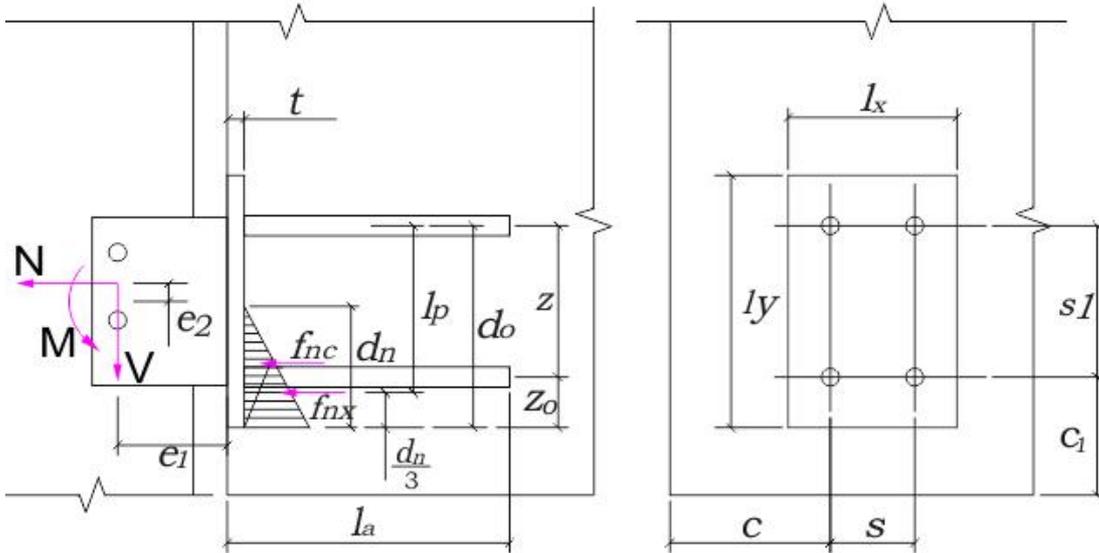


## 01 后置埋件设计分析



计算说明：埋件采用板式埋件，埋件固定在主体结构上，承担龙骨传递过来的水平荷载以及自重荷载，我们需要校核板式埋件的承载能力，具体的连接形式参见下图：



### 作用于埋件荷载

侧埋件所受的轴力设计值	$N_a := 12\text{kN}$
剪力设计值	$V_a := 3.5\text{kN}$
偏心距参数	$e_1 := 90\text{mm} + 25\text{mm}$
	$e_2 := 25\text{mm}$
附加弯矩	$M_a := V_a \cdot e_1 + N_a \cdot e_2$
	$M_a = 0.703 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

### 群锚栓受拉内力计算

锚栓个数	$n_a := 9$
横向螺栓间距	$s_1 := 100\text{mm}$
竖向螺栓间距	$s_h := 100\text{mm}$

锚栓至形心轴的垂直距离

$$y_1 := \sqrt{s_l^2 + s_h^2} = 141.421 \cdot \text{mm}$$

$$y_2 := s_h = 100 \cdot \text{mm}$$

$$y_3 := y_1 = 141.421 \cdot \text{mm}$$

$$y_4 := s_l = 100 \cdot \text{mm}$$

$$y_5 := 0 \text{mm}$$

$$y_6 := y_4 = 100 \cdot \text{mm}$$

$$y_7 := \sqrt{s_l^2 + s_h^2} = 141.421 \cdot \text{mm}$$

$$y_8 := s_h = 100 \cdot \text{mm}$$

$$y_9 := y_7 = 141.421 \cdot \text{mm}$$

锚栓*i*至受压一侧最外排锚栓的垂直距离

$$y_{01} := 2 \cdot s_h = 200 \cdot \text{mm}$$

$$y_{02} := 2 \cdot s_h = 200 \cdot \text{mm}$$

$$y_{03} := 2 \cdot s_h = 200 \cdot \text{mm}$$

$$y_{04} := s_h = 100 \cdot \text{mm}$$

$$y_{05} := s_h = 100 \cdot \text{mm}$$

$$y_{06} := s_h = 100 \cdot \text{mm}$$

$$y_{07} := 0 \text{mm}$$

$$y_{08} := 0 \text{mm}$$

$$y_{09} := 0 \text{mm}$$

轴力*N*作用点到受压一侧最外排锚栓的垂直距离

$$L := s_h = 100 \cdot \text{mm}$$

$$y_n := y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2 + y_6^2 + y_7^2 + y_8^2 + y_9^2$$

$$y_{0n} := y_{01}^2 + y_{02}^2 + y_{03}^2 + y_{04}^2 + y_{05}^2 + y_{06}^2 + y_{07}^2 + y_{08}^2 + y_{09}^2$$

锚栓拉力计算公式

《JGJ 145-2013》5.2.2条

$$N_{Sd\_h} := \begin{cases} \frac{N_a}{n_a} + \frac{M_a \cdot y_1}{y_n} & \text{if } 0 \leq \frac{N_a}{n_a} - \frac{M_a \cdot y_1}{y_n} \\ \frac{(N_a \cdot L + M_a) \cdot y_{01}}{y_{0n}} & \text{if } 0 > \frac{N_a}{n_a} - \frac{M_a \cdot y_1}{y_n} \end{cases}$$

$$N_{si}(y_{0i}) := N_{Sd\_h} \cdot \frac{y_{0i}}{y_{01}}$$

各锚栓拉力

$$N_1 := N_{si}(y_{01}) = 2.161 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_2 := N_{si}(y_{02}) = 2.161 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_3 := N_{si}(y_{03}) = 2.161 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_4 := N_{si}(y_{04}) = 1.081 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_5 := N_{si}(y_{05}) = 1.081 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_6 := N_{si}(y_{06}) = 1.081 \times 10^3 \text{ N}$$

群锚中拉力最大锚栓拉力设计值

$$N_{Sd\_h} = 2.161 \times 10^3 \text{ N}$$

群锚区受拉区总拉力设计值

$$N_{Sd\_g} := (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6)$$

$$N_{Sd\_g} = 9.726 \times 10^3 \text{ N}$$

受拉锚栓合力点相对于群锚受拉锚栓重心的偏心距

$$e_N := \begin{cases} \frac{M_a}{N_a} \text{ if } \frac{N_a}{n_a} - \frac{M_a \cdot y_1}{y_n} \geq 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$e_N = 58.542 \cdot \text{mm}$$

X方向总的剪力

$$V_{Sd\_gx} := 0\text{N}$$

Y方向总的剪力

$$V_{Sd\_gy} := V_a$$

群锚区受拉区总剪力设计值

$$V_{Sd\_g} := \sqrt{V_{Sd\_gx}^2 + V_{Sd\_gy}^2}$$

$$V_{Sd\_g} = 3.5 \times 10^3 \text{ N}$$

群锚中剪力最大锚栓剪力设计值

$$V_{Sd\_h} := \frac{V_{Sd\_g}}{n_a} = 388.889 \text{ N}$$

### 锚栓钢材破坏时受拉承载力计算

材质等级

Q235B

屈服强度标准值

$$f_{yk} = 235 \cdot \text{MPa}$$

材质等级

Q235B

极限抗拉强度标准值

$$f_{uk} = 375 \cdot \text{MPa}$$

钢材受拉破坏承载力分项系数  
(非结构构件)

$$\gamma_{RS\_N} := 1.2$$

《JGJ145-2013》表4.3.10

锚栓直径

$$d := 12\text{mm}$$

锚栓应力截面积

$$A_s = 84 \cdot \text{mm}^2$$

普通化学锚栓

地震作用下锚固承载力降低系数

$$k_t = 0.7$$

锚栓钢材破坏受拉承载力设计值

$$N_{Rd\_s} := \frac{k_t \cdot A_s \cdot f_{yk}}{\gamma_{RS\_N}}$$

$$N_{Rd\_s} = 1.151 \times 10^4 \text{ N}$$

承载力比值  $\lambda_s := \frac{N_{Sd\_h}}{N_{Rd\_s}} = 0.188$

HENCE( $\lambda_s < 1$ ) = "满足规范要求"

### 钢材受剪破坏承载力计算

钢材受剪破坏承载力分项系数  
(非结构构件)

$\gamma_{RS\_V} := 1.2$

《JGJ145-2013》  
表4.3.10

普通化学锚栓

地震作用下锚固承载力降低系数

$k_v = 0.6$

锚栓钢材破坏受剪承载力设计值

$V_{Rk\_s} := \frac{k_v \cdot 0.5 A_s \cdot f_{yk}}{\gamma_{RS\_V}}$

$V_{Rk\_s} = 4.935 \times 10^3 \text{ N}$

承载力比值

$\lambda_v := \frac{V_{Sd\_h}}{V_{Rk\_s}} = 0.079$

HENCE( $\lambda_v < 1$ ) = "满足规范要求"

### 拉剪复合受力下锚栓钢材破坏

$\lambda_{comb} := \lambda_s^2 + \lambda_v^2$

HENCE( $\lambda_{comb} < 1$ ) = "满足规范要求"

### 混凝土椎体受拉破坏承载力计算

混凝土立方体抗压强度标准值  
(C30)

$f_{cu} := 30$

锚栓的有效锚固深度

$h_{ef} := 110\text{mm}$

混凝土受力性质

开裂混凝土

$\chi_1 = 7$

单根锚栓受拉，混凝土理想锥体破坏受拉承载力标准值

$N_{Rk\_c\_o} := \chi_1 \cdot \sqrt{f_{cu}} \cdot h_{ef}^{1.5}$

$N_{Rk\_c\_o} = 4.423 \times 10^4 \cdot \text{N}$

临界间距

$s_{cr\_N} := 3h_{ef} = 330 \cdot \text{mm}$

临界边距

$c_{cr\_N} := 1.5h_{ef} = 165 \cdot \text{mm}$

单根锚栓受拉无边距，无间距影响理想椎体破坏投影面积

$$A_{c\_N\_o} := s_{cr\_N}^2 = 0.109 \cdot m^2$$

锚栓实际边距

$$c_{11} := 300mm$$

$$c_{12} := 300mm$$

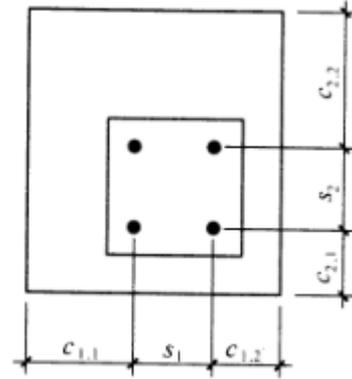
$$c_{21} := 300mm$$

$$c_{22} := 300mm$$

锚栓间距

$$s_1 := s_1 = 100 \cdot mm$$

$$s_2 := s_h = 100 \cdot mm$$



(b) 四个边缘

混凝土实际锥体破坏投影面积

$$a_{01} := \min(c_{11}, c_{cr\_N}) + s_1 + \min(c_{12}, c_{cr\_N})$$

$$a_{02} := \min(c_{21}, c_{cr\_N}) + s_2 + \min(c_{22}, c_{cr\_N})$$

$$A_{c\_N} := a_{01} \cdot a_{02}$$

$$A_{c\_N} = 1.849 \times 10^5 \cdot mm^2$$

边距对受拉承载力影响系数

$$\psi_{s\_N} := \min\left(1, 0.7 + 0.3 \cdot \frac{\min(c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22})}{c_{cr\_N}}\right)$$

$$\psi_{s\_N} = 1$$

表层混凝土因密集配筋的剥离作用对混凝土受拉影响

$$\psi_{re\_N} := \min\left(1, 0.5 + \frac{h_{ef}}{200mm}\right)$$

$$\psi_{re\_N} = 1$$

荷载偏心 $e_N$ 对受拉承载力的影响

$$e_{Nx} := e_N$$

$$e_{Ny} := 0mm$$

$$\psi_{ec\_N\_x} := \min\left(1, \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{e_{Nx}}{s_{cr\_N}}}\right) = 0.738$$

$$\psi_{ec\_N\_y} := \min\left(1, \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{e_{Ny}}{s_{cr\_N}}}\right) = 1$$

$$\psi_{ec\_N} := \psi_{ec\_N\_x} \cdot \psi_{ec\_N\_y}$$

$$\psi_{ec\_N} = 0.738$$

混凝土受拉破坏承载力标准值

$$N_{Rk\_c} := N_{Rk\_c\_o} \cdot \frac{A_{c\_N}}{A_{c\_N\_o}} \cdot \psi_{s\_N} \cdot \psi_{re\_N} \cdot \psi_{ec\_N}$$

$$N_{Rk\_c} = 5.543 \times 10^4 \text{ N}$$

混凝土锥体破坏受拉承载力分项系数  
(非结构构件)

$$\gamma_{Rc\_N} := 1.8$$

混凝土受拉破坏承载力设计值

$$N_{Rd\_c} := k_t \cdot \frac{N_{Rk\_c}}{\gamma_{Rc\_N}} = 2.156 \times 10^4 \cdot \text{N}$$

承载力比值

$$\text{HENCE}(N_{Sd\_g} < N_{Rd\_c}) = \text{"满足规范要求"}$$

### 混凝土劈裂破坏承载力计算

基材混凝土劈裂破坏临界边距

$$c_{cr\_sp} := 2 \cdot h_{ef}$$

《JGJ145-2013》6.2.14条

$$c_{cr\_sp} = 220 \cdot \text{mm}$$

基材混凝土劈裂破坏临界间距

$$s_{cr\_sp} := 2 \cdot c_{cr\_sp}$$

《JGJ145-2013》6.2.15条

$$s_{cr\_sp} = 440 \cdot \text{mm}$$

基材最小厚度

$$h_{min} := \max(2 \cdot h_{ef}, 100 \text{mm})$$

根据《混凝土后锚固技术规程》6.1.11条

于是(split) := if(split = 1, "不考虑荷载条件下的劈裂破坏", "考虑荷载条件下的劈裂破坏")

于是(min(c<sub>11</sub>, c<sub>12</sub>, c<sub>21</sub>, c<sub>22</sub>) ≥ max(1.5 · c<sub>cr\_sp</sub>, 2 · h<sub>min</sub>)) = "考虑荷载条件下的劈裂破坏"

单根锚栓受拉无边距，无间距影响理想椎体破坏投影面积

$$A_{c\_sp\_o} := s_{cr\_sp}^2$$

$$A_{c\_sp\_o} = 1.936 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

混凝土实际锥体破坏投影面积

$$A_{c\_sp} := (\min(c_{11}, c_{12}, c_{cr\_sp}) + s_1 + c_{cr\_sp}) \cdot (\min(c_{21}, c_{cr\_sp}) + s_2 + \min(c_{22}, c_{cr\_sp}))$$

$$A_{c\_sp} = 2.916 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

边距对受拉承载力影响系数

$$\psi_{s\_sp} := \min \left( 1, 0.7 + 0.3 \cdot \frac{\min(c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22})}{c_{cr\_sp}} \right)$$

$$\psi_{s\_sp} = 1$$

基材厚度

$$h_c := 400\text{mm}$$

构件厚度对基材劈裂破坏受拉承载力影响系数

$$\psi_{h\_sp} := \min \left[ \left( \frac{h_c}{h_{\min}} \right)^{\frac{2}{3}}, \left( \frac{2 \cdot h_{ef}}{h_{\min}} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

$$\psi_{h\_sp} = 1$$

混凝土劈裂受拉破坏承载力标准值

$$N_{Rk\_sp} := \psi_{h\_sp} \cdot N_{Rk\_c\_o} \cdot \frac{A_{c\_sp}}{A_{c\_sp\_o}} \cdot \psi_{s\_sp} \cdot \psi_{re\_N} \cdot \psi_{ec\_N}$$

$$N_{Rk\_sp} = 4.918 \times 10^4 \text{ N}$$

混凝土劈裂破坏受拉承载力分项系数  
(非结构构件)

$$\gamma_{Rsp} := 1.8$$

混凝土受拉破坏承载力设计值

$$N_{Rd\_sp} := k_t \cdot \frac{N_{Rk\_sp}}{\gamma_{Rsp}}$$

$$N_{Rd\_sp} = 1.912 \times 10^4 \text{ N}$$

承载力比值

$$\text{HENCE}(N_{Sd\_g} < N_{Rd\_sp}) = \text{"满足规范要求"}$$

### 混凝土边缘受剪破坏承载力计算

根据《混凝土后锚固技术规程》6.1.25条

$$c_1 := \begin{cases} \max \left( \frac{c_{21}}{1.5}, \frac{c_{22}}{1.5}, \frac{h_c}{1.5}, \frac{s_2}{3} \right) & \text{if } h_c < 1.5 \cdot c_{12} \wedge c_{21} \leq 1.5 c_{12} \wedge c_{22} \leq 1.5 \cdot c_{12} \\ c_{12} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$c_1 = 266.667 \cdot \text{mm}$$

相关系数

$$\alpha := 0.1 \cdot \left( \frac{h_{ef}}{c_1} \right)^{0.5} = 0.064$$

$$\beta := 0.1 \cdot \left( \frac{d}{c_1} \right)^{0.2} = 0.054$$

混凝土受力性质

开裂混凝土

$$\chi_2 = 1.35$$

混凝土理想边缘破坏受剪承载力标准值

$$V_{Rk\_c\_o} := \chi_2 \cdot \left(\frac{d}{\text{mm}}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{h_{ef}}{\text{mm}}\right)^\beta \cdot \sqrt{f_{cu}} \cdot \left(\frac{c_1}{\text{mm}}\right)^{1.5}$$

$$V_{Rk\_c\_o} = 4.864 \times 10^4 \text{ N}$$

单根锚栓受剪混凝土理想边缘破坏侧向投影面积

$$A_{c\_v\_o} := 4.5 \cdot c_1^2$$

$$A_{c\_v\_o} = 3.2 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

混凝土实际边缘破坏侧向投影面积

$$A_{c\_v} := (\min(c_{21}, 1.5c_1) + s_2 + \min(c_{22}, 1.5 \cdot c_1)) \cdot \min(1.5 \cdot c_1, h_c)$$

$$A_{c\_v} = 2.8 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

边距比对受剪承载力影响系数

$$\psi_{s\_v} := \min\left(1, 0.7 + 0.3 \cdot \frac{\min(c_{21}, c_{22})}{1.5c_1}\right) = 0.925$$

边距与构件厚度比对受剪承载力影响系数

$$\psi_{h\_v} := \max\left[1, \left(\frac{1.5c_1}{h_c}\right)^3\right] = 1$$

剪力与垂直于构件边缘夹角

$$\alpha_v := \text{atan}\left(\frac{V_{Sd\_gx}}{V_{Sd\_gy}}\right) = 0$$

方向角对受剪承载力影响系数

$$\psi_{\alpha\_v} := \sqrt{\frac{1}{\cos(\alpha_v)^2 + \left(\frac{\sin(\alpha_v)}{2.5}\right)^2}} = 1$$

荷载偏心对受剪承载力影响系数

$$e_v := 0 \text{ mm}$$

$$\psi_{ec\_v} := \frac{1}{1 + \frac{2e_v}{3c_1}}$$

$$\psi_{ec\_v} = 1$$

边缘配筋对受剪承载力影响系数

$$\psi_{re\_v} := 1.2$$

《JGJ145-2013》6.1.23条

混凝土边缘破坏受剪承载力分项系数(非结构构件)

$$\gamma_{Rc\_v} := 1.5$$

混凝土边缘破坏受剪承载力标准值

$$V_{Rk\_c} := \frac{V_{Rk\_c\_o} \cdot A_{c\_v} \cdot \psi_{s\_v} \cdot \psi_{h\_v} \cdot \psi_{\alpha\_v} \cdot \psi_{ec\_v} \cdot \psi_{re\_v}}{A_{c\_v\_o}}$$

$$V_{Rk\_c} = 4.724 \times 10^4 \text{ N}$$

混凝土边缘破坏受剪承载力设计值

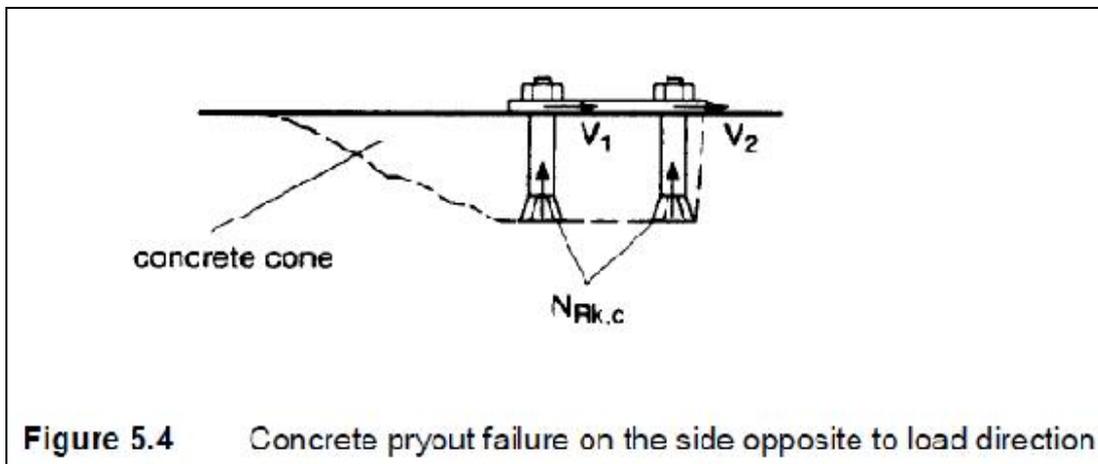
$$V_{Rd\_c} := \frac{k_v \cdot V_{Rk\_c}}{\gamma_{Rc\_v}}$$

$$V_{Rd\_c} = 1.889 \times 10^4 \text{ N}$$

承载力比值

$$\text{HENCE}(V_{Sd\_g} < V_{Rd\_c}) = \text{"满足规范要求"}$$

### 混凝土剪撬破坏承载力计算



混凝土剪撬破坏受剪承载力分项系数

$$\gamma_{Rc\_p} := 1.5$$

影响系数

$$k := \begin{cases} 1 & \text{if } h_{ef} < 60\text{mm} \\ 2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k = 2$$

混凝土剪撬破坏受剪承载力标准值

$$V_{Rk\_cp} := k \cdot N_{Rk\_c}$$

$$V_{Rk\_cp} = 1.109 \times 10^5 \text{ N}$$

混凝土边缘破坏受剪承载力设计值

$$V_{Rd\_cp} := \frac{k_v \cdot V_{Rk\_cp}}{\gamma_{Rc\_p}}$$

$$V_{Rd\_cp} = 4.435 \times 10^4 \text{ N}$$

承载力比值

HENCE( $V_{Sd\_g} < V_{Rd\_cp}$ ) = "满足规范要求"

### 拉剪复合受力下锚栓破坏承载力

混凝土拉剪复合受力系数

$$\lambda_{com} := \left( \frac{N_{Sd\_g}}{N_{Rd\_c}} \right)^{1.5} + \left( \frac{V_{Sd\_g}}{V_{Rd\_c}} \right)^{1.5}$$

$$\lambda_{com} = 0.383$$

HENCE( $\lambda_{com} < 1$ ) = "满足规范要求"

### 垫片局部承压承载力校核

材质类型

Q235B

局部承压强度设计值

$$f_c := 325 \text{MPa}$$

$$f_v := 125 \text{MPa}$$

连接处竖框局部壁厚

$$t_c := 4 \text{mm}$$

螺栓直径

$$d_c := d$$

螺栓净距

$$e_{net} := \frac{40 \text{mm} - d_c}{2}$$

承压面数

$$n_c := 1$$

型材局部承压承载力

$$N_c := n_c \cdot \min(f_c \cdot t_c \cdot d_c, e_{net} \cdot t_c \cdot f_v)$$

$$N_c = 7 \times 10^3 \text{ N}$$

承压应力比值

HENCE( $V_{Sd\_h} \leq N_c$ ) = "满足规范要求"

### 垫片焊缝验算

角焊缝强度设计值

$$f_w := 160 \text{MPa}$$

焊脚高度

$$t_w := 4 \text{mm}$$

焊缝总有效长度

$$L_w := 2 \cdot (40 \text{mm} - 2 \cdot 4 \text{mm})$$

$$L_w = 0.064 \text{ m}$$

焊缝的抗剪承载力设计值

$$N_{w\_v} := L_w \cdot f_w \cdot 0.707 \cdot t_w$$

$$N_{w\_v} = 2.896 \times 10^4 \text{ N}$$

应力分析

$$\text{HENCE}(V_{Sd\_h} < N_{w\_v}) = \text{"满足规范要求"}$$