

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.04.033

预应力混凝土箱梁结构日照温差应力分析

谢 玮, 谭智杰

(中机中联工程有限公司, 重庆市 400041)

摘要: 预应力混凝土桥梁受太阳辐射, 结构表面至一定厚度范围内将产生温度差, 与此同时, 梁体自身对其内部纤维形成约束, 从而出现温度应力。运用 ANSYS 软件建立了连续刚构桥主梁实体单元模型, 重点考虑温度梯度影响, 通过对比分析不同形状梁截面对温度应力的反应, 得出腹板与顶板间加腋对腹板因温度梯度引起的拉应力影响甚微。提出腹板温度应力对预应力混凝土桥梁结构的设计过程影响甚重, 须加以考虑, 可供同型桥梁设计参考。

关键词: 预应力混凝土桥梁; 太阳辐射; 应力分布; 温度应力

中图分类号: U441+.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)04-0124-03

0 引言

混凝土箱梁在日照作用下, 向阳面的温度变化较大, 背阳面的温度变化很小, 由于混凝土材料的热传导性能差, 结构内部大部分区域仍处于原来的温度状态, 从而在箱梁中形成了较大的温度梯度。温差作用产生的变形, 受到箱梁截面的纵横向纤维约束或超静定结构体系多余约束的制约时, 就会产生很大的温差应力。理论分析及实验研究表明: 在大跨预应力混凝土箱梁桥特别是超静定结构体系中, 温差应力可以达到甚至超过活载产生的应力, 已被认为是预应力混凝土桥梁结构产生裂缝的主要原因之一。

随着桥梁跨径的不断增大, 温度效应对桥梁结构的危害也越来越大, 我国 1985 年版的公路桥梁规范《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85) 给出了 T 形截面梁的日照温差分布图, 已经不能满足箱形梁温度应力计算的要求, 新的《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015) 对此作了较大的调整。

本文就预应力混凝土桥梁结构考虑日照温差二次力以及温度应力分析建立有限元模型, 重点分析桥梁结构纵向温度效应及横向应力分布规律。给出考虑日照温差对箱梁截面应力的影响。

1 纵向温度效应

连续刚构桥由日照温差引起的应力是桥梁设计

中的一个重要因素, 主跨度 252 m 的三跨连续刚构桥在降温条件下, 在桥墩处上缘出现了接近 2 MPa 的拉应力, 远大于《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85) 的温差效应。设计时需加大压应力储备来满足此应力, 以确保结构安全。

由图 1 分析可以得出, 温度效应在主梁引起的应力均接近甚至超过了活载作用时的最大应力, 有的部位甚至数倍于活载作用的最大应力。

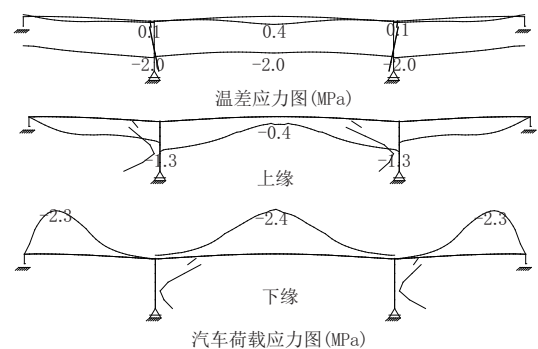


图 1 连续刚构桥纵向应力图

2 横向应力分析

(1) 桥面升温模型及温度应力

桥面升温的应力由约束自应力和变形应力两部分组成。约束自应力相当于将温度变形完全约束产生的应力, 在截面上的分布与温度的分布一致, 可以表达成如下形式:

$$\sigma_{t0} = -E_c \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

其中: σ_{t0} 为约束自应力 (拉应力为正); E_c 为混凝土弹性模量, 取值 3.3×10^4 MPa; α 为混凝土的温度变形系数, 取值 1.2×10^{-5} ; Δt 为温度增量。

桥面温度 15℃, 桥面以下 0.1 m 处温度为 5.5℃, 桥面以下 0.4 m 以下温度 0℃, 梯度分布及对应的约

收稿日期: 2022-04-20

作者简介: 谢玮(1982—), 男, 学士, 高级工程师, 主要从事道路和桥梁的设计工作。

束自应力如图 2 所示。

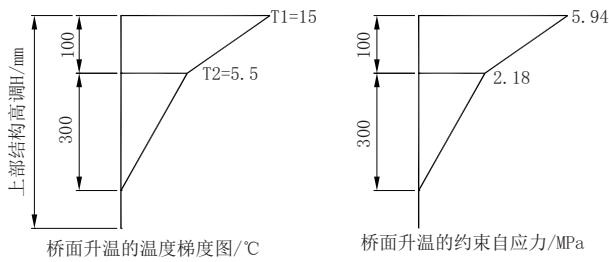


图 2 桥面升温的温度梯度及约束自应力图

变形应力与外部的约束条件有关,如果截面是完全约束的,则不存在变形,因此也没有变形应力,温度应力只有约束自应力一项;如果截面是完全自由的,则截面将产生整体变形,产生自由变形应力,如简支条件下的箱梁;对超静定结构,变形应力与整体结构的变形协调有关,由于多余约束导致温度次内力的产生。一般情况下,约束自应力的数值比变形应力大得多。

2.1 两种计算模型的温度应力比较

对于实桥的梁高 5 m 的截面,如图 3 所示,为了分析截面上的温度应力分布,假定梁段处于自由状态,下面采用两种方法计算:梁模型和空间有限元模型。

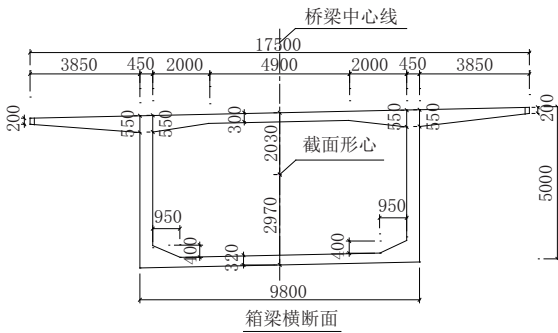


图 3 箱梁截面构造尺寸图(单位:mm)

对于梁单元,处于自由状态的变形应力可以根据如下方式计算:

$$N = - \int_A \sigma_{10} dA = - \int_0^H \sigma_{10} B dy$$

$$M = - \int_A \sigma_{10} y dA = - \int_0^H \sigma_{10} y B dy = N \cdot e_0$$

$$\sigma_y = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} y = \frac{N}{A} \left(1 + \frac{e_0}{r_0^2} y \right)$$

其中: N 为等效轴向力; M 为等效弯矩; B 为截面宽度; $A=13.786 \text{ m}^2$, $I=56.186 \text{ m}^4$;通过积分得到 $N=12\ 569 \text{ kN}$, $M=24\ 170 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

梁单元模型的温度分布如图 4 所示。

采用 solid45 单元对箱梁进行实体建模,ANSYS 实体单元模型采用的温度场如图 5 所示,实体单元

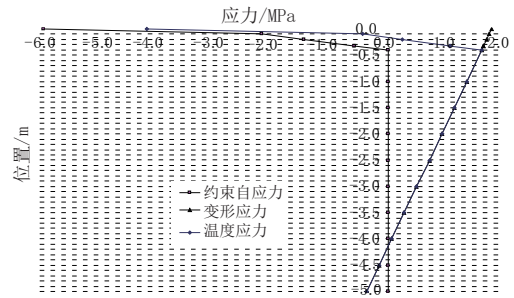


图 4 梁单元模型计算的桥面升温应力图

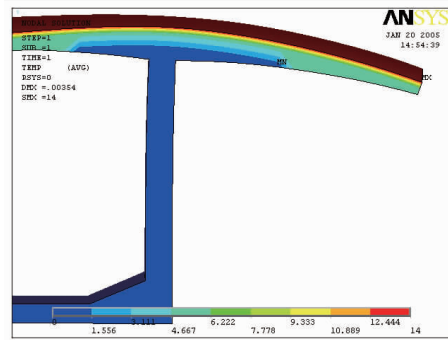


图 5 ANSYS 实体单元模型的温度场

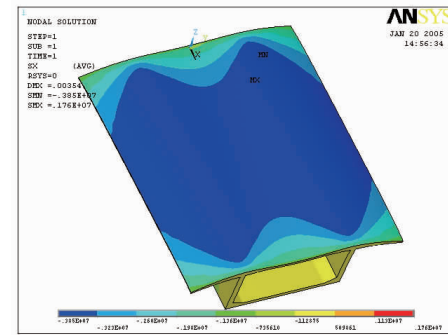


图 6 计算所得温度应力分布图

在实体模型中,沿着梁高在腹板中心线位置纵向温度自应力分布见图 7。

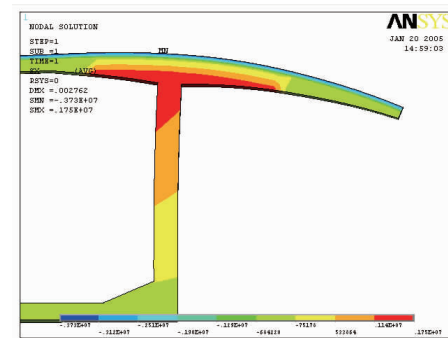


图 7 中间截面计算所得温度应力分布图

从表 1 中的数值可知,两种模型的计算结果基本一致。顶板和底板均为压应力,其中顶板压应力较大,而底板压应力数值很小。但通过 ANSYS 实体单元模型分析,箱梁的腹板均为拉应力区域,且其中最大拉应力区在承托位置,距顶板为 400 mm 的位置拉应力达到 1.6 MPa,正好是温度降为零的位置。一般

的平面有限元结构分析程序中给出的桥面升温应力往往只有上下缘的结果,这是不足以表达箱梁的温度应力的,这样就忽视了对结构抗裂影响最大的拉应力区域。

表 1 两种模型温度应力的比较

| | 箱梁顶应力 /MPa | 箱梁底应力 /MPa | 最大拉应力 /MPa |
|------|------------|------------|------------|
| 梁模型 | -4.15 | -0.37 | 1.61 |
| 实体模型 | -3.63 | -0.38 | 1.64 |

2.2 截面修改后的温度应力比较

根据实体单元模型分析结果,由于桥面升温会在腹板内产生较大的拉应力,承托和腹板交接附近位置拉应力比较大,故考虑增加承托尺寸,比较截面应力是否有所改善。计算结果如图 8 所示。

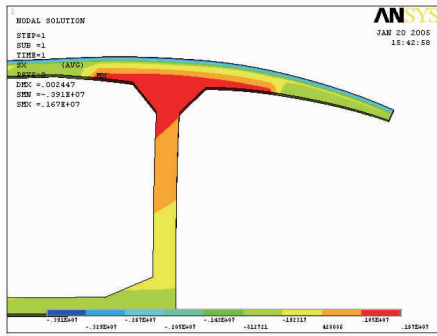


图 8 中间截面计算所得温度应力分布图

沿梁高在腹板中心线位置主梁内纵向温度应力分布见图 9。从计算结果来看,承托和腹板交接附近位置拉应力为 1.62 MPa,因此增大承托对桥面升温产生的腹板内较大的拉应力影响甚微。

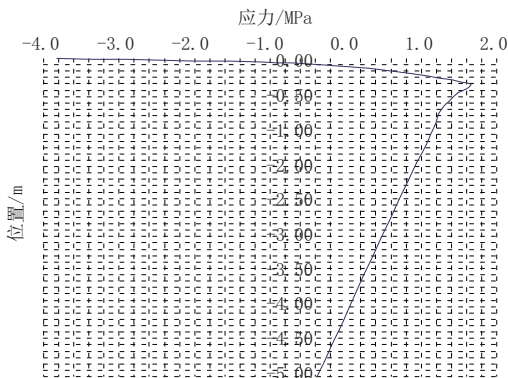


图 9 增大承托后中间截面腹板中心线纵向温度自应力

2.3 不同截面的桥面升温应力比较

选取不同梁高的典型截面,采用梁模型进行计算,比较在自由状态下由于桥面升温的应力的差别。约束自应力的分布是相同的。由于桥面板是相同的,因此计算变形应力时的等效轴向力相同, $N=12\ 569\ \text{kN}$,弯矩的不同是由于偏心距 e_0 的差别引起的。

从表 2 中结果可知,随着截面高度的增加,拉应力相应减小,顶板压应力有小幅增加。

表 2 不同高度截面桥面升温应力比较

| 截面高 / m | e_0 / m | 弯矩 / (kN·m) | 上缘应力 / MPa | 下缘应力 / MPa | 最大拉力 / MPa |
|---------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| 5 | 1.923 | 24 170 | -4.15 | -0.37 | 1.61 |
| 9.9 | 4.643 | 58 359 | -4.69 | -0.34 | 1.18 |
| 14.8 | 7.673 | 96 444 | -5.05 | -0.26 | 0.86 |

3 结 语

从上述分析表明:

(1)通过 ANSYS 实体单元模型分析,桥面升温不仅会在箱梁顶、底板产生压应力,而且会在腹板内产生较大的拉应力,其数值不容忽视,设计时应予以重视。

(2)截面高度增大时,拉应力相应减小,顶板压应力有小幅增加。

(3)超静定结构中,由于变形应力部分有一定的变化,会引起各截面上的应力发生变化,但不会改变上述结论。

参考文献:

[1] 王林,各国规范关于混凝土箱梁桥温度应力计算的分析和比较[J].公路,2004(6).
 [2] 李江山.预应力连续箱梁设计图注意的问题[J].公路,2002(2).
 [3] 王永宝,赵人达.混凝土箱梁温度梯度取值研究[J].世界桥梁,2016(5).
 [4] 陆楸,混凝土桥梁考虑温度梯度的设计[J].国外公路,1980(6).
 [5] JTG D60—2015.公路桥涵设计通用规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com