



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

钢结构设计原理

钢结构设计方法

疲劳计算

主讲：邓海

目录

- 一、疲劳的概念
- 二、钢材的疲劳强度
- 三、常幅疲劳的计算
- 四、变幅疲劳的计算



网络精品课程

一、疲劳的概念

在循环荷载作用下，即使截面上的应力小于钢材的抗拉强度甚至低于其屈服强度，也会发生断裂的现象称**疲劳破坏**。

疲劳破坏与钢材的质量、构件的几何尺寸和缺陷、应力循环的特征、以及循环次数有关。

1、循环荷载和应力循环

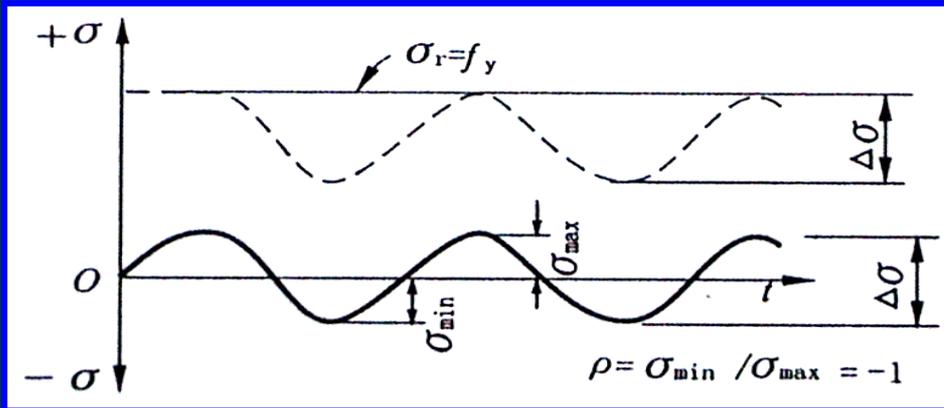
2、**疲劳强度**:钢材发生疲劳破坏时，应力循环中的最大应力

3、**应力幅**: 常幅应力循环、变幅应力循环 $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$

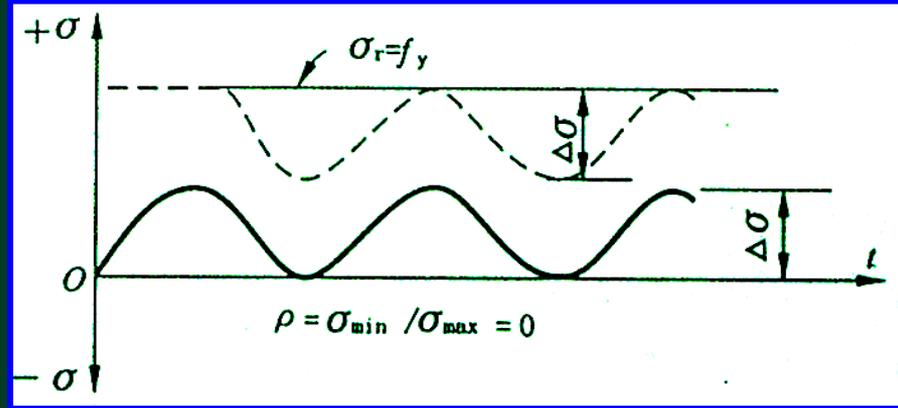
4、**应力循环特征值(应力比)** ρ 与应力循环形式

$$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

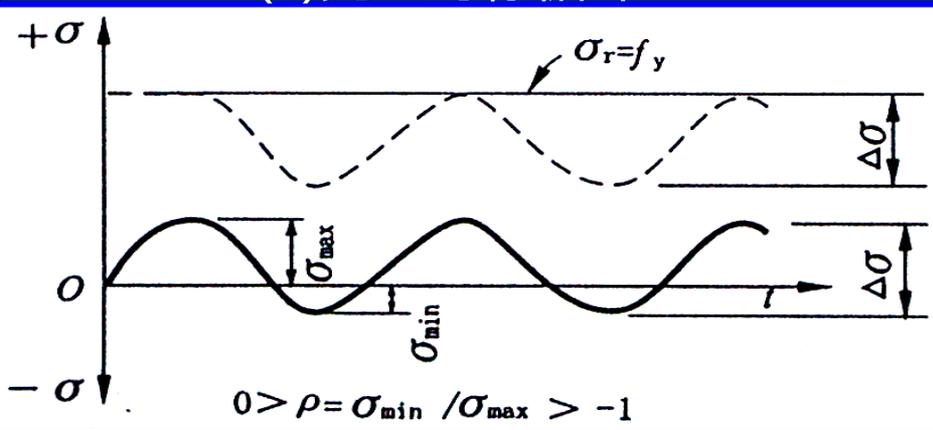
“不出现拉应力的部位不用验算疲劳”



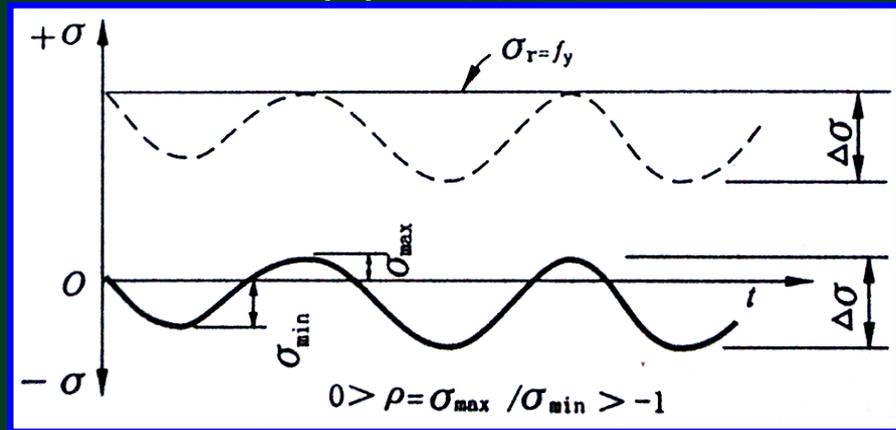
(a)完全对称循环



(b)脉冲循环



(c)不完全对称循环



(d)不完全对称循环

二、钢材的疲劳强度

钢材的疲劳试验表明，当钢材、试件、试验环境条件相同，应力比 ρ 为定值时，最大应力 σ_{\max} 随疲劳破坏时应力循环次数 n 的增加而降低。若 n 趋向于无穷大， σ_{\max} 趋向于一个定值，称**疲劳强度极限**。也就是说，只要循环应力小于疲劳强度极限，试件将不会发生疲劳破坏。

影响钢材疲劳的主要因素

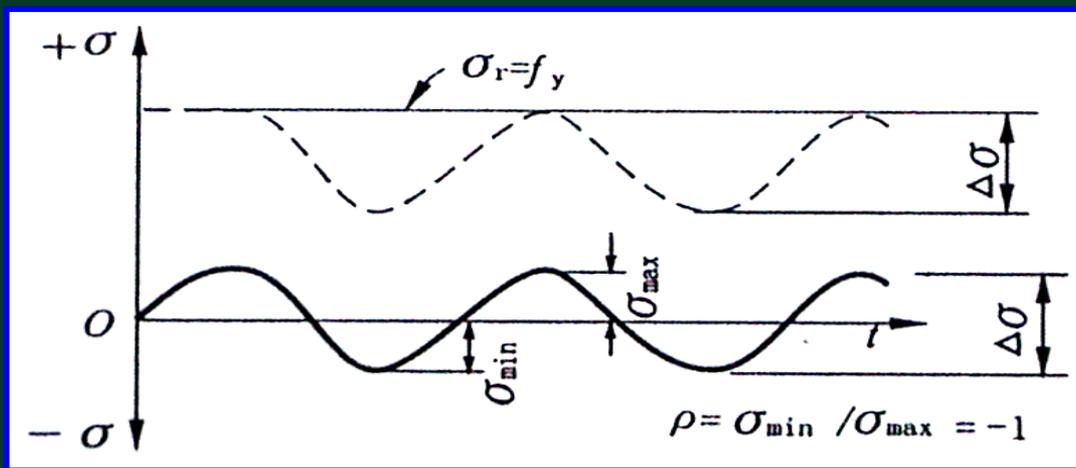
构造细节，荷载循环次数，循环应力特征

(1) 构件和连接的分类

缺陷 { 材料内部缺陷
构造缺陷--应力集中
残余应力（焊接，火焰切割，轧制边）

规范将构件和连接的种类分为 8类，第1类为轧制的型钢（残余应力小）疲劳强度最高；第8类为角焊缝应力集中最严重疲劳强度最低。

(2) 应力幅 ($\Delta\sigma$) 和应力循环特征 (应力比 ρ)

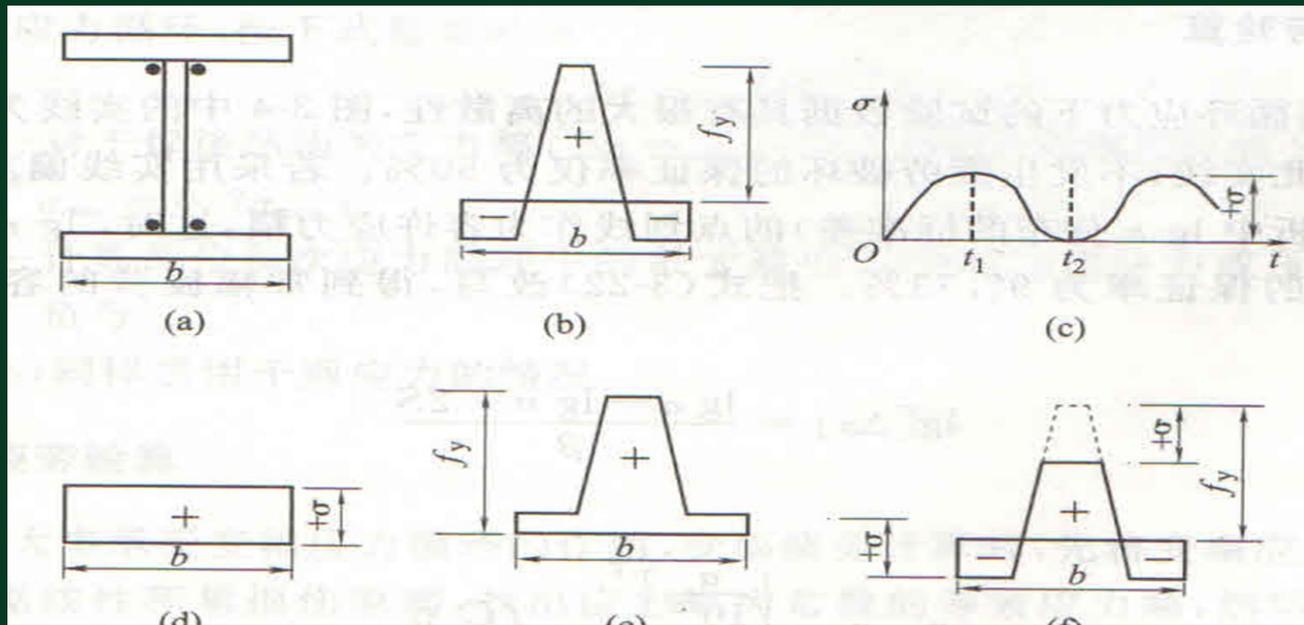


对于焊接结构：由于焊接残余应力
焊缝附近主体金属的最大应力已达 f_y

应力增大时保持 f_y 不变

应力减小时从 $f_y \rightarrow \sigma_{min} = f_y - \Delta\sigma$

I 焊接结构



对于不同的荷载情况，只要 $\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ 相同，名义最大应力 σ_{\max} 以及名义应力比 $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ 将基本不起作用，可以采用应力幅 $\Delta \sigma$ 来计算疲劳强度。

II 非焊接结构

非焊接结构的残余应力很小或根本不存在，此时疲劳寿命除与应力幅有关外，也与应力比和最大应力有关。

网络精品课程

(3) 应力循环次数 N （疲劳寿命）

应力幅越低，作用循环次数越多，疲劳寿命越高；

应力循环次数 $N < 5 \times 10^4$ ，不需要进行疲劳计算。

三、常幅疲劳的计算

焊接钢构件的疲劳试验表明，在常幅循环应力下，引起试件疲劳破坏的应力幅 $\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ 与循环次数 n 在对数坐标系下大体成一直线，考虑将此直线向左平移2倍标准差以提高保证率，则得常幅疲劳的容许应力幅计算公式

$$[\Delta \sigma] = \left\{ \frac{C}{n} \right\}^{\frac{1}{\beta}}$$

式中， C 和 β 为系数，取值与构件的构造与连接类别有关，规范将不同类型钢钢构件和连接分为8类，对每个类别规定了不同的 C 和 β 值。



规范规定，当应力循环次数大于等于 $n \geq 5 \times 10^4$ 时，应对应力循环中出现拉应力的部位进行疲劳验算。不出现拉应力的部位可不计算疲劳。验算公式为

$$\Delta \sigma \leq [\Delta \sigma]$$

式中： $\Delta \sigma$ 对焊接部位为应力幅 $\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ ，对非焊接部位为折算应力幅 $\Delta \sigma = \sigma_{\max} - 0.7 \sigma_{\min}$ ，计算应力时时采用荷载的标准值，也不乘动力系数，以拉为正压为负。

四、变幅疲劳的计算

对于受随机荷载作用的变幅疲劳计算，通常近似按线性疲劳累积损伤原则将变化的应力幅折算成等效常应力幅

$\Delta \sigma_e$ ，然后令
$$\square \sigma_e \leq [\square \sigma]$$

式中
$$\square \sigma_e = \left[\frac{\sum n_i (\square \sigma_i)^\beta}{\sum n_i} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$\sum n_i$ 为以应力循环次数表示的结构预期使用寿命；

n_i 为预期使用寿命内相应于应力幅 $\Delta \sigma_e$ 的应力循环次数。

对于工业厂房的吊车梁或吊车桁架，可以简化为

$$\alpha_f \Delta \sigma \leq [\sigma]_{2 \times 10^6}$$

式中

$\Delta \sigma$ ——按一台吊车荷载标准值计算得到的应力幅；

$[\sigma]_{2 \times 10^6}$ ——循环次数 n 为 2×10^6 次的容许应力幅，见下表；

α_f ——欠载效应的等效系数，按下表取用。

吊车类别	
重级工作制硬钩吊车（如均热炉车间夹钳式吊车）	1.0
重级工作制软钩吊车	0.8
中级工作制吊车	0.5

循环次数为 2×10^6 次的容许应力幅 (N/mm^2)

构件和连接类别	1	2	3	4	5	6	7	8
$[\sigma]_{2 \times 10^6}$	176	144	118	103	90	78	69	59

- 说明：
- 1) 计算时用荷载的标准值。
 - 2) 由于来源于试验，已考虑动力效应，计算时不再考虑动力系数。
 - 3) 公式同样适用剪应力情况验算。
 - 4) 疲劳计算仅计算出现拉应力的区域。

谢谢大家！

