

延性比正算和反算

崔晓乐

延性比正算

在工程计算中，考虑了人防荷载时候，按照人防规范要求，人防构件需要考虑延性比的要求：

4.10.3 结构构件按弹塑性工作阶段设计时，受拉钢筋配筋率不宜大于 1.5%。当大于 1.5%时，受弯构件或大偏心受压构件的允许延性比 $[\beta]$ 值应满足以下公式，且受拉钢筋最大配筋率不宜大于本规范表 4.11.8 的规定。

$$[\beta] \leq \frac{0.5}{x/h_0} \quad (4.10.3-1)$$

$$x/h_0 = (\rho - \rho') f_{yd} / (\alpha_c f_{cd}) \quad (4.10.3-2)$$

式中 x ——混凝土受压区高度(mm)；

h_0 ——截面的有效高度(mm)；

ρ 、 ρ' ——纵向受拉钢筋及纵向受压钢筋配筋率；

f_{yd} ——钢筋抗拉动力强度设计值(N/mm²)；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压动力强度设计值(N/mm²)；

α_c ——系数，应按表 4.10.3 取值。

表 4.10.3 α_c 值

混凝土强度等级	≤C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
α_c	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94

这里就有两个问题：

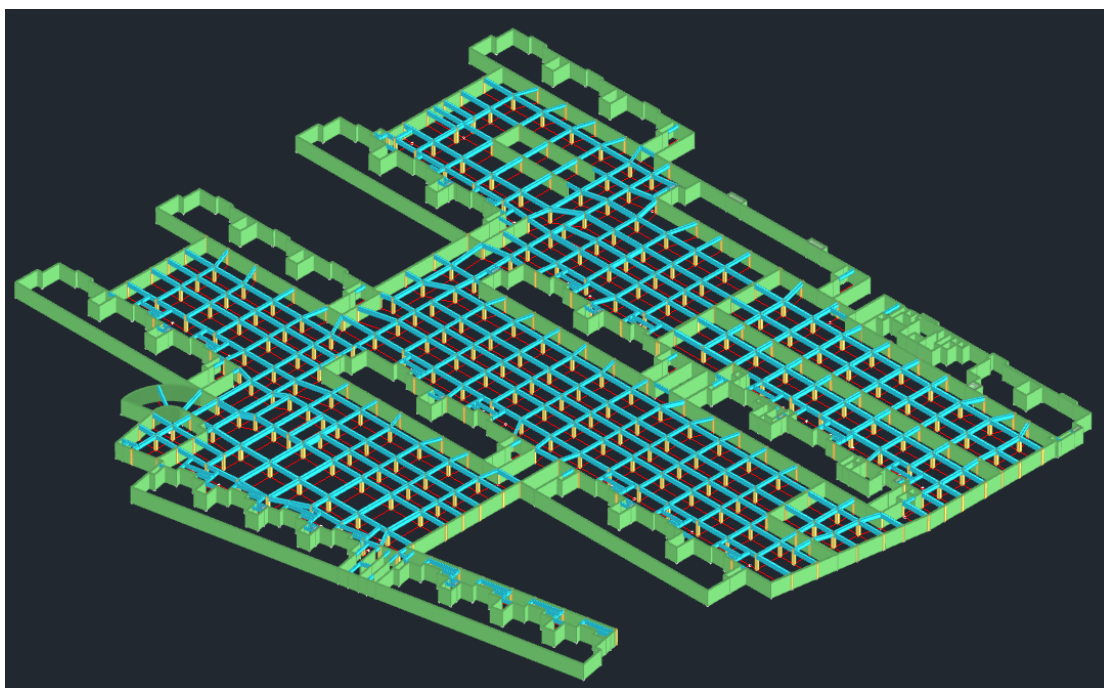
1、当工程中有人防时，软件是否会按照人防规范延性比要求进行考虑？

2、软件在计算带人防梁时，为什么会出现跨中顶筋计算值大问题？

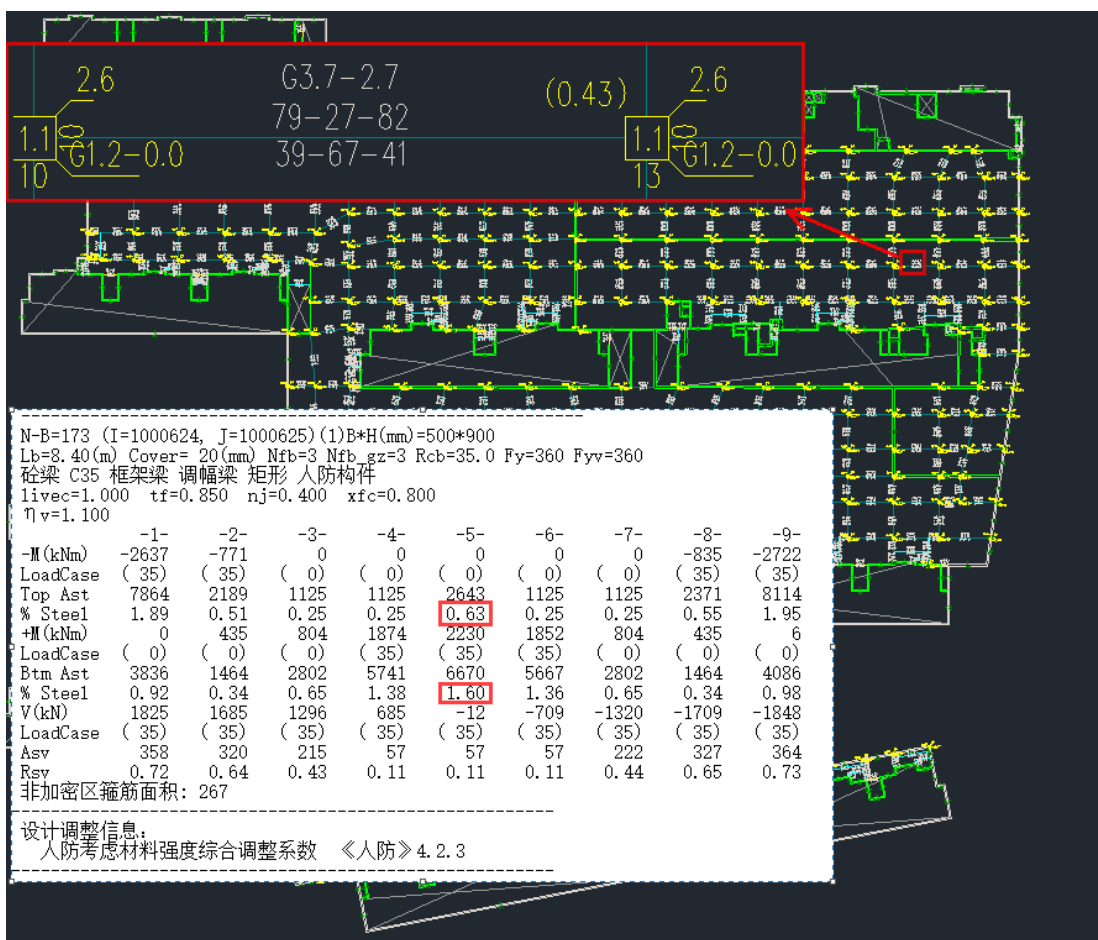
答：1、首先，当工程中有人防时，软件会按照人防规范延性比要求进行考虑。根据《人防规范》4.10.3 条的要求，当受拉钢筋配筋率大于 1.5%时，要求允许延性比 $[\beta] \leq 0.5/\xi$ 。软件在执行此项规定时取 $[\beta] = 3$ ，即通过调整 $\xi_b=0.5/3=0.167$ 来进行截面承载力配筋计算。

答：2、人防设计时，梁跨中上筋有时计算结果很大，但对应的 LoadCase 为 0，一个重要的原因是人防设计时，规范有延性比要求，一般按 3 控制。当跨中底筋配筋率大于 1.5%时，按照《人防规范》4.10.3 公式正算，界限相对受压区高度约为 0.167，这时软件一般通过增加受压钢筋来确保受压区高度不超限，此时跨中上筋计算结果有时很大，但由于是作为受压钢筋的计算结果，输出的顶部组合号及顶部弯矩均为 0。

举例说明一下：



该地库模型，II类场地，7度设防，设置了6级（核）人防荷载，计算之后，我们选取其中一根梁来验证一下：



材料信息

混凝土: C35, $f_{cu,k} = 35.00\text{MPa}$

$f_c = 16.72\text{MPa}$, $f_t = 1.57\text{MPa}$, $f_{ck} = 23.41\text{MPa}$, $f_{tk} = 2.20\text{MPa}$

纵筋: $f_y = 360.00\text{MPa}$, $f_y' = 360.00\text{MPa}$

截面信息

矩形截面 $h = 900.0\text{mm}$, $b = 500.0\text{mm}$

上部纵筋合力点至截面边缘距离 $a_s' = 42.5\text{mm}$

下部纵筋合力点至截面边缘距离 $a_s = 42.5\text{mm}$

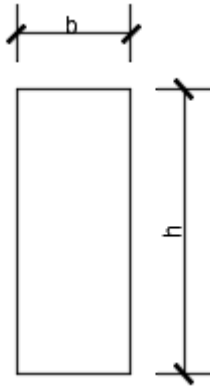
抗震等级是三级

人防组合

计算部位框架梁中

受压钢筋面积: $A_s' = 2642.68\text{mm}^2$

计算跨度: $l_0 = 8400.00\text{m}$



该梁截面是矩形截面，我们直接按照构件信息里面的配筋率进行验算：

$$x/h_0 = (\rho - \rho') f_{yd} / (\alpha_c f_{cd})$$

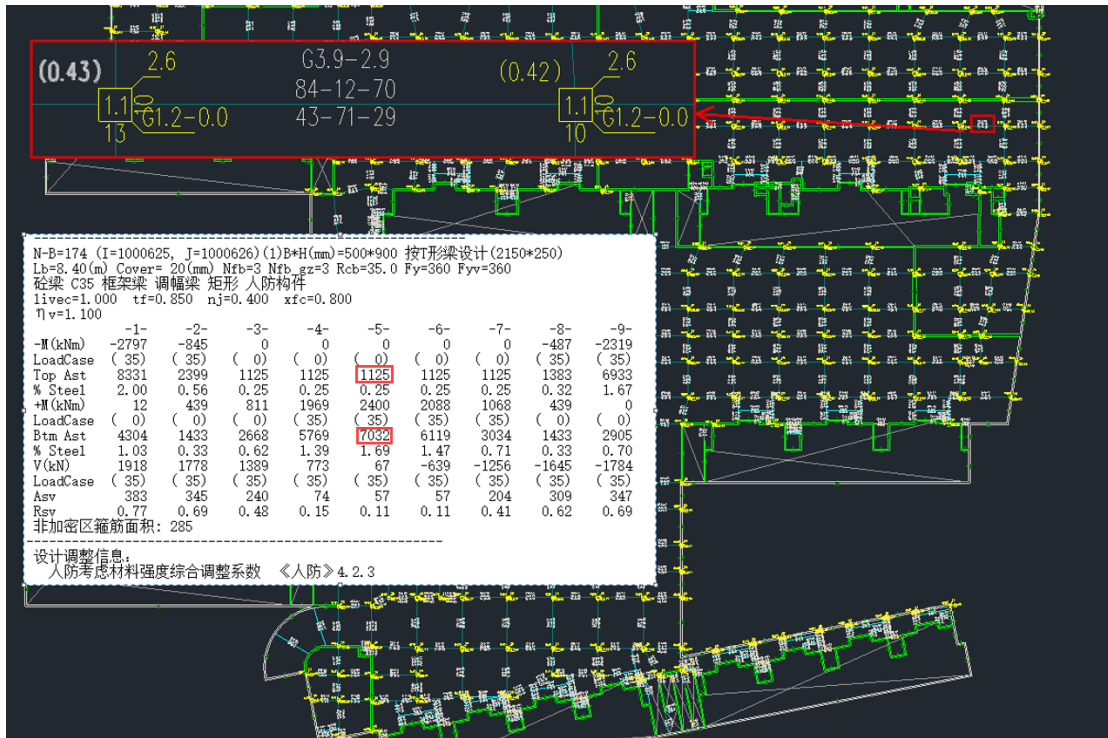
$$[\beta] = 0.5 / (x/h_0)$$

$$\text{得到 } [\beta] = 0.5 / ((1.6\% - 0.63\%) \times (1.2 \times 360) / (1.5 \times 16.7)) = 3$$

正好满足规范延性比要求，也说明软件是按照延性比 3 来考虑的。

延性比反算

如果是通过实配钢筋直接代入人防规范 4.10.3 条反算延性比，需要注意这里有一个前提条件：受拉区配筋率计算时，受拉区面积是不应该发生变化的。受拉区截面面积如果发生变化，比如梁配筋验算时考虑楼板翼缘作用，按照 T 型截面配筋设计并且中和轴在受压翼缘之内时，用实配钢筋计算受拉区配筋率就不能按照原始矩形梁截面计算，应该按照考虑受压翼缘计算宽度的矩形截面计算。我们以上面工程的另一根梁来说明：



材料信息

混凝土: C35, $f_{cu,k} = 35.00\text{MPa}$

$f_c = 16.72\text{MPa}$, $f_t = 1.57\text{MPa}$, $f_{ck} = 23.41\text{MPa}$, $f_{tk} = 2.20\text{MPa}$

纵筋: $f_y = 360.00\text{MPa}$, $f_y' = 360.00\text{MPa}$

截面信息

T形截面 $h = 900.0\text{mm}$, $b = 500.0\text{mm}$, $h_f' = 250.0\text{mm}$, $b_f' = 2150.0$

上部纵筋合力点至截面边缘距离 $a_s' = 42.5\text{mm}$

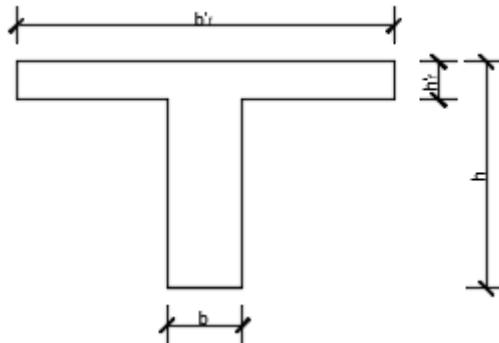
下部纵筋合力点至截面边缘距离 $a_s = 42.5\text{mm}$

抗震等级是三级 人防组合

计算部位框架梁中

受压钢筋面积: $A_s' = 1125.00\text{mm}^2$

计算跨度: $l_0 = 8400.00\text{m}$



弯矩设计值: $M = 2399.81\text{kN}\cdot\text{m}$ (+)

由混凝土规范 6.2.6 条可知

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

$$\varepsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu} - 50) \times 10^{-5} = 0.0033 - (35.0 - 50) \times 10^{-5} > 0.0033$$

$$\text{取 } \varepsilon_{cu} = 0.0033$$

按《混凝土结构设计规范》公式(6.2.7-1)，相对界限受压区高度 ξ_b

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}} = \frac{0.80}{1 + \frac{360.0}{200000.00 \times 0.0033}} = 0.52$$

构造钢筋人防调整得：

$$f_{cu} = 35.00 \text{MPa}, f_y = 360.00 \text{MPa}, \rho_{min} = 0.0025, \rho_{max} = 0.0240$$

人防组合下材料强度调整为：

$$f_{cu} = 35.00 \text{MPa}, f_c = 25.08 \text{MPa}, f_y = 432.00$$

承载力抗震调整系数： $\gamma_{RE} = 1.0$ 深受弯构件抵抗矩系数： $\alpha_d = 1.0$

弯矩设计值调整为： $M = M \gamma_{RE} \times 10^6 / \alpha_d = 2399810048.00 \text{N} \cdot \text{mm}$

截面有效高度： $h_0 = 857.50 \text{mm}$ 受压翼缘调整为： $b'_f = 2150.00 \text{mm}$

构件截面面积为 $A = 450000 \text{mm}^2$ 受拉钢筋最小配筋率 $\rho_{min} = 0.0025$

受拉钢筋最小配筋面积

$$A_{smin} = \rho_{min} \times A = 0.0025 \times 450000.00 = 1125.00 \text{mm}^2$$

混凝土承担的弯矩

$$M_c = M - A'_s f'_y (h_0 - a'_s)$$

$$= 2399810048.00 - 1125.00 \times 432.00 \times (857.50 - 42.50)$$

$$= 2003720064.00 \text{N} \cdot \text{mm}$$

受压翼缘承担的最大弯矩

$$M'_{fmax} = \alpha_1 f_c b'_f h'_f (h_0 - 0.5 h'_s)$$

$$= 1.00 \times 25.08 \times 2150.00 \times 250.00 \times (857.50 - 0.5 \times 250.00)$$

$$= 9874465792.00 \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$\xi_b h_0 \leq h'_f$$

中和轴位于受压翼缘内，应按照宽度为 b'_f 的矩形截面进行承载力计算

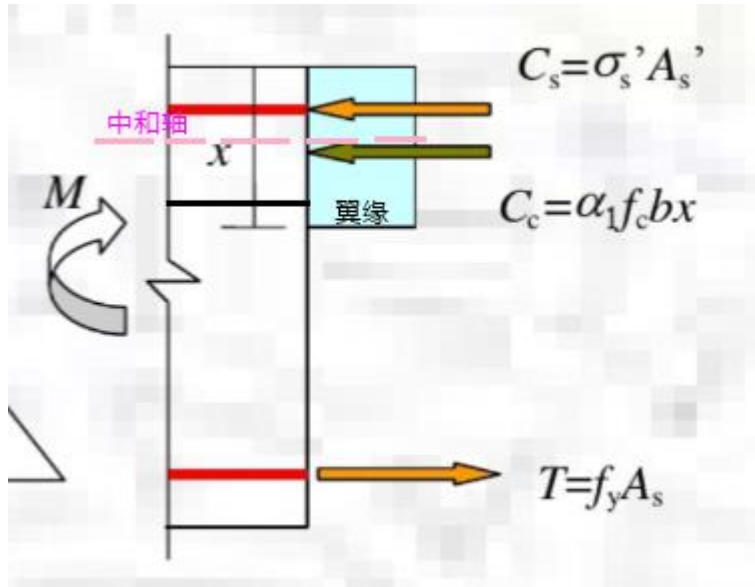
对本例，受压翼缘计算宽度就是 $b_s = b'_f = 2150.00 \text{mm}$

注意构件信息中的受拉配筋率是按照 $b = 500$ 算的： $\rho = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{7031.79}{500.00 \times 832.50}$

$= 0.0169$,

这时我们就不要直接用构件信息里面的受拉配筋率代入 4.10.3-2 中计算延性比了，而需按照截面宽度为 b'_f 的矩形截面验算延性比。也就是说 4.10.3 仅适用于矩形截面验算延性比，当混凝土梁考虑楼板作为受压翼缘时，需利用内力平衡计算截面受压区高度，进行验算延性比。

对于这种情况，我们可以按照钢筋面积直接反算出受压区高度 x ，直接得到 x/h_0 比值。



如上图，套用力平衡公式：

$$f_y A_s - f_y' A_s' = \alpha_1 f_c b x$$

$$432 * (7032 - 1125) = 1 * 25.08 * 2150 * x \text{ 得到 } x = 47.5$$

$x < 2a_s'$ ，受压钢筋不屈服，可保守取 $x = 2a_s'$ 计算 x/h_0

$$x/h_0 = 47.5/832.5 = 0.057 < 0.5/3 = 0.167$$

满足延性比要求。

总结

- 1、当考虑人防荷载时，软件考虑了人防构件延性比要求，软件在执行此项规定时取 $[\beta] = 3$ ，即通过调整 $\xi_b = 0.5/3 = 0.167$ 来进行截面承载力配筋计算。
- 2、反算延性比时候，人防公式 4.10.3-2 不具有普遍适用性，当考虑梁 T 型截面设计中性轴在翼缘内时，不能直接用正算的受拉配筋率直接带入人防公式 4.10.3-2 进行验算，可以直接计算受压区高度 x 直接计算延性比。