

文章编号: 1002-0268 (2004) 08-0064-04

# 虎门大桥钢桥面铺装的使用和维护

王迎军, 朱桂新, 陈旭东

(广东虎门大桥有限公司, 广东 东莞 523910)

**摘要:** 虎门大桥钢桥面铺装采用 SMA 体系的改性沥青混凝土混合料进行铺装, 1997 年 5 月开始使用, 2003 年 9 月对钢桥面进行了全面的大修。本文介绍虎门大桥悬索桥钢桥面铺装的使用、维修状况和大修情况, 分析铺装产生破坏的原因, 重点介绍新的钢桥面铺装结构及施工情况。

**关键词:** 钢桥面铺装; 使用; 维护

**中图分类号:** U443.33

**文献标识码:** A

## The Using and Maintenance of the Steel Deck Pavement in Humen Bridge

WANG Ying-jun, ZHU Gui-xin, CHEN Xu-dong

(Guangdong Humen Bridge Ltd., Guangdong Dongguan 523910, China)

**Abstract:** The pavement of Humen bridge is of SMA asphalt mixture component structure. The pavement of Humen bridge was open to traffic in May 1997 and was rehabilitated in September 2003. The article introduces the using and maintenance and rehabilitation of the steel deck pavement on Humen bridge suspension bridge, analyzes the damage reason of the pavement of Humen bridge and mainly introduces the new structure and construction of the steel deck pavement on Humen bridge.

**Key words:** Steel deck pavement; Using; Maintenance

### 0 前言

大跨径桥梁的钢桥面铺装一直是一个国际性的难题, 其原因在于钢桥面的刚度较小, 变形较大, 要求沥青铺装具有良好的变形随从性; 铺装层受力复杂, 受温度的影响更为严重, 尤其是在水平剪应力的作用下, 铺装层易于产生各种变形破坏。国外在 20 世纪 60 年代就对钢桥面铺装进行研究, 国内在近几年也陆续开展了试验研究和实际应用。就目前来看, 钢桥面使用的沥青铺装, 主要有浇注式沥青混凝土、环氧改性沥青混凝土、沥青玛碲脂碎石 (SMA), 这 3 种铺装材料在材料组成、性能、施工工艺上有很大的区别。

虎门大桥于 1997 年 5 月建成通车, 钢桥面铺装于 1998 年 12 月进行铣刨罩面处理, 2003 年 9 月至 2003 年 11 月实施钢桥面铺装大修工程。本文主要介绍了虎门大桥钢桥面铺装的使用和维护情况。

### 1 大修前钢桥面铺装的使用维护状况

1997 年初在进行桥面铺装时, 是国内首次进行大跨度悬索桥钢箱梁铺装, 采用 SMA 体系进行铺装。铺装层组成如下: (1) 钢板表面无机富锌底漆层; (2) 3mm 双组分反应型树脂 Elminator 防水胶层; (3) 2~3mm 聚合物改性沥青碎石缓冲层 (粘层); (4) 6cm 改性沥青 SMA13 铺装层。由于当时对 SMA 在钢箱梁上应用的认识不深, 经验欠缺, 所设计的铺装层的热稳性不够, 导致通车后第 2 年夏天铺装层开始出现不同程度的推移和车辙, 路面车道标线扭曲, 最大位移达到 16cm, 但未见裂缝出现。

为保证钢桥面铺装的使用性能, 1998 年 12 月对铺装进行了铣刨表面 2~2.5cm, 重铺 3cm 厚 SMA10 的处理, 总厚度控制不大于 7cm。重铺的沥青混合料中改性沥青增加了聚乙烯 (PE) 的含量, 铺装层的高温稳定性得到提高, 在随后的 1 年中, 总体使用状

况较好, 损坏形式主要是局部小坑槽。清除掉破损的铺装层后, 底层的防水胶层基本上都出现脱空、破裂、推移等病害(钢板一般均未见生锈)。在先期的维修中, 由专业队伍对钢板除锈后重新施工防水胶层, 由于维修时间长, 对通车有一定影响。经与原设计、施工单位研究后, 修补坑槽时不再修复防水胶层, 对钢板除锈和防腐涂装后直接施工铺装层。

2000年初, 钢桥面铺装层在慢(重)车道轮迹位置开始出现零星的纵向裂缝, 裂缝基本平行, 并逐渐发展, 个别呈月牙形或网状, 之后容易产生坑槽。可能是在温度较低时, 上层的 SMA10 比下层的 SMA13 要硬, 在车辆荷载下, 铺装层的横向变形不协同, 导致上层铺装层开裂。温度较高时, 上下层都较软, 轮载作用下变形量差别小, 不易产生裂缝。上层铺装层开裂后, 随时间发展, 到一定宽度后, 亦拉裂下铺装层, 裂缝从上往下发展。裂缝的存在, 给水的侵害创造了条件。为封闭裂缝, 防止水侵害, 我们试用了多种灌缝料后, 选用了一种耐候性较好的弹性材料来灌缝, 该材料达到了 ASMT3405、ASTM1190 及 AASHTO M-301 标准, 性能指标见表 1。

表 1 改性弹性材料性能表

流动性(60°) 锥形穿透 /mm	延伸性 /cm	回弹性 /%	软化点 /°C	推荐浇注 温度/°C	安全加热 温度/°C
90(最大)	3(最大)	40	60	82	193

在虎门大桥所在地的气候条件下, 无论桥面铺装温度高或低时, 此种材料均能有效封闭裂缝, 与周边沥青混凝土粘结良好, 保持一定的弹性。裂缝经灌缝处理后, 能有效防止路表水进入铺装层内部, 可减缓铺装层的损坏速度, 防止钢板生锈, 但不能阻止裂缝的发展, 见图 1。



图 1 钢桥面铺装典型病害

在坑槽的修补中, 因沥青混合料总量少, 难以采用大型设备进行混合料的拌和, 只能用小型拌和机, 受诸多条件限制, 生产的混合料质量不易有效控制, 修补区域的使用寿命不是很理想, 与原混合料有较大差异, 同一区域容易反复出现病害。

随虎门大桥车流量的增长, 钢桥面铺装层也经过了几个夏天的考验, 桥面损坏随之加剧, 破坏形式是先出现裂缝, 裂缝发展密集后铺装层失效, 出现坑槽, 维修的坑槽也不断增大。铺装层也时有推移和车辙出现, 维修的难度和工作量相应增大, 见表 2。

表 2 历年钢桥面维修数量表

2000 年	2001 年	2002 年	2003 年 1~9 月
74m <sup>2</sup>	756m <sup>2</sup>	2095m <sup>2</sup>	2390m <sup>2</sup>

2003年初, 下游桥面铺装层开裂、推移、拥包等病害的出现日趋频繁, 尤其是雨后病害更易产生。铺装层破损后钢板易外露生锈, 难以满足舒适行车要求。经维修方案比选, 决定采用改进后的 SMA10 方案进行铺装。

## 2 原铺装层损坏原因分析

虎门大桥原钢桥面铺装使用了 6 年多的时间, 及时的维修和预防性养护, 对延长铺装的使用时间是有帮助的。经研究, 我们认为造成原铺装层损坏的原因主要有以下几点。

### 2.1 钢箱梁桥面系刚度偏小

虎门大桥是当时国内第一座特大悬索桥, 钢箱梁顶板钢板厚 12mm, 横隔板间距 4m, (目前国内钢箱梁顶板厚度普遍为 14~16mm, 横隔板间距为 3.2~3.6m), 顶板 U 型加劲肋的中心距为 620mm, 桥面系刚度较小。在桥面铺装层大修时, 对钢箱梁顶板变形状况进行了测量, 发现钢箱梁顶板局部变形偏大, 有的吊点(间距 12m)间顺桥向方向的变形达 10mm, 可见钢箱梁桥面系局部的刚度可能不够。

### 2.2 持续高温气候和车载影响

虎门大桥位于珠江入海口, 从 5 月到 10 月, 1 年中有 6 个月的气温较高。在日照下, 铺装层的实测温度可达到 72°C。因采用了钢箱梁的结构形式, 内部又安装抽湿系统防锈, 空气不对流, 太阳落山后, 箱内温度下降得慢, 桥面温度下降也慢, 表面温度低, 底层高, 铺装层也易开裂。持续高温气候, 对钢桥面铺装的要求也高。

自建成通车, 虎门大桥车流量保持连年高速增长, 年增幅大多超过 16% (见表 3), 而且现在货车的超载现象较严重, 轴重最大可达到设计值的 4 倍以

上, 这都是对钢桥面铺装的严重考验。由于上游桥的超载车相对较少, 桥面状况要好很多, 其超车道基本无病害, 甚至裂缝都很少, 见图 2。



图 2 虎门大桥钢桥面大修前状况 (2003 年 9 月)

表 3 虎门大桥车流量增长表

年度	总车流/辆	日均车流/辆	年均增长/%
1998	6381538	17484	
1999	7419053	20326	16.26
2000	8832713	24133	18.73
2001	9519827	26082	8.07
2002	11052302	30280	16.10
2003	13039404	35724	17.98

### 2.3 原 SMA 13.2 铺装层缺陷

在原钢桥面铺装时, 对 SMA 在钢桥面上应用的认识不深, 对桥面持续高温认识也不够, 造成结构层设置不尽合理, SMA 配比设计尚有不足, 应用证明混合料的高温稳定性较差。桥面防腐涂层在工厂施工, 受污染后清洗不够彻底就进行防水胶层施工, 这可能是导致防水胶层易与钢板粘结不良的原因, 造成铺装层抗剪能力差, 易产生推移和车辙, 加快防水胶层的脱离, 反过来又加剧铺装层的推移, 形成恶性循环。但不是所有的防水胶层都与钢板脱离, 在钢桥面大修清除原铺装层时发现, 无破损的防水胶层有些区域与钢板的粘结还相当好。

### 3 铺装层大修的主要情况

在对比了目前应用的环氧改性沥青、浇注式沥青和 SMA 三种钢桥面铺装的方案, 考虑施工的具体情况和性价比, 采用了 SMA 的方案。

SMA (断级配沥青玛蹄脂碎石混合料) 是一种由沥青、纤维稳定剂、矿粉及少量的细集料组成的沥青玛蹄脂填充间断级配的粗集料骨架间隙而组成的沥青

混合料。国内用在钢桥面铺装经历了 3 个阶段: (1) 用在虎门大桥, 未解决好粘结防水层和混合料高温稳定性; (2) 在厦门海沧桥等的应用, SMA 性能提升, 但粘结层抗剪性能仍不理想; (3) 在海沧桥维修和上海卢浦桥的应用, 重点解决粘结层的问题, 从目前的情况看基本良好。

#### 3.1 钢桥面铺装方案

钢桥面铺装层按双层 SMA10 设计, 总厚度 70mm。铺装结构层依次是: 钢板喷砂除锈; 第一层 0.2~0.3mm 改性环氧粘结剂, 上撒 0.3~0.6mm 的铁钢砂; 第二层 0.4~0.6mm 改性环氧粘结剂, 上撒 1.18~2.36mm 的碎石; 两层溶剂型粘结剂, 厚 0.1~0.2mm; 2~5mm 橡胶沥青砂胶防水层, 此防水层和改性环氧粘结层组成钢桥面铺装的防水隔离层; 33mm 铺装下层 SMA10 (设计空隙率 2%~3%, 具有良好密实性和整体性); 改性乳化沥青粘层; 33mm 铺装上层 SMA10 (设计空隙率 3%~4%, 具有较好的热稳性、抗裂性和表面抗滑性能)。

#### 3.2 主要材料、混合料组成及性能指标

##### 3.2.1 改性环氧粘结剂

钢桥面喷砂除锈清洁度达到 Sa2.5 级、粗糙度达到 50~100 $\mu$ m 后, 涂布两层环氧粘结剂并撒布小碎石。其技术指标见表 4。

表 4 环氧粘结剂主要性能指标和测试结果

性能	要求	测试值
25 $^{\circ}$ C 粘结强度 /MPa	$\geq 5.0$	6.4~8.2
70 $^{\circ}$ C 剪切强度 /MPa	$\geq 2.0$	3.2
25 $^{\circ}$ C 剪切强度 /MPa	$\geq 3.0$	> 5.47
常温下的断裂伸长率 /%	$\geq 20$	24.98
低温弯曲性能 (-20 $^{\circ}$ C)	$\Phi 20$ 圆棒弯曲 90 $^{\circ}$ 无裂纹	无任何裂纹

##### 3.2.2 溶剂型粘结剂

本工程采用溶剂型粘结剂涂布在环氧树脂碎石表面, 它具有与石料的粘结性好、浸润性好、与防水层的相容性能优良等特点, 能实现环氧树脂与橡胶沥青砂胶的有效粘结。其相关性能见表 5。

表 5 溶剂型粘结剂主要性能指标和测试结果

项目	要求	测试值
比重 / $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.95	0.95
粘度 (20 $^{\circ}$ C) /s	$\leq 40$	32
固含量 /%	$\geq 45$	48
闪点 / $^{\circ}$ C	$\geq 26$	28
指干时间 /h	$\leq 4$	1
粘结强度 /MPa	$\geq 2.0$	3.1
柔韧性 /级	$\leq 1$	0

### 3.2.3 铺装用改性沥青

钢桥面铺装层所用改性沥青的技术要求见表 6, 是在埃索 AH-70 # 基质沥青基础上改性而得到的。

表 6 改性沥青的性能指标及测试结果

指标	要求	测试值
针入度 (25℃, 100g, 5s) /0.1mm	30~60	39
软化点 /℃	≥85	97
延度 (5℃, 5cm/min) /cm	≥20	24.5
重量损失 /%	≤1.0	0.1
针入度比 /%	≥65	84.6
回弹率 /%	≥80	90.2
延度 (5℃, 5cm/min) /cm	≥10	21
闪点 /℃	≥260	346
回弹率 /%	≥90	98

### 3.2.4 集料与矿粉

本工程所用碎石采用辉绿岩, 粗集料、细集料及填料 (矿粉) 均满足相关技术规范和本工程的具体要求。

### 3.2.5 铺装层 SMA10 级配

通过调整不同矿料的组成比例, 采用不同的沥青含量, 经过一系列的试验检验, 确定后的设计混合料的技术指标满足了混合料级配、压实混合料的体积参数、马歇尔力学性能、高低温性能和抗水损害性能等要求。配合比为: 5~10mm 碎石:0~5mm 碎石:矿粉=63:27:10, 油石比为 7%, 抗剥落剂用量 (与沥青的比值) 为 0.3%, 长纤维用量 (与混合料的比值) 为 0.3%。矿料混合料生产配合比级配组成见表 7。

表 7 矿料混合料生产配合比级配组成

筛孔 /mm	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配 /%	100	99.5	39.4	30.7	23.7	19.4	14.9	12.5	10.3
级配范围 /%	100	90~100	32~48	22~35	18~26	14~20	12~18	10~16	8~13

## 4 结语

(1) 大跨径桥梁结构的整体刚度、强度是人们关

注的重点。结构的局部刚度, 比如桥面系的局部刚度有时未引起设计者的足够重视, 特别是目前超载现象严重, 车辆轴重严重超标, 易造成桥面局部变形增大, 对桥面铺装很不利。在设计时应适当考虑, 提高桥面系结构局部刚度。

(2) 钢桥面铺装层对材料、结构的要求要比通常的路用材料更高。必须具有变形性能好、与钢板粘性好、高温稳定、低温抗裂、耐疲劳、不透水、耐久、表面抗滑、便于施工、易于维修等基本的技术性能。

(3) 钢桥面铺装必须能与桥面板紧密结合成为整体。桥面铺装必须能与桥面板协同变形, 即具有钢板变形的随从性。

(4) 桥面铺装体系必须能保护好桥面板, 并有有效的排水系统, 以防止钢桥面生锈。

(5) 钢桥面铺装使用的沥青混合料能适应温度等环境因素的变化, 必须有较小的温度敏感性和温度收缩系数, 夏天能耐高温, 有较好的高温稳定性和抗流动变形能力, 不致产生车辙、推拥、流动变形; 冬天能耐低温, 有良好的应力松弛性能和低温抗裂性能。当然, 我国地域辽阔, 必须根据当地的环境温度条件状况来考虑混合料的适应性。

(6) 针对桥位处的具体气候环境和交通量状况, 选择合适的桥面铺装类型并严格施工, 投入使用后, 应加强对钢桥面日常铺装使用状况的检查, 发现有局部损坏就必须尽快修补, 病害的及时处理和早期预防性维护有助于延长钢桥面铺装的使用寿命。

### 参考文献:

- [1] 张力, 陈仕周. 钢桥面铺装技术的研究与发展 [J]. 公路, 2001 (1).
- [2] 韩道均, 陈仕周. 钢桥面铺装技术的研究、实施与总结 [J]. 公路, 2001 (1).
- [3] 吕伟民. 钢桥桥面沥青铺装的现状与发展 [J]. 中外公路, 2002 (1).
- [4] 黄卫, 钱振东, 程刚, 杨军. 大跨径钢桥面环氧沥青混凝土铺装研究 [J]. 科学通报, 2002 (24).