E_c$ 。



### 3. 荷载长期作用下混凝土的变形性能（徐变）

---

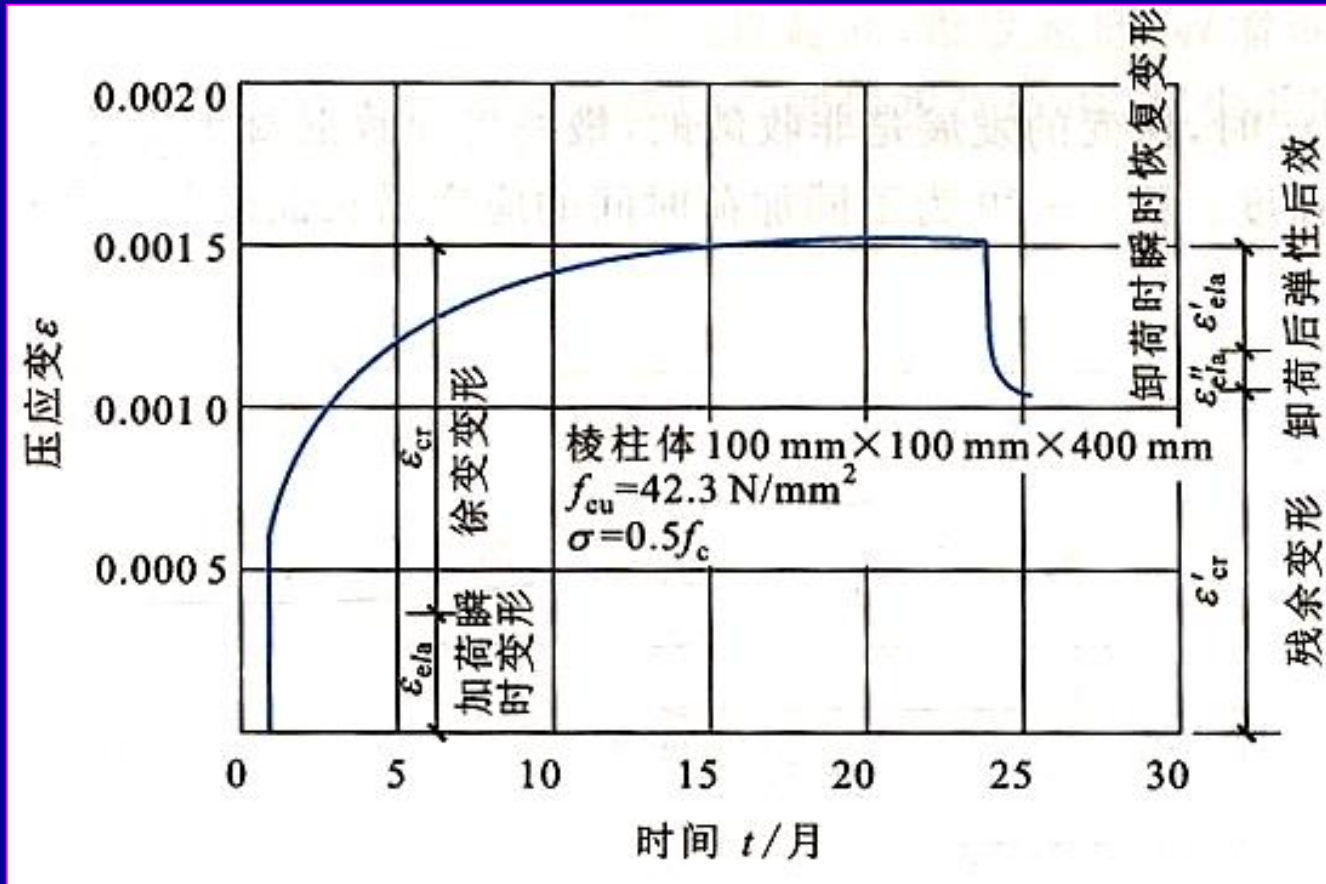
#### 1) 徐变的定义

**构件或材料承受的荷载或应力不变，而变形或应变随时间增长的现象。**

**混凝土的徐变特性主要与时间有关，受荷前期增长快，以后逐渐减慢，经过2-3年后趋于稳定。**



### 3. 荷载长期作用下混凝土的变形性能



混凝土的徐变曲线

### 3. 荷载长期作用下混凝土的变形性能

#### 2) 徐变产生的原因

(1) 混凝土内部的水泥凝胶体在外荷载作用下产生粘性流动，把压力传递给骨料，使骨料的变形逐渐增大，而导致混凝土的变形。（应力较小时占主要作用）

(2) 混凝土内部的微裂缝在荷载长期作用下逐渐扩展，形成宏观裂缝，而导致混凝土变形。（应力较大时占主要作用）

## 3. 荷载长期作用下混凝土的变形性能

### 3) 影响徐变的因素

#### ❖ 内在因素

主要指混凝土的组成成份和配合比。水泥含量少、水灰比小、骨料弹性模量大、骨料含量多，徐变就小。

#### ❖ 环境因素

加载时龄期越短，徐变越大；混凝土养护时温度越高、湿度越大，徐变越小；受荷后环境温度越高，湿度越低，徐变越大；构件体表比越大，徐变越小。

### 3. 荷载长期作用下混凝土的变形性能

#### ❖ 应力因素

加载时的应力水平越高，徐变越大；持荷时间越长，徐变也越大。

#### 工程应用：

- 应避免过早的施加荷载；
- 预应力混凝土构件的预加力过高，危险。

### 3. 荷载长期作用下混凝土的变形性能

#### 4) 徐变的作用

- ❖ **不利方面**：引起梁的挠度增大；预应力混凝土结构徐变会引起应力损失。
- ❖ **有利方面**：由于应力重分布，分散应力集中；受拉徐变使混凝土拉应力减小，延缓收缩裂缝的出现，减小支座不均匀沉降产生的应力。



## 4. 混凝土的体积变形（收缩与膨胀）

**体积变形**：指混凝土在硬化过程中体积的改变，包括混凝土的收缩和膨胀。

### 1) 收缩的定义：

指混凝土在空气中结硬时体积减小的现象。

### 2) 收缩的特点：

收缩是一种自发的变形，比其膨胀值大许多。当收缩变形受到约束，会在混凝土中产生拉应力，导致开裂；引起预应力钢筋的预应力损失。

## 4. 混凝土的体积变形（收缩与膨胀）

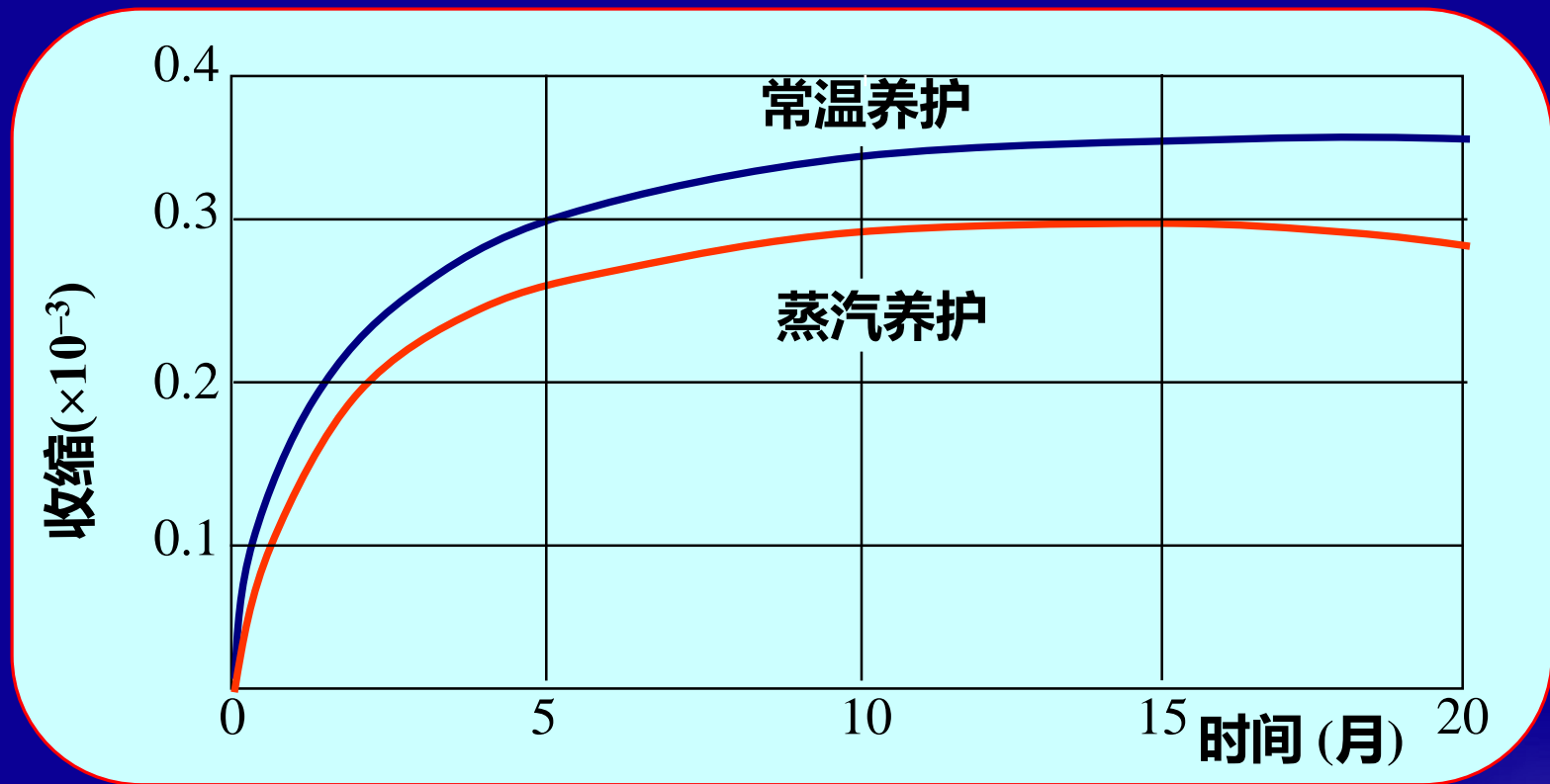
---

### 3) 收缩产生的原因:

**硬化初期：水泥石在凝固过程中产生的体积变化（化学性收缩，凝胶体的体积缩小）**

**后期：主要是混凝土内自由水分蒸发而引起的干缩（物理收缩，失水干燥）**

## 4. 混凝土的体积变形（收缩与膨胀）



混凝土的收缩曲线



## 4. 混凝土的体积变形（收缩与膨胀）

### 3) 影响混凝土收缩的主要因素

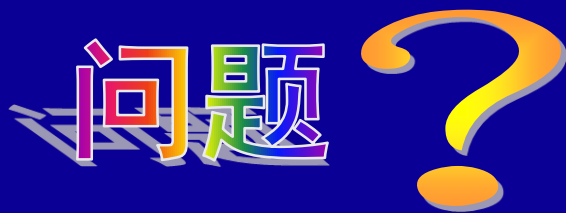
- ❖ 水泥用量：水泥用量多、水灰比大，收缩越大；
- ❖ 水泥强度等级：强度等级越高收缩越大；
- ❖ 骨料的性质：骨料的弹性模量越大，收缩越小；
- ❖ 混凝土的制作方法：混凝土越密实，收缩越小；
- ❖ 养护条件：温度、湿度越高，收缩越小；
- ❖ 使用环境：温度高、湿度小时，收缩大；
- ❖ 构件的体表比：比值大时，收缩小。

## 4. 混凝土的体积变形（收缩与膨胀）

### 4) 收缩对结构的影响

- ❖ 构件未受荷之前产生裂缝；
- ❖ 预应力构件中预应力损失（预应力筋和混凝土一同回缩引起的）；
- ❖ 超静定结构产生次内力。

## 4. 混凝土的体积变形（收缩与膨胀）



收缩和徐变的异同点有哪些？

相同点：

- ❖ 产生的原因都包括由于胶凝材料浆体变形以及失水。
- ❖ 都是随着时间变化开始发展快、后来减慢。
- ❖ 都会造成预应力损失。
- ❖ 在超静定结构中都会引起次内力。

## 4. 混凝土的体积变形（收缩与膨胀）



收缩和徐变的异同点有哪些？

不同点：

- ❖ 收缩是在空气中结硬时的体积减小，即使不承受荷载也会发生，属体积变形。
- ❖ 徐变是在长期荷载作用下发生的受力变形。



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

教务处  
继续教育学院  
现代教育技术中心

联合录制

2014年3月