

钢 筋 混 凝 土 箱 涵 结 构 设 计 计 算 书 (K1+508处双孔箱涵)

一 、 设 计 资 料

1、孔径及净空

净跨径 $L_0 = 3 \text{ m}$

净高 $h_0 = 3.5 \text{ m}$

孔数 $m = 2$

2、设计安全等级 二级

结构重要性系数 $r_0 = 1.0$

3、汽车荷载

荷载等级 公路 — II 级

4、填土情况

涵顶填土高度 $H = 6.5 \text{ m}$

土的内摩擦角 $\Phi = 30^\circ$

填土容重 $\gamma_1 = 19 \text{ kN/m}^3$

地基容许承载力 $[\sigma_0] = 250 \text{ kPa}$

5、建筑材料

普通钢筋种类 HRB400

主钢筋直径 25 mm

钢筋抗拉强度设计值 $f_{sd} = 360 \text{ MPa}$

涵身混凝土强度等级 C 35

涵身混凝土抗压强度设计值 $f_{cd} = 16.1 \text{ MPa}$

涵身混凝土抗拉强度设计值 $f_{td} = 1.52 \text{ MPa}$

钢筋混凝土重力密度 $\gamma_2 = 25 \text{ kN/m}^3$

基础混凝土强度等级 C 20

混凝土重力密度 $\gamma_3 = 23.5 \text{ kN/m}^3$

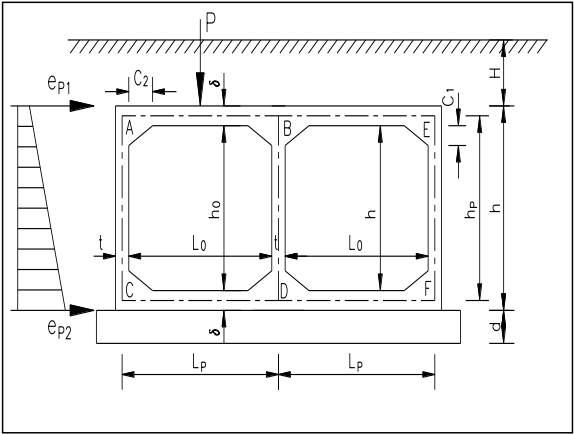


图 L-01

二 、 设 计 计 算

(一)截面尺寸拟定 (见图L-01)

顶板、底板厚度 $\delta = 0.4 \text{ m}$

$C_1 = 0.1 \text{ m}$

侧墙厚度	$t =$	0.4	m
	$C_2 =$	0.4	m
横梁计算跨径	$L_p = L_0 + t =$	3.4	m
	$L = 3L_0 + 4t =$	10.6	m
侧墙计算高度	$h_p = h_0 + \delta =$	3.9	m
	$h = h_0 + 2\delta =$	4.3	m
基础襟边	$c =$	0.2	m
基础高度	$d =$	0.1	m
基础宽度	$B =$	11	m

(二)荷载计算

1、恒载

$$p_{\text{恒}} = \gamma_1 H + \gamma_2 \delta = 133.50 \quad \text{kN/m}^2$$

恒载水平压力

$$e_{p1} = \gamma_1 H \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 41.17 \quad \text{kN/m}^2$$

$$e_{p2} = \gamma_1 (H+h) \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 68.40 \quad \text{kN/m}^2$$

2、活载

汽车后轮着地宽度0.6m，由《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)第4.3.4条规定，按30°角向下分布。

一个汽车后轮横向分布宽

$$0.6/2 + H \tan 30^\circ = 4.05 \text{ m} \quad \begin{matrix} > 1.3/2\text{m} \\ > 1.8/2\text{m} \end{matrix}$$

故横向分布宽度

$$a = 1.8 + 1.3 = 3.100 \quad \text{m}$$

同理，纵向，汽车后轮着地长度0.2m

$$0.2/2 + H \tan 30^\circ = 3.853 \text{ m} \quad > 1.4/2\text{m}$$

故

$$b = 1.400 \quad \text{m}$$

$$\Sigma G = 140 \quad \text{kN}$$

$$q_{\text{车}} = \Sigma G / (a \times b) = 32.26 \quad \text{kN/m}^2$$

$$e_{\text{车}} = q_{\text{车}} \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 10.75 \quad \text{kN/m}^2$$

(三)内力计算

1、构件刚度比

$$K = (I_1/I_2) \times (h_p/L_p) = 1.15$$

$$u=2K+1= 3.29$$

2、节点弯矩和轴向力计算

(1) a种荷载作用下 (图L-02)

涵洞四角节点弯矩

$$M_{aA} = M_{aC} = M_{aE} = M_{aF} = -1/u \cdot pL_p^2/12$$

$$M_{BA} = M_{BE} = M_{DC} = M_{DF} = -(3K+1)/u \cdot pL_p^2/12$$

$$M_{BD} = M_{DB} = 0$$

横梁内法向力

$$N_{a1} = N_{a2} = N_{a1'} = N_{a2'} = 0$$

侧墙内法向力

$$N_{a3} = N_{a4} = (M_{BA} - M_{aA} + pL_p^2/2)/L_p$$

$$N_{a5} = -(N_{a3} + N_{a4})$$

恒载

$$p = p_{\text{恒}} = 133.50 \quad \text{kN/m}^2$$

$$M_{aA} = M_{aC} = M_{aE} = M_{aF} = -39.04 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA} = M_{BE} = M_{DC} = M_{DF} = -173.39 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{a3} = N_{a4} = 187.44 \quad \text{kN}$$

$$N_{a5} = -374.87 \quad \text{kN}$$

车辆荷载

$$p = q_{\text{车}} = 32.26 \quad \text{kN/m}^2$$

$$M_{aA} = M_{aC} = M_{aE} = M_{aF} = -9.43 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA} = M_{BE} = M_{DC} = M_{DF} = -41.90 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{a3} = N_{a4} = 45.29 \quad \text{kN}$$

$$N_{a5} = -90.58 \quad \text{kN}$$

(2) b种荷载作用下 (图L-03)

$$M_{bA} = M_{bC} = M_{bE} = M_{bF} = -K \cdot ph_p^2/6u$$

$$M_{BA} = M_{BE} = M_{DC} = M_{DF} = K \cdot ph_p^2/12u$$

$$M_{BD} = M_{DB} = 0$$

$$N_{b1} = N_{b2} = N_{b1'} = N_{b2'} = ph_p/2$$

$$N_{b3} = N_{b4} = (M_{BA} - M_{bA})/L_p$$

$$N_{b5} = -(N_{b3} + N_{b4})$$

恒载

$$p = e_{p1} = 41.17 \quad \text{kN/m}^2$$

$$M_{bA} = M_{bC} = M_{bE} = M_{bF} = -36.34 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA} = M_{BE} = M_{DC} = M_{DF} = 18.17 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

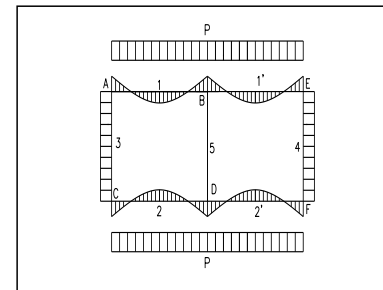


图 L-02

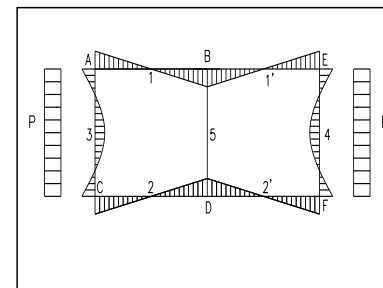


图 L-03

$$\begin{aligned}
N_{b1} = N_{b2} = N_{b1'} = N_{b2'} &= 80.28 & \text{kN} \\
N_{b3} = N_{b4} &= -16.03 & \text{kN} \\
N_{b5} &= 32.06 & \text{kN}
\end{aligned}$$

(3) c种荷载作用下 (图L-04)

$$\begin{aligned}
\Phi &= 20u(K+6)/K = 410.50 \\
M_{cA} = M_{cE} &= -(8K+59) \cdot ph_p^2/6\Phi \\
M_{cC} = M_{cF} &= -(12K+61) \cdot ph_p^2/6\Phi \\
M_{BA} = M_{BE} &= (7K+31) \cdot ph_p^2/6\Phi \\
M_{DC} = M_{DF} &= (3K+29) \cdot ph_p^2/6\Phi \\
M_{BD} &= M_{DB} = 0 \\
N_{c1} = N_{c1'} &= ph_p/6 + (M_{cC} - M_{cA})/h_p \\
N_{c2} = N_{c2'} &= ph_p/3 - (M_{cC} - M_{cA})/h_p \\
N_{c3} = N_{c4} &= (M_{BA} - M_{cA})/L_p \\
N_{c5} &= -(N_{c3} + N_{c4}) \\
p &= e_{p2} - e_{p1} = 27.23 & \text{kN/m}^2 \\
M_{cA} = M_{cE} &= -11.47 & \text{kN} \cdot \text{m} \\
M_{cC} = M_{cF} &= -12.57 & \text{kN} \cdot \text{m} \\
M_{BA} = M_{BE} &= 6.56 & \text{kN} \cdot \text{m} \\
M_{DC} = M_{DF} &= 5.46 & \text{kN} \cdot \text{m} \\
N_{c1} = N_{c1'} &= 17.42 & \text{kN} \\
N_{c2} = N_{c2'} &= 35.69 & \text{kN} \\
N_{c3} = N_{c4} &= 5.30 & \text{kN} \\
N_{c5} &= -10.61 & \text{kN}
\end{aligned}$$

恒载

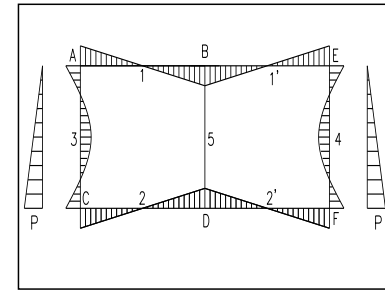


图 L-04

(4) d种荷载作用下 (图L-05)

$$\begin{aligned}
\Phi_1 &= 20(K+2)(6K^2+6K+1) = 993.01 \\
\Phi_2 &= u/K = 2.87 \\
\Phi_3 &= 120K^3 + 278K^2 + 335K + 63 = 994.15 \\
\Phi_4 &= 120K^3 + 529K^2 + 382K + 63 = 1378.31 \\
\Phi_5 &= 360K^3 + 742K^2 + 285K + 27 = 1873.52 \\
\Phi_6 &= 120K^3 + 611K^2 + 558K + 87 = 1712.09
\end{aligned}$$

车辆荷载

$$\begin{aligned}
 M_{dA} &= (-2/\Phi_2 + \Phi_3/\Phi_1) \cdot ph_p^2/4 \\
 M_{dE} &= (-2/\Phi_2 - \Phi_3/\Phi_1) \cdot ph_p^2/4 \\
 M_{dC} &= -(2/\Phi_2 + \Phi_5/\Phi_1) \cdot ph_p^2/24 \\
 M_{dF} &= -(2/\Phi_2 - \Phi_5/\Phi_1) \cdot ph_p^2/24 \\
 M_{BA} &= -(-2/\Phi_2 + \Phi_4/\Phi_1) \cdot ph_p^2/24 \\
 M_{BE} &= -(-2/\Phi_2 - \Phi_4/\Phi_1) \cdot ph_p^2/24 \\
 M_{DC} &= (1/\Phi_2 + \Phi_6/\Phi_1) \cdot ph_p^2/24 \\
 M_{DF} &= (1/\Phi_2 - \Phi_6/\Phi_1) \cdot ph_p^2/24 \\
 M_{BD} &= -\Phi_4 \cdot ph_p^2/12\Phi_1 \\
 M_{DB} &= \Phi_6 \cdot ph_p^2/12\Phi_1 \\
 N_{d1} &= (M_{dC} + ph_p^2/2 - M_{dA})/h_p \\
 N_{d2} &= ph_p - N_{d1} \\
 N_{d1'} &= (M_{dF} - M_{dE})/h_p \\
 N_{d2'} &= ph_p - N_{d1'} \\
 N_{d3} &= (M_{BA} + M_{BD} - M_{dA})/L_p \\
 N_{d4} &= (M_{BE} + M_{BD} - M_{dE})/L_p \\
 N_{d5} &= -(N_{d3} + N_{d4}) \\
 p = e_{\text{车}} &= 10.75 \quad \text{kN/m}^2 \\
 M_{dA} &= 12.46 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{dE} &= -69.41 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{dC} &= -17.60 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{dF} &= 8.11 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{BA} &= -14.20 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{BE} &= 4.71 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{DC} &= 14.12 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{DF} &= -9.38 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{BD} &= -18.92 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 M_{DB} &= 23.50 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 N_{d1} &= -28.68 \quad \text{kN} \\
 N_{d2} &= 70.61 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

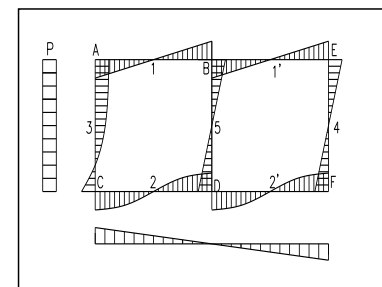


图 L-05

$$\begin{aligned}
N_{d1'} &= 0.87 & \text{kN} \\
N_{d2'} &= 41.06 & \text{kN} \\
N_{d3} &= -13.41 & \text{kN} \\
N_{d4} &= 16.24 & \text{kN} \\
N_{d5} &= -2.83 & \text{kN}
\end{aligned}$$

(5) 节点弯矩、轴力计算及荷载效应组合汇总表

按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004) 第4.1.6条进行承载能力极限状态效应组合

荷载种类		M (kN·m)									
		M _A	M _E	M _C	M _F	M _{BA}	M _{BE}	M _{DC}	M _{DF}	M _{BD}	M _{DB}
恒载	a	-39.04	-39.04	-39.04	-39.04	-173.39	-173.39	-173.39	-173.39	0.00	0.00
	1.2×Σ _{结构、土的重力}	-46.85	-46.85	-46.85	-46.85	-208.06	-208.06	-208.06	-208.06	0.00	0.00
	b	-36.34	-36.34	-36.34	-36.34	18.17	18.17	18.17	18.17	0.00	0.00
	c	-11.47	-11.47	-12.57	-12.57	6.56	6.56	5.46	5.46	0.00	0.00
	1.4×Σ _{土侧压力}	-66.93	-66.93	-68.48	-68.48	34.63	34.63	33.08	33.08	0.00	0.00
车辆荷载	a	-9.43	-9.43	-9.43	-9.43	-41.90	-41.90	-41.90	-41.90	0.00	0.00
	d	12.46	-69.41	-17.60	8.11	-14.20	4.71	14.12	-9.38	-18.92	23.50
	1.4×Σ _{汽车}	4.24	-110.38	-37.85	-1.85	-78.54	-52.06	-38.88	-71.78	-26.48	32.90
荷载效应组合		-109.54	-224.15	-153.18	-117.18	-251.98	-225.49	-213.87	-246.77	-26.48	32.90

荷载种类		N (kN)						
		N ₁	N ₂	N _{1'}	N _{2'}	N ₃	N ₄	N ₅
恒载	a	0.00	0.00	0.00	0.00	187.44	187.44	-374.87
	1.2×Σ _{结构、土的重力}	0.00	0.00	0.00	0.00	224.92	224.92	-449.85
	b	80.28	80.28	80.28	80.28	-16.03	-16.03	32.06
	c	17.42	35.69	17.42	35.69	5.30	5.30	-10.61
	1.4×Σ _{土侧压力}	136.77	162.35	136.77	162.35	-15.02	-15.02	30.04
车辆荷载	a	0.00	0.00	0.00	0.00	45.29	45.29	-90.58
	d	-28.68	70.61	0.87	41.06	-13.41	16.24	-2.83
	1.4×Σ _{汽车}	-40.15	98.86	1.22	57.49	44.64	86.14	-130.78
荷载效应组合		96.62	261.20	137.99	219.8	254.5	296.0	-550.58

3、构件内力计算(跨中截面内力)

(1) 顶板1 (图L-06)

顶板1'

$$\begin{aligned}
 x &= L_p/2 \\
 P &= 1.2p_{\text{恒}}+1.4q_{\text{车}} = 205.36 \quad \text{kN} \\
 N_x &= N_1 = 96.62 \quad \text{kN} \\
 M_x &= M_A+N_3x-Px^2/2 = 26.43 \quad \text{kN}\cdot\text{m} \\
 V_x &= Px-N_3 = 94.57 \quad \text{kN} \\
 x &= L_p/2 \\
 P &= 1.2p_{\text{恒}}+1.4q_{\text{车}} = 205.36 \quad \text{kN} \\
 N_x &= N_{1'} = 137.99 \quad \text{kN} \\
 M_x &= M_E+N_4x-Px^2/2 = -17.63 \quad \text{kN}\cdot\text{m} \\
 V_x &= Px-N_4 = 53.07 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

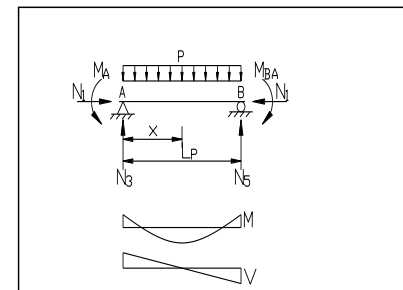


图 L-06

(2) 底板2 (图L-07)

底板2'

$$\begin{aligned}
 \omega_1 &= 1.2p_{\text{恒}}+1.4(q_{\text{车}}+3e_{\text{车}}H_p^2/4L_p^2) \\
 &= 220.22 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \omega_2 &= 1.2p_{\text{恒}}+1.4q_{\text{车}} \\
 &= 205.36 \quad \text{kN/m}^2 \\
 x &= L_p/2 \\
 N_x &= N_2 = 261.20 \quad \text{kN} \\
 M_x &= M_C+N_3x-\omega_2 \cdot x^2/2-5x^3(\omega_1-\omega_2)/12L_p \\
 &= -26.15 \quad \text{kN}\cdot\text{m} \\
 V_x &= \omega_2x+3x^2(\omega_1-\omega_2)/2L_p-N_3 \\
 &= 113.51 \quad \text{kN} \\
 \omega_1 &= 1.2p_{\text{恒}}+1.4q_{\text{车}} \\
 &= 205.36 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \omega_2 &= 1.2p_{\text{恒}}+1.4(q_{\text{车}}-3e_{\text{车}}H_p^2/4L_p^2) \\
 &= 190.51 \quad \text{kN/m}^2 \\
 x &= L_p/2 \\
 N_x &= N_{2'} = 219.84 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

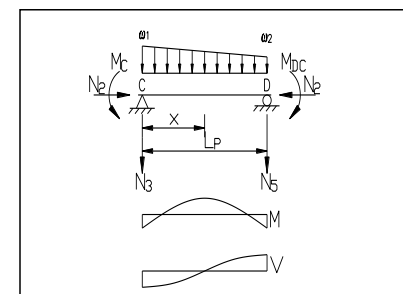


图 L-07

$$\begin{aligned}
 M_x &= M_F + N_4 x - \omega_2 \cdot x^2 / 2 - x^3 (\omega_1 - \omega_2) / 6L_p \\
 &= 107.23 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 V_x &= \omega_2 x + x^2 (\omega_1 - \omega_2) / 2L_p - N_4 \\
 &= 40.45 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

(3) 左侧墙 (图L-08)

$$\begin{aligned}
 \omega_1 &= 1.4e_{p1} + 1.4e_{\text{车}} \\
 &= 72.69 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \omega_2 &= 1.4e_{p2} + 1.4e_{\text{车}} \\
 &= 110.81 \quad \text{kN/m}^2 \\
 x &= h_p / 2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_x = N_3 &= 254.54 \quad \text{kN} \\
 M_x &= M_A + N_1 x - \omega_1 \cdot x^2 / 2 - x^3 (\omega_2 - \omega_1) / 6h_p \\
 &= -71.40 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 V_x &= \omega_1 x + x^2 (\omega_2 - \omega_1) / 2h_p - N_1 \\
 &= 63.70 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

(4) 右侧墙 (图L-09)

$$\begin{aligned}
 \omega_1 &= 1.4e_{p1} = 57.63 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \omega_2 &= 1.4e_{p2} = 95.76 \quad \text{kN/m}^2 \\
 x &= h_p / 2 \\
 N_x = N_4 &= 296.04 \quad \text{kN} \\
 M_x &= M_E + N_1' x - \omega_1 \cdot x^2 / 2 - x^3 (\omega_2 - \omega_1) / 6h_p \\
 &= -76.73 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 V_x &= \omega_1 x + x^2 (\omega_2 - \omega_1) / 2h_p - N_1' \\
 &= -7.02 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

(5) 中间墙 (图L-10)

$$\begin{aligned}
 x &= h_p / 2 \\
 N_x = N_5 &= -550.58 \quad \text{kN} \\
 M_x &= M_{BD} + (N_1 + N_1') x \\
 &= 431.01 \quad \text{kN} \cdot \text{m} \\
 V_x &= -(N_1 + N_1')
 \end{aligned}$$

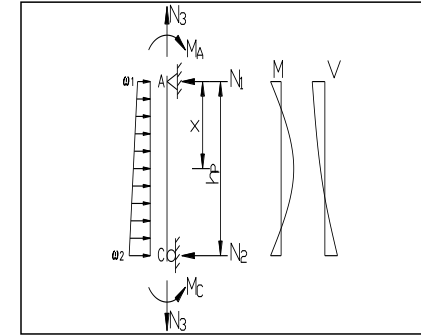


图 L-08

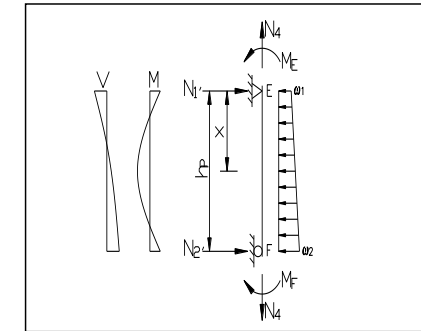


图 L-09

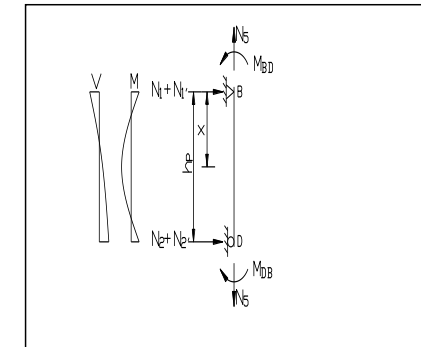


图 L-10

$$= -234.61 \quad \text{kN}$$

(5) 构件内力汇总表

构件	M _d	N _d	V _d	M _d	N _d	V _d	M _d	N _d	V _d
A - B	A			A - B			B		
	-109.54	96.62	254.54	26.43	96.62	94.57	-251.98	96.62	-550.58
B - E	B			B - E			E		
	-225.49	137.99	-550.58	-17.63	137.99	53.07	-224.15	137.99	296.04
C - D	C			C-D			D		
	-153.18	261.20	254.54	-26.15	261.20	113.51	-213.87	261.20	-550.58
D - F	D			D-F			F		
	-246.77	219.84	-550.58	107.23	219.84	40.45	-117.18	219.84	296.04
A - C	A			A-C			C		
	-109.54	254.54	96.62	-71.40	254.54	63.70	-153.18	254.54	261.20
E - F	E			E-F			F		
	-224.15	296.04	137.99	-76.73	296.04	-7.02	-117.18	296.04	219.84
B - D	B			B-D			D		
	-26.48	-550.58	234.61	431.01	-550.58	-234.61	32.90	-550.58	481.04

(四) 截面设计

1、顶板 (A-B\B-E)

钢筋按左、右对称，用最不利荷载计算。

(1) 跨中

$$\begin{aligned}
 l_0 &= 3.40 \text{ m}, & h &= 0.40 \text{ m}, & a &= 0.04 \text{ m}, & h_0 &= 0.36 \text{ m}, & b &= 1.00 \text{ m}, \\
 M_d &= 26.43 \text{ kN} \cdot \text{m}, & N_d &= 96.62 \text{ kN}, & V_d &= 94.57 \text{ kN} \\
 e_0 &= M_d/N_d = 0.274 \text{ m} \\
 i &= h/12^{1/2} = 0.115 \text{ m}
 \end{aligned}$$

长细比 $l_0/i = 29.44 > 17.5$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.10条

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7e_0/h_0 = 2.252 > 1.0, \quad \text{取} \xi_1 = 1.00$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.01l_0/h = 1.065 > 1.0, \quad \text{取} \xi_2 = 1.00$$

$$\eta = 1 + (l_0/h)^2 \xi_1 \xi_2 h_0 / 1400e_0$$

$$\eta = 1.068$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.5条

$$e = \eta e_0 + h/2 - a = 0.452 \text{ m}$$

$$r_0 N_d e = f_{cd} b x (h_0 - x/2)$$

$$43.69 = 16100x(0.36 - x/2)$$

解得 $x = 0.008 \text{ m} \leq \xi_b h_0 = 0.53 \times 0.36 = 0.191 \text{ m}$

故为大偏心受压构件。

$$A_s = (f_{cd} b x - r_0 N_d) / f_{sd} = 7.23149 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 72.3 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 100 A_s / (b h_0) = 0.02 \% < 0.2 \%$$

应按最小配筋率配置受拉钢筋。

选用 $\Phi 25 @ 680 \text{ mm}$, 实际 $A_s = 721.9 \text{ mm}^2$

$$0.51 \times 10^{-3} f_{cu,k}^{1/2} b h_0 = 1086.2 \text{ kN} > r_0 V_d = 94.6 \text{ kN}$$

故抗剪截面符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.9条的要求。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.10条

$$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 = 273.6 \text{ kN} > r_0 V_d = 94.6 \text{ kN}$$

故可不进行斜截面抗剪承载力的验算, 仅需按(JTG D62—2004)第9.3.13条构造要求配置箍筋。

(2) 结点(A\E)

$$l_0 = 3.40 \text{ m}, \quad h = \delta + C_1 = 0.50 \text{ m}, \quad a = 0.04 \text{ m}, \quad h_0 = 0.46 \text{ m}, \quad b = 1.00 \text{ m},$$

$$M_d = 251.98 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad N_d = 96.62 \text{ kN}, \quad V_d = 550.58 \text{ kN}$$

$$e_0 = M_d / N_d = 2.608 \text{ m}$$

$$i = h/12^{1/2} = 0.144 \text{ m}$$

长细比 $l_0/i = 23.56 > 17.5$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.10条

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7e_0/h_0 = 15.507 > 1.0, \quad \text{取} \xi_1 = 1.00$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.01l_0/h = 1.082 > 1.0, \quad \text{取} \xi_2 = 1.00$$

$$\eta = 1 + (l_0/h)^2 \xi_1 \xi_2 h_0 / 1400 e_0$$

$$\eta = 1.006$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.5条

$$e = \eta e_0 + h/2 - a = 2.833 \text{ m}$$

$$r_0 N_d e = f_{cd} b x (h_0 - x/2)$$

$$273.74 = 16100 x (0.46 - x/2)$$

解得

$$x = 0.039 \text{ m} \leq \xi_b h_0 = 0.53 \times 0.46 = 0.244 \text{ m}$$

故为大偏心受压构件。

$$A_s = (f_{cd} b x - r_0 N_d) / f_{sd} = 0.001456959 \text{ m}^2 = 1457.0 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 100 A_s / (b h_0) = 0.32 \% > 0.2 \%$$

符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第9.1.12条的要求。

选用 $\Phi 25 @ 330 \text{ mm}$, 实际 $A_s = 1487.5 \text{ mm}^2$

$$0.51 \times 10^{-3} f_{cu,k}^{1/2} b h_0 = 1387.9 \text{ kN} > r_0 V_d = 550.6 \text{ kN}$$

故抗剪截面符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.9条的要求。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.10条

$$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 = 349.6 \text{ kN} < r_0 V_d = 550.6 \text{ kN}$$

需要验算斜截面抗剪承载力。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.7条

$$V_{CS} = a_1 a_2 a_3 0.45 \times 10^{-3} b h_0 (2 + 0.6 p) f_{cu,k}^{0.5} p_{sv} f_{sv} = 921.89 \text{ kN} > r_0 V_d = 550.6 \text{ kN}$$

故斜截面内混凝土与箍筋共同的抗剪承载力已满足要求。

2、底板 (C-D\D-F)

钢筋按左、右对称,用最不利荷载计算。

(1)跨中

$$l_0 = 3.40 \text{ m} , \quad h = 0.40 \text{ m} , \quad a = 0.04 \text{ m} , \quad h_0 = 0.36 \text{ m} , \quad b = 1.00 \text{ m} ,$$

$$M_d = 107.23 \text{ kN} \cdot \text{m} , \quad N_d = 219.84 \text{ kN} , \quad V_d = 40.45 \text{ kN}$$

$$e_0 = M_d / N_d = 0.488 \text{ m}$$

$$i = h/12^{1/2} = 0.115 \text{ m}$$

长细比

$$l_0 / i = 29.44 > 17.5$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.10条

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7 e_0 / h_0 = 3.858 > 1.0 , \quad \text{取 } \xi_1 = 1.00$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.011l_0/h = 1.065 > 1.0, \quad \text{取} \xi_2 = 1.00$$

$$\eta = 1 + (l_0/h)^2 \xi_1 \xi_2 h_0 / 1400 e_0$$

$$\eta = 1.038$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.5条

$$e = \eta e_0 + h/2 - a = 0.666 \text{ m}$$

$$r_0 N_d e = f_{cd} b x (h_0 - x/2)$$

$$146.49 = 16100x(0.36 - x/2)$$

$$\text{解得} \quad x = 0.026 \text{ m} \leq \xi_b h_0 = 0.53 \times 0.36 = 0.191 \text{ m}$$

故为大偏心受压构件。

$$A_s = (f_{cd} b x - r_0 N_d) / f_{sd} = 0.000562418 \text{ m}^2 = 562.4 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 100 A_s / (b h_0) = 0.16 \% < 0.2 \%$$

应按最小配筋率配置受拉钢筋。

选用 $\Phi 25 @ 680 \text{ mm}$, 实际 $A_s = 721.9 \text{ mm}^2$

$$0.51 \times 10^{-3} f_{cu,k}^{1/2} b h_0 = 1086.2 \text{ kN} > r_0 V_d = 40.4 \text{ kN}$$

故抗剪截面符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.9条的要求。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.10条

$$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 = 273.6 \text{ kN} > r_0 V_d = 40.4 \text{ kN}$$

故可不进行斜截面抗剪承载力的验算, 仅需按(JTG D62—2004)第9.3.13条构造要求配置箍筋。

(2) 结点

$$l_0 = 3.40 \text{ m}, \quad h = \delta + C_1 = 0.50 \text{ m}, \quad a = 0.04 \text{ m}, \quad h_0 = 0.46 \text{ m}, \quad b = 1.00 \text{ m},$$

$$M_d = 246.77 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad N_d = 219.84 \text{ kN}, \quad V_d = 550.58 \text{ kN}$$

$$e_0 = M_d / N_d = 1.123 \text{ m}$$

$$i = h / 12^{1/2} = 0.144 \text{ m}$$

长细比

$$l_0 / i = 23.56 > 17.5$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.10条

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7 e_0 / h_0 = 6.789 > 1.0, \quad \text{取} \xi_1 = 1.00$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.011l_0/h = 1.082 > 1.0, \quad \text{取} \xi_2 = 1.00$$

$$\eta = 1 + (l_0/h)^2 \xi_1 \xi_2 h_0 / 1400 e_0$$

$$\eta = 1.014$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.5条

$$e = \eta e_0 + h/2 - a = 1.348 \text{ m}$$

$$r_0 N_d e = f_{cd} b x (h_0 - x/2)$$

$$296.28 = 16100x(0.46 - x/2)$$

解得

$$x = 0.042 \text{ m} \leq \xi_b h_0 = 0.53 \times 0.46 = 0.244 \text{ m}$$

故为大偏心受压构件。

$$A_s = (f_{cd} b x - r_0 N_d) / f_{sd} = 0.00126385 \text{ m}^2 = 1263.9 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 100 A_s / (b h_0) = 0.27 \% > 0.2 \%$$

符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第9.1.12条的要求。

选用 $\Phi 25 @ 380 \text{ mm}$, 实际 $A_s = 1291.8 \text{ mm}^2$

$$0.51 \times 10^{-3} f_{cu,k}^{1/2} b h_0 = 1387.9 \text{ kN} > r_0 V_d = 550.6 \text{ kN}$$

故抗剪截面符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.9条的要求。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.10条

$$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 = 349.6 \text{ kN} < r_0 V_d = 550.6 \text{ kN}$$

需要验算斜截面抗剪承载力。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.7条

$$V_{cs} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 0.45 \times 10^{-3} b h_0 (2 + 0.6 p) f_{cu,k}^{0.5} p_{sv} f_{sv} = 864.85 \text{ kN} > r_0 V_d = 550.6 \text{ kN}$$

故斜截面内混凝土与箍筋共同的抗剪承载力已满足要求。

3、左、右侧板 (A-C, E-F)

(1)板中

$$l_0 = 3.90 \text{ m} , \quad h = 0.40 \text{ m} , \quad a = 0.04 \text{ m} , \quad h_0 = 0.36 \text{ m} , \quad b = 1.00 \text{ m} ,$$

$$M_d = 76.73 \text{ kN} \cdot \text{m} , \quad N_d = 296.04 \text{ kN} , \quad V_d = 7.02 \text{ kN}$$

$$e_0 = M_d / N_d = 0.259 \text{ m}$$

$$i = h/12^{1/2} = 0.115 \text{ m}$$

长细比

$$l_0 / i = 33.77 > 17.5$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.10条

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7 e_0 / h_0 = 2.155 > 1.0 , \quad \text{取 } \xi_1 = 1.00$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.01 l_0 / h = 1.053 > 1.0 , \quad \text{取 } \xi_2 = 1.00$$

$$\eta = 1 + (l_0 / h)^2 \xi_1 \xi_2 h_0 / 1400 e_0$$

$$\eta = 1.094$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.5条

$$e = \eta e_0 + h/2 - a = 0.442 \text{ m}$$

$$r_0 N_d e = f_{cd} b x (h_0 - x/2)$$

$$130.70 = 16100x (0.36 - x/2)$$

解得

$$x = 0.023 \text{ m} \leq \xi_b h_0 = 0.53 \times 0.36 = 0.190 \text{ m}$$

故为大偏心受压构件。

$$A_s = (f_{cd} b x - r_0 N_d) / f_{sd} = 0.000226138 \text{ m}^2 = 226.1 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 100 A_s / (b h_0) = 0.06 \% < 0.2 \%$$

应按最小配筋率配置受拉钢筋。

选用 $\Phi 25 @ 680 \text{ mm}$,

$$\text{实际 } A_s = 721.9 \text{ mm}^2$$

$$0.51 \times 10^{-3} f_{cu,k}^{1/2} b h_0 = 1080.2 \text{ kN} > r_0 V_d = 7.0 \text{ kN}$$

故抗剪截面符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.9条的要求。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.10条

$$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 = 272.1 \text{ kN} > r_0 V_d = 7.0 \text{ kN}$$

故可不进行斜截面抗剪承载力的验算, 仅需按(JTG D62—2004)第9.3.13条构造要求配置箍筋。

(2) 结点

$$l_0 = 3.90 \text{ m} , \quad h = t + C_2 = 0.80 \text{ m} , \quad a = 0.04 \text{ m} , \quad h_0 = 0.76 \text{ m} , \quad b = 1.00 \text{ m} ,$$

$$M_d = 224.15 \text{ kN} \cdot \text{m} , \quad N_d = 296.04 \text{ kN} , \quad V_d = 137.99 \text{ kN}$$

$$e_0 = M_d / N_d = 0.757 \text{ m}$$

$$i = h/12^{1/2} = 0.231 \text{ m}$$

长细比

$$l_0 / i = 16.89 < 17.5$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.10条, 不考虑偏心距增大系数。

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7 e_0 / h_0 = 2.897 > 1.0 , \quad \text{取 } \xi_1 = 1.00$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.01 l_0 / h = 1.101 > 1.0 , \quad \text{取 } \xi_2 = 1.00$$

$$\eta = 1 + (l_0 / h)^2 \xi_1 \xi_2 h_0 / 1400 e_0$$

$$\eta = 1.000$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.5条

$$e = \eta e_0 + h/2 - a = 1.115 \text{ m}$$

$$r_0 N_d e = f_{cd} b x (h_0 - x/2)$$

$$330.14 = 16100x (0.76 - x/2)$$

解得

$$x = 0.028 \text{ m} \leq \xi_b h_0 = 0.53 \times 0.76 = 0.402 \text{ m}$$

故为大偏心受压构件。

$$A_s = (f_{cd}bx - r_0 N_d) / f_{sd} = 0.000409885 \text{ m}^2 = 409.9 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 100A_s / (bh_0) = 0.05 \% < 0.2 \%$$

应按最小配筋率配置受拉钢筋。

选用 $\Phi 25 @ 320 \text{ mm}$, 实际 $A_s = 1534.0 \text{ mm}^2$

$$0.51 \times 10^{-3} f_{cu,k}^{1/2} b h_0 = 2287.0 \text{ kN} > r_0 V_d = 138.0 \text{ kN}$$

故抗剪截面符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.9条的要求。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.10条

$$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 = 576.1 \text{ kN} > r_0 V_d = 138.0 \text{ kN}$$

故可不进行斜截面抗剪承载力的验算, 仅需按(JTG D62—2004)第9.3.13条构造要求配置箍筋。

3、中间板 (B-D)

(1)板中

$$l_0 = 3.90 \text{ m} , \quad h = 0.40 \text{ m} , \quad a = 0.04 \text{ m} , \quad h_0 = 0.36 \text{ m} , \quad b = 1.00 \text{ m} ,$$

$$M_d = 431.01 \text{ kN} \cdot \text{m} , \quad N_d = 550.58 \text{ kN} , \quad V_d = 234.61 \text{ kN}$$

$$e_0 = M_d / N_d = 0.783 \text{ m}$$

$$i = h / 12^{1/2} = 0.115 \text{ m}$$

长细比 $l_0 / i = 33.77 > 17.5$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.10条

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7e_0 / h_0 = 6.071 > 1.0 , \quad \text{取} \xi_1 = 1.00$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.01l_0 / h = 1.053 > 1.0 , \quad \text{取} \xi_2 = 1.00$$

$$\eta = 1 + (l_0 / h)^2 \xi_1 \xi_2 h_0 / 1400 e_0$$

$$\eta = 1.031$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.5条

$$e = \eta e_0 + h / 2 - a = 0.967 \text{ m}$$

$$r_0 N_d e = f_{cd} b x (h_0 - x / 2)$$

$$532.56 = 16100 x (0.36 - x / 2)$$

解得 $x = 0.108 \text{ m} \leq \xi_b h_0 = 0.53 \times 0.36 = 0.191 \text{ m}$

故为大偏心受压构件。

$$A_s = (f_{cd}bx - r_0 N_d) / f_{sd} = 0.003306006 \text{ m}^2 = 3306.0 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 100A_s / (bh_0) = 0.92 \% > 0.2 \%$$

符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第9.1.12条的要求。

选用 $\Phi 25 @ 140 \text{ mm}$, 实际 $A_s = 3506.2 \text{ mm}^2$

$$0.51 \times 10^{-3} f_{cu,k}^{1/2} b h_0 = 1086.2 \text{ kN} > r_0 V_d = 234.6 \text{ kN}$$

故抗剪截面符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.9条的要求。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.10条

$$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 = 273.6 \text{ kN} < r_0 V_d = 772.8 \text{ kN}$$

FALSE

(2) 结点

$$l_0 = 3.90 \text{ m} , \quad h = t + C_2 = 1.20 \text{ m} , \quad a = 0.04 \text{ m} , \quad h_0 = 1.16 \text{ m} , \quad b = 1.00 \text{ m} ,$$

$$M_d = 32.90 \text{ kN} \cdot \text{m} , \quad N_d = 550.58 \text{ kN} , \quad V_d = 481.04 \text{ kN}$$

$$e_0 = M_d / N_d = 0.060 \text{ m}$$

$$i = h / 12^{1/2} = 0.346 \text{ m}$$

长细比 $l_0 / i = 11.26 < 17.5$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.10条, 不考虑偏心距增大系数。

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7 e_0 / h_0 = 0.339 \leq 1.0 , \quad \text{取 } \xi_1 = 0.34$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.01 l_0 / h = 1.118 > 1.0 , \quad \text{取 } \xi_2 = 1.00$$

$$\eta = 1 + (l_0 / h)^2 \xi_1 \xi_2 h_0 / 1400 e_0$$

$$\eta = 1.000$$

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.3.5条

$$e = \eta e_0 + h / 2 - a = 0.620 \text{ m}$$

$$r_0 N_d e = f_{cd} b x (h_0 - x / 2)$$

$$341.22 = 16100 x (1.16 - x / 2)$$

解得 $x = 0.018 \text{ m} \leq \xi_b h_0 = 0.53 \times 1.16 = 0.615 \text{ m}$

故为大偏心受压构件。

$$A_s = (f_{cd} b x - r_0 N_d) / f_{sd} = 0.000705752 \text{ m}^2 = 705.8 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 100 A_s / (b h_0) = 0.06 \% < 0.2 \%$$

应按最小配筋率配置受拉钢筋。

选用 $\Phi 25 @ 210 \text{ mm}$, 实际 $A_s = 2337.5 \text{ mm}^2$

$$0.51 \times 10^{-3} f_{cu,k}^{1/2} b h_0 = 3500.0 \text{ kN} > r_0 V_d = 481.0 \text{ kN}$$

故抗剪截面符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5.2.9条的要求。

由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第5. 2. 10条

$$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0 = 881.6 \text{ kN} > r_0 V_d = 481.0 \text{ kN}$$

故可不进行斜截面抗剪承载力的验算，仅需按(JTG D62—2004)第9. 3. 13条构造要求配置箍筋。

(五)配筋图

见设计图纸。

(六)基底应力验算

1、荷载计算（取单位涵长计算）

(1)恒载

箱重力 $P_{箱} = 2 \gamma_2 (\delta L + 1.5 t h_0 + 2 C_1 C_2) = 321.0 \text{ kN}$
基础重力 $P_{基} = \gamma_3 B d = 25.9 \text{ kN}$
填土重力 $P_{土} = \gamma_1 H L + \gamma_1 (H + h) * 2 c = 1391.2 \text{ kN}$
水重力 $P_{水} = \gamma_{水} (2 L_0 h_0 - 4 C_1 C_2) = 208.4 \text{ kN}$

(2)车辆荷载（由图L-07）

竖直力 $P_{车} = q_{车} L = 341.9 \text{ kN}$
水平力 $E_{车} = e_{车} (h + d) = 47.3 \text{ kN}$
弯矩 $M_{车} = E_{车} (h + d) / 2 = 104.1 \text{ kN} \cdot m$

2、基底应力

$$N = P_{箱} + P_{基} + P_{土} + P_{水} + P_{车} = 2288.4 \text{ kN}$$
$$M = M_{车} = 104.1 \text{ kN} \cdot m$$

由《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)第3. 2. 2-2式

$$\sigma = N/A \pm M/W = N/B \pm 6M/B^2$$
$$= \begin{matrix} 213.2 \\ 202.9 \end{matrix} \text{ kPa} < [\sigma_0] = 250 \text{ kPa} \quad \text{基底应力满足设计要求。}$$

(七)计算结果:

截面位置	顶板		底板		侧墙		中墙	
	跨中	节点	跨中	节点	跨中	节点	跨中	节点
钢筋直径(mm)	25	25	25	25	25	25	25	25
主筋间距(cm)	68	33	68	38	68	32	14	21

基底应力: $\sigma_{max} = 213.2 \text{ kPa}$