

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.06.021

引用格式:肖云华,钟开建,何驰.中央索面预应力混凝土斜拉桥施工阶段抗扭性能研究[J].公路与汽运,2024,40(6):110-113.

Citation: XIAO Yunhua, ZHONG Kaijian, HE Chi. Research on torsion resistance of central cable plane during the construction phase of prestressed concrete cable-stayed bridge[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(6): 110-113.

中央索面预应力混凝土斜拉桥施工阶段抗扭性能研究

肖云华¹, 钟开建¹, 何驰²

(1. 中铁五局集团有限公司, 湖南 长沙 410114; 2. 中铁五局集团 机械化工程有限责任公司, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为研究大跨度混凝土斜拉桥施工阶段的扭转稳定性, 以主跨 305 m 预应力混凝土斜拉桥为研究对象, 采用有限元软件建立该桥精细化有限元模型, 基于影响矩阵法确定其合理成桥状态, 计算施工过程中偏载作用下索力。结果表明, 采用影响矩阵法可有效进行成桥索力计算; 偏载作用下中央索面上下游索力发生不对称变化, 变化幅度较小, 抗扭转性能主要由主梁截面提供。

关键词: 桥梁; 预应力混凝土斜拉桥; 抗扭转性能; 施工控制; 索力变化

中图分类号: U445.46

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)06-0110-04

随着桥梁建设的飞速发展, 桥梁的安全性及耐久性成为关注重点。对于单索面大跨度混凝土斜拉桥, 施工过程中的抗扭转性能是关键, 对其进行施工过程受力分析尤为重要。斜拉桥的受力状态与斜拉索索力直接相关, 研究人员对此展开了一系列研究。肖勇刚等提出了一种最小弯曲能量法与遗传算法相结合的混合梁斜拉桥成桥阶段索力优化方法^[1]。暨仕瑀等以主梁和塔柱的恒载弯矩作为可行域目标, 对某斜拉桥合理成桥状态及二次张拉索力进行了优化^[2]。刘虹延等采用 ANSYS 软件, 对单向 n 室的扭转畸变角及位移展开计算分析, 研究了不同室数下单索面宽幅混凝土斜拉桥的截面抗扭刚度, 对施工过程中斜拉桥的抗扭转性能进行了分析^[3]。谢广恕、颜东煌等分析了横隔板数量对多箱室波形钢腹板箱梁悬臂状态截面抗扭转性能的影响^[4-5]。基于上述研究, 本文以某大跨度混凝土斜拉桥为研究背景, 通过影响矩阵法求解其合理成桥索力, 对施工过程中偏载对拉索索力

的影响进行分析, 为同类型桥梁计算提供参考。

1 工程概况

湖南省某大跨度混凝土斜拉桥全长 565 m, 跨径布置为 (130+305+130) m, 主桥布置见图 1。主桥结构形式为对称式双塔单索面预应力混凝土斜拉桥, 双塔均为塔-梁固结体系, 采用单箱五室斜腹板截面。主梁采用 C60 混凝土。箱梁标准节段长度按悬臂浇筑段索距划分为 6.00 m, 边跨现浇段为 29.25 m。标准段主梁中心线处高 3.50 m, 顶板宽 29.20 m, 底板宽 10.00 m, 悬臂长 3.60 m, 顶面设 2% 双向横坡。中跨及边跨标准梁段主梁标准截面顶板厚 0.30 m, 底板厚 0.30 m, 悬臂端部厚 0.20 m, 悬臂根部厚 0.55 m, 中腹板厚 0.40 m, 边腹板、斜腹板厚 0.30 m; 边跨现浇段顶板、腹板加厚至 0.60 m, 底板加厚至 0.70 m (见图 2)。采用单柱式桥塔, 桥塔采用 C60 混凝土。

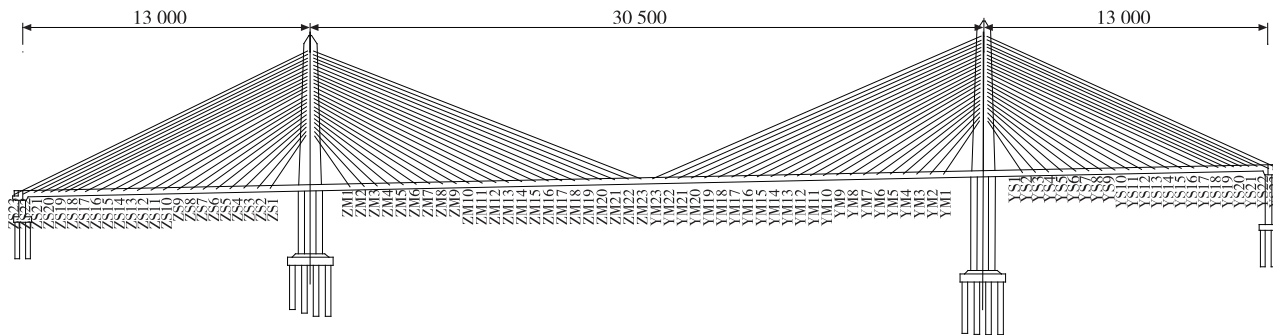


图1 桥梁整体布置示意图(单位:cm)

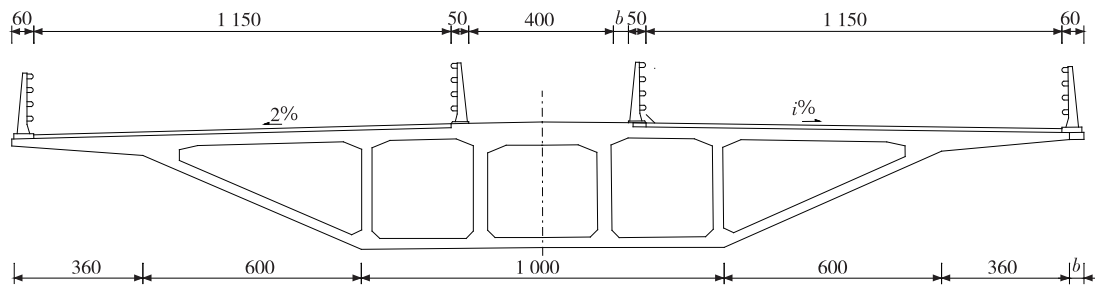


图 2 主梁标准截面布置示意图(单位:cm)

采用环氧涂层钢绞线拉索体系,钢绞线抗拉强度为 1 860 MPa。斜拉索呈空间扇形布置,全桥共设 184 根斜拉索。斜拉索索面在主梁上的横桥向索距为 2.00 m;顺桥向索距有 3 种,分别为 3.60 m、5.00 m、6.00 m;斜拉索塔上竖向索距从上至下依次为 10×2.00 m、1×2.13 m、5×2.15 m、3×2.20 m、3×2.35 m。斜拉索共有 4 种规格,分别为 M280-43(24 根)、M280-55(48 根)、M280-61(48 根)、M280-73(64 根)。每个上塔柱均布置 23 对斜拉索,采用混凝土齿块锚固形式。

2 有限元模型

采用有限元软件 MIDAS/Civil 2021 建立该桥空间三维模型(见图 3),主梁、主塔、桥墩及横梁采用梁单元模拟,斜拉索采用桁架单元模拟,各构件材料参数见表 1。模型的边界条件如下:各承台底为固定支座,承台与桥墩刚性连接,桥墩与主梁设置为固结,两边跨梁端为活动支座,斜拉索与梁、塔的锚固点设置为刚性连接。全桥共计 196 个梁单元、196 个桁架单元、685 个节点。

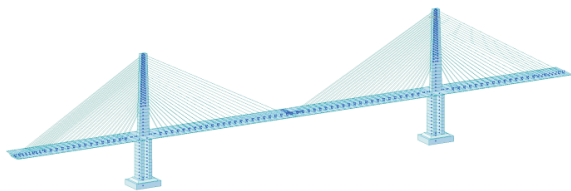


图 3 某预应力混凝土斜拉桥的有限元模型

表 1 桥梁各构件的材料参数

构件名称	材料名称	弹性模量/MPa	质量密度/(kg·m ⁻³)	泊松比
主梁、主塔	C60 混凝土	36 000	2 549	0.2
承台	C45 混凝土	33 500	2 549	0.2
斜拉索	钢绞线	195 000	8 350	0.3

本文主要研究该桥施工过程中的抗扭转稳定性,模型中的主要荷载为结构自质量、预应力荷载、二期铺装、活载、斜拉索索力等。根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》^[6],恒载包括:结构构件自质量;二期恒载,按 205 kN/m 计,二期恒载上桥时间按合龙后 60 d 确定;基础不均匀沉降,相邻两支点不均匀沉降差不大于 0.02 m;收缩徐变,按收缩徐变 10 年考虑;拉索锚固块及桥面锚固块质量,以实际混凝土质量,按梁单元荷载施加。

3 合理成桥状态计算

结合影响矩阵法及刚性支撑连续梁法对该桥合理成桥索力进行计算^[7-8]。合理成桥索力的计算原则如下:成桥索力分布较均匀,邻近位置的拉索索力突变情况少;成桥状态下主梁受力满足规范要求;索塔主要承受轴力,不能出现太大弯矩;考虑服役期间的收缩徐变等因素,按需求可预留一定偏移量。

合理成桥索力计算流程:建立刚性支撑连续梁有限元模型,通过恒载计算目标弯矩;建立斜拉桥索力求解模型,计算索力对弯矩的影响矩阵,求解斜拉桥索力;将所得索力代入全桥模型,验算结构状态是否合理;如果验算合理,该索力即为合理成桥索力。双塔单索面预应力混凝土斜拉桥属于高次超静定结构,先以刚性支撑连续梁法作为确定合理成桥状态的依据,将有限元模型中斜拉索及主梁的连接节点设置为竖向刚性支撑,将斜拉索索力转换为竖向支撑力^[9],即将斜拉桥结构转换为连续支撑的连续梁结构,计算恒载作用下刚性支撑连续梁结构的弯矩。式(1)为影响矩阵方程^[10-11]。经过计算,得到图 4 所示合理成桥索力。

$$\{M\}=[A_M]\{T\}+\{M_0\}$$
 (1)

式中: $\{M\}$ 为斜拉索索力目标值; $[A_M]$ 为影响矩阵; $\{M_0\}$ 为恒载弯矩。

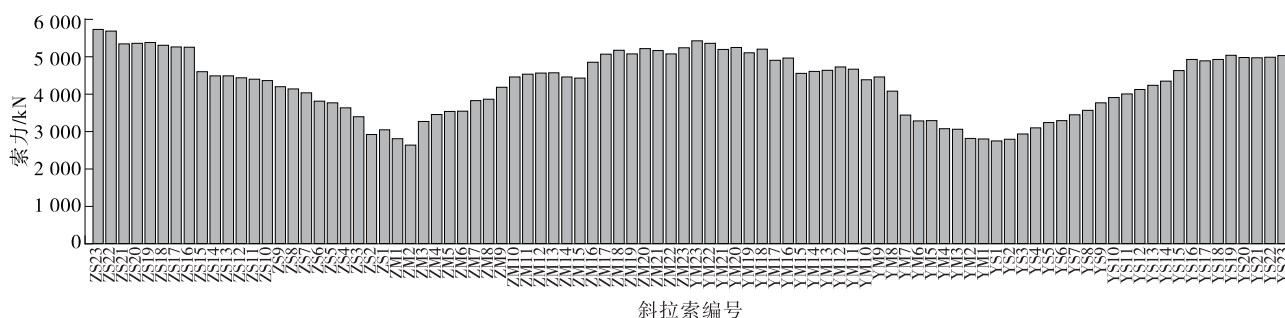


图 4 合理成桥状态下索力

从图 4 来看,按上述方法确定的索力分布较均匀,将该索力代入全桥模型,即可计算得到桥梁结构状态。

4 施工阶段抗扭性能分析

4.1 主梁施工工艺

主梁主要施工工艺如下:主塔及 0[#]块施工完成后,安装 1[#]块挂篮,对称施工主梁 1[#]块;拆除 0[#]块现浇支架,挂篮行走直至施工完成 15[#]块(中跨 15[#]块设置临时压重);边跨现浇段采用支架现浇,搭设满堂支架,施工 15[#]块时同步完成边跨现浇段施工;使用劲性骨架锁定边跨及合龙段,解除中跨 15[#]块的临时压重;浇筑中跨 16[#]块;重复施工流程直至施工完成中跨 24[#]块,安装跨中合龙段临时刚性连接;浇筑合龙段,拆除临时支架,在施加二期恒载之前施加二次施工索力(见图 5)。

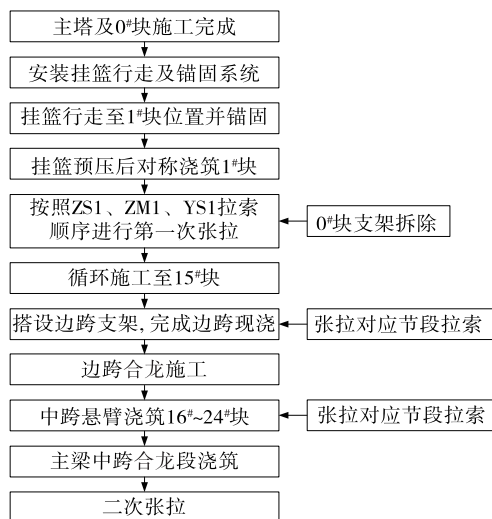


图 5 主梁施工工艺流程

4.2 施工阶段抗扭转性能计算

该桥为大跨度单索面斜拉桥,相较于双索面斜拉桥,单索面斜拉桥易出现扭转失稳问题,选取施工

过程中发生扭转失稳风险较大的最大双悬臂状态分析其抗扭转性能。加载工况分别为正载、同侧偏载、异侧偏载,其中:正载工况为在中跨及边跨 15[#]块悬臂端施加挂篮荷载及临时施工荷载;同侧偏载工况为在中跨及边跨 15[#]块悬臂端施加挂篮荷载及临时施工荷载,施加位置为半个桥面侧,为同侧加载;异侧偏载工况为反对称偏载,与同侧偏载工况的加载类型相似,区别在于加载位置为异侧加载,即边跨、中跨分别加载上、下游,而非同为上游或下游侧。

各工况荷载大小及加载位置如下:该桥主梁施工采取悬臂浇筑法,悬臂段挂篮及模板按 4 000 kN 计算,按集中荷载考虑;施工临时荷载按均布荷载考虑,影响范围为当前施工节段 30 m 范围内,总荷载设置为 100 kN。正载工况下,不考虑荷载偏心,即偏心值为零,荷载直接施加于中间位置;偏载工况下,荷载考虑偏心,偏心值为主梁横向宽度的 1/4,为 7.3 m。

以扭转作用下斜拉索索力变化为研究对象,分析不同工况下桥梁扭转效应。各工况下边跨斜拉索索力见图 6~8。由图 6~8 可知:变化最大的为离悬臂端最近斜拉索的索力,同侧偏载工况下上游及下游斜拉索索力分别由 5 200 kN 变化为 5 158 kN、5 242 kN,变化幅度分别为 -0.81%、0.81%;异侧偏载工况下上游及下游斜拉索索力分别由 5 200 kN 变化为 5 156 kN、5 244 kN,变化幅度分别为 -0.85%、0.85%。偏载工况下索力相较于正载工况下索力的变化幅值见图 9。

由图 9 可知:对称荷载作用下,边跨上下游的索力基本一致。但在偏载作用下,上下游的索力出现不对称情况,表现为上游索力减小、下游索力增大。相较于对称工况,偏载情况下,同侧偏载工况下上游及下游索力变化范围为 0.64%~0.81%,异侧偏载工况下上游及下游索力变化范围为 0.64%~0.85%,

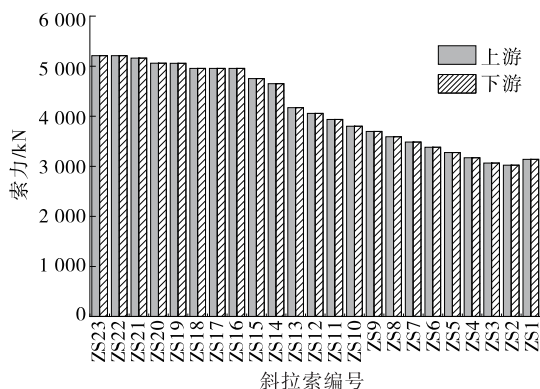


图6 正载工况下边跨的斜拉索索力

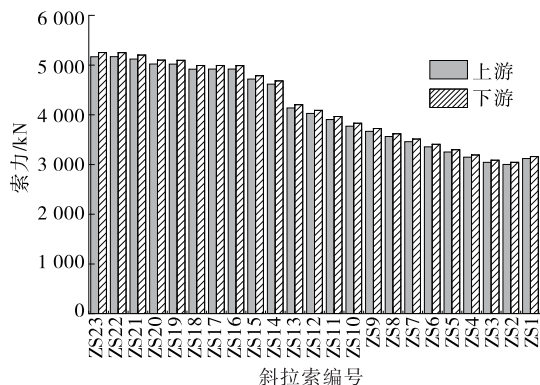


图7 同侧偏载工况下边跨的斜拉索索力

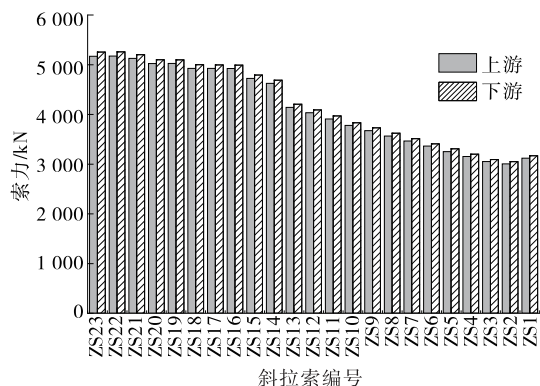


图8 异侧偏载工况下边跨的斜拉索索力

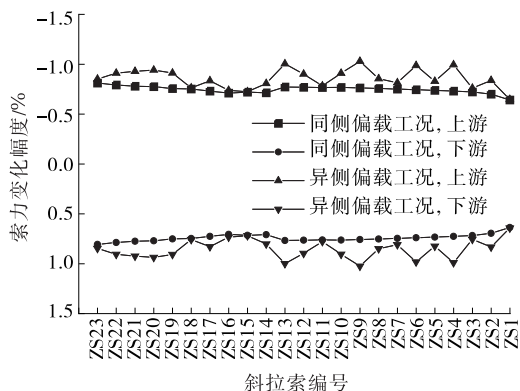


图9 偏载工况下索力相较于正载工况下的变化幅度

总体变化幅度较小,均为1%以下,处于安全范围。该桥采用中央单索面布置,不平衡荷载布置导致的上下游索力变化幅度较小,意味着拉索所能贡献的抗扭刚度较小,抗扭转性能主要还是由主梁截面的刚度提供。

5 结论

通过对中央单索面混凝土斜拉桥合理成桥索力及施工过程中抗扭转性能的分析,得到以下结论:

(1) 采用刚性支撑连续梁法可有效对合理成桥状态下索力进行计算,计算所得索力分布较均匀。

(2) 根据对施工过程中偏载工况的分析,索力所能提供的抗扭转刚度有限,截面的抗扭刚度对施工过程中抗扭转稳定性起关键作用。

参考文献:

- [1] 肖勇刚,张巍.独塔混合梁斜拉桥成桥阶段索力优化研究[J].公路与汽运,2023(2):87-90.
- [2] 暨仕瑀,吴海军,王邵锐,等.矮塔斜拉桥合理成桥状态及二次张拉力的确定[J].公路,2022,67(6):122-128.
- [3] 刘虹延,李铎,曹旭.腹板对单索面宽幅混凝土斜拉桥抗扭性能的影响[J].铁道建筑,2017,57(7):9-12.
- [4] 谢广恕,曾振华.多箱室波形钢板箱梁悬臂状态抗扭性能分析[J].安徽建筑,2019,26(3):71-73.
- [5] 颜东煌,刘鹏,陈星烨.腹板对扁平多室箱梁抗扭性能的优化分析[J].交通科学与工程,2024,40(1):52-59.
- [6] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规范:JTG D60—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [7] 肖汝诚,项海帆.斜拉桥索力优化的影响矩阵法[J].同济大学学报(自然科学版),1998(3):235-240.
- [8] 巴文鹏.超大跨径矮塔斜拉桥成桥内力优化及施工线形控制研究[J/OL].中外公路,1-9[2024-11-21].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1363.u.20240126.1113.002.html>.
- [9] 韩志星,房建宏,张冬兵.影响矩阵法确定斜拉桥施工阶段初拉索力[J].公路与汽运,2017(6):148-150.
- [10] 付春雨,高振锋,严鹏,等.基于弹性支承连续梁法的混凝土斜拉桥合理成桥索力计算方法[J].桥梁建设,2022,52(6):124-130.
- [11] 陈代海,李银鑫,周帅,等.基于影响矩阵法的斜拉桥斜拉索合理初始张拉力分析[J].世界桥梁,2021,49(2):78-83.

收稿日期:2023-08-21