

中承式钢管混凝土拱桥极限承载力及地震动力响应计算

王弘谋

重庆市市政设计研究院有限公司

DOI:10.12238/jpm.v3i8.5210

[摘要] 为了对大跨度中承式CFST(钢管混凝土拱)桥的极限承载力以及地震作用下的结构动力响应进行研究,采用Midas Civil建立某CFST桥空间有限元模型,然后计算了桥梁恒载和可变活载作用下的结构受力以及位移问题,最后基于CFST桥的结构自振特性分析结果,对结构地震动力响应进行了研究。研究表明:CFST桥的主拱圈在自重、二期恒载以及索力等恒载作用下整个截面处于受压状态,说明结构受力良好,且主拱圈的竖向挠度最大值为69mm,小于规范规定的计算跨径的1/1000;整体升温引起主拱圈向上的位移,整体降温引起主拱圈向下的位移,最大向上挠度为73.1mm;在不同方向的地震激励下,轴力和位移值在各个关键截面相差较大,其中在三向地震作用下影响较大,最大轴力值为6345kN。

[关键词] CFST桥; 极限承载力; 整体温度荷载; 地震响应

中图分类号: P315 **文献标识码:** A

Calculation of Ultimate Bearing Capacity and Seismic Dynamic Response of Half Through Concrete Filled Steel Tubular arch Bridge

Hongmou Wang

Chongqing Municipal Design and Research Institute Co., Ltd

[Abstract] in order to study the ultimate bearing capacity and structural dynamic response of long-span half through CFST (concrete filled steel tubular arch) bridge under earthquake, Midas civil is used to establish a spatial finite element model of a CFST bridge, and then the structural stress and displacement under dead load and variable live load of the bridge are calculated. Finally, based on the analysis results of structural natural vibration characteristics of CFST bridge, the structural seismic dynamic response is studied. The research shows that the main arch ring of CFST bridge is under compression under dead loads such as self weight, phase II dead load and cable force, which indicates that the structure is well stressed, and the maximum vertical deflection of the main arch ring is 69mm, which is less than 1/1000 of the calculated span specified in the code; The overall temperature rise causes the upward displacement of the main arch ring, and the overall temperature drop causes the downward displacement of the main arch ring, with the maximum upward deflection of 73.1mm; Under seismic excitation in different directions, the axial force and displacement values differ greatly in each key section, among which the influence is greater under three-dimensional seismic action, and the maximum axial force value is 6345kn.

[Key words] CFST bridge; Ultimate bearing capacity; Overall temperature load; seismic response

引言

由于中承式CFST桥具有独特的优点,在公路以及城市道路上得到广泛应用,且一般是道路交通中的重要关键控制性工程,因此为确保CFST桥结构安全和实用性,有必要对CFST桥在各种可能荷载下的响应以及安全性进行分析^[1-2]。

关于CFST桥静动力结构响应的研究,学者们已进行了大量研究^[3-4]。刘志山^[5]探究了某高速铁路弹性稳定分析、几何非线性分析和双重非线性(几何非线性+材料非线性)的静

力稳定分析;吴东兴^[6]、卓卫东^[7]和熊聪^[8]等对钢管混凝土拱桥的结构动力特性以及地震进行了研究;熊起^[9]和李光川^[10]等对特大跨径的钢管混凝土拱桥静动力响应以及参数进行了影响性分析。

基于上述研究,以某中承式CFST桥为研究背景,探究结构自重、温度效应以及偶然地震荷载作用下的结构响应问题。

1 工程概况及荷载

1.1 工程概况

为研究中承式CFST桥在恒载、温度荷载以及地震作用下的结构受力特点,以西南地区贵州省某CFST桥为工程背景,该桥主跨长175m,主拱圈拱轴线采用受力较为合理的悬链线,其中悬链线关键参数如下:拱轴系数 $m=2.2$,拱顶至桥面的竖直高度为40m,矢高与主跨跨径的比值为0.229。桥面宽29.5m,主拱内混凝土采用C55混凝土。

1.2 荷载情况

该桥涉及的荷载主要包括恒载和可变荷载,其中恒载包括结构自重和二期恒载,而可变荷载包括汽车荷载、温度荷载以及地震荷载。

结构自重取值:混凝土重力密度取 26kN/m^3 ,钢结构重力密度取 78.5kN/m^3 ;二期恒载根据桥面铺装情况实际取值。

(1) 汽车荷载:按公路-I级荷载取值。

(2) 温度荷载:根据当地气候条件,计算体系升温取值 30°C ,体系降温取值 20°C 。

(3) 地震荷载:该桥位于6度区,按7度设防,以规范标准反应谱为目标谱,采用三角级数法合成地震动,见图1。

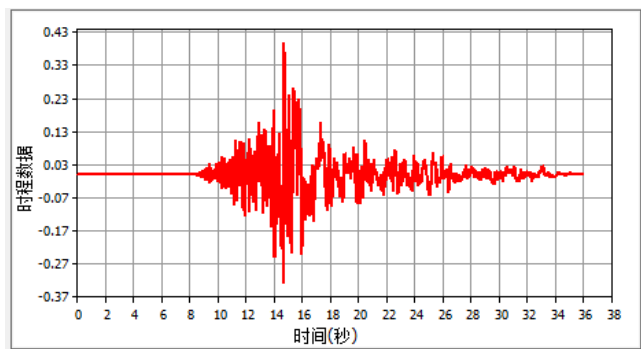


图1 地震荷载

2 有限元模型

2.1 本构关系

钢管混凝土拱圈是由混凝土和钢管两种不同材料组成的共同受力的结构物,便于后续分析,将混凝土和钢材换算成同一种材料,基于的理论是统一理论模型,该模型见图2所示。

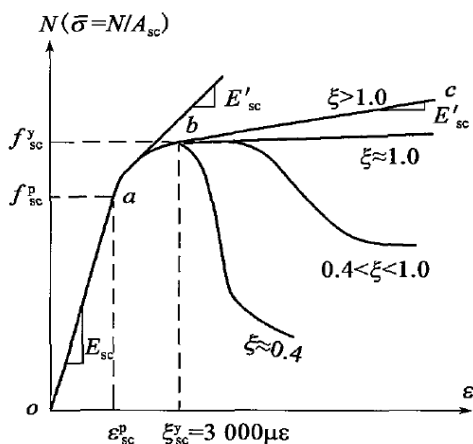


图2 钢管混凝土轴压曲线

2.2 有限元模型

依据该桥实际设计图纸,并结合有限元模型,建立该CFST桥的三维空间有限元模型,其中采用梁单元模拟主拱钢管、混凝土、桥面梁、纵横梁,板单元模拟桥面板,桁架单元模拟吊杆,有限元模型见图3。

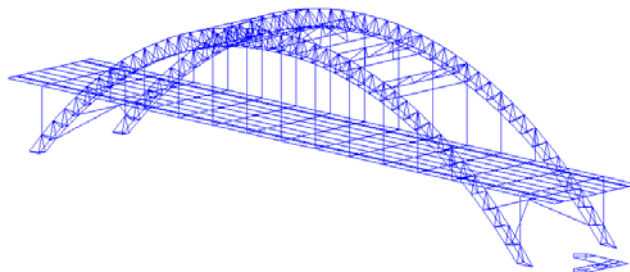


图2 有限元模型

3 静力计算

3.1 恒载

(1) 内力。主拱圈是CFST桥的主要受力构件,限于篇幅,下面仅给出了主拱圈在自重、二期等恒载作用下的轴力和弯矩,分别见图4和图5,轴力图中“-”表示截面受压。

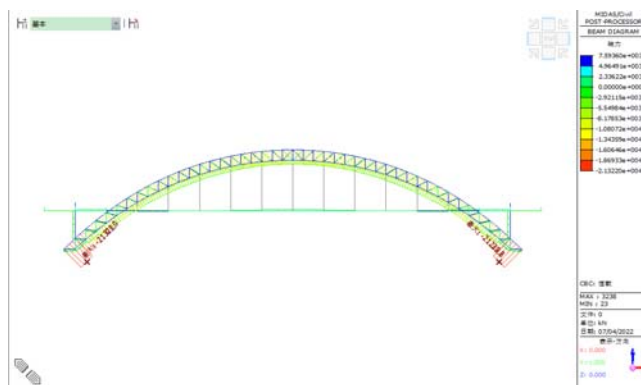


图4 轴力图

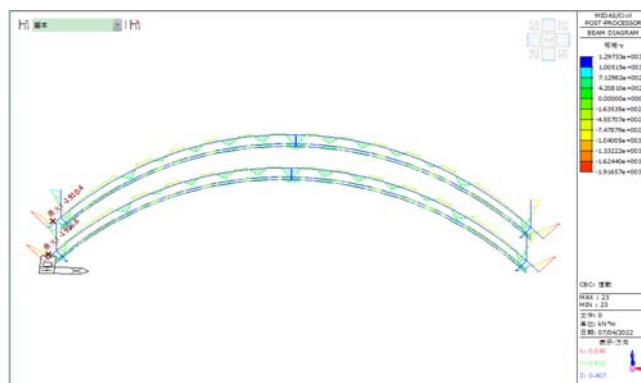


图5 弯矩图

对图4和图5进行分析可得到如下结论:

- ①在恒载作用下主拱圈各个截面全部受压,说明结构受力良好;
- ②主拱圈的轴力和弯矩最大值分别为 $2.13\text{E}+04\text{kN}$ 和 $1.94\text{E}+03\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

(2)变形。主拱圈在恒载作用下的竖向变形见图6。

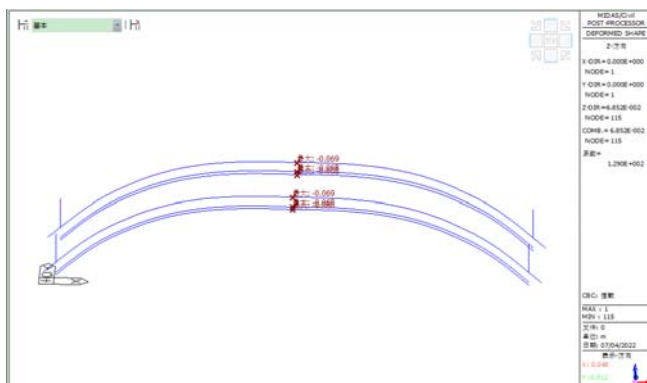
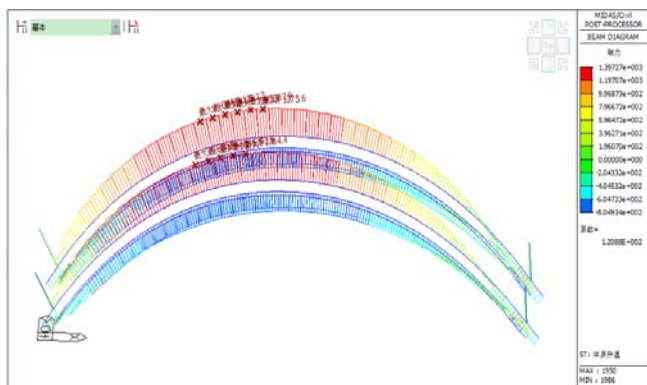


图6 竖向变形

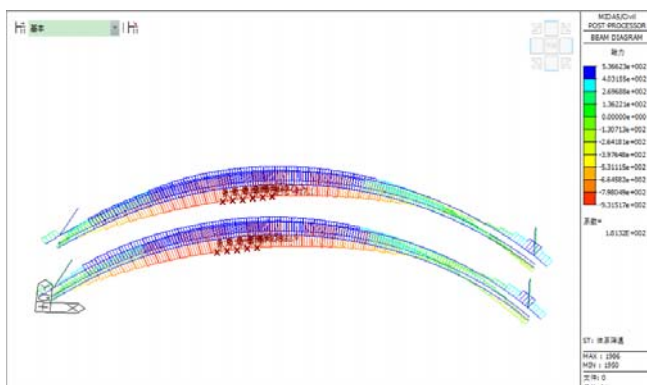
分析图6可知,在结构恒载作用下的最大竖向位移为6.9cm,小于跨径的1/1000,满足设计规范要求。

3.2温度荷载

(1)内力。主拱圈在温度作用下的轴力和弯矩图分别见图7和图8。



(1)体系升温



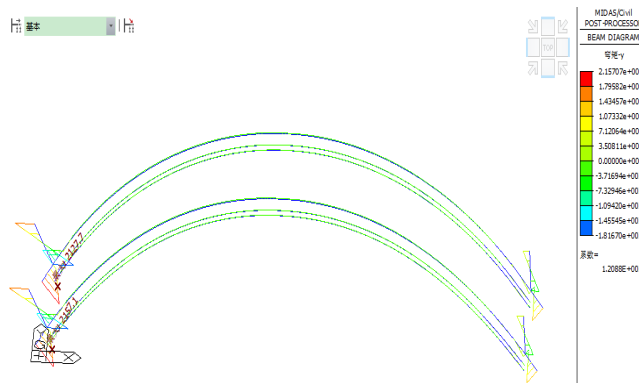
(2)体系降温

图7 轴力包络图

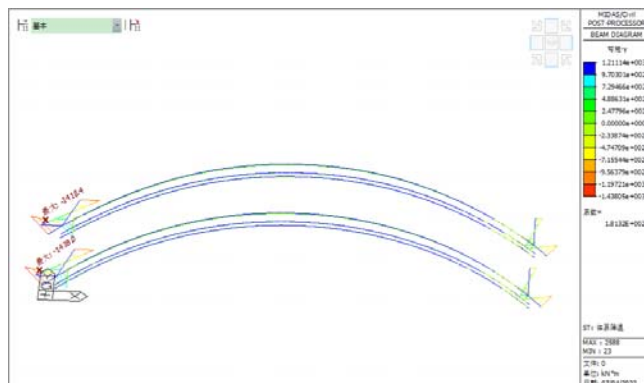
分析图7可得出以下结论:

①中承式钢管混凝土拱桥在整体升温作用下会在上弦拱顶截面出现拉力,在下弦拱截面出现压力,这是因为随着温度的升

高,钢管混凝土主拱圈有向外变形的趋势,但由于拱脚固定约束了这种变形,主拱圈只能竖向向上凸起,使得上弦拱受拉、下弦拱受压;②在整体降温作用下,钢管混凝土发生收缩,使得靠近拱顶处下弦拱受压,上弦拱任然受拉,但由于整体升温温度高于整体降温,因此体系升温下的轴力大于体系降温下的轴力。



(1)体系升温

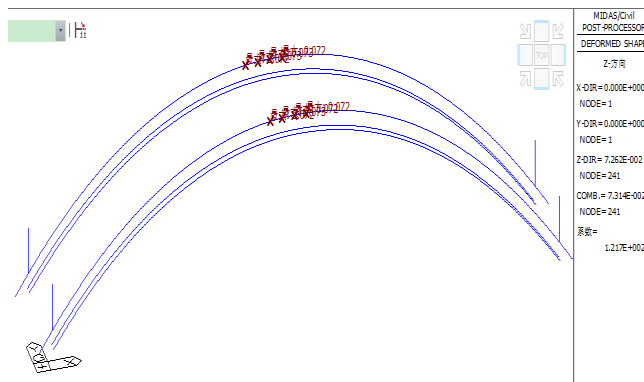


(2)体系降温

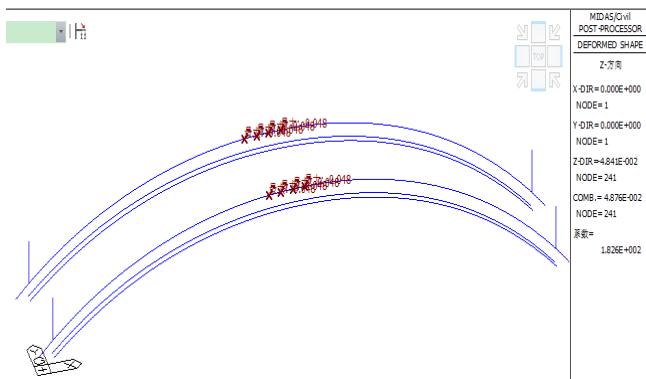
图8 弯矩包络图

分析图8可知,在体系温度变化下仅在拱脚局部范围内产生较大的弯矩,不同之处是,在体系升温下上弦拱下截面弯矩较大,在体系降温下,上弦拱上截面弯矩较大。

(2)变形。主拱圈在温度作用下的竖向变形见图9。



(1)体系升温



(2) 体系降温
图9 竖向变形

分析图9可得出以下结论:

- (1) 体系升温将导致主拱圈竖直向上凸起, 导致向上的挠度, 最大值约为73.1mm;
- (2) 体系降温将导致主拱圈竖直向下凸起, 导致向下的挠度, 最大值约为-48.7mm。

4 自振特性及地震响应分析

4.1 自振特性

结构自振特性是反映桥梁结构振动的固有特性, 表1给出了结构自振频率和对应振型。

表1 结构自振频率与对应振型表

序号	频率(Hz)	振型描述
1	0.39	主拱横向振动
2	0.48	主拱面内纵向振动
3	0.71	主拱竖向振动
4	0.97	桥面反对称扭转
5	1.06	桥面对称扭转
6	1.21	主拱横弯
7	1.31	桥面对称扭转
8	1.40	反对称扭转
9	1.45	反对称扭转
10	1.61	桥梁整体竖弯

4.2 地震响应分析

中承式钢管混凝土拱桥在使用过程中可能承受地震作用的影响, 一旦发生地震, 将导致结构安全问题, 内力和变形发生巨大变化, 故下面分别探究纵向地震、横向地震和纵向+横向+竖向地震三种情况下钢管混凝土拱桥内力、变形等角度进行地震响应分析。

(1) 轴力。地震作用下关键位置轴力如图10所示。

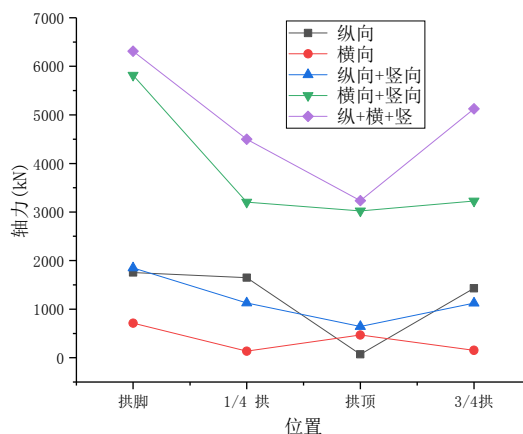


图10 主拱轴力

分析图10可知, 在不同位置轴力相差较大, 且在不同地震激励方向也会产生不同的地震轴力。其中在三向地震作用下的拱脚产生最大的轴力, 约为6345kN。

(2) 弯矩。地震作用下关键位置弯矩如图11所示。

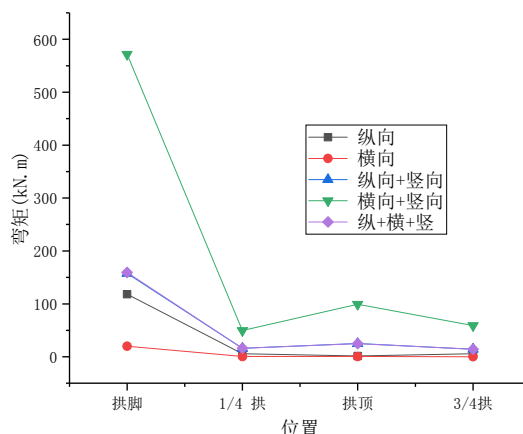


图11 主拱弯矩

分析图11可知, 在多种地震激励方向下的主拱关键位置弯矩也和轴力一样, 但在横向+竖向地震作用下的弯矩值最大。

(3) 剪力。地震作用下关键位置剪力如图12所示。

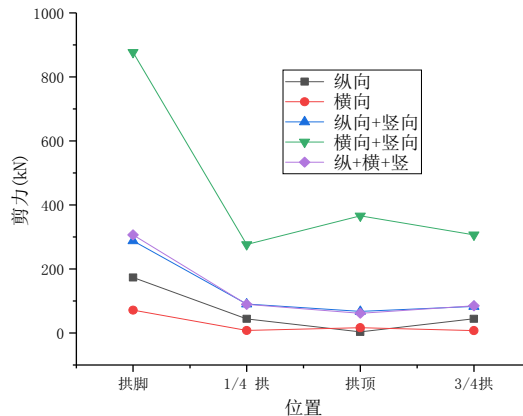


图12 主拱剪力

分析图12可知,主拱各关键截面的剪力变化规律与主拱关键截面的弯矩规律基本保持一致,也即在横向+竖向地震作用下的剪力达到最大值。

(4)位移。地震作用下关键位置横向位移如图13所示。分析图13可知,在三向地震作用下的横向位移达到最大值,但和横向+竖向地震作用下的位移值相差不大,说明横向位移主要受横向地震影响。

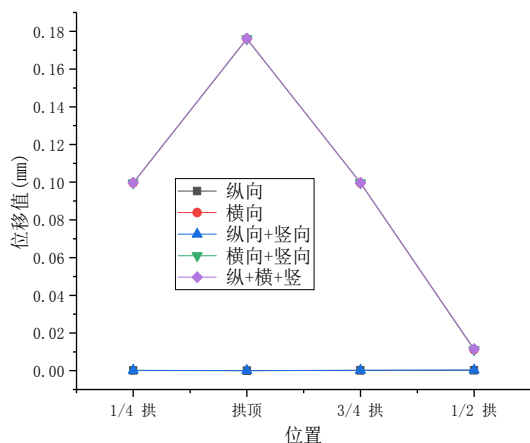


图13 主拱横向位移

5 结语

主要结论如下:

(1) 在恒载作用主拱圈全截面受压,且最大竖向变形为11.9cm,小于跨径的1/1000,满足要求。

(2) 体系升温将导致主拱圈竖直向上凸起,而体系降温将导

致主拱圈竖直向下凸起,进而增加主拱圈的竖向挠度。

(3) 由于宽跨比较小,主拱的第一阶振动一般为横向振动。且在不同方向的地震激励下,轴力和位移值在各个关键截面相差较大,其中在三向地震作用下影响较大。

【参考文献】

- [1] 戚志河,刘蕊,张迅.中承式集束钢管混凝土拱桥的加固设计研究[J].公路,2022,67(03):92-98.
- [2] 王军,于海洋,燕海蛟.某中承式钢管混凝土系杆拱桥维修加固方案探讨[J].建筑安全,2020,35(07):27-30.
- [3] 张潭潭.大跨钢管混凝土拱桥静动力研究及拱脚局部应力分析[D].长沙理工大学,2021.
- [4] 杜鑫.多拱肋钢管混凝土异型拱桥静力力学性能及参数分析[D].郑州大学,2020.
- [5] 刘志山.高速铁路钢管混凝土拱桥静动力稳定性研究[D].石家庄铁道大学,2018.
- [6] 吴东兴.大跨度钢管混凝土拱桥地震响应分析[J].黑龙江交通科技,2022,45(04):124-127.
- [7] 卓卫东,颜全哲,吴梅容,等.中承式钢管混凝土拱桥地震易损性分析[J].铁道学报,2019,41(05):126-132.
- [8] 熊聪.上承式钢管混凝土拱桥的动力特性及地震响应分析[D].长沙理工大学,2019.
- [9] 熊起.上承式钢管混凝土拱桥静动力分析及参数影响分析[D].西南交通大学,2018.
- [10] 李光川.特大跨度劲性骨架钢管混凝土拱桥静动力特性研究[D].重庆大学,2018.