

房屋构件设计生产技术与质量控制检测验收规范图解

主编：陈爱莲

FANGWU GOUJIAN
SHEJI SHENGCHAN
JISHU YU ZHILIANG
KONGZHI JIANCE
YANSHOU GUIFAN TUJIE

吉林音像出版社

(四) 冷拔钢丝强度与原材料强度的关系

根据试验统计得出，冷拔钢丝的强度分布基本上属正态分布，其分布曲线见图 4-3-4

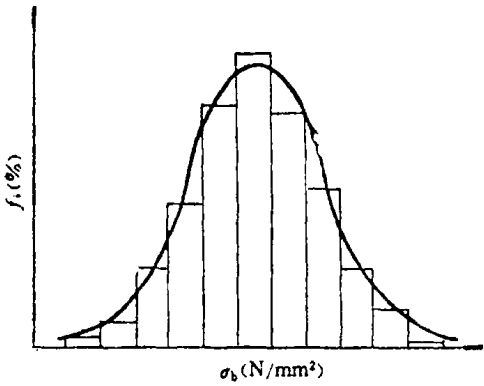


图 4-3-4 冷拔钢丝强度分布曲线

钢丝的抗拉强度与盘条之间的关系经回归分析，得出下列回归方程（见表 4-3-5）。

表 4-3-5 冷拔钢丝强度与盘条强度的回归方程

钢 种	回归方程	冷拔钢丝直径 (mm)
绍兴钢厂 3 号钢	$\sigma_b = 120.2 + 1.49\sigma_{bm}$	4
上钢三厂 3 号钢	$\sigma_b = 417 + 0.7\sigma_{bm}$	4
青岛钢厂 3 号钢	$\sigma_b = 491 + 0.6\sigma_{bm}$	4
唐山钢厂 B20MnSi 钢	$\sigma_b = 558.9 + 0.523\sigma_{bm}$	5
杭州钢厂 15MnV 钢	$\sigma_b = 445.6 + 0.645\sigma_{bm}$	5

注：①表中 σ_b ——冷拔钢丝的抗拉强度 (N/mm²)；
 σ_{bm} ——盘条的抗拉强度 (N/mm²)。

②盘条的直径均为 6.5mm。

二、冷拔钢丝的设计指标

(一) 强度标准值和设计值

冷拔低碳钢丝的强度标准值见表 4-3-6，强度设计值见表 4-3-7。

表 4-3-6 冷拔低碳钢丝的强度标准值 (N/mm^2)

钢丝级别	钢丝直径 (mm)	强度标准值 (f_{pk} 或 f_{sk})	
		I 组	II 组
甲级	5	650	600
	4	700	650
乙级	3~5	550	

表 4-3-7 冷拔低碳钢丝强度设计值 (N/mm^2)

钢丝级别	钢丝直径 (mm)	抗拉强度设计值 (f_{py} 或 f_y)		抗压强度设计值 (f_{py} 或 f_y)
甲级	5	I 组	II 组	400
		430	400	
	4	460	430	
乙级	3~5			320
	用于焊接骨架或焊接网	320		
	用于绑扎骨架或绑扎网	250		

冷拔低碳钢丝分为甲级和乙级两种。甲级钢丝用作预应力钢筋，应按规定的钢丝强度标准值逐盘进行检验；乙级钢丝用作焊接骨架、焊接网、架立筋、箍筋和构造钢筋。可按批检验。

冷拔低合金钢丝的强度标准值及强度设计值见表 4-3-8。

表 4-3-8 冷拔低合金钢丝的强度标准值和强度设计值 (N/mm^2)

钢丝直径 (mm)	强度标准值 (f_{pk} 或 f_{sk})	抗拉强度设计值 (f_{py} 或 f_y)	抗压强度设计值 (f_{py} 或 f_y)
5	800	530	380

冷拔钢丝设计时强度取 $0.8\sigma_b$ ，材料的分项系数 $\gamma'_s = 1.25 \times 1.2 = 1.5$ 。

冷拔钢丝经机械调直后抗拉强度略有降低，伸长率提高。作预应力钢筋用的冷拔钢丝调直后抗拉强度标准值应降低 $50\text{N}/\text{mm}^2$ ，抗拉强度设计值应降低 $30\text{N}/\text{mm}^2$ 。但抗压强度设计值应不大于相应的抗拉强度设计值。

冷拔钢丝的直径允许偏差见表 4-3-9。

表 4-3-9 冷拔钢丝的直径允许偏差

钢 丝 直 径 (mm)	允 许 偏 差 (mm)
5	± 0.10
4	± 0.08

(二) 弹性模量及应力 - 应变关系

冷拔钢丝的弹性模量 E_s 见表 4-3-10

表 4-3-10 冷拔钢丝的弹性模量 (N/mm^2)

钢 丝 种 类	弹 性 模 量
冷拔低碳钢丝	2.0×10^5
冷拔低合金钢丝	1.9×10^5

冷拔钢丝的应力 - 应变关系可采用下式计算:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E_s} + m \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} - \eta \right)^n \quad (4-3-2)$$

式中 ϵ ——钢丝的总应变;

σ ——钢丝的应力 (N/mm^2);

E_s ——钢丝的弹性模量 (N/mm^2);

$\sigma_{0.2}$ ——钢丝的条件屈服点 (N/mm^2);

n ——系数, 取 3;

η ——钢丝的弹性极限与条件屈服点的比值, 取 0.5;

m ——综合系数。

式中等式右边第一项为弹性变形, 第二项为塑性变形。当 $\sigma/\sigma_{0.2}$ 小于 0.5 时, 钢丝处于弹性极限以内, 不考虑公式等号后第二项塑性变形, 当 $\sigma/\sigma_{0.2}$ 等于 1 时, 钢丝应力达到条件屈服点, 其残余变形等于 0.0002。

以冷拔低合金钢丝为例。若 $\sigma_{0.2} = 720 N/mm^2$, $\eta = 0.5$, $n = 3$, 经回归分析, 可得 $m = 0.015$, 故得出应力 - 应变关系式为:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{1.9 \times 10^5} + 0.015 \left(\frac{\sigma}{720} - 0.5 \right)^3 \quad (4-3-2a)$$

冷拔低碳钢丝的条件屈服点较高, 其与抗拉极限强度的比值在 0.93 ~ 1.00 之间, 弹性极限与抗拉极限强度之比值在 0.71 ~ 0.84 之间, 说明这种钢丝的塑性变形能力较差, 在临近拉断时塑性变形才突然增大。冷拔低合金钢丝的条件屈服点与拉极限强度的比值为 0.85 ~ 0.89, 弹性极限与抗拉强度之比值为 0.5, 其塑性变形能力较冷拔低碳钢丝好。

(三) 塑性指标

冷拔钢丝的塑性指标包括拉断时的伸长率, 最大均匀伸长率及反复弯曲性能见表 4-3-11。

表 4-3-11 冷拔钢丝的塑性指标

钢丝种类	钢丝直径 (mm)	伸长率 δ_{100} (%)	最大均匀伸长率 ϵ_{up} (%)	反复弯曲 180° 次数
冷拔低碳钢丝	4	≥ 2.5	< 1	≥ 4
	5	≥ 3		
冷拔低合金钢丝	5	≥ 4	1.05 ~ 1.44	≥ 4

最大均匀伸长率是指钢丝达到强度极限时对应的应变值, 对构件的破坏形态有直接关系。试验表明, 最大均匀伸长率与强度之间没有一定的相关关系, 且与测试方法及钢丝的均质性有很大关系。

(四) 应力松弛

在高应力状态下, 钢丝的塑性弯形会随着时间的增加, 所以预应力钢丝在张拉后长度不变的条件下, 钢丝的应力随着时间的逐渐下降, 这种现象称为应力松弛。应力松弛在张拉后的前几个小时发展较快, 以后逐渐缓慢, 至张拉后 1000 小时已基本稳定。应力松弛与张拉控制应力 σ_{con} 有关, 张拉应越高, 松弛值越大。松弛损失可采用超张拉的方法予以降低。第一次张拉时要超过设计要求的张拉控制应力, 然后放松, 在第二次张拉时钢丝的松弛损失就会减小。冷拔钢丝的配筋数量较多, 为了施工方便, 一般不采用超张拉法减小松弛损失。

冷拔低碳钢丝 1000h 的应力松弛值当 $\sigma_{\text{con}} = 0.7f_{\text{pk}}$ 时为 $0.0776\sigma_{\text{con}}$, 不同时间的应力松弛值可按 (4-3-3) 式计算。

$$\sigma_{\text{sh}} = 3.4739 + 1.3992 \lg t \quad (4-3-3)$$

式中 σ_{sh} ——钢丝的应力松弛值 ($\% \sigma_{\text{con}}$);

t ——张拉后的延续时间 (h)。

冷拔低碳钢丝张拉后 1h 的应力松弛值为 1000h 的 44%，24h 为 75%，360h 时为 90%。冷拔低合金钢丝 1000h 的应力松弛值当 $\sigma_{\text{con}} = 0.7f_{\text{ptk}}$ 时为 $0.0539\sigma_{\text{con}}$ 。《规程》中冷拔钢丝的松弛损失 σ_{sl4} 取 $0.08\sigma_{\text{con}}$ 。

第二节 设计实例

一、平板

(一) 设计要求

设计适用于活荷载标准值为 4kN/m^2 的停车库楼盖预应力平板，搁置平板的预应力小梁间距为 2.40m 。

(二) 设计条件

(1) 用料规格及计算数据。

①混凝土的强度等级为 C30

轴心抗压强度标准值 $f_{\text{ck}} = 20\text{N/mm}^2$

轴心抗压强度设计值 $f_c = 15\text{N/mm}^2$

弯曲抗压强度标准值 $f_{\text{cmk}} = 22\text{N/mm}^2$

弯曲抗压强度设计值 $f_{\text{cm}} = 16.5\text{N/mm}^2$

抗拉强度标准值 $f_{\text{tk}} = 2.0\text{N/mm}^2$

抗拉强度设计值 $f_t = 1.5\text{N/mm}^2$

弹性模量 $E_c = 3.00 \times 10^4\text{N/mm}^2$

②预应力钢丝采用甲级 II 组 ϕ^b4 冷拔低碳钢丝。抗拉强度设计值折减系数为 0.97。

强度标准值 $f_{\text{ptk}} = 650\text{N/mm}^2$

抗拉强度设计值 $f_{\text{py}} = 430 \times 0.97 = 417\text{N/mm}^2$

弹性模量 $E_s = 2.00 \times 10^5\text{N/mm}^2$

(2) 建筑结构安全等级：二级。

重要性系数： $\gamma_0 = 1.0$

(3) 裂缝控制等级：二级

(4) 允许挠度： $[a_f] = l_0/200$

(5) 施工条件：构件在 100m 台座上生产，自然养护，放松预应力钢丝

时的混凝土立方体抗压强度为设计的混凝土强度等级的 75%。

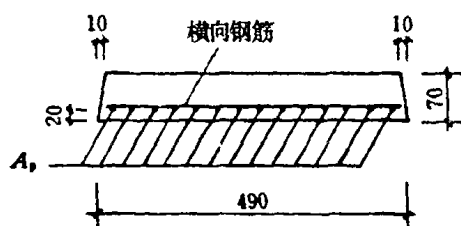


图 4-3-5 平板的横截面

(三) 内力分析

1. 板的主要尺寸

板的横截面如图 4-3-5 所示, 板的实际长度为 $l = 2380\text{mm}$, 根据构造要求, 板的最小搁置长度 $l_{\text{as}} = 40\text{mm}$, 故计算跨度取 $l_0 = l - l_{\text{as}} = 2380 - 40 = 2340\text{mm}$ 。板厚为 $h = 70\text{mm}$, 板的有效高度为 $h_0 = h - a = 70 - 20 = 50\text{mm}$ 。

2. 荷载分析

平板的宽度取 490mm , 板缝 10mm , 板厚 70mm , 板面浇 30mm 厚的细石混凝土面层, 板底用 20mm 厚的纸筋石灰粉刷。板的荷载分析如下:

板自重	$0.48 \times 0.07 \times 25 = 0.84\text{kN/m}$
灌缝重	$0.02 \times 0.07 \times 24 = 0.03\text{kN/m}$
板面细石混凝土	$0.50 \times 0.03 \times 24 = 0.36\text{kN/m}$
板底粉刷	$0.50 \times 0.02 \times 17 = 0.17\text{kN/m}$
板面活荷载	$0.50 \times 4.00 = 2.00\text{kN/m}$
恒荷载标准值	$G_k = 0.84 + 0.03 + 0.36 + 0.17$ $= 1.40\text{kN/m}$

活荷载标准值 $Q_k = 2.00\text{kN/m}$

板的计算简图如图 4-3-6 所示。

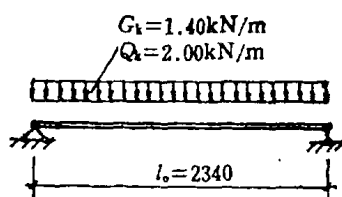


图 4-3-6 平板的计算简图

3. 跨中最大弯矩设计值:

第一批预应力损失值出现后预应力钢丝的合力:

$$N_{\text{pol}} = (\sigma_{\text{con}} - \sigma_{\text{ll}}) A_p = (455 - 46.40) \times 176 = 71914\text{N}$$

预应力钢丝 A_p 合力点到换算截面重心的距离:

$$e_{\text{po}} = Y_{\text{ol}} - a_p = 34.3 - 20 = 14.3\text{mm}$$

预应力钢丝合力点处混凝土的预压应力:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{pc}} &= \frac{N_{\text{pol}}}{A_0} + \frac{N_{\text{pol}} e_{\text{pol}}^2}{I_0} \\ &= \frac{71914}{34598} + \frac{71914 \times 14.3^2}{1397 \times 10^4} = 3.13\text{N/mm}^2\end{aligned}$$

预应力钢丝的配筋率:

$$\rho = \frac{A_p}{A_0} = \frac{176}{34598} = 0.0051$$

施加预应力时的混凝土立方体抗强度:

$$f'_u = 0.75 \times 30 = 22.5\text{N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\text{pc}}}{f'_{\text{cu}}} = \frac{3.13}{22.5} = 0.139 < 0.5 \quad \text{符合要求}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{ls}} &= \frac{45 + 220 \frac{\sigma_{\text{po}}}{f'_{\text{cu}}}}{1 + 15\rho} = \frac{45 + 220 \times 0.139}{1 + 15 \times 0.0051} \\ &= 70.21\text{N/mm}^2\end{aligned}$$

第二批预应力损失值:

$$\sigma_{\text{lu}} = \sigma_{\text{ls}} = 70.21\text{N/mm}^2$$

预应力总损失值

$$\sigma_l = \sigma_{\text{ll}} + \sigma_{\text{lu}} = 46.40 + 70.21 = 116.61\text{N/mm}^2$$

(4) 使用阶段正截面抗裂验算:

全部预应力损失值出现后预应力钢丝的合力:

$$N_{\text{poa}} = (\sigma_{\text{con}} - \sigma_l) A_p = (455 - 116.61) \times 176 = 59557\text{N}$$

抗裂验算边缘的混凝土预压应力:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{pc}} &= \frac{N_{\text{poa}}}{A_0} + \frac{N_{\text{poa}} e_{\text{po}}}{I_0} Y_{\text{ol}} \\ &= \frac{59557}{34598} + \frac{59557 \times 14.3}{1397 \times 10^4} \times 34.3 = 3.81\text{N/mm}^2\end{aligned}$$

按荷载短期效应组合计算的弯矩值

$$M_s = \frac{1}{8} (1.40 + 2.00) \times 2.34^2 = 2.33\text{kN}\cdot\text{m}$$

按荷载长期效应组合计算的弯矩值

根据《建筑结构荷载规范》(GB50009-2000)的规定,停车库楼盖的准

截面 编号	A_i (mm^2)	a_i (mm)	$S_i = A_i a_i$ (mm^3)	$I_i = S_i a_i$ (mm^4)	I_{i0} (mm^4)
①	$470 \times 70 = 32900$	35	1151.50×10^3	4030.25×10^4	$\frac{1}{12} \times 470 \times 70^3$ $= 1343.42 \times 10^4$
②	$\frac{20 \times 70}{2} = 700$	23.3	16.31×10^3	38.00×10^4	$\frac{1}{36} \times 20 \times 70^3$ $= 19.06 \times 10^4$
③	$(6.67 - 1) \times 176$ $= 998$	20	19.96×10^3	39.92×10^4	—
Σ	34598		1187.77×10^3	4108.17×10^4	1362.48×10^4

换算截面重心到底边的距离:

$$Y_{01} = \frac{\sum S_i}{A_0} = \frac{1187.77 \times 10^3}{34598} = 34.3 \text{ mm}$$

换算截面重心到板面的距离:

$$Y_{02} = 70 - 34.3 = 35.7 \text{ mm}$$

换算截面惯性距:

$$I_0 = \sum I_{i0} + \sum I_{ia} - Y_{01} \sum S_i$$

$$= 1362.48 \times 10^4 + 4108.17 \times 10^4 - 34.3 \times 1187.77 \times 10^3 = 1397 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩

$$W_0 = \frac{I_0}{Y_{01}} = \frac{1397 \times 10^4}{34.3} = 407 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

(2) 张拉控制应力。

预应力钢丝的张拉控制应力取 $0.7f_{\text{ptk}}$

$$\sigma_{\text{con}} = 0.7 \times 650 = 455 \text{ N/mm}^2$$

(3) 预应力损失值计算。

① 由于夹具变形引起的预应力损失值:

根据施工条件, 构件在 100m 台座上张拉, 故 $l = 100\text{m}$, 取 $a = 5\text{mm}$, 则

$$\sigma_{11} = \frac{a}{l} E_s = \frac{5}{10^5} \times 2.0 \times 10^5 = 10 \text{ N/mm}^2$$

② 由于钢丝松弛引起的预应力损失值:

$$\sigma_{14} = 0.08 \sigma_{\text{con}} = 0.08 \times 455 = 36.40 \text{ N/mm}^2$$

第一批预应力损失值:

$$\sigma_{11} = \sigma_{11} + \sigma_{14} = 10 + 36.40 = 46.40 \text{ N/mm}^2$$

③ 由于混凝土收缩和徐变引起的预应力损失值:

锚固区终点的位置 (图 4-3-8) 离支座的距离为:

$$l'_a = 440 - 20 = 420\text{mm},$$

板上的均布荷载设计值为:

$$Q_d = \gamma_Q G_K + \gamma_Q Q_K = 1.2 \times 1.40 + 1.3 \times 2.00 = 4.28\text{kN/m},$$

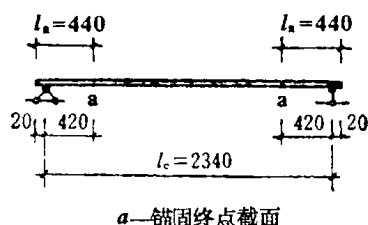


图 4-3-8 锚固区终点截面位置

支座的剪力设计值为

$$V = 4.28 \times \frac{2.34}{2} = 5.01\text{kN}$$

锚固区终点截面处的弯矩设计值为:

$$M_a = 5.01 \times 0.42 - \frac{4.28 \times 0.42^2}{2} = 1.73\text{kN}\cdot\text{m}$$

锚固区终点截面的抗裂性应满足的要求:

$$\frac{1.5M_a}{W_o} \leq \sigma_{pc} + \gamma f_{tk}$$

$$\sigma_{pc} + \gamma f_{tk} = 3.81 + 1.75 \times 2.0 = 7.31\text{N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \frac{1.5M_a}{W_o} &= \frac{1.5 \times 1.73 \times 10^6}{407 \times 10^3} \\ &= 6.38\text{N/mm}^2 < 7.31\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

符合要求

6. 使用阶段挠度验算

(1) 刚度计算。

$$\begin{aligned} B &= E_c I_o = 3.00 \times 10^4 \times 1397 \times 10^4 \\ &= 41.91 \times 10^{10}\text{N}\cdot\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_s &= 0.85 E_c I_o = 0.5 \times 41.91 \times 10^{10} \\ &= 35.62 \times 10^{10}\text{N}\cdot\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_s &= \frac{M_s}{M_l + M_s} B_s = \frac{2.33}{1.78 + 2.33} \times 35.62 \times 10^{10} \\ &= 20.19 \times 10^{10}\text{N}\cdot\text{mm}^2 \end{aligned}$$

(2) 挠度计算。

①在荷载短期效应组合作用下并考虑荷载长期效应组合作用影响的挠度

永久值系数 $\psi_q = 0.6$,

$$M_l = \frac{1}{8} (1.40 + 0.6 \times 2.00) \times 2.34^2 = 1.78 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

荷载短期效应组合作用下抗裂验算边缘的混凝土法向应力:

$$\sigma_{sc} = \frac{M_s}{W_o} = \frac{2.33 \times 10^6}{407 \times 10^3} = 5.72 \text{ N/mm}^2$$

荷载长期效应组合作用下抗裂验算边缘的混凝土法向应力:

$$\sigma_{lc} = \frac{M_l}{W_o} = \frac{1.78 \times 10^6}{407 \times 10^3} = 4.37 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{ct,s} = 0.6 \quad \alpha_{ct,l} = 0.25$$

$$\gamma_m = 1.75 \quad \gamma = \gamma_m = 1.75$$

在荷载短期效应组合作用下抗裂验算

$$\begin{aligned} \sigma_{sc} - \sigma_{pc} &= 5.72 - 3.81 = 1.91 \text{ N/mm}^2 < \alpha_{ct,s} \gamma f_{tk} \\ &= 0.6 \times 1.75 \times 2.0 \times = 2.10 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

符合要求

在荷载长期效应组合作用下抗裂验算

$$\begin{aligned} \sigma_{lc} - \sigma_{pc} &= 4.37 - 3.81 = 0.56 \text{ N/mm}^2 < \alpha_{ct,l} \gamma f_{tk} \\ &= 0.25 \times 1.75 \times 2.0 = 0.88 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

符合要求

4. 核算最小配筋率

$$\rho_{\min} = \frac{\alpha_o f_{tk}}{1.05 f_{py} - \beta_o \sigma_{po}}$$

$$\alpha_o = \frac{\gamma W_o}{b h_o^2} = \frac{1.75 \times 407 \times 10^3}{470 \times 50^2} = 0.606$$

$$\beta_o = \frac{\frac{W_o}{A_o} + e_{po}}{h_o} = \frac{\frac{407 \times 10^3}{34598} + 14.3}{50} = 0.521$$

$$\sigma_{po} = 455 - 116.61 = 338.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{\alpha_o f_{tk}}{1.05 f_{py} - \beta_o \sigma_{po}} = \frac{0.606 \times 2.0}{1.05 \times 410 - 0.521 \times 338.39} = 0.0048$$

构件实际配筋率为:

$$\rho_o = \frac{A_p}{b h_o} = \frac{176}{470 \times 50} = 0.0075 > 0.0048$$

符合要求

5. 锚固区抗裂验算

预应力冷拔钢丝的锚固长度:

$$l_a = 110d = 110 \times 4 = 440 \text{ mm},$$

锚固区终点的位置 (图 4-3-8) 离支座的距离为:

$$l'_a = 440 - 20 = 420\text{mm},$$

板上的均布荷载设计值为:

$$Q_d = \gamma_Q G_K + \gamma_Q Q_K = 1.2 \times 1.40 + 1.3 \times 2.00 = 4.28\text{kN/m},$$

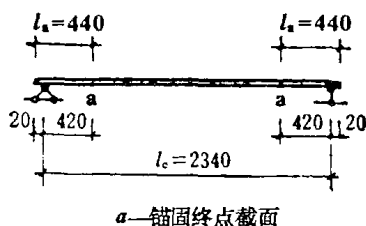


图 4-3-8 锚固区终点截面位置

支座的剪力设计值为

$$V = 4.28 \times \frac{2.34}{2} = 5.01\text{kN}$$

锚固区终点截面处的弯矩设计值为:

$$M_a = 5.01 \times 0.42 - \frac{4.28 \times 0.42^2}{2} = 1.73\text{kN}\cdot\text{m}$$

锚固区终点截面的抗裂性应满足的要求:

$$\frac{1.5M_a}{W_o} \leq \sigma_{pc} + \gamma f_{tk}$$

$$\sigma_{pc} + \gamma f_{tk} = 3.81 + 1.75 \times 2.0 = 7.31\text{N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \frac{1.5M_a}{W_o} &= \frac{1.5 \times 1.73 \times 10^6}{407 \times 10^3} \\ &= 6.38\text{N/mm}^2 < 7.31\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

符合要求

6. 使用阶段挠度验算

(1) 刚度计算。

$$\begin{aligned} B &= E_c I_o = 3.00 \times 10^4 \times 1397 \times 10^4 \\ &= 41.91 \times 10^{10}\text{N}\cdot\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_s &= 0.85 E_c I_o = 0.5 \times 41.91 \times 10^{10} \\ &= 35.62 \times 10^{10}\text{N}\cdot\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_s &= \frac{M_o}{M_l + M_s} B_s = \frac{2.33}{1.78 + 2.33} \times 35.62 \times 10^{10} \\ &= 20.19 \times 10^{10}\text{N}\cdot\text{mm}^2 \end{aligned}$$

(2) 挠度计算。

①在荷载短期效应组合作用下并考虑荷载长期效应组合作用影响的挠度

值:

$$c_1 = \frac{5M_p l_0^2}{48B_1} = \frac{5 \times 2.33 \times 10^6 \times 2340^2}{48 \times 20.19 \times 10^{10}} = 6.58 \text{mm}$$

②预应力产生的反拱值:

$$C_p = 2 \times \frac{N_{\text{por}} e_{\text{pol}} l_0^2}{8E_c I_0} = 2 \times \frac{59557 \times 14.3 \times 2340^2}{8 \times 41.9 \times 10^{10}} \\ = 2.78 \text{mm}$$

③扣除反拱值以后的挠度值:

$$a_f = a_1 - C_p = 6.58 - 2.78 = 3.80 \text{mm}$$

$$\frac{a_f}{l_0} = \frac{3.80}{2340} = \frac{1}{616} < \frac{1}{200}$$

符合要求

(五) 施工阶段验算

验算构件施加预应力时的截面边缘混凝土法向应力。

放松预应力钢丝时, 混凝土的强度等级为 C22.5, 此时 $f'_{tk} = 1.63 \text{N/mm}^2$, $f'_c = 11.25 \text{N/mm}^2$ 。

预拉区的混凝土法向应力:

$$\sigma_{ct} = \frac{N_{\text{por}}}{A_0} - \frac{N_{\text{por}} e_{\text{pol}}}{I_0} Y_{\omega 2} \\ = \frac{71914}{34598} - \frac{71914 \times 14.3}{1397 \times 10^4} \times 35.7 = -0.55 \text{N/mm}^2$$

(拉应力)

$$< 0.7 \gamma'_{tk} = 0.7 \times 1.75 \times 1.63 = 2.00 \text{N/mm}^2$$

符合要求

预压区的混凝土法向应力:

$$\sigma_{cc} = \frac{N_{\text{por}}}{A_0} + \frac{N_{\text{por}} e_{\text{pol}}}{I_0} Y_{\omega 1} \\ = \frac{71914}{34598} + \frac{71914 \times 14.3}{1397 \times 10^4} \times 34.3 = 4.60 \text{N/mm}^2$$

$$< 1.2 f'_c = 1.2 \times 11.25 = 13.50 \text{N/mm}^2$$

符合要求

(六) 结构性能检验指标

1. 检验荷载代表值

恒荷载 $G_k = 1.40 \text{kN/m}$ (其中自重 $G_k^1 = 0.84 \text{kN/m}$), 分项系数 $\gamma_G = 1.2$

活荷载 $Q_k = 2.00 \text{kN/m}$, 分项系数 $\gamma_Q = 1.3$ 。

抗裂、挠度检验时的荷载标准值:

$$Q_s = G_k + Q_k = 1.40 + 2.00 = 3.40 \text{ kN/m}$$

承载力检验时的荷载设计值:

$$\begin{aligned} Q_d &= \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1.2 \times 1.40 + 1.3 \times 2.00 \\ &= 4.28 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2. 承载力检验指标

$$\gamma_u^0 \geq V_0 [V_u]$$

本例 $\gamma_u = 1.0$

承载力检验时的加载值 $[\gamma_u] \quad Q_d - G_{kl}$

检验标志① $[\gamma_u] = 1.45$

$$Q = 1.45 \times 4.28 - 0.84 = 5.37 \text{ kN/m}$$

检验标志② $[\gamma_u] = 1.40$

$$Q = 1.40 \times 4.28 - 0.84 = 5.15 \text{ kN/m}$$

检验标志③、⑥ $[\gamma_u] = 1.50$

$$Q = 1.50 \times 4.28 - 0.84 = 5.58 \text{ kN/m}$$

检验标志⑤ $[\gamma_u] = 1.35$

$$Q = 1.35 \times 4.28 - 0.84 = 4.94 \text{ kN/m}$$

3. 抗裂检验指标

正截面抗裂检验系数允许值为:

$$[\gamma_{cr}] = \frac{\sigma_{pc} + \gamma f_{tk}}{\sigma_{pc} + \alpha_{ct,s} \gamma f_{tk}}$$

已知:

$$\sigma_{pc} = 3.81 \text{ kN/mm}^2$$

$$\gamma = 1.75$$

$$f_{tk} = 2.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{ct,s} = 0.6$$

$$[\gamma_{cr}] = \frac{3.81 + 1.75 \times 2.00}{3.81 + 0.6 \times 1.75 \times 2.00} = 1.24$$

抗裂检验时的加载值为:

$$[\gamma_{cr}] \quad Q_s - G_{kl} = 1.24 \times 3.40 - 0.84 = 3.38 \text{ kN/m}$$

4. 挠度检验指标

构件允许挠度值为 $l_0/200$, 即

$$[a_f] = \frac{l_0}{200} = \frac{2340}{200} = 11.7 \text{ mm}$$

短期挠度允许值为:

$$\begin{aligned} [a_s] &= \frac{M_s}{M_l (\theta - 1) + M_s} [a_f] \\ &= \frac{2.33}{1.78 (2 - 1) + 2.33} \times 11.7 = 6.63 \text{ mm} \end{aligned}$$

挠度检验时的加载值为:

表 4-3-12

结构性能检验指标

检验项目	检验内容	检验荷载 (均布加载值)
挠度	测量挠度 $[a_s] = 6.63\text{mm}$	2.56kN/m
抗裂	观察裂缝	3.38kN/m
承载力	检验标志⑤	4.94kN/m
	检验标志②	5.15kN/m
	检验标志①	5.37kN/m
	检验标志③、⑥	5.58kN/m

注: 检验荷载已扣除构件自重。

$$Q_s - G_{kl} = 3.40 - 0.84 = 2.56\text{kN/m}$$

5. 结构性能检验指标的总结

综合以上计算成果, 将该构件的各项检验内容按加载值的大小依次排列, 如表 4-3-12 所示。

二、梁

(一) 矩形檩条

1. 设计要求

设计适用于开间为 4m 屋面雪荷载为 30kg/m^2 的预应力槽瓦屋面中垂直搁置的矩形檩条。屋面坡度 1:3, 檩条水平间距 2.4m, 屋架上弦宽度 18cm。

cm。

2. 设计条件

(1) 用料规格。

混凝土采用 300 号;

预应力钢丝采用甲级 I 组冷拔丝;

非预应力钢丝采用乙级冷拔丝。

(2) 安全系数。

强度设计安全系数 $K \geq 1.5$;

抗裂设计安全系数 $K \geq 1.15$;

檩条最大允许挠度 $f \leq \frac{l_0}{200}$ 。

(3) 施工条件。

檩条在 100m 台座上生产, 自然养护, 混凝土强度过到 0.7R 时放松预应力钢丝。

3. 内力分析

(1) 计算简图。

檩条搁置构造和横截面如图 4-3-9a, 檩条的实际长度取 397cm, 计算简图如图 4-3-9b, 其中

檩条的计算跨度 $l_0 = l - l_g = 397 - 7.5 = 389.5\text{cm}$

檩条的计算高度 $h_0 = h - a = 20 - 3.6 = 16.4\text{cm}$

(2) 荷载分析。

槽瓦水平投影面自重 (包括盖瓦) $90\text{kg/m}^2 \times 2.4 = 216\text{kg/m}$

雪荷载 $30\text{kg/m}^2 \times 2.4 = 72\text{kg/m}$

檩条自重 (略去梁顶面砂浆重) $\frac{0.08 \times 0.2 \times 2500}{1000} = 40\text{kg/m}$

合计 $q = 328\text{kg/m}$

(其中长期作用的荷载 $g = 256\text{kg/m}$, 短期作用的荷载 $p = 72\text{kg/m}$)。

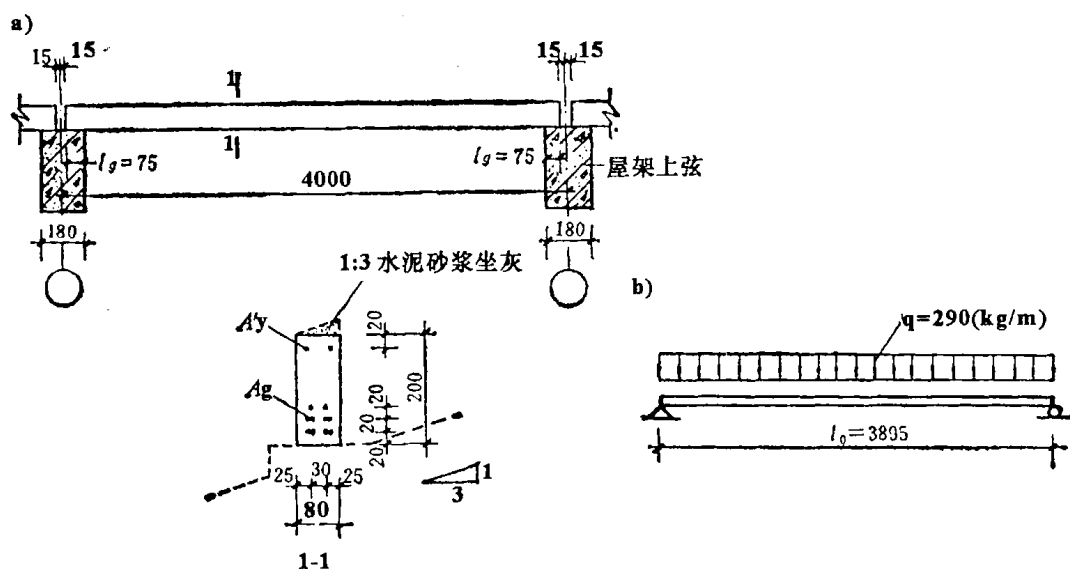


图 4-3-9 檩条的搁置及计算简图

a) 檩条的搁置及横截面; b) 檩条的计算简图

(3) 跨中最大弯矩

$$M_{\max} = \frac{ql_0^2}{8} = \frac{328 \times 3.895^2}{8} = 622\text{kg} \cdot \text{m}$$

考虑 80kg 检修集中荷载 P

$$M'_{\max} = \frac{gl_0^2}{8} + \frac{Pl_0}{4} = \frac{256 \times 3.895^2}{8} + \frac{80 \times 3.895}{4} = 564 \text{ kg} \cdot \text{m} < 622 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

(4) 支座最大剪力

$$Q_{\max} = \frac{ql_0}{2} = \frac{328 \times 3.895}{2} = 639 \text{ kg}$$

4. 截面设计

(1) 配筋计算。

① 正截面抗弯强度

跨中弯矩值中取大值, $M_{\max} = 622 \text{ kg} \cdot \text{m}$

$$A_0 = \frac{KM}{bh_0^2 R_w} = \frac{1.5 \times 62200}{8 \times 16.4^2 \times 220} = 0.197$$

查附表 3 得 $\xi = 0.221$

$$A_s = \xi b h_0 \frac{R_w}{R_y} = 0.221 \times 8 \times 16.4 \times \frac{20}{5200} = 1.23 \text{ cm}^2$$

考虑抗裂需要, 选配 $10\phi^b 5$, $A_y = 1.96 \text{ cm}^2$

② 斜截面抗剪强度

$$Q_{kh} = 0.07 R_a b h_0 = 0.07 \times 175 \times 8 \times 16.4 = 1605 \text{ kg} > 1.55 \times 639 \text{ kg}$$

除端部设置箍筋外, 其作部分可不设箍筋。

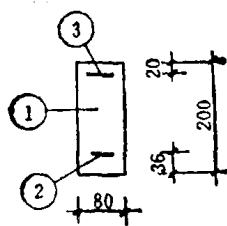


图 4-3-10 檩条截面编号图

截面编号	A (cm ²)	y (cm)	S = Ay (cm ³)	J = Sy (cm ⁴)	$\int$ (cm)
①	$8 \times 20 = 160$	10	1600	16000	$\frac{8 \times 20^3}{2} = 5033$
②	$5.67 \times 1.96 = 11.1$	3.6	40	144	
③	$5.67 \times 0.25 = 1.4$	18	25	450	
Σ	173		1665	16594	5333

(2) 抗裂度验算。

① 预应力钢丝张拉控制应力

$$\sigma_k = 0.7 R_y^b = 0.7 \times 6500 = 4550 \text{ kg/cm}^2$$