

文章编号: 1674—8247(2019)03—0019—06  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.03.005

## 高速铁路大跨度箱梁温度分布研究

陈天地<sup>1</sup> 张亮亮<sup>2</sup> 鄢勇<sup>1</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 重庆大学, 重庆 400045)

**摘要:**高速铁路桥上列车运行的平稳性、安全性,是大跨结构桥梁必须解决的问题。随着跨度的增大,箱梁壁厚不断增大,目前铁路规范温度参数取值已不尽合理,不能准确反映厚壁混凝土结构的温度分布。为系统研究大跨度箱梁的温度分布,文章以贵广铁路幸福源特大桥为工程背景,通过现场实测,数值计算模拟等方法开展研究,分析归纳总结出大跨度箱梁不同壁厚在日照和寒潮作用下的温度场分布,为规范的进一步完善提供数据支撑。

**关键词:**高速铁路; 大跨度; 箱梁; 温度; 分布

**中图分类号:**U448.21<sup>+</sup>3 **文献标志码:**A

## Research on Temperature Distribution of Large Span Box Girder of High-speed Railway

CHEN Tiandi<sup>1</sup> ZHANG Liangliang<sup>2</sup> YAN Yong<sup>1</sup>

(1. China Railway ErYuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;  
2. Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** The stability and safety of trains running on high speed railway bridges are the problems that must be solved for long-span bridges. With the increase of the span, the wall thickness of the box girder increase continuously. At present, the temperature parameters in the railway code are not reasonable, therefore it cannot accurately reflect the temperature distribution of the thick-walled concrete structure. In order to systematically study the temperature distribution of the large-span box girders, taking Xingfuyuan super major bridge of Guiyang-Guangzhou Railway as engineering background, this paper carries out the study through field measurement and numerical calculation simulation, analyzes and summarizes the distribution of temperature field of large-span box girders with different wall thickness under the action of sunshine and cold tide, which provides data support for the further improvement of the code.

**Key words:** high-speed railway; large span; box girder; temperature; distribution

随着我国高速铁路建设发展的需要,大跨结构桥梁在高速铁路桥梁建设中得到越来越多的应用。列车在桥上高速运行的平稳性、安全性,是大跨结构桥梁必须解决的问题。随着跨度的增大,箱梁顶板、腹板及底

板的壁厚不断增加,则目前铁路规范中对于壁厚大于26 cm均采用相同的温度参数是不合适的。混凝土箱梁暴露在自然环境下,其温度场受到外界气象条件影响较大<sup>[1]</sup>,不同混凝土壁厚在日照或寒潮作用下温度

收稿日期:2018-07-31

作者简介:陈天地(1982-),男,高级工程师。

引文格式:陈天地,张亮亮,鄢勇. 高速铁路大跨度箱梁温度分布研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(3):19-24.

CHEN Tiandi, ZHANG Liangliang, YAN Yong. Research on Temperature Distribution of Large Span Box Girder of High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 19-24.

场分布是不同的<sup>[2]</sup>。为系统研究大跨度箱梁的温度分布,以贵广铁路幸福源特大桥为工程背景,通过现场实测,数值计算模拟等方法开展研究,分析归纳总结出不同壁厚大跨度箱梁在日照和寒潮作用下的温度场分布,为规范的进一步完善提供数据支撑。

## 1 大跨度箱梁温度分布实测

### 1.1 温度分布现场实测方案

贵广铁路幸福源特大桥为(48+5×80+48)m刚构—连续梁结构,梁部采用单箱单室结构,梁高4~7m,顶板厚42cm,腹板厚45~80cm,底板厚44~80cm。根据现场实测需要,选择了梁体支点截面和跨中截面布置温度传感器,横截面上传感器的布置,如图1、图2所示。

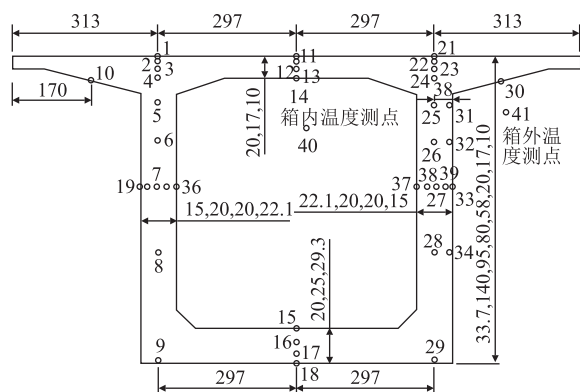


图1 支点截面温度传感器测点布置示意图(cm)

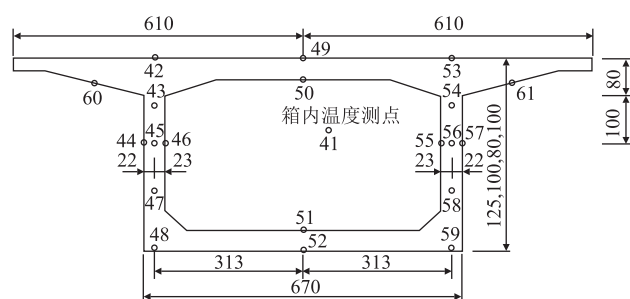


图2 跨中截面温度传感器测点布置示意图(cm)

### 1.2 日照作用下实测数据分析

选取典型数据进行分析,时间段为2013年7月25日6时至7月29日5时。桥址实测最高气温为36.5625℃,箱内的最高气温为27.1875℃。

(1)箱梁顶板至底板竖向实测数据对比分析,如图3所示。从图3中可以看出,顶板至底板竖向温差最小时刻在日出前1h左右,最大竖向温差出现在15时左右;从顶板外壁到内壁,测点温度依次降低,相位依次滞后,从底板内壁到外壁,测点温度依次升高,相位依次超前;在日照作用下,顶板外壁温度幅值明显高于底板外壁<sup>[3]</sup>。

(2)腹板横向测点实测数据对比分析,如图4所示。从图4中可以看出,各测点温度时程曲线呈正弦特征,靠近外侧测点相位超前于内侧测点,位于外壁的19号测点温度明显高于其他测点,腹板最大温差均出现在外壁取最大温度的时刻,分别在10时、17时左右。

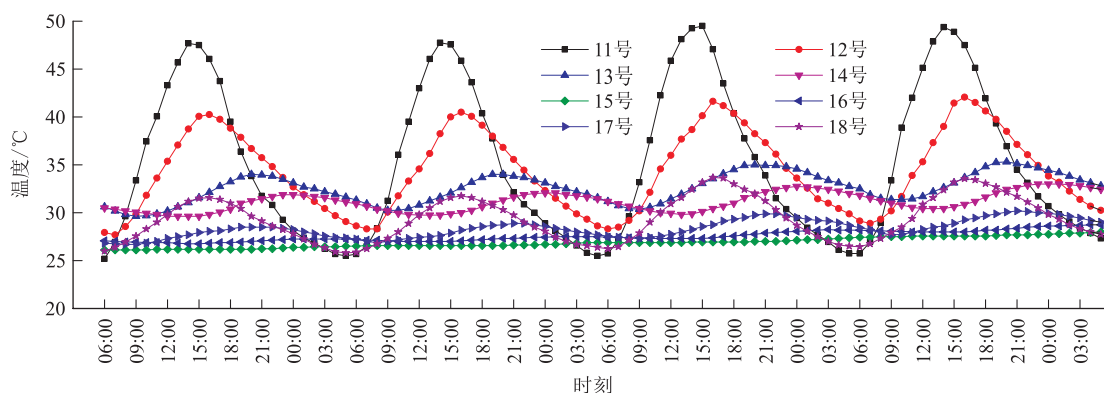


图3 顶板至底板竖向实测温度时程曲线图

### 1.3 寒潮实测数据分析

选取2014年2月19日6时至2014年2月22日5时的实测数据为研究对象,分析幸福源大桥在寒潮降温作用下的温度变化规律。

(1)箱梁顶板至底板竖向实测数据对比分析,如图5所示。从图5中可以看出,在寒潮时间段内,从顶板外壁到内壁,测点温度依次升高,相位依次滞后,从底板内壁到外壁,温度依次降低,相位依次滞后<sup>[4-5]</sup>,

其后时间段内,表现出与日照温度场类似的规律;在顶板取得最低值时刻,可取到顶板竖向最大负温差时刻;冷空气作用下,顶板上表面实测温度低于底板下表面实测温度。

(2)腹板横向测点实测数据对比分析,如图6所示。从图6中可以看出,各测点温度时程曲线表现出正弦特征<sup>[6]</sup>,靠近外侧测点相位超前于内侧测点;受寒潮影响期间,由外壁到内壁温度依次降低,最大负温

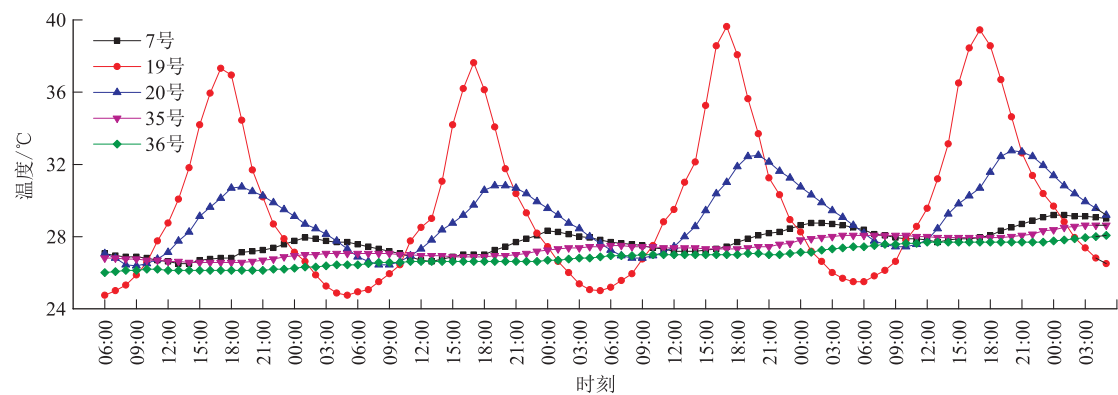


图4 腹板横向测点温度时程曲线图

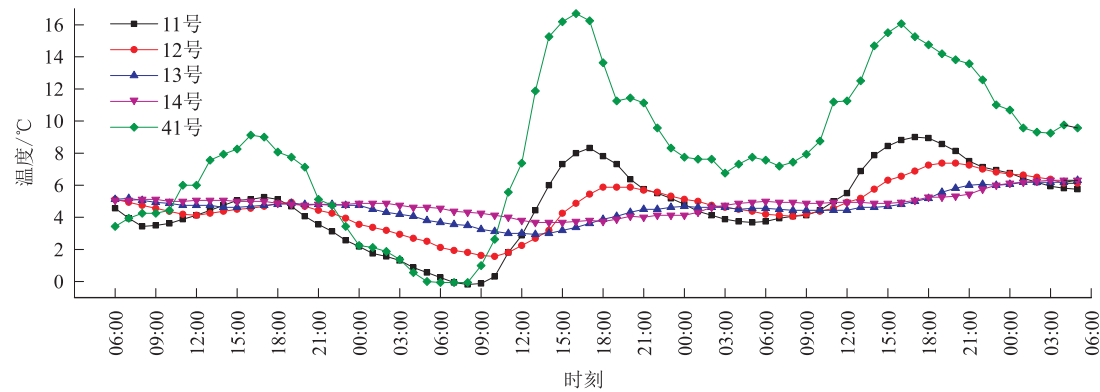


图5 顶板至底板竖向实测温度时程曲线图

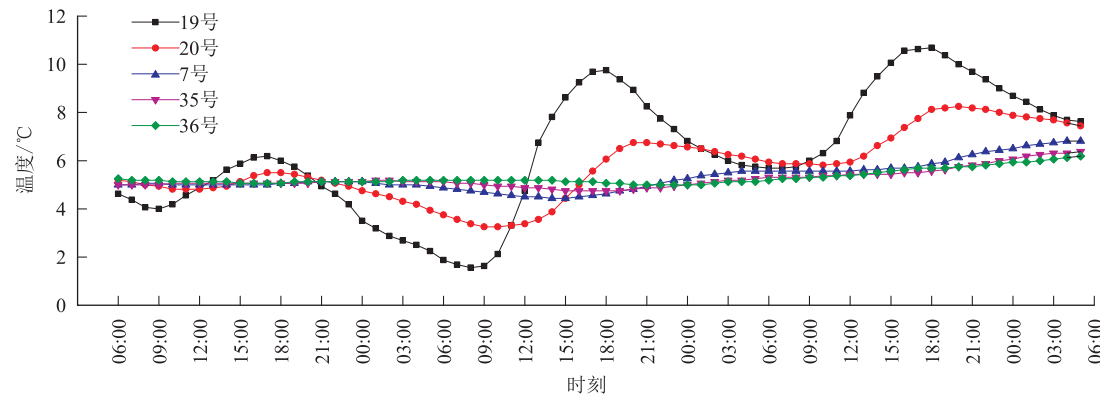


图6 腹板横向测点温度时程曲线图

差时刻出现在8时。与日照实测数据不同,东腹板与西腹板温度时程曲线在相位差、温度变幅上的规律几乎完全一致。

1.4 不同截面实测数据对比分析

顶板上表面、腹板中心处与底板下表面实测数据对比分析,如图7、图8所示,从图中可以看出,不同壁板在不同截面上的温度曲线吻合良好,因此,可将箱梁温度场的计算简化为沿横截面横向和竖向来计算。

2 大跨度箱梁温度分布数值分析

2.1 日照作用下箱梁温度场计算

选取7月27日上午6时到28日上午5时的实测

数据,建立根部截面有限元模型进行分析,如图9所示。由此可知,太阳刚升起时,沿板厚的温度大致均匀,此后外表面温度开始高出内部温度。各板的升温速度、峰值大小以及到达时刻是不一致的。东腹板约在10时即达到温度峰值,此后,太阳升高,东腹板不再受到太阳直接辐射。顶板升温略慢,但是持续时间最长,达到的峰值也最高。由于混凝土传热性能较差,在升温过程中内部温度变化滞后,因此出现板厚方向的内外温差<sup>[7]</sup>。每块板出现最大板厚温差的时刻一般与外表面出现峰值时刻一致。在外表面峰值时刻过后,外表面温度开始下降,板厚温差开始逐渐减小,各板温度大约在晚上9时至10时趋于较均匀状态,但不

同板之间的温度值存在较大的差别,再此之后,各壁板外表面温度继续下降,在夜间出现外低内高的负温差。

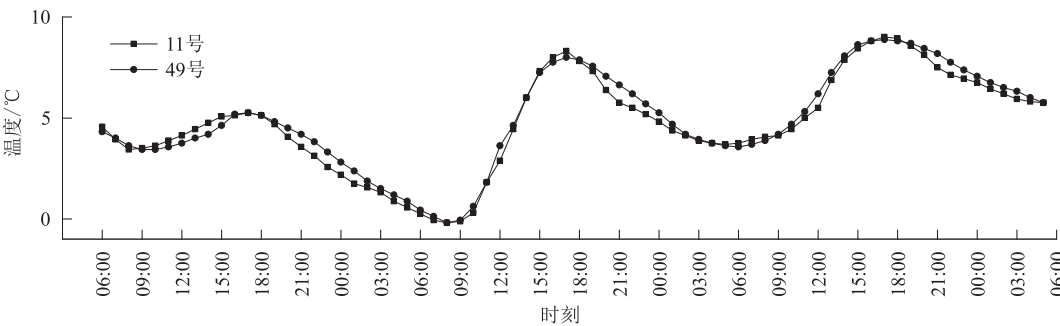


图 7 不同截面顶板测点实测数据对比图

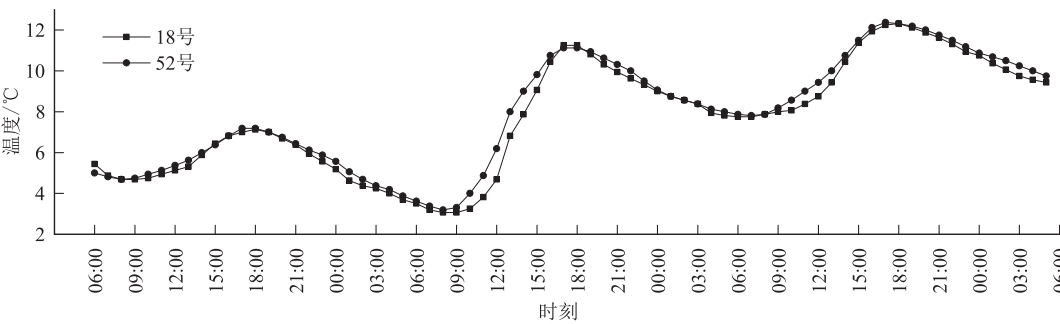


图 8 不同截面底板测点实测数据对比图

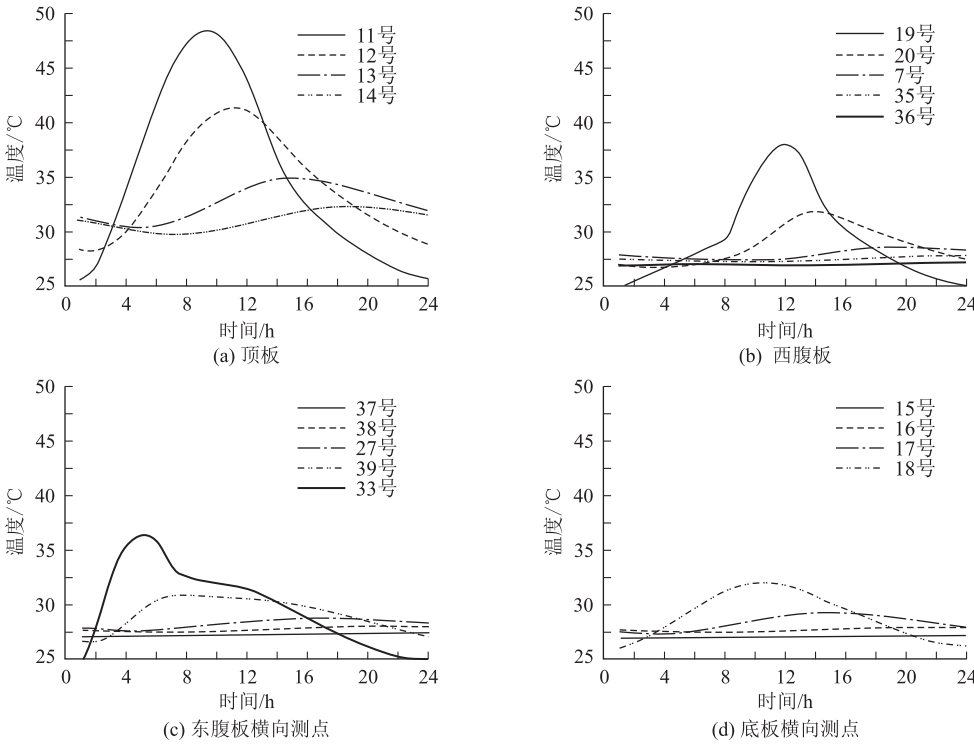


图 9 各壁板上不同测点计算温度时程曲线图

2.2 在日照升温作用下的温差曲线拟合

为确定板厚温差、竖向温差、横向温差出现的最不利时刻,提取模型中不同路径的数据,确定各路径下控

制时刻。选取西腹板、顶板中心线、东西腹板板厚方向对应控制时刻的数据,按  $T_x = T_0 e^{-\beta x}$  拟合得到各路径下最大温差  $T_0$  及指数  $\beta$  值,如表 1 所示。

表1 沿不同路径的温差 $T_0$ 以及指数 $\beta$ 值						
路径	梁高	顶板	梁宽	梁高	东腹板	西腹板
时刻	15:00	15:00	17:00	17:00	10:00	17:00
温差 $T_0/^\circ\text{C}$	22	19.5	13	18	10	13
指数 $\beta$	4	7	7	3	9	7

2.3 寒潮作用下箱梁温度场计算

选取2014年2月19日12时至2月20日18时的实测数据对箱梁截面进行的瞬态温度场的计算分析,如图10所示。

从图10可以看出,寒潮来临前,受太阳辐射的影响,整个箱梁温度分布不均匀,外表温度高于内部温度。寒潮来临后,外表面温度迅速降低,但由于混凝土的导热性能很差,腹板较厚,箱梁内部混凝土温度并不

是同步下降,内部混凝土温度变化相对于外表面有明显的滞后,其相位差约8~9 h。从整体上来说,箱内各壁板温度稳定在5℃左右,在寒潮引起降温3 h后,混凝土箱梁开始出现内高外低的逆向温差。在2月20日8时,箱梁沿板厚达到最大逆向温差。实测数据表明,在寒潮降温时,沿桥长方向的温差分布均匀,且沿梁的周围的温差分布也是均匀的<sup>[8]</sup>。因此寒潮降温下,在纵向并不产生温度应力或可以忽略不计。但由于箱梁在横断面上沿板厚方向的温差分布是非线性的,即沿板厚方向各纤维层的温度是不同的,再由于材料热胀冷缩的性质,势必产生温度变形,而当变形受到横向框架效应约束时,结构会在横向产生相当大的温度应力。

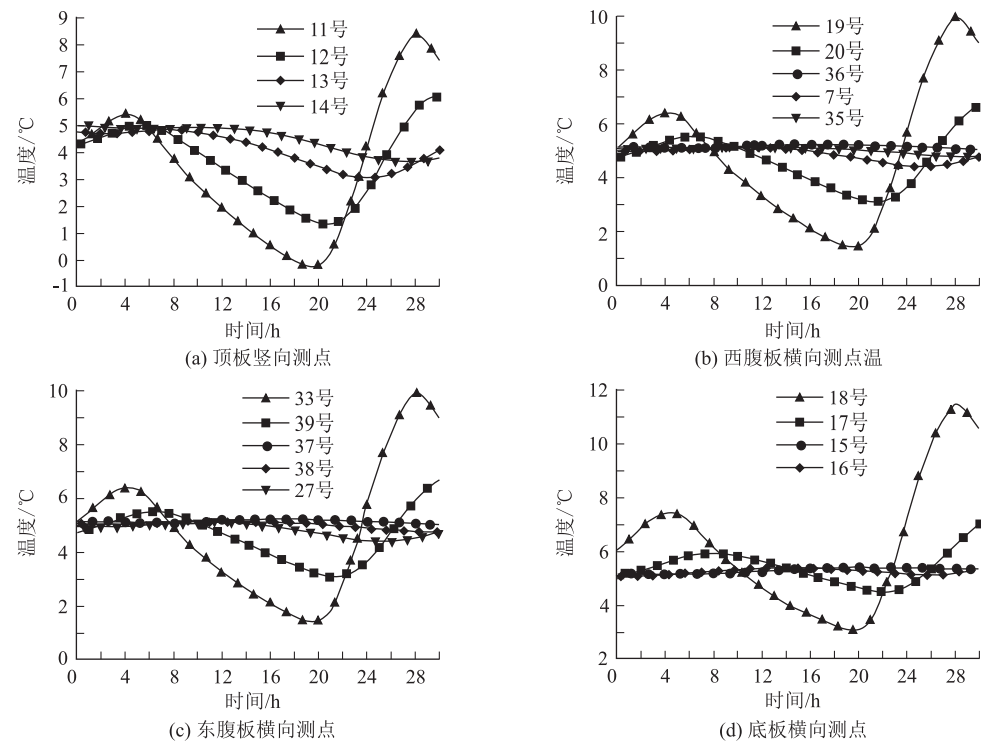


图10 各壁板上不同测点计算温度时程曲线

2.4 在寒潮降温作用下的温差曲线拟合

在箱梁的横断面上,沿厚度方向是主要的热传导方向,若忽略角隅处附近复杂的热传导状态,可近似用厚度方向的一维热传导状态来逼近,从工程设计应用的角度来考虑,设计计算一般都以某一特定时刻最大温差分布相应的温差荷载作为控制荷载,故亦可用来表示温度的分布形式。本桥寒潮最不利最大温差时刻取为2月20日8时。

利用有限元计算出箱梁不同时刻的温度场后,提取最大板厚逆温差的温度数据,用最小二乘法对温差数据按式进行拟合,得出各路径下的温差指数曲线的指数值,如表2所示。

表2 沿不同板厚的温差 $T_0$ 以及指数 $\beta$ 值				
路径	顶板	底板	西腹板	东腹板
时刻	8:00	8:00	8:00	8:00
温差 $T_0/^\circ\text{C}$	-4.5	-2	-3.5	-3.5
指数 $\beta$	6	7	8	6

3 结论

通过实测数据分析,找出了箱梁温度场随时间的变化规律,以箱梁实测数据为边界条件,对有限元模型进行加载计算,得到了箱梁在日照升温 and 寒潮作用下温度场。通过计算分析,并结合实测资料,归纳分析得出了厚壁箱梁结构沿梁高、梁宽方向以及不同厚度壁

板的板厚温差指数曲线。

(1)日照影响下厚壁空心墩壁厚方向温差分布公式  $T_x = T_0 e^{-\beta x}$  ( $\beta = 8$ ) 及参数  $T_0$  的取值,如表3所示。

表3 日照时不同墩壁厚公式参数

壁厚 $t/\text{cm}$	$t \leq 50$	$50 < t \leq 60$	$60 < t < 90$	$t \geq 90$
$T_0$ 参数	7	8	9	10

(2)日照作用下箱梁沿梁高、梁宽的温差分布公式  $T_x = T_0 e^{-\beta x}$  与参数取值,如表4所示。

表4 箱梁日照温差公式参数

项目	沿梁高		沿梁宽
	单向	双向组合	
温差 $T_0/^\circ\text{C}$	21.73	13.76	14.75
指数 $\beta$	6.5	9.68	8

(3)适用于大跨混凝土厚壁箱梁沿板厚的温差分布公式  $T_x = T_0 e^{-\beta x}$  与参数取值,表5所示。

表5 沿板厚温差公式参数表

板厚/cm	$\leq 26$	30	40	50	60	70	80
指数 $\beta$	用规范值	8.3	7.3	6.93	6.87	6.92	6.98
				板厚 $\geq 0.5\text{ m}$ , $\beta$ 近似取 7.0			

(4)寒潮影响下厚壁空心墩壁厚方向温差分布公式  $T_y = -11.5 e^{-8y}$ 。

该研究结论对今后计算温度应力时,温差曲线的选取具有参考价值。

参考文献:

[1] Mamdouth M. E and Amine. G. Temperature Variations in Concrete Bridges[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE. 1983 (10): 2355-2374.

[2] 凯尔别克(德). 太阳辐射对桥梁结构的影响[M]. 刘兴法,译. 北京:中国铁道出版社,1981.  
Kell Buick( DE). Influence of Solar Radiation on Bridge Structure [M]. Translated by LIU Xingfa. Beijing: China Railway Publishing House,1981.

[3] Emerosn M. Temperatures in Bridges during The Hot Summer of 1976. TRRL Report ( Transport & Road Research Laboratory, Great Britain). 1977(783): 31-52.

[4] 康为江. 钢筋混凝土箱梁日照温度效应研究[D]. 长沙:湖南大学,2000.  
KANG Weijiang. Study on Sunshine Temperature Effect of Reinforced Concrete Box Girder [D]. Changsha: Hunan University, 2000.

[5] 王效通. 预应力混凝土箱梁温度场计算的有限元法[J]. 西南交通大学学报,1985,32(3):52-62.  
WANG Xiaotong. Finite Element Method for Calculation of Temperature Field of Prestressed Concrete Box Girders [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1985, 32(3): 52-62.

[6] 王俊. 混凝土结构日照温度场和温度效应研究[D]. 上海:同济大学,2004.  
WANG Jun. Study on Sunshine Temperature Field and Temperature Effect of Concrete Structure [D]. Shanghai: Tongji University, 2004.

[7] 宋志文. 高性能混凝土箱梁日照温度场与温度效应研究[D]. 上海:同济大学,2010.  
SONG Zhiwen. Study on Sunshine Temperature Field and Temperature Effect of High-performance Concrete Box Girder [D]. Shanghai: Tongji University, 2010.

[8] 彭友松. 混凝土桥梁结构日照温度效应理论及应用研究[D]. 成都:西南交通大学,2007.  
PENG Yousong. Theory and Application of Sunshine Temperature Effect of Concrete Bridge Structures [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.

(编辑:车晓娟 张红英)

(上接第5页)

[7] 丁文富,张广泽,宋章. 成昆铁路昔格达地层工程地质特性及对策研究[J]. 铁道工程学报,2017,34(4):1-5.  
DING Wenfu, ZHANG Guangze, SONG Zhang. Research on the Engineering Geological Characteristics and Engineering Countermeasures of Xigeda Strata of Chengdu-Kunming Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(4): 1-5.

[8] 魏永幸. 基于填方工程的斜坡软弱地基及其成因[J]. 地质灾害与环境保护,2006,17(1):58-63.  
WEI Yongxing. Embankment-based Sloped Soft-soil Foundation and Its Cause of Formation [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2006, 17(1): 58-63.

[9] 朱颖,魏永幸. 汶川大地震道路工程震害特征及工程抗震设计思考[J]. 铁道工程学报,2008,25(S2):86-90.

ZHU Ying, WEI Yongxing. Characteristics of Road Damage Due to Wenchuan Macroquake and Considerations of Engineering Aseismic Design [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008, 25(S2): 86-90.

[10] 魏永幸,姚令侃,邱燕玲. 高寒山区铁路沟谷灾害危险性评估与风险调控[C]//川藏铁路建设的挑战与对策——2016 学术交流会论文集. 北京:人民交通出版社,2017:14-27.  
WEI Yongxing, YAO Lingkan, QIU Yanling. Risk Evaluation and Control of Valley Hazards Chain for Railway in Alpine Region[C]// Sichuan-Tibet Railway Construction Challenges and Countermeasures Symposium-2016 Academic Exchange Proceedings. Beijing: China Communications Press, 2017: 14-27.

(编辑:刘会娟 刘彦琳)