

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.201903069

浸水条件下环氧微表处与沥青路面层间抗剪性能的试验研究*

李秀君¹, 叶锬锬¹, 吕建伟², 朱思杨¹

(1. 上海理工大学环境与建筑学院, 上海 200093; 2. 杭州市公路管理局 浙江 杭州 310012)

摘要: 微表处在工程应用过程中受水与车辆荷载作用, 容易产生推移或整片剥落。为此, 在微表处中添加适量不同种类的水性环氧树脂(Water-borne Epoxy Resin, WER)形成环氧微表处, 通过拉伸试验和自主设计的45°斜剪试验, 研究WER对环氧微表处在浸水条件下层间抗剪性能的影响。试验结果表明: 胶结料在掺入刚性较大的WER后, 随浸水时间增加, 胶结料塑性变形能力削弱, 弹塑性阶段与塑性阶段减短, 脆性增加, 而掺加柔性的WER, 塑性阶段持续时间较长; 浸水状态下, 环氧微表处与沥青路面的层间抗剪强度影响因素主次顺序为油石比>WER掺量>WER掺加方式, 而切向变形率的影响因素主次顺序为WER掺量>WER掺加方式>油石比。在工程应用中, 建议采用油石比7%、WER掺量8%~12%且将环氧树脂与固化剂预先调和后加入水中, 然后与集料进行拌合。

关键词: 微表处; 层间抗剪; 拉伸性能; 抗水损害; 水性环氧树脂

中图分类号: U416.217 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2021)02-0321-07

Study on Bonding Property between Water-borne Epoxy Resin Micro-Surfacing and Asphalt Pavement under Water Immersion

LI Xiujun¹, YE Peipei¹, LYU Jianwei², ZHU Siyang¹

(1. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Bureau of Hangzhou Highway Management, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Affected by water and vehicle loads during engineering applications, micro-surfacing is easy to shift or peel off. Therefore, an appropriate amount of different kinds of water-borne epoxy resins (WER) was added to the micro-surfacing to form the water-borne epoxy resin micro-surfacing (WER micro-surfacing). The effect of WER on the interlaminar shear resistance of micro-surfacing under water immersion conditions was studied by tensile test and self-designed 45° oblique shear test. The test results show that: the plastic deformation ability of asphalt-cement is weakening with immersion time after adding rigid WER, the elastic-plastic phase and the plastic phase shorten, and the brittleness increases. However, the plastic phase of the asphalt-cement with flexible WER lasts for a long time. In the water immersion state, the influence degree on the interlaminar shear strength between epoxy micro-surfacing and asphalt pavement is asphalt-aggregate ratio, WER content, WER adding method in descending order. The main influencing factor on tangential deformation rate is WER content, follow-

* 收稿日期: 2019-03-24; 修回日期: 2019-05-14

基金项目: 浙江省公路科技计划项目(2016-2-4)资助

作者简介: 李秀君(1976—), 女, 副教授, 硕导, 博士。主要从事道路养护方面研究工作。E-mail: 363096289@qq.com

ing by WER adding method and asphalt-aggregate ratio successively. In engineering applications, it's recommended that 7% asphalt-aggregate ratio and 8%~12% WER content be used. The epoxy resin and curing agent should also be pre-mixed and then mixed with the aggregate.

Keywords: micro-surfacing; interlaminar shear resistance; tensile property; water damage resistance; water-borne epoxy resin

引言

微表处在铺筑并通车一段时间后,其混合料会在车轮碾压作用下逐渐达到稳定,使微表处与原路面紧紧地粘结在一起共同抵御车轮的碾压和摩擦。相较于原沥青路面结构,微表处较薄,车辆驶过时会受到垂直荷载及水平荷载的共同作用,导致微表处出现推移或者剥落,若空隙中存在积水,还会产生动水压力,对路面造成更严重的破坏^[1]。为避免这种破坏,需对微表处的层间抗剪性能进行研究。

目前国内外对微表处混合料自身抗剪强度、微表处与原沥青路面层间抗剪强度、以及抗剪强度的影响因素研究较少,研究采用的剪切方法也各不相同,直剪试验的形式较多,在国内较多学者采用,谭巍等^[2]采用无法向荷载的竖向直剪试验研究了微表处与沥青路面的抗剪性能,该方法与实际路面受力不符合,剪切时试件受到重力作用的影响;赵岩等^[3]采用有竖向荷载的直剪试验研究了降噪微表处与沥青路面层间抗剪性能,该方法需要在水平和垂直方向上均设置加载装置,其试验装置设计较为复杂繁琐;相较于直剪试验,斜剪试验仅需对加载模具进行设计,便能够存在法向荷载,较大程度上的模拟实际路面受力,已有研究对斜剪试验的剪切角度争议较大,但国内学者大多数采用45°,如张俊等^[4]采用45°斜剪研究了稀浆封层路面的层间黏结性能等。本文在总结前人经验的基础上,为便于操作和推广,采用45°斜剪试验。

水性环氧树脂(Water-borne Epoxy Resin,简称WER)是对多相体系乳液的统称^[5],主要包含环氧树脂分散于水中形成的水乳液及水性环氧固化剂的水溶液两部分,二者适当比例混合后发生固化交联反应,其固化物具有较好的稳定性、热固性、黏结性、无毒无污染等诸多优点^[6-7]。

为改善常规微表处的层间抗水损害性能,本文在微表处混合料中添加适量的WER形成水性环氧

树脂改性微表处,简称环氧微表处,深入探求WER对环氧微表处胶结料及混合料抗水损害性能的影响。参照莫尔-库伦理论^[8],将环氧微表处与沥青路面的层间抗剪强度视为由黏聚力和内摩阻力组成。本文采用拉伸试验反映胶结料抗剪强度的发展,并对添加WER前后胶结料自身抗拉性能变化进行研究;采用自主设计的45°斜剪模具及复合试件,研究油石比、两种WER掺量及其掺加方式对浸水后环氧微表处与沥青路面的层间抗剪性能的影响。

1 原材料

1.1 SBR改性乳化沥青

采用嘉兴某乳化沥青制造厂生产的慢裂快凝型SBR改性乳化沥青,其各项指标见表1,满足《微表处和稀浆封层技术指南》^[9]技术指标要求。

表1 SBR改性乳化沥青技术指标

试验项目	技术标准	结果	方法	
筛上剩余量 (1.18 mm筛)/%	≤0.1	0.01	T0652	
电荷		阳离子	T0653	
沥青标准粘度 C _{25.3} /s	12~60	16.00	T0622	
蒸发残留物含量/%	≥60	60.46	T0651	
蒸发残留物性质	针入度(100g, 25℃, 5 s)/0.1 mm	40~100	54.68	T0604
	软化点/℃	≥53	54.50	T0606
	延度(5℃)/cm	≥20	38.00	T0605
	贮存 1 d/%	≤1	0.54	T0655
稳定性 5 d/%	≤5	4.2		

1.2 水性环氧树脂

选用2种分别标识为W-1、W-2的WER。W-1与W-2其环氧树脂与固化剂配比采用生厂商提供的最佳固化组分配比,分别为1:1.5和1.5:1,2种

WER的技术指标见表2。可知,W-1刚性较大,而W-2偏向柔性。

表2 2种WER技术指标

Table 2 Technical specifications of W-1 and W-2

WER类型	W-1		W-2	
	环氧 树脂	固化剂	环氧 树脂	固化剂
外观颜色	灰黑色	灰色	青黑色	灰色
形态	乳液状	黏稠状	乳液状	黏稠状
固含量	42.85%	18.52%	53.51%	18.91%
环氧值(mol/ 100g)	≥0.20	/	≥0.20	/
胺值(mol/100g)	/	≥0.21	/	≥0.21
平均粒度 D50/ 6h(μm)	2.515		2.039	
交联程度	46.69%		36.99%	
拉伸强度(25℃, 500 mm/min, kMPa)	6.874		1.574	
固化时间(25℃)	≥1d		≥2d	

1.3 级配

1.3.1 环氧微表处级配

按照《微表处和稀浆封层技术指南》^[9]中级配范围的要求进行级配设计,得出材料组合为碎石(5~10 mm):碎石(3~5 mm):石屑(0~3 mm)=24:57:19(质量比),集料级配见表3。

1.3.2 马歇尔级配

沥青混合料采用70号基质沥青,油石比为

4.7%,集料采用石灰岩,基本性能满足规范要求。根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40—2004)^[10]中的沥青混合料密级配AC-13型级配范围,进行级配设计,具体见表4。

2 试验设计

2.1 拉伸试验

《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》(GB/T528—2009/ISO37:2005)^[11]中提供了4种不同型号哑铃型裁刀,分别对应不同的试件厚度及试验拉伸速率。

由于胶结料实际使用中成膜厚度较薄,本文选用I型裁刀。WER掺量为8%(占胶结料质量),成型的哑铃型试样如图1所示。试件完全成型后将其分别在蒸馏水或去离子水(pH为7.3)中浸水0、3、6



图1 哑铃型试样

Fig.1 Dumbbell specimens

表3 环氧微表处混合料级配

Table 3 The gradation of WER micro-surfacing

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量分数百分率/%							
	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
级配上限	100.0	90.0	70.0	50.0	34.0	25.0	18.0	15.0
环氧微表处级配	100.0	76.0	57.0	41.0	28.0	19.0	13.0	9.0
级配下限	100.0	70.0	45.0	28.0	19.0	12.0	7.0	5.0

表4 马歇尔混合料级配

Table 4 The gradation of Marshall

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量分数百分率/%									
	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
级配上限	100.0	100.0	85.0	68.0	50.0	38.0	28.0	20.0	15.0	8.0
AC-13	100.0	97.6	73.4	54.2	37.9	26.7	18.2	10.1	7.7	5.4
级配下限	100.0	90.0	68.0	38.0	24.0	15.0	10.0	7.0	5.0	4.0

及9 d。浸水后使用MTS万能材料试验机在室温下进行拉伸,拉伸速率为 500 ± 50 mm/min。

2.2 45°斜剪试验

斜剪模具及试件如图2所示,模具分为上下两

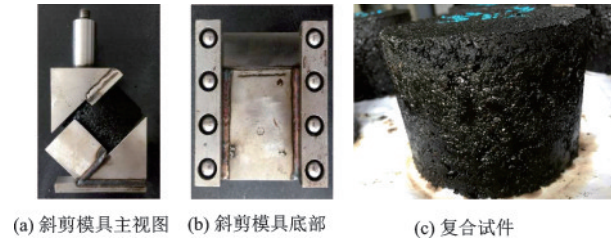


图2 斜剪模具及试件

Fig.2 Bevel shear mould and specimen

部分,上部分剪切高度为10 mm,并直接安装固定在试验仪器以减小其自身重力作用。底部装有8个小钢珠使得下部分受力时可以滑动。剪切时,上下压头与试件紧密接触,试验所加的垂直荷载沿剪切面被分解为两个分力,法向分力垂直于剪切面,相当于车辆垂直荷载作用;切向分力平行于剪切面,相当于车辆行驶时产生的水平荷载,试件受到垂直和水平荷载的共同作用发生剪切破坏。

斜剪试件上层为10 mm的环氧微表处,下层为 $\phi 101.6$ mm \times 63.5 mm的标准马歇尔试件。参考《微表处和稀浆封层技术指南》^[9]中配伍性和湿轮磨耗试验,其抗水损害评价均采用6 d浸水,本实验将成型的复合试件在25℃水中浸水6 d后再进行剪切,加载仪器选用沥青混合料万能试验机。同时有研究表明^[12],快速加载可以降低沥青混合料蠕变的影响,并在实际车轮行驶过程中,轮胎与路面的接触时间较短,因而采用加载速率为50 mm/min的快速加载。

为研究油石比、WER掺量及其掺加方式三个因素对环氧微表处层间抗剪强度的影响,使用3因

素3水平正交实验设计,选用L9(3⁴)正交表。油石比采用6%、7%、8%;WER掺量选用4%、8%、12%;由于不同国家及地区对WER的掺加方式有所不同^[13],选取3种常用的掺加方式A(环氧树脂与固化剂预调和后加入到乳化沥青中使用)、W(环氧树脂与固化剂调和后加入到水中使用)、S(环氧树脂加入到沥青中,固化剂加入水中)进行研究。

由于环氧微表处在水平切向分力作用时混合料的孔隙会被压缩,导致上层微表处发生切向变形,故采用切向变形率作为另一个评价指标。抗剪强度反映的试件浸水后的层间抗剪切性能,而切向变形率则反映上层环氧微表处在剪切过程中其混合料的抗剪抗压性能。

3 试验结果与分析

3.1 拉伸试验结果与分析

室温下拉伸试验结果见表5,拉力—位移曲线如图3、图4所示。

由图3、图4及表5可知,掺加WER后,胶结料试件力—位移曲线在不同浸水时长下,呈现两种不同的变化曲线,第一种曲线可分为弹性阶段、弹塑

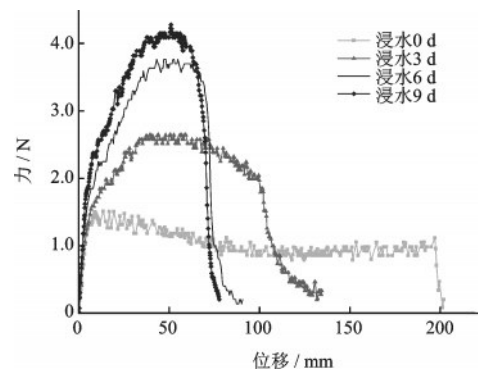


图3 W-1改性乳化沥青试件拉伸曲线

Fig.3 Tensile curve of specimen with W-1

表5 室温(25℃)胶结料拉伸试验结果

Table 5 Tensile test results of asphalt binder at 25℃

浸水 天数/d	SBR改性乳化沥青		W-1改性乳化沥青		W-2改性乳化沥青	
	拉伸强度 T_s / kMPa	拉断伸长率 E_b / %	拉伸强度 T_s / kMPa	拉断伸长率 E_b / %	拉伸强度 T_s / kMPa	拉断伸长率 E_b / %
0	0.122	1 042.950	0.113	1 113.666	0.087	1 337.156
3	0.125	729.862	0.229	537.355	0.091	898.825
6	0.128	376.101	0.283	389.017	0.115	665.324
9	0.133	323.222	0.297	295.501	0.208	286.024

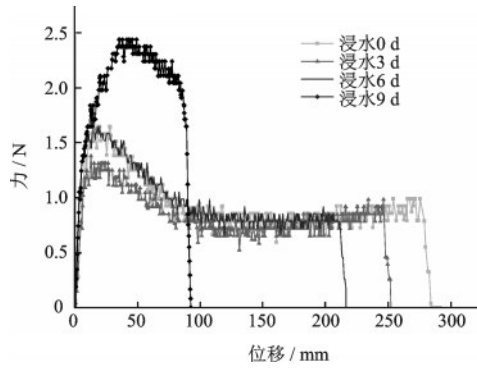


图4 W-2改性乳化沥青试件拉伸曲线
Fig.4 Tensile curve of specimen with W-2

性阶段、塑性阶段,第二种曲线仅弹性阶段与弹塑性阶段。弹性阶段力一位移曲线基本成正比关系,此时拉伸位移较小,但拉伸强度 T_s 增长明显,该阶段在力作用下 WER 网络结构被拉伸,结构内聚力较强;弹塑性阶段,该阶段力一位移曲线呈现下降趋势,随拉伸位移的增加,力逐渐减小,该阶段 WER 网络的交联键在力作用下逐渐被拉断,网络遭到破坏,内聚力削弱;塑性阶段,该阶段力一位移曲线基本是一条水平直线, WER 网络交联键完全破坏,结构失去作用,试件塑性位移增长显著,拉力不再增加。

胶结料在掺入 W-1 后,其固化的胶体脆性增强且塑性削弱,荷载作用下,拉伸强度 T_s 明显提升,拉断伸长率 E_b 大幅度降低,随浸水时间增加, WER 固化完全且乳化沥青在水作用下性能衰弱,胶结料塑性变形能力削弱,弹塑性阶段与塑性阶段减短,脆性增加,浸水 3 d 时塑性阶段消失,不再具有热塑性;而掺加 W-2 后,因其固化时间较长,交联网络未完全形成,且自身流动性较强,使得短期浸水时拉伸强度 T_s 较低,但随浸水时长增加,固化程度提高,且乳化沥青性能衰弱,使得材料脆性增强,拉伸强度增大,浸水 9 d 时塑性阶段消失。同时,因 W-1 较 W-2 刚性较强,交联程度较高,交联键较多,内聚力较强,使 W-1 改性乳化沥青脆性较强。

3.2 斜剪试验结果与分析

3.2.1 界面破坏状态

环氧微表处与沥青混合料黏结界面的破坏形态如图 5 所示。

图 5(a)为浸水条件下黏结界面的破坏形态,其破坏界面无明显差别,环氧微表处混合料与沥青混



(a) 两种条件下的破坏界面 (b) 下层破坏界面 (c) 上层破坏界面

图5 环氧微表处与沥青混合料黏结界面的破坏形态

Fig.5 Failure mode of bonding interface between WER micro-surfacing and bituminous mixture

合料均保持完整,破坏界面主要出现在两者的黏结界面中,试件受力合理。图 5(b)与图 5(c)为环氧微表处黏结界面的破坏细节情形,从图中可知试件界面在受到剪切时,环氧微表处混合料中的孔隙会被压缩,试件变形,随着剪切位移的增加,环氧微表处中嵌入沥青混合料表面孔隙中的环氧微表处混合料受到剪切作用,位移的不断增大最终使得环氧微表处混合料中的大粒径集料破碎,沥青混合料黏结界面形成白色剪切痕迹,当环氧微表处与沥青混合料的黏结界面完全分离,白色剪切痕迹消失。

3.2.2 正交结果分析

室温下斜剪试验结果见表 6。根据表 6 中极差可知,环氧微表处与沥青路面的层间抗剪强度影响主次顺序为油石比>WER 掺量>WER 掺加方式,切向变形率影响主次顺序为 WER 掺量>WER 掺加方式>油石比。对于层间抗剪性能而言,乳化沥青的用量还是主要影响因素,而 WER 的掺加对层间性能影响较小;而对于切向变形率而言,WER 影响较大,适量加入可以明显提高混合料的热固性及刚性,减小混合料切向变形率。

浸水条件下斜剪试验正交图如图 6、图 7 所示。随着油石比的增大,混合料与沥青路面的黏结性能加强,“根系”发达,抗剪强度较大,但也使得试件刚性削弱柔性增强,受力作用时易变形;W-1 掺量较低时,对沥青分子流动的阻碍作用较小,其本身热固性不明显,混合料层间抗剪切性能及切向变形率无明显提高,而随 W-1 掺量进一步增大,胶结料内聚力大幅度提升,热固性充分发挥,使集料颗粒之间形成更稳定的黏结,同时 WER 通过双组分交联反应,固化后可形成具有良好抗拉强度的“根系”植入路面;三种掺加方式中,W-1 中环氧树脂和固化剂分开使用时常温下较难固化,故掺加方式 S 的抗剪强度较低且切向变形率较高,同时 W-1 分子内聚力较强,相较于将其加入到乳化沥青中加强胶结料的内聚力,直接将其加入到集料中更能发挥其强大的黏附性能。

表6 室温(25℃)45°斜剪试验结果

Table 6 Results of oblique shear test at 25℃

WER种类	因素	抗剪强度/MPa			切向变形率/%		
		油石比	WER 掺量	WER 掺加方式	油石比	WER 掺量	WER 掺加方式
W-1	k_1	1.02	1.04	1.16	6.13	6.69	6.24
	k_2	1.08	1.12	1.13	6.27	6.77	6.00
	k_3	1.24	1.18	1.06	6.65	5.59	6.81
	极差	0.22	0.14	0.09	0.52	1.17	0.81
W-2	k_1	0.69	0.75	0.85	5.54	5.83	5.24
	k_2	0.88	0.83	0.87	5.33	6.32	5.27
	k_3	0.95	0.95	0.81	5.94	4.66	6.30
	极差	0.26	0.20	0.06	0.61	1.66	1.07

注: k_i 为各因素在各水平下的平均响应值,极差为各水平下 k_i 的最大值与最小值之差

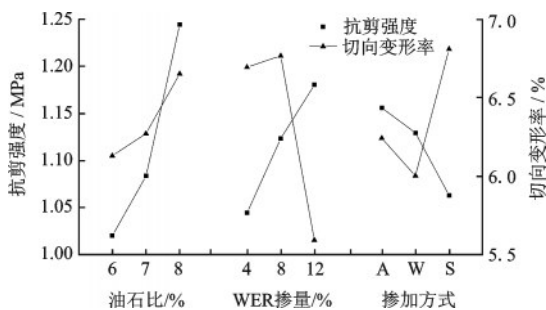


图6 浸水条件下W-1斜剪试验正交图

Fig.6 W-1 oblique shear test orthogonal diagram under water immersion

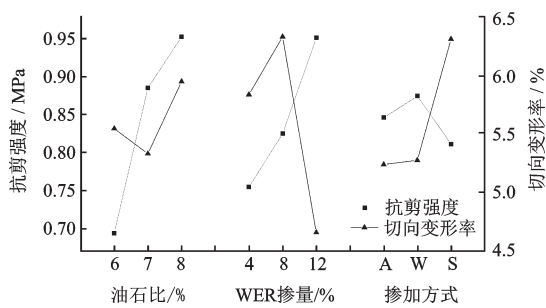


图7 浸水条件下W-2斜剪试验正交图

Fig.7 W-2 oblique shear test orthogonal diagram under water immersion

W-2在浸水条件下的抗剪强度正交曲线与W-1相似,而对于切向变形率,WER对其的影响较大而油石比影响较小,使得W-2与W-1的切向变形率曲线有所不同。W-2中环氧树脂与固化剂分开使用黏附性更强,但由于在水中W-2固化速度较慢,其预先调和的掺加方式固化程度较低甚至是没有发生固化反应,不能发挥WER优势,反而使得掺加方式S切向变形率最高。同时,W-1较W-2,内聚力较强,刚性较大,掺入后胶结料及形成的“根系”具有

更大的强度来抵抗水平剪力作用。

从经济和社会效益角度出发,并根据以上分析,提出参加W-1或W-2的环氧微表处层间抗水损害性能最佳组合为油石比7%、WER掺量8%~12%且环氧树脂与固化剂调和后加入到水中使用。

4 结论

(1) 胶结料在掺入刚性较大的WER后,其固化的胶体脆性增强且弹塑性削弱;随浸水时间增加,胶结料塑性变形能力削弱,弹塑性阶段与塑性阶段减短,脆性增加,直至塑性阶段消失,不再具有热塑性;而掺加柔性的WER,塑性阶段持续时间较长,且浸水9d时塑性阶段消失。

(2) 环氧微表处混合料与沥青混合料剪切后均保持完整,破坏界面主要出现在黏结界面中,受力合理。嵌入沥青混合料表面孔隙中的环氧微表处混合料受到剪切作用时,位移不断增大,使环氧微表处混合料中的大粒径集料破碎,与沥青混合料黏结界面形成白色剪切痕迹。表明45°斜剪试验可用于评价微表处与沥青路面的层间抗剪性能。

(3) 浸水状态下,环氧微表处与沥青路面的层间抗剪强度影响因素主次顺序为油石比>WER掺量>WER掺加方式,而切向变形率的影响因素主次顺序为WER掺量>WER掺加方式>油石比。工程应用中环氧微表处与沥青面层抗剪强度不足可调整油石比,而环氧微表处受力易变形可调整WER掺量。

(4) 油石比较大时,微表处混合料与沥青路面抗剪强度较大,但试件受力作用时易变形;WER掺

量愈高,其热固性充分发挥,使胶结料形成具有良好抗拉强度的“根系”植入路面;直接将W-1水性环氧树脂加入集料中更能发挥其强大的内聚力,而W-2水性环氧树脂更适合两组分分开使用。

(5) 在工程应用中,环氧微表处建议采用油石比7%、WER掺量8%~12%且将环氧树脂与固化剂预先调和后加入水中,然后与集料进行拌合。

参考文献:

- [1] 张鹏. 国内外高速公路沥青路面典型病害及养护技术对比研究[D]. 西安:长安大学,2015.
Zhang P. The comparative study of maintenance techniques on typical disease of highway asphalt pavement in our country and outside[D]. Xian:Chang'an University, 2015.(in Chinese)
- [2] 谭巍,董春晖,薛林华. 沥青路面微表处抗剪性能试验研究[J]. 公路交通技术, 2011(5): 35-39.
Tan W, Dong Ch H, Xue L H. Experimental study on micro-surfacing shear performance of asphalt pavements [J]. Technology of Highway and Transport, 2011(5): 35-39. (in Chinese)
- [3] 赵岩,张新天,高金岐,等. 降噪微表处沥青路面层间抗剪强度试验研究[J]. 市政技术, 2015(5): 20-23.
Zhao Y, Zhang X T, Gao J Q, et al. Experimental study on the shear strength of denoise micro asphalt pavement surfacing[J]. Municipal Engineering Technology, 2015(5): 20-23. (in Chinese)
- [4] 张俊,朱浮声,李庆昌. 稀浆封层路面层间黏结性能试验研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2007, 28(6): 875-878.
Zhang J, Zhu F Sh, Li Q Ch. Experimental investigation on interlayer bonding strength between slurry seal and pavement [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2007, 28(6): 875-878. (in Chinese)
- [5] 陈平,刘胜平,王德中. 环氧树脂及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
Chen P, Liu Sh P, Wang D Zh. Epoxy resin and its application[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [6] Wegmann A. Novel waterborne epoxy resin emulsion

- [J]. Jct Journal of Coatings Technology, 1993, 65(827):27-34.
- [7] 邹海良,张亚峰,邝健政,等. 水性环氧乳液改性水泥复合材料的力学性能研究[J]. 新型建筑材料,2010, 37(6):15-19.
Zou H L, Zhang Y F, Kuang J Zh, et al. Study on mechanical properties of the W-epoxy/cement composites [J]. New Building Materials, 2010, 37(6): 15-19. (in Chinese)
- [8] 黄颂昌,徐剑,秦永春. 微表处技术在我国的研究应用与发展前景[J]. 石油沥青, 2004, 18(6):1-5.
Huang S Ch, Xu J, Qin Y Ch. Today and tomorrow of micro-surfacing in China[J]. Petroleum Asphalt, 2004, 18(6):1-5.(in Chinese)
- [9] 微表处和稀浆封层技术指南:JTG/T F40-02—2005 [S]. 北京:人民交通出版社, 2006.
Technical guidelines for micro-surfacing and slurry seal: JTG/T F40—02—2005 [S]. Beijing: China Communications Press,2006.(in Chinese)
- [10] 公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S]. 北京:人民交通出版社, 2004.
Technical specificatitons for construction of highway asphalt pavements: JTG F40—2004 [S]. Beijing: China Communications Press,2004.(in Chinese)
- [11] 硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定: GB/T528—2009/ISO37:2005[S]. 北京:中国标准出版社,2009.(in Chinese)
Rubber, vulcanized or thermoplastic-determination of tensile stress-strain properties: GB/T528—2009/ISO37: 2005[S].Beijing: Standards Press of China,2009.(in Chinese)
- [12] 汪水银. 室内沥青混凝土路面层间抗剪强度试验方法研究[J]. 公路,2010(2):144-147.
Wang Sh Y. Study on test method of inter-layer shear strength of indoor asphalt concrete pavement [J]. Highway, 2010(2):144-147.(in Chinese)
- [13] 胡青,陈立伟. 美国环氧沥青与日本环氧沥青性能对比研究[J]. 黑龙江交通科技, 2010, 33(7): 43-44.
Hu Q, Chen L W. Comparative study on performance of american epoxy asphalt and japanese epoxy asphalt [J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2010, 33(7): 43-44.(in Chinese)

(本文责编:赵霞)