

文章编号: 1002-0268 (2011) 01-0025-06

橡胶沥青微观机理研究及其公路工程应用

李廷刚¹, 李金钟², 李伟²

(1 北京科技大学, 北京 100083; 2 北京市路政局通州公路分局, 北京 101100)

摘要: 通过对橡胶沥青进行电镜分析, 认为橡胶沥青形成机理可以解释为胶粉与基质沥青在高温条件下混合后同时发生物理和化学两种反应。胶粉颗粒发生物理溶胀反应, 同时胶粉颗粒表面与基质沥青形成凝胶体, 彼此相连形成似网状结构。对不同规格胶粉、不同胶粉掺量、不同反应时间和不同反应温度所生成的橡胶沥青进行对比试验, 并对橡胶沥青混合料的性能以及路面指标进行了检测。结果表明: 胶粉粒径对橡胶沥青指标以及存储性能有一定影响, 应使用 20~40 目载重汽车子午胎胶粉; 胶粉掺量越大, 橡胶沥青粘度越高, 在确保施工可行性的前提下应尽可能增大胶粉掺量; 同时反应温度和反应时间对橡胶沥青的指标有较大影响, 建议反应温度控制在 180~190℃, 反应时间 45 min 左右, 不宜超过 4 h。

关键词: 道路工程; 橡胶沥青; 电镜; 机理; 似网状结构

中图分类号: U414.7+5 TU528.41

文献标识码: A

Micro-mechanism Study and Road Engineering Application of Rubber Asphalt

LITinggang¹, LI Jinzhong², LI Wei²

(1 University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

2 Tongzhou Branch of Beijing Roadway Administration Bureau, Beijing 101100, China)

Abstract Based on the results of electron microscope observation, the formation mechanism of rubber asphalt can be explained as follows. Both chemical and physical reactions take place when crumbed rubber and base bitumen are mixed together at high temperature. Physical swelling of the crumbed rubber particles takes place during the process, at the same time a layer of gel forms on the surface of crumbed rubber particles and base bitumen, through which the particles connect with each other and a network structure is formed. A series of contrast tests on rubber asphalt made of different sizes of crumbed rubber, different crumbed rubber contents, different reaction time and different reaction temperatures was carried out. The properties of the rubber asphalt mixtures and the pavement performance were tested. The test results show that (1) the size of crumbed rubber has a certain impact on rubber asphalt index and its storage property, crumbed rubber of 20 to 40 mesh made of radial tire of auto truck should be used; (2) the higher the crumbed rubber content is, the higher the asphalt rubber viscosity is, so crumbed rubber content should be as much as possible under the condition that the feasibility of the construction can be ensured; (3) both reaction temperature and time have considerable influence on asphalt rubber index, so reaction temperature should be controlled around 180~190℃, with reaction time around 45 min, no more than 4 h.

Key words road engineering; rubber asphalt; electron microscope; mechanics; semi-network structure

收稿日期: 2010-02-05

作者简介: 李廷刚 (1978-), 男, 吉林白山人, 博士, 从事公路工程研究。(litgang@gmail.com)

0 引言

橡胶沥青是将废旧轮胎加工成一定细度的胶粉后与普通基质沥青在一定条件下熔合反应所生成的改性沥青^[1], 是沥青、废旧轮胎橡胶粉和某些添加剂组成的混合物^[2], 属于高分子复合型胶结材料。按照目前国际上普遍接受的概念, 橡胶沥青是指废胎胶粉与沥青(有的掺加一定比例的添加剂)按一定比例拌和而得到的满足相关技术指标要求的产物, 其中废胎胶粉的掺量不小于 15% (内掺) 或 17.6% (外掺), 又称沥青橡胶^[3]。由于橡胶沥青所具有的优良路用性能以及在环保方面的优势, 受到国内广大公路工程技术人员的关注, 近年来在我国的发展非常迅速^[4]。

为贯彻落实“发展循环经济和建设资源节约型社会”的要求, 北京市交通委立项开展了“废胎胶粉改性沥青的应用研究”课题的研究, 作为该研究课题的重要试验环节, 通州孔兴路铺筑了 2 km 橡胶沥青混凝土面层, 试验段路面结构为: 4 cm AC-13C 橡胶沥青混凝土 + 改性乳化沥青粘层 + 4 cm AC-16C 橡胶沥青混凝土 + 改性乳化沥青透层 + 49 cm 二灰碎石。

1 橡胶沥青生成机理

目前橡胶粉与沥青之间的相互作用机理尚未研究清楚, 比较流行的改性机理有: 物理共混说、网络填充说以及化学共混说^[5]。

物理共混说: 橡胶粉加入到沥青中后, 橡胶粉的分子受到沥青组分中芳香烃、饱和烃的作用发生溶胀和溶解, 而均匀分散在沥青中形成共混体系。

在物理共混中没有发生化学作用, 仅仅是物理作用, 要求橡胶粉与沥青有较好的相溶性、相容性、溶解性和分散性, 以达到较好的物理混合。

网络填充说: 是指在橡胶粉加入到沥青中后, 橡胶粉分子受到沥青油分和芳香分的作用而被分开, 发生溶胀和部分溶解过程; 然后是扩散或溶胀团粒的分散过程, 是橡胶粉以微粒或丝状随机分布在沥青基体中。

化学共混说: 是指在沥青中不仅有烷属烃、烯属烃和芳香烃, 还含有极性和非极性化合物, 存在着羟基、脂基等有机官能团, 可以和许多物质发生化学反应, 产生化学交联或化学加成, 生成新的化学键的结合。橡胶沥青加入硫化剂, 可使橡胶发生硫化反应, 可以形成硫化大分子网络结构。

这些学说所论及的橡胶粉与沥青的相互作用, 都有其合理性, 对经过加工的橡胶沥青采用 40 目 (0.6 mm) 和 200 目 (0.075 mm) 2 级过滤网, 基本能过滤出橡胶沥青中的橡胶颗粒, 说明胶粉在橡胶沥青中有物理填充的作用; 而且在过滤前不同掺量橡胶粉在橡胶沥青中的物理表现相当稳定, 表明橡胶粉颗粒在沥青中分布状况良好; 同时过滤后的橡胶沥青密度增大, 说明橡胶粉对沥青的化学成分有一定的影响, 其间存在化学作用。试验研究表明橡胶粉掺入沥青中不仅仅是简单的物理填充, 也不完全会产生化学反应, 而是处于两者共存的状态, 其产物是橡胶粉和沥青的共混合体系。

图 1 为 80 目以下精细胶粉末掺加任何添加剂的橡胶沥青在 180 °C 条件下反应不同时间的扫描电镜照片, 依次为 30、60 和 120 min, 其中银白色物质为胶粉颗粒核心^[6]。

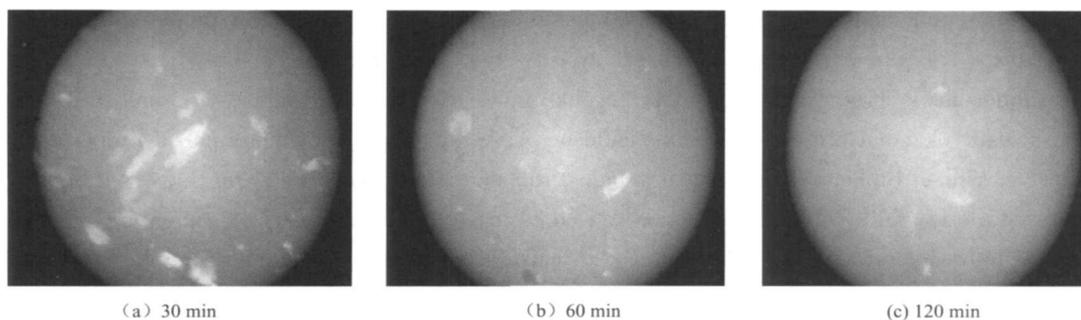


图 1 不同反应时间的橡胶沥青扫描电镜照片

Fig 1 Photos of rubber asphalt at different reaction time taken with scanning electron microscope

从图 1 中可以看出, 胶粉和沥青在高温条件下反应 30 min 时, 混合物中存在大量胶粉颗粒, 随着反应时间的延长, 橡胶沥青中胶粉颗粒核心不断溶

解, 此时扫描电镜只能观察到胶粉颗粒核心。

为了进一步从微观角度对橡胶沥青的形成机理进行分析, 作者采用电子显微镜对不同反应时间的

橡胶沥青进行观察, 图 2 为采用内掺 18% 的 22 目胶粉分别反应 10 min 和 60 min 的橡胶沥青电镜照片。

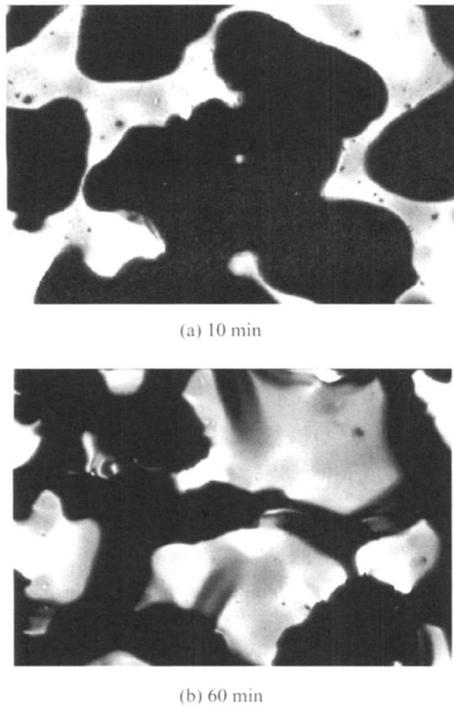


图 2 不同反应时间的橡胶沥青电子显微镜照片

Fig. 2 Photos of rubber asphalt at different reaction time taken with electron microscope

从图 2 可以清晰地看出, 橡胶沥青在高温条件下反应 10 min 时, 胶粉颗粒相对独立, 而当达到 60 min 时, 胶粉颗粒表面与基质沥青形成凝胶体彼此相连, 形成非常明显的近似网状结构。但橡胶沥青中的网状结构在高温条件下是不稳定的, 随着反应时间延长, 胶粉颗粒核心逐渐融化, 而连接胶粉颗粒的凝胶体也逐渐与基质沥青相溶, 最终网状结构消失, 这就解释了橡胶沥青高温存储稳定性差而必须进行现场改性的原因。

因此橡胶沥青的形成机理可以解释为: 胶粉与基质沥青在高温条件下 (180 °C 以上) 混合后, 胶粉颗粒扩散到沥青中, 同时发生物理和化学 2 种反应, 其中胶粉颗粒吸收沥青中的油分而溶胀, 体积增大, 并在一定程度上发生脱硫反应, 胶粉颗粒变得疏松而柔软, 恢复其一定的塑性和粘性, 表面形成凝胶体。但胶粉颗粒核心仍然存在^[7], 该颗粒核心与基质沥青分子通过凝胶体相连, 在胶结料中形成连续相体系, 并形成网状结构。因此橡胶沥青与普通沥青和其他改性沥青的最大区别就在于即使在 200 °C 左右的高温条件下仍保持固-液两相体的性

质, 也正是由于这一原因, 橡胶沥青体现出了一些较其他品种沥青更加良好的性能。

2 橡胶沥青结合料配方设计及性能

2.1 不同规格胶粉

采用山东滨州产 AH-90 重交道路石油沥青, 分别选用 22 目、40 目和 80 目的废旧载重汽车子午胎胶粉, 其物理化学指标见表 1 和表 2。

表 1 路用废胎胶粉的物理技术指标

Tab. 1 Physical property of waste crumbed rubber used in road engineering

项目	相对密度	水分 /%	金属含量 /%	纤维含量 /%
检测结果	1.21	0.27	0.002	0

表 2 路用废胎胶粉的化学技术指标

Tab. 2 Chemical property of waste crumbed rubber used in road engineering

检测项目	灰分 /%	丙酮抽出物 /%	碳黑含量 /%	橡胶烃含量 /%
检测结果	6.62	10.02	32.86	51.42

为生产方便, 生产之前先对胶粉进行处理, 添加一定比例隔离剂并拌和均匀。生产过程中胶粉掺量均为内掺 18.5%, 胶粉与基质沥青混合时基质沥青温度为 200 °C, 混合后的橡胶沥青反应温度控制在 190 °C, 反应时间 45 min, 随后检测橡胶沥青的相关指标见表 3。

表 3 不同规格胶粉橡胶沥青技术指标

Tab. 3 Technical indexes of rubber asphalt made of different sizes of crumbed rubber

项目	22 目	40 目	80 目	试验方法 ^[8]
25 °C 针入度 I ($\times 0.1$ mm)	69.5	67	68	T0604-2000
软化点 (R & B) /°C	60.6	64.0	59	T0606-2000
25 °C 弹性恢复 /%	80.0	74.5	71.5	T0662-2000
5 °C 延度 /cm	16.3	15.5	19.5	T0605-2000
180 °C 粘度 I (Pa·s)	4.0	3.8	2.5	手持式粘度仪

由表 3 测试结果可以看出, 不同规格废胎胶粉的指标有一定差别, 但随着胶粉粒径的变化, 相应指标变化的规律性并不明显, 只有粘度和弹性恢复表现为胶粉越细, 指标越低。

2.2 不同反应时间

随后又对上述 3 种橡胶沥青进行稳定性试验, 即在同样的环境下, 将 3 种橡胶沥青在 190 °C 高温条件下保存 10 h, 其间只进行粘度测试, 并根据测试结果绘制不同规格胶粉的粘度-时间变化曲线, 如图 3 所示。

由图 3 可以看出, 随着反应时间的延长, 几种

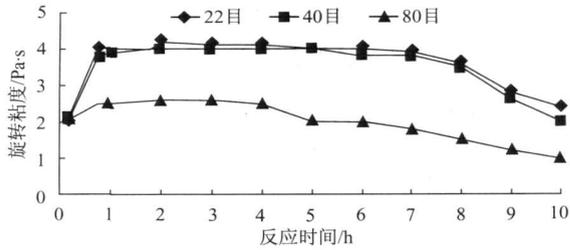


图 3 不同规格胶粉的粘度-反应时间变化曲线

Fig 3 Relationship between viscosity and reaction time of rubber asphalt made of different sizes of crumbed rubber

橡胶沥青的粘度均是先升高后降低, 80目胶粉橡胶沥青粘度提高最快, 反应 20 min 后的粘度与其粘度峰值基本接近, 表明细胶粉更易发生反应。反应时间在 4 h 以内时, 3种橡胶沥青的粘度均经历一个基本稳定的过程, 但超过 5 h 后, 粘度均呈现降低的趋势, 80目胶粉橡胶沥青粘度衰减最为严重, 表明细胶粉在短暂溶胀后开始发生溶解, 由于粒径小, 所以溶解的更快。22目胶粉的粘度衰减过程最为缓慢。

2.3 不同反应温度

根据 2.1和 2.2中的试验结果, 初步选定采用 22目废胎胶粉进行橡胶沥青生产。随后进行不同反应温度的试验, 胶粉掺量为 18.5%, 反应时间 45 min, 反应温度分别为 180、190、200℃。试验结果见表 4。

表 4 不同反应温度的橡胶沥青指标

Tab 4 Property of rubber asphalt with different reaction temperatures

项目	180℃	190℃	200℃	试验方法
25℃针入度 I ($\times 0.1$ mm)	67.2	69.5	66	T0604-2000
软化点 (R & B) /℃	61.2	62.1	62.4	T0606-2000
25℃弹性恢复 /%	75	80.0	81.0	T0662-2000
5℃延度 /cm	12.8	16.3	15.7	T0605-2000
180℃粘度 I (Pa·s)	3.5	4.0	4.0	手持式粘度仪

2.4 不同胶粉掺量

随后进行不同胶粉掺量的试验, 胶粉掺量分别为内掺 17.5%、18.5% 和 19.5%。反应温度 190℃, 反应时间 45 min, 试验结果见表 5。

表 7 孔兴路橡胶沥青混合料矿料合成级配

Tab 7 Gradation of rubber asphalt mixture for Kongxing road

筛孔 /mm	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-16通过率 /%	99.3	93.3	82.1	56.1	30.1	22.7	14.9	11.5	8	6.5	5.7
AC-13通过率 /%		100	96.6	60.2	30	24.6	17.1	13.4	9.5	7.7	6.7
开级配-13通过率 /%		100	95.5	47	10.1	7.9	5.7	4.9	4.2	3.8	3.4

对于橡胶沥青混合料油石比的确定, 采用体积法设计, 主要以空隙率为控制指标; 对密级配沥青混合料, 以目标空隙率 4% 为设计空隙率, 同时提出

表 5 不同胶粉掺量橡胶沥青指标

Tab 5 Property of rubber asphalt with different contents of crumbed rubber

项目	17.5%	18.5%	19.5%	试验方法
25℃针入度 I ($\times 0.1$ mm)	66.5	69.5	60	T0604-2000
软化点 (R & B) /℃	57	60.6	63	T0606-2000
25℃弹性恢复 /%	77.5	80.0	82	T0662-2000
5℃延度 /cm	17.5	16.3	13	T0605-2000
180℃粘度 I (Pa·s)	2.5	4.0	5.8	手持式粘度仪

从表 5 的结果可以看出, 不同胶粉掺量的橡胶沥青指标变化较大, 并呈现很强的规律性, 胶粉掺量越高, 则粘度、软化点、弹性恢复增大, 延度减小, 考虑到施工难度问题, 最后确定胶粉掺量控制在 18.25% ~ 18.5% 之间。

2.5 孔兴路橡胶沥青技术指标

根据上述的配方设计过程, 孔兴路实际使用橡胶沥青技术指标见表 6。

表 6 孔兴路橡胶沥青技术指标

Tab 6 Technical indexes of rubber asphalt used in Kongxing road

项目	22目	试验方法
25℃针入度 I ($\times 0.1$ mm)	61.0	T0604-2000
软化点 (R & B) /℃	62.0	T0606-2000
25℃弹性恢复 /%	79.5	T0662-2000
5℃延度 /cm	15.1	T0605-2000
180℃粘度 I (Pa·s)	3.5	手持式粘度仪

3 橡胶沥青混合料配合比设计及性能

3.1 橡胶沥青混合料配合比设计

孔兴路橡胶沥青混合料的配合比设计中, 为了确保沥青混合料的高温抗车辙能力, 同时兼顾低温抗裂性能的需要, 采用国内的最新研究成果, 根据在以往工程中取得的成功经验, 对密级配沥青混合料的矿料级配以骨架密实型结构为基础, 并采用间断级配。对开级配沥青混合料, 采用《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)^[9] OGFC 沥青混合料的配合比设计方法。AC-13、AC-16 开级配-13 生产配合比合成级配见表 7。

矿料间隙率要求, 对 AC-13 矿料间隙率 (IMA) 不小于 13%, 对 AC-16 要求 IMA 不小于 14.5%。以上述指标为依据, 初步确定 AC-13 沥青混合料的

油石比为 6.2%, AC-16 沥青混合料的油石比为 5.8%。对开级配沥青混合料, 设计空隙率为 19%, 以此为依据, 初步确定混合料的油石比为 6.7%。

3.2 橡胶沥青混合料性能

先后对橡胶沥青混合料的高温稳定性、水稳定性、低温稳定性以及开级配橡胶沥青混合料稳定性进行试验检测, 检测结果分别见表 8~表 11^[10]。

表 8 橡胶沥青混合料高温稳定性试验结果

Tab. 8 Test result of high temperature stability of rubber asphalt mixture

检验项目	AC-13	AC-16	开级配-13	技术要求	试验方法
60℃动稳定度 / (次·mm ⁻¹)	4.467	4.812	3.049	> 2.800(密级配) > 3.000(开级配)	T0719
马歇尔稳定度 / kN	9.06	9.04	3.81	> 8(密级配) > 3.5(开级配)	T0709
流值 / (×0.1mm)	25	24	34	1.5~4	

从表 8 试验结果看, 密级配橡胶沥青混合料的动稳定度均在 3 000 次/mm 以上, 开级配橡胶沥青混合料的动稳定度略高于 3 000 次/mm, 均大于规范对橡胶沥青混合料车辙试验动稳定度的技术要求, 说明密级配和开级配橡胶沥青混合料都具有良好的高温稳定性。

表 9 橡胶沥青混合料水稳定性试验结果

Tab. 9 Test result of water stability of rubber asphalt mixture

检验项目	AC-13	AC-16	开级配-13	技术要求	试验方法
残留马歇尔稳定度 / %	89.8	92.3	87.1	> 85(密级配)	T0709
冻融劈裂残留强度比 / %	82.2	81.3	80.2	> 80(密级配)	T0729

从表 9 试验结果看, 密级配橡胶沥青混合料的水稳性满足要求, 密级配橡胶沥青混合料的水稳性比开级配混合料的水稳性好, 这是由于开级配沥青混合料具有多空隙的结构特点, 从而其抵抗水侵入和水损害的能力不如密级配沥青混合料。

表 10 橡胶沥青混合料水稳定性试验结果

Tab. 10 Test result of low temperature stability of rubber asphalt mixture

检验项目	AC-13	AC-16	技术要求	试验方法
低温弯曲试验 (-10℃)				
破坏应变 / (×10 ⁻⁶ ·s ⁻¹)	3.279	2.726	> 2.500	T0719

从表 10 试验结果看, 密级配橡胶沥青混合料的低温性能满足规范的要求。

表 11 开级配橡胶沥青混合料稳定性试验结果

Tab. 11 Test result of stability of open-graded rubber asphalt mixture

检验项目	试验结果	技术要求	试验方法
沥青析漏试验的结合料损失 / %	0.21	≤ 0.3	T0732
飞散试验的混合料损失 20℃ / %	10.2	≤ 20	T0733

从表 11 试验结果看出, 开级配沥青混合料析漏试验的结合料损失和飞散试验的混合料损失均满足要求, 说明开级配橡胶沥青混合料在动载条件下具有良好的稳定性。

4 橡胶沥青路面性能

试验路完工后, 进行构造深度和摩擦系数的检测, 孔兴路通车 3 a 后又进行了车辙、构造深度以及摩擦系数的检测, 检测结果见表 12。

表 12 橡胶沥青路面性能指标

Tab. 12 Rubber asphalt pavement performance

试验指标	竣工后检测		通车 3 a 后检测	
	开级配	密级配	开级配	密级配
TD / mm	2.13	1.07	1.08	0.9
摆值 / mm	56.3	48.7	48.8	45.9
车辙 / mm	4.2		4.2	

从表 12 数据可以看出, 开级配橡胶沥青路面具有较大的构造深度、摩擦系数, 尤其是开级配路段路面的构造深度最大达到了 2.31 mm, 说明路面具有良好的宏观构造, 路面抗滑性能良好; 密级配橡胶沥青路面, 摩擦系数摆值和构造深度均较大, 说明路面的抗滑性能较好。通车 3 a 后的数据表明, 虽然经历了京津第二高速施工期间大量载重车辆的碾压, 孔兴路总体保持了较为良好的路面性能, 无论是开级配还是密级配, 平均车辙水平仅为 4.2 mm。密级配构造深度平均值为 0.9 mm, 与竣工时平均构造深度 1.07 相比, 略有减小。而开级配平均构造深度由竣工时的 2.13 mm 减小为 1.08 mm, 摩擦系数摆值也有较大的降低, 从平均 56.5 mm 降低到 48.8 mm, 初步分析这与北京的尘土较多已经堵塞孔隙有关, 表明开级配路面的养护目前还是一个问题。

5 结论

(1) 借助电镜这一工具对橡胶沥青的微观形成机理进行分析, 认为胶粉与基质沥青在高温条件下混合后, 胶粉颗粒发生物理溶胀, 而表层与基质沥

青发生化学反应, 形成凝胶体, 胶粉颗粒核心通过凝胶体相互连接, 形成一种近似网状结构, 从而体现出很多与其他品种沥青不同的特点。

(2) 通过进行不同规格胶粉、不同胶粉掺量、不同反应时间以及不同反应温度的橡胶沥青指标对比试验, 确定了橡胶沥青的配方及生产工艺: 采用 22 目废旧载重汽车轮胎, 胶粉掺量控制在 18.25% ~ 18.5% 之间, 反应温度控制在 190 ℃, 反应时间 45 min。

(3) 由橡胶沥青机理分析及配方设计过程可以看出, 橡胶沥青的形成过程主要的是溶胀过程, 因此粘度是最重要的质量控制指标, 生产过程中要根据粘度数据适当地调整生产工艺, 如反应时间和反应温度等。

(4) 通过孔兴路的成功试验, 进一步证明了橡胶沥青在沥青路面中应用的可行性。将废胎胶粉变废为宝, 用于沥青混合料中, 可以改善沥青路面的使用性能, 延长路面使用寿命。

参考文献:

References

- [1] 陈莉, 郭义, 陈秋兰. 橡胶沥青生产与施工 [J]. 北方交通, 2009 (05): 72-74
CHEN Li GUO Yi CHEN Qiulan. Production and Construction of Rubber Asphalt [J]. Northern Communications, 2009 (05): 72-74
- [2] VAN KRK J HOLLERAN G. Reduced Thickness Asphalt Rubber Concrete Leads to Cost Effective Pavement Rehabilitation [C] // 1st International Conference World of Pavements Sydney [s n], 2004
- [3] 交通部公路科学研究院. 橡胶沥青及混合料设计施工技术指南 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008
Research Institute of Highway of MOT. Guide for Design and Construction of Rubber Asphalt and Mixtures [M]. Beijing China Communications Press, 2008
- [4] 杨人凤, 刘平. 橡胶沥青技术的发展与应用 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2009 (02): 14-17.
YANG Renfeng LIU Ping. Development and Application

- of Rubber Asphalt Technology [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2009 (02): 14-17.
- [5] 肖川, 凌天清. 废旧橡胶粉改性沥青材料在道路工程中的应用与研究 [J]. 公路工程, 2009 34 (4): 49-53
XIAO Chuan, LING Tianqing. Research of Waste Crumb Rubber Modifier Used in Highway Engineering [J]. Highway Engineering, 2009 34 (4): 49-53
- [6] 王旭东, 李美江, 路凯冀, 等. 橡胶沥青及混凝土应用成套技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008 41-42
WANG Xudong LI Meijiang LU Kaiji et al. The Applied Technology of the Crumb Rubber in the Asphalt and Mixture [M]. Beijing China Communications Press, 2008 41-42
- [7] 杨人凤, 党延兵, 李爱国. 橡胶沥青质量评价指标研究 [J]. 公路, 2009 (6): 174-178
YANG Renfeng DANG Yanbing LIA iguo. Research on Evaluation Indexes of Rubber Asphalt Quality [J]. Highway, 2009 (6): 174-178
- [8] 中华人民共和国交通部. JTJ 052-2000 公路工程沥青及沥青混合料试验规程 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2000
P. R. China Ministry of Communications JTJ 052-2000 Standard Test Methods of Bitumen and Bituminous Mixtures for Highway Engineering [S]. Beijing China Communications Press, 2000
- [9] 中华人民共和国交通部. JTG F40-2004 公路沥青路面施工技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004
P. R. China Ministry of Communications JTG F40-2004 Technical Specification for Construction of Highway Asphalt Pavements [S]. Beijing China Communications Press, 2004
- [10] 柳浩. 孔兴路橡胶沥青试验段总结报告 [R]. 北京: 北京路桥路兴物资中心, 2006
LIU Hao. Summary Report of Rubber Asphalt Used in Trial Section of Kongxing Road [R]. Beijing Beijing Luxing Road and Bridge Material Center, 2006