

文章编号:0451-0712(2007)02-0138-05

中图分类号:U414.101:TQ336.4

文献标识码:A

微波辐射废胶粉改性沥青及混合料性能研究

康爱红¹, 肖 鹏¹, 马爱群²

(1. 扬州大学建筑科学与工程学院 扬州市 225009; 2. 盐城工学院 盐城市 224000)

摘 要:采用微波辐射的方法对废胶粉表面进行改性活化,用高速剪切工艺在实验室制备了废胶粉改性沥青,基质沥青为泰州中海70号,废胶粉是由南通生产的80目(约0.3 mm),废胶粉掺量为15%。基于包括沥青常规三大指标试验、美国SHRP动态剪切流变试验、弯曲梁流变试验以及热存储稳定性试验等方法,对比分析了微波辐射废胶粉改性沥青和普通废胶粉改性沥青的性能;同时利用沥青混合料常规试验方法,研究了两种改性沥青混合料的路用性能。结果表明,微波辐射废胶粉改性沥青的高温性能、低温性能、抗老化性能和存储稳定性均好于普通废胶粉改性沥青;微波辐射废胶粉改性沥青混合料的高温稳定性、水稳定性均好于普通废胶粉改性沥青混合料。

关键词:微波辐射;废胶粉;改性沥青;性能;对比

废胶粉是废旧橡胶轮胎经过粉碎机粉碎后,产生的大量分子碎片颗粒,是一种含橡胶、碳黑、软化剂和硫化剂等多种材料的含交联结构材料。它表面呈现惰性,与沥青材料表面性质有较大的差异,故它们的相容性较差。要制备存储稳定性好,性能优良的废胶粉改性沥青必须采用一定的方法对废胶粉表面进行改性活化,提高废胶粉和沥青之间的界面粘合力,从而改善废胶粉—沥青体系的静态和动态的性能。

废胶粉的表面活化改性是指运用物理、化学、机械及生物等方法对废胶粉表面进行处理,根据应用的需要,有目的地改变废胶粉表面的物理化学性质,以满足现代新材料、新工艺和新技术的发展要求^[1]。

基金项目:江苏省交通科学研究计划项目(05Y37)
收稿日期:2006-10-28

Analysis of Interaction Mechanism Between Base Asphalt and SBS Polymer

CHEN Hua-xin, WANG Bing-gang

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Trough the characteristics of SBS modified-asphalt composition, interaction is discussed between SBS polymer and base asphalt with the theory of adsorption, thermodynamics and free-volume theory during the processing, construction mixing and service stage. The results show that the action is different in the different stage, therefore the features of modified asphalt must be pay more attention in the choice of raw material.

Key words: SBS modified asphalt; theory of adsorption; thermodynamics; theory of free-volume; interaction mechanism

废胶粉的表面活化方法有很多,诸如机械力学法、再生脱硫改性法、接枝法等^[2~4]。但是这些改性方法主要是针对把废胶粉加入到橡胶和塑料中,并没有专门针对把废胶粉添加到沥青中的方法。本文根据道路沥青特点,采取了微波辐射的表面活化方法,使废胶粉在处理后能够更好地与沥青相容。

1 微波辐射废胶粉试验方法

1.1 微波辐射废胶粉处理过程

将废胶粉放入 60℃ 的恒温干燥箱中烘干脱水,然后将废胶粉置于微波装置中设定相应的功率和辐射的时间,即制得活化废胶粉。为了保证废胶粉经受微波的充分而均匀地辐照,每次处理废胶粉都实行定量 60 g。制得的活化废胶粉加入热融的沥青中经高速剪切制成改性沥青。

1.2 微波辐射最佳工艺确定

采用正交设计法来设计试验。考虑到微波辐射功率和微波辐射时间两个因素的影响。对于两个因素的水平的取值事先经过初步试验的尝试来确定,其中微

波功率选择 6 个水平,辐射时间选择 4 个水平。按照条件,选择适合的正交设计表,进行试验。分析结果显示,微波辐射时间和微波功率对于软化点和延度的影响都比较明显。时间因素显得更为重要一些。整体看来,无论是软化点还是延度评价指标,其最佳试验因素都为:微波功率 1 000 W,辐射时间为 60 s。

2 改性沥青的制备

试验所用基质沥青为国产泰州中海 70 号重交通道路沥青,其常规性能指标如表 1。废胶粉是由南通新升橡胶制品有限公司生产提供,橡胶烃含量(质量分数,下同)46.0%,丙酮抽提物 10.8%,碳黑含量 28.0%,灰份 6.2%。由上海弗鲁克流体机械制造有限公司生产的 FA25 型高剪切分散乳化机进行改性沥青制备,废胶粉与基质沥青的剪切温度在 170~180℃,剪切速率最佳为 7 000 r/min,最佳剪切时间为 1 h 左右,80 目废胶粉的掺量在 15%~20% 之间,考虑到经济技术指标并结合技术性能,确定废胶粉掺量为 15%。

表 1 基质沥青常规性能指标

性能指标	针入度/0.1 mm			PI 值	$T_{800}/^{\circ}\text{C}$	$T_{1.2}/^{\circ}\text{C}$	软化点/ $^{\circ}\text{C}$	5℃延度/cm	RTFOT 残留		
	15℃	25℃	30℃						质量损失/%	针入度比/%	5℃延度/cm
基质沥青	20.0	67.0	112.0	-1.45	46.8	-9.4	48.0	—	0.06	66	—

3 微波辐射废胶粉改性沥青性能评价

实验室制备普通废胶粉改性沥青和微波辐射废胶粉改性沥青,参照我国改性沥青的技术性能标准

和美国 FHWA 磨细废胶粉改性沥青标准提出了相应的技术性能指标并进行了评价。根据这些性能指标可以对微波辐射废胶粉改性沥青和废胶粉改性沥青的性能进行对比分析。两种改性沥青性能指标见表 2。

表 2 改性沥青性能试验对比结果

性 能	性能指标	普通胶粉	微波辐射	规范要求	分项性能		综合性能	
					普通	微波	普通	微波
温度敏感性	针入度指数 PI	-0.79	0.29	>-1.0	△	☆	△	☆
高温稳定性	软化点/ $^{\circ}\text{C}$	58.5	62.8	>45	△	☆	△	☆
	当量软化点/ $^{\circ}\text{C}$	51.3	54.7	计算值	○	○		
	$G^*/\sin\delta/\text{kPa}$	1.350	1.944	≥ 1.0	○	○		
低温抗裂性能	当量脆点 $T_{1.2}/^{\circ}\text{C}$	-11.2	-19.0	计算值	△	☆	△	☆
	5℃延度/cm	16.2	23.4	>20	△	☆		
	BBR	劲度/MPa	74.2	≤ 300	△	☆		
		斜率 m	0.392	≥ 0.3	△	△		
抗老化性能	旋转薄膜	质量损失	0.057	≤ 1.0	△	△	○	△
		延度/cm	10.8	≥ 15	×	○		
		针入度比/%	90.2	≥ 65	☆	☆		
存储稳定性	离析	软化点差/ $^{\circ}\text{C}$	2.1	≤ 2.5	○	☆	○	☆

注:☆表示性能较好;△表示性能好;○表示性能一般;×表示性能较差。

3.1 温度敏感性

对于普通的道路沥青来说,其 PI 值往往小于 -1.0 ,而经过聚合物改性过后,可以大大提高其 PI 值,甚至可以达到正值。从实际效果来看,基质沥青的 PI 值为 -1.45 ,而废胶粉改性沥青的 PI 值达到 -0.79 ,经过微波辐射废胶粉改性的沥青 PI 值达到 0.29 。说明改性剂的加入对于沥青胶结料的温度敏感性有很大的改善,微波辐射废胶粉改性沥青性能受温度变化的影响小于普通废胶粉改性沥青。

3.2 高温性能

3.2.1 软化点及当量软化点($T_{R\&B}$ 和 T_{800})

改性后的沥青可以大幅度地提高基质沥青的软化点,其中经过微波活化后的废胶粉改性效果最好。

T_{800} 更能反映沥青的高温性能。对比表中可以明显看到废胶粉的加入明显改善了沥青的当量软化点。

3.2.2 车辙因子($G^*/\sin\delta$)

美国 SHRP 对于沥青高温性能一般采用动态剪切流变试验来评价^[5]。各种沥青的车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 随着温度的升高而降低,说明沥青材料的抗车辙能力随着温度的升高而变差。按 SHRP 高温分级的标准(原样沥青 $G^*/\sin\delta \geq 1.0$ kPa,薄膜老化后 $G^*/\sin\delta \geq 2.0$ kPa)来看,废胶粉对于沥青的高温性能的改性效果是非常明显的。在 15% 的废胶粉掺量下,高温分级比基质沥青提高两级到三级。在相同的温度条件下,微波辐射废胶粉改性沥青的车辙因子远大于普通废胶粉改性沥青,一般为废胶粉改性沥青的 1.2~1.3 倍左右。微波辐射后的废胶粉改性沥青比普通废胶粉改性沥青有较强的抗车辙能力。

对沥青高温稳定性能指标的对比分析,可以清楚地看到微波辐射废胶粉改性沥青的软化点明显高于废胶粉改性沥青,当量软化点差距不是很大,考虑车辙因子,前者远大于后者。综合考虑,前者的高温稳定性能好于后者。

3.3 低温性能

3.3.1 当量脆点 $T_{1.2}$

表 2 中可以看出改性沥青的当量脆点均满足规范规定的要求。其中微波辐射废胶粉改性沥青的当量脆点小于废胶粉改性沥青的当量脆点,这就说明了微波辐射后的废胶粉改性沥青的低温性能较之普通废胶粉改性沥青有了一定的改善。

3.3.2 低温延度

在低温延度的试验中,发现基质沥青在低温下

拉伸性能很差,基本上刚加力就会发生脆断。而经过改性之后,沥青的延展性能得到了很大的增长。微波辐射废胶粉改性沥青甚至可以达到 SBS 改性沥青的水准。

3.3.3 低温弯曲梁流变试验(BBR)

SHRP 规范规定蠕变劲度最大不能超过 300 MPa,且当蠕变劲度越小,相应的 m 值越大,说明对温度应力的消散能力越好,沥青的低温开裂可能性就随之减小。由表 2 中可以看出两种改性沥青都满足要求,而微波辐射废胶粉改性沥青的蠕变劲度小于普通废胶粉改性沥青,而其 m 值大小呈与之相反的趋势。这也正说明相对应沥青的低温性能的差异。改性过后的沥青低温抗裂性能较好,而微波处理后的废胶粉改性沥青的性能最优。

由此可以看到,两种改性沥青的低温性能指标上,无论是当量脆点还是低温延度,微波辐射废胶粉改性沥青的指标值都大于普通废胶粉改性沥青。可以说明前者的低温抗裂性能优于后者;弯曲梁流变试验也充分验证了前者具有更好的低温性能。

3.4 抗老化性能(RTFOT)

沥青在老化之后,其残留物的延度和针入度均较老化前有所下降,沥青的质量也由于轻质组分的挥发而减少。改性之后的沥青 RTFOT 前后的针入度比值达到 90% 以上,远远高于基质沥青,其中微波辐射废胶粉改性沥青略大于废胶粉改性沥青。对于低温延度也有相同的变化趋势。这就说明,微波辐射改性沥青的抗老化性能优于废胶粉改性沥青。

3.5 存储稳定性能

通过离析试验^[6],从试验的结果可以看出,采用微波辐射活化废胶粉的改性沥青的上下软化点差值都要比采用普通废胶粉的改性沥青要低得多,具有更好的热存储稳定性能。

对两种改性沥青进行评价和对比可以发现,在沥青的各项评测指标中,微波辐射废胶粉改性沥青的性能均好于废胶粉改性沥青。

4 微波辐射废胶粉改性沥青混合料高温性能试验结果与评价

采用 AK-13A 抗滑表层级配的类型进行改性沥青混合料的相关性能的对比试验研究。本试验采用的石料为镇江茅迪石灰岩,镇江高资矿粉。集料由扬州润扬路面工程有限公司提供。

4.1 马歇尔试验

以马歇尔稳定度和流值来评价沥青混合料高温性能,其优点是试验简单方便,但是作为一种经验指标,不能反映沥青混合料永久变形产生的机理,只能作为沥青混合料高温性能粗略的评价对比。基质沥青、废胶粉改性沥青及微波辐射废胶粉改性沥青混合料马歇尔试验结果见表 3。

表 3 马歇尔试验结果

测试性能	基质沥青混合料	废胶粉改性沥青混合料	微波辐射废胶粉改性沥青混合料	规范要求
稳定度/kN	9.42	12.46	16.9	>5.0
流值/0.1 mm	38.7	31.5	28.7	20~40

从表 3 中可以看出,改性沥青混合料的稳定度比基质沥青混合料有了比较大的提高,而流值却比基质沥青降低不少。其中,从两种改性沥青的比较而言,微波辐射废胶粉改性沥青的性能占优。这就说明两种改性沥青混合料的高温性能得到了很大的提高,其中微波辐射废胶粉改性沥青混合料的高温稳定性更好。

4.2 车辙试验

车辙试验最大特点是能充分模拟沥青路面上车轮行驶的实际情况,在用于试验研究时,还可以改变温度、荷载、试件厚度、尺寸和成型条件等,以模拟路面的实际情况,了解各种因素变化对车辙变形的影响。规定的标准板状试件尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm,质量按混合料的压实密度计算,并考虑3%的富余量。沥青混合料试件制作方法为轮碾法。启动碾压轮,先在一个方向碾压两个往返(4次),卸荷,再抬起碾压轮,将试件调转方向,再加相同荷载碾压至马歇尔标准密度(100±1)%为止,一般12个往返(24次)左右可达到要求。采用60℃车辙试验用动稳定度 DS 来评价改性沥青混合料的高温稳定性。

各种沥青混合料车辙试验结果见表 4。

表 4 车辙试验结果

混合料种类	动稳定度 DS /(次/mm)			
	DS_1	DS_2	DS_3	平均值
基质沥青混合料	851	897	834	861
废胶粉改性沥青混合料	2 170	1 987	2 098	2 085
微波辐射废胶粉改性沥青混合料	3 047	3 752	3 893	3 564

试验过程中可以看出,随着试验时间的增加,车辙的深度在不断地增加。在试验前期时间,混合料的

变形速率较大,而在试验后期变形速率逐渐减小甚至没有变化。从试验对比图可以很直观地看出,改性沥青混合料的动稳定度比基质沥青混合料的动稳定度高得多。由混合料车辙试验结果可知,微波辐射废胶粉改性沥青混合料的动稳定度为 3 564 次/mm,普通废胶粉改性沥青混合料动稳定度为 2 085 次/mm,这两种改性沥青混合料的动稳定度均满足 7 月份平均最高气温大于 30℃的地区,动稳定度大于 800 次/mm 的要求。微波辐射废胶粉改性沥青混合料的动稳定度为废胶粉改性沥青混合料的 1.5 倍以上,由此可见微波辐射废胶粉改性沥青混合料高温稳定性好于废胶粉改性沥青混合料。

5 微波辐射废胶粉改性沥青混合料抗水损害性能试验结果与评价

5.1 浸水马歇尔试验

浸水马歇尔试验是评价沥青混合料抗水损害性能的一个简单而有效的措施。按照沥青混合料马歇尔试验的要求进行试件的成型。其与标准马歇尔试验方法的不同之处在于,试件需在规定温度的恒温水槽中保温 48 h。试验见表 5。

表 5 浸水马歇尔试验结果

试验项目		基质沥青混合料	废胶粉改性沥青混合料	微波辐射废胶粉改性沥青混合料
浸水 0.5 h	稳定度/kN	9.42	12.46	16.9
	流值/0.1 mm	38.7	31.5	28.7
浸水 48 h	稳定度/kN	7.17	10.34	15.3
	流值/0.1 mm	41.3	36.7	31.6
残留稳定度/%		76.1	83.0	90.5

由表 5 可知两种改性沥青混合料马歇尔残留稳定度都高于技术标准的要求,说明改性沥青混合料的水稳定性好,可满足年降雨量大于 1 000 mm 地区的水稳定性要求。相比之下,微波辐射废胶粉改性沥青混合料的水稳定性优于废胶粉改性沥青混合料。

5.2 冻融劈裂试验^[7,8]

按照现行的沥青混合料试验规范进行冻融劈裂试验,每组平行试验 3 个,劈裂试验温度 25℃,加载速率为 50 mm/min。冻融劈裂试验前先真空饱水,接着置于-18℃冰箱中冷冻 16 h,再于 60℃恒温水箱中保温 24 h。然后将试件放入 25℃恒温水箱中保温 4 h,最后进行劈裂试验。

冻融劈裂试验,结果见表 6。

表 6 冻融劈裂试验结果

混合料类型	冻融前强度	冻融后强度	TSR%
	MPa	MPa	
基质沥青混合料	0.81	0.65	80.2
废胶粉改性沥青混合料	0.75	0.62	82.6
微波辐射胶粉改性沥青混合料	0.76	0.65	85.5

如表 6 所示,改性沥青混合料冻融前后的强度都要比基质沥青混合料稍微地下降一点,这可能是由于废胶粉的加入导致了集料表面沥青膜变薄所致。但是,发现其TSR 却是提高的。说明添加废胶粉后,混合料的抗水损害有了增强的趋势。相比较而言,微波辐射废胶粉改性沥青混合料的抗水损害的能力最好。

6 结语

- (1)废胶粉与沥青之间相容性不好,因此需要对废胶粉表面进行活化。采用微波辐射工艺对废胶粉进行活化,可以起到很好的效果。
- (2)从试验结果可以看出,微波辐射废胶粉改性沥青的各项性能指标均比普通废胶粉改性沥青好。
- (3)试验证明,微波辐射废胶粉改性沥青混合料

高温稳定性、水稳定性优于废胶粉改性沥青混合料。

参考文献:

[1] 何永峰,等,胶粉生产及其应用—废旧橡胶资源化新技术[M]. 北京:中国石化出版社,2001.

[2] 刘玉强,等,胶粉的表面改性[J]. 弹性体,2002,12(3).

[3] 李志澄,胶粉的活化与改性[J]. 橡胶工业,1997,44(10).

[4] 黄祖长,再生橡胶粉的界面接枝[J]. 橡胶参考资料,2002,32(5).

[5] 交通部重庆公路科学研究所. 美国公路战略研究计划(SHRP)沥青研究项目[Z]. 重庆:交通部重庆公路科学研究所,1995.

[6] SUN Da-quan, LU Wei-min. Investigation and improvement of storage stability of SBS modified asphalt [J]. Petroleum science and technology, 2003, 21.

[7] Green E. The chemical and physical properties of asphalt-rubber mixture[Z]. FHWA—AI—HPR14—162, Arizona department to transportation, 1977.

[8] 黄彭,橡胶粉改性沥青混合料性能与工艺技术的研究[J],中国公路学报,2001,14.

Research on Performance of Microwave Radiation CRM Asphalt and Its Mixture

KANG Ai-hong¹, XIAO-peng¹, MA Ai-qun²

(1. Science Technology and Engineering College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224000, China)

Abstract: Microwave radiation is adopted to activate the surface of the crumb rubber powder. The crumb rubber modified asphalt (CRM asphalt) is made in laboratory by using a high-speed shearing process, the matrix asphalt is Taizhou Zhonghai 70# and the crumb rubber powder with a content of 15% is made in Nantong whose diameter is 80 meshes(about 0.3 mm). On the basis of the asphalt conventional three indexes, DSR test, BBR test, and hot storage stability test etc, analyzing and comparing the performance of the microwave radiation CRM (MRCRM) asphalt and the ordinary CRM asphalt; meanwhile based on the conventional asphalt mixture testing method the pavement performance of the two modified asphalt mixtures is studied. The results show that the MRCRM asphalt is better than the CRM asphalt in terms of the high-temperature stability, low temperature performance, anti-fatigue and hot storage stability. And also the MRCRM mixture is better than the ordinary CRM mixture in terms of the high-temperature stability and water stability.

Key words: microwave radiation; crumb rubber powder; modified asphalt; performance; comparison