

市政钢桥面铺装方案及其经济性对比分析

吴文涛, 蒙洁

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 近年来市政钢桥建设发展迅速, 在城市经济建设中扮演着非常重要的角色, 作为一项非常重要的桥梁构造, 桥面铺装的适用性与经济性也显得尤为重要。通过调研钢桥铺装方案在我国的发展, 根据钢桥面板特点确定钢桥面铺装设计基本原则, 针对现阶段常用的钢桥铺装方案, 介绍其典型结构, 并结合设计原则以及铺装自身特点对其优缺点进行分析, 最后多角度综合对比各铺装方案, 结合其经济性进行总结, 以供钢桥设计时有针对性地选择钢桥铺装方案。

关键词: 钢桥面铺装; 浇筑式; 环氧沥青; 改性聚氨酯; 树脂沥青

中图分类号: U443.33

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0045-04

Comparative Analysis of Municipal Steel Bridge Deck Pavement Scheme and Economical Efficiency

WU Wentao, MENG Jie

(Central South Design and Research Institute of China Municipal Engineering Co., Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: The municipal steel bridges have been developed rapidly in recent years and occupied a very important position in urban economic construction. As a very important bridge structure, the applicability and economy of bridge deck pavement are also particularly important. By investigating the development of steel bridge pavement schemes in China, and based on the characteristics of steel bridge deck, the basic principles of steel bridge deck pavement design are determined. Aiming at the steel bridge pavement schemes commonly used at the present stage, its typical structure is introduced. And combined with the design principles and the pavement characteristics, its advantages and disadvantages are analyzed. Finally, each pavement scheme is comprehensively compared from the multiple perspectives, and is summarized according to its economic performance in order to provide the targeted selection of steel bridge pavement schemes in the design of steel bridge.

Keywords: steel bridge deck pavement; pouring; epoxy asphalt; modified polyurethane; resin asphalt

0 引言

随着我国市政基础设施建设进程加快, 钢结构桥梁的应用范围也在逐渐扩大, 不仅使大跨桥梁、常规高架桥以及立交桥的建设周期缩短, 且对建设场地影响小, 其建设占比也在逐步增加。钢桥面通常采用正交异性钢桥面板, 其本身刚度偏低, 受荷载作用时振动幅度较大, 同时钢箱梁为温度的良导体, 对外界温度变化比较敏感, 因此钢桥面铺装必须能够适应钢桥面的变形, 具有优良的柔韧性和变形随从能力。同时由于日益增长的交通需求, 钢桥面铺装的性能问题也逐渐被工程师们所重视, 对钢桥面铺装的相

关研究也在逐步开展并随着工程实践而完善。

从20世纪90年代开始, 我国钢桥建设开始起步, 钢桥面铺装也随之发展。起初主要以引进发达国家的先进技术为主, 由最开始双层SMA铺装, 到浇筑式沥青GA铺装, 双层环氧沥青混凝土铺装, 再到钢混组合式桥面铺装, 以及近年来在上述铺装方案的基础上使用新技术、新材料等而衍生的新型铺装技术, 如ECO改性聚氨酯铺装技术、ERS树脂沥青组合体系铺装技术等。经过长时间实际工程应用, 双层SMA铺装由于频繁出现开裂、推移、车辙等严重病害, 现阶段已基本不采用。由于我国特殊的地理环境条件, 南北东西跨度大, 气候差异大, 钢桥面铺装的研究与改进也一直在进行, 本文基于现阶段应用较为广泛的几种典型桥面铺装构造、特点及经济性的分析, 为国内钢桥面铺装的设计以及后续研究

收稿日期: 2024-04-01

作者简介: 吴文涛(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

提供参考。

1 钢桥面铺装设计的基本原则

正交异性钢桥面板柔度大,在外界环境如温度和行车荷载等因素影响下,铺装层的受力以及变形规律复杂,因此,相对于混凝土桥面板铺装,钢桥面铺装具有其独特性,如钢桥面与铺装结构之间的连接性能、钢桥面铺装本身的受力模式及破坏模式等均与混凝土桥面板铺装不同^[1],因此钢桥面铺装不仅需要满足路面对于铺装的要求,还应具有与钢桥面特性相匹配的技术性能:

(1)良好的界面黏结性能及抗剪能力。钢板与下层铺装结构之间,各结构层之间需具有良好的黏结力,保证在车轮荷载作用下,能够有效传力,使得铺装结构能够作为整体协同受力。同时还要求界面层之间具有良好的抗剪能力,保证在铺装受到荷载作用时,界面之间不发生相对滑移。

(2)优异的水稳定性和温度稳定性。钢桥面铺装在经过桥面渗水,会造成黏结剂的强度下降,从而产生坑洞、变形等破坏,因此铺装结构对于水稳定性的要求较高,同时钢结构桥梁对于温度相对敏感,无论是高温还是低温,都可能导致铺装结构的破坏,因此也需要具备良好的温度稳定性。

(3)适应钢桥面板的变形能力。正交异性钢桥面板是柔性结构,其与铺装直接承受车轮荷载作用,钢桥面板工作时变形幅度大,因此对于其铺装的要求是既要能承受车轮荷载而不破坏,还要求其能与钢桥面板协调变形,即具有足够的强度以及合适的刚度^[2],以避免疲劳荷载作用下,铺装层与钢桥面板变形不协调而开裂,进而产生破坏。

(4)可施工性强与良好的耐久性。钢桥面铺装相较于混凝土桥面铺装较为复杂,其维修及维护难度大,维修中中断交通造成的社会影响、经济损失等难以估量,因此不仅要求钢桥面铺装初次铺装时具有良好的施工性,也要求其使用过程中应对多变的环境、气候而不破坏,即具有良好的耐久性。

2 常用典型钢桥面铺装方案

钢桥面铺装技术研究一直是一项世界性难题,由于其维修难度系数高,且钢结构易受到环境腐蚀等影响,钢结构的柔性较大,故此钢结构桥面铺装需要适应钢结构在各方面的工作性能。目前应用最为广泛的铺装方案有钢-混组合桥面铺装、浇筑式沥青

混凝土铺装、双层环氧沥青铺装^[3]以及在上述基础上衍生的ECO改性聚氨酯桥面铺装和ERS树脂沥青组合体系铺装。

2.1 钢-混组合桥面铺装

钢-混组合桥面铺装是在我国结合对高性能混凝土的研究的基础上形成的一种特殊的钢桥面铺装,最为典型的铺装结构为保护层为6~8 cm钢纤维混凝土+4 cm中粒式沥青混凝土+6 cm SMA,见图1。最下层保护层采用钢纤维混凝土,并通过剪力件与钢桥面板连接,内设钢筋网,与钢桥面板共同组成钢-混组合桥面板,这样相当于为钢箱梁增加了一个坚固粗糙的表层,既增加了桥面板的刚度,又使得面层与保护层之间连接得更加紧密。而通常这种结构在计算时又不考虑钢纤维混凝土对钢箱梁受力的加成作用,仅作为铺装层考虑。

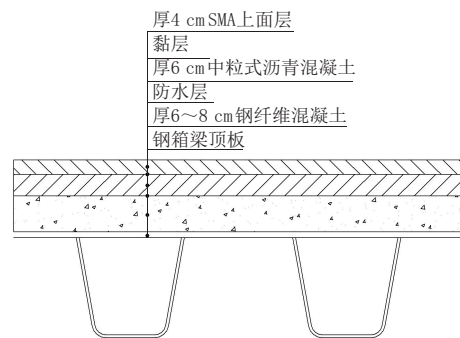


图1 钢-混组合桥面铺装典型结构

钢-混组合式铺装保护层采用钢纤维混凝土,属于一种高性能混凝土^[4],具有高强度以及优良的耐久性,可以大幅度提高桥面的承载能力以及使用寿命,同时由于剪力件的连接,能够很好的与钢桥面板协同受力与变形;作为一种刚性材料且与沥青混凝土界面间的良好连接,其抗车辙、抗滑移以及抗疲劳性能均很优异。

钢混组合式桥面铺装虽然具有优异的抗破坏能力,但由于剪力件以及钢筋网的存在,一旦铺装破坏,检修更换的难度就会大大增加;作为桥面铺装,其铺装厚度较厚,自重较大,可能会导致钢梁指标以及下部结构的用料增加,出现不经济的情况;其次在使用时间长的情况下,铺装结构容易产生微裂缝而造成钢梁腐蚀等病害。该结构通常应用于大规模的高架钢结构或立交钢结构桥梁中。

2.2 浇筑式沥青混凝土铺装

浇筑式沥青混凝土在欧洲研究最早,中国以及其他国家的浇筑式沥青混凝土铺装技术基本参考欧洲,并在引进的过程中,结合国内环境、气候做了调

整,行成了现有国内应用较为广泛的典型浇筑式沥青混凝土铺装结构^[5],见图2。

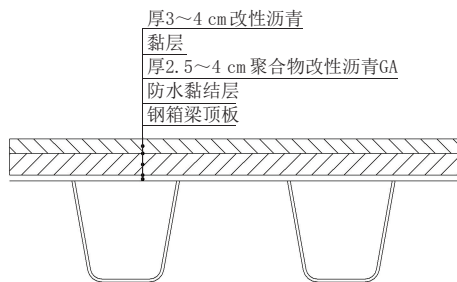


图2 浇筑式沥青混凝土铺装典型结构

浇筑式沥青混凝土作为保护层,热拌沥青混凝土作为磨耗层的双层结构,热拌沥青混凝土一般采用改性沥青SMA。由于SMA铺装技术在国内较为成熟,该种铺装技术的研究主要集中在防水黏结层与浇筑式沥青混凝土层上。

浇筑式沥青混凝土由高含量高黏度的沥青、矿粉高温拌合而成,其特点是在高温状态下(约240℃)进行,摊铺时自动流动密实成型,无须碾压;由于其施工温度高,其施工时基本可以忽略环境对施工的影响,施工质量容易得到保证;浇筑式沥青混凝土孔隙率低,不透水不透气,基本不会出现水损害问题,水稳定性以及耐久性有一定保障;同时浇筑式沥青含量高,变形能力强,抗疲劳性能突出,有良好的变形协调性能。

当然,在实际应用的过程中,也发现了浇筑式沥青混凝土铺装的一些缺点,比如由于沥青含量高,导致其高温稳定性差,容易出现车辙;作为结构层,其与钢结构桥面板之间的黏结力较为薄弱,形成推挤、脱胶等病害;由于其较高的施工温度,对于小半径、低梁高的梁式桥,可能存在摊铺温度应力影响桥梁结构。应用该种铺装方案的有江阴长江大桥、重庆菜园坝大桥等。

2.3 环氧沥青混凝土铺装

环氧沥青混凝土是一种双组份、发生不可逆的固化反应后强度很高的材料,具有优越的性能,在美国等国家的应用非常广泛。我国从20世纪90年代开始对该铺装材料进行研究并引进,通常为双层环氧沥青混凝土结构^[6],其典型铺装结构见图3。

环氧沥青铺装采用新型的环氧沥青作为胶结料拌制生产沥青混凝土,大幅提高沥青混凝土的强度和高温稳定性,满足夏季高温时节重载车辆轮压时不出现车辙变形的需要,同时还可以减小混合料的空隙率,防止桥面铺装出现渗水引发病害。在钢板

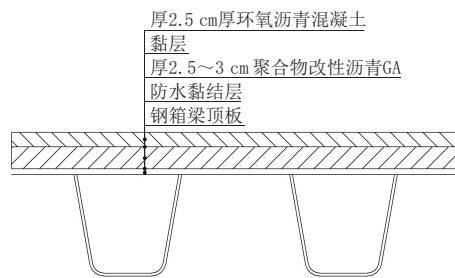


图3 环氧沥青混凝土铺装典型结构

与铺装层之间,采用环氧沥青作为黏结层,将桥面铺装层牢固地粘结在桥面钢板上,避免钢桥面铺装层出现推移开裂等病害。

环氧沥青混凝土对施工环境条件要求严格,施工界面不能存在任何水分,空气的高湿度、工人的汗水、设备的滴水都将导致后期使用过程中产生“鼓包”病害;环氧沥青混凝土运营至8~10 a以上时,易出现温缩裂缝和疲劳裂缝,且治理难度大,寿命周期结束后的环氧沥青混凝土废料回收难度大;环氧沥青混凝土对石料的要求过高,相关规范要求集料采用精品玄武岩,对于大多数项目来说都是一项不小的负担。应用该种铺装方案的有南京三桥、润扬大桥和广州珠江黄埔大桥等等。

2.4 新型钢桥面铺装技术

基于上述常用铺装方案,国内近年来针对保护层的研究在进一步加深,从而形成了多种新材料保护层+SMA磨耗层的铺装方案,其中最为典型的就是ERS树脂沥青混凝土铺装(见图4)以及ECO改性聚氨酯混凝土铺装^[8](见图5)。

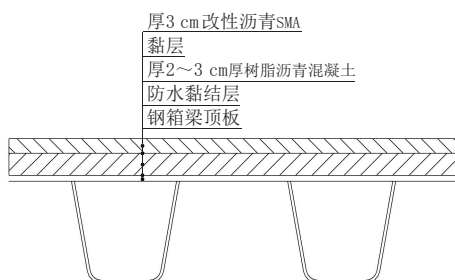


图4 ERS树脂沥青混凝土铺装典型结构

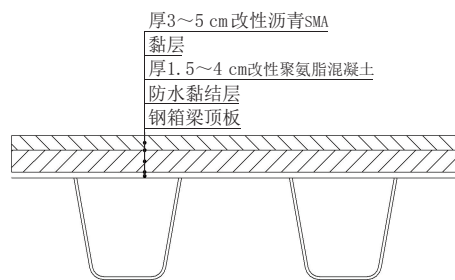


图5 ECO改性聚氨酯混凝土铺装典型结构

ECO桥面铺装与ERS桥面铺装的理念就是调整保护层与钢板界面间的防水黏结层,然后通过保护

层将钢板表面改造为类似混凝土桥面的界面,再搭配传统沥青混凝土面层使用。

ERS桥面铺装于2005年首次应用于西陵长江大桥,并且在应用过程中不断完善改进,整体上来说具有施工简便、材料易于获得、防水性能和耐久性能优良,但也存在SMA层的疲劳开裂,SMA与保护层间脱落等病害^[7]。

ECO钢桥面铺装是近年来国内发展起来的一种新型铺装材料,具有强度高、韧性好、施工简便、整体粘结强度高、防水防腐性能好、同时强度成型快等优

点^[9],但其发展与应用实践较为短暂,能否适应国内复杂的地理气候环境等,仍需后续工程检验以及科研人员进一步研究。

3 钢桥面铺装对比分析

不同钢桥面铺装的使用需要根据不同的环境、气候条件进行选择,而且还需要从性能、施工工艺以及工程造价等各方面综合比选确定,以符合特定工程。以下总结了文中所提到的典型钢桥面铺装特点,形成综合对比表,见表1。

表1 典型钢桥面铺装综合对比表

铺装结构	工程内容	施工简便性	温度稳定性	防水防腐性	耐久性	与钢板协同受力能力	可维修性	养护期	估算铺装单价/(元·m ²)
钢-混组合式	8 cm 钢纤维混凝土(含剪力钉、钢筋网)+ 4 cm AC+6 cm SMA	一般	良	中	良	优	差	7 d	600
浇筑式	4 cm GA+4 cm SMA	一般	中	良	优	优	良	2~3 d	900
环氧沥青	3 cm 环氧沥青混凝土+2.5 cm 环氧沥青混凝土	复杂	优	良	优	优	良	25~40 d	1 500
ERS	3 cm ERS+3 cm SMA	简单	优	优	优	优	良	2~3 d	1 000
ECO	3 cm ECO+4 cm SMA	简单	优	优	优	优	良	4 h	1 200

综上所述可知,在使用性能方面环氧沥青混凝土ERS、ECO的性能优势大,但ERS与ECO需要后续项目验证;在施工工艺以及养护时间来看,ECO要优于其他铺装结构,环氧沥青的施工对环境材料的要求更为严苛。

而在工程造价方面,环氧沥青的造价高于其他铺装结构,钢-混组合式铺装结构最低,但应综合考虑,由于钢-混组合铺装自重大,可能会对钢结构以及下部结构提出更高的要求,其余铺装结构虽然单价高,但其厚度小,自重轻,对结构的要求也会变低,因此使用特定钢桥面铺装的造价需要在实际工程使用中综合评判,并适当考虑寿命周期内的维修成本来选择最为合适的铺装构造。

4 结 语

时代在进步,科技在发展,虽然钢桥面铺装仍然是设计过程中的一大重点难点,但是各国对新工艺、新材料的研究也在逐步完善这一领域。

每一种铺装结构都有其特殊性与适用性,基本原则是必须要满足钢桥面使用的性能要求,包括使用过程中的变形协调性、防水防腐性、温度稳定性,

同时还要考虑项目本身所处的环境、气候以及人文条件,以确定最为合适的铺装方案。

文章旨在对目前使用的典型钢桥面铺装方案进行介绍,供后续设计参考,各类铺装方案的优化设计,工程造价的降低也是后续科研工作者主要的工作方向。

参考文献:

- [1] 黄卫.大跨径桥梁钢桥面铺装设计理论与方法[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [2] 李雪莲.正交异性钢桥面复合铺装结构研究[D].长沙:长沙理工大学,2008.
- [3] 卢辉,胡玲玲.几种典型钢桥面铺装类型的对比[J].科学技术与工程,2009,9(17):5234-5237,5251.
- [4] 李俊兰.钢纤维混凝土铺装钢桥面施工要点与经济性分析[J].上海建设科技,2023(6):60-62.
- [5] 蔡鑫.浇注式沥青混凝土在钢桥面铺装中的应用[J].城市道桥与防洪,2019(10):123-126.
- [6] 冯刚,刘状.大跨径钢桥面环氧沥青混凝土铺装层病害特征及养护对策[J].交通世界,2023(23):167-170.
- [7] 马融,陈飞.ERS钢桥面铺装病害调研及原因分析[J].中外公路,2019,39(3):175-178.
- [8] 李小鹏.ECO改性聚氨酯混凝土在钢箱梁桥面铺装施工中的应用[J].中国储运,2023(4):144-145.
- [9] 赵玺,王佐才,王均义,等.钢桥面铺装ECO改性聚氨酯混凝土耐久性能研究[J].工业建筑,2023,53(增刊2):726-731,735.