

预应力砼箱梁温度效应研究

严捷

(广东晶通公路工程建设集团有限公司, 广东 广州 510635)

摘要: 针对温度荷载作用引起预应力砼箱梁桥产生的裂缝问题, 结合某箱梁桥, 建立有限元三维模型进行数值模拟, 对比分析在中、英、美规范中温度梯度荷载分布模式下预应力砼连续箱梁的温度效应。结果表明, 预应力砼连续箱梁在温差作用下温度效应显著, 中国规范中的竖向温度梯度分布模式与美国 AASHTO 规范和英国 BS5400 规范有一定差异, 在考虑温度效应时选取合适的温度梯度分布模式至关重要; 各国规范在竖向正温差作用下的温度应力均超过砼抗拉强度设计值, 砼结构可能开裂, 实际工程中应对桥梁截面温度进行监测以准确把握结构受力情况; 进行宽桥设计时不容忽视横向温度梯度的影响。

关键词: 桥梁; 预应力砼箱梁; 温度梯度; 温度效应

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)03-0151-04

预应力砼箱形梁桥结构以其良好的抗弯、抗扭性能和稳定性等在中国公路桥梁建设中得到广泛应用。但大量在役砼箱形梁桥的顶板、底板和腹板等部位存在裂缝病害, 不仅对桥梁结构强度和刚度产生影响, 还为外界有害物质进入砼内部提供了通道, 加速钢筋锈蚀而进一步使砼开裂, 影响桥梁结构的受力性能及耐久性能。20 世纪 50 年代, 德国工程师最早发现砼箱梁开裂现象, 并初步分析了温度应力在截面上的分布; 随后, 莱昂哈特通过考察多座预应力砼箱梁的开裂问题, 发现箱梁顶、底板之间的温差可达 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 导致截面上产生较大温度应力, 温度效应对桥梁结构的影响很大, 很多桥梁结构裂缝是由对温度应力考虑不足造成的。在大跨径预应力砼连续箱梁桥等超静定结构中, 温度应力往往超过活载效应, 是造成砼开裂的主要原因。该文结合实际工程, 按照中、英、美三国规范中日照温度梯度分布模式分析预应力砼箱形梁桥的温度应力, 为该类桥梁设计提供参考依据。

1 工程背景

某大桥引桥第五联, 跨径组合为 $3\times 28\text{ m}$, 主梁结构断面形式为单箱四室, 在支座和每跨跨中设置横隔板, 箱梁横断面形式为斜腹板, 桥面宽 28.0 m , 底板厚 $0.22\sim 0.40\text{ m}$, 顶板厚 0.25 m , 腹板厚 $0.50\sim 0.80\text{ m}$ 。主梁采用 C50 砼, 桥墩和桥台采用 C30 砼, 桥面铺装层为 0.08 m 厚沥青砼。设计荷载等级为公路—I 级, 人群荷载为 3.5 kN/m^2 。桥梁横断

面见图 1。



图 1 箱梁横断面示意图

2 有限元模型

采用桥梁结构专用分析软件 MIDAS/FEA 建立三维有限元模型对箱梁截面进行数值模拟, 箱梁采用实体单元模拟, 横隔板采用壳单元模拟, 横隔板与主梁之间采用共节点连接。边界条件采用约束节点的方式来模拟板式橡胶支座对主梁的实际约束情况, 结构自重根据输入的材料特性自动计算, 二期恒载考虑为均布面压力荷载直接施加在主梁顶面, 温度荷载通过施加节点温度来施加。整个有限元模型共 41 735 个节点、31 248 个单元(见图 2)。

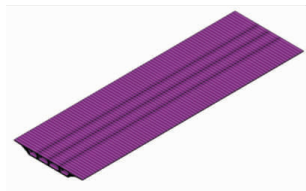


图 2 箱梁三维有限元模型

3 温度梯度分布模式

3.1 中国规范中的温度梯度

根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》, 控制位置的温度以基准温度采用线性内插法求

得。砼结构的负温度梯度为正温度梯度的 -0.5 倍。计算温度梯度时,梁高 $H \geq 400$ mm时, $A = 300$ mm; $H < 400$ mm时, $A = (H - 100)$ mm。竖向温度梯度模式参数取值见表1,竖向温度梯度分布模式见图3。无实测温度数据时,横向温度梯度模式参数按照表2取值。

表1 中国规范中的竖向温度参数取值

结构类型	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$
砼铺装	25	6.7
50 mm 沥青砼铺装层	20	6.7
100 mm 沥青砼铺装层	14	5.5

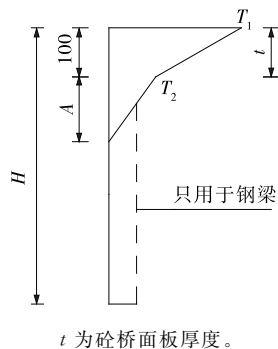


图3 中国规范中的竖向温度梯度模式(单位:mm)

表2 中国规范中的横向温度参数取值

结构类型	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$
砼箱梁	4.0	-2.75
钢箱梁	3.0	-1.50

根据JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》中的竖向温度、横向温度梯度分布模式进行取值,考虑升温 and 降温情况,且沿箱梁高度均匀分布,计算分析砼箱梁的温度效应。

3.2 英国 BS5400 规范中的温度梯度

英国 BS5400 规范考虑气温、太阳辐射和逆辐射等的变化给出了不同类别桥型的温度场模式,其中箱梁顶板的温差分布模式见图4,参数取值见表3、表4。

3.3 美国 AASHTO 规范中的温度梯度

美国 AASHTO 规范主要根据美国地理特征将国土分为4个不同区域,各区域的温度梯度取值有所差异(见表5)。对于砼上部结构,梁高 $H \geq 400$ mm时, $A = 300$ mm; $H < 400$ mm时, $A = (H - 100)$ mm。计算负温差时,若桥面铺装层为砼,则参数取值为相应区域正温差的一0.3倍;若桥面铺

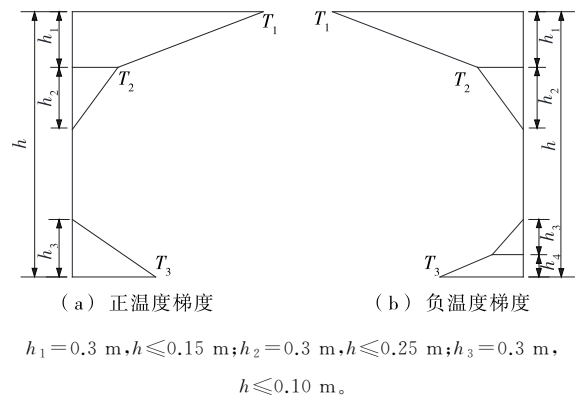


图4 英国 BS5400 规范中的温度梯度模式

表3 正温度梯度模式下参数取值

h/m	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	$T_3/^\circ\text{C}$
≤ 0.2	8.5	3.5	0.5
0.4	12.0	3.0	1.5
0.6	13.0	3.0	2.0
≥ 0.8	13.5	3.0	2.5

表4 负温度梯度模式下参数取值

h/m	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	$T_3/^\circ\text{C}$	$T_4/^\circ\text{C}$
≤ 0.2	2.5	0.5	0.5	1.5
0.4	4.5	1.4	1.0	3.5
0.6	6.5	1.8	1.5	5.0
0.8	7.6	1.7	1.5	6.0
1.0	8.0	1.5	1.5	6.3
≥ 1.5	8.4	0.5	1.0	6.5

装层为沥青砼,则参数取值为相应区域正温差的一0.2倍, $T_3 = 0$,但不能超过 3°C 。这里采用4区的温度梯度参数进行计算,温度梯度分布模型见图5。

表5 美国 AASHTO 规范中的竖向温度梯度参数取值

区域编码	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	区域编码	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$
1	30	7.8	3	23	6
2	25	6.7	4	21	5

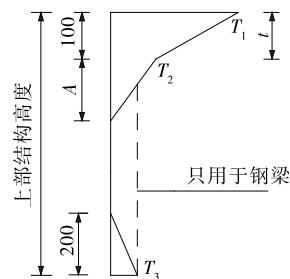


图5 美国 AASHTO 规范中的温度梯度模式(单位:mm)

4 计算结果与分析

砼箱梁在中、英、美三国规范中竖向温度梯度模

式作用下的最大应力见表 6,图 6~9 为砼箱梁在 3 种规范中竖向正温度梯度、中国规范中横向温度梯度作用下的温度应力云图。

表 6 砼箱梁在竖向温度梯度模式下的应力计算结果

部位		正温度梯度最大应力值			负温度梯度最大应力值		
		JTG D60—2015	AASHTO	BS5400	JTG D60—2015	AASHTO	BS5400
		MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
顶板	上缘	−6.41	−9.95	−6.25	3.32	2.56	3.78
	下缘	2.66	2.22	0.89	0.10	0.86	−0.85
腹板	—	1.23	1.78	0.65	−0.87	1.12	0.65
底板	上缘	1.99	2.25	1.12	0.14	0.99	−1.33
	下缘	3.20	3.88	2.50	0.40	−1.25	−1.89

注:负为压应力,正为拉应力。

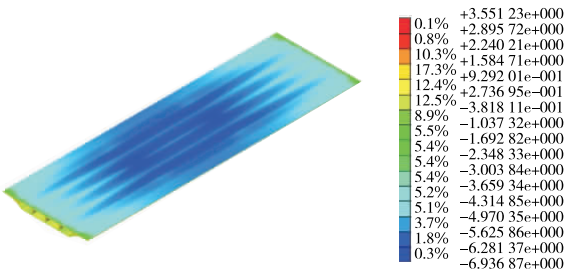


图 6 中国规范正温度梯度应力云图(单位:MPa)

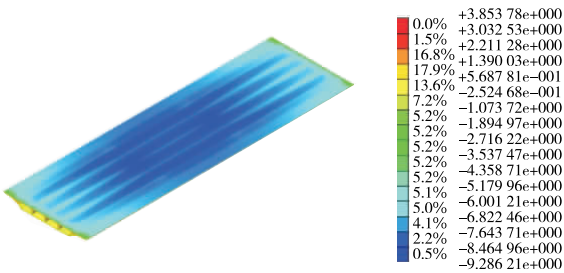


图 9 美国规范正温度梯度应力云图(单位:MPa)

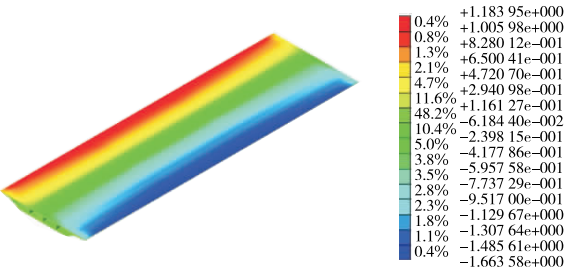


图 7 中国规范横向温度梯度应力云图(单位:MPa)

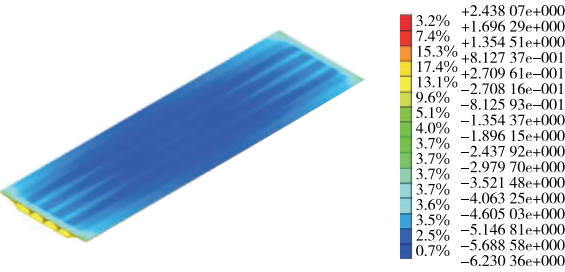


图 8 英国规范正温度梯度应力云图(单位:MPa)

由表 6、图 6~9 可知:1) 在中国规范 JTG D60—2015、英国规范 BS5400 和美国规范 AASHTO 中竖向温度梯度荷载作用下,砼箱梁的温度应力在沿纵桥向具有一定的相似性,且产生的最不利效应

位置大致相同;正温差梯度荷载作用下,砼箱梁顶板上缘主要承受压应力、下缘主要承受拉应力,腹板主要处于拉应力状态,底板基本处于拉应力状态;负温差梯度荷载作用下,箱梁顶板上缘主要承受拉应力、下缘主要承受压应力,腹板和底板基本处于压应力状态,支座位置处箱梁底板下缘处于拉应力状态。2) 在不同规范温度梯度荷载作用下,局部温度效应差异较大。在正温度梯度荷载作用下,AASHTO 规范的温度效应最大,在顶板下缘产生最大拉应力 3.85 MPa,在底板上缘产生最大压应力 −9.29 MPa;中国规范次之,在顶板下缘产生最大拉应力 3.55 MPa,拉应力压应力为 −6.94 MPa;BS5400 规范的温度效应最小,其拉应力最大值为 2.44 MPa,压应力最大值为 −6.23 MPa。在负温差作用下,BS5400 的温度效应影响最明显,在顶板上缘产生最大拉应力 3.78 MPa,在底板上缘产生最大压应力 −1.89 MPa;中国规范次之,在顶板上缘产生最大拉应力 3.32 MPa,在腹板处产生最大压应力 −0.87 MPa;AASHTO 规范的影响最小,在顶板上缘产生最大拉应力 2.56 MPa,在底板下缘产生最大压应力

-1.25 MPa。3) 在中国规范横向温度梯度荷载作用下,温度应力沿宽度方向呈不对称分布,在箱梁两翼缘分别产生最大拉应力 1.20 MPa 和最大压应力 -1.61 MPa。说明不同温度梯度模式对结构温度效应影响显著,设计时合理选择温度梯度模式至关重要。

5 结论

(1) 预应力砼连续箱梁在温差作用下温度效应显著,温度效应是桥梁承担的重要荷载之一,在设计阶段应予以考虑。

(2) 在竖向正温度梯度作用下,箱梁顶板的最大拉应力超过砼抗拉强度设计值,砼结构极可能出现开裂。美国规范 AASHTO 的温度效应最大,中国规范 JTG D60-2015 次之,英国规范 BS5400 最小。

(3) 在竖向负温度梯度作用下,英国规范 BS5400 和中国规范 JTG D60-2015 的温度效应拉应力最大值均超过砼抗拉强度设计值;美国规范 AASHTO 产生的温度效应最大拉应力低于砼抗拉强度设计值,具有一定安全储备。

(4) 在中国规范 JTG D60-2015 横向温度梯度模式作用下,温度应力沿箱梁宽度方向呈不对称分布,其最大拉、压应力均小于砼强度设计值,在进行宽桥设计时应考虑横向温度梯度模式,重视温度效应的影响。

参考文献:

- [1] 徐文平.既有预应力混凝土梁桥承载能力实桥试验及分析研究[D].南京:东南大学,2003.
- [2] 王国鼎,袁海庆,陈开利.桥梁检测与加固[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [3] 湛润水,胡钊芳,帅长斌.公路旧桥加固技术与实例[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [4] 杨文渊.桥梁维修与加固[M].北京:人民交通出版社,1997.
- [5] 朱波,陆光闰.弧形底宽箱梁节段日照温差的试验研究[J].中国市政工程,2003(1).
- [6] 彭卫,陆光闰.混凝土箱梁的剪力滞效应对徐变的影响[J].桥梁建设,1998(1).
- [7] 彭卫,杜时贵.混凝土徐变效应的计算机分析[J].西安公路交通大学学报,1999,19(2).
- [8] 胡狄,陈政清.从短期试验结果预测新建预应力混凝土梁收缩和徐变的长期效应[J].中国铁道科学,2003,24(3).
- [9] 项贻强,唐国斌.混凝土箱梁桥开裂机理及控制[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [10] BS5400, Steel, concrete and composite bridge. part4: code of practice for design of concrete bridges[S].
- [11] AASHTO, Load and resistance factor design, bridge design specifications[S].

收稿日期:2017-12-25

《公路与汽运》杂志 2018 年征订启事

《公路与汽运》由长沙理工大学主办,是一份介绍汽车、道路、桥梁等公路交通领域科技信息的面向国内外公开发行的技术类科技期刊。国际标准刊号:ISSN1671-2668,国内统一刊号:CN43-1362/U。发行代号:国内 42-95,国外 DK43002。本刊为首届(2006 年)中国高校特色科技期刊、湖南省一级期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊,被中国期刊全文数据库及中文科技期刊数据库全文收录、万方数据-数字化期刊群全文上网,并荣获首届《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊奖。

本刊立足公路交通系统,报道国内外汽车与公路交通领域的最新研究成果,荟萃汽车运用与维修技术,传播公路交通安全知识,介绍公路运输行业的新技术与管理经验,刊登公路交通工程的新工艺、新技术和新材料。2018 年拟设主要栏目:汽车工程;交通规划与管理;运输与物流;道路工程;桥隧工程;工程经济与管理等。

本刊为双月刊,逢单月 25 日出版。每期定价 15 元,全年 90 元。热烈欢迎订阅。读者可在当地邮局订阅,也可直接向本刊编辑部索取订单订阅。订阅款请汇至本刊或银行账号。

通信地址:长沙理工大学云塘校区 8 号信箱

联系电话:0731-85258189(含传真)

开户行:长沙市农行高云支行

邮政编码:410004

联系人:王文

户名:长沙理工大学

账号:18-051401040000158