

梁外粘钢板加固的疑难问题解析

李伟民

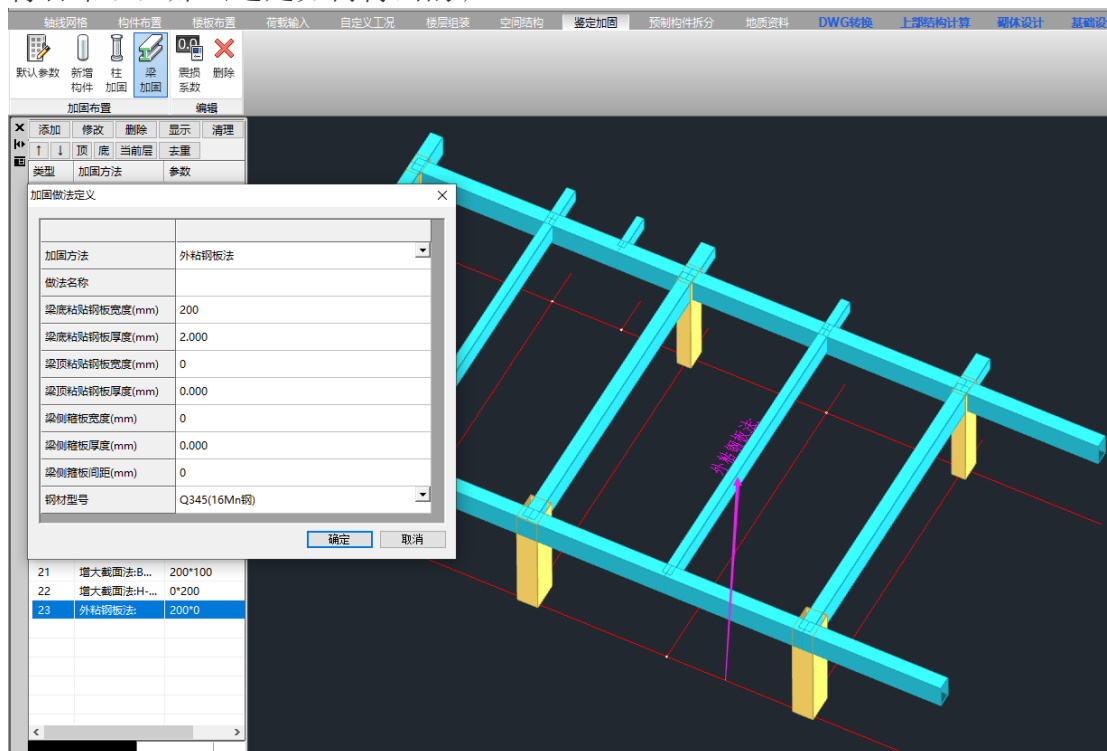
目前，YJK 软件提供了多种加固做法，比如增大截面法、外粘钢板法与粘贴纤维复合材加固法等。其中，外粘钢板法是常见的一种加固做法，对梁和柱子均适用。下文为大家解析三个梁外粘钢板加固计算时遇到的疑难问题。

1. 梁粘钢板计算时考虑受压钢板

梁在计算受拉纵筋面积时，先按单筋截面计算，当混凝土受压区高度超过极限受压区高度时，软件会自动按双筋计算，即考虑受压钢筋的作用，并计算出相应受压钢筋的面积。

同样，梁采用外粘钢板加固，在计算受拉钢板面积时，当按最大受压高度计算得到的抗弯承载力小于加固后梁弯矩设计值，软件会自动按双板计算，即考虑受压钢板的作用，并计算出相应受压钢板的面积。

如下图所示，该梁采用梁底外粘钢板加固，查看其计算结果中第 9 截面，梁顶弯矩设计值为 $0\text{kN}\cdot\text{m}$ ，控制组合号也为 0，却输出了钢板面积 461mm^2 ，看似不符合常理，那么这是如何得出的呢？



N-B=523 (I=7000040, J=9000158) (1) B*H (mm)=250*600
 Lb=2.43(m) Cover= 15(mm) Nfb=5 Nfb_gz=5 Rcb=25.0 Fy=360 Fyv=300
 砼梁 C25 非框架梁 不调幅梁 矩形 左端铰接
 livec=1.000 stif=2.000 stif_w=2.000 stif_s=2.000 nj=0.400 xfc=0.800
 ηv=1.000

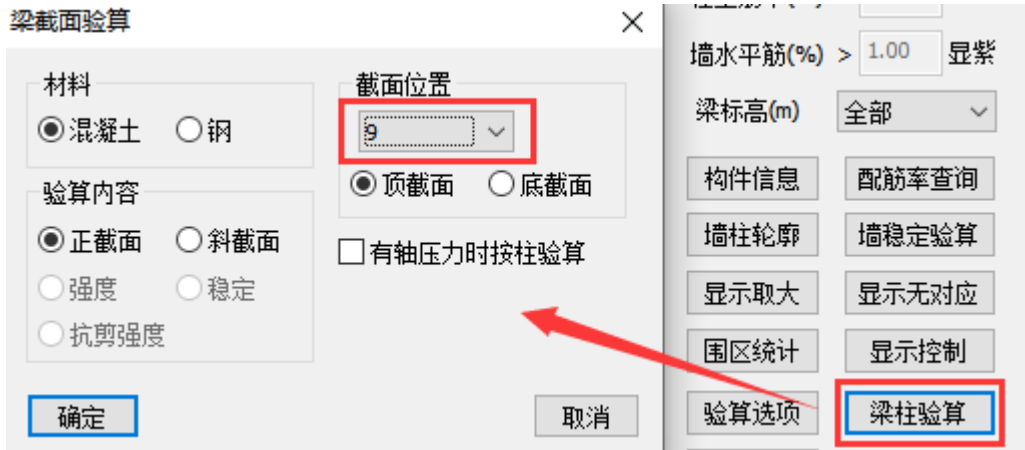
	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-
-M (kNm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LoadCase	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
Top Area	0	0	0	0	0	0	160	182	461
Top Def	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+M (kNm)	0	76	151	224	295	361	423	480	531
LoadCase	(0)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Btm Area	0	0	0	0	0	31	480	2464	2743
Btm Def	400	400	400	400	400	400	400	400	400
V (kN)	253	250	245	236	226	212	196	178	159
LoadCase	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
AreaV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DefV	0	0	0	0	0	0	0	0	0

非加密区箍筋面积: 25

鉴定或加固计算结果:
 已有钢筋: AsUpL=509 AsUpR=509 AsDw=2199 AsV=57
 加固做法名称: 外粘钢板法(外粘钢板法)
 梁顶钢板(宽度*厚度): 0*0 (mm) 梁底钢板(宽度*厚度): 200*2 (mm) 梁侧缀板(宽度*厚度*间距): 0*0*0 (mm) 钢号: 345
 **上截面, 位置: 7 梁顶钢板计算面积大于输入值 160 (mm2) > 0 (mm2)
 **下截面, 位置: 7 梁底钢板计算面积大于输入值 480 (mm2) > 400 (mm2)
 **上截面, 位置: 8 梁顶钢板计算面积大于输入值 182 (mm2) > 0 (mm2)
 **下截面, 位置: 8 梁底钢板计算面积大于输入值 2464 (mm2) > 400 (mm2)
 **上截面, 位置: 9 梁顶钢板计算面积大于输入值 461 (mm2) > 0 (mm2)
 **下截面, 位置: 9 梁底钢板计算面积大于输入值 2743 (mm2) > 400 (mm2)
 **下截面, 位置: 9 承载力提高超过40%: M=530.88 > 1.4*Mu=166.25

为了详细解释这个问题，我们在设计结果——配筋简图的右侧边栏点击梁柱验算，选择第9截面（截图）并点击确定后查看其详细计算书，在这里可以看到，程序第一步先判断是否需要配置受压钢板。此梁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，因此需要考虑受压钢板。第二步，计算出所需受压钢板面积 461 mm²，受拉钢板面积 2743mm²，与构件信息结果一致。

所以，此梁在计算受拉钢板面积时，考虑了受压钢板的作用，计算出受压钢板面积 461mm²，导致梁顶加固结果不满足。



第1章 正截面验算-设计资料

梁构件基本信息

截面尺寸	b=250mm h=600mm
混凝土等级	C25
纵筋强度	$f_y=360\text{N/mm}^2, f_{yk}=360\text{N/mm}^2$
钢板设计强度	$f_s=305\text{N/mm}^2$
梁截面类型	非箍筋加密区
加固后弯矩设计值	$M=530.882\text{ kN}\cdot\text{m}$
受拉钢筋面积	$A_s=628\text{mm}^2$
受压钢筋面积	$A_s'=509\text{mm}^2$
受拉钢筋合力点至截面边缘距离	$a=37.5\text{mm}$
受压钢筋合力点至截面边缘距离	$a_s'=37.5\text{mm}$
抗震等级	5
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 $f_c = 1.27\text{ MPa}$, $f_t = 11.94\text{ MPa}$

截面有效高度

$h_0 = 600 - 37.5 = 562.5\text{ mm}$

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

计算相对界限区高度, 根据《混凝土结构设计规范》6.2.7-1

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

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

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

根据构造配筋, 计算得到受拉钢筋最小配筋率和面积

$$\rho_{min} = 0.200\%, A_{s,min} = 300\text{ mm}^2$$

计算截面能够承担的最大弯矩值

原受压钢筋承担弯矩

$$M_u' = A_s' f_y (h - a) = 103.052\text{ kN}\cdot\text{m}$$

混凝土能够承担的最大弯矩

$$M_u = \alpha_1 f_c b \xi_{b,w} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{b,w} h_0) = 351.932\text{ kN}\cdot\text{m}$$

原受拉钢筋能够承担的弯矩

$$M_u'' = f_y A_s (h_0 - h) = -8.482\text{ kN}\cdot\text{m}$$

梁能够承担的弯矩值为 $M_{u,w} = 446.502\text{ kN}\cdot\text{m}$

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

(2) 配置钢板面积计算

考虑按最大的受压区高度

$$x = \xi_{b,w} h_0 = 247.500\text{ mm}$$

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

$$\rho_w = \frac{A_s}{0.5bh} = 0.008$$

根据《混凝土结构加固设计规范》表 10.2.6, 查得 $\alpha_w = 0.792$

求得折减系数为

$$\psi_w = 1.000$$

计算受压钢板面积

$$A_{s,w} = \frac{M - M_{u,w}}{f_s h} = 461\text{ mm}^2$$

计算出受压钢板面积后, 考虑轴力平衡, 计算受拉钢板面积

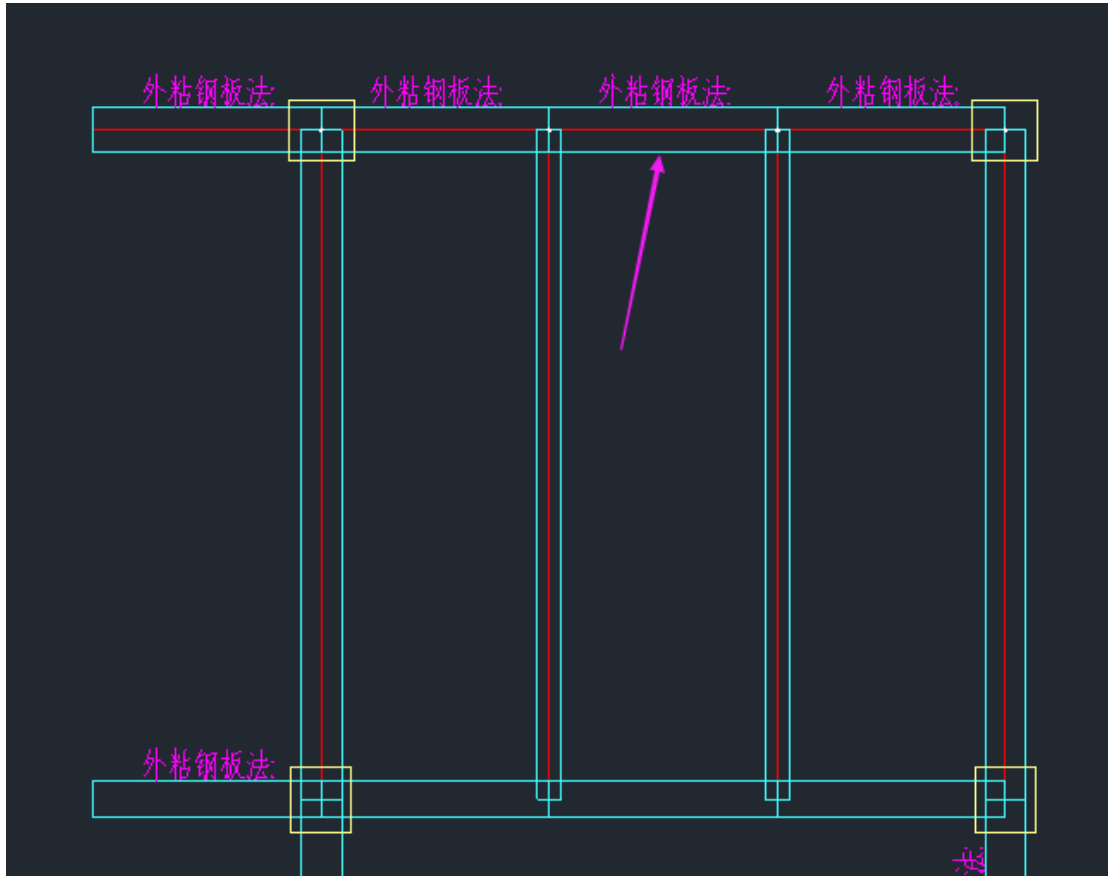
$$A_{s,w} = \frac{\alpha_1 f_c b x - f_y A_s' + f_y A_s - f_s A_{s,w}}{f_s} = 2743\text{ mm}^2$$

程序计算结果为:

承载力抗震调整系数	1.00
截面有效高度	562.50mm
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
受拉钢板面积	2743mm ²
受压钢板面积	461mm ²

2. 梁粘钢板的面积由构造控制

梁采用外粘钢板法, 为何箭头位置处梁的构件信息中第 1 截面梁顶弯矩为-266kN·m, 钢板面积为 0mm², 而第 2 截面梁顶弯矩为-143kN·m, 钢板面积却为 286mm² 呢?



N=B=233 (I=2000255, J=2000256) (1) B*H(mm)=550*860
 Lb=2.80(m) Cover=20(mm) Nfb=2 Nfb_gz=2 Rcb=35.0 Fy=435 Fyv=360
 砼梁 C35 框架梁 调幅梁 矩形
 livec=1.000 tf=0.850 nj=0.400
 $\eta v=1.200$

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-
-M (kNm)	-266	-143	-22	0	0	-7	-122	-239	-360
LoadCase	(32)	(32)	(32)	(0)	(0)	(31)	(31)	(31)	(31)
Top Area	0	286	286	0	0	286	286	0	0
Top Def	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+M (kNm)	591	494	393	289	285	396	503	607	707
LoadCase	(27)	(27)	(27)	(27)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)
Btm Area	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Btm Def	500	500	500	500	500	500	500	500	500
V (kN)	372	362	352	341	330	-329	-340	-350	-359
LoadCase	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(27)	(27)	(27)	(27)
AreaV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DefV	800	800	800	800	800	800	800	800	800

非加密区箍筋面积: 135

鉴定或加固计算结果:

已有钢筋: AsUpL=3574 AsUpR=3574 AsDw=2592 AsV=101

加固做法名称: 外粘钢板法(外粘钢板法)

梁顶钢板(宽度*厚度): 0*0(mm) 梁底钢板(宽度*厚度): 100*5(mm) 梁侧缀板(宽度*厚度*间距): 100*4*300(mm) 钢号: 345

**上截面, 位置: 2 梁顶钢板计算面积大于输入值 286(mm²)>0(mm²)

**上截面, 位置: 3 梁顶钢板计算面积大于输入值 286(mm²)>0(mm²)

**上截面, 位置: 6 梁顶钢板计算面积大于输入值 286(mm²)>0(mm²)

**上截面, 位置: 7 梁顶钢板计算面积大于输入值 286(mm²)>0(mm²)

查看梁顶第 2 截面的加固计算书, 发现计算所需受拉钢板面积为 0mm², 而构造受拉钢板面积为 286mm²。

这是因为在钢板加固计算之前, 程序会先判断原受拉钢筋是否满足最小配筋率的要求。若不满足, 则需要增加受拉钢板替代受拉钢筋从而满足最小配筋率。受拉实配钢筋面积为 982mm², 最小配筋面积为 1183mm², 需要补充 1183-982=201mm² 的钢筋面积。通过钢板等强代换, $(1183-982) \times 435/305=286$, 则需要 286mm² 的钢板面积。

第 1 章 正截面验算-设计资料

梁构件基本信息

截面尺寸	b=550mm h=860mm
混凝土等级	C35
纵筋强度	$f_y=435N/mm^2, f_{yk}=435N/mm^2$
钢板设计强度	$f_s=305N/mm^2$
梁截面类型	非箍筋加密区
加固后弯矩设计值	$M=142.591 kN\cdot m$
受拉钢筋面积	$A_s=982mm^2$
受压钢筋面积	$A_s'=2592mm^2$
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	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 $f_c = 1.57 MPa, f_t = 16.72 MPa$
 截面有效高度
 $h_0 = 860 - 42.5 = 817.5 mm$
 由《混凝土结构设计规范》6.2.6 可得 $\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$
 计算相对界限区高度, 根据《混凝土结构设计规范》6.2.7-1

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \sigma_{sk}}} = 0.482$$

 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
 $\xi_{b,ad} = 0.482 \times 0.85 = 0.410$

再来看一下, 梁顶 1 截面的加固计算书, 最小受拉钢筋面积同样是 1183mm², 但 1 截面的实配受拉钢筋面积为 3574mm², 满足最小配筋率的要求。模型中, 整跨梁分了三段, 该梁正好是中间的一段, 其第 1 截面正好读到支座负筋的实配面积 3574mm², 而第 2 截面读取的是上部通长筋的面积 982mm², 所以就会导致第 2 顶截面需要配置 286mm² 的受拉钢板。

第 1 章 正截面验算-设计资料

梁构件基本信息

截面尺寸	b=550mm h=860mm
混凝土等级	C35
纵筋强度	$f_y=435N/mm^2, f_{yk}=435N/mm^2$
钢板设计强度	$f_s=305N/mm^2$
梁截面类型	非箍筋加密区
加固后弯矩设计值	$M=263.823 kN\cdot m$
受拉钢筋面积	$A_s=3574mm^2$
受压钢筋面积	$A_s'=2592mm^2$
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	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 $f_c = 1.57 MPa, f_t = 16.72 MPa$
 截面有效高度
 $h_0 = 860 - 42.5 = 817.5 mm$
 由《混凝土结构设计规范》6.2.6 可得 $\alpha_1 = 1.00, \beta_1 = 0.80$
 计算相对界限区高度, 根据《混凝土结构设计规范》6.2.7-1

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \sigma_{sk}}} = 0.482$$

 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
 $\xi_{b,ad} = 0.482 \times 0.85 = 0.410$

根据构造配筋, 计算得到受拉钢筋最小配筋率和面积
 $\rho_{min} = 0.250\%, A_{s,min} = 1183 mm^2$
 由于此时梁受拉钢筋配筋率小于最小受拉钢筋配筋率, 构造上受拉钢板最小截面面积为:

$$A_{s,add} = \frac{(A_{s,min} - A_s) f_y}{f_s} = 286 mm^2$$

考虑地震下, 承载力抗震调整系数为 0.75
 设计弯矩调整为
 $M = 100.94 kN\cdot m$
 计算截面能够承担的最大弯矩值
 原受压钢筋承担弯矩
 $M_{s'} = A_s' f_y (\eta - a) = 921.676 kN\cdot m$
 混凝土能承担的最大弯矩
 $M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{cb} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{cb} h_0) = 2133.661 kN\cdot m$
 原受拉钢筋能够承担的弯矩
 $M_s = f_s A_s (h_0 - h) = -18.149 kN\cdot m$
 梁能够承担的弯矩值为 $M_{max} = 3037.189 kN\cdot m$
 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, 因此受压区混凝土无需粘贴钢板
 (2) 配置钢板面积计算
 配置加固钢板后, 按设计弯矩, 混凝土需要承担的弯矩为
 $M_c = M - M_s - M_{s'} = -796.584 kN\cdot m$
 根据混凝土需要承担的弯矩, 计算此时的相对受压区高度为
 $\xi = 0.00000$
 受拉钢板强度设计值为 $f_s = 305 N/mm^2$
 考虑轴力平衡, 计算受拉钢板面积

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b x + f_y A_s' - f_s A_s}{f_s \eta} = 2296 mm^2$$

 受压区高度小于 2 倍保护层厚度, 并且存在受压钢筋, 考虑对受压钢筋直接取弯矩进行计算

$$A_s = \frac{M - f_y A_s' (h_0 - a)}{f_s (h_0 - a)} = -898 mm^2$$

 因此, 应配置受拉钢板的面积为 $-898 mm^2$
 计算受拉钢板面积小于 0, 取 $A_s = 0 mm^2$
 因此无需配置钢板程序计算结果为:

承载力抗震调整系数	0.75
-----------	------

根据构造配筋, 计算得到受拉钢筋最小配筋率和面积
 $\rho_{min} = 0.250\%, A_{s,min} = 1183 mm^2$
 考虑地震下, 承载力抗震调整系数为 0.75
 设计弯矩调整为
 $M = 199.37 kN\cdot m$

计算截面能够承担的最大弯矩值
 原受压钢筋承担弯矩
 $M_{s'} = A_s' f_y (\eta - a) = 921.676 kN\cdot m$
 混凝土能承担的最大弯矩
 $M_c = \alpha_1 f_c b \xi_{cb} h_0 (h_0 - 0.5 \xi_{cb} h_0) = 2133.661 kN\cdot m$
 原受拉钢筋能够承担的弯矩
 $M_s = f_s A_s (h_0 - h) = -66.067 kN\cdot m$
 梁能够承担的弯矩值为 $M_{max} = 2989.271 kN\cdot m$
 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, 因此受压区混凝土无需粘贴钢板
 (2) 配置钢板面积计算
 配置加固钢板后, 按设计弯矩, 混凝土需要承担的弯矩为
 $M_c = M - M_s - M_{s'} = -656.242 kN\cdot m$
 根据混凝土需要承担的弯矩, 计算此时的相对受压区高度为
 $\xi = 0.00000$
 受拉钢板强度设计值为 $f_s = 305 N/mm^2$
 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

$$\rho = \frac{A_s}{0.5bh} = 0.015$$

 考虑轴力平衡, 计算受拉钢板面积

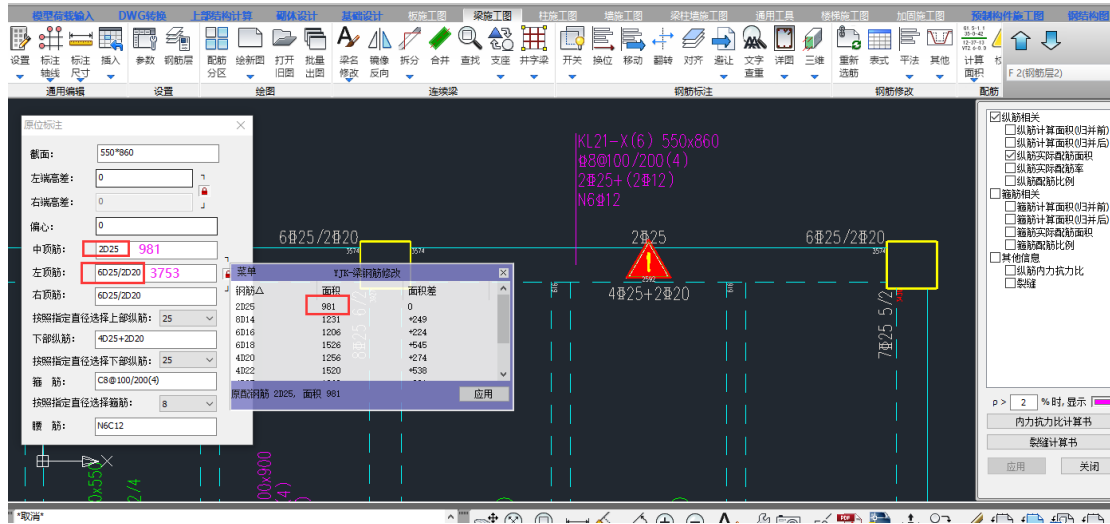
$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b x + f_y A_s' - f_s A_s}{f_s \eta} = -1400 mm^2$$

 受压区高度小于 2 倍保护层厚度, 并且存在受压钢筋, 考虑对受压钢筋直接取弯矩进行计算

$$A_s = \frac{M - f_y A_s' (h_0 - a)}{f_s (h_0 - a)} = -4032 mm^2$$

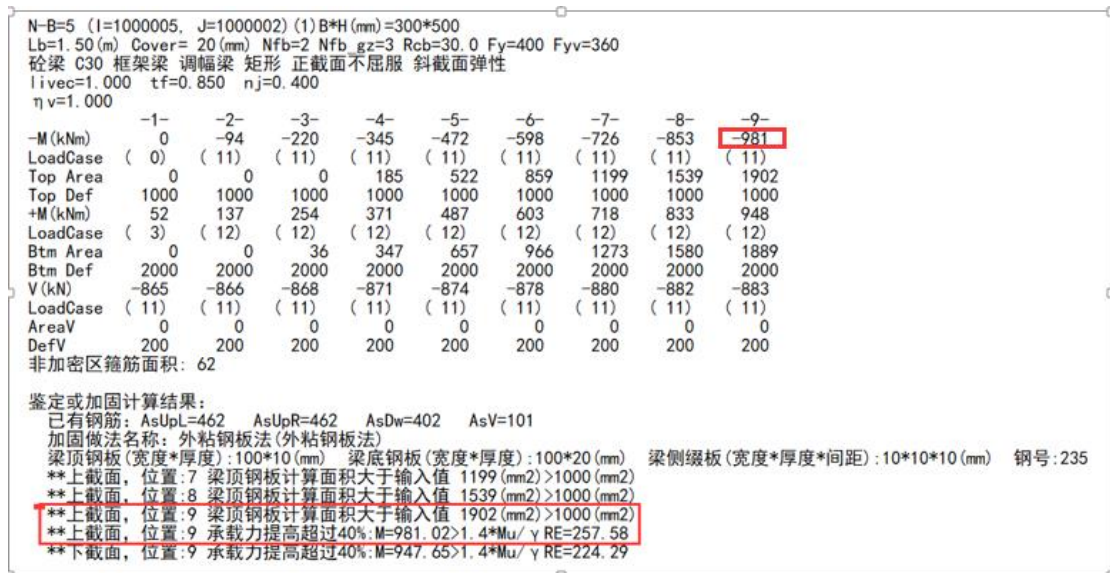
 因此, 应配置受拉钢板的面积为 $-4032 mm^2$
 计算受拉钢板面积小于 0, 取 $A_s = 0 mm^2$
 因此无需配置钢板程序计算结果为:

承载力抗震调整系数	0.75
-----------	------



3. 梁粘钢板后承载力超出 40%怎么处理？

下图计算书输出了一根框架梁外粘钢板加固的结果，从图中可以看到，第 9 截面梁顶钢板计算面积大于输入值，为何又显示承载力提高超过 40%，两个结果不矛盾吗？



这两项超限结果代表的含义不同，并不矛盾。

第 9 截面梁顶弯矩设计值 $-981\text{kN}\cdot\text{m}$ ，计算所需受拉钢板面积 1902mm^2 ，实际布置钢板面积 1000mm^2 ，是指该加固方案不满足计算要求。

承载力提高超过 40%这条超限结果中， M_u 是读取的加固前的梁实际抗弯承载力，而 $M=981.02\text{kN}\cdot\text{m}$ 是直接读取的第 9 截面梁顶加固后控制弯矩设计值， M_u 并不是直接按布置的钢板面积计算出的加固后承载力。

按上述，对此梁，实际布置 1000mm^2 的钢板，其承载力可能不超 40%，但不满足计算钢板面积 1902mm^2 ；如果布置了大于等于 1902mm^2 的钢板面积，则承载力会超 40%。所以，当梁外粘钢板加固计算结果中只要提示承载力提高超过 40%，表明该梁已经不再适合粘贴钢板加固，这种情况下只能改变加固做法了。比如，采用增大截面法加固，然后配置新增钢筋即可解决此问题。

绘图内容

- 加固做法
- 抗剪承载力
- 原有钢筋
- 新增钢筋
- 做法面积
- 抗震鉴定结果

承载力评级显示设置

*dsnMemInf - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

N-B=4 (I=1000002, J=1000004) (1) B*H(mm)=300*500
 Lb=4.20(m) Cover=20(mm) Nfb=2 Nfb_gz=3 Rcb=30.0 Fy=400 Fyv=360
 砼梁 C30 框架梁 调幅梁 矩形 正截面不屈服 斜截面弹性
 livec=1.000 stif=3.375 stif_w=3.375 stif_s=3.375 brc=1.250 tf=0.850 nj=0.400
 ηv=1.000

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-
-M(kNm)	-1113	-492	0	0	0	0	0	-492	-1113
LoadCase	(28)	(28)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(27)	(27)
Top Ast	4141	751	0	1865	2326	0	0	751	4141
% Steel	3.10	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	3.10
+M(kNm)	605	796	918	912	999	912	918	796	605
LoadCase	(27)	(27)	(27)	(27)	(1)	(28)	(28)	(28)	(28)
Btm Ast	1125	2172	2849	2738	3139	2738	2849	2172	1125
% Steel	1.69	2.18	2.59	2.54	2.73	2.54	2.59	2.18	1.69
V(kN)	1607	1521	1262	917	-572	-917	-1262	-1521	-1607
LoadCase	(28)	(28)	(28)	(28)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)
Asv	504	475	389	274	158	274	389	475	504
Rsv	1.68	1.58	1.30	0.91	0.53	0.91	1.30	1.58	1.68

鉴定或加固计算结果:
 已有钢筋: AsUpL=2213 AsUpR=2213 AsDw=2454 AsV=79
 加固做法名称: 增大截面法(增大截面法)
 增加宽度=0(mm) 上方增加高度=100(mm) 下方增加高度=150(mm) 新增砼标号=0.0

总结:

(1) 梁采用外粘钢板加固, 在计算受拉钢板面积时, 若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, 软件会考虑受压钢板的作用, 并计算出相应受压钢板的面积。

(2) 在梁外粘钢板加固计算之前, 程序会先判断原受拉钢筋是否满足最小配筋率。若不满足, 则需要增加受拉钢板等强替代受拉钢筋来满足最小配筋率的要求。

(3) 当梁外粘钢板加固计算结果中只要提示承载力提高超过 40%, 则表明该梁已经不再适合采用粘贴钢板加固方法, 这种情况下只能改变加固方案来解决此问题。