

大跨连续梁桥施工膺架的设计研究

李 宇¹, 杨 赐¹, 李 琛², 高 亮³, 王 洁⁴

(1. 长安大学 公路学院 旧桥检测与加固技术交通行业重点试验室, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 建筑学院, 陕西 西安 710064; 3. 西安理工大学 土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048; 4. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:以某大跨连续梁桥施工膺架为工程背景,先采用有限元软件对原图纸和荷载方案进行校核,发现其承载能力不足的缺点后,对施工膺架的碗扣支架、贝雷梁、横向支撑梁、钢管立柱进行了设计,并用有限元软件对设计后的施工膺架各个构件进行了强度和稳定性验算。结果表明:在保证造价经济的前提下,设计后的桥梁施工膺架在承载力方面得到很大提高,满足桥梁施工要求。

关键词:大跨连续梁桥;施工膺架;设计;有限元

中图分类号:U442.5

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.201505033

0 引言

桥梁施工膺架法^[1-3]是指混凝土梁式桥可在落地式膺架(也称脚手架)上现浇或拼装预制节段。目前,很多学者对该法进行了研究,胡汉舟等^[4]对京沪高铁南京大胜关长江大桥施工技术进行了总结,提出了针对膺架法的修正建议;王政兵,李红旗^[5]基于万州长江大桥钢梁架设方案,对膺架法的关键技术进行了研究;李德坤等^[6]对长寿长江大桥钢梁架设方案及关键技术进行了研究,提出了适合该桥的膺架法;王东辉、覃勇刚^[7]对南京大胜关长江大桥钢梁架设及其膺架施工的关键技术进行了研究;靳春尚等^[8]开展了粉房湾长江大桥钢桁梁支架拼装施工技术的研究,提出了改进的膺架施工法;汪芳进^[9]对武广客运专线东平水道桥钢梁架设施工方法进行了设计。笔者以某大跨连续梁桥施工膺架项目部提供的原图纸和荷载方案为工程背景,开展了针对承载能力不足的施工膺架的设计研究。

1 方案设计及其有限元模型

首先利用 Midas Civil 对原方案进行计算分

析,结果表明:原方案的碗扣支架、贝雷梁、横向支撑梁的强度和稳定性均无法满足要求^[10-17]。因此,笔者对原图纸进行了设计,并给出了如下的设计方案。

1.1 材料参数

贝雷梁材料参数如表1所示,其中:16Mn 钢容许剪应力 $[\tau] = 120 \text{ MPa}$,容许正应力 $[\sigma] = 210 \text{ MPa}$;Q345 钢容许剪应力 $[\tau] = 145 \text{ MPa}$,容许正应力 $[\sigma] = 250 \text{ MPa}$,Q235 钢容许剪应力 $[\tau] = 120 \text{ MPa}$,容许正应力 $[\sigma] = 205 \text{ MPa}$;方木容许剪应力 $[\tau] = 1.2 \text{ MPa}$,容许弯应力 $[\sigma] = 11 \text{ MPa}$,弹性模量 $E = 9 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

表1 贝雷梁材料参数表

Tab.1 Material parameters of bailey beam

构件	材料	断面面积/cm ²	容许承载力/kN
弦杆	16Mn	2 × 12.7	560
竖杆	16Mn	9.52	210
斜杆	16Mn	9.52	171.5

1.2 碗扣支架的设计

碗扣支架原方案为步距 1.2 m,横距 0.6 m,纵距 0.6 m。按照《建筑施工扣件式钢管脚手架安

收稿日期:2015-05-23;修订日期:2015-08-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51408042);陕西省教育厅专项科研项目(15JK1422);西安市建设科技项目(SJW2014012);陕西省自然科学基金面上项目(2015JM5156)

作者简介:李宇(1982—),男,福建福州人,长安大学副教授,硕士生导师,博士后,主要从事桥梁抗震及抗风研究, E-mail: liyu@chd.edu.cn.

引用本文:李宇,杨赐,李琛,等.大跨连续梁桥施工膺架的设计研究[J].郑州大学学报(工学版),2016.37(2):77-81.

全技术规范》及设计荷载,碗扣支架的应力验算不能通过. 所以,笔者将原方案调整为步距 0.6 m,横距 0.6 m,纵距 0.4 m(如图 1).

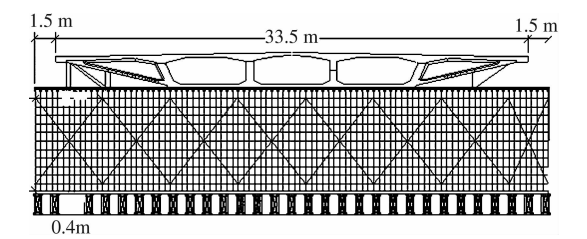


图 1 碗扣支架设计方案示意图

Fig.1 Optimization scheme for bowl buckle stents

1.3 贝雷梁的设计改进

由于在设计荷载作用下,原方案的贝雷梁应力验算不能通过. 故提出图 2 的改进方案:①将贝雷梁横向间距由原来的 2 m 调整为 1.2 m,同时贝雷梁顺桥向的支承位置稍作移动;②贝雷梁在中间区域 6 处支承位置(端部两拼支承除外)竖杆进行加强,补焊 2[10 槽钢进行补强.

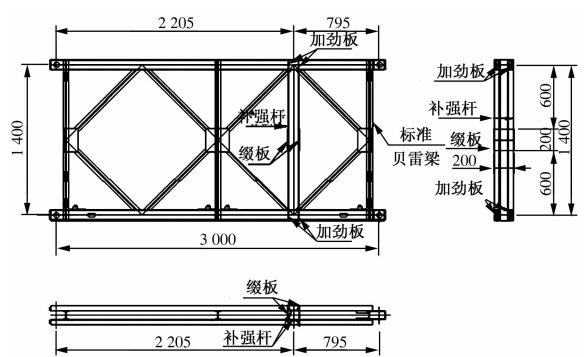


图 2 贝雷梁支承处加强示意图

Fig.2 Strengthening scheme for bailey beam

1.4 横向支撑梁的设计

由于在设计荷载作用下,原方案的横向支撑梁的应力验算不能通过. 所以,本研究建议将横向支撑梁由原来 3 拼 I36a 工字钢调整为 3 拼 I50a 工字钢.(备注:横向支撑梁采用 2 拼 I50a 工字钢和 3 拼 I50a 工字钢计算均能够满足要求. 但是,采用 3 拼 I50a 工字钢最小安全系数可以达到 2.23,所以建议横向支撑梁采用 3 拼 I50a 工字钢.)

1.5 钢管立柱设计

设计方案:由于原方案的钢管立柱计算稳定安全系数不足,故建议沿顺桥向增加一排钢管立柱,顺桥向钢管立柱间距有所改变,如图 3 所示.

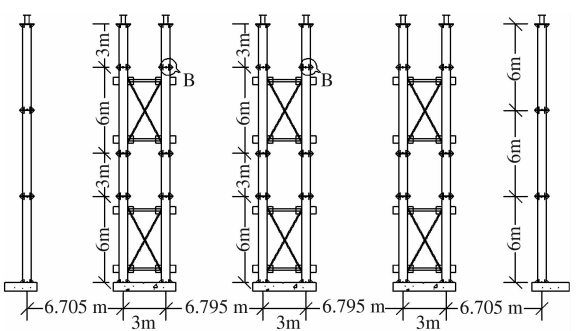


图 3 钢管立柱设计方案示意图

Fig.3 Optimization scheme for steel tube columns

2 有限元分析模型

2.1 整体支架有限元模型

图 4 为采用计算软件 Midas Civil 建立的整体支架有限元模型. 利用空间梁单元模拟了贝雷梁、横向支撑梁、立柱等部件,各立柱底部固结,贝雷梁与立柱之间采用刚臂连接,进而计算了结构的应力、内力和变形.

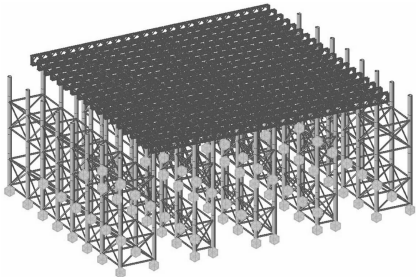


图 4 整体支架有限元模型

Fig.4 The whole stents model

2.2 贝雷梁有限元模型

贝雷梁材料、截面相关参数选取参考《装配式公路钢桥多用途使用手册》^[1]. 贝雷梁的上下弦杆截面采用 2[10 槽钢,腹杆截面采用 I8 工字钢,贝雷梁在中间区域 6 处支承位置(端部两拼支承除外)竖杆进行加强,补焊 2[10 槽钢进行补强. 一片贝雷梁的有限元模型如图 5 所示,主要是采用空间梁单元模拟贝雷梁的每一根杆件,支撑处的边界条件采用固结来处理.



图 5 一片贝雷梁有限元模型

Fig.5 Bailey beam model

2.3 钢管立柱有限元模型

如图 6 所示,钢管立柱截面为 $\Phi 600 \times 12$ mm,立柱和支撑梁都采用空间梁单元建立有限元

模型,立柱底部约束为固结.通过 Midas Civil 分别进行了钢管立柱的稳定性和强度验算.

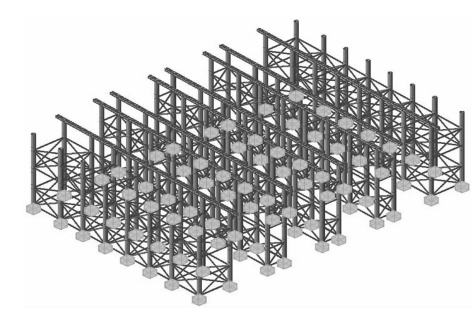


图 6 立柱有限元模型
Fig. 6 Column model

2.4 施加荷载

整体支架验算荷载组合如表 2 所示,表中分别给出了碗扣支架、贝雷梁、横向支撑梁、钢管立柱对

应的验算荷载组合.(1)梁体容重取 26.5 kN/m^3 ,施加均布荷载: $1\ 423.1\times 26.5/33.5/50=22.51\text{ kN/m}^2$.(2)碗扣支架:采用 $\varphi 48\text{ mm}\times 3.5\text{ mm}$ 碗扣式脚手架,顺桥间距 0.5 m ,横桥间距 0.5 m ,支架最大高度 7 m .材料 Q235 钢,荷载 4.08 kN/m^2 .(3)贝雷梁荷载:单排单层每格自重为 9 kN , $9\times 2\times 19/50/33.5=0.2\text{ kN/m}^2$.(4)施工荷载:①施工人员、机械为 2.0 kN/m^2 ;②混凝土振捣器为 2.0 kN/m^2 ;③横向风力为 1.0 kN/m^2 ;④纵向风力为 0.4 kN/m^2 ;⑤模板重为 2.0 kN/m^2 ;⑥方木重为 2.0 kN/m^2 .(注:根据施工现场条件,得到以上施工临时荷载.由于①、②这两部分荷载直接查取规范得到的,建议将这两部分荷载分别乘以 2.5 的系数用于验算荷载组合).(5) I20a 工字钢横向分配梁荷载: 0.59 kN/m^2 .

表 2 验算荷载组合表
Tab.2 Load combination for checking

组合编号	验算状态	荷载组合	附注
组合 1	承载能力极限	$1.2(D1+D2+D3+D4)+1.4(2.5L1+2.5L2)$	验算碗扣支架
组合 2	承载能力极限	$1.2(D1+D2+D3+D4+D5)+1.4(2.5L1+2.5L2)$	验算贝雷梁
组合 3	承载能力极限	$1.2(D1+D2+D3+D4+D5+D6)+1.4(2.5L1+2.5L2)$	验算横向支撑梁
组合 4	承载能力极限	$1.2(D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7)+1.4(2.5L1+2.5L2)$	验算钢管立柱

注:D1:梁体自重;D2:碗扣支架自重;D3:模板自重;D4:方木自重;D5:I20a 工字钢横向分配梁自重;D6:贝雷梁自重;D7:I50a 工字钢横向支撑梁自重;L1:施工人员、机械;L2:混凝土振捣器.

3 设计方案的验算结果

3.1 贝雷梁的计算结果

取最不利上部贝雷梁弦杆结果,如图 7~9 所示,从图 7 中可知,贝雷梁弦杆最大应力为 62.6

MPa.取最不利上部贝雷梁弦杆结果,从图 8 中可知,贝雷梁斜腹杆最大应力为 87.6 MPa.取最不利上部贝雷梁弦杆结果,从图 9 中可知,贝雷梁竖直腹杆最大应力为 144.7 MPa.经检算,上部贝雷梁的受力满足规范要求,如表 3 所示.

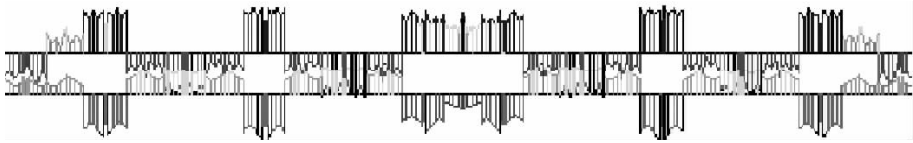


图 7 组合 2 作用 - 上部贝雷梁弦杆应力图
Fig.7 Stress of bailey beam model under combination 2



图 8 组合 2 作用 - 上部贝雷梁竖直腹杆应力图
Fig.8 Stress of vertical rod under combination 2



图 9 组合 2 作用 - 上部贝雷梁斜腹杆应力图
Fig.9 Stress of oblique rod under combination 2

表 3 上部贝雷梁支架计算结果汇总表
Tab.3 Calculation results for bailey beam model

杆件	弦杆			竖杆		斜杆	
贝雷片	轴力/kN			组合应力/MPa		跨中挠度/mm	
计算值	58.7	62.6	2.77	103.2	144.7	60.8	87.6
容许值	560	210	—	171	210	171	210
安全系数	9.54	3.35	—	1.66	1.45	2.81	2.40

3.2 横向支撑梁的计算结果

计算结果如图 10 ~ 13 所示. 从图 10 ~ 11 中可知, 横向支撑梁的最大弯矩为 663.1 kN · m, 最大剪力为 842.3 kN. 从图 12 中可知, 横向支撑梁

的最大组合应力为 106.2 MPa. 从图 13 中可知, 横向支撑梁的最大剪应力为 52.4 MPa. 从图 10 ~ 13 和表 4 可知, 横向支撑梁 1# ~ 8# 受力满足要求, 横向支撑梁 1# ~ 8# 受力满足要求.



图 10 组合 3 作用 - 横向支撑梁弯矩图/(kN · m⁻¹)
Fig. 10 Moment of lateral beams under combination 3

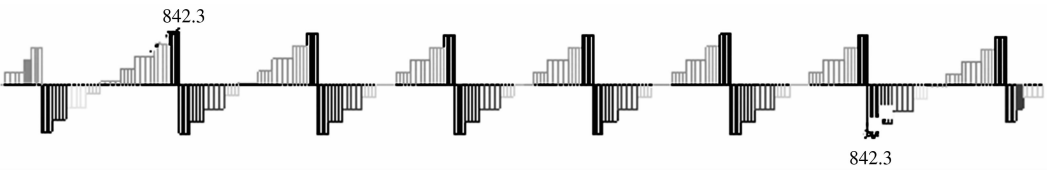


图 11 组合 3 作用 - 横向支撑梁剪力图/kN
Fig. 11 Shear of lateral beams under combination 3



图 12 组合 3 作用 - 横向支撑梁组合应力图/MPa
Fig. 12 Stress of lateral beams under combination 3

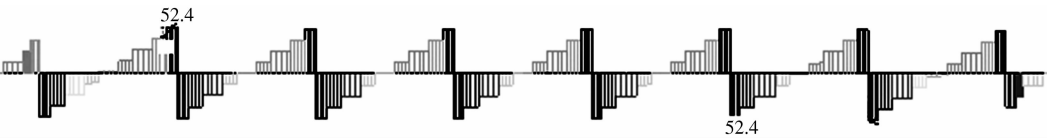


图 13 组合 3 作用 - 横向支撑梁剪应力图/MPa
Fig. 13 shear stress of lateral support beams

表 4 横向支撑梁计算结果汇总表
Tab.4 Calculation results for lateral support beams

横向支撑梁编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	容许值	最小安全系数
组合应力/ MPa	59.8	96.0	106.2	76.5	76.5	106.2	96.0	59.8	210	1.98
剪应力/ MPa	29.5	47.4	52.4	37.7	37.7	52.4	47.4	29.5	120	2.29

3.3 钢管立柱的计算结果

钢管立柱轴力最大位置发生在 3#、6# 立柱处, 最大值为 1 674.3 kN, 满足稳定性验算要求. 横向支撑梁的最大组合应力 76.5 MPa < [σ] = 170 MPa, 安全系数为 2.22, 满足强度验算要求.

中间钢管立柱顶最大竖向位移 $DZ = -6.888$ mm. 综上所述, 钢管立柱强度、稳定性满足要求.

4 结论

膺架法是混凝土梁式桥现浇或拼装预制节段

常采用的方法.参考某大跨连续梁桥施工膺架的原图纸和荷载方案,针对其承载能力不足的问题,对施工膺架进行了设计.并用有限元软件对设计后的施工膺架的碗扣支架、贝雷梁、横向支撑梁、钢管立柱进行强度和稳定性验算,结果表明:在保证经济造价的前提下,设计后的桥梁施工膺架在承载力上面得到很大的提高,满足桥梁施工要求.因此,所提出的针对大跨连续梁桥施工膺架的设计方案的设计和验算方法可以为同类工程提供参考.

参考文献:

- [1] 范立础. 预应力混凝土连续梁桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 1988.
- [2] 雷俊卿. 桥梁悬臂施工与设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 黄士柏, 郝俊峰, 徐海军. 拱形塔悬索斜拉组合结构桥梁的设计与施工[J]. 桥梁建设, 2010, 40(1): 45-48.
- [4] 胡汉舟, 文武松, 秦顺全, 等. 京沪高速铁路南京大胜关长江大桥技术总结[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
- [5] 王政兵, 李红旗. 万州长江大桥钢梁架设方案及关键技术[J]. 桥梁建设, 2003, 33(S1): 1-3.
- [6] 李德坤, 朱云翔, 李芳军. 长寿长江大桥钢梁架设方案及关键技术研究[J]. 铁道标准设计, 2003, 47(S1): 122-124.
- [7] 王东辉, 覃勇刚. 南京大胜关长江大桥钢梁架设及关键技术[J]. 桥梁建设, 2009, 39(3): 5-8.
- [8] 靳春尚, 王殿永, 刘康, 等. 粉房湾长江大桥钢桁梁支架拼装施工技术[J]. 桥梁建设, 2012, 42(S1): 76-80.
- [9] 汪芳进. 武广客运专线东平水道桥钢梁架设施工设计[J]. 铁道标准设计, 2009, 53(4): 50-52.
- [10] 路桥集团第一公路工程局. 桥涵施工技术规范: JTJ041—2000[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [11] 北京钢铁设计研究总院. 钢结构设计规范: GB50017—2003[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [12] 冶金工业部建筑研究总院. 钢结构工程施工质量验收规范: GB50205—2001[S]. 北京: 中国计划出版社, 2002.
- [13] 中国建筑科学研究院. 建筑结构荷载规范: GB50009—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [14] 周水兴. 路桥施工计算手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [15] 黄绍金, 刘陌生. 装配式公路钢桥多用途使用手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [16] 李静斌, 陈淮, 葛素娟. 支座更换顶升方案对小箱梁桥结构性能的影响[J]. 郑州大学学报(工学版), 2010, 31(1): 40-43.
- [17] 李杰, 陈淮, 王艳. 曲弦下承式钢管混凝土桁梁桥改造方案分析[J]. 郑州大学学报(工学版), 2015, 36(2): 33-37.

Research on Design for Constructive Rack of Long-span Continuous Beam Bridge

LI Yu¹, YANG Ci¹, LI Chen², GAO Liang³, WANG Jie¹

(1. Key Laboratory of Ministry of Communications for Bridge Detection & Reinforcement Technology, School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Architecture, Chang'an University, Xi'an Shanxi 710064, China; 3. School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 4. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The original drawings and load plans of one constructive rack of long-span continuous beam bridge are checked by using FEA software. Shortage of carrying capacity of this constructive rack is found. So, optimization design for this constructive rack is suggested to redesign the bowl buckle stents, bailey beams, Lateral support beams and steel tube columns. Then, the FEA software is used to check the strength and stability of every members of constructive rack. The following conclusions are obtained: on the premise of economy build price, the carrying capacity of optimized constructive rack is increased to meet the demands of construction. The optimization and checking method proposed in this paper, can provide some meaningful reference for other similar projects.

Key words: long-span continuous beam bridge; constructive rack; design; FEA