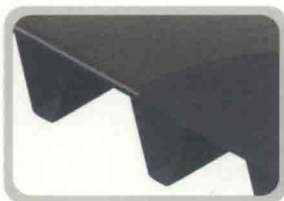


桥面铺装体系复合结构 动力学分析

*Structural Dynamic Analysis of Bridge Deck
Pavement System*

钱振东 刘云 黄卫 著



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

Structural Dynamic Analysis of Bridge Deck Pavement System

桥面铺装体系复合结构 动力学分析

钱振东 刘云 黄卫 著



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

内 容 提 要

本书从动力学角度出发,对大跨径缆索支承桥梁、立转式开启桥、铁路钢桁架桥、混凝土梁桥等桥型,综合考虑桥梁结构特点及交通承载特点,分析其沥青混凝土铺装体系在动力荷载作用下的力学响应,揭示桥面铺装复合体系力学特性与桥梁支撑结构、铺装设计参数及交通环境参数等的关系,为不同桥型沥青混凝土铺装体系结构与材料设计、有效维养提供理论依据。

本书可供从事桥梁和道路领域科研、教学和工程设计人员使用,也可作为相关专业研究生教材或学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

桥面铺装体系复合结构动力学分析 / 钱振东, 刘云, 黄卫著. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.2

ISBN 978-7-114-12056-5

I. ①桥… II. ①钱… ②刘… ③黄… III. ①桥面铺装—动力学分析 IV. ①U443.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 027861 号

书 名: 桥面铺装体系复合结构动力学分析

著 作 者: 钱振东 刘云 黄卫

责任编辑: 王文华

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: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720 × 960 1/16

印 张: 7

字 数: 117 千

版 次: 2015 年 2 月 第 1 版

印 次: 2015 年 2 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12056-5

定 价: 28.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

近年来,我国桥梁建设已达到世界领先水平,根据桥梁结构材料,桥梁可分为钢桥和混凝土桥等,根据桥梁的功能,桥梁可分为公路桥、铁路桥及开启桥等。沥青混凝土铺设在桥面板上组成铺装体系复合结构,其目的是保护桥面板并满足行车要求。

公路(或铁路)桥铺装层在通车运营状态下,承受着反复的车辆(或列车)动荷载作用,而满足港口和航道建设、内河枢纽通航要求的立转式开启桥桥梁悬臂结构在不断的开启和闭合过程中,铺装层与桥面板之间的黏结薄弱部位将承受着不断变化的反复剪切作用,再加之恶劣的环境影响,较易产生早期病害,减少铺装层的使用寿命。虽然,多数破坏的桥面铺装都进行过维修,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,也造成了不利的社会影响。

作为铺装体系复合结构重要组成部分的铺装层与桥面板,通常是两种力学参数相差较大的材料,在动荷载作用下的力学响应较为复杂。不同桥型桥梁结构的变形对铺装层的影响也不同。另外,作为桥面铺装的主要材料沥青混凝土是一种典型的黏弹塑性材料,其力学特性和路用性能随温度和荷载作用方式的变化差异很大。因此,桥面铺装的力学问题逐渐成为桥梁及道路工程交叉领域的研究热点之一。

笔者主持了武汉阳逻长江公路大桥、上海长江大桥、武汉天兴洲公铁两用大桥、天津海河响螺湾开启桥、东新赣江特大桥、泰州长江公路大桥等 10 余项重要工程的科研项目,在桥面铺装动力分析方面积累了丰富的经验。

全书共分 6 章。第 1 章介绍桥面铺装的材料及结构力学模型、主要病害及力学控制指标,以及铺装力学分析的发展现状;第 2 章介绍用于桥面铺装动力分析的主要力学理论知识、车辆(或列车)动荷载的模拟方法,以及铺装体系复合结构的建模方法;第 3~6 章介绍大跨径缆索支承桥梁、立转式开启桥、铁路钢桁架桥、混

凝土梁桥等不同桥梁中的桥面铺装体系在动荷载作用下的动响应,以期为桥梁建设提供理论支持。

本书涉及的专业技术面广,因水平有限,难免有错误与不当之处,敬请读者批评指正,以便于进一步改进和提高。

作者

2014 年 10 月于南京

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 桥面铺装材料及力学模型	3
1.3 桥面铺装体系复合结构	6
1.4 桥面铺装主要病害及力学控制指标	8
1.5 桥面铺装力学理论研究现状	12
1.6 本章小结	13
第2章 桥面铺装体系复合结构动力分析方法	15
2.1 桥面铺装动力分析的基本理论与方法	15
2.2 桥面铺装层动荷载	21
2.3 铺装体系复合结构建模方法	30
2.4 本章小结	31
第3章 缆索支承桥梁桥面铺装动力分析	32
3.1 概述	32
3.2 正交异性钢桥面板铺装动力分析	33
3.3 铺装“多尺度”有限元动力分析	42
3.4 本章小结	51
第4章 立转式开启桥桥面铺装动力分析	52
4.1 概述	52
4.2 开启桥铺装结构有限元模型	52
4.3 开启桥铺装结构开启过程动力分析	57
4.4 开启桥铺装结构通车过程动力分析	64
4.5 通车和开启状态下的力学响应对比	70
4.6 本章小结	70
第5章 铁路钢桁架桥防护层动力分析	72
5.1 概述	72
5.2 列车—轨道—柔性保护层—桥面板耦合结构有限元模型	73

5.3 柔性保护层动力分析 81

5.4 考虑层间接触的耦合体系防水界面动响应分析 85

5.5 本章小结 90

第 6 章 混凝土梁桥桥面铺装动力分析 92

6.1 概述 92

6.2 混凝土连续梁桥桥面铺装有限元模型 92

6.3 连续梁桥铺装动力分析 97

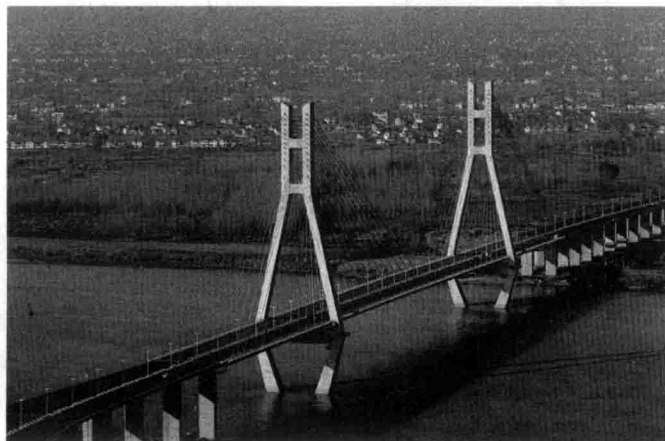
6.4 本章小结 100

参考文献 101

第1章 绪 论

1.1 研究背景

近年来,我国钢桥建设已达到世界领先水平,国内已建成的南京长江二桥、南京长江三桥、润扬长江公路大桥、苏通大桥、杭州湾大桥等多座跨江或跨海的大跨径悬索桥和斜拉桥,几乎都采用加劲钢箱梁作为有效的主梁结构形式。满足港口和航道建设与维护、内河枢纽通航要求的立转式开启桥也采用了钢箱梁形式,例如天津海河响螺湾开启桥。另外,还有满足铁路通行要求的钢桁连续梁桥,其钢桥面顶板与钢箱梁类似,均采用了正交异性钢板。水泥混凝土桥是我国公路工程中主要的桥梁形式之一,主梁断面形式多采用箱梁形式,其纵梁及横梁组成也类似正交异性支撑结构。图 1.1 为部分国内著名的斜拉桥、悬索桥、立转式开启桥、钢桁梁桥及混凝土梁桥图片。



a)润扬长江公路大桥北汊斜拉桥(公路钢箱梁桥)

图 1.1



b)润扬长江公路大桥南汊悬索桥(公路钢箱梁桥)



c)天津海河响螺湾开启桥(立转式开启桥)



d)东新赣江特大桥(铁路钢桁架桥)

图 1.1



e) 厦门仙岳路西段高架桥(混凝土箱梁桥)

图 1.1 正交异性支撑结构桥梁

沥青混凝土桥面铺装直接铺设在正交异性支撑结构上组成铺装体系复合结构,其目的是保护桥面板并满足行车要求。当汽车在铺装表面高速行驶时,车轮与桥面发生相互作用,铺装结构所产生的力学响应是一个随时间变化的量,即铺装层结构承受的是动力学作用,这与广泛使用的铺装结构静力学模型有较大的区别。

铺装层在车辆动荷载重复作用下会出现疲劳开裂、车辙及层间脱黏等病害。研究桥面铺装层在车辆动荷载作用下的力学响应可以得到铺装层主要病害的力学控制指标值,为铺装层材料及结构设计、施工提供等提供理论参考依据。

1.2 桥面铺装材料及力学模型

1.2.1 桥面铺装材料

各国研究者结合本国国情,对铺装层材料的性能和结构形式分别做出了相应的规定。为提高桥面铺装层的使用耐久性,各国均尽量采用优质的沥青混凝土,尤其是钢桥面铺装用沥青混凝土。目前国内外的桥面沥青类铺装材料主要有:浇注式沥青混凝土、改性沥青 SMA、环氧沥青混凝土等。

1) 浇注式沥青混凝土

浇注式沥青混凝土起源于德国,并在英国、瑞典、丹麦、日本等国家得到较广泛的应用。浇注式沥青混凝土最初只用于道路和桥面铺装上因工作面积小、无法采用机械碾压的局部修补中,后来发现浇注式沥青混凝土具有良好的防水性和较高的变形追随性,其才被广泛应用于钢桥面铺装。

浇注式沥青混凝土铺装采用高含量的特里尼达天然湖沥青或聚合物改性沥青,高含量矿粉,低空隙率(小于1%),无需防水层,抗老化、抗裂性能强;其分两个阶段高温(220~250℃)下拌和,浇注式摊铺,摊铺时其具有一定的流动性,无需碾压,自由流动密实成型。为增强铺装上下层的结合及增强浇注式混合料的热稳性,一般在其上撒布一层粒径5~13mm及13~20mm的预拌碎石,并压入浇注式混凝土中。

但是,浇注式沥青混凝土高温稳定性差,易形成车辙。施工需要一系列专用设备,对气候和桥面清洁度要求苛刻。一般只适用于夏季温度不太高的国家和地区,如德国和英国等一些欧洲国家和亚洲的日本。而在热带和亚热带夏季气温高且持续时间长的地区,它的适用性有待进一步验证。

2) 改性沥青 SMA

SMA(Stone Mastic Asphalt)是在沥青玛蹄脂混合料的基础上,进一步增大碎石用量,从而形成粗集料间良好嵌挤的骨架密实型结构,这就为 SMA 提供了良好的热稳性和粗糙混合料表面。SMA 与其他类型混合料的重要区别之一是 SMA 混合料掺入了纤维,纤维的加入使混合料中的沥青含量增大至6.0%~7.0%,矿粉的含量也相应地增大至8%~12%,从而使 SMA 混合料的孔隙率降低至2.5%~3.5%。较高的沥青用量和较厚的沥青膜使得 SMA 混合料的耐久性、低温抗裂性和抗疲劳性都得到了明显的改善,SMA 混合料在欧美等国受到了很大的重视,被大量地应用于道路与桥面铺装中。

在日本,SMA 多用于铺装下层,以增强铺装层的抗车辙性能,面层仍多用密级配改性沥青混凝土、开级配改性沥青混凝土;在德国,改性沥青 SMA 既可用于铺装下层,也可用于铺装面层。在美国,美国国家公路战略研究计划(Strategic Highway Research Program,简称 SHRP)制定了 Superpave 级配的控制点与相应的禁区范围,对 SMA 混合料的设计进行了完善,高黏度改性沥青或高弹改性沥青 SMA 进一步增强了混合料的性能。

3) 环氧沥青混凝土

环氧沥青混凝土是将环氧树脂加入沥青混凝土中,经与固化剂发生固化反应,形成不可逆的固化物,其路用性能比普通沥青混合料优异得多。环氧沥青混凝土由于其热固性和优良的力学性能,尤其适用于桥面铺装。目前环氧沥青混凝土铺装在美国、加拿大、荷兰和澳大利亚等国家得到大量应用,美国和德国还编写了相应的环氧沥青桥面铺装规范。

从世界上采用环氧沥青混凝土铺装的桥面铺装层的使用情况来看,成功和失

败的例子都有。美国的环氧沥青混凝土钢桥面铺装专家认为,对桥梁所处的气候(温度)条件、交通荷载等因素考虑不周而导致的设计失误或施工控制不严是造成环氧沥青混凝土铺装失败的主要原因,在正确设计和施工的前提下,环氧沥青混凝土桥面铺装在设计年限内一般不会出现破坏。日本的钢桥面铺装专家认为,单从环氧沥青混凝土本身的性能来看,其是一种非常好的材料,但是这种材料受成型时温度、时间等因素变化的影响很大,施工条件苛刻,施工中对其质量很难控制,其相关技术资料在国外多属于专利产品。只有施工技术先进、组织合理,并配以严密的质量控制体系,环氧沥青混凝土的施工质量才能达到设计要求。

在国内桥面铺装中应用的环氧沥青混凝土主要产自美国、国产和日本,美国和国产环氧沥青属于温拌环氧沥青,日本环氧沥青属于热拌环氧沥青。这三种环氧沥青都有在大跨径钢桥桥面铺装的应用实例。此外国产环氧沥青混凝土由于原材料配合比设计的自主调控性,在水泥混凝土桥面铺装中也得到了大量使用,在道路路面中主要应用于下封层黏结料以及重载等特殊区段的路面结构层。

1.2.2 铺装用沥青混合料本构模型

从宏观意义来看,沥青混凝土中约有95%的材料是各种不同粒径和品种的粗、细集料和矿粉颗粒,物理结构总体上是松散的,可以认为是一种典型的颗粒性材料。在目前的研究中普遍认为沥青混合料是一种典型的黏、弹、塑性综合体,在低温小变形范围内接近线弹性体,在高温大变形活动范围内表现为黏塑性体,而在通常温度的过渡范围内则为一般黏弹性体。

1) 线弹性

在桥面铺装体系复合结构计算过程中,将桥面铺装层作为多层弹性层状结构,假设沥青混凝土是均匀的、连续的、各向同性的弹性材料,采用线弹性理论来分析铺装体系的荷载应力、应变,每层铺装结构基于胡克定律(Hooke)都被赋予杨氏弹性模量 E 及泊松比 μ 两个材料变形参数。线弹性的材料分析模型本构方程较为简单,在短时间段的结构瞬态动力分析中应用较为广泛。

2) 黏弹性

沥青混凝土桥面铺装材料的黏弹性力学特征主要表现在以下几个方面。

(1) 应力—应变关系曲线性及其不可逆性,同时有别于像金属材料具有明显的屈服点(弹性极限);

(2) 对加载速度(时间效应)和试验温度(温度效应)的依赖性,并服从时间温度换算法则;

(3) 具有明显的蠕变与应力松弛特性;

(4) 对于线性黏弹性材料,服从 Boltzmann 线性叠加原理和复数模量 (Complex Modulus) 原理。

众多学者的研究表明,采用四个参数的 Burgers 模型与广义 Maxwell 模型 (多个 Maxwell 并联模型) 可以较准确地描述沥青混合料的黏弹性行为。

3) 黏塑性

桥面铺装在一定的温度和荷载条件下会发生车辙等损坏,大量的现场观测表明,桥面铺装的车辙是由沥青混合料产生的不可恢复的永久变形所引起,而沥青混凝土的塑性变形性质能产生永久变形,且黏塑性应变在重复荷载作用下是有累积的。

沥青混合料在铺装体系所处的复杂应力状态下适合采用的屈服条件到目前为止没有统一的研究成果,已经被使用的屈服条件包括屈服面为圆锥形的 Drucker-Prager 屈服条件、Von Mises 屈服条件等。

有学者将塑性变形合并到黏塑性变形中,把沥青混合料的变形分为弹性、黏弹性和黏塑性变形,采用 Perzyna 黏塑性理论描述黏塑性变形,而这一理论与经典塑性理论的不同就在于采用率流动法则替换了经典塑性流动法则。

1.3 桥面铺装体系复合结构

由于不同的使用环境及发展历史,各国的正交异性钢桥面铺装结构也有较大不同,荷兰、法国、德国、比利时、英国、美国和日本均形成了本国的典型钢桥面铺装结构组合方案。欧洲国家钢桥面铺装主要采用沥青玛蹄脂作为底层或磨耗层;美国主要采用环氧沥青混凝土铺装;日本主要采用浇注式沥青混凝土铺装。国内自南京长江二桥开始,大批桥梁采用环氧沥青混凝土铺设在大跨径钢桥面,例如南京长江三桥、南京长江四桥、武汉阳逻长江公路大桥、上海长江大桥、武汉天兴洲大桥、泰州大桥等工程。目前国内外钢桥面铺装的典型结构形式如图 1.2 所示。

国内外经过几十年的实践与探索,结合各自国家地区的具体情况,在水泥混凝土桥梁桥面铺装方面选用的结构类型与厚度不尽相同,一般的沥青混凝土铺装层包括防水层和沥青混凝土面层,如图 1.3 所示。

根据国内外钢桥面和水泥混凝土桥面的典型铺装体系复合结构形式,在进行铺装结构动力分析时,可建立“铺装层—防水黏结层—桥梁支撑层”的复合结构模型,根据研究目标和模型尺度可选择合适的单元来离散复合结构的各组成部分,采用有限单元法数值模拟分析铺装各结构层受力特征。

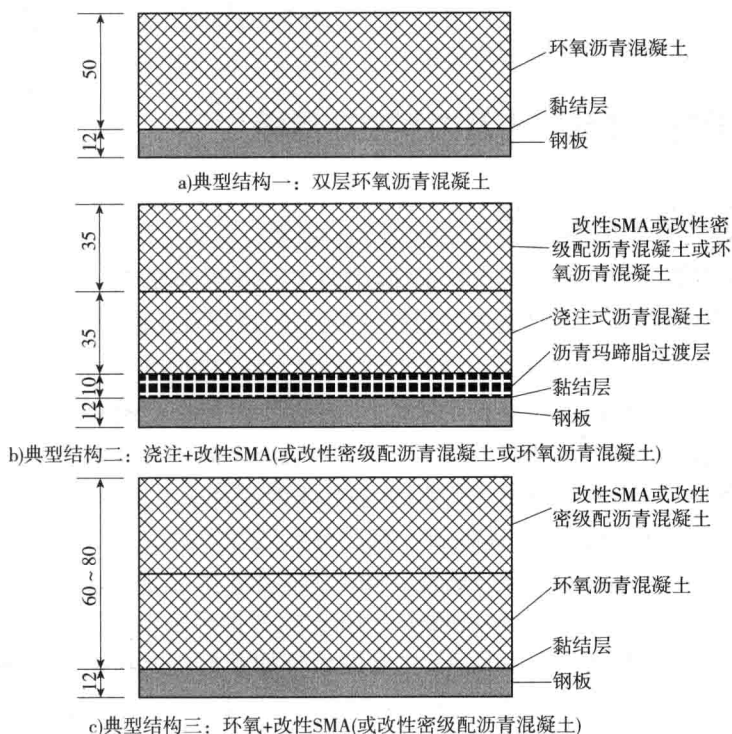


图 1.2 典型钢桥面铺装结构(尺寸单位:cm)

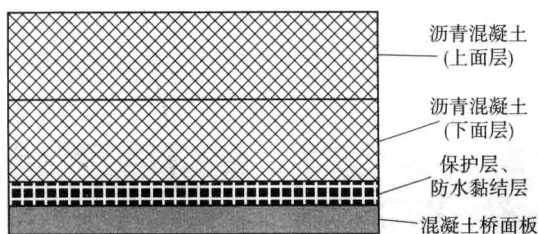


图 1.3 水泥混凝土桥桥面典型铺装结构

防水黏结层是影响整个铺装体系复合结构力学性能的关键因素之一,也是桥面铺装与普通路面结构的一个主要区别,且黏结层破坏或失效可导致铺装层与桥面脱黏,通常被视为铺装的完全破坏。因此,建立复合结构模型时要考虑防水黏结层的作用,以研究铺装与支撑结构层间在动力作用下的力学响应。

在铺装体系复合结构中,铺装层与防水黏结层、防水黏结层与桥面板之间并不是位移完全连续的,存在界面接触,尤其是在已发生局部破坏的情况下。数值模拟

方法及计算机技术的发展为分析复合结构中界面接触问题提供了有力的工具,对接触的全过程可进行计算机数值模拟。

1.4 桥面铺装主要病害及力学控制指标

1.4.1 桥面铺装主要病害

影响桥面铺装破坏的因素很复杂,除了施工工艺不当造成的一些病害,沥青混合料铺装使用过程中出现的破坏类型有疲劳开裂、脱层及车辙等。

1) 疲劳开裂

疲劳开裂是指桥面铺装层在正常使用情况下,由行车荷载和温度变化的多次反复作用引起的铺装层的开裂破坏,是正交异性桥面沥青混合料铺装的主要破坏类型。由于工作环境和受力模式的不同,桥面铺装层疲劳开裂的破坏形式、破坏位置与沥青路面结构层的完全不同,后者在疲劳开裂开始时形成细而短的横向或纵向裂缝,并逐渐扩展成网状,开裂的宽度和范围不断扩大。桥面沥青混合料铺装层由正交异性桥面板支撑,在车辆荷载作用下,正交异性桥面板的变形导致纵向加劲肋、横隔板(或横向加劲肋)、纵隔板、主梁腹板等加劲部件与桥面板连接处成为高应力区,并在这些位置的铺装层产生较大的负弯矩,即这些位置的铺装层表面是拉应力或拉应变集中区。因此,疲劳开裂首先出现在铺装层表面,然后逐渐向底面发展。在纵向加劲肋、纵隔板、主梁腹板顶部的桥面铺装层表面会出现纵向裂缝;在横隔板(或横向加劲肋)顶部的桥面铺装层表面会出现横向裂缝;在横隔板与加劲肋交汇处,铺装层表面易出现网裂。图 1.4 所示为桥面铺装的典型纵向、横向裂缝及网状裂缝。

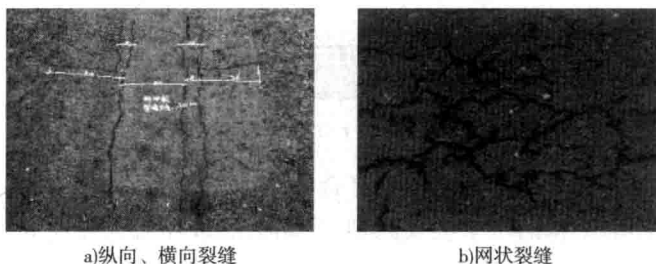


图 1.4 裂缝类病害

疲劳开裂涉及许多方面的影响因素,如沥青混合料的特性、交通量及行车荷载等级、沥青铺装层厚度及结构总体强度、正交异性桥面板厚度、加劲肋尺寸、横隔板

间距及厚度,以及自然环境因素等。因此,疲劳开裂与沥青混合料及铺装结构设计有关。桥面沥青混合料铺装层在重复高应力或较高应力的作用下,会由于疲劳而产生裂缝,这些疲劳开裂通常出现在低温或常温季节。最常见的疲劳开裂表现为加劲肋顶部的铺装层表面出现纵向裂缝。但如果在交通荷载作用下或长时间暴露在阳光、气温、雨水下,铺装层的工作条件超过了材料的弹性极限,沥青混凝土结合料的本身特性不能实现裂缝的自我修复功能或者铺装混合料发生了不可逆转的变化,则铺装层的疲劳开裂也会出现在高温季节。

2) 黏结层失效或脱层

黏结层失效或脱层是钢桥面铺装特有的一种破坏类型。铺装层与钢桥面板之间要加铺黏结层,保证铺装层与钢桥面板能组成一个整体共同受力,同时铺装层与钢桥面板间的黏结作用对保证整个正交异性钢桥面铺装体系的复合作用,以及在交通荷载作用下铺装层与钢桥面板的协调变形至关重要。铺装层与钢板的复合作用不仅降低了沥青混合料铺装层内部的应力,也降低了钢桥面板内部的应力以及板肋焊接处的应力,因此这种复合作用对整个铺装体系各部分的受力均是有利的,而且模量比系数 n (定义为钢板的弹性模量与沥青铺装层模量的比值) 越小,这种复合作用的效果越强,铺装体系各部分内部的荷载应力就越低。因此黏结层的完好对改善桥面铺装层的受力条件非常重要。同时,在目前修建的大跨径钢桥桥面沥青混合料铺装体系中,为了施工方便,一般在多层铺装体系中取消了专门的防水层,而采用黏结性能、防水性能均较好的材料作为黏结层,则这样的黏结层就集黏结与防水两大功能为一身,如我国已建成的江阴长江大桥在浇注式沥青式混凝土与钢桥面板之间设置了 2mm 厚的橡胶沥青,既作为黏结层,也作为防水层。这样,黏结层的破坏也意味着防水层的破坏,会导致雨水、湿气直接接触钢板引起锈蚀,影响整个桥梁结构的强度。

在行车荷载和温度等的共同作用下,钢桥面铺装层与钢板间存在较大的剪应力,引起较大的剪切变形,当铺装层与钢板之间结合界面的黏结力差、抵抗水平剪切能力较弱时,在水平方向便产生相对位移,直至黏结层失效或脱层。铺装层与钢板之间黏结层的破坏或脱层不仅大大降低了两者的复合作用,增加了铺装层内部的应力,加速了铺装面层的破坏,而且给修复工作带来了极大困难,增加了修复费用。有时钢桥面铺装发生铺装层与钢板之间黏结力丧失,产生黏结层失效或脱层时,铺装面层仍能保持整体性,并未发生严重破坏,但对层间黏结失效破坏或脱层的修复方法只能是将黏结层破坏区域的沥青混凝土铺装层(不管破坏与否)全部铲去,重新铺洒黏结层,重筑铺装层。这样大大增加了工程费用,且修复时会妨碍

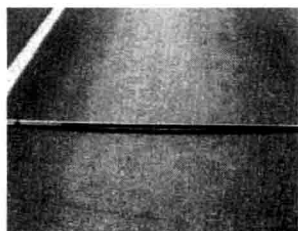


图 1.5 车辙

交通正常运行,因此必须严格控制黏结层失效破坏或脱层。

3) 车辙

如图 1.5 所示,车辙主要是由于桥面铺装层在高温季节或长时间承受车辆荷载(包括交通量成倍增长、重载、超载、慢速行驶、渠化交通)的作用下,铺装层沥青混合料的抗永久变形能力不足引起的,尤其在高温季节,铺装材料因本身较强的黏塑性而表现出更大的抗永久变形能力不足。或是由于铺装层与桥面间的抗剪切能力不足,尤其是高温季节,黏结层材料强度大幅度降低,从而加速车辙的发展。两者均表现为铺装层表面轮迹处出现沉陷及侧向隆起现象。前者可通过沥青混合料的材料设计,控制好混合料的高温抗永久变形性能,设计合适的空隙率,提高混合料的水稳定性,避免水下渗破坏黏结层而加速出现车辙破坏,并进行合理的铺装层厚度设计。后者可通过改善黏结材料的性能及施工工艺,减轻甚至避免车辙变形。

1.4.2 桥面铺装主要力学控制指标

正交异性桥面铺装的破坏通常发生在主梁腹板、纵向加劲肋和纵隔板上方,由于横向负弯矩引起的铺装层表面弯拉应力或应变导致纵向疲劳裂缝,以及由于纵向负弯矩引起的横隔板上方的铺装层表面弯拉应力或应变导致横向疲劳裂缝的情况比较多;其次是铺装层与钢桥面板之间的黏结力不足导致的一次性或疲劳剪切破坏;最后是车辙破坏。这些主要破坏(除车辙外)都与正交异性桥面板的局部受力变形有关。针对桥面铺装的主要破坏类型,提出相应的设计指标,这些设计指标也是后面分析桥面铺装结构受力特点的研究重点。

1) 铺装层疲劳开裂

以疲劳开裂作为桥面铺装的设计标准时,以铺装层的最大拉应力或最大拉应变作为设计指标,设计中控制铺装层的最大拉应力(变)不超过铺装材料相应的容许值,即

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\text{tmax}} &\leq [\varepsilon_t]_R \\ \sigma_{\text{tmax}} &\leq [\sigma_t]_R \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

式中, $\varepsilon_{\text{tmax}}$ 为理论计算得到的铺装层的最大拉应变; $[\varepsilon_t]_R$ 为由疲劳方程确定的铺装层的容许拉应变; σ_{tmax} 为理论计算得到的铺装层的最大拉应力(MPa); $[\sigma_t]_R$ 为由疲劳方程确定的铺装层的容许拉应力(MPa)。