

# 浇注式沥青混合料摊铺中宽幅钢箱梁温度应力分析

阳晏<sup>1</sup>, 刘朝辉<sup>1</sup>, 阳昊<sup>2</sup>, 何良玉<sup>1</sup>, 王滔<sup>3</sup>

(1.湖北交投十巫高速公路有限公司, 湖北 十堰 442000; 2.湖北交投建设集团有限公司, 湖北 武汉 430050;

3.重庆市智翔铺道技术工程有限公司, 重庆 400067)

**摘要:**以武汉某大跨宽幅斜拉桥扁平钢箱梁为例,采用有限元软件模拟计算浇注式沥青混合料高温摊铺过程中宽幅钢箱梁的温度应力变化。结果表明,浇注式沥青混合料摊铺期间,大跨径宽幅钢桥在跨中横截面处的钢桥面顶板变形较明显,竖向最大位移为 0.009 6 m,比普通大跨径钢桥跨中竖向最大位移高约 28%;钢桥面顶板纵向应力的峰值均位于横隔板正上方,最大纵向拉应力为 121 MPa,最大纵向压应力为 202 MPa;U 形加劲肋处于上缘受压、下缘受拉的正弯矩应力状态,上缘压应力为 53.0 MPa,下缘拉应力为 60.2 MPa;斜拉索附近的横隔板受力最为不利,最大横向拉应力位于摊铺区正中心,为 161 MPa,最大横向压应力位于非摊铺区,为 23.1 MPa。

**关键词:**桥梁;宽幅钢箱梁;浇注式沥青混合料;温度应力

中图分类号:U443.33

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2021)04-0154-03

浇注式沥青混合料摊铺温度高达 220~250 ℃,高温摊铺带来的大跨径宽幅钢箱梁桥温度应力分布问题一直以来都是研究重点。目前,普遍利用有限元模型对钢箱梁桥服役过程中温度应力进行数值模拟分析,对大跨径宽幅钢箱梁桥施工过程中温度应力的研究不足。该文以武汉某大跨宽幅斜拉桥为依托,建立有限元分析模型对钢箱梁温度应力特征进行分析。

## 1 桥面系参数及温度测点布置

武汉某大跨宽幅斜拉桥为双塔五跨连续斜拉桥,跨径组成为 100 m+275 m+760 m+275 m+100 m。主梁均采用 PK 断面钢箱梁,共 127 个阶段,标准节段长 12 m。钢桥面全宽 46 m(含风嘴,建成通车时是长江上最宽的大桥),中心线处梁高 4 m。钢箱梁标准横断面见图 1。

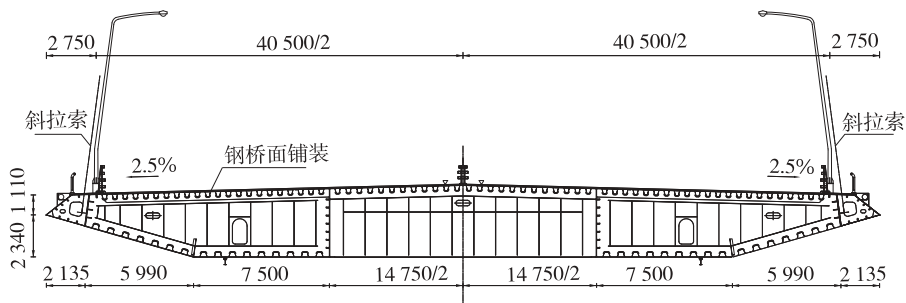


图 1 钢箱梁标准横断面(单位:mm)

该桥采用浇注式沥青混合料铺装体系,铺装结构为 MMA 防水体系+35 mm 浇注式沥青混合料 GA-10+35 mm 高弹改性沥青混合料 SMA-10。浇注式沥青混合料施工期间,在斜拉桥主梁跨中截面竖向布置 10 个温度测点(见图 2),分别位于 GA 铺装层、钢桥面顶板沿厚度方向三等分点部位及 U 形加劲肋沿竖向四等分点部位,其中 P-3 与 S-1 测点重合、S-3 与 U-1 测点重合。截面横向布置 20 个温度测点(见图 3),主要分布在 GA 铺装层边

缘附近 0.5~1 m 范围内。

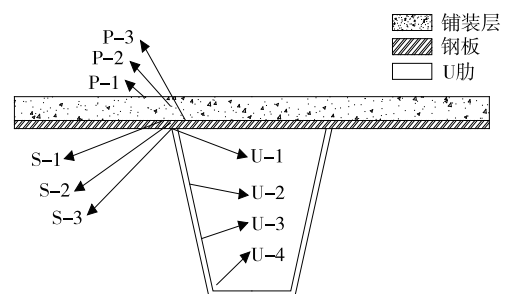


图 2 温度测点竖向布置示意图

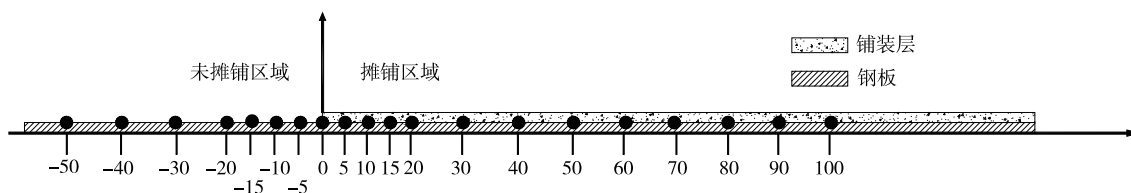


图3 温度测点横向布置示意图(单位:cm)

## 2 温度场有限元模型建立

### 2.1 基本假设

为简化计算模型,作以下假设:1)各材料均为完全均匀和各向同性的结合体;2)箱梁为等截面直杆;3)钢箱梁桥面各节点均存在约束,侧面有水平约束,其他均为自由界面;4)层间竖向、水平位移连续,不考虑结构自身重量。

### 2.2 有限元模型参数

采用 ABAQUS 软件建立有限元模型。以钢箱梁主梁的正交异性钢桥面顶板的设计参数为依据,模型尺寸为  $12\text{ m} \times 46\text{ m}$ 。钢桥面系构造参数取值见表 1,材料参数取值见表 2。

表1 钢桥面系构造参数 mm

桥面系组件	高度	厚度	宽度		间距
			上口	下口	
U形加劲肋	280	8	300	180	600
横隔板	—	12	—	—	3 000
顶板	—	18	—	—	—

表2 材料技术参数

项目	参数取值
浇注式 比热容/ $[\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}]$	920
沥青混 导热系数/ $[\text{J} \cdot (\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$	2.46
合料 密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	2 400
比热容/ $[\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}]$	460
钢板 导热系数/ $[\text{J} \cdot (\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$	58.2
密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	7 850
对流换热系数/ $[\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}]$	13.8
辐射换热系数/ $[\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}]$	0.81
环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	30
界面热阻系数/ $[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$	0.002 218

### 2.3 有限元模型建立

在三维有限元建模过程中,采用实体单元模拟 GA 铺装层和钢桥面顶板,采用壳单元模拟 U 形加劲肋、横隔板等桥面系组件,钢箱梁内部采用辐射放热或绝热两种形式的边界条件。考虑到计算机计算能力和计算精度的平衡,不同部位的单元划分有所

侧重,温度加载区域的单元划分适度加密。浇注式沥青混凝土摊铺宽度设为  $6\text{ m}$ ,摊铺温度设为  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,摊铺速度初定为  $3.0\text{ m/min}$ ,计算桥面系构造物随着温度的传递和累积其内部应力变化及各结构物的变形情况。有限元模型见图 4。

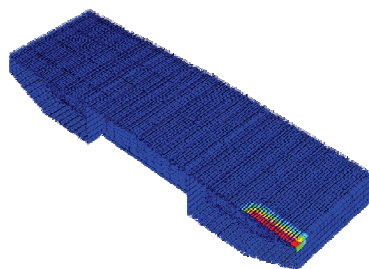


图4 钢箱梁有限元模型

## 3 钢箱梁温度应力分析

### 3.1 钢桥面顶板竖向变形分析

如图 5 所示,钢桥面顶板竖向变形均位于 GA 摊铺范围内的钢箱梁区域;斜拉索的竖向分力导致变形区域与摊铺区不完全重合,变形主要区域靠近斜拉索一侧;所有横截面在摊铺区域附近均产生竖向变形,且各截面的最大竖向位移位置基本一致;斜拉索横截面处变形不明显,竖向最大位移为  $0.005\text{ 5 m}$ ;跨中横截面处的变形较明显,竖向最大位移为  $0.009\text{ 6 m}$ ,比普通大跨径钢桥跨中竖向最大位移高约  $28\%$ ,表明 GA 摊铺过程对宽幅大跨径钢桥影响更显著;钢桥面顶板呈向外膨胀的趋势,但并不明显,最大横向位移为  $0.003\text{ 8 m}$ 。

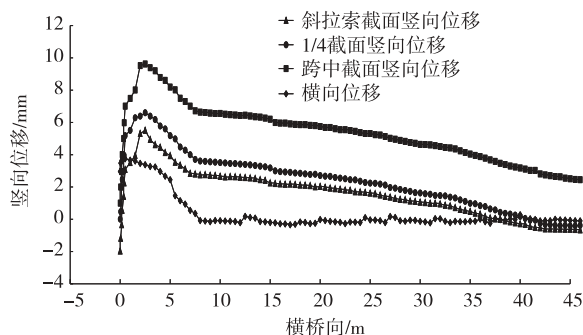


图5 钢桥面顶板竖向位移分布

### 3.2 钢桥面顶板温度应力分析

如图6所示,纵向应力的3个峰值均位于横隔板正上方,最大纵向拉应力为202 MPa,最大纵向压应力为121 MPa,摊铺界面中心纵向压应力基本一致,为97 MPa左右;摊铺边缘应力较复杂,跨中及1/4截面的纵向应力在摊铺边缘变化较大。非摊铺区域钢桥面顶板中纵向拉应力较大,但影响区域有限;摊铺区域钢桥面顶板的纵向压应力较小,但作用范围较大。

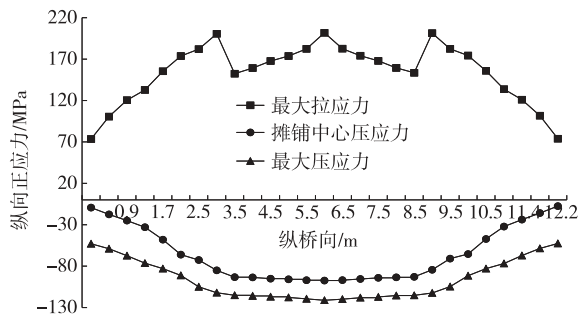


图6 钢桥面顶板纵向应力分布

### 3.3 U形加劲肋温度应力分析

U形加劲肋的受力状态随横向位置不同而不同,摊铺区加劲肋受力相似,处于上缘受压、下缘受拉的状态;摊铺边缘加劲肋由于所处温度场复杂,其力学状态复杂,处于GA摊铺范围内的半个肋与其余加劲肋的受力状态基本一致,而另半个肋整体受拉。从有限元分析结果(见图7)可看出:U形加劲肋截面处于正弯矩应力状态,上缘压应力为53 MPa,下缘拉应力为60.2 MPa。

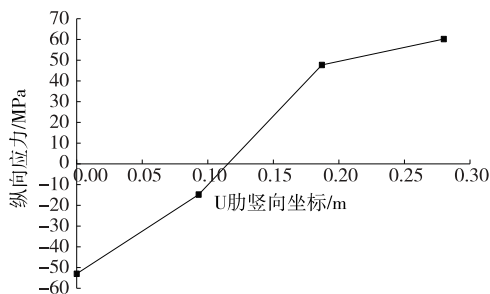


图7 跨中截面U形加劲肋纵向应力分布

### 3.4 横隔板温度应力分析

根据钢桥面顶板温度应力分析结果,钢桥面顶板在横隔板处的受力最为不利。对斜拉索附近横隔板横向应力分布进行分析,结果见图8。从图8可看出:温度荷载在横隔板引起的横向拉应力集中于摊铺区域,位于非摊铺区的横隔板基本受横向压应力;横隔板中最大横向拉应力位于摊铺区正中心,为

161 MPa,最大横向压应力为23.1 MPa。

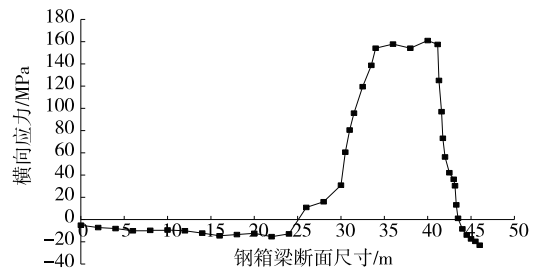


图8 横隔板横向应力分布

## 4 结论

结合武汉某大跨宽幅斜拉桥桥面铺装工程,基于有限元模型模拟分析浇注式沥青混合料施工过程中钢箱梁温度应力状况,得出以下主要结论:

(1) 浇注式沥青混合料摊铺过程中,大跨径宽幅钢桥面顶板在斜拉索横截面处的变形不明显,竖向最大位移为0.0055 m;跨中横截面处的变形较明显,竖向最大位移为0.0096 m,比普通大跨径钢桥跨中竖向最大位移高约28%,表明GA摊铺过程中对宽幅大跨径钢桥影响更显著。

(2) GA摊铺区域的U形加劲肋呈上缘受压、下缘受拉的应力状态;U形加劲肋截面处于正弯矩应力状态,上缘压应力为53 MPa,下缘拉应力为60.2 MPa。

(3) 钢桥面顶板纵向应力的3个峰值均位于横隔板正上方,最大纵向拉应力为202 MPa,最大纵向压应力为121 MPa;斜拉索附近的横隔板受力最为不利,横隔板中最大横向拉应力位于摊铺区正中心,为161 MPa,最大横向压应力为23.1 MPa。

### 参考文献:

- [1] 郝增恒,王民.大跨径钢桥面沥青混合料铺装技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018:15-17.
- [2] 于新,刘云,吴建涛.混凝土箱梁桥沥青混凝土铺装层温度应力分析[J].北京交通大学学报,2011,35(4):99-102+106.
- [3] ELBADRY M M,GHALI A.Temperature variations in concrete bridges[J].Journal of Structural Engineering,1983,109(10):2355-2374.
- [4] 彭友松,朱晓文,强士中.混凝土箱梁温度应力三维分析[J].铁道学报,2009,31(3):116-121.
- [5] 程鹏,陈艳金,杨波,等.通泰大桥钢桥面铺装温度应力分析[J].交通标准化,2012(24):74-77.

(下转第159页)

件,加劲跨缝板搭设在伸缩缝上;波形伸缩板置于加劲跨缝板两侧,波形伸缩板波形板段空隙嵌入橡胶垫条,增强伸缩装置的抗压性;上表面焊接剪力钉,加强钢构件与填充层的连接;固定边板开有一排锚孔,通过固定螺杆固定在砗桥面铺装层上;竖向连接板嵌入加劲跨缝板槽型钢与PBL加劲肋的间隙内,通过焊缝连接;加劲跨缝板PBL加劲肋上穿设螺纹钢筋,增强钢构件与填充层的组合作用;组装完成的内置组件上填充伸缩缝填料。

波形无缝伸缩装置的工作特点为梁体伸缩变形,内置组件滑动,伸缩装置整体均匀伸缩,伸缩量由伸缩装置波形伸缩板及填充层吸收,实现桥面无缝化,改善行车舒适性,避免常规伸缩缝病害。

## 2.2 伸缩缝高性能砗研发应用

桥梁伸缩缝损坏往往伴随着砗损坏,砗损坏基本成为伸缩缝损坏的常态。目前桥梁伸缩缝常用砗主要包括普通砗和钢纤维砗,普通砗的抗冲击性和耐久性不及钢纤维砗,而钢纤维砗所需钢纤维用量较大,价格较高,且存在生锈问题。高性能砗作为一种具有优良耐久性的新型砗,具有广阔的应用前景,在公路交通工程中受到越来越多的关注。研发应用桥梁伸缩缝高性能砗,有利于降低伸缩缝砗的冲击损伤危害,提升伸缩缝砗的工作水平和使用寿命。

桥梁伸缩缝高性能砗以2种细纤维、聚合物为重要组分,能充分发挥纤维的加筋功能和聚合物的增韧作用,具有优良的抗冲击韧性和耐磨性,可提升桥梁伸缩缝砗的可靠性和耐久性,降低公路运营后的养护维修费用。其工程应用见图5。

## 3 结语

公路桥梁伸缩缝的早期损坏较常见,影响因素



图5 公路桥梁伸缩缝高性能砗的应用

多样。一方面施工工艺与质量控制对提高伸缩缝使用质量至关重要;另一方面需从伸缩缝结构优化和高性能砗应用出发进行改进,提升伸缩缝砗的抗冲击性和耐久性,避免伸缩缝早期损坏,延长伸缩缝的使用品质和寿命。

## 参考文献:

- [1] 李光华,卓秋林,生墨海.常见桥梁伸缩缝的病害原因分析与维修处理[J].公路交通科技(应用技术版),2010(9):108-110.
- [2] 蒋海洋.公路桥梁伸缩缝常见病害成因分析及养护管理措施[J].工程与建设,2012,26(5):699-701.
- [3] 赵涵秀.桥梁伸缩缝病害分析及防治[J].交通科技,2013(1):52-54.
- [4] 舒兴旺.桥梁伸缩缝过渡区混凝土的应用现状与研究动向[J].山西交通科技,2014(4):85-87.
- [5] 罗保恒,张恺,徐蕴贤,等.桥梁伸缩缝锚固区特快硬钢纤维混凝土的应用[C]//中国土木工程学会.第十二届全国纤维混凝土学术会议论文集.北京:中国土木工程学会,2008:9-11.
- [6] 吉冠华.加宽旧桥病害处理设计实例分析[J].公路与汽运,2020(2):127-129+132.

收稿日期:2020-09-30

(上接第156页)

- [6] 明图章,胡光伟,黄卫.钢桥面铺装体系温度应力特性研究[J].上海公路,2006(4):41-44+5.
- [7] 郝增恒,王滔,王民,等.钢桥面铺装温度场分析[J].公路交通科技,2018,35(11):36-43.
- [8] 钱振东,胡靖,刘夔,等.浇注式沥青混凝土摊铺温度对钢箱梁力学响应及变形效应影响[J].土木工程学报,2015,48(2):96-102.
- [9] 王守松,郑玉芳,陈柳燕.钢桥面铺装结构温度应力数值分析[J].贵州大学学报(自然科学版),2015,32(5):134-136+140.

- [10] 钱振东,刘阳,刘夔.高温浇注环境下钢桥面温度场及温度变形效应分析[J].东南大学学报(自然科学版),2014,44(5):1024-1029.
- [11] 郑胜.钢箱梁浇筑式沥青铺装温度场及支座受力研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.
- [12] 刘森林.基于监测数据的长大跨桥梁温度应力分析与安全评价[D].南京:东南大学,2017.
- [13] 冯鹏程,丁仁军,陈毅明,等.沌口长江公路大桥主桥设计[J].桥梁建设,2017,47(4):1-6.

收稿日期:2020-05-04