

YJK 加固计算的相关系数（中）

李伟民

加固结构属于二次受力结构，同时属于二次组合结构。验算结构、构件承载力时，应计入应变滞后的影响，以及加固部分与原结构共同工作。

继上文列出了八个加固计算相关的系数，本文继续介绍七个加固计算相关的系数。

一、梁外粘钢板法-相对界限受压区高度折减系数 0.85

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 9.2.2 条，梁采用外粘钢板加固时，其相对界限受压区高度应采用加固前控制值的 0.85 倍。

依据 9.2.2 条文说明，本条对受弯构件加固后的相对界限受压区高度的控制值作出了规定，其目的是为了避免因加固量过大而导致超筋性质的脆性破坏。对于粘钢构件，采用构件加固前控制值的 0.85 倍；满足此条要求，实际上已经确定了粘钢的“最大加固量”。

9.2.2 受弯构件加固后的相对界限受压区高度 $\xi_{b,sp}$ 应按加固前控制值的 0.85 倍采用，即：

$$\xi_{b,sp} = 0.85\xi_b \quad (9.2.2)$$

式中： ξ_b —— 构件加固前的相对界限受压区高度，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算。

查看梁外粘钢板加固计算书，程序输出了加固后的相对界限受压区高度 $\xi_{b,sp}=0.85 \times 0.518=0.440$ 。

第 1 章 正截面验算-设计资料

| 梁构件基本信息 | |
|----------------|-----------------------------------|
| 截面尺寸 | b=300mm h=800mm |
| 混凝土等级 | C30 |
| 纵筋强度 | $f_y=360N/mm^2, f_{yk}=360N/mm^2$ |
| 钢板设计强度 | $f_a=305N/mm^2$ |
| 梁截面类型 | 非筋加密区 |
| 加固后弯矩设计值 | M=3370.040 kN*m |
| 受拉钢筋面积 | $A_s=829mm^2$ |
| 受压钢筋面积 | $A'_s=402mm^2$ |
| 受拉钢筋合力点至截面边缘距离 | a=42.5mm |
| 受压钢筋合力点至截面边缘距离 | a'=42.5mm |
| 抗震等级 | 2 |
| 组合类别 | 非地震组合 |
| 地震折减系数 | 1.000 |

第 2 章 正截面验算-计算结果

(1) 原梁承载力计算
 混凝土的强度为 $f_c = 14.3 \text{ MPa}$, $f_t = 1.43 \text{ MPa}$
 由《混凝土结构设计规范》6.2.6 可得 $\alpha_1 = 1.00$, $\beta_1 = 0.80$
 截面有效高度
 $h_0 = 800 - 42.5 = 757.5 \text{ mm}$

(2) 判断是否需要配置受压钢板
 计算相对界限区高度，根据《混凝土结构设计规范》6.2.7-1

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \sigma_c}} = 0.518$$

根据《混凝土结构加固设计规范》9.2.2 条，加固后的相对界限受压区高度为

$$\xi_{b,sp} = 0.518 \times 0.85 = 0.440$$

根据构造配筋，计算得到受拉钢筋最小配筋率和面积
 $\rho_{min} = 0.250\%$, $A_{s,min} = 600 \text{ mm}^2$
 计算截面能够承担的最大弯矩值
 原受压钢筋承担弯矩

$$M'_c = A'_s f_y (\eta - a) = 109.653 \text{ kN*m}$$

混凝土能承担的最大弯矩

$$M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{b,sp} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{b,sp} h_0) = 907.590 \text{ kN*m}$$

原受拉钢筋能够承担的弯矩

$$M_s = f_y A_s (h_0 - a) = -12.690 \text{ kN*m}$$

梁能够承担的弯矩值为 $M_{max} = 1004.553 \text{ kN*m}$
 按最大受压区高度计算得到承载力小于加固后梁弯矩设计值，因此需考虑受压钢板

(3) 配置钢板面积计算
 考虑按最大的受压区高度

$$x = \xi_{b,sp} h_0 = 333.300 \text{ mm}$$

计算折减系数
 原有混凝土有效截面的纵向受拉钢筋配筋率

$$\rho_w = \frac{A_s}{0.5bh} = 0.007$$

根据《混凝土结构加固设计规范》表 9.2.9，查得 $\alpha_w = 0.700$
 求得折减系数为
 $\psi_w = 1.000$
 计算受压钢板面积

$$A_w = \frac{M - M_{max}}{f_w h} = 9695 \text{ mm}^2$$

计算出受压钢板面积后，考虑轴力平衡，计算受拉钢板面积

$$A_{s,w} = \frac{\alpha_1 f_c b x - f_y A_s + f_w A_w - f_y A'_s}{f_w} = 13889 \text{ mm}^2$$

程序计算结果为：

| | |
|--------------|----------|
| 承载力抗震调整系数 | 1.00 |
| 截面有效高度 | 757.50mm |
| 截面混凝土相对受压区高度 | 0.4400 |

程序在计算受拉钢板面积前，先判断计算截面能够承担的最大弯矩值是否满足控制弯矩，若不满足，则需要考虑受压钢板。

其中，混凝土能承担的最大弯矩 $M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{b,sp} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{b,sp} h_0)$ ，将 $\xi_{b,sp} = 0.440$ 代入，可得 $M_c = 1.0 \times 14.33 \times 300 \times 0.44 \times 757.5 \times (800 - 0.5 \times 0.44 \times 757.5) = 907.50 \text{ kN.m}$ ，与程序输出的结果是一致的。

注：此项计算是受压区混凝土对截面受拉边缘取矩，而不是对受拉钢筋取矩，公式中括

号内计算力臂时用到的是 h ，而不是 h_0)。

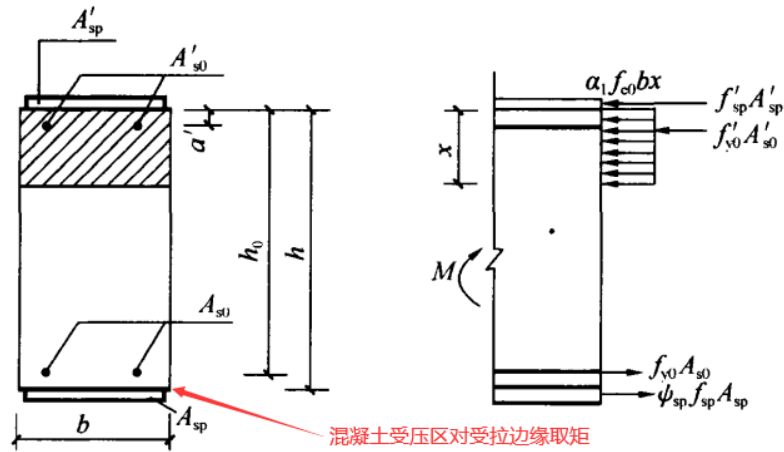


图 9.2.3 矩形截面正截面受弯承载力计算

由该计算书中还可以看出，按最大受压高度计算得到的承载力小于加固后梁弯矩设计值，则需考虑受压钢板。因此，最终取最大受压区高度 $x = \xi_{b,sp} h_0 = 0.44 \times 757.5 = 333.3 \text{mm}$ ，求解受压钢板与受拉钢板面积。

二、梁外粘钢板法—考虑二次受力影响时，加固钢板的滞后应变 $\epsilon_{sp,0}$

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 9.2.9 条，梁采用外粘钢板加固，当考虑二次受力影响时，应计入加固钢板的滞后应变 $\epsilon_{sp,0}$ 。

9.2.9 当考虑二次受力影响时，加固钢板的滞后应变 $\epsilon_{sp,0}$ 应按下列下式计算：

$$\epsilon_{sp,0} = \frac{\alpha_{sp} M_{0k}}{E_s A_s h_0} \quad (9.2.9)$$

式中： M_{0k} ——加固前受弯构件验算截面上作用的弯矩标准值 (kN·m)；

α_{sp} ——综合考虑受弯构件裂缝截面内力臂变化、钢筋拉应变不均匀以及钢筋排列影响的计算系数，按表 9.2.9 的规定采用。

表 9.2.9 计算系数 α_{sp} 值

| ρ_{te} | ≤ 0.007 | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | ≥ 0.060 |
|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 单排钢筋 | 0.70 | 0.90 | 1.15 | 1.20 | 1.25 | 1.30 |
| 双排钢筋 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.30 | 1.35 | 1.40 |

注：1 ρ_{te} 为原有混凝土有效受拉截面的纵向受拉钢筋配筋率，即 $\rho_{te} = A_s / A_{te}$ ； A_{te} 为有效受拉混凝土截面面积，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算。

2 当原构件钢筋应力 $\sigma_{s0} \leq 150 \text{MPa}$ ，且 $\rho_{te} \leq 0.05$ 时，表中 α_{sp} 值可乘以调整系数 0.9。

查看梁外粘钢板加固计算书，程序输出了滞后应变计算公式中的系数 $\alpha_{sp} = 1.257$ ，滞后应变结果没有输出。下面根据公式 9.2.9 手算滞后应变。

梁构件基本信息

| | |
|----------------|--|
| 截面尺寸 | b=300mm h=500mm |
| 混凝土等级 | C30 |
| 纵筋强度 | $f_{yk}=360\text{N/mm}^2, f_{yk}=360\text{N/mm}^2$ |
| 钢板设计强度 | $f_{yk}=305\text{N/mm}^2$ |
| 梁截面类型 | 非箍筋加密区 |
| 加固后弯矩设计值 | $M=841.325\text{ kN}\cdot\text{m}$ |
| 受拉钢筋面积 | $A_s=3218\text{mm}^2$ |
| 受压钢筋面积 | $A'_s=308\text{mm}^2$ |
| 受拉钢筋合力点至截面边缘距离 | $a=67.5\text{mm}$ |
| 受压钢筋合力点至截面边缘距离 | $a'=42.5\text{mm}$ |
| 抗震等级 | 2 |
| 组合类别 | 非地震组合 |
| 地震折减系数 | 1.000 |

第2章 正截面验算-计算结果

(1) 判断是否需要配置受压钢板

混凝土的强度为 $f_c = 1.43\text{ MPa}$, $f_t = 1.43\text{ MPa}$

截面有效高度

$h_0 = 500 - 67.5 = 432.5\text{ mm}$

其中, M_{0k} 为加固前弯矩标准值, 经查 $M_{0k} = 1.0\text{DL} + 1.0\text{LL} = 621.4 + 16.5 = 637.9\text{ KN}\cdot\text{m}$ 。由计算书可得 $A_s = 3218\text{mm}^2$, $h_0 = 432.5\text{mm}$ 。上述数据代入公式 $\xi_{sp,0} = \alpha_{sp} M_{0k} / E_s A_s h_0$,

$\xi_{sp,0} = 1.257 \times 637900000 / 200000 \times 3218 \times 432.5 = 0.00288$ 。(此结果用于(三)中强度折减系数 ψ_{sp} 的计算)。

| 竖向力工况 (iCase) | M-1 | M-1 | M-2 | M-3 | M-4 | M-5 | M-6 | M-7 | M-J | Nmax Tmax |
|------------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| | V-i | V-1 | V-2 | V-3 | V-4 | V-5 | V-6 | V-7 | V-j | |
| *(EX) | 18.7 | -17.8 | -4.4 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| (EX) | 18.7 | -17.8 | -4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| *(EY) | 4.0 | -3.7 | -0.9 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| (EY) | 4.0 | -3.7 | -0.9 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| *(+WX) | 0.6 | -0.6 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | -0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| (+WX) | 0.6 | -0.6 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | -0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| *(-WX) | -0.6 | 0.6 | 0.2 | 0.0 | -0.0 | 0.0 | -0.0 | -0.0 | | |
| (-WX) | -0.6 | 0.6 | 0.2 | 0.0 | -0.0 | 0.0 | -0.0 | -0.0 | | |
| *(+WY) | 0.0 | -0.0 | -0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.0 | -0.0 | | |
| (+WY) | 0.0 | -0.0 | -0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.0 | -0.0 | | |
| *(-WY) | -0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.0 | -0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| (-WY) | -0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.0 | -0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| *(DL) | -787.2 | -276.1 | 147.2 | 413.8 | 509.5 | 434.1 | 187.9 | -215.0 | -705.8 | 0.0 |
| (DL) | -669.1 | -159.5 | 262.2 | 527.3 | 621.4 | 544.6 | 296.8 | -107.7 | -599.9 | 0.0 |
| *(DL) | 507.4 | 462.2 | 338.5 | 174.1 | 9.8 | -154.6 | -318.9 | -442.6 | -487.8 | -0.4 |
| (DL) | 507.4 | 462.2 | 338.5 | 174.1 | 9.8 | -154.6 | -318.9 | -442.6 | -487.8 | -0.2 |
| *(LL) | -20.8 | -7.3 | 3.9 | 11.0 | 13.5 | 11.5 | 5.0 | -5.7 | -18.7 | 0.0 |
| (LL) | -17.7 | -4.3 | 6.9 | 14.0 | 16.5 | 14.4 | 7.8 | -2.9 | -15.9 | 0.0 |
| *(LL) | 13.3 | 12.2 | 9.0 | 4.6 | 0.3 | -4.1 | -8.5 | -11.7 | -12.8 | -0.0 |
| (LL) | 13.3 | 12.2 | 9.0 | 4.6 | 0.3 | -4.1 | -8.5 | -11.7 | -12.8 | -0.0 |

三、梁外粘钢板法—考虑二次受力影响时, 钢板抗拉强度的折减系数 ψ_{sp}

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 9.2.3 条, 梁采用外粘钢板加固, 考虑二次受力影响时, 受拉钢板抗拉强度有可能达不到设计值而引用的折减系数 ψ_{sp} 。

$$M_w = A_w f_y (h-a) = 50.711\text{ kN}\cdot\text{m}$$

混凝土能承担的最大弯矩

$$M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{sb} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{sb} h_0) = 331.241\text{ kN}\cdot\text{m}$$

原受拉钢筋能够承担的弯矩

$$M_w = f_y A_s (h_0 - h) = -78.193\text{ kN}\cdot\text{m}$$

梁能够承担的弯矩值为 $M_{max} = 303.759\text{ kN}\cdot\text{m}$

按最大受压高度计算得到承载力小于加固后梁弯矩设计值, 因此需考虑受压钢板

(2) 配置钢板面积计算

考虑按最大的受压区高度

$$x = \xi_{sb} h_0 = 190.300\text{ mm}$$

计算折减系数

原有混凝土有效截面的纵向受拉钢筋配筋率

$$\rho_w = \frac{A_s}{0.5bh} = 0.043$$

根据《混凝土结构加固设计规范》表 9.2.9, 查得 $\alpha_w = 1.257$

求得折减系数为

$$\psi_w = 0.510$$

计算受压钢板面积

$$A_w = \frac{M - M_w}{f_y h} = 3525\text{ mm}^2$$

计算出受压钢板面积后, 考虑轴力平衡, 计算受拉钢板面积

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b x - f_y A_w + f_y A_w - f_y A_w}{f_y} = 5438\text{ mm}^2$$

9.2.3 在矩形截面受弯构件的受拉面和受压面粘贴钢板进行加固时(图9.2.3),其正截面承载力应符合下列规定:

$$M \leq \alpha_1 f_{c0} b x \left(h - \frac{x}{2} \right) + f'_{y0} A'_{s0} (h - a') + f'_{sp} A'_{sp} h - f_{y0} A_{s0} (h - h_0) \quad (9.2.3-1)$$

$$\alpha_1 f_{c0} b x = \psi_{sp} f_{sp} A_{sp} + f_{y0} A_{s0} - f'_{y0} A'_{s0} - f'_{sp} A'_{sp} \quad (9.2.3-2)$$

$$\psi_{sp} = \frac{(0.8 \epsilon_{cu} h/x) - \epsilon_{cu} - \epsilon_{sp,0}}{f_{sp}/E_{sp}} \quad (9.2.3-3)$$

$$x \geq 2a' \quad (9.2.3-4)$$

式中: M ——构件加固后弯矩设计值 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);

x ——混凝土受压区高度 (mm);

b 、 h ——矩形截面宽度和高度 (mm);

f_{sp} 、 f'_{sp} ——加固钢板的抗拉、抗压强度设计值 (N/mm^2);

A_{sp} 、 A'_{sp} ——受拉钢板和受压钢板的截面面积 (mm^2);

A_{s0} 、 A'_{s0} ——原构件受拉和受压钢筋的截面面积 (mm^2);

a' ——纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离 (mm);

h_0 ——构件加固前的截面有效高度 (mm);

ψ_{sp} ——考虑二次受力影响时,受拉钢板抗拉强度有可能达不到设计值而引用的折减系数;当 $\psi_{sp} > 1.0$ 时,取 $\psi_{sp} = 1.0$;

ϵ_{cu} ——混凝土极限压应变,取 $\epsilon_{cu} = 0.0033$;

$\epsilon_{sp,0}$ ——考虑二次受力影响时,受拉钢板的滞后应变,应按本规范第9.2.9条的规定计算;若不考虑二次受力影响,取 $\epsilon_{sp,0} = 0$;

查看梁外粘钢板加固计算书(同二),程序输出了折减系数 $\psi_{sp}=0.510$ 。现手核此折减系数:

第1章 正截面验算-设计资料

梁构件基本信息

| | |
|----------------|--|
| 截面尺寸 | $b=300\text{mm}$ $h=500\text{mm}$ |
| 混凝土等级 | C30 |
| 纵筋强度 | $f_{ty}=360\text{N}/\text{mm}^2$ $f'_{ty}=360\text{N}/\text{mm}^2$ |
| 钢板设计强度 | $f_{sp}=305\text{N}/\text{mm}^2$ |
| 梁截面类型 | 非箍筋加密区 |
| 加固后弯矩设计值 | $M=841.325 \text{ kN}\cdot\text{m}$ |
| 受拉钢筋面积 | $A_s=3218\text{mm}^2$ |
| 受压钢筋面积 | $A'_s=308\text{mm}^2$ |
| 受拉钢筋合力点至截面边缘距离 | $a=67.5\text{mm}$ |
| 受压钢筋合力点至截面边缘距离 | $a'=42.5\text{mm}$ |
| 抗震等级 | 2 |
| 组合类别 | 非地震组合 |
| 地震折减系数 | 1.000 |

第2章 正截面验算-计算结果

(1) 判断是否需要配置受压钢板

混凝土的强度为 $f_c = 1.43 \text{ MPa}$, $f_t = 1.43 \text{ MPa}$

截面有效高度

$h_0 = 500 - 67.5 = 432.5 \text{ mm}$

根据构造配筋,计算得到受拉钢筋最小配筋率和面积

$\rho_{min} = 0.250\%$, $A_{smin} = 375 \text{ mm}^2$

计算截面能够承担的最大弯矩值

原受压钢筋承担弯矩

$M_{s0} = A'_s f'_{ty} (h - a') = 50.711 \text{ kN}\cdot\text{m}$

混凝土能承担的最大弯矩

$M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{cb} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{cb} h_0) = 331.241 \text{ kN}\cdot\text{m}$

原受拉钢筋能够承担的弯矩

$M_{s0} = f_{ty} A_s (h_0 - h) = -78.193 \text{ kN}\cdot\text{m}$

梁能够承担的弯矩值为 $M_{s0} = 303.759 \text{ kN}\cdot\text{m}$

按最大受压高度计算得到承载力小于加固后梁弯矩设计值,因此需考虑受压钢板

(2) 配置钢板面积计算

考虑按最大的受压区高度

$x = \xi_{cb} h_0 = 190.300 \text{ mm}$

计算折减系数

原有混凝土有效截面的纵向受拉钢筋配筋率

$\rho_{sw} = \frac{A_s}{0.5bh} = 0.043$

根据《混凝土结构加固设计规范》表9.2.9,查得 $\alpha_{sw} = 1.257$

求得折减系数为

$\psi_{sp} = 0.510$

计算受压钢板面积

$A'_{sp} = \frac{M - M_{s0}}{f_{sp} h} = 3525 \text{ mm}^2$

计算出受压钢板面积后,考虑轴力平衡,计算受拉钢板面积

$A_{sp} = \frac{\alpha_1 f_c b x - f_{ty} A_s + f'_{ty} A'_s - f_{sp} A'_{sp}}{f_{sp}} = 5438 \text{ mm}^2$

由计算书可得 $x=190.3\text{mm}$, $f_{sp}=305\text{N}/\text{mm}^2$, $h=500\text{mm}$, 并且计入(二)中计算出的滞后应

变 $\xi_{sp,0}=0.00288$ 。上述数据代入公式 9.2.3-3, $\psi_{sp}=(0.8 \xi_{cu}h/X-\xi_{cu}-\xi_{sp,0})/(f_{sp}/E_{sp})$,
 $\psi_{sp}=\{(0.8 \times 0.0033 \times 500/190.3)-0.0033-0.00288\}/(305/206000)=0.510$, 与程序结果是一致的。

注意：程序中需要先勾选参数“加固时考虑二次受力影响”，梁外粘钢板与梁外贴纤维加固计算时才能考虑强度折减系数。不勾选，计算书中也输出折减系数，不过都是 1.0。

| | |
|---|--|
| <p>根据《混凝土结构加固设计规范》表 9.2.9, 查得 $\alpha_w = 1.357$</p> <p>求得折减系数为 $\psi_w = 1.000$ (不勾选二次受力)</p> <p>计算受压钢板面积</p> $A_w = \frac{M-M_w}{f_w h} = 3525 \text{ mm}^2$ <p>计算出受压钢板面积后, 考虑轴力平衡, 计算受拉钢板面积</p> $A_w = \frac{\alpha_1 f_c b x - f_w A_w + f_w A_w - f_w A_w}{f_w} = 2773 \text{ mm}^2$ | <p>根据《混凝土结构加固设计规范》表 9.2.9, 查得 $\alpha_w = 1.257$</p> <p>求得折减系数为 $\psi_w = 0.510$ (勾选二次受力)</p> <p>计算受压钢板面积</p> $A_w = \frac{M-M_w}{f_w h} = 3525 \text{ mm}^2$ <p>计算出受压钢板面积后, 考虑轴力平衡, 计算受拉钢板面积</p> $A_w = \frac{\alpha_1 f_c b x - f_w A_w + f_w A_w - f_w A_w}{f_w} = 5438 \text{ mm}^2$ |
|---|--|

抗震鉴定与加固 > 抗震鉴定与加固

鉴定加固 (原钢筋在施工图菜单中生成或录入) 鉴定加固手册

抗震鉴定规范系列

国标 北京地标其他参数

北京地标

鉴定加固标准

建筑抗震鉴定标准 (GB50023-2009) (A类) 1989系列规范 (B类)

2001系列规范 (旧C类) 2010系列规范 (C类)

抗震措施核查

抗震设防类别 丙类

加固时考虑二次受力影响

四、梁外粘钢板法—抗剪强度折减系数 ψ_{vb}

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 9.3.3 条, 梁采用外粘钢板进行抗剪加固时, 其斜截面承载力计算应考虑与钢板的粘贴方式及受力条件有关的抗剪强度折减系数 ψ_{vb} 。

9.3.3 采用加锚封闭箍或其他 U 形箍对钢筋混凝土梁进行抗剪加固时，其斜截面承载力应符合下列公式规定：

$$V \leq V_{b0} + V_{b,sp} \quad (9.3.3-1)$$

$$V_{b,sp} = \psi_{vb} f_{sp} A_{b,sp} h_{sp} / s_{sp} \quad (9.3.3-2)$$

式中： V_{b0} ——加固前梁的斜截面承载力（kN），按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算；

$V_{b,sp}$ ——粘贴钢板加固后，对梁斜截面承载力的提高值（kN）；

ψ_{vb} ——与钢板的粘贴方式及受力条件有关的抗剪强度折减系数，按表 9.3.3 确定；

$A_{b,sp}$ ——配置在同一截面处箍板各肢的截面面积之和（ mm^2 ），即 $2b_{sp}t_{sp}$ ，此处： b_{sp} 和 t_{sp} 分别为箍板宽度和箍板厚度；

h_{sp} ——U 形箍板单肢与梁侧面混凝土粘结的竖向高度（mm）；

s_{sp} ——箍板的间距（图 9.3.1b）（mm）。

表 9.3.3 抗剪强度折减系数 ψ_{vb} 值

| 箍板构造 | | 加锚封闭箍 | 胶锚或钢板锚 U 形箍 | 一般 U 形箍 |
|------|---------------------------|-------|-------------|---------|
| 受力条件 | 均布荷载或剪跨比 $\lambda \geq 3$ | 1.00 | 0.92 | 0.85 |
| | 剪跨比 $\lambda \leq 1.5$ | 0.68 | 0.63 | 0.58 |

注：当 λ 为中间值时，按线性内插法确定 ψ_{vb} 值。

程序目前是胶锚或钢板锚 U 形箍、均布荷载或剪跨比 $\lambda \geq 3$ 选择的 $\psi_{vb}=0.92$ 。

将 $\psi_{vb}=0.92$ 代入箍板面积计算公式，

$A_{sp}=(V-V_c-V_{sv})S_{sp}/\psi_{vb}f_{sp}h_{sp}=(3706382.8-410910.3) \times 200/(0.92 \times 305 \times 800)=2936\text{mm}^2$ ，与程序输出的结果一致。其中 S_{sp} 是布置加固做法时输入的箍板间距 200mm。

| | |
|----------------|-----------------------------------|
| 梁截面尺寸 | $b=300\text{mm}$ $h=800\text{mm}$ |
| 梁混凝土等级 | C30 |
| 梁箍筋抗拉强度设计值 | $f_{sv}=360\text{N}/\text{mm}^2$ |
| 型钢、钢板设计强度 | $f_a=305\text{N}/\text{mm}^2$ |
| 梁截面类型 | 框架梁 |
| 加固后剪力设计值 | $V=4360\text{ kN}$ |
| 箍筋截面面积 | $A_{sv}=101\text{mm}^2$ |
| 箍筋间距 | $s=100\text{mm}$ |
| 受拉钢筋合力点至截面边缘距离 | $a_s=42.5\text{mm}$ |
| 梁计算跨度 | $l_p=6413\text{mm}$ |
| 箍板间距 | $s_{sp}=200\text{mm}$ |
| 梁侧箍板侧向高度 | $h_{sp}=800\text{mm}$ |
| 抗震等级 | 2 |
| 组合类别 | 地震组合 |
| 地震折减系数 | 1.000 |

$$\lambda_s = 8.02 \geq 2.5$$

$$h$$

地震作用下，该梁的截面最大剪力系数为 $k = 0.20$

截面容许的最大剪应力值为

$$\tau_{max} = k \beta f_c = 2.866 \text{ MPa}$$

地震作用下，承载力抗震调整系数为 $1.000 \times 0.85 = 0.850$

设计剪力调整为

$$V = 4360.450 \times 0.85 = 3706.383 \text{ kN}$$

由设计剪力值计算截面剪应力

$$\tau = \frac{V}{bh_s} = \frac{3706382.750}{300 \times 758} = 16.310 \text{ MPa}$$

截面容许的最大剪应力值小于由设计剪力值计算截面剪应力，不满足要求

(2) 计算箍板面积

由混凝土提供的抗剪承载力

$$V_c = 0.7ftbh_0 = 227937.1 \text{ N}$$

考虑抗震设计时，混凝土提供的抗剪承载力按《混凝土结构设计规范》11.3.4 计算，乘以 0.8 的系数

$$V_c = 136762.3 \text{ N}$$

由箍筋提供的抗剪承载力

$$V_{sv} = \frac{f_{sv}A_{sv}h_0}{s} = 274148.0 \text{ N}$$

加固前梁抗剪承载力

$$V_u = V_c + V_{sv} = 410910.3 \text{ N}$$

箍板面积为

$$A_{sp} = \frac{(V - V_c - V_{sv})s_{sp}}{f_a h_{sp}} = 2936 \text{ mm}^2$$

因此配置在同一截面处箍板各肢的截面面积之和应不小于 2936 mm^2

箍板的间距为 100mm

程序计算结果为：

| | |
|-----------|--------|
| 承载力抗震调整系数 | 0.85 |
| 梁箍筋最小配筋率 | 0.0011 |

第 2 章 斜截面验算-计算结果

(1) 验算截面尺寸

截面有效高度

$$h_0 = 800 - 42.5 = 757.5 \text{ mm}$$

混凝土的强度为 $f_c = 14.3 \text{ MPa}$ ， $f_t = 1.43 \text{ MPa}$

由《混凝土结构设计规范》6.2.6 可得 $\alpha_1 = 1.00$ ， $\beta_1 = 0.80$

根据构造计算，得到箍筋最小配筋率

$$\rho_{min} = 0.111\%$$

构造下，最小箍筋面积为

$$A_{sv,min} = \rho_{min} b s = 0.111\% \times 300 \times 100 = 33 \text{ mm}^2$$

截面有效高宽比为

五、梁外贴纤维法-相对界限受压区高度折减系数 0.85

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 10.2.2 条，梁采用外贴纤维加固时，其相对界限受压区高度应采用加固前控制值的 0.85 倍。

依据 10.2.2 条文说明，本条对受弯构件加固后的相对界限受压区高度的控制值作出了规定，其目的是为了避免因加固量过大而导致超筋性质的脆性破坏。对于粘纤维构件，采用构件加固前控制值的 0.85 倍；满足此条要求，实际上已经确定了纤维的“最大加固量”。

10.2.2 受弯构件加固后的相对界限受压区高度 $\xi_{b,f}$ ，应按下列式计算，即按构件加固前控制值的 0.85 倍采用：

$$\xi_{b,f} = 0.85\xi_b \quad (10.2.2)$$

式中： ξ_b ——构件加固前的相对界限受压区高度，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算。

查看梁外贴纤维加固计算书，程序输出了加固后的相对界限受压区高度 $\xi_{b,f}=0.85 \times 0.518=0.440$ 。

第 1 章 正截面验算-设计资料

| 梁构件基本信息 | |
|----------------|-----------------------------------|
| 截面尺寸 | b=300mm h=600mm |
| 梁混凝土等级 | C30 |
| 原纵筋强度 | $f_{yk}=360N/mm^2, f_y=360N/mm^2$ |
| 纤维设计抗拉强度 | $f_{t1}=1400N/mm^2$ |
| 纤维设计抗拉应变 | $\epsilon_{t1}=0.0070$ |
| 梁截面类型 | 非箍筋加密区 |
| 加固后弯矩设计值 | M=3180.711 kN*m |
| 加固前受拉钢筋面积 | $A_{s1}=829mm^2$ |
| 加固前受压钢筋面积 | $A_{s2}=402mm^2$ |
| 受拉钢筋合力点至截面边缘距离 | a=42.5mm |
| 受压钢筋合力点至截面边缘距离 | a'=42.5mm |
| 抗震等级 | 2 |
| 组合类别 | 非地震组合 |
| 地震折减系数 | 1.000 |

根据《混凝土结构加固设计规范》9.2.2 条，加固后的相对界限受压区高度为

$$\xi_{b,f} = 0.518 \times 0.85 = 0.440$$

根据构造配筋，计算得到受拉钢筋最小配筋率和面积

$$\rho_{min} = 0.25\%, A_{smin} = 450mm^2$$

计算截面能够承担的最大弯矩值

$$M_u = A_{s1} f_{yk} (h - a) = 80.701 kN*m$$

混凝土能够承担的最大弯矩

$$M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{b,f} h_0 (h - 0.5 \xi_{b,f} h_0) = 503.437 kN*m$$

原受拉钢筋能够承担的弯矩

$$M_{u1} = f_y A_{s1} (h - h_0) = -12.690 kN*m$$

梁能够承担的弯矩值为 $M_{max} = 571.449 kN*m$

梁能够承担的弯矩值小于加固后梁弯矩设计值，纤维不能受压，因此不能使用贴纤维加固法

程序计算结果为：

| | |
|-----------------|----------------------|
| 承载力抗震调整系数 | 1.00 |
| 截面有效高度 | 558mm |
| 截面混凝土相对受压区高度 | 0.4400 |
| 截面混凝土的界限相对受压区高度 | 0.4400 |
| 受拉纤维有效面积 | 99999mm ² |
| 受拉钢筋最小面积 | 450mm ² |
| 受拉纤维有效面积最小值 | 0mm ² |

第 2 章 正截面验算-计算结果

(1) 原梁承载力计算
 加固用混凝土的强度为
 $f_c = 14.3 MPa, f_t = 1.43 MPa$
 由《混凝土结构设计规范》6.2.6 可得 $\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$
 截面有效高度
 $h_0 = 600 - 42.5 = 557.5 mm$
 (2) 加固计算
 计算相对界限区高度，根据《混凝土结构设计规范》6.2.7-1

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \epsilon_m}} = 0.518$$

程序在计算受拉纤维面积前，先判断计算截面能够承担的最大弯矩值是否满足控制弯矩，若不满足，则说明该梁不适合采用纤维加固。

注：依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 10.1.3 条，纤维仅承受拉力，受力状态与钢板是不同的。钢板能够承受压力，故可以布置受压钢板，但纤维不能承受压力，故不能布置受压纤维。

10.1.1 本方法适用于钢筋混凝土受弯、轴心受压、大偏心受压及受拉构件的加固。

本方法不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋一侧配筋率小于 0.2% 的构件加固。

10.1.2 被加固的混凝土结构构件，其现场实测混凝土强度等级不得低于 C15，且混凝土表面的正拉粘结强度不得低于 1.5MPa。

10.1.3 外贴纤维复合材加固钢筋混凝土结构构件时，应将纤维受力方式设计成仅承受拉应力作用。

其中，混凝土能承担的最大弯矩 $M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{b,f} h_0 (h - 0.5 \xi_{b,f} h_0)$ ，将 $\xi_{b,f} = 0.440$ 代入，可得 $M_c = 1.0 \times 14.33 \times 300 \times 0.44 \times 557.5 \times (600 - 0.5 \times 0.44 \times 557.5) = 503.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ，与程序输出的结果一致。

注：此项计算是受压区混凝土对截面受拉边缘取矩，而不是对受拉钢筋取矩，公式中括号内计算力臂时用到的是 h ，而不是 h_0 。

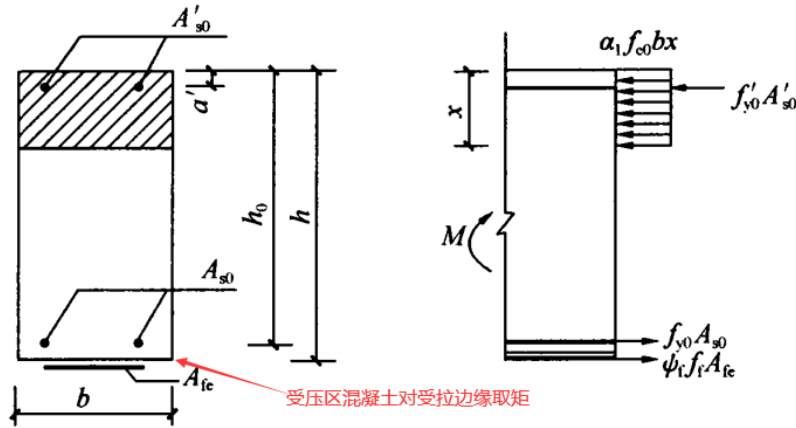


图 10.2.3 矩形截面构件正截面受弯承载力计算

由该计算书中还可以看出，按最大受压高度计算得到的承载力小于加固后梁弯矩设计值，纤维不能受压，因此不能使用贴纤维加固法。

六、梁外贴纤维法—考虑二次受力影响时，纤维复合材的滞后应变 ξ_{f0}

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 10.2.8 条，梁采用外贴纤维加固，当考虑二次受力影响时，应计入纤维复合材的滞后应变 ξ_{f0} 。

10.2.8 当考虑二次受力影响时，纤维复合材的滞后应变 ϵ_{f0} 应按下列式计算：

$$\epsilon_{f0} = \frac{\alpha_f M_{0k}}{E_s A_s h_0} \quad (10.2.8)$$

式中： M_{0k} ——加固前受弯构件验算截面上原作用的弯矩标准值；

α_f ——综合考虑受弯构件裂缝截面内力臂变化、钢筋拉应变不均匀以及钢筋排列影响等的计算系数，应按表 10.2.8 采用。

表 10.2.8 计算系数 α_f 值

| ρ_{te} | ≤ 0.007 | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | ≥ 0.060 |
|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 单排钢筋 | 0.70 | 0.90 | 1.15 | 1.20 | 1.25 | 1.30 |
| 双排钢筋 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.30 | 1.35 | 1.40 |

注：1 ρ_{te} 为混凝土有效受拉截面的纵向受拉钢筋配筋率，即 $\rho_{te} = A_s / A_{te}$ ， A_{te} 为有效受拉混凝土截面面积，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算。

查看梁外贴纤维加固计算书，程序输出了滞后应变计算公式中的系数 $\alpha_f = 1.158$ ，滞后应变结果没有输出。下面根据公式 10.2.8 手算滞后应变。

第 1 章 正截面验算-设计资料

构件基本信息

| | |
|----------------|---|
| 截面尺寸 | b=300mm h=500mm |
| 梁混凝土等级 | C30 |
| 原纵筋强度 | $f_{yk}=360\text{N/mm}^2, f_{yk}'=360\text{N/mm}^2$ |
| 纤维设计抗拉强度 | $f_t=1400\text{N/mm}^2$ |
| 纤维设计拉应变值 | $\varepsilon_f=0.0070$ |
| 梁截面类型 | 非箍筋加密区 |
| 加固后弯矩设计值 | $M=300.000\text{ kN}\cdot\text{m}$ |
| 加固前受拉钢筋面积 | $A_s=1621\text{mm}^2$ |
| 加固前受压钢筋面积 | $A_s'=308\text{mm}^2$ |
| 受拉钢筋合力点至截面边缘距离 | $a=67.5\text{mm}$ |
| 受压钢筋合力点至截面边缘距离 | $a'=42.5\text{mm}$ |
| 抗震等级 | 2 |
| 组合类别 | 非地震组合 |
| 地震折减系数 | 1.000 |

原受压钢筋承担弯矩

$$M_{s'} = A_s' f_{yk}' (h - a') = 50.711 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

混凝土能承担的最大弯矩

$$M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{cb} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{cb} h_0) = 331.241 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

原受拉钢筋能够承担的弯矩

$$M_{s0} = f_{yk} A_s (h_0 - a) = -39.393 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

梁能够承担的弯矩值为 $M_{max} = 342.559 \text{ kN}\cdot\text{m}$

按极限受压区高度计算, 梁能够承担的弯矩值大于加固后弯矩设计值

计算混凝土需要承担的弯矩和相对受压区高度

$$M_c = M - M_{s0} - M_{s'} = 288.682 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\xi = 0.37125$$

纤维弹性模量

$$E_f = 200000 \text{ N/mm}^2$$

计算折减系数

原有混凝土有效截面的纵向受拉钢筋配筋率

$$\rho_{s0} = \frac{A_s}{0.5bh} = 0.022$$

$$\rho_{s0} = \frac{A_s}{0.5bh} = 0.022$$

根据《混凝土结构加固设计规范》表 10.2.8, 查得 $\alpha_f = 1.158$

求得折减系数为

$$\psi_f = 0.518$$

计算受拉纤维应力值

$$f_t = 726 \text{ N/mm}^2$$

受压区高度

$$x = \xi h_0 = 161 \text{ mm}$$

考虑轴力平衡, 计算受拉纤维面积

$$A_{s0} = \frac{\alpha_1 f_c b x + f_{yk}' A_s' - f_t A_s}{f_t} = 300 \text{ mm}^2$$

因此, 应配置纤维的面积为 300 mm^2

程序计算结果为:

| | |
|-----------|--|
| 承载力抗震调整系数 | |
|-----------|--|

第 2 章 正截面验算-计算结果

(1) 原梁承载力计算

加固用混凝土的强度为

$$f_c = 1.43 \text{ MPa}, f_c' = 14.33 \text{ MPa}$$

由《混凝土结构设计规范》6.2.6 可得 $\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$

截面有效高度

$$h_0 = 500 - 67.5 = 432.5 \text{ mm}$$

其中, M_{0k} 为加固前的弯矩标准值, 经查 $M_{0k} = 1.0DL + 1.0LL = 139.5 + 17 = 156.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。由计算书可得 $A_s = 1621 \text{ mm}^2, h_0 = 432.5 \text{ mm}$ 。上述数据代入公式 $\xi_{f0} = \alpha_f M_{0k} / E_s A_s h_0$,

$\xi_{f0} = 1.158 \times 1156500000 / 200000 \times 1621 \times 432.5 = 0.0013$ 。(此结果用于(七)中强度利用系数 ψ_f 的计算)。

| 竖向力工况 (iCase) | M-1 V-i | M-1 V-1 | M-2 V-2 | M-3 V-3 | M-4 V-4 | M-5 V-5 | M-6 V-6 | M-7 V-7 | M-J V-j | Nmax Tmax |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| (DL) | -159.5 | -47.6 | 41.9 | 97.1 | 115.5 | 97.1 | 41.9 | -47.6 | -159.5 | 0.0 |
| (DL) | -135.6 | -23.6 | 65.9 | 121.1 | 139.5 | 121.1 | 65.9 | -23.6 | -135.6 | 0.0 |
| (DL) | 113.9 | 99.1 | 70.7 | 35.4 | -0.0 | -35.4 | -70.7 | -99.1 | -113.9 | -0.1 |
| (DL) | 113.9 | 99.1 | 70.7 | 35.4 | -0.0 | -35.4 | -70.7 | -99.1 | -113.9 | -0.0 |
| (LL) | -19.1 | -5.9 | 5.0 | 11.9 | 14.1 | 11.9 | 5.0 | -5.9 | -19.1 | 0.0 |
| (LL) | -16.3 | -3.1 | 7.9 | 14.7 | 17.0 | 14.7 | 7.9 | -3.1 | -16.3 | 0.0 |
| (LL) | 13.1 | 12.0 | 8.7 | 4.4 | 0.0 | -4.4 | -8.7 | -12.0 | -13.1 | 0.0 |
| (LL) | 13.1 | 12.0 | 8.7 | 4.4 | 0.0 | -4.4 | -8.7 | -12.0 | -13.1 | 0.0 |

七、梁外贴纤维法—考虑二次受力影响时, 纤维复合材考虑强度利用系数 ψ_f

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 10.2.3 条, 梁采用外贴纤维加固, 考虑二次受力影响时, 纤维复合材考虑实际抗拉应变达不到设计值而引入的强度利用系数 ψ_f 。

10.2.3 在矩形截面受弯构件的受拉边混凝土表面上粘贴纤维复合材进行加固时 (图 10.2.3), 其正截面承载力应按下列公式确定:

$$M \leq \alpha_1 f_{c0} b x \left(h - \frac{x}{2} \right) + f'_{y0} A'_{s0} (h - a') - f_{y0} A_{s0} (h - h_0) \quad (10.2.3-1)$$

$$\alpha_1 f_{c0} b x = f_{y0} A_{s0} + \psi_f f_t A_{fe} - f'_{y0} A'_{s0} \quad (10.2.3-2)$$

$$\psi_f = \frac{(0.8 \varepsilon_{cu} h/x) - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{f0}}{\varepsilon_f} \quad (10.2.3-3)$$

$$x \geq 2a' \quad (10.2.3-4)$$

式中: M —— 构件加固后弯矩设计值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$);

x —— 混凝土受压区高度 (mm);

- b, h —— 矩形截面宽度和高度 (mm);
- f_{y0}, f'_{y0} —— 原截面受拉钢筋和受压钢筋的抗拉、抗压强度设计值 (N/mm^2);
- A_{s0}, A'_{s0} —— 原截面受拉钢筋和受压钢筋的截面面积 (mm^2);
- a' —— 纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离 (mm);
- h_0 —— 构件加固前的截面有效高度 (mm);
- f_f —— 纤维复合材的抗拉强度设计值 (N/mm^2), 应根据纤维复合材的品种, 分别按本规范表 4.3.4-1、表 4.3.4-2 及表 4.3.4-3 采用;
- A_{fe} —— 纤维复合材的有效截面面积 (mm^2);
- ψ_f —— 考虑纤维复合材实际抗拉应变达不到设计值而引入的强度利用系数, 当 $\psi_f > 1.0$ 时, 取 $\psi_f = 1.0$;
- ϵ_{cu} —— 混凝土极限压应变, 取 $\epsilon_{cu} = 0.0033$;
- ϵ_f —— 纤维复合材拉应变设计值, 应根据纤维复合材的品种, 按本规范表 4.3.5 采用;
- ϵ_{f0} —— 考虑二次受力影响时纤维复合材的滞后应变, 应按本规范第 10.2.8 条的规定计算, 若不考虑二次受力影响, 取 $\epsilon_{f0} = 0$ 。

查看梁外贴纤维加固计算书(同六), 程序输出了折减系数 $\psi_f=0.518$ 。现手核此折减系数:

第 1 章 正截面验算-设计资料

梁构件基本信息

| | |
|----------------|---------------------------------------|
| 截面尺寸 | b=300mm h=500mm |
| 梁混凝土等级 | C30 |
| 原纵筋强度 | $f_{yk}=360N/mm^2, f_{yk}'=360N/mm^2$ |
| 纤维设计抗拉强度 | $f_f=1400N/mm^2$ |
| 纤维设计拉应变值 | $\epsilon_f=0.0070$ |
| 梁截面类型 | 非箍筋加密区 |
| 加固后弯矩设计值 | M=300.000 kN*m |
| 加固前受拉钢筋面积 | $A_{s1}=1621mm^2$ |
| 加固前受压钢筋面积 | $A_{s2}=308mm^2$ |
| 受拉钢筋合力点至截面边缘距离 | a=67.5mm |
| 受压钢筋合力点至截面边缘距离 | a'=42.5mm |
| 抗震等级 | 2 |
| 组合类别 | 非地震组合 |
| 地震折减系数 | 1.000 |

原受压钢筋承担弯矩

$$M_{s2} = A_{s2} f_{yk}' (h - a') = 50.711 \text{ kN*m}$$

混凝土能承担的最大弯矩

$$M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{cb} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{cb} h_0) = 331.241 \text{ kN*m}$$

原受拉钢筋能够承担的弯矩

$$M_{s1} = f_{yk} A_{s1} (h_0 - h) = -39.393 \text{ kN*m}$$

梁能够承担的弯矩值为 $M_{max} = 342.559 \text{ kN*m}$

按极限受压区高度计算, 梁能够承担的弯矩值大于加固后梁弯矩设计值, 计算混凝土需要承担的弯矩和相对受压区高度

$$M_c = M - M_{s1} - M_{s2} = 268.682 \text{ kN*m}$$

$$\xi = 0.37125$$

纤维弹性模量

$$E_f = 200000 \text{ N/mm}^2$$

计算折减系数

原有混凝土有效截面的纵向受拉钢筋配筋率

$$\rho_{te} = \frac{A_{s1}}{0.5bh} = 0.022$$

根据《混凝土结构加固设计规范》表 10.2.8, 查得 $\alpha_f = 1.158$

求得折减系数为

$$\psi_f = 0.518$$

计算受拉纤维应力值

$$f_f = 726 \text{ N/mm}^2$$

受压区高度

$$x = \xi h_0 = 161 \text{ mm}$$

考虑轴力平衡, 计算受拉纤维面积

$$A_{fv} = \frac{\alpha_1 f_c b x x + f_{yk}' A_{s2} - f_{yk} A_{s1}}{f_f} = 300 \text{ mm}^2$$

因此, 应配置纤维的面积为 300 mm^2

程序计算结果为:

| | |
|-----------|--|
| 承载力抗震调整系数 | |
|-----------|--|

第 2 章 正截面验算-计算结果

(1) 原梁承载力计算

加固用混凝土的强度为

$$f_c = 1.43 \text{ MPa}, f_c = 14.33 \text{ MPa}$$

由《混凝土结构设计规范》6.2.6 可得 $\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$

截面有效高度

$$h_0 = 500 - 67.5 = 432.5 \text{ mm}$$

由计算书可得 $x=161\text{mm}, h=500\text{mm}$, 并且计入(六)中计算出的滞后应变 $\epsilon_{f0}=0.0013$ 。上述数据代入公式 10.2.3-3, $\psi_f = (0.8 \xi_{cu} h / x) - \xi_{cu} - \epsilon_{f0} / \xi_f$,

$$\psi_f = (0.8 \times 0.0033 \times 500 / 161) - 0.0033 - 0.0013 / 0.007 = 0.514, \text{ 与程序结果一致。}$$

综上, 本文介绍了 YJK 软件 7 个关于加固计算时的系数, 程序按《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 的规定均已自动考虑。