

钢结构基本原理

Basic principles of steel structures

赵宪忠
x.zhao@tongji.edu.cn

受拉构件及索

主要内容

- ◇ 轴心受拉构件
- ◇ 拉弯构件
- ◇ 索

受拉构件

截面形式

受拉构件

截面强度

☑ 截面承载力 (强度)

(1) 毛截面屈服准则

$$N_p = A f_y$$

(2) 净截面断裂准则

$$N_u = A_n f_u$$

截面承载力:

$$N \leq \min(N_p, N_u)$$

受拉构件

截面强度

☑ 截面承载力 (强度)

$$N \leq \min(N_p, N_u)$$

☑ 工程设计公式
 工程设计中采用强度设计值: $f_d \Rightarrow f_y / \gamma_R, f_{ud} \Rightarrow f_u / \gamma_{uR}$
 因拉断破坏考虑较大安全度, 一般规范中 $\gamma_R / \gamma_{uR} \approx 0.8$
 则工程设计中的净截面屈服准则为

$$N \leq A_n f_{ud} = A_n f_d \frac{f_{ud}}{f_d} = A_n f_d \frac{f_u \gamma_R}{f_y \gamma_{uR}} \approx A_n f_d (0.8 \frac{f_u}{f_y})$$

普通碳素钢和低合金钢 $f_u / f_y \geq 1.25$, 即 $A_n f_d \leq A_n f_{ud}$
 \therefore 采用 $N \leq A_n f_d$ 是偏安全满足两准则的

受拉构件

截面强度

☑ 工程设计公式

$$N \leq A_n f_d \quad \Rightarrow \quad \sigma = \frac{N}{A_n} \leq f_d$$

☑ 公式应用

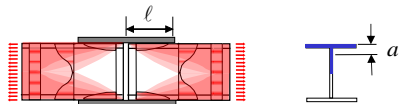
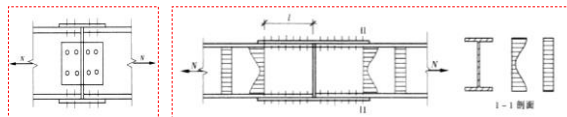
(1) 净截面

(2) 截面效率

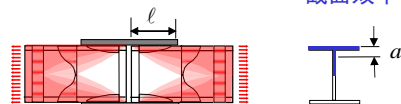
(3) 残余应力

受拉构件 截面效率

☑ 截面效率：连接处能够有效传递内力的截面与计算截面的比值



受拉构件 截面效率



☑ 截面效率系数

$$\eta = 1 - a/l \quad a \text{ —— 被连接"截面"形心至连接面距离}$$

$$l \text{ —— 连接长度}$$

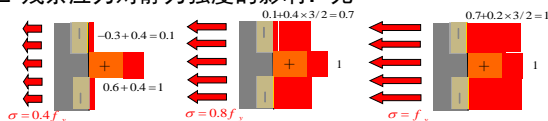
☑ 考虑连接处截面效率的工程计算公式

$$\frac{N}{\eta A_n} \leq f_d$$

受拉构件 残余应力影响

☑ 自平衡系统

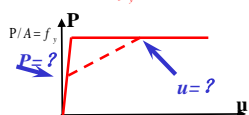
☑ 残余应力对静力强度的影响：无



☑ 对构件刚度的影响？

☑ 对疲劳性能的影响？

☑ 对构件稳定的影响？



受拉构件 构件刚度

☑ 构件刚度

构件抵抗变形的能力

工程设计一般指弹性刚度

☑ 受拉构件控制构件刚度的意义

防止制作、运输、安装、使用中的过度变形

事实上，是控制弯曲变形

☑ 受拉钢构件刚度控制的方式：限制长细比

$$\lambda \leq [\lambda]$$

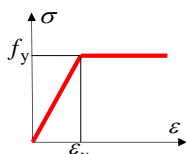
$$\lambda = \max\{\lambda_x, \lambda_y\} = \max\{\mu_x \ell_x / i_x, \mu_y \ell_y / i_y\}$$

受拉钢构件的刚度控制为什么不是限制EA/L的大小？

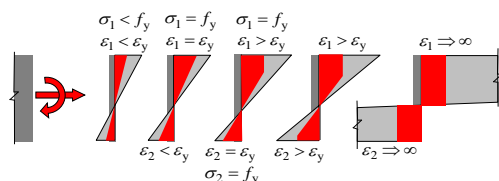
拉弯构件截面强度 基本假定和应力图式

☑ 基本假定

- 理想弹塑性本构关系
- 平截面假定



☑ 截面应变—应力分布

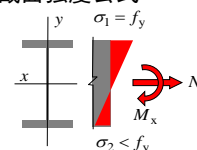


拉弯构件截面强度 边缘纤维屈服准则

☑ 准则描述

以边缘最大应力达到屈服点为计算截面强度的依据
(=应力达到屈服点为极限状态)

☑ 截面强度公式



$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_x} \leq f_y$$

记 屈服轴力 $N_p = Af_y$
屈服弯矩 $M_{ex} = W_x f_y$

则 $\frac{N}{N_p} + \frac{M_x}{M_{ex}} \leq 1$

☑ 工程设计公式

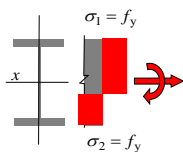
$$\frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{W_{xn}} \leq f_d$$

拉弯构件截面强度 全截面屈服准则

☑ 准则描述

截面各点应力（拉、压）都达到钢材屈服点

☑ 截面强度公式



记 屈服轴力 $N_p = Af_y$
塑性弯矩 $M_{px} = W_{px}f_y$

则 $A\left(\frac{N}{N_p}\right)^\alpha + B\left(\frac{M_x}{M_{px}}\right)^\beta = 1$



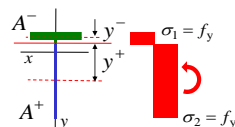
- 函数形式及系数A, B, α, β 与截面形状有关
- 公式在N-M平面内为包含原点的外凸曲线

拉弯构件截面强度

全截面屈服准则：塑性弯矩(极限弯矩)的概念

☑ 应力图式的基本假定

- 截面上只有弯矩没有轴力
- 全截面都达到屈服应力
- 拉压屈服应力相等



☑ 塑性中和轴

由 $N=0$ 得 $A^+f_y - A^-f_y = 0$, 即 $A^+ = A^-$

塑性中和轴为面积平分线, 不一定重合截面形心轴

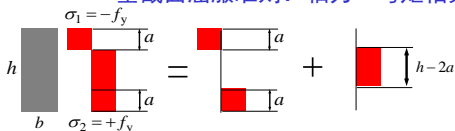
☑ 塑性弯矩

$$M_{px} = A^+f_y y^+ + A^-f_y y^- = (A^+y^+ + A^-y^-)f_y$$

记截面塑性模量 $W_{px} = A^+y^+ + A^-y^-$, 则 $M_{px} = W_{px}f_y$

拉弯构件截面强度

全截面屈服准则：轴力—弯矩相关关系推导



由平衡关系: $N = (h-2a)bf_y = (1-2a/h)N_p$ (1)

$M_x = abf_y(h-a) = M_{px}4[a/h - (a/h)^2]$ (2)

其中, $N_p = bhf_y$ $M_{px} = (\frac{1}{4})bh^2f_y$

由方程(1) $a/h = 0.5(1 - N/N_p)$

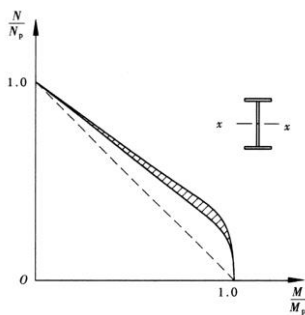
代入方程(2) $M_x/M_{px} = 4 \times 0.5(1 - N/N_p)[1 - 0.5(1 - N/N_p)^2]$
 $= 1 - (N/N_p)^2$

整理得: $\left(\frac{N}{N_p}\right)^2 + \frac{M_x}{M_{px}} = 1$

拉弯构件截面强度

全截面屈服准则：工字钢轴力—弯矩相关关系

☑ 工字型截面的拉弯相关关系



$$A\left(\frac{N}{N_p}\right)^\alpha + B\left(\frac{M_x}{M_{px}}\right)^\beta = 1$$

$\frac{N}{N_p} > 0.13, \frac{N}{N_p} + \frac{M_x}{1.15M_{px}} = 1$

$\frac{N}{N_p} \leq 0.13, \frac{M_x}{M_{px}} = 1$

$\frac{N}{N_p} + \frac{M_x}{M_{px}} = 1$

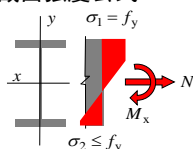
拉弯构件截面强度

部分发展塑性准则

☑ 准则描述

截面边缘一侧或两侧部分进入塑性

☑ 截面强度公式



$$\frac{N}{A} + \frac{M_x}{\gamma_x W_x} \leq f_y$$

$$\frac{N}{N_p} + \frac{M_x}{\gamma_x M_{ex}} \leq 1$$

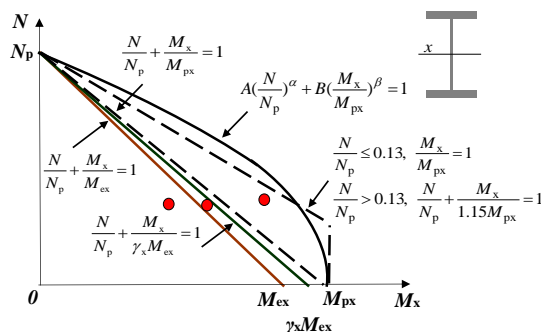
其中, $\gamma_x \geq 1$

☑ 工程设计公式

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{\gamma_x W_{xn}} \leq f_d$$

拉弯构件截面强度

三种截面准则的比较



拉弯构件 刚度与稳定性

☑ 构件刚度

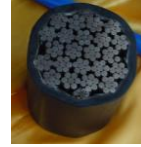
- 如以轴向拉力为主，刚度要求同轴心受拉构件
- 如弯矩较大时，还要进行挠度计算

☑ 构件稳定性

- 当弯矩较大，使某一翼缘受压时
- 整体失稳可能性
- 局部失稳可能性
- [参见受压、受弯构件相关内容]

索 截面形式

☑ 索的截面形式



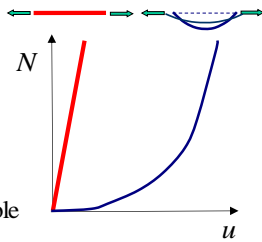
☑ 工程应用



索 轴心受力刚性构件与柔性构件

☑ 刚性构件的力—变形关系 (弹性范围)

$$N = k \cdot u \rightarrow k = \text{Const}$$

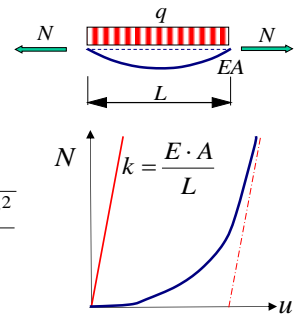


☑ 柔性构件的力—变形关系

$$N = k(N) \cdot u \rightarrow k = \text{Variable}$$

索 刚度方程

$$k = \frac{E \cdot A}{L} \cdot \frac{1}{1 + \frac{E \cdot A \cdot L^2 \cdot q^2}{12N^3}}$$



受拉构件及索 本章小结

☑ 截面强度

- 净截面概念和算法
- 残余应力对截面静力强度的影响
- 截面效率系数
- 轴力和弯矩共同作用下的边缘屈服准则、全截面屈服准则和截面部分塑性发展准则
- 屈服轴力、屈服弯矩和极限弯矩概念

☑ 受拉构件刚度

- 工程构件长细比的方向性

☑ 索的力学特点