

文章编号:1005-0523(2018)01-0103-06

# 厂拌热再生沥青混合料的最佳 RAP 掺量研究

高磊<sup>1</sup>, 林鹏<sup>2</sup>

(1. 河北广通路桥集团有限公司, 河北 邯郸 050000; 2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

**摘要:**将回收沥青路面材料(RAP)进行分为两档,并分别检测各档中沥青含量与矿料级配,通过马歇尔试验确定了厂拌热再生沥青混合料 AC-13 与 AC-20 在 RAP 掺量为 10%,20%,30%,40%,50%条件下的最佳沥青用量及配合比。在最佳沥青用量的条件下,分析 RAP 掺量变化对再生沥青混合料高温性能、低温性能和水稳定性能进行研究,最后通过修筑试验路对厂拌热再生沥青混合料的路用性能进行验证。结果表明:再生沥青混合料的低温性能和水稳定性能随着 RAP 掺量的增加呈现先提高后下降的趋势,在 30%RAP 掺量时达到峰值;高温性能随着 RAP 掺量的增加而提高,综合各项性能推荐采用 30%作为 RAP 掺量。

**关键词:**沥青回收料;最佳掺量;水稳定性能;低温性能

**中图分类号:**U416.26 **文献标志码:**A

至 2015 年底,我国高速公路总里程达 12.5 万公里,已建成公路沥青混凝土路面所占比重约为 90%,每年有大量的沥青路面需要翻修、养护,随之产生的大量废旧沥青混合料,如果不能妥善处理,不仅占用大量的土地、污染周边生态环境,而且对于沥青、石料这些不可再生资源来说也是一种极大的浪费<sup>[1-3]</sup>。沥青路面厂拌热再生技术为解决这一问题创造了必要条件。加入回收沥青路面材料(下面简称 RAP)的沥青混合料马歇尔配合比设计方法相对复杂,不仅需要确定最佳沥青用量,而且还要使再生沥青符合选定的沥青标号<sup>[4-5]</sup>,其中 RAP 的掺量对于厂拌热再生混合料的高温性能、低温性能和水稳定性能都有着显著的影响,而且随着 RAP 掺量的变化,其不同路用性能往往呈现着不同的变化规律,因此在综合考虑多种性能的前提下选取最佳的 RAP 掺量对于厂拌热再生的工艺具有重要意义<sup>[6-9]</sup>。

## 1 原材料与配合比设计

### 1.1 RAP 料的试验结果

RAP 料来自于对石家庄至黄骅段高速公路上面层沥青混合料,该路段的使用时间仅为 3 年,回收料仍保持了较好的使用性能。依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》<sup>[10]</sup>中 T0726-2011 从沥青混合料中回收沥青的方法(阿布森法)进行沥青混合料中沥青的回收并得到纯的沥青,之后对回收的沥青进行针入度、软化点和延度的测试,测试结果见表 1。

表 1 回收沥青三大指标  
Tab.1 The three indexes of reclaimed asphalt

沥青三大指标	针入度 25 °C(0.1 mm)	软化点/°C	延度 15 °C/cm
实测平均值	41.8	71.5	6.9
AH-70 标准	60-80	≥46	>100
RAP 沥青标准	>20	实测	实测

收稿日期:2017-04-20

作者简介:高磊(1988—),男,助理工程师,主要研究方向为沥青与沥青混合料。

为了保证回收料的级配稳定性,采用破碎机将回收料分批破碎、筛分,破碎后的回收料分成两档,第一档为 0~5 mm 的细回收料(以下简称细 RAP),第二档为 5~15 mm 的粗回收料(以下简称粗 RAP)。依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》<sup>[10]</sup>中 T0735-2011 沥青混合料中沥青含量试验(燃烧炉法)测定石黄高速回收沥青混合料的沥青含量,所得油石比数据见表 2。

表 2 不同级配回收料的油石比  
Tab.2 The asphalt content of reclaimed asphalt mixture in different gradation %

项目	组号				平均
	1	2	3	4	
整体 RAP 油石比	4.75	4.72	4.86	4.57	4.62
细 RAP 油石比	5.53	6.40	5.67	5.52	5.78
粗 RAP 油石比	3.91	4.31	4.55	4.31	4.27

燃烧后分别对两档回收料进行筛分试验,依据《公路工程集料试验规程》<sup>[11]</sup>中 T 0302-2005 粗集料及集料混合料的筛分试验(水筛法)筛分得到集料级配,筛分结果见表 3。

表 3 回收料分档后筛分结果  
Tab.3 The gradation of reclaimed asphalt mixture after sieving %

项目	筛孔/mm									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
RAP 料通过率/%	100	97.3	79.7	50	38	26.1	17.8	13	10.8	7.1
细 RAP 通过率/%	100	100	100	87.3	64.4	46.7	29	21.8	16.2	9.1
粗 RAP 通过率/%	100	94.6	65.6	33.6	25.7	18.9	17	10.8	8.5	5.1

## 1.2 厂拌热再生沥青混合料配合比设计

依据《公路沥青路面再生技术规范》<sup>[12-13]</sup>中附录 B 厂拌热再生混合料配合比设计方法,为了避免产生溢料弃料的情况,以原有 RAP 料的级配作为目标级配,对粗细两档 RAP 料进行合成,所得合成比例为细 RAP:粗 RAP=3:7。

本文以上面层和中面层常见级配 AC-13 和 AC-20 作为研究对象,分别在旧料比例为 0%,10%,20%,30%,40%,50%的条件下,通过调整新料各档比例,使得合成级配保持在《公路工程沥青路面施工技术规范》<sup>[14]</sup>中推荐的级配中值,在相同的级配条件下,本文根据《公路工程沥青路面施工技术规范》中配合比设计确定最佳油石比,其最佳油石比,并研究其混合料在最佳油石比下路用性能随着 RAP 掺量的变化规律,试验结果见图 1。

从图 1 可以看出,AC-13 的最佳油石比 AC-20 的最佳油石比高出 0.5%左右。对 AC-13 沥青混合料而言,其最佳油石比随着 RAP 料的掺量上升呈现先缓慢增长,后快速上升特点,30%RAP 是快速上升的拐点,处于经济和节省沥青的考虑,AC-13 的 RAP 掺量不宜大于 30%。对于 AC-20 而言,最佳沥青用量呈现先缓慢下降,之后快速上升的规律,在 RAP 掺量为 30%的时候最佳沥青用量达到最低,因此 30%RAP 掺量是较为经济的选择。

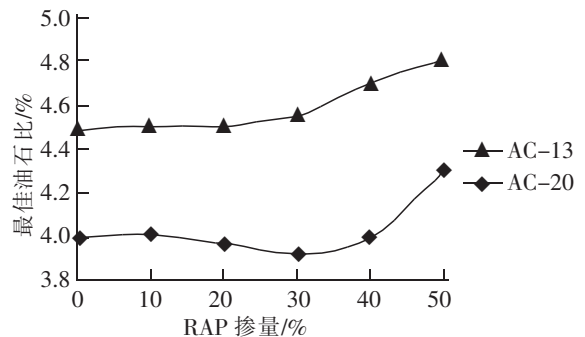


图 1 最佳油石比随着 RAP 料含量的变化  
Fig.1 The influence of content of RAP on optimum asphalt content

## 2 厂拌热再生混合料马歇尔试验结果分析

针对 AC-13 和 AC-20 密级配沥青混凝土混合料在最佳沥青用量的条件下,研究其马歇尔试验参数随着 RAP 掺量的变化规律,结果见表 4、图 2~图 4。

从图 2 中可以看出,AC-13 和 AC-20 沥青混凝土随着 RAP 掺量的上升均呈现先增长后降低的特点,对 AC-13 而言 RAP 最佳掺量为 40%,而对于 AC-20 而言 RAP 最佳掺量为 30%。总体而言,RAP 的加入能促使马歇尔稳定度的增加,说明 RAP 料对密级配沥青混合料的强度提高起到促进作用。

表 4 密级配沥青混凝土在最佳油石比的马歇尔试验结果

Tab.4 Marshall test results of asphalt mixture at optimum asphalt content

混合料类型	掺量/%	空隙率/%	稳定度/kN	流值/mm	饱和度/%	矿料间隙率/%
AC-13	0	4.1	10.8	3.2	70.9	14.1
	10	4.3	11.6	3	70.4	14.5
	20	4	11.26	2.7	69.6	14.1
	30	4.4	12.55	3.1	72.1	14.1
	40	5.2	14.67	3	66.8	15.4
	50	4.4	13.6	3	69.7	14.6
AC-20	0	4.3	12.3	3	68.6	13.7
	10	4.2	12.5	3.1	68.8	13.7
	20	4.3	14.03	3.3	68.5	13.6
	30	4.4	14.3	2.8	69.2	13.6
	40	4.6	13.57	2.8	70.1	15.1
	50	4.5	13.21	2.5	68.2	14.1

## 3 厂拌热再生沥青混合料路用性能分析

为了研究厂拌热再生沥青混合料在最佳油石比下的路用性能随着 RAP 掺量的变化规律,本文选择《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的 T0715 沥青混合料弯梁试验、T0719 沥青混合料车辙试验和 T0709 沥青混合料马歇尔浸水残留稳定度试验,分别对其低温性能、高温性能和水稳定性进行评价,实验结果见图 3~图 6。

从图 3 中可以看出,在最佳油石比下极限状态下,抗弯拉强度随着 RAP 掺量呈现先上升后下降的趋势,对于 AC-13 和 AC-20 两种不同级配,均在 RAP 掺量为 30%时抗弯拉强度达到最大,说明少量 RAP 的加入对于沥青混合料的低温抗弯拉强度有促进作用,但是当 RAP 掺量超过 30%的时候将起到负面作用。同时可以发现 AC-13 和 AC-20 两种级配的在 RAP 掺量为 30%的时候,其抗弯拉强度基本相同,说明在该状态下级配对于沥青混合料的抗弯拉强度影响不大。

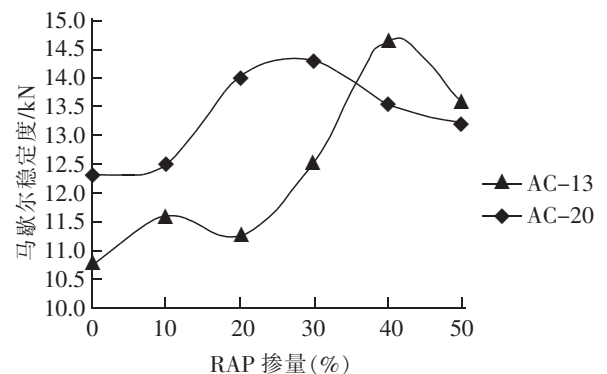


图 2 在最佳油石比下马歇尔稳定度随着 RAP 掺量的变化规律

Fig.2 The influence of RAP content on Marshall stability

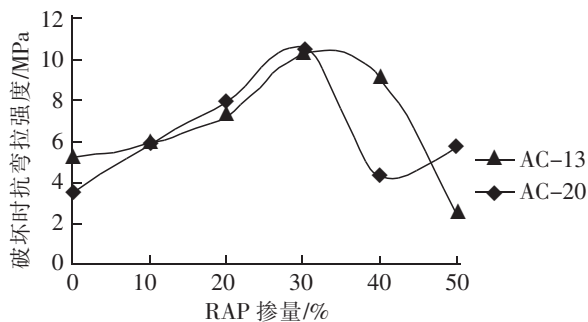


图3 在最佳油石比下破坏时抗弯拉强度随着RAP掺量的变化规律

Fig.3 The influence of RAP content on tensile stress

从图4中可以看出,在最佳油石比下极限状态下,AC-13和AC-20两种再生混合料的动稳定度随着RAP掺量均呈现上升的趋势,且远高于普通沥青混合料的动稳定度,说明再生混合料随着RAP掺入其高温性能明显提高。这种现象主要因为回收料中沥青发生了老化,使其轻质组分减少,沥青质增加,从而导致沥青的动态剪切模量显著提高,最终引起再生混合料的动稳定度的提升。

从图4中可以看出,再生混合料的残留强度比随着RAP掺量的增加呈先增大后减小的趋势,在RAP掺量为30%时达到峰值,随后残留强度比迅速下降。因此在RAP掺量小于30%时,RAP的掺入能够促进再生混合料的水稳定性的提高,然而随着RAP掺量的继续提升,水稳定性将剧烈下降,但在RAP掺量为50%时仍能满足JTG F40-2004《公路工程沥青路面施工技术规范》中对于残留强度比大于75%的要求。

#### 4 厂拌热再生沥青混合料试验路性能验证

压实度、摩擦系数、渗水、平整度等指标均满足规范要求且与普通沥青混合料的铺筑效果相似,无明显变化。

在室内研究成果的基础上,在河北省道上铺筑了300m的试验路,路面宽度为7m,路面厚度为4cm,采用的是AC-13中值级配,混合料采用30%的回收料,新集料中0~3采用石灰岩,其余采用玄武岩,新沥青采用中石化提供的SBS改性沥青,在试验路铺筑后的第二年进行包括平整度、弯沉值、抗滑性能和透水率4项检测,并与采用相同级配和沥青用量的SBS改性沥青AC-13路段进行对比,检测结果见表5。

从表5中可以看出,厂拌热再生沥青混合料试验路的平整度、弯沉值、抗滑性能和透水率整体与常用的SBS改性沥青路面差异不大,在构造深度、摩擦性方面还有略微优势,说明厂拌热再生沥青混合料具有良好的路用性能,具有广泛的应用前景。

#### 5 总结

本文为研究的厂拌热再生沥青混合料最佳的RAP掺配比例,选取AC-13和AC-20两种典型级配的再生混合料作为对象,研究了不同RAP掺配比例对于最佳油石比、高温性能、低温性能和水稳定性能的影响,并通过铺住试验路的方式对实际路用性能进行验证,得出以下结论:

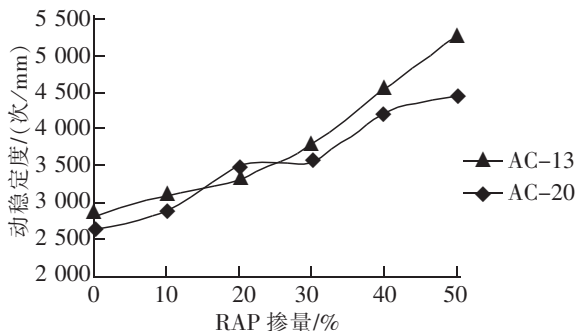


图4 在最佳油石比下动稳定度随着RAP掺量的变化规律

Fig.4 The influence of RAP content on dynamic stability

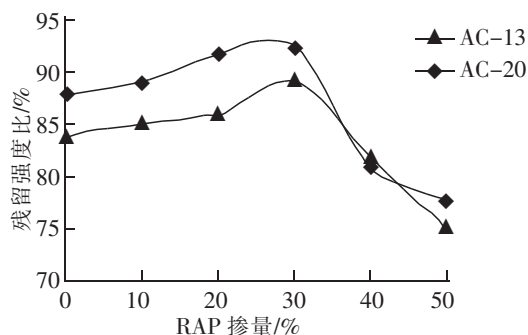


图5 在最佳油石比下残留强度比随着RAP掺量的变化规律

Fig.5 The influence of RAP content on residual stability percentage

1) 厂拌热再生沥青混合料的最佳沥青用量在 RAP 掺量小于 30%时缓慢增长,在 RAP 掺量高于 30%时增长迅速,从经济角度考虑,RAP 产量不宜高于 30%。

2) 在最佳沥青用量的条件下,研究范围内的再生沥青混合料的低温性能和水稳定性能随着 RAP 掺量的增加呈现先提升后降低的趋势,在 30%RAP 掺量达到最佳;高温性能随着 RAP 掺量的增加而不断提升,综合考虑各项性能建议采用 30%的 RAP 掺量。

3) 通过厂拌热再生试验路验证,构造深度、摩擦系数、渗水、平整度等指标均满足规范要求且与普通沥青混合料的铺筑效果相似,说明厂拌热再生沥青混合料具有良好的路用性能。

表 5 试验路现场检验结果  
Tab.5 Field test results in the test road

测试项目		再生沥青混合料试验段	SBS 改性沥青混合料对比段
取样路段		K9+100~K9+400	K9+400~K9+700
平整度	测点	60	60
	平均值/mm	2.1	2.1
摆值	X	45	44
	S	1.258	0.96
	CV	2.7	1.98
构造深度	X	0.52	0.48
	S	0.057	14.2
	CV	0.05	20.3
渗水	X	0	0
	S	0	0
	CV	0	0

#### 参考文献:

- [1] 于玲,刁家栋,杨彦海,等. 沥青路面厂拌热再生技术的使用性能评价与研究[J]. 中外公路,2014(2):263-268.
- [2] 兰青,徐伟,赵劲松,等. 高比例 RAP 厂拌热再生沥青混合料在广惠高速公路试验与评价[J]. 公路工程,2013(4):79-83.
- [3] 薛彦卿,黄晓明. 厂拌热再生沥青混合料在含 LSPM 路面结构中的应用及评价[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2011(10):26-33.
- [4] 韩永强,程培峰. RAP 掺量对温拌再生沥青混合料性能的影响[J]. 公路交通科技,2015(12):38-41.
- [5] 查旭东,闵斌,宋微. RAP 掺量对热再生沥青混合料性能影响分析[J]. 长沙理工大学学报:自然科学版,2013(4):1-8.
- [6] 姚岢,黎侃. 厂拌热再生沥青路面施工质量控制技术[J]. 广东公路交通,2011(S1):21-25.
- [7] 易鑫,赵光德,陈希梅. 沥青路面就地热再生关键技术研究[J]. 公路交通技术,2009(1):39-42.
- [8] 倪小军,陈仕周,凌天清. 沥青路面再生利用技术综述[J]. 重庆交通学院学报,2004(5):39-42.
- [9] 刘先森,王树林. 热再生沥青路面耐久性述评[J]. 中外公路,2003(5):45-48.
- [10] 交通部公路科学研究所. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[M]. 北京:人民交通出版社,1984.
- [11] 单位交通部公路科学研究所. 公路工程集料试验规程[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [12] 交通部公路科学研究院,交通部.《公路沥青路面再生技术规范》[M]. 北京:人民交通出版社,2008.
- [13] 交通部公路科学研究院,交通部. 公路沥青路面再生技术规范[M]. 北京:人民交通出版社,2008:128.
- [14] 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范[M]. 北京:人民交通出版社,1994.

# Investigation of Optimum RAP Contents in Hot Recycled Asphalt Mixture

Gao Lei<sup>1</sup>, Lin Peng<sup>2</sup>

(1. Guangtong Highway Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China; 2. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** The reclaimed asphalt pavement (RAP) material was classified into two categories and the gradation and asphalt content of RAP were examined for each category. The Marshall design method was adopted to obtain the optimum asphalt content and mixture ratio in the hot recycled asphalt mixture AC-13 and AC-20 under the conditions of 10%, 20%, 30%, 40% and 50% content of RAP respectively. Effects of RAP changes on the high temperature stability, low temperature performance and water stability of reclaimed asphalt mixture with the optimum asphalt content were evaluated. Finally, the test road was constructed to verify the road performance of hot recycled asphalt mixture. Research results show that the low temperature performance and water stability of hot recycled asphalt mixture increased first and then decreased along with the increase of content of RAP, and the optimum RAP content was 30%. The high temperature stability of hot recycled asphalt mixture improved with the increase of RAP content. With comprehensive consideration of the properties of hot recycled asphalt mixture, 30% content of RAP was recommended.

**Key words:** reclaimed asphalt pavement materials; optimum content; water stability; low temperature performance