

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2018.11.006

寒冷地区浇注式沥青混凝土高温稳定性与 技术指标研究

王选仓¹, 侯 贵^{1,2}, 孙耀宁¹, 侯 平³, 刘春波⁴

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 内蒙古自治区交通建设工程质量监督局, 内蒙古 呼和浩特 010020;
3. 乌兰察布市机场快速通道建设管理办公室, 内蒙古 乌兰察布 012001; 4. 陕西建通公路工程技术咨询有限公司 陕西 西安 710000)

摘要:为进一步了解浇注式沥青混凝土在我国寒冷地区应用时的使用性能,研究了浇注式沥青混凝土破坏机理,分析了现行规范对浇注式沥青混凝土高温性能的规定,调查了我国实际工程中浇注式沥青混凝土的使用情况。分析了沥青混凝土桥面铺装层层间受力状态,并对我国寒冷地区桥面铺装层高温环境特征进行研究。得到了我国浇注式沥青混凝土桥面铺装实体工程动稳定度值的区间,其中67%的实体工程动稳定度大于1 000次/mm,33%处于400~500次/mm范围内。得到了铺装层厚度、铺装层模量、超载、温度对桥面铺装层层间力学性能的影响规律,不同影响因素对桥面层间的最大剪应力影响程度的大小排序为:温度>超载>厚度>材料模量。我国北方寒冷地区夏季最高温可达42.6℃,在我国寒冷地区使用浇注式沥青混凝土时,需将高温稳定性能作为重要因素考虑,建议以工程所在地七月最高气温作为浇注式沥青混凝土铺装层设计高温设防值。建议增加车辙试验作为浇注式沥青混凝土高温性能评价方法,采用动稳定度作为评价指标。有关结论可为浇注式沥青混凝土设计与施工提供参考。

关键词:桥梁工程;高温性能;层间受力;浇注式沥青混凝土;寒冷地区

中图分类号:U444

文献标识码:A

文章编号:1002-0268(2018)11-0044-07

Study on High Temperature Stability and Technical Index of Cast Asphalt Concrete in Cold Region

WANG Xuan-cang¹, HOU Gui^{1,2}, SUN Yao-ning¹, HOU Ping³, LIU Chun-bo⁴

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China; 2. Bureau of Traffic Construction Engineering Quality Supervision of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot Inner Mongolia 010020, China; 3. Construction and Management Office of Ulanqab Airport Expressway, Ulanqab 012001, Inner Mongolia, China; 4. Shaanxi Jian Tong Highway Engineering Consulting Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710000, China)

Abstract: To further understand the application performance of guss asphalt concrete in cold region of China, the failure mechanism of guss asphalt concrete is studied, the stipulation of high temperature performance of guss asphalt concrete in current specifications is analyzed, and the application of guss asphalt concrete in China is investigated. The interlayer stress state of asphalt concrete deck pavement is analyzed, and the high temperature environmental characteristics of bridge deck pavement in cold region of China are studied. The range of dynamic stability of guss asphalt concrete bridge deck pavement in China is obtained. Among them, 67% of the dynamic stability of practical project is greater than 1 000 times/mm, 33% of the dynamic stability is within the range of 400 - 500 times/mm. and the influence rules of pavement layer thickness, pavement modulus, overload and temperature on the interlayer mechanical property of deck pavement are obtained. The order of degrees of different influencing factors on the maximum interlayer shear stress of the

收稿日期:2018-01-06

基金项目:内蒙古交通科技项目(NJ-2015-14)

作者简介:王选仓(1956-),男,陕西西安人,教授,博士。(wxc2005@163.com)

bridge deck is: temperature > overload > thickness > material modulus. The highest temperature in Cold region of north China in summer is 42.6 °C, thus the high temperature stability should be considered as an important factor in the use of gussasphalt concrete in cold regions of China. It is suggested that the maximum temperature at the project site in July should be used as the high temperature fortification value of gussasphalt concrete pavement, the rutting test should be added as the evaluation method for high temperature performance of gussasphalt concrete, and the dynamic stability should be used as the evaluation index. The conclusion can provide a reference for the design and construction of gussasphalt concrete.

Key words: bridge engineering; high temperature performance; interlamination; gussasphalt; cold region

0 引言

浇注式沥青混凝土最早起源于德国, 后主要在英国、日本等国家得到进一步推广应用^[1-2]。浇注式沥青混凝土作为铺装材料的优点是自身流动性大, 可凭借自身流动而密实成型, 无需碾压, 并能满足一定的路用性能要求^[2]。国外很早就开始对浇注式沥青混凝土进行研究, 目前已发展形成了成熟的技术流程, 并形成了系统的施工方法和评价标准^[3-6]。由于地域、气候和交通状况差异, 且我国存在环境和施工条件复杂的情况, 使用浇注式沥青混凝土时, 国外理论并不完全适用于我国^[6]。必须结合我国气候特征、交通情况等实际工况的特点, 对浇注式沥青混凝土技术作进一步的改进。

浇注式沥青混凝土由于其优良的性能广泛应用于桥面铺装, 目前主要应用于我国南方地区^[2-6]。理论上浇注式沥青混凝土的空隙率认为是 0^[7], 因此更容易发生高温破坏而产生车辙。浇注式沥青混凝土

在我国桥面铺装应用较多, 而且我国大多数钢箱梁桥为封闭式^[8], 具有很强的储热作用, 钢箱梁温度太高使得铺装层持续处于高温状态, 从而产生高温病害。钢桥面铺装层的力学与使用性能和温度、铺装层材料类型以及铺装结构具有较大的相关性。近年来, 浇注式沥青混凝土已开始应用于我国寒冷地区桥面铺装。由于我国内蒙古等寒冷地区夏季最高气温与南方地区十分接近, 且偶有极端高温现象, 基于已有研究成果^[7-22], 对浇注式沥青混凝土在我国寒冷地区应用的高温性能进行研究具有重要意义。

1 相关规范与我国实际工程高温性能指标调查分析

(1) 部分国内外评价指标调查分析

通过调查部分国内外浇注式沥青混凝土相关规范, 对浇注式沥青混凝土应用较为广泛的德国、英国、日本和中国关于浇注式沥青混凝土高温性能评价指标进行汇总^[6], 见表 1。

表 1 部分浇注式沥青混凝土高温性能评价指标汇总

Tab. 1 Summary of high temperature performance evaluation indexes for partial guss asphalt concrete

指标	德国				英国	日本	中国		
	0/11S	0/11	0/8	0/5			夏炎	夏热	夏凉
贯入度 (40 °C)/mm	1 ~ 3.5	1 ~ 5	1 ~ 5	1 ~ 5	—	1 ~ 4	1 ~ 4	1 ~ 4	1 ~ 4
贯入度增量/mm	≤0.4	≤0.6	≤0.6	≤0.6	—	—	≤0.4 (60 °C)	≤0.4 (50 °C)	≤0.4 (40 °C)
动稳定度 (60 °C)/(次 · mm ⁻¹)	—	—	—	—	—	≥350	—	—	—
车辙率/(mm · h ⁻¹)	—	—	—	—	≤5.0	—	—	—	—
车辙深度/mm	—	—	—	—	≤7.0	—	—	—	—

由表 1 可以看出, 德国规范以贯入度及贯入度增量作为浇注式沥青混凝土高温性能评价指标。英国规范以车辙率和车辙深度作为评价指标。日本规范同时对贯入度和动稳定度做出规定。我国《公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南》根据夏季气候分区, 以贯入度及贯入度增量作为浇注式沥青混凝土高温性能评价指标。各国使用贯入度作为浇注式沥青混凝土高温性能评价指标最多, 且测试方法

基本一致。贯入度试验可以初步判断浇注式沥青混合料的高温性能, 但存在一定的局限性, 该试验可以在一定程度上反映浇注式沥青混合料的抗压能力, 但是不能很好模拟浇注式沥青混合料在交通荷载作用下的实际工作状态。德国、英国并未提出动稳定度相关规定, 考虑到浇注式沥青混合料的抗车辙能力, 日本提出了动稳定度要求 (≥350 次/mm)。我国目前还没有关于浇注式沥青混凝土车辙动稳定度

的具体要求。

(2) 我国实际工程调查分析

通过对我国部分浇注式沥青混凝土桥面铺装实体工程资料进行收集与调查^[6], 将其高温稳定性观测值进行汇总, 具体数值见表2。

表2 我国典型浇注式沥青混凝土实体工程高温稳定性调查
Tab.2 Investigation on high temperature stability of typical gussasphalt concrete practical projects in China

实体工程	贯入度/mm	贯入度增量/mm	动稳定度/mm
润扬长江公路大桥	1.69 (40 ℃)	0.23 (40 ℃)	1 125
南汉桥			
上海东海大桥	1.67	0.11	2 808
汕头礮石大桥	3.41	0.36	2 567
矮寨特大桥	1.56	0.16	3 726
西铜高速渭河大桥	3.68	0.31	485
佛山石湾特大桥	3.89	0.31	2 156
泰州长江大桥	1.05 (40 ℃)	0.25	498
南京长江四桥	1.42	—	449
马鞍山长江大桥	—	—	4 300
安庆长江公路大桥	—	—	280 (70 ℃)
福州鼓山大桥	3.02	0.23	—

注: 未单独标注的试验温度为60 ℃

由表2可以看出, 所调查的浇注式沥青混凝土铺装工程中, 60 ℃贯入度大概在1.42~3.89 mm范围内, 均满足我国《公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南》对浇注式沥青混凝土贯入度的要求。贯入度增量均满足我国《公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南》要求, 贯入度增量大概在0.11~0.35 mm范围内。我国规范对于浇注式沥青混凝土动稳定度没有具体规定, 日本规范规定浇注式沥青混凝土动稳定度应大于或等于350次/mm。通过实体工程动稳定度的调查数据可以看出, 我国现有浇注式沥青混凝土桥面铺装层动稳定度值的差异较大, 除安庆长江公路大桥可能受试验温度影响导致动稳定度较低, 其中67%的实体工程动稳定度大于1 000次/mm, 33%处于400~500次/mm范围内。

2 寒冷地区桥面铺装层高温环境特征分析

对于我国桥面铺装层来说, 铺装层的夏季使用温度很高, 且我国大多数钢箱梁桥为封闭式, 储热作用强, 钢箱梁内部温度高且不易散热, 浇注式沥青混凝土铺装层持续处于高温工作状态^[8]。钢桥面板的导热系数要比其他土工材料大得多, 除了自身正常的温度变化, 日温差和气候变化都会对铺装层

的变形造成一定的影响, 钢桥面沥青混合料铺装层随温度变化更加敏感, 尤其是当处于极端高温或极端低温条件下。因此浇注式沥青混凝土桥面铺装层应当具有较好的高温稳定性来满足其使用性能。以内蒙古地区为例, 内蒙古自治区地域跨度大, 东西横跨2 400 km, 气候以温带大陆性季风气候为主, 冬、春季漫长且气温低, 夏季短暂。虽平均温度较低, 但是其夏季最高气温并不低, 极端高温温度值与南方地区十分接近, 且偶有极端高温出现。选取内蒙古地区典型城市, 根据统计数据得到各地区近30年的7月最高气温见图1, 内蒙古典型地区七月最高气温已经达到较高水平, 大致处于38~42.6 ℃。寒冷地区夏季的日照时长与南方地区相近, 且受太阳辐射时间较长, 沥青混凝土铺装层在夏季气温最高时, 铺装结构容易产生高温病害。

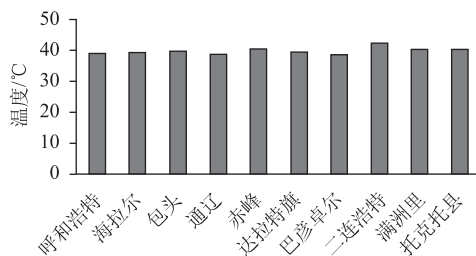


图1 内蒙古地区典型城市7月最高气温

Fig.1 Highest temperature of July in the typical city of Inner Mongolia

在热交换、太阳辐射和热对流的作用下, 沥青面层的温度非常高, 沥青混凝土铺装层内曾测到70 ℃以上的温度。因此, 高温季节时沥青铺装层内会迅速产生永久变形, 有些重载交通路段超载现象严重, 甚至在几天的连续高温气候下路面即可看到明显的辙痕。沥青混合料的高温病害还表现为推移、拥包和波浪。在我国寒冷地区进行浇注式沥青混凝土桥面铺装层设计时, 需要充分考虑高温对沥青路面的影响。通过对内蒙古地区典型城市最高气温状况进行调查分析, 发现各地区最高气温均出现在7月, 建议以工程所在地7月可能出现的最高气温作为浇注式沥青混凝土铺装层设计高温设防值。

3 寒冷地区桥面铺装层层间受力分析

影响桥面层间应力变化因素很多, 其中桥面铺装层间和桥面板厚度和模量变化影响不明显, 故本研究在进行力学分析时不对其进行考虑^[22]。利用有限元软件对铺装层厚度、沥青铺装层模量、超载、温度进行计算分析, 得到在不同工况作用下铺装层

与桥面板间的力学规律。

(1) 桥面铺装层厚度

考虑铺装厚度对沥青混凝土桥面铺装层的影响, 沥青混凝土桥面铺装层厚度一般在 4 ~ 14 cm 范围内, 本研究对 6 种厚度的沥青混凝土桥面铺装层进行计算分析, 分别得到不同厚度桥面铺装层对应的层间最大剪应力, 见表 3。

表 3 铺装层厚度的影响

Tab. 3 Effect of pavement thickness

铺装层厚度/cm	4	6	8	10	12	14
最大剪应力/MPa	0.155	0.141	0.126	0.111	0.098	0.086

由表 3 可知, 铺装层厚度为 4 cm 时, 层间最大剪应力为 0.155 9 MPa; 铺装层厚度为 14 cm 时, 层间最大剪应力为 0.086 1 MPa。随着沥青铺装层厚度增加, 铺装层层间最大剪应力逐渐减小, 且剪应力随铺装层厚度增加的降低幅度较大。铺装层厚度由 4 cm 增加到 14 cm 时, 桥面层间最大剪应力降低了 44%, 桥面层间应力对沥青铺装层的厚度变化较为敏感, 桥面铺装层设计时铺装层厚度应合理取值。因此建议铺装层厚度在经济条件和技术条件允许的情况下, 可以适当选取较大的铺装厚度, 以保证铺装层具有良好的路用性能。

(2) 桥面铺装层模量

考虑铺装材料模量对沥青混凝土桥面铺装层的影响, 沥青铺装层模量选取 1 060, 1 260, 1 460, 1 660, 1 860, 2 060 MPa 这 6 种模量进行计算分析, 分别得到不同模量对应的桥面铺装层层间最大剪应力见表 4。

表 4 铺装层模量对桥面铺装层最大剪应力的影响

Tab. 4 Effect of modulus on maximum shear stress of deck pavement

铺装模量/MPa	1 060	1 260	1 460	1 660	1 860	2 060
最大剪应力/MPa	0.116 8	0.111 0	0.106 0	0.101 6	0.097 7	0.094 3

由表 4 可知, 铺装层材料模量为 1 060 MPa 时, 层间最大剪应力为 0.116 8 MPa; 铺装层材料模量为 2 060 MPa 时, 层间最大剪应力为 0.094 3 MPa。随着桥面铺装层模量的不断增加, 桥面铺装层层间最大剪应力不断减小。沥青铺装层模量由 1 060 MPa 增加到 2 060 MPa 时, 桥面层间的最大剪应力减小了 19.3%, 可见沥青铺装层模量对桥面层间应力有一定影响, 采用较高模量的铺装材料有利于提高铺装层整体性。

(3) 超载

本研究计算了桥面在 100 ~ 200 kN 这 6 种轴载情况下的层间最大剪应力。轮胎接地面积及接地压强与轴载大小关系密切, 车辆轴载变化时, 轮胎接地面积及接地压强均随之变化, 因此为分析不同轴载作用下路面力学状态应首先确定不同轴载时轮胎胎压和接地面积。本研究轮胎接地压力计算模型^[17], 如下式所示:

$$P_i = aP + b,$$

式中, P 为轮载。 P_i 为轮压。 a , b 为计算系数, 轴重 < 150 kN 时, $a = 0.001\ 1$, $b = 0.591\ 2$; 轴重 ≥ 150 kN 时, $a = 0.002\ 3$, $b = 0.409\ 4$ 。

根据上述轮胎接地压力预估模型及轴重 = 胎压 $\times$ 接地面积换算关系, 由各级轴载计算得到的接地面积、当量圆半径 δ 及轮压如表 5 所示。

表 5 不同轴重计算参数

Tab. 5 Calculation parameters of different axle loads

轴载/kN	轮载/kN	接地面积/cm ²	当量圆半径/cm	轮压/MPa
100	25	356.53	10.65	0.70
120	30	414.82	11.49	0.72
140	35	469.67	12.23	0.75
160	40	514.53	12.80	0.78
180	45	546.51	13.19	0.83
200	50	575.11	13.53	0.87

超载给桥面的薄弱层间连接带来了挑战, 造成了桥面铺装层的过早发生病害。因此, 在本研究中超载考虑 0, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 这 5 种工况水平, 如表 6 所示。

表 6 桥面层间最大剪应力对超载率响应的计算结果

Tab. 6 Calculation result of response of maximum bridge deck interlayer shear stress on overloading rate

超载率/%	0	20	40	60	80	100
最大剪应力/MPa	0.111	0.121 7	0.131 3	0.141 4	0.152 8	0.163 9

由表 6 可知, 超载率为零时, 层间最大剪应力为 0.111 MPa; 超载率为 100% 时, 层间最大剪应力为 0.163 9 MPa。桥面层间最大剪应力随超载率的增加而不断增长, 当超载率从 0 增长为 100% 时, 铺装层间的最大剪应力增长了 47.7%, 桥面层间最大剪应力对超载率变化较为敏感。桥面铺装层设计时需要着重考虑交通荷载影响, 说明了随着超载幅度的增加, 层间受到的剪应力也急剧攀升, 因此对于重载路段应加强层间处治。

(4) 气温

结合桥面铺装从实际工作状态考虑气温在 -30, -20, 0, 20, 30, 40 °C 时对层间力学性能的影响。

考虑沥青混合料的热敏感性,本研究采用 BELLS 修正模型^[17]表征温度对沥青混合料弹性模量 E 的影响,即:

$$E(T) = E_{20} \times 10^{\alpha(20-T)},$$

式中, T 为沥青混合料温度; E_{20} 为 20 ℃ 时沥青混合料

的模量; α 为沥青混合料的热敏感系数,与沥青混合料配合比及热力学性质有关, α 值在 0.015 ~ 0.030 之间。

根据以上分析,计算得到各路面结构层在不同温度条件下的沥青混凝土面层材料回弹模量见表 7,不同温度条件下桥面层间最大剪应力见表 8。

表 7 不同温度条件下的沥青混凝土面层材料回弹模量

Tab. 7 Resilient moduli of asphalt concrete surface material at different temperatures

面层材料	回弹模量/MPa							
	-30 ℃	-20 ℃	-10 ℃	0 ℃	10 ℃	20 ℃	30 ℃	40 ℃
AC-13C	14 000	8 833	5 574	3 517	2 219	1 400	883	577
AC-20C	12 000	7 571	4 777	3 014	1 902	1 200	757	478
AC-25C	10 000	6 310	3 981	2 512	1 585	1 000	631	398
AC-13 + AC-20	12 600	7 950	5 016	3 165	1 997	1 260	795	502

表 8 不同温度条件下桥面层间最大剪应力

Tab. 8 Maximum bridge deck interlayer shear stresses at different temperatures

温度/℃	-30	-20	0	20	30	40
最大剪应力/MPa	0.043	0.053	0.080	0.111	0.126	0.140

由表 8 可知,温度为 -30 ℃ 时,层间最大剪应力为 0.043 MPa;温度为 40 ℃ 时,层间最大剪应力为 0.140 MPa。桥面层间的最大剪应力随温度的增大呈线性增长趋势,这与铺装层模量对桥面层间最大剪力的影响趋势吻合。当环境温度从 -30 ℃ 变为 40 ℃ 时,桥面层间最大剪应力增大了 226%,说明环境温度从负温升到较高温度时对铺装层间的最大剪应力影响较明显,温度越高对桥面层间越不利,寒冷地区桥面层间设计需要着重考虑高温条件下层间剪应力。

采用变化幅度的大小来表征各影响因素对桥面层间的最大剪应力影响程度,在所选的 4 个因素中,对桥面层间的最大剪应力影响程度的大小关系为:温度 > 超载 > 厚度 > 材料模量。所以,浇注式沥青混凝土在我国北方寒冷地区使用时,需着重考虑温

度对其使用性能的影响。

4 工程应用效果

项目依托工程为乌兰察布市集宁南绕城公路,该工程起点位于 G6 京藏高速公路运营里程 K311 + 500 处(接 110 国道),终点与 110 国道相接,路线全长 41.967 km。试验路左幅采用 3 × 35 m 等截面钢箱梁,桥梁起点桩号 K353 + 220.2,终点桩号 K353 + 333.2,斜交角度 75°,设计行车速度 100 km/h,桥涵设计荷载为公路 - I 级。

试验路采用 3 × 35 m 等截面钢箱梁,钢桥面行车道铺装层厚度考虑功能要求的不同,分多层设计。桥面铺装设计总厚度 70 mm,结构自上而下为:35 mm SMA10 改性沥青玛蹄脂碎石 + 35 mm GA10 改性沥青浇注式混凝土。铺装层 SMA10 混合料添加适量的抗车辙剂或抗剥落剂,以提高 SMA 混合料的抗高温性能和抗水损害能力。浇注式沥青混凝土采用改性沥青与 TLA 以 7:3 的比例进行掺配,最佳沥青用量确定为 7.6%,浇注式沥青混合料级配组成见表 9。钢桥面铺装层结构见图 2。

表 9 GA-10 沥青混合料级配

Tab. 9 Gradation of GA-10 Asphalt mixture

筛孔/mm	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配要求/%	100	80~100	63~80	48~63	38~52	32~46	27~40	24~36	20~30
设计值/%	100	99.9	69.6	52.2	43.8	39.2	34.1	31.3	28.9

表 10 浇注式沥青混合料的各项性能指标实测值

Tab. 10 Measured performance indexes of gussasphalt mixture

级配 类型	试验项目					
	流动性(240 ℃, s)		60 ℃ 贯入度/mm		60 ℃ 贯入度增量/mm	
	实测值	要求值	实测值	要求值	实测值	要求值
级配一	12	≤20	3.88	≤4	0.32	≤0.5

经检测, SMA 沥青混合料与 GA 浇注式沥青混合料高温性能满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)和《公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南》相关要求。施工过程中沥青铺装层工程质量及铺装结构整体性良好,铺装效果平整,外观均匀一致,无离析现象,接缝平顺。试验路通

铺装面层	3.5 cm厚改性沥青SMA-10
黏层	改性乳化沥青, 0.3~0.5 kg/m ²
铺装下层	3.5 cm厚改性沥青GA-10, 表面撒布一定粒径的碎石
甲基丙烯酸树脂防水黏结体系	胶黏剂, 用量: ≥ 200 g/m ²
	防水层(两层), 总用量: 2 500~3 500 g/m ²
	底涂层, 用量: 150~250 g/m ²
钢板	喷砂除锈, 清洁度: Sa2.5级; 粗糙度: 50~100 μ m

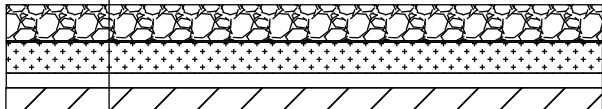


图 2 钢桥桥面铺装结构

Fig. 2 Structure of steel bridge deck pavement

车后, 使用性能良好, 无明显病害, 施工质量符合要求。

由此可见, 浇注式沥青混凝土桥面铺装层在我国内蒙古乌兰察布地区使用效果良好。长期使用效果有待进一步观测。

5 结论

(1) 通过分析国内外相关规范对浇注式沥青混凝土高温稳定性指标的规定, 调查了国内实际工程浇注式沥青混凝土高温稳定性观测值, 得到了我国浇注式沥青混凝土桥面铺装层实体工程动稳定度区间。其中 67% 的实体工程动稳定度大于 1 000 次/mm, 33% 处于 400~500 次/mm 范围内。

(2) 分析了桥面铺装层层间力学性能主要影响因素, 对铺装层厚度、沥青铺装层模量、超载、温度对桥面铺装层层间力学性能进行计算分析, 得到不同影响因素对桥面层间的最大剪应力影响程度的大小排序为: 温度 > 超载 > 厚度 > 材料模量。

(3) 分析了我国寒冷地区的夏季高温特征, 在我国寒冷地区进行浇注式沥青混凝土桥面铺装层设计时, 需要充分考虑高温对沥青路面的影响, 建议以工程所在地 7 月最高气温作为浇注式沥青混凝土铺装层设计高温设防值。

(4) 建议增加车辙试验作为浇注式沥青混凝土高温性能评价方法, 采用动稳定度作为评价指标。

(5) 依托工程实施效果良好, 工程完成后经观测, 路用性能良好。

参考文献:

References:

[1] 陈先华, 黄卫, 王建伟. 浇注式沥青混凝土铺装破坏原因 [J]. 交通运输工程学报, 2004, 4 (4): 5-9.
CHEN Xian-hua, HUANG Wei, WANG Jian-wei. Damage Causes of Mastic Asphalt Pavement on Orthotropic Steel Deck Plate [J]. Journal of Traffic and

Transportation Engineering, 2004, 4 (4): 5-9.

[2] 侯贵, 王选仓, 孙耀宁, 等. 严寒地区钢桥面浇注式沥青混凝土低温性能试验研究 [J]. 公路交通科技, 2018, 35 (3): 58-63, 71.

HOU Gui, WANG Xuan-cang, SUN Yao-ning, et al. Experimental Study on Low Temperature Performance of Steel Deck Gussasphalt in Cold Region [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 35 (3): 58-63, 71.

[3] 王志祥, 吴传海, 许新权. 预拌碎石对 GMA 浇注式沥青混凝土高温性能的影响 [J]. 公路交通科技, 2018, 35 (1): 14-21.

WANG Zhi-xiang, WU Chuan-hai, XU Xin-quan. Effect of Pre-mixed Gravel on High Temperature Performance of GMA Cast Asphalt Concrete [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 35 (1): 14-21.

[4] 黄宝涛, 梁轶, 崔娥, 等. 沥青混合料抗车辙性能的分形描述方法 [J]. 交通运输工程学报, 2007 (6): 59-63.

HUANG Bao-tao, LIANG Yi, CUI E, et al. Fractal Description Method of Asphalt Mixture Rut Resistance [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007 (6): 59-63.

[5] 薛昕, 王民, 高博, 等. 复合改性沥青浇筑式混凝土性能研究 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29 (3): 387-390, 429.

XUE Xin, WANG Min, GAO Bo, et al. Study on the Performance of Compound Modified Bitumen Guss Asphalt [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2010, 29 (3): 387-390, 429.

[6] 王朝辉, 陈谦, 高志伟, 等. 浇注式沥青混凝土现状与发展 [J]. 材料导报, 2017, 31 (9): 135-145.

WANG Chao-hui, CHEN Qian, GAO Zhi-wei, et al. Review on Status and Development of Gussasphalt Concrete [J]. Materials Review, 2017, 31 (9): 135-145.

[7] 郭乃胜, 尤占平, 谭忆秋, 等. 考虑均匀性的沥青混合料最佳沥青用量确定方法 [J]. 交通运输工程学报, 2017, 17 (1): 1-10.

GUO Nai-sheng, YOU Zhan-ping, TAN Yi-qiu, et al. Determination Method of Optimum Asphalt Content in Asphalt Mixture under Considering Homogeneity [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2017, 17 (1): 1-10.

[8] 黄卫. 大跨径桥梁钢桥面铺装设计 [J]. 土木工程学报, 2007 (9): 65-77.

HUANG Wei. Design of Deck Pavement for Long-span Steel Bridges [J]. China Civil Engineering Journal,

- 2007 (9): 65-77.
- [9] 黄卫, 刘振清. 大跨径钢桥面铺装设计理论与方法研究 [J]. 土木工程学报, 2005 (1): 51-59.
HUANG Wei, LIU Zheng-qing. Research on Theory and Method of Longspan Steel Bridges Deck Surfacing Design [J]. China Civil Engineering Journal, 2005 (1): 51-59.
- [10] 刘振清, 黄卫, 林广平. 大跨径钢桥桥面铺装设计方法 [J]. 公路, 2005 (2): 32-36.
LIU Zheng-qing, HUANG Wei, LIN Guang-ping. Design Method of Deck Pavement of Large Span Steel Bridge [J]. Highway, 2005 (2): 32-36.
- [11] 章登精. 大跨度钢箱梁复合浇注式沥青钢桥面铺装设计 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2015, 34 (5): 5-13.
ZHANG Deng-jing. Design of the Composite Gussasphalt Steel Deck Pavement of the Large-span Steel Box Girder [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2015, 34 (5): 5-13.
- [12] 张顺先. 江阴长江大桥钢桥面铺装层改性沥青浇注式砼的组成与性能研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2009.
ZHANG Shun-xian. Composition and Property of Modified Mastic Asphalt Concrete at Jiangyin Yangtze River Bridge Pavement [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2009.
- [13] 张华, 王民, 伍朝晖. 跨海大桥混凝土桥桥面铺装技术综述 [J]. 公路, 2008 (8): 144-148.
ZHANG Hua, WANG Min, WU Zhao-hui. Statement of Concrete Deck Pavement Technology on Sea-crossing Bridges [J]. Highway, 2008 (8): 144-148.
- [14] 郑仲浪. 重载车辆作用下沥青路面层间力学行为研究 [D]. 西安: 长安大学, 2010.
ZHENG Zhong-lang. Study on Interlayer Mechanical Behavior of Asphalt Pavement under Heavy Vehicle Action [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [15] 王勋涛, 封建湖, 王虎. 连续箱梁桥沥青混凝土铺装层间接触应力分析 [J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2016, 37 (6): 706-712.
WANG Xun-tao, FENG Jian-hu, WANG Hu. Stress Analysis of Asphalt Concrete Pavement for Continuous Box Girder Bridge under Interfacial Contact Condition [J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2016, 37 (6): 706-712.
- [16] 曾永旺, 苏子元, 孙晓文, 等. 基于实际工况的桥面板处理方法与效果 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2017, 34 (3): 76-81.
ZENG Yong-wang, SU Zi-yuan, SUN Xiao-wen, et al. Treatment of Bridge Deck Based on Actual Working Conditions and Effect [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2017, 34 (3): 76-81.
- [17] 刘斌清, 宋柳, 王选仓. 矿料级配对级配沥青稳定碎石性能影响研究 [J]. 中外公路, 2012, 32 (2): 257-260.
LIU Bin-qing, SONG Liu, WANG Xuan-cang. Research on Influence of Mineral Aggregate Gradation on Performance of Open Graded Asphalt Stabilized Gravel [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2012, 32 (2): 257-260.
- [18] 王乾, 王选仓, 詹珽. 基于ANSYS的桥面铺装温度场与温度应力模拟分析 [J]. 微计算机信息, 2009, 25 (25): 30-32.
WANG Qian, WANG Xuan-cang, ZHAN Ting. Stimulation Analysis for Temperature Field and Temperature Stress of Bridge Deck Pavement Based on ANSYS [J]. Microcomputer Information, 2009, 25 (25): 30-32.
- [19] 王乾, 童申家, 王选仓, 等. 桥面铺装温度场与温度应力分析 [J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2009, 41 (2): 219-224.
WANG Qian, TONG Shen-jia, WANG Xuan-cang, et al. Analysis on the Temperature Field and Temperature Stress of Bridge Deck Pavement [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2009, 41 (2): 219-224.
- [20] 杨育生, 李振霞, 王选仓, 等. 桥面铺装同步碎石防水粘结层的路用性能 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2009, 29 (6): 19-23, 58.
YANG Yu-sheng, LI Zhen-xia, WANG Xuan-cang, et al. Road Performance of Synchronous Crushed Stone Waterproof Binding Course of Bridge Pavement [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29 (6): 19-23, 58.
- [21] 李彦伟, 穆柯, 石鑫, 等. 基层间接触状态对沥青路面力学响应影响 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2014, (2): 38-44.
LI Yan-wei, MU Ke, SHI Xin, et al. Impact of Base-surface Contact Conditions on Mechanical Response of Asphalt Pavement [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2014, (2): 38-44.
- [22] 徐真真, 曹高尚, 王选仓. 半刚性基层沥青路面层间工作状态研究 [J]. 华东公路, 2016 (6): 62-67.
XU Zhen-zhen, CAO Gao-shang, WANG Xuan-cang. Study on Working State of Semi-rigid Base Asphalt Pavement [J]. East China Highway, 2016 (6): 62-67.