

# Study on the Influence of RAP Content on the Performance of Plant Mix Hot Recycled Asphalt Mixture

Lin Wang<sup>1</sup>, Zhaobiao Dai<sup>2</sup>, Kai Zhao<sup>1</sup>, Zhao Dong<sup>3</sup>, Shudong Xu<sup>3\*</sup>, Jiuwei Liu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Shandong Hi-Speed Company Limited, Jinan Shandong

<sup>2</sup>Anqing Service Center of Highway Management, Anqing Anhui

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

Email: \*842631849@qq.com

Received: Apr. 15<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 5<sup>th</sup>, 2020; published: May 12<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

In order to further analyze the influence law of RAP content on the performance of the mixture, standardize the scope of rap content of the plant mix hot recycled asphalt mixture, based on the laboratory test paper, the paper studies the influence law of the way and reasonable amount of the recycled agent, rap content on the road performance of the mixture. The experimental scheme of adding regenerant to the mixture to recycle asphalt is put forward, which is more consistent with the actual engineering application. The research shows that compared with adding regenerant directly to asphalt, the experimental scheme has poor regeneration effect. It is suggested that the amount of regenerant should be increased properly; adding regenerant can significantly improve the penetration and ductility of aging asphalt, but the softening point is slightly reduced with the increase of rap content, the high-temperature stability of the mixture increases first and then decreases, the low-temperature crack resistance and water stability decrease gradually. It is recommended that the RAP content should be controlled at 30%.

## Keywords

Plant Mix Hot Regeneration, Regenerating Agent, RAP Content, Road Performance

---

# RAP掺量对厂拌热再生沥青混合料性能影响研究

王琳<sup>1</sup>, 戴照彪<sup>2</sup>, 赵凯<sup>1</sup>, 董昭<sup>3</sup>, 徐书东<sup>3\*</sup>, 柳久伟<sup>3</sup>

<sup>1</sup>山东高速股份有限公司, 山东 济南

\*通讯作者。

<sup>2</sup>安庆市公路管理服务中心, 安徽 安庆

<sup>3</sup>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

为了进一步分析RAP掺量对混合料性能的影响规律, 规范厂拌热再生沥青混合料RAP掺量范围, 基于室内试验论文对再生剂的掺入方式及合理掺量、RAP掺量对混合料路用性能的影响规律进行研究。提出将再生剂添加到混合料再回收沥青的试验方案, 该试验方法与实际工程应用更相符, 研究表明相比于直接将再生剂添加到沥青中, 该试验方案再生效果较差, 建议应适当提高再生剂的掺量; 添加再生剂能够显著提高老化沥青的针入度和延度, 但软化点略有降低, 确定本文再生剂掺量为8%; 不同RAP掺量条件下混合料的体积指标差异不明显, 但最佳沥青用量随RAP掺量的增加逐渐增大; 随RAP掺量的增加, 混合料高温稳定性先增大后减小, 低温抗裂性和水稳定性逐渐降低, 推荐厂拌热再生沥青混合料RAP掺量宜控制为30%。

## 关键词

厂拌热再生, 再生剂, RAP掺量, 路用性能

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. 引言

随着“绿色交通”理念的日益推广, 路面再生技术因其良好的资源节约、生态环保优势受到国内外研究学者的广泛关注。厂拌热再生作为路面再生技术的典型形式, 相较于其他形式的再生技术, 使用性能更优越, 可以广泛应用于各等级公路的面层或基层, 其路用性能与普通的热拌沥青混合料相差无异, 在国内外已得到广泛应用[1] [2] [3]。厂拌热再生技术即将需要翻修或者废弃的旧沥青材料运至沥青拌和厂, 经破碎、筛分, 以一定的比例与新集料、新沥青、再生剂等重新拌合成为具有良好路用性能的再生沥青混合料, 用于铺筑路面面层或基层的整套工艺技术。

国外对沥青路面再生技术的研究一直颇为重视, 而且技术相对成熟。欧美国家[4] [5] [6] [7]先后出版了《沥青混合料废料再生利用技术》、《旧沥青再生混合料技术准则》、《路面沥青废料再生指南》等一系列规范, 提出了适于各种条件下沥青混合料再生利用的方法, 并且在再生剂开发、再生混合料设计、施工设备等方面的研究日趋深入, 取得了相当的成就。从上世纪的50~80年代, 我国[8] [9] [10]开始再生技术的初步尝试, 并取得了迅速发展, 先后颁布了《公路沥青路面养护技术规范》、《公路沥青路面再生技术规范》, 对再生沥青混合料的级配设计及性能指标等内容进行了详细规定。

路面再生技术虽然在国内外已取得广泛应用, 但仍存在较多问题, 其中RAP掺量是影响厂拌热再生混合料性能的重要影响因素, 现阶段工程人员更多的是根据经验选择RAP掺量, 导致混合料性能不稳定, 容易出现早期病害。基于上述问题, 论文以RAP合理掺量作为研究目标, 分析了RAP掺量对厂拌热再生混合料性能的影响规律, 提出RAP合理掺量范围。

## 2. 原材料性质

### 2.1. 铣刨料级配

本文所用铣刨料来自于某条高速，原混合料级配为 AC-16，所用沥青为 SBS 改性沥青。将铣刨料破碎筛分为 10~20 mm、5~10 mm、0~5 mm 三挡，对各档铣刨料进行抽提前后筛分试验，试验结果见表 1。

**Table 1.** Test results of extraction and screening of milling and planning materials

**表 1.** 各档铣刨料抽提筛分试验结果

筛孔尺寸(mm)	RAP (10~20 mm)		RAP (5~10 mm)		RAP (0~5 mm)	
	抽提前	抽提后	抽提前	抽提后	抽提前	抽提后
19	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
16	86.2	90.7	100.0	100.0	100.0	100.0
13.2	75.3	82.2	100.0	100.0	100.0	100.0
9.5	19.7	32.1	82.3	90.2	100.0	100.0
4.75	9.7	18.5	17.8	30.6	97.3	99.8
2.36	3.7	13.9	7.8	16.5	53.4	75
1.18	2.1	11.8	2.3	14.7	42.3	60.3
0.6	1.3	9.6	1.3	12.5	37.9	46.6
0.3	0.3	6.9	0.7	9.6	22.8	26.4
0.15	0.2	5.6	0.3	7.9	18.7	20.7
0.075	0.3	4.5	0.3	6.3	12.3	15.9
沥青含量	3%		4.4%		7%	

对比分析抽提前后混合料的级配变化可知，抽提后混合料中粗集料含量降低，细集料和矿粉的含量增加，主要是因为铣刨料中细集料和矿粉由沥青包裹成块状或粘附在粗集料表面导致抽提前混合料级配偏粗；同时由上述结果可以看出，细集料沥青含量远高于粗集料的沥青含量，主要是由于集料越细，比表面积越大，对沥青的吸附能力越强。

### 2.2. 集料物理技术指标

论文所用新集料为石灰岩，分为 10~20 mm、5~10 mm、3~5 mm、0~3 mm 四挡，分别对新集料和抽提后铣刨料的物理技术指标进行验证，技术指标见表 2。

**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	新集料				铣刨料		
			10~20	5~10	3~5	0~3	10~20	5~10	0~5
毛体积密度	g/cm <sup>3</sup>	实测值	2.652	2.738	2.708	2.692	2.708	2.744	2.683
表观密度	g/cm <sup>3</sup>	实测值	2.726	2.784	2.761	2.788	2.746	2.793	2.745
针片状含量	%	≤15	10.13	12.76	-	-	12.38	13.12	-
压碎值	%	≤26		20.88				22.67	
磨耗值	%	≤28		21.98				24.08	
砂当量	%	≥60	-	-	-	72.69	-	-	68.69
棱角性	s	≥30	-	-	-	33.62	-	-	34.03

## 2.3. 沥青

论文所用新沥青为 SBS 改性沥青，参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》[11]对沥青进行相关技术指标试验，试验结果见表 3。

**Table 3.** Technical index of SBS modified asphalt  
**表 3.** SBS 改性沥青技术指标

检测项目		技术要求	试验结果	试验方法
针入度(25℃, 5 s, 100 g)/0.1 mm		60~80	68	T0604
延度(5 cm/min, 5℃, cm)		≥20	28	T0605
软化点(℃)		≥55	63.7	T0606
运动粘度 (135℃, Pa·s)		≤3	1.831	T0625
闪点(℃)		≥230	331	T0611
溶解度(%)		≥99	99.83	T0607
25℃弹性恢复		≥65	95.7	T0662
密度(25℃, g/cm <sup>3</sup> )		实测记录	1.020	T0603
旋转薄膜	质量损失(%)	≤±1.0	-0.27	T0610
老化试验 (163℃, 85 min)	针入度比(25℃, %)	≥60	77	T0604
	延度(5℃, cm)	≥20	26	T0605

## 3. 厂拌热再生沥青混合料配合比设计

### 3.1. 再生剂掺量

沥青路面在使用过程中，直接暴露在阳光和自然环境中，沥青会出现严重的老化现象，因此需要在铣刨料拌和时添加再生剂，以恢复老化沥青的原有性能，而室内试验通常先将沥青回收，然后加入再生剂，以此分析再生剂对老化沥青的再生效果，这种方式与实际工程应用并不相符。为了分析再生剂掺入方式对沥青性能的影响，论文设计了两种掺入方案，方案一：先将沥青从铣刨料中回收，然后添加再生剂，在规定温度条件下搅拌均匀，使再生剂充分溶于沥青中，测试沥青指标；方案二：在铣刨料拌和时将再生剂掺入混合料中，搅拌一定时间使再生剂充分融化，然后回收铣刨料中的沥青，测试沥青指标。根据上述方案分别掺加沥青质量 2%、4%、6%、8%、10%的再生剂，测试沥青技术指标见表 4，不同再生剂掺量条件下回收沥青技术指标变化规律如图 1~4 所示。

**Table 4.** Test results of technical indexes of asphalt with different amount of regenerant  
**表 4.** 不同再生剂掺量条件下沥青技术指标试验结果

再生剂掺量	针入度(0.1 mm)		软化点(℃)		15℃延度(cm)	
	方案一	方案二	方案一	方案二	方案一	方案二
0%	37.3	37.3	65.6	65.6	8.7	8.7
2%	48.7	45.3	63.1	64.5	12.9	11.6
4%	55.3	52.6	61.9	63.1	17.1	15.3
6%	61.9	57.5	59.4	61.4	20.4	19.0
8%	65.2	60.9	58.7	60.2	22.5	21.7
10%	69.6	63.6	55.5	57.9	23.9	23.4

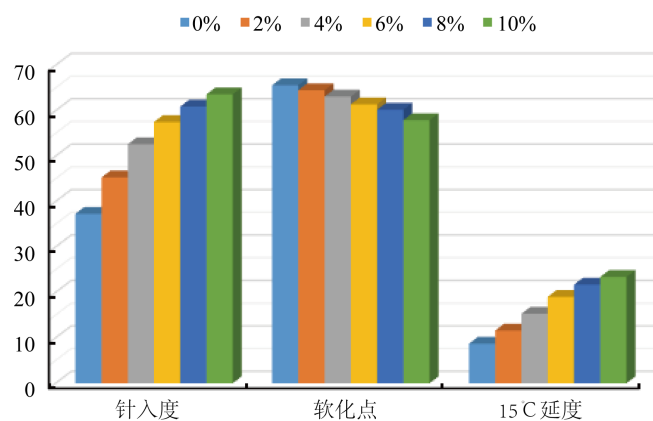


Figure 1. Variation of asphalt technical index

图 1. 沥青技术指标变化规律

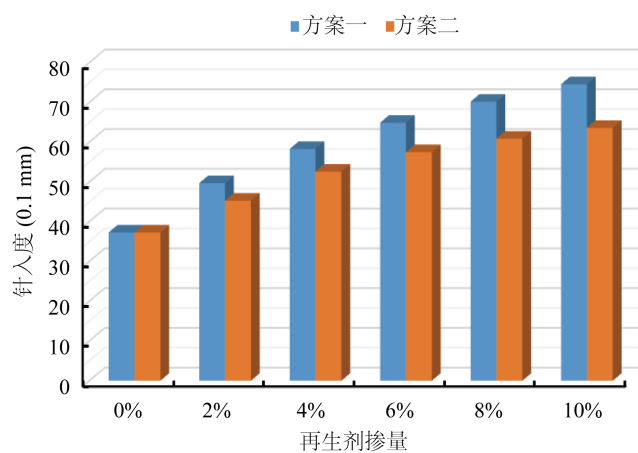


Figure 2. Variation of penetration of asphalt

图 2. 沥青针入度变化规律

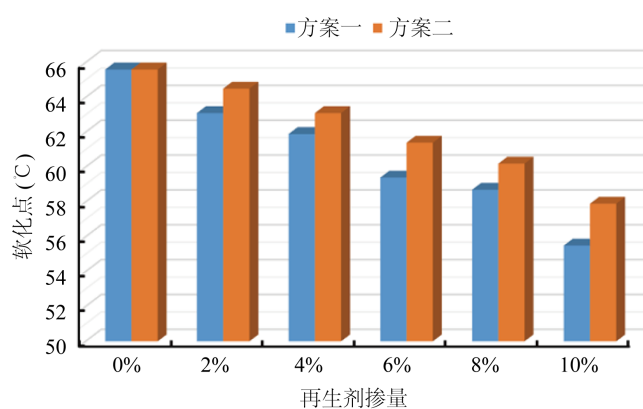


Figure 3. Variation of softening point of asphalt

图 3. 沥青软化点变化规律

由上述试验可知两种掺入方案条件下沥青技术指标变化趋势一致，随再生剂掺量的增加，沥青针入度、15°C延度值逐渐增加，软化点略有降低，表明掺加再生剂可以有效恢复沥青的原始性能。对比两种

掺入方案可以发现相同再生剂掺量条件下方案一的再生效果更好，主要是因为将再生剂直接投入沥青中增大了再生剂与沥青的接触面积，再生剂在沥青中溶解更充分，沥青性能恢复效果更好。

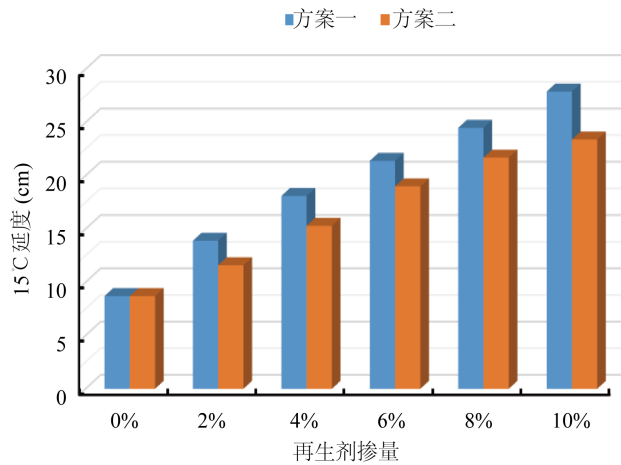


Figure 4. Variation of ductility of asphalt  
图 4. 沥青延度变化规律

由上述试验结果可知对于方案一再生剂掺量大于 6%、方案二再生剂掺量大于 8%时，沥青技术指标满足《公路沥青路面施工技术规范》[12]对改性沥青的技术要求。考虑本文再生剂的掺入方式为将再生剂投入到拌合锅中与铣刨料直接拌和，确定再生剂的合理掺量为 8%。

### 3.2. 级配设计

根据《公路沥青路面施工技术规范》技术要求，进行混合料级配设计，设计级配为 AC-16，RAP 掺量分别为 0%、10%、20%、30%、40%、50%，通过调整各档集料的比例，保证不同 RAP 掺量条件下混合料级配不发生明显改变(各筛孔通过率上下浮动不超过±2%，关键筛孔通过率上下浮动不超过±1%)，混合料设计级配见表 5，混合料级配曲线如图 5 所示。

Table 5. Design gradation of mixture  
表 5. 混合料设计级配

筛孔 \ RAP 掺量	0%	10%	20%	30%	40%	50%
19	100.0	100	100	100	100	100
16	95.1	95.2	95.3	95.4	96.5	96.6
13.2	85.1	85.3	85.5	85.7	85.9	86.0
9.5	72.6	71.7	72.1	73.2	72.9	73.1
4.75	45.2	45.3	45.6	44.7	44.8	45.0
2.36	31.4	31.7	31.3	31.5	31.1	31.8
1.18	24.8	25.1	25.6	24.7	24.5	23.8
0.6	18.9	19.4	19.8	19.4	19.5	19.2
0.3	13.1	13.5	13.8	13.7	13.9	13.8
0.15	9.6	9.9	10.3	10.5	9.8	9.9
0.075	6.2	6.6	7.1	6.5	6.9	7.2

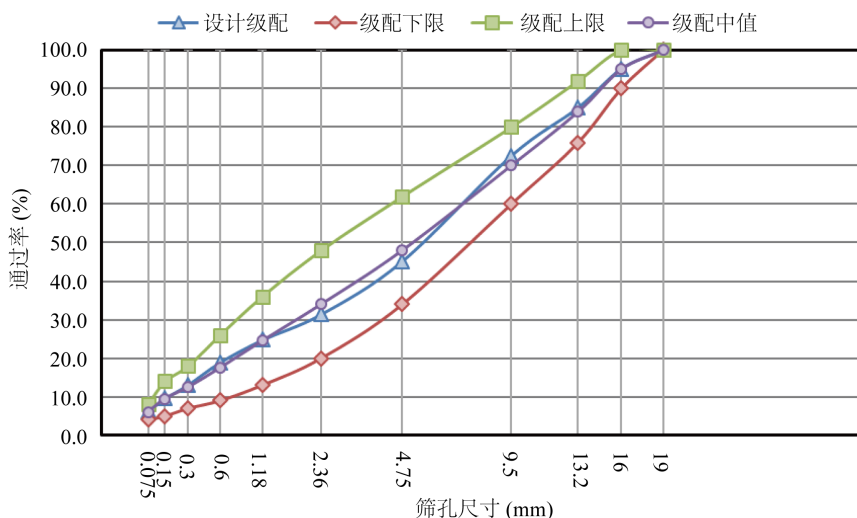
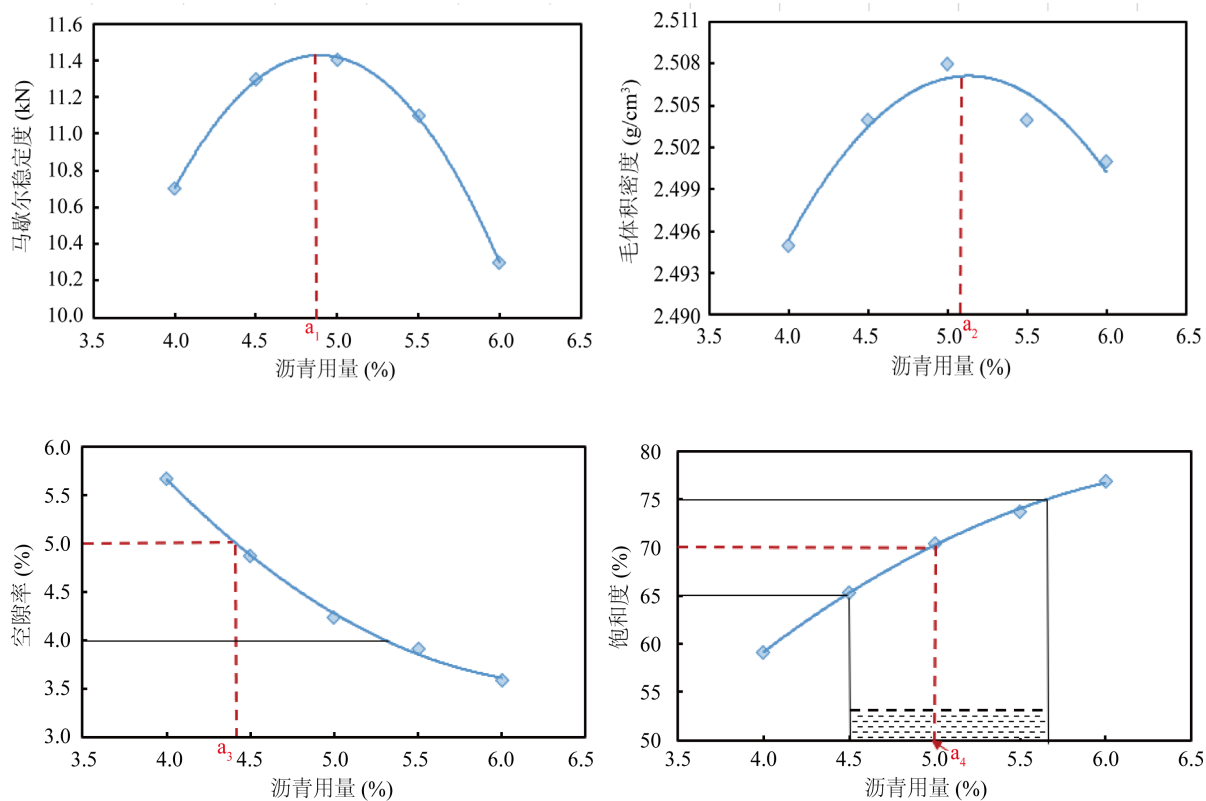


Figure 5. Design gradation of AC-16  
图 5. AC-16 设计级配

### 3.3. 最佳沥青用量

基于马歇尔击实法确定混合料的最佳沥青用量，根据工程经验以 5.0%为预估沥青用量，并在此基础上以 0.5%为间隔上下各浮动 2 个沥青用量，确定混合料沥青用量为 4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0%，新沥青用量为沥青总量减去 RAP 料中的油石比和再生剂的掺量，图 6 为 RAP 掺量为 30%时混合料的体积指标。



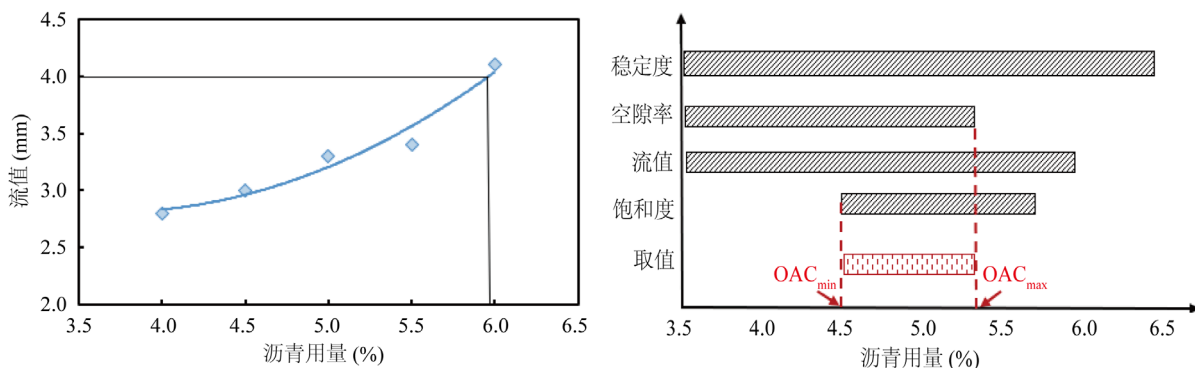


Figure 6. Volume index of mixture

图 6. 混合料体积指标

由图 6 马歇尔试验体积指标求取相应的马歇尔稳定度最大值  $a_1$ 、毛体积密度最大值  $a_2$ 、空隙率中值  $a_3$ 、沥青饱和度范围中值  $a_4$ ，计算沥青用量  $OAC_1$ 。

$$OAC_1 = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4} = \frac{4.8 + 5.1 + 4.4 + 5.0}{4} = 4.8 \quad (1)$$

以各项指标均符合技术要求的沥青用量范围  $OAC_{min} \sim OAC_{max}$  的中值计算沥青用量  $OAC_2$ 。

$$OAC_2 = \frac{OAC_{min} + OAC_{max}}{2} = \frac{4.5 + 5.3}{2} = 4.9 \quad (2)$$

以  $OAC_1$  和  $OAC_2$  的中值计算混合料最佳沥青用量  $OAC$ 。

$$OAC = \frac{OAC_1 + OAC_2}{2} = \frac{4.8 + 4.9}{2} = 4.9 \quad (3)$$

由上述方法可以计算当 RAP 掺量为 30% 时混合料的最佳沥青用量为 4.9%，同理可得出不同 RAP 掺量条件下混合料的最佳沥青用量，如图 7 所示，最佳沥青用量条件下混合料马歇尔试验体积指标见表 6。

Table 6. Optimum asphalt content of asphalt mixture with different RAP content

表 6. 不同 RAP 掺量沥青混合料最佳沥青用量

RAP 掺量	最佳沥青用量 (%)	毛体积密度 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	VMA (%)	VFA (%)	马歇尔稳定度 (kN)	流值 (mm)
0%	4.5	2.511	3.9	14.7	73.5	11.8	3.2
10%	4.7	2.508	4.2	14.3	70.6	11.3	3.3
20%	4.8	2.510	4.0	14.5	72.4	12.0	3.7
30%	4.9	2.510	4.1	14.4	71.5	11.7	3.6
40%	4.9	2.512	4.3	14.1	69.5	11.6	3.4
50%	5.0	2.509	4.7	14.4	70.8	10.9	4.2

由上述试验可知随 RAP 掺量的增加，混合料最佳沥青用量呈逐渐增大的趋势，主要是因为 RAP 中沥青老化严重，粘度较大，包裹在集料表面形成的沥青膜较厚，此外混合料拌和时，部分沥青与矿粉和细集料粘附在一起，未能完全发挥作用，导致最佳沥青用量略有增大。由试验结果可知最佳沥青用量条件下，RAP 掺量对混合料马歇尔体积指标没有明显影响。



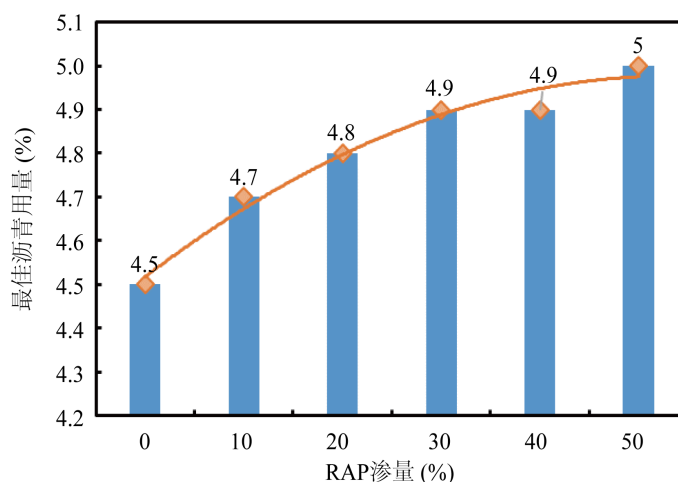


Figure 7. Variation of optimum asphalt content with RAP content  
图 7. 最佳沥青用量随 RAP 掺量变化规律

## 4. 厂拌热再生混合料性能分析

### 4.1. 高温稳定性

高温稳定性是指高温条件下沥青混合料在荷载作用下抵抗永久变形的能力。沥青混合料强度随温度的升高而急剧降低，高温稳定性不足易产生车辙、拥包、推移等病害，研究表明随温度的升高，沥青混合料的永久变形逐渐增大。车辙试验是一种模拟实际车轮荷载在路面上行驶而形成车辙的试验方法，用来评价沥青混合料在规定温度下抵抗塑性流动变形能力，试验结果与实际路面的车辙有良好的相关性，被广泛用于评价沥青混合料的高温性能。

车辙的形成主要可分为压密和流动变形两个阶段，车辙试验主要考虑了混合料后 15 min 的流动变形，通过测定试件的变形与时间的关系，计算沥青混合料的动稳定度，计算公式如下所示。

$$DS = \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times 42 \times c_1 \times c_2 \quad (4)$$

式中： $d_1$ —荷载轮作用时间  $t_1$  (一般为 45 min) 时的车辙深度；

$d_2$ —荷载轮作用时间  $t_2$  (一般为 60 min) 时的车辙深度；

$c_1$ —试件尺寸系数；

$c_2$ —试验类型的修正系数。

分别对不同 RAP 掺量的沥青混合料进行车辙试验，混合料试验结果见图 8。

由上述试验可知，混合料动稳定度随 RAP 掺量的增加先增大后减小，主要是因为 RAP 中含有一定量的老化沥青，老化的沥青轻质组分减少，在氧化作用下向胶质和沥青质转化，粘度和劲度显著增强，沥青自身性质对混合料的高温稳定性产生了较大影响。此外裹附在集料表面的沥青，拌合过程中未全部从旧料表面剥离，部分沥青以结构沥青的形式存在于集料颗粒表面，增大了混合料间的粘聚力，从而增强了混合料的抗车辙性能。由于回收破碎过程中 RAP 中集料棱角性会有不同程度的磨损，当过多的掺入 RAP 料，混合料的整体沥青用量增加，集料颗粒间的嵌挤能力变弱，抵抗高温剪切性能变弱，导致混合料在外力作用下容易失稳变形，抗车辙性能降低。研究表明掺加适量的 RAP 料能够显著增强混合料的高温稳定性，当 RAP 掺量为 30% 时混合料的高温稳定性最好。

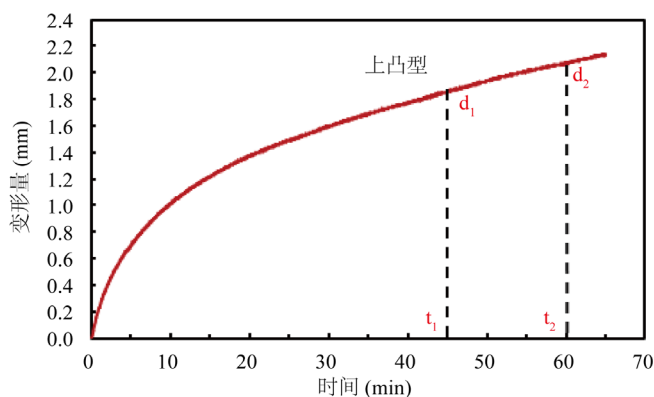


Figure 8. Analysis curve of asphalt mixture rutting test  
图 8. 沥青混合料车辙试验分析曲线

分别对不同 RAP 掺量的沥青混合料进行车辙试验, 混合料高温稳定性试验结果见图 9。

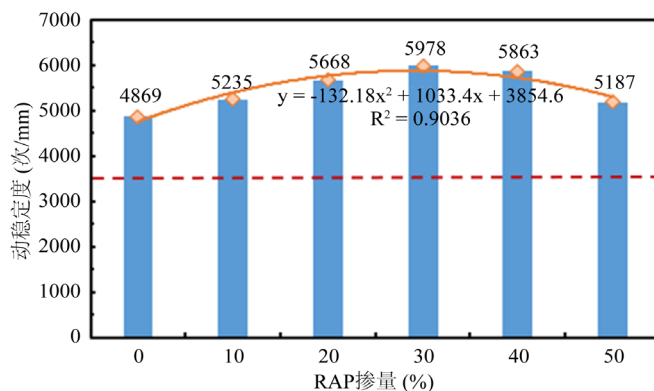


Figure 9. Variation of dynamic stability of mixture with RAP content  
图 9. 混合料动稳定度随 RAP 掺量变化规律

#### 4.2. 低温抗裂性

低温缩裂是沥青路面常见病害之一, 当温度较低时, 沥青路面会产生体积收缩, 在结构层中产生温度应力, 若温度应力超过混合料的容许拉应力, 则会导致沥青路面开裂, 造成路面损坏。目前评价沥青混合料低温抗裂性能的方法大致可以分为三类: 预估沥青混合料开裂温度、评价沥青混合料的低温变形能力、评价沥青混合料断裂能。论文采用低温弯曲试验评价不同 RAP 掺量条件下混合料的低温抗裂性能, 试验结果见图 10。

由上述试验可知随 RAP 掺量的增加, 沥青混合料的破坏应变逐渐减小, 主要是因为 RAP 在环境与荷载的长时间作用下, 混合料中老化沥青轻质组分减少, 沥青变硬变脆, 导致混合料的拉伸应变和劲度模量减小, 容易产生低温开裂病害。研究表明 RAP 掺量越大, 混合料塑性越低, 在低温状态下抵抗破坏应变的能力越小, 混合料低温抗裂性能越差, 当 RAP 掺量大于 40% 时混合料的低温抗裂性能将不再满足相关规范要求。

#### 4.3. 水稳定性

水的存在会破坏沥青与集料之间的黏附性, 导致集料与沥青剥离, 出现松散、坑洞等病害, 水损害已成为沥青路面常见病害。论文采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价 RAP 掺量对混合料水稳定性性能

的影响规律，试验结果见表 7，混合料水稳定性变化规律如图 11 所示。

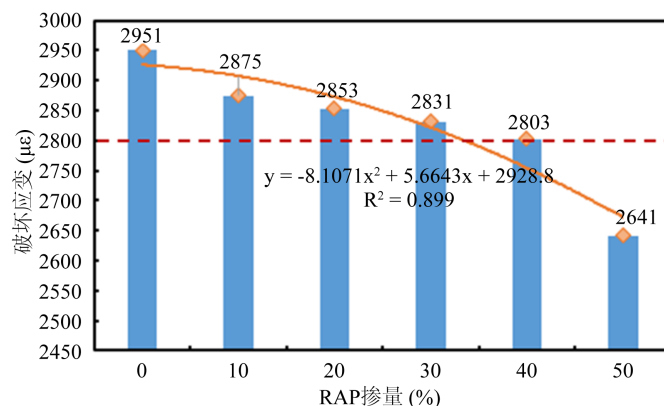


Figure 10. Variation of failure strain of mixture with RAP content

图 10. 混合料破坏应变随 RAP 掺量变化规律

Table 7. Test results of water stability of mixture

表 7. 混合料水稳定性试验结果

RAP 掺量	浸水马歇尔试验			冻融劈裂试验		
	MS <sub>2</sub> (kN)	MS (kN)	MS <sub>0</sub> (%)	RT <sub>2</sub> (MPa)	RT <sub>1</sub> (MPa)	TSR (%)
0%	9.77	11.38	85.9	0.75	0.93	79.9
10%	9.45	11.21	84.3	0.72	0.92	78.9
20%	9.31	11.09	83.9	0.72	0.92	78.0
30%	9.14	10.98	83.2	0.70	0.91	77.1
40%	8.92	10.89	81.9	0.68	0.90	75.5
50%	8.61	10.63	81.0	0.65	0.89	73.4

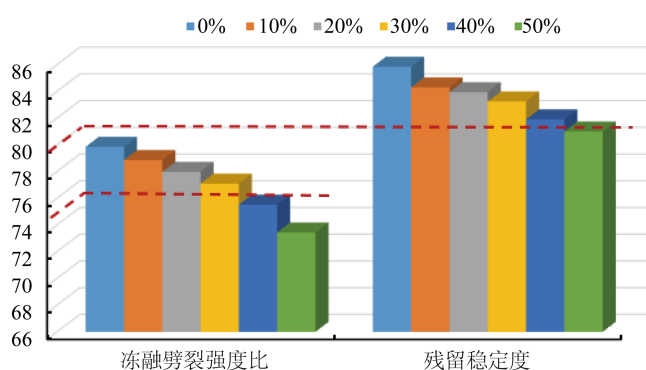


Figure 11. Variation of water stability of mixture

图 11. 混合料水稳定性变化规律

由上述试验可知随着 RAP 掺量的增加，混合料冻融强度比和残留稳定度逐渐减小，主要是因为老化沥青含量随着 RAP 掺量的增加而增加，造成沥青与集料间形成薄弱界面，沥青与集料间的粘附性降低，此外 RAP 集料经受行车荷载的作用，集料颗粒经受不同程度的磨耗作用棱角性较低，造成混合料间嵌挤

力较低, 空隙率偏大, 水分更容易浸入混合料内部, 破坏沥青与集料间的粘附作用, 在荷载和低温环境下, 混合料产生温度应力和动水压力, 破坏混合料的嵌挤结构, 导致混合料水稳定性降低。研究表明, 随 RAP 掺量增加混合料水稳定性逐渐降低, 当 RAP 掺量大于 50%, 混合料的冻融劈裂强度比不能满足相关规范要求。

综上分析, 随着 RAP 掺量的增加, 混合料的高温稳定性先增加后降低, 水稳定性和低温抗裂性能逐渐降低, 表明 RAP 掺量是影响混合料性能的重要因素。当 RAP 掺量为 30% 时, 混合料的高温性能最好, RAP 掺量超过 40%, 混合料的低温性能和水稳定性会显著降低, 其低温抗裂性不能满足相关规范要求, 综上研究推荐厂拌热再生沥青混合料 RAP 掺量宜控制为 30%。

## 5. 结论

(1) 对比分析再生剂掺入方式对老化沥青的再生效果, 提出将再生剂添加到混合料再回收沥青的试验方案, 研究表明相比于直接将再生剂添加到沥青中, 该试验方案再生效果较差, 但与实际工程现状更相符, 建议工程应用中适当提高再生剂的掺量。

(2) 添加再生剂能够显著提高老化沥青的针入度和延度, 但软化点略有降低, 结合再生剂的掺入方式及沥青技术指标要求, 确定本文再生剂掺量为 8%。

(3) 基于马歇尔试验法进行厂拌热再生沥青混合料配合比设计, 研究表明不同 RAP 掺量条件下混合料的体积指标差异不明显, 但最佳沥青用量随 RAP 掺量的增加逐渐增大。

(4) RAP 掺量对混合料性能有着重要影响, 研究表明随 RAP 掺量的增加, 混合料高温稳定性先增大后减小, 低温抗裂性和水稳定性逐渐降低, 推荐厂拌热再生沥青混合料 RAP 掺量宜控制为 30%。

## 参考文献

- [1] 陈龙, 朱建勇, 何兆益. 厂拌热再生沥青混合料低温抗裂与水稳定性研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017, 36(4): 38-44.
- [2] 喻峥嵘. 厂拌热再生沥青混合料设计关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2016.
- [3] 何兆益, 陈龙, 陈先勇. 厂拌热再生沥青混合料力学性能及应用研究[J]. 建筑材料学报, 2016, 19(5): 871-875.
- [4] Singh, D. and Girimath, S. (2016) Influence of RAP Sources and Proportions on Fracture and Low Temperature Cracking Performance of Polymer Modified Binder. *Construction and Building Materials*, **120**, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.094>
- [5] Im, S., Karki, P. and Zhou, F.J. (2016) Development of New Mix Design Method for Asphalt Mixtures Containing RAP and Rejuvenators. *Construction and Building Materials*, **115**, 727-734. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.081>
- [6] Riccardi, C., del Barco Carrión, A.J., Lo Presti, D. and Losa, M. (2017) Reclaimed Asphalt Binders and Mortars Fatigue Behaviour. *Road Materials and Pavement Design*, **18**, 1-12.
- [7] Leandri, P., Riccardi, C. and Losa, M. (2015) A New Approach to Estimating Rheological Properties of the Rap Binder at Intermediate Temperatures. *Road Materials and Pavement Design*, **16**, 280-299. <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1029695>
- [8] 王彬. 厂拌热再生混合料配合比优化设计及性能研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2018.
- [9] 薛彦卿, 黄晓明. 厂拌热再生沥青混合料力学性能试验研究[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(4): 507-511.
- [10] 陈雅雯. 厂拌热再生沥青混合料性能及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [11] 李福普, 李闯民, 编. JTGE20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验工程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [12] 中华人民共和国交通部. 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.