

Study on the Influence of Rubber Powder Fineness on the Performance of Asphalt and Warm Mix Asphalt Mixture

Zhihong Chang¹, Chong Wang¹, Hao Chang², Zhao Dong³, Shudong Xu³, Jiuwei Liu³

¹Shandong Hi-Speed Company Limited, Jinan Shandong

²Dongying Transportation Development Group Co. Ltd., Dongying Shandong

³Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

Email: 842631849@qq.com

Received: Apr. 15th, 2020; accepted: May 5th, 2020; published: May 12th, 2020

Abstract

The modified asphalt, which is made by grinding the waste tire into rubber powder, can not only improve the road performance of asphalt pavement, but also save resources and protect the environment. In order to further analyze the influence of rubber powder fineness on the performance of asphalt and warm mix asphalt mixture, the influence of rubber powder fineness of 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh and mix mesh on the three major indexes of asphalt and the road performance of mixture was studied based on the indoor test. The results show that with the increase of the fineness of rubber powder, the penetration and ductility of modified asphalt increase gradually, and the softening point decreases gradually; the high-temperature stability of asphalt mixture decreases gradually, the low-temperature crack resistance and water stability increase first and then decrease, and the comprehensive performance of modified asphalt and mixture made of rubber powder with certain gradation is more stable. The performance difference between hot mix asphalt mixture and warm mix asphalt mixture is analyzed. The results show that warm mix technology can significantly improve the high-temperature stability of the mixture, the low-temperature crack resistance of the mixture is also slightly improved, but the influence on the water stability of the mixture is not obvious.

Keywords

Rubber Powder Fineness, Modified Asphalt, Warm Mix Technology, Asphalt Mixture

橡胶粉细度对沥青及温拌沥青混合料性能影响研究

常志宏¹, 王冲¹, 常浩², 董昭³, 徐书东³, 柳久伟³

¹山东高速股份有限公司, 山东 济南
²东营交通发展集团有限公司, 山东 东营
³山东省交通科学研究院, 山东 济南
Email: 842631849@qq.com

收稿日期: 2020年4月15日; 录用日期: 2020年5月5日; 发布日期: 2020年5月12日

摘要

由废旧轮胎磨成橡胶粉制备的改性沥青不仅能够显著提高沥青路面的路用性能, 而且可以节约资源保护环境。为进一步分析橡胶粉细度对沥青及温拌沥青混合料性能的影响规律, 基于室内试验分别研究了40目、60目、80目、混合目橡胶粉细度对沥青三大指标及混合料路用性能的影响。研究表明随橡胶粉细度的增大, 改性沥青针入度和延度值逐渐增大, 软化点逐渐减小; 沥青混合料高温稳定性逐渐降低, 低温抗裂性和水稳定性先增大后减小, 由一定级配组成的混合目橡胶粉制备的改性沥青及混合料综合性能更稳定。分析了热拌沥青混合料及温拌沥青混合料的性能差异, 研究表明采用温拌技术可以显著提高混合料的高温稳定性, 混合料的低温抗裂性也有小幅度提升, 而对于混合料的水稳定性则影响不明显。

关键词

橡胶粉细度, 改性沥青, 温拌技术, 沥青混合料

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着社会经济的迅速发展, 国家越来越重视生态环保和资源节约型社会的建设, 废旧轮胎被称为“黑色污染”, 大量堆积不仅造成资源的浪费, 还破坏了生态环境, 与社会发展理念相悖。近年来研究学者提出将废旧轮胎磨成橡胶粉制备橡胶粉改性沥青应用于道路工程, 研究表明橡胶粉沥青作为一种新型的道路材料可以显著提高沥青混合料的路用性能[1] [2] [3]。此外, 传统的热拌沥青混合料不仅施工温度高、对能耗需求大、温室气体排放量大而且施工过程中由于温度过高, 易导致沥青的老化, 影响沥青混合料的路用性能[4] [5] [6]。由此而生的温拌沥青混合料技术越来越受到人们的关注, 温拌技术可以有效改善沥青混合料的施工和易性, 使沥青混合料在较低温度条件下拌和、摊铺及压实, 实现节能减排的目的[7] [8] [9] [10] [11]。

针对温拌胶粉改性沥青王岚[12]分析了表面活性剂掺量对橡胶粉改性沥青高低温流变特性的影响规律, 提出表面活性剂掺量为 0.6%时, 对胶粉改性沥青的低温性能影响最小, 高温性能最佳; 张山钟[13]通过布氏黏度试验、延度试验、软化点试验分析了温拌剂种类和橡胶粉细度对胶粉改性沥青粘温性能、高低温性能的影响规律; 单鸣宇[14]通过低温小梁弯曲蠕变试验分析了盐冻融循环作用下温拌工艺对橡胶粉改性沥青混合料低温抗裂性能的影响; 林晓光[15]通过动态剪切流变试验和低温弯曲梁流变试验分析了胶粉细度和掺量对胶粉改性沥青高低温流变性能的影响规律。基于上述研究成果, 论文主要针对橡胶粉细度对橡胶粉改性沥青和温拌沥青混合料路用性能的影响规律进行研究, 推荐合理的橡胶粉细度, 为橡

胶粉改性沥青的推广应用提供技术支撑。

2. 原材料选择及试验方法

2.1. 沥青

论文所用沥青为重交 70# 基质沥青, 按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》[16] 进行相关试验, 沥青主要技术指标如表 1 所示。

Table 1. Test results of 70# base asphalt

表 1. 70# 基质沥青试验结果

| 检测项目 | 技术要求 | 试验结果 | 试验方法 | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|
| 针入度(25℃, 0.1 mm) | 60~80 | 73.6 | T0604 | |
| 延度(10℃, cm) | ≥25 | 36.52 | T0605 | |
| 软化点(℃) | ≥46 | 49.6 | T0606 | |
| 密度(15℃, g/cm ³) | 实测记录 | 1.035 | T0603 | |
| 旋转薄膜 老化试验 (163℃, 85 min) | 质量损失(%) 针入度比(%) 延度(10℃, cm) | ≤±0.8 ≥61 — | -0.06 63.2 10.24 | T0610 或 T0609 T0604 T0605 |

2.2. 集料

为保证沥青混合料良好的路用性能, 论文选用强度较高、磨耗性好、磨光值较小的玄武岩作为原材料, 按照《公路工程集料试验规程》[17] 进行相关试验, 测试各技术指标如表 2 所示。

Table 2. Physical and technical indexes of aggregate

表 2. 集料物理技术指标

| 物理技术指标 | 单位 | 技术要求 | 试验方法 | 集料规格 | | |
|--------|-------------------|------|-------------|-------|-------|-------|
| | | | | 10~20 | 5~10 | 0~5 |
| 毛体积密度 | g/cm ³ | 实测值 | T 0304-2005 | 2.882 | 2.908 | 2.792 |
| 针片状含量 | % | ≤15 | T 0312-2005 | 6.13 | 5.76 | — |
| 压碎值 | % | ≤26 | T 0316-2005 | — | 12.08 | — |
| 磨耗值 | % | ≤28 | T 0317-2005 | — | 9.76 | — |
| 砂当量 | % | ≥60 | T 0334-2005 | — | — | 72.69 |
| 棱角性 | s | ≥30 | T 0345-2005 | — | — | 50.62 |

2.3. 橡胶粉沥青改性工艺

为进一步分析橡胶粉细度对改性沥青性能的影响规律, 论文分别选取细度为 40 目、60 目、80 目、混合目(将 20 目、40 目、60 目、80 目的橡胶粉按照一定的比例混合得到)的橡胶粉按照 20% 的掺量加入到基质沥青中, 制备橡胶粉改性沥青。

制备方法: 先将基质沥青放入 145℃ 的烘箱中融化, 然后将沥青加热到 180℃, 将橡胶粉按比例加入到基质沥青中, 并在加入橡胶粉的过程中不断搅拌, 使橡胶粉充分分散到沥青中, 然后开动剪切机先以

低速 1000 r/min 剪切 5 min, 再以高速 5000 r/min 剪切 60 min, 剪切过程中, 保持沥青温度为 180℃, 最后将剪切好的沥青放入 180℃ 的烘箱中发育 60 min, 进一步消除剪切过程中产生的气泡。

3. 橡胶粉细度对沥青性能影响分析

分别将 40 目、60 目、80 目、混合目的橡胶粉按照沥青质量的 20% 掺量加入到基质沥青中, 按照改性工艺制备橡胶粉改性沥青, 并对制备的改性沥青进行三大指标(针入度、延度、软化点)试验, 每组橡胶粉改性沥青进行三组平行试验, 取平均值作为试验结果分析值。试验结果见图 1~3。

由图 1 可知, 橡胶粉改性沥青针入度随橡胶粉细度的增大逐渐增大, 混合目的针入度介于 60 目与 80 目之间。主要是因为将橡胶粉加入沥青中后, 橡胶粉改性剂发生膨胀, 且橡胶粉细度越大, 粒径越小, 橡胶粉改性剂越易溶于沥青中形成流动状态。

由图 2 可知, 橡胶粉改性沥青的软化点随橡胶粉细度的增大逐渐减小, 混合目的软化点介于 40 目与 60 目之间。主要是因为橡胶粉改性剂的存在增强了沥青与橡胶粉间的抗剪切强度, 使沥青的软化点升高, 高温性能增强, 但橡胶粉细度越大越易溶于沥青中, 沥青与橡胶粉间的剪切强度逐渐减小, 改性沥青软化点也相对降低。

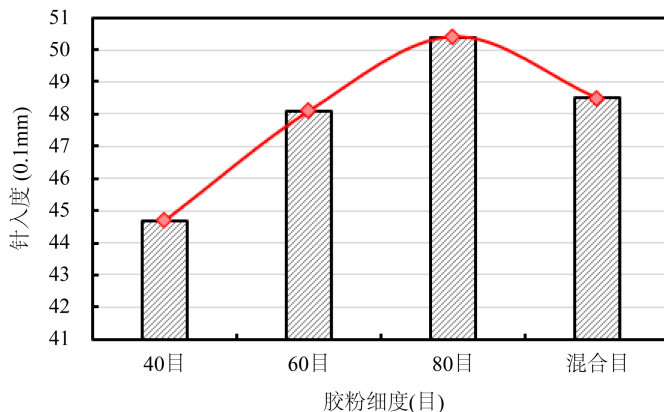


Figure 1. The influence of fineness of rubber powder on penetration

图 1. 橡胶粉细度对针入度的影响

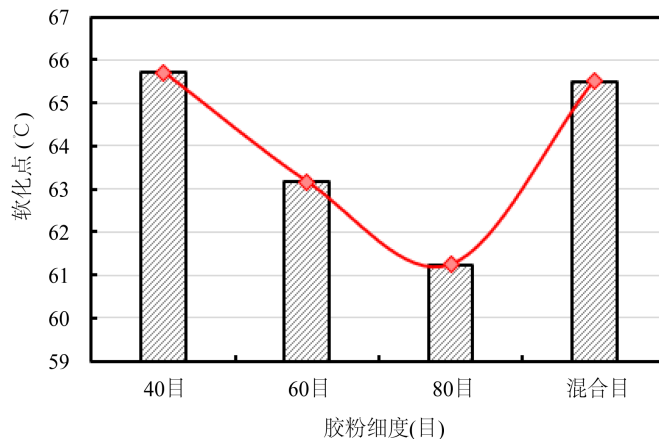


Figure 2. The influence of fineness of rubber powder on softening point

图 2. 橡胶粉细度对软化点的影响

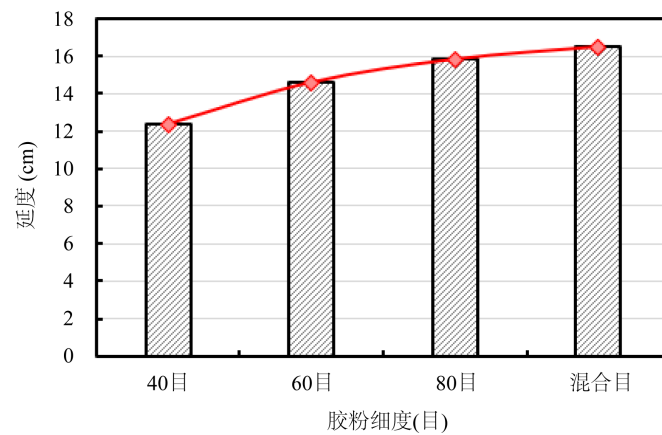


Figure 3. The influence of fineness of rubber powder on ductility
图 3. 橡胶粉细度对延度的影响

由图 3 可知，橡胶粉改性沥青的延度随橡胶粉细度的增大逐渐增大，混合目的延度最高。主要是因为橡胶粉改性剂的存在，造成沥青流动性降低，导致沥青变得更硬更脆，低温延度降低。随橡胶粉细度的增大，橡胶粉更易溶于沥青中，沥青流动性增强，低温性能提高。

综上可知，混合目橡胶粉改性沥青由于改性剂是按照一定级配将不同细度的橡胶粉掺配在一起，其针入度、软化点、延度均接近于不同细度橡胶粉改性沥青的高值，表明混合目橡胶粉改性沥青既有良好的高温性能又具有良好的低温性能，其综合性能最好，性能最稳定。

4. 橡胶粉细度对沥青混合料性能影响分析

4.1. 级配设计

为进一步分析橡胶粉细度对沥青混合料的影响规律及温拌沥青混合料与热拌沥青混合料的性能差异，论文设计 AC-16 级配沥青混合料，对比分析不同橡胶粉细度条件下混合料的路用性能。设计级配如表 3 所示，级配曲线见图 4。

Table 3. Design grading of AC-16 mixture
表 3. AC-16 混合料设计级配

| 筛孔 | 19 | 16 | 13.2 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 合成级配 | 100.0 | 97.8 | 84.3 | 63.9 | 35.7 | 23.5 | 18.2 | 14.2 | 11.0 | 9.6 | 6.6 |
| 级配上限 | 100.0 | 90.0 | 78.0 | 55.0 | 28.0 | 15.0 | — | 8.0 | — | — | 4.0 |
| 级配下限 | 100.0 | 100.0 | 92.0 | 75.0 | 42.0 | 25.0 | — | 15.0 | — | — | 8.0 |
| 级配中值 | 100.0 | 95.0 | 85.0 | 65.0 | 35.0 | 20.0 | — | 11.5 | — | — | 6.0 |

4.2. 混合料路用性能

根据《公路工程沥青路面施工技术规范》[18]采用马歇尔试验法确定沥青混合料最佳沥青用量。为进一步分析不同橡胶粉细度条件下热拌沥青混合料与温拌沥青混合料间的性能差异，论文分别进行了温拌沥青混合料试验及热拌沥青混合料试验。参考国内外研究成果，确定热拌沥青混合料拌合温度通常为 185℃，击实温度为 170℃。对于温拌沥青混合料，通过加入 0.6% 的表面活性温拌剂以达到降低混合料成型温度的目的，结合室内试验及选用温拌剂特性确定混合料拌合温度为 160℃，击实温度为 140℃。

论文分别通过车辙试验、小梁弯曲试验、浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验对混合料的路用性能进行评价。试验结果如图 5~7 所示。

由图 5 可知，随橡胶粉细度的增大，沥青混合料动稳定度逐渐降低，混合目的橡胶粉沥青混合料动稳定度最大。主要是由于橡胶粉溶于沥青中，与沥青发生溶胀反应，形成链状和网状结构，改善了沥青的流变性能。随橡胶粉细度的增大，与沥青接触的面积越大，橡胶粉不能完全溶于沥青中，多余的橡胶粉简单的分散在沥青中，造成沥青性质不稳定，高温稳定性降低。

由图 6 可知，随橡胶粉细度的增大，沥青混合料低温弯曲破坏应变先增大后减小，混合目的橡胶粉沥青混合料低温弯曲破坏应变介于 60 目与 80 目间。主要是由于橡胶粉溶于沥青增加了沥青的塑性变形能力，沥青劲度增加，在低温条件下混合料的抗变形能力增强；橡胶粉细度主要影响着橡胶粉与沥青接触的面积大小，当橡胶粉细度为 60 目时，表明橡胶粉溶于沥青较为充分，同时又没有剩余的未溶解橡胶粉影响沥青的性能，此时混合料具有较好的低温抗裂性能。

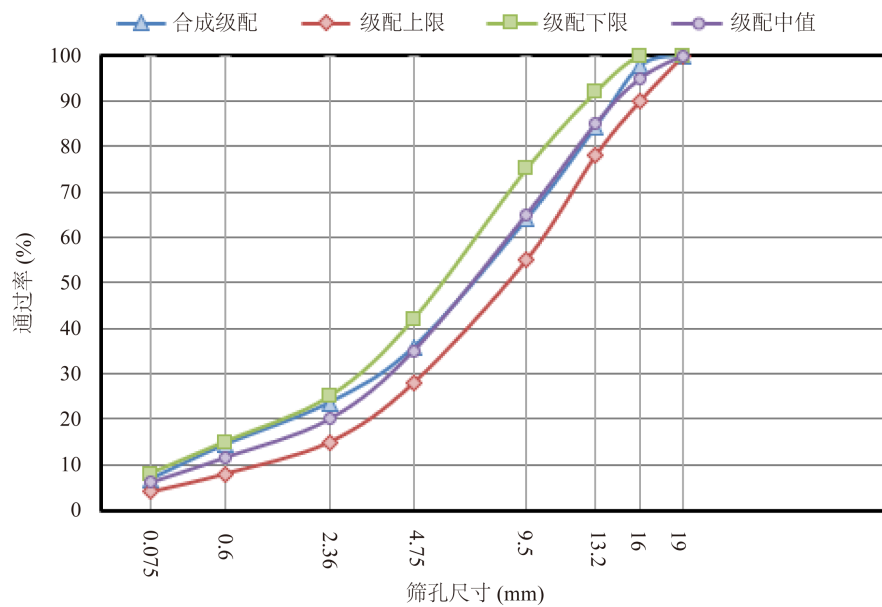


Figure 4. Gradation curve of AC-16 mixture

图 4. AC-16 混合料级配曲线

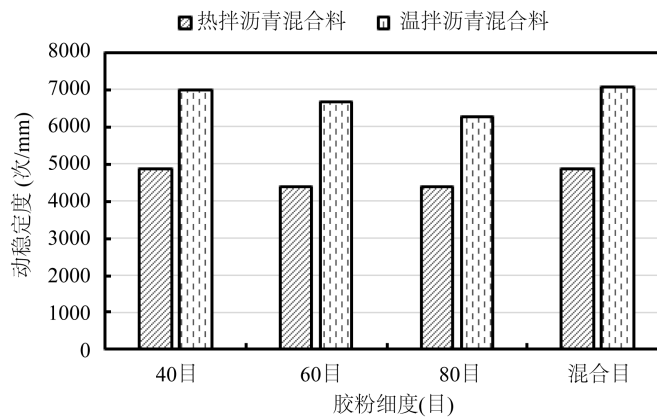


Figure 5. High temperature stability

图 5. 高温稳定性能

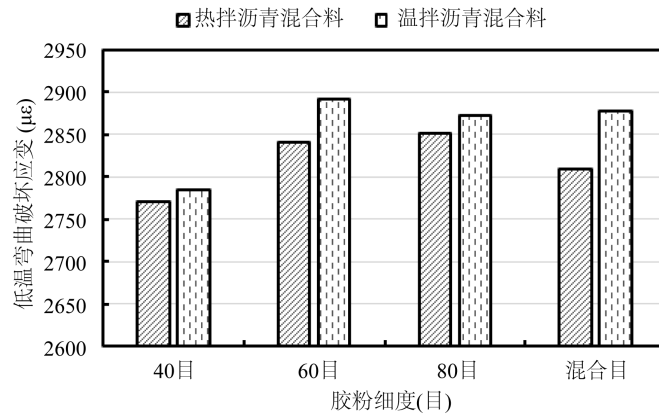
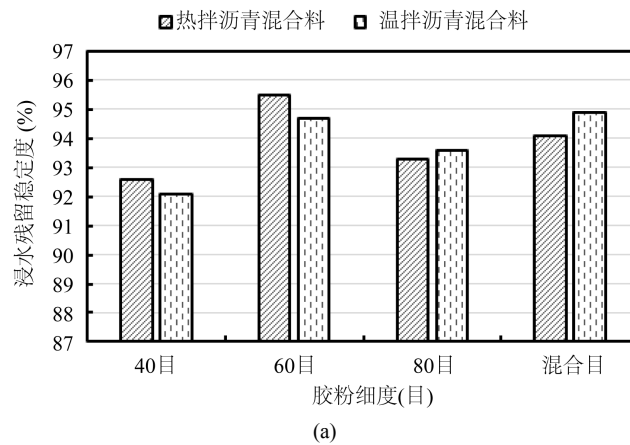
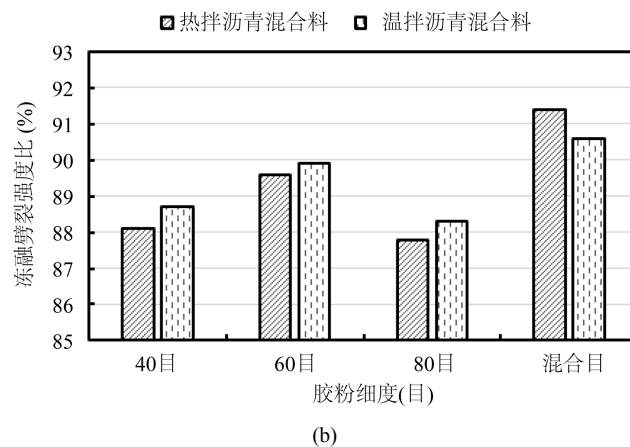


Figure 6. Low temperature crack resistance

图 6. 低温抗裂性能



(a)



(b)

Figure 7. Water stability. (a) Immersion Marshall test; (b) Freeze thaw split test

图 7. 水稳定性能。(a) 浸水马歇尔试验；(b) 冻融劈裂试验

由图 7 可知，随橡胶粉细度的增大，混合料浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比均呈先增大后减小的趋势，表明混合料水稳定性随橡胶粉细度的增大先增大后减小，混合目橡胶粉沥青混合料水稳定性最好。主要是由于橡胶粉溶于沥青中增加了沥青的粘度，集料表面沥青膜厚度增加，混合料间粘附性增强，水

分不易侵入石料表面, 混合料抗水损坏能力增强。随橡胶粉细度的增加, 橡胶粉与沥青接触比表面积增大, 部分橡胶粉不能完全溶于沥青中, 造成沥青粘稠度增加, 混合料施工和易性减弱, 沥青对石料裹附性降低, 混合料的抗水损害能力减弱。

综上可知, 相比于传统的热拌沥青混合料, 采用温拌技术可以显著提高混合料的高温稳定性, 混合料的低温抗裂性也有小幅度提升, 而对于混合料的水稳定性影响不明显。主要是由于温拌技术改善了沥青混合料的施工和易性, 使混合料在较低的温度条件下即可达到规定的密实度, 降低了沥青的老化现象, 增强了沥青的劲度及塑性变形能力, 使混合料具有更强的高温抗车辙能力及低温抗开裂能力。

此外, 采用混合目橡胶粉改性沥青制备的混合料其高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性均优于单细度橡胶粉沥青混合料, 表明按照一定级配设计的混合目橡胶粉改性剂更易与沥青发生溶胀反应, 使橡胶粉改性剂充分溶于沥青中, 保证混合料的性能稳定性。

5. 结语

(1) 基于室内试验, 分析了橡胶粉改性沥青制备工艺, 提出了橡胶粉改性沥青的制备方法。

(2) 随橡胶粉细度的增大, 改性沥青针入度和延度值逐渐增大, 软化点逐渐减小, 按照一定级配组合而成的混合目橡胶粉制备的改性沥青兼具良好的高温性能和低温性能, 其综合性能最稳定。

(3) 相比于传统的热拌沥青混合料, 采用温拌技术可以显著提高混合料的高温稳定性, 混合料的低温抗裂性也有小幅度提升, 而对于混合料的水稳定性影响不明显。

(4) 随橡胶粉细度的增大, 沥青混合料高温稳定性逐渐降低, 低温抗裂性和水稳定性先增大后减小; 采用混合目橡胶粉改性沥青制备的混合料其路用性能均优于单细度橡胶粉沥青混合料, 推荐制备橡胶粉改性沥青或橡胶粉沥青混合料时应优选混合目橡胶粉改性剂。

参考文献

- [1] 王岚, 崔世超, 常春清. 基于流变学与黏弹性理论的温拌胶粉改性沥青的高温性能研究[J]. 材料导报, 2019(14): 2386-2391.
- [2] 郭朝阳. 废胎胶粉橡胶沥青应用技术研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2008.
- [3] Rodriguez-Alloza, Ana Maria, Gallego, Juan. (2017) Mechanical Performance of Asphalt Rubber Mixtures with Warm Mix Asphalt Additives. *Materials & Structures*, **50**, 147. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1020-z>
- [4] 王辉, 邓乔, 罗建军. 橡胶粉的掺量与细度对沥青性能的影响研究[J]. 中外公路, 2017(4): 271-274.
- [5] 宋茂. 高海拔寒冷区温拌橡胶改性沥青混合料适用性研究[J]. 公路工程, 2017, 42(3): 320-326.
- [6] 李正中, 魏如喜, 宋晓燕. 基于 GTM 法的温拌胶粉改性沥青混合料设计研究[J]. 建筑材料学报, 2013, 16(6): 968-974.
- [7] Huang, B.S., Shu, X. and Tang, Y.J. (2005) Comparison of Semi-Circular Bending and Indirect Tensile Strength Tests for HMA Mixtures. *Advances in Pavement Engineering (GSP 130)*, Xi'an, 25 June 2005, 266-275. [https://doi.org/10.1061/40776\(155\)14](https://doi.org/10.1061/40776(155)14)
- [8] 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.
- [9] 侯月琴, 郑南翔, 李栓. 掺 Sasobit 的沥青及混合料性能研究[J]. 中外公路, 2010(5): 294-298.
- [10] Yang, X., You, Z.P., et al. (2017) Environmental and Mechanical Performance of Crumb Rubber Modified Warm Mix Asphalt Using Evotherm. *Journal of Cleaner Production*, **159**, 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.168>
- [11] Mohammad, L.N., Kim, M. and Elseifi, M. (2012) Characterization of Asphalt Mixture's Fracture Resistance Using the Semi-Circular Bending (SCB) Test. In: *7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements*, Volume 4, Springer, Berlin, 1-10. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4566-7_1
- [12] 王岚, 李冀, 桂婉妹. 表面活性剂对温拌胶粉改性沥青高低温性能的影响[J]. 材料导报, 2019, 33(6): 986-990.
- [13] 张山钟. 温拌剂的种类和橡胶粉细度对温拌橡胶沥青性能影响[J]. 合成材料老化与应用, 2019, 48(4): 26-29.
- [14] 单鸣宇, 王岚, 张宝鑫. 盐冻融循环下温拌胶粉改性沥青混合料的低温性能[J]. 建筑材料学报, 2019, 22(3):

467-473.

- [15] 林晓光, 金年生, 杨真子. 胶粉细度及掺量对温拌改性沥青流变性能影响分析[J]. 公路交通技术, 2014(5): 38-41.
- [16] 交通部公路科学研究所. JTGE20-2011 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, 2011.
- [17] 交通部公路科学研究所. JTGE42-2005 公路工程集料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [18] 交通部公路科学研究所. JTGF40-2004 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.