

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.01.021

# 矩形墩顶部横向内力分析

董自亮

(上海市政交通设计研究院有限公司, 上海市 200030)

**摘要:**采用通用有限元软件 ABAQUS, 针对矩形桥墩, 对于规范 JTG 3362—2018 第 8.4.7 条关于墩顶横向拉力计算公式的适用条件进行了分析。结果表明: 对于横向宽度、支座间距较小的矩形墩, 规范计算公式具有较好的准确性, 但对于横向宽度大于 10 m、支座间距大于 6 m 的矩形墙式墩, 规范计算公式的准确性较差, 推荐采用有限元的计算方法。经计算, 影响墩顶横向拉力的因素有桥墩横向宽度  $b$ 、支座间距  $s$ 、支座反力  $F_d$ 。另外, 矩形墩墩顶横向拉力大小在特定条件下不容忽视, 其配筋需引起重视。

**关键词:**独柱墩; 墙式墩; 有限元; 拉压杆模型

**中图分类号:** U443.2

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)01-0079-04

## 0 引言

矩形桥墩由于结构形式简单, 在工程上应用较多, 且多用于横向宽度较小的独柱墩。目前, 横向宽度较大的矩形墙式墩一般多应用于上部为预制装配式结构的情况, 如板梁、T 梁或小箱梁等。这种结构的特点是支座数量多、支座间距小、支座反力小, 因此一般不会产生墩顶横向承载力不足的情况。但有时由于景观需求, 下部与上部构造追求视觉上的统一, 在上部为桥宽较大的整体式箱梁结构时, 下部也需设计成墙式墩, 如图 1 所示。这种结构的特点是支座间距大、支座反力大。在较大的支座反力作用下, 这种墙式墩墩顶可能会产生较大的横向拉应力, 其配筋需要根据计算来设置, 以避免横向承载力的不足。



图 1 某景观桥示意

本文以某景观桥(见图 1)为例, 对其桥墩进行横向受力计算分析。该景观桥上部结构为变截面连续梁, 跨径布置为(38+54+38)m, 横向桥宽 24 m。为与上部结构在视觉上呼应, 桥墩采用墙式墩, 墩宽 19 m, 纵桥向桥墩厚 2.4 m, 支座间距 10 m。

收稿日期: 2021-01-21

作者简介: 董自亮(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

## 1 规范计算方法

### 1.1 计算公式

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)第 8.4.7 条添加了双支座独柱墩墩帽横向受拉部位抗拉承载力的计算方法。该方法基于拉压杆模型<sup>[1]</sup>, 公式如下:

$$T_{l,d} = 0.45F_d \left( \frac{2s-b'}{h} \right) \quad (1)$$

式中:  $T_{l,d}$  为墩顶的横向拉杆内力设计值, kN;  $F_d$  为支座反力, 取基本组合, kN;  $s$  为支座间距, mm;  $b$  为墩帽顶部横向宽度, mm;  $h$  为墩顶横向变宽区段的高度, mm, 对于矩形墩取  $h=b$ ;  $b'$  为距离墩顶高度为  $h$  的位置处, 墩帽或墩身的横向宽度, mm。

### 1.2 规范计算方法存在的问题

规范中的方法仅针对宽度较小的独柱墩, 对于横向宽度较大的桥墩(墙式墩), 其适用性有待验证。

## 2 有限元分析方法

### 2.1 建立有限元

本文采用有限元软件 ABAQUS 建立实体有限元模型, 采用三维六面体八节点单元(C3D8R)模拟混凝土, 混凝土参数为: 弹性模量取  $3.25 \times 10^4$  MPa, 泊松比取 0.2。支座反力按均布荷载施加在垫石上, 垫石与墩身刚性连接。约束采用墩底固结, 如图 2 所示。

### 2.2 墩顶横向拉杆内力设计值及配筋计算

支座反力  $F_d$  取 31 000 kN ( $F_d$  为一个支座的反力)。求得的横向正应力如图 3 所示。图中应力拉应力为正, 压应力为负。

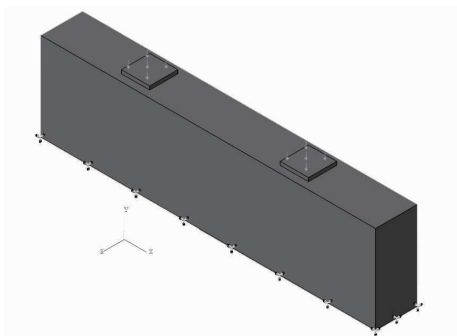
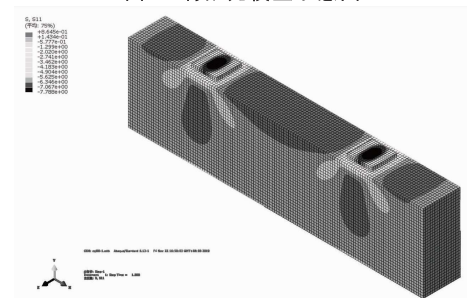


图2 有限元模型示意图



注:图中应力拉应力为正,压应力为负。

图3 横向正应力(单位:MPa)

由图3可知,墙式墩受力可简化为拉压杆模型,墩顶为拉杆。墩顶最大拉应力0.85 MPa。将模型沿墩顶中心线处截开,提取截面上横桥向正应力图,将拉应力对面积积分即可得到受拉区的拉力。具体做法是将顶缘附近的拉应力求和后乘以单元面积<sup>[2]</sup>。本模型中求得  $T_{L,d}=1\ 145\ \text{kN}$ 。而采用规范的方法[式(1)]计算得到的拉力为734 kN,比有限元计算结果小36%,偏于不安全。假定求得的墩顶横向拉力全部由墩顶受拉缘钢筋来承受,采用有限元法的计算结果求出配筋至少为12Φ20。

### 3 参数分析

经计算,影响墩顶横向拉力的因素有桥墩横向宽度  $b$ 、支座间距  $s$ 、支座反力  $F_d$ 。

#### 3.1 桥墩横向宽度的影响

分别取支座间距  $s=10\ 000\ \text{mm}$ 、 $8\ 000\ \text{mm}$ 、 $6\ 000\ \text{mm}$ 、 $F_d=31\ 000\ \text{kN}$ 、 $F_d=12\ 000\ \text{kN}$ (一个支座的反力)不变,仅变化桥墩横向宽度  $b$ 。计算结果见表1至表3、图4至图7。

由计算结果可知:

(1)保持支座间距不变,墩顶横向拉力随桥墩横向宽度的增大而减小。从有限元法计算结果(见图4)看,在支座间距不变的情况下,随着桥墩横向宽度的增大,墩顶横向拉力逐渐减小,减小速度先快后慢。当横向宽度足够大时,横向拉力趋于平稳,且这种变化趋势和变化速度受支座间距的影响较小。

表1 桥墩横向宽度对墩顶横向拉力的影响

( $s=6\ 000\ \text{mm}$ ,  $F_d=12\ 000\ \text{kN}$ )

横桥向墩宽度 $b/\text{mm}$	规范法计算 拉杆拉力 /kN	有限元 计算值 /kN	规范值 / 有限元计算值
8 000	2 700.0	2 617.7	1.03
9 000	1 800.0	1 717.2	1.05
10 000	1 080.0	1 141.4	0.95
11 000	490.9	820.6	0.60
12 000	0.0	634.3	0.00

表2 桥墩横向宽度对墩顶横向拉力的影响

( $s=8\ 000\ \text{mm}$ ,  $F_d=31\ 000\ \text{kN}$ )

横桥向墩宽度 $b/\text{mm}$	规范法计算 拉杆拉力 /kN	有限元 计算值 /kN	规范值 / 有限元计算值
12 000	4 650.0	3 320.6	1.40
13 000	3 219.2	2 436.5	1.32
14 000	1 992.9	1 908.9	1.04
15 000	930.0	1 581.1	0.59
16 000	—	1 401.1	—
17 000	—	1 277.8	—
18 000	—	1 205.8	—
19 000	—	1 170.2	—
20 000	—	1 148.9	—

表3 桥墩横向宽度对墩顶横向拉力的影响

( $s=10\ 000\ \text{mm}$ ,  $F_d=31\ 000\ \text{kN}$ )

横桥向墩宽度 $b/\text{mm}$	规范法计算 拉杆拉力 /kN	有限元 计算值 /kN	规范值 / 有限元计算值
13 000	7 511.5	4 357.6	1.72
14 000	5 978.6	3 076.7	1.94
15 000	4 650.0	2 252.5	2.06
16 000	3 487.5	1 752.5	1.99
17 000	2 461.8	1 442.3	1.71
18 000	1 550.0	1 251.5	1.24
19 000	734.2	1 145.0	0.64
20 000	0.0	1 072.4	0.00

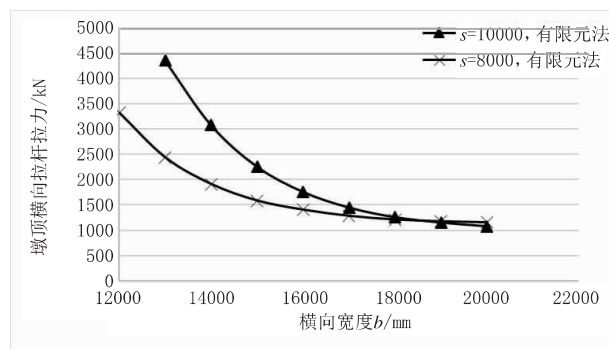


图4 横向宽度对墩顶横向拉力的影响

(2)当支座间距大于6 m时,采用规范的公式计算值与有限元法计算值相差较大。规范法计算值与有限元计算值虽然趋势相似,且在支座间距较小时相差较小(见图5,两者拟合较好),但当支座间距大于6 m时,两者计算值差别较大。从图5、图6与图7的对比可以看到,随着桥墩横向宽度的增大,规范的

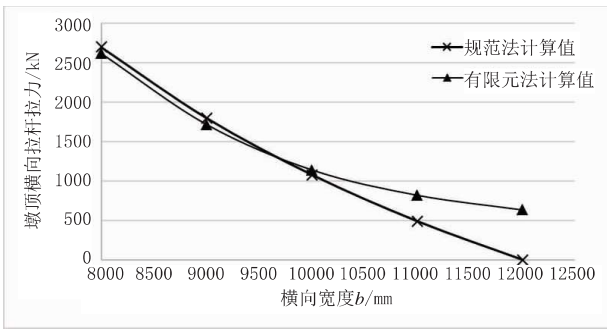


图5 s=6 m 两种方法计算结果对比

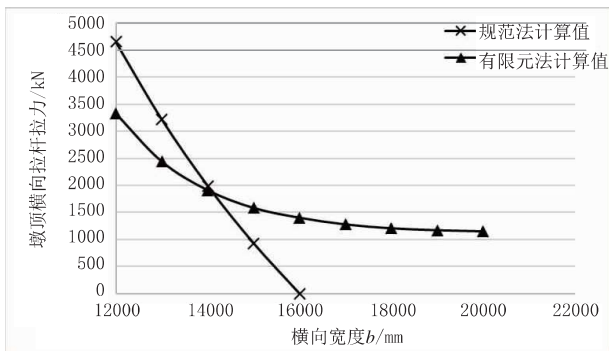


图6 s=8 m 两种方法计算结果对比

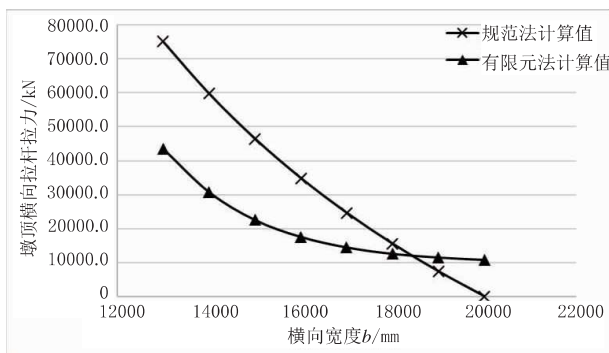


图7 s=10 m 两种方法计算结果对比

公式计算值与有限元计算值拟合程度越来越差。这说明当支座间距较大时,规范的计算公式并不适用。

(3) 支座间距一定,当桥墩横向宽度较小时,墙式墩的墩顶横向拉力大小不容忽视,其配筋计算需引起重视。例如,以本文中的计算模型来讲,从表3(支座间距  $s=10\text{ m}$ ) 可得,当横向宽度小于  $14\text{ m}$  时,墩顶横向拉力大于  $3\ 000\text{ kN}$ ,而若截面配以单排  $12\Phi 28$  钢筋(截面宽度为  $2.4\text{ m}$ ),横向抗拉承载力仅为  $2\ 438\text{ kN}$ ,承载力不足。

### 3.2 支座间距的影响

分别取桥墩横向宽度  $b=13\ 000\text{ mm}$ 、 $19\ 000\text{ mm}$ ,  $F_d=31\ 000\text{ kN}$ ,  $F_a=12\ 000\text{ kN}$ (一个支座的反力)保持不变,仅变化支座间距  $s$ ,计算结果见表4至表6、图8至图11。

由计算结果可知:

(1) 保持桥墩横向宽度不变,墩顶横向拉力随支

表4 支座间距对墩顶横向拉力的影响  
( $b=10\ 000\text{ mm}$ ,  $F_a=12\ 000\text{ kN}$ )

支座间距 $s/\text{mm}$	规范法计算 拉杆拉力 /kN	有限元 计算值 /kN	规范值 / 有限元计算值
5 000	0.0	643.7	0.00
6 000	1 080.0	1 141.4	0.95
7 000	2 160.0	1 830.8	1.18
8 000	3 240.0	2 659.7	1.22

表5 支座间距对墩顶横向拉力的影响  
( $b=13\ 000\text{ mm}$ ,  $F_d=31\ 000\text{ kN}$ )

支座间距 $s/\text{mm}$	规范法计算 拉杆拉力 /kN	有限元 计算值 /kN	规范值 / 有限元计算值
5 000	—	940.3	—
6 000	—	1 374.3	—
7 000	1 073.1	1 874.7	0.57
8 000	3 219.2	2 436.5	1.32
9 000	5 365.4	3 244.7	1.65
10 000	7 511.5	4 357.6	1.72
11 000	9 657.7	5 792.4	1.67

表6 支座间距对墩顶横向拉力的影响  
( $b=19\ 000\text{ mm}$ ,  $F_d=31\ 000\text{ kN}$ )

支座间距 $s/\text{mm}$	规范法计算 拉杆拉力 /kN	有限元 计算值 /kN	规范值 / 有限元计算值
5 000	—	780.1	—
6 000	—	988.4	—
7 000	—	1 122.8	—
8 000	—	1 170.2	—
9 000	—	1 163.9	—
10 000	734.2	1 145.0	0.64
11 000	2 202.6	1 126.1	1.96
12 000	3 671.1	1 147.7	3.20

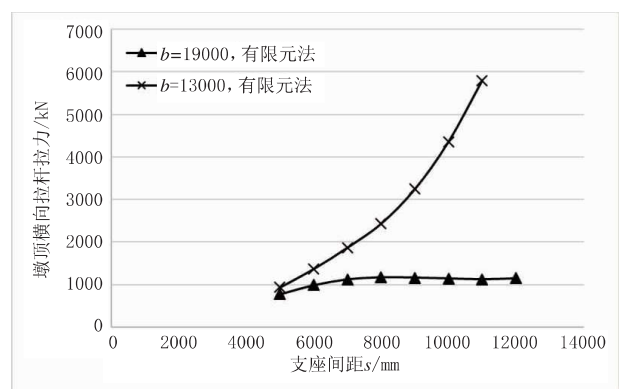


图8 支座间距对墩顶横向拉力的影响

座间距的增大而增大。由有限元计算结果(见图8)可知,在桥墩横向宽度不变的情况下,随着支座间距的增大,墩顶横向拉力逐渐增大,且增大速度受桥墩横向宽度影响。横向宽度较小时,随着支座间距的增大,拉力值先是缓慢增大;当支座间距继续增大时,拉力值会急剧增长。横向宽度较大时,增大速度先快后慢,且拉力值始终较小。

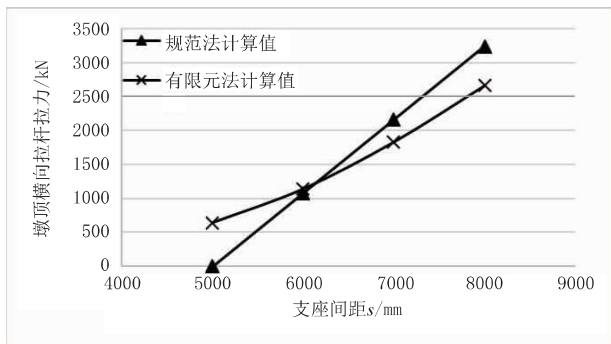


图9  $b=10\text{ m}$  两种方法计算值对比

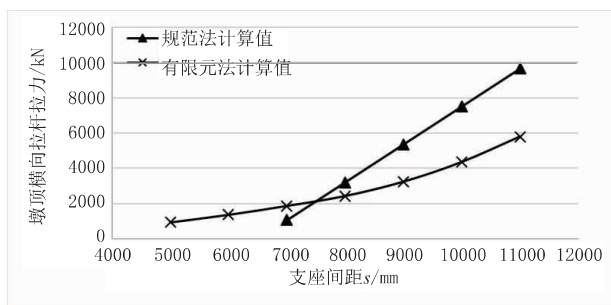


图10  $b=13\text{ m}$  两种方法计算值对比

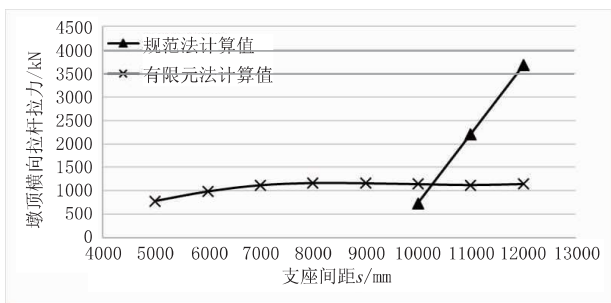


图11  $b=19\text{ m}$  两种方法计算值对比

(2)当桥墩横向宽度大于10 m时,采用规范公式计算值与有限元法计算值相差较大。规范法计算值与有限元计算值虽然变化趋势相似,且当横向宽度较小时相差较小(见图9,两者拟合较好),但当横向宽度大于10 m时,两者计算值差别较大。从图9、

图10与图11的对比可以看到,当桥墩横向宽度逐渐增大时,规范公式计算值与有限元计算值拟合程度越来越差。此时,规范的公式并不适用。

(3)桥墩宽度一定,当支座间距较大时,墙式墩的墩顶横向拉力大小不容忽视,其配筋计算需引起重视。例如,以本文中的计算模型来讲,从表5(横向宽度 $b=13\text{ m}$ )可得,当支座间距大于8 m时,墩顶横向拉力大于3 000 kN,而若截面配以单排 $12\Phi 28$ 钢筋(截面宽度为2.4 m),横向抗拉承载力仅为2 438 kN,承载力不足。

#### 4 结语

(1)墙式墩受力模式可简化为拉压杆模型,墩顶区域受拉,成为拉杆。

(2)墩顶横向拉力受桥墩横向宽度与支座间距的影响,且两种因素互相影响。保持其他因素不变,墩顶横向拉力随横向宽度的增大而减小,随支座间距的增大而增大,但增大速度受横向宽度影响较大。

(3)当桥墩横向宽度大于10 m、支座间距大于6 m时,采用《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)第8.4.7条的公式计算的拉杆拉力与有限元计算结果偏差较大,建议采用有限元法计算。

(4)工程中,对于支座间距较大、桥墩横向宽度较小的墙式墩,其横向内力较大,设计者需重视。

#### 参考文献:

[1] JTG 3362—2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].  
 [2] 周浩.双柱花瓶墩横向系杆力分析研究[J].城市道桥与防洪,2012,157(6):117-121.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:[cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)