

# 桥梁第三次作业

(一) 检算资料及要求

- (1) 桥跨结构：等跨的  $L=16\text{m}$  道桥面钢筋混凝土梁（叁标桥 1023），梁全长  $16.5\text{m}$ ，梁缝  $0.06\text{m}$ ，轨底至梁底的高度为  $1.75\text{m}$ ，轨底至桥墩支承垫石顶面高度为  $1.84\text{m}$ 。平板支座，支座全高  $0.09\text{m}$ ，支座中心距支承垫石面为  $0.043\text{m}$ 。每孔梁重（包括支座） $447.8\text{kN}$ ，梁上采用木枕道桥面及双侧  $1.05\text{m}$  宽的人行道，其重量为  $38\text{kN/m}$ 。
- (2) 桥上线路情况：I 级铁路，单线，平坡，直线。
- (3) 荷载：列车活载为 ZKH 活载，风压强度按标准设计要求采用。
- (4) 土质情况：Q4 冲积黏性土（按渗水考虑），液性指数  $IL=0.6$ ，孔隙比  $e=0.7$ ，基本承载力  $\sigma_0=270\text{kPa}$ ，地下水位以上土的重度  $\gamma$  为  $17\text{kN/m}^3$ ，水位以下土的浮重度  $\gamma'=10.7\text{kN/m}^3$ 。
- (5) 水文资料：桥墩位置处平时无水，地下水位在地面（也是铺砌面）以下  $2\text{m}$  处，设计频率水位在地面以上  $3\text{m}$  处，设计流速为  $3\text{m/s}$ 。
- (6) 冻结深度：最大冻结深度为  $0.8\text{m}$ 。
- (7) 桥墩尺寸及所用建筑材料：桥墩尺寸见图 2-15。顶帽采用 C30 钢筋混凝土，墩身及基础采用 C30 片石混凝土。
- (8) 检算要求：按《铁路桥涵设计规范》《铁路桥涵混凝土结构设计规范》要求检算墩身受压稳定性。

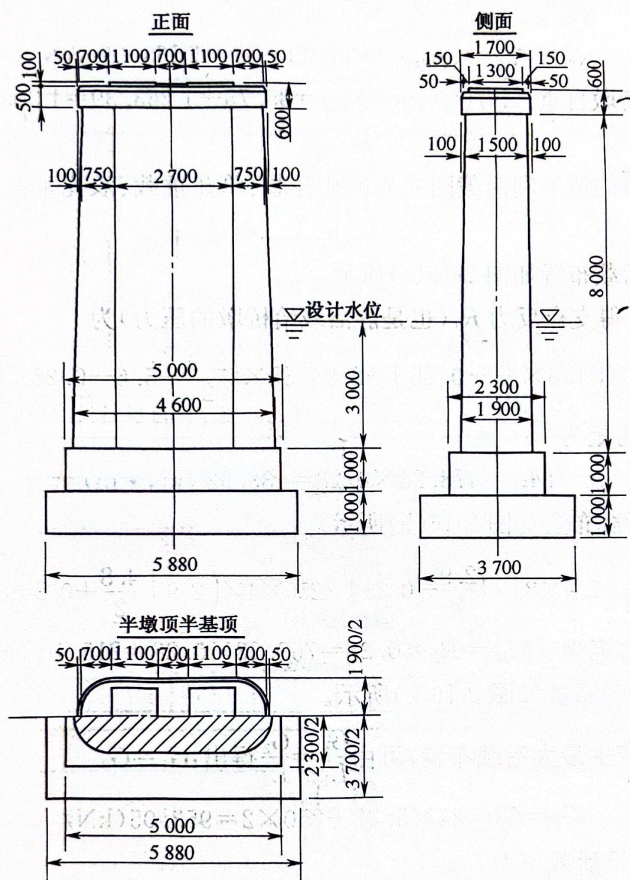


图 2-15 圆端形桥墩各部分尺寸(单位:mm)

## (二) 荷载计算

### (1) 桥墩结构

#### 1. 恒载

$$N_t = 447.8 + 38 \times 16.56 = 1077.08 \text{ kN}$$

#### (2) 顶帽及墩身自重

$$N_{2-1} = V_{21} \times \gamma_{24} = (\pi \times 0.85^2 + 2 \times 0.85 \times 2.7) \times 0.5 \times 25 = 85.7 \text{ kN}$$

$$\text{墩顶面积 } A_1 = \pi \times 0.75^2 + 1.5 \times 2.7 = 5.82 \text{ m}^2$$

$$\text{墩底面积 } A_2 = \pi \times 0.95^2 + 1.9 \times 2.7 = 7.97 \text{ m}^2$$

$$\text{墩身重 } N_{2-2} = V_{22} \times \gamma_{24} = \frac{H}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) \times 23$$

$$= \frac{8}{3} \times (5.82 + 7.97 + \sqrt{5.82 \times 7.97}) \times 23 = 1263.39 \text{ kN}$$

$$\text{墩底截面以上桥墩自重 } N_2 = N_{2-1} + N_{2-2} = 85.75 + 1263.39 = 1349.14 \text{ kN}$$

## 2. 竖向静活载

$$\begin{aligned} \text{(1) 单孔轻载 支点反力 } R_1 &= \frac{1}{16} [250 \times 4 \times (1.6 \times \frac{3}{2} \times 0.25) + 10.9 \times 85 \times (\frac{10.9}{2} + 5.6 - 0.25)] \\ &= 759.76 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_1 \text{ 对桥墩中心的力矩 } M_{R1} = R_1 \times 0.28 = 759.76 \times 0.28 = 212.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{(2) 单孔重载 支点反力 } R_2 &= \frac{1}{16} [10.9 \times 85 \times (\frac{10.9}{2} - 0.25) + 250 \times 4 \times (10.9 + \frac{4.8}{2} + 0.8 - 0.25)] \\ &= 1416.74 \text{ kN} \end{aligned}$$

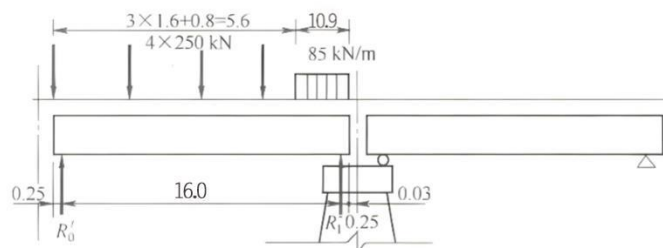
$$R_2 \text{ 对桥墩中心的力矩 } M_{R2} = R_2 \times 0.28 = 1416.74 \times 0.28 = 396.69 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{(3) 双孔重载 } G_1 = G_2 = 85 \times 13.33 + 250 \times 2 = 1633.05 \text{ kN}$$

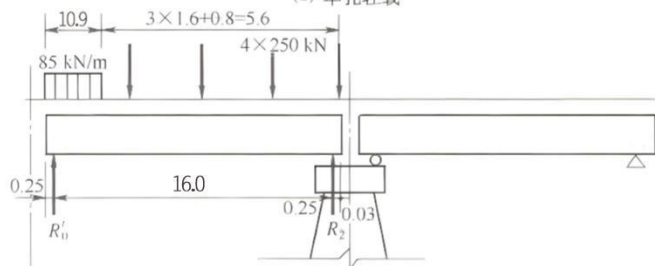
$$\begin{aligned} \text{由静力平衡得 } R_3 = R_4 &= \frac{1}{16} [13.33 \times 85 \times (\frac{13.33}{2} - 0.25) + 2 \times 250 \times (16.53 - 0.25 - 0.25)] \\ &= 913.03 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_{3-4} = R_3 + R_4 = 1826.06 \text{ kN}$$

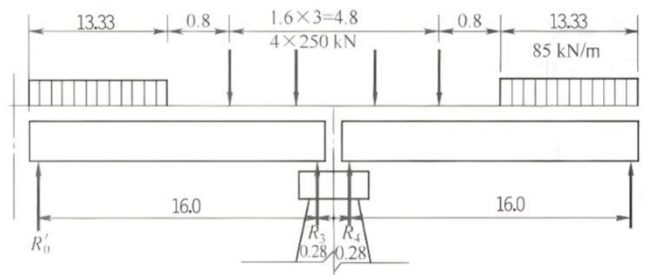
$$M_{R3-4} = 0$$



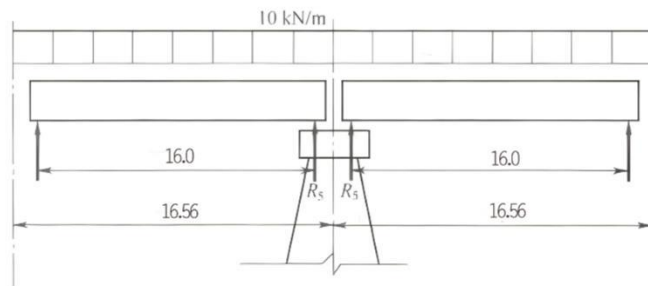
(a) 单孔轻载



(b) 单孔重载



(c) 双孔重载



(d) 双孔空车活载

图 2-16 检算桥墩的活载图式(单位:m)

### 3. 制动力(或牵引力)

(1) 单孔  $P = (4 \times 250 + 85 \times 10.9) \times 0.1 = 192.65 \text{ kN}$

$P$  的力矩  $M_{Pt} = P_t (H + 0.6 + 0.043) = 192.65 \times (8 + 0.643) = 1665.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$

(2) 双孔 左  $P_{t1} = 1633.05 \times 0.1 + 100\% = 163.31 \text{ kN}$

右  $P_{t2} = 953.05 \times 0.1 + 50\% = 81.65 \text{ kN}$

传到桥墩上  $P = P_{t1} + P_{t2} = 163.31 + 81.65 = 244.96 \text{ kN} > P_{t\max} = 192.65 \text{ kN}$

$P_t$  的力矩  $M_p = 192.65 \times (8 + 0.6 + 0.043) = 1665.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$

### 4. 纵向风力

有车时纵向风压  $W = K_1 K_2 800 \text{ Pa} = 1.1 \times 1.0 \times 0.8 = 0.88 \text{ kPa}$

(1) 顶帽风力  $P_{W1} = W_A = 0.88 \times 4.4 \times 0.5 = 1.94 \text{ kN}$

$P_{W1}$  对截面的力矩  $M_{p_{W1}} = 1.94 \times (8 + 0.25) = 16.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

(2) 墩身风力  $P_{W2} = 0.88 \times \frac{(4.2 + 4.6)}{2} \times 8 = 30.96 \text{ kN}$

作用点到底部的距离  $y' = \frac{8}{3} \times \left( \frac{4.6 + 2 \times 4.2}{4.6 + 4.2} \right) = 3.94$

$M_{p_{W2}} = P_{W2} y' = 30.98 \times 3.94 = 122.06 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$

墩顶风力  $P_W = P_{W1} + P_{W2} = 1.94 + 30.98 = 32.92 \text{ kN}$

$P_W$  对墩底的力矩为  $M_p = M_{p1} + M_{p2} = 16.01 + 122.06 = 138.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$

### 5. 横向风力

有车时  $W_A = K_1 K_2 \times 0.8 = 0.24 \text{ kPa}$

无车时  $W_{A1} = K_1 K_2 \times 1.4 = 0.42 \text{ kPa}$

$l/b > 1.5$  查表 2-1 得

有车梁上风压  $W_{AF} = K_1 K_2 \times 0.8 = 1.04 \text{ kPa}$

无车梁上风压  $W_{A11} = K_1 K_2 \times 1.4 = 1.82 \text{ kPa}$

分别列表计算得:

本题中设计频率水位时桥墩所受流水压力较桥墩横向风力的影响大, 故将桥墩横向风力计算至设计频率水位处(设计频率水位高出地面 3m), 并按有车、无车两种情况分别列表计算, 见表 2-11 及表 2-12。



表 2-11 桥上有车横向风力

力和力矩 项 目	风力=风压强度×受风面积 (kN)	风力对墩底的力矩=风力×该力至基顶力臂 (kN m)
列 车	$P_{\text{列}}=1.04 \times 16.56 \times 3=51.67$	$M_{P_{\text{列}}}=51.67 \times (2+0.15+1.84+0.6+8)=650.53$
梁	$P_{\text{梁}}=1.04 \times 16.56 \times (1.84+0.15-0.09)=32.72$	$M_{P_{\text{梁}}}=32.72 \times \left( \frac{1.84+0.15-0.09}{2} + 0.09+0.6+8 \right)=315.42$
顶 帽	$P_{w1}=0.24 \times 0.5 \times 1.7=0.20$	$M_{P_{w1}}=0.20 \times \left( \frac{0.5}{2} + 8 \right)=1.65$
墩 身	$P_{w2}=0.24 \times \left[ \frac{1}{2} \times (1.5+1.75) \times 5 \right]=1.95$	$M_{P_{w2}}=1.95 \times \left( \frac{5}{3} \times \frac{1.75+2 \times 1.5}{1.75+1.5} + 3 \right)=10.6$
合 计	$P_w=86.54$	$M_{pw}=978.20$

注：表中 0.15 为钢轨高，0.09 为平板支座高。

表 2-12 桥上无车横向风力

力和力矩 项 目	风力=风压强度×受风面积 (kN)	风力对墩底的力矩=风力×该力至基顶力臂 (kN m)
梁	$P_{\text{梁}}=1.82 \times 16.56 \times (1.84+0.15-0.09)=57.26$	$M_{P_{\text{梁}}}=36.52 \times \left( \frac{1.84+0.15-0.09}{2} + 0.09+0.6+8 \right)=551.99$
顶 帽	$P_{w1}=0.42 \times 0.5 \times 1.7=0.36$	$M_{P_{w1}}=0.36 \times \left( \frac{0.5}{2} + 8 \right)=2.97$
墩 身	$P_{w2}=0.42 \times \left[ \frac{1}{2} \times (1.5+1.75) \times 5 \right]=3.14$	$M_{P_w}=3.14 \times \left( \frac{5}{3} \times \frac{1.75+2 \times 1.5}{1.75+1.5} + 3 \right)=18.54$
合 计	$P_w=60.76$	$M_{pw}=573.50$

### 6. 流水压力

高 3m 设计流速  $V=3\text{m/s}$   $A=\left(\frac{1.75+1.9}{2}\right) \times 3=5.48\text{m}^2$   
 $P=KA \frac{V^2}{2g} = 0.6 \times 5.48 \times \frac{10 \times 3^2}{2 \times 10} = 14.80\text{kN}$   
 $M_p = 14.80 \times 2 = 29.6\text{ kN} \cdot \text{m}$

### (三) 墩身底部截面的核算

$A_2 = \frac{\pi}{4} d^2 + a \cdot d = \frac{\pi}{4} \times 1.9^2 + 2.7 \times 1.9 = 7.97\text{ m}^2$   
 惯性矩  $I_y = \frac{\pi}{64} d^4 + \frac{1}{12} a d^3 = \frac{\pi}{64} \times 1.9^4 + \frac{1}{12} \times 2.7 \times 1.9^3 = 22.18\text{ m}^4$   
 $W_y = \frac{I_y}{x} = \frac{22.18}{9.5} = 2.30\text{ m}^3$

2. 墩身受压稳定性的检算

桥墩受压稳定性检算的计算长度  $l_0=2\times(8+0.6)=17.2(\text{m})$ ，本题的桥墩可能产生弯曲失稳（屈曲）的方向与弯矩作用平面的方向（顺桥向）一致，这种情况下也可直接进行截面强度检算，不再另行检算在弯矩作用面内的屈曲。在此为了介绍检算受压稳定性的方法及计算弯矩增大系数  $\eta_{\text{max}}$  的需要，仍列表计算，结果见表 2-13。

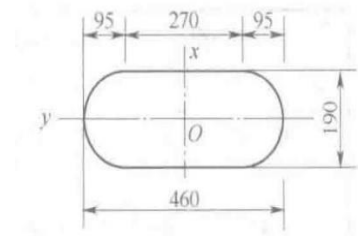


表 2-13 墩身受压稳定性的检算(顺桥向)

活载情况		单孔轻载		单孔重载		双孔重载	
力及力矩		N(kN)	M(kN·m)	N(kN)	M(kN·m)	N(kN)	M(kN·m)
主 力	桥跨恒 载 N <sub>1</sub>	1077.08		1077.08		1077.08	
	活载压 力 R	759.76	212.73	1416.74	396.69	1826.06	0
墩顶合力 (N <sub>顶</sub> , M <sub>顶</sub> )		1836.84	212.73	2493.82	396.69	2903.14	0
墩顶初始偏 心距 e <sub>0</sub> (m)		$\frac{212.73}{1836.84}=0.116$		$\frac{396.69}{2493.82}=0.148$		$\frac{0}{2903.14}=0$	
墩顶面积 A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )		$\pi\times0.75^2+1.5\times2.7=5.82$ (近似按墩身顶采用)					
墩顶截面惯 性矩 I <sub>0</sub> (m <sup>4</sup> )		$\frac{\pi}{64}\times1.5^4+\frac{1}{12}\times2.7\times1.5^3=1.01$					
墩底面积 A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )		$\pi\times0.95^2+1.9\times2.7=7.97$					
墩底截面惯 性矩 I <sub>d</sub> (m <sup>4</sup> )		$\frac{\pi}{64}\times1.9^4+\frac{1}{12}\times2.7\times1.9^3=2.18$					
m(按 I <sub>0</sub> /I <sub>d</sub> 查 表 2-7)		$I_0/I_d=1.01/2.18=0.463$ 查表 2-7 得 $m=1.87+\frac{0.13}{0.1}\times0.063=1.95$					
墩身平均面 积 A <sub>0</sub> (m <sup>2</sup> )		$A_0\approx\frac{A_1+A_2}{2}=\frac{5.82+7.97}{2}=6.90$					
计算长度 l <sub>0</sub> (m)		$2\times(0.6+8)=17.2$					
E <sub>0</sub> (kPa)		$24\times10^6$					
$\alpha=\frac{0.1}{0.2+\frac{e_{\text{顶}}}{h}}+0.16$		$\frac{0.1}{0.2+\frac{0.116}{1.7}}+0.16=0.53$		$\frac{0.1}{0.2+\frac{0.148}{1.7}}+0.16=0.508$		$\frac{0.1}{0.2+\frac{0}{1.7}}+0.16=0.66$	
$\zeta=\frac{4mE_0I_d}{l_0^2}=X$		$\frac{4\times1.95\times24\times10^6\times2.18}{17.2^2}=1.379\times10^6$					
a·x		730870		700532		910140	

$N_{cr}=a \cdot x$ $\left[ \frac{1}{1+a \cdot x \cdot \frac{1}{1.1 A_0 R_c}} \right]$	$730870 \left[ \frac{1}{1+730870 \frac{1}{1.1 \times 6.90 \times 10500}} \right]$ =71859.36	$700532 \left[ \frac{1}{1+700532 \frac{1}{1.1 \times 6.90 \times 10500}} \right]$ =71554.69	$910140 \left[ \frac{1}{1+910140 \frac{1}{1.1 \times 6.90 \times 10500}} \right]$ =73278.48
主附力 KN <sub>顶</sub> (K=2)	2 × 1836.84=3673.68	2 × 2493.82=4987.64	2 × 2903.14=5806.28
主力 $\eta_{xmax} = \frac{1}{1 - \frac{KN_{顶}}{N_{cr}}}$	$\frac{1}{1 - \frac{3673.68}{71859.36}} = 1.0539$	$\frac{1}{1 - \frac{4987.64}{71554.69}} = 1.0749$	$\frac{1}{1 - \frac{5806.28}{73278.48}} = 1.0861$
主+附 KN <sub>顶</sub> (K=1.6)	1.0539+1.6 × 1836.84 =2940.00	1.0749+1.6 × 2493.82 =3991.19	1.0861+1.6 × 2903.14 =4646.11
主+附 $\eta_{xmax}$	$\frac{1}{1 - \frac{2940.00}{71859.36}} = 1.045$	$\frac{1}{1 - \frac{3991.19}{71554.69}} = 1.063$	$\frac{1}{1 - \frac{4646.11}{73278.48}} = 1.069$

表 2-13 的计算结果表明：墩身受压稳定为双孔重载加桥跨恒载的主力组合控制，不过安全储备很大，不控制桥墩的截面设计。

#### (四) 检算小结

本题的桥墩尺寸是按叁标桥 1023 远端形桥墩标准拟定的，通过检算表明：

(1) 墩身纵向偏心接近容许值，混凝土墩身强度及受压稳定较富余；

(2) 横向偏心很富余；因  $I_x$  较大，强度将有更大富余，故对直线桥墩的横向可不检算；

(3) 直线桥各检算项目的最不利组合情况：墩身受压稳定常由双孔重载主力组合控制。