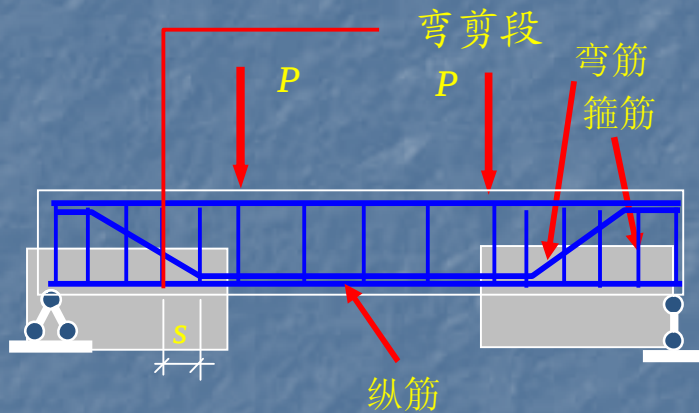


第五章 受弯构件斜截面承载力计算

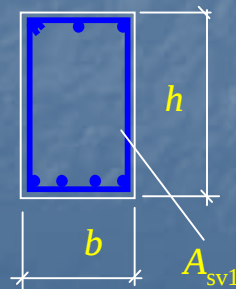
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1概述



统称腹筋----帮助混凝土梁抵御剪力

有腹筋梁----既有纵筋又有腹筋
无腹筋梁----只有纵筋无腹筋

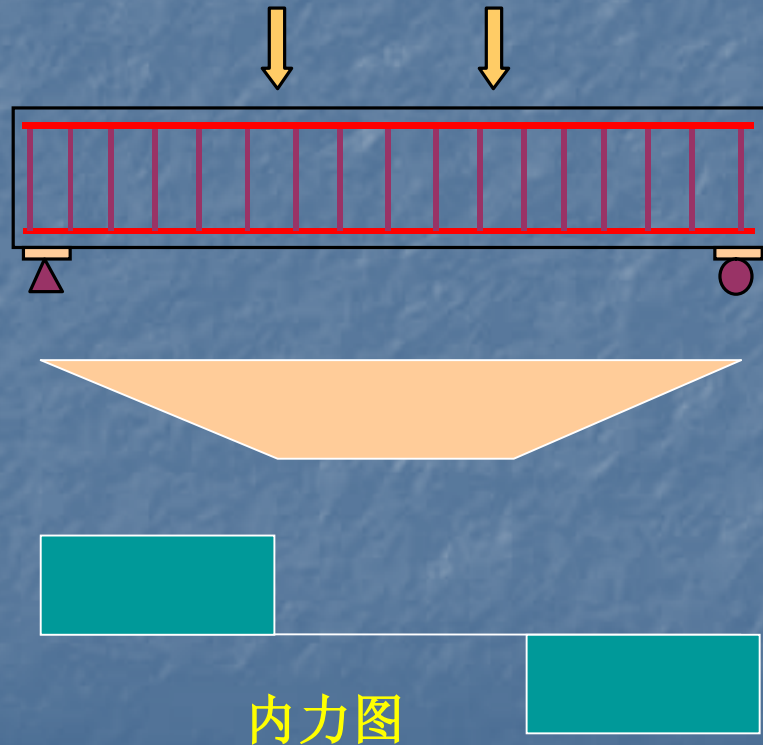


$$A_{sv} = nA_{sv1}$$

箍筋肢数

5.2 无腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态

5.2.1 无腹筋梁斜裂缝出现前的应力状态



受弯构件在荷载作用下，同时产生弯矩和剪力。在弯矩区段，产生正截面受弯破坏，而在剪力较大的区段，则会产生斜截面受剪破坏和斜截面受弯破坏。

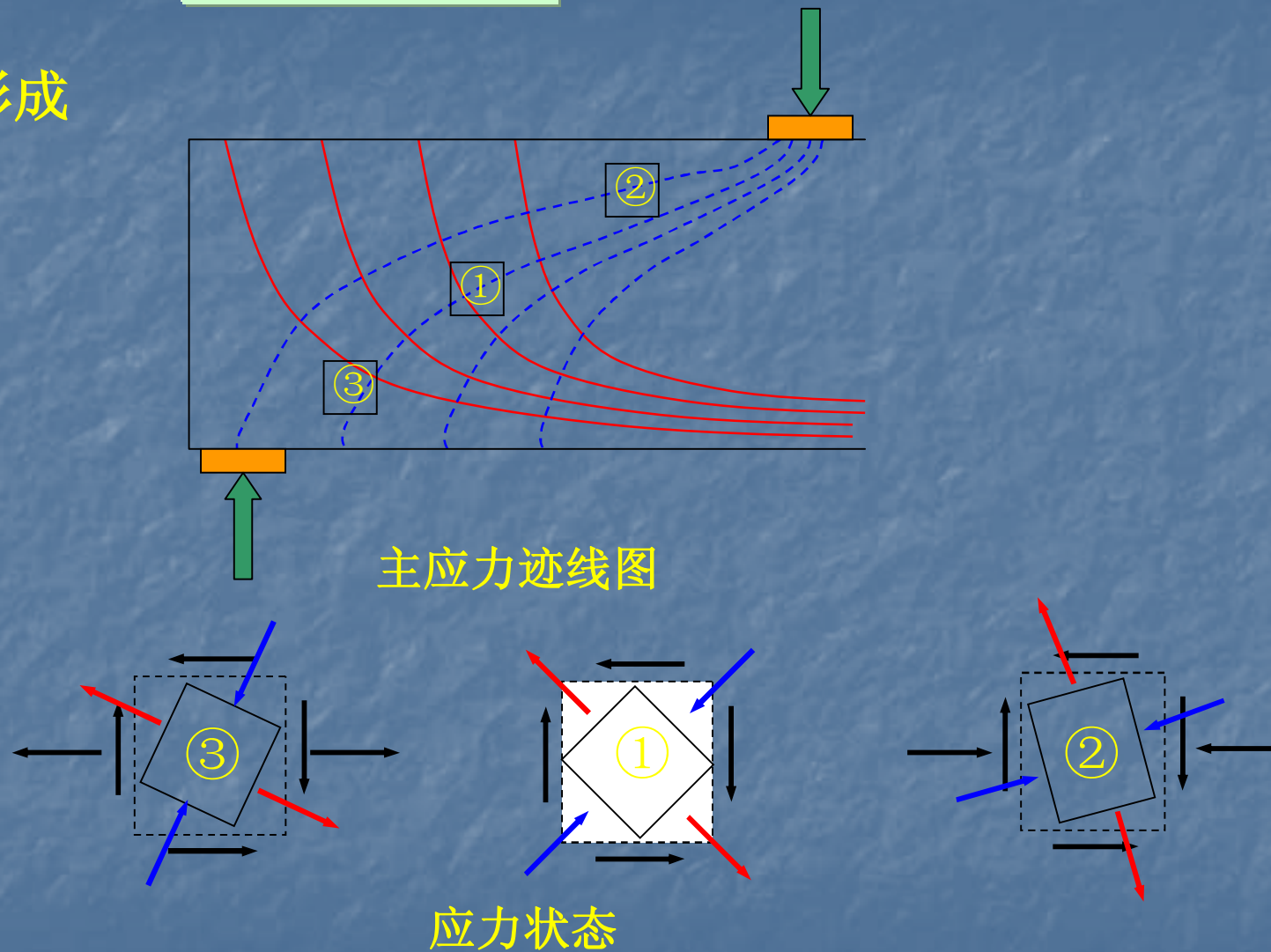
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.2 无腹筋梁受力和破坏形态

5.2.1 裂缝出现前应力状态

斜裂缝的形成



5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

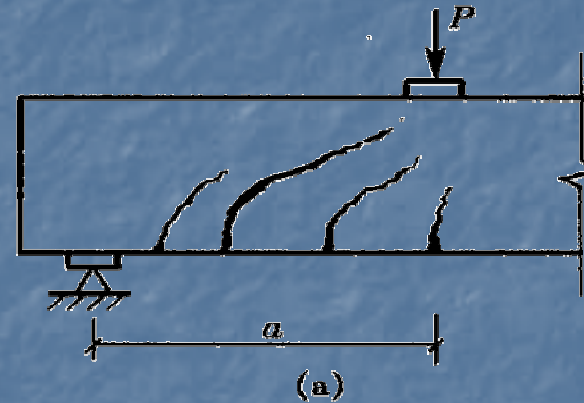
5.2 无腹筋梁受力特点和破坏形态

5.2.1 裂缝出现前应力状态

斜裂缝的类型

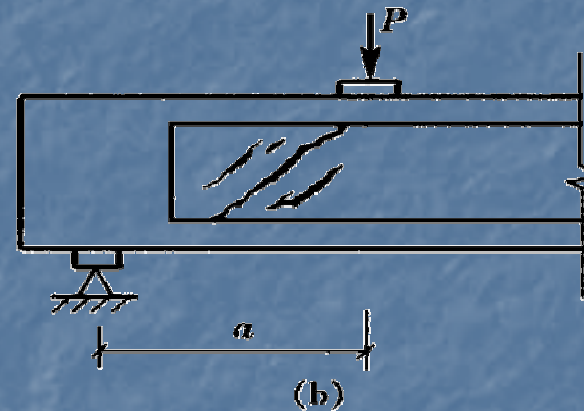
(1) 弯剪斜裂缝

特点：裂缝下宽上窄



(2) 腹剪斜裂缝

特点：裂缝中间宽两头窄



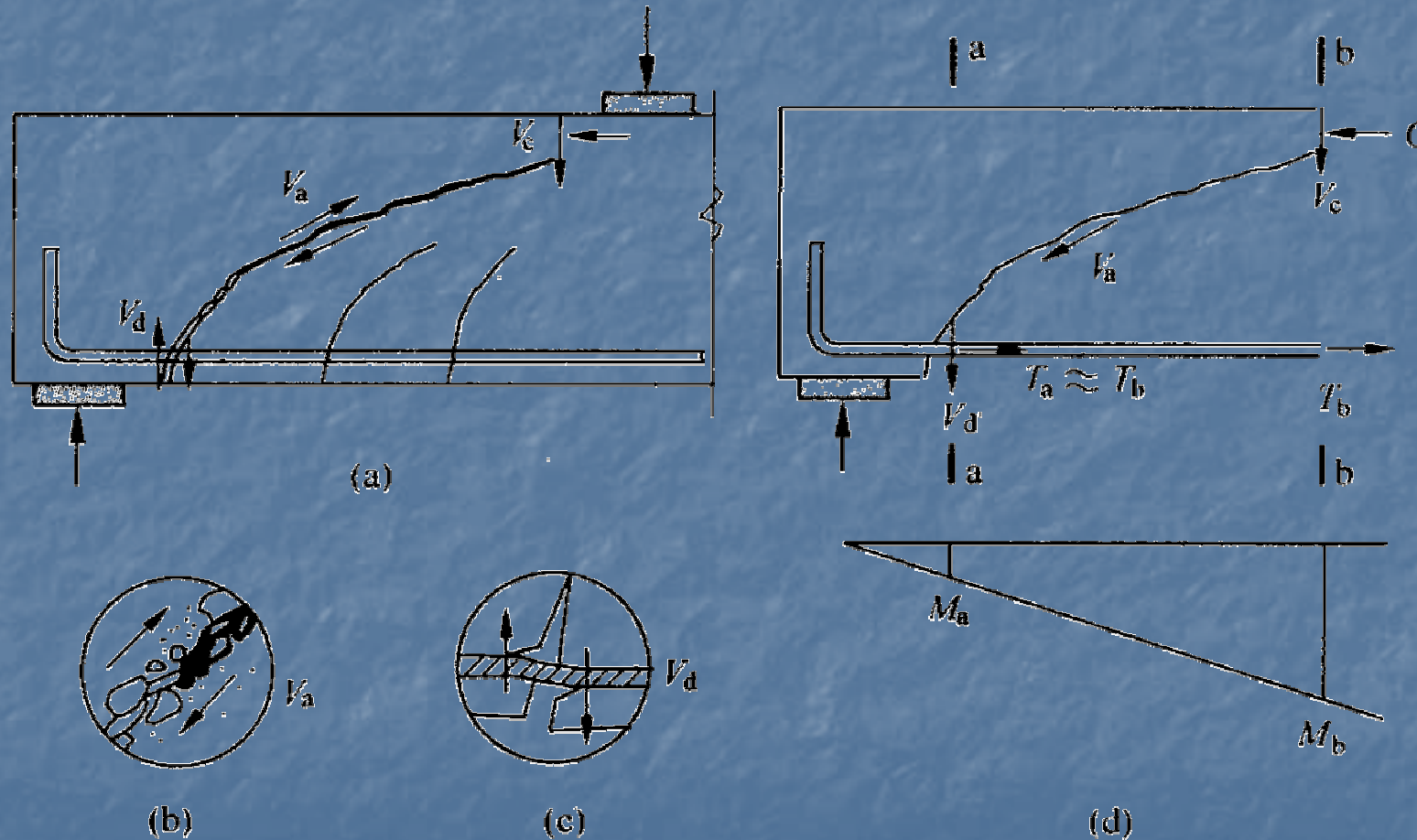
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.2 无腹筋梁受力特点和破坏形态

5.2.2 裂缝出现后应力状态

5.2.2 无腹筋梁斜裂缝出现后的应力状态



出现些裂缝的梁

脱离体受力图

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.2 无腹筋梁受力特点和破坏形态

5.2.2 裂缝出现后应力状态

◆斜裂缝出现后，受剪面积的减小使受压区混凝土剪力增大(剪压区)，成为薄弱区域。

◆斜裂缝出现后，截面**a-a** 的钢筋应力取决于临界斜裂缝顶点截面**b-b**处的 M_b ，由于 $M_b > Ma$ ，故斜裂缝出现后**a**处纵筋的拉应力将突然增大。

◆同时，销栓作用**Va**使纵筋周围的混凝土产生撕裂裂缝，削弱混凝土对纵筋的锚固作用。

◆梁由原来的梁传力机制变成拉杆拱传力机制

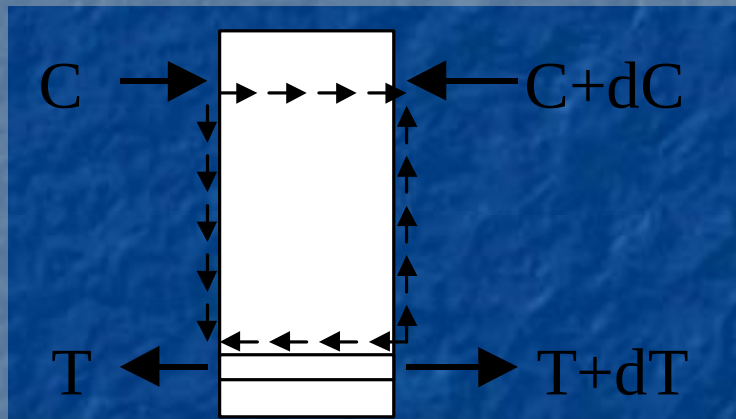
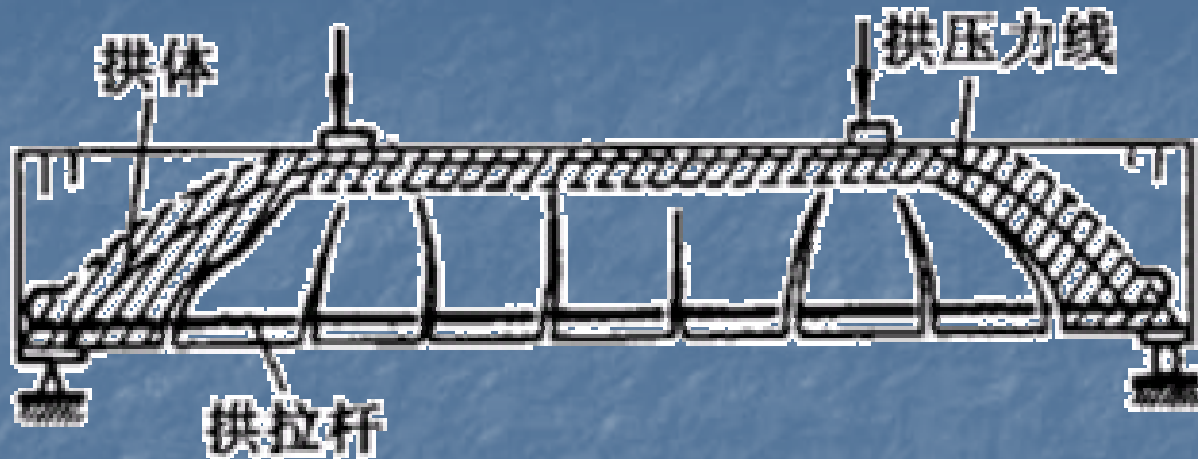


5. 受弯构件斜截面承载力计算

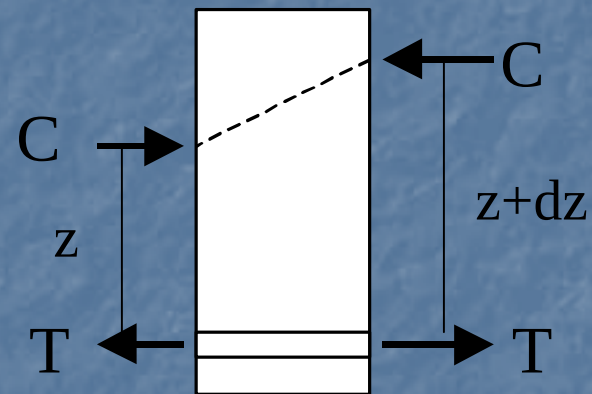
5.1 概述

5.2 无腹筋梁受力特点和破坏形态

5.2.2 裂缝出现后应力状态



梁机构

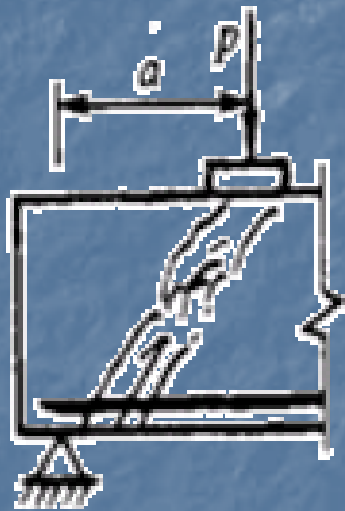


拱机构

5.2.3 无腹筋梁沿斜截面破坏的主要形态

(1) 斜压破坏

发生条件：剪跨比很小 $a/h_0 < 1$ 或 $l_0/h_0 < 3$



破坏特征：剪跨比很小，拱作用很大。荷载主要通过拱作用传递到支座；主压应力的方向沿支座与荷载作用点的连线；最后拱上混凝土在斜向压应力的作用下受压破坏。

抗剪承载力取决于混凝土的抗压强度

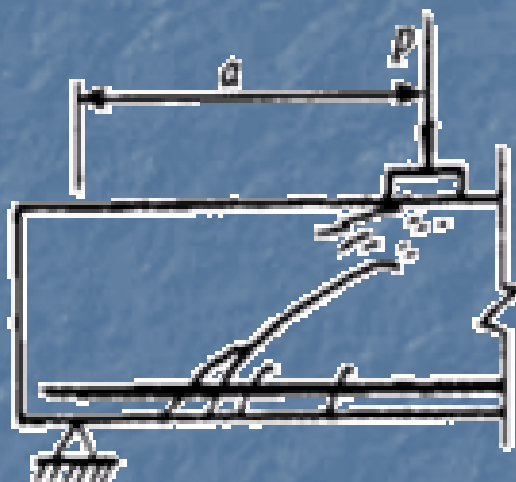
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.2 无腹筋梁受力特点和破坏形态

5.2.3 破坏的主要形态

(2) 剪压破坏



发生条件：剪跨比适中 $1 \leq a/h_0 \leq 3$ 或 $3 \leq l_0/h_0 \leq 9$

破坏特点：剪跨比较小，有一定拱作用；斜裂缝出现后，部分荷载通过拱作用传递到支座，承载力没有很快丧失，荷载可以继续增加，并出现其它斜裂缝；最后，拱顶处混凝土在剪应力和压应力的共同作用下，达到混凝土的复合受力下的强度而破坏。

抗剪承载力主要取决于混凝土在复合应力下的抗压强度

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

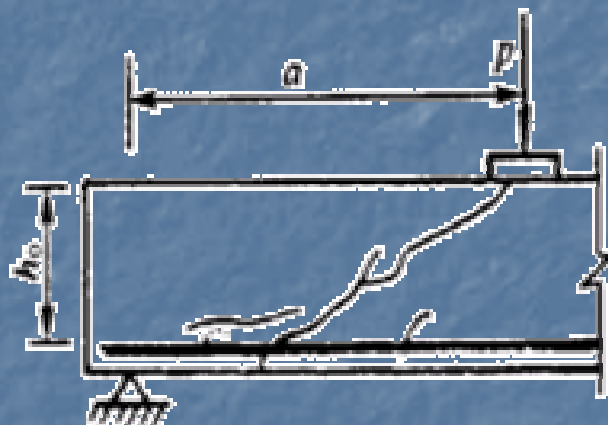
5.2 无腹筋梁受力特点和破坏形态

5.2.3 破坏的主要形态

(3) 斜拉破坏

发生条件：剪跨比较大， $a/h_0 > 3$ 或 $l_0/h_0 > 9$

破坏特点：剪跨比 l 较大，主压应力角度较小，拱作用较小；剪力主要依靠拉应力（梁作用）传递到支座；一旦出现斜裂缝，就很快形成临界斜裂缝，荷载传递路线被切断，承载力急剧下降，脆性性质显著；破坏是由于混凝土（斜向）拉坏引起的，称为斜拉破坏。



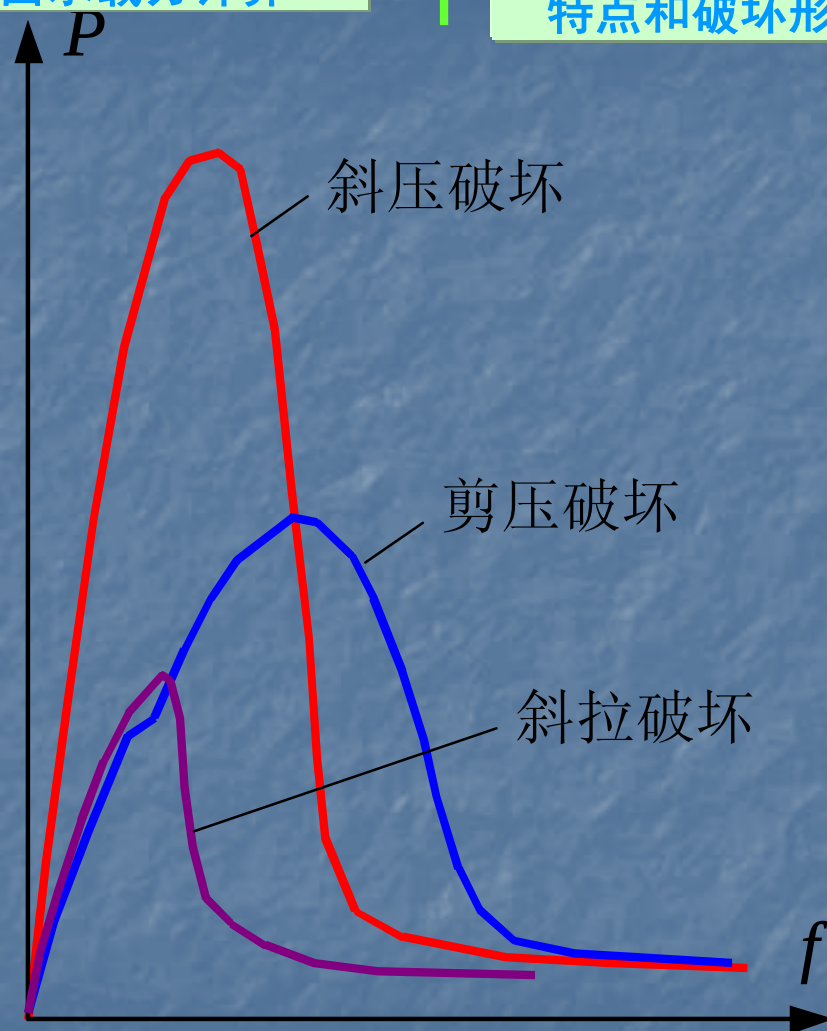
抗剪承载力取决于混凝土的抗拉强度。

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.2 无腹筋梁受力特点和破坏形态

5.2.3 破坏的主要形态



无腹筋梁的受剪破坏都是脆性的

◆斜拉破坏为受拉脆性破坏，脆性性质最显著；

◆斜压破坏为受压脆性破坏；

◆剪压破坏介于受拉和受压脆性破坏之间。

不同破坏形态的原因主要是由于传力路径的变化引起应力状态的不同而产生的

5. 受弯构件斜截面承载力计算

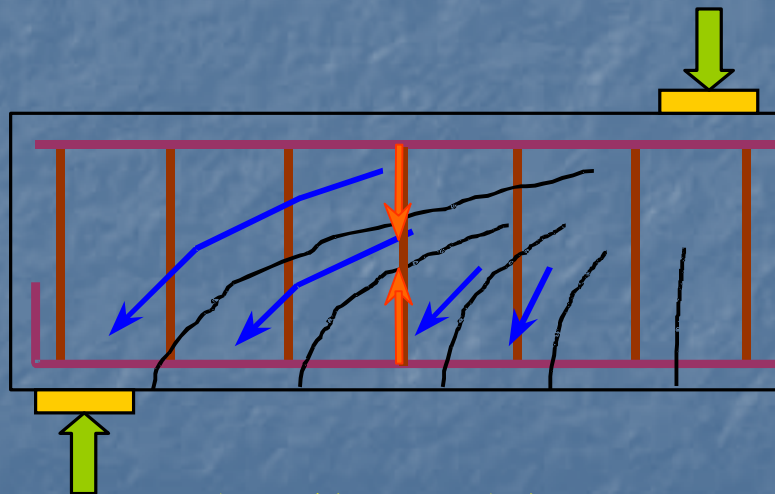
5.1 概述

5.3 有腹筋梁受力特点和破坏形态

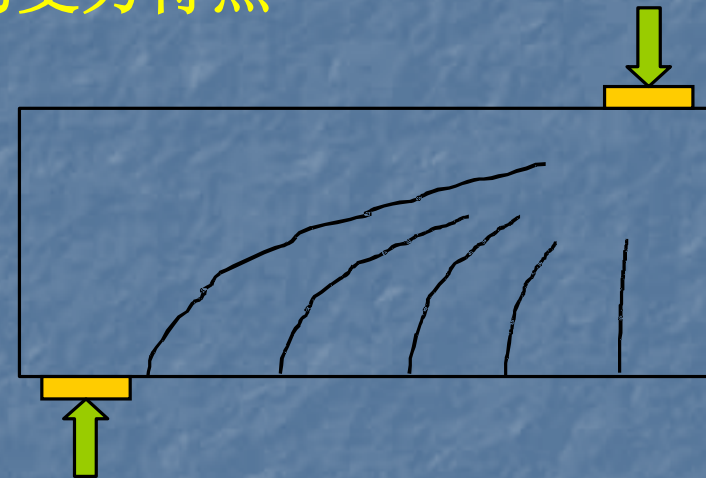
5.3.1 受力特点

5.3 有腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态

5.3.1 有腹筋梁斜裂缝出现前后的受力特点



有腹筋梁传力机理



无腹筋梁传力机理



5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.3 有腹筋梁受力特点和破坏形态

5.3.1 受力特点

- ◆ 梁中配置箍筋，出现斜裂缝后，梁的剪力传递机构由原来无腹筋梁的拉杆拱传递机构转变为桁架与拱的复合传递机构；
- ◆ 斜裂缝间齿状体混凝土有如斜压腹杆，箍筋的作用有如竖向拉杆，临界斜裂缝上部及受压区混凝土相当于受压弦杆，纵筋相当于下弦拉杆。
- ◆ 箍筋将齿状体混凝土传来的荷载悬吊到受压弦杆，增加了混凝土传递受压的作用
- ◆ 斜裂缝间的骨料咬合作用，还将一部分荷载传递到支座（拱作用）。



5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1概述

5.3有腹筋梁受力特点和破坏形态

5.3.2破坏形态

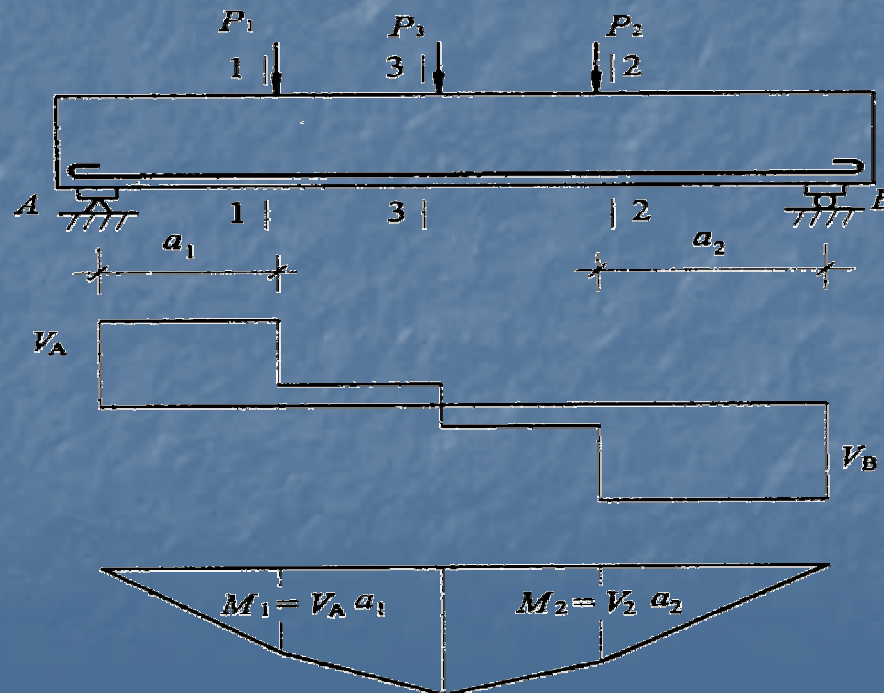
5.3.2有腹筋梁沿斜截面破坏的形态

5.4 影响斜截面受剪承载力的主要因素

5.4.1 剪跨比

广义剪跨比

计算剪跨比



$$l_1 = \frac{M_1}{V_A h_0} = \frac{V_A a_1}{V_A h_0} = \frac{a_1}{h_0}$$

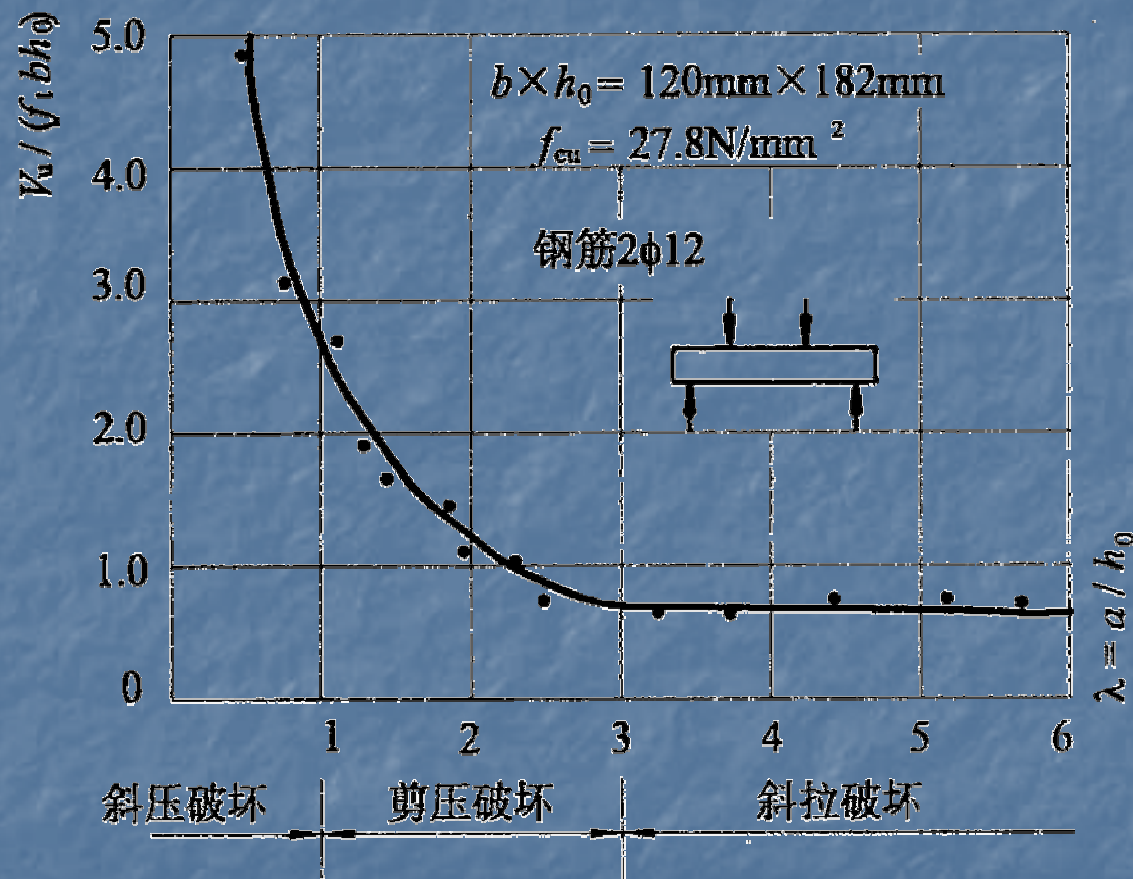
$$l_2 = \frac{M_2}{V_B h_0} = \frac{V_B a_2}{V_B h_0} = \frac{a_2}{h_0}$$

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.4 影响承载力的主要因素

5.4.1 剪跨比



剪跨比的影响

5.4.2 混凝土强度

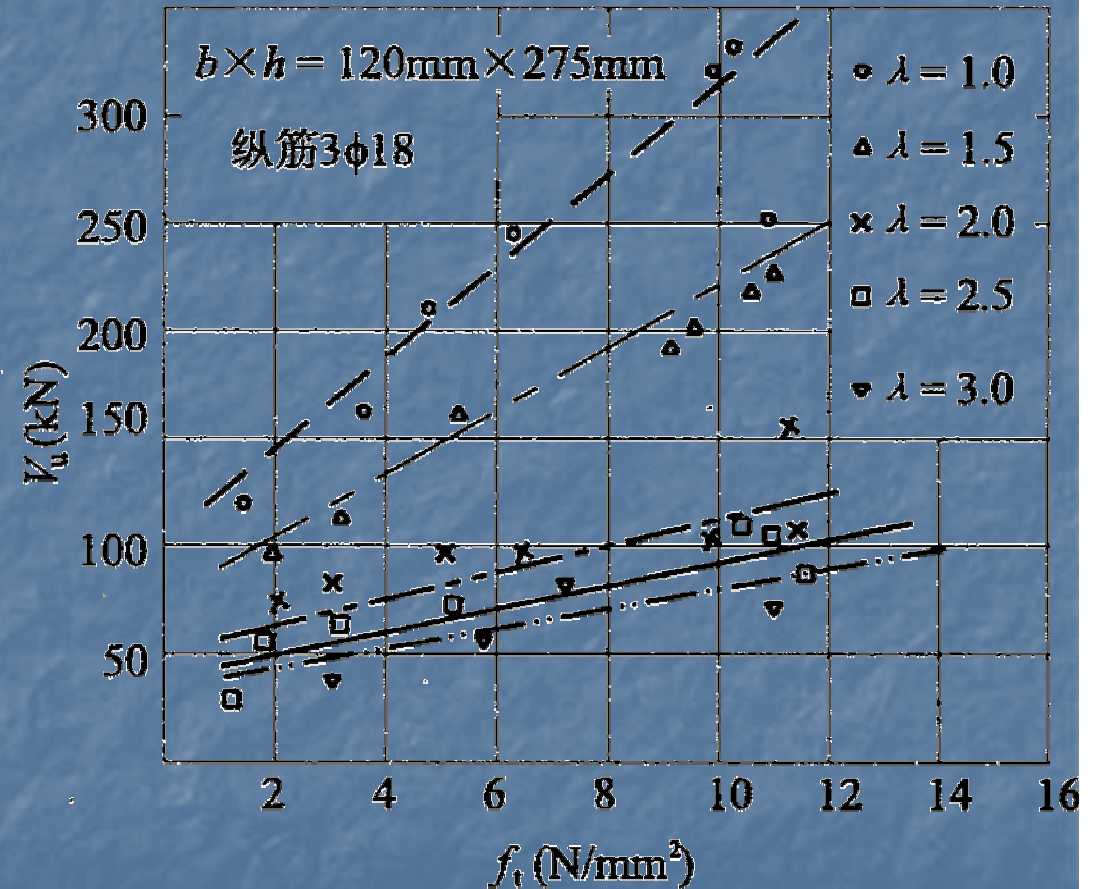
◆ 剪切破坏是由于混凝土达到复合应力（剪压）状态下强度而发生的。所以混凝土强度对受剪承载力有很大的影响。

◆ 试验表明，随着混凝土强度的提高， V_u 与 f_t 近似成正比。

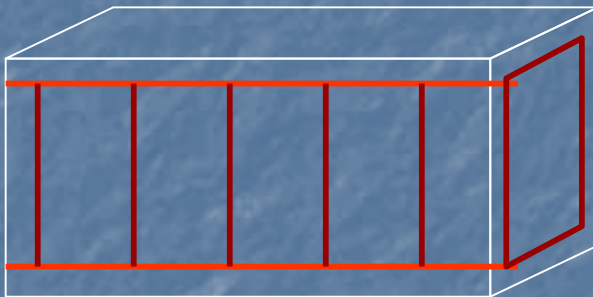
◆ 事实上，斜拉破坏取决于 f_t ，剪压破坏也基本取决于 f_t ，只有在剪跨比很小时的斜压破坏取决于

f_c 。

混凝土的强度提高 → 抗剪承载力提高



5.4.3配箍率和箍筋强度



$$r_{sv} = \frac{A_{sv}}{bs} = \frac{nA_{sv1}}{bs}$$

剪跨比 配箍率	$\lambda < 1$	$1 < \lambda < 3$	$\lambda > 3$
无腹筋	斜压破坏	剪压破坏	斜拉破坏
r_{sv} 很小	斜压破坏	剪压破坏	斜拉破坏
r_{sv} 适量	斜压破坏	剪压破坏	剪压破坏
r_{sv} 很大	斜压破坏	斜压破坏	斜压破坏

在一定的范围内，腹筋配筋率增大



抗剪承载力提高

5.4.4纵向钢筋的配筋率

纵筋配筋率越大，受压区面积越大，受剪面积也越大，并使纵筋的销栓作用也增加。同时，增大纵筋面积还可限制斜裂缝的开展，增加斜裂缝间的骨料咬合力作用。

5.4.5截面形式 和尺寸效应

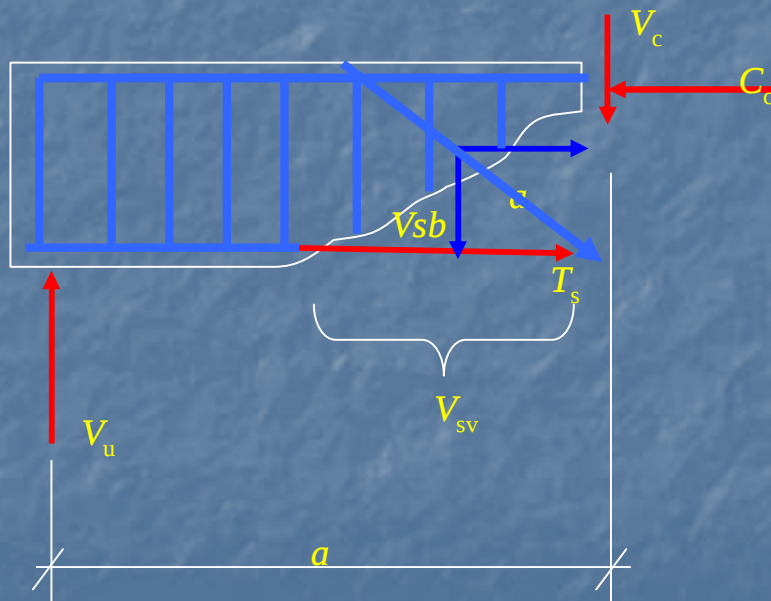
◆T形截面有受压翼缘，增加了剪压区的面积，对斜拉破坏和剪压破坏的受剪承载力有提高（20%），但对斜压破坏的受剪承载力并没有提高

◆梁高度很大时，撕裂裂缝比较明显，销栓作用大大降低，斜裂缝宽度也较大，削弱了骨料咬合作用。试验表明，在保持参数 f_c 、 r 、 l 相同的情况下，截面尺寸增加4倍，受剪承载力降低25%~30%。

5.5 受弯构件斜截面承载力计算公式

5.5.1 建立计算公式的原则

剪压破坏时，斜截面所承受的剪力由三部分组成



$$V_u = V_c + V_{sv} + V_{sb}$$

当不配弯起钢筋时

$$V_u = V_c + V_{sv}$$

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.5 承载力计算公式

5.5.2 无腹筋梁计算公式原则

5.5.2 无腹筋梁受剪承载力计算公式

(1) 对矩形、T形和 I 形截面的一般受弯构件，受剪承载力设计值可按下列公式计算

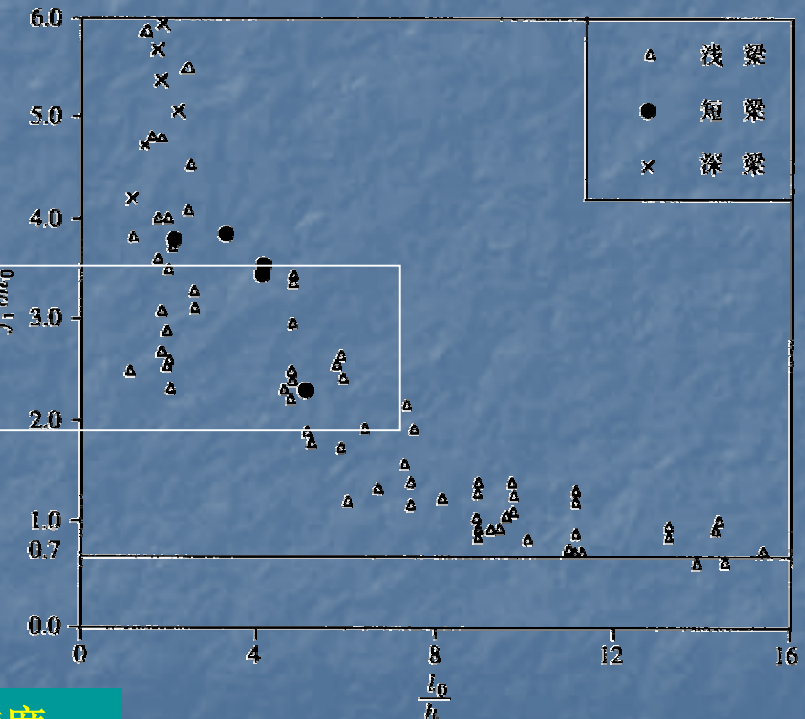
$$V_c = 0.7 b_h f_t b h_0$$

V ----剪力设计值

----截面高度影响系数

b ——矩形截面的宽度或T形截面和 I 形截面的腹板宽度

均部荷载作用下无腹筋梁受剪承载力



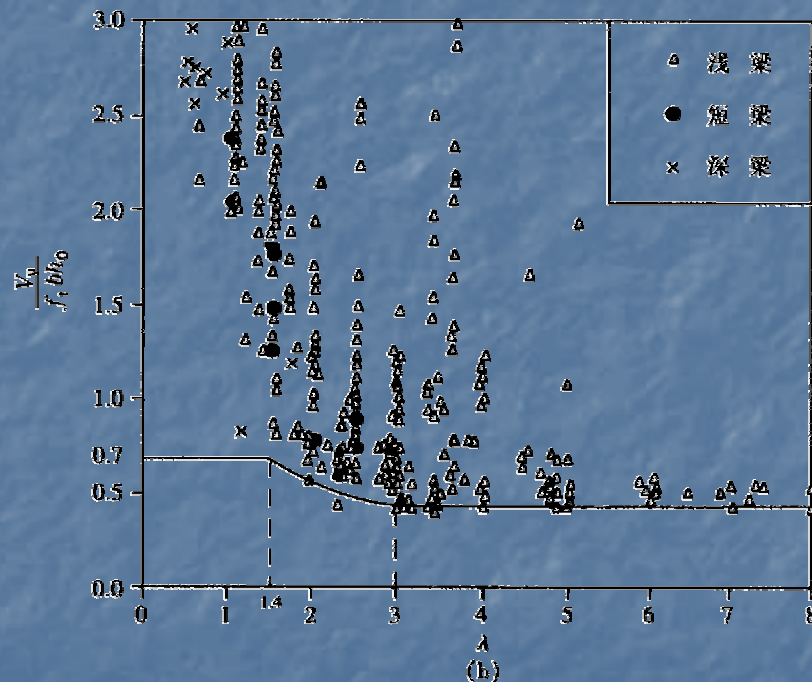
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.5 承载力计算公式

5.5.2 无腹筋梁计算公式原则

(2) 集中荷载作用下的矩形、T形和 I 形截面独立梁（包括作用有多种荷载，且集中荷载在支座截面所产生的剪力值占总剪力值的75%以上的情况），受剪承载力设计值应按下列公式计算：



$$V_c = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} b_h f_t b h_0$$

$$\lambda = \frac{a}{h_0}$$

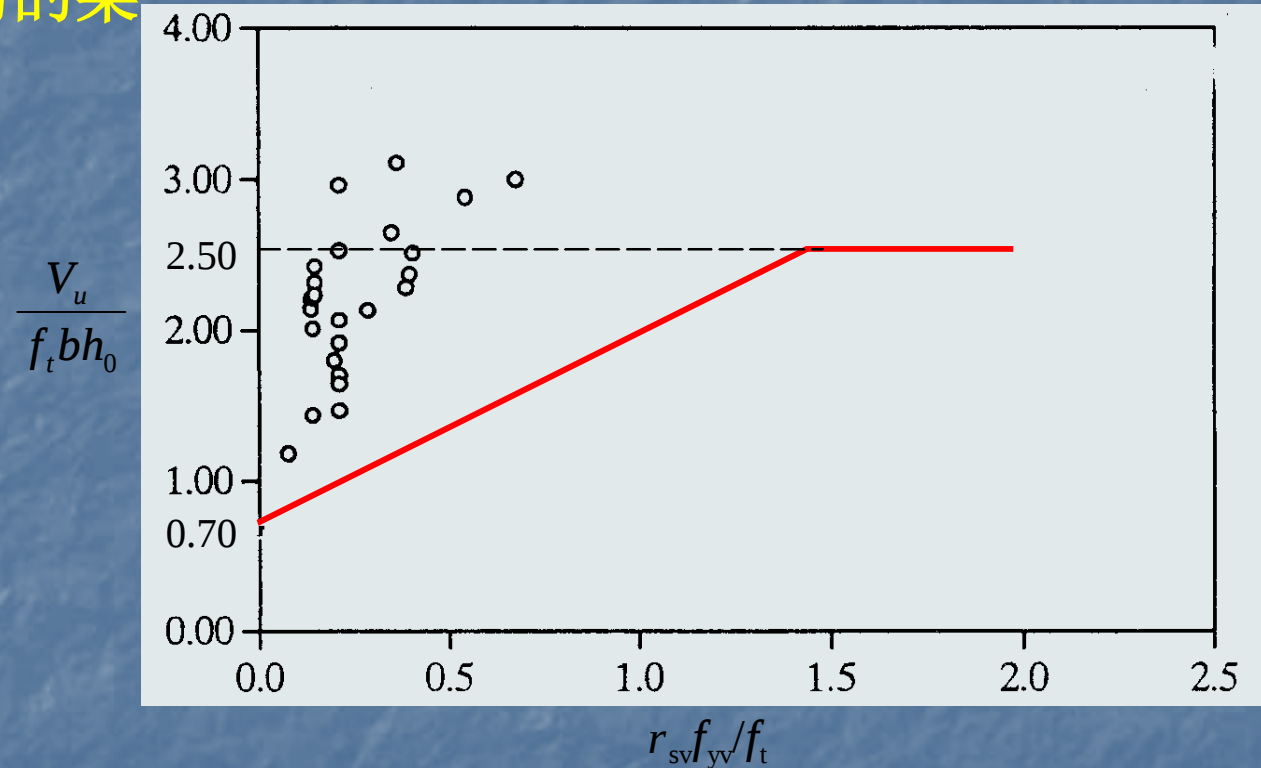
当 $\lambda < 1.5$ 时，取 $\lambda = 1.5$ ，
当 $\lambda > 3$ 时，取 $\lambda = 3$ 。

a 为集中荷载作用点到支座或节点边缘的距离。

集中荷载作用下无腹筋梁受剪承载力试验结果

5.5.3 有腹筋梁受剪承载力计算公式

(1) 配置箍筋的梁



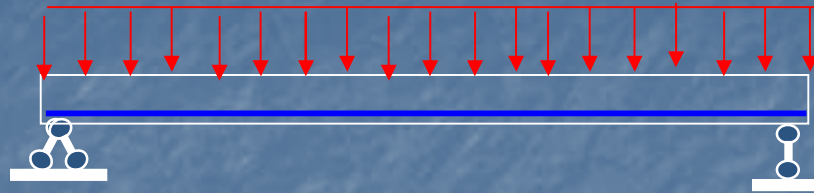
矩形、T形和工形截面的一般受弯构件有腹筋梁受剪承载力试验结果

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.5 承载力计算公式

5.5.3 有腹筋梁计算公式原则



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

矩形、T形、I形截面的一般受弯构件

V ---构件斜截面上的最大剪力设计值

V_{cs} ---构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值

A_{sv} ---配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积

s ---沿构件长度方向上箍筋的间距

f_{yv} ---箍筋抗拉强度设计值

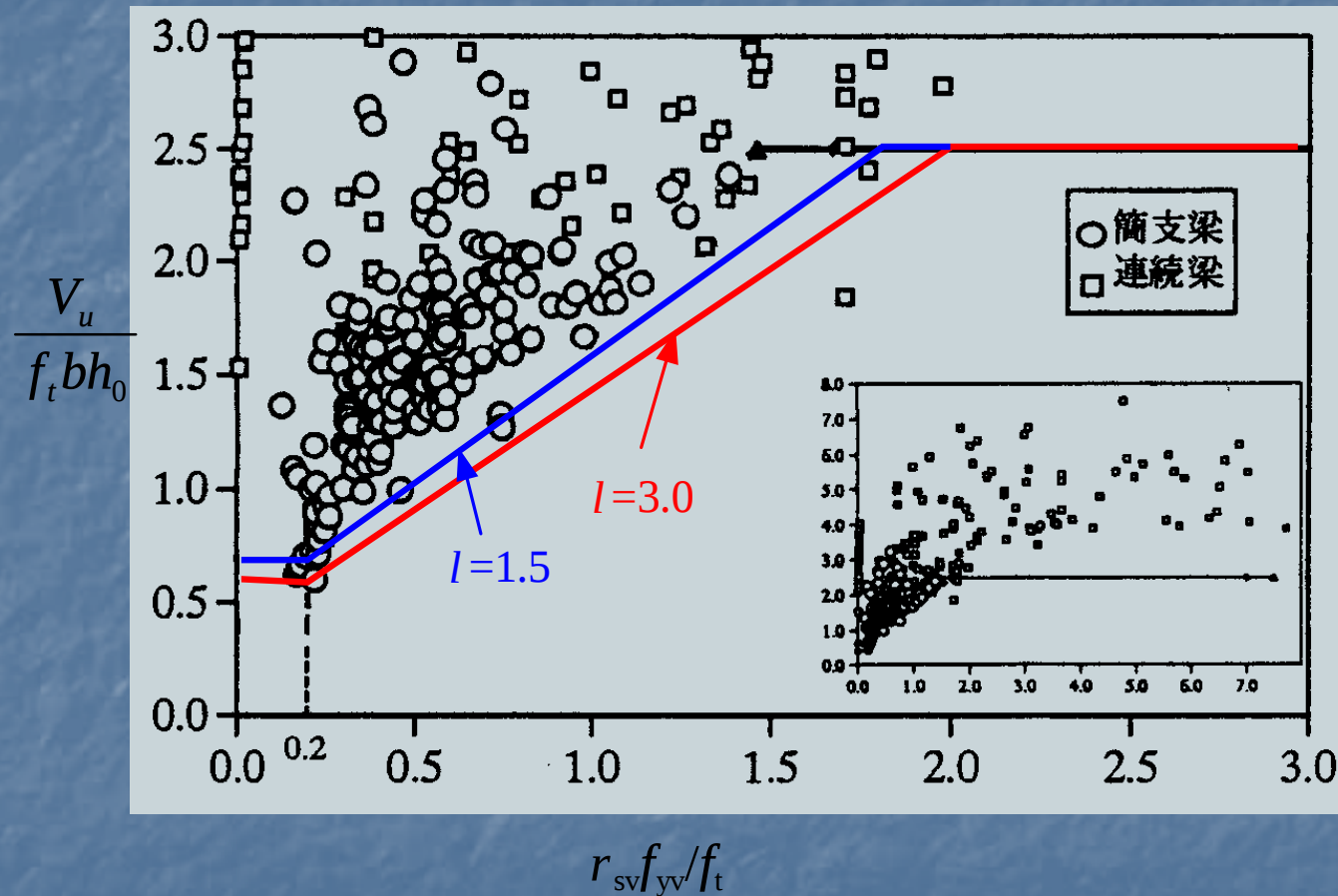
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.5 承载力计算公式

5.5.3 有腹筋梁计算公式原则

集中荷载作用下的独立梁



集中荷载作用下截面的一般受弯构件有腹筋梁受剪承载力试验结果

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

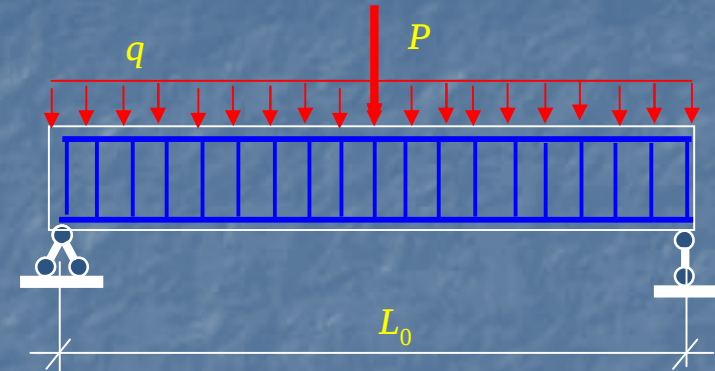
5.5 承载力计算公式

5.5.3 有腹筋梁计算公式原则

$$V \leq V_{cs} = \frac{1.75}{l + 1.0} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$$



集中荷载下或集中荷载引起的支座边缘的剪力占总剪力75%以上的独立梁



V ---构件斜截面上的最大剪力设计值

V_{cs} ---构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值

A_{sv} ---配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积

s ---沿构件长度方向上箍筋的间距

f_{yv} ---箍筋抗拉强度设计值

i ---计算截面的剪跨比

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.5 承载力计算公式

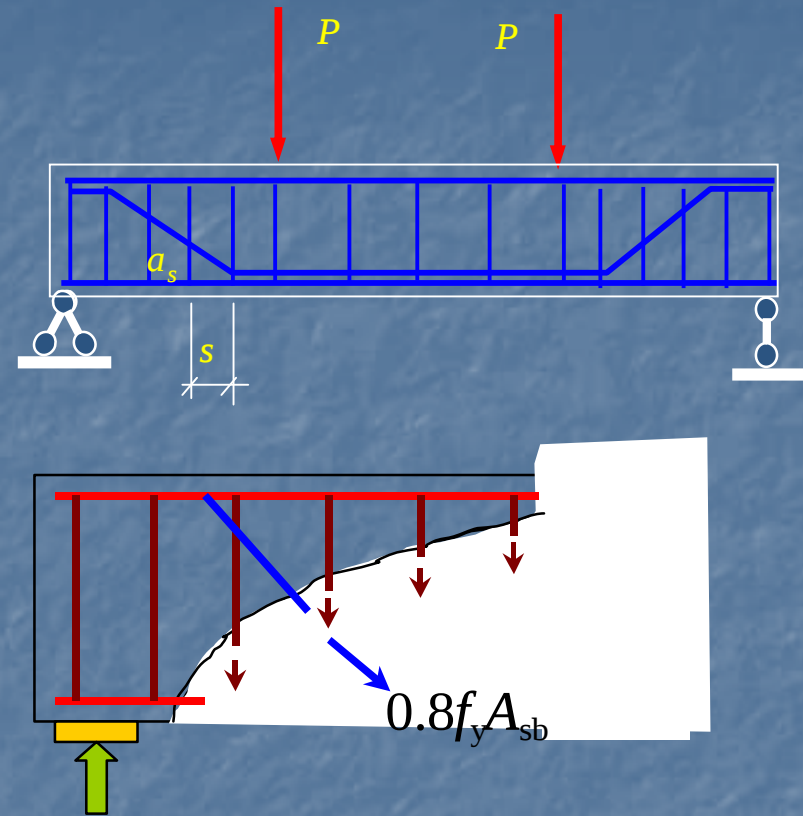
5.5.3 有腹筋梁计算公式原则

(2) 配置弯筋和箍筋的梁

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



考虑到弯筋位于斜裂缝顶端时达不到屈服强度而引入的修正系数



V_{Cb} ---同一弯起平面内弯起钢筋的截面面积

f_y ---弯起钢筋的抗拉强度设计值

a -- 为弯起钢筋与构件轴线的夹角，一般取

$45\sim 60^\circ$ 。

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.5 承载力计算公式

5.5.3 有腹筋梁计算公式原则

① 矩形、T形和工形截面的一般受弯构件有腹筋梁受剪承载力计算公式

$$V = V_{cs} + V_{sb} = 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha_s$$

② 集中荷载作用下的独立梁

$$V = V_{cs} + V_{sb} = \frac{1.75}{l + 1.0} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha_s$$

5.5.4公式的适用范围

(1)上限值——最小截面尺寸和最大配筋率

矩形截面取 h_0 ；T形取 h_0-h_f' ；I形取 $h-h_f'-h_f$

当 $h_w/b \leq 4$ 时 $\longrightarrow V_u \leq V_{u\max} = 0.25b_c f_c b h_0$

当 $h_w/b > 6$ 时 $\longrightarrow V_u \leq V_{u\max} = 0.20b_c f_c b h_0$

当 $4 < h_w/b \leq 6$ 时 $\longrightarrow$ 按线性插值

h_w 截面腹板高度：矩形截面取 $h_w = h_0$ T形截面取 $h_w = h_0 - h_f'$
工形截面取 $h_w = h_0 - h_f' - h_f$

b 为矩形截面的宽度或T形截面和工形截面的腹板宽度

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.5 承载力计算公式

5.5.4 公式的适用范围

(2) 下限值——最小配箍筋率和箍筋的构造规定

- ◆ 当配箍率小于一定值时，斜裂缝出现后，箍筋因不能承担斜裂缝截面混凝土退出工作释放出来的拉应力，而很快达到屈服，其受剪承载力与无腹筋梁基本相同。
- ◆ 当剪跨比较大时，可能产生斜拉破坏。
- ◆ 为防止这种少筋破坏，《规范》规定当 $V > 0.7f_t b h_0$ 时，配箍率应满足

$$r_{sv} = \frac{A_{sv}}{bs} \geq r_{sv, \min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}}$$

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1概述

5.5承载力计算公式

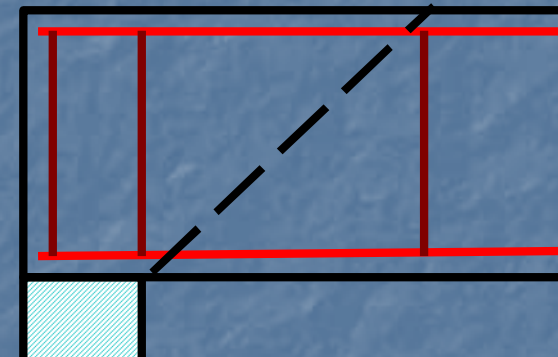
5.5.4公式的适用范围

梁中箍筋最大间距 $s_{\max}(\text{mm})$

梁高 $h(\text{mm})$	$V > 0.7f_tbh_0$	$V \leq 0.7f_tbh_0$
$150 < h \leq 300$	150	200
$300 < h \leq 500$	200	300
$500 < h \leq 800$	250	350
$h > 800$	300	400

梁中箍筋最小直径(mm)

梁高 $h(\text{mm})$	箍筋直径
$h \leq 250$	4
$250 < h \leq 800$	6
$h > 800$	8



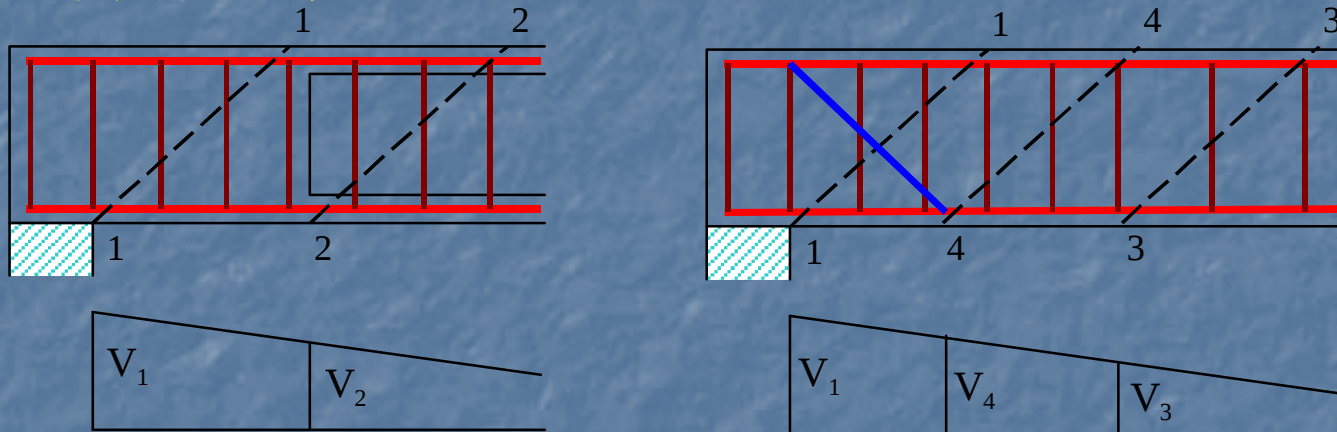
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.5 承载力计算公式

5.5.5 计算截面位置

5.5.5 计算截面位置



斜截面受剪承载力的计算位置

- (1) 支座边缘截面（1-1）；
- (2) 腹板宽度改变处截面（2-2）；
- (3) 箍筋直径或间距改变处截面（3-3）；
- (4) 受拉区弯起钢筋弯起点处的截面（4-4）。

5.8 受弯构件斜截面承载力的计算方法

5.8.1 截面设计

钢筋混凝土梁一般先进行正截面承载力设计，初步确定截面尺寸和纵向钢筋后，再进行斜截面受剪承载力设计计算。

◆ 具体计算步骤如下：

(1) 验算截面尺寸是否满足要求

$$V \leq V_{u\max} = (0.2 \sim 0.25)b_c f_c b h_0 \quad \longrightarrow \quad \text{若不满足调整截面尺寸}$$

(2) 判别是否需要按设计计算配置腹筋

$$V \leq V_c = 0.7b_c f_c b h_0 \quad \longrightarrow \quad \text{按构造配置腹筋}$$

N  按设计配置腹筋

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.8 承载力计算方法

5.8.1 截面设计

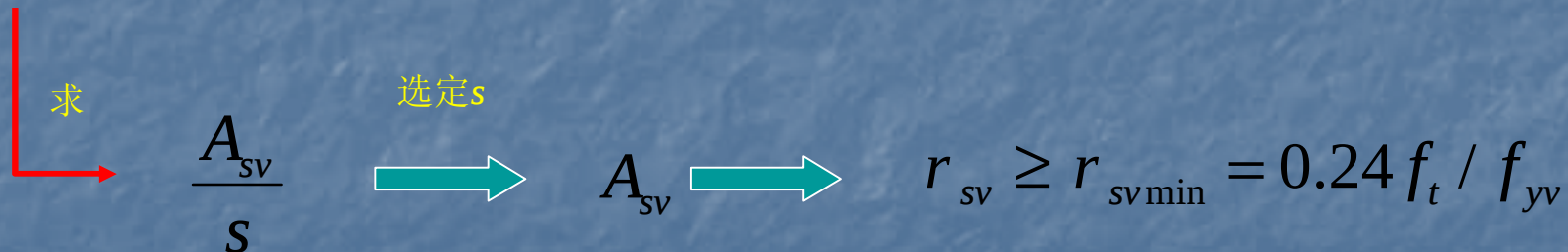
(3) 根据 A_{sv}/s 计算值确定箍筋肢数、直径和间距，并应满足最小配箍率、箍筋最大间距和箍筋最小直径的要求。

一般受弯构件

$$\frac{nA_{sv1}}{s} = \frac{V - 0.7 f_t b h_0}{1.25 f_{yv} h_0}$$

集中荷载作用下的独立梁

$$\frac{nA_{sv1}}{s} = \frac{V - \frac{1.75}{l + 1.0} f_t b h_0}{f_{yv} h_0}$$



5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.8 承载力计算方法

5.8.2 截面校核

(4) 计算弯起钢筋

$$A_{sb} \geq \frac{V - V_{cs}}{0.8 f_v \sin \alpha_s}$$

预先选定

5.8.2 截面校核

当已知此材料强度、截面尺寸、箍筋数量以及弯起钢筋的截面面积，要求校核截面所能承受的剪力 v ，只要将各已知数据代入公式，即可求解。

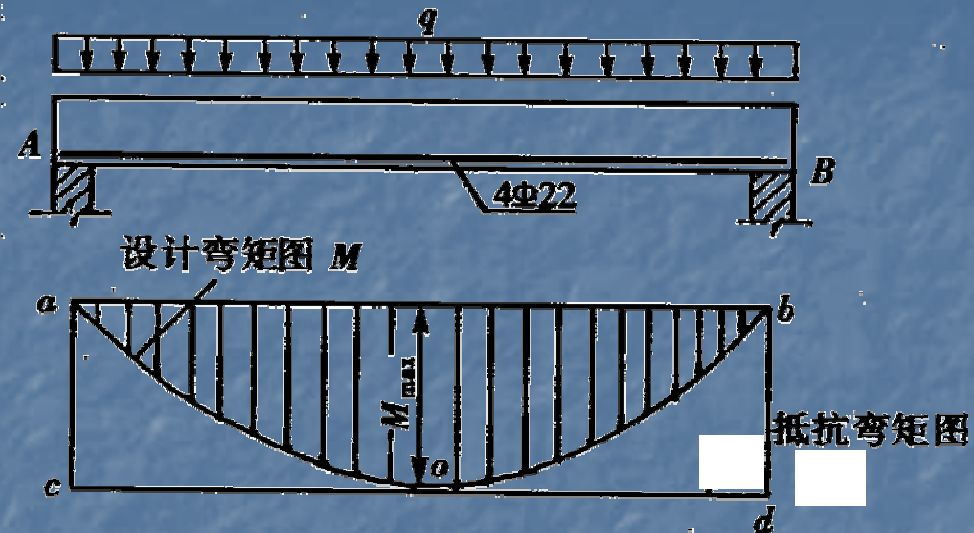
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.9 纵向钢筋的弯起和截断

5.9 纵向钢筋的弯起和截断

斜截面受弯承载力总能满足



简支梁的设计弯矩图和材料抵抗弯矩图



异常情况

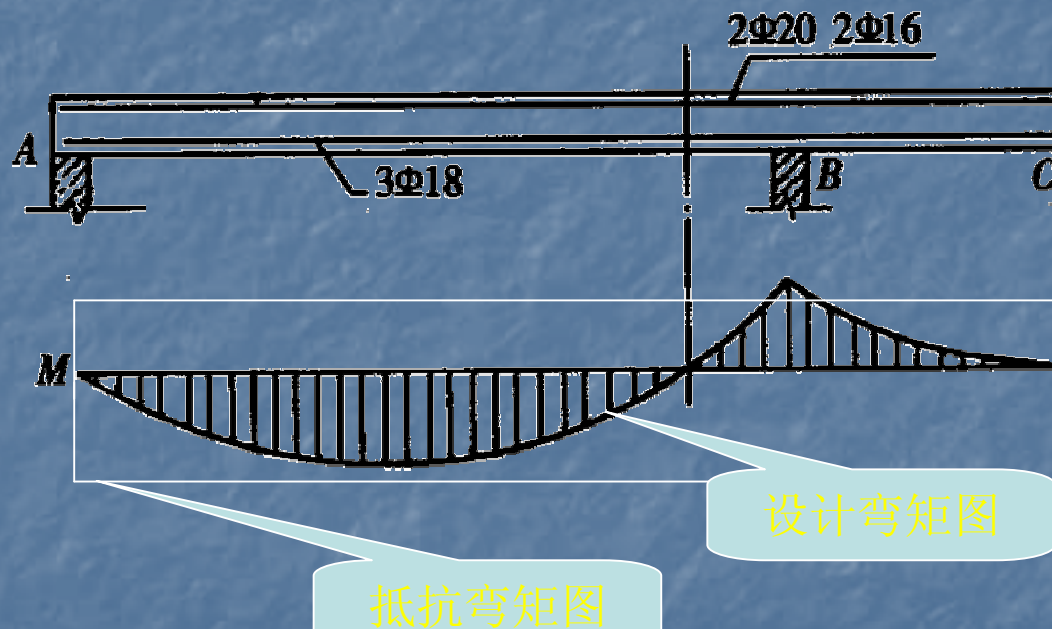
支座处纵筋锚固不足

纵筋弯起、切断不当

需采取构造措施

5.9.1 材料抵抗弯矩图

材料抵抗弯矩图是按照梁实配的纵向钢筋的数量计算并画出的各截面所能抵抗的弯矩图。



伸臂梁的设计弯矩及配筋图

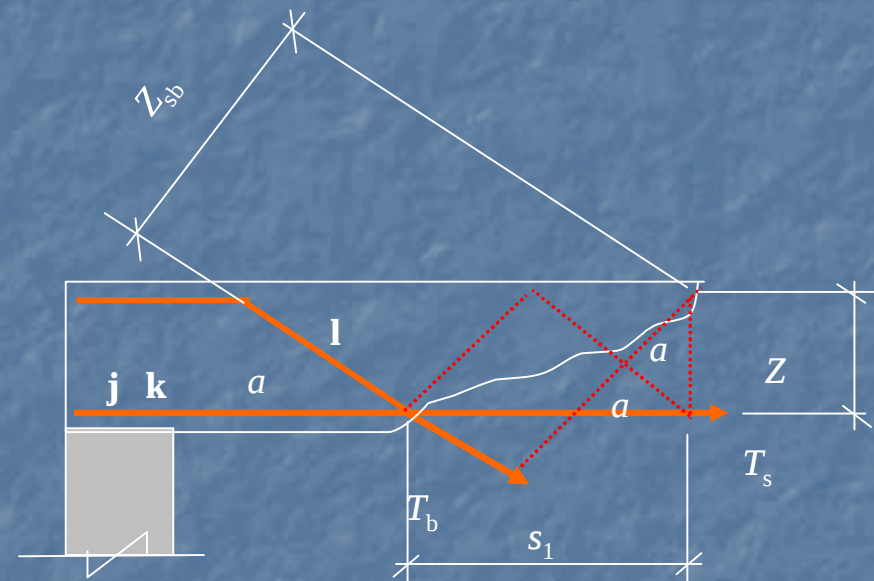
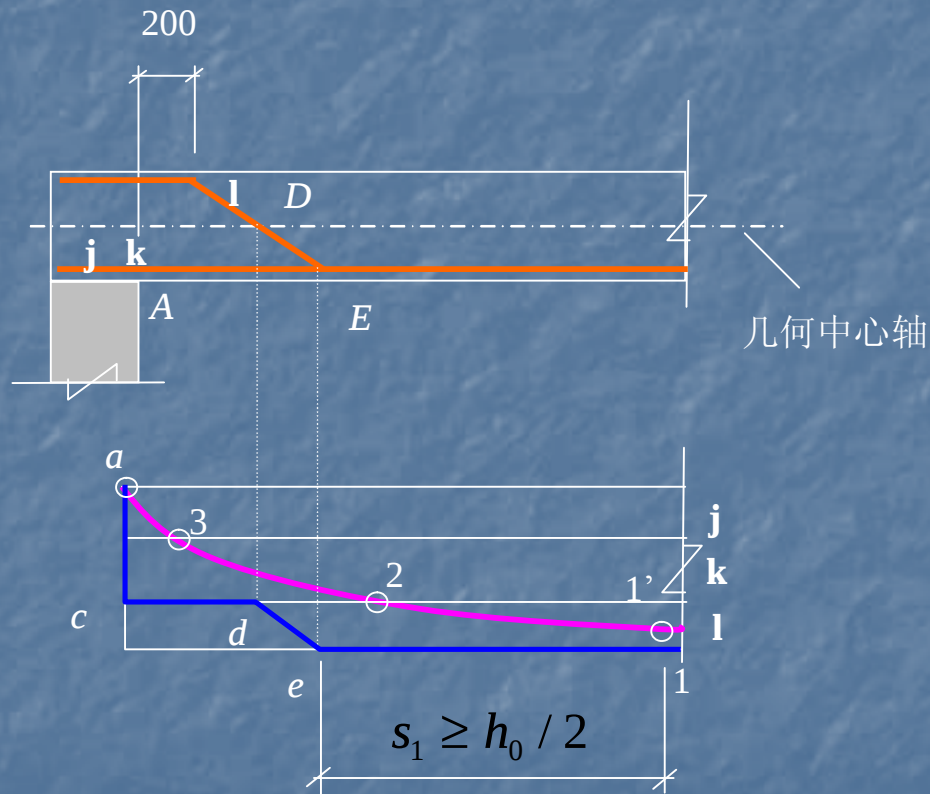
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.9 纵向钢筋的弯起和截断

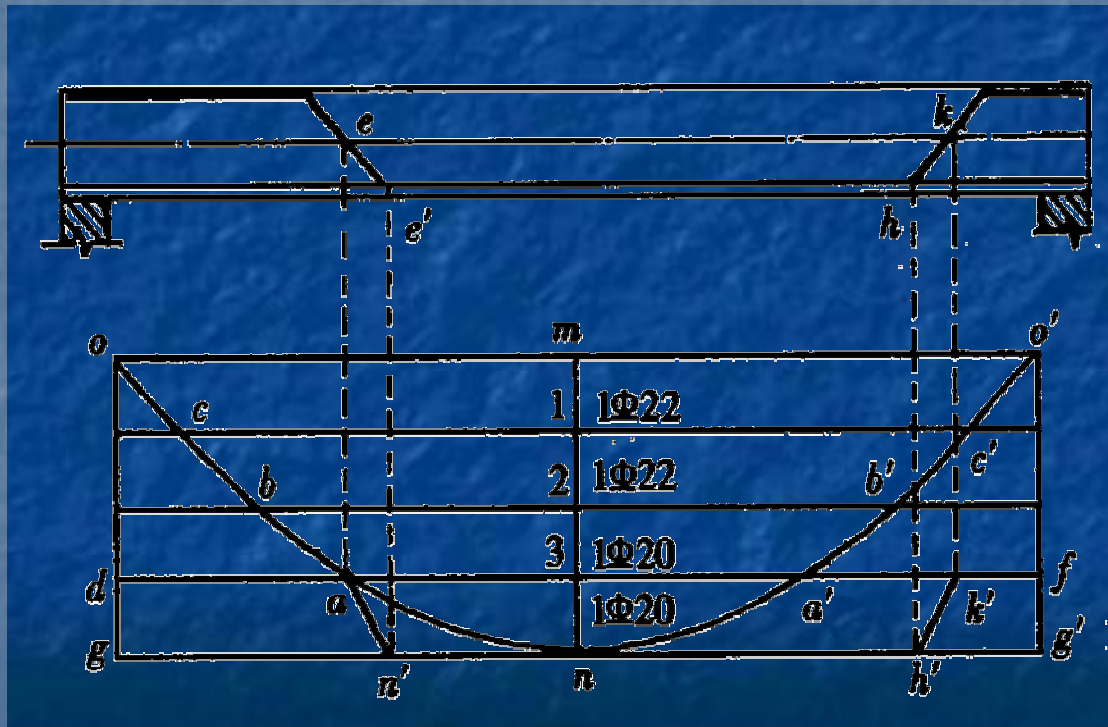
5.9.1 材料抵抗弯矩图

简支梁的材料抵抗弯矩图



5.9.2纵筋弯起的构造要求

(1)纵向钢筋弯起后正截面应有足够的抗弯能力——抵抗弯矩图包住设计弯矩图



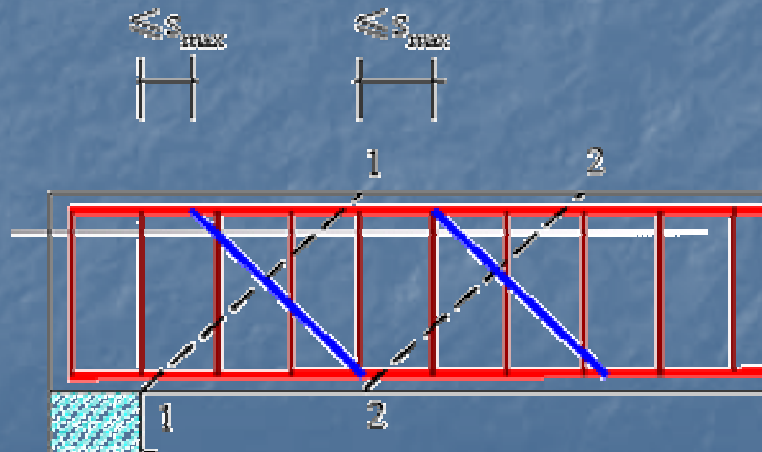
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

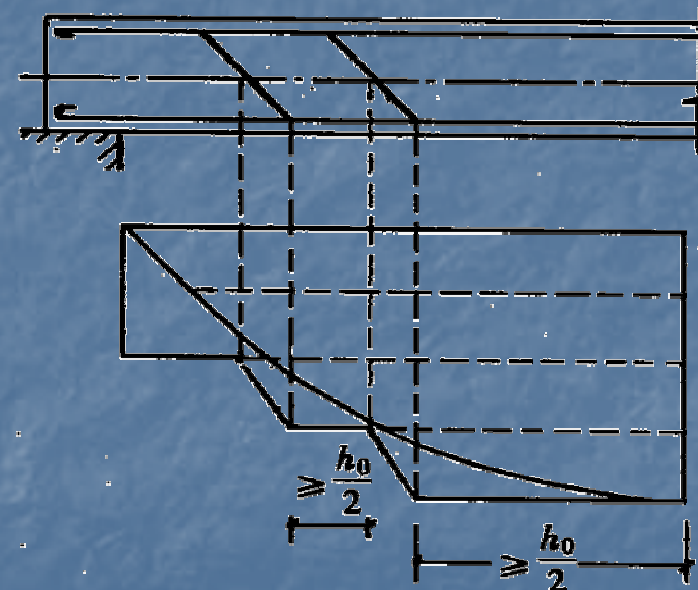
5.9 纵向钢筋的弯起和截断

5.9.2 纵筋弯起的构造要求

(2) 保证斜截面的受剪承载力
当弯起钢筋是按计算设置时，前一排(相对于支座)弯起筋的弯终点至后一排弯起筋弯起点的水平距离不应大于表4-3规定的箍筋最大间距



(3) 纵向钢筋弯起后斜截面应有足够的抗弯能力——纵向钢筋的弯起点应设在该钢筋的“充分利用点”截面以外不小于 $h_0 / 2$ 处



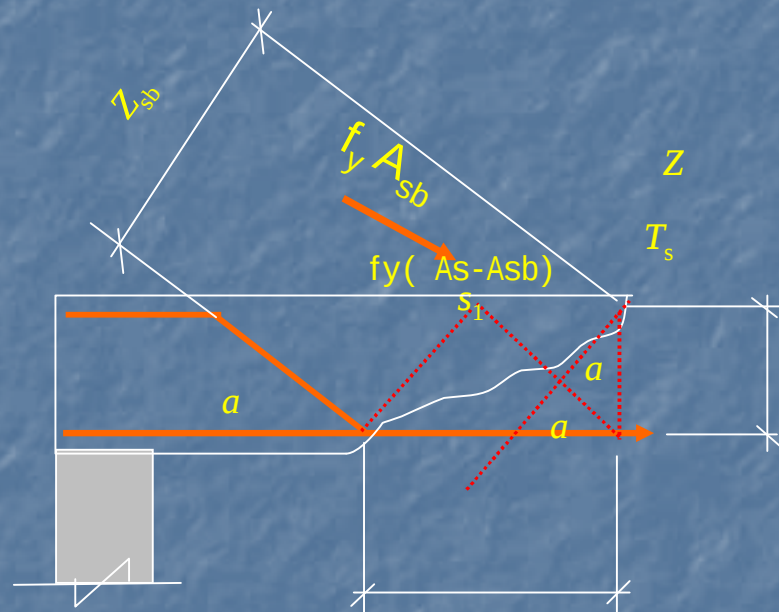
5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.9 纵向钢筋的弯起和截断

5.9.2 纵筋弯起的构造要求

弯起后



$$M_{UA} = f_y (A_s - A_{sb}) z + f_y A_{sb} Z_{sb}$$



保证不发生斜截面破坏

$$Z_{sb} = s_1 \sin a + Z \cos a \geq Z$$

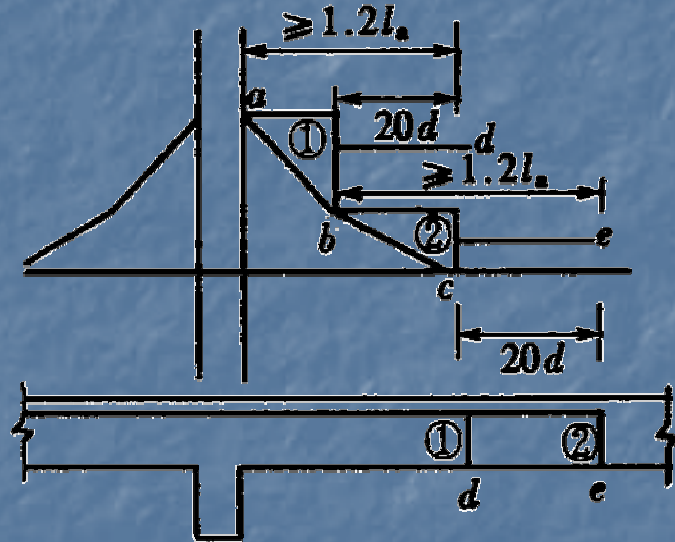


$$s_1 \geq \frac{Z(1 - \cos a)}{\sin a}$$

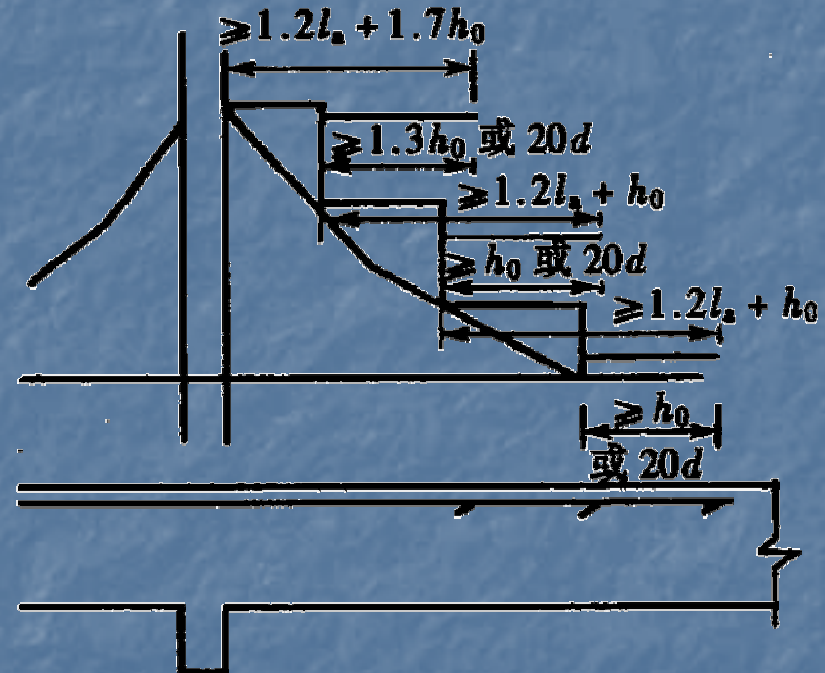
5.9.3 纵筋钢筋的截断和锚固

(1) 纵向受力钢筋的截断和锚固

① 纵向受力钢筋的截断



$V \leq 0.7f_t b h_0$ 时的钢筋截断



$V > 0.7f_t b h_0$ 时的钢筋截断

② 纵向受力钢筋的锚固

钢筋混凝土简支梁的下部纵向受力钢筋，其伸入支座范围内的锚固长 l_{as} 应符合下列规定

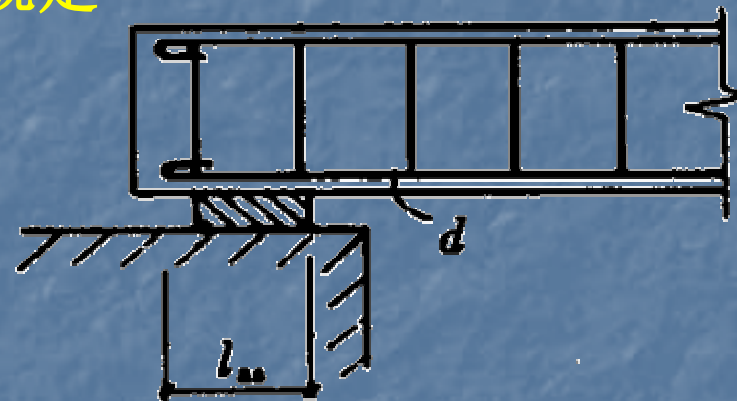
当 $V \leq 0.7 f_t b h_o$ 时：

$$l_{as} \geq 5d$$

当 $V > 0.7 f_t b h_o$ 时：

带肋钢筋 $l_{as} \geq 12d$

光面钢筋 $l_{as} \geq 15d$



5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.9 纵向钢筋的弯起和截断

5.9.3 纵筋的截断和锚固

(2) 框架梁或连续梁的下部纵向钢筋在中节点或中间支座的锚固要求

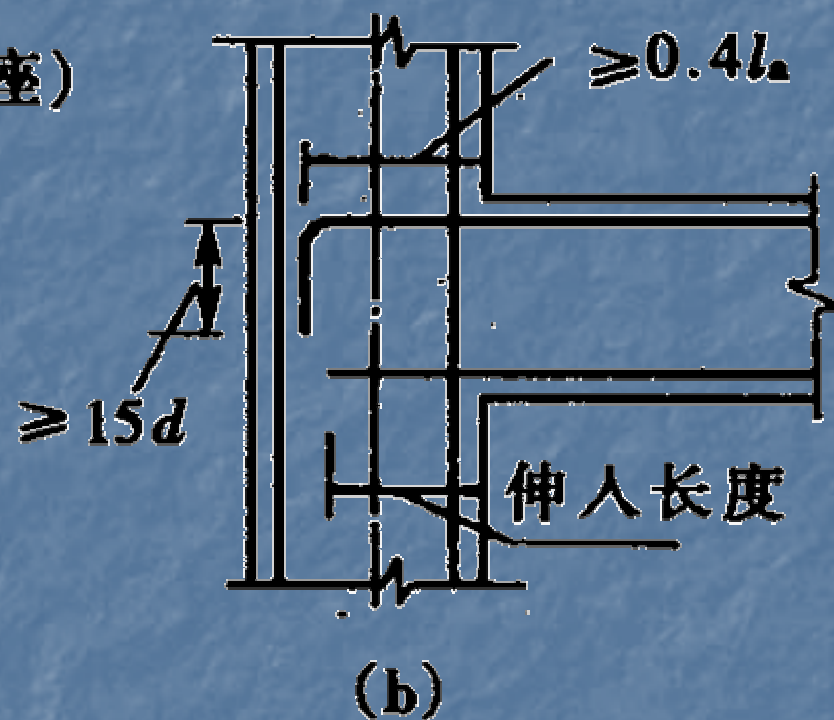
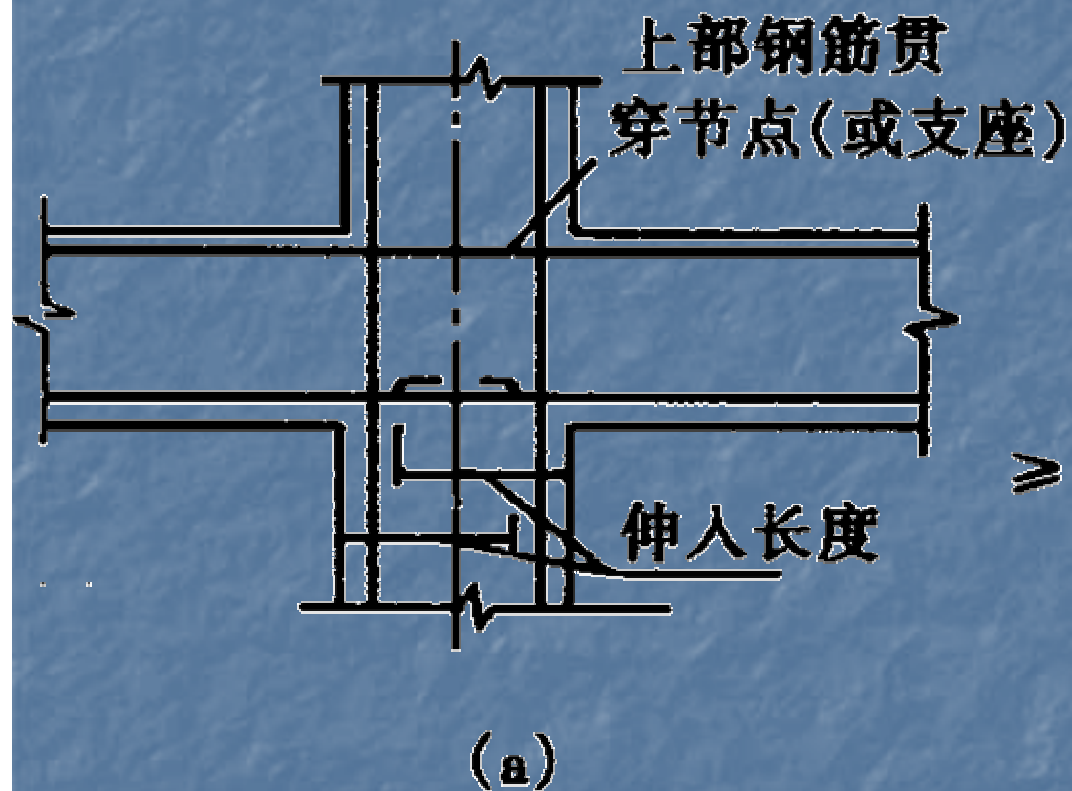
a
·
当
计
算
中

5. 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述

5.9 纵向钢筋的弯起和截断

5.9.3 纵筋的截断和锚固



5.9.4 箍筋的构造要求

(1) 箍筋的形式与肢数

一般均应采用封闭式，特别是当梁中配置有受压钢筋时



(a) 开口式



(b) 封闭式



(a) 单肢 (b) 双肢 (c) 四肢

梁宽不大于150mm时，采用单肢箍
梁宽在150mm~350mm时采用双肢箍；
梁宽大于等于300mm时或受拉钢筋一排超过5根或受压钢筋一排超过3根时采用四肢箍

梁中箍筋最小直径(mm)

(2) 箍筋的直径和间距

◆ 箍筋的直径 箍筋直径应不小于表的规定

梁高 $h(\text{mm})$	箍筋直径
$h \leq 250$	4
$250 < h \leq 800$	6
$h > 800$	8

◆ 间距不应大于**15d**(**d**为纵向受压钢筋的最小直径)，同时不应大于**400mm**；

当一层内的纵向受压钢筋多于**5根**且直径大于**18mm**时，箍筋间距不应大于**10d**；

当梁的宽度大于**400mm**且一层内的纵向受压钢筋多于**3根**时，或当梁的宽度不大于**400mm**但一层内的纵向受压钢筋多于**4根**时，应设置复合箍筋。

(3) 箍筋的布置

◆ 高度大于**300mm**，全长设置箍筋

◆ 高度为**150—300mm**：端部各**1 / 4**跨度范周内设置箍筋，但当梁的中部**1 / 2**跨度范围内有集中荷载作用时，则应沿梁的全长配置箍筋

◆ 高度小于**150mm**，可不设箍筋

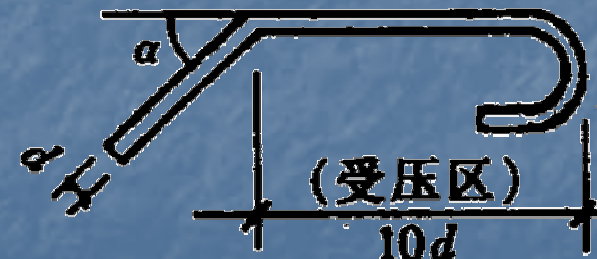
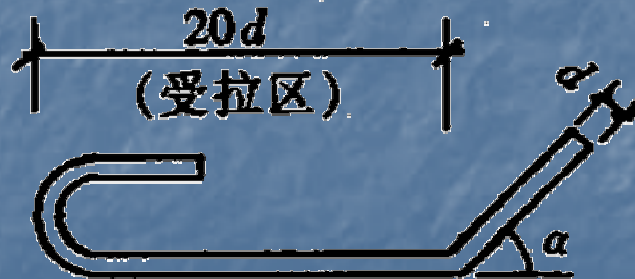
5.9.5 弯起钢筋的构造要求

(1) 弯起钢筋的间距

当弯起钢筋是按计算设置时，前一排(相对于支座)弯起筋的弯终点至后一排弯起筋弯起点的水平距离不应大于箍筋最大间距

(2) 弯起钢筋的锚固长度

弯起钢筋的末端应留有直线段，其长度在受拉区不应小于 $20d$ ，在受压区不应小于 $10d$ ，对于光面钢筋，在其末端还应设置弯钩。



(3) 弯起钢筋的弯起角度

弯起钢筋的弯起角度一般为 45° ，当梁截面高度 h 大于 700mm 时，可为 60° ，高度较小，并有集中荷载时，可为 30° ，梁底层钢筋中的角部钢筋不应弯起。

(4) 受剪弯起钢筋的形式

