

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.03.026

高低塔不对称斜拉桥横向受力数值分析

童汉元¹,王孝亮²,陈今东³,廖肇乾³

(1.南昌市城市规划设计研究总院,江西 南昌 330038; 2.湖北省交通规划设计院股份有限公司,湖北 武汉 430051;
3.广西交通设计集团有限公司,广西 南宁 530000)

摘要: 高低塔不对称斜拉桥的横向受力是其结构分析的关键之一,对桥梁结构的安全性和耐久性有着重要意义。依托某高低塔不对称斜拉桥,分别建立了杆系模型和实体模型并对其横向受力进行了数值分析,研究了多个工况下结构的受力规律。同时,对比两种模型的计算结果,分析表明活载作用下两种模型应力相差0.5~2 MPa,人群荷载作用下基本一致,杆系模型较实体模型更为保守。

关键词: 斜拉桥;桥面板;横向分析;有限元分析

中图分类号: U441

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)03-0110-03

0 引言

斜拉桥由于造型优美、结构跨度大,近年来被广泛应用于大跨径桥梁的设计建造^[1]。斜拉桥结构复杂,主要由主梁、桥塔和拉索组成。拉索锚固在主梁上,主梁除了承受拉索的竖向力,还承受水平力,运营阶段还承受活载和温度荷载的作用,主梁承受轴力、弯矩和扭矩,结构受力非常复杂。在设计中往往关注桥梁的整体纵向受力,对结构的横向受力不够重视,对于大跨径不对称斜拉桥,其横向受力分析往往需要进一步的关注。目前,针对斜拉桥桥面板横向分析的理论不够完善,计算难度较大,大部分通过数值分析的方式对斜拉桥的横向受力进行分析^[2]。

本文以某大跨不对称斜拉桥为工程背景,对桥梁的横向受力进行数值分析,分别建立了主梁的杆系节段模型和实体节段模型,分析了桥梁在成桥10 a、汽车荷载和人群荷载作用下桥面板的应力状态,对比分析了两个模型结果,为大跨不对称斜拉桥的设计施工提供了参考。

1 工程概况

本项目高低塔三跨单索面斜拉桥,桥宽24.5 m,桥型立面布置如图1所示。主梁采用单箱五室箱型截面(见图2)。标准截面梁高2.85 m,宽24.5 m,中间设有锚固箱室。靠小塔处主梁每隔6 m为一个节段,设横隔板。靠高塔处主梁每隔8 m为一个节段,

每个节段设横隔板和横梁。

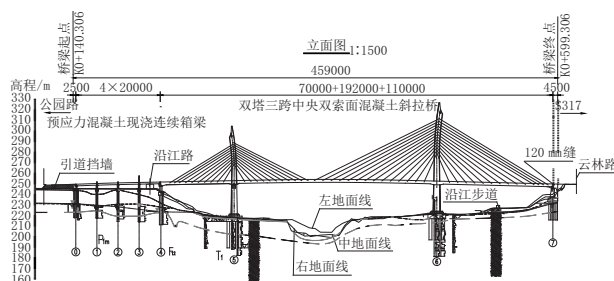


图1 桥型立面布置示意图(单位:cm)

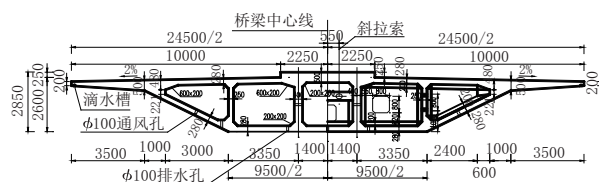


图2 箱梁典型截面布置示意图(单位:cm)

全桥采用单侧塔梁固结体系,在高塔处塔梁固结,低塔处主梁穿过主塔,并在主塔上设竖向和横桥向限位支座,主梁端部采用限制主梁竖向和横桥向位移支座,所有支座采用抗扭双支座形式。

主梁截面为单箱五室截面,上缘厚度由翼板边缘处的0.2 m渐变至边腹板连接处的0.5 m,边腹板与中腹板之间的上缘厚度为0.28 m,两中腹板之间的上缘厚度为0.5 m。边腹板厚度为0.28 m,中腹板的厚度为0.4 m,下缘厚度为0.28 m。

2 桥面板横向受力数值分析

2.1 概述

本项目为不对称斜拉桥,跨径大、桥面宽、结构布置和受力极为复杂。因此,不仅需要对主桥进行纵向静力分析,还应对桥面板进行横向受力分析,从而更

收稿日期:2021-11-03

作者简介:童汉元(1994—),男,硕士,助理工程师,从事桥梁设计与研究工作。

加全面地了解大桥的各向受力特性。横向分析结果是对大桥结构安全性评估的重要依据。

由于本桥的结构复杂,跨径大,建立全桥模型进行分析难度较大且时间耗费长。为了简化计算,采用典型节段对结构的横向受力进行分析^[3]。

2.2 荷载工况及典型截面

为了充分了解斜拉桥横向受力的特性,本文分别选取了成桥 10 a、汽车荷载作用、人群荷载作用 3 个荷载工况,分别研究在成桥阶段和运营阶段桥面板的受力状态。

考虑到桥面板的横向对称性,为了详细分析斜拉桥桥面板横向受力情况,本文一共选取 6 个典型截面进行分析。典型截面的具体如图 3 所示。

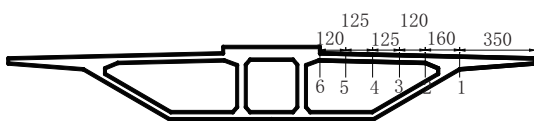


图 3 箱梁典型截面布置示意图(单位:cm)

2.3 有限元模型

在对斜拉桥桥面板进行横向分析时,分别建立了杆系节段模型和实体节段模型,通过两种模型的数据对比进一步分析桥面板横向受力规律。

杆系模型中,沿主梁纵向取 1 m 长度建立节段模型,考虑桥面板有效分布宽度,在每个腹板下端采用竖向弹性支承,横向采用一般支承。具体如图 4 所示。

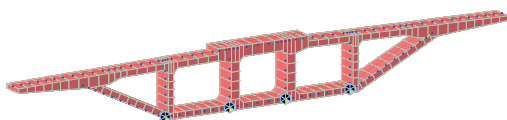


图 4 杆系模型示意图

实体有限元采用 Midas FEA 软件进行建模,考虑到邻近桥面板对车轮荷载的分担作用,实体模型沿桥纵向取 24 m。沿桥横向取对称结构的一半,采用对称约束。主梁采用六面体单元,单元网格划分精度控制在 0.1 m 范围内,模型中考虑三向预应力效应。具体如图 5 所示。

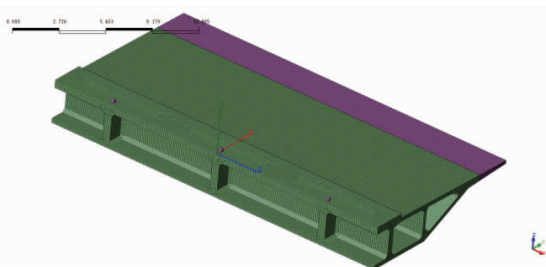


图 5 实体模型示意图

3 计算结果对比分析

3.1 工况一结果对比

成桥 10 a 阶段,分别提取杆系模型和实体模型的桥面上下缘应力。将杆系模型和实体模型桥面板典型截面上下缘应力进行对比,具体如图 6、图 7 所示。

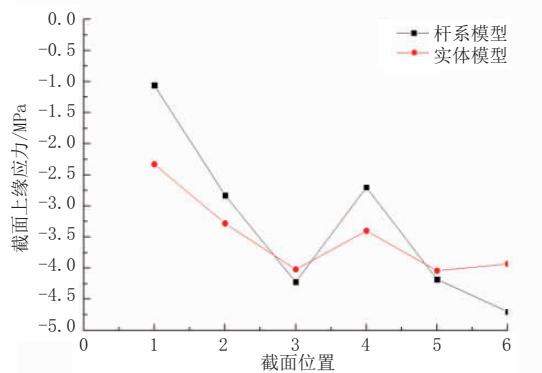


图 6 桥面板上缘正应力图

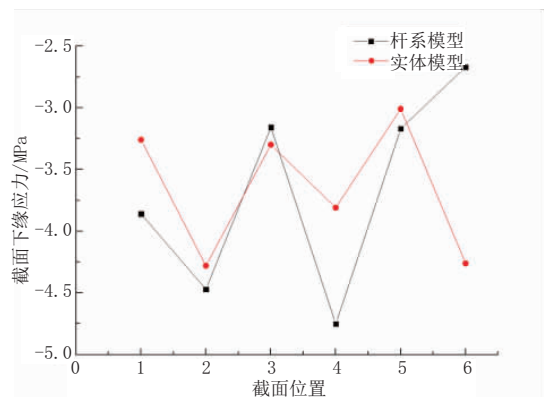


图 7 桥面板下缘正应力图

在成桥 10 a 时,1# 典型截面实体模型的上缘正应力与杆系模型分布相差 1.27 MPa, 2#、3#、4#、5#、6# 典型截面上缘正应力在实体模型和杆系模型相差均在 1 MPa 以内;6# 典型截面实体模型的下缘正应力与杆系模型相差 1.59 MPa, 1#、2#、3#、4#、5# 典型截面实体模型的下缘正应力与杆系模型相差均在 1 MPa 以内。

3.2 工况二结果对比

在杆系模型中,采用城 -A 级荷载,考虑汽车荷载冲击系数与桥面板有效分布宽度,沿桥横向布置两排车,计算汽车荷载效应。

在实体模型中,为了计算出汽车荷载的最不利效应,需要作出典型截面的应力影响线,然后对影响线进行最不利加载,即可得出最不利效应。相邻车轮间距为 30 cm,单位荷载取 100 kN/m²,车辆加载位置参考公路桥规^[4],如图 8 所示。

本文分别取 5 个典型截面进行影响线绘制,分别是:2-2 截面下缘、3-3 截面下缘、4-4 截面上缘、

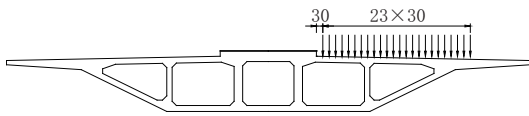


图8 车辆加载位置图(单位:cm)

5-5 截面下缘、6-6 截面上缘。典型截面正应力影响线如图9所示。

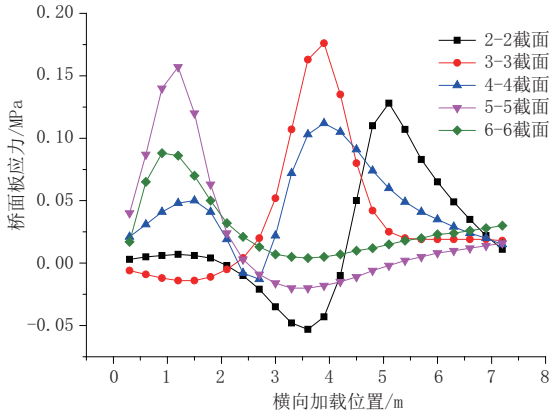


图9 典型截面应力影响线

在各截面正应力影响线上进行最不利加载,即可得出实体模型各截面最大应力值。杆系模型与实体模型上、下缘正应力对比见表1。

表1 桥面板上、下缘正应力对比 单位:MPa

截面号	位置	杆系模型①	实体模型②	①-②
1#	上缘	0.95	0.42	0.53
	下缘	-0.96	-0.64	-0.32
2#	下缘	3.37	0.96	2.41
3#	下缘	2.33	1.37	0.96
4#	上缘	3.17	1.33	1.84
5#	下缘	1.02	1.26	-0.24
6#	上缘	2.81	1.01	1.80

注:拉应力为正,压应力为负。

由表1可得,在汽车荷载作用下,1#、3#、5# 截面相差 1.0 MPa 以内,2#、4#、6# 截面相差 2 MPa 左右。在汽车荷载作用下,杆系模型产生的荷载效应比实体模型的大,约大 2 MPa。由此看来,通过杆系模型结果偏于保守。

3.3 工况三结果对比

人群荷载作用下,分别提取杆系模型和实体模型的桥面上下缘应力。将杆系模型和实体模型桥面板典型截面上下缘应力进行对比,具体如图10、图11所示。

由图10、图11可知,在人群荷载作用下,实体模型与杆系模型相差小于 0.2 MPa,两种模型上、下缘应力基本一致。

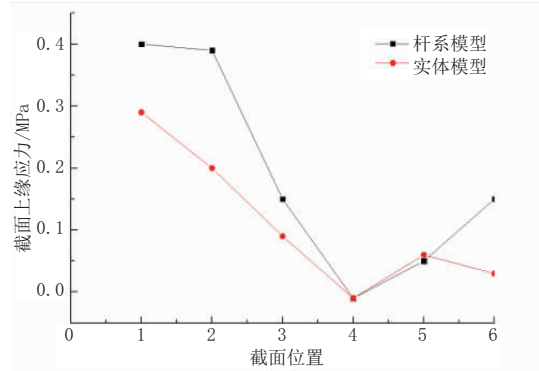


图10 桥面板上缘正应力图

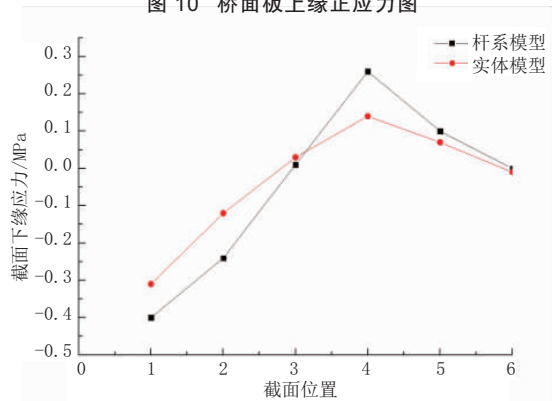


图11 桥面板下缘正应力图

4 结论

本文依托某大跨不对称高低塔斜拉桥,对其桥面板进行了横向分析,通过杆系模型和实体模型对比分析,得到以下结论:

(1)成桥 10 a 时,杆系模型与实体模型上、下缘全部是压应力,且杆系模型储备的压应力与实体模型总体上基本一致。

(2)在汽车荷载作用下,杆系模型比实体模型产生的荷载效应大,1#、2#、4#、5# 截面相差 0.5 MPa 以内,3#、6# 截面相差 1.5~2 MPa。

(3)在人群荷载作用下,实体模型与杆系模型相差小于 0.2 MPa,其计算结果基本一致。

综上所述,可以得出采用节段模型分析斜拉桥横向受力是可行且有效的,计算对比可以看出杆系模型更为保守。设计过程中,计算不能满足规范要求时,建议采用实体模型对比复核计算。

参考文献:

[1] 陈明宪.斜拉桥的发展与展望[J].中外公路,2006,26(4):76-86.
 [2] 刘沐宇,刘洋,袁卫国.考虑滑移效应的三塔结合梁斜拉桥桥面板有效宽度分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2012,36(5):877-880.
 [3] 周绪红,狄谨,戴连.大跨径预应力混凝土斜拉桥主梁节段模型的研究[J].土木工程学报,2005,38(3):59-63.
 [4] JTG D60—2015.公路桥涵设计通用规范[S].