

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.06.013

## 平胜大桥大宽度环氧沥青铺装整幅维修方案研究

徐日辉<sup>1</sup>, 曾国东<sup>2</sup>, 黄红明<sup>2,3\*</sup>(1. 佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041; 2. 佛山市交通科技有限公司;  
3. 长沙理工大学 交通运输工程学院)

**摘要:**为了提高热拌环氧沥青铺装的施工效率及减少桥面铺装维修对交通运行的影响,依托佛山一环高速化改造工程,分析平胜大桥钢桥面铺装维修养护情况并总结了其桥面铺装病害特点,开展了平胜大桥钢桥面铺装维修方案的研究。总结介绍了平胜大桥 19.5 m 宽整幅热拌环氧沥青铺装维修方案及施工控制关键环节。在重载交通及高温、雨季、低温的循环作用下,跟踪调查了平胜大桥大宽度钢桥面铺装整幅维修工程通车 1 年后的使用状况,其桥面铺装整体性能表现优良。

**关键词:**平胜大桥; 钢桥面铺装; 大宽度; 环氧沥青; 整幅维修

20 世纪 90 年代以来建设的一些大跨径钢桥经过长时间的运营使用后,其钢桥面铺装层均出现不同程度的损坏,对交通运行产生较大的影响。为了确保大跨径钢桥的行车安全性及舒适性,势必有一大批钢桥面铺装层面临着维修养护问题。如何快速高质量地在交通枢纽地区完成钢桥面铺装的维修工作,是目前工程管理及技术人员面临的一大新课题。现阶段在复杂交通条件下钢桥面铺装维修过程中,由于大跨径钢桥交通流量大,同时考虑到钢桥面铺装施工的复杂性等原因,采用热拌环氧沥青维修方案通常是在开放交通的条件下逐车道进行施工,如广东虎门大桥,该方案易造成整个项目施工工期较长,另一方面现场施工存在较多纵向冷接缝从而引起质量隐患。该文主要总结了平胜大桥钢桥面铺装的交通荷载及气候特点,根

据其桥面铺装的使用状况等因素综合确定平胜大桥桥面铺装的改造维修方案,并研究分析平胜大桥大宽度热拌环氧沥青钢桥面铺装整幅维修施工方案,介绍平胜大桥 19.5 m 宽整幅摊铺成型工艺、工程实施及使用效果。

## 1 平胜大桥钢桥面铺装特点

平胜大桥于 2006 年 11 月建成通车,是一座单跨单塔双幅四索面自锚式悬索桥,正交异性钢桥面板结构参数见表 1,该桥为佛山一环高速公路连接南海区与顺德区的重要交通枢纽,主跨为 350 m,双向十车道,单幅桥面净宽 19.5 m,原桥面铺装采用 5 cm 厚 ChemCo 环氧沥青混凝土。

表 1 正交异性钢桥面板结构参数

梁高/ m	梁宽/ m	顶板厚 度/mm	顶板 U 形加劲肋/mm					横隔板间 隔/mm	横隔板厚 度/mm
			厚度	上口宽	下口宽	高度	标准间距		
3.470(中心线处,内轮廓)	26.1	16~20	10	300	170	280	600	3 000	10~12

## 1.1 平胜大桥交通荷载及气候特点

2013 年 8 月对平胜大桥开展了为期 10 d 的交通数据调查,调查结果表明:① 各车道平均交通量为 9 178 pcu/d;② 样本周期内实测最大车重为 132.7 t,

由各车道车辆总重超过 55 t 限载的频率数据可知车道二~四均存在超载现象,其中车道三超载现象最为明显,6.3% 的车辆存在超载现象;③ 样本周期内实测最大轴重为 25.5 t,由各车道轴重超过 14 t 轴重的频

收稿日期:2020-08-13(修改稿)

基金项目:佛山市科技创新项目(编号:2018AB003841,1920001000658)

作者简介:徐日辉,男,大学本科,工程师。E-mail:1641478943@qq.com

\* 通信作者:黄红明,男,博士研究生,工程师。E-mail:849225015@qq.com

率数据可知车道二~四均存在超载现象,其中车道三超载现象最为明显,11.6%的车辆存在超载现象。从调查数据可知平胜大桥交通流量大,超载、重载车较多。

平胜大桥所属地区气候属亚热带季风气候,冬季气温较为温和,夏季较为炎热,最热月月平均气温为

28.8℃,集中在7、8月份,极端最高气温38.7℃;平胜大桥所属地区年均降水量约1638.5mm,雨季主要集中在3月下旬到9月底。根据佛山市环保部门提供的资料,所处地区的大气pH值为4.37,酸雨下降概率为83%,其自然地理气候条件如表2所示。从调查数据可知平胜大桥的气候特点是高温多雨,雨热同季。

表 2 自然地理气候条件

地理 位置	极端最 高气 温/℃	极端最 低气 温/℃	多年平 均气 温/℃	多年月 平均最 低气温/℃	多年月平 均最高 气温/℃	最大年 降雨 量/mm	多年平均 年降雨 量/mm	年蒸 发量/ mm	潮湿 系数	大气 pH 值
亚热带	38.7	-1	21.8	13	28.8	2 000	1 638.5	1 400~1 600	>1	4.37

1.2 平胜大桥钢桥面铺装病害特点及维修养护历程

平胜大桥钢桥面铺装自2006年11月开始运营通车,由于每年车流量急剧递增,重载、超载车数量较多,加之外界环境气候的影响桥面铺装层重车道逐渐出现了开裂、脱层、坑槽等病害。为了确保行车的安全性及舒适性,同时保护钢箱桥钢板不产生结构性的损害,平胜大桥钢桥面铺装层经过9年运营使用后,针对桥面铺装层损坏比较严重的路段进行维修,共3个施工点,维修路段基本位于平胜大桥左、右幅的三、四车道,维修总面积约1500m<sup>2</sup>。于2015年12月,刨除维修点旧有的5cm环氧沥青铺装层,对钢桥面板喷砂除锈,并采用SMA+防水抗滑层的维修方案。铺装结构为:防水黏结层(0.3~0.5mm)+防水抗滑层(在0.7~0.9mm的环氧黏结剂上满铺面积60%~80%的4.75~9.5mm单粒径碎石)+4.5cm厚SMA-10。

根据平胜大桥的相关养护资料可知,平胜大桥钢桥面铺装经过10余年的运营使用,其铺装层总体状况较好,病害主要集中在快车道(二车道)及重车道(车道三、四)轮迹线下方,结合大桥交通荷载轴重、交通量及总重调查结果可知,车道二~四亦存在明显的超载现象,说明病害与车辆超载、轴重及交通量等有一定的对应关系,主要病害表现形式为纵向开裂、鼓包开裂及脱层等,在行车荷载及环境条件共同作用下逐渐演变为坑槽等较大面积病害。

2 平胜大桥钢桥面铺装维修方案研究选择

分析平胜大桥钢桥面铺装历年路面状况调查数据、维修养护历程等可知,平胜大桥钢桥面原环氧沥青

铺装方案总体状况较好。综合平胜大桥钢桥面板结构、交通荷载及气候特点等因素分析,其钢桥面铺装维修方案应考虑的主要工程特点为:钢桥面板相对较厚;重载交通;高温多雨,雨热同季。结合调查数据可知其钢桥面铺装使用温度为-5~70℃,桥面铺装层应具有优良的水稳定性能、表面抗滑性能、高温稳定性能、变形协调性及抗疲劳性能;为了保护钢桥面板等钢结构,铺装层与钢板之间应具有良好的层间结合能力和防水能力。根据表3中推荐铺装方案比选情况,同时综合考虑平胜大桥工程特点、施工条件、工程造价及原有铺装使用情况等因素,最终确定采用双层热拌环氧沥青铺装维修方案,桥面铺装设计总厚度55mm,铺装结构组成为:上面层30mm环氧沥青混凝土(EA-10C粗级配)+黏结层(0.5kg/m<sup>2</sup>)+下面层25mm环氧沥青混凝土(EA-10F细级配)+防水黏结层(0.4kg/m<sup>2</sup>),其桥面铺装结构形式如图1所示。

3 平胜大桥 19.5 m 宽整幅热拌环氧沥青铺装维修方案实施

3.1 平胜大桥环氧沥青混凝土配合比设计

平胜大桥钢桥面铺装采用的是TAF环氧沥青结合料,其由环氧树脂和固化剂按照56:44混合均匀的混合树脂,再与沥青按照50:50的比例混合,然后固化形成环氧沥青。TAF环氧沥青混凝土所用集料采用钢桥面铺装专用辉绿岩碎石,为4.75~9.5、2.36~4.75、0~2.36mm3档料,环氧沥青铺装上面层EA-10(C)、下面层EA-10(F)混合料分别设计,下面层注重密实防水性,上面层兼顾表面抗滑性能,其矿料级配组成如表4所示。

表 3 推荐铺装方案类型比选

项目	钢—STC 组合铺装方案： 方案一	环氧沥青铺装方案	
		方案二	方案三
		温拌(拌和温度 110~130 ℃)， 以美国 ChemCo 环氧沥青为代表	热拌(拌和温度 160~180 ℃)， 以日本 TAF 环氧沥青为代表
技术成熟度	应用时间较短，技术较成熟	应用时间较长，技术成熟	应用时间较长，技术成熟
施工难度	较大	较大	相对较小
路用性能	在高温、重载交通条件下表现良好， 有利于解决钢桥面板刚度不足的问题	在高温、重载交通条件下表现良好	
开放交通时间		方案三<方案一、方案二	
工程病害率	病害极少	病害率较高	出现少数鼓包开裂病害
维修、养护	难度大	难度相对较小	
造价成本		方案二、方案三<方案一	

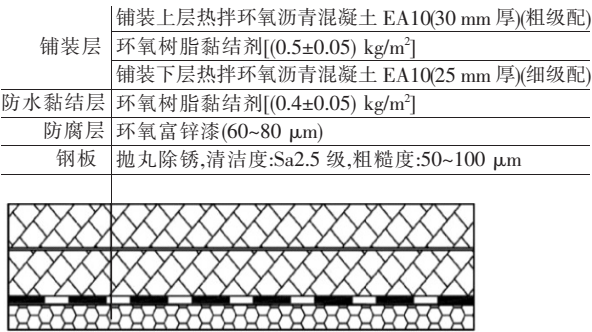


图 1 钢桥面铺装结构方案

3.2 平胜大桥整幅维修施工控制关键环节

3.2.1 原桥面铺装层清理

为了确保在清除平胜大桥原桥面铺装层的同时不损坏钢桥面板，制定了一套原环氧沥青铺装层清除的工艺流程：确定桥面铺装拆除位置→现场做好标记→切割机按现场标记切割铺装层→铣刨机就位刨除第一层沥青面层（第一层铣刨厚度为 35 mm，要求严格控制铣刨深度，严禁超过 35 mm 厚度，边缘采用人工机具清除）→清理废渣→外运→人工修边（使用风镐对机械未刨除段进行清理）→挖掘机就位（刮除剩余沥青层

表 4 环氧沥青混凝土 EA—10 级配组成

混合料 类型	通过以下筛孔(mm)的质量百分率/%									参考油石 比/%
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
EA—10(F)	100	95~100	65~85	50~70	39~55	28~40	21~32	14~23	7~14	6.0~7.0
EA—10(C)	100	95~100	45~75	30~58	20~44	15~32	11~23	8~16	6~12	6.0~7.0

至钢板面)→清理检查(铲除钢桥面板表面剩余黏结层等，在必要的时候采用清洗剂进行清洁，保证钢桥面板表面处理程度达到能够进行喷砂除锈的要求)。平胜大桥原有铺装层厚度为 50 mm，在大面积铣刨原钢桥面铺装前选取了一定长度路段进行试铣，通过试铣比较机械+人工(小型设备)、人工(机具)等不同方案，最终确定了合理的粗刨深度和细刨深度，避免对钢桥面结构的破坏，同时根据平胜大桥实际旧钢桥面铺装的清除效果进行动态调整清除方案和措施。

3.2.2 试验段施工

在平胜大桥水泥混凝土引桥上选择一段约 60 m

长的混凝土作为底层，进行试拌、试铺热拌环氧沥青混凝土试验路段，预埋钢板，模拟实际施工过程，黏结层、防水层均用环氧树脂黏结剂，TAF 环氧树脂黏结剂的试验检测结果如表 5 所示，TAF 环氧铺装层+钢板组合试件的拉拔试验结果如表 6 所示。通过试拌试铺的试验路铺装工程，确认钢桥面铺装施工工艺，检验施工机具，完成对铺装混合料生产配合比的验证工作，建立施工、质量控制制度，使技术人员及操作人员熟练掌握钢桥面铺装施工工艺。

3.2.3 防水黏结层的施工

在环氧富锌漆表面(包括所有重新涂漆的表面)喷

表 5 TAF 环氧树脂黏结剂技术要求及试验结果

试验项目	单位	技术要求	试验结果	试验方法
组分 A/B 重量比		50/50	50/50	
拉伸强度(23 ℃)	MPa	≥3.0	3.16	GB/T 528—1998
断裂延伸率(23 ℃)	%	≥100	195	GB/T 528—1998
与钢板黏结强度(25 ℃)	MPa	≥2.5	3.04	《公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南》
与钢板黏结强度(60 ℃)	MPa	≥1.0	1.51	

表 6 TAF 环氧铺装层+钢板组合试件拉拔试验结果

组合试件的黏结强度(25 ℃)/MPa	破坏位置	技术要求
2.36	混合料处	≥3.0 MPa 或在混合料处破坏
2.41	混合料处	
2.02	混合料处	
2.34	混合料处	
2.37	混合料处	
2.33	混合料处	

涂后至少 7 d 才能进行防水黏结层施工,并且漆膜和钢板之间的附着力应大于 6 MPa。在喷洒环氧沥青黏结层前应让表面彻底干燥。对于环氧树脂黏结剂,主剂和固化剂分别控温为 20~30 ℃,在桥面采用移动式恒温房控制温度,以 1:1 的比例混合后搅拌 3 min 使其充分混合,以备涂布。凡与铺装层接触的部位点属于喷洒区,当天的喷洒区与计划的铺装施工区相对应,且喷洒区边缘要比铺装区边缘多出 2~3 cm。主剂和固化剂从混合后到涂布结束所用时间必须控制在黏结剂的可使用时间范围内,如表 7 所示。同时在主剂、固化剂的保管场所乃至喷涂现场中,也应视情况进行一定的遮光处理,以防止黏结剂液温的过度上升。

表 7 环氧树脂黏结剂的可使用时间

温度/℃	可使用时间/min
20	45
30	20
40	5

环氧树脂黏结剂涂布完成后,对其进行养生,一般需要黏结层达到指干状态后,开始进行铺装层的施工;如未达到指干状态开始铺装层摊铺,需要采取防黏轮和防推移措施。施工现场应根据当时气候特点在环氧树脂黏结剂的有效期限内进行铺装层的施工,如表 8 所示。如黏结层超过有效期限,需要重新涂布环氧树

脂黏结剂。

表 8 环氧树脂黏结剂的养生天数参考值

温度条件/℃	养生天数/d	黏结有效期限/d
40~50	0.5	1.5
30~40	1	2
20~30	1	3
10~20	2	6

3.2.4 环氧沥青混凝土整幅施工

为了确保整个项目如期完工并按时通车,减少施工纵向冷接缝,同时通过试验段的研究最终确定平胜大桥钢桥面热拌环氧沥青铺装采用 19.5 m 宽整幅一次性摊铺成型施工方案,现场采用两台福格勒 2100—3L 型摊铺机按照 9.75 m 和 9.5 m 的拼机方案成梯队摊铺施工,碾压组合方式采用 4 台 13 t 双钢轮压路机+4 台 18 t 胶轮压路机+2 台 13 t 双钢轮压路机,同时两侧边角位采用 2 台 5 t 的钢轮压路机碾压并辅以人工进行夯实,具体压路机配置及碾压方式如表 9 所示,现场施工时可根据情况适当调整,热拌环氧沥青混凝土摊铺温度控制范围为 165~185 ℃,混合料初压内部温度应控制在 155 ℃ 以上,两次碾压的混合料内部温度应控制在 110 ℃ 以上,终压温度应控制在 90 ℃ 以上。由于环氧沥青混凝土在拌和的同时即进行固化反应,其混合料出料到碾压完成允许的施工时间须控制在 2.0 h 以内。现场碾压采用植物油作为防黏剂,所以现场人员及设备均应做好防水措施。现场摊铺碾压过程中如果发现混合料内部产生气泡,应立刻用锐物将其戳破并重新压实;对于较大气泡鼓包应安排专人进行铲除,并立即补回新混合料重新进行压实。铺装上面层接缝及路缘接缝处采用灌环氧树脂黏结层材料进行密封。

热拌环氧沥青混凝土铺装施工完成后的养生期一般为 3~14 d,养生期间严禁货车通行。为确保平胜大桥钢桥面铺装项目节点工期,检验并保证开放交通时



表 9 热拌环氧沥青混凝土压路机组合及碾压遍数

铺装层位	初压	复压	终压
铺装下层	4 台胶轮压路机静压 3 遍	4 台双钢轮压路机静压 3 遍	2 台双钢轮压路机静压 2 遍
铺装上层	4 台双钢轮压路机静压 3 遍	4 台胶轮压路机静压 3 遍	2 台双钢轮压路机静压 1~2 遍

环氧沥青桥面铺装强度,采用现场同步养生马歇尔试件模拟铺装强度增长过程的检测方法,在现场同步养生马歇尔试件稳定度达到 40 kN 以上后可开放交通,以保证平胜大桥热拌环氧沥青桥面铺装的长期耐久性能。平胜大桥钢桥面铺装马歇尔试件同步养生稳定度增长数据曲线见图 2,左、右幅均在预期时间内达到了开放交通的条件,确保了整个项目的工期,达到理想的铺装效果。

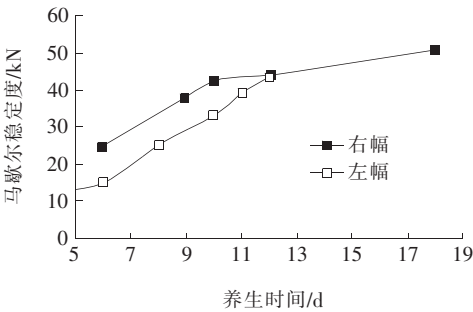


图 2 环氧沥青马歇尔试件同步养生稳定度增长曲线

4 平胜大桥通车后的铺装性能表现

跟踪观测了平胜大桥大宽度热拌环氧沥青铺装整幅维修工程通车 1 年以后的使用状况,在重载交通荷载作用下经过 1 个高温、雨季、低温的循环作用,其桥面铺装整体性能表现优良,铺装表面平整,未出现早期病害,通车后的各项技术指标如表 10 所示,将进一步跟踪观测其长期使用性能。

表 10 通车 1 年后桥面铺装性能表现

项目	平整度/ ( $m \cdot km^{-1}$ )	横向力 系数	车辙深 度/mm	桥面状况
检测结果	1.13	66.3	2.95	无病害
技术要求	$\leq 2.0$	$\geq 54$	$\leq 10$	—

5 结论

(1) 在平胜大桥钢桥面铺装改造维修之际,分析

其维修养护情况并总结了钢桥面铺装的病害特点,开展了平胜大桥钢桥面铺装维修方案的研究,结合项目工程特点并综合考虑各种铺装方案的适应性,最终确定采用双层热拌环氧沥青铺装维修方案,桥面铺装设计总厚度为 55 mm。

(2) 为了提高环氧沥青铺装的施工效率及减少钢桥面铺装维修对交通运行的影响,平胜大桥钢桥面铺装最终研究确定采用大宽度热拌环氧沥青铺装整幅维修方案,总结介绍了平胜大桥 19.5 m 宽整幅环氧沥青铺装一次性摊铺成型工艺及施工控制关键环节。

(3) 跟踪观测了平胜大桥大宽度钢桥面铺装整幅维修工程通车 1 年后的使用状况,在重载交通及高温、雨季、低温的循环作用下,其桥面铺装整体性能表现优良,将进一步跟踪观测其长期使用性能。

参考文献:

[1] 徐伟,张肖宁,涂长卫. 虎门大桥钢桥面铺装维修方案研究与工程实施[J]. 公路,2012(5).

[2] 刘海城,唐强,陈云杰,等. 环氧沥青钢桥面铺装整体大修方案设计与工程实施研究[J]. 公路,2012(3).

[3] 黎超尘,曾国东,黄红明. 奇龙大桥钢桥面铺装质量控制与防水抗滑层的应用研究[J]. 中外公路,2019(1).

[4] 徐伟,李孝旭,苏权科. 热拌环氧沥青混凝土钢桥面铺装施工控制试验研究[J]. 公路,2014(10).

[5] 李俊. 平胜大桥钢桥面环氧沥青铺装养护技术研究[J]. 湖南交通科技,2012(2).

[6] 许龙. 环氧沥青钢桥面铺装级配优化设计与压实规律研究[D]. 华南理工大学硕士学位论文,2016.

[7] 张大斌,等. 钢桥面铺装粘结剂的高温稳定性能[J]. 中外公路,2012(4).

[8] 黄红明,曾国东,周敏,等. 基于施工控制的 TAF 环氧沥青混合料性能试验研究[J]. 中外公路,2018(5).

[9] 张肖宁,张顺先,徐伟,等. 基于使用性能的钢桥面铺装环氧沥青混凝土设计[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2012(7).

[10] 张华,张锋,郝增恒,等. 正交异性板钢桥面铺装防水材料试验研究[J]. 公路工程,2009(1).