桥墩结构：等跨的 $L=16m$ 道砟桥面钢筋混凝土梁（交参标桥 L23），梁全长 16.5m，梁缝 0.06m，轨底至梁底的高度为 1.75m，轨底至桥墩支承垫石顶面高度为 1.84m。平板支座，支座全高 0.09m，支座中心距支承垫石面为 0.043m。每孔梁重（包括支座）447.8KN，梁上采用木枕道砟桥面及双侧 1.05m 宽的人行道，其重量为 38KN/m。

荷载计算

1. 恒载　$N_t = 447.8 + 38\times(16.5+0.06) = 1077.08\ kN$

$V_{2-1} = (\pi\times 0.85^2 + 2\times 0.85\times 0.7)\times 0.5 = 3.43\ m^3$

$N_{2-1} = V_{2-1}\times \gamma_{钢筋混凝土} = 3.43\times 25 = 85.7\ kN$

墩顶面积　$A_1 = \pi\times 0.75^2 + 1.5\times 2.7 = 5.82(m^2)$

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

墩身体积　$V_{2-2} = \frac{H}{3}(A_1+A_2+\sqrt{A_1A_2}) = \frac{8}{3}(5.82+7.97+\sqrt{5.82\times 7.97}) = 54.93\ m^3$

墩身重　$N_{2-2} = V_{2-2}\times \gamma_{混凝土} = 54.93\times 23 = 1263.39\ kN$

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

2. 竖直静活载

根据 $\Sigma M = 0$，可得支点反力 R_1（也是静活载经桥墩的压力）为

$$R_1 = \frac{1}{16}\left[250\times 4\times\left(1.6\times\frac{3}{2}-0.25\right)+10.9\times 85\times\left(\frac{10.9}{2}+5.6-0.25\right)\right] = 759.76kN$$

12，对桥墩中心矩臣　$M_{R_1} = 759.76\times 0.28 = 212.73\ kN\cdot m$

单轨重载　$R_2 = \frac{1}{16}\left[10.9\times 85\times\left(\frac{10.9}{2}-0.25\right)+250\times 4\times\left(0.09+\frac{1.28}{2}+0.8-0.25\right)\right] = 1416.7$

R_2 对桥墩中心矩臣　$M_{R_2} = 1416.74\times 0.28 = 396.69\ kN\cdot m$

双双孔重载，对于等跨桥墩 $\frac{G_1}{L_1} = \frac{G_2}{L_2}$，得出 $G_1 = G_2$。

$G_1 = G_2 = 85 \times 13.33 + 250 \times 2 = 1633.05\ kN$

利用静力平衡可得活载压力

$R_3 = R_4 = \frac{1}{7.8}[3.33 \times 85 \times (\frac{13.33}{2} - 0.25) + 2 \times 250 \times (16.53 - 0.25 - 1.6)] = 913.03\ kN$

桥墩所受压力 $R_{3-4} = R_3 + R_4 = 1826.06\ kN$

活载压力对桥墩中心的力矩

由 $R_3 = R_4$ 得 $M_{R3-4} = 0$

双孔空车活载

桥墩所受压力 $R_{空} = 2R_3 = 2 \times (10 \times \frac{16.56}{2}) = 165.6\ kN$

$R_{空}$ 对桥墩中心力矩 $M_{R空} = 0$

3. 制动力(或牵引力)

$P_t = (4 \times 250 + 85 \times 10.9) \times 0.1 = 192.65\ kN$

P_t 对墩身底部的力矩为

$M_{P_t} = P_t(H + 0.6 + 0.043) = 192.65 \times (8 + 0.643) = 1665.07\ kN$

双孔重载的制动力

左孔梁为固定支座传递的制动力

$P_{t1} = 1633.05 \times 0.1 \times 100\% = 163.31\ kN$

右孔梁为滑动平板支座传递的制动力

$P_{t2} = 1633.05 \times 0.1 \times 50\% = 95.31\ kN$

传到桥墩上的制动力

$P_t = P_{t1} + P_{t2} = 244.96\ kN > P_{t.max} = 192.65\ kN$

$$P_t = P_{tmax} = 192.65 kN$$

P_t对墩底截面的力矩 $M_{Pt} = 124.65 \times (8+0.6+0.043) = 1665.07 kN \cdot m$

4. 纵向风力

有车时桥墩纵向风压为 $W = K_1 K_3 800 P_a = 1.1 \times 1.0 \times 0.8 = 0.88 kPa$

顶帽风力 $P_{w1} = WA = 0.88 \times 4.4 \times 0.5 = 1.94 kN$

P_{w1}对墩底截面的力矩为

$$M_{Pw1} = 1.94 \times (8+0.25) = 16.01 kN \cdot m$$

墩身风力 $P_{w2} = 0.88 \times \left(\frac{4.2+4.6}{2}\right) \times 8 = 30.98 kN$

P_{w2}作用点至检算墩底截面的距离

$$y' = \frac{8}{3} \times \left(\frac{4.6+2\times4.2}{4.6+4.2}\right) = 3.94 m$$

P_{w2}对墩底截面矩 $M_{Pw2} = P_{w2} \cdot y' = 30.98 \times 3.94 = 122.06 kN \cdot m$

桥墩风力 $P_w = P_{w1} + P_{w2} = 1.94 + 30.98 = 32.92 kN$

P_w对墩底截面的力矩为

$$M_{Pw} = M_{Pw1} + M_{Pw2} = 16.01 + 122.06 = 138.07 kN \cdot m$$

5. 横向风力 $\frac{L}{b} = 1.5$. 查表得 $K_1 = 0.3$

有车时桥墩横向风压:

$$W_{有墩} = K_1 K_2 \times 0.8 = 0.3 \times 1.0 \times 0.8 = 0.24 kPa$$

无车时桥墩横向风压

$$W_{无墩} = K_1 K_2 \times 1.4 = 0.3 \times 1 \times 1.4 = 0.42 kPa$$

有车时列车及梁上横向风压：

K_1 取 1.3

$$W_{有梁} = K_1K_2 \times 0.8 = 1.3 \times 1 \times 0.8 = 1.04\,kPa$$

无车时梁上横向风压

$$W_{无梁} = K_1K_2 \times 1.4 = 1.3 \times 1 \times 1.4 = 1.82\,kPa$$

将桥墩横向风力计算至设计频率水位处，按有车、无车分别列表计算

桥上有车横向风力

项目 \ 弯矩	风力 = 风压强度 × 受风面积 (kN)	风力对墩底力矩 = 风力 × 作用至基顶力臂 (kN·m)
列车	$P_{列}=1.04\times0.56\times3=32.95$	$M_{P列}=32.95\times(2+0.15+1.84+0.6+8)=413.72$
梁	$P_{梁}=1.04\times0.56\times(1.84+0.15-0.09)=20.87$	$M_{P梁}=20.87\times(\frac{1.84+0.15-0.09}{2}+0.09+0.6+8)=201.19$
顶帽	$P_{w1}=0.24\times0.5\times1.7=0.20$	$M_{Pw1}=0.20\times(\frac{0.5}{2}+8)=1.65$
墩身	$P_{w2}=0.24\times[\frac{1}{2}\times(1.5+1.75)\times5]=1.95$	$M_{Pw2}=1.95\times(\frac{5}{3}\times\frac{1.75+2\times1.5}{1.75+1.5}+3)=10.6$
合计	$P_w=55.97$	$M_{Pw}=627.16$

桥上无车横向风力

项目 \ 弯矩	风力 = 风压强度 × 受风面积 (kN)	风力对墩底的力矩 = 风力 × 作用至基顶力臂 (kN·m)
梁	$P_{梁}=1.82\times0.56\times(1.84+0.15-0.09)=36.52$	$M_{P梁}=36.52\times(\frac{1.84+0.15-0.09}{2}+0.09+0.6+8)=352.0$
顶帽	$P_{w1}=0.42\times0.5\times1.7=0.36$	$M_{Pw1}=0.36\times(\frac{0.5}{2}+8)=2.97$
墩身	$P_{w2}=0.42\times[\frac{1}{2}\times(1.5+1.75)\times5]=3.14$	$M_{Pw2}=3.14\times(\frac{5}{3}\times\frac{1.75+2\times1.5}{1.75+1.5}+3)=18.54$
合计	$P_w=40.02$	$M_{Pw}=373.56$

6、流水压力

设计频率水位高出地面3m，设计流速 $V=3m/s$，此时桥墩阻水面积、

$A=\left(\frac{1.75+1.9}{2}\right)\times 3=5.48\,m^2$。桥墩的形状系数K由表2-4查得为0.6，设计频率水位时的桥墩流水压力为

$$P=KA\frac{\gamma_w V^2}{2g}=0.6\times 5.48\times\frac{10\times 3^2}{2\times 10}=14.80\,kN$$

流水压力作用点在设计频率水位以下1/3水深处（$\frac{1}{3}\times 3=1m$），力臂值 $3-1=2m$。

P对墩底部截面的力矩 $M_P=14.80\times 2=29.60\,kN\cdot m$

墩身底部截面检算：

$$A_2=\frac{\pi}{4}\cdot d^2+a\cdot d=\frac{\pi}{4}\times 1.9^2+2.7\times 1.9=7.97\,m^2$$

截面绕垂直弯矩作用的形心轴的惯性矩

$$I_y=\frac{\pi}{64}d^4+\frac{1}{12}ad^3=\frac{\pi}{64}\times 1.9^4+\frac{1}{12}\times 2.7\times 1.9^3=2.18\,m^4$$

截面抵抗矩 $W_y=\frac{I}{\frac{1}{2}}=\frac{2.18}{\frac{1.9}{2}}=2.30\,m^3$

$l_0=2\times(16+0.6)=33.2\,m$。

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_1	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($N_{顶}$, $M_{顶}$)		1836.84	212.73	2493.82	396.69	2903.14	0
墩顶初始偏心矩e_0(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_1(m^2)		$\pi\times 0.75^2+1.5\times 2.7=5.82$（近似按墩身顶采用）					
墩顶截面惯性矩I_0(m^4)		$\frac{\pi}{64}\times 1.5^4+\frac{1}{12}\times 2.7\times 1.5^3=1.01$					
墩底面积A_2(m^2)		$\pi\times 0.95^2+1.9\times 2.7=7.97$					

墩底截面惯性矩 $I_d(m^4)$	$\frac{\pi}{64}\times1.9^4+\frac{1}{12}\times2.7\times1.9^3=2.18$		
m（按 I_0/I_d 查表 2-7）	$I_0/I_d=1.01/2.18=0.463$ $m=1.87+\frac{0.13}{0.1}\times0.063=1.195$		
墩身平均面积 $A_0(m^2)$	$A_0\approx\frac{A_1+A_2}{2}=\frac{5.82+7.97}{2}=6.90$		
计算长度 $l_0(m)$	$2\times(0.6+8)=17.2$		
E_0（KPa）	24×10^6		
$a=\frac{0.1}{0.2+\frac{l_0}{r}}+0.16$	$\frac{0.1}{0.2+\frac{0.1\times17.2}{1.7}}+0.16=0.53$	$\frac{0.1}{0.2+\frac{0.1\times17.2}{1.7}}+0.16=0.548$	$\frac{0.1}{0.2+\frac{0.1\times17.2}{1.7}}+0.16=0.66$
令 $\frac{4mE_0I_d}{l_0^2}=X$	$\frac{4\times1.95\times24\times10^6\times2.18}{17.2^2}=0.845\times10^6$	0.845×10^6	0.845×10^6
$a\cdot X$	447850	462760	557700
$N_{cr}=a\cdot X\left[\frac{1}{1+a\cdot X\frac{1}{1.1A_0R_c}}\right]$	$447850\times\left[\frac{1}{1+447850\times\frac{1}{1.1\times6.90\times10^6}}\right]$		
	$=67655$	67215	69730
主力 KN 项（K=2）	3673.68	4987.64	5806.28
主力 $\eta_{xmax}=\frac{1}{1-\frac{KN_{0d}}{N_{cr}}}$	1.057	1.080	1.091
主+附 KN 项（K=1.6）	2940	3991.19	4646.12
主+附 η_{xmax}	1.045	1.063	1.071