

桥面铺面防水粘结层胶结材料洒布量的确定方法

纪 伦¹, 李云良^{1,2}, 任俊达³, 谭忆秋¹, 张树和⁴

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨; 2. 哈尔滨工业大学 土木工程博士后流动站, 150090 哈尔滨;
3. 辽宁省交通科学研究院, 110015 沈阳; 4. 黑龙江省交通实业总公司, 150001 哈尔滨)

摘要: 为确定桥面铺面防水粘结层胶结材料洒布量, 采用橡胶沥青和两种典型的沥青混合料, 通过设计直向剪切试验和斜向剪切试验研究桥面防水粘结层的力学性能, 分析不同因素对于防水粘结层剪切性能的影响. 试验结果表明, 加载速率的提高, 粘结层最大剪切应力有呈线性增大的趋势; 采用不同温度的对比试验, 同样发现随温度的升高, 其抗剪能力显著衰减. 可以通过剪切试验的剪应力和变形能两个指标评价其剪切性能.

关键词: 桥面铺面; 防水粘结层; 斜剪试验; 直剪试验; 洒布量

中图分类号: U414.1

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2014)04-0057-06

Method of determining the spraying amount of waterproof binder for bridge deck pavement

Ji Lun¹, Li Yunliang^{1,3}, Ren Junda², Tan Yiqiu¹, Zhang Shuhe⁴

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;
2. Post-doctoral Research Center in Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;
3. The Communication Research Institute of Liaoning Province, 110015 Shenyang, China;
4. Heilongjiang Province Transportation Industrial Company, 150001 Harbin, China)

Abstract: In order to determine the spraying amount of waterproof binder for bridge deck pavement, rubber modified binder and two typical kinds asphalt mixtures were used to analyze different factors that affect the shearing properties of waterproof bond layer by skew shear test and direct shear test, the mechanical properties of waterproof bond layer was also studied in the paper. The results show that the maximum shearing stress increases linearly as the loading speed increased, the temperature also has significant effect on the shear performance of waterproof bond layer, with the increase of temperature, the shear resistance performance became worse dramatically. The shear stress and deformation obtained from shear test can be used as the indicators to evaluate the shear resistance performance. Based on the research of above, the method of determining binder spraying amount can be proposed.

Keywords: deck pavement; waterproof bond layer; skew shearing test; direct shear test; spraying amount

桥面防水粘结层的作用在于加强铺面层与桥面板之间连结, 增强桥面板与铺面的整体性, 提高二者协同变形能力和联合承载能力, 从而改善铺

面层的应力状态, 延长公路桥梁铺面层的使用寿命. 国内外对于桥面铺面防水粘结材料开展了大量研究工作^[1-2]. 杨三强等对多种胶结材料的粘结性能进行了研究和评价^[3-6]. 而防水粘结层胶结材料最佳洒布量的确定方法尚不明确. 本文采用橡胶沥青作为胶结材料, 通过 AC-10 和 AC-16 两种不同级配和表面构造特征的沥青混合料与水泥混凝土板之间的剪切试验测试, 研究剪切加载速率、试验温度条件对橡胶沥青防水粘结层的剪切

收稿日期: 2013-03-26.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51078114);

博士点新教师基金资助项目(20102302120058).

作者简介: 纪 伦(1973—), 副教授, 博士研究生;

谭忆秋(1968—), 教授, 博士生导师.

通信作者: 李云良, liyl-hit@163.com.

性能的影响规律,提出了基于荷载—温度特征的防水粘结层胶结材料最佳洒布量的确定方法.为桥面铺面防水粘结层胶结料洒布量的确定提供一定的试验依据.

1 试验设计

沥青混合料的剪切性能,以及面层层间粘结层的抗剪切能力是评价材料、结构力学性能的重要指标.粘结层必须具有足够高的抗剪强度,才能够保证在层间剪切应力的作用下不产生破坏^[7-11],从而保证其有效的粘结性能,保持铺面层与桥面板之间有效的协调变形能力.为测定粘结层荷载作用模式下粘结材料的粘结强度,设计了直向剪切及斜向剪切试验装置,研究粘结层的抗剪切性能,并对两种试验方法的试验结果进行对比分析,进而提出防水粘结层胶结材料最佳洒布量的确定方法.

1.1 试验原理

斜向剪切试验原理如图1所示.测试装置主要由加载板、承载板及滚轴组成.在竖向载荷作用下,上下两块加载板在水平方向产生相对滑动,由滚轴提供滑动的边界条件,加载板的相对滑动会在粘结层处产生剪切应力,剪切应力为

$$P = \frac{F}{A} \sin \alpha. \quad (1)$$

式中: P 为剪应力,MPa; F 为压力,N; A 为粘结面积, mm^2 ; α 为剪切角度.

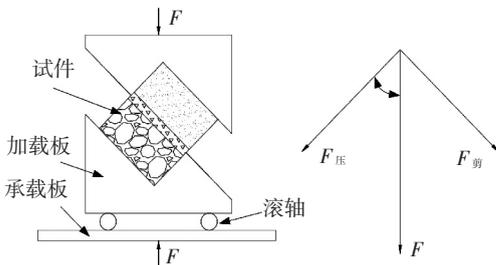


图1 斜向剪切试验原理

直向剪切试验的试验原理如图2所示.直向剪切试验的剪应力为

$$P = \frac{F'}{A}. \quad (2)$$

式中: P 为剪应力,MPa; F' 为拉力,N; A 为粘结面积, mm^2 .

1.2 试件制作与方法

试件为50 mm厚的水泥混凝土(C40)+10 mm厚的防水粘结层+50 mm厚的沥青混凝土.面层沥青混凝土分别采用AC-10及AC-16.试件按照如下过程制作:按照相应规范或规程方法制作50 mm厚的水泥混凝土板;洒布橡胶沥青及碎石;

然后,加铺50 mm厚的沥青层;最终,切割成90 mm×90 mm的试件,如图3、4所示,风干待用.实际加载试验装置如图3、4所示.加载采用MTS辅助实现.

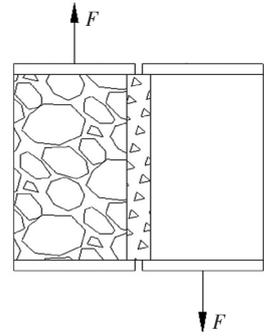


图2 直向剪切试验原理

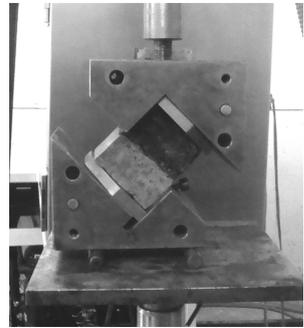


图3 斜向剪切试验装置



图4 直向剪切试验装置

本研究考虑常温和高温的使用环境,试验条件分别为20、50℃.成型后的试件要求在规定的温度下控温不少于4 h,方可进行剪切加载测试.

2 斜向剪切试验分析

2.1 斜向剪切试验中剪切速率对剪切应力的影响

在力学试验中,加载速率对试验结果有较大的影响.试验选取加载速率分别为1、5、9 mm/min进行剪切试验.试验温度20℃.采用的试件和沥青洒布量情况见表1,试验结果如图5所示.

从试验结果可以看出,在线弹性变形阶段,曲线基本是重合的,只是随着剪切速率的增加,其最大剪切应力增大.在剪切应力达到最大值后,剪切应力随着剪切位移的增加,其应力在一定剪切距离内保持相对稳定水平.这是由于在试件发生剪

切滑动的情况下, 由于正应力的作用, 使得滑移过程中防水层中产生了滑动摩擦阻力, 在正应力一定的情况下, 该滑动摩擦阻力也保持不变。

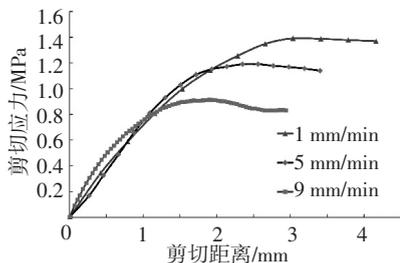


图 5 不同剪切速率情况下剪切位移剪切应力曲线

试验得到的不同剪切速率时的最大剪切应力如表 1 所示, 剪切应力与剪切速率的关系如图 6 所示。

表 1 不同剪切速率情况下的最大剪切应力

加载速率/ (mm · min ⁻¹)	剪切应力/MPa		
	AC-10(洒布量 2.0 kg/m ²)	AC-16(洒布量 2.0 kg/m ²)	AC-16(洒布量 2.4 kg/m ²)
	1	0.91	0.67
5	1.19	1.04	1.21
9	1.39	1.41	1.45

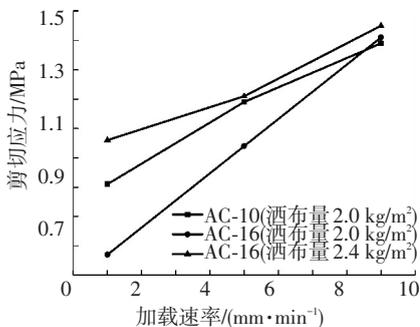


图 6 剪切速率-剪切应力关系曲线

从图 6 可以看出, 在所选定的剪切速率范围内, 剪切应力随着剪切速率的增加呈线性增加, 剪切速率对剪切强度有很大的影响。

可见, 为评价剪应力可采用 1 mm/min 的加载速率进行试验。

2.2 20 °C 的斜向剪切试验

橡胶沥青的洒布量分别为 2.0、2.2、2.4、2.6 kg/m²。试验温度为 20 °C, 加载速率 1 mm/min。剪切变形与剪切应力的关系曲线如图 7、8 所示。

可以看出, 在加载初始阶段, 应力与变形成线性关系, 随着剪切距离的增加, 应力达到最大值, 达到最大剪切应力时的变形在 1.5~4.0 mm 之间。可见橡胶沥青在常温下具有较大的变形能力, 符合粘结层变形协调能力的需求。

对于两类不同的面层沥青混合料 AC-10 及

AC-16 来说, 剪切应力先是随着沥青洒布量的增加而增大, 达到峰值后, 随着洒布量的增加而减小。主要原因在于, 当沥青的用量较小时, 粘结层的碎石不能完全被沥青所裹附, 碎石间的粘结力较小, 所以其粘结力随着沥青用量的增加而增大, 当沥青用量超过一定值时, 沥青膜的厚度增加, 多余的沥青形成自由滑动层, 故剪切应力随着沥青用量的增加而减小。

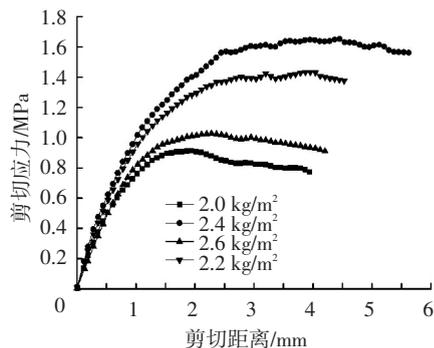


图 7 AC-10 级配的不同洒布量的变形应力曲线

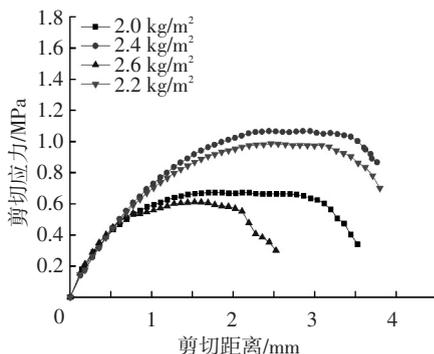


图 8 面层为 AC16 不同洒布量的变形应力曲线

橡胶沥青不同的洒布量情况下的最大剪切应力如表 2 所示。最大剪切应力与洒布量的关系如图 9 所示。

表 2 不同沥青洒布量情况下的最大剪切应力

洒布量/(kg · m ⁻²)	剪切应力/MPa	
	AC-10	AC-16
2.0	0.91	0.67
2.2	1.42	0.98
2.4	1.65	1.06
2.6	1.03	0.61

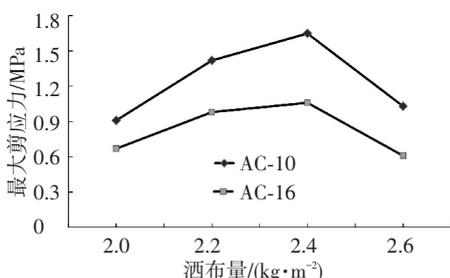


图 9 最大剪切应力与洒布量的关系

在极值点, 剪切距离再增大时, 剪切应力不再

增大,认为结构发生剪切破坏.20 ℃ 时 AC-10、AC-16 剪切应力极值点均出现在洒布量 2.3 kg/m² 处.

根据剪切应力与剪切距离,确定力与位移关系,进而可以计算出不同洒布量情况下结构吸收能量的能力,定义为变形能,其数值的大小可以反映粘结层变形协调能力.计算结果列于表 3,结果绘于图 10.

表 3 斜向剪切试验不同洒布量变形能

洒布量/(kg·m ⁻²)	变形能/J	
	AC-10	AC-16
2.0	9.3	7.1
2.2	30.3	15.0
2.4	41.2	17.0
2.6	13.3	6.0

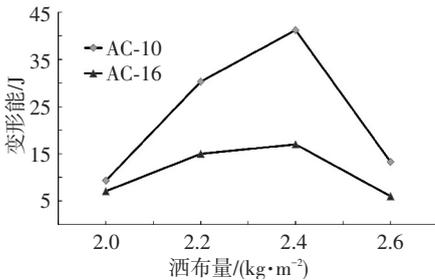


图 10 变形能与洒布量的关系

可见,考虑变形能的 AC-10 面层的最佳洒布量为 2.32 kg/m²,AC-16 面层的最佳洒布量为 2.30 kg/m².

综合考虑最大剪应力和变形能,最佳沥青洒布量确定为 2.30 kg/m².

2.3 50 ℃的斜向剪切试验

橡胶沥青作为一种粘弹性材料,其力学性能受到温度的影响大.通过 50 ℃ 与 20 ℃ 试验的对比分析,研究温度对粘结层层间抗剪性能的影响.

选择剪切试验的温度为 50 ℃,采用斜向剪切试验评价高温情况下试件的剪切特性.鉴于上文的剪切速率的分析,考虑高温下的材料性质,剪切速率取为 5 mm/min.试验结果如图 11、12 所示.

分析可见,在加载初始阶段,剪切应力与剪切距离基本呈线性关系;而达到最大剪切应力后,随着剪切距离的增加,剪切应力出现了振荡变化,之后,剪切应力趋势迅速衰减.与 20 ℃ 时的试验结果相比,二者完全不同.这主要是由于在 50 ℃ 的试验条件下,橡胶沥青的粘度降低,流动性增强,在剪切变形过程中,沥青对石料的滑动阻力降低,甚至起到了润滑的作用,材料厚度(洒布量)对剪切应力的影响降低.同时,斜向剪切试验正应力作用下产生的摩擦阻力由于粘度较小,在沥青的润

滑作用下,导致摩擦阻力总体上减小,所以表现为剪切应力随着变形的增加总体上呈现下降的趋势.

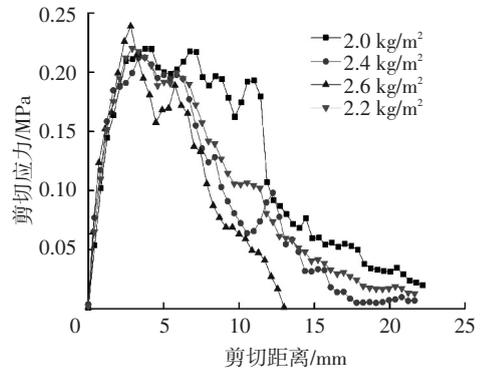


图 11 50 ℃面层 AC10 洒布量的变形应力曲线

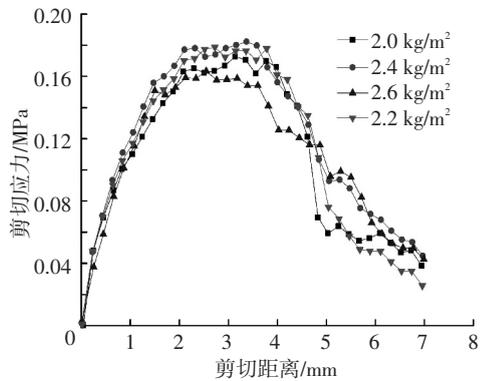


图 12 50 ℃面层 AC-16 洒布量变形应力曲线

此外,从两种情况下的最大剪切应力来看,50 ℃ 情况较 20 ℃ 时下降了 85%,说明温度的升高对抗剪性能产生较大的影响.同时通过图 11、12 也可以看出,在高温情况下,由于沥青具有较大的流动性,这种情况下,沥青的洒布量对于最大剪切应力的影响已不是很明显,不同洒布量下的最大剪切应力数值接近.

同时也说明,在高温情况下,剪切强度受洒布量的影响很小,更根本的影响因素在于沥青材料与粘结面的交互作用能力.

可见,洒布量的确定不适于采用 50 ℃ 条件下的斜向剪切试验方法.

3 直向剪切试验分析

3.1 洒布量对最大剪切应力的影响

橡胶沥青的洒布量分别为 2.0、2.2、2.4、2.6 kg/m²,试验温度 20 ℃,加载速率 5 mm/min.面层分别为 AC-10 及 AC-16 时剪切变形与剪切应力的关系曲线分别如图 13、14 所示.

从图上可以看出,在加载初始阶段,应力与变形呈线性关系增长,随着变形的进一步增加,应力达到最大值,达到最大剪切应力时的变形在 2~5 mm 之间,同斜向剪切试验一样,说明橡胶沥青

在常温时既具有较大的变形能力。

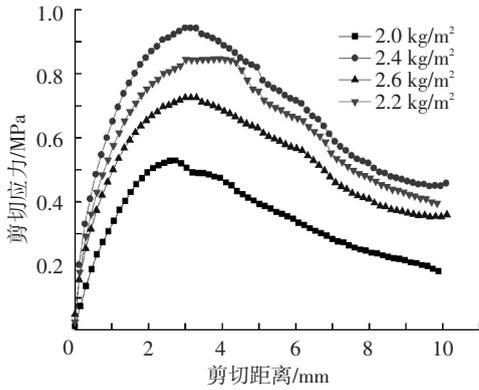


图 13 面层 AC-10 不同洒布量的变形应力曲线

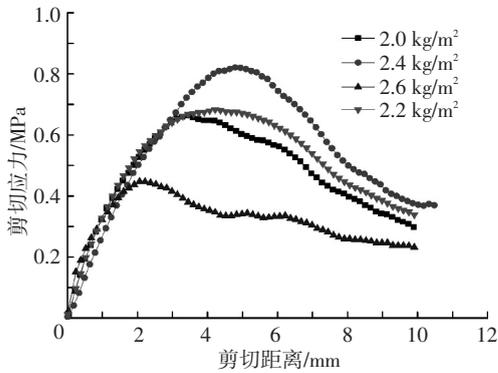


图 14 面层 AC-16 不同洒布量的变形应力曲线

直向剪切情况下橡胶沥青不同洒布量对应的最大剪切应力如表 4 所示,关系如图 15 所示。

表 4 不同沥青洒布量情况下的最大剪切应力

洒布量/(kg·m ⁻²)	剪切应力/MPa	
	AC-10	AC-16
2.0	0.53	0.65
2.2	0.84	0.68
2.4	0.94	0.82
2.6	0.72	0.45

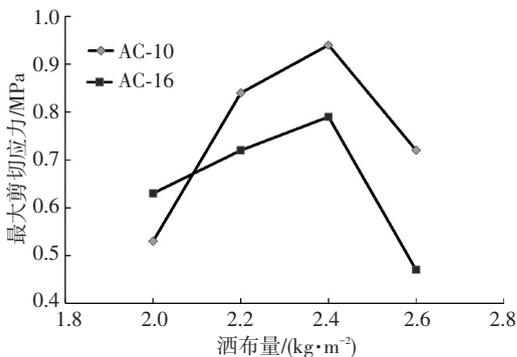


图 15 最大剪切应力与洒布量的关系

从图上可以看出,对于两类不同的面层沥青混合料 AC-10 及 AC-16 来说,最大剪切应力随着沥青洒布量的变化规律与斜向剪切试验的相同。

可见,面层 AC-10、AC-16 最佳橡胶沥青洒布量为 2.35 kg/m²、2.25 kg/m²。这一结果与斜向

剪切试验(20 °C,采用 1 mm/min 的剪切速率)的基本一致。

3.2 洒布量与抗剪变形能的关系

基于沥青基材料的自修复能力^[12],即损伤后卸载,可以恢复部分或全部功能。考虑计算达到相同的剪切距离(5 mm)条件下的抗剪变形能,计算结果见表 5,分析如图 16。

表 5 剪切距离 5 mm 的变形能计算结果

洒布量/(kg·m ⁻²)	变形能/J	
	AC-10	AC-16
2.0	16.9	14.4
2.2	28.6	21.1
2.4	32.5	21.5
2.6	24.3	20.3

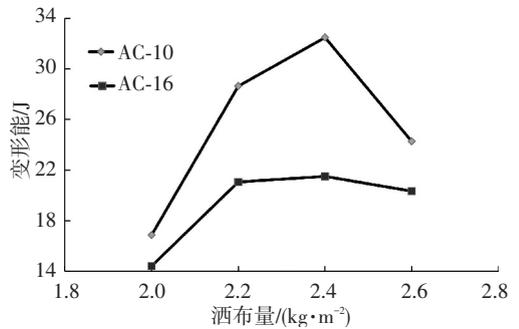


图 16 洒布量与变形能关系

可见,洒布量与变形能存在显著相关性。在试验区间内,出现峰值点。与斜向剪切试验结果相似,面层 AC-10 的剪切变形能显著大于 AC-16 的情形。这一点,可能与 AC-10 细集料多,易于与碎石形成很好的嵌挤有关。由图可以推断:面层 AC-10、AC-16 的最佳洒布量分别为 2.35 kg/m²、2.4 kg/m²。

4 最佳洒布量的确定

由上述分析可知,20 °C 时,通过斜向、直向剪切试验,分析洒布量与最大剪应力、抗剪变形能关系,进而确定对应连接面层的防水粘结层材料最佳洒布量。试验及分析结果如下:

表 6 最大剪应力、最大抗剪变形能洒布量汇总

洒布量/(kg·m ⁻²)	最大剪应力/MPa		最大抗剪变形能/J	
	斜向剪切	直向剪切	斜向剪切	直向剪切
AC-10	2.30	2.35	2.32	2.35
AC-16	2.30	2.25	2.30	2.40

面层为 AC16 的情况为例,最佳洒布量 = (2.30+2.25+2.30+2.40)÷4 = 2.30 kg/m²。

5 结论

1)洒布量对抗剪能力影响较大,随着橡胶沥

青用量的增加,防水粘结层的抗剪强度先增加后减小,可通过剪切试验确定最佳沥青洒布量。

2) 剪切速率对剪切试验结果影响较大,在选定的剪切速率范围内,剪切应力随着剪切速率的增加呈线性增加的关系,20℃时可以采用1 mm/min的剪切速率。

3) 随着温度的增加,防水粘结层的抗剪强度明显降低。在50℃时,洒布量对最大剪应力的影响已不是很明显,不同洒布量下的最大剪应力比较接近。

4) 20℃橡胶沥青的洒布量对抗剪切能力影响较大,随着橡胶沥青用量的增加,防水粘结层的抗剪强度先增加后减小,可以通过剪切试验的最大剪应力、变形能确定最佳沥青洒布量。

参考文献

- [1] 钟瑞文,李文鹏.桥面铺面工程防水层型式的选择与应用[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2008,10(4):17-18.
- [2] 马彦芹,梁志林.桥面铺装粘结防水层材料的选择及性能研究[J].公路,2007(6):101-103.
- [3] 杨三强,郝培文,刘娜.水泥混凝土桥面铺装界面联结材料试验研究[J].河北工业大学学报,2008(5):105-109.
- [4] 王文红,戴亚英,孙家瑛,等.跨海大桥桥面铺装防水层试验研究[J].中国市政工程,2006(2):35-37.
- [5] 王亚玲,周玉利,姚爱玲,等.沥青混凝土桥面铺装结构层间剪切与拉拔试验[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(6):15-18.
- [6] 刘黎萍,彭一川,邵静.混凝土桥面铺装黏结防水层材料关键性能研究[J].建筑材料学报,2010,13(1):48-51.
- [7] OSCARSSON E, SAID S. Assessment of ZSV in asphalt concrete using shear frequency sweep testing [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2012, 24(10): 1305-1309.
- [8] UZAN J, MOTOLA Y. Damage evaluation in simple shear tests with and without stress reversal of asphalt concrete [J]. Road materials and pavement design, 2006, 7(1): 71-86.
- [9] HU C H, QIAN J. Shear stress analysis of long-span steel bridge deck asphalt pavement using FEM [J]. Advanced Materials Research, 2011, 304: 12-17.
- [10] MOHAMMAD L N, RAQIB M A, HUANG B. Influence of asphalt tack coat materials on interface shear strength [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2002, 1789(1): 56-65.
- [11] TAJDINI M, ROSTAMI A, KARIMI M M, et al. Evaluation of the geo-mechanical parameters of the interface between asphalt concrete and sand with applying direct shear test and numerical modeling [J]. Advanced Materials Research, 2012, 587: 116-121.
- [12] 单丽岩,谭忆秋.考虑触变性的沥青疲劳过程分析[J].中国公路学报.2012(4):10-15.

(编辑 魏希柱)