

# 高掺量再生富油沥青砂浆低温性能研究

赵 飞<sup>1</sup>, 李 辉<sup>2</sup>, 韩海龙<sup>2</sup>, 张永强<sup>2</sup>, 郝晓龙<sup>2</sup>, 王培涛<sup>2</sup>, 刘成龙<sup>2</sup>, 肖玉帅<sup>3</sup>

<sup>1</sup>山东省东营市河口区交通运输局, 山东 东营

<sup>2</sup>山东高速滨州发展有限公司, 山东 滨州

<sup>3</sup>山东大学, 山东 济南

收稿日期: 2022年8月29日; 录用日期: 2022年9月16日; 发布日期: 2022年9月23日

## 摘 要

为解决工程中RAP料掺量低的问题, 本文以再生沥青砂浆的低温流变性能和激光显微镜观测的微观断面形貌为研究基础, 从宏观 - 微观相结合的角度探究高掺量再生沥青砂浆的性能, 结果发现相较于基质沥青砂浆, 老化沥青砂浆的劲度模量增大, 蠕变速率减小, 低温抗裂性能减弱。而再生剂明显改善了沥青砂浆的粘性, 减少砂浆中团聚物的面积, 消除界面处黑色区域, 改善新旧沥青的混溶效果, 提升高掺量再生沥青砂浆的低温性能。

## 关键词

高掺量再生, 固废资源化, 低温性能, 新旧沥青混溶效果

# Study on Low Temperature Performance of Regenerated Oil-Rich Asphalt Mortar with High Content

Fei Zhao<sup>1</sup>, Hui Li<sup>2</sup>, Hailong Han<sup>2</sup>, Yongqiang Zhang<sup>2</sup>, Xiaolong Hao<sup>2</sup>, Peitao Wang<sup>2</sup>, Chenglong Liu<sup>2</sup>, Yushuai Xiao<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hekou District Transportation Bureau of Dongying City, Dongying Shandong

<sup>2</sup>Shandong High-Speed Binzhou Development Co. LTD., Binzhou Shandong

<sup>3</sup>Shandong University, Jinan Shandong

Received: Aug. 29<sup>th</sup>, 2022; accepted: Sep. 16<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 23<sup>rd</sup>, 2022

## Abstract

To solve the problem of low dosage of RAP material in engineering, based on the regeneration of

文章引用: 赵飞, 李辉, 韩海龙, 张永强, 郝晓龙, 王培涛, 刘成龙, 肖玉帅. 高掺量再生富油沥青砂浆低温性能研究[J]. 交通技术, 2022, 11(5): 406-412. DOI: 10.12677/ojtt.2022.115041

low temperature rheological properties of asphalt mortar and laser microscope observation of microscopic section morphology for the study of the foundation, from the angle of the combination of macro - micro, this paper explored the performance of the high content of recycled asphalt mortar, the results showed that compared with the matrix asphalt mortar, the aging of asphalt mortar stiffness modulus increases, creep rate is reduced, low temperature crack resistance is weakened. The regenerating agent significantly improves the viscosity of asphalt mortar, reduces the area of aggregates in the mortar, eliminates the black area at the interface, improves the miscibility effect of old and new asphalt, and improves the low-temperature performance of recycled asphalt mortar with high dosage.

## Keywords

High Dosage Regeneration, Solid Waste Recycling, Low Temperature Performance, Miscibility of Old and New Bitumen

Copyright © 2022 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. 引言

山东高速公路总通车里程已突破 7400 公里,由此带来的养护工程会产生大量的废旧沥青混合料,造成严重的资源浪费与环境影响。对 RAP 料进行高效再生利用,可以节约优质石料,节约工程造价,也符合国务院所提出的大宗固废资源利用的指导理念,具有重要的现实意义[1]。

但目前对于老化沥青的高掺量再生研究仍停留在宏观性能阶段,未能深入探究再生过程中再生剂与新沥青、老化沥青的微观作用机理问题,由于材料的宏观性能受到微观结构上的改变影响,因此现有研究难以从根本上提升高掺量再生沥青混合料的宏观性能,也制约了 RAP 料的高掺量资源化使用[2]。现有研究表明 RAP 料的掺加可提高再生沥青混合料的高温抗永久变形性能,但会影响其低温抗裂能力,Sheng 等人[3]从细观角度分析再生沥青混合料的抗裂性能,结果发现 RAP 掺量 40%的试件损伤最严重,说明 RAP 料的掺量对于低温抗裂性能具有负面影响。因此研究再生沥青混合料在再生前后的演化过程,分析再生剂在其中发挥的作用,提升再生沥青的低温性能具有重要意义。

同时沥青砂浆可以视为胶浆和混合料的过度桥梁,其材料组成与级配结构和沥青混合料相接近,因此沥青砂浆与沥青混合料的性能具有很强的相关性[4],同时与混合料相比,沥青砂浆试样易于操作。因此,本文以再生沥青砂浆的低温流变性能和激光显微镜观测的微观断面形貌为研究基础,从宏观-微观相结合的角度探究高掺量再生沥青砂浆的性能,分析再生过程中再生剂所发挥的作用,为提升高掺量再生沥青混合料性能提供理论依据。

## 2. 沥青砂浆制备

### 2.1. 材料参数

为研究高掺量再生富油沥青砂浆的低温性能,本文以基质沥青、再生剂、普通细集料和富油细集料为原材料进行样品制备,其中,再生剂和老化沥青的基本性能指标如表 1 和表 2 所示。

### 2.2. 制备工艺

目前我国高速公路中面层多采用 AC-20 沥青混合料,因此本文参照 AC-20 进行级配设计,将混合料

视为粗集料与砂浆两部分，从而确定沥青砂浆的级配与沥青含量，使砂浆性能可以与沥青混合料性能相吻合[5]。结合前期的研究中所确定的最佳油石比为4.3%，从而确定本文沥青砂浆中沥青含量为12.37%，砂浆级配曲线如图1所示。

**Table 1.** Performance of aging asphalt

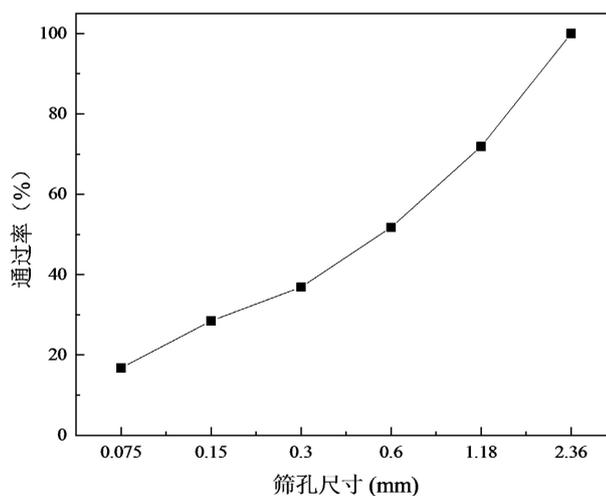
**表 1.** 老化沥青性能情况

测试项目	单位	基质沥青	老化沥青	技术要求	试验规程
针入度(25℃)	0.1 mm	68.3	28.6	60~80	T 0604
软化点( $T_{R&B}$ )	℃	47.3	62.5	≥46	T 0606
延度(10℃)	cm	40.1	10.4	≥25	T 0605
135℃粘度	Pa·s	0.45	1.06	/	T 0619

**Table 2.** Performance of regenerator

**表 2.** 再生剂性能情况

指标类别	粘度(60℃, Pa·s)	芳烃含量/%	闪点/℃	15℃密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
测试值	0.23	54	220	0.98



**Figure 1.** Grading curve of asphalt mortar

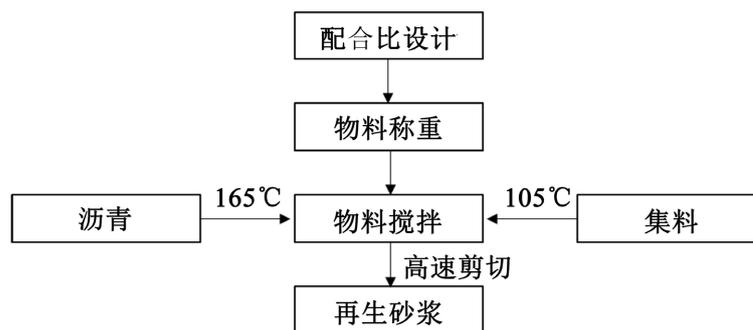
**图 1.** 沥青砂浆级配曲线图

在满足普通沥青砂浆级配曲线的基础上，为提高RAP料的利用情况，最终确定高掺量再生沥青砂浆中的富油细集料掺量为70%，再生剂掺量为富油细集料中老化沥青质量的10% [6]。同时沥青砂浆的制备工艺流程如图2所示，并且为了保证再生效果，建议提前将再生剂与富油细集料拌合后静置1h，充分发挥再生剂的作用。

按照上述的工艺流程，本文制备了三种沥青砂浆，各组别具体情况如表3所示。

### 3. 再生沥青砂浆低温性能研究

沥青老化后变硬、变脆，导致再生沥青混合料的低温抗裂性能下降，因此高掺量再生沥青砂浆的低温性能恢复情况是本文研究中关注的重点。



**Figure 2.** Preparation process of asphalt mortar

**图 2.** 沥青砂浆制备流程

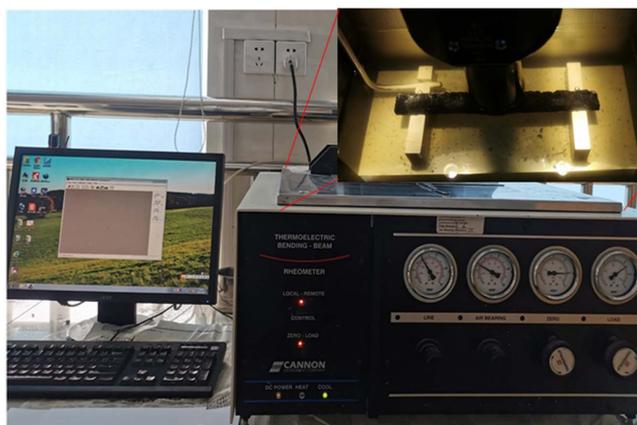
**Table 3.** Asphalt mortar material composition and sample number

**表 3.** 沥青砂浆材料组成与试样编号

序号	材料组成	编号
1	新集料 + 新沥青	MAM
2	富油细集料 + 新集料 + 新沥青 + 再生剂	AAM + RA
3	富油细集料 + 新集料 + 新沥青	AAM

### 3.1. 弯曲梁流变试验

本文采用弯曲梁流变试验来探究再生沥青砂浆的低温性能,其中试验温度选取 $-18^{\circ}\text{C}$ 、 $-12^{\circ}\text{C}$ 和 $-6^{\circ}\text{C}$ ,评价指标为弯曲蠕变劲度( $S$ )和蠕变变化率( $m$ ),结果取3次平行实验的平均值。试验仪器及试件如图3所示。



**Figure 3.** Rheological test of curved beam

**图 3.** 弯曲梁流变试验

### 3.2. 沥青砂浆低温性能分析

三种沥青砂浆在 $-18^{\circ}\text{C}$ 、 $-12^{\circ}\text{C}$ 、 $-6^{\circ}\text{C}$ 下劲度模量  $S$  与蠕变速率  $m$  随温度的变化曲线如图4所示。由图4可知,老化沥青砂浆 AAM 在各温度下的劲度模量均最大、蠕变速率最小,这表明老化沥青的存在,导致砂浆模量较高,在低温下呈硬脆状态,低温抗裂性较差。但在使用了再生剂后, AAM + A 沥青砂浆组的蠕变劲度降低,蠕变速率升高。这是因为再生剂补充了沥青中的轻质组分,使老化沥青发生软化,同时改善了新、旧沥青的混溶效果,从而改善了沥青砂浆的粘性。

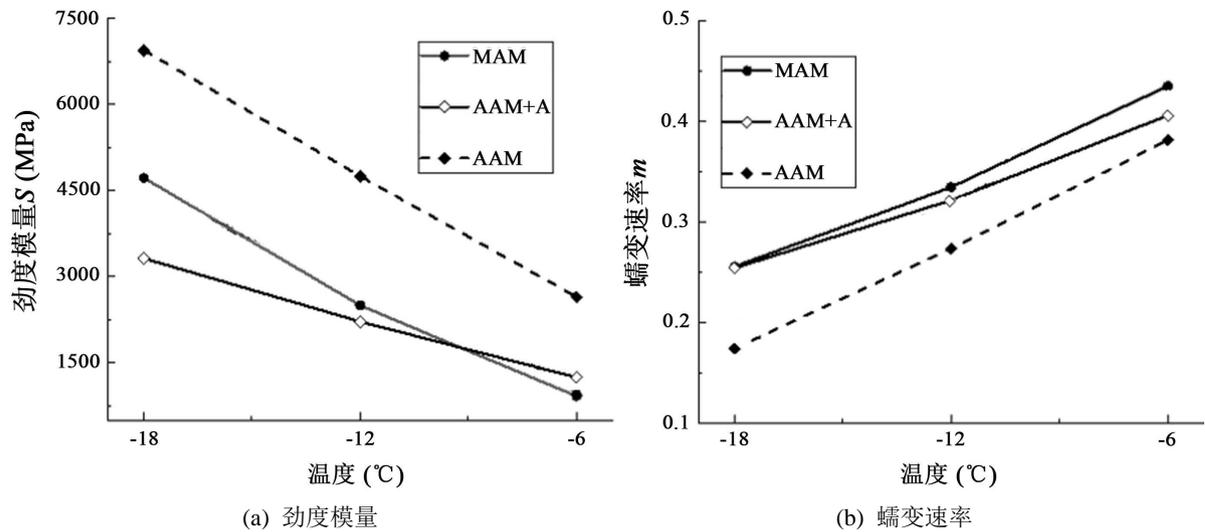


Figure 4. Low temperature performance of asphalt mortar  
图 4. 沥青砂浆低温性能

#### 4. 再生沥青砂浆微观结构分析

添加再生剂后沥青砂浆的低温性能得到明显改善,材料宏观性能的变化是微观性能变化的外在表现,本节主要采用激光显微镜研究沥青砂浆中多相界面混溶的情况,探究改善老化沥青砂浆低温性能的因素。

##### 4.1. 显微镜观测试验

为进一步探究老化沥青砂浆内部多相界面的混溶情况,借助基恩士 VK-K 系列激光显微镜,利用共焦点原理,使用光学扫描仪进行二维激光扫描,获取三种沥青砂浆的断面情况。其中显微镜参数指标如表 4 所示:

Table 4. Laser microscope parameters  
表 4. 激光显微镜参数

综合倍率	最小视野范围	光学系统	显示分辨率
28,800 倍以下	11 $\mu\text{m}$ ~5400 $\mu\text{m}$	针孔共聚焦光学系统	0.5 nm

由于再生砂浆中沥青含量较高,高温下易变形导致表面平整度较差,影响扫描效果,故本文在研究中采用环氧树脂和固化剂对砂浆试样进行预处理,这样可以保证试样表面具有较佳的耐高温性和平整度,同时用于显微镜观测的试样制备流程如图 5 所示。

##### 4.2. 沥青砂浆微观性能分析

图 6 为三种沥青砂浆放大 20 倍后的界面形貌图。其中细集料为图中褐色和白色部分,剩余区域是沥青胶浆。并且可以看出在基质沥青砂浆 MAM 中细集料均匀分散在沥青胶浆中。同时基质沥青砂浆中细集料与沥青胶浆的界面分明,材料划分清晰。但相比而言,老化沥青砂浆 AAM 在细集料和沥青胶浆的界面处缺出现大量黑色区域,这表明新旧沥青混溶效果不均匀,同时可以发现在胶浆内部,老化沥青裹附矿粉形成团聚体,再生效果较差。



Figure 5. Sample preparation for microscope  
图 5. 显微镜试样制备



Figure 6. Miscibility morphology of asphalt mortar  
图 6. 沥青砂浆混溶形貌

而加入再生剂后，再生沥青砂浆 AAM + A 中的黑色团聚体消失，界面处的黑色区域消失，新旧沥青混溶较好，同时发现所添加的富油细集料与沥青分布更加均匀，材料的整体变形协调能力进一步提升，这与其良好的低温性能相印证。也反映出再生剂的加入可以明显提高了新旧沥青混溶的效果，改善了再生砂浆性能。

## 5. 总结

本文采用弯曲梁流变试验和激光显微镜试验对老化沥青砂浆的低温性能和微观结构进行了系统分析，其主要结论如下：

- 1) 低温性能上，相比于基质沥青砂浆，老化沥青砂浆的劲度模量增大，蠕变速率减小，低温抗裂性能减弱。而再生剂明显改善沥青砂浆的粘性，提高了沥青砂浆的低温性能。
- 2) 微观层面上，老化沥青胶浆中团聚现象严重，而再生剂可明显减少砂浆中团聚物的数量，消除界面处黑色区域，改善新旧沥青的混溶效果。
- 3) 综合来看，再生剂可补充沥青中的轻质组分，软化老化沥青，同时改善新旧沥青的混溶效果，可为下一步提升高掺量再生沥青混合料的性能提供研究方向。

## 参考文献

- [1] 关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见[J]. 再生资源与循环经济, 2021, 14(4): 1-3.
- [2] Qiu, J., Huurman, M., de Bruin, B., et al. (2018) Towards 90% Warm Re-Use of Porous Asphalt Using Foaming

- Technology. *Journal of Cleaner Production*, **190**, 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.086>
- [3] Sheng, Y.P., Jia, H.C., Lv, H.L., *et al.* (2020) Study on Mesoscopic Mechanics of Recycled Asphalt Mixture in the Indirect Tensile Test. *Mathematical Problems in Engineering*, **2020**, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2020/6621275>
- [4] 牛冬瑜, 韩森, 李星, 等. 掺外加剂沥青砂浆的力学性能[J]. 交通运输工程学报, 2016, 16(3): 8-16.
- [5] 杨震, 张肖宁, 虞将苗. 沥青老化前后微观与宏观力学性能的对比研究[J]. 建筑材料学报, 2018, 21(2): 335-339.
- [6] 樊现鹏. 沥青老化及再生多尺度特性研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2020.