

文章编号:1005-0523(2016)01-0030-07

复合改性高黏沥青在排水路面的应用研究

叶 奋^{1,2}, 杨思远¹

(1.同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804;2.新疆大学建筑工程学院,新疆 乌鲁木齐 830047)

摘要:为解决现行排水沥青路面相关技术指标偏低以及高黏沥青生产工艺、技术指标缺乏统一标准的问题,采用 SBS/CRM 复合改性获得高黏沥青,结合 175 °C 旋转黏度及软化点、弹性恢复率等指标确定 CRM 的合理掺量,并制备 OGFC-13 混合料进行汉堡车辙试验、肯塔堡飞散试验等路用性能测试,分析结果并对现有技术标准提出建议。试验结果表明:掺量为 20% CRM 与 3.5% SBS 复合改性黏度和高温能力最优,制备的 OGFC 混合料动稳定度次数在 6 000 次·mm⁻¹ 以上。对于复合改性高黏沥青,建议采用 175 °C 黏度、软化点和弹性恢复率指标控制性能,黏度控制在 2~5 Pa·s,软化点不低于 80 °C 且弹性恢复率不低于 75%,OGFC 混合料的动稳定度不低于 5 000 次·mm⁻¹。

关键词:排水沥青路面;复合改性;高黏沥青;评价指标

中图分类号:U414

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.01.005

1 排水沥青路面应用概况

排水沥青路面是指压实后空隙率在 20% 左右,能够在混合料内部形成排水通道的沥青混凝土面层,结构形式一般采用开级配抗滑磨耗层(Open-graded Friction Course),主要功能是提高路面表层的抗滑阻力,同时具有降噪、减少水漂、水雾的作用。20 世纪 60~70 年代欧美国国家就已经开始研究排水沥青路面,目前在荷兰、比利时、法国、日本等国家的高速公路上比较常见^[1]。

近年来我国相继在广州、北京、上海等城市铺设了排水沥青路面,部分地区排水效果良好,然而排水沥青路面在我国的应用情况并不理想,除了路面透水空隙易被灰尘堵塞以外,还有以下原因:

1.1 混合料技术标准不适应

针对我国沥青路面设计相关规范^[2],主要表现为:

1) 高温稳定性要求较低。

沥青混合料的高温稳定性评价方法主要是汉堡车辙试验方法,目前 OGFC 混合料的动稳定度次数要求在 3 000 次/mm 以上,较低的动稳定度要求不利于混合料设计^[3]。同时,我国载重车辆普遍超载^[4],导致排水沥青路面空隙率降低现象严重。

2) 马歇尔试件测试方法的力学模式不适应 OGFC。在马歇尔试件上施加侧向力的试验方法不利于 OGFC 这样骨架空隙型结构均匀受力,达不到控制其性能的目的。

3) 改性沥青技术标准较低。由于骨架空隙型混合料对胶结料黏结强度要求较高,而我国规范^[2]的聚合物改性沥青技术要求,特别是黏度指标,无法区分高黏沥青与 SBS、SBR 等常规改性沥青,不利于性能控制。

1.2 胶结料种类繁多

近年来沥青外掺剂及改性工艺层出不穷,高黏改性沥青的生产和选用缺乏成熟的标准,在排水沥青路面应用方面出现以下不足:

收稿日期:2015-10-08

作者简介:叶奋(1970—),男,教授,博士,博士生导师,研究方向为交通运输工程。

1) 掺入物不能提高胶结料强度。比如掺入纤维^[5-8]可以提高混合料的稳定性,减少泛油,但胶结料的结构没有改变,对于沥青本身的胶结强度没有提高。

2) 单一外掺聚合物改性剂,性能提升受限。外掺聚合物改性剂包括 SBS、SBR、废橡胶粉(CRM)和 EVA 等^[1,6,9]。SBS 能显著改善沥青的高低温力学性能,但为获得高黏度的沥青,往往需要更高的 SBS 掺量,成本昂贵;SBR、CRM 的掺入能显著提高黏度并改善沥青的低温抗变形能力,但高温性能提升有限。

3) 高黏改性剂价格昂贵^[10-11]。高黏改性剂主要是韩国 SK 及日本 TPS 产品,价格在每吨数万元,加之 TPS 用量在 12%左右^[12],造价较高,不利于排水沥青路面推广。

采用 SBS/CRM 复合工艺制备的胶结料有以下优势:

1) 性能方面,首先,SBS 能同时改善其高低温性能,CRM 能显著提高黏度和黏弹性^[13-15],并减少路面泛油,复合改性可增强沥青综合性能。其次 CRM 能在沥青中形成网络填充结构,而 OGFC 的大空隙结构能很好地适应其填充效应,保持良好的稳定性;

2) 经济方面,充分利用废旧橡胶材料并提高沥青性能,具有经济潜力;

3) 工艺方面,SBS 和 CRM 改性工艺较为成熟,其中废橡胶粉 CRM 与 SBS 复合改性的工艺研究最为普遍^[14,16-18]。

由于普通掺量的 SBS 改性沥青工艺成熟且性能易于控制,因此 SBS/CRM 复合改性工艺为:在已制备好的 SBS 改性沥青中投入 CRM 进行复合改性,工艺过程与传统橡胶沥青工艺一致。同时制备普通橡胶沥青(CRMA)和 SBS/CRM 改性沥青,对比普通 CRM 沥青性能,确定其复合改性沥青的 CRM 合理掺量,并制备 OGFC 混合料检验其路用性能,分析结果并对现有 OGFC 胶结料以及混合料相关技术标准提出建议。

2 试验方案

2.1 原材料及混合料

SBS 改性沥青:壳牌 70 号基质沥青,内掺 3.5%线星型 SBS,180℃高速剪切 30 min,溶胀发育 1 h 制得,作为复合改性的母料,技术指标见表 1。

普通橡胶沥青:壳牌 70 号基质沥青,内掺 20%的 60 目废橡胶粉(CRM),180℃~190℃下叶片搅拌 60 min 制得,作为复合改性的对照,技术指标见表 1。

表 1 SBS 及 CRM 改性沥青技术指标
Tab.1 Technical index of SBS modified asphalt and CRM modified asphalt

检测项目	SBS 改性沥青	普通橡胶沥青
针入度(5 s, 100 g, 25 °C)/0.1 mm	52.2	38.6
5 °C延度(5 cm/min)/cm	41.3	13.0
软化点(R&B)/°C	89.0	58.4
25 °C弹性恢复/%	89.5	68.0
135 °C旋转黏度/Pa·s	2.3	13.2
质量损失/%	0.06	-
薄膜加热试验 163 °C, 5h	针入度比/%	79.20
	5 °C延度/cm	30.15

注:橡胶沥青一般不进行老化测试。

CRM: 60 目载重车胎橡胶粉。

粗集料选用公称粒径为 10~15 mm, 5~10 mm 的玄武岩,细集料采用 0~3 的石灰岩,填料采用细磨石灰岩。混合料类型为 OGFC-13,目标空隙率为 20%,配合比设计如表 2,通过谢伦堡析漏试验和肯塔堡飞散试验确定最佳油石比为 5.2%。

表2 OGFC-13级配组成
Tab.2 Gradation composition of open-graded friction course

筛孔/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	96.7	70	20.8	14.9	11.5	8.9	6.7	5.3	4.1

2.2 制备工艺

1) SBS 掺量。SBS 掺量变化会显著影响改性沥青的性能。SBS 掺量低于 2%, 改性沥青内的交联网状结构尚未形成, 改善效果不大; 而掺量大于 5% 时, 沥青的温度敏感性提高且低温性能有所损失。SBS 掺量为 2.5%~3.5% 时, 其力学性能较接近市场上普通改性沥青的技术指标, 该掺量下的 SBS/CRM 复合改性方法具有应用潜力, 故 SBS 掺量定为 3.5%。

2) 橡胶粉掺量。CRM 能显著提高沥青的黏度和黏弹性能。SBS/CRM 复合改性相关研究^[13-15]中, 为了不显著增加其黏度, CRM 的掺量较低, 一般不高于 10%, 而橡胶沥青中的 CRM 最佳掺量不高于 20%^[19]。为了获得高黏度改性沥青, CRM 的掺量分别取 SBS 改性沥青的内掺 10%, 15% 和 20%, 通过性能测试确定其合理掺量。

3) 复合加工工艺。将 CRM 投入已制备好的 SBS 改性沥青中, 加热至 180~190℃, 叶片搅拌 60 min, 转速 1 000 rpm, 该过程与普通橡胶沥青的制备工艺一致。

2.3 试验方案

按照我国《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》, 测试不同 CRM 掺量的 SBS/CRM 复合改性沥青的针入度、软化点、延度(5℃、15℃), 按美国材料实验协会 ASTM D6114-185 标准测试旋转黏度(175℃、185℃)及弹性恢复率, 分析结果并确定 CRM 的合理掺量。选择该掺量下的复合改性沥青成型 OGFC-13 混合料, 并进行汉堡车辙试验、肯塔堡飞散试验、谢伦堡析漏试验和冻融劈裂试验, 分析其高温稳定性、抗剥落性、析漏性和水稳定性。

3 结果及讨论

3.1 高黏复合改性沥青性能评价指标

复合改性沥青的技术标准缺乏相关规范, 参考美国橡胶沥青、日本高黏沥青以及我国聚合物及橡胶改性沥青的规范, 如表 3 所示。

表3 高黏改性沥青评价标准
Tab.3 Evaluation standard of high viscosity modified asphalt

技术指标	橡胶沥青技术指标 ^[20]	日本高黏度沥青技术标准 ^[21]	聚合物改性沥青技术指标(SBS I-D) ^[22]	美国橡胶沥青规范 ASTM D6114-09
针入度(25℃, 100 g, 5 s) /0.1 mm	30~70	>40	40~60	25~75
软化点/℃	>65	>80	>60	>57
延度/cm	>5(5℃)	>50(15℃)	>20(5℃)	-
弹性恢复(25℃)/%	>60	-	>75	>25
黏度/Pa·s	2~5(180℃)	>20 000(60℃)	<3(135℃)	1.5~5(175℃)

由表 3 可见:

1) 针入度、延度指标不适合评价橡胶沥青。由于沥青中含有较多的橡胶颗粒, 影响针入度的准确性, 而且在延度试件的测试断面上易形成应力集中, 因此针入度测试范围大且最小延度值较低。

2) 软化点、弹性恢复、黏度标准不统一。对于高黏沥青,软化点及弹性恢复率标准较低,黏度的测试温度及范围也不统一,我国规范中的 135 °C 运动黏度要求则是控制沥青的泵送及加工性能,对于高黏沥青则不适用。日本道路协会在 2006 年出版的《铺装设计施工指针》取消 60 °C 毛细管黏度大于 20 000 Pa·s 的指标^[3],并且有研究表明毛细管黏度不适于评价高黏沥青^[22]。

综上所述,为有效评价 SBS/CRM 复合改性高黏沥青性能,建议:

1) 175 °C 黏度指标作为控制指标。由于复合改性沥青中含有较多的 CRM,可参考美国橡胶沥青黏度技术指标,黏度测试温度 175 °C,高黏沥青的黏度范围应为 2~5 Pa·s,考虑其黏度较高可能导致旋转黏度仪测试时力矩过大,另设一组测试温度为 185 °C。

2) 软化点及弹性恢复作为参考指标。软化点可以评估沥青的高温能力,建议不低于 80 °C,弹性恢复仍采用规范标准,不低于 75%。

3.2 高黏改性沥青测试结果及分析

为确定高黏改性沥青的 CRM 合理掺量,不同 CRM,结果如下:

3.2.1 黏度及软化点、弹性恢复测试结果

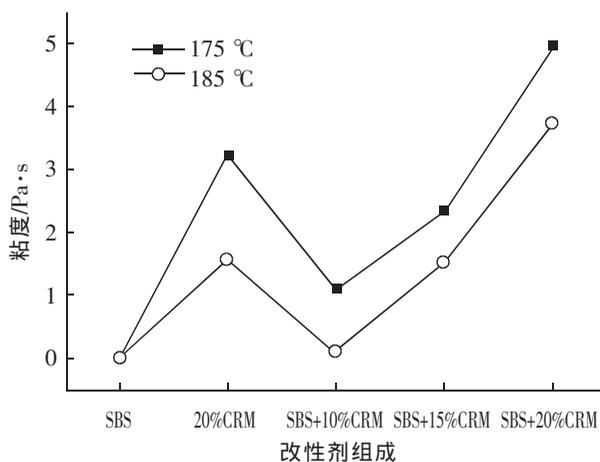


图 1 SBS/CRM 复合对高温黏度影响

Fig.1 Effect of SBS/CRM composite modification on high temperature viscosity

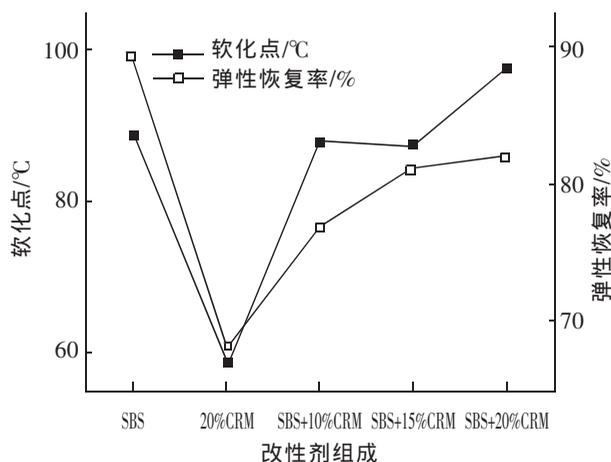


图 2 SBS/CRM 复合对软化点、弹性恢复能力影响

Fig.2 Effect of SBS/CRM composite modification on softening point and elastic recovery

如图 1、2 所示:

1) CRM 掺量提高以及复合改性的方式能显著提高黏度。SBS 改性沥青未掺入 CRM 时,175 °C 黏度低于有效测试范围,当 CRM 掺量为 10% 时,复合改性沥青的 175 °C 黏度为 1.106 Pa·s,而掺量达到 20% 时,黏度为 4.986 Pa·s。而单一 CRM 改性沥青,其 175 °C、185 °C 黏度为 3.225 Pa·s 和 1.161 3 Pa·s,而同掺量的 CRM 与 SBS 复合改性后,其相应黏度提高到 4.986 Pa·s 和 3.749 Pa·s,增黏效果显著。

2) 复合改性能显著提高其回弹能力和高温抗变形能力。这主要是因为 SBS 在沥青中能形成弹性交联网络,故 SBS 沥青的弹性恢复率及软化点均较高,分别达到了 80%,85 °C 以上,仅掺 CRM 的改性沥青弹性恢复率及软化点分别在 70%,60 °C 以下,改性效果不如 SBS。而复合改性的改善效果能达到甚至超过单一掺 SBS。当 CRM 掺量为 10%,SBS/CRM 复合改性沥青的软化点为 87.3 °C,而掺量达到 20% 时,软化点为 97.6 °C,高于单一 SBS 改性的 89.0 °C,而弹性恢复率也达到 80% 以上,反映了橡胶颗粒逐渐填充 SBS 形成的网络结构的空隙的过程,胶结料结构强度逐渐增加。

3.2.2 针入度、延度测试结果

如图3所示,SBS改性沥青掺入不同掺量CRM后,5℃延度有所降低。针入度在52×0.1 mm附近波动,5℃延度则是在23.6~24.9 cm内变化,低于SBS沥青延度值41.3 cm,这是由于CRM在沥青中无法完全降解,在沥青中保留大量的橡胶颗粒,在沥青—橡胶界面容易形成应力集中,不利于针入度及延度试件受力模式,单一CRM改性沥青的针入度、延度指标降低更显著,反映出针入度和延度指标不利于含CRM复合改性沥青的性能控制。

综上所述,3.5%SBS与20%CRM复合改性沥青具有最优性能。

3.3 OGFC混合料应用

采用3.5%SBS与20%CRM复合改性沥青制备OGFC混合料,其路用性能测试结果如下表4所示:

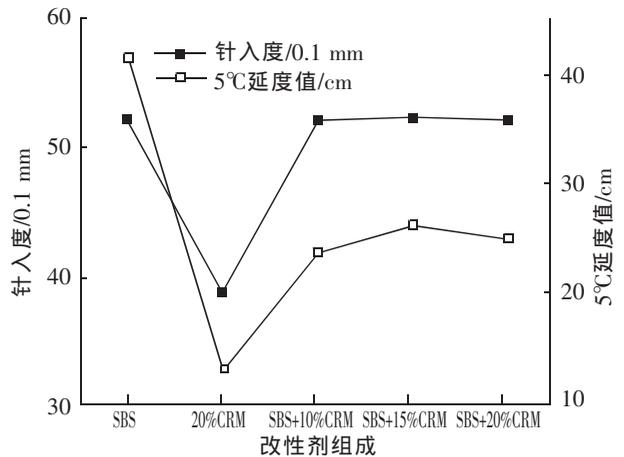


图3 针入度及延度测试结果
Fig.3 Test results of needle penetration and ductility

表4 OGFC路用性能测试结果

Tab.4 Road performance test results of open-graded friction course

检测项目	单位	平均值	规范值 ^[2]
析漏损失量	%	0.015	<0.3
飞散损失率	%	7.27	<20
马歇尔稳定度	kN	7.53	>3.5
动稳定度	次·mm ⁻¹	6 374	>3 000
冻融劈裂抗拉强度比	%	95.4	>75
渗水系数	mL·min ⁻¹	1 393	实测
表面构造深度	mm	1.35	>0.55

从表4可见:

1) 析漏、飞散损失极低。CRM能降低沥青泛油现象,较低的析漏损失表明复合改性沥青同样能有效控制泛油现象,沥青析漏有明显改善效果。除此之外,飞散损失率大大低于规范值,说明该高黏沥青有良好的胶结强度;

2) 马歇尔稳定度、冻融劈裂试件测试荷载值较低。由于OGFC是骨架空隙结构,不利于承受侧向力的力学模式试验,侧向力荷载值均较小,无法充分反映胶结料对其路用性能的影响;

3) 动稳定度规范值偏低。高黏复合改性沥青能显著改善混合料的高温稳定性,其动稳定度高于6 000次·mm⁻¹,而日本重交通路段对OGFC动稳定度要求在3 000~5 000次·mm⁻¹[3],而我国重交通路段的交通量和车辆超载现象均比日本严重,建议动稳定度应不小于5 000次·mm⁻¹。

4 结论

1) 采用SBS/CRM复合改性方法,能显著提高胶结料的黏度,高于SBS或CRM单一改性沥青的黏度。在SBS改性沥青中投入CRM的复合改性工艺,可直接借鉴橡胶沥青生产工艺,工序简单且质量易于控制。

2) CRM 最佳掺量为 20%。随着 CRM 掺量提高,CRM 颗粒逐渐填充于 SBS 网络之中,反映为黏度和软化点逐渐升高,当 CRM 掺量为 20%时,橡胶颗粒充分填充 SBS 网络结构的空隙,黏度和高温性能显著提高,具有最优的性能。

3) SBS/CRM 复合改性沥青能显著改善 OGFC 混合料的路用性能。析漏损失率、飞散损失率大大低于规范值,动稳定度在 $6\ 000\ \text{次}\cdot\text{mm}^{-1}$ 以上,这说明 SBS/CRM 复合改性沥青能降低混合料泛油现象,提高抗剥落能力和高温稳定性。

4) 高黏沥青和排水沥青路面的相关技术标准应当提高。控制高黏复合改性沥青性能应当采用 $175\ ^\circ\text{C}$ 黏度、软化点、弹性恢复率指标,建议 $175\ ^\circ\text{C}$ 黏度范围为 $2\sim 5\ \text{Pa}\cdot\text{s}$,软化点不低于 $80\ ^\circ\text{C}$,弹性恢复率不低于 75%,OGFC 混合料的动稳定度建议不小于 $5\ 000\ \text{次}\cdot\text{mm}^{-1}$ 。沥青针入度、延度以及混合料马歇尔稳定度、冻融劈裂强度比等指标不适合控制复合改性高黏沥青及 OGFC 混合料性能。

参考文献:

- [1] 曹东伟. 排水沥青路面[M].北京:人民交通出版社,2009.
- [2] 交通部公路科学研究所.公路沥青路面施工技术规范 JTGF40-2004 [S].北京:中华人民共和国交通部,2004
- [3] 李立寒,耿韩,孙艳娜,孟庆楠.高粘度沥青性能评价指标与标准的试验[J].同济大学学报:自然科学版,2010,38(8):1155-1160.
- [4] 王仕峰,马庆丰,李剑新.排水路面用高粘度改性沥青的研究与应用进展[J].石油沥青,2012,26(1):1-8.
- [5] WANG H,LIU L P,SUN L J. Characterization of OGFC mixtures containing lignin fibers[J]. Applied Mechanics & Materials, 2012:174-177,775-781.
- [6] HASSAN HF,AL-ORAIMI S,TAHA R. Evaluation of open-graded friction course mixtures containing cellulose fibers and styrene butadiene rubber polymer[J]. Journal of Materials in Civil Engineering,2005,17(4):416-422.
- [7] V S PUNITH, S N SURESHA, SRIDHAR RAJU, et al. Laboratory investigation of open-graded friction course mixtures containing polymers and cellulose fibers [J]. Journal of China & Foreign Highway,2013,33(3):67-74.
- [8] YUAN Y Q,LI X C,LI W, et al. High temperature stability performance of open graded asphalt friction course[J]. Applied Mechanics & Materials,2013:253-255,621-625.
- [9] GUO J T,ZHANG R,WANG R. Experimental research on sound absorption performance of low-noise pavement[J]. Advanced Materials Research,2012:374-377,1400-1404.
- [10] 谭瑞梅. 高粘改性剂在 OGFC 沥青混合料中的应用[D]. 西安:长安大学,2011:3-4.
- [11] 杨春. 高粘改性沥青 OGFC 的性能及应用研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2008:9-10.
- [12] 李永波. 国产 TPS 在排水沥青路面中的应用研究[D]. 西安:长安大学,2013:71-73.
- [13] 李波,李艳博,曹贵,等. 废旧胶粉与 SBS 改性沥青及其混合料的路用性能对比研究[J]. 中外公路,2014,34(1):267-273.
- [14] 丁红霞,程国香,张建峰. 废轮胎胶粉/SBS 复合改性沥青制备工艺优化研究[J]. 石油沥青,2011,25(6):25-29.
- [15] 刘朝晖,张景怡,周婷,等. 路面基层复合改性沥青材料研发与性能评价[J]. 材料导报,2014,28(4):134-139.
- [16] 赵桂娥. 胶粉与 SBS 复合改性沥青的合理掺量及性能评价[J]. 湖南交通科技,2013,39(3):55-58,138.
- [17] 王家旻,向丽,袁军,等. 废胶粉/SBS 复合改性沥青溶胀工艺研究[J]. 石油沥青,2011,25(1):36-40.
- [18] 向丽. 废橡胶粉/SBS 复合改性沥青的机理和性能研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2011:11-15.
- [19] 黄卫东,李彦伟,杜群乐,等. 橡胶沥青及其混合料的研究及应用[M]. 北京:人民交通出版社,2013:7-10.
- [20] 交通部公路科学研究院. 公路工程废轮胎胶粉橡胶沥青 JT/T 798-2011 [S]. 北京:人民交通出版社,2011:1-2.
- [21] 日本道路协会. 排水性铺装技术指针[M]. 东京:丸善株式会社,2006:10-25.
- [22] 李立寒,耿韩,孙艳娜. 高粘度沥青黏度的评价方法与评价指标[J]. 建筑材料学报,2010,13(3):352-356,362.

Research on Application of Composite Modified High Viscosity Asphalt in Drainage Pavement

Ye Fen^{1,2}, Yang Siyuan¹

(1.Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804;

2. School of Architectural Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, China)

Abstract: To solve the existing problem of low standard of drainage asphalt pavement and lack of uniform criteria for the production and evaluation of high viscosity asphalt, the SBS/CRM composite modified method was adopted to obtain high viscosity asphalt and the reasonable dosage of CRM was determined according to the 175 °C rotational viscosity and the softening point and elastic recovery rate. Results of road performance tests such as Hamburg rutting test and Cantabro loss test on the OGFC-13 mixture were analyzed to give recommendations on existing technical standards. The results show that the optimum content of CRM is 20% mixed with 3.5% SBS concerning the viscosity and high temperature capacity, and the dynamic stability of the OGFC mixture is higher than 6 000 times/mm. The 175 °C viscosity, softening point and elastic recovery rate were recommended to ensure the quality of composite modified high viscosity asphalt, whose viscosity should be controlled at 2~5 Pa·s with the softening point higher than 80 °C and the recovery rate more than 75%. The dynamic stability of OGFC mixture no less than 5 000 times/mm is also suggested.

Key words: drainage asphalt pavement; composite modification; high viscosity asphalt; evaluation index

(责任编辑 王建华)

(上接第 22 页)

Study on Influence Factors of Bonding Performance for Interlayer Bonding Material and Steel Interface

Huang Weidong¹, Yan Chuanqi¹, Tian Jianjun²

(1.Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2.East China Electric Power Design Institute, Shanghai 200063, China)

Abstract: The bonding quality of interlayer bonding material and steel interface is easily affected by temperature and ash, which may cause interlayer pollution and damage pavement. In this paper, an experimental study testing the drawing behavior of brick surface bonding strength was designed to investigate the factors that influence the bonding strength of 4 kinds of asphalt and steel interface, and concluded each kind of asphalt's tolerant ability to ash. Furthermore, some construction proposals were given concerning maintenance time and construction temperature.

Key words: road engineering; interlayer bonding material; influence factors of bonding strength; ash tolerance

(责任编辑 王建华)