

【例 4-1】某工程墙体高 3 m，厚 180 mm，宽 3.3 m，采用组合钢模板组拼，钢模板采用 P3015 分两行竖排拼成。内楞采用 2 根 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管，间距为 750 mm，外楞采用同一规格钢管，间距 900 mm。对拉螺栓采用 M20，间距为 750 mm(图 1)。混凝土自重(γ_c)为 24 kN/m^3 ，强度等级 C20，坍落度为 70 mm，采用泵管下料，浇筑速度为 1.8 m/h ，混凝土温度为 20°C ，采用插入式振动器振捣。钢材抗拉强度设计值：Q235 钢为 215 N/mm^2 ，普通螺栓为 170 N/mm^2 。模板的允许挠度：面板为 1.5 mm ，内外楞为 3 mm 。

试验算：钢模板、内外楞和对拉螺栓是否满足设计要求？

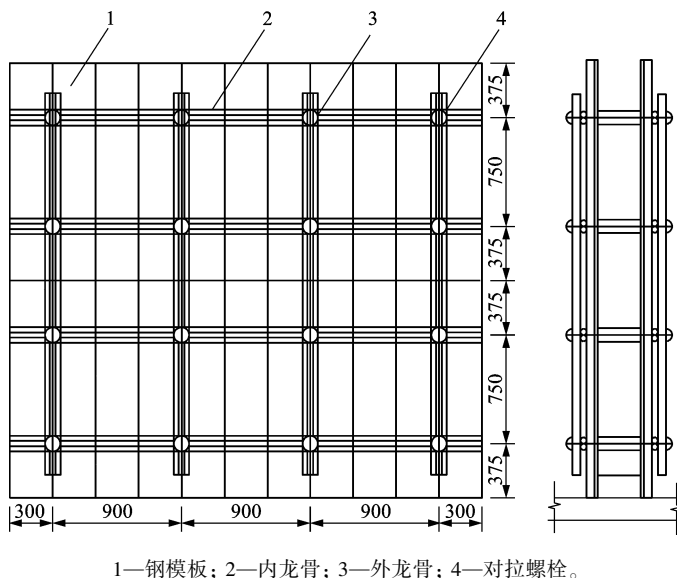


图 1 组合钢模板拼装图

【解】(1) 荷载设计值

1) 新浇筑混凝土侧压力标准值计算

混凝土重力密度 $\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$ ，混凝土坍落度 70 mm 时 β 取 0.85，初凝时间 $t_0 = 200 / (20 + 15) = 5.71 \text{ h}$ ，浇筑速度 $V = 1.8 \text{ m/h}$ 。

$$F_1 = 0.28 \gamma_c t_0 \beta \sqrt{V} = 0.28 \times 24 \times 5.71 \times 0.85 \times \sqrt{1.8} = 43.76 \text{ kN/m}^2$$

$$F_1 = \gamma_c \times H = 24 \times 3 = 72 \text{ kN/m}^2$$

取两者中小值，即 $F_1 = 43.76 \text{ kN/m}^2$ 。

混凝土侧压力的有效压头高度： $h = F_1 / \gamma_c = 43.76 / 24 = 1.82 \text{ m}$ 。

2) 混凝土下料时产生的水平荷载标准值(泵管下料取 2 kN/m^2)： $F_2 = 2.0 \text{ kN/m}^2$ 。

3) 模板侧压力设计值

按荷载基本组合计算承载能力(强度计算)效应设计值：

$$F = 1.35 \times 0.9 \times 43.76 + 1.4 \times 0.9 \times 2.0 = 55.69 \text{ kN/m}^2$$

按永久荷载标准值组合计算正常使用(变形计算)效应设计值：

$$F' = 43.76 \text{ kN/m}^2$$

(2) 验算

1) 钢模板验算

P3015 钢模板 ($\delta=2.5\text{ mm}$) 截面特征: $I_{xj}=26.97\times10^4\text{ mm}^4$, $W_{xj}=5.94\times10^3\text{ mm}^3$ 。

①钢模板计算简图如图 2 所示。

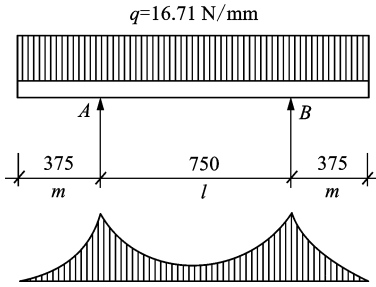


图 2 钢模板计算简图及弯矩图

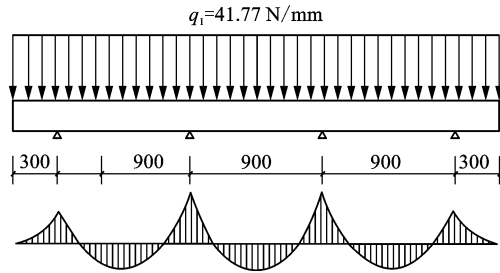


图 3 内楞计算简图及弯矩图

作用于钢模板的均布荷载简化为均布线荷载:

$q = F \times 0.3 = 55.69 \times 0.3 = 16.71\text{ kN/m}$ (用于计算承载力);

$q' = F' \times 0.3 = 43.76 \times 0.3 = 13.13\text{ N/mm}$ (用于验算挠度)。

②抗弯强度计算:

$$\text{钢模板的弯矩 } M = \frac{q_1 \times m^2}{2} = \frac{16.71 \times 375^2}{2} = 1.17 \times 10^6\text{ N} \cdot \text{mm}$$

受弯状态下钢模板承载能力计算:

$$\sigma = \frac{W}{W_{xj}} = \frac{1.17 \times 10^6}{5.94 \times 10^3} = 197.0\text{ N/mm}^2 < f_m = 215\text{ N/mm}^2 \quad (\text{可})$$

③挠度验算:

$$w = \frac{q' m}{24EI_{xj}} (-l^3 + 6m^2l + 3m^3) = \frac{13.13 \times 375 (-750^3 + 6 \times 375^2 \times 750 + 3 \times 375^3)}{24 \times 2.06 \times 10^5 \times 26.97 \times 10^4}$$

$$= 1.36\text{ mm} < [w_{\text{面}}] = 1.5\text{ mm} \quad (\text{可})$$

2) 内楞 (双根 $\phi 48 \times 3.5\text{ mm}$ 钢管) 验算

2 根 $\phi 48 \times 3.5\text{ mm}$ 的截面特征为: $I = 2 \times 12.19 \times 10^4\text{ mm}^4$, $W = 2 \times 5.08 \times 10^3\text{ mm}^3$ 。

①计算简图 (见图 3)

作用于内楞的均布线荷载设计值:

$q_1 = F \times 0.75 = 55.69 \times 0.75 = 41.77\text{ N/mm}$ (用于计算承载力); $q'_1 = F' \times 0.75 = 43.76 \times 0.75 = 32.82\text{ N/mm}$ (用于验算挠度)。

②抗弯强度验算

由于内楞两端的悬臂长度 (300) 与基本跨度 (900) 之比, $300/900 = 0.33 < 0.4$, 则悬臂端头挠度比基本跨度较小, 故可按类似三跨连续梁计算。

弯矩为: $M = 0.1q_1l^2 = 0.1 \times 41.77 \times 900^2 = 3.38 \times 10^6\text{ N} \cdot \text{mm}$

抗弯承载能力: $\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3.38 \times 10^6}{2 \times 5.08 \times 10^3} = 332.70\text{ N/mm}^2 > f_m = 215\text{ N/mm}^2 \quad (\text{不可})$ 。

现改用 2 根 $50 \times 50 \times 4$ 矩形钢管作内楞后, $I = 2 \times 25.56 \times 10^4 \text{ mm}^4$, $W = 2 \times 10.22 \times 10^3 \text{ mm}^3$ 。

$$\text{抗弯承载力: } \sigma = \frac{3.38 \times 10^6}{2 \times 10.22 \times 10^3} = 165.4 \text{ N/mm}^2 \leq f_m = 215 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{可})。$$

③挠度验算

$$w = \frac{0.677 \times q_1' l^4}{100EI} = \frac{0.677 \times 32.82 \times 900^4}{100 \times 2.06 \times 10^5 \times 2 \times 25.56 \times 10^4} = 1.38 \text{ mm} < [w_{\text{楞}}] = 3.0 \text{ mm} \quad (\text{可})。$$

3) 对拉螺栓验算

M20 螺栓净截面面积 $A = 245 \text{ mm}^2$ 。

①对拉螺栓的拉力

$$N = F \times \text{内楞间距} \times \text{外楞间距} = 55.69 \times 0.75 \times 0.9 = 37.59 \text{ kN}$$

②对拉螺栓的应力

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{37.59 \times 10^3}{245} = 159.8 \text{ N/mm}^2 < 170 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{可})。$$