

# Research on Downgrade Decay and Asphalt Decay in the RAP of Asphalt Pavement

Ronggen Gao<sup>1</sup>, Zhaobiao Dai<sup>1</sup>, Zedong Zhang<sup>2</sup>, Qiang Sun<sup>3\*</sup>, Zhao Dong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Anqing Highway Administration Bureau, Anqing Anhui

<sup>2</sup>Jinan Second Highway Development Center, Jinan Shandong

<sup>3</sup>Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

Email: \*chinasun0813@163.com

Received: June 24<sup>th</sup>, 2019; accepted: July 9<sup>th</sup>, 2019; published: July 16<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In the design of recycled asphalt mixture, the key is to accurately grasp the performance of reclaimed asphalt pavement (RAP). The mechanism and regularity of aging of old asphalt and downgrade decay of RAP are deeply analyzed, which has important theoretical and practical significance. The analysis data show that the gradation of RAP occurs downgrade decay after extraction, and the larger the particle size, the more obvious the downgrade is; the colloidal structure of old asphalt in RAP has changed, the stability has weakened, and the performance of asphalt has deteriorated. The main manifestations are worse ductility, higher softening point and lower penetration. The aging state of asphalt has been proved by DSC and IR.

## Keywords

Asphalt Pavement, RAP, Downgrade Decay, Asphalt Decay, DSC, IR

# 沥青路面RAP料降级衰变与沥青衰减规律研究

高荣根<sup>1</sup>, 戴照彪<sup>1</sup>, 张泽东<sup>2</sup>, 孙强<sup>3\*</sup>, 董昭<sup>3</sup>

<sup>1</sup>安庆市公路管理局, 安徽 安庆

<sup>2</sup>济南市第二公路事业发展中心, 山东 济南

<sup>3</sup>山东省交通科学研究院, 山东 济南

Email: \*chinasun0813@163.com

收稿日期: 2019年6月24日; 录用日期: 2019年7月9日; 发布日期: 2019年7月16日

## 摘要

在进行再生沥青混合料设计时, RAP料性能的准确把握是关键。文章深入分析了RAP料降级衰变与旧沥青衰减规律。研究结果表明, RAP料在提取后会发生降级衰变, 且粒径越大, 降级衰变越明显; 旧沥青在RAP中的胶体结构发生了变化, 稳定性减弱, 沥青性能下降。主要表现为延度变差、软化点升高和针入度降低。沥青的老化状态通过DSC和IR得到了证实。

青老化衰减机理和规律,具有重要的理论和现实意义。分析数据表明:RAP料抽提后级配发生降级衰变,且粒径越大降级越明显;RAP料中旧沥青的胶体结构已经发生改变,稳定性减弱,沥青性能变差,主要表现为延度变差,软化点升高,针入度降低,利用热分析手段DSC和红外光谱IR技术检测证明了沥青的老化状态。

## 关键词

沥青路面, RAP, 降级衰变, 沥青衰减, 差示扫描量热试验, 红外光谱

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

随着我国早期建设的公路陆续达到或超过设计年限,其沥青路面的整体性能已不能满足路用要求,在养护维修中将产生大量的沥青铣刨料(RAP),而沥青铣刨料仍具有很高的利用价值。再生技术(冷再生和热再生)可以使沥青路面重新满足路用性能要求,在降低工程造价的同时达到节能减排的效果,符合我国绿色交通的发展理念。

为保证再生沥青混合料具有良好的路用性能,需进行沥青混合料专项设计,而设计过程中对RAP料性能的准确把握是关键,因此,深入了解RAP料降级衰变与旧沥青老化衰减机理和规律[1][2][3],对于指导再生沥青混合料的设计,具有重要的理论和现实意义。

## 2. RAP料的降级衰变

旧的沥青路面材料经铣刨机铣刨,然后经过进一步机械破碎成大小不一的混合料,也就是我们通常所说的RAP料。

选取各均匀路段,利用维特根铣刨机铣刨旧路面材料RAP,选取具有代表性的RAP材料进行筛分,再对同一试样进行抽提筛分。

铣刨料应干燥,材料稳定。具体要求见表1。

根据混合料冷再生混合料的特点,大部分研究认为混合料的级配设计把旧沥青铣刨料看作为“黑色骨料”,冷再生的整个过程中,铣刨料的骨料及其外部粘附的老沥青材料都不会因为拌合以及施工过程发生较大变化,因此将其看作黑色骨料比较准确。

对于高速公路、一级公路等高等级道路的铣刨料性能都比较稳定,但对于省道、县道、乡道等的低等级道路铣刨料由于以往施工的原因,混合料整体性能较差,铣刨料的露出的集料新鲜面较多,此种铣刨料将严重影响再生混合料的强度以及耐久性能,因此要对铣刨料的沥青含量进行分析,按照施工经验,对于沥青含量小于3%的铣刨料不得使用。

对原材料(RAP料)筛分,确定RAP料的集料粒径组成情况。本筛分试验选用标准筛进行筛分,为了减少筛分工作量,采用自动筛分机为主,人工辅助筛分的方法,按照规范要求筛分。

取沥青面层铣刨料0~5 mm、5~10 mm、10~20 mm三档,试验室抽提试验得到上述几档铣刨料抽提前后级配及沥青含量见表2~表4和图1~图3。

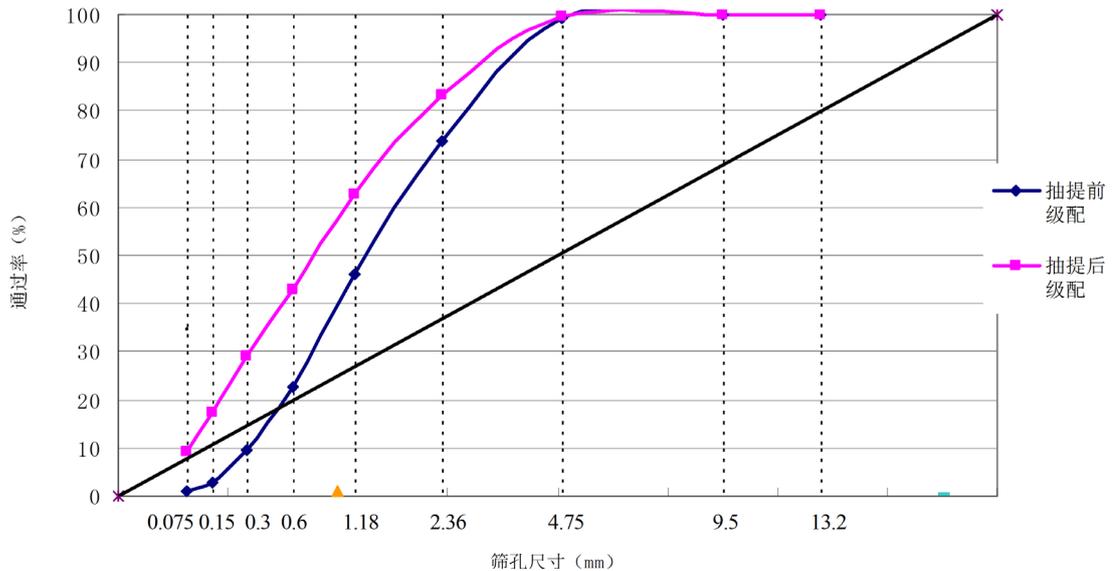
**Table 1.** Technical requirements of RAP  
**表 1.** 沥青铣刨料技术要求

材料	检测项目	技术要求	试验方法
RAP	含水率	≤3%	《公路工程集料试验规程》(JTGE42)T0305, 其中烘箱温度为 60 °C
	RAP 级配	实测	《公路工程集料试验规程》(JTGE42)T0327, 其中材料加热温度为 60 °C
	沥青含量	≥3%	《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052)抽提试验
	砂当量(%)	>50	《公路工程集料试验规程》(JTGE42)T0334
	针入度	实测	
RAP 中的沥青	60 秒度	实测	《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052)T0726 阿布森法回收沥青
	软化点	实测	
	15 秒度	实测	
RAP 中的粗集料	针片状颗粒含量	实测	《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052)抽提试验后, 按《公路工程集料试验规程》(JTGE42)测定
	压碎值	≤28	
RAP 中的细集料	棱角性	实测	

**Table 2.** Screening results of 0 - 5 mm RAP  
**表 2.** 0~5 mm 档沥青铣刨料筛分结果

筛网尺寸(mm)	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
抽提前	100	100	100	100	100	99.2	73.7	46.0	22.7	9.5	2.8	1.1
抽提后	100	100	100	100	100	99.8	83.3	62.7	42.9	29.1	17.4	9.4

沥青含量 6.0%，油石比 6.38%

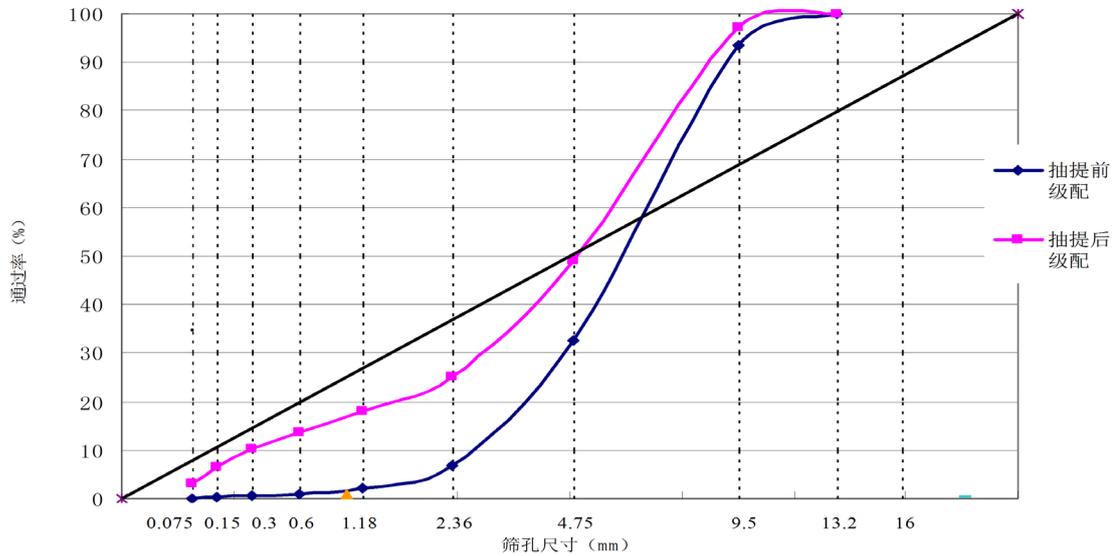


**Figure 1.** Gradation comparison of 0 - 5 mm RAP before and after extraction  
**图 1.** 0~5 mm 档沥青铣刨料抽提前后级配对比

**Table 3.** Screening results of 5 - 10 mm RAP  
**表 3.** 5~10 mm 档沥青铣刨料筛分结果

筛网尺寸(mm)	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
抽提前	100	100	100	100	93.6	32.5	6.9	2.1	0.9	0.6	0.4	0.1
抽提后	100	100	100	100	97.3	48.9	25.0	18.0	13.6	10.3	6.4	3.1

沥青含量为 4.0%，油石比为 4.12%

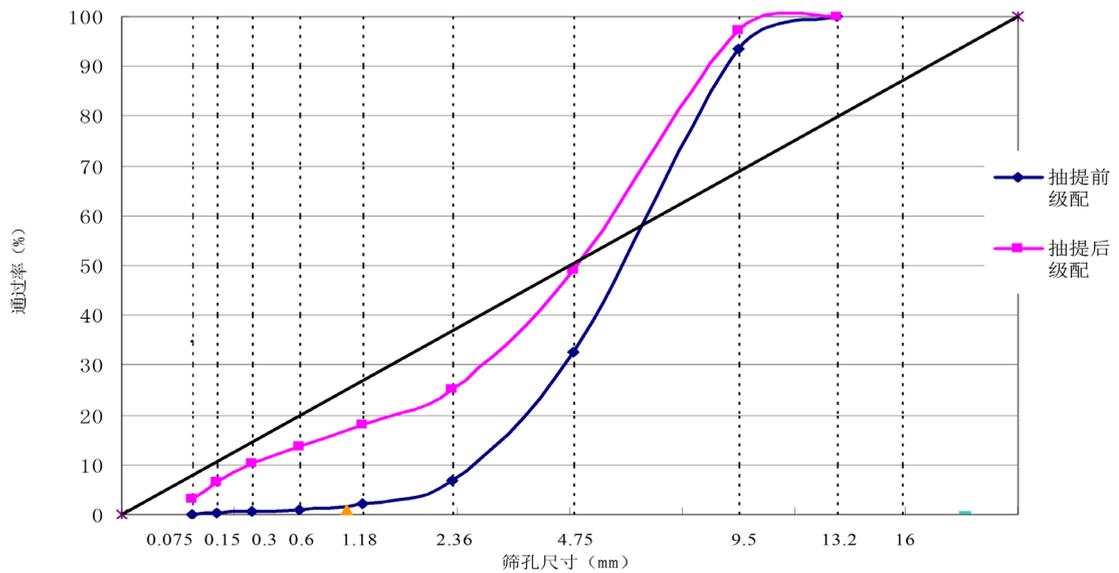


**Figure 2.** Gradation comparison of 5 - 10 mm RAP before and after extraction  
**图 2.** 5~10 mm 档沥青铣刨料抽提前后级配对比

**Table 4.** Screening results of 10 - 20 mm RAP  
**表 4.** 10~20 mm 档沥青铣刨料筛分结果

筛网尺寸(mm)	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
抽提前	100	93.4	79.5	60.7	16.1	1.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0
抽提后	100	99.0	92.1	80.9	48.3	24.4	17.5	13.7	10.2	7.3	4.1	1.5

沥青含量为 3.37%，油石比为 3.49%



**Figure 3.** Gradation comparison of 10 - 20 mm RAP before and after extraction  
**图 3.** 10~20 mm 档沥青铣刨料抽提前后级配对比

从筛分结果来看，回收沥青路面材料中矿粉、细集料含量低。主要是因为虽然沥青路面材料经过现场铣刨和机械破碎，但仍有大量矿粉和细集料被沥青包裹或由沥青粘结到一起，粒径较大。对回收沥青路面材料进行抽提试验，将抽提后的矿料烘干，待矿料降到室温之后再筛分。

对比抽提前后 RAP 料的级配情况可知：三档 RAP 料抽提之后级配均发生降级衰变，集料细化情况明显，粗骨料含量减少，细料和矿粉含量显著增加，且 RAP 料粒径越大，此趋势越明显。而且这种 RAP 料多以一个颗粒团聚体的形式存在，颗粒表面多存在微细颗粒等；而酸除掉颗粒后，曾呈现相对匀质的沥青集合体，无大面积的荧光显示(见图 4)。

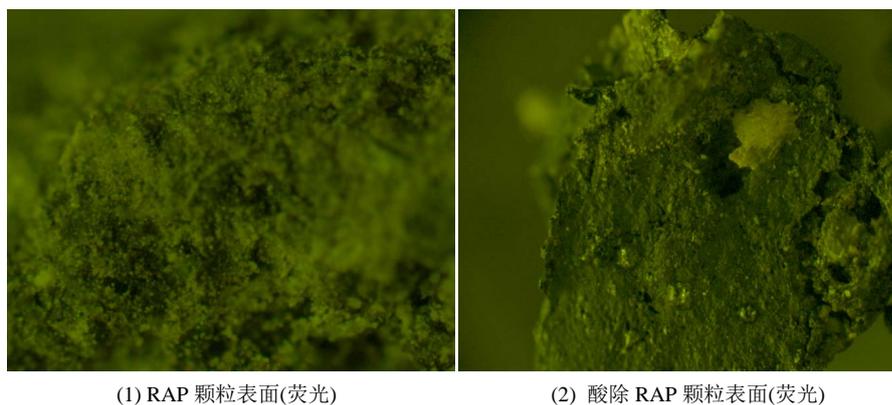


Figure 4. Fluorescence microscope of RAP before and after acid treatment  
图 4. RAP 料颗粒酸处理前后的荧光显微图

### 3. RAP 料中旧沥青老化机理和规律

#### 3.1. 旧沥青的老化机理

沥青老化的主要因素为氧化作用，而热、水、光及机械力作用等外界影响因素进一步加速了沥青的老化。沥青的老化是一个逐步发展的过程，在老化因素的作用下，首先导致沥青中各组分发生变化，如轻质组分减少，沥青质含量增加，改性剂裂解；进而导致溶质和溶剂溶度参数差值增大，因而结构稳定性降低；最终表现为沥青宏观路用性能的衰减。因此，沥青老化过程的实质可以归纳为微观组分变质 → 微观结构衰变 → 宏观性能衰减[4]。

#### 3.2. 旧沥青的老化规律

利用盐酸浸泡 RAP 料颗粒(石灰岩质)，经过荧光检测标明(见图 5)，其中旧沥青呈现一种类似天然岩沥青的特点，并不显示荧光。其结构里面含有一些未能溶解的硅酸盐、纤维等物质；且其硬度高，加热不能熔化，无法制样进行沥青试验。

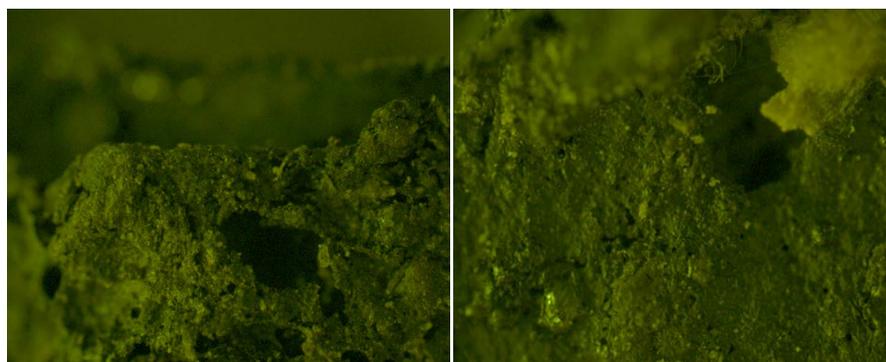


Figure 5. Old asphalt after acid treatment  
图 5. 酸处理后旧沥青

但通过抽提试验,利用旋转回收蒸发器获取 RAP 料中的旧沥青,检测表明,沥青的胶体结构发生改变,稳定性减弱,沥青性能变差,主要表现为延度变差,软化点升高,针入度降低(见表 5)。这与经过风吹、日晒等自然环境的影响,沥青的化学组成发生自然条件下不可逆转的变化有关,主要体现在芳香分向胶质、沥青质转化,胶质进一步缩合,转化成沥青质。所以在荧光下产生与天然沥青相同的特点。

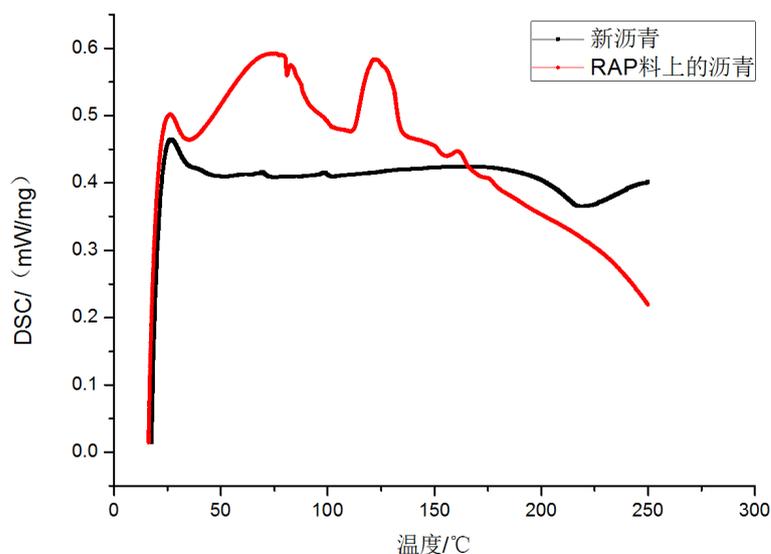
**Table 5.** Asphalt detection index proposed by RAP extraction

**表 5.** RAP 料抽提出的沥青检测指标

指标	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4
针入度, dmm	58.8	44	38	20
软化点, °C	/	57	59	65
25C 延度, cm	/	/	/	34.5
60C 粘度, Pa.s	/	/	/	544

图 6 为 RAP 沥青和新鲜沥青样品的 DSC 图谱, 图 7 为沥青的红外光谱对比。

1) 取新鲜沥青与 RAP 料上残留沥青试样,做差示扫描量热试验[5],两者吸、放热情况见图 6。新鲜沥青在 69.3°C 和 98.4°C 附近有两个面积分别为 0.4 J/g 和 0.16 J/g 的吸热峰,主要是沥青中轻质组分的挥发导致的,在 220°C 附近有一个面积为 13.34 J/g 的放热峰,主要是由于沥青中饱和分、芳香分向胶质发生转化,胶质进一步转化为沥青质的过程。也就是说此温度范围下沥青老化最为迅速。RAP 上的残留沥青在 75.3°C 和 122°C 附近有两个面积分别为 25.7 J/g 和 10.07 J/g 的吸热峰,没有放热峰,由此可以看出残留沥青已经足够老化。



**Figure 6.** DSC atlas of RAP asphalt and fresh asphalt samples

**图 6.** RAP 沥青和新鲜沥青样品的 DSC 图谱

2) 红外光谱分析[6]: 图 7 表明, RAP 上残留沥青在  $1700\text{ cm}^{-1}$ 、 $1300\sim 1500\text{ cm}^{-1}$ 、 $900\sim 1200\text{ cm}^{-1}$  处峰的吸光度明显高于新鲜沥青的吸光度。 $1700\text{ cm}^{-1}$  为羰基在红外光谱中的特征吸收峰; $1300\sim 1500\text{ cm}^{-1}$ 、 $900\sim 1200\text{ cm}^{-1}$  两处吸收峰分别为芳环的碳碳键的伸缩振动吸收峰和碳氧双键的伸缩振动吸收峰。在大气、水分等的影响下,沥青与诸多有机化合物一样发生氧化,生成羰基、羧基等大分子胶团,使沥青粘度增大而硬化。由图 7 可以看出, RAP 上残留沥青老化较为严重。

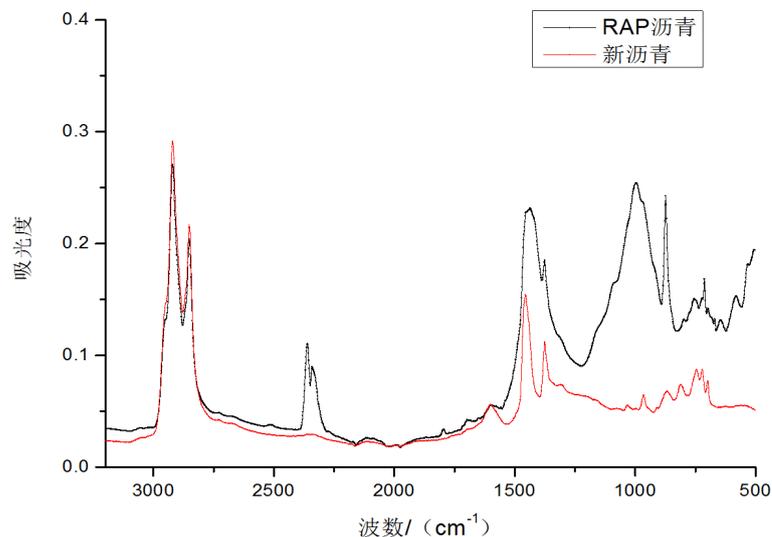


Figure 7. Infrared spectrum comparison of asphalt  
图 7. 沥青的红外光谱对比

#### 4. 结语

1) RAP 料多以颗粒团聚体的形式存在, 颗粒表面多存在微细颗粒等, 故抽提后级配发生降级衰变, 且粒径越大降级越明显; 酸除掉颗粒后, 曾呈现相对均匀的沥青集合体, 无大面积的荧光显示;

2) 分析旧沥青老化机理, 沥青老化过程的实质可以描述为微观组分变质 → 微观结构衰变 → 宏观性能劣化;

3) 旧沥青呈现一种类似天然岩沥青的特点, 并不显示荧光。其结构里面含有一些未能溶解的硅酸盐、纤维等物质; 且其硬度高, 加热不能熔化, 无法制样进行沥青试验;

4) 抽提回收沥青样品试验表明, 旧沥青的胶体结构已经发生改变, 稳定性减弱, 沥青性能变差, 主要表现为延度变差, 软化点升高, 针入度降低。并利用热分析手段 DSC 和红外光谱 IR 技术检测证明了沥青的老化状态。

#### 参考文献

- [1] 王杰, 秦永春, 黄颂昌, 等. 沥青混合料回收料变异性[J]. 北京工业大学学报, 2018, 44(2): 244-250.
- [2] 张金喜, 林翔, 苗英豪, 等. 再生沥青混合料变异性影响因素正交试验[J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(6): 771-778.
- [3] 俞志龙, 黄刚, 何兆益, 等. RAP 离析对再生沥青混合料性能的影响分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(5): 953-957.
- [4] 耿九光. 沥青老化机理及再生技术研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2009.
- [5] 陈华鑫, 贺孟霜, 李媛媛, 等. 沥青与沥青组分的差示扫描量热研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(2): 207-210.
- [6] 陈静云, 邱隆亮. SBS 改性沥青老化与再生机理的红外光谱[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2012, 28(5): 859-864.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)