

# 第二章 钢筋和混凝土材料的基本性能

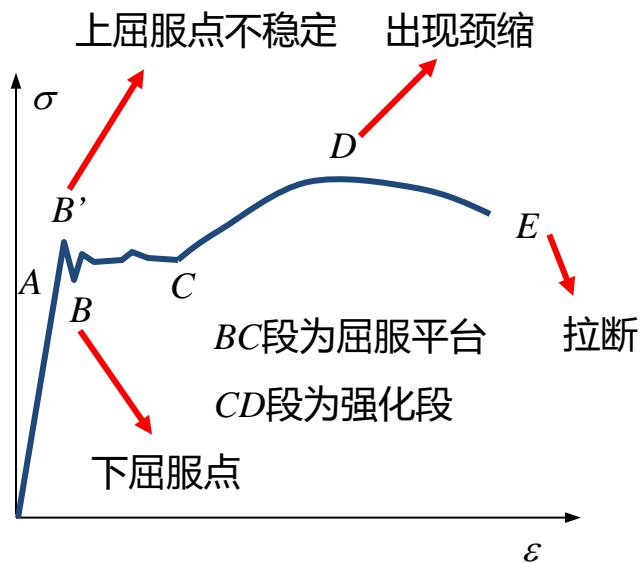
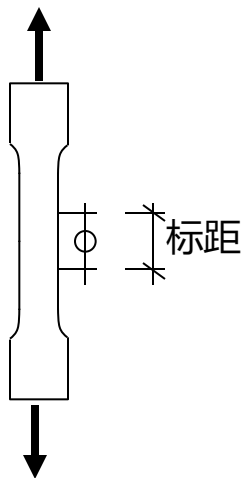
钢筋的强度和变形

混凝土的强度和变形



# 一、钢筋的强度和变形

## 1. 钢筋的应力-应变曲线

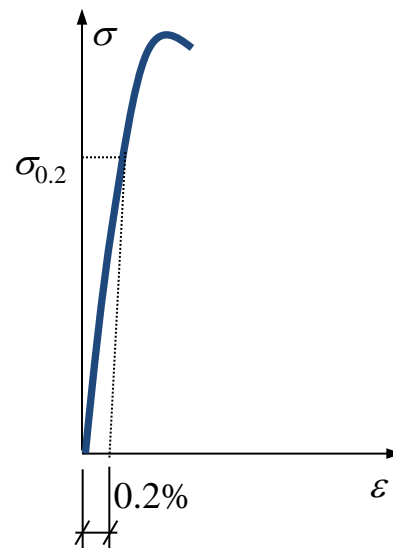
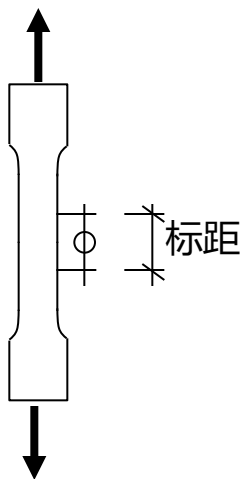


有明显流幅的钢筋

钢筋受压和受拉时的应力-应变曲线几乎相同

# 一、钢筋的强度和变形

## 1. 钢筋的应力-应变曲线



**无明显流幅的钢筋**

**钢筋受压和受拉时的应力-应变曲线几乎相同**

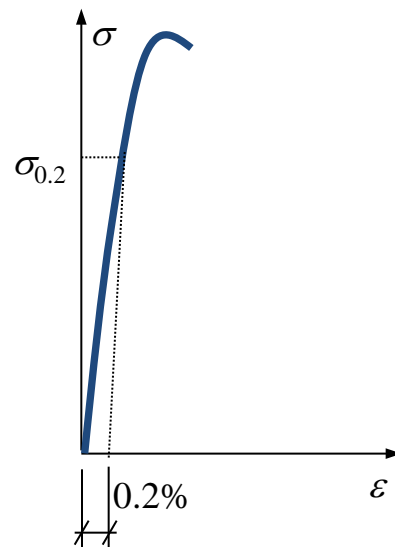
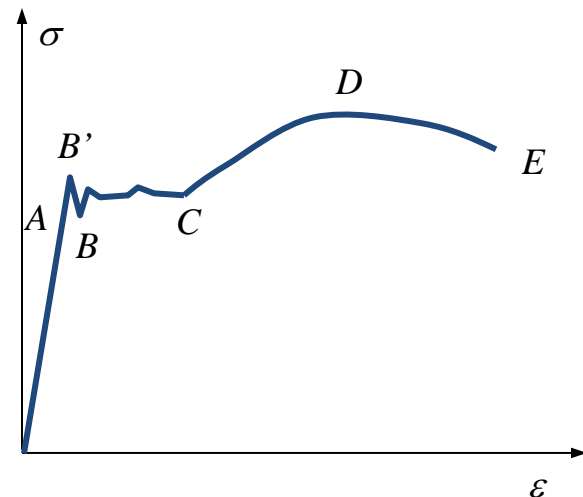
# 一、钢筋的强度和变形

## 1. 钢筋的应力-应变曲线

### 强度指标

\* 明显流幅的钢筋：下屈服点对应的强度作为设计强度的依据，因为，钢筋屈服后会产生大的塑性变形，钢筋混凝土构件会产生不可恢复的变形和不可闭合的裂缝，以至不能使用

\* 无明显流幅的钢筋：残余应变为0.2%时所对应的应力作为条件屈服强度，随着冶金系统采用国际标准及质量的提高，在相应的产品标准中明确规定屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 不得小于极限抗拉强度 $\sigma_b$ 的85%（ $0.85\sigma_b$ ）。因此，实际应用中可取极限抗拉强度 $\sigma_b$ 的85%作为条件屈服点



# 一、钢筋的强度和变形

## 1. 钢筋的应力-应变曲线

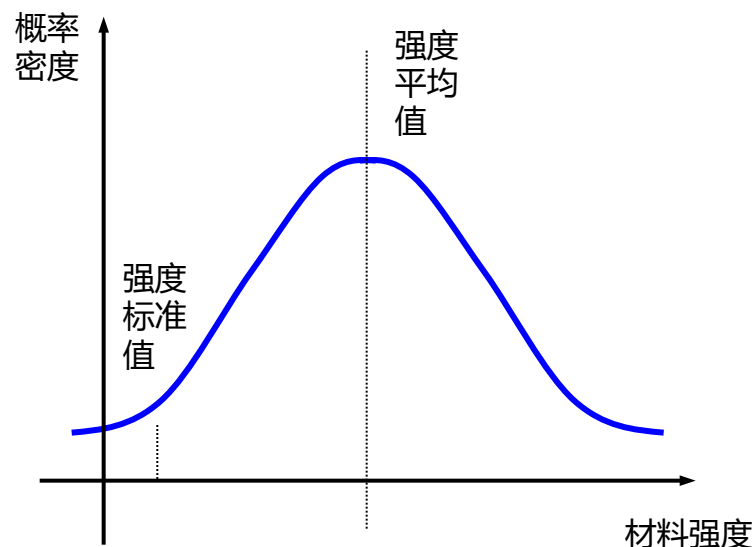
### 强度指标的确定

强度  $\Rightarrow$  随机变量

强度标准值

根据统计资料，运用数理统计方法确定的具有一定保证率（钢筋为97.73%）的统计特征值：

强度标准值=强度平均值- $2 \times$ 均方差



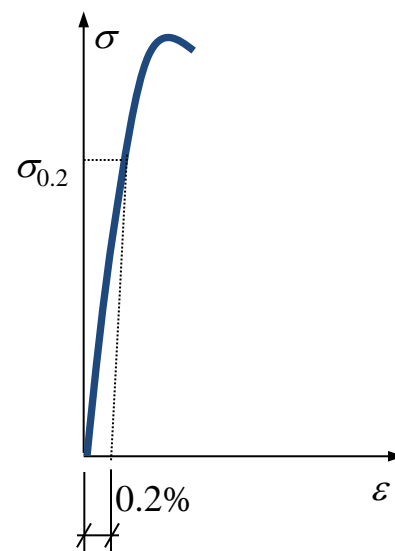
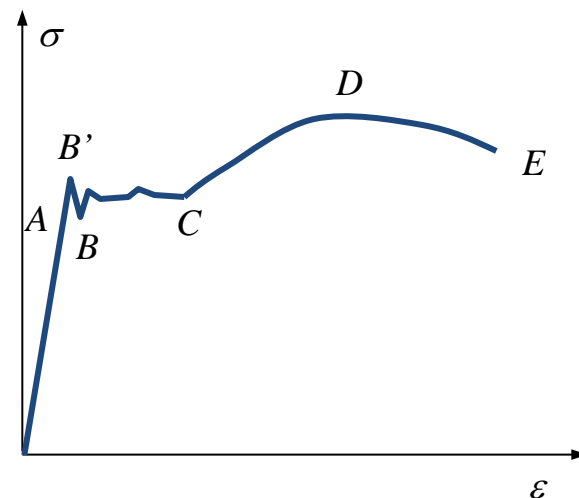
# 一、钢筋的强度和变形

## 1. 钢筋的应力-应变曲线

### 变形指标

\* 伸长率：钢筋拉断后的伸长与原长的比值

\* 冷弯要求：将直径为 $d$ 的钢筋绕直径为 $D$ 的钢辊弯成一定的角度而不发生断裂



# 一、钢筋的强度和变形

## 2. 钢筋的成分、级别和品种

### 按化学成分

碳素钢（铁、碳、硅、  
锰、硫、磷等元素）

普通低合金钢（另加  
硅、锰、钛、钒、铬  
等）

低碳钢（含碳量 $<0.25\%$ ）

中碳钢（含碳量 $0.25\sim 0.6\%$ ）

高碳钢（含碳量 $0.6\sim 1.4\%$ ）

锰系

硅钒系

硅钛系

硅锰系

硅铬系

# 一、钢筋的强度和变形

## 2. 钢筋的成分、级别和品种

### 按加工

#### 钢筋

热轧钢筋：热轧光圆钢筋HPB300 ( Hot rolled Plain Bars ) , 热轧带肋钢筋HRB335、HRB400 , HRB500 (Hot rolled Ribbed Bars), 细晶粒热轧钢筋HRBF335、HRBF400 , HRBF500 (Hot rolled Ribbed Bars of Fine grains)

冷拉钢筋：由热轧钢筋在常温下用机械拉伸而成

余热处理钢筋RRB400：钢筋通过加热、淬火、预热处理而成

#### 钢丝

碳素钢丝：高碳镇静钢通过多次冷拔、应力消除、矫正、回火处理而成

刻痕钢丝：在钢丝表面刻痕，以增强其与混凝土间的粘结力

钢绞线：若干根相同直径的钢丝成螺旋状绞绕在一起

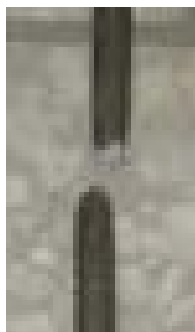
冷拔低碳钢丝：由低碳钢冷拔而成

# 一、钢筋的强度和变形

## 2. 钢筋的成分、级别和品种

### 按表面形状

光圆钢筋



带肋钢筋



### 钢筋的应用范围

**非预应力钢筋：** HPB300, HRB335, HRB400, RRB400, HRB500  
HRBF335, HRBF400, HRBF500

**预应力钢筋：** 碳素钢丝，刻痕钢丝，钢绞线，预应力螺纹钢筋

# 一、钢筋的强度和变形

## 3. 钢筋的常用直径

**光圆钢筋： 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22**



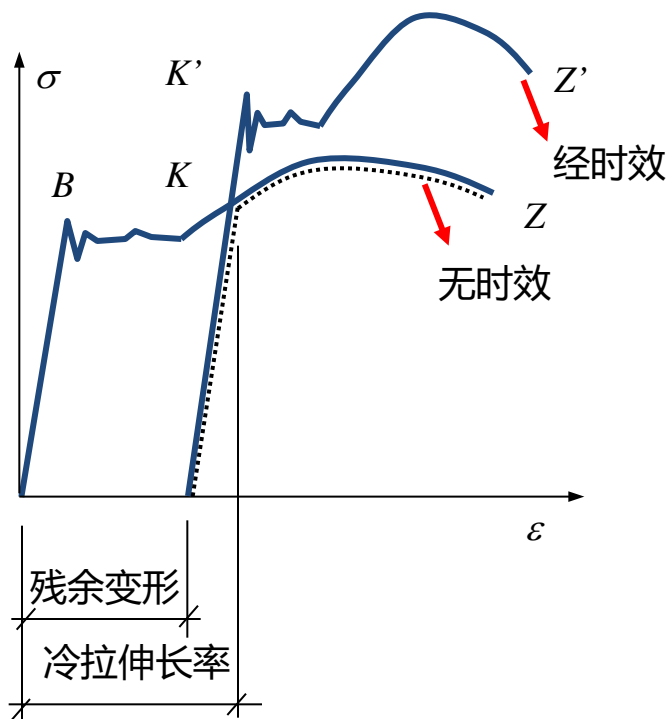
**带肋钢筋： 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22,  
25, 28, 32, 36, 40, 50**



# 一、钢筋的强度和变形

## 4. 钢筋的冷加工和热处理

### 冷拉



**K点的选择：应力控制和应变控制**

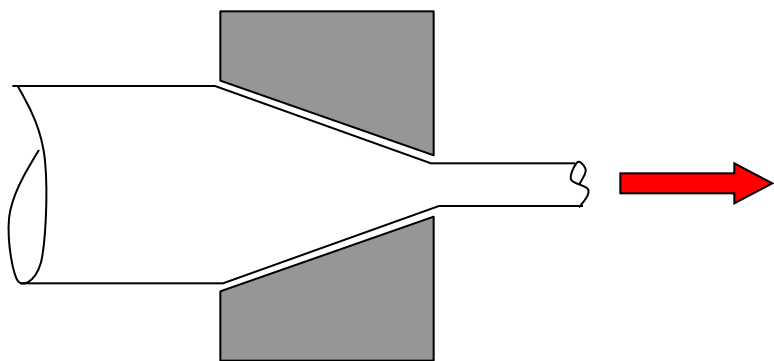
**温度的影响：温度达700°C时恢复到冷拉前的状态，先焊后拉**

**特性：只提高抗拉强度，不提高抗压强度，强度提高，塑性下降**

# 一、钢筋的强度和变形

## 4. 钢筋的冷加工和热处理

### 冷拔



经过冷拔后钢筋没有明显的屈服点和流幅

冷拔既能提高抗拉强度又能提高抗压强度

# 一、钢筋的强度和变形

## 4. 钢筋的冷加工和热处理

### 热处理

对特定钢号的钢筋进行淬火和回火处理

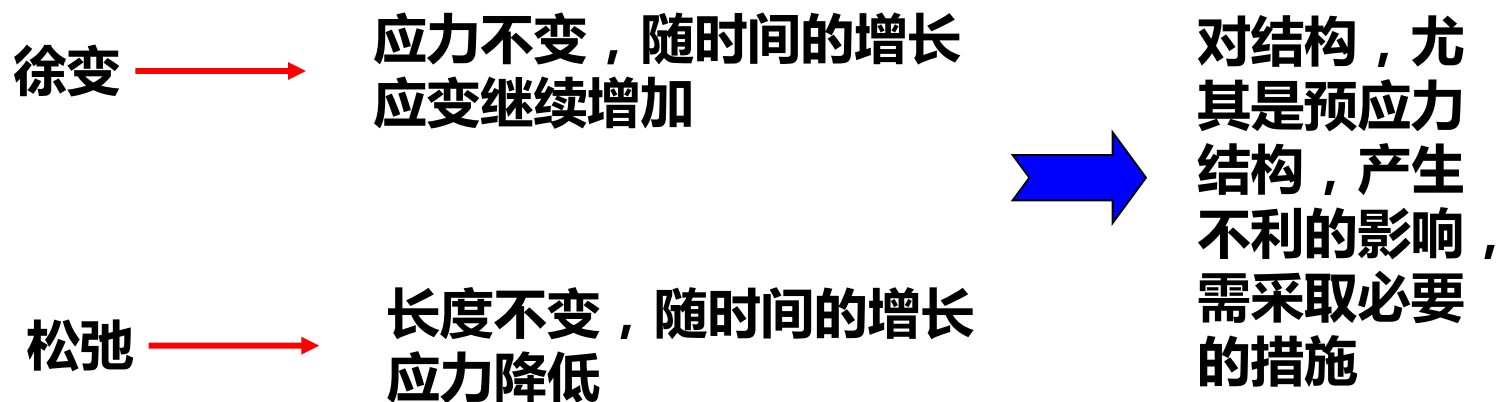
```
graph LR; A[对特定钢号的钢筋进行淬火和回火处理] --> B[强度提高，塑性降低]; A --> C[不降低强度的前提下，消除由淬火产生的内力，改善塑性和韧性];
```

强度提高，  
塑性降低

不降低强度的前提下，消除  
由淬火产生的内力，改善塑  
性和韧性

# 一、钢筋的强度和变形

## 5. 钢筋的徐变和松弛



# 一、钢筋的强度和变形

## 6. 钢筋的疲劳

**重复荷载作用下，钢筋的强度 < 静载作用下的强度**

规定的应力幅度内，经一定次数的重复荷载后，发生疲劳破坏的最大应力值称为疲劳强度。对钢筋用疲劳应力幅来表示其疲劳强度。

**试验方法**

**单根钢筋的轴拉疲劳**

**钢筋埋入混凝土中重复受拉或受弯**

# 一、钢筋的强度和变形

## 7. 混凝土结构对钢筋的要求

- **强度要求**：屈服强度和极限强度，抗震设计时还要求有一定的屈强比

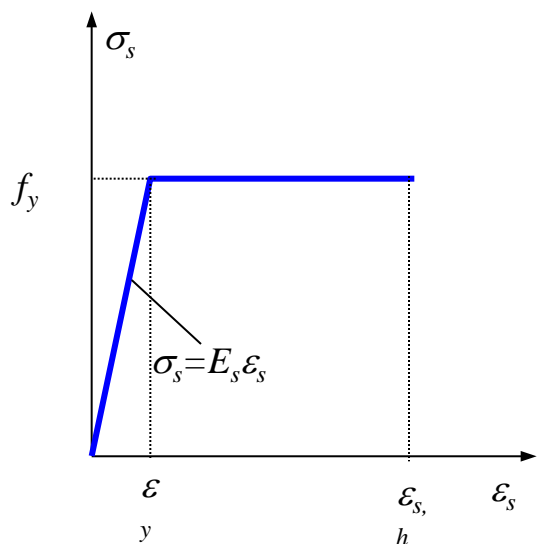
- **塑性要求**：伸长率和冷弯要求

- **可焊性**

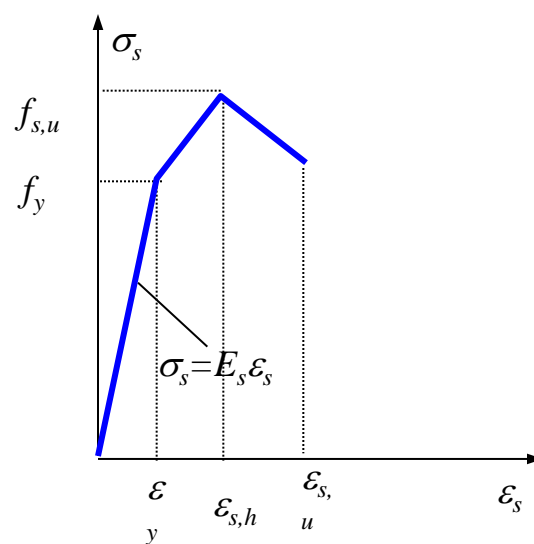
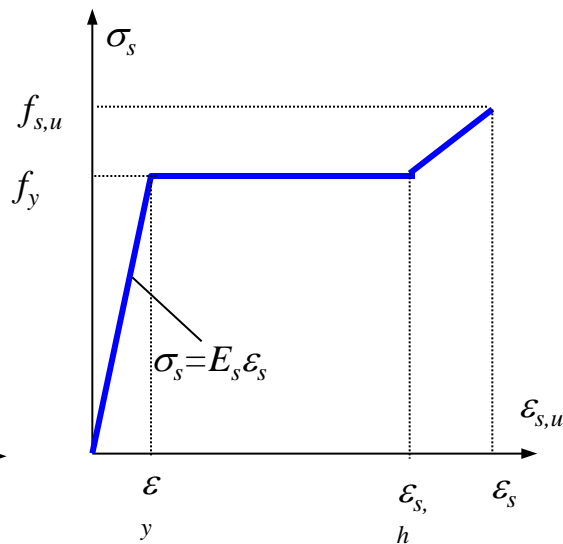
- **与混凝土的粘结性**

# 一、钢筋的强度和变形

## 8. 钢筋应力-应变曲线的数学模型



有明显流幅的钢筋

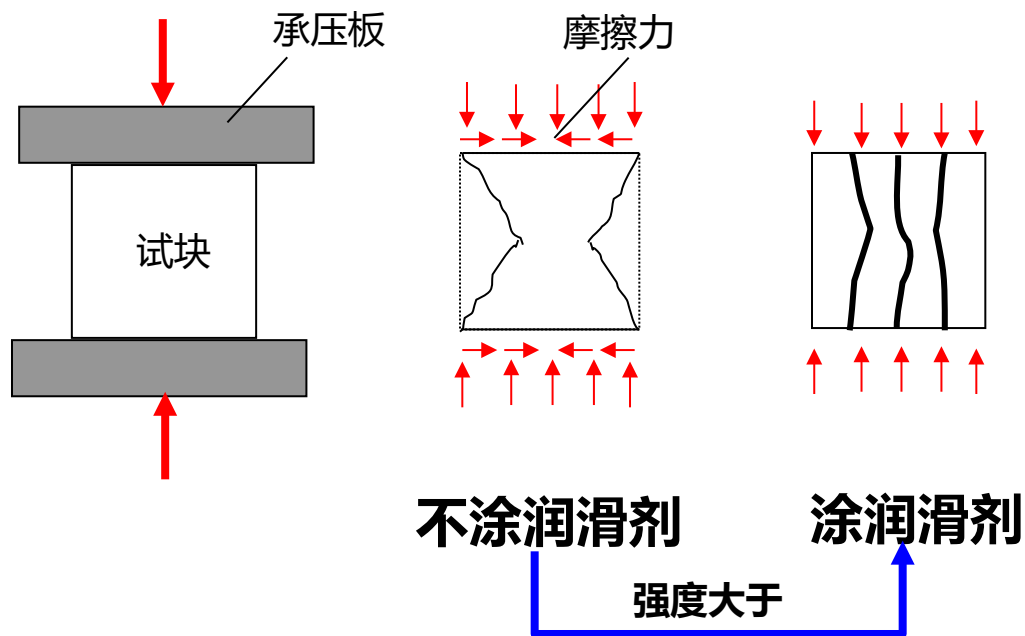


无明显流幅的钢筋

## 二、混凝土的强度和变形

### 1. 单轴受力状态下混凝土的抗压强度

#### 立方体抗压强度 $f_{cu}$



• 压力→试件→裂缝  
发展→扩张→整个体系解体，丧失承载力

• 另影响强度的因素  
还有：龄期、加载速率、试块尺寸等

我国规范的方法：不涂润滑剂

## 二、混凝土的强度和变形

### 1. 单轴受力状态下混凝土的抗压强度

立方体抗压强度  $f_{cu}$

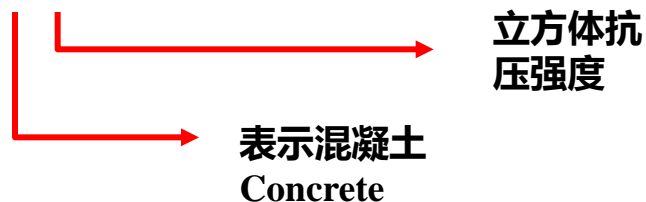
标准试块：  $150 \times 150 \times 150$

非标准试块：  $100 \times 100 \times 100$       换算系数 0.95

$200 \times 200 \times 200$       换算系数 1.05

•立方体抗压强度是区分混凝土强度等级的指标，我国规范混凝土的强度等级有：

•C15, C20, C25, C30, C35, C40, C45, C50, C55, C60, C65, C70, C75, C80



## 二、混凝土的强度和变形

### 1. 单轴受力状态下混凝土的抗压强度

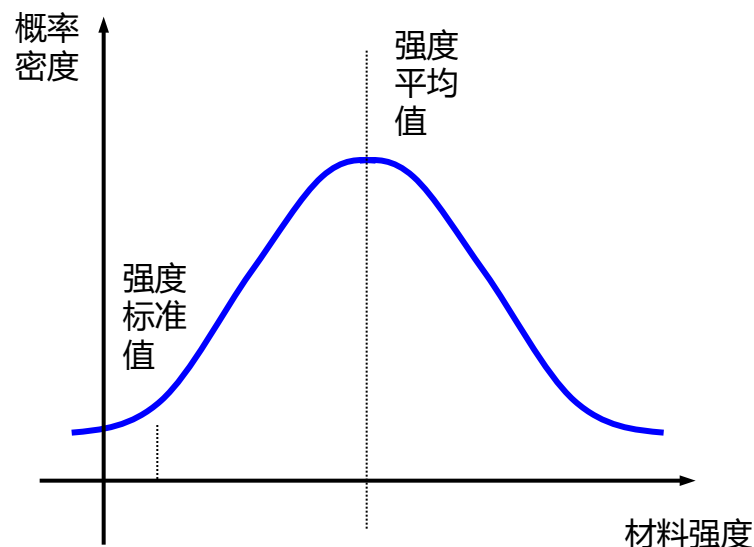
#### 强度指标的确定

强度  $\Rightarrow$  随机变量

强度标准值

根据统计资料，运用数理统计方法确定的具有一定保证率（95%）的统计特征值：

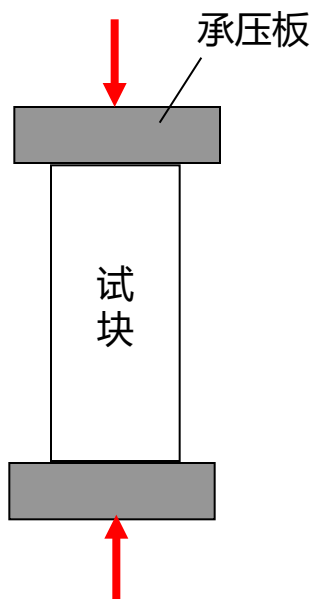
强度标准值=强度平均值-  
 $1.645 \times$  均方差



# 二、混凝土的强度和变形

## 1. 单轴受力状态下混凝土的抗压强度

### 棱柱体抗压强度 $f_c$



**标准试块:**  $150 \times 150 \times 300$

**非标准试块:**  $100 \times 100 \times 300$     **换算系数 0.95**

$200 \times 200 \times 400$     **换算系数 1.05**

• 考虑到承压板对试件的约束，立方体抗压强度大于棱柱体抗压强度，且有： $f_c = 0.76 f_{cu}$  (试验结果)

• 考虑到构件和试件的区别，取  $f_c = 0.67 f_{cu}$

• 对国外（美国、日本、欧洲混凝土协会等）采用的圆柱体试件（ $d=150, h=300$ ），有  $f_c' = 0.79 f_{cu}$

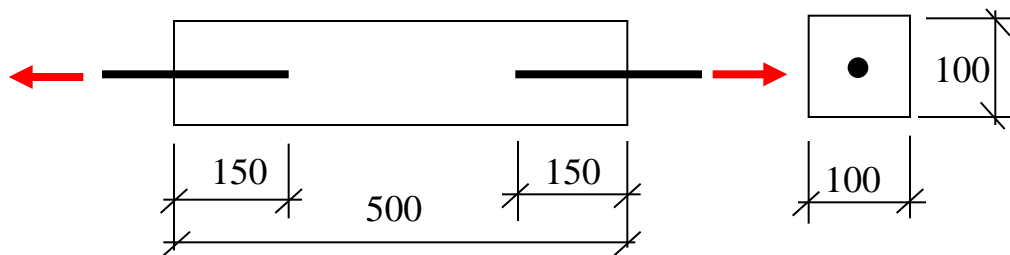


**圆柱体抗压强度**

## 二、混凝土的强度和变形

### 2. 单轴受力状态下混凝土的抗拉强度

#### 直接受拉试验 $f_t$



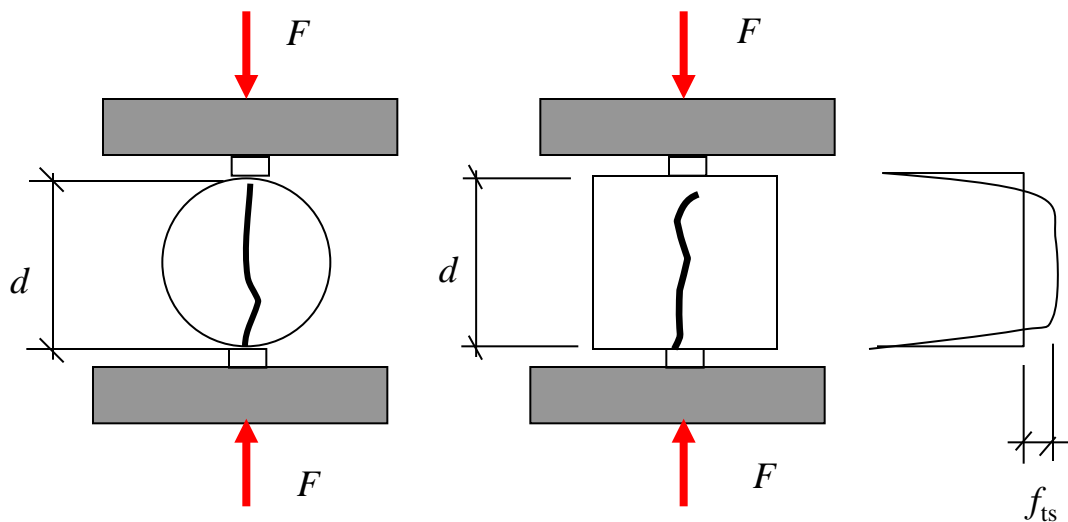
•试验结果:  $f_t = 0.395 f_{cu}^{0.55}$

•考虑到构件和试件的区别, 尺寸效应, 加荷速度等的影响, 取  $f_t = 0.348 f_{cu}^{0.55}$

## 二、混凝土的强度和变形

### 2. 单轴受力状态下混凝土的抗拉强度

#### 劈裂试验 $f_{ts}$



$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi dl}$$

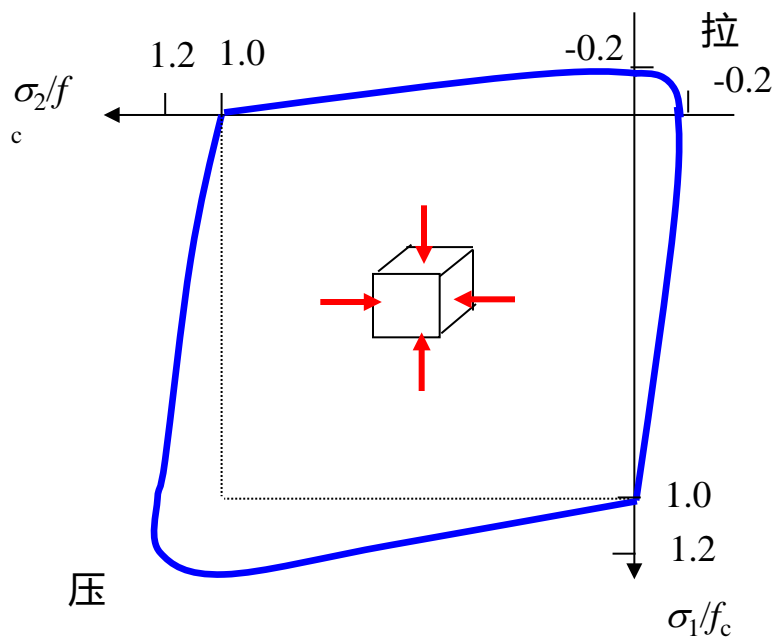
•我国根据100mm立方体的劈裂与抗压试验结果有：

$$f_{ts} = 0.19f_{cu}^{3/4}$$

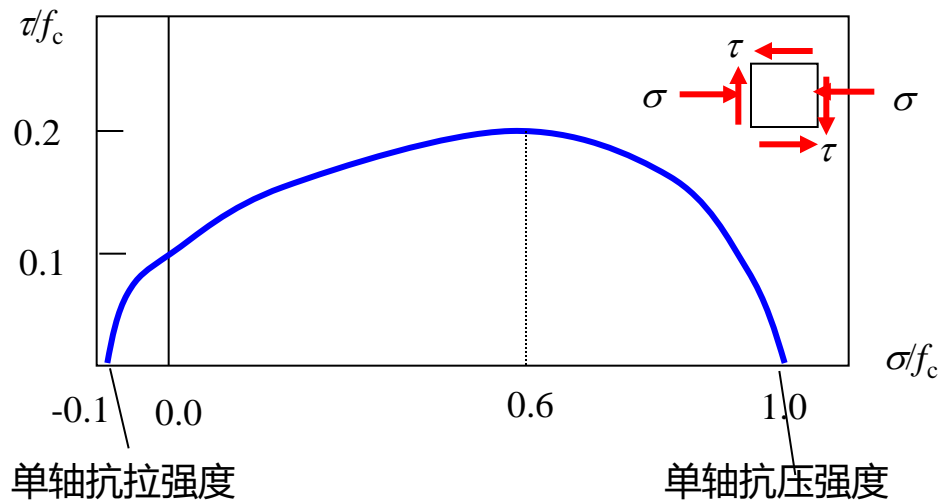
## 二、混凝土的强度和变形

### 3. 复合受力状态下混凝土的强度

#### 双轴应力下的强度



双向正应力下的强度曲线



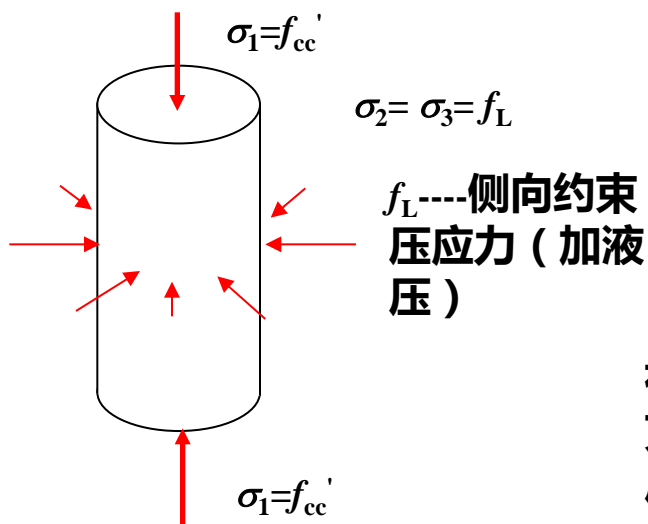
法向应力和剪应力下的强度曲线

## 二、混凝土的强度和变形

### 3. 复合受力状态下混凝土的强度

#### 三向受压时的混凝土强度

#### 圆柱体试验



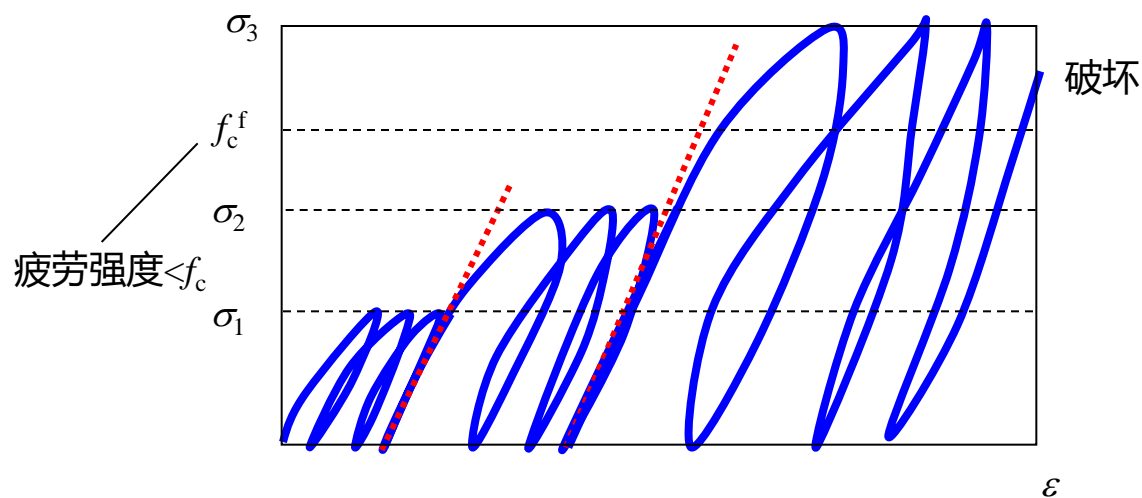
$$f'_{cc} = f'_c + 4.1 f_L$$

有侧向约束时的抗压强度

无侧向约束时圆柱体的单轴抗压强度

## 二、混凝土的强度和变形

### 4. 混凝土的疲劳强度



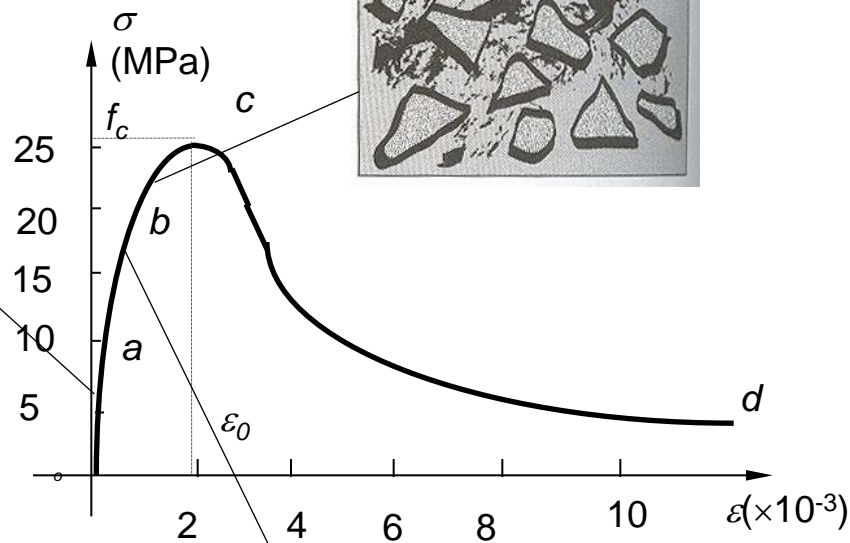
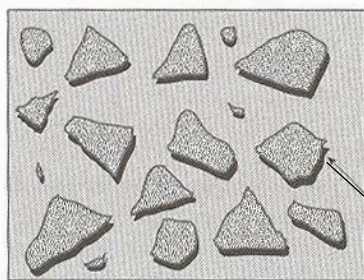
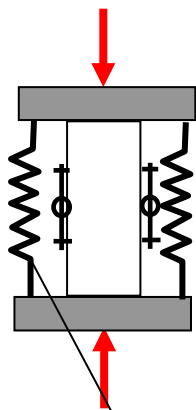
重复荷载下的应力-应变曲线

•  $f_c^f$  的确定原则：  
100 × 100 × 300 或  
150 × 150 × 450 的棱  
柱体试块承受 200 万次  
(或以上) 循环荷载时发  
生破坏的最大压应力值

## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 单轴受压时的应力-应变关系



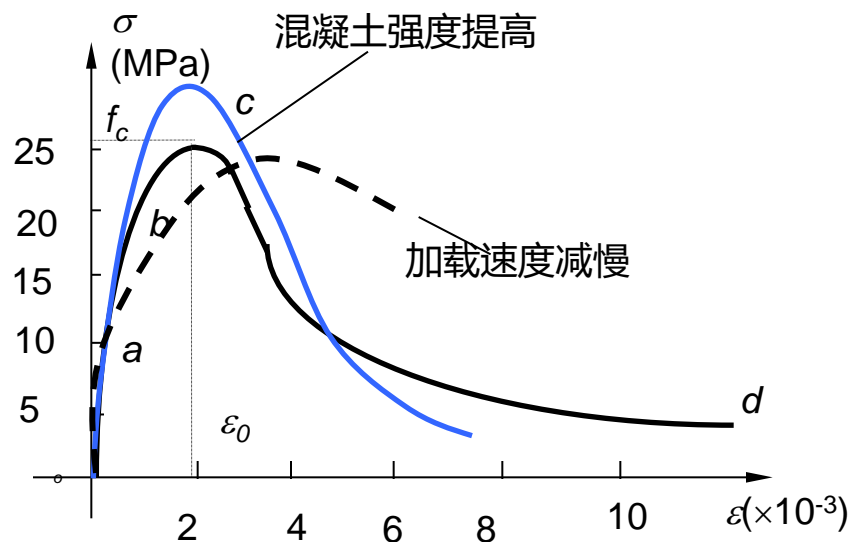
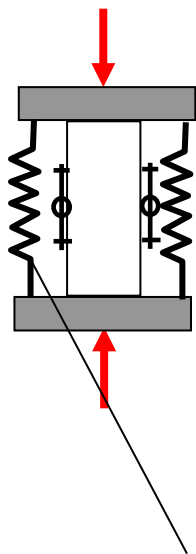
作用是：峰值应力后，吸收试验机的变形能，测出下降段



## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 单轴受压时的应力-应变关系

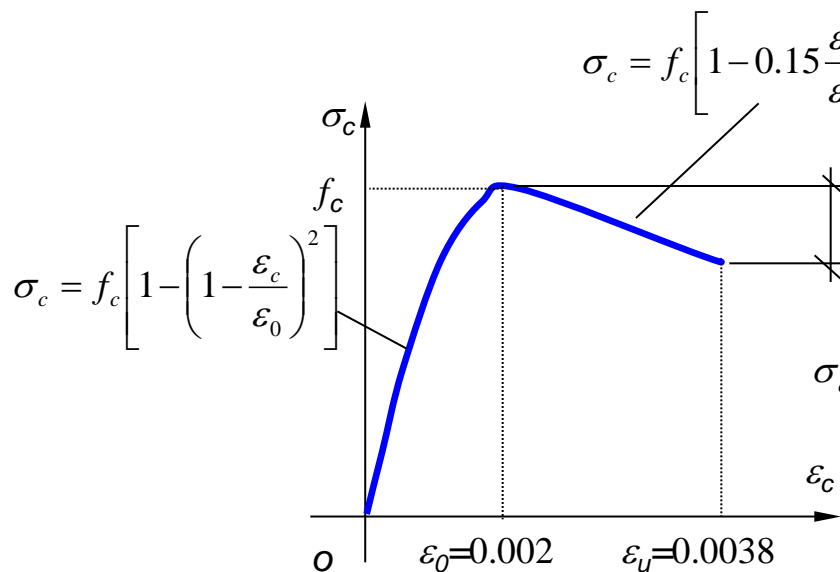


作用是：峰值应力后，  
吸收试验机的变形能，  
测出下降段

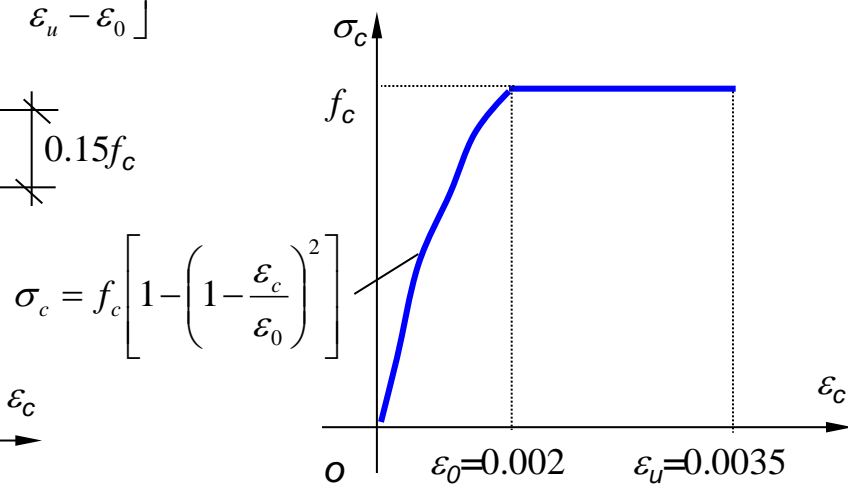
## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 单轴受压时的应力-应变关系的数学模型



美国Hognestad模型

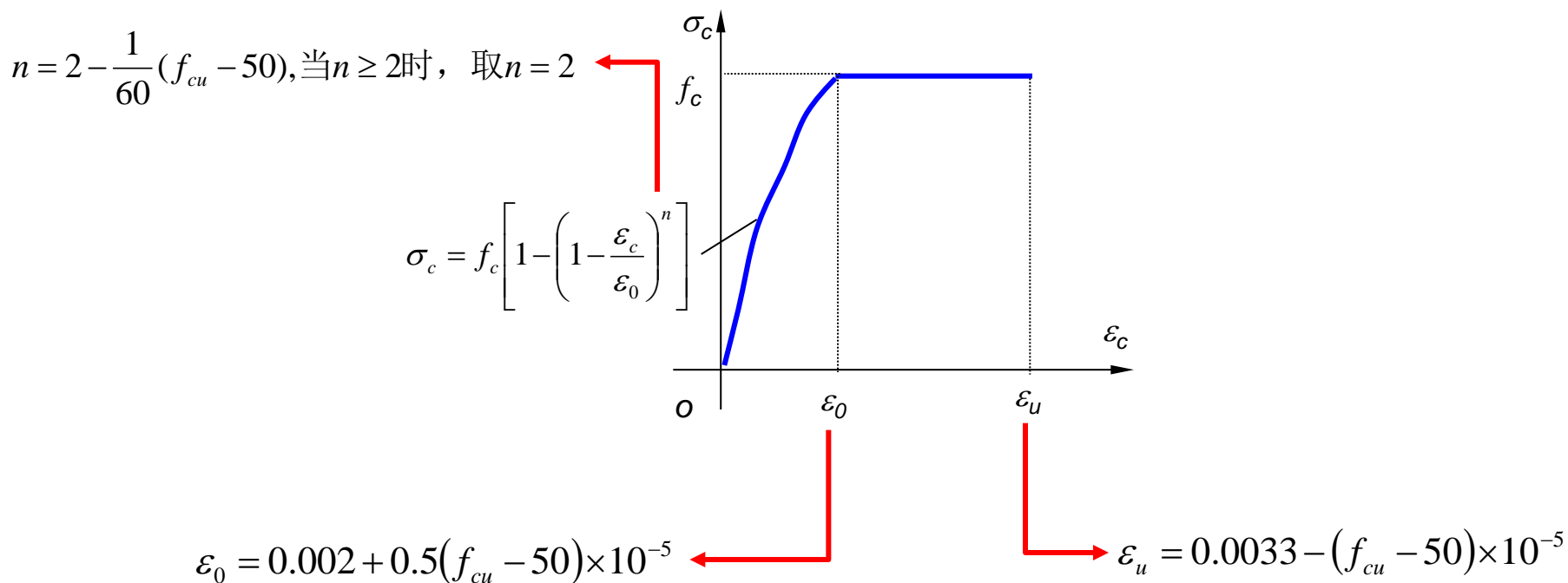


德国Rüschi模型

## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

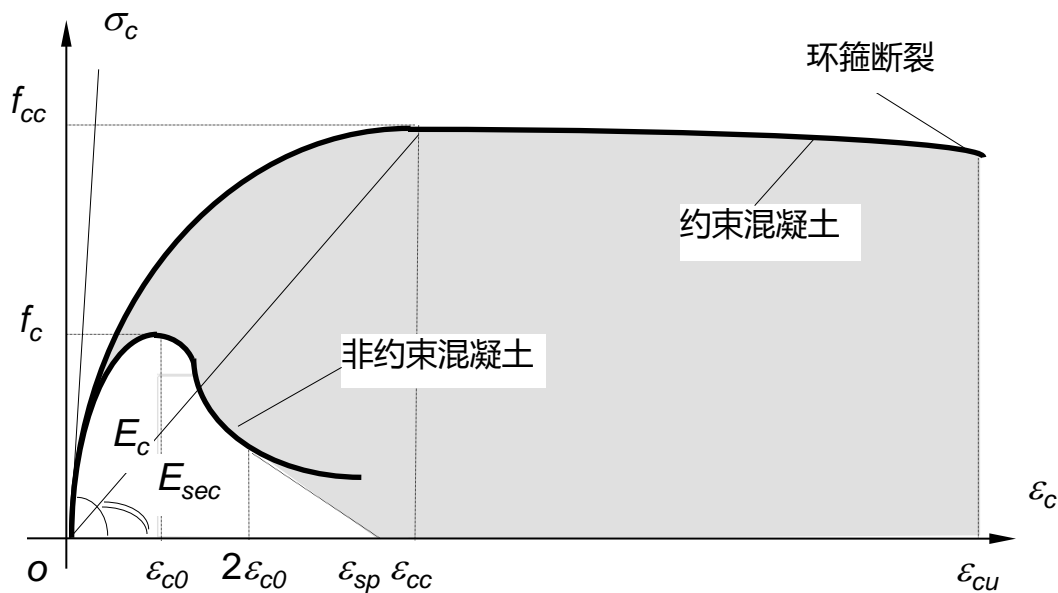
#### 单轴受压时的应力-应变关系的数学模型----中国规范



## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

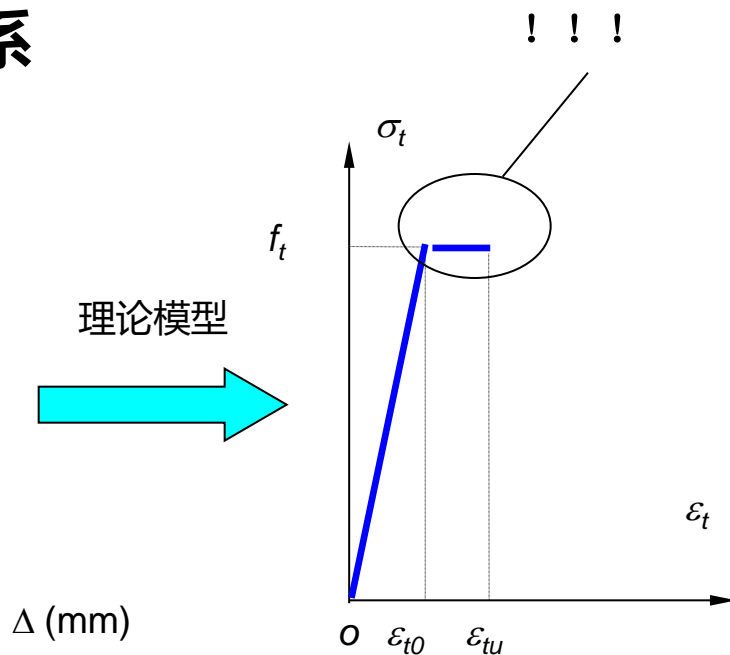
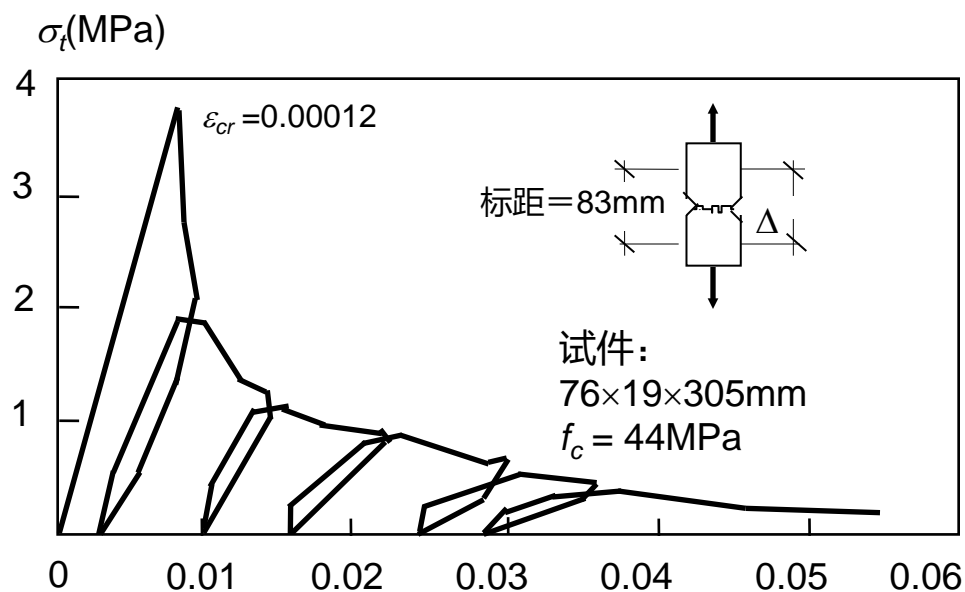
#### 侧向受约束时混凝土的变形特点



## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

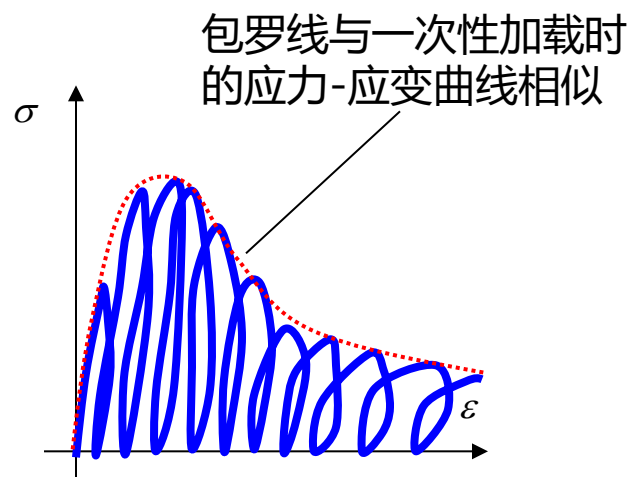
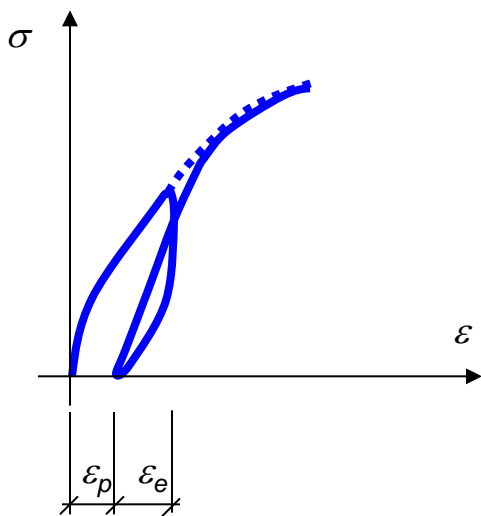
#### 轴向受拉时混凝土的应力-应变关系



## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 重复荷载下混凝土的变形性能



## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 混凝土的弹性模量

原点切线模量（弹性模量）：拉压相同

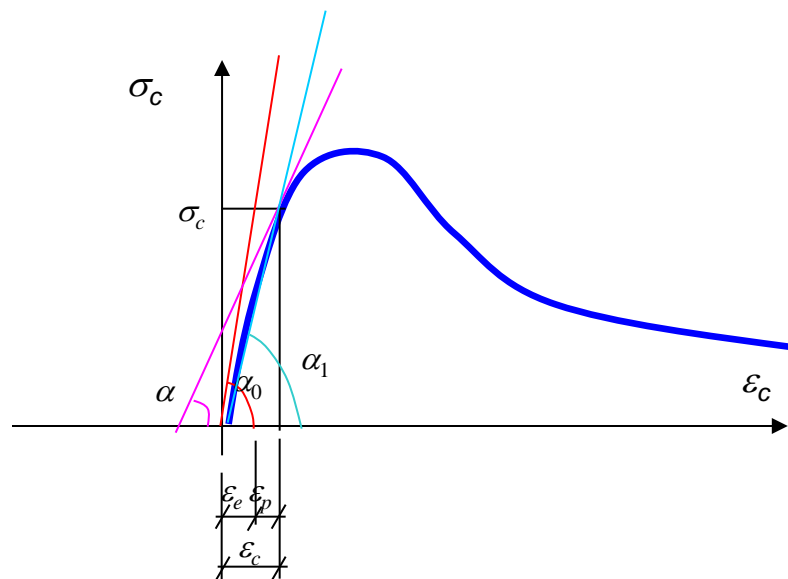
$$E_c = \operatorname{tg} \alpha_0 = \sigma_c / \varepsilon_e$$

变形模量（割线模量、弹塑性模量）

$$E_c' = \operatorname{tg} \alpha_1 = \sigma_c / \varepsilon_c$$

切线模量

$$E_c'' = \operatorname{tg} \alpha = \frac{d\sigma_c}{d\varepsilon_c}$$



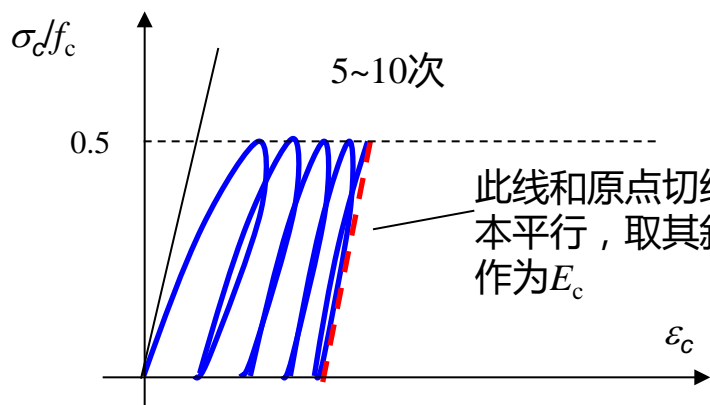
$$E_c' = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_c} E_c = \nu E_c$$

受压时，为0.4~1.0；  
受拉破坏时，为1.0

## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 混凝土的弹性模量的试验方法（150×150×300标准试件）



$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.74}{f_{cu}}} (\text{N/mm}^2)$$

## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 混凝土的泊松比和剪切模量

•混凝土的泊松比，在压力较小时为0.15~0.18，接近破坏时可达0.5以上，一般可取0.2

•混凝土的剪切模量为

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + \nu_c)}$$

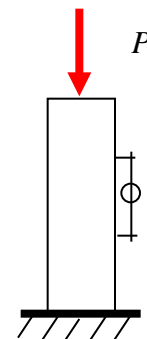
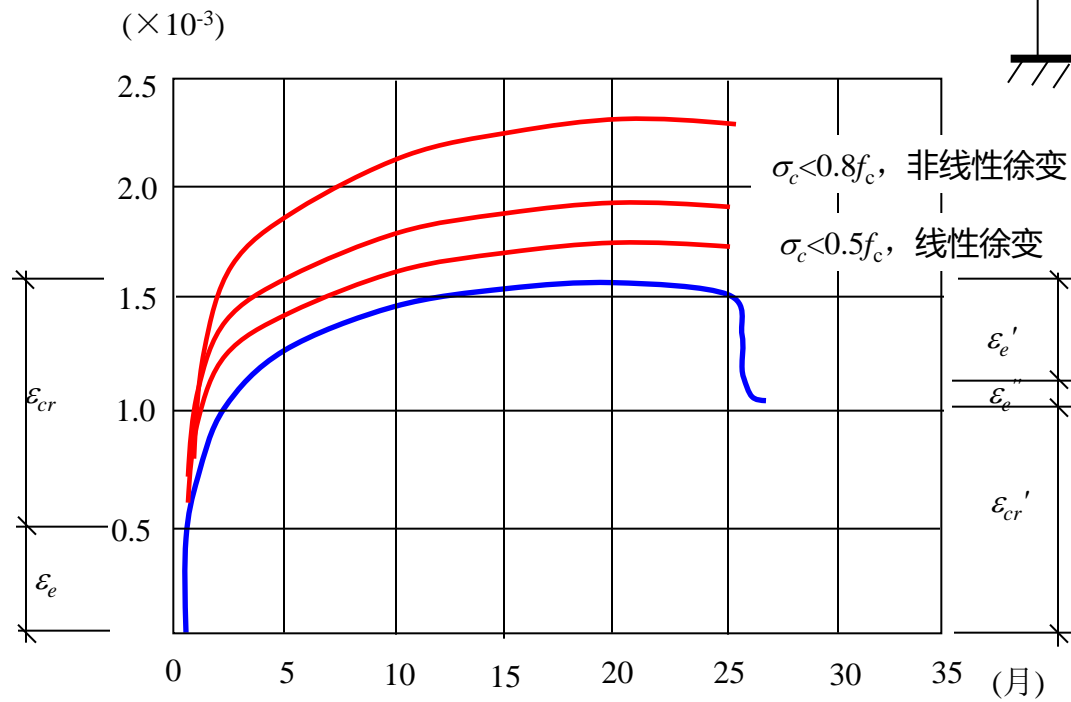
## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 长期荷载作用下混凝土的变形性能----徐变

•原因之一，胶凝体的粘性流动

•原因之二，混凝土内部微裂缝的不断发展



## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 长期荷载作用下混凝土的变形性能----影响徐变的因素

•应力:  $\sigma_c < 0.5f_c$ , 徐变变形与应力成正比----线性徐变

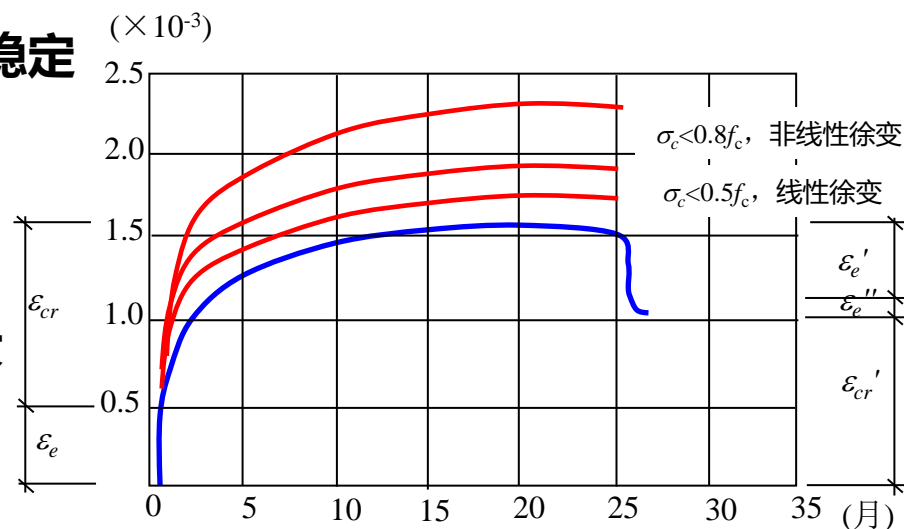
$0.5f_c < \sigma_c < 0.8f_c$ , 非线性徐变

$\sigma_c > 0.8f_c$ , 造成混凝土破坏, 不稳定

•加荷时混凝土的龄期, 越早, 徐变越大

•水泥用量越多, 水灰比越大, 徐变越大

•骨料越硬, 徐变越小



## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

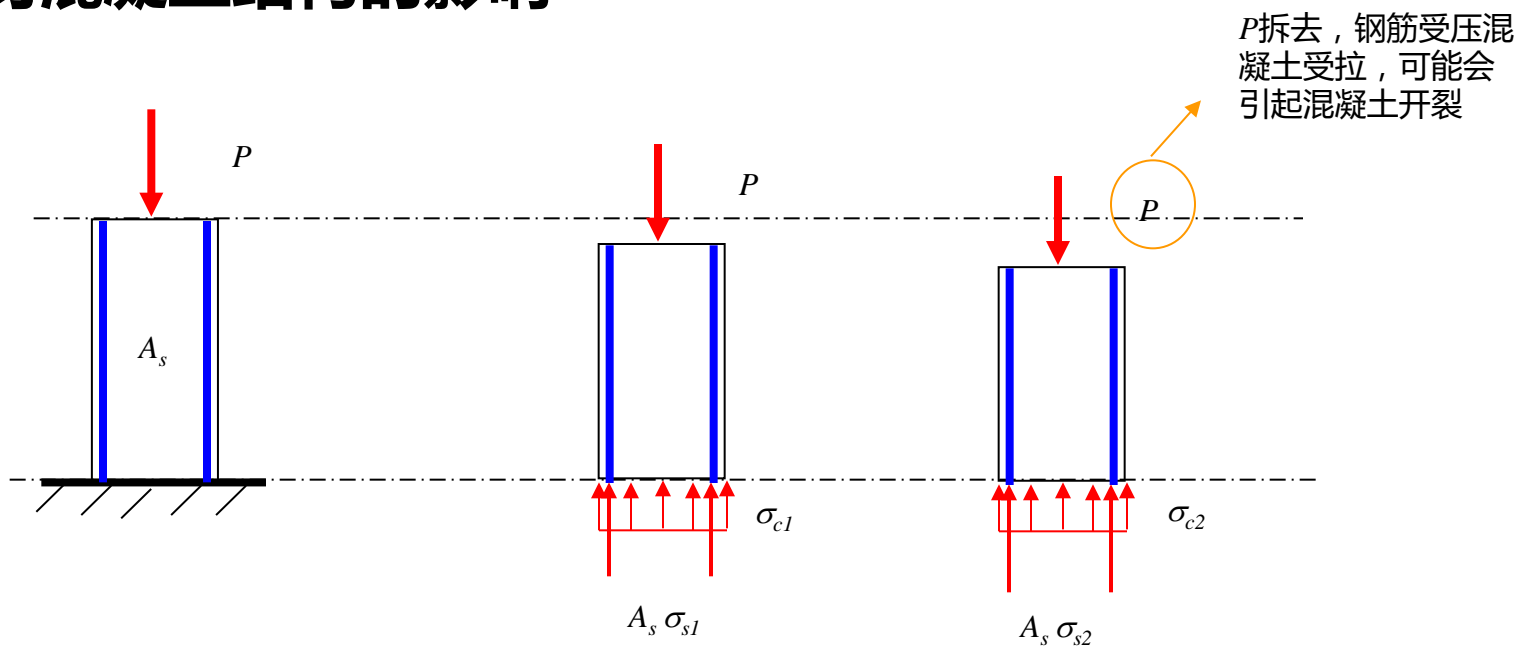
**混凝土的收缩-----结硬过程中混凝土体积缩小的性质**

- 水泥品种：等级越高，收缩越大
- 水泥用量：水泥用量越多，水灰比越大，收缩越大
- 骨料：骨料越硬，收缩越小
- 养护条件、制作方法、使用环境、体积与表面积的比值等

## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 徐变对混凝土结构的影响

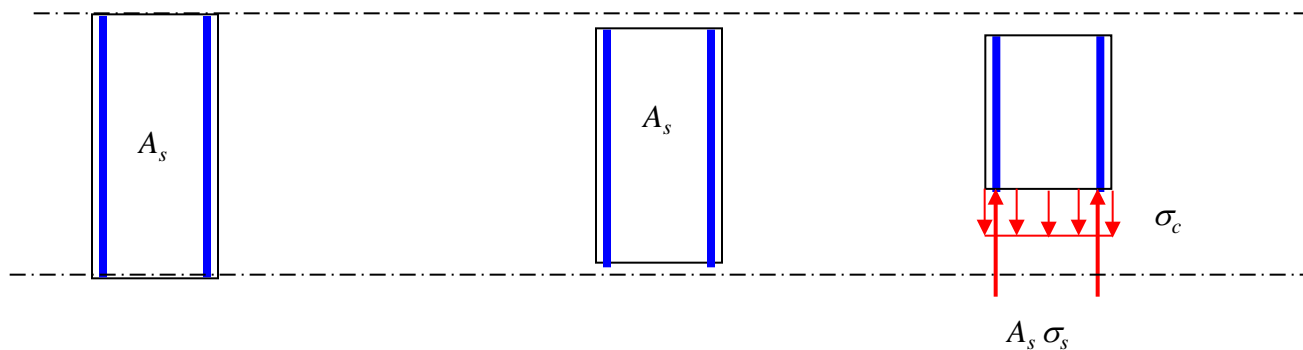


徐变:  $\sigma_s \uparrow$ ,  $\sigma_c \downarrow$

## 二、混凝土的强度和变形

### 5. 混凝土的变形性能

#### 收缩对混凝土结构的影响



收缩：钢筋受压，混凝土受拉

# 小结

**钢筋的应力应变关系**

**钢筋的强度**

**钢筋的分类**

**钢筋的冷加工**

**混凝土的应力应变关系**

**混凝土的强度**

**混凝土的变形模量核弹性模量**

**混凝土的收缩徐变**