

文章编号:1671-8879(2011)03-0013-04

掺外加剂的橡胶沥青 SMA 混合料设计方法

刘亚敏¹, 韩 森¹, 徐鸥明²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061)

摘 要:为了研究橡胶沥青 SMA 混合料的配合比设计和路用性能,在普通 SMA 配合比设计方法的基础上,选择 3 种橡胶粉、1 种基质沥青和 4 个间断级配,对橡胶沥青混合料配合比设计过程进行了详细的介绍;利用车辙试验和疲劳试验,分析了不同油石比、外加剂(如 SBS、高模量耐久剂)等对混合料高温稳定性能和抗疲劳性能的影响。结果表明:与普通 SMA 混合料相比,橡胶沥青 SMA 混合料具有较小的矿粉用量和较大的目标空隙率;随着油石比的增大,橡胶沥青 SMA 混合料的高温稳定性能逐渐降低,抗疲劳性能则不断提高;车辙试验结果和疲劳试验结果呈现一致的规律,即油石比较大时,高模量耐久剂对混合料路用性能的提高作用更为明显。

关键词:道路工程;橡胶沥青;SMA;路用性能;高模量耐久剂

中图分类号:U414.3

文献标志码:A

Design method of crumb rubber modified SMA mixture using different additives

LIU Ya-min¹, HAN Sen¹, XU Ou-ming²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Material Science

and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: In order to study the design and performance of asphalt rubber SMA mixture, based on the design method of ordinary SMA mixture, three crumb rubbers, one base asphalt and four gap-graded gradations were selected for studying the design progress. Employing wheel tracking test and fatigue test, the effect of several factors, such as asphalt rubber content, SBS and high modulus additive, on high-temperature performance and fatigue resistance of mixture were analyzed. The results indicate that: compared to ordinary SMA mixture, the asphalt rubber SMA mixture has a fewer mineral filler content and a greater air voids; with increasing asphalt content, the high-temperature performance of mixture decrease, while the fatigue resistance is promoted; the results of wheel tracking test and fatigue test have a similar tendency when at greater asphalt content, the performance are promoted obviously by adding high modulus additive into mixture. 4 tabs, 2 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; asphalt rubber; SMA; road performance; high modulus additive

收稿日期:2010-06-20

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2007 318 223 018);陕西省高速公路建设集团项目(KY08-01)

作者简介:刘亚敏(1981-),女,河北保定人,工学博士研究生,E-mail: liuyamin1234@163.com。

0 引言

与普通沥青混合料相比,橡胶沥青混合料具有良好的抗低温开裂性能、抗疲劳性能以及抗老化性能,还可以降低路面噪音、减薄路面厚度和减少养护费用等^[1-3]。因此,作为一种新型的节能环保型道路材料,橡胶沥青混合料在国外得到广泛应用。20 世纪 80 年代起,橡胶沥青混合料在中国开始逐步地推广应用,许多学者也进行了一系列的研究^[4-7]。其中,在橡胶沥青的加工工艺和技术性质方面,研究较为深入系统,并取得了一定的成果^[8];而对于混合料配合比设计方面的研究,则稍显薄弱。此外,由于中国还没有形成统一的橡胶沥青混合料的相关规范,各科研机构和施工单位对混合料的设计与施工大多为自主实行,导致一些路面在使用初期便出现了病害,带来不良的社会影响^[9-10]。考虑到间断级配在提高混合料路用性能方面具有得天独厚的优势,本文在 SMA 混合料配合比设计的基础上对级配进行了调整,详细介绍橡胶沥青混合料的配合比设计过程;分析了各因素(如油石比、外加剂等)对混合料路用性能的影响。

1 试验方案

1.1 原材料

基质沥青:埃索 A-90[#] 道路石油沥青。
矿料采用陕西华县石料厂生产的碎石,规格分别为:A 料(15~9.5 mm)、B 料(9.5~4.75 mm)、C 料(4.75~2.36 mm)、机制砂(2.36~0 mm);填料为陕西泾阳产石灰岩磨细加工的矿粉。
橡胶粉:40 目橡胶粉,分别为胶粉 A、胶粉 B、胶粉 C。筛分结果如图 1 所示(参考美国亚利桑那州橡胶沥青规范)。

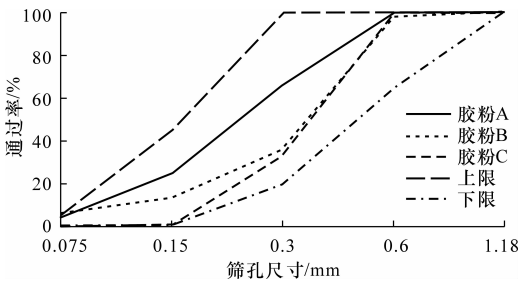


图1 橡胶粉筛分结果

外加剂:SBS、高模量耐久剂。
以上原材料技术性质均满足规范要求。

1.2 橡胶沥青加工工艺

将基质沥青与橡胶粉(质量之比为 82 : 18)在 180 ℃~190 ℃温度范围内高速搅拌 1 h 后,即可进行性能试验。

1.3 配合比设计

设计方法与普通 SMA 混合料配合比的设计相同,采用常规的马歇尔击实方法成型试件,主要分为选择橡胶沥青、确定设计级配和最佳沥青用量。

1.4 路用性能试验

通过车辙试验和疲劳试验,研究不同油石比对混合料高温性能和抗疲劳性能的影响;另外,在橡胶沥青 SMA 混合料中加入 SBS(掺量为 2%,以橡胶沥青质量计)和高模量耐久剂(掺量为 3%,以混合料质量计),分析外加剂对混合料高温稳定性和抗疲劳性能的提高程度。

2 配合比设计

2.1 橡胶沥青的选择

采用 3 种橡胶粉与基质沥青高温搅拌制得橡胶沥青,对其进行技术性质测试,测试结果见表 1。

表 1 不同类型橡胶沥青的技术性质

基质 沥青	橡胶粉	180 ℃	25 ℃	软化点/ ℃	5 ℃	弹性 恢复/ %
		粘度/ (Pa · s)	针入度/ 0.1 mm		延度/ cm	
埃索 A-90 [#]	胶粉 A	3.650	63	59.4	17.4	53
	胶粉 B	1.220	74	55.8	17.9	38
	胶粉 C	3.505	59	57.6	9.7	48

从表 1 中数据可以看出,假设以粘度为主要的评价指标,胶粉 A 对应的橡胶沥青的粘度值最大;另外,通过比较发现,胶粉 A 对应的橡胶沥青的综合性能最优。因此,决定采用胶粉 A 进行后续的配合比设计及路用性能试验。

2.2 设计级配的确定

参考现行规范中推荐的 SMA-13 混合料级配范围,同时考虑到混合料中应有较大的空隙,以保证胶粉的变形,决定减少矿粉用量。通过控制 4.75 mm、0.075 mm 筛孔的通过率(4.75 mm 通过率分别为 29%、27%,0.075 mm 通过率分别为 6%、4%),利用交叉试验,可得到 4 个不同的初试级配,结果见下页表 2。

根据 4 个初试级配和油石比为 6.0%成型马歇尔试件,测定毛体积密度并进行体积指标的计算,最终确定级配 3 为选择的设计级配。

表 2 初试级配

种类	各筛孔(mm)的通过率/ %									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配 1	100	97.9	63.5	29	25.2	21.4	17.6	13.8	10.0	6
级配 2	100	97.9	63.5	29	24.8	20.6	16.4	12.2	9.3	4
级配 3	100	97.9	63.5	27	23.5	20.0	16.4	12.9	9.7	6
级配 4	100	97.9	63.5	27	23.2	19.4	15.6	11.8	8.0	4

2.3 最佳沥青用量的确定

利用设计级配以及 4 个不同的油石比 6.1%、6.4%、6.7%、7.0%，成型马歇尔试件，计算得到各自的体积指标，试验结果见表 3。

表 3 不同油石比的橡胶沥青 SMA 混合料马歇尔试验结果

种类	油石比/ %	空隙率/ %	矿料间隙 率/%	饱和度/ %	稳定度/ kN	流值/ mm
级配 3	6.1	5.3	17.1	69.0	6.90	3.67
	6.4	4.5	16.7	73.0	7.57	4.69
	6.7	3.7	16.2	77.2	6.20	3.77
	7.0	3.2	16.7	80.8	5.88	4.48

经过分析，确定最佳油石比为 6.4%。此时，混合料空隙率为 4.5%，大于普通 SMA 混合料配合比设计的目标空隙率 4.0%。正如前面所述，可使橡胶粉在混合料中具有足够的变形空间。

3 路用性能试验结果与分析

3.1 高温稳定性能试验结果与分析

利用混合料配合比设计所得到的设计级配，通过变化油石比、掺加高模量耐久剂和 SBS，成型不同的板件，进行高温稳定性试验，试验结果见表 4。

表 4 橡胶沥青 SMA 混合料高温性能试验结果

外加剂	油石比/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
无外加剂	6.4	8 414
	6.9	4 578
	7.4	2 350
高模量耐久剂	6.4	9 474
	6.9	10 595
	7.4	6 374
SBS	6.4	9 297
	6.9	6 725
	7.4	5 342

通过分析试验数据，可以得出以下结论。

(1)当油石比为 6.4%时，掺加外加剂可以提高混合料的高温稳定性，其中，掺加高模量耐久剂的效果与 SBS 大致相同。

(2)当油石比增大为 6.9%时，掺加高模量耐久剂使得混合料的动稳定度提高了 1.31 倍，SBS 则提

高了 0.47 倍，即掺加高模量耐久剂的效果明显高于 SBS。当油石比继续增大为 7.4%时，掺加高模量耐久剂的效果也略高于 SBS，这可能是因为较小的油石比不能充分浸透高模量耐久剂，从而导致其不能完全发挥作用；随着油石比的增加，其改善效果逐渐显现，从而使得混合料的高温稳定性显著提高。

(3)对于未掺加外加剂的混合料，随着油石比的增大，其高温稳定性能逐渐降低；对于掺加高模量耐久剂的混合料，当油石比增大为 6.9%、7.4%时，高温稳定性首先得到一定程度的提高，但随后出现明显的衰减。原因正如前所述，6.9%的油石比是促使高模量耐久剂充分发挥作用的最佳油石比。

3.2 抗疲劳性能试验结果与分析

利用混合料配合比设计得到的设计级配，通过变化油石比、掺加高模量耐久剂，成型不同板件，进行控制应力的疲劳试验，将应力值 σ 和疲劳寿命 N_f 分别取对数，得到疲劳曲线方程，如下页图 2 所示。

通过分析试验数据，可以得到以下结论。

(1)油石比相同时：①当油石比较小(6.4%)时，未掺加外加剂混合料的抗疲劳性能优于掺加高模量耐久剂混合料，即在相同的应力水平下，前者的疲劳寿命大于后者，达到相同的疲劳寿命时，后者所需要的应力值(疲劳强度)大于前者；②当油石比较大(6.9%、7.4%)时，掺加高模量耐久剂可以显著提高混合料的抗疲劳性能，这与前述所得的高温稳定性的规律是一致的；③当油石比为 6.9%、7.4%时，在相同的应力水平下，掺加与未掺加高模量耐久剂混合料的疲劳寿命，前者的抗疲劳性能要优于后者；同时，当达到相同的疲劳寿命时，掺加与未掺加高模量耐久剂混合料所需要的应力值，前者也大于后者，表明前者抗疲劳性能较为优良。

(2)油石比不同时：①对于未掺加外加剂的混合料，其弯拉强度随着油石比的增加而不断增大，并且油石比越大，其疲劳曲线的线位越高，疲劳寿命越长，以上变化趋势均表明，随着油石比的增加，混合料的抗疲劳性能不断增强；②对于掺加高模量耐久剂的沥青混合料，其弯拉强度与疲劳寿命的变化规律与未掺加外加剂混合料一致，均随油石比的增加而不断增大，即混合料抗疲劳性能得到不断增强。

4 结 语

(1)与普通 SMA 混合料相比，橡胶沥青 SMA 混合料中矿粉用量较少，配合比设计的目标空隙率较大，可使橡胶粉在混合料中具有足够的变形空间。

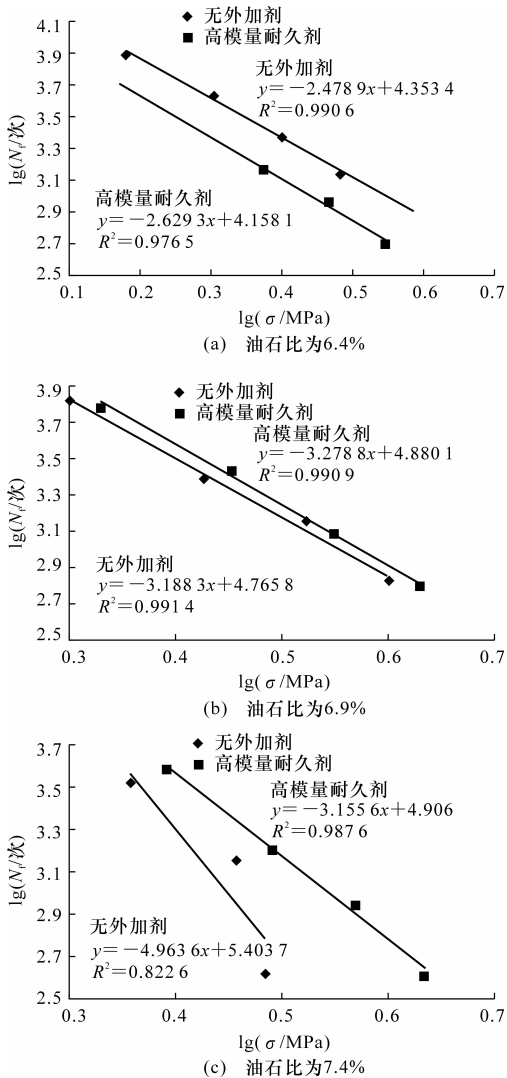


图2 橡胶沥青 SMA 混合料抗疲劳性能试验结果

注: y 为 $\lg(N_f)$; x 为 $\lg(\sigma)$; R^2 为判定系数。

(2) 随着油石比的增大, 橡胶沥青 SMA 混合料的高温稳定性能逐渐降低, 抗疲劳性能则不断提高。

(3) SBS 外加剂和高模量耐久剂均可以改善橡胶沥青 SMA 混合料的高温稳定性能; 当油石比较大时, 高模量耐久剂的改善作用更为明显。

(4) 与高温稳定性能试验相比, 橡胶沥青 SMA 混合料的抗疲劳性能试验呈现相似的规律: 当油石比较大时, 高模量耐久剂可以比较显著地提高混合料的抗疲劳性能。

参考文献:

References:

[1] Choubane B, Sholar G A, Musselman J A, et al. Long term performance evaluation of asphalt-rubber surface mixes[R]. Tallahassee: Florida Department of Trans-

portation, 1998.

- [2] Kaloush K E, Witzczak M W, Way G B. Performance evaluation of Arizona asphalt rubber mixtures using advanced dynamic material characterization tests[R]. Tempe: Arizona State University, 2002.
- [3] Thodesen C, Xiao F P, Amirkhanian S N. Modeling viscosity behavior of crumb rubber modified binders [J]. Construction and Building Materials, 2009 (23): 3053-3062.
- [4] 孙雪伟. AR-AC13 橡胶沥青混合料设计与施工[J]. 中外公路, 2008, 28(5): 235-238.
- SUN Xue-wei. Mix design and construction of asphalt rubber AR-AC13 mixture [J]. Journal of China and Foreign Highway, 2008, 28(5): 235-238.
- [5] BAI Qi-feng, QIAN Zhen-dong, CAO Rong-ji. Mix design method of asphalt rubber open-graded friction course and its application in overlay [J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2009, 25 (3): 395-399.
- [6] 宋毅, 王端宜. 橡胶沥青在高速公路罩面工程中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2009, 26 (12): 51-54.
- SONG Yi, WANG Duan-Yi. Application of rubber asphalt in covering project of expressway [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2009, 26(12): 51-54.
- [7] 吕伟民. 橡胶沥青路面主要结构类型与工程应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2009, 26(10): 16-20.
- LU Wei-min. Main structure and application of rubber asphalt pavement [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2009, 26(10): 16-20.
- [8] 曹荣吉, 陈荣生. 橡胶沥青工艺参数对其性能影响的试验研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2008, 38 (2): 269-273.
- CAO Rong-ji, CHEN Rong-sheng. Laboratory study on process parameters of asphalt rubber and their effect on performance [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2008, 38 (2): 269-273.
- [9] 孙妍枫, 杨志成, 张锋, 等. 废旧轮胎橡胶粉沥青混凝土路面设计及应用[J]. 公路, 2009(3): 158-161.
- SUN Yan-feng, YANG Zhi-cheng, ZHANG Feng, et al. Design and application of crumb rubber modified asphalt concrete [J]. Highway, 2009(3): 158-61.
- [10] 黄文元. 轮胎橡胶粉改性沥青路用性能及应用研究 [D]. 上海: 同济大学, 2004.