

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.05.018

郑州龙湖鼎形斜拉桥设计与分析

廖崇庆¹,熊礼鹏²

(1.上海市政交通设计研究院有限公司,上海市 200030; 2.武汉市政工程设计研究院有限责任公司,湖北 武汉 430023)

摘要:以郑州龙湖鼎形斜拉桥为背景,对桥梁的方案构思、桥塔造型和总体结构设计等进行了详细介绍;并采用 MIDAS CIVIL 软件空间杆系有限元的方法,对桥梁结构在施工状态和运营状态进行了静力计算分析,同时针对斜拉桥 4 种不同的荷载作用工况进行了整体稳定性分析。结果表明:桥梁总体造型美观,结构设计合理,桥塔和主梁静力验算结果满足设计要求;桥梁结构的第一阶失稳模态对应的稳定安全系数为 30 左右,整体稳定性满足要求,且失稳模态主要表现为桥塔横向外失稳。

关键词:独塔斜拉桥;景观桥梁;结构设计;稳定分析

中图分类号:U448.27

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)05-0069-04

0 引言

随着国民经济的快速发展和城镇化进程的加速,人们对城市环境质量的要求也越来越高。桥梁作为大型基础设施,其景观效果越来越被人们所重视。郑州龙湖大桥工程位于郑州北龙湖金融中心核心地带,处于龙湖龙脊之上,是环金融岛的控制性工程。桥位附近集生态旅游、休闲娱乐及居住用地为一体,因此该桥梁应兼顾交通、旅游和景观等重要功能。该桥梁作为环龙湖系列桥梁的地志性建筑,塑造城市整体形象,提升城市建筑品位。桥梁景观的设计理念应具有当地文化特征,同时应具备视觉冲击力,使之成为当地的旅游景点和标志^[1-2]。

1 桥型方案设计

龙湖大桥位于龙湖内环路上,横跨北引水渠,河床宽度约 150 m,水深约 0.5 m。根据规划,该水渠有游船通航要求,通航对象为龙湖局部区域的小型游船,通航水位按正常水位控制为 85.5 m,单孔双向通航时通航净空 40 m × 3.5 m,双孔单向通航孔时通航净空各为 25 m × 3.5 m。

桥型方案设计应结合河道水文、航道要求及两岸道路、河堤规划等要求确定,同时应与桥位区域城市环境和建筑风格相适应,采用相对合理的桥梁结构体系,确定桥梁建筑美学方案^[3-4]。

众所周知,最大的司母戊鼎出土于河南,设计以

中原“鼎”文化为构思,采用“鼎”的形态,结合现代简洁的设计手法,打造龙湖最大最高的独塔斜拉桥,取“鼎盛中原”之意,展现郑州厚重的地域文化,体现龙湖高贵大气的城市品质,也是国内首座“鼎”形斜拉桥,桥塔方案构思见图 1。



图 1 桥塔方案构思示意图

桥塔造型上呈“鼎”的形态,高峻挺拔,优美大气,雄伟壮观。桥塔主要由四根塔柱组成,塔柱之间设系梁加强横向联系,拉索采用空间双索面辐射状布置,桥型方案效果如图 2 所示。



图 2 桥型方案效果图

桥梁建筑造型简约大气,高耸的桥塔配合纤细的主梁具有强烈的视觉冲击力,造型上立体感和层次感分明,位于波光粼粼的湖面之上,同时桥上的斜拉索设置于机动车道与非机动车道之间,人行道采用悬臂

收稿日期:2022-05-03

作者简介:廖崇庆(1982—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

结构的悬挑于外侧,使行人具有开阔的观赏视野和极佳的观赏效果。

2 桥梁结构设计

斜拉桥跨径布置为 $95+20+95=210\text{ m}$,为独塔双索面斜拉桥,采用半漂浮体系。桥塔由四根上口宽 2.25 m 、下口宽 3 m 、高 3.5 m 的独立塔柱构成,塔柱间通过横梁连接成“鼎”字形,塔柱总高约 104 m ,桥面以上塔高 91.6 m ,桥面宽 53 m 。拉索采用双索面,扇形布置,平行钢丝斜拉索,钢丝束外设双层 PE 护套,梁上标准索距 12 m 。主梁采用钢结构,大挑臂双主梁梁格体系,桥梁立面布置如图 3 所示。

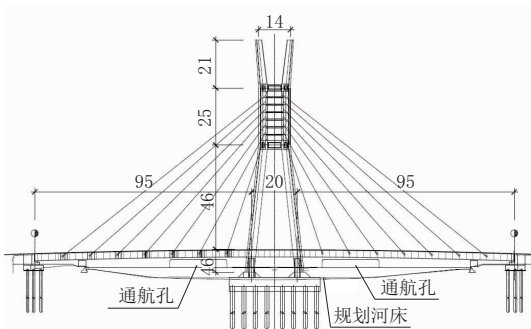


图 3 桥梁立面布置图(单位:m)

横断面布置: 0.3 m (栏杆)+ 2.7 m (人行道)+ 7 m (非机动车道)+ 0.3 m (栏杆)+ 4.2 m (拉索锚固区)+ 0.5 m (防撞护栏)+ 23 m (机动车行道)+ 0.5 m (防撞护栏)+ 4.2 m (拉索锚固区)+ 0.3 m (栏杆)+ 7 m (非机动车道)+ 2.7 m (人行道)+ 0.3 m (栏杆)= 53 m (桥宽),桥梁标准横断面如图 4 所示。

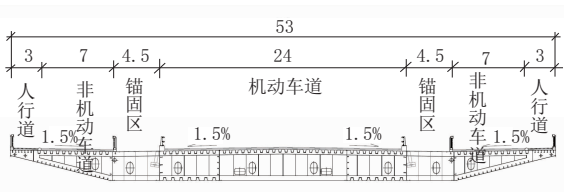


图 4 桥梁标准横断面图(单位:m)

3 桥梁静力计算分析

3.1 桥梁有限元模型

桥梁总体静力计算采用 MIDAS/CIVIL 软件建立有限元模型,全桥结构离散成 889 个节点、728 个单元,主梁、桥塔采用三维梁单元,主梁截面只考虑两个箱子之间的部分,挑臂部分作为荷载加上,主塔单元考虑全部偏心;斜拉索采用只受拉桁架单元中的索单元模拟^[5]。

边界条件:为考虑结构的动力性能以及基础竖向刚度对塔、墩、桥台底反力的影响,单桩采用 6×6 的弹簧连接;主梁在塔处设置纵向活动支座,竖向和

横向被约束;主梁在桥台处设置纵向活动支座,竖向和横向被约束。桥梁计算模型如图 5 所示。

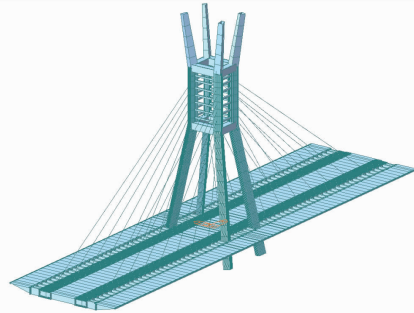


图 5 桥梁计算模型

3.2 施工状态和运营状态受力分析

桥梁施工阶段主要分为两个阶段:

(1)塔柱施工完毕,横梁预应力和拉杆预应力均已张拉,此时主要考察拉杆应力大小以及上塔柱混凝土拉应力是否超标。

(2)成桥状态,主要考察拉杆、主梁、塔柱应力水平。

桥塔施工完毕阶段时,拉杆预应力已经张拉,上塔柱承受弯矩作用,其截面拉应力为 0.97 MPa ,整个混凝土塔(含横梁)截面压应力最大为 5.8 MPa ,满足设计规范要求。图 6 为桥塔施工阶段应力图。

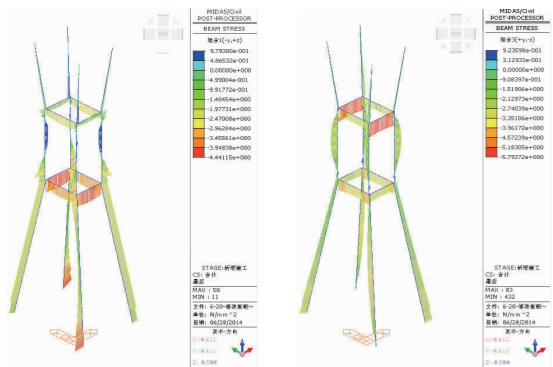


图 6 桥塔施工阶段应力图(单位:MPa)

成桥阶段,上塔柱的截面拉应力为 0.91 MPa ,整个混凝土塔(含横梁)截面压应力最大为 6.8 MPa ;拉杆钢箱全截面受压,压应力为 $11 \sim 52\text{ MPa}$,均满足设计规范要求。图 7 为桥塔成桥阶段应力图。

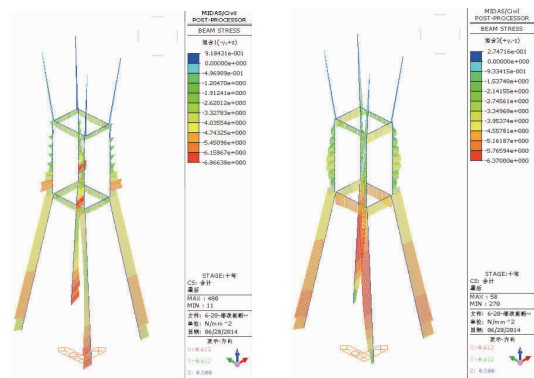


图 7 桥塔成桥阶段应力图(单位:MPa)

运营阶段,主梁弯矩和应力图如图,主梁应力范围为-64~100 MPa,主梁应力水平低,满足设计规范要求。图8为主梁运营阶段应力图。

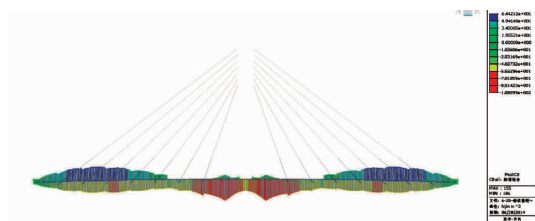


图8 主梁运营阶段应力图(单位:MPa)

运营阶段,移动荷载产生的最大竖向位移为84 mm,满足设计规范小于L/600=158 mm的要求。主梁活载位移如图9所示。

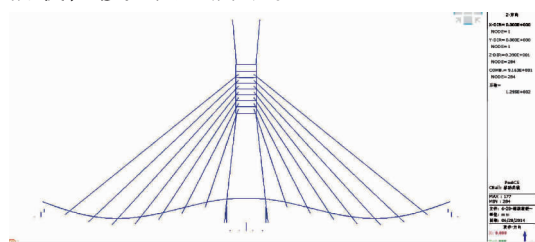


图9 主梁活载位移图(单位:mm)

4 桥梁稳定性分析

4.1 稳定分析方法

对于斜拉桥而言,桥塔作为偏心受压构件,承受巨大的轴力和弯矩,稳定问题比较突出;而对于本桥的多肢格构式桥塔,受力更加复杂,结构稳定性是控制设计的关键问题之一,因此需要对桥塔稳定性作进一步的分析研究。

桥塔的稳定性问题主要分为两类,第一类为线弹性失稳,即当荷载超过临界荷载时,结构的形态发生突然性改变而失稳;第二类为极值性失稳,考虑结构的材料非线性和几何非线性的影响,结构的应力和变形逐步增大直至超限,从而丧失结构承载能力^[6-7]。

本文桥梁计算采用第一类线弹性稳定计算方法,计算方程为:

$$[[K1]+\lambda[K2]]=0$$

式中:[K1]为结构弹性刚度矩阵;[K2]为参考荷载对应的结构几何刚度矩阵。

将稳定问题转化为求方程的最小特征值问题,计算所得的最小特征值即是稳定安全系数。根据《斜拉桥设计规范》(JTG/T 3365-01-2020)规定,对于斜拉桥,第一类稳定弹性屈曲的结构稳定安全系数应不小于4。

4.2 稳定计算结果

本文利用MIDAS CIVIL软件对桥梁进行稳定性

分析。桥梁结构计算主要有4种工况荷载:

- (1)工况一为成桥状态(一期恒载+二期荷载);
- (2)工况二为满跨布载(一期恒载+二期荷载+满跨布载);
- (3)工况三为半跨布载(一期恒载+二期荷载+半跨布载);
- (4)工况四为成桥状态(一期恒载+二期荷载+满跨偏载)。

各工况荷载作用下桥梁结构的第一阶失稳模态如图10所示,各工况桥梁稳定安全系数见表1。

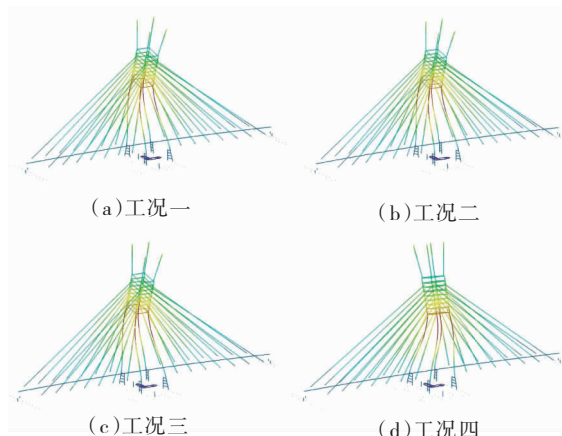


图10 桥梁结构一阶失稳模态

表1 桥梁不同工况稳定系数表

工况	工况描述	稳定系数	失稳描述
工况一	恒载	32.08	桥塔横向屈曲
工况二	恒载+满跨活载	30.40	桥塔横向屈曲
工况三	恒载+半跨活载	31.22	桥塔横向屈曲
工况四	恒载+满跨偏载活载	31.22	桥塔横向屈曲

由计算结果可知,各种工况荷载作用下,结构的第一阶失稳模态主要表现为桥塔横向面外失稳,第一阶失稳模态的稳定安全系数在30~32,远大于规范的允许值4,桥梁的稳定性满足设计要求。

5 结论

本文以郑州龙湖鼎形斜拉桥为背景,对桥梁的方案构思、桥塔造型和总体结构设计等进行了详细介绍,并采用MIDAS CIVIL软件对桥梁结构进行了静力计算分析和稳定性分析,可得到以下主要结论:

- (1)桥塔造型美观,立体感强,桥塔整体造型呈“鼎”形状态,契合“鼎盛中原”之意。具有桥梁受力的合理性和极佳的景观视觉效果,符合城市桥梁美学的要求。
- (2)桥梁在施工阶段和运营阶段荷载作用下,混

凝土桥塔截面最大拉应力为 0.91 ~ 0.97 MPa, 最大压应力为 5.8 ~ 6.8 MPa; 运营阶段, 钢结构主梁正应力在 -64 ~ 100 MPa 范围内变动, 均满足设计要求。

(3) 桥梁在 4 种工况荷载作用下, 结构的第一阶失稳模态均为桥塔横向面外失稳, 第一阶稳定安全系数在 30 ~ 32, 远大于规范的允许值 4, 桥梁稳定性满足设计要求。

参考文献:

[1] 牛伟迪. 神农湖独塔斜拉桥设计分析[J]. 城市道桥与防洪, 2021(6): 79-84.

- [2] 赵佳男. 大同市开源街斜拉桥设计[J]. 上海公路, 2015(2): 38-40.
- [3] 刘校明. 太原汾河摄乐大桥方案设计研究[J]. 施工技术, 2016, 45(16): 129-133.
- [4] 龚俊虎, 秦世强. 宜兴市范蠡大桥方案设计[J]. 中外公路, 2020, 40(6): 211-214.
- [5] 孙旭霞. 空间框架桥塔多跨斜拉桥总体结构设计及计算分析[J]. 城市道桥与防洪, 2015(7): 78-81.
- [6] 王建国, 吴正安, 周水兴. 独塔斜拉桥结构体系与受力分析[J]. 公路交通技术, 2020, 36(5): 70-75.
- [7] 熊礼鹏. 无风撑异形钢箱拱肋系杆拱桥受力分析[J]. 交通科技, 2014(4): 10-12, 13.

(上接第 31 页)

5 结语

通过分析河湟新区唐蕃大道、和顺路等道路改造提升示例, 城市道路品质化设计应突破以往市政及道路交通工程措施范畴, 转变思维方式, 采用全新设计理念, 理清设计思路, 统筹和整合各类空间组成要素, 通过一体化、精细化、人性化、智慧化手段来实现城市道路的品质提升。比如此项目重点从道路空间、景观风貌、城市家具、其他技术修复等四个方面开展设计, 值得类似道路品质提升工程学习和参考。

参考文献:

- [1] GB/T 51328—2018, 城市综合交通体系规划[S].
- [2] 孔令斌, 等. 城市综合交通体系规划标准 GB/T 51328—2018 实施指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- [3] 鲍诗度. 江苏省城市家具建设指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [4] 李佳颖. “完整街道”理念下的街道设计导控研究[D]. 东南大学, 2018.
- [5] 深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司. 深圳市罗湖区完整街道设计导则[M]. 上海: 同济大学出版社, 2018.
- [6] 优先发展公共交通 城市治堵的战略决策——国务院城市优先发展公交政策解读[J]. 道路交通管理, 2013(3): 15-18.
- [7] 杨扬. 祥云纹在现代标志设计中的应用与创新研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2011.