

连续桥面简支梁桥 墩台计算实例

Lianxu Qiaomian Jianzhiliangqiao
Duntai Jisuan Shili

袁伦一 编

人民交通出版社

前 言

公路桥梁设计，除特殊大桥外，上部结构一般多采用简支梁（板）上部结构标准图。下部结构设计，因跨径、孔数、墩台高度、地基情况多变，标准图难以适应这些多样变化的条件，即使采用了标准图的结构尺寸，有时还需根据实际情况进行验算。本书以当前最多用的桥面连续简支梁（板）上部结构配用橡胶支座、柔性墩、埋置式桥台或U形桥台作为下部结构计算示例，供设计、计算参考。由于橡胶支座在近十余年来大量使用，有关纵向水平力通过橡胶支座分配于桥墩台的计算方法在有关杂志上发表的不少，但作为系统地实用于设计、计算的示例尚少，故特编此书，作为设计时参考。

本书在编写过程中，承北京建筑工程学院李靖森老师的协助与指导，谨此表示感谢。

作 者

1994.6

(京)新登字091号

连续桥面简支梁桥墩台计算实例

袁伦一 编

插图设计: 汪萍 正文设计: 刘晓方 责任校对: 张梅

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

三河曙光印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: 6.875 字数: 152千

1995年3月 第1版

1995年3月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—5000 册 定价: 9.60 元

ISBN 7-114-02034-1

U·01364

内 容 提 要

本书共四个部分，内容包括：第一部分：单排双柱柔性墩、埋置式双肋桥台计算例题；第二部分：薄壁墩、U型桥台计算例题；第三部分：纵向水平力在墩台上的分配计算例题；第四部分：附录。

本书可供桥梁设计人员设计、计算桥面连续(或结构连续)的柔性墩及桥台参考之用。

目 录

第一部分 单排双柱柔性墩、埋置式 双肋桥台计算例题

第一节 桥墩计算.....	(1)
一、设计资料.....	(1)
二、纵向水平力.....	(2)
三、板式橡胶支座的剪切变形验算.....	(10)
四、竖直力.....	(11)
五、橡胶支座在竖直力作用下承载力验算.....	(14)
六、纵、横向风力.....	(15)
七、流水压力.....	(16)
八、桥墩外力汇总.....	(17)
九、桥墩计算偏心距的增大系数 η	(18)
十、墩柱截面验算.....	(26)
十一、桩截面验算.....	(28)
十二、2号墩的稳定性验算.....	(31)
十三、桩的承载力验算.....	(35)
第二节 桥台计算.....	(38)
一、设计资料.....	(38)
二、台身顶、底的台后土压力.....	(38)
三、基础底的台后土压力.....	(42)
四、台身底的台前土压力(图1-14).....	(44)
五、基础底的台前土压力.....	(45)
六、台后、台前土压力汇总.....	(47)

七、恒载	(49)
八、活载	(53)
九、摩阻力	(53)
十、台身底、基础底的作用力汇总	(54)
十一、台身顶、底及基础底的截面验算	(54)
十二、桥台耳墙计算	(65)
第三节 伸缩缝的选择	(69)
第四节 墩台盖梁计算	(71)
一、桥墩盖梁的荷载	(71)
二、盖梁、柱、桩的几何尺寸及有关系数	(73)
三、盖梁、柱、桩的弹性常数	(73)
四、组合变截面桩的弹性常数	(74)
五、载常数	(77)
六、恒载内力(荷载效应)	(80)
七、活载布置A的内力(荷载效应)	(84)
八、活载布置B的内力(荷载效应)	(87)
九、桥墩盖梁刚构内力(荷载效应)汇总	(93)
十、桥墩盖梁截面验算	(95)
十一、桥墩盖梁裂缝验算	(102)
第五节 斜桥桥墩顶的抗推刚度	(105)
一、斜桥桥墩顶的抗推刚度	(105)
二、顺墩长方向的墩顶抗推刚度	(105)
三、垂直于墩长方向的墩顶抗推刚度	(111)
四、斜桥桥墩顶的抗推刚度	(112)

第二部分 薄壁墩、U形桥台计算例题

第一节 桥墩计算	(113)
一、设计资料	(113)
二、纵向水平力的分配	(114)
三、支座水平剪切变形验算	(119)

四、横桥向风力	(120)
五、竖直力	(121)
六、橡胶支座在竖直力作用下承载力验算	(125)
七、桥墩的纵向偏心距增大系数 η	(127)
八、墩身截面验算(1 号墩)	(132)
九、墩基础底截面地基应力验算	(139)
十、墩基础底截面作用力偏心距验算	(144)
十一、墩基础底面抗倾覆稳定及抗滑动稳定验算	(146)
第二节 桥台计算	(148)
一、设计资料	(148)
二、土压力	(148)
三、温降、混凝土收缩影响力,制动力	(151)
四、桥台自重及台内填土重力及其对基础底中心的 偏心弯矩	(151)
五、桥台基础底面外力汇总	(154)
六、桥台基础底应力验算	(155)
七、桥台基础底作用力偏心距验算	(155)
八、桥台基础底抗倾覆及抗滑动稳定验算	(156)
第三节 伸缩缝的选择	(156)

第三部分 纵向水平力在墩台上的 分配计算例题

一、说明	(159)
二、设计资料	(159)
三、抗推刚度	(160)
四、混凝土收缩、徐变及温度下降影响力的分配	(169)
五、温度上升影响力的分配	(180)
六、制动力的分配	(180)
七、墩顶及支座水平力汇总表	(188)
八、支座剪切变形验算	(190)

九、伸缩缝的选择 (191)

第四部分 附 录

附录 I ρ_2, ρ_3, ρ_4 计算系数表 (196)

附录 II 确定桩身最大弯矩及其位置的系数表 ... (201)

附录 III 合力作用点位于截面上任意一点时的
应力重分布 (202)

附录 IV 抗推刚度集成简介 (203)

附录 V 原联邦德国钢筋混凝土规范(DIN 1045)
(1978)关于钢筋搭接的有关规定 (206)

附录 VI BF 系列伸缩缝主要技术参数 (209)

参考文献 (210)

第一部分 单排双柱柔性墩、 埋置式双肋桥台 计算例题

第一节 桥墩计算

一、设计资料

1. 上部结构 5孔30m连续桥面简支梁，30m装配式预应力混凝土简支梁。0号台及5号台为活动支座，其余各墩为板式橡胶支座。施工程序为先简支梁安装，再桥面连续。桥台上设橡胶伸缩缝，桥墩上设桥面连续。每跨横向设5片梁。

2. 桥梁宽度 净宽10.25m，全宽11.25m。

3. 载重 汽车—超20级；挂车—120。

4. 支座 在墩顶每梁梁端设250mm×350mm×57mm板式橡胶支座一个；在台顶每梁梁端设250mm×350mm×59mm四氟板活动支座一个。

5. 下部结构 双柱式圆柱墩，直径1.5m；钻孔桩直径1.8m，长30m。墩柱与桩均为25号混凝土，II级钢筋。两柱中距6.10m。

6. 气温 当地月平均最高温度为35℃，月平均最低温度为0℃。简支梁安装、桥面连续、伸缩缝安装等施工温度为15℃~25℃。

7. 桥梁立面及横截面布置如图1-1所示。

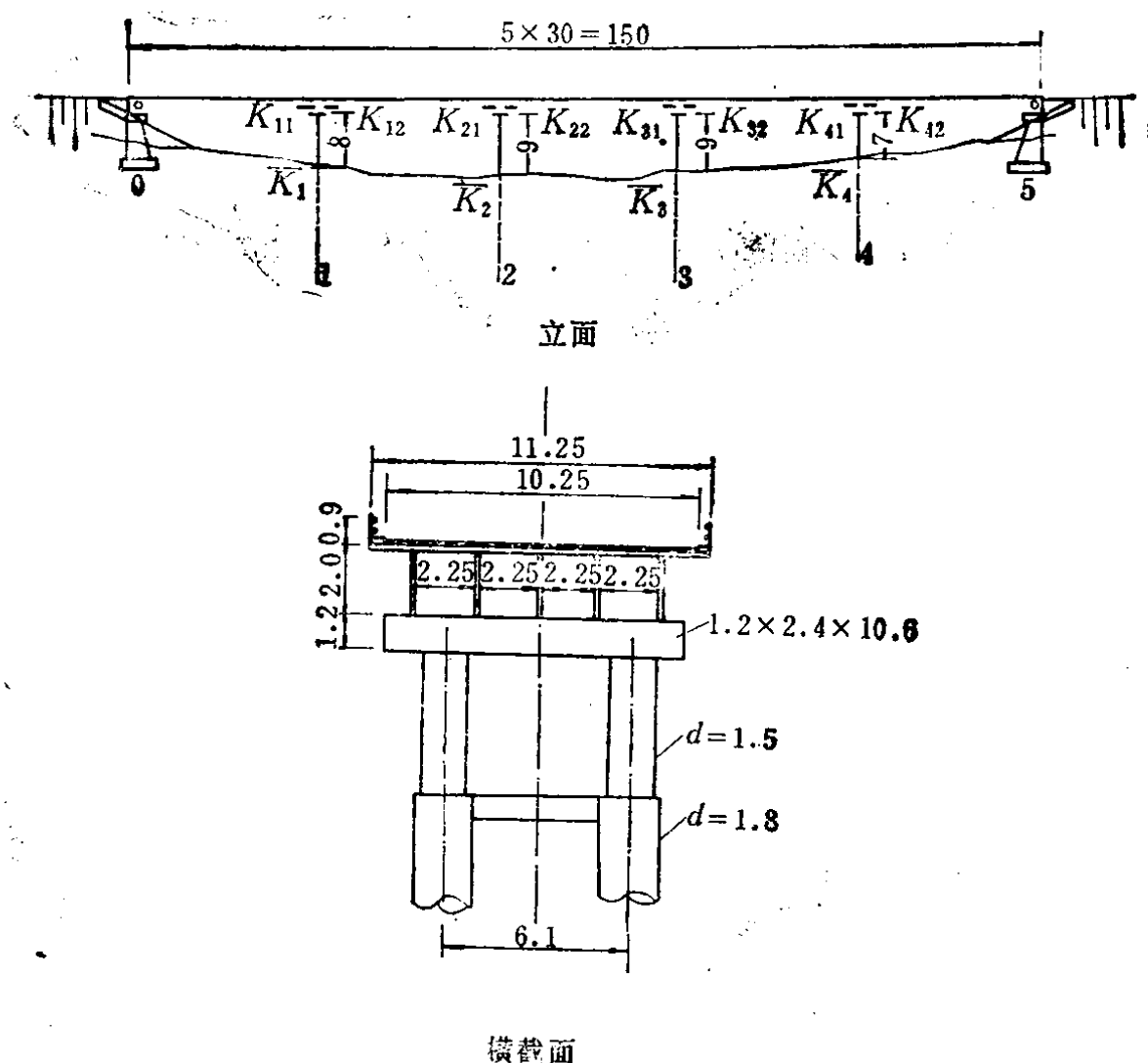


图1-1 桥型布置图(单位: m)

二、纵向水平力

墩台的纵向水平力有温度影响力、混凝土收缩及徐变影响力、支座摩阻力及汽车制动力。各纵向水平力的计算、分配如下:

1. 桥墩墩顶的抗推刚度

本例上部结构为一联桥面连续(凡一联结构连续,其计算、分配方法亦同)。纵向水平力中,除支座摩阻力由桥台承受外,其余各力均将按集成刚度法分配给各支座及墩顶。

墩顶的抗推刚度（以下简称墩顶刚度）按下式计算：

$$\bar{K}_i = \frac{n}{[(h^3/3 \times 0.8E_{h1}I_{h1}) + \delta_{HH} + \delta_{HM}h + \delta_{MH}h + \delta_{MM}h^2]} \quad (1-1)$$

式中 $\bar{K}_i$ —— i 号墩墩顶刚度；

n ——一个单排桩桥墩墩柱数， $n=2$ ；

$0.8E_{h1}I_{h1}$ ——柱材料25号混凝土弹性模量与柱毛截面惯性矩乘积的0.8倍，此系参考《铁路桥涵设计规范（TBJ2—85）》第5.3.1条，采用0.8为折减系数； $0.8E_{h1}I_{h1} = 0.8 \times 2.85 \times 10^7 \times \frac{\pi}{64} \times 1.5^4 = 5\,666 \times 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ ；

δ_{HH}, δ_{HM} ，——用“ m ”法计算桩基时有关系数，见规范 JTJ 024—85附录六，在计算上述数值时，桩的弹性模量与桩的毛截面惯性矩的乘积仍应乘以0.8；

h ——墩高（墩顶至桩顶），假定桩顶与地面平齐，如桩顶高于地面，则式（1-1）应改用本例第五节式（1-35）。

$$\begin{aligned} \delta_{HH} &= \frac{1}{0.8E_{h2}I_{h2}\alpha^3} \times \frac{(B_3D_4 - B_4D_3)}{(A_3B_4 - A_4B_3)} \\ &= \frac{1}{11\,749 \times 10^3 \times 0.336^3} \times 2.441 \\ &= 54\,771 \times 10^{-10} \text{ m/kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{MH} &= \frac{1}{0.8E_{h2}I_{h2}\alpha^2} \times \frac{(A_3D_4 - A_4D_3)}{(A_3B_4 - A_4B_3)} \\ &= \frac{1}{11\,749 \times 10^3 \times 0.336^2} \times 1.625 \\ &= 12\,251 \times 10^{-10} \text{ rad/kN} \end{aligned}$$

$$\delta_{HM} = \delta_{MH} = 12\,251 \times 10^{-10} \text{m/kN} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned}\delta_{MM} &= \frac{1}{0.8E_{h2}I_{h2}\alpha} \times \frac{(A_3C_4 - A_4C_3)}{(A_3B_4 - A_4B_3)} \\ &= \frac{1}{11\,749 \times 10^3 \times 0.336} \times 1.751 \\ &= 4\,435.5 \times 10^{-10} \text{rad/kN} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

$$\text{式中 } \alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_1}{0.8E_{h2}I_{h2}}} = \sqrt[5]{\frac{20\,000 \times 2.52}{11\,749 \times 10^3}} = 0.336 \frac{1}{\text{m}}$$

$$0.8E_{h2}I_{h2} = 0.8 \times 2.85 \times 10^7 \times \frac{\pi}{64} \times 1.8^4$$

$$= 11\,749 \times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$$

E_{h2} ——桩材料 (25号混凝土) 抗压弹性模量;

I_{h2} ——桩(直径1.8m)的毛截面惯性矩;

m ——地基土变形系数, $m = 20\,000 \text{kN/m}^4$;

b_1 ——桩的计算宽度, $b_1 = 0.9(d+1) = 0.9(1.8+1) = 2.52 \text{m}$ 。

将以上各值代入式 (1-1), 各墩顶的刚度为:

1号墩, $h = 8 \text{m}$

$$\begin{aligned}\bar{K}_1 &= \frac{2}{[(8^3/3 \times 5\,666 \times 10^3) + 54\,771 \times 10^{-10} + 2 \times 12\,251 \times \\ &\quad 10^{-10} \times 8 + 4\,435.5 \times 10^{-10} \times 8^2]} = 23\,928 \text{kN/m}\end{aligned}$$

2、3号墩, $h = 9 \text{m}$

$$\begin{aligned}\bar{K}_2 = \bar{K}_3 &= \frac{2}{[(9^3/3 \times 5\,666 \times 10^3) + 54\,771 \times 10^{-10} + 2 \times 12\,251 \times \\ &\quad \times 10^{-10} \times 9 + 4\,435.5 \times 10^{-10} \times 9^2]} = 18\,806 \text{kN/m}\end{aligned}$$

4号墩, $h = 7 \text{m}$

$$\bar{K}_4 = \frac{2}{[(7^3/3 \times 5\,666 \times 10^3) + 54\,771 \times 10^{-10} + 2 \times 12\,251 \times 10^{-10} \times 7 + 4\,435.5 \times 10^{-10} \times 7^2]} = 30\,988 \text{ kN/m}$$

2. 支座的抗推刚度(简称支座刚度)

每个梁端有一个支座,横向一排有 5 个支座。支座刚度按下式计算:

$$K_{nm} = \frac{nAG}{t} \quad (1-2)$$

式中 K_{nm} ——一横排支座的刚度;脚码“ n ”表示墩号, $m=1$ 或 2 ,” 1 ”表示墩顶左排支座,” 2 ”表示墩顶右排支座,例如 K_{21} 表示 2 号墩左排支座刚度;

n ——一横排支座的支座个数, $n=5$;

A ——一个支座的平面面积, $A=250 \times 350 = 87\,500 \text{ mm}^2$;

G ——橡胶支座剪切弹性模量,按规范 JTJ 023—85 第 3.5.5 条,为 $1.1 \text{ MPa (N/mm}^2)$;

t ——支座橡胶层总厚度,按《公路桥梁板式橡胶支座规格系列》(JT 3132.2—88)查取,或按产品技术条件查取,一般约为支座总厚度的 $0.71 \sim 0.78$ 倍,小的板式橡胶支座取低限,大的取高限, $t=45 \text{ mm}$ 。

本例所有墩顶的板式橡胶支座均采用同一规格,故各横排支座的刚度均同。

$$\begin{aligned} K_{nm} &= \frac{5 \times 87\,500 \times 1.1}{45} = 10\,694 \text{ N/mm} \\ &= 10\,694 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

3. 墩顶与支座的集成刚度

在墩上有两排支座并联，并联后刚度为 $2 \times 10\,694 = 21\,388 \text{ kN/m}$ ；两排支座并联后，再与墩顶刚度串联，串联后的刚度便是支座顶部由支座与桥墩联合的集成刚度。关于刚度的并联与串联的基本原理，见附录IV。各号墩顶的支座顶部的集成刚度为：

$$\text{1号墩 } K_1 = \frac{23\,928 \times 21\,388}{23\,928 + 21\,388} = 11\,294 \text{ kN/m}$$

$$\text{2,3号墩 } K_2 = K_3 = \frac{18\,806 \times 21\,388}{18\,806 + 21\,388} = 10\,007 \text{ kN/m}$$

$$\text{4号墩 } K_4 = \frac{30\,988 \times 21\,388}{30\,988 + 21\,388} = 12\,654 \text{ kN/m}$$

4. 混凝土收缩、徐变及温度影响力在各墩上的分配

按规范JTJ 021—89第2.2.4条，装配式钢筋混凝土收缩影响力，按相当于降温 $5^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ 的影响力计入，数值的采用与当地的湿度、上部结构安装及桥面连续时的混凝土龄期等有关，本例采用 10°C 。混凝土的徐变效应可按规范JTJ023—85附录四计算，它也与上述混凝土收缩的影响因素及预应力有关，根据已往的设计经验，现假定按相当于降温 20°C 的影响力计入。温度变化，如本节“一”内所述最高设计温度取 35°C ，最低设计温度取 0°C ，简支梁的安装及桥面连续施工温度取 $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ ，计算温度上升为 $35^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$ ，温度下降为 $25^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C}$ 。

混凝土收缩、徐变及温度下降，均属于同一性质，三者加起来，相当于降温 $10^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C} = 55^\circ\text{C}$ 。

对于上部结构的缩短，本桥情况是两端向中部缩短，因此，中部必有一个不动点S.P. (Stagnant Point)，其离0号台的距离按下式计算：

$$x = \frac{C \sum K_i l_i \pm \sum \mu R}{C \sum K_i} \quad (1-3)$$

式中 C ——收缩系数，降温 55°C 时， $C = 0.00001 \times 55 = 0.00055$ ；

μR ——0号、5号台摩阻力，其中 μ 为摩阻系数，一般取0.06； R 为上部结构竖直反力，正负号确定方法是：先假定S.P.在桥中部某一点， μR 在该点以左用负号，以右用正号；如果 x 出现负值，表示0号台上活动支座的摩阻力很大，此时S.P.应在0号桥台支座上；如果 x 大于全部桥跨长度，表示5号台摩阻力很大，此时S.P.应在5号台支座上；本例两桥台摩阻力相等，故 $\pm \sum R$ 为零；

K_i —— i 号墩支座顶集成刚度；

$K_i l_i$ —— i 号墩支座顶集成刚度 $\times$ 桥墩距0号台的距离。

$$x = \frac{0.00055(0 \times 0 + 11\,294 \times 30 + 10\,007 \times 60 + 10\,007 \times 90 + \frac{12\,654 \times 120 + 0 \times 150}{2 \times 10\,007 + 12\,654})}{0.00055 \times (11\,294 + 12\,654)} = 76.392\text{m} \text{ (图1-2)}$$

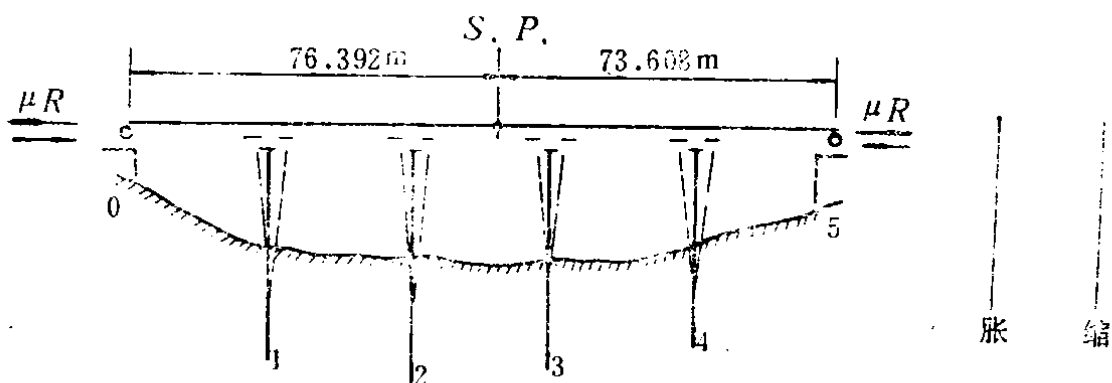


图 1-2

各墩的支座顶，由于上部结构混凝土收缩、徐变及温降引起的水平力为：

$$P = \text{桥墩距S.P.距离} \times \text{支座顶集成刚度} \times C$$

$$\begin{aligned}
 \text{1号墩 } P_1 &= (x - 30)K_1C \\
 &= (76.392 - 30) \times 11\,294 \times 0.00055 \\
 &= 288.173\text{kN}(\rightarrow)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{2号墩 } P_2 &= (x - 30 \times 2)K_2C \\
 &= (76.392 - 60) \times 10\,007 \times 0.00055 \\
 &= 90.219\text{kN}(\rightarrow)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{3号墩 } P_3 &= (x - 30 \times 3)K_3C \\
 &= (76.392 - 90) \times 10\,007 \times 0.00055 \\
 &= -74.896\text{kN}(\leftarrow)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{4号墩 } P_4 &= (x - 30 \times 4)K_4C \\
 &= (76.392 - 120) \times 12\,654 \times 0.00055 \\
 &= -303.499\text{kN}(\leftarrow)
 \end{aligned}$$

支座两排并联后，再与桥墩顶串联，故两排支座的水平力即为墩顶水平力。

桥台上系活动支座，由于上部结构混凝土收缩、徐变影响及温度变化，在桥台上引起支座摩阻力。

5. 温度上升变化影响力在各墩上的分配

温度上升使上部结构伸长，本桥情况是两端向外伸展，因此，中部必有一个不动点S.P.，这个不动点与上述“4”相同，即S.P.位于0号台以右76.392m。温升为 $35^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$ ，即 $C = 0.0002$ 。

各墩的支座顶，由于上部结构温升引起的水平力计算如下（其方向与“4”内计算者相反）

$$\begin{aligned}
 \text{1号墩 } P_1 &= -(x - 30)K_1C \\
 &= -(76.392 - 30) \times 11\,294 \times 0.0002 \\
 &= -104.790\text{kN}(\leftarrow)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{2号墩 } P_2 &= -(x - 30 \times 2)K_2C \\
 &= -(76.792 - 60) \times 10\,007 \times 0.0002
 \end{aligned}$$

$$= -32.807\text{kN}(\leftarrow)$$

$$\begin{aligned} \text{3号墩 } P_3 &= -(x - 30 \times 3)K_3C \\ &= -(76.392 - 90) \times 10\,007 \times 0.0002 \\ &= 27.235\text{kN}(\rightarrow) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{4号墩 } P_4 &= -(x - 30 \times 4)K_4C \\ &= -(76.392 - 120) \times 12\,654 \times 0.0002 \\ &= 110.363\text{kN}(\rightarrow) \end{aligned}$$

支座两排并联后，再与桥墩顶串联，故两排支座的水平力即为墩顶水平力。

6. 汽车制动力在各墩上的分配

按规范JTJ021—89第2.3.9条，汽车制动力为全桥长度范围内一行汽车总重力的10%，但不得小于一辆重车的30%。制动力以荷载不利布置而定。

在150m的全桥长度上，可设一辆550kN重车及7辆300kN标准车，其总重力的10%为：

$$(550 + 7 \times 300) \times 0.1 = 265\text{kN}$$

一辆重车的重力的30%为：550 × 0.3 = 165kN

采用265kN作为制动力。制动力按桥墩墩顶与其上的支座的集成刚度分配。桥台系设活动支座，不考虑承受制动力。制动力分配如下：

$$\begin{aligned} \text{总刚度 } \Sigma K &= K_1 + K_2 + K_3 + K_4 \\ &= 11\,294 + 2 \times 10\,037 + 12\,654 \\ &= 44\,022\text{kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{1号墩 } F_1 = 265 \times \frac{11\,294}{44\,022} = 67.987\text{kN}$$

$$\text{2、3号墩 } F_2 = F_3 = 265 \times \frac{10\,007}{44\,022} = 60.239\text{kN}$$