

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2023.03.022

多拱肋异型系杆钢拱桥温度敏感性分析

刘亚峰¹,王利俊²,邓星辉³,祁文洋²

[1.南京市南部新城开发建设管理委员会,江苏 南京 210000; 2.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 3.南京工业大学,江苏 南京 211816]

摘要:为研究不同形式的温度变化对异型桥梁成桥状态的影响,该文以一座多拱肋异型系杆钢拱桥为工程背景,建立 Midas Civil 空间有限元计算模型,选取整体温度、梁拱温差、纵桥向索面温差和横桥向索面温差四个参数对其进行敏感性分析,得到各参数对桥梁结构变形、应力和索力的影响程度。结果表明:梁拱温差对桥梁结构变形、应力和索力影响较大,是三者共同的敏感参数;整体温度作用对变形有较大影响,对应力和索力影响较小;纵桥向和横桥向索面温差对索力的影响程度较大,对变形和应力的影响程度较小。

关键词:多拱肋异型系杆钢拱桥;静力特性;参数分析;温度敏感性分析

中图分类号: U446

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)03-0094-04

0 引言

随着社会经济与工程技术的飞速发展,人们对桥梁建筑提出了更高的要求。桥梁不仅仅是满足交通需求的工程实体,更是作为一种空间艺术结构存在于社会生活之中,成为一道道靓丽的风景^[1]。异型拱桥具有独特的外形,易与周边山水融合,其结构合理,造型美观,目前国内已修建较多异型拱桥。汪一意等^[2]对一座外倾单肋下承式异形钢拱桥施工期的敏感参数进行了研究,认为重度和整体温度对结构的变形和内力影响较大。徐清^[3]以某三拱肋钢管混凝土拱桥为背景开展温度效应研究,基于实时温度监测数据,分析了钢管混凝土拱桥纵梁应力受温度影响的变化规律。贾宏宇^[4]依托一座高速铁路大跨度钢管混凝土系杆拱桥,研究了整体温度变化、梯度温度变化以及拱肋纵向和横向温差对桥梁内力、应力和变形的影响。

桥梁结构在日照辐射作用下,其温度表现出周期性时程特征和不均匀空间特征,并且主要受到结构形式、地理环境和气候3类因素的影响,因此在不同桥型、不同地域之间存在明显差异^[5]。该文以一座多拱肋三索面异型系杆钢拱桥为工程背景,通过 Midas Civil 有限元软件建立全桥三维空间有限元计算模型,考虑整体温度变化、梁拱温差、纵向索面温差以及横向索面温差等温度变化形式,研究其对桥

梁结构线形、应力及吊杆索力的影响程度。

1 工程概况

该桥为单跨 157 m 下承式空间三索面异型系杆钢拱桥,主梁采用正交异性板扁平钢箱梁,桥面宽度为 42 m,断面组成为:3.5 m(人行道)+4.5 m(拉索区)+11.0 m(机动车道)+4.0 m(拱肋区)+11.0 m(机动车道)+4.5 m(拉索区)+3.5 m(人行道)=42.0 m,如图 1 所示。

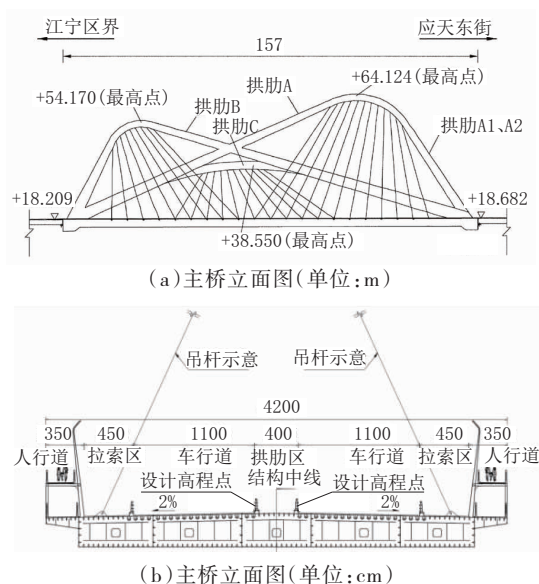


图 1 桥梁总体布置图

拱肋采用 A、B、C 三道拱肋的布置形式,拱肋 A 在拱顶处分为 A1 和 A2 两支,每道拱肋通过吊杆与主梁连接,形成空间三索面结构,全桥共设置 53 根吊杆,相邻两根吊杆间距 6 m,如图 2 所示。

收稿日期: 2022-09-19

作者简介:刘亚峰(1976—),男,硕士,高级工程师,从事工程管理工作。

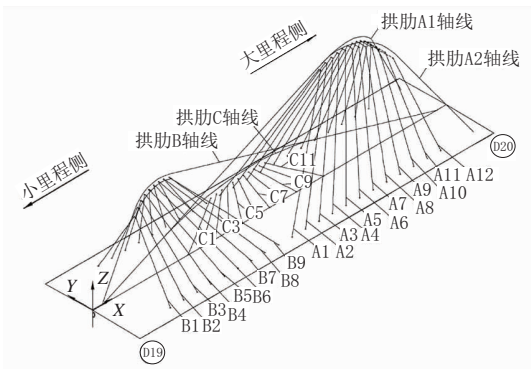


图2 桥梁吊杆布置图

2 有限元模拟

2.1 有限元模型建立

全桥三维空间有限元计算模型如图3所示,以纵桥向方向为 x 轴方向,横桥向为 y 轴方向,重力的负方向为 z 轴正方向,其中拱肋和主梁采用梁单元模拟,吊杆采用桁架单元模拟,吊杆节点与拱肋节点之间采用刚性连接进行约束,主梁两端支座采用一般支承模拟。模型共建立705个节点,932个梁单元以及53个桁架单元。



图3 Midas/Civil有限元模型

2.2 温度作用

该桥所处地区年平均气温约为 15°C ,气候属于温热区,整体温度变化相对明显,受太阳辐射以及热量传导滞后的影响,桥梁不同结构间存在一定的温差,表1为某一天内对该桥的4次温度测试结果。由表1可知,拱肋和索面温度相差不大,桥面温度明显要高于其他结构的温度。结合实测温度数据以及相关文献,本次分析考虑的温度变化形式有整体升降温 25°C 、梁拱温差 10°C 、纵向索面温差 5°C (指A、B索面间的温差)以及横向索面温差 5°C (指A、B拱肋两侧索面的温差),其中温差包括正温差和负温差,共计8种工况。在模型分析时,改变单一温度变化形式,计算桥梁变形、应力以及索力的变化量,得出各种形式的温度变化对桥梁变形、应力以及索力的影响程度。

表1 温度测试结果表

单位: $^{\circ}\text{C}$

测试次数	气温	索体	索端部	拱肋	桥面
第一次(20:00)	16.7	14.2	19.1	14.3	17.7
第二次(02:00)	12.3	8.1	15.1	14.0	14.2
第三次(09:00)	23.3	24.9	/	22.6	33.2
第四次(15:00)	28.0	23.0	24.1	26.2	35.2

3 数据分析

3.1 主梁变形分析

控制单一参数变化,主梁变形(本次分析仅考虑主梁的 z 方向变形)计算结果如图4所示,图中横轴数字表示相对拱脚之间的距离,如 $1/8$ 表示拱脚间距的 $1/8$ 处。由图4可知:在 z 方向上,梁拱温差引起的变形增量最大,为 18.0 mm ,与初始状态相比变化了 21.95% ;整体温度变化和索面温差对主梁 z 方向变形没有太大影响。

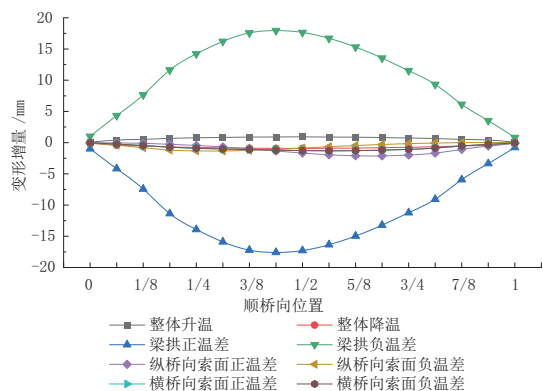


图4 主梁变形增量

3.2 拱肋变形分析

该桥共设置A、B、C三道拱肋,拱肋之间互有交叉,A拱肋在顶端分为两支,呈内倾式布置,拱脚位于主梁中线两侧。选取拱肋部分截面记录参数变化引起的拱肋变形和应力的变化,测试截面及编号如图5所示。

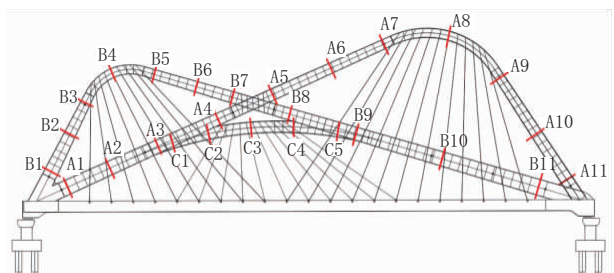
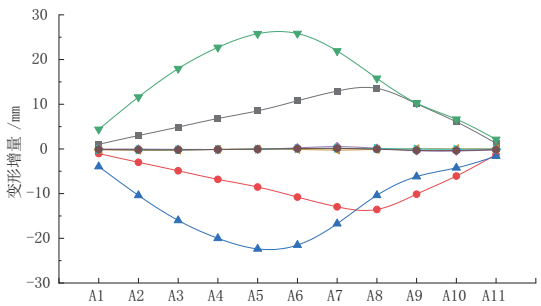


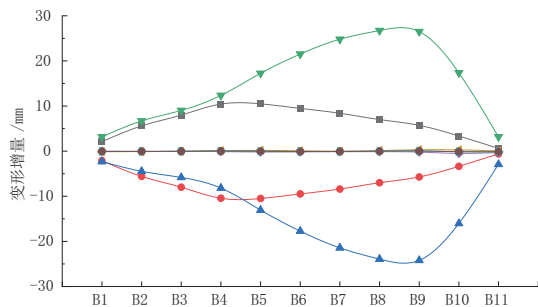
图5 拱肋测试界面示意图

该文以分析拱肋竖向变形为主,整体温度、梁拱温差以及索面温差等参数变化下拱肋变形增量如图6所示。由图6可知:A拱肋在 z 方向由梁拱温差引起的变形增量最大,为 25.8 mm ,较初始状态变化

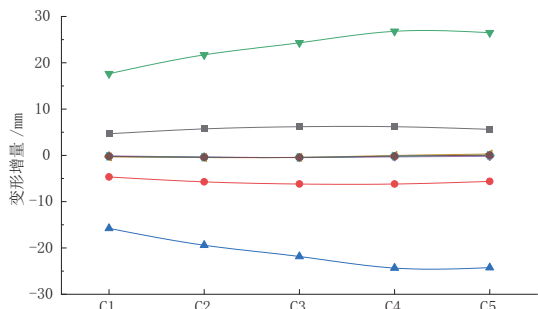
了 26.58%; 由整体温度变化引起的变形增量为 13.6 mm, 较初始状态变化了 31.39%, 索面温差对 A 拱肋 z 方向的变形几乎没有影响, B、C 拱肋 z 方向变形呈现出类似的规律。由于多拱肋交叉的复杂性, A、B 拱肋在 z 方向的变形受参数变化的影响程度随拱肋位置的不同而不同, 如 A 拱肋在 A1~A7 段 z 方向变形受梁拱温差的影 响大于整体温度变化的影响, 而在 A8~A11 段 z 方向变形受整体温度变化的影响又要大于梁拱温差的影响。



(a) A 拱肋变形增量



(b) B 拱肋变形增量



(c) C 拱肋变形增量

图 6 拱肋变形增量

3.3 主梁应力分析

主梁截面各点应力分布不均, 本文选取主梁截面最大应力进行参数敏感性分析, 图 7 为各参数变

化时主梁测试截面最大应力变化情况。由图 7 可知, 主梁最大应力受梁拱温差影响最大, 梁拱温差引起主梁最大应力增加 3.20 MPa, 较初始状态变化了 12.13%, 整体温度变化和索面温差对主梁最大应力的影响较小。

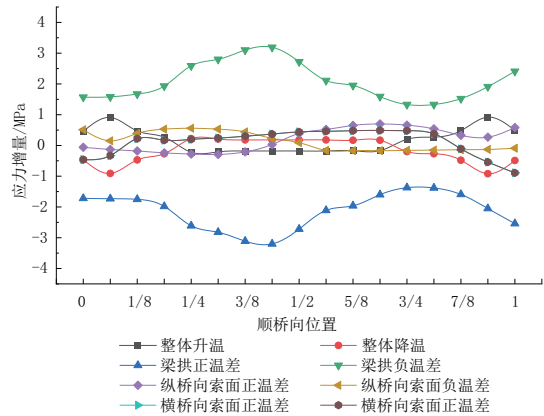


图 7 主梁应力增量

3.4 拱肋应力分析

改变单一参数进行分析, 拱肋应力增量随参数变化如图 8 所示。由图 8 可知, 梁拱温差对拱肋应力影响较大, 梁拱温差引起 A 拱肋应力增加 6.71 MPa, 变化百分比为 13.37%, B 拱肋应力增加 5.50 MPa, 变化百分比为 13.82%, C 拱肋应力增加 7.04 MPa, 变化百分比为 15.85%。整体温度变化和索面温差对拱肋应力影响不大。

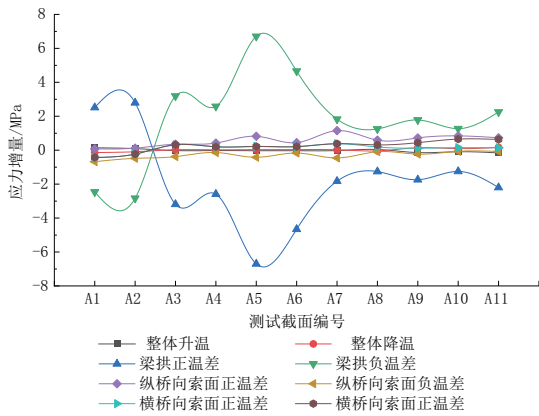
3.5 吊杆索力分析

各参数变化对吊杆索力的影响如图 9 所示 (图中 A 索面代表 A 拱肋的吊杆, 取半边的吊杆进行分析), 梁拱温差对吊杆索力影响最大, 其次为纵桥向和横桥向索面温差, 整体温度变化对吊杆索力影响较小。梁拱温差引起 A 索面索力的增量最大值为 17.57 kN, 变化了 2.02%; 引起 B 索面索力的增量最大值为 18.70 kN, 变化了 2.07%, 引起 C 索面成桥索力的增量最大值为 104.88 kN, 变化了 10.62%。

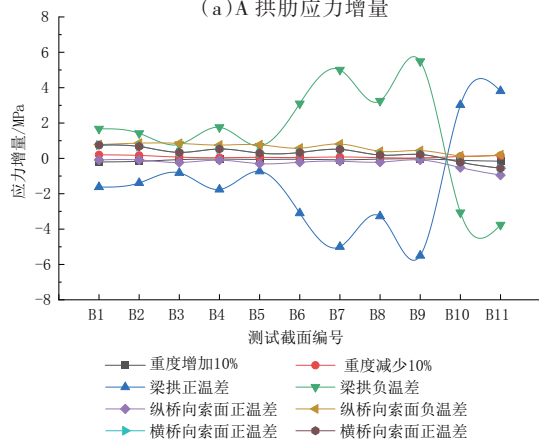
4 结论

以一座多拱肋异型系杆钢拱桥为工程背景, 通过 Midas Civil 有限元软件建立计算模型, 分别选取不同形式的温度变化, 对参数变化进行敏感性分析, 旨在探究影响桥梁线形、应力和索力的温度敏感参数, 得出以下结论:

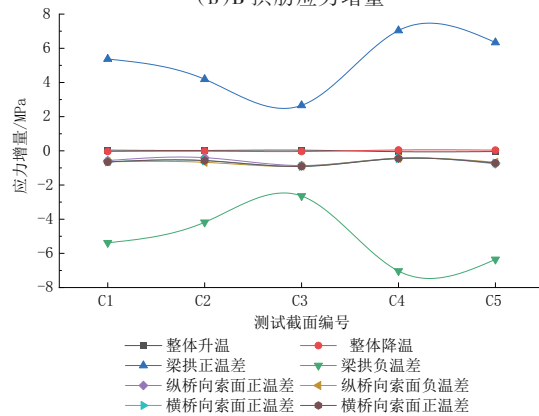
- (1) 主梁 z 方向变形和主梁应力的敏感参数为梁拱温差; 拱肋 z 方向变形的敏感参数为梁拱温差、次敏感参数为整体温度作用; 拱肋应力的敏感参数为梁拱温差; 吊杆索力的敏感参数为梁拱温差, 次敏感



(a)A 拱肋应力增量

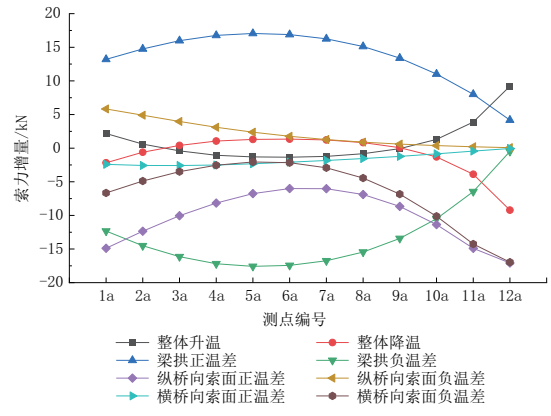


(b)B 拱肋应力增量

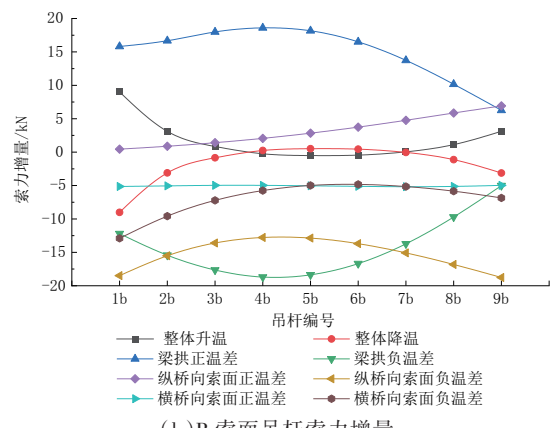


(c)C 拱肋应力增量

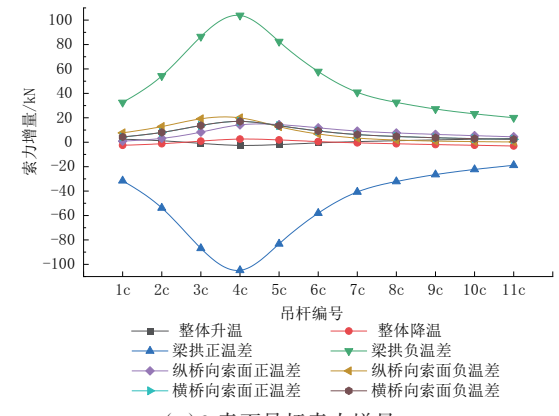
图8 拱肋应力增量



(a)A 索面吊杆索力增量



(b)B 索面吊杆索力增量



(c)C 索面吊杆索力增量

图9 吊杆索力增量

参数为纵桥向索面温差。

(2)梁拱温差是影响桥梁结构变形、应力以及吊杆索力的重要参数,梁拱温差变化 10℃时,主梁变形增量最大为 18.0 mm,应力增量最大为 3.20 MPa;拱肋变形增量最大为 26.79 mm,应力增量最大为 7.04 MPa,出现在 C 拱肋;吊杆索力增量最大为 104.88 kN。

(3)整体温度变化对桥梁结构变形有较大的影响,对应力和吊杆索力影响较小;纵桥向和横桥向索面温差对吊杆索力影响程度较大,对结构的变形和应

力影响程度较小。

参考文献;

[1] 李生智,王玮瑶,邬妙年.异型拱桥[M].北京:人民交通出版社,1996.

[2] 汪一意,陈建兵,熊秉贤.外倾单肋下承式异形钢拱桥静力参数敏感性分析[J].中外公路,2017,37(4):180-184.

[3] 徐清.三拱肋钢管混凝土拱桥的温度效应研究[J].建筑施工,2020,42(4):648-651.

[4] 贾宏宇,雷啸,梁斌,等.高速铁路大跨度钢管混凝土系杆拱桥温度效应分析[J].河南大学学报(自然科学版),2021,51(2):240-252.

[5] 刘永健,刘江,张宁.桥梁结构日照温度作用研究综述[J].土木工程学报,2019,52(5):59-78.