

沥青马蹄脂碎石混合料的制备及其性能

沈 凡¹,任 莉¹,赵明宇²,陆 超²,郭 凯³

1. 武汉工程大学材料科学与工程学院,湖北 武汉 430074;

2. 武汉理工大学材料科学与工程学院,湖北 武汉 400070;

3. 湖北省公路工程咨询监理中心,湖北 武汉 430030

摘 要:为了提升沥青马蹄脂碎石混合料(SMA)的路用性能及耐久性,采用苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SBS)、橡胶粉、增粘树脂、增塑组分对基质沥青进行复合改性,开发出高粘高弹改性沥青。分别以高粘高弹改性沥青、高粘沥青、SBS 改性沥青作为胶结料,对比分析不同沥青制备的 SMA 混合料的路用性能和耐疲劳性能。结果表明:橡胶粉对沥青的弹性恢复性能及高温粘度影响较大;高粘高弹改性沥青表现出优异的粘弹性能,软化点达到 92 ℃,5 ℃弹性恢复达到 86%,60 ℃粘度达到 62 000 Pa·s;采用高粘高弹沥青作为胶结材料,相比于 SBS 改性沥青和高粘沥青,大幅提升了 SMA 混合料的路用性能和耐久性能,70 ℃动稳定度超过 7 000 次/mm,0.3 应力比下的疲劳次超过 6 万次。

关键词:高粘高弹改性沥青;SMA;路用性能;疲劳性能

中图分类号:TU535

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2014.07.006

0 引 言

SMA(Stone Mastic Asphalt)混合料是具备骨架密实型结构的路面材料,近年来,已广泛应用于桥面铺装工程中,较之其它类型沥青混合料路用性能更好,有着明显的应用优势^[1-2]。但是,由于桥梁的服役条件特殊,导致 SMA 在桥梁的应用中出现不同程度的病害(局部拥包、局部疲劳裂缝),综合分析病害产生的原因,主要有以下两点:①桥面的使用条件温度较高,SMA 铺装层易发生永久变形;②车辆超载严重,材料设计指标不足,出现疲劳裂缝^[3-5]。因此,需要结合病害原因增加 SMA 路面的高温稳定性能和耐疲劳性能,避免病害产生。

橡胶高粘高弹改性沥青是在基质沥青的基础上,采用橡胶粉、SBS 及增粘、增塑等组分进行复合改性制备而成的一种高性能改性沥青,具备优异的温度稳定性及粘韧性能,在排水路面及应力吸收层中都得到了成功应用^[6-7]。若能将橡胶高粘高弹改性沥青应用于 SMA 路面,则混合料的温度稳定性能及抗疲劳性能必将有一定改善。此外,本文采用的橡胶粉为废旧轮胎磨细制备而成,具有一定的环保意义。

本文拟进行橡胶高粘高弹改性沥青配方优化设计,利用高粘高弹改性沥青制备 SMA 沥青混合料,与使用普通改性沥青 SMA、普通高粘 SMA 的路用性能进行对比。

1 原材料及实验方法

1.1 橡胶高粘高弹改性沥青制备及实验方法

基质沥青选用重交 70 号道路沥青(AH-70),技术指标如表 1 所示。SBS 采 YH-791 线形 SBS,嵌段比 S/B 为 30/70;橡胶粉采用 0.425 mm(40 目)橡胶粉;增粘改性组分为石油类树脂;增塑改性组分为酯类化合物,无色油状液体,与沥青有良好的相容性。

采用 FLUKO 公司生产的 FM300 型实验室高速剪切分散乳化机(转速范围为 300~11 000 r/min)配合加热保温套进行沥青改性实验。首先将基质沥青加热到 185 ℃,依次缓缓加入橡胶粉、SBS、增粘组分、增塑组分,并持续剪切 1 h,保持温度为 180~200 ℃,剪切速率为 3 000~5 000 r/min,将剪切后的沥青放置在 165 ℃的烘箱中继续溶胀发育 2 h,得到橡胶高粘高弹改性沥青。

收稿日期:2014-03-26

基金项目:国家自然科学基金项目(51302198);武汉工程大学科学研究基金(k201312)

作者简介:沈 凡(1985-),男,湖北赤壁人,讲师,博士。研究方向:道路交通。

表 1 70 # 基质沥青技术指标		
Table 1 The performance of 70 # asphalt		
技术指标		
25 ℃ 针入度/0.1 mm		66.0
软化点/℃		46.5
15 ℃ 延度/mm		>100
延度(25 ℃,5 cm/min)		38
RTFOT 后残留物	质量损失	0.7
	针入度比	71

1.2 SMA 制备及实验方法

分别采用 SBS 改性沥青、普通高粘沥青、橡胶高粘高弹改性沥青制备 SMA 沥青混合料,各类沥青性能指标如表 2 所示,石料选用优质的湖北通山玄武岩,填料为石灰石矿粉,纤维为深圳海川科技有限公司生产的聚酯纤维.

表 2 SBS 改性沥青、橡胶高粘高弹改性沥青指标			
Table 2 The performance of SBS modified asphalt, high viscosity and high elastic modified asphalt			
指标	SBS 改性沥青	高粘 沥青	橡胶高粘高弹 改性沥青
软化点/℃	75	86	92
针入度/0.1 mm	46	56	53
延度(5 ℃)/cm	35	65	52.5
60 ℃ 粘度/(Pa·s)	—	43 000	62 000
弹性恢复(5 ℃)/%	62	75	86
韧性/(N·m)	—	21	26
粘韧性/(N·m)	—	26	33

按《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)中 SMA 的设计方法,制备三组油石比相同的 SMA-13 沥青混合料,依据《公路工程沥青及沥

青混合料实验规程》(JTG E20-2011)进行浸水残留稳定度、冻融劈裂强度比、动稳定度、低温小梁弯曲 4 项路用性能测试;并以现象学法为基础,采用 MTS 材料试验机进行控制应力的三点弯曲疲劳测试,加载方式为 10 Hz 半正弦波,实验温度 15 ℃.

2 橡胶高粘高弹改性沥青的制备及性能

本研究在经验范围内变化各改性组分的掺量进行改性沥青制备,并测试橡胶高粘高弹改性沥青的软化点、针入度、延度(5 ℃)、弹性恢复(5 ℃, 25 ℃)、60 ℃ 粘度、180 ℃ 粘度指标的变化规律^[8-9],实验数据如表 3 所示.

由表 3 中 A-1、A-2 和 A-3 组的实验结果可知,在复合改性的条件下,随着 SBS 改性剂掺量的增加,软化点升高、针入度降低、延度增加、弹性恢复增加、粘度升高,SBS 改性剂在本文复合改性体系中对各大指标的影响规律明显,为重要改性组分.但是,随着 SBS 掺量的不断增加,各大指标变化趋于平缓,这是由于沥青中的 SBS 分子链在高速剪切作用下形成网络,性能的提升存在极值,数据表明,在本研究的改性体系中,SBS 掺量在 6% 时改性效果最好.

通过 B-1 和 B-2 组的实验结果可知,橡胶粉主要影响橡胶高粘高弹改性沥青的 5 ℃ 弹性恢复及 180 ℃ 粘度指标,随着橡胶粉掺量的增加,5 ℃ 弹性恢复能力明显增强,表现出明显的低温柔韧性.另外,高温(180 ℃)粘度明显增加,这易导致高粘 SMA 在施工过程中出现混合料离析及压实度不足的情况,因此,通过本实验可知,为防止用于 SMA 的橡胶高粘高弹改性沥青高温粘度过大,需要控制改性组分中橡胶粉的用量.

表 3 不同改性组分配方对橡胶高粘高弹改性沥青性能的影响											
Table 3 The influence of difference formula on performance of high viscosity and high elastic modified asphalt											
实验组	SBS	橡胶粉	增粘 组分	增塑 组分	软化点/℃	针入度/0.1 mm	延度 5 ℃ /cm	弹性恢复/%		粘度 60 ℃ / (Pa·s)	粘度 180 ℃ / (Pa·s)
								5 ℃	25 ℃		
A-1	4	15	3	2	84.0	56.3	49.2	84.5	95.0	49 000	1.065
A-2	6	15	3	2	92.0	53.0	52.3	86.0	95.5	62 000	1.652
A-3	8	15	3	2	93.5	45.6	53.9	87.2	96.0	63 500	1.891
B-1	6	20	3	2	93.0	55.5	50.9	89.2	96.2	—	5.256
B-2	6	10	3	2	89.5	48.1	48.2	79.0	95.9	—	0.653
C-1	6	15	1	2	91.5	53.2	51.3	85.5	95.4	42 000	1.593
C-2	6	15	5	2	92.0	52.0	52.0	86.3	95.1	65 200	1.925
D-1	6	15	3	1	92.5	47.5	54.0	85.2	95.6	—	1.562
D-2	6	15	3	3	92.5	56.5	50.7	85.9	96.1	—	1.639

通过 C-1 和 C-2 组实验结果可知,增粘组分的加入主要影响改性沥青的 60 ℃粘度,其掺量由 1%增大到 3%,60 ℃粘度增加了 32%,增粘效果非常明显.本研究所用的增粘树脂的软化点达到 110 ℃,比基质沥青的软化点高两倍以上,与基质沥青混溶后增加,在钢箱梁 SMA 路面的高温服役条件下具有优异的热稳定性能,提高沥青混合料抗永久变形能力.

通过 D-1 和 D-2 组的实验结果可知,增塑组分 1%、2%、3% 的情况下,针入度分别为 47.5、53、56.5,影响规律明显,但增塑组分对其他各项指标的影响并无规律性.另外,所有实验组的 25 ℃的弹性恢复都超过 95%,说明在本改性体系下的改性沥青具备优异的弹性恢复性能,应用于 SMA 中可影响路面的抵抗疲劳能力.

综上所述,配方优化后的橡胶高粘高弹改性沥青具备优异的低温柔韧性及粘弹性能,可以提升沥青混凝土抵抗高温变形及抗疲劳能力,满足

制备 SMA 对沥青的基本要求.

3 SMA 性能比较与分析

3.1 路用性能

路用性能测试结果如表 4 所示.研究结果表明,采用橡胶高粘高弹改性沥青制备的 SMA 材料各项路用性能最优.其中,水稳定性能达到路面基本要求,且高于 SBS 及高粘沥青路面,水稳定性能优异;采用橡胶高粘高弹改性沥青制备的 SMA 路面高温稳定性能明显高于 SBS 及高粘 SMA 路面,且 70 ℃动稳定度下降仅为 16.2%,而 SBS 和高粘 SMA 路面 70 ℃动稳定度下降分别为 51%及 38.6%,说明橡胶高粘高弹改性沥青明显改善 SMA 路面的高温稳定性;由于橡胶粉增加了沥青的低温柔韧性,因此橡胶高粘高弹改性沥青的低温小梁弯曲实验结果最优,表现出优异的低温性能.

表 4 采用不同沥青制备的 SMA-13 路用性能

Table 4 The pavement performance of SMA prepared by difference asphalt

项目	TSR/ %	浸水残留 稳定度/%	60 ℃动稳定 度/次·mm ⁻¹	70 ℃动稳定 度/次·mm ⁻¹	-10 ℃弯拉 强度/MPa	-10 ℃弯拉 应变/με
SBS 改性沥青	87.2	88.5	5 310	2 620	2 866	2 892
高粘沥青	89.6	91.2	7 520	4 620	3 256	3 257
橡胶高粘高弹改性沥青	91.9	93.2	8 650	7 252	3 612	3 625

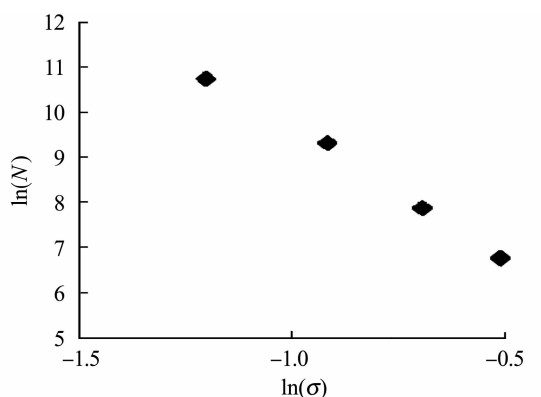
3.2 疲劳性能

疲劳性能的实验结果如表 5 及图 1 所示.

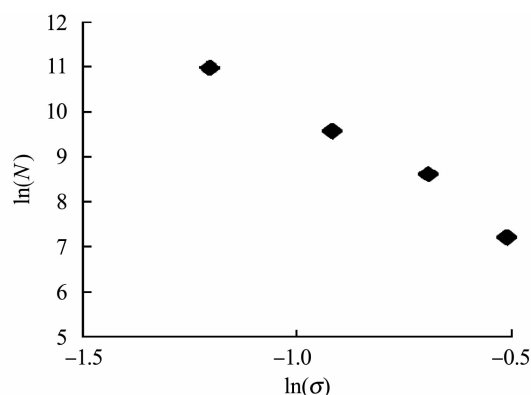
表 5 采用不同沥青制备的 SMA-13 疲劳方程

Table 5 The fatigue equation of SMA prepared by difference asphalt

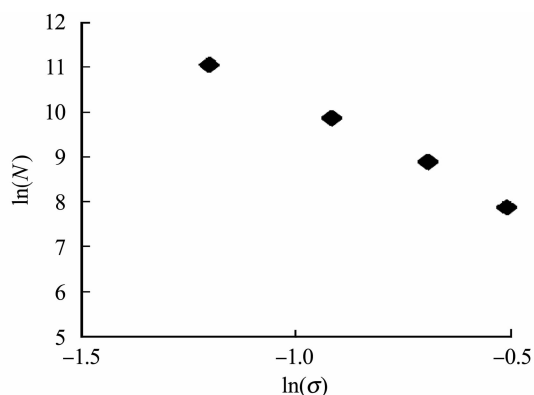
沥青种类	应力比(σ)	疲劳寿命 N_f /次	疲劳方程	参数 k	参数 n
SBS 改性沥青	0.6	865	$N_f=4.97E+1 (1/\sigma)^{5.787}$	4.97E+1	5.787
	0.5	2 650			
	0.4	11 265			
	0.3	46 526			
高粘 沥青	0.6	1 353	$N_f=1.13E+2 (1/\sigma)^{5.260}$	1.13E+2	5.260
	0.5	5 599			
	0.4	14 321			
	0.3	58 395			
橡胶高粘高弹 改性沥青	0.6	2 655	$N_f=2.88E+2 (1/\sigma)^{4.525}$	2.88E+2	4.525
	0.5	7 265			
	0.4	19 260			
	0.3	63 255			



(a)SBS 改性 SMA



(b)高粘 SMA



(c)橡胶高粘高弹 SMA

图 1 采用不同沥青制备 SMA-13 S-N 散点图

Fig. 1 The S-N scatter diagram of SMA prepared by difference asphalt

结果表明,采用橡胶高粘高弹改性沥青的 SMA 混合料的疲劳寿命值高于 SBS 及高粘沥青 SMA,疲劳寿命最长; n 值反应的是材料对载荷变化的敏感程度,3 种不同改性沥青制备的 SMA 混合料中橡胶高粘高弹改性 SMA 的 n 值最小,说明其随着疲劳载荷的增加,疲劳寿命降低最小。因此,橡胶高粘高弹改性沥青改善了 SMA 混合料的疲劳特性,使 SMA 具备更优异的抗疲劳性能。

4 结 语

a. 橡胶粉对橡胶高粘高弹改性沥青的弹性恢复性能及高温粘度影响较大,考虑到在 SMA 应用

过程中的施工性能,必须控制橡胶粉用量,但橡胶粉用量少会导致弹性恢复性能变差,在 SMA 中应用需要对胶粉掺量进行优化。

b. 橡胶高粘高弹改性沥青在服役温度区间表现出优异的粘弹性能,软化点达到 92 ℃,5 ℃弹性恢复达到 86%,60 ℃粘度达到 62 000 Pa · s。

c. 采用橡胶高粘高弹改性沥青的 SMA 沥青路面抵抗高温车辙及抗疲劳性能优于普通 SBS 及高粘沥青路面。

致 谢

感谢国家自然科学基金委员会及武汉工程大学资金资助。

参考文献:

- [1] 王娜,申爱琴. SMA 沥青混合料改性沥青玛蹄脂的性能[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(6): 27-33.
WANG Na, SHEN Ai-qin. Performance of modified asphalt matrix in SMA mixture [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(6): 27-33. (in Chinese)
- [2] 朱新辉. SMA 在苏通大桥引桥桥面铺装中的应用[J]. 公路,2009(4):91-95.
ZHU Xin-hui. The application of SMA in the approach of the sutong bridge deck pavement[J]. Highway, 2009(4): 91-95. (in Chinese)
- [3] 王珏. 钢桥面 SMA 沥青铺装层应用优化研究[J]. 路基工程,2010(4):97-99.
WANG Jue. Study on optimization of SMA asphalt pavement on steel bridge surface[J]. Subgrade Engineering, 2010(4): 97-99. (in Chinese)
- [4] 黄卫,张晓春,胡光伟. 大跨径钢桥面铺装理论与设计的研究进展[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2002,32(3):480-484.
HUANG Wei, ZHANG Xiao-chun, HU Guang-wei. New advance of theory and design on pavement for long-span s steel bridge[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2002, 32(3): 480-484. (in Chinese)
- [5] 兰中秋,何川,丹宇,等. 钢箱梁桥 SMA 沥青路面温度场的数值模型[J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2003,26(6):66-69.
LAN Zhong-qiu, HE Chuang, DAN Yu, et al. Numerical model of temperature field in SMA asphalt road surface of steel box girder bridge [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2003, 26(6): 66-69. (in Chinese)

[6] 丁庆军,彭馨彦,姜友生,等. 环保多功能沥青除冰路面一体化设计研究[J]. 安全与环境学报,2012,12(2):223-227.
DING Qing-jun,PENG Xin-yan,JIANG You-sheng,et al. Environment-friendly multi-funcion asphalt pavement de-icing design and mechanism[J]. Journal of Safety and Environment,2012,12(2):223-227. (in Chinese)

[7] 胡曙光,李潜,孙政,等. 基于防水黏结应力吸收层的高黏高弹改性沥青的研制与性能研究[J]. 公路,2010(2):134-137.
HU Shu-guang,LI Qian,SUN Zheng,et al. Prepare and performance study of high viscosity and high elastic modified asphalt base on waterproof bond stress absorbing layer[J]. Highway,2010(2):134-137. (in Chinese)

[8] 程健,张盼盼. 二次回归正交设计的高粘度改性沥青性能[J]. 武汉工程大学学报,2013,35(2):24-31.
CHENG Jian,ZHANG Pan-pan. Properties of high-viscosity modified asphalt based on quadratic regression orthogonal design[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology,2013,35(2):24-31. (in Chinese)

[9] 赵明宇,姜友生,陈光新,等. 改性沥青弹性恢复性能评价方法研究[J]. 石油沥青,2012,26(2):41-45.
ZHAO Ming-yu,JIANG You-sheng,CHEN Guang-xin,et al. Research on evaluation methods of elastic recovery performance of modified asphalt[J]. Petroleum Asphalt,2012,26(2):41-45. (in Chinese)

Preparation of stone matrix asphalt using high viscosity and high elastic modified asphalt

SHEN Fan ,REN Li ,ZHAO Ming-yu ,LU Chao ,GUO Kai

1. School of Materials Science and Engineering,Wuhan Institute of Technology,Wuhan 430074,China;
2. School of Materials Science and Engineering,Wuhan University of Technology,Wuhan 430070,China;
3. Hubei Highway Engineering Consultation and Supervision Center,Wuhan 430030,China

Abstract:To improve the pavement performance and durability of stone matrix asphalt (SMA),styrene-butadiene triblock copolymer(SBS),rubber powder,tackifying resin and plasticizer were used to modify the asphalt,and the high viscosity and high elastic modified asphalt was developed. The pavement performance and durability of SMA was analyzed comparatively when using high viscosity,high elastic modified asphalt,high viscosity asphalt and SBS modified asphalt as binder respectively. The results show that the high temperature viscosity and the elastic recovery of asphalt are closely related to the dosage of rubber powder;the viscoelasticity of high viscosity and high elastic modified asphalt is excellent,whose softening point is 92 ℃ and recovery of elasticity at 5 ℃ is 86%,viscosity at 60 ℃ reaching 62 000 Pa · s;the pavement performance and durability of SMA is improved,finally the dynamic stability of which at 70 ℃ exceeds 7 000 times · mm⁻¹,and fatigue life stress ratio at 0.3 of which exceeds sixty thousand times.

Key words: high viscosity and high elastic modified asphalt; stone matrix asphalt; pavement performance;fatigue property

本文编辑:龚晓宁