

第 5 章 受弯构件的斜截面承载力

5. 1 概述

上一章讲了钢筋混凝土受弯构件在主要承受弯矩的区段内，会产生垂直裂缝，如果正截面受弯承载力不够，将沿垂直裂缝发生正截面受弯破坏。钢筋混凝土受弯构件在弯矩和剪力共同作用下，当正截面受弯承载力得到保证时，则有能产生斜截面破坏。斜截面破坏包括斜截面受剪破坏和斜截面受弯破坏两方面。因此为了保证受弯构件的承载力，除了进行正截面受弯承载力计算外，还必须进行斜截面受剪承载力计算，同时斜截面受弯承载力则是通过对纵向钢筋和箍筋的构造要求来满足的。

钢筋混凝土受弯构件在出现裂缝前的应力状态，由于它是两种不同材料组成的非均质体，因而材料力学公式不能完全适用。但是当作用的荷载较小，构件内的应力也较小，其拉应力还未超过混凝土的抗拉极限强度、亦即处于裂缝出现以前的 I_a 阶段状态时，则构件与均质弹性体相似，应力-应变基本成线性关系，此时其应力可近似按一般材料力学公式来进行分析。在计算时可将纵向钢筋截面按其重心处钢筋的拉应变取与同一高度处混凝土纤维拉应变相等的原则，由虎克定律换算成等效的混凝土截面，得出一个换算截面，则截面上任意一点的正应力和剪应力分别按下式计算，其应力分布见图 5-1。

图 5-1 钢筋混凝土简支梁开裂前的应力状态

(a) 开裂前的主应力轨迹线；(b) 换算截面；(c) 正应力 σ 图；(d) 剪应力 τ 图

$$\text{正应力} \quad \sigma = \frac{My}{I_0} \quad (5-1)$$

$$\text{剪应力} \quad \tau = \frac{VS}{bI_0} \quad (5-2)$$

式中 I_0 ——换算截面惯性矩。

由于受弯构件纵向钢筋的配筋率一般不超过 2%，所以按换算截面面积计算所得

的正应力和剪应力值与按素混凝土的截面计算所得的应力值相差不大。

根据材料力学原理，受弯构件正截面上任意一点在正应力 σ 和剪应力 τ 共同作用下，在该点所产生的主应力，可按下列式计算

$$\text{主拉应力} \quad \sigma_p = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} \quad (5-3)$$

$$\text{主压应力} \quad \sigma_q = \frac{\sigma}{2} - \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} \quad (5-4)$$

主应力的作用方向与构件纵向轴线的夹角 α 可由下式求得：

$$\text{tg } 2\alpha = -\frac{2\tau}{\sigma} \quad (5-5)$$

在中和轴附近，正应力很小，剪应力大，主拉应力方向大致为 45° 。当荷载增大，拉应变达到混凝土的极限拉应变值时，混凝土开裂，沿主压应力迹线产生腹部的斜裂缝，称为腹剪斜裂缝。腹剪斜裂缝中间宽两头细，呈枣核形，常见于薄腹梁中，如图 5-2 (a) 所示。另外，从主应力迹线图上可以看出，在剪弯区段截面的下边缘，主拉应力还是水平向的。所以，在这些区段仍可能首先出一些较短的垂直裂缝，然后延伸成斜裂缝，向集中荷载作用点发展，这种由垂直裂缝引伸而成的斜裂缝的总体，称为弯剪斜裂缝，这种裂缝上细下宽，是最常见的，如图 5-2 (b) 所示。

为了防止梁沿斜裂缝破坏，应使梁具有一个合理的截面尺寸，并配置必要的箍筋（图 5-3）。箍筋、纵筋和架立钢筋绑扎（或焊）在一起，形成钢筋骨架，使各种钢筋得以在施工时维持正确的位置。当梁承受的剪力较大时，可再补充设置斜钢筋，斜钢筋一般由梁内的纵筋弯起而形成，称为弯起钢筋，如图 5-3 所示。有时采用单独添置的斜钢筋。箍筋、弯起钢筋（或斜筋）统称为腹筋。仅配有纵向钢筋而无箍筋和弯起钢筋的梁，称为无腹筋梁。

5.2 受弯构件斜截面的受力特点与破坏形态

5.2.1 无腹筋梁斜截面的受力特点

无腹筋梁出现斜裂缝后，其应力状态发生了显著变化，这时已不可再将其视为匀质弹性梁，截面上的应力亦不能用一般的材料力学公式进行计算。现以图 5-4 中的斜裂缝 CB 为界取出截离体，斜裂缝上端截面 AB 称为剪压区。

在这个截离体上剪力 V 是由作用在以下抗力来平衡的：裂缝上端混凝土截面承

受的剪力 V_c 。纵向钢筋销栓作用传递的剪力 V_d ，斜裂缝交界面骨料的咬合与磨擦作用传递的剪力 V_a 。由于混凝土保护层厚度不大，难以阻止纵向钢筋在剪力作用下产生的剪切变形，故纵向钢筋联系斜裂缝两侧混凝土的销栓作用是很脆弱的；斜裂缝交界面上骨料的咬合作用及磨擦作用将随着斜裂缝的开展而逐渐减小。

由于斜裂缝的出现，梁在剪弯段内的应力状态将发生很大变化，主要表现在：

(1) 开裂前的剪力是由全截面承担的，开裂后则主要由剪压区混凝土承担，剪压区混凝土剪应力和压应力大大增加（随着荷载的增大，斜裂缝宽度增加，骨料咬合力也迅速减小），应力的分布规律不同于斜裂缝出现前的情形。

(2) 混凝土剪压区面积因斜裂缝的出现和发展而逐渐减小，剪压区内的混凝土压应力将大大增加。

(3) 与斜裂缝相交处的纵向钢筋应力，由于斜裂缝的出现而突然增大。因为该处的纵向钢筋拉力 T 在斜裂缝出现前是由截面 C 处弯矩 M_c 决定的（见图 5-4），而在斜裂缝出现后，根据力矩平衡的概念，纵向钢筋的拉力 T 则是由斜裂缝端点处截面 AB 的弯矩 M_b 所决定， M_b 比 M_c 要大很多。

(4) 纵向钢筋拉应力的增大导致钢筋与混凝土间粘结应力的增大，有可能出现沿纵向钢筋的粘结裂缝（图 5-5a）或撕裂裂缝（图 5-5b）。

当荷载继续增加后，随着斜裂缝数量的增多和裂缝宽度增大，骨料咬合力下降；沿纵向钢筋的混凝土保护层也有可能被撕裂、钢筋的销栓力也逐渐减弱；斜裂缝中的一条发展成为主要斜裂缝，称为临界斜裂缝，无腹筋梁此时如同拱结构（图 5-6），纵向钢筋成为拱的拉杆。一种较常见的破坏情形是：临界斜裂缝的发展导致混凝土剪压区高度的不断减小，最后在剪应力和压应力的共同作用下，梁因剪压区混凝土被压碎（拱顶破坏）而发生破坏。破坏时纵向钢筋拉应力往往低于其屈服强度。

5.2.2 有腹筋梁斜截面受力分析

对于有腹筋梁，在荷载较小，斜裂缝出现之前，腹筋中的应力很小，腹筋作用不大，对斜裂缝出现荷载影响很小，其受力性能与无腹筋梁相近。然而，在斜裂缝出现后，有腹筋梁的受力性能与无腹筋梁相比，将有显著的不同。

斜裂缝出现后，与斜裂缝相交的箍筋的应力增大。此时有腹筋梁比拟成一个平面桁架。如图（5-7）。其中箍筋可以将被斜裂缝分割的混凝土齿状块体，即混凝土

斜压杆连接在一起，从而可将梁中开裂后的混凝土块体 I 视为桁架的上弦，斜裂缝间的小齿块 II、III，视为桁架的斜压杆，纵筋为受拉弦杆，箍筋及弯起钢筋为受拉腹杆，比拟成一个平面桁架。

由此可知，箍筋作为桁架受拉腹杆，传递小齿 II、III 等传来的压力，相对地可以认为增加了压区的高度，减轻了块体 I 斜裂缝顶端混凝土承担的压力，从而提高了梁的抗剪能力。

5.2.3 剪跨比

对于承受集中荷载的梁，剪跨比 λ 系指剪跨 a 与截面有效高度 h_0 的比值，即

$$\lambda = \frac{a}{h_0} = \frac{Va}{Vh_0} = \frac{M}{Vh_0} \quad (5-6)$$

这里的剪跨长度 a 是指离支座最近的那个集中力到支座的距离。

公式 (5-6) 表明，剪跨比 λ 实质上反映了截面上弯矩 M 与剪力 V 的相对值。于是，对于承受均布荷载或其他复杂荷载的梁，可用无量纲参数 $M/(Vh_0)$ 来反映截面上弯矩与剪力的相对比值，一般称 $M/(Vh_0)$ 为广义剪跨比 λ_0 。即

$$\lambda_0 = \frac{M}{Vh_0} \quad (5-7)$$

由于剪压区混凝土截面上的正应力大致与弯矩 M 成正比，而剪应力大致与剪力 V 成正比，因此，剪跨比 λ 或广义剪跨比 λ_0 实质上反映了截面上正应力和剪应力的相对关系。由于正应力和剪应力决定了主应力的方向和大小。因而，它对梁的斜截面受剪破坏形态和斜截面受剪承载力，有着极为重要的影响。

5.2.4 斜截面受剪的三种主要破坏形态

1. 无腹筋梁的斜截面受剪破坏形态

大量试验表明，无腹筋梁斜截面剪切破坏主要有三种破坏形态：

(1) 斜压破坏

$\lambda < 1$ 时，发生斜压破坏。这种破坏多数发生在剪力大而弯矩小的区段，以及梁腹板很薄的 T 形截面或工字形截面梁内。破坏时，混凝土被腹剪斜裂缝分割成若干个斜向短柱而被压坏，破坏是突然发生的。

(2) 剪压破坏

$1 < \lambda < 3$ 时，发生剪压破坏。其破坏的特征通常是，在剪弯区段的受拉区边缘先出现一些垂直裂缝，它们沿竖向延伸一小段长度后，就斜向延伸形成一些斜裂缝，而后又产生一条贯穿的较宽的主要斜裂缝，称为临界斜裂缝，临界斜裂缝出现后迅速延伸，使斜截面剪压区的高度缩小，最后导致剪压区的混凝土破坏，使斜截面丧失承载力。

(3) 斜拉破坏

$\lambda > 3$ 时，常发生这种破坏。其特点是当垂直裂缝一出现，就迅速向受压区斜向伸展，斜截面承载力随之丧失。破坏荷载与出现斜面裂缝时的荷载很接近，破坏过程急骤，破坏前梁变形亦小，具有很明显的脆性性质。

2. 有腹筋梁的斜截面受剪破坏形态

与无腹筋梁类似，有腹筋梁的斜截面受剪破坏形态主要有三种：斜压破坏、剪压破坏和斜拉破坏。

当剪跨比较小或箍筋的配置数量过多，则在箍筋尚未屈服时，斜裂缝间混凝土即因主压应力过大而发生斜压破坏。在薄腹梁中，即使剪跨比较大，也会发生斜压破坏。

当箍筋的配置数量适当，则斜裂缝出现后，原来由混凝土承受的拉力转由斜裂缝相交的箍筋承受，在箍筋尚未屈服时，由于箍筋的受力作用，延缓和限制了斜裂缝的开展和延伸，荷载尚能有较大的增长。当箍筋屈服后，其变形迅速增大，不再能有效地抑制斜裂缝的开展和延伸，最后斜裂缝上端的混凝土在剪压复合应力作用下，达到极限强度，发生剪压破坏。

当剪跨比较大，且箍筋配置的数量过少，当斜裂缝出现后，原来由混凝土承受的拉力转由箍筋承受，使箍筋很快达到屈服，不能限制斜裂缝的开展，此时梁的破坏形态与无腹筋梁相似，也将发生斜拉破坏。

5. 3 影响受弯构件斜截面受剪承载力的主要因素

5.3.1 剪跨比对斜截面受剪承载力的影响

试验表明，对于承受集中荷载的梁，随着剪跨比的增大，受剪承载力下降。对于承受均布荷载作用的梁而言，构件跨度与截面高度之比（简称跨高比） l_0/h 是影响受剪承载力的主要因素。随着跨高比的增大，受剪承载力降低。

5.3.2 混凝土强度对斜截面受剪承载力的影响

斜截面破坏是因混凝土到达极限强度而发生的，故混凝土的强度对梁的受剪承载力影响很大。

梁斜压破坏时，受剪承载力取决于混凝土的抗压强度。梁为斜拉破坏时，受剪承载力取决于混凝土的抗拉强度，而抗拉强度的增加较抗压强度来得缓慢，故混凝土强度的影响就略小。剪压破坏时，混凝土强度的影响则居于上述两者之间。

5.3.3 纵向钢筋配筋率对斜截面受剪承载力的影响

试验表明，梁的受剪承载力随纵向钢筋配筋率 ρ 的提高而增大。一方面，因为纵向钢筋能抑制斜裂缝的开展和延伸，使斜裂缝上端的混凝土剪压区的面积较大，从而提高了剪压区混凝土承受的剪力 V_c 。显然，纵筋数量增加，这种抑制作用也增大。另一方面，纵筋数量增加，其销栓作用随之增大，销栓作用所传递的剪力亦增大。纵向钢筋配筋率 ρ 对梁受剪承载力的影响，两者大体上成直线关系。随剪跨比的不同， ρ 的影响程度亦不同，所以各直线的斜率也不同。剪跨比小时，纵筋的销栓作用较强， ρ 对受剪承载力的影响较大；剪跨比较大时，纵筋的销栓作用减弱，则 ρ 对受剪承载力的影响较小。

5.3.4 配筋率和箍筋强度对斜截面受剪承载力的影响

有腹筋梁出现斜裂缝后，箍筋不仅直接承受相当部分的剪力，而且有效地抑制斜裂缝的开展和延伸，对提高剪压区混凝土的抗剪能力和纵向钢筋的销栓作用有着积极的影响。试验表明，在配箍最适当的范围内，梁的受剪承载力随配箍量的增多、箍筋强度的提高而有较大幅度的增长。

配箍量一般用箍筋的配筋率（又称配箍率） ρ_{sv} 表示，即

$$\rho_{sv} = \frac{nA_{sv1}}{bs} \quad (5-8)$$

式中 ρ_{sv} ——竖向箍筋配筋率；

n ——在同一截面内箍筋的肢数；

A_{sv1} ——单肢箍筋的截面面积；

b ——截面宽度；

s ——沿构件长度方向上箍筋的间距。

当其它条件相同时，两者大体成线性关系。如前所述，剪切破坏属脆性破坏。

为了提高斜截面的延性，不宜采用高强度钢筋作箍筋。

5.3.5 截面尺寸和截面形状对斜截面受剪承载力的影响

1. 截面尺寸的影响

截面尺寸对无腹筋梁的受剪承载力有影响，尺寸大的构件，破坏时的平均剪应力 ($\tau = V/bh_0$)，比尺寸小的构件要降低。有试验表明，在其他参数（混凝土强度、纵筋配筋率、剪跨比）保持不变时，梁高扩大 4 倍，受剪承载力可下降 25%~30%。

对于有腹筋梁，截面尺寸的影响将减小。

2. 截面形状的影响

这主要是指 T 形截面梁，其翼缘大小对受剪承载力有一定影响。适当增加翼缘宽度，可提高受剪承载力 25%，但翼缘过大，增大作用就趋于平缓。另外，梁宽增厚也可提高受剪承载力。

5. 4 斜截面受剪承载力的计算公式与适用范围

5.4.1 基本假定

如前所述，钢筋混凝土梁沿斜截面的主要破坏形态有：斜压破坏，斜拉破坏和剪压破坏，在工程设计中，对于斜压破坏和斜拉破坏，一般是采取一定的构造措施予以避免。对于常见的剪压破坏，由于发生这种破坏形态时梁的受剪承载力变化幅度较大，故必须进行受剪承载力计算，从而防止剪压破坏。《规范》的基本计算公式就是根据剪压破坏形态的受力特征而建立的。其基本假定如下：

1. 假定梁的斜截面受剪承载力 V_u 由斜裂缝上剪压区混凝土的抗剪能力 V_c ，与斜裂缝相交的箍筋的抗剪能力 V_{sv} 和与斜裂缝相交的弯起钢筋的抗剪能力 V_{sb} 三部分所组成（图 5-15）。由平衡条件 $\Sigma Y=0$ 可得：

$$V_u = V_c + V_{sv} + V_{sb} \quad (5-9)$$

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_{sv} ——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。

如令 V_{cs} 为箍筋和混凝土共同承受的剪力，

$$\text{即} \quad V_{cs} = V_c + V_{sv} \quad (5-10)$$

则
$$V_u = V_{cs} + V_{sb} \quad (5-11)$$

2. 梁剪压破坏时，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，但要考虑拉应力可能不均匀，特别是靠近剪压区的箍筋有可能达不到屈服强度。

3. 斜裂缝处的骨料咬合力和纵筋的销栓力，在无腹筋梁中的作用还较显著，两者承受的剪力可达总剪力的 50%~90%，但在有腹筋梁中，由于箍筋的存在，虽然使骨料咬合力和销栓力都有一定程度的提高，但它们的抗剪作用已大都被箍筋所代替，试验表明，它们所承受的剪力仅占总剪力的 20%左右，为了计算简便，式（5-9）中未列入此项内容。

4. 截面尺寸的影响主要对无腹筋的受弯构件，故仅在不配箍筋和弯起钢筋的厚板计算时才予以考虑。

5. 剪跨比是影响斜截面承载力的重要因素之一，但为了计算公式应用简便，仅在计算受集中荷载为主的梁时才考虑了 λ 的影响。

5.4.2 斜截面受剪承载力的计算公式

1. 均布荷载作用下矩形、T形和I形截面的简支梁，当仅配箍筋时，斜截面受剪承载力的计算公式

$$V_u = V_{cs} = 0.7f_t b h_0 + 1.25f_{yv} \cdot \frac{A_{sv}}{s} \cdot h_0 \quad (5-12)$$

式中 V_{cs} ——构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值，按附表 取用；

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值，按附表 取用；

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积， $A_{sv} = n \cdot A_{sv1}$ ，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形或I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 75%。

在上述公式中，对翼缘位于剪压区的 T 形截面而言，翼缘加大了剪压区混凝土的面积，因此提高了梁的受剪承载力。试验表明，对无腹筋梁可提高 20%左右。当翼

缘加大到一定程度后，再加大翼缘截面，不能再提高梁的受剪承载力。有时对梁腹板相对较窄成为薄弱环节，剪切破坏发生在腹板上，其翼缘的大小对在腹板破坏时的承载力影响不大。因此，对 T 形和工字形截面梁仍按肋宽为 b 的矩形截面梁的受剪承载力计算公式（5-12）来计算。

2. 对集中荷载作用下的矩形、T 形和 I 形截面独立简支梁（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），当仅配箍筋时，斜截面受剪承载力的计算公式

$$V_u = V_{cs} = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 + 1.0 f_{yv} \cdot \frac{A_{sv}}{s} \cdot h_0 \quad (5-13)$$

式中 λ —— 计算截面的剪跨比，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 $\lambda = 3$ ，计算截面至支座之间的箍筋，应均匀配置。

必须提出，由于配置箍筋后混凝土所能承受的剪力与无箍筋时所能承受的剪力是不同的。不能把式（5-12）中的 $0.7 f_t b h_0$ 和式（5-13）中的 $\frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0$ 看成是混凝土承担的剪力；也不能把式（5-12）中的 $1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 和式（5-13）中的 $1.0 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 看成是箍筋承担的剪力。正确的认识是，由于箍筋限制了斜裂缝的开展，使剪压区面积增大，从而提高了混凝土承担的剪力，所以 $0.7 f_t b h_0$ 或 $\frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0$ 是指无腹筋梁混凝土承担的剪力；对有箍筋的梁，混凝土承担的剪力还要增加一些，也就是在 $1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 中或在 $1.0 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 中有一小部分是属于混凝土的作用。采用 $V = 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 或 $V = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 + 1.0 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 来综合表达混凝土与箍筋所承担的剪力，是因为有腹筋梁的受剪承载力计算是以无腹筋梁的试验结果为基础的。

3. 配有箍筋和弯起钢筋时梁的斜截面受剪承载力。

当梁的剪力较大时，可配置箍筋和弯起钢筋共同承受剪力设计值。弯起钢筋所承受的剪力值应等于弯起钢筋的承载力在垂直于梁纵轴方向的分力值。其斜截面承载力设计表达式为：

$$V = V_{cs} + 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha \quad (5-14)$$

式中 f_y ——弯起钢筋的抗拉强度设计值；

A_{sb} ——同一弯起平面内弯起钢筋的截面面积；

α ——弯起钢筋与梁纵轴的夹角；

0.8——考虑到构件破坏时弯起钢筋达不到屈服强度时的应力不均匀系数。

4. 不配置箍筋和弯起钢筋的一般板类受弯构件

板类构件通常承受的荷载不大，剪力较小。因此，一般不必进行斜截面承载力的计算，也不配箍筋和弯起钢筋。但是，当板上承受荷载较大时，需要对其斜截面承载力进行计算。

不配置箍筋和弯起钢筋的一般板类受弯构件，其斜截面的受剪承载力应按下列公式计算

$$V \leq 0.7\beta_h f_t b h_0 \quad (5-15)$$

$$\beta_h = \left(\frac{800}{h_0}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (5-16)$$

式中 β_h ——截面高度影响系数，当 h_0 小于 800mm 时，取 h_0 等于 800mm；当 h_0 大于 2000mm 时，取 h_0 等于 2000mm。

5.4.3 计算公式的适用范围

梁的斜截面受剪承载力计算公式，仅适用于剪压破坏情况，为了防止斜压破坏和斜拉破坏，还应规定其上、下限值。

1. 上限值——最小截面尺寸

当发生斜压破坏时，梁腹的混凝土被压碎、箍筋不屈服，其受剪承载力主要取决于构件的腹板宽度、梁截面高度及混凝土强度。因此，只要保证构件截面尺寸不太小，就可防止斜压破坏的发生，同时也是为了防止在使用阶段斜裂缝过宽。

为此，《规范》规定了截面尺寸的限制条件。

当 $\frac{h_w}{b} \leq 4.0$ 时，属于一般的梁，应满足

$$V \leq 0.25\beta_c f_c b h_0 \quad (5-17)$$

当 $\frac{h_w}{b} \geq 6.0$ 时，属于薄腹梁，应满足

$$V \leq 0.2\beta_c f_c b h_0 \quad (5-18)$$

当 $4.0 < \frac{h_w}{b} < 6.0$ 时，应满足

$$V \leq 0.025(14 - \frac{h_w}{b})\beta_c f_c b h_0 \quad (5-19)$$

式中 V ——构件斜截面上的最大剪力设计值；

β_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 $\beta_c = 0.8$ ；其间接线性内插法取用；

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 形截面取有效高度减去翼缘高度，工字形截面取腹板净高。

2. 下限值—箍筋最小含量

试验表明，在混凝土出现斜裂缝以前，斜截面上的应力主要由混凝土承担，当出现斜裂缝后，斜裂缝处的拉应力全部转移给箍筋，箍筋拉应力突然增大，如果箍筋配置过少，则箍筋不能承担原来由混凝土承担的拉力，斜裂缝一出现箍筋拉应力会立即达到屈服强度，甚至被拉断而导致斜拉的脆性破坏。

为了避免因箍筋少筋的破坏，要求在梁内配置一定数量的箍筋，且箍筋的间距又不能过大，以保证每一道斜裂缝均能与箍筋相交，就可避免发生斜拉破坏。《规范》规定，箍筋最小配筋率为

$$\rho_{sv,\min} = \frac{nA_{sv1}}{bs} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} \quad (5-20)$$

5.4.4 连续梁斜截面抗剪性能及受剪承载力计算

如图 5-14 所示，连续梁在剪跨区段内作用有正负二个方向的弯矩并有一个反弯点。梁在荷载作用下，在反弯点附近可能出现二条临界斜裂缝，分别指向中间支座和加载点。此时，在斜裂缝处由于混凝土开裂产生内力重分布而使纵向钢筋的拉应力增大很多，当纵向受拉钢筋自斜裂缝处延伸至反弯点时，从理论上讲该点处纵向钢筋的应力应很小，这样，在这不长区段内的纵向钢筋拉力差，要通过钢筋和混凝土之间的粘结力将其传递到混凝土上去，由混凝土承受。而实际上由于这一区段钢

筋内拉力差过大，从而引起粘结力的破坏，致使沿纵向钢筋与混凝土之间出现一批针脚状的粘结裂缝。当粘结裂缝出现后引起纵向钢筋受拉区的延伸，使原先受压的钢筋区段亦变成受拉，在截面上，只有中间的部分混凝土面积承受压力和剪力（图 5-16c），这就使得其相应的压应力和剪应力增大，成为全梁最薄弱的环节，从而降低了梁的受剪承载力。降低的幅度同广义剪跨比（ M/Vh_0 ）的大小有关。当剪跨比较大时，临界斜裂缝一出现，梁就发生斜拉破坏，这时连续梁和简支梁受剪承载力相近。当剪跨比较小时发生剪压破坏，这是当临界裂缝出现后，随之发生粘结开裂裂缝，引起承载力的降低。因此，就连续梁自身来说，剪跨比愈小，粘结开裂裂缝发展越充分，受剪承载力降低愈多。

连续梁受剪承载力的计算方法，可与简支梁对比分析确定。当连续梁与对比的简支梁的条件相同，在集中荷载作用下，简支梁的剪跨比为 $\lambda = \frac{M}{Vh_0}$ ，或 $\lambda = \frac{a}{h_0}$ ；而

连续梁由于支座处有负弯矩，即在 M 与 M 区段之间存在着反弯点，其剪跨比还与弯矩比 $\psi \left(\psi = \left| \frac{M^-}{M^+} \right| \right)$ 值有关，若将连续梁的剪跨 a_1 比拟为简支梁的剪跨 a ，同连续梁的

剪跨比为 $\lambda = \frac{a_1}{h_0} = \frac{a}{(1+\psi)h_0}$ （图 5-16b），其值要小于简支梁的剪跨比 $\lambda = \frac{a}{h_0}$ 值，亦即

其受剪承载力计算值反而略高于简支梁的受剪承载力计算值。连续梁在均布荷载作用下，由于在 M 与 M 区段之间存在着反弯点，同样，若将其与简支梁相比拟，则连续梁的跨高比要小于相应简支梁的跨高比，由于跨高比愈小，梁的破坏承载力反而略有提高，亦即其受剪承载力同样也略高于相应简支梁在均布荷载作用下的受剪承载力。

为了简化计算，《规范》对连续梁的受剪承载力取用与简支梁受剪承载力计算公式相同的方法计算，即一般情况下，按公式（5-12）计算；当符合公式（5-13）的条件时，按公式（5-13）计算。

5. 5 斜截面受剪承载力计算方法和步骤

5.5.1 计算截面的位置

由于每个构件发生斜截面剪切破坏的位置受作用的荷载、构件的外形、支座条

件、腹筋配置方法和数量等因素的影响而不同。斜截面破坏可能在多处发生。

下列各个斜截面都应分别计算受剪承载力：

- (1) 支座边缘的斜截面；
- (2) 箍筋直径或间距改变处的斜截面；
- (3) 弯起钢筋弯起点处的斜截面；
- (4) 腹板宽度或截面高度改变处的截面。

计算截面处的剪力设计值按下述方法采用计算支座边缘处的截面时，取该处的剪力值；计算箍筋数量改变处的截面时，取箍筋数量开始改变处的剪力值；计算第一排（从支座算起）弯起钢筋时，取支座边缘处的剪力值，计算以后每一排弯起钢筋时，取前一排弯起钢筋弯起点处的剪力值。

5.5.2 斜截面受剪承载力计算步骤

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考虑。一般先进行正截面承载力设计，确定截面尺寸和纵向钢筋后；对上述各计算截面，根据剪力设计值 V 再进行斜截面受剪承载力的设计计算。斜截面受剪承载力的计算按下列步骤进行设计：

1. 求内力，绘制剪力图；

2. 按式（5-17）~式（5-19）验算是否满足截面限制条件，如不满足，则应加大截面尺寸或提高混凝土的强度等级；

3. 验算是否需要按计算配置腹筋。

如果计算截面的剪力设计值满足下述要求，梁内可不按计算配置腹筋，可按构造要求配置；否则，应按计算配置腹筋。

$$V \leq 0.7 f_t b h_0 \quad \text{或} \quad V \leq \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 \quad (5-21)$$

4. 计算腹筋

(1) 对仅配置箍筋的梁，可按下式计算：

对矩形、T形和工字形截面的一般受弯构件

$$\frac{n A_{sv1}}{s} \geq \frac{V - 0.7 f_t b h_0}{1.25 f_{yv} h_0} \quad (5-22)$$

对集中荷载作用下的独立梁

$$\frac{nA_{sv1}}{s} \geq \frac{V - \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0}{1.0 f_{yv} h_0} \quad (5-23)$$

式(5-22)和(5-23)中含有箍筋肢数 n 、单肢箍筋截面面积 A_{sv1} ，箍筋间距 s 三个未知量，设计时一般先假定箍筋直径 d 和箍筋的肢数 n ，然后计算箍筋的间距 s 。在选择箍筋直径和间距时应符合《规范》和表 5-3 的规定，同时应满足最小配箍率。

(2)同时配置箍筋和弯起钢筋的梁，可以根据经验和构造要求配置箍筋确定 V_{cs} ，然后按下式计算弯起钢筋的面积。

$$A_{sb} = \frac{V - V_{cs}}{0.8 f_y \sin \alpha} \quad (5-24)$$

也可以根据受弯承载力的要求，先选定弯起钢筋再按下式计算所需箍筋：

$$\frac{nA_{sv1}}{s} \geq \frac{V - 0.7 f_t b h_0 - 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha}{1.25 f_{yv} h_0} \quad (5-25)$$

$$\frac{nA_{sv1}}{s} \geq \frac{V - \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 - 0.8 f_y A_{sb} \sin \alpha}{1.0 f_{yv} h_0} \quad (5-26)$$

然后验算弯起点的位置是否满足斜截面承载力的要求。

例 5-1 钢筋混凝土矩形截面简支梁如图 5-18，截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，混凝土强度等级 C25，纵向钢筋 HRB400 级，箍筋 HPB235 级，承受均布荷载设计值 $q = 86\text{kN/m}$ （包括自重）根据正截面受弯承载力计算配置的纵筋为 $4\Phi 25$ 。试根据斜截面受剪承载力要求确定腹筋。

[解]

(1) 材料强度： $f_c = 11.9\text{N/mm}^2$ ， $f_t = 1.27\text{N/mm}^2$ ， $f_y = 360\text{N/mm}^2$ ， $f_{yv} = 210\text{N/mm}^2$

(2) 支座边缘截面剪力设计值

$$V = \frac{1}{2} \times 86 \times (5.4 - 0.24) \text{ kN} = 221.9\text{kN}$$

(3) 复核梁截面尺寸

$$h_w = h_0 = 600 - 35 = 565\text{mm}$$

$$\frac{h_w}{b} = \frac{565}{250} = 2.26 < 4, \text{ 属一般梁}$$

$$\text{则 } 0.25\beta_c f_c b h_0 = 0.25 \times 1.0 \times 11.9 \times 250 \times 565 \text{ kN} = 420.2 \text{ kN} > 221.9 \text{ kN}$$

截面尺寸满足要求。

(4) 验算是否按构造配箍

$$0.7 f_t b h_0 = 0.7 \times 1.27 \times 250 \times 565 \text{ kN} = 125.6 \text{ kN} < V = 221.9 \text{ kN}$$

故需按计算配置箍筋

(5) 所需腹筋的计算

① 只配箍筋，不配弯起钢筋

$$\text{由 } V \leq 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \text{ 得}$$

$$\frac{n A_{sv1}}{s} \geq \frac{221900 - 125600}{1.25 \times 210 \times 565} \text{ mm} = 0.649 \text{ mm}$$

选用双肢箍 $\Phi 8$ ，则 $A_{sv1} = 50.3 \text{ mm}^2$ ，可求得

$$s \leq \frac{2 \times 50.3}{0.649} \text{ mm} = 155 \text{ mm}$$

取 $s = 150 \text{ mm}$ ，箍筋沿梁长均布置（图 5-19a）

② 既配箍筋又配弯起钢筋

根据构造要求，选 $\Phi 8 @ 200$ 双肢箍，则

$$\rho_{sv} = \frac{A_{sv}}{bs} = \frac{2 \times 50.3}{250 \times 200} = 0.202\%$$

$$\text{又 } \rho_{sv, \min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} = 0.24 \times \frac{1.27}{210} = 0.145\%$$

因 $\rho_{sv} > \rho_{sv, \min}$ ，故构造配置箍筋合理

$$V_{cs} \leq 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 = (125.6 \times 10^3 + 1.25 \times 210 \times \frac{2 \times 50.3}{200} \times 565) \text{ kN} \\ = 200.2 \text{ kN}$$

由公式 (5-24) 取 $\alpha = 45^\circ$ 则有

$$A_{sb} = \frac{V - V_{cs}}{0.8 f_y \sin \alpha} = \frac{221.9 \times 10^3 - 200.2 \times 10^3}{0.8 \times 360 \times \sin 45^\circ} \text{ mm}^2 = 106 \text{ mm}^2$$

选用 $1 \Phi 25$ 纵筋作弯起钢筋如图 5-19b， $A_{sb} = 491 \text{ mm}^2$ ，满足要求

验算是否需要第二批弯起钢筋

钢筋弯起点到支座边缘距离为 $100+530=630\text{mm}$ ，则第一排弯起钢筋弯起点处的剪力设计值

$$V_1 = 221.9 \times \left(1 - \frac{630}{2580} \right) \text{kN} = 167.7 \text{kN} < V_{cs} = 200.2 \text{kN}$$

故不需第二排弯起

5. 6 保证斜截面受弯承载力的构造措施

前面介绍的主要是梁的斜截面受剪承载力的计算问题。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，引起沿斜截面受弯承载力不足及锚固不足的破坏，因此在设计中，除了保证梁的正截面受弯承载力和斜截面受剪承载力外，在考虑纵向钢筋弯起、截断及钢筋锚固时，还需在构造上采取措施，保证梁的斜截面受弯承载及钢筋的可靠锚固。

5. 6. 1 抵抗弯矩图的概念及绘制方法

抵抗弯矩图就是以各截面实际纵向受拉钢筋所能承受的弯矩为纵坐标，以相应的截面位置为横坐标，所作出的弯矩图（或称材料图），简称 M_u 图。当梁的截面尺寸，材料强度及钢筋截面面积确定后，其抵抗弯矩值，可由下式确定

$$M_u = A_s f_y \left(h_0 - \frac{f_y A_s}{2\alpha_1 f_c b} \right) \quad (5-27)$$

每根钢筋所抵抗的弯矩 M_{ui} 可近似地按该根钢筋的面积 A_{si} 与钢筋总面积 A_s 的比值乘以总抵抗弯矩 M_u 求得

$$M_{ui} = \frac{A_{si}}{A_s} M_u \quad (5-28)$$

图 5-22 所示为钢筋混凝土简支梁的配筋图，如果三根钢筋的两端都伸入支座，则 M_u 即为图 5-22 的 $abcd$ 。每根钢筋所能抵抗的弯矩 M_{ui} 如图所示。

在设计时，当所选定的纵向钢筋若沿梁长直通至两端放置时，因 A_s 值不变，则其抵抗弯矩图为一矩形 $acdb$ 。由图中可以看出，钢筋如果直通设置，不仅对梁中任一正截面的抗弯能力均是安全的，而且构造简单；但除跨中最大弯矩的截面外，其他截面的钢筋强度没有被充分利用，这种设置方案是不经济的。为了节约钢材，较合理的设计方法是将部分纵向钢筋在抗弯不需要的截面弯起，用以承担剪力和支座负弯矩；此外，对连续梁中间支座处的上部钢筋，在其按计算不需要区段可进行合理的切断。这样，在保证梁内任一正截面和斜截面抗弯能力的前提下，如何来确定纵筋的弯起和切断的位置，就需要通过作抵抗弯矩图的方法来解决。

在图 5—22 中 1 截面处③号钢筋强度充分利用；2 截面处，②号钢筋强度充分

利用，3 截面处①号钢筋充分利用，而③号钢筋在 2 截面以外（向支座方向）就不再需要，②号钢筋在 3 截面以外也不再需要。因而，可以把 1、2、3 三个截面分别称为③、②、①号钢筋的充分利用截面，而把 2、3、4 三个截面分别称为③、②、①号钢筋的不需要截面。

纵向钢筋弯起时其抵抗弯矩 M_u 图的表示方法：在图 5—23 的配筋图中，D 点为弯起钢筋和梁纵轴的交点，E 点为其弯起点，从 D、E 二点作垂直投影与抵抗弯矩图的二条平行于基线 ah 的直线 dg、ef 相交，则连线 abdefh 表示②号钢筋弯起后的抵抗弯矩图。配筋图中 D 点表示梁斜截面受拉区与受压区近似的分界点，相应的抵抗弯矩图的倾斜连线 ed 表示随着钢筋的弯起，其相应的抵抗弯矩值在逐渐减小。

5.6.2 保证斜截面受弯承载力的构造要求

对于斜截面受弯承载力，一般不需计算而是通过下列方法加以保证，即通过构造要求，使其斜截面的受弯承载力不低于相应正截面受弯承载力。

1. 纵向钢筋的弯起

如图 5—24 所示，在截面 A—A' 承受的弯矩为 M_A ，按正截面受弯承载力需要配置纵向钢筋截面面积 A_s ，在 D 处弯起一根（或一排）钢筋，其截面面积为 A_{sb} ，则留下来的纵向钢筋截面面积 $A_{s1} = A_s - A_{sb}$ 。

由正截面 A—A' 的受弯承载力计算可得：

$$M_A = f_y A_s \cdot Z \quad (5-29)$$

如果出现斜裂缝 FG，则作用在斜截面上的弯矩仍为 M_A ，而斜截面所能承担的弯矩 M_{uA} 为：

$$M_{uA} = f_y (A_s - A_{sb}) z + f_y A_{sb} \cdot z_{sb} \quad (5-30)$$

为了保证沿斜截面 FG 不发生破坏，必须 $M_{uA} \geq M_A$ 即

$$z_{sb} \geq z$$

(5-31)

$$z_{sb} = l_{AD} \sin \alpha + z \cos \alpha \quad (5-32)$$

式中 α 弯起钢筋与构件纵轴的夹角。

于是可得
$$l_{AD} \sin \alpha + z \cos \alpha \geq z \quad (5-33)$$

则
$$l_{AD} \geq \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot z \quad (5-34)$$

近似的取 $Z = 0.9h_0$ ，则可得 l_{AD} 为：

当 $\alpha_s=45^\circ$ 时 $l_{Ad} \geq 0.373h_0$

当 $\alpha_s=60^\circ$ 时 $l_{Ad} \geq 0.52h_0$

为了方便起见，《规范》规定弯起点与按计算充分利用该钢筋截面之间的距离，不应小于 $0.5h_0$ ，也即弯起点应在该钢筋充分利用截面以外，大于或等于 $0.5h_0$ 处。在连续梁中，把跨中承受正弯矩的纵向钢筋弯起，并把它作为承担支座弯矩的钢筋时也必须遵循这一规定。

因此在截面设计中，对梁纵向钢筋的弯起必须满足三个要求：

①满足斜截面受剪承载力的要求。前面已经讨论了；

②满足正截面受弯承载力的要求。设计时，必须使梁的抵抗弯矩图不小于相应的荷载计算弯矩图；

③满足斜截面受弯承载力的要求，亦即上面讨论的当纵向钢筋弯起时，其弯起点与充分利用点之间的距离不得小于 $0.5h_0$ ；同时，弯起钢筋与梁纵轴线的交点应位于按计算不需要该钢筋的截面以外。

2. 纵向钢筋的截断

通常，对于梁底部承受正弯矩的钢筋，将计算上不需要的钢筋，可以弯起作为抗剪钢筋或作为承受支座负弯矩的钢筋，而不采用将钢筋截断的方式。但对于连续梁中支座附近承受负弯矩的钢筋，为了节约钢筋，往往采用截断的方式来减少纵筋的数量。

从理论上讲，某一纵筋在其不需要点（称为理论断点）处截断是可以的。但事实上，当在理论断点处切断钢筋后，相应于该处的混凝土拉应力会突增，有可能在切断处过早地出现斜裂缝，但该处未切断纵筋的强度是被充分利用的，斜裂缝的出现，使斜裂缝顶端截面处承担的弯矩增大，未切断纵筋的应力就有可能超过其抗拉强度，而造成梁的斜截面受弯破坏。

在设计时，为了避免发生上述斜截面受弯破坏，使每一根纵向受力钢筋在结构中发挥其承载力的作用，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以足够的抗力。同时，当一根钢筋由于弯矩图变化，将不考虑其抗力而切断时，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。在结构设计中，应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 ，作为其真正的切断点。

钢筋混凝土连续梁、框架梁支座截面的负弯矩纵向钢筋不宜在受拉区截断。如必须截断时，其延伸长度 l_d 可按表5—1中 l_{d1} 和 l_{d2} 中取外伸长度较长者确定。其中 l_{d1} 是从“充分利用该钢筋强度的截面”延伸出的长度；而 l_{d2} 是从“按正截面承载力计算不需要该钢筋的截面”延伸出的长度。

表 5—1 负弯矩钢筋的延伸长度 l_d (mm)

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}
$V \leq 0.7bh_0f_t$	$1.2l_a$	$20d$
$V > 0.7bh_0f_t$	$1.2l_a+h_0$	$20d$ 且 h_0
$V > 0.7bh_0f_t$ 且断点仍在负弯矩受拉区 内	$1.2l_a+1.7h_0$	$20d$ 且 $1.3h_0$

5.7 受弯构件中钢筋的构造要求

5.7.1 纵向受拉钢筋弯起，截断和锚固的构造要求

1. 纵向钢筋弯起和截断的构造要求

纵向受拉钢筋弯起时除必须满足正截面受弯承载力要求和满足斜截面受弯要求外，还应满足以下几点构造要求：

(1) 用于斜截面受剪的弯起钢筋，第一排弯起钢筋的上弯点与支座边缘的水平距离，以及相邻弯起钢筋之间上弯点到下弯点的距离，都不得大于箍筋的最大间距，其值见表 5—3 内 $V > 0.7f_tbh_0$ 一栏的规定，这样才能保证斜裂缝一定能与弯起钢筋相交。同时为了更好的发挥靠近梁端的第一根弯起钢筋的抗剪承载力，工程设计中要求该钢筋上弯点到支座边缘的距离不小于 50mm。

(2) 弯起钢筋除由纵向受力钢筋弯起而成，还有一种是单独设置的抗剪弯起筋，这种钢筋应设置成鸭筋（如图 5—27b 所示），不能采用仅在受拉区有一小段水平长度的“浮筋”，这是为了防止由于弯起钢筋在受拉区发生滑动而增加斜裂缝的开展，甚至失去抗剪能力。

(3) 弯起钢筋在弯起的端部应留有足够的水平段锚固长度，其长度在受拉区不应小于 $20d$ ，在受压区不应小于 $10d$ （图 5—28），光圆纵向受力钢筋应在端部作弯钩，变形钢筋可不作弯钩。

2. 纵筋在支座处的锚固

(1) 对板端

《规范》规定：在简支板支座处或连续板的端支座及中间支座处，下部纵向受力钢筋应伸入支座，其锚固长度 l_{as} 不应小于 $5d$ （ d 为纵向钢筋直径）

(2) 对于梁端

支座附近的剪力较大，在出现斜裂缝后，由于与斜裂缝相交的纵筋应力会突然增大，若纵筋伸入支座的锚固长度不够，将使纵筋滑移，甚至被从混凝土中拔出引

起锚固破坏。

为了防止这种破坏，纵向钢筋伸入支座的长度和数量应该满足下列要求。

①伸入梁支座的纵向受力钢筋根数

当梁宽 $\geq 150\text{mm}$ 时，不应少于2根；当梁宽 $< 150\text{mm}$ 时，可为1根。

②简支梁

简支梁下部纵筋伸入支座的锚固长度 l_{as} （图5—29）应满足表5—2的规定。

表5—2 简支梁纵筋锚固长度 l_{as}

$V \leq 0.7 f_t b h_0$	$V > 0.7 f_t b h_0$
$\geq 5d$	带筋钢筋不小于 $12d$ ，光面钢筋不小于 $15d$

当纵筋伸入支座的锚固长度不符合表5—2的规定时，应采取下述专门锚固措施，但伸入支座的水平长度不应小于 $5d$ 。

A. 在梁端将纵向受力钢筋上弯，并将弯折后长度计入 l_{as} 内；

B. 在纵筋端部加焊横向钢筋或锚固钢板，此时可将正常锚固长度减少 $5d$ ；

C. 将钢筋端部焊接在梁端的预埋件上

支承在砌体结构上的钢筋混凝土独立梁，在纵向受力钢筋的锚固长度 l_{as} 范围内应配置不少于两个箍筋，其直径不宜小于纵向受力钢筋最大直径的0.25倍，间距不宜大于纵向受力钢筋最小直径的10倍。当采用机械锚固时，箍筋间距尚不宜大于纵向受力钢筋最小直径的5倍。对于连续梁在中间支座处，下部纵向受压钢筋伸入支座内的锚固长度 l_{as} ，一般应满足表5—2的要求。

5.7.2 箍筋的构造要求

1. 形式和肢数

箍筋的形式有封闭式和开口式两种（图5—33）当梁中配有计算需要的纵向受压钢筋时，箍筋应做成封闭式，箍筋的两个端头应做成 135° 弯钩，弯钩端部的平直段长度不应小于 $5d$ （ d 为箍筋直径）和 50mm 。在不承受扭矩和动力荷载的整浇肋形楼板中的T形截面梁，在截面上部为受压的区段范围内，亦可采用开口式箍筋。

箍筋一般采用双臂箍，当一层内的纵向受压钢筋多于三根时，应设置复合箍筋；当梁宽度 $b \leq 400\text{mm}$ ，且一层内的纵向受压钢筋不多于四根时，可不设置复合箍筋。

2. 直径

为了使箍筋与纵筋联系形成的钢筋骨架有一定的刚性，因此，箍筋的直径不能太小。《规范》规定：

梁的高度 $h \leq 800\text{mm}$ 时，直径不宜小于 6mm ；

$h > 800\text{mm}$ 时，直径不宜小于 8mm 。

当梁中配有计算需要的纵向受压钢筋时，箍筋直径尚不应小于 $d/4$ （ d 为纵向受

压钢筋的最大直径)。当 $V > 0.7 f_t b h_0$ 时, 箍筋配箍率 ρ_{sv} 尚不应小于 $0.24 f_t / f_{yv}$

3. 间距

(1) 箍筋间距除应满足计算需要外, 其最大间距应符合表 5—3 的规定。

(2) 当按计算配置纵向受压钢筋时, 箍筋间距不应大于 $15d$ (d 为纵向受压钢筋最小直径); 同时不应大于 400mm。

当一排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 $10d$ 。

梁中箍筋的最大间距 (mm) 表 5—3

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

此外, 如按计算不需要设置箍筋时, 对截面高度 $h > 300$ mm 的梁, 仍应沿梁全长设置箍筋, 对于截面高度 $h = 150 \sim 300$ mm 的梁, 可仅在构件端部 $1/4$ 跨度范围内设置箍筋, 但当在中部 $1/2$ 跨度范围内有集中荷载作用时, 则应沿梁全长设置箍筋, 对截面高度 $h < 150$ mm 以下的梁, 可不设置箍筋。

习 题

5.1 钢筋混凝土矩形截面简支梁, 梁的净跨为 $l_n = 3.56$ m, 截面尺寸 $b \times h = 200$ mm \times 500mm, 混凝土强度等级 C25, 纵向钢筋 HRB400 级, 箍筋 HRB335 级, 承受均布荷载设计值 $q = 96$ kN/m (包括自重) 根据正截面受弯承载力计算配置的纵筋为 $3\Phi 22$ 。环境类别一类, 试根据斜截面受剪承载力要求确定腹筋。

5.2 钢筋混凝土矩形截面简支梁, 两端支承在 240mm 厚的砖墙上, 梁的净跨为 $l_n = 3.56$ m, 截面尺寸 $b \times h = 200$ mm \times 500mm, 混凝土强度等级 C30, 纵向钢筋 HRB400 级, 箍筋 HRB335 级, 承受永久均布荷载标准值 $g_k = 30$ kN/m (包括自重), 可变均布荷载标准值 $q_k = 55$ kN/m, 环境类别一类, 试求

- (1) 所需纵向受拉钢筋;
- (2) 不设弯起钢筋时的受剪箍筋;
- (3) 利用受拉纵筋为弯起钢筋时, 求所需箍筋。

5.3 钢筋混凝土矩形截面独立梁, 跨度为 4 米, 截面尺寸 $b \times h = 250$ mm \times 700mm,

距左支座 1.5 米处承受一集中荷载，其设计值为 700kN（包括自重），采用 C25 混凝土，纵筋 HRB400 级，箍筋 HRB235 级，环境类别一类，试根据斜截面受剪承载力要求确定腹筋。

5.4 钢筋混凝土矩形截面独立梁，荷载及跨度如图 5-34 所示，截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，混凝土强度等级 C25，纵向钢筋 HRB400 级，箍筋 HRB235 级，环境类别一类，试根据斜截面受剪承载力要求确定腹筋。

5.5 钢筋混凝土矩形截面伸臂梁，支承在 240mm 厚的砖墙上，荷载及跨度如图 5-35 所示，截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，混凝土强度等级 C25，纵向钢筋 HRB400 级，箍筋 HRB335 级，承受永久均布荷载标准值 $g_k = 25\text{kN/m}$ （包括自重），可变均布荷载标准值 $q_k = 35\text{kN/m}$ ，环境类别一类，试设计该梁并画配筋图。

5.6 承受均布荷载钢筋混凝土矩形截面简支梁，梁的净跨为 $l_n = 5\text{m}$ ，截面尺寸 $b \times h = 200\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，混凝土强度等级 C20，纵向钢筋 HRB335 级，箍筋 HRB235 级，单排纵向受力钢筋，配置箍筋为 $\Phi 6 @ 200$ ，支座边缘计算截面配弯起钢筋 $2\Phi 16$ ，弯起角度 45° ，弯起点距支座边缘距离为 480mm，环境类别一类，试根据斜截面受剪承载力要求确定该梁承受外荷载设计值。