

文章编号 :1000-249X(2002)01-0050-06

# 大悬臂桥面板钢脊骨梁结构 模型剪力滞效应有限元分析

罗许国 戴公连\*

(中南大学铁道校区土木建筑学院 湖南 长沙 410075)

**摘 要** :以长沙市洪山桥塔梁墩固结节段模型试验为基础 ,应用有限元方法分析大悬臂钢脊骨梁在轴力和弯矩作用下剪力滞效应 ,并进一步研究了轴向力作用下 ,纵向加劲肋、横向加劲肋、横梁、挑梁变化对脊骨梁正应力的变化规律的影响 ,供设计时参考。

**关键词** :大悬臂 ;脊骨梁 ;剪力滞 ;有限元

中图分类号 :U441<sup>+</sup>.5 文献标识码 :A

## The Finite Element Analysis of Shear Lag Effect of Great Steel

LUO Xu-guo ,DAI Gong-lian

(Civil Architectural Engineering College ,Central South University ,Changsha 410075 ,China)

**Abstract** :The paper is based on the experiment in the model of Hongshan Bridge in Changsha city. By using the method of finite element ,the author tries to offer the tentative analysis of the shear lag effect of cantilever box beam on the horizontal force and bend moment. Further study is also made on the regularity of change of stress only on the horizontal force when longitudinal-plate, cross-plate, crossbeams of cantilever-beam change. All of this can be used as reference in design.

**Keywords** :great cantilever ;box beam ;shear lag ;finite element

长沙市洪山大桥为长沙市环线跨浏阳河的一座无背索斜拉桥 ,桥全宽 33.2 m ,主跨 206 m。主跨主梁为大悬臂钢脊骨梁 ,是一条 4.4 m(高)×7.0 m(宽)带倒角的矩形闭口钢箱梁 ,以及两侧悬臂长为 13.0 m 的砣板组成。主梁为全焊结构 ,母材为 16 MnQ。桥面板为钢-混凝土叠合结构 ,顺桥向每 4 m 设一道长 13.0 m 的箱形钢挑梁 ,钢挑梁上设 210 mm 厚混凝土桥面板 ,与钢挑梁用  $\phi 20$  mm 间距 120 mm 的大头剪力钉联结。由于该桥的主箱梁的悬臂很长且在腹板中腹 ,而由斜拉索产生的水平力极大 ,截面的应力分布及有效分布宽度是设计中关心的问题之一。本文用有

\* 收稿日期 2001-09-03

基金项目 :长环指合(2000)B 号

作者简介 :罗许国(1969-)男 ,湖南耒阳人 ,中南大学硕士生。

限元方法研究在水平力和弯矩作用下该结构在固端的剪力滞效应,即主箱梁和桥面板各承担多少力,同时本文也给出水平力作用下,纵向加劲肋、横向加劲肋、横隔板、横梁对剪力滞效应的影响及变化规律,供大桥设计参考。

1 模型简介

塔梁墩固结节段模型为的实桥 1:6 的缩尺模型.从整体结构中取出节段作为隔离体,将截面的内力和边界条件引入,分析模型如图 1 所示.钢脊骨梁与塔柱固结,桥面板侧面与主梁及塔柱联结.为了减小边界局部影响,在主梁侧加大了横梁刚度.这样所加荷载段节段模型与实桥内力等效。

该模型采用成桥阶段 + 汽车 - 超 20 活载工况加载,其加载顺序如下:

- 1) 张拉 3 号、4 号索力至  $1\,500 + 205 = 1\,705\text{ kN}$ 。
- 2) 张拉 1 号、2 号索力至  $370 + 25\,395\text{ kN}$ 。
- 3) 桥面荷载对称加载:1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 号加载点至  $21\text{ kN}$ ,加载点至横梁根部的距离为  $1.43\text{ m}$ 。
- 4) 13 号加载点加载至  $25\text{ kN}$ 。

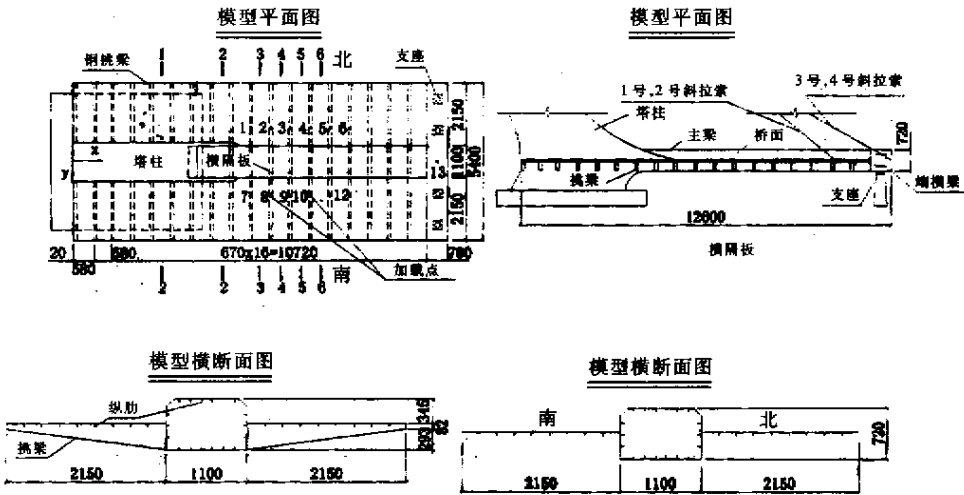


图 1 节段模型图

2 有限元分析结果

本文的有限元模型以该塔梁墩固结节段模型为基础,由于只对脊骨梁在水平力和弯矩作用剪力滞效应进行研究,故有限元模型采用板壳元,支座用边界元模拟,悬臂板与塔柱和主梁与塔柱连接处作为固结考虑。

2.1 桥面板顺桥向正应力

从有限元分析结果我们可以看到,最大的纵向正应力出现在主箱梁腹板的固端,当按 1), 2) 3) 4) 加载时,其最大值达到  $237.3\text{ MPa}$ 。1) 2) 加载完毕后,桥面板纵向正应力分布如图 2 所示(表中所标数字为计算值,拉应力为正,压应力为负),同时也计算了桥面板剪力滞系数和桥面板有效宽度,如表 1 所示(图表中 1 2 3 4 5 6 代表桥面板点位)。

表 1 桥面板纵向正应力

点号	1	2	3	4	5	6	a	b	c	d
1-1	-34.02	-28.25	-23.22	-16.25	-5.04	-1.42				
2-2	-58.31	-48.80	-47.78	-44.34	-15.74	0.83				
3-3	-55.36	-56.67	-63.25	-74.36	-105.18	-127.93	-107.12	-127.93	1.194	1486
4-4	-55.85	-60.32	-71.01	-86.14	-110.08	-118.22	-106.84	-118.22	1.106	1600
5-5	-58.56	-62.95	-75.18	-90.56	-110.51	-115.85	-106.57	-115.85	1.087	1660
6-6	-59.88	-63.61	-75.69	-90.72	-110.26	-115.47	-106.23	-115.47	1.086	1673

a - 悬臂板等梁纵向应力,    b - 有限元计算悬臂板最大纵向应力,    c - 悬臂板剪力滞系数,  
d - 悬臂板有效宽度(单位 :mm),    尺寸单位 :mm ,应力单位 :Mpa

从图 2 和表 1 可以看出 :

1)与塔柱连接的悬臂板出现负剪力滞,如 1-1 2-2 两个截面所示.塔柱上的悬臂板离主箱梁越远,则悬臂板所承担的水平力越小.负剪力滞产生的原因是 :与塔柱相连的悬臂板在靠近塔柱处所受的约束比较大.产生的剪切位移很小,而离塔柱远处的悬臂板受约束小,产生剪切位移较大所致.

2)主箱梁上的悬臂板出现正剪力滞,如 3-3 4-4 5-5 6-6 四个截面所示.这是由于靠近腹板的悬臂板剪切位移比较大而远离腹板的悬臂板剪切位移比较小的缘故.同时我们发现主箱梁悬臂板离固端越远,则其有效分布宽度越大,即桥面板承担纵向应力越大.

2.2 主箱梁顺桥向正应力

1)2)加载完毕后,主箱梁纵向正应力分布如图 3 所示(图中 7,8,9,10,11,12,13,14,15 代表主箱梁点位),同时也计算了上下翼板剪力滞系数,如表 2 所示(表中所标数字为计算值,拉应力为正,压应力为负).

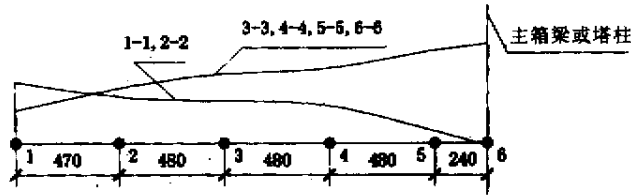


图 2 桥面板纵向正应力分布图

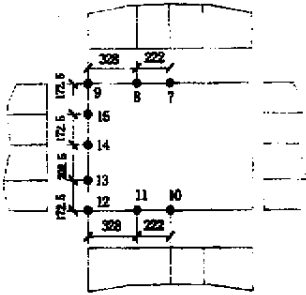


图 3 主箱梁纵向正应力分布图

表 2 主箱梁纵向正应力

点号	7	8	9	10	11	12	13	14	15	e	f	g	h
3-3	-139.49	-138.28	-125.90	-127.13	-127.39	-137.15	-146.92	-127.33	-134.52	-134.83	1.034	-76.99	1.781
4-4	-135.62	-134.59	-124.26	120.68	-121.0	-132.04	-136.45	-117.86	-126.82	-123.80	1.095	-88.41	1.493
5-5	-134.89	-133.81	-123.65	-116.20	-116.51	-127.71	-132.52	-115.44	-125.08	-112.78	1.196	-99.63	1.281
6-6	-136.94	-135.90	-125.44	-113.96	-114.36	-125.72	-121.03	-115.08	-125.91	-98.63	1.388	-114.49	1.098

e - 上翼板初等梁纵向应力,    f - 上翼板剪力滞系数,    g - 下翼板初等梁纵向应力,    h - 下翼板剪力滞系数  
尺寸单位 :mm ,应力单位 :Mpa

从图 3 和表 2 可以看出 :

主箱梁上翼板出现负剪力滞,且其剪力滞系数由于离塔柱越远而逐渐增大.而主箱梁下翼

板出现正剪力滞,其剪力滞系数由于离塔柱越远而逐渐减小.同时也可看出主箱梁上下翼板,腹板承担了大部分纵向水平力.

### 3 在轴向力作用下横隔梁、挑梁、纵横向加劲肋对结构剪力滞效应的影响

#### 3.1 横隔梁、挑梁、纵向和横向加劲肋的影响

为了进一步研究在轴向力作用下横隔板、挑梁、纵横向加劲肋对主箱梁和悬臂板剪力滞效应的影响,本文分三种情况进行了计算,第一情况(用 A 表示)考虑了横隔板、挑梁、纵横向加劲肋的影响,第二情况(用 B 表示)仅考虑了纵向加劲肋的影响,第三情况(用 C 表示)不考虑了横隔板、挑梁、纵横向加劲的影响,其余条件都一样.主箱梁截面如图 4 所示(图中尺寸单位为毫米,箱梁里的数字及其相应的圆点分别代表以下各应力表中的点号和位置),三种情况主箱梁和悬臂板纵向应力比较如图 5 和表 3、图 6 和表 4 所示.表中 1-1、2-2、3-3、4-4 截面到塔柱末端的距离分别为 4 310 mm、5 170 mm、6 320 mm、7 850 mm.

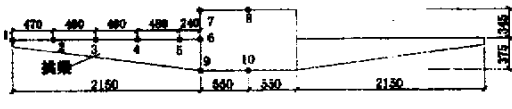


图 4 主梁截面图

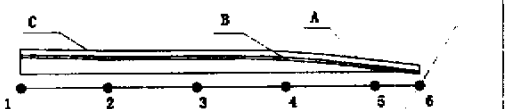


图 5 截面 1-1、2-2 纵向正应力分布图

表 3 截面 1-1、2-2 纵向正应力数值表

工况	截面	1	2	3	4	5	6
A	1-1	-39.90	-34.23	-33.81	-31.40	-11.45	0.21
B		-37.54	-34.39	-33.88	-31.79	-11.11	0.8
C		-42.80	-39.49	-38.42	-35.53	-11.19	-1.58
A	2-2	-31.12	-25.85	-22.36	-16.89	-5.19	-0.94
B		-31.77	-23.83	-20.52	-15.35	-5.75	-1.93
C		-36.15	-26.98	-22.95	-16.93	-6.15	-1.94

表 4 截面 3-3、4-4 纵向正应力数值表

工况	截面	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3-3	-51.10	-52.14	-58.57	-65.92	-74.99	-78.62	-77.52	-80.15	-84.77	-86.66
B		-42.02	-50.33	-58.19	-66.74	-76.12	-81.11	-80.06	-80.52	-85.40	-86.04
C		-46.60	-56.37	-65.54	-75.50	-87.00	-93.12	-90.82	-91.44	-97.93	-98.46
A	4-4	-40.40	-41.66	-45.98	-52.92	-72.33	-89.40	-85.19	-88.38	-91.66	-92.19
B		-34.03	-39.87	-45.51	-53.32	-73.20	-92.20	-87.50	-89.60	-92.14	-93.88
C		-38.56	-45.27	-51.46	-60.20	-83.29	-104.9	-99.28	-101.74	-105.05	-107.93

从三种情况比较可知:在水平力作用下,横隔板、挑梁、横向加劲肋对改善主箱梁和悬臂板纵向应力分布不明显,纵向加劲肋对改善主箱梁和悬臂板纵向应力分布效果比较明显.

3.2 纵向加劲肋高度的影响

为了了解纵向加劲肋在水平力作用下对主箱梁和悬臂板纵向应力的影响,在其他条件不变的情况下,本文对加劲肋高度为 30 mm、60 mm、90 mm、150 mm 四种情况进行了有限元计算,结果如图 7 和表 5、图 8 和表 6 所示.

从图中可看到,随着纵向加劲肋高度的增加,主箱梁和悬臂板纵向正应力普遍减小,同时主箱梁和悬臂板纵向应力更趋向均匀.所以适当增加纵向加劲肋高度可以减小结构在水平力作用下的剪力滞效应,特别是大悬臂板剪力滞效应.

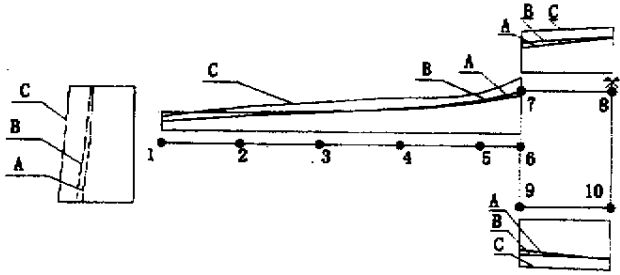


图 6 截面 3-3 A-4 纵向正应力分布图

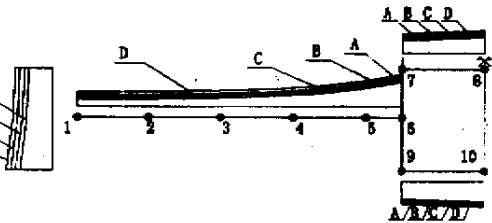


图 7 截面 3-3 A-4 纵向正应力分布图

表 5 截面 3-3、4-4 纵向正应力数值表

高度	截面	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A = 30	3-3	-42.30	-50.95	-59.15	-68.04	-77.80	-82.99	-81.87	-82.36	-87.47	-88.15
B = 60		-39.73	-46.76	-54.62	-63.10	-71.21	-75.21	-75.12	75.58	-79.05	-79.52
C = 90		-39.16	-44.98	-52.39	-58.91	-62.55	-63.95	-70.83	-70.93	-74.07	-74.29
D = 150		-36.17	-40.18	-47.15	-53.46	-55.29	-54.15	-62.24	-62.41	-64.24	-64.51
A = 30	4-4	-34.79	-40.69	-46.45	-54.43	-74.83	-94.44	-89.57	-91.79	-94.37	-96.22
B = 60		-33.18	-37.96	-43.50	-50.96	-69.44	-86.57	-82.12	-83.90	-85.79	-87.18
C = 90		-30.25	-35.00	-40.55	-46.39	-60.63	-75.08	-76.82	-78.19	-80.04	-81.04
D = 150		-26.37	-30.73	-36.25	-42.19	-53.31	-64.57	-67.67	-68.59	-69.47	-70.10

3.3 纵向加劲肋厚度的影响

为了分析纵向加劲肋厚度对结构剪力滞效应的影响,在其他条件不变的情况下,本文对加劲肋厚度取为 4 mm、6 mm、8 mm、10 mm 四种情况进行了有限元计算,结果如图 9 和表 7、图 10 和表 8 所示.

表 6 截面 1-1、2-2 纵向正应力数值表

高度	截面	1	2	3	4	5	6
A = 30	1-1	-38.7	-35.3	-34.7	-32.5	-11.3	-0.94
B = 60		-36.3	-32.8	-32.7	-31.2	-12.5	-0.81
C = 90		-32.4	-30	-29.7	-27.4	-7.26	3.63
D = 150		-27.3	-26.7	-25.6	-25.3	-6.45	3.16
A = 30	2-2	-32.8	-27.7	-23.5	-17.3	-6.24	-1.95
B = 60		30.3	-25.2	-22.6	-17.6	-8.37	-4.01
C = 90		-27.5	-23.3	-20.5	-14.6	-3.78	0.59
D = 150		-23.2	-20	-18.5	-14	-3.06	1.15

从图表中可看到,随着纵向加劲肋厚度的增加,主箱梁和悬臂板纵向正应力普遍减小,同时主箱梁和悬臂板纵向应力的更趋向均匀.所以适当增加纵向加劲肋厚度可以减小结构在水平力作用下的剪力滞效应,特别是大悬臂板的剪力滞效应.

表 7 截面 1-1、2-2 纵向正应力数值表

厚度	截面	1	2	3	4	5	6
A = 4	1-1	- 38.69	- 35.30	- 34.71	- 32.53	- 11.27	0.94
B = 6		- 36.78	- 33.49	- 33.15	- 31.32	- 11.37	- 2.31
C = 8		- 35.00	- 31.86	- 31.73	- 30.20	- 11.41	0.26
D = 10		- 33.35	- 30.42	- 30.39	- 29.15	- 11.39	0.02
A = 4	2-2	- 32.75	- 27.73	- 23.52	- 17.31	- 6.24	- 1.95
B = 6		- 31.18	- 26.42	- 22.72	- 17.05	- 6.60	- 2.31
C = 8		- 29.70	- 25.23	- 21.98	- 16.80	- 6.85	- 2.57
D = 10		- 28.32	- 24.14	- 21.26	- 16.52	- 7.01	- 2.73

表 8 截面 3-3、4-4 纵向正应力数值表

厚度	截面	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A = 4	3-3	- 42.30	- 50.95	- 59.15	- 68.04	- 77.80	- 82.99	- 81.87	- 82.36	- 87.47	- 88.15
B = 6		- 40.61	- 48.71	- 56.39	- 64.83	- 73.99	- 78.81	- 77.93	- 78.42	- 83.06	- 83.67
C = 8		- 39.09	- 46.67	- 53.88	- 61.89	- 70.56	- 75.05	- 74.31	- 74.86	- 79.09	- 79.56
D = 10		- 37.69	- 44.79	- 51.59	- 59.20	- 67.44	- 71.64	- 70.99	- 71.63	- 75.51	- 75.80
A = 4	3-3	- 34.79	- 40.69	- 46.45	- 54.43	- 74.83	- 94.44	- 89.57	- 91.79	- 94.37	- 96.22
B = 6		- 33.19	- 38.75	- 44.30	- 51.95	- 71.30	- 90.11	- 85.40	- 87.38	- 89.78	- 91.37
C = 8		- 31.73	- 37.00	- 42.34	- 49.67	- 68.09	- 86.19	- 81.59	- 83.36	- 85.62	- 86.99
D = 10		- 30.38	- 35.40	- 40.53	- 47.58	- 65.14	- 82.59	- 78.11	- 79.67	- 81.82	- 82.99

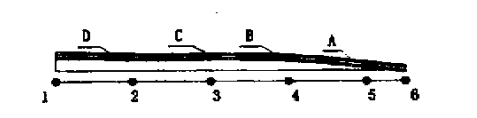


图 8 截面 1-1 2-2 纵向正应力分布图

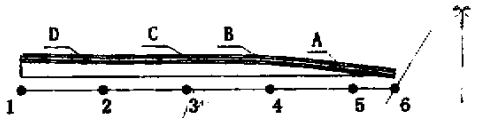


图 9 截面 1-1 2-2 纵向正应力分布图

4 结 论

1)洪山大桥采用的大悬臂脊骨梁在水平力和弯矩作用下,理论计算表明,在主箱梁与塔柱连接处,主箱梁和悬臂板各承担总轴向力的约为 71 %和 29 %,在 3-3 截面,主箱梁和悬臂板各承担总轴向力的约为 66 %和 34 %,在 4-4 截面,主箱梁和悬臂板各承担总轴向力的约为 62 %和 38 %,而按初等梁理论,主箱梁和悬臂板各承担总轴向力的约为 52 %和 48 %。由此可见,在塔柱附近主箱梁和悬臂板的剪力滞效应不可忽视。

2)仅作用轴向力,在截面形式、荷载大小都一样的情况下,纵向加劲肋对主箱梁和悬臂板

(下转第 84 页)

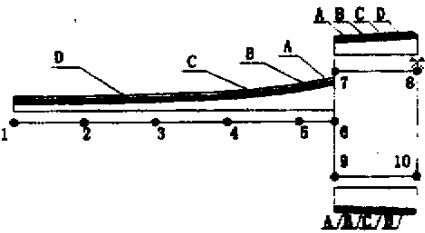


图 10 截面 3-3 4-4 纵向正应力分布图

( 上接第 55 页 )

的剪力滞效应有影响 ,而横隔板、挑梁及横向加劲肋对主箱梁和悬臂板的剪力滞效应可不予考虑.

3 )在主箱梁和悬臂板中适当把纵向加劲肋高度和厚度增加 ,可以减小主箱梁和悬臂板的剪力滞效应.

4 )在设计中需要考虑与塔柱相连的悬臂板的负剪力滞效应.

参考文献 :

- [ 1 ] 朱以文,韦庆如,顾伯达.微机有限元前后处理系统 ViziCAD 及其应用[ M ].北京:科学文献出版社,1993.
- [ 2 ] 张士铎.箱形薄壁梁剪力滞效应[ M ].北京:人民交通出版社,1999.
- [ 3 ] 倪元增.弹性薄壁梁桥分析[ M ].北京:人民交通出版社,2000.
- [ 4 ] 郭金琼.箱形梁桥剪滞效应分析[ J ].土木工程学报,1983,12( 1 ):131 - 135.