

钢桥桥面铺装构建环氧沥青混凝土的研究

罗志强

(广东工业大学 建设学院, 广东 广州 510090)

摘要: 结合钢桥桥面铺装容易产生病害的问题, 分析钢桥桥面铺装产生病害的原因. 根据铺装层和钢板以及铺装上下层间的黏结作用提出满足黏结层要求的环氧沥青; 根据铺装材料自身具有足够的强度与韧性提出环氧沥青混凝土加铺层, 认为环氧沥青混凝土加铺层施工温度控制与时间控制极为重要.

关键词: 钢桥; 桥面铺装; 黏结层; 环氧沥青; 环氧沥青混凝土; 温度控制; 时间控制

中图分类号: U416

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2007)04-0100-04

我国大跨径钢桥桥面铺装的破坏形式更为集中, 主要表现为: 桥面铺装产生不同程度的车辙; 使用初期铺装层即出现纵向裂缝、横向裂缝甚至环状裂缝; 钢板与铺装层之间的黏结力较低或黏结力不足而造成脱层与滑移^[1]. 因此, 钢桥上铺装沥青混合料一直是一个国际性的难题, 究其原因在于: 1) 钢箱梁是刚性体, 铺装层是柔性体, 介于钢梁及柔性铺装层之间的黏结防水层起着承上启下的过渡及黏结作用, 对防止桥面推移、抗裂及铺装层与钢梁体受力至为关键. 如果处理不当, 必将导致桥面的破坏. 2) 与路面材料相比, 铺筑在桥面上的沥青混合料受高温、低温及交通荷载的影响更为严重、更为复杂, 尤其是在水平剪应力的作用下, 铺装层容易产生各种变形破坏. 3) 桥面排水比路面排水更为重要, 不仅影响桥面铺装层的使用质量和服务寿命, 更关系到钢桥结构的安全. 因此, 很有必要研究如何保证铺装层和钢板之间牢固耐久的黏结力, 铺装层能否适应钢板复杂的应力应变状态的问题.

1 常用钢桥黏结层的作用与特点

1.1 钢桥黏结层的作用

为了保证铺装层和钢板之间具有牢固耐久的黏结力, 铺装层应能够适应钢板复杂的应力应变状态, 除要求铺装材料自身具有足够的强度与韧性外, 还取决于铺装层和钢板以及铺装上下层间的黏结作用. 通常, 钢桥黏结层的作用有:

1) 用于铺装层和钢板以及铺装上下层间的黏结. 铺装层和钢板之间因黏结力丧失而脱层是桥面铺装损坏的一种主要表现形式. 一旦铺装层和钢板

之间出现脱层现象, 铺装层在荷载作用下对钢的摩擦冲击会破坏钢板防锈层, 在空气和水分作用下会使桥面板表面发生锈蚀. 因此, 铺装层和钢板之间的良好结合是桥面铺装与钢板面板协同工作的关键. 从国内外钢桥面铺装的破坏情况分析, 黏结层的设计不当被认为是铺装层破坏的主要原因之一.

2) 作为防水层^[2]. 防止水分下渗接触钢板.

3) 用作应变吸收层. 黏结层一般多采用变形能力大的弹性材料, 当桥面钢板在温度变化或行车荷载作用下发生水平向变形时, 黏结层可以吸收铺装层和钢板之间部分相对位移, 从而减少铺装层内应力.

根据上述钢桥黏结层的作用, 钢桥面黏结层的材料必须满足: 1) 具有较强黏结力以及较强的变形能力; 2) 与铺装材料及防腐涂装材料有较好的相容性; 3) 保证铺装层和钢板之间以及铺装上下层能够共同承受各种荷载; 4) 致密不透水; 5) 具备良好的高温抗流动性, 在 240 °C 的短暂高温下不变质、不催化、不流动.

1.2 钢桥黏结层的类型

目前, 应用于正交异性钢桥桥面铺装的黏结材料按施工方法与材料特性的不同, 可以分为:

1) 热熔型黏结材料. 其由沥青掺加树脂 (如松香) 和各种聚合物 (如乙烯 - 乙酸乙烯酯聚物 EVA、聚乙烯 PE、丁苯橡胶 SBR) 等组成. 其优点在于具有一定的变形能力和良好的防水封闭作用, 能够适应交通荷载下由于局部变形引起拉应力的反复作用. 其最大缺点是在高温下容易软化, 黏结力下降.

2) 熔剂型黏结材料. 一般多指乳化沥青和可溶

收稿日期: 2007-04-09

作者简介: 罗志强 (1954-), 男, 副教授, 主要研究方向为路基与路面工程、桥面铺装工程.

性的橡胶沥青。熔剂型黏结材料在高温时容易变软,材料含有热敏性物质,摊铺高温时会释放气体,使铺装层产生气泡。

3) 热固型黏结材料。指环氧沥青,通过在沥青中掺入一定比例的环氧树脂、固化剂与催化剂后,在加热条件下发生复杂的物理化学反应而得到。

1.3 环氧沥青黏结层特点

热固型黏结材料与热熔型黏结材料和热固型黏结材料相比,无论在黏结能力、变形能力,还是在热稳定性方面,都具有明显的优势。通过对选定的环氧沥青黏结材料进行剪切试验和拉拔试验,研究环氧沥青的性能。

根据钢桥桥面铺装的实际使用条件,车辆在桥面行驶是对黏结层所施加的水平剪切力,最不利的情况是在高温条件下,因此可用 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 剪切试验评价黏结层的抗剪性能。

通过在常温 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时对环氧沥青黏结剂与 SMA、环氧沥青混合料及浇注式沥青混合料的拉拔试验,评价黏结层的抗拉拔性能。环氧沥青具有较强的黏结力,环氧沥青混合料的抗拔能力最强, SMA 最差,浇注式沥青混合料的抗拔能力比环氧沥青低,但仍满足要求。

2 环氧沥青混凝土的特性

按环氧沥青不同的用途,可以分为黏结层材料(类型 I d)和混合料的结合料(类型 V)。环氧沥青一般由两种组分组成: 1) 组分 A (环氧树脂); 2) 组分 B (由石油沥青和固化剂组成的匀质合成物)。若两者之间的相容性较差,还需添加介质。

集料应采用干净、坚硬、耐磨的非酸性矿料,表面 100% 为破碎面,形状以立方体为佳。采用集料较粗级配时,铺装层表面宏观粗糙度较大,表面凹凸诱发产生裂缝的可能性将增大,因此采用较细的级配可以延长铺装层的疲劳寿命。然而,采用偏细的级配将减少路面宏观粗糙度,将减少潮湿状态下路面的抗滑能力,由此可见抗疲劳和抗滑是选择级配时的一对矛盾。为减少高温季节太阳辐射对铺装层的升温作用,宜选用浅色集料。矿质填料采用石灰石粉,至少包含 90% 的碳酸钙(按体积计),不含活性石灰。

空隙率是环氧沥青混合料组成设计的重要控制指标,环氧沥青混合料的特性要求空隙率 $\leq 3\%$ [3]。同时,根据马歇尔试验综合考察未固化试件的性能以及钢桥铺装过程中环氧沥青混合料不同于实验室

的固化过程,确定环氧沥青混合料最佳的油石体积比。

2.1 强度特性

由于固化过程的影响,环氧沥青混合料的强度随时间而变化,固化前后有较大的差别:未固化前的试件强度随时间而增加,固化后的试件强度高于固化前的强度。因此,应尽量在环境温度较高时实施桥面铺装,并推迟开放交通有利于环氧沥青混凝土桥面铺装。同时,采用马歇尔试验、劈裂试验、弯曲试验和压缩试验等分析环氧沥青混合料的强度特性 [4-5]。

1) 马歇尔稳定度。从试验中可知,未固化试件的稳定度是随时间增加,反映了环氧沥青混凝土不同于常规沥青混合料的一个性质;固化后的环氧沥青试件的稳定度大于未固化试件,说明高温养护对其力学性能影响很大。

2) 劈裂强度。试验中发现,固化后的环氧沥青试件的劈裂强度远大于未固化试件,说明试件成型后的高温养护对强度的形成起着很大的作用。

3) 弯曲试验。经过对不同沥青混合料在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的弯曲试验可知,环氧沥青混凝土的弯拉强度远远高于 AC 改性沥青混凝土和沥青玛蹄脂碎石混合料 SMA,破坏时的变形(跨中挠度)小于 AC 改性沥青混凝土和 SMA。

4) 抗压强度。试验温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,采用单轴压缩试验测定环氧沥青混合料的抗压强度为 40 MPa 。

2.2 低温性能和变形能力

可以从沥青混合料的低温弯曲试验和低温劈裂试验评价环氧沥青混合料的低温性能和变形能力 [5]。从不同沥青混合料在 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的弯曲试验与在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的弯曲试验的结果对比可以看出,温度降低时, SMA 与 AC 沥青混合料的破坏应变减少较多,环氧沥青混合料的破坏应变减低幅度较小。相对于 SMA 与 AC 沥青混合料,低温时的环氧沥青混合料具有较高的强度和较好的变形能力。

2.3 高温稳定性和水稳定性

从桥面铺装使用过程可知,高温季节桥面铺装的温度可能达到 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$,对铺装层沥青混凝土的高温稳定性提出更高的要求。从不同沥青混合料的车辙试验可知: 1) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) 时的 AC 改性沥青混合料的动稳定度为 $2\ 193$ (695) 次/mm; 2) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) 时的 SMA 动稳定度为 $2\ 562$ (694) 次/mm; 3) 环氧沥青混合料试件在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时几乎无变形, $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时稳定度为 $5\ 460$ 次/mm。环氧沥青混合料试件的动稳定度大于其它的沥青混合料,说明具有较高的高温稳

定性;环氧沥青混合料试件在浸水马歇尔试验中表现出好的水稳定性,说明具有良好的抗水损害能力.

2.4 线收缩性能

桥面铺装层的温度变化幅度和速度与普通路面不同,因为铺装层与底部桥面钢板的热变形会相互影响和制约.如果铺装层和钢板的热收缩系数相差过大,温度应力可能导致铺装开裂或层间滑移.由于收缩病害主要发生在低温区域,因此可在 $-15\sim-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 测定环氧沥青混凝土的线收缩系数.试验结果表明:无论何种温度区间,环氧沥青混凝土的线收缩系数为 $1.3\times 10^{-5}\sim 2.5\times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;钢桥面的线收缩系数为 $1.1\times 10^{-5}\sim 1.4\times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.环氧沥青混凝土的线收缩系数与钢桥面的线收缩系数相差不大,尤其在低温情况下两者几乎相等.因此,采用环氧沥青混合料作为钢桥桥面铺装层的材料,对于由温度引起的铺装层与桥面钢板之间的剪应力的消除最为有利.

2.5 抗疲劳性能

对环氧沥青混合料、SMA、浇注式沥青混合料及优质改性沥青混合料的抗疲劳开裂性能可以通过间接拉伸结果加以描述^[6].进行疲劳试验时,取试验荷载为其劈裂强度的一半.结果表明:环氧沥青混凝土的抗疲劳性能最好.同时,对环氧沥青混凝土实施耐油腐蚀性试验,结果表明汽油对环氧沥青混凝土的腐蚀最小,柴油和机油进入环氧沥青混凝土中后不易发挥,但对其腐蚀也很小.

3 环氧沥青混凝土的设计与施工

3.1 铺装结构的确定

对于大跨径钢桥,建议采用图1的环氧沥青混凝土铺装方案.图1中①为铺装面层,采用厚度为25 mm的环氧沥青混凝土;②为黏结层,采用环氧沥青,喷涂率为 0.45 L/m^2 ;③为铺装层下层,采用厚度为25 mm的环氧沥青混凝土;④为黏结层,采用环氧沥青,喷涂率为 0.68 L/m^2 ;⑤为防锈层,采用环氧富锌漆,厚度为 $40\sim 80\text{ }\mu\text{m}$;⑥为厚度14 mm的16 Mnq钢桥面板,施工时必须喷砂除锈,达到Sa2.5级;⑦为边侧防水涂层,采用环氧沥青.

3.2 喷涂黏结层

为了防止桥面上凝聚的水分破坏黏结层和钢板之间的黏结力,桥面温度和气温必须 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时才能施工.在喷涂环氧沥青黏结层之前,桥面钢板应先进

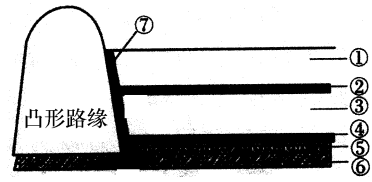


图1 环氧沥青混凝土铺装结构示意图

行喷砂除锈,采用特殊的洒布设备喷涂环氧富锌防锈漆.为了有利于环氧沥青黏结层的喷涂施工并引起化学反应,组分A(环氧树脂)加热至 $82\sim 93\text{ }^{\circ}\text{C}$,组分B(固化剂和沥青)加热至 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$,通过一个计量系统按规定比例混合后经混合器(反应器)和喷涂杆喷到桥面钢板上.

4.3 环氧沥青混凝土的拌制与摊铺

环氧沥青优异性能的化学反应开始于环氧树脂、固化剂改性沥青和集料在拌制过程中的混合时刻.环氧沥青由专门混合机混合并保持在要求的工作温度范围($135\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)内,然后通过专门管道添加到搅拌器中与集料混合.环氧沥青混合料的出料温度控制在 $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,利用红外线测温仪测量.在拌制温度下,环氧沥青的化学反应使结合料黏度逐渐增加,故要求环氧沥青混合料在温度下降至规定最小值之前应摊铺并压实.因此,环氧沥青混合料的拌制过程,温度控制与时间控制极为重要.否则,将导致混合料硬化、变成不可操作的块体.

采用常规的摊铺机和压路机进行摊铺和压实环氧沥青混凝土.为了保证环氧沥青混合料具备摊铺时的规定温度范围,要求摊铺机上的熨平板在摊铺前先用板上的燃烧器加热,加热温度不能超过铺装混合料自身的温度 $110\sim 121\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[8].环氧沥青混合料的初压必须紧跟铺装层的摊铺,但初压完成之前的铺装层温度不得低于 $83\text{ }^{\circ}\text{C}$.复压压路机和终压压路机应紧跟在初压压路机后面实施碾压,但终压必须在铺装层温度下降至 $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之前完成碾压.

钢桥桥面铺装环氧沥青混凝土的纵向接缝应与交通车道边缘错开15 cm,或位于一条车道中央的1/3区内.为了保证环氧沥青混凝土面层间的接缝牢固顺直,可以将摊铺道上的斜坡部分用锯切开,清除斜坡部分的材料,并在直锯切开的表面喷涂黏结层材料.

环氧沥青混凝土铺装面层在施工期间必须严格控制用水,保证碾压过程中沥青混合料温度不致下降得过快,避免面层产生鼓包.虽然环氧沥青混凝土

铺装面层的最终强度形成需要 5~7 周,但只要环氧沥青混凝土面层冷却至室温 2 h 后即可开放交通。

4 结束语

钢桥桥面直接承受着交通荷载的反复作用,要求桥面铺装层具有良好的高温稳定性、低温抗裂性、耐疲劳性,因此应选用性能优越的环氧沥青作为黏结料。工程实践证明环氧沥青混凝土铺装面层能克服钢箱梁桥面铺装层常见的早期损坏,能延长桥面铺装层的使用寿命,能加强对钢箱梁桥结构的保护,减少了养护费用,具有巨大的经济效益与社会效益。但有关环氧沥青混凝土的铺装层维修技术与再生利用技术,尚需进行大量的研究与探索。

参考文献:

- [1] 罗志强,王育清. 钢箱梁桥面沥青混凝土铺装技术分析 [J]. 公路交通科技, 2007 (5): 106-110.
- [2] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防 [M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [3] 罗志强. 沥青路面空隙率对工程质量的影响分析 [J]. 广东工业大学学报, 2006, 23 (3): 36-40.
- [4] 徐世法,季节,罗晓辉,等. 沥青铺装层病害防治与典型实例 [M]. 北京:人民交通出版社, 2005.
- [5] JTJ 014 公路沥青路面设计规范 [S]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [6] 罗志强. 不同因素对沥青路面使用性能的影响分析 [J]. 广东工业大学学报, 2005, 22 (3): 109-112.
- [7] 孙立军. 沥青路面结构行为理论 [M]. 上海:同济大学出版社, 2003.
- [8] GB 50092 沥青路面施工及验收规范 [S]. 北京:中国计划出版社, 1997.

Analysis of Steel Bridge Deck Surface with Epoxy Bitumen Concrete

LUO Zhi-qiang

(Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: In view of the disease very likely to be got by the steel bridge deck surfacing, the reasons for it are analyzed. The epoxy to meet the requirements of the cohesive course is presented in accordance with the cohesive role of the deck surfacing course and steel plate between the up and down deck surfacing course, and the epoxy bitumen concrete for the deck surfacing course is presented in accordance with the deck surfacing materials to have enough strength and toughness. It is argued that construction temperature control and time control of the steel bridge deck surfacing of the epoxy bitumen concrete are very important.

Key words: steel bridge; bridge deck surfacing; cohesive course; epoxy bitumen; epoxy bitumen concrete; temperature control; time control