

大挑臂钢箱结合梁剪力滞效应研究

胡 振

(中铁第四勘察设计院集团有限公司,湖北 武汉 430063)

摘 要: 宽桥面桥梁结构的剪力滞问题由来已久,目前针对钢箱结合梁的剪力滞效应的研究相对较少。该研究对某单索面大挑臂钢箱结合梁斜拉桥进行节段模型试验,通过有限元分析方法与实验结果相结合,系统探讨了不同工况下各板件的正应力分布特征。研究发现,在考虑剪力滞效应的影响下,全梁的应力控制点均位于根部,为优化设计提供了重要参考依据。同时,进一步揭示了剪力滞效应对正负弯矩作用下的应力分布特性的影响规律,为结构性能优化提供了重要的分析基础。

关键词: 斜拉桥;大挑臂钢箱结合梁;剪力滞效应;模型试验;有限元分析

中图分类号: U448.38

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)10-0086-05

Research on Shear Lag Effect of Large-cantilever Steel Box Composite Beams

HU Zhen

(China Railway No.4 Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan 430064, China)

Abstract: The shear lag problem of wide-deck bridge structures has existed for a long time. At present, there are relatively few studies on the shear lag effect of steel box composite beams. The segmental model test is carried out on a single-plane large-cantilever steel box composite beam cable-stayed bridge. By integrating the finite element analysis methods and the experimental results, the normal stress distribution characteristics of various plate components under different loading conditions are systematically discussed. It is found that the stress control points of the whole beam if considering the shear lag effect are all at the root section, providing the important reference basis for the design optimization. Furthermore, the influencing rule of shear lag effect on the stress distribution features under both positive and negative bending moments is further revealed, which provides the important analyzing foundation for the optimization of structural performances.

Keywords: cable-stayed bridge; large-cantilever steel box composite beam; shear lag effect; model test; finite element analysis

0 引 言

宽桥面桥梁结构的剪力滞问题由来已久^[1-6]。对于斜拉桥主梁,其属于带有复杂边界条件的高次超静定结构,受力和约束情况比一般梁式桥要复杂许多,以致其的剪力滞问题难以用解析方法精确计算。许多国内外学者对钢-混凝土结合梁斜拉桥的剪力滞问题进行了探讨,获得了不少研究成果^[7-15]。然而目前针对箱型结合梁斜拉桥的剪力滞效应的研究相对较少。张阳等在文献^[7]中提出了一种结合能量法计算大悬臂钢-混组合脊骨梁剪力滞效应的理论方

法,该方法与实测及有限元结果吻合较好,但对于斜拉桥这种复杂桥式,计算难度较大,且不能考虑斜拉索轴向作用的分配问题。由于剪力滞效应与主梁结构形式、荷载、边界条件等因素关系密切,实际研究中,多采用模型试验与空间有限元相结合的方法来进行分析^[16-21]。

某跨径布置为 140 m+140 m 的独塔单索面斜拉桥,主梁采用大挑臂钢箱结合梁(见图 1)。结合梁混凝土桥面宽度 26.5 m,厚度 25 cm;钢梁理论宽度 4 500 mm、中心高度 3 300 mm 的单箱双室结构,顶板实际宽度 5 000 mm、厚 20 mm,腹板厚度 24 mm,底板厚度 32 mm;沿主梁纵向间隔 3 m 设置长度 10.75 m 的三角形钢挑臂,挑臂外侧高度 450 mm、内侧高度 3 300 mm,上翼缘宽 600 mm、厚 20 mm,下翼缘宽 600 mm,厚 24 mm;钢箱顶板及挑臂上缘布设直径 22 mm、高 150 mm 的栓钉作为剪力连接件。该结合

收稿日期: 2025-03-05

基金项目: 中铁第四勘察设计院集团有限公司科技研究项目(2019K087)

作者简介: 胡振(1976—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计研究工作。

负弯矩产生的压应力叠加,其在 A-A 截面处的压应力增大,达 45.7 MPa。

剪力滞系数反映了各截面的正应力不均匀程度。由表 2 可知,各控制截面正应力分布不均匀程度由大到小依次为钢箱梁顶板、桥面板及钢箱梁底板,其中钢箱梁底板在工况 6(成桥状态)下剪力滞系数仅为 1.06,其余各部位成桥状态下剪力滞系数相对较大,需对该工况下的应力分布情况分析。

图 4 给出了工况 6 各断面最大剪力滞系数。从图 4 可以看出,成桥状态下桥面板的最大剪力滞系数在 1.10~1.24 之间,钢箱梁顶板在 1.13~1.28 之间,钢箱梁底板在 1.06~1.48 之间;在主梁负弯矩区,桥面板和钢箱梁顶板正应力分布较不均匀,在主梁正弯矩区(D-D 截面附近),钢箱梁底板正应力分布极不均匀。

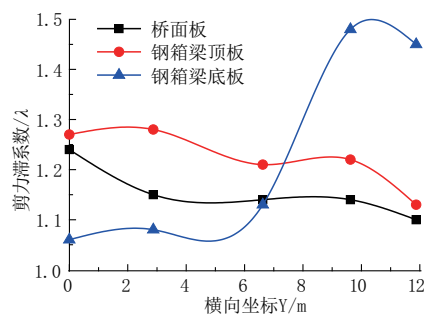


图 4 工况 6 剪力滞系数沿纵向分布图

为校验试验模型并得到更为详细的应力分布,采用 ANSYS 建立了空间有限元模型,见图 5。模型中斜拉索采用 Link10 单元,钢箱梁采用 Shell181 单元,桥面板采用 Solid45 单元,模型中不考虑钢梁与混凝土板的相对滑移。

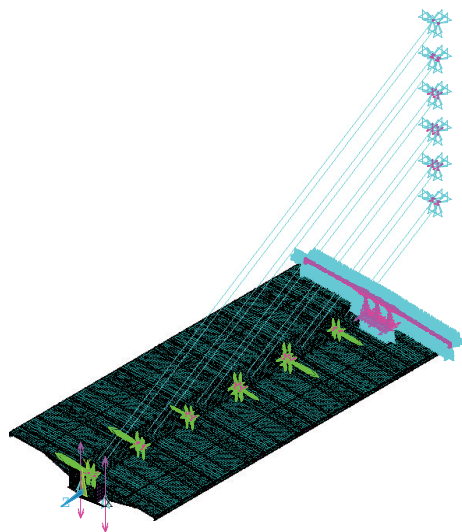


图 5 空间有限元模型

图 6~图 8 给出了工况 6 主梁 A-A 截面的正应力分布对比情况。

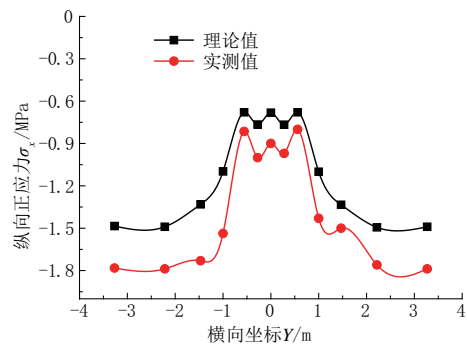


图 6 A-A 截面桥面板应力分布

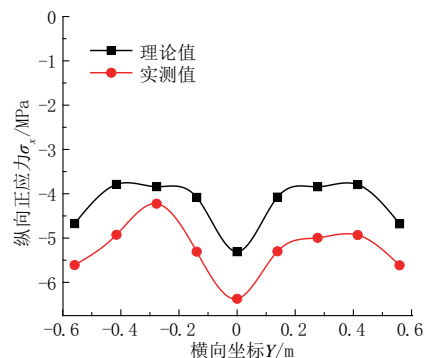


图 7 A-A 截面钢箱梁顶板应力分布

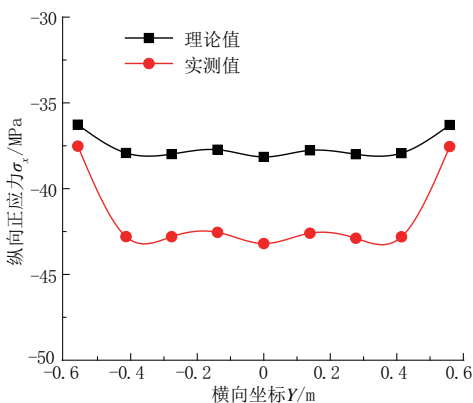


图 8 A-A 截面钢箱梁底板应力分布

从图 6 可以看出,有限元分析结果与实测结果相差较小。A-A 截面其正应力在腹板位置处较小,然后腹板向外侧曲线增长,在翼缘悬臂端部达到最大。由于 A-A 截面位于主梁根部,桥面板在轴向压力及负弯矩作用下虽然全截面受压,但腹板处面板因负弯矩产生的拉应力更为显著,导致压应力水平显著降低,上述原因导致桥面板出现负剪力滞效应。根据实测数据计算结果,桥面板剪力滞系数在 0.55~1.24 之间。

从图 7 可以看出,成桥状态下 A-A 截面钢箱梁顶板全截面受压,剪力滞系数在 0.80~1.28 之间。中腹板及边腹板处顶板的正应力显著大于顶板跨中位置。这是因为斜拉索锚固于中腹板上,其分担了更大的索力。

从图 8 可以看出,在成桥状态下钢箱梁底板全截面受压,正应力在边腹板处最小,在中腹板处达到极大值,剪力滞系数位于 0.89~1.06 之间,正应力分布比较均匀。

根据实测数据于有限元分析理论数据绘制了工况 6 主梁 D-D 的应力分布对比图,D-D 截面位于主梁正弯矩区,斜拉索的轴向分力相对较小,桥面板和钢箱梁顶板的弯曲压应力与轴向压应力相叠加,而钢箱梁底板中的弯曲拉应力与轴向压应力相互抵消,因此应力分布趋势与 A-A 截面相差较大。

从图 9 可以看出,D-D 截面混凝土桥面板全截面压应力最大值位于腹板处,并沿挑臂逐渐下降,在悬臂端部达到最小值。可以认为 D-D 截面桥面板的正应力主要集中于箱梁顶部的混凝土板,剪力滞系数在 0.71~1.14 之间。

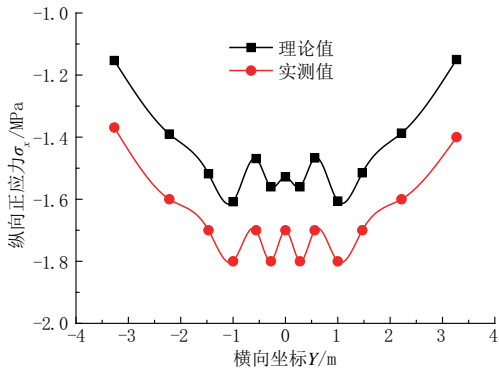


图 9 D-D 截面桥面板应力分布图

从图 10 可以看出,D-D 截面钢箱梁顶板正应力分布规律与 A-A 截面基本相似,全截面受压且处于正剪力滞区,其剪力滞系数在 0.80~1.21 之间。

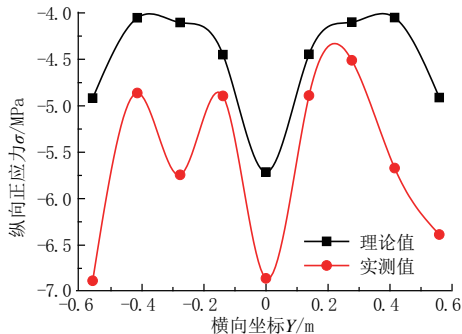


图 10 D-D 截面钢箱梁顶板应力分布

从图 11 可以看出,D-D 截面钢箱梁底板的正应力极大值位于腹板处,实测剪力滞系数在 0.73~1.48 之间,应力分布极不均匀。

通过对主梁负弯矩区以及主梁正弯矩区的正应力分布情况分析可以发现,大挑臂钢箱结合梁剪力滞效应显著,且由于斜拉索的作用,主梁正应力分布

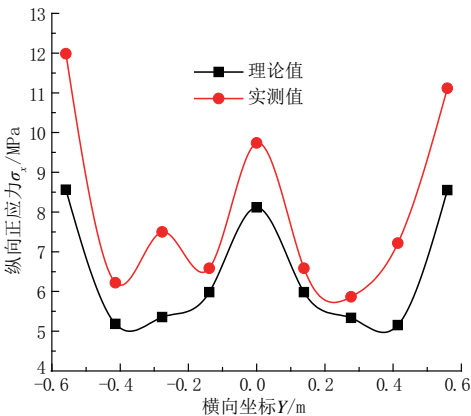


图 11 D-D 截面钢箱梁底板应力分布

比较复杂,且在多处出现了负剪力滞效应。另一方面,对比应力实测值与理论值曲线可知,二者变化规律一致,这说明空间有限元计算能够反映这种结构剪力滞效应的一般规律,但在数值上有仍然所差异,这也说明了模型试验的必要性。

3 结 语

(1)大挑臂钢箱结合梁的实测剪力滞系数可达 0.55 ~ 1.48,剪力滞效应显著。

(2)斜拉索轴力与自重等荷载耦合作用下的弯矩交替变化导致结合梁剪力滞系数变化剧烈,靠近索塔区域的结合梁桥面板、钢箱梁底板以及桥面板均出现负剪力滞现象。

(3)无论正弯矩还是负弯矩区,大挑臂钢箱结合梁的桥面板正应力主要集中于钢梁顶板范围内。结合试验及测试结果,桥面板有效宽度可取全宽的 0.87 倍。

参考文献:

[1] 胡永.超宽桥面部分斜拉桥主梁线形控制分析[J].铁道工程学报,2007(9):34-39.

[2] 施洲,顾家昌,高贵,等.两类铁路斜拉桥主梁钢混结合段受力性能对比[J].铁道标准设计,2021,65(12):85-90;115.

[3] 蔺鹏臻,刘世忠.大宽跨比连续钢箱梁桥的剪力滞效应研究[C]//第十八届全国桥梁学术会议论文集(下册).北京:中国土木工程学会桥梁及结构工程分会,天津市建设管理委员会,2008.

[4] 罗宜,张华华.异形斜拉桥塔梁结合段应力状态与剪力滞效应研究[J].交通科技,2020(6):23-26.

[5] 聂建国,李法雄,樊健生.组合梁斜拉桥桥面有效宽度分析[J].哈尔滨工业大学学报,2007,39(增刊2):719-724.

[6] 谢泽福.结合梁斜拉桥悬臂施工阶段剪力滞效应分析[J].桥梁建设,2013,43(4):14-19.

[7] 卫星,强士中.大跨钢-混凝土结合梁斜拉桥传力机理[J].西南交通大学学报,2009,48(3):402-408.

[8] D D Byers. Evaluation of the Effective Slab Width for Composite Cable-Stayed Bridge Design (Ph D Disserta-tion)[D].Lawrence:The University

- of Kansas, 1999.
- [9] 李佳津.大悬臂脊骨梁斜拉桥受力研究及有限元分析[D].合肥:合肥工业大学,2020.
- [10] 周世军,宋刚.剪力滞对斜拉桥中 Π 形主梁弯曲刚度影响分析[J].土木工程学报,2018,51(11):106-113.
- [11] 张阳,邵旭东,王皓磊,等.大悬臂钢-混凝土组合脊骨梁的剪力滞效应[J].中国公路学报,2008(3):57-63.
- [12] 张士铎,邓小华,王文川.箱型薄壁梁剪力滞效应[M].北京:人民交通出版社,1998.
- [13] 张启伟,张士铎.单索面斜拉桥箱梁恒载剪力滞效应分析[J].中国公路学报,1997(1):39-43.
- [14] 李乔,唐亮,黄道全,等.斜拉桥 Π 形截面PC主梁剪力滞模型试验研究[J].桥梁建设,2004(5):7-10.
- [15] 卫星,强士中.大跨结合梁斜拉桥桥面板有效宽度研究[C]//第十九届全国桥梁学术会议.北京:人民交通出版社,2025.
- [16] 张彦玲,李运生,樊健生,等.钢-混组合梁负弯矩区有效翼缘宽度的研究[J].工程力学,2010,27(2):178-185.
- [17] 颜娟,黄良,张哲.双主梁式斜拉桥主梁有效宽度[J].长安大学学报(自然科学版),2003(1):46-48.
- [18] 马磊,周林云,万水,单箱三室波形钢腹板箱梁剪力滞效应研究[J].中外公路,2013(3):95-99.
- [19] 蒋建军,欧旗祥.大跨度宽幅斜拉桥组合梁精细化受力分析研究[J].市政技术,2019,37(4):72-75;81.
- [20] 孙建渊,谢津宝,涂坤凯.部分斜拉桥混凝土脊骨梁受力机理与结构优化[J].同济大学学报(自然科学版),2018,46(10):1319-1325.
- [21] 赵虎,勾红叶,尼颖升.波形钢与混凝土混合多箱室斜拉桥的剪力滞效应[J].华南理工大学学报(自然科学版),2020,48(7):93-103.

(上接第85页)

- [8] 廖令军,唐瑞.基于地震空间变异性效应的大跨度桥梁抗震体系研究[J].工程技术研究,2021(7):33-34;37.
- [9] 吴敏卉.钢筋混凝土桥梁碳化和氯离子侵蚀共同作用研究[D].西安:长安大学,2014.
- [10] 胡斌.反应谱法与时程分析法在设计地震下的比较[J].兰州工业学院学报,2012,19(4):25-28.
- [11] 信春雷.地震反应时程分析方法[J].交通科技与经济,2010,12(3):50-53.
- [12] 楼梦麟,张静.大跨度拱桥地震响应分析中阻尼模型的讨论[J].振动与冲击,2009,28(5):22-26.
- [13] 楼梦麟,李强.水平地震激励下大跨度拱桥行波反应分析[J].地震工程与工程振动,2014,34(4):29-34.
- [14] CJJ-166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].
- [15] 王晶.矮塔斜拉桥随机地震响应分析[D].成都:西南交通大学,2017.