DOI:10.14048/j.issn.1671－2579.2019.03.037

ERS钢桥面铺装病害调研及原因分析

马融，陈飞
（交通运输部公路科学研究院，北京市 100088）

摘要：为了总结ERS钢桥面铺装技术的使用现状及不足，进一步提升其工程可行性。该文通过现场检查和资料查阅的方法对中国运用ERS桥面铺装体系的钢桥面进行调查研究，得出所调研钢桥面的病害类型，并结合桥梁结构形式、使用条件、使用状况等分析病害形成原因。得出以下结论：① ERS钢桥面铺装体系的主要病害类型包括：裂缝、车辙、层间位移及坑槽等其他破坏；② 施工质量和重载、超载现象是影响ERS钢桥面铺装病害产生的主要因素；③ 病害主要集中在SMA面层，EBCL层和RA层病害发生率较低；④ 黏结层多采用热塑性改性沥青，在高温状况下黏结力和热稳定性较低，易造成铺装面层的推移等病害。

关键词：ERS钢桥面铺装；病害调研；原因分析

目前，桥面铺装结构的设计，一般都采用经验法，并非力学计算法。此时，分析现有桥面铺装的使用情况，取长补短，保证桥面铺装的优良使用性能和良好耐久性显得尤为重要。

该文对中国ERS实体工程的使用情况进行调研，总结成功经验、吸取失败的教训，为ERS类桥面铺装结构设计组成、材料优选以及相关施工技术等提供强有力的实践经验和技术支撑。

1 调研方案

1.1 调研对象

综合考虑ERS桥面铺装工程规模、使用年限及不同桥梁结构形式，选定调研对象，见表1。

表1 调研对象

桥梁名称	代号	结构类型	桥梁类型	通车时间/年
杭州江东大桥	A	EBCL＋2 cmRA05＋4 cmSMA10	悬索桥	2010
宁波庆丰桥	B	EBCL＋2 cmRA05＋5 cmSMA10	悬索桥	2011
营口辽河大桥	C	EBCL＋2.5 cmRA05＋4 cmSMA11	斜拉桥	2011
宁波外滩桥	D	EBCL＋2 cmRA05＋5 cmSMA10	斜拉桥	2011
宜昌长江公路大桥	E	EBCL＋2 cmRA05＋5 cmSMA10	悬索桥	2012
宁波明州大桥	F	EBCL＋2.5 cmRA05＋4 cmSMA13	钢箱拱桥	2014

1.2 调研内容和调研方法

此次ERS钢桥面铺装病害调研是以现场检查与资料查阅相结合的方式，配以必要的检查工具及设备进行目测或量测检查。

主要调研内容包括：

（1）原桥梁结构及桥面系参数：桥梁概况、道路等级、桥梁结构、最大跨径、宽度、纵横坡度、桥面系结构参数等资料。

（2）桥面铺装使用条件：桥面极端气温、湿度、降雨量、气候特点（有无雾天、台风、冰雪天气等）、交通量等。

（3）原设计建设情况：原桥面铺装结构、铺装层厚度、施工现场情况等。

（4）使用情况：桥面铺装病害类型、破坏程度、发展速度、实施效果等。

2 调研结果

2.1 调研结果汇总

根据前节的调研内容和调研方法，各调研对象的基本情况、桥面铺装结构形式见表2、3。

收稿日期：2018－09－25

作者简介：马融，男，硕士，助理研究员.E－mail:r.ma@rioh.cn

通过对 ERS 钢桥面铺装代表桥梁的现场调查，综合评价了 6 座桥梁的病害类型和各类病害面积占铺装面积的比例，见表 4。

表 2 调查桥梁基本情况

桥梁代号	类型	所处位置	年最高气温/℃	年最低气温/℃	降水量/mm	ERS 通车时间/年	是否限载
A	悬索桥	杭州	42.1	−4.6	1 600	7	不限
B	悬索桥	宁波	41.2	−4.0	1 480	6	限载
C	斜拉桥	营口	38.3	−29.3	602	6	限载
D	斜拉桥	宁波	39.5	−4.1	1 480	6	限载
E	悬索桥	宜昌	43.9	−7.6	1 633	4	不限
F	钢箱拱桥	宁波	41.2	−4.0	1 480	3	不限

表 3 调研桥梁铺装结构形式

桥梁代号	钢板厚度/mm	铺装层厚度/mm	EBCL 刷涂工艺	RA05 厚度/mm	SMA 粒径/mm	SMA 厚度/mm	SMA 工艺
A	14	60	单层	20	10	40	双层
B	14	70	双层	20	10	50	双层
C	14	60	双层	25	11	35	单层
D	16	70	双层	20	10	50	双层
E	12	70	双层	20	10	50	双层
F	14	65	单层	25	13	40	单层

表 4 ERS 桥面铺装病害调查 %

桥梁代号	裂缝类			松散类		变形类		其他类	
	横裂	纵裂	网裂	坑槽	剥落	车辙	推移	泛油	修补
A	0.8	3.9	4.8	2.8	1.8	3.9	4.2	0.4	4.2
B	1.1	0.9	0	0	0.8	0.8	0.3	0.2	0.2
C	0	0.8	0.5	0	0.9	1.1	1.2	0.8	1.8
D	0	0.8	0	0	0.2	1.8	0.6	1.6	0.9
E	0.8	4.2	1.1	2.9	2.5	1.0	0.5	0.2	3.5
F	1.6	1.5	1.1	3.2	2.9	2.8	0.3	0.8	5.2

(1) A 桥日均交通量约为 10 000 pcu/d，其中重载车辆的比例较大；SMA 与 RA 层黏结失效，造成变形类病害急剧增多；通过现场钻芯发现局部点位钢桥面板发生锈蚀。

(2) B 桥为城市快速路桥梁，跨径较短，行车荷载以小型车为主；病害类型主要是纵向裂缝，多产生在上坡行车道轮迹带位置，路面总体行车状况较好。

(3) C 桥限制轴重超过 30 kN 的重车过桥，钢桥面铺装没有出现大的病害。根据资料显示，SMA 层进行过将级配调粗的优化设计。

(4) D 桥城市主干路桥梁，交通类型主要为中小型车辆，使用情况良好。

(5) E 桥重载车辆比例达 50%以上；根据相关资料显示，该桥沥青拌和站离施工现场较远，且在进行 RA05 施工时遇降水而未进行相关处置，导致施工完成 2 个月后由于铺装层开裂曾对下游幅 SMA 和部分 RA05 层进行了返修处理。

(6) F 桥日均交通量超过 30 000 pcu/d，重载和超载车辆比例约达 40%；设计纵坡达 3%，上坡方向车道车辙病害严重，下坡方向路面情况良好；SMA 层集料

脱落现象较为明显。

2.2　主要病害形式及特点

通过对有代表性的 ERS 钢桥面铺筑使用情况进行调查分析，可将其病害归纳为以下几种类型：

（1）裂缝破坏。桥面铺装中裂缝的产生主要是由于结构层无法抵抗过大的拉应变，裂缝病害发生频率高、发生早期化、发展迅速，是桥面铺装层的典型病害之一。沥青类混凝土铺装层开裂破坏主要与钢桥面板的局部变形有关。在车辆荷载作用下，由于加劲肋的加强作用，桥面板局部形成应力集中，而在铺装层表现为沿加劲肋、横隔板、纵隔板处的网状裂纹。

（2）车辙破坏。车辙的发生主要是由于在重载不利条件下，铺装层无法承受过大的竖向应力累积产生的竖向变形，同时由于 RA 和 SMA 层间界面黏结力不足共同导致了车辙破坏的发生以及进一步加剧。一旦发生车辙病害将严重影响桥面的使用性能，是桥面铺装中最严重的病害之一。

（3）层间位移破坏。层间位移破坏是行车荷载引起的垂直力和水平力的综合作用在桥面铺装层产生剪应力引起的。当这种剪应力超过沥青混合料材料自身的抗剪强度或层间黏结强度不足时，铺装层就会出现波状起伏及拥包而导致铺装层破坏。目前，脱层、推移的出现，更多的是高温导致层间黏结材料的强度大幅度衰减、甚至失效，使得 SMA 铺装层与 RA05 层之间失去了整体性。

（4）坑槽等其他破坏。坑槽破坏的形式比较多，出现的部位也无规律，受影响的因素也比较多，如混合料离析、空隙率偏大，维修处治不当等，都会引起坑槽破坏。

3　ERS 钢桥面铺装病害原因分析

树脂沥青钢桥面铺装产生病害的原因是多方面的，分析归纳有以下几种：

（1）严酷的自然环境

除 C 桥外，调研桥梁均处于中国夏季高温炎热多雨地区，钢桥面铺装要承受高温和水损害的双重侵袭。以浙江省为例，年平均气温较 20 世纪末期提高了 0.7 ℃，并且高温天气屡见不鲜。部分钢桥面夏季温度达到 70 ℃。

沥青混合料的温度敏感性较高，在低温时表现为弹－黏性，在高温时更多地表现为黏－塑性。高温时沥青结合料变软，荷载作用下变成集料移动的润滑剂，为车辙的形成创造了有利条件。国外研究表明：沥青混合料高温性能有 60％来源于集料，另外 40％来源于结合料。由于桥面铺装层沥青混合料的级配组成较其他沥青结构层明显偏细，故结合料的优化选择更为关键。

（2）重载车辆的影响

根据交通量的相关调研，采取限载措施的桥梁其年累计当量轴载次数约为非限载桥梁累计轴次的 0.2，故将非限载桥面轴载次数定义为相对值 1，限载桥面轴载次数定义为相对值 0.2。根据图 1 所示，限载条件下的铺装结构其各类病害的发生率均明显降低。

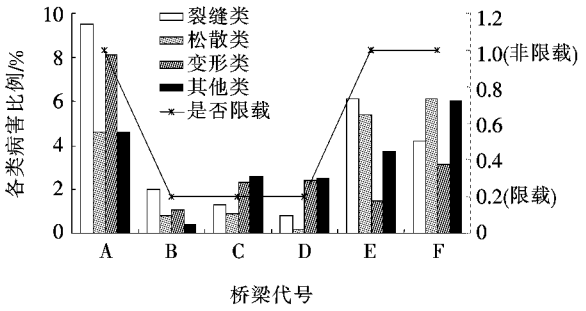

图 1　各调研桥梁铺装层病害与限载关系图

同时通过国内外钢桥面铺装结构类型的对比可以发现，国外通用的钢桥面铺装技术，例如双层 SMA 铺装结构在中国几乎没有成功的案例。主要是由于中国特殊的重载交通情况决定的。单次轴载作用大、大轴载作用间歇短是中国重载交通的特点，该特点会致使铺装层塑性变形早期化、严重化。因此，重载对铺装材料提出了较高的要求。

（3）高黏沥青用量的问题

沥青用量对混合料动稳定度有较大影响，随着沥青含量的增加，动稳定度不断下降。相关研究表明：一般最佳沥青混合料疲劳性能沥青用量大约比配合比设计最佳沥青用量高出 0.3％。虽然增加沥青用量可以提高防水性能和抗疲劳性能，但一定程度上影响了高温性能。

（4）黏结层材料黏结能力丧失

黏结层是保证 SMA 面层和 RA 树脂沥青混凝土紧密结合，共同承受荷载作用的结构层次。黏结层失效导致铺装与钢桥面板协同工作，对于由集料和沥青组成的沥青混合料，由于其抗拉强度远低于抗压强度，在受力复杂的钢桥面板的间接影响下，造成车辙和推移拥包等病害。

（5）施工温度的影响

DOI:10.14048/j.issn.1671－2579.2019.03.038

软弱围岩浅埋小净距隧道合理净距影响因素探讨

李松[1]，陈秋南[2]，黄林华[1]

（1.湖南科技学院 土木与环境工程学院，湖南 永州 425000；2.湖南科技大学 土木工程学院）

摘要：考虑不同跨度、埋深、高度和初始地应力等条件对软弱围岩浅埋小净距隧道进行数值模拟，以中间岩柱塑性区是否贯通为判别标准，对小净距隧道合理净距影响因素进行分析。结果表明：小净距隧道合理净距随着隧道埋深加大而逐步增大，随围岩侧压力系数减小而增大，相同埋深、相同跨度的小净距隧道，其合理净距随隧道高度增大而增大，而偏压对合理净距的影响不明显，此外不同条件下的围岩初始应力场和重分布应力场的差异导致围岩破裂角改变，设计计算围岩压力也会随之改变，进行小净距隧道设计优化或变更时应当考虑这些因素的影响。

关键词：小净距隧道；合理净距；浅埋；软弱围岩；数值模拟

当前，小净距隧道成为高速公路和高速铁路中常见的结构形式，其上下行导洞开挖对围岩稳定的影响成为重要的研究内容。近年来，小净距隧道施工关键技术一直得到较多学者的研究，针对小净距隧道合理净距的讨论也有比较多的成果，研究者们大多通过数值模拟分析中间岩柱塑性区的方法来确定合理净距，有研究者采用屈服接近度、中间岩柱应力应变等方法来确定合理净距，也有学者尝试推导简化的解析解。

****

高黏改性沥青的特性决定了SMA混凝土对温度的要求较高。如E桥施工时混合料出料温度高达220℃，沥青已发生早期老化并可能会造成严重的混合料温度离析；而如果混合料温度过低将造成混合料难压实，会在混合料内部产生较大的空隙，水对铺装层的影响将会无限增大。

（6）施工压实不充分

由于钢桥面板反振现象的存在，钢桥面铺装施工时无法使用振动压路机。致使沥青铺装层压实功不足，混合料空隙率无法满足设计要求，进而影响到铺装层的抗疲劳性能和抗水损害性能。

4 结论

（1）ERS钢桥面铺装体系的主要病害类型包括：裂缝、车辙、层间位移及坑槽等其他破坏。

（2）病害主要集中在SMA面层以及RA和SMA层间界面。EBCL和RA层病害发生率较低。可认为SMA层位的质量是决定ERS铺装技术成败的关键。

（3）产生病害的主要原因集中在：混合料级配设计不合理、施工质量控制不严、RA和SMA层间黏结力不足、钢桥面板较薄以及重载超载现象严重。其中又以施工质量和重载超载因素最为关键。

（4）调研桥面黏结层全部采用热塑性改性沥青，在高温状况下黏结力和热稳定性较低，易造成铺装面层的推移等病害，能否开发一种热固性的环氧树脂材料作为黏结层是以后的重点研究内容。

参考文献：

[1] 吴胜东.润扬长江公路大桥建设（第五册）——钢桥面铺装[M].北京：人民交通出版社，2005.

[2] 沈金安.沥青及沥青混合料路用性能[M].北京：人民交通出版社，2001.

[3] 徐世法，季节，罗晓辉，等.沥青铺装层病害防治与典型实例[M].北京：人民交通出版社，2005.

[4] 李玉龙.矮寨特大桥沥青桥面铺装关键技术研究[D].重庆交通大学硕士学位论文，2010.

[5] 杨若冲，程刚.钢桥面铺装车辙破坏机理及成因分析[J].公路，2004(3).

收稿日期：2018－11－12

基金项目：湖南科技学院校级科研项目（编号：110391282）

作者简介：李松，男，讲师.E－mail:songli269@sina.com