

保证受弯构件斜截面承载力的构造要求

通常为节约钢材，在受弯构件设计中，可根据设计弯矩图的变化将钢筋截断或弯起作受剪钢筋。但将钢筋截断或弯起时，应确保构件的受弯承载力、受剪承载力不出现问题。

1. 抵抗弯矩图

通常根据构件支承条件和荷载作用形式，由力学方法求出所得弯矩，并沿构件轴线方向绘出的分布图形，称为设计弯矩图，如图 1 中的 M 图。

而按受弯构件各截面纵向受拉钢筋实际配置情况计算所能承受的弯矩值，并沿构件轴线方向绘出的弯矩图形，称为抵抗弯矩图(或材料图)，如图 1 中的 M_u 图。

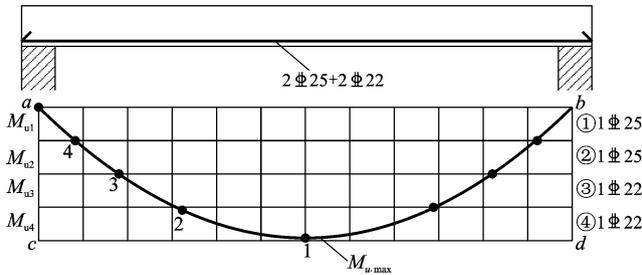


图 1 纵筋不弯起、不截断时简支梁的抵抗弯矩图

图 1 所示为某承受均布荷载作用的钢筋混凝土单筋矩形截面简支梁。其设计弯矩图(M 图)为抛物线，按跨中截面最大设计弯矩 M_{max} 计算，梁下部需配置纵筋 $2\Phi 25+2\Phi 22$ 纵向受拉钢筋。如将 $2\Phi 25+2\Phi 22$ 钢筋沿梁长贯通至两端支座并可可靠锚固，因钢筋面积 A_s 值沿梁跨度方向不变，抵抗弯矩 M_u 沿梁跨度也保持不变，故抵抗弯矩 M_u 图为一矩形框，如图 1 中 $acdb$ ，且任何截面均能保证 $M \leq M_u$ 。如果实配钢筋总面积等于计算钢筋面积，则抵抗弯矩图的外包线正好与设计弯矩图上的弯矩最大点相切，如图 1 中的 1 点处；如果实配钢筋的总面积略大于计算钢筋面积，则可根据实际配筋量计算出抵抗弯矩 M_u 图的外围水平线位置。

比较 M 图与 M_u 图可以看出，钢筋沿梁通长布置的方式显然满足受弯承载力的要求，但仅在跨中截面受弯承载力 M_u 与设计弯矩 M 相接近，全部钢筋得到充分利用；而在靠近支座附近截面 M_u 远大于 M ，纵筋的强度不能被充分利用。为使钢筋的强度充分利用且节约钢材，在保证受弯承载力的前提条件下，可根据设计弯矩 M 图的变化将一部分钢筋截断或弯起。

当梁的截面尺寸、材料强度及钢筋截面面积确定后，由基本公式 $x = \frac{f_y A_s}{\alpha_1 f_c b}$ 代入式(3-9)，则其截面总抵抗弯矩值 M_u 为

$$M_u = f_y A_s \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) = f_y A_s \left(h_0 - \frac{f_y A_s}{2\alpha_1 f_c b} \right) = f_y A_s h_0 \left(1 - \frac{f_y}{2\alpha_1 f_c} \rho \right)$$

由上式可知，当 ρ 一定时，抵抗弯矩 M_u 与钢筋面积 A_s 成正比关系。每根钢筋所承担的抵抗弯矩 M_{ui} 可近似地按该根钢筋截面面积 A_{si} 与钢筋总截面面积 A_s 的比值关系求得

$$M_{ui} = \frac{A_{si}}{A_s} M_u$$

按每根钢筋承担的抵抗弯矩值 M_{ui} 绘出水平线，如图 1 中，①号钢筋 1 Φ 25 的抵抗弯矩表示为 M_{u1} ，②号钢筋 1 Φ 25 的抵抗弯矩表示为 M_{u2} ，③号钢筋 1 Φ 22 的抵抗弯矩表示为 M_{u3} ，④号钢筋 1 Φ 22 的抵抗弯矩表示为 M_{u4} 。梁跨跨中 1 点处的抵抗弯矩 $M_u = M_{u1} + M_{u2} + M_{u3} + M_{u4}$ ，由于 1 点处 $M_u = M_{max}$ ，即 1 点处①、②、③、④号钢筋强度充分利用；在 2 点处抵抗弯矩 $M_u = M_{u1} + M_{u2} + M_{u3}$ ，即①、②、③号钢筋强度充分利用，并已足以抵抗荷载在 2 点所在截面所产生的弯矩，④号钢筋在此截面显然已不再需要；在 3 点处抵抗弯矩 $M_u = M_{u1} + M_{u2}$ ，①、②号钢筋强度充分利用已足够，③号钢筋在 3 点截面以外也已不再需要；在 4 点处抵抗弯矩 $M_u = M_{u1}$ ，①号钢筋强度充分利用也已足够，②号钢筋在 4 点截面以外也已不再需要。因此，可将 1、2、3、4 四点分别称为④、③、②、①号钢筋的“充分利用点”，而将 2、3、4、a 四点分别称为④、③、②、①号钢筋的“不需要点”或“理论断点”。

抵抗弯矩图的作用主要体现在三个方面：

(1) 抵抗弯矩图可反映构件中材料的利用程度。为了保证正截面的受弯承载力，抵抗弯矩 M_u 不应小于设计弯矩 M ，即 M_u 图必须将 M 图包纳在内。 M_u 图越贴近 M 图，表明钢筋的利用越充分，构件设计越经济。

(2) 确定弯起筋的弯起位置。为节约钢筋，可将一部分纵筋在受弯承载力不需要处予以弯起，用于斜截面抗剪和抵抗支座负弯矩。

(3) 确定纵筋的截断位置。可在受弯承载力不需要处考虑将纵筋截断，从而确定纵筋的实际截断位置。

2. 纵向受力钢筋的弯起

(1) 钢筋弯起在 M_u 图上的表示方法

在图 2 中，如将④号 1 Φ 22 钢筋在临近支座处弯起，由于弯起钢筋在弯起后正截面抗弯内力臂逐渐减小，该钢筋承担的正截面抵抗弯矩相应逐渐减小，故反映在 M_u 图上 eg 、 fh 是斜线，形成的抵抗弯矩图即为图中所示的 $aigefhjb$ 。图中 e 、 f 点分别垂直对应于弯起点 E 、 F ， g 、 h 分别垂直对应于弯起钢筋与梁轴线的交点 G 、 H 。

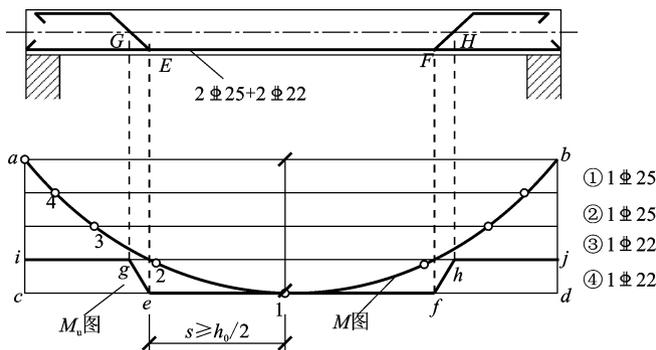


图 2 纵筋弯起时简支梁的抵抗弯矩图

(2) 纵向受力钢筋弯起点的规定

对于梁正弯矩区段内的纵向受拉钢筋,可采用弯向支座(用来抗剪或承受负弯矩)的方式将多余钢筋弯起。纵向钢筋弯起的位置和数量必须同时满足以下三方面的要求:

1) 满足正截面受弯承载力的要求。必须使纵筋弯起点的位置在该钢筋的充分利用点以外,使梁的抵抗弯矩图不小于相应的设计弯矩图,也就是 M_u 图必须包纳 M 图(即 $M_u \geq M$)。

2) 满足斜截面受剪承载力的要求。当混凝土和箍筋的受剪承载力 $V_{cs} < V$ 时,需要弯起纵筋承担剪力。纵筋弯起的数量要通过斜截面受剪承载力计算确定。

3) 满足斜截面受弯承载力的要求。④号钢筋弯起后,考虑支座附近可能出现斜裂缝,为保证斜截面的抗弯承载力,④号钢筋弯起后与弯起前的受弯承载力不应降低。为此《规范》规定:弯起钢筋弯起点可设在按正截面受弯承载力计算不需要该钢筋的截面之前,但弯起钢筋与梁中心线的交点应位于不需要该钢筋的截面之外,同时,弯起点与该钢筋的充分利用点之间的水平距离 s 不应小于 $h_0/2$,如图 3-44 所示。

3. 纵向受力钢筋的截断

(1) 钢筋截断在 M_u 图上的表示方法

在图 3 中, b 点为①号钢筋的“理论断点”,如将①号钢筋在 b 点处进行截断处理,反映在 M_u 图上呈台阶形变化,表明该处抵抗弯矩发生突变。

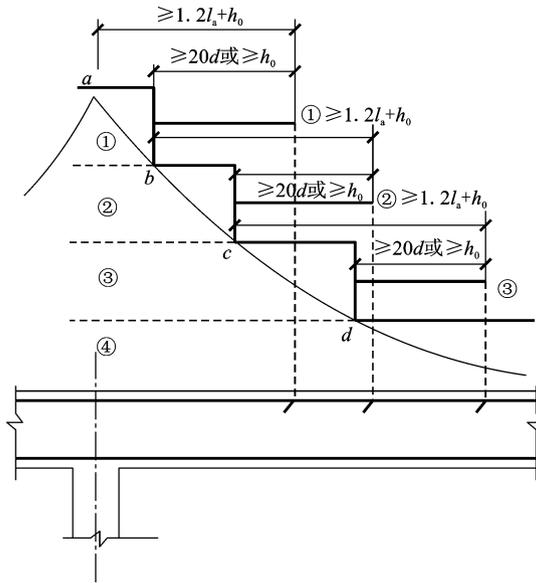


图 3 $V > 0.7f_t b h_0$ 时的纵筋截断

(2) 纵向钢筋截断点的规定

1) 梁跨中承受正弯矩的纵筋不宜在受拉区截断,可将其中一部分弯起,将另一部分伸入支座内。

2) 连续梁和框架梁中承受支座负弯矩的纵向受拉钢筋,可根据弯矩图的变化将计算不需要的纵筋分批截断,但其截断点的位置必须保证纵筋截断后的斜截面抗弯承载力以及黏结锚

固性能。为此,《规范》对钢筋的实际截断点做出以下规定:钢筋截断点应从该钢筋的“充分利用点”截面向外延伸的长度不小于 l_{d1} ;从其“理论断点”截面向外延伸的长度不小于 l_{d2} , l_{d1} 和 l_{d2} 的取值见表1,设计时钢筋实际截断点的位置应取 l_{d1} 和 l_{d2} 中外伸长度较远者确定。

表1 负弯矩钢筋实际截断点的延伸长度

截面条件	l_{d1}	l_{d2}
$V \leq 0.7f_tbh_0$	$\geq 1.2l_a$	$\geq 20d$
$V > 0.7f_tbh_0$	$\geq 1.2l_a + h_0$	$\geq h_0$, 且 $\geq 20d$
按以上两款确定的截断点仍位于负弯矩对应的受拉区内	$\geq 1.2l_a + 1.7h_0$	$\geq 1.3h_0$, 且 $\geq 20d$

注:①表中 l_{d1} 、 l_{d2} 均为《规范》规定的最小值。② l_a 为纵向受拉钢筋的最小锚固长度, d 为被截断钢筋的直径。

图3为某连续梁支座附近的弯矩及剪力($V > 0.7f_tbh_0$)分布情况,图中 b 、 c 、 d 点分别为①、②、③号纵筋的理论截断点, a 、 b 、 c 点则分别为相应纵向钢筋强度充分利用截面。纵筋的实际截断位置应在理论截断点以外延伸一段距离($\geq h_0$, 且 $\geq 20d$);还应在充分利用点截面以外一段距离($\geq 1.2l_a + h_0$)。

3)悬臂梁中的受拉钢筋,应有不少于2根上部钢筋伸至悬臂梁外端,并向下弯折不小于 $12d$;其余钢筋不应在梁的上部截断,可按纵向钢筋弯起点的规定将部分纵筋向下弯折,且弯终点以外应留有平行于轴线方向的锚固长度,在受压区不应小于 $10d$,在受拉区不应小于 $20d$,如图4所示。

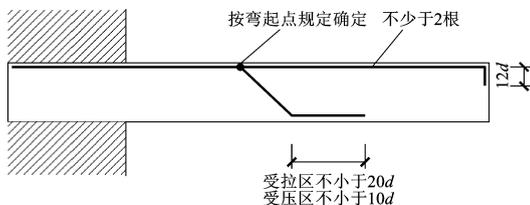


图4 悬臂梁纵筋构造

4. 钢筋的其他构造要求

(1) 鸭筋

为了充分利用纵向受力钢筋,可利用纵筋弯起来抗剪,但当纵筋数量有限而不能弯起时,可以单独设置抗剪弯筋(即鸭筋)承担抗剪作用,如图5所示。但不允许设置成图中的浮筋。

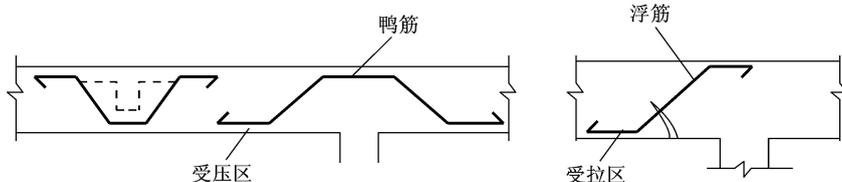


图5 鸭筋和浮筋

(2) 纵筋在简支支座处内的锚固

1) 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) 梁端

由于支座附近的剪力较大，为防止在出现斜裂缝后，与斜裂缝相交的纵筋应力突然增大，产生滑移甚至被从混凝土中拔出而破坏，纵筋伸入支座的锚固应满足下列要求。

① 简支梁和连续梁的简支端下部纵筋伸入支座的锚固长度 l_{as} 如图 6(a) 所示，应满足表 2 的规定。

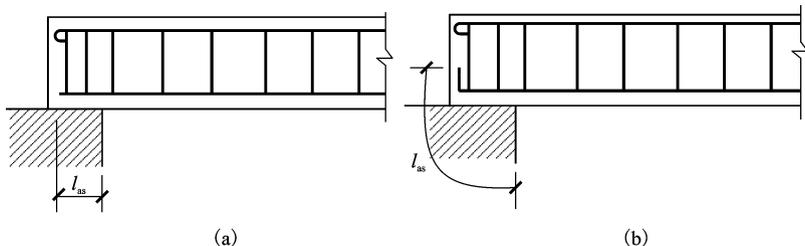


图 6 纵筋在简支支座的锚固长度 l_{as}

表 2 简支梁纵筋锚固长度表 l_{as}

$V \leq 0.7f_t b h_0$	$\geq 5d$	
$V > 0.7f_t b h_0$	带肋钢筋	$\geq 12d$
	光面钢筋	$\geq 15d$

注：光面钢筋锚固的末端均应设置标准弯钩。

当纵筋伸入支座的锚固长度不符合表 2 的规定时，应采取下述锚固措施，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，如图 6(b) 所示。
- B. 在纵筋端部加焊横向钢筋或锚固钢板，如图 7 所示。

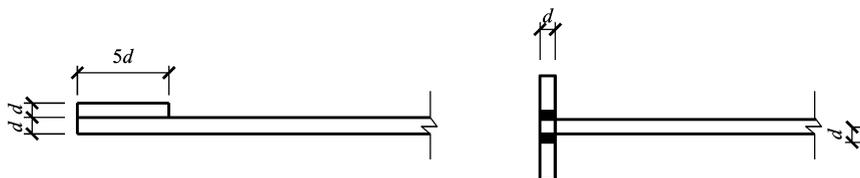


图 7 钢筋机械锚固的形式

- C. 将钢筋端部焊接在梁端的预埋件上。

② 支承在砌体结构上的钢筋混凝土独立梁，在纵筋的锚固长度 l_{as} 范围内应配置不少于 2 道箍筋，其直径不宜小于纵筋最大直径的 0.25 倍，间距不宜大于纵筋最小直径的 10 倍。当采用机械锚固时，箍筋间距尚不宜大于纵筋最小直径的 5 倍。

③ 连续梁在中间支座处，上部纵筋受拉应贯穿支座；而下部纵筋一般受压，但由于斜裂

缝出现和黏结裂缝的发生会使下部纵筋也会承受拉力，故下部纵筋伸入支座内的锚固长度 l_{as} 也应满足表 2 的要求。

(3) 箍筋的锚固

箍筋是受拉钢筋，必须有良好的锚固。通常箍筋都采用封闭式，箍筋末端常用 135° 弯钩。弯钩端头直线段长度不小于 50 mm 或 5 倍箍筋直径。如果采用 90° 弯钩，则箍筋受拉时弯钩会翘起，从而导致混凝土保护层崩裂。若梁两侧有楼板与梁整浇时，也可采用 90° 弯钩，但弯钩端头直线段长度不小于 10 倍箍筋直径。