



## 第九章 混凝土结构的变形与裂缝验算

---

9.1 概述

9.2 裂缝验算

9.3 变形验算

9.3 混凝土构件的延性

9.4 混凝土构件的耐久性



## 9.1 概述

### 正常使用极限状态要求

a. 构造措施、b. 裂缝控制、c. 变形控制

### 正常使用极限状态的计算特点

a. 荷载组合、b. 时间效应

### 裂缝控制的目的和要求

目的：外观要求、耐久性要求

要求：三级抗裂

### 变形控制的目的和要求

目的：使用功能、非结构构件、心理要求等

要求：允许变形值



## 9.2 裂缝验算

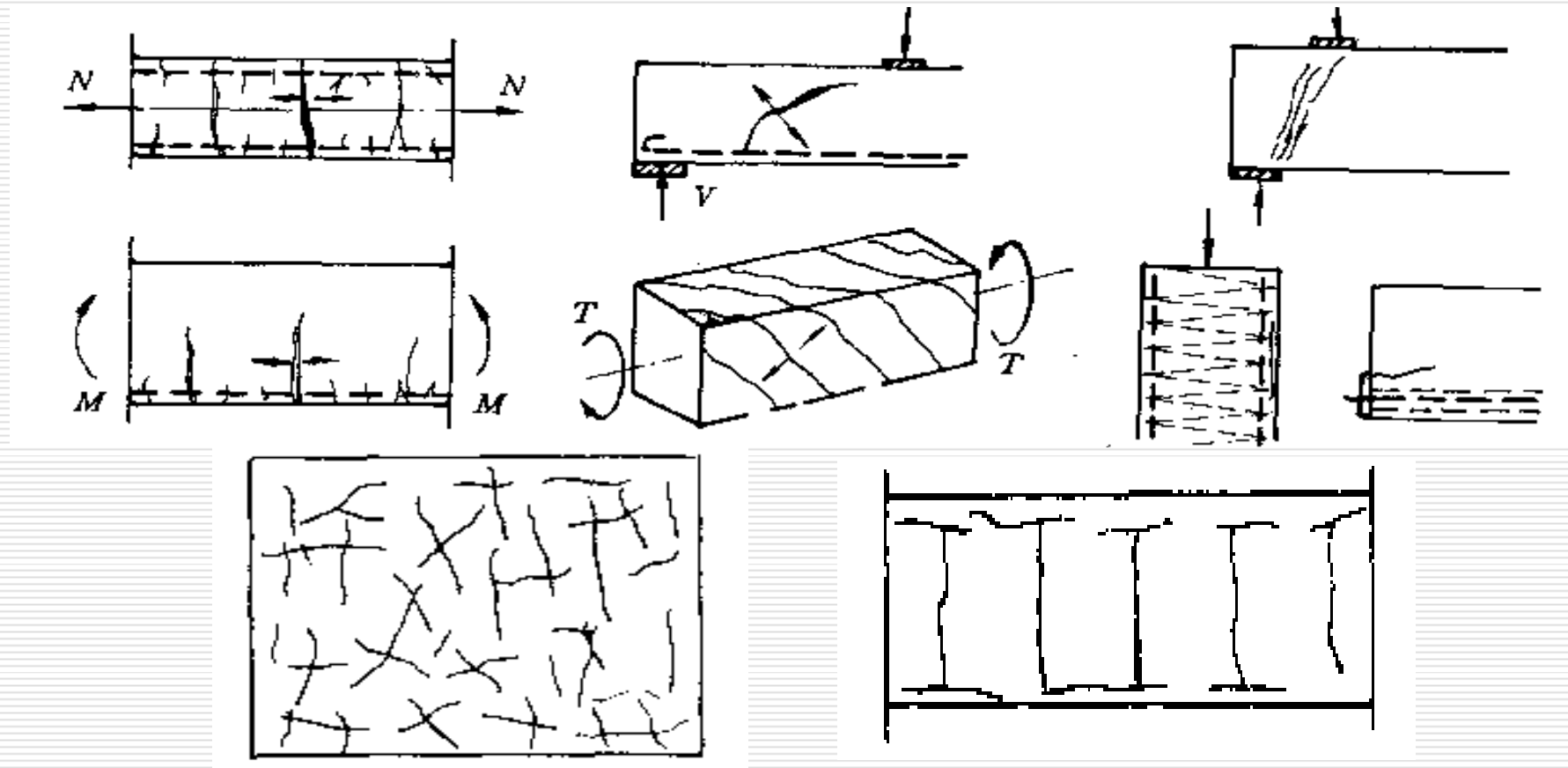
### 裂缝的成因与机理

引起裂缝的原因很多，主要有：

1. 混凝土收缩或温度变形受到约束；
2. 施工措施不当；
3. 基础不均匀沉降；
4. 钢筋锈蚀；
5. 荷载作用；



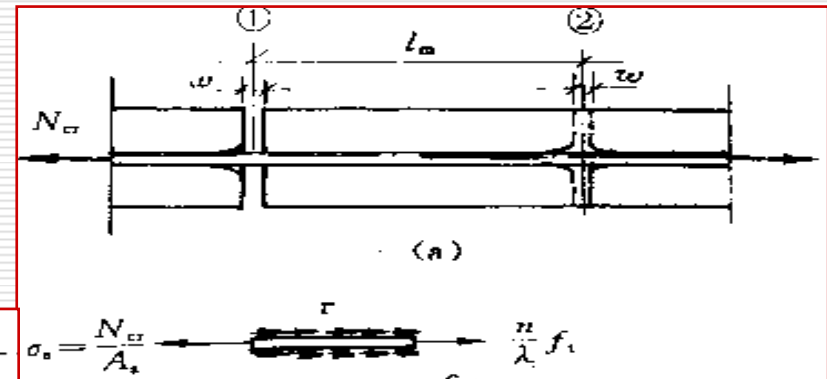
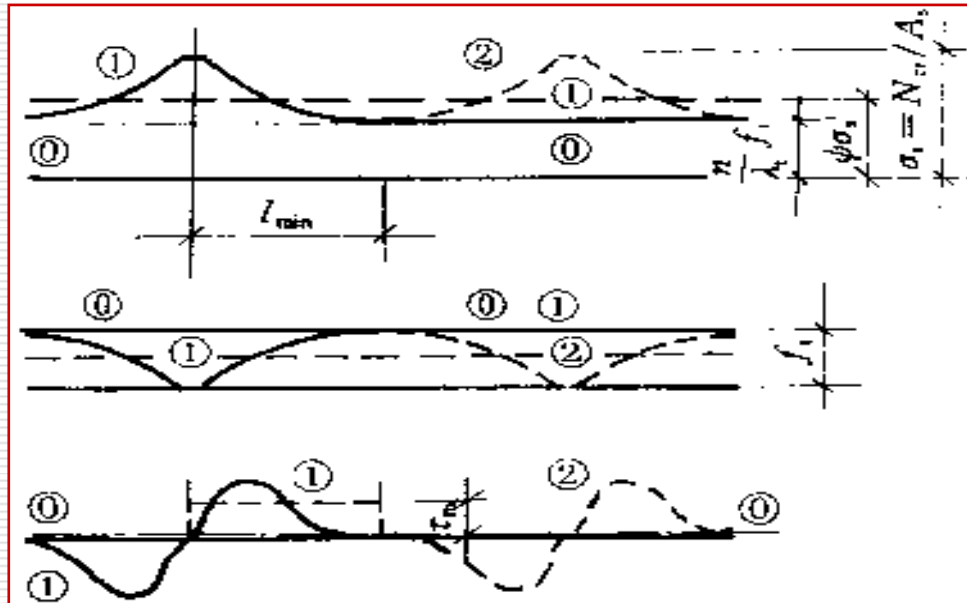
## 9.2 裂缝验算





## 9.2 裂缝验算

### 裂缝的出现与分布规律





## 9.2 裂缝验算

### 裂缝验算

平均裂缝间距

$$l_m = K_2 c + K_1 \cdot \frac{d}{\rho}$$

平均裂缝宽度

$$w_m = \alpha_c \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} l_m$$

对受弯、轴拉偏心受力构件取

$$\alpha_c = 0.85$$

最大裂缝宽度

$$w_{\max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} (1.9c + 0.08 \frac{d}{\rho_{te}})$$



## 9.3 变形验算

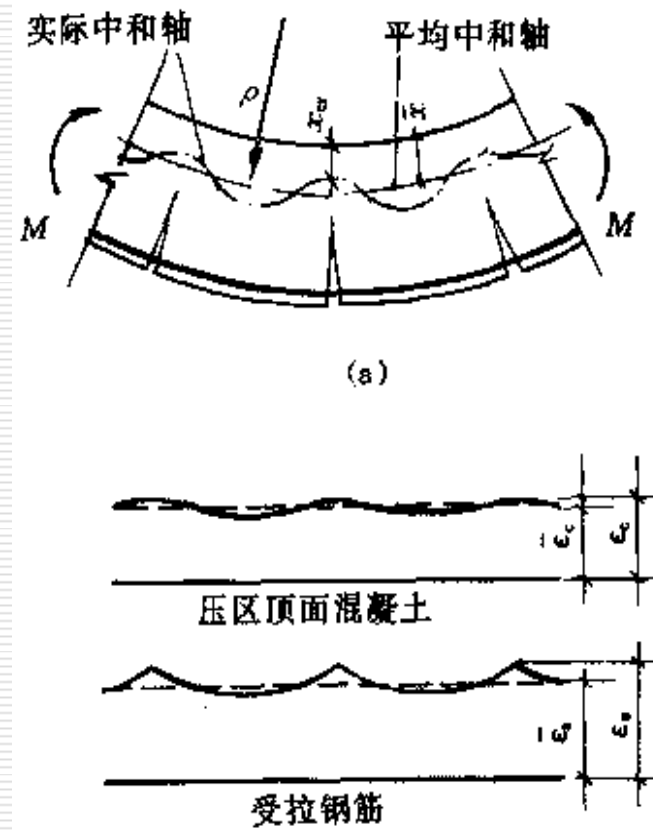
### 短期刚度的计算

平均曲率:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{h_0}$$

短期刚度:

$$B_s = \frac{E_s A_s h_0^2}{1.15\psi + 0.2 + \frac{6\alpha_E \rho}{1 + 3.5r_f'}}$$





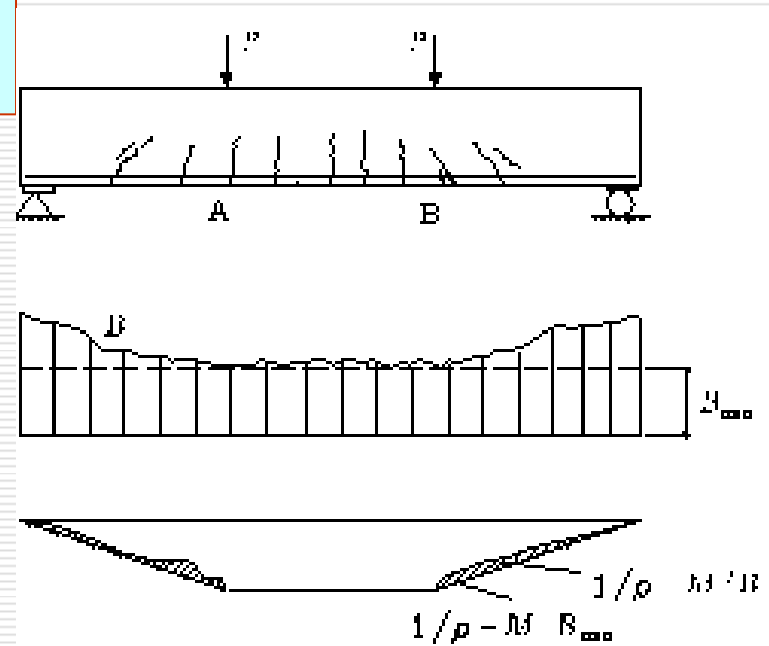
## 9.3 变形验算

### 长期刚度的计算

$$B = \frac{M_K}{M_q (\theta - 1) + M_K} B_s$$

### 最小刚度原则与变形验算

在弯矩同号的范围内，取最小刚度，按弹性方法计算构件的变形。







## 9.4 混凝土构件的延性

### 延性概念

结构、构件或截面延性是指从屈服开始到达到最大承载力或达到以后而承载力还没有显著下降期间的变形能力。即延性是反映构件的后期变形能力。

“后期”是指从钢筋开始屈服进入破坏阶段直到最大承载能力时的整个程。



## 9.4 混凝土构件的延性

### 要求延性的目的

- 1、满足抗震方面的要求；
- 2、防止脆性破坏；
- 3、在超静定结构中，适应外界的变化；
- 4、使超静定结构能充分的进行内力重分布。



## 9.4 混凝土构件的延性

### 延性的计算

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_y} \times \frac{(1-k)h_0}{x_a}$$

### 影响延性的因素

混凝土极限压应变和受压区高度 两个综合因素。（纵向钢筋配筋率、混凝土极限压应变、钢筋屈服强度及混凝土强度等）

### 提高延性的措施

- 1、限制纵向受拉钢筋的配筋率；
- 2、规定受压钢筋和受拉钢筋的最小比例；
- 3、在弯矩较大区段适当加密箍筋。



## 9.5 混凝土构件的耐久性





## 9.5 混凝土构件的耐久性

### 耐久性的概念

指结构在设计使用年限内，在正常维护条件下，不需要进行大修和加固满足，而满足正常使用和安全功能要求的能力。

耐久性的设计主要是依据结构的环境类别、设计使用年限及考虑对混凝土材料的基本要求。



## 9.5 混凝土构件的耐久性

### 耐久性的影响因素

#### 1、内部因素：

混凝土强度、渗透性、保护层厚度、水泥品种、标号和用量、外加剂等；

#### 2、外部因素：

环境温度、湿度、CO<sub>2</sub>含量、侵蚀性介质等。



## 9.5 混凝土构件的耐久性

### 混凝土的碳化

碳化是混凝土中性化的形式，是指大气中的二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）不断向混凝土内部扩散，并与其中的碱性物质发生反应，使混凝土的PH值低。

碳化对混凝土本身无害，其主要是当碳化至钢筋表面，氧化膜被破坏形成钢筋锈蚀的必要条件，同时含氧水份侵入形成钢筋锈蚀的充分条件，从而加剧混凝土开裂，导致结构破坏。



## 9.5 混凝土构件的耐久性

### 影响碳化的主要因素

- 1、环境因素、
- 2、材料本身的性质。

### 延缓碳化的措施

- 1、合理设计混凝土的配合比；
- 2、提高混凝土的密实度、抗渗性；
- 3、规定钢筋保护层的最小厚度；
- 4、采用覆盖面层





## 9.5 混凝土构件的耐久性

### 钢筋的锈蚀

钢筋锈蚀是一个电化学过程，因此锈蚀主要取决于氧气通过混凝土保护层向钢筋表面的阴极的扩散速度，而这种扩散速度主要取决于混凝土的密实度。氧气和水份是钢筋锈蚀必要条件。

钢筋锈蚀对混凝土结构损伤过程：坑蚀—环蚀—暴筋—结构失效。

### 防止钢筋的措施

- 1、增加混凝土的密实性和混凝土的保护层厚度。
- 2、采用涂面层、钢筋阻锈剂、涂层钢筋、对钢筋采用阴极防护法等。



## 9.5 混凝土构件的耐久性

### 耐久性设计

耐久性设计的目的是指在规定的設計使用年限內，在正常維護下，必須保持適合於使用，滿足既定功能的要求。

耐久性設計的基本原則是根據結構的環境類別和設計使用年限進行設計。

### 保證耐久性的措施

- 1、規定最小保護層厚度；
- 2、滿足混凝土的基本要求；  
控制最大水灰比、最小水泥用量、最低強度等級、最大氯離子含量以及最大鹼含量。



## 9.5 混凝土构件的耐久性

### 保证耐久性的措施

#### 3、裂缝控制：

一级：严格要求不出现裂缝的构件；

二级：一般要求不出现裂缝的构件；

三级：允许出现裂缝的构件。

#### 4、其他措施：

对环境较差的构件，宜采用可更换或易更换的构件；

对于暴露在侵蚀性环境中的结构和构件，宜采用带肋环氧涂层钢筋，预应力钢筋应有防护措施。

采用有利提高耐久性的高强混凝土