

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.11.018

# 重庆市李家沱长江复线桥钢桥面铺装结构方案研究

全弘彬<sup>1</sup>, 刘攀<sup>2</sup>, 盛兴跃<sup>1</sup>, 李凯<sup>1</sup>

(1.重庆市智翔铺道技术工程有限公司,重庆市 400067; 2.招商局重庆交通科研设计院有限公司,重庆市 400067)

**摘要:**为选择重庆市李家沱长江复线桥钢桥面铺装的最优组合结构,对钢桥面常见的 4 种铺装结构进行路用性能研究,其中包括:双层改性 SMA;浇注式沥青混凝土+高弹改性沥青 SMA;双层环氧沥青混凝土;下层环氧沥青混凝土+上层高弹改性沥青 SMA。针对重庆市李家沱长江复线桥的服役条件和设计要求,对以上 4 种铺装结构的路用性能进行评价,结果表明:下层环氧沥青混凝土+上层高弹改性沥青 SMA 的铺装结构在高温性能、抗滑性能和黏结性能上都有着优异的表现,为李家沱复线桥钢桥面铺装的最适宜方案。

**关键词:**钢桥面;铺装结构;黏结性能;抗滑性能

**中图分类号:** U443.33

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2024)11-0079-04

## 1 背景情况

重庆市李家沱长江复线桥始建于重庆市九龙坡区九龙半岛,终于重庆市巴南区李家沱半岛,在李家沱长江大桥上游侧约 52 m 处与其平行。李家沱长江复线桥主桥全长 991.7 m,桥梁起始桩号为 DK22+036.843,终点桩号为 DK23+028.658。李家沱长江复线桥主桥为共轨两用桥,桥面为路轨同层布置:一侧为市政道路(4 纵线)单向 4 车道,设计时速为 80 km/h;另一侧为双线轨道交通。李家沱长江复线桥铺装工程所涉范围为主跨 454 m 的双塔双索面斜拉钢桥 1 座。

钢桥面铺装一直是一个世界级的建设难题。因为钢桥面板的柔性较大,其局部易产生较大的变形以及由此产生的应力<sup>[1]</sup>,使得铺装层受力复杂,桥面局部变形较大。同时钢桥面的面板受温差影响较大,钢桥面的防水黏结层和层间铺装易发生病害<sup>[2]</sup>,尤其是李家沱长江复线桥坐落于重庆市长江江面上,在重庆市夏季极端高温天气背景下<sup>[3]</sup>,对铺装层结构提出了更加严苛的要求,铺装结构高温抗车辙性能,层间抗推移、抗脱层能力等性能的重要性凸显<sup>[4]</sup>,这关系到李家沱长江复线桥所选择的铺装层结构是否合适这一问题。

目前世界上钢桥面铺装常用的铺装结构主要有双层改性 SMA、浇注式沥青混凝土+高弹改性沥青

SMA、双层环氧沥青混凝土,下层环氧沥青混凝土+上层高弹改性沥青 SMA 这 4 种<sup>[5]</sup>。本文针对李家沱长江复线桥的背景,对铺装层结构的路用性能进行评价,为该桥选择最适合的铺装结构。

## 2 常见铺装结构方案

### 2.1 双层改性 SMA 铺装结构

双层改性 SMA 铺装结构由与钢板接触的防腐层、防水黏结层、缓冲层、铺装下层及铺装面层组成(见图 1)。

铺装面层	改性沥青 SMA10,厚度:35 mm 洒布改性乳化沥青,用量:300~500 g/m <sup>2</sup>
铺装下层	改性沥青 SMA10,厚度:35 mm
缓冲层	橡胶沥青砂胶,厚度:3~35 mm 涂溶剂型黏结剂,用量为 200~400 g/m <sup>2</sup>
环氧防水层	涂酒环氧树脂,用量:500~600 g/m <sup>2</sup> ;撒布 1.8~2.36 mm 的碎石,用量:500~800 g/m <sup>2</sup>
防腐层	涂酒环氧树脂,用量:200~300 g/m <sup>2</sup> ;撒布 0.3~0.6 mm 的碎石,用量:300~400 g/m <sup>2</sup> 环氧富锌漆
钢板	喷砂除锈,清洁度:Sa2.5级;粗糙度:50~100 μm

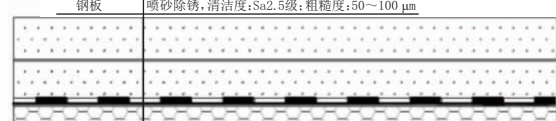


图 1 双层改性 SMA 铺装结构

双层改性 SMA 铺装结构有着良好的高温抗车辙性能、抗滑性能、抗疲劳性能,并且与钢板有着较好的协同变形能力。施工较为简单,成本不高,在国内的早期钢桥面铺装中有着广泛应用。

但是,SMA 使用的是间断集配,这一特点使得 SMA 在铺装的整体性和抗开裂性能上略有不足。SMA 的孔隙率较大,随着雨水的浸入,水损害较为严重,铺装层易产生推移和坑槽等病害;同时雨水容易穿过铺装层,使水分直接作用于防水黏结层,导致防

收稿日期:2023-12-04

作者简介:全弘彬(1993—),男,学士,工程师,从事道路建筑材料、桥面铺装研究工作。

水黏结剂失效,对钢板造成腐蚀性病害。

### 2.2 浇注式沥青混凝土 + 高弹改性沥青 SMA 铺装结构

浇注式沥青混凝土 + 高弹改性沥青 SMA 铺装结构见图 2。

铺装面层	高弹改性沥青SMA10,厚度:35 mm
黏层	洒布改性乳化沥青,用量:300~500 g/m <sup>2</sup>
铺装下层	浇筑式沥青混凝土GA10,厚度:35 mm;撒布5~10 mm预拌碎石
防水黏结层	二阶反应性黏结剂,用量:100~200 g/m <sup>2</sup> TOPEVER®(两层)高分子防水涂料,总用量:3000~3400 g/m <sup>2</sup>
防腐层	防腐底漆,用量:250~350 g/m <sup>2</sup>
钢板	喷砂除锈,清洁度:Sa2.5级;粗糙度:50~100 μm

图 2 浇注式沥青混凝土 + 高弹改性沥青 SMA 铺装结构

浇注式沥青混凝土起源于德国,在 21 世纪初引入国内,由于其优异的性能,很快得到了大面积的运用。浇注式沥青混凝土有着自流平混凝土特点,施工中无需碾压操作,施工完毕待其冷却后即形成强度,并有着较为优异的不透水性能、耐久性和抗疲劳开裂性能等,与钢桥面的温度协同变形能力也比较优异。面层选用高弹改性沥青 SMA,具有较好的高温稳定性、抗滑性、抗疲劳性能、耐久性,路用性能优异。

但由于浇注式沥青混凝土沥青结构的特点,其高温稳定性能低于其铺装结构,在高温重载的条件下,易产生车辙、脱层等病害。并且浇注式沥青混凝土施工出料温度高,需要专门的 COOKER 车辆,成本高,且施工有难度。防水材料体系选用 TOPEVER,整体铺装层的成本较高。

### 2.3 双层环氧沥青混凝土铺装结构

双层环氧沥青混凝土铺装结构见图 3。

铺装上层	环氧沥青混凝土EA10,厚度:25 mm
铺装下层	环氧沥青混凝土EA10,厚度:30 mm
防水层	环氧黏结剂,用量:0.45 L/m
防腐层	环氧富锌漆
钢板	喷砂除锈,清洁度:Sa2.5级;粗糙度:50~100 μm

图 3 双层环氧沥青混凝土铺装结构

双层环氧沥青混凝土的综合路用性能优异,有着优异的高温稳定性能、耐久性、抗疲劳开裂性能。但双层环氧沥青混凝土缺点也较为明显,其抗滑性不足、低温易开裂、成本高,并且环氧沥青混凝土施工时对环氧的要求十分苛刻。

### 2.4 下层环氧沥青混凝土 + 上层高弹改性沥青 SMA 铺装结构

下层环氧沥青混凝土 + 上层高弹改性沥青 SMA 铺装结构见图 4。

铺装面层	高弹改性沥青SMA10,厚度:35 mm
铺装下层	环氧黏结剂,用量:0.45 L/m
防水层	环氧黏结剂,用量:0.78 L/m
防腐层	环氧富锌漆
钢板	喷砂除锈,清洁度:Sa2.5级;粗糙度:50~100 μm

图 4 下层环氧沥青混凝土 + 上层高弹改性沥青 SMA 铺装结构

下层环氧沥青混凝土 + 上层高弹改性沥青 SMA 的铺装结构结合了双层高弹改性沥青 SMA 铺装结构和双层环氧沥青铺装结构的各自特点,具有优异的层间抗剪切能力和抗推移能力,同时下面层不透水性强,耐久性优异,能有效保护钢板基面。

## 3 方案比选

### 3.1 组合结构的成型

试验用基质沥青选用 SK70# 基质沥青,按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规范》(JTG E20—2011)测得其性能指标,结果见表 1;环氧胶结料和环氧树脂黏结剂选用重庆市智翔铺装技术工程有限公司自制 HDEA 高韧性环氧结合料、HDEA-SEB 记忆性二阶反应黏结剂,按照《建筑防水涂料试验方法》(GB/T 16777—2008)、《塑料吸水性的测定》(GB/T 1034—2008)、《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02—2019)测得其性能指标,结果见表 2、3;改性 SMA-10 的沥青选用高弹改性沥青,根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规范》得到的技术要求见表 4;GA-10 的沥青选用浇注式改性沥青。

表 1 SK70# 基质沥青性能指标

试验项目	检测结果	指标要求	试验规范
针入度(25℃)/(0.1 mm)	71.3	60~80	T0604
延度(10℃)/cm	44.1	≥20	T0605
软化点/℃	47.2	≥45	T0606
溶解度/%	99.71	≥99.5	T0607
175℃旋转黏度/(mPa·s)	84		T0621

表 2 HDEA 高韧性环氧体系性能指标

试验项目	检测结果	指标要求	试验规范
拉伸强度(23℃)/MPa	4.4	≥2.0	GB/T 16777—2008
断裂伸长率(23℃)/%	137.6	≥100	GB/T 16777—2008
吸水率(7 d, 25℃)/%	0.1	≤0.3	GB/T 1034—2008

表3 环氧树脂黏结剂技术要求

试验项目	技术要求	试验规范
拉伸强度(23℃)/MPa	≥3.0	
断裂伸长率(23℃)/%	≥100	GB/T 16777—2008
不透水性(0.3 MPa, 24 h)	不透水	
吸水率 /%	≤0.3	GB/T 1034—2008
黏结强度(与保护层, 25℃)/MPa	≥1.5	JTG/T 3364—02—2019 附录 B
黏结强度(与钢板, 25℃)/MPa	≥3.0	

表4 高弹改性沥青技术要求

试验项目	技术要求	试验规范
针入度(25℃)/(0.1 mm)	60~80	T0604
软化点 /℃	≥85	T0606
延度(5℃)/cm	≥40	T0605
弹性恢复率(25℃)/%	≥90	T0662
闪点 /℃	≥240	T0611
黏度(135℃)/(Pa·s)	≤3.0	T0621
质量变化 /%	-1.0~+1.0	T0610
RTFOT163℃ 针入度比(25℃)/%	≥65	T0604
延度(5℃)/cm	≥25	T0605

3.2 组合结构的高温性能和抗滑性能

分别成型组合结构双层改性 SMA (简称双层 SMA)、浇注式沥青混凝土 + 高弹改性沥青 SMA(简称 GA+SMA)、双层环氧沥青混凝土(简称双层 EA), 下层环氧沥青混凝土 + 上层高弹改性沥青 SMA (简称 EA+SMA), 按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规范》中的 T0719—2011 和 T0731—2000, 对组合结构的高温性能和抗滑性能进行评价。

组合结构的高温性能(60℃动稳定度)和抗滑性能(构造深度)试验结果见表5。

表5 组合结构高温性能和抗滑性能试验结果

性能	双层 SMA	GA+SMA	双层 EA	EA+SMA
60℃动稳定度 / (次·mm <sup>-1</sup> )	6 489	3 789	64 000	9 140
构造深度 /mm	0.71	0.74	0.31	0.71

由表5可知, 双层 EA 铺装结构的 60℃动稳定度达到了 64 000 次 /mm, 说明其高温性能极为优异。原因是环氧沥青混合料具有热固性特点, 在反应成型后受温度影响不大, 因此在高温条件下有着优异的高温抗车辙表现。但是由于 EA-10 的集配特点, 导致了双层 EA 铺装结构的表面构造深度仅为 0.31 mm, 抗滑性能较差, 安全性不足。在另外 3 种铺

装结构中, 因 SMA-10 均处于上面层, 因此它们的构造深度都超过了 0.71 mm, 说明它们的抗滑性能优异; 但其中的 GA+SMA 铺装结构因 GA 温敏性强, 其 60℃动稳定度仅为 3 789 次 /mm。对比以上 4 种铺装结构, 高温性能的排序是: 双层 EA > EA+SMA > 双层 SMA > GA+SMA; 抗滑性能的排序是: GA+SMA > EA+SMA = 双层 SMA > 双层 EA。

3.3 组合结构的黏结性能

组合结构的黏结性能试验结果见表6。

表6 组合结构黏结性能试验结果

组合结构	下面层与钢板		组合结构层间	
	拉拔强度 / MPa	剪切强度 / MPa	拉拔强度 / MPa	剪切强度 / MPa
双层 SMA	1.46	2.91	0.71	1.37
GA+SMA	1.94	3.44	1.16	1.94
双层 EA	2.74	4.02	2.64	3.91
EA+SMA	2.66	3.98	2.01	3.51

铺装层与钢板、铺装层层间的黏结性能直接决定了铺装层的耐久能力及抗推移、抗脱层的能力。对以上 4 种铺装结构的铺装下面层与钢板、铺装层层间的黏结性能差异进行分析, 可发现以下几点:

(1) 双层 SMA 下面层采用了 GS 溶剂型黏结剂, 层间则涂布了乳化沥青, 试验测得下面层与钢板的拉拔强度为 1.46 MPa, 抗剪切力为 2.91 MPa; 层间拉拔强度仅为 0.71 MPa, 抗剪切力为 1.37 MPa。由此看来, 双层 SMA 的层间黏结性能不如下面层与钢板的黏结性能, 该铺装结构易在高温、重载的服役条件下发生层间推移、脱层等病害。

(2) GA+SMA 铺装结构的下面层与钢板基面间采用甲基丙烯酸甲酯树脂和丙烯酸树脂黏结剂, 层间则涂布乳化沥青。试验测得下面层 GA 与钢板间的拉拔强度为 1.94 MPa, 剪切强度为 3.44 MPa; 组合结构层间的拉拔强度为 1.16 MPa, 剪切强度为 1.94 MPa。显然, 该铺装结构较双层 SMA 的层间黏结能力有着较大幅度的提升。但是, 由于乳化沥青的黏结能力有限, GA+SMA 的层间拉拔强度并不算高, 在面对高温、重载条件时其层间仍会发生推移、脱层等病害。

(3) 双层 EA 的下面层与钢板间及层间都涂布环氧树脂黏结剂, 而环氧树脂黏结剂在完全固化以后有着较高的强度, 较强的黏结性能, 并且在 EA 铺装下, 环氧沥青自身的环氧胶结料也有一定的黏结作用, 与环氧树脂黏结剂相辅相成, 因而双层 EA 的下面层与钢板间及层间的拉拔力和剪切力都十分优

异。试验测得双层 EA 的下面层与钢板间的拉拔强度可达 2.74 MPa, 剪切强度达 4.02 MPa; 层间的拉拔强度为 2.64 MPa, 剪切强度为 3.91 MPa。该铺装结构得益于环氧树脂黏结剂的优异黏结性能, 层间黏结性能优异, 在高温、重载条件下能有效防止层间推移、脱层等病害。

(4) EA+SMA 铺装结构的铺装下层与钢板基面间涂布环氧树脂黏结剂, 层间黏结剂也采用环氧树脂黏结剂。环氧树脂黏结剂的热固性特点, 使其有着优异的黏结性能, 因而可大幅提高该结构的层间黏结性能、抗剪切能力和抗推移能力。试验测得 EA+SMA 铺装结构的下面层与钢板间的拉拔强度可达 2.66 MPa, 剪切强度达 3.98 MPa; 层间拉拔强度达 2.01 MPa, 剪切强度达 3.51 MPa。该铺装结构的层间黏结性能优异, 层间的抗推移能力、抗脱层能力较强。

以上 4 种主流桥面铺装结构的黏结性能试验结果表明: 在层间抗推移能力、抗脱层能力上, 双层 EA > EA+SMA > GA+SMA > 双层 SMA。

#### 4 结 语

(1) 4 种铺装结构的高温性能排序为: 双层 EA > EA+SMA > 双层 SMA > GA+SMA; 抗滑性能排序为:

GA+SMA > EA+SMA = 双层 SMA > 双层 EA; 黏结性能排序为: 双层 EA > EA+SMA > GA+SMA > 双层 SMA。

(2) 综合考虑铺装结构的性能, 双层 EA 及 EA+SMA 为较优的选择。但李家沱长江复线桥的城市道路等级为城市快速路, 设计车速为 80 km/h, 因此该桥对于路面的抗滑性能有着较高要求。双层 EA 虽然在高温性能、黏结性能上都为 4 种铺装结构中最为优异的结构, 但其构造深度仅为 0.31 mm, 抗滑性能不足, 因此不宜选择该铺装结构。EA+SMA 在高温性能、抗滑性能和黏结性能上都有着优异的表现, 因此建议李家沱长江复线桥选择 EA+SMA 铺装结构。

#### 参考文献:

- [1] 王晶宇. 预防性养护技术在钢桥面铺装层中的应用[J]. 交通世界, 2023(3): 182-184.
- [2] 陈章, 张辉, 李娣, 等. 大跨径悬索桥钢桥面铺装受力特性分析[J]. 上海公路, 2023(6): 77-83.
- [3] 韩树峰. 环氧沥青混凝土钢桥面铺装层增柔改性技术研究[J]. 公路, 2013(7): 27-32.
- [4] 刘尧泽. 重庆地区钢桥面铺装层温度与荷载耦合动力行为研究[J]. 公路交通技术, 2019, 35(2): 18-22.
- [5] 刘松, 邹文华, 文俊, 等. 桥面铺装用环氧沥青制备技术的现状及展望[J]. 石油沥青, 2009, 23(6): 1-5.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)