



圆端形桥墩墩身检算实例

一、检查资料及要求

- (1) 桥跨结构：等跨的 $L=16m$ 道砟桥面钢筋混凝土梁（参标桥1023）梁全长 $16.5m$ ，梁高 $0.6m$ ，轨底至梁底的高度为 $1.75m$ ，轨底至桥墩支承垫石顶面高度 $1.84m$ 。桥墩支座，支座全高 $0.09m$ ，支座中心距支承垫石面为 $0.043m$ 。每孔梁重 $417.8kN$ ，梁上采用木枕道砟桥面，双侧 $1.05m$ 宽的侧沟，重为 $38kN/m$ 。
- (2) 桥上的线路情况：I级铁路，单线，平坡，直线。
- (3) 荷载：列车荷载为 ZK 活载，风压强度按标准设计要求采用。
- (4) 土质情况： Q_4 冲积土（按潜水考虑），液性指数 $IL=0.6$ ，孔隙比 $e=0.7$ ，基本承载力 $\sigma_0=270kPa$ 。水位以上土的容重 $\gamma=17kN/m^3$ ，水位以下土的容重 $\gamma'=10.7kN/m^3$ 。
- (5) 水文资料：桥墩墩位置处平时无水，地下水位在地面（即铺石面）以下 $2m$ 处，设计洪水水位在地面以上 $3m$ 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2-75，顶帽等用 $C30$ 钢筋混凝土，墩身基础等用 $C30$ 卵石混凝土。
- (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》检算墩身底部截面。

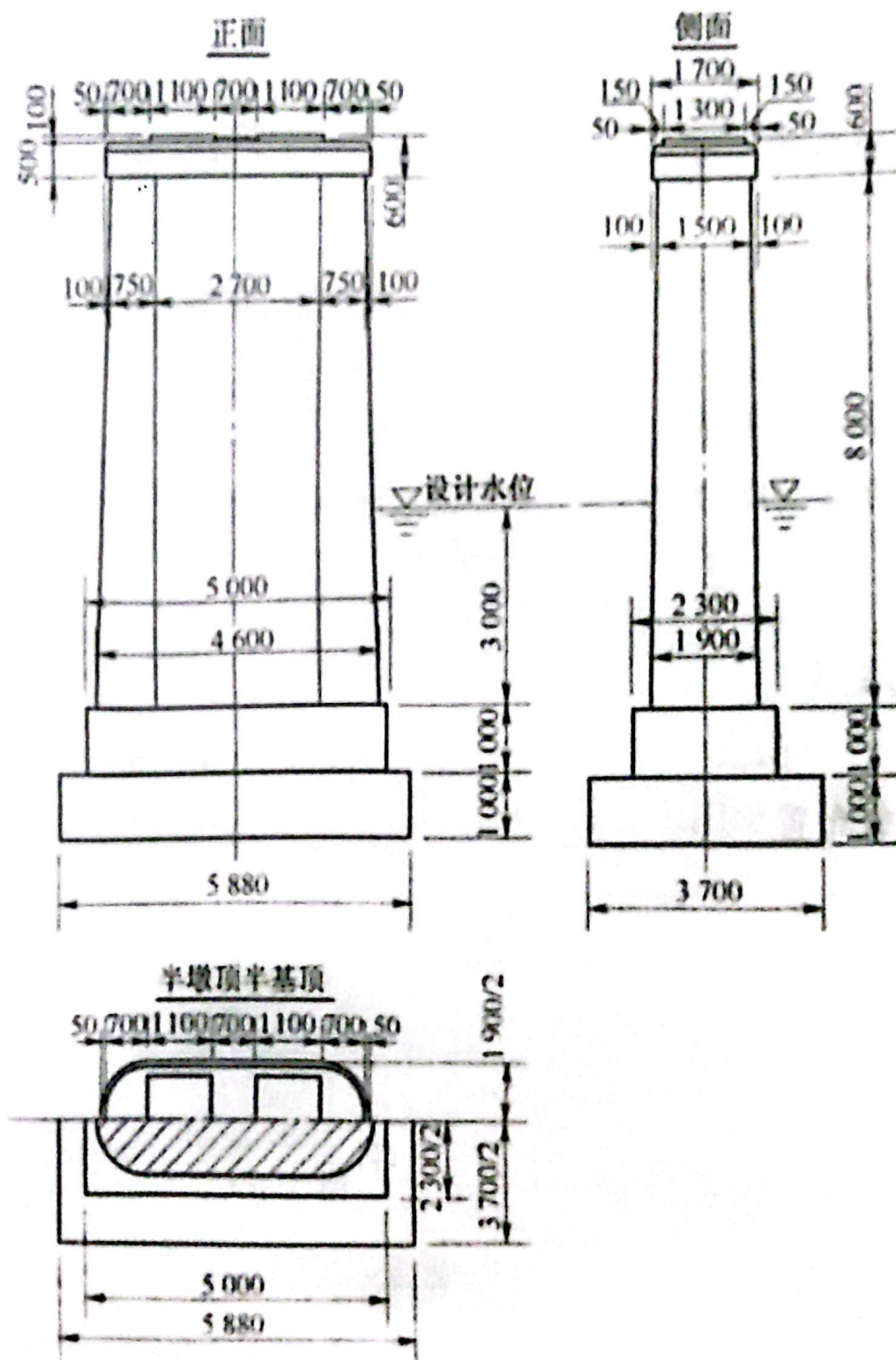


图 2-15 圆端形桥墩各部分尺寸(单位:mm)



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_1 为单孔梁重及左右孔梁跨跨中之间 $(16.5 + 0.06 = 16.56m)$ 的梁上线路设备、人行道的重量即

$$N_1 = 441.8 + 38 \times 16.56 = 1077.08 (kN)$$

(2) 顶帽及墩身重

顶帽为圆端形(图2-15)，其体积

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

顶帽重 $N_{2-1} = V_{2-1} \times \gamma_{\text{钢筋混凝土}} = 3.43 \times 25 = 85.75 (kN)$

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

墩底面积 $A_2 = \pi \times 2.95^2 + 1.9 \times 2.7 = 7.97 (m^2)$

墩身体积 $V_{2-2} = \frac{H}{6} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) = \frac{8}{6} (5.82 + 7.97 + \sqrt{5.82 \times 7.97}) = 54.93 (m^3)$

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

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. 竖向静活载

(1) 单孔轻载，活载分布如图2-16(a)所示

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

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

R_1 对桥墩中心力矩为 $M_{R_1} = R_1 \times 0.28 = 212.73 kN \cdot m$

(2) 单孔重载，活载布置如图2-16(b)所示

$$\text{支点反力 } R_2 = \frac{1}{16} [10.9 \times 85 \times (\frac{10.9}{2} - 0.25) + 250 \times 4 \times (10.9 + \frac{12.8}{2} + 0.5 - 0.25)] = 1416.74 kN$$

R_2 对桥墩中心力矩为 $M_{R_2} = R_2 \times 0.28 = 396.69 kN \cdot m$

天下大事，必作于细，天下难事，必成于易。——《老子》



(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 $G_1 = G_2$

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

利用静力平衡可得活载压力

$$R_3 = R_4 = \frac{1}{16} [1633.05 \times (\frac{13.33}{2} - 0.25) + 2 \times 250 \times (16.53 - 0.25 - 0.16)] = 913.03 \text{ kN}$$

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

活载压力对桥墩中心的力矩

$$\text{由 } R_3 = R_4 \text{ 得 } M_{R_{3-4}} = 0$$

(4) 双孔空车活载，活载分布布置如图 2-16(d) 所示。

$$\text{桥墩所受压力 } R_{\text{空}} = 2R_5 = 2 \times (10 \times \frac{16.53}{2}) = 165.6 \text{ kN}$$

$$\text{空车对桥墩中心的力矩 } M_{R_{\text{空}}} = 0$$

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，故其制动力也相等为

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

P_t 对墩身底部截面的力矩为

$$M_{P_t} = P_t (8 + 0.043) = 192.65 \times (8 + 0.043) = 1665.07 \text{ kNm}$$

(2) 双孔重载的制动力

$$\text{左孔梁力固定支座传递的制动力: } P_{t1} = 1633.05 \times 0.1 \times 100\% = 163.31 \text{ kN}$$

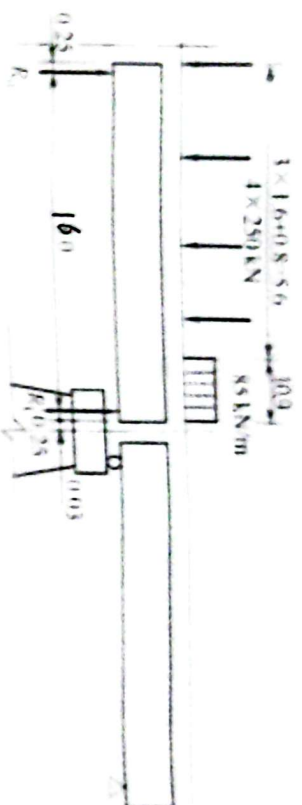
$$\text{右孔梁力滑动平板支座传递的制动力: } P_{t2} = 953.05 \times 0.1 \times 50\% = 47.65 \text{ kN}$$

$$\text{传到桥墩上的制动力 } P_t = P_{t1} + P_{t2} = 210.96 \text{ kN} < P_{t\text{max}} = 192.65 \text{ kN}$$

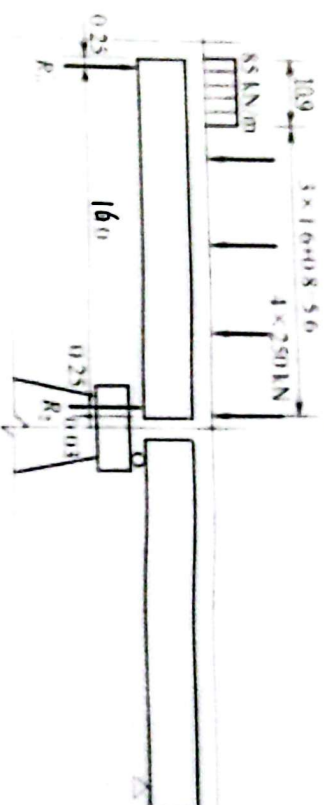
$$\text{双孔重载时采用制动力 } P_t = P_{t\text{max}} = 192.65 \text{ kN}$$

$$\text{. } P_t \text{ 对墩底截面的力矩 } M_{P_t} = 192.65 \times (8 + 0.043) = 1665.07 \text{ kNm}$$

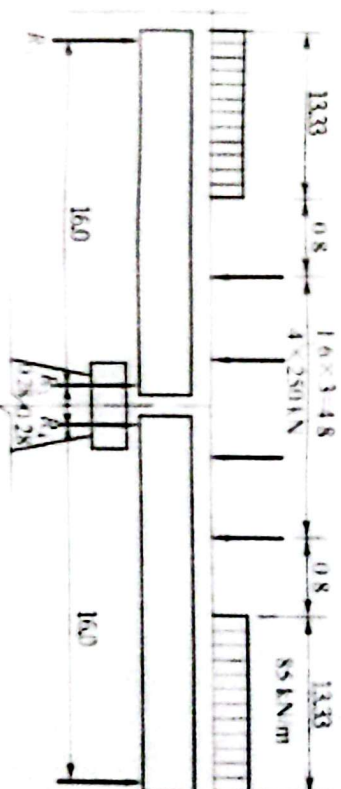
天下大事，必作于细，天下难事，必成于易。



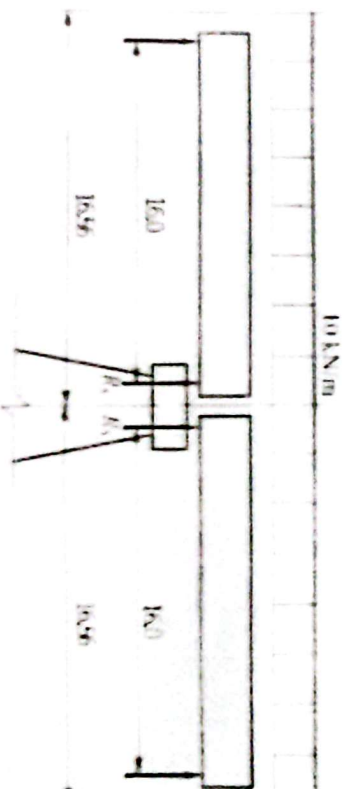
(a) 单孔梁



(b) 单孔梁



(c) 双孔梁



(d) 双孔梁



4. 纵向风力

$$W = k_1 k_2 s w_0 p_a = 1.1 \times 1.0 \times 0.8 = 0.88 \text{ kPa}$$

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

P_{w1} 对墩底截面的力矩 $M_{P_{w1}} = 1.94 \times (8 + 0.25) = 16.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

P_{w2} 作用点至检算墩底截面的距离为 $y' = \frac{8}{2} \times (\frac{4.6 + 2 \times 4.2}{4.6 + 4.2}) = 3.94 \text{ m}$

桥墩风力 $P_w = P_{w1} + P_{w2} = 30.92 \text{ kN}$

P_w 对墩底截面的力矩 $M_{P_w} = 138.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$

5. 横向风力

有轨桥墩横向风压

$$W_{有轨} = k_1 k_2 \times 0.8 = 0.3 \times 1 \times 0.8 = 0.24 \text{ kPa}$$

无轨桥墩横向风压

$$W_{无轨} = k_1 k_2 \times 1.4 = 0.3 \times 1 \times 1.4 = 0.42 \text{ kPa}$$

$\frac{l}{b} > 1.5$ 由表 2-1 查得为 0.3

有车时列车梁上横向风压 $W_{有梁} = k_1 k_2 \times 0.8 = 1.3 \times 1 \times 0.8 = 1.04 \text{ kPa}$

无车时列车梁上横向风压 $W_{无梁} = k_1 k_2 \times 1.4 = 1.3 \times 1 \times 1.4 = 1.82 \text{ kPa}$

k_1 取 1.3

将桥墩横向风力计算至设计桥净水位处(设计桥净水位高出地面 3m)列表计算

| 项目 | 风办: 风压强度 \times 受风面积 (kN) | 风力对墩底的力矩 = 风力 \times 该处基力臂 |
|----|--|---|
| 列车 | $P_{列} = 1.04 \times 10.56 \times 3 = 32.95$ | $M_{P_{列}} = 32.95 \times (2 + 0.15 + 1.84 + 0.6 + 8) = 413.72$ |
| 梁 | $P_{梁} = 1.04 \times 10.56 \times (1.84 + 0.15 + 0.09) = 20.87$ | $M_{P_{梁}} = 20.87 \times (\frac{1.84 + 0.15 + 0.09}{2} + 0.09 + 0.6 + 8) = 201.19$ |
| 迎风 | $P_{w1} = 0.24 \times 0.5 \times 1.7 = 0.2$ | $M_{P_{w1}} = 0.2 \times (\frac{0.5}{2} + 8) = 1.65$ |
| 侧身 | $P_{w2} = 0.24 \times (\frac{1}{2} \times (1.5 + 1.75) \times 1.5) = 1.95$ | $M_{P_{w2}} = 1.95 \times (\frac{1}{2} \times \frac{1.75 + 2 \times 1.5}{1.75 + 1.5} + 1.3 + 10.6)$ |

天下大事，必作于细，天下难事，必成于易。——《老子》

合计 $P_w = 55.97$

$M_{P_w} = 627.16$



| 项目 | 力和力矩 | 风力和力矩 | 风力和力矩 |
|----|------|---|--|
| 梁 | | $P_W = 1.82 \times 10.50 \times (1.84 + 0.15 - 0.08) = 35.2$ | $M_{P_W} = 35.2 \times \left(\frac{1.84 + 0.15 - 0.08}{2} + 0.09 + 0.6 + 8 \right) = 352.05$ |
| 压帽 | | $P_{W1} = 0.92 \times 0.5 \times 1.7 = 0.36$ | $M_{P_{W1}} = 0.36 \times \left(\frac{0.5}{2} + 8 \right) = 2.97$ |
| 墩身 | | $P_{W2} = 0.42 \left[\frac{1}{2} (1.5 + 1.75) \times 5 \right] = 3.14$ | $M_{P_{W2}} = 3.14 \times \left(\frac{5}{2} \times \frac{1.75 + 1.5}{1.75 + 1.5} + 3 \right) = 18.52$ |
| 合计 | | $P_W = 40.02$ | $M_{P_W} = 373.56$ |

6. 流水压力

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

桥墩的形状系数由表 2-4 查得为 0.6，设计频率水位时的墩身水压力

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

流水压力作用点在设计频率水位以下 3/4 水深处（即 $\frac{1}{3} \times 3 = 1 \text{ m}$ ），力臂值 $2 - 1 = 1 \text{ m}$

对墩底截面的力矩为 $M_P = 14.80 \times 2 = 29.60 \text{ kN}\cdot\text{m}$

三 墩身底部截面特性

1. 墩底的面积 $A_2 = \frac{\pi}{4} d^2 + ad = \frac{\pi}{4} \times 1.9^2 + 2.7 \times 1.9 = 7.97 \text{ m}^2$

截面绕垂直弯矩作用面的形心轴的惯性矩

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

截面抗弯矩 $W_y = \frac{I_y}{\frac{d}{2}} = \frac{2.18}{\frac{1.9}{2}} = 2.30 \text{ m}^3$

2. 墩身受压稳定性的验算

$$l_0 = 2 \times (16 + 0.6) = 33.2 \text{ m}$$

列表计算



| 工况情况 | 单孔轻载 | | 单孔重载 | | 双孔重载 | |
|---|---|---|--|---|--|----------|
| 内力矩 | $N(kN)$ | $M(kNm)$ | $N(kN)$ | $M(kNm)$ | $N(kN)$ | $M(kNm)$ |
| 主梁 标准恒载 N_1 | 1077.08 | | 1077.08 | | 1077.08 | |
| 活载压力 R | 759.76 | 212.73 | 1416.74 | 386.69 | 1826.06 | 0 |
| 墩顶合力 (N, M) | 1836.84 | 212.73 | 2493.82 | 386.69 | 2903.14 | 0 |
| 墩顶初始偏心距 e_0 | $\frac{212.73}{1836.84} = 0.116$ | | $\frac{296.69}{2493.82} = 0.148$ | | $\frac{0}{2903.14} = 0$ | |
| 墩顶截面面积 $A_1(m^2)$ | | $\pi \times 0.75^2 + 1.5 \times 2.7 \times 5.82$ | | | | |
| 墩顶截面惯性矩 $I_1(m^4)$ | | $\frac{\pi}{64} \times 1.5^4 + \frac{1}{12} \times 1.5 \times 2.7^3 = 1.01$ | | | | |
| 墩底截面面积 $A_2(m^2)$ | | $\pi \times 0.95^2 + 1.9 \times 2.7 = 7.97$ | | | | |
| 墩底截面惯性矩 $I_2(m^4)$ | | $\frac{\pi}{64} \times 1.9^4 + \frac{1}{12} \times 2.7 \times 1.9^3 = 2.18$ | | | | |
| η (按 I_0/I_d 查表 2-7) | | $I_0/I_d = \frac{1.01}{2.18} = 0.463$ | | $\eta = 1.87 + \frac{0.13}{0.1} \times 0.063 = 1.195$ | | |
| 墩身平均面积 $A_0(m^2)$ | | $A_0 = \frac{A_1 + A_2}{2} = 6.90$ | | | | |
| 计算长度 $l_0(m)$ | | $2 \times (0.6 + 8) = 17.2$ | | | | |
| $\alpha = \frac{0.1}{0.2 + \frac{0.1}{\eta}}$ | $\frac{0.1}{0.2 + \frac{0.1}{1.16}} = 0.16$ | $\frac{0.1}{0.2 + \frac{0.1}{1.16}} = 0.53$ | $\frac{0.1}{0.2 + \frac{0.1}{1.16}} = 0.508$ | $\frac{0.1}{0.2 + \frac{0.1}{1.16}} = 0.66$ | | |
| 令 $\frac{4\eta E_0 I_d}{l_0^2} = X$ | | $\frac{4 \times 1.195 \times 2.18 \times 10^6}{17.2^2} = 0.845 \times 10^6$ | | | | |
| $\alpha \cdot X$ | 447850 | | 429260 | | 557700 | |
| $N_{cr} = \alpha \cdot X \left[1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\eta}} \right]$ | 67655 | | 67215 | | 69730 | |
| 主梁 N_{JSZ} ($k=2$) | $2 \times 1836.84 = 3673.68$ | | $2 \times 2493.82 = 4987.64$ | | $2 \times 2903.14 = 5806.28$ | |
| 主梁 $\eta_{xmax} = \frac{1}{1 - \frac{1.4 N_{JSZ}}{N_{cr}}}$ | 1.057 | | 1.080 | | 1.091 | |
| 主梁附加弯矩 ($k=1.6$) | $1.057 \times 1.6 \times 1836.84 = 2940$ | | $1.08 \times 1.6 \times 2493.82 = 3991.19$ | | $1.091 \times 1.6 \times 2903.14 = 4646.12$ | |
| 主梁附 η_{xmax} | $\frac{1}{1 - \frac{1.4 \times 2940}{67655}} = 1.045$ | | $\frac{1}{1 - \frac{1.4 \times 3991.19}{67215}} = 1.063$ | | $\frac{1}{1 - \frac{1.4 \times 4646.12}{69730}} = 1.071$ | |

天下大事，必作于细；天下难事，必成于易。