

# 嘉鱼长江公路大桥主塔下横梁支架计算分析

姚德波<sup>1,2</sup>, 汪林<sup>2</sup>, 殷新锋<sup>1</sup>

(1.长沙理工大学 土木与建筑学院, 湖南 长沙 410004;

2.四川公路桥梁建设集团有限公司 大桥工程分公司, 四川 成都 610041)

**摘要:**以嘉鱼长江公路大桥为工程背景,介绍斜拉桥主塔下横梁支架施工方法与相关分析计算。通过对下横梁支架的结构变形、应变等数据的现场实测,并应用有限元软件 MIDAS/Civil 对支架施工过程中受力结构或部位如贝雷横梁、支撑钢管、三角托架等进行模拟计算分析,验证支架施工的可行性,同时为支架施工的安全性提供技术保障。

**关键词:**桥梁;斜拉桥;下横梁;支架施工

中图分类号:U443.38

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)02-0133-04

## 1 工程概况

嘉鱼长江公路大桥主桥索塔为空间钻石形结构,包括上塔柱、中塔柱、下塔柱及下横梁,索塔采用 C50 砼。下横梁截面为矩形,顶面宽 11.91 m,底面宽 12.01 m,高 8 m,单箱结构,边腹板厚 1 m,顶、底板厚 1 m。顺桥向跨中心线各 8.7 m 对称设置 2 道厚 1.5 m 横隔梁。下横梁与两侧塔柱连接段设置倒角。

## 2 施工钢管支架布置

根据下横梁的结构特点和施工能力,下横梁分段施工,先按 6.5 m + 1.5 m 竖向分 2 层施工中间的 24 m 长段,再按 4.5 + 4.5 m 竖向分 2 层施工下横梁剩余部位及与中下塔柱连接段。两边则依托已浇筑的下塔柱埋设锚板,焊接托架搭建底模平台施工。

下横梁中间段采用落地钢管立柱、贝雷桥架主梁的梁式支架。钢管立柱采用  $\phi 820 \times 12$  mm 螺旋钢管,横桥向按 6 m 间距布置 4 根,顺桥向中间立柱按  $2 \times 2.625$  m 的间距布置 3 排共 12 根,总计 20 根。立柱间横、纵桥向均设置  $\phi 426 \times 6$  mm 钢管平横联,横桥向支架上层框格设置 I25b 交叉斜撑,并设置附墙连接件,增强其整体稳定性。钢管立柱底面支承在承台预埋钢板上。

下横梁倒角部位采用三角托架,与下横梁中心段分离,托架由 I45B 和 I36B 焊接而成。纵桥向通长布置 4 根 I56B 工字钢作为桩顶横梁,其上设置贝雷片作为纵向承重梁。贝雷梁采用标准国产 3 000 mm  $\times$  1 500 mm 工具式贝雷片,单片长 3 m,高 1.5 m。贝雷架两侧腹板间距为 25 或 45 cm,中间部分

采取单层 2 排和单层 3 排组合,贝雷架横向用  $27 \times 8$  横撑、斜撑连接增强稳定性,共计贝雷片 216 片。分配梁长度为 15.2 m,采用 I25b 工字钢按 75 cm 间距布置,横隔梁实心段加密布置,间距为 37.5 cm,使每排贝雷片受力较均衡。

## 3 下横梁支架结构计算

### 3.1 计算模型

采用 MIDAS/Civil 进行空间结构模拟计算,主塔塔柱及下横梁采用实体单元模拟,贝雷梁及钢管支架采用梁单元模拟。边界条件为:钢管临时支墩墩底采用固结全约束;桩顶挑梁与钢管桩之间采用刚性连接;贝雷架和桩顶横梁采用仅受压的弹性连接;贝雷片之间的销接处采用释放梁端约束形成铰接。有限元模型及边界条件模拟分别见图 1、图 2。

### 3.2 计算结果分析

下横梁现浇支架整体竖向位移见图 3。墩顶部分横向变形较为一致,说明构件整体刚度趋于一致,且最大竖向位移为 9.3 mm,变形较小。

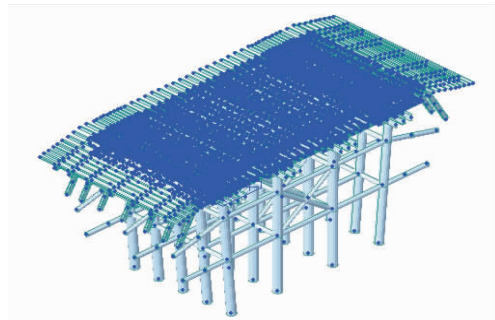


图 1 现浇支架空间有限元模型

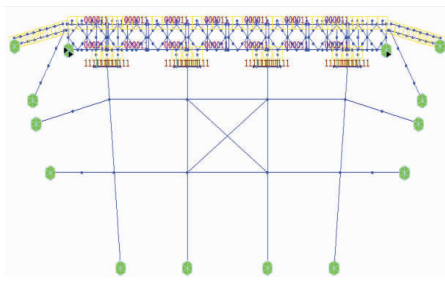


图2 边界条件示意图

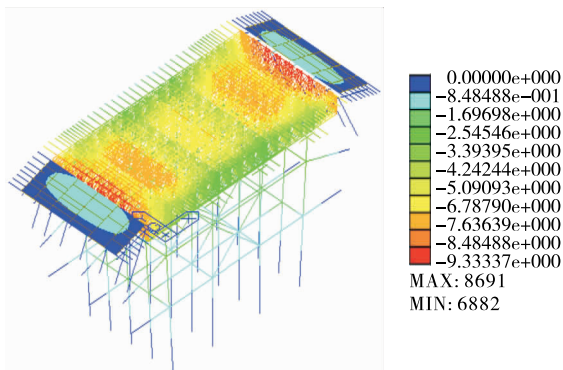
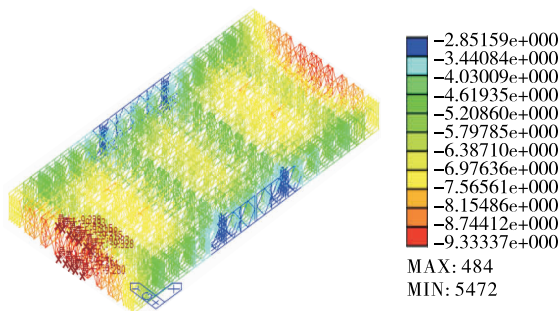


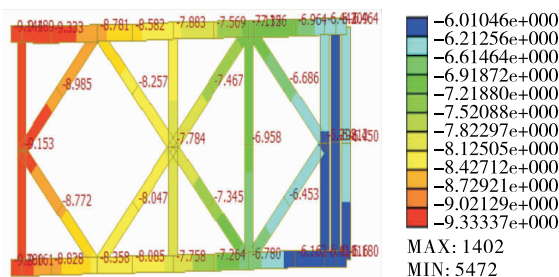
图3 下横梁现浇支架整体竖向位移云图(单位:mm)

### 3.2.1 贝雷架计算结果分析

贝雷架竖向位移计算结果见图4。贝雷架悬臂端挠度为 9.33 mm,扣除贝雷架支点位置的变形 6.0 mm,贝雷架相对挠度  $f = 9.33 - 6.0 = 3.33 \text{ mm} < 3\ 600/3\ 000 = 12 \text{ mm}$  (悬臂段计算跨径为 3 m),满足使用要求。



(a) 竖向整体位移



(b) 竖向位移局部放大

图4 贝雷架竖向位移等值线图(单位:mm)

贝雷架应力计算结果见图5、图6。贝雷架最大组合应力  $\sigma_{\max} = 187.3 \text{ MPa} < f_d = 275 \text{ MPa}$ 。最大组合应力位于横隔梁下的竖杆,为压应力。

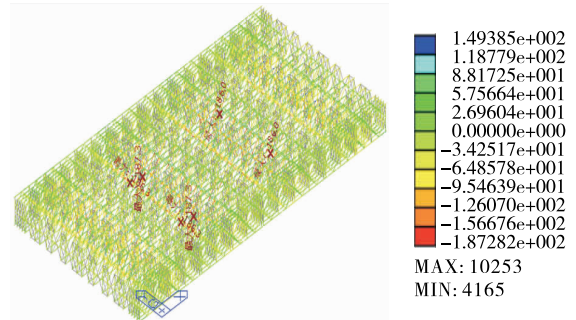


图5 贝雷架最大组合应力云图(单位:MPa)

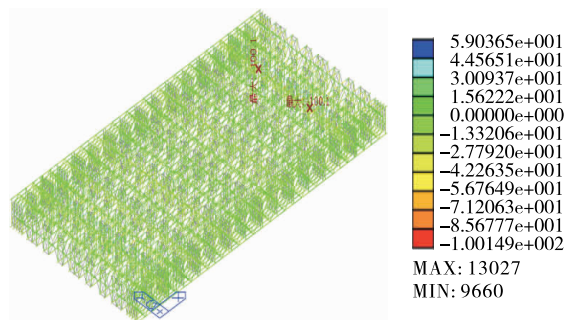


图6 贝雷架剪应力云图(单位:MPa)

### 3.2.2 贝雷架上分配梁计算结果分析

分配梁最大竖向位移为 9.33 mm,所在跨径支点(贝雷片)竖向位移为 9.33 mm,相对挠度  $f = 0 < 675/400 = 1.69 \text{ mm}$ ,满足变形要求。

贝雷架上分配梁应力计算结果见图7、图8。贝雷架上分配梁最大组合应力  $\sigma_{\max} = 61.1 \text{ MPa} < f_d = 190 \text{ MPa}$ ,满足要求;最大剪应力  $\tau_{\max} = 20.9 \text{ MPa} < f_{vd} = 110 \text{ MPa}$ ,满足要求。

### 3.2.3 钢管立柱计算结果分析

钢管立柱竖向最大位移为 4.14 mm,横桥向最大位移为 0.14 mm,顺桥向最大位移为 1.22 mm。

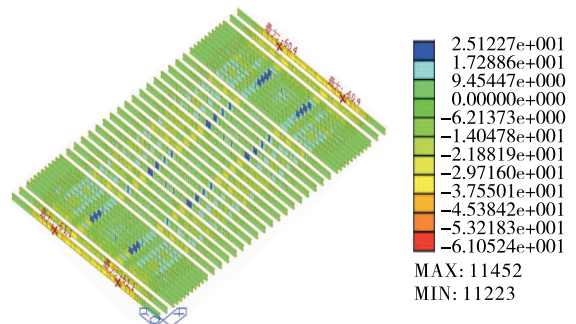


图7 贝雷架上分配梁最大组合应力云图(单位:MPa)

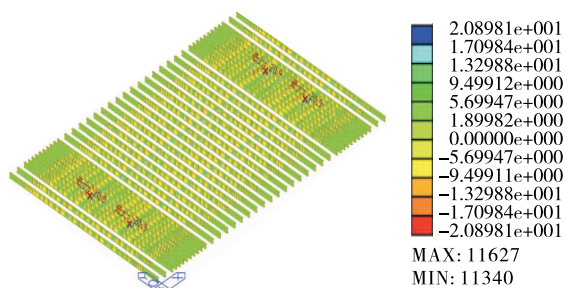


图8 贝雷架上分配梁剪应力云图(单位:MPa)

钢管立柱应力计算结果见图9。钢管立柱最大组合应力  $\sigma_{\max} = 100.7 \text{ MPa} < f_d = 190 \text{ MPa}$ , 满足要求。

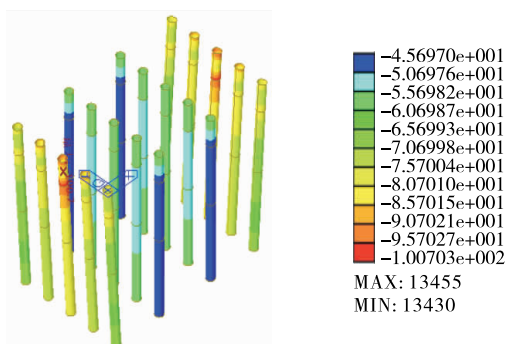


图9 钢管立柱最大组合应力云图(单位:MPa)

钢管立柱反力计算结果见图10。钢管立柱最大反力为 2 296.6 kN。

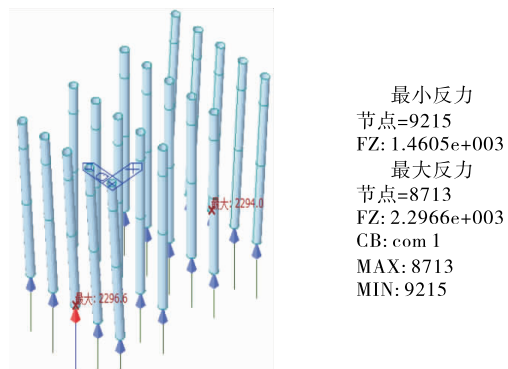


图10 钢管立柱最大反力(单位:kN)

### 3.2.4 桩顶横梁计算结果分析

桩顶横梁挠度计算结果见图11。桩顶横梁跨中竖向位移最大值为 5.87 mm, 立柱最大压缩量为 4.14 mm, 横梁实际挠度为 1.73 mm  $< 2\ 650/400 = 6.56 \text{ mm}$ , 满足要求。

桩顶横梁应力计算结果见图12、图13。桩顶横梁最大组合应力  $\sigma_{\max} = 65.7 \text{ MPa} < f_d = 190 \text{ MPa}$ , 满足要求; 桩顶横梁最大剪应力  $\tau_{\max} = 47 \text{ MPa} < f_{vd} = 110 \text{ MPa}$ , 满足要求。

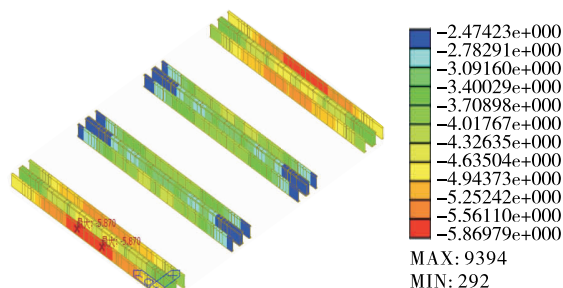


图11 桩顶横梁竖向位移云图(单位:mm)

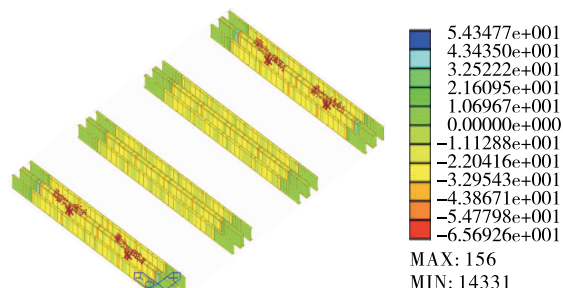


图12 桩顶横梁最大组合应力云图(单位:MPa)

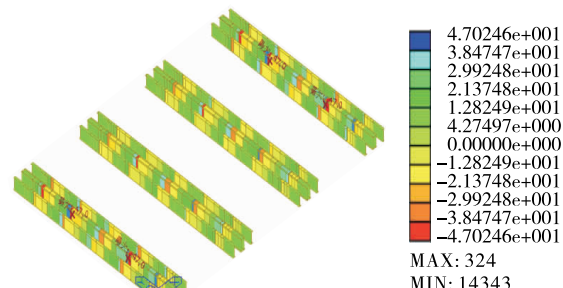


图13 桩顶横梁剪应力云图(单位:MPa)

### 3.2.5 稳定性分析

屈曲分析考虑的荷载工况有自重、砼现浇荷载、活载, 可变系数均为 1.0, 考虑轴力和横向内力, 仅考虑正方向加载, 求得最小特征值即临界失稳荷载系数为 5.11  $> 4$ , 结构安全可靠, 满足施工要求(见图14)。支架系统不同结构部位的应力和变形见表1。

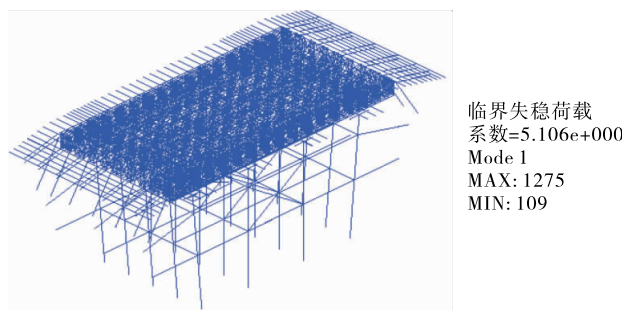


图14 支架系统整体稳定性分析结果

表1 支架系统不同结构部位的应力和变形计算结果

项目	部位	最大值	容许值	是否满足要求
应力/MPa	钢管立柱	100.7	190	是
	钢管横撑	10.2	190	是
	钢管斜撑	63.4	190	是
	I25 分配梁	61.1	190	是
	I56 桩顶横梁	65.7	190	是
	弦杆	149.4	190	是
	腹杆	187.3	275	是
刚度/mm	竖向变形	9.3		是
稳定性	临界失稳荷载系数	5.11	4	是

### 4 三角托架计算

下横梁的塔梁结合段倒角部位采用三角托架支撑(见图15),三角托架上牛腿采用2I45工字钢,下牛腿采用2I36工字钢,焊接成三角钢片的结构形式。下横梁的塔梁结合段倒角部位按面积分配法划分为顶底板荷载、腹板荷载两部分。

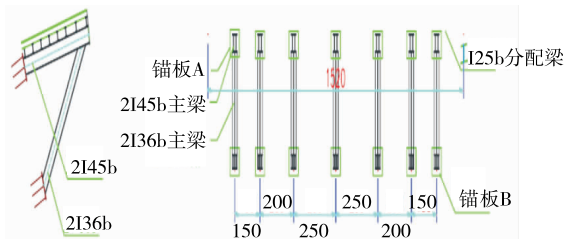


图15 三角托架布置形式(单位:cm)

I45工字钢最大变形为  $1.31\text{ mm} < 3\ 800/400 = 9.5\text{ mm}$ (计算跨径为3.8m)。最大位移出现在I25工字钢上,为1.61mm,扣除其支撑构件1.31mm

挠度,其相对变形为0.3mm,刚度满足要求。

最大组合应力  $\sigma_{\max} = 136.4\text{ MPa} < f_d = 190\text{ MPa}$ ,最大剪应力  $\tau_{\max} = 50.9\text{ MPa} < f_{vd} = 110\text{ MPa}$ 。三角托架的强度满足使用要求。

### 5 结论

(1) 在基本荷载组合下,主要构件如分配梁、贝雷梁、三角支架的挠度变形和应力均满足规范要求。

(2) 支架体系在最不利荷载作用下处于安全状态,满足下横梁施工要求。

(3) 贝雷梁在支点位置竖杆压应力较大,销接处剪应力较大,施工过程中在该部位需加设加强竖杆,尤其是贝雷梁与斜向钢管对应的支点处应设置加强竖杆,使整个支架体系受力更合理。

### 参考文献:

[1] 姚寅初.斜拉桥塔梁临时固结节段主塔局部受力特性分析[D].重庆:重庆交通大学,2013.  
 [2] 王磊,李志成.大跨径斜拉桥索塔下横梁施工支架结构分析[J].湖南交通科技,2010,36(4).  
 [3] 刘占兵,左生荣.丹江口汉江大桥下横梁支架施工结构分析[J].交通科技,2014(6).  
 [4] 李风云.双肢格构柱—贝雷梁模板支撑体系空间力学行为分析[D].重庆:重庆大学,2014.  
 [5] 姚莉,孙莉.大型斜拉桥下横梁支架设计与施工[J].水运工程,2008(4).  
 [6] 方献.吉林兰旗松花江大桥结构模型试验及计算机仿真分析[D].武汉:武汉科技大学,2006.  
 [7] JTG D60—2015,公路桥设计通用规范[S].

收稿日期:2017-03-08

\*\*\*\*\*

(上接第122页)

座非线性有限元分析中的应用[J].南京工业大学学报:自然科学版,2010,32(4).

[5] 庄茁.ABAQUS非线性有限元分析与实例[M].北京:科学出版社,2010.

[6] GB 50017—2014,钢结构设计规范[S].

[7] 郭在田.薄壁杆件的弯曲与扭转[M].北京:中国建筑工业出版社,1989.

[8] 陈晓龙.钢箱梁在弯扭联合作用下的强度研究[D].长沙:湖南大学,2013.

收稿日期:2017-10-30

\*\*\*\*\*

(上接第127页)

论[M].北京:人民交通出版社,2005.

[6] 付继承.上海黄浦江大桥主桥墩钢吊箱围堰施工技术[J].公路与汽运,2011(6).

[7] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].

[8] GB 50017—2003,钢结构设计规范[S].

收稿日期:2017-08-19