

预应力梁端配筋面积取值问题分析

李伟民

1. 预应力强度比对梁端上筋计算面积的影响

采用预应力筋和非预应力普通钢筋混合配筋的部分预应力混凝土，有利于改善抗裂性能和提高能量耗散能力，可改善预应力混凝土结构的抗震性能。预应力强度比 λ 则表示预应力筋承担的承载力占总承载力的比例，其代表意义就是预应力筋对混凝土梁承担荷载的贡献大小。

依据《预应力混凝土结构抗震设计标准》(JGJ/T140-2019) 3.1.9-4 条，预应力强度比 λ 的表达式为：

$$\lambda = \frac{f_{py}A_p h_p}{f_{py}A_p h_p + f_y A_s h_s} \quad (3.1.9)$$

式中： f_{py} —— 预应力筋抗拉强度设计值 (N/mm²)；对无粘结预应力混凝土平板，应取无粘结预应力筋的应力设计值，无粘结预应力筋的应力设计值应按现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的规定计算；

A_p —— 预应力筋截面面积 (mm²)；

h_p —— 纵向受拉预应力筋合力点至截面受压边缘的距离 (mm)；

f_y —— 普通钢筋抗拉强度设计值 (N/mm²)；

A_s —— 普通钢筋截面面积 (mm²)；

h_s —— 纵向受拉普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离 (mm)。

依据《预应力混凝土结构抗震设计标准》(JGJ/T140-2019) 4.2.3 条，预应力框架梁端的预应力强度比 λ 应满足以下要求：

4.2.3 在预应力混凝土框架梁中，应采用预应力筋和非预应力钢筋混合配筋的方式，预应力筋宜穿过柱截面，框架梁端截面按本标准公式（3.1.9）计算的预应力强度比 λ 宜符合下列规定：

19

1 采用预应力钢筋时：

一级抗震等级： $\lambda \leq 0.75$ (4.2.3-1)

二级、三级、四级抗震等级： $\lambda \leq 0.80$ (4.2.3-2)

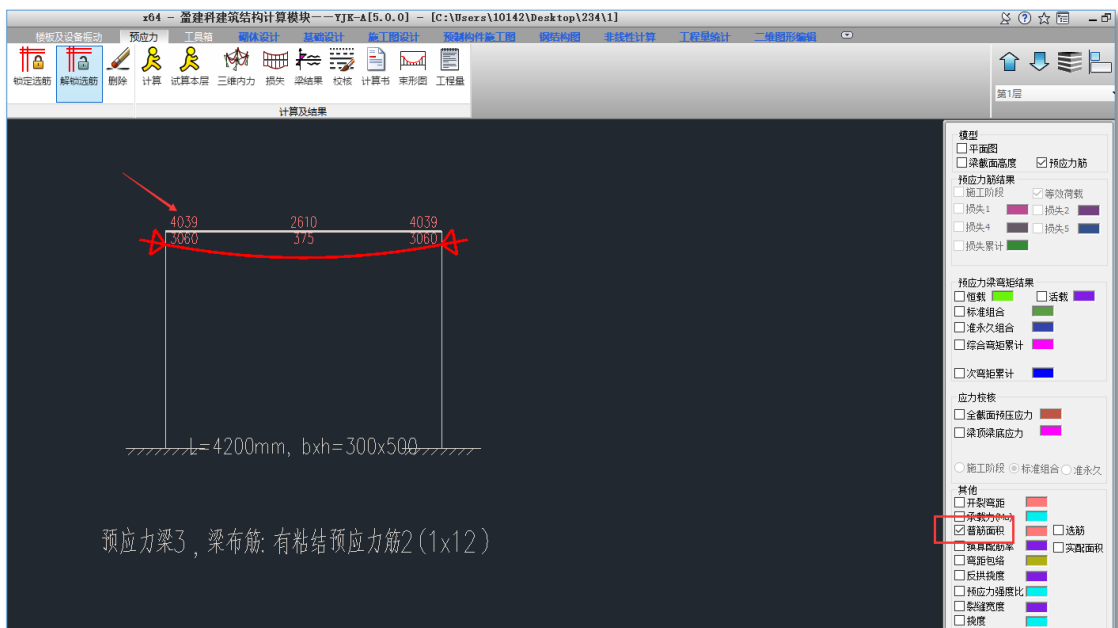
2 采用无粘结预应力纤维增强复合材料筋时：

二级、三级、四级抗震等级： $\lambda \leq 0.50$ (4.2.3-3)

从预应力强度比 λ 公式中可以看出， λ 的计算与普通钢筋面积有关系。程序在计算出预应力梁端普通钢筋面积后，会对预应力强度比 λ 按设置好的限值进行验算。当不满足规定的限值时，就会按 λ 限值反算出一个钢筋面积，此钢筋面积通常比较大。

下面我们结合实例来手核一下预应力强度比 λ 控制的普通钢筋面积。

本模型中预应力梁支座顶筋计算面积为4039mm²，这个配筋值很大，控制弯矩却很小。请查看是什么原因导致的？



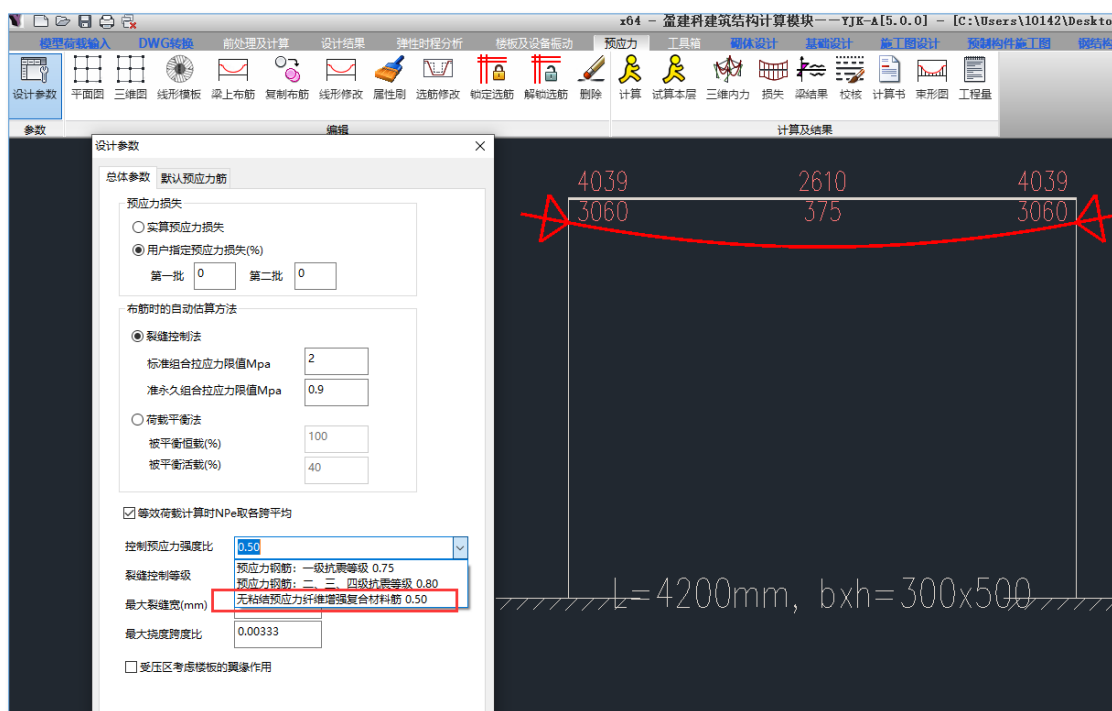
五 普通钢筋计算配筋									
5.1 计算配筋									
第1跨, 第1梁段									
	截面1	截面2	截面3	截面4	截面5	截面6	截面7	截面8	截面9
上部筋	4039	2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610	4039
配筋率	2.69	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	2.69
弯距	-54	0	0	0	0	0	0	0	-54
轴力	0	0	0	0	0	0	0	0	0
组合号	1	1	1	1	1	1	1	1	1
下部筋	3060	375	375	375	375	375	375	375	3060
配筋率	2.04	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.04
弯距	0	189	397	544	599	544	397	189	0
轴力	0	0	0	0	0	0	0	0	0
组合号	19	1	1	1	1	1	1	1	20

解析:

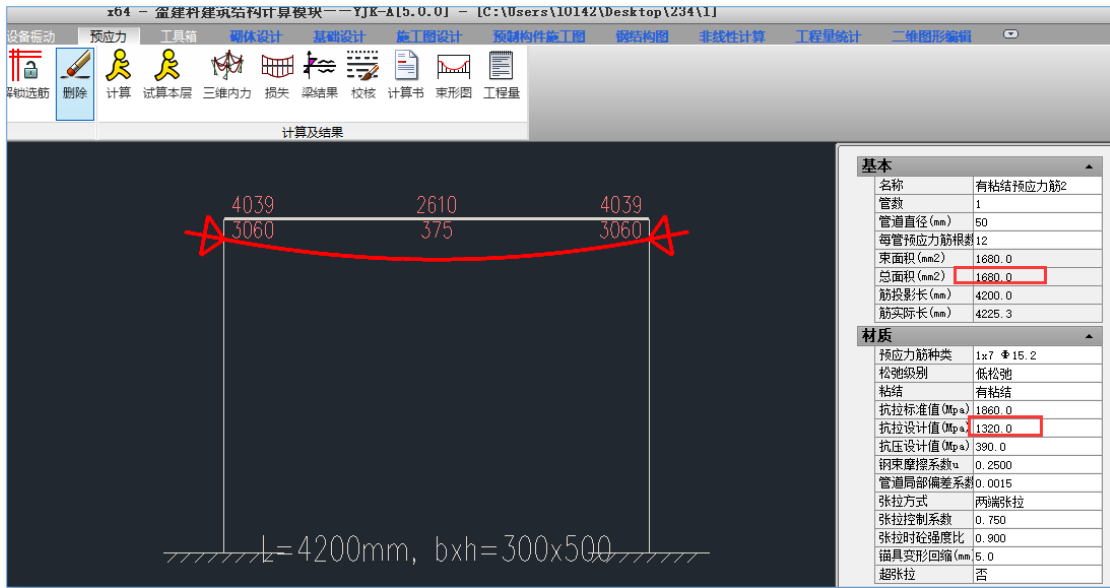
预应力梁端所受弯矩很小，却对应较大的钢筋面积，这通常是由预应力强度比 λ 造成的。

此案例中，该预应力梁端的上筋面积，就是由预应力强度比 λ 控制的。下面我们手核一下此钢筋面积。

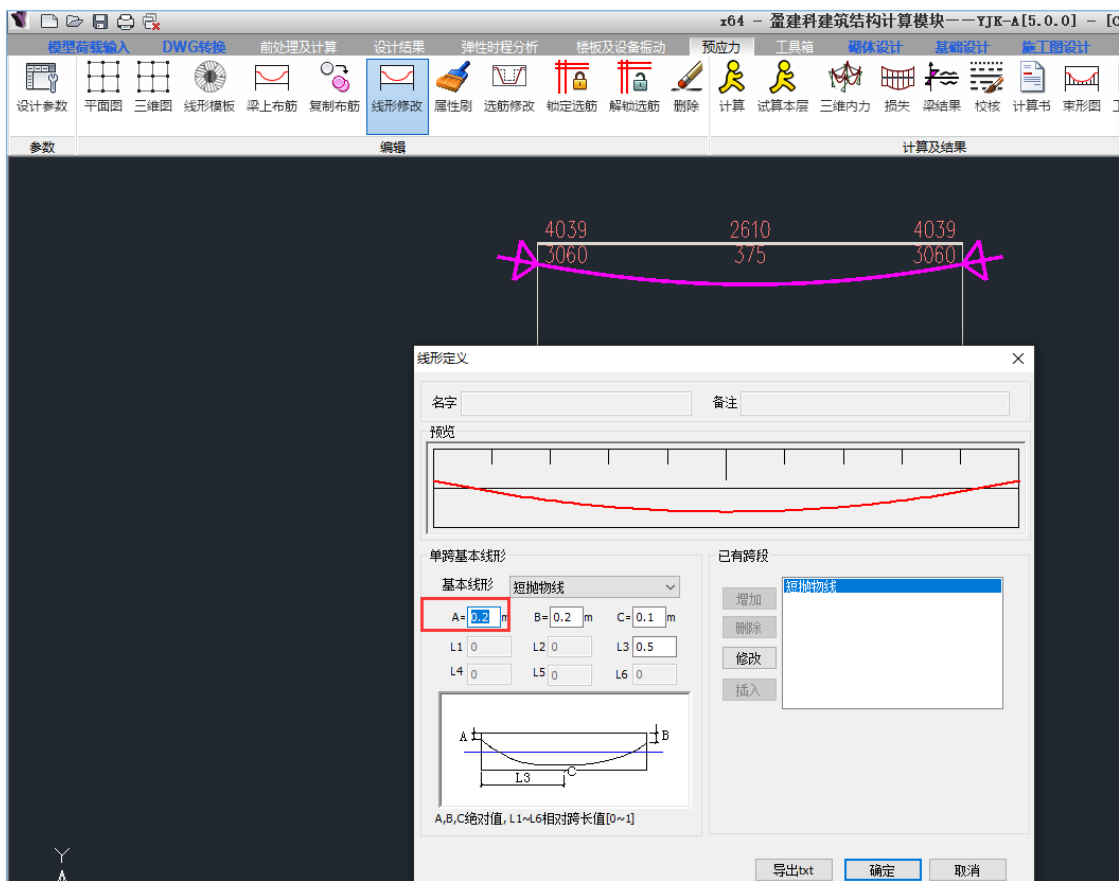
打开设计参数，可以看到用户设置的预应力强度比限值为 0.5。



双击预应力筋，可以得到预应力筋总面积 $A_p=1680\text{mm}^2$ ，抗拉强度设计值 $f_{py}=1320\text{N/mm}^2$ 。



此梁的尺寸为 $300\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，钢筋等级为三级钢， $f_y=360\text{N}/\text{mm}^2$ ， $h_s=500-42.5=457.5\text{mm}$ 。通过线形修改功能查看预应力筋，可以得到 $h_p=500-200=300\text{mm}$ 。

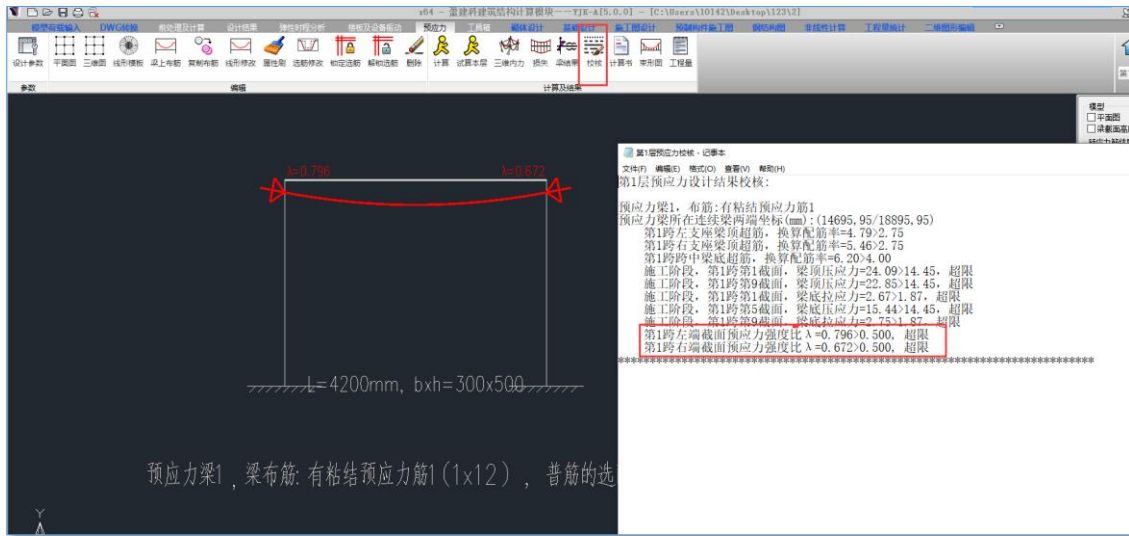


把以上各项数值代入到预应力强度比计算公式 3.1.9 中， $1320 \times 1680 \times 300 / (1320 \times 1680 \times 300 + 360 \times A_s \times 457.5) = 0.5$ ，求得 $A_s=4039\text{mm}^2$ 。

2. 梁端上部实配钢筋面积对预应力强度比的影响

接问题 1 中的预应力梁，计算完成后，看校核结果，发现预应力梁端预应力

强度比仍不满足，这是什么原因？

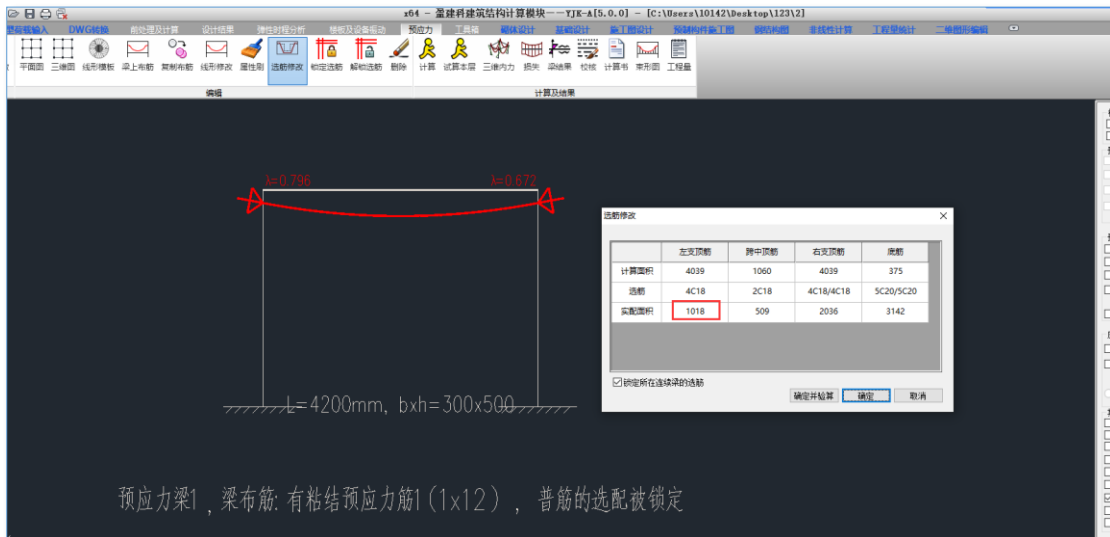


解析:

上面提到，程序会自动按预应力强度比 λ 限值反算出一个钢筋面积，从而保证 λ 满足规范要求。此处需要注意的是，反算出的钢筋面积是梁上端的普通钢筋计算面积，而校核文本里出现的 λ 结果是根据预应力梁的实配钢筋面积计算得到的。

下面我们来手核一下校核文本里出现的 λ 结果。

通过选筋修改功能，可以得到梁左端实配钢筋为 4C18，单排筋， $h_s=500-42.5=457.5\text{mm}$ ，面积 $A_s=1018\text{ mm}^2$ 。三级钢， $f_y=360\text{N/mm}^2$ 。



预应力筋参数同上，预应力筋总面积为 $A_p=1680\text{mm}^2$ ，抗拉强度设计值 $f_{py}=1320\text{N/mm}^2$ ， $h_p=500-200=300\text{mm}$ 。

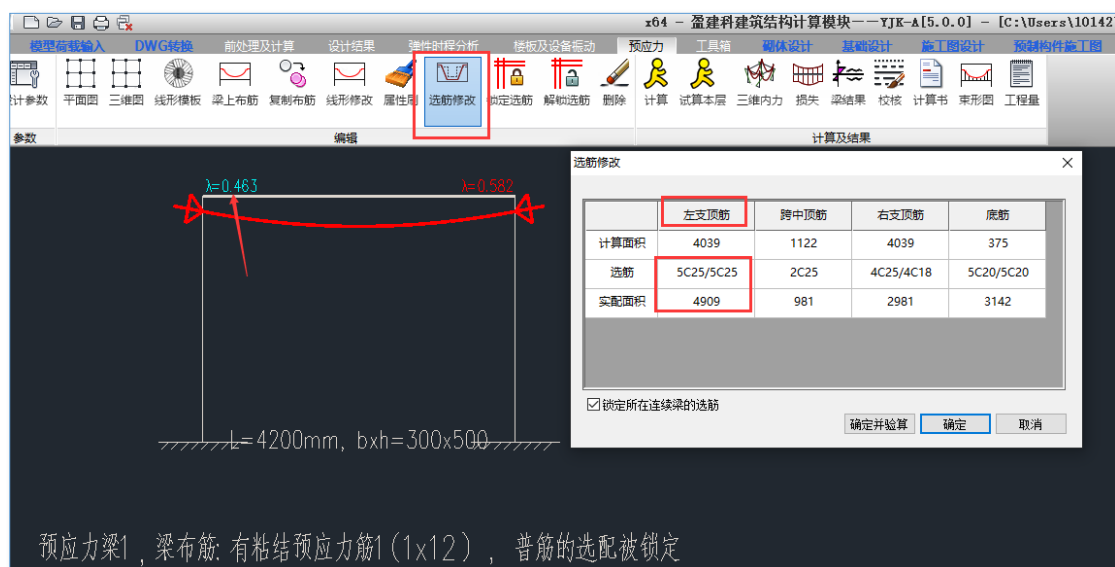
把以上各项数值代入到预应力强度比计算公式 3.1.9 中，

$$\lambda = 1320 \times 1680 \times 300 / (1320 \times 1680 \times 300 + 360 \times 1018 \times 457.5)$$

求得 $\lambda = 0.796$ 。

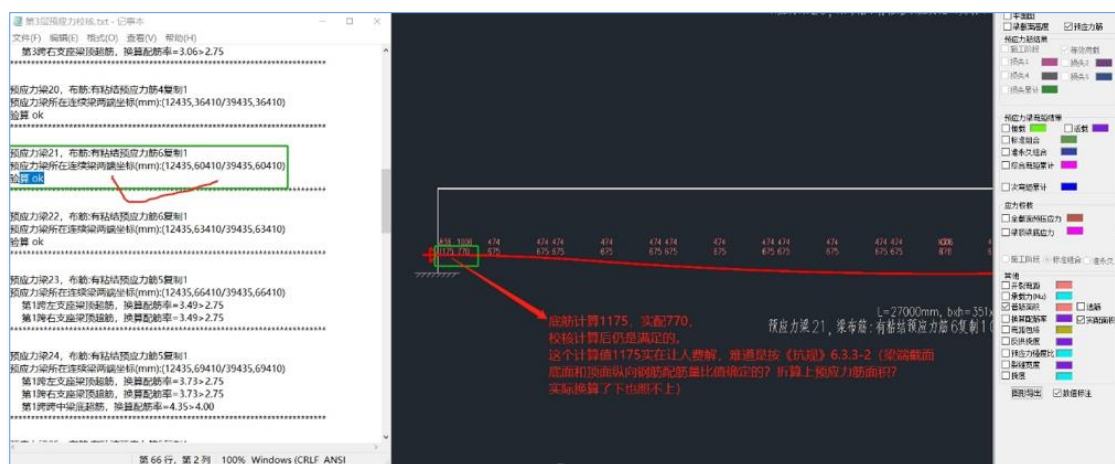
由此可见，虽然钢筋计算面积程序已自动调整满足 λ 限值，但是实配钢筋面积验算出的 λ 却不满足。此时，我们需要通过选筋修改，改变预应力梁的实配钢筋，来满足 λ 的要求。现在将梁左支顶筋实配钢筋改为 5C25/5C25，面积 4909

mm²，重新进行计算，最终 $\lambda = 0.463$ ，满足限值 0.5。



3. 预应力梁支座底筋计算面积为何大于跨中计算面积？

此模型中预应力梁端底筋面积为 1175mm²，而跨中底筋面积为 675mm²，不知为何端部底筋面积要大于跨中底部？



解析：依据《预应力混凝土结构抗震设计标准》(JGJ/T140-2019) 4.2.4 条，预应力框架梁端，底截面钢筋面积应满足以下要求：

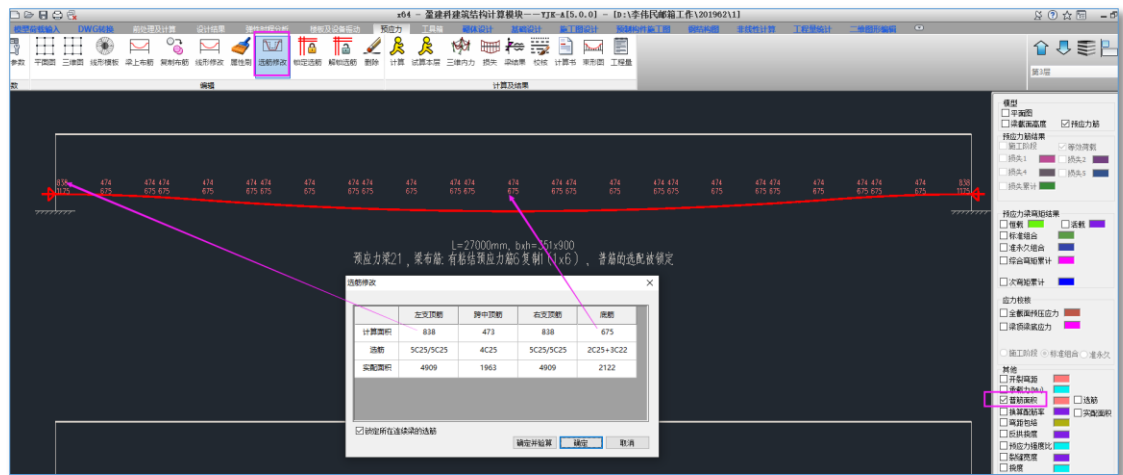
4.2.4 预应力混凝土框架梁端截面的底面纵向非预应力钢筋截面面积 A'_s ，除按计算确定外，尚应符合下列规定：

$$\text{一级抗震等级} \quad A'_s \geq 0.5 \left(1 + \frac{A_p f_{py}}{A_s f_y} \right) A_s \quad (4.2.4-1)$$

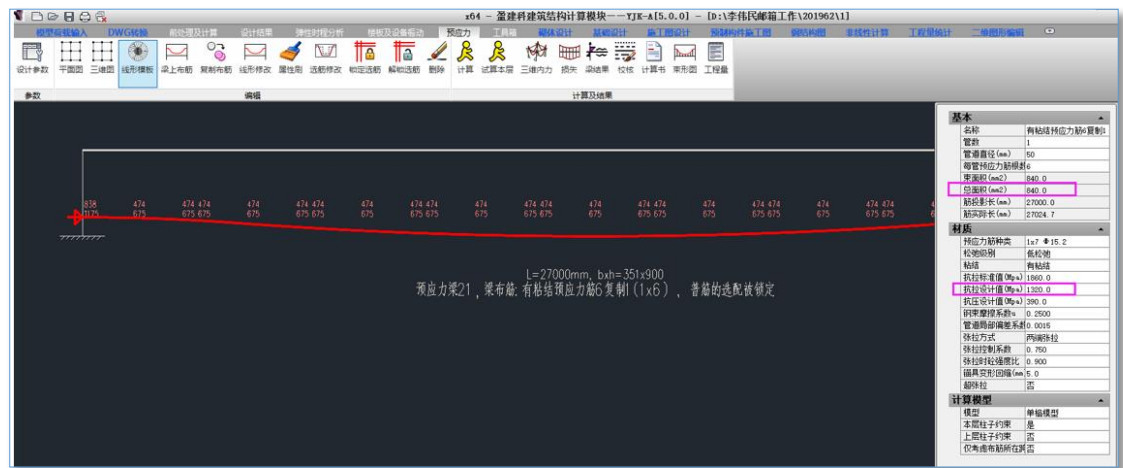
$$\text{二级、三级抗震等级} \quad A'_s \geq 0.3 \left(1 + \frac{A_p f_{py}}{A_s f_y} \right) A_s \quad (4.2.4-2)$$

由前处理可以查到，该梁的抗震等级为二级，

其中， A_s 为梁顶端普通钢筋计算面积， $A_s=838\text{mm}^2$ ， $f_y=360\text{N/mm}^2$ 。



双击预应力筋，查看预应力筋的总面积 $A_p=840\text{mm}^2$ ，抗拉强度设计值 $f_{py}=1320\text{N/mm}^2$ 。



把各个参数代入公式 4.2.4-2，
 $0.3 \times \{840 \times 1320 / (838 \times 360) + 1\} \times 838 = 1175\text{mm}^2$ 。

结论:

(1) 程序在计算出预应力梁端普通钢筋面积后，会对预应力强度比 λ 进行验算。当不满足规定的限值时，就会按 λ 限值反算出一个钢筋面积，此钢筋面积通常比较大，就会出现最终配筋面积与弯矩值不符的情况。

(2) 结论(1)中反算出的钢筋面积是梁上端的普通钢筋计算面积，而程序会根据预应力梁的实配钢筋面积再次验算 λ ，如果不满足限值，校核结果中就会出现 λ 不满足。此时，我们需要通过选筋修改，改变预应力梁的实配钢筋，来满足 λ 的要求。

(3) 当预应力梁支座底筋计算面积大于跨中计算面积时，通常是由梁端底部钢筋与上部钢筋的面积比控制的。