

斜拉桥施工过程中温度对主梁的影响效应分析

肖勇刚, 彭江

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 在大跨径混凝土箱形斜拉桥主梁施工过程中, 温度变化会给主梁挠度带来很大影响, 主梁线形控制难度增大, 合龙质量下降。为研究温度对混凝土斜拉桥主梁挠度的影响, 文中以湖南郴州赤石特大桥为工程背景, 对温度实测数据进行分析, 同时利用有限元软件计算拟合温度场下挠度并与实测结果对比。结果表明, 在温度影响下, 主梁挠度变化与温度变化呈相反的趋势, 且斜拉桥主梁由于腹板的存在其竖向温度梯度的温差值减小。

关键词: 桥梁; 斜拉桥; 主梁; 挠度; 温度

中图分类号: U441.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)06-0091-04

在大跨度混凝土斜拉桥施工过程中, 影响主梁线形精度的因素很多, 其中温度对主梁线形控制的影响最大, 造成的后果也最严重。斜拉桥主梁的施工周期较长, 桥梁结构不可避免地受到日照辐射、外部温度变化的影响。由于混凝土是热量的不良导体, 温度在梁体的传递存在滞后, 随着温度的变化, 主梁内部产生不均匀温度场, 导致主梁在悬臂施工过程中产生温度变形。

针对桥梁温度场的分布, 相关学者已进行了大量试验研究。王毅等系统分析了温度对悬臂施工的影响, 认为平行的双幅桥梁可以按照单幅来考虑温度分布。樊健生等基于可靠度理论和组合梁温度荷载模型, 提出可实现任意组合桥梁结构温度场的精确计算并提高其计算效率的方法。顾斌等基于传热理论和有限元理论, 提出了大跨度桥梁结构三维日照温度场的模拟方法。刘诚采用桥梁结构模型, 分析了太阳辐射作用下温度场和温度应变的变化规律, 提出了桥梁日照温度场的 3 种不利温度分布模式, 并通过有限元软件验证了精细数值模型的准确性和可靠性。Clark J. H. 将箱梁温度场简化为二维温度场, 分析认为截面温度分布与两天以来的平均气温有关, 并提出了一个相对简易的结构温度场计算二维模型。本文以湖南郴州赤石特大桥为研究背景, 结合实际施工控制情况, 利用 BDCMS 有限元模型进行分析, 研究温度场对斜拉桥主梁的影响效应。

1 工程概况

赤石特大桥是厦门一成都高速公路湖南段的控

制性工程, 主桥长 1 470 m, 宽 28 m, 为跨径 165 m+3×380 m+165 m 四塔预应力混凝土斜拉桥。

采用 H 形桥塔, 为双曲线形空心薄壁索塔, 竖向分为上、中、下塔柱三部分, 主桥各塔均布置 23 对斜拉索。主梁截面为单箱四室箱形, 桥面设置双向横坡。桥型布置见图 1。

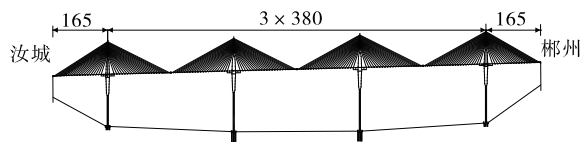


图 1 赤石特大桥桥型布置 (单位: m)

2 温度实测结果与分析

2.1 温度测点布置

箱形截面温度测点布置在 1 号塔 21 号截面上 (见图 2)。温度计采用 JMT-36C 电阻式温度传感器, 每小时自动采集各测点温度。

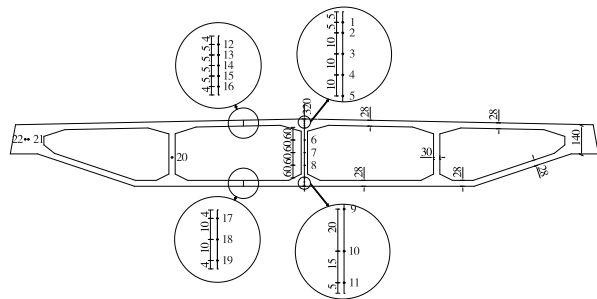


图 2 截面温度测点布置 (单位: cm)

2.2 截面测点温度分析

(1) 顶板。通过对一天实测温度的分析, 得到

顶板温度变化曲线(见图3)。由图3可知:顶板温度在一天中的变化十分明显,14:00时变化最大,温差达12.4℃。从测点1~5的温度来看,同一位置不同深度的温度变化幅度有所不同,这是因为随着深度的增加,外界温度对混凝土的影响逐渐减小。对比不同位置相同深度测点的温度,顶板中点温度上升较快,中腹板正上方顶板的温度上升滞后,这与混凝土的厚度有关。依据混凝土的热传导性及截面对称性,顶板温度由顶板中点向腹板方向递减。随着时间的增加,横向温度加大,一段时间后,顶板中点温度上升速度下降。

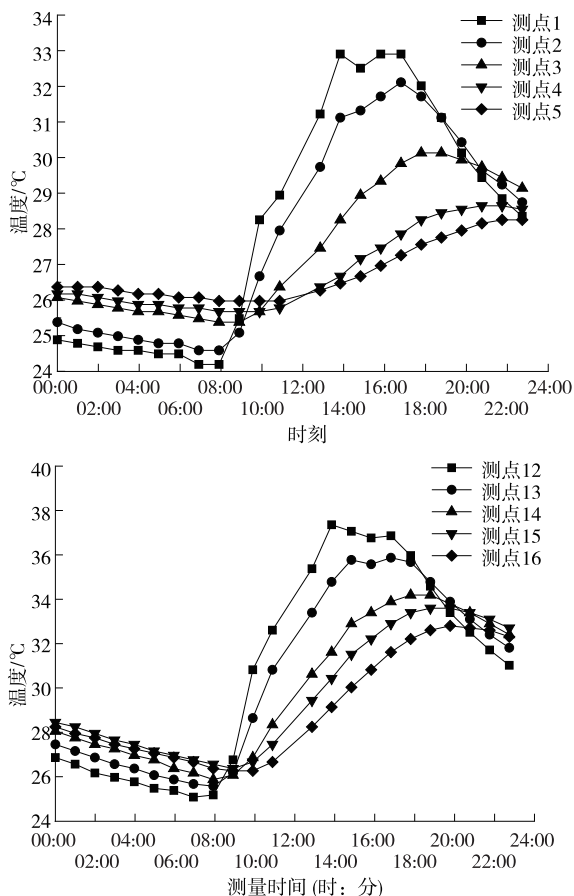


图3 顶板温度变化曲线

(2) 腹板。通过对一天实测温度的分析,得到腹板温度变化曲线(见图4)。由图4可知:腹板温度基本保持不变,随着深度的增加温度降低,变化幅度基本一致。箱内温度变化很小且呈上升趋势,这是因为箱内是一个封闭的环境,空气不流通,散热慢,温度上升。

(3) 底板。通过对一天实测温度的分析,得到底板温度变化曲线(见图5)。由图5可知:底板不同深度处的温差很小,在2℃左右;测点9、10因为

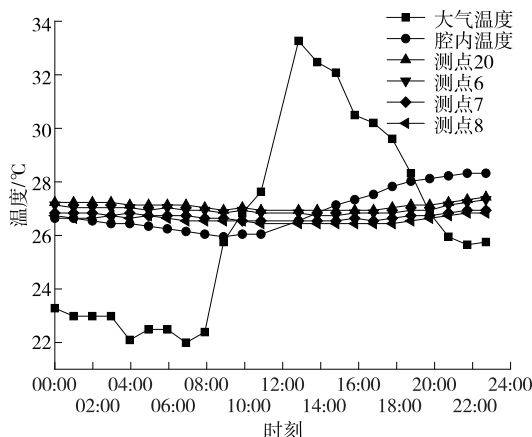


图4 腹板温度变化曲线

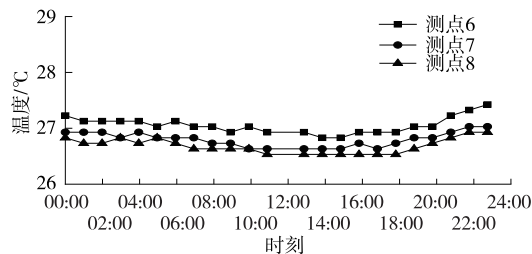


图5 底板温度变化曲线

靠近底板,受大气温度影响,温度变化幅度有所增加。

3 主梁截面沿梁高温度梯度拟合

桥梁结构的温度场分布为三维温度场,由于桥梁竖向高度和横向宽度远小于桥梁纵向长度,其温度场对桥梁结构的影响很小,可忽略纵向温度场,把三维温度场转化为一维竖向高度或横向宽度温度场进行分析。这里只分析沿梁高的竖向温度场来研究竖向温度梯度。

根据文献[9],单箱多室截面的中腹板左右两侧受箱内温度影响温度变化幅度较小,其他部分温度变化与单箱单室箱梁温度场分布类似。最不利时刻(14:00时)温度沿截面竖向的分布见表1、表2。

由于温度在混凝土中的梯度是非线性的,通过

表 1 内腹板温度沿截面竖向的分布

距梁顶面的 距离 y/m	温差 $T/^\circ\text{C}$	距梁顶面的 距离 y/m	温差 $T/^\circ\text{C}$
0.04	10.7	0.24	2.0
0.09	8.1	1.60	0.0
0.14	4.9	2.96	-0.2
0.19	3.7	3.06	-0.4

表 2 中腹板温度沿截面竖向的分布

距梁顶面的 距离 y/m	温差 $T/^\circ\text{C}$	距梁顶面的 距离 y/m	温差 $T/^\circ\text{C}$
0	6.4	1.0	0.0
0.1	4.6	1.6	0.0
0.2	1.7	2.2	0.1
0.3	0.1	3.0	-0.3

指数函数对数据进行拟合,拟合公式为:

$$T_y = T_0 e^{-ay}$$

式中: T_y 为计算点的温差值; T_0 为箱梁截面竖向高度方向的最大温差; a 为系数; y 为计算点到箱梁顶面的距离。

将温度在梁高 1.6 m 处分成两部分,取腹板平均温度作为此处的温度,并假定此处温差为 0°C 。运用 MATLAB 软件对数据进行拟合,得出内腹板处 $T_0=14.74^\circ\text{C}$ 、 $a=5.92$,中腹板处 $T_0=10.47^\circ\text{C}$ 、 $a=8.96$ 。对上述两种情况的 T_0 和 a 取整,拟合得 $T_{y1}=15e^{-6y}$, $T_{y2}=10e^{-9y}$ 。利用 MATLAB 软件对数据进行拟合,结果见图 6。

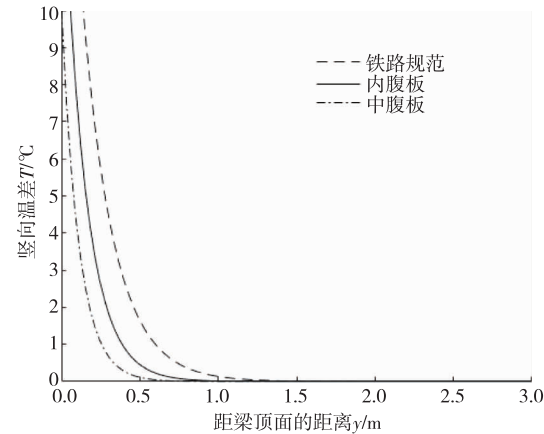


图 6 拟合温度分布曲线

由图 6 可知:单箱多室箱梁由于日照温差在沿梁高的温差拟合曲线的变化规律与《铁路桥涵混凝土结构设计规范》中由于日照温差在沿梁高方向的温差曲线相同,但由于内腹板受到太阳辐射的影响

较小,竖向温差值有所减小;越接近边缘,腹板上的温差变化与《铁路桥涵混凝土结构设计规范》规定的温度梯度更接近,这是因为该规范一般是针对单箱单室截面,没有考虑内腹板的温度分布。梁高 0.5 m 内的温差明显,梁高大于 0.5 m 时温度分布较均匀,说明太阳辐射对箱形梁顶板的影响深度在 0.5 m 左右。

4 温差对主梁挠度的影响

为研究不同温度对主梁梁端挠度的影响,确保合龙后主梁达到设计线形和内力状态,保证成桥质量,对 21# 块梁端标高进行 24 h 连续监控,监控结果见图 7。

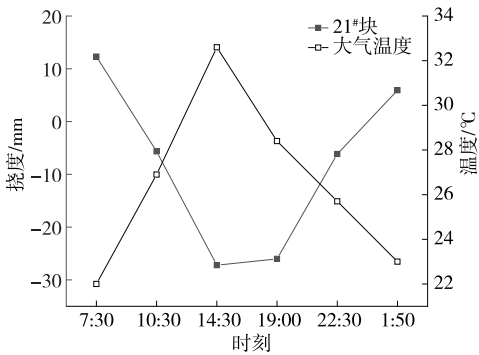


图 7 时间-挠度-温度变化曲线

由图 7 可知:1) 随着温度上升,箱梁上下表面温差逐渐增大,梁端向下挠度逐渐增加,14:30 时达到最大,为 -27.2 mm ;之后随着温度降低,梁端向下挠度逐渐减小,向上挠度逐渐增加,在 7:30 时达到最大,为 12.7 mm 。2) 在上午和下午相同气温下,梁端挠度有较大区别,这是因为混凝土是热量的不良导体,经过中午和下午的太阳照射,箱梁内部温度升高,虽然晚上温度降低,但梁的变形恢复较慢,形成由温度造成的变形恢复滞后效应。大气温度降到最低时向上挠度不是最大的,温度上升至最高时向下挠度也不是最大的。

5 有限元分析

采用 BDCMS 软件进行建模分析,将所测各时刻截面上下缘温度数据输入 BDCMS 软件中,分析不同温度对梁端挠度的影响。观察发现经过夜晚的散热,可以近似认为在太阳出来之前箱梁截面的温度基本一致。以 7:00 时的温度为标准值,计算结果见表 3。

表3 各时刻温度对主梁21#块挠度影响的

理论值和实测值

℃

时刻	大气温 度/℃	表面温 度/℃	内腔温 度/℃	理论挠 度/mm	实测挠 度/mm
7:00	22.0	25.1	26.2	10.3	12.6
9:00	25.8	26.8	26.0	-3.6	-5.6
14:00	32.6	37.5	26.9	-16.5	-27.2
18:00	29.7	36.1	27.9	-11.2	-26.0
22:00	26.9	33.5	28.2	-5.7	-6.1
2:00	24.0	29.7	28.3	2.8	6.0

由表3可知:1)在大气温度影响下,梁端挠度变化很大,14:00时挠度为-27.2 mm,22:00时挠度为-6.1 mm。若忽略温度影响进行施工控制,会给施工精确性带来很大影响。在斜拉桥主梁悬臂施工过程中要严格控制温度变化对主梁的影响,这对主梁线形控制及合龙时间选择至关重要。2)实测挠度比理论挠度稍大,这是因为在实际测量过程中主梁受到各种因素耦合作用的影响。可通过温控模拟分析方法对实测数据进行校核,从而定性地对实测数据进行分析。

6 结论

(1)温度变化对主梁挠度有很大影响,不能忽略不计,且温度变化对主梁的影响存在滞后,在大跨径斜拉桥施工监控中要把温度监控放在重点位置。

(2)挠度变化与温度变化呈相反的趋势,温度上升则挠度向下发展,温度下降则挠度向上发展。主梁挠度的形成与大气温度并无直接的联系,而与梁上下表面温差有关。

(3)单箱多室箱梁在顶板上存在横向温度梯度,且与混凝土深度有关。有腹板的顶板温度上升慢,没有腹板的顶板温度上升快,顶板温度由顶

板中点向腹板方向递减,随着时间的增加这种现象减弱。

(4)单箱多室箱梁由于内腹板的存在温度梯度的温差值减小,靠近边缘腹板的温差分布曲线与《铁路桥涵混凝土结构设计规范》的温差分布曲线更接近。

参考文献:

- [1] 刘国坤,颜东煌,涂光亚.混凝土斜拉桥施工控制中温度对主梁标高的影响[J].长安大学学报(自然科学版),2017,37(6):63-69+77.
- [2] 谢青华.大跨径预应力混凝土连续箱梁桥温度效应分析[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [3] 周兴林.大跨度斜拉桥温度场与温度效应分析[D].昆明:昆明理工大学,2020.
- [4] 王毅,叶见曙.混凝土箱梁悬臂施工中温度梯度对标高影响的分析与控制[J].公路交通科技,2009,26(8):89-93+98.
- [5] 樊健生,刘诚,刘宇飞.钢-混凝土组合梁桥温度场与温度效应研究综述[J].中国公路学报,2020,33(4):1-13.
- [6] 顾斌,谢甫哲,雷丽恒,等.大跨桥梁结构三维日照温度场计算方法[J].东南大学学报(自然科学版),2019,49(4):664-671.
- [7] 刘诚.钢-混凝土组合桥梁的温度场和温度效应研究[D].北京:清华大学,2018.
- [8] CLARK J H.Evaluation of thermal stresses in a concrete box girder bridge[D].Washington:University of Washington,1989.
- [9] 王永宝,赵人达,张双洋.桥梁结构温度场测点布置方法[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2016,32(2):271-278.

收稿日期:2021-08-31

(上接第78页)

而上升,其中级配2、级配3对荷载的影响较敏感。

(3)推荐使用级配1作为AC-13型沥青混合料的设计级配。

参考文献:

- [1] 魏密,周进川.旋转压实试件的高温蠕变特性研究[J].重庆交通学院学报,2004,23(5):56-58.
- [2] 王随原,周进川.SBS改性沥青混合料蠕变性能试验研究[J].公路交通科技,2006,23(12):10-15.

- [3] 祁峰.采用蠕变试验评价沥青混合料的高温稳定性研究[D].西安:长安大学,2009.
- [4] 朱云升,郭忠印,王景.高温重载条件下沥青混合料的蠕变试验[J].建筑材料学报,2008,11(5):545-548.
- [5] 张裕卿,黄晓明.高温重载下沥青混合料变形特性三轴重复荷载蠕变试验研究[J].公路,2006(12):151-156.
- [6] 张争奇,罗要飞,栗培龙,等.基于重复加载蠕变试验的沥青混合料高温性能研究[J].武汉理工大学学报,2014,36(4):58-61.

收稿日期:2021-12-07