



一种负离子橡胶改性沥青的路用性能及应用

洪伟^①, 李青山^{②*}, 管国全^②, 刘军^①, 孙敬^③, 邢广忠^①

① 燕山大学材料学院, 亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室, 秦皇岛 066004;

② 四川禾森化工科技有限公司, 成都 610000;

③ 燕山大学外国语学院, 秦皇岛 066004

* 联系人, E-mail: qsl@ysu.edu.cn

2011-05-16 收稿, 2011-11-22 接受

国家科技支撑计划(2006BAD10B08)和河北省自然科学基金(E2009000448)资助

摘要 运用独特工艺, 按照橡胶与沥青等比例混合, 成功开发了负离子橡胶改性沥青混合料. 试验结果表明, 与传统沥青混合料相比, 该负离子橡胶改性沥青混合料显示出更加优良的路用性能, 完全满足相关规范要求. 其动稳定度、破坏应变指标均优于 SBS 改性沥青. 消耗废旧轮胎量较传统橡胶改性沥青明显提高, 改善了道路周边环境, 具有巨大的经济和社会效益.

关键词

废旧轮胎橡胶
沥青混合料
动稳定度
负离子
环境保护

随着我国汽车工业的飞速发展和人民生活水平的提高, 汽车拥有量迅速增加, 我国将面临着大量废旧轮胎的处理问题. 据统计, 我国 2002 年的废旧轮胎达到 8000 万条, 以每年 12% 的速度增加, 预计 2011 年将超过 2.2 亿条. 如此大规模的废旧轮胎将给社会带来巨大的环境压力, 因此, 废旧轮胎的再生利用迫在眉睫.

目前, 世界上处置废旧轮胎的主要途径有堆放(或填埋)、燃烧和再生利用等. 其中, 废橡胶粉在道路建设中的应用已成为世界各国研究和应用的重点, 这也是大量处理废旧轮胎的较佳选择^[1,2].

1 负离子橡胶改性沥青

(i) 主要原料. 100# 基质沥青, 胜利油田沥青厂; 再生橡胶粉, 20~100 μm , 东莞方达环宇有限公司生产; 负离子添加剂, 平均粒径为 15~400 nm, 燕大奇才科技有限公司, 经复合改性剂表面处理; 交联剂自配.

(ii) 负离子橡胶改性沥青的制备方法. 将一定

量的基质沥青熔融脱水, 按配方加入橡胶粉和交联剂(高比例的改性材料掺加技术, 橡胶和沥青比例最高可达 1:1), 搅拌均匀并升温到 180℃. 用高剪切分散乳化机在温度 170~190℃, 转速 4000~6000 r/min 的条件下, 剪切 30 min. 按配比加入负离子添加剂, 继续剪切 30 min, 降温至 160±10℃, 放置 30 min, 即得负离子橡胶改性沥青.

(iii) 红外光谱(FTIR)分析. 图 1 为负离子添加剂、橡胶改性沥青及负离子橡胶改性沥青的红外光谱分析图. 如图所示, 3425 cm^{-1} 处的特征峰为 O-H 的伸缩振的吸收峰, 1630 cm^{-1} 处的特征峰为水的 H-OH 变角吸收峰, 负离子橡胶改性沥青在这两处的特征峰比橡胶改性沥青明显加强, 表明负离子添加剂在负离子橡胶改性沥青中稳定存在; 在该区域内, 没有出现新的特征峰^[3,4]. 以上分析说明, 负离子添加剂加入到橡胶改性沥青中是一种物理混合, 没有生成新的基团, 两者之间只存在范德华力. 另外负离子添加剂粒径为纳米级, 混溶体系均匀且稳定, 适用于生产应用.

引用格式: 洪伟, 李青山, 管国全, 等. 一种负离子橡胶改性沥青的路用性能及应用. 科学通报, 2013, 58: 92~97

英文版见: Hong W, Li Q S, Guan G Q, et al. Pavement performance and application of anion rubber-modified asphalt. Chin Sci Bull, 2012, 57: 2323~2328, doi: 10.1007/s11434-012-5065-7

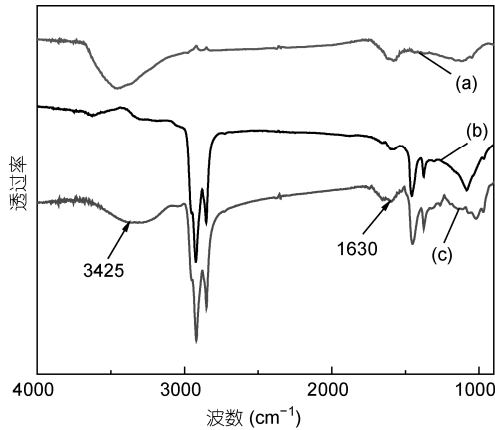


图1 (a)负离子添加剂、(b)橡胶改性沥青和(c)负离子橡胶改性沥青的红外光谱图

2 负离子橡胶改性沥青性能试验

2.1 检测项目、标准及设备

参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)和《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)中的相关规定,对样品进行常规性能检测,沥青混合料配比设计,路用性能评价.在此基础上,对样品释放负离子性能进行了评价^[5-7].检测使用的

仪器见表1.

2.2 负离子橡胶改性沥青混合料配比设计

(i) 矿料级配. 本试验采用的矿料级配类型为AC13,级配组成见表2.

(ii) 负离子橡胶改性沥青混合料马歇尔击实试验. 采用标准马歇尔击实法(T0702-2000)确定沥青混合料的油石比,双面各击实75次,击实温度为165℃.沥青混合料的毛体积采用“蜡封法”测定,最大理论相对密度(干密度)采用“真空法”测定.石蜡密度0.87 g/cm³,测试水温20℃.负离子橡胶改性沥青混合料马歇尔击实试验结果及击实曲线见表3和图2.

(iii) 负离子橡胶改性沥青混合料最佳油石比确定. 负离子橡胶改性沥青混合料的最佳油石比采用密度最大值、VMA(沥青混合料的矿料间隙率)最小值和VCA(粗集料骨架间隙率)最小值所对应的油石比综合确定.干密度最大值对应油石比:OAC₁=6.38%;VMA最小值对应油石比:OAC₂=6.38%;VCA最小值对应油石比:OAC₃=6.38%;负离子橡胶改性沥青混合料的最佳油石比:OAC=(OAC₁+OAC₂+OAC₃)/3=6.38%.

表1 检测用主要仪器和设备

序号	名称	型号	生产厂家
1	电热鼓风干燥箱	XMTA	上海标承实验仪器有限公司
2	车辙成型仪	HYCX-1	中德伟业仪器设备有限公司
3	车辙试验机	HYCZ-5	沧州中建精密仪器有限公司
4	电子万能试验机	WDW1020	美国英斯特朗有限公司
5	大气离子测量仪	DLY-6A232	漳州连腾电子有限公司

表2 AC13级配组成

筛孔(mm)	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
累计通过率(%)	100	97.5	66.7	30	23.5	18.4	14.5	11.4	8.9	7

表3 负离子橡胶改性沥青混合料马歇尔击实试验结果

油石比	毛体积密度(g/cm ³)	孔隙率(%)	干密度(g/cm ³)	VMA(%)	VCA(%)	VFA(%)
5.6	2.4533	5.94	2.3232	15.38	4.087	61.39
6.0	2.4670	4.84	2.3273	15.23	40.76	68.25
6.4	2.4825	3.83	2.3332	15.02	40.61	74.51
6.8	2.4872	2.96	2.3289	15.18	40.72	80.51
7.2	2.4884	2.42	2.3212	15.46	40.92	84.37

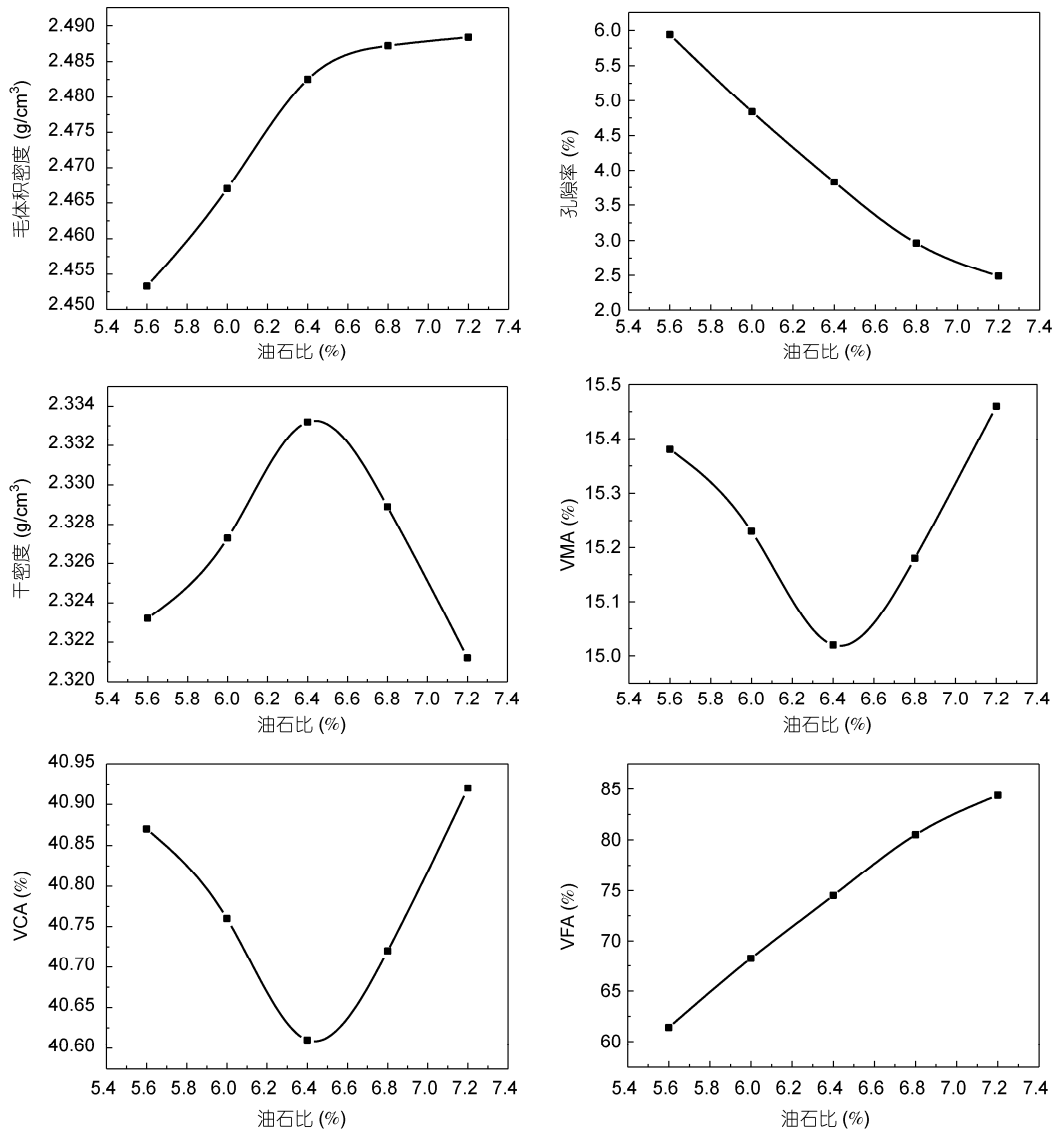


图 2 负离子橡胶改性沥青混合料马歇尔试验曲线

2.3 负离子橡胶改性沥青混合料路用性能评价

在上述最佳油石比下进行沥青混合料的路用性能评价^[8~11]。

(i) 高温车辙试验. 根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)要求, 采用轮碾法制作尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm 的车辙板试件, 测定其动稳定度, 测试结果见表 4. 动稳定度是反映沥青混合料高温抵抗永久变形性能的一个指标, 它较马歇尔稳定指标更为直观. 动稳定度越高, 沥青混合料的抗车辙能力越强, 高温稳定性越好。

由表 4 可见, 负离子橡胶改性沥青混合料的动稳

表 4 动稳定度指标检验

试验项目	动稳定度(次/mm)	施工规范中技术要求(次/mm)
车辙试验	9533.3	≥2800

定度(9533.3 次/mm)远远高于《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)中的技术要求(≥2800 次/mm), 同时高于 SBS 改性沥青(~4500 次/mm). 这主要是由于废橡胶颗粒在高温(60℃)下仍能保持高弹性, 变形恢复能力强所致. 从力学观点讲, 受压变形的废橡胶颗粒内部产生反弹应力, 相当于沥青混合料试样变成了一个能量较小的预应力试样, 因而使其抵抗外

力的能力提高。

(ii) 低温小梁弯曲试验。低温小梁弯曲试验可以用来评价沥青混合料的低温抗裂性能。根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)要求,使用 WDW1020 电子万能试验机(英斯特朗公司北京办事处,北京)进行测试,试验温度为 -10°C ,加载速率为 1 mm/min 。采用低温破坏劲度模量指标来反映该沥青混合料的低温抗裂性能,即低温破坏劲度模量值越低,废旧轮胎橡胶混合法改性沥青混合料的低温抗裂性能越好,测试结果见表 5。

由表 5 可以看出,负离子橡胶改性沥青混合料的破坏应变($7845.9\text{ }\mu\epsilon$)远远高于《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)中的技术要求($\geq 2800\text{ }\mu\epsilon$),同时高于 SBS 改性沥青(接近 $3000\text{ }\mu\epsilon$)。这主要是由于负离子橡胶改性沥青混合料的废橡胶掺加量大,低温时具有很好的柔韧性。

(iii) 水稳定性试验。水稳定性试验可用来检验负离子橡胶改性沥青混合料的抗水损害能力。测定指标为冻融劈裂强度比(TSR),即混合料冻融循环前后的劈裂抗拉强度比值。TSR 值越大,沥青混合料水稳性越好,测试结果见表 6。结果显示,负离子橡胶改性沥青混合料的残留强度比符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)中的技术要求,即负离子橡胶改性沥青混合料的水稳定性良好。

表 5 弯曲破坏应变检验

试验项目	破坏应变($\mu\epsilon$)	施工规范中技术要求($\mu\epsilon$)
低温弯曲试验	7845.9	≥ 2800

表 6 水稳定性试验

标准条件劈裂强度(MPa)	冻裂条件劈裂强度(MPa)	TSR(%)
0.274	0.491	55.9

2.4 负离子橡胶改性沥青释放负离子性能评价

(i) 测试。使用 DLY-6A232 型大气离子测量仪(漳州连腾电子有限公司,福建),对负离子橡胶改性沥青混合料铺设的一段天然负离子沥青路面进行负离子释放量测试,然后与实验室测试结果以及其他路段测试结果进行比对,得出评价结论^[12]。

测试地点:成都某路段;测试环境:雨后, 32.6°C ,阳光充足。测试结果及测试曲线见图 3~5 和表 7。

无阳光照射下,添加负离子添加剂沥青路面数据为 $3000\text{ 个}/\text{cm}^3$ 左右,阳光照射下达 $5000\sim 6000\text{ 个}/\text{cm}^3$;当路面有车经过时图像中有明显波动;其他路面负离子平均数均为 $100\sim 200\text{ 个}/\text{cm}^3$ 。在同等测试条件下,新铺未添加负离子添加剂路面和老路面的数据与添加负离子添加剂沥青路面的数据相差比较悬殊。负离子沥青路面负离子释放量测试数据很高,添加负离子添加剂后效果明显。

(ii) 分析结果。天然负离子沥青路面具有良好的释放负离子能力,并且高于实验室测得的结果,无阳光照射下,天然负离子沥青路面释放负离子数为 $3000\text{ 个}/\text{cm}^3$ 左右,阳光照射下达 $5000\sim 6000\text{ 个}/\text{cm}^3$;天然负离子沥青路面负离子释放量的测试结果明显高于普通沥青路面;适宜的空气湿度,充足的阳光照射,有利于天然负离子沥青路面提高负离子释放量。

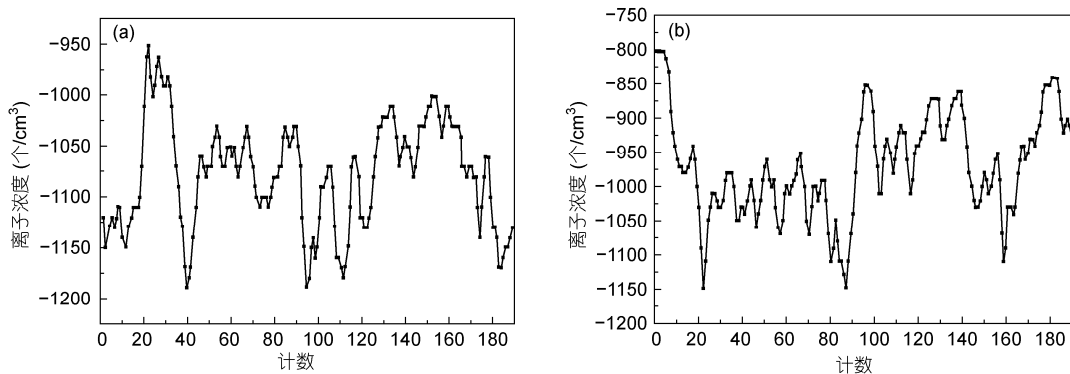


图 3 负离子释放量实验室测试图

(a) 样品 1; (b) 样品 2

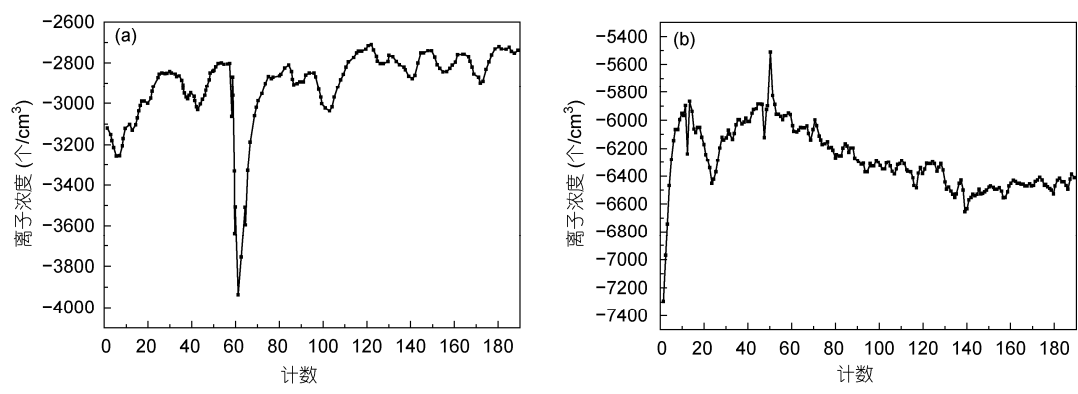


图 4 天然负离子沥青路面测试图
(a) 测试点 1; (b) 测试点 2

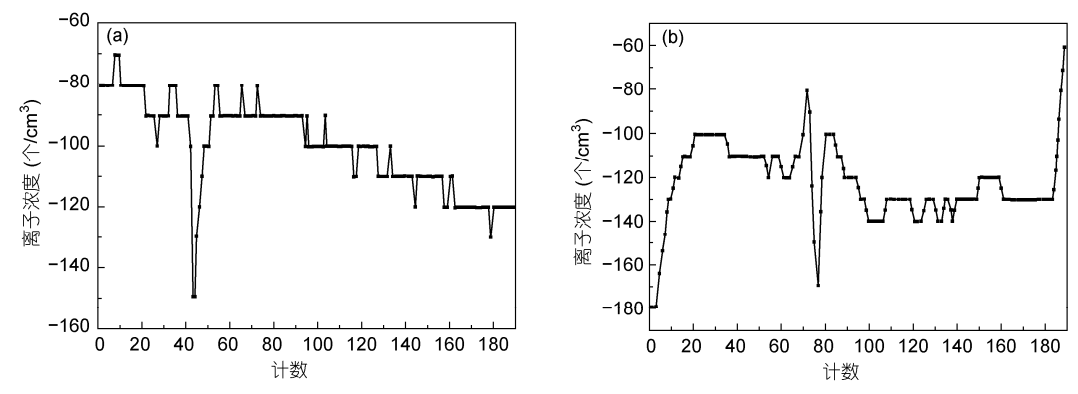


图 5 普通道路沥青路面测试图
(a) 测试点 1; (b) 测试点 2

表 7 实验室样品及沥青路面负离子测试结果

测试位置		空气负离子浓度最大值 (个/cm ³)	空气负离子浓度最小值 (个/cm ³)	空气负离子浓度平均值 (个/cm ³)	温度 (℃)	相对湿度 (%)
实验室	样品 1	-1190	-950	-1076	20	50
	样品 2	-1150	-800	-968		
天然负离子沥青路面	测试点 1	-7300	-6300	-5500	32.6	55
	测试点 2	-3910	-2700	-2860		
普通道路沥青路面	测试点 1	-180	-60	-120		
	测试点 2	-150	-70	-110		

3 综合评价

(1) 高比例的改性材料掺加技术(1:1), 对消灭黑色污染, 具有重要意义; (2) 大量地掺加废胎橡胶

粉, 使国产沥青的含蜡量降到了低于进口沥青的水平, 大大提高了国产沥青产品质量; (3) 将专利技术应用于改性沥青, 使路面具有释放负离子性能, 可以有效改善公路周边环境^[13~15].

参考文献

- 1 Liu J Y, Qiao Q, Chang L, et al. Service life of tire and amount of waste tire forecast in China. *Chin Resour Compr Util*, 2011, 29: 34–37
- 2 Aleksandrova S L, Kartashevskii A I, Tirakyan V E. Compatibility of rubbers with asphalt components and properties of artificial compounded asphalts. *Chem Tech Fuels Oils*, 1981, 17: 419–422
- 3 Estevez M. Use of coupling agents to stabilize asphalt-rubber-gravel composite to improve its mechanical properties. *J Clean Prod*, 2009, 17: 1359–1362
- 4 Liu X Y, Ma H Y, Miao S, et al. Self-assembled monolayers of stearic imidazoline on copper electrodes detected using electrochemical measurements, XPS, molecular simulation and FTIR. *Chin Sci Bull*, 2009, 54: 374–381
- 5 王睿, 周济, 邱祥冈. 基于极性晶格振动的本征型超常电磁介质. *科学通报*, 2011, 56: 504–510
- 6 公路沥青路面施工技术规范, JTGF40-2004. 北京: 人民交通出版社, 2000
- 7 公路工程沥青及沥青混合料试验规程, JTJ052-2000. 北京: 人民交通出版社, 2000
- 8 王旭东. 橡胶沥青及混合料设计施工技术指南. 北京: 人民交通出版社, 2008
- 9 Pasquini E, Canestrari F, Cardone F, et al. Performance evaluation of gap graded asphalt rubber mixtures. *Constr Build Mater*, 2011, 25: 2014–2022
- 10 Fontes L P T L, Trichês G, Pais J C, et al. Pereira, evaluating permanent deformation in asphalt rubber mixtures. *Constr Build Mater*, 2010, 24: 1193–1200
- 11 Partl M N, Pasquini E F, Canestrari A V. Analysis of water and thermal sensitivity of open graded asphalt rubber mixtures. *Constr Build Mater*, 2010, 24: 283–291
- 12 Akisetty C, Xiao F P, Gandhi T, et al. Estimating correlations between rheological and engineering properties of rubberized asphalt concrete mixtures containing warm mix asphalt additive. *Constr Build Mater*, 2011, 25: 950–956
- 13 Yeh J T, Hsiung H H, Wei W, et al. Negative air ion releasing properties of tourmaline/bamboo charcoal compounds containing ethylene propylene diene terpolymer/polypropylene composites. *J Appl Polym Sci*, 2009, 113: 1097–1110
- 14 王学敏, 李青山, 祁书涛, 等. 释放负离子高分子天然沥青复合材料. PRC Patent, CN102199358A, 2011-09-28
- 15 李柏峰, 李青山, 王学敏. 释放负离子的沥青混凝土路面材料. PRC Patent, CN102199017A, 2011-09-28