

YJK 加固计算的相关系数（上）

李伟民

加固结构受力性能与未加固的结构存在较大差异，主要包括两方面内容：

(1)加固结构属于**二次受力结构**，加固前原结构已经进行荷载受力(即第一次受力)，截面应力、应变水平一般都很高。然而，新加部分在加固后并不立即分担荷载，而是在新增荷载下，即第二次加载情况下，才开始受力。这样，整个加固结构在其后的第二次荷载受力过程中，新加部分的应力、应变始终滞后于原结构的累计应力、应变，原结构达极限状态时，新加部分的应力应变可能还很低，破坏时，新加部分可能达不到自身的极限状态，其潜力得不到充分发挥。

(2)加固结构属于**二次组合结构**，新旧两部分存在整体工作共同受力问题。整体工作的关键，主要取决于结合面的构造处理及施工作业法。由于结合面混凝土的粘结强度一般低于混凝土本身强度，因此，在总体承载力上，二次组合结构比一次整浇结构一般要低一些。

加固结构受力特征的上述差异，决定了各类结构加固计算分析和构造处理，不能完全沿用普通结构的概念来进行设计。《混凝土结构加固设计规范》与《既有建筑鉴定与加固通用规范》均提到，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程度。

因此，《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 提供的各种加固计算公式中，规定了加固二次受力和新旧材料共同工作相关的系数。

本文为大家介绍 8 个加固计算的相关系数在 YJK 软件中是如何考虑的。

一、梁增大截面法-新增钢筋强度利用系数 α_s

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 5.2.3 条，当在梁受拉区采用增大截面法加固时，其正截面受弯承载力计算时应考虑新增钢筋强度利用系数 $\alpha_s=0.9$ 。

5.2.3 当在受拉区加固矩形截面受弯构件时（图 5.2.3），其正截面受弯承载力应按下列公式确定：

$$M \leq \alpha_s f_y A_s \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_{y0} A_{s0} \left(h_{01} - \frac{x}{2} \right) + f'_{y0} A'_{s0} \left(\frac{x}{2} - a' \right) \quad (5.2.3-1)$$

$$\alpha_1 f_c b x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s - f'_{y0} A'_{s0} \quad (5.2.3-2)$$

$$2a' \leq x \leq \xi_b h_0 \quad (5.2.3-3)$$

式中： M ——构件加固后弯矩设计值（kN·m）；

α_s ——新增钢筋强度利用系数，取 $\alpha_s = 0.9$ ；

f_y ——新增钢筋的抗拉强度设计值（N/mm²）；

此梁底部增高 100mm，加固计算完成后，打开加固计算书，可以看到，计算书中只输出了加固计算公式，没有输出系数 α_s 具体的取值。

加固做法: 增大截面法
 宽度增加值: 0mm
 梁顶增加值: 0mm
 梁底增加值: 100mm
 新增砼等级: C35

第 1 章 正截面验算-设计资料

梁构件基本信息

原截面尺寸	b=300mm h=500mm
原混凝土等级	C30
原纵筋强度	$f_{yk}=360\text{N/mm}^2, f_{yk}=360\text{N/mm}^2$
加固后截面尺寸	b=300mm h=600mm
加固用纵筋等级	$f_{yk}=360\text{N/mm}^2, f_{yk}=360\text{N/mm}^2$
梁截面类型	非箍筋加密区
加固前弯矩标准值	$M_k=514.80\text{ kN}\cdot\text{m}$
加固后弯矩设计值	$M=300.00\text{ kN}\cdot\text{m}$
加固前受拉钢筋面积	$A_{s1}=1015\text{mm}^2$
加固前受压钢筋面积	$A_{s2}=628\text{mm}^2$
受拉钢筋合力点至截面边缘距离	$a=42.5\text{mm}$
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
震损系数	1.000
地震折减系数	1.000

$$\epsilon_{s0} = \frac{M_k}{0.85h_0 A_s E_s} = 1304.641$$

$$\epsilon_{s1} = (1.6 \frac{h_0}{h_{n1}} - 0.6) \epsilon_{s0} = 0.009$$

$$\xi_s = \frac{\beta_1}{1 + \frac{\alpha_s f_{yk} \epsilon_{s1}}{E_s \epsilon_{s0}}} = 0.192$$

根据构造计算, 得到受拉钢筋的最小配筋率

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

初步设计, 新增受拉钢筋按照一排考虑

受压钢筋承担弯矩

$$M_{s2} = A_{s2} f_{yk} (h_0 - a') = 116.487\text{ kN}\cdot\text{m}$$

混凝土能承担的最大弯矩

$$M_c = \alpha_s f_c b \xi_s h_0 (h_0 - 0.5 \xi_s h_0) = 232.322\text{ kN}\cdot\text{m}$$

受拉钢筋能够承担的弯矩

$$M_{s1} = f_y A_{s1} (h_0 - h_a) = -36.529\text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{s1} + M_{s2} \geq M$$

因此按最大受压区高度计算, 梁能够承担的弯矩值大于加固后梁弯矩设计值

按设计弯矩, 原混凝土需要承担的弯矩为

$$M_c = M - M_{s1} = 220.042\text{ kN}\cdot\text{m}$$

截面抵抗矩系数

$$\alpha_s = \frac{M_c}{\alpha_s f_c b h_0^2} = 0.165$$

相对受压区高度为

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s} = 0.181$$

计算此时的受拉钢筋应力值

$$\sigma_s = 360\text{ N/mm}^2$$

受压区高度为

$$x = 100.9\text{ mm}$$

$$\text{由力平衡公式, } \alpha_s f_c b x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s - f_{y0}' A_{s0}' \quad (5.2.3-2)$$

求解新增受拉钢筋面积 $A_s = 910\text{ mm}^2$

添加单行受拉钢筋时, 受拉面积为 $A_s = 910\text{ mm}^2$, 配筋率为 $\rho = 0.51\%$

第 2 章 正截面验算-计算结果

加固前截面的有效高度为

$$h_{01} = 500.0 - 42.5 = 457.5\text{ mm}$$

加固后截面的有效高度为

$$h_0 = 600.0 - 42.5 = 557.5\text{ mm}$$

原混凝土的强度为 $f_c = 1.43\text{ MPa}$, $f_t = 14.33\text{ MPa}$

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

计算加固前的相对界限区高度, 根据《混凝土结构设计规范》6.2.7-1

加固后的相对界限区高度根据《混凝土结构加固设计规范》5.2.4 调整

现在根据计算书列出的设计资料, 反算系数 α_s :

根据公式 5.2.3-2, $\alpha_s f_c b x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s - f_{y0}' A_{s0}'$ 代入各项数据,

$$1.0 \times 14.33 \times 300 \times 100.9 = 360 \times 1015 + \alpha_s \times 360 \times 910 - 360 \times 628, \text{ 求解 } \alpha_s = 0.9。$$

二、梁增大截面法-新增混凝土强度利用系数 α_c

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 5.2.3 条, 当采用梁增大截面法加固时, 其斜截面受剪承载力计算时应考虑新增混凝土强度利用系数 $\alpha_c = 0.7$ 。

5.3.2 采用增大截面法加固受弯构件时, 其斜截面受剪承载力应符合下列规定:

1 当受拉区增配配筋混凝土层, 并采用 U 形箍与原箍筋逐个焊接时:

$$V \leq \alpha_{cv} [f_{t0} b h_{01} + \alpha_c f_t b (h_0 - h_{01})] + f_{yv0} \frac{A_{sv0}}{s_0} h_0 \quad (5.3.2-1)$$

α_c ——新增混凝土强度利用系数，取 $\alpha_c=0.7$ ；

f_t 、 f_{t0} ——新、旧混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm²)；

A_c ——三面围套新增混凝土截面面积 (mm²)；

α_s ——新增箍筋强度利用系数，取 $\alpha_s=0.9$ ；

f_{yv} 、 f_{yv0} ——新箍筋和原箍筋的抗拉强度设计值 (N/mm²)；

A_{sv} 、 A_{sv0} ——同一截面内新箍筋各肢截面面积之和及原箍筋各肢截面面积之和 (mm²)；

s 、 s_0 ——新增箍筋或原箍筋沿构件长度方向的间距 (mm)。

打开梁斜截面加固计算书，可以看到计算书中直接输出了新增混凝土强度利用系数 $\alpha_c=0.7$ 。

$$V_c = \alpha_{cv} [f_{t0} b h_{01} + \alpha_c f_t b (h - h_{01})]$$

$$= 0.7 \times [1.43 \times 300 \times 457.5 + 0.7 \times 1.57 \times 300 \times (557.5 - 457.5)] = 160.8 \text{ kN}$$

第 1 章 斜截面验算-设计资料

梁构件基本信息

原截面尺寸	b=300mm h=500mm
原混凝土等级	C30
原箍筋抗拉强度	$f_{yv}=360\text{N/mm}^2$
加固后截面尺寸	b=300mm h=600mm
加固用混凝土等级	C35
下部钢筋合力点至截面近边缘距离	$a_s=42.5\text{mm}$
梁截面类型	框架梁
计算跨度	$l_n=8322\text{mm}$
原箍筋间距	$s_0=100\text{mm}$
设计剪力	$V=490.457\text{kN}$
抗震等级	2
组合类别	非地震组合
震损系数	1.000
地震折减系数	1.000

第 2 章 斜截面验算-计算结果

加固前截面的有效高度为
 $h_{01} = 500.0 - 42.5 = 457.5 \text{ mm}$
 加固后截面的有效高度为
 $h_0 = 600.0 - 42.5 = 557.5 \text{ mm}$
 原混凝土的强度设计值为
 $f_{t0} = 1.43 \text{ MPa}$, $f_{c0} = 14.33 \text{ MPa}$
 加固用混凝土的强度设计值为
 $f_t = 1.57 \text{ MPa}$, $f_c = 16.72 \text{ MPa}$
 根据混凝土等级，得到混凝土强度影响系数
 $\beta_c = 1.00$
 根据构造计算，得到箍筋最小配筋率

$\rho_{min} = 0.122\%$
 构造下，最小箍筋面积为
 $A_{svmin} = \rho_{min} b s_0 = 0.122\% \times 300 \times 100 = 37 \text{ mm}^2$
 考虑震损系数影响，原混凝土强度和原箍筋抗拉强度折减为
 $f_{t0} = 1.43 \times 1.00 = 1.43 \text{ MPa}$, $f_{yv0} = 360.00 \times 1.00 = 360.00 \text{ MPa}$
 截面有效高宽比为
 $\frac{h_0}{b} = \frac{557.5}{300} = 1.86$, 高宽比小于 4, 取 4
 由《混凝土结构设计规范》6.3.1 条，按线性内插法取值计算截面最大剪力系数 $k=0.25$
 截面允许的最大剪应力值为
 $\tau_{max} = k \beta_c f_c = 4.180 \text{ MPa}$
 由设计剪力值计算截面剪应力
 $\tau = \frac{V}{b h_0} = \frac{490457.000}{300 \times 558} = 2.932 \text{ MPa}$
 新增混凝土强度利用系数 $\alpha_c = 0.70$
 由《混凝土结构加固设计规范》5.3.2，计算混凝土的斜截面抗剪承载力
 斜截面混凝土受剪承载力系数为 $\alpha_w = 0.7$
 $V_c = \alpha_w (f_{t0} b h_{01} + \alpha_c f_t b (h - h_{01})) = 160811 \text{ N}$
 此时计算受剪箍筋面积
 $A_{sv} = \frac{(V - V_c) s_0}{h_0 f_{yv}} = \frac{(490457 - 160811) \times 100.0}{557.5 \times 360.0} = 164 \text{ mm}^2$

经计算，结果为：

承载力抗震调整系数	1.00
梁箍筋最小配筋率	0.0012
截面计算剪应力	2.93MPa
截面允许的最大剪应力	4.18MPa
截面最大剪力系数	0.250000
计算受剪箍筋面积	164mm ²
最小箍筋面积	37mm ²

三、柱增大截面法，加固后的混凝土抗压强度 f_{cc}

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 5.4.2 条，当柱采用增大截面法加固时，其正截面承载力计算时，混凝土抗压强度应按新旧混凝土组合截面取值：

5.4.2 采用增大截面加固钢筋混凝土偏心受压构件时，其矩形截面正截面承载力应按下列公式确定（图 5.4.2）：

$$N \leq \alpha_1 f_{cc} b x + 0.9 f'_y A'_s + f'_{y0} A'_{s0} - \sigma_s A_s - \sigma_{s0} A_{s0} \quad (5.4.2-1)$$

$$N e \leq \alpha_1 f_{cc} b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + 0.9 f'_y A'_s (h_0 - a'_s) + f'_{y0} A'_{s0} (h_0 - a'_{s0}) - \sigma_{s0} A_{s0} (a_s - a_{s0}) \quad (5.4.2-2)$$

$$\sigma_{s0} = \left(\frac{0.8 h_{01}}{x} - 1 \right) E_s \epsilon_{cu} \leq f_{y0} \quad (5.4.2-3)$$

$$\sigma_s = \left(\frac{0.8 h_0}{x} - 1 \right) E_s \epsilon_{cu} \leq f_y \quad (5.4.2-4)$$

式中： f_{cc} ——新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²），可近似按 $f_{cc} = \frac{1}{2} (f_{c0} + 0.9 f_c)$ 确定；若有可靠试验数据，也可按试验结果确定；

f_c 、 f_{c0} ——分别为新旧混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

查看柱增大截面法计算书，可以看到计算书中加固后混凝土抗压强度设计值为： $f_{cc} = 0.5 (f_{c0} + 0.9 f_c) = 0.5 \times (14.33 + 0.9 \times 16.72) = 14.69 \text{ N/mm}^2$ 。

第 1 章 正截面验算-设计资料

计算基本信息

抗震等级	2
组合类别	非地震组合
截面类型	框柱
原截面尺寸	b1=500mm h1=500mm
原形心坐标	(250, 650)
加固后截面尺寸	b=500mm h=900mm
加固后柱形心坐标	(250, 450)
原混凝土等级	C30
加固用混凝土等级	C35

$f_c = 1.57 \text{ MPa}$, $f_{c0} = 16.72 \text{ MPa}$
 由混凝土结构设计规范 6.2.6 得知
 $\alpha_s = 1.00$, $\beta_s = 0.80$
 根据混凝土等级，得到混凝土强度影响系数
 $\beta_c = 1.00$
 根据增大截面的尺寸描述，判断加固柱的增筋方式
 加固前后截面的形心纵坐标差值为 650.0-450.0=200.0mm
 $y_s = 0.5x(h-h_1) + 200.000 = 400.000$
 $y_c = 0.5x(h-h_1) - 200.000 = 0.000$
 根据 y_b 和 y_t 的值判断增筋方式非对称配筋
 确定构造钢筋：
 按照最小配筋率 0.800000%，计算纵筋面积 $A_{smin} = 450000 \times 0.0080 = 3600 \text{ mm}^2$
 按照最大配筋率 5.000000%，计算纵筋面积 $A_{smax} = 450000 \times 0.0500 = 22500 \text{ mm}^2$
 加固后混凝土抗压强度设计值为： $f_{cc} = 0.5 \times (f_{c0} + 0.9 f_c) = 14.69 \text{ kN/mm}^2$
 轴向压力对截面中心的偏心距 $e_s = \frac{M}{N} = 1.29777 \text{ mm}$

四、柱增大截面法，加固后的新增混凝土和钢筋强度利用程度的降低系数 α_{cs}

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 5.4.1 条，当柱采用增大截面法加固时，其正截面受压承载力计算时，综合考虑新增混凝土和钢筋强度利用程度的降低系数， $\alpha_{cs} = 0.8$ 。

5.4 受压构件正截面加固计算

5.4.1 采用增大截面加固钢筋混凝土轴心受压构件（图 5.4.1）时，其正截面受压承载力应按下式确定：

$$N \leq 0.9\varphi [f_{c0}A_{c0} + f'_{y0}A'_{s0} + \alpha_{cs}(f_c A_c + f'_y A'_s)] \quad (5.4.1)$$

式中：N——构件加固后的轴向压力设计值（kN）；

φ ——构件稳定系数，根据加固后的截面尺寸，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定值采用；

A_{c0} 、 A_c ——构件加固前混凝土截面面积和加固后新增部分混凝土截面面积（mm²）；

f'_y 、 f'_{y0} ——新增纵向钢筋和原纵向钢筋的抗压强度设计值（N/mm²）；

A'_s ——新增纵向受压钢筋的截面面积（mm²）；

α_{cs} ——综合考虑新增混凝土和钢筋强度利用程度的降低系数，取 α_{cs} 值为 0.8。

查看柱增大截面法计算书，考虑增大截面后，不添加新增钢筋时的轴心受压承载力=6643KN。

现在根据计算书列出的设计资料，反算系数 α_{cs} ：

根据公式 5.4.1, $N \leq 0.9\varphi [f_{c0}A_{c0} + f'_{y0}A'_{s0} + \alpha_{cs}(f_c A_c + f'_y A'_s)]$, 代入各项数据，
 $6643 = 0.9 \times 1.0 \times [14.33 \times 500 \times 500 + 360 \times 2 \times 817 + \alpha_{cs} \times (16.72 \times 240000 + 0)]$, 求解 $\alpha_{cs} = 0.8$ 。

第 1 章 正截面验算-设计资料

计算基本信息

抗震等级	2
组合类别	非地震组合
截面类型	框柱
原截面尺寸	b1=500mm h1=500mm
原形心坐标	(350, 350)
加固后截面尺寸	b=700mm h=700mm
加固后柱形心坐标	(350, 350)
原混凝土等级	C30
加固用混凝土等级	C35
原钢筋等级	$f_c=360N/mm^2, f_y=360N/mm^2$
加固用钢筋等级	$f_c=360N/mm^2, f_y=360N/mm^2$
纵筋合力点至截面近边缘距离	a=43mm
原截面底侧纵筋面积	$A_{s0}=817mm^2$
原截面顶侧纵筋面积	$A_{s0}=817mm^2$
柱弯距平面内计算长度	$X_{11}=3300mm$
柱弯距平面外计算长度	$Y_{11}=3300mm$
轴力设计值(压正拉负)	$N = 768.44 kN$
本端截面设计弯矩	$M = -131.13 kNm$
另端截面设计弯矩	$M_r = -35.87 kNm$
γ 折减系数	1
原构件震损修复后承载力折减系数	1

$f_c=1.57MPa, f_y=16.72MPa$
 由混凝土结构设计规范 6.2.6 得知
 $\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$
 根据混凝土等级，得到混凝土强度影响系数
 $\beta_c = 1.00$
 根据增大截面的尺寸描述，判断加固柱的锚固方式
 加固前后截面的形心纵坐标差值为 $350.0 - 350.0 = 0.0mm$
 $y_1 = 0.5x(h-h_1) + 0.000 = 100.000$
 $y_2 = 0.5x(h-h_1) - 0.000 = -100.000$
 根据 y_b 和 y_t 的值判断锚固方式对称配筋
 确定构造钢筋：
 按照最小配筋率 0.750000%，计算纵筋面积 $A_{smin} = 490000 \times 0.0075 = 3675mm^2$
 按照最大配筋率 5.000000%，计算纵筋面积 $A_{smax} = 490000 \times 0.0500 = 24500mm^2$
 加固后混凝土抗压强度设计值为： $f_c = 0.5 \times (f_{c0} + 0.9 \times f_c) = 14.69kN/mm^2$
 轴向压力对截面中心的偏心距 $e_0 = \frac{M}{N} = 170.63702mm$
 由混凝土设计规范公式 6.2.4-1, 2, 3, 4 计算弯矩增大系数
 $\eta = 1.200$
 由混凝土加固规范公式 5.4.3-1, 5.4.3-2 计算轴向压力至截面中心距离
 $e = 228.098mm$
 考虑增大截面后，不添加钢筋进行承载力试算
 考虑轴心受压，按混凝土结构设计规范表 6.2.15 计算稳定系数 $\varphi = 1.00$
 由混凝土加固规范 5.4.1 计算柱截面的轴心受压承载力 $N_c = 6643.098kN$
 矩形截面形心距顶部距离为 $y_c = 350.0mm$
 轴向压力相对于受拉钢筋合力点的弯矩为 $M = N \times (e_0 + 0.5h - y_{xt}) = -175.28kNm$
 计算柱子偏心时的正截面承载力。此时
 $N_c = 3208.99kN$
 柱弯矩承载力 $M_c = 731.96kNm$
 $N_c < N$ 小于计算柱抗弯 M_u, N 小于计算柱抗轴力 N_u ，不需要增加钢筋即可满足加固条件！
 此时单边新增计算配筋面积为 0
 经计算，不需要加大截面即可满足承载力要求！结果如下

第 2 章 正截面验算-计算结果

原混凝土的强度设计值为
 $f_c=1.43MPa, f_y=14.33MPa$
 加固用混凝土的强度设计值为

配筋模式	对称配筋
计算新增单侧钢筋面积	0mm ²
全截面纵筋最小配筋面积	3675mm ²
全截面纵筋最大配筋面积	24500mm ²

五、柱增大截面法，轴向压力对截面重心的偏心距乘以修正系数 ψ

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 5.4.1 条，当柱采用增大截面法加固时，在计算轴向压力对截面重心的偏心距 e_0 时，需要对弯矩 M 乘以修正系数 ψ 。

5.4.3 轴向压力作用点至纵向受拉钢筋的合力作用点的距离（偏心距） e ，应按下列规定确定：

$$e = e_i + \frac{h}{2} - a \quad (5.4.3-1)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (5.4.3-2)$$

式中： e_i ——初始偏心距；

a ——纵向受拉钢筋的合力点至截面近边缘的距离；

e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距，取为 M/N ；当需要考虑二阶效应时， M 应按国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 第 6.2.4 条规定的 $C_m \eta_{ns} M_2$ ，乘以修正系数 ψ 确定，即取 M 为 $\psi C_m \eta_{ns} M_2$ ；

ψ ——修正系数，当为对称形式加固时，取 ψ 为 1.2；当为非对称加固时，取 ψ 为 1.3；

e_a ——附加偏心距，按偏心方向截面最大尺寸 h 确定；当 $h \leq 600\text{mm}$ 时，取 e_a 为 20mm；当 $h > 600\text{mm}$ 时，取 $e_a = h/30$ 。

查看柱增大截面法计算书，程序先判断柱加固方式为非对称加固，计算得出的弯矩增大系数： $\psi C_m \eta_{ns} = 1.3$ 。

第 1 章 正截面验算-设计资料

计算基本信息

抗震等级	2
组合类别	非地震组合
截面类型	框柱
原截面尺寸	b1=500mm h1=500mm
原形心坐标	(250, 350)
加固后截面尺寸	b=600mm h=600mm
加固后柱形心坐标	(300, 300)
原混凝土等级	C30
加固用混凝土等级	C35
原纵筋等级	$f_{ty}=360\text{N/mm}^2, f_{ty}'=360\text{N/mm}^2$
加固用纵筋等级	$f_{ty}=360\text{N/mm}^2, f_{ty}'=360\text{N/mm}^2$
纵筋合力点至截面近边缘距离	a=43mm
原截面底侧纵筋面积	$A_{ss}=1030\text{mm}^2$
原截面顶侧纵筋面积	$A_{ss}'=1030\text{mm}^2$
柱弯距平面内计算长度	$X_{1n}=3300\text{mm}$
柱弯距平面外计算长度	$Y_{1n}=3300\text{mm}$
轴力设计值(压正拉负)	$N = 742.67 \text{ kN}$
本端截面设计弯矩	$M = -110.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$
另端截面设计弯矩	$M_e = -44.20 \text{ kN}\cdot\text{m}$
γ_{RE} 折减系数	1
原构件震损修复后承载力折减系数	1

第 2 章 正截面验算-计算结果

原混凝土的强度设计值为
 $f_{cu}=1.43\text{MPa}, f_{cm}=14.33\text{MPa}$
 加固用混凝土的强度设计值为

$f_c=1.57\text{MPa}, f_{cm}=16.72\text{MPa}$

由混凝土结构设计规范 6.2.6 得知

$\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$

根据混凝土等级，得到混凝土强度影响系数

$\beta_c = 1.00$

根据增大截面的尺寸描述，判断加固柱的增筋方式

加固前后截面的形心纵坐标差值为 $350.0 - 300.0 = 50.0\text{mm}$

$y_c = 0.5x(h-h_1) + 50.000 = 100.000$

$y_s = 0.5x(h-h_1) - 50.000 = 0.000$

根据 y_b 和 y_t 的值判断增筋方式 非对称配筋

确定构造钢筋：

按照最小配筋率 0.750000% ，计算纵筋面积 $A_{s\text{min}} = 360000 \times 0.0075 = 2700\text{mm}^2$

按照最大配筋率 5.000000% ，计算纵筋面积 $A_{s\text{max}} = 360000 \times 0.0500 = 18000\text{mm}^2$

加固后混凝土抗压强度设计值为： $f_{cd} = 0.5x(f_{cu} + 0.9x f_c) = 14.69\text{N/mm}^2$

轴向压力对截面中心的偏心距 $e_0 = \frac{M}{N} = 148.86060\text{mm}$

由混凝土设计规范公式 6.2.4-1, 2, 3, 4 计算弯矩增大系数

$\eta_{ns} = 1.300$

由混凝土加固规范公式 5.4.3-1, 5.4.3-2 计算轴向压力至截面中心距离

$e = 213.519\text{mm}$

考虑增大截面后，不添加钢筋进行承载力试算

考虑轴心受压，按混凝土结构设计规范表 6.2.15 计算稳定系数 $\phi = 1.00$

由混凝土规范 6.2.15 计算柱截面的轴心受压承载力 $N_u = 5216.507\text{kN}$

塑性截面形心距顶部距离为 $y_{pc} = 293.8\text{mm}$

轴向压力相对于受拉钢筋合力点的弯矩为 $M = N(e_0 + 0.5h - y_{pc}) = 154.00\text{kN}\cdot\text{m}$

计算柱子偏心时的正截面承载力，此时

$N_u = 2468.76\text{kN}$

柱弯矩承载力 $M_u = 511.94\text{kN}\cdot\text{m}$

$N_u e < N_u$ 小于计算柱抵抗弯矩 M_u ， N_u 小于计算柱抵抗轴力 N_u ，不需要增加钢筋即可满足加固条件！

此时单边新增计算配筋面积为 0

经计算，不需要加大截面即可满足承载力要求！结果如下

配筋模式	非对称配筋
计算新增单侧纵筋面积	0mm ²
全截面纵筋最小配筋面积	2700mm ²
全截面纵筋最大配筋面积	18000mm ²

依据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 6.2.3 条，满足以下条件可不考虑附加弯矩的影响。

由计算书提供的数据， $M_1 = -44\text{kN}\cdot\text{m}$ ， $M_2 = -110.55\text{kN}\cdot\text{m}$ ， $M_1/M_2 = 0.4 < 0.9$ ，轴压比 $U_c = 0.14 < 0.9$ ， $l_c/i = 3300/848.5 = 3.89 < 34 - 12 \times 0.4 = 29.2$ 。因此， $C_m \eta_{ns} = 1.0$ 。

由 $\psi C_m \eta_{ns} = 1.3$, 可得, $\psi = 1.3$, 与规范规定的非对称加固 ψ 取值 1.3 对应。

6.2.3 弯矩作用平面内截面对称的偏心受压构件, 当同一主轴方向的杆端弯矩比 $\frac{M_1}{M_2}$ 不大于 0.9 且轴压比不大于 0.9 时, 若构件的长细比满足公式 (6.2.3) 的要求, 可不考虑轴向压力在该方向挠曲杆件中产生的附加弯矩影响; 否则应根据本规范第 6.2.4 条的规定, 按截面的两个主轴方向分别考虑轴向压力在挠曲杆件中产生的附加弯矩影响。

$$l_c / i \leq 34 - 12(M_1 / M_2) \quad (6.2.3)$$

式中: M_1 、 M_2 ——分别为已考虑侧移影响的偏心受压构件两端截面按结构弹性分析确定的对同一主轴的组合弯矩设计值, 绝对值较大端为 M_2 , 绝对值较小端为 M_1 , 当构件按单曲率弯曲时, M_1/M_2 取正值, 否则取负值;

l_c ——构件的计算长度, 可近似取偏心受压构件相应主轴方向上下支撑点之间的距离;

i ——偏心方向的截面回转半径。

N-C=1 (I=1000001, J=1) (1) B*H(mm)=500*500—、几何材料信息	1. 层号	IST = 1
Cover= 20(mm) Cx=1.00 Cy=1.00 Lcx=3.30(m)	2. 构件编号	ID = 1
砼柱 C30 矩形	3. 构件全楼编号	TotID= 1000005
livec=1.000	4. 上节点号	J1 = 1000001
$\eta_{\mu}=1.000$ $\eta_{\nu u}=1.300$ $\eta_{m d}=1.700$ $\eta_{\nu d}=\dots$	5. 下节点号	J2 = 1
X: $\lambda c=3.607$	6. 构件属性信息	砼柱 C30 矩形
Y: $\lambda c=3.607$	7. 长度X (m)	LCX = 3.30
	8. 长度Y (m)	LCY = 3.30
	9. 截面参数	(1) B*H(mm)=500*500
(30) Nu= -748.0 Uc= 0.14 Rs=28.70 (%)	10. 保护层厚度 (mm)	Cov = 20
(1) N= -742.7 Mx= -110.6 My= 8	11. 钢筋间距 (mm)	SS = 100
(1) N= -742.7 Mx= -110.6 My= 8	12. 混凝土强度等级	RC = 30.0
(1) N= -742.7 Mx= 44.2 My= -3	13. 钢号	STL =
(28) N= -734.0 Mx= 82.9 My= -7	14. 主筋强度 (N/mm2)	FY1 = 360.0
(28) N= -734.0 Vx= -819.9 Vy= -1	15. 箍筋强度 (N/mm2)	FYJ = 360.0
(28) N= -734.0 Vx= -819.9 Vy= -1	16. 抗震措施的抗震等级	NF = 2
	17. 抗震构造措施的抗震等级	NF GZ = 2
	18. 计算长度系数	CX = 1.00
	19. 计算长度系数	CY = 1.00
	20. 内力计算截面数	nSect1= 2
	21. 配筋计算截面数	nSect2= 2

六、柱置换混凝土, 新增混凝土强度利用系数 α_c 。

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 6.2.1 条, 柱置换混凝土加固, 轴心受压正截面承载力验算时, 应考虑新增混凝土强度利用系数 α_c 。

6.2.1 当采用置换法加固钢筋混凝土轴心受压构件时, 其正截面承载力应符合下式规定:

$$N \leq 0.9\varphi (f_{c0}A_{c0} + \alpha_c f_c A_c + f'_{y0} A'_{s0}) \quad (6.2.1)$$

式中: N ——构件加固后的轴向压力设计值 (kN);

φ ——受压构件稳定系数, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定值采用;

α_c ——置换部分新增混凝土的强度利用系数, 当置换过程无支顶时, 取 $\alpha_c = 0.8$; 当置换过程采取有效的支顶措施时, 取 $\alpha_c = 1.0$;

f_{c0} 、 f_c ——分别为原构件混凝土和置换部分新混凝土的抗压强

查看柱置换混凝土加固计算书, 考虑对混凝土全部置换时的轴心受压承载力 $N_u = 4730.23\text{KN}$ 。

现在根据计算书列出的设计资料, 反算 α_c :

根据公式 8.2.1, $N \leq 0.9\varphi (f_{c0}A_{c0} + \alpha_c f_c A_c + f'_{y0} A'_{s0})$, 代入各项数据,

$0.9 \times 1.0 \times (\alpha_c \times 19.11 \times 500 \times 500 + 360 \times 2 \times 1992) = 4730.23$, 求解出 $\alpha_c = 0.8$, 说明程序默认的是按置换过程无置顶对 α_c 取值的。

第 1 章 正截面验算-设计资料

计算基本信息

抗震等级	2
组合类别	非地震组合
截面类型	框柱
截面尺寸	b=500mm h=500mm
原混凝土等级	C30
加固用混凝土等级	C40
纵筋等级	$f_y=360\text{N/mm}^2, f_c=360\text{N/mm}^2$
纵筋合力点至截面近边缘距离	$a_s=43\text{mm}$
远离偏心压力(或靠近偏心拉力)一侧纵筋面积	$A_{s1}=1992\text{mm}^2$
靠近偏心压力(或远离偏心拉力)一侧纵筋面积	$A_{s2}=1992\text{mm}^2$
柱弯距平面内计算长度	$X_{11}=3300\text{mm}$
柱弯距平面外计算长度	$Y_{11}=3300\text{mm}$
轴力设计值(压正拉负)	$N = 6000.08 \text{ kN}$
本端截面设计弯矩	$M = 76.33 \text{ kN}\cdot\text{m}$
另端截面设计弯矩	$M_e = 40.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$
γ_{RE} 折减系数	1

第 2 章 正截面验算-计算结果

原混凝土的强度设计值为
 $f_{cd}=1.43\text{MPa}, f_{td}=14.33\text{MPa}$
 加固用混凝土的强度设计值为
 $f_{cd}=1.71\text{MPa}, f_{td}=19.11\text{MPa}$
 由混凝土结构设计规范 6.2.6, 根据加固用混凝土等级可得,
 $\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$
 混凝土强度影响系数

$\beta_c=1.00$
 确定构造钢筋:
 按照最小配筋率 0.750000%, 计算纵筋面积 $A_{smin}=500 \times 500 \times 0.0075=1875\text{mm}^2$
 按照最大配筋率 5.000000%, 计算纵筋面积 $A_{smax}=500 \times 500 \times 0.0500=12500\text{mm}^2$
 轴心压力对截面中心的偏心距 $e_0 = \frac{M}{N} = 12.72190\text{mm}$
 由混凝土设计规范公式 6.2.4-1, 2, 3, 4 计算弯矩增大系数
 $\eta_{ns}=1.000$
 由混凝土加固规范公式 5.4.3-1, 5.4.3-2 计算轴向压力至截面中心距离
 $e = 32.722\text{mm}$
 考虑不对混凝土置换时, 进行承载力试算
 考虑轴心受压, 按混凝土结构设计规范表 6.2.15 计算稳定系数 $\psi=1.00$
 由混凝土规范 6.2.15 计算柱截面的轴心受压承载力 $N_u=4515.261\text{kN}$
 计算柱子偏心时正截面承载力, 此时
 $N_u=4358.81\text{kN}$
 $M_u=142.63\text{kN}\cdot\text{m}$
 考虑对混凝土全部置换时, 进行承载力试算
 考虑轴心受压, 按混凝土结构设计规范表 6.2.15 计算稳定系数 $\psi=1.00$
 由混凝土规范 6.2.15 计算柱截面的轴心受压承载力 $N_u=4730.231\text{kN}$
 计算柱子偏心时正截面承载力, 此时
 $N_u=4730.23\text{kN}$
 $M_u=154.78\text{kN}\cdot\text{m}$
 N^*e 大于计算柱抵抗弯 M_u, N 大于计算柱抵抗轴力 N_u , 全部置换也不满足加固条件!
 经计算, 采用置换法加固不足以满足承载力要求! 结果如下

截面宽度方向置换深度	99999mm
截面高度方向置换深度	99999mm
全截面纵筋最小配筋面积	1875mm ²
全截面纵筋最大配筋面积	12500mm ²
受压稳定系数	1.000
偏心距增大系数	1.000
抵抗轴力	4730.23kN
抵抗弯矩	154.78kN·m

七、柱外包型钢, 型钢构架对混凝土约束作用引入的混凝土承载力提高系数 ψ_{sc}

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 8.2.1 条, 当柱采用外包型钢加固时, 轴心受压正截面承载力验算时, 应考虑型钢构架对混凝土约束作用引入的混凝土承载力提高系数 ψ_{sc} 。

8.2 外粘型钢加固计算

8.2.1 采用外粘型钢(角钢或扁钢)加固钢筋混凝土轴心受压构件时, 其正截面承载力应按下式验算:

$$N \leq 0.9\varphi(\psi_{sc}f_{cd}A_{c0} + f'_{y0}A'_{s0} + \alpha_a f'_a A'_a) \quad (8.2.1)$$

式中: N ——构件加固后轴向压力设计值(kN);

φ ——轴心受压构件的稳定系数, 应根据加固后的截面尺寸, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用;

ψ_{sc} ——考虑型钢构架对混凝土约束作用引入的混凝土承载力提高系数; 对圆形截面柱, 取为 1.15; 对截面高宽比 $h/b \leq 1.5$ 、截面高度 $h \leq 600\text{mm}$ 的矩形截面柱, 取为 1.1; 对不符合上述规定的矩形截面柱, 取为 1.0;

查看柱外包型钢加固计算书, 考虑截面高宽比和截面高度, 轴压受力混凝土强度提高系数为 1.1。

此柱为矩形截面, $h/b=500/500=1 < 1.5$ 、截面高度 $h \leq 600\text{mm}$,

因此 $\psi_{sc}=1.1$ 。

第 1 章 正截面验算-设计资料

计算基本信息

抗震等级	2
组合类别	非地震组合
截面类型	框柱
截面尺寸	b=500mm h=500mm
柱混凝土等级	C30
纵筋强度等级	$f_c=360N/mm^2, f_t=360N/mm^2$
型钢强度等级	$f_s=305N/mm^2, f_{ts}=305N/mm^2$
纵筋合力点至截面近边缘距离	a=43mm
单侧型钢合力点至截面近边缘距离	$a_s=10mm$
远离偏心压力(或靠近偏心拉力)一侧纵筋面积	$A_{s1}=2590mm^2$
靠近偏心压力(或远离偏心拉力)一侧纵筋面积	$A_{s2}=2590mm^2$
柱弯距平面内计算长度	$X_{c1}=3300mm$
柱弯距平面外计算长度	$Y_{c1}=3300mm$
轴力设计值(压正拉负)	$N = 681.74 kN$
本端截面设计弯矩	$M = -65.78 kN\cdot M$
另端截面设计弯矩	$M_e = -22.41 kN\cdot M$
γ_{st} 折减系数	1

第 2 章 正截面验算-计算结果

确定构造钢筋：
 按照最小配筋率 0.750000%，计算纵筋面积 $A_{smin}=500 \times 500 \times 0.0075=1875mm^2$
 按照最大配筋率 5.000000%，计算纵筋面积 $A_{smax}=500 \times 500 \times 0.0500=12500mm^2$
 $A_{s1}+A_{s2}>0.5 \times A_{smin}$ ，单侧型钢最小面积为 0：
 根据调整系数，重新计算轴力设计值：eq $N=681.74 kN$ ，轴向压力对截面中心的偏心距

M
 $e_{s1}=-36.48193mm$
 由混凝土设计规范公式 6.2.4-1, 2, 3, 4 计算弯矩增大系数
 $\eta_{ns}=1.200$
 由混凝土加固规范公式 5.4.3-1, 5.4.3-2 计算轴向压力至截面中心距离
 $e = 135.773mm$
 考虑截面高宽比和截面高度，轴压受力混凝土强度提高系数为 1.1。
 考虑不添加型钢时，进行承载力试算
 考虑轴心受压，按混凝土结构设计规范表 6.2.15 计算稳定系数 $\phi=1.00$
 由混凝土规范 6.2.15 计算柱截面的轴心受压承载力 $N_u=5225.476kN$
 计算柱子偏心时正截面承载力，此时
 $N_u=3150.29kN$
 $M_u=427.74kN\cdot M$
 $N_u \neq e$ 小于计算柱抵抗弯 M_u ， N_u 小于计算柱抵抗轴力 N ，满足加固条件：
 此时计算单侧型钢面积为 0
 经计算，不需要外包型钢即可满足承载力要求！结果如下

计算单侧型钢面积(对称配置)	0mm ²
单侧型钢最小面积	0mm ²
全截面纵筋最小配筋面积	1875mm ²
全截面纵筋最大配筋面积	12500mm ²
受压稳定系数	1.000
偏心距增大系数	1.200
抵抗轴力	3150.29kN
抵抗弯矩	427.74kN·M

八、柱外包型钢，新增型钢强度利用系数 α_a

依据《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013 第 8.2.1 条，当柱采用外包型钢加固时，轴心受压正截面承载力验算时，应考虑新增型钢强度利用系数 $\alpha_a=0.9$ 。

8.2 外粘型钢加固计算

8.2.1 采用外粘型钢（角钢或扁钢）加固钢筋混凝土轴心受压构件时，其正截面承载力应按下式验算：

$$N \leq 0.9\varphi(\psi_{sc}f_{c0}A_{c0} + f'_{y0}A'_{s0} + \alpha_a f'_a A'_a) \quad (8.2.1)$$

式中： N ——构件加固后轴向压力设计值（kN）；

φ ——轴心受压构件的稳定系数，应根据加固后的截面尺寸，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用；

ψ_{sc} ——考虑型钢构架对混凝土约束作用引入的混凝土承载力提高系数；对圆形截面柱，取为 1.15；对截面高宽比 $h/b \leq 1.5$ 、截面高度 $h \leq 600mm$ 的矩形截面柱，取为 1.1；对不符合上述规定的矩形截面柱，取为 1.0；

α_a ——新增型钢强度利用系数，除抗震计算取为 1.0 外，其他计算均取为 0.9；

查看柱外包型钢加固计算书，非地震组合，其轴心受压承载力 $N_u=16359.6kN$ 。

现在根据计算书列出的设计资料，反算 α_a ：

根据公式 8.2.1， $N \leq 0.9\varphi(\psi_{sc}f_{c0}A_{c0} + f'_{y0}A'_{s0} + \alpha_a f'_a A'_a)$ ，代入各项数据，
 $0.9 \times 1.0 \times (1.1 \times 14.33 \times 500 \times 500 + 360 \times 2 \times 710 + \alpha_a \times 305 \times 2 \times 250000 / 10) = 16359.6$ ，
 求解出 $\alpha_a=0.9$ 。

其中，程序按照十分之一的柱截面面积作为柱单侧型钢面积确定 A'_a 。

第 1 章 正截面验算-设计资料

计算基本信息

抗震等级	2
组合类别	非地震组合
截面类型	框柱
截面尺寸	b=500mm h=500mm
柱混凝土等级	C30
纵筋强度等级	$f_y=360N/mm^2, f_t=360N/mm^2$
型钢强度等级	$f_y=305N/mm^2, f_t=305N/mm^2$
纵筋合力点至截面近边缘距离	a=43mm
单侧型钢合力点至截面近边缘距离	a_s=7mm
远离偏心压力 (或靠近偏心拉力) 一侧纵筋面积	$A_{s1}=710mm^2$
靠近偏心压力 (或远离偏心拉力) 一侧纵筋面积	$A_{s2}=710mm^2$
柱弯距平面内计算长度	$X_{1i}=3300mm$
柱弯距平面外计算长度	$Y_{1i}=3300mm$
轴力设计值 (压正拉负)	N = 5000.00 kN
本端截面设计弯矩	M = -67.97 kN*M
另端截面设计弯矩	$M_e = -25.06 kN*M$
γ_{RE} 折减系数	1

第 2 章 正截面验算-计算结果

混凝土的强度设计值为

$$f_c=1.43MPa, f_t=1.43MPa$$

由混凝土结构设计规范 6.2.6 得知

$$\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$$

根据混凝土等级, 得到混凝土强度影响系数

确定构造钢筋:

$$\text{按照最小配筋率 } 0.750000\%, \text{ 计算纵筋面积 } A_{smin}=500 \times 500 \times 0.0075=1875mm^2$$

$$\text{按照最大配筋率 } 5.000000\%, \text{ 计算纵筋面积 } A_{smax}=500 \times 500 \times 0.0500=12500mm^2$$

$$A_s + A_{s1} > 0.5A_{smin}, \text{ 单侧型钢最小面积为 } 0$$

根据调整系数, 重新计算轴力设计值: eq N=5000.00 kN, 轴向压力对截面中心的偏心距

$$e = \frac{M}{N} = 13.59476mm$$

由混凝土设计规范公式 6.2.4-1, 2, 3, 4 计算弯矩增大系数

$$\eta = 1.200$$

由混凝土加固规范公式 5.4.3-1, 5.4.3-2 计算轴向压力至截面中心距离

$$e = 36.314mm$$

考虑截面高宽比和截面高度, 轴压受力混凝土强度提高系数为 1.1 考虑不添加型钢时, 进行承载力试算

考虑轴心受压, 按混凝土结构设计规范表 6.2.15 计算稳定系数 $\psi=1.00$

由混凝土规范 6.2.15 计算柱截面的轴心受压承载力 $N_c=4007.124kN$

计算柱子偏心时正截面承载力, 此时

$$N_c = 3507.48kN$$

$$M_c = 127.37kN*m$$

考虑按十分之一的柱截面面积作为柱单侧型钢面积进行试算

考虑轴心受压, 按混凝土结构设计规范表 6.2.15 计算稳定系数 $\psi=1.00$

由混凝土加固规范 8.2.1 计算柱截面的轴心受压承载力 $N_c=16359.624kN$

计算柱子偏心时正截面承载力, 此时

$$N_c = 15490.92kN$$

$$M_c = 562.53kN*m$$

采用二分法计算钢筋面积, 初始假定钢板面积为 $A_s = 12500mm^2$

经计算, 结果如下

计算单侧型钢面积 (对称配置)	3076mm ²
单侧钢板最小面积	0mm ²
全截面纵筋最小配筋面积	1875mm ²
全截面纵筋最大配筋面积	12500mm ²
受压稳定系数	1.000
偏心距增大系数	1.200
抵抗轴力	5012.03kN
抵抗弯矩	182.01kN*m

综上, 本文介绍了 YJK 软件 8 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。