

# 第6章 受弯构件斜截面承载力的计算

工程中最常见的梁、柱构件的剪力总是和弯矩共存于构件 ( $V=dM/dx$ )。钢筋混凝土构件还有可能在剪力和弯矩共同作用下,沿斜截面受剪破坏或斜截面受弯破坏。在有些情况下,剪力也可能成为控制构件设计的主要因素。因此,在保证受弯构件正截面抗弯承载力的同时,还要保证斜截面承载力,即保证斜截面抗剪承载力和斜截面抗弯承载力。工程设计中,斜截面抗剪承载力是根据计算由配置横向钢筋来满足,斜截面抗弯承载力通过对纵向钢筋和箍筋的构造要求来满足。

## 6.1 斜截面破坏形态

构件的剪弯区受力状态比构件的压弯区更复杂。在构件中不存在单纯的受剪区域,仅在某些垂直于其轴心的截面上可能为“纯剪”受力状态 ( $V \neq 0, M = 0$ ),但构件不会沿此垂直截面发生破坏。在构件中剪力区段 ( $V \neq 0$ )内,弯矩沿轴向变化,当构件主要因为剪力发生斜裂缝破坏时,必然受弯矩作用的影响。所以,构件的抗剪承载力实质上是剪力和弯矩共同作用下的承载力。在构件的剪弯破坏过程中发生显著的应力重分布,不再符合“梁”的应力分布规律,即使是完全弹性材料,剪弯区段平截面假定也不再适用。另外,构件的抗剪能力在很大程度上取决于混凝土的抗拉强度和抗压强度,混凝土的极限应变小,尤其是混凝土的抗拉极限应变。因此,构件的剪弯破坏过程短促,延性小,一般属脆性破坏。

为了防止梁剪弯区沿斜裂缝破坏,梁应具有合理的截面尺寸,并配置必要的箍筋和弯起钢筋,见图6.1。理论上讲,箍筋布置应与主拉应力方向一致,这样可有效地限制斜裂缝的开展,但斜箍筋不便施工,也难以与纵向钢筋形成牢固的钢筋骨架,故一般采用与构件轴线垂直的箍筋。而弯起钢筋与主拉应力方向基本一致,能较好地起到提高斜截面承载力的作用,

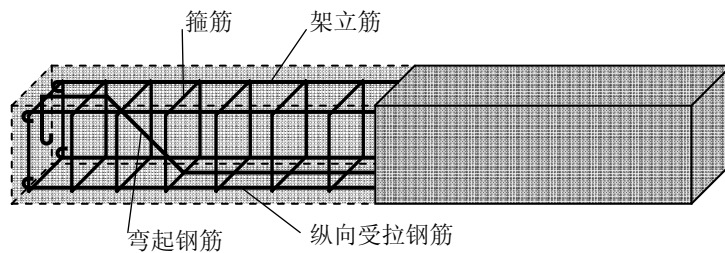


图 6.1 梁的配筋

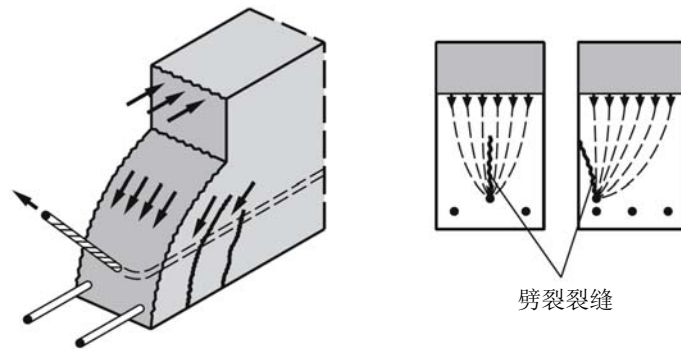


图6.2 钢筋弯起处的劈裂裂缝

但因其传力较为集中，有可能引起弯起处混凝土的劈裂裂缝，见图6.2。所以，在工程设计中，往往首先选用与构件轴线垂直的箍筋，然后再考虑采用弯起钢筋。选用的弯筋位置不宜在梁侧边缘，且直径不宜过粗。梁中的箍筋和弯起钢筋统称为腹筋。

图6.3为一承受两个对称集中荷载作用的无腹筋简支梁，荷载和支座之间的剪力 $V$ 为一常值，弯矩 $M$ 为线性变化。这一段称为剪弯段，其长度 $a$ 称为剪跨，它与截面有效高度 $h_0$ 之比称为剪跨比（ $\lambda=a/h_0$ ）。

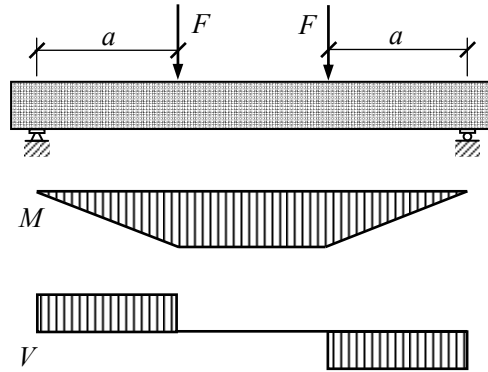


图 6.3 简支梁的受力图

当荷载较小时，裂缝尚未出现，可将钢筋混凝土梁看作均质弹性体进行分析，但须将钢筋按重心相合、面积扩大 $E_s/E_c$ 倍后化为等效混凝土面积。梁内任一点的应力可以根据材料力学的公式求得：

$$\sigma_x = \frac{My}{I_0} \quad (6-1)$$

$$\tau = \frac{VS_0}{I_0b} \quad (6-2)$$

式中， $I_0$ ——换算截面的惯性矩；

$y$ ——所求应力点到中和轴的距离；

$S_0$ ——所求应力点的一侧对换算截面形心轴的面积矩；

$b$ ——梁的宽度。

水平正应力 $\sigma_x$ 沿截面高度线性分布，其值取决于截面弯矩 $M$ 和截面上该点至中和轴的距离 $y$ ；剪应力 $\tau$ 沿截面高度为二次抛物线分布。此外，在集中荷载和支座附近，有局部的、不均布的竖向正应力 $\sigma_y$ ，一般是压应力。

主应力可由正应力 $\sigma_x$ 和剪应力 $\tau$ 求得

$$\text{主拉应力} \quad \sigma_{\text{tp}} = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2} \quad (6-3)$$

$$\text{主压应力} \quad \sigma_{\text{cp}} = \frac{\sigma_x}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2} \quad (6-4)$$

主应力与梁纵轴的夹角为 $\alpha$ ，则

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \left[ -\frac{2\tau}{\sigma_x} \right] \quad (6-5)$$

求出各点主应力的数值和方向后，可以绘制出梁的主拉、主压应力轨迹线，如图6.4所

示。由于混凝土抗拉强度很低，当主拉应力值超过复合受力下混凝土抗拉强度时，就会出现与主拉应力迹线大致垂直的裂缝。除纯弯区的裂缝与梁纵轴垂直以外，主应力迹线与梁纵轴有一倾角，故 $M$ 、 $V$ 共同作用下产生的裂缝对于梁的纵轴来讲是倾斜的，故称为斜裂缝。斜截面的破坏与斜裂缝的出现和发展分不开。随着荷载增加，首先在梁的剪拉区底部出现垂直裂缝，而后在垂直裂缝的顶部，沿着与主拉应力垂直的方向，向集中荷载作用点发展。荷载增加到一定程度时，在几根斜裂缝中形成一条主要斜裂缝。此后，随荷载继续增加，剪压区高度不断减小，剪压区的混凝土在剪压应力共同作用下达到复合应力状态下的极限强度，致使梁失去承载能力而破坏。

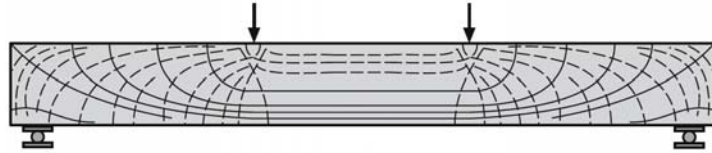


图6.4 对称集中荷载作用下简支梁的主应力轨迹线  
(图中，实线为主拉应力轨迹线；虚线为主压应力轨迹线。)

将截面的弯矩与剪力和截面有效高度乘积的比值，定义为广义剪跨比 $\lambda$ ，即

$$\lambda = \frac{M}{Vh_0} \quad (6-6)$$

梁承受均布荷载时，设 $\beta l$ 为计算截面离支座的距离，则

$$\lambda = \frac{M}{Vh_0} = \frac{\beta - \beta^2}{1 - 2\beta} \cdot \frac{l}{h_0} \quad (6-7)$$

梁承受集中荷载时

$$\lambda = \frac{M}{Vh_0} = \frac{a}{h_0} \quad (6-8)$$

式中， $M$ 、 $V$ ——截面的弯矩、剪力；

$a$ ——集中力到邻近支座的距离，即剪跨；

$l$ ——简支梁的跨度；

$h_0$ ——梁截面的有效高度。

矩形截面梁，截面上的正应力和剪应力可分别表达为：

$$\sigma_x = \alpha_1 \frac{M}{bh_0^2} \text{ 和 } \tau = \alpha_2 \frac{V}{bh_0} \quad (6-9)$$

故

$$\lambda = \frac{M}{Vh_0} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{\sigma_x}{\tau} \quad (6-10)$$

式中， $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 为与梁支座形式、计算截面位置等有关的系数。可见，剪跨比 $\lambda$ 反映了截面上正应力和剪应力的比值。而正应力和剪应力的大小及比值决定着梁内主应力的大小和方向，因而，剪跨比 $\lambda$ 对梁斜截面剪切破坏形态和斜截面抗剪承载力有着重要影响。

改变梁上荷载的位置或剪跨后，弯矩和剪力的相对值( $M/V=a$ )发生变化，剪弯段内的正应力 $\sigma_x$ 和剪应力 $\tau$ 的相对值随之变化，将形成不同的弯剪破坏形态和产生不等的极限承载力。根据荷载大小、作用位置以及腹筋数量的不同，梁沿斜截面的破坏可以分为斜压破坏、

剪压破坏和斜拉破坏三种形态。下面对这三种斜截面破坏形态产生的条件及过程进行简要说明。

### (1) 斜压破坏

如图6.5a所示，斜压破坏多发生在集中荷载距支座较近，且剪力大而弯矩小的区段，即剪跨比较小（如 $\lambda < 1$ ）时。由于剪应力起主要作用，破坏过程中，先是在梁腹部出现多条密集而大体平行的斜裂缝（称为腹剪裂缝），这些裂缝平行于荷载作用点一支座连线。随着荷载增加，裂缝沿相同方向同时向上和向下延伸，梁腹部被这些斜裂缝分割成若干个斜向短柱。当混凝土压应力超过其抗压强度时，梁腹中部斜向受压破坏，混凝土的受力模型和破坏特征与轴心受压作用下的斜向短柱相同。即使剪跨比 $\lambda$ 比较大的构件，如果箍筋配置数量过多，构件也可发生斜压破坏。这是因为，这样配筋的构件在受力过程中，箍筋应力增长缓慢，在箍筋尚未屈服时，梁腹混凝土就因抗压能力不足而发生斜压破坏。在薄腹梁中，即使剪跨比较大，也会发生斜压破坏。

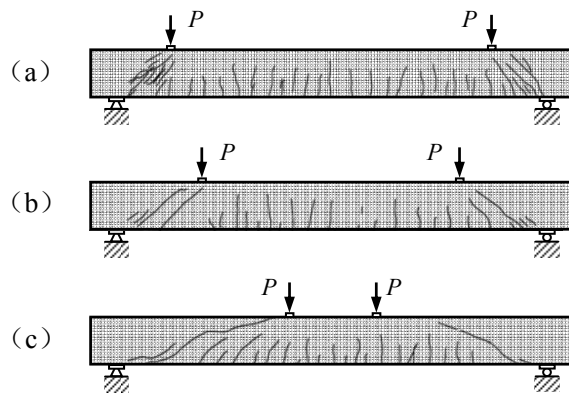


图6.5 梁斜截面破坏的主要形态

(a) 斜压破坏 (b) 剪压破坏 (c) 斜拉破坏

### (2) 剪压破坏

如图6.5b所示，剪压破坏常发生在剪跨比适中（ $1 \leq \lambda < 3$ ），且腹筋配置量适当时，是最典型的斜截面破坏。其破坏过程是，首先在梁的跨中纯弯段出现受拉裂缝，且自下而上延伸。随后，剪弯区出现受弯（拉）裂缝，在底部与纵筋轴线垂直，向上延伸时，倾斜角逐渐减小，约与主压应力轨迹线一致，亦即垂直于各点主拉应力方向，这类裂缝称弯剪裂缝。随着荷载增加，产生新的弯剪裂缝，而已有弯剪裂缝继续向斜上方延伸。同时，在距支座约 $h_0$ 处的截面高度中央出现约 $45^\circ$ 的斜裂缝，称为腹剪裂缝。荷载继续增大，剪弯段内的弯剪裂缝继续往斜上方延伸，倾斜角进一步减小；腹剪裂缝同时向两个方向发展：向上延伸，倾斜角渐小，直达荷载板下方；向下延伸，倾斜角渐增，至钢筋处垂直相交，形成临界斜裂缝。这些裂缝的形状都与主压应力轨迹线一致，此时，纯弯段内受弯裂缝的延伸停滞。此后，再增大荷载，剪弯段内斜裂缝的宽度继续扩大，但裂缝的形状和数量不再变化。最终，荷载板附近截面顶部混凝土受压区面积缩减至很小，混凝土在正应力和剪应力共同作用下，达到二轴抗压强度而破坏，出现横向裂缝和破坏区。斜裂缝的下端与钢筋相交处增宽，并出现沿纵筋上皮的水平撕裂裂缝。这种典型破坏形态称剪压破坏。

### (3) 斜拉破坏

如图6.5c所示，斜拉破坏发生在剪跨比较大（ $\lambda \geq 3$ ），且箍筋配置量过少的情况。其破坏特点是，破坏过程急速且突然。斜裂缝一旦在梁腹部出现，原由混凝土所承担的拉力转嫁给与斜裂缝相交的箍筋承担。由于箍筋过少立即屈服，而不能限制斜裂缝的开展。斜裂缝很快向上下延伸，形成临界斜裂缝，将梁劈裂为两部分而使斜截面承载力随之丧失构件破坏。破坏荷载与开裂荷载很接近，且往往伴随产生沿纵筋的撕裂裂缝，破坏过程急促，破坏前梁

变形亦小。

如果 $\lambda \geq 3$ ，箍筋配置数量适当，则可避免斜拉破坏，而转为剪压破坏。这是因为，斜裂缝产生后，与斜裂缝相交的箍筋不会立即屈服，箍筋的拉力限制了斜裂缝的开展，使荷载仍能有较大增长。随着荷载增大，箍筋拉力增大。当箍筋屈服后，不能再限制斜裂缝的开展，使斜裂缝上端剩余截面缩小，剪压区混凝土在正应力 $\sigma$ 和剪应力 $\tau$ 共同作用下达达到极限强度，发生剪压破坏。

因此，除了剪跨比对斜截面破坏形态有重要影响以外，箍筋的配置数量对破坏形态也有很大影响。对有腹筋梁来说，只要截面尺寸合适，箍筋配置数量适当，剪压破坏是斜截面受剪破坏中最常见的一种破坏形态。

若截面尺寸相同，斜压破坏时斜截面承载力最大，剪压破坏次之，斜拉破坏最小，如图6.6。它们在荷载达到峰值时，跨中挠度都不大，且荷载均在达到峰值荷载后迅速下降。与适筋梁正截面破坏相比较，斜压破坏、剪压破坏和斜拉破坏时，梁的变形较小，且具有脆性破坏的特征，而尤以斜拉破坏脆性最大。梁的三种斜截面受剪破坏形态，在工程中都应避免发生。对于斜压破坏，通常采用限制截面尺寸不能过小来防止；对于斜拉破坏，则用限制截面的配箍率不能小于最小配箍率的条件及构造要求来防止；剪压破坏，因其承载力主要取决于腹筋的配置量，可通过计算配置腹筋，使构件满足一定的斜截面抗剪承载力，从而防止剪压破坏。我国混凝土结构设计规范中所规定的计算公式，就是根据剪压破坏形态而建立的。

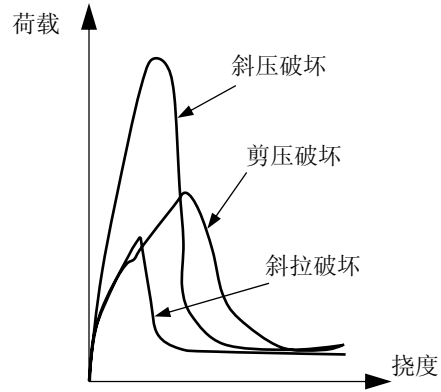


图 6.6 钢筋混凝土梁斜截面破坏的荷载-位移曲线

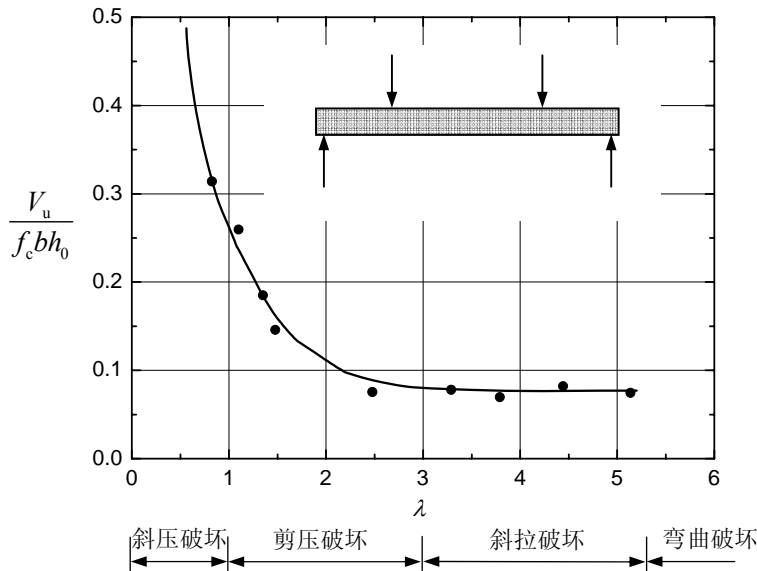


图 6.7 剪跨比对抗剪承载力的影响

## 6.2 斜截面抗剪承载力计算公式

### 6.2.1 影响斜截面抗剪承载力的主要因素

### 1. 剪跨比

梁的剪跨比 $\lambda$ 反映了梁端弯剪破坏区的应力状态和比例。随着剪跨比 $\lambda$ 增加，梁的破坏形态从混凝土抗压强度控制的斜压破坏 ( $\lambda < 1$ )，转化为顶部受压和斜裂缝骨料咬合等控制的剪压破坏 ( $1 < \lambda < 3$ )，抗剪承载力 ( $V_u/f_c b h_0$ ) 很快下降，再转化为混凝土抗拉强度控制的斜拉破坏 ( $\lambda > 3$ )。 $\lambda > 3$ 后，梁的极限剪力值趋于稳定，剪跨比的影响不明显，如图6.7所示。从图中可以看出，当剪跨比较小时，剪跨比对抗剪承载力的影响较大；随着剪跨比增大，对抗剪承载力的影响减弱；剪跨比更大时，梁转为受弯控制破坏，破坏将不再发生在剪跨段内。

若荷载不直接作用于梁顶，而是通过横梁间接传递到梁侧时，随着传力位置高低不同，梁的抗剪强度不同。其原因是，荷载作用截面附近混凝土的应力状态发生了变化(如图6.8a)。直接加载时，垂直梁轴的正应力 $\sigma_y$ 是压应力；而间接加载时， $\sigma_y$ 是拉应力。由于应力状态发生了变化，间接加载时，临界斜裂缝出现后，拉应力 $\sigma_y$ 促使斜裂缝跨越荷载作用截面，而直通梁顶。间接加载也将发生斜拉破坏，斜裂缝一出现，梁就被剪断，破坏荷载几乎等于开裂荷载。大剪跨比时，直接加载和间接加载均为斜拉破坏，二者破坏荷载接近；小剪跨比时，剪跨比相同，直接加载和间接加载破坏形态不同，二者破坏荷载相差很大，剪跨比越小，差值越大，如图6.8b。

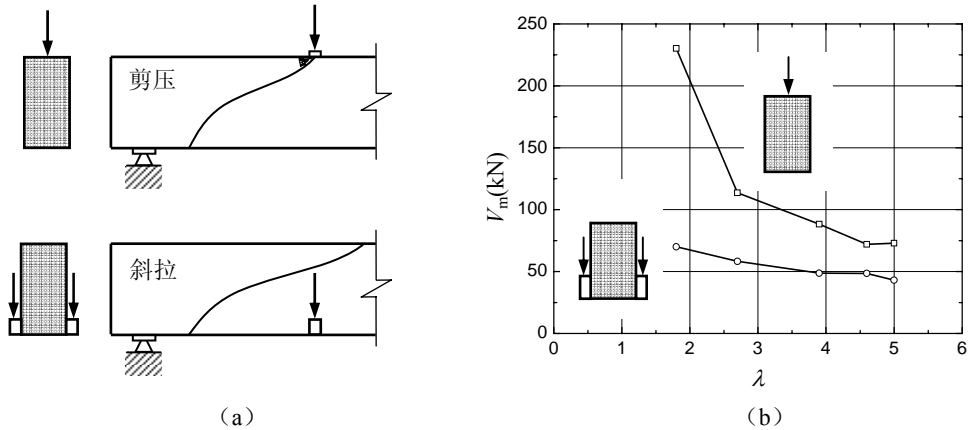


图6.8 加载方式对梁斜截面破坏的影响

(a) 对破坏形式的影响 (b) 对抗剪承载力的影响

上述结论是对承受集中荷载简支梁试验结果的分析。工程中常遇的承受均布荷载梁，其受力状态与承受集中荷载简支梁又有所不同。承受均布荷载的梁支座处的剪力最大，弯矩为零；截面移往跨中，剪力渐减为零，而弯矩却增加至最大值。梁内不存在剪力为常值的剪弯

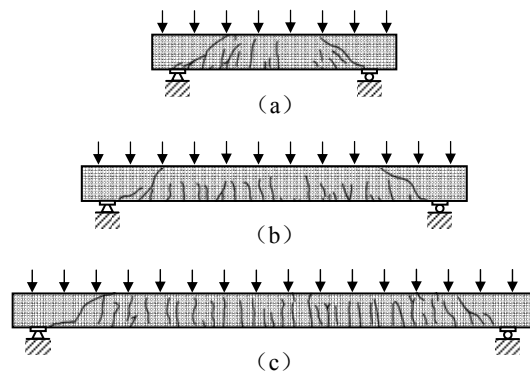


图6.9 均布荷载作用下梁的弯剪主要破坏形态  
(a) 斜压破坏 (b) 剪压破坏 (c) 斜拉破坏

段,也不会出现加载点附近截面剪力和弯矩同时达到最大值的组合。对于承受均布荷载的梁,反映剪力和弯矩相对值大小的剪跨比,需要改用广义剪跨比 $\lambda=M_{\max}/(V_{\max}h_0)=l/(4h_0)$ ,或者直接采用跨高比 $l/h_0$ 。

在均布荷载作用下梁发生弯剪破坏,根据其跨高比不同,破坏形态也分作斜压破坏、剪压破坏和斜拉破坏。它们的受力和裂缝发展过程,以及破坏特征,与集中荷载的试件相同,如图6.9。但需注意,破坏斜裂缝顶部位置的截面上剪力并非最大。

均布荷载作用下,梁的弯剪承载力随梁的跨高比增大而减小。跨高比较小( $l/h_0 < 10$ )时,承载力下降迅速; $l/h_0 > 10$ 后,下降平缓; $l/h_0 > 20$ 时,梁为受弯破坏控制,不出现弯剪破坏,如图6.10所示。

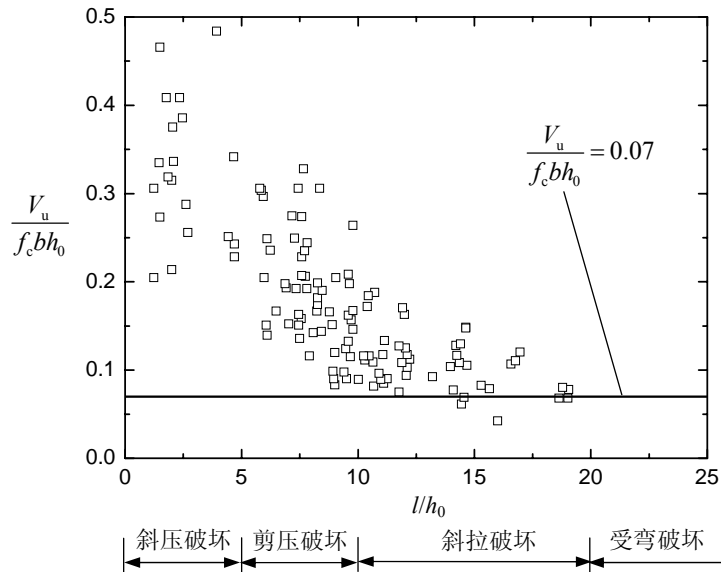


图 6.10 均布荷载作用下梁的抗剪承载力和跨高比的关系

## 2. 腹筋的数量

箍筋和纵筋的弯起部分统称为梁的腹筋。无腹筋梁的弯剪承载力有限,若不足以抵抗荷载产生的剪力时,设置横向箍筋是很有效的措施。同时,箍筋还是在制作构件时,为固定纵筋位置所必须,在构件工作过程中又有承受温度应力、减小裂缝宽度等作用。弯起钢筋的抗剪作用与箍筋的相似。

腹筋对于构件的抗剪作用有两个方面。箍筋和弯起筋除了直接承受部分剪力外,其间接作用是限制斜裂缝的开展宽度,增强腹部混凝土的骨料咬合力;它还有约束纵筋避免撕脱混凝土保护层的作用,增大纵筋的销栓力;腹筋和纵筋构成的骨架使其内部的混凝土受到约束,有利于抗剪。这些都助于提高构件的弯剪承载力。试验表明,在配箍量适当的范围内,梁的抗剪承载力随配箍量增多、箍筋强度提高而有较大幅度增长。由图6.11可见,梁的斜截面抗剪承载力随配箍率增大而提高,两者近似呈线性关系。图中, $V_u/bh_0$ 称为梁截面的名义抗剪强度,即在垂直截面有效面积 $bh_0$ 上所能抵抗的平均剪应力; $\rho_{sv}$ 为箍筋的配箍率,它反映了梁中箍筋的数量,用下式表示

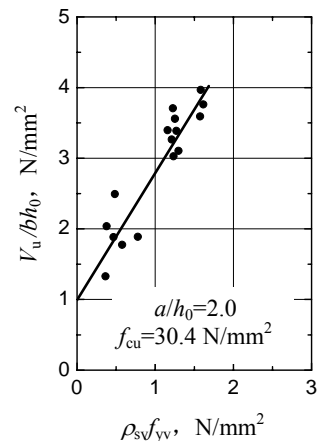


图 6.11 箍筋对梁抗剪承载力的影响

$$\rho_{sv} = \frac{A_{sv}}{bs} = \frac{n \cdot A_{sv1}}{bs} \quad (6-11)$$

式中  $A_{sv}$ ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积；

$n$ ——同一截面内箍筋的肢数；

$A_{sv1}$ ——单肢箍筋的截面面积；

$s$ ——沿构件轴向箍筋的间距；

$b$ ——梁的宽度。

### 3. 混凝土强度

斜截面破坏是因混凝土到达极限强度而发生的，故混凝土强度对梁的抗剪承载力影响很大。梁的弯剪破坏最终由混凝土材料的破坏控制，所以，其弯剪承载力随混凝土强度提高而增大。试验表明，当剪跨比一定时，梁的抗剪承载力随混凝土强度提高而增大，两者为线性关系。但不同剪跨比的梁，因破坏形态不同，承载力分别取决于混凝土的抗压或抗拉强度。混凝土的抗压强度 $f_c$ 约与立方强度 $f_{cu}$ 成正比，混凝土的抗拉强度 $f_t$ 随立方强度 $f_{cu}$ 增长较慢。因此，提高混凝土的强度等级（ $f_{cu}$ ），对不同剪跨比的梁弯剪承载力的提高幅度明显不同。小剪跨（ $\lambda < 1$ ）梁的斜压破坏取决于混凝土的抗压强度 $f_c$ ，约与立方强度 $f_{cu}$ 成正比，混凝土强度对弯剪承载力的影响大；大剪跨（ $\lambda > 3$ ）梁的斜拉破坏取决于混凝土的抗拉强度 $f_t$ ，随立方强度 $f_{cu}$ 增长较慢，故混凝土强度对弯剪承载力的影响就小；中等剪跨（ $\lambda = 1 \sim 3$ ）梁的剪压破坏取决于顶部的抗压强度和腹部的骨料咬合作用（接近抗剪或抗拉强度），弯剪承载力

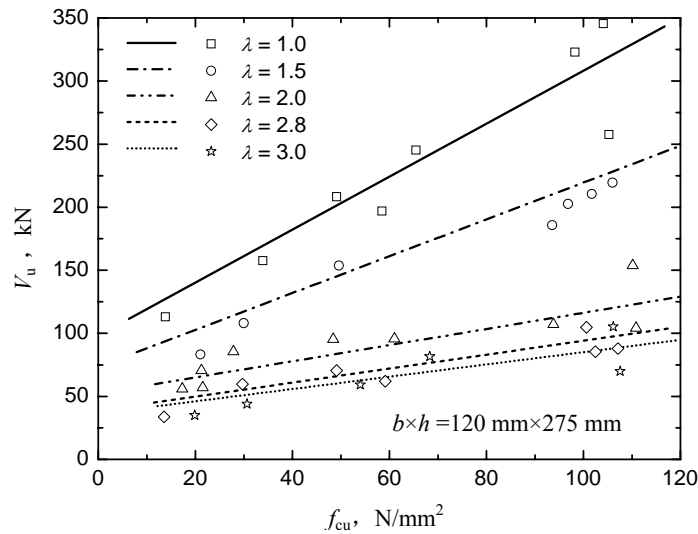


图 6.12 混凝土强度对抗剪承载力的影响

的提高幅度处于二者之间，如图6.12。

### 4. 纵筋配筋率

纵筋对抗剪承载力的影响主要是直接在横截面承受一定剪力，起“销栓”作用，如图6.13。同时，纵筋能抑制斜裂缝的发展，增大斜裂缝间交互面的剪力传递，增加纵筋量能加大混凝土剪压区高度，从而间接提高梁的抗剪能力。所以，随着纵筋的配筋率的提高，梁的抗剪承载力也增大。

纵筋配筋率对梁的斜截面承载力的影

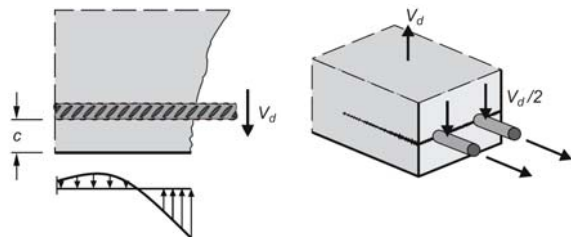


图 6.13 纵筋的销栓力



响程度随剪跨比而不同。小剪跨比时，斜截面的抗剪承载力随配筋率增大提高较快；大剪跨比（ $\lambda > 3$ ）时，由于容易产生撕裂裂缝，使纵筋的“销栓”作用减弱，纵筋的影响不大。对于斜拉破坏形态，增加纵筋量对加大斜裂缝顶部混凝土剪压区高度，间接提高梁抗剪能力的作用不大。因此，增大纵筋率并非提高弯剪承载力的有效措施，如图6.14。

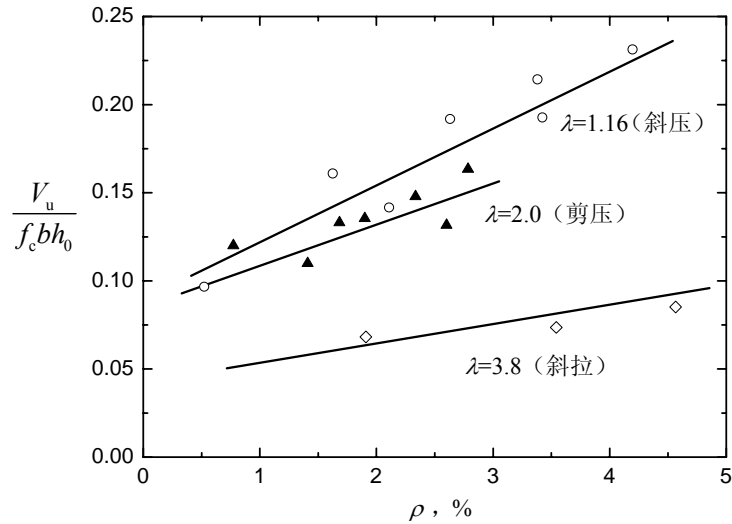


图 6.14 纵向配筋率对弯剪承载力的影响

## 5. 其他因素

### (1) 截面形状

这主要是指T形梁，试验表明，受压翼缘的存在对提高斜截面抗剪承载力有一定作用。适当增加翼缘宽度，可提高抗剪承载力，但翼缘过大，增大作用逐渐减小。另外，增大梁的宽度也可提高抗剪承载力。与矩形截面梁相比，T形截面梁的斜截面承载力一般要高10%~20%。

### (2) 截面尺寸的影响

截面尺寸对无腹筋梁的抗剪承载力有较大影响。随着构件截面高度增加，斜截面上出现的裂缝宽度加大，裂缝内表面骨料之间的机械咬合作用被削弱。尺寸大的构件，破坏时的平均剪应力比尺寸小的构件要低。试验表明，在其他参数（混凝土强度、纵筋配筋率、剪跨比）保持不变时，斜截面的名义抗剪强度（ $V_u/bh_0$ ）随着构件高度增加而降低，当梁高增大4倍时，名义抗剪强度（ $V_u/bh_0$ ）下降25%~30%。

对于有腹筋梁，截面尺寸的影响将减小。

### (3) 预加应力

截面的预应力能阻滞斜裂缝的出现和开展，增加混凝土剪压区高度，从而增大混凝土所能承担的剪力。另外，预应力混凝土梁的斜裂缝长度比钢筋混凝土梁有所增长，也增大了与斜裂缝相交箍筋所承担的剪力。

### (4) 梁的连续性

试验表明，在受均布荷载时，连续梁的抗剪承载力与相同条件下的简支梁相当；受集中荷载时，只有中间支座附近的梁段因受异号弯矩的影响，抗剪承载力有所降低，边支座附近梁段的抗剪承载力与简支梁相同。

## 6.2.2 弯剪承载力的组成和斜截面抗剪计算公式

国内外许多学者曾在各种破坏机理分析的基础上，提出了不同的梁斜截面抗剪机理的结构模型，对钢筋混凝土梁的斜截面抗剪承载力建立过各种计算公式，但终因钢筋混凝土在复

合受力状态下所涉及的因素过多，用混凝土强度理论还较难反映其斜截面的抗剪承载力。目前，我国采用的方法还是通过分析影响梁抗剪能力的主要影响因素，依靠试验研究，从而建立半理论半经验的实用计算公式。下面主要介绍我国《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2002）的分析模型和抗剪计算公式。

### 1. 弯剪承载力的组成

构成有腹筋梁弯剪承载力的主要成分（图6.15）是：斜裂缝上端、梁顶部未开裂混凝土的抗剪力（ $V_c$ ）、沿斜裂缝的混凝土骨料咬合作用（ $V_i$ ，垂直分量为 $V_{ix}$ ）、纵筋的横向（销栓）力（ $V_d$ ），以及箍筋（ $V_s$ ）和弯起钢筋的抗剪力（ $V_b$ ，垂直分量为 $V_{sb}=V_b\sin\alpha$ ， $\alpha$ 为弯起钢筋与梁纵轴的夹角）等。这些抗剪成分的作用和相对比例，在构件的不同受力阶段，随裂缝的形成和发展而不断变化。构件极限状态的抗剪承载力是这五部分垂直分量的总和：

$$V_u = V_c + V_{ix} + V_d + V_s + V_{sb} \quad (6-12)$$

构件开裂之前，几乎全部剪力均由混凝土承担，纵筋和腹筋的应力都很低。形成弯剪裂缝后，沿斜裂缝的骨料咬合作用和纵筋的销栓力参与抗剪。腹剪裂缝的出现和发展，相继穿越箍筋和弯起钢筋，二者相应地发挥作用，承担的剪力逐渐增大，并有效地约束斜裂缝的开展。荷载再增大，斜裂缝继续发展，箍筋和弯起钢筋相继屈服，箍筋和弯起钢筋所承担的剪力不再增加。最终，斜裂缝上端的未开裂混凝土达到二轴抗压强度，构件斜截面破坏。在有腹筋梁中，由于箍筋的存在，虽然使骨料的咬合和纵筋的销栓力比无腹筋梁有所提高，但在斜截面抗剪承载力极限状态时，大部分的抗剪能力是由未开裂混凝土和腹筋所承担的剪力提供。骨料的咬合和纵筋的销栓力在总的抗剪承载力中所占的比例并不大，试验表明，它们所承担的剪力仅占总剪力的20%左右。

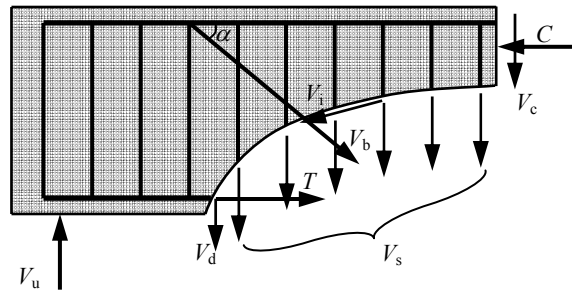


图 6.15 有腹筋梁抗剪承载力的组成

钢筋混凝土梁斜截面抗剪承载力的计算公式是根据剪压破坏形态，考虑力的平衡，并引入适当的试验参数而建立的。在剪压破坏极限状态，未开裂混凝土达到二轴抗压强度，同时，与斜裂缝相交的箍筋和弯起钢筋的拉应力都达到其屈服强度。为简化计算，主要考虑未开裂混凝土的抗剪作用和腹筋的抗剪作用，而不计骨料的咬合和纵筋的销栓作用对抗剪的有利作用。则式（6-12）可简化为

$$V_u = V_c + V_s + V_{sb} \quad (6-13)$$

式中， $V_u$ ——梁斜截面破坏时所承受的总剪力；

$V_c$ ——混凝土剪压区所承受的剪力；

$V_s$ ——与斜裂缝相交的箍筋所承受的剪力；

$V_{sb}$ ——与斜裂缝相交的弯起钢筋所承受的剪力。

因此，对于无腹筋梁，抗剪承载力表达式为

$$V_u = V_c \quad (6-14)$$

对于有腹筋梁，如令 $V_{cs}$ 为箍筋和混凝土共同承受的剪力，即

$$V_u = V_{cs} = V_c + V_s \quad (6-15)$$

若腹筋既有箍筋又有弯起钢筋，则

$$V_u = V_{cs} + V_{sb} \quad (6-16)$$

从表达式来看,  $V_{cs}$ 项是混凝土的抗剪承载力与箍筋的抗剪承载力之和, 而其中的混凝土抗剪承载力的表达式与无腹筋梁混凝土的抗剪承载力表达式相同。但实际上, 对于有腹筋梁, 由于箍筋的存在抑制了斜裂缝的开展, 使得梁剪压区面积增大, 致使 $V_c$ 值提高, 提高程度与箍筋的强度和配箍率有关。因而,  $V_c$ 和 $V_s$ 项二者紧密相关, 不能将其分开表达, 故以 $V_{cs}$ 项表达混凝土和箍筋的总抗剪承载力。

## 2. 计算公式

对于厚腹的T形梁, 其抗剪性能与矩形梁相似, 因为受压翼缘使剪压区混凝土的压应力和剪应力减小, 与宽度为肋宽的矩形截面相比, 其抗剪承载力略高。但翼缘的这一有效作用有限, 且翼缘超过肋宽两倍时, 抗剪承载力基本上不再提高。而对于薄腹的T形梁, 腹板中有较大的剪应力, 在剪跨区段内常有均匀的腹剪裂缝出现。当裂缝间斜向受压混凝土被压碎时, 梁属于斜压破坏, 此时翼缘对梁的抗剪承载力的提高没有作用。因此, 对于矩形、T形和工字形截面, 可采用统一的计算公式。

### (1) 无腹筋板的计算公式

板类构件通常承受的剪力较小, 一般不需要配置箍筋和弯起钢筋。试验表明, 均布荷载下不配腹筋的钢筋混凝土板, 其名义抗剪强度 ( $V_u/bh_0$ ) 随板厚的增大而降低。其斜截面抗剪承载力可按下式计算:

$$V_u = 0.7\beta_h f_t b h_0 \quad (6-17)$$

$$\beta_h = \left( \frac{800}{h_0} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (6-18)$$

式中,  $\beta_h$ ——截面高度影响系数, 当 $h_0$ 小于800mm时, 取 $h_0=800$ mm; 当 $h_0$ 大于2000mm时, 取 $h_0=2000$ mm。

### (2) 均布荷载下矩形、T形和工字形截面的简支梁

当仅配箍筋时, 斜截面抗剪承载力的计算公式为

$$V_u = V_{cs} = 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \cdot \frac{A_{sv}}{s} \cdot h_0 \quad (6-19)$$

式中,  $V_u$ ——构件斜截面抗剪承载力;

$V_{cs}$ ——构件斜截面上混凝土和箍筋的抗剪承载力;

$f_t$ ——混凝土轴心抗拉强度设计值, 按附录2附表2-1取用;

$f_{yv}$ ——箍筋抗拉强度设计值, 按附录2附表2-3取用;

$A_{sv}$ ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积,  $A_{sv} = n A_{sv1}$ , 其中 $n$ 为在同一个截面内箍筋的肢数,  $A_{sv1}$ 为单肢箍筋的截面面积;

$s$ ——沿构件长度方向箍筋的间距;

$b$ ——矩形截面的宽度、T形截面或工字形截面的腹板宽度;

$h_0$ ——构件截面的有效高度。

这里所指的均布荷载, 也包括作用有多种荷载, 但其中集中荷载对支座边缘截面或节点边缘所产生的剪力值应小于总剪力值的75%。

(3) 集中荷载作用下的矩形、T形和工字形截面的独立简支梁 (包括作用有多种荷载, 且其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力值的75%以上的情况)

试验表明, 剪跨比对集中荷载作用下梁抗剪承载力的影响相当明显, 故公式中引入计算剪跨比。当仅配箍筋时, 其斜截面抗剪承载力的计算公式为

$$V_u = V_{cs} = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 + f_{yv} \cdot \frac{A_{sv}}{s} \cdot h_0 \quad (6-20)$$

式中， $\lambda$ 为计算剪跨比，可取 $\lambda = a/h_0$ 。 $a$ 为计算截面至支座截面或节点边缘的距离，计算截面取集中荷载作用点处的截面。当 $\lambda < 1.5$ 时，取 $\lambda = 1.5$ ；当 $\lambda > 3$ 时，取 $\lambda = 3$ 。

其他符号，同式6-19。

由式(6-20)可以看出，随着剪跨比增大，梁的抗剪承载力降低。 $\lambda < 1.5$ 时，往往发生斜压破坏； $\lambda > 3$ 时，往往发生斜拉破坏； $1.5 < \lambda < 3.0$ 时，一般发生剪压破坏。 $\lambda = 1.5$ 时， $\frac{1.75}{\lambda + 1.0} = 0.7$ ； $\lambda = 3.0$ 时， $\frac{1.75}{\lambda + 1.0} \approx 0.44$ 。而式(6-20)右边第二项的系数为1又小于式(6-19)右边第二项的系数1.25。由此可见，荷载形式以集中荷载为主时，梁的抗剪承载力将低于荷载形式以均布荷载为主时梁的抗剪承载力（图6.16）。

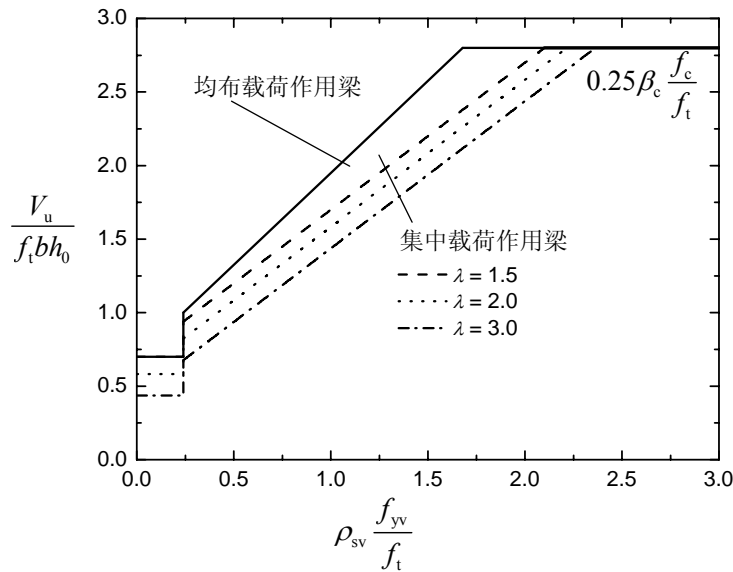


图 6.16 斜截面抗剪承载力与配箍率关系

(4) 设有弯起钢筋时，梁的抗剪承载力计算公式

当梁中还设有弯起钢筋时，其抗剪承载力的计算公式中，应增加弯起钢筋所承担的剪力项，即

$$V_u = V_{cs} + V_{sb} \quad (6-21)$$

式中 $V_{cs}$ 为混凝土和箍筋共同承担的剪力值， $V_{sb}$ 为弯起钢筋承担的剪力，其值为弯起钢筋的拉力在垂直于梁轴方向的分量（图6.15），按下式计算：

$$V_{sb} = 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha \quad (6-22)$$

式中， $V_{sb}$ ——与斜裂缝相交的弯起钢筋抗剪承载力；

$f_y$ ——弯起钢筋的抗拉强度设计值；

$A_{sb}$ ——与斜裂缝相交的配置在同一弯起平面内的弯起钢筋截面面积；

$\alpha$ ——弯起钢筋与梁纵轴线的夹角。一般为 $45^\circ$ ，当梁截面高度超过800mm时，通常为 $60^\circ$ 。

公式中的系数0.8，是考虑到弯起钢筋与斜裂缝相交时，有可能已接近受压区，弯起钢筋强度在梁破坏时可能不能够全部发挥作用，而对弯起钢筋抗剪承载力的折减。

### 3. 计算公式的适用范围

由于梁的斜截面抗剪承载力计算公式是根据梁斜截面剪压破坏模式得到的,因而抗剪承载力计算公式仅适用于构件斜截面剪压破坏,即在斜截面抗剪承载力极限状态,与斜裂缝相交的箍筋屈服,剪压区混凝土达到其二轴抗压强度。当梁中剪力较大,而截面尺寸过小,梁往往发生斜压破坏;当截面配箍量过少,一旦斜裂缝出现,裂缝加速开展,箍筋迅速屈服甚至被拉断,而导致梁斜拉破坏。因而,需要对梁截面的最小尺寸和最小配箍率进行限制。

(1) 截面的最小尺寸(剪力的上限值)

当梁截面尺寸过小,而剪力较大时,梁往往发生斜压破坏。梁破坏时,梁腹混凝土被压碎,而箍筋还未屈服。无论配置多少箍筋,都不能进一步提高梁的抗剪承载力。因而,设计时,为避免斜压破坏,梁的截面尺寸应满足如下规定:

当  $\frac{h_w}{b} \leq 4$  时(厚腹梁,也即一般梁),应满足

$$V \leq 0.25\beta_c f_c b h_0 \quad (6-23)$$

对于薄腹梁,在发生斜压破坏时,其抗剪能力比厚腹梁低。因此,为防止薄腹梁发生斜压破坏,同时也为了防止薄腹梁在使用阶段斜裂缝过宽,对薄腹梁应采用较严格的截面限制条件。因而,当  $\frac{h_w}{b} \geq 6$  时(薄腹梁),应满足

$$V \leq 0.2\beta_c f_c b h_0 \quad (6-24)$$

当  $4 < \frac{h_w}{b} < 6$  时,按直线内插法取用,即

$$V \leq 0.025 \left( 14 - \frac{h_w}{b} \right) \beta_c f_c b h_0 \quad (6-25)$$

式中,  $V$ ——构件斜截面上的最大剪力设计值;

$f_c$ ——混凝土抗压强度设计值;

$\beta_c$ ——混凝土强度影响系数,当混凝土强度等级不超过C50时,取 $\beta_c=1.0$ ;当混凝土强度等级为C80时,取 $\beta_c=0.8$ ;其间按直线内插法取用或查表6-1;

$b$ ——矩形截面的宽度、T形截面或工字形截面的腹板宽度;

$h_w$ ——截面的腹板高度,矩形截面取有效高度 $h_0$ ,T形截面取有效高度 $h_0$ 减去翼缘高度,工字形截面取腹板净高,如图6.17。

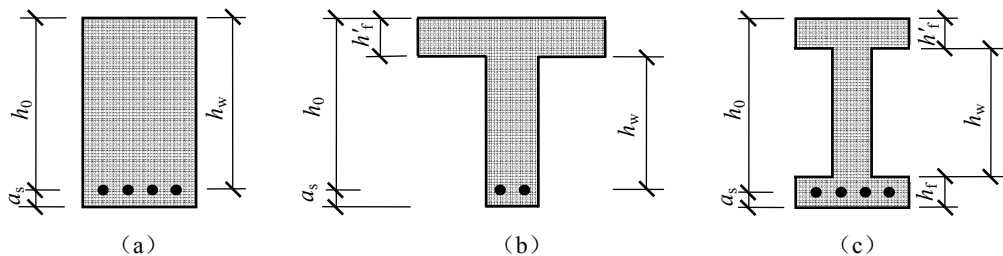


图6.17 梁腹板的计算高度 $h_w$

(a)  $h_w=h_0$ ; (b)  $h_w=h_0-h'_f$ ; (c)  $h_w=h-h'_f-h_f$

设计中,如果不满足式(6-23)至式(6-25)的条件时,应加大构件截面尺寸或提高混凝土强度等级,直到满足为止。

表 6-1 混凝土强度影响系数 $\beta_c$ 的取值

	$\leq C50$	C55	C60	C65	C70	C75	C80
--	------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$\beta_c$	1.000	0.967	0.933	0.900	0.867	0.833	0.800
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

## (2) 最小配箍率和箍筋最大间距

为防止截面配置箍筋过少，而导致斜拉破坏。设计时，梁的配箍率应满足如下规定：

$$\rho_{sv} \geq \rho_{sv\min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} \quad (6-26)$$

试验还表明，若箍筋间距过大，斜裂缝有可能在两箍筋之间产生，而使箍筋没有发挥作用，同样可以导致构件发生斜拉破坏。此外，若箍筋直径过小，也不能保证钢筋骨架的刚度。因此，为了防止构件产生斜拉破坏，梁中箍筋间距不宜过大，而直径也不宜过小，其间距和直径应满足表6-2的规定。

表 6-2 梁箍筋最大间距  $s_{\max}$  及最小直径  $d_{\min}$  (mm)

梁高 $h$	梁箍筋最大间距 $s_{\max}$		最小直径 $d_{\min}$
	$V > 0.7f_t b h_0$	$V \leq 0.7f_t b h_0$	
$150 < h \leq 300$	150	200	6
$300 < h \leq 500$	200	300	
$500 < h \leq 800$	250	350	
$h > 800$	300	400	8

注：梁中配有计算所需要的纵向受压钢筋时，箍筋直径尚不应小于纵向受压钢筋最大直径的四分之一。

## 4. 连续梁抗剪承载力的计算

连续梁在支座截面附近有负弯矩，在梁的剪跨段中有反弯点。斜截面的破坏情况和弯矩比  $\phi$  有很大关系， $\phi$  是支座弯矩与跨内正弯矩两者之比的绝对值（即  $\phi = |M/M'|$ ）。然而，试验表明，均布荷载作用下连续梁的抗剪承载力，不低于相同条件下简支梁的抗剪承载力；在集中荷载时，若采用计算剪跨比来计算连续梁的抗剪承载力与相同条件下简支梁的抗剪承载力对比，连续梁的抗剪承载力略高于同跨度简支梁的承载力。据此，为了简化计算，设计规范采用与简支梁相同的抗剪承载力计算公式，即前述的式(6-14)、式(6-15)和式(6-16)。当然，对于集中荷载作用的梁，计算公式中的剪跨比  $\lambda$  应采用计算剪跨比。当这些公式用于连续梁时，适用范围与前面所述简支梁的适用范围相同。

## 6.3 斜截面抗剪承载力的设计

钢筋混凝土梁的设计，应从控制梁的正截面破坏和斜截面破坏两方面着手。一般情况下，在进行斜截面抗剪承载力设计时，正截面的承载力已经保证，即截面尺寸和纵向钢筋都已初步选定。此时，可先用斜截面抗剪承载力计算公式适用范围的上限值来检验构件的截面尺寸是否满足最小截面尺寸的要求，防止产生斜压破坏。如果截面尺寸过小，则应重新调整截面尺寸或提高混凝土强度。然后依据公式对各截面进行斜截面抗剪承载力计算，根据计算结果配置合适的箍筋和弯起钢筋。箍筋的实际配箍率应大于截面的最小配箍率，以防止梁产生斜拉破坏。如果梁截面受到的剪力很小，其值小于等于  $0.7f_t b h_0$ （均布荷载）或  $\frac{1.75}{\lambda+1} f_t b h_0$ （集中荷载）时，可直接根据构造要求，按最小配箍率配置梁中箍筋。

要保证梁不发生斜截面抗剪破坏，就需保证梁各截面均不发生斜截面破坏。计算梁斜截

面抗剪承载力时，计算截面位置应按下列规定确定，即可保证梁不发生斜截面抗剪破坏（图6.18）：

- ① 支座边缘处截面（图中1-1截面）。

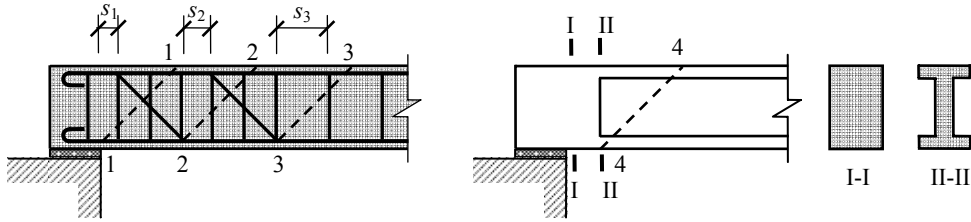


图6.18 斜截面抗弯承载力的计算截面位置

由计算所得的支座反力，一般大于支座边缘处截面的剪力。但在支座处，构件和支座共同承受剪力。支座边缘截面的剪力一般比支座处的剪力稍小，但须由构件本身承担，因此抗剪控制截面在支座边缘截面。

- ② 受拉区弯起钢筋弯起点处截面（图中2-2截面）。  
 ③ 箍筋截面面积或间距改变处截面（图中3-3截面）。  
 ④ 腹板宽度改变处截面（图中4-4截面）。

①所述截面一般为构件承受剪力最大截面，②、③和④所述截面均为构件斜截面抗剪承载力改变的位置，计算时应取其相应区段内的最大剪力值作为剪力设计值。另外，设计时，弯起钢筋距支座边缘距离 $s_1$ 及弯起钢筋之间的距离 $s_2$ 均不应大于箍筋最大间距 $s_{max}$ （表6-2），以保证可能出现的斜裂缝与弯起钢筋相交。

【例6-1】某钢筋混凝土矩形截面简支梁，两端支承在砖墙上，净跨度 $l_n=3660$  mm（如图6.19），混凝土保护层厚度 $c=30$ mm；截面尺寸 $b \times h=200$ mm $\times$ 500mm。该梁承受均布荷载设计值85N/mm（包括自重），混凝土强度等级为C30，箍筋为HPB235级钢筋。按正截面受弯承载力计算，已选配3根直径25mm的HRB335级纵向受力钢筋（ $A_s=1473$ mm<sup>2</sup>）。根据斜截面抗剪承载力要求确定腹筋。

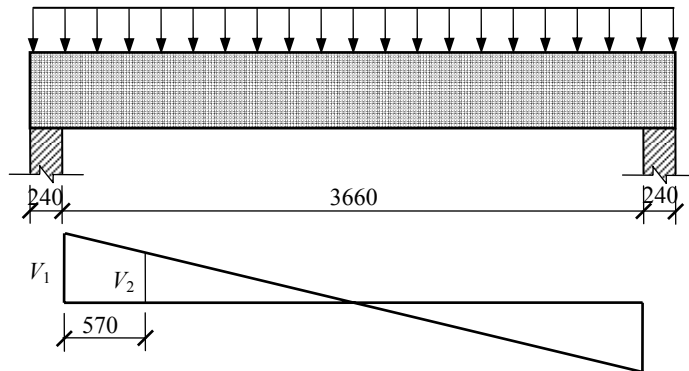


图 6.19 【例 6-1】图

【解】由于混凝土保护层厚度 $c=30$ mm，故取 $a_s=40$ mm，则

$$h_0 = h - a_s = 500 - 40 = 460 \text{ mm}$$

由附录2附表2-1和附表2-3得，C30混凝土的 $f_c=14.3$ N/mm<sup>2</sup>， $f_t=1.43$ N/mm<sup>2</sup>，HRB335钢筋的 $f_y=300$ N/mm<sup>2</sup>，HPB235钢筋的 $f_y=210$ N/mm<sup>2</sup>。（即 $f_{yv}=210$ N/mm<sup>2</sup>）

- (1) 求剪力设计值

支座边缘处截面的剪力值最大

$$V_1 = V_{\max} = \frac{1}{2}ql_n = \frac{1}{2} \times 85 \times 3660 = 155.550 \times 10^3 \text{ N}$$

(2) 验算截面尺寸

$$h_w = h_0 = 460, \quad \frac{h_w}{b} = \frac{460}{200} = 2.3 < 4, \quad \text{属一般梁。}$$

按式(6-23)验算, 混凝土强度等级为C30,  $\beta_c=1$

$$\begin{aligned} 0.25\beta_c f_c b h_0 &= 0.25 \times 1 \times 14.3 \times 200 \times 460 = 328.900 \times 10^3 \text{ N} \\ &> V_{\max} = 155.550 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

截面符合要求。

(3) 验算是否需要按计算配置箍筋

$$\begin{aligned} 0.7f_t b h_0 &= 0.7 \times 1.43 \times 200 \times 460 = 91.448 \times 10^3 \text{ N} \\ &< V_{\max} = 155.550 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

故需要按计算配置箍筋。

(4) 所需腹筋计算

在求解过程中, 令构件的抗剪承载力 $V_u$ 等于该截面的剪力设计值 $V_{\max}$ 。

配置腹筋有两种办法: 一种是只配置箍筋, 另一种是配置箍筋和弯起钢筋。一般都是优先选则只配置箍筋方案。下面分述两种方法。

① 仅配箍筋

按式(6-19),

$$\begin{aligned} \frac{nA_{sv1}}{s} &= \frac{A_{sv}}{s} = \frac{V - 0.7f_t b h_0}{1.25f_{yv} h_0} \\ &= \frac{155.550 \times 10^3 - 0.7 \times 1.43 \times 200 \times 460}{1.25 \times 210 \times 460} = 0.5309 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

采用 $\phi 8@180$ 双肢箍, ( $A_{sv1}=50.3\text{mm}^2$ ), 实有

$$\frac{nA_{sv1}}{s} = \frac{2 \times 50.3}{180} = 0.5589 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0.5309 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad (\text{满足计算要求})$$

配箍率

$$\begin{aligned} \rho_{sv} &= \frac{nA_{sv1}}{bs} = \frac{2 \times 50.3}{200 \times 180} = 0.279\% \\ &> \rho_{sv, \min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} = 0.24 \times \frac{1.43}{210} = 0.163\% \end{aligned}$$

配箍率满足大于最小配箍率要求。

② 配置箍筋和弯起钢筋

因已配置3根直径25mm的HRB335纵向钢筋, 可利用其中1根以 $45^\circ$ 弯起 ( $A_{sb}=491\text{mm}^2$ ) 承担剪力, 则弯起钢筋承担的剪力:

$$V_{sb} = 0.8A_{sb}f_y \sin \alpha_s = 0.8 \times 491 \times 300 \times \sin 45^\circ = 83.325 \times 10^3 \text{ N}$$

混凝土和箍筋需承担的剪力:

$$V_{cs} = 155.550 \times 10^3 - 83.325 \times 10^3 = 72.225 \times 10^3 \text{ N}$$



选用 $\phi 6@150$ 双肢箍, ( $A_{sv1}=28.3\text{mm}^2$ )。

配箍率

$$\begin{aligned}\rho_{sv} &= \frac{nA_{sv1}}{bs} = \frac{2 \times 28.3}{200 \times 150} = 0.189\% \\ &> \rho_{sv,\min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} = 0.24 \times \frac{1.43}{210} = 0.163\%\end{aligned}$$

配箍率满足大于最小配箍率要求。

由式(6-19)

$$\begin{aligned}V_{cs} &= 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \cdot \frac{nA_{sv1}}{s} \cdot h_0 \\ &= 0.7 \times 1.43 \times 200 \times 460 + 1.25 \times 210 \times \frac{2 \times 28.3}{150} \times 460 \\ &= 137.655 \times 10^3 \text{ N} > 72.225 \times 10^3 \text{ N}\end{aligned}$$

满足抗剪要求。

此处也可先选定箍筋, 算出 $V_{cs}$ , 再利用 $V=V_{cs}+V_{sb}$ 求得 $V_{sb}$ , 然后确定弯起钢筋面积 $A_{sb}$ 。具体过程如下:

按表6-2的要求, 选 $\phi 6@150$ 双肢箍, 则

配箍率

$$\begin{aligned}\rho_{sv} &= \frac{nA_{sv1}}{bs} = \frac{2 \times 28.3}{200 \times 150} = 0.189\% \\ &> \rho_{sv,\min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} = 0.24 \times \frac{1.43}{210} = 0.163\%\end{aligned}$$

(配箍率满足大于最小配箍率要求)

由式(6-19)

$$\begin{aligned}V_{cs} &= 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \cdot \frac{nA_{sv1}}{s} \cdot h_0 \\ &= 0.7 \times 1.43 \times 200 \times 460 + 1.25 \times 210 \times \frac{2 \times 28.3}{150} \times 460 \\ &= 137.655 \times 10^3 \text{ N}\end{aligned}$$

由式(6-21)及式(6-22), 取 $\alpha=45^\circ$ , 得所需的弯起钢筋的面积

$$\begin{aligned}A_{sb} &= \frac{V - V_{cs}}{0.8 f_y \sin \alpha} \\ &= \frac{155.550 \times 10^3 - 137.655 \times 10^3}{0.8 \times 300 \times \sin 45^\circ} = 105 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

选用1根直径25mm纵筋作弯起钢筋,  $A_{sb}=491\text{mm}^2$ , 满足计算要求。

(5) 验算弯起点处的斜截面抗剪承载力

如图6.18, 取 $s_1=150\text{mm}$ , 计算弯起钢筋水平投影长度时, 上下纵向钢筋的混凝土保护层厚度均取 $30\text{mm}$ ,  $a_s=a'_s=40\text{mm}$ 。根据几何关系, 弯起钢筋的投影长度 $s_b=h-40-40=420\text{mm}$ 。钢筋弯起点处的斜截面受剪承载力(如图6.19),

$$V_2 = V_1 \left( 1 - \frac{150 + 420}{0.5 \times 3660} \right) = 107.100 \times 10^3 \text{ N} < V_{cs} = 137.655 \times 10^3 \text{ N}$$

故，可不必再弯起钢筋或增加箍筋。

【例6-2】某钢筋混凝土矩形截面梁承受荷载如图6.20所示，集中荷载 $F=95 \times 10^3 \text{ N}$ ，均布荷载 $q=10 \text{ N/mm}$ （包括自重）；梁截面尺寸 $b \times h=250 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ ，混凝土保护层厚度 $c=30 \text{ mm}$ ；配置4根直径25mm的HRB335纵向钢筋，混凝土强度等级为C30，箍筋为HPB235级钢筋。求箍筋数量。

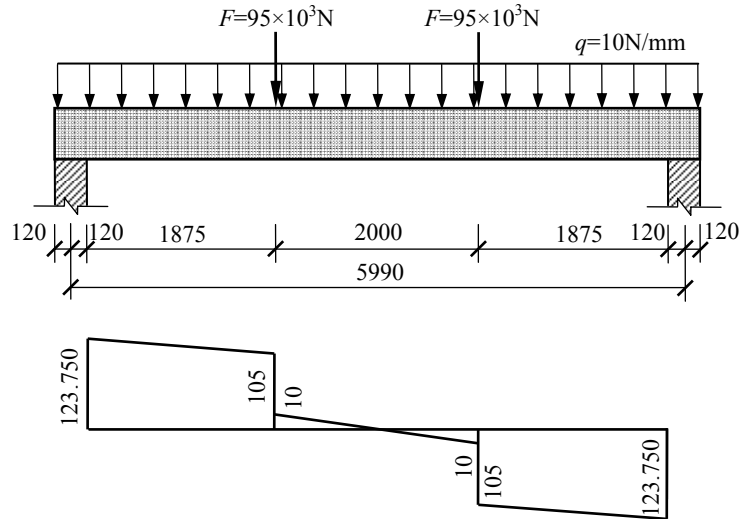


图 6.20 【例 6-2】图

【解】(1) 已知条件：

由于混凝土保护层厚度 $c=30 \text{ mm}$ 。4根直径25mm的HRB335纵向钢筋单排布置，故取 $a_s=40 \text{ mm}$ ，则

$$h_0 = h - a_s = 600 - 40 = 560 \text{ mm}$$

由附录2附表2-1和附表2-3得，C30混凝土的 $f_c=14.3 \text{ N/mm}^2$ ， $f_t=1.43 \text{ N/mm}^2$ ，HRB335钢筋的 $f_y=300 \text{ N/mm}^2$ ，HPB235钢筋的 $f_y=210 \text{ N/mm}^2$ 。（即 $f_{yv}=210 \text{ N/mm}^2$ ）

(2) 确定计算截面和剪力设计值

如图所示，该简支梁支座处剪力最大，应选此截面进行抗剪计算，剪力设计值为

$$V = \frac{1}{2}(ql_n + 2F) = \frac{1}{2} \times (10 \times 5750 + 2 \times 95 \times 10^3) = 123.750 \times 10^3 \text{ N}$$

集中荷载对支座截面产生剪力 $V_F=95 \times 10^3 \text{ N}$ ，则有 $95 \times 10^3 / (123.750 \times 10^3) = 76.8\% > 75\%$ ，故对该矩形截面简支梁应考虑剪跨比的影响， $a=1875 \text{ mm} + 120 \text{ mm} = 1995 \text{ mm}$ ，有

$$\lambda = \frac{a}{h_0} = \frac{1995}{560} = 3.5625 > 3.0, \text{ 取 } \lambda = 3.0。$$

(3) 复核截面尺寸

$$h_w = h_0 = 560, \quad \frac{h_w}{b} = \frac{560}{250} = 2.24 < 4, \text{ 属一般梁。}$$

按式(6-23)验算，混凝土强度等级为C30， $\beta_c=1$

$$0.25\beta_c f_c b h_0 = 0.25 \times 1 \times 14.3 \times 250 \times 560 = 500.500 \times 10^3 \text{ N}$$

$$> V_{\max} = 123.750 \times 10^3 \text{ N}$$

截面符合要求。

(4) 验算是否需要计算配置箍筋

$$\frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 = \frac{1.75}{3 + 1} \times 1.43 \times 250 \times 560 = 87.588 \times 10^3 \text{ N}$$

$$< V_{\max} = 123.750 \times 10^3 \text{ N}$$

故需要按计算配置箍筋。

(5) 箍筋数量计算

按仅配箍筋计算

按式 (6-20)，

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

$$= \frac{123.750 \times 10^3 - 87.588 \times 10^3}{210 \times 560} = 0.3075 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

采用 $\phi 6@130$ 双肢箍，( $A_{sv1}=28.3\text{mm}^2$ )，实有

$$\frac{nA_{sv1}}{s} = \frac{2 \times 28.3}{130} = 0.4354 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0.3075 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad (\text{满足计算要求})$$

配箍率

$$\rho_{sv} = \frac{nA_{sv1}}{bs} = \frac{2 \times 28.3}{250 \times 130} = 0.174\%$$

$$> \rho_{sv, \min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} = 0.24 \times \frac{1.43}{210} = 0.163\%$$

## 6.4 斜截面抗弯承载力的设计

斜截面承载力包括斜截面抗剪承载力和斜截面抗弯承载力两个方面。上节介绍的主要是梁斜截面抗剪承载力的计算问题。但在剪力和弯矩共同作用下产生的斜裂缝，还会导致与其相交的纵向钢筋拉力增加，引起沿斜截面抗弯承载力不足及钢筋锚固不足的破坏。

### 6.4.1 斜截面抗弯承载力

梁的斜截面抗弯承载力是指斜截面破坏时，斜截面上由混凝土、纵向受拉钢筋、弯起钢筋、箍筋等内力所提供的抵抗力矩。为防止构件发生斜截面受弯破坏，该抵抗力矩应大于构件斜截面所受到的弯矩值。若对剪压区混凝土压力合力点 $A$ 取矩（图6.21），则应满足

$$M \leq f_y A_s z + \sum f_y A_{sb} z_{sb} + \sum f_{yv} A_{sv} z_{sv} \quad (6-27)$$

式中， $M$ ——构件斜截面受压区末端的弯矩设计值，即截面I的弯矩设计值；

$z$ ——纵向受拉钢筋的合力至受压区合力点 $A$ 的距离，可近似取 $z=0.9h_0$ ；

$z_{sb}$ ——与斜截面相交的同一弯起平面内弯起钢筋的合力点至斜截面受压区合力点 $A$ 的距离；

$z_{sv}$ ——与斜截面相交的箍筋合力点至斜截面受压区合力点 $A$ 的距离。

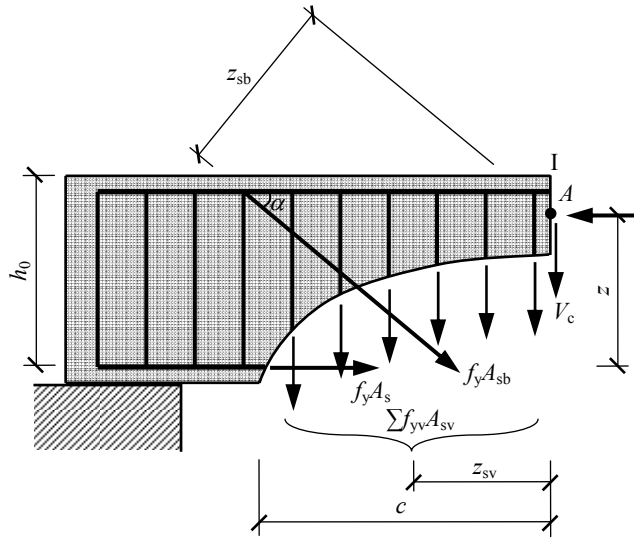


图 6.21 斜截面抗弯承载力的计算

上式已假设纵向钢筋、弯起钢筋和箍筋均已屈服，斜截面的抵抗力矩与斜截面的长度有关。实际计算中，要确定斜截面的长度比较困难。为便于计算，假设斜截面的水平投影长度 $c$ 由腹筋的抗剪和剪压区混凝土的抗剪确定，而不考虑其他因素对斜截面长度的影响，则由力的平衡条件，可得

$$V = \sum f_y A_{sb} \sin \alpha + \sum f_{yv} A_{sv} + V_c \quad (6-28)$$

式中， $V$ ——构件斜截面受压区末端的剪力设计值，即截面I的剪力设计值。

这样，根据式(6-28)可以求得斜裂缝的水平投影长度，从而求得式(6-27)中所需的 $z_{sb}$ 和 $z_{sv}$ 。显然， $V_c$ 与构件配置的腹筋有关，而 $z_{sb}$ 和 $z_{sv}$ 同样也与构件配置的腹筋有关。因而，斜截面的抗弯抵抗力矩也与构件配置的腹筋情况有关。很明显，要求出 $c$ 进而求 $z_{sb}$ 和 $z_{sv}$ ，要进行一定的假设和简化，得出的结果是非常粗略的，即使这样，其计算仍非常繁琐。因此，工程设计中，通常对斜截面抗弯承载力不进行计算，而是采用遵循梁内纵向钢筋的弯起、截断、锚固及箍筋的间距等的构造措施来保证。

#### 6.4.2 抵抗弯矩图

抵抗弯矩图（以下简称 $M_R$ 图），是指按实际配置的纵向钢筋绘制的梁各正截面所能承担弯矩的图形，它反映了沿梁长各正截面材料的抗力。弯矩图（以下简称 $M$ 图），是指由荷载在梁上产生弯矩的设计值所绘制的图形，它反映了荷载在梁上的作用效应。设计时，要保证构件不发生正截面受弯破坏， $M_R$ 图必须包住 $M$ 图。

对于单筋矩形截面梁，若实际配置纵向受拉钢筋面积 $A_s$ ，则梁各正截面所能承担的弯矩为

$$M_R = f_y A_s \left( h_0 - \frac{f_y A_s}{2\alpha_1 f_c b} \right) \quad (6-29)$$

或

$$\frac{M_R}{\alpha_1 f_c b h_0^2} = \frac{\rho f_y}{\alpha_1 f_c} \left( 1 - 0.5 \frac{\rho f_y}{\alpha_1 f_c} \right) \quad (6-30)$$

由式(6-30)可见, 抵抗弯矩 $M_R$ 与钢筋的截面面积(或配筋率)的关系为接近于直线的二次曲线关系, 如图6.22。因此, 作抵抗弯矩图时, 可用式(6-29)或式(6-30)求得 $M_R$ 。

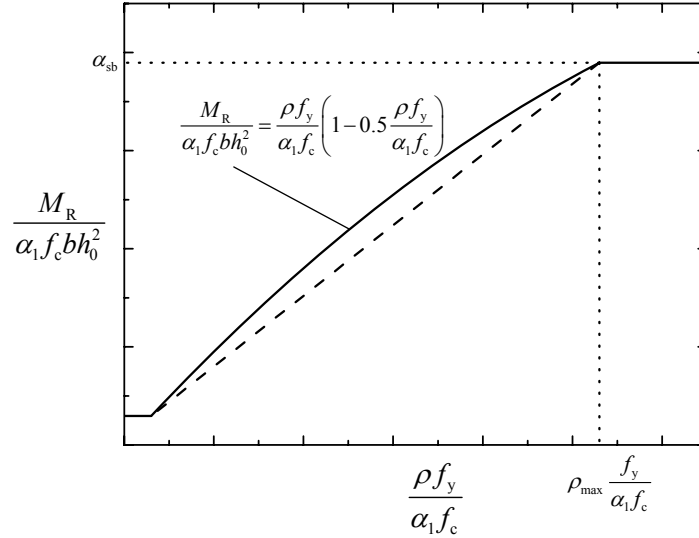


图 6.22 单筋截面抵抗弯矩与配筋的关系

在控制截面, 各钢筋按其面积大小(不同规格的钢筋按其 $f_y A_s$ 大小)分担弯矩, 则各钢筋所承担的 $M_{Ri}$ , 可近似可按下式求得

$$M_{Ri} = \frac{f_{yi} A_{si}}{\sum_j f_{yj} A_{sj}} M_R \quad (6-31)$$

式中,  $M_{Ri}$ 为第 $i$ 种受拉纵筋承担的弯矩;  $f_{yj}$ 和 $A_{sj}$ 分别为第 $j$ 种受拉纵筋的屈服强度和面积;  $n$ 为受拉纵筋的种类。受拉纵筋的规格相同时, 式(6-31)可简化为

$$M_{Ri} = \frac{A_{si}}{\sum_j A_{sj}} M_R \quad (6-32)$$

在其余截面, 当钢筋面积减小时(如钢筋弯起或被截断), 其抵抗弯矩可按比例减少。式(6-31)或式(6-32)实际上是假定截面的抵抗弯矩与钢筋的内力或截面面积成线性关系(图6.22中的虚线), 按这样假设做抵抗弯矩图偏于安全且计算大为简便。

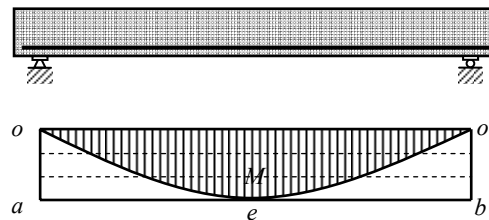


图6.23 全部纵筋伸入支座的抵抗弯矩图

图6.23为一承受均布荷载简支梁的 $M$ 图和 $M_R$ 图。该梁配置三根总面积为 $A_s$ 的纵向钢筋, (三根钢筋的面积分别为 $A_{s1}$ 、 $A_{s2}$ 和 $A_{s3}$ ), 其 $M_R$ 图的外围水平线(即梁的抵抗矩 $M_R$ )以及

每根钢筋承担的 $M_{Ri}$ 可分别由式(6-30)和(6-32)求得。显然,全部纵筋伸入支座并满足锚固要求时,各截面 $M_R$ 相同,抵抗弯矩图为图6.23中 $oaeb'o'$ 与 $oo'$ 形成的矩形。每根钢筋所能抵抗的弯矩 $M_{Ri}$ 用水平虚线示于图上。

### 6.4.3 部分纵向受拉钢筋弯起

受弯构件设计中,按正截面抗弯配置的纵向钢筋,其所依据的弯矩都取自最大弯矩截面。实际上,沿梁的轴向弯矩是变化的。尤其在支座附件,其弯矩值一般大大小于最大弯矩截面的弯矩,而剪力值往往较大。从正截面抗弯角度来看,梁上各截面的纵筋数量是可以随弯矩的减小而减少。工程设计中,往往将部分纵筋弯起,利用其抗剪,以节约钢筋。

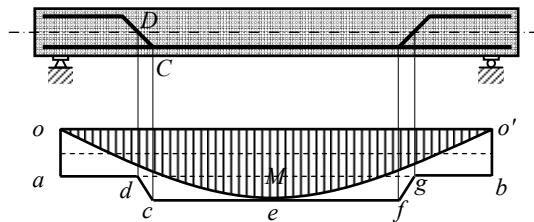


图6.24 纵筋弯起的抵抗弯矩图

图6.24中,如果三根钢筋的两端都伸入支座,则 $M_R$ 图即为图6.23中的 $oaeb'o'$ 。由图可见,支座附近处 $M_R$ 比 $M$ 大得多,正截面抗弯承载力富余较多。但构造要求,梁底部的纵向受拉钢筋不能截断,而进入支座的纵向受拉钢筋也不能少于2根。因此,在满足正截面抗弯承载力的条件下,可以将其中一根纵筋弯起,以增加斜截面的抗剪承载力,其 $M_R$ 图为图6.24中的 $oadcefgbo'$ 。

如果将纵向受拉钢筋在临近支座的C处弯起,该钢筋弯起后,其内力臂逐渐减小,因而其抵抗弯矩也逐渐变小,反映在 $M_R$ 图上, $cd$ 呈斜线。可以近似认为,当弯起钢筋穿过梁截面高度的中心线后,将不再提供抗弯承载力。假定弯起钢筋与梁截面高度的中心线相交处D,过D点后不再考虑该钢筋承受的弯矩。钢筋弯起后的 $M_R$ 图必须完全包住 $M$ 图,才能保证梁不发生正截面破坏,如图6.24。

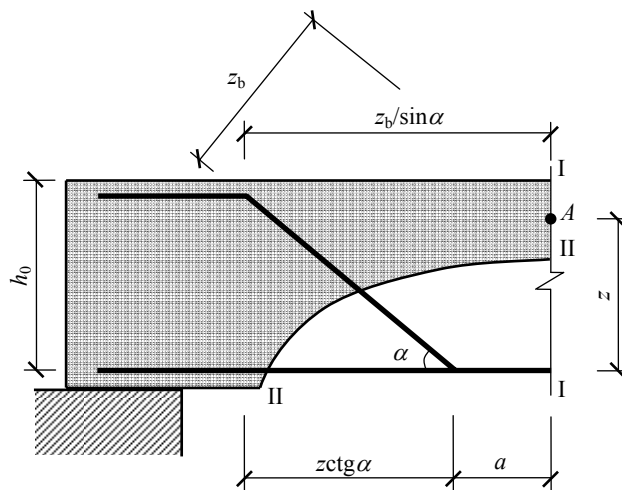


图 6.25 弯起点位置

图6.25表示斜截面抗剪承载力极限状态时,计算斜截面抗剪承载力和正截面抵抗弯矩的几何关系。I-I截面为纵向钢筋充分利用截面, $a$ 为钢筋弯起点距钢筋充分利用截面的距离。假设剪压区混凝土压力的合力中心为A,对该点取矩,则弯起钢筋弯起前后的抵抗矩分别为

$$M_I = f_y A_{sb} z \quad \text{和} \quad M_{II} = f_y A_{sb} z_b \quad (6-33)$$

为截面安全，要求钢筋弯起后的抵抗力矩不小于该钢筋弯起前的抵抗力矩，即要求

$$M_{II} \geq M_I \quad (6-34)$$

所以，需要满足

$$z_b \geq z \quad (6-35)$$

根据几何关系

$$\frac{z_b}{\sin \alpha} = \frac{z}{\tan \alpha} + a \quad (6-36)$$

所以，

$$a \geq \frac{(1 - \cos \alpha) z}{\sin \alpha} \quad (6-37)$$

式中的 $\alpha$ 为弯起钢筋与梁纵轴线的夹角，一般为 $45^\circ$ ，当梁截面高度超过800mm时，取 $60^\circ$ 。因此，由式(6-37)可以看出，保证钢筋弯起后的抵抗力矩不小于该钢筋弯起前的抵抗力矩的 $a$ 值与剪压区（或力臂长度 $z$ ）高度有关，常见剪压区高度范围的 $a$ 值与 $z$ 的关系如图6.26。 $a$ 的值一般小于0.5倍梁的有效高度。

为方便起见，《混凝土结构设计规范》

(GB 50010-2002)规定，纵筋弯起点与该钢筋充分利用截面之间的距离，不应小于 $0.5h_0$ ，即当弯起点与按计算充分利用该钢筋截面之间的距离不小于 $0.5h_0$ 时，一般情况下可以满足斜截面抗弯承载力的要求（保证斜截面的抗弯承载力不低于正截面的抗弯承载力）。当然，钢筋弯起后与梁中心线的交点应在该钢筋正截面抗弯的不需要点之外。所以，图6.24中， $c$ 点截面离 $e$ 点截面应 $\geq h_0/2$ 。

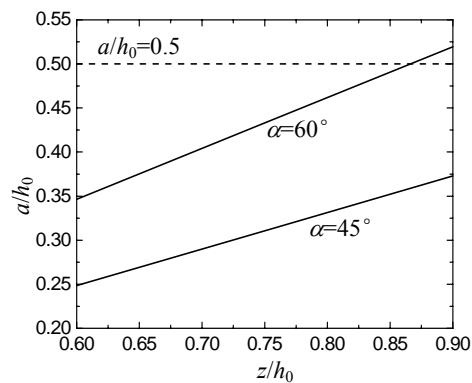


图 6.26 斜截面承载力极限状态时  $a-z$  关系

连续梁中，把跨中承受正弯矩的纵向钢筋弯起，并把它作为承担支座负弯矩的钢筋时，也必须遵循这一规定，其在受拉区域中的弯起点（对承受正弯矩的纵向钢筋来讲是它的弯终点）离开充分利用截面的距离应 $\geq h_0/2$ ，否则，此弯起钢筋将不能用作支座截面的负弯矩钢筋。

总之，若利用弯起钢筋抗剪，则钢筋弯起点的位置应同时满足斜截面抗剪（由抗剪计算确定）、正截面抗弯（弯矩抵抗图覆盖弯矩图）及斜截面抗弯（弯起点截面离该钢筋充分利用截面应 $\geq h_0/2$ ）三项要求。

如图6.27，弯起钢筋的弯终点到支座边或到前一排弯起钢筋弯起点之间的距离，都不应大于箍筋的最大间距，箍筋最大间距值见表6-2内 $V > 0.7f_t b h_0$ 一栏的规定。这是为了使每根弯起钢筋都能与斜裂缝相交，以保证斜截面的抗剪和抗弯承载力。

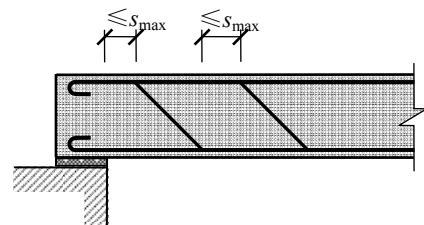


图 6.27 弯终点位置

#### 6.4.4 纵向受力钢筋的截断位置

在混凝土梁中，根据内力分析所得的弯矩沿梁纵向是变化的，因此，所配的纵向受力钢筋截面面积也可沿梁纵向有所变化，以节约钢筋。可以采用弯起钢筋的形式，但工程中应用得更多的是将纵向受力钢筋根据弯矩图的变化在适当的位置截断。钢筋的实际截断位置应当由充分利用点或理论截断点向外延伸一段距离，该距离称为延伸长度。

钢筋混凝土结构中，钢筋与混凝土共同受力，依靠足够长度的与混凝土的粘结锚固作用维持钢筋足够的抗力。要使纵向受力钢筋在结构中发挥其承载受力的作用，应从其“强度充分利用截面”外伸一定的长度 $l_{d1}$ ，依靠这段长度与混凝土的粘结锚固作用维持钢筋有足够的抗力。同时，当一根钢筋由于弯矩图变化，不考虑其抗力而截断时，从按正截面承载力计算“不需要该钢筋的截面”也须外伸一定的长度 $l_{d2}$ ，作为受力钢筋应有的构造措施。结构设计中，从上述两个条件中确定的较长外伸长度，作为纵向受力钢筋的实际延伸长度 $l_d$ ，并作为其真正的截断点（图6.28）。

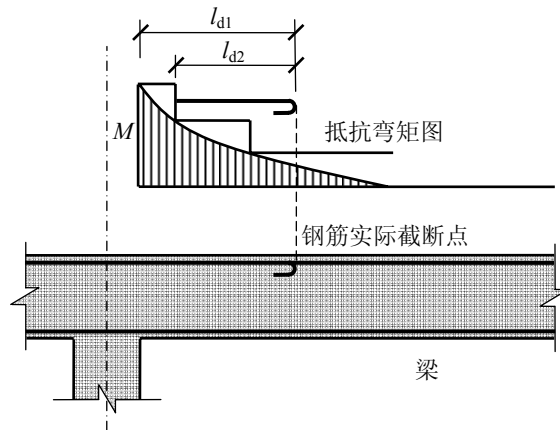


图 6.28 钢筋的延伸长度和截断点

#### 6.4.5 纵向受力钢筋的锚固

支座附近的剪力较大，出现斜裂缝后，纵向钢筋应力将增加，若纵筋伸入支座的锚固长度不足，钢筋与混凝土之间的相对滑动将导致斜裂缝宽度显著增大，甚至纵筋从混凝土中被拔出，造成支座处钢筋锚固破坏，而使构件破坏。为了防止这种破坏，纵向受力钢筋伸入支座的长度应满足钢筋锚固长度的要求，钢筋锚固长度的计算公式见式（2-33）。

另外，由于锚固条件不同，计算的锚固长度应分别乘以下列修正系数：

（1）采用HRB335级、HRB400级和RRB400级钢筋的直径大于25mm时，考虑到带肋钢筋直径较大时，其相对肋高减小，锚固作用将降低，取修正系数为1.1；

（2）有环氧树脂涂层的HRB335级、HRB400级和RRB400级钢筋，其涂层对锚固不利，取修正系数为1.25；

（3）混凝土施工过程中，锚固钢筋易受扰动时（如滑模施工），修正系数取为1.1；

（4）采用HRB335级、HRB400级和RRB400级钢筋的锚固区混凝土保护层大于钢筋直径的3倍且配有箍筋时，握裹作用加强，锚固长度可适当减短，修正系数为0.8；

（5）HRB335级、HRB400级和RRB400级钢筋末端采用机械锚固（如末端带135°弯钩、末端与短钢筋双面贴焊或末端与钢板穿孔塞焊）措施时，锚固长度（包括附加锚固端头在内的总水平投影长度）可乘以修正系数0.7。

（6）除构造需要的锚固长度外，当受力钢筋的实际配筋面积大

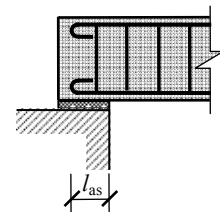


图 6.29 支座钢筋的锚固



于其设计计算值时，钢筋应力小于强度设计值，此时，锚固长度可缩短。其修正量为设计计算面积与实际配筋面积的比值。但直接承受动力荷载的结构 and 抗震设计的结构，不得考虑此项修正。

修正后的锚固长度均不应小于按公式 (2-33) 计算的锚固长度的0.7倍，且不应小于250mm。

简支梁和连续梁简支端的下部纵向受力钢筋，应伸入支座内一定的锚固长度。考虑到支座处同时又存在有横向压应力的有利作用，支座处的锚固长度可比基本锚固长度略小。《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002) 规定，钢筋混凝土梁简支端的下部纵向受拉钢筋伸入支座范围内的锚固长度 $l_{as}$  (见图6.29)，应符合下表的规定：

表 6-3 简支梁纵筋锚固长度  $l_{as}$

$V \leq 0.7f_t b h_0$	$V > 0.7f_t b h_0$
$\geq 5d$	带肋钢筋不小于 $12d$ 光圆钢筋不小于 $15d$

如纵筋伸入支座的锚固长度 $l_{as}$ 不能满足表6-3的规定时，应采取有效的附加锚固措施来加强纵向钢筋的端部锚固，如采取加焊横向钢筋、锚固钢板或将钢筋端部焊接在梁端的预埋件上等措施，但伸入支座的水平长度不应小于 $5d$ 。

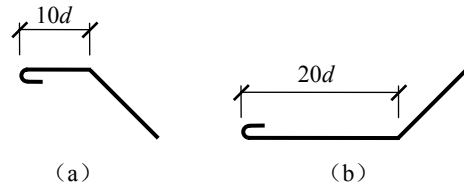


图 6.30 弯起钢筋的锚固长度  
(a) 受压区；(b) 受拉区

弯起钢筋的弯终点外应留有锚固长度，其长度在受拉区不应小于 $20d$ ，在受压区不应小于 $10d$ ；对光圆钢筋在末端尚应设置弯钩 (图6.30)。位于梁底层两侧的钢筋不应弯起。弯起钢筋不得采用浮筋 (图6.31a)；当支座处剪力很大而又不能利用纵筋弯起抗剪时，可设置仅用于抗剪的鸭筋 (图6.31b)，其端部锚固与弯起钢筋的锚固相同。

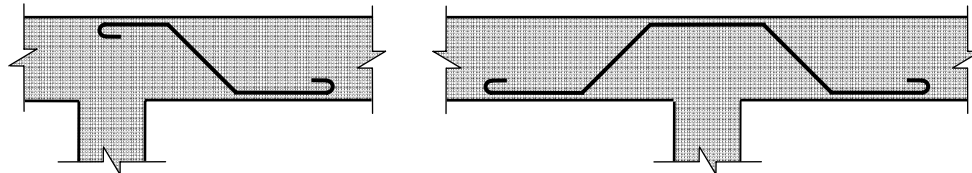


图 6.31 弯起钢筋的浮筋和鸭筋  
(a) 浮筋 (不应采用)；(b) 鸭筋

## 6.5 梁内箍筋和纵向钢筋的构造要求

### 6.5.1 箍筋的构造要求

箍筋在梁内除了承受剪力以外，还起固定纵筋位置、与纵筋形成骨架的作用，并共同对混凝土起约束作用，增加受压混凝土的延性等。对梁内箍筋的直径以及采用钢筋级别的要求见5.4.1节及表6-2，对梁内箍筋的形式及布置方式的构造要求如下：

#### 1. 箍筋的形式和肢数

箍筋的形式有封闭式和开口式两种，如图6.32所示。当梁中

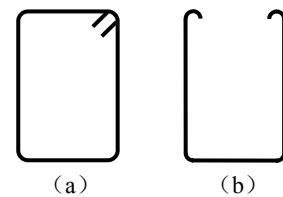


图6.32 箍筋的形式  
(a) 封闭式；(b) 开口式

配有计算需要的纵向受压钢筋时，箍筋应做成封闭式，而对现浇T形梁，当不承受扭矩和动荷载时，在跨中截面上部受压区的区段内，也可采用开口式。箍筋的端部应做成135°的弯钩，弯钩端部的长度不应小于 $5d$ （ $d$ 为箍筋直径）和50mm。

箍筋有单肢、双肢和复合箍等，如图6.33所示。一般按以下情况选用，当梁宽小于等于400mm时，可采用双肢箍。当梁宽大于400mm且一层内的纵向受压钢筋多于3根时，或者当梁宽小于等于400mm，但一层内的纵向受压钢筋多于4根时，应设置复合箍筋。当梁宽小于100mm时，可采用单肢箍筋。

### 2. 箍筋的直径和间距

为了使钢筋骨架具有一定的刚度，又便于制作安装，箍筋的直径不应过大，也不应过小。箍筋的间距除满足计算要求外，还应满足下列构造要求，以控制斜裂缝的宽度。

(1) 箍筋的最大间距和最小直径应符合表6-2的规定；

(2) 当梁中配有按计算需要的纵向受压钢筋时，箍筋的间距不应大于 $15d$ （ $d$ 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 $10d$ 。

### 3. 箍筋的布置

对于按计算不需要箍筋抗剪的梁，应符合下列要求：

- (1) 截面高度大于300mm时，仍应沿梁全长设置箍筋；
- (2) 截面高度 $h=150\text{mm}\sim 300\text{mm}$ 时，可在构件端部各1/4跨度范围内设置箍筋。但当构件中部1/2跨度范围内有集中荷载作用时，则应沿梁全长设置箍筋；
- (3) 截面高度小于150mm时，可不设置箍筋。

## 6.5.2 纵向钢筋的构造要求

梁内的纵向钢筋包括纵向受力钢筋、架立钢筋和纵向构造钢筋。纵向受力钢筋和架立钢筋的构造要求见5.4.1，纵向构造钢筋的构造要求如下：

1. 当梁的高度较大时，可能在梁两侧面产生收缩裂缝。所以，当梁的腹板高度 $h_w\geq 450\text{mm}$ 时，应在梁的两个侧面沿高度配置纵向构造钢筋（简称腰筋），如图6.34所示。每侧纵向构造钢筋（腰筋，不包括梁上、下部受力钢筋及架立钢筋）的截面面积不应小于腹板截面面积 $bh_w$ 的0.1%，且其间距不宜大于200mm。此处，腹板的高度 $h_w$ 按图6.17确定。

2. 对钢筋混凝土薄腹梁或需作疲劳验算的钢筋混凝土梁，应在下部二分之一梁高的腹板内沿两侧配置直径（8~14）mm、间距为（100~150）mm的纵向构造钢筋，并按下密上疏的方式布置。在上部二分之一梁高的腹板内，纵向构造钢筋按上述普通梁的放置。

3. 搁放在砌体上的钢筋混凝土大梁在计算时按简支来考虑，但实际上梁端有弯矩的作用，所以应在支座上部梁内设置纵向构造钢筋，其截面面积不应小于梁跨中下部纵向受拉钢筋计算所需要截面面积的1/4，且不应少于两根。该纵向构造钢筋自支座边缘向跨内伸出的长度不应小于 $0.2l_0$ （ $l_0$ 为梁计算跨度）。

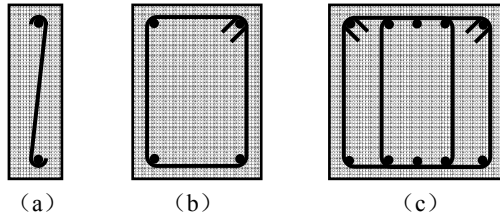


图6.33 箍筋的肢数

(a) 单肢箍；(b) 双肢箍；(c) 四肢箍

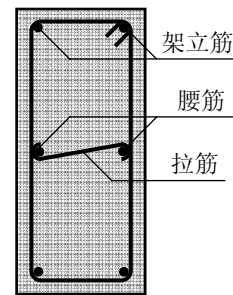


图6.34 架立筋、腰筋及拉筋

## 思考题

- 6.1 钢筋混凝土梁在荷载作用下为什么会产生斜裂缝？它发生在梁的什么区段内？简述斜裂缝产生和发展过程。
- 6.2 无腹筋梁中，斜裂缝出现前后，梁中纵向钢筋和混凝土的应力有哪些变化？
- 6.3 梁斜截面的剪切破坏形态有哪几种？各在什么情况下产生？怎样防止这些破坏形态的发生？
- 6.4 影响斜截面抗剪性能的主要因素有哪些？
- 6.5 简要说明箍筋对提高斜截面抗剪承载力的作用。
- 6.6 为什么箍筋对斜压破坏梁的抗剪承载力不能起提高作用？
- 6.7 为什么要对梁的截面尺寸加以限制？为什么要规定最小配箍率？这个条件实质上是控制了什么？
- 6.8 梁配置的箍筋除了承受剪力外，还有哪些作用？箍筋主要的构造要求有哪些？
- 6.9 纵向受拉钢筋的最小锚固长度是如何确定的？影响其值的主要因素有哪些？
- 6.10 在计算斜截面承载力时，计算截面的位置应如何确定？
- 6.11 限制箍筋及弯起钢筋的最大间距 $s_{\max}$ 的目的是什么？当箍筋间距 $s_{\max}$ 满足要求时，是否一定满足最小配筋率的要求？若不满足，应如何处理？
- 6.12 均布荷载作用与集中荷载作用梁斜截面承载力的计算有什么不同？
- 6.13 试述剪跨比的概念及其对斜截面破坏的影响。
- 6.14 连续梁的抗剪性能与简支梁相比有何不同？为什么它们可以采用相同的抗剪承载力计算公式？
- 6.15 什么是抵抗弯矩图？如何绘制？在设计时，如何利用抵抗弯矩图？
- 6.16 分别说明抵抗弯矩图中钢筋的“理论切断点”和“充分利用点”的含意。
- 6.17 为什么会发生斜截面受弯破坏？如何保证斜截面抗弯承载力？

## 习题

6.1 承受均布荷载的矩形截面简支梁，截面尺寸 $b \times h = 200\text{mm} \times 550\text{mm}$ ，混凝土保护层厚度 $c = 30\text{mm}$ ；混凝土为C30级，箍筋采用HPB235级钢筋，梁中已配有双肢 $\phi 8 @ 200$ 箍筋；试求该梁所能承担的最大剪力值。

6.2 某矩形截面简支梁，承受均布荷载设计值 $q = 60\text{N/mm}$ （包括自重）。梁净跨度 $l_n = 5300\text{mm}$ ，计算跨度 $l_0 = 5500\text{mm}$ ，截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 550\text{mm}$ ，混凝土保护层厚度 $c = 30\text{mm}$ ；混凝土强度等级为C30，纵向钢筋采用HRB335级钢筋，箍筋采用HPB235级钢筋。  
① 根据正截面抗弯承载力的要求计算并配置纵向受拉钢筋；② 分别按由混凝土和箍筋抗剪以及由混凝土、箍筋和弯起钢筋共同抗剪计算并配置抗剪钢筋。

6.3 如图6.35所示的矩形截面梁，混凝土保护层厚度 $c = 30\text{mm}$ ，集中荷载设计值 $P = 350 \times 10^3\text{N}$ 。混凝土强度等级为C30，纵向钢筋采用HRB335级钢筋，箍筋采用HPB235级钢筋。  
① 根据正截面抗弯承载力的要求计算并配置纵向受拉钢筋；② 按由混凝土和箍筋抗剪

计算并配置抗剪钢筋。

6.4 T形截面梁，承受均布荷载设计值 $q=75\text{N/mm}$ （包括自重）。截面尺寸

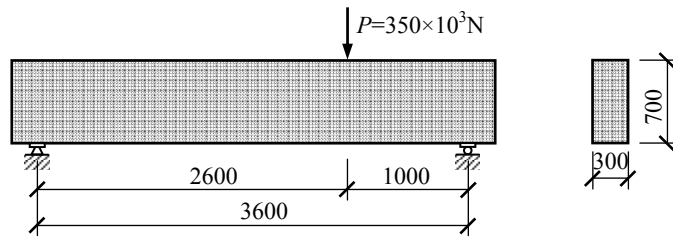


图6.35 题6.3图

$b \times h = 250\text{mm} \times 600\text{mm}$ ， $b'_f = 400\text{mm}$ ， $h'_f = 100\text{mm}$ ，混凝土保护层厚度 $c = 30\text{mm}$ ；两端简支于厚度为 $240\text{mm}$ 的墙上，梁净跨度 $l_n = 5160\text{mm}$ ，计算跨度 $l_0 = 5400\text{mm}$ ；混凝土强度等级为C30，纵向钢筋采用HRB335级钢筋，箍筋采用HPB235级钢筋。要求按正截面承载力计算并配置纵向受力钢筋，并根据下列要求，计算并配置抗剪钢筋：

- ① 按由混凝土和箍筋抗剪计算并配置抗剪箍筋；
- ② 如已配置双肢 $\phi 6 @ 150$ 的箍筋，计算并配置弯起钢筋。