

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2021.06.025

主跨 330 m 某高速公路双塔斜拉桥成桥索力确定与稳定性分析

杨芬, 张华

(湖北省城建设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051)

摘要:采用 Midas/civil 有限元软件,对某高速公路主跨 330 m 双塔斜拉桥进行了计算分析。基于最小弯曲能法确定了该桥合理成桥状态,并根据无应力索长进行了施工过程正装分析,最后,依据现行规范,对该桥进行了应力、挠度、动力特性和稳定性验算,计算结果可为相关研究提供参考。

关键词:有限元;双塔斜拉桥;合理成桥状态;验算

中图分类号: U448.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)06-0098-03

1 工程概况

某高速公路主桥为预应力混凝土双塔三跨斜拉桥,整幅布置,半飘浮体系。主梁采用预应力混凝土双边梁,梁高 3.4 m,主塔采用薄壁空心花瓶型索塔,桥面以上塔高 96 m,单塔设置 48 对斜拉索。过渡墩及辅助墩为空心墩。主梁标准横断面顶板厚 30 cm,底板厚 50 cm,腹板厚 40 cm,桥面设 2% 双向横坡,桥面外侧拉索区宽度为 150 cm,其中检修道宽 85 cm,单侧行车道宽 15 m,包含 3 个行车道和 1 处应急车道,中央分隔带宽 50 cm。该桥总体布置图和主梁标准断面见图 1 和图 2。

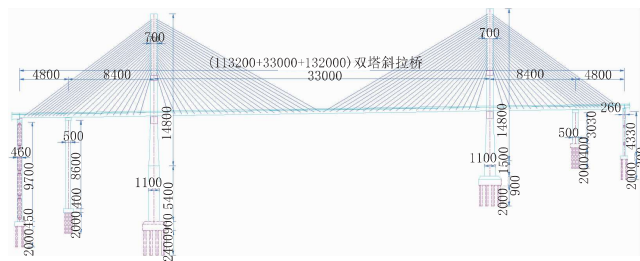


图1 双塔斜拉桥总体布置图(单位:cm)

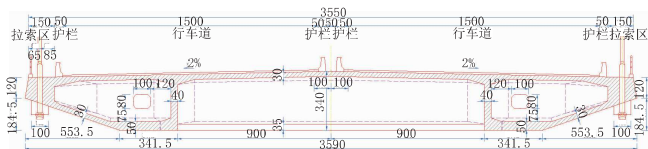


图2 主梁标准断面图(单位:cm)

2 材料参数与模型建立

本桥主梁采用 C55 混凝土,主塔采用 C50 混凝土,材料指标取值见《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)^[1],钢筋混凝土容重取 $\gamma=26 \text{ kN/m}^3$,泊松比 $\nu=0.2$ 。混凝土主梁预应力规格采用 $\varphi^s 15.2-16$ 和 $\varphi^s 15.2-25$,两端张拉,张拉控制应力为 1395 MPa 。

采用 Midas/civil 有限元软件建立了本桥杆系有限元模型,建模时主梁和索塔均采用空间梁单元建模,拉索采用桁架单元模拟,考虑拉索的垂度效应^[2]。全桥共包含 686 个节点,671 个单元。其中包含 302 个梁单元、177 个主塔单元和 192 个拉索桁架单元,拉索端部与主梁刚接模拟。杆系有限元模型见图 3。

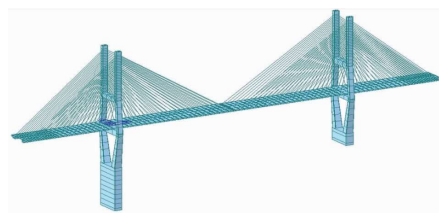


图3 全桥杆系有限元模型

3 成桥索力确定

采用最小弯曲能法,将索塔和主梁截面抗弯惯性矩 I_y 缩小为 10^{-5} 倍^[3],得到全桥截面上下缘应力见图 4。

主梁和主塔应力均为压应力作用,其数值较小,满足规范限值要求,表明基于最小弯曲能法得到的成桥状态是合理的。提取最小弯曲能法所得到的成桥索

收稿日期: 2020-11-21

作者简介: 杨芬(1982—),女,学士,高级工程师,从事路桥设计工作。

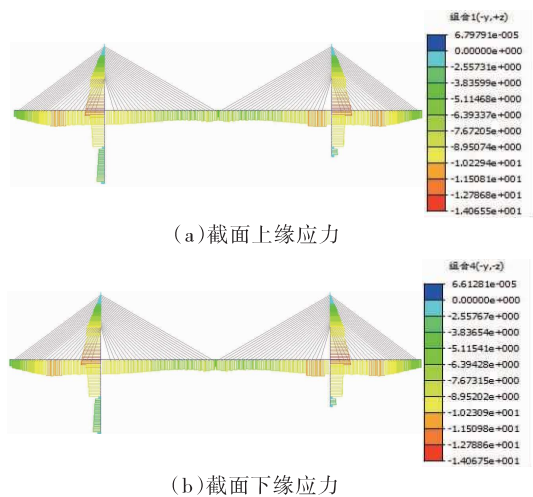


图4 全桥截面应力(单位:MPa)

力,对局部索力变化较大处调匀和优化,得到边跨和中跨优化前后索力见图5。

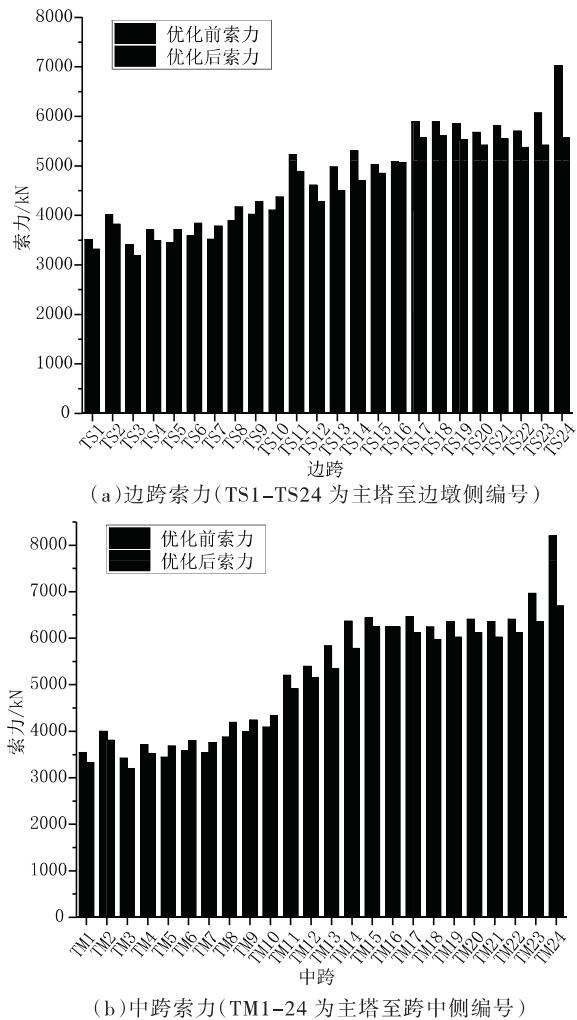


图5 全桥索力(单位:kN)

采用优化后的索力,计算表明主梁和主塔应力仍满足规范要求。

4 分析结果

采用无应力索长进行模型正装施工过程分析,

全桥共划分为59个施工阶段,应力验算组合为:支座沉降+恒荷载+收缩徐变+车道荷载+系统温度+梯度温度。同时进行了主梁挠度验算,结构动力特征值分析和成桥全过程稳定性分析。

4.1 应力验算

各荷载均取标准值,汽车荷载考虑冲击系数,主梁截面上、下缘混凝土正应力见图6。

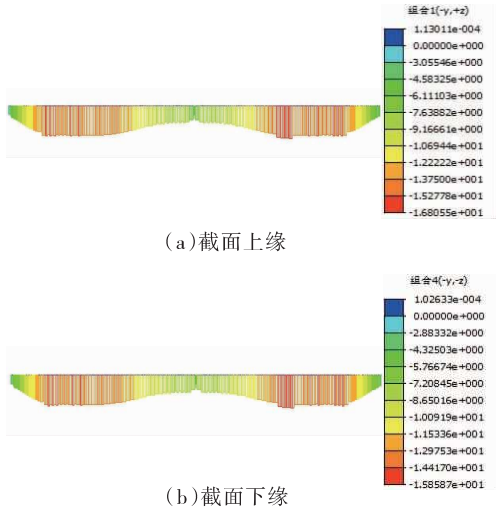


图6 主梁截面上下缘混凝土正应力(单位:MPa)

主塔主要受轴压作用,截面最大压应力见图7。

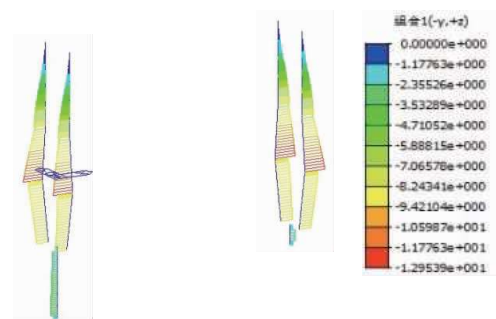


图7 主塔截面正应力(单位:MPa)

计算表明:主梁截面最大压应力为16.8 MPa,小于 $0.5 f_{ck}=17.75$ MPa,主塔最大压应力为13.0 MPa,小于 $0.5 f_{ck}=16.2$ MPa,且截面均未出现拉应力,满足规范要求。

4.2 挠度验算

车道荷载作用下结构竖向变形见图8。主梁最大竖向挠度位于主跨跨中位置,其数值为12.9 cm $\leq$ 330/500=66 cm,满足规范要求^[4]。

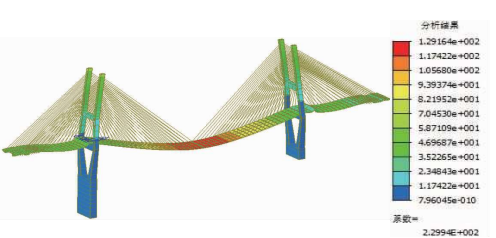


图8 全桥竖向变形(单位:mm)

4.3 特征值分析

全桥前4阶振型图见图9。

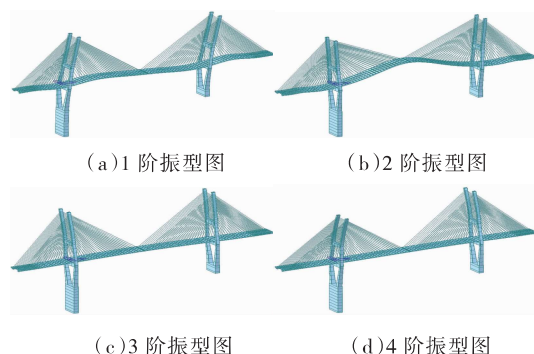


图9 全桥前4阶振型图

全桥前4阶振型动力特性见表1。

表1 主桥动力特性

振型	周期/s	频率/Hz	振型特征
1	7.994	0.13	全桥纵飘
2	2.518	0.40	全桥竖向对称弯曲
3	2.645	0.44	全桥横桥向对称扭转
4	1.940	0.52	全桥横桥向反对称扭转

经以上振型分析,竖向基频为全桥2阶振型模式,此时竖向基频为0.40 Hz,参考《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01-2018)式6.3.1-2^[5],该公式估算基频为:150/L=0.45 Hz。模型竖向基频与规范估算公式较为接近,表明该桥动力特征基本合理。

4.4 稳定性验算

稳定性分析主要分析三种不利工况。工况1:裸塔,荷载为自重+风荷载;工况2:最大悬臂,荷载为自重+风荷载;工况3:成桥运营,荷载为自重+二期+风荷载+塔底轴力最不利时的汽车荷载,各工况荷载均取标准值,计算结果见图10。

计算表明:裸塔工况下,稳定安全系数为21.7 $\geq$ 4,空间稳定性满足要求,相应失稳模态表现为索塔纵向失稳;最大悬臂状态下(中跨合拢前),稳定安全系数为8.3 $\geq$ 4,空间稳定性满足要求,相应失稳模态表现为索塔纵向失稳、主梁竖向失稳;成桥运营工况

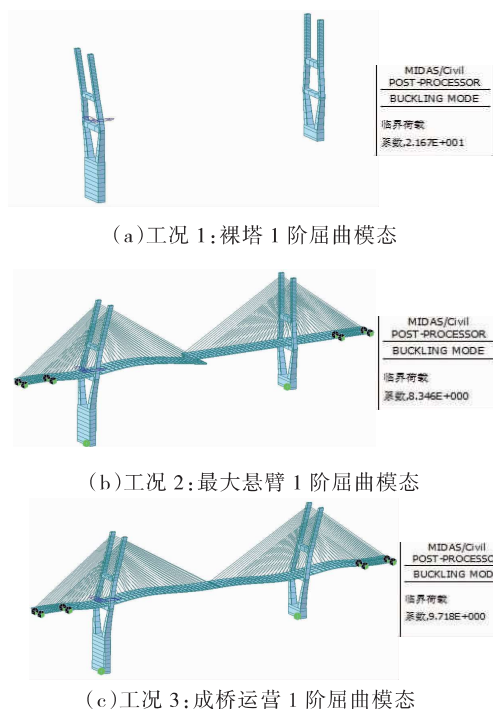


图10 稳定性分析计算结果

下,稳定安全系数为9.7 $\geq$ 4,空间稳定性满足要求,相应失稳模态表现为索塔纵向失稳、主梁竖向失稳。

该桥稳定验算控制工况为最大悬臂状态,相似桥型施工时应采取必要措施保证该状态稳定性满足规范要求。

5 结 语

本文通过对某高速公路132 m+330 m+132 m双塔斜拉桥建模计算分析,通过最小弯曲能法得到了成桥索力,在此基础上验算了结构的应力、挠度、动力特性和及稳定性,各项验算结果表明结果安全可靠,结构动力特征较好,施工状态下和成桥运营下均不发生失稳破坏。

参考文献:

- [1] JTJ3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [2] 刘士林.斜拉桥设计[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [3] 梁鹏,肖汝诚,张雪松.斜拉桥索力优化实用方法[J].同济大学学报(自然科学版),2003(11):1270-1274.
- [4] JTJ/T 3365-01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].
- [5] JTJ/T 3360-01—2018,公路桥梁抗风设计规范[S].