

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.01.009

混凝土连续梁桥人字形高桥墩分岔区 横梁局部应力分析

张亮亮¹, 杨建新², 黄瑜³, 王永杰⁴

(1. 重庆大学土木工程学院, 重庆 400045; 2. 澧县住房和城乡建设局, 湖南 常德 415500;
3. 重庆中海投资有限公司, 重庆 408400; 4. 中国航天建设集团有限公司, 北京 100071)

摘要: 针对受力复杂的某山区铁路桥人字形桥墩横梁及其墩柱, 利用 ANSYS 软件建立全桥的有限元模型, 得到横梁最不利荷载工况。在此基础上建立横梁及其附近墩柱有限元子模型, 得到最不利荷载作用下横梁的应力分布情况。通过比较不同横梁构造的分岔节点应力分布, 认为横梁宽 8.0 m、高 5.0 m、壁厚 1.0 m 时的应力分布比较合理; 通过比较不同人洞形式下洞口角点处的应力集中现象, 得出直径为 80 cm 的圆形人洞可以有效减小洞口应力集中的结论。

关键词: 人字形高桥墩; 桥墩分岔区; 有限元法; 局部应力分析; 横梁构造; 人洞形式

中图分类号: U448.13; U443.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2013)01-0048-05

Analysis of local stress in bifurcation regions of herringbone-shaped high piers over a continuous concrete girder bridge

ZHANG Liangliang¹, YANG Jianxin², HUANG Yu³, WANG Yongjie⁴

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;
2. Bureau of Housing and Urban-Rural Development of Li County of Hunan Province,
Changde 415500, China;

3. China Overseas Investment Co., Ltd., Chongqing 408400, China;

4. China Aerospace Construction Group Co., Ltd., Beijing 100071, China)

Abstract: Based on the complex force conditions of a cross beam and its accessories in the herringbone-shaped high piers of a railway bridge in a mountainous area, a finite element model for the whole bridge was established by ANSYS to obtain the most unfavorable load case of the cross beam. Then, sub-models of the cross beam and pillars nearby were set up to calculate the stress distribution in the cross beam under the condition of the most unfavorable load case. Stress distributions of variable structures of cross beams and holes were computed and stress centralization at angular points of the hole mouth were compared. The results show that the stress distribution was appropriate when the cross beam had a width of 8.0 m, a height of 5.0 m, and a wall thickness of 1.0 m. A round hole with a diameter of 80 cm can effectively reduce the stress distribution at the hole mouth.

Key words: herringbone-shaped high pier; bifurcation region of pier; finite element method; local stress analysis; cross beam structure; hole type

为跨越沟壑、满足线路标高、节约墩身圬工量, 某山区铁路桥采用高 139 m 的人字形超高桥墩(图 1)。文献[1-4]已对异型桥墩进行了应力状况分析, 但笔者研究的桥墩在下部岔区设有 1 根横梁连接左右墩柱, 横梁为空心矩形混凝土梁, 墩柱内部为实体, 岔区横梁及其附近墩柱受力情况更为复杂^[5-8], 因此有必要对桥墩岔岔区节点进行局部空间应力分析。为准确获取岔区横梁及其附近墩柱在不同工况下的受力情况, 了解该区域应力分布规律, 确保这种超高墩结构安全、可靠, 笔者采用 ANSYS 软件对此区域进行空间应力分析。

1 工程概况

某山区铁路桥主桥为刚构-连续组合梁,跨径为 $(80+3\times144+80)\text{m}$ 。梁体采用单箱单室、变高度、变截面箱梁,箱梁宽 11 m,桥墩处梁高 11 m,跨中合龙段箱梁高 6 m,其余梁段梁底下缘按二次抛物线变化。12~14 号桥墩为人字形墩,采用墩梁固结法连接;13 号桥墩上部 65 m 为变截面矩形空心墩,然后经过 5 m 高实体桥墩进入岔区,在岔区设置一根高 5 m、宽 8 m、壁厚 1 m 的空心横梁,在横梁高度范围墩柱内部采用实心。

2 有限元模型

2.1 模型建立

铁路桥全桥有限元模型如图 2 所示,主梁采用 BEAM189 单元模拟,桥墩采用三维 20 节点实体单元 SOLID95 模拟^[9-10]。在墩梁节点连接处通过建立刚域来模拟主梁与桥墩的连接,球形支座处通过约束梁单元节点的横向和竖向位移来模拟,墩底承台设置为固结。

为准确反映岔区横梁及附近墩柱部分的应力情况,笔者采用 ANSYS 软件中的切割边界方法^[11]进行岔区节点区子模型的提取。切割边界就是子模型从整个较粗糙的模型分割开的边界,整体模型切割边界的计算位移值即为子模型的边界条件,然后对子模型进行更密的网格划分得到合理的分析结果,岔区节点区有限元子模型如图 3 所示。

2.2 荷载工况

按照TB 10002.1—2005《铁路桥涵设计基本规范》的要求选取桥墩应力分析时外部荷载工况,如表 1 所示。

表 1 桥梁应力分析荷载工况

Table 1 Load conditions for stress analysis of bridge pier						
荷载 工况	恒载+ 横向摇摆力+ 整体降温	1 列列车 荷载(考虑 动力作用)	2 列列车 荷载(考虑 动力作用)	横风	纵风	制动力
1	✓	✓		✓		
2	✓	✓			✓	✓
3	✓		✓	✓		
4	✓		✓		✓	✓

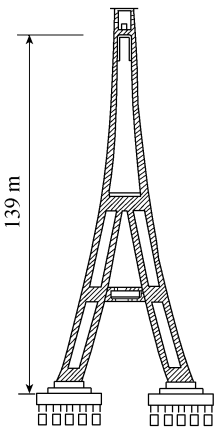


图 1 13 号桥墩横断面示意图
Fig. 1 Sketch map of cross section of bridge pier No. 13



图 2 全桥有限元模型
Fig. 2 FEM model of whole bridge

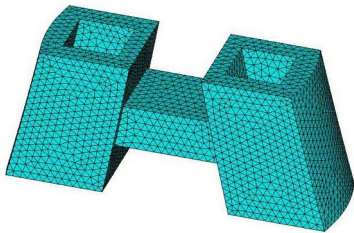


图 3 岔区节点区有限元子模型
Fig. 3 FEM sub-model of bifurcation region

3 岔区节点区及横梁应力计算结果与分析

3.1 岔区节点区应力计算结果

在工况 3 荷载下,岔区节点区主压、主拉应力云图如图 4 所示。图 4(a)中最大主压应力为 7.57 MPa,位于墩柱内实体与墩柱内壁交接处;横梁下部的主压应力最小,墩柱外侧主压应力较大,最大值出现在横梁和墩柱交界处。图 4(b)中最大主拉应力为 1.97 MPa,横梁下部主拉应力较大,墩柱主拉应力较小,在墩柱范围内拉应力值变化很小。其他 3 种工况下,横梁处的应力分布趋势基本相同,只是最大值不同。

3.2 横梁应力计算结果

在工况 3 荷载作用下横梁受力情况最不利,其应力云图如图 5 所示。由于桥墩承受的自重和上部荷载主要通过墩柱传递,墩柱主压应力较大,而在墩柱内部的实体部分主压应力较小。在横梁与墩柱的交界处,由于构造上的突变,产生拉应力集中。横梁底部拉应力较大,在墩柱内部实体与内壁的交界处出现最大拉应

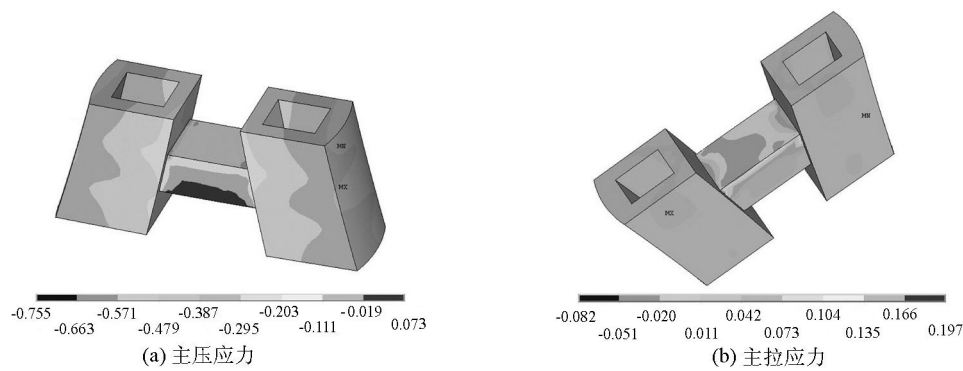


图4 岔区节点区在工况3下的应力云图(单位: 10^7MPa)

Fig. 4 Stress distribution of bifurcation region in load case 3 (units: 10^7MPa)

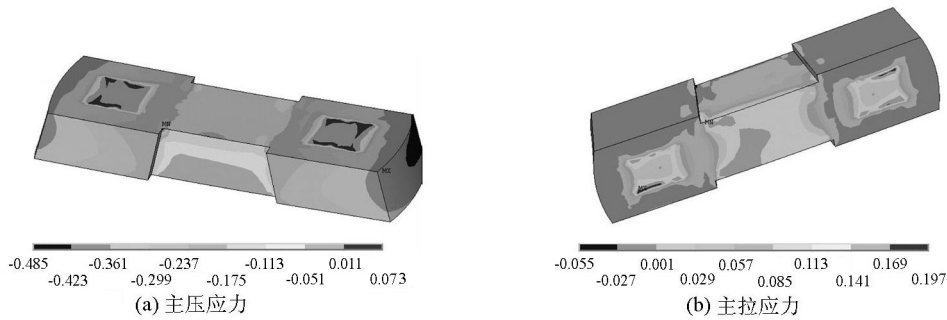


图5 横梁在工况3下的应力云图(单位: 10^7MPa)

Fig. 5 Stress distribution of cross beam in load case 3 (units: 10^7MPa)

力,数值为1.97 MPa。

通过分析4种工况下子模型的空间应力,可得:(a)总体来看,子模型2个分岔的空心墩从桥墩的中心轴向外侧受到的主压应力越来越大。(b)最大主压应力和最大主拉应力分别为7.57 MPa和1.97 MPa。主压应力基本不超过5.73 MPa,其仅在横梁与墩柱壁内、外表面的交界处因为应力集中而比较大。(c)在空心墩内部的横梁混凝土的主压应力水平很低,范围为0.11~0.51 MPa。最大主拉应力为1.97 MPa,位于该处混凝土下表面,靠近墩柱内壁处。结果表明,最大应力均满足规范规定,该铁路桥下部岔区横梁与墩柱的连接是安全、可靠的。

4 不同构造形式横梁下子模型的应力分布

为了得到合理的横梁构造形式,分别设置不同的横梁高度、宽度和壁厚,在工况3下分别计算子模型的应力分布,如图6所示。

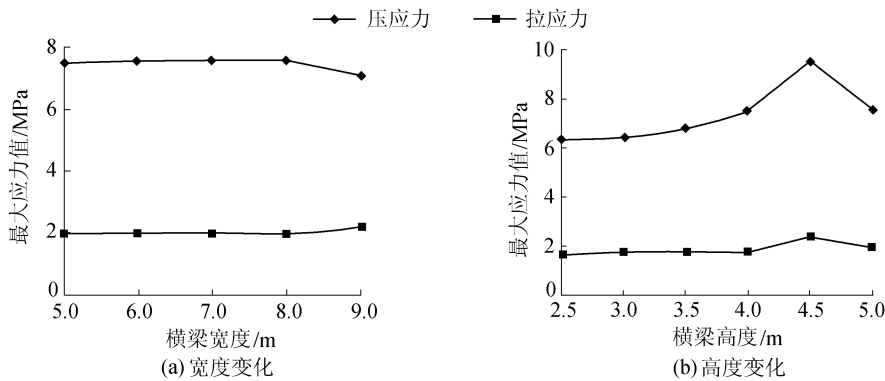


图6 横梁构造变化对应力分布的影响

Fig. 6 Influence of different structures on stress of cross beam

结果表明,在横梁宽度变化时,横梁区应力分布规律变化很小(图6(a))。改变横梁宽度对下部节点处

的应力水平影响很小,但横梁宽度取为 8.0 m 时,最大主拉应力和节点中间截面底缘纵向主拉应力偏小,因此横梁宽度为 8.0 m 时最合理。图 6(b)表明,随着横梁高度的增加应力呈增大趋势,且各种情况下的最大应力水平都是安全的;当横梁高度变化到 4.5 m 时,子模型的主压应力和主拉应力最大,主压应力达到 9.50 MPa,主拉应力达到 2.36 MPa。如果横梁在桥墩竖向的位置不变,适当减小横梁高度对横梁的受力是有利的。但横梁高度的设置还要综合考虑地震作用和桥墩的稳定性,其尺寸不能太小。为了确保节点不成为地震作用下结构的薄弱环节,建议采用横梁高度为 5.0 m。横梁壁厚对于主应力的影响不显著,计算结果表明,壁厚 1.0 m 时最大主拉应力最小。

5 人洞应力集中分析

横梁两端的墩柱内部为实体,其中心需要设置洞口并埋置检查梯。为了得到合理的开洞方式,笔者分别计算了 6 种开洞方案下的应力分布(方案 1:80 cm×80 cm 矩形洞口;方案 2:80 cm×80 cm 矩形洞口加 10 cm×10 cm 倒角;方案 3:80 cm×80 cm 矩形洞口加半径 15 cm 圆弧倒角;方案 4:80 cm×80 cm 矩形洞口加 15 cm×15 cm 倒角;方案 5:80 cm×80 cm 矩形洞口加 20 cm×20 cm 倒角;方案 6:直径 80 cm 的圆形),计算中荷载采用桥墩顶轴力最大时的荷载组合(工况 2)。

因为 6 种开洞方案洞口附近都没有出现主压应力集中现象^[12],因此只需要考虑洞口附近的主拉应力分布情况。方案 1~6 的洞口附近混凝土的主拉应力最大值依次为 2.45 MPa, 3.14 MPa, 2.67 MPa, 2.36 MPa, 2.05 MPa, 1.60 MPa。矩形人洞角点处附近的应力集中相当严重,在角点处设置倒角后结构突变减弱,应力集中现象也相应减少;随着倒角的增大,角点处的应力分布更均匀,倒角的设置能有效减少应力集中。设置圆形人洞时应力分布更均匀,且应力集中现象最弱,洞口附近主拉应力值最小。

6 结 语

人字形桥梁岔区横梁与墩柱连接处的空间受力特性复杂,简化分析不能较详细地把握其受力状况,因此对其进行空间应力分析很必要。笔者通过分析某山区铁路桥在各种工况下该区域的应力分布状况,发现岔区节点区最大主压应力和最大主拉应力均小于规范限值;通过比较不同构造形式横梁下的空间应力,认为横梁宽 8.0 m、高 5.0 m、壁厚 1.0 m 时的应力分布比较合理;通过对比不同人洞开洞方案下的洞口角点应力集中现象,得出圆形人洞可以有效减小洞口的应力集中的结论。

参考文献:

[1] 王慧东. 桥梁墩台与基础工程[M]. 北京:中国铁道出版社,2005:64-75.
[2] 葛俊颖. 桥梁工程(上)[M]. 北京:中国铁道出版社,2010:305-317.
[3] 蔡德强. 广珠城际轨道实体桥墩设计分析[J]. 桥梁建设,2010(2):49-51. (CAI Deqiang. Design and analysis of solid pier for bridge on Guangzhou-Zhuhai intercity railway transit [J]. Bridge Construction, 2010(2):49-51. (in Chinese))
[4] 许智焰,马庭林. 内昆铁路花土坡特大桥设计[J]. 桥梁建设,2004(1):31-33. (XU Zhiyan, MA Tinglin. Design of Huatupo Bridge on Neijiang-Kunming railway[J]. Bridge Construction, 2004(1):31-33. (in Chinese))
[5] 葛素娟,李静斌. 预应力混凝土连续刚构桥 0 号块空间分析[J]. 郑州大学学报:工学版,2006,27(3):1-5. (GE Sujuan, LI Jingbin. Spatial analysis of segment No. 0 of prestressed concrete continued rigid frame bridge [J]. Journal of Zhengzhou University:Engineering Science, 2006,27(3):1-5. (in Chinese))
[6] 夏勇,裴若娟. 广珠准高速铁路东海西江大 0 号块空间分析[J]. 桥梁建设,1997(4):74-77. (XIA Yong, PEI Ruojuan. Spatial analysis of segment No. 0 of Donghai Xijiang River bridge of Guangzhou-Zhuhai quasi-high-speed railway[J]. Bridge Construction, 1997(4):74-77. (in Chinese))
[7] 王砺文. 大跨连续刚构墩梁固接处的空间应力分析[J]. 铁道标准设计,2003(8):36-38. (WANG Liwen. Analysis of spatial stress at the joint between piers and beams in a large-span continuous rigid-frame bridge[J]. Railway Standard Design, 2003(8):36-38. (in Chinese))
[8] 何海,王荣辉. 混凝土连续梁桥空心墩墩顶局部应力分析[J]. 城市道桥与防洪,2004(4):60-63. (HE Hai, WANG Ronghui. Analysis of partial stress at hollow pier top of concrete continuous beam bridge[J]. Urban Roads & Flood Control, 2004(4):60-63. (in Chinese))
[9] 王勖成. 有限单元法[M]. 北京:清华大学出版社,2003:105-127.

[10] 谢肖礼, 彭文立, 秦荣. 圣维南原理在钢管混凝土拱桥分析中的应用[J]. 中国公路学报, 2001, 14(2): 33-35. (XIE Xiaoli, PENG Wenli, QIN Rong. Application of SAINT-VENANT principle in analysis of CFST arch bridge[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(2): 33-35. (in Chinese))

[11] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007: 275-280.

[12] 徐芝纶. 弹性力学简明教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 67-72.

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63, CN32-1117/TV, ISSN1000-1980, 双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊, 主要刊登河海大学在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章, 可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

《河海大学学报(自然科学版)》创办于 1957 年, 是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊, 在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中, 绝大部分为国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果, 部分达到了国内领先和国际先进水平, 为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议, 发挥了较大的社会效益和经济效益, 深受工程界和科技界赞许, 并获得中国高校精品科技期刊奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

《河海大学学报(自然科学版)》每逢单月出版, 国内外公开发行, 2013 年每期定价 15 元, 全年 6 期共计 90 元。欢迎广大读者通过全国各地邮政局订阅或直接与编辑部联系。

编辑部地址: 210098 南京市西康路 1 号 《河海大学学报(自然科学版)》编辑部

电话/传真: 025-83786343; E-mail: xb@hhu.edu.cn

http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexxb.asp?d_id=53