

大跨度斜拉桥主塔下横梁支架受力分析

黎祐蛟¹, 张明²

(1.长沙理工大公路工程试验检测中心, 湖南 长沙 410015; 2.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 由于斜拉桥索塔横梁位置的特殊性, 施工中一般采用高空支架, 具有结构体系复杂、施工因素影响明显、应力变形较大、安全责任重大等特点。文中以广东茂名水东湾大跨度斜拉桥为工程背景, 通过有限元软件 ANSYS 对其主塔下横梁支架进行数值模拟分析, 验证支架施工的安全性, 同时为支架施工提供技术保障。

关键词: 桥梁; 斜拉桥; 支架; 主塔下横梁; 受力分析

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)03-0106-03

1 工程概况

广东茂名水东湾大桥由跨海大桥和接线工程组成, 全长约 6.613 km。其中: 跨海大桥长约 3.333 km, 分东引桥、主桥、西引桥 3 个区段; 接线工程长约 3.28 km。全线共设 2 个平面交叉, 预留平交 1 处。下横梁采用支架现浇施工, 分层浇筑, 先浇筑一层(3 m)砼, 再浇筑一层砼(3 m)。该文对其主塔下横梁支架进行数值模拟计算。

2 施工支架布置

根据该桥下横梁底面的弧形构造, 下横梁采用少支架与托架的组合形式进行施工。下横梁支架布置见图 1。

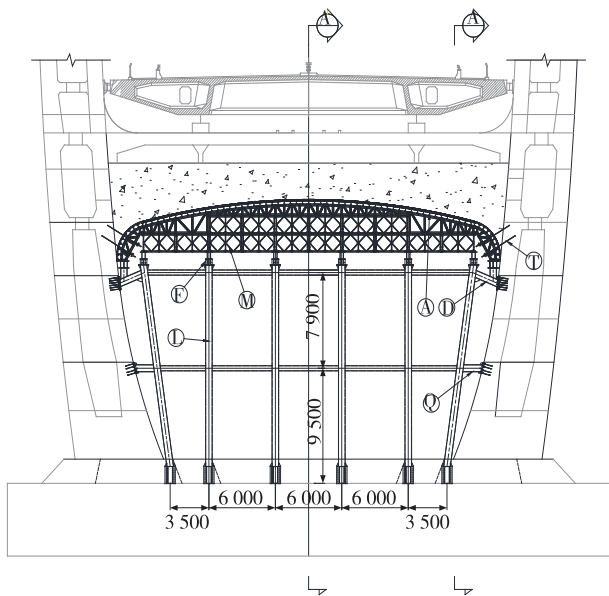


图 1 下横梁支架布置(单位:mm)

(1) 少支架基础。少支架以塔座及承台为基础, 塔座及承台施工时预埋锚锥, 支架安装前将基础锚块(锚板或型钢锚腿)用螺栓锚固于预埋锚锥上。

(2) 少支架下部结构。下部结构包含钢管桩、平联、附着及卸荷块。钢管桩采用 $\phi 600 \times 10$ mm, 顺桥向布置 2 排, 排间距 5 m, 布置于横梁腹板正下方; 横桥向布置 6 排, 布置形式为 $3.5 \text{ m} + 3 \times 6 \text{ m} + 3.5 \text{ m}$ 。平联采用 $\phi 426 \times 6$ mm, 竖向每 8~9 m 一道, 上下共布置 2 道。附着采用 $2\text{HM}588 \times 300$ mm 型钢, 在第一、二层平联对应位置共布置 2 道, 加强支架整体结构的稳定性, 传递并抵消水平分力。卸荷块采用 $2\text{HM}588 \times 300$ mm 型钢。

(3) 少支架上部结构。上部结构包含主横梁、贝雷梁、承重桁架片及连接系、分配梁。主横梁采用 $2\text{HM}588 \times 300$ mm 型钢, 单根长 12 m。贝雷梁上下共布置 2 层, 第一层 10 片, 第二层 6 片, 顺桥向共 10 排。承重桁架片上下弦杆采用 $2\text{I}16\text{a}$, 腹杆采用 $2\text{I}12.6$, 弦杆和腹杆的焊接组合形式与贝雷梁类似; 承重桁架与贝雷梁对应布置, 共 10 片, 其中横梁腹板位置各 3 片, 剩余底板位置布置 4 片; 在下横梁圆弧倒角位置, 承重桁架一端支撑于托架主梁上, 另一端与其他桁架铰接。承重桁架片连接系采用 $\text{I}12.6$, 呈桁架形式焊接于承重桁架片的腹杆上, 将 10 片承重桁架连成整体。分配梁采用 $\text{I}25\text{a}$, 按 50 cm 的间距分布于承重桁架片上。

(4) 托架。托架包含牛腿、卸荷块和主梁。其中: 牛腿采用 $2\text{HM}588 \times 300$ mm 型钢, 焊接锚固于塔柱上, 顺桥向共布置 3 个, 间距为 2.5 m; 主梁采用 $2\text{HM}588 \times 300$ mm 型钢, 倒角区承重桁架支架支撑于主梁上; 主梁与牛腿之间设置卸荷块, 卸荷块

采用 2HM588×300 mm 型钢,焊接于牛腿上。

(5) 拉杆系统。横梁倒角区承重桁架设置拉杆,单片承重桁架上下共设置 2 道,拉杆直径 $\phi 30$ mm,采用 45[#] 钢。

3 有限元分析计算

3.1 有限元模型

利用 ANSYS 建立下横梁支架有限元计算模型,其中支架系统的节点按刚性模拟;横杆和斜杆均采用 3 个自由度、不能传递弯矩的 Link8 单元模拟,立杆采用 6 个自由、可传递弯矩及扭矩的 Beam188 单元模拟,以满足“立、横、斜杆组成的节点完全刚接”的要求;砼梁采用 Solid45 单元模拟;模板厚 6 mm,采用 Shell 63 单元模拟。有限元模型见图 2。

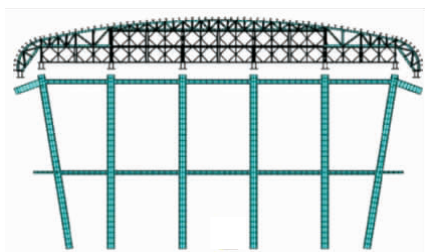


图 2 下横梁支架 ANSYS 计算模型

为真实地模拟施工时的受力状态且便于加载,支架结构上方创建三维结构表面效应单元 Surf154。该单元质量为零,仅起加载作用,并可覆于任何三维单元表面,适用于施加各种表面效应和荷载。模型表面接触单元与梁单元之间采用节点自由度耦合的方法连接,荷载直接通过 Surf154 单元以面荷载形式施加在支架结构上。

3.2 边界条件

设置如下边界条件:1) 约束钢管柱底部所有线位移和角位移自由度;2) 耦合钢管柱顶部与工字钢所有线位移自由度;3) 耦合贝雷梁接触点与工字钢所有线位移和角位移自由度。

3.3 荷载计算

根据 JTG D60—2004《公路桥涵设计通用规范》,进行支架结构受力分析时荷载组合为支架自重+梁重+模板重+施工荷载+风荷载。其中:恒载包括支架自重荷载,由程序自动计入;钢筋砼重为 26 kN/m³;模板(底模、内模及支撑架)重度为 2 kN/m²;施工荷载取用规范中的结构脚手架标准值 2 kN/m²;施工荷载设计值取 2.5 kN/m²;根据实测数据,结合规范规定计算得到风速 13.8 m/s 时设计

风载为 0.43 kN/m。将以上荷载的总和换算为面荷载,即为 Surf154 单元上所施加的荷载。

4 计算结果分析

4.1 整体分析

下横梁支架整体应力见图 3。根据规范,厚度 $t \leq 16$ mm 时钢材 Q235 的设计强度 f_d 为 215 MPa。根据图 3,该桥下横梁支架最大应力 σ_{\max} 出现在支架结构的承重桁架部位, $\sigma_{\max} = 168.23$ MPa $< f_d = 215$ MPa,满足设计要求。

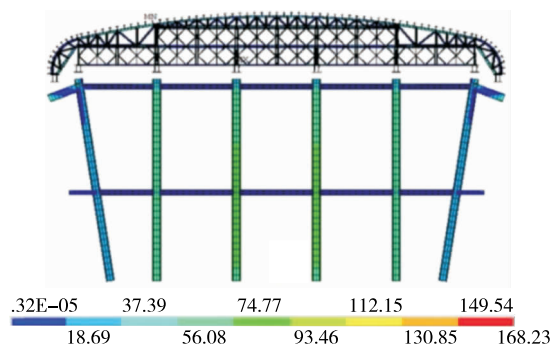


图 3 支架整体应力云图(单位:MPa)

下横梁支架整体竖向位移见图 4。位移呈均匀分布,表明构件整体刚度趋于一致;最大变形出现在立柱底部,最大竖向位移仅 10.46 mm,变形较小。

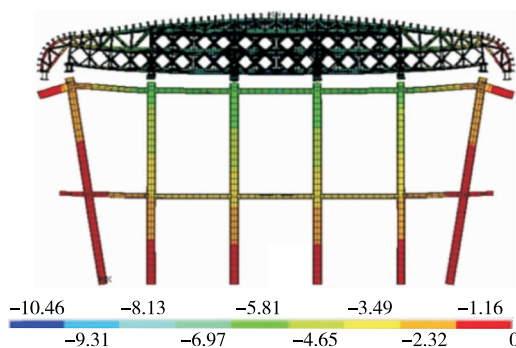


图 4 支架整体变形云图(单位:mm)

4.2 立柱受力分析

钢管立柱应力计算结果见图 5。钢管立柱最大组合应力 $\sigma_{\max} = 104.35$ MPa $< f_d = 215$ MPa,满足设计要求。

钢管立柱位移计算结果见图 6。依据规范,验算模板、支架刚度时,其变形值不超过构件跨度的 $1/400(L/400)$ 、高度的 $1/1\,000(h/1\,000)$ 。该桥下横梁支架钢管立柱最大竖向变形 $f = 6.89$ mm $< h/1\,000 = 17.4$ mm ($h = 17\,400$ mm),满足设计要求。

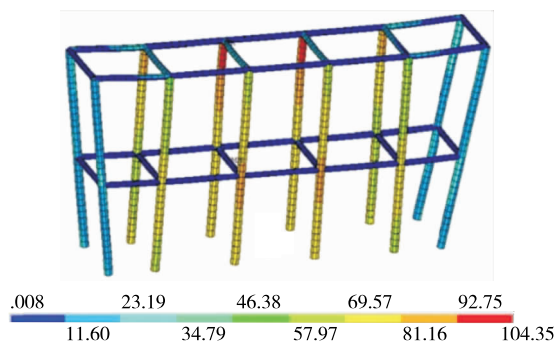


图5 立柱应力云图(单位:MPa)

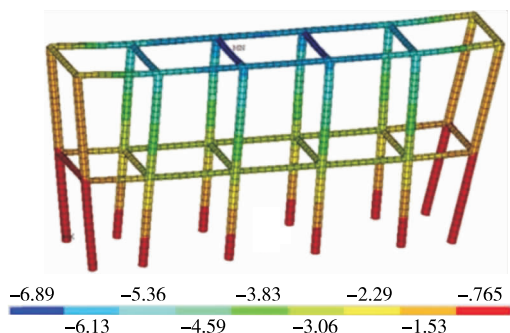


图6 立柱整体变形云图(单位:mm)

4.3 承重桁架受力分析

承重桁架包括贝雷梁、分配梁、桩顶横梁,是支架的主要承重部分。承重桁架的应力和变形计算结果见图7、图8。最大组合应力与最大竖向变形均出现在承重桁架的弦杆,最大组合应力 $\sigma_{\max} = 168.23 \text{ MPa} < f_d = 215 \text{ MPa}$,满足设计要求;最大竖向变形 $f_{\max} = 10.4 \text{ mm} < L/400 = 15 \text{ mm} (L = 6\,000 \text{ mm})$,满足设计要求。

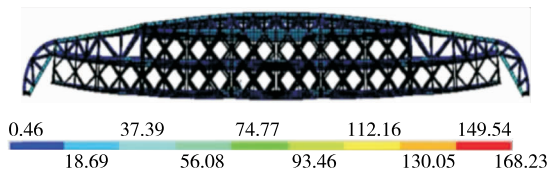


图7 承重桁架整体应力云图(单位:MPa)

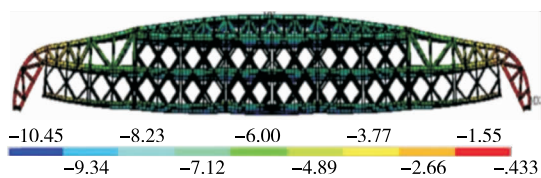


图8 承重桁架竖向变形云图(单位:mm)

4.4 托架受力分析

下横梁与主塔结合段采用托架支撑,托架采用2HM588×300 mm型钢焊接锚固于塔柱上。下横

梁与主塔结合段按面积分配法分为顶底板荷载与腹板荷载。牛腿整体应力与竖向变形见图9、图10。牛腿最大组合应力 $\sigma_{\max} = 93.27 \text{ MPa} < f_d = 215 \text{ MPa}$,最大竖向变形 $f_{\max} = 1.6 \text{ mm} < L/400 = 4.9 \text{ mm} (L = 1\,900 \text{ mm})$,均满足设计要求。

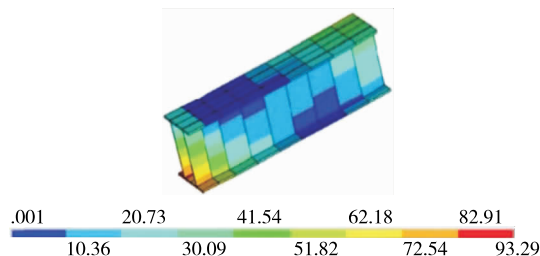


图9 牛腿整体应力云图(单位:MPa)

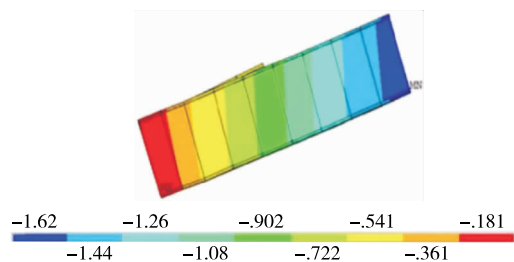


图10 牛腿竖向变形云图(单位:mm)

支架各部位应力与竖向变形计算结果见表1。

表1 支架各部位应力与竖向变形计算结果

结构部位	最大组合应力/ MPa	最大竖向变形/ mm	应力允许值/ MPa	竖向变形允许值/mm	是否满足要求
承重桁架弦杆	168.0	-10.5	215	15.0	是
承重桁架腹杆	83.7	-10.4	215	15.0	是
贝雷梁腹杆	107.5	-10.4	215	15.0	是
贝雷梁弦杆	168.0	-10.4	215	15.0	是
牛腿型钢	93.0	-1.6	215	4.9	是
钢管立柱	104.0	-6.9	215	17.4	是

5 结论

(1) 在设计荷载组合工况下,茂名水东湾大桥下横梁支架整体及主要构件的应力和挠度变形均在设计要求范围内,符合设计要求。

(2) 贝雷梁弦杆应力值较大,施工中应加强控制,同时可在该部位加设竖杆。

参考文献:

- [1] 施玉珍,张才学,张际标,等.水东湾海域浮游植物潮汐
(下转第131页)

表 2 Aroley 五号大桥合龙段顶板相对高差

合龙段	位置	设计高差/cm	实际高差/cm	偏差/cm	控制精度/cm
小里程合龙段	小里程 a15 块、小里程 a13 块顶部中心	3.7	3.2	-0.5	±1.5
中跨合龙段	小里程 b13 块、大里程 a13 块顶部中心	4.2	4.9	0.7	±1.5
大里程合龙段	大里程 b13 块、大里程 a15 块顶部中心	4.7	3.7	-1.0	±1.5

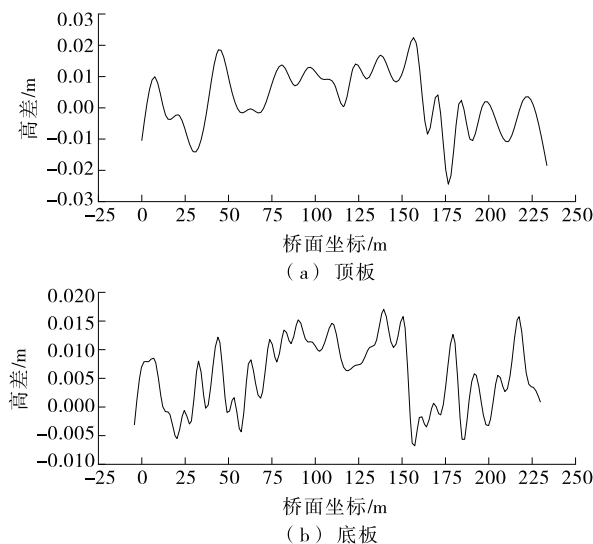


图 6 Aroley 五号大桥成桥线形误差分布

段顶、底板误差波动趋势也类似,满足监控要求。

4 结论

(1) 通过有限元软件 MIDAS/Civil 建立连续梁桥模型进行结构计算分析有助于事先模拟连续梁的施工过程并获取成桥后的受力及位移状态,为之后开展施工线形监控打下基础。

(2) 悬臂施工中,任一节段完成施工后再对之前产生的线形误差进行调整将变得十分困难,当前节段线形控制中需对挠度变化影响较大的因素进行准确识别并在下一个节段立模标高中进行修正,从而满足梁体施工线形控制精度要求。

(3) Aroley 五号大桥连续梁施工中,悬臂端梁段挠度的调整、合龙及体系转换后都基本将高程误差保持在合理区间,满足规范中线形平顺的要求。

参考文献:

[1] 童永瑞,王瑞萍.大跨度桥梁线形监控的研究与分析[J].科技信息,2013(13).

[2] 张连武.大跨度连续梁线形控制施工技术[J].建筑技术开发,2014,41(5).

[3] 叶铁.严村特大桥连续梁悬臂施工线形控制技术[J].价值工程,2017,36(13).

[4] 张国红,曹刚龙,陈少波.高速铁路悬臂浇筑连续梁线形控制综合技术探讨[J].铁道建筑技术,2010(1).

[5] 刘清忠.高速铁路多跨连续梁桥悬臂浇筑线形控制[J].中华民居:下旬刊,2014(3).

[6] 张仲利.预应力混凝土连续梁悬臂施工线形控制及影响因素分析[J].国防交通工程与技术,2015(增刊 1).

[7] 张谢东,马彪,罗茂盛,等.大跨 PC 连续梁桥施工监控评价研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2013,37(1).

[8] Chen S X,Chen K J,Li R.Study of design techniques of A-shape high-rise pier and long span concrete continuous rigid-frame bridge[J].Bridge Construction,2014,44(1).

[9] Wang H,Han F.Technology research status review of long-span continuous rigid frame bridge deck pavement [J].The Open Civil Engineering Journal,2015,9(1).

收稿日期:2018-07-12

(上接第 108 页)

分布特征及其与环境因子的关系[J].生态学报,2017,37(18).

[2] 姚德波,汪林,殷新锋.嘉鱼长江公路大桥主塔下横梁支架计算分析[J].公路与汽运,2018(2).

[3] 胡雄伟.重庆寸滩长江大桥桥塔横梁支架设计与施工[J].世界桥梁,2015,43(2).

[4] 孙镇国,贾兵团,仝增毅.清水河大桥索塔下横梁的超高支架设计与安装[J].公路,2015(8).

[5] 许自刚.ANSYS 软件在现浇梁支架模拟计算中的应用

[J].施工技术与测量技术,2014,34(2).

[6] 符强,李延强.ANSYS 在贝雷梁施工支架检算及变形量预测中的应用研究[J].铁道建筑,2012(6).

[7] JTG D60-2004,公路桥涵设计通用规范[S].

[8] JGJ 130-2011,建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S].

[9] GB/T 50017-2003,钢结构设计规范[S].

[10] JTG/T F50-2011,公路桥涵施工技术规范[S].

收稿日期:2018-06-26