

Construction Monitoring Analysis of π -Shaped Hybrid Beam of Curved Cable-Stayed Bridge

Weiping Zou, Wenji Zhang

School of Transportation and Civil Engineering & Architecture, Foshan University, Foshan Guangdong
Email: 1247876898@qq.com, 1660539370@qq.com

Received: Jul. 5th, 2018; accepted: Jul. 17th, 2018; published: Jul. 24th, 2018

Abstract

Taking a π -shaped hybrid beam of curved cable-stayed bridge as the background, this paper expounds the simplification and establishment of the simulation analysis, analyzes the influence of the temporary load, the cable force and the temperature on the deflection of the main beam, gives some suggestions on the construction monitoring of similar bridge type, and the results have a certain significance on guiding the construction and the construction monitoring of the π -shaped hybrid beam of curved cable-stayed bridge.

Keywords

π -Shaped Hybrid Beam, Curved Cable-Stayed Bridge, Construction Monitoring, Shear Lag

基于 π 型混合梁曲线斜拉桥施工监控研究

邹卫平, 张文基

佛山科学技术学院交通与土木建筑学院, 广东 佛山
Email: 1247876898@qq.com, 1660539370@qq.com

收稿日期: 2018年7月5日; 录用日期: 2018年7月17日; 发布日期: 2018年7月24日

摘要

本文以某 π 型混合梁曲线斜拉桥为背景, 阐述了仿真分析模型的简化及建立, 分析了临时荷载、索力和温度对主梁挠度的影响, 给出了对类似桥型施工监控的几点建议, 对 π 型混合梁曲线斜拉桥的施工及施工监控有一定指导意义。

关键词

π 型混合梁, 曲线斜拉桥, 施工监控, 剪力滞

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

曲线斜拉桥是主梁平面线形为曲线的斜拉桥。曲线斜拉桥主梁在受剪力、弯矩作用的同时还承受了较大的扭矩作用, 具有高度的空间性。针对 π 型主梁曲线斜拉桥的施工及施工控制等问题, 依托某 π 型混合梁斜拉桥项目开展研究分析工作。

π 型混合梁曲线斜拉桥是一种较新的组合体系结构, 传力路径较为复杂, 有较多的结合面, 虽然前期的构件多数为预制构件, 工业化程度较高, 构件的几何参数制造误差较小, 但是对后期的构件之间的连接接缝的处理施工要求较高。由于 π 型混合梁曲线斜拉桥潜在的敏感性参数较多, 而且在施工主梁前就需要监控单位提供钢箱梁制造线形等数据, 所以在施工前就应找出主要的敏感参数进行监控, 主要考虑温度、临时荷载及张拉索力变化, 温度荷载要考虑叠合梁材料线膨胀系数[1]。 π 型混合梁曲线内侧箱梁产生正剪力滞效应, 曲线外侧箱梁有产生负剪力滞的趋势[2]。

本文的主要研究目的是探索 π 型混合梁曲线斜拉桥设计参数对桥受力行为和整体力学行为的影响, 找出类似桥型对桥受力行为和整体力学行为的敏感参数, 提出了如何应对各参数变化给结构带来潜在的不利影响, 对类似桥型的施工及施工控制有一定的指导意义。

2. 工程概况

本项目道路等级为一级公路兼顾城市道路功能, 主要技术标准为: 主线设计速度为 60 公里/小时, 辅路设计速度为 40 公里/小时。道路规划红线宽度 50 m, 机动车道宽 2×12 m, 双向六车道, 两侧布置人行道。主桥采用 $(135 + 135)$ m = 270 m 独塔双索面斜拉桥, 塔梁墩固结。

主梁采用混合梁, 由叠合梁、混凝土梁及钢 - 混凝土结合段组成, 其中主塔两侧各 8 m 范围采用预应力混凝土梁, 主梁结构宽度为 37.8 m, 至主塔处加宽至 40.3 m, 道路中心线处梁高 3.35 m; 边墩侧约 124 m 范围采用叠合梁, 主梁结构宽度为 38.0 m, 道路中心线处梁高 3.3 m, 叠合梁与混凝土之间设钢 - 混凝土结合段, 结合段长度为 3.0 m。主梁平面线形由缓和曲线和直线组成, 缓和曲线长度 64.144 米, 直线长度 205.856 米。右侧桥面(上游侧)横坡为 2%, 左侧桥面(下游侧)横坡由 -0.566% 渐变至 2%。叠合梁主梁采用双边箱形钢纵梁 + 混凝土桥面板的整体断面, 钢梁与混凝土桥面板之间通过剪力钉相结合, 叠合梁主梁结构宽度为 38.0 m, 道路中心线处梁高 3.3 m, 其中: 横向设两片钢纵梁, 钢纵梁横向中心距 29.5 m, 箱宽 2.0 m, 中心线处梁高 2.745 m; 钢纵梁外侧设钢挑臂, 悬挑长度为 3.25 m; 混凝土桥面板厚 26 cm。桥梁总体布置图见图 1。

3. 有限元模拟及计算分析

如图 2 所示, 本桥采用 Midas/civil 大型有限元软件建立有限元模型, 拉索采用桁架单元, 墩塔梁固结处采用板单元, 其余均采用梁单元模拟, 钢混结合段和叠合梁段均采用组合截面模拟, 采用施工阶段

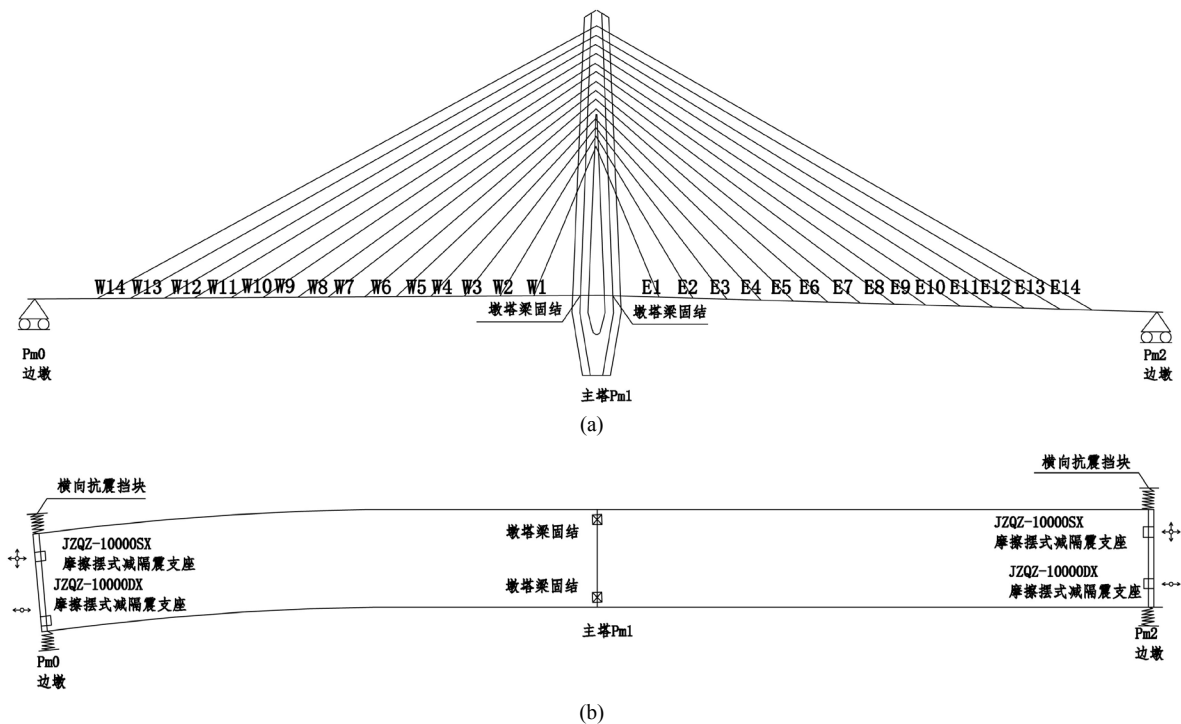


Figure 1. General layout of bridge. (a) Façade layout; (b) Plane layout
图 1. 桥梁总体布置图。(a) 立面布置图; (b) 平面布置图

联合截面分段激活钢箱梁和预制混凝土板。全桥共离散为 784 个单元，825 个节点，主塔采用悬臂模板 WA200 浇筑，主梁采用龙门吊悬臂拼装，施工阶段除了自重外只有少量机械设备荷载[3] [4]。

4. 敏感性参数分析

本文采用自适应控制法，施工监控流程如图 3 所示。结合本项目的特点，分析主梁线形的敏感性参数，采用自适应控制法[5]，主要考虑温度、临时荷载及张拉索力变化，温度荷载要考虑叠合梁材料线膨胀系数。箱梁为工厂预制，制造误差很小，所以本文不考虑自重偏差。将以上三种参数作为变量，采用控制变量法，得出主桥线形的最敏感参数[6] [7]。模拟工况见表 1。

所有参数均为在设计参数的基础进行变化，现分别研究三个参数对主桥最大双悬臂阶段小桩号侧梁端挠度的变化，见表 2~表 4。

由表 1 设定的不同工况下对主梁的挠度影响，从表 2~表 4 可知对于悬臂段主梁端头位移影响最大的是索力，索力变化 $\pm 3\% \sim \pm 5\%$ 主梁端头位移在 21.2~154.6mm 之间，而临时荷载和温度荷载对主梁端头挠度的影响稍小[8]。

5. 施工监控主要参数

本文使用成桥阶段模型计算成桥索力和成桥预拱，用施工阶段模型计算出施工阶段初张、二张、三张索力以及施工预拱和制作预拱。

5.1. 索力控制

结合本项目的特点，分析主梁线形的敏感性参数，主要考虑温度、临时荷载及张拉索力变化，温度荷载要考虑叠合梁材料线膨胀系数。得出全桥索力值，如表 5 所示。

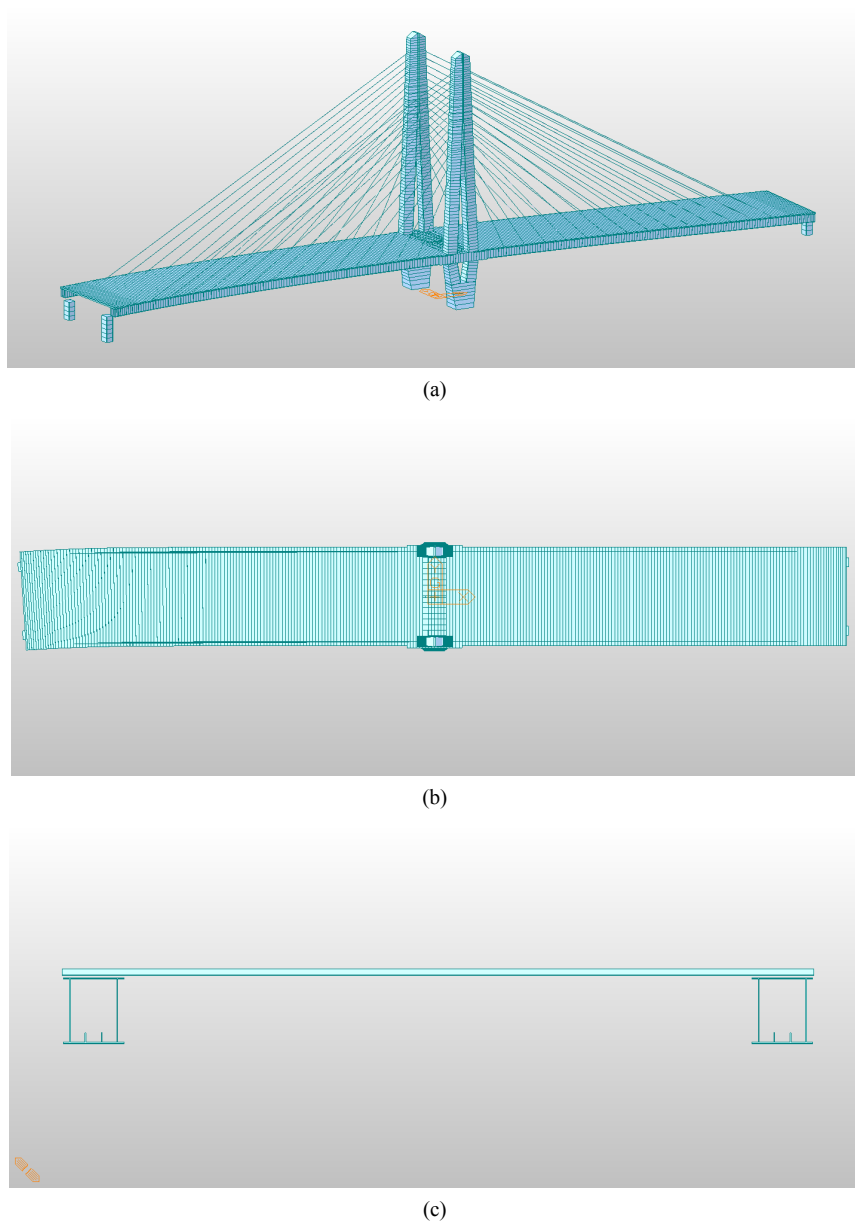


Figure 2. Finite element model. (a) The axial side view; (b) Top view; (c) Standard section view
图 2. 有限元模型。(a) 轴侧图; (b) 俯视图; (c) 标准断面视图

Table 1. Change condition of sensitive parameter

表 1. 敏感参数变化工况

影响因素	设计工况	工况一	工况二
温度变化	22.5℃	±10℃	±20℃
临时荷载	设计值	+10T	+20T
索力	设计值	±3%	±5%

由图 4 和图 5 可知, 西侧 W 索位于曲线段, 东侧 E 索于直线段, 有图可知曲线段外侧索力比内侧索力稍大, 直线段内外侧索力大小相差较小。拉索分布的规律是短索小, 长索大, 局部允许有突变, 总体

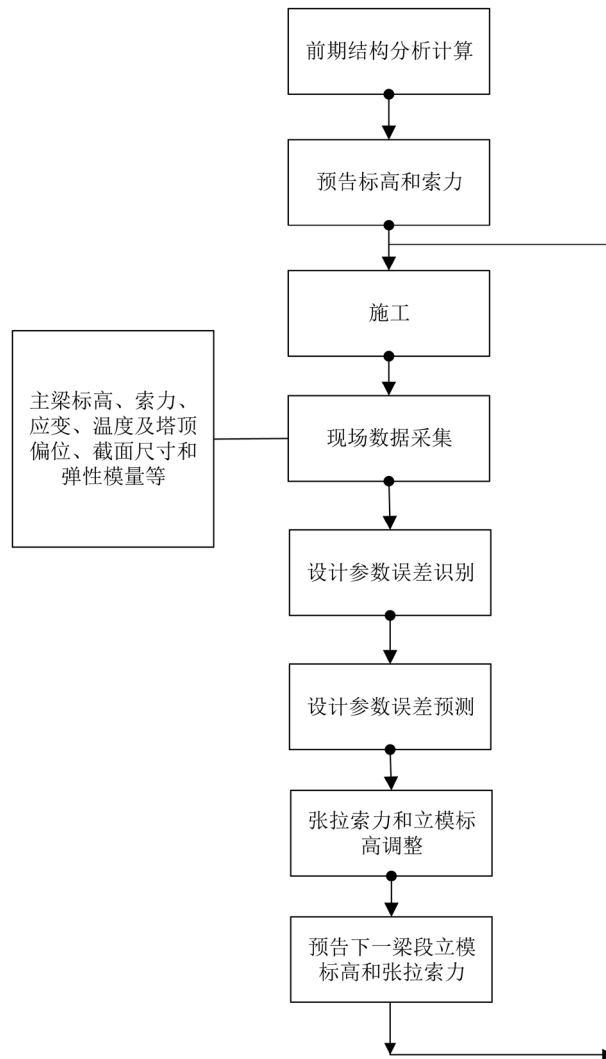


Figure 3. Construction monitoring process
图 3. 施工监控流程

Table 2. The influence of temperature factors on the deflection of the main beam
表 2. 温度因素对主梁挠度的影响

温度误差对主梁挠度影响(单位: mm)					
温度变化	工况一		工况二		设计工况
增减量	+10℃	-10℃	+20℃	-20℃	/
主梁竖向位移	-56.2	-75.9	-41.8	-90.5	-66.7

有递增的趋势, 一般在主塔处及辅助墩处的索力会出现突变现象[9]。本桥靠近桥塔处的索力有突变现象, 属正常现象。

5.2. 线形控制

预制箱梁拼装接缝在制造时就已经确定, 施工阶段能够调整的有限, 因此需要计算一个制造线形,

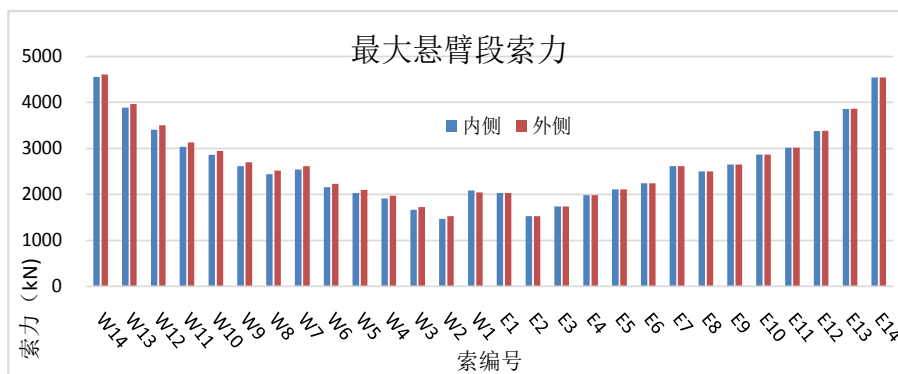


Figure 4. Internal and external cable force of maximum cantilever
图 4. 最大悬臂内外侧索力

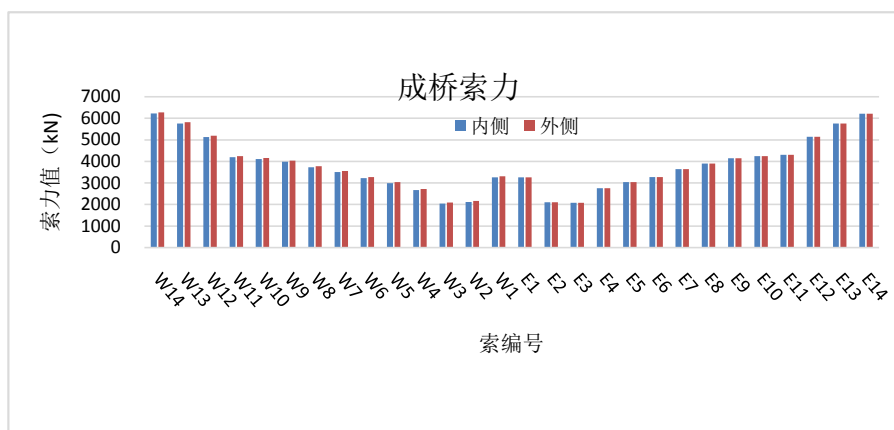


Figure 5. Internal and external cable force of completed bridge
图 5. 成桥内外侧索力

Table 3. Effect of temporary load on the deflection of main beam
表 3. 临时荷载对主梁挠度影响

临时荷载对主梁挠度影响(单位: mm)			
临时荷载	工况一	工况二	设计工况
增减量	+10T	+20T	/
主梁竖向位移	-74.4	-87.8	-66.7

Table 4. Effect of cable force on deflection of main beam
表 4. 索力对主梁挠度影响

索力误差对主梁挠度影响(单位: mm)					
索力	工况一		工况二		设计工况
增减量	+3%	-3%	+5%	-5%	/
主梁竖向位移	-12.4	-121	+21.2	-154.6	-66.7

使箱梁通过悬臂拼装和施工阶段调整能够达到预计的成桥线形。制作线形目标线形和设计线形对比图见图 6。

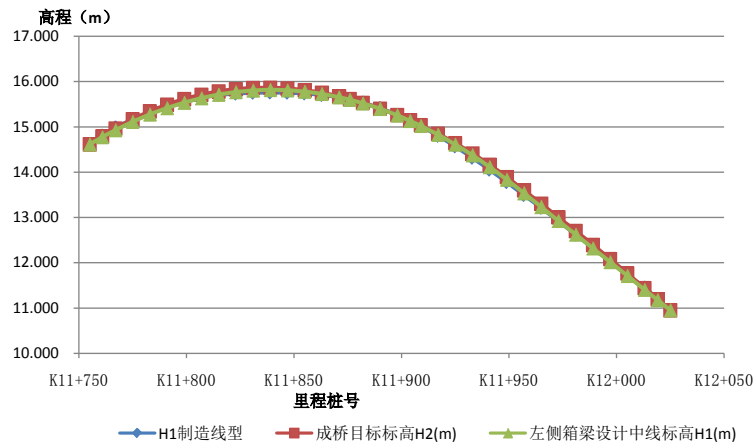


Figure 6. Comparison of manufacturing lineshape and design lineshape
图 6. 制造线形与设计线形对比

Table 5. Cable force value of completed bridge

表 5. 成桥索力值

索编号	内侧(kN)	外侧(kN)	索编号	内侧(kN)	外侧(kN)
W14	6225	6278	E1	3257	3257
W13	5762	5815	E2	2098	2098
W12	5135	5186	E3	2074	2074
W11	4190	4241	E4	2750	2751
W10	4111	4162	E5	3042	3042
W09	3987	4038	E6	3269	3269
W08	3730	3780	E7	3637	3637
W07	3510	3560	E8	3903	3903
W06	3225	3275	E9	4141	4141
W05	2995	3045	E10	4245	4244
W04	2674	2725	E11	4307	4306
W03	2045	2095	E12	5139	5137
W02	2117	2168	E13	5762	5760
W01	3260	3311	E14	6214	6211

制作预拱度 = 最终线型 - 最终位移量 + 附加预拱度

施工预拱度 = 制作预拱度 + 到相应阶段的总位移[10]

6. 结论

- 1) 对于曲线斜拉桥, 外侧索力稍大于内侧索力, 可适当增加外侧索钢绞线的束数。
- 2) 对于临时荷载、自重等因素引起的主梁挠度均可通过索力进行调整, 而温度变化引起的挠度是可以复原的, 可通过温度比较稳定的夜间施工来减少温度因素对主梁线形的影响。
- 3) 由于本桥桥面较宽, 剪力滞后效应比较明显, 在 1/4、1/2 及根部附近两横隔板之间截面的横断面

应加密布置应变计, 密切关注剪力滞后效应。

参考文献

- [1] 刘人铭. 神经网络在叠合梁斜拉桥施工控制中的应用[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [2] 阳瑞, 单德山, 张二华. 曲线斜拉桥 π 形梁剪力滞后效应分析及模型试验研究[J]. 铁道建筑, 2017, 57(9): 21-24.
- [3] 林致胜. 佛山九江大桥组合梁斜拉桥的施工控制研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [4] 汪子涵. π 型主梁曲线斜拉桥若干设计参数研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [5] 顾安邦, 张永水. 桥梁施工监测与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [6] 赵树青, 于新波, 沈洪涛. 自适应控制法在大跨径 PC 斜拉桥施工监控中的应用[J]. 公路, 2017(2): 170-174.
- [7] 齐铁东, 张进, 杨智勇. 组合梁斜拉桥多节段连续吊装施工技术研究[J]. 公路, 2017(11): 99-104.
- [8] 于宝国. 斜拉桥施工控制主梁标高误差分析[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- [9] 杨凯. PC 箱梁曲线斜拉桥的静力性能研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [10] 北京 Midas 技术有限公司. 桥梁中的制作预拱度和施工预拱度[R]. 2004.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org