

混凝土结构

Concrete Structure

主讲教师：孙修礼 盖玉龙

建筑工程学院工程结构教研室

第八章 受扭构件

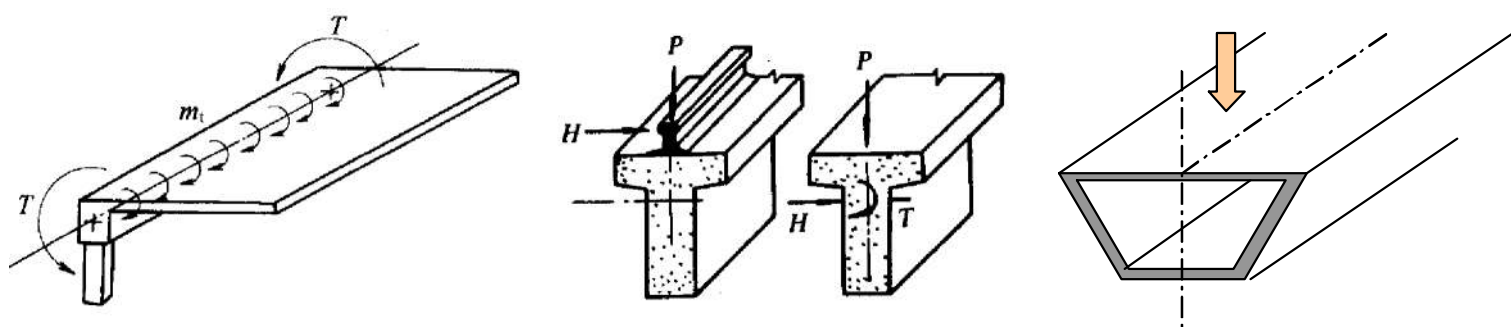
8.1 概 述

受扭构件也是一种基本构件
两类受扭构件：

平衡扭转

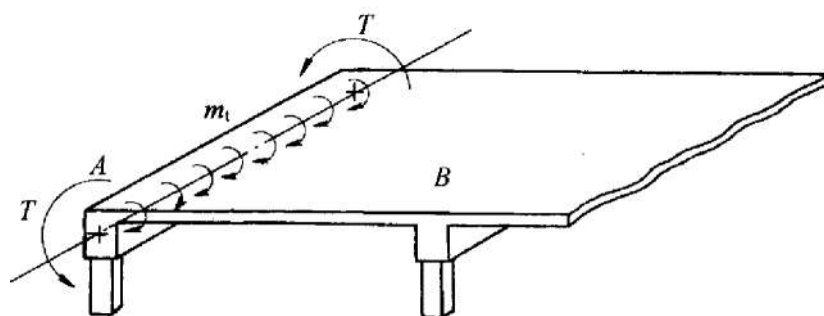
约束扭转

平衡扭转



- ◆ 构件中的扭矩可以直接由荷载静力平衡求出
- ◆ 受扭构件必须提供足够的抗扭承载力，否则不能与作用扭矩相平衡而引起破坏。

约束扭转

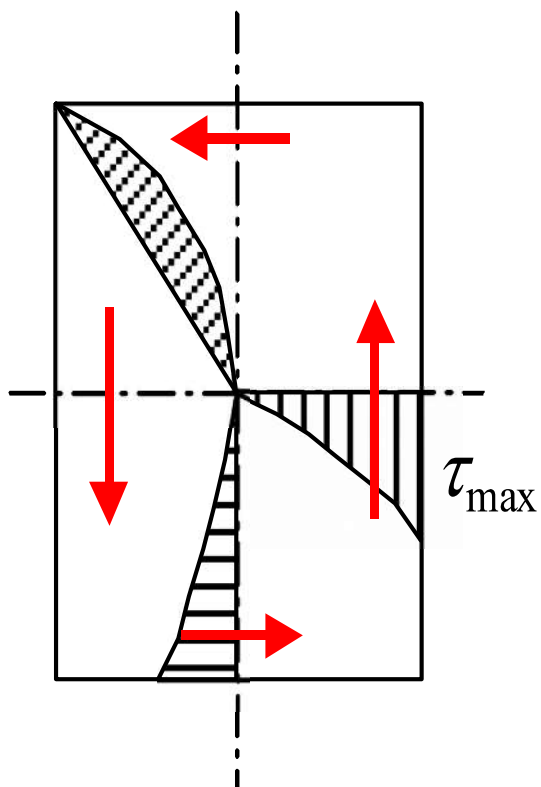


约束扭转

在超静定结构，扭矩是由相邻构件的变形受到约束而产生的，扭矩大小与受扭构件的抗扭刚度有关，称为**约束扭转**

8.2 纯扭构件的破坏形态

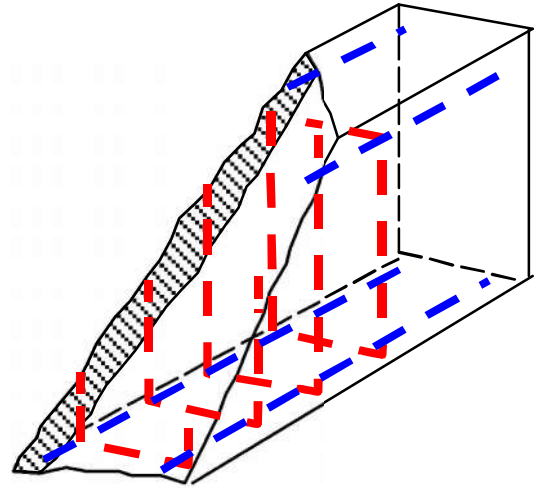
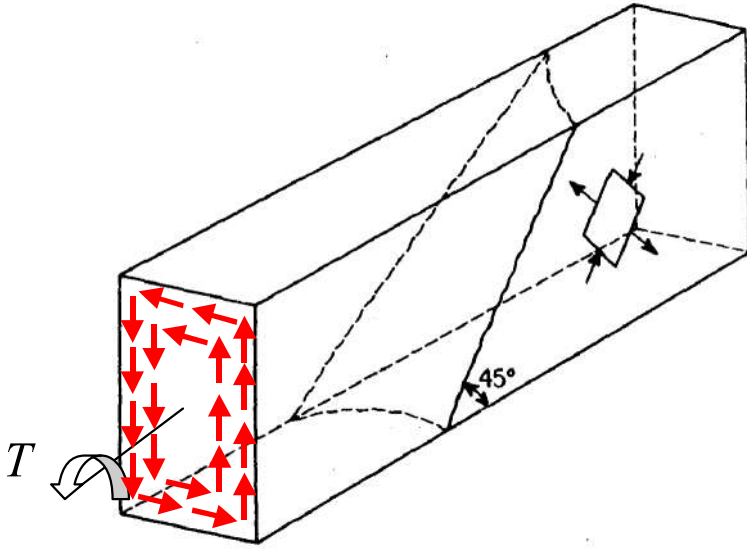
一、开裂前的应力状态



$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_{te}}$$

W_{te} —— 截面受扭弹性抵抗矩

二、开裂情况、破坏面及受扭钢筋形式



破坏面呈一空间扭曲曲面

受扭钢筋 { 纵向受扭钢筋
受扭箍筋

三、破坏形态

随着配置钢筋数量的不同，受扭构件的破坏形态也可分为：

适筋破坏、少筋破坏和超筋破坏

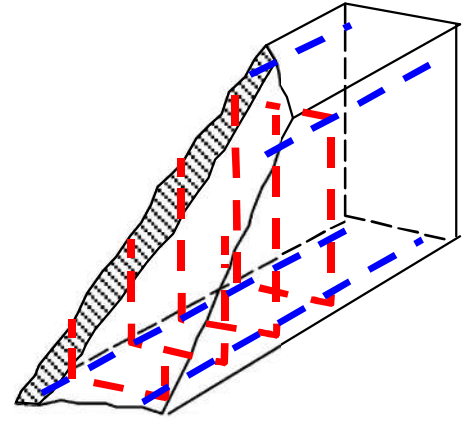
(1) 适筋破坏

破坏条件：箍筋和纵筋配置
都合适

与临界（斜）裂缝相交的钢筋

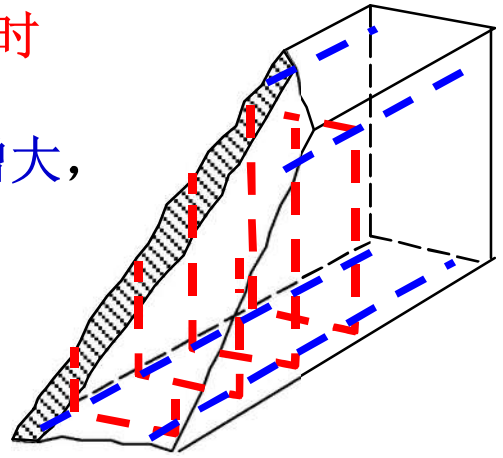
都能先达到屈服，然后混凝土压坏

与受弯适筋梁的破坏类似，具有一定的延性



(2) 少筋破坏

破坏条件：当配筋数量过少时
一旦开裂，将导致扭转角迅速增大，
构件随即破坏。



与受弯少筋梁类似，呈受拉脆性破坏特征

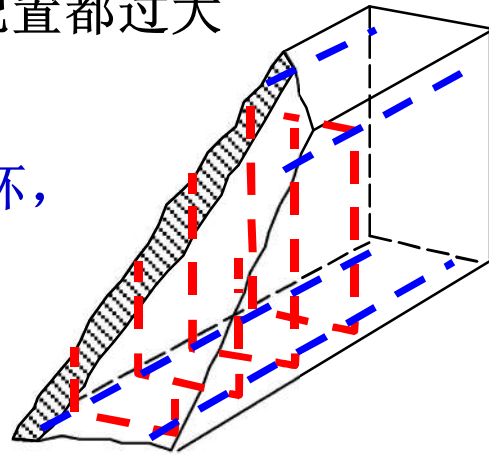
(3) 超筋破坏

破坏条件：箍筋和纵筋配置都过大

钢筋不屈服，混凝土就压坏，

为受压脆性破坏。

与受弯超筋梁类似



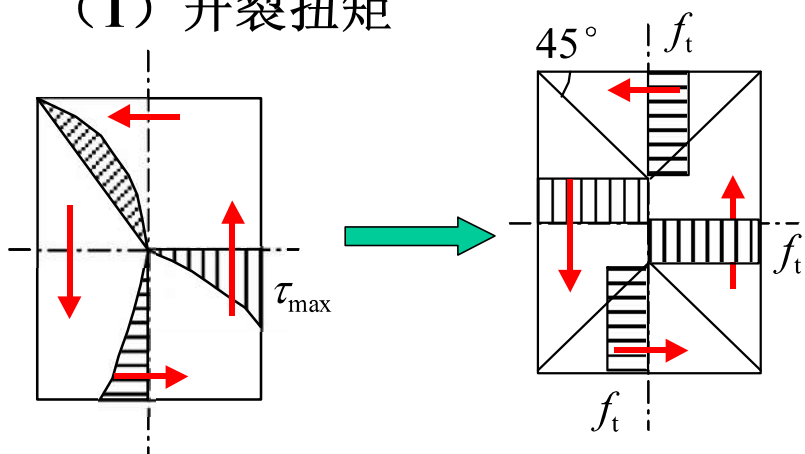
部分超筋破坏 —— 箍筋和受扭纵筋两部分配置不协调

8.3 一般受扭构件承载力计算

8.3.1 钢筋混凝土纯扭构件

1. 矩形截面素混凝土纯扭构件承载力计算

(1) 开裂扭矩



按弹性理论

$$T_{cr,e} = f_t W_{te}$$

按塑性理论

$$T_{cr,p} = f_t W_t$$

考虑混凝土的弹塑性性质

$$T_{cr} = 0.7 f_t W_t$$

W_t

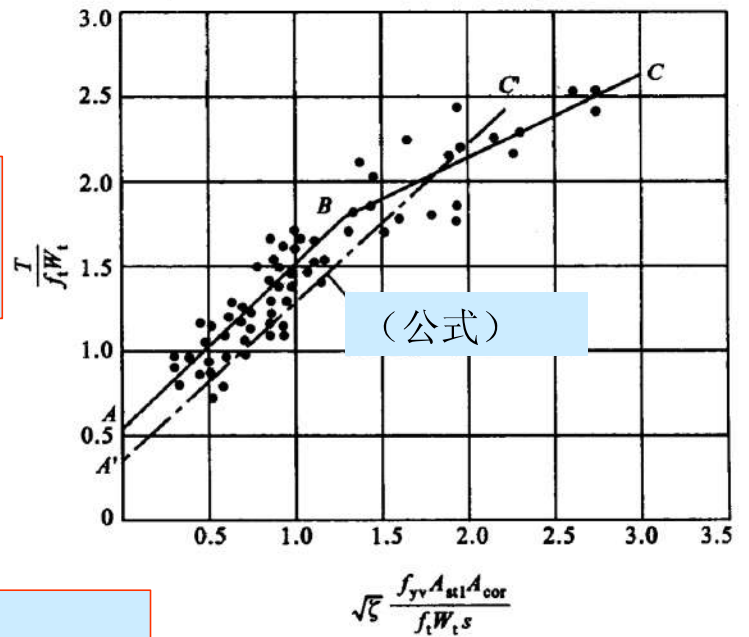
截面受扭塑性抵抗矩

$$W_t = \frac{b^2}{6} (3h - b)$$

(2) 矩形截面钢筋混凝土纯扭构件承载力计算

$$T_u = T_c + T_s$$

$$T_u = \alpha_1 f_t W_t + \alpha_2 \sqrt{\zeta} \cdot \frac{f_{yv} A_{st1}}{S} \cdot A_{cor}$$



《规范》受扭承载力计算公式

$$T_u = 0.35 f_t W_t + 1.2 \sqrt{\zeta} \cdot \frac{f_{yv} A_{st1}}{S} \cdot A_{cor}$$

$$T \leq T_u = 0.35 f_t W_t + 1.2 \sqrt{\zeta} \cdot \frac{f_{yv} A_{st1}}{S} \cdot A_{cor}$$

T —— 扭矩设计值；

f_t —— 混凝土的抗拉强度设计值；

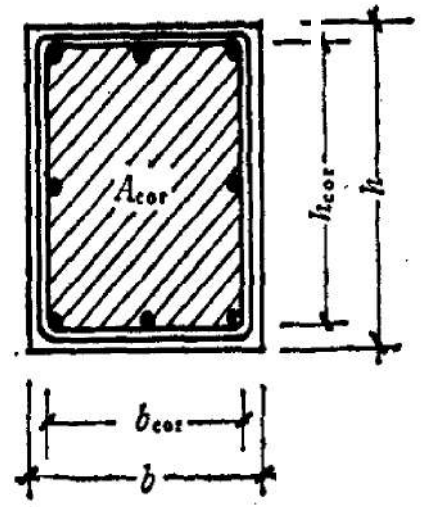
W_t —— 截面的抗扭塑性抵抗矩；

f_{yv} —— 箍筋的抗拉强度设计值；

A_{st1} —— 箍筋的单肢截面面积；

S —— 箍筋的间距；

A_{cor} —— 截面核芯部分的面积， $A_{cor} = b_{cor} h_{cor}$ b_{cor} 和 h_{cor} 分别为箍筋内表面计算的截面核芯部分的短边和长边尺寸



抗扭纵筋与箍筋的配筋强度比 ζ

$$\zeta = \frac{A_{stl} \cdot s}{A_{st1} \cdot u_{cor}} \cdot \frac{f_y}{f_{yv}}$$

A_{stl} ——受扭计算中对称布置在截面周边的全部抗扭纵筋的截面面积；

f_y ——受扭纵筋的抗拉强度设计值；

u_{cor} ——截面核芯部分的周长， $u_{cor} = 2(b_{cor} + h_{cor})$

《规范》建议取 $0.6 \leq \zeta \leq 1.7$ ，将不会发生“部分超筋破坏”

设计中通常取 $\zeta = 1.2$

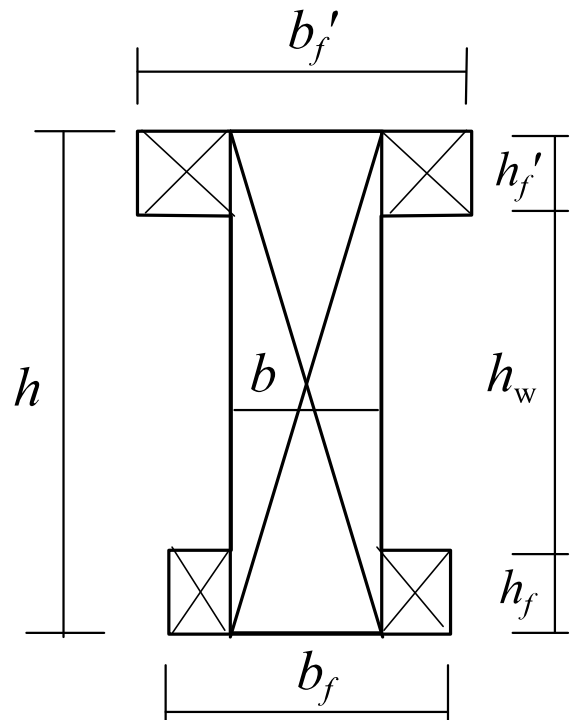
2. T形和工字形截面纯扭构件承载力计算

总扭矩T由腹板、受压翼缘和受拉翼缘三个矩形块承担

腹板：
$$T_W = \frac{W_{tw}}{W_t} T$$

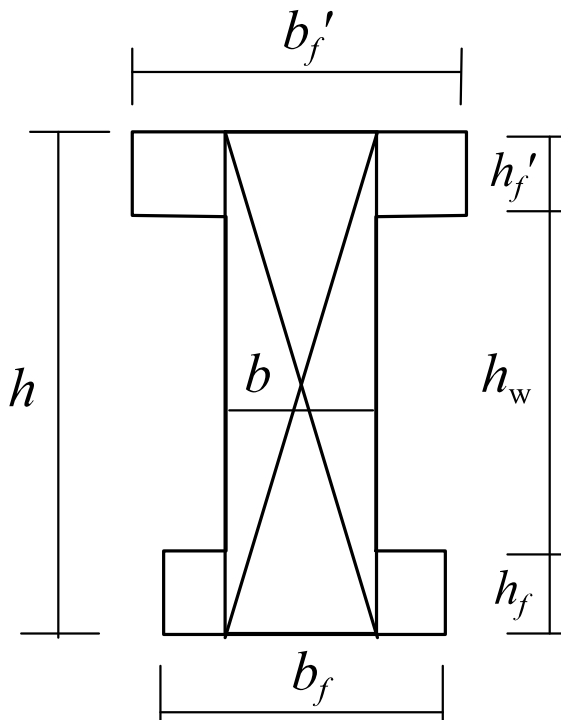
受压翼缘：
$$T_{f'} = \frac{W_{tf'}}{W_t} T$$

受拉翼缘：
$$T_f = \frac{W_{tf}}{W_t} T$$



有效翼缘宽度应满足 **$b_f' \leq b + 6h_f'$** 及 **$b_f \leq b + 6h_f$** 的条件，且 **$h_w/b \leq 6$** 。

$$W_t = W_{tw} + W_{tf'} + W_{tf}$$

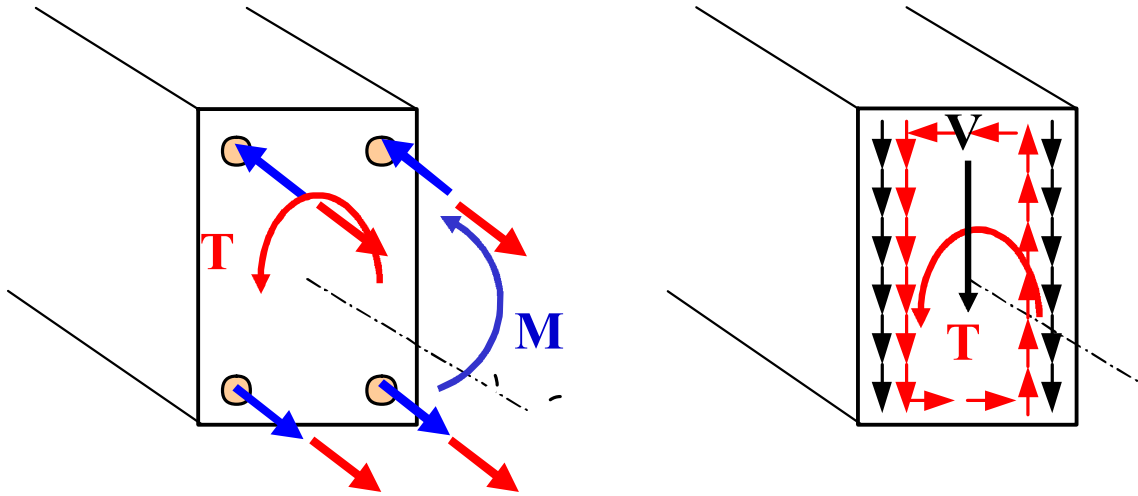


$$W_{tw} = \frac{b^2}{6} (3h - b)$$

$$W_{tf'} = \frac{h_f'^2}{2} (b_f' - b)$$

$$W_{tf} = \frac{h_f^2}{2} (b_f - b)$$

8.3.2 弯剪扭构件的承载力计算



扭矩使纵筋产生拉应力，与受弯时钢筋拉应力叠加，使钢筋拉应力增大，**从而会使受弯承载力降低。**

而扭矩和剪力产生的剪应力总会在构件的一个侧面上叠加，因此承载力总是小于剪力和扭矩单独作用的承载力。

试验表明：在**弯矩**、**剪力**和**扭矩**的共同作用下，各项承载力是相互关联的，其相互影响十分复杂。

为了简化，《规范》偏于安全地将**受弯所需的纵筋与受扭所需纵筋**分别计算后进行叠加，而对**剪扭作用**为避免混凝土部分的抗力被重复利用，**考虑混凝土项的相关作用**，**箍筋的贡献**则采用简单叠加方法。

剪扭作用下混凝土项的相关关系

$$V_c = 0.7(1.5 - \beta_t)f_t b h_0$$

$$T_c = 0.35\beta_t f_t W_t$$

β_t —— 为剪扭构件的混凝土强度降低系数

$$\beta_t = \frac{1.5}{1 + 0.5 \frac{VW_t}{Tbh_0}}$$

$$\beta_t = \frac{1.5}{1 + 0.2(\lambda + 1) \frac{VW_t}{Tbh_0}}$$

$$0.5 \leq \beta_t \leq 1.0$$

剪扭作用下受剪承载力和受扭承载力计算公式

受剪承载力:

$$V_u = 0.7(1.5 - \beta_t) f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$$

或

$$V_u = \frac{1.75}{\lambda + 1} (1.5 - \beta_t) f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$$

受扭承载力:

$$T_u = 0.35 \beta_t f_t W_t + 1.2 \sqrt{\zeta} f_{yv} \frac{A_{st1}}{s} A_{cor}$$

矩形截面弯剪扭构件的承载力计算可按以下步骤进行：

(1)按受弯构件单独计算在弯矩作用下所需的受弯纵向钢筋截面面积

$$A_s \text{ 及 } A'_s$$

(2)按抗剪承载力计算需要的抗剪箍筋

$$A_{sv}/s$$

$$V \leq V_u = 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$$

或

$$V \leq V_u = \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$$

(3)按抗扭承载力计算需要的抗扭箍筋 A_{st1}/s

$$T \leq T_u = 0.35\beta_t f_t W_t + 1.2\sqrt{\zeta} f_{yv} \frac{A_{st1}}{s} A_{cor}$$

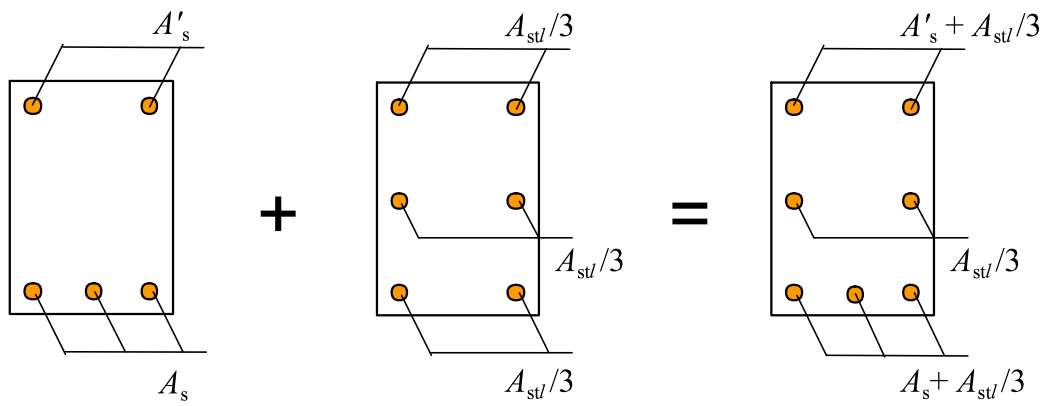
(4)按抗扭纵筋与箍筋的配筋强度比关系，确定抗扭纵筋 A_{stl}

$$\zeta = \frac{A_{stl} \cdot s}{A_{st1} \cdot u_{cor}} \cdot \frac{f_y}{f_{yv}}$$

(5)按照叠加原则计算抗弯剪扭总的纵筋和箍筋用量

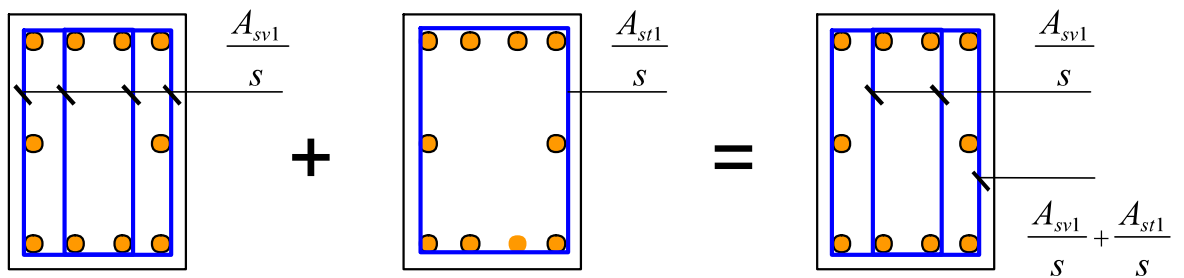
受弯纵筋 A_s 和 A'_s

抗扭纵筋:



抗剪箍筋:

抗扭箍筋:



8.3.3 压弯剪扭构件

对于在轴向压力、弯矩、剪力和扭矩共同作用下的钢筋混凝土矩形截面框架柱，其配筋计算方法与弯剪扭构件相同，即

- ◆ 按轴向压力和弯矩进行正截面承载力计算确定纵筋 A_s 和 A'_s ；
- ◆ 按剪扭承载力按下式计算确定配筋，然后再将钢筋叠加。

$$T \leq T_u = \beta_t \left(0.35 f_t + 0.07 \frac{N}{A} \right) W_t + 1.2 \sqrt{\zeta} f_{yv} \frac{A_{st1}}{s} A_{cor}$$

$$V \leq V_u = (1.5 - \beta_t) \left(\frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 + 0.07 N \right) + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$$

8.3.4 受扭构件承载力公式的适用条件及构造要求

1. 截面限制条件

当 $h_w/b \leq 4$ 时
$$\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{0.8W_t} \leq 0.25\beta_c f_c$$

当 $h_w/b = 6$ 时
$$\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{0.8W_t} \leq 0.2\beta_c f_c$$

当 $4 < h_w/b < 6$ 时 按线性内插法确定

2. 构造配筋条件

《规范》规定：对弯剪扭构件，当符合下列条件时，可不进行构件的受剪扭承载力计算，按构造配置纵向钢筋和箍筋即可。

$$\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{W_t} \leq 0.7 f_t$$

3. 构造配筋要求

(1) 受扭纵筋的最小配筋率

$$\rho_{tl,\min} = \frac{A_{tl,\min}}{bh} = 0.6 \sqrt{\frac{T}{Vb}} \frac{f_t}{f_y}$$

其中当 $\frac{T}{Vb} > 2$ 时, 取 $\frac{T}{Vb} = 2$

弯剪扭构件纵筋最小配筋率应取受弯及受扭纵筋最小配筋率叠加值

(2) 受剪及受扭箍筋最小配箍率

$$\rho_{sv,\min} = \frac{A_{sv,\min}}{bs} = 0.28 \frac{f_t}{f_{yv}}$$

4. 构造要求

(1) 纵筋

受扭纵筋应对称设置于截面的周边；

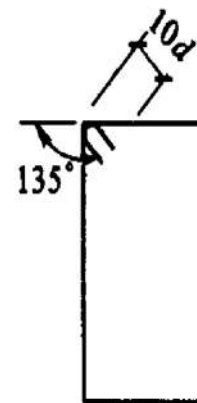
伸入支座长度应按充分利用强度的受拉钢筋考虑。

(2) 箍筋

箍筋的最小直径和最大间距要

满足表4-2和表4-3要求；

箍筋要采用封闭式。



8.3.5 弯剪扭构件计算方法确定

《规范》规定：矩形截面弯剪扭构件，可按下列规定进行承载力计算：

(1) 当 $V \leq 0.35f_tbh_0$ 或 $V \leq \frac{0.875}{\lambda + 1}f_tbh_0$ 时，可按

受弯构件的正截面受弯承载力和纯扭构件的受扭承载力分别进行计算。

(2) 当 $T \leq 0.175f_tW_t$ 时，可按受弯构件的正截面受弯承载力和斜截面的受剪承载力分别进行计算。

(3) 其它情况按弯剪扭构件进行承载力计算。