

钢箱梁桥面铺装洒水降温的试验分析与研究

韦川平

中冶建工集团有限公司 重庆 400080

【摘要】：钢桥面铺装采用沥青混凝土的情况下，由于长时间车辆受荷载作用、铺装层材料性质以及铺装层与钢板间粘结力不足，容易形成车辙。尤其在高温季节，荷载作用下铺装层材料本身体现粘塑性而产生的残余变形增大，铺装层和粘结层材料强度也大幅度降低，从而容易发生车辙破坏。本文通过试验方法获取钢箱梁桥面铺装洒水情况下的温度变化，由此获得在不同温度下钢箱梁和桥面铺装的温度变化关系，寻求解决钢箱梁桥面铺装在高温下的病害问题。

【关键词】：铺装层与钢板间粘结力不足；钢桥面板铺装降温；保水降温半柔性路面

1 引言

目前国内外钢桥面铺装，从减轻自重的角度出发，多采用沥青混凝土铺装层。同时，沥青路面也具有表面平整、无接缝、行车舒适、耐磨、振动小、噪声低、施工期短、养护维修简便等优点，因而世界各国的钢桥面铺装均采用沥青混凝土体系。但由于沥青和钢桥面本身的特性，以及钢桥面铺装技术对钢桥面结构和自然环境有较强的依赖性等原因，钢桥面铺装体系常常在设计使用年限内发生车辙、推移、开裂等不同类型的破坏。桥面铺装体系的损坏不仅会影响正常的公路交通，而且还要花费大量资金用于维修。

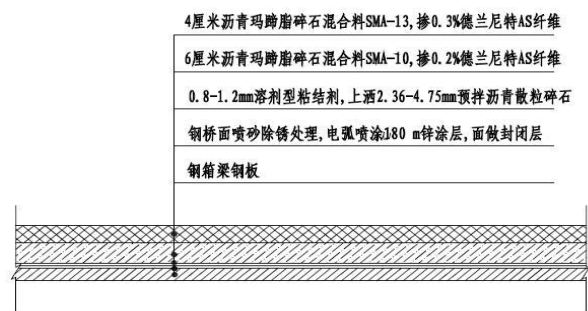


图 1-1 钢箱梁常用桥面铺装示例

在高温季节下，沥青铺装层长时间承受车辆荷载作用而逐渐形成永久性变形，如果铺装层与钢板间抗水平剪切能力不足将会加速车辙的发展，两者均表现为铺装层表面轮迹处出现沉陷及其侧向隆起现象。产生或加速车辙的原因可归结为交通量的成倍增长、重载交通、渠化交通、高温及温度变化、长时间承受荷载作用、铺装层材料性质以及铺装层与钢板间粘结力不足。尤其在高温季节，荷载作用下铺装层材料本身体现粘塑性而产生的残余变形增大，铺装层和粘结层材料强度也大幅度降低，从而容易发生车辙破坏。控制钢桥面铺装车辙的主要指标有两种：一种是由于钢桥面板可以认为

在荷载作用下均能保持在弹性工作阶段，因此车辙主要是薄层沥青混合料铺装层本身的残余变形（相当于半刚性基层沥青路面面层产生的永久变形）；另一种是由于铺装层与钢板间粘结力不足、抗水平剪切能力较弱而产生水平方向的相对位移，引起铺装层局部或者整体方向推移，从而加速车辙的发展。本文主要针对高温引起的车辙采取预防措施。因此，如能采取一定措施降低钢桥面铺装层的温度，无需改变铺装层的材料与结构，则能有效减少车辙病害的产生。

2 国内研究现状

由于高温作用下，钢桥面铺装层容易产生车辙破坏，减小路面使用年限，降低经济效益，所以钢桥桥面温度是近年颇受关注的一个问题。

（1）中交公路规划设计院有限公司的徐文城进行了 ERS 钢桥面铺装及钢箱梁断面温度监测与分析的研究^[1]，孙君、李爱群、丁幼亮^[2]等也做了这方面的工作。该文提出了通过两种方式降低铺装层温度，一是自然降雨，二是人工洒水。通过对铺装层和钢箱梁的温度进行实测，在 2015 年 8 月 3 日，天气状况为天气晴，北风，最高气温 38℃，最低气温为 28℃，大桥管养部门发布了嘉绍大桥高温预警，采取了人工洒水降温措施，得到各测点温度。

2015 年 8 月 3 日各测点温度统计表 单位：℃

监测点	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
大气温度	34.52	32.95	32.42	31.12	29.81	27.94	25.71	25.93
SMA-13 顶层	55.77	52.26	46.83	43.84	41.57	39.33	31.95	30.91
RAO5 层顶层	51.93	51.32	48.61	46.09	44.07	42.09	38.11	35.44
顶板上表面	48.38	48.8	48.11	46.66	45.09	43.47	41.36	38.74
顶板下表面	47.58	47.98	47.78	46.89	45.66	44.36	42.85	40.71

注：表格数据来自文献

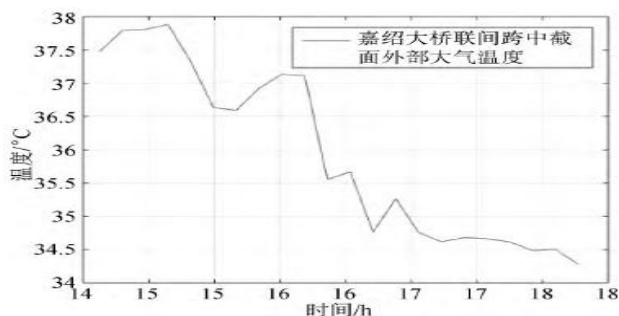


图 2-1 8 月 3 日典型时段气温变化曲线（截图来自文献）

从图中可以得到的，大气温度与铺装层有很好的相关性，铺装层温度随着大气温度降低而降低，说明人工洒水对降低铺装层的温度有很好的效果。但是该文的温度测量时间，有待商榷。笔者认为温度测量时间应该从 11:30 开始到 17:30 为止，因为在下午 14:00 时温度到达最高，此时洒水，更能真实反映人工洒水对降低铺装层温度的效果。

(2) 重庆交通大学的王艳良在降低钢桥面铺装层的使用温度技术研究^[3]一文中提出，①在铺装层表面涂布隔热涂料；②在铺装层表面撒布浅色耐磨碎石；③采用多孔集料替代部分普通集料进行混合料设计。这三条途径研究钢桥面铺装层降温技术，哈尔滨工业大学的梁满杰^[4]也做过类似的研究。钢桥面的吸收率越大，钢桥面的温度越高，反射率越大，钢桥面的温度越低。所以如果想大幅度的降低钢桥面沥青路面表面的平衡温度，必须要大幅度的降低其吸收率，同时增大其反射率。因此、这三种方法都是通过降低铺装层的吸收率，从而降低铺装层的温度。

从文的数据分析得到试件表面涂布涂料 > 试件表面直接撒布浅色耐磨碎石，试件表面撒布用沥青预裹的浅色耐磨碎石及试件内部掺陶粒均没有降温效果。所以在铺装层表面涂布涂料降温效果最好，但是此法应用实际工程中不可行，因为在铺装层表面刷涂料，在有车辆通过时还得考虑涂料的耐磨性。另一方面，考虑到工程经济效益等实际问题，这种做法有待商榷。

(3) 同济大学的宋宪发在排水性沥青路面降温性能及衰变规律研究^[5]中提出用排水性沥青路面可以降低铺装层温度，倪富健、徐皓、刘清泉、陈荣生，排水性沥青表面层半刚性基层路面温度场分析^[6]。从文中数据可以看出，由于夏季高温时段气温比较高（在监测时间段内气温为 31.2℃-38.2℃），因此排水性沥青路面与 SMA 路面的路表和中面层温度均比较高。排水性沥青路面路表温度范围为 42.9℃-51.1℃，SMA 路面路表温度范围为 42.2℃-51.2℃，两者几乎相等。而排水性沥青路面中面层温度范围为 37.7℃-49.0℃，

SMA 路面中面层温度范围为 40.0℃-53.4℃。

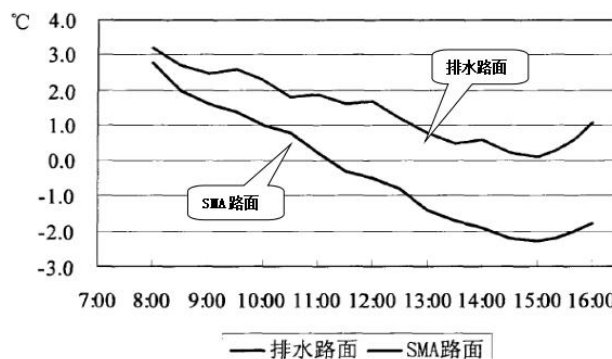


图 2-2 两种路面温度差值比较（截图来自文献）

两种类型路面在监测开始阶段温差都比较大（3.0℃左右），随着太阳照射时间的增加，两种类型路面的温差越来越小，在巧点左右达到最低值，此时也是两种类型路面中面层达到最高温的时候。同时可以看出排水性沥青路面的温差曲线始终位于 SMA 温差曲线的上方，并且在监测开始的时候（8 点钟）相距较近，随着时间的增加，两条曲线的距离越来越大，说明排水性沥青路面的降温效果越来越明显。

从结论可以看出来，排水性沥青混凝土降温效果虽然明显，但是也存在几个问题。第一施工不方便，分两层摊铺，施工工序麻烦。第二排水沥青层和 SMA 层的粘结问题，在荷载作用下层间抗剪能力变弱。

(4) 重庆交通大学的郑晓卫在城市道路保水降温路面材料的研发与研究^[7]一文中提出了采用保水降温半柔性路面，可以降低铺装层温度，沈盼的保水降温半柔性路面中保水水泥砂浆的开发及性能评价^[8]也有类似研究。保水降温半柔性路面就是将保水砂浆灌入大空隙母体沥青混合料中。它既具备沥青路面和水泥路面的优点又屏蔽了两者的缺点，同时具有保水降温的功效。文中通过做试验得到数据，由数据可知保水降温路面在加热灯持续加热 5 小时后，路面温度较普通沥青路面要低 4-7℃。洒水后由于保水路面的保水功效，因此在之后的一段时间内，砂浆内部会慢慢蒸发出水，通过吸收汽化热来达到降温的效果。保水降温路面在洒水后的 8 小时之内，能持续起到较好的降温效果。

如果将保水降温路面应用于实际工程还有一些问题需要解决。第一，大空隙母体沥青混凝土和保水砂浆的配比；第二，施工工艺复杂，要进行母体沥青混凝土的铺设，还要进行保水砂浆的灌入，这在工程上不经济，在技术上尚不成熟。

(5) 黄晖在湛江海湾大桥钢桥面环氧沥青混凝土施工

混合料温度控制与检测文中提出了分层铺装和控制拌和温度等^[9]，都可以降低施工期间铺装层温度。

3 试验

3.1 试验材料准备

按预先设计的试验思路，准备试验材料。在钢材加工厂定做做一个 800mm×800mm×30mm 的钢箱和支架，在淘宝网采购矿粉、手持式温度计、硅藻土、保温棉。在五金店购得水管、喷水壶、加热灯、电线、插板、小型水泵。在仪表厂采购温度采集仪和温度电极。

3.2 试验方案

3.2.1 编制依据

①重庆某长江大桥路面铺装施工合同和路面铺装施工图纸。

②对本工程特点、施工现场实际情况、施工环境、施工条件和自然条件分析。

③JIT052-2000《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》。

④JTGF40-2004《公路沥青路面施工技术规范》。

3.2.2 试验施工准备

由试验组组长组织试验人员学习图纸，制定试验方案，并组织学习有关试验规范和试验注意事项，购置试验计量器具名称、规格、型号。建立一个绝缘箱，模拟现场温度条件。

3.2.3 试验原理

查阅有关文献了解到，大气温度、钢桥面板铺装层温度、钢箱梁温度三者相关性好，特别是钢桥面铺装层温度与大气温度有良好的相关性，根据这一思路，在实验室条件下，通过洒水降低沥青混凝土铺装层的温度，并记录降温效果。

室内建立模拟太阳辐射的环境系统，用以对钢桥面浇注式沥青混凝土铺装层的降温方案进行研究。室内模拟太阳辐射主要有两种方式：

(1) 完全按照室外太阳的辐射在时间上的特性进行模拟，这种模拟方法能比较真实的反映太阳的辐射特性，是理想的模拟方法，但这种模拟设备十分昂贵。

(2) 选择跟太阳辐射光谱比较接近的光源，采用固定的辐射功率，进行辐射模拟试验。

方法2设备简单、成本低、模拟性好，因此本文采用第二种方法进行试验。

3.2.4 实验仪器

(1) 辐射光源

碘钨灯的辐射光谱与太阳光比较接近，因此本试验采用碘钨灯（飞利浦 1000W）作为辐射光源。

(2) 温度采集仪器

温度采集仪、温度电极、红外线测温仪。

①温度传感器主要参数：

温度范围（℃）：-50~1300 精度（℃）：±0.15℃

②红外线测温仪性能参数：

温度范围（℃）：-32~1300 精度（℃）：±0.2℃

(3) 试块模型

3个 300mm×300mm×50mm 大小的试块（一个保水试块、两个普通试块）

(4) 绝缘箱

绝缘钢箱

(5) 洒水设备

喷水壶

3.2.5 试验要求

按现场沥青混凝土配合比要求在实验室制作实验试块，沥青混凝土试块制作、养护等，按有关规范执行。

3.2.6 试验试件的制备

为更接近工程实际情况，试验在实验室条件下浇筑沥青混凝土。根据确定好的级配、油石比，按照车辙试件成型的方法成型大车辙试件，尺寸为 300mm×300mm×50mm。在试块上转两个孔，孔径为 0.5cm，深度为 20mm。

3.2.7 试验过程

第一步：加热灯架设高度距沥青路面 1200mm，开启温度采集仪，当此时持续加热 5 小时后沥青路面温度可达 50-70℃。

第二步：在温度采用仪温度显示为 60℃左右时，用喷水壶洒水。

第三布：重复循环以上过程，并记录好各种数据。

3.2.8 试验设备图

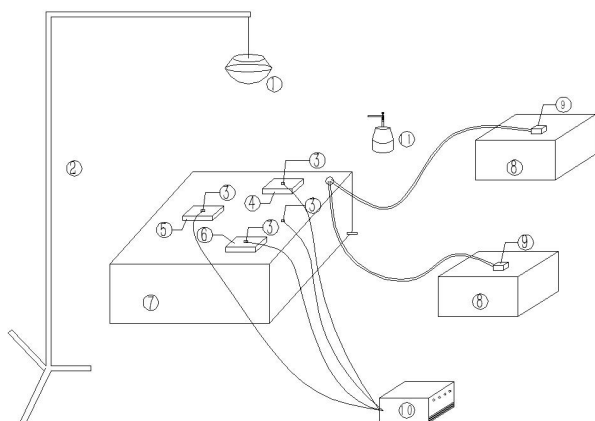


图 3-1 试验设备图

①加热灯②支架③温度电极④普通试块⑤对比试块⑥保水试块⑦绝热钢箱⑧恒温水浴箱⑨水泵⑩温度采集仪

3.3 试块的制作

本试验共制作三个试块，均属于路面表面层，等级按照一级高速公路（双层式）级配类型进行配制，其中：试块一、试块二为细粒式（AC-13），试块三为中粒式（AC-20）。具体步骤如下：

第一步：根据《公路工程沥青及沥青混合料实验规程：JTGE20-2011》获得沥青混合料矿料级配及沥青用量（方孔筛）。

第二步：根据《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》，集料先在 50℃ 下持续烘 1h 除去水分，然后在 180℃ 下持续烘 4-5h；

第三步：待拌缸温度达到 180℃ 后，先搅拌 90s，加入 900g 矿粉后再搅拌 90s；

第四步：将搅拌好的沥青混凝土倒入模板，将车辙试样成型机温度控制在 105℃ 左右，碾压 12 次；

第五步：灌浆。按照表 3-1 配制保水砂浆；

表 3-1

水泥	水	细沙	矿粉	工业矿渣	硅藻土
41.5g	68.5g	20g	10g	4g	2g

第六步：把保水砂浆灌入试块表面，同时在震动成型机上震动均匀。



图 3-2 灌浆后的试块和成型后的试块

3.4 加热阶段

3.4.1 水箱加热

用恒温水浴箱把水加热到 60℃ 左右后，用水泵把热水抽到钢箱里面，并用保温棉把注水口密封，防止钢箱与外界之间的热传递。



图 3-3 注水

3.4.2 试块加热

本试验采用加热灯给模拟太阳光，用加热灯给试块加热，加热灯离试块 1.2 米。



图 3-4 试块加热

3.4.3 试验阶段

当打开加热灯时，同时开启温度采集仪，并观察温度采集仪屏幕上的温度变化，当试块温度达到 60℃ 左右时，用喷水壶喷水，每一次每块试块喷 100ml 水，当试块从 60℃ 降到最低温度，又从最低温度回到 60℃ 左右时候，试验完成，温度采集停止采集数据。



图 3-5 温度的采集



图 3-6 喷水

3.5 试验结果分析

本试验一共进行了 5 次试验，均得到了很好的效果，现取其中两组组数据分析。限于篇幅原因，未将本次试验的原始数据录入本文中。

3.5.1 第一次试验结果

在同一温度条件下，普通试块和保水试块降温效果对比，对比数据见下表。

表 3-2 普通试块第一次试验区间洒水与
普通试块不洒水温度对比表

普通试块从 27.7℃到 60℃	普通试块从 62.4℃到 57.4℃	普通试块从 57.4℃到 60℃	在 55℃以下时间
1 小时 28 分钟	13 分钟	27 分钟	0 分钟

温度降低 5℃

说明：

(1) 晒水量为 50ml

(2) 由于在同一温度条件下，普通试块先达到 60℃，保水试块后达到 60℃，因此普通试块是从 62.4℃ 开始降温的。

表 3-3 保水试块第一次试验洒水与普通
试块不洒水温度对比表

保水试块 27.1℃ 到 60℃	保水试块从 60℃ 到 53.6℃	普通试块从 53.6℃到 58.7℃	在 55℃以下时间
2 小时 23 分钟	34 分钟	1 小时 21 分钟	35 分钟

温度降低 6.4℃

说明：

(1) 晒水量为 50ml

(2) 由于在同一温度条件下，普通试块先达到 60℃，保水试块后达到 60℃，因此普通试块是从 62.4℃ 开始降温的。

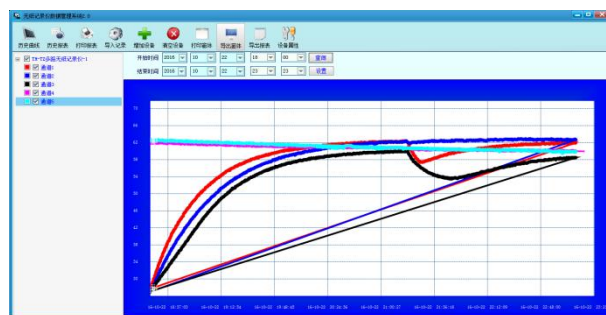


图 3-7 温度走势图

注：通道 1：红色代表普通试块（洒水）

通道 2：蓝色代表对比试块（不洒水）

通道 3：黑色代表保水试块温度

通道 4：紫色代表钢箱与试块接触温度

通道 5：浅蓝色代表箱梁内部温度（水温）

3.5.2 第二次试验结果

在同一温度条件下，普通试块和保水试块降温效果对比，对比数据见下表。

表 3-4 普通试块第二次试验区间洒水
与普通试块不洒水温度对比表

普通试块 24.2℃ 到 60℃	普通试块从 62.1℃到 55.7℃	普通试块从 55.7℃到 60℃	在 55℃以下时间
2 小时 13 分钟	11 分钟	49 分钟	0 分钟

温度降低 6.1℃

说明：

(1) 晒水量为 100ml。

(2) 由于在同一温度条件下，普通试块先达到 60℃，保水试块后达到 60℃，因此普通试块是从 62.1℃ 开始降温的。

表 3-5 保水试块第二次试验洒水与普通

试块不洒水温度对比表

保水试块 23.7℃ 到 59.9℃	保水试块从 59.9℃到 52.9℃	普通试块从 52.9℃到 60℃	在 55℃以下时间
4 小时 12 钟	30 分钟	2 小时 01 分钟	51 分钟

温度降低 7℃

说明:

(1) 洒水量为 100ml; (2) 由于在同一温度条件下, 普通试块先达到 60℃, 保水试块后达到 60℃, 因此普通试块是从 62.1℃开始降温的。

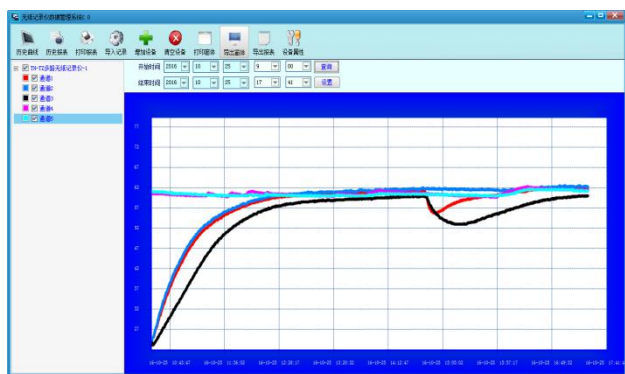


图 3-8 温度走势图

注: 通道 1: 红色代表普通试块(洒水); 通道 2: 蓝色代表对比试块(不洒水); 通道 3: 黑色代表保水试块温度; 通道 4: 紫色代表钢箱与试块接触温度; 通道 5: 浅蓝色代表钢箱梁内部温度(水温)。

参考文献:

- [1] 徐文城. ERS 钢桥面铺装及钢箱梁断面温度监测与分析的研究桥梁[J]. 公路, 2016(05).
- [2] 王高新, 丁幼亮, 李爱群, 周广东. 基于长期监测数据的润扬大桥斜拉桥钢箱梁横向温差特性研究[J]. 工程力学, 2013(01).
- [3] 王艳良. 降低钢桥面铺装层的使用温度技术研究[D]. 重庆交通大学, 2009.
- [4] 梁满杰. 沥青路面光热效应机理及热反射涂层技术分析[D]. 哈尔滨工业大学, 2006.
- [5] 宋宪发, 凌建明, 朱方海. 排水性沥青路面降温性与效果分析[J]. 上海公路, 2007(01).
- [6] 倪富健, 徐皓, 刘清泉, 陈荣生. 排水性沥青表面层半刚性基层路面温度场分析[J]. 公路交通科技, 2006(10).
- [7] 郑晓卫. 城市道路保水降温路面材料的研发与研究[D]. 重庆交通大学, 2009.
- [8] 沈盼. 保水降温半柔性路面中保水水泥砂浆的开发及性能评价[D]. 重庆交通大学, 2012.
- [9] 黄晖. 湛江海湾大桥钢桥面环氧沥青混凝土施工混合料温度控制与检测[J]. 公路交通技术, 2007(10).
- [10] 潘友强, 张志祥, 曹荣吉. ERS 钢桥面铺装技术研究[J]. 江苏交通科技, 2012(5): 4.

4 结论

根据翻阅相关资料和各大院校及科研机构反馈的信息来看, 我们总结目前钢桥面铺装降温方法有:

(1) 人工洒水。外界温度和铺装层有很好的相关性, 人工洒水可以较快降低铺装层温度, 但是钢箱梁有较明显的滞后现象。此方法有已经做过, 详见《ERS 钢桥面铺装及钢箱梁断面温度监测与分析—胡坚锋》

(2) 分两层铺装, 控制拌和温度, 保持集料干燥, 不受环境影响, 防止局部温度不稳定。

(3) 在铺装层表面涂布遮热涂料, 反射太阳光。

(4) 在铺装层表面撒布浅色耐磨碎石(浅色吸热)。

改变沥青材料的降温方法有:

(1) 在沥青材料中加保水剂。

(2) 改变沥青骨料, 用铝矾土代替玄武岩。

(3) 采用多空隙集料代替部分普通集料。

(4) 采用排水性沥青。

从本次试验结果来看, 沥青混凝土在不加入保水剂的情况下, 对其表面进行洒水降温处理, 效果基本与沥青混凝土加入保水剂后的效果差不多, 却免去了沥青混凝土在施工期间的一些繁琐程序和对施工工艺上的高要求。仅需在桥梁运营阶段的高温时段对路面采取人工洒水的方式就可降低桥面铺装的温度, 以此来减少钢桥桥面铺装的病害。无论是从施工工艺的难易程度还是经济性上来说, 都是十分可行的。