

## 第五章 钢筋混凝土受弯构件 斜截面承载力

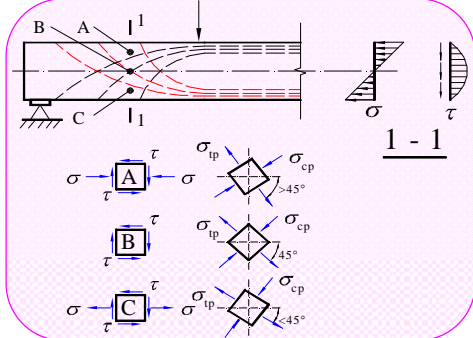
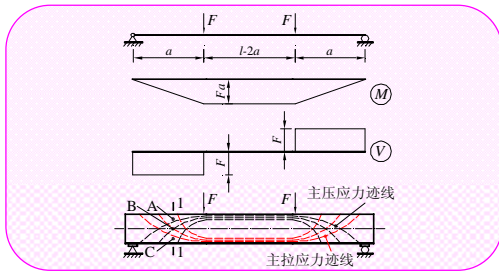
### 本章重点

- Ø 斜截面破坏的主要形态及主要因素；
- Ø 掌握受弯构件斜截面承载力的计算公式及适用条件，防止斜压和斜拉破坏的措施；
- Ø 了解材料抵抗弯矩图的做法；
- Ø 掌握深受弯构件斜截面承载力计算方法及构造要求。

### § 5.1 概述

#### 5.1.1 斜截面受力与破坏分析

##### 1. 开裂前受力分析



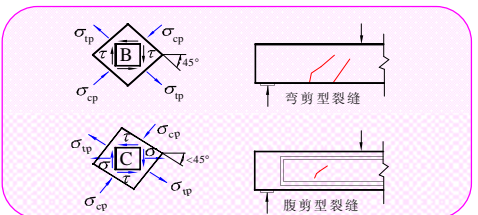
材料力学知识：

$$s_{wp} = \frac{s}{2} \pm \sqrt{\frac{s^2}{4} + t^2} \quad \dots 5-1$$

$$a = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{2t}{s}\right) \quad \dots 5-2$$

砼材料性能知识：

$$f_{ck} > f_{vk} > f_{tk}$$

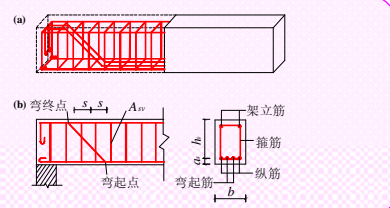


#### 2. 无腹筋梁受力及破坏分析

名词解释

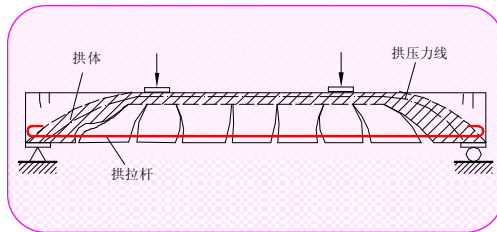
**腹筋**——箍筋和弯起钢筋的总称。

**无腹筋梁**——指不配箍筋和弯起钢筋的梁。



受力机制

无腹筋梁的拱体受力机制。



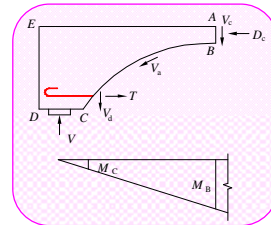
隔离体分析

与剪力  $V$  平衡的力组成:

- ❑ 剪压区混凝土切应力合力  $V_c$
- ❑ 开裂面骨料咬合力  $V_a$
- ❑ 纵向钢筋的销栓力  $V_d$

与弯矩  $M$  平衡的内力矩组成:

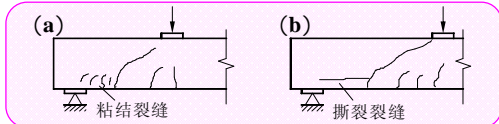
- ❑ 纵向钢筋拉力  $T$
- ❑ 剪压区混凝土合压力  $D_c$



斜裂缝的影响

斜裂缝出现后, 梁弯剪段的应力状态变化:

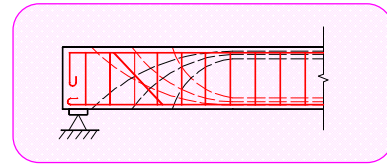
- ❑ 开裂前剪力全截面承担, 开裂后主要由剪压区承担, 混凝土切应力大大增加, 应力分布规律发生变化。
- ❑ 随斜裂缝的发展, 剪压区面积减小, 压应力增大。
- ❑ 随斜裂缝的出现, 纵筋拉应力突然增大。
- ❑ 钢筋拉应力增大, 导致混凝土与钢筋间的粘结应力增大, 可能出现粘结裂缝和撕裂裂缝。



3. 有腹筋梁受力及破坏分析

特点

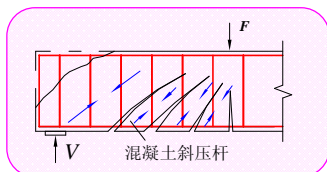
配置箍筋可以有效地提高梁的斜截面抗剪承载力, 箍筋最有效的布置方式是与梁腹中的主拉应力方向一致, 但为施工方便, 一般和梁轴线成  $90^\circ$  布置。



受力机制

有腹筋梁的桁架受力机制。

- ❑ 梁顶受压砼——上弦(压)杆
- ❑ 受拉纵向钢筋——下弦(拉)杆
- ❑ 受拉箍筋——受拉腹杆
- ❑ 腹部受压砼——受压腹杆



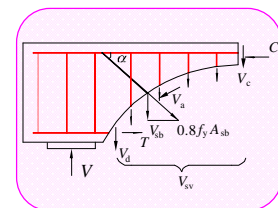
隔离体分析

与剪力  $V$  平衡的力组成:

- ❑ 剪压区混凝土切应力合力  $V_c$
- ❑ 开裂面骨料咬合力  $V_a$
- ❑ 纵向钢筋的销栓力  $V_d$
- ❑ 箍筋拉力  $V_{sv}$
- ❑ 弯起钢筋拉力  $V_{sb}$

与弯矩  $M$  平衡的内力矩组成:

- ❑ 纵向钢筋拉力  $T$
- ❑ 剪压区混凝土合压力  $C$
- ❑ 箍筋拉力  $V_{sv}$
- ❑ 弯起钢筋拉力  $V_{sb}$



### 5.1.2 影响斜截面承载力的主要因素

#### 1. 剪跨比 $l$ 与跨高比 $l_0/h$

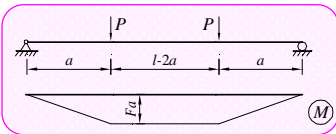
定义:

广义剪跨比

$$l = \frac{M}{Vh_0} \quad \dots 5-3$$

承受两对称荷载的简支梁:

$a$  — 剪跨跨长

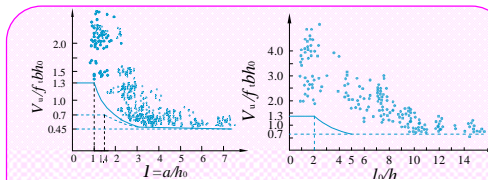


计算剪跨比

$$l = \frac{M}{Vh_0} = \frac{Pa}{Vh_0} = \frac{Pa}{Ph_0} = \frac{a}{h_0} \quad \dots 5-4$$

试验(斜截面破坏, 纵筋未屈服)表明,

- ⊖ 对于承受集中荷载的梁, 随着剪跨比  $l$  的增大, 受剪力承载力下降。
- ⊖ 对于承受均布荷载的梁, 跨高比  $l_0/h$  是影响受剪承载力的主要因素。随着跨高比增大, 受剪承载力降低。



集中荷载下无腹筋梁

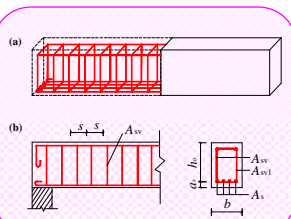
均布荷载下无腹筋梁

#### 2. 腹筋(箍筋和弯起钢筋)的数量

腹筋的数量增多时, 斜截面的承载力增大。

配箍率——箍筋的配筋率:

$$r_{sv} = \frac{A_{sv}}{bs}$$



联想回忆:

配筋率

—— 纵筋的配筋率:

$$r = \frac{A_s}{bh_0}$$

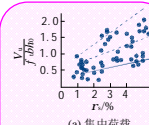
$$r_{\min} = \frac{A_{s,\min}}{bh}$$

#### 3. 混凝土强度等级

其他条件相同时, 斜截面受剪承载力随混凝土强度  $f_{cu}$  的提高而增大, 二者大致呈线性关系。

#### 4. 纵筋配筋率

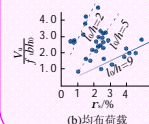
在其他条件相同时, 纵向钢筋率越大, 斜截面承载力也越大, 二者大致呈线性关系。配筋率影响剪压区高度、斜裂缝开展抑制程度、斜裂面间骨料咬合作用、纵筋销栓力。



(a) 集中荷载

#### 5. 其他因素

- ⊖ 截面形状;
- ⊖ 预应力;
- ⊖ 梁的连续性。



(b) 均布荷载

### 5.1.3 斜截面的主要破坏特征

#### 试验资料

⊖ 无腹筋梁斜截面破坏试验。

⊖ 斜拉破坏 ( $l=3.3$ ) ..... 演示试验

⊖ 剪压破坏 ( $l=2.06$ ) ..... 演示试验

⊖ 斜压破坏 ( $l=1.1$ ) ..... 演示试验

⊖ 有腹筋梁斜截面破坏试验。

⊖ 箍筋适量 ( $l=1.94, r_{sv}=0.47\%$ ) ..... 演示试验

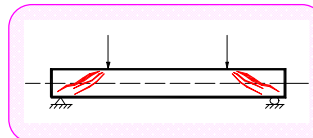
⊖ 箍筋过多 ( $l=1.93, r_{sv}=1.30\%$ ) ..... 演示试验

⊖ 箍筋过少 ( $l=1.94, r_{sv}=0.078\%$ ) ..... 演示试验

⊖ 剪跨比小 ( $l=1.11, r_{sv}=0.47\%$ ) ..... 演示试验

#### 主要破坏特征

##### 1. 斜压破坏

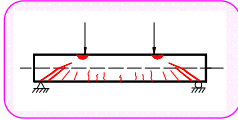


产生条件  $l < 1$  或箍筋多(腹筋多、腹板薄)。

破坏特点

中和轴附近出现斜裂缝, 然后向支座和荷载作用点延伸, 破坏时在支座与荷载作用点之间形成多条斜裂缝, 斜裂缝间砼突然压碎, 箍筋不屈服。

2. 剪压破坏



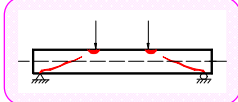
产生条件

$1 \leq \lambda \leq 3$ , 配箍量适中。

破坏特点

受拉区边缘先裂, 然后向受压区延伸。破坏时, 与临界斜裂缝相交的箍筋屈服, 砼后压碎。

3. 斜拉破坏



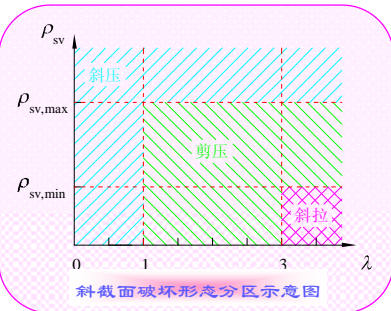
产生条件

$\lambda > 3$ 且配箍量少或间距太大。

破坏特点

受拉边缘一旦出现斜裂缝便急速发展, 构件很快破坏。

小结



斜截面破坏形态分区示意图

5.1.4 防止斜截面破坏的承载力条件

斜截面上有剪力, 也有弯矩。为了防止斜截面破坏, 要求:

$$V \leq V_u \quad \dots 5-5$$

$$M \leq M_u \quad \dots 5-6$$

我国规范中

式(5-5)用计算保证,  
式(5-6)用构造措施满足。

§ 5.2 建筑工程中受弯构件斜截面设计方法

5.2.1 不配腹筋的一般板类受弯构件

$$V \leq 0.7 \beta_h f_t b h_0 \quad \dots 5-7$$

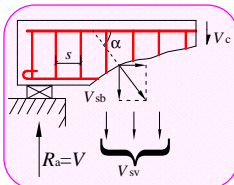
式中

$$\beta_h = \left( \frac{800}{h_0} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$\beta_h$ ——截面高度影响系数, 当 $h_0 < 800\text{mm}$ 时,  
 $h_0 = 800\text{mm}$ ; 当 $h_0 > 2000\text{mm}$ 时,  
取 $h_0 = 2000\text{mm}$ ;  
 $f_t$ ——砼轴心抗拉强度设计值。

5.2.2 矩形、T形和I形截面受弯构件

1. 一般情况



$$\dot{a} Y = 0$$

$$V \leq V_c + V_{sv} + V_{sb}$$

$$= V_{cs} + V_{sb}$$

$$V_{cs} = 0.7 f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$$

$$V_{sb} = 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha$$

$$V \leq 0.7 f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha \quad \dots 5-8$$

式中

$f_{yv}$ ——箍筋抗拉强度设计值;

$A_{sv}$ ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积:  $A_{sv} = n A_{sv1}$ , 此处,  $n$ 为在同一截面内箍筋的肢数,  $A_{sv1}$ 为单肢箍筋的截面面积;

$s$ ——沿构件长度方向的箍筋间距;

$A_{sb}$ ——同一弯起平面内弯起钢筋截面面积;

$\alpha$ ——弯起钢筋与构件轴线的夹角。

2. 集中荷载作用下的独立梁

**集中荷载作用：**集中荷载产生的剪力值占计算截面总剪力的75%以上；

**独立梁：**与其他梁无联系，不与楼板整体现浇，可单跨或多跨。

$$V \leq \frac{1.75}{l+1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha$$

式中

...5-9

$l$ ——计算截面的剪跨比，可取  $\lambda = a/h_0$ ， $a$ 为集中荷载作用点至支座或节点的距离；当  $l < 1.5$ 时，取  $l = 1.5$ ；当  $l > 3$ 时，取  $l = 3$ 。

3. 基本公式的适用范围

基本公式适用于剪压破坏。

$h/b < 5$ 普通梁  
 $h/b > 5$ 薄腹梁

√ 为了防止斜压破坏，要求：

当  $h_w/b \leq 4$  时  $V \leq 0.25 b_c f_c b h_0$  ...5-10

当  $h_w/b \geq 6$  时  $V \leq 0.2 b_c f_c b h_0$  ...5-11

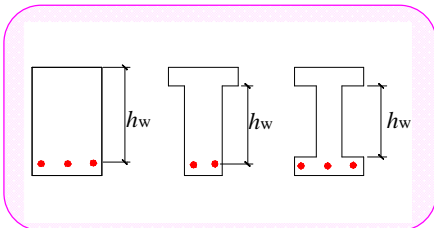
当  $h_w/b = 4 \sim 6$  时

$$V \leq 0.025(14 - h_w/b) b_c f_c b h_0$$
 ...5-12

式中

$b_c$ ——混凝土强度影响系数，当  $f_{cu,k} \leq C50$ 时，取  $b_c = 1.0$ ；当  $f_{cu,k} = C80$ 时，取  $b_c = 0.8$ ；其间按线性内插法取用。

$h_w$  ——截面的腹板高度，按下图确定：



√ 为了防止斜拉破坏，要求：

① 箍筋的间距应满足表1要求；

表1 箍筋的最大间距

梁高 $h$ (mm)	$V > 0.7 f_t b h_0$	$V \leq 0.7 f_t b h_0$
$150 < h \leq 300$	150	200
$300 < h \leq 500$	200	300
$500 < h \leq 800$	250	350
$h > 800$	300	400

② 箍筋的直径满足表-2要求；

表2 箍筋的最小直径

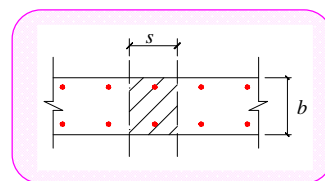
梁高 $h$ (mm)	箍筋直径(mm)
$h \leq 800$	6或 $d/4$
$h > 800$	8或 $d/4$

注： $d$ 为梁中计算需要的纵向受压钢筋的最大直径

③ 当  $V > 0.7 f_t b h_0$  时，配箍率尚应满足：

$$r_{sv} \geq r_{sv, \min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} \quad \dots 5-13$$

$$r_{sv} = \frac{A_{sv}}{sb}$$



4. 可以按构造配置箍筋的条件

当满足下列条件时, 可按表1和表2配筋。

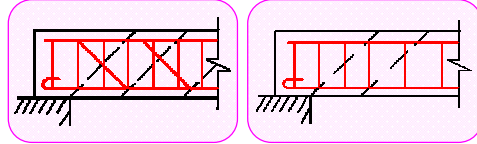
一般情况:

$$V \leq 0.7 f_t b h_0 \quad \dots 5-14$$

集中荷载下的独立梁:

$$V \leq \frac{1.75}{I+1} f_t b h_0 \quad \dots 5-15$$

5. 斜截面受剪承载力的计算位置



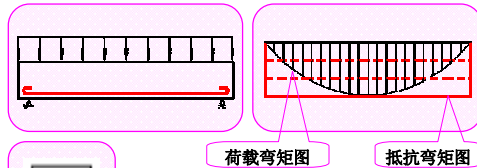
- ⊗ 支座边缘处截面;
- ⊗ 受拉钢筋弯起点处截面;
- ⊗ 箍筋间距或截面面积改变处截面;
- ⊗ 腹板宽度改变处截面。

6. 斜截面承载力计算步骤

- (1) 确定计算截面及其剪力设计值;
- (2) 验算截面尺寸是否足够;
- (3) 验算是否可以按构造配箍筋;
- (4) 当不能按构造配箍筋时, 计算腹筋用量;
- (5) 验算箍筋间距、直径和最小配箍率是否满足要求;
- (6) 绘出配筋图。

7. 荷载弯矩图与抵抗弯矩图(受弯承载力图、材料图)

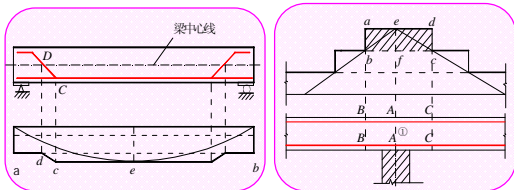
(1) 荷载弯矩图与抵抗弯矩图的概念



保证斜截面抗弯承载力的条件:  
抵抗弯矩各截面不小于荷载弯矩,  
或抵抗弯矩图要包住荷载弯矩图。

(2) 抵抗弯矩图(材料图)的作用

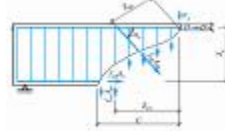
- ⊗ 反映材料的利用程度;
- ⊗ 确定纵向钢筋的弯起数量和位置;
- ⊗ 确定纵向钢筋的截断位置。



钢筋弯起的材料图

钢筋截断的材料图

(3) 保证斜截面抗弯承载力的条件



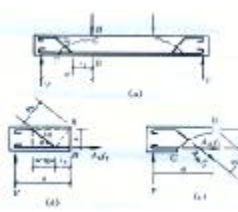
验算公式:

$$M \leq f_y A_s Z + \sum f_y A_{sb} Z_{sb} + \sum f_{yv} A_{sv} Z_{sv} \quad \dots 5-22$$

斜截面水平投影长度c可按下列条件确定:

$$V = \sum f_y A_{sb} \sin \alpha_s + f_{yv} A_{sv} \quad \dots 5-23$$

(4) 钢筋的弯起



设纵向受拉钢筋的总面积为  $A_s$ ，伸入支座的钢筋面积为  $A_{s1}$ ，弯起的钢筋面积为  $A_{s2}$ ，则有：

$$A_{s1} + A_{s2} = A_s$$

由图 (b)：  $V_a = f_y A_{s1} z$

由图 (c)：  $V_a = f_y A_{s1} z + f_y A_{s2} z_b$

欲使斜截面受弯承载力大于正截面承载力，必须满足：

$$f_y A_{s1} z + f_y A_{s2} z_b > f_y A_s z$$

即必须满足：  $z_b > z$

由图 (b)：

$$\frac{z_b}{\sin \alpha} = s_1 + z \operatorname{ctg} \alpha$$

或

$$z_b = s_1 \sin \alpha + z \cos \alpha$$

即要使出  $z_b \geq z$ ，则要求：  $s_1 \sin \alpha + z \cos \alpha \geq z$

或

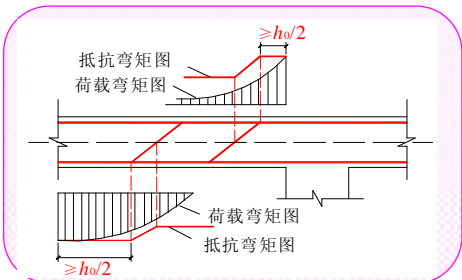
$$s_1 > (\operatorname{csc} \alpha - \operatorname{ctg} \alpha) z$$

当  $z = 0.9h_0$  和  $\alpha = 45^\circ$  时，要求  $s_1 > 0.37h_0$ ；

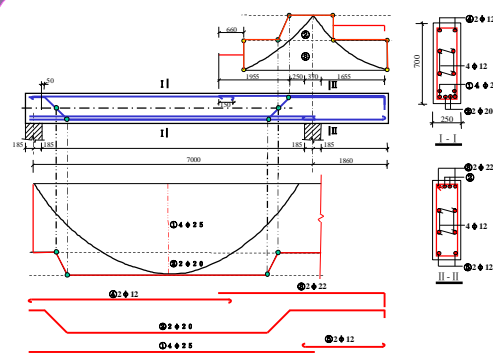
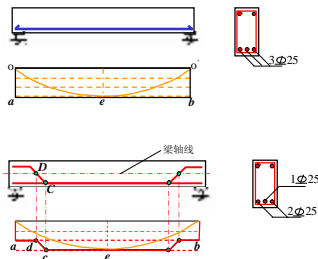
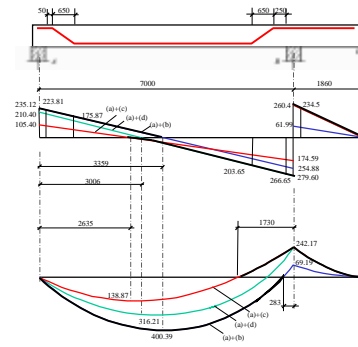
当  $z = 0.9h_0$  和  $\alpha = 60^\circ$  时，要求  $s_1 > 0.52h_0$ 。

因此，当能保证  $s_1 > h_0/2$  时，一般可保证  $z_b > z$ 。

(5) 弯起钢筋的抵抗弯矩图

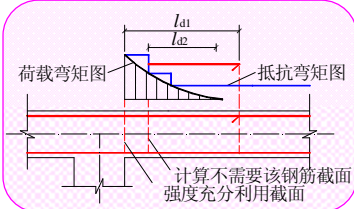


结论 宜采用**箍筋**作为承受剪力的钢筋。



8. 构造要求:

(1) 负弯矩钢筋的切断位置



$l_{d1}$ ——粘结锚固长度;  $l_{d2}$ ——外伸长度

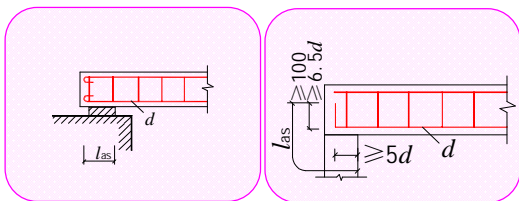
从 $l_{d1}$ 和 $l_{d2}$ 中选外伸较长者  $l_{d1}$ 和 $l_{d2}$ 的取值见表3.

表3 负弯矩钢筋的延伸长度  $l_d$

截面条件	充分利用截面伸出 $l_{d1}$	计算不需要截面伸出 $l_{d2}$
$V \leq 0.7f_t b h_0$	$1.2l_a$	$20d$
$V > 0.7f_t b h_0$	$1.2l_a + h_0$	$20d$ 且 $h_0$
$V > 0.7f_t b h_0$ 且断点仍在负弯矩受拉区内	$1.2l_a + 1.7h_0$	$20d$ 且 $1.3h_0$

注: 选其中外伸较远的值

(2) 纵筋在支座处的锚固

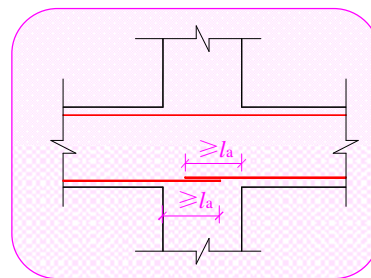


当 $V \leq 0.7f_t b h_0$ 时,  $l_{as} \geq 5d$ ;

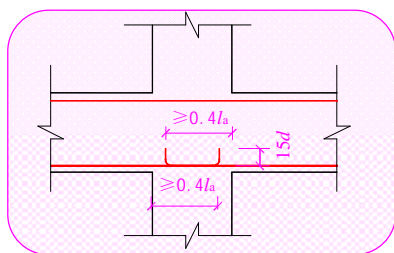
当 $V > 0.7f_t b h_0$ 时,  $l_{as} \geq 12d$  (带肋)

$l_{as} \geq 15d$  (光面)

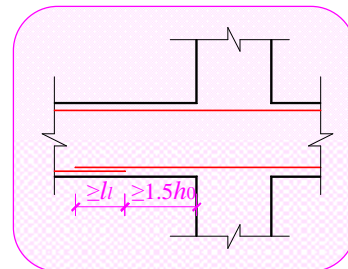
节点中的直线锚固:



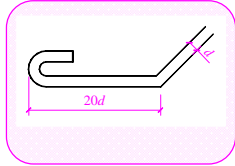
节点中的弯折锚固:



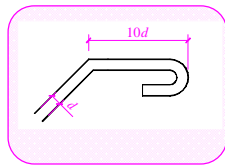
节点或支座范围外的搭接:



(3) 弯起钢筋的锚固——弯筋终点应有直线段，光面钢筋端部还应做弯钩。位于梁底层两侧的钢筋不应弯起。

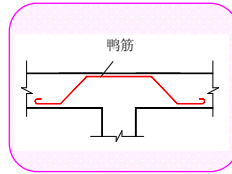


〔受拉〕

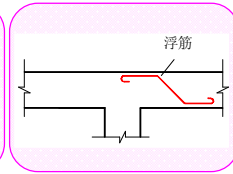


〔受压〕

(4) 不得采用浮筋做弯筋。

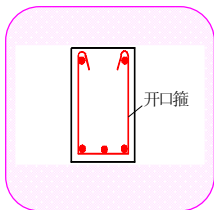


〔可用〕

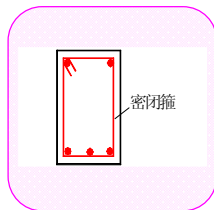


〔禁用〕

(5) 梁受扭或承受动荷载时，不得使用开口钢箍



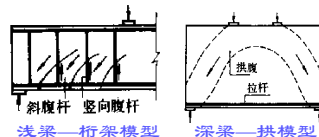
开口箍



密闭箍

注意 ——弯钩及开口应布置在压区。

9. 深受弯构件斜截面设计

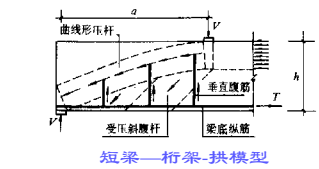


浅梁—桁架模型

深梁—拱模型

注意

- $l_0/h$ —跨高比
- 浅梁  $l_0/h > 5$
- 短梁  $l_0/h = 2(2.5) \sim 5$
- 深梁  $l_0/h \leq 2$  (简支梁)
- $l_0/h \leq 2.5$  (连续梁)



短梁—桁架-拱模型

(1) 计算公式

一般情况（配水平和竖向分布筋时）：

$$V \leq 0.7 \frac{(8-l_0/h)}{3} f_t b h_0 + \frac{(l_0/h-2)}{3} f_{yv} \frac{A_{sv}}{s_h} h_0 + \frac{(5-l_0/h)}{6} f_{yh} \frac{A_{sh}}{s_v} h_0$$

注意

...5-16

钢筋混凝土深梁设计规程 CECS39:92

集中荷载作用的独立梁（配水平和竖向分布筋）：

$$V \leq \frac{1.75}{l+1} f_t b h_0 + \frac{(l_0/h-2)}{3} f_{yv} \frac{A_{sv}}{s_h} h_0 + \frac{(5-l_0/h)}{6} f_{yh} \frac{A_{sh}}{s_v} h_0$$

式中

...5-17

- $l$ ——计算剪跨比，当  $l_0/h \leq 2.0$  时，取  $l=0.25$ ；
- 当  $2.0 < l_0/h < 5.0$  时，取  $l=al_0$ ；
- $l$  的上限值按  $l=0.92l_0/h-1.58$  计算；
- $l$  的下限值按  $l=0.42l_0/h-0.58$  计算；
- $l_0/h$ ——跨高比，当  $l_0/h < 2.0$  时，取  $l_0/h=2.0$ 。

(2) 截面尺寸要求:

为防止斜压破坏, 截面尺寸应满足:

当  $h_w/b \leq 4$  时  $V \leq \frac{1}{60}(10 + l_0/h)b_c f_c b h_0$

当  $h_w/b \geq 6$  时  $V \leq \frac{1}{60}(7 + l_0/h)b_c f_c b h_0$

当  $h_w/b$  在 4~6 之间时 按线性内插法取用。

式中

$l_0$ ——计算跨度, 当  $l_0 < 2h$  时, 取  $l_0 = 2h$ 。

(3) 可不进行斜截面受剪承载力计算的条件:

$$V_k \leq 0.5 f_{tk} b h_0 \quad \dots 5-18$$

(一般要求不出现斜裂缝的条件)

式中

$V_k$ ——按荷载标准组合计算的剪力值;

$f_{tk}$ ——砼抗拉强度标准值。

(4) 构造要求:

① 截面宽度或腹板厚度:

$\geq 140\text{mm}$ ;

当  $l_0/h \geq 1$  时,  $h/b \leq 25$ ;

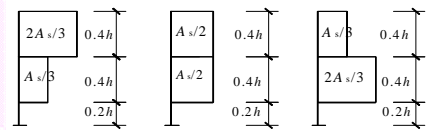
当  $l_0/h < 1$  时,  $l_0/b \leq 25$ 。

② 砼强度:

$\geq \text{C20}$ 。

③ 纵向受力钢筋:

下部纵筋宜均匀布置在下部  $0.2h$  范围内;  
连续深梁中间支座上纵筋按下图分配:



( $1.5 < l_0/h \leq 2.5$ )

( $1 < l_0/h \leq 1.5$ )

( $l_0/h \leq 1$ )

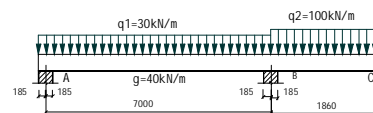
④ 深梁宜配双排钢筋网, 水平和竖向分布钢筋的直径均不应小于 8mm, 间距不应大于 200mm, 且应满足表 4 最小配筋率要求:

表 4 深梁中钢筋的最小配筋率

钢筋种类	纵向受拉配筋率	水平分布配筋率	竖向分布配筋率
II级钢筋	0.25	0.25	0.09
HRB40C, HRBF40C, REB40C, HRB335, HRBF335	0.20	0.20	0.15
HRB500, HRBF500	0.15	0.15	0.10

注: 当集中荷载作用于连续深梁上部 1/4 高度范围内且  $l_0/h > 1.5$  时, 竖向分布筋最小配筋百分率应增加 0.05。

单伸臂筒支梁设计例题:



$b \times h = 250\text{mm} \times 700\text{mm}$ , 混凝土的强度等级为 C25,  
纵向受力钢筋为 HRB335。

主页

目录

上一章

下一章

帮助

混凝土结构设计原理 第五章

### 荷载组合:

(a)  $g$  (b)  $g, G$   
(c)  $q_1$  (d)  $q_2$

b+c: AB跨最大跨中弯矩和A支座最大剪力;  
a+d: B支座最大负弯矩和AB跨最小正弯矩;  
a+c+d: B 支座最大剪力。

主页 目录 上一页 下一页 帮助

混凝土结构设计原理 第五章

### 包络图:

主页 目录 帮助

混凝土结构设计原理 第五章

### 钢筋的弯起与截断:

主页 目录 帮助

混凝土结构设计原理 第五章

### 钢筋的弯起与截断自动播放:

主页 目录 帮助

混凝土结构设计原理 第五章

## § 5.5 综合算例——伸臂梁设计

### ① 计算简图与截面估算

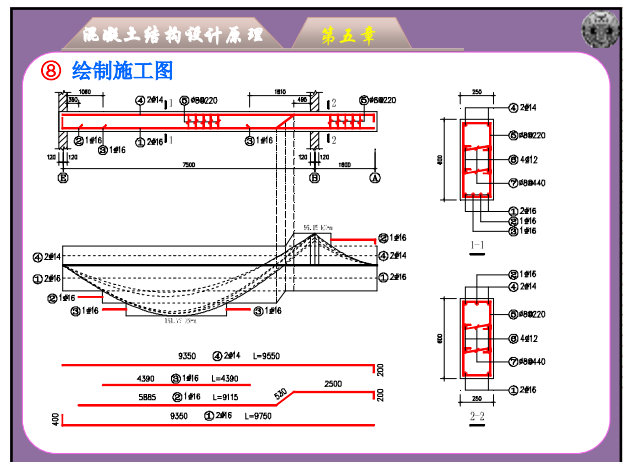
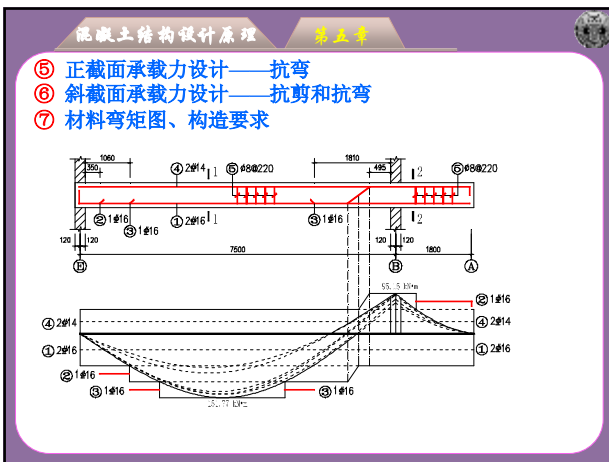
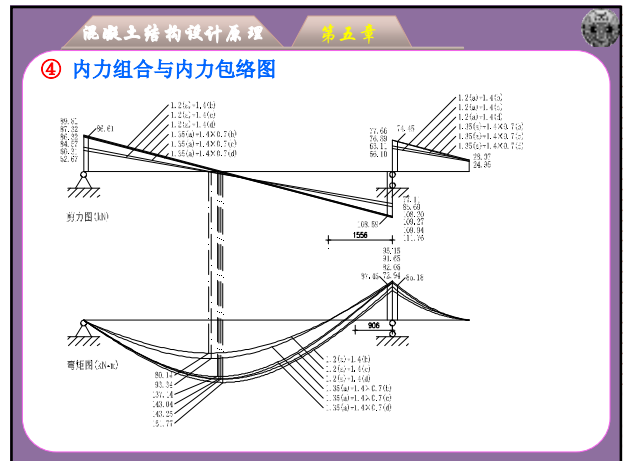
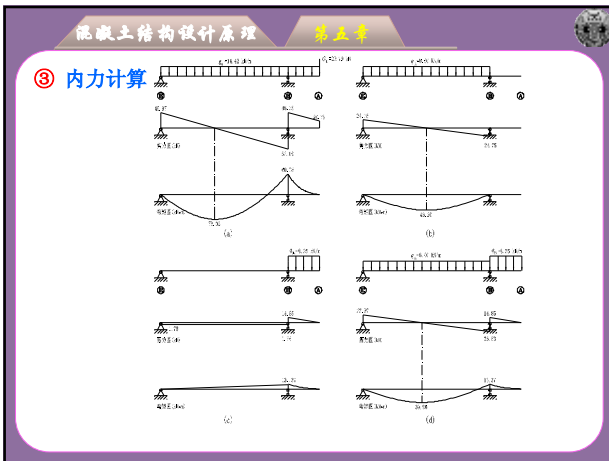
主页 目录 帮助

混凝土结构设计原理 第五章

### ② 荷载计算

- 1) 永久荷载标准值
- 2) 楼面均布活荷载标准值

主页 目录 帮助



混凝土结构设计原理 第五章

## 课堂小测验

- 混凝土结构设计原理 第五章
1. 剪跨比  $\lambda = ( )$  或  $( )$ 。
  2. 腹筋是  $( )$  的总称。
  3. 斜截面的主要破坏形态有  $( )$ 、 $( )$  和  $( )$ 。
  4. 为了防止构件出现斜截面破坏，不但要满足  $( )$  条件，还要满足  $( )$  条件。
  5. 影响斜截面受力性能的主要因素有  $( )$ 、 $( )$  和  $( )$  等。



6. 配箍率的表达式为 ( )。
7. 受弯构件出现斜裂缝的原因是 ( )。
8. 为保证斜截面抗弯承载力, 纵向钢筋的弯起点与按计算充分利用该钢筋的截面之间的距离不应小于 ( )。
9. 就你目前所学, 箍筋的作用有 ( )。
10. 承受交变荷载作用的受弯构件, 一般采用 ( ) 钢筋抗剪。

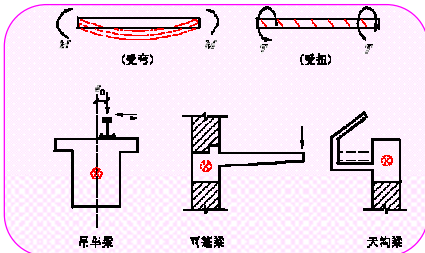
# 第六章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算

## 本章重点

- Ø 受扭构件的分类和受扭构件开裂、破坏处理；
- Ø 受扭构件的设计计算方法；
- Ø 公路桥涵工程与建筑工程关于受扭构件计算的相同与不同之处；
- Ø 钢筋混凝土受扭构件的构造要求。

## § 6.1 概述

### 6.1.1 土木工程中常见的受扭构件

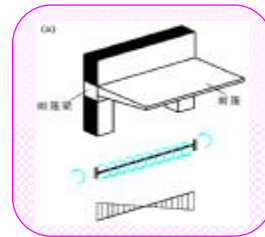


土木工程受扭构件的特点：一般均为弯、剪、扭构件。

### 6.1.2 扭转按扭矩形成原因分类

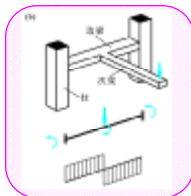
#### 1. 平衡扭转

扭矩由荷载产生，扭矩可由平衡条件求得，与构件的抗扭刚度无关。



#### 2. 协调扭转或附加扭转

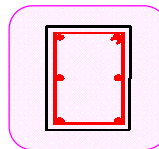
扭转由变形协调产生，扭矩的大小与构件的刚度有关。如与次梁相连的边框架的主梁扭转。



本章主要讨论平衡扭转计算。

协调扭转可用调整内力方法或零刚度法设计。

### 6.1.3 抗扭钢筋的形式



- 抗弯 — 受拉区纵筋
- 抗剪 — 箍筋或弯筋+弯筋
- 抗扭 — 箍筋+沿截面周边均匀布置的纵筋，箍筋与纵筋的比例要适当。

### 6.1.4 受扭构件分类

- 纯扭 } 土木工程中少见
- 剪扭 } 土木工程中少见
- 弯扭 } 土木工程中少见
- 弯剪扭：土木工程中常见

### 6.1.5 抗扭钢筋配筋率对受扭构件受力性能的影响

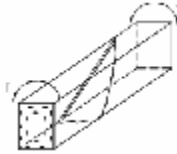
#### 1. 素混凝土纯扭构件的破坏特点

首先，构件在侧面长边中部出现斜裂缝；

随即，斜裂缝的两端同时沿45度角方向延伸，并转向短边侧面。

3个侧面裂缝贯通后，沿第4个侧面（长边）混凝土被压碎，形成三面开裂一面受压的空间扭曲破坏面。

构件的极限扭矩与开裂扭矩几乎相等。从开裂到破坏的时间极短，仅1/5秒。



### 2. 钢筋混凝土纯扭构件的破坏特点

#### (1) 少筋破坏

产生条件：箍筋和纵筋或者其中之一配置过少

破坏特点：破坏特征与素混凝土构件相近，因而抗扭承载力与素混凝土构件相近，破坏扭矩基本上与开裂扭矩相等。破坏是脆性的，没有任何预兆，在工程中应予以避免。

#### (2) 适筋破坏

产生条件：构件中的箍筋和纵筋配置适当

破坏特点：破坏前构件上陆续出现多条与杆件轴线呈 $\alpha$ 角度的螺旋形裂缝，与其中一条裂缝相交的箍筋和纵筋达到屈服，该条裂缝不断加宽，直到最后形成三面开裂一边受压的空间扭曲破坏面。整个破坏过程具有一定的延性和较明显的预兆。因此，受扭构件尽可能设计成这种具有适筋破坏特征的构件。

#### (3) 部分超配筋

产生条件：构件中配置的箍筋或纵筋的数量过多

破坏特点：构件破坏前，只有数量相对较少的那部分钢筋受拉屈服，而另一部分钢筋直到受压边混凝土被压碎时仍未屈服。

由于构件破坏时有部分钢筋屈服，破坏特征并非完全脆性，故可在工程中采用。

#### (4) 完全超配筋

产生条件：箍筋和纵筋都配置过多

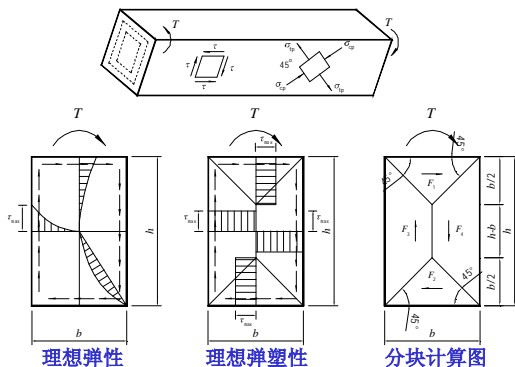
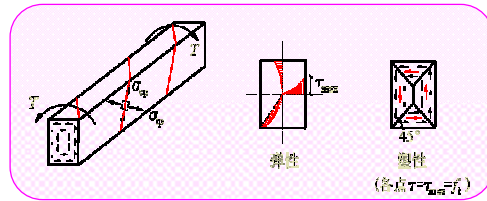
破坏特点：两者都还未能达到屈服前，构件上出现很多间距较密的螺旋形裂缝，构件裂缝间混凝土被局部压碎而导致突然破坏。

破坏具有明显的脆性，而且抗扭钢筋未充分利用。工程中应避免。

## § 6.2 建筑工程中受扭构件承载力计算

### 6.2.1 纯扭构件承载力计算

#### 1. 理想弹塑性材料纯扭构件



#### 弹性分析结果

假视钢筋混凝土为弹性材料，对矩形截面，由薄膜比拟知。最大扭转应力 $t_{max}$ 发生在矩形截面长边中点，计算公式为：

$$t_{max} = \frac{T}{hb^2a} \quad (h \geq b) \quad \dots 6-0$$

式中， $a$ 与比值  $\frac{h}{b} = 1 \sim 10$  有关， $a = 0.208 \sim 0.313$ 。

主应力轴线夹角 $q = 45^\circ$   $s_{tp} = t$   $s_{cp} = -t$

对混凝土： $f_c > f_t > f_t$  则  $t/f_c < t/f_t < t/f_t$

混凝土开裂时  $s_{tp,max} = f_t$   $T_{\alpha}^{(1)} = f_t \cdot hb^2 \cdot a = f_t \cdot W_p$

塑性分析结果

塑性状态下能抵抗的扭矩为:

$$T_u = f_t W_t \quad \dots 6-1$$

式中:  $W_t$ ——截面抗扭塑性抵抗矩;对于矩形截面

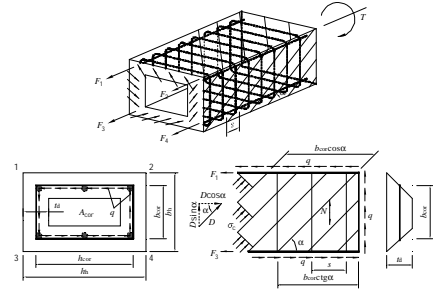
$$W_t = \frac{b^2}{6}(3h - b) \quad \dots 6-2$$

$h$ 为截面长边边长; $b$ 为截面短边边长。

2. 素砼纯扭构件

$$T = 0.7 f_t W_t \quad \dots 6-3$$

3. 钢筋砼纯扭构件



变角度空间桁架模型

钢筋砼纯扭构件抵抗的扭矩为:

$$T = 0.35 f_t W_t + 1.2 \sqrt{z} \frac{f_{yv} A_{stl} A_{cor}}{s} \quad \dots 6-4$$

式中:  $s$ ——箍筋间距;

$A_{stl}$ ——抗扭箍筋单肢截面面积;

$A_{cor}$ ——截面核心部分面积,  $A_{cor} = b_{cor} \times h_{cor}$ ;

$z$ ——抗扭纵筋与抗扭箍筋的配筋强度比值;

$$z = \frac{f_y A_{stl} s}{f_{yv} A_{stl} u_{cor}} \quad \dots 6-5$$

式中:  $A_{stl}$ ——全部抗扭纵筋截面面积;

$u_{cor}$ ——截面核心部分周长,  $u_{cor} = 2(b_{cor} + h_{cor})$ 。

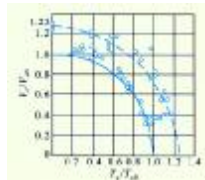
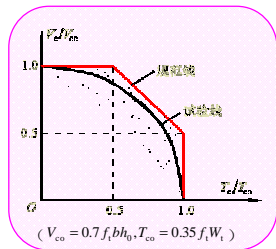
为了保证抗扭纵筋和抗扭箍筋都能充分被利用, 要求:

$$z = \frac{f_y A_{stl} s}{f_{yv} A_{stl} u_{cor}} \quad \dots 6-5$$

设计时, 可先按式(6-6)假定一个 $z$ 值, 然后由式(6-4)求 $A_{stl}$ , 再由式(6-5)求 $A_{stl}$ 。

6.2.2 剪扭构件承载力计算

1. 剪扭相关性



剪力的存在会降低截面的抗扭能力;

扭矩的存在会降低截面的抗剪能力。

规范经简化后的结果为:

- (1) 当  $T_c/T_{co} \leq 0.5$  时, 即  $T \leq 0.175 f_t W_t$  时, 可忽略扭矩影响, 按纯剪构件设计;
- (2) 当  $V_c/V_{co} \leq 0.5$  时, 即  $V \leq 0.35 f_t b h_0$  时, 可忽略剪力影响, 按纯扭构件设计;
- (3) 当  $T > 0.175 f_t W_t$  和  $V > 0.35 f_t b h_0$  时, 要考虑剪扭的相关性。

2. 考虑剪扭相关性的计算

$$V = 0.7 f_t b h_0 (1.5 - b_t) + f_{yv} \frac{n A_{sv1}}{s_v} h_0 \quad \dots 6-7$$

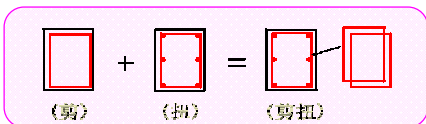
$$T = 0.35 b_t f_t W_t + 1.2 \sqrt{z} \frac{f_{yv} A_{stl} A_{cor}}{s_t} \quad \dots 6-8$$

式中:  $\beta_t$ ——剪扭构件中砼受扭承载力降低系数,

$$b_t = \frac{1.5}{1 + 0.5 \frac{VW_t}{Tbh_0}} \quad \dots 6-9$$

当  $\beta_t < 0.5$  时, 取  $\beta_t = 0.5$ ; 当  $\beta_t > 1.0$  时, 取  $\beta_t = 1.0$ 。

特点: (1) 规范变全线段剪扭相关为部分线段相关;  
(2) 承载力降低在砼的抗剪和抗扭上。



若为集中荷载作用下的独立梁, 式 (6-7) 应改为

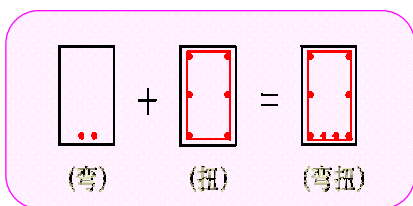
$$V = \frac{1.75}{l+1} (1.5 - b_t) f_t b h_0 + f_{yv} \frac{nA_{sv1}}{s_v} h_0 \quad \dots 6-10$$

式中,

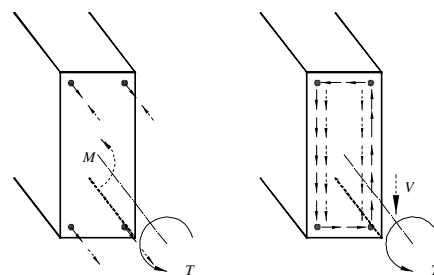
$$b_t = \frac{1.5}{1 + 0.2(l+1) \frac{VW_t}{Tbh_0}} \quad \dots 6-11$$

### 3. 弯扭构件承载力计算

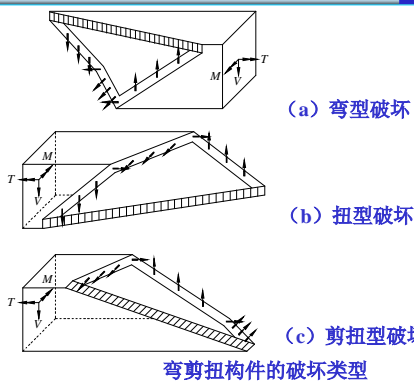
不考虑弯扭相关性, 分别按纯弯和纯扭构件计算和配筋, 然后将钢筋面积叠加。



### 4. 弯剪扭构件承载力计算

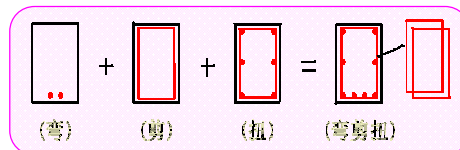


拉应力与剪应力叠加示意图

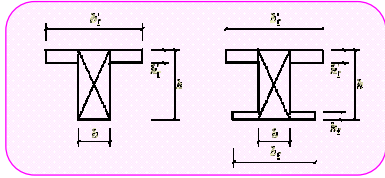


### 弯剪扭构件承载力计算方法:

弯矩 —— 按纯弯构件计算;  
剪力 } 按剪扭构件计算  
扭矩 } 验算是否要考虑剪扭相关性。  
分别计算, 然后将钢筋面积叠加。



5. T形和I形截面弯剪扭构件



- 计算原则
- 弯矩按纯弯计算；
- 剪力由腹板单独承担；
- 扭矩由腹板和翼缘共同承受。

扭矩分配

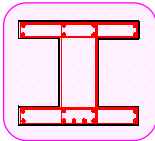
腹板  $T_w = \frac{W_w}{W_t} T$  ...6-12

受压翼缘  $T_t' = \frac{W_t'}{W_t} T$  ...6-13

受拉翼缘  $T_t = \frac{W_t''}{W_t} T$  ...6-14

式中,

$$W_w = \frac{b^2}{6}(3h - b) \quad \dots 6-15$$



$$W_{t'} = \frac{h_t}{2}(b_t - b) \quad \dots 6-16$$

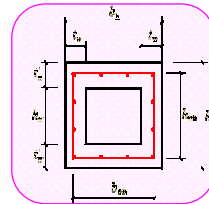
$$W_{t''} = \frac{h_t}{2}(b_t - b) \quad \dots 6-17$$

$$W_t = W_w + W_{t'} + W_{t''} \quad \dots 6-18$$

截面各部分受力：  
翼缘 —— 纯扭； 腹板 —— 剪扭；  
全截面 —— 弯剪扭分别配筋再叠加。

6. 箱形截面

纯扭  $T \leq 0.35a_h f_t W_t + 1.2\sqrt{z} f_{yv} \frac{A_{st1} A_{cor}}{s}$  ...6-19



$$a_h = \frac{2.5t_w}{b_h} \quad \dots 6-20$$

$$W_t = \frac{b_h^2}{6}(3h_h - b_h) - \frac{(b_h - 2t_w)^2}{6}[3h_w - (b_h - 2t_w)] \quad \dots 6-21$$

式中： $a_h$  —— 箱形截面壁厚系数，  
当  $a_h > 1.0$  时，取  $a_h = 1.0$ ；  
 $W_t$  —— 箱形截面壁厚，其值不应小于  $b_w/7$ 。  
 $z$  值仍按公式 (6-9) 计算，且应  $0.6 \leq z \leq 1.7$  符合的要求，当  $z > 1.7$  时，取  $z = 1.7$ 。

剪扭构件

一般剪扭构件

$$V \leq (1.5 - b_t) 0.7 f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad \dots 6-22$$

$$T \leq 0.35 a_h b_t f_t W_t + 1.2 \sqrt{z} f_{yv} \frac{A_{st1} A_{cor}}{s} \quad \dots 6-23$$

集中力作用下的独立剪扭构件

$$V \leq (1.5 - b_t) \frac{1.75}{l+1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad \dots 6-24$$

$$T \leq 0.35 a_h b_t f_t W_t + 1.2 \sqrt{z} f_{yv} \frac{A_{st1} A_{cor}}{s} \quad \dots 6-25$$

式中： $\beta_t$  按式 (6-11) 计算； $W_t$  应以  $a_w$  代替。

弯剪扭构件

像矩形、T形和I形截面一样，弯矩按纯弯构件计算剪力和扭矩按剪扭构件计算。

Ø 压弯剪扭构件

$$V \leq 1.5(1 - b_t) \xi \frac{1.75}{l+1} f_t b h_0 + 0.07 N \frac{\sigma_c}{\sigma} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \dots 6-26$$

$$T \leq b_t \xi \frac{\sigma_c}{\sigma} 0.35 f_t + 0.07 \frac{N}{A_0} \frac{\sigma_c}{\sigma} W_t + 1.2 \sqrt{z} f_{yv} \frac{A_{st} A_{cor}}{s} \dots 6-27$$

7. 受扭构件公式使用条件及构造要求

Ø 为了防止超筋,要求截面尺寸满足

当  $h_w/b \leq 4$  时,  $\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{0.8W_t} \leq 0.25b_c f_c \dots 6-28$

当  $h_w/b \geq 6$  时,  $\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{0.8W_t} \leq 0.20b_c f_c \dots 6-29$

Ø 为了防止少筋,要求

受剪及受扭箍筋

$$r_{sv} \geq r_{svmin} = 0.28 f_t / f_{yv} \dots 6-30$$

受扭纵筋

$$r_{st} \geq r_{stmin} = 0.6 \frac{f_t}{f_y} \sqrt{\frac{T}{Vb}} \dots 6-31$$

当  $T/Vb > 2$  时,取  $T/Vb = 2$

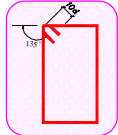
纵筋的配筋率应不小于受弯时的最小配筋率和受扭时最小配筋率之和。

Ø 可按构造配置抗扭纵筋和箍筋的条件。

$$\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{W_t} \leq 0.7 f_t \dots 6-32$$

Ø 构造要求。

受扭箍筋应采用封闭式箍筋,做法见下图。



受扭纵筋应对称设置于截面周边,角点处应有纵筋。

8. 公式应用

Ø (一) 截面设计(已知内力、截面尺寸和材料等级)

(1) 验算截面最小尺寸

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

当  $h_w/b \geq 6$  时,  $\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{0.8W_t} \leq 0.20b_c f_c$

(2) 验算是否符合简化计算时构造配筋的条件

$V \leq 0.35 f_t b h_0$  不考虑剪力(按纯扭计算)

$T \leq 0.175 f_t W_t$  不考虑扭矩(按纯剪计算)

$\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{W_t} \leq 0.7 f_t$  按构造要求和最小配筋率配筋

(3) 配筋计算

由  $M$  计算受弯纵筋  $A_s$

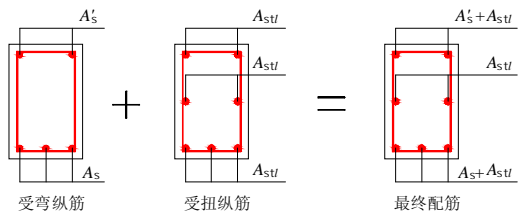
由剪扭相关作用分别计算受扭箍筋,受剪箍筋和受扭纵筋,设  $\alpha = 1.2$ , 则

受扭箍筋  $\frac{A_{stl}}{s} = \frac{T - b_t T_{co}}{1.2 \sqrt{z} f_{yv} A_{cor}}$

受剪箍筋  $\frac{n A_{svl}}{s} = \frac{V - (1.5 - b_t) V_{co}}{1.25 f_{yv} h_0}$

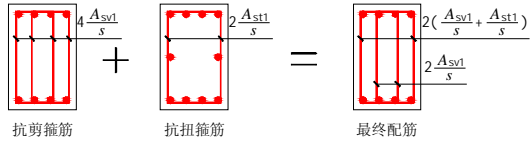
受扭纵筋  $A_{stl} = z \frac{A_{stl}}{s} \frac{f_{yv}}{f_y} u_{cor}$

纵筋配置:



叠加法配纵向受力筋

箍筋配置：



简单叠加法配箍筋

Ø (二) 截面校核

(1) 验算截面最小尺寸, 若不满足, 则不安全(超筋)

当  $h_w/b \leq 4, \geq 6$  时,  $\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{0.8W_t} \leq 0.25b_c f_c, \leq 0.20b_c f_c$

(2) 取内力较大的截面进行复核

A、验算是否符合简化计算要求；

B、验算是否满足构造要求配筋，

若满足只需进行抗弯复核；

C、若 A、B 均不满足时，先求  $b_t$ ，然后求抗剪箍筋 → 由实际箍筋减去抗剪箍筋 → 抗扭箍筋。

由  $M$  求得抗弯纵筋 → 抗扭纵筋 →  $z \rightarrow T_u$ ，若  $T_u > T$ ，则截面安全，否则不安全。