

矮塔斜拉桥 0# 块应力与剪力滞效应分析

赵晨光^{1,2}, 陈军锋^{3,4}, 刘孙文^{3,4}, 周哲^{3,4}, 刘文康¹

(1.河南理工大学土木工程学院, 河南 焦作 454003; 2.河南省交通规划设计研究院股份有限公司, 河南 郑州 451450;
3.中交路桥华南工程有限公司, 广东 中山 528400; 4.中交路桥建设有限公司, 北京市 101107)

摘要: 为了探究矮塔斜拉桥施工时 0# 块的应力状态和剪力滞效应,以 1 座跨径组合为(85+160+85) m 的矮塔斜拉桥为例,用有限元分析软件 Midas FEA NX 建立 0# 块实体单元模型,并以在 Midas/Civil 全桥模型提取的最大悬臂状态内力作为 0# 块实体单元模型的边界条件,对 0# 块进行应力状态和剪力滞效应的分析。结果表明,在该桥最大悬臂状态下,0# 块应力状态良好,以全截面受压为主;顶、底板以正剪力滞效应为主,顶板剪力滞变化复杂但数值较小,满足设计规范要求。分析结果可为同类桥型设计和施工提供参考。

关键词: 矮塔斜拉桥;0# 块;空间应力;剪力滞效应;最大悬臂状态

中图分类号: U448.27

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)07-0178-03

0 引言

对于矮塔斜拉桥而言,无论是结构还是受力方式,0# 块都是复杂的^[1]。作为主梁结构的主体部分,0# 块起着连接纵向梁体的重要作用,同时,0# 块还是索塔与桥墩竖向连接的构件。在漫长的悬臂施工阶段,0# 块长期扮演着施工临时场地的角色,尤其是随着悬臂施工的推进,0# 块的受力(如横隔板等应力扰动区)不断变化,应力状态更加复杂。不仅如此,宽体箱梁剪力滞效应也是矮塔斜拉桥悬臂施工中不可忽视的问题。然而,一般的杆系单元模型对于 0# 块应力状态和剪力滞效应的分析有着很大的局限性^[2]。因此,建立 0# 块的实体单元模型,对 0# 块的应力状态和剪力滞效应进行分析,有很大的必要性,也可为同类桥梁的设计施工提供参考。

1 桥梁概况

本文所依托的双塔 3 跨预应力混凝土矮塔斜拉桥形式,跨径组合为(85+160+85) m。桥梁结构体系采用塔梁固结,梁墩分离的形式。箱梁断面采用单箱 3 室斜腹板断面,顶板宽度为 34.5 m,箱梁根部梁高 5.0 m,支架现浇段、跨中及边跨合龙段梁高为 3.2 m。梁高从主墩两侧 32 m 处的 3.2 m 按抛物线变化至墩顶的 5.0 m,变化段长 30 m。0# 块重要截面见图 1。

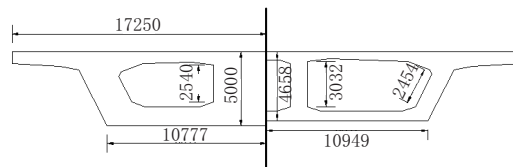


图 1 0# 块重要截面(单位:mm)

2 有限元模型建立

利用 Midas/Civil 建立该桥的全桥模型(见图 2),添加相应的边界、荷载和施工阶段,运行分析得到全桥的杆系单元模型计算结果。

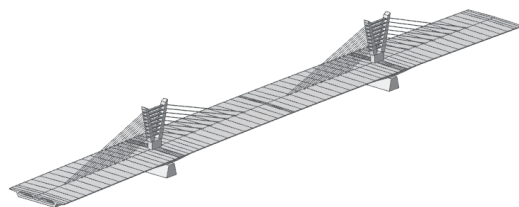


图 2 Midas/Civil 全桥模型

根据圣维南原理,荷载作用区的应力分布只受附近荷载的影响。本文据此利用 Midas FEA NX 有限元仿真分析软件,选取 0# 块、1# 块、与 0# 块连接的主塔局部简化单元进行模拟分析。对 0# 块、1# 块及主塔局部简化模型进行实体网格划分(见图 3),对内部三向预应力进行 1D 线单元划分(见图 4),边界条件模拟施工临时固结约束 0# 块底部节点。为了避免应力集中对 0# 块的影响,对 1# 块外侧端面进行刚性连接。从 Midas/Civil 计算结果中提取相应截面的内力(见表 1),将其施加于刚性连接的主节点上。

收稿日期: 2021-11-23

作者简介: 赵晨光(1995—),男,硕士,从事桥梁施工控制研究工作。

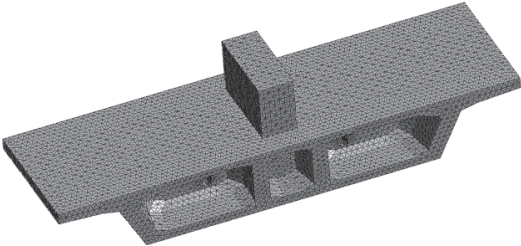


图 3 整体模型网格

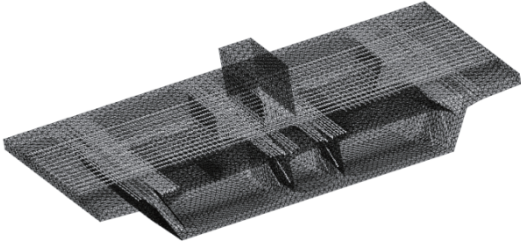


图 4 整体模型预应力钢束网格

表 1 1# 块提取内力结果

荷载	最大悬臂阶段	
	边跨方向	中跨方向
轴力 $-x$ /kN	-386 519.54	-388 787.84
剪力 $-y$ /kN	0	0
剪力 $-z$ /kN	-14 890.41	14 989.82
扭矩 $/(kN \cdot m)$	0	0
弯矩 $-y$ $/(kN \cdot m)$	58 321.97	59 892.73
弯矩 $-z$ $/(kN \cdot m)$	0	0

3 0# 块应力结果分析

图 5 为 0# 块顺桥向(X 轴向)正应力云图。由图 5 可知,最大悬臂阶段 0# 块顺桥向主应力范围为 $-15.78 \sim 0.278$ MPa,整体以受压为主,局部区域混凝土受拉,受拉区域主要为索塔局部、横隔板局部区域和底板临时固结区域,最大拉应力为 0.278 MPa。顶板顺桥向整体受压,靠近端面两侧受压较大,中间压应力较小,这与 0# 块顺桥向的截面形式有关。图 6 为 0# 块横桥向(Y 轴向)正应力云图。由图 6 可知,0# 块横桥向桥面局部区域受拉,但拉应力很小,远低于 C60 混凝土极限抗拉强度,不会造成混凝土开裂,可以忽略。横桥向最大拉应力出现在中箱室横隔板处,达到 1.07 MPa。这主要是因为 0# 块底部顺桥向和横桥向都产生了上弯,致使中间横隔板下部产生了较大的拉力。

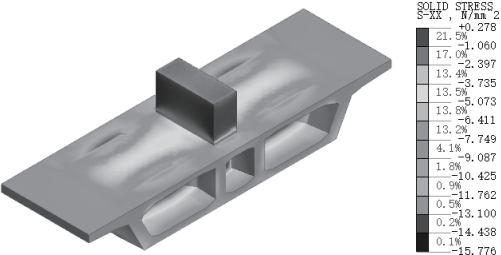


图 5 顺桥向正应力云图(单位:MPa)

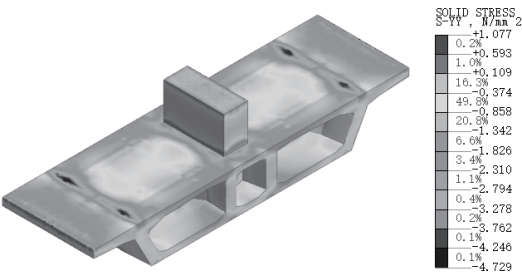


图 6 横桥向正应力云图(单位:MPa)

图 7~图 9 为 0# 块主应力云图。由图 7~图 9 可知,0# 块受到的最大主拉应力为 2.56 MPa,出现在 0# 块底板临时固结的一侧,虽然已经超过了 C60 混凝土的极限抗拉强度 2.04 MPa,但这与模拟临时约束时直接固结节点造成了应力集中有关,实际中主拉应力并不能达到此值,但应该注意此处的混凝土应力状态。0# 块最大主压应力出现在顺桥向索塔与 0# 块接触面上,数值为 -15.83 MPa,远小于 C60 混凝土的抗压强度。值得关注的是,0# 块横隔板出现了分布范围较广的拉应力,其第一主应力的范围为 $0 \sim 0.95$ MPa。单从正应力来看,横隔板在横桥向和竖桥向产生了较大区域的拉应力,这与第一主应力云图也正好吻合,说明横隔板主应力超限与横、竖向正应力过大有关。尤其是人洞上方和横隔板与边腹板的交界处,拉应力数值相对较大,应引起监控工作的重视。建议在横隔板区域增配竖桥向和横桥向的预应力钢束来减小此处的拉应力。

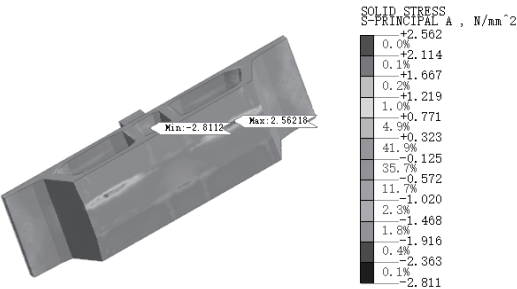


图 7 底板第一主应力云图(单位:MPa)

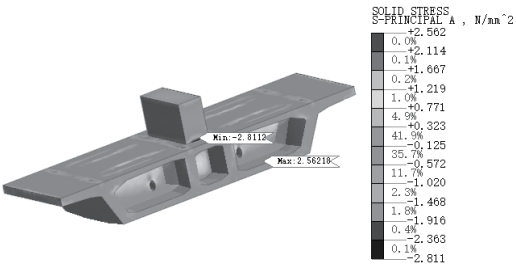


图 8 第一主应力云图(单位:MPa)

4 0# 块剪力滞效应分析

在箱梁悬臂施工中,按照平截面假定,固端截面顶部纵向正应力均匀分布,且随着悬臂距离的增大

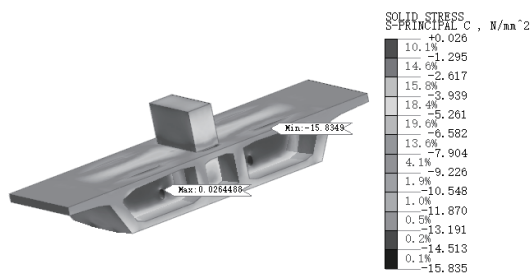


图 9 第三主应力云图(单位:MPa)

而增大。但在实际工程中,应力在梁截面上的分布并非如此。当箱梁截面较宽时,由于剪力流传递的原因,箱梁顶、底板的正应力会出现沿横桥向非均匀分布的现象^[3],工程上称之为“剪力滞效应”。剪力滞效应是常见的,且过大的剪力滞效应对梁体不利,严重时甚至会破坏箱梁,引发安全事故。

为了表明整个截面的剪力滞分布情况,引入各个点的剪力滞系数概念。剪力滞系数 $\lambda = \sigma / \bar{\sigma}$, 其中: σ 为考虑剪力滞效应的理论正应力; $\bar{\sigma}$ 为按照初等梁理论计算的正应力平均值。当剪力滞系数 λ 大于 1 时,将其称为“正剪力滞效应”,当剪力滞系数 λ 小于 1 时,将其称为“负剪力滞效应”。

剪力滞效应的分析有多种方法,常见的方法有卡曼理论、弹性理论解法、比拟杆法、能量变分法和有限元法,这些方法各有利弊^[4]。针对本文中的箱梁,采用有限元法。采用有限元模型,用 Midas FEA 的计算结果作为测点位置理论应力值;用 Midas/Civil 的计算结果作为按照初等梁理论计算的正应力平均值,进行剪力滞系数的计算,计算结果如图 10、图 11 所示。

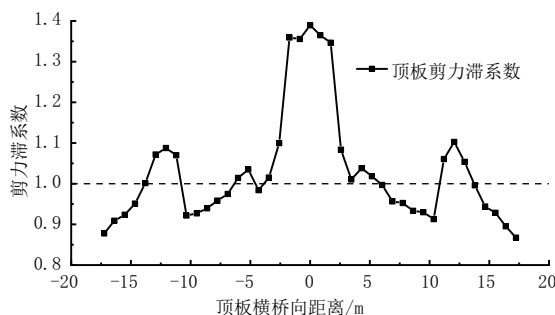


图 10 顶板剪力滞系数

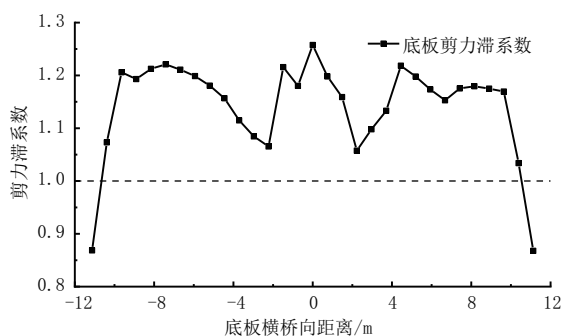


图 11 底板剪力滞系数

由图 10 可知,0# 块箱梁顶部出现了正、负不规则变化的剪力滞效应,其箱梁两侧翼缘板呈现负剪力滞,中间则呈现正剪力滞。负剪力滞出现的决定因素为剪力流,变化的剪力流形成了“负剪力滞”。由此可知,边腹板两侧的剪力流是变化较大的。箱梁中部出现了剪力滞系数较大的现象,这与中箱室顶板截面尺寸有关,同时也与中箱室腹板周围较为密集的预应力钢束有关。但从总体来看,正、负剪力滞系数都不大,说明最大悬臂阶段 0# 块截面的剪力滞效应并不显著。在对于这种宽箱梁剪力滞效应的施工控制中,较小的剪力滞系数有利于施工安全性,着重关注该翼缘板附近的应力状态就基本可以保证剪力滞效应不引发安全问题。

由图 11 可知,与 0# 块顶板显著不同的是,0# 块底板的剪力滞系数变化较为稳定。这是因为 0# 块底板没有预应力的影响,且底板刚度较大。正剪力滞系数在箱梁中间部分变化较大,原因是受到中箱室截面的影响。总体来看,底板剪力滞效应不明显。这与图 5、图 7、图 8 结果相符,即 0# 块应力状态与剪力滞效应有互相印证的效果。

5 结 语

(1)在该矮塔斜拉桥最大悬臂状态下,0# 块以整体受压为主,局部区域受到拉应力。受拉区域集中在支座、索塔与横隔板局部区域内,但拉应力较小,混凝土不会产生裂缝,满足设计规范与施工安全要求。

(2)在最大悬臂状态下,0# 块横隔板区域出现分布范围较广的拉应力。其产生的原因为:0# 块在最大悬臂状态和预应力作用下多向受弯,使竖桥向与横桥向产生了较大的正应力。为了保证施工安全,建议在横隔板处增配竖向和横向的预应力钢束以抵消拉应力。

(3)在最大悬臂状态下,0# 块顶板出现正负交替的剪力滞效应,翼缘板为负剪力滞效应,中间则多为正剪力滞效应;底板多为正剪力滞,且变化幅度较小。顶板的剪力滞效应说明了其应力状态更加复杂,这与顶板附近复杂的截面形式和密集的预应力钢束有关。

参考文献:

- [1] 靳会武,陈占明,周春华.矮塔斜拉桥超宽箱梁 0 号块施工技术[J].公路,2020,65(4):201-207.
- [2] 张飞,黄福云,王燕.V 型墩连续刚构桥 0 号块空间应力分析及优化设计[J].公路交通科技,2019,36(11):59-67.
- [3] 郭增伟,李龙景,张俊波.变截面悬臂箱梁剪力滞效应的比拟杆分析方法[J].土木工程学报,2019,52(8):72-80.
- [4] 蔺鹏臻,杨子江,刘凤奎,等.混凝土箱梁考虑翼板厚度变化的剪力滞效应[J].土木建筑与环境工程,2013,35(1):76-79,116.