

高墩连续大跨预应力刚构桥温度效应影响分析

胡竞先

(珠海市规划设计研究院, 广东 珠海 519002)

摘要: 运用平面杆系有限元程序 BDCMS 计算软件, 拟合温差分布模式, 计算高墩大跨连续刚构桥施工过程中梁体、墩身在均匀温度和梯度温度下的应力, 得出测点理论值应力变化, 并与实测结果做对比。阐述结构在温度变化过程中应力变化特点。

关键词: 高墩连续大跨; 连续刚构; 温度; 梯度

中图分类号: U445

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2009)02-0006-04

Research on Temperature Effects on Prestressed Concrete Continuous Rigid Frame Bridge with High Pier and Large Span

Hu Jingxian

(Institutes of Planning and Design of Zhuhai City, Zhuhai Guangdong 519002, China)

Abstract: Based on calculation software of limited element program BDCMS of plane bar system and its temperature difference distribution mode, the theory of value change is gained, and the measured results are compared by calculating the stress under uniform temperature and gradient temperature of bridge body and frustra body in the process of continuous rigid frame bridge with large-span and high-pier construction. It also sums up the characteristics of stress change of the construction under the temperature change.

Key words: high pier and large span; continue rigid frame bridge; temperature; gradient

随着混凝土空心高桥墩、大跨度预应力混凝土箱梁桥等结构的发展, 温度效应及其对混凝土结构的危害越来越引起人们的重视^[1]。对混凝土材料的高墩大跨度桥梁而言, 由于其设计参数(如材料特性、截面特征等)的选取、施工工况(如混凝土收缩徐变、预应力损失、温度、施工荷载等)的确定、以及结构分析简化模型的建立受混凝土材料的非均匀性和不对称性的影响, 使得其结构的实际应力与设计应力很难完全吻合, 亦即计算应力不能完全真实地反映结构实际应力状态。在预应力混凝土桥梁结构施工中, 应对结构的控制截面应力做详细的监测, 一方面验证设计, 检验施工中混凝土的弹性模量、预应力筋张拉的实际

情况, 从而较准确地掌握施工中结构的真实应力状态; 另一方面也可以通过监测发现温度、日照的影响规律, 用以指导后续施工, 同时也为同类工程积累经验数据^[2]。

1 温度作用效应分析

桥梁结构中由日照、骤然降温、年温度变化等温差效应引起的最大应力可以达到甚至超过活载应力, 这已被公认为是预应力混凝土桥梁产生裂缝的主要原因。年温度差是指常年缓慢变化的年气温, 它对结构的影响主要是导致桥梁的纵向位移, 一般通过桥面伸

收稿日期: 2008-11-18

作者简介: 胡竞先(1973-), 男, 湖南益阳人, 珠海市规划设计研究院工程师, 主要从事路桥设计与研究工作,

E-mail: hujingxian@126.com

缩缝、支座位移或柔性墩等构造措施相协调，只有在结构的位移受到限制时才会引起温度次内力；日照辐射及寒冷骤然降温则属于局部温差影响，将导致结构的温度次内力，而温度次内力则是产生结构裂缝的主要因素^[3]。

1.1 实例简介

位于沪瑞国道主干线 GZ65（贵州境）镇宁——胜境关高速公路段的平寨特高墩大跨特大桥全长 1 382 m，分左右幅，双向 4 车道，桥宽 24.5 m，设计行车速度 80 km/h，设计汽车荷载为公路 I 级；主桥为 130 m+3 × 235 m+130 m 的预应力混凝土连续刚构桥，主桥箱梁采用单箱单室截面，刚构根部梁高 13.4 m，跨中梁高 4.1 m，下部结构采用双肢薄壁墩，最高墩高 100 m；引桥为 8 × 40 m 和 2 × 40 m 的先简支后连续的 T 型梁。全桥平面位于直线段，最大纵坡为 4.6%，最小纵坡为 2.8%；横桥向为双向 2.0% 的横坡。

1.2 均匀温度作用效应分析

计算桥梁结构因均匀温度作用引起外加变形或约束变形时，应以结构受到约束（架梁或结构合龙）时的温度作为起点，来计算最高和最低有效温度的作用效应。

平寨特大桥主桥主跨为 235 m 的 5 跨高墩大跨连续刚构桥，属高次超静定结构，均匀温度作用将对成桥后的结构产生温度次内力。该桥设计合龙温度为 15℃，贵州地区最高和最低有效温度分别为 34℃ 和 -3℃。因此，为了研究均匀温度作用对桥梁结构的影响，本文利用平面杆系有限元程序 BDCMS，计算分析了全桥在整体均匀升温 19℃、降温 18℃ 2 种温度作用下的受力情况，并将部分计算结果示于表 1 及图 1~4。

表 1 主梁温度应力计算结果

Fig. 1 The stress calculation result of main girder temperature

温度情况	项 目			
	下缘最大应力	下缘最小应力	上缘最大应力	上缘最小应力
升温 19℃	0.66 MPa	-2.37 MPa	0.53 MPa	-1.42 MPa
降温 18℃	2.25 MPa	-0.62 MPa	1.34 MPa	-0.50 MPa

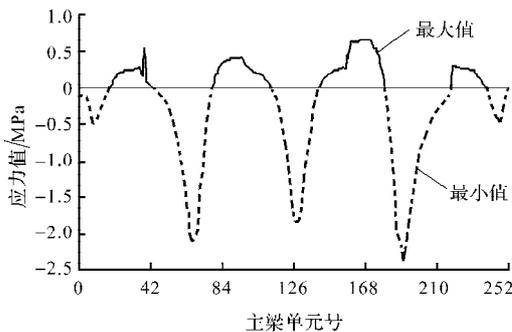


图 1 主梁下缘应力包络图（升温时）

Fig. 1 The stress envelope graph of lower margin for main girder when the temperature is rising

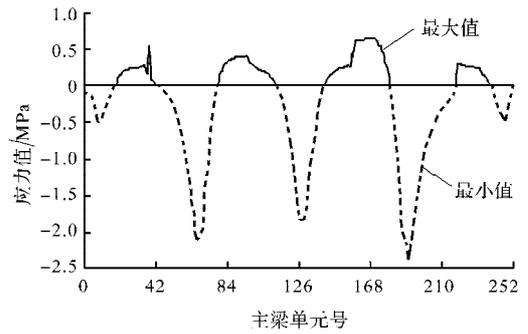


图 2 主梁上缘应力包络图（升温时）

Fig. 2 The stress envelope graph of upper margin for main girder when the temperature is rising

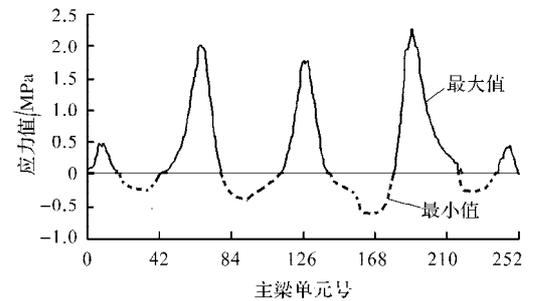


图 3 主梁下缘应力包络图（降温时）

Fig. 3 The stress envelope graph of lower margin for main girder when the temperature is lowering

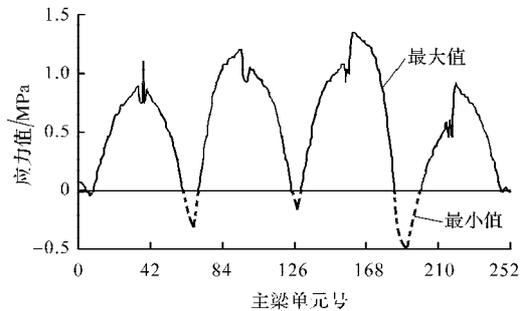


图 4 主梁上缘应力包络图（降温时）

Fig. 4 The stress envelope graph of upper margin for main girder when the temperature is lowering

由表 1 及图 1~4 可知，均匀温度作用下主梁上、下缘将产生较大的温度应力，对结构受力不利；降温比升温对结构影响更大。由此可知，低温合龙对结构受力是有利的，且在高墩大跨连续刚构桥的设计阶段必须考虑均匀温度作用对结构的影响。

1.3 梯度温度作用效应分析

本文拟采用新桥规的竖向温度梯度曲线，见图 5。

通常全桥合龙后铺装层未浇筑时日照温差对主梁受力影响最大，且全桥合龙到铺装层全部浇筑完成一般要经历较长时间。因此，进行该阶段混凝土箱梁的温度作用效应分析是很有必要的。本文利用有限元程序 BDCMS，进行了梯度温度作用效应对大桥混凝土箱梁的影响分析，其中竖向日照正温差计算的温度参数

取值为: $T_1=25^\circ\text{C}$, $T_2=6.7^\circ\text{C}$, A 为 300 mm。为了简化输入数据, 程序中不计算温度自应力, 而只计算温度次应力, 且直接输入引起次内力的截面下缘应变 ε_0 和截面处微段的曲率 χ , 主梁温度次应力计算结果见图 6。

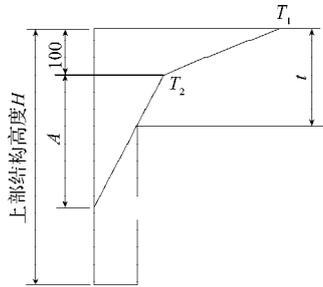


图 5 竖向梯度温度

Fig. 5 Vertical gradient temperature

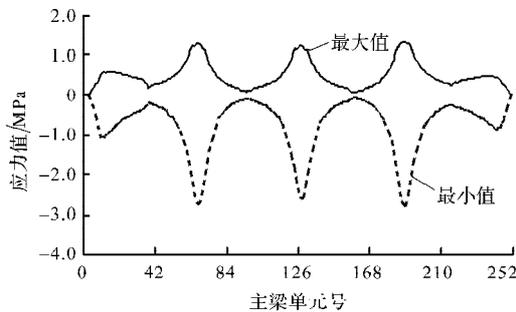


图 6 梯度温度作用下的主梁温度次应力

Fig. 6 Secondary stress of main girder under gradient temperature

由计算结果可知, 梯度温度作用下主梁上缘受拉, 下缘受压, 上缘最大温度次应力为 1.34 MPa (拉应力), 下缘最小温度次应力为 -2.38 MPa (压应力), 说明梯度温度作用将使主梁产生较大的温度次应力, 设计时必须重点考虑。

1.4 日照温差作用效应分析

1.4.1 测点分布说明

为了研究该地区日照温差作用下混凝土厚壁箱型墩的温度分布情况, 作者从气象局了解了贵州省近几年的天气情况, 选择了夏季中气温相对最高、太阳辐射强烈、风速小的晴好天气进行了 1 次 24 h 连续观测。温度测试截面选择在右幅主桥 12 号主墩靠次边跨离墩底 22.5 m 的箱型截面上, 其温度测点布置见图 7。

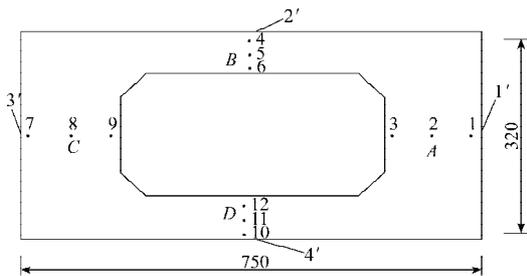


图 7 主墩截面内部及表面温度测点布置图

Fig. 7 Layout of measured points of inner and surface temperature of main pier section

采用振弦式测试仪对温度传感器进行读数的方法对混凝土内部及表面温度进行测试, 桥址环境温度采用普通水银温度计测量。

1.4.2 模型建立与计算结果对比

日照辐射使得暴露在大气中的混凝土箱墩截面, 特别是向阳侧, 沿壁板厚度方向产生较大的温差, 参照国内外规范及经验公式, 考虑到实际工程中各种影响因素的复杂性, 可确定最大温差时刻混凝土箱墩沿其壁板厚度的温差分布模式为 $T_y=15e^{-10}y$ 。本文将研究在这种温差分布模式下, 混凝土厚壁箱形高桥墩的变形和温度应力情况, 用 ANSYS 有限元软件对其进行建模分析, 空间单元选用 SOLID65, 模型如图 8 所示。本文考虑桥墩顺桥向一侧受正晒这种最不利情况, 温度作用采用拟合的温度分布模式 $T_y=15e^{-10}y$ 。由于本文所采用的计算模型为空间实体模型, 温度作用可按节点位置离散到单元节点上。

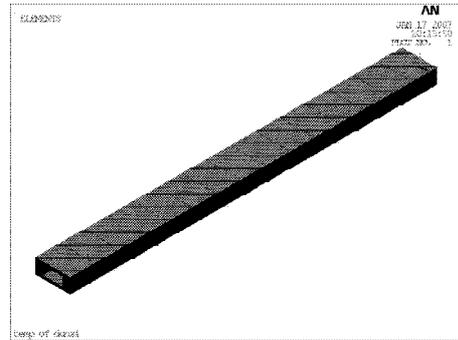


图 8 计算模型

Fig. 8 Calculation model

图 9 示出了桥墩在温度作用下的温度应力云图。

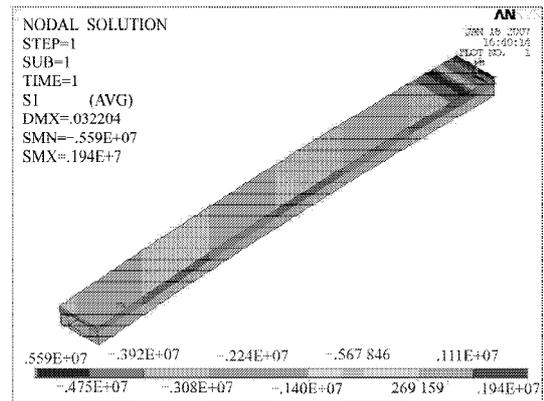


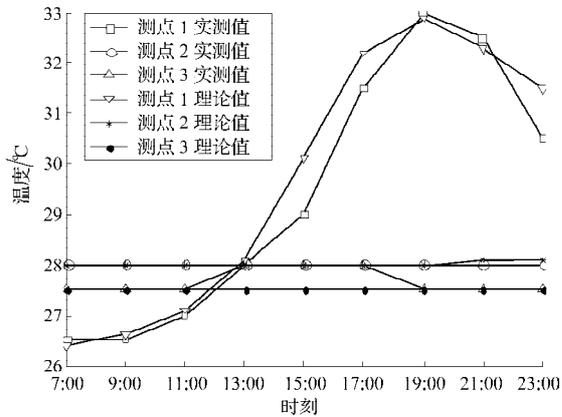
图 9 第一温度主应力云图

Fig. 9 The main stress nephogram of the first temperature

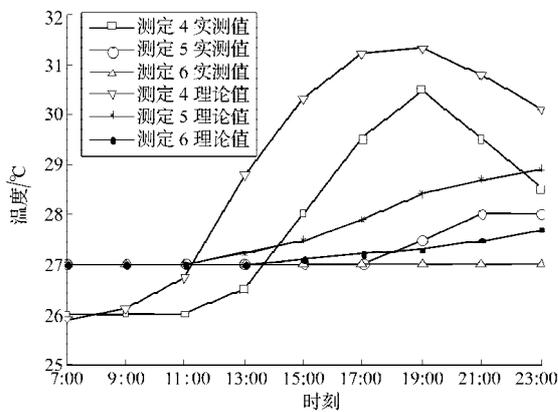
由图 9 可以看出, 在 $T_y=15e^{-10}y$ 的温度作用下, 12 号主墩墩顶将产生 3.2 cm 的顺桥向偏位, 且将使桥墩向阳侧内表面产生较大的温度拉应力, 影响桥墩的线形, 甚至使桥墩产生温度裂缝, 严重影响桥墩的外观和使用性能, 对结构造成危害。因此, 在此类型桥梁设计和施工时, 除考虑温度作用效应对上部结构的影响外, 还要特别注意温度作用效应对下部墩柱结构的

影响。

图10为箱墩截面中一些测点温度计算值和当日实测值的比较。



a) A侧测点计算值与实测值比较



b) B侧测点计算值与实测值比较

图10 箱墩截面测点计算值与实测值比较

Fig. 10 Comparison of box pier section between calculation value and measurement value

从图10可以看出,箱墩截面A、B侧3个测点的温度计算值与实测值比较吻合,计算值与实测值最大偏差为1.6℃,且测点温度走势基本一致。

2 结语

1) 均匀温度作用将使成桥运营阶段的结构产生较大温度应力,对结构造成较大危害,降温比升温对结构受力更不利。实际施工时要对预顶力方案进行温度修正。

2) 梯度温度作用对混凝土箱梁受力影响很大,它将使主梁产生较大的温度次应力,对结构不利,设计时必须重点考虑。在实际计算中应根据桥梁所处的环境,选取适当的温度梯度模式进行计算,必要时须通

过试验来确定其特征值,如果温度梯度模式选用不当,即使增大温度效应设计值,也不能保证施工过程中结构不出现裂缝。

3) 日照辐射使得暴露在大气中的混凝土箱墩特别是向阳侧沿壁板厚度方向产生较大的温差,这温差将使桥墩受力不利。计算结果表明,在 $T_y=15e^{-10}y$ 的温度作用下,墩高为79m的高墩桥主墩墩顶将产生3.2cm的顺桥向偏位,桥墩向阳侧内表面沿横桥向将产生较大的温度拉应力,最大拉应力达1.50MPa,对结构可能造成危害。

参考文献:

- [1] 李宏江,李湛,王迎军,等.广东虎门辅航道连续刚构桥混凝土箱梁的温度梯度研究[J].公路交通科技,2005,22(5):67-70.
Li Hongjiang, Li Zhan, Wang Yingjun, et al. Study on Temperature Gradient of Concrete Box Girder of Continuous Rigid Frame Bridge over Humen Auxiliary Navigation Pass of Guangdong Province[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(5): 67-70.
- [2] 余辉,杨转运,王羽.连续刚构特大桥施工温度及应力监测[J].山东交通学院学报,2005,13(4):52-56.
Yu Hui, Yang Zhuanyun, Wang Yu. On Temperature and Stress Monitored in the Construction of Continuous Rigid Frame Bridge[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2005, 13(4): 52-56.
- [3] 王林,项贻强,汪劲丰,等.各国规范关于混凝土箱梁桥温度应力计算的分析与比较[J].公路,2004(6):76-78.
Wang Lin, Xiang Yiqiang, Wang Jingfeng, et al. Analysis and Comparison of Concrete Box Bridge Temperature Stress Based on National Criteria[J]. Highway, 2004(6): 76-78.
- [4] 汪剑,方志,颜江平.混凝土箱梁日照温差的试验研究[C]//2004年全国桥梁学术会议论文集.北京:人民交通出版社,2004:774-781.
Wang Jian, Fang Zhi, Yan Jiangping. Experiment Research on Sunlight Temperature Difference for Concrete Box[C]// National Bridge Academic Conference Symposium of 2004. Beijing: China Communications Press, 2004: 774-781.
- [5] 陈耿志,谢旭,张智诚.温度场和应力场 of 预应力混凝土箱-梁桥[J].浙江大学学报,2005,39(12):1885-1890.
Chen Hengzhi, Xie Xu, Zhang Zhicheng. Temperature Field and Stress Field of Prestressed Concrete Box-Girder Bridge[J]. Journal of Zhejiang University, 2005, 39(12): 1885-1890.

(责任编辑:张亦静)