

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2015.12.007

# RAP 掺量对温拌再生沥青混合料性能的影响

韩永强, 程培峰

(东北林业大学 土木工程学院, 哈尔滨 黑龙江 150040)

**摘要:** 为了研究 RAP (回收沥青路面材料) 掺量对温拌再生沥青混合料性能的影响, 突破以往厂拌热再生中 RAP 掺量较低的瓶颈, 通过设计不同 RAP 掺量的 AC-16 温拌再生沥青混合料, 并对再生混合料的最佳沥青用量、拌和压实温度以及路用性能进行试验, 研究温拌再生混合料的性能变化规律。试验结果表明, 最佳沥青用量随着 RAP 掺量的增加而增加, 而最佳新沥青用量随着 RAP 掺量的增加而减少, 温拌剂的温拌效果随着 RAP 掺量的增加而减弱, 温再生混合料的路用性能在 RAP 掺量为 40%~50% 时变化加剧, 最终确定温拌再生沥青混合料的 RAP 掺量宜控制在 40%~50%。  
**关键词:** 道路工程; 温拌再生沥青混合料; 试验分析; 路用性能; 温拌效果

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2015)12-0038-04

## Influence of RAP Quantity on Performance of Warm Mix Recycled Asphalt Mixture

HAN Yong-qiang, CHENG Pei-feng

(School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang 150040, China)

**Abstract:** In order to study the influence of reclaimed asphalt pavement (RAP) content on performance of warm mix recycled asphalt mixture and break through the bottleneck of lower RAP content in plant hot mix recycling, by designing AC-16 warm mix recycled asphalt mixture with different RAP contents, and testing the optimum asphalt content, mixing and compaction temperature and road performance, we researched the changing regularity of performance of warm mix recycled asphalt mixture. The test result shows that (1) the optimum asphalt content increases with the increase of RAP content, while the optimum new asphalt content decreases with the increase of RAP content; (2) the warm mixing effect of warm mix agent weakens with the increase of RAP content, when the RAP content is between 40% and 50%, the performance of warm mix recycled asphalt mixture has a large change, and finally we determined the RAP content of warm mix recycled asphalt should be controlled at 40% - 50%.

**Key words:** road engineering; warm mix recycled asphalt mixture; experimental analysis; road performance; warm mixing effect

## 0 引言

沥青混合料再生技术诞生于 1915 年, 至今已走过了近一个世纪的发展历程<sup>[1]</sup>, 随着环保观念日益深入人心, 旧沥青混合料再生技术也越来越受到人们重视<sup>[2-3]</sup>, 很多学者都对再生沥青混合料进行了研究: 杨彦海等人结合实际工程研究了再生混合料的抗水损害性能<sup>[4]</sup>, 张志祥等人研究了再生混合料的疲劳性能<sup>[5-6]</sup>。沥青混合料的温拌技术出现之后,

许多研究学者开始将沥青混合料的温拌技术与再生技术进行结合, 以达到提高旧沥青混合料 (RAP) 再生利用率、降低热再生施工温度、节约施工成本的目的<sup>[7]</sup>。温拌技术一般分为乳化沥青温拌技术、有机添加剂法、沥青-矿物法以及泡沫沥青温拌法 4 种<sup>[8-9]</sup>, 目前多用有机添加剂法<sup>[10-12]</sup>, 通过改变沥青的黏度实现降低施工温度的目的。

本文采用 AC-16 级配, 研究温拌再生沥青混合料的温拌效果、沥青用量以及路用性能随 RAP 掺量

收稿日期: 2014-09-24

作者简介: 韩永强 (1989-), 男, 河南许昌人, 硕士研究生. (hyq15846338695@126.com)

的变化规律, 并最终得出温拌再生沥青混合料适宜的 RAP 掺量。

### 1 温拌再生沥青混合料配合比设计

#### 1.1 RAP 评价

试验采用哈双高速在翻修时产生的废旧沥青混合料为原材料, 路面在翻修时已使用 6 a。旧料经过筛分分档处理, 其沥青含量为 4.2%; 对旧料进行抽提筛分和老化沥青的指标试验, 所得试验结果见表 1、表 2。

表 1 RAP 集料筛分试验结果

Tab. 1 Test result of sieving RAP aggregate

筛孔孔径/mm	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100.0	84.7	50.3	34.4	28.3	22.8	13.6	9.1	6.6

表 2 老化沥青指标试验结果

Tab. 2 Test result of indexes of aged asphalt

针入度/(0.1 mm)	软化点/℃	5℃延度/cm	135℃黏度/(Pa·s)
22	64.3	2.7	2.47

从表 1 中试验数据可看出, 该档 RAP 材料的集料级配不能满足设计级配要求, 需添加新集料改善级配; 由表 2 RAP 中沥青指标试验结果可知, RAP 中沥青老化较严重, 残留针入度仅为 24.4%, 各项指标不能满足沥青混合料的要求, 需添加新沥青或者沥青再生剂提高旧沥青的性能。

#### 1.2 级配设计

根据旧料的筛分结果与设计级配, 添加不同掺量的 RAP 与新集料进行配比, RAP 的掺加比例分别取 0%, 15%, 30%, 40%, 50%, 60% (掺加比例为 RAP 集料质量占再生混合料集料质量的百分比), 级配调整曲线图见图 1。

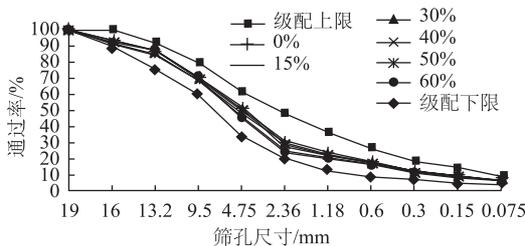


图 1 级配曲线图

Fig. 1 Gradation curves

#### 1.3 最佳新沥青用量的确定

使用高速离心抽提方法将 RAP 中集料与沥青分离, 然后使用旋转蒸发器从抽提液中回收沥青, 添加不同掺量的再生剂测定沥青的指标, 根据老化沥青的恢复程度确定再生剂用量为 7%, 温拌剂掺量为

总沥青用量的 0.7%。

最佳沥青用量的确定采用马歇尔试验方法, 以预估的最佳沥青用量为中值, 间隔 0.5% 的沥青用量, 成型 5 组试件, 测定试件的体积指标和力学指标, 根据规范方法确定最佳沥青用量 OAC。不同旧料掺量下的最佳沥青用量见图 2。

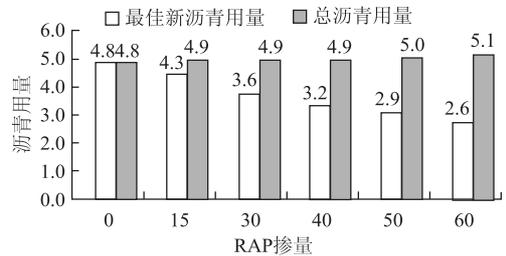


图 2 不同 RAP 掺量下的沥青用量对比图 (单位: %)

Fig. 2 Contrast of asphalt contents under different RAP content condition (unit: %)

图 2 表明, 随着 RAP 掺量的增加, 新沥青的用量减少, 但总的沥青含量却逐渐上升, RAP 掺量为 60% 时, 新沥青用量为 2.6%, 总的沥青用量达到 5.1%。相比全部使用新材料, 虽然总沥青用量较大, 但是在一定程度上实现了资源的循环利用, 能够节约大量的砂石材料, 新沥青的用量也能大幅减少, 如此能够很大程度上节约工程中的材料成本。

### 2 RAP 掺量对温拌效果的影响

#### 2.1 温拌再生沥青混合料拌和压实温度的确定

根据之前的研究结果, 使用温拌再生沥青混合料的体积指标确定适宜的拌和及压实温度, 以 RAP 掺量为 40% 为例, 在不同的温度下拌和再生混合料及成型马歇尔试件, 拌和温度比压实温度高 15℃。测定试件的毛体积相对密度、空隙率、饱和度及矿料间隙率, 试验结果见图 3。

从图 3 中的结果可知, 在各压实温度下成型的试件空隙率和矿料间隙率均满足规范要求, 其中在 155℃ 和 145℃ 的压实温度下成型的试件密度略高于热再生混合料, 因为在此降温区间内, 温拌剂对沥青的降黏和润滑作用大于温度降低的增黏作用, 使混合料更易密实<sup>[13]</sup>, 但混合料在 135℃ 成型时, 相比 145℃ 成型试件密度和空隙率出现了较大幅度的跳跃, 空隙率已接近上限。这是由于在这一温度下, 温度降低对沥青黏度的影响起到了主导作用, 沥青黏度增大, 致使混合料压实相对困难。若以设计空隙率中值 4.0% 控制, 可确定掺加 40% RAP 的温拌再生混合料的最佳压实温度为 140℃。

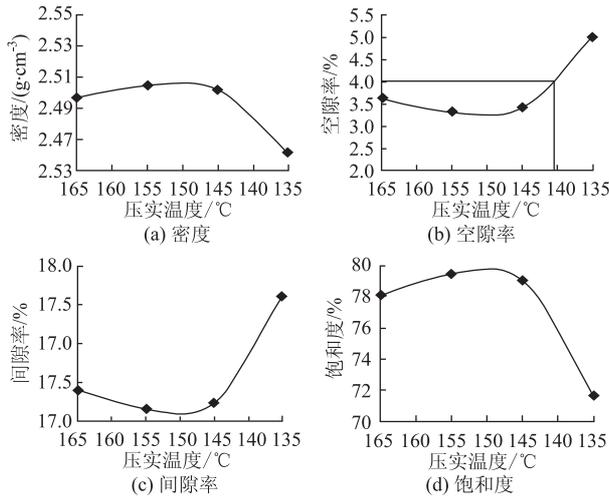


图3 不同成型温度下试件体积指标变化图

Fig. 3 Curves of specimen volume indexes at different molding temperatures

## 2.2 RAP 掺量对拌和压实温度的影响

用以上方法分别确定 RAP 掺量为 0, 15%, 30%, 40%, 50%, 60% 的温拌再生沥青混合料在空隙率达到设计中值时的拌和及压实温度, 结果见图 4。

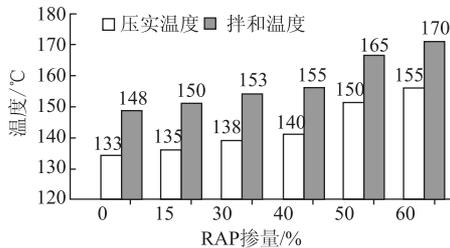


图4 不同 RAP 掺量温再生沥青混合最佳料拌和及压实温度

Fig. 4 Best mix and compaction temperatures of warm mix recycled asphalt mixture with different RAP contents

由图 4 可知, 在同样的温拌剂掺量下, 温再生沥青混合料最佳拌和压实温度随着 RAP 掺量的增加逐渐升高, RAP 掺量为 0 时, 温再生沥青混合料的拌和温度在 148 °C、成型温度为 133 °C 时混合料的空隙率达到中值, RAP 掺量为 60% 时, 拌和及成型温度分别达到了 170 °C 和 155 °C, 两者相差 22 °C。

从整体趋势上看, 在 RAP 掺量为 0 ~ 40% 时最佳温度上升较慢; 在 RAP 掺量达到 50% 时, 再生混合料的最佳拌和成型温度上升幅度产生突变; 在加剧 RAP 掺量为 60% 时, 再生混合料已基本失去温拌剂对的温拌效果。

## 3 RAP 掺量对温拌再生沥青混合料的性能影响

RAP 掺量对温拌再生沥青混合料的最佳沥青用量及拌和压实温度均有较大的影响, 对于其路用性

能的影响还需进行深入的研究, 以下分别对温拌再生混合料的高温稳定性、低温抗裂性及水稳定性进行试验研究。

### 3.1 高温稳定性

采用车辙试验评价温再生沥青混合料的高温稳定性, 不同 RAP 掺量下再生混合料的动稳定度见表 3。

表 3 车辙试验结果

Tab. 3 Result of rutting test

RAP 掺量/%	0	15	30	40	50	60
DS/(次·mm <sup>-1</sup> )	3 371	3 792	4 386	4 632	9 545	11 052

车辙试验结果表明, 掺加 RAP 的再生沥青混合料动稳定度比全部使用新材料的沥青混合料高, 即高温稳定性较好, 且随着 RAP 掺量的增加, 动稳定度数值越来越大, 掺加 50% RAP 的再生混合料比掺加 40% RAP 的动稳定度提高了一倍多, 而 RAP 掺量继续加大, 动稳定度的增加量相对而言不是很明显。

### 3.2 低温抗裂性

低温抗裂性评价采用低温小梁弯曲试验, 试验温度为 -10 °C, 试件在 -10 °C 的环境箱中保温 3 h 后进行试验, 测定小梁的低温弯曲破坏应变。试验结果见表 4。

表 4 低温弯曲试验结果

Tab. 4 Result of low temperature bending test

RAP 掺量/%	0	15	30	40	50	60
破坏应变/με	3 235	2 933	2 808	2 613	2 347	2 092

由表 4 中试验结果可知, 掺加 RAP 的再生沥青混合料比全部使用新材料的沥青混合料极限破坏应变低, 说明掺加 RAP 的沥青混合料的低温抗裂性能较差, 随着 RAP 掺量的增加, 混合料极限破坏应变持续减小, 当 RAP 掺量达到 60% 时, 极限破坏应变已低于普通沥青混合料的规定值。

### 3.3 水稳定性

目前最常用评价沥青混合料水稳定性的方法有两种, 浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验, 但经过大量研究证明, 浸水马歇尔试验中所要求的试件浸水环境与实际相差较大, 试验结果不能真实地反映实际情况, 故采用冻融劈裂试验评价温再生沥青混合料的水稳定性, 试验结果见表 5。

表 5 水稳定性试验结果 (单位: %)

Tab. 5 Result of water stability test (unit: %)

RAP 掺量	0	15	30	40	50	60
冻融劈裂强度比	81.8	77.9	79.4	77.3	74.2	70.7

表 5 表明, 掺加 RAP 的再生沥青混合料水稳定性比全部使用新材料的沥青混合料差, 但 RAP 掺量

低于40%时,再生混合料冻融劈裂强度比降低较小,从RAP掺量为50%开始,混合料水稳定性出现较大幅度的下降。

#### 4 结论

(1) 随着RAP掺量的不断增加,同样温拌剂掺量下的温拌再生沥青混合料的温拌效果逐渐减弱,RAP掺量为60%时,混合料最佳拌和压实温度仅能降低10℃,已基本失去了温拌效果。

(2) 随着RAP掺量的增加,再生沥青混合料的最佳沥青用量逐渐提高,但新沥青用量不断减小,当RAP掺量为60%时,新沥青用量能减少约50%。

(3) 相比全部使用新材料的沥青混合料,再生混合料的高温稳定性较高,低温抗裂性及水稳定性较差。并且随着RAP用量的增加,高温稳定性越来越好,水稳定性和低温抗裂性逐渐变差。

(4) 温拌再生沥青混合料的路用性能RAP掺量在0~40%内变化缓慢,在RAP掺量为40%~50%时,变化趋势加剧,表现为高温稳定性上升幅度变大,低温抗裂性及水稳定性下降幅度变大,温拌再生沥青混合料的RAP掺量宜控制在40%~50%。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] TAYLOR N. Life Expectancy of Recycled Asphalt Paving [M]//WOOD L E. Recycling of Bituminous Pavements. West Conshohocken, US: ASTM, 1978: 3-15.
- [2] REYES-ORTIZ O, BERARDINELLI E, ALVAREZ A E, et al. Evaluation of Hot Mix Asphalt Mixtures with Replacement of Aggregates by Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Material [J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2012, 53 (2290): 379-388.
- [3] CHEN J S, WANG C H, HUANG C C. Engineering Properties of Bituminous Mixtures Blended with Second Reclaimed Asphalt Pavements (R2AP) [J]. Road Materials and Pavement Design, 2009, 10 (1): 129-149.
- [4] 杨彦海, 赵文, 吴玉辉. 再生沥青混合料抗水损害性能评价 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (7): 19-22.  
YANG Yan-hai, ZHAO Wen, WU Yu-hui. Evaluation of Resistance to Moisture of Recycled Asphalt Mixture [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23 (7): 19-22.
- [5] 张志祥, 吴建浩. 再生沥青混合料疲劳性能试验研究 [J]. 中国公路学报, 2006, 23 (2): 31-35.  
ZHANG Zhi-xiang, WU Jian-hao. Experimental Research on Fatigue Characteristics of RAP Mixtures [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 23 (2): 31-35.
- [6] 杨丽英, 谭忆秋, 董雨明, 等. 温拌再生沥青混合料的疲劳性能 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (10): 7-10, 21.  
YANG Li-ying, TAN Yi-qiu, DONG Yu-ming, et al. Fatigue Performance of Warm Recycled Asphalt Mixture [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (10): 7-10, 21.
- [7] 秦永春, 黄颂昌, 徐剑, 等. 温拌沥青混合料节能减排效果的测试与分析 [J]. 公路交通科技, 2009, 26 (8): 33-37.  
QIN Yong-chun, HUANG Song-chang, XU Jian, et al. Test and Analysis of Energy Saving and Emission Reduction of Warm Mixed Asphalt [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (8): 33-37.
- [8] 张海, 李冬松, 欧阳伟, 等. 基于乳化平台的 Evotherm 温拌沥青混合料性能 [J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2009, 25 (2): 240-243.  
ZHANG Hai, LI Dong-song, OUYANG Wei, et al. Properties Research on Warm Mix Asphalt Based on Evotherm [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science Edition, 2009, 25 (2): 240-243.
- [9] 秦永春, 黄颂昌, 徐剑, 等. 温拌沥青混合料技术及最新研究 [J]. 石油沥青, 2006, 20 (4): 18-21.  
QIN Yong-chun, HUANG Song-chang, XU Jian, et al. Warm Mix Asphalt Technologies and Latest Researches [J]. Petroleum Asphalt, 2006, 20 (4): 18-21.
- [10] 章顺风. Evotherm 温拌再生沥青混合料技术研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2010.  
ZHANG Shun-feng. Research on Technology of Evotherm Warm-mix Recycling Asphalt Mixture [D]. Changsha: Hunan University, 2010.
- [11] 孙吉书, 肖田, 杨春风, 等. 温拌再生沥青混合料的路用性能研究 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2011, 30 (2): 250-253.  
SUN Ji-shu, XIAO Tian, YANG Chun-feng, et al. On Properties of Warm Mix Recycled Asphalt Mixture in Highway [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2011, 30 (2): 250-253.
- [12] 刘明珠. Sasobit 温拌再生沥青混合料路用性能评价 [D]. 北京: 北京建筑大学, 2013.  
LIU Ming-zhu. Road Performance Evaluation of Warm Recycled Asphalt Mixture with Sasobit [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2013.
- [13] 尚培东. 温拌沥青混合料路用性能的研究 [J]. 中外公路, 2013, 33 (3): 280-284.  
SHANG Pei-dong. Research on Road Performance of Warm Recycled Asphalt Mixture [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2013, 33 (3): 280-284.