

文章编号: 1002-0268 (2005) 04-0087-03

橡胶支座设置对下部结构受力的影响及应用

檀宗斌, 陈志强, 张海滨

(石家庄市公路桥梁投资开发管理中心, 河北 石家庄 050000)

摘要: 在一联连续梁中, 全部桥墩均设普通板式橡胶支座, 并采用不同厚度, 人为地控制各墩顶水平力, 使各墩受力趋于均匀, 从而可大幅度降低下部构造造价。本文还提供了实桥计算结果。

关键词: 橡胶支座; 影响; 下部结构

中图分类号: U443.36⁺1

文献标识码: A

Influence of Rubber Bearing Installation on Horizontal Force of Bridge Substructure

TAN Zong-bin, CHEN Zhi-qiang, ZHANG Hai-bin

(Shijiazhuang Road&Bridge Investment and Development Administration Center, Hebei Shijiazhuang 050000 China)

Abstract: In a continuous beam, the common slab rubber bearings are installed on all piers. Based on mechanical analysis, bearing with different thickness are used to control the horizontal forces loaded on top of piers in order to uniform pier loading, which can greatly reduce the cost of bridge substructure. This paper presents the calculation results of a real bridge.

Key words: Rubber bearing; Influence; Substructure

0 概况

河北省平山冶河大桥全长 400m, 全桥为一联 10×40m 连续梁, 断面为单箱单室等高度箱形梁, 按部分预应力理论设计。

采用单点顶推法施工: 逐段预制顶推, 各墩顶只设滑道不设千斤顶, 只在预制平台后方后背设置 2 台大吨位水平千斤顶。在梁体就位前, 最后被顶推的重量达 7 200t, 用了 2 台 320t 水平千斤顶很轻松地顶推到位。

下部实施方案采用双柱式桥墩, 钻孔灌注桩基础。每墩 2 根桩, 桩径 1.8m。桥墩顶部不设盖梁, 只把墩顶顶面扩大成 $\phi 2.2\text{m}$ 的圆形托盘, 其上设支座直接承受箱梁传来的压力。桥台采用双肋式扩大基础。

1 支座设置

众所周知, 连续梁支座设置的传统方法是: 在一联的中部几个墩上设置普通板式橡胶支座, 视为固定支座, 在远离中部的桥墩上设置滑动支座, 视为活动支座。通常假定, 一联梁跨的正中间不受温度影响, 此处即为所谓温度零点。距温度零点较近的几个墩, 即使有温度变化也很少, 梁体伸缩导致墩顶的位移完全可以由普通橡胶支座的剪切变形来适应。另外, 滑板承受制动力等水平力不甚可靠, 因而必须设几个固定支座以承受主要水平力。远离温度零点的桥墩, 梁体的温度变形量大, 只有滑板支座才能胜任, 故均设四氟滑板支座。

本桥的设计是基于这样一个事实: 原设计基础为 2×2 根 $\phi 100\text{cm}$ 的群桩, 实体桥墩, 再加上橡胶支座

收稿日期: 2004-02-23

作者简介: 檀宗斌 (1963—), 男, 河北人, 正高级工程师, 工学学士, 主要从事道路桥梁的设计与施工。

很薄, 所以桥墩抗推刚度很大。设普通板式橡胶支座的桥墩, 即使温度变位并不太大, 算出的内力也很大。这就会出现桥墩断面越大, 配筋越多的怪现象。而较远的桥墩其桩顶水平力是由其支座反力乘摩擦系数确定的, 和梁的伸缩无关。通常对一座跨径相同的桥梁, 各桥墩断面和配筋是相同的, 而且都向内力最大的墩看齐, 这就势必会造成很大的浪费。

基础由群桩改为 2 根大直径灌注桩后, 实体墩改为双柱式。桥墩轻型化之后, 抗推刚度大大变小, 同样的墩顶位移产生的内力大幅度下降, 这就会出现桩柱断面越小配筋越少的情况。当然, 还会受到很多条件限制, 如墩顶容许变位及附加偏心距增大和一些构造上的限制, 因此不能无限制地减小桩径。

治河大桥的实际做法是, 除两个桥台设置滑板支座外, 所有桥墩都安装普通板式橡胶支座, 正中的桥墩支座厚度最低为 66mm, 与桥台相邻的两个桥墩支座厚度最高, 为 123mm, 各墩的支座厚度见表 1。板的平面尺寸均相同为 600mm×1 000mm, 橡胶支座内的加劲钢板厚 3mm, 板间橡胶层厚 16mm。

表 1 各墩橡胶支座厚度

桥墩号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
支座厚度/mm	123	123	104	85	66	85	104	123	123

2 受力分析

这里主要讨论由温度和混凝土收缩引起的墩顶水平力。一个很简单的计算公式就是

$$p=K \cdot \Delta \quad (1)$$

式中, K 为抗推刚度, 使桩顶产生单位水平位移所需要的水平推力; Δ 为桩顶位移, 这里指由温度产生的位移。

本桥共有 9 个桥墩, 假定结构对称, 则 5 号墩不会因为温度变化产生位移, 称为位移零点; 而 1 号、9 号墩则会产生很大的位移。如果所有墩的构造都一样, 即刚度相等, 则势必造成“贫富悬殊, 苦乐不均”, 在温度达到极值时, 1 号、9 号墩受力很大, 而 5 号墩则“清闲自在”, 毫不受力。

其实, 这一不平衡现象早已为人们所察觉, 只是由于简化设计、简化施工以及美观等原因使得问题难以很好解决: 式 (1) 右端的两个因子中, 桩顶位移 Δ 是由温差引起的, 不能改变, 要想使它们的乘积相近, 只有改变各桩的刚度 K 。这就要求位移大的刚度小些, 位移小的刚度大些, 使他们的乘积尽量接近, 力图做到合理负担。我们知道, 桥墩的刚度与其断面和墩高有关。但是仅在断面和墩高上做文章改变

其刚度是很困难的, 很难想象, 人们会把桥两头的桥墩做细些, 桥中央的墩做低些。

橡胶支座的出现给这一问题的解决带来了契机, 使得改变桥墩刚度变成了轻而易举的事情。对于具有橡胶支座的桥墩, 其刚度计算应同时考虑墩身和支座两部分的作用, 即所谓总体刚度。设某桥墩 i 的墩身刚度为 K_i , 橡胶支座的刚度为 K_{ia} , 则

$$K_{iA}=K_i \cdot K_{ia} / (K_i + K_{ia}) \quad (2)$$

为证明这个公式, 引进一个相对立的概念: 柔度 δ 。柔度的定义是单位引力作用下引起的位移。显然 $\delta=1/K$, 现令某墩的墩身柔度为 δ_i , 橡胶支座的柔度为 δ_{ia} , 并令该桥墩的总柔度为 δ_A , 此时, 如果在墩顶作用一单位水平力, 则所产生的总位移应为支座再加上墩顶位移。即

$$\delta_A=\delta_i+\delta_{ia} \quad (3)$$

利用刚度、柔度互为倒数的关系, 式 (2) 就得证明

$$K_{iA}=1/\delta_A=1/(\delta_i+\delta_{ia})=1/(1/K_i+1/K_{ia})=1/\{(K_{ia}+K_i)/K_i \cdot K_{ia}\}=K_i \cdot K_{ia}/(K_{ia}+K_i)$$

桥墩的总体刚度既然是由两部分组成的, 而桥墩本身的刚度是由其几何尺寸和材料特性确定的, 一般不易改动。那么要改变总体刚度只能改变支座的刚度。橡胶支座的刚度为

$$K_{ia}=G \cdot A/h \quad (4)$$

式中, G 为橡胶的剪切模量; A 为支座的平面面积; h 为橡胶层的总厚度。如 5 号 and 9 号橡胶支座的刚度分别为

$$K_{5a}=1.1 \times 600 \times 1\,000 / (66-4 \times 3)=12\,222\text{N/mm}$$

$$K_{9a}=1.1 \times 600 \times 1\,000 / (123-7 \times 3)=6\,470\text{N/mm}$$

从式 (4) 可知, 组成支座刚度的 3 个因子为 G 、 A 、 h 。 G 为材料的剪切模量, 不易改变; A 为支座的面积, 它是由支座反力决定, 太小则不能满足反力要求, 太大则往往受到盖梁尺寸、主梁腹板宽度等限制; 而改变高度 h 则是很容易办到的, 只需调整一下垫石标高即可。这就是说, 通过在各墩上设置不同厚度的支座可以随意调整各墩的刚度, 从而可以人为地调整各墩台受力。

3 计算方法

这里是考虑支座和墩台的刚度, 将全桥作为一个整体超静定结构进行分析, 计算时采用集成刚度法。用串联和并联的弹簧结构来模拟柔性墩及其支座, 逐孔将全桥的总抗推刚度推算出来, 形成集成刚度, 之后

计算全桥的位移及受力。

3.1 制动力计算

设在该联上作用一个制动力 T , 用式(2)求出各墩的总体刚度之和

$$\sum_{i=0}^n K_{iA} = K_{0A} + K_{1A} + K_{2A} + \cdots + K_{(n-1)A} + K_{nA} \quad (5)$$

梁的位移

$$\Delta L = T / \sum_{i=0}^n K_{iA} \quad (6)$$

任何中墩的墩顶位移

$$\Delta_i = K_{iA} \cdot \Delta L / (K_i + K_{iA}) \quad (7)$$

任何中墩的墩顶水平力

$$H_i = \Delta_i \cdot K_i \quad (8)$$

或

$$H_i = \Delta L \cdot K_{iA} \quad (9)$$

本桥的两个桥台设有盆式滑动支座, 在制动力作用下, 它们也会提供一定的抗力, 这一抗力会阻滞梁体位移。从而减小各墩的位移和内力, 在计算时不计它们的作用偏安全。

3.2 温度力的计算

梁体在温度变化时会伸缩, 但总有一点会不伸不缩, 称为位移零点。由于整体桥梁的不对称, 梁体的伸缩也是不对称的, 因此位移零点不一定是桥梁的几何中点, 见图1。位移零点可以用下式求出

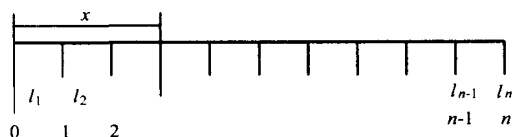


图1

$$\Delta_0 = x \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad H_0 = x \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot K_{0A}$$

$$\Delta_1 = (x - l_1) \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad H_1 = (x - l_1) \cdot \Delta t \cdot K_{1A}$$

$$\Delta_2 = \{x - (l_1 + l_2)\} \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$H_2 = \{x - (l_1 + l_2)\} \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot K_{2A}$$

.....

$$\Delta_n = \{x - (l_1 + l_2 + \cdots + l_n)\} \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot K_{nA}$$

由于温度力是内力, 无外力作用时, 各墩受力的代数和为零。即

$$\begin{aligned} \sum H &= \alpha \cdot \Delta t \cdot x \cdot \sum_{i=0}^n K_{iA} - \\ &\sum_{j=1}^n \left(\alpha \cdot \Delta t \cdot K_{jA} \cdot \sum_{i=1}^j l_i \right) = 0 \\ x &= \frac{\sum_{j=1}^n \left(K_{jA} \cdot \sum_{i=1}^j l_i \right)}{\sum_{i=0}^n K_{iA}} \quad (10) \end{aligned}$$

求出变位零点 x 以后, 便可以求出各墩位移和水平力。

4 计算结果

可以直观地看出, 1 #、9 #墩位移最大, 我们的思路是设法使它们的刚度变小, 5 #墩的位移最小, 可设法使它的刚度变大, 力图使它们的刚度 $\times$ 位移最接近。如前所述, 办法是为它们设置不同厚度的支座, 5 #墩设置 66mm 厚的支座, 而 1 #、9 #墩则为 123mm 厚。各墩刚度、位移、内力计算的结果如表2。

表2 各墩刚度位移、内力计算结果

墩号	刚度/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$			墩顶位移			水平力 / kN
	墩身	支座	总体	制动力	温度力	总位移	
1	10501	12942	5797	0.823	7.8	8.6	500
2	9930	12942	5619	0.823	5.7	6.5	367
3	9858	15348	6002	0.823	3.8	4.6	277
4	10619	18858	6794	0.823	1.8	2.6	178
5	10594	24444	7564	0.823	0.1	0.9	70
6	10774	18858	6857	0.823	2.0	2.8	194
7	10043	15348	6071	0.823	3.8	4.7	287
8	10034	12942	5652	0.823	5.6	6.4	363
9	10520	12942	5798	0.823	7.4	8.2	475

从计算结果来看, 各墩受力仍相差悬殊, 但与调整前相比已经有很大改善。以9 #墩为例(1 #墩为扩大基础可比性差), 如它的支座不加厚而采用与5 #墩相同厚度的支座, 则计算结果为: $K_{9A} = 7.346 \text{ kN/m}$ 、水平力 $H = 7.346 \times 8.2 = 60.237.2 \text{ kN}$

与表2值比较可见, 调整后的水平力减少21%。这样使9 #墩的配筋大幅度减少, 而且由于其他墩都向它看齐, 全桥节省的钢材是相当可观的。

5 结论

除非伸缩量太大, 连续梁中应在尽量多的墩上采用普通板式橡胶支座, 通过设置不同厚度的支座可以人为地控制各墩受力, 尽量使它们受力均匀, 力图把受力最大的墩内力降下来, 以达到减少配筋降低全桥钢材用量的目的。

参考文献:

- [1] 王伯惠, 徐风云. 柔性墩台梁式桥设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.
- [2] 李靖森, 胡达和. 集成刚度法在梁桥墩台计算中的应用 [J]. 公路, 1985 (4).
- [3] 徐风云, 毛应生. 公路桥梁减震支座 [M]. 北京: 交通部公路科学研究所, 1984.