

劲性钢筋砼简支梁正截面 受弯承载力的研究

许琪楼 龚绍熙 吕凌风

(郑州工学院土建系)

摘 要: 本文通过劲性钢筋砼 T 形截面简支梁试验结果分析, 提出其正截面受弯承载力的分析方法及理论计算式, 与试验结果符合较好。

关键词: 劲性梁, 钢筋砼, 应力分析

中国图书分类号: TU323

劲性钢筋砼梁是在钢筋砼梁中配置有劲性钢筋, 它在高层建筑中应用广泛。由于劲性钢筋在梁的高度方向上有较广的分布高度, 其受力不同于普通钢筋砼梁, 因此, 进行劲性梁的研究十分必要。

1 试验结果

设计了 8 根试验构件, 劲性钢筋为焊接工字钢, 构件尺寸及配筋如图 1 所示。为研究劲性梁受力规律, 试件设计时考虑了 2 个变化因素: ①改变劲性钢筋腹板高度及面积以研究中和轴高度变化的影响; ②改变劲性钢筋上翼缘栓钉连接件的数量及布置方法, 以研究接触面上不同程度的粘结滑移的影响。试件详细尺寸及栓钉布置方法见表 1 和图 2。

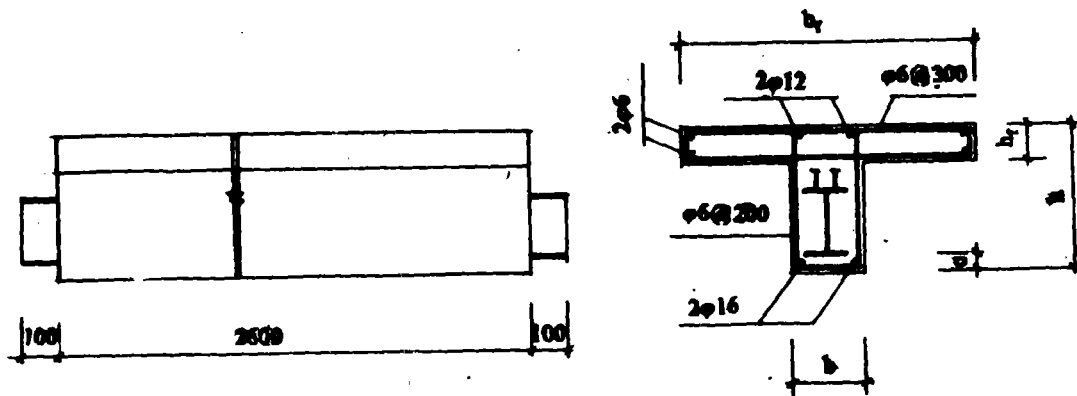


图 1

* 收稿日期: 1990.06.06

表1 构件实测尺寸及材性表 (mm, N/mm²)

序号	构件号	劲性钢尺寸		砼梁尺寸					栓钉 布置	砼 f_{cu}
		翼缘	腹板	b_f	h_f	b	h	c		
1	SRCB 11	89×6	179×6	515	75	195	270	50		28.4
2	SRCB 12		184×10	525	70	201	267	44		28.4
3	SRCB 21		116×6	540	70	200	277	66		35.2
4	SRCB 22		117×6	515	68	190	273	68	图2a)	38.4
5	SRCB 23		116×6	505	68	195	273	67	图2b)	35.2
6	SRCB 31		160×6	510	60	195	260	50		32.6
7	SRCB 32		162×6	540	65	195	270	49	图2c)	35.7
8	SRCB 33		165×6	523	69	200	277	50	图2d)	36.0

试验采用二点集中对称加荷, 计算跨度为 2500mm, 跨中纯弯段为 700mm。试验时量测了劲性钢筋及柔性钢筋应变、砼应变、荷载—跨中挠度曲线、梁端滑移, 并记录了裂缝发展情况, 量测了裂缝宽度。同时还进行了材性试验, 各试件砼强度见表1, 劲性钢筋 f_y 分别为: 翼缘 305N/mm², 腹板 357N/mm²。柔性钢筋 f_y 为: $\phi 6$, 515N/mm²; $\phi 12$, 292N/mm²; $\phi 16$, 304N/mm²。

试验表明: 劲性钢筋砼梁的受力过程, 具有钢筋砼梁和组合梁的受力特点:

1.1 一般情况下受力过程可大致分为四个阶段。

1.1.1 当荷载 $F < 0.2F_u$ 时试件不

开裂、梁端无滑移、 $F-W$ 曲线呈直线变化。见图 3a) OA 段。

1.1.2 砼裂缝出现, $F-W$ 曲线仍近似以直线向前发展, 见图 3a) AB 段。

1.1.3 劲性钢筋受拉下翼缘屈服, 之后梁变形及跨中裂缝发展加快, 当跨中裂缝达到砼梁翼缘板底时, 水平滑移裂缝也开始出现。梁端部滑移开始迅速发展, $F-W$ 曲线上斜率明显降低。

1.1.4 梁顶砼压碎, 构件破坏。

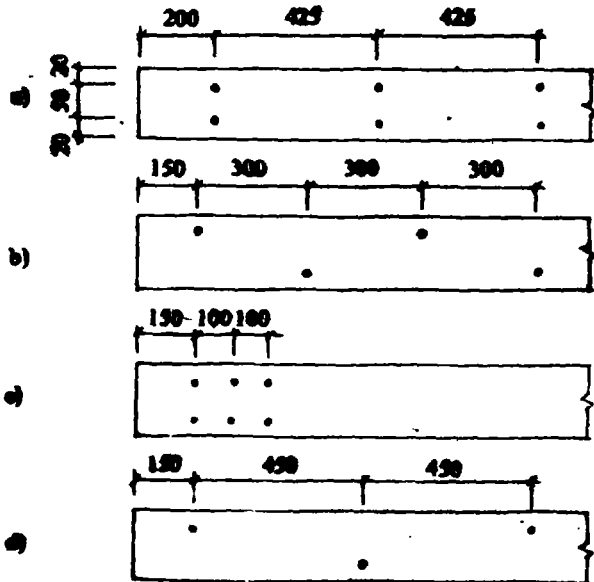


图2 栓钉布置

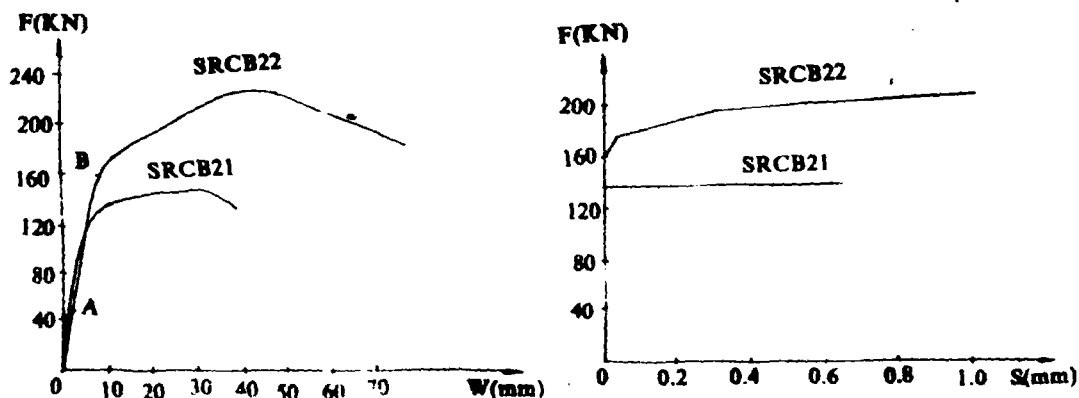


图 3

1.2 劲性钢筋上翼缘与砼交界面上粘结程度大小对梁的承载力有一定影响。当劲性钢筋上翼缘位于受压区或虽处于受拉区但距中和轴较近时, 粘结力大, 使劲性钢下翼缘屈服之后, 试件仍有较大的后继承载力, 破坏时梁延性较大。当劲性钢筋上翼缘处于受拉区且距中和轴较远时, 如果界面上配有足够多的剪切连接件时, 试件也有较大的后继承载力 (见图 3: SRCB 22 梁), 否则在劲性钢筋下翼缘刚刚屈服之后即产生较大滑移, 导致梁的破坏。破坏时承载力较低, 延性较差, 见图 3: SRCB 21 梁。

1.3 劲性钢筋应变和砼压应变基本上按直线分布, 采用

平截面假定是合理的, 见图 4。对粘结强度较低的劲性梁, 由于滑移较大界面上应变不连续。

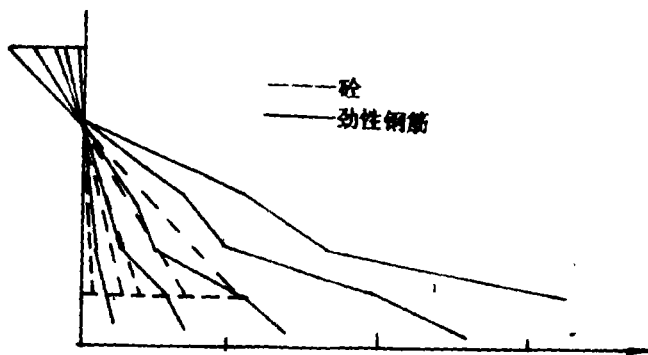


图 4 SRCB 12 跨中截面应变分布

2 正截面受弯承载力的分析

根据劲性钢筋上翼缘与砼界面上粘结程度的大小可以将其分成二种类型:

完全粘结梁: 其劲性钢筋与砼之间的滑移对受弯承载力影响较小。当劲性钢筋上翼缘在中和轴以上受压时 (如图 5a)、b)), 劲性钢筋上翼缘在中和轴以下受拉且受压区相对高度 $\xi_0 \geq \frac{\delta'}{1+\beta}$ (图 5c)) 或虽 $\xi_0 < \frac{\delta'}{1+\beta}$ 但在界面上布置有符合钢—砼组合梁中完全剪力连接所需的剪力连接件时 (图 5d)) 均属于此类。

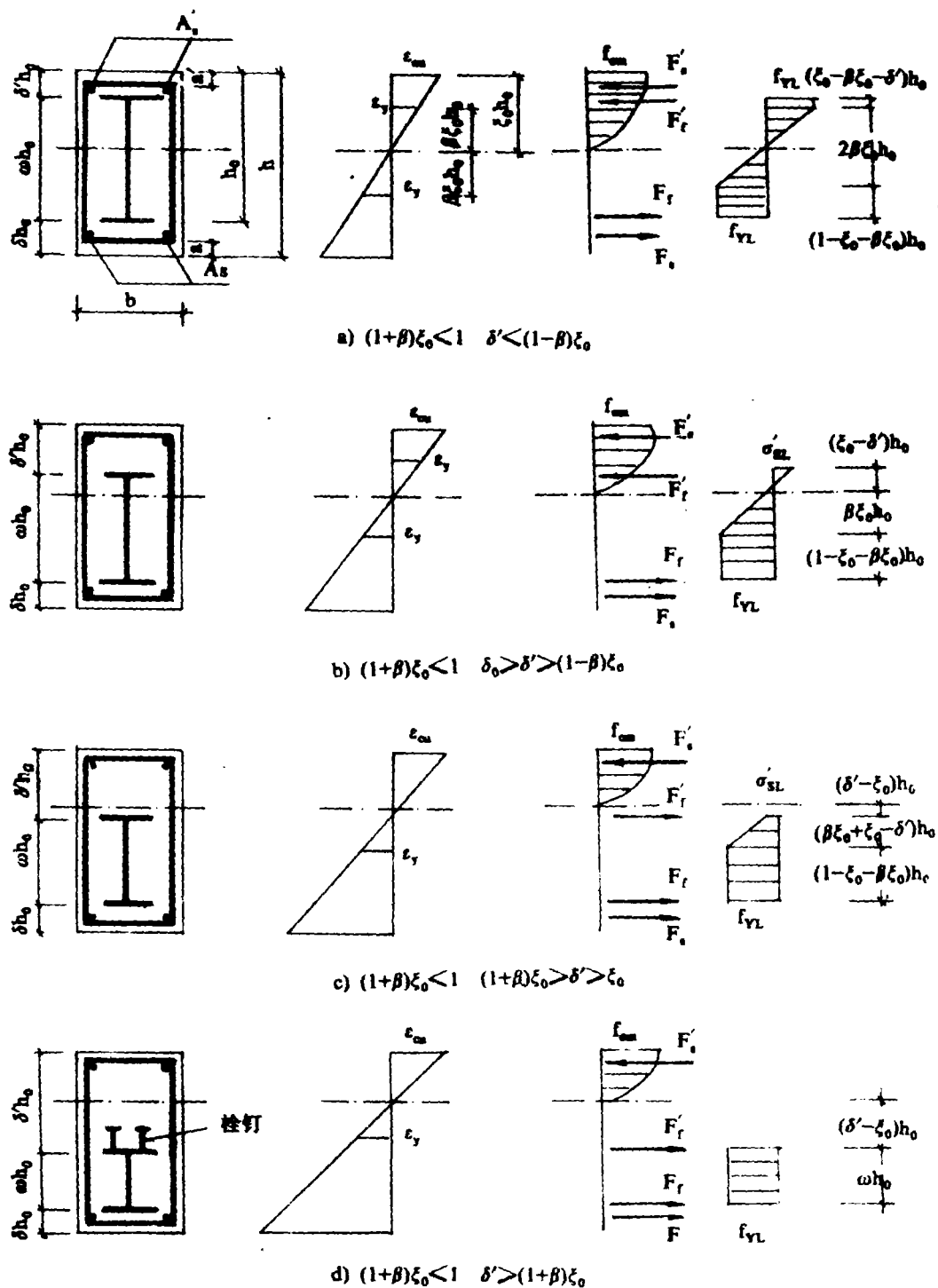


图5 完全粘结梁应变及应力状态

非完全粘结果: 当劲性钢筋上翼缘在受拉区且 $\xi_0 < \frac{\delta'}{1+\beta}$, 同时界面上没有布置连接件或连接件数目不足时为非完全粘结果。此类梁在劲性钢筋下翼缘刚达到屈服后会突然产生较大滑移, 使梁脆性破坏, 因此在设计时应避免。

2.1 完全粘结果受弯承载力可以采用以下假定进行分析:

① 截面应变符合平截面假定。

② 劲性钢筋与砼之间滑移很小, 可忽略不计。

③ 不考虑拉区砼参加工作。

④ 劲性钢筋和柔性钢筋 $\sigma-\varepsilon$ 关系为理想弹塑性, 受压砼 $\sigma_c-\varepsilon_c$ 关系如图 6 所示, 极限状态下, 压区砼达到其极限压应变 ε_{cu} 。

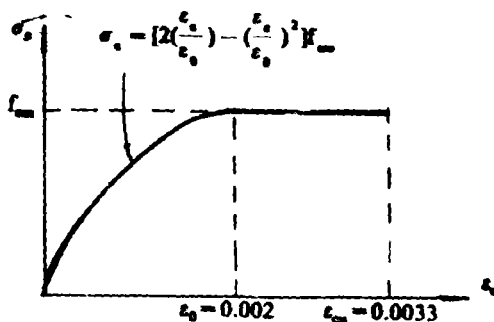


图 6

2.2 现设劲性梁的受拉, 受压柔性钢筋面积分别为 A_s 、 A'_s , 保护层厚度为 a 、 a' ,

极限状态下均达到其屈服强度 f_y ; 劲性钢筋下翼缘、上翼缘面积为 A_{fL} 、 A_{fU} , 保护层厚度为 δh_0 、 $\delta' h_0$, 腹板面积 $A_w = t_w \cdot w h_0$, 屈服强度为 f_{yL} ; 参数 $\alpha = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{cu}} = 0.606$; $\beta = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{cu}}$,

其值与钢材种类有关, 由文献[2]知, β 的变化对梁的极限承载力影响很小, 可取 $\beta = 0.4$ 。

在极限状态下, 正截面受弯承载力可分下列三种情况进行计算。

第一种情况:

如图 5a) 所示, 劲性钢下翼缘受拉屈服, 上翼缘受压屈服, 由截面平衡条件 $\sum F = 0$ 得:

$$\xi_0 = \frac{(A_s - A'_s)f_y + (A_{fL} - A_{fU})f_{yL} + (2 - w)t_w h_0 f_{yL}}{0.8b h_0 f_{cm} + 2t_w h_0 f_{yL}} \quad (1)$$

所得 ξ_0 必须满足 $(1 + \beta)\xi_0 \leq 1$ 和 $\delta' \leq (1 - \beta)\xi_0$ 才能保证上述应力状态, 由截面上各部分内力对劲性钢下翼缘中心取矩得截面受弯承载力:

$$M_u = (0.8 - 0.33\xi_0)b\xi_0 h_0^2 f_{cm} + \left[\frac{1}{2}w^2 - (1 - \xi_0)^2 - \frac{1}{3}\beta^2 \xi_0^2\right]t_w h_0^2 f_{yL} + A'_{fU} f_{yL} w h_0 + A'_s f_y (h_0 - a') + A_s f_y (\delta h_0 - a) \quad (2)$$

第二种情况:

如图 5b)、c) 所示, 劲性钢筋下翼缘受拉屈服, 上翼缘受压或受拉但不屈服, 极限状态下由平衡条件 $\sum F = 0$ 有:

$$0.8b\xi_0 h_0 f_{cm} + \frac{1}{2} \frac{(\xi_0 + \beta\xi_0 - \delta')^2}{\beta\xi_0} - w]t_w h_0 f_{yL} + (A'_s - A_s)f_y$$

$$+ (A_f' \frac{\xi_0 - \delta'}{\beta \xi_0} - A_f') f_{yL} = 0 \quad (3)$$

由此可解得 ξ_0 并应满足: $(1 + \beta)\xi_0 \leq 1$, $(1 + \beta)\xi_0 \geq \delta' \geq (1 - \beta)\xi_0$. 由 $\sum M = 0$ 得:

$$M_u = (0.8 - 0.33\xi_0) b \xi_0 h_0^2 f_{cm} + [-\frac{w^2}{2} + \frac{w(\beta\xi_0 + \xi_0 - \delta')^2}{2\beta\xi_0} - \frac{(\beta\xi_0 + \xi_0 - \delta')^3}{6\beta\xi_0}] t_w h_0^2 f_{yL} + A_f' f_{yL} w h_0 \frac{\xi_0 - \delta'}{\beta \xi_0} + A_f' f_y (h_0 - a') + A_s f_y (\delta h_0 - a) \quad (4)$$

第三种情况:

如图 5d) 所示, 劲性钢筋下翼缘, 上翼缘均受拉屈服, 极限状态下由 $\sum F = 0$ 有:

$$\xi_0 = \frac{(A_s - A_s') f_y + (A_f + A_f' + A_w) f_{yL}}{0.8 b h_0 f_{cm}} \quad (5)$$

ξ_0 要满足 $(1 + \beta)\xi_0 \leq 1$, $(1 + \beta)\xi_0 \leq \delta'$ 的条件. 截面抗弯承载力为:

$$M_u = (0.8 - 0.33\xi_0) b \xi_0 h_0^2 f_{cm} - \frac{1}{2} w^2 h_0^2 t_w f_{yL} - A_f' f_{yL} w h_0 + A_s f_y (h_0 - a') + A_s f_y (\delta h_0 - a) \quad (6)$$

2.3 对于 T 形截面劲性梁 (见图 1), 当中和轴通过 T 形截面翼缘板时, 可按宽度为 b_f 的矩形截面梁进行计算; 如果中和轴通过截面腹板, 可按宽度为 b 的矩形截面梁并考虑 $(b_f - b)h_f$ 的部分翼缘附加作用进行计算. 设 $h_f = \delta_2 h_0$, 附加翼缘砼所承受的内力及内力矩近似为:

$$F_f = 0.8(b_f - b)\delta_2 h_0 f_{cm} \quad (7)$$

$$M_f = 0.8(b_f - b)\delta_2 h_0^2 f_{cm} (1 - 0.4\delta_2) \quad (8)$$

表 2 列出 8 根 T 形截面劲性梁受弯承载力的试验值及理论分析结果.

表 2 试验结果及理论值 (N·mm)

试件编号	试验值 M_u^* ($\times 10^6$)	理论分析				M_u ($\times 10^6$)
		ξ_0	满足条件	类别	M_u^* ($\times 10^6$)	
SRCB 11	88.2	0.228	$\xi_0 > \delta' > (1 - \beta)\xi_0$	完全粘结梁	93.1	84.2
SRCB 12	97.1	0.258	$\xi_0 > \delta' > (1 - \beta)\xi_0$	完全粘结梁	107.7	102.7
SRCB 21	65.3	0.251	$\delta' > (1 + \beta)\xi_0$	非完全粘结梁	98.5	92.3
SRCB 22	97.4	0.249	$\delta' > (1 + \beta)\xi_0$	完全粘结梁	95.3	89.0
SRCB 23	82.5	0.275	$\delta' > (1 + \beta)\xi_0$	非完全粘结梁	94.4	89.2
SRCB 31	79.4	0.239	$\xi_0 \approx \delta'$	完全粘结梁	88.3	83.0
SRCB 32	88.2	0.228	$\xi_0 < \delta' < (1 + \beta)\xi_0$	完全粘结梁	97.5	91.9
SRCB 33	92.6	0.232	$\xi_0 < \delta' < (1 + \beta)\xi_0$	完全粘结梁	100.7	95.2

计算时 f_{cm} 取砼弯曲抗压强度。由 ξ_0 值可知试件 SRCB 11、SRCB 12 劲性钢筋的上翼缘在受压区且破坏时不屈服, 属于完全粘结梁的第二种情况; SRCB 31、SRCB 32、SRCB 33 劲性钢筋上翼缘在受拉区 (或在中和轴上), 且破坏时不屈服, 也属于完全粘结梁第二种受力情况。试件 SRCB 31 无栓钉, 而 SRCB 32、SRCB 33 布置有一定数量的栓钉, 试验表明在这种情况下有无栓钉对受弯承载力影响不大。试件 SRCB 21、SRCB 22、SRCB 23 的中和轴位置满足 $\delta' > (1+\beta)\xi_0$ 的条件, 为图 6d) 所示的情况, 其中 SRCB 22 布置有较多栓钉连接件, 劲性钢与砼粘结较好, 破坏时劲性钢全截面可受拉屈服, 属于完全粘结梁的第三种受力情况; 而 SRCB 21 无栓钉, SRCB 23 栓钉较少, 破坏时劲性钢上翼缘远未屈服, 受弯承载力的试验值比试件 SRCB 22 降低分别为 33%、15%, 因此它们属于非完全粘结梁。上述各种梁劲性钢上翼缘受力状态理论分析与试验结果完全吻合。

由表 2 可以看出理论计算值比试验结果偏大, 这是由于即使是完全粘结梁, 滑移或多或少总是存在的。为此可将劲性钢筋强度值乘以 0.9 的折减系数, 这与钢结构规范 GBJ17-88 钢与砼组合梁一章中的规定一致, 计算结果见表 2 所列 M_{u2} 值。

2.4 完全粘结梁的三种受力情况有一个共同的限制条件: $(1+\beta)\xi_0 < 1$ 即 $(1+\beta)\xi_0 h_0 < h_0$ 。式中 h_0 为劲性钢筋下翼缘到受压砼边缘的距离, $\xi_0 h_0$ 为截面理论中和轴高度。该限制条件的物理含义是要求劲性钢筋下翼缘要远离中和轴, 以保证破坏时下翼缘受拉屈服。通常该条件是可以满足的。当劲性钢下翼缘位置适宜但上述条件仍不满足时, 说明劲性钢筋面积偏大, 钢材强度是不能充分利用的。

劲性钢筋砼梁由于劲性钢筋具有较大的分布高度, 在极限状态下靠近中和轴附近的钢材不可能屈服, 未屈服的高度范围可达 $2\beta\xi_0 = 0.8\xi_0$ 。上述以平截面假定为基础的受弯承载力计算公式物理概念比较明确、与试验结果符合较好, 在分界点处连贯、衔接, 且理论中和轴计算最多是求解二次方程, 手算无困难。该法明显的不足之处是计算比较麻烦, 各种情况都有各自的限制条件, 要通过试算才能最终确定中和轴高度。计算时可采用下列判断步骤:

① 令 $\delta' = (1+\beta)\xi_0 = 1.4\xi_0$, 即 $\xi_0 = 0.714\delta'$

若 $A_s' f_y + 0.8\xi_0 h_0 b f_{cm} > (A_f + A_f' + A_w) f_{yL} + A_s f_y$ 成立,

且界面上布置有满足要求的栓钉连接件时则属于第三种受力情况。如无栓钉或数量不足时则为非完全粘结梁, 设计时应避免采用或按另外方法计算。

② 若上式不成立, 再令 $\delta' = (1-\beta)\xi_0 = 0.6\xi_0$, 即 $\xi_0 = 1.67\delta'$, 如果:

$$A_s' f_y + 0.8\xi_0 h_0 b f_{cm} < (A_f - A_f') f_{yL} + A_s f_y + (w - 0.8\xi_0) t_w h_0 f_{yL}$$

成立即属于第一种情况, 否则属于第二种受力情况。

3 结 语

3.1 劲性钢筋砼筒支梁具有钢—砼组合梁的受力特点, 在某些情况下劲性钢与砼界面

