

Research on the Performance of Road-Use Asphalt Rubber Concrete*

Yong Zou^{1,2}

¹Wuhan Institute of Technology, Wuhan

²Guangzhou Military Region Logistics Department of the 95338 Forces, Guangzhou
Email: 37503343@qq.com

Received: Apr. 13th, 2012; revised: Apr. 27th, 2012; accepted: May 8th, 2012

Abstract: In this paper, a more detailed laboratory test, Different mix proportion design Rubber asphalt concrete rutting test, Freeze-thaw splitting test, Immersion Marshall Test were performed. The results show that tire rubber powder can significantly improve high-temperature asphalt mixture performance. The volume of the tire rubber powder dosage is the most important factor that affects the high temperature properties of the mixture. The higher the tire rubber powder dosage, the better high temperature properties of the mixture. The performance will provide a reference for its actual construction and application.

Keywords: Rubber Asphalt Concrete; Mixture Ratio Design; High Temperature Performance

橡胶沥青混凝土路面性能研究*

邹勇^{1,2}

¹武汉工程大学, 武汉

²广州军区空军后勤部 95338 部队, 广州
Email: 37503343@qq.com

收稿日期: 2012 年 4 月 13 日; 修回日期: 2012 年 4 月 27 日; 录用日期: 2012 年 5 月 8 日

摘要: 本文通过比较详细的室内试验, 不同的配合比设计, 对橡胶沥青混凝土进行了车辙试验、冻融劈裂试验、浸水马歇尔试验。通过试验发现轮胎橡胶粉能显著提高沥青混合料的高温性能, 轮胎橡胶粉掺量的大小是影响混合料高温性能最主要的因素, 轮胎橡胶粉掺量越高, 混合料的高温性能越好, 这些性能将为其实际施工及应用提供参考依据。

关键词: 橡胶沥青混凝土; 配合比设计; 高温性能

1. 引言

随着我国经济持续高速增长, 公路建设也高速发展。改善路面使用性能, 延长路面使用寿命, 寻求经济有效的旧路改造和罩面方案, 节约建设资金, 是我国公路行业所面临的紧迫问题^[1]。随着我国经济的迅猛发展, 汽车工业也发生了翻天覆地的变化, 我国已经成为汽车生产和使用大国, 由此产生的废旧轮胎逐

年快速增长。将废旧轮胎加工成为轮胎橡胶粉是世界上公认的无害化资源化处理方法, 其中将轮胎橡胶粉用于铺筑橡胶沥青路面是轮胎橡胶粉无害化资源化的主要途径之一。

英国是世界上最早开发橡胶沥青研究与使用的国家。19 世纪 40 年代, 英国就有了橡胶沥青专利, 但现代意义上的橡胶沥青及混合料最先出现在美国。20 世纪 40 年代, 美国橡胶回收公司首先采用干拌法工艺生产了 RamlqexTM 橡胶粉沥青混合料。20 世纪

*资助信息: 广州军区空军后勤部 95338 部队科技项目资助。

60年代, Charles McDonald 则采用湿拌法工艺生产了 Onerflex™ 橡胶粉沥青混合物, 从此橡胶沥青在道路建设中的应用开始推广盛行^[2]。20世纪70年代~20世纪末, 美国、南非、日本、澳大利亚、瑞典、加拿大、比利时、法国、西班牙等国都对橡胶沥青及橡胶沥青混合物进行了深入的研究和铺路试验^[3]。为减少车辆行驶时产生的噪声, 英国在萨里郡交通繁忙的4条道路上用废轮胎胶粒铺设路面, 并称可使噪声减少70%^[4]。

橡胶沥青既是一个比较传统的技术, 也是新材料、新技术, 国外比较认可并较大规模使用也是近十多年的事情, 我国尚处在推广使用阶段, 而且国外大多使用多空隙的橡胶沥青混凝土作为抗滑表层, 我国目前沥青路面表面层仍然以密实性混合物为主^[5]。

本文通过比较详细的室内试验, 对橡胶沥青混合料的力学指标、高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性等性能进行试验研究, 为其实际施工及应用提供参考依据。

2. 原材料供应及技术指标

2.1. 沥青混合物选取原则

本次沥青混合物设计主要参考了 JTG D50-2006《公路沥青路面设计规范》、JTJ058-2000《公路工程集料试验规程》、JTJ052-2000《公路工程沥青及沥青混合物试验规程》、JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》、交通运输部“材料节约与循环利用专项行动计划”推广项目系列指南之三《橡胶沥青及混合物设计施工技术指南》, 根据工程实例要求, 进行了同种矿料合成级配 ARC-16 型橡胶沥青混合物和 AC-16 型普通沥青混合物两种混合物的设计, 两种混合物均是采用密实型连续级配原则设计, 以研究密实型连续级配橡胶沥青混合物的实际性能。

2.2. 基质沥青

采用 AH-70#道路石油沥青, 按照《公路工程沥青及沥青混合物试验规程》(JTJ052-2000)进行检验, 其检验结果见表1。

从上述的检测结果看, 采用的 AH-70#道路石油沥青技术指标均满足《公路沥青路面施工技术规范》要求。

Table 1. AH-70# road asphalt quality inspection results
表1 AH-70#道路石油沥青质量检验结果

| 检测项目 | 计量单位 | 技术指标要求 | 检验结果 | |
|-------------|---------|--------|------|------|
| 25℃针入度 | 0.1 mm | 60~80 | 71 | |
| 10℃延度 | cm | ≥15 | 52 | |
| 软化点(TR&B) | ℃ | ≥46 | 48 | |
| 弹性恢复(25℃) | % | ≥75 | 90 | |
| 旋转黏度(180℃) | Pa·s | ≤3 | 1.65 | |
| 薄膜烘箱 老化后 | 质量损失(%) | % | ±0.8 | 0.15 |
| | 25℃针入度比 | % | ≥61 | 67.4 |
| | 10℃延度比 | % | ≥6 | 18 |

2.3. 橡胶沥青

采用轮胎橡胶粉与基质沥青在实验室用沥青混合物拌和机制备, 轮胎橡胶粉采用 80 目斜交胎轮胎橡胶粉, 基质沥青采用 AH-70#道路石油沥青。先将轮胎橡胶粉散开铺平风干, 过 0.6 mm 筛备用, 用砂浴电炉将装在不锈钢沥青取样桶中的基质沥青升温至 200℃, 同时将沥青混合物拌和机加热控温至 180℃, 然后将基质沥青倒入沥青混合物拌和机, 边搅拌边加入轮胎橡胶粉, 在 180℃温度条件下高速搅拌混炼 45 min 即制备成橡胶沥青。将制备好的橡胶沥青倒入储存沥青的桶里面, 继续搅拌、保温和进一步反应, 并等待使用。

2.4. 集料

本次配合比所采用的集料(10~20 mm 碎石、5~10 mm 碎石、0~5 mm 石屑)均来自湖北阳新轧石厂, 均由同一种岩石开采加工而成, 按照《公路工程集料试验规程》(JTJ058-2000)和《公路工程沥青及沥青混合物试验规程》(JTJ052-2000)进行检验, 其检验结果见表2和表3。

从检测结果看, 实测技术指标除 4.75~9.5 mm 规格碎石的针片状颗粒含量未达到技术指标, 其他均满足要求。

2.5. 填料——矿粉

采用湖北阳新轧石厂利用石灰岩经磨细得到的矿粉, 来样袋装, 其质量检测结果见表4。

所采用的矿粉, 经检测, 其指标均满足技术要求。

2.6. 橡胶沥青的作用机理

轮胎橡胶粉具有多种化学成分, 在高温条件下,

Table 2. Coarse aggregate quality testing results
表 2. 粗集料质量检测结果

| 检测项目 | 单位 | 技术要求 | 检测结果 | |
|----------------------------|----|-------|-----------------|------------------|
| | | | 5~10 mm 规格碎石 | 10~20 mm 规格碎石 |
| 岩性定名 | - | - | 石灰岩 | |
| 石料压碎值 | % | ≤26 | 10.2 | |
| 表观相对密度 (25°C/25°C) | - | ≥2.60 | 2.912 | 2.911 |
| 吸水率 | % | ≤2.0 | 0.77 | 0.50 |
| 坚固性 | % | ≤12 | 4.2 | 8.3 |
| 针片状颗粒含量, 其中 粒径大于 9.5 mm | % | ≤12 | - | 11.5 |
| 粒径小于 9.5 mm | % | ≤18 | 21.7 | - |
| 水洗法<0.075 mm 颗粒含量 | % | ≤1 | 0.4 | 0.5 |
| 与沥青的粘附性 | 等级 | ≥5 | 5 | |

Table 3. The fine aggregate quality testing results
表 3. 细集料质量检测结果

| 检测项目 | 单位 | 技术要求 | 检测结果 | |
|-----------------------|----|-------|----------------|----------------|
| | | | 0~5 mm 规格石屑 | 0~5 mm 规格河砂 |
| 表观相对密度 (25°C/25°C) | - | ≥2.50 | 2.943 | 2.894 |
| <0.075 mm 的颗粒含量 | % | - | 5.0 | 14.6 |
| 砂当量 | % | ≥60 | 76 | |

Table 4. Powder quality testing results
表 4. 矿粉质量检测结果

| 检测项目 | 单位 | 技术要求 | 检测结果 |
|----------|----------------------|-------|--------|
| 表观相对密度 | (g/cm ³) | ≥2.50 | 2.740 |
| 含水量 | % | ≤1 | 0.5 |
| 粒度 范围 | <0.6 mm | % | 100 |
| | <0.15 mm | % | 90~100 |
| | <0.075 mm | % | 75~100 |
| | 外观 | - | 无团粒结块 |
| 亲水系数 | - | <1 | 0.7 |
| 塑性指数 | - | <4 | 3.2 |

这些化学成分与沥青发生某种程度的相互作用和物理化学的反应, 轮胎橡胶粉与沥青在高温下共混生成橡胶沥青, 其相互作用和反应过程非常复杂。目前, 有关橡胶沥青的作用机理主要有三种学说, 即物理共混说、化学共混说和网路填充说。这些学说所论及的轮胎橡胶粉与橡胶沥青之间的相互作用都有可能存在, 只是程度不同^[6]。

轮胎橡胶粉与沥青的相互作用既存在物理作用又存在化学作用。物理作用主要体现在宏观上, 轮胎

橡胶粉的分散溶解、轮胎橡胶粉吸附膨胀、轮胎橡胶粉颗粒的增强与填充作用; 化学作用主要体现在微观上, 轮胎橡胶粉的脱硫、解聚和沥青的胶体结构变化, 以及物质交换造成的成分变化^[6]。

从宏观上看, 橡胶沥青加工过程中, 当轮胎橡胶粉与沥青在高温条件下反应表现为轮胎橡胶粉会吸收沥青中的轻质油分, 导致轮胎橡胶粉颗粒体积膨胀, 沥青会变得更加黏稠, 在一般条件下轮胎橡胶粉并不完全溶解在沥青中, 称为溶胀反应。溶胀反应导致沥青混合料产生两种性能变化: 一是混合料中沥青用量要增加, 二是混合料的弹性会增强。

沥青混合料因轮胎橡胶粉的掺加, 轮胎橡胶粉会吸收沥青中的轻质油分, 所以需要增加沥青的用量, 否则矿料表面的沥青膜将会减薄, 甚至不能完全覆盖矿料表面, 从而影响沥青混合料的耐久性。不论是干法工艺还是湿法工艺, 混合料的油石比都会有不同程度的增加, 相比较而来说, 由于湿拌工艺轮胎橡胶粉与沥青反应更加充分, 湿拌工艺的沥青用量要略高于干拌工艺。

混合料的弹性会增强是由于轮胎橡胶粉本身具有良好的弹性。弹性的增强可以大大缓解汽车荷载对路面的冲击作用, 因而可以改善路面结构的受力状态、延长路面使用寿命, 同时还可以大大降低路面行车荷载的噪声, 使得橡胶沥青路面成为一种低噪声路面。但是, 沥青混合料的弹性并不是越大越好, 超过了一定界限, 混合料摊铺后无法压实、导致路面容易松散, 降低了路面的使用寿命。为了避免路面碾压不实导致松散的现象, 轮胎橡胶粉掺量、类型需要通过试验来确定合理的掺量和类型。

从微观上看, 橡胶沥青加工过程中, 轮胎橡胶粉会发生脱硫反应, 降低其高强度、高弹性、高耐磨、抗腐蚀等优良性能, 橡胶沥青加工的时间和温度是脱硫反应的主要影响因素。

前文所述, 橡胶沥青制备工艺可概括分为湿法工艺(Wet Process)与干法工艺(Dry Process)两种。不论轮胎橡胶粉以单独状态(干法工艺)或以橡胶沥青状态(湿法工艺)加入到沥青混合料中, 均使得沥青混合料由两相混合物(沥青和矿料), 转变为三相混合物(沥青、矿料和轮胎橡胶粉)^[7]。由于沥青混合料物相发生变化, 混合料技术性能也就发生了变化。

总之, 轮胎橡胶粉在沥青混合料中的作用是比较复杂的, 概括起来分为物理作用和化学作用两个方面^[7]。因轮胎橡胶粉的掺入到沥青中, 吸收了沥青中轻质组分, 沥青用量要增加; 同时, 轮胎橡胶粉的高强度、高弹性和耐久性, 可改善路面结构的受力状态、减薄路面厚度, 延长路面使用寿命, 降低路面行车噪声, 同时还可以提高沥青路面抗高温性能、抗疲劳性能和抗重载冲击性能。

3. 相关性能研究

3.1. 橡胶沥青的高温性能

本文主要采用车辙试验进行高温稳定性能的研究。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, 它较马歇尔试验稳定度指标更为直观。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^[8]。按试验规程要求, 试验温度 60℃, 轮压为 0.7 MPa, 试件采用 T0703-1993 轮碾法制作 300 mm × 300 mm × 50 mm 试件。测定其动稳定度, 测试结果见表 5。

从试验结果看, 轮胎橡胶粉能显著提高沥青混合料的高温性能, 轮胎橡胶粉掺量越高, 混合料的高温性能越好, 轮胎橡胶粉掺量的大小是影响混合料高温性能最主要的因素。经过轮胎橡胶粉轮胎改性之后的沥青已经能达到我国对改性沥青动稳定度 2800 次以上的要求, 相对于普通基质沥青, 其性能已经有很大提高。

3.2. 冻融劈裂试验

冻融劈裂试验可用来检验废旧轮胎橡胶沥青混合料的抗水损害能力, 即水稳定性。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, 说明沥青混合料水稳性越好^[9]。

Table 5. 60℃ rutting test
表 5. 60℃车辙试验

| 混合料 | 动稳定度(次/mm) | 相对变形(%) |
|--------------------|------------|---------|
| AC-16 普通沥青混合料 | 1205 | 9.41 |
| 10%掺量 | 1758 | 5.92 |
| ARC-16 橡胶 沥青混合料 | 2429 | 4.95 |
| 18%掺量 | 3440 | 3.42 |

先成型标准马歇尔试件(Φ101.6 mm × 63.5 mm), 分为两组, 第 1 组在 25℃水浴中保温 2 小时, 进行劈裂试验加载速率 50 mm/min, 压条宽度 12.7 mm, 测定最大荷载 F, 按以下公式得到劈裂强度 R0:

$$R = 0.006287 \text{ PT/h}$$

式中: R——劈裂抗拉强度, MPa;

PT——实验荷载的最大值, N;

h——试件高度, mm。

第 2 组试件进行真空饱水后, 放入-18℃保持 16 小时。取出试件后, 放入温度为 60℃的水浴中保温 24 h。放入 25℃水浴中保温 2 到 3 小时, 然后同第 1 组一样进行劈裂试验, 并计算得到劈裂强度 R1, 并按以下公式计算出冻融劈裂比:

$$\text{TSR} = R1/R0 \times 100$$

式中: TSR——冻融劈裂试验强度, %;

R0——劈裂强度, MPa;

R1——冻融后劈裂强度, MPa;

试验结果见表 6。

从表 6 冻融劈裂试验结果可知, 不同掺量下的橡胶沥青混合料的 TSR 值均基本满足施工技术规范。相对于橡胶沥青混合料 TSR 比基质沥青混合料要大, 反映了橡胶沥青混合料的良好抗水损害能力。

3.3. 浸水马歇尔试验

浸水马歇尔试验是我国检验沥青混合料水稳定性的最常用试验方法。先成型标准马歇尔试件(Φ101.6 mm × 63.5 mm), 将试件分为两组, 分组的方法是根据试件的空隙率进行, 保证两组试件的平均空隙率大致相等。一组在 60℃水温中恒温半小时, 用马歇尔稳定度仪测定其稳定度 MS1, 另一组则在 60℃水温中恒温 48 小时, 然后测定其稳定度 MS2, 按以下公式计算出残留稳定度:

Table 6. Freeze-thaw splitting test
表 6. 冻融劈裂试验

| 混合料类型 | 劈裂强度 R0(MPa) | 冻融后劈裂强度 R1(MPa) | 冻融劈裂比 TSR |
|-------------------|--------------|-----------------|-----------|
| AC-16普通沥青混合料 | 0.95 | 0.7 | 73.68% |
| 10%掺量 | 0.85 | 0.67 | 78.26% |
| ARC-16橡胶 沥青混合料 | 0.82 | 0.62 | 86.38% |
| 18%掺量 | 0.78 | 0.48 | 85.05% |

$$MS0 = MS2/MS1 \times 100$$

式中：MS0——残留稳定度，%；

MS1——常规马歇尔稳定度，kN；

MS2——浸水马歇尔稳定度，kN。

浸水马歇尔试验结果见表 7。

从浸水马歇尔试验结果可以看出，橡胶沥青混合料的残留稳定度要比基质沥青混合料有所提高，大约提高 3%~6%，体现了橡胶沥青较好的抗水损害能力。

4. 小结

本文主要设计了同种矿料和级配不同粘结料的两组混合料：AC-16 普通沥青混合料和 ARC-16 橡胶沥青混合料，进行了车辙试验、浸水马歇尔试验、

冻融劈裂试验，发现橡胶沥青的水稳定性相当出色，大大超过了普通沥青混合料；通过车辙试验发现轮胎橡胶粉能显著提高沥青混合料的高温性能，轮胎橡胶粉掺量越高，混合料的高温性能越好，轮胎橡胶粉掺量的大小是影响混合料高温性能最主要的因素。

参考文献 (References)

- [1] 孙长军, 王旭东, 李美江. 废轮胎胶粉在公路工程中的应用及前景展望[J]. 橡胶科技市场, 2005, 6(1): 1-4.
- [2] 杨志峰, 李美江, 王旭东. 废旧橡胶粉在道路工程中应用的历史和现状[J]. 公路交通科技, 2005, 7(3): 25-31.
- [3] 路凯冀, 曾蔚. 沥青橡胶设备与沥青橡胶试验路的铺筑[M]. 筑路机械与施工机械化, 2006, 3(1): 8-11.
- [4] 袁德明, 刘冬, 廖克俭, 张效羽. 废旧橡胶粉改性沥青研究进展[J]. 合成橡胶工业, 2007, 3(1): 44-50.
- [5] 张向东. 路用橡胶沥青加工工艺及技术控制[J]. 湖南交通科技, 2009, 12(1): 88-98.
- [6] 刘子兴. 橡胶沥青混合料合理级配研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2010, 4(1): 71-79.
- [7] 张亮. 胶粉掺量对沥青性能影响分析[J]. 黑龙江交通科技, 2010, 8(2): 25-29.
- [8] 叶智刚, 孔宪明, 余剑英. 橡胶粉改性沥青的研究[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 1(1): 9-13.
- [9] 旷小林. 橡胶粉改性沥青路面性能的试验研究[J]. 公路工程, 2010, 35(3): 82-85.

Table 7. Immersion Marshall test were performed
表 7. 浸水马歇尔试验结果

| 混合料类型 | MS1 | MS2 | 残留稳定度(%) |
|----------------|------|-----|----------|
| AC-16 普通沥青混合料 | 9.5 | 8 | 84.2 |
| ARC-16 橡 10%掺量 | 9.8 | 8.7 | 88.8 |
| 胶沥青混 15%掺量 | 9.5 | 8.6 | 90.5 |
| 合料 18%掺量 | 10.1 | 9.3 | 92.1 |