

钢桥面铺装体系病害研究及原因分析

朱子剑 吴永万

(浙江交工集团股份有限公司路面工程分公司 杭州 311103)

[摘要] 为了研究当前钢桥面铺装技术的应用现状和病害,进一步提升钢桥面铺装工程质量。文章通过查阅文献资料、现场调研、技术交流等方式,总结了目前国内钢桥面不同铺装体系存在的病害类型,并结合钢桥结构、环境条件和使用情况等对病害形成原因分析,得出以下结论:双层改性 SMA 铺装体系主要病害形式为裂缝、坑槽、推移和网裂;浇注式铺装体系主要病害形式为裂缝和车辙;双层环氧沥青铺装体系主要病害形式为裂缝、网裂、坑槽;ERS 铺装体系易产生裂缝、脱层、坑槽、推移等病害。

[关键词] 钢桥面铺装体系;病害类型;原因分析

桥面铺装作为交通运输业的重要组成部分,其使用状况直接影响到行车安全性、舒适性及桥梁的耐久性^[1-3]。

目前国内甚至国际所采用较普遍的钢桥面铺装体系大致分为双层改性 SMA 铺装体系、浇筑式铺装体系、双层环氧沥青铺装体系和 ERS 铺装体系^[4-7]。但是每一种铺装体系都有其自身的缺点,这样就导致了钢桥面病害的产生。本文针对以上不同铺装体系应用现状和病害原因机理进行了统计分析,为改进钢桥面结构层铺装体系的选择提供依据,对今后的钢桥面铺装具有指导意义。

1 双层改性 SMA 铺装体系钢桥面应用现状

1.1 铺装病害调研

双层 SMA 沥青混凝土铺装在我国早期钢桥面铺装中应用较多,铺装总厚度一般为 6~8cm,每层厚度在 3~4cm 之间。

早期的双层 SMA 铺装方案基本上是直接引进国外技术^[8],典型的桥梁铺装有厦门海沧大桥^[9]、汕头礮石大桥、重庆鹅公岩大桥、天津海河大桥等。其中厦门海沧大桥、汕头礮石大桥在通车 2~3 年的时间均出现了松散、脱层、推移、开裂等病害,重庆鹅公岩大桥在通车 5

年后才产生铺装层病害,天津海河大桥效果较好。随着铺装技术的进步,后期的双层 SMA 铺装方案,通常采用性能优良的改性沥青和防水粘结层,以期提高双层 SMA 铺装方案的使用寿命。

本次主要调研了以下几个钢桥面铺装病害,总结如表 1.1-1 所示。

表 1.1-1 双层 SMA 结构钢桥面病害调查

序号	桥梁名称	目前观测到的主要病害	备注
1	厦门海沧大桥	纵向裂纹、挖补	1999 年~至今
2	南昌艾溪湖大桥	行车道翻修达全桥三分之一	2011 年~至今
3	上海卢浦大桥	少量泛油	2003 年~至今
4	上海青浦西大盈港双桥	大量挖补、坑槽、推移、网裂	2010 年~至今

根据以上调研结果,双层 SMA 铺装体系应用状况可总结为:

(1) 总体来说,目前大型钢结构桥梁应用双层 SMA 铺装体系的案例较少。

(2) 大型钢结构桥梁采用双层 SMA 方案,整体应用效果不佳:早期重载交通的双层 SMA

收稿日期:2021-07-01

作者简介:朱子剑(1982-),男,高级工程师,主要从事试验检测与技术管理工作。

铺装方案的代表桥梁虎门大桥和汕头礮石大桥已翻修为其他铺装结构；上海卢浦大桥 2017 年进行了翻修，仅观测到少量泛油情况；厦门海沧大桥 2013 年翻修，存在较多纵向裂纹和局部挖补；上海青浦西大盈港桥和南昌艾溪湖大桥^[10]的双层 SMA 病害已较为严重，趋于大修标准。

(3) 裂缝、坑槽、推移和网裂是双层改性 SMA 铺装体系的主要病害形式。

1.2 铺装病害原因分析

SMA 属于碾压式沥青混凝土，施工简易，无需特种专用设备，具有施工及养护时间短，后期维护方便，工程造价相对较低的优点。结合 SMA 自身的特点和其在钢桥面铺装中的应用现状，其铺装病害原因主要有以下几点：

(1) 铺装体系由于界面粘结力不足而出现脱层、推移等病害，稳定性较差^[4]。由于环氧树脂在高温时强度显著降低，在摊铺 SMA 混合料时，环氧树脂与钢板间粘接界面受损，从而致使界面粘结力严重降低。为了保护环氧树脂粘结层，在粘结层与铺装下层加一层沥青砂胶缓冲层，缓冲层起到防水、隔热、缓冲荷载、提供施工平台等作用，然而在大纵坡、重载、超载严重、高温等情况下，沥青砂胶出现抗剪强度不足，导致层间失稳，使铺装层出现脱层、推移等病害。

(2) 双层 SMA 铺装方案易产生疲劳开裂、车辙和纵向裂缝，这与 SMA 本身的材料特性息息相关。SMA 属于骨架密实型结构，热稳性能优良。正因为这种骨架结构，导致施工时质量控制不易。由于钢板传热快、钢桥共振吸收压实功及桥梁结构特性对振动压实的限制，导致混合料难以充分压实，施工完成后整体呈现“蜂窝状”，空隙率大，易透水，易开裂，热稳性及疲劳性能差。

(3) 双层 SMA 铺装体系对改性沥青的要求极高。由于前述的热稳性问题，SMA 所用改性沥青必须具有极好的柔韧性及弹性，以适应混合料产生的变形，若改性沥青性能不良，则铺装层易出现裂缝等病害。

2 浇注式铺装体系的应用现状

2.1 铺装病害调研

浇注式沥青混凝土铺装结构在国内外已普遍应用，且大部分取得了良好的使用效果。随着研究和实践的深入，我国浇注式沥青混凝土铺装结构和材料已逐步定型，甲基丙烯酸树脂防水粘结体系+浇注式沥青混凝土+SMA 沥青混凝土铺装结构已成为广泛使用的典型结构类型。该结构不但具有优良的使用性能，而且施工便利性和经济性都具有明显优势。

目前，浇注式沥青混凝土铺装体系在我国应用广泛，如港珠澳大桥、安徽马鞍山长江大桥、安徽芜湖长江二桥、湖北武汉沌口长江大桥、三峡第一跨重庆驸马长江大桥等，我国已形成较为成熟的钢桥面浇注式沥青混凝土铺装体系结构，即甲基丙烯酸树脂防水粘结层+浇注式沥青混凝土 GA-10+改性沥青 SMA，总厚度一般为 7~7.5cm。

本次主要调研了以下几个钢桥面病害，总结如表 2.1-1 所示。

表 2.1-1 浇注式铺装体系钢桥面病害调查

序号	桥梁名称	目前观测到的铺装主要病害	备注
1	厦漳跨海大桥	无明显病害	2013~至今
2	南昌洪都大桥	少量裂纹	2009~至今
3	赣州飞龙大桥	少量修补	2010~至今
4	赣州大桥	无明显病害	2009~至今
5	安徽安庆长江大桥	两条纵缝	2010~至今
6	马鞍山长江大桥 重车道翻修 200 米		2014~至今

根据以上调研结果，浇注式沥青混凝土铺装体系应用状况可总结为：

(1) 近年来，采用浇注式沥青混凝土铺装体系的大型钢结构桥梁项目较多。

(2) 总体来说，钢桥面浇注式沥青混凝土铺装结构应用良好，除少量车辙、裂纹和修补外，严重病害较少。

(3) 浇注式沥青混凝土铺装的典型病害主要为车辙、纵向裂缝和推移等。

2.2 铺装病害原因分析

浇注式沥青混凝土铺装方案由于其高沥青含量的特点,施工需做到严格控制其热稳定性,否则易出现车辙、开裂病害,SMA 面层在使用较长时间后,会出现疲劳裂缝。我国最早应用浇注式沥青混凝土铺装体系的桥梁为香港青马大桥和江阴长江大桥,采用英国技术(Mastic Asphalt)^[11],直接把浇注式沥青混凝土铺装作为面层,由于热稳定性不足,且欧洲气候环境与国内的差异,通车后出现大量车辙、开裂。为了改进浇注式高温稳定性不足的缺点,我国借鉴德国和日本经验,引进了浇注式沥青混凝土和 SMA 的组合方案。解决了高温稳定性不足的问题,但其在施工过程中,仍需增强施工专业化控制。

少量纵向疲劳裂缝,因浇注式沥青混凝土铺装在使用过程中,SMA 面层在使用较长时间后,由于钢箱梁桥面的反复疲劳荷载作用,会不可避免的出现疲劳裂缝。只要施工工艺控制得当,在中、大型桥面铺装中,浇注式沥青混凝土铺装方案的热稳定性问题就能得到有效控制。

3 双层环氧混凝土铺装体系的应用现状

3.1 铺装病害调研

自东南大学等科研机构自上世纪末引进和研究环氧沥青混凝土铺装技术以来,环氧沥青混凝土铺装技术在我国得到了大量推广,并在几十座大型钢桥得以应用。所使用的防水粘结层一般为环氧沥青。

我国最早引进环氧沥青混凝土铺装的钢桥为南京长江二桥^[12],铺装结构为:钢桥面喷砂除锈+环氧富锌漆+环氧沥青粘结剂+双层环氧沥青混凝土。随后环氧沥青混凝土铺装方案在南京长江三桥、苏通大桥、杭州湾大桥、润扬大桥、北京昌平南环大桥、湛江海湾大桥以及江阴长江大桥(维修)等桥上进行了应用,铺装结构为:钢桥面喷砂除锈+环氧沥青粘结剂+双层环氧沥青混凝土。环氧沥青铺装结构使用情况好坏不一,南京长江二桥、南京长江三桥、北京昌平南环大桥等使用状况较好,而润扬大

桥和江阴长江大桥(维修)则出现了裂缝、坑槽病害。

本次主要调研了以下几个钢桥面病害,总结如表 3.1-1 所示。

表 3.1-1 双层环氧混凝土铺装体系钢桥面病害调查

序号	桥梁名称	目前观测到的铺装主要病害	备注
1	佛山平胜大桥	鼓包已修补	2006 年~至今
2	广州珠江黄埔大桥	全桥已翻修	2008 年~至今
3	南京长江三桥	纵向裂缝,大量修补	2006 年~至今
4	南京长江二桥	纵向裂缝,大量修补	2001 年~至今
5	润扬长江大桥	纵向裂缝、网裂、沉陷	2005 年~至今

根据以上调研结果,环氧沥青混凝土铺装体系应用状况可总结为:

(1) 双层环氧沥青混凝土铺装体系的建设时间主要集中于 2001 年至 2010 年之间,2010 年之后该方案应用较少。

(2) 我国的环氧沥青混凝土铺装技术主要包括热拌环氧沥青混凝土和温拌环氧沥青混凝土两种。目前,市场上热拌环氧沥青混凝土的应用呈上升趋势。

(3) 整体来看,双层环氧沥青混凝土铺装表现出来的病害较多,几乎没有应用完好的项目。

(4) 环氧沥青混凝土铺装的典型病害主要表现为各种裂缝和坑槽,无车辙病害。

3.2 铺装病害原因分析

环氧沥青铺装结构的整体使用情况较差,究其原因,主要是和铺装层所使用的环氧沥青原材料自身性能有关。

环氧铺装方案的最大一个问题在于施工要求高,难以控制,导致出现坑槽、裂缝等病害。

施工时界面必须绝对禁水,雨水、露水或汗水,未完全清除干净将导致鼓包,进而产生网裂,且养护时间长,一般需要 45d 左右养生时间。

双层环氧沥青混凝土铺装易产生开裂病害。一方面来自于疲劳开裂,作为一种反应性沥青混凝土材料,在其强度足够的情况下,抗疲劳开裂性能显得不足。另一方面来自于环氧沥青混凝土自身的反应特性,作为热固性材料,在大量钢桥面铺装中所表现的无规则裂缝病害,表明该材料本身可能存在反应收缩而出现收缩性裂缝的情况。

双层环氧沥青铺装层易开裂到底。双层环氧铺装方案钢板上涂布环氧富锌漆后洒布环氧沥青,再加铺两层环氧沥青混合料的同质性,由于材料整体结合紧密,材料脆性大,强度高,一旦开裂将很容易开裂到底,环氧富锌底漆中的锌粉被腐蚀,产生氧化物或锌盐,将导致病害持续发展。

4 ERS 铺装体系的应用现状

4.1 铺装病害调研

ERS 是我国自主研发并大量应用的钢桥面铺装技术,自宜昌西陵长江公路大桥首次使用以来,经历过多次技术改进而定型^[13]。ERS 方案由于在造价、施工组织上存在一定的优势,目前在国内应用较多。

ERS 铺装主要采用 EBCL 防水粘结层(环氧树脂上撒布碎石)将钢板从光面变成粗糙面,同时保护钢板。在 EBCL 上加铺 RA05 环氧树脂混凝土形成缓冲层,一方面发挥树脂沥青混凝土的高强度、高温稳定性、良好抗裂性和抗水损害能力等优势,形成一个相对稳定的结构层,同时也消除了 SMA 高温作用对 EBCL 层的影响。在 RA05 层施工碾压过程中嵌入 5~10mm 碎石,固化后形成剪力键,以增加层间抗剪性能。而工程实践已证明,改性沥青 SMA 混合料能够满足热稳定性、抗裂性、抗水损害性能要求。

本次主要调研了以下几个钢桥面病害,总结如表 4.1-1 所示。

根据以上调研结果,ERS 铺装体系应用状况可总结为:

(1) 整体来看,ERS 铺装所表现出来的应用状况良好。

(2) ERS 铺装的典型病害主要表现为推移

和车辙,推移主要出现于树脂沥青混凝土和 SMA 之间的界面。

表 4.1-1 ERS 铺装体系钢桥面病害调查

序号	桥梁名称	目前观测到的铺装主要病害	备注
1	宜昌长江公路大桥	脱层、坑槽、推移	2011 年~至今
2	浙江嘉绍大桥	良好	2013 年~至今
3	杭州江东大桥	裂缝、车辙、变形和网裂	2008 年~至今
4	宁波明州大桥	局部车辙、标线扭曲	2011 年~至今

4.2 铺装病害原因分析

ERS 铺装易产生车辙和车道划线扭曲等病害,这是由于反应性树脂混凝土层(RA05)与 SMA 层之间的粘结层问题的影响。由于粘结层采用热熔改性沥青撒布碎石方案,下层的 RA05 为反应性树脂混凝土,施工时撒布碎石后采用胶轮压路机碾压,难以保证压实效果。树脂混凝土固化后表面光滑平整,加之树脂混凝土于沥青类材料的差异性,导致部分碎石发生脱落,进而导致界面粘结较差。后期通过研究改进,将粘结层由热熔改性沥青换成了与 RA05 粘结较好的树脂沥青,但仍未能完全确定是否能够完全解决层间界面粘结问题。

宜昌长江公路大桥在 ERS 施工完两个月产生铺装开裂等病害。分析原因主要有以下几方面:(1) RA05 石料含水量偏高,RA05 施工结束突然降雨,尚未完全固化即遭水浸泡,影响了 RA05 最终强度生成;(2) RA 与 EBCL 之间没有涂布 RA 树脂沥青胶料,可能存在微小空隙;(3) SMA 施工控制不严,造成混合料离析和温度失控;(4) 没有对车辆进行限载,重型货车比例达 50%甚至更高。

5 结论

综上所述,钢桥面不同铺装体系的病害及原因总结如下:

(1) 双层改性 SMA 铺装体系主要病害形式为裂缝、坑槽、推移和网裂。病害产生原因有:

①铺装层 SMA 与防水层之间界面粘结力不足；
 ②SMA 施工时质量不易控制；③SMA 所用改性沥青性能不足。

(2) 浇注式铺装体系产生的病害较少，裂缝和车辙是其主要病害形式。病害产生原因有：①上面层改性沥青 SMA 材料疲劳性能不足，在使用过程中产生疲劳裂缝；②浇注式沥青混凝土配合比控制不到位，导致高温稳定性不足，产生车辙病害。

(3) 双层环氧沥青铺装体系主要病害形式为裂缝、网裂、坑槽。病害产生原因有：①环氧沥青混凝土施工要求高，难以控制；②环氧沥青混凝土自身脆性大，强度高，易开裂。

(4) ERS 铺装体系易产生裂缝、脱层、坑槽、推移等病害。病害产生原因有：①反应性树脂混凝土层 (RA05) 与 SMA 层之间粘结力差；②粘结层多采用热塑性改性沥青，在高温状况下粘结力和热稳定性较差。

参考文献

- [1] 黄卫, 钱振东, 程刚. 环氧沥青混凝土在大跨径钢桥面铺装中的应用 [J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2002, 32 (9): 783-787.
- [2] 张力, 陈仕周. 钢桥面铺装技术的研究与发展 [J]. 公路, 2001 (1): 1-5.
- [3] 朱洪洲, 廖亦源. 沥青路面抗滑性能研究现状 [J]. 公路, 2018 (1): 35-46.
- [4] 刘涛. 双层 SMA 钢桥面铺装 Eliminator 防水粘结体系中粘结材料的开发与性能研究 [D]. 重庆交通大学, 2014.
- [5] 高阳熾炜, 莫正华. 浇筑式沥青混凝土在钢桥面铺装的施工技术研究 [J]. 华东科技 (综合), 2020 (3): 0159.
- [6] 谢波. 环氧沥青混凝土施工工艺研究 [J]. 山西建筑, 2020, v. 46 (08): 87-89.
- [7] 王体宏, 时敬涛, 李纯, 等. 钢桥面铺装技术现状与发展 [J]. 石油沥青, 2020, v. 34; No. 163 (01): 50-53.
- [8] 高博, 王俏, 王民, 等. 国内外典型桥面铺装组合结构性能研究 [J]. 公路交通技术, 2011, 000 (002): 43-47.
- [9] 陈仕周, 张华. 钢桥面 SMA 铺装技术的研究与发展 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (10): 5-8, 25.
- [10] 田岱松. 艾溪湖大桥钢桥面双层 SMA 铺装技术研究 [J]. 施工技术 (S1 期): 244-247.
- [11] 张燕. 浇筑式沥青混凝土施工工艺研究 [J]. 交通世界, 2012, 000 (015): 214-215.
- [12] 宗海. 环氧沥青混凝土钢桥面铺装病害修复技术研究 [J]. 东南大学, 2005.
- [13] 何清, 姜炜, 李知强, 等. ERS 钢桥面铺装技术在宜昌长江公路大桥中的应用 [J]. 交通科技, 2012 (03): 104-106.