

钢桥面铺装现场实测性能对比研究

唐佑绵¹, 刘书君², 范海琪³

- (1. 中国铁路广州局集团有限公司广州工务大修段, 广东 广州 510100;
2. 干旱荒漠区公路工程技术交通行业重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830000;
3. 新疆农业大学 交通与物流工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 现有桥面铺装相关研究在室内实验性能方面较多, 在实际使用性能方面研究较为匮乏。采用路面使用性能指数评价与室内试验相结合方法对环氧沥青铺装和复合式铺装(沥青玛蹄脂+浇注式沥青混凝土)两种铺装层的现场使用性能进行对比分析。路面使用性能检测结果表明: 两种铺装的国际平整度指数与横向力系数基本相当, 复合式铺装的车辙深度大于环氧沥青铺装。间接拉伸动态模量试验表明: 铺装层动态模量与加载频率成正比, 与温度成反比, 环氧沥青铺装动态模量大于复合式铺装。GPC 试验结果表明: 环氧沥青铺装病害区与无病害区 LMS 比值差异显著, 复合式铺装则不明显; 集料筛分结果显示推移拥包区浇注式混凝土细集料比例较无病害区高 50% 以上。两种铺装的病害各有特点, 但都与层间结合不良或失效有关。

关键词: 桥梁工程; 实测性能; 凝胶渗透色谱分析; 桥面铺装; 动态模量

中图分类号: U433.33

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2018)03-0058-10

桥面铺装的作用是防止荷载与环境对桥面直接影响并给车辆提供一个平稳的行驶表面^[1]。沥青混合料相较于水泥混凝土密度更小因而可减少桥梁恒载, 同时沥青路面相较于水泥混凝土桥面行驶舒适性更佳, 因此, 沥青混合料常用于桥面铺装。沥青桥面铺装层一般由沥青面层和黏结层组成, 其中黏结层位于沥青面层与钢桥面之间^[2]。沥青面层的设计目的在于提供一个平稳的行车表面以将荷载均匀地传递至钢桥面, 通常面层为单层或双层铺装^[3]; 黏结层在面层与钢桥面之间, 主要作用是防水与层间结合。无论从受力状态还是使用环境而言, 桥面铺装与普通的路面是完全不同的, 因此对于铺装材料选择有特殊要求^[4]。通常选用优质原材料以达到更好的力学性能。聚合物改性沥青和环氧沥青等材料常被用于桥面铺装, 以减少永久变形和开裂^[5]; 沥青玛蹄脂(SMA)常作为防渗层保护钢桥面板免受水的侵入^[6]; 天然沥青(如特立尼达湖沥青)被掺入沥青混合料中, 以抵抗正交异性桥面的应

力^[7]。到目前为止, 有多种新型的铺装材料和铺装结构应用于桥面铺装^[8]。

虽然优质的铺装材料不断应用在钢桥的铺装上, 但仍有许多桥面铺装发生病害。病害的存在将对桥面和桥梁主体结构的使用性能造成负面影响。如桥面铺装开裂可导致水侵入使钢材腐蚀; 推移拥包和车辙将影响行车舒适性与安全性。裂缝通常是在荷载作用下沿正交异性板加劲肋方向由上至下发展^[9]; 推挤或推移与黏结层失效有关。

目前, 国内外对铺装材料力学和实验性能研究较多, 但对桥面铺装现场长期使用性能研究还比较缺乏。而且从现场反映出来的情况来看, 一些在实验室测试中表现良好的铺装材料未必能在实际使用中获得良好的性能。因此, 对桥面铺装的现场使用性能研究具有重要意义。基于此背景, 本文将对环氧沥青铺装和复合式铺装(SMA+GA: 沥青玛蹄脂+浇注式沥青混凝土)的现场使用性能进行对比分析, 包括车辙深度、国际平整度指数和横向力系数; 钻芯取样进行动态模量和

GPC 试验,分析桥面铺装病害的产生与发展。该研究将为铺装材料性能的研究、改进混合料设计和铺装层设计提供有用的信息。

1 研究对象基本情况

两种铺装类型的桥梁位于广东省肇庆市境内(G55 二广高速)。桥面均由正交异性钢面板组成。A 桥主跨 510/540 m, B 桥主跨 420/450 m, C 桥主跨 450/360 m 和 D 桥主跨 380/380 m(桥 D), 4 座桥于 2010 年同时开通。A 桥与 C 桥采用双层环氧沥青铺装层,这是一个典型的正交异性钢桥面铺装层。该技术起源于美国(见图 1)^[9]。环氧沥青铺装由两层环氧沥青层组成,每层厚度为 25 ~ 30 mm,环氧沥青黏层为环氧树脂与固化剂配比形成,提供层间黏结作用;环氧富锌涂料作

为防腐底漆涂刷在钢面板上;其下使用 S94 底漆,桥面铺装施工前需对钢桥面板做喷砂处理。

B 桥与 D 桥采用沥青玛蹄脂(SMA)与浇注式沥青混凝土(GA)复合铺装,其中浇注式沥青混凝土作为黏结层,沥青玛蹄脂作为磨耗层。浇注式沥青混凝土最初由德国开发^[10]。浇注式沥青混凝土通常包含了大比例的矿粉(通过 200 号筛比例 20% ~ 30%)。因此,随着集料表面积的增加沥青含量也随之增加。之所以将浇注式沥青混凝土应用于桥面铺装,是因为浇注式沥青混凝土具有很好的密实性,可以阻止空气与水的侵入;另外,浇注式沥青混凝土也表现出良好的抗疲劳开裂性能^[11]。然而,高油石比和悬浮密实结构使其抗车辙性能降低。因此,通常在浇注式沥青混凝土中添加抗车辙剂以增强抗车辙性能(见图 1)。

环氧沥青混合料,30 mm	SMA-10,35 mm
环氧沥青黏层,0.45 L/m ²	改性乳化沥青黏层,300 ~ 500 g/m ²
环氧沥青混合料,25 mm	GA-10,25 mm
环氧沥青黏层,0.68 L/m ²	改性乳化沥青黏层,100 ~ 200 g/m ²
环氧沥青富锌底漆,60 ~ 80 μm	甲基丙烯酸树脂防水层,2 500 ~ 3 500 g/m ²
S94 底漆,200 g/m ²	S94 底漆,200 g/m ²
钢桥面板喷砂处理	钢桥面板喷砂处理
钢桥面板	钢桥面板

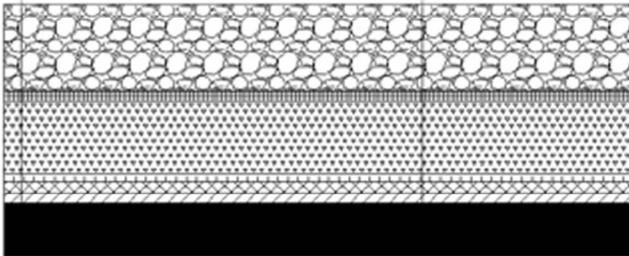


图 1 环氧沥青桥面铺装与复合式(SMA + GA)桥面铺装

Fig. 1 Epoxy asphalt deck pavement and composite deck pavement

2 沥青桥面铺装使用性能评价

本研究根据《公路技术状况评定标准》对沥青铺装层的使用性能进行了评价,包括车辙深度(RD),国际平整度指数(IRI)和横向力系数(SFC)^[12]。RD 和 IRI 分别反映了路面在纵向和横向上的几何构造深度;SFC 表示路面的抗滑性能,是行车安全指标。两个铺装层的性能比较如图 2、图 3 和图 4 所示。路面状况的数据收集为 50 m 一次,一般情况下,第 2、3 车道上的 RD 和 IRI 都大于第 1 车道,这表明超车道的该性能优于行车道。而第 2、3 车道的 SFC 略低于第 1 车

道,表明第 1 车道的磨耗损失超过第 2、3 车道。这与我们轴载谱调查的结果是吻合的。第 1 车道(超车道)通行的车辆速度较快,车次较多,但轴重较小,而第 2、3 车道标准 6 轴货车较多,车速较慢而轴重较大。为了排除车道荷载分布对路面性能的影响,设定在第 2 车道上对两种铺装层进行了比较。使用 T 检验进行假设检验,假设两个样本的方差不相等。结果列于表 1。令显著性水平为 0.05, H_0 假设表示为公式(1),表 3 中的 t 统计量是根据公式(2)计算, H_0 假设的拒绝域表示为公式(3)。

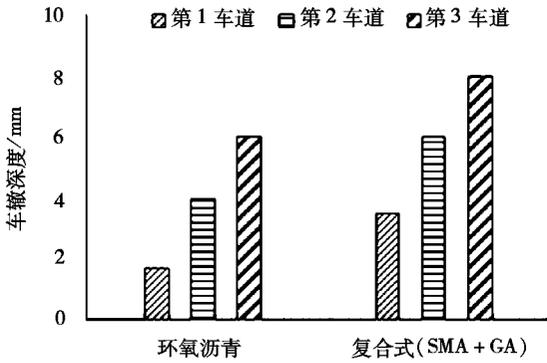


图 2 两种铺装层车辙深度对比

Fig. 2 Comparison of rutting depth between two types of pavement

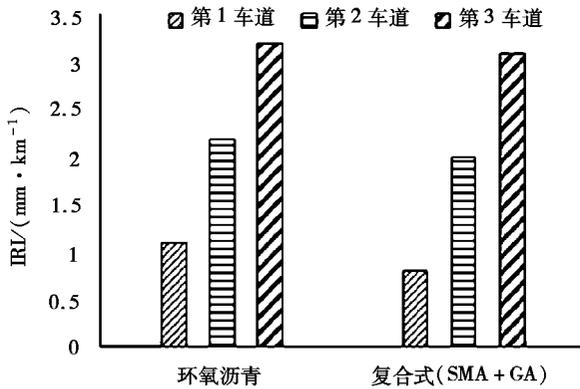


图 3 两种铺装层平整度指数对比

Fig. 3 Comparison of IRI between two types of pavement

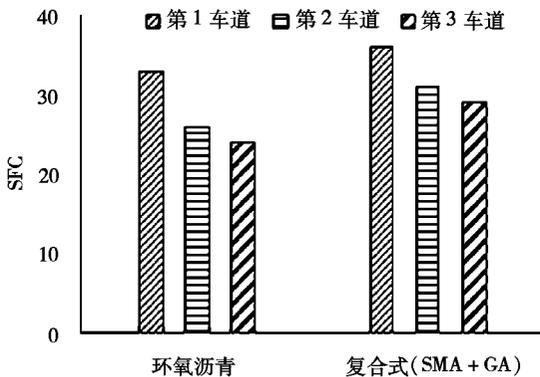


图 4 两种铺装层横向力系数对比

Fig. 4 Comparison of SFC between two types of pavement

$$H_0: \begin{cases} 1. u_1 - u_2 \leq 0 \\ 2. u_1 - u_2 \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$T_{Statistic} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2)$$

$$\text{if } \begin{cases} 1. t \geq t_a \\ 2. t \leq -t_a \end{cases} \neq H_0 \quad (3)$$

由表 1 可知,两种铺装层在乘坐舒适性(IRI)和防滑性(SFC)上并无显著性差异(显著性水平均小于 0.05)。但复合式(SMA + GA)铺装的车辙深度(RD)值高于环氧沥青铺装,表明复合式铺装的抗车辙性能可能不及环氧沥青铺装。国内诸多室内试验表明,环氧沥青混合料的性能优于复合式铺装(SMA + GA),现场调查的结果与之相一致^[13]。

压实可能是另一个影响因素。车辙试验中永久变形的变化可分为 3 个阶段,即固结、蠕变阶段和破坏阶段^[14]。固结变形与初始空隙率有关,初始空隙度越大,压实度越低,固结变形越大。环氧沥青混合料的设计空隙率为 2%,SMA 为 4%。两种混合料的压实度为 98% 时,环氧沥青混合料的初始空隙率在 4% 左右,SMA 为 6% 左右。随着初始空隙率的减小,压实过程将会相对延长。因此环氧沥青铺装相对来说更加难以被压实。另外,压实温度也是评价铺装层的压实质量的重要指标,但最初施工资料中缺乏该数据。

3 桥面铺装病害现场调查

3.1 环氧沥青铺装

环氧沥青铺装层的早期病害主要是开裂。我们观测到的大多数裂纹为纵向并沿轮迹带分布,表明这些裂纹与交通荷载有关,圆状开裂是该病害的主要表现形式。圆形裂纹区域的芯样表明这些裂纹是从铺装层上表面内部萌生并自上而下的发展;同时也发现在磨损层与连接层之间没有黏

表 1 T 检验结果

Table 1 Result of T-Test

名称	RD		IRI		SFC	
	环氧沥青	SMA + GA	环氧沥青	SMA + GA	环氧沥青	SMA + GA
铺层类型	环氧沥青	SMA + GA	环氧沥青	SMA + GA	环氧沥青	SMA + GA
平均值	4.74	5.81	2.775	2.69	35.08	38.7
方差	1.10	1.94	0.840	0.59	2.03	2.92
T 统计量	-2.10	-0.31	1.52			
显著性指标	0.018	0.008	0.006			

结层,因此,该圆形开裂可能与黏结层失效相关。图5是圆形裂缝形成初期的鼓包,图6为现场钻芯取样样本,图7与图8描述了圆状裂缝的发展过程。因当地为多雨湿热气候,而环氧沥青混合料的空隙率非常低(小于2%),若存在层间积水

就不可能排出。此外,由于表面层很薄(通常不超过4 cm),在太阳辐射下温度升高致使蒸汽大量产生并推动上表面形成水泡。在荷载及内部应力共同作用下环氧沥青表面层将产生裂缝并在隆起区不断发展,导致圆形裂缝。



图5 环氧沥青铺装圆形鼓包与裂缝发育

Fig.5 Circular drum and crack development of epoxy asphalt pavement

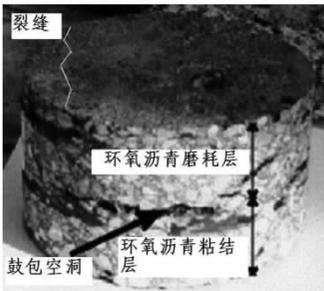


图6 鼓包区域钻芯样本

Fig.6 Core sample in drum area

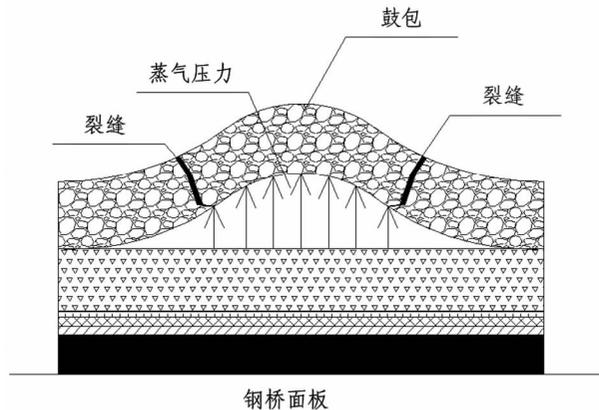


图8 形成的圆形裂缝

Fig.8 Formed circle shaped cracking

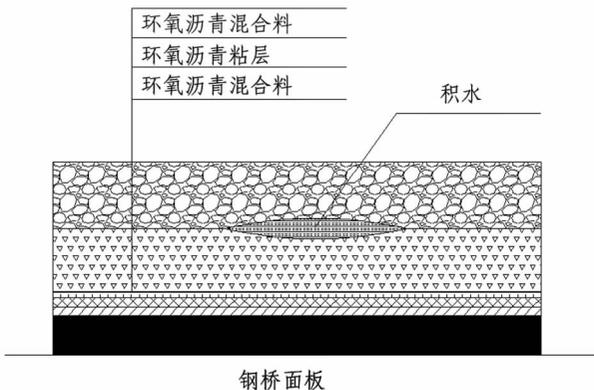


图7 圆形裂缝初期发展

Fig.7 Initial development of circle shaped cracking

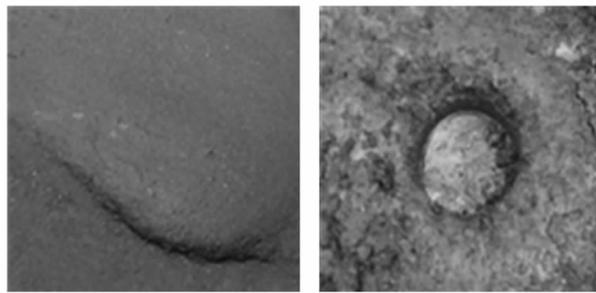


图9 推移区表面状态及钻芯后状态

Fig.9 Surface state and post-core state of the bed load area

3.2 复合桥面铺装(SMA + GA)

推移拥包是复合式(SMA + GA)铺装的典型病害(见图9)。钻芯取样表明,这些病害与黏结层失效有关。推移与交通量的大小有关,并沿轮迹带分布。现场观察第3车道的推移最为严重,部分病害处可见到腐蚀的钢甲板。推移区钻芯取

样可清楚看到样本之间的厚度差约2.5 cm,几乎相当于一个加铺厚度,直观来看减少的这个厚度值可能是浇注式混凝土层。钻芯后可看到防水层仍然完好(见图9),其他非推移区的防水层也清晰可见,这表明防水层与浇注式混凝土层仍处于

完全黏合的状态。因此,我们推测推移发生在浇注式混凝土层与钢桥面板之间,即它们之间可能已经失去黏结作用。图 10 和图 11 演示了推移病害的发展过程。层间结合不良或失效能加速沿剪切界面的剪切破坏。由于浇注式混凝土的抗剪强度低,剪切破坏最初发生在黏结层中,然后在黏结层表面上向上推挤形成挤压。因此,浇注式混凝土层的剪切破坏是导致推移的部分原因。一般来说,推移是黏结层与钢桥桥面层间结合失效与 GA 层剪切破坏共同作用的结果。

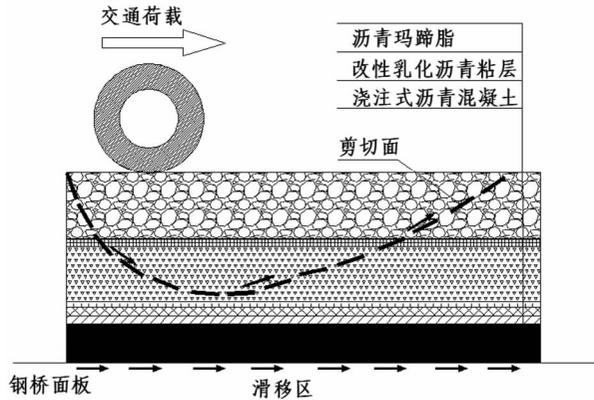


图 10 铺装层的荷载作用下发生剪切破坏
Fig. 10 Shear failure occurs under the load of pavement layer

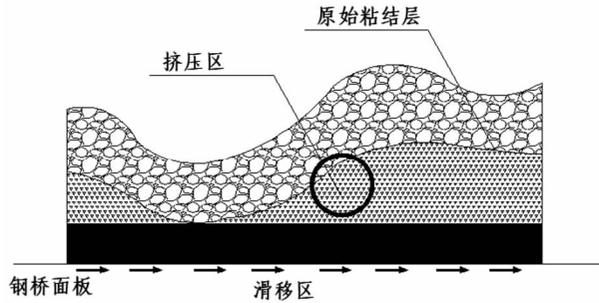


图 11 形成后的推移
Fig. 11 The process after formation

学特性的重要指标;相位角反映了黏弹性材料特殊的应力—应变关系,即应变包含弹性应变与黏性应变,当温度超过某一温度时还将产生塑性应变。弹性应变具有瞬时性,黏性应变具有延时性,而塑性应变具有不可恢复性。动态加载主要通过荷载水平和加载频率来实现;环境因素主要考虑围压和温度作用,在本次研究中使用间接拉伸动态模量试验,因此并没有施加围压。温度的作用范围从 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$,该温度范围基本涵盖了混合料所有工况;加载频率从 0.1 Hz 至 25 Hz ,模拟混合料的不同车速状态下荷载作用方式。试验采用 UTM-130 设备,试件从路面钻芯取样(见表 2)。在这里应指出,试验的目的是对比环氧沥青铺装与复合式铺装的现场力学性能,考虑到病害区混合料结构受到破坏,因此试件是在无病害区钻芯得到(3 号、8 号取样点),试验操作过程参照 AASHTO TP62 规范要求进行(见图 12)。

4 间接拉伸动态模量试验与凝胶渗透色谱化学分析

动态模量反映了沥青混合料在动态加载及环境因素共同作用下的动态响应,是表征混合料力

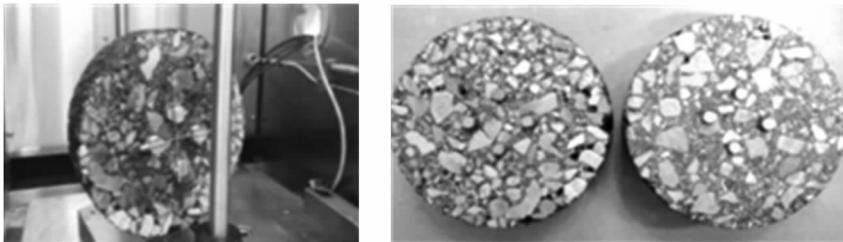


图 12 间接拉伸动态模量试验(右图中第 1 个为环氧沥青铺装,第 2 个为 SMA + GA 铺装)
Fig. 12 Indirect tensile dynamic modulus test(the first is epoxy asphalt deck pavement, the second one is SMA + GA deck pavement)

凝胶渗透色谱(GPC; Gel Permeation Chromatography)分析通过分析分子量分布来表征聚合物性质。GPC 采用大小不同的紧密柱状孔隙结构(色谱柱)将不同分子分离。当溶液通过色谱柱时吸收小分子,使它们在柱中停留的时间更长,而

较大的分子通过较快。其结果是大分子洗脱时间更短。本研究采用折射指数(RI)检测器监测聚合物在洗脱溶剂中的浓度。用四氢呋喃(Tetrahydrofuran)溶剂加入沥青混合料中以制备 GPC 溶液样品。然后将溶液注入 GPC。观察折射指数

表 2 钻芯位置与表面状态
Table 2 Core position and surface state

样本号	铺装层类型	钻芯位置	表面状态描述
1	环氧沥青	A 桥,第 2 车道,轮迹带	圆形裂缝
2	环氧沥青	A 桥,第 3 车道,轮迹带	龟裂
3	环氧沥青	C 桥,第 1 车道,路缘带	表面完好
4	环氧沥青	C 桥,第 3 车道,轮迹带	圆形裂缝
5	环氧沥青	A 桥,第 2 车道,车道中心	横向细裂纹
6	SMA + GA	B 桥,第 3 车道,轮迹带	推移拥包
7	SMA + GA	D 桥,第 2 车道,车道中心	轻度车辙
8	SMA + GA	D 桥,第 1 车道,路缘带	表面完好
9	SMA + GA	B 桥,第 2 车道,轮迹带	横向细裂纹

的变化情况。

在本研究中,色谱分为两片,沥青质(分子大于 3 000)和青蜡烯(分子量小于 3 000 且大于 200)。利用大分子量分析(LMS)来描述不同沥青混合料沥青质的比例与分布情况。LMS 比例按公式(4)确定。回收的沥青样品包括来自双环氧沥青铺装的 5 个钻芯样品和 4 个来自复合式(SMA + GA)铺装的钻芯样品。考虑到试样顶面与底面的铺装材料不同,故在试验中将其分开检测,钻芯点位置与钻芯前的路面表面状态见表 2。

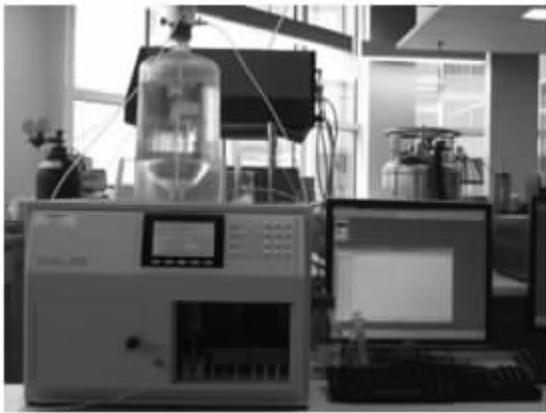


图 13 GPC 试验设备
Fig. 13 GPC testing device

$$LMS(\%) = \frac{\text{分子量大于 } 3000}{\text{分子量小于 } 200} \quad (4)$$

钻芯方法是评价桥面铺装施工质量和使用性能最可靠方法。然而,钻芯时如果控制不好很可能会损伤钢桥面板,因此,我们钻取样本数量只有 9 组。此外,在本次研究中,我们分别从病害区和非病害区收集钻芯样本,这样做的目的在于比较病害区与非病害区的差异,同时也可用于病害发展过程的对比分析。

4.1 动态模量与相位角分析

图 14 和图 15 为 0.5 Hz 与 10 Hz 时的动态模量与相位角变化情况,这 2 个加载频段代表了低速与高速行驶时荷载作用特点。其动态模量值随加载频率的升高而增加,其他频率的变化趋势与之类似。由图可知动态模量随温度的升高而降低。当处于低温状态时(5 °C 以下),环氧沥青铺装的动态模量较复合铺装小,其差值在 10% 以内;在高温状态下(35 °C 以上),环氧沥青铺装的动态模量较复合铺装大,在 50 °C 时大 51% ~ 76%,优势明显。这符合我们的预期,环氧沥青作为一种优秀的铺面材料有着非常好的高温稳定性。

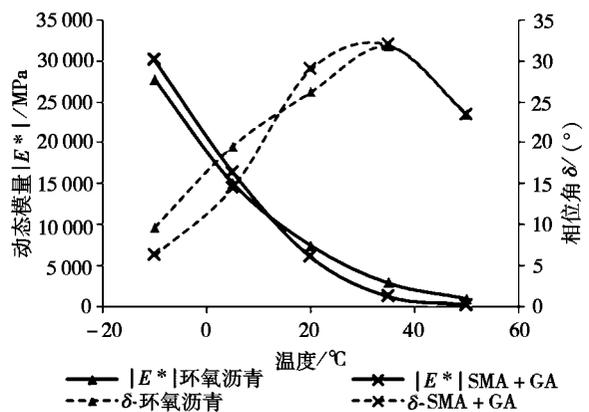


图 14 动态模量对比(0.5 Hz)
Fig. 14 Comparison of dynamic modulus (0.5 Hz)

相位角随温度的升高而逐步增加,当到达某一温度时逐步减小。这一温度称为玻璃化温度,主要由黏弹性材料本身的分子结构决定,另外也与加载频率有关^[15]。分子结构取决于内部的刚性键与柔性键配比,在力学上体现为阻尼的大小。当低于或高于玻璃化温度时,混合料内部的阻尼

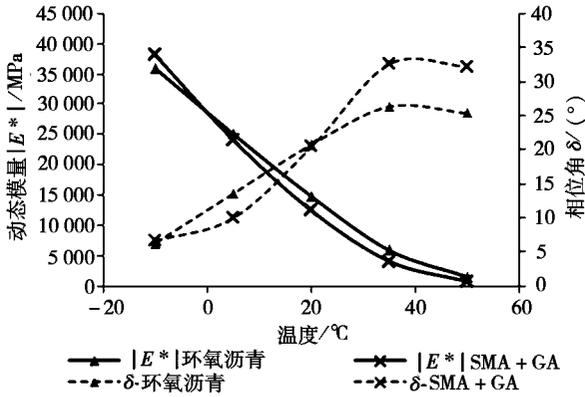


图 15 动态模量对比 (10 Hz)

Fig. 15 Comparison of dynamic modulus (10 Hz)

都较小,达到玻璃化温度时最大。阻尼增大意味着黏性应变增加,相位角相应达到最大值。

4.2 GPC 试验结果分析

4.2.1 环氧沥青铺装

图 16 所示为环氧沥青 GPC 测试结果,该图具有典型的环氧沥青色谱特点。在色谱曲线峰值处提出分子量约 450Dalton,这是环氧树脂与固化剂的反应产物的分子量。图17展示了各钻芯部

位的沥青结合料 LMS 比例。由图中可知,1 号、2 点和 4 号钻芯点的 LMS 差值最大,而在 3 号钻芯点的差值最小,5 号钻芯点的差值略大于 3 号,说明细裂纹对 LMS 值影响不大。由此可知,我们可以用 LMS 值来区分裂区与非开裂区。由于每个试样顶部的 LMS 值相差不大,我们可以认为圆形开裂与铺装表层的环氧沥青混合料无关;底部的 LMS 的差值与黏接失效后形成的圆形裂缝有关,这与我们的实地调查是吻合的。

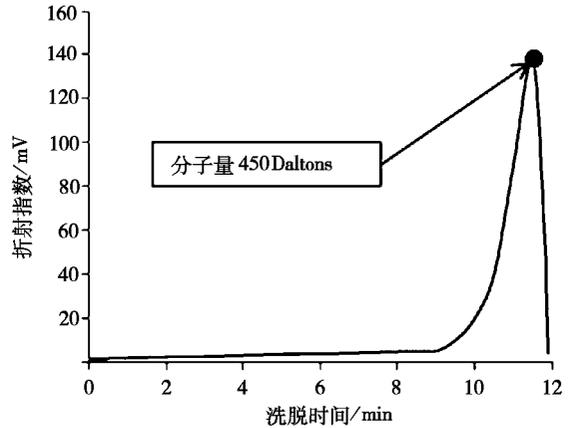


图 16 环氧沥青铺装层 GPC 检测结果

Fig. 16 GPC result of epoxy asphalt deck pavement

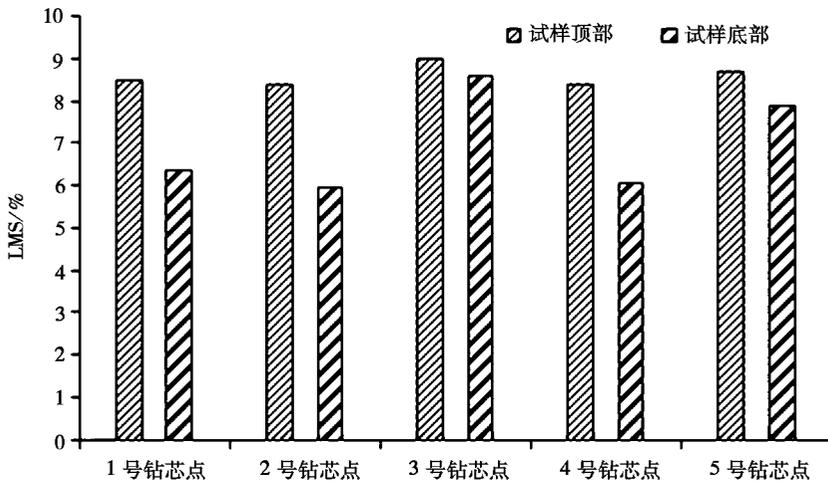


图 17 环氧沥青铺装 LMS 检测结果

Fig. 17 LMS test results of epoxy asphalt pavement

环氧沥青黏层(见图 8)中包含 2 种组分(环氧树脂和固化剂),这 2 种成分的不完全反应是造成涂层失效的原因。此外,反应过程可能受水分的侵入和固化温度较低等因素的影响,这些因素会影响环氧沥青的固化,降低环氧沥青黏层的结合强度。

4.2.2 复合式(SMA + GA)铺装

图 18 所示的复合式(SMA + GA)铺装 GPC 检测结果。当洗脱时间在 8.5 min 和 10 min 时采集到的分子量分别为 18 000 Daltons 和 3 100 Daltons,这些采集到的分子量为沥青质,分子量大于 18 000 Daltons 为高分子化合物。为了提高沥青玛蹄脂或浇注式沥青混凝土的工程性能,通常都

会添加一定比例的高分子化合物。由于沥青玛蹄脂或浇注式沥青混凝土的性能不同,因此所添加的高分子化合物的种类与比例是完全不同的。由于最初的沥青玛蹄脂或浇注式沥青混凝土原样结合料无法获取,因此我们无法判断高分子聚合物对色谱的影响。

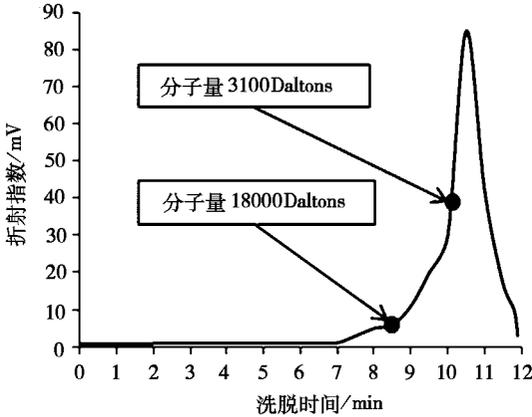


图 18 SMA + GA 铺装层 GPC 检测结果

Fig. 18 GPC test result of SMA + GA pavement

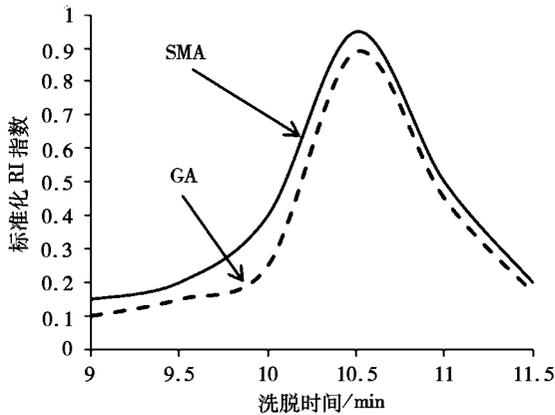


图 19 SMA + GA 铺装层 GPC 检测结果

Fig. 19 GPC test result of SMA + GA pavement

然而,通过对折射指数的归一化,SMA 和 GA 色谱差异仍然可以发现。图 19 为 8 号钻芯点回收沥青的归一化色谱图。为了区别他们之间的差值我们节选洗脱时间 9 min ~ 11.5 min。该图表明 LMS 的主要区别在于沥青质,因此,可以用归一化的 LMS 值表征添加了高分子化合物沥青的分子结构差异^[16]。

图 20 为 6~8 号钻芯点为 LMS 检测的结果。一般来说,顶部的 LMS 值大于底部,这表明 SMA 中沥青质的分子尺寸高于 GA 黏结剂。推移拥包区(6 号和 7 号钻芯点)的 LMS 值和无病害区(8

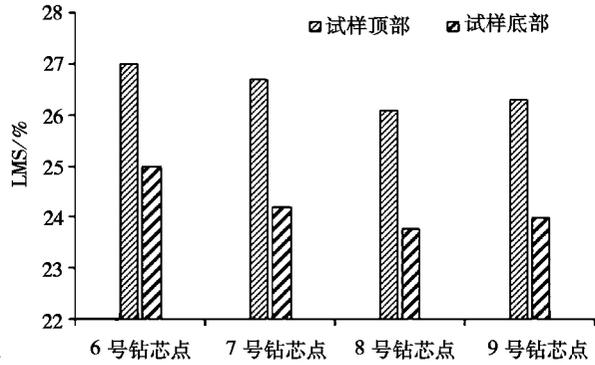


图 20 SMA + GA 铺装 LMS 检测结果

Fig. 20 LMS test results of SMA + GA pavement

号钻芯点)在数值上的差异并不大,即推移拥包区与无病害区的沥青质分子量应当是很接近的,因此推移拥包的发生应与沥青结合料的种类无关。9 号钻芯点处有少许横向细裂缝,该细裂缝在推移拥包区后方,与行车方向相反,其 LMS 值与 8 号钻芯点几乎相当,说明该细裂纹对 LMS 值并无显著的影响。另外,推移拥包区 LMS 值略高于无病害区,这可能与推移拥包产生后空气与水的侵入造成材料的老化有关。

由于没有数据表明推移拥包的发生与沥青结合料有关,因此我们考虑混合料级配对推移拥包的影响。在这里我们选取了 6 号钻芯点与 8 号钻芯点的试样,试样分成 2 部分,即 SMA 所在的上试样顶部和 GA 所在的试样底部。试样经过脱油、干燥和筛分得到的级配曲线如图 21 所示。

如图 21 可见,6 号试样底面与 8 号试样底面的级配曲线差异显著。6 号试样底面 4.75 mm 的通过率为 74.2%,而 8 号试样底面为 54.9%,说明细集料多时更易产生推移拥包;试件顶面的级配曲线几乎平行,通过率相差不大。因此可以推断,剪切破坏在 GA 层中产生并逐步累加,这个结论与之前的分析一致。

一般浇注式沥青混合料空隙率小于 2%,沥青含量超过 7%,作为骨架的粗集料悬浮在细集料与沥青之中,为典型的悬浮密实型结构。该结构几乎不透水,因此可防止水侵入钢桥面;另一方面,施工方更愿意使用大比例细集料来提高和易性,这将给浇注式沥青混凝土的高温稳定性埋下隐患。为了提高浇注式沥青混凝土的高温稳定性,在桥面铺装设计阶段加入车辙试验是必要的,以评价混合料在高温下的抗车辙能力。应当指出的是原有的设计标准不再适用于浇注式沥青混合

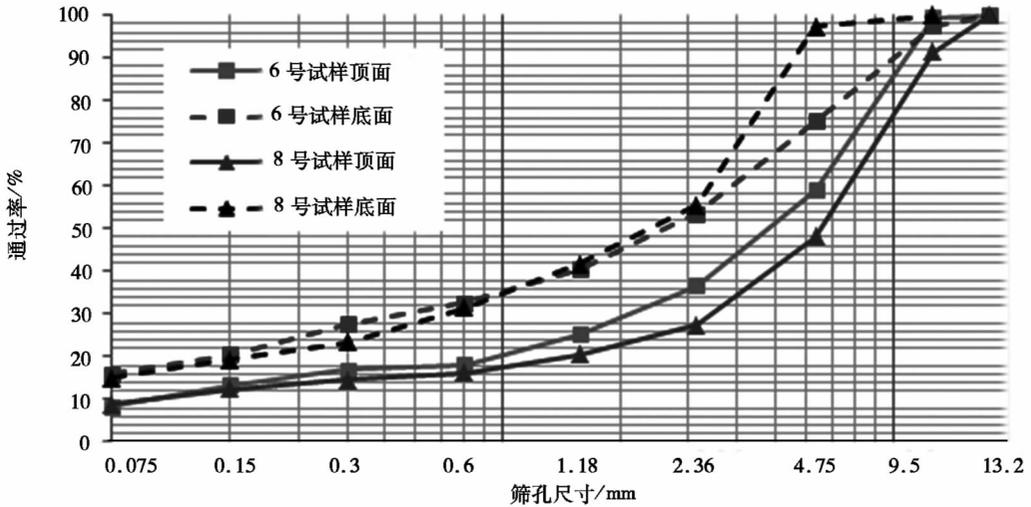


图 21 级配曲线图

Fig. 21 Grading curve

料,这也是复合式铺装产生的原因,如 SMA + GA 的结构。显然,沥青玛蹄脂的抗车辙性能更具优势。需要注意的是沥青玛蹄脂与浇注式沥青混合料的设计是组合设计,若 SMA 层减小了抗车辙性能相应的 GA 层应增加。

5 结论

本文通过现场调查与实验室分析对环氧沥青桥面铺装与复合式桥面铺装的使用性能进行了分析,结论如下:

(1)两种铺装在国际平整度指数和横向力系数相差不大,其差别主要体现在车道分布上。国际平整度指数关系是:超车道 < 主车道 < 慢车道;侧力系数是:慢车道 > 主车道 > 超车道。复合式铺装(SMA + GA)的车辙深度大于环氧沥青铺装。

(2)圆形裂缝是环氧沥青铺装的常见病害,钻芯取样表明裂缝是产生的原因是层间积水气化,并在荷载的作用下自上而下逐步发展;推移拥包

是复合式铺装(SMA + GA)的主要病害,病害是层间结合失效和 GA 层剪切破坏共同作用的结果。

(3)间接拉伸动态模量试验表明:铺装材料的动态模量随温度的升高而降低,随加载频率的增加与增加;在高温状态下,环氧沥青铺装较复合式铺装(SMA + GA)的动态模量更大,低温状态下两者差距不明显。

(4)病害区与无病害区 GPC 试验和 LMS 值表明:环氧沥青铺装病害区和无病害的分子量存在显著差异;复合式铺装(SMA + GA)差异并不显著。试样集料筛分结果表明:推移拥包区浇注式沥青混凝土细集料比例较无病害区高 20%,悬浮密度结构使浇注式沥青混凝土易于产生剪切破坏和永久变形。

本文对桥面铺装破坏的研究主要着眼于材料方面,应当指出的是很多病害的发生与钢桥面板结构、荷载和层间结合状态有关,由于本文的局限性并没有对所有因素进行深入研究。

参考文献:

[1] 钱振东,刘云,黄卫. 桥面铺装体系复合结构动力学分析[M]. 北京:人民交通出版社,2015.
 [2] 庞渊. 环氧沥青混合料钢桥面铺装疲劳性能研究[D]. 西安:长安大学,2010.
 [3] 张翔宇. 行车荷载和温度作用下的沥青路面表面开裂研究[D]. 长沙:湖南大学,2007.
 [4] 邹羽. 钢桥面防水粘结层的性能研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2012.
 [5] 刘少文,张明. SBS 聚合物改性乳化沥青作为桥面防水粘结材料路用性能研究[J]. 工程力学,2009(S1):98-103.
 [6] 王林. 钢桥面 SMA 铺装技术理论与试验研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2002.
 [7] 张涛,吴少鹏,王金刚,等. 特立尼达湖改性沥青性能研究[J]. 新型建筑材料,2009,36(9):64-67.
 [8] 李洪涛. 大跨径悬索桥新型钢桥面铺装结构研究[D]. 南京:东南大学,2006.

- [9] 冯焘. 国产环氧沥青钢桥面铺装材料配合比设计及疲劳特性研究[D]. 西安:长安大学,2015.
- [10] 樊叶华. 大跨径钢桥面浇注式沥青混凝土铺装技术研究[D]. 南京:东南大学,2004.
- [11] 李洪涛,黄卫,吉林. 浇注式沥青混凝土桥面铺装施工技术简介[J]. 桥梁建设,2004(5):67-69.
- [12] 交通部公路科学研究院,上海市公路管理处. 公路技术状况评定标准:JTG H20-2007[S]. 北京:人民交通出版社,2008.
- [13] 刘长波. 基于抗滑性能的钢桥面铺装用环氧沥青混合料设计[D]. 南京:东南大学,2015.
- [14] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 上海:同济大学出版社,2005.
- [15] 周光泉. 粘弹性理论[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1996.
- [16] 杨睿,周啸,罗传秋,等. 聚合物近代仪器分析[M]. 3版. 北京:清华大学出版社,2010.

Comparative Study on in-situ Measured Performance of Steel Deck Pavement

TANG Youmian¹, LIU Shujun², FAN Haiqi³

1. Guangzhou Railway Engineering Overhauling Department, China Railway Guangzhou Group Company Limited, Guangzhou Guangdong 510100, China;
2. Key Laboratory of Highway Engineering Technology in Arid & Desert Region, Urumqi Xinjiang 830000, China;
3. School of Transportation and Logistics Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi Xinjiang 830052, China

Abstract: The existing research on deck pavement is more in laboratory experimental performance. And there is a lack of research on practical performance. The field use performance of epoxy asphalt pavement and composite pavement (asphalt mastic + cast asphalt concrete) was compared and analyzed by using pavement performance index evaluation and laboratory test. The test results of pavement performance show that the international roughness index of the two kinds of pavement is basically the same as the transverse force coefficient, and the rutting depth of the composite pavement is greater than that of the epoxy asphalt pavement. Indirect tensile dynamic modulus test shows that the dynamic modulus of pavement is proportional to loading frequency and inversely proportional to temperature. The dynamic modulus of epoxy asphalt pavement is larger than that of composite pavement. GPC test results show that there is a significant difference in the ratio of LMS between the diseased and non-diseased areas of epoxy asphalt pavement, but not in the composite pavement. The results of aggregate screening show that the proportion of cast concrete fine aggregate in the occupied area is more than 50% higher than that in the disease-free area. The diseases of the two pavements have their own characteristics, but they are all related to the poor combination or failure of the layers.

Keywords: bridge engineering; measured performance; gel permeation chromatography; bridge deck pavement; dynamic modulus

(责任编辑:张英健)