

# 脱硫复合胶粉改性沥青的制备与性能评价

陈爽 周炯 李佰昌 方芳

(浙江省交通集团检测科技有限公司 杭州 310030)

**[摘要]** 利用脱硫降解复合胶粉制备新型橡胶沥青,通过各项试验筛选出最佳掺量,并与普通橡胶沥青与 SBS 改性沥青进行对比。结果表明,新型橡胶沥青的加工温度低、周期短、绿色环保、节约成本,与 SBS 改性沥青的各项指标相当,混合料指标优异,具有良好的应用前景,适合大范围推广。

**[关键词]** 脱硫;胶粉;橡胶沥青;改性沥青;复合;混合料

## 0 引言

我国废旧轮胎产生量每年都在高速增长,预计到 2020 年以后,我国废旧轮胎的累积量将居全球第一,但是橡胶作为一种高分子材料,埋在地下数百年也不会降解,对环境造成了严重的威胁<sup>[1-2]</sup>。将废旧轮胎加工成橡胶粉并用于沥青路面改性是全世界公认的对其无害化、资源化处理的最佳途径之一。橡胶沥青经过多年的发展,由于其良好的耐温变、抗疲劳、抗滑、降噪等性能已成为多个国家和地区最常用的铺面材料之一<sup>[3-4]</sup>。但是橡胶沥青领域仍有许多需要解决的问题:①橡胶颗粒在沥青中易离析;②橡胶沥青高温粘度大,拌合困难;③橡胶沥青高温储存稳定性差<sup>[5]</sup>。近年来,科研工作者们认为对橡胶颗粒进行脱硫处理是解决上述问题较为有效的方法。本研究利用脱硫复合胶粉制备新型橡胶沥青,有效改善了橡胶沥青的热储存稳定性能、大大缩短加工周期,同时其耐老化性能也有明显提升,是一种非常有前景的橡胶改性沥青材料。

## 1 试验部分

### 1.1 试验原料

选取了四种不同类型的胶粉进行对比,这四种胶粉的特征如表 1 所示,基质沥青选用埃索 70#沥青。

表 1 不同类型胶粉的特征

| 胶粉类型 | 胶粉特征          |
|------|---------------|
| 胶粉-1 | 80 目未经处理胶粉    |
| 胶粉-2 | 降解处理、掺碳酸钙     |
| 胶粉-3 | 脱硫、降解程度低      |
| 胶粉-4 | 脱硫、复合胶粉、降解程度高 |

### 1.2 橡胶沥青制备

不同类型胶粉改性沥青对应的制备条件如表 2 所示。

表 2 不同类型胶粉改性沥青的制备条件

| 胶粉类型 | 制备温度   | 制备条件             |
|------|--------|------------------|
| 胶粉-1 | 195 °C | 剪切 4 小时,搅拌 4 小时  |
| 胶粉-2 | 185 °C | 剪切 1 小时,搅拌 3 小时  |
| 胶粉-3 | 185 °C | 剪切 1 小时,搅拌 3 小时  |
| 胶粉-4 | 180 °C | 剪切 30 分钟,搅拌 2 小时 |

### 1.3 测试方法

改性沥青及其混合料检测方法是按照交通部行业标准 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行。

## 2 试验结果

### 2.1 胶粉类型对橡胶沥青性能的影响

采用不同废胎胶粉加工得到的橡胶沥青性能试验结果如表 3 所示,所有胶粉的掺量均为 20% (外掺)。从图 1 和表 3 中可以清楚地看到,用胶粉-4 改性的橡胶沥青延度和软化点均

收稿日期: 2019-12-05

作者简介: 陈爽 (1992- ), 男, 助理工程师, 主要从事道路新材料研究开发工作。

最高，针入度最低，综合性能最优。除此之外，胶粉-4 改性沥青的加工周期更短，温度更低。因此，无论是从改性沥青的性能还是制备工艺而言，胶粉-4 都具有很大的优势。这主要是由于胶粉-4 是经过特殊处理的脱硫复合胶粉，分子链之间的硫键交联网络结点已断裂，分子间作用力变小，其大分子链在沥青基质中更为舒展，高温条件下，沥青的轻质组分更容易进入到胶粉大分子链间，易于胶粉的溶胀和分散，因此

胶粉-4 在基质沥青中充分溶胀后，几乎没有细小碎屑残留，形成的橡胶沥青性能更优。而普通的胶粉由于其分子链间仍存在交联网络，分子间作用力很大，沥青的轻质组分只有少量参与了溶胀过程，因此胶粉的溶胀与分散效果较差，在基质沥青中有大量细小的碎屑残留，导致加工过程中黏度很大，制备的橡胶沥青稳定性不够，性能也较差<sup>[6-8]</sup>。

表 3 不同废胎胶粉加工得到的橡胶沥青试验结果

| 测试项目                           | 胶粉类型  |      |      |      | 检测方法       |
|--------------------------------|-------|------|------|------|------------|
|                                | 胶粉-1  | 胶粉-2 | 胶粉-3 | 胶粉-4 |            |
| 针入度 (25 °C, 100 g, 5s) /0.1 mm | 55.6  | 53.7 | 57.9 | 49.2 | T0604—2011 |
| 延度 (5 cm/min, 5 °C) /cm        | 9.0   | 7.4  | 9.2  | 12.7 | T0605—2011 |
| 软化点 (环球法) /°C                  | 60.5  | 55.4 | 53.6 | 66.8 | T0606—2011 |
| 135 °C 布氏黏度 (mPa · s)          | 15875 | 2115 | 1820 | 2083 | T0625—2011 |

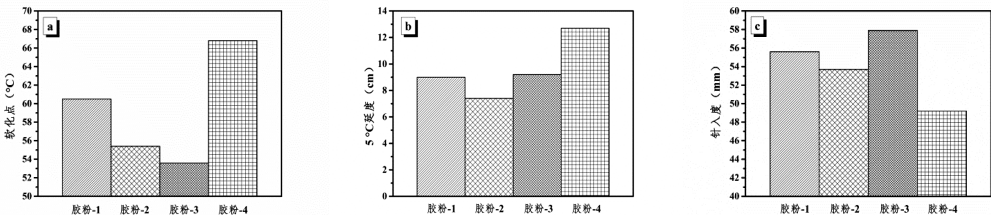


图 1 不同废胎胶粉加工得到的橡胶沥青试验结果 (a) 软化点, (b) 延度, (c) 针入度

2.2 胶粉掺量对橡胶沥青性能的影响

在外掺胶粉-4 作为主要改性剂的基础上，为了进一步改善橡胶沥青的高温性能，选择外掺 2% 的 SBS 和 2% 的促溶剂以及 0.1% 的硫磺作为复合改性剂加入。从表 4 的试验结果可以看出，随着胶粉的掺量增加，橡胶沥青的 135 °C 布氏黏度和软化点随之增加，而针入度和 5 °C 延度随之下降。这是由于当胶粉掺量较少的时候，胶粉对沥青饱和分和芳香分这两种轻质组

分的吸收使得沥青逐渐变得粘稠，并有了较好的弹性和延度，但是随着胶粉掺量增多，而沥青的轻质组分较少，过量的胶粉无法充分地溶解和溶胀，胶粉大分子链段间距离减小，摩擦力增大，滑移困难，从而导致沥青的黏度增加，过高的粘度会给沥青的泵送以及混合料的拌合摊铺带来困难。因此，考虑到改性效果和施工的难度，胶粉的外掺量控制在 18% 为宜。

表 4 不同胶粉掺量橡胶沥青技术指标

| 测试项目                           | 胶粉掺量 (%) |      |      |      | 检测方法       |
|--------------------------------|----------|------|------|------|------------|
|                                | 15       | 18   | 20   | 25   |            |
| 针入度 (25 °C, 100 g, 5s) /0.1 mm | 60.7     | 55.4 | 50.8 | 47.7 | T0604—2011 |
| 延度 (5 cm/min, 5 °C) /cm        | 22.8     | 26.8 | 27.5 | 28.2 | T0605—2011 |
| 软化点 (环球法) /°C                  | 90.4     | 93.7 | 96.5 | 97.1 | T0606—2011 |
| 135 °C 布氏黏度 (mPa · s)          | 2765     | 3365 | 4442 | 5120 | T0625—2011 |

2.3 促溶剂掺量对橡胶沥青性能的影响

为了进一步优化橡胶沥青的性能，使其有更高的延度和加工性能，因此通过固定外掺18%的胶粉-4、2%的SBS和0.1%的硫磺，并改变促溶剂的掺量来讨论促进剂对橡胶沥青性能的影响。促溶剂的主要成分为芳香烃，与沥青中轻质组分的成分相近，因此加入适量的促溶剂后，胶粉的溶胀过程能够更加充分，赋予

沥青更高的弹性。从表5的试验结果可以看到，随着促溶剂掺量的增加，橡胶沥青的延度明显增大，135℃布氏黏度随之减小。但是，也不难发现，当促溶剂掺量为6%时，橡胶沥青的针入度大大升高，软化点也有所降低，体系变得不够稳定，因此综合试验结果可以得出，促溶剂的掺量为4%时为宜。

表5 橡胶沥青技术指标（不同掺量促溶剂）

| 测试项目                     | 促溶剂掺量（%） |      |      | 检测方法       |
|--------------------------|----------|------|------|------------|
|                          | 2        | 4    | 6    |            |
| 针入度（25℃，100 g，5s）/0.1 mm | 55.4     | 61.3 | 69.8 | T0604—2011 |
| 延度（5 cm/min，5℃）/cm       | 26.8     | 35.9 | 38.7 | T0605—2011 |
| 软化点（环球法）/℃               | 93.7     | 92.5 | 87.2 | T0606—2011 |
| 135℃布氏黏度（mPa·s）          | 3365     | 3075 | 2667 | T0625—2011 |

2.4 不同改性沥青指标对比分析

综合上述的几个试验结果，筛选出了相对性能最优的橡胶沥青配方（胶粉-4：18%、SBS：2%、促溶剂4%、硫磺0.1%），与SBS改性沥青（埃索70#+5%SBS）和普通橡胶沥青（埃索70#+20%胶粉-1）的各项指标进行对比分析。从表6的对比结果可以看出，新型橡胶

沥青的各项指标均与优于普通橡胶沥青，与SBS改性沥青相近，而且软化点更高。这主要是由于脱硫复合胶粉颗粒能够均匀分散在基质沥青中，橡胶大分子链自然蜷曲摺叠形成网络结构将沥青包裹在其中。同时，胶粉颗粒在沥青的轻质组分中充分溶胀，使得沥青质的相对含量增加，增强了其抵抗外力的能力。

表6 不同改性沥青的性能对比

| 检验项目                      | 5%内掺量   | 新型橡胶 | 普通橡胶 | 检测方法       |
|---------------------------|---------|------|------|------------|
|                           | SBS改性沥青 | 沥青   | 沥青   |            |
| 针入度（25℃，100 g，5s）（0.1 mm） | 58      | 61.3 | 55.6 | T0604—2011 |
| 延度（5 cm/min，5℃）（cm）       | 38      | 35.9 | 9.0  | T0605—2011 |
| 软化点（TR&B）（℃）              | 86.0    | 92.5 | 60.5 | T0606—2011 |
| 运动粘度（135℃）（Pa·s）          | 2.3     | 3    | 15.9 | T0619—2011 |
| 离析，48 h软化点差（℃）            | 0.5     | 3.2  | 7    | T0661—2011 |
| TFOT 针入度比（25℃）（%）         | 77      | 77   | 73   | T0604—2011 |
| 试验后 延度（5 cm/min，5℃）（cm）   | 24      | 21.7 | 8    | T0605—2011 |

3 橡胶沥青混合料性能的研究

我国橡胶沥青大多采用AC级配，不仅有利于提升橡胶沥青的高温稳定性，还可以有效降低油石比和施工过程中的回弹变形。为配合实

际施工情况，本试验亦选取此级配，筛选各档集料，合成最接近AC-13的级配中值作为试验用级配，合成级配见表7和图3，并按照4.9%的油石比进行马歇尔试验。

表7 试验采用合成级配

| 通过下列筛孔（mm）的质量百分率/% |     |      |      |      |      |      |      |     |      |       |
|--------------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| 筛孔孔径/mm            | 16  | 13.2 | 9.5  | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6  | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| AC-13级配/%          | 100 | 93.9 | 71.2 | 41.2 | 27.6 | 18.0 | 12.9 | 9.5 | 7.7  | 5.9   |

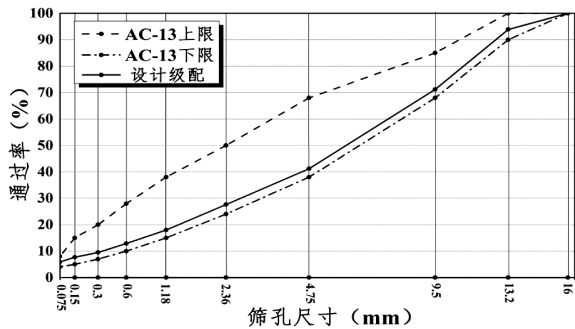


图2 试验采用合成级配图

本试验采用马歇尔设计方法，双面击实 75

表8 不同改性沥青混合料马歇尔试验技术要求对比

| 混合料体积指标   | 单位     | SBS 改性沥青 | 新型橡胶沥青 | 技术要求  | 检测依据         |
|-----------|--------|----------|--------|-------|--------------|
| 孔隙率 VV    | %      | 4.6      | 4.2    | 4-5.5 | JTG E20—2011 |
| 矿料间隙率 VMA | %      | 14.9     | 14.7   | ≥14.6 |              |
| 沥青饱和度 VFA | %      | 69.5     | 70.4   | 65-75 |              |
| 稳定度 MS    | kN     | 15.43    | 15.77  | ≥8    |              |
| 流值 FL     | 0.1 mm | 4.06     | 4.64   | 2-5   |              |
| 浸水残留稳定度   | %      | 87.8     | 88.5   | ≥85   |              |

4 结论

胶粉-4 是一种脱硫复合改性胶粉，粒径小，结构疏松，比表面积大，在与沥青剪切的过程中能快速分散和溶胀，用于改性沥青及沥青混合料能达到良好的效果，得出以下几点结论：

(1) 脱硫复合改性胶粉在 180 °C 的条件下便能在沥青中迅速分散溶胀，较传统的橡胶改性沥青以及 SBS 改性沥青的工艺相比，加工温度低，加工周期短，储存稳定性高，更加节能环保。

(2) 这种新型橡胶改性沥青以及改性沥青混合料的各项性能均与 SBS 改性沥青相当，其混合料的稳定度和残留浸水稳定度均略高于 SBS 改性沥青混合料。

(3) 新型橡胶改性沥青较 SBS 改性沥青成本低廉，运输方便，储存稳定，制备工艺简单，性能优良，具有良好的应用前景，适合推广。

次，用表干法测试件的空气中质量、水中质量和表干质量，分别计算试件的毛体积密度、沥青饱和度和矿料间隙率等体积参数。将马歇尔试件放入 60 °C 水浴恒温箱中保温 30 分钟后，测定各组马歇尔试件的稳定度、流值和浸水稳定度，并与 SBS 改性沥青混合料的各项指标进行对比，结果如表 8 所示。对比发现，新型橡胶沥青和 SBS 改性沥青混合料的各项技术指标均符合路用要求，且非常接近，其中新型橡胶沥青混合料的稳定度和浸水残留稳定度均略高于 SBS 改性沥青混合料。这说明橡胶沥青与石料的粘结性能更佳，混合料的水稳定性更好。

参考文献

[1] 吴中华. 橡胶粉改性沥青及混合料路用性能研究 [D]. 浙江大学, 2013.

[2] 何青蓬. PE-脱硫橡胶复合改性沥青制备及改性机理分析 [D]. 重庆交通大学, 2018.

[3] 李海滨, 盛燕萍. 脱硫橡胶沥青试验研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35 (05): 50-54.

[4] 董大伟, 李田田, 董进学, 江宽, 刘双旺, 吴大鸣, 张立群. 废轮胎橡胶粉在非固化橡胶沥青防水涂料中的应用研究 [J]. 高分子通报, 2019 (01): 56-63.

[5] 朱德滨. 脱硫橡胶沥青胶浆试验研究 [J]. 公路工程, 2013, 38 (04): 111-114.

[6] 王笑风, 曹荣吉. 橡胶沥青的改性机理 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2011, 31 (02): 6-11.

[7] 徐思田, 谢艳玲, 朱亚琴, 陈先华, 王仕峰, 马庆伟. 高胶改性沥青的性能及应用研究 [J]. 石油沥青, 2019, 33 (03): 54-59.

[8] 叶奋, 杨思远, 吴晓羽, 李硕, 王仕峰. 深度降解橡胶改性沥青的流变性能 [J]. 建筑材料学报, 2016, 19 (05): 945-949.