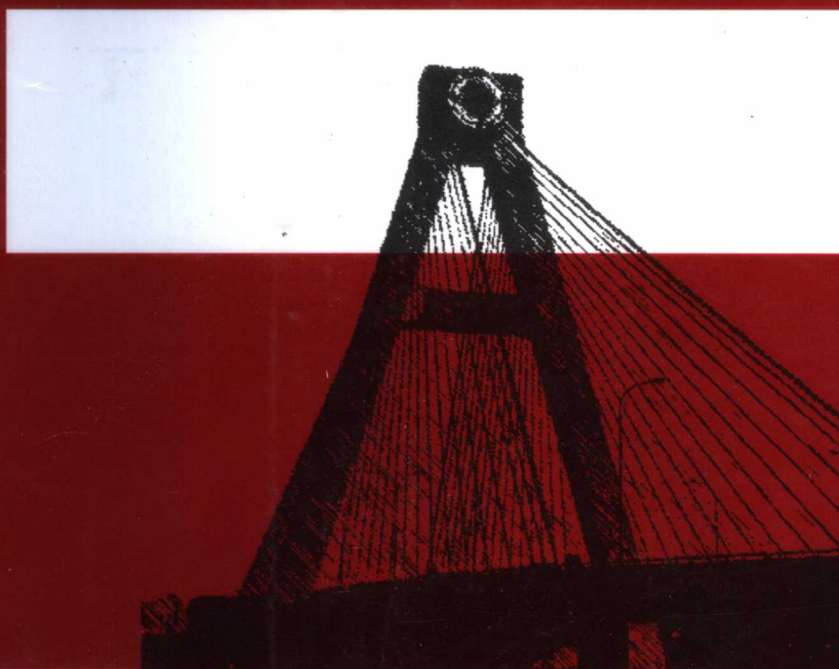


土木·交通博士文库

大跨径钢桥桥面铺装 力学分析与结构设计

著者：李昶
顾兴宇
审校：邓学钧
东南大学出版社



363.33

土木·交通博士文库

大跨径钢桥桥面铺装 力学分析与结构设计

著者 李昶

顾兴宇

审校 邓学钧

学科 道路与铁道工程

学校 东南大学



东南大学出版社
Southeast University Press

内 容 提 要

本书是两位博士生导师的综合,分计算理论与方法及设计与应用两个方面,借鉴大跨径桥梁结构计算方法的一般理论,结合桥面铺装层受力分析的需要,建立了相应的计算分析方法,并针对应用提出了相关建议和结论。

本书采用的是两阶段计算方法,静力分析阶段从整桥分析到局部梁段分析,动力分析阶段则主要针对局部梁段进行。通过编程计算,分析了大跨径钢桥箱梁构造参数、铺装层参数与荷载参数等对桥面铺装层受力的影响,并通过工程实例计算分析,提出了改善桥面铺装层受力的方法和铺装层设计应遵循的原则与标准。

本书可作为相关领域研究人员进行桥面铺装受力分析时的参考。

图书在版编目(CIP)数据

大跨径钢桥桥面铺装力学分析与结构设计/李昶,顾
兴宇著. —南京:东南大学出版社,2007.9

(土木·交通博士文库)

ISBN 978-7-5641-0881-6

I. 大… II. ①李… ②顾… III. ①长跨桥:钢桥—
桥面铺装—结构力学—分析②长跨桥:钢桥—桥面铺装—
结构设计—研究 IV. U448.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 123460 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:江 汉

新华书店经销 兴化印刷有限责任公司印刷

开本:700 mm×1000 mm 1/16 印张:14.75 字数:241 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5641-0881-6/TU·122

印数:1~2500 册 定价:29.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向读者服务部调换。电话:025-83792328)

前 言

20 世纪 90 年代,与我国经济发展对公路交通运输的要求相适应,大跨径钢桥建设快速发展,特别是跨越长江、黄河、珠江等大江大河的桥梁数目快速增加。

这些桥梁进入使用期后,逐步暴露出铺装层易出现早期病害的问题,虽进行了维修,但效果仍不能令人满意,经常性的维修工作给桥梁建设和管理单位带来了巨大的经济和工作负担,也造成了较为不利的社会影响。公路工程技术人员在交通部门的倡导下,积极开展了大跨径钢桥桥面铺装层的研究。桥面铺装问题逐步成为国内该领域的研究热点之一。

江苏省江阴长江大桥是当时正在建设的大跨径钢箱梁悬索桥,认识到桥面铺装问题的重要性,在引进国外材料、设备、工艺与施工队伍后,立项进行了桥面铺装的专项研究。研究由邓学钧教授主持,本书两位作者当时作为邓老师的博士研究生共同参与,这是研究的工程背景。

对于公路工程技术人员来说,进行大跨径桥梁结构研究是一个难点。但要提出对铺装层受力有利的措施,必须了解铺装层的受力状态,而这又与桥梁结构密不可分,桥梁结构分析的问题难以回避。为此,在本书研究过程中,首先借鉴了大跨径钢桥结构分析的一般理论,在此基础上,简化对铺装层影响较小的次要因素,建立桥面铺装结构受力分析的计算模型,形成相应的计算方法。

在请教了桥梁结构研究方面的专家后,基于当时的计算机软、硬件水平,最终采用了两阶段计算方法。开始阶段,在邓老师指导下,基本理论与基本方法部分由本书作者两人共同探索。随着研究的深入,后期分别选定了面向理论与机理、面向设计与应用两个方向。

全书共 9 章,第 2、3、4、5、9 章由李昶编写,第 1、6、7、8 章由顾兴宇编写,导师邓学钧进行了审校。本书由机理分析和设计与应用两大部分构成,前一部分着重对计算理论、方法及钢箱梁构造参数影响进行介绍,后一部分则重点根据工程需要,进行桥面铺装层设计与应用的计算分析。成书过程中,为保持章节内容完整,少量内容有所重叠。

本书仅是作者博士研究生时期研究的阶段性成果,因水平有限,在桥梁结构计算分析及研究的深度和广度方面,必定还存在不少缺陷和不足,恳请同行学者提出宝贵意见,以利于作者改进和提高。

李昶、顾兴宇
2007 年 5 月于南京

序

20 世纪 80 年代,我国全面启动了大规模的公路工程基础设施建设,经过 20 年艰苦奋斗,至 2005 年底,我国公路通车总里程已达到 193 万公里。特别是高速公路建设实现了历史性的突破,2005 年已建成高速公路 4.1 万公里,与世界各国的高速公路里程相比,我国已跃居第二位,仅次于美国。

我国江河湖泊众多,海岸线长,高速公路快速发展推动了大跨径桥梁的建设。20 世纪 90 年代以来,我国进入了桥梁发展的辉煌时代,仅万里长江之上,已建成大型桥梁 24 座,其中多数为大跨径悬索桥和斜拉桥。21 世纪,大跨径桥梁建设必将取得更大规模的发展。

大跨径桥梁属永久性工程结构,设计寿命都在百年以上。因此工程师们对主跨结构和基础工程尤为关注,尽力提升其强度、稳定性和耐久性。而对于桥面铺装则列入附属结构,通常不作专题设计,只是参考路面设计与施工要求实施。

实践证明,桥面铺装是直接服务于运行车辆的重要组成部分。铺装层的质量与耐久性直接影响运行车辆的安全性、舒适性和运输经济效益,因此在保证大桥坚固、耐久的前提下,对铺装层的设计与施工也同样应该倍加关注。

桥面铺装的工作状态和力学机理兼容路面工程和桥梁工程两者的特点。因此,必须从这两个方面出发进行深入探讨。本书作者李昶、顾兴宇两位青年学者就是遵循上述理念,从完成博士学位论文开始,长期从事桥面铺装结构研究,他们将桥梁结构分析体系与路面结构分析体系融为一体,针对铺装层的结构特性,深入研究了桥面铺装的力学机理以及结构设计的原理与方法。本书全面系统地介绍了他们的研究成果。其中 6 个方面有显著的创新:

(1) 提出了桥面铺装体系静力分析的原理、方法与计算框架,并完成了系统的实桥分析数值计算。

(2) 提出了桥面铺装体系动力分析的原理、方法与计算框架,并完成

了系统的实桥分析数值计算。

(3) 运用桥面铺装静力分析系统和动力分析系统,对实桥桥面系统的各项几何参数与物理参数以及荷载、环境因素进行了详细的敏感性分析,在此基础上为工程设计提出了建议的几何参数与物理参数的最佳取值范围。

(4) 提出了桥面铺装设计的目标、任务、控制指标与标准。

(5) 根据 Minner 原理及疲劳损伤原理提出了以极限拉应变和层内剪应力为指标、以累计轴载疲劳效应为控制的铺装层结构设计方法和程序框架。

(6) 提出了桥面铺装层设计使用寿命及剩余使用寿命的预估方法。

自 20 世纪 90 年代至今,在桥面铺装研究领域,出现了许多意义重大的研究成果,本书提供的仅是这些成果中的一部分,旨在与同行学者相互交流、共同提高,为使桥面铺装的研究成果更加完善,为我国 21 世纪建成的大跨径钢桥铺筑优质的桥面铺装结构作出新的贡献。

邓学钧

2007 年 5 月于东南大学

目 录

1 绪 论	1
1.1 概 述	1
1.2 钢桥面铺装发展概况	2
1.3 钢桥面铺装的特点	3
1.4 国内外钢桥面铺装的研究	4
1.4.1 国外研究概况	4
1.4.2 国内研究概况	6
1.4.3 力学理论研究	7
1.5 国内外钢桥面铺装的应用	9
1.5.1 国内外钢桥面铺装类型	9
1.5.2 国内外钢桥面铺装主要病害	11
1.6 本章小结	12
2 钢桥面铺装力学分析原理与方法	14
2.1 大跨径钢桥力学分析综述	14
2.2 二阶段力学分析	15
2.3 力学分析的基本步骤	16
2.4 桥面铺装结构层的简化力学模型	17
2.4.1 抗弯刚度等效处理方法	17
2.4.2 单元刚度矩阵叠加处理方法	18
2.5 本章小结	19
3 钢桥面铺装有限元分析	20
3.1 有限元单元的选取	20
3.1.1 杆单元	20
3.1.2 局部段箱梁计算的有限元单元	21
3.2 坐标体系及其转换	24
3.2.1 整体结构的坐标转换	24

3.2.2	局部箱梁结构的坐标转换	25
3.3	横隔板处理方法	28
3.4	对称性运用与处理	32
3.5	计算结构与荷载参数	34
3.5.1	构造参数影响分析采用的结构	34
3.5.2	悬索桥计算结构	36
3.6	本章小结	36
4	桥面铺装结构静态分析	37
4.1	静态分析原理与方法	37
4.1.1	几何非线性原理	37
4.1.2	拉索的垂度效应	39
4.1.3	加劲梁的二次效应	39
4.2	局部梁段分析	40
4.3	最不利荷载位置	43
4.3.1	纵向最不利位置	43
4.3.2	横向最不利位置	50
4.4	钢箱梁局部构造影响分析	51
4.4.1	顶板 U 肋	51
4.4.2	箱梁下部结构	52
4.4.3	横隔板间距	53
4.4.4	箱梁高度	54
4.4.5	箱梁宽度	55
4.4.6	支承方式	55
4.4.7	有无铺装	56
4.5	本章小结	57
5	桥面铺装结构动态分析	59
5.1	动态分析原理与方法	59
5.1.2	基本方程	60
5.1.3	质量矩阵	60
5.1.4	阻尼矩阵	65
5.1.5	求解受迫振动	66

5.1.6	对称性在动态条件下的特殊处理	76
5.1.7	动态结构分析中的横隔板问题	78
5.2	动态分析模型	84
5.3	动态荷载	84
5.4	局部构造对铺装动态响应的影响	85
5.4.1	频率和振型	85
5.4.2	类悬臂区域	88
5.4.3	振型数目	89
5.4.4	支承方式	90
5.4.5	随时间变化	92
5.4.6	箱梁宽度	93
5.4.7	箱梁高度	95
5.4.8	下部结构	96
5.4.9	荷载横向位置	97
5.4.10	顶板厚度	98
5.4.11	U肋厚度	99
5.5	本章小结	100
6	悬索桥沥青铺装层结构静态分析	102
6.1	悬索桥整桥非线性静态分析	103
6.1.1	悬索桥概述	103
6.1.2	基本假定和有限元分析方法	104
6.1.3	非线性影响因素分析	105
6.1.4	求解非线性方程组	109
6.1.5	整桥静力计算分析	111
6.2	局部钢箱梁静态分析	115
6.2.1	钢箱梁合理有限元模型	116
6.2.2	桥面系裸板静力分析	125
6.2.3	桥面铺装系静力分析	129
6.2.4	有限元及有限条计算对比	144
6.3	桥面铺装力学分析简化计算	150
6.3.1	最大横向拉应变	150
6.3.2	最大纵向拉应变	151

6.3.3	横桥向最大剪应力	152
6.3.4	纵桥向最大剪应力	153
6.4	本章小结	154
7	悬索桥沥青铺装层结构动态分析	156
7.1	悬索桥桥面铺装动力分析概述	156
7.2	结构动态分析原理	157
7.2.1	动力方程的形成与解耦	157
7.2.2	振动计算原理	159
7.3	局部梁段有限元动态分析	164
7.3.1	动态分析模型及参数	164
7.3.2	局部梁段模态分析	165
7.3.3	局部梁段时程分析	171
7.3.4	模型类型对动力系数的影响	175
7.4	局部梁段有限条动态分析	176
7.4.1	自由振动频率及振型	176
7.4.2	车辆荷载的动力影响	180
7.4.3	结构特性的动力影响	182
7.5	本章小结	185
8	钢桥面沥青铺装层结构设计方法	187
8.1	钢桥面沥青铺装层结构设计指标	187
8.1.1	钢桥桥面沥青铺装层的破坏形式	187
8.1.2	钢桥桥面沥青铺装层的特性	188
8.1.3	钢桥桥面沥青铺装层结构设计指标	190
8.2	钢桥面沥青铺装层使用年限估算	211
8.3	钢桥桥面沥青铺装层结构设计方法探讨	215
8.4	本章小结	218
9	展 望	219
	主要参考文献	222
	后记	225

1 绪 论

1.1 概 述

随着我国交通事业的飞速发展,一批大跨径跨江跨海公路桥梁相继开工,并陆续建成通车。21 世纪初的今天,在我国桥梁建筑史上空前地出现了建设大跨径桥梁的高潮。总体看来,大跨钢桥的建设在我国仍然处于起步阶段,今后相当长时间内,随着西部公路现代化建设和东部沿海公路交通的进一步发展,更多的大跨径钢桥将陆续规划并建成使用。

大跨径钢桥一般采用斜拉桥和悬索桥两种桥型,这种大跨径桥梁的主梁通常采用强度高刚度大的钢材,在早期以钢桁架为主。1966 年英国塞文桥的加劲梁首先采用流线型扁平式钢箱梁。实践证明,相对于以前的钢桁梁来说,采用正交异性钢面板的钢箱梁结构增大了桥梁的抗风性能和抗扭刚度,且用钢量少、维护方便,对于减轻自重、增大跨径以及增强稳定性的作用更加显著。因此,扁平式钢箱梁结构目前已经成为大跨径斜拉桥和悬索桥主梁的首选结构形式。我国已建成或正在建设的 10 余座大跨径桥梁的主梁普遍采用钢箱梁结构(如上海杨浦大桥、西陵长江大桥、广东虎门大桥、厦门海沧大桥、江阴长江大桥、南京长江二桥南汊桥、润扬长江公路大桥以及杭州湾大桥等)。

扁平式钢箱梁主要由顶板、底板、腹板和加劲构件构成。桥面顶板的内侧通常焊接纵向加劲肋、横隔板、纵隔板等构成正交异性桥面板,它与沥青混合料铺装层组成完整的桥面体系。但由于正交异性钢面板的几何结构复杂,并且柔度较大,因此铺装层的受力状态比普通路面或水泥混凝土桥梁的桥面铺装要复杂得多;同时,钢桥面铺装比普通路面及普通铺装所处的自然环境和荷载环境更加恶劣,它受到重载、高温、振动等多重考验。因此,大跨径钢桥桥面铺装技术一直是桥梁建设中的关键技术难点。

我国的钢桥面铺装研究与应用历史相对较短,起始于 20 世纪 80 年

代中后期,90年代中期开始,多座大跨径桥梁在全国同时开工建设,桥面铺装研究才得以较深入展开。到目前为止,仍有许多的理论问题和工程实际问题需要进一步的研究和解决。钢桥面铺装技术仍是吸引广大工程技术人员关心和倾注心血加以研究的技术难题。

1.2 钢桥面铺装发展概况

桥面铺装的发展历史与桥梁的发展史同步,它伴随着桥梁的出现而出现,伴随着桥梁的发展而发展。古代桥梁主要供行人通行,因此所谓的桥面铺装一般用砂粒洒铺或者铺设木板以满足行人对桥面平整、行走舒适的要求。近现代,随着汽车的出现以及车辆的增多,对桥面的要求也越来越高,以前的桥面不仅行车性能差,而且很容易破坏,因此,桥面铺装开始采用薄层的水泥混凝土铺装或者加热的沥青混凝土铺装,铺装层的耐久性问题也更为突出,逐步形成了对铺装层舒适性、安全性和耐久性等使用性能的技术要求。

第二次世界大战以后,桥面铺装技术经历了一个快速发展的时期,由于汽车的普及以及交通的日益重载化,桥面铺装面对着日益繁重的交通与恶劣的自然环境影响;此外,随着桥梁各种结构形式的改进,特别是桥面系结构钢板与水泥混凝土桥面板的分离,桥面铺装连续受到桥梁、桥面系等结构变形特征的影响。特别是正交异性钢桥面板迅速的发展和广泛的应用,使得桥面铺装的工作环境更加不利,如何保证桥梁及其铺装在此如此恶劣的环境中长期具备优良的使用性能,各国道路桥梁专家做了大量的研究。

早期使用于正交异性板钢桥面铺装的普通密级配沥青混凝土,由于使用条件严酷,特别是随着交通荷载的增加,产生了大量的破坏,主要破坏形式为车辙、纵横向开裂、推拥、脱层、坑槽等。为解决这些问题,掺加天然沥青改性的浇筑式沥青混凝土开始应用于钢桥面铺装。随后,各种聚合物改性沥青技术的成熟,对于钢桥面铺装技术的发展起到了重要的推动作用。从早期使用天然橡胶,发展到丁苯橡胶、氯丁橡胶等合成橡胶的改性,热塑性弹性体(SBS、SIS等)的改性,以及采用热固化性树脂的改性(如环氧改性沥青)。这些改性沥青用于密级配沥青混凝土、浇筑式沥青混凝土及断级配密实型沥青混凝土(SMA),大幅度提高了沥青混凝土的抗车辙、抗开裂性能,也相应地使得钢桥面铺装的使用性能和耐久性得

以提高。同时,在对钢桥面铺装使用条件充分认识和把握的基础上,进一步解决了桥面防腐、桥面板与铺装间的粘接过渡、防排水体系等问题,逐渐形成了不同体系的钢桥面铺装成套技术。

总体来说,我国桥面铺装的历史和技术发展与世界各国发展情况相似,但相对滞后。桥面铺装的建设主要集中在改革开放后 10 多年这段时期,由于时间短,新问题出现不少,到目前为止,该技术还不完全成熟,特别是大跨径钢桥桥面铺装的研究也就是近几年的事情,从设计到施工仍然存在一些技术难题困扰着广大桥面铺装工程师。

1.3 钢桥面铺装的特点

钢桥面铺装的类型与特点必须和其所必须具备的基本性能相适应,首先表现在桥面铺装必须具有的优良使用性能及确保优良使用性能的耐久性所必需的铺装结构稳定性。铺装结构的稳定性主要反映在铺装对使用条件的适应性(对变形的适应性、对温度的适应性等等)。反过来说,铺装问题的解决也必须针对钢桥面铺装的不同使用条件进行研究。钢桥面铺装的基本特点及性能要求主要有:

(1) 优良的使用性能,包括安全性和行车舒适性。

铺装的目的是为车辆行驶提供平台,因此,从使用功能的角度,要求铺装必须平整、行车舒适,要求铺装表面粗糙抗滑、行车安全。

(2) 优良的防锈、防水性能,保护桥面板。

由于钢板暴露在空气中易生锈的特点,桥面铺装的功能中必须充分注意对钢板的防锈、防水保护,确保桥梁结构的耐久性。

(3) 优良的层间结合状态。

由于钢板与铺装层材质差异很大,力学性能差异也很大,在桥梁变形及钢板变形中,层间将产生较大剪切应力,同时行车荷载的作用,也会在铺装层与钢板间产生较大剪应力,使铺装层易于脱层和产生剪切推移。因此,要求铺装层与钢板间有足够的层间结合力,处于优良层间结合状态。

(4) 优良的抗疲劳开裂性能。

由于正交异性板桥面系在行车荷载下会产生各种复杂变形,特别是在纵横加劲梁部位产生的反复拉、压应变,在行车轮迹下更易于产生纵向开裂,因此,要求铺装具有优良的抗疲劳开裂性能。

(5) 优良的抗车辙性能。

由于钢板吸热和传热快,在高温下,钢桥面板的温度较高,使钢桥面铺装比沥青路面或水泥混凝土桥梁桥面铺装处于温度更高的使用状态。因此,要求铺装层有更优良的热稳定性,以抵抗车辙、推拥等病害的产生。

(6) 对桥面变形有良好的追从性。

随着气温的降低,铺装层沥青混凝土会变硬,变形能力也会相应下降,而桥面钢板变形能力不受低温影响,两种材料将产生变形不协调,因此要求铺装材料在低温下有良好的柔韧性,对钢板变形有良好的变形追从性。

(7) 优良的抗老化能力。

要求铺装层材料在施工和使用过程中有优良的抗老化能力。

(8) 优良的抗水损害能力。

水的侵蚀和损害将使铺装层的各种性能有所下降,要求各铺装层均具有优良的抗水损害能力和密水性。

结合钢桥面铺装的性能要求,沥青混凝土铺装以其重量轻、与桥面板粘着性能好、易于维修以及行车舒适性好等优点在实际工程中得到广泛应用,尤其是大跨径钢桥一般采用薄层沥青铺装层(5~8 cm)以减轻桥梁恒载重量,提高桥梁的跨越能力。

大跨径钢桥桥面沥青混凝土铺装按照结构来分,主要有以下几种形式:单层浇筑式沥青混凝土;下层浇筑式沥青混凝土,上层密级配沥青混凝土;下层浇筑式沥青混凝土,上层沥青玛蹄脂碎石混合料 SMA;上、下层分别采用不同粒径规格的 SMA;单、双层环氧沥青混凝土。

1.4 国内外钢桥面铺装的研究

1.4.1 国外研究概况

由于钢桥面铺装承受了严酷的交通荷载和自然环境的综合影响,因此成为各国道桥技术人员努力研究探讨的重要课题。日本、美国、欧洲等经济发达国家和地区,较早开始了钢桥面铺装技术的研究,基本形成了各自的铺装体系和典型结构设计方法。

1.4.1.1 日本的桥面铺装

日本在 20 世纪 60 年代和 70 年代初就开始钢桥建设和桥面铺装的

研究。在 70 年代中后期,为解决本州与四国联络桥的桥面铺装问题,由多田宏行等人进行了一次系统研究,调查了当时日本几乎所有钢桥正交异性板桥面铺装的使用情况,提出了使用浇筑式沥青混凝土、改性沥青混凝土、环氧改性沥青混凝土为代表的 3 种铺装结构,铺筑了试验桥。最终推荐下层浇筑式沥青混凝土、上层橡胶沥青改性密级配沥青混凝土为典型方案,铺装总厚度为 7~9 cm。该方案利用浇筑式沥青混凝土的良好整体性和密水性特点,在钢板喷砂除锈后不涂布任何防腐层,只用溶剂型沥青橡胶纵横各涂布一遍进行封闭(粘接层),也不再设防水层,这与欧洲的桥面铺装体系有显著区别。

20 世纪 90 年代初期开始,为解决在重交通荷载下桥面铺装的热稳性问题,开始研究应用改性沥青 SMA 代替浇筑式沥青混凝土作为铺装下层,使用效果良好。

1.4.1.2 欧洲的桥面铺装

欧洲的桥面铺装体系以德国和英国为代表分为两大类。

英国在 20 世纪 60 年代开始采用沥青玛蹄脂混凝土(Masticasphalt)的薄层铺装(总厚度约 40 mm),一直沿用至今。其中,沥青玛蹄脂混凝土与浇筑式沥青混凝土(Gussasphalt)有很接近的材料组成和施工工艺。但是在施工工艺方面采取先拌制沥青玛蹄脂(沥青、矿粉及 3 mm 以下细集料)再掺加粗集料碎石拌制成品混合料的两阶段拌制工艺,使其级配带有断级配特征,但施工效率较低。

德国的桥面铺装体系较为复杂,特别注重结构层次功能和防水功能,设置了由粘接层、缓冲层和铺装下层组成的防水隔离层。这可能与德国冬季寒冷,习惯采用撒盐除雪导致冻融破坏的缘故。在德国钢桥面铺装规范中,浇筑式沥青混凝土、改性沥青 SMA 都可以用于铺装下层;上层可以采用浇筑式沥青混凝土、改性沥青 SMA 及改性沥青密级配沥青混凝土;粘接层采用环氧树脂;缓冲层可采用改性沥青卷材及橡胶沥青与矿粉(及细集料)拌制的沥青类材料(橡胶沥青砂胶或沥青玛蹄脂)。

1.4.1.3 美国的桥面铺装

美国桥面铺装中的典型结构是两层环氧改性沥青混凝土,厚度约为 5 cm,分两层摊铺碾压,其粘接层也采用环氧改性沥青,洒布在桥面钢板上,在其固化以前铺筑铺装层。目前,美国在大跨径钢桥环氧沥青铺装材料方面的研究在世界上处于领先地位,并已形成了专利产品。实践证明,环氧改性沥青具有优良的力学性能,但施工工艺较复杂,施工控制是保证

成功的关键,在美国等地也有部分桥梁由于施工或重载原因产生了早期破坏。

1.4.2 国内研究概况

我国钢桥面铺装的研究与应用始于 20 世纪 80 年代,最初采用氯丁橡胶改性沥青密级配沥青混凝土(广东省马坊桥和山东胜利黄河大桥的第一次铺装),采用环氧煤焦油作为粘接层,此后又采用了聚乙烯和废胶粉(或丁苯橡胶)的复合改性沥青(广东马坊桥第二次铺装及西陵长江大桥第一次铺装)。为解决桥面铺装的推拥、车辙等病害问题,在钢板上焊接钢筋网(西藏妥峡大桥、广东马坊桥)或在沥青混凝土层间铺设钢筋网(山东胜利黄河大桥第一次铺装)。在上海城市高架桥中也采用在桥面钢板上焊接抗剪钢筋,再铺筑 EVA 或 SBS 改性沥青混凝土(一直沿用至今)。

随着我国国民经济的快速发展,跨越大江大河及海峡的大跨径桥梁于 20 世纪 90 年代中期开始大量建设,我国钢桥面铺装技术经过不断的开发研究与工程实践,基本形成了我国自己的桥面铺装体系。

1) 桥面 SMA 铺装研究

SMA 沥青混凝土在钢桥面上的应用研究经历了 3 个阶段。第一阶段的研究工作主要体现在广东虎门大桥第一次铺装中,集中于铺装层的研究,防水层以下直接采用了与香港青马大桥相同的反应性树脂材料。该阶段的工程实践使得工程技术人员更深刻地认识了钢桥面铺装的使用条件,基本上总结了我国钢桥面铺装研究中需要解决的关键技术问题。第二阶段的研究工作主要针对虎门大桥铺装所产生的病害进行,其间进行了桥面铺装受力分析与现场测试,改性沥青性能的提高及 SMA 混合料热稳性的提高,取消反应性树脂防水层采用改性沥青防水粘接层,对钢板进行现场喷砂及喷涂防腐涂层。该阶段研究对 SMA 采用的沥青标准、防水粘结层材料类型以及桥面刚度的要求有了更加系统的认识。第三阶段的研究主要针对桥面铺装所产生的脱层推移病害进行,采用环氧树脂撒砂,固化后形成剪力键和粗糙面,并采用橡胶沥青砂胶缓冲层的防水粘接体系,提高了铺装层抗剪切推移能力。

2) 桥面浇注式沥青混凝土铺装研究

除了前述的与改性沥青 SMA 铺装体系有关的 3 个阶段研究外,东南大学等还进行了浇筑式沥青混凝土铺装技术的研究,以江阴长江大桥