



新疆大学

混凝土结构 设计原理



第九章

钢筋混凝土构件的变形 与裂缝验算

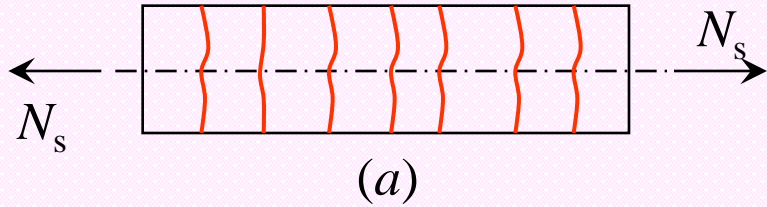
9.1 概述

构件的裂缝宽度和挠度验算是属于正常使用极限状态。

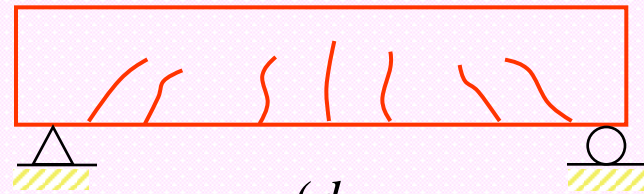
挠度过大影响使用功能，不能保证适用性，而裂缝宽度过大，则同时影响使用功能和耐久性。

裂缝 { 荷载引起的裂缝: 占20% $\sigma_{ct} > f_t$ 计算 $\omega_{max} \leq [\omega_{max}]$

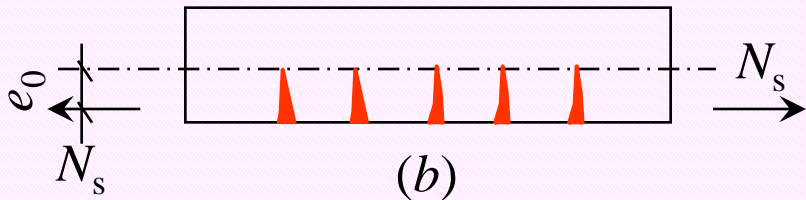
非荷载引起的裂缝: 材料收缩、温度变化、混凝土碳化后引起钢筋锈蚀、地基不均匀沉降。(80%)



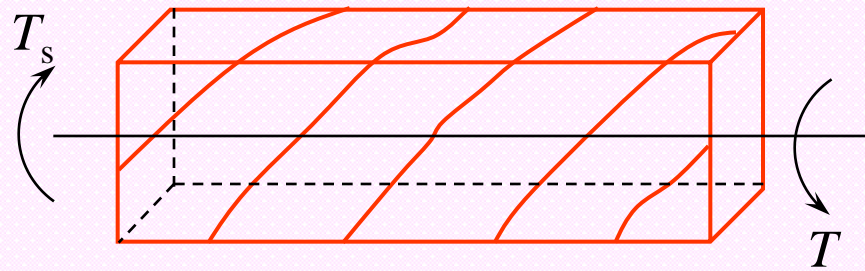
(a)



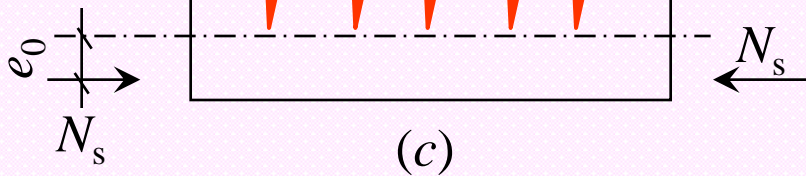
(d)



(b)



(e)



(c)

非荷载引起的裂缝

为防止温度应力过大引起的开裂，规定了最大伸缩缝之间的间距。表8-1

为防止由于钢筋周围砼过快的碳化失去对钢筋的保护作用，出现锈胀引起的沿钢筋纵向的裂缝，规定了钢筋的混凝土保护层的最小厚度。

通常，裂缝宽度和挠度一般可分别用控制最大钢筋直径和最大跨高比来控制，只有在构件截面尺寸小，钢筋应力高时进行验算。

9.2 裂缝验算

9.2.1 裂缝控制的目的是与要求

- 外观要求
- 耐久要求

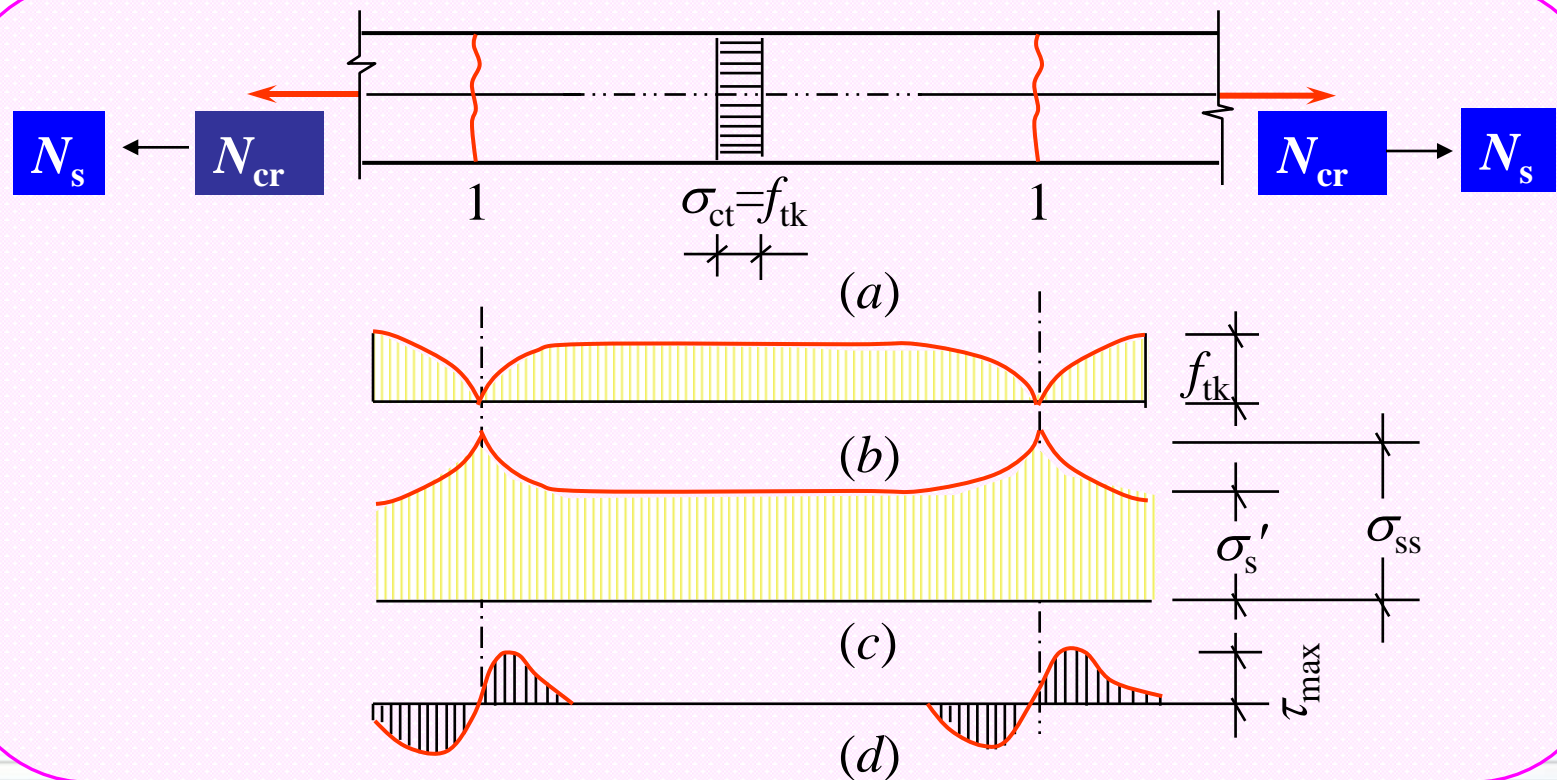
9.2.2 裂缝出现与分布规律

∴ 随机性

《规范》在若干假定的基础上，根据裂缝出现机理，建立理论公式，然后按试验资料确定系数，得到相应的裂缝宽度计算经验式。

出现：

当 $\sigma_c \geq f_{tk}$ ，在某一薄弱环节第一条裂缝出现，由于钢筋和砼之间的粘结，砼应力逐渐增加至 f_t 出现第二批裂缝，一直到裂缝之间的距离近到不足以使粘结力传递至砼达到 f_{tk} ——裂缝出现完成。



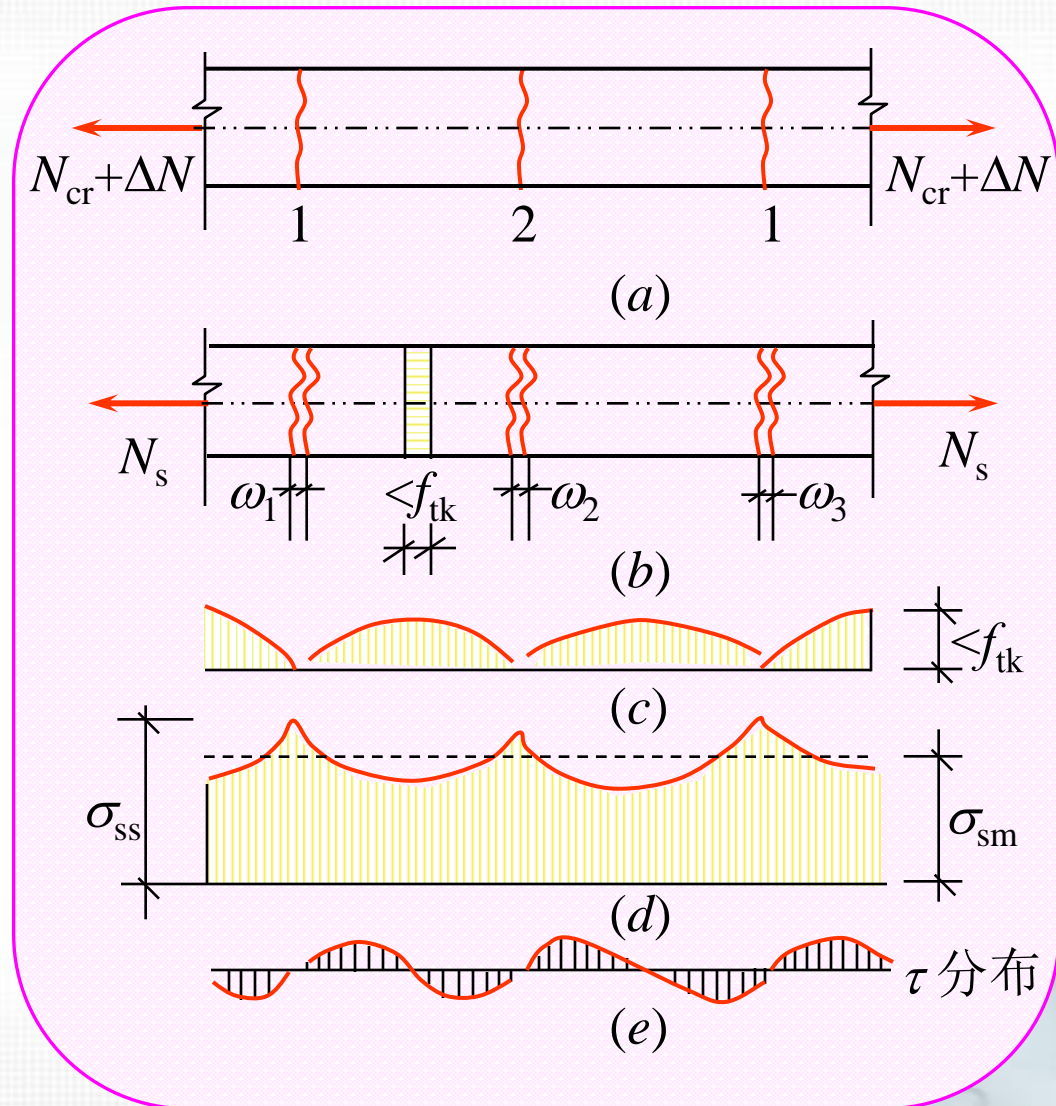
开展：

当荷载继续增加到 N_s ， σ_{ss} 与 σ_{sm} 相差越小，砼回缩。在一定区段由钢筋与砼应变差的累积量，即形成了裂缝宽度。



粘结 — 滑移理论:

认为裂缝宽度是由于钢筋与混凝土之间的粘结破坏。出现相对滑移，引起裂缝处混凝土的回缩引起的。



9.2.3 平均裂缝间距

$$l_{cr} = \beta(1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}})$$

$$d_{eq} = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i v_i d_i}$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}}$$



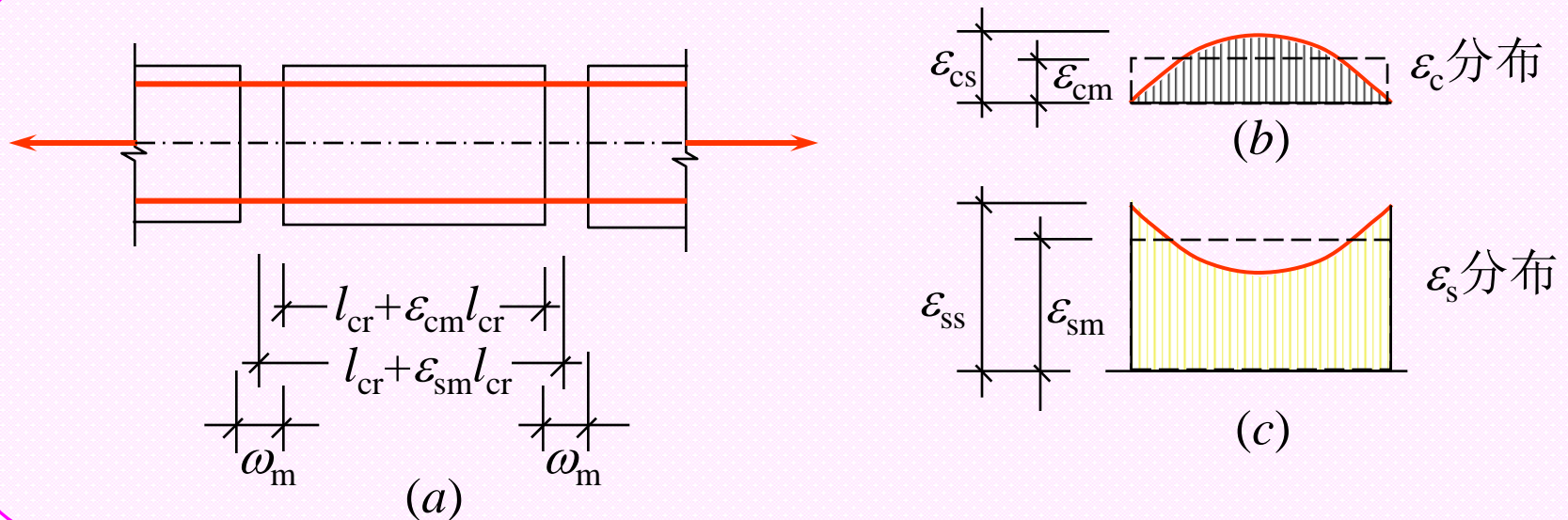
9.2.4 平均裂缝宽度

$$\omega_m = \int_0^{l_{cr}} (\varepsilon_s - \varepsilon_c) dl$$

$$\omega_m = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) l_{cr} = \left(1 - \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_{cm}} \right) \varepsilon_{sm} \cdot l_{cr} = \alpha_c \frac{\sigma_{sm}}{E_s} l_{cr}$$

...8-1

式中： α_c — 0.85 $\sigma_{sm} = \psi \sigma_{ss}$



$$l_{cr} = \beta \left[2.7c + 0.1 \frac{d}{\rho_{te}} \right] \nu$$

式中：

β ——与受力特性有关的系数

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{轴心受拉 } \beta=1.1 \\ \text{受弯、偏心受压、偏拉 } \beta=1.0 \end{array} \right.$$

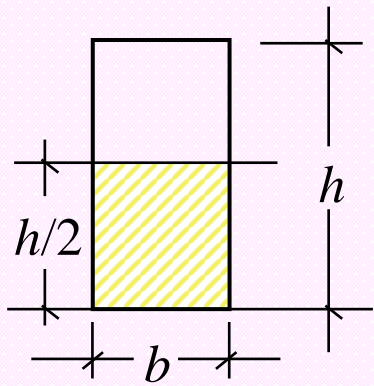
c ——保护层厚度

d ——钢筋直径

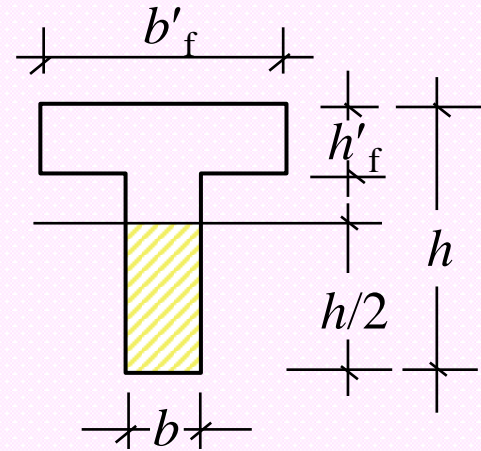
ν ——纵向受拉钢筋的表面特征系数 $\left\{ \begin{array}{l} \text{光面 } \nu=1.1 \\ \text{变形 } \nu=1.0 \end{array} \right.$

ρ_{te} —— 截面的有效配筋率

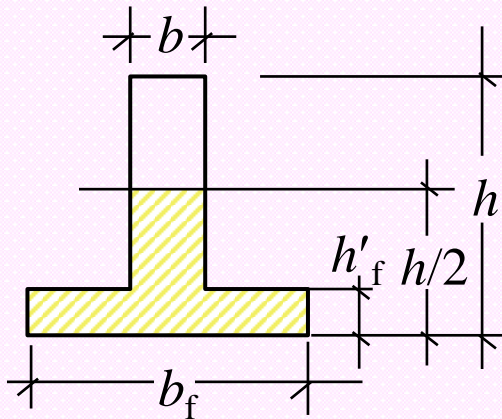
$$\rho_{te} = A_s / A_{te}$$



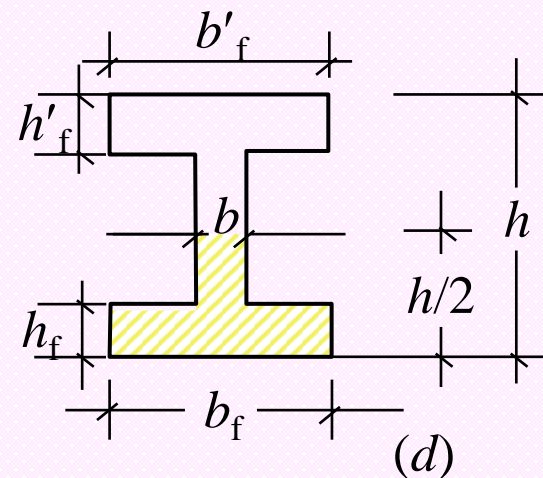
(a)



(b)



(c)



(d)

$$A_{te} \begin{cases} \frac{h}{2} \cdot b & \text{矩形、T形截面} \\ \frac{h}{2} \cdot b + (b_f - b)h_f & \end{cases}$$

ψ ——钢筋应力不均匀系数，表示砼参与工作的程度

$$\psi = \frac{\sigma_{sm}}{\sigma_{ss}} = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{ss}}$$

$$(0.4 \leq \psi \leq 1.0)$$

σ_{ss} ——裂缝截面处钢筋应力

1.轴心受拉：

$$\sigma_{ss} = \frac{N_s}{A_s}$$

2.受弯：

$$\sigma_{ss} = \frac{M_s}{0.87h_0A_s}$$

3.偏心受拉：

$$\sigma_{ss} = \frac{N_s e'}{A_s (h_0 - a'_s)}$$

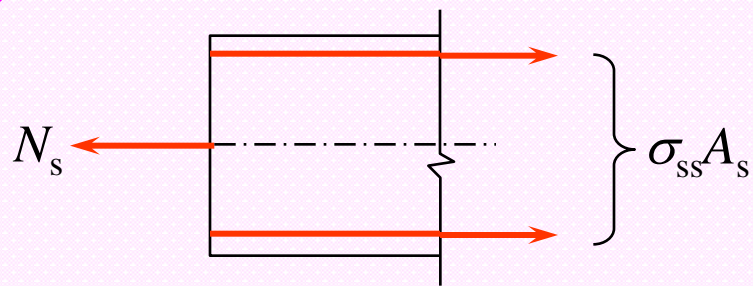
4. 偏心受压:

$$\sigma_{ss} = \frac{N_s(e-z)}{A_s z}$$

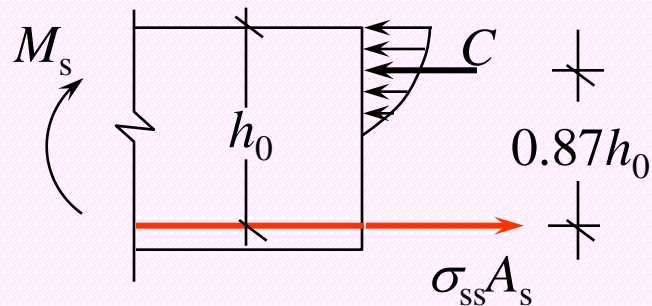
$$z = [0.87 - 0.12(1 - \gamma'_f) \left(\frac{h_0}{e}\right)^2] h_0$$

$$e = \eta_s e_0 + y_s$$

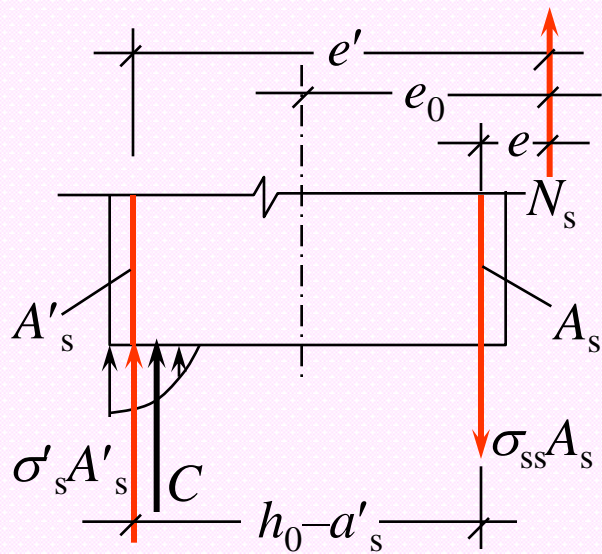
$$\eta_s = 1 + \frac{1}{4000 e_0 / h_0} \left(\frac{l_0}{h}\right)^2$$



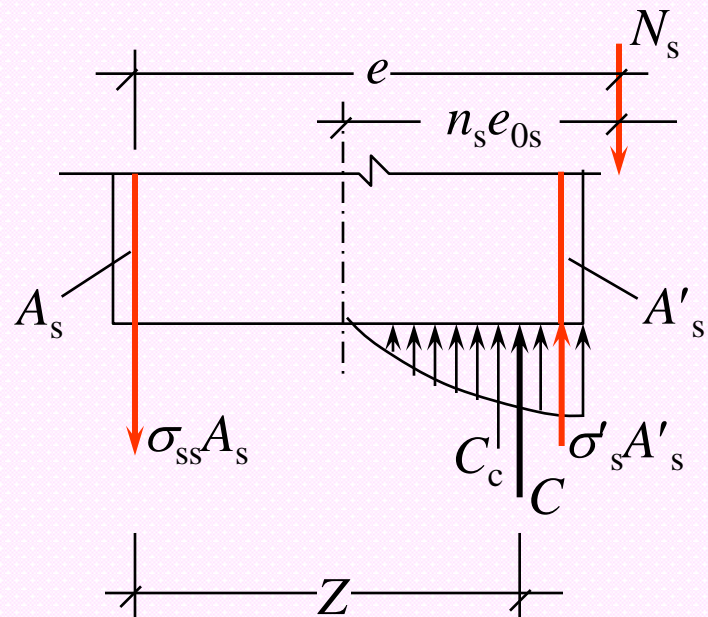
(a)



(b)



(c)



(d)

9.2.5 最大裂缝宽度与裂缝宽度验算

$$\omega_{\max} = \tau_s \alpha_{sl} \tau_l \omega_m$$

扩大系数
 荷载长期效应裂缝扩大系数
 组合系数

$$\omega_{\max} = \underbrace{0.85 \tau_s \alpha_{sl} \tau_l \beta \psi}_{\alpha_{cr}} \frac{\sigma_{ss}}{E_s} \left(0.27c + 0.1 \frac{d}{\rho_{te}} \right) \nu$$

构件受力特征系数	α_{cr}	轴心受拉	$\alpha_{cr}=2.7$
	α_{cr}	偏心受拉	$\alpha_{cr}=2.4$
	α_{cr}	受弯、偏压	$\alpha_{cr}=2.1$

9.3 变形验算

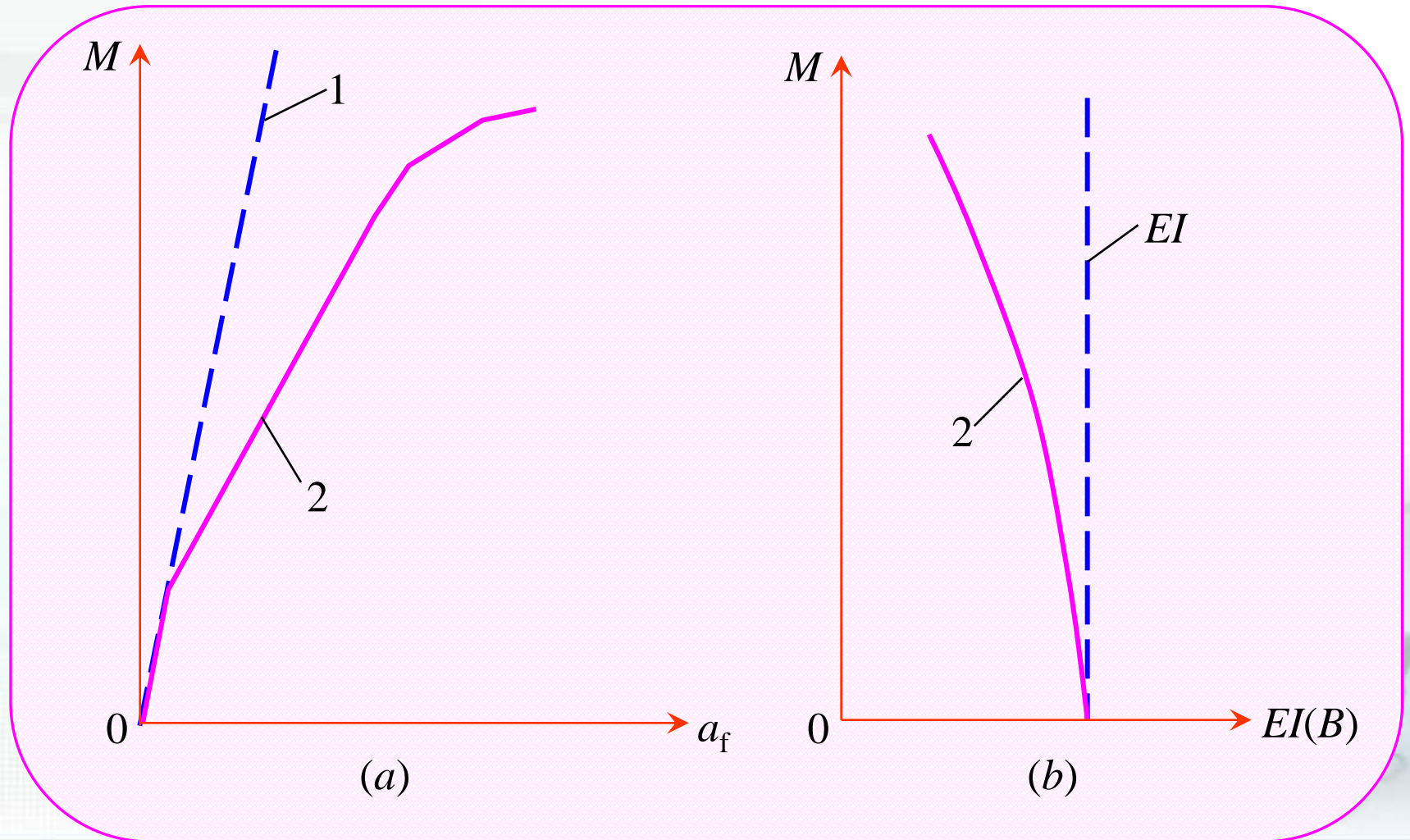
9.3.1 变形控制的目的和要求

- 保证建筑的使用功能要求
- 防止对结构构件产生不良影响
- 防止对非结构构件产生不良影响
- 保证人们的感受在可接受程度之内

9.3.2 截面抗弯刚度的主要特点

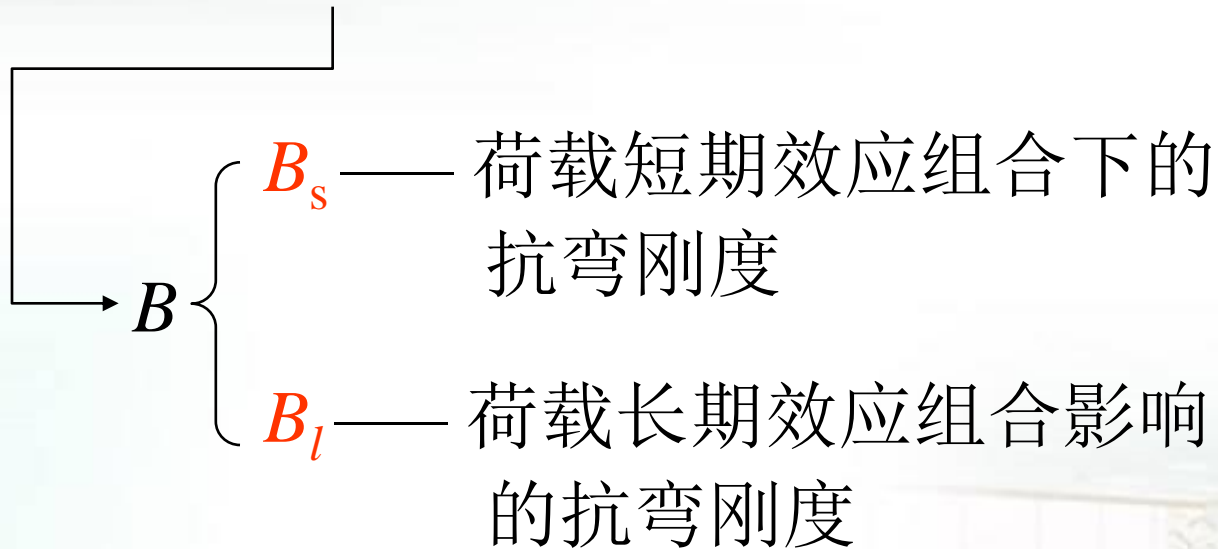


钢筋混凝土梁的挠度与弯矩的作用是非线性的。



材力： 对于简支梁承受均布荷载作用时，其跨中挠度：

$$\alpha_f = \frac{5(g_k + q_k)l_0^4}{384EI}$$



$$\alpha_f = \frac{5(g_k + q_k)l_0^4}{384\underline{B}} \quad \text{—— 钢筋混凝土梁的挠度计算}$$

9.3.3 短期刚度计算公式的建立

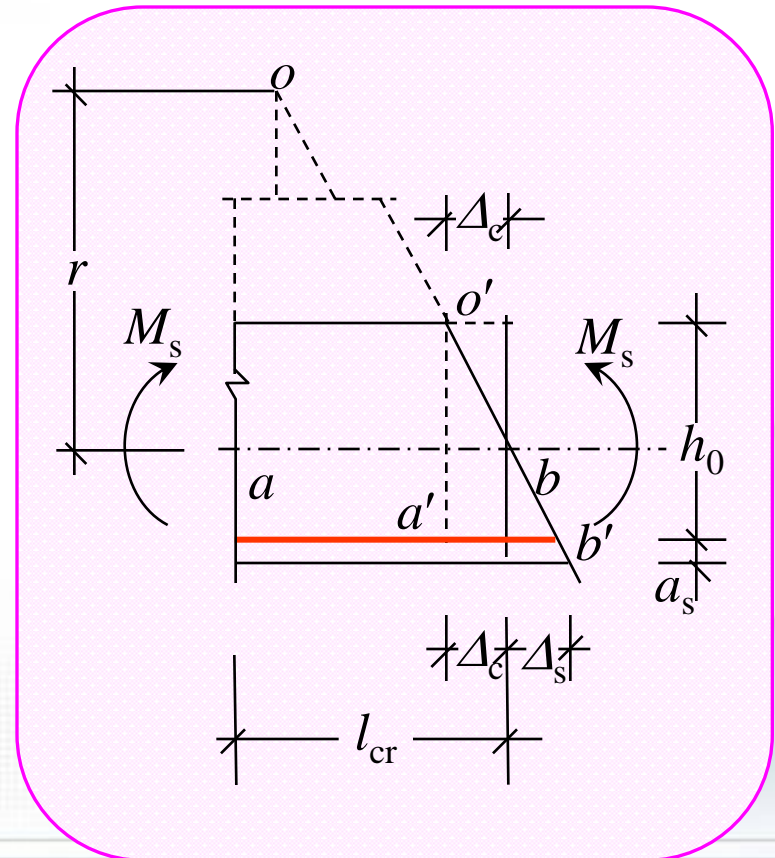
$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{r} \longrightarrow EI = \frac{M}{\frac{1}{r}}$$

$$\begin{cases} \frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_{cm} + \varepsilon_{sm}}{h_0} \\ \frac{1}{r} = \frac{M_s}{B_s} \end{cases}$$

$$\varepsilon_{cm} = \frac{M_s}{\zeta b h_0^2 E_c} \quad \varepsilon_{sm} = \psi \frac{M_s}{\eta h_0 A_s E_s}$$

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

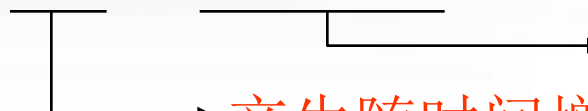
式中： $r'_f = \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh_0}$



9.3.4 长期刚度

$$\alpha_f = \alpha \frac{M_l l^2}{B_s} \cdot \theta + \alpha \frac{(M_s + M_l) l^2}{B_s} M_s$$

$$= M_l + (M_s - M_l)$$



 产生短期的挠度
 产生随时间增大的挠度

$$= \alpha \frac{[M_l \theta + (M_s - M_l)] l^2}{B_s} = \alpha \frac{[M_l (\theta - 1) + M_s] l^2}{B_s}$$

$$= \alpha \frac{M_s l^2}{\left[\frac{M_s}{M_l (\theta - 1) + M_s} \right] B_s}$$



 B_l



$$B_l = \frac{M_s}{M_l(\theta - 1) + M_s} B_s \quad \dots 8-6$$

M_s ——荷载短期效应组合算得的弯矩。
(恒载+活载)——标准值。

M_l ——荷载长期效应组合算得的弯矩。
(恒载+活载 ψ_q)——标准值。

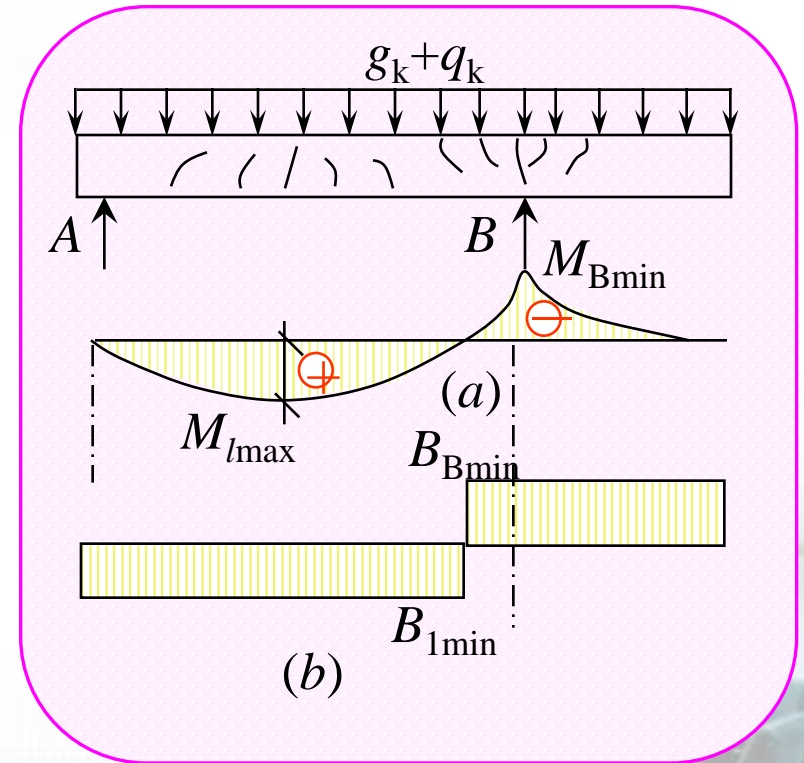
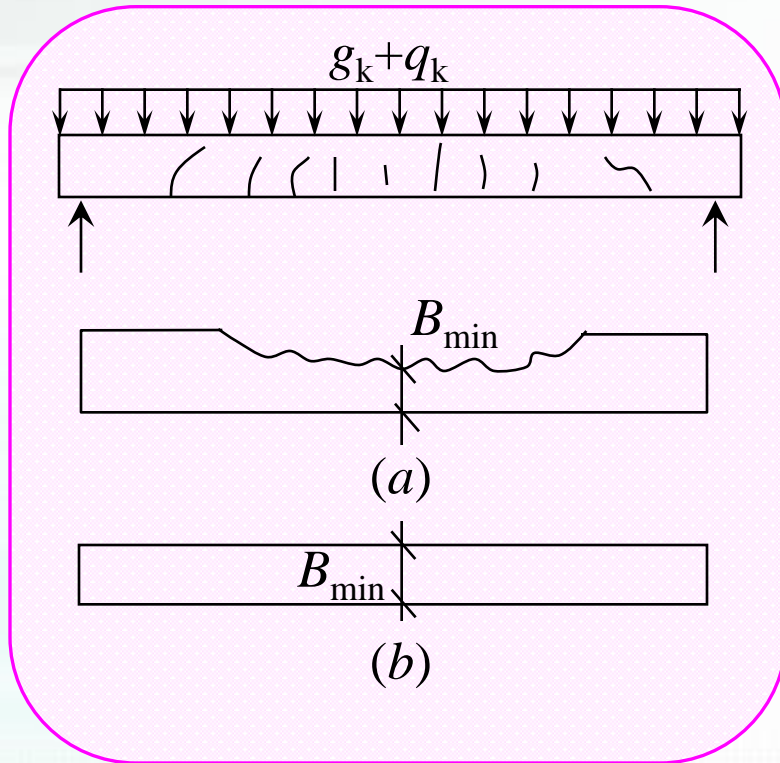
θ ——挠度增大系数。 $\theta = 2.0 - 0.4\rho'/\rho$

B_s ——短期刚度按式(8-5)计算。

9.3.5 受弯构件的变形验算

受弯构件在正常状态下，沿长度刚度是变化的。

取同一弯矩符号区段内最小刚度作为等刚度，按材力的方法计算。



- 提高刚度的有效措施 $h_0 \uparrow$
- 或 $A_s \uparrow$ 增加 ρ'