

“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

Technology of Gussasphalt
Deck Pavement on Steel Bridge

钢桥面浇注式 沥青混凝土铺装技术



陈仕周 闫东波 等 著
邓学钧 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

钢桥面浇注式沥青混凝土铺装技术

陈仕周 闫东波 等 著
邓学钧 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以浇注式沥青混凝土铺装为主线,在课题研究成果基础上汇总提升,全面阐述了钢桥面铺装的国内外现状、原理、设计、施工等方面的内容。主要内容包括:中国钢桥面铺装技术历史与发展,钢桥面铺装病害分析,钢桥面铺装受力与疲劳性能模拟,钢桥面铺装混合料,钢桥面防腐与防水黏结材料,钢桥面铺装设计,钢桥面铺装施工技术,钢桥面铺装施工温度应力,钢桥面铺装维修,钢桥面铺装技术的未来发展展望等。

本书可供钢桥面铺装科研、设计、施工人员使用,也可供相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢桥面浇注式沥青混凝土铺装技术 / 陈仕周等著

· — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015.9

(交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护)

ISBN 978-7-114-12412-9

I. ①钢… II. ①陈… III. ①钢桥-沥青混凝土-桥面铺装 IV. ①U448.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 161831 号

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

书 名: 钢桥面浇注式沥青混凝土铺装技术

著 作 者: 陈仕周 闫东波

责任编辑: 郑蕉林 李 瑞

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 17

字 数: 367 千

版 次: 2015 年 9 月 第 1 版

印 次: 2015 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12412-9

定 价: 56.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通运输建设科技丛书编审委员会

主 任：庞 松

副主任：洪晓枫 袁 鹏

委 员：郑代珍 林 强 付光琼 石宝林 张劲泉 赵之忠
费维军 关昌余 张华庆 蒋树屏 沙爱民 郑健龙
唐伯明 孙立军 王 炜 张喜刚 吴 澎 韩 敏

总 序

近年来，交通运输行业认真贯彻落实党中央、国务院“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的决策部署，重点改革力度加大，结构调整积极推进，交通运输科技攻关不断取得突破，促进了交通运输持续快速健康发展。目前，我国公路总里程、港口吞吐能力、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一。交通运输事业的快速发展不仅在应对国际金融危机、保持经济平稳较快发展等方面发挥了重要作用，而且为改善民生、促进社会和谐作出了积极贡献。

长期以来，部党组始终把科技创新作为推进交通运输发展的重要动力，坚持科技工作面向需求，面向世界，面向未来，加大科技投入，强化科技管理，推进产学研相结合，开展重大科技研发和创新能力建设，取得了显著成效。通过广大科技工作者的不懈努力，在多年冻土、沙漠等特殊地质地区公路建设技术，特大跨径桥梁建设技术，特长隧道建设技术，深水航道整治技术和离岸深水筑港技术等方面取得重大突破和创新，获得了一系列具有国际领先水平的重大科技成果，显著提升了行业自主创新能力，有力支撑了重大工程建设，培养和造就了一批高素质的科技人才，为交通运输科学发展奠定了坚实基础。同时，部积极探索科技成果推广的新途径，通过实施科技示范工程，开展材料节约与循环利用专项行动计划，发布科技成果推广目录等多种方式，推动了科技成果更多更快地向现实生产力转化，营造了交通运输发展主动依靠科技创新，科技创新服务交通发展的良好氛围。

组织出版《交通运输建设科技丛书》，是深入实施创新驱动战略和科技强交战略，推进科技成果公开，加强科技成果推广应用的又一重要举措。该丛书分为公路基础设施建设与养护、水运基础设施建设与养护、安全与应急保障、运输服务和绿色交通等领域，将汇集交通运输建设科技项目研究形成的具有较高学术和应用价值的优秀专著。丛书的逐年出版和不断丰富，有助于集中展示和推广交通运输建设重大科技成果，传承科技创新文化，并促进高层次的技术交流、学术传播和专业人才培养。

今后一段时期是加快推进“四个交通”发展的关键时期，深入实施科技强交

战略和创新驱动战略，是一项关系全局的基础性、引领性工程。希望广大交通运输科技工作者进一步解放思想、开拓创新，求真务实、奋发进取，以科技创新的新成效推动交通运输科学发展，为加快实现交通运输现代化而努力奋斗！

王 昌 顺

2014 年 7 月 28 日

序

钢桥面铺装是大跨径桥梁建设三大关键技术之一。改革开放以来,随着我国公路建设蓬勃发展和技术的不断进步,跨越大江、大河、湖海和改渡为桥等大跨径桥梁的需求日益迫切。从20世纪90年代开始,我国建成了广东虎门大桥、江苏江阴长江大桥和南京长江二桥等一批大跨径钢结构悬索桥和斜拉桥。在建设初期,由于我国缺乏大跨径钢结构桥梁建设的实践经验,为解决钢桥铺装这一技术难题,我们先后借鉴和引进了日本双层SMA、西欧浇注式沥青混凝土和美国环氧沥青混凝土等钢桥面铺装技术体系。

20多年来,通过交通运输部多次立项,并结合大桥工程项目,组织开展钢桥面铺装技术攻关,有关大专院校、科研机构和大桥设计、施工企业投入了大量的人力、物力、财力,进行试验研究和多项工程实践,在不断消化和吸收国外钢桥面铺装技术的基础上,结合我国自然条件和交通构成特点,深入探索、研究、改进和创新,取得了多项自主研发的钢桥面铺装创新性成果,逐步形成了中国特色的钢桥面铺装技术体系,并在工程应用上初见成效。

对于钢桥面铺装,我们经常强调“三分设计,七分施工”,实际上是强调了钢桥面铺装工程在实施上的标准化和专业性。钢桥面铺装有着复杂的结构功能层位,高标准性能要求以及苛刻的施工条件,唯有精细化的施工流程和高水准的质控体系,方可保障技术方案的有效实施,也是对科研工作成败最有效的检验。纵观国内有较大成效的几种铺装技术,均是由不同的专家团队通过长期不懈的试验研究而得以发展,经过了理论分析→室内试验与材料开发→试验段铺装→发现并解决问题→小规模长时间应用积累→进一步技术改进→规模化应用→技术完善的螺旋式上升过程,遵循技术创新实践与进步的客观规律。

国内外各行各业的发展历史证明,市场竞争是科技进步的原动力,企业是推动行业技术进步的主体。因为企业的存活与发展离不开技术进步,研发实力与专业化队伍的结合,才是企业核心竞争力所在。其占领技术制高点的强烈愿望和追逐市场份额的内在需求,极大推动着行业的技术进步,钢桥面铺装的技术进步也不例外。因此,我们应进一步倡导自主研发和创新,鼓励市场竞争,以企业为主体,切实推进钢桥面铺装技术的不断进步和持续发展。陈仕周所带领的钢桥面铺装科技团队,是国内以企业为主,较早开展钢桥面铺装研究的科研团队之一,对钢桥面铺装技术进行了持续的科研开发和工程实践,完成了多项钢桥面铺装技术研究和施工项目。有过失败的苦痛,也有成功的喜悦。他们矢志不移,坚忍不拔,孜孜不倦,百折不挠,方才有今天的收获和成果,以及本书的问世。

本书记载了我国钢桥面铺装技术的发展历程,也反映了目前在此研究领域取得的一些新的成果。可供广大相关专业技术人员参考,亦可作为高等院校公路桥梁专业师生的参考用书。技术进步永无止境,钢桥面铺装技术的发展,还有待广大从业同仁的共同努力、攻坚克难、勇于探索、开拓创新,以推动我国大跨径桥梁建设持续健康地发展。



2015年2月

前 言

20 世纪 80 年代至今,我国桥梁建设技术得到迅速发展,为应对大跨径钢桥桥面铺装易出现车辙、开裂和脱层等技术难题,各科研机构、高等院校和工程企业进行了一系列研究和实践,先后建立了双层 SMA 沥青混凝土、环氧沥青混凝土和浇注式沥青混凝土等铺装技术体系。近年来,浇注式沥青混凝土作为主流钢桥面铺装技术得到了广泛应用,并取得了良好的使用效果。

本书在多年实践经验的基础上,系统总结了我国钢桥面铺装技术的发展历程,并以浇注式沥青混凝土铺装技术为主题,详细阐述了钢桥面铺装常见病害类型、受力特征、铺装沥青混合料、防水黏结材料以及钢桥面铺装设计、施工和维修技术。

全书共分十章,第一章、第十章由重庆交通大学陈仕周编写,第七章、第八章由重庆特铺路面工程技术有限公司闫东波编写,第二章由重庆鹏方路面工程技术研究院有限公司赵国云和重庆鹏方交通科技股份有限公司许颖编写,第三章、第九章由重庆鹏方路面工程技术研究院有限公司赵国云编写,第四章由重庆鹏方路面工程技术研究院有限公司赵国云和郑煜编写,第五章由重庆鹏方路面工程技术研究院有限公司王军编写,第六章由重庆鹏方路面工程技术研究院有限公司赵国云和重庆特铺路面工程技术有限公司黄俊强编写。

全书由重庆交通大学陈仕周和重庆特铺路面工程技术有限公司闫东波主编,并由重庆交通大学陈仕周担任全书统稿工作,由东南大学邓学钧教授主审。

本书在编写过程中得到重庆交通科研设计院周进川、重庆交通大学凌天清、东南大学钱振东、宁波天意钢桥面铺装技术有限公司张志宏和武汉理工大学磨炼同的支持与协助,在此一并表示感谢。

本书可供从事道路、桥梁科研、建设、施工和维护部门的工程技术人员学习参考,也可作为高等院校桥梁工程类课程的参考用书。

本书涉及多门学科,由于时间仓促,且编者水平和经验有限,难免有缺陷和疏漏之处,恳请读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

如读者想与编者进行进一步的交流,可发送邮件至 thctyz@126.com、lynn@163.com。

陈仕周
2015 年 2 月

目 录

术语与符号	001
第一章 中国钢桥面铺装技术历史与发展	004
第一节 钢桥面铺装技术的早期研究	004
第二节 钢桥面铺装技术体系的形成	005
第三节 钢桥面铺装技术多样性发展	013
第二章 钢桥面铺装病害分析	016
第一节 我国典型钢桥面铺装使用状况	016
第二节 钢桥面铺装病害分类	022
第三节 钢桥面铺装病害现象和原因	023
第四节 钢桥面铺装病害对设计和施工的启示	036
本章参考文献	037
第三章 钢桥面铺装受力与疲劳性能模拟	038
第一节 钢桥面铺装静力学计算方法	038
第二节 钢桥面铺装材料黏弹性力学响应	044
第三节 钢桥面铺装疲劳性能模拟方法	058
第四节 钢桥面铺装荷载谱	065
本章参考文献	076
第四章 钢桥面铺装混合料	078
第一节 钢桥面铺装浇注式沥青混合料	078
第二节 钢桥面铺装 SMA 沥青混合料	106
第三节 其他铺装沥青混合料	108
本章参考文献	114
第五章 钢桥面防腐与防水黏结材料	115
第一节 钢桥面铺装防腐技术	115
第二节 钢桥面防水黏结材料	124
本章参考文献	146
第六章 钢桥面铺装设计	147
第一节 钢桥面铺装设计原则	147
第二节 钢桥面铺装设计方法	150

第三节 钢桥面铺装典型结构	167
本章参考文献	172
第七章 钢桥面铺装施工技术	174
第一节 钢板界面处治	174
第二节 防水黏结层施工	175
第三节 浇注式沥青混凝土施工	183
第四节 环氧沥青混凝土施工	195
第五节 树脂沥青混凝土施工	199
第八章 钢桥面铺装施工温度应力	202
第一节 钢桥面板温度分布规律	202
第二节 钢桥面铺装温度应力计算	209
第三节 钢桥面铺装摊铺方案建议	217
第九章 钢桥面铺装维修	218
第一节 钢桥面铺装检测与评价	218
第二节 钢桥面铺装裂缝维修	219
第三节 钢桥面铺装脱层及鼓包维修	227
第四节 钢桥面铺装其他维修技术	238
本章参考文献	245
第十章 钢桥面铺装技术的未来发展展望	247
附录 A 防水黏结层组合试件剪切强度试验	250
附录 B 防水膜拉伸强度试验	251
附录 C 防水黏结层低温弯曲试验	252
附录 D 防水黏结层拉拔强度试验	253
附录 E 浇注式沥青混合料流动性试验	254
附录 F 浇注式沥青混合料贯入度及贯入度增量试验	256
附录 G 浇注式沥青混合料动贯入度及动贯入度增量试验	258

术语与符号

一、术语

(1) 钢桥面铺装 steel bridge deck pavement

由防腐层、防水黏结层、缓冲层、保护层、黏层和磨耗层的全部或某几层组合而成。

(2) 功能层 functional layer

钢桥面铺装中主要起防水、防腐、增加黏附性等功能作用的层位,具体包括防腐层、防水黏结层等层位。根据体系需要也可增设起缓冲荷载作用或起缓冲温度冲击作用的缓冲层。

(3) 结构层 structure layer

钢桥面铺装中主要起承载上部行车荷载作用的层位,具体包括保护层和磨耗层。

(4) 防腐层 corrosion protecting lining

在钢桥面顶板表面通过涂布形成的防止钢板生锈腐蚀的界面薄层。

(5) 防水黏结层 waterproof bonding layer

保护钢板不受路表水侵害,与钢板及相邻铺装层形成抗剪黏结功能的各层组合体,一般由具有防水、黏结性能的层次组成。

(6) 黏层 tack coat

在沥青铺装层间起黏结作用的层次,具有良好的黏结性能,由环氧树脂材料或改性沥青等材料组成。

(7) 缓冲层 buffer layer

部分铺装体系中设置的起缓冲车辆荷载和施工温度作用的层次,并提供施工机具行走平台以保护防水层或黏结层。

(8) 防水隔离体系 waterproofing isolation system

由多层次组成,共同起防水隔离作用,防止钢桥面板发生锈蚀的铺装体系。一般包括防腐层、防水黏结层、缓冲层和保护层。

(9) 改性沥青砂胶 modified asphalt mastic

由聚合物改性沥青与矿粉在高温下混合而成的具有良好流动性的材料。为增加改性沥青砂胶的热稳性,也可适当掺加粒径 $\leq 2.36\text{mm}$ 细集料,一般用于缓冲层。

(10) 溶剂型黏结剂 solvent adhesive

由可完全挥发溶剂溶解黏结材料形成的具有低黏度、冷施工特性的溶液。

(11) 环氧富锌漆 epoxy zinc rich primer

防腐漆的一种,由两组分组成。一组分由环氧树脂、颜填料、锌粉等经分散、研磨调制而成;另一组分为固化剂,用于金属材料防腐打底。

(12) 甲基丙烯酸甲酯树脂 methyl methacrylate resin



由甲基丙烯酸甲酯(MMA)、颜填料、助剂等组成,经引发剂引发而固化形成具有防水性能涂膜的涂料,简称 MMA 树脂。

(13) 浇注式沥青混合料 gussa sphalt

由集料、较高含量矿粉和较高含量沥青结合料组成,经高温拌和后具有一定流动性、采用浇注式方法摊铺、无须碾压、几乎无空隙的一种沥青混合料。

(14) 环氧沥青 epoxy asphalt

由环氧树脂、沥青及固化剂按一定比例混合,固化反应后形成的一种不可逆转的固化物。一般分为热拌环氧沥青、温拌环氧沥青和冷拌环氧沥青。热拌环氧沥青拌和温度为 $170 \sim 190^{\circ}\text{C}$, 温拌环氧沥青拌和温度为 $110 \sim 130^{\circ}\text{C}$, 冷拌环氧沥青为常温拌和。

(15) 环氧沥青混合料 epoxy asphalt mixtures

由环氧沥青与一定级配的集料拌和形成的一种高模量热固性沥青混合料。

(16) 树脂沥青 resin asphalt

由环氧树脂、沥青及活性胺类固化剂按一定比例在常温下混合后,发生交联固化反应后的物质,也可称为冷拌环氧沥青。

(17) 树脂沥青混合料 resin asphalt mixtures

由树脂沥青与一定级配的集料拌和形成的一种常温施工的高模量沥青混合料。

二、符号

(1) LH-10- I 我国采用圆孔筛标准中最大公称粒径为 10mm 的密级配细粒式沥青混合料

(2) SMA 沥青玛蹄脂碎石混合料

(3) Eliminator 英国产的一种甲基丙烯酸树脂防水体系商品名

(4) Sasobit 起降黏作用和提高沥青混合料高温稳定性的一种聚烯烃类改性剂商品名

(5) MA 英国浇注式沥青混合料

(6) GA 德国浇注式沥青混合料

(7) RPC 反应性树脂混凝土

(8) FRP 纤维增强复合材料

(9) PRC 复合纤维增强混凝土

(10) E-GA 环氧沥青浇注式混凝土

(11) ET 动态贯入度

(12) ERS 由 EBCL 黏结层 + 树脂沥青混凝土 RA-05 + SMA 沥青混凝土组成的铺装结构

(13) EBCL 刮涂环氧树脂并撒布碎石固化后形成的环氧黏结碎石层

(14) RA 树脂沥青混合料(冷拌环氧沥青混合料)

(15) EA 环氧沥青混合料

(16) MMA 甲基丙烯酸甲酯树脂

(17) GS 溶剂型沥青橡胶黏结剂

(18) DSR 动态剪切流变仪

- (19)DMA 动态拉伸力学分析仪
- (20)RTFOT 旋转薄膜烘箱试验
- (21)TLA 特立尼达湖沥青
- (22)BBR 低温流变梁
- (23)VMA 矿料间隙率
- (24)ASTM 美国材料与试验协会
- (25)ZINGA 锌加
- (26)Cooker 带有加热和搅拌功能的浇注式沥青混合料容器
- (27)DR 路面破损率
- (28)GPR 地质雷达
- (29)IE 冲击回波
- (30)RIPE 环氧沥青混凝土铺装灌缝材料
- (31)KH-3 高渗透环氧树脂灌缝材料
- (32)OGFC 开级配抗滑磨耗层
- (33)TPO 聚合物混凝土薄层铺装
- (34)ER 环氧树脂

第一章 中国钢桥面铺装技术历史与发展

我国是世界桥梁建设史上技术曾居于领先地位的国家。建造于隋代的河北省赵州桥(建造于公元610年前后,主要设计建造者为李春)至今仍在使用。从19世纪开始,直至改革开放前,由于社会 and 经济发展水平远落后于欧美发达国家,我国桥梁建设综合水平也处于落后状态。改革开放以来,随着我国国民经济的高速发展,对交通运输的要求也越来越高,从20世纪80年代至今,短短的30余年时间,我国桥梁建设得到快速发展。

作为大跨径桥梁建设三项关键技术(高强钢材、高超焊接技术及桥面铺装技术)之一的桥面铺装技术,也伴随着桥梁建设技术的发展而发展。其间,虽然有国外相关技术资料可以参考和借鉴,但我国钢桥面铺装技术的发展也经历了曲折反复的过程,这主要受到我国当时沥青混凝土技术发展水平的制约,工程技术人员对桥面铺装技术特别是钢桥面铺装技术的认识有一个逐渐深入和提高的过程,而且我国交通荷载特点、气候条件及地材变化等与国外存在差异。回顾和思考这段历程,有利于我国工程技术人员深入了解和认识钢桥面铺装技术,并促进该技术的不断创新。

第一节 钢桥面铺装技术的早期研究

我国第一条一级公路——宁六公路(南京—六合),通车于1979年。我国第一条高速公路始建于1984年,为沪嘉高速公路。早期的大桥建设主要集中于铁道部大桥局。我国第一座钢桥——广东省肇庆市的北江马房桥(建于1984年),为公路铁路两用桥,公路桥和铁路桥共用桥墩,梁是分开独立的,公路桥为14跨简支梁桥。其铺装方案为在桥面板上焊接钢筋网,采用环氧铝粉漆为防腐漆,用氯丁胶乳掺入沥青搅拌制成的改性沥青拌制沥青混凝土。由于桥面正交异性板刚度不足(顶板钢板10mm厚,加劲肋为开口肋)、桥梁挠度较大、荷载较重等多方面的原因,铺装完工后较快就出现了开裂、脱层和坑槽等病害。经有关方面长期观测与养护,尚能保持通车状态,该桥为此后钢桥面铺装技术的进一步完善提供了宝贵的实践经验。该桥桥面铺装虽然整体破坏严重,但也有部分桥跨铺装尚好,说明施工质量均匀性较差。现在来看,主要原因是当时沥青加工采用的是简易设备,沥青混合料的生产也是采用早期的简易设备。

1998年,该方案在山东省胜利黄河大桥再次应用。胜利黄河大桥建成通车于1987年,为双钢箱栓接的钢箱梁斜拉桥。桥面铺装基本采用以上方案,但做了一些调整和改进。桥面板采用了环氧煤焦油(常温固化)作为黏结层,未固化前铺筑第一层氯丁橡胶改性沥青混凝土(5.5cm厚LH-15-I),然后铺一层钢筋网,并在全桥(单边)将钢筋网焊接成整体,并与伸缩缝、中分带及边缘人行道焊接起来,再铺筑面层氯丁橡胶改性沥青混凝土(3.5cm厚LH-10-I)。该方案在当时交通条件下,通过加强局部日常维护,一直保持较好行驶功能状

态,使用了8年。这在早期钢桥面铺装工程应用中是使用寿命较长的、比较成功的铺装案例。随着胜利油田的发展壮大及地方经济的发展,交通量增加且重载车辆增多,铺装损坏严重,胜利黄河大桥已不能满足实际使用需要,于1998年按原方案对铺装层进行了翻修。但是,虽仍然使用了同样的铺装体系和铺装材料,翻修后通车仅半年,铺装层就产生了严重推移和坑槽等病害。

根据现场挖探与观察,病害的主要原因为环氧煤焦油没有完全固化,铺装与钢板间界面处于可滑移的脱层状态。

该桥面铺装在日常维护状态下使用至2002年,采用浇注式沥青混凝土铺装方案进行翻修后,一直使用至今。该方案的使用情况将在后面的内容中进行详细分析。

在我国早期的铺装技术与工程应用中,工程技术人员已经认识到下列技术问题并采取了相应的技术措施。

第一,钢板是光滑的,铺装层与钢板间易产生剪切滑移。所以大部分早期的钢桥面铺装桥面板上都焊接了钢筋网。

第二,钢板是易生锈的。一般都使用防腐漆或采用沥青类材料进行封闭防腐。

第三,普通沥青混凝土很难达到钢桥面铺装的使用要求,都尝试使用改性沥青。

第四,用反应性材料可能解决钢桥面铺装的防水黏结问题。

第二节 钢桥面铺装技术体系的形成

我国钢桥面铺装经历了引进国外技术、消化吸收并自主开发及多样性发展等多个阶段,能系统解决我国特有的重载交通钢桥面铺装技术难题。以2006年由交通运输部颁布《公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南》为标志,基本形成了具备我国特色的钢桥面铺装技术体系。

一、双层 SMA 铺装技术与工程实践

SMA(Stone Mastic Asphalt)铺装技术来源于国外。SMA技术发源于德国并推广应用于欧洲,美国和日本等,20世纪90年代初进入中国。相关文献资料表明,在德国和日本的钢桥面铺装中,部分桥梁也采用了SMA铺装技术。SMA用于铺装下面层时,混合料设计要求更致密并需反复碾压(在日本甚至采用轮胎压路机反复碾压)使其具有一定防水功能。铺装防水层一般采用改性沥青卷材等。

SMA技术在中国的应用从首都机场高速公路路面及首都机场跑道改造加铺工程开始,逐渐推广应用于全国。目前,SMA已广泛应用于高速公路路面、城市道路路面及桥面铺装工程中。

(1) 虎门大桥钢桥面铺装技术与工程应用的历史经验教训

广东省虎门大桥钢桥面铺装研究推荐了如图1-1a)所示的铺装结构,工程实际施工时,变更采用了如图1-1b)所示的铺装结构。

虎门大桥钢桥面铺装技术研究的主体内容按以下逻辑思路展开:参考日本资料,铺装与钢板结合力应 $\geq 1.5\text{MPa}$ (常温),采用增加改性剂并复合改性洒布的 1kg/m^2 改性沥青黏结层达到软化点 100°C ,而使用高黏度改性沥青保证与防水层的黏结力,撒布预拌沥青碎石



为施工提供平台并适当增强该层的抗剪能力。利用改性沥青 SMA 混合料骨架密实结构热稳定性特别优良的特点,使用软化点更高的改性沥青以保证热稳定性。铺装上层则侧重于抗裂性,使用变形能力更强的改性沥青;铺装下层采用了较小的空隙率以保证铺装密水性。

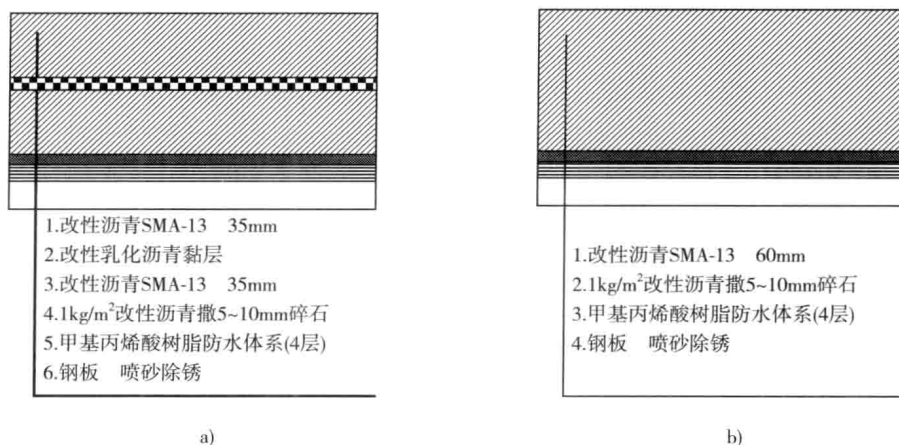


图 1-1 虎门大桥铺装结构

a) 虎门大桥推荐的铺装结构;b) 虎门大桥实际采用铺装结构

工程通车后 3 个月即产生了严重车辙、横向滑移,并在半年后铣刨 1.7cm 厚度,加铺了 3cm 厚度的高黏度改性沥青 SMA-10。在日常维修养护下维持使用到 2003 年底。之后采用双层 SMA 铺装方案进行翻修。由于重载和超载比较严重,翻修中又发现有桥面钢板产生开裂等破坏情况。2009 年开始使用日本环氧沥青铺装方案逐车道翻修替换。

在虎门大桥钢桥面铺装技术的研究中,得到了以下经验教训:

①初步建立了钢桥面铺装研究体系,研究中关注到了钢桥面铺装的关键技术问题。但是,基于当时我国钢桥面铺装技术认识水平,对于钢桥面铺装各铺装层的功能特殊性能认识不足。

②虽然在研究过程中将铺装分为上、下两层,并根据其不同的功能对性能要求有所侧重,但桥梁结构设计将铺装厚度由原设计 7cm 更改并限制为 6cm,并要求施工误差只能按负误差(铺装厚度按 5.5~6.0cm)进行控制,并且要求一次施工成型。混合料性能调整时过分侧重于抗裂性,忽视了重载车辆作用下热稳定性不足带来的早期破坏问题。

③研究工作主要集中于桥面铺装问题,未能充分研究桥跨结构与铺装的共同作用问题。

④没有充分认识到超载对桥梁结构和桥面铺装的危害。在此后的铺装翻修中,多次发现桥面钢板开裂和钢板屈曲下挠永久变形。

⑤对浇注式沥青混凝土的研究有限,不能充分理解浇注式沥青混凝土的组成及性能,误认为浇注式沥青混凝土 60℃ 车辙试验动稳定度较小就代表其热稳定性很差,过早否定了浇注式沥青混凝土的适用性,影响了对浇注式沥青混凝土的深入研究。

(2) 钢桥面铺装改性沥青 SMA 的进一步研究及铺装脱层早期病害的严重危害

虎门大桥钢桥面铺装产生严重车辙、横向流动和推拥等热稳性病害后,在广东虎门及福建厦门召开了两次全国性的技术研讨会,认真分析了钢桥面铺装产生病害的原因,充分认识到像钢桥面铺装这种特殊工程施工控制的重要性(提出了“三分设计,七分施工”的论断)。