

International Journal of Civil Engineering and Machinery Manufacture

Volume 6, Issue 4, December, 2021

President: Zhang Jinrong

Chief Planner: Wang Liao, Qiao Jun

Executive Chief Editor: Zhang Qiong, Pei Xiaoxi, Chen Shuqin

Editorial Board: Li Shu, Wang Yawen, Gao Shufen, Wei Zhang, Su Daqi, Sun To, Yu Borui,
Souza, Pei Liu, Yang Lu, Guoquan Min, Meng Yu

Audit Committee: Zhitang Song, Xu Lijuan, Dong Peiwang, Su Jianmin, Ali Coskun, You Wenying,
An Xin, Yan Yanhui, Tang Ming, Yang Ming, Zhi Zhong, Xiao Han, Sun Wenjun,
Licheng Fei, Bom Sook Kim, Lijie Li, Jin Hong Cha, Tan Ker Kan,
Wenzhong Shen, Zhaohui Zhong, Yong Shao, Vikram Kate

Publisher: HongKong New Century Cultural Publishing House

Address: Unit A1, 7/F, Cheuk Nang Plaza, 250 Hennessy Road, Wanchai, Hong Kong

Tel: 00852-28150191

Fax: 00852-25445670

Contents

Summary of Research on Steel Bridge Deck Pavement Materials

Lianhong Sun.....(1)

A Review of FLAC3D Software Applications and Complex Modeling

Yinan Tang.....(5)

Study on Temperature Characteristics of Steel Bridge Deck Pavement Structure

Fuyan Chen, Fucui Pei, Zhansheng Lin, Zhiye Su, Dongming Li, Xiaowei Han, Qiwen Zhou, Runzhi Jia.....(8)

Application of New Subgradedrainage Facilities Materials in Highway Engineering in Mountainous Areas of Guizhou Province

Xuzhi Liang, Gaojie Du.....(14)

Experimental Study on Plastic Blind Ditch Used for Subgrade Drainage

Bin Liu, Gaojie Du.....(20)

Investigation and Treatment of Diseases in Hidden Drainage Facilities of Highway Subgrade in Mountainous Areas

Shilun Zheng, Gaojie Du.....(26)

Performance Characterization of Electrostatic Precipitators for Ultra-Low Emission 1000mw Coal-Fired Power Plants

Jiadong Shen, Boming Xu, Haibao Zhao.....(30)

Blasting Vibration Signal Extraction Method based on FPGA

Haitao Zhang, Yuan Wang, Tong He.....(36)

Summary of Research on Steel Bridge Deck Pavement Materials

Lianhong Sun

SuJiaoKe Group Testing and Certification Co., Ltd, NanJing, 211112, China

Abstract: For long-span steel bridge structures, deck paving is a key technology because it has a significant impact on bridge durability, driving safety and economic benefits. Asphalt concrete (AC) and asphalt mastic macadam (SMA) and other traditional asphalt mixtures are commonly used as flexible bridge deck paving materials, their strength and rigidity are low at high temperatures, which cannot meet the requirements of steel bridge decks for resistance to deformation and bearing capacity. Require. Therefore, on steel bridge decks using flexible paving materials, it is easy to induce premature failures such as cracking, rutting and delamination. Compared with flexible bridge deck paving, rigid bridge deck paving has attracted more and more attention from researchers because of its great potential in improving stiffness and reducing stress. This article systematically introduces the common cast asphalt concrete (GA), double-layer SMA, epoxy asphalt concrete (EA) and cold-mix resin combined paving (ERS) steels that are commonly used in engineering from the aspects of performance and origin. Bridge deck paving materials are expected to provide theoretical guidance for the actual construction of steel deck paving.

Keywords: Steel bridge deck paving; Pouring asphalt concrete (GA); Epoxy asphalt concrete

高性能钢桥面铺装材料研究综述

孙连宏

苏交科集团检测认证有限公司, 南京, 211112, 中国

摘要: 对于大跨度钢桥结构而言, 桥面铺装是一项关键技术, 因为它对桥梁耐久性、行车安全和经济效益有重大影响。沥青混凝土 (AC) 和沥青玛蹄脂碎石 (SMA) 等传统沥青混合物作为常用的柔性桥面铺装材料, 在高温下强度和刚度较低, 无法满足钢桥面抗变形和承载能力的要求。因此, 在使用柔性铺装材料的钢桥面上, 很容易诱发开裂、车辙和分层等过早失效。与柔性桥面铺装相比, 刚性桥面铺装因其在提高刚度和降低应力大小方面的巨大潜力而越来越受到研究人员的关注。本文从性能及起源等方面系统的介绍了工程中常见的浇筑式沥青混凝土类(GA)、双层 SMA 类、环氧沥青混凝土类 (EA) 以及冷拌树脂组合式铺装 (ERS) 等钢桥面铺装材料, 以期对钢桥面铺装的实际施工提供理论指导。

关键词: 钢桥面铺装; 浇筑式沥青混凝土(GA); 环氧沥青混凝土

1 引言

钢桥面铺装不同于普通的道路的路面铺装, 由于钢桥面的正交异性对钢桥面铺装材料提出了更高的性能要求。从国内外钢桥面铺装的工程实践来看, 目前典型的钢桥面铺装结构类型主要有浇筑式沥青混凝土类(GA)、双层 SMA 类、环氧沥青混凝土类 (EA) 以及冷拌树脂组合式铺装 (ERS) 等^[1-3]。本文将以上类型的铺装结构进行利弊分析, 以期对钢桥面铺装的实际施工提供理论指导。

2 浇筑式沥青混凝土(GA)

浇筑式沥青混凝土起源于欧洲, 其设计方案主要分为两类: 一类是沥青玛蹄脂混合物 (MA), 英国于 1890 年最早采用该技术修建 Forth 桥^[4], 建成后出现纵向开裂病害, 20 世纪 50 年代对 MA 技术展开广泛研究, 并应用于 Severn、Humber 等钢桥, 取得良好使用效果^[5]; 另一类是高温拌和式浇筑式沥青混合物 (GA), 德国于 1917 年最早将应用于建筑物防水层, 随后拓展至钢桥面铺装、市政工程等领域, 其使用性能表现优异, 典型代表为 Oberkasseler、Zoo 等钢桥。虽然浇筑式沥青混凝土技术兴起于欧洲, 但是在日本得到了长足进步与发展。日本于 1956 年引进德国

GA, 改进了相应技术及材料组成, 将其应用于大跨径钢桥修建中, 其中因岛大桥、大岛大桥等早期修筑的钢桥出现了纵向和不规则裂缝病害, 后期修建的明石海峡大桥、多多罗大桥等在通车后则运营良好。与国外相比, 我国于 1997 年引进浇注式沥青混凝土, 研究起步较晚, 且交通量、施工环境等条件复杂, 因此最初引入时出现了较多问题, 其中青马大桥和江阴大桥通车后均产生了不同程度开裂、鼓包、车辙等病害。而自 2003 年山东胜利黄河桥成功铺装以来, 经过多座

大跨径钢桥铺装研究和实践, 同时结合德日等国相关技术规范, 我国于 2006 年出台《公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南》, 对浇注式沥青混凝土性能控制指标及要求作出了具体规定。但是在实际应用中, 由于地域、气候和工程情况等因素制约, 现有规范还存在着一定局限性, 难以较全面评价浇注式沥青混凝土性能, 需要进一步确定性能控制指标及要求范围, 完善质控体系及相关设计和施工规范。目前我国钢桥面铺装典型方案见表 1。

Table 1. Typical scheme of steel bridge deck pavement in China

表 1. 目前我国钢桥面铺装典型方案

铺装结构	桥梁名称	桥梁结构	交通状况	建成时间
单层 MA	香港青马大桥	钢箱梁	轻交通	1998 年
MA+SMA	深圳湾大桥	钢箱梁	/	2007 年
	香港昂船洲大桥	钢箱梁	/	2009 年
双层 GA	重庆鹅公岩长江大桥	钢箱梁	/	2000 年
GA+SMA	重庆石板坡长江大桥	T 型钢构	中交通	2006 年
	贵州北盘江大桥	钢箱梁	中交通	2008 年
	云南普立特大桥	钢箱梁	/	2015 年
	重庆朝天门大桥	钢桁梁	中交通	2009 年
	上海闵浦二桥	钢桁梁	中交通	2010 年
双层 EA	南京长江二桥	钢箱梁	中交通、重载	2001 年
	杭州湾跨海大桥	钢箱梁	中交通	2008 年
	武汉天兴洲大桥	钢箱梁	中交通	2009 年
EA+GA	润扬长江大桥南汊桥	钢箱梁	/	2005 年
	江苏江阴长江大桥	钢箱梁	重交通、超载	2009 年
	上海卢浦大桥	钢箱梁	轻交通	2003 年
	虎门大桥	钢箱梁	重交通、重载	2003 年 (已改用其他结构翻修)
双层 SMA	山东平阴黄河大桥	钢桁架	轻交通	2010 年 (已改用其他结构翻修)
ERS	广东猎德桥	钢箱梁	中交通	2009 年
	嘉绍大桥	钢箱梁	中交通	2013 年
	之江大桥	钢箱梁	钢桁架	2013 年

3 改性双层沥青马蹄脂碎石混合物 (SMA)

改性沥青 SMA 是一种热拌间断密级配混合物, 在 20 世纪 60 年代由德国科学家发明, 是一种常见的铺装材料, 在我国常用于高等级路面的上面层。相对于普通 AC 型沥青混合物来说, SMA 混合物具有耐久性好, 抗水损能力强, 热稳定性高, 低温抗裂性能好等优点。但从实际工程来看, 当应用于大跨径钢桥面铺装时, 改性沥青 SMA 容易出现推移、车辙、裂缝等早期病害, 铺装层寿命一般较短。我国于上世纪 90 年代开始引进改性沥青 SMA, 并将其应用于钢桥面铺装。但是, 大部分钢桥面上的 SMA 铺装, 如虎门大桥、海沧大桥、白沙洲大桥等的 SMA 铺装层均出现

了较为严重的早期病害, 并以车辙、开裂、推移等病害为主。相关学者对此现象进行了分析, 并认为病害产生的原因包括两方面: 一是由于 SMA 空隙率较大与钢面板的粘结性能较差; 二是由于相对于大跨径钢桥面铺装层恶劣的工作环境来说, 改性沥青 SMA 的热稳定及低温抗裂等性能尚有不足。

4 环氧沥青混凝土类 (EA)

环氧沥青混凝土的研究始于 20 世纪 50 年代, 壳牌公司将环氧树脂作为改性剂掺入到石油沥青中, 最终得开发了名为 Shell Epoxy Asphalt 的环氧沥青材料。1967 年, 美国 Adhesive 工程公司获得壳牌授权, 将环氧沥青材料实际应用于美国旧金山 San Mateo 一

Hayward 大桥的桥面铺装工程中。经过 40 多年的使用，San Mateo—Hayward 大桥的铺装层性能一直良好，此后该材料在加拿大、澳大利亚等国家进行了大面积的推广与应用，而且以美国的使用最为普遍。但当时壳牌环氧沥青使用的固化剂固化时间相对较长，施工使用性能有待提高。日本学者从 20 世纪 70 年代开始研究环氧沥青混凝土，主要从环氧沥青混凝土的配合比设计、弹性模量、强度等方面进行了研究。到 20 世纪 90 年代左右，对环氧沥青混凝土的研究在日本已较成熟，日本逐渐开始在实际工程中使用环氧沥青。随后，日本环氧沥青也逐渐进入我国，并应用于多座大型钢桥的铺装工程。在我国，环氧沥青的相关研究起步略晚。1995 年，同济大学吕伟民教授在国内率先开展了关于环氧沥青材料的研究，并在上海铺设了一段 200m 长的试验路。受当时研究条件的制约，部分关键性技术没有得到解决，环氧沥青一直没有得到广泛关注。2001 年，黄卫等成功将环氧沥青混合料铺装于南京长江二桥，最终形成了将环氧沥青混凝土作为大跨径钢桥面铺装的成套方案与技术。2003 年，东南大学黄卫等以脂肪族二元酸、脂肪酸酐以及聚异丁烯丁二酸酐的混合物为环氧沥青体系的固化剂制备

出了性能较为优良的国产环氧沥青。2007 年，天津富民桥首次采用了国产环氧沥青混凝土铺装，铺装层工作状态良好。由于环氧沥青混凝土的成功应用，国内许多科研单位纷纷开展了环氧沥青混凝土铺装的研究，研究内容包括环氧树脂与沥青相容性问题、固化剂的选择及固化速率的控制等。但环氧沥青的成本普遍较高，美国环氧沥青 6~7 万元/吨，日本环氧沥青 6~8 万元/吨，国产环氧沥青价格稍低，需要 4 万元/吨。另外，环氧沥青混凝土也存在一些固有的缺陷，对施工技术和施工质量要求严格，容易出现施工质量问题且出现病害后修补较困难等。

5 冷拌树脂组合式铺装 (ERS)

ERS 铺装技术是我国自主研发的一项适用于钢桥面铺装的新技术，ERS 钢桥面铺装主要由环氧碎石层 (EBCL)、树脂沥青混凝土 (RA05)、SMA 层组成。该技术主要在南方大型桥梁中应用，比如杭州江东大桥、宁波庆丰桥、广东猎德桥等，其技术的主要指标多是针对中国南方炎热的气候条件和重载车辆制定的。当目前 ERS 铺装体系还处于发展阶段，技术的成熟度还有待进一步研究。国内主要钢桥面铺装综合性能指标比较见表 2。

Table 2. Comparison of comprehensive performance indexes of domestic main steel bridge deck pavement
表 2. 国内主要钢桥面铺装综合性能指标比较

铺装方案		浇注式铺装 (GA+SMA)	TAF 环氧沥青混凝土 (EA)	冷拌树脂组合式铺装 (ERS)
性能	耐久黏结	良好	优良	良好
	变形能力	随变性	同变性	同变性
	结构抗疲劳性	中等	优	中等
	高温稳定性	中等	优	较好
	重载承受能力	中等	强	中等
	表面摩擦系数	50-60	40-55	较好
施工	施工可控性	施工可控性好	施工基本可控，有一定难度	施工基本可控，有一定难度
	开放交通时间	中	长	中
成本	建设成本 (元/m ²)	800~1200	1800~2500	700~1000
养护	日常养护	方便	难	方便
工程病害率	易出现病害	整体上病害少，部分车辙	少数鼓包 开裂病害	部分出现 严重病害
技术成熟度		成熟	成熟	未成熟

6 总结

本文全面系统的介绍了工程中常见的的浇筑式沥青混凝土类(GA)、双层 SMA 类环氧沥青混凝土类

(EA) 以及冷拌树脂组合式铺装 (ERS) 等钢桥面铺装材料，对钢桥面铺装的实际施工提供理论了指导。

参考文献

-
- [1] 晏永, 郭大进, 封基良, 郭荣鑫, 荀家正. 钢桥铺装用环氧沥青的研究现状及展望. 公路交通科技. 2016, 33(09), 69-77.
- [2] 王朝辉, 郭瑾, 陈宝, 王新岐. 桥面铺装结构的应用现状与发展. 筑路机械与施工机械化. 2017, 34(12), 42-52.
- [3] 王朝辉, 陈谦, 高志伟, 蒋婷婷, 陈姣. 浇注式沥青混凝土现状与发展. 材料导报. 2017, 31(09), 135-145.
- [4] 韩振勇, 蒋学奎, 刘跃, 徐凤亮. 天津富民桥钢桥面国产环氧沥青混凝土铺装技术. 桥梁建设. 2008, (05), 71-74+81.
- [5] 李款, 潘友强, 张辉, 陈李峰, 张健. 钢桥面铺装用环氧沥青相容性研究进展. 材料导报. 2018, 32(09), 1534-1540.