

文章编号:1671-6833(2011)02-0062-04

混凝土桥塔温度场和空间应力场分析

任翔¹,何青²,佟阳³,黄平明⁴

(1. 西安科技大学 建筑与土木工程学院,陕西 西安 710054;2. 宜昌市长江大桥建设开发公司,湖北 宜昌 443000;3. 石家庄市公路管理处,河北 石家庄 050081;4. 长安大学 桥梁与隧道陕西省重点实验室,陕西 西安 710064)

摘要:混凝土桥塔等薄壁结构在使用期内产生的裂缝已成为大体积混凝土开裂的新问题,日照非线性温差荷载是导致这类结构开裂的重要因素之一.选取了3个典型的季节——冬季、春季和夏季,测试了某悬索桥混凝土桥塔表面温度场,分析了3个季节下塔壁高度、厚度方向温差随时间的变化规律,并以日照温度场测试数据为基础,分析了塔壁厚度方向最不利温差作用下桥塔的空间应力分布.

关键词:桥梁工程;桥塔;温度场;变化规律;温度应力

中图分类号: U443.38 **文献标志码:** A

0 引言

混凝土桥塔是斜拉桥、悬索桥等结构体系的重要组成部分.混凝土桥塔等薄壁结构在使用期内产生的裂缝已成为大体积混凝土开裂的新问题.特别是日照非线性温差荷载引起的混凝土桥梁结构温度应力一般很大,往往超过结构恒载、活载及其它荷载产生的应力,是导致混凝土桥塔等薄壁结构开裂的重要因素之一^[1].目前,国内外对混凝土桥梁结构温度效应的研究主要集中于上部混凝土箱梁结构,而下部结构温度效应的研究很少,诸如:预应力混凝土连续刚构桥、斜拉桥、悬索桥混凝土桥墩、塔柱等^[2-7].因此,研究下部桥墩、桥塔等大体积混凝土结构的温度效应,对研究混凝土开裂问题有着重要的工程价值和意义^[8].

笔者依托背景桥梁,对混凝土桥塔在3种典型季节下塔日照温度场进行了观测,分析了混凝土桥塔结构的温度场随时间的变化特征和规律.并以日照温度场测试数据为基础,分析了塔壁厚度方向最不利温差作用下桥塔的空间应力分布.

1 温度场观测时间和测点位置

1.1 测试时间

分别于2009年1月11日—12日、3月30日—

31日和8月24日—25日进行了3次桥塔温度场测试.每次观测,从早晨6:00开始,每间隔2h测试一次,一直观测到次日午夜0:00结束.

1.2 测试断面布置

某双塔单跨钢箱梁悬索桥,大桥桥塔采用H型空心矩形箱结构,塔高分别为142.27m和112.415m,桥塔塔肢为横桥向5m等宽,顺桥向宽度按100:1的斜率渐变,由塔顶6m渐变至北塔塔肢承台台顶8.248m,南塔塔肢承台台顶8.845m.

桥塔4个塔肢所受日照辐射情况相近,在温度场测试时,仅选取北塔下游塔肢.温度测试断面选在距桥面以上1m处的桥塔横断面,在每个塔壁内、外侧表面分别设置5个测点,桥塔温度测试断面及测点布置见图1.

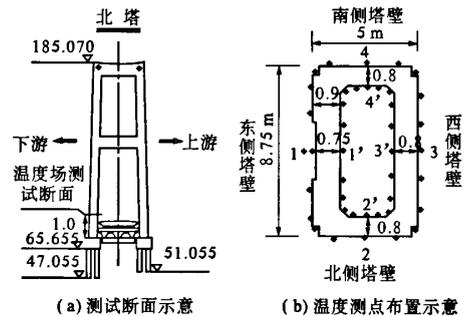


图1 桥塔温度测试断面及测点布置

Fig.1 Temperature testing section and measuring points arrangement

收稿日期:2010-10-10;修订日期:2010-11-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50808018)

作者简介:任翔(1979-),男,内蒙古呼和浩特市人,西安科技大学讲师,博士,主要从事桥梁结构加固与维护研究,E-mail:

renxiang798@163.com.

图 1 中:1 和 1' 表示横桥向下游东侧塔壁外、内表面;2 和 2' 表示顺桥向北侧塔壁外、内表面;3 和 3' 表示横桥向上游西侧塔壁外、内表面;4 和 4' 表示顺桥向南侧塔壁外、内表面;图中尺寸单位均为 m.

2 日照温度场随时间的变化

2.1 桥塔高度方向温度场

图 2 显示了 2009 年 1 月 12 日 10:00 沿塔高方向的温度场. 水平轴为温度测点距桥面的距离, 竖轴为沿塔高方向的温度值. 由图 2 可见, 桥塔沿高度方向的温度变化平缓, 最大温差仅为 2.7℃, 可以忽略高度方向的温度变化.

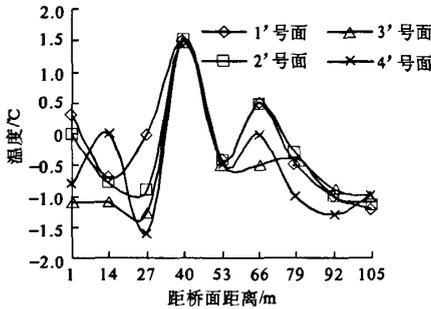


图 2 1月12日10:00时桥塔高度方向的温度
Fig.2 Temperature field along height direction of bridge tower on January 12 at 10 am

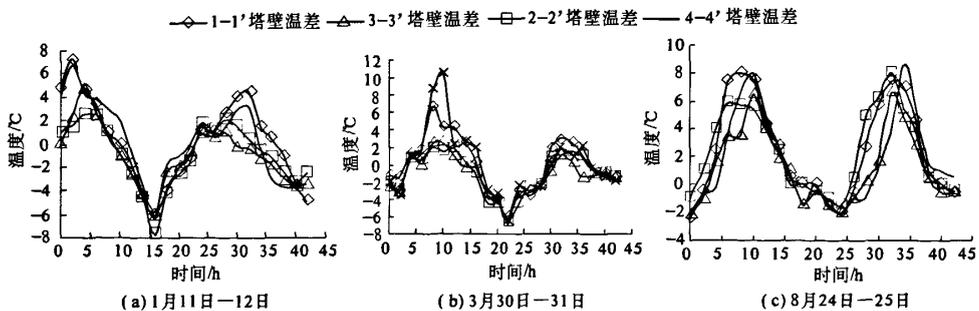


图 3 塔壁内外表面温差随时间的变化
Fig.3 Temperature difference change with time of tower-wall

2.2 塔壁截面厚度方向的温差

图 3 所示的是 3 个季节下塔壁内外表面壁厚方向的温差值. 图中水平轴为温度测试时刻, 0 时刻为测试日上午 6:00, 图中各个时刻对应的数值为外表面和内表面温差值. 可以看出, 3 个季节下塔壁内外表面温差在 2 d 内随时间均近似呈正弦曲线规律变化. 2009 年 1 月 11 日—12 日 2 d 内, 各个测试面的最大正温差和最大负温差分别发生在 8:00 左右和 22:00 左右. 东、北、西和南 4 个塔壁内外表面最大正温差分别为 7.5, 2.5, 4.8 和 6.8℃, 最大负温差分别为 -6.2, -7.5, -6.1 和 -5.8℃. 3 月 30 日—31 日 2 d 内, 各个测试面的最大正温差均发生在 14:00 左右, 最大负温差分别发生在 4:00 左右. 东、北、西和南 4 个塔壁内外表面最大正温差分别为 6.6, 2.0, 2.5 和 9.3℃, 最大负温差分别为 -6.0, -6.8, -6.5 和 -5.9℃. 8 月 24 日—25 日 2 d 内, 各个测试面的最大正温差大约发生在 14:00 到 16:00 这个时间段, 最大负温差分别发生在 4:00 到 6:00 左右. 东、北、西和南 4 个塔壁内外表面最大正温差分别为 8, 6.2, 6.5 和 8℃, 最大负温差分别为 -2, -1.5, -1.5 和 -1.5℃.

3 混凝土桥塔高度方向应力场分布

3.1 基本参数及荷载工况

根据计算需要, 选取的基本参数及取值为: 混凝土热传导系数为 2.4 J/(m · s · K), 比热为 950 J/(kg · K), 密度为 2 550 kg · m⁻³, 弹性模量为 3.45E + 10 MPa, 泊松比为 0.2, 热膨胀系数为 1.00E - 05/℃. 依据混凝土桥塔 3 个季节温度场测试数据, 选取出现最大正温差和最大负温差时

刻作为控制因素, 考虑 2 种最不利时刻温差作用, 其测试值见表 1.

表 1 温差作用工况
Tab.1 The temperature difference cases

最不利工况	测试时间	各塔壁温差作用值/℃			
		东侧	北侧	西侧	南侧
最大正温差	2009-08-24T14:00	8.0	5.7	3.5	6.6
最大负温差	2009-01-11T22:00	-6.2	-7.5	-6.1	-5.8

3.2 有限元模型

选取北塔下游塔肢进行了应力场的空间仿真分析.数值模型采用大型通用有限元程序 ANSYS 建立空间模型,混凝土桥塔空间温度场分布求解采用 SOLID87 单元,对应的结构分析单元为 SOLID92 单元.全桥共划分单元数为 108 545 个,节点数为 197 339 个.北塔实体有限元模型如图 4 所示.桥塔应力场空间分布包括沿塔高方向应力分布和沿截面长宽方向应力分布^[9],桥塔表面应力观察路径如图 5 所示.应力观察路径由塔底到塔顶,其中 b(B),d(D),e(E),f(F)表示塔壁内(外)表面中心线位置;a(A),c(C)表示东塔壁内(外)表面距离塔壁边缘 0.5 m 处的应力观察路径.



图 4 北塔实体有限元模型

Fig. 4 Finite element model of north tower



图 5 桥塔截面形式及应力观察路径

Fig. 5 Section type and stress observe path

3.3 混凝土桥塔高度方向应力状态

图 6 为正温差作用下桥塔结构内表面第一主应力值.由图 6 看出,考虑桥塔壁厚正温差后,内表面出现了拉应力.沿桥塔高度方向上,距桥面 1 m 以上,塔顶 25 m 以下范围内拉应力较大,最大主拉应力出现在东侧塔壁内表面中线(路径 b)距塔底 25.8 m 处.

图 7 为负温差作用下桥塔结构外表面第一主应力值.由图 7 可以看出,考虑桥塔壁厚负温差后,外表面出现了较大的主拉应力.沿桥塔高度方

向上,距桥面 15.5 m 以上至塔顶范围内拉应力较大,且最大主拉应力出现在东侧塔壁外表面中线(路径 B)距塔底 15.5 m 处.

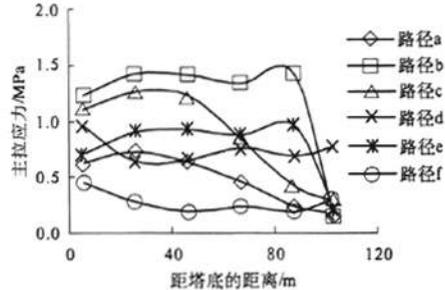


图 6 正温差作用下内表面沿高度方向应力分布

Fig. 6 Stress distribution along the high direction of the tower under the positive temperature difference

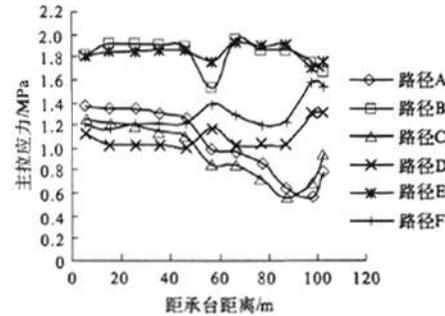


图 7 负温差作用下外表面沿高度方向应力分布

Fig. 7 Stress distribution along the high direction of the tower under the negative temperature difference

3.4 混凝土桥塔截面方向应力分布

选取北塔下游塔肢距塔底 25.8 m 处的截面,给出了正温差作用下塔壁内表面主应力分布状况;选取北塔下游塔肢距塔底 15.5 m 处的截面,给出了负温差作用下塔壁外表面主应力分布状况,如图 8 所示.

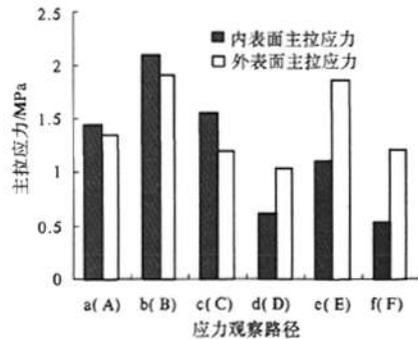


图 8 塔壁内(外)表面主拉应力分布

Fig. 8 The stress distribution of tower wall inside and outside surface

由图8可得出以下结论:①正温差作用下,东侧塔壁内表面中线位置上(b路径上)的主拉应力最大,无论最大壁厚温差是否发生在东侧塔壁,最大拉应力约为2.1 MPa,对应壁厚温差8.0℃。②负温差作用下,东侧塔壁和西侧塔壁外表面的主拉应力均比其它两个塔壁外表面的主拉应力大,无论最大壁厚温差是否发生在东侧塔壁和西侧塔壁,且在每个塔壁外表面中线上(路径B、路径E),主拉应力最大,其值约为1.92 MPa,对应负温差为6.0℃。③桥塔内表面或外表面的主拉应力的方向始终沿水平方向。

4 结论

(1)冬、春、夏3个季节下,塔壁厚度方向的最大正温差相差不大,都在8℃左右;最大负温差有所不同,冬季和春季的最大负温差均比夏季的负温差大,冬季和春季的最大负温差在-7℃~-6℃之间,而夏季的最大负温差未超过-2℃;

(2)在塔壁最大正、负温差作用下,东侧和西侧塔壁内外表面沿高度方向中线部位出现了较大的拉应力,而且拉应力值已达到甚至超过了混凝土的抗拉强度,极易引起混凝土开裂,设计时予以重视。

参考文献:

[1] 任翔. 温度对悬索桥索股垂度的影响分析[J]. 郑

州大学学报:工学版,2009,30(4):22-25.

- [2] PRIESTLEY M J N. Thermal gradients in bridges—some design considerations [J]. *New Zealand Engineering*, 1972, 27(7): 228-233.
- [3] KENNEDY J B, SOLIMAN M H. Temperature distribution in composite bridges [J]. *Journal of Structural Engineering*, 1987, 113(3): 475-482.
- [4] DILGER W H, AMIN GHALI, CHAN M, et al. Temperature stress in composite box girder bridges [J]. *Journal of Structural Engineering*, 1983, 109(6): 1460-1479.
- [5] 何柏雷. “太阳把桥晒跑了?”——深圳市某立交A匝道桥事故分析[J]. *城市道路与防洪*, 2002(2): 39-43.
- [6] 张羽,胡兆同,贾润中. 钢筋混凝土连续弯箱梁桥的温度梯度[J]. *长安大学学报:自然科学版*, 2006, 26(4): 58-62.
- [7] 张敬珍,黄平明,徐岳. 整体现浇斜板桥的裂缝成因[J]. *长安大学学报:自然科学版*, 2003, 23(5): 40-42.
- [8] BRANCO P A, MENDES P A. Thermal actions for concrete bridge design [J]. *Journal of Structural Engineering*, 1993, 119(8): 2313-2331.
- [9] FU H C, NG S F, CHEUNG M S. Thermal behavior of composite bridges [J]. *Journal of Structural Engineering*, 1990, 116(12): 3302-3323.

Temperature and Stress Fields Analysis of Concrete Bridge Tower

REN Xiang¹, HE Qing², TONG Yang³, HUANG Ping-ming⁴

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Yichang Changjiang River Bridge Co. Ltd, Yichang 443000, China; 3. Highway Management Agency of Shijiazhuang City, Shijiazhuang 050081, China; 4. Key Laboratory for Bridge and Tunnel of Shaanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Cracking of concrete thin-walled structures such as bridge towers during the operation has become one of the new problems in the mass concrete structures. Non-linear thermal load of the sunshine is an important factor for the structure cracking. Temperature fields of three typical seasons: winter, spring and summer are tested such as internal and external surface temperature field of a suspension bridge tower. Taking sunshine temperature field test data as the foundation, temperature variation, such as the height direction temperature, tower wall the thickness direction temperature with time, is analyzed, space stress distribution of the tower has analyzed under the most disadvantageous temperature difference along the tower wall thickness direction.

Key words: bridge engineering; bridge tower; temperature fields; variation; thermal stress