

超宽3塔钢箱梁斜拉桥实时监测与反馈分析研究

杨鑫炎¹, 肖 鸣²

(1. 中交建筑集团第五工程有限公司, 陕西 西安 725106; 2. 荆州市五维公路勘察设计院有限公司, 湖北 荆州 434005)

摘 要: 以某超宽3塔钢箱梁斜拉桥为工程背景, 基于现场实时监测结果, 研究了超宽3塔钢箱梁斜拉桥施工监控技术。结果表明: 在圆形混合塔柱施工过程中, 结构几何非线性影响较明显, 易导致斜拉索张索阶段主塔实测纵向偏位值大于理论预测值; 两合龙口预留宽度较宽(最宽达10 m), 导致合龙前合龙口两端主梁高差控制极为困难, 需结合斜拉索调索方案实施。从现场情况来看, 斜拉索调索完成后, 主梁合龙口两端高程控制较好, 理论值与实测值偏差均在 ± 1.5 cm以内。成桥阶段主梁线形状态良好, 实测高程与成桥目标高程基本吻合, 误差为 $-0.6 \sim 5.8$ cm; 施工阶段主梁及主塔应力状态良好, 实测值与理论值较接近, 主塔混凝土塔根最大应力在3.3 MPa以内, 钢塔最大应力在100 MPa以内, 主梁底板最大应力在80 MPa以内。全桥各斜拉索索力状况良好, 实测索力与目标索力相对差值基本在 $\pm 5\%$ 以内。

关键词: 斜拉桥; 钢箱梁; 施工监控; 线形控制; 索力调控

中图分类号: U446

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)09-0187-05

Study on Real-time Monitoring and Feedback Analysis of an Ultra-wide Three-pylon Steel Box Girder Cable-stayed Bridge

YANG Xinyan¹, XIAO Ming²

(1. China Communications Construction Group Fifth Engineering Co., Ltd., Xi'an 725106, China; 2. Jingzhou Wuwei Highway Survey and Design Co., Ltd., Jinzhou 434005, China)

Abstract: Taking an ultra-wide three-ptylon steel box girder cable-stayed bridge as the engineering background, based on the field real-time monitoring results, the construction monitoring technology of this bridge is studied. The result shows that the influence of structural geometric nonlinearity is relatively obvious during the construction process of circular mixed pylon columns, which is prone to cause the measured longitudinal deviation value of the main pylon during the tensioning stage of the stayed cables to be greater than the theoretical predicted value. Due to the wide reserved width (up to 10 m), it is extremely difficult to control the height difference of the main girder at both ends of the closure before closure completion, which needs to be implemented in combination with the stayed cable adjustment scheme. The field observations show that after the cable adjustments, the elevation at the closure ends of the main girder is well-controlled. The deviation between theoretical and measured values is within ± 1.5 cm. During the stage of bridge completion, the linear condition of the main girder is good. The measured elevation is basically in line with the target elevation for bridge completion, and an error is from -0.6 cm to 5.8 cm. Additionally, during the construction, the stress states of the main girder and main pylon are good, and the measured values are close to the theoretical values. The maximum stress at the concrete pylon root of the main girder is within 3.3 MPa, the maximum stress in the steel pylon is within 100 MPa, and the maximum stress in the bottom plate of the main girder is within 80 MPa. Furthermore, the cable force of all the stayed cables on the entire bridge is in good condition, and the relative difference between the measured cable force and the target cable force is basically within $\pm 5\%$.

Keywords: cable-stayed bridge; steel box girder; construction monitoring; linear control; cable force adjustment and control

0 引 言

对漂浮体系3塔斜拉桥来说, 结构整体刚度较

小, 中间塔由非对称活载引起的压弯效应显著^[1-7], 且主梁受力和变形空间效应明显^[4, 8-9]。因此, 对全桥施工过程进行精确模拟和计算分析, 并结合现场检测数据反馈, 对大桥进行精细化控制是一大难点与挑战。另外, 由于其上部结构采用多工序、多阶段施工, 若不对施工过程进行控制, 结构内力和线形的

收稿日期: 2025-02-27

作者简介: 杨鑫炎(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事公路、铁路桥梁、隧道、地铁的施工和管理工作。

最终状态很难达到设计要求^[10-13]。本文以某超宽3塔钢箱梁斜拉桥为研究背景,对其实时监测和反馈结果展开研究,以期对此类桥梁施工监控提供数据支撑和技术参考。

1 工程背景

某3塔钢箱梁斜拉桥为全漂浮体系,跨径组合采用87 m+176 m+176 m+87 m;主梁采用双边箱结构,2箱之间设横梁连接,顶宽57 m,底宽43.9 m。全桥共108根钢绞线斜拉索,空间扇形索面布置,梁上拉索间距9.0 m,塔上3.0 m。桥塔采用变截面圆形钢-混凝土结构混合塔塔柱,塔高89.27~94.99 m。桥梁总体布置图见图1。

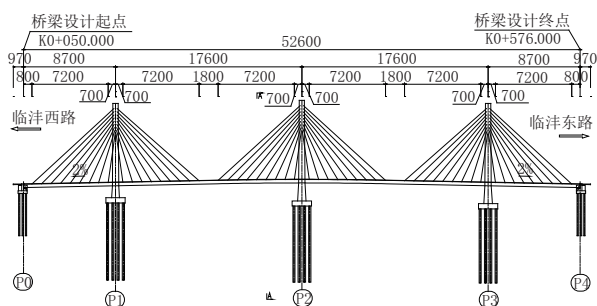


图1 沔阳大桥总体布置图(单位:cm)

2 结构有限元分析

通过MIDAS Civil 2023软件,采用空间杆系双梁模型建立了全桥施工阶段整体有限元模型。主梁、横梁、桥塔采用空间梁单元模拟,斜拉索采用桁架单元模拟。全桥共划分2 459个单元,2 412个节点。为计算横梁的变形和预拱度,建立横梁局部计算模型。横梁采用空间梁单元进行模拟,计算跨径为48.5 m(主梁斜拉索锚点之间),顶底板考虑主梁有效翼缘宽度。全桥整体有限元模型和横梁局部计算模型见图2。

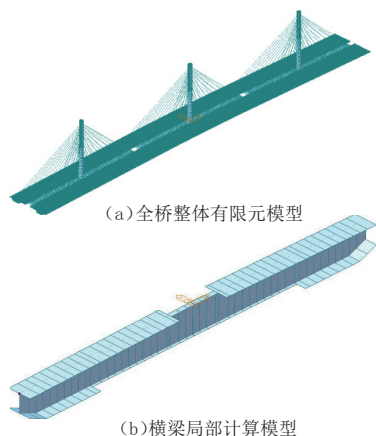


图2 结构有限元分析模型

3 线形监测结果与分析

3.1 基础沉降监测

在P1~P3主塔承台四周各布设4个监测点,由于主塔沉降相对缓慢,测试频率为每月2次。图3为观测频次内P1主塔基础沉降定期跟踪监测结果(P2、P3塔监测结果类似,受篇幅所限未列出)。由图3可知:主塔沉降量较小,基本在4 mm以内,可见基础沉降对结构线形影响较小。

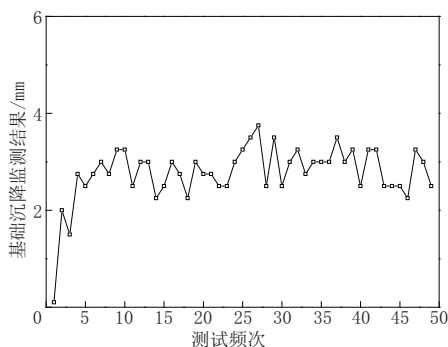


图3 P1主塔基础沉降定期跟踪监测结果

3.2 主塔线形监测

在每个塔柱、每个节段布设2个高程定位和坐标定位点,索塔施工完成后,在索塔顶部以及1/2高度位置的上(或下)游布置1个永久的索塔三维坐标观测点,在后续施工过程中监测塔顶的纵向偏位。

主塔安装阶段线形跟踪监测结果如图4所示。由图4可知:P1~P3主塔各节段线形实测值与理论值基本吻合,纵向偏差均小于2.0 cm。

施工阶段P1、P3主塔塔顶纵向偏位跟踪监测结果如图5所示。由图5可知:P1、P3主塔塔顶纵向偏位实测结果较理论值偏大,偏差值最大达2.7 cm。原因主要是主塔为独柱式圆形混合塔柱,施工过程中结构几何非线性影响较明显,易导致斜拉索张索阶段主塔实测纵向偏位值略大于理论预测值。此类结构型式桥塔纵向预拱度设置应结合现场实际适当放大,以确保主塔线形控制成果。

3.3 主梁线形监测

钢箱梁高程测点纵桥向一般设置在各梁段端部后退50 cm处;横向布置在机动车道防撞护栏内侧、主梁腹板与顶板交界处以及人行道护栏内侧。

安装阶段主梁线形跟踪监测结果如图6所示。由图6可知:全桥P0~P4台间各跨主梁梁段安装高程实测值与理论值基本吻合,除个别测点外,高程偏差均在1.5 cm以内。

主梁合龙口两端高差跟踪监测结果如图7所示。

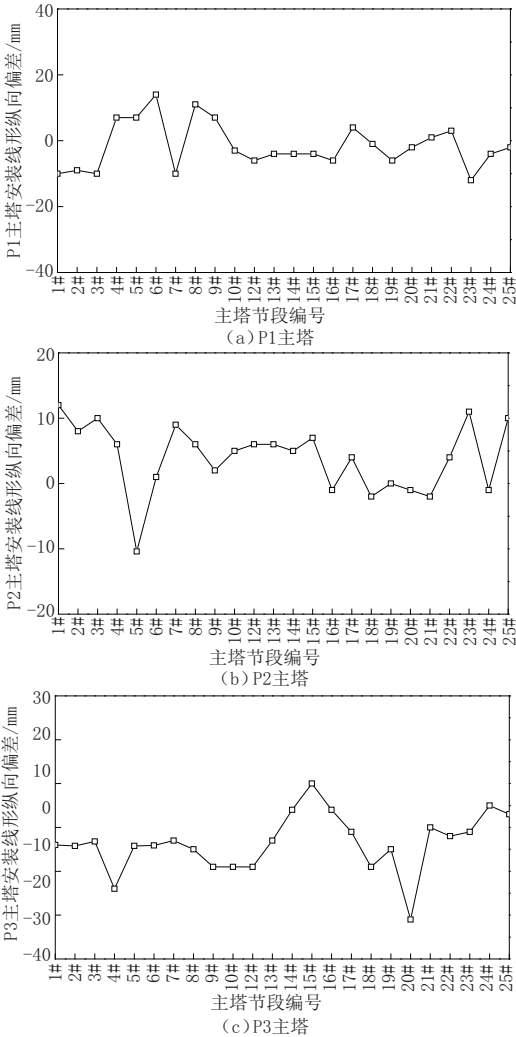


图4 主塔线形纵向偏差跟踪监测结果

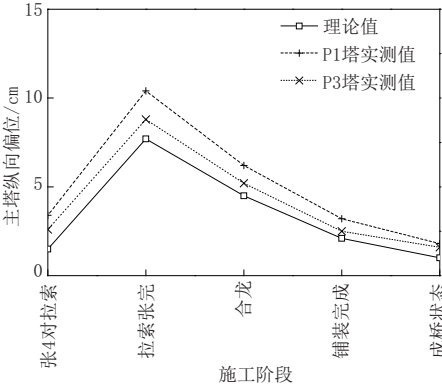


图5 主塔纵向偏位跟踪监测结果

由图7可知:两合龙口预留宽度较宽(最宽达10 m),导致合龙前合龙口两端主梁高差控制极为困难。从现场情况来看,斜拉索调索完成后,主梁合龙口两端高程控制较好,理论值与实测值偏差均在 ± 1.5 cm以内,满足规范^[14]要求。

成桥阶段主梁线形跟踪监测结果如图8所示。由图8可知;成桥阶段主梁线形状态良好,实测高程与成桥目标高程基本吻合,误差为-0.6~5.8 cm。

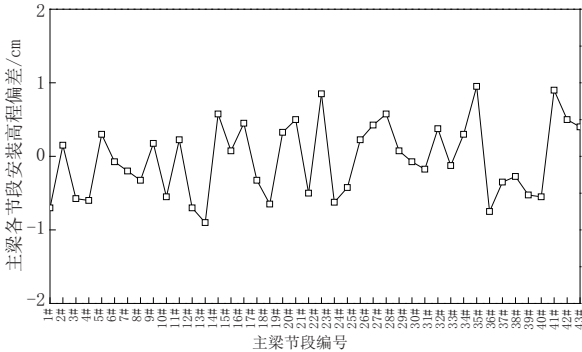


图6 安装阶段主梁线形高程偏差跟踪监测结果

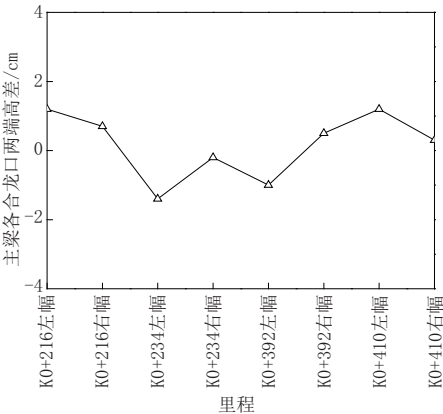


图7 主梁合龙口两端高差跟踪监测结果

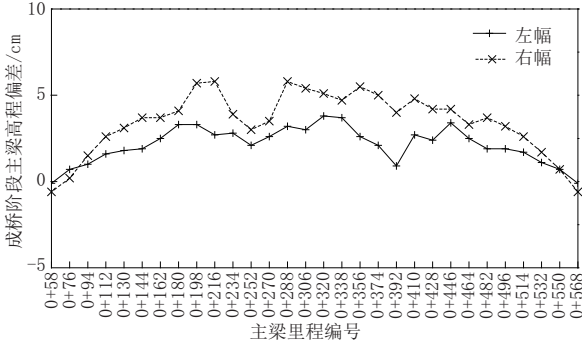


图8 成桥阶段主梁高程偏差跟踪监测结果

4 应力监测结果与分析

4.1 主塔应力监测

图9为主塔塔根断面和钢混结合段钢塔应力跟踪监测结果。由图9可知:主塔应力状态良好,实测结果与理论值较接近;施工阶段主塔混凝土塔根最大应力在3.3 MPa以内,钢塔最大应力在100 MPa以内。整个施工过程基本安全,未出现异常状况。

4.2 主梁应力监测

图10为主梁各控制断面塔应力跟踪监测结果。由图10可知:主梁应力状态良好,实测值与理论值基本一致。施工阶段主梁底板最大应力在80 MPa以内,整体应力水平不高。

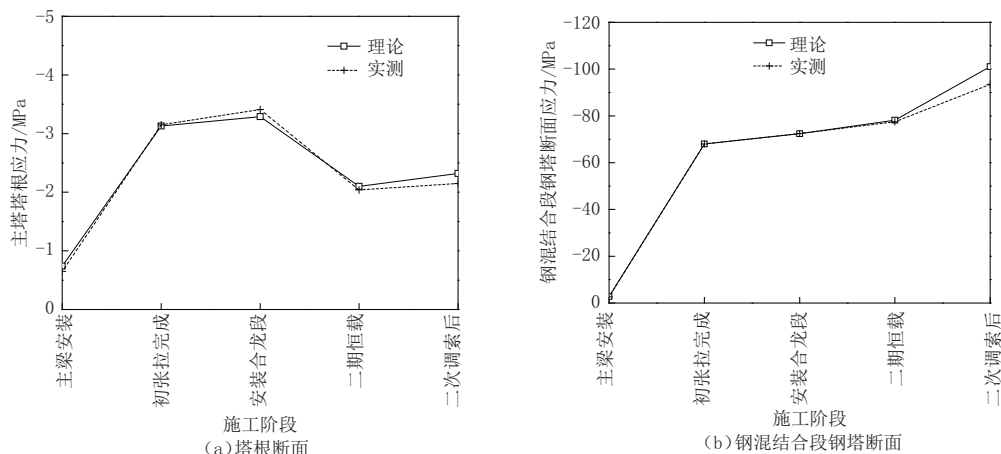


图9 主塔塔根断面及钢混结合段钢塔应力跟踪监测结果

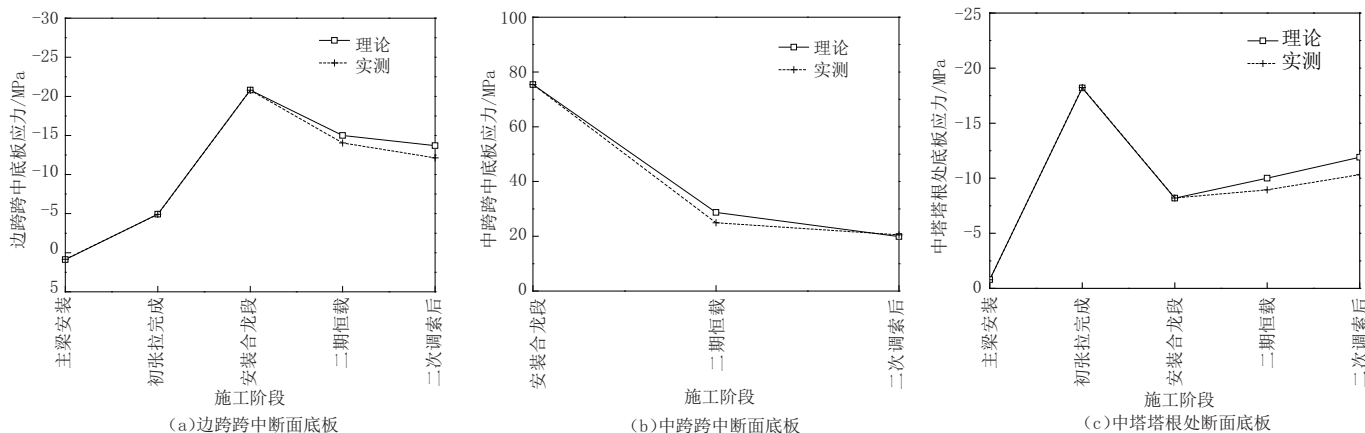


图10 主梁应力跟踪监测结果

5 索力监测结果与分析

图11为P1~P3塔拉索索力实测值与理论值的比较。由图11可知,成桥阶段,全桥斜拉索实测索力与目标索力较吻合。全桥各斜拉索索力张拉情况良好,实测索力与目标索力相对差值基本在 $\pm 5\%$ 以内。同一索号拉索索力对称、均衡,同一索号实测索力相对差值基本在5%以内。

6 结论

(1)圆形混合塔柱施工过程中的结构几何非线性影响较明显,易导致斜拉索张索阶段主塔实测纵向偏位值大于理论预测值。

(2)两合龙口预留宽度较宽,导致合龙前合龙口两端主梁高差控制极为困难,需结合斜拉索调索方案实施。现场合龙口两端高程控制较好,理论值与实测值的偏差均在 ± 1.5 cm以内。成桥阶段主梁线形状态良好,实测高程与成桥目标高程基本吻合,误差为 $-0.6 \sim 5.8$ cm。

(3)施工阶段主梁和主塔应力状态良好,实测值

与理论值较接近,主塔混凝土塔根最大应力在3.3 MPa以内,钢塔最大应力在100 MPa以内,主梁底板最大应力在80 MPa以内。

(4)全桥各斜拉索索力状况良好,实测索力与目标索力相对差值基本在 $\pm 5\%$ 以内。

参考文献:

- [1] 项海帆,姚玲森.高等桥梁结构理论[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 向中富.桥梁施工控制技术[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 喻梅.多塔斜拉桥结构特性分析[D].成都:西南交通大学,2003.
- [4] 刘喆.多塔斜拉桥合理结构体系研究[D].成都:西南交通大学,2021.
- [5] 王邵华.(70+2×120+70)m多塔斜拉桥施工监控研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2020.
- [6] 林远池.多塔斜拉桥施工控制及相关技术问题研究[D].广州:华南理工大学,2017.
- [7] 李忠三,雷俊卿,林道锦.多塔斜拉桥力学特性分析[J].世界桥梁,2014(1):40-44.
- [8] 张强,刘汉顺,王东晖,等.马鞍山长江公铁大桥主跨超千米三塔斜拉桥设计[J].桥梁建设,2023,53(增刊2):6-21.
- [9] 易伦雄.洞庭湖主跨406 m三塔铁路斜拉桥设计关键技术[J].桥梁建设,2018,48(5):86-90.
- [10] CHAI S B, LI L H, WANG X L. Study on asymmetric arrangement

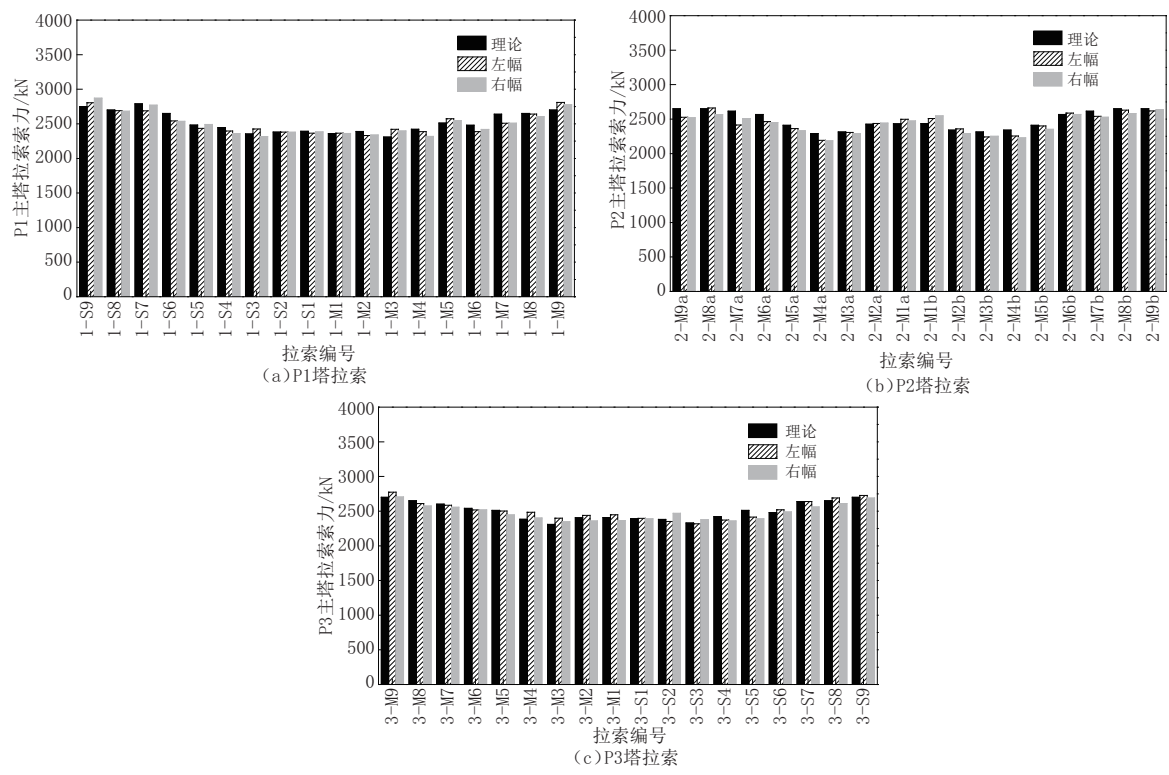


图 11 P1~P3 塔拉索索力实测值与理论值比较

ratio of main span stay cables of multi-tower cable-stayed bridge [J]. Structures, 2024(64): 106539

[11] CHAI S B, ZHANG R L, WANG X L, *et al.* Asymmetric arrangement of crossed cables in multitower cable-stayed bridges based on structural stiffness [J]. Journal of Bridge Engineering, 2023, 28 (2): 04022142

[12] CUI B, WU H L, ZHAO C H, *et al.* Steel-concrete composite cable-stayed bridge-main bridge of the Jiangxinzhou Yangtze River Bridge at Nanjing [J]. Structural Engineering International, 2023(33): 107-14.

[13] 朱利明,陈彦铭,李军堂.半飘浮体系斜拉桥荷载试验有限元分析影响因素研究[J].桥梁建设,2020,50(4):72-76.

[14] JTG/T 3650-01—2022,公路桥梁施工监控技术规程[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com