

# Chapter 3 焊接接头的强度计算

## Intensity calculation of welding joint

**本章重点：**

1. 焊接接头的应力集中
2. 焊接接头的应力分布
3. 焊缝静载强度计算

**本章难点：**

1. 焊接接头的应力分布
2. 焊缝静载强度计算

# 1. 焊接接头的应力集中

## 1 应力集中的概念

### 1.1 定义

由于焊接的形状和焊缝布置的特点，焊接接头工作应力的分布是不均匀的，其最大应力 $\sigma_{\max}$ 比平均应力值 $\sigma_m$ 高，这种情况称应力集中。

1.2 表达式：
$$K_T = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_m}$$

# 焊接接头中存在应力集中的影响因素

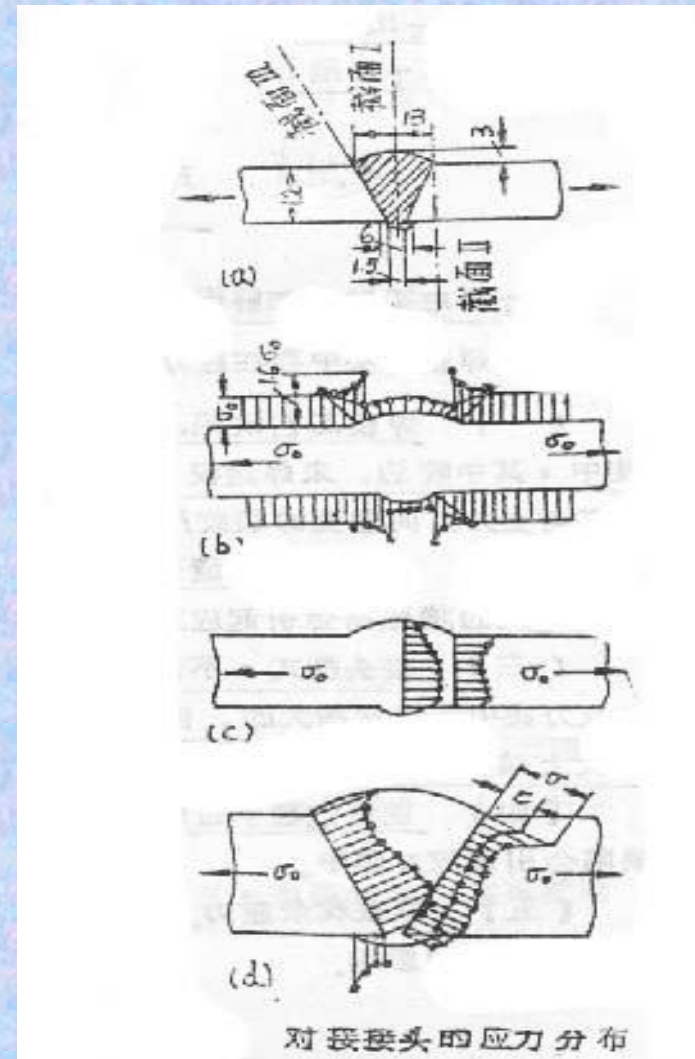
- ① 焊接工艺缺陷、冶金缺陷、夹渣、气孔、咬边、未焊透均会引起应力集中、其中咬边、未焊透较为严重。
- ② 不合理的焊缝外形。不同焊缝形状会引起不同程度的应力集中。
- ③ 接头型式：不同接头型式引起应力集中不同。
- ④ 制造过程中的缺陷。
- ⑤ 焊接残余应力。

## 2. 电弧焊焊接接头的应力分布

### 1 对接接头的应力分布

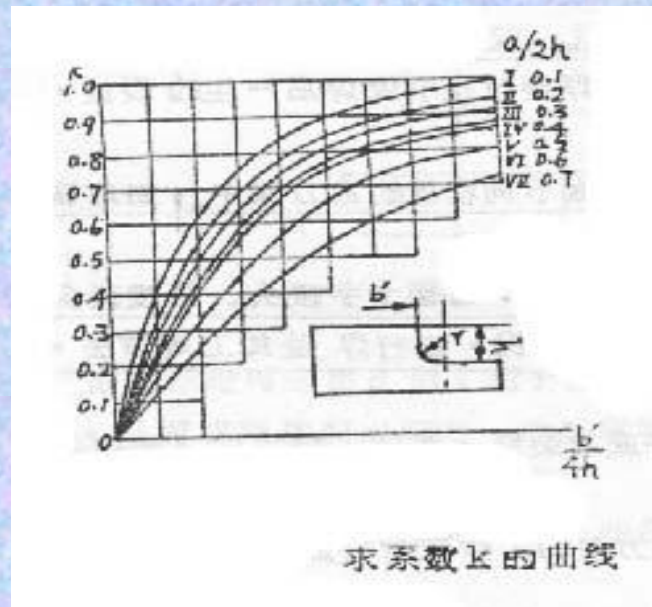
- ① 对接接头的焊缝形状产生了结构不连续性，因而引起不同的应力分布，在焊缝与母材的过渡处引起应力集中，最大应力集中部位在焊趾。
- ② 应力集中系数：

$$K_T = 1 + \frac{h}{r} k \cdot \sin \theta$$



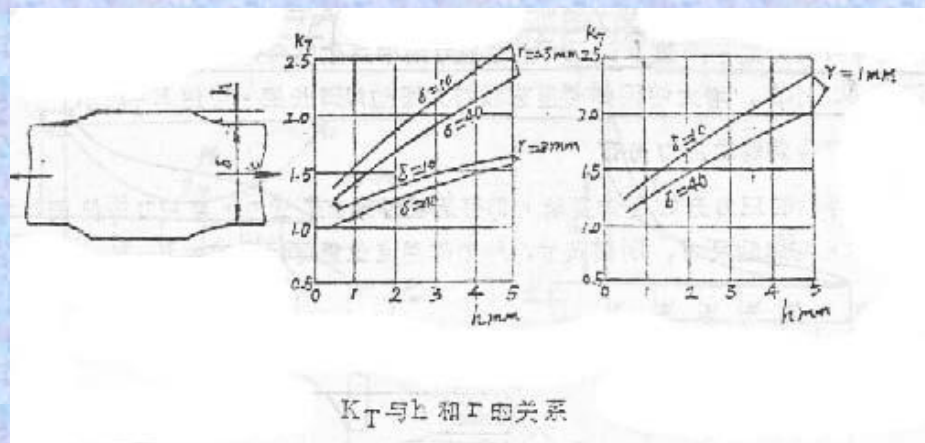
# 对接接头的应力分布2

① 对接接头的焊缝形状产生了结构不连续性，因而引起不同的应力分布，在焊缝与母材的过渡处引起应力集中，最大应力集中部位在焊趾。



② 应力集中系数:

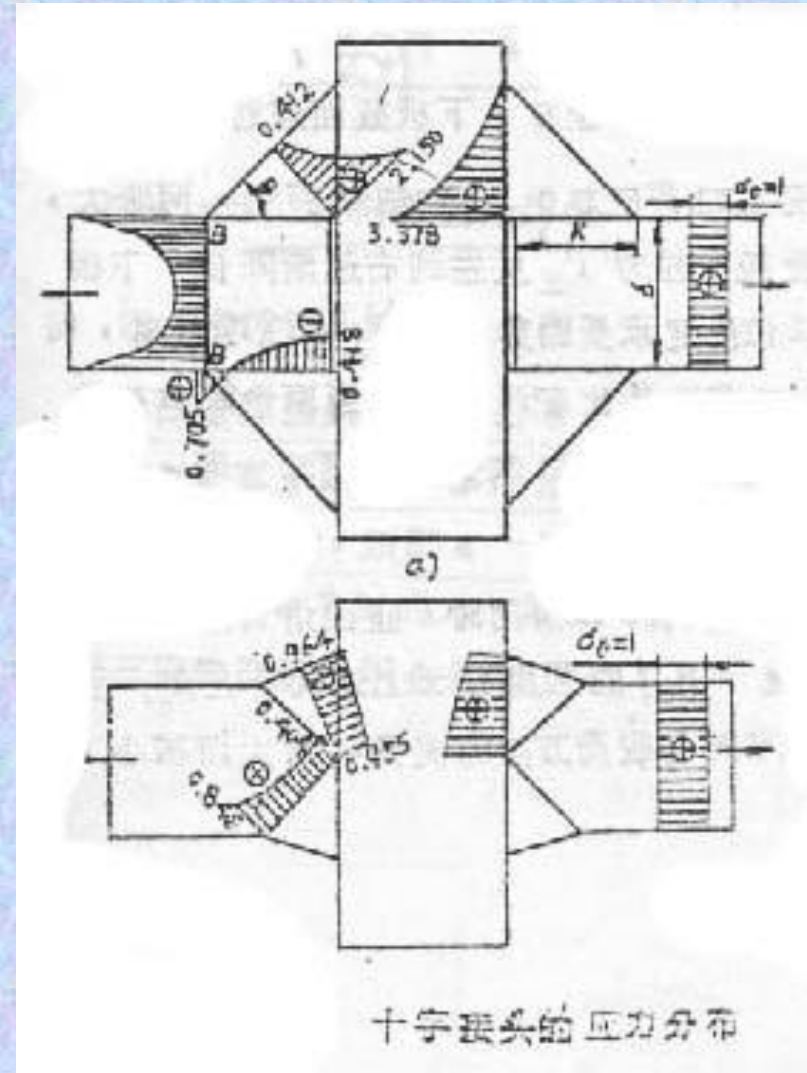
$$K_T = 1 + \frac{h}{r} k \cdot \sin \theta$$



# 丁字接头（十字接头）的应力分布

十字接头有熔透和未熔透两种

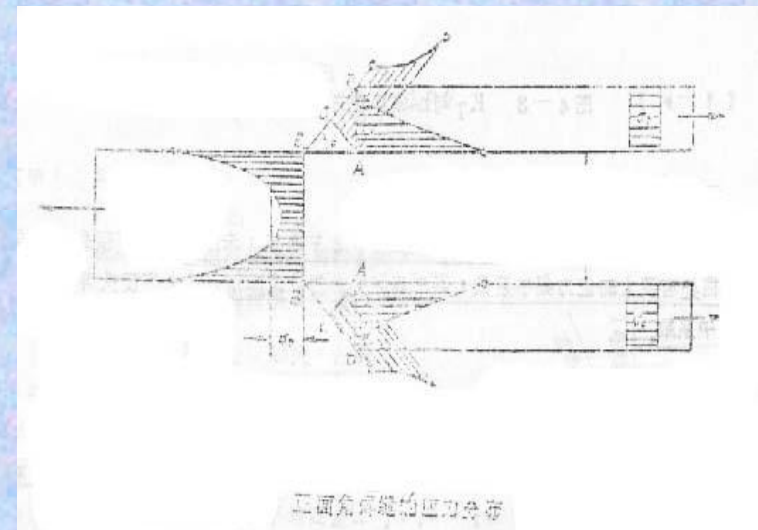
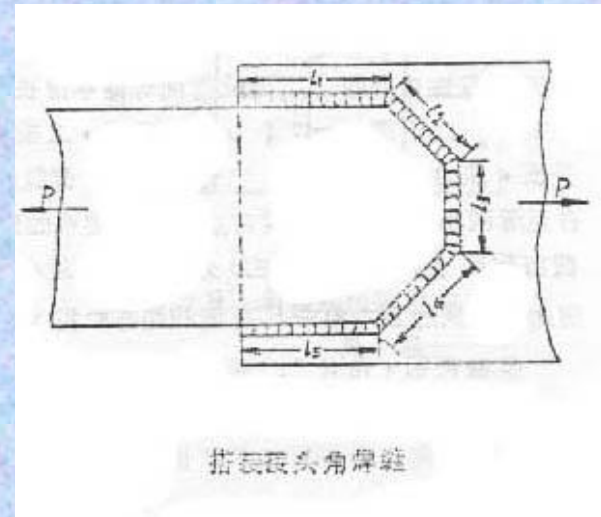
- ① 未熔透的十字接头，在焊趾和焊根处有较大的应力集中系数，其中以焊根处为最大。
- ② 熔透的十字接头有较小的应力集中系数。



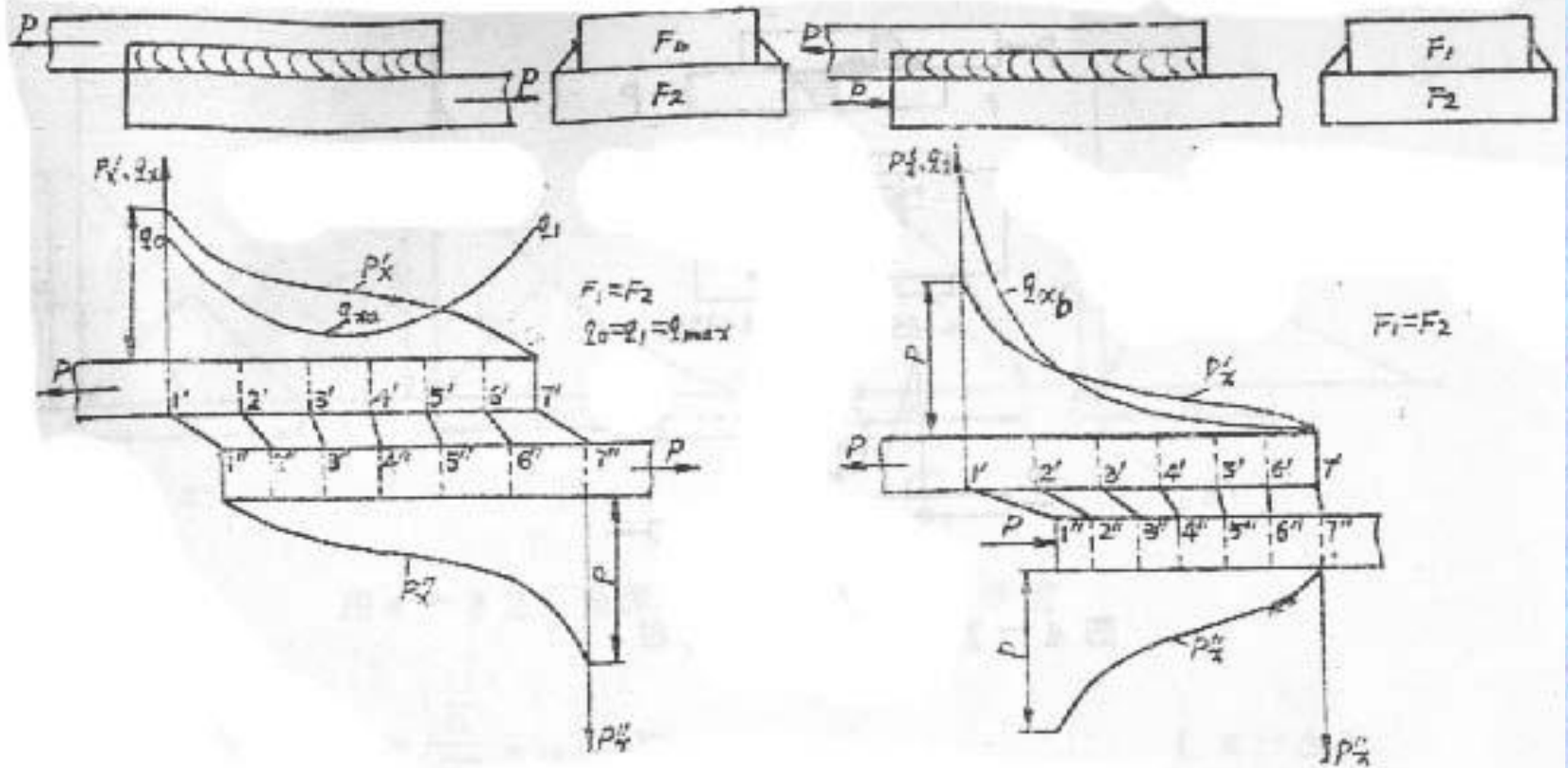
# 搭接接头的应力分布

**正面角焊缝:**把与力作用方向垂直的焊缝

- ① 焊缝根部A点、焊趾B点应力集中严重
- ② 焊趾B点的应力集中系数随角焊缝的斜边的夹角 $\theta$ 而变
- ③ 减小 $\theta$  增大熔深焊透根部和增大底边焊脚长度, 可使 $K_T$ 减小



# 侧面搭接角焊缝



侧面搭接角焊缝的应力变形分布

# 斜向搭接角焊缝

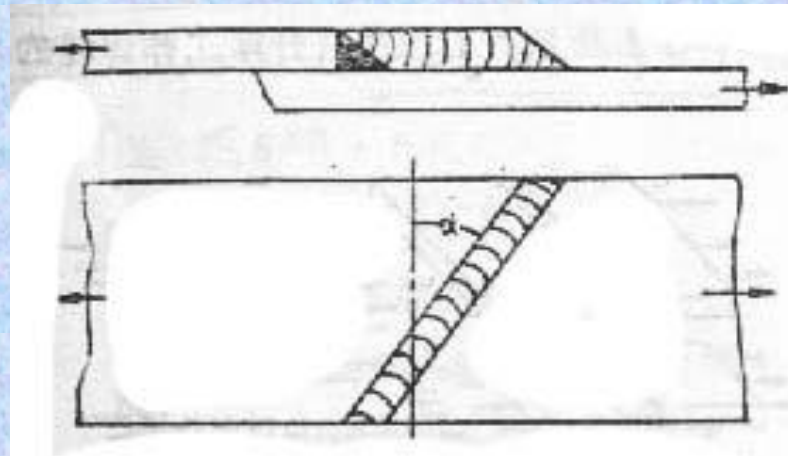
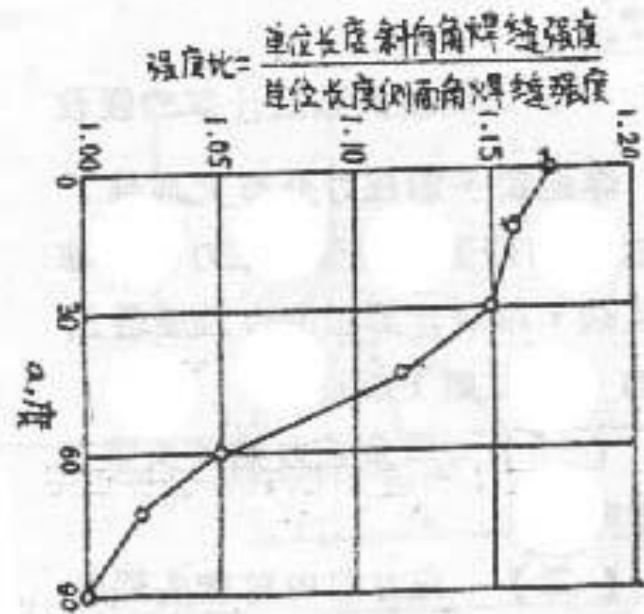


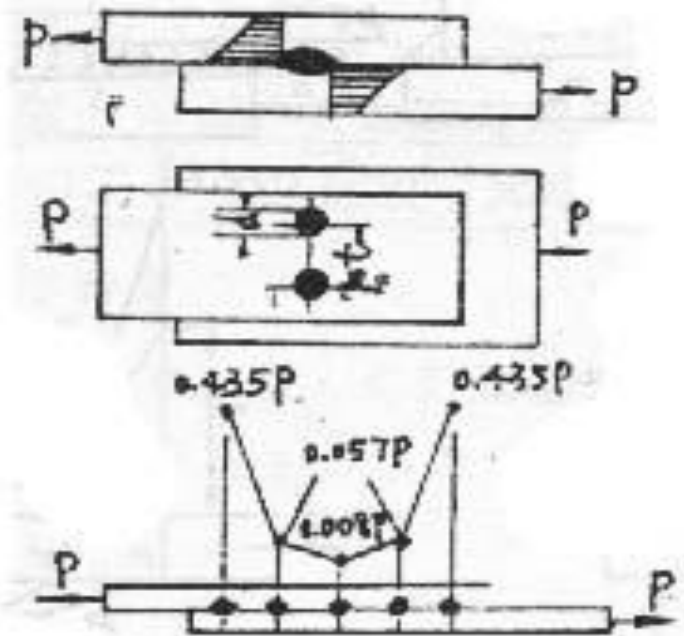
图 4-8 斜向搭接用焊缝



斜向搭接强度与α角的关系

# 点焊接头的应力分布

- 单排点焊接头的应力分布（如图）
- 多排点焊以两端焊点受力最大（如图）



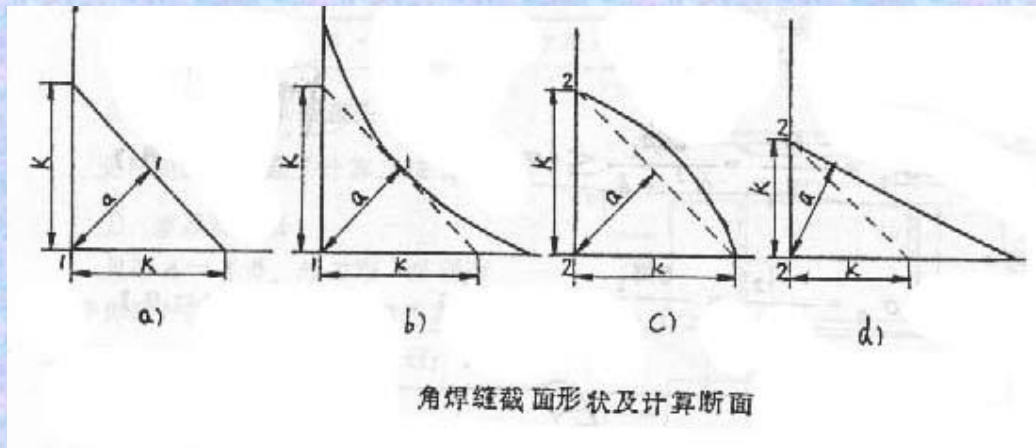
点焊应力分布

## 3 焊缝的静载强度计算

### 焊缝接头强度计算的假设

- ① 残余应力对接头强度无影响
- ② 应力集中对接头强度无影响
- ③ 接头的工作应力是均布的，以平均应力计
- ④ 不计正面与侧面焊缝、焊缝的加强与减弱和不同焊接规范引起的焊缝性能差异，而用统一的计算截面和许用应力

# 焊缝接头强度计算的假设



- ⑤ 角焊缝都是在切应力作用下破坏的。角焊缝的计算断面在角焊缝截面的最小高度上，取内接三角形高度 $\alpha$ 为计算高度，（如图）。

直角等要角焊缝的计算高度： $\alpha = \frac{K}{\sqrt{2}} = 0.7K$

- ⑥ 尽管加强和小量的熔深对于接头强度没有影响，但埋弧自动焊和 $CO_2$ 保护焊的熔深较大应予以考虑，其角焊缝计算断面厚度 $\alpha$ （如图）

$$\alpha = (K + P) \cos 45^\circ$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{当 } K \leq 8mm, \alpha \text{ 可取 } K \\ \text{当 } K > 8mm, P \text{ 一般取 } 8mm \end{array} \right.$

# 电弧焊接接头的静载强度计算

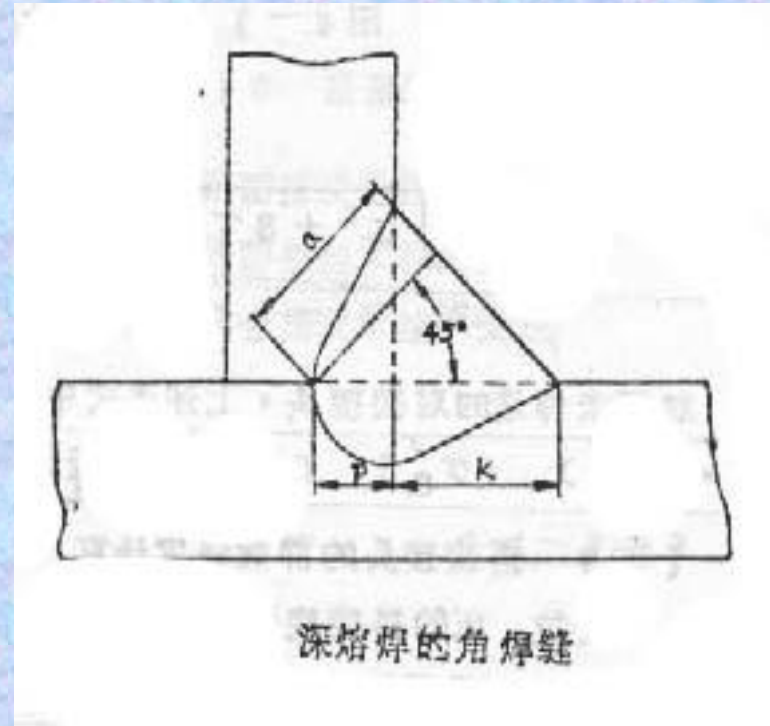
## 1.对接焊缝强度

计算公式如下：

受拉时：
$$\sigma = \frac{P}{l \cdot \delta} \leq [\sigma'_l]$$

受压时：
$$\sigma = \frac{P}{l \cdot \delta} \leq [\sigma'_a]$$

受剪时：
$$\tau = \frac{Q}{l \cdot \delta} \leq [\tau']$$



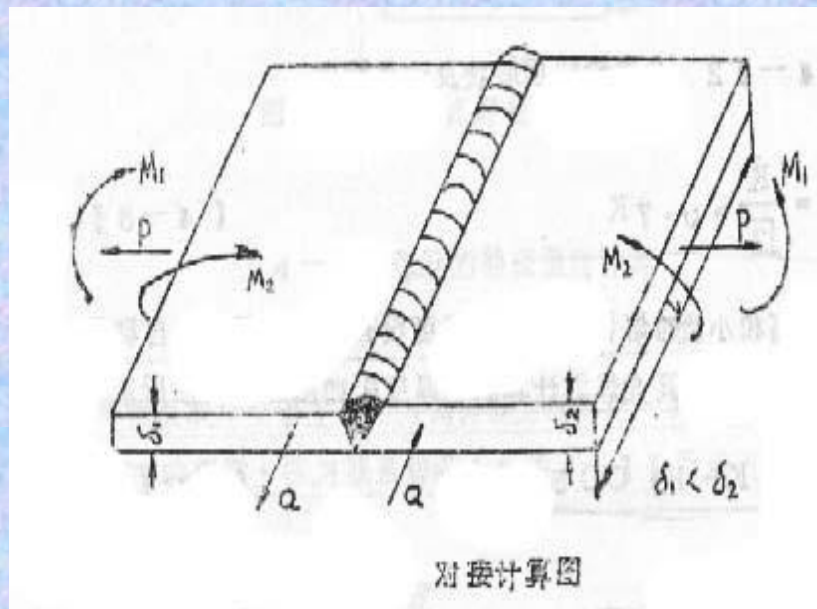
# 电弧焊接接头的静载强度计算

而内弯:  $\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1} = \frac{6M_1}{\delta^2 \cdot l} \leq [\sigma'_l]$

垂直弯:  $\sigma_2 = \frac{M_2}{W_2} = \frac{6M_2}{\delta \cdot l^2} \leq [\sigma'_l]$

∴ 综合作用:

$$\sigma_{\text{合}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma']$$



**[注]:** 对于未焊透的对接接头, 上述各式中应将 $\delta$ 中减去未焊透深度,  $l$ 取实际焊缝长度,  $[\sigma'_l]$ 、 $[\sigma'_a]$ 、 $[\tau]$ 分别是焊缝许用拉、压、切应力。

# 搭接接头的静载强度计算

## 1. 受拉、压的塔接接头

① 单面焊、正面或侧面塔接焊缝的强度公式：

$$\tau = \frac{P}{\alpha \cdot l} = \frac{P}{0.7Kl} \leq [\tau']$$

② 单面焊的正面、侧面联合塔接焊缝的强度公式：

$$\tau = \frac{P}{\alpha \cdot \sum l} = \frac{P}{0.7K \cdot \sum l} \leq [\tau']$$

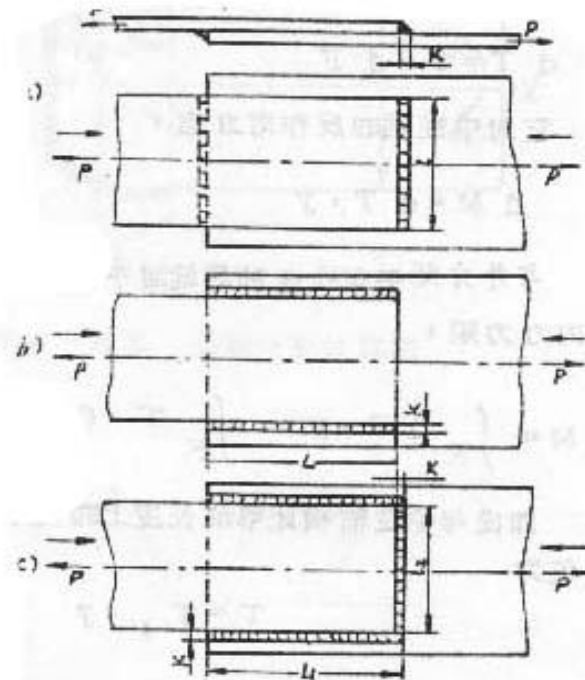


图 4-15 搭接接头各种受力情况

- (a) 正面搭接受拉或受压,
- (b) 侧面搭接受拉或受压,
- (c) 联合搭接受拉或受压,

# 受弯矩的搭接接头计算

## 2. 受弯矩的搭接接头计算方法有三种：

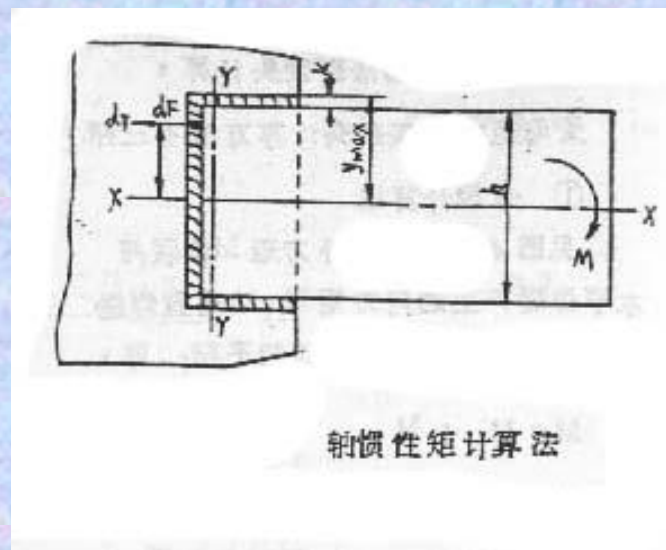
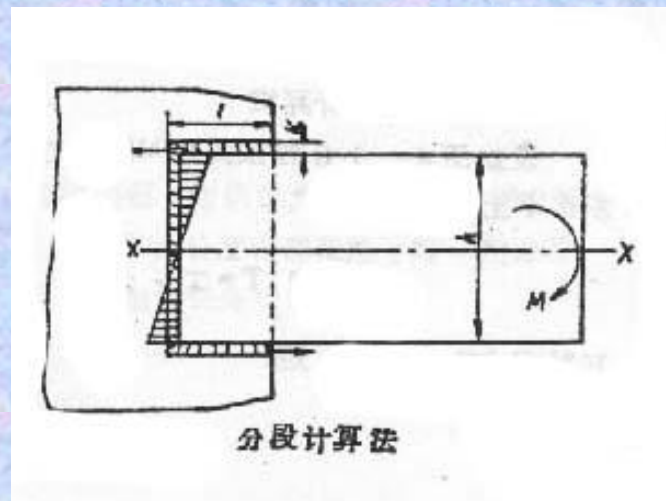
### ① 分段计算法：

$$\tau = \frac{M}{0.7K[l(h+K) + \frac{h^2}{6}]}$$

### ② 轴惯性矩计算法

最大切应力：

$$\tau_{\max} = \frac{M}{I_X} \cdot y_{\max} \leq [\tau']$$

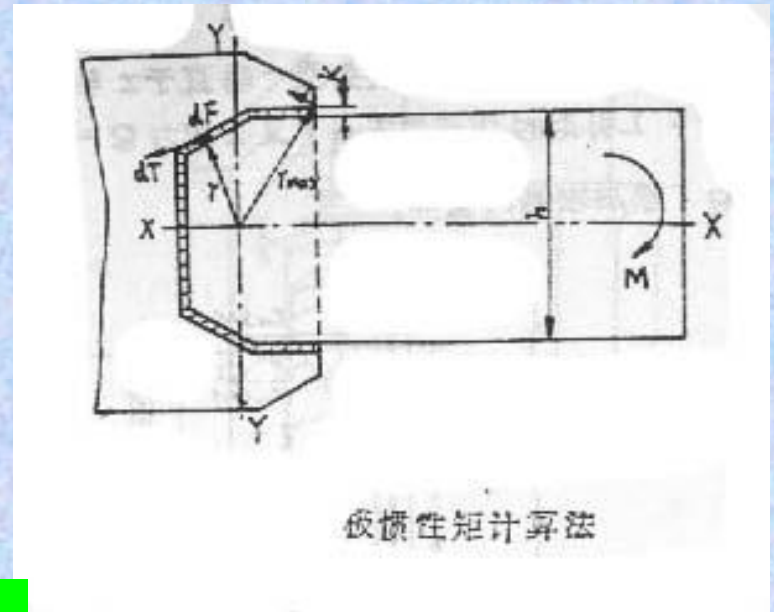


# 受弯矩的搭接接头计算

## ③ 极惯性计算法

最大切应力:

$$\tau_{\max} = \frac{M}{I_p} \cdot r_{\max} \leq [\tau']$$



$I_p$  - 极惯性矩,  $I_p = I_x + I_y$

(又等于相互垂直的两个轴的计算惯性矩之和)

# 受偏心载荷的搭接接头计算

① 采用分段法或轴惯性矩法计算

$\tau_M$ ，则按下式求合成应力：

$$\tau_{\text{合}} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_Q^2} \leq [\tau']$$

② 若采用极惯性矩法计算  $\tau_M$ ，

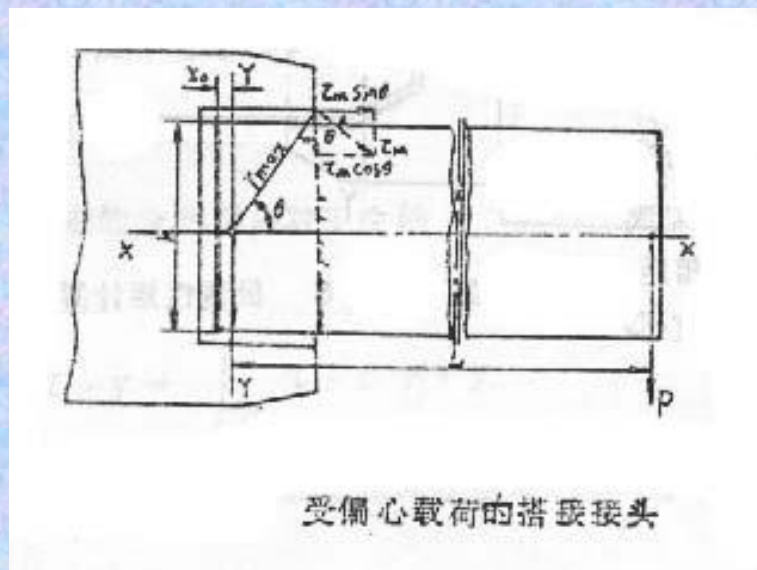
将  $\tau_M$  分解成水平的 ( $\tau_m \sin \theta$ )

和垂直的 ( $\tau_m \cos \theta$ ) 两个力，

再合成：

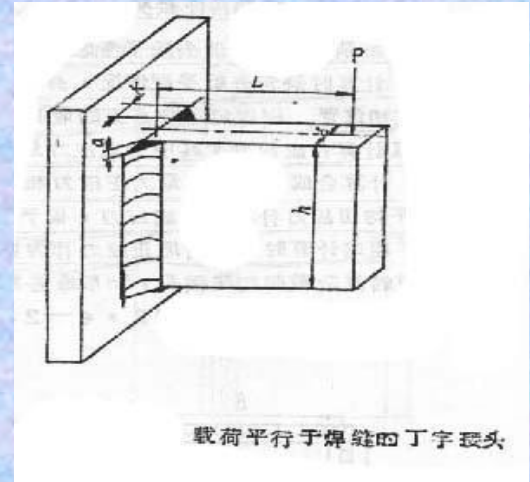
$$\tau_{\text{合}} = \sqrt{(\tau_m \cos \theta + \tau_{\theta})^2 + (\tau_M \cdot \sin \theta)^2} \leq [\tau']$$

[注]： $\tau_{\theta}$  的计算是按全部焊缝计算，还是只考虑水平焊缝或只考虑垂直焊缝，要按具体情况而定。（如图）可按全部焊缝承受的剪力  $\theta$ ， $\tau_{\theta}$  均匀分布于全部焊缝中，其方向同  $P$  一致



# 载荷平行于焊缝丁字接头强度计算

① 由于产生最大应力的危险点在焊缝的最上端，同时受有两个切应力的作用，一个是由  $M = P \cdot L$  引起的  $\tau_M$ ，另一个由  $Q = P$  引起的，



$\tau_M$   $\tau_\theta$  和  $\tau_Q$  相互垂直

，所以该点的合成应力为：
$$\tau_{\text{合}} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_Q^2} \leq [\tau']$$

② 若开坡口并焊透，其强度按对接接头计算，焊缝金属截面等于母材截面 ( $F = \delta \cdot h$ )，若不开坡口时，按下式计算：

$$\begin{cases} \tau_M = \frac{S \cdot P \cdot L}{0.7 K h^2} \\ \tau_Q = \frac{P}{1.4 K \cdot h} \end{cases}$$

# 弯矩垂直于板面的丁字头计算

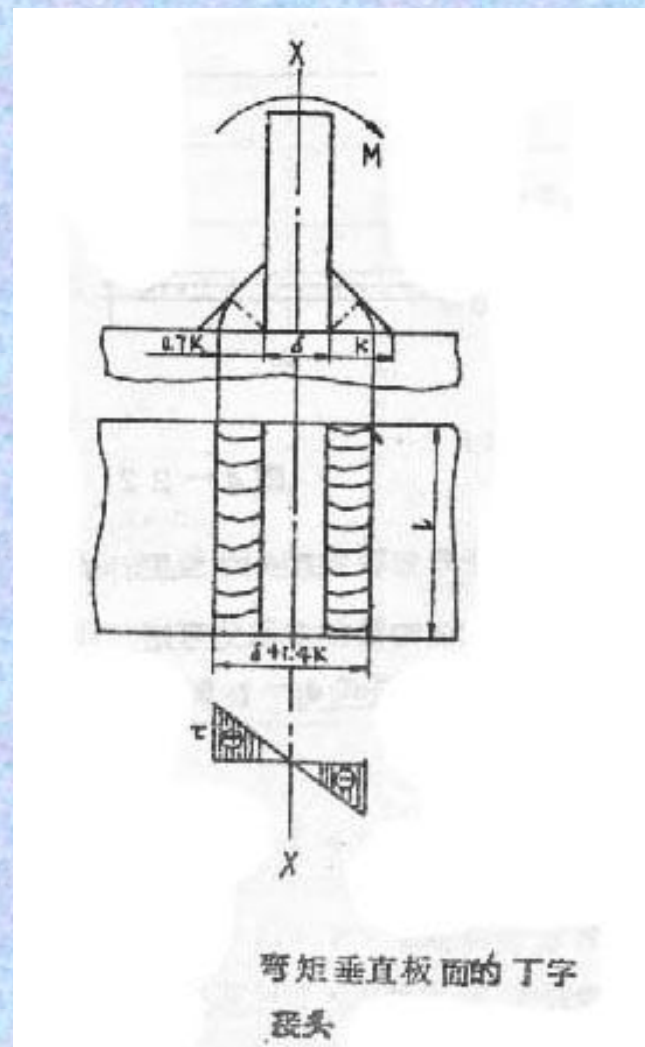
- ① 如开坡口并焊接，其强度按对接接头计算，强度计算公式为：

$$\tau = \frac{6M}{\delta^2 \cdot l} \leq [\tau']$$

- ② 当接头不开坡口，用角焊缝连接，强度计算公式为：

$$\tau = \frac{M}{W} \leq [\tau']$$

(其中  $W = \frac{l[(\delta + 1.4K)^3 - \delta^3]}{6(\delta + 1.4K)}$ )



# 复杂截面构件接头的计算

## ◆ 计算复杂截面构件接头还要考虑以下几个问题：

① 计算时要先分析受载情况：

各载荷引起的应力，确定各应力的方向、性质和位置。

确定危险点，最高合成应力，（若危险点难以确定时，应选几个高应力点计算合成应力，其中合成应力最高处为危险点）

② 计算合成应力时，最大正应力和最大切应力虽不在同一点上，但常以最大正应力和平均切应力计算其合成应力，偏于安全。

③ 粗略计算时，有时把正应力作为切应力考虑，也是偏于安全的简化计算方法。

# 受弯矩联接接头的强度计算

① 若构件同时承受弯矩 $M$ 和轴向力 $N$ 时，焊缝中应力分别求出和。由于两者方向相同，所以合成应力：  
$$\tau_{\text{合}} = \tau_N + \tau_M$$

② 若构件同时承受横向力 $P$ 和轴力 $N$ 时，则要同时考虑弯矩 $M=P \cdot L$ 和轴向力 $N$ 及剪切力 $Q=P$ 的作用。由于构件承受切力 $Q$ 时，只是腹板承受的，故切力只由联接腹板的焊缝承受，并设切应力沿焊缝均匀分布。计算联接的焊缝强度时，应验算两个位置的合应力：

一个是盖板外侧受拉的焊缝的合应力：

$$\tau_{\text{合}} = \frac{M}{I_x} y_{\text{max}} + \frac{N}{0.7K \cdot L} \leq [\tau']$$

另一个是腹板立焊缝端点的合应力：

$$\tau_{\text{合}} = \sqrt{\left(\frac{M}{I_x} \cdot \frac{h}{2} + \frac{N}{0.7K \cdot l}\right)^2 + \tau_{\theta}^2} \leq [\tau']$$

# 受扭矩的接头强度计算

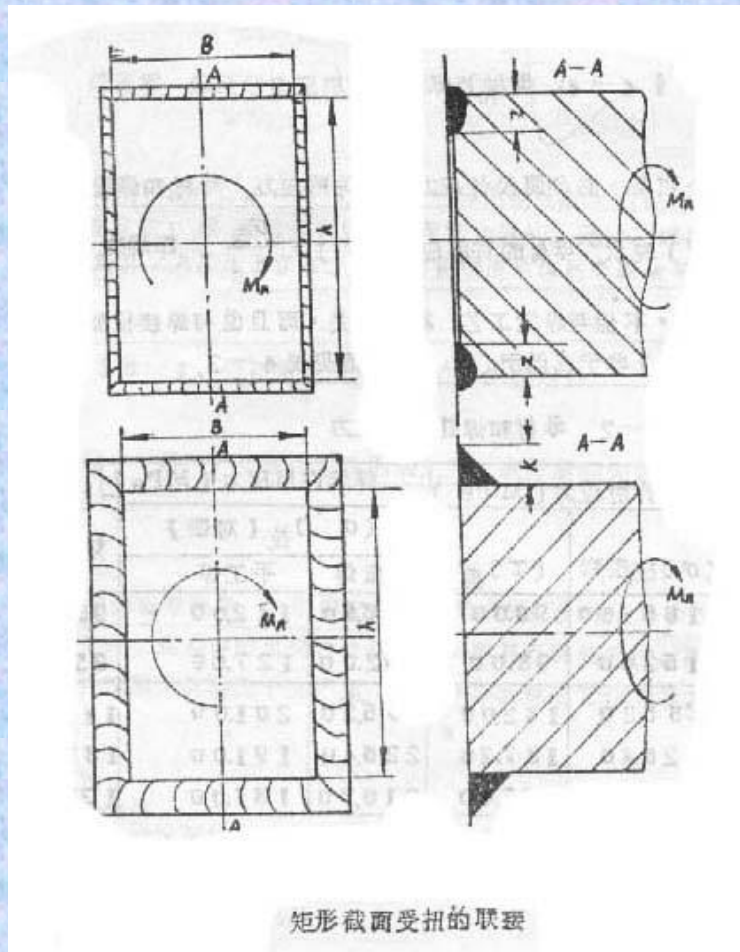
## ① 矩形截面构件的接头

若开坡口四周全焊，接头的最大切应力按下式计算：

$$\tau_{\max} = \frac{M_n}{2 \cdot Z \cdot (h - Z)(B - Z)}$$

若不开坡口四周全部角焊，接头的最大切应力为：

$$\tau_{\max} = \frac{M_n}{2 \times 0.7 \cdot K(h + 0.7K)(B + 0.7K)}$$



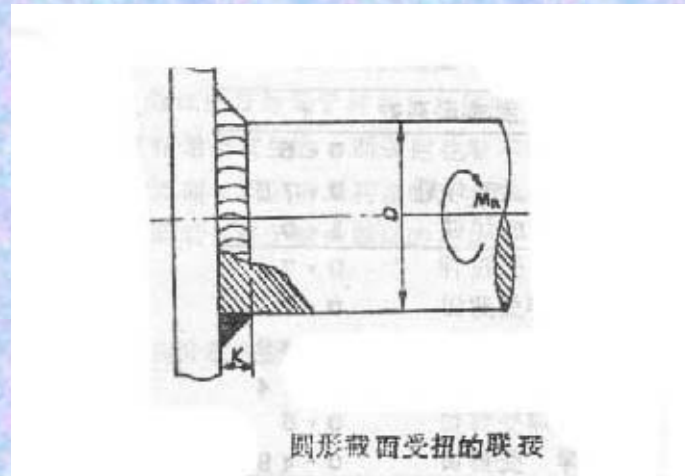
# 受扭矩的接头强度计算

## ② 圆形截面构件接头

若不开坡口沿圆周全部角焊接，接头中的最大切应力按下式计算：

$$\tau_{\max} = \frac{M_n}{W_n}$$

$$W_n = \frac{\pi[(D+1.4K)^4 - D^4]}{16 \cdot (D+1.4K)}$$



## 4. 母材及焊缝的许用应力

- 1. 设计应力小于许用应力。
- 2. 母材和焊缝的许用应力分别用 $[\sigma]$ 和 $[\sigma']$ 表示。
- 3. 焊缝的许用应力 $[\sigma']$ 大小与许多因素有关，不但与焊缝工艺、材料有关，而且也与焊接检验方法的精确程度有关。
- 4. 焊缝的许用应力 $[\sigma']$ 也可以由母材的许用应力 $[\sigma]$ 乘以焊缝的强度减弱系数 $f$ 来估算，即： $[\sigma'] = [\sigma] \times f$ （取值）

