

文章编号:0451-0712(2006)07-0061-05

中图分类号:U443.33

文献标识码:B

白沙洲大桥钢桥面铺装修复方案设计与施工

丁庆军¹, 刘小星¹, 何 浩², 张汉华³, 林 清⁴, 邓利明⁵

(1. 武汉理工大学材料学院 武汉市 430070; 2. 武汉浩博防水材料有限公司 武汉市 430062;

3. 武汉市城市路桥收费管理中心 武汉市 430019; 4. 武汉绕城公路建设指挥部 武汉市 430415;

5. 武汉市政工程总公司 武汉市 430023)

摘 要: 针对武汉白沙洲大桥钢箱梁桥面使用现状,对钢桥面铺装结构发生破坏的原因进行了分析,并采用新型防水粘结材料和界面粗糙化处理技术对桥面破坏部分进行了修复方案设计,对修复施工过程中出现的问题进行了总结。

关键词: 钢桥面铺装; 防水粘结; 粗糙化处理

桥面铺装一般由防锈层、粘结层、沥青混凝土铺装层等构成,它是桥梁结构的重要组成部分,承担着防水、缓冲冲击荷载、覆盖桥面结构物等重要作用。具有良好使用性能的桥面铺装,是保证车辆安全行驶的必要条件。目前钢箱梁桥面铺装仍是一项世界性技术难题,我国的钢桥面铺装技术与西方发达国家相比,仍然存在着相当大的差距。我国已建钢箱梁桥桥面铺装大都出现了不同程度的开裂破坏,而且多数桥面破坏位置都发生在粘接层和防水层上,这表明我国现有的钢桥面铺装层与钢板的粘接技术自身还存在很多的不足之处。因此开发一种性能优越的防水粘结体系显得非常重要。白沙洲长江大桥位于武汉市区,大桥全长 3 586.38 m,主跨部分是斜拉桥,长 1 078 m,桥面板顶宽 29 m,其中钢箱梁长 904 m,各箱梁节段间用 50 cm 宽的连接板以高强螺栓连接,搭接板间距为 12 m,两端各有 87 m 水泥混凝土箱梁。该桥于 2000 年 6 月建设完成并投入使用,历经 4 年时间,于 2004 年 10 月钢桥面铺装层首次出现局部推移开裂破坏,较严重的裂缝宽度达 2 cm,纵向贯穿整个铺装层,深及钢桥面板,加上该地区夏季炎热多雨,更易造成开裂面积增大,给行车安全带来很大隐患,更为严重的是将会使整个桥面的使用寿命大大缩短。

通过大量调研,在借鉴国内外成功经验的基础上,进行了白沙洲长江大桥钢桥面铺装体系的修复设计。武汉白沙洲大桥钢桥面沥青混凝土铺装与普

通沥青混凝土路面相比工作条件有很大差异:(1)钢板热容量小,传热快,在高温季节由于气温和钢桥面板的温度都很高,沥青混凝土铺装容易形成车辙、拥包等病害;(2)沥青混凝土铺装层与光滑的钢桥面板之间很难达到良好的粘结,沥青混凝土铺装下面层容易与钢板发生脱粘、推移、开裂等病害;(3)钢桥面的防腐要求非常严格。

本文将针对白沙洲大桥桥面病害修复方案设计和施工展开深入探讨。

1 原桥面铺装状况

原白沙洲大桥桥面铺装结构设计方案见表 1。铺装用 SMA 沥青混合料的矿料级配见表 2,所用沥青采用科氏公司按美国 Superpave 标准中 PG82-22 级结合料要求生产的改性沥青,粗集料选用江苏镇江生产的玄武岩碎石,细集料采用石灰石石屑。

表 1 白沙洲大桥原桥面铺装结构设计方案

铺装结构层	铺装方案
1 铺装上面层	厚度 30 mm, SMA-13
2 铺装下面层	厚度 40 mm, SMA-10, 改性乳化沥青洒布量为 0.3~0.5 L/m ²
3 防水粘结层	厚度 0.8~1.2 mm, 改性乳化沥青粘结层, 预拌沥青碎石
4 防锈层	厚度 0.5~1.0 mm, 环氧富锌底漆
5 钢板	厚度 12 mm, 喷砂除锈 Sa2.5 级

表 2 白沙洲大桥原桥面铺装沥青混凝土的级配设计

沥青混凝土	筛孔尺寸/mm									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-10	—	100	90~100	30~50	20~28	13~21	12~18	11~16	10~15	8~12
SMA-13	100	90~100	55~75	24~34	20~30	16~25	14~22	12~20	11~17	9~13

2 开裂成因分析

对桥面破坏处进行破除处理后发现,破坏位置主要位于铺装底层与防水粘结层之间,且两层之间已完全脱开,在正对裂缝处的环氧富锌漆防锈层均呈现出白色粉末状,这足以证明沥青混凝土铺装层与钢板之间是因粘结力丧失而脱粘的。这主要是由于在光滑的钢桥面板上进行沥青混凝土铺装时,高温条件下的现有防锈层和防水粘结层材料的粘结强度和抗剪强度偏低,易老化,抗挠曲变形能力差,伴随着交通荷载和钢板挠曲变形的疲劳作用,在桥面局部急刹车时,产生的剪切强度超过其极限抗剪强度,导致上下层之间发生脱粘,从而造成滑移和脱落。

同时,由于基面和面层两者的弹性模量相差数百倍,沥青混凝土面层基本上处于受压状态,局部铺装底层与钢桥面板脱开将导致沥青混凝土铺装层内部受力出现不均匀性变化,并在铺装层底部表现出明显的应力集中。当该拉应力超过沥青混凝土铺装层自身的抗拉强度时,将很快发生开裂破坏。随着空气和雨水进入裂缝并达到钢板防锈层,导致防锈层迅速老化并失去防锈功能。在水和空气同时侵蚀下,将向更大的面积蔓延,进而使桥面钢板在空气和水分共同作用下发生表面锈蚀,严重影响到下部钢桥面板的使用寿命。由此可知,钢板与铺装层之间界面的粘结强度和剪切强度是钢桥面沥青混凝土铺装成败的关键技术指标。

3 钢桥面修复方案设计

3.1 铺装材料设计

3.1.1 原材料选择

(1) 沥青胶结料。

由于武汉地区夏季炎热,最高气温可达42.2℃,最低气温-17.3℃。相对湿度最热时为80%,全年降雨量为1 210~1 450 mm,5月~6月为雨季,占全年雨量60%以上。白沙洲大桥日交通量达7.8万辆,其中大型车比例高达41%,体现了过桥重车比例大的特点。气候对于铺装层高温车辙、疲劳开裂的影响,必须给予认真考虑。针对以上地理环境和荷载

条件,本试验中采用的是湖北国创新材料股份有限公司生产的PG82-28级的国创SBS改性沥青,其性能要求见表3。

表 3 国创SBS改性沥青的性能指标

技术指标	单位	检验结果	规范要求
针入度(25℃,100 g,5 s)	0.1mm	55	
软化点(环球法)	℃	85	
延度(5℃,5 cm/min)	cm	35	JTGF40-2004
弹性恢复(25℃,10 cm)	%	98	
离析软化点差(48 h,163℃)	℃	0.6	
旋转薄膜烘箱试验 (163℃,85 min)	延度(5℃)	cm	
	质量损失	%	
		22	
		1	

(2) 集料。

粗集料嵌挤作用的好坏在很大程度上取决于粗集料石质的坚韧性、粗集料的颗粒形状和棱角性。可以说,粗集料的这些性质是SMA成败与否的关键,本研究选用京山辉绿岩。

细集料在SMA中所占比例往往不超过10%,但对SMA的路用性能影响很大。在我国,采用SMA结构时,细集料一般要求用机制砂。

(3) 填料。

本试验的填料选用石灰石矿粉。

(4) 纤维稳定剂。

德兰尼特纤维是一种聚丙烯腈纤维,对SMA混合料可以起到很好的加筋、分散、稳定、吸附沥青及增粘作用,本试验采用的德兰尼特纤维,其性能要求见表4。

表 4 德兰尼特纤维的性能指标

纤度	纤维直径 μm	切取长度 mm	纤维密度 g·cm ⁻³	最大拉伸率 %	抗拉强度 MPa
1.5	13	6	1.18	8~12	>500

3.1.2 沥青混合料性能设计

根据桥面铺装层的设计要求,确定纤维掺量为矿料和沥青胶结料总重的0.3%,进行了铺装材料的矿料配合比设计,见表5。

表 5 SMA 铺装材料的矿料配合比设计

筛孔尺寸 mm	铺装上面层 SMA-13		铺装下面层 SMA-10	
	要求范围	设计值	要求范围	设计值
16	100~100	100.0		
13.2	90~100	94.1	100	100.0
9.5	50~75	66.6	90~100	95.9
4.75	20~34	27.9	28~60	28.0
2.36	15~26	19.9	20~32	24.8
1.18	14~24	18.2	14~26	22.0
0.6	12~20	16.2	12~22	18.7
0.3	10~16	14.4	10~18	15.9
0.15	9~15	12.9	9~16	13.8
0.075	8~12	10.2	8~13	10.3

根据铺装层不同部位的使用功能,其设计混合料的性能也有所不同,铺装底层要求不透水,变形能力强,热稳定性好。铺装面层不仅要求具有良好的变形能力,还要具有抵抗疲劳开裂的性能。通过大量试验研究,并针对大桥钢桥面板夏季高温达 60~70℃ 的温度特点,提出了铺装层沥青混合料的性能指标要求如表 6 和表 7。

表 6 铺装层沥青混合料马歇尔性能指标要求

设计指标	SMA-10	SMA-13
油石比/%	6.3	6.2
析漏损失率/%	<0.1	<0.18
浸水飞散损失率/%	<15	<15
空隙率 VV/%	3.2	3.8
矿料间隙率 VMA/%	>16.5	>17
沥青饱和度 VFA/%	75~85	75~85
稳定度/kN	>6.0	>6.0

表 7 SMA 铺装层的路用性能指标要求

设计指标	SMA-10
车辙动稳定度/(次/mm)	3 000
-10℃ 弯曲试验破坏应变	≤2 500
浸水残留稳定度/%	≥80
冻融劈裂强度比/%	≥80

3.2 防水粘结层界面粗糙化处理

桥面沥青混凝土铺装层在使用期限内提供良好服务的关键之一是确保沥青混凝土铺装层与钢桥面板的粘结和共同承受车辆荷载的垂直力和水平力综

合作用。因此粘结层的抗剪切性能对钢桥面铺装来说是很重要的性能指标。

目前,应用于正交异性钢桥面铺装的粘结层材料按施工方法与材料特性的不同,可分为热固性粘结材料、热熔性粘结材料和溶剂型粘结材料等 3 种。

热熔型粘结材料由沥青掺加树脂和各种聚合物等组成。这种材料具有一定的变形能力,能够适应在交通荷载下由于局部变形而引起应力的反复作用,也具有良好的防水封闭作用。其最大缺点是在高温下容易变软,粘结力下降。国内几座采用 SMA 铺装的大桥均使用了此种粘结剂。

溶剂型粘结材料,一般多指乳化沥青和可溶性的橡胶沥青。乳化沥青粘结层在国内使用较多,如西陵长江大桥。可溶性沥青橡胶在日本使用较多,明石海峡大桥即采用这种材料。国内江阴长江公路大桥和香港青马大桥也都采用了可溶性的橡胶沥青作为粘结底层。这种材料在高温时容易软化,并且材料内部含有热敏性物质,遇摊铺高温时会释放出气体,从而使铺装层产生气泡。这种破坏现象在青马大桥和日本的一些桥梁铺装中都曾出现过。

热固性粘结材料指环氧沥青,它通过在沥青中掺入一定比例的环氧树脂及固化剂与催化剂后,在加热条件下发生复杂的物理化学反应而得到。同前两类材料相比,这种材料无论在粘结能力、变形能力,还是在热稳定性方面,都具有明显优势。南京长江二桥就采用了环氧沥青作为粘结层。但环氧沥青在施工时,对施工条件、组织和机械要求较高。

为此,本试验通过研究钢表面的处理方式、粘结剂种类、乳化沥青用量等因素,对防水粘结层与钢板和 SMA-10 铺装下面层之间界面剪切强度的影响规律,选择合适的防锈层和防水粘结层材料及钢桥面板表面处理工艺。6 种实验方法见表 9。

1 号实验方法是该钢桥原桥面铺装体系中所采用的钢板表面处理方法,通过对比 1 号与 2 号实验结果发现,采用 HBW 高强度界面胶+玄武岩颗粒处理钢板表面的试件的粘结强度要明显高于采用环氧、锌漆+环氧沥青处理的试件。因此在本试验中采用 HBW 高强度界面胶作为防锈层和防水粘结层材料+玄武岩颗粒对钢板进行表面处理,2 号实验结果高于 1 号实验结果的原因主要有两点:一是 HBW 高强度界面胶的粘结性能要高于环氧沥青;其次是由于玄武岩颗粒较粗糙,棱角较多使得镶嵌更加紧密。HBW 高强度界面胶的技术指标见表 8。

表 8 HBW 高强度界面胶的技术指标

检验项目	标准要求	测试值
剪切强度	90℃下保温 2 h, 60℃测定值, ≥3.0 MPa	3.5 MPa
粘接强度	200℃下保温 2 h, ≥15.0 MPa	16.7 MPa
低温性	-40℃下, 保温 1 h, 不脱落, 无裂纹	不脱落, 无裂纹
水稳定性	室温下浸水 24 h, 无异常	无异常
抗震性	挠曲达 $L/200$ 时, 不起皮	不起皮
柔韧性	涂层无起皮, 脱落面积 ≤ 1 cm ²	涂层无起皮脱落
耐冻融循环性	耐冻融循环次数 ≥ 15 次	16 次

试验中还选用 3 种粒径的玄武岩颗粒分别进行了比较, 分别是粒径为 1.18~2.36 mm 的细颗粒, 粒径为 2.36~4.75 mm 的中颗粒, 以及粒径为 4.75~9.5 mm 的粗颗粒。通过结果分析可知: 选用中颗粒进行处理的试件的粘结强度要高于用细颗粒及粗颗粒处理的试件。因此选用粒径范围为 2.36~4.75 mm 的颗粒。防水粘结层界面处理研究试验结果见表 9。

3.3 铺装结构设计

针对以上对开裂原因的调查分析, 提出了白沙洲大桥桥面铺装的修复方案, 各铺装层结构见图 1 所示。

表 9 防水粘结层界面处理研究试验结果

编号	钢板表面处理	粘结剂	乳化沥青用量/(L/m ²)	粘结强度/MPa
1 号	环氧富锌漆+环氧沥青	环氧沥青	0.35	0.33
2 号	HBW 高强度界面胶+玄武岩颗粒(细颗粒)	HBW 高强度界面胶	0.35	0.41
3 号	HBW 高强度界面胶+玄武岩颗粒(中颗粒)	HBW 高强度界面胶	0.35	1.68
4 号	HBW 高强度界面胶+玄武岩颗粒(中颗粒)	HBW 高强度界面胶	0.40	2.02
5 号	HBW 高强度界面胶+玄武岩颗粒(中颗粒)	HBW 高强度界面胶	0.45	0.74
6 号	HBW 高强度界面胶+玄武岩颗粒(粗颗粒)	HBW 高强度界面胶	0.35	0.54

注: 在钢板表面处理工艺进行前, 先进行喷砂除锈处理。

铺装结构层	钢桥面铺装修复方案
1 铺装上面层	厚度 30mm, SMA-13
2 铺装下面层	厚度 40mm, SMA-10, 改性乳化沥青洒布量为 0.3~0.5L/m ²
3 防滑层	2.36~4.75mm, 玄武岩碎石颗粒
4 防水粘结层	厚度 2mm, HBW 高强度界面胶
5 防锈层	厚度 1mm, HBW 高强度界面胶
6 钢板	厚度 12mm, 喷砂除锈达 Sa2.5 级

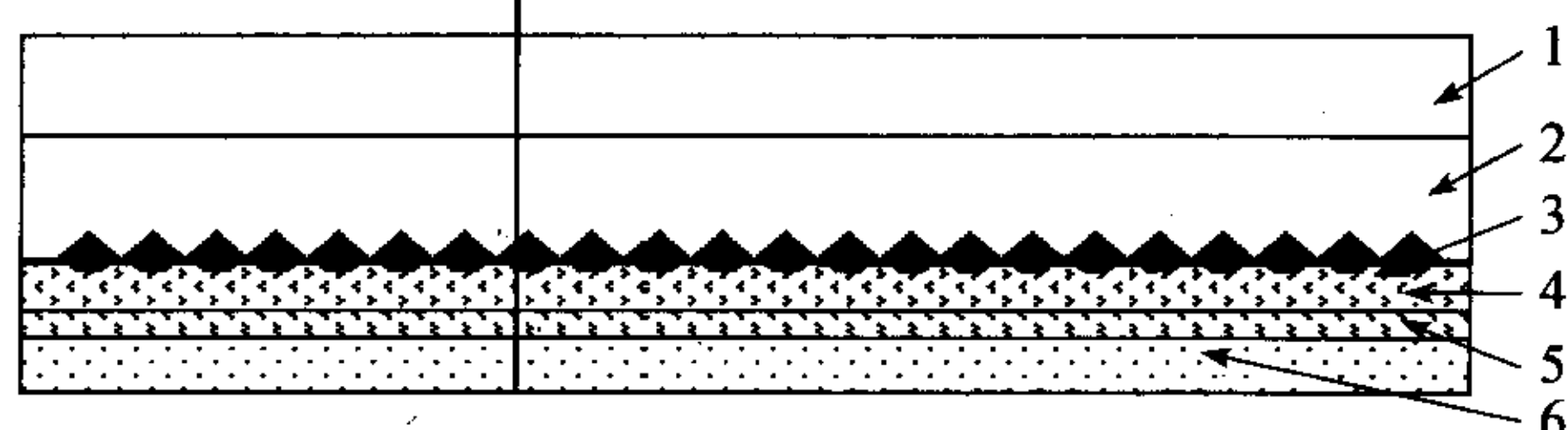


图 1 钢桥面铺装结构示意图

4 施工

4.1 施工工艺

根据以上设计方案及室内试验研究, 确定白沙洲大桥桥面铺装的具体施工工艺如下。

(1) 对钢箱梁桥面钢板的上表面进行喷砂除锈处理, 使其清洁度达到 Sa2.5 级, 粗糙度为 50~70 μm, 然后喷洒一层 0.5~1.5 mm 厚的 HBW 高

强度界面胶作为防锈层。

(2) 铺装防水粘结层: 待防锈层的 HBW 高强度界面胶完全固化后, 喷洒一层厚度为 2~3 mm 的 HBW 高强度界面胶, 在固化前以 3.0~4.0 kg/m² 的撒布量均匀撒布一层粒径为 2.36~4.75 mm 的玄武岩颗粒或者以 2.5~3.5 kg/m² 的撒布量均匀撒布一层长径比为 35~40 的铣削型钢纤维, 使玄武岩颗粒或者铣削型钢纤维的 1/3~1/2 部分嵌入 HBW 高强度界面胶中, 完全固化形成粗糙界面, 待其固化后扫除未粘牢的玄武岩颗粒或铣削型钢纤维。

(3) 铺装下面层: 在粗糙界面上以 0.4~0.6 L/m² 的喷洒量喷洒一层快裂型改性乳化沥青, 然后摊铺 4 cm 厚的 SMA-10 沥青混凝土。

(4) 铺装上面层: 在 SMA-10 沥青混凝土上摊铺一层 3 cm 厚的 SMA-13 沥青混凝土。

4.2 施工效果

根据本研究制定的桥面铺装修复方案, 顺利实施了武汉白沙洲大桥的桥面铺装, 并对桥面修复部位进行了多次重载车辆的快速急刹车试验, 铺装层均未出现推移开裂现象。经长期监测, 桥面修复至

今,修复部位还未出现任何开裂。

5 结语

研究表明,采用在除锈钢板表面涂装一层厚为1~2 mm的HBW 高强度界面胶作为防锈层,再涂装一层厚2~3 mm的HBW 高强度界面胶和2.36~4.75 mm的玄武岩碎石颗粒共同构成防水粘结层的设计方案,对武汉白沙洲大桥钢桥面开裂破损部分进行修复的位置,至今未出现任何开裂,达到了钢桥面铺装的设计目的。

采用细级配玄武岩碎石颗粒对钢桥面防水粘结层的粗糙化处理,使SMA-10 铺装下面层与钢桥面板之间的极限剪切强度最高可达2.0 MPa 以上,给钢桥面铺装体系提供了优异的抗推移开裂能力,玄武岩碎石颗粒最佳级配尺寸范围为2.36~4.75 mm。

参考文献:

[1] 曾勇. 武汉白沙洲大桥钢桥面铺装设计与施工[J]. 公

路,2002,(1).

- [2] 余叔藩. 武汉白沙洲大桥钢桥面沥青铺装的设计与施工[J]. 中外公路,2002,22(1).
- [3] 刘国清,潘新爽,等. 白沙洲大桥钢桥面铺装工艺[J]. 交通科技,2002,(5).
- [4] 魏奇芬,张晓春,等. 大跨径钢桥桥面沥青铺装设计之比较[J]. 江苏交通,2003,(11,12).
- [5] 陈仕周,邓学钧,等. 上海卢浦大桥钢桥面铺装防水体系的研究[J]. 东南大学学报(自然科学版),2004. 34(3).
- [6] Kennedy T W. Practical use of the indirect tensile test for the characterization of pavement materials [A]. In: Proc 9th ARRB Conference [C]. Brisbane, Australia, 1978.
- [7] Bild S. Contribution to the improvement of the durability of asphalt pavement on orthotropic steel bridge decks[D]. Aachen:RWTH Aachen, 1985.
- [8] 张宏伟. HT-2 钢桥面板铺装HBW 高强度界面胶的开发及应用[J]. 应用技术,2005.
- [9] 罗剑,张义和. 大跨径钢桥面铺装粘结层剪切分析[J]. 浙江交通职业技术学院学报,2004,5(1).

Design and Construction of Repairing Steel Deck Pavement of Baishazhou Bridge

*DING Qing-jun¹, LIU Xiao-xing¹, HE Hao², ZHANG Han-hua³,
LIN Qing⁴, DENG Li-ming⁵*

(1. College of Materials Science & Engineering, WUT, Wuhan 430070, China;

2. Ltd. Co. of Wuhan Haobo Construction Waterproof Materials, Wuhan 430062, China;

3. Center of Tolling & Managing Road and Bridge in Wuhan City, Wuhan 430019, China;

4. Wuhan Orbital Highway Construction Headquarters, Wuhan 430415, China;

5. Wuhan Municipal Construction Company, Wuhan 430023, China)

Abstract: On the basis of present condition of steel deck pavement of Baishazhou Bridge in Wuhan City, the reasons for damaged structure of bridge pavement are analyzed. The repair scheme for damaged part is designed by using new-type waterproof sticking material and coarse interface treatment, and the problems in prepairing constrection are summarized.

Key words: steel deck pavement; waterproof sticking; coarse interface treatment