

DAKUAIJING GANGQIAOMIAN
LIQING HUNHELIAO PUZHUANG JISHU

大跨径钢桥面 沥青混合料铺装技术

郝增恒 王 民 著

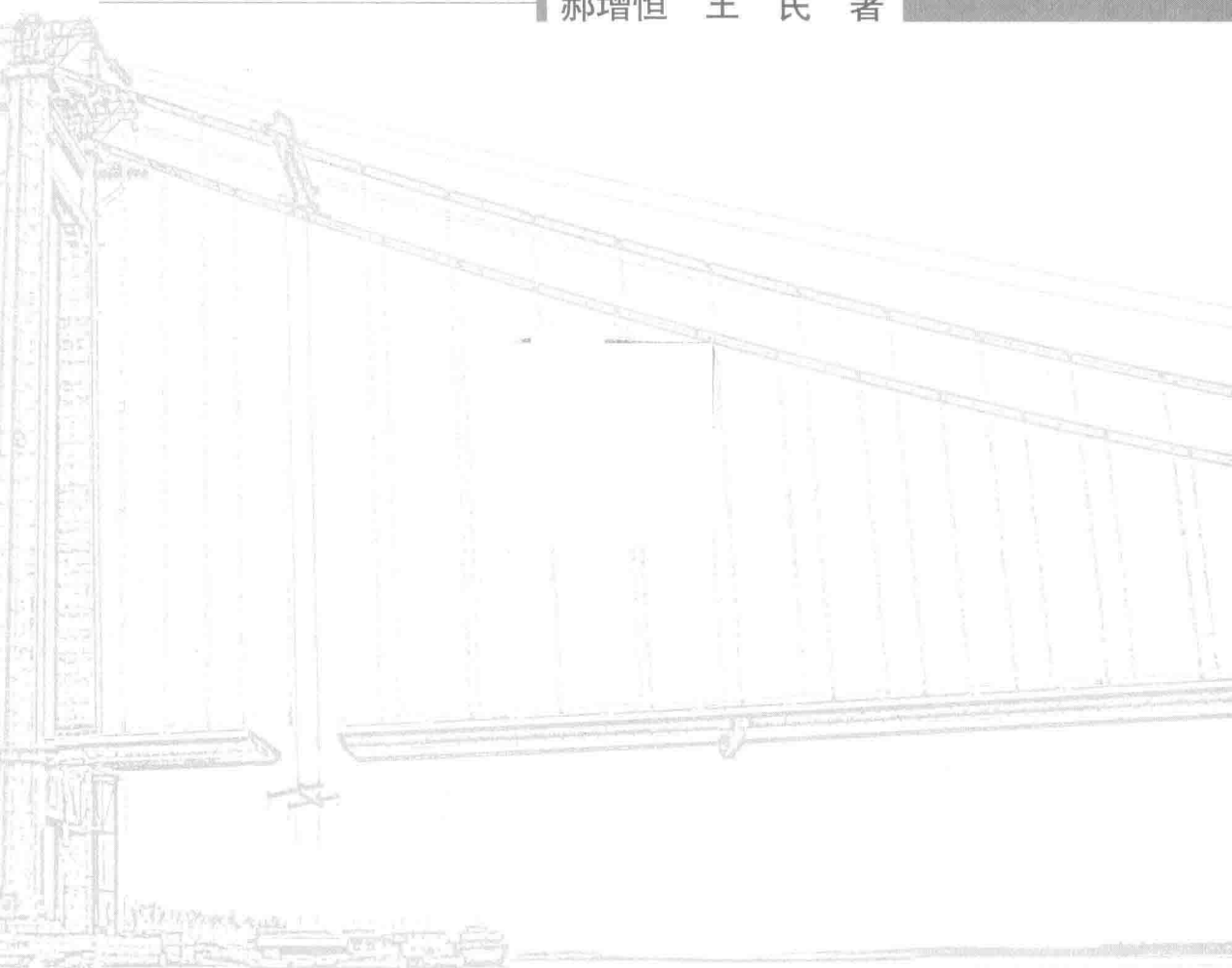


人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

DAKUAJING GANGQIAOMIAN
LIQING HUNHELIAO PUZHUANG JISHU

大跨径钢桥面 沥青混合料铺装技术

郝增恒 王 民 著



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

内 容 提 要

本书是作者及其研究团队对近 20 年来在钢桥面铺装方面开展科研、设计、咨询和工程应用成果的全面总结。主要内容包括绪论、钢桥面铺装受力、钢桥面铺装设计、浇注式沥青混合料、环氧沥青混合料、高弹改性沥青 SMA、钢桥面防水黏结层、钢桥面铺装施工工艺和钢桥面铺装养护技术。

本书可供从事道路和桥梁的科研、设计、施工和工程管理人员,以及相关专业的研究生作为教材或学习参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

大跨径钢桥面沥青混合料铺装技术 / 郝增恒, 王民著. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.9

ISBN 978-7-114-14570-4

I. ①大… II. ①郝… ②王… III. ①长跨桥—钢桥—沥青拌和料—桥面铺装 IV. ①U448.363.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 033861 号

书 名: 大跨径钢桥面沥青混合料铺装技术

著 作 者: 郝增恒 王 民

责任编辑: 郭红蕊 李 娜

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

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: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 10.5

字 数: 246 千

版 次: 2018 年 9 月 第 1 版

印 次: 2018 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14570-4

定 价: 60.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

序

PREFACE

十九大报告明确提出我国要建设“交通强国”的宏伟目标,高品质的高速公路、高速铁路是实现“交通强国”的重要组成,西部山区高山峡谷、大江大海正逐渐成为建设的主战场,大跨径桥梁将如雨后春笋般不断涌现,如港珠澳大桥、云南龙江特大桥、杭州湾跨海大桥,以及正在修建的深中通道和规划中的琼州海峡跨海大桥等特大型桥梁。

大跨径桥梁普遍采用钢箱梁,桥面变形大,铺装层薄、剪应力大、热稳定性高、超重型轴载等所带来的铺装技术问题一直是一个世界性难题。20世纪90年代建设的大跨径桥梁,很多桥梁通车不久钢桥面铺装就出现严重的病害,多次维修重铺,造成了巨大的经济损失和不良社会影响。近年来,为解决钢桥面铺装这一技术难题,国内外学者及工程师们进行了大量的探索和研究,钢桥面铺装体系技术逐步完善。

本书作者长期从事大跨径钢桥面铺装的研究与实践,时刻关注钢桥面铺装相关领域的创新与发展,带领团队针对我国高温重载条件下的钢桥面铺装技术难题,开展了大量研究工作并取得了丰硕成果,制定了交通运输部首部《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》,在国内外学术刊物上发表了100余篇高水平学术论文,在钢桥面铺装方面具有很高的学术造诣和实践经验。

《大跨径钢桥面沥青混合料铺装技术》是作者及其团队多年研究成果的结晶,

本书内容较为全面,有钢桥面铺装基础理论研究、试验研究和工程实践。作者从钢桥面铺装力学特性、设计方法、铺装材料、施工工艺和养护技术等方面进行了理论与实践方面的探索,对钢桥面铺装层模量取值、永久变形计算、铺装结构设计和使用寿命评价等一系列问题提出了解决的措施和案例,形成了可用于指导钢桥面铺装设计和施工的一整套方法。

随着现代交通事业的飞速发展,在桥梁建设技术及高性能材料不断进步的同时,桥梁结构也正朝着大跨、高强、长寿命的方向发展。钢桥面铺装作为大跨径钢结构桥梁的重要组成部分,其耐久性越来越受到人们的关注,希望有更多的研究人员和技术人员,共同探索与努力,进一步提高我国钢桥面铺装的技术水平和工程品质。

桥梁大师孟凡超



2018 年 2 月

前言

FOREWORD

钢桥面铺装是大跨径桥梁建设的一个世界性难题,受我国特殊的交通、气候条件影响,钢桥面铺装技术要求要远高于高等级沥青路面或国外钢桥面铺装。我国早期建成的多座大跨径桥梁,在通车2~3年后桥面铺装就出现破坏,并已经过多次维修。通过近20年的研究与工程应用,我国钢桥面铺装技术取得了长足进步,形成了较为成熟的铺装体系。

招商局重庆交通科研设计院有限公司(原交通部重庆公路科学研究所)的钢桥面铺装研究团队,从1995年开始,针对大跨径钢桥面铺装面临的技术难题,开展了一系列的研究和实践工作,在钢桥面铺装设计与施工方面积累了丰富的研究成果。1997年承担了广东虎门大桥的钢桥面铺装研究,首次将改性沥青SMA应用于钢桥面铺装工程。2001年提出了经过优化的浇注式沥青混合料+SMA铺装结构,先后成功应用于安庆长江大桥、重庆朝天门长江大桥和安徽马鞍山长江公路大桥等100余座大跨径桥梁,成为目前应用最广泛的铺装结构。

本书从大跨径钢桥面铺装力学特性与结构设计、铺装层材料与防水黏结材料性能、钢桥面铺装施工质量控制、养护与功能修复等方面进行总结。全书共分为9章,第1章 绪论,由王民和肖丽编写,第2章 钢桥面铺装受力,由肖丽和赵国云编写,第3章 钢桥面铺装设计,由郝增恒和肖丽编写,第4章 浇注式沥青混

合料,由盛兴跃和李璐编写,第5章 环氧沥青混合料,由高博和盛兴跃编写,第6章 高弹改性沥青 SMA,由郝增恒和高博编写,第7章 钢桥面防水黏结层,由胡德勇和王民编写,第8章 钢桥面铺装施工工艺,由郝增恒和肖丽编写,第9章 钢桥面铺装养护技术,由王民和胡德勇编写。

本书原始资料主要来自于招商局重庆交通科研设计院和重庆市智翔铺道技术工程有限公司近20年的研究成果。本书得到国家自然科学基金(51202214、51702282),交通运输部(2013315740040)、重庆市科学技术委员会(cstc2013yykf30001、cstc2014jcyjjq3002)等项目的资助,在港珠澳大桥、安徽马鞍山长江公路大桥、武汉沌口长江大桥、莫桑比克马普托大桥、湖南矮寨大桥、广州珠江黄埔大桥、云南龙江大桥、上海东海大桥、重庆鹅公岩长江大桥等60余座大跨径钢桥面铺装的科研、设计和施工中,得到广大业主和相关单位的大力支持。在此,谨向与作者长期合作的单位和个人,以及为本文编写和出版提供帮助的同志们致以诚挚的谢意。

希望本书的出版能够对大跨径钢桥面铺装的设计和施工有所裨益。限于作者水平,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。

作 者

2017年12月

目录

CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 大跨径钢桥建设概况	1
1.2 正交异性板钢桥面铺装	2
1.3 钢桥面铺装发展与现状	5
1.4 钢桥面常用铺装材料	15
本章参考文献	18
第2章 钢桥面铺装受力	20
2.1 沥青铺装层力学参数	20
2.2 主梁挠曲对桥面铺装受力的影响	29
2.3 正交异性钢桥面板铺装受力特性	33
2.4 钢桥面铺装永久变形	44
本章参考文献	49
第3章 钢桥面铺装设计	50
3.1 钢桥面铺装影响要素	50
3.2 钢桥面铺装设计要求	53
3.3 钢桥面铺装设计流程	53
3.4 正交异性钢桥面铺装体系刚度验算	55
3.5 铺装层组合设计	57
3.6 组合结构体系性能要求	59
3.7 设计实例	62

本章参考文献	67
第 4 章 浇注式沥青混合料	68
4.1 沥青结合料性能	68
4.2 浇注式沥青混合料配合比设计	72
4.3 浇注式沥青混合料性能	75
本章参考文献	78
第 5 章 环氧沥青混合料	81
5.1 温拌环氧沥青混合料	81
5.2 热拌环氧沥青混合料	86
本章参考文献	95
第 6 章 高弹改性沥青 SMA	97
6.1 高弹改性沥青	97
6.2 配合比设计	108
6.3 高弹改性沥青 SMA 路用性能	109
本章参考文献	111
第 7 章 钢桥面防水黏结层	112
7.1 概述	112
7.2 防水黏结材料及防水结构体系	113
7.3 防水黏结材料性能	117
本章参考文献	125
第 8 章 钢桥面铺装施工工艺	127
8.1 施工准备	127
8.2 喷砂除锈及防腐层施工工艺	128
8.3 防水黏结层施工工艺	130
8.4 浇注式沥青混合料施工工艺	132
8.5 环氧沥青混合料施工工艺	136
8.6 改性沥青 SMA 施工工艺	139
8.7 钢桥面铺装施工质量控制	142
本章参考文献	144
第 9 章 钢桥面铺装养护技术	146
9.1 钢桥面铺装病害类型及成因分析	146

9.2 钢桥面铺装病害分类及使用状况评价 149

9.3 钢桥面铺装病害处治技术 152

本章参考文献..... 157

展望..... 158

第 1 章 绪 论

1.1 大跨径钢桥建设概况

1.1.1 我国大跨径钢桥建设情况

改革开放以来,我国公路建设事业迅猛发展,作为公路建设重要组成部分的桥梁建设也取得了长足进步。在沿海地区,已建成包括港珠澳跨海大桥、胶州湾大桥、杭州湾跨海大桥、舟山连岛跨海大桥、厦漳跨海大桥和嘉绍跨海大桥等在内的跨海大桥 30 余座;许多跨海大通道正在建设或规划,如深中跨海通道、渤海海峡跨海通道和琼州海峡跨海通道等。在内陆,以长江沿线大桥为例,我国首座长江大桥——武汉长江大桥于 1957 年 10 月建成通车,到 1995 年,长江上的铁路、公路和公铁两用桥加起来不过 8 座,而截至目前,长江宜宾至上海段的桥梁已超过 100 座,预计到 2020 年,长江上将有 120 余座特大桥(图 1.1-1),届时,万里长江平均不到 50km 就有 1 座特大桥。可以说,我国正在逐渐成为真正意义上的桥梁大国。

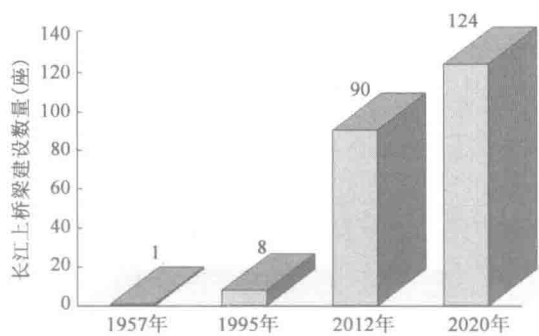


图 1.1-1 我国长江上桥梁建设规模递增图

在我国桥梁建设过程中,钢结构桥梁由于具有自重轻、建造周期短、跨越能力大、适合于工业化制造、便于运输、构件易于修复和更换等诸多优点,已建或在建的大跨径桥梁大多数采用钢桥结构。

近十年来,我国大跨径钢桥的建设进入了一个最辉煌的时期,一大批结构新颖、技术复杂、设计和施工难度大以及科技含量高的大跨径钢桥相继建成。其中,港珠澳大桥是目前世界最长的跨海大桥;重庆朝天门长江大桥是世界最大跨径拱桥,并创造了该类型桥梁十余项世界第一;苏通大桥以主跨 1088m 为同期世界第一跨径斜拉桥;舟山西堠门跨海大桥,主跨 1650m,位居悬索桥世界第三;这些大桥的建成标志着我国拱桥、斜拉桥和悬索桥的建设水平已位居国

际先进行列。

1.1.2 大跨径钢桥发展方向

随着科技的发展,新材料和新设备的开发和应用,桥梁建设开始向大跨、新型、轻质和美观方向发展。

1) 桥型不断丰富

从桥型上看,斜拉桥、悬索桥、刚架桥、拱式桥和梁式桥在大跨径钢桥中均有较多应用,其中斜拉桥和悬索桥是现代大跨径钢桥的两种最主要的结构形式,特别是跨越峡谷、海湾、大江、大河等不易修筑桥墩的路段,一般都选择斜拉桥和悬索桥。

2) 跨径不断增大

目前,世界上最大跨径拱桥达 552m(重庆朝天门长江大桥),斜拉桥达 1104m(俄罗斯岛大桥),而悬索桥达 1991m(日本明石海峡大桥)。在建的意大利墨西拿海峡大桥,为主跨 3300m 的悬索桥。

3) 结构不断轻型化

悬索桥采用钢箱加劲梁,斜拉桥在密索体系的基础上采用开口截面,使梁的高跨比大大减小,非常轻盈;拱桥采用少箱甚至拱肋或桁架体系;梁桥采用长悬臂、薄板件等,这些都使桥梁上部结构越来越轻型化。

4) 重视美学及环境保护

桥梁是人类最杰出的建筑之一,闻名遐迩的美国旧金山金门大桥、澳大利亚悉尼港桥、英国伦敦桥、日本明石海峡大桥、中国上海杨浦大桥、南京长江二桥、香港青马大桥等,都是一件件宝贵的空间艺术品,成为陆地、江河、海洋和天空的景观,成为城市标志性建筑。因此,21 世纪的桥梁结构必将更加重视建筑艺术造型,重视桥梁美学和景观设计,重视环境保护,达到人文景观同环境景观的完美结合。

1.2 正交异性板钢桥面铺装

1.2.1 正交异性钢桥面板

正交异性钢板因其具有自重轻、运输与架设方便、施工周期短、造价低、结构性能优等特点,在大跨径钢桥建设中被广泛采用。正交异性钢桥面板由顶板和焊接于顶板上的纵向及横向加劲肋组成,作为主梁的一部分参与主梁共同受力。其中平行于桥轴方向的纵向加劲肋称为纵肋;垂直于桥轴方向的横向加劲肋称为横肋。典型钢桥面结构如图 1.2-1 所示。

现代意义上的正交异性焊接钢桥面系统是德国工程师于 20 世纪 50 年代发明的,有开口肋和闭口肋两种框架系统。其中开口加劲肋截面形式主要有平板形、L 形和倒 T 形;闭口加劲肋截面形式主要有梯形、矩形、V 形和 U 形等。采用闭口肋加劲的扁平钢箱梁因其具有抗扭刚度大、横向抗弯刚度大、整体性强、自重轻、抗风性能优越、安装制造及养护简易等优越性,在公路桥梁中得到广泛应用。

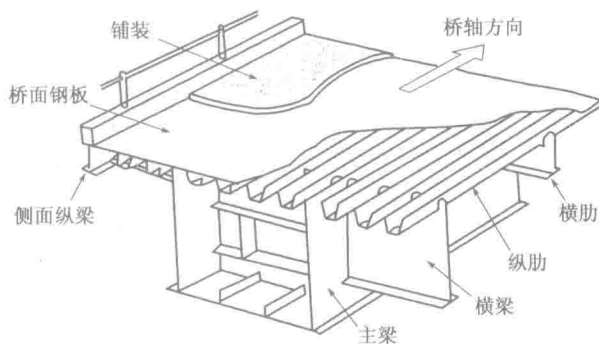


图 1.2-1 典型钢桥面结构图

1.2.2 钢桥面铺装特殊性

随着正交异性板的应用越来越普遍,钢桥面铺装逐渐成为桥梁建设的关键技术之一。铺装技术的好坏,直接关系到桥梁耐久性、行车安全性、舒适度以及经济效益和社会效益。

钢桥面铺装所处的自然环境、使用环境、构造特点、受力形式和施工方法等与传统道路路面结构存在一定的区别,具有以下特点:

(1) 钢桥面板受力复杂、局部变形大,使得钢桥面铺装比普通路面受力更复杂、更不利。

正交异性钢桥面结构纵横两个方向弹性性能不同,同一方向不同位置桥面刚度也存在差异,这些因素造成刚度及变形的不均匀性。钢桥面沥青混合料铺装不同于一般公路沥青混合料路面,它直接铺设在正交异性钢桥面板上,正交异性钢桥面板本身的变形、位移、振动等都直接影响铺装层的工作状态。

由于正交异性钢桥面板柔度大,同时它还受到桥梁结构变形的影响,在行车荷载与温度变化、风载等自然因素共同影响下,其受力和变形较公路路面或机场道面更为复杂,尤其在重型车辆荷载作用下钢桥面板局部变形更大,导致铺装层受力更为复杂和不利。

(2) 受桥梁结构特性的影响,铺装层表面在车辆荷载作用下存在正弯矩区和负弯矩区,因而使用过程中易产生两种不同方式的疲劳开裂。

正交异性钢桥面铺装层的受力模式与一般沥青混合料路面的受力模式不同:由于加劲肋的加劲支撑,在车辆荷载作用下,加劲肋、横肋(或横隔板)、纵隔板顶部的铺装层表面出现负弯矩区,这些部位易产生疲劳开裂现象。

钢桥面铺装层最大拉应力或拉应变均出现在铺装层表面。因此,对于钢桥面沥青混合料铺装,疲劳裂缝从铺装层表面向底面扩展,而对于一般的沥青混合料路面,沥青混合料面层的最大拉应力或拉应变均出现在铺装层底面,疲劳裂缝是从铺装层的底面向顶面扩展(图 1.2-2)。

(3) 由于钢箱梁的储热效应,钢桥面铺装的极端高温值比一般沥青路面高,且持续时间长,铺装层易产生高温变形。

目前我国大跨径桥梁多采用钢箱梁结构,由于钢箱梁是封闭式箱体结构,其内部空气流通性差,造成钢桥面铺装内部温度与外界大气温度变化不同步。由于钢箱梁的储热效应,钢桥面铺装层极端高温值比一般沥青路面高,且持续时间长。已有研究表明,铺装面层最高温度比最

高气温高 20 ~ 25℃ (太阳直射状态下, 在 13:00 ~ 15:00), 因此铺装层的极端高温值可达到 70℃ 以上。

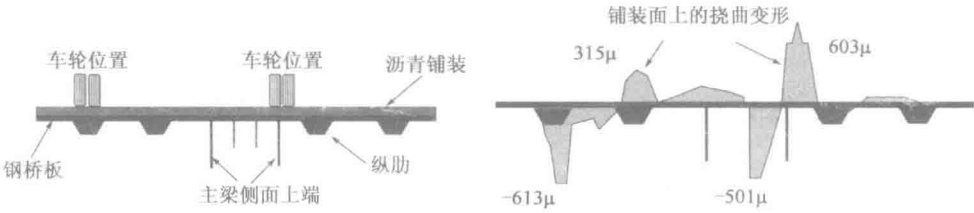


图 1.2-2 正交异性钢桥面铺装层表面变形

(4) 钢桥面板遇水会生锈, 因此钢桥面铺装应具有良好的防水性能, 防止因雨水的浸入对桥面铺装和桥梁主体结构造成不利影响。

钢桥面板遇水会腐蚀, 因此, 钢桥面沥青混合料铺装作为桥梁上部结构的重要组成部分, 要求致密性好, 能作为桥面板的有效防护体系, 防止水分的渗透, 保证桥梁结构的耐久性和安全性。

(5) 大跨径钢桥一般都是重要交通网络的枢纽, 运营期钢桥面铺装维修难度大。

大跨径钢桥一般都是重要交通网络的咽喉要道, 或者是某一地区过江跨海的主要通道, 它的通行情况直接影响到整个路网交通的正常运行。桥面铺装一旦发生破坏, 对交通网的通行能力影响更大, 而且维修更加困难。

1.2.3 正交异性钢桥面铺装组成

钢桥面铺装是直接铺设在钢桥面板上, 保护钢桥并提供满足汽车行驶要求的路表功能层, 与钢桥面结构共同承重, 厚度为 35 ~ 100mm。钢桥面铺装主要由结构层和界面功能层组成,

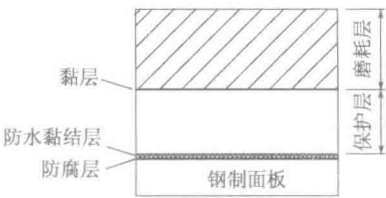


图 1.2-3 钢桥面铺装结构示意图

结构层通常由保护层和磨耗层两层沥青混合料构成。界面功能层指主要起防腐、防水和黏结等作用的层位, 通常包括防腐层、防水黏结层和黏层等, 如图 1.2-3 所示。

磨耗层指钢桥面铺装表面的沥青混合料层, 直接与汽车轮胎接触的层次, 提供承载、抗滑等功能。磨耗层要有优良的高温稳定性、低温抗裂性和疲劳耐久性, 以及优良的平整性、抗滑性及耐磨性。

保护层(铺装下层)位于磨耗层之下, 起到承载和保护下承层的作用, 与防水黏结层等一起组成防水体系, 因此保护层除应具有优良的疲劳抗裂性外, 还应具有良好的水稳定性和防水防渗透性能。

黏层用于保护层与磨耗层之间, 起黏结作用。黏层的类型与铺装结构层相匹配时, 能够取得较好的黏结效果, 在浇注式沥青混合料和改性沥青混合料(SMA、AC)间, 通常选用改性乳化沥青黏结剂, 当铺装结构层有环氧沥青混合料时, 多采用环氧树脂黏结剂或环氧沥青黏结剂。

防水黏结层用于防腐层与缓冲层之间, 起界面联结作用, 并能阻止水分对钢板侵蚀。防水

黏结层材料常用的有甲基丙烯酸甲酯树脂体系、溶剂型沥青黏结剂、环氧树脂黏结剂和环氧沥青黏结剂等。

1.3 钢桥面铺装发展与现状

1.3.1 国外发展与现状

在日本、欧洲、美国等经济发达地区,钢桥面铺装技术研究起步早,经过多年发展,基本形成了自己的铺装体系和典型结构设计方法(经验法)。

1) 欧洲

欧洲是世界上钢桥面铺装研究和应用较早,也是最为成熟的地区。在 20 世纪 60 年代以前,SMA 结构在欧洲的桥面铺装中应用较为广泛,随着大量实体工程的使用效果验证,欧洲很多国家开始采用防水性能、抗疲劳性能优良的浇注式沥青混合料结构代替 SMA 结构,应用于桥面铺装、建筑防水和一些特殊道面铺装工程中。

欧洲有较多国家(德国、英国、法国、荷兰、丹麦、瑞典、波兰、俄罗斯、土耳其等)采用浇注式沥青混合料作为主要的钢桥面铺装材料,但不同国家的浇注式沥青混合料的原材料、施工工艺、采用的标准有所差别,其中包括以德国技术为基础的 Gussasphalt(GA)和以英国技术为基础的 Masticasphalt(MA),两种浇注式沥青混合料的材料组成和施工工艺相似。两者的主要区别是 Gussasphalt 采用拌和站一次性拌和,而 Masticasphalt 通常先用小型拌和站拌制沥青玛蹄脂(沥青、矿粉及 3mm 以下细集料),再掺加粗集料,在 Cooker 中拌制完成,其级配带有断级配特征,施工效率较低。两种浇注式沥青混合料均具备良好的流动性,可自流成型,但两者的级配、油石比范围、检测方法、性能要求等有一定的区别。其中 Gussasphalt 技术应用国家较多,应用工程也较多。

英国与德国钢桥面铺装的主要区别是前者通常采用单层铺装形式,厚度较小,而后者一般采用厚度较大的双层铺装体系。同时英国、德国的钢桥面铺装重视防水体系的设计,防水结构体系组成形式多样。英国开始研究浇注式桥面铺装材料始于 1952 年,在福斯公路大桥和塞文桥上得到较大规模的应用。表 1.3-1 为英国三座典型悬索桥的钢桥面铺装情况。

英国部分钢桥面铺装结构 表 1.3-1

桥梁名称	主跨(m)	钢板厚度(mm)	桥梁类型	建成年代(年)	铺装类型
福斯公路大桥	1005.8	12.7	三跨钢桁架悬索桥	1964	38mm 浇注式沥青混合料
塞文桥	987.55	11.4	三跨钢箱梁悬索桥	1966	38mm 浇注式沥青混合料
亨伯尔大桥	1410	12	三跨钢箱梁悬索桥	1981	38mm 浇注式沥青混合料

此外,瑞典、波兰、俄罗斯等欧洲国家也对浇注式沥青混合料进行了大量的研究和应用。

在波兰,浇注式沥青混合料一般用来作为桥面的防水保护层,面层一般采用 SMA 或 AC 沥青混合料。也有部分钢桥面铺装采用双层 MA 结构,图 1.3-1 为波兰托伦市典型的双层 MA 结构截面图,磨损层设计级配为 MA11,铺装厚度为 4cm,设计单向 2.5% 的横坡。保护层采用

5cm 的 MA16 结构,此种最大公称粒径为 16mm 的混合料是第一次在保护层应用,该混合料相比传统的 4cm MA11 混合料在层间黏结层具有更好的稳定性和抗剪切能力。

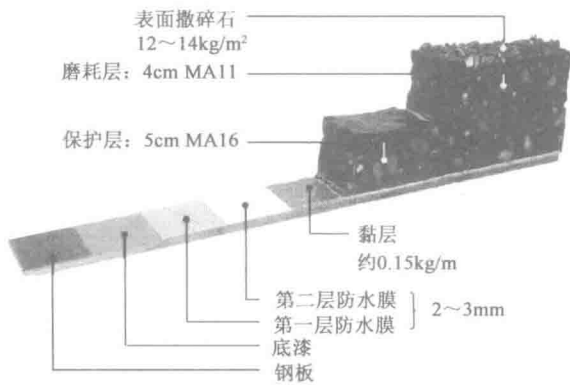


图 1.3-1 波兰托伦市典型的双层 MA 结构

俄罗斯于 21 世纪初将浇注式沥青混合料技术用于钢桥面,从 2000 年开始,JSC“ABZ-1”公司一直致力于将这项技术应用于实践,2002—2014 年期间,ABZ-1 与 JSC“Ecodor”共生产和铺设 MA 约 19 万 t,相当于 150 万 m² 的单层路面,修复了超过 60 座大桥和高架桥的路面及防水层。

在欧洲许多国家,对桥面铺装的结构层功能和防水性能要求相当高。除了桥面铺装防水黏结层要求具有良好的防水效果之外,铺装下层也应该具有很好的防水、密水效果,因而将铺装下层称为保护层,铺装面层称为磨损层,磨损层以下的所有结构层统称为桥面铺装防水结构体系。在钢板喷砂除锈后,实施防水黏结层,防水黏结层种类可分为反应性树脂类材料、防水卷材、甲基丙烯酸甲酯树脂体系等,铺装下层一般采用浇注式沥青混合料。

在欧洲,具有代表性的桥面铺装工程还有德国 Cologne-mulheim rhine 桥、科尔勃兰特桥、Suderel 桥、主跨为 1624m 的丹麦 Great Belt 桥、主跨为 1210m 的瑞典 HogaKuster 桥等,部分桥面铺装使用寿命超过 30 年,防水结构体系使用寿命超过 50 年。

2) 日本

日本于 1950 年着手研究钢桥面铺装,并于 1955 年首先在东京都的新六桥完成了两层沥青混合料铺装。在 20 世纪 70 年代中后期,为解决本州四国联络桥的桥面铺装问题,由多田宏行等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,提出了使用浇注式沥青混合料、改性密级配沥青混合料、环氧沥青混合料为代表的三种铺装结构,铺筑了试验桥。试验结果证明,下层使用浇注式沥青混合料、上层使用橡胶沥青改性的密级配沥青混合料的典型方案,铺装总厚度为 7~9cm,使用效果较好。期间,以多田宏行先生为代表的铺装专家根据日本本国的特点,对德国浇注式沥青混合料的材料组成及相应的技术标准作了较大的调整,逐步形成了符合日本国情的整套技术,并在 1961 年沥青铺装纲要中公布了相关的技术规范,同时在本四联络桥施工时,制定了《本四联络桥钢桥面铺装基准》。

通过对日本国内超过 300 座大桥的统计资料,整理得出日本桥面铺装所采用的铺装结构

和应用情况,如表 1.3-2 所示。

日本钢桥面铺装结构调查资料

表 1.3-2

铺装上层	铺装下层	桥梁数(百分比)
热拌沥青混合料 30~40mm	热拌沥青混合料 40~50mm	83(27%)
浇注式沥青混合料 30~40mm	浇注式沥青混合料 30~40mm	71(23%)
热拌沥青混合料 30~40mm	浇注式沥青混合料 40~50mm	123(41%)
单层热拌沥青混合料 50~70mm		23(8%)
单层 Gussasphalt 50~70mm		3(1%)

在日本,具有代表性的工程是 1985 年通车的大鸣门桥、1998 年通车的明石海峡大桥等,桥面铺装使用寿命已接近或超过 30 年。日本部分桥梁的铺装情况如表 1.3-3 所示。

日本一些钢桥面铺装结构

表 1.3-3

桥梁名称	主跨(m)	桥梁类型	建成年代(年)	铺装下层	铺装上层
明石海峡大桥	1991	三跨钢桁架悬索桥	1998	35mm 浇注式	30mm 改性密级配
大鸣门桥	876	三跨钢桁架悬索桥	1985	35mm 浇注式	30mm 改性密级配
白鸟大桥	720	三跨钢箱梁悬索桥	1998	浇注式+改性密级配沥青混合料(总厚 80mm)	
来岛第二大桥	1020	单跨钢箱梁悬索桥	1999	30mm 改性密级配	35mm 浇注式
南备赞桥	1100	三跨钢桁架悬索桥	1988	浇注式+改性密级配沥青混合料(总厚 75mm)	
北备赞桥	990	三跨钢桁架悬索桥	1988	浇注式+改性密级配沥青混合料(总厚 75mm)	
多多罗大桥	890	钢箱梁斜拉桥	1999	35mm 浇注式	30mm 改性密级配

日本的钢桥面铺装结构取得了一定的成功,绝大部分桥梁都采用下层浇注式+上层改性密级配沥青混合料。

防水黏结层一般采用溶剂型(橡胶沥青)黏结剂,少量使用改性沥青密级配混合料作为铺装下层时,采用改性沥青卷材作为防水层。但卷材在施工过程中容易残留空气,形成气泡,并且边角部位很难贴实,所以,在日本,改性沥青卷材作为钢桥面的铺装防水层并未得到广泛应用。

此外,采用浇注式沥青混合料作为铺装下层的另一个重要原因,是日本 20 世纪 70 年代大量修建钢桁架桥,桥面板的连接大多采用栓接,使用碾压的沥青混合料,难以保证该部位的密实和封水效果。

3) 美国

美国钢桥面铺装工程中环氧沥青混合料应用较为广泛。1967 年环氧树脂沥青混合料首次用作美国 San Mateo-Hayward 大桥正交异性钢板桥面的铺装层,随后开始在美国、加拿大等国家广泛应用,如圣地亚哥大桥、金门大桥等。

美国桥梁钢桥面铺装材料也曾采用过许多其他方案,如美国西克罗恩沃大桥、曼哈顿大桥、Tommaso 大桥等采用了浇注式沥青混合料体系。美国部分桥面铺装结构见表 1.3-4。