



兰州交通大学
LANZHOU JIAOTONG UNIVERSITY

墩台与基础工程

第三次作业

指导教师姓名 杨俊杰

班级/教学班 土木工程 2204 班

学生姓名 宋昱超

学生学号 20220301435

完成日期 2025 年 3 月 17 日

兰 州 交 通 大 学

Lanzhou Jiaotong Universit

(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 (参标桥 1023), 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 , 梁上采用木枕道桥面及双侧 1.05m 宽的人行道, 其重量为 38kN/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: Q_4 冲积黏性土 (按渗水考虑), 液性指数 $I_L=0.6$, 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 γ 为 17kN/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 2m 处, 设计频率水位在地面以上 3m 处, 设计流速为 3m/s 。

(6) 冻结深度: 最大冻结深度为 0.8m 。

(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。

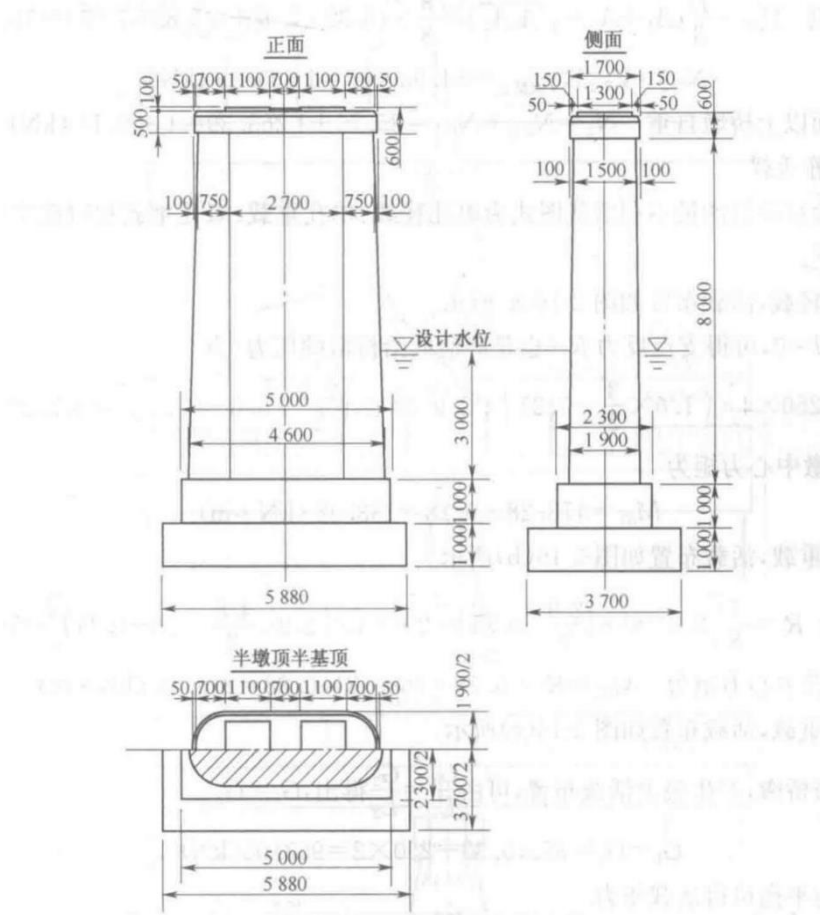


图 2-15 圆端形桥墩各部分尺寸 (单位: mm)

(二) 荷载计算

1. 恒载

(1) 由桥跨结构传来的恒载压力

等跨梁的桥墩，桥跨传给桥墩的恒载压力 N ，为单孔梁重及左右孔梁跨跨中之间（ $16.5+0.06=16.56\text{m}$ ）的梁上线路设备、人行道的重量，即

$$N_1=447.8+38\times 16.56=1077.08(\text{kN})$$

(2) 顶帽及墩身重

顶帽为圆端形(图2-15),其体积

$$V_{2-1}=(\pi\times 0.85^2+2\times 0.85\times 2.7)\times 0.5=3.43(\text{m}^3)$$

顶帽重

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

墩身重应根据检算截面的需要分段计算，本题仅需检算墩底截面，故近似地用截锥体公式计算墩身高 $H=8\text{m}$ 的体积和重量(图2-15)。

墩顶面积

$$A_1=\pi\times 0.75^2+1.5\times 2.7=5.82(\text{m}^2)$$

墩底面积

$$A_2=\pi\times 0.95^2+1.9\times 2.7=7.97(\text{m}^2)$$

墩身体积

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

墩身重

$$N_{2-2}=V_{2-2}\times \gamma_{\text{混凝土}}=54.93\times 23=1263.39(\text{kN})$$

墩底截面以上桥墩自重

$$N_2=N_{2-1}+N_{2-2}=85.75+1263.39=1349.14(\text{kN})$$

2. 竖直静活载

对于各检算项目的最不利活载图式为单孔轻载、单孔重载、双孔重载和双孔空车活载，现分别计算如下：

(1) 单孔轻载，活载布置如图2-16(a)所示。

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

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

R_1 对桥墩中心力矩为

$$M_{R1}=R_1\times 0.28=759.76\times 0.28=212.73(\text{kN}\cdot\text{m})$$

(2) 单孔重载，活载布置如图2-16(b)所示。

$$\text{支点反力 } R_2=\frac{1}{16}\left[10.9\times 85\times \left(\frac{10.9}{2}-0.25\right)+250\times 4\times \left(10.9+\frac{4.8}{2}+0.8-0.25\right)\right]=1416.74(\text{kN})$$

$$\text{R}_2\text{对桥墩中心力矩为 } M_{R2}=R_2\times 0.28=1416.74\times 0.28=396.69(\text{kN}\cdot\text{m})$$

(3) 双孔重载，活载布置如图2-16(c)所示。

对于等跨桥墩，产生最大活载布置，可由 $\frac{G_1}{L_1}=\frac{G_2}{L_2}$ 得出： $G_1=G_2$

故

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

利用静力平衡可得活载压力

$$R_3=R_4=\frac{1}{16}\left[13.33\times 85\times\left(\frac{13.33}{2}-0.25\right)+2\times 250\times(16.53-0.25-1.6)\right]=913.03(\text{kN})$$

桥墩所受压力

$$R_{3.4}=R_3+R_4=1826.06(\text{kN})$$

活载压力对桥墩中心的力矩

由 $R_3=R_4$ 得

$$M_{R_{3.4}}=0$$

(4) 双孔空车活载, 活载布置如图2-16(d)所示。

桥墩所受压力

$$R_{\text{空}}=2R_5=2\times\left(10\times\frac{16.56}{2}\right)=165.6(\text{kN})$$

$R_{\text{空}}$ 对桥墩中心的力矩

$$M_{R_{\text{空}}}=0$$

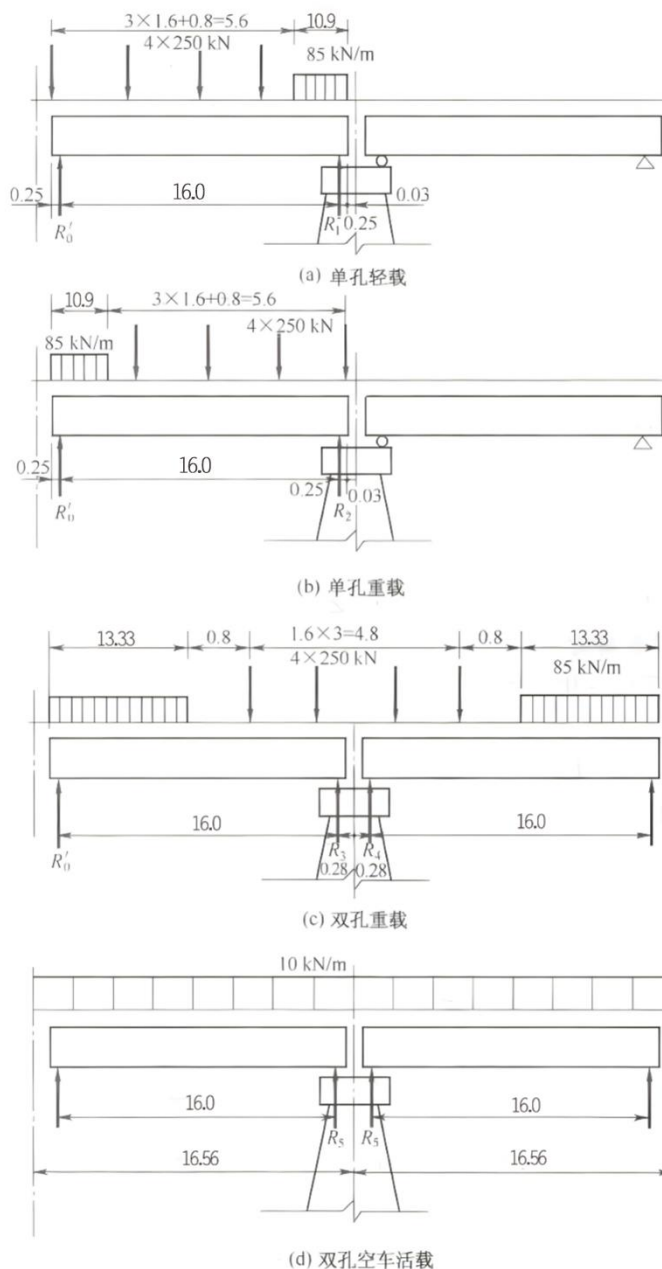


图 2-16 检算桥墩的活载图式(单位:m)

3.制动力(或牵引力)

(1) 单孔轻载与单孔重载的梁上竖向静活载相同, 故其制动力(或牵引力)也相等, 为

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

P_t 对墩身底部截面的力矩为

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

式中的 $(0.6+0.043)$ 为支座中心至顶帽底的距离。

(2) 双孔重载的制动力

左孔梁为固定支座传递的制动力:

$$P_{t_1} = 1633.05 \times 0.1 \times 100\% = 163.31(\text{kN})$$

右孔梁为滑动平板支座传递的制动力:

$$P_{t_2} = 953.05 \times 0.1 \times 50\% = 81.65(\text{kN})$$

传到桥墩上的制动力为

$$P_t = P_{t_1} + P_{t_2} = 163.31 + 81.65 = 244.96(\text{kN}) > P_{t_{\max}} = 192.65(\text{kN})$$

式中 $P_{t_{\max}}$ 为单孔梁上满载时经固定支座传递的制动力, 它的数值在等跨梁时与单孔轻载或单孔重载时的制动力或牵引力相等。故双孔重载时采用制动力 $P_t = P_{t_{\max}} = 192.65 \text{ kN}$ 。

P_t 对墩底截面的力矩为

$$M_P = 192.65 \times (8+0.6+0.043) = 1665.07(\text{kN} \cdot \text{m})$$

4. 纵向风力

本题风压强度按标准设计要求采用, 有车时桥墩纵向风压为

$$W = K_1 K_2 800 \text{ Pa} = 1.1 \times 1.0 \times 0.8 = 0.88(\text{kPa})$$

式中, K_1 —风载体型系数, 根据桥墩长边迎风的圆端形截面 l/b (长边/短边) > 1.5 , 由表 2-1 查得为 1.1;

K_2 —风压高度变化系数, 根据墩顶离地面高度小于 20m, 由表 2-2 查得为 1。

(1) 顶帽风力

$$P_{w1} = WA = 0.88 \times 4.4 \times 0.5 = 1.94(\text{kN})$$

P_{w1} 对墩底截面的力矩为

$$M_{P_{w1}} = 1.94 \times (8+0.25) = 16.01(\text{kN} \cdot \text{m})$$

(2) 墩身风力

$$P_{w2} = 0.88 \times \left(\frac{4.2+4.6}{2} \right) \times 8 = 30.96(\text{kN})$$

P_{w2} 作用点至检算墩底截面的距离为

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

P_{w2} 对墩底截面的力矩为

$$M_{P_{w2}} = P_{w2} \cdot y' = 30.98 \times 3.94 = 122.06(\text{kN} \cdot \text{m})$$

桥墩风力为

$$P_w=P_{w1}+P_{w2}=1.94+30.98=32.92(kN)$$

P_w 对墩底截面的力矩为

$$M_p=M_p+M_p=16.01+122.06=138.07(kN\cdot m)$$

5.横向风力

有车时桥墩横向风压：

$$W_{有墩}=K_1K_2\times0.8=0.3\times1\times0.8=0.24\text{ (kPa)}$$

无车时桥墩横向风压：

$$W_{无墩}=K_1K_2\times1.4=0.3\times1\times1.4=0.42(kPa)$$

式中 K 根据桥墩短边迎风的圆端形截面及 l/b （长边/短边） >1.5 由表 2-1 查得为 0.3。

有车时列车及梁上横向风压：

$$W_{有梁}=K_1K_2\times0.8=1.3\times1\times0.8=1.04\text{ (kPa)}$$

无车时梁上横向风压：

$$W_{无梁}=K_1K_2\times1.4=1.3\times1\times1.4=1.82(kPa)$$

式中 K_1 按桥墩以外的其他构件取值，本例取 $K_1=1.3$ 。

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	$P_{列}=1.04\times16.56\times3=51.67$	$M_{P_{列}}=51.67\times(2+0.15+1.84+0.6+8)=650.53$
梁	$P_{梁}=1.04\times16.56\times(1.84+0.15-0.09)=32.72$	$M_{P_{梁}}=32.72\times\left(\frac{1.84+0.15-0.09}{2}+0.09+0.6+8\right)=315.42$
顶 帽	$P_{w1}=0.24\times0.5\times1.7=0.20$	$M_{P_{w1}}=0.20\times\left(\frac{0.5}{2}+8\right)=1.65$
墩 身	$P_{w2}=0.24\times\left[\frac{1}{2}\times(1.5+1.75)\times5\right]=1.95$	$M_{P_{w2}}=1.95\times\left(\frac{5}{3}\times\frac{1.75+2\times1.5}{1.75+1.5}+3\right)=10.6$
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	$P_{\text{wt}}=0.42 \times 0.5 \times 1.7=0.36$	$M_{P_{\text{wt}}}=0.36 \times \left(\frac{0.5}{2} + 8 \right) = 2.97$
墩 身	$P_{\text{w2}}=0.42 \times \left[\frac{1}{2} \times (1.5+1.75) \times 5 \right] = 3.14$	$M_{P_{\text{w}}} = 3.14 \times \left(\frac{5}{3} \times \frac{1.75+2+1.5}{1.75+1.5} + 3 \right) = 18.54$
合 计	$P_{\text{w}}=60.76$	$M_{P_{\text{w}}}=573.50$

6. 流水压力

设计频率水位高出地面 3m, 设计流速 $v=3\text{m/s}$, 此时桥墩阻水面积 $A=\left(\frac{1.75+1.9}{2}\right) \times 3=5.48(\text{m}^2)$, 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:

$$P=KA \frac{\gamma_w v^2}{2g} = 0.6 \times 5.48 \times \frac{10 \times 3^2}{2 \times 10} = 14.80 (\text{kN})$$

流水压力作用点在设计频率水位以下 $1/3$ 水深处 (即 $\frac{1}{3} \times 3=1\text{m}$), 流水压力作用点至墩身底部截面的力臂值为 $3-1=2(\text{m})$ 。P 对墩底截面的力矩为

$$M_p=14.80 \times 2=29.60 (\text{kN} \cdot \text{m})$$

(三) 墩身底部截面的检算

1. 墩底截面特性

墩底面积 $A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 + a \cdot d = \frac{\pi}{4} \times 1.9^2 + 2.7 \times 1.9 = 7.97 (\text{m}^2)$

截面绕垂直弯矩作用面的形心轴的惯性矩

$$I_y = \frac{\pi}{64} d^4 + \frac{1}{12} a d^3 = \frac{\pi}{64} \times 1.9^4 + \frac{1}{12} \times 2.7 \times 1.9^3 = 2.18 (\text{m}^4)$$

截面抵抗矩 $W_y = \frac{I}{d} = \frac{2.18}{\frac{1.9}{2}} = 2.30 (\text{m}^3)$

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 $\eta_{x \max}$ 的需要, 仍列表计算, 结果见表 2-13。

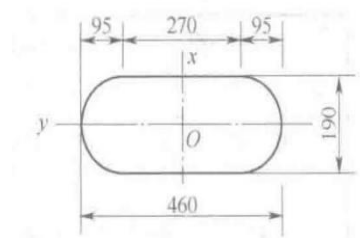


表 2-13 墩身受压稳定性的检算(顺桥向)

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 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 心距 e _o (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 _o (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)		$\frac{\pi}{64} \times 1.9^4 + \frac{1}{12} \times 2.7 \times 1.9^3 = 2.18$					
m(按 I _o /I _d 查 表 2-7)		I _o /I _d =1.01/2.18=0.463 查表 2-7 得m=1.87+ $\frac{0.13}{0.1} \times 0.063$ =1.95					
墩身平均面 积 A _o (m ²)		$A_0 \approx \frac{A_1 + A_2}{2} = \frac{5.82 + 7.97}{2} = 6.90$					
计算长度 l _o (m)		2 × (0.6+8)=17.2					
E _o (kPa)		24×10 ⁶					
$\alpha = \frac{0.1}{0.2 + \frac{e_{顶}}{h}} + 0.16$		$\frac{0.1}{0.2 + \frac{0.116}{1.7}} + 0.16 = 0.53$		$\frac{0.1}{0.2 + \frac{0.148}{1.7}} + 0.16 = 0.508$		$\frac{0.1}{0.2 + \frac{0}{1.7}} + 0.16 = 0.66$	
$\lambda = \frac{4mE_0I_d}{I_0^2} = x$		$\frac{4 \times 1.95 \times 24 \times 10^6 \times 2.18}{17.2^2} = 1.379 \times 10^6$					
a·x		730870		700532		910140	
N _{cr} =a·x $\left[\frac{1}{1 + a \cdot x \cdot \frac{1}{1.1A_0R_c}} \right]$		$730870 \left[\frac{1}{1 + 730870 \frac{1}{1.1 \times 6.90 \times 10500}} \right]$ =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 _顶 (K=2)		2 × 1836.84=3673.68		2 × 2493.82=4987.64		2 × 2903.14=5806.28	

(续下表)

(接上表)

主力 $\eta_{x\max} = \frac{1}{1 - \frac{KN_{\text{顶}}}{N_{\text{cr}}}}$	$\frac{1}{1 - \frac{3673.68}{71859.36}} = 1.0539$	$\frac{1}{1 - \frac{4987.64}{71554.69}} = 1.0749$	$\frac{1}{1 - \frac{5806.28}{73278.48}} = 1.0861$
主+附 KN _顶 (K=1.6)	$1.0539 + 1.6 \times 1836.84$ $= 2940.00$	$1.0749 + 1.6 \times 2493.82$ $= 3991.19$	$1.0861 + 1.6 \times 2903.14$ $= 4646.11$
主+附 $\eta_{x\max}$	$\frac{1}{1 - \frac{2940.00}{71859.36}} = 1.045$	$\frac{1}{1 - \frac{3991.19}{71554.69}} = 1.063$	$\frac{1}{1 - \frac{4646.11}{73278.48}} = 1.069$

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参标桥 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。



兰州交通大学

LANZHOU JIAOTONG UNIVERSITY

校训

尚德 励志
博学 笃行

校风

奋发向上 艰苦奋斗
刻苦钻研 严谨治学

志存高远 求真务实 追求卓越