

低温-动荷载耦合作用下混凝土连续箱梁桥 桥面铺装层动态响应

李雄傲¹, 王琨^{1*}, 谢丹丹¹, 孙星辰¹, 姜自玉¹, 李洪珍², 冯壮壮²

1. 山东交通学院交通土建工程学院, 山东 济南 250357; 2. 山东沂蒙交通发展集团有限公司, 山东 临沂 276004

摘要:为解决混凝土连续箱梁桥桥面铺装层常出现开裂、拥包、脱层等病害问题,研究低温-动荷载耦合作用下混凝土连续箱梁桥的桥面铺装层应力与位移分布规律,基于有限元软件 COMSOL 构建混凝土连续箱梁桥模型,分析桥面铺装受低温环境作用与低温-动荷载耦合作用时的动态力学响应。结果表明:在低温作用下,桥面铺装上面层顶部最大位移为 28.75 mm,平均主应力为 0.79 MPa;在低温-动荷载耦合作用下,桥面铺装主要受拉应力,桥面铺装上面层拉应力大于下面层,桥面铺装拉应力由荷载中心向荷载边缘增大,桥面铺装最大位移随荷载的增大而增大。

关键词:混凝土桥;桥面铺装;温度-荷载耦合;力学响应

中图分类号:U441⁺.2;U441⁺.4;U447

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2025)02-0102-08

引用格式:李雄傲,王琨,谢丹丹,等.低温-动荷载耦合作用下混凝土连续箱梁桥桥面铺装层动态响应[J].山东交通学院学报,2025,33(2):102-109.

LI Xiongao, WANG Kun, XIE Dandan, et al. Dynamic response of concrete continuous box girder bridge deck pavement layer under coupled action of low temperature and dynamic load[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2025, 33(2): 102-109.

0 引言

水泥混凝土桥占全球桥梁总数的90%^[1]。桥面铺装层是水泥混凝土桥梁的柔性保护结构,可保障桥梁结构安全,延长桥梁使用寿命。桥面铺装层长期暴露在外部环境中,且持续受车辆荷载作用,使用条件较复杂,易发生拥包、坑槽及开裂等病害^[2-4]。需研究水泥混凝土桥面铺装的力学响应,分析桥面铺装层的破坏机理,为桥面病害的预防与修复提供理论支持^[5-7]。

耿巍等^[8]研究钢-混凝土组合梁桥面铺装在高寒强紫外线等极端环境下的温度应力与应变,探讨5种桥面铺装组合在温度-荷载耦合作用下的力学响应。李嘉等^[9]分析高韧性混凝土组合桥面铺装环境温度条件下的层间应力,提出桥面铺装层间应力的估算方法。程怀磊等^[10]通过现场实测,研究动荷载作用下沥青混合料桥面铺装层的应力、应变规律,为室内试验和有限元模拟提供参考。侯贵等^[11]探讨寒冷地区桥面铺装层间的受力状态,认为温度对层间剪切力影响显著。徐靖涵等^[12]对桥面铺装的有限元模拟及其应用进行综述性分析。Wang等^[13]通过有限元软件 ANSYS 仿真分析桥面铺装的合理厚度和动态模量。Gong等^[14]建立小半径、大纵坡曲线混凝土桥三维有限元模型,分析复杂荷载下的桥面铺装力学

收稿日期:2024-11-21

基金项目:山东省交通运输科技计划项目(2022B109)

第一作者简介:李雄傲(1999—),男,湖南益阳人,硕士研究生,主要研究方向为桥面铺装结构,E-mail:2498053451@qq.com。

*通信作者简介:王琨(1978—),女,山东德州人,教授,硕士研究生导师,工学博士,主要研究方向为道路结构与材料,E-mail:wangkun@sdjtu.edu.cn。

响应,研究不同行驶速度和轮组对铺装层的影响。Zhang 等^[15]分析车桥相互作用对桥面铺装力学状态的影响,认为车辆质量是影响桥面铺装的重要因素。目前,针对桥面铺装与混凝土桥梁协调变形的力学响应研究较少,尤其温度与动荷载耦合作用下的力学响应方面^[16]。

本文构建考虑低温与动荷载耦合作用的水泥混凝土桥梁模型,对桥梁在不同温度应力和位移条件下的力学响应进行系统分析,包括温度-动荷载耦合作用下的应力和位移分布,以期为水泥混凝土桥面铺装的动态响应分析提供理论依据,并为工程实践中的桥面铺装设计和维护提供参考。

1 有限元模型的建立

建立有限元模型时作以下假设:沥青桥面铺装层与混凝土桥梁同为连续的各向同性弹性结构,沥青桥面铺装层体系和混凝土连续箱梁间的垂直、水平位移均连续,沥青桥面铺装层与混凝土连续箱梁的反向初始位移均为 0。

选用变截面一体式箱梁,一跨全长 90 m,宽 13 m。采用两层式桥面铺装,从上到下依次为厚 4 cm 的 SMA-13 沥青混凝土和厚 6 cm 的 AC-20 沥青混凝土,混凝土强度等级为 C50。为方便计算,防水层和黏结层并入沥青混凝土层,桥梁截面示意图如图 1 所示。

1.1 材料参数获取及理论

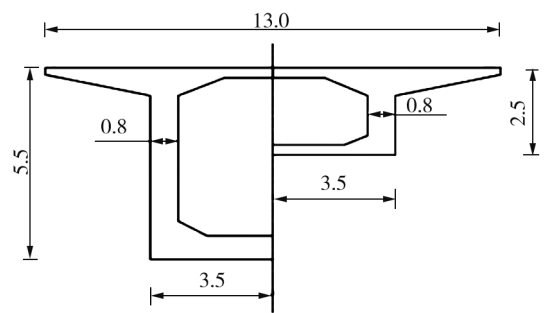
1.1.1 热传导理论

考虑边界条件和初始条件,采用瞬态温度场分析求解模型,热传导方程^[17]为:

$$\frac{\partial T}{\partial t_1} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

式中: λ 为铺装层材料的导热系数, ρ 为铺装层材料的密度, c 为比热容, x 、 y 、 z 为三轴坐标, T 为地表热力学温度, t_1 为时间。

各模型材料参数如表 1 所示。



单位:m。

图1 桥梁截面示意图

表1 各模型材料参数

材料	弹性模量/GPa	泊松比	密度/(kg·m ⁻³)	导热系数/(W·m ⁻¹ ·K)	比热容/(J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	热膨胀系数/(10 ⁻⁵ K)
SMA-13	1.350	0.25	2 420	2.10	900	2.15
AC-20	1.000	0.25	2 400	2.10	970	2.20
C50	34.500	0.16	2 440	1.28	920	1.00

1.1.2 太阳辐射

地球自转角速度恒定,基于太阳高度角在 1 d 内的变化规律和三角函数性质,可推导地表吸收的太阳辐射热流密度随时间变化的无量纲公式为^[18]:

$$q(t) = \begin{cases} 0, (0, 12 - \frac{\pi}{t_d}] \\ \alpha_s \frac{\pi}{2t_d} Q \sin \frac{\pi}{t_d} [t - (12 - \frac{\pi}{t_d})], (12 - \frac{\pi}{t_d}, 12 + \frac{\pi}{t_d}), \\ 0, [12 + \frac{\pi}{t_d}, 24) \end{cases}$$

式中: α_s 为路表对太阳辐射的吸收率,本文沥青混凝土取 $\alpha_s = 0.81$; t_d 为日照时间; Q 为太阳日辐射总

量; t 为太阳辐射时间。

1.1.3 大气对流换热

空气与路面结构的热流密度^[18]

$$q_0 = h(T_{\text{ext}} - T) ,$$

式中: h 为空气与路面的对流换热系数, T_{ext} 为外部环境热力学温度。

1.1.4 大气辐射换热

地表层作为能量交换的重要界面,在太阳辐射与大气系统的热交换过程中发挥关键作用。路面结构体系通过表面介质与周围空气层进行复杂的热交换:一方面,路面材料通过热传导机制吸收来自太阳辐射的热能;另一方面,通过长波辐射和热对流等传热方式,将积聚的热量持续向近地表大气层释放。模型中路面结构表面有效辐射的边界条件为^[18]:

$$q_F = \varepsilon \sigma_0 (T_l^4 - T_a^4) ,$$

式中: q_F 为表面有效辐射; ε 为表面发射率,本文取 $\varepsilon = 0.81$; T_l 为路表热力学温度; σ_0 为黑体辐射系数, $\sigma_0 = 2.041 \times 10^{-4} \text{ J}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \text{K}^4)$; T_a 为环境热力学温度。

1.2 网格划分及温度场建立

采用软件 COMSOL 建立混凝土连续箱梁和桥面铺装模型,将桥面铺装层(SMA-13 和 AC-20)平面划分为边长 1 m 的正方形网格,从上表面到下表面将 SMA-13 层垂直划分为 2 部分,将 AC-20 层划分为 3 部分。采用 COMSOL 自由四面体网格划分系统将混凝土桥常规化分割为 11 589 个单元,如图 2 所示。

收集济南市 2023 年 1 月至 2024 年 9 月的气象数据,月平均近地表温度如图 3 所示。选择近地表温度最低的 2023-12-16 的温度模拟低温天气,2023-12-16 的近地表温度如表 2 所示。

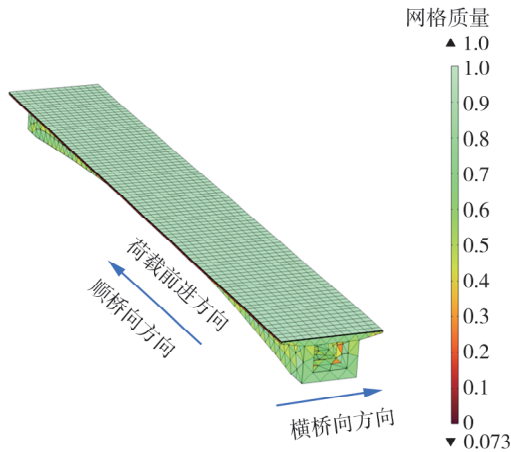


图 2 桥面铺装层网格划分

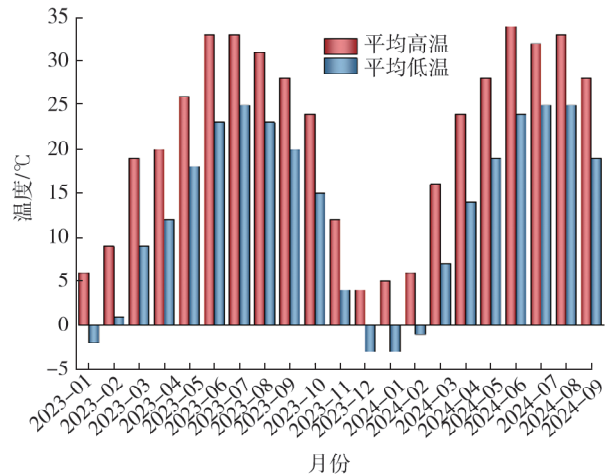


图 3 月平均近地表温度

表 2 2023-12-16 低温天气近地表温度

时刻	近地表温度/℃	时刻	近地表温度/℃	时刻	近地表温度/℃
00:00	-8.15	08:00	-7.85	16:00	-5.26
01:00	-7.85	09:00	-5.62	17:00	-7.98
02:00	-7.46	10:00	-3.78	18:00	-13.09
03:00	-7.44	11:00	-2.21	19:00	-13.87
04:00	-7.79	12:00	-1.34	20:00	-14.89
05:00	-8.24	13:00	-1.25	21:00	-15.55
06:00	-8.57	14:00	-1.86	22:00	-15.47
07:00	-8.76	15:00	-3.23	23:00	-14.88

大气温度周期性变化,且桥面铺装层有一定厚度,不适合进行短时间模拟分析。为消除初始温度对计算结果的偏差,对模型温度场连续计算 72 h,分析低温天气当天温度场。为提高结果的准确性,通过施加太阳辐射加载温度条件。

路面热交换是指路面与大气间温差产生的热量传导和对流。采用 Mirambell 等^[19]提出的经验公式计算对流换热系数,低温天气的对流换热系数如表 3 所示。

表 3 2023-12-16 低温天气的对流换热系数

时刻	风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	对流换热系数/($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{℃}^{-1}$)	时刻	风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	对流换热系数/($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{℃}^{-1}$)
00:00	0.13	5.168	12:00	3.74	18.994
01:00	0.16	5.283	13:00	3.47	17.960
02:00	0.86	7.964	14:00	3.28	17.232
03:00	2.42	13.939	15:00	3.28	17.232
04:00	2.97	16.045	16:00	3.33	17.424
05:00	2.95	15.969	17:00	2.29	13.441
06:00	2.89	15.739	18:00	1.79	11.526
07:00	2.77	15.279	19:00	0.90	8.117
08:00	2.69	14.973	20:00	0.17	5.321
09:00	3.97	19.875	21:00	0.33	5.934
10:00	4.38	21.445	22:00	1.27	9.534
11:00	4.12	20.450	23:00	2.45	14.054

1.3 动荷载施加

基于车辆-路面相互作用理论,轮胎与地面接触区域的力学特性可简化为矩形均布荷载模型。单个轮胎接地印迹在横桥向和顺桥向的几何特征长度分别为 0.20、0.35 m,为准确模拟实际交通荷载工况,本研究设置 2 组荷载。通过软件 COMSOL 内置的边界荷载模块定义压力荷载类型,并建立荷载-位移-速度耦合关系方程,实现移动荷载的动态加载过程。桥面铺装有限元模型及动荷载施加参数如图 4 所示。施加移动荷载,不考虑路面摩擦系数。

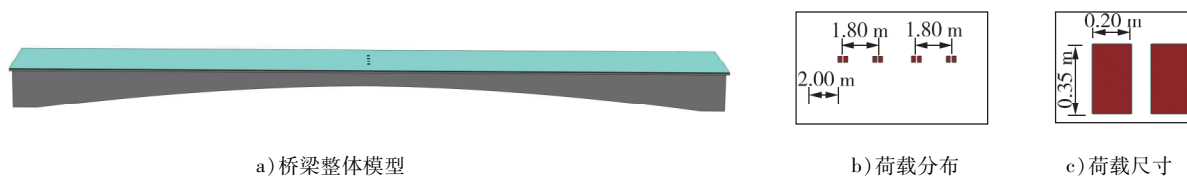


图 4 桥面铺装有限元模型及动荷载参数

2 桥面铺装结果分析

2.1 温度场

2.1.1 低温环境下桥面铺装应力

沥青混合料铺装层受低温影响产生相应的温度应力。为研究混凝土连续箱梁桥桥面铺装最不利条件下的温度应力,以混凝土连续箱梁桥桥面铺装表面在 2023-12-16 温度最低时刻 21:00 时的应力为研究对象,应力计算结果如图 5 所示。

由图 5 可知:在低温条件下,桥面铺装表面顺桥向应力和横桥向应力主要表现为拉应力,桥面铺装层的顺桥向与横桥向平均拉应力分别为 0.75、0.61 MPa。顺桥向拉应力比横桥向大 22.95%,顺桥向应力

为最不利应力,顺桥向方向作为应力主导方向易导致桥面铺装层的横向开裂。铺装层表面最大主应力达到 0.79 MPa,已接近沥青混凝土料的低温抗拉强度限值,说明低温环境对铺装层结构完整性存在显著影响;在桥头位置有明显的应力集中现象,易导致开裂破坏。

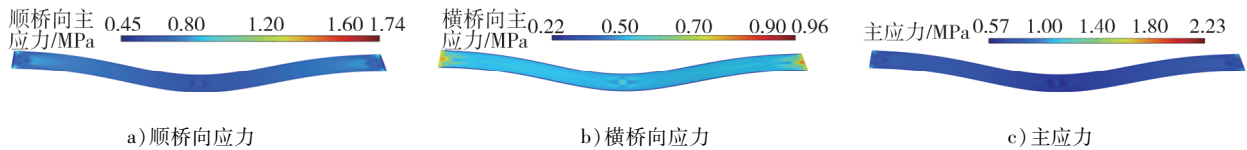


图5 低温桥面铺装应力分布

2.1.2 低温环境下桥面铺装位移

桥梁最大挠度出现在混凝土连续箱梁桥跨中。研究混凝土连续箱梁桥桥面铺装层在跨中位置的变形,相应位移计算结果如图6所示。

由图6可知:在低温荷载条件下,桥面铺装层与混凝土层位移呈M型变化,因为桥面铺装层固定在混凝土桥表面上层,桥面铺装与混凝土桥共同受低温荷载影响,产生下挠位移。桥面铺装路面结构最大位移位于上面层顶部,为 28.75 mm,上面层平均位移大于下面层,跨中横截面中央处产生凸形变形,边缘产生翘曲变形。

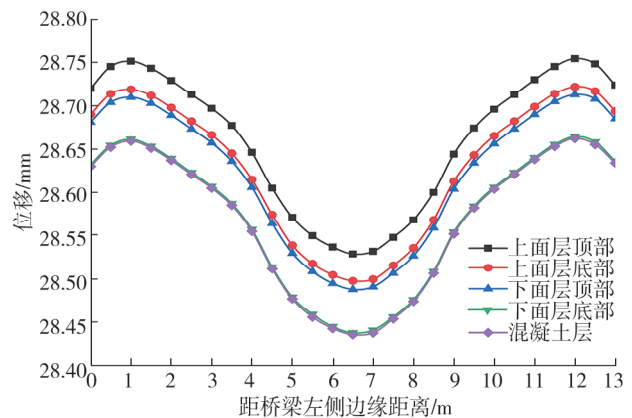


图6 低温桥面铺装跨中位移

2.2 低温-动荷载耦合条件下桥面铺装层应力与位移

以温度场分析结果作为间接耦合方法中体荷载施加于耦合分析模型上,以 2023-12-16 温度最低时刻 21:00 时的温度场为低温体荷载。车辆经桥梁跨中时,桥梁产生最大挠度^[20]。为研究桥面铺装最不利条件下的应力与位移,分析荷载分别为 0.4、0.7、1.0 MPa 经过桥梁跨中时桥面铺装的应力与位移。以车速为 60 km/h 为例,确定低温-动荷载耦合条件下桥面铺装的力学响应。低温-动荷载耦合作用下,沥青桥面铺装层的跨中顺桥向、横桥向第一主应力分布如图7、8所示。

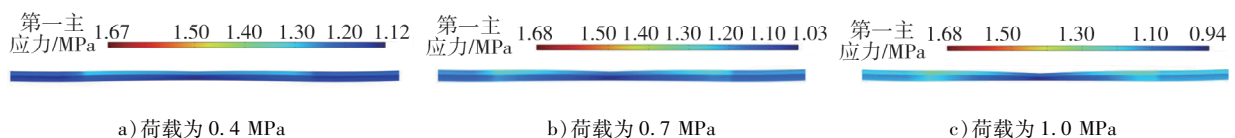


图7 低温-动荷载下跨中顺桥向第一主应力分布

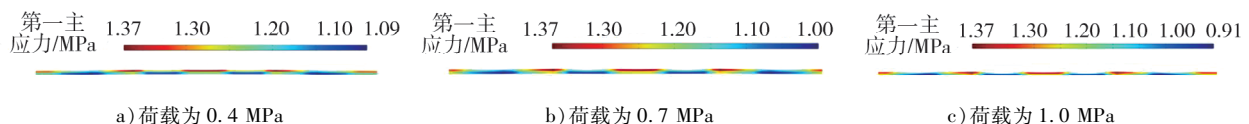


图8 低温-动荷载下跨中横桥向第一主应力分布

低温条件下,冷缩效应桥面铺装产生明显下挠变形,桥面铺装顺桥向和横桥向第一主应力以温度应力为主。由图7、8可知:桥面铺装层在顺桥向与横桥向的第一主应力均表现为拉应力,施加荷载对其影响较小;桥面铺装第一主应力受动荷载作用呈现显著的层间应力梯度分布情况,上面层平均第一主应力比下面层大 9.4%~12.0%,上、下面层的第一主应力均表现为典型的径向分布特征,即从荷载中心区域向边缘区域非线性递增,最大应力出现在荷载作用边缘区域;在竖向荷载为 1.00 MPa 时,竖向荷载中心处下面层横桥向方向存在最小第一主应力,为 0.91 MPa。

沥青铺装层整体顺桥向应力与横桥向应力如图9、10所示。由图9、10可知:低温-动荷载耦合作用下,桥面铺装的顺桥向和横桥向应力均表现为拉应力,其中顺桥向平均拉应力大于横桥向,在竖向荷载中心处,桥面铺装的拉应力相对较小;在桥头位置出现纵桥向和横桥向应力集中现象,最大应力分别为3.40、1.94 MPa;桥面铺装层在低温环境下产生较大的拉应力,桥面铺装层产生裂缝的可能性增大。冬季寒冷地区的桥面铺装层应具备优良的抗拉强度,提高结构层抵抗温度应力的不利影响,降低桥面铺装层结构开裂的风险。

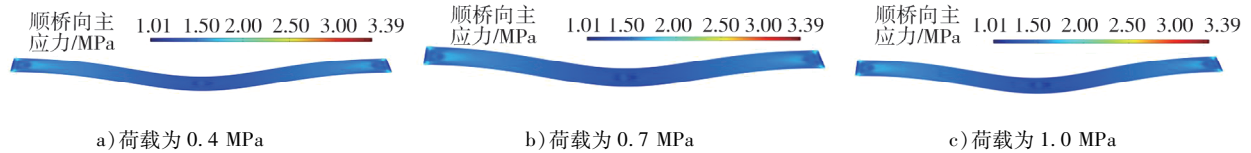


图9 低温-动荷载下低温顺桥向应力分布

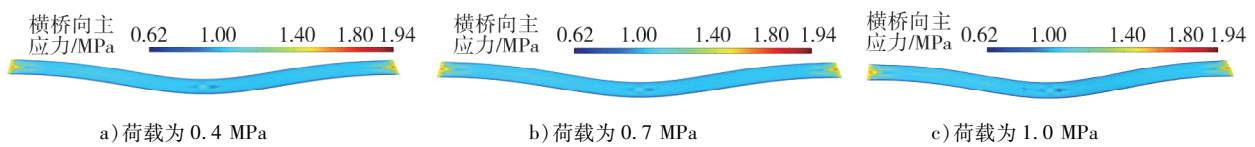


图10 低温-动荷载下低温横桥向应力分布

低温-动荷载耦合作用下桥面铺装层的位移分布特征如图11所示。由图11可知:桥面铺装层在低温-动荷载耦合作用下发生下挠变形,跨中截面呈凸形变形。由图6、11可知,温度变化是产生位移的主要因素。在动荷载分别为0、0.4、0.7、1.0 MPa时,跨中最大位移分别为28.75、30.68、32.30、34.39 mm,跨中最大位移随动荷载的增大而增大;动荷载引起的局部凹陷现象增强,在竖向荷载分别为0.7、1.0 MPa时,桥面铺装下面层底部及混凝土层跨中截面中心区域出现明显的局部凹陷。

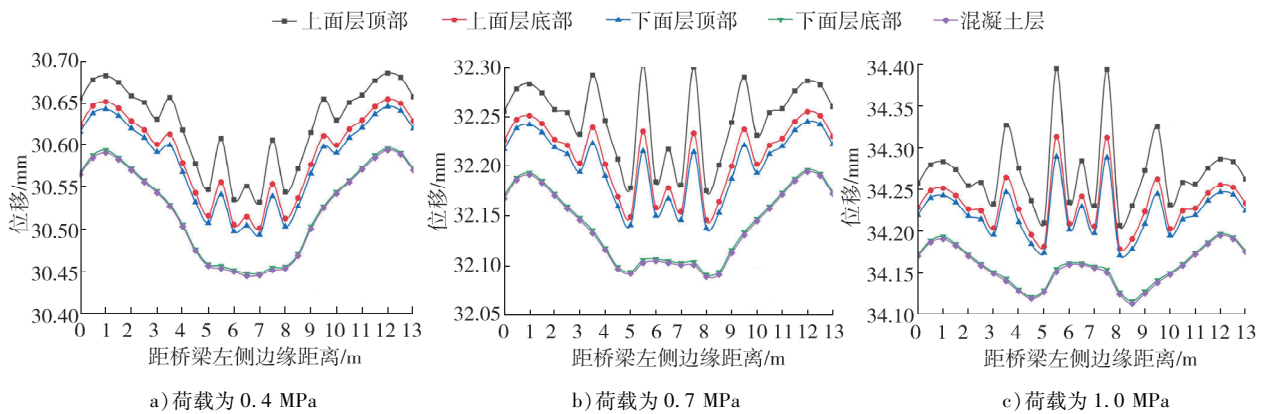


图11 低温-动荷载耦合作用下桥面铺装层位移

3 结论

本文研究低温-动荷载耦合作用下的混凝土连续箱梁桥面铺装层动态响应。基于有限元数值模拟方法,分析混凝土桥面铺装层力学性能。

1) 在低温荷载下,桥面铺装顺桥向平均应力大于横桥向,桥面铺装上面层顶部产生最大位移,为28.75 mm,平均主应力为0.79 MPa。

2) 在低温-动荷载耦合作用下桥面铺装层呈现典型层间受拉特征,桥面铺装层的上面层拉应力比下面层增大9.4~12.0%,桥面铺装层拉应力由荷载中心向荷载边缘处增大。

3) 在低温-动荷载耦合作用下,桥面铺装最大位移随荷载的增大而增大,在桥面两侧产生翘曲变形。

参考文献:

- [1] 付建村. 基于耐久性的季冻区混凝土桥桥面铺装结构-材料-施工协同优化研究[D]. 西安: 长安大学, 2022.
- [2] 黄晓明. 水泥混凝土桥面沥青铺装层技术研究现状综述[J]. 交通运输工程学报, 2014, 14(1): 1-10.
- [3] 王健, 毕玉峰, 张宏超. 杭州湾跨海大桥水泥混凝土桥梁桥面铺装车辙病害分析与预估[J]. 公路工程, 2018, 43(2): 229-233.
- [4] 何丽红, 谷颖佳, 张博, 等. 混凝土桥面防水黏结层剪应力有限元分析[J]. 公路, 2024, 69(1): 53-57.
- [5] 李永琴. 导电沥青混凝土的桥面铺装开裂预警技术研究[J]. 公路, 2021, 66(2): 40-44.
- [6] 杜骋, 张辉, 高培伟, 等. 混凝土桥面沥青铺装防水层黏结性能影响因素研究[J]. 公路, 2018, 63(4): 138-141.
- [7] 汪双杰, 李志栋, 黄晓明. 水泥混凝土桥沥青铺装系设计与铺装技术发展[J]. 筑路机械与施工机械化, 2017, 34(2): 34-41.
- [8] 耿巍, 任海生, 胡帮艳, 等. 高寒强紫外线地区钢混组合梁桥面铺装结构温度-荷载耦合作用分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2023, 56(5): 557-566.
- [9] 李嘉, 丁峰, 曹君辉. 高韧性混凝土组合桥面铺装层间应力简化计算方法[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2022, 49(11): 150-160.
- [10] 程怀磊, 刘黎萍, 孙立军. 钢桥面沥青混合料铺装层变动态响应实测研究[J]. 土木工程学报, 2019, 52(6): 100-109.
- [11] 侯贵, 王选仓, 赵伦, 等. 寒冷地区桥面铺装层层间工作状态[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2018, 38(4): 39-47.
- [12] 徐靖涵, 郑木莲. 桥面铺装有限元模拟与应用研究进展[J/OL]. 工程力学. (2024-01-25) [2024-11-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2595.03.20240122.1622.004.html>.
- [13] WANG L B, HOU Y, ZHANG L, et al. A combined static-and-dynamics mechanics analysis on the bridge deck pavement [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 166: 209-220.
- [14] GONG M Y, ZHOU B C, CHEN J Y, et al. Mechanical response analysis of asphalt pavement on concrete curved slope bridge deck based on complex mechanical system and temperature field[J]. Construction and Building Materials, 2021, 276: 122206.
- [15] ZHANG X, CHEN E L, LI L Y, et al. Development of the dynamic response of curved bridge deck pavement under vehicle-bridge interactions[J]. International Journal of Structural Stability and Dynamics, 2022, 22(11): 2241003.
- [16] 张艳君, 赵文忠, 王鹏, 等. 热压式沥青混凝土桥面铺装设计与性能评价[J]. 公路工程, 2020, 45(5): 108-111.
- [17] 王厚华. 传热学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2006.
- [18] 高语, 滕旭秋. 基于 COMSOL 的沥青混凝土路面车辙预估[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2020, 40(6): 578-584.
- [19] MIRAMBELL E, AGUADO A. Temperature and stress distributions in concrete box girder bridges[J]. Journal of Structural Engineering, 1990, 116(9): 2388-2409.
- [20] 袁阳光, 伊廷华, 辛公锋, 等. 基于挠度监测的混凝土桥梁实时安全评估方法研究[J/OL]. 土木工程学报. (2023-12-28) [2024-11-11]. <https://doi.org/10.15951/j.tmgcxb.23090795>.

Dynamic response of concrete continuous box girder bridge deck pavement layer under coupled action of low temperature and dynamic load

LI Xiongao¹, WANG Kun^{1*}, XIE Dandan¹, SUN Xingchen¹, JIANG Ziyu¹,
LI Hongzhen², FENG Zhuangzhuang²

1. School of Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China;

2. Shandong Yimeng Transportation Development Group Co., Ltd., Linyi 276004, China

Abstract: To address the common issues of cracking, bulging, and delamination in the pavement layer of concrete continuous box girder bridges, the stress and displacement distribution of the pavement layer under low temperature and dynamic load coupling effects are investigated. A concrete continuous box girder bridge model

is established using the finite element software COMSOL to analyze the dynamic mechanical response of the pavement layer under low temperature conditions and the coupling effects of low temperature and dynamic loads. The results indicate that under low temperature conditions, the maximum displacement at the top of the pavement layer reaches 28.75 mm, with an average principal stress of 0.79 MPa. Under the coupling effects of low temperature and dynamic loads, the pavement layer primarily experiences tensile stress, with the tensile stress in the upper layer being greater than that in the lower layer. The tensile stress in the pavement layer increases from the center of the load towards the edges, and the maximum displacement of the pavement layer increases with the increase of the load.

Keywords: concrete bridge; bridge deck; temperature-load coupling; mechanical response

(责任编辑:王惠)

.....
(上接第 85 页)

foaming agent are mixed in a certain mass ratio to achieve a flow value of 160–200 mm. Four different numbers of geogrid reinforcement layers (0, 1, 2, 3 layers) and three wet densities (600, 700, 800 kg/m³) are used. Square geogrids with a side length of 95 mm and rectangular geogrids measuring 95 mm in width and 395 mm in length are placed in the test mold. After curing for 28 days, the specimens are demolded, and foam lightweight soil specimens reinforced with geogrids are prepared. Unconfined compressive strength tests and four-point bending tests are conducted to analyze the effects of wet density and reinforcement layers on the flexural performance of foam lightweight soil from the aspects of displacement-load curves, failure modes, displacement-load characteristics, unconfined compressive strength, and flexural strength. The research findings are as follows: After loading, the reinforced foam lightweight soil transitions from brittle failure to elastic-plastic failure, significantly enhancing the flexural performance of the foam lightweight soil by transmitting load to the interior of the specimen according to the bonding stress mechanism; during the loading process, the foam lightweight soil primarily bear the load in the early stage, while the geogrid mainly bear the load in the later stage; the addition of geogrids significantly improves both the unconfined compressive strength and flexural strength of foam lightweight soil, with the maximum unconfined compressive strength reaching 3.16 MPa and the flexural strength increasing by up to 168%; a predictive equation for unconfined compressive strength based on wet density and reinforcement layers is established, revealing a good correlation between the ratio of unconfined compressive strength to flexural strength and wet density.

Keywords: foam lightweight soil; geogrid; flexural performance; displacement-load curve

(责任编辑:王惠)

.....
(上接第 92 页)

depth, dynamic modulus, freeze-thaw strength splitting ratio, and fatigue life. The low-temperature performance, water stability, and fatigue life of AC-10-SBS(H) are superior to those of AC-20-SBS(H), while the high-temperature stability of AC-20-SBS(H) is better than that of AC-10-SBS(H); at a temperature of 15 °C and a loading frequency of 10 Hz, the dynamic modulus of AC-20 and AC-10 high modulus modified asphalt mixtures are similar. It is recommended that in cold regions, AC-10 and AC-20 high modulus asphalt mixtures adopt a combination of high-modulus agent and SBS modified asphalt.

Keywords: SBS modified asphalt; high modulus asphalt mixture; road performance

(责任编辑:王惠)