

长悬臂悬廊桥的受力性能研究

曾天宝¹, 张琳²

(1.南昌市城市规划设计研究总院, 江西 南昌 330038; 2.江西建设职业技术学院, 江西 南昌 330038)

摘要:长悬臂玻璃悬廊桥以其新颖的造型成为各景区吸引游客的亮点,以桐庐垂云通天河景区玻璃悬廊桥为例,该桥的结构受力表现出复杂的空间力学特点,为详细了解该桥受力特点,采用采用 midas/civil 对其受力性能进行分析。经受力分析,该桥的整体受力性能良好。

关键词:长悬臂;悬廊桥;受力性能

中图分类号: U448.21+4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)12-0055-03

0 引言

随着景区景点的不断开发,景观桥以其独特的美学效果成为各个景区的亮点。随着斜拉桥结构分析理论的完善及施工工艺的突破得到了飞跃式的发展。由于长悬臂斜拉桥的特殊性,较一般类型的斜拉桥在结构构造和受力上更为复杂,具有其独特的一面。对长悬臂斜拉桥受力性能的研究显得十分有必要,本文以桐庐垂云通天河景区玻璃悬廊为例进行受力性能的研究,将研究结果作为施工依据,也为类似桥型的计算提供参考。

1 工程概况

桐庐垂云通天河景区玻璃悬廊桥悬臂长 78.0 m,跨径布置为 13.1 m+78 m,是景区最受人欢迎的景点之一,见图 1。根据景区总体规划要求,该玻璃悬廊属于人行桥,仅供游客驻足观赏风景,是整个景区的重要组成部分。该玻璃悬廊桥主梁及主塔采用钢结构,桥面采用高强钢化玻璃,基础采用浅埋嵌岩基础,背索锚固于塔后独立承台之上,最大悬臂处设置一外直径为 4.0 m 的圆形观景平台。玻璃悬廊桥主梁总宽为 1.6 m。主梁采用钢桁梁,主梁高为 1.6 m,主梁宽为 1.6 m。主塔采用钢桁式矩形主塔,桥面以上总高为 23.076 m。塔梁固结,边跨采用钢筋混凝土结构,边跨端部直接座落在岩石上,斜拉索产生的水平压力,通过边梁传递到岩石上,保证主塔不会有太大的偏移。

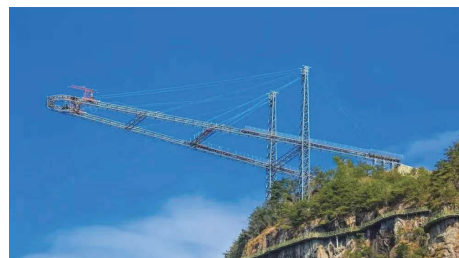


图1 桐庐悬廊桥效果图

全桥共有 9 对缆索,其中 3 对背索,5 对前索,1 对下风索。前索起支撑主梁作用,将主梁荷载传递给主塔;背索平衡塔顶水平分力,增大主塔的稳定;1 对拉索为下风索,一端连接主梁,另一端锚固于山体上。拉索采用 GLG850 钢拉杆,除 4#、5# 前索外(直径 55 mm)拉索直径均为 50 mm。拉索中间设置双向铰,调节采用双向套筒。两主塔下各设置一个桥墩,桥墩尺寸为 3.4 m×3.4 m×3.0 m,采用实心桥墩,钢结构锚入桥墩 2.5 m。基础采用承台+预应力锚索,承台尺寸为 5.0 m×5.0 m×2.0 m。背索锚固桥墩采用方墩,墩底尺寸为 3.5 m×3.5 m×2.0 m,采用 9 根预应力锚索与地面连接提高抗拔力。

2 计算模型

计算采用桥梁专业有限元软件 Midas civil 软件进行空间模型分析,选取主桥进行结构分析,建模时,主梁及索塔均采用空间梁单元建模,玻璃桥面采用板单元模拟,拉索采用桁架单元模拟,考虑拉索的垂度效应以及桩土作用。

全桥共包含 1 056 个节点,2 275 个单元,其中包含 2 079 个主梁单元、164 个板单元和 32 个拉索桁架单元,拉索端部与主梁共节点。支座布置采用双支座模拟,考虑扭转效应;考虑桩土作用建立桩基模型,见图 2。

收稿日期: 2021-09-04

作者简介:曾天宝(1984—),男,硕士,高级工程师,从事道桥设计工作。



图2 桐庐悬廊桥整体杆系模型示意图

2.1 设计荷载

- (1)人群荷载: 3.5 kN/m^2 ;
- (2)桥面净宽: 净 1.6 m ;
- (3)基本风压: 0.50 kN/m^2 ;
- (4)基本雪压: 0.40 kN/m^2 。

2.2 材料

(1)主缆钢索: 拉索采用 GLG850 钢, 其抗拉强度设计值为 850 MPa 。

(2)混凝土采用 C40, $E_c = 3.25 \times 10^4 \text{ MPa}$, $f_{cd} = 18.4 \text{ MPa}$, $f_{td} = 1.65 \text{ MPa}$, 容重 $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ 。

(3)玻璃: 采用钢化夹胶玻璃, 型号为 (12+1.52PVB+12)

(4)型钢: 玻璃悬廊上部结构钢结构采用 Q345B。

2.3 结构计算的荷载组合

基本组合: $\gamma_2 \times [1.2 \times \text{恒载} + 1.4 \times \text{活载} (\text{含冲击}) + \text{沉降} + 0.75 \times 1.4 \text{ 梯度温度} + 0.75 \times 1.4 \text{ 整体温度} + 0.75 \times 1.1 \times \text{风荷载}]$ 。

频遇组合: 恒载 + $0.7 \times \text{活载} (\text{不计冲击}) + 0.8 \times \text{梯度温度} + \text{整体温度} + 0.75 \times \text{风荷载}$ 。

标准组合: 恒载 + 活载 + 沉降 + 梯度温度 + 整体温度 + 风荷载。

2.4 施工阶段划分

全桥的主要步骤: 施工基础及桥塔施工 → 逐段施工悬臂段, 张拉斜拉索 → 铺装玻璃面板、安装护栏 → 正式通行。

3 受力性能分析

为了确保结构的安全性, 经计算, 施工阶段变形, 应力最大值均发生在桥面铺装阶段。其结构的应力、位移、内力以及索力计算结果如下所示。

3.1 变形结果

施工阶段的主要变形结果见图3、图4。

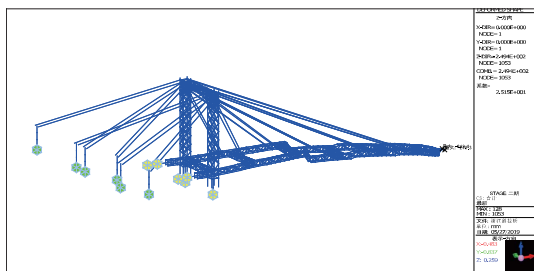


图3 桐庐悬廊桥桥面铺装施工(单位:mm)

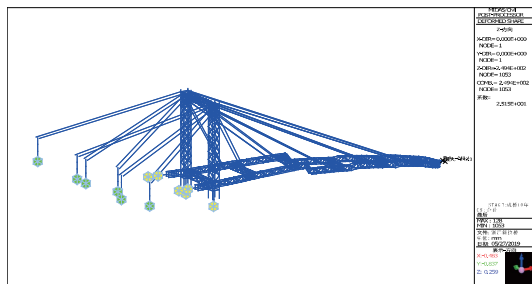


图4 桐庐悬廊桥成桥阶段(单位:mm)

由上述的计算结果可以得出, 主梁最大变形为 $249.4 \text{ mm} < L/300 = 260 \text{ mm}$, 主塔最大变形为 $52.3 \text{ mm} < L/300 = 76.9 \text{ mm}$, 满足规范要求。

3.2 应力结果

施工阶段的主要应力结果见图5~图7。

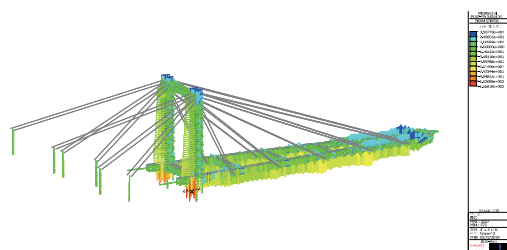


图5 桐庐悬廊桥桥面铺装施工应力图(单位:MPa)

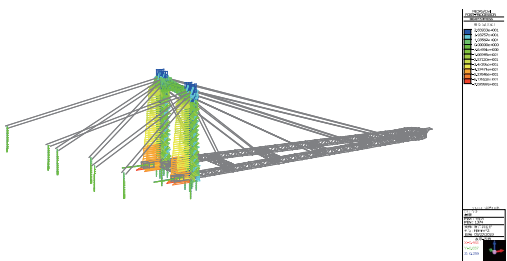


图6 桐庐悬廊桥成桥阶段主塔应力图(单位:MPa)

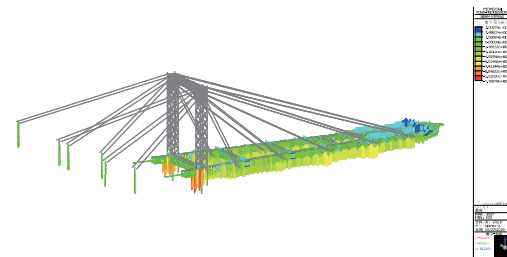


图7 桐庐悬廊桥成桥阶段主梁应力图(单位:MPa)

由上述的计算结果可以得出, 主梁最大应力为 116.81 MPa , 最大拉应力为 72.29 MPa ; 主塔最大应力为 103.58 MPa , 最大拉应力为 71.69 MPa , 桥梁的主梁、主塔的应力满足规范要求。

3.3 斜拉索索力结果

索力结果见表1。

由表1可以得出, 斜拉索的安全系数满足要求, 斜拉索的安全性足以保证。

表 1 初拉力及规格 (单位:kN)						
拉索	拉索规格	初张力 /kN	成桥索力 /kN	基本组合 /MPa	抗拉强度设计值 /MPa	是否满足
B1	φ50	252	404.1	320.4	850	是
B2	φ50	150	254.7	299.2	850	是
B3	φ50	180	277.2	323.1	850	是
Z1	φ50	51	116.9	106.6	850	是
Z2	φ50	68	107.9	140.9	850	是
Z3	φ50	90	168.2	184.0	850	是
Z4	φ50	100	221.5	230.4	850	是
Z4	φ50	157.3	276.1	289.4	850	是

4 稳定验算

为了确保结构在施工过程以及成桥时的稳定安全,需要对施工阶段最不利工况和成桥工况进行稳定计算,本文共选择裸塔、最大悬臂、成桥三个工况验算结构的稳定安全,具体结果见下。

4.1 裸塔工况

裸塔施工模型如下,其临界失稳状态见图 8。

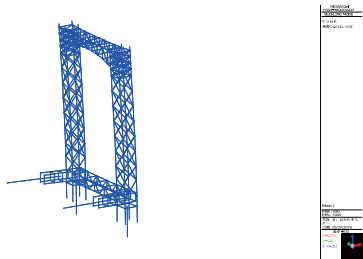


图 8 桐庐悬廊桥裸塔失稳图(纵向失稳)

由计算结果可知裸塔阶段临界失稳系数为 40.5,满足要求。

4.2 最大悬臂工况

最大悬臂的模型如下,其临界失稳状态见图 9。

由计算结果可知最大悬臂阶段的临界失稳系数为 20.7,满足要求。

4.3 成桥工况

成桥阶段的模型如下,其临界失稳状态见图 10。

由计算结果可知成桥阶段临界失稳系数为 29.6,满足要求。

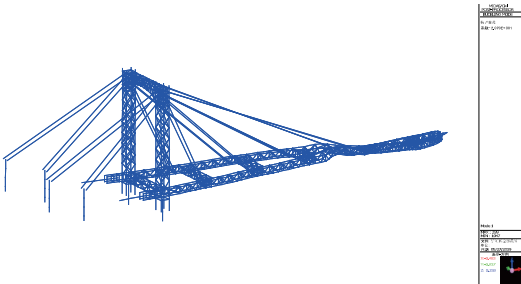


图 9 桐庐悬廊桥最大悬臂失稳图(横向失稳)



图 10 桐庐悬廊桥成桥失稳图(横向失稳)

由以上的计算结果可以知道,在最不利的施工阶段和成桥阶段,桥梁的稳定系数均大于 2.5,满足规范要求,结构的安全性可以得到保证。

5 结论

本文采用桥梁专业有限元软件 Midas civil 较为准确的分析了桐庐悬廊桥,得出以下结论:

- (1)悬廊桥的主梁最大变形为 249.4 mm<L/300 = 260 mm,主塔最大变形为 52.3 mm<L/300 = 76.9 mm,满足规范要求。
- (2)悬廊桥的主梁最大应力为 116.81 MPa,最大拉应力为 72.29 MPa;主塔最大压应力为 103.58 MPa,最大拉应力为 71.69 MPa,桥梁的主梁、主塔的应力满足规范要求。
- (3)悬廊桥的拉索最大应力 320.4 MPa,受力性能满足规范要求。
- (4)悬廊桥最小临界失稳系数为 29.6,主桥整体稳定系数较大,说明稳定性较好。

从结果看,桐庐悬廊桥的整体应力水平平均满足我国现行的相关规范要求。通过对桐庐悬廊桥的受力性能分析,为大桥的施工提供理论数据,也为同类桥型的设计提供参考。

~~~~~

(上接第 33 页)

参考文献:

[1] 闫旭.组合梁斜拉桥的技术发展[J].城市道桥与防洪,2013(5):53-55.

[2] 浙江省交通规划设计研究院有限公司.舟山市富翅门大桥工程设计文件[Z].2015.

[3] 尹超,杨善红.大跨度组合梁斜拉桥主梁结构设计构思[J].桥隧工程,2012(11):298-301.

[4] 易云焜,岳青,严和仲.叠合梁斜拉桥主梁施工工序方案比选[J].公路,2012(12):36-38.

[5] 靳俊中.大跨度叠合梁斜拉桥动力特性分析[J].交通标准化,2011(18):124-128.

[6] JTG/T 3360-01—2018,公路桥梁抗风设计规范[S].

[7] 王军,付强,闫雪峰.我国跨海大桥钢结构防腐保护与涂装[J].全面腐蚀控制,2010(第六届全国会员代表大会特刊):25-30.